

ВРЕМЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИНВЕРСИИ НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДАХ  
МОЛЕКУЛ СО В ОТСУТСТВИЕ НАКАЧКИ

А. В. Анохин, С. В. Маркова, Г. Г. Петран

Механизм образования инверсии между колебательными уровнями основного электронного состояния молекулы СО привлекает в настоящее время всеобщий интерес. Его пока нельзя считать в достаточной мере выясненным, однако многие факты показывают, что в этом механизме существенную роль играет процесс релаксации энергии по колебательным уровням ангармонической молекулы, впервые теоретически рассмотренный в /1/. О характере и скорости этого процесса можно судить по наблюдениям восстановления инверсии после ее срыва.

Измерения времени восстановления инверсии на колебательных уровнях молекулы СО проводились в разных условиях эксперимента и различными методами в работах /2/ - /4/. Во всех этих работах измерения проводились в условиях непрерывной накачки (либо в непрерывном разряде, либо при смешении с активным азотом), так что процесс восстановления инверсии мог определяться не только перераспределением по колебательным уровням, но и накачкой на них. В связи с этим было желательно выяснить, происходит ли восстановление инверсии в отсутствие накачки и измерить в этих условиях время восстановления. В настоящей работе такие измерения проведены в послесвечении импульсного разряда в смесях СО-Не и СО-Н<sub>2</sub>. В наших предыдущих работах /5/, /6/ показано, что при импульсном возбуждении разряда в этих смесях инверсия на колебательных уровнях СО в основном развивается и достигает максимума в послесвечении, при этом время ее существования составляет более 10 мсек.

Эксперименты проводились с установкой, в общих чертах подобной описанной в /5/, /6/. Она содержала кварцевую разрядную трубку длиной 180 см, средняя часть которой охлаждалась потоком

холодного азота. Резонатор состоял из двух внешних аллюминированных зеркал. Одно из них, радиусом кривизны 3 м, имело отверстие для вывода излучения диаметром 3 мм. Второе, плоское, было установлено на оси мотора, вращением которого осуществлялся режим модулированной добротности.

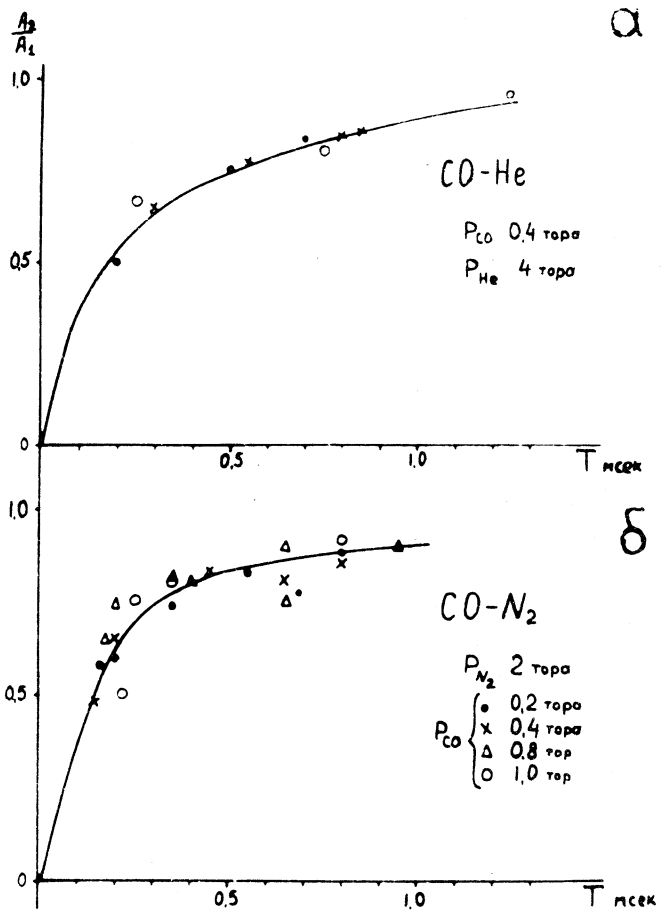
Для возбуждения импульсного разряда применялся стандартный модулятор, который на выходе давал импульсы переменной длительности напряжением до 26 кв. Запуск модулятора синхронизовался с вращением зеркала. Запускающий импульс мог иметь дополнительный сдвиг во времени в пределах от 0 до 10 мсек. Это позволяло включать модулированную добротность в любой момент как в течение импульса возбуждения, так и в послесвечении. Кроме того в системе запуска имелся делитель частоты, позволявший уменьшать частоту следования импульсов тока относительно частоты вращения зеркала от 2 до 10 раз. Это давало возможность работать с небольшой частотой повторения импульсов возбуждения и тем самым уменьшать нежелательный дополнительный нагрев рабочей смеси.

Для исследования времени восстановления инверсии мы применяли методику односторонних импульсов, описанную в работе /7/. Для этого сбоку от вращающегося зеркала резонатора было установлено два плоских зеркала, которые создавали два дополнительных резонатора. Меняя положение этих зеркал, можно было изменять задержку между импульсами модулированной добротности.

Практически, для того, чтобы избежать ошибок за счет разострижки зеркал, измерения проводились следующим образом: зеркало устанавливалось и калибровалось в определенном положении, а затем закрывалось и открывалось первое зеркало. При этом измерялась амплитуда второго импульса при наличии и при отсутствии первого. Такие измерения проводились для различных положений зеркал, что давало возможность проследить за восстановлением инверсии во времени. Для избежания побочных явлений, связанных с малостью времени существования резонатора /8/, мы использовали достаточно медленные скорости вращения зеркал резонатора ( $\sim 20$  гц).

Измерения были проведены со смесями CO с гелием или азотом. При этом варьировалось парциальное давление CO при постоянном давлении гелия или азота, или давление этих газов при постоянном давлении CO. Все измерения проводились с интегральными, не-

разложенными по спектру импульсами модулированной добротности. Средняя ошибка в измерении отношения амплитуд импульсов была не больше 20%.



Р и с. I. Зависимость амплитуды второго импульса от задержки.  
 а) Смесь CO - He (1 : 10),  $P_{CO} = 0,4$  тор, длительность импульса тока 2 мсек. б) Смесь CO-N<sub>2</sub>.  $P_N = 2$  тор,  $P_{CO} = 0,2 - 1$  тор, длительность импульса тока 1,4 мсек.

В качестве примера на рис. I (а) приведена зависимость амплитуды второго импульса от его задержки по отношению к первому для смеси CO-He при  $P_{CO} = 0,4$  тор,  $P_{He} = 4$  тор, длительности импульсов тока 2 мсек и частоте их повторения 5 гц. Различные точки, через которые проведена кривая, относятся к измерениям, сделанным в разные дни и при различной задержке системы одвоенных импульсов по отношению к импульсу тока. Тем не менее, точки ложатся на кривую с довольно небольшим разбросом. Если закон изменения интенсивности считать экспоненциальным, то время восстановления инверсии в этих условиях составляет  $\tau \sim 300$  мсек.

Исследование зависимости  $\tau$  от давления CO в смесях CO-He было проведено нами лишь в небольшом интервале давлений CO, от 0,2 до 1,0 тор, так как при парциальных давлениях CO больше 1 тора возникали сильные нестабильности разряда и генерации. В области давлений CO от 0,2 до 1 тор мы не наблюдали заметного изменения времени восстановления инверсии.

Зависимости времени восстановления инверсии от парциального давления гелия в интервале от 1 до 4 тор при постоянном давлении CO (1 тор) также не было обнаружено.

Несколько меньшее время восстановления ( $\sim 230$  мсек) получилось в смесях CO с азотом. Однако, ни изменение парциального давления CO от 0,2 до 1 тор при постоянном давлении азота 2 тор, ни, наоборот, изменение парциального давления азота от 1,2 до 2,8 тор при одном и том же давлении CO (0,6 тор) не оказали влияния на величину времени восстановления. На рис I (б) приведена амплитуда второго импульса в зависимости от его задержки относительно первого для смеси CO с азотом. Давление азота 2 тор (и везде постоянно), давление CO изменяется от 0,2 до 1 тор, длительность импульсов тока 1,4 мсек, частота повторения 7 гц. Различные значки относятся к разным смесям. Видно, что в пределах разброса экспериментальных точек различия во времени восстановления не наблюдаются.

Измерения, проведенные в разряде CO с добавками гелия или азота, показали, что в послесвечении импульсного разряда, когда накачка разрядом полностью отсутствует, наблюдается восстановление инверсии после ее срыва. При этом инверсия восстанавливается в течение всего времени своего существования. Восстанов-

ление инверсии происходит за времена порядка 300 пикосек в смесях с гелием и несколько быстрее в смесях с азотом. Времени восстановления не зависит от того, в какой момент после окончания разряда проводились измерения. Таким образом впервые наблюдалось восстановление инверсии непосредственно в процессе релаксации энергии по колебательным уровням молекулы CO.

В отличие от данных /2/, /3/ мы не наблюдали заметной зависимости времени восстановления от давления CO. Различие может быть связано с тем, что мы измеряли время восстановления инверсии в послесвечении, в отсутствие накачки. Следует заметить, что авторы работы /3/ лишь отмечают уменьшение времени восстановления с увеличением парциального давления CO в смеси, однако не приводят никаких количественных характеристик. Различие наших данных с результатами работы /2/, возможно, связано с тем, что мы проводили измерения в области более низких давлений CO (0,2 - 1,0 тор), в то время как в /2/ измерения проведены в области давлений 0,7 - 4 тор.

Эксперименты показывают, что кривая восстановления инверсии носит не вполне экспоненциальный характер. Это может быть результатом того факта, что измерялось интегральное излучение от многих переходов. Поскольку время восстановления инверсии должно зависеть от номера колебательного уровня, возможно, что это и приводит к неэкспоненциальному характеру наблюдаемой кривой. Это же обстоятельство может служить причиной расхождения величины  $\tau$  у разных авторов. В связи с этим желательно провести измерения времени восстановления инверсии для каждого перехода в отдельности. Желательно также расширить область экспериментальных условий (давление, состав смеси). Работа в этом направлении в настоящее время проводится.

Поступила в редакцию  
13 июня 1972 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. C. E. Treanor, J. W. Rich, R. G. Rehm. *J. Chem. Phys.*, **48**, 1798 (1968).
2. J. T. Yardley. *J. Chem. Phys.*, **52**, 3983 (1970).

3. R. M. Osgood, E. R. Nichols, W. C. Eppers, R. D. Petty.  
Appl. Phys. Letts., 15, 69 (1969).
4. F. Legay. Comp. Rend., 266 B, 554 (1968).
5. С. В. Маркова, Г. Г. Петраш, Л. А. Селезнева. Кратк. сообщ.  
по физике, № 2, 32 (1970).
6. А. В. Анохин, С. В. Маркова, Г. Г. Петраш. Кратк. сообщ. по  
физике, № 8, 15 (1970).
7. G. W. Flynn, M. A. Kovacs, C. K. Rhodes, A. Javan. Appl.  
Phys. Letts., 8, 63 (1966).
8. D. Meyerhofer. JEEE. J. Quant. Electr., QE-4, 762 (1968).