

1.基本模型及参数

Hamiltonian

$$\begin{aligned}
 H &= H_0 + H_I \\
 H_0 &= \nu a^\dagger a - \Delta |e\rangle \langle e| \\
 H_I &= H_{ge} + H_{re} \\
 H_{ge} &= \frac{\Omega_g}{2} |e\rangle \langle g| e^{i\eta_g(a^\dagger + a)} + H.c \\
 H_{re} &= \frac{\Omega_r}{2} |e\rangle \langle r| e^{i\eta_r(a^\dagger + a)} + H.c
 \end{aligned}$$

$$\frac{d}{dt}\rho = -i[H, \rho] + \sum_{j=g,r} \frac{\gamma_j}{2} (2|j\rangle \langle e| \tilde{\rho} |e\rangle \langle j| - |e\rangle \langle e| \rho - \rho |e\rangle \langle e|)$$

where

$$|j\rangle \langle e| \tilde{\rho} |e\rangle \langle j| = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 d(\cos \theta_j) \mathcal{N}_j(\cos \theta_j) |j\rangle \langle e| e^{i\eta_j(a^\dagger + a)} \rho e^{-i\eta_j(a^\dagger + a)} |e\rangle \langle j|$$

参数（LD参数和耗散参考钙离子）：

$$\begin{aligned}
 \nu &= 1 \\
 \gamma_g &= 40/3 \\
 \gamma_r &= 20/3 \\
 \Omega_g &= 10 \\
 \Omega_r &= 20 \\
 \eta_g &= 0.15 \\
 \eta_r &= -0.15
 \end{aligned}$$

初始声子数 $n_0 = 4$,总演化时间 $T = 800$

2.基本图像

相互作用哈密顿量 $H_I = H_{ge} + H_{re}$ 分别在 $\{|e\rangle, |g\rangle, |r\rangle\}$ 和缀饰态表象 $\{|e\rangle, |+\rangle\}$ 下近似为

$$\begin{aligned}
 H_I &= \left(\frac{\Omega_r}{2} |e\rangle \langle r| + \text{h.c.} \right) + \left(i\eta_d \frac{\Omega_g}{2} |e\rangle \langle g| (b + b^\dagger) + \text{h.c.} \right), \\
 &= i\eta_d \frac{\Omega_+}{2} |+\rangle \langle g| (b + b^\dagger) + \text{h.c.}
 \end{aligned}$$

其中, $\Omega_+ = \frac{2\Omega_g \gamma}{\Omega_r}$ 。

从缀饰态表象下看, 冷却跃迁为

$$|g\rangle|n\rangle \xrightarrow{\text{跃迁}} |+\rangle|n-1\rangle \xrightarrow{\text{等效线宽耗散}} |g\rangle|n-1\rangle$$

但在强耦合下, 跃迁速率大于耗散速率, 耗散速率即 $|+\rangle$ 的等效线宽限制了冷却速度极限, 约为

$$W = \frac{\gamma_+}{2} \frac{1}{1+n_0}$$

其中 γ_+ 为 $|+\rangle \xrightarrow{\text{耗散}} |g\rangle$ 的耗散速率 $\gamma_+ = \frac{\gamma_g \gamma}{\Delta}$

为了突破这一限制, 我们考虑利用两种脉冲激光实现快速冷却

1) Step1 (时长 T_1) .加EIT冷却光, 哈密顿为 H , 实现 $|g\rangle|n\rangle$ 与态 $|+\rangle|n-1\rangle$ 之间的拉比振荡, 忽略耗散. $|g\rangle|n\rangle$ 约一半的布居转移至 $|+\rangle|n-1\rangle \approx |r\rangle|n-1\rangle$

2) Step2 (时长 T_2) .加一束回泵共振光耦合 $|r\rangle$ 与 $|e\rangle$ 态 (我感觉此时Hamilton的选择有一定的自由性, 比如 Ω_r 可以与Step1不同, 且Hamilton是否包含 $|g\rangle$ 与 $|e\rangle$ 态对结果也会有一些影响, 我一般取 $\nu a^\dagger a + H_{ge} + H_{re}$, 因为最后内态会掉到暗态), 有跃迁 $|+\rangle|n-1\rangle \approx |r\rangle|n-1\rangle \xrightarrow{\text{跃迁}} |e\rangle|n-1\rangle \xrightarrow{\text{自然线宽耗散}} |g\rangle|n-1\rangle$, 布居经耗散快速转移至 $|g\rangle|n-1\rangle$

交替进行1-2过程 N 次, 最后进行EIT冷却, 从而冷却至稳态

3.需求

1) 给定时间 (如 $T = 800$) 和参数, 找出最优的 T_1 和 T_2 和周期数 N , 使冷却过程的等效冷却速度 (从初始声子到稳态声子的指数衰减速度) 达到最大

2) 讨论 T_1 和 T_2 随不同 Ω_g 和初始声子数 n_0 的变化关系

3) 讨论在不同 Ω_g 和初始声子数 n_0 下的速度提升倍数 W_a/W , W_a 是经过调控后的冷却速度, W 为原始EIT冷却的速度 (也可以讨论速度提升的绝对值 $W_a - W$)