

論文の内容の要旨

Spontaneous Supersymmetry Breaking and Nambu-Goldstone Modes in Interacting Majorana Chains

(相互作用のある Majorana 鎖における超
対称性の自発的破れと南部・Goldstone モ
ード)

氏名 三ノ宮 典昭

対称性の破れは現代物理学において重要な概念の一つになっている。Goldstone の定理によると、連続的かつ大域的な内部対称性の破れに伴い、南部-Goldstone (NG) ボソンと呼ばれる gapless 励起が現れる。近年でも非相対論的な系における対称性の自発的破れの分類や自発的な対称性の破れに伴う南部・Goldstone ボソンの数え上げが大きな注目を集めている。これらの議論は主にボソンの対称性に関してなされている。一方でフェルミオンの対称性である超対称性の破れについては相対論的な系では NG フェルミオンもしくは南部-Goldstino と呼ばれるギャップレスな励起が現れることが知られている。しかし、非相対論的な系での超対称性の破れやそれに伴う NG フェルミオンについては包括的な理解に至っていない。

第一章では超対称性について触れると同時に、超対称性のある格子模型である Nicolai 模型について説明をする。この Nicolai 模型は最初の超対称量子力学模型である。また、Majorana フェルミオンが現れることで有名な Kitaev 鎖模型とその基底状態についても触れる。

第二章では超電荷が一つである $N=1$ の超対称性代数を導入し、超対称性がある場合にエネルギーが必ず縮退するなどの一般的な性質について触れると同時に超対称性の破れの定義をあたえる。

第三章では新たに $N=1$ の超対称性を有する $1+1$ 次元の格子フェルミオン模型を導入し、その性質を超対称性の破れの観点から調べる。この模型のハミルトニアンは、超電荷 Q の2乗で定義されている。この超電荷 Q はパラメータ g を含み、Majorana フェルミオンを用いて構成されており、相互作用のあるMajorana フェルミオン模型となっている。

Majorana フェルミオン模型で相互作用がある場合にはトポロジカル相の分類で対称性が低くなったり、相互作用によって新たな相が現れたりするなど自由な系では見られることのない現象がおきることがあるため、そのような観点からもこの模型は魅力的なものとなっている。 g の絶対値が大きい場合には、数値計算及び、数学的手法により、超対称性が自発的に破れることを明らかにする。さらに、超対称性の破れに伴うギャップレス励起が存在することを数学的に示す。そして、数値計算によって、励起モードの分散関係が波数の3乗に比例することを示す。また、 g の絶対値が1の場合には、超対称性は破れておらず、基底状態を解くことができることを示す。これらの計算は論文[1]で行った。

第四章では第三章のモデルとは別に $N=1$ の超対称性を有する $1+1$ 次元の格子フェルミオン模型を導入し、その性質を超対称性の破れの観点から調べる。この模型についても第三章と同様に数値計算や解析的手法を用いることでパラメータが十分大きいときには超対称性の破れとそれに伴うギャップレス励起が存在することを示す。さらに、超対称性の破れに伴う gapless 励起が存在することを数学的に示す。さらに、数値計算によって、励起モードの分散関係が波数に比例することを示し、低励起状態が量子イジング模型と同じセントラルチャージを持つ共形場理論で記述できることをしめす。

第五章では各章のまとめを行う。

[1]Noraiki Sannomiya and Hosho Katsura Phys. Rev. D 99, 045002