

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19740115

研究課題名 (和文) 弱く束縛された原子核の構造と反応機構の解明

研究課題名 (英文) Structure and reaction dynamics of weakly-bound nuclei

研究代表者

萩野浩一 (Kouichi Hagino)

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：20335293

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：中性子過剰核、対相関、双中性子相関、双極子励起、核融合反応、平均場理論、核分裂障壁、 r -プロセス元素合成

1. 研究計画の概要

陽子の数に比べて中性子の数が極めて多い中性子過剰核は、その弱い束縛性によって構造が特徴づけられている。本研究の大きな目的は、次世代加速器施設である RIBF の稼動により大きな発展が望まれている弱く束縛された中性子過剰核の構造を研究し、その原子核反応への影響を明らかにすることである。芯核に1つの中性子が弱く束縛した原子核 (1 中性子ハロー核) の構造と反応は、これまでの研究により大分明らかになってきたが、殻外中性子を2つ持つボロミアン核、あるいは芯核により多数の中性子が結合した中性子過剰核の反応機構は、未だによく理解されていないことが多い。このような中性子過剰核では、強い二中性子対相関が理論的に予言されており、その二中性子相関を原子核反応を介在にしてどのように引き出すかを検討することが急務になっている。また、RIBF プロジェクトでは質量数の比較的大きい中性子過剰核の生成が計画されており、そのような重い中性子過剰核の構造と反応の解明も最重要課題の一つである。

本研究では、特に、芯核に複数の中性子が結合した中性子過剰核の反応機構を解明することを目指す。この目的のためには、そのような中性子過剰核の構造の理解が必要不可欠であり、系の弱束縛性に立脚した構造計算も行う。

2. 研究の進捗状況

これまでに対相互作用を考慮した平均場近似(Hatree-Fock-Bogoliubov 法)を用いて、芯核 ${}^4\text{He}$ に4つの殻外中性子が結合した ${}^8\text{He}$ の構造を明らかにした。すなわち、4つの殻外中性子のうち、スピン上向き・下向きをもつ双中性子対が強い対相関相互作用のため空間的にコンパクトな配位をとり、そのような双中性子対2つが比較的自由に運動をしているという描像を得た。これは、重い中性子過剰核において、双中性子対が核表面付近に凝縮しているということを示唆する。また、 ${}^8\text{He}$ をこえてより重い中性子過剰核の構造を系統的に記述するために、中性子と陽子の密度分布の差が関与するアイソ・ベクトル成分を持つ対相関相互作用を提唱した。その対相関相互作用を無限中性子物質に適用し、中性子物質における BCS-BEC クロス・オーバー現象を議論した。

芯核に2つの殻外中性子が結合したボロミアン核に関しては、3 体模型を用いて基底状態及び双極子励起に対する詳細な計算を行った。まず、 ${}^{11}\text{Li}$ 核における双中性子相関に関し、局所対エネルギーが極小となる位置で中性子クーパー対のサイズが最小になることを明らかにした。また、強い双中性子相関が中性子過剰核で発達するためには、対相関相互作用による異なるパリティ状態の混合が本質的な役割を果たしていることを指摘した。更には、 ${}^{11}\text{Li}$ 及び ${}^6\text{He}$ 原子核のクーロン励起に対する3 体模型計算を行い、2 体部分系の共鳴状態の違いのため2つの原子核で放出2 中性子のエネルギー分布及び角

度分布が大きく異なることを明らかにした。
この他に、関連した課題として、中性子過剰ハイパー核の崩壊率の計算、安定な弱束縛核の融合反応の計算、中性子過剰核の核分裂及びベータ崩壊の計算も行った。

これまでの研究成果は合計 40 本（いずれも査読あり）の論文として発表した。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している

本研究の目的は、芯核に複数の殻外中性子が結合した原子核の構造と反応機構を解明することであるが、芯核に2つの殻外中性子が結合したボロミアン核に関しては基底状態及びクーロン励起（クーロン場に対する応答）に関する理解を大きく進めることができた。ボロミアン核を入射核として用いた時に起こることが予想される2中性子移行反応、及び、その移行反応及び分解反応の効果を取り入れた核反応理論の構築を残すのみである。

より多数の中性子が結合した核においても、定性的ながら、基底状態の性質に対する知見が得られた。より定量的で系統的な計算、及び核反応への応用が課題として残っているものの、2007年の研究開始から3年間でこの段階まで到達したのは、ほぼ当初の計画通りである。

4. 今後の研究の推進方策

今後は、ボロミアン核や ${}^8\text{He}$ 原子核を入射核として他の原子核に衝突させた時の反応機構を解明することが課題として残っているが、本研究を更に発展させた形として、研究計画最終年度前年度の応募により新規課題として基盤研究(C)の課題の採択が内定している(課題番号22540262)。新規研究計画では対相関と密接に関わっている対移行反応に関する研究を重点的に進めていく予定である。これは、本研究により明らかになった核表面付近の強い双中性子相関を実験的に調べる方法を探索する研究である。安定原子核では、2つの中性子が1つずつ移行する連続的対移行が主要な寄与を与えるが、その反応機構が束縛が弱くなるにつれ双中性子相関の成長とともにどのように変化するか明らかにする。このためには、中性子過剰核の中でのクーパー対の振る舞いを明らかにする必要があり、これまでに理論的に示唆されている表面对凝縮の機構を様々なアプローチから更に深く研究する。これには陽子過剰核における双陽子相関の解明も含まれる。また、中性子過剰核のクーロン分解や、対移行反応の影響を考慮した核融合反応の

計算など、中性子過剰核の反応に関する関連課題にも取り組む予定である。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 40 件)

1. K. Hagino, H. Sagawa, T. Nakamura, and S. Shimoura, "Two-particle correlations in continuum dipole transitions in Borromean nuclei", Phys. Rev. C80 (2009) 031301(R)/1-4. 査読有
2. K. Hagino, N. Takahashi, and H. Sagawa, "Strong dineutron correlation in ${}^8\text{He}$ and ${}^{18}\text{C}$ ", Phys. Rev. C77(2008)054317/1-9. 査読有
3. H. Esbensen, K. Hagino, P. Mueller, and H. Sagawa, "Charge radius and dipole response of ${}^{11}\text{Li}$ ", Phys. Rev. C76(2007) 024302/1-6. 査読有
4. K. Hagino and H. Sagawa, "Dipole excitation and geometry of Borromean nuclei", Phys. Rev. C76 (2007) 074302/1-4. 査読有

[学会発表] (計 14 件)

1. 萩野浩一, "Two-particle correlations in continuum dipole transitions in Borromean nuclei", 第3回日米物理学会合同核物理分科会、2009年10月17日、ハワイ、アメリカ
2. 萩野浩一, "Di-neutron correlation in light neutron-rich nuclei", Franco-Japanese Symposium on New Paradigms in Nuclear Physics, 2008年10月1日、パリ、フランス