

УДК 533.62–726,533.62–337.

Двухчастичная кинетическая модель солнечного ветра во вмороженном магнитном поле

Н.Р. Минькова

Томский государственный университет, ФТФ, Томск, Россия
e-mail: nminkova@ftf.tsu.ru

Современные кинетические модели солнечного ветра основываются на уравнениях для одно- и двухчастичных функций распределения электронов и протонов плазмы по скоростям в приближении стационарного течения полностью ионизованной квазинейтральной плазмы и в пренебрежении электрическим током (например, (Лемер, Шерер, 1971; Минькова, 2006)). Магнитное поле либо не рассматривается, либо задается на основе ряда допущений, сформулированных Паркером. Второй подход приводит к переопределенной постановке задачи, поскольку скорость потока плазмы может быть найдена не только через функцию распределения (как первый статистический момент) (Васенин и др., 2001; Васенин, Минькова, 2003), но и из уравнений Максвелла в рамках принятых предположений.

В данном докладе магнитное поле задается на основе ключевых предположений Паркера о магнитном поле, вмороженном в стационарный осесимметричный поток плазмы, который истекает с нулевой начальной скоростью с поверхности вращающегося Солнца (при этом, в отличие от Паркера, угол истечения не фиксируется, и скорость потока не считается постоянной). Как следствие, уравнения Максвелла дают следующее выражение для радиальной скорости солнечного ветра (Пьерар и др., 2001):

$$U_r(r, \theta) = \alpha |B_{r0}(\theta)| \sin^2 \theta \cdot (1 - r_0/r), \quad (1)$$

если радиальный и меридиональный токи полагаются пренебрежимо малыми. Здесь α – константа интегрирования уравнений Максвелла, r, θ – радиус и меридиональный угол в сферической системе координат, r_0 – радиус сферы, с которой истекает плазма. Полученная зависимость (1) качественно согласуется с данными наблюдений Ulysses (“butterfly” diagram) при задании радиальной компоненты вектора магнитной индукции на сфере истечения плазмы ($r = r_0$) в соответствии с формулой, аппроксимирующей синоптические данные WSO для магнитного поля фотосферы $\alpha |B_{r0}(\theta)| = \alpha_0 (1 + 16 |\sin^7 \theta|)$ (см. (Пьерар и др., 2001)).

Зависимость для удельного потока плазмы $Nu(r, \theta)$ находится на основе двухчастичной кинетической модели, описывающей статистику динамических пар электрон-протон (Минькова, 2006), с учетом заданного магнитного поля:

$$Nu(r, \theta) \approx 0.5 N_0 u_0 \exp(0.5 \Delta \bar{\Pi}_{cr}(\theta)) \sqrt{((\Delta \bar{\Pi}_{cr}(\theta) + 3)^2 - 3)} r_0^2 / r^2 \quad (2)$$

Соотношения (1) и (2) позволяют определить плотность солнечного ветра $N = Nu/Ur$. Здесь $u_0 = \sqrt{kT_0/\pi} / \sqrt{m_e m_p}$, $\Delta\Pi = (\Pi - \Pi_0)/kT_0$, $\Delta\Pi_{cr} = \Delta\Pi(r_{cr})$. Соотношение (2) выведено с учетом немонотонности потенциала электрон-протонной пары $\Pi = m_j \varphi - m_j (r \sin \theta \cdot \Omega)^2 / 2$, имеющего максимум при $r_{cr} \approx 36.33r_0 / \sin^{2/3} \theta$. Полученный профиль плотности $N(\infty, \theta)$ согласуется с данными наблюдений Ulysses (см. (Пьерар и др., 2001)).

Другой путь вычисления плотности солнечной плазмы (как интеграла двухчастичной функции распределения по скоростям) позволяет найти скорость $Ur = Nu/N$ при заданном магнитном поле (без использования уравнений Максвелла), которая в плоскости эклиптики при $r \gg r_0$ превышает значения скорости, полученные выше по формуле (1).

Литература

- Васенин И.М. и др. (Vasenin Y.M., Shamin A.V., Minkova N.R.) // Abstracts presented at the 11th International Workshop on the Physics of Non-Ideal Plasmas. Valencia. Spain. 2003. P. 177.
- Васенин И.М., Минькова Н.Р. (Vasenin Y.M., Minkova N.R.) // Journal of Physics A: Mathematical and General. 2003. V. 36. P. 6215.
- Лемер Ж., Шерер М. (Lemaire J., Scherer M.) // Journal of Geophysical Research. 1971. V. 76. P. 7479.
- Минькова Н.Р. (Minkova N.R.) // Proceedings IAU Symposium N. 233. 2006. (в печати).
- Пьерар В. и др. (Pierrard V. et al.) // Geophysical Research Letters. 2001. V. 28. N. 2. P. 223.