

## ИОНИЗАЦИОННЫЙ БАЛАНС ВОДОРОДНО-ГЕЛИЕВОЙ ПЛАЗМЫ В НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ РАЗРЯДА СИСТЕМ С МАГНИТНЫМ УДЕРЖАНИЕМ<sup>\*)</sup>

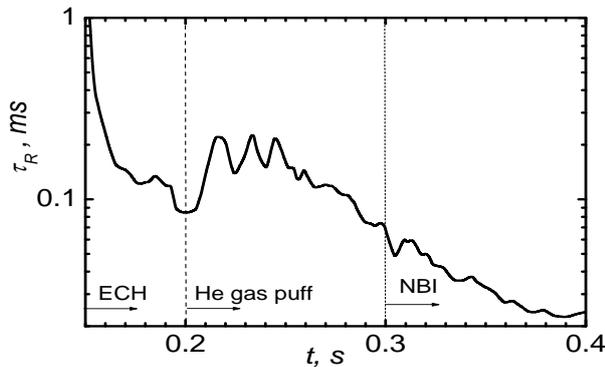
Нагель Н.Н., Лисица В.С., Шурыгин В.А.

НИЦ «Курчатовский институт», [dementevanadegda@mail.ru](mailto:dementevanadegda@mail.ru)

Проблемы спектроскопического исследования переходных фаз плазменного разряда систем с магнитным удержанием, рассмотренных в настоящей работе на примере данных стелларатора LHD, связаны с нестационарным поведением примеси гелия: с определением ионизационно-рекомбинационных потоков, наблюдениями и расчётами эмиссии высокоинтенсивных линий, временной эволюции плотностей водорода и гелия как основных компонент плазмы, так и её параметров [1].

Для условий [1] была разработана кинетическая модель квазистационарной зарядовой кинетики гелия [2], было показано, что рассматриваемые атомные процессы отвечают квазистационарной эволюции во времени зарядово-радиального распределения гелия в плазме (рис. 1).

Относительная концентрация нейтрального водорода  $\xi_n(t) = n_H(t)/n_e(t)$  определяет скорость перезарядочной рекомбинации ядер и ионов гелия. Для ее определения система уравнений квазинейтральности плазмы дополнена уравнениями для интенсивности линий водорода, гелия и иона гелия.



$$\begin{aligned} n_{He^+} + 2 \cdot n_{He^{2+}} + n_{H^+} &= n_e(t) \\ n_{He} &= n_{He^0} + n_{He^+} + n_{He^{2+}} \\ n_H &= n_{H^0} + n_{H^+} \\ n_{He^0} &= I_{He^0}(t)/(PEC_{He^0} \cdot n_e) \\ n_{He^+} &= I_{He^+}(t)/(PEC_{He^+} \cdot n_e) \\ n_{H^0} &= I_{H^0}(t)/(PEC_{H^+} \cdot n_e) \\ \frac{n_{H^0}}{n_H} &= \frac{1}{1 + \alpha_{H^0}} \\ \alpha_{H^0}(t) &= \frac{n_{H^+}}{n_{H^0}} = \frac{S_{H^0}}{R_{H^+}} \end{aligned}$$

Рис. 1 - Время релаксации зарядового распределения гелия в начальной фазе разряда в LHD где  $n_{H^0}$ ,  $n_{H^+}$ ,  $n_{He^0}$ ,  $n_{He^+}$ ,  $n_{He^{2+}}$  - концентрации H, He;  $S_{H^0}$ ,  $R_{H^+}$  - скорости ионизации и рекомбинации водорода.

Самосогласованный подход к решению квазистационарной системы уравнений, включающей спектроскопические экспериментальные данные и ионизационный баланс, параметрически зависящий от времени позволяет определять кинетику всех компонент плазмы.

В работе выполнен анализ ионизационного баланса компонент водородно-гелиевой плазмы и их временной эволюцию в трёх фазах начальной стадии разряда, проведен расчет скоростей процессов для основных каналов рекомбинации по измерениям интенсивностей спектральных линий компонент плазмы, включая перезарядочную рекомбинацию из возбужденных состояний водорода, в начальной стадии плазменного разряда.

### Литература

- [1]. M. Goto, S. Morita, K. Sawada, T. Fujimoto, S. Yamamoto, J. Miyazawa, H. Yamada, K. Toi, 2003, Physics of Plasmas, Vol. 10, P. 1402-1410.
- [2]. Нагель Н.Н., Лисица В.С., Шурыгин В.А., Анализ нестационарной зарядовой кинетики гелия в начальной фазе плазменного разряда в LHD. – ВАНТ. Термоядерный синтез, 2024, т. 47, вып. 3, с. 60–67.

<sup>\*)</sup> DOI – тезисы на английском