

УДК 551.510.537, 523.62-726, 533.9

МНОГОМАСШТАБНЫЕ АСИММЕТРИЧНЫЕ ТОКОВЫЕ СЛОИ В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ МАГНИТОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ

¹Л.М. Зеленый, ^{1,2}Х.В. Малова, ^{1,3}В.Ю. Попов, ⁴Д.Ш. Делькур, ¹А.А. Петрукович, ⁵А.В. Рунов

MULTISCALE ASYMMETRIC CURRENT SHEETS IN COLLISIONLESS MAGNETOSPHERIC PLASMA

L.M. Zelenyi, Kh.V. Malova, V.Yu. Popov, D.Sh. Delcourt, A.A. Petrukovich, A.V. Runov

Рассмотрена самосогласованная модель анизотропного тонкого токового слоя с одним источником. Показано, что несимметричное равновесное решение существует. Электростатические эффекты мало влияют на формирования профиля токового слоя.

A self-consistent model of anisotropic thin current sheet with one source has been considered. Asymmetric equilibrium solution has been proved to exist. Electrostatic effects have been shown to influence formation of a current sheet profile insignificantly.

Измерения спутников ISEE-1,2, Geotail и Cluster [1, 2] показали, что тонкие токовые слои (ТТС) в магнитосферном хвосте сильно отличаются от классических изотропных слоев, в частности, могут иметь несимметричные профили плотности тока. Необходимо ответить на вопросы, какие факторы определяют асимметрию токовых профилей, и может ли она быть вызвана естественными флуктуациями плазменных источников. Для этого была использована модель анизотропного токового слоя [3] с одним плазменным источником в северном полушарии, модифицированная с учетом электростатических эффектов.

В нейтральной области ТТС траектории ионов представляют собой отрезки меандровых орбит, попеременно пересекающие плоскость токового слоя. После взаимодействия с токовым слоем, частица может отразиться от него и уйти в сторону источника, а может проследовать на противоположную сторону. В модели рассмотрен свободный параметр r , описывающий вероятность отражения частиц в сторону источника плазмы. Функции распределения ионов в северном и южном полушарии имеет вид:

$$f_{iz>0} = \begin{cases} f_{in}, & \text{при } v_{iz} < 0, \\ rf_{in}, & \text{при } v_{iz} > 0. \end{cases} \quad f_{iz<0} = \begin{cases} (1-r)f_{in}, & \text{при } v_{iz} < 0, \\ 0, & \text{при } v_{iz} > 0. \end{cases} \quad (1)$$

Направление потоков плазмы до и после взаимодействия с ТТС, изображены на рис. 1.

Численно найдены равновесные решения задачи в широком диапазоне изменения параметра r от 0 до 0.7 при фиксированном $\varepsilon \equiv v_T/v_D = 1$. Рис. 2 демонстрирует равновесные профили плотности плазмы, которые симметричны при $r = 0$. Профили плотности тока показаны на рис. 3, на которых заметно проявление асимметрии «север-юг», обусловленной влиянием

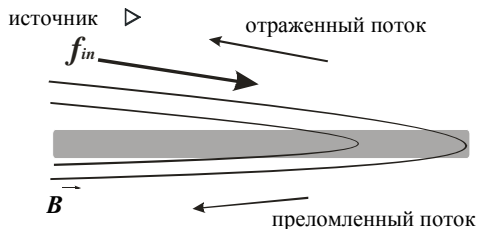


Рис. 1. Схема распределения падающего, отраженного и преломленного потоков плазмы вблизи ТТС.

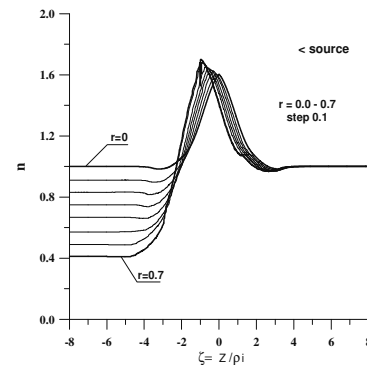


Рис. 2. Плотность плазмы как функция нормированной на ионный гирорадиус Z-координаты (ζ) в несимметричном ТТС. Обозначено положение источника плазмы в Северном полушарии.

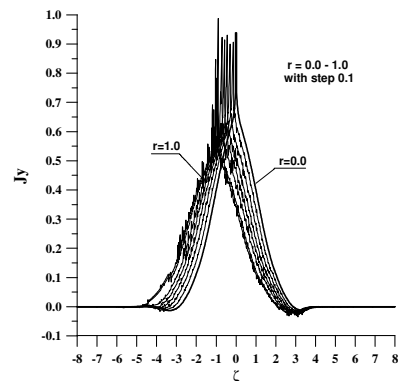


Рис. 3. Самосогласованные профили магнитного поля как функция безразмерной ζ координаты для значений коэффициента отражения от 0 до 0.7 с шагом 0.1.

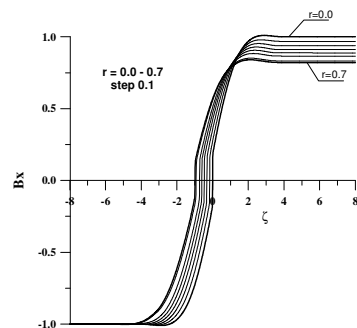


Рис. 4. То же для профиля плотности тока в ТТС.

диамагнитных токов на стороне источника плазмы. В центре токового слоя выделяются узкие электронные токи, вложенные в более широкий протонный ток.

Профили нормированного магнитного поля (рис. 4) демонстрируют асимметрию правого и левого флангов. Сравнение с моделью [3] показывает, что учет электронных токов практически не влияет на формирование асимметричных токовых слоев.

Результаты моделирования ТТС с несимметричными источниками плазмы свидетельствуют о том, что вертикальное смещение ТТС вследствие изменения баланса давления может быть причиной «флэппинговых» [4] колебаний слоя из-за естественных пространственных и временных флуктуаций источников плазмы в долях магнитосферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sergeev V. A., Mitchell D. G., Russell C. T., Williams D. J. Structure of the tail plasma/current sheet at 11 Re and its changes in the course of a substorm // J. Geophys. Res. 1993. V. 98. P. 17345–17365.

2. Runov A., Sergeev V. A., Nakamura R., et al. Local structure of the magnetotail current sheet: 2001 Cluster observations // Annales Geophysicae. 2005. V. 23. P. 1–16, SRef-ID: 1432-0576/ag/2005-23-1.

3. Malova H.V., L.M. Zelenyi, V. Popov, et al. Asymmetric thin current sheets in the Earth's magnetotail // Geophys. Res. Lett. 2007. V. 34, L16108, doi:10.1029/2007GL030011.

4. Sergeev V., Runov A., Baumjohann W., et al. Current sheet flapping motion and structure observed by Cluster // Ibi. 2003. V. 30, N 6. P. 1327 doi:10.1029/2002GL016500.

¹Институт космических исследований РАН, Москва

²НИИЯФ им. Скобелева, МГУ, Москва

³МГУ, Москва

⁴Центр изучения Земли и планет, Сен-Мор, Франция

⁵Институт космических исследований Австрийской академии наук, Грац, Австрия