

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 V

Theory of Superfluorescence-Laser Crossover in a Cavity QED System V

○瀬崎 陸^{1*}、石川 陽¹、宮島 顕祐²、小林 潔^{1,3}(1. 山梨大院工、2. 東理大院理、3. 東洋大経)○Riku Sezaki^{1*}, Akira Ishikawa¹, Kensuke Miyajima², Kiyoshi Kobayashi^{1,3}

(1.University of Yamanashi, 2. Tokyo University of Science, 3. Toyo University)

*E-mail: g19dte06@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期待できる [2]。また、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、超蛍光は光を介して結合した分極集団による同期現象であると考えられている [4]。前回の講演では、超蛍光が支配的になる条件下において、共振器 QED 系での発光ダイナミクスを記述する Luminescence 方程式 [5] が次式のような分極の位相に関する運動方程式に帰着できることを示した [6]。

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

ここで式 (1) において、 ω_i, σ_z^i は i 番目の 2 準位系の共鳴周波数および占有率、 g は光子と 2 準位系の相互作用係数、 N は 2 準位系の総数、 Ω は 2 準位系と光子の周波数離調、 γ は分極の緩和レートであり、分極の位相と大きさの平均値 Θ, R を導入し平均場近似を行った。この式 (1) は蔵本モデル [7] と等価であり、超蛍光のメカニズムは振動子集団の同期現象として記述できることがわかった。さらに (1) から、複数分極系が同期する条件として次式が得られた。

$$\frac{g^2}{\left(\sqrt{\frac{\gamma}{N\sigma_z\pi f(\omega_0)}}\right)^2} - \frac{\Omega^2}{\gamma^2} > 1 \quad (2)$$

この条件によると、超蛍光の発生を g, Ω などのパラメーターに依存する分極集団の同期現象として記述できることがわかった。本講演では、Luminescence 方程式を用いたシミュレーションと比較することで解析的に得られた条件式 (2) 式の物理的意味を考察する。今後の展望として、式 (1) に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。また、2 準位系が不均一である場合に、その不均一性が分極間の相関形成にどのように寄与するかを同期現象における位相ダイナミクスの視点から議論していく。

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

[6] 瀬崎 陸, 他, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会 11p-PB1-12 (2019).

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