

- [5] Э. М. Эпштейн. ФТТ, 12, 3461, 1970.  
 [6] Ю. И. Балкарей, Э. М. Эпштейн. ФТТ, 14, 741, 1972.  
 [7] H. Y. Fan, W. Spitzer, R. J. Collins. Phys. Rev., 101, 566, 1956.  
 [8] H. J. G. Meyer. Phys. Rev., 112, 298, 1958.

Поступило в Редакцию 22 февраля 1973 г.

УДК 539.184.01

## ШТАРКОВСКИЕ СМЕЩЕНИЯ $ns$ -УРОВНЕЙ АТОМОВ КРИПТОНА И КСЕНОНА

Л. В. Горчаков и П. Ф. Груздев

В предыдущем сообщении [1] обсуждался результат расчета штарковских смещений уровней  $ns$  атома аргона. Представляет интерес продолжить теоретическое изучение штарковских смещений уровней  $ns$  в спектрах более сложных атомов этой группы: криптона и ксенона. Для атома аргона было показано, что штарковские смещения, вычисленные при промежуточной и  $Jl$ -связях, хорошо согласуются между собою. Поэтому для криптона и ксенона схема  $Jl$ -связи была взята за основу при расчете штарковских смещений.

В приближении теории возмущения второго порядка смещение уровня в электрическом поле может быть описано следующей формулой

$$\Delta T_{\alpha JM} = kE^2 \left\{ [(J+1)^2 - M^2] A_{J+1} + M^2 A_J + (J^2 - M^2) A_{J-1} \right\},$$

$$A_{J'} = \sum_{\beta} \frac{|\langle \alpha J | P | \beta J' \rangle|^2}{T_{\alpha J} - T_{\beta J'}},$$

где  $E$  — напряженность электрического поля,  $k$  — постоянная,  $A_{J'}$  — возмущения, вызванные уровнями, для которых  $J' = J+1$ ,  $J$  и  $J-1$ ;  $T_{\alpha J}$  и  $T_{\beta J}$  — значения уровней энергии,  $\langle \alpha J | P | \beta J' \rangle$  — матричный элемент оператора дипольного момента перехода. Величины  $\langle \alpha J | P | \beta J' \rangle$  были получены при  $Jl$ -связи. Приведение их к абсолютной шкале осуществлялось при помощи интегралов перехода, вычисленных в кулоновском приближении [2]. Уровни энергии брались из таблиц Мур [3]. Суммирование в формуле (1) проводилось по всем уровням  $\beta J'$ , имеющимся в таблицах Мур и способным комбинировать с  $\alpha J$  в соответствии с правилами отбора.

Результаты вычисления штарковских смещений  $\Delta T_{\alpha J}$  уровней  $ns$  атомов криптона и ксенона приведены в табл. 1 (Kr) и табл. 2 (Xe). В первом столбце этих таблиц дано наименование уровня  $ns$ , в последующих — смещения  $\Delta T$  (в обратных сантиметрах), вычисленные в схеме  $Jl$ -связи и при напряженности поля  $E=100$  кв/см, для разных значений квантового числа  $n$ . Для уровня  $s [3/2]_2^0$  имеются три  $M$ -компоненты ( $M=0, 1, 2$ ), для  $s [3/2]_1^0$  — две компоненты ( $M=0, 1$ ), для  $s [1/2]_0^0$  — одна компонента ( $M=0$ ) и для  $s [1/2]_1^0$  — две ( $M=0, 1$ ). Соответственно этому в табл. 1 и 2 указаны их

Таблица 1

Штарковские смещения  $\Delta T$  (в  $\text{см}^{-1}$ ) уровней  $4p^5 ns$  атома криптона при напряженности поля  $E=100$  кв/см

| Уровень        | $n=5$                    | $n=6$                    | $n=7$                    | $n=8$                    |                          | $n=9$                    |                          |
|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                | $\Delta T_{\text{рас.}}$ | $\Delta T_{\text{рас.}}$ | $\Delta T_{\text{рас.}}$ | $\Delta T_{\text{рас.}}$ | $\Delta T_{\text{экс.}}$ | $\Delta T_{\text{рас.}}$ | $\Delta T_{\text{экс.}}$ |
| $ns [3/2]_2^0$ | { 0.01<br>0.01<br>0.01   | { 0.24<br>0.23<br>0.22   | { 1.50<br>1.47<br>1.36   | { 5.74<br>5.61<br>5.21   | { 4.2, 7.3               | { 16.9<br>16.3<br>14.8   | { 19.9,<br>26.6          |
| $ns [3/2]_1^0$ | { 0.01<br>0.01           | { 0.23<br>0.23           | { 1.48<br>1.58           | { 5.44<br>5.98           | { 7.2                    | { 15.3<br>17.5           | { 22.1<br>29.6           |
| $ns [1/2]_0^0$ | 0.01                     | 0.24                     | —                        | —                        | —                        | —                        | —                        |
| $ns [1/2]_1^0$ | { 0.01<br>0.01           | { 0.23<br>0.24           | { -0.37<br>-0.32         | { -0.006<br>-0.006       | { —                      | { -0.001<br>-0.001       | { —                      |

Таблица 2

Штарковские сдвиги  $\Delta T$  (в  $\text{см}^{-1}$ ) уровней  $5p^5ns$  атома ксенона  
при напряженности поля  $E = 100$  кв/см

| Уровень        | $n=6$                                                               | $n=7$                                                               | $n=8$                                                               | $n=9$                                                               |                                                          | $n=10$                                                              |                                                           | $n=11$                                                              |
|----------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|                | $\Delta T_{\text{рас.}}$                                            | $\Delta T_{\text{рас.}}$                                            | $\Delta T_{\text{рас.}}$                                            | $\Delta T_{\text{рас.}}$                                            | $\Delta T_{\text{эксп.}}$                                | $\Delta T_{\text{рас.}}$                                            | $\Delta T_{\text{эксп.}}$                                 | $\Delta T_{\text{рас.}}$                                            |
| $ns [3/2]_2^0$ | $\left\{ \begin{array}{l} 0.02 \\ 0.02 \\ 0.02 \end{array} \right.$ | $\left\{ \begin{array}{l} 0.30 \\ 0.29 \\ 0.28 \end{array} \right.$ | $\left\{ \begin{array}{l} 1.67 \\ 1.63 \\ 1.51 \end{array} \right.$ | $\left\{ \begin{array}{l} 7.31 \\ 7.08 \\ 6.37 \end{array} \right.$ | $\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} 6.0$ | $\left\{ \begin{array}{l} 23.1 \\ 22.3 \\ 19.7 \end{array} \right.$ | $\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} 18.7$ | $\left\{ \begin{array}{l} 59.9 \\ 57.4 \\ 49.9 \end{array} \right.$ |
| $ns [3/2]_1^0$ | $\left\{ \begin{array}{l} 0.02 \\ 0.02 \end{array} \right.$         | $\left\{ \begin{array}{l} 0.03 \\ 0.06 \end{array} \right.$         | $\left\{ \begin{array}{l} 1.77 \\ 1.84 \end{array} \right.$         | $\left\{ \begin{array}{l} 6.29 \\ 6.95 \end{array} \right.$         | $\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 6.2$    | $\left\{ \begin{array}{l} 20.6 \\ 23.0 \end{array} \right.$         | $\left. \begin{array}{l} - \\ - \end{array} \right.$      | $\left\{ \begin{array}{l} 49.9 \\ 57.0 \end{array} \right.$         |
| $ns [1/2]_0^0$ | 0.01                                                                | -0.02                                                               | —                                                                   | —                                                                   | —                                                        | —                                                                   | —                                                         | —                                                                   |
| $ns [1/2]_1^0$ | $\left\{ \begin{array}{l} 0.01 \\ 0.01 \end{array} \right.$         | $\left\{ \begin{array}{l} -0.02 \\ -0.02 \end{array} \right.$       | $\left\{ \begin{array}{l} -0.01 \\ -0.01 \end{array} \right.$       | $\left\{ \begin{array}{l} \sim 0 \\ \sim 0 \end{array} \right.$     | $\left. \begin{array}{l} - \\ - \end{array} \right.$     | $\left\{ \begin{array}{l} \sim 0 \\ \sim 0 \end{array} \right.$     | $\left. \begin{array}{l} - \\ - \end{array} \right.$      | $\left\{ \begin{array}{l} \sim 0 \\ \sim 0 \end{array} \right.$     |

смещения. Только в двух случаях (Kr:  $n=7, 8$  и Xe:  $n=9, 10$ ; уровни  $s [3/2]_2^0$  и  $s [3/2]_1^0$ ) расчетные значения смещений ( $\Delta T_{\text{рас.}}$ ) можно сопоставить с экспериментом ( $\Delta T_{\text{эксп.}}$ ). Как видно из этого сопоставления,  $\Delta T_{\text{рас.}}$  в основном близки к  $\Delta T_{\text{эксп.}}$  особенно у атома ксенона. Следовательно, схема  $JL$ -связи служит хорошим приближением для уровней  $ns$  и для атомов Kr и Xe. Имеющееся некоторое расхождение между  $\Delta T_{\text{рас.}}$  и  $\Delta T_{\text{эксп.}}$  (особенно у атома Kr) следует отнести к влиянию конфигурационного взаимодействия, которое при расчете смещений не учитывалось. Если у атома аргона смещения  $\Delta T$  всех четырех уровней  $ns$  (с одним и тем же значением  $n$ ) были приблизительно одинаковыми, то у атомов Kr и Xe такая картина наблюдается только для двух уровней  $ns [3/2]_2^0$  и  $ns [3/2]_1^0$ . Смещения двух других уровней  $ns [1/2]_0^0$  и  $ns [1/2]_1^0$  атомов Kr и Xe очень малы; для атома Xe с  $n=9$  они приблизительно равны нулю. Это подтверждается и экспериментом. В случае Ar экспериментально были наблюдаемы смещения всех четырех уровней  $ns$ , а у Kr и Xe — только для двух уровней  $ns [3/2]_2^0$  и  $ns [3/2]_1^0$ .

## Литература

- [1] Л. В. Горчаков, П. Ф. Груздев. Опт. и спектр., 35, 387, 1973.
- [2] D. R. Bates, A. Damgaard. Phil. Tran. Soc., A242, 101, 1949.
- [3] C. E. Moore. Atomic Energy Levels. Nat. Bur. Standards Circ., 467, 2, 1952; 3, 1958.
- [4] Landolt-Börnstein. Zahlenwerte und Funktionen. Bd. 1, Teil 1, Springer-Verlag, 1950.

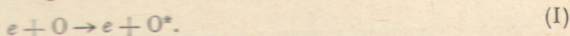
Поступило в Редакцию 12 марта 1973 г.

УДК 539.186.1

## ЭФФЕКТИВНЫЕ СЕЧЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ OI ПРИ СТОЛКНОВЕНИЯХ ЭЛЕКТРОНОВ С АТОМАМИ И МОЛЕКУЛАМИ КИСЛОРОДА

Н. П. Пенкин и О. Д. Цыгир

В 1971 г. Стоуну и Цифу [1] впервые удалось измерить сечение возбуждения атомарного кислорода при пропускании пучка электронов через выходящий из разряда частично диссоциированный поток кислорода. Объектом изучения явилась резонансная линия 130 нм ( $3s^3S \rightarrow 2p^3P$ ) OI. Разность между скоростями испускания фотонов, регистрируемыми при включенном и при выключенном разряде, позволила найти  $Q_I(\epsilon)$  — сечение возбуждения линии 130 нм в реакции



Оказалось, что  $Q_I(\epsilon)$  имеет максимум, равный  $1.2 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$  при  $\epsilon_m = 17$  эв. Решению задачи определения  $Q_I(\epsilon)$  в условиях однократных столкновений способствовало то обстоятельство, что  $Q_{II}(\epsilon)$  — сечение возбуждения линии 130 нм в реакции

