

ТРОЙНЫЕ СТОЛКНОВЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ЧАСТИЦ
В ПЛАЗМЕ СО-ЛАЗЕРА

Н. Н. Соболев, В. В. Соколов

Обращает на себя внимание тот факт, что в СО-лазерах, работающих при комнатной температуре, давление гелия довольно велико (50–60 тор), а генерация осуществляется на более высоких колебательных уровнях, чем в случае малых давлений He /1/. Казалось бы, что добавки гелия, увеличивающие скорости колебательно-поступательных переходов энергии, должны приводить к обратному эффекту, так как заселение высоких уровней, происходящее вследствие колебательно-колебательных переходов энергии, становится менее эффективным /2/. Представляется возможным объяснить указанный эффект тройными столкновениями (двух молекул СО и атома He), в результате которых происходит колебательно-колебательный обмен между молекулами СО, а переход дефекта колебательной энергии на поступательные степени свободы осуществляется посредством атома гелия. Значительная вероятность данного процесса обусловлена малостью дефекта энергии и легкостью атома He.

Рассмотрим, например, смесь, содержащую 1 тор СО и 60 тор He. Число тройных столкновений в секунду равно

$$Z(\text{CO}, \text{CO}, \text{He}) = \tau_c \cdot Z(\text{CO}, \text{CO}) \cdot Z(\text{CO}, \text{He}) = 10^4,$$

где $\tau_c \cong (\alpha v)^{-1} \cong 10^{-12}$ сек – время столкновения двух молекул СО, α^{-1} и v – соответственно эффективный размер области взаимодействия и скорость молекул СО; $Z(\text{CO}, \text{CO}) = N \langle \sigma v \rangle \cong 10^7 \text{ сек}^{-1}$ – число столкновений молекул СО с другими молекулами СО в секунду, N и σ – концентрация и газокинетическое сечение столкновения молекул СО; $Z(\text{CO}, \text{He}) \cong 6 \cdot 10^8 \text{ сек}^{-1}$ – число столкновений молекулы СО с атомами He в секунду. Таким образом, величина $Z(\text{CO}, \text{CO}, \text{He})$ на три порядка меньше величины $Z(\text{CO}, \text{CO})$.

Оценим теперь вероятности $P_{\nu, \nu-1}^{\nu', \nu'+1}(\text{CO}, \text{CO}, \text{He})$ колебательных переходов в результате тройных столкновений. Согласно экспериментальным данным, приведенным в работе Мура /3/, вероятности колебательно-колебательных переходов ряда молекул с близкими массами (CO , NO , N_2 и т.д.) мало зависят от их сорта и определяются в основном величиной дефекта колебательной энергии сталкивающейся пары. Можно предположить, поэтому, что в случае колебательно-колебательно-поступательного перехода с участием атома гелия величина $P_{\nu, \nu-1}^{\nu', \nu'+1}(\text{CO}, \text{CO}, \text{He})$ определяется вероятностью колебательно-поступательного перехода, зависящей от дефекта энергии $\Delta E_{\nu, \nu-1}^{\nu', \nu'+1} = \Delta E_{\nu, \nu-1} - \Delta E_{\nu'+1, \nu'}$ и приведенной массы CO и He . Воспользовавшись формулами Герцфельда /4/, получим, что величина $P_{\nu, \nu-1}^{\nu', \nu'+1}(\text{CO}, \text{CO}, \text{He})$ приблизительно равна 10^{-1} .

В случае переходов между низкими колебательными уровнями, вероятности которых вследствие бинарных столкновений достаточно велики ($P_{10}^{01}(\text{CO}, \text{CO})$, например, равна $\sim 10^{-2}$ /2/), роль тройных столкновений незначительна. В случае же переходов между высокими колебательными уровнями картина существенно иная. Вероятность $P_{1,0}^{14,15}(\text{CO}, \text{CO})$, например, равна $\sim 10^{-4}$ /2/, так что $Z(\text{CO}, \text{CO}) \times P_{1,0}^{14,15}(\text{CO}, \text{CO}) = 10^3 \text{ сек}^{-1}$. Такое же значение принимает и скорость перехода колебательной энергии, вызванного тройными столкновениями. В случае переходов между еще более высокими уровнями переходы в результате тройных столкновений должны доминировать, приводя к более эффективному заселению этих уровней.

Поступила в редакцию
16 мая 1972 г.

Л и т е р а т у р а

1. M. L. Bhaumik. Appl. Phys. Letts., 17, 188 (1970).
2. Н. Н. Соболев, В. В. Сокозиков. Препринт ФИАН, № 67, 1972 г.
3. C. V. Moore. Accounts of Chemical Research, 2, 103 (1969).
4. K. F. Herzfeld, T. A. Litovitz. Absorption and Dispersion of Ultrasonic Waves, Academic Press, N.Y., 1959.