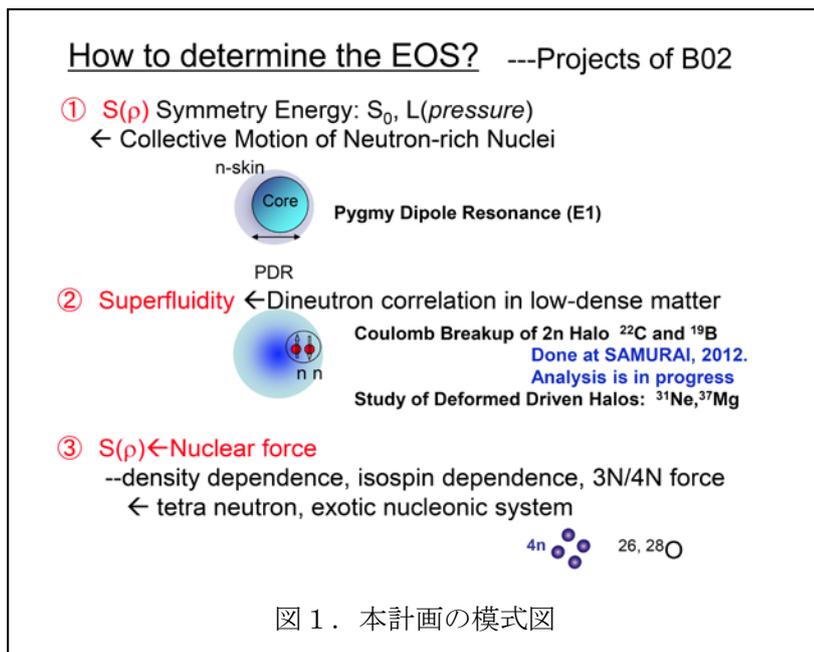


計画研究 B02 「中性子過剰な中低密度核物質の物性」 H26 年度の活動報告

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。



H26 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。

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

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。

H26 年度には、仕様の決まった CsI (Na) の量産を開始した。また CsI (Na) に取り付ける光電子増倍管とその高電圧印加装置の整備を行った。これらの検出器の性能テストを行い、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発見

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見メカニズムの解明は重要である。

我々は RIBF で行った ^{31}Ne , ^{37}Mg (図 2 参照) のクーロン分解および核力分解反応実験から、これらの中性子過剰核が p 波のハローを持つことを発見した。さらにこれらの核がプロレート型 (レモン型) に変形し、その変形により殻構造が破れて p 波中性子が混合し、ハローが形成されるという新しいハロー生成メカニズムによるものであることをつきとめた (変形誘因型ハロー)。

これらの結果は Physical Review Letters 誌で論文発表するとともに [1, 2]、下記のプレスリリースも行った。

- ・ プレスリリース “中性子ハローがマグネシウム同位体にも出現”
<http://www.titech.ac.jp/news/2014/027999.html>
- ・ プレスリリース “中性子が多い原子核に現れる特異構造を解明”

さらに同様の変形誘因型ハロー構造の可能性のある ^{29}Ne のクーロン分解、核力分解のデータ解析を進めた。

3. 2中性子ハロー核のクーロン分解

コア+（2個の中性子でできたハロー）という構造をもつ2中性子ハロー核は、この2個の中性子が強い空間的相関をもつ“ダイニュートロン”となっている可能性があり、注目される。ダイニュートロンは1970年代に予言されながら、いまだに確定していない。我々は2中性子ハロー核の候補となっている ^{19}B , ^{22}C (図2) に対してRIBFのSAMURAIを用いてクーロン分解反応実験を行い、電気双極子応答を調べた。解析の結果、ハロー核に特有のソフト双極子励起が確認された。その詳細解析を進めることでダイニュートロンの有無が調べられると期待される。

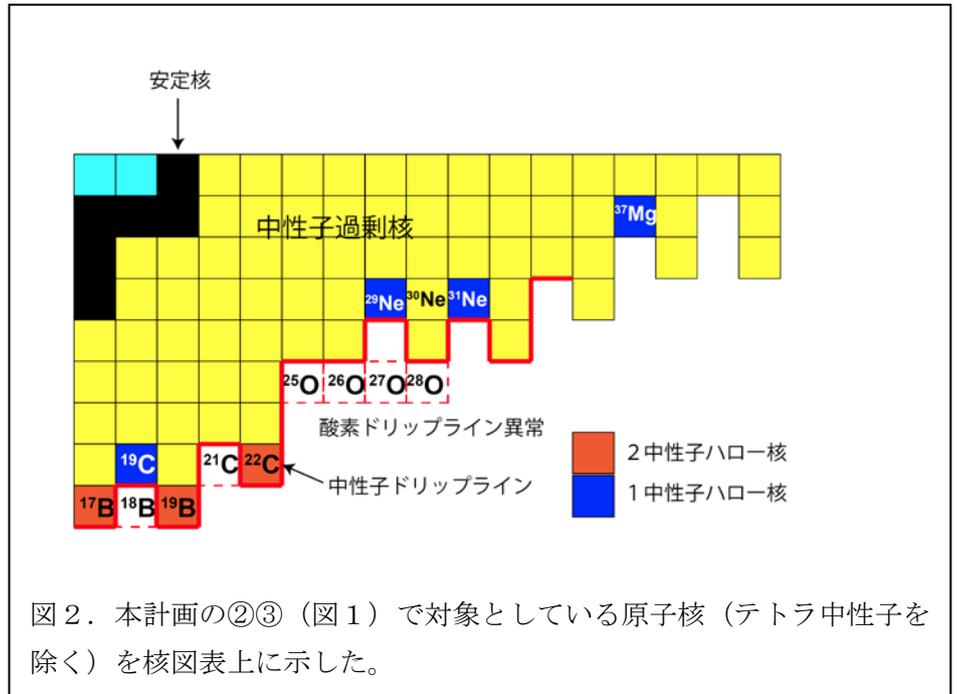


図2. 本計画の②③ (図1) で対象としている原子核 (テトラ中性子を除く) を核図表上に示した。

4. 中性子超過剰酸素同位体の生成

図2に示すように、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ている (酸素ドリップライン異常 Oxygen Anomaly)。1個の陽子数の違いで、束縛できる中性子の最大数は酸素で16個、フッ素で22個と6個も異なるが、このようなケースは他にみつからない。理論的にも酸素ドリップライン異常の理解は難しく、中性子数が超過剰になったときの核力 (特に3体核力) が大きな役割を果たしていることが示唆されている。中性子過剰環境下での核力の理解は中性子過剰核物質のEOSの解明にも繋がるため重要である。H24年度に、我々はドリップラインを超える非束縛核 250 , 260 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。H26年度は前年度に引き続きこの解析を進めた。すでに、 260 の新規のピークをプレリミナリーではあるが発見しており、そのデータを国際会議で発表した。

さらに 270 , 280 の生成実験の実験のため、ドイツGSIより中性子検出器を移送し、設置した。

5. 二重荷電交換反応によるテトラ中性子の生成

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」の探査実験の解析が完了し、博士論文としてまとめられた。ここでテトラ中性子の有力な候補を発見した。テトラ中性子はいわゆるアブイニシオ計算 (第一原理計算) が可能な系であり、中性子過剰環境下での核力の解明の鍵を握る核子多体系である。

6. 次世代中性子検出器の開発

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。H26年度はプロトタイプの仕様が決まり、その製作、および具体的な読み出しシステムを検討した。

参考文献

1. T.Nakamura, N.Kobayashi et al.,” Deformation-Driven p-Wave Halos at the Drip Line: ^{31}Ne ”, Phys. Rev. Lett. **112**, 142501 (2014). 国際共著, 査読有 DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.142501
2. N.Kobayashi, T.Nakamura, Y.Kondo et al., “Observation of a p-Wave One-Neutron Halo Configuration in ^{37}Mg ”, Phys. Rev. Lett. 112, 242501 (2014). 国際共著, 査読有 DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.242501