

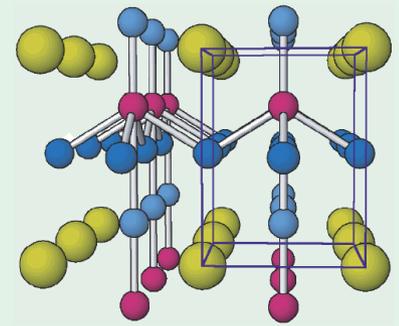
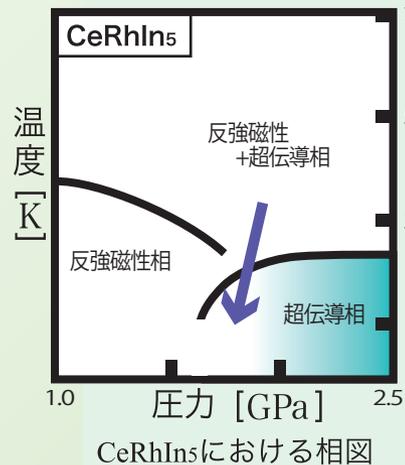
凝縮系理論グループでは、量子力学効果が巨視的スケールで現れる「凝縮系」の理論研究を行っています。特に新奇な超伝導、超流動、量子磁性といった現象を示す、強相関電子系、重い電子系、液体He（ヘリウム）、ナノスケール量子系、レーザー冷却原子気体など様々な系を研究対象としています。以下に、最近の研究テーマをいくつか紹介します。

## 超伝導の理論研究の二本柱

### 超伝導対称性（クーパー対状態）

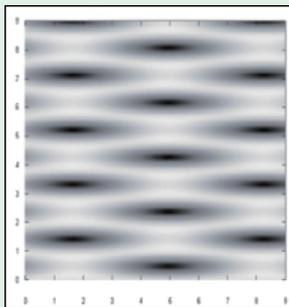
**銅** 酸化物高温超伝導体（HTSC）の発見以降、電子相関とフェルミ面の異方性から生まれる異方的な対状態を持つ超伝導体が次々に発見され、電子の多体効果に基づいた超伝導対状態発現のメカニズムが理論研究の対象となっています。以下、近年の中心課題として3つの例を挙げておきます。

- ・ 強磁性や反強磁性と超伝導との競合と共存
- ・ 結晶構造に空間反転対称性のない物質における超伝導対状態の研究
- ・ 鉄系超伝導

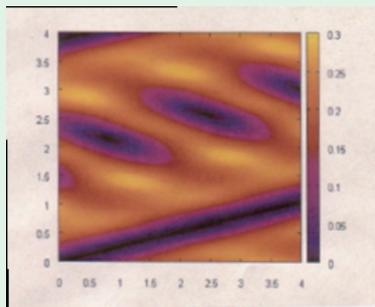


超伝導体CePt<sub>3</sub>Siの結晶構造

### 磁場下の超伝導と不均一な超伝導状態



強いパウリ常磁性に起因する新奇渦格子相

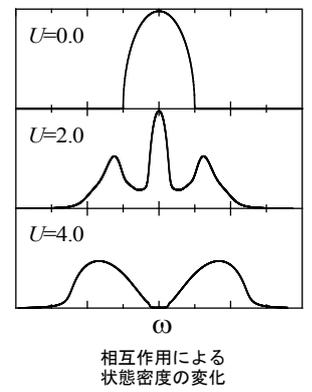


磁場下の空間反転対称性のない超伝導体での超伝導ギャップの実空間パターン

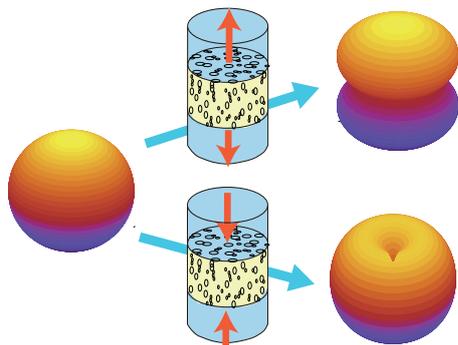
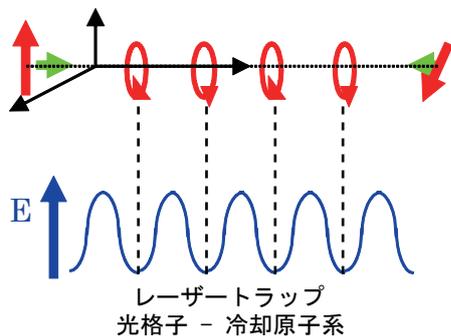
様磁場下においてHTSCが示す現象は、それまでの超伝導渦糸状態の理解を一変させました。そこでは低い凝縮エネルギーの結果、従来の超伝導体では顔を出さなかった様々な渦糸状態が磁場下の超伝導相図を支配することがわかってきました。また、重い電子系超伝導体、有機超伝導体、空間反転対称性のない超伝導体ではパウリ常磁性がもたらすFulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov (FFLO) 状態やそれに類する不均一渦糸状態の実現が近年期待されており、これらを含む磁場下の超伝導の総合的な研究を進めています。

# 強相関電子系

**遷** 移金属酸化物に代表される d 電子系や希土類化合物に代表される f 電子系においては、波動関数が原子核近傍に局在することにより、電子の相互作用の効果が強い（強相関）電子系が実現することが知られています。この系においては、電子間の強い相関により、重い電子的振る舞い、モット転移、高温超伝導、量子相転移などの興味深い物性が低温において現れることが知られています。また、電荷の自由度の凍結した量子スピン系においては、著しい量子効果を示す低次元物質が次々と合成され、スピンの大きさや格子構造などのトポロジを反映した量子物性が現れています。以下で述べる冷却原子・光格子系やナノ系も強く相関した系の典型例の一つであり、このような強相関系は物性物理におけるホットな話題を提供しています。



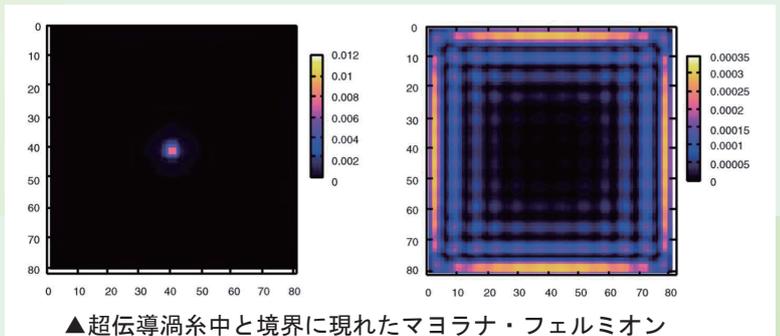
# ボース・アインシュタイン凝縮&超流動



**ボ**ース粒子系は極低温になるとボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) を起こし、粒子間斥力により超流動相に転移します。このボース多粒子系は具体的に  $^4\text{He}$  や近年の実験技術の発展により実現したトラップされた (Rb, Yb, Kなどの) 原子ガス系でみられます。特に、対向するレーザーにより周期的ポテンシャルを持つ光格子系 (上図) が形成され、欠陥のない理想的な格子系として注目され、この光格子中では、超流動状態、モット絶縁体などのよく知られた量子状態に加えて、超流動状態と原子密度波状態が共存する超固体状態 (supersolid) の可能性も指摘されています。また、対応するフェルミ原子 K の系では、理論的に予言されていた超流動状態の BCS-BEC クロスオーバーが観測されています。さらに、多孔質媒質中に閉じこめたフェルミ粒子系である液体  $^3\text{He}$  においては、多孔質媒質の変形による超流動対称性の変化 (下図) が当研究グループにより理論的に予言され、近年海外の NMR 実験で実証されています。このように、電氣的に中性な量子凝縮相の研究は新たな様相を呈しています。

# トポロジカル絶縁体・超伝導

**近**年、固体電子系において実現するトポロジカル秩序とそれが引き起こす新奇物性が、基礎研究からスピントロニクス、量子情報といった応用分野にわたって幅広く注目を集めています。たとえばトポロジカル絶縁体では、バルクにはエネルギー・バンド・ギャップが存在しますが、試料の端、表面にギャップレス励起が現れ、量子ホール効果や量子スピン・ホール効果といった無散逸伝導を引き起こします。また、トポロジカルな超伝導ではマヨラナ・フェルミオンと呼ばれる新奇な粒子が現れます。マヨラナ・フェルミオンとはその反粒子が元の粒子と同一であるという際立った性質を持ち、非可換統計というボゾンでもフェルミオンでもない新しい量子統計を実現できる系として大きな注目を集めています。さらに最近では、ディラック半金属・ワイル半金属などの新奇なトポロジカル物質が発見されています。我々の研究グループはこのようなトポロジカル量子現象の理論研究に取り組んでいます。



▲超伝導渦糸中と境界に現れたマヨラナ・フェルミオン