

東京都立大学物理学専攻 量子凝縮系理論研究室の紹介

森 弘之
荒畑恵美子
大塚博巳

目次

- ◎ 量子凝縮系理論のメンバー
- ◎ 量子凝縮系理論とは？
- ◎ 量子凝縮系理論のスタッフの研究
- ◎ 研究のもう少し詳しい話
- ◎ 大学院生活
- ◎ 過去の院生の研究テーマ
- ◎ 進路について
- ◎ こんな学生さんに来てほしい

量子凝縮系理論のメンバー

◎ 教員 森弘之教授、荒畑恵美子准教授、大塚博巳助教



森



荒畑



大塚

◎ 大学院生 博士3年：1名、博士2年：0名、博士1年：0名
修士2年：2名、修士1年：2名

量子凝縮系理論とは？

身のまわりの物質

→多数の原子核と電子

→多粒子系、凝縮系

粒子間相互作用で多様な驚くべき現象が出現！！

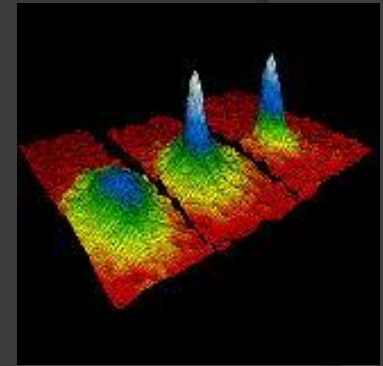
この現象を統計力学、量子力学、場の量子論を基礎に理解し、体系化し、さらに新しい物性を予測する

研究テーマ(森、荒畑)



冷却原子系の理論解析 (森、荒畑)

1980年代のレーザー冷却法の目覚ましい発展を経て、1995年に初めて原子気体のボーズ・アインシュタイン凝縮 (BEC) が実現した。BECを含めて、原子を極低温に冷却した冷却原子系の新奇な振る舞いを数值的・解析的に研究している。



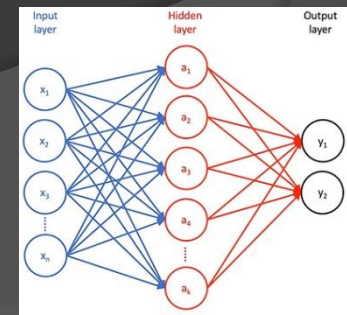
新規な超伝導 (荒畑)

空間反転対称性のない重い電子系超伝導(トポロジカル超伝導)における界面での特異性、特に自発磁化やスピン流について、理論的研究を行っている。



機械学習の物理学への応用 (森、荒畑)

AIなどに使われる機械学習の技法を物理学の問題を解く手段として活用する可能性 (相転移点の特定、シュレディンガー方程式の解法など) について研究している。



研究テーマ(大塚)



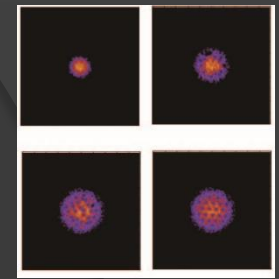
相転移現象の解析

低次元性や量子性またはフラストレーションにより引き起こされる**新**奇な相転移現象や、それらにより実現される液体相に注目しており、**古**典スピン系、**量**子スピン系、**強**相関電子系などの様々な理論模型について**有**効場の理論と**数**値計算法を併用して定量的な研究を行っている。

研究のもう少し詳しい話

- 冷却原子系の理論解析
- 新規な超伝導
- 機械学習の物理学への応用

○冷却原子系の理論解析



- 極低温で真空中に閉じ込められた原子系（ボーズ原子系、フェルミ原子系、ボーズ・フェルミ混合原子系）において、特異な相や諸物性の解明を目指している。この冷却原子系は、相互作用、ポテンシャル、ゲージ場などを人為的に操作できる特徴を持っており、固体物理との類似性も高い。当研究室でのこれまでの主な研究テーマは以下の通りである。
 - 1次元ボーズ・フェルミ混合系におけるモット状態と内部構造
 - 人工ゲージ場中ボーズ・フェルミ混合系の相図
 - ボーズ・フェルミ混合系におけるスピン流
 - BCS-BECクロスオーバー領域におけるフェルミ原子の対形成
 - 有限温度における回転トラップ中ボーズ原子気体の渦形成
 - ボーズ・フェルミ混合系における音波の伝播

○新規な超伝導

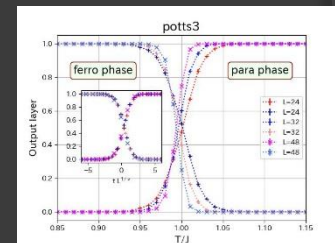
近年、従来のBCS理論では説明できない超伝導物質が多く発見され、非従来型超伝導として盛んに研究されている。2008年には鉄系超伝導が発見され、短期間で超伝導転移温度が急上昇したことから、室温超伝導への手がかりを与える候補物質として注目されている。当研究室でのこれまでの主な研究テーマは以下の通りである。

- 鉄系超伝導体FeSeの対称性からの分類とその実現性の検証
- **shallow band**を含む鉄系超伝導体のITdomainの解析
- **BCS-BEC**クロスオーバーにおける非従来型超伝導の渦状態

○機械学習の物理学への応用

AI、とくに機械学習はさまざまな分野に応用が広がり、多くの研究が進められている。機械学習を物理学に利用する研究も始まっており、当研究室でも最近成果が得られつつある。具体的な研究テーマは以下の通りである。

- 機械学習を用いた古典スピン系の相転移点の解析
 - ・ 日経新聞に取り上げられました ([次ページ](#))
- 機械学習を用いたシュレディンガー方程式の解法
- 機械学習を用いた冷却原子系の解析
 - ・ 画像データを用いた温度の特定
 - ・ グロス・ピタエフスキーの解法
 - ・ 層構造の特定



○機械学習の物理学への応用

2020年(令和2年)3月23日(月曜日)

基礎研究に革新的ツール

AIで膨大なデータ分析

基礎研究を進めるAI活用
「AI」の活用が基礎研究を進める。AIは膨大なデータを分析し、新しい材料やプロセスを発見する。AIは膨大なデータを分析し、新しい材料やプロセスを発見する。

京都大学 磁性体スピード分類 東京工業大学 新材料の試作効率化

磁性体スピード分類
磁性体スピード分類は、磁性体の特性を分類するためのツール。磁性体スピード分類は、磁性体の特性を分類するためのツール。

新材料の試作効率化
新材料の試作効率化は、新材料の試作効率を向上させるためのツール。新材料の試作効率化は、新材料の試作効率を向上させるためのツール。



京都大学の山中伸弥氏
山中伸弥氏は、京都大学の教授。山中伸弥氏は、京都大学の教授。

「国頼らず寄付で頑張る」
山中伸弥氏は、寄付を募って研究を進める。山中伸弥氏は、寄付を募って研究を進める。

材料開発をAIによって自動化する東京工業大学の装置
東京工業大学の装置は、材料開発をAIによって自動化する。東京工業大学の装置は、材料開発をAIによって自動化する。

首都大学東京のAIによる相転移研究の仕組み
首都大学東京のAIによる相転移研究の仕組みは、AIによる相転移研究の仕組み。首都大学東京のAIによる相転移研究の仕組みは、AIによる相転移研究の仕組み。

薬と併用
研究進む
薬と併用して研究を進める。薬と併用して研究を進める。

ゴ大は特定の分子を使い薬を開発する技術の開発を進める(国大提供)

ゴ大は特定の分子を使い薬を開発する技術の開発を進める(国大提供)

大学院生活

■研究

最初はいろいろな論文を読んで知識を深め、その中から自分に合ったテーマを教員とともに探していく。

修士2年で学会発表を目指したい。博士課程進学者は先を見越した研究を進める。

■授業

多くの人が1年の間に取り切る

■ゼミ（各週1）

研究ゼミ：研究の進捗報告や論文紹介を行う

輪講：担当する教員とともに本を読んでいく

■環境

学生部屋は3，4人で使用することが多く、比較的ゆったりしている。机、椅子、PC等が専用で使える。

過去の院生の研究テーマ

2019年修了生

- ・ミクロカノニカル純粋状態の制限ボルツマンマシンによる生成
- ・光格子における2成分ボソン混合系の相転移と励起スペクトル
- ・BCS-BEC クロスオーバー領域における光格子中フェルミ原子気体の数値解析

2018年修了生

- ・スピン軌道相互作用を持ったリングトラップ Bose 原子系の基底状態
- ・人工スピン軌道相互作用を持つ冷却原子系で誘起されるスピン流に対する理論的解析[博士論文]

2017年修了生

- ・空間依存ホッピング下での Bose-Fermi Hubbard model の解析
- ・スピン軌道相互作用による特異な光学応答現象の有効理論[博士論文]

進路について

就職希望者

研究と就活の両立は十分可能！

(博士課程、修士課程どちらの院生も、順調に就職先を見つけています)

メーカー、公務員、IT・システム系企業、など
様々な業種に就職。

博士課程進学希望者

修士課程の段階から長期的視点で研究を進め、
学会発表や論文執筆も積極的に推奨している。

2019年度修了生の進路(博士1人+修士3人中)

進学： 0名

就職： 企業4名

2018年度修了生の進路(博士2人+修士1人中)

博士進学： 0名

就職： 企業3名

2017年度修了生の進路(博士1人+修士1人中)

博士進学： 1名

就職： 企業1名

こんな学生さんに来てほしい

研究スタイル：

実験と違い、理論の研究は、多くの時間、一人で研究します。その研究スタイルに自分が合っていると思えることが大切です。

必要な知識：

予備知識としては、量子力学と統計力学が必要です。

コンピュータの使用経験：

経験があれば言うことありませんが、なくても進学後に勉強すれば十分間に合います。

必要なこと：

とにかく「意欲」と「自主性」が重要です。物理学に深い興味があり、言われたことをするだけでなく、自分から積極的に取り組む姿勢があれば必ず成果はついてきます。