

23pTF-5 純粋に指数関数的に崩壊する系での量子ゼノ効果

科技団 CREST^A, 阪大院基礎工^B, 東大院総合文化^C

越野 和樹^{AB}, 清水 明^C

Quantum Zeno effect for exponentially decaying systems

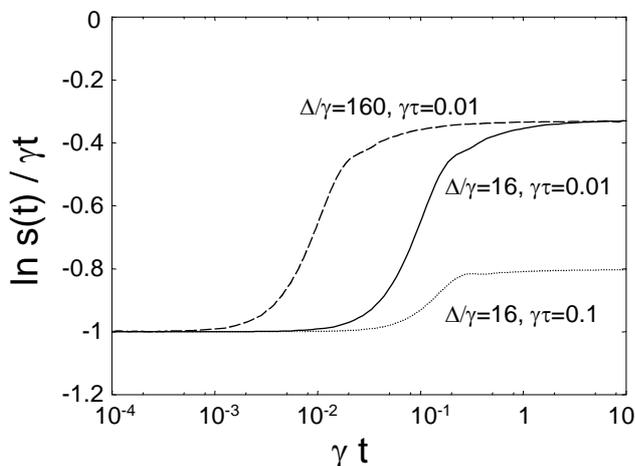
CREST JST^A, Osaka Univ.^B, Tokyo Univ.^C

K. Koshino^{AB} and A. Shimizu^C

一般に、量子不安定系の生存確率は、崩壊のごく初期では2次関数的に減少し、その後に指数関数的な振舞いへと移行する。その移行は $t \sim \tau_j$ におこり、ジャンプ時間と呼ばれている。この事実と測定におけるフォン・ノイマンの射影仮説とを組み合わせると、 $\tau < \tau_j$ を満たすような短い時間間隔 τ で不安定系が崩壊したか否かの測定を繰り返すことにより、不安定系の寿命が長くなることが結論される。連続測定の場合にも、測定器の応答時間 τ が $\tau < \tau_j$ であれば同様の効果が起こると考えられている。これらの予言は量子ゼノ効果と呼ばれている。しかし、現実の不安定系ではジャンプ時間 τ_j は極めて短く、既存の測定器では $\tau < \tau_j$ の条件を満足できないため、量子ゼノ効果を不安定系で観測することは非常に難しいと思われてきた。本講演では、有限の検出エネルギーバンド幅を持つ測定器を用いて不安定系を連続的に測定するという現実的な状況を解析することにより、従来の理論では決して量子ゼノ効果がおこらないとされている、純粋に指数関数的に崩壊する(ジャンプ時間 $\tau_j = 0$)の系においても、量子ゼノ効果が起こりうることを示す。

現実的な測定過程の典型例として、励起状態にある原子の崩壊を、放出される光子を光子吸収型検出器で計数する状況を考える。原子 - 光子相互作用に関して、(角度積分の後)光子のエネルギー k に依存せず定数 $\gamma/2\pi$ であるとすれば、励起状態の生存確率は厳密に $s(t) = \exp(-\gamma t)$ となり、従来の理論では決してゼノ効果は起こらない $\tau_j = 0$ の状況が作れる。光子と検出器との相互作用に関しては、 $|k - \Omega_0| < \Delta$ (但し、 Ω_0 は原子の遷移エネルギー)のエネルギーの光子だけが検出器と相互作用し、応答時間 τ で計数器にカウントされる状況を取り扱う。即ち、光子計数器は Ω_0 を中心に幅 2Δ の検出エネルギーバンドを持つ。

上述の特性を持つ検出器に連続測定されている状況下での崩壊レート $-\ln[s(t)]/\gamma t$ の時間依存性を図に示した。図からわかるように、系の崩壊は2段階的な振舞いをする。つまり、 $t \ll \Delta^{-1}$ では元来のレート γ で崩壊するが、 $t \gg \Delta^{-1}$ では抑圧されたレートで崩壊する。この系でゼノ効果が起こる条件は次のようにまとめられる。(i) 第一段階が終わった $t \sim \Delta^{-1}$ で原子がまだ殆ど励起状態に留まっている [$\gamma/\Delta \ll 1$]。 (ii) 第二段階での崩壊レートが元来のレート γ にくらべ十分抑圧されている [$\tau\Delta < 1$]。図中のパラメータではこれらの条件が満たされており、確かにゼノ効果が起こっている。



この結論は、 $\tau_j = 0$ の系においては量子ゼノ効果が起こりえないとする射影仮説を用いた理論と一見矛盾するように見える。しかし、簡単な議論から、射影仮説を用いた理論は Δ

の場合に相当することが分かり、有限の τ では前述の条件(ii)を満足できないためにゼノ効果が起こらないとされてきたのである。講演では、逆ゼノ効果などにも触れる。

詳細: KK & AS, PRL 92 (2004) 030401.