

1D ГИРОКИНЕТИЧЕСКИЙ КОД ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ПЛАЗМЕННОГО РАЗРЯДА В ОТКРЫТОЙ ЛОВУШКЕ ^{*)}

^{1,2}Глинский В.В., ^{1,2}Тимофеев И.В.

¹*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН), Новосибирск, Россия, v.v.glinskiy@yandex.ru*

²*Новосибирский Государственный Университет (НГУ), Новосибирск, Россия*

Работа термоядерной магнитной ловушки открытого типа невозможна без создания начальной плазмы с плотностью, достаточной для захвата инжектируемых нейтральных пучков. Одним из наиболее перспективных способов зажигания плазменного разряда в таких системах является ионизация нейтрального газа электронным пучком. В отличие от прямой инъекции плазмы в ловушку с помощью плазменной пушки, инъекция электронного пучка не создаёт проблем с частичным отражением плазмы от магнитных пробок. Плазма в этом случае успешно генерируется по всей длине установки.

Ранее в ИЯФ СО РАН на установке ГДЛ были проведены эксперименты по инъекции электронного пучка с характерной энергией 20-30 кэВ и током 5-8 А в нейтральный газ [1]. Было показано, что пучок, имеющий диаметр 1 см в центральной секции установки, способен создавать плазму во всём объёме ловушки (диаметром 50 см). Последние попытки объяснить это явление быстрым радиальным расширением области плазменной турбулентности, сильно локализованной вблизи входной магнитной пробки, с последующей передачей энергии из области релаксации пучка холодным электронам в остальных частях ловушки за счёт классической электронной теплопроводности, не увенчались успехом главным образом из-за того, что быстрый сток энергии на холодную стенку сильно занижал температуру электронов в ловушке по сравнению с экспериментальным значением (20 эВ) [2,3]. В действительности потери энергии на стенку в пробочной ловушке оказываются гораздо ниже из-за формирования в расширителях скачка амбиполярного потенциала. Однако чтобы правильно описать влияние этого эффекта, а также учесть тот факт, что длина свободного пробега электронов при измеренных температурах сопоставима с размером пробки, нужно выйти за рамки применимости гидродинамического подхода и исследовать кинетику электронов хотя бы в рамках упрощённой gyrokinetic модели. Для воспроизведения классических процессов переноса при наличии скачка амбиполярного потенциала и без ограничений на температуру плазмы была начата разработка 1D gyrokinetic Particle-In-Cell (PIC) кода.

В данной работе представлено описание сохраняющего энергию 1D gyrokinetic кода. Для продольного движения частиц под действием зеркальной и электрической силы в этом коде используется полуявная PIC модель [4], а поперечная скорость изменяется в соответствии с законом сохранения магнитного момента. Представленные физические тесты подтверждают корректную работу кода.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-22-00514)

Литература

- [1]. Soldatkina E. I. et al. Electron beam-plasma discharge in GDT mirror trap: experiments on plasma start-up with electron gun // Nuclear Fusion. – 2022. – Т. 62. – №. 6. – С. 066034.
- [2]. Глинский В.В., Волчок Е.П., Анненков В.В., Тимофеев И.В. Механизм развития пучково-плазменного разряда в газодинамической ловушке // СФЖ. 2023. Т. 18, № 3.
- [3]. Глинский В. В. и др. Динамика развития пучково-плазменного разряда в установке ГДЛ // ICRAF-2023. – 2023. – С. 217-217.
- [4]. Lapenta G. Exactly energy conserving semi-implicit particle in cell formulation // Journal of Computational Physics. – 2017. – Т. 334. – С. 349-366.

^{*)} [DOI – тезисы на английском](#)