

論文の内容の要旨

論文題目

Bosonization with background U(1) gauge field and its realization in one-dimensional quantum many-body systems

(バックグラウンド U(1)ゲージ場存在下でのボゾン化法とその一次元量子多体系での実現)

氏名 福住吉喜

場の理論を用いた量子多体系の記述は現代の理論物理学および数理物理学の中心的な話題のひとつである。とりわけ、ボゾン化法は直接的には解析の難しいフェルミオン系の解析を可能にする手法として、1+1次元系を中心に用いられてきた。本博士論文では U(1)ゲージ場と結合したディラックフェルミオンのボゾン化法の定式化および一次元量子スピン系の分極の問題への応用を扱った。以下に本博士論文の章ごとの概要を記す。

まず、第 0 章として本博士論文全体の導入および既存の研究の問題点整理を行った。ボゾン化の歴史について概説した後、そのゲージ場との結合問題、および一次元量子多体模型の捻り境界条件の問題について解説を行った。もっとも簡単な例である U(1)ゲージ場との結合のある場合のボゾン化が実は不十分であることを明らかにした。加えて、その問題を解決するためには、これまでの捻り境界条件の下での量子多体模型での中心電化、エネルギースペクトル等および捻り演算子の期待値である分極の計算結果と無矛盾であるべきことを述べた。

第 1 章では第 0 章で導入したボゾン化法のもっとも基本的な例であるゲージ場との結合のないディラックフェルミオンのボゾン化法及び、その捻り境界条件での表示についてレビューを行った。

第 2 章が本博士論文の核となる章である。本章でこれまでのボゾン化法のゲージ場と結合した場合の限界を明らかにするとともに、それらの問題を解消できる新たな $U(1)$ ゲージ場と結合したディラックフェルミオンのボゾン化法を提案した。加えて、一次元多体模型の例として、捻り境界条件の下での XXZ スピン鎖の分配関数を正しく再現することを示した。

第 3 章では第 2 章の実現例として分極の計算の非自明性、および計算機実験によるその検証を示した。さらにこれまでいくつか提案されていた捻り演算子のボゾン化での正しい表式を決定するとともに、対称性に守られたトポロジカル相との関連を議論した。

最後に第 4 章で全体の結論を述べるとともに、新たに生じた問題点について取り上げた。

以上述べたように本論文はこれまで十分に定式化がなされていなかった背景ゲージ場存在下でのフェルミオンのボゾン化法について、もっとも基本的な模型である $U(1)$ ゲージ場と結合したディラックフェルミオンについて明らかにしている。これは数理物理学的に重要であるのみならず、分極の計算への応用で示したように臨界現象やトポロジカル相の本質的な理解のためにも本質的な役割を果たしうる。したがって本論文の手法、およびその一般化によって非常に豊かな数理物理および物性物理が広がることが期待される。

なお、本論文は以下の二つの論文の内容に基づいている。

Ryohei Kobayashi, Yuya Nakagawa, Yoshiki Fukusumi, and Maksaki Oshikawa, "Scaling of polarization amplitude in quantum many-body systems in one dimension", *Phys. Rev. B* **97**, 165133 (2018)

Yuan Yao and Yoshiki Fukusumi, "Bosonization with Background $U(1)$ gauge field" [arXiv:1902.06584](https://arxiv.org/abs/1902.06584) [cond-mat.str-el]