Свидетельства существования «скрытого» крупномасштабного электрического поля Е_x в тонких токовых слоях.

Л.М. Зелёный, А.В. Артемьев, А.А. Петрукович,

Институт Космических Исследований, РАН

Тонкий токовый слой



Профиль плотности тока соответствует профилю из модели ТТС



Пересечение ТТС: показано, что сумма токов ионов и электронов относительно хорошо соотносятся с током rot**B**

Функция распределения протонов состоит из двух частей: холодное ядро и горячие ассиметриченые фланги.



Соотношение между ионными и электронными токами





Статистика из 60 пересечений ТТС



$$\begin{array}{ccc} T_i >> T \\ e^{\rho_i} >> \rho_e \end{array} \longrightarrow j_i >> j_e \end{array}$$

Составляющие электронного тока
$$j_{e\perp} = -en_e v_{ey} = -en_e \left(V_{\mathbf{E} \times \mathbf{B}} + V_{\mathrm{DM}} + V_{\mathrm{C}} \right)$$

Плотность тока в горизонтальных TC: $4\pi j_y/c=\partial B_l/\partial z$

Дрейф кривизны + ток намагничивания + ток за счёт неоднородности магнитного поля:

$$-en_{e}V_{C} = \frac{c}{B^{4}} (p_{\mathbb{R}e} - p_{\perp e}) [\mathbf{B} \times (\mathbf{B}\nabla)\mathbf{B}] = j_{y} \frac{4\pi (p_{\mathbb{R}e} - p_{\perp e})B_{z}^{2}}{B^{4}}$$

Диамагнитный дрейф:
$$en_{e}V_{DM} = \frac{c}{B^{2}} [\mathbf{B} \times \nabla_{\perp} p_{e\perp}] = \frac{cB_{x}}{B^{2}} \frac{\partial p_{e\perp}}{\partial z} = j_{y} \left(8\pi \frac{\partial p_{e\perp}}{\partial B_{i}^{2}}\right)$$

ExB дрейф:
$$-en_{e}V_{E\timesB} = -en_{e} \frac{[\mathbf{E} \times \mathbf{B}]}{B^{2}} = -en_{e} \frac{E_{z}B_{x} - E_{x}B_{z}}{B^{2}}$$

Cpedhue значения потоковой скорости электроннов

Оценка роли диамагнитного дрейфа и дрейфа кривизны



Дрейф **Е**хВ и геометрия токового слоя



Лабораторный эксперимент

Laboratory evidence of Earthward electric field in the magnetotail current sheet. S. Minami, A.I. Podgorny and I.M. Podgorny

GRL, 1993







Модель поля Е_х в токовом слое

MHD isotropic CS model: ExB drift

Absence of parallel electric field

$$E_{\mathbb{X}}B = E_{x}B_{x} + E_{z}B_{z} = 0$$

Field line is also level line of A_{y}
$$\varphi(r_{\perp}) = \varphi(A_{y})$$

$$E_{x} = -\frac{\partial\varphi}{\partial x} = -\frac{\partial\varphi}{\partial A_{y}}\frac{\partial A_{y}}{\partial x} = \frac{\partial\varphi}{\partial A_{y}}B_{z}$$

$$v_{D} = c\frac{E_{z}B_{x} - B_{z}E_{x}}{B^{2}} = -c\frac{E_{x}}{B_{z}} = -c\frac{\partial\varphi}{\partial A_{y}}$$

Dependence $\phi(A_y)$ can be assumed by such way that v_D will have needed signature (see Birn and Schindler 2002, Yoon and Lui 2004).

Function $\varphi(A_y)$ in such models should be set but not obtained from considering some physical mechanism!





Перепад потенциала через слой









The electron velocity v_{ey} occasionally reached up to 1000 km/s, and the ion velocity v_{iy} showed the dawnward convection. Since the electrons dominated the electric current, the current is not caused by the standard diamagnetic drift current.

Выводы:

- Величины потоковой скорости электронов и сдвиги ядер функций распределения ионов по данным Cluster указывают на присутствие в хвосте земной магнитосферы поля E_x~0.15 мV/м
- Теория ТТС, учитывающая слабую неоднородность по Х, позволяет получить Е_x~0.1 мВ/м
- Существование «скрытого» поля Е_х позволяет объяснить кажущееся доминирование электронных токов в спутниковых наблюдениях