

どんな問題に取り組むのか？

量子ビットの制御には古典的手段を用いれば十分であるが、量子力学的に無限エネルギーの極限としてしか定義されない。実際には制御光の有限性によって、本質的に制御誤差を生ずることを示し、その限界と、それを満たすための条件を理論的に解析算出する。

得られた結果はどう新しいのか？

最も一般的な、光(電磁波)による2準位系量子ビットを用い、量子ビット制御のモデルを考え、量子ビットの準位ダイナミクスを一般的に解き、パルス面積定理の量子力学版を与えた。古典版とは異なり、制御光の強度 $|\alpha|$ がパラメータとなり、有限の誤差を伴ったものになる。

この研究が成功した場合のインパクトは？

要求される制御精度を達成するために必要な制御光の最小強度が計算でき、それに基づいた量子ビットの集積方法の検討などにつながる。量子計算機の部品としての量子ビットの制御システムを設計する指針が得られることになる。

連絡先：

NTT物性科学基礎研究所 量子光物性研究部
井桁 和浩 (KAZUHIO IGETA)
TEL: 046-240-3429 FAX: 046-240-4726
電子メール: igeta@nttbrl.jp

解析した制御モデル

制御光 ρ_f \rightarrow $\text{Tr}_q\{U\rho_q \otimes \rho_f U^\dagger\}$

Jaynes-Cummings interaction Hamiltonian $\mathcal{H}_I = \hbar g (\alpha\sigma_+ + \alpha^\dagger\sigma_-)$

ρ_q \rightarrow $\text{Tr}_f\{U\rho_q \otimes \rho_f U^\dagger\}$

$|\text{qubit}\rangle = \cos\theta |0\rangle + e^{i\phi}\sin\theta |1\rangle$
 $= e^{i\phi/2} P(\phi) \begin{pmatrix} \sin\theta \\ \cos\theta \end{pmatrix}$ $P(\phi) \equiv \begin{pmatrix} e^{-i\phi/2} & 0 \\ 0 & e^{i\phi/2} \end{pmatrix}$

解析結果

初期に下準位にあった量子ビットを有限強度($|\alpha|=0.1\sim 15$)で制御した場合の上準位占有確立 P_1

有限強度 α の $\pi/2$ パルスを用いた制御の際の制御結果

結論

コヒーレント強度 $|\alpha|$ が10以下になると、古典的なラビ振動からの準位確立のずれが量子ビットの制御誤差として問題になってくる。また、付随した量子的純粋性も劣化することも定量的に確認できた。しかし多数の累積誤差を考えなければ $|\alpha|=10$ (平均光子数100)程度の超微弱光でも正確な動作が保証されることもわかった。