

О ШИРИНАХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ В МОЛЕКУЛЯРНОЙ НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЕ

Д. В. Жук, Д. К. Оторбаев, В. Н. Очкин,
С. Ю. Савинов, Н. Н. Соболев

Обнаружено аномальное уширение спектральных линий во вращательной структуре полос 2^+ системы азота, связанное с возбуждением спектра при нерезонансном взаимодействии тяжелых частиц.

В работах [1] показано, что наличие параллельных каналов заселения электронно-возбужденных состояний молекул в неравновесной плазме пониженного давления приводит к существенным искажениям вида распределения молекул по вращательным уровням по сравнению с больцмановским тепловым распределением. Если элементарным актом возбуждения является нерезонансное взаимодействие тяжелых частиц, то возникают так называемые "горячие" группы молекул, для которых средняя энергия вращательного движения превышает тепловую. Один из таких примеров — "горячие" группы молекул $N_2(C^3\Pi_u)$, проявляющиеся в спектре широко известной 2^+ системы азота. В этом случае молекулы с быстрым вращением могут образовываться в результате взаимодействия самих молекул азота или при столкновениях $N_2(X^1\Sigma_g^+)$ с атомами аргона в метастабильных состояниях [1 — 3]. Из законов сохранения энергии-импульса следует, что в результате таких взаимодействий электронно-возбужденные молекулы образуются с первоначальным не тепловым распределением по скоростям. Если излучающее состояние имеет малое время жизни и столкновения не играют роли, то следует иметь в виду возможность аномального уширения спектральных линий. Существенно то, что уширение должно зависеть от номера колебательного и вращательного уровней излучающего состояния.

Для записи контуров линий использовался сканируемый давлением эталон Фабри — Перо, скрещенный с монохроматором ДФС-8. Регистрировалось излучение 2^+ системы N_2 в тлеющем разряде, в трубке диаметром 20 мм, при токе разряда 20 мА в смесях $N_2 - He$ (1:10) и $N_2 - Ar$ (1:9). Температура стенок трубки — 77 К. Температура газа в центре трубки измерялась независимо термомпарой, по относительным интенсивностям во вращательной структуре спектра "холодной" группы молекул 2^+ системы N_2 [1] и по доплеровскому уширению линий гелия. Результаты измерений удовлетворительно согласуются между собой.

На рис. 1 приведены контуры линий $R_1(3)$ и $R_1(26)$ (0, 0) полосы 2^+ системы N_2 . Разряд в $N_2 - He$ (1:10) при давлении 0,5 тор. Уровень $K' = 3$ с которого начинается переход $R_1(3)$ заселен, главным образом, молекулами "холодной" вращательной группы, возбуждаемыми прямым электронным ударом из основного состояния $N_2(X^1\Sigma_g^+)$, а уровень $K' = 26$ — молекулами "горячей" группы [1]. Видно, что ли-

нии имеют существенно различные ширины. Контур $R_1(3)$ — доплеровский, соответствующий максвелловскому распределению излучателей по скоростям при температуре газа $T_g = 150\text{K}$. Уширение линии $R_1(26)$ не соответствует нормальному доплеровскому (на рис. 1, б, для сравнения, приведены расчетные доплеровский и лоренцовский контуры; все три контура нормированы к одной площади, и к одной ширине). Аналогичное уширение для линий с большими K' имеется и в $N_2 - \text{Ar}$. Если, тем не менее, ввести эффективную температуру соответствующую ширине $R_1(26)$ для доплеровского уширения, то она равна $\approx 2000\text{K}$. Большой смысл в этом случае имеет значение наивероятнейшей энергии, которое может быть найдено из максимума производной контура по частоте.

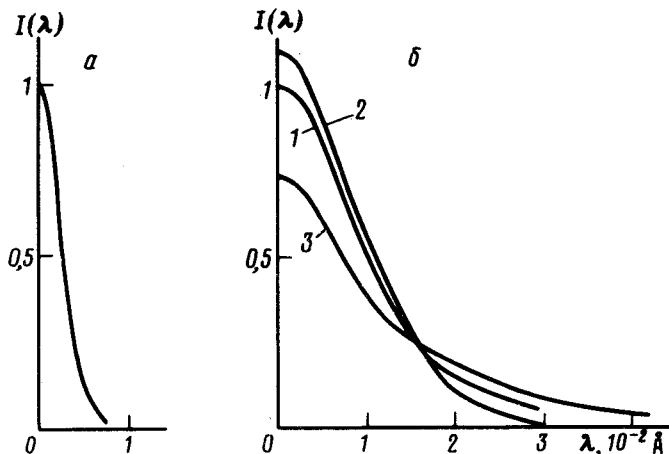
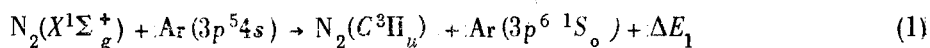


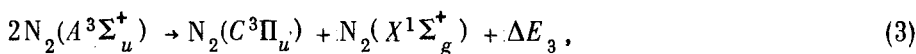
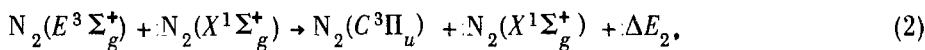
Рис. 1. Контур линии $R_1(3)$ и $R_1(26)$ (0, 0) полосы 2^+ системы N_2 : а — контур линии $R_1(3)$; б — контур линии $R_1(26)$ — (1). Для сравнения приведены расчетные — доплеровский (2) и лоренцовский (3) контуры; все три контура нормированы к одной площади и к одной ширине.

На рис. 2 показана зависимость величины логарифма наивероятнейшей энергии поступательного движения $N_2(C^3\Pi_u, v' = 0, K' = 26)$ от давления смесей $N_2 - \text{He}$ и $N_2 - \text{Ar}$. Несмотря на малое радиационное время жизни излучателя ($\tau \approx 4 \cdot 10^{-8}$ сек) столкновительная релаксация поступательного движения заметна уже при давлениях в несколько десятых тор.

Наличие полной информации о распределениях молекул по всем степеням свободы может быть полезным, например, при идентификации каналов экзотермических реакций в плазме с возбуждением излучения. так; можно рассмотреть реакции



в смеси $N_2 - \text{Ar}$ (1:9),



в смеси $N_2 - He$ (1 : 10).

Используя полученные результаты совместно с результатами измерений относительных интенсивностей в колебательной и вращательной структуре спектра можно убедиться, что в смеси $N_2 - Ar$ образование "горячих" групп молекул действительно происходит в процессе (1). В смеси $N_2 - He$ условию баланса энергий для молекул "горячей" группы удовлетворяет реакция (2). Реакция (3) по меньшей мере, малоэффективна.

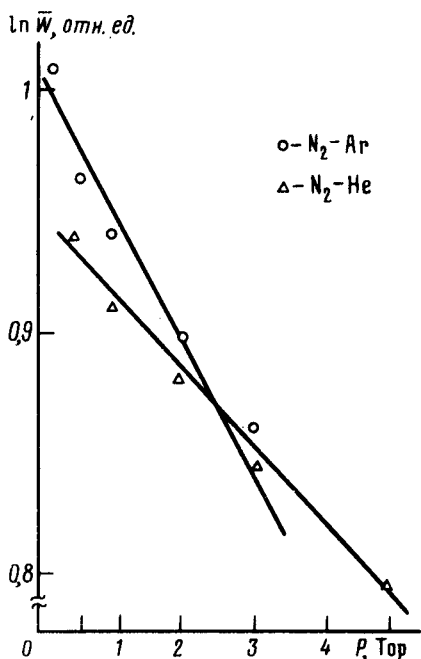


Рис. 2. Зависимость величины логарифма наиболее вероятной энергии поступательного движения $N_2(C^3\Pi_u, v' = 0, K' = 26)$ от давления смесей $N_2 - He$ (1 : 10) и $N_2 - Ar$ (1 : 9)

Резюмируя, можно сказать:

1. В неравновесной молекулярной плазме пониженного давления, на примере молекулы N_2 обнаружены эффекты аномального уширения спектральных линий. Характер уширения различен для разных вращательных компонент даже в пределах одной электронно-колебательной полосы.

2. Имеет место "сортировка" электронно-возбужденных молекул N_2 по скоростям в зависимости от энергии связанного состояния.

3. Указанные явления необходимо принимать во внимание при использовании классических пирометрических методов, расчетах коэффици-

ентов усиления лазеров на электронных переходах молекул; они могут быть использованы для изучения релаксационных процессов и идентификации механизмов возбуждения. †

Физический институт им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
28 декабря 1979 г.

Литература

- [1] В.Н.Очкин, С.Ю.Савинов, Н.Н.Соболев. ЖТФ, 47, 1168, 1977; ЖЭТФ, 75, 463, 1978.
- [2] Л.С.Полак, Д.И.Словецкий, А.Д.Урбас, Т.В.Федосеева. Сб. "Химия плазмы", вып. 6, стр. 242, Атомиздат, 1978. †
- [3] D.W.Setser, D.H.Stedman, J. Chem. Phys., 53, 1004, 1970.
-