

УДК 533.9 : 546.293

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТУПЕНЧАТОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ
В ПЛАЗМЕ ПОСЛЕСВЕЧЕНИЯ АРГОНА

Баранов И. Ю., Колоколов Н. Б., Пенкин Н. П.

В плазме послесвечения аргона исследовано возбуждение уровней конфигурации $3p^54p$ электронным ударом с отдельных уровней конфигурации $3p^54s$. Температура электронов изменялась в диапазоне 3000—11 000 К специальными импульсами напряжений, давление составляло 110 и 190 Па, диаметр разрядной трубки 3 см. Определены параметры для расчета констант скоростей и сечений исследованных процессов при произвольной электронной температуре и энергии. Используемый в работе метод нахождения температурной зависимости парциальных констант ступенчатого возбуждения оказался эффективным и может быть применен для аналогичных исследований в других газах.

Изучению ступенчатых процессов возбуждения в инертных газах посвящен ряд работ [1-8]. Большинство из них выполнено в условиях стационарного разряда при фиксированной средней энергии электронов. Константы скоростей или эффективные сечения ступенчатого возбуждения определялись в этих работах из уравнения баланса для исследуемого уровня, при этом возможно появление ошибок, связанных с неточным или недостаточно полным учетом происходящих в плазме стационарного разряда элементарных процессов. Как правило, находились константы скоростей для возбуждения сразу из нескольких нижних состояний. Такие константы, очевидно, должны зависеть от условий измерений. Неудивительно поэтому, что различия результатов для некоторых уровней по разным работам достигают целого порядка величины. Что касается аргона, то ступенчатое возбуждение в нем исследовалось лишь в [5, 6], причем возбуждение уровней интересующей нас системы $3p^54p$ рассматривалось только в [6]. В ней из предположения, что энергетическая зависимость сечений ступенчатого возбуждения уровней конфигурации $3p^54p$ с уровней конфигурации $3p^54s$ имеет форму ступеньки, получены величины соответствующих сечений, которые для возбуждения различных уровней системы $3p^54p$ лежат в интервале $(6-0.7) \cdot 10^{-16}$ см², что в 3—5 раз меньше соответствующих борновских сечений в максимуме [9].

При исследованиях в условиях послесвечения появляется возможность исключить из уравнения баланса прямые и каскадные переходы и тем самым упростить задачу, а также увеличить точность по сравнению с исследованиями в стационарном разряде. Концентрации электронов и метастабильных атомов остаются в плазме послесвечения достаточно высокими. Использование в этом случае метода подогрева электронов позволяет изучить зависимость эффективных сечений и констант скоростей ступенчатого возбуждения от электронной температуры. Этот метод был предложен в [8], где исследовалась зависимость от температуры электронов эффективного сечения возбуждения уровня гелия 2^1S_0 с уровня 2^3S_1 .

В настоящей работе в плазме послесвечения аргона данным методом проведены исследования температурной зависимости констант ступенчатого возбуждения 8 верхних уровней конфигурации $3p^54p$ с уровней конфигурации $3p^54s$ в интервале электронных температур от $3 \cdot 10^3$ до $11 \cdot 10^3$ К (функция распределения электронов, как показали специальные исследования, была равновесной [10]). Такие измерения, выполненные при различных относительных концентрациях атомов в состояниях $3p^54s$, позволили, в свою очередь, определить

парциальные константы ступенчатого возбуждения указанных верхних уровней с отдельных уровней конфигурации $3p^54s$ и проанализировать возможные виды энергетической зависимости соответствующих им сечений в припороговой области.

Константы скорости ступенчатого возбуждения β_{mk} находились из уравнения баланса для исследуемого уровня k конфигурации $3p^54p$, которое в условиях наших экспериментов имеет простой вид [11]

$$n_e \sum_{m=1}^4 N_m \beta_{mk} = N_k \sum_{m=1}^4 A_{km}, \quad (1)$$

где n_e , N_m , N_k — концентрация электронов и атомов в возбужденных состояниях на уровнях конфигураций $3p^54s$ и $3p^54p$ соответственно; A_{km} — вероятности радиационных переходов.

Из этого уравнения можно определить эффективную константу скорости ступенчатого возбуждения уровня k с системы уровней $3p^54s$

$$\beta_{k\sigma} = \frac{\sum_{m=1}^4 N_m \beta_{mk}}{\sum_{m=1}^4 N_m} = \frac{N_k \sum_{m=1}^4 A_{km}}{n_e \sum_{m=1}^4 N_m}. \quad (2)$$

Вероятности радиационных переходов A_{km} известны [12]. Концентрации N_k и N_m измерялись методами лучеиспускания и относительного поглощения соответственно. Концентрация электронов измерялась по току проводимости в зондирующем импульсе [13], электронная температура — двойным дифференцированием вольтамперной характеристики цилиндрического зонда. Процессы пленения излучения и перемешивания между уровнями конфигурации $3p^54s$ приводят к значительному увеличению эффективного времени жизни, а следовательно, и к заселенности резонансных уровней $3P_1$ и $1P_1$, поэтому в условиях нашего эксперимента ступенчатое возбуждение с этих уровней может оказаться существенным.

Эксперименты по определению констант β_{mk} проводились при подогревающих импульсах длительностью 15 и 90 мкс в трубке диаметром 3 см, частота следования импульсов варьировалась в пределах 2—5 кГц, задержка подогревающего импульса после обрыва основного равнялась $\tau_3 = 60 \div 300$ мкс, значение тока в основном импульсе составляло 30, 90, 110 мА, давление аргона — 110 и 190 Па. Прежде чем перейти к результатам экспериментов, кратко остановимся на выводах, следующих из теоретических расчетов интересующих нас величин. Расчет констант скоростей ступенчатого возбуждения для температур электронов $T_e = 10^3 \div 10^4$ К проводился методом Борна с помощью таблиц и формул [9]. Константы возбуждения уровней $p_1 - p_5$ с уровня $3P_2$ оказываются нулевыми. В условиях наших экспериментов уровни p_6 , p_9 , p_{10} , как следует из результатов расчета, заселяются в основном с уровня $3P_2$; p_7 и p_8 эффективно заселяются с $3P_2$ и $3P_1$; p_1 , p_3 , p_5 — с $3P_1$, а p_2 и p_4 — с $3P_0$.

Результаты проведенных измерений для некоторых наиболее характерных режимов представлены на рис. 1, 2. Случайные ошибки приведенных результатов не превышают 15 %. Поскольку времена жизни уровней системы $3p^54p$ близки по величине, то их относительная заселенность будет качественно соответствовать отношению эффективных констант ступенчатого возбуждения. Будем рассматривать концентрации атомов на уровнях системы $3p^54s$ по отношению к концентрации атомов на уровне $3P_2$, а концентрации атомов на уровнях системы $3p^54p$ по отношению к концентрации атомов на уровне p_6 . Полученные экспериментальные результаты показывают, что относительная заселенность уровней p_1 , p_3 , p_5 , p_7 , p_8 увеличивается с ростом относительной концентрации на уровне $3P_1$ в соответствии с расчетом констант ступенчатого возбуждения по методу Борна. В то же время поведение относительной заселенности уровней p_2 и p_4 не позволяет сделать однозначный вывод о заселении этих уровней в основном с уровня $3P_0$.

Экспериментально наблюдавшийся рост концентрации атомов N_k на уровнях $3p^54p$ от температуры электронов позволяет заключить, что температурная зависимость N_k близка к линейной в интервале от 5000 до 11 000 К. Так как измерения показали, что при увеличении T_e концентрации возбужденных атомов на уровнях $3p^54s$ не изменяются, то можно сделать вывод, что температурная зависимость эффективных констант ступенчатого возбуждения $\beta_{k\alpha}$ близка к линейной для $5000 \text{ К} < T_e < 11\,000 \text{ К}$. Как показали расчеты парциальных констант β_{mk} , выполненные с различными типами сечений, для любого реально возможного сечения исследуемых процессов константы β_{mk} практически линейно

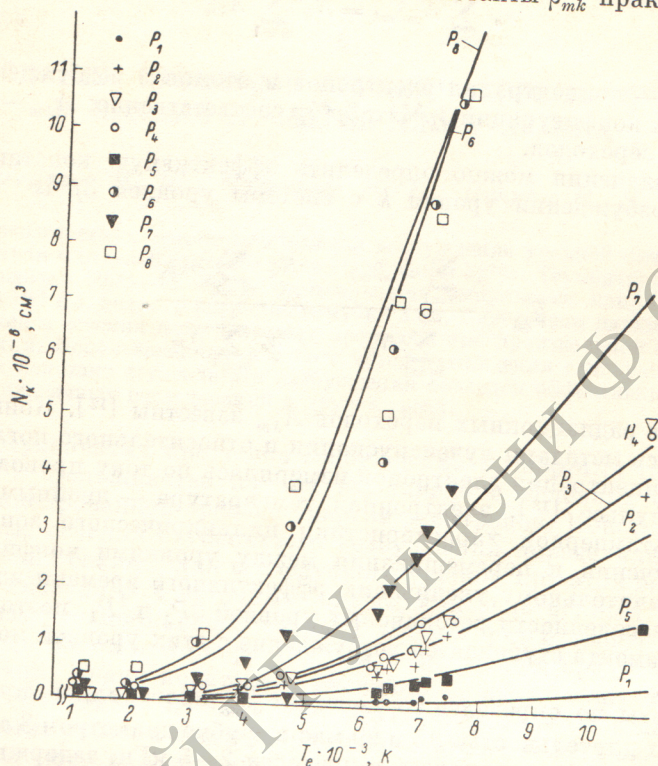


Рис. 1. Зависимость заселенности уровней конфигурации $3p^54p$ от температуры электронов. Условия измерений: $N_m(^3P_2) = 7.2 \cdot 10^{10}$, $N_m(^3P_1) = 8.6 \cdot 10^9$, $N_m(^3P_0) = 3.1 \cdot 10^9$, $N_m(^1P_1) = 1.5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$; $J = 90 \text{ мА}$, $P = 110 \text{ Па}$, $\tau_3 = 200 \text{ нс}$.

зависят от температуры электронов в интервале от 5000 до 11 000 К. Проведенный в борновском приближении расчет парциальных констант β_{mk} дает близкую к линейной температурную зависимость β_{mk} при $T_e > 5000 \text{ К}$, причем относительные парциальные константы $\tilde{\beta}_{mk} = \beta_{mk}/\beta_{26}$ (где β_{26} — константа возбуждения уровня p_6 с уровня 3P_2) с точностью до 5 % не меняются для всех переходов в интервале от 5000 до 11 000 К. Составленные отношения N_k/N_6 для всех режимов также не зависят от T_e при $T_e > 5000 \text{ К}$ (в пределах случайной ошибки: 10–15 %). Учитывая эти обстоятельства, был сделан вывод, что реальные парциальные константы линейно зависят от температуры электронов в интервале $5000 \text{ К} < T_e < 11\,000 \text{ К}$, а реальные относительные парциальные константы не зависят от температуры электронов в этом интервале.

При изменении условий измерений соотношения между заселенностями уровней конфигурации $3p^54s$ менялись. Определенные по формуле (2) эффективные константы возбуждения уровня p_6 не зависели (в пределах случайной ошибки $\approx 20\%$) от соотношения концентраций на уровнях нижней системы. Это означает, что уровень p_6 в наших условиях в основном заселяется с уровня 3P_2 . Расчет констант скорости возбуждения уровня p_6 с уровня 3P_2 в приближении Борна, как уже говорилось, приводит к такому же выводу. Эффективные константы возбуждения остальных исследованных уровней сильно зависят от условий измерений, следовательно, данные уровни могут существенно засе-

ляться с нескольких нижних, и определение парциальных констант в этом случае представляет сложную задачу, которая решалась следующим образом. По данным измерений в режимах с различным соотношением концентраций атомов на уровнях $3p^54s$ были составлены для каждого уровня k конфигурации

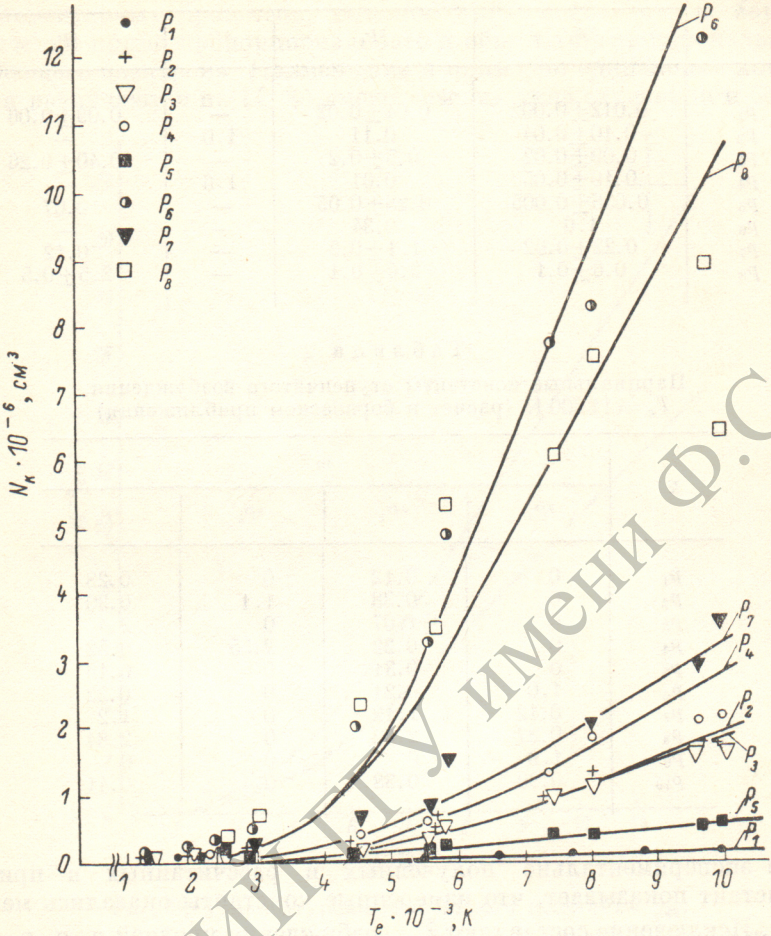


Рис. 2. Зависимость заселенности уровней конфигурации $3p^54p$ от температуры электронов. Условия измерений: $N_m(^3P_2)=1.2 \cdot 10^{11}$, $N_m(^3P_1)=6.4 \cdot 10^9$, $N_m(^3P_0)=7.7 \cdot 10^9$, $N_m(^1P_1)=6.0 \cdot 10^8$ см⁻³; $J=30$ мА, $P=110$ Па, $\tau_s=200$ мкс.

$3p^54p$ и решены методом наименьших квадратов системы уравнений следующего типа:

$$\frac{N_k \sum_{m=1}^4 A_{km}}{N_6 \sum_{m=1}^4 A_{6m}} = \frac{N_1 \beta_{1k} + N_2 \beta_{2k} + N_3 \beta_{3k}}{N_2 \beta_{26}} = \frac{\beta_{2k}}{\beta_{26}} + \frac{N_1 \beta_{1k}}{N_2 \beta_{26}} + \frac{N_3 \beta_{3k}}{N_2 \beta_{26}}. \tag{3}$$

Здесь N_1 — концентрация на уровне 3P_1 , N_2 — концентрация на уровне 3P_2 , N_3 — концентрация на уровне 3P_0 в системах уравнений, составленных для уровней p_2 и p_4 , и концентрация на уровне 1P_1 в системах уравнений, составленных для уровней p_1 , p_3 , p_5 , p_7 , p_8 . Полученные относительные константы β_{mk}/β_{26} скоростей ступенчатого возбуждения уровней конфигурации $3p^54p$ представлены в табл. 1.

Для сравнения полученных результатов с рассчитанными по методу Борна в табл. 2 приведены расчетные отношения парциальных констант к константе скорости ступенчатого возбуждения уровня p_6 с уровня 3P_2 при температуре $T_e=11\,600$ К.

Таблица 1

Парциальные константы ступенчатого возбуждения
в интервале электронных температур от 5000 до 11 000 К (эксперимент)

k	m			
	3P_2	3P_1	3P_0	1P_1
p_1	0.012 ± 0.002	0.04 ± 0.02	—	0.09 ± 0.06
p_2	0.10 ± 0.04	0.11	1.0	—
p_3	0.09 ± 0.02	0.5 ± 0.2	—	0.40 ± 0.26
p_4	0.10 ± 0.05	0.01	1.6	—
p_5	0.036 ± 0.005	0.28 ± 0.05	—	0.07
p_6	1.0	0.34	—	—
p_7	0.22 ± 0.02	1.1 ± 0.2	—	0.12
p_8	0.6 ± 0.1	2.0 ± 0.1	—	2.5 ± 0.5

Таблица 2

Парциальные константы ступенчатого возбуждения,
 $T_e = 11\,600$ К (расчет в борновском приближении)

k	m			
	3P_2	3P_1	3P_0	1P_1
p_1	0	0.12	0	0.28
p_2	0	0.38	1.1	0.30
p_3	0	1.07	0	2.4
p_4	0	0.22	2.55	0.52
p_5	0	0.31	0	0.16
p_6	1.0	0.21	0	0.22
p_7	0.12	1.12	0	1.2
p_8	0.27	2.32	0	2.84
p_9	1.9	0	0	0
p_{10}	0.99	0.38	0	0.41

Анализ экспериментально полученных и рассчитанных в приближении Борна констант показывает, что измеренные константы оказались меньше рассчитанных. Исключение составляют β_{mk} возбуждения уровней p_7 и p_8 с уровня 3P_2 , расчет для которых дает примерно в 2 раза меньшую величину, чем эксперимент. Существенно отметить, что результаты, приведенные в табл. 1, не зависят от ошибки в определении n_e . Реакции, не учтенные при составлении систем (3), слабо влияют на значения констант, помещенных в табл. 1: величины констант возбуждения с уровней 3P_1 и 1P_1 могут быть занижены не более чем на 10 %; на определение величины констант возбуждения с уровней 3P_2 и 3P_0 неучтенные реакции практически не влияют.

Как указывалось ранее, уровень p_6 в условиях наших экспериментов преимущественно заселяется с уровня 3P_2 . Это дает возможность определить температурную зависимость парциальной константы β_{26} в более широком интервале электронных температур ($11\,000\text{ К} > T_e > 3000\text{ К}$), чем это было сделано для парциальных констант β_{mk} исследованных процессов. Экспериментальные результаты по измерению β_{26} представлены на рис. 3. Измерения проводились при давлении 110 Па, величина тока в первом импульсе $J_1 = 90$ мА. Полученные данные могут быть использованы для нахождения энергетической зависимости сечения рассматриваемого процесса, наилучшим образом описывающего полученные экспериментальные результаты, и соответствующей этой форме сечения аналитической зависимости $\beta_{26}(T_e)$ [14]. Подбор оптимального сечения осуществлялся с использованием метода наименьших квадратов в его обычном варианте, когда для определенной энергетической зависимости сечения находились значения параметров, при которых оказывалась минимальной контрольная сумма $\sum (\Delta\beta/\beta)^2$, где $\Delta\beta$ — разность измеренной и рассчитанной с искомым сечением

констант, β — величина измеренной константы. Естественно, выбор наилучшей (в смысле метода наименьших квадратов) зависимости всегда осуществляется из ограниченного числа возможных аналитических зависимостей сечения от энергии.

Были определены параметры некоторых часто используемых аппроксимаций сечений элементарных процессов; сечений типа ступеньки и борновского, а также сечений прямо пропорционального и обратно пропорционального энергии налетающего электрона. Наименьшие и примерно одинаковые контрольные суммы (они различаются на 14 %) имеют сечения типа ступеньки и борновское.

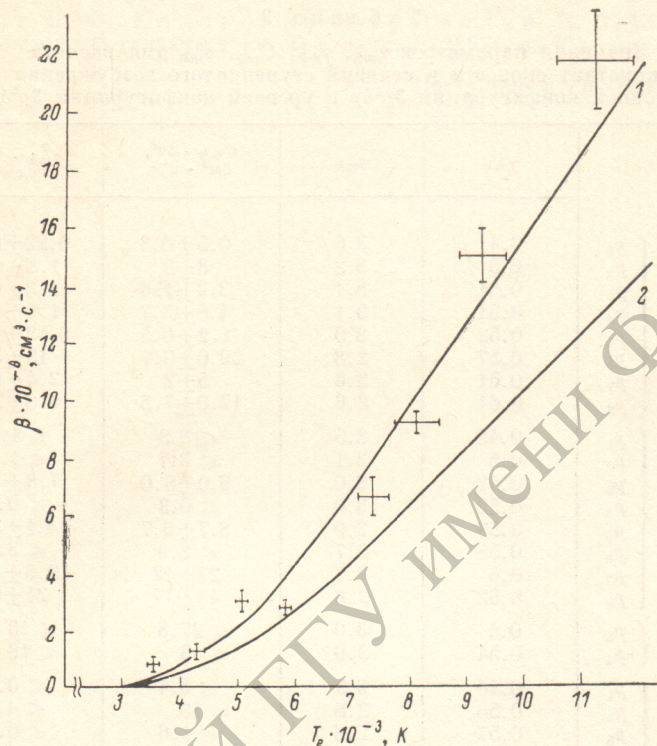


Рис. 3. Температурная зависимость константы β_{26} .

Крестики — эксперимент, 1 — расчет с сечением (5), 2 — расчет с сечением из [9].

Однако, поскольку для больших энергий налетающего электрона борновская зависимость не вызывает сомнений, целесообразно, по нашему мнению, отдать ей предпочтение. Для парциальной константы ступенчатого возбуждения β_{26} и соответствующего сечения σ_{26} были получены следующие аналитические выражения:

$$\beta_{26} = C_{26} \frac{\sqrt{u(u+3)}}{u+\chi} e^{-u} \ln \left(16 + \frac{1}{u} \right), \quad \alpha < 1, \quad (4)$$

$$\sigma_{26} = \begin{cases} 0, \\ \sigma_{26}^0 \left(\frac{\alpha}{\alpha+1} \right)^{1/2} \frac{\ln(16+\alpha)}{\alpha+\varphi}, & \alpha \geq 1, \end{cases} \quad (5)$$

где $\chi=0.57$; $\varphi=2.8$; $C_{26}=(29.0 \pm 6.7) \cdot 10^{-8}$; $\sigma_{26}^0=(1.3 \pm 0.3) \cdot 10^{-14}$; $u=\Delta E/kT_e$; $\alpha=E/\Delta E$; E и ΔE — энергии налетающего электрона и порога реакции соответственно. Значения β_{26} и σ_{26} измеряются в $\text{см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ и см^2 соответственно; для C_{26} и σ_{26}^0 приведены случайные среднеквадратичные погрешности. Следует указать, что полученные нами значения C_{26} и σ_{26}^0 оказываются в 1.5 раза больше, чем дает расчет [9].

Ранее были представлены результаты определения относительных парциальных констант β_{mk}/β_{26} в диапазоне электронных температур 5000—11 000 К. Поскольку нами установлена аналитическая зависимость и абсолютная вели-

чина $\beta_{26}(T_e)$, то с использованием табл. 1 для указанного диапазона электронных температур могут быть определены абсолютные величины констант $\beta_{mk}(T_e)$.

Возникает вопрос, может ли полученное нами экспериментально изменение заселенности уровней системы $3p^54p$ быть описано во всем исследованном диапазоне температур (3000–11 000 К), если предположить, что зависимость парциальных констант β_{mk} от T_e дается формулой типа (4). Для того чтобы дать ответ на этот вопрос, по данным [9] для интересующих нас переходов были рассчитаны параметры χ_{mk} и φ_{mk} (табл. 3) и далее с использованием табл. 1 — значения

Таблица 3
Значения параметров χ_{mk} , φ_{mk} , C_{mk} , σ_{mk}^0 для расчета констант скорости и сечений ступенчатого возбуждения уровней конфигурации $3p^54p$ с уровней конфигурации $3p^54s$

	χ_{mk}	φ_{mk}	$C_{mk} \cdot 10^8$, см ³ · с ⁻¹	$\sigma_{mk}^0 \cdot 10^{15}$, см ²
$^3P_2 -$	$\left\{ \begin{array}{l} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_7 \\ P_8 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 3.6 \\ 3.2 \\ 3.1 \\ 3.1 \\ 3.0 \\ 2.8 \\ 2.6 \\ 2.6 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0.5 \pm 0.3 \\ 3 \pm 2 \\ 3.2 \pm 1.6 \\ 4.8 \pm 3.7 \\ 1.2 \pm 0.5 \\ 29.0 \pm 6.7 \\ 5 \pm 2 \\ 17.0 \pm 7.5 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0.22 \pm 0.07 \\ 1.8 \pm 1.1 \\ 1.3 \pm 0.7 \\ 1.5 \pm 1.1 \\ 0.53 \pm 0.26 \\ 13 \pm 3 \\ 2.4 \pm 0.9 \\ 6.8 \pm 2.6 \end{array} \right.$
$^3P_1 -$	$\left\{ \begin{array}{l} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_7 \\ P_8 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 3.5 \\ 3.1 \\ 3.0 \\ 3.0 \\ 2.9 \\ 2.7 \\ 2.7 \\ 2.6 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \leq 3.3 \\ \leq 3.7 \\ 9.0 \pm 6.0 \\ \leq 0.3 \\ 8.7 \pm 3.7 \\ \leq 8.9 \\ 27 \pm 12 \\ 48 \pm 17 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \leq 1.2 \\ \leq 1.6 \\ 7.8 \pm 4.7 \\ \leq 0.14 \\ 4.1 \pm 2.0 \\ \leq 3.9 \\ 12.5 \pm 5.4 \\ 21 \pm 6 \end{array} \right.$
$^3P_0 -$	$\left\{ \begin{array}{l} P_2 \\ P_4 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 3.0 \\ 2.9 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \leq 27.8 \\ \leq 43 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \leq 13 \\ \leq 19 \end{array} \right.$
$^1P_1 -$	$\left\{ \begin{array}{l} P_1 \\ P_3 \\ P_5 \\ P_7 \\ P_8 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 3.3 \\ 2.8 \\ 2.8 \\ 2.5 \\ 2.4 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \leq 5.4 \\ \leq 19 \\ \leq 1.6 \\ \leq 2.3 \\ 44 \pm 26 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \leq 0.41 \\ \leq 4.8 \\ \leq 0.86 \\ \leq 1.16 \\ 19 \pm 9 \end{array} \right.$

C_{mk} и σ_{mk}^0 . Затем с использованием полученных парциальных констант были рассчитаны зависимости концентрации отдельных уровней этой системы от температуры электронов. На рис. 1–2 представлены эти зависимости (сплошные кривые), рассчитанные и измеренные заселенности в диапазоне температур 3000–11 000 К различаются не более чем на 30 %. Таким образом, проведенное рассмотрение показывает, что парциальные константы $\beta_{mk}(T_e)$, рассчитанные по формуле (4) с использованием табл. 3, удовлетворительно описывают процессы ступенчатого возбуждения уровней $3p^54p$ системы с уровней $3p^54s$ системы в широком интервале электронных температур от 3000 до 11 000 К. С помощью полученных данных могут быть рассчитаны сечения и константы скоростей исследованных ступенчатых процессов для произвольной энергии и электронной температуры. Использованный в настоящей работе метод нахождения температурной зависимости парциальных констант ступенчатого возбуждения оказался эффективным и может быть применен для аналогичных исследований в других газах.

Литература

- [1] Гостев А. В., Зайцев Ю. В., Хахаев А. Д. VII Всесоюз. конф. электронно-атомных столкновений: Тез. докл. Петрозаводск, 1978, с. 55.
- [2] Митюрева А. А., Пенкин Н. П. — Опт. и спектр., 1975, т. 38, в. 3, с. 404.
- [3] Ревад В. Ф., Фриш С. Э. — Опт. и спектр., 1963, т. 15, в. 4, с. 726.
- [4] Бетеров И. И., Чеботаев В. П. — Опт. и спектр., 1967, т. 23, в. 5, с. 854.

- [5] Разумовская Л. П. — Опт. и спектр., 1967, т. 23, в. 5, с. 845.
[6] Кривченкова В. С., Хахаев А. Д. — Опт. и спектр., 1968, т. 24, в. 1, с. 141.
[7] Самсон А. В. — Опт. и спектр., 1977, т. 42, в. 3, с. 570.
[8] Герасимов Г. Н., Старцев Г. П. — Опт. и спектр., 1974, т. 34, в. 5, с. 836.
[9] Вайнштейн Л. А., Собельман И. И., Юков В. А. Сечения возбуждения атомов и ионов электронами. М., 1973.
[10] Баранов И. Ю., Колоколов Н. Б. — Письма в ЖТФ, 1981, т. 7, с. 1158.
[11] Баранов И. Ю., Колоколов Н. Б. — Деп. в ВИНТИ, № 4858-82 деп.
[12] Wiese W. T., Smith M. W., Miles B. M. Atomic transition probabilities. NBS, 1969.
[13] Герасимов Г. Н., Лягущенко Р. И., Старцев Г. П. — Опт. и спектр., 1977, т. 30, в. 4, с. 606.
[14] Баранов И. Ю., Колоколов Н. Б., Пенкин Н. П. VIII Всесоюз. конф. электронно-атомных столкновений: Тез. докл. Л., 1981, с. 204.

Поступило в Редакцию 8 июня 1983 г.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. Скорины