

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。多くの原子核では、核子(陽子と中性子)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。本研究では密度汎関数に基づく有効相互作用を用いた微視的計算を行い、この問題にアプローチする。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。ここで、陽子-中性子混合とは、1 粒子の状態を陽子と中性子の重ね合わせとして表現し、密度汎関数もそれに伴い拡張することを指す。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。

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、まず陽子-中性子混合を入れた HF 計算コ

ードを用い、質量数 14 および質量数 40-56 の同重核のアイソスピンアナログ状態と呼ばれる状態について、アイソスピン量子数に 1 次の拘束をかけた HF 計算を行った。この時、陽子間にはたらくクーロン力を入れると 1 粒子エネルギーがアイソスピンに依存してしまうため、多くの場合で逐次計算がうまく収束しないことがわかった。我々は、これを克服するための効率的な拘束のかけ方を開発した。我々の計算はよく知られた ^{14}C 、 ^{14}N 、 ^{14}O の励起アイソバリックアナログ 0+状態のエネルギーをよく再現している。

4. まとめ

我々は、陽子-中性子対相関を入れた原子核の密度汎関数計算への第一歩として、陽子-中性子混合を含んだ Hartree-Fock 計算コードを開発した。計算結果は、我々の計算の理論的枠組みが励起アイソバリックアナログ状態を定量的に再現できることを示している。

5. 今後の計画・展望

これまでに得られた結果は、陽子数と中性子数を入れ替えた鏡映核のエネルギー差について、クーロン力起源以外のものがあることを示唆している。今後は、 $T=1$ 三重項について系統的な計算を行い、これをより詳細に検証する。また、現在の計算では、陽子-中性子対相関が入っていないので、現在のコードを、陽子-中性子対相関を含んだ計算へと拡張する。また、クーロン力があると異なるアイソスピン量子数が混ざった状態が固有状態となるが、平均場に基づくアプローチでは、クーロン力によるもの以外に余計なアイソスピンの混合が起きてしまうことが知られている。これを取り除くためのアイソスピンに関する射影演算も実装する。

平成 25 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】

K. Sato, Jacek Dobaczewski, T. Nakatsukasa, Wojciech Satula,
“Energy-density-functional calculations including proton-neutron mixing” Phys. Rev. C 88, 061301(R)
(2013)

K. Matsuyanagi, N. Hinohara and K. Sato, “BCS-pairing and nuclear vibrations” *Fifty Years of Nuclear BCS*, eds. R. A. Broglia and V. Zelevinsky, 111-124, (World Scientific, 2013)

【国際会議などの予稿集、proceeding】

M. Matsuo, N. Hinohara, K. Sato, K. Matsuyanagi, T. Nakatsukasa, and K. Yoshida,
“Quadrupole shape dynamics in view from a theory of large amplitude collective motion”
Proceedings of 20th Nuclear Physics Workshop “Marie and Pierre Curie”, Kazimierz, Sep. 25-29, 2013
Physica Scripta, in press.

【国際会議、学会などでの口頭発表】

佐藤弘一、 Jacek Dobaczewski、中務孝、Wojciech Satula,
「陽子-中性子混合密度汎関数による T=1 アイソバリックアナログ状態の系統的計算」
『日本物理学会 2014 年年次大会』、東海大学、2013 年 9 月

K. Sato,
“Mean-field calculations based on the proton-neutron mixed energy density functional”
International Molecule-type Workshop on New correlations in exotic nuclei and advances of theoretical models,

K. Sato, Jacek Dobaczewski, T. Nakatsukasa, Wojciech Satula,
“Energy-density-functional calculations including the proton-neutron mixing”
2nd Topical Workshop on Modern Aspects in Nuclear Structure, Bormio, Italy, 19-22 Feb. 2014.

K. Sato, Jacek Dobaczewski, T. Nakatsukasa, Wojciech Satula,
“Energy-density-functional calculations including the proton-neutron mixing”
JUSTIPEN-JUSEIPEN Workshop, RIKEN, Dec. 9 - 12, 2013.

佐藤弘一、 Jacek Dobaczewski、中務孝、Wojciech Satula,
「中重核における陽子—中性子混合を含んだ拘束 Hartree-Fock 計算」
『日本物理学会 2013 年秋季大会』、高知大学、2013 年 9 月

【その他】