Численное моделирование генерации тока увлечения в токамаке с помощью медленных и быстрых электромагнитных волн промежуточного частотного диапазона. Методы решения уравнения Фоккера-Планка [[1]](#footnote-1)\*)

Хавин В.Э., Теплова Н.В., Гусаков Е.З., Трошин Г.А., Крыжановский А.К.

ФТИ им. Иоффе РАН, Санкт-Петербург [havinvasilij@gmail.com](mailto:havinvasilij@gmail.com)

Одним из самых эффективных безындукционных методов генерации тока является генерация тока с помощью нижнегибридных волн (LHCD). Однако для данного метода существует предел по плотности, который не позволяет волнам проникать вглубь термоядерной плазмы. Поэтому было предложено [1] поддерживать ток быстрыми волнами промежуточного частотного диапазона, часто называемыми геликонами. Эти волны находятся в области частот значительно выше ион-циклотронной, но меньше нижнегибридной (НГ) (). Для данной волны поглощение улучшается с ростом плотности. Помимо этого, геликоны распространяются преимущественно вдоль линий магнитного поля с небольшой радиальной составляющей, что позволяет волне медленно и спирально проникать вглубь плазмы, где она эффективно поглощается. А намного более низкая частота в сравнении с НГ волной позволяет решить проблему связи антенна-плазма для крупных установок, например ИТЭР. Недавно было продемонстрировано [3], что для случая геликона, так же, как и в случае НГ волны, квазилинейный коэффициент диффузии можно найти из анализа энерговыделения пучка волн без расчета пространственного распределения электрических полей. Это обстоятельство позволяет ограничиться рассмотрением поведения лучевых траекторий волн с помощью нестационарного моделирования тока увлечения с использованием транспортного кода ASTRA [4] и кода FRTC [5,6] и решением одномерного уравнения Фоккера-Планка.

В настоящей работе мы представляем результаты нестационарного моделирования тока увлечения в токамаках ФТ-2 и Глобус-М2 с помощью медленных (НГ) и быстрых (геликонов) волн промежуточного частотного диапазона. Ток увлечения был рассчитан с помощью функции распределения, полученной в ходе решения уравнения Фоккера-Планка с учетом постоянного электрического поля. Численное решение последнего производилось с помощью схемы, которая использует специальные весовые коэффициенты для предотвращения появления отрицательных значений функции распределения. Этот подход оправдан в данном случае, т. к. использующийся коэффициент квазилинейной диффузии, который как раз и несет в себе информацию о взаимодействии волна-плазма, представляет собой кусочно-линейную функцию, производная которой может создавать скачки, неприемлемые для численного решения. Также обосновывается необходимость учета релятивистских эффектов, которые не могут быть включены в одномерную модель из-за вычислительной сложности. Для расчета спектра показателя преломления НГ волны была использована программа Grill3D [7].

Работа выполнена при поддержке Государственного задания ФТИ № 0034-2021-0003.

Литература

1. V.L. Vdovin, Plasma Phys. Rep. Rev. 39 (2013) 95.
2. M. Ono, Phys. Plasmas 2 (1995) 4075.
3. А.Ю. Попов, Е.З. Гусаков, Письма в ЖТФ т.48 (2022) 24.
4. G.V.Pereverzev and P.N. Yushmanov, ASTRA IPP-Report IPP 5/98, (2002).
5. A.R. Esterkin and A.D. Piliya 1996 Nucl. Fusion 36 1501
6. A.N. Saveliev, EPJ Web of Conferences 157, 03045 (2017).
7. M. A. Irzak and O. N. Shcherbinin, Nucl. Fusion 35, 1341 (1995)

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/Mu/en/CH-Khavin_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)