

Ультрахолодная неравновесная плазма в однородном магнитном поле

Хихлуха Д.Р.***, Бобров А.А., Бронин С.Я., Зеленер Б.Б., Зеленер Б.В.*, Маныкин Э.А.**

* Объединенный институт высоких температур РАН

** Российский научный центр «Курчатовский институт»

*** Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Ультрахолодная плазма- это неравновесная плазма, получаемая при сверхнизких температурах электронов $T_e \sim 1\text{K}$ при помощи ионизации лазерным излучением ультрахолодного газа с температурой $T < 10^{-4}\text{K}$. Изучение свойств этой плазмы методом молекулярной динамики [1-3] позволило установить, что температурная зависимость коэффициента столкновительной рекомбинации в области сильной неидеальности, когда параметр неидеальности $\gamma \geq 1$ (где $\gamma = e^2 n_e^{1/3} / T_e^{1/3}$, e – заряд электрона, n_e - концентрация электронов) меняется с $T_e^{-9/2}$ на T_e^{-2} . Это говорит о том, что процесс рекомбинации в сильно взаимодействующей плазме протекает медленнее, чем в слабонеидеальной.

В процессе изучения различных экспериментальных работ было обнаружено, что есть еще один фактор, который влияет на столкновительную рекомбинацию – это наличие магнитного поля. Причем, в случае ультрахолодной плазмы значения магнитной индукции магнитного поля, влияющего на этот процесс, начинаются с ~ 1000 Гс, что вполне достижимо в обычных лабораторных условиях.

При наличии магнитного поля, кроме радиуса Дебая, длины Ландау, плазма характеризуется ларморовским радиусом электрона, связанного с циклотронной частотой.

Эти три параметра длины, циклотронная частота и длина волны де-Бройля электрона определяют области классического и квантового описания движения частиц в плазме, а также область влияния магнитного поля на столкновительные и рекомбинационные процессы.

Для случая, когда ларморовский радиус много меньше длины Ландау и в области классического описания движения заряженных частиц в ультрахолодной плазме предложено выражение для коэффициента столкновительной рекомбинации. Это выражение получено по аналогии с формулой Томсона для плазмы без магнитного поля. Имеется хорошее согласие с экспериментальными данными по рекомбинации антиводорода [4].

Для изучения влияния магнитного поля во всем диапазоне значений магнитной индукции B , когда возможно классическое описание столкновительных и рекомбинационных процессов, методом молекулярной динамики были проведены расчеты модели ультрахолодной плазмы, аналогичной рассмотренной в [1-3], но с учетом влияния магнитного поля на уравнения движения частиц. Рассчитаны функции распределения, коэффициент диффузии в энергетическом пространстве, автокорреляторы скорости электрона и коэффициент рекомбинации при $\gamma \leq 0,5$.

Литература

1. Б.Б. Зеленер, Б.В. Зеленер, Э.А. Маныкин, Письма в ЖЭТФ, обзор, 9,696, 2010
2. А.А. Бобров, С.Я. Бронин, Б.Б. Зеленер, Б.В. Зеленер, Э.А. Маныкин, Д.Р. Хихлуха, ЖЭТФ, 139, 605, 2011.
3. С.Я. Бронин, Б.Б. Зеленер, Б.В. Зеленер, Э.А. Маныкин, Д.Р. Хихлуха, ЖЭТФ, 139, 822, 2011.
4. M. Amoretti, et al., ATHENA Collaboration, Nature (London), 456 (2002); G. Gabrielse, et al., ATRAP Collaboration, Phys.Rev.Lett., 213401 (2002); G.B. Andresen, et al., ALPHA Collaboration, Nature Physics (2011), doi:10.1038/nphys 2025, published online 05 June 2011.