

## 銅酸化物超伝導体を使った量子ビットのシミュレーション

Cuprate superconductor qubits simulation

小泉裕康

筑波大学計算科学研究センター

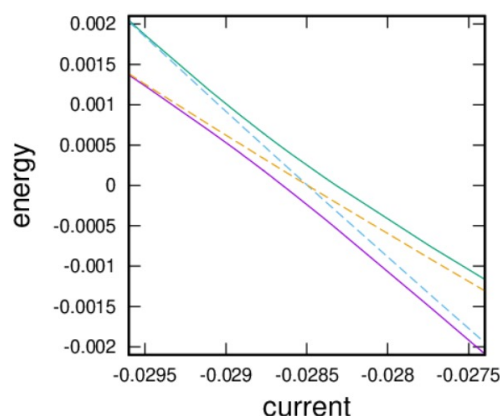
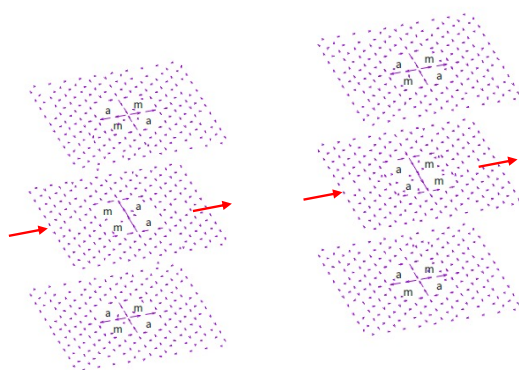
### 1. 研究目的

銅酸化物超伝導体に存在するナノメートルスケールの超伝導ループ電流を量子ビットとして使うための理論の定式化とそれに基づくプログラムの作成と計算を行う。具体的には、 $\text{CuO}_2$  面を複数含んだ系について、エラー耐性を備えた量子ビットのアーキテクチャーを考え、それを使って、量子誤り訂正や量子計算のシミュレーションの方法の構築とそれを使った計算を行う。

### 2. 研究成果の内容

巻き数の異なるループ電流を持つ量子状態を量子ビットとして使い、外部電流を利用したランダウ＝ゼナー型非断熱遷移により量子ビットを制御する方法を理論的に定式化し、計算プログラムを作成し、計算を行った。1量子ビットの制御、2量子ビットの制御が可能であることをシミュレーションにより明らかにした。

### スピン渦誘起ループ電流量子ビットの外部電流による制御

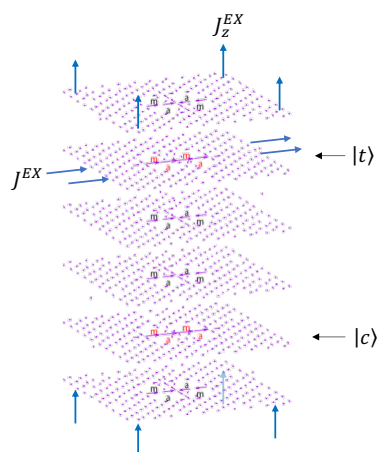


左: 3層モデルで2層目を量子ビットとして使用。

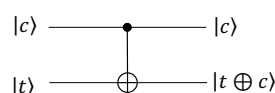
右: 3層モデルの量子ビットの2状態は外部電流の変化に対して、Landau-Zener型の非断熱遷移を示す。

外部電流の変化の速さを変えることにより、量子ビットの操作が可能となる。

## 2量子ビット制御



2量子ゲート (CNOT)



- 積層方向へ外部電流  $J_Z^{EX}$  を流し、 $|c\rangle$  と  $|t\rangle$  をカップリングさせる。
- $|t\rangle$  のある層に外部電流  $J^{EX}$  を流し、Landau-Zener遷移を起こす。
  - $|c\rangle = |0\rangle$  の時、 $|t\rangle \rightarrow |t\rangle$
  - $|c\rangle = |1\rangle$  の時、 $|t\rangle \rightarrow X|t\rangle$

### 3. 学際共同利用が果たした役割と意義

量子ビットを複数含んだナノスケールのシステムの電子状態計算を超伝導電流を含む形で計算するため、計算量が多くなる。多量子ビット系の計算には大量のメモリーを有し、高速計算が可能なスーパーコンピューターが必要となる。この点に関して、学際共同利用が果たした役割と意義は大きい。

### 4. 今後の展望

量子ビットの読み取りとエラー訂正についての方法について、理論的定式化、計算プログラムの作成し、計算を行って行きたい。

### 5. 成果発表

#### (1) 学術論文

準備中

#### (2) 学会発表

石川亜留都、小泉裕康，“スピン渦誘起ループ電流量子ビット：電流によるゲート操作シミュレーション”、日本物理学会第76回年次大会 2021年3月12-15日、オンライン開催

#### (3) その他

なし

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース※	
		当初配分	追加配分
Cygnus			
Oakforest-PACS	○	30000	0
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			