

Н. Я. ДОДОНОВА

О МЕХАНИЗМЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ УРОВНЕЙ МОЛЕКУЛ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РАЗРЯДЕ

(Представлено академиком А. Н. Терениным 31 V 1954)

Инфракрасное излучение электрического разряда в молекулярных газах возникает при переходах молекул с колебательных уровней, возбужденных в разряде. А. Н. Теренин и Г. Г. Неуймин (¹) впервые применили исследование инфракрасной радиации для изучения кинетики процессов передачи и рассеяния колебательной энергии молекул. Ими была сделана попытка рассчитать эффективности превращения колебательной энергии молекул СО и СО₂ в разряде в энергию поступательного и вращательного движений.

Для трактовки кинетики процессов рассеяния и передачи колебательной энергии необходимо выяснить вопрос о механизме возбуждения колебательных уровней молекул в электрическом разряде.

В спектре разряда в СО₂ при давлениях 10—100 мм наблюдается полоса испускания с максимумом 4,65 μ , соответствующая асимметричным валентным колебаниям этой молекулы. Как известно, в разряде при больших давлениях развивается высокая температура, достигающая нескольких тысяч градусов. Известно, что полоса излучения нагретого СО₂ с увеличением температуры смещается в сторону длинных волн (²). Если излучение вызвано разогреванием газа в зоне разряда, то положение полосы испускания СО₂ в спектре у 4,65 μ должно было бы соответствовать температуре газа 4000° С.

Нами была сделана экспериментальная оценка температуры газа в зоне разряда. На электроды разрядной трубки, примененной в предыдущей работе (³), подавалось напряжение от повышающего трансформатора 120—12000 в. В зону разряда вводилась тонкая, диаметром 0,1 мм, угольная нить, температура которой измерялась оптическим микропирометром. Измерение температуры было проведено как в СО, так и в СО₂. Измеренные температуры имеют одинаковую величину при равных давлениях газа.

Результаты измерений приведены на рис. 1. Как видно из графика, с увеличением давления газа температура растет, достигая 2000° С. Условия разряда при давлениях 50—200 мм рт. ст. отклоняются от условий термодинамического равновесия, поэтому нельзя считать, что температура газа в зоне разряда равна измеренной температуре нити. Однако можно утверждать, что температура газа не превышает 2000° С. Отсюда следует, что возбуждение колебательных уровней молекул с

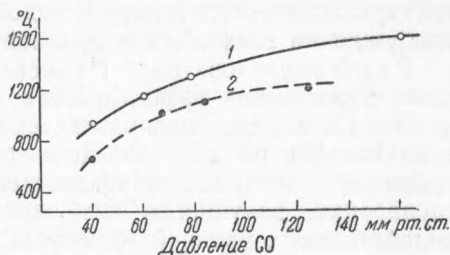


Рис. 1. Зависимость температуры угольной нити, введенной в зону разряда, от давления СО в разрядной трубке при силе тока 230 ма (1) и 175 ма (2)

испусканием максимума у $4,65 \mu$ не является следствием простого разогревания газа.

Другим вариантом объяснения возбуждения колебательных уровней молекул в разряде является возбуждение молекул при их соударениях с быстрыми положительными ионами, ускоряемыми в поле плазмы. Этот

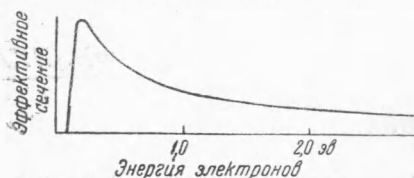


Рис. 2. Зависимость эффективного сечения соударений, ведущих к возбуждению первого колебательного уровня молекул CO и CO_2 , от энергии электронов ⁽⁵⁾

вопрос можно выяснить, изучая инфракрасное излучение в высокочастотном разряде. При частотах 10^6 — 10^8 гц роль положительных ионов сводится исключительно к образованию поля пространственного заряда, и возбуждение ионным ударом исключается. Тем не менее нами было показано ⁽³⁾, что интенсивность инфракрасного излучения высококачественного разряда либо больше, либо равна интенсивности излучения разряда низкой частоты.

Таким образом, предположение о возбуждении колебательных уровней ионным ударом не оправдывается.

Одним из возможных механизмов возбуждения колебательных уровней молекул в разряде является возбуждение их при соударениях с медленными электронами. Под медленными электронами подразумеваются электроны, энергии которых недостаточно для возбуждения электронных уровней молекул.

Рядом исследователей ⁽⁴⁾ экспериментально были определены эффективности возбуждения колебаний молекул при их соударениях с электронами. На рис. 2 приведена теоретическая кривая ⁽⁵⁾ зависимости эффективного сечения соударений, ведущих к возбуждению первых колебательных уровней молекул CO и CO_2 , от скорости электронов. Ранее Пеннингом ⁽⁶⁾ теоретически было показано, что с уменьшением E/P (т. е. с уменьшением скорости электронов) возрастает доля энергии электронов, идущая на возбуждение колебаний молекул.

Для выяснения этого вопроса нами было проведено исследование инфракрасного излучения CO_2 в разряде постоянного тока при давлениях 0,2—5 мм рт. ст. и силе тока 0,02 а с одновременным измерением электронной температуры и E/P методом зондов. Исследование производилось в обычной разрядной трубке. Потока испускания $4,65 \mu$ выделялась монохроматором с флюоритовой призмой. Приемником служил термостолбик ФАИ чувствительностью 0,1 в/вт с гальванометром Цернике и фотоэлектрооптическим усилителем. Результаты измерений представлены на рис. 3. Видно, что с увеличением давления газа интенсивность излучения возрастает с одновременным спаданием E/P . Измерения электронной температуры при давлении 1 мм рт. ст. дали значение 19000°K .

С увеличением давления газа условия разряда становятся более благоприятными для возбуждения колебаний медленными электронами. В то время как в разряде при малых давлениях CO_2 электронная температура равна 19000°K (что соответствует энергии электронов $\sim 2,5$ эв), в разряде при больших давлениях она приближается с ростом давления к температуре газа, так как условия разряда переходной формы из тлеющего в дуговой приближаются к равновесным с увеличением давления.

Как видно из рис. 2, эффективное сечение соударений электронов с

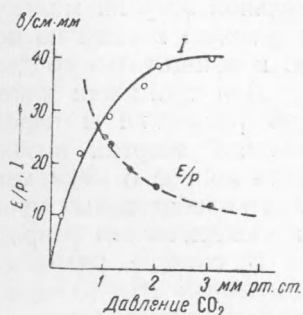


Рис. 3. Зависимость E/P и инфракрасного излучения CO_2 , выделенного фильтром MgO на слюде, от давления при силе постоянного тока 0,02 а

молекулами CO_2 , приводящих к возбуждению первого колебательного уровня, достигает максимального значения при энергиях электронов порядка 0,2 эв. Это значение близко к средней энергии электронов в разряде при давлениях ~ 200 мм рт. ст.

Таким образом, повидимому, можно считать, что возбуждение колебательных уровней в разряде вызывается столкновениями молекул с медленными электронами. В связи с этим интересно указать следующее.

Интенсивность излучения определяется не только эффективным сечением соударений, но и числом столкновений. Если возбуждение колебательных уровней происходит путем соударений молекул с электронами, то интенсивность инфракрасного излучения должна быть пропорциональна числу электронов и, следовательно, возрастет с увеличением силы тока, что и наблюдается на опыте (см. рис. 4). Нами ранее было показано⁽³⁾, что в разрядах высокой и низкой частот при одинаковых давлениях, равной мощности и напряжения на электродах интенсивность инфракрасного излучения CO и CO_2 значительно выше в разряде частоты $\sim 18^8$ гц. Одновременно оказалось, что сила тока разряда частоты 10^8 гц в несколько раз больше тока разряда низкой частоты.

При увеличении давления газа в разряде с постоянной силой тока усиление интенсивности инфракрасного излучения объясняется, очевидно, возрастанием с давлением эффективного сечения соударений, а в разряде при постоянном давлении с возрастанием силы тока, что имеет место при переходе к большим частотам $\sim 10^8$ гц,— увеличением числа соударений. Такое предположение не может быть вполне строгим, так как электронная температура в свою очередь может зависеть от силы тока в разряде. Оценка этой зависимости в случае разряда при больших давлениях не могла быть проведена на опыте, так как метод зондов измерения электронных температур не применим к плазме больших давлений, использованной нами при изучении инфракрасного излучения в предыдущей работе.

Приношу глубокую благодарность акад. А. Н. Теренину за руководство и помощь при выполнении настоящей работы.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
15 XII 1953

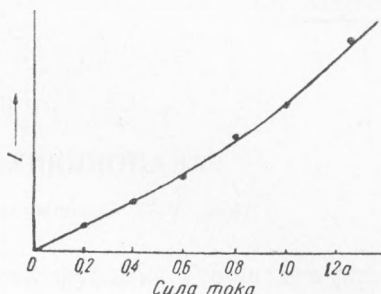


Рис. 4. Зависимость инфракрасного излучения CO_2 при давлении 27 мм рт. ст. от силы тока в разряде

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Н. Теренин, Г. Г. Неумин, Изв. АН СССР, сер. хим., № 5, 247 (1942).
- ² F. Paschen, Wied. Ann., 50, 409 (1893); 51, 1 (1894); 52, 210 (1894).
- ³ Н. Я. Додонова, ДАН, 98, № 5 (1954). ⁴ W. Harries, G. Hertz, Phys. Zs., 46, 177 (1927); H. Löhner, Ann. d. Phys., 6, 50 (1930); W. Harries, Zs. Phys., 42, 26 (1927); H. Ramien, ibid., 70, 353 (1931). ⁵ Ta-You-Wu, Phys. Rev., 71, 111 (1947).
- ⁶ F. M. Penning, Physica, 5, 286 (1938).