

1. Авторы:

Малыхин А.Ю., Григоренко Е.Е.

2. Название цикла:

Токовые структуры и ускорение плазменных частиц в зоне торможения быстрых потоков в ближнем хвосте магнитосферы Земли

3. Ссылки на публикацию:

Grigorenko, E. E., Dubyagin, S., Malykhin, A. Y., Khotyaintsev, Y. V., Kronberg, E. A., Lavraud, B., & Ganushkina, N. Y. (2018). Intense current structures observed at electron kinetic scales in the near-Earth magnetotail during dipolarization and substorm current wedge formation. *Geophysical Research Letters*, 45. <https://doi.org/10.1002/2017GL076303>

Andrey Y. Malykhin, Elena E. Grigorenko, Elena A. Kronberg, Rositza Koleva, Natalia Y. Ganushkina, Ludmila Kozak, and Patrick W. Daly, Contrasting dynamics of electrons and protons in the near-Earth plasma sheet during dipolarization, *Ann. Geophys.*, 36, 741–760, 2018, <https://doi.org/10.5194/angeo-36-741-2018>

А. Ю. Малыхин, Е. Е. Григоренко, Е. А. Кронберг, П. В. Дали, Влияние бетатронного механизма на динамику потоков сверхтепловых электронов во время диполизаций в геомагнитном хвосте, *Геомагнетизм и Аэронаука*, 2018, том 58, № 6, с. 1–9, DOI: 10.1134/S0016794018060093

4. Общая формулировка научной проблемы:

Исследование влияние продолжительных диполизаций, связанных с быстрыми плазменными потоками, на формирования токовых структур во время диполизаций связанных с формированием суббуревого токового клина, и динамику электронных и протонных потоков высоких энергий (>30 кэВ).

Актуальность:

Диполизационные процессы наблюдаемые в ближнем геомагнитном хвосте в области накопления магнитного потока, которые связываются с формированием суббуревой токовой системы, оказывают значительное влияние на плазму геомагнитного хвоста. Выяснение структуры электрических токов, генерируемых в результате перестройки магнитной конфигурации и токовой системы в ближнем хвосте во время формирования суббуревого токового клина является важной задачей для понимания физики суббури. Также актуальной задачей является исследование механизмов, отвечающих за динамику потоков сверхтепловых частиц (протонов и электронов) и их ускорения.

5. Конкретная решаемая в работе задача и её значение:

Задачей данной работы является изучение динамики потоков энергичных частиц (электронов и протонов) и их спектров на различных фазах диполизаций в ближнем хвосте магнитосферы Земли. Определение механизмов, отвечающих за ускорение данных плазменных популяций, определение пространственных масштабов токовых структур генерируемых в результате диполизаций в ближнем хвосте. И выяснение на какой фазе диполизации, и связанной с ней суббури, формируются наиболее интенсивные токовые структуры.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность:

В данных работах использовались измерения миссии Cluster и THEMIS в ближнем хвосте ($X \sim 7-15R_E$). Процессы диполизации ранее изучались посредством наблюдения

единичных кратковременных событий. Было показано, что такие диполизационные фронты связаны с быстрыми потоками и ростом геомагнитной активности. Благодаря уникальной конфигурации спутников Cluster в июле – октябре 2013 г можно было проводить исследования магнитных и токовых структур одновременно на электронных и ионных кинетических масштабах. Используя методы MVA и timing-анализа были исследованы пространственные распределения плотности тока во время 14 диполизаций, наблюдаемых в указанный период времени.

Также ранее сообщалось, что за ускорение электронов могут отвечать адиабатические механизмы. В наших работах впервые исследована корреляция между наблюдаемой V_Z компонентой и потоками электронов и протонов различных энергий. Исходя из полученных корреляций, мы провели оценку эффективности бетатронного ускорения для электронов следующим (уникальным) методом. Из адиабатической теории следует, что в случае «чистого» бетатронного ускорения отношение потока частиц ($J(t)$) к некоторому начальному потоку ($J(t_0)$) должно равняться отношению величины магнитного поля ($|B|(t)$) к начальному магнитному полю ($|B|(t_0)$), возведённое в степень равную показателю спектра (γ) увеличенного на единицу ($J(t)/J(t_0) = [|B|(t)/|B|(t_0)]^{\gamma+1}$). Таким образом, чем ближе получаемые значения в представленных отношениях, тем больший вклад в ускорение вносит бетатронный механизм. Выполнение этого соотношения для электронов различных энергий (от 50 до 150 кэВ) было экспериментально проверено для 14 диполизаций.

С целью исследования влияния низкочастотной волновой активности на ускорение ионов во время диполизации, был проведён вейвлет-анализ магнитных флуктуаций, который позволяет получить спектр мощности флуктуаций непосредственно в каждый момент времени, в отличие от Фурье спектра. С помощью данного метода мы получили мощность флуктуаций на гирочастоте протонов и исследовали связь между вариациями мощности и возрастаниями потоков энергичных протонов.

Мы впервые использовали метод наложения эпох чтобы установить на какой фазе диполизации, и связанной с ней суббури, происходит возрастание потоков электронов различных энергий (от 50 до 150 кэВ), и формируются наиболее интенсивные токовые структуры.

7. Полученные результаты и их значимость:

Впервые обнаружено формирование локализованных ($\sim 2-5\lambda_e$, λ_e - электронная инерционная длина) интенсивных токовых структур ($J \geq 50$ нА/м²). Статистически показано, что такие токовые структуры наблюдаются на фазе роста продолжительной диполизации и связанной с ней суббури, и наблюдаются в окрестностях отдельных диполизационных фронтов, которые являются магнитными структурами, составляющими крупномасштабную диполизацию в геомагнитном хвосте.

Показано, что динамика потоков энергичных протонов и электронов существенно отличается. В то время как между потоками электронов и V_Z компонентой магнитного поля статистически наблюдается высокая корреляция, такого эффекта не наблюдается для потоков энергичных протонов. Показано, что бетатронный механизм вносит существенный вклад в ускорение электронов до энергий ~ 90 кэВ. Показано, что на динамику спектров более высоких энергий оказывает влияние электростатические и электромагнитные флуктуации с частотами достигающими электронный гирочастоты.

В отличие от электронов, бетатронный механизм не оказывает влияние на ускорение протонов. Мы показали, что протоны могут ускоряться за счёт неадиабатического ускорения на диполизационных фронтах.