

学位論文題名

Hypernuclear structure modified and probed by the Λ hyperon as an impurity

(Λ 粒子が不純物として加わることで変化・プローブされるハイパー核構造)

学位論文内容の要旨

近年、大強度陽子加速器施設(J-PARC)の本格稼働や米国 Jefferson 研究所(JLab)における実験により、原子核に s クォークを含むバリオン(ハイペロン)を束縛させたハイパー核の研究は、これまで以上に大きく進展しつつある。ハイパー核物理の研究は、“バリオン間相互作用の理解”と“バリオン多体系の性質理解”を大きな目的としている。従来は、質量数 10 程度までの s-p 殻 Λ ハイパー核の研究が中心になされ、 Λ 粒子-核子間(ΛN)相互作用の理解が大いに進展した。今後は、質量数がより大きな、10-40 程度の p-sd 殻領域や中性子過剰領域等、様々なハイパー核の生成が可能になる。そのため、 Λ 粒子が加わることで引き起こされる核構造の変化を調べ、バリオン多体系の性質を明らかにすることが可能になりつつある。特に、p-sd 殻領域では、元の原子核に平均場やクラスター(分子的構造)等、様々な核構造が現れるため、 Λ 粒子による様々な核構造の変化が期待できる。

しかし、従来の多くの理論研究では、ハイパー核の構造をあらかじめ仮定しているため、 Λ 粒子が引き起こす構造変化を調べるのが困難である。sd 殻領域における Λ 粒子による構造変化の研究は1980年代にも先駆的な研究がなされているが、当時は相互作用が明らかでなく、また核構造を記述するモデルも限定されたものであった。したがって、 Λ 粒子が引き起こす構造変化を明らかにするためには、近年のハイパー核物理の進展を取り入れ、sd 殻核の様々な構造を記述可能な理論モデルを用いて、ハイパー核の系統的・定量的研究を行う必要がある。

本研究の目的は、p-sd 殻 Λ ハイパー核の構造を明らかにし、 Λ 粒子がもたらす核構造の変化を解明することである。そのために本研究では、平均場やクラスター等の核構造を仮定しない微視的モデルである反対称化分子動力学(AMD)をハイパー核に拡張した(HyperAMD)。AMD は通常核の構造研究で成功を収めており、平均場やクラスター等の様々な核構造や、その動的変化を記述可能である。HyperAMD では、近年明らかにされた ΛN 相互作用を用いることで、ハイパー核構造の系統的・定量的研究を行うことが可能である。具体的には、 Λ 粒子がもたらす核構造の変化として、以下の3点について議論する。

1. s 軌道及び p 軌道の Λ 粒子による原子核の変形の変化

多くの原子核は球形ではなく、様々な変形をしている。本研究では、HyperAMD を ${}^9_\Lambda\text{Be}$ 、 ${}^{13}_\Lambda\text{C}$ 、 ${}^{20}_\Lambda\text{Ne}$ 、 ${}^{21}_\Lambda\text{Ne}$ ハイパー核に適用し、 Λ 粒子による原子核の変形の変化

を調べた。

その結果、加わる Λ 粒子の1粒子軌道の違いによって変形の変化の仕方が異なることを明らかにした。具体的には、

- (核内の1粒子軌道が)s軌道の Λ 粒子が加わることで、原子核の変形は小さくなること
- p軌道の Λ 粒子が加わると、s軌道の場合とは反対に、原子核の変形が大きくなること

を示した。

2. $^{21}_{\Lambda}\text{Ne}$ の平均場状態とクラスター状態における構造変化の違い

^{20}Ne は典型的な sd 殻原子核の一つであり、同じエネルギー領域に平均場構造とクラスター構造とが共存している。両者の構造は大きく異なるため、 Λ 粒子が加わることで引き起こされる構造変化は、元の構造によって大きく異なると期待できる。そこで、 $^{21}_{\Lambda}\text{Ne}(^{20}\text{Ne} + \Lambda)$ に HyperAMD を適用し、その基底・低励起状態の構造を、 Λ 粒子の束縛エネルギーや Λ 粒子の付加による核半径の収縮度合いの違いに着目して調べた。

その結果、以下の点を明らかにした。

- Λ 粒子の束縛エネルギーは、平均場状態の方がクラスター状態よりも大きいこと
- 核半径の収縮度合いは、クラスター状態の方が平均場状態よりも大きく、その違いが $^{21}_{\Lambda}\text{Ne}$ の励起スペクトルや電磁遷移確率の変化として現れること

3. 三軸非対称核 $^{25}_{\Lambda}\text{Mg}$ における励起スペクトルの変化

多くの原子核は軸対称変形をしている(または、軸対称クラスター構造を持つ)のに対し、 ^{24}Mg は三軸非対称変形をしており、さらに励起回転帯ごとに特徴的な構造を持っていると考えられている。そのため、 Λ 粒子による励起スペクトルの変化が通常の核とは異なると予想される。そこで本研究では、HyperAMD を用いることで、核の変形の軸対称性を仮定せずに $^{25}_{\Lambda}\text{Mg}$ の励起スペクトルの変化を明らかにした。

その結果、以下の点を明らかにした。

- Λ 粒子の付加により、励起スペクトルは回転帯ごとに異なる変化をすること
- 上記の Λ 粒子による変化の違いは、 ^{24}Mg において回転帯ごとに三軸非対称変形への依存性が異なることが原因であること

学位論文審査の要旨

主 査	准教授	木 村 真 明
副 査	教 授	羽 部 朝 男
副 査	教 授	鈴 木 久 男
副 査	教 授	合 川 正 幸
副 査	准教授	平 林 義 治

学 位 論 文 題 名

Hypernuclear structure modified and probed by the Λ hyperon as an impurity

(Λ 粒子が不純物として加わることで変化・プローブされるハイパー核構造)

博士学位論文審査等の結果について（報告）

近年大型加速器施設”J-PARC”が稼働を開始したことによって、ストレンジクォークを含む物質(ハイパー核)の実験研究が飛躍的に進展しつつあり、中性子星内部などに現れるストレンジクォークを含む物質の知見が大きく広がりつつある。これに対し、ハイパー核の理論研究の多くは、比較的軽い質量数の系にのみ限定されており、より広範なハイパー核を研究可能な理論模型が切望されている状況である。

こうした状況に対し本申請論文では、ハイパー核の構造を記述するための新しい理論模型が開発・提唱され、質量数の大きなハイパー核の理論研究の道が開拓されている。またその模型を用いることで、種々のハイパー核の構造が詳細に調べられ、ハイペロンが原子核構造に及ぼす様々な影響が明らかにされた。本申請論文で示された結果は、既存の観測データを精度よく再現しつつ、同時に今後行われる実験に対する重要な理論的予言を含んでいる。また、その予言に基づき「ハイペロンの不純物効果を用いる事で原子核構造の詳細を明らかにする」という新しい研究の可能性を示すなど、非常に高い研究水準にある。よって、本論文は、北海道大学博士（理学）の学位申請論文として審査に値するものと認めます。