Статистические модели Радиационных потерь альфа-частиц на ионах вольфрама в термоядерной плазме

Демура А.В.1, Леонтьев Д.С.1, Лисица В.С.1,2, Шурыгин В.А.1

1Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский институт», г. Москва,  
 Россия  
2Московский инженерно-физический институт, г. Москва, Россия  
 [leontievdmitiy@gmail.com](mailto:leontievdmitiy@gmail.com)

В современных термоядерных реакторах вольфрам используются в качестве материала внутренних стенок камеры. Из-за большого заряда ядра вольфрама даже при условиях в термоядерном реакторе (*Te*=20 кэВ) в ионах примеси сохраняется значительное число связанных электронов, которые могут возбуждаться не только электронами, но и альфа-частицами. Тем самым возникает новый канал радиационных потерь альфа-частиц. Для оценки радиационных потерь альфа-частиц удобно использовать статистические модели для многоэлектронных ионов вольфрама, упрощающие сложные квантовомеханические расчеты. Использованы две статистических модели: модель локальной плазменной частоты (ЛПЧ), и модель, основанную на физических принципах крамерсовской электродинамики (модель Роста).

Производится сравнение двух каналов радиационных потерь от возбуждения альфа-частицами и электронами:, где *Qα* и*Qe* – радиационные потери альфа-частиц и электронов, соответственно.

Расчеты радиационных потерь *Qα, е* основаны на определении сечения возбуждения электронов в многозарядных ионах вольфрама электрическими полями плазменных электронов и альфа-частиц. Согласно статистическому подходу эти сечения выражаются через энергии переходов и силы осцилляторов, определяемые распределением электронной плотности в ионах вольфрама [1, 2].

При больших температурах в радиационные потери электронов вносят также значительный вклад потери на тормозное и рекомбинационное излучение. В случае альфа-частиц вклад соответствующих потерь мал из-за их большой массы. В таблице представлены результаты расчетов радиационных потерь для альфа-частиц *Qα*, полных радиационных потерь на электронах *Qe*, а также представлено их отношение *R*. Для сравнения с имеющимися данными в таблице приведены результаты расчетов работы [3].

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| T, кэВ | Qa, 10-32 Вт\*м-3, Рост | Qe, 10-32 Вт\*м-3, Рост | R, Рост | Qa, 10-32 Вт\*м-3, ЛПЧ | Qe, 10-32 Вт\*м-3, ЛПЧ | R, ЛПЧ | Qe, 10-32 Вт\*м-3, из [3] |
| 20 | 4.11 | 6.61 | 0.62 | 1.17 | 7.63 | 1.53 | 7.30 |
| 30 | 7.51 | 5.44 | 1.38 | 1.75 | 5.99 | 2.92 | 5.47 |
| 40 | 5.58 | 3.76 | 1.48 | 1.93 | 5.18 | 3.72 | 4.95 |

Из таблицы следует, что при больших температурах, которые соответствуют условиям термоядерного реактора, радиационные потери альфа-частиц сравнимы и даже могут превосходить радиационные потери на электронах.

Литература.

1. A.V. Demura, M.B. Kadomtsev, V.S. Lisitsa, V.A. Shurygin, *High Energy Density Physic*s **15**, 49 (2015)
2. Демура А.В., Леонтьев Д.С., Лисица В.С., Шурыгин В.А., *ЖЭТФ* **152**, 792 (2017)
3. T. Putterich, R. Neu, R. Dux, A. D. Whiteford, M.G. O’Mullane, and H. P. Summers*, Nucl. Fusion* **50**, 025012 (2010).