

空間反転対称性のない超伝導に関する最近の進展

京都大学大学院理学研究科 藤本聡

以下の最近のトピックについて紹介する。

(i) 重い電子系超伝導体 CeRhSi_3 、 CeIrSi_3 における巨大上部臨界磁場の理論.....

最近の実験によると重い電子系 CeRhSi_3 [N. Kimura et al., Phys. Rev. Lett. **98**, 197001 (2007)], CeIrSi_3 [R. Settai et al., J. Phys. Soc. Jpn. **77**, 073705 (2008)] の圧力誘起超伝導状態において、 c 軸方向の上部臨界磁場 H_{c2} が 30 T にもおよぶ巨大な値であることが報告されている。これらの系のゼロ磁場での超伝導転移温度が $T_c \sim 1$ K 程度であることから、この上部臨界磁場の値は、従来の超伝導体にくらべて桁違いに大きいと言える。これらの系でパウリ対破壊効果が効かないことは、反転対称性の破れに起因する van Vleck 的帯磁率によるものとして説明されている。しかし、軌道対破壊効果が抑制されている理由についてはこれまで説明が与えられていない。我々は、反強磁性揺らぎによる超伝導発現機構に基づいて、上部臨界磁場に対する強結合効果を微視的計算によって調べた。その結果、量子臨界点近傍の低温領域で強い磁気揺らぎが発達することによって、上部臨界磁場が著しく増大することが明らかになった。我々の計算結果は定量的にも上述の実験結果を良く説明している。また、実験によると、ゼロ磁場での T_c の圧力依存性が小さいにも関わらず、 H_{c2} は非常に強い圧力依存性を示しているが、この振る舞いも量子臨界点近傍の磁気揺らぎの効果としてよく説明できる。本研究は京都大学理学研究科、多田靖啓氏、川上則雄氏との共同研究によるものである。

(ii) 渦糸の非アーベル統計..... 通常の量子統計では同一粒子の交換過程は置換操作

で表され、それによる波動関数の位相の変化によって特徴づけられる。それゆえ粒子の交換操作は可換である。これに対して、非アーベル統計に従う粒子は同一粒子の交換操作が、縮退した基底状態空間におけるユニタリー変換で表され、可換ではなくなる。この新しいタイプの量子統計に従うエニオンは元々、有る特殊な分数量子ホール状態に対して Read-Moore [Nucl. Phys. **B360**, 362 (1991)] によって提唱されたものであるが、近年、decoherence-free な qubit として量子計算の分野で注目されている。Ivanov は $p + ip$ 超伝導状態の渦糸も、ある特殊な条件下で、非アーベル・エニオンとして振る舞うことを示している。[Phys. Rev. Lett. **86**, 268 (2001)] 本講演では、空間反転対称性のない超伝導体において、渦糸が非アーベル統計に従う可能性について議論する。有る特定の電子密度において、反転対称性の破れによるスピン軌道相互作用とゼーマン磁場の効果が絡むことによって、トポロジカルに非自明な超伝導状態が実現し、非アーベル・エニオンが表れることを示す。

(iii) 空間反転対称性のない超伝導体の双晶界面にあらわれる分数磁束量子.....

反転対称性のない超伝導体 CePt_3Si に関する最近の実験によると、単結晶において、反転対称性の破れの向きが逆方向の双晶が存在することが示唆されている。[T. Takeuchi et al., J. Phys. Soc. Jpn. **76**, 014702 (2007); H. Mukuda et al., preprint] このような双晶界面が超伝導状態に及ぼす効果について理論的に調べた。s 波対と p 波対の強い混合が実現している場合には、双晶界面に Andreev 束縛状態が現れ、時間反転対称性が破れて、分数磁束量子があらわれることが示された。この結果は、 CePt_3Si における磁束クリープ現象が、界面に現れる分数磁束量子によって著しく抑制されることを示唆する。本研究は ETH の C. Iniotakis 氏、M. Sigrist 氏との共同研究によるものである。