Ультрахолодная плазма - новый объект для изучения неидеальной плазмы

DOI: 10.34854/ICPAF.2020.47.1.011

Зеленер Б.Б., Саакян С.А., Бобров А.А., Вильшанская Е.В., Саутенков В.А., Зеленер Б.В., Фортов В.Е.

Объединенный институт высоких температур РАН, bobozel@mail.ru

С появлением лазерного охлаждения и пленения атомов в магнитооптической (МОЛ), дипольной или магнитной ловушках [1,2], открылась возможность изучения взаимодействия в газе нейтральных и высоковозбужденных атомов различных элементов, а также плазмы [3] в условиях глубокого вакуума при температурах ниже 10 мК при наличии или отсутствии квантового вырождения. Появление лабораторий в CERN [4] позволило приступить к созданию атомов антиводорода при помощи торможения антипротонов в магнитном поле и столкновительного охлаждения с электронным и позитронным газом с последующим захватом в квадрупольную магнитную ловушку. В то же время бурно развивалась вычислительная техника, а вместе с ней методы численного эксперимента. Например, симуляция физического эксперимента при помощи метода молекулярной динамики позволяет из первых принципов рассчитать кинетические свойства невырожденных систем, состоящих из высоковозбужденных атомов и частично ионизованной плазмы при наличии или в отсутствии внешнего магнитного поля. Эти численные расчеты позволяют выбрать физические параметры эксперимента и выбрать направление развития методик. В тоже время очень актуальны реальные эксперименты в ультрахолодной плазме, которые позволяют смоделировать процесс захвата антиводорода.

В результате исследований впервые была получена и исследована стационарная ультрахолодная плазма, возбуждаемая в непрерывном режиме. Такой режим позволяет проводить исследования недоступные для плазмы, создаваемой при помощи лазерных импульсов наносекундной длительности. По доплеровскому уширению спектра флюоресценции ионов была измерена температура ионов в зависимости от начальной температуры электронов. Также было измерено время разлета облака ионов кальция 40 полученных в результате создания плазмы в МОЛ. По времени разлета была дана оценка коэффициента диффузии. В численном расчете методом молекулярной динамики были получены коэффициенты диффузии, проводимости, теплопроводности и сдвиговой вязкости для неравновесной ультрахолодной плазмы с различной зарядностью ионов от одного до трех методом молекулярной динамики [5]. Использовалась физическая модель классической двухкомпонентной двухтемпературной плазмы, в которой взаимодействие между зарядами является кулоновским без всяких ограничений на малых и больших расстояниях и без каких-либо дополнительных параметров. Показано наличие подобия для кулоновской компоненты электропроводности при многократной ионизации при параметре неидеальности порядка или больше единицы для ультрахолодной плазмы и низкотемпературной плазмы. Работа поддержана Программой фундаментальных исследований Президиума Российской академии наук “Исследование веществ в экстремальных состояниях” под руководством академика В. Е. Фортова.

Литература

1. Филипс У.Д., Успехи физических наук, 1999, 169, 305
2. Ketterle W., Nature Physics, 2015, 12, 982
3. Killian T.C. et al., Physical Review Letters, 1999, 83, 4776
4. Amoretti M. et al., Nature, 2002, 419, 456
5. Bobrov A. A., Bunkov A. M., Bronin S. Y., Klyarfeld A. B., Zelener B. B., Zelener B. V. Physics of Plasmas, 2019, 26, 082102.