

Матричные элементы  $\langle \alpha J | P | \beta J' \rangle$  были вычислены в приближении  $LS$ - и  $JL$ -связей и сверены с соответствующими значениями, полученными в работе Минхагена [2]. Для интересующих нас переходов матричные элементы  $\langle \alpha J | P | \beta J' \rangle$ , полученные нами и в работе [2], совпадают, и только в случае  $\langle p^6 p^3 D_1 | P | p^6 d^3 D_1 \rangle$  знак элемента в [2] следует заменить на противоположный.

Результаты расчетов приведены в таблице. В этой таблице даны штарковские смещения уровней  $nS_{2+5}$  (обозначения уровней по Пашену) при напряженности электрического поля  $= 100$  кв/см, вычисленные в приближении  $LS$ -,  $JL$ - и промежуточной связях. Там же приведены имеющиеся экспериментальные данные, взятые из работ Минхагена [2] и Райда [4]. Для уровней  $nS_3$  имеется одна  $M$ -компонента с  $M=0$ , для  $nS_2$  и  $nS_4$  — две компоненты с  $M=0, 1$  и для  $nS_5$  — три компоненты с  $M=0, 1, 2$ . Соответственно этому в таблице указаны их смещения. Сравнение расчетов при различных типах связи показывает, что штарковские смещения, вычисленные при промежуточной и  $JL$ -связях, близки друг к другу и удовлетворительно согласуются с экспериментом. Только в одном случае (для уровня  $6s_3$ ) смещения при промежуточной и  $JL$ -связях отличаются от эксперимента. Возможно, это вызвано влиянием наложения конфигураций. Согласие расчетного смещения при  $LS$ -связи с экспериментом, по-видимому, случайно.

Хорошее согласие штарковских смещений, вычисленных при промежуточной и  $JL$ -связях, наглядно подтверждает справедливость  $JL$ -связи для уровней  $3p^5 ns$  атома аргона.

### Литература

- [1] Е. Кондон, Г. Шортли. Теория атомных спектров. ИЛ, М., 1949.
- [2] L. Minnhagen. Ark. f. Fysik, I, 425, 1949.
- [3] П. О. Богданович, Р. И. Каразия. Всесоюзный фонд алгоритмов и программ. П-000083, 1971.
- [4] Landolt-Börnstein. Zahlenwerte und Funktionen. Bd. 1, Teil 1, Springer-Verlag, 1950.

Поступило в Редакцию 12 декабря 1972 г.

УДК 539.184.52

## ТУШАЩИЕ СОУДАРЕНИЯ В ГЕЛИИ, НАБЛЮДАЕМЫЕ ПО РАСПАДУ СОСТОЯНИЙ $n^1S_0$ и $n^3S_1$

Г. С. Кватер, О. В. Огинец, В. Б. Смирнов и С. А. Багаев

Анализ опубликованных экспериментальных данных по измерению прямыми методами постоянных распада некоторых возбужденных состояний атома гелия и их сравнение с результатами теоретических расчетов обнаруживает наличие заметных расхождений, достигающих 30–40%. Из анализа можно заключить, что причины этих расхождений, как правило, связаны с различиями в условиях эксперимента и приводимые константы распада являются эффективными, но не радиационными значениями.

Существенно выяснить влияние давления газа на измеряемые константы и природу явлений, приводящих к изменениям значений постоянных распада [1, 2]. В данной работе излагаются результаты проведенного систематического исследования постоянного распада некоторых возбужденных состояний гелия в диапазоне изменений давления от 7 до 450 мм рт. ст. Работа выполнена на многоканальном временном спектрометре, позволяющем с высокой точностью определять константы распада и их изменения и прослеживать распад состояний на протяжении 6–7 периодов. Давление газа измерялось манометром Пирани.

На первом этапе исследовался распад возбужденных состояний гелия по переходам в сериях  $n^1S_0 \rightarrow 2^1P_1$  ( $n=4 \div 6$ ) и  $n^3S_1 \rightarrow 2^3P_{2,1,0}$  ( $n=4 \div 8$ ). В таблице приведены экспериментальные результаты для указанных переходов при изменении давления от 7 до 450 мм рт. ст. Явно заметно уменьшение  $\tau_{эфф.}$  с возрастанием давления.

Распад состояний  $n^1S_0$  ( $n=4 \div 6$ ) является практически моноэкспоненциальным. Распад каскадных переходов не превышает 0.5–1%. Это позволило с хорошей точностью определять  $\tau_{эфф.}$  и установить характер его зависимости от давления по переходам  $\lambda$  5048 4438 и 4169 Å ( $n=6$ )  $\tau_{эфф.} = 1/\gamma_{эфф.}$  (при давлении 450 мм рт. ст.) оказалось на 140 нсек. меньше теоретического значения ( $\tau_{теор.} = 240$  нсек.). По переходу  $\lambda$  4438 Å ( $n=5$ )  $\tau_{эфф.} = 99$  нсек. при теоретическом значении 150 нсек. Для уровня  $n=4$  ( $\lambda = 5048$  Å)  $\tau_{эфф.}$  изменилось до 73 нсек. ( $p=450$  мм рт. ст.) при теоретическом значении 90 нсек. Зависимость  $\gamma_{эфф.}$  от давления носит линейный

Эффективные значения  $\tau$  (нсек.), значения  $\tau$  (нсек.), экстраполированные к нулевому давлению, значения сечения тушащих соударений в гелии \*

$\lambda, \text{Å}$	$p, \text{мм рт. ст.}$	$\tau, \text{нсек.}; \text{данная работа}$						$\tau, \text{нсек.}; \text{литература, } p = 0$			Данная работа		Литература			
		7	27	50	100	150	200	450	0	теория [4]	теория [4]	эксперимент [1]	$\langle \sigma \rangle \times 10^{16}, \text{см}^2/\text{сек.}$	$\sigma \cdot 10^{16}, \text{см}^2$	$\sigma \cdot 10^{16}, \text{см}^2$	$\sigma \cdot 10^{16}, \text{см}^2$
$1S_0$	$n$	88 <sup>3</sup>	86	85	84	81	73	88 <sup>1</sup>	90	89.8	86.2 <sub>2.5</sub>	1.53 <sub>0.09</sub>	9.6 <sub>0.6</sub>	9.5 <sub>1</sub>	16.8 <sub>0.7</sub>	—
	4	143	141	138	130	124	99	145 <sub>6</sub>	150	151	152 <sub>5</sub>	2.44 <sub>0.09</sub>	13.4 <sub>0.5</sub>	16.4 <sub>0.7</sub>	—	26 <sub>3</sub>
	5	—	209	204	188	169	103	235 <sub>8</sub>	—	240.4	—	3.8 <sub>0.2</sub>	24 <sub>1</sub>	—	—	—
	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$3S_1$	$n$	60	58	58	56	55	54	59.2 <sub>0.6</sub>	58	63.7	62.9 <sub>4.4</sub>	1.2 <sub>0.3</sub>	8 <sub>2</sub>	10.4 <sub>0.6</sub>	20 <sub>1</sub>	—
	4	141	140	108	104	101	100	111 <sub>1</sub>	141	140.4	145 <sub>6</sub>	4.5 <sub>0.1</sub>	9.4 <sub>0.9</sub>	11.9 <sub>0.4</sub>	20 <sub>1</sub>	—
	5	176	166	162	157	149	134	179 <sub>4</sub>	—	183.2	—	2.98 <sub>0.15</sub>	18.6 <sub>0.9</sub>	—	—	—
	6	—	232	230	210	197	170	260 <sub>10</sub>	—	260	—	2.8 <sub>0.3</sub>	17 <sub>2</sub>	—	—	—
	7	—	—	316	272	237	219	368 <sub>7</sub>	—	372	—	3.0 <sub>0.1</sub>	18.4 <sub>0.7</sub>	—	—	—
	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

\* Энергия возбуждающих электронов 37.5 эв.

характер и может быть представлена в виде  $\gamma_{\text{эфф.}} = A + Bp$  в предположении, что она сохраняется при давлениях вплоть до нуля.

Постоянные  $A$  и  $B$  были рассчитаны по экспериментальным точкам методом наименьших квадратов. Экстраполяция к нулевому давлению дает  $\gamma_{\text{рад.}} = A \text{сек.}^{-1}$ . Найденные таким образом  $\tau = 1/\gamma = 1/A$  имеют смысл  $\tau_{\text{рад.}}$  и они должны сравниваться с теоретически рассчитанными  $\tau$  (см. таблицу). Хорошее согласие обработанных экспериментальных данных с теоретически рассчитанными иллюстрируется таблицей.

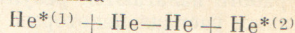
Аналогичные результаты были получены для уровней  $n^3S_1$  ( $n=4 \div 8$ ) по переходам в серии  $n^3S_1 \rightarrow 2^3P_{2,1,0}$ . В случае  $n=4$  и 5 ( $\lambda=4713$  и  $4121 \text{Å}$ ) необходимость учета каскадов с верхних уровней несколько ухудшает точность определения  $\tau_{\text{эфф.}}$ . Тем не менее и в этих случаях наблюдаются отклонения экспериментальных значений от теоретически рассчитанных. Так, для уровня с  $n=4$  ( $\lambda=4713 \text{Å}$ ) наблюдается отклонение  $\tau_{\text{эфф.}}$  от  $\tau_{\text{теор.}}$  на 10 нсек.

Полученные результаты позволяют отметить два обстоятельства.

Во-первых, экспериментальные значения  $\tau_{\text{эфф.}}$ , измеренные при давлениях, больших  $7 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст., нельзя рассматривать как  $\tau_{\text{рад.}}$ . Значение  $\tau_{\text{рад.}}$  может быть получено лишь путем экстраполяции экспериментальных значений к нулевому давлению.

Во-вторых, экспериментальные кривые распада изученных возбужденных состояний во всем диапазоне изменения давления ( $7 \div 450$  мм рт. ст.) гелия с точностью до нескольких процентов не претерпевают изменения формы.

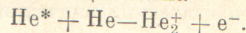
Это, по-видимому, исключает возможность объяснения возрастания  $\gamma_{\text{эфф.}}$  с давлением реакцией обмена типа



(здесь  $\text{He}^{*1}$  и  $\text{He}^{*2}$  начальное и конечное состояние возбуждения), так как в таком варианте в распаде должен проявиться обратный процесс (две экспоненты).

Обнаруженная зависимость  $\gamma(p)$  может быть объяснена в предположении, что в результате столкновений возбужденного и невозбужденного атомов гелия образуется комплекс в невозбужденном состоянии (тушение).

Из обсуждавшихся в литературе возможностей это могут быть, например, молекулярные ионы гелия. Реакция типа



При таком предположении процесс безызлучательной дезактивации возбужденных атомов гелия должен приводить к наблюдаемому возрастанию константы распада  $\gamma$ .

Из зависимости  $\gamma$  от  $p$  были рассчитаны значения  $\langle \sigma v \rangle$  и  $\bar{\sigma}$  тушащих столкновений при  $v=1.6 \cdot 10^5$  см/сек. (см. таблицу). Эти данные хорошо согласуются с результатами работы [2] для  $n=4$  и 5. Для переходов с  $n=6$  ( $1S_0$ ) и  $n=6 \div 8$  ( $3S_1$ ) значения  $\langle \sigma v \rangle$  и  $\bar{\sigma}$  получены впервые.

Авторы благодарят Ю. А. Толмачева за обсуждение результатов и Н. Д. Нечаева за помощь в измерениях.

#### Литература

- [1] K. A. Bridgett, T. A. King. Proceedings of the International Conference on Optical Pumping and Atomic Line Shape. Warsaw, 359, 1968.
- [2] W. R. Bennett et al. Appl. Opt. Suppl., 2, «Chemical Lasers», 34, 1965.
- [3] W. L. Wiese, M. W. Smith, B. M. Glennon. Atomic Transition Probabilities. Vol. I, Washington, 1966.
- [4] A. H. Gabriel, D. W. O. Heddle. Proceedings of Royal Society, 4258, 124, 1960.

Поступило в Редакцию 8 января 1973 г.