

чаях [как следует из уравнения (2)] может быть значительно уменьшено путем оптимизации концентрации органолюминофора. Достаточно сказать, что по нашим измерениям в исследованных этанольных растворах фталимидов сечение  $S_1 \rightarrow S_n$ -поглощения в спектральной области 347 нм превышает сечение  $S_0 \rightarrow S_1$  в 5—10 раз, однако это в малой степени отразилось на  $\eta_{ВИ}$ , так как концентрация возбужденных молекул не превышала нескольких процентов от концентрации в основном состоянии.

В заключение статьи необходимо еще раз обратить внимание на малые различия приводимых в таблице величин  $\eta_{ВИ}$  и  $\eta_{ВИ}^{пр}$ . Это позволяет сделать вывод о том, что для исследуемых растворов родаминов и фталимидов предельный квантовый выход вынужденного излучения зависит преимущественно от соотношения сечений усиления и поглощения ВИ молекулами в первом возбужденном синглетном и триплетном состояниях.

#### Литература

- [1] Б. И. Степанов. «Методы расчета оптических квантовых генераторов» т. 1. «Наука и техника», Минск, 1966.
- [2] А. В. Аристов, В. С. Шевандин. Опт. и спектр., 43, 228, 1977.
- [3] А. В. Аристов, Ю. С. Маслюков. Опт. и спектр., 41, 241, 1976.
- [4] С. А. Мооге, С. Д. Деккер. J. Appl. Phys., 49, 47, 1978.
- [5] А. В. Аристов, Н. Г. Бахшиев, В. А. Кузич, И. В. Питерская. Опт. и спектр., 30, 143, 1971.
- [6] Ю. И. Бубенков, С. А. Тихомиров, Г. Б. Толсторожев. ДАН БССР, 22, 1069, 1978.
- [7] E. Sahar, D. Trekes. IEEE J. Quant. Electr., 13, 962, 1977.
- [8] Г. А. Абакумов, С. А. Воробьев, А. П. Симонов. Квант. электр., 4, 1926, 1977.

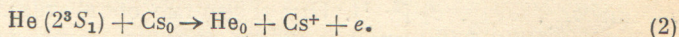
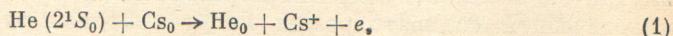
Поступило в Редакцию 20 июня 1979 г.

УДК 539.184

### ИЗМЕРЕНИЕ КОНСТАНТЫ СКОРОСТИ ИОНИЗАЦИИ ПЕННИНГА АТОМОВ ЦЕЗИЯ АТОМАМИ He ( $2^1,^3S$ ) ПРИ ТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГИЯХ

Ю. А. Толмачев и Д. Фогель

Ионизация Пеннинга является одним из наиболее изученных процессов неупругих столкновений атомных частиц. Однако имеются лишь разрозненные данные о сечениях взаимодействия метастабильных атомов инертных газов с атомами щелочных металлов — одной из самых простых с точки зрения теоретического анализа систем. Экспериментальное исследование таких столкновений при тепловых энергиях представляет интерес для сопоставления с выводами теории. Кроме того, надежная информация о величинах сечений этих реакций необходима для физики плазмы газового разряда в смесях инертных газов с парами металлов. В нашей работе были изучены столкновения метастабильных атомов гелия с нормальными атомами цезия



Для измерения констант скорости этих реакций были использованы спектроскопические методы. Изучалась зависимость эффективной вероятности разрушения метастабильных состояний гелия от концентрации атомов цезия в распадающейся плазме маломощного импульсного разряда. Использовались два различных метода измерений — по изменению поглощения линий гелия, оканчивающихся на метастабильных уровнях,

и по излучению ионных линий цезия, возбуждающихся в ходе реакций (1) и (2).

Разряд возбуждался в трубке диаметром 2.0 см, длиной 24 см. Давление гелия изменялось от 0.5 до 5 тор, основные измерения были выполнены при  $p_{\text{He}} = 2.5$  тор. Цезий помещался в отдельном отростке. Регулировкой температуры этого отростка и разрядной трубки давление паров цезия варьировалось в диапазоне  $10^{-5} - 10^{-4}$  тор. Контроль концентрации нормальных атомов цезия осуществлялся по поглощению линий главной серии, испускаемых вспомогательным источником (шариковой высокочастотной лампой), а также по реабсорбции — методом зеркала за трубкой [1]. Импульсы тока через разрядную трубку имели длительность 30—600 мкс и амплитуду 0.2—25 мА. Длительность заднего фронта не превосходила 1 мкс. В смеси наблюдался очень сильный электрофорез, и для уменьшения его влияния измерения проводились при малых плотностях тока с малой частотой повторения импульсов. Все количественные данные были получены при среднем токе через трубку не более 0.05 мА, что позволило практически исключить влияние электрофореза.

Было исследовано послесвечение ряда линий спектров He I, Cs I и Cs II, а также распад заселенности синглетного и триплетного метастабильного состояния гелия в диапазоне времен задержки 0—10 мс после обрыва импульса тока.

Оценки вероятностей различных процессов разрушения заселенности уровня He ( $2^1S_0$ ), выполненные с помощью хорошо известных для гелия констант скорости неупругих столкновений [2], показывают, что разрушение заселенности синглетного состояния происходит вследствие диффузии к стенкам разрядной трубки, ионизации Пеннинга [реакция (1)] и ударов второго рода с электронами, приводящих к переходу из синглетного состояния в триплетное. Последний процесс не сказывается заметным образом на заселении уровня He ( $2^3S_1$ ), поскольку начальная заселенность этого состояния на порядок превосходит синглетное. Уровень He ( $2^3S_1$ ) разрушается вследствие диффузии и реакции Пеннинга (2). В раннем послесвечении, когда заселенность этого состояния еще велика, проявляется также тушение вследствие столкновений двух метастабильных атомов. Рекомбинационное заселение обоих метастабильных состояний в послесвечении пренебрежимо мало, поскольку концентрация заряженных частиц в наших условиях всегда была менее  $10^{10}$  см $^{-3}$ .

Среднее время жизни атомов He ( $2^1S_0$ ) в наших условиях значительно меньше характерного времени изменения концентрации электронов. Поэтому распад заселенности уровня He ( $2^1S_0$ ) происходит приближенно по экспоненциальному закону  $N(t) = N_0 e^{-\gamma_s t}$  с вероятностью

$$\gamma_s = \gamma_s^{\text{диф}} + n_e \langle \sigma v_e \rangle_{st} + N(Cs_0) \langle \sigma v_a \rangle_s. \quad (3)$$

Здесь  $\gamma_s^{\text{диф}}$  — вероятность диффузионных потерь,  $\langle \sigma v_e \rangle_{st}$  — константа скорости неупругих столкновений с электронами,  $\langle \sigma v_a \rangle_s$  — полная константа скорости ионизации Пеннинга для состояния He ( $2^1S_0$ ). Индекс  $s$  означает, что все перечисленные величины относятся к синглетному состоянию.

Спад концентрации атомов He ( $2^3S_1$ ) в дальнем послесвечении также происходит по экспоненциальному закону с вероятностью

$$\gamma_t = \gamma_t^{\text{диф}} + N(Cs_0) \langle \sigma v_a \rangle_t. \quad (4)$$

Обозначения эквивалентны предыдущим, индекс  $t$  означает триплетное состояние.

На рис. 1 показано изменение заселенности уровней He ( $2^1S_0$ ) и He ( $2^3S_1$ ), а также изменение яркости двух линий Cs II, испускаемых при переходах с уровней, которые, исходя из энергетических соображений, могут заселяться в ходе реакций (1) и (2). Зависимость вероятности тушения метастабильных уровней гелия от концентрации атомов цезия показана на рис. 2. Линейная связь между  $\gamma$  и  $N(Cs_0)$  хорошо выполняется,

найденные из графиков значения констант скорости реакций (1) и (2) равны соответственно:  $\langle \sigma v_a \rangle_s = (1.5 \pm 0.6) \cdot 10^{-9} \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$ ,  $\langle \sigma v_a \rangle_t = (0.44 \pm 0.16) \cdot 10^{-9} \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$ . Значение скорости тушения триплетного состояния, полученное нами, близко к данным работы [3]  $\langle \sigma v_a \rangle_t =$

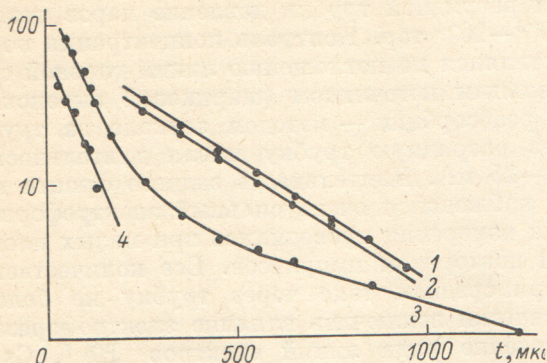


Рис. 1. Изменение заселенности уровней He и Cs<sup>+</sup> в послесвечении.

1 — яркость линии Cs<sup>+</sup> 522.7 нм, 2 — концентрация атомов He (2<sup>3</sup>S<sub>1</sub>), 3 — яркость линии Cs<sup>+</sup> 556.3 нм, 4 — концентрация атомов He (2<sup>1</sup>S<sub>0</sub>). Условия измерения: 1, 2 — N(Cs<sub>0</sub>) = 4.5 · 10<sup>12</sup> см<sup>-3</sup>, i = 2.1 мА, PHe = 2.3 тор; 3, 4 — N(Cs<sub>0</sub>) = 9.1 · 10<sup>12</sup> см<sup>-3</sup>, i = 15 мА, PHe = 2.3 тор.

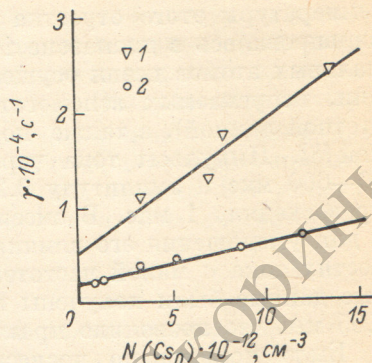


Рис. 2. Зависимость вероятностей распада от концентрации атомов цезия.

1 — He (2<sup>3</sup>S<sub>0</sub>), 2 — He (2<sup>1</sup>S<sub>0</sub>).

$= 0.45 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ . В то же время оно в два раза меньше, чем полученное в работе [4], однако различие находится в пределах тех ошибок, которые приводят авторы этой статьи. Данные по тушению синглетного метастабильного состояния атома гелия атомами цезия получены нами впервые.

Авторы выражают свою признательность Н. П. Пенкину за внимание к работе и обсуждение ее результатов.

#### Литература

- [1] Спектроскопия газоразрядной плазмы. «Наука», Л., 1970.
- [2] R. Deloche, P. Monchicourt, M. Cheret, F. Lambert. Phys. Rev. A, 13, 1140, 1976.
- [3] C. E. Johnson, C. A. Tipton, H. G. Robinson. J. Phys. B, 11, 927, 1978.
- [4] R. S. Bergman, L. M. Chanin. Phys. Rev. A, B, 1076, 1973.

Поступило в Редакцию 20 июня 1979 г.

УДК 535.317.1

### ЗАПИСЬ ИНФРАКРАСНЫХ ГОЛОГРАММ В ОБЛАСТИ 10.6 мкм НА ТРИАЦЕТАТЦЕЛЛЮЛОЗЕ

Э. М. Бархударов, В. Р. Березовский, М. И. Бродзели,  
А. М. Гилельс, И. А. Елигулашвили, Т. Н. Махарадзе,  
М. И. Тактакишвили и Т. Я. Челидзе

Проводимые в последние годы работы по инфракрасной (ИК) голографии с записью голограмм излучением импульсного СО<sub>2</sub>-лазера с длиной волны 10.6 мкм представляют значительный интерес для диагностики плазмы, исследования ИК оптических материалов и др. Важной составной частью таких работ является поиск новых регистрирующих сред с улучшенными характеристиками.