

jh200032-NAH

兼安 洋乃 (兵庫県立大学 物質理学研究科)

自発磁化軸に垂直な磁場下における 自発磁化スピン三重項超伝導と電流



研究概要

Sr_2RuO_4 の超伝導では、最近、 RuO_2 面内磁場下のNMRでのKnight-shift温度依存性の減少と、一軸圧力下 μSR 測定での自発磁化が生じる温度と超伝導転移温度の分離が報告されている。これらの実験事実と整合性があり、現象論と微視論の両面から説明が可能な超伝導状態の一つとして、 Sr_2RuO_4 結晶構造に対する D_{4h} 点群での E_u 既約なnon-unitary自発磁化状態を考える。この状態での、磁化率温度依存性における減少の磁場方向による違いと、超伝導ギャップ構造の安定性を、 Sr_2RuO_4 の電子状態に基づく微視的理論から説明する。また、状態密度と自発磁化について示す。

次に、自発磁化状態の安定性と、自発磁化chiral電流とその自発磁化に対する反磁性的電流において d -vectorのnon-unitary項が自発磁化電流の相対比を小さくすることを、Ginzburg-Landau理論から示す。

これらの理論は点群・既約とnon-unitary項の比を変えることで、 UTe_2 等を候補とした強磁性的な相関が関与する超伝導にも応用発展させていくことが出来る。又、比較として、 E_g 既約の一重項超伝導の自発磁化状態について調べることも考えられる。

研究計画・方法

- D_{4h} 点群のスピン三重項超伝導について、 E_u 既約でのnon-unitaryな自発磁化状態の d -vectorは2成分超伝導秩序変数 η_1, η_2 で表される。この超伝導状態での、超伝導体端からの距離依存性を考えた1次元系を考える。この系での自発磁化状態エネルギーと、自発磁化chiral電流とその自発磁化に対する反磁性的電流における d -vectorのnon-unitary項の役割を、Ginzburg-Landau自由エネルギーと電流の式構造に基づいて説明する。自由エネルギーの2成分秩序変数と、ベクターポテンシャル A に対する変分から導かれる方程式と超伝導体端での境界条件の数値解析から、non-unitary項の効果の詳細を示す。この数値解析には、スーパーコンピューターを使用する。(計算資源：JHPCI学際大規模情報基盤共同利用課題：計算資源：3,7684ノード時間、大阪大学サイバーメディアセンターと東北大学サイバーサイエンスセンターのNEC SX-ACEを使用。)
- 次に、磁化率の温度依存性の磁場方向による違いと、超伝導ギャップ構造のフェルミ面波数に関係した安定性を微視的理論により示す。 RuO_2 層面内磁場と垂直磁場の両方で磁化率の温度依存性が減少し、この減少の磁場方向による違いが d -vectorのnon-unitary項の比から決まることを、磁化率の式構造から示す。更に、超伝導ギャップ構造を示して、この状態が Sr_2RuO_4 のフェルミ面の波数構造を考慮した微視的超伝導理論からも許されることを説明する。続いて、状態密度と自発磁化を計算する。
- (2)の結果から昨年実験で報告された RuO_2 層面内磁場下のKnight-shift温度依存性における減少を、(1)の結果から一軸圧力下 μSR 測定での自発磁化が生じる温度と超伝導転移温度の分離の説明を行う。次に(1)の結果から、自発磁化超伝導で考えられている自発磁化エッジ電流が未だ検出されない理由を、自発磁化chiral電流とその磁化に対する反磁性的電流の比のnon-unitary項による変化から考察する。

自発磁化超伝導

D_{4h} 点群 E_u 既約
non-unitary、自発磁化状態
 d -vector 2成分秩序変数

磁化率の温度依存性

層面内・面垂直磁場の両方において減少
non-unitary項の係数比で磁場方向による磁化率の温度依存性での減少度合いが決まる

超伝導ギャップ構造

ギャップ波数構造の微視的理論における安定性

Ginzburg-Landau理論

自由エネルギーでの自発磁化安定性
変分方程式と境界条件
(2成分秩序変数、ベクターポテンシャル)
電流 (自発磁化電流、反磁性的電流)
自発磁化chiral電流と、その自発磁化に対する反磁性的電流の比の、non-unitary項による変化

計算資源

SX-ACEによる数値解析：

合計3,7684 ノード時間
大阪大学サーバーメディアセンター
SX-ACE：22,800ノード時間, ストレージ：1.5TB
東北大学サイバーサイエンスセンター
SX-ACE：14,848ノード時間, ストレージ：2TB

共同研究体制：

副代表：長谷川 泰正(兵庫県立大学物質理学研究科)
協力研究者：野村 拓司(量子科学技術研究開発機構)
伊達 進(大阪大学サイバーメディアセンター
センター応用情報システム研究部門)
大塚 剛生(兵庫県立大学物質理学研究科、学生)

関連する論文：

- [1] H. Kaneyasu *et al.*, Phys. Rev. B 100, 214501 (2019).
[2] H. Kaneyasu *et al.*, JPS Conf. Proc. 30, 011039 (2020).