

学 位 論 文 題 名

Two-nucleon correlations in breakup reactions of A=6 systems

(質量数 6 原子核の分解反応における二核子相関)

学位論文内容の要旨

近年の不安定核ビーム実験の進展により中性子過剰核の物理は大きく進展してきた。特に ${}^6\text{He}$ などに見られる 2 中性子ハロー構造は中性子過剰領域特有の構造であり、実験・理論の双方からその束縛及び励起のメカニズムを理解しようと試みられてきた。理論の側面からは、基底状態におけるハロー核内の 2 中性子相関の重要性が示唆されており、そのような 2 中性子相関が空間的に局在するような中性子対によって特徴づけられるとして注目を集めている。

しかしながら、そのような 2 核子間の相関を実験的に調べることは非常に困難である。その大きな理由の一つは、2 中性子ハロー核など中性子過剰核が基底状態以外の束縛状態がほとんどの場合存在せず、 β 崩壊に対して不安定な原子核であることである。そのような不安定な原子核では寿命がきわめて短いために、基底状態を直接観測することは難しく、また、基底状態以外の束縛状態がないことから、散乱実験によって容易に多粒子状態に崩壊してしまう。そのため、2 中性子ハロー核などの中性子過剰核では分解反応を通して、その構造を理解していくことが不可欠である。特に 2 中性子ハロー核の場合、コア + 2 中性子の 3 体に崩壊してしまうために、その分解反応を理解するには 3 体の散乱状態の記述が理論的に必要不可欠である。

本研究では、そのような不安定核の分解反応を記述するモデルとして複素座標スケールングされた Lippmann-Schwinger 方程式の解 (Complex-scaled solutions of the Lippmann-Schwinger equation; CSLS) という手法を開発・提案し、それが不安定核である ${}^6\text{He}$ や安定核 ${}^6\text{Li}$ の散乱に対して有効であることを示すとともに、それらの分解反応を通して核内 2 核子相関を議論することを目的とする。特にここでは、以下の 2 点について議論する。

1. ${}^6\text{He}$ のクーロン分解反応における核内 2 中性子相関の重要性及び各部分系の相関の断面積に対する寄与

${}^6\text{He}$ のクーロン分解反応はその 2 中性子ハロー構造を調べるためにいくつかの実験グループによって実験がなされている。しかしながら、 ${}^6\text{He}$ は Borromean と呼ばれる特殊な系であるために、分解反応において $\alpha+n+n$ の 3 体の連続状態に崩壊してしまう。本研

究では、このような崩壊状態に遷移する分解反応の観測量から基底状態における2中性子相関が如何に観測されうるかを、クーロン分解反応断面積および不変質量分布の計算から明らかにした。得られた結果は、

- クーロン分解反応における観測量に対して終状態相互作用の効果が支配的であり、基底状態における2中性子相関を直接観測するのは困難であること
- 終状態相互作用としては、 ${}^5\text{He}(3/2^-)$ の共鳴状態と n - n の仮想状態の寄与が大きく、クーロン分解反応における観測量の構造は、そのような部分系の相関によって説明できること

を示した。

2. ${}^6\text{Li}$ の光分解反応における重陽子クラスターの崩れの寄与及び $\alpha+p+n$ 3体構造の重要性

${}^6\text{Li}$ の光分解反応は、宇宙初期における ${}^6\text{Li}$ の合成反応の逆反応であり、 $\alpha+d$ 的な2体構造が重要であると考えられる。一方で、重陽子自体も束縛エネルギーが約2.2 MeVと弱束縛であるために、低エネルギー領域の連続状態において $\alpha+d$ の2体構造と $\alpha+p+n$ の3体構造が共存しうる可能性がある。本研究では、光分解反応の計算から、 ${}^6\text{Li}$ における $\alpha+p+n$ の3体構造の重要性を議論した。得られた結果は、

- 重陽子の崩壊の寄与は $\alpha+p+n$ の崩壊閾値以上では大きな寄与を持ち、光分解反応において重陽子崩壊の寄与を取り扱うことが重要であること
- 分解反応の中間状態においては $\alpha+d$ 的な構造のみでなく、 $\alpha+p+n$ の3体の状態へ結合する効果が大きく、そのような3体的な構造が光分解反応断面積の形状を再現する上で重要なこと

を示した。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	加 藤 幾 芳
副 査	教 授	鈴 木 久 男
副 査	教 授	藤 本 正 行
副 査	教 授	岡 部 成 玄
副 査	准教授	羽 部 朝 男
副 査	准教授	平 林 義 治

学 位 論 文 題 名

Two-nucleon correlations in breakup reactions of $A=6$ systems

(質量数 6 原子核の分解反応における二核子相関)

近年、不安定核ビームの実験の進展に伴って、安定線から遠く離れた不安定核の研究が著しく進み、これまでの原子核の基本的性質についての理解を越える新たな理解が得られつつある。とりわけ、陽子に比べ中性子の数が極端に多く、これ以上増えることが出来ない中性子ドリップライン原子核である ${}^6\text{He}$ や ${}^{11}\text{Li}$ 核の異常な性質について、実験・理論双方から多くの研究がなされてきている。これまでの研究で、 ${}^6\text{He}$ や ${}^{11}\text{Li}$ 核がコア核と2つの中性子からなるゆるく束縛した3体構造を持つと理解されている。その性質は3体分解反応実験を用いて調べられ、その実験結果を理解するために3体分解反応を理論的に記述する新たな枠組みの構築が求められてきた。

本学位論文は、複素座標スケーリング法とLippmann-Schwinger方程式を用いて、弱く束縛した状態と3体散乱状態を同時に記述する新たな理論的枠組み「複素座標スケーリングされたリップマン・シュウィンガー解の理論」を構築し、 ${}^6\text{He}$ の分解反応で観測される2核子相関の特徴について論じたものである。

これまでの理論では、分解された3体散乱状態が正しく記述されていないという問題や、観測に対応する粒子や準束縛粒子系のエネルギー状態になっていないという不完全さを持っていた。著者の新たな理論はそれらの問題点を解決し、束縛状態と散乱状態を同時に記述するだけでなく、3体以上の多体散乱状態の記述を可能にするものである。 ${}^6\text{He}$ のクーロン相互作用による分解反応を分析し、2中性子が空間的に広がった構造、いわゆる中性子ハロー構造がどのように分解断面積に影響を与えるか調べた。その結果、実験観測される分解断面積の構造は主に2体終状態相互作用によるものであり、基底状態の中性子ハロー構造の影響は極めて小さく直接観測することは困難であることを明らかにした。

これを要するに、著者は多体分解反応を記述する新たな理論を構築し、不安定核の構造とその

性質を解明する道を切り開いたものであり、その新たな理論を用いて、 ${}^6\text{He}$ の中性子ハロー構造の解明を行い、その理論の有用性を示すとともに ${}^6\text{He}$ の2体相関の理解を深め、分野の研究に対して貢献するところ大なるものである。

よって著者は、北海道大学博士(理学)の学位を授与される資格があるものと認める。