



Title	中性子魔法数28の消失に伴う多様な核変形の研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	鈴木, 祥輝
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第14784号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85873
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yoshiki_Suzuki_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(理学) 氏名 鈴木 祥輝

学位論文題名

中性子魔法数 28 の消失に伴う多様な核変形の研究

原子核は、Fermi 粒子である 2 種類の核子(陽子と中性子)で構成される有限量子多体系である。原子が特定の電子数で安定な閉殻構造をとると同様に、原子核も特定の核子数で安定な閉殻構造を取り、その特定の数(2, 8, 20, 28, 50, 82, 126)を魔法数と呼ぶ。魔法数に相当する所では、Fermi 面(核子の 1 粒子エネルギー)に大きなエネルギーギャップが生じる。その結果、魔法数に等しい数の陽子あるいは中性子を持つ原子核は安定し、その形は球形となる。この魔法数は全ての原子核に共通しており、不変であると考えられ、従来の原子核物理学では、この基本的性質を前提として原子核の構造や反応が研究されてきた。

ところが、実験技術の向上により、中性子数と陽子数とが大きく異なる不安定核の生成が可能になると、閉殻構造が失われ、魔法数が成立しないことを示す実験データが得られ始めた。原子核を構成する核子の数が魔法数でありながら、急激な束縛エネルギーの減少や原子核の変形が確認されたのである。このように、魔法数が成立しないことを魔法数の消失と呼び、この発見によって、魔法数に関する従来の理解は覆された。

魔法数が消失する不安定核では、Fermi 面の構造が安定核から変化するため、安定核では見られなかった特異な性質が現れる。そのため、魔法数消失の研究は、不安定核を含めた核の性質の統一的理解のために重要である。また、魔法数が消失しているか否かは、核の寿命や反応のしやすさを大きく左右するため、宇宙での元素合成を理解する上でも重要である。このような背景から、魔法数の消失が起こる核、魔法数消失の原因と機構、消失に伴う核の性質の変化、その変化を反映する観測量を明らかにすることが、現代核物理の中心的課題の 1 つとなっている。

本研究では、不安定核である中性子過剰な Mg, Si, S, Ar 同位体(それぞれ陽子数が 12, 14, 16, 18)における中性子魔法数 28 の消失に着目する。これらの同位体について、近年多くの実験データが得られており、中性子魔法数が消失し、それに伴って基底状態が変形していること、さらに、励起状態に様々な形を持つ変形状態が共存する(変形共存現象)可能性が指摘されているためである。変形共存現象は原子核特有の量子現象であり、その発現機構に興味が持たれている。

しかし、現状は、それぞれの核が具体的にどのような形状をしているかが十分に調べられていない状況である。そのため、系統的に魔法数が消失する原子核を探り、どのような変形や変形共存をするのかを明らかにする理論研究が求められる。これを行うためには、核子の自由度から出発し、核の様々な形状を制限無く記述できる微視的モデルが必要となる。そこで、そのようなモデルの 1 つである反対称化分子動力学を用いて、 $N = 26, 28, 30$ の中性子過剰な不安定核(Mg, Si, S, Ar 同位体)の構造を系統的に調べた。

エネルギー曲面と、Hamiltonian の固有状態の波動関数と基底波動関数の重なりから、基底状態がどの程度変形し、どのような形状をしているかを調べた。また、こうした変形がどのような物理量に反映されるのかを議論した。その結果、どの核の基底状態も大きく変形しており、核種によって形状が異なることを示した。また、観測されている小さな第 1 励起状態のエネルギーや大きな電気 4 重極遷移強度は、基底状態の変形に起因することを示した。

陽子と中性子の Fermi 面構造から、核変形の傾向をある程度説明した。 ^{42}Si と ^{46}Ar では、陽子と中性子の Fermi 面構造の傾向が協同的に働き、オブレート変形が引き起こされると説明できる。一方で、 ^{44}S では、陽子と中性子 Fermi 面構造の傾向は互いに異なり、陽子のプロレート変形を好む傾向と中性子のオブレート変形の好む傾向が競合した結果、形状のゆらぎが大きくなると説明できる。また、 ^{42}Mg を除く $N = 26, 30$ 核では、中性子の Fermi 準位は変形に鈍感であることがわかった。その結果、エネルギー曲面が 3 軸非対称度 γ の方向に平坦になり、 $N = 26, 30$ 核は 3 軸非対称変形した基底状態を持つと考えられる。そして、これらの核の 3 軸非対称変

形は、2番目の 2^+ 状態から始まるサイドバンドに強く反映されていることを指摘した。また、中性子数が26である ^{44}Ar の電気4重極モーメントの測定値は、 ^{44}Ar が3軸非対称変形していることと無矛盾であることも示した。

次に、陽子と中性子のFermi面構造を求め、中性子の1p軌道の占有数を調べた結果、今回調べた全ての核で魔法数が消失し、その結果、変形が引き起こされることを裏付けた。さらに、中性子の1p軌道の占有数は徐々に変化し、魔法数28が消失する明確な境界は存在しないことを示した。また、魔法数28の消失には2種類の機構があり、変形の種類で分類されることを指摘した。 ^{40}Mg の基底状態のようなプロレート変形状態では、1粒子準位の逆転によって魔法数が消失するが、一方で、 ^{42}Si の基底状態のようなオブレート変形状態では、1粒子準位の逆転が無くとも、異なる軌道角運動量を持つ軌道の混合によって魔法数が消失するのである。

最後に、 $N = 28$ の核(^{40}Mg , ^{42}Si , ^{44}S)では、低励起状態に2番目の 0^+ 状態が存在し、変形共存が起こっていることも明らかにした。共存する変形状態とそれらが混合する割合は、核によって大きく異なっている。 ^{40}Mg では、形状のゆらぎが小さなプロレート変形状態とオブレート変形状態が共存し、 ^{42}Si では、形状のゆらぎが小さなオブレート変形状態と球形状態が共存する。 ^{44}S はこれらの核と異なり、大振幅集団運動が起こり、形状のゆらぎが極めて大きくなる。さらに、これらの変形共存の違いが単極遷移強度に強く反映されることを指摘した。 ^{40}Mg のプロレート変形した基底状態では、1粒子軌道の逆転が起き、単極遷移が禁止される。一方、 ^{42}Si のオブレート変形した基底状態は、球形である2番目の 0^+ 状態と連続的に繋がっているため、遷移強度は大きくなり得る。また、 ^{44}S では、半径の異なるプロレート変形状態とオブレート変形状態の混合によって単極遷移強度が大きくなる。