



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Variational Theories with Many-Body Correlations for Dilute Bose-Einstein Condensates [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	河野, 航
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第13905号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/78448
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Wataru_KOHNO_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士 (理 学) 氏 名 河 野 航

審査担当者	主 査	准教授	北 孝 文
	副 査	教 授	根 本 幸 児
	副 査	教 授	小 田 研
	副 査	准教授	近 藤 憲 治

学 位 論 文 題 名

Variational Theories with Many-Body Correlations
for Dilute Bose-Einstein Condensates
(多体相関を含む希薄ボーズ・アインシュタイン凝縮に対する変分理論)

博士学位論文審査等の結果について (報告)

ボーズ・アインシュタイン凝縮相は、自発的対称性の破れた系の典型例であり、その秩序変数は、巨視的な波動関数であることが広く受け入れられている。この系では、また、粒子が粘性なしで流れる「超流動」という性質を持つことが知られている。しかし、超流動状態の位相とコヒーレンスの起源に関しては、理論面で基本的な問題が残されてきた。すなわち、粒子数と位相が近似的に量子力学の交換関係に従うことから、粒子数が一定の孤立超流動状態では、位相が確定しないとも考えられる。実際、超流動状態の位相は、観測過程での波束の収縮により初めて確定値を持つようになるとする理論もある。一方、超流動状態で位相が確定していることを実験事実として受け入れ、超流動状態を「自発的ゲージ対称性の破れ」た状態であるとする見解もかなり広く受け入れられている。しかし、「ゲージ対称性の破れ」は明らかに粒子数保存則と矛盾しており、この呼称に対して反発する学者も数多く存在する。さらに、相互作用のある超流動状態では、凝縮粒子の数が全粒子数よりも小さくなる一方で、絶対零度では全ての粒子が「超流動流」に参加することが知られている。しかし、この全粒子に及ぶコヒーレンスが、どのように実現されるかは、大きな謎であった。

本論文では、これらの基本的問題が、変分波動関数のダイナミクスを追うという手法で研究された。変分波動関数としては、平均場理論である「ジラード・アーノウィット波動関数」と、凝縮体と非凝縮体との間の多体相関を含む「 $3/2$ 体相関の波動関数」の二つを用意した。次に、最小作用の原理を適用して、変分パラメータに対する時間発展方程式を導出した。そして、相互作用定数を急激に変化させた後の系の時間発展を、前述の時間発展方程式を数値的に解いて追跡した。その主な結果は、次の通りである。まず、平均場波動関数の時間発展は、大きな振動を伴って基底状態への緩和が中々進行しなかった。一方、 $3/2$ 体相関の波動関数の時間発展には、振動がほとんど見られず、はるかに速やかに緩和が進行することがわかった。さらに、時間発展の過程で、非凝縮体が凝縮体と同じ位相を持つことが明らかになった。つまり、「粒子が凝縮体と非凝縮体との間を動的に行き来することで、全粒子に位相のコヒーレンスが及ぶようになる」ことを初めて明確に示した。つまり、系の巨視的コヒーレンスが、凝縮体と非凝縮体との間の粒子の動的な交換で維持されていることが明らかになったのである。

このように、著者は、超流動状態における粒子数と位相の揺らぎ、および、巨視的コヒーレンスの起源に関して、独創的かつ新たな知見を与えた。

よって著者は、北海道大学博士 (理学) の学位を授与される資格があるものと認める。