

氏名	藤本 和也
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	第 6226 号
授与報告番号	甲 3511 号
学位授与年月日	平成 28 年 3 月 22 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当者
学位論文名	冷却原子気体ボース・アインシュタイン凝縮体における乱流の理論的研究 (Theoretical study of turbulence in cold atomic Bose-Einstein condensates)
論文審査委員	主査 教授 坪田 誠 副査 教授 小栗 章 副査 教授 井上 慎

論文内容の要旨

本博士論文では、申請者が中心になって研究を遂行した「冷却原子気体ボース・アインシュタイン凝縮体(BEC)における乱流の理論的研究」の結果がまとめられている。

1995年に極低温冷却原子気体BECが実現されて以降、この系で数多くの理論・実験研究が行われてきた。その大部分を占める研究は平衡状態とそこから少しずれた線形ダイナミクス(素励起, 集団励起)が主流であった。ところが、近年、非線形性が本質的な役割を果たす非平衡ダイナミクスが実験、理論両面から活発に研究されるようになった。この非平衡ダイナミクスの1つが乱流であり、ここ数年、理論研究のみならず、実験においても冷却原子気体BECの乱流が研究されている。

本論文の目的は、冷却原子気体BEC発信の新奇な乱流現象を見出すことである。この目的のため、申請者は「スピン自由度を持つスピン1スピノールBECにおける強い乱流」と「冷却原子気体BECにおける波動が支配的な弱い乱流」の研究を行った。

「スピン自由度を持つスピン1スピノールBECにおける強い乱流」では、速度場のみならずスピン場が乱れた結合乱流が形成される。申請者は、この乱流中でスピンや速度場の2点相関関数に注目すると、乱流に特徴的なべき則が現れることをGross-Pitaevskii(GP)方程式の解析・数値計算で明らかにした。

「冷却原子気体BECにおける波動が支配的な弱い乱流」では、1成分BECにおけるボゴリューボフ波が支配的なボゴリューボフ波乱流とスピン1強磁性スピノールにおけるスピン波が支配的なスピン波乱流を弱波動乱流理論に基づく解析計算とGP方程式の数値計算を用いて調べた。その結果、種々の物理量の2点相関関数に特徴的なべき則が現れることを見出した。

本博士論文では、冷却原子気体BECと乱流の基礎的な解説とともに、上記の詳細な研究結果がまとめられている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、冷却原子気体ボース・アインシュタイン凝縮体(BEC)における乱流に関する理論的研究についてまとめたものである。得られた結果は以下の2つである。

(1) スピン自由度を持つスピノール冷却原子気体BECにおけるスピン乱流

多成分BECの1つであるスピン自由度を持つスピノールBECにおける乱流を調べている。この系では超流動速度場のみならず、スピン密度ベクトルが強く乱れたスピン乱流が生成される。スピン乱流に特徴的な2点相関関数の振る舞いが、スピン密度ベクトルや超流動速度場に現れることを、Kolmogorov型の次元解析的スケーリングによる解析と、基礎方程式であるスピノールGross-Pitaevskii(GP)方程式の数値計算により明らかにしている。多成分BECの乱流研究で、このような相関関数の振る舞いと、関連するエネルギースペクトルの新奇なべき乗則を明らかにしたのは、本研究が初めてである。

(2) 冷却原子気体BECにおける弱波動乱流

1成分BECとスピノールBECにおいて、波動が弱く相互作用する弱波動乱流を調べている。研究(1)とは異なり系の非線形性が弱いのが、この乱流の特徴である。本論文では、この2つの弱波動乱流の性質を調べ、実験観測量である粒子数密度やスピン密度ベクトルなどの2点相関関数に、乱流状態に特徴的なべき乗則が現れることを、GP方程式の解析的および数値的研究により見出し、実験観測の可能性について議論している。

このように本論文は、冷却原子気体BECにおける乱流に関して独創的な研究を行い、この系における乱流に対する新たな知見を与えたものであり、博士(理学)の学位を授与するに値するものと認められると審査した。