

核構造におけるテンソル力の効果と隠された相互作用の研究 Effect of tensor forces in nuclear structure and search for hidden interactions in nuclei

谷畑 勇夫 (TANIHATA ISAO)

大阪大学・核物理研究センター・特任教授



研究の概要

原子核を束縛している核力のなかで最も重要な働きをしているのは、湯川の発見したパイオン交換力である。このパイオン交換力には中心力の部分とテンソル力の部分があるが、これまでの核モデルではテンソル力は陽には取り扱われていない。このテンソル力の重要性を実験により示すこと及び、テンソル力を陽に取り入れた理論の構築を目指す。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：原子核構造、核反応、核力

1. 研究開始当初の背景

最近になって不安定な原子核の構造が研究されるようになり、それらの原子核は安定な原子核のそれとは大きく違う構造を持つことが発見された。

これらの新しい構造を理解するためには、これまでの平均場近似による核構造論では広い陽子・中性子数の範囲の原子核を同時に理解することが困難であることが判り、中でもテンソル力が核構造を決める上で需要であることが示唆されるようになった。

2. 研究の目的

テンソル力は原子核を束縛する上で基本的な役割を果たすことが知られてきたが、その強い引力は、通常無視されている高い運動量を持った陽子・中性子対がその源であると考えられる。本研究では、このような高運動量成分を直接観測することを目指す。

また理論的には、テンソル力を陽に取り入れた核構造論を展開し、広い範囲での原子核の性質を統一的に理解する。

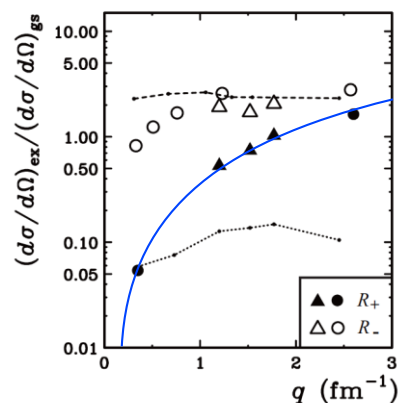
3. 研究の方法

高いエネルギーの陽子による $^{16}\text{O}(p, d)^{15}\text{O}$ 反応により、核内の高運動量中性子のピックアップの確率を測定し、理論から期待される確率と比較をすることによりテンソル力の寄与を知る。阪大核物理研究センターで400 MeVまで、それ以上のエネルギーでの実験は他の研究所の加速器を利用する。平行して核子移行反応を用いて、不安定原子核の構造特に軌道変化を系統的に理解する。

理論的には、テンソル力を陽に含めた核の波動関数を作り、また反応理論を構築し、実験データの理解を進める。

4. これまでの成果

核物理研究センターにおける200~400MeV陽子による実験により、 ^{16}O 核内の高運動量中性子の成分がはっきりと検出された。特にテンソル力が関与されると考えられる励起状態が関与する反応チャンネルではこの成分が他と比べて一桁以上も増していることが判った。



上に示した図は、 $^{16}\text{O}(d, p)^{15}\text{O}$ 反応の断面積の比を示した。 R は ^{15}O 核の第3励起状態(1/2)への断面積と基底状態(3/2)への断面積の比であり、広い移行運動量(q)の範囲でその比の変化は小さい。 R_+ は ^{16}O 核の第2励起状態

(5/2⁺)と基底状態への断面積の比であり、移行運動量が増加するにつれて急激に増加することがわかる。塗りつぶした三角の点が新しく得られたデータである。点線と破線は通常の散乱模型と殻模型の波動関数を用いた計算結果でどちらも比は大きく変化しない。実線はテンソル力を含む⁴Heの波動関数を用いて推定したものであり、実験と良く一致している。(16Oの波動関数はテンソル力を入れた計算がまだなされていないが、このような高運動量ではそれほど違わないと考えられている。)これにより、第2励起状態への遷移はテンソル力の影響を強く受けていることが理解できる。

また当初の予定にはなかったが、⁴He(p,pd)の実験を行い、⁴He中のテンソル相関を持った陽子・中性子対の検出に成功した。これにより、(p,pd)や(p,pn)反応の重要性がクローズアップされた。

不安定核の核子移行反応の実験については、不安定核ビームライン(ENコース)の整備、アクティブ標的、及びマイクロストリップ型SiとCsI(Tl)を組み合わせた検出器、高計数率高分解能ΔE検出器(MUSIC)などの製作がほぼ完成した。

ENコースでは新しい四重極電磁石を導入し分離後のバックグランドを大幅に減少させることに成功した。

検出器はすべてテストを終了し、予定通りかそれ以上の性能が得られている。たとえばMUSICでは~40A MeV重イオンのテストではΔZ~0.2の分解能が得られ、アクティブ標的では5cm程度の粒子軌跡に対して3 mradの角度分解能が得られている。

理論的にはテンソル力を陽に取り扱ったテンソル最適化シェルモデル(TOSM)を開発しLiアイソトープなど軽い核に適用した。これにより、謎となっていた¹¹Li核のハローにおける波動関数の混合についての微視的な説明が初めてなされた。同時にさらに未来ロスコピックな理論として今日テンソル相関ハートレーフォック(STCHF)理論の定式化を行った。これまでに広く使われてきたブルックナーハートレーフォック(BHF)模型では高運動量成分を取り扱えないという欠点を克服できつつある。

また、実験との比較を可能にするために高エネルギー反応の取り扱いの開発。また、軽い核でのアルファクラスター状態の重要性をアルファ凝縮波動関数という新しい方法での理解を進めている。テンソル力はアルファ粒子の束縛エネルギーの半分をになっておりテンソル力とは緊密な関係にある。高運動量の核子を取り扱うにはデルタの励起を考慮する必要が生じるがこれについてもデルタ励起を陽に含んだ小数多体型理論による計算の開発を行った。

5. 今後の計画

今後は、まず400MeV以上のエネルギーを持った入射陽子による実験を進める。高いエネルギーの陽子を用い散乱角を0度に限ることにより、理解が難しい反応機構の影響を受けずに、高運動量成分を検出することができる。¹⁶Oを標的とする実験は2014年の4月末にドイツのGSI研究所で予定されている。また、⁶He,⁶Liによる実験も提案が採択されている。不安定核による核子移行反応などの研究は準備ができており、核物理研究センターでの最初の実験は2014年6月に予定され、その他の実験も秋以降に続く予定である。

(p,pd)や(p,pn)反応の有効性を見いだしたので、この方向での実験を今後含めていく予定で、そのための検出器の開発を始める。

理論においては、TOSM, STCHF両理論ををさらに開発し、さらに重い核に対してその構造を計算できることを目指す。これらの理論が完成すれば広い範囲での原子核が統一的に理解できると期待している。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

・ T. Myo, A. Umeya, K. Horii, H. Toki and K. Ikeda, *Shell and alpha cluster structures in ⁸Be with tensor-optimized shell model*, PTEP (2014) in press.

・ Ong, H. J., I. Tanihata, A. Tamii, T. Myo, et al., *Probing effect of tensor interactions in ¹⁶O via (p, d) reaction*. *Phys. Let. B* **725**(4-5) (2013): 277-281.

・ Hagino, K., I. Tanihata, and H. Sagawa, *Exotic Nuclei Far From the Stability Line, 100 Years of Subatomic Physics*. E. M. Henley and S. D. Ellis. Singapore, WORLD SCIENTIFIC: 231-272.

・ I. Tanihata, *Effect of tensor forces in nuclei*, *Physics Scripta* **2013/T152** 014021(9) (2013).

・ K. Miki, A. Tamii, N. Aoi, H. J. Ong, H. Sakaguchi, I. Tanihata(15), et al., *Study of Tensor correlations in ⁴He via the ⁴He (p, pd)pn reactions*, *Few-body System* **54** (2013).

・ Tanihata, I. H. Savajols, and R. Kanungo, *Recent experimental Progress in Nuclear Halo Structure Studies*, **68** (2013) 215-313.

・ H. Toki, Y. Ogawa, J. Hu, *The importance of pion and extended Brueckner-Hartree-Fock theory*, *Prog. Part. Nucl. Phys.* (2012) 511-515.

受賞

谷畑勇夫: Humboldt Scientific Award 2012.

ホームページ等

<http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/Divisions/cnp/>