

共振器 QED 系における超蛍光-レーザークロスオーバーの理論 IV -同期現象としての超蛍光-

Theory of Superfluorescence-Laser Crossover in a Cavity QED System IV -Superfluorescence as a Synchronization Phenomenon-

○瀬崎 陸^{1*}、石川 陽¹、宮島 顕祐²、小林 潔¹(1. 山梨大院工、2. 東理大院理)

○Riku Sezaki^{1*}, Akira Ishikawa¹, Kensuke Miyajima², Kiyoshi Kobayashi¹

(1.University of Yamanashi, 2. Tokyo University of Science.)

*E-mail: g17tz008@yamanashi.ac.jp

超蛍光とは、複数の分極が光を介してコヒーレントに結合し、巨視的な分極が自発的に生成されることで生じる協力的な発光現象のことである [1]。超蛍光のトリガーは自然放出自ら真空場の揺らぎであり、超蛍光は本質的に量子力学的な現象である。このため状態の重ね合わせや真空場などの量子力学的性質を追求するためのツールとして超蛍光は期待できる [2]。また、固体材料からも超蛍光は観測されており、近年ではレーザーに代わる超短パルスコヒーレント光源への応用を念頭に固体における超蛍光の研究が盛んに行われている [3]。

超蛍光は直感的には複数ある分極の位相が揃うことで生じると理解できる。つまり、超蛍光は複数分極による同期現象であると考えられ、そのような観点から研究も進められている [4]。同期現象の発見は Huygens が振り子時計で観測したことに始まり [5]、同期現象を扱う数理モデルとして最も代表的な蔵本モデル

$$\frac{d\phi_i}{dt} = \omega_i - \frac{K}{N} \sum_{j=1}^N \sin(\phi_i - \phi_j) \quad (1)$$

によってそのメカニズムは理解できる [6]。この蔵本モデルによれば、各振動子の位相 ϕ_i が互いに引き込まれるような相互作用（その係数を K ）を仮定すると、ある結合係数 K_c が存在し、 K がその K_c より大きくなれば振動子集団の同期した振動が成長し始めることが解析的に予言される。

本発表では、共振器 QED 系における発光ダイナミクスを記述する Luminescence 方程式 [7] から、分極間の相関の時間発展方程式が、

$$\frac{\partial \phi_i}{\partial t} = \omega_i - R \frac{2g^2(N-1)\gamma\sigma_z^i}{\Omega^2 + \gamma^2} \sin(\phi_i - \Theta) \quad (2)$$

のように蔵本モデルに帰着できることを示す。ここで式 (2) において、 ω_i, σ_z^i : i 番目の 2 準位系の共鳴周波数およびエネルギー状態、 g : 光子と 2 準位系の相互作用係数、 N : 2 準位系の総数、 Ω : 2 準位系と光子の周波数離調、 γ : 分極の緩和レート、 Θ : 分極の位相の平均、 R : 複数分極系の同期率を表す指標である。この結果より同期現象の起源である引き込み型の相互作用係数は g, N, Ω, γ などによって決まることが分かるので、それらの物理量を変化させた時の超蛍光の発生を同期現象における相転移として議論できる。さらに、式 (2) へ自然放出および誘導放出の効果を取り入れ、共振器 QED 系における超蛍光とレーザーを同期現象の観点から包括的に取り扱い、メカニズムの違いとそれらのクロスオーバーについて探求していく。

[1] R.H.Dicke, Phys. Rev. 93, 99 (1954).

[2] D.C.Dai, et al. Phys. Rev. B 84, 115206 (2011).

[3] K.Miyajima, et al. J.Phys. Condens. Matter 21, 195802 (2009).

[4] N.Yokoshi, et al. Phys. Rev. Lett. 118, 203601 (2017).

[5] Ch.Huygens, "The Pendulum Clock.", Iowa State University Press, Ames, (1986).

[6] Y.Kuramoto, et al. J. Stat. Phys. 49, 569 (1987).

[7] R.Sezaki et al. Appl. Phys. A 123, 690 (2017).