

厳密に解ける微視的位相変調模型

筑波大・物理 番 雅 司
有 光 敏 彦

厳密に解ける位相変調のモデルを示し、その解法と解の性質を調べた¹⁾。さらに、この厳密解が、光エコーと2次光学過程に応用できることを示した^{2,3)}。

モデルは、注目するA部分系と、その位相にのみ影響を与えるB部分系とから成り、さらにこのB部分系が熱浴と接触しているものである。このモデルのハミルトニアンは次の式で与えられる。(ħ=1)

$$\begin{aligned} H &= H_A + H_{AB} + H_B + H_{BR} + H_R \\ H_{AB} &= gA_0 b^\dagger b \\ H_B &= \omega_B b^\dagger b \\ H_{BR} &= \lambda (b^\dagger R + b R^\dagger) \end{aligned}$$

ここで、 R は熱浴の変数である。B部分系はフォノン系であるものと仮定するので、 b^\dagger , b はボゾンの生成消滅演算子である。そしてA部分系のハミルトニアンは、このモデルをランダム周波数変調に用いる場合には

$$H_A = \omega_A a^\dagger a, \quad A_0 = a^\dagger a, \quad [a, a^\dagger]_- = 1$$

であり、光エコーに用いる場合には

$$H_A = E_1 a_1^\dagger a_1 + E_2 a_2^\dagger a_2, \quad A_0 = a_2^\dagger a_2, \quad [a_i, a_j^\dagger]_+ = \delta_{ij}$$

である。ただし、 $|1\rangle$ ($|2\rangle$)は原子の基底(励起)状態を表わす。さらに、2次光学過程の場合には

$$H_A = \sum_{j=1}^3 E_j a_j^\dagger a_j, \quad A_0 = a_3^\dagger a_3, \quad [a_i, a_j^\dagger]_+ = \delta_{ij}$$

である。ただし、 $|1\rangle$ は始状態、 $|2\rangle$ は終状態、 $|3\rangle$ は中間状態である。

H により時間発展するリウビル方程式に、減衰理論を適用して熱浴の変数を消去する。得られた方程式で、B部分系の変数をボゾンコヒーレント表示を用いて書き換えてやれば、 β ,

$\beta^*(b|\beta\rangle = \beta|\beta\rangle$, $|\beta\rangle$: コヒーレント状態) に関する 2 階の微分方程式になる。この方程式は、厳密に解くことができる。その結果、AB 間相互作用を正確に取り入れた、A + B 部分系の密度行列に対する厳密な表式が得られる。さらに A 部分系の情報のみが必要な場合は、得られた表式を β について積分してやればよい。

このようにして得られた密度行列を用いて、種々の物理量を計算することができる。ランダム周波数変調に応用する場合は、外場に対する応答関数を計算することによって、強度スペクトルが求められる。光エコーに応用する場合は、先に 2 準位 A 部分系についての行列要素を計算し、その後で β についての積分を行なうことによって、光エコーの強度が求められる。さらに、2 次光学過程の場合は、光エコーの場合と同様の方法によって、 $|1\rangle \rightarrow |3\rangle \rightarrow |2\rangle$ という遷移確率を計算することができ、それによってスペクトル分布が求められる。

以上のようにして得られた主な結果をまとめると、次のようになる。 κ を熱浴による減衰定数とする。弱結合 ($g/2\kappa \ll 1$) の極限では、得られた表式を $g/2\kappa$ について 2 次まで展開すると、ランダム周波数変調、光エコー、2 次光学過程のいずれの場合も、B 部分系の A 部分系に対する効果をガウス=マルコフ過程のランジュバン力と仮定した、確率過程による解析の結果と一致する。⁴⁻⁶⁾ また逆の強結合 ($g/2\kappa \gg 1$) の極限では、B 部分系のダイナミクスを反映した振動が、種々の物理量に現われる。この振動の周期から直接に、AB 間相互作用についての情報が得られる。また A 部分系の減衰の温度依存性も調べられる。

このモデルは、AB 間相互作用を拡張することによって、局在電子-フォノン系に応用することができる。⁷⁾ さらに、減衰理論の厳密な扱いや、ハイゼンベルグ形式による解析も可能である。

- 1) T. Arimitsu, M. Ban and F. Shibata: *Physica* **122A** (1983).
- 2) T. Arimitsu and M. Ban: *J. Phys. Soc. Japan* **53** (1984) No. 1.
- 3) T. Arimitsu and M. Ban: *J. Phys. Soc. Japan* **53** (1984) No. 1.
- 4) R. Kubo: *J. Phys. Soc. Japan* **9** (1954) 935.
- 5) E. Hanamura: *J. Phys. Soc. Japan* **52** (1983) 2258.
- 6) T. Takagahara, E. Hanamura and R. Kubo: *J. Phys. Soc. Japan* **43** (1977) 802, 811.
- 7) M. Ban and T. Arimitsu: *J. Phys. Soc. Japan* (1984) submitted.