2020 年度 zzz 卒 s 業論文 z

超伝導準集中定数回路を用いた高強度結合素子 sl の製作

2020 年 10 月 7 日

東京理科大学 理学研究科物理学専攻　蔡研究室
（学籍番号 1219537）

宮永　崇史

東京理科大学 理学 s 研究 s 科物理学専攻

第 1 章

sssszs 序論

[?]a ２００７年にカナ s; ダの D-wave 社が大規模な量子アニーリングシステムを開発したことにより世間の注目を浴びた量子計算。その計算手法の構築に日本の研究者が関与したということはよく知られるところである。
この章では従来の量子アニーリング手法について簡便に解説したのち、今福さんによる新手法の意義、方法について述べる。
s222

1.1 アニーリング量子計算 sss

基底状態探索として近年量子アニーリングという手法がよく使われている。この計算手法は駆動ハミルトニアンを V と定義したときに系のハミルトニアンを

$$\hat{H}(t) = s(t)\hat{H} + (1 - s(t))\hat{V} \tag{1.1}$$

と定義する。初期状態は $t = 0$ で $s(t) = 0$、$t = t_f$ で $s(t_f) = 1$ であることに注意する。量子力学の断熱定理によれば系の初期状態を初期ハミルトニアン V で用意すれば逐次的にハミルトニ a アンを変動させることで $t = t_f$ ではハミルトニアン H_f において基底状態を実現することができるというものである。

上式によればエネルギー gap が小さければ小さいほどに演算に時間がかかるという結果が得られる。また実験で

第 2 章

Appendix

ここでは、卒業論文本旨には記載しなかった計算の類をまとめておく。

2.1 Appendix

ここでは、Hamiltonian の変換を行う。

$$\hat{\mathcal{H}} = \hbar \left(\hat{a}^\dagger \ \hat{b}^\dagger \right) \begin{pmatrix} \tilde{\omega}_a & g(\Phi) \\ g(\Phi) & \hat{\omega}_b \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{pmatrix} \tag{2.1}$$

$$= \hbar\hat{\omega}_a \hat{a}^\dagger \hat{a} + \hbar\hat{\omega}_b \hat{b}^\dagger \hat{b} + \hbar g(\Phi) \left(\hat{a}^\dagger \hat{b} + \hat{a}\vec{b}^{+} \right) \tag{2.2}$$

$$\hat{c}_\pm = \frac{\hat{a} \pm \hat{b}}{\sqrt{2}} \quad \hat{c}_+^\dagger = \frac{\hat{a}^\dagger \pm \hat{b}^\dagger}{\sqrt{2}} \tag{2.3}$$

$$\hat{a}^\dagger = \frac{\hat{c}_+^\dagger + \hat{c}_-^\dagger}{\sqrt{2}} \quad \hat{b} = \frac{\hat{c}_+^\dagger - \hat{c}_-^\dagger}{\sqrt{2}} \tag{2.4}$$

$$\hat{a} = \frac{\hat{c}_+ + \hat{c}}{\sqrt{2}} \quad \hat{b} = \frac{\hat{c}_+ - \hat{c}_-}{\sqrt{2}} \tag{2.5}$$

$$\hat{a}^\dagger \hat{a} = \frac{1}{2} \left(\hat{c}_+^\dagger + \hat{c}_-^+ \right) \left(\hat{c}_t + \hat{c}_- \right) \quad \hat{a}^\dagger \hat{b} = \frac{1}{2} \left(\hat{c}_t^+ + \hat{c}_-^+ \right) \left(\hat{c}_+ - \hat{c}_- \right) \tag{2.6}$$

$$\hat{b}\hat{b} = \frac{1}{2} \left(\hat{c}_t + \hat{c}_-^+ \right) \left(\hat{c}_+ - \hat{c}_- \right) \quad \hat{a}\hat{b}^\dagger - \frac{1}{2} \left(\hat{c}_t + \hat{c}_- \right) \left(\hat{c}_t^+ - \hat{c}_-^+ \right) \tag{2.7}$$

$$\hat{a}^\dagger \hat{a} = \frac{1}{2} \left[\hat{c}_t^+ \hat{c}_+ + \hat{c}_t^+ \hat{c} + \hat{c}_-^+ \hat{c}_t + \hat{c}_-^+ \hat{c}_- \right] \tag{2.8}$$

$$\hat{b}^\dagger \hat{b} = \frac{1}{2} \left[\hat{c}_t^* \hat{c}_t - \hat{c}_t^n \hat{c} - \hat{c}_-^+ \hat{c}_t + \hat{c}_-^+ \hat{c} - \right] \tag{2.9}$$

$$\hat{a}^\dagger \hat{b} = \frac{1}{2} \left[\dot{c} + \hat{c}_t - \hat{c}_t \hat{c}_- + \hat{c}_-^+ \hat{c}_t - \hat{c}'_- \hat{c}_- \right] \tag{2.10}$$

$$\hat{a}\hat{b}^{\dagger} = \frac{1}{2}\left[\hat{c}_{+}\hat{c}_{+}^{4} - \hat{c}_{+}\hat{c} \pm +\hat{c} - \hat{c}_{+}^{2} - \hat{c} - \hat{c}_{-}\right] \tag{2.11}$$

$$\hat{H} = \frac{\hbar}{2}\hat{w}_{a}\left[\hat{c}_{t}^{+}\hat{c}_{+} + \hat{c}_{t}^{+}\hat{c} + \hat{c}_{-}^{+}\hat{c}_{t} + \hat{c}_{-}^{+}\hat{c}_{-}\right] \tag{2.12}$$

$$+\frac{\hbar}{2}\hat{\omega}_{b}\left[\hat{c}_{+}^{+}\hat{c}_{+} - \hat{c}_{+}^{+}\hat{c}_{-} - \hat{c}_{-}^{+}\hat{c}_{+} + \hat{c}_{-}^{+}\hat{c}_{-}\right] \tag{2.13}$$

$$+\frac{\hbar}{2}g\left[2\hat{c} + \hat{c}_{+} - 2\hat{c}_{-}\hat{c}\right] \tag{2.14}$$

$$\hat{H} = \frac{\hbar}{2}\left(\hat{\omega}_{a} + \hat{\omega}_{b} + 2g(\Phi)\right)\hat{c}_{t}^{+}\hat{c}_{+} + \frac{\hbar}{2}\left(\hat{w}a + \hat{w}_{b} - 2g(\Phi)\right)\hat{c}_{-}^{+}\hat{c}_{-} \tag{2.15}$$

$$+\frac{\hbar}{2}A\left(\hat{w}_{a} - \hat{w}_{b}\right)\left(\hat{c}_{t} + \hat{c}_{-} + \hat{c}_{+}\hat{c}_{-}\right) \tag{2.16}$$

$$\omega_{a} + \bar{c}_{b} + 2g(\Phi) = \Omega + \tag{2.17}$$

$$\omega_{a} + \bar{c}_{b} - 2g(\Phi) = \Omega - \tag{2.18}$$

$$\hat{\omega}_{a} - \hat{w}_{b} = \Delta \tag{2.19}$$

$$\hat{H} = \frac{\hbar}{2}\Omega + \hat{c} + \hat{c} + \frac{\hbar}{2}\Omega - \hat{c} \pm \hat{c} + \frac{\hbar}{2}\Delta\left(\hat{c} + \hat{c} + \hat{c}_{+}\hat{c}_{-}^{+}\right) \tag{2.20}$$

$$-\frac{\hbar}{2}\begin{pmatrix} \hat{c}_{+} & \hat{c}\pm \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \Omega_{1} & \Delta \\ 2 & \Omega_{2} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \hat{c}_{+} \\ \hat{c}_{-} \end{pmatrix} \tag{2.21}$$

2.2　結合素子の諸々計算

dc-SQUID のインダクタンスは

$$L_{s}(\Phi) = \frac{\Phi_{0}}{4\pi I_{c}|\cos(\phi_{-}^{min}(\Phi_{ext}))|} \tag{2.22}$$

と記述することができる。

$$\Phi = \Phi_{ext} + L_{loop} \tag{2.23}$$

$$\beta_{dc} = \frac{2\pi L_{loop} I_{c}}{\Phi_{0}} \tag{2.24}$$

とすると。