

複素時定数を持つ時間依存 Ginzburg-Landau 方程式に基づく量子化磁束の運動の数値シミュレーション

Simulation of motion of fluxoids based on the time-dependent Ginzburg-Landau equation with complex-valued time constant

○松野 哲也 (有明高専)

○Tetsuya Matsuno (National Institute of Technology, Ariake College)

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

1 はじめに

複素時定数を持つ時間依存ギンツブルグ・ランダウ (Ginzburg-Landau: TDGL) 方程式に基づき、シミュレーション上で第2種超伝導体における量子化磁束の運動に関するホール効果の再現を行い、ホール効果のメカニズムの理解を深めることを本研究の目的とする。

すでに、複素時定数を持つ TDGL 方程式に基づく理論解析は Dorsey[1] によって行われている。今回はシミュレーションとしての現象の再現を試みた。

ここでは、オーダーパラメータの時定数が虚数成分を持つとき、量子化磁束の運動に電流と平行な成分が生じることが数値的に見出された。

2 TDGL 方程式

本研究ではオーダーパラメータ ψ の時定数 γ が複素数 ($\gamma^{-1} = g_0 + ig_1$ (g_0, g_1 は実数, i は虚数単位)) の TDGL 方程式

$$\begin{aligned} \gamma \frac{\partial \psi}{\partial t} &= (\nabla - i\vec{A})^2 \psi + \alpha \psi + \beta |\psi|^2 \psi \\ \tau_A \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} &= \text{Im}[\psi^* (\nabla - i\vec{A}) \psi] - \nabla \times \nabla \times \mathbf{A} \end{aligned}$$

を用いた ($\alpha > 0, \beta < 0$)。ここではスカラーポテンシャルがゼロとなるゲージを採用し、ベクトルポテンシャル \mathbf{A} の実装にはリンク変数 [2] を用いた。実数 τ_A は \mathbf{A} の時定数である。

3 方法

本研究では、幾何学的数値積分の考え方にヒントを得て構成した陽の数値積分法 (論文未発表) によって TDGL 方程式を解いた。シミュレーション領域は正方形の2次元平面、印加磁界は平面に垂直、印加電流は正方形の辺に平行

な1方向とした。また印加電流の方向に周期的であるとする周期的境界条件を採用し、印加電流に平行な両辺には印加磁界と印加電流を反映する合計磁場が成立するようなベクトルポテンシャルの値を設定するようにした。

4 結果

図1にシミュレーション画面の例を示す。時定数が虚部を持つとき量子化磁束の運動は印加電流に平行な成分を持つことが確認できた。

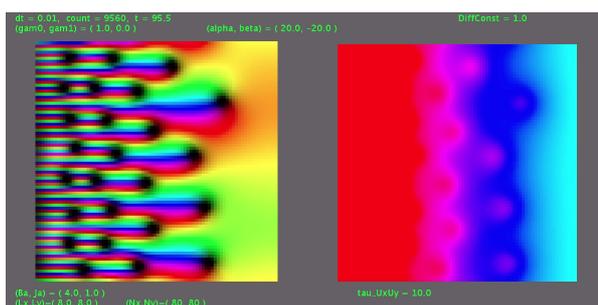


図1: シミュレータのスクリーンショット。左側: ψ , 右側: $\nabla \times \mathbf{A}$ 。関連動画サイト [3]。

5 謝辞

産業技術総合研究所の馬渡康德氏に感謝いたします。氏にはオーダーパラメータの時定数が複素数のときの物理的意味に関して Dorsey による論文 [1] を含む貴重な情報の提供やディスカッションをしていただきました。

参考文献

- [1] Alan T. Dorsey, Phys. Rev. B **46** (1992) 8376.
- [2] M. Machida, et.al, Phys. Rev. Lett. **71** (1993) 3206.
- [3] <https://youtu.be/Rlu0XbK4p2c>