

課題名 (タイトル) :

不安定原子核の微視的理論

利用者氏名 : 佐藤 弘一

所属 : 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

本研究では、密度汎関数法に基づく原子核の微視的研究を進めている。原子核を構成する陽子と中性子は電荷を除いてほぼ等しい性質を持っており、同種粒子(核子と呼ばれる)と見なせる。従来の密度汎関数では陽子と中性子は異種粒子として扱われるが、本研究では同種粒子とみなし、1粒子状態を陽子と中性子の重ね合わせとする拡張(陽子-中性子混合)を行う。多くの原子核では、核子は超流動状態になっており、同種粒子はクーパー対と呼ばれる対を作っていると考えられているが、陽子と中性子がクーパー対を作るか(陽子-中性子対相関)については、未だに明らかになっていない。この陽子-中性子混合は、陽子-中性子対相関を記述するにあたって、必須のものである。陽子-中性子対相関を入れた密度汎関数計算への第一歩として、陽子-中性子混合を入れた Hartree-Fock (HF) 計算のコードを開発した。

2. 具体的な利用内容、計算方法

HF 計算は、逐次的な行列の対角化によって解かれる。まず試行的な初期密度から Hamiltonian 行列を作り、それを対角化する。得られた固有関数を使って、密度、さらには Hamiltonian 行列を更新し、収束が得られるまで繰り返す。通常の HF 計算では、Hamiltonian 行列は中性子部分と陽子部分でブロック対角になっているのだが、この陽子-中性子の混合を入れた HF 計算では、Hamiltonian 行列はもはやブロック対角にならないので、より大きな行列の対角化が必要となる。行列の対角化はこれまでのところ LAPACK の対角化ルーチンを用いて行った。また、系のアイソスピンの状態を制御するために拘束条件付の HF 計算についても実装した。

3. 結果

我々はまず、アイソスピン空間での回転対称性を

もつように拡張した陽子-中性子混合密度汎関数を用いて研究を行った。昨年度までの計算で、実験で得られた同重核の束縛エネルギー(の相対的な差)を再現するには、現在用いているアイソスピン回転対称な汎関数では不十分で、アイソスピン対称性の破れの効果を取り込む必要があることが示唆されていた。そこで本年度は、このアイソスピン対称性の破れの効果を調べるべく、いくつかの標準的な密度汎関数パラメーターセットについて、質量数 $A=10-66$ 領域で $T=1$ および $T=1/2$ のアイソバリックアナログ状態と呼ばれる同重核中の状態について系統的な計算を行った。得られた結果は、いずれのパラメーターセットを用いた場合にも、実験値との系統的なずれを示しており、これによりクーロン力以外のアイソスピンを破る相互作用を密度汎関数に取り込むことが必要であることが結論された。

4. まとめ

我々は、アイソスピン空間において回転対称性を保つ陽子-中性子混合を含んだ密度汎関数に基づいて Hartree-Fock 方程式を数値的に解いた。 $A=10-66$ 領域の原子核について系統的計算を行い、実験値と比較したところ、実験値の再現には核力起源のアイソスピン対称性の破れの効果を密度汎関数に取り込むことが必要であることが明らかになった。

5. 今後の計画・展望

今後はクーロン力以外のアイソスピンの破れの効果を取り入れるため、アイソスピン空間での回転対称性を破る相互作用を付け加えた更なる密度汎関数の拡張を行う。中重核領域でのアイソバリックアナログ状態について系統的計算を行うことで、アイソスピンの破る相互作用の大きさを定量的に評価する。

平成 26 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】

Sheikh J. A., Hinohara N., Dobaczewski J., Nakatsukasa T., Nazarewicz W., and Sato K., :
“Isospin-invariant Skyrme energy-density-functional approach with axial symmetry”, Phys. Rev. C,
89, 054317 (2014)*

【国際会議、学会などでの口頭発表】

Sato K., Dobaczewski J., Nakatsukasa T., and Satula W. : “Isocranking calculation with proton-neutron
mixed energy density functionals” Fourth Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American
Physical Society and The Physical Society of Japan (HAWAII 2014), Hilton Waikoloa Village, HI, Oct.
(2014)

Sato K., Dobaczewski J., Nakatsukasa T., and Satula W. : “Mean-field calculation based on proton-neutron
mixed energy density functionals” 2nd Conference on Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014),
University of Tokyo, Jun. (2014)

佐藤弘一, Dobaczewski J., 中務孝, Satula W. : “陽子-中性子混合を含んだ密度汎関数計算”, 千葉大学
原子核理論研究室セミナー, 千葉大学, 2014 年 5 月

佐藤弘一, Dobaczewski J., 中務孝, Satula W. : “Isospin breaking term を入れた陽子-中性子混合密度
汎関数計算”, 『日本物理学会第 70 回年次大会』、早稲田大学、2015 年 3 月