

УДК: 539.196; 535.37

Э. Г. БАТЫРБЕКОВ

## УЧАСТИЕ ГЕЛИЯ В ДЕЗАКТИВАЦИИ СОСТОЯНИЯ $3p'[1/2]_0$ АТОМА НЕОНА

Исследовано влияние гелия на кинетику заселения верхнего рабочего уровня ( $3p'[1/2]_0$  NeI) лазера на атомарных переходах неона с  $\lambda = 585,2$  нм. Проведены измерения констант скоростей дезактивации этого уровня в столкновениях с атомами гелия и неона.

Оптимальными для генерации на  $3p-3s$  переходах атомов неона с прямой ядерной накачкой являются смеси с большим (до 3 Атм) содержанием гелия [1-3]. В связи с этим особый интерес представляют исследования влияния гелия на заселение верхнего лазерного уровня – состояния  $3p'[1/2]_0$  атома неона.

На рис.1 показаны зависимости интенсивности линии с  $\lambda=585.2$  нм от давления неона  $P_{Ne}$  в координатах  $P_{\text{эфф}}/I$  от  $P_{Ne}$  при различных давлениях буферного газа  $P_{He}$ , где  $I$  - интенсивность излучения с  $\lambda = 585.2$  нм,  $P_{\text{эфф}}$  - эффективное давление Не-смеси, которое определялось с учетом эффективности торможения  $\alpha$ -частицами:

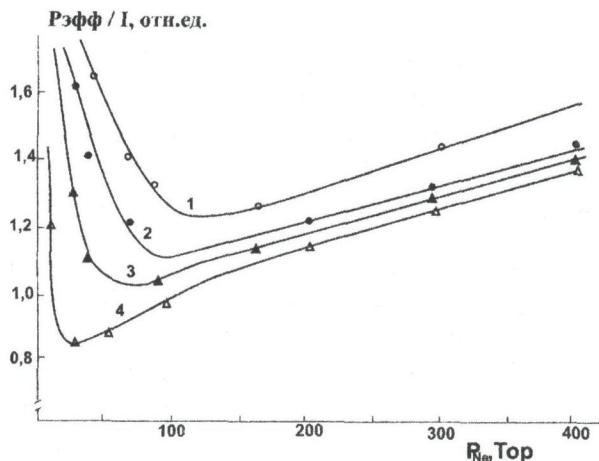


Рис. 1. Интенсивность линии с  $\lambda = 585.2$  нм, как функция давления неона  $P_{\text{Ne}}$  при различных давлениях буферного газа  $P_{\text{He}} = 5$  (1), 4 (2), 3 (3) и 0,5 (4) атм.

$P_{\text{эфф}} = P_{\text{He}} + P_{\text{Ne}} \cdot l_{\text{He}} / l_{\text{Ne}}$ , где  $l_{\text{He}}$  и  $l_{\text{Ne}}$  - соответственно длины свободного пробега  $\alpha$ -частиц с энергией 5 МэВ в He и Ne. Видно, что для всех давлений гелия зависимости имеют схожий характер. Сначала наблюдается спад до некоторой критической точки, характеризующейся концентрацией неона -  $P_{\text{кр}}$ , подъем при дальнейшем увеличении концентрации Ne до некоторого значения  $P_p$  и линейная зависимость от давления Ne при  $P_{\text{Ne}} > P_p$ . Причем  $P_{\text{кр}}$  имеет гиперболическую зависимость от давления He,  $P_p$ , при этом фактически не меняется.

Указанный характер зависимостей определяется следующими процессами. Рост значения  $P_{\text{эфф}} / I$  с увеличением содержания He в смеси, объясняется увеличением концентрации электронов и их термолизацией.  $P_{\text{кр}}$  характеризует равенство скоростей V-T релаксации ионов  $\text{Ne}_2^+$  и их диссоциативной рекомбинации. В случае, когда  $P_{\text{He}} \gg P_{\text{Ne}}$ , пренебрегая зависимостью константы скорости диссоциативной рекомбинации  $k_g$  от температуры электронов  $T_e$  имеем:

$$P_{\text{кр}} \sim \frac{k_g n_e}{k_e} \sim \frac{k_g}{k_s} \sqrt{\frac{S}{k_g}} \sim \sqrt{\frac{P_{\text{He}}}{e}}, \quad (1)$$

где  $S$  - скорость ионизации;  $n_e$  - концентрация электронов. С ростом давления He изменяется  $T_e$ , что сказывается на процессе диссоциативной рекомбинации и несколько искажает корневую зависимость  $P_{\text{кр}}$  от  $P_{\text{He}}$ .

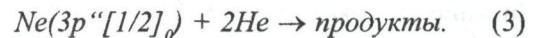
Слабая зависимость угла наклона прямых на участке  $P_{\text{Ne}} > P_p$  от давления He демонстрирует несущественное влияние процесса



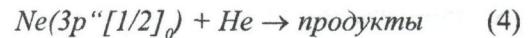
на заселенность состояния  $3p'[1/2]_0$  при наших давлениях. Оценка константы скорости этого процесса по результатам, приведенным на рис. 1 дает значение  $k_9 \sim 8 \times 10^{-33} \text{ см}^6 \text{с}^{-1}$ .

Рост значения  $P_{\text{эфф}} / I$  с увеличением содержания буферного газа при фиксированном давлении Ne объясняется дезактивацией состояния  $3p'[1/2]_0$  в столкновениях с атомами He.

Измеренная нами зависимость интенсивности излучения с  $\lambda = 585.2$  нм от квадрата давления He (в координатах  $P/I$  от  $P_{\text{He}}^2$ ) в смеси He-Ne (300 Top) так же носила линейный характер. Линейный характер зависимости демонстрирует доминирующее влияние на заселенность состояния  $3p'[1/2]_0$  в указанном диапазоне давлений буферного газа процессов дезактивации в трехчастичных столкновениях с атомами He:



Полученная зависимость позволила измерить значение константы скорости процесса (3)  $k_{10} = -0,2 \times 10^{-32} \text{ см}^6 \text{с}^{-1}$ . Оценка константы скорости дезактивации в двухчастичных столкновениях:



дает значение  $k_{11} \leq 10^{-13} \text{ см}^3 \text{с}^{-1}$ .

На рис. 2 приведены зависимости доли излучения с уровнями  $3p'[1/2]_0$ ,  $3p[3/2]_2$  и  $3p[1/2]_1$  в общем потоке излучения системы Зр уровней неона. Согласно рис. 2 небольшие добавки He (~ 100 Top) при фиксированном значении содержания Ne

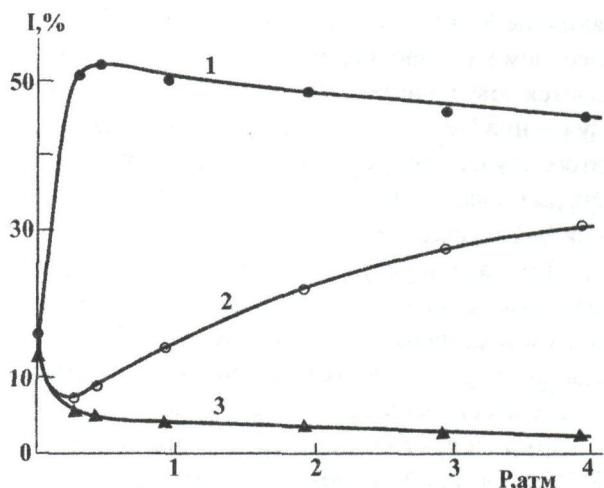
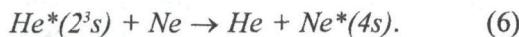
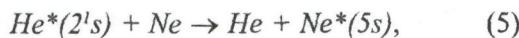


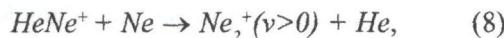
Рис. 2. Зависимость доли излучения с уровнями  $3p[1/2]_1$ , (1),  $3p'[1/2]_0$  (2) и  $3p[3/2]_2$  (3) от давления гелия в смеси He + Ne (30 Top)

(в нашем случае  $P_{Ne} \approx 30$  Тор) приводят к уменьшению заселения состояния  $3p'[1/2]_0$  и к резкому увеличению заселенности состояния  $3p[1/2]_1$ . Дальнейшее увеличение давления Не ( $P_{Ne} \geq 300$  Тор) сопровождается плавным уменьшением заселения состояния  $3p[1/2]_1$  и росту заселения  $3p'[1/2]_0$ . Резкий подъем заселения состояния Зр можно объяснить включением нового канала его заселения с добавлением гелия к неону. Таким каналом может служить, например резонансная передача возбуждения от метастабильных атомов гелия 5s и 4s состояниям NeI:



Образованные в результате указанных реакций возбужденные атомы неона в столкновениях с нормальными атомами Не и Не переводятся в нижние состояния систем 5s и 4s уровней NeI соответственно, радиационные переходы с которых заселяют в основном состояние  $3p[1/2]_1$ .

С ростом давления Не ( $P_{Ne} \geq 300$  Тор) усиливается поток заселения состояния  $3p'[1/2]_0$ , как за счет увеличения концентрации электронов и их термолизации, так и за счет повышения степени колебательного возбуждения ионов  $Ne_2^+$  в процессах:



что определяет заселенность состояния  $3p'[1/2]_0$ .

В Не-Не смесях с содержанием  $\sim 2$  Атм Не влияние Не на заселенность Зр уровней NeI слабее, чем в случае чистого Не, что так же объясняется повышением степени колебательного возбуждения  $Ne_2^+$  в процессах (7) и (8), поскольку в этом случае требуется увеличение содержания Не для обеспечения заметного влияния процессов V-T релаксации.

Тем самым результаты исследований гелий-неоновых смесей подтверждают предложение о влиянии степени колебательного возбуждения молекулярных ионов на селективность по уровню заселения системы Зр уровней атомов неона.

Рост селективности заселения состояния  $3p'[1/2]_0$  в гелий-неоновых смесях определяется повышением степени колебательного возбужде-

ния молекулярных ионов  $Ne_2^+$  в цепочке реакций (7,8), а не наоборот V-T релаксацией  $Ne_2^+$  в двухчастичных столкновениях с атомами Не.

В пользу этого свидетельствует так же и тот факт, что выводы и результаты, полученные в настоящей работе, достаточно хорошо согласуются с результатами экспериментов по исследованию выходных характеристик лазеров на Зр-3s переходах NeI при возбуждении электронным пучком.

То, что оптимальной для лазера с  $\lambda = 585.2$  нм является смесь с большим содержанием Не можно объяснить помимо других причин повышением степени колебательного возбуждения  $Ne_2^+$  и, как следствие, ростом селективности заселения состояния  $3p'[1/2]_0$ . Содержание Не в этой смеси ограничено как дезактивацией состояния  $3p'[1/2]_0$  в процессах столкновения с атомами Не, так и V-T релаксацией  $Ne_2^+$  в основное колебательное состояние ( $v=0$ ), диссоциативная рекомбинация с которого заселяет состояние  $3p[1/2]_1$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Hebner G.A., Hays G.H.* Fission-fragment-excited lasing at 585.3 nm in He/Ne/Ar gas mixtures // Appl. Phys. 1990. V. 57, № 21. P. 2175.
2. *Войнов А.В., Кривоносов В.Н., Мельников С.П.* и др. Квазинепрерывная генерация на переходах Зр-3s атома неона при возбуждении смесей инертных газов осколками деления урана // Доклады АН СССР. 1990. Т. 312, № 4. С. 864-867.
3. *Копай-Гора А.П., Миськевич А.И., Саламаха Б.С.* Генерация лазерного излучения с длиной волны 585,2 нм в плотной плазме  $^3\text{He}-\text{Ne}-\text{Ar}$  // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16, вып. 11. С. 23-25.

## Резюме

( $3p'[1/2]_0$  NeI) лазердін жоғарғы жұмыс деңгейін орналасу кинетикасына неонның  $\lambda = 585,2$  нм атомарлы ауысуларындағы гелийдің ықпалы зерттелген. Жылдамдық константалардың гелиймен неон атомдарымен соқтығысқанында осы деңгейдің дезактивациясында еткізілген өлшеулер жүргізілген.

## Summary

Article is devoted to research of helium influence on population kinetics of the laser upper operating level ( $3p'[1/2]_0$  NeI) on atomic transitions of a neon with  $\lambda = 585.2$  nm. Measurements of constants of deactivation velocity of this level in collisions with atoms of helium and neon have been carried out.

Поступила 6.10.08г.