

縦磁界下の量子化磁束の運動と反発ピンに関する数値シミュレーション

Simulations for the flux lines and repulsive pins under the longitudinal magnetic field

○ 松野 哲也 (有明高専)

○ Tetsuya Matsuno (Ariake College)

E-mail: tetsuya@ariake-nct.ac.jp

本研究では縦磁界条件下における量子化磁束の運動への反発ピンの影響に関する数値シミュレーションを行った。シミュレーションは時間依存ギンツブルグ・ランダウ方程式

$$\gamma \left(\frac{\partial}{\partial t} + ig\phi \right) \psi = \frac{1}{2} D^2 \psi + \alpha \psi - |\psi|^2 \psi, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \nabla \phi = g \text{Im} [\bar{\psi} D \psi] - \nabla \times \nabla \times \mathbf{A}. \quad (2)$$

に基づき、オーダーパラメータ ψ の振る舞いを陽的数値積分法によって計算し可視化した。ここで、 $\mathbf{A}$ はベクトルポテンシャル、 ϕ はスカラーポテンシャル、 $D = \nabla - ig\mathbf{A}$ は共変微分演算子、 g は電荷、 γ はオーダーパラメータの（ベクトルポテンシャルに対する）相対時定数、 α は超伝導性の強さを反映するパラメータである。本シミュレーションでは方程式 (1), (2) のゲージ変換

$$\mathbf{A} \longrightarrow \mathbf{A} + \nabla \chi, \quad \phi \longrightarrow \phi - \frac{\partial \chi}{\partial t}, \quad \psi \longrightarrow \psi \exp(ig\chi). \quad (3)$$

に対する不変性に基づき、スカラーポテンシャル ϕ を恒等的にゼロとするゲージを採用した [1]。また共変微分演算子によるラプラシアン演算に対してはリンク変数法を用いた [1]。オーダーパラメータ ψ の可視化については、 $|\psi|$ がある閾値以下の場合に ψ の位相を色相環で表示した。

今回は反発ピンを線状とし z 軸の上に 1 本だけ導入した。反発ピンはパラメータ α を空間依存させることにより導入した。すなわち、反発ピンの外側と内側で異なる値（内側の値の方が外側のそれより大きい）を設定した。図 1 にシミュレーションの例を示す。量子化磁束が反発ピンに巻き付くように運動し、反発ピンによって磁束線が螺旋状にピン止めされる様子が見られた。また、印加電流がある値以上の場合には、量子化磁束の組み替えを伴う定常的運動が観測された。

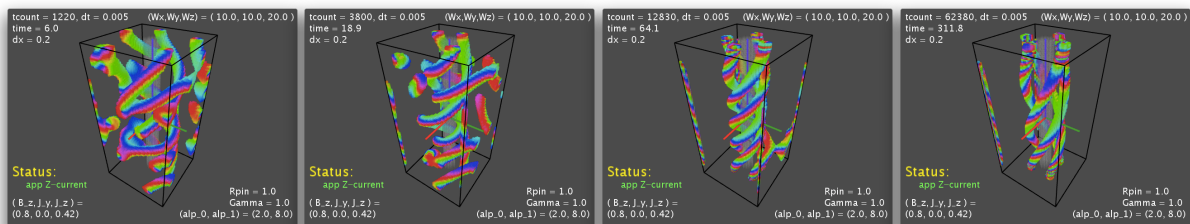


図 1: 量子化磁束の運動。画像の左から右への配置は時間経過に対応する。直方体状の試料中央 z 軸上に配置された 1 本の反発ピンによって量子化磁束がピン止めされる様子が見られる。

次の web サイトに幾つかのシミュレーション例を示す：

<https://www.youtube.com/user/pftetsuyaGPU/videos>

参考文献

- [1] M. Machida, et.al, “Direct Simulation of the Time-Dependent Ginzburg-Landau Equation for Type-II Superconducting Thin Film: Vortex Dynamics and V-I Characteristics,” Phys. Rev. Lett. **71**, 3206 (1993).