

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名	起橋 俊之
学位	博士 (理学)
学位記番号	新大院博 (理) 第 459 号
学位授与の日付	令和3年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
博士論文名	対密度汎関数理論を用いた中性子星内殻における原子核と超流動中性子の相互作用の研究
論文審査委員	主査 教授・松尾 正之
	副査 教授・小池 裕司
	副査 教授・大原 謙一
	副査 准教授・大坪 隆

博士論文の要旨

中性子星は、中性子及び他のバリオンの凝縮系である核物質からなる超高密度天体である。中性子星連星の合体现象の発見や宇宙ステーションでの観測などにより、近年多くの関心を集めており、中性子星の構造を原子核物理学に基づいて理論的に記述し、その性質を解明する必要性が以前にも増して高まっている。本研究が対象とする中性子星の内殻は、

中性子の超流体と結晶格子を形成する中性子過剰な原子核が共存する非一様物質であり、この物質の性質には非一様性と超流動性、その起源である核子対相関・対凝縮が本質的な役割を果たす。このような背景のもと、本論文は、原子核の存在が中性子物質の対相関・対凝縮に与える効果について着目し、その効果を理論的に解明することを目指した。特に、異なる物質が接触する際にその境界付近で互いに影響を受ける現象である近接効果に焦点を当て、この効果を定量的に明らかにすることを目的として行われている。研究手法としては、核子多体系の量子力学的記述の有力手法である密度汎関数理論が用いられている。

第1章で研究の背景と目的、第2章で密度汎関数理論の概説が述べられたのち、第3章から第6章では本研究の手法、得られた結果と考察、そして結論が記述されている。本研究では密度汎関数理論の実装として、粒子空孔チャンネルに Skyrme 相互作用、対相互作用に密度依存デルタ関数型相互作用(DDDI)を採用し、Hartree-Fock-Bogoliubov 方程式を座標表示で解く。本研究で構築したモデル・研究手法は、1) 中性子物質におけるペアギャップの第一原理計算及び有限核のペアギャップの両方を再現する DDDI モデルを構築した点、2) 有限サイズ効果を抑えるため 100fm 以上の巨大な記述空間での数値計算を可能にした点で、先行研究を超えたものとなっている (3章及び4章)。また、本研究の主題である近接効果の分析 (5章) においては、一様中性子流体の対凝縮密度に収束するまで距離に着目し、対凝縮密度が原子核から受ける影響を“近接効果の距離”として定量化した。その上で、フェルミエネルギーに対する系統性を考察するなど、非常に緻密な分析を展開した。この定量的指標を用いた系統的な分析から、原子核と中性子超流体の境界を適切に定義すれば、中性子超流体のコヒーレンス長によって“近接効果の距離”を説明できることを明らかにした。さら

に、現実的な中性子星内殻物質の諸条件を考慮することによって、中性子星内殻の各層における近接効果を分析した。この分析から、内殻のほとんどの層では、近接効果の距離は原子核格子の格子間隔よりも小さいこと、しかし、上層部と下層部では近接効果の距離は格子間隔と同程度以上となるという新たな知見を得た。これは、内殻の上層部と下層部では、内殻物質を原子核と中性子超流体からなる2成分系と単純にとらえることができないことを示唆しており、本研究の成果は、中性子星内殻の超流動・対相関の従来の理解を見直す必要性を示している。

審査結果の要旨

本論文は、中性子星内殻を構成する非一様核物質を対象として、原子核と超流動中性子の間の相互作用を対凝縮の近接効果の観点から論じたものである。先行研究を超える精密な分析を可能にするモデルと分析手法を開発した上で、大規模な系統的数値計算に基づいて、近接効果の定量的分析を行なった。この分析から、強い密度依存性など近接効果の特徴を明らかにすることに成功し、導かれた結論は中性子星内殻の超流動・対相関の従来の理解に一石を投じるものとなっている。研究の妥当性と水準、オリジナリティ、当該専門分野における本論文の意義などの観点から審査した結果、当該論文は博士論文として認めることができると判断した。