T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	共鳴的に相互作用する 1 次元量子系の普遍的性質
Title(English)	Universal Properties of Resonantly Interacting Quantum Systems in One Dimension
著者(和文)	関野裕太
Author(English)	Yuta Sekino
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11041号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:西田 祐介,西森 秀稔,笹本 智弘,古賀 昌久,上妻 幹旺
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11041号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第　　号		学位申請者氏名	関野 裕太	
論文審査 審査員		氏　名	職　名		氏　名	職　名
	主査	西田 祐介	准教授	審査員	上妻 幹旺	教授
	審査員	西森 秀稔	教授			
		笹本 智弘	教授			
		古賀 昌久	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Universal Properties of Resonantly Interacting Quantum Systems in One Dimension」と題され、共鳴的に相互作用する１次元量子系の普遍的性質の解明を目的としており、７章と付録から構成されている。

第１章「Introduction」では、強相関系の理解が分野を問わず物理学において重要な課題であり、そのためにフェッシュバッハ共鳴によって相互作用が可変な冷却原子系が有益であることを述べている。特に、散乱長が発散する共鳴点近傍の低エネルギー物理は、系の微視的な詳細に依らずに普遍的となることを解説している。また、冷却原子を用いて１次元系や３体相互作用する系も実現可能であることを指摘し、最後に本論文の目的と構成について概観している。

第２章「Review of resonantly interacting systems in 1D」では、共鳴的に相互作用する１次元量子系についての前提知識をレヴューしている。まず、１次元系における散乱問題を解説し、ゼロレンジ相互作用の記述方法やボース粒子系とフェルミ粒子系との対応関係について述べ、コンタクトと呼ばれる短距離相関を特徴付ける物理量を導入している。また、閉じ込めポテンシャルがない場合には、ゼロレンジ相互作用をする１次元量子系は可積分であり、ベーテ仮設法によって系のエネルギーやコンタクトといった熱力学量を厳密に求めることができることが述べられている。最後に、格子上の２成分ボース粒子を用いて、２体相互作用を持たず３体相互作用のみを持つ系の実現方法を紹介している。

第３章「Universal relations for static correlation functions」では、共鳴的に相互作用する１次元系において成立する普遍的な関係式を導出している。まず、運動量分布関数や静的構造因子が運動量の大きい領域で冪的に減衰すること、その係数が２体コンタクトで決まることを示している。次に、系のエネルギーが運動量分布関数とコンタクトのみを用いて表記可能であることを示し、種々の物理量がコンタクトを通して関係することを指摘している。特に、フェルミ粒子系のエネルギー関係式にはこれまで見逃されてきた３体コンタクトの寄与が存在することを示し、その正しさを厳密計算が可能な場合に検証している。

第４章「Dynamic correlation functions for bosons」では、ボース粒子系において動的相関関数の計算を行っている。まず、ゼロレンジ相互作用をする１次元ボース粒子系の場の理論を用いた記述方法を導入し、演算子積展開について解説している。次に、演算子積展開を密度相関関数に適用し、ファインマン図形を用いてウィルソン係数を決定して、動的構造因子のエネルギー・運動量が大きい領域での振る舞いを計算している。特に、動的構造因子が冪的に減衰し、その係数が２体コンタクトで決まることを示している。最後に、演算子積展開を１粒子グリーン関数に適用し、ファインマン図形を用いてウィルソン係数を決定して、スペクトル関数のエネルギー・運動量が大きい領域での振る舞いを計算している。特に、スペクトル関数が冪的に減衰し、その係数が粒子数密度で決まることを示している。

第５章「Dynamic correlation functions for fermions」では、フェルミ粒子系において動的相関関数の計算を行っている。まず、ゼロレンジ相互作用をする１次元フェルミ粒子系の場の理論を用いた記述方法を導入し、そこではボース粒子系とは違って繰り込みの必要があること、その結果として３体結合定数が必要となることを解説している。また、第３章で導いたフェルミ粒子系のエネルギー関係式を場の理論的観点から再導出している。次に、演算子積展開を１粒子グリーン関数に適用し、ファインマン図形を用いてウィルソン係数を決定して、スペクトル関数のエネルギー・運動量が大きい領域での振る舞いを計算している。特に、スペクトル関数が冪的に減衰し、その係数が粒子数密度で決まることを示すとともに、ボース粒子系におけるスペクトル関数との関係について述べている。

第６章「Bosons with a resonant three-body attraction in 1D」では、３体相互作用のみを持つ

１次元ボース粒子系について考察している。まず、そのような系の場の理論を用いた記述方法を導入し、古典的にはスケールが存在しないにも関わらず、繰り込みによってスケールが導入されること、そのスケールが３体束縛状態の束縛エネルギーと関係付けられることを述べている。次に、４体散乱問題に対して導いた STM 方程式を数値的に解くことで、４体束縛状態が３つ存在することを示し、それらの束縛エネルギーを求めている。最後に、多数のボース粒子からなる系を考え、３体結合定数がスケール依存性を持つことの帰結として多体束縛状態が安定に存在できることを示し、その束縛エネルギーの粒子数依存性を決定している。

第７章「Conclusion」では、各章で得られた主要な結果についてまとめるとともに、本論文における成果が冷却原子系のみならず様々な分野に適用できる可能性があることについて述べている。また、付録では４章で用いたループ計算の詳細を解説している。

以上のように、本論文は、共鳴的に相互作用する１次元量子系の普遍的性質について、ボース粒子系やフェルミ粒子系から３体相互作用する系まで、多面的に明らかにしたものである。ここで明らかにされた普遍的性質は系の微視的な詳細に依らないため、冷却原子系のみならず様々な分野に適用できる可能性があり、その学術的価値は高く評価できる。従って、本論文は博士（理学）の学位論文として十分に価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。