

課題名 (タイトル) :

密度汎関数理論に基づく原子核の集団ダイナミクスの研究

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、(核子と呼ばれる)同種粒子と見なせる。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拘束条件付の HF 計算についても実装している。

3. 結果

昨年度までに、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。そこで、本年度は核力部分にアイソスピン対称性を破る相互作用を付け加えて汎関数を拡張し、SLy4 という代表的な汎関数パラメーターセットについて $A=10-66$ 領域で $T=1$ 三重項に対して系統的な計算を行った。エネルギー密度汎関数の中でアイソベクターの 2 乗の項において、 T_x, T_y 成分と T_z 成分の結合定数を 1% 程度重みを変えることで、実験値をよりよく再現することが明らかになった。

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破る核力を加えた陽子-中性子混合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、アイソスピン対称性を破る僅かな核力を密度汎関数に取り込むことにより、実験値がより良く再現されることが明らかになった。

5. 今後の計画・展望

今後は SLy4 以外のいくつかの代表的な相互作用パラメーターセットを用いて同様の計算を行うことにより、アイソスピン対称性を破る核力が、実験値の再現には不可欠である、という結論が相互作用パラメーターセットに依らないものであることを確かめたい。更に、今回は現象論的に最も簡単な形でアイソスピンを破る項を取り入れ

平成 27 年度 利用報告書

たが、どのような関数型の相互作用を取り入れる
べきか検討を進めたい。

平成 27 年度 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

該当なし

【国際会議などの予稿集、proceeding】

K. Sato, J. Dobaczewski, T. Nakatsukasa, W. Satula,

"Mean-Field Calculation Based on Proton-Neutron Mixed Energy Density Functionals", Proceedings of the Conference on Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014), Tokyo, Jun. 1-6, 2014, JPS Conf. Proc. 6, 020051 (2015).

【国際会議、学会などでの口頭発表】

K. Sato, "Proton-neutron mixed density functional calculation with isospin breaking interaction", 2nd International Workshop & 12th RIBF Discussion on Neutron-Proton Correlations. The University of Hong Kong, Jul. 6-9, 2015

佐藤弘一, Jacek Dobaczewski, 中務孝, Wojciech Satula

「陽子-中性子混合を入れた密度汎関数計算」

『京都大学原子核理論研究室セミナー』、京都大学、2015年7月

佐藤弘一、 Jacek Dobaczewski、中務孝、Wojciech Satula,

「Isospin breaking termを入れた陽子-中性子混合密度汎関数計算 II」

『日本物理学会 2015 年秋季大会』、大阪市立大学、2015 年 9 月

【その他（プレスリリース、学術会議以外の一般向けの講演など）】

該当なし