

ВЛИЯНИЕ АСИММЕТРИИ НА РАЗВИТИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ В ТОКОВЫХ СЛОЯХ

^{1,2}А.В. Артемьев, ¹Л.М. Зеленый, ^{1,2}В.Ю. Попов, ^{1,3}Х.В. Малова

AN ASYMMETRY EFFECT ON DEVELOPMENT OF INSTABILITIES IN CURRENT SHEETS

A.V. Artemyev, L.M. Zelenyi, V.Yu. Popov, Kh.V. Malova

В данной работе исследуется возможность развития разрывной тиринг- и кинк-неустойчивостей [1] (с учетом симметричной и несимметричной мод) в анизотропных тонких токовых слоях (ТС) [2]. В приближении линейной теории возмущения для уравнений Власова найдены профили возмущенных векторных потенциалов, инкременты нарастания неустойчивостей. Исследовано влияние плазменной анизотропии и асимметрии токового слоя на развитие в нем данных неустойчивостей.

In this paper, a possibility for the development of tearing tiring- and kink-instabilities [1] (with regard to the symmetrical and asymmetrical modes) in anisotropic thin current sheets (CS) [2] is studied. Profiles of perturbed vector potentials and increments of instability increase have been found from the linear perturbation theory for the Vlasov equations. The effect of plasma anisotropy and asymmetry of the current sheet on the development of the above instabilities is investigated.

Разрывная неустойчивость, которая, как предполагают, ответственна за начало пересоединения в ТС, была первоначально рассмотрена [3] в модели ТС Харриса [4] в виде волнового возмущения вдоль магнитного поля $\sim \exp(ikx - i\omega t)$. Позднее линейная теория возмущения была обобщена на случай ненулевой поперечной компоненты магнитного поля $B_z \neq 0$ [5]. Электроны, замагниченные компонентой магнитного поля B_z , не могут участвовать в резонансном взаимодействии с волной возмущения. В этом случае резонансное взаимодействие обеспечивается ионной компонентой плазмы. Было показано, что для изотропных моделей ТС эффект электронной сжимаемости препятствует развитию в токовом слое разрывной неустойчивости [6], поэтому такие слои являются полностью устойчивыми.

Таким образом, возникла необходимость исследования других моделей ТС на наличие разрывной неустойчивости. Для модели анизотропного ТС [2] было показано, что в пространстве параметров системы $\{\varepsilon, b_n\}$ ($\varepsilon = v_T/v_D$, $b_n = B_z/B_0$, B_0 – магнитное поле на границе ТС) существуют области отрицательных значений энергии тиринг-моды δW (рис. 1). В них ТС являются неустойчивыми. Области с $\delta W < 0$ как функции волнового числа зависят от относительной толщины ТС L/ρ_i и величины нормальной компоненты магнитного поля b_n . Для асимметричного ТС [7] области разрывной неустойчивости сильно зависят от параметра r , определяющего степень асимметрии ТС (рис. 2). Можно видеть, как с ростом асимметрии увеличивается неустойчивость ТС.

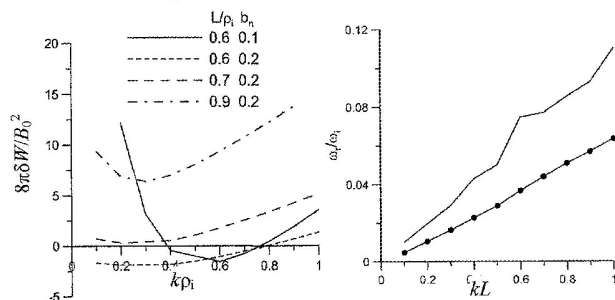


Рис. 1. Энергия тиринг-моды (слева) и действительная часть частоты кинк-моды (справа) (асимметричная мода показана непрерывной линией, симметричная – линией с точками) как функции волнового числа $k\rho_i$ (ρ_i – ионный гирорадиус на границе ТС, L – толщина ТС).

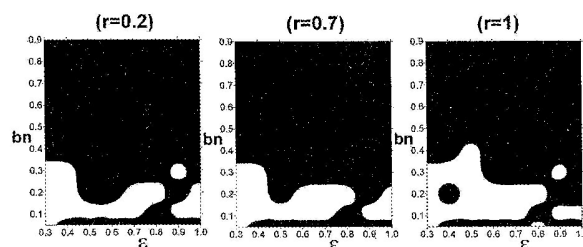


Рис. 2. Интегральные области тиринг-неустойчивости (белый цвет) в диапазоне изменения волновых чисел $b_n < k\rho_i < 1$.

Анизотропия ТС оказывает существенное влияние на развитие в нем кинк-неустойчивости, что можно видеть на рис. 1 справа, где показаны собственные частоты кинк-моды в анизотропном слое [2]. Как видно из графика, $\omega_r/\omega_i \ll 1$, что значительно меньше аналогичных оценок для изотропных ТС [1] (ω_i – ионная гирочастота на границе ТС). Таким образом, в асимметричном ТС разрывная неустойчивость развивается быстрее, чем в симметричном, а размер области неустойчивости увеличивается с ростом количества отраженных от ТС ионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Daughton W. Two-fluid theory of the drift kink instability // J. Geophys. Res. 1999. V. 104, N A12. P. 28701–28707.
2. Zelenyi L.M., Malova H.V., Popov V.Yu., et al. Nonlinear equilibrium structure of thin current sheets: Influence of electron pressure anisotropy // Nonlinear Processes in Geophysics. 2004. V. 11. P. 1–9.
3. Laval G., Pellat R., Vuillemin M. Instabilités électromagnétiques des plasmas sans collisions // Plasma Physics and Controlled Fusion Research. 1966. V. II. P. 259–276. International Atomic Energy Agency. Vienna.
4. Harris E.G. On a plasma sheet separating regions of oppositely directed magnetic field // Nuovo Cimento. 1962. V. 23. P. 115.
5. Schindler K. A Theory of the Substorm Mechanism // J. Geophys. Res. 1974. V. 79, N. 19. P. 2803–2810.
6. Pellat R., Coroniti F.V., Pritchett P.L. Does ion tearing exist? // Geophys. Res. Lett. 1991. V. 18. P. 143–146.
7. Malova H.V., Zelenyi L.M., Popov V.Y., et al. Asymmetric thin current sheets in the Earth's magnetotail // J. Geophys. Res. 2007. V. 34. doi:10.1029/2007GL030011.

¹Институт космических исследований РАН, Москва

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

³Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Скобельцына, МГУ, Москва