

О СРЫВЕ ТОКОВОЙ ОБОЛОЧКИ В НЕЦИЛИНДРИЧЕСКОМ Z-ПИНЧЕ

В. В. Вихрев, В. М. Коржавин

В работе рассмотрено движение волны турбулизации в случае, когда магнитное поле задается током разряда. Движение такой волны может объяснить резкое увеличение скорости схождения токового слоя в режиме "срыва" в нецилиндрическом Z-пинче.

При изучении сильноточного ($\sim 10^6$ а) разряда в дейтерии на установке "Нецилиндрический Z-пинч" [1] обнаружены два режима движения токовой оболочки. Для первого режима механизм "snow-plough" (полного сгребания газа) справедлив вплоть до момента максимального сжатия. Второй режим движения токовой оболочки характерен тем, что на радиусе сжатия ~ 10 см происходит резкое увеличение скорости движения фронта токового слоя (срыв оболочки) [2]. При этом прекращается сгребание газа, вследствие чего плотный плазменный фокус на оси камеры не образуется. Явление срыва сопровождается мощным импульсом жесткого (~ 100 кэв) рентгеновского излучения, что свидетельствует об образовании электронного пучка.

Для объяснения срыва оболочки в работе [2] привлекается эффект ухудшения проводимости плазмы в области контакта с анодом вследст-

вие появления паров металла. Возможно, что это явление и вызывает срыв, однако все увеличивающаяся и очень большая скорость сжатия токового слоя в этом режиме ($\sim 10^8 - 10^9$ см/сек) свидетельствует о чисто плазменном механизме дальнейшего срыва оболочки, так как пары металла не успевают проникать на необходимую глубину внутрь плазмы.

В настоящей работе для объяснения срыва оболочки не используется явление возникновения аномального сопротивления в плазме с током, текущим поперек магнитного поля. Возможным механизмом турбулентности с появлением аномального сопротивления является раскачка колебаний на гармониках электронной циклотронной частоты ω_H с высоким инкрементом $\gamma \sim \omega_H$ в случае, когда токовая скорость электронов порядка или больше тепловой [3]. Аномальная проводимость плазмы в этом случае определяется выражением

$$\sigma = \frac{n_l e^2}{m(\nu_{кул} + \nu_{эфф})} = \frac{\sigma_{кул}}{1 + \omega_H \tau},$$

где эффективная частота столкновений $\nu_{эфф} = \omega_H$ [3]. Экспериментальным подтверждением турбулентности в токовом слое нецилиндрического Z-пинча является исчезновение интерференционных полос в результате аномального рассеяния света лазера [4].

В условиях нецилиндрического Z-пинча токовая скорость электронов в оболочке может превысить величину, при которой плазма турбулизуется. В этом случае возрастание сопротивления на внешней границе оболочки вызовет перераспределение тока, к ее внутренней границе, где проводимость является кулоновской. В свою очередь после достижения критического значения токовой скорости здесь также образуется аномальное сопротивление и ток опять перераспределится внутри пинча. В результате возникнет волна плотности тока, распространяющаяся к оси. Движение этой волны можно приближенно описать уравнением диффузии магнитного поля в среде с неоднородной проводимостью, зависящей от величины магнитного поля

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \frac{c^2}{4\pi} \operatorname{rot} \left(\frac{\operatorname{rot} \mathbf{B}}{\sigma} \right), \quad (2)$$

где проводимость плазмы

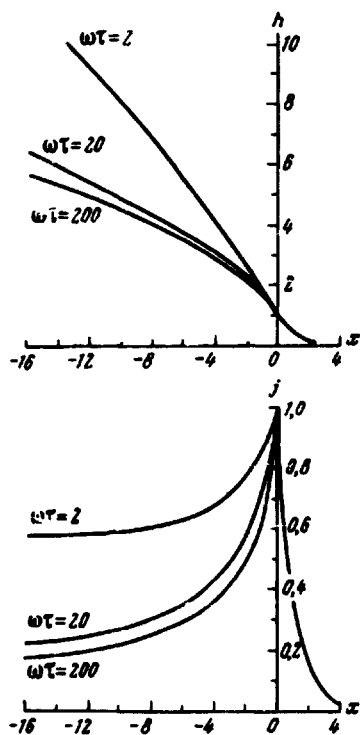
$$\sigma = \begin{cases} \sigma_{кул} & \text{в нетурбулентной области} \\ \frac{\sigma_{кул}}{1 + \omega_H \tau} & \text{в турбулентной области} \end{cases} \quad (3)$$

Область турбулизации считается тонкой, так как инкремент достаточно большой $\gamma \sim \omega_H \sim 10^{11}$ сек⁻¹. Уравнения (2), (3) в плоском случае имеют автомодельное решение, которое приведено на рисунке. Плазма имеет кулоновскую проводимость при $x > 0$ и аномальную при $x < 0$. В плоскости $x = 0$ достигается максимальная плотность тока, и при этой плотности происходит турбулизация плазмы. Токовая волна и граница

раздела кулоновской и турбулентной плазмы движется вправо со скоростью

$$v = \frac{u|_{x=0}}{\omega_H \tau}, \quad (4)$$

где $u|_{x=0} = j|_{x=0} / n_e l$ — токовая скорость на границе раздела.



Распределение магнитного поля (h) и плотности тока (j) при движении токовой волны для различных $\omega_H \tau$

В результате движения токовой волны весь плазменный столб становится турбулентным, хотя токовая скорость электронов, вычисленная для полного числа частиц в сечении плазменного столба может быть много меньше, чем требуется для развития неустойчивости с последующей турбулизацией сразу во всем сечении столба. В цилиндрическом случае кумуляция токовой волны на оси приводит к резкому увеличению амплитуды плотности тока и возможности образования электронного пучка. Расчеты по цилиндрической кумуляции будут опубликованы отдельно.

Авторы благодарны Н.В.Филиппову за обсуждение и оказанную поддержку.

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
18 марта 1974 г.

Литература

- [1] В.И.Агафонов и др. Plasma Phys. and Contr Nucl. Fus. Res., IAEA, Vienna, 2, 21, 1969.

- [2] С.В.Базденков, К.Г.Гуреев, Н.В.Филиппов, Т.Н.Филиппова. Письма в ЖЭТФ, 18, 199, 1973.
- [3] В.И.Арефьев. ЖТФ, 43, 7, 1973.
- [4] V.A.Gribkov et al. Proc. 6-th Europ. Conf. on Contr. Fus. and Plasma Phys., Moscow, 375, 1973.
-