

課題名 (タイトル) :

Direct numerical simulation of superconducting detectors

利用者氏名 : ○太田 幸宏*

所属 : *本所 創発物性科学研究センター 量子凝縮物性研究グループ

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

超伝導検出器は単一光子、中性子、分子などの精密検出に利用されている。その動作には、非平衡超伝導現象、熱伝導、渦糸ダイナミクスなど様々な現象が関わる。そのため、その精密な理論解析はほとんど行われていない。本課題の目的は、大規模計算機を利用することで、3次元空間における超伝導検出器のダイナミクスを調べることである。そして、デバイスの性能向上に資するシミュレーション手法の構築につなげる。

2. 具体的な利用内容、計算方法

超伝導検出器の非平衡現象を調べるため、時間依存 Ginzburg-Landau 方程式、Maxwell 方程式、そして熱伝導方程式を結合させた大規模数値シミュレーションを実施する。すべての物理量は空間方向について有限差分法で離散化され、その時間更新はオイラー法で行われる。電磁場はリンク変数による離散化により、安定に計算される。また、ゲージ不変性という物理的要請をシミュレーションで満足することができる。計算コードは MPI により並列化されている。

3. 結果

NICT (情報通信研究機構) における超伝導単一光子検出器の実験パラメータを用い、光子入射による超伝導薄膜の電磁応答を調べた。その結果、数 10 eV 程度の入射エネルギーをもつ光子に対して、超伝導状態から電圧状態への動的転移を確認することができた。実験での典型的な値は 1 eV 程度であるため、完全な問題解決には至らなかった。シミュレーションにおいて超伝導薄膜内の温度分布を精査したところ、熱浴接触部分が、他の場所と比較して、過剰に冷えていることが判明した。この事実が、電圧状態へ転移を抑制している原因と考えられる。こうし

て、超伝導体中では、超伝導転移温度 T_c 近傍から、熱浴温度である $0.3T_c$ まで非一様な温度分布が存在しており、このことから熱伝導方程式に含まれるパラメータである比熱や熱伝導率の温度依存性を取り込む重要性が示唆された。これらのパラメータは今回のシミュレーションでは簡単のため超伝導転移温度 T_c 付近の定数を利用している。超伝導検出器の動作温度は $0.3T_c$ 程度であること、さらに比熱などは低温で小さくなることを考慮すると、上記パラメータの温度依存性を取り込む手法の開発が必要になると考えられる。そこで準定常的に比熱などの温度依存性を取り入れたシミュレーションを実施する計算手法の開発を行っていたが、期間内に完成させることができなかった。

4. まとめ

シミュレーションと実験の差異を埋める上で重要な示唆を得ることができたものの、その問題解決には至らなかった。

5. 今後の計画・展望

熱伝導方程式に含まれる比熱や熱伝導率といったパラメータの温度依存性を取り入れた計算手法は検出器を含む様々な超伝導デバイスで重要になると考えられるので、今後ともその手法開発を継続してゆく。

6. 利用がなかった場合の理由

計算手法とコードの開発が主たる課題だったため、大規模な計算は実施できなかった。