

ハドロン間相互作用の統一的理解と少数多体問題の観点によるエキゾチック ク原子核の構造研究

Study of hadron-hadron interaction and structure of exotic nuclei from view points of few-body problem

代表者 理化学研究所 仁科加速器研究センター 肥山詠美子

原子核分野の大きな目的の一つは、強い相互作用をする粒子（ハドロン）間の相互作用を広く理解することであり、近年の最重要課題、かつ緊急課題は、ハイペロン-ハイペロン間相互作用の決定、反 K 中間子-核子間相互作用の相互作用の決定である。この課題達成のために、J-PARC 施設において、ストレジネスを 2 つ含んだ原子核であるダブルハイパー核 (E07@J-PARC)、及び反 K 中間子を直接原子核に付加したエキゾチック原子核の候補である、反 K 中間子原子核の生成実験 (E15, E27@J-PARC) が計画されている。そこで、我々は、(1) ラムダ-ラムダ相互作用、反 K 中間子-核子 (KbarN) 間相互作用の理論的構築、(2) 構築された相互作用を使用したダブルハイパー核、及び反 K 中間子原子核の少数多体系に基づいた精密構造計算、(3) 来るべき実験結果と比較することによる構築された相互作用の妥当性の検討を、ハドロン間相互作用研究の第一人者であるミュンヘン工科大学の Weise 教授のグループと共同研究を行うことにより、原子核研究の目的であるハドロン間相互作用の統一的理解を目指した。

ハイパー核については、 α Λ 系、 ${}^9\text{Be}_\Lambda$ 、 ${}^{13}\text{C}_\Lambda$ の基底状態を、カイラル有効相互作用をもとにして再現できるかを研究した。これまで、重い質量数の Λ ハイパー核の基底状態をカイラル有効相互作用で記述できることが知られていた。しかし、質量数が 10 程度のハイパー核に、この相互作用が適用できるかどうかはかなり冒険的な試みである。この計算を行い、 α Λ の s 殻ハイパー核の基底状態を記述するのは困難であるが、 ${}^9\text{Be}_\Lambda$ や ${}^{13}\text{C}_\Lambda$ については、実験値と非常に良い一致を示すことが理解された。また、 Λ Λ - Ξ N 結合を含めた ${}^4\text{H}_{\Lambda\Lambda}$ の束縛状態の計算を行った。ダブルラムダハイパー核の分野では束縛する最も軽いダブル Λ ハイパー核種が実験的に未確定であり、理論的な示唆が必要である。今回は、準備的段階ではあるが、 Λ Λ - Ξ N 結合を含めることにより、 ${}^4\text{H}_{\Lambda\Lambda}$ が束縛する最も軽い核であることを指摘した。

反 K 中間子原子核が存在するか否かは KbarN 相互作用の理解が必要不可欠である。これを成し遂げるため SIDDHARTA グループによる K 中間子水素原子の最新の実験データの理論的解析を行なった。カイラル有効場の理論(最低次+NLO)に基づき、KbarN 相互作用を世界に先駆けて構築した。SIDDHARTA 実験データは、カイラル有効場の理論が持つパラメータの制限を強く与えることができたため、閾値下のエネルギー領域への外挿の不定性が大きく軽減され、KbarN 相互作用のアイソスピン I=0 成分の情報は確定した。これにより $\Lambda(1405)$ 粒子の構造に関する情報がより精密に決定された。さらに、最低次の KbarN 相互作用による K-pp の少数系精密計算で、3 体系はかなり浅い束縛状態になることに加え、E15@J-PARC 実験においてピークとして観測される可能性が低いことを指摘した。一方で I=1 成分は現存のデータによる制限があまり強くないことが理解された。そこで、固定重心近似の範囲で K-重陽子散乱長を計算し、将来得られる K 中間子重水素の実験結果に備えた。さらに最低次+NLO の KbarN 相互作用による精密な少数系計算を行うために、カイラル有効場の理論と等しい予言を行なうことができる KbarN ポテンシャル模型を現在構築中である。このポテンシャルと用いることで、エキゾチック原子核のさらなる精密な構造研究が可能となる。