

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗОНАНСНОГО ВЫНУЖДЕННОГО КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЙЯНИЯ СВЕТА ПРИ РАЗНЫХ ЧАСТОТНЫХ РАССТРОЙКАХ РЕЗОНАНСА

П. А. Апанасевич*, Г. И. Тимофеева

УДК 535.42;535.34

Институт физики НАН Беларуси,
220072, Минск, Беларусь; e-mail: p.apanasevich@dragon.bas-net.by

(Поступила 14 ноября 2019)

Теоретически проанализирована зависимость эффективности резонансного вынужденного комбинационного рассеяния света от параметров излучения накачки и рассеивающих центров среды. Показано, что эта эффективность в силу высокого поглощения излучения накачки и стоковой компоненты не может быть значительной.

Ключевые слова: эффективность резонансного вынужденного комбинационного рассеяния света, поглощение излучения, вынужденный переход.

Efficiency dependence of the steady-state resonance SRS on parameters of pump radiation and scattering medium centers was investigated theoretically. It was shown, that this efficiency cannot be significant due to the high absorption of pump radiation and the Stokes component.

Keywords: efficiency of resonance SRS, absorption of radiation, induced transition.

Введение. Исследования по вынужденному комбинационному рассеянию света (ВКР), включая резонансное (РВКР), первоначально выполнялись при использовании не очень мощных световых пучков, и интерпретация экспериментальных данных, как правило, проводилась без учета действия излучения на заселенности энергетических уровней рассеивающих центров [1—9]. В работе [10] получена система уравнений, описывающая РВКР с учетом действия излучения на заселенности уровней рассеивающих центров. Показано, что порог и вклад РВКР в коэффициент ВКР-усиления очень сильно и сложно зависят от расстройки резонанса и релаксационных параметров рассеивающих центров, особенно при малых расстройках. В настоящей работе приведенные в [10] уравнения использованы для анализа зависимости эффективности РВКР-преобразования излучения накачки в стоковую компоненту от параметров излучения и рассеивающих центров.

Анализ эффективности РВКР. В основу анализа положены уравнения (9)—(12) [10], записанные в данном случае для относительных (безразмерных) интенсивностей накачки $x_p = b_{13}^p I_p / d_{21}$ и стоковой компоненты $x_s = b_{23}^s I_s / d_{21}$, вероятностей неоптических переходов d_{ij} (рис. 1) и спектральной ширины γ_{21} перехода $1 \rightleftharpoons 2$, отнесенных к d_{21} , а также координаты $z' = \mu_p z$ вдоль направления распространения взаимодействующих пучков. Здесь $\mu_p = \omega_p h N b_{13}^p (\rho_{11}^0 - \rho_{33}^0)$ — коэффициент линейного (не влияющего на заселенности уровней) поглощения накачки. В припороговой области интенсивностей накачки в стационарном случае эти уравнения имеют вид

$$\frac{dx_p}{dz'} = -\frac{1}{1+\beta^2} \frac{\rho_{11} - \rho_{33}}{\rho_{11}^0 - \rho_{33}^0} x_p - \frac{2\alpha_p}{\mu_p} x_p + \frac{(\rho_{11} + \rho_{22} - 2\rho_{33}) - \beta^2(\rho_{11} - \rho_{22})}{2\gamma_{21}(1+\beta^2)^2(\rho_{11}^0 - \rho_{33}^0)} x_s x_p, \quad (1)$$

$$\frac{dx_s}{dz'} = -\frac{\omega_s b_{32}^s}{\omega_p b_{13}^p} \frac{1}{1+\beta^2} \frac{\rho_{22} - \rho_{33}}{\rho_{11}^0 - \rho_{33}^0} x_s - \frac{2\alpha_s}{\mu_p} x_s + \frac{\omega_s b_{32}^s}{\omega_p b_{13}^p} \frac{(\rho_{11} + \rho_{22} - 2\rho_{33}) + \beta^2(\rho_{11} - \rho_{22})}{2\gamma_{21}(1+\beta^2)^2(\rho_{11}^0 - \rho_{33}^0)} x_p x_s, \quad (2)$$

EFFICIENCY OF RESONANCE SRS AT DIFFERENT DETUNINGS FROM RESONANCE

P. A. Apanasevich*, G. I. Timofeeva (B. I. Stepanov Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, 220072, Belarus; e-mail: p.apanasevich@dragon.bas-net.by)

$$\begin{aligned}
 \rho_{11} &= [x_p + (1 + \beta^2)(d_{31} + d_{32})] / D, \\
 \rho_{22} &= [x_p(d_{12} + d_{32}) + (1 + \beta^2)d_{12}(d_{31} + d_{32})] / D \\
 \rho_{33} &= x_p / D, \\
 D &= x_p(2 + d_{32} + d_{12}) + (1 + \beta^2)(d_{31} + d_{32})(1 + d_{12}),
 \end{aligned} \tag{3}$$

где ρ_{ii} — вероятность нахождения рассеивающих центров на уровне i (заселенности уровней); ρ_{ij}^0 — значения ρ_{ij} , определяемые равенствами (3) при $x_p = 0$; $\beta = (\omega_p - \omega_{31})/\gamma_{31}$ — расстройка однофотонного резонанса, отнесенная к спектральной полуширине γ_{31} линии перехода $1 \leftrightarrow 3$; $d_{32} = d_{31}$ и $\gamma_{23} = \gamma_{13}$.

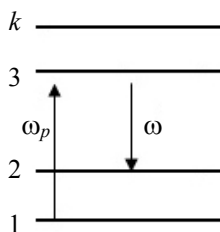


Рис. 1. Примерная схема взаимного расположения частот излучения и уровней энергии рассеивающих центров

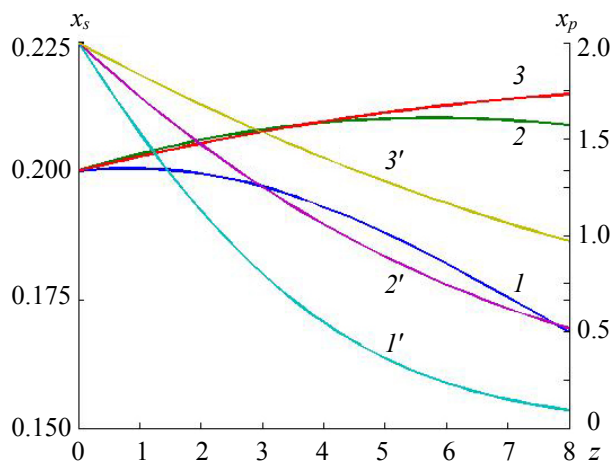


Рис. 2. Зависимость интенсивностей стоксовой компоненты $x_s = I_s b_{23}^s / d_{21}$ (1—3) и накачки $x_p = I_p b_{13}^p / d_{21}$ (1'—3') от пути взаимодействия z при частотных расстройках $\beta^2 = 1$ (1, 1'), 4 (2, 2') и 9 (3, 3')

На рис. 2 приведены кривые, рассчитанные по формулам (1)—(3) при $\alpha_p = \alpha_s = 0$ и релаксационных параметрах $d_{32} = d_{31} = 2$, $d_{12} = 0.1$, $d_{21} = 1$, $\gamma_{21} = 2.5$ и характеризующие изменения интенсивностей накачки и стоксовой компоненты при распространении в рассеивающей среде в случаях расстройек резонанса $\beta^2 = 1, 4$ и 9 . В [1] на рис. 2 кривая 4 определяет зависимость порогового значения накачки от β^2 при релаксационных параметрах, используемых в настоящей работе. Видно, что при $\beta^2 = 1$ пороговая интенсивность накачки сравнительно высокая и интенсивность накачки, используемая нами при расчете кривых, на входе в рассеивающую среду очень слабо превышает это значение. В данном случае из-за сильного поглощения как накачки, так и стоксовой компоненты ВКР практически не происходит. В других случаях ($\beta^2 = 4$ и 9) пороговое значение накачки значительно ниже порога

в случае $\beta^2 = 1$ и интенсивность накачки существенно выше пороговой. Однако при этом эффективность ВКР $(I_{sz} - I_{s0})/(I_{p0} - I_{pz}) \sim 1\%$. Таким образом, эффективность РВКР не может быть высокой в сравнительно широкой области удаления частоты накачки от частоты резонансного перехода.

Заключение. На основании соотношений, полученных в [10], проанализирована зависимость эффективности стационарного резонансного вынужденного комбинационного рассеяния света от параметров излучения накачки и рассеивающих центров среды. Показано, что эта эффективность в силу высокого поглощения излучения накачки и стоксовой компоненты не может быть значительной.

- [1] **A. C. Albrecht.** Chem. Phys., **34** (1961) 1476—1481
- [2] **D. I. Huber.** Phys. Rev., **131** (1970) 3409—3415
- [3] **A. C. Albrecht, M. C. Hutley.** J. Chem. Phys., **55** (1971) 4438—4443
- [4] **Я. С. Бобович, А. В. Борткевич.** Квант. электрон., **4**, № 3 (1977) 485—512
- [5] **D. P. Strommen, K. J. Nakamoto.** Chem. Educ., **54** (1977) 474—478
- [6] **Ю. Т. Мазуренко.** Опт. и спектр., **56** (1984) 653—658
- [7] **С. А. Ахманов, К. Н. Драбович, А. П. Сухоруков, А. С. Чиркин.** ЖЭТФ, **59**, № 2 (1970) 489—496
- [8] **П. А. Апанасевич, В. В. Квач, В. П. Козич, В. А. Орлович.** Институт физики АН БССР, препринт 381 (1985)
- [9] **S. G. Kruglik, P. A. Apanasevich, V. S. Chirvony, V. A. Orlovich.** J. Phys. Chem., **99**, N 10 (1995) 2978—2995
- [10] **П. А. Апанасевич, Г. И. Тимофеева.** Журн. прикл. спектр., **86**, № 4 (2019) 499—504 [**Р. А. Апанасевич, Г. И. Тимофеева.** J. Appl. Spectr., **86** (2019) 561—566]