

研究責任者名 Name	肥山 詠美子 HIYAMA Emiko	所属機関 Affiliation	理化学研究所
受理番号 Proposal No.	大型 14/15-04	研究課題名 Program title	少数粒子系多体問題に基づいたストレンジネスを含む核物理と超冷却原子の研究

研究を終了しましたので、下記の通り報告します。

成果の概要

Abstract

(和文)

原子核物理学の研究の目的のひとつは、量子力学的多体系問題を精密に解くことによって、物理的な知見を深め、理論的予言を行い、実験をガイドすることである。

我々は、これまでこの目的を達成させるために、独自の少数粒子系計算法を提唱、発展させてきた。平成 26 および 27 年度は、この計算法を不安定核、ハイパー核、中性子星の状態方程式、と超冷却原子分野に適用し、その分野で話題になっている物理を暴き、さらには、翻って、計算法をさらに発展させることを目的とする。当該年度は、特に、 $4n$ 状態が実験で観測されたことを受けて、この状態を解析するために、共鳴状態を解くプログラムを開発した。共鳴状態を解くプログラムとして、複素回転座標法を 4 体問題として開発とした。しかしながら、実験で示唆されているエネルギーと崩壊幅を再現することはできなかった。また、ハイペロンを含む中性子星の状態方程式の研究に挑戦した。太陽質量の 2 倍を再現するためには、かなり強い YNN 3 体力が必要であることを指摘した。

(英文)

One of the main goal to study nuclear physics is to predict phenomena and new understanding by solving few-body problem accurately. For this purpose, we proposed Gaussian Expansion Method and have been applying it to various fields such as unstable nuclear physics, hypernuclear physics, EOS in neutron star and ultra cold atomic physics. Especially, we studied tetra-neutron system which was observed recently at RIFB in RIKEN as a resonant state. To analyze this observation, we develop GEM to complex scaling method which is one of powerful method to calculate resonant state. It was difficult to reproduce the observed data of tetra-neutron system. In addition, we studied EOS and we need a significant repulsion for YNN three-body force to describe twice of solar mass of neutron star.

研究成果を公開しているホームページアドレス

事務局にて使用	論文 査読有	論文 査読無	講義・発表	招待講演	その他
	0	0	0	0	0

1. 研究組織

(1) 研究責任者氏名：肥山詠美子

所属機関・部局・職名：理化学研究所・仁科加速器研究センター・准主任研究員

(2) 共同従事者氏名：木野康志

所属機関・部局・職名：東北大学大学院・理学研究科・准教授

(3) 研究従事者氏名：上村正康

所属機関・部局・職名：理化学研究所・仁科加速器研究センター・研究嘱託

所属機関・部局・職名：数納広哉、理化学研究所・仁科加速器研究センター・特任協力研究員

所属機関・部局・職名：船木靖郎、理化学研究所・仁科加速器研究センター・協力研究員

所属機関・部局・職名：井坂政裕、理化学研究所・仁科加速器研究センター・基礎特別研究員

所属機関・部局・職名：富樫甫、理化学研究所・仁科加速器研究センター・特別研究員

2. 当該年度の実施報告の詳細

原子核物理学の研究の目的のひとつは、量子力学的多体系問題を精密に解くことによって、物理的な知見を深め、理論的予言を行い、実験をガイドすることである。申請者らは、これまでこの目的を達成させるために、独自の少数粒子系計算法を提唱、発展させてきた。平成26-27年度は、この計算法をハイパー核物理と超冷却原子分野に適用し、その分野で話題になっている物理を暴き、さらには、翻って、計算法をさらに発展させることを目的とする。ハイパー核の分野では、現実的ハイペロン-核子間、ハイペロン-ハイペロン間相互作用を用いた軽いハイパー核の少数粒子系問題に基づいた構造研究はホットな課題の一つである。最近では、太陽質量の2倍の質量をもつ中性子星が発見されることにより、ハイペロンを含む中性子内部構造研究も重要な課題の一つである。このためには、ハイパー核構造研究から、ハイペロン-核子間相互作用、ハイペロン-ハイペロン間相互作用の決定、その後、それらの相互作用の中性子星内部研究への適用という研究の流れは必要不可欠となる。その研究の流れの立ち上げを平成26-27年度の研究として行う。一方、超冷却原子分野では、LM2M2ポテンシャルなどのような、現実的な ${}^4\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ 原子ポテンシャルを用いたdimer, trimer, tetramerの精密少数多体計算が最近話題を集めている。これら両分野で用いる粒子間相互作用は非常に強い斥力心とlong-ranged tail（ハイパー核ではクーロン相互作用）を持つため、これらを同時に記述できる計算法を確立する必要がある。ハイパー核分野と超冷却原子分野は一見、異なる分野に思われるが、上記のように計算手法を確立という観点からは類似した点もある。これらの分野に申請者らが開発した少数粒子系計算法を適用することにより、このような計算実行上困難な課題を克服することが平成26-27年度の研究目的のひとつである。

特に、 $4n$ 状態についての研究について集中的に研究を行った。この研究について、RIBFにおいて $4n$ 状態が、 $4n$ 閾値より上に $0.83 \pm 0.65 \pm 1.25$ MeVという実験値が得られた。現在、理論において重要な課題の一つは、この実験値を再現できるかどうか、また、この実験値を再現するために、必要な $T = 3/2$ 3体力はどのくらいの大きさであるか、ということである。このことに答えるために、現実的相互作用として、AV8 potentialを用いた。さらには、共鳴状態を取り扱うことができるために、複素回転座標法を用いる。実際にNN相互作用として2体力のみでは、 $4n$ 状態を再現できないことは広く知られているために、 $T = 3/2$ としての3体力を導入する必要がある。この望ましい強さがまだ決定されていないので、この

力については、現象論的力として導入した。まずは、2レンジのガウス型ポテンシャルと導入し、引力部分をフリーパラメータとして、RIBFにおける実験値を再現するように調整した。このようにして、調整した $T = 3/2$ の3体力の妥当性を調べるために、ミラー原子核である ${}^4\text{H}$, ${}^4\text{Li}$, ${}^4\text{He}(T = 1)$ の4体問題として解いた。これらの核は $3N + N$ 閾値から数 MeV 上に位置しており、いわゆる共鳴状態である。 $4n$ の実験値を再現するような $T = 3/2$ 3体力を使用するとこれらの原子核はすべて $3N + N$ 閾値よりも深く束縛することが明らかになった。すなわち、すでに存在している ${}^4\text{H}$, ${}^4\text{Li}$, ${}^4\text{He}(T = 1)$ と今回観測された $4n$ を同時に再現することは理論的に困難であることを明らかにした。本研究は現在、Physical Review C に投稿すべく、執筆中である。