

Title	1次元電子系における不純物効果の理論的研究
Author(s)	塚本, 康正
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/42336
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"〉 大阪大学の博士論文について 〈/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	塚本康正
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 16203 号
学位授与年月日	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科応用物理学専攻
学位論文名	1次元電子系における不純物効果の理論的研究
論文審査委員	(主査) 教授 川上 則雄 (副査) 教授 笠井 秀明 助教授 中村 收 助教授 播磨 弘 講師 菅 誠一郎

論文内容の要旨

本論文は、電子相関を含む1次元電子系における不純物効果を解明することを目的として、この系の低エネルギー領域での物性に関する理論的研究を行ったものであり、得られた結果を以下の7章にまとめたものである。

第1章では、序章として1次元電子系に関するこれまでの研究について概観し、本研究の目的及び意義を述べている。

第2章では、本研究で用いる1次元電子系の標準的な解析方法について、1次元系の臨界現象への応用を中心に概説している。

第3章では、1次元電子系に「動く不純物」を導入し、共形場理論による有限サイズスケールリングの方法とボゾン化法による有効場理論の2つのアプローチに基づいて、動く不純物が1次元系の臨界現象にどのような影響を与えるかを解析している。その結果、非対称な位相シフトを通して動く不純物の質量と運動量が臨界現象に重要な寄与をすることを発見している。さらに、動く不純物と局在不純物の相違点を明らかにし、系の相関関数の振舞いに対して異なる影響を与えることを指摘している。

第4章では、第3章で得られた結果を応用して典型的1次元物質である半導体量子細線におけるフェルミ吸収端異常の問題を解析している。光吸収の際に価電子帯に生成されるホール(コアホール)を動く不純物とみなし、光吸収スペクトルに動くコアホールの質量が関与することを明らかにしている。さらに軌道縮退のある多成分1次元電子系を考え、この系における動く不純物の効果を解析し、成分数の増加に伴いフェルミ面近傍で現れる吸収スペクトルが抑制されることを見出している。

第5章では、長距離相互作用を持つ1次元電子系における不純物効果を考察している。特に第4章で示したフェルミ吸収端異常に対する動くコアホールの寄与が、電子間の長距離相互作用によりどのように変化するかに着目している。その結果、長距離相関が強くなるにつれてコアホールの動く効果は抑制され、長距離相互作用が有効な半導体量子細線においては動くコアホールの影響が光吸収スペクトルに現れないことを示している。

第6章では、カーボンナノチューブにおける近藤効果を解析するために、スピンギャップを持つ1次元電子系の磁性不純物を導入し、この系の臨界的な性質をくりこみ群の方法に従って議論している。その結果、磁性不純物による後方散乱がない場合には低温領域においてスピンギャップの影響により磁性不純物は伝導電子に遮蔽されず近藤効果は現れないが、後方散乱が存在する場合には、磁性不純物は遮蔽されオーバースクリーニングの近藤効果を示すこと

を明らかにしている。また、得られた結果を用いて、不純物帯磁率の温度依存性を予測している。

第7章では本研究で得られた成果を総括し、今後の展望と研究課題を述べている。

論文審査の結果の要旨

近年の超微細加工技術の急速な進歩に伴い、1次元電子系の研究が実験、理論双方から精力的に進められている。特に現実の1次元物質では不純物や欠陥の影響が重要であり、1次元の理論的な出発点として知られる朝永・ラッティンジャー液体に不純物を導入した問題が盛んに研究されている。そこで本研究では、朝永・ラッティンジャー液体に動く不純物が含まれる場合と磁性不純物が含まれる場合を理論的に解析し、低エネルギー領域における不純物の影響を議論している。本研究における主な成果を要約すると以下のとおりである。

- (1)半導体量子細線におけるフェルミ吸収端異常の問題が実験的に報告されたことを受け、動く不純物を持つ1次元電子系の研究が活発に進められている。そこで本研究では動く不純物を朝永・ラッティンジャー液体に導入し、共形場理論の有限サイズスケリング法とボゾン化法による有効場理論を用いて動く不純物の質量と運動量が低エネルギー領域の物性に寄与することを明らかにしている。特に半導体量子細線におけるフェルミ吸収端異常には動くコアホールの質量が大きな影響を及ぼすことを示し、さらに多成分1次元系ではこの影響が抑制されることを明らかにしている。
- (2)近年、1次元電子系における長距離型の電子間相互作用の重要性が指摘されている。そこで朝永・ラッティンジャー液体に長距離型の電子間相互作用を導入し、長距離相関が有効な1次元系における動く不純物の効果を解析している。その結果、フェルミ吸収端異常で現れる吸収スペクトルに対する動くコアホールの質量依存性が長距離相関効果により抑制されることを見出している。
- (3)典型的1次元物質であるカーボンナノチューブにおいて、磁性不純物の重要性が実験的に指摘されている。このような実験事実に基づき、電子間相互作用によりスピギャップを持つカーボンナノチューブにおける近藤効果を議論している。その結果、低温領域で磁性不純物が遮蔽されない場合と、ギャップ中でオーバースクリーニングの近藤効果が現れる場合が存在することを示している。さらに、得られた結果が実験においてどのように観測されるかについても言及している。

以上のように、本論文は、1次元電子系における不純物効果について理論的に解析したものであり、1次元電子系の基礎物性のみならず応用に関しても有益な知見を得ており、応用物理学、特に統計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。