

光近接場量子ダイナミクスにおける non-Markovian 過程の理論的解明

Theoretical study on non-Markovian processes in optical near-field quantum dynamics

山梨大学 °矢崎 智昌, 岡田 遼, 石川 陽, 小林 潔

University of Yamanashi. °T. Yazaki, R. Okada, A. Ishikawa, and K. Kobayashi

E-mail: g16tz020@yamanashi.ac.jp

1. 研究背景と目的

従来の理論は、光をその波長に比べて十分遠方から入射し、十分遠方で観測することを前提としていた。そのため、光の波長より十分小さい物質は一様な応答をすることとして光系に重点を置くか、光は空間的に一様で物質との相互作用は点で起こるとし物質系に重点を置く定式化が行われてきた。しかし、光近接場は、波長以下の微小領域での光と物質の相互作用が起源であり、光と物質を対等に取り扱うことが重要となる。本研究では、電子系と光系ともに量子論的に取り扱い、全系のダイナミクスを解析することで、光近接場相互作用が関与する現象の解明を目指している。

2. 理論

量子化された自由光子場が2つの独立な二準位電子系と相互作用するモデルを考え、全系の2次以下の物理量の時間発展を考察する。素の電子系と光子系の相互作用は、非回転波近似のもと電気双極子相互作用を想定する。前回講演と同様、光近接場量子ダイナミクスを記述する Luminescence 方程式を導出し、電子系と光子系の相関を電子系のダイナミクスへ繰り込むことで、Photon propagator を用いてまとめることができる [1, 2]。導出された方程式によれば、励起エネルギーは、non-Markovian 過程における時間発展する Photon propagator を介して二準位電子系間でやり取りされ、各二準位電子系の励起子密度は非線形に時間変化する。したがって、non-Markovian 過程における Photon propagator より光近接場の特徴を見出すことができると期待される。

3. 解析と考察

以下のように導出された non-Markovian 過程の Photon propagator に対して、二準位系間の距離依存性、回転波近似の有無による違い等を解析し、光近接場相互作用に不可欠な素過程を議論する。

$$G_{\ell,\ell'}(\omega_\ell, T) \stackrel{\text{def}}{=} \int d\vec{k} \frac{\omega(\vec{k})}{16\pi\hbar\epsilon_0} \{e^{-i\{\vec{k}\cdot\vec{r}-(\omega(\vec{k})-\omega_\ell)T\}} - \alpha e^{i\{\vec{k}\cdot\vec{r}-(\omega(\vec{k})+\omega_\ell)T\}}\}$$

また、前回講演 [2] の Markovian 過程と光の非線形分散を仮定した場合における結果と比較し、物質と光の動的相互作用によって自由光子場の線形分散がどの様に変調されるのか議論する。

4. まとめと展望

本講演では、物質－光結合系の量子ダイナミクスに現れる光近接場相互作用の起源を議論した。今後は、光近接場の分散関係や生成・消滅演算子の定義、物質－光近接場相互作用の定式化などを進め、光近接場の量子論構築を目指す。

参考文献

- [1] N. Yokoshi et al., Phys. Rev. Lett. **118**, 203601 (2017).
- [2] 矢崎 智昌, 岡田 遼, 石川 陽, 小林 潔, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会(2017 年).