

Измерение штарковских параметров линий нейтральной меди в зелёной области спектра методом лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии

Сушков Н.И.

Аспирант 3 г/о

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Химический факультет, Москва, Россия

E-mail: nikolaisushkov@yandex.ru

Эффект Штарка, заключающийся в уширении и сдвиге спектральных линий вследствие расщепления соответствующих энергетических уровней во внешнем электрическом поле, весьма часто наблюдается как в природе (например, в звёздах), так и в различных видах плазмы, получаемых в лаборатории. Этот эффект широко используется для диагностики плазмы. Кроме того, его необходимо учитывать при определении состава звёзд по профилям спектральных линий.

Медь является одним из элементов, интересных как с астрофизической точки зрения, так и с точки зрения диагностики лабораторной плазмы [1, 2]. Часто используют линии нейтральной меди, находящиеся в зелёной области спектра (при 510.554, 515.324 и 521.820 нм, соответствующие переходам $3d^{10}4p\ ^2P^\circ \rightarrow 3d^94s^2\ ^2D$ и $3d^{10}4d\ ^2D \rightarrow 3d^{10}4p\ ^2P^\circ$). Однако экспериментальные данные по параметрам Штарка для этих линий немногочисленны и плохо согласуются с результатами теоретических расчётов [3].

В настоящей работе параметры квадратичного эффекта Штарка для вышеупомянутых линий измерены в условиях «протяжённой» лазерной плазмы, полученной фокусировкой излучения импульсного Nd : АИГ лазера ($\lambda = 532$ нм, $\tau = 8$ нс, $E = 83$ мДж/импульс) на поверхность алюмолитиевого сплава, содержащего 4.1% Cu, с помощью цилиндрической линзы ($f = 500$ мм). Плазма в этих условиях имеет вытянутую форму (примерно 14×1 мм), что при обзоре сверху ведёт к увеличению интенсивности сигнала и улучшению соотношения сигнала и шума. Кроме того, такая плазма более однородна, чем сферическая, поэтому лучше подходит для определения штарковских параметров. Для регистрации спектров во временном диапазоне 0.5 – 3 мкс использовали высокоскоростную стробируемую камеру. Температуру плазмы для каждой задержки определяли по соотношению интенсивностей линий Mn I при 403.076 и 404.136 нм, электронную плотность — по штарковскому уширению линий Mg I 517.268 и Al I 281.619 нм. Уширения и сдвиги линий меди по другим механизмам в большинстве случаев были малы в сравнении с эффектом Штарка. Профили линий описывали контурами Лоренца.

В нижеследующей таблице даны результаты измерений, приведённые к электронной плотности 10^{17} см⁻³.

	Cu I 510.5541 нм	Cu I 515.3238 нм	Cu I 521.8202 нм
Полная ширина, пм	17.0±0.7	152±9	180±30
Сдвиг, пм	4.6±0.2	-31.1±0.9	-39±7

Результаты в целом согласуются с опубликованными данными. Наши расчёты показали, что на профиль изучаемых линий в значительной степени влияют сверхтонкое расщепление и изотопные сдвиги, так что при уменьшении электронной плотности ширина и сдвиг стремятся к ненулевым значениям. Особенно заметен этот эффект в случае Cu I 510.5541 нм, для которой ширина, обусловленная сверхтонким расщеплением, составляет 10.5 пм, а сдвиг — -1.81 пм.

Литература

1. Zoran S. Stark broadening of heavy metal spectral lines in atmospheres of chemically peculiar stars // J. Phys.: Conference Series. 2010, V. 257. Article Number 012037.

2. Skočić M., Burger M., Nikolić Z., Bukvić S., Djeniže S. Stark broadening in the laser-induced Cu I and Cu II spectra // J. Phys. Part B. 2013, V. 46. Article number 185701.
3. Zmerli B., Nessib N.B., Dimitrijević M.S., Sahal-Bréchet S. Stark broadening calculations of neutral copper spectral lines and temperature dependence // Phys. Scr. 2010, V. 82. Article number 055301.