Расчёт электронных транспортных коэффициентов и давления в плазме никеля

Е.М. Апфельбаум

Объединённый Институт Высоких Температур РАН, Москва, Россия, apfel\_e@mail.ru

Изучение уравнения состояния, коэффициентов переноса и других теплофизических свойств необходимо как в теории, так и в практике. Поэтому соответствующие расчёты и измерения проводятся уже более века. Это относится и к металлам, для которых в области кристаллической фазы и жидкости имеются надёжные измерения. Но при повышении температуры и при переходе в область плазмы или плотного горячего вещества (warm dense matter в англоязычной терминологии) проведение измерений становится затруднительным или почти невозможным. Эта область начинается при температурах больших 5-10 тысяч градусов и плотностях ниже нормальной плотности металла (для никеля это ρ0 = 8.9 г/см3). Тем не менее, в последние два десятилетия появились новые измерения электропроводности, давления, внутренней энергии для целого ряда веществ именно в плазменной области [1-4]. Это, как правило, эксперименты по электровзрыву проводников (проволочек и фольг). В этих экспериментах температура не может быть прямо измерена. Поэтому приходится использовать гибридный подход (эксперимент + расчёт), чтоб найти температуру. Однако эти новые данные следует учитывать при построении и корректировке теоретических моделей.

Одна такая модель уже была разработана нами ранее для плазмы благородных металлов, инертных газов и полупроводников [5-7]. В её рамках рассчитывается химический (ионный) состав плазмы, давление, внутренняя энергия и электронные транспортные коэффициенты (электропроводность, теплопроводность и термоэдс). Расчёт состава и термодинамики основан на законе действующих масс (см., например, [8]). Электронные коэффициенты переноса рассчитываются в приближении времени релаксации. В этом приближении особенно важно знать точное сечение электрон - атом, так как именно такой вид рассеяния доминирует. В настоящей работе мы использовали нашу модель для расчёта давления и электронных транспортных коэффициентов в плазме никеля. Эксперименты по измерению этих свойств представлены в [1] при Т≥10 kK на изохоре ρ=0.1 г/см3 (т.е. металл расширяется в ρ0/ρ = 89 раз!). Это соответствует области низкотемпературной частично ионизованной плазмы. Изотермы только для электропроводности плазмы никеля (Т=10 кК, 20 кК, 30 кК) при изменении плотности от 0.01 до ~1 г/см3 были измерены в [2, 3]. Наши расчёты проводились г/см3 для этих изохор и изотерм. Полученные результаты находятся в хорошем согласии с результатами измерений и расчётов других авторов.

Литература

1. Clerouin J., Noiret P. et. al., Phys. Plasmas, (2012) V. 19, 082702.
2. DeSilva A. W., Rakhel A. D., Contributions to Plasma Physics, (2005) V. 45, 237.
3. DeSilva A. W., Vunni G. B., Phys. Rev. E, (2011) V. 83, 037402.
4. Korobenko V. N., Rakhel A. D., Phys. Rev. B, (2013) V. 88, 134203.
5. Apfelbaum E. M., Contributions to Plasma Physics, (2011) V. 51, 395.
6. Apfelbaum E. M., Phys. Rev. E, (2011) V. 84, 066403.
7. Apfelbaum E. M., Contributions to Plasma Physics, (2013) V. 53, 317.
8. Kuhlbrodt S., Holst B., Redmer R., Contributions to Plasma Physics, (2005) V. 45, 73.