

Title	一次元光格子中における冷却フェルミ原子気体の動的性質
Author(s)	山本, 篤史
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/57539">https://hdl.handle.net/11094/57539</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a>〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	山本篤史
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 23797 号
学位授与年月日	平成22年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科精密科学・応用物理学専攻
学位論文名	一次元光格子中における冷却フェルミ原子気体の動的性質
論文審査委員	(主査) 教授 民谷 栄一 (副査) 教授 菅原 康弘 准教授 朝日 剛 招聘教授 菅 誠一郎 准教授 藤本 聡 (京大大学院理学研究科)

### 論文内容の要旨

近年、レーザー冷却技術の発展により、原子気体を数100nK程度まで冷却する事が可能となった。その結果、冷却原子の基底状態について、実験・理論で詳細に議論する事が可能となった。また、レーザーにより人工的に作成された光格子中で冷却原子気体を取り扱う事により、多体効果や量子ゆらぎの効果を観測する事が可能となった。そこで、多体効果と量子ゆらぎの影響が強い一次元系に注目し、近年発展の目覚ましい冷却フェルミ原子の性質について解析を行った。以下において、本論文は六章で構成し、各章の要旨について各章ごとにまとめた。

第一章では、冷却原子の歴史的背景を紹介し、本研究と関わりの深い内容について、実験的手法を踏まえて紹介した。また、近年の光格子を用いた研究についても紹介した。最後に本研究の目的、位置付けについて述べた。第二章では、数値的解析手法の歴史的背景を紹介し、本研究で用いた数値的解析手法である密度行列繰り込み群法について紹介した。まず計算手法として、無限系と有限系のアルゴリズムについて述べ、計算精度について厳密対角化と比較を行った。そして、物理量と相関関数の求め方について説明した。一方、近年拡張された動的性質への拡張についても紹介した。時間依存密度行列繰り込み群法について、前身であるTime-Evolving Block Decimation アルゴリズムを紹介し、時間依存密度行列繰り込み群法を説明した。第三章では、冷却フェルミ原子のホッピングを調べる事で得られる二重戸型の光格子中における、冷却フェルミ原子の基底状態の性質を明らかにし、閉じ込めによって異なる性質が共存する系の相関効果についても解析を行った。第四章では、超格子構造を初期状態とする際の、非断熱操作に伴う冷却フェルミ原子の時間依存を解析した。一様な系でのフェルミ原子のダイナミクスについて解析を行った。これらの背景を踏まえて、実験を想定した調和型の閉じ込めポテンシャルを含む、非一様な系における冷却フェルミ原子の時間依存性についても解析を行い、閉じ込めポテンシャルがフェルミ原子に及ぼす効果について明らかにした。第五章では、前章で得られた絶縁体領域を用いて、非断熱的操作による絶縁体領域の界面の崩れ方について解析を行った。ここで、実験的にも実現可能な箱型のポテンシャルを初期状態の系に加え、箱型ポテンシャルの内部のみで得られる絶縁体領域が、箱型ポテンシャルを瞬間的に消滅させることによって、どの様に振る舞うのかを明らかにした。また、階段状の箱型ポテンシャルを用いて、異なる絶縁体領域が共存する場合のフェルミ原子の拡散過程についても明らかにした。第六章では、本研究の成果をまとめ、本論文の総括を行った。

## 論文審査の結果の要旨

近年、レーザー冷却技術の発展により、原子気体を数 100nK 程度まで冷却する事が可能となっている。その結果、冷却原子の基底状態について、実験・理論で詳細に議論する事が可能となっている。また、レーザーにより人工的に作成された光格子中に冷却原子気体を置く事によって、多体効果や量子ゆらぎの効果を観測する事が可能となっている。そこで、本研究では、多体効果と量子ゆらぎの影響が強い一次元系に注目して、近年発展の目覚ましい冷却フェルミ原子の性質について解析を行っている。以下では、本論文の構成について各章ごとに要旨を示している。

第一章では、冷却原子の歴史的背景を紹介して、本研究と関わりの深い内容について、実験的手法を踏まえて紹介している。また、近年の光格子を用いた研究についても紹介している。最後に、本研究の目的・位置付けについて述べている。

第二章では、本研究で用いた数値的解析手法である密度行列繰り込み群法について紹介している。まず、密度行列繰り込み群法における無限系と有限系のアルゴリズムについて述べ、計算精度について数値厳密対角化法と比較を行っている。そして、物理量と相関関数の求め方について説明している。次に、近年提案された、時間依存性を計算するための Time-Evolving Block Decimation アルゴリズムを紹介し、このアルゴリズムを密度行列繰り込み群法に適用する方法を説明している。

第三章では、二重井戸型の光格子中における冷却フェルミ原子の基底状態の性質を調べ、閉じ込めポテンシャルの効果によって異なる性質の状態が共存する系での相関効果について解析を行っている。

第四章では、超格子構造を初期状態とする際の、非断熱操作に伴う冷却フェルミ原子の時間依存性を解析している。まず、閉じ込めポテンシャルがない系でのフェルミ原子のダイナミクスについて解析を行った結果、フェルミ原子がバンド絶縁体的に振る舞う初期状態を持つ時、強い斥力相互作用のためにフェルミ原子はペアを組み合わせながらトンネリングしていることを明らかにしている。さらに、調和型の閉じ込めポテンシャルを含む系における冷却フェルミ原子の時間依存性についても解析を行っている。そして、閉じ込めポテンシャルが存在する事によって、フェルミ原子のトンネリングの性質が変化する様子を明らかにしている。

第五章では、前章で得られた絶縁体領域を用いて、非断熱的操作による絶縁体領域の界面の崩れ方について解析を行っている。ここで、実験的にも実現可能な箱型ポテンシャルを初期状態の系に加え、箱型ポテンシャルを瞬間的に消滅させることによって、箱型ポテンシャルの内部のみで得られる絶縁体領域がどのような時間変化をするのかを明らかにしている。また、階段状の箱型ポテンシャルを用いて、異なる絶縁体領域が共存する場合のフェルミ原子の拡散過程についても明らかにしている。

第六章では、本研究の成果をまとめて、本論文の総括を行っている。

以上のように、本論文は一次元光格子中における冷却フェルミ原子気体の動的性質について明らかにしたもので、基礎的な面で有益な知見を得ており、応用物理学、特に物性物理学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。