

# УЧЕБНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ УШИРЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ

А. М. Толстик, Л. В. Горчаков

Томский государственный университет  
E-mail: [tolstik@ido.tsu.ru](mailto:tolstik@ido.tsu.ru)

Спектральные линии нагретых газов и плазмы не являются идеально монохроматическими. Уширение линий обусловлено взаимодействием излучающих атомов с окружающими частицами, которое можно рассматривать как ряд столкновений. Другой причиной уширения является эффект Доплера, заключающийся в изменении частоты, воспринимаемой приёмником, вследствие движения относительно него излучающего атома.

Данная работа посвящена компьютерному моделированию ударного и доплеровского уширения спектральных линий. Взаимодействие атомов моделируется упругими соударениями твёрдых шаров, модель адекватно описывает газы с короткодействующим взаимодействием, для плазмы с дальнедействующими кулоновскими силами она не пригодна.

Задача о системе твёрдых шаров была рассмотрена Олдером и Вайнрайтом [1]. Как и в [1], в нашей модели частицы двигаются, сталкиваясь подобно бильярдным шарам, в результате этого в системе устанавливается равновесное распределение по скоростям.

Если приёмник находится в направлении оси  $x$  относительно излучающей системы и частица имеет проекцию скорости в этом направлении  $v_x$ , то частота, воспринимаемая приёмником

$$v' = v(c + v_x) / (c - v_x),$$

где  $v$  - частота, излучаемая атомом (продольный эффект Доплера). Поскольку в равновесном классическом газе частицы распределены по Максвеллу, то частота, воспринимаемая приёмником, неодинакова для разных излучающих частиц, и постепенно формируется уширенная линия, изучая профиль которой, можно исследовать распределение по скоростям. В данном опыте строится гистограмма распределения по частотам и изображение “размытой” линии. Этот эксперимент можно повторить при разных значениях температуры и сравнить полуширины получившихся линий. Поперечный эффект Доплера является эффектом 2-го порядка малости по скорости, поэтому в данной работе им пренебрегаем.

Другой компьютерный эксперимент посвящён ударному уширению спектральных линий. В разреженном нейтральном газе можно принять модель Лоренца для ударного уширения [2], согласно которой соударение излучающего атома с другой частицей прерывает излучение, вследствие чего оно представляет собой не синусоиду бесконечной длительности, а набор конечных цугов. Это приводит к излучению в некотором спектральном интервале с полушириной  $\Delta\omega = \text{const} / \tau$ , где  $\tau$  - продолжительность излучения, которую считаем равной времени между данным и предыдущим столкновением излучающего атома. В предположении гауссова распределения частот создаётся соответствующий датчик случайных чисел и определяется частота данного цуга, которая в нашей модели с равной вероятностью может быть как большей, так и меньшей частоты бесконечной синусоиды. В ходе “опыта” строится гистограмма распределения излучённых волн по частотам и профиль спектральной линии. Любые причины, уменьшающие время между столкновениями, ведут к увеличению спектрального интервала излучения, т.е. его ширина возрастает при увеличении тепловых скоростей молекул, их концентрации и сечения рассеяния. Центр спектральной линии в нашей модели остаётся на месте.

## Литература

1. В.И. Alder, Т.Е. Wainwright. J. Chem. Phys. - 1954. - v. 22. - P. 881.
2. И.И. Собельман. Введение в теорию атомных спектров. М.: ГИФМЛ. - 1963. - С. 463 - 469.