

риментальное значение $\Delta_3 = 86.5$ гц [3] определенно указывает на то, что коэффициенты k_{444} и k_{334} должны иметь высокие отрицательные значения (~ -100 см⁻¹).

Таким образом, постоянная Δ_3 удвоения вращательных уровней $|K|=3$ вместе с постоянными l -удвоения [11] могут быть использованы для вычисления кубических коэффициентов ангармоничности потенциальной энергии вырожденных колебаний молекул с симметрией C_{3v} .

В заключение отметим, что расщепление вырожденных вращательных уровней по рассматриваемому механизму имеет место и для симметричных волчков, принадлежащих другим точечным группам. Однако спектры таких молекул изучены еще недостаточно подробно и расщепление уровней не обнаружено.

Литература

- [1] С. Таунс, А. Шавлов. Радиоспектроскопия. ИЛ М., 1959.
- [2] Н. Н. Nielsen, D. M. Dennison. Phys. Rev., 72 1101, 1947.
- [3] P. B. Davies, R. M. Neumann, S. C. Wofsy, W. Klemperer. J. Chem. Phys., 155, 3564, 1971.
- [4] М. Р. Алиев, В. Т. Александян. Опт. и спектр., 24, 520, 1968; 24, 695, 1968; 24, 388, 1968.
- [5] Н. Н. Nielsen. Rev. Mod. Phys., 123, 90, 1951.
- [6] М. Р. Алиев. Опт. и спектр., 26, 851, 1969.
- [7] J. K. G. Watson. Molec. Phys., 15, 479, 1968.
- [8] L. Henry, G. Amat. Cahiers Phys., 119, 230, 1960.
- [9] Y. Morino, K. Kuchitsu, S. Yamamoto. Spectrochim. Acta, 24A, 335, 1968.
- [10] E. Schnabel, T. Törring, W. Wilke. Z. Physik, 188, 167, 1965.
- [11] T. Oka. J. Chem. Phys., 147, 5410, 1967.
- [12] J. H. Meal, S. R. Polo. J. Chem. Phys., 24, 1126, 1956.
- [13] М. Р. Алиев. Опт. и спектр., 31, 568, 1971.
- [14] K. Kuchitsu. J. Mol. Spectr., 7, 399, 1961.

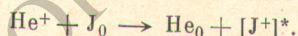
Поступило в Редакцию 5 апреля 1972 г.

УДК 537.52

ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО СЕЧЕНИЯ ПЕРЕЗАРЯДКИ $\text{He}^+ - J_0$

Ю. А. Толмачев

В 1964 г. был создан оптический квантовый генератор на смеси $\text{He} - J_2$ [1]. Предполагается, что основным механизмом накачки верхнего уровня в этом лазере является передача возбуждения в результате нерезонансной перезарядки



Подобные столкновения должны приводить к заселению относительно небольшой группы состояний иода, лежащей вблизи от уровня потенциальной энергии $\text{He}^+ (1^2S_{1/2})$. Несмотря на то что со времени создания лазера прошло уже несколько лет, данные об эффективных сечениях, характеризующих нерезонансную перезарядку в системе $\text{He}^+ - J_0$, отсутствуют. Основной причиной этого являются технические и физические трудности создания условий, в которых, с одной стороны, реакция перезарядки являлась бы единственным каналом заселения возбужденных уровней J^+ , а с другой — можно было бы с достаточной надежностью контролировать концентрации He^+ и J_0 .

С целью определения величины эффективного сечения перезарядки мы предприняли исследование газового разряда в смеси $\text{He} - J_2$. Для уменьшения возможного влияния электрофореза возбуждение разряда осуществлялось с помощью высокочастотного генератора. Некоторое разделение смеси в радиальном поле при этом сохранялось и было заметно по изменению цвета разряда вдоль радиуса. Использовались стеклянные разрядные трубки диаметром 8 и 25 мм, длиной 30–50 см. Приэлектродные области были отведены в сторону, и изучалось свечение части положительного столба длиной 10 см. Давление гелия менялось от 0 до 10 тор. Иод находился в отдельном отростке, помещенном в холодильник. Температура отростка могла изменяться от +30 до -30° С.

На пути решения задачи измерения эффективных сечений имеются две принципиальные трудности. Первая заключается в том, что ионный состав плазмы, содержащей иод, очень сложен [2], следовательно, затруднено измерение концентрации ионов гелия. Вторая трудность обусловлена необходимостью определения количества атомов иода, находящихся в разрядной трубке. Энергия связи молекулы $J_2 (1.54$ эв [3]) достаточно велика для того, чтобы при температурах, близких к комнатной, степень

диссоциации молекул была ничтожно мала. Диссоциирует молекула только при прохождении разрядного тока. Необходимо, следовательно, измерять концентрацию атомов непосредственно в самом разряде.

Для упрощения задачи анализа процессов возбуждения иона J^+ измерения проводились при малых добавках иода в гелий. Типичные условия измерения были следующие: $p(\text{He}) = 1 \div 2$ тор, $p(J_2) = 10^{-3} \div 10^{-2}$ тор. Концентрация свободных атомов иода оценивалась косвенным образом. Измерялось уменьшение заселенности основного состояния молекулы J_2 при включении разряда и предполагалось, что это изменение целиком обусловлено диссоциацией. Тогда

$$N(J_0) = 2\Delta N(J_2).$$

Концентрация молекул иода определялась по поглощению участка сплошного спектра в области $\lambda = 490$ нм [4]. Ввиду того что поглощение молекулы J_2 в наших условиях мало ($\kappa l \leq 0.01$), была разработана специальная методика, позволяющая измерить величины $\kappa l \sim 0.001$ с точностью не хуже 10%. Для этого разряд периодически прерывался и переменная составляющая сигнала от просвечивающей трубки лампы накаливания выделялась корреляционным методом. Обработка совокупности дискретных отсчетов сигнала производилась с помощью ЭВМ.

Электронная температура и концентрация измерялись методом двух зондов. Оценка вероятности тушения иона гелия иодом показала, что при небольших добавках иода концентрация ионов He^+ не должна меняться существенным образом по сравнению с разрядом в чистом гелии. В этом случае ионный ток на зонды будет обусловлен преимущественно ионами гелия.

Образовавшиеся в результате перезарядки возбужденные ионы иода излучают линии, расположенные в видимой области спектра. Определение абсолютных яркостей этих линий производилось путем сравнения с банд-лампой.

Величины эффективных сечений возбуждения отдельных линий вычислялись по формуле

$$\sigma = \frac{N_{\text{кв.}}}{N(\text{He}^+) N(J_0) v_a},$$

где $N_{\text{кв.}}$ — количество квантов, испущенных при переходах с высоковозбужденных состояний J^+ ; $N(\text{He}^+)$ и $N(J_0)$ — концентрация ионов гелия и нормальных атомов иода; v_a — средняя скорость столкновения частиц, равная приблизительно средней тепловой скорости атомов гелия. При выводе этой формулы предполагалось, что процессами электронного возбуждения верхних уровней J^+ можно пренебречь. Такое предположение подтверждается резким увеличением яркости группы линий III, на-

Уровень	λ , нм	$E_k - E_{\text{эв}}(\text{He}^+)$	$\sigma \cdot 10^{17}$, см ²	
			1	2
$6p' \ ^3P_2$	478.7	+0.218		0.45
	524.6			
	570.2			
$6p' \ ^3F_4$	534.5	+0.173	0.18	0.06
	515.0	+0.163	0.94	0.25
$6p' \ ^3F_3$	533.8			
	444.2	+0.084		0.09
$6p' \ ^3P_0$	571.0	+0.025		0.13
	448.8	-0.018	4.8	3.2
$6p' \ ^3D_1$	510.0			
	559.3			
	612.7			
$6p' \ ^3D_3$	658.5			
	549.8	-0.191		0.9
	559.1			
$6p' \ ^3D_2$	629.1			
	498.7	-0.221	3.0	3.7
	540.7			
$6p' \ ^3D_2$	576.1			
	662.2			
	480.6	-0.330	1.4	1.8
$6p' \ ^3F_2$	521.6			
	567.8			
	606.9			
	651.6			
	682.5			

чинающихся с уровней с потенциалом возбуждения $24.0 \div 24.5$ в при добавлении гелия к парам иода. Аналогичное явление было наблюдено раньше в полом катоде [5]. Кроме того, замена гелия на неон, при которой электронные параметры плазмы меняются незначительно [6], не дает роста яркости этих линий.

Результаты измерений приведены в таблице. Анализ ее показывает, что эффективное сечение перезарядки в системе $\text{He}^+ - \text{J}_0$ сильно зависит от взаимного расположения уровней He^+ и (J^+) . Для состояний J^+ , лежащих ниже потенциала ионизации гелия, эффективные сечения на порядок больше, чем для уровней, лежащих выше него. Такой эффект объясняется, по-видимому, тем, что между ионом гелия и легкополяризующимся атомом иода существуют значительные силы притяжения. Соответственно все точки квазипересечения терма системы $(\text{He}^+ - \text{J}_0)$ должны лежать ниже уровня He^+ ($1^2S_{1/2}$).

Точность проведенных измерений ограничивается, во-первых, тем, что учтены далеко не все переходы с рассмотренных уровней, во-вторых, погрешностями предложенной модели процессов, не учитывающей, в частности, прямое возбуждение электронным ударом, и, в-третьих, ошибками самого опыта. Оценка всех этих погрешностей показывает, что истинные сечения могут быть больше приведенных в таблице в два-три раза.

Автор пользуется случаем, чтобы выразить свою признательность С. Э. Фришу за непрерывное внимание к работе и обсуждение ее результатов.

Литература

- [1] R. Fowles, R. C. Jensen. Appl. Optics (Lett.), 3, 1191, 1964; Proc. IEEE, 52, 1350, 1964.
- [2] S. M. Philip, J. R. M. Coulter. Phys. Lett., 32A, 259, 1970.
- [3] Б. М. Смирнов. Атомные столкновения и элементарные процессы в плазме. Атомиздат, М., 1968.
- [4] P. Sulzer, K. Wieland. Helv. Physica Acta 25, 655, 1952.
- [5] И. А. Березин. Опт. и спектр., 26, 855, 1969.
- [6] О. П. Бочкова, Л. П. Разумовская, С. Э. Фриш. Опт. и спектр., 11, 697, 1961; О. П. Бочкова, Л. П. Разумовская. Опт. и спектр., 18, 777, 1965.

Поступило в Редакцию 26 апреля 1972 г.