

О МЕХАНИЗМЕ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕМ ИНВЕРСНУЮ ЗАСЕЛЕННОСТЬ
УРОВНЕЙ В ОКГ, РАБОТАЮЩИХ НА CO_2

Н.Н.Соболев, В.В.Соколов

В работе Патела [1] было установлено, что основным фактором, обеспечивающим инверсную заселенность верхнего лазерного уровня 00^01 молекул CO_2 в ОКГ, работающем на смеси CO_2 - N_2 , является резонансная передача энергии от молекул N_2 , находящихся на первом колебательном уровне.

Однако в этой работе совсем не рассматривался вопрос о том, какой же основной процесс обеспечивает большую заселенность первого колебательного уровня N_2 . В последнее время было обнаружено, что мощность генерации на чистом CO_2 может быть очень значительной. Кроме того, добавление He к смеси CO_2 - N_2 [2] или к чистому CO_2 [3] увеличивает мощность генерации в 5 + 10 раз.

Все эти факты, не получившие до сих пор объяснения, могут быть наиболее естественным образом интерпретированы, если воспользоваться результатами работ Нульца [4] и Свифта [5]. Нулец экспериментально исследовал неупругие столкновения электронов с молекулами N_2 и CO и установил, что соответствующие эффективные сечения имеют резонансный характер и достигают максимума при энергии электронов 2,3 эв ($\sigma(e, \text{N}_2) = 3 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$) и 1,7 эв ($\sigma(e, \text{CO}) = 8 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$). Результаты его исследований представлены на рис. 1 и 2. Из рисунков видно, что абсолютные значения суммарных сечений, учитывающих возбуждение колебательных уровней вплоть до восьмого, очень велики при энергиях электрона от 1,7 до 3,5 эв в случае N_2 и при энергиях электрона от 1,0 до 3,0 эв в случае CO.

На рис. 3 приведены результаты, полученные Свифтом при изучении распределения электронов по энергиям в плазме тлеющего разряда в N_2 . Видно, что распределение электронов явно не максвелловское с максимумом при энергии 1,5-2 эв, причем с ростом давления происходит смещение максимума к меньшим энергиям и значительно уменьшается количество быстрых электронов. Этот результат находится в согласии с ви-

водами Шульца, так как уменьшение числа быстрых электронов вызвано резонансным взаимодействием электронов с N_2 .

Переходя к рассмотрению ОКГ на CO_2-N_2 , в которых обычно работа ведется при давлениях N_2 , больших, чем в опытах Свифта, можно с достаточной уверенностью считать, что увеличение давления N_2 до 1 тора и добавление к нему CO_2 -газа с меньшим потенциалом ионизации -

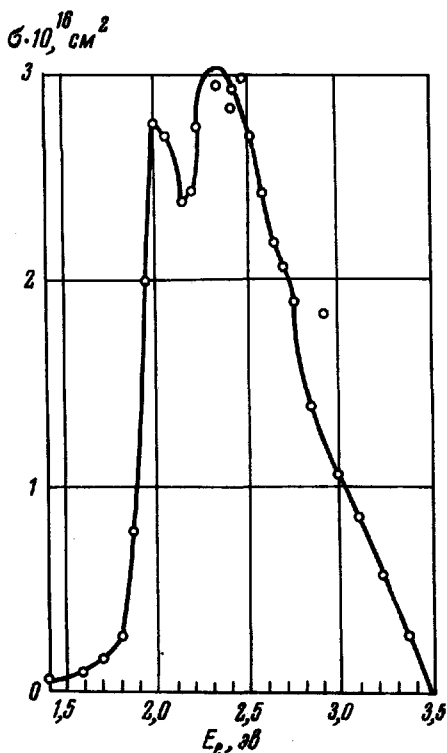
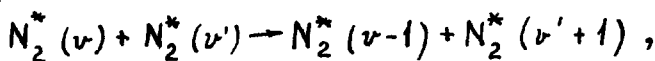


Рис. 1. Зависимость полного колебательного эффективного сечения неупругих столкновений электронов с молекулами N_2 от энергии электронов (Σ по $\nu=1-8$, ν - колебательное квантовое число)

может только привести к уменьшению средней энергии электронов. Таким образом, средняя энергия электронов в разряде при условиях, близких к тем, которые имеют место в ОКГ на CO_2-N_2 , будет не более 1,5-2эв. А это означает с учетом большого значения $\sigma(e, N_2)$, что основной причиной, обеспечивающей значительные концентрации N_2 в возбужденных колебательных состояниях, является непосредственное электронное возбуждение. Мы считаем, в отличие от Патела, что любой, а не только первый колебательный квант N_2 может перейти к молекуле CO_2 . Это может происходить как непосредственно, так и после промежуточного процесса



приводящего, в конечном итоге, к преимущественному заселению первого колебательного уровня. Указанные переходы по крайней мере, вплоть до значений колебательного квантового числа $\nu = 4$, имеют большую вероятность (см., например, [6]), так как в этих случаях ангармоничность не дает еще $\Delta E_{N_2CO_2}$, больших кТ. Возможность эффективного использования даже высоких колебательных уровней N_2 для возбуждения верхнего лазерного уровня CO_2 объясняет большие значения к.п.д. и мощности молекулярного генератора на смеси $CO_2 + N_2$.

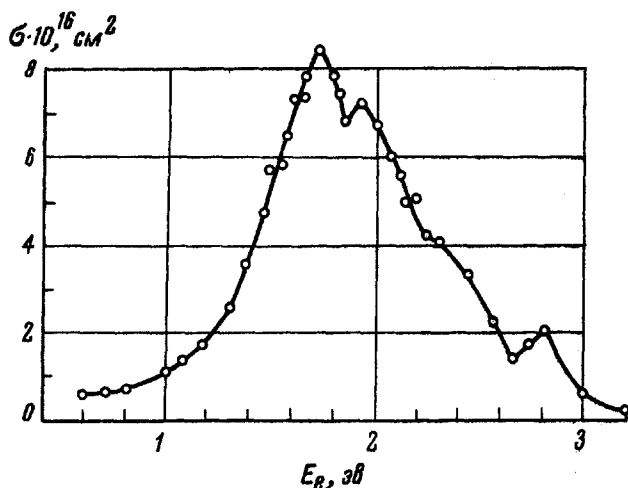


Рис. 2. Зависимость эффективного сечения неупругих столкновений электронов с молекулами CO от энергии электронов (Σ по $\nu = 1-8$)

При выяснении механизма генерации в ОКГ на чистом CO_2 необходимо иметь в виду, что вследствие малой величины энергии диссоциации ($2,8 \text{ эВ}$) CO_2 при электрическом разряде образуется значительное количество молекул CO [7]. Учитывая большое сечение возбуждения колебательных уровней CO электронным ударом, а также наличие резонанса между колебательными уровнями CO и уровнем CO^0I CO_2 ($\Delta E \approx 170 \text{ см}^{-1}$), можно предположить, что ту роль, которую N_2 играет в смеси $CO_2 - N_2$, в смеси $CO_2 - CO$ выполняет CO. Меньшая эффективность генерации на чистом CO_2 (фактически, на смеси $CO_2 - CO$) также понятна, так как $\Delta E_{CO_2, CO} > \Delta E_{CO_2, N_2}$.

Естественное объяснение получает также повышение мощности генерации при добавлении He к смеси $\text{CO}_2\text{-N}_2$ и к чистому CO_2 . В самом деле, He - газ с наибольшим потенциалом ионизации и наибольшей электронной температурой в газовом разряде. Так, в соответствии с диффузионной теорией Шоттки (см., например, [8]), при давлении He 10 тор в трубке диаметром 2,5 см электронная температура равна 22000°K , что находится в хорошем согласии с недавно проведенными зондовыми измерениями Д.Б.Голубовского и Д.М.Кагана (частное сообщение). Поэтому следует полагать, что добавление He к CO_2 или к смеси $\text{CO}_2\text{-N}_2$ приведет к увеличению средней энергии электронов до значений, близких к энергиям, соответствующим максимальным значениям сечений $\sigma(e, \text{CO})$

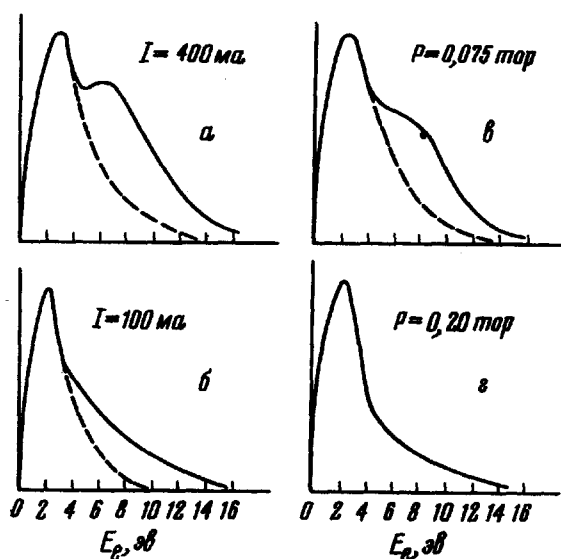


Рис. 3. Функции распределения электронов (в произв. ед.) по энергиям в положительном столбе тлеющего разряда в N_2 : а, б - $p = 0,075$ торр, в, г - $I = 300$ ма

и $\sigma(e, \text{N}_2)$. Возможно и "выравнивание" функции распределения, то-есть компенсация выбивающих из разряда электронов вследствие резонансного взаимодействия с N_2 и CO .

В заключение отметим, что добавление He к CO_2 и к смеси $\text{CO}_2\text{-N}_2$ не только приводит к увеличению заселения верхнего лазерного уровня, но и к уменьшению заселения нижнего лазерного уровня. Этот факт подтверждается экспериментально обнаруженным уменьшением интенсивности

спонтанного излучения с нижнего лазерного уровня CO_2 при добавлении He к смеси $\text{CO}_2 - \text{N}_2$ [9] .

Таким образом, достаточно обоснованная гипотеза об электронном возбуждении колебательных уровней CO и N_2 позволяет с единой точки зрения объяснить большую совокупность экспериментальных фактов о работе ОКГ и CO_2 .

Физический институт

им. П.Н.Лебедева

Академии наук СССР

Поступило в редакцию

16 июля 1966 г.

Литература

- [1] C.K.N.Patel. Phys. Rev., 13, 617, 1964.
- [2] C.K.N.Patel et al. Appl. Phys. Lett., 7, 290, 1965.
- [3] G.Moeller, J.Dane Higden. Appl. Phys. Lett., 7, 274, 1965.
- [4] G.J.Schulz. Phys. Rev., 116,1141, 1959; 125, 229, 1962; 135, 1988, 1964.
- [5] I.D.Swift. Brit. J.appl. Phys. 16, 837, 1965.
- [6] В.Н.Кондратьев. Кинетика химических газовых реакций. Изд-во АН СССР, 1958.
- [7] P.H.Dawson, A.w.Tickner. C.R.Conf. Internat. Phenomens d'Ionization dans les Gas (Paris, SERNA, 1963), 2, p. 79-81.
- [8] Энгель. Ионизованные газы. Физматгиз, 1959.
- [9] T.F.Deutsch, M.I.Weber. Доклад на VI Международной конференции по квантовой электронике (Апрель 1966 года), IEEE J.of Quantum Electronics, vol. QE-2, 24, 1966.

О ВОЗМОЖНОСТИ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ЛИНИЙ КВАРКОАТОМОВ $\text{Mg } q\text{II}$ И Hq В СПЕКТРЕ СОЛНЦА

Л.А.Вайнштейн, С.Б.Пикельнер

В последнее время обсуждается возможность существования кварков - стабильных частиц с дробным электрическим зарядом $\pm 1/3$ или $\pm 2/3$. Ранее [1] было показано, что от начального периода расши-