

コヒーレント状態と個数状態を用いたハイブリッド解析手法の 微小共振器ラマン効果への応用

Application of new hybrid algorithm using both coherent state and number state for microcavity Raman effect

○乾 善貴¹、浅野 卓¹、高橋 和²、野田 進¹(1.京大院工, 2. 阪府大院)

°Yoshitaka Inui¹, Takashi Asano¹, Yasushi Takahashi², and Susumu Noda¹ (1.Kyoto Univ., 2.Osaka-Pref. Univ.)

E-mail: inui@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp

序文：フォトリック結晶ヘテロ共振器においてカー効果、二光子吸収、ラマン効果など非線形光学現象が観測されている[1,2]。この共振器のモードは $1\mu\text{m}^3$ 以下のモード体積をもち、数値計算[3]による最大 Q 値 10^9 を用いると理論的には 1 に近い光子数に対して光非線形性が得られる。一方で実験的には Q 値は低下[4]するため光非線形性を得るには 10^3 以上の光子数が必要である。光非線形現象を解析する場合にはこの広い光子数の範囲に適用できる手法が望ましい。非線形現象が 1 程度の光子数に対して生じる場合密度行列を個数状態で展開し解析できるが、この手法は大きい光子数状態で非線形性が現れる場合計算量が増加する。光子数が大きい場合はコヒーレント状態空間のランジュバン方程式[5]を用いた解析が有効であるが、この手法は小光子数で非線形性が現れる場合に発散しやすい。我々はモードによって個数状態とコヒーレント状態を使い分ける手法を考案しラマン効果に用いた。この手法は誘導ラマン効果による発振が 1 程度の光子数に対して実現される場合に密度行列を用いた結果と一致し、 10^3 程度の光子数に対して発振する場合にランジュバン法を用いた結果と一致したため報告する。手法：ラマン効果を表す次のリウビリアン[6]に従うポンプモード a_p 、ストークスモード a_s を考える： $L\rho = G(2a_p a_s^\dagger \rho a_s a_p^\dagger - \rho a_s a_p^\dagger a_p a_s^\dagger - a_s a_p^\dagger a_p a_s^\dagger \rho)$ 。 G はラマン効果の大きさを表す。両共振モードの線幅を同じ γ と仮定し、連続光でコヒーレント励起した場合の両モードの光子数と二次相関関数 $g_{ij}^{(2)}(0) = \langle a_i^\dagger a_j^\dagger a_i a_j \rangle / \langle a_i^\dagger a_i \rangle \langle a_j^\dagger a_j \rangle$ ($i, j = p, s$) を $G/\gamma=1$ の場合と $G/\gamma=10^3$ の場合に計算した。図 1 に手法を示す。各時間ステップにストークス光子数 n_s は図中の確率で 1 増加または 1 減少し、残りの確率で同じ光子数状態にとどまる。この個数状態間の運動を乱数を与えることで行った。ポンプ側は n_s を含む微分方程式に従い、今回はストークス側と同じ Δt を用いた差分方程式により解いた。結果を図 2,3 に示す。横軸は $G=0$ を仮定した場合にポンプモードに励起されている光子数である。新規手法による結果(●)は図 2 の $G/\gamma=1$ の場合に密度行列法(-)による結果と一致し、図 3 の $G/\gamma=10^3$ の場合にランジュバン法による結果(-)と一致した。原理など詳細は当日報告する。参考文献:[1]T.Uesugi et al.,OE14,377(2005).[2]Y.Takahashi et al.,Nature498,470(2013).[3]Y.Tanaka et al.,J.Lightwave Technol.11,1532(2008).[4]T.Asano et al.,OE14,1996(2006).[5]P.D.Drummond and C.W.Gardiner,J.Phys.A13,2353(1980).[6]K.J.McNeil and D.F.Walls,J.Phys.A7,617(1974).

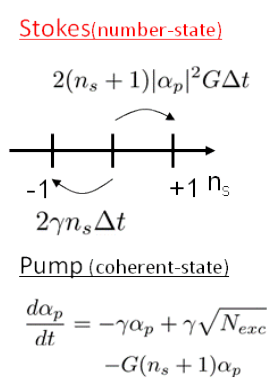


図1. 新規計算手法.

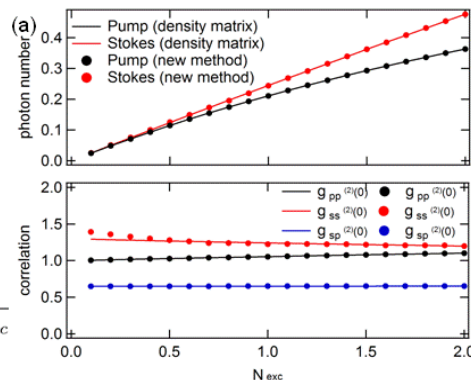


図2. $G/\gamma=1$ の場合(a)光子数(b)相関関数.

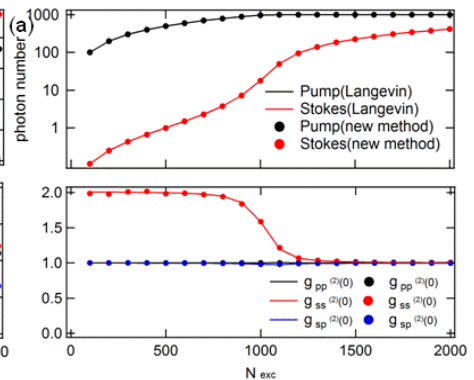


図3. $G/\gamma=10^3$ の場合(a)光子数(b)相関関数.