

ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОЗБУЖДЕННЫХ АТОМОВ РТУТИ ЗА ФРОНТОМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОЙ РЕГИСТРАЦИИ СМЕЩЕНИЯ ПОЛОС ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

В. Р. Лазовская и Г. К. Тумакаев

Для определения концентрации атомов в стационарной [1] и нестационарной [2, 3] плазме широко используется метод крюков Рождественского. Однако недостатком этого метода при исследовании нестационарной плазмы является то, что он не позволяет производить непрерывную регистрацию изменения концентрации атомов во времени в одном эксперименте. Использование данных, полученных в разных экспериментах, в ряде случаев осложняет решение задачи из-за невозможности тождественного воспроизведения опытов. Непрерывное во времени изменение концентрации возбужденных атомов может быть получено путем регистрации смещения полос интерференции в областях спектра, близко прилегающих к линиям поглощения, с использованием оптической схемы интерферометрического метода непрерывной регистрации концентрации электронов и плотности газа [3].

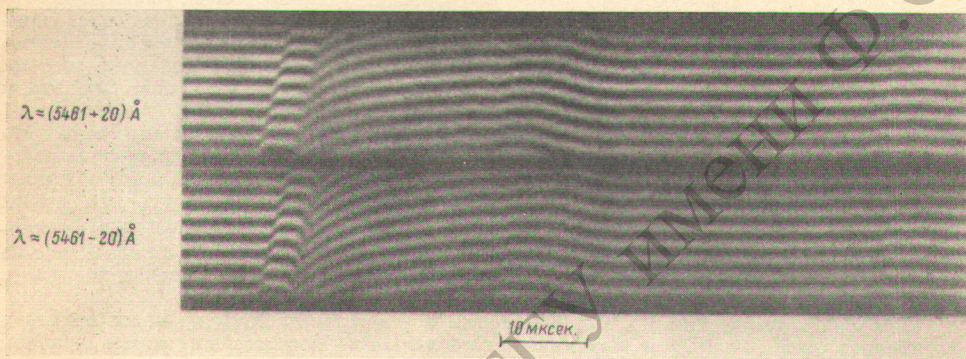


Рис. 4.

Смещение полос интерференции вблизи линий поглощения определяется изменением показателя преломления плазмы и с достаточной точностью описывается уравнением

$$k = \frac{LS}{\lambda} \Delta n_a + \frac{e^2 L f_{kl} \lambda_{kl}^2 \lambda}{2\pi m c^2 (\lambda^2 - \lambda_{kl}^2)} n_k - \frac{L e^2 \lambda}{2\pi m c^2} n_e, \quad (1)$$

где L — длина столба исследуемого вещества; S — удельный показатель преломления исследуемого вещества; λ_{kl} — длина волны линии поглощения, соответствующая kl -переходу; λ — текущая длина волны; f_{kl} — сила осциллятора; e и m — заряд и масса электрона; c — скорость света; Δn_a , n_k и n_e — соответственно плотность газа, концентрация возбужденных атомов и концентрация электронов. Если известны f и λ , Δn_a , n_k и n_e могут быть найдены путем регистрации смещения полос интерференции в трех спектральных областях и соответственно решением системы трех уравнений

$$k_1 = \frac{L S_1}{\lambda_1} \Delta n_a + \frac{e^2 L f_{k1} \lambda_{k1}^2 \lambda_1}{2\pi m c^2 (\lambda_1^2 - \lambda_{k1}^2)} n_k - \frac{L e^2 \lambda_1}{2\pi m c^2} n_e, \quad (2)$$

$$k_2 = \frac{L S_2}{\lambda_2} \Delta n_a + \frac{e^2 L f_{k2} \lambda_{k2}^2 \lambda_2}{2\pi m c^2 (\lambda_2^2 - \lambda_{k2}^2)} n_k - \frac{L e^2 \lambda_2}{2\pi m c^2} n_e, \quad (3)$$

$$k_3 = \frac{L S_3}{\lambda_3} \Delta n_a - \frac{L e^2 \lambda_3}{2\pi m c^2} n_e. \quad (4)$$

При выборе для наблюдения областей спектра необходимо хотя бы одну из них выделить достаточно далеко от линии поглощения [уравнение (4)] так, чтобы исключить влияние возбужденных атомов на изменение показателя преломления плазмы.

Если необходимо определить только концентрацию возбужденных атомов, достаточно найти смещение полос интерференции с двух сторон около линии поглощения.

В этом случае можно исключить влияние плотности газа и концентрации электронов на показатель преломления, так как в уравнениях (2) и (3) для членов, описывающих изменение Δn_a и n_e , можно принять $\lambda_1 \approx \lambda_2$. Тогда концентрация возбужденных атомов будет определяться соотношением

$$k_1 - k_2 = \frac{e^2 L f_{ki} \lambda_{ki}^2}{2\pi m c^2} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_1^2 - \lambda_{ki}^2} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2^2 - \lambda_{ki}^2} \right) n_k = A n_k. \quad (5)$$

При определении коэффициента A из-за большой дисперсии вблизи линии поглощения необходимо знание величин λ_1 и λ_2 со значительно более высокой точностью (порядка долей ангстрем), чем при определении концентрации электронов и плотности газа. Поэтому в ряде случаев этот коэффициент проще определить из соотношения (5), если для некоторого момента времени известна концентрация возбужденных атомов.

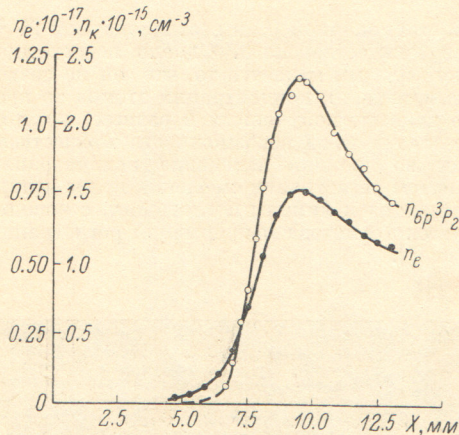


Рис. 2.

Метод непрерывной регистрации смещения полос интерференции был использован нами при исследовании распределения концентрации возбужденных атомов ртути на уровне $6p^3P_2$, концентрации нормальных атомов и электронов в релаксационной зоне потока за фронтом ударной волны. Значение коэффициента A рассчитывалось для каждого опыта по экспериментально определенным в равновесной зоне потока значениям Δn_a и n_e с использованием уравнений Больцмана и Саха.

На рис. 1 приведены типичные интерферограммы, отражающие изменение показателя преломления в потоке паров ртути за фронтом ударной волны в областях спектра слева и справа от линии поглощения $\lambda \approx (5461 \pm 20) \text{ \AA}$. На интерферограммах отчетливо видна релаксационная зона потока. Различие в ходе полос на приведенных интерферограммах обусловлено разным характером изменения дисперсии слева и справа от линии поглощения.

На рис. 2 приведены кривые изменения концентрации возбужденных атомов и электронов для $M=10.3$ и начальной концентрации нормальных атомов, равной $7.2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Характер изменения концентрации электронов и концентрации возбужденных атомов на уровне $6p^3P_2$ идентичен. Минимальное значение концентрации возбужденных атомов, которое нам удалось измерить с помощью метода непрерывной регистрации смещения полос интерференции, составляет величину порядка 10^{14} см^{-3} , в то время как метод крюков в аналогичных условиях позволяет измерять величины порядка 10^{13} см^{-3} .

В заключение необходимо отметить, что метод непрерывной регистрации смещения полос интерференции может быть использован для диагностики плазмы, например импульсного разряда.

Авторы выражают благодарность Е. М. Зубкову за помощь в проведении эксперимента.

Литература

- [1] Ю. М. Каган, Н. П. Пенкин. Изв. АН СССР, сер. физ., 14, 721, 1950.
- [2] А. М. Шухтин, В. С. Егоров. Вестн. ЛГУ, 16, 61, 1959.
- [3] Г. Р. Тумакаев, В. Р. Лазовская. Сб. «Аэрофизические исследования сверхзвуковых течений», 74. Изд. «Наука», М.—Л., 1967.

Поступило в Редакцию 15 июля 1970 г.