

相転移と対称性の自発的破れ Bose-Einstein 凝縮

発表者 上原共博

指導教員 堺英二郎

熱力学的現象で興味深いものの一つに相転移現象がある。相転移とは、たとえば水が氷や水蒸気になったり、常磁性体が強磁性体になるような変化をいう。つまり、化学的には同一の物質が存在形態を定性的に変える現象である。

系の温度を下げていくと、相転移点で無秩序相から秩序相への転移が起こる。これは、対称性の高い相から低い相へ転移したことを意味する。つまり相転移によって系の持つ対称性が変化し、系がもともと持っていた対称性が壊れてしまう。これを対称性の自発的破れという。

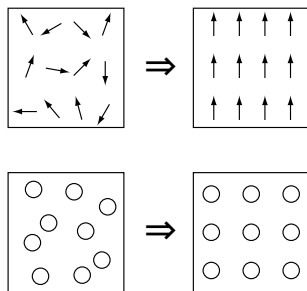


図1 対称性の自発的破れ

相転移を起こす具体的な系として理想ボース気体が多数集まった系を考える。この系の温度を下げていくと、ある臨界温度で相転移を起こす。この相転移を Bose-Einstein 凝縮という。Bose-Einstein 凝縮は量子効果によってはじめて起こる相転移である。超伝導現象や液体 ^4He の超流動現象は、Bose-Einstein 凝縮がその機構であると考えられている。

本研究では、対称性という視点から Bose-Einstein 凝縮を考察した。はじめに、Bose-Einstein 凝縮が起こる機構を明らかにする。つぎに、第2量子化を導入し、系のハミルトニアンを生成消滅演算子により書き下す。これにより系がゲージ対称性を持つことがわかる。最後に、Bose-Einstein 凝縮でゲージ対称性が破れていることを考察する。

発表の概要は以下の通りである。

- 1 対称性と相転移
 - 対称性と保存則
 - 相転移と対称性の自発的破れ
- 2 Bose-Einstein 凝縮
 - ボース粒子・フェルミ粒子
 - 理想ボース気体
 - Bose-Einstein 凝縮
- 3 第2量子化
 - 生成消滅演算子の定義
 - 交換関係
 - 理想ボース気体のハミルトニアン
- 4 ゲージ対称性の自発的破れ
 - ゲージ対称性とは
 - ゲージ対称性と粒子数保存則
 - ゲージ対称性の自発的破れ

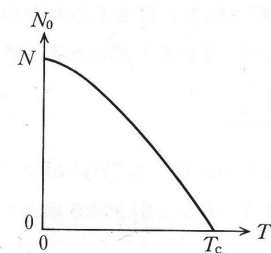


図2 N_0 の温度依存性

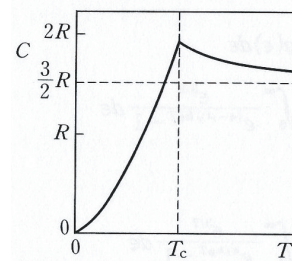


図3 比熱の温度依存性