

相関分野

概要

原子核構造を記述するひとつの模型として独立粒子模型は大きな成功を取めてきたが、不安定核の研究を通じて、二体、四体、さらに多体の相関を取り入れることが原子核構造や励起構造を理解する上で重要な役割を果たすことが再認識されてきた。例えば二体の相関ではダイニュートロン相関が注目されており、対相関の密度依存性により空間的に局在する二中性子クラスターが原子核表面で発現するとされている。短距離相関・テンソル相関は高運動量核子対をもたらす、分光学的因子、核力中の核子自由度の限界などに重要な役割を果たすことが認識されてきた。また、四体の相関である α クラスターは安定核のなかでも特徴的な状態を形成することが知られており、不安定核構造への寄与だけでなく元素合成の観点からも精力的に研究されている。変形の自由度は相関のひとつとも言えるが、クラスター相関などの多体相関がエキゾチックな変形とも密接に関係する可能性も示唆されている。不安定核において期待される相関の変化や新しい相関の現れを通し、豊かな核構造をもたらす相関の理解を深め、核力の記述の深化、原子核という量子多体系の多体問題の解にせまる。

- ▶ 新たな励起モードやエキゾチック・クラスター状態の探査
- ▶ 原子核における短距離・テンソル相関の実験的検証

対相関

二核子間の相関で大きな寄与をするものの一つに対相関がある。原子核密度領域においては二核子が強い相関を持ち超伝導のような状況にあるとされており、安定核においては原子核の偶奇性や慣性モーメントなどに大きな寄与をすることが知られている。近年の研究で $T=1$ の対相関が注目を浴びている。中重核の表面のような低密度領域において対相関が変化しダイニュートロンを形成しやすくなることが示唆され、巨大共鳴の励起構造にも変化を与えることが示唆されている。軽い不安定核においてダイニュートロン相関を示唆する結果がクーロン分解反応の実験により得られているが、近年の理論的研究からは終状態相互作用による二中性子の相関が観測にかかる可能性が示唆されており、これとの区別が付けられるかどうかクリアすべき課題として考えられる。

今後5年の目標

ダイニュートロン相関を示唆する現象としてクーロン分解反応による低エネルギーのE1共鳴(ソフトダイポール、pigmy resonance)の存在や低相対運動量の中性子が示唆されているが、たとえばこれを ^{24}O などの理論的にダイニュートロン相関の小さい不安定核と比較することでダイニュートロン形成のメカニズムの理解につながっていくと考えられる。一方で、対相関の密度依存性により中性子スキン・ハローが発達しているような原子核では表面付近のダイニュートロン形成が示唆されている。このような原子核でのE1共鳴の測定・中性子の運動量相関を見ることも重要である。

ダイニュートロンをより直接的に観測可能な反応を用いることも重要となる。例えば、(t,p)のような対核子移行反応を用いて、E1共鳴を観測してソフトダイポールを観測することも重要な情報を与えると期待される。また(p,t)のような二核子ストリッピング反応は基底状態中の二中性子を取り出すことができると期待される。まずはこのような反応を用いて基礎となるデータを十分に取得することが重要である。

短距離相関・テンソル相関 (ONG)

これまでの原子核構造や反応は、短距離斥力やテンソル力が組み込まれた中心力とスピン・軌道力で記述され、実験データの理解に向けて一定の成功を収めてきた。しかし、最近中性子過剰核の研究から、テンソル力の寄与が無視できない可能性が明らかになってきた。今後の十年間、如何に短距離斥力・テンソル力を陽に取り出して核構造・反応を記述し、かつ実験で検証できるか、重要な課題となるであろう。

核子間に働く短距離斥力及びテンソル力は、総運動量ゼロで、高運動量を持った核子対をもたらす。最近、JLABやBrookhavenにおいて、 $(e,e'pN)$ や (p,ppN) 反応を用いた実験が精力的に行われ、高運動量を持ったpn、pp対の測定から原子核内の核子間短距離相関及びテンソル相関について議論が展開されている。一方、RIKEN及びRCNPでは、 (p,dN) や (p,d) 反応を用いて、テンソル相関を直接にプローブする試みが始まっている。今後、RCNPでは、200 -- 400 MeVの陽子ビーム及び偏極陽子ビームを用いた (p,pN) 、 (p,dN) 反応、また、RIBFでは、200 -- 300 MeV/nucleonの不安定核ビーム及びSCRITを用いた (p,pN) 、 (p,dN) 、 $(e,e'pN)$ 反応などによって、テンソル相関・短距離相関の研究が一層進むと期待できる。

現実的な核力から出発する第一原理計算及び短距離斥力・テンソル力を陽に取り扱うUCOM、TOSM等の理論の台頭、及び上述した実験が短距離相関・テンソル相関への理解を促進し、分光学的因子のクエンチング問題、核力を記述するための核子自由度の限界、そして、中性子星の内部構造・ダイナミクスに新たな手掛かりを与えるであろう。

クラスター

不安定核に特有なアルファクラスター状態はあるか？

たとえば $x\alpha + yN$ 状態のようなもの？ 陽子が低密度の場合にはどうなるか。。。

分子状態のようなものは？

^{12}Be では $^6\text{He} + ^6\text{He}$ のような状態や、 $^8\text{He} + ^4\text{He}$ 状態のような分子状態があることが示唆されている。多核子移行反応を使って選択的に励起することが期待される。

宇宙の元素合成との関わりについて。(寺西)

不安定核における α クラスター共鳴状態は陽子過剰側では (a,p) 反応、中性子過剰核側では (α,n) 反応の反応率を増大させる可能性がある。これらの反応は高温環境（超新星爆発、X線バースト）で重要となる。（低い温度ではクーロン障壁のため反応率が低い、不安定核もできない）

これらの反応は重い核ではクーロン障壁のため重要でなくなるが $A < 60$ くらいまでは、重要である可能性がある。

不安定核の α 共鳴を調べるため低エネルギーRIビームを用いた実験が行われつつある。本格的な測定としては、陽子過剰核側では数例(CRIBなどで)測定されはじめており中性子側の測定は $^8\text{Li}(\alpha,n)$ が国内外の施設で測定されたが、他はほとんどなされていない。

今後、低エネルギーRIビームと ^4He アクティブ標的の高度化によりこれらの反応測定の進展が期待される。

最近、3体反応理論（緒方さん）の進展とともに再注目されている 3α 反応について。高温における 3α 反応ではホイル状態より高いエネルギーの共鳴の寄与が無視できない可能性があり、実

験・理論的調査が必用（定量的には自分ではあたっていません）。