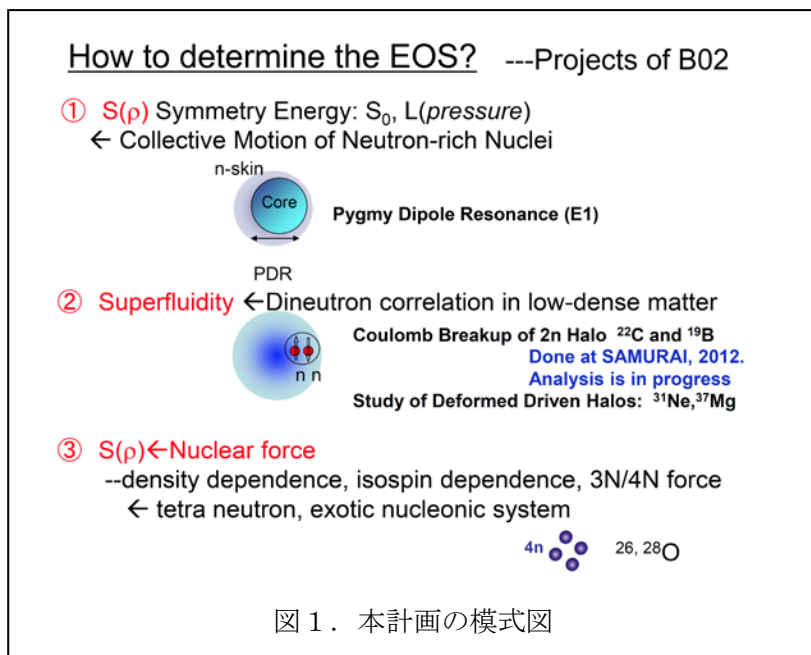


計画研究 B02 「中性子過剰な中低密度核物質の物性」 H27 年度の活動報告

本計画研究では、理研 RIBF で得られる高強度の不安定核ビームを用いた実験によって、中性子星の物理で最重要課題の一つとなっている中性子過剰核物質の状態方程式(Equation of State: EOS)を解明し、さらに中性子星内の核子の引き起こす多体相関などの物性を探ることを目指している。そのため、図1のように①中性子スキン核の核応答の研究、特に不安定核の特異な電気双極子励起モード、ピグミー双極子共鳴(Pygmy Dipole Resonance: PDR)の研究、②低密度の中性子状態を表面にもった中性子ハロー核の研究、特に中性子星内の超流動状態を解明することを目指したダイニュートロン相関の研究、③超中性子過剰となった非束縛核子系の研究という 3 本柱でこの課題に取り組んでいる。



H27 年度に得られた研究成果のうち代表的なものについて紹介する。タイトル横の数字(①)等は上記①②③に対応。

1. ピグミー双極子共鳴実験用ガンマ線カロリメータの開発 (①)

中性子過剰カルシウム核 ($^{50, 52}\text{Ca}$) の電気双極子応答を調べ、ピグミー双極子共鳴の観測を目指している。これにより $S(\rho)$ に制限をつける。これを観測するためには、 ^{52}Ca の場合、これをクーロン励起し、その後放出される荷電フラグメント、中性子、および γ 線を同時計測して不変質量を求め、励起スペクトルを構築する必要がある。特にガンマ線は放出荷電フラグメントからカスケード的に複数本放出されることも多いので、高効率のガンマ線検出器が必要となる。そこで、本研究では、 γ 線検出効率の高いセシウム結晶を用いた γ 線カロリメータの開発を進めている。

H27 年度には、CsI (Na) 検出器の量産をさらに進め、また結晶を反応標的周辺に配置するための検出器架台の建設を行った。ここで製作したほぼ全ての結晶が本研究で要求される性能を満たしていることを確認した。

2. 変形誘因型ハローの研究 (②)

中性子ハローは低密度の中性子雲をまとった特異原子核である。低密度の中性子物質は中性子星のクラスト中での中性子の物性にも関係するため、中性子ハロー構造の発現メカニズムの解明は重要である。

我々は RIBF で行った ^{29}Ne のクーロン分解および核力分解反応実験の解析を終え、この中性子過剰核が前年度に発見した $^{31}\text{Ne}, ^{37}\text{Mg}$ と同様、変形により p 波のハローが現れたいわゆる変形誘因型ハローであることを突き止めた。この結果を Physical Review C 誌に発表した[1]。

3. 中性子超過酸素同位体の生成 (③)

中性子束縛限界を示す中性子ドリップラインが酸素とフッ素で異常に大きくずれる問題「酸素ドリップライン異常 Oxygen Anomaly)」を解決すべく、H24 年度に、我々はドリップラインを超える非束縛核 $^{25}\text{O}, ^{26}\text{O}$ を生成し、それぞれのエネルギー準位 (質量) を測定する実験を理研 RIBF の SAMURAI を用いて行い、高統計、高精度のデータを取得することに成功している。H27 年度にはこの解析を完了し、結果を Physical Review

Letters 誌に発表し[2]、プレスリリースも行った。(プレスリリース “原子核からほんの少しだけあふれた 2 個の中性子” <http://www.titech.ac.jp/news/2016/033690.html>)

ここでまず ^{25}O の基底状態の 1 中性子崩壊エネルギーを $749 \pm 10 \text{keV}$ 、崩壊幅を $88 \pm 6 \text{keV}$ と決定した。2つの先行研究の間で一致していなかった崩壊幅の問題を決着させた。さらに ^{26}O については図 2 のように 2 つのピークを観測した。このうち基底状態については 2 中性子崩壊エネルギーを $18 \pm 3 (\text{統計}) \pm 4 (\text{系統}) \text{keV}$ と初めて有限の値として決め、さらに第一励起準位を $1.28^{+0.11}_{-0.08} \text{MeV}$ に初観測した。基底状態は 2 中性子放出核としてこれまでで最低エネルギーのもので、ほんのわずか非束縛になった特殊な状態であることがわかった。強い 2 中性子相関 (ダイニュートロン) の可能性も指摘されており、今後の研究の展開が期待される。また第一励起状態のエネルギーについては、3 体核力や殻進化についての制限を与える重要な指標となることが期待される。

さらに理研 RIBF において ^{27}O , ^{28}O の生成実験を行い、これを成功させた。実験データの解析を進めている。

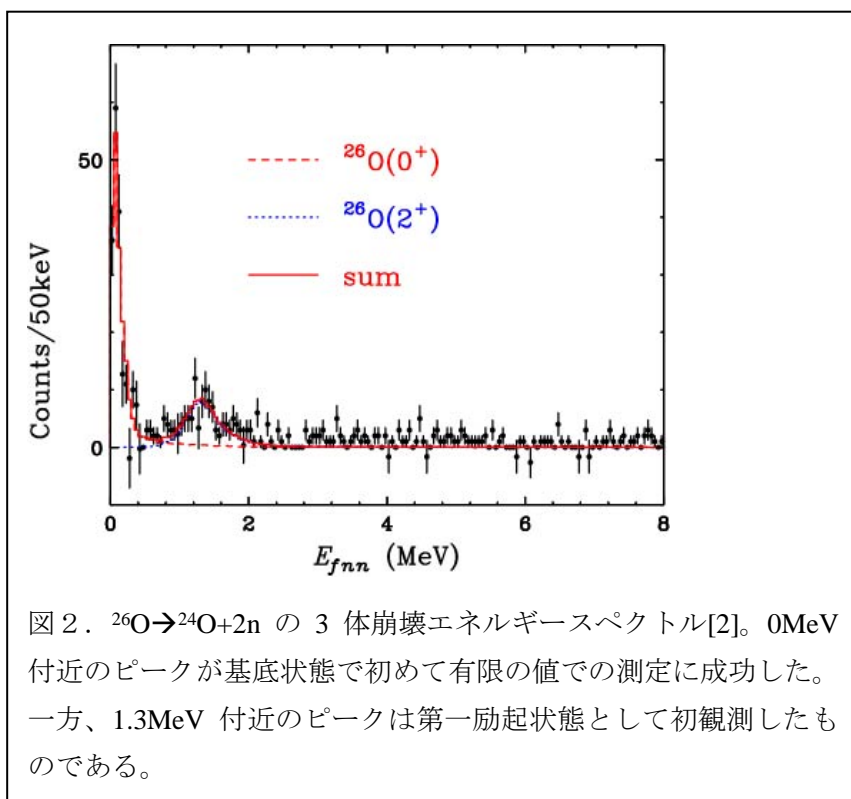


図 2. $^{26}\text{O} \rightarrow ^{24}\text{O} + 2n$ の 3 体崩壊エネルギースペクトル[2]。0MeV 付近のピークが基底状態で初めて有限の値での測定に成功した。一方、1.3MeV 付近のピークは第一励起状態として初観測したものである。

4. 二重荷電交換反応によるテトラ中性子の生成 (③)

二重荷電交換反応 $^4\text{He} (^8\text{He}, ^8\text{Be})$ を用いて中性子系「テトラ中性子」の探査実験の結果、テトラ中性子系の基底状態の候補が見つかり、Physical Review Letter 誌に発表し[3]、プレスリリースも行った (プレスリリース: 「テトラ中性子核を発見: 中性子物質研究の本道を開拓」 <http://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2015/60.html>)。

5. 次世代中性子検出器の開発 (③)

複数中性子の同時測定を可能にするため、反跳陽子のトラッキングを可能にする次世代型中性子検出器の開発を前年度に続いて進めている。H27 年度はプロトタイプの製作を進め、読み出しシステムのテストを実施した。

参考文献

1. N. Kobayashi*, T. Nakamura, Y. Kondo, Y. Togano, et al., “One-neutron removal from ^{29}Ne : Defining the lower limits of the island of inversion”, Phys. Rev. C **93** (2016) 014613-1-11. 国際共著, 査読有. DOI: 10.1103/PhysRevC.93.014613
2. Y. Kondo*, T. Nakamura, et al., “Nucleus ^{26}O : A Barely Unbound System beyond the Drip Line”, Phys. Rev. Lett. **116** (2016) 102503-1-6. 国際共著, 査読有. DOI:10.1103/PhysRevLett.116.102503
3. K. Kisamori*, S. Shimoura et al., “Candidate Resonant Tetraneutron state Populated by the $^4\text{He} (^8\text{He}, ^8\text{Be}) 4n$ Reaction”, Phys. Rev. Lett. **116** (2016) 052501-1-5. 国際共著, 査読有. DOI:10.1103/PhysRevLett.116.052501