

Coulomb斥力による超伝導の研究

山田グループでは電子相関(Coulomb斥力)が強い系の超伝導の研究をしています。これまで対象としている物質は銅酸化物高温超伝導体、有機導体、PuCoGa₅、重い電子系の超伝導、Sr₂RuO₄、UGe₂などです。これらの物質はドーピング等によって電子相関の強さを制御でき、我々は弱相関の領域からFermi流体としてのアプローチ(3次摂動、FLEX)をとっています。以下に上述の物質の一例を挙げます。

実験事実 酸化物高温超伝導体においては軌道部分がd波、スピン部分がsinglet超伝導体、Sr₂RuO₄においては実験的にp波、スピントripletの超伝導が実現しているとされています。

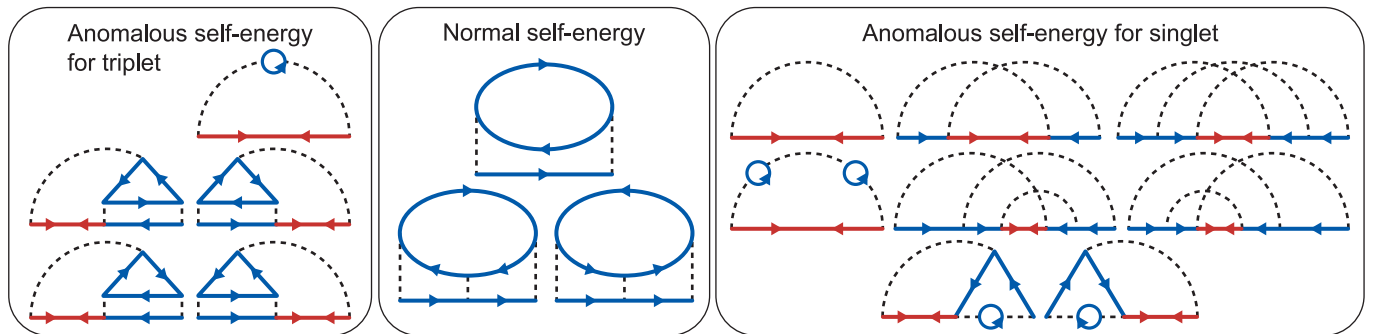
結果 物質の個性はバンド構造、フィリング、電子相関の強さで取り込み、以下の枠組みで転移温度、超伝導ギャップの対称性、温度依存性等が決定でき、上述の実験事実が再現される結果が得られます。

Formulation

・ Dyson-Gor'kov方程式

$$\begin{array}{c} \longrightarrow \longrightarrow = \longrightarrow \longrightarrow + \begin{array}{c} \text{blue semi-circle} \\ \longrightarrow \longrightarrow \end{array} + \begin{array}{c} \text{red semi-circle} \\ \longrightarrow \longrightarrow \end{array} \\ \longleftarrow \longleftarrow = \longleftarrow \longleftarrow + \begin{array}{c} \text{blue semi-circle} \\ \longleftarrow \longleftarrow \end{array} + \begin{array}{c} \text{red semi-circle} \\ \longleftarrow \longleftarrow \end{array} \end{array}$$

・ ダイアグラム(3次摂動)



原子気体のボース-アインシュタイン凝縮・フェルミ対凝縮

磁気トラップや光トラップにより空間に捕獲された原子気体は、系を記述するパラメータ(相互作用の強さや粒子数等)が実験で自在に操作することができるため、相互作用する多体粒子系を理解する上で非常に有力な系です。

ボース原子を用いた研究は、1995年のボース-アインシュタイン凝縮体(BEC)の実現以来、さかんに研究がなされています。トラップの形状を変えて原子を線状、面状に閉じ込めた低次元凝縮相の研究や、トラップを回転させて量子渦を生成し、そのダイナミクスや散逸機構の研究などがなされています。フェルミ原子に関しては、最近、凝縮相の観測が報告されました。これは電子系における超伝導に対応しますが、原子気体の特徴はやはり、相互作用の強さをを変えて振る舞いを調べられることです。相互作用を変化させてクーパー対の形成・解離の研究、光学格子によって結晶格子の効果を加え高温超伝導と関連させた研究、などが考えられています。この分野はまだ始まったばかりで、今後大きく発展していくと期待されています。

BECのダイナミクスの数値シミュレーション(密度分布)

右：渦格子の振動の様子。時間順に1→4。渦格子がサイン波状に変形し、振動する(青く穴のあいたところが渦)。

下：渦度4の量子渦の分裂の様子。左端は定常状態(渦度4)、右に向かって順に2、3、4回対称性を持った摂動を加えた後の様子(4つのsingle vortexに分裂)。加える摂動の対称性により、分裂の様子が異なる。

