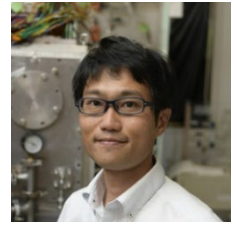


原子核のヒッグス応答による新奇超流動の探索

Search for the exotic nuclear superfluidity via the Higgs response of nuclei

大阪大学核物理研究センター 大田 晋輔



身近な物質、例えば水には氷（固体）、水（液体）、水蒸気（気体）といった、見た目や性質の異なる「相」が存在します。超流動相はこれらの相とは大きく異なり粘性がゼロになるという特徴的な相です。フェルミ粒子が構成要素の場合、物質中での相関によってある量子状態を持つ「対」を組み、それらの区別がつかなくなったときに発現します（対凝縮という）。通常の物質ではこの「対」は電子ですが、原子核を構成する核子（陽子や中性子）の対も考えられます。宇宙に浮かぶ中性子星は主に 10^{57} 個もの中性子で構成されており、最低でも二種類の超流動がなくてはならないと言われています。原子核中では中性子対の超流動は見つかっていますが、まだ一種類だけです。一方で、自由空間において束縛状態をつくる陽子・中性子対の超流動は見つかっておらず、その理由も未解明です。このような超流動の発現・抑制機構を明らかにし、新しい超流動を探索することが、原子核分野の課題となっています。我々のグループの理論的な先行研究において、この超流動やその前駆現象を引き起こす相関の強さを定量的に扱うための「対分極率」という物理量が提案され、実験的に決定可能であることが示されました。これにより超流動相および前駆現象を同じ枠組みで議論することができるようになります。そこで我々は中性子超流動および陽子・中性子の前駆現象について対分極率の導出を目指しました。

実験では着目する量子状態を二中性子対あるいは陽子・中性子対を原子核に対してつけたり、取り除いたりする反応の起こりやすさ（遷移強度）がどのようなエネルギー状態で大きくなるかを、反応断面積を測定して調べます。具体的にはヘリウム4原子核を標的に照射して原子核反応を起こします。反応後に出てくる中性子が二個多いヘリウム6原子核や、陽子と中性子が一個ずつ多いリチウム6原子核を特定して、その運動量を磁気スペクトログラフ・グランドライデンを用いて分析することによって標的原子核の状態を決定しながら反応断面積を測定することができます。しかし、同じヘリウム4が出てくる反応が圧倒的に大部分を占め、かつ、1000倍以上と、背景事象が多い状況のため、背景事象を弁別しながらデータを取得する従来の計測システムでは効率よく測定することができませんでした。そこで、我々は発想を転換させ、背景事象も含めてすべてのデータを一旦取得することで稀事象を取りこぼさない、連続読み出しデータ収集システムを新たに導入することで解決を試みました。

スズ 120 原子核に対して実験を行った結果、想定通り反応で生成されるすべての散乱粒子が記録でき、さらにその中からヘリウム4やリチウム6を同定して、対分極率の測定が可能であることが示されました。二中性子対を取り除く反応については現在の理論的な計算と近い値であることがわかりました。今後、この手法を用いて様々な対、様々な原子核の組み合わせで系統的な測定をすることで、新しい超流動の探索を進めていきます。

【キーワード】原子核、超流動、対凝縮、磁気スペクトログラフ、連続読み出しデータ収集

【参考文献】

- Shinsuke OTA, “Streaming-readout data acquisition and processing system developed by SPADI Alliance, INPC2025, Daejeon, Korea, May 25-30, 2025, <https://indico.ibs.re.kr/event/701/contributions/7239/>
- Kenichi YOSHIDA, “Proton-neutron pair correlations in neutron-rich nuclei”, arXiv:2411.13963, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.13963>