EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED.
FÜÜSIKA * MATEMAATIKA
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ФИЗИКА * МАТЕМАТИКА
PROCEEDINGS OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF THE ESTONIAN SSR.
PHYSICS * MATHEMATICS

1988, 37, 4

https://doi.org/10.3176/phys.math.1988.4.08

УДК 535.33

Инна РЕБАНЕ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ И ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ИМПУЛЬСНОГО ФОТОВЫЖИГАНИЯ ДЛЯ СУЖЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ПРОВАЛА

INNA REBANE. INTERFERENTSI JA KAHEASTMELISE IMPULSSFOTOSÄLKAMISE KASUTAMINE SPEKTRAALSE SÄLGU KITSENDAMISEKS

INNA REBANE. THE USING OF INTERFERENCE AND TWO-STEP PULSED PHOTOBURNING TO NARROW THE SPECTRAL HOLE

(Представил В. Хижняков)

В [1] было теоретически показано, что при использовании двухступенчатого импульсного фотовыжигания спектрального провала в случае предельно короткого импульса на втором этапе возбуждения провал в функции неоднородного распределения (ФНР) частоты оптического перехода из основного на первый возбужденный уровень сужается с ростом промежутка времени между импульсами до величины $\Gamma+|\gamma_1-\Delta|$, где Γ и γ_1 — константы фазовой и энергетической релаксации первого возбужденного уровня и Δ — спектральная ширина первого импульса.

В данной работе найдена возможность сузить провал в ФНР до величины $|\gamma_1-\Delta-\Gamma|$, используя на первом этапе возбуждения интерференцию добавочного предельно короткого импульса с импульсом спектральной ширины Δ.

Пусть первый этап частотно-селективного возбуждения в области неоднородно уширенной линии поглощения $0\rightarrow1$ осуществляется двумя импульсами: первым предельно коротким импульсом (δ-импульсом), проходящим центр системы в момент времени 0, и вторым, затухающим по экспоненциальному закону, когерентным импульсом (его частотное распределение имеет форму лоренциана). В этом случае функция, описывающая временное поведение выжигающего поля на первом этапе возбуждения имеет вид ($0\leqslant T_1$):

$$g(t)=S_0\delta(t)+\begin{cases}0, \text{ для } t<T_1,\\ \sqrt{\Delta}\exp\left[-i\omega_0 t-\Delta(t-T_1)/2\right], \text{ для } t\geqslant T_1,\end{cases} \quad (1)$$

где T_1 — момент времени начала прохождения через центр системы второго импульса, ω_0 — центральная частота и Δ — спектральная ширина второго импульса (полная ширина на половине высоты), S_0 — константа.

Поглощение системой в возбужденном состоянии ($1\to 2$) третьего, предельно короткого импульса, приводит к фотоионизации и выжиганию провала. В этом случае ФНР $\varrho(\Omega_{01})$ частоты Ω_{01} оптического перехода $0\to 1$ следующая [2]:

$$\varrho(\Omega_{01})=\varrho_0(\Omega_{01})\,[1-P(\Omega_{01})], \tag{2}$$

где $\varrho_0(\Omega_{01})$ — первоначальная ФНР. Вероятность выжигания $P(\Omega_{01})$, определяющая провал в ФНР $\varrho(\Omega_{01})$, имеет вид [3]:

$$P(\Omega_{01})=\alpha\int\limits_{T_2}^{\infty}\mathrm{d}t_2\iint\limits_{-\infty}^{T_2}\mathrm{d}t\,\mathrm{d}t'\,g^*(t')\,g(t)\,F(t_2,T_2,T_2,t,t'). \tag{3}$$

Здесь α — вероятность фототрансформации с уровня 2,

$$F(t_2,t_1,t_1',t,t')=C\exp\left[-\gamma_2t_2+i\Omega_{12}(t_1-t_1')+(\gamma_2-\gamma_1)(t_1+t_1')/2+\right.$$
$$\left.+i\Omega_{01}(t-t')+\gamma_1(t+t')/2\right]\exp\left[-\Gamma(t_1-t+t_1'-t'+\right. \tag{4}$$
$$\left.+|t_1-t_1'|+|t-t'|-|t_1'-t|-|t_1-t'|)/2\right]$$

— корреляционная функция трехуровневой системы. γ_1 и Γ — константы энергетической и фазовой релаксации первого возбужденного уровня, γ_2 — константа энергетической релаксации второго возбужденного уровня, Ω_{12} — частота перехода $1\to 2$, C — нормировочная константа.

Подставляя формулы (1) и (4) в формулу (3) и интегрируя по формуле (3), получаем вероятность $P(\Omega_{01})$ в виде следующих трех слагаемых:

$$P(\Omega_{01})=P_1+P_2(\Omega_{01})+P_3(\Omega_{01}). \tag{5}$$

Здесь

$$P_1=\frac{\alpha CS_0^2}{\gamma_2}\exp(-\gamma_1T_2) \tag{6}$$

не зависит от частоты перехода Ω_{01} (в рассматриваемом диапазоне частот Ω_{01}) и соответствует возбуждению (выжиганию) δ-импульсом.

Вероятность $P_2(\Omega_{01})$ соответствует возбуждению (выжиганию) вторым импульсом (спектральной ширины Δ):

$$P_2(\Omega_{01})=\frac{\alpha C\Delta}{\gamma_2}\left\{\frac{(a+\Gamma)}{a}\left[x^2+\frac{(a+\Gamma)^2}{4}\right]^{-1}\exp(-\Delta T)+\right.$$
$$+\frac{(a-\Gamma)}{a}\left[x^2+\frac{(a-\Gamma)^2}{4}\right]^{-1}\exp(-\gamma_1T)-$$
$$-2\left[\left(x^2+\frac{(a+\Gamma)(a-\Gamma)}{4}\right)\cos(xT)+\Gamma x\sin(xT)\right]\left[x^2+\frac{(a+\Gamma)^2}{4}\right]^{-1}\times$$
$$\left.\times\left[x^2+\frac{(a-\Gamma)^2}{4}\right]^{-1}\exp\left[-\frac{1}{2}(\Delta+\gamma_1+\Gamma)T\right]\right\}, \tag{7}$$

где $a=\gamma_1-\Delta$, $x=\Omega_{01}-\omega_0$ и $T=T_2-T_1$.

Из формулы (7) следует (см. также рис. 1—3), что с увеличением времени T между вторым и третьим импульсами соответствующий вероятности $P_2(\Omega_{01})$ провал монотонно сужается. Предельная (при $T\to\infty$) ширина провала определяется параметром $\Gamma+|\gamma_1-\Delta|$.

Вероятность $P_3(\Omega_{01})$ соответствует возбуждению (выжиганию) интерференционным членом, возникшим вследствие интерференции первого и второго импульсов (см. рис. 1)

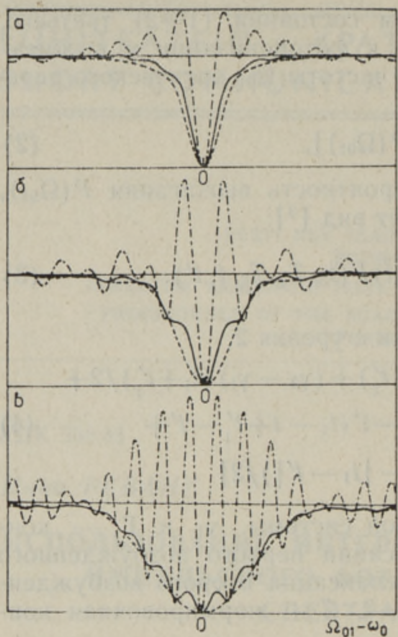

Рис. 1. Провалы в ФНР $\varrho(\Omega_{01})$, соответствующие возбуждению вторым импульсом (штриховая линия), интерференционным членом (штрих-пунктирная линия) и суммарный провал (сплошная линия). Параметры: $\Gamma=0{,}8\gamma_1$, $\Delta=0{,}199\gamma_1$, $S_0=1$; *а* — $T_1=0{,}5\gamma_1^{-1}$, $T_2=4\gamma_1^{-1}$; *б* — $T_1=2\gamma_1^{-1}$, $T_2=4\gamma_1^{-1}$; *в* — $T_1=4\gamma_1^{-1}$, $T_2=5\gamma_1^{-1}$.

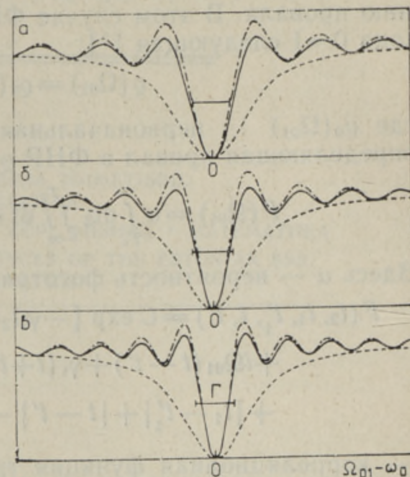

Рис. 2. Провалы в ФНР $\varrho(\Omega_{01})$, соответствующие возбуждению вторым импульсом (штриховая линия), интерференционным членом (штрих-пунктирная линия) и суммарный провал (сплошная линия). Параметры: $\Gamma=0{,}5\gamma_1$, $\Delta=0{,}501\gamma_1$, $T_1=0$; *а* — $T_2=8\gamma_1^{-1}$, $d_1=0{,}9\cdot10^{-2}$; *б* — $T_2=10\gamma_1^{-1}$, $d_1=0{,}4\cdot10^{-2}$; *в* — $T_2=12\gamma_1^{-1}$, $d_1=0{,}1\cdot10^{-2}$.

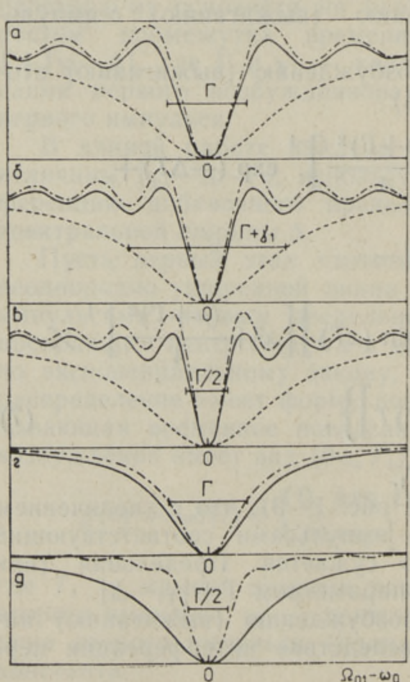

Рис. 3. Провалы в ФНР $\varrho(\Omega_{01})$, соответствующие возбуждению вторым импульсом (штриховая линия), интерференционным членом (штрих-пунктирная линия) и суммарный провал (сплошная линия). Параметры: $\Gamma=\gamma_1$, $T_1=0$; *а* — $\Delta=0{,}001\gamma_1$, $T_2=6\gamma_1^{-1}$, $d_1=0{,}3\cdot10^{-2}$; *б* — $\Delta=0{,}001\gamma_1$, $T_2=8\gamma_1^{-1}$, $d_1=0{,}6\cdot10^{-3}$; *в* — $\Delta=0{,}001\gamma_1$, $T_2=10\gamma_1^{-1}$, $d_1=0{,}1\cdot10^{-3}$; *г* — $\Delta=1{,}001\gamma_1$, $T_2=10\gamma_1^{-1}$, $d_1=1$; *д* — $\Delta=0{,}501\gamma_1$, $T_2=10\gamma_1^{-1}$, $d_1=1$.

$$P_3(\Omega_{01}) = \frac{\alpha C\sqrt{\Delta}\, S_0}{\gamma_2}\left[x^2 + \frac{(a-\Gamma)^2}{4}\right]^{-1}\Big\{[(a-\Gamma)\cos(xT_2) + 2x\sin(xT_2)]\times$$

$$\times\exp\left[-\frac{1}{2}((\gamma_1+\Gamma)T_2+\Delta T)\right] - [(a-\Gamma)\cos(xT_1) + 2x\sin(xT_1)]\times$$

$$\times\exp\left[-\frac{1}{2}(\gamma_1+\Gamma)T_1 - \gamma_1 T\right]\Big\}. \qquad (8)$$

В точке $\Omega_{01}=\omega_0$ при $0\leqslant T_1$ отношение вероятностей равно

$$P_2(\omega_0)/P_3(\omega_0) = d\exp(\Gamma T)\Gamma^{-2}T^{-1}, \qquad (9)$$

где $d=\sqrt{\Delta}\, S_0^{-1}$.

Отсюда видно, что для выполнения условия $P_3 \gg P_2$ с ростом T необходимо уменьшить параметр d. Из формулы (8) следует (см. также рисунки), что при каждом $\Gamma < \gamma_1$ можно подобрать Δ таким образом, чтобы выполнялось условие $\gamma_1 - \Gamma - \Delta = 0$. Тогда с ростом времени T ширина провала (точнее центрального минимума) в ФНР, определяемого вероятностью P_3, стремится к нулю. Если $P_3 \gg P_2$ (на рис. 2 и 3 (*а*—*в*) выбран параметр d так, что $P_3 \geqslant 4P_2$), то и ширина суммарного провала с ростом T стремится к нулю. При $\gamma_1 < \Gamma$ ширина провала с ростом T стремится к значению $\Gamma + \Delta - \gamma_1$. Следовательно, при $\gamma_1 \leqslant \Gamma$ наиболее узкие провалы получаются при $\Delta = 0$, что соответствует включению незатухающего возбуждения в момент времени T_1.

Автор благодарен В. Хижнякову и К. К. Ребане за обсуждение работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rebane, I.*, // Phys. status solidi (b), 1988, **145**, 749—757.
2. *Rebane, L. A., Gorokhovskii, A. A., Kikas, J. V.* // Appl. Phys. B., 1982, **29**, 235—250.
3. *Ребане И.* // Изв. АН ЭССР. Физ. Матем., 1986, **35**, № 3, 296—301.

Институт физики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
14/I 1988