

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 : 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

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。本年度は陽子-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 計算コードのテストとして、質量数 14 および質量数 48 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、テスト計算を行った。陽子間にはたらくクーロン力を入れなかった場合、アイソスピンアナログ状態のエネルギーは、アイソスピン対称性という対称性のために全て等しくならなければならない(上述の陽子-中性子混合に伴う密度汎関数の拡張はこの対称性を保つように行われる)。我々は、このことを数値的に確認し、我々のコードがうまく動いていることを確認した。更に、クーロン力を入れた場合についても、計算を行い、我々の計算がよく知られた ^{14}C 、 ^{14}N 、 ^{14}O の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することを確認した。

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。テスト計算の結果は、我々の計算の理論的枠組み及び計算コードがうまくはたらいっていることを示している。

5. 今後の計画・展望

現在の計算では、陽子-中性子混合は入っているものの、対相関が入っていないので、今後の展望としては現在のコードを、陽子-中性子対相関を含んだ Hartree-Fock-Bogoliubov(Bogoliubov-de Gennes)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

平成 24 年度 RICC 利用報告書

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 24 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】

"Shape transition and fluctuations in neutron-rich Cr isotopes around N=40"

K. Sato, N. Hinohara, K. Yoshida, T. Nakatsukasa, M. Matsuo, and K. Matsuyanagi,

【国際会議などの予稿集、proceeding】

K. Sato, N. Hinohara, T. Nakatsukasa, M. Matsuo, and K. Matsuyanagi,

"Microscopic approach to large-amplitude deformation dynamics with local QRPA inertial masses"

Proceedings of Rutherford Centennial Conference on Nuclear Physics, Aug. 8 - 12, 2011, J. Phys.: Conf. Ser.
381 (2012) 012103

【国際会議、学会などでの口頭発表】

K. Sato, T. Nakatsukasa, Wojciech Satula, Jacek Dobaczewski

"Mean-field calculation including proton-neutron mixing in atomic nuclei --toward proton-neutron pairing--",
Quarks to Universe in Computational Science (QUCS 2012), Nara, Japan, Dec. 13 - 16, 2012.

K. Sato, N. Hinohara, K. Yoshida, Nakatsukasa, M. Matsuo and K. Matsuyanagi,,

"Microscopic approach to large-amplitude deformation dynamics with local QRPA",
7th Italy-Japan Symposium on Nuclear Physics, Milano, Italy, Nov. 20 - 23, 2012.

K. Sato, T. Nakatsukasa, Wojciech Satula, Jacek Dobaczewski

"Mean-field calculation including proton-neutron mixing -- toward proton-neutron pairing --",
[RIBF-ULIC-Symposium-010] International Symposium on Perspective in Isospin Physics ~Role of non-central interactions in structure and dynamics of unstable nuclei~,RIKEN, Japan, Aug. 27 - 28, 2012.

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

「A=48 同重核における陽子—中性子混合を含んだ平均場計算」

『日本物理学会 2012 年秋季大会』、京都産業大学、2012 年 9 月

佐藤弘一、中務孝、Jacek Dobaczewski

「陽子—中性子混合を入れた平均場計算」

『日本物理学会第 67 回年次大会』、関西学院大学、2012 年 3 月