

Измерение температуры газа в тлеющем разряде атмосферного давления по спектру излучения первой отрицательной системы азота.

С.М. Згировский, А.А. Кириллов*, Д.В. Суходолов

Институт молекулярной и атомной физики НАН Беларуси,

**Институт физики НАН Беларуси,*

220072, Минск, просп. Ф. Скорины, 70

E-mail: simon@imaph.bas-net.by

Цель настоящей работы заключалась в измерении распределения газовой температуры в тлеющем разряде при атмосферном давлении (ТРАД).

Экспериментальная установка. Тлеющий разряд зажигался в герметичной камере с кварцевыми окнами между двумя электродами: коническим закругленным вольфрамовым анодом (диаметр 6 мм, радиус закругления вершины конуса 2 мм) и плоским катодом, выполненным из стали (диаметр 30 мм, толщина 10 мм). Межэлектродный промежуток был равен 4 мм. Рабочий газ - гелий при атмосферном давлении. Концентрация примесей (H_2 , N_2 , O_2 , Ar , CO_2 , CO , Ne , H_2O) не превышала 0.02%. Разряд поддерживался с помощью источника постоянного тока. В работе использовался сканирующий монохроматор высокого разрешения МДД 500x2 (полуширина аппаратной функции 0.02 нм) с обратной линейной дисперсией 0.5 нм/мм, и оптическая схема позволяющая регистрировать пространственное распределение спектральных линий как вдоль, так и поперек оси разряда. Методика спектральных измерений приведена в [1].

Методика измерений и результаты эксперимента. Для измерения газовой температуры T_g в ТРАД использовался метод относительных интенсивностей вращательных линий электронно-колебательного перехода молекулярного азота, который как примесь содержится в рабочем газе.

Анализ спектров излучения в области 300-600 нм во всех областях ТРАД выявил наличие двух отчетливых и пригодных в работе секвенций $V'-V''=0-0$ $\lambda=391.44$ нм и $0-1$ $\lambda=427.81$ нм первой отрицательной системы азота $V^2\Sigma_u^- \rightarrow X^2\Sigma_g^-$ (1-) и значительно более слабых на уровне шума полос второй положительной системы азота. В качестве рабочей была выбрана секвенция $0-1$ первой

отрицательной системы, как свободная от переналожений с атомарными спектрами.

Методика определения T_g по относительной интенсивности линий полос I- системы N_2 основана на предположении о больцмановском характере заселения молекул N_2 по вращательным уровням в возбужденном электронном состоянии и соответствии измеряемых вращательных температур T_{rot} газовой температуре T_g [2]. Характер заселения вращательных уровней в возбужденном электронном состоянии определялся непосредственно в ходе обработки полученных спектров и во всех экспериментах носил больцмановский характер. Время жизни возбужденного электронного состояния ($B^2\Sigma_u^+$) $\tau_c = 63.1$ нс [3]. Время вращательной релаксации молекулы азота в гелии при атмосферном давлении и температуре 300 К $\tau_{rt} = 0.67$ нс [4] и растет с увеличением температуры до 1000 К в несколько раз. Таким образом, в условиях эксперимента справедливо выполнение условия $\tau_c \gg \tau_{rt}$, что свидетельствует о возможности определения газовой температуры по спектрам испускания I- системы молекулярного иона азота.

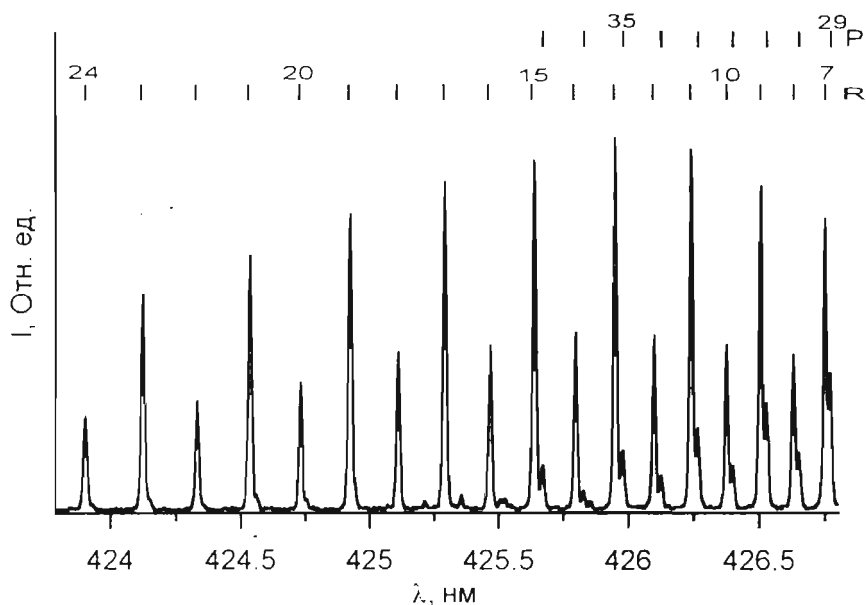


Рис. 1 Спектрограмма участка спектра полосы (0,1) I- системы азота.

Спектрограмма части полосы 1- системы (секвенция 0-1), используемой нами для определения T_v , приведена на рис.1. Как видно из рис.1 полоса состоит из неразрешенных по дублетной структуре P- и R- ветвей, а быстро спадающие с N' спутанные ветви в рассматриваемой части полосы отсутствуют. Необходимые для идентификации вращательных линий полосы длины волн определялись с использованием данных [5]. Для систематических измерений использовались линии R- ветви с $N' > 6$, которые разрешены от лежащих вблизи линий P- ветви.

Интенсивность вращательных линий при наличии бoльцмановского распределения имеет вид:

$$I_{vN'} = const v_{vN'}^4 \cdot S_{vN'} \cdot g_{N'} \cdot (2N' + 1) \exp\left\{-\frac{hcF(N')}{kT}\right\},$$

где $v_{vN'}$ - частота перехода; $g_{N'}$ - статистический вес, обусловленный ядерным спином ($g_{N'} = 1$ для четных N' и $g_{N'} = 2$ для нечетных N'); $F(N')$ - величина вращательного терма для возбужденного электронного состояния; $S_{vN'}$ - фактор Хенля-Лондона R-ветви свернутый по дублетной структуре линии [6]

$$S_{vN'} = N' / (2N' + 1)$$

На рис.2 приведены зависимости $\ln(I_{N'N''}/G_{N'N''})$ от энергии

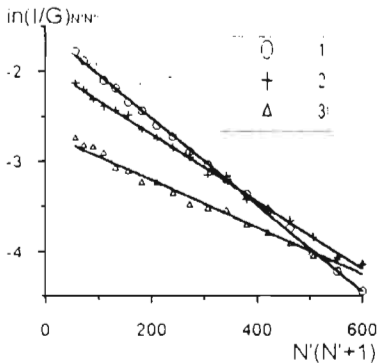


Рис.2 Зависимость $\ln(I/G)_{N'N''}$ от $N'(N'+1)$. $T_{rot} = 620$ K (1); 800 K (2); 1150 K (3)

вращательного терма, где $I_{N'N''}$ - измеренные интенсивности линий, а $G_{N'N''} = S_{vN'} \cdot g_{N'} \cdot (2N'+1)$. Линейный характер зависимостей $\ln(I_{N'N''}/G_{N'N''})$ свидетельствует о бoльцмановском виде распределения по уровням N' . Значения T рассчитывались из соотношения

$$T = (hcB_v) / k \cdot \text{ctg} \alpha,$$

где B_v - вращательная постоянная для данного электронно-колебательного состояния; α - угол наклона прямых $\ln(I_{N'N''}/G_{N'N''}) = \alpha F(N')/B_v + \text{const}$.

На рис.3 представлено измеренное по данной методике в двух сериях экспериментов распределение температуры вдоль оси

разряда. Основные области разряда расположены на следующих

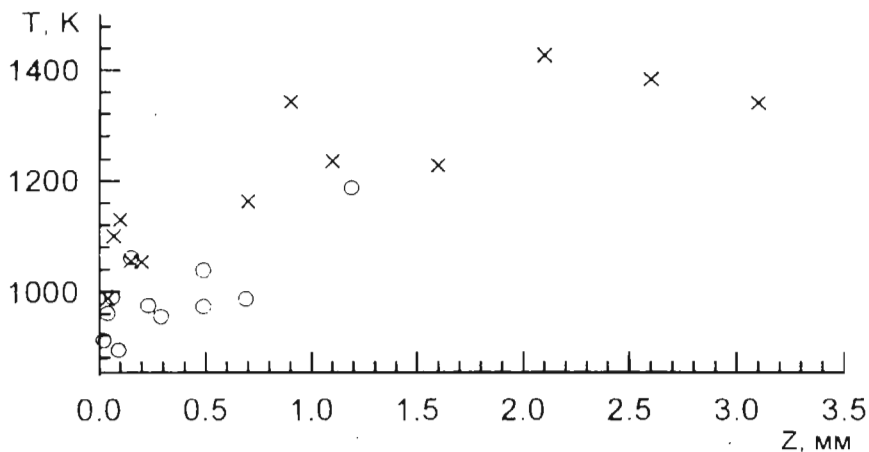


Рис.3 Аксиальное распределение газовой температуры.

расстояниях Z от катода: катодный слой 0–0.1 мм; отрицательное свечение 0.1–0.3 мм; фарадеево пространство 0.3–1 мм; положительный столб 1–3.5 мм. В первых трех областях наблюдается монотонный рост температуры с увеличением расстояния от катода, причем наибольший градиент температуры имеет место в катодной слое. В положительном столбе рост температуры замедляется, она достигает максимального значения при $Z \sim 2$ мм и несколько спадает при приближении к аноду. Работа выполнена при поддержке БРФФИ проект Ф99М-038

Литература.

1. В.И. Архипенко, С.М. Згировский, Л.В. Симончик – ЖПС, т.66, с. 362, 1999.
2. В.Н. Очкин, С.Ю. Савинов, Н.Н. Соболев – Тр. ФИАН, т.157, с. 6, 1985.
3. Л.А. Кузнецова, Н.Е. Кузьменко, Ю.Я. Кузяков, Ю.А. Пластинкин Вероятности оптических переходов. – М.:Наука, 1980.
4. R. Holmes, G.R. Jones, N. Pusat, W. Tempest – Trans. Faraday Soc., v. 58, N 480, p. 2342, 1962.
5. K.A. Dick, W. Benesch, H.M. Crosswhite, S.G. Tilford, R.A. Gottscho and B.W. Field – J. Molec. Spectr., v. 69, p. 95, 1978.
6. G. Herzberg Molecular spectra and molecular structure. 1. Spectra of diatomic molecules. – N.Y.: D. van Nostrand, 1951.