

課題名 (タイトル) :

## 原子核の大振幅集団運動の微視的記述

利用者氏名 : 日野原 伸生

所属 : 和光研究所 仁科加速器研究センター 理論研究部門 中務原子核理論研究室

## 1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

原子核の低励起状態における変形共存現象や変形転移現象などの非線形性の強い大振幅集団運動を量子多体理論に基づいて微視的に記述することが目的である。昨年度の研究課題で定式化した拘束 Hartree-Fock-Bogoliubov (CHFB) + 局所準粒子乱雑位相近似 (LQRPA) 法を用いて、5 つの四重極変形の自由度をすべて取り込んだ集団 Hamiltonian を微視的に決定した。本年度は特に、非軸対称四重極変形の自由度が重要となる  $^{26}\text{Mg}$  領域、および変形の発達や変形共存が議論されている中性子過剰 Mg 領域に焦点をあてて数値計算・分析を行った。

## 2. 具体的な利用内容、計算方法

軸対称、非軸対称四重極変形度 ( $\beta, \gamma$ ) を拘束条件に用いて CHFB 方程式を変分法により解き、その後に行列対角化によって LQRPA 方程式を解く。それぞれの ( $\beta, \gamma$ ) 点での計算は独立であるため、分散して行う。今回分析するような軽い原子核ではしばしば CHFB 方程式の解において、対相関がなくなることがある。このような場合でも変分方程式の解が求められるように CHFB 方程式を解く計算コードの改良を行った。得られた集団 Hamiltonian の満たす Schrödinger 方程式(微分方程式)は行列対角化の方法により解を求めた。

## 3. 結果

$^{26}\text{Mg}$  領域での計算は、 $^{24}\text{Mg}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{26}\text{Mg}$ ,  $^{24}\text{Ne}$  の低励起状態の分析を行った。基底状態が典型的なプロレート変形、オブレート変形となる  $^{24}\text{Mg}$ ,  $^{28}\text{Si}$  では、変形回転バンドおよび基底状態の  $\gamma$  振動励起、 $\beta$  振動励起に対応する励起バンドを求めることができた。また、 $^{26}\text{Mg}$ ,  $^{24}\text{Ne}$  では特に軸対称変形、非軸対称変形方向に広がった状態が基底状態

として得られ、基底状態での大振幅な変形ダイナミクス的重要性を指摘した。また、 $^{26}\text{Mg}$  の励起状態から基底状態への電磁遷移の中で、大振幅の非軸対称変形のダイナミクスが本質的な役割を果たすものがあることを議論した。

中性子過剰 Mg 領域の計算では  $^{30,32,34,36}\text{Mg}$  の低励起状態の分析を行った。実験によって測定されている低励起状態や電磁遷移強度をよく再現することができ、さらに  $^{30}\text{Mg}$  や  $^{32}\text{Mg}$  において球形およびプロレート変形の共存・混合が見られることを示した。また、中性子数の増加とともに非軸対称変形の自由度の励起がエネルギーの低い状態に現れることを示した。

## 4. まとめ

CHFB+LQRPA 方程式を数値的に解くことで、集団 Hamiltonian を用いて  $^{26}\text{Mg}$  付近の原子核、および中性子過剰  $^{32}\text{Mg}$  領域の原子核の低励起状態における大振幅集団ダイナミクスの分析を行なった。特に、対相関がなくなる場合においても、この方法が有効であることを数値計算によって示した。

## 5. 今後の計画・展望

中性子過剰核領域では、本課題で分析を行った Mg 同位体だけでなく、付近の Ne や Si 同位体の分析も行い、この領域の変形ダイナミクスの性質を系統的に明らかにしたいと考えている。

## 6. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況 (どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか) や、継続して利用する際に行う具体的な内容

これまでの利用によって、CHFB+LQRPA 法を解くコードが完成し、これを用いた低励起状態の記述が実際に有効であることが計算を通じて示

## 平成 22 年度 RICC 利用報告書

された。Ba や Xe 領域の変形相転移など、中重核領域も含めた様々な非線形現象の分析を計画している。また、原子核密度汎関数理論に基づいた有効相互作用を用いた CHF+LQRPA 法の計算コードの開発を検討し、将来的には系統的な低励起状態の計算を実行したい。

平成 22 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

N. Hinohara, K. Sato, T. Nakatsukasa, M. Matsuo, and K. Matsuyanagi,  
“Microscopic description of large-amplitude shape-mixing dynamics with inertial functions derived in local quasiparticle random-phase approximation,”  
Physical Review **C82**, 064313 (2010) [16 pages].

N. Hinohara and Y. Kanada-En'yo,  
“Triaxial quadrupole deformation dynamics in *sd*-shell nuclei around  $^{26}\text{Mg}$ ,”  
Physical Review **C83**, 014321 (2011) [15 pages].

【国際会議などの予稿集、proceeding】

N. Hinohara, K. Sato, T. Nakatsukasa, and M. Matsuo,  
“Microscopic derivation of five-dimensional collective Hamiltonian of large-amplitude quadrupole motion: application to shape coexistence in proton-rich Se isotopes,”  
Proceedings of NUCLEAR PHYSICS TRENDS: 7th Japan-China Joint Nuclear Physics Symposium,  
AIP Conference Proceedings **1235**, 96 – 100 (2010).

N. Hinohara, K. Sato, T. Nakatsukasa, and M. Matsuo,  
“Large-amplitude quadrupole collective dynamics of shape coexistence phenomena in proton-rich Se and Kr isotopes,”  
Proceedings of Tours Symposium on Nuclear Physics and Astrophysics VII,  
AIP Conference Proceedings **1238**, 286 – 289 (2010).

N. Hinohara, K. Sato, T. Nakatsukasa, and M. Matsuo,  
“Microscopic approach to adiabatic large-amplitude quadrupole collective dynamics in Se isotopes,”  
Proceedings of the International Symposium Frontiers of Researches in Exotic Nuclear Structures,  
Modern Physics Letters **A25**, Nos. 21 – 23, 1796 – 1799 (2010).

【国際会議、学会などでの口頭発表】

N. Hinohara, “Microscopic description of large-amplitude shape dynamics in neutron-rich Mg isotopes,”  
Second EMMI-EFES Workshop on Neutron-Rich Nuclei (EENEN10), Jun. 2010, RIKEN.

N. Hinohara, “Local QRPA vibrational and rotational inertial functions for large-amplitude quadrupole collective dynamics,” Zakopane Conference on Nuclear Physics Extremes of the Nuclear Landscape, Sep. 2010, Zakopane, Poland.

日野原伸生、佐藤弘一、中務孝、松尾正之、松柳研一、“中性子過剰 Mg 核の大振幅変形ダイナミクスの微視的記述,” 日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010 年 9 月, 九州工業大学戸畑キャンパス

N. Hinohara, "Large-amplitude shape mixing dynamics with local QRPA inertial functions," University of Aizu-JUSTIPEN-EFES Symposium on "Cutting-Edge Physics of Unstable Nuclei," Nov. 2010, University of Aizu.

N. Hinohara, "Microscopic description of large-amplitude shape-mixing dynamics with local QRPA inertial functions," International Symposium New Faces of Atomic Nuclei, Nov. 2010, OIST.

N. Hinohara, "Shape coexistence/mixing in Mg isotopes," Further understanding of 'Island of Inversion' via nuclear moments and inelastic reactions, Dec. 2010, RIKEN.

N. Hinohara, "Large-amplitude quadrupole collective dynamics in neutron-rich Mg and Cr isotopes," French-Japanese Symposium on Nuclear Structure Problems, Jan. 2011, RIKEN.