

凝縮系物理学研究室

Condensed Matter Theory Group

<http://cond.scphys.kyoto-u.ac.jp/>

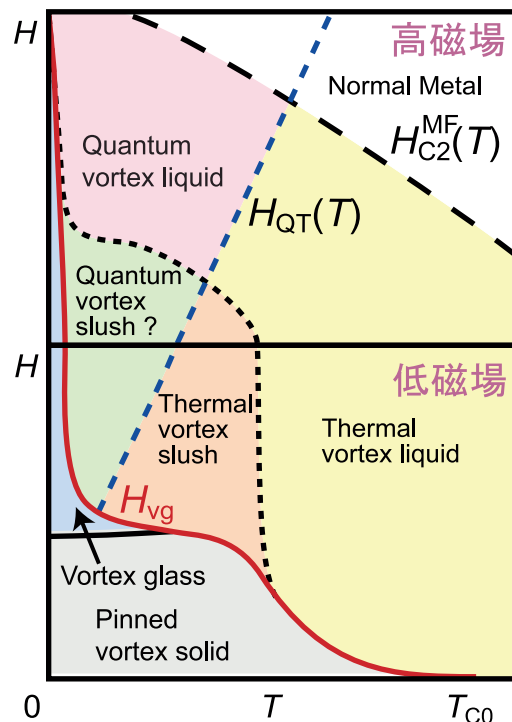
教授:山田耕作, 助教授:池田隆介, 助手:藤本聡, 池田浩章

凝縮系理論グループでは、量子力学的効果が巨視的スケールで現れる凝縮系、殊に様々な超伝導体、液体³He、トラップされた冷却原子気体などを対象に、超伝導につながる電子レベルの機構や様々な超伝導・超流動状態の解明を目的とした理論研究を中心に行なっています。超伝導研究は、「超伝導をもたらす微視的機構を探る研究」と「超伝導体における凝縮状態の理論的研究」とに大別され、後者では多くの場合一様磁場下の超伝導が研究対象となります。以下、近年の大学院生のテーマを中心に紹介します。

磁場下の超伝導の理論

超伝導の現象論的研究の歴史は古いですが、磁場下の超伝導の基礎理論の構築は'86年の銅酸化物高温超伝導体 (HTS) の発見を契機に生まれた比較的新しい研究分野です。磁場下にある大抵の超伝導体では、磁場により量子渦糸が多数誘起されるため、超伝導状態にあるか否かは渦糸多体系の相変化という形で表現することもできます。そして、HTSや有機超伝導体に見られる現象の理論的説明を通じて、渦糸系が液体、固体相や(超伝導物質中の不純物により)グラス相を形成するという形で超伝導体の磁場-温度(H-T)相図は理解されるようになってきました。右図はBi(ピスマス)系HTSやk-(BEDT-TTF)₂有機超伝導体のH-T相図を定性的に表したもので、磁場下ではピンされた固体相とグラス相のみが電気抵抗ゼロの超伝導相です。教科書等で通常紹介されている Abrikosov の平均場理論の相図とは顕著に違っています。

ごく最近では、低ドーブHTSなどにおける超伝導-絶縁体転移、重い電子系CeCoIn₅で発見されたFFLO渦糸状態に関わる相転移現象など、従来の超伝導体では明確に見られなかった低温・高磁場現象が強相関電子系を中心に見られるようになっており、本グループでは上記の基礎理論を踏まえ、これら新現象を説明する理論を発表しています。



Coulomb斥力による超伝導の研究

電子相関(斥力)が強い系の超伝導発現機構をFermi流体論を基礎にして研究しています。これまで対象としている物質は銅酸化物高温超伝導体、有機超伝導体、PuCoGa₅、重い電子系、Sr₂RuO₄、UGe₂、NaCoO₂、CeCoIn₅、CePtSiなどで、磁性と超伝導との間の相関や転移温度のバンド幅依存性など、物性に関する多くの情報が期待できます。以下、少し例を挙げます。

実験事実

銅酸化物超伝導体ではスピン1重項かつ軌道成分がd波の対状態、Sr₂RuO₄においてはスピン3重項かつp波の対状態が実現しているとされている。

結果

物質の個性をそのバンド構造、電子占有数、電子相関の強さで取り入れ、摂動論による固有値問題の解析などから転移温度、電子対の対称性等が決定でき、上記の実験事実が説明される。

エアロジェル中の液体³Heの超流動状態

³Heの超流動状態は、対状態の決定に結晶構造の役割が支配的な超伝導の場合とは違い、可能な対状態がほぼ縮退しているため、エアロジェル中の液体³Heは乱れの効果による対状態の変化が期待される微妙な系として興味ある対象です。例えば、3次元なのに long range order のない対状態が実現したり、エアロジェルに異方性を加えるなどしてバルクの系では実現しなかった対状態が出現することなどが期待されます。p波超流動における新奇な対状態を期待する研究は、トラップされた冷却原子気体においても最近盛んになってきており、研究上の相乗効果が期待できます。