

04;10

## Глобальные стохастические частицы в ловушке с обращенной магнитной конфигурацией

© В.И. Хвезюк, А.В. Хвезюк, А.Н. Ляхов

Научно-исследовательский институт энергетического машиностроения Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана

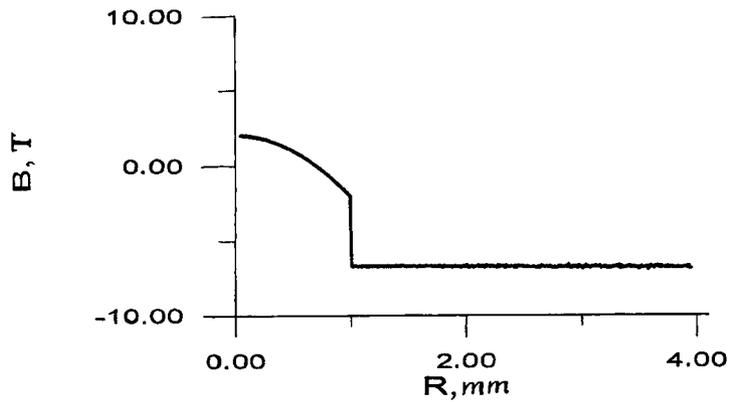
Поступило в Редакцию 23 октября 1996 г.

Исследована динамика продуктов синтеза D-3He реакции в конфигурации с обращенным магнитным полем (ОМАК) применительно к реакторному режиму с большим значением  $\beta$  плазмы. Показано, что для условий проекта ARTEMIS-L [1] движение протонов с начальной энергией 14.1 MeV сильно стохастизировано. Время удержания этих частиц и передача энергии от продуктов синтеза к плазме очень малы.

Согласно концепции проекта ARTEMIS-L [1], для D-3He реактора на основе ловушки с обращенным магнитным полем величина  $\beta$  должна быть  $\sim 0.9$ , а внешнее магнитное поле в плоскости симметрии ловушки (снаружи сепаратрисы)  $B = 6.7$  Т. В связи с разработкой концепции D-3He реактора на основе ОМАКа одной из важных проблем является расчет обмена энергией между продуктами синтеза (протонами и альфа-частицами) и плазмой. В связи с этим в работе изучается динамика протонов для указанных условий.

Отметим, что динамика частиц в ОМАКе исследовалась в ряде работ [2,3]. Однако вопросы, связанные с удержанием высокоэнергетичных продуктов D-3He реакции применительно к ОМАКу до сих пор не анализировались. В работе использована модель [4] магнитного поля для ОМАКа (рис. 1), учитывающая:

- наличие магнитного поля как внутри, так и снаружи сепаратрисы;
- конечное значение  $\beta$  плазмы и вызванное этим ослабление магнитного поля внутри сепаратрисы;



**Рис. 1.** Радиальное распределение магнитного поля в системе с обращенной магнитной конфигурацией.

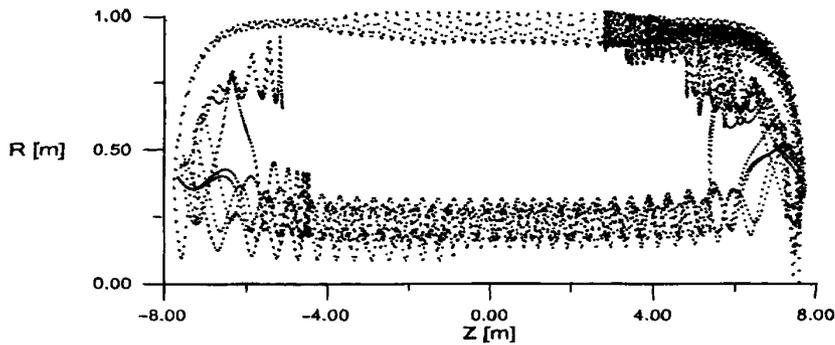
— геометрические размеры и величину внешнего магнитного поля в плоскости симметрии ОМАКа, соответствующие проекту ARTEMIS-L [1].

Функция потока магнитного поля внутри сепаратрисы бралась в виде [4]:

$$\psi(r, z) = \frac{B_0 r^2}{2} \left[ 1 - \left( \frac{r}{a} \right)^2 - \left( \frac{z}{b} \right)^4 \right], \quad (1)$$

где  $B_0 = 2\text{Т}$ . Поле, создаваемое магнитной системой:  $B_z(r = a_w, z = 0) = 6.7\text{Т}$ ;  $a = 1\text{м}$ ,  $b = 8\text{м}$  [1].

Результаты вычислений показали, что учет ослабления внутреннего магнитного поля приводит к сильной неадиабатичности движения высокоэнергетичных протонов. Результатом является стохастизация их движения при энергии 14.1 MeV. На рис. 2 показана траектория движения протона с такой энергии на плоскости  $R-Z$ . Частица в движении как бы ощупывает всю поверхность сепаратрисы, находит узкое отверстие в магнитном поле возле  $X$ -точки и покидает плазму. Видно, что траектория таких частиц охватывает весь объем плазмы. Поэтому мы предлагаем называть их "глобальными стохастическими частицами", в отличие от локальных стохастических частиц, удерживаемых в реакторе.



**Рис. 2.** Стохастическое движение высокоэнергетичного протона с  $E = 14.1 \text{ MeV}$ .

Как правило, время удержания таких протонов не превышает  $\tau_e \sim 10^{-4} \text{ s}$ . А характерное время релаксации (для случая термоядерной плазмы плотностью  $n_0 \approx 10^{21} \text{ m}^{-3}$ )  $\tau_s \approx 0.6 \text{ s}$ . Следовательно, глобальные стохастические частицы (продукты синтеза) будут передавать плазме только небольшую часть своей энергии.

Отметим, что увеличение в 2–3 раза магнитного поля внутри сепаратрисы обеспечивает существенно лучшее удержание высокоэнергетичных протонов. Такое увеличение возможно либо путем снижения  $\beta$  плазмы при заданном внешнем поле в 6.7 Т, либо увеличением внешнего магнитного поля при сохранении  $\beta$  плазмы. Таким образом, при оценке задаваемых значений магнитного поля в D–3He плазме ОМАКа необходимо учитывать возможность глобальной стохастизации продуктов реакции.

## Список литературы

- [1] Momota H., Tomita Y. // Journal of Plasma and Fusion Res. 1993. V. 69. P. 801.
- [2] Hsiao M.Y., Miley G.H. // Nuclear Fusion. 1984. V. 24. P. 1029.
- [3] Hsiao M.Y., Miley G.H. // Phys. Fluids. 1985. V. 28. P. 1440.
- [4] Steinhauer L. // Phys. Fluids B. 1990. V. 2. P. 3081.