

1C1b 最適制御シミュレーションを使ったデコヒーレンス抑制機構の解析

(東北大院理, JST-CREST) 大槻幸義

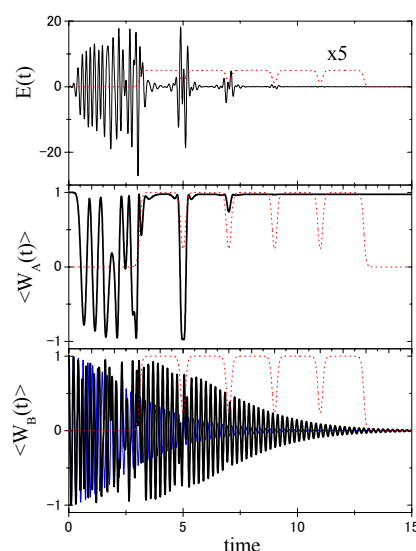
y-ohtsuki@mail.tains.tohoku.ac.jp

【序】波動関数の量子干渉を制御できれば高選択的・高効率の化学反応制御から量子情報処理まで、従来技術の延長上では不可能である新技術が実現できる。しかし、波動関数の干渉は環境体からの影響により容易に壊れてしまう（デコヒーレンス）。量子技術を現実のものとするため、デコヒーレンス抑制は長い間（主に理論面から）研究されてきた。例えば量子バンバン制御（動的デカップリング法）においては、（適当な）ユニタリな外部操作を系に繰り返し加えることで、系と環境体との相互作用を実効的に取り除く。本研究では、新しく開発したペナルティフリーの最適制御シミュレーションによりデコヒーレンスを抑制するレーザーパルスを数値設計し、①要求されるレーザースペックを具体的に示すとともに、②最適な抑制機構を明らかにする。

【理論・結果】デコヒーレンスが次の非マルコフマスター方程式で記述される場合を考える。

$$\frac{\partial}{\partial t} G(t,0) = -\frac{i}{\hbar} [H_S - \mu E(t), G(t,0)] - \int_0^t dt' \Gamma(t-t') G(t',0) \quad (1)$$

ここで $G(t,0)$ はリウヴィル空間での時間発展演算子（密度演算子に対する時間発展演算子）である。また、外場・デコヒーレンスが存在しない場合の自由な時間発展演算子を $G_0(t) = \exp(-iL_S t)$ と記す。シミュレーションでは $G(t,0) \approx G_0(t)$ となるように最適レーザーパルスを設計する。具体的には与えられた時間範囲内で $G(t,0)$ と $G_0(t)$ の行列要素の差の二乗和が最小になるように最適化する。（解法アルゴリズムは文献[1]参照）



ここでは2準位系を考え、エネルギー差は30、遷移モーメントは1.0、位相緩和定数を0.5としてシミュレーションを行った。2準位間のコヒーレンスが指定された時間内に保持されることを目的にパルスを設計した。緩和演算子を次式（Liouville空間表示）で近似する。

$$\Gamma(t-t') = (|12\rangle\langle\langle 12| + |21\rangle\langle\langle 21|) \frac{\gamma_0}{\tau} \exp\left(-\frac{|t-t'|}{\tau}\right) \quad (2)$$

但し、 γ_0 は緩和の大きさを表す定数、 τ は熱浴コヒーレンスの持続時間を表すパラメータであり、それぞれ $\gamma_0 = 0.3$ 、 $1/\tau = 1.1$ とした。図の上から順にデコヒーレンス抑制パルス、パルス照射下での演算子 $W_A = |1\rangle\langle\langle 1| - |2\rangle\langle\langle 2|$ 、 $W_B = |1\rangle\langle\langle 2| + |2\rangle\langle\langle 1|$ の相関関数の時間発展を示す。

[$\langle W_A(t) \rangle = \text{tr}\{W_A \exp(-iLt)W_A\}$ など]。なお、点線で表された制御時間内では位相も一定値を保つように制御されている。時刻 $t \in [0,3]$ においては、超短 2π パルス列により分布が激しく振動しており、デコヒーレンスが効果的に抑制されている（最下図には抑制パルスがない場合の密度演算子の非対角要素の時間発展も示してある）。パルス時間幅の有限により、パルス照射中は密度演算子の位相を一定に保てない。そのため制御時間内でパルスは現れない。

[1] Y. Ohtsuki et al., Phys. Rev. A in press.