

1. Авторы

Леоненко М.В., Григоренко Е.Е., Зеленый Л.М., Малова Х.В., Мальных А.Ю., Попов В.Ю.

2. Название

MMS Observations of Super Thin Electron-Scale Current Sheets in the Earth's Magnetotail

3. Ссылки на публикацию

Leonenko, M. V., Grigorenko, E. E., Zelenyi, L. M., Malova, H. V., Malykhin, A. Y., Popov, V. Y., & Büchner, J. (2021). MMS observations of super thin electron-scale current sheets in the Earth's magnetotail. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2021JA029641

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021JA029641>

4. Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность

Формирование и распад тонкого токового слоя является важнейшим процессом трансформации энергии в хвосте Земной магнитосферы. Предполагается, что тонкий токовый слой может быть источником свободной энергии для развития плазменных неустойчивостей. Динамика токового слоя геомагнитного хвоста в основном определяется кинетикой частиц плазмы, а, соответственно, зависит от толщины токового слоя.

В теоретических работах была предложена новая аналитическая модель вложенного тонкого токового слоя, описывающая вложенный электронный сверхтонкий токовый слой в зависимости от характеристик тонкого токового слоя. Данная модель предоставляет теоретическое выражение, определяющее полутолщину сверхтонкого токового слоя.

5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение

В работе впервые исследуется пространственная структура сверхтонких токовых слоев в хвосте Земной магнитосферы. Токовые слои наблюдаются совместно с быстрыми плазменными потоками, направленными от и к Земле. Впервые подтверждается существование интенсивных сверхтонких токовых слоев в хвосте Земной магнитосферы, определяется их полутолщина.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность

В работе используются данные многоспутниковой миссии MMS. Высокое временное разрешение магнитных и плазменных приборов впервые позволило наблюдать сверхтонкие токовые слои в хвосте Земной магнитосферы.

Выбранный интервал наблюдений позволяет исследовать множественные токовые структуры благодаря быстрым плазменным потокам и флэппингу токового слоя. Наблюдение множественных пересечений токового слоя, впервые позволило статистически исследовать характеристики сверхтонкого токового слоя.

В работе предложен новый метод определения пространственных размеров токового слоя. Новый метод использует только данные магнитных приборов миссии MMS, что позволяет получить пространственный профиль сверхтонкого токового слоя с большим временным разрешением и точностью, чем существующие методы, основанные на плазменных данных.

Использование плазменных данных о функции распределения электронов в высоком разрешении впервые позволило определить и исследовать токонесущую популяцию электронов в сверхтонком токовом слое.

7. Полученные результаты и их значимость

Флэппинг токового слоя, совместно с прохождением быстрых плазменных потоков, позволил наблюдать 111 пересечений нейтральной плоскости. В 95 событиях пересечения впервые наблюдался сверхтонкий токовый слой, с плотностью электрического тока минимум в несколько раз превышающей плотность ионного тока в тонком токовом слое.

Полутолщина сверхтонкого токового слоя составляет порядка нескольких гирорадиусов тепловых электронов. Обнаружено, что параметр адиабатичности электронов (κ_e) может быть меньше 1. Впервые показано, что электрический ток в таких сверхтонких токовых слоях переносится размагниченной популяцией электронов. Обнаружено, что баланс натяжений в таких токовых структурах поддерживается градиентами недиагональных членов тензора давления размагниченных электронов. Подобная динамика электронов схожа с динамикой ионов в тонком токовом слое. Предположено, что замагниченная низкоэнергичная популяция электронов поддерживает стабильность наблюдаемых структур.

Проведенный впервые статистический анализ характеристик сверхтонкого токового слоя показал отсутствие различий характеристик в зависимости от направления быстрых плазменных потоков.

В работе показано, что наблюдаемые значения полутолщины сверхтонкого токового слоя (L) хорошо соотносятся с теоретической оценкой (λ): $L \sim (0.3 - 1.0)\lambda$.