

РАДИАЦИОННОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ ТЕРМОВ КАЛИЯ В ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ РУБИНОВОГО ОКГ

Ю.М.Кирин, Д.П.Ковалев, С.Г.Раутман, Р.И.Соколовский

В работах [1 – 4] наблюдалось интенсивное направленное свечение паров калия при их облучении гигантским импульсом рубинового ОКГ ($\nu = 14399 \text{ см}^{-1}$) и стоксовым ВКР этого импульса в нитробензоле ($\nu = 13054 \text{ см}^{-1}$). Частоты переходов калия $4S_{1/2} - 4P_{3/2}$ ($\nu_{no} = 13042 \text{ см}^{-1}$) и $4P_{3/2} - 6S_{1/2}$ ($\nu_{mn} = 14407,8 \text{ см}^{-1}$) оказываются очень близкими к частотам ВКР и ОКГ соответственно, что и объясняет заселение возбужденных уровней, возможность отрицательного поглощения и мощное индуцированное испускание, обнаруженное в [1 – 4] на многих переходах. На рис. 1 эти переходы отмечены стрелками.

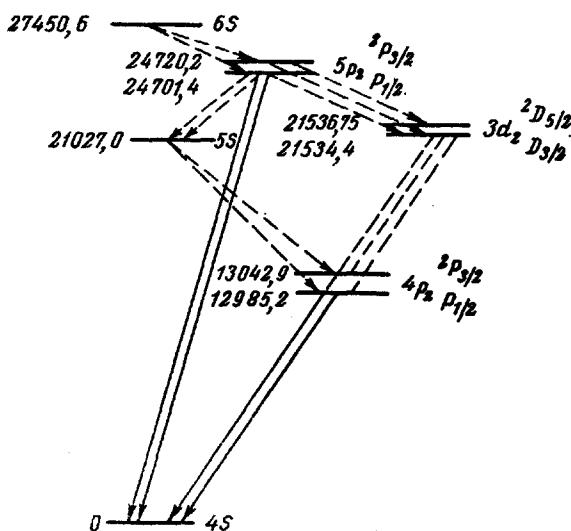


Рис. 1. Схема термов калия

Мы исследовали излучение, лежащее в видимой области спектра и связанное с переходами $4S_{1/2} - 4P_{3/2}$, $1/2$ ($\lambda = 7665/99 \text{ \AA}$) и $4S_{1/2} - 5P_{3/2}$, $1/2$ ($\lambda = 4044/47 \text{ \AA}$). Нас интересовала тонкая структура этих линий (не изученная в [1 – 4], так как термы калия должны существенно возмущаться в поле излучения лазера).

Пары калия находились в стеклянной кювете с торцевыми окнами. Температура кюветы, определяющая давление паров, изменялась в разных опытах в интервале $150 + 350^{\circ}\text{C}$. Излучение рубинового ОКГ и ВКР направлялось вдоль оси кюветы. Наблюдение велось в том же направлении с помощью спектрографа ДФС-8 (1200 шт./мм, дисперсия $1,40$ и $2,80 \text{ \AA/mm}$, ширина аппаратной функции $\Delta\nu_a = 0,17 \text{ cm}^{-1}$ и $0,10 \text{ cm}^{-1}$ для фиолетовых и красных линий соответственно).

Наиболее существенные экспериментальные результаты состоят в следующем.

1. Каждая из линий $4S_{1/2} - 5P_{3/2, 1/2}$ имеет узкий "провал" (рис. 2, а) (см. вклейку), центр которого совпадает с частотой перехода. Общая ширина, включающая оба компонента, расла с увеличением мощности ОКГ и достигала в наших опытах 3 cm^{-1} .

2. Линии на резонансных переходах не обладают дублетной структурой. Однако, обе имеют значительную ширину ($0,5 + 1,0 \text{ cm}^{-1}$) и сдвинуты (на $0,7 + 1,7 \text{ cm}^{-1}$) в красную сторону относительно частоты перехода (рис. 2, б).

3. Полоса поглощения, впервые наблюденная в [3] на фоне широкой линии ВКР в нитробензоле, наиболее рельефна при умеренной мощности лазера ($\sim 1 \text{ мвт}$ рис. 2, в). По мере увеличения мощности полоса постепенно исчезает. Частота ν_1 центра полосы изменялась при температурном сканировании частоты ν рубина, причем $\Delta\nu_1 = -\Delta\nu$ (с точностью до $0,05 \text{ cm}^{-1}$). Абсолютное значение ν_1 и ν , по нашим измерениям (с точностью $0,1 \text{ cm}^{-1}$), удовлетворяют равенству $\nu = \nu_m - \nu_1$. Ширина полосы поглощения $\sim 1 \text{ cm}^{-1}$.

Для интерпретации этих фактов будем считать, что волновая функция атома в поле рубинового ОКГ имеет вид [5].

$$\psi = \psi_m [A_1 e^{-i(\omega_m + \epsilon_1)t} + A_2 e^{-i(\omega_m + \epsilon_2)t}] + \\ + \psi_n [B_1 e^{-i(\omega_n - \epsilon_1)t} + B_2 e^{-i(\omega_n - \epsilon_2)t}]; \quad (1)$$

$$\epsilon_{1,2} = \frac{\Omega}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\Omega}{2}\right)^2 + G^2}; \quad \Omega = \omega - \omega_{mn}; \quad G = \left| \frac{P_{mn} E}{2\hbar} \right|. \quad (2)$$

Выражение (1) для ψ можно понимать как расщепление невырожденных состояний атома (рис. 3) обусловленное внешним полем [6 – 9].

Для перехода $4P_{3/2} - 6S_{1/2}$ числовые значения параметров таковы

$$\Omega = -8 \text{ cm}^{-1}; \quad G = 0,70 \sqrt{P} \text{ cm}^{-1},$$

где P – мощность излучения, выраженная в Мж/см^2 . При умеренных мощностях $G \ll |\Omega|$ и тогда

$$\epsilon_1 \approx G^2/|\Omega|; \quad \epsilon_2 = -|\Omega| = G^2/|\Omega|. \quad (3)$$

Линия поглощения, согласно этой схеме, отвечает переходу атома из основного состояния на компонент ϵ_2 дублета¹⁾ состояния (рис. 3). С помощью (3) легко показать, что максимум поглощения должно быть на частоте $\nu_1 = \nu_{\text{мо}} - \nu + G^2/|\Omega|$. Такое соотношение выполняется на опыте (см. п.3), за исключением члена $G^2/|\Omega|$, который в этих измерениях был мал.

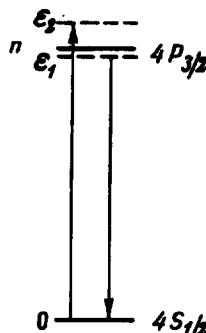
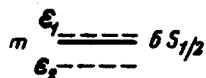


Рис. 3. Схема расщепления термов $m(6S_{1/2})$, $n(4P_{3/2})$ калия в поле гигантского импульса. Стрелки означают переходы, объясняющие линию поглощения и испускания

Линию излучения 7665 \AA можно интерпретировать как результат вынужденных переходов из компонента ϵ_1 дублета $4P_{3/2}$ в основное состояние²⁾ (рис. 3). Это согласуется с направлением и порядком величины сдвига ($\epsilon_1 \sim 1 \text{ см}^{-1}$ для $P \sim 20 \text{ мж/см}^2$), и с увеличением сдвига по мере возрастания P . Ширину линии 7665 \AA можно связывать с пространственной и временной неоднородностью гигантского импульса.

Таким образом, линии поглощения 7660 \AA и испускания 7665 \AA есть проявление радиационного расщепления термов $4P_{3/2}, 6S_{1/2}$ калия.

Происхождение сдвига линии 7699 \AA менее ясно. Непосредственное взаимодействие с излучением рубинового ОКГ может привести лишь к незначительному сдвигу линии на порядок меньше наблюдаемого. По-видимому, процесс заселения уровня $4P_{1/2}$ когерентно связывает его с термом $4P_{3/2}$ и переносит на $4P_{1/2}$ структуру последнего.

¹⁾ В нерезонансных условиях этот "переход" связан с двухквантовым поглощением и переходом $0 \rightarrow m$.

²⁾ Аналогичный эффект в поглощении наблюдался в [10].

Симметричное уширение линий $4044/47 \text{ \AA}$ заставляет предполагать новый тип возмущений атомных состояний $5P$. По-видимому, каскадное заселение $6S \rightarrow 5P$ уровней $5P$ происходит с помощью двух полей, отличающихся по частоте на величину порядка ϵ_1 . Это должно приводить к эффекту, аналогичному фазовой модуляции, которая характеризуется широким и симметричным спектром.

Несмотря на неясные места, можно считать установленным, что наблюденные эффекты связаны с расщеплением уровней атома во внешнем поле.

Институт физики полупроводников

Академии наук СССР
Сибирское отделение

Поступило в редакцию
17 октября 1968 г.

Литература

- [1] S. Yatsiv, W. G. Wagner, G. S. Picus, F. J. McClung. Phys. Rev. Lett., 15, 614, 1965.
- [2] M. Rokni, S. Yatsiv. Phys. Rev. Lett., 24A, 277, 1967.
- [3] М.Е.Мовсесян, Н.Н.Бадалян, В.А.Ирадян. Письма в ЖЭТФ, 6, 631, 1967.
- [4] P.P.Sorokin. N. S. Shiren, J. R. Lankard, E. C. Hammond, T. G. Kazuya. Appl. Phys. Lett., 10, 44, 1967.
- [5] Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Квантовая механика, §40, Физматгиз, 1948.
- [6] S. H. Autler, C. H. Townes. Phys. Rev., 100, 73, 1955.
- [7] В.М.Конторович, А.М.Прохоров. ЖЭТФ, 33, 1428, 1957.
- [8] С.Г.Раутиан, И.И.Собельман. ЖЭТФ, 41, 456, 1961.
- [9] А.М.Бонч-Бруевич, В.А.Ходовой. УФН, 93, 71, 1967.
- [10] Е.Б.Александров, А.М.Бонч-Бруевич, Н.Н.Костин, В.А.Ходовой. Письма в ЖЭТФ, 3, 85, 1966.