

РАЗРУШЕНИЕ ВЫСТРАИВАНИЯ $2^3P_{1,2}$ АТОМОВ ГЕЛИЯ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ С ДВУХАТОМНЫМИ МОЛЕКУЛАМИ

В. А. Картошкин, Г. В. Клементьев

В [1] были определены константы скорости деполаризации атомов гелия в резонансно-возбужденных 2^3P_1 - и 2^3P_2 -состояниях в результате столкновений с молекулами азота. Эти величины оказались очень большими ($\sim 10^{-8}$ см³·с⁻¹, т. е. сечения $\sim 10^{-13}$ см²), на порядок превышающими сечения процессов деполаризации при столкновении с атомами. Представляет интерес вопрос о том, являются ли молекулы азота уникальными в ряду возможных партнеров столкновения с точки зрения их деполаризующей роли. До сих пор информации об этом было. Кроме того, вообще механизмы релаксации атомных состояний в атомно-молекулярных столкновениях изучены очень мало, что обуславливает необходимость получения новых экспериментальных данных. В настоящей работе исследуется разрушение выстраивания $2^3P_{1,2}$ -состояний гелия при столкновении с другими гомоядерными двухатомными молекулами — O₂, H₂ и D₂.

Методика исследования была во многом аналогична описанной ранее в [1]. В данном эксперименте использовался, однако, основной природный изотоп гелия ⁴He. Камера поглощения заполнялась смесью этого изотопа с кислородом (или водородом, или дейтерием). Давление гелия было постоянным и небольшим (0.09 Тор при 300 К), что делало почти несущественным перемешивание в 2^3P -состоянии гелия из-за столкновений с атомами He в основном состоянии. Камера поглощения соединялась с большим балластным объемом, что обеспечивало постоянство давления примесного газа в течение всего цикла измерений. В камере поглощения возбуждался высокочастотный разряд и проводилась оптическая ориентация триплетных метастабильных атомов гелия (He*) в продольном магнитном поле H_0 с помощью линейно поляризованного излучения газоразрядной лампы, заполненной тем же изотопом ⁴He [2]. Прикладывалось переменное магнитное поле $H_1 \cos \omega t$, перпендикулярное постоянному магнитному полю H_0 , и регистрировался магнитный резонанс атомов He* по изменению поглощения света накачки (1.08 мкм) в момент резонанса, обусловленному изменением концентрации метастабильных атомов He* и выстраивания их магнитных моментов $Q_{iS} = p_{i1} + p_{i3} - 2p_{i2}$ (p_{iS} , $i=1, 2, 3$ — населенности магнитных подуровней метастабильного 2^3P_1 -состояния He со значениями $m_S=1, 0, -1$ соответственно). Изменение концентрации He* невелико, и им можно пренебречь. Поэтому резонансный сигнал имеет вид [3, 4]:

$$S = C\tau \left\{ -\frac{I_0}{9} + \frac{I_1}{6} \left[1 + \frac{\Gamma}{2(\Gamma + \Gamma_1)} \right] + \frac{I_2}{18} \left[-1 + \frac{7\Gamma}{2(\Gamma + \Gamma_2)} \right] \right\} F(\omega, \omega_1), \quad (1)$$

где I_0, I_1, I_2 — приведенные интенсивности трех линий гелия (D_0, D_1 и D_2 — линий, соответствующих переходам $2^3S_1 \rightarrow 2^3P_0, 1, 2$); Γ_1 и Γ_2 — скорости деполаризации верхних 2^3P_1 и 2^3P_2 состояний; Γ — скорость спонтанного распада 2^3P состояния ($\Gamma = 10^7$ с⁻¹ [4]); $1/\tau$ — скорость релаксации (в единицу времени) атомов в нижнем 2^3S_1 состоянии; величина C зависит от концентрации атомов He*, интенсивности линий накачки и их спектральных контуров, а зависимость от магнитных полей определяется выражением [5]

$$F(\omega, \omega_1) = \frac{3\omega_1^2(\omega_1^2 + 4\Delta\omega^2 + 1/\tau^2)}{(4\omega_1^2 + 4\Delta\omega^2 + 1/\tau^2)(\omega_1^2 + \Delta\omega^2 + 1/\tau^2)}. \quad (2)$$

В (2) $\omega_1 = \gamma H_1$, $\Delta\omega = \omega - \omega_0$, $\omega_0 = \gamma H_0$, γ — гиромангнитное отношение для атомов He*.

В эксперименте выполнялось условие $\omega_1 \gg 1/\tau$, благодаря чему величина $F(\omega, \omega_1)$ практически не зависела от τ , а сигнал S имел линейную зависимость от τ . Эта величина могла быть измерена в независимом эксперименте по ширине линии магнитного резонанса метастабильных атомов He*. С целью повышения точности проводилось интегрирование всей резонансной кривой. Все измерения проводились при фиксированной величине переменного магнитного поля H_1 и различных концентрациях атомов He*, мерой которой было относительное поглощение света накачки $\Delta I/I$, и величине примесных молекулярных газов. Результаты эксперимента представлены на рисунке. При фиксированной величине N_{He^*} раз-

личие величин сигналов (после нормализации по ΔI) объясняется изменением выражения, заключенного в фигурной скобке (1), при изменении концентрации молекул. Пяти значений этой последней величины было достаточно для получения, исходя из (1), значений пяти не-

Константы скорости разрушения выстраивания 2^3P_1 - и 2^3P_2 - состояний гелия (соответственно C_1 и C_2) в результате столкновений с различными двухатомными молекулами ($T = 300$ К, абсолютная погрешность 30 %)

Константы скорости	N_2	D_2	N_2^*	O_2
$C_1, 10^{-8} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	0.36	0.38	1.1	4.5
$C_2, 10^{-8} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	0.36	0.38	2.1	5.6

Примечание. * — результаты [1].

известных — I_0, I_1, I_2 , а также Γ_1 и Γ_2 . Именно величины $\Gamma_{1,2}$ представляют для нас интерес, поскольку из них определяются константы скорости C_1 и C_2 в соответствии с соотношением

$$\Gamma_i = N_{\text{He}} C_0 + N_{\text{mol}} C_i, \quad i = 1, 2, \quad (3)$$

где N_x — концентрации соответствующих частиц; C_0 — константа скорости деполаризации $2^3P_{1,2}$ атомов гелия при столкновении с атомами в основном состоянии, определенная в [6], причем следует отметить, что роль первого слагаемого в (3) из-за небольшого давления He была малосущественной.

Результаты определения констант скорости разрушения резонансно возбужденных состояний He приведены в таблице.

Из таблицы видно, что молекула кислорода является еще более активным деполаризующим партнером столкновения, нежели молекула N_2 , причем константы скорости C_1 и C_2 различаются мало в отличие от деполаризации на молекулах азота. Большая величина константы скорости в случае молекулы O_2 , возможно, связана с наличием у этой молекулы нескомпенсированного электронного спина, из-за чего возможны дополнительные процессы релаксации (например, в спиновом обмене для системы атом—молекула), а также с тем, что величина ротационного кванта в случае O_2 близка к расщеплению между уровнями гелия 2^3P_0 и $2^3P_{1,2}$ сильно отличается от него в других случаях (N_2, H_2 и D_2).

Таким образом, эффективное разрушение резонансно возбужденных $2^3P_{1,2}$ -состояний гелия имеет место не только при столкновении с молекулами азота, как в [1], но и при столкновении с другими гомоядерными двухатомными молекулами — H_2, D_2 и O_2 . Константа скорости процесса релаксации возрастает в ряду $H_2-N_2-O_2$, причем более чем в 10 раз при переходе от H_2 к молекулам O_2 .

Литература

- [1] Картошкин В. А., Клементьев Г. В., Мельников В. Д. // Опт. спектр. 1986. Т. 61. Вып. 2. С. 209—211.
- [2] Colegrove F. D., Franken P. A. // Phys. Rev. 1960. Vol. 119. N 2. P. 680—690.
- [3] Окуневич А. И. // Опт. спектр. 1981. Т. 50. Вып. 3. С. 443—449.
- [4] Landmann D. A. // Phys. Rev. 1968. Vol. 173. N 1. P. 33—39.
- [5] Дьяконов М. И. // ЖЭТФ, 1964. Т. 47. Вып. 6 (12). С. 2213—2221.
- [6] Scheerer L. D. // Phys. Rev. 1968. Vol. 160. N 1. P. 76—80.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
1 декабря 1987 г.

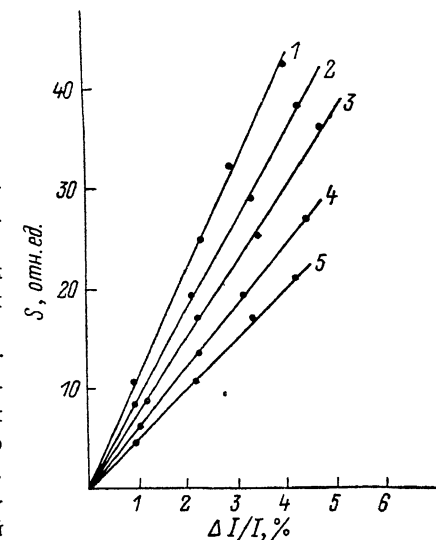


Рис. 1. Зависимость величины сигнала оптически ориентированных атомов He^* при накачке линейно поляризованным светом от $\Delta I/I$.

1 — без кислорода, 2 — 0.001, 3 — 0.0015, 4 — 0.0025, 5 — 0.0033 Тор O_2 . Учтено изменение релаксации метастабильных атомов с ростом давления кислорода.