Расчёт теплофизических свойств низкотемпературной плазмы углерода

Апфельбаум Е.М.

Объединённый институт высоких температур РАН, г. Москва, Россия, apfel\_el@mail.ru

Теплофизические свойства плазмы (уравнение состояния и электронные коэффициенты переноса) играют важную роль в различных фундаментальных и прикладных задачах. Изучение этих свойств для низкотемпературной плазмы металлов или полупроводников представляет собой особую сложность, так как, в отличие от газов, эта плазма находится при сравнительно высоких температурах (выше 5 кК), где сложно провести эксперимент. Для теоретических моделей также возникает ряд проблем, особенно при повышении плотности даже до 0,1 от значения при нормальных условиях, когда существенным становится межчастичное взаимодействие между частицами [1]. На этом фоне изучение свойств углерода оказывается ещё более трудоёмким, так как это единственный элемент из периодической таблицы, для которого до сих пор не измерена даже температура плавления.

Тем не менее, для углерода, как и для других веществ существует целый ряд моделей, созданных для описания различных свойств (включая теплофизические) в широком диапазоне параметров, охватывающих и область низкотемпературной плазмы. Для углерода это температуры 10 – 100 кК и плотности менее 0,5 г/см3 (плотность графита при нормальных условиях 2,25 г/см3). Сюда относятся как первопринципные методы, так и модели среднего атома и химические модели (см., например [2]). Кроме этого, в последние два десятилетия появились новые эксперименты именно для этой области [3, 4]. Они позволяют уточнить существующие модели, а также получить новую информацию.

Ранее нами была развита модель для расчёта рассматриваемых свойств (давления, внутренней энергии, электропроводности, теплопроводности и термоэдс) в области низкотемпературной плазмы некоторых металлов и полупроводников [5 – 8]. Она успешно применялась к плазме таких элементов, как Fe, Ni, B, Si и др. Использовался химический подход, что позволило получить термодинамику и ионный состав рассматриваемого вещества при заданной плотности и температуре. Приближение времени релаксации, в свою очередь, при известном составе позволило рассчитать коэффициенты переноса. Сейчас эта модель была модифицирована для применения её к низкотемпературной частично-ионизованной плазме углерода при указанных выше параметрах. Результаты расчётов по нашей модели сравнивались с данными измерений и расчётами других авторов.

Литература

1. Fortov V. E., Yakubov I. T. Physics of Non-Ideal Plasmas. Hemisphere Publishing, New York, 1990.
2. Clerouin J., Noiret P. et. al., Phys. Plasmas, (2012) V. 19, 082702.
3. Haun J., Kunze H.-J., Kosse S., Schlanges M., Redmer R., Phys. Rev. E, (2002) V. 65, 065407.
4. DeSilva A. W., Vunni G. B., Phys. Rev. E, (2009) V. 79, 036403.
5. Apfelbaum E. M., Contrib. Plasma Phys., (2013) V.53, 317.
6. Apfelbaum E. M., Phys. Plasmas, (2015) V. 22, 092703.
7. Apfelbaum E. M., Contrib. Plasma Phys., (2016) V.56, 176.
8. Apfelbaum E. M., Phys. Plasmas, (2018) V. 25, 072703.