

課題名 (タイトル) :

Direct numerical simulation of superconducting detectors

利用者氏名 : 太田 幸宏

理研での所属研究室名 : 和光研究所 基幹研究所 物質機能創成研究領域 単量子操作研究グループ
デジタル・マテリアル研究チーム

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、高感度、高速度で動作する検出器であり、単一光子、中性子、タンパク質などの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精査するため、以下の3個の偏微分方程式を結合させたシミュレーションをする。超伝導の自由度は時間依存 Ginzburg-Landau 方程式、電磁応答は Maxwell 方程式、そして局所温度場 (準粒子) の寄与は熱伝導方程式により記述される。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。空間メッシュサイズは長さ: 200、幅: 40、厚み: 6 であり、これは単一光子検出器での超伝導薄膜に対応する (長さ方向は、実際のデバイスに比べて短いものを採用している)。電磁場については、格子ゲージ理論におけるリンク変数を使い、安定な計算を達成する。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、超伝導転移温度に相当するエネルギーを

もつ光子が入射された場合、超伝導状態から電圧状態へダイナミカルに転移することを確認した。また、電圧状態転移に渦糸-反渦糸の形成と対消滅が関与することも見出した。さらに、超伝導状態への復元過程も調べ、25 ps 程度で回復することを示した。これは実験や他の理論解析と矛盾しない。

4. まとめ

現実的な実験パラメータとデバイス構造にもとづき、超伝導検出器のダイナミクスのシミュレーションに成功した。定量性 (特に、入射光子エネルギー) について実験との乖離があるためさらなる研究が必要である。

5. 今後の計画・展望

実験との乖離を埋めるため、モデル及びシミュレーション手法の改善をおこなう。また、単一光子以外の超伝導検出器 (例えば、タンパク質) への適用を試みる。さらに、3次元性を取り入れたシミュレーションの強みを活かし、実験との比較を行いたい。

6. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況 (どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか) や、継続して利用する際に行う具体的な内容

これまでの利用により、デバイスの基本動作の説明には成功した。一方、定量性については改善点がある。継続利用においては、モデルの改良も含め、こうした諸問題の解決を図りたい

平成 23 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

【国際会議などの予稿集、proceeding】

Y. Ota, M. Machida, T. Koyama, and F. Nori, “Direct numerical simulation for non-equilibrium transport phenomena in superconducting detectors,” Accepted for publication in Physics Procedia.

【国際会議、学会などでの口頭発表】

Y. Ota, M. Machida, T. Koyama, and F. Nori, “Direct numerical simulation for non-equilibrium transport phenomena in superconducting detectors,” 24th International Symposium on Superconductivity (ISS2011), Towe Hall Funabori, Tokyo, Japan, Oct 26, 2011.

【その他】