

氏名・(本籍)	たか 高	はし 橋	ゆたか 豊
学位の種類	理	学	博 士
学位記番号	理博第	1055	号
学位授与年月日	昭和63年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当		
研究科専攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程) 原子核理学専攻		
学位論文題目	(p, n), (p, p')反応による ^{24}Mg , ^{28}Si , ^{32}S のアイソベクトル $0^+ \rightarrow 1^+$ 転移強度の研究		
論文審査委員	(主査) 教授 石松 敏之 教授 織原 彦之丞 教授 藤 平 力		

論 文 目 次

第一章	序 論
第二章	基礎理論
第三章	実 験
第四章	測定結果
第五章	解 析
第六章	議 論
第七章	結 論
	謝 辞
	参考文献

論文内容要旨

原子核物理学は今世紀の初頭に始まった量子力学の発展と共に精力的に研究が行なわれてきており、新しい量子力学を武器としてその構造、相互作用が詳しく調べられると同時に、量子力学を試す対象として重要な役割を担ってきた。その過程においては現在でも核構造のモデルとして使われている殻模型の理論 (Mayer-Jensen), 集団運動の理論 (Bohr-Mottelson) が生まれた。現在の原子核物理では核子に加えてパイオンなどのメソン, 核子の励起状態である Δ -isobar まで取り入れた議論が行なわれ, 更に核内におけるクォークの役割が問題とされるところまで来ている。

このような中で今研究課題になっていることの一つがアイソベクトル型 $0^+ \rightarrow 1^+$ 転移強度である。この転移では角運動量, パリティの変化が $(\Delta J, \Delta L, \Delta S) = (1, 0, 1)$ でしかもアイソスピンが一単位変化する。この型の転移はベータ崩壊では Gamow-Teller 型に対応し, 電子散乱ではアイソベクトル M1 (以下 IVM1 と略す) 型転移に対応している。これまでさまざまな核に対して測定が行なわれてきているが問題はいずれの転移でも測定された強度がモデルの予想値よりも小さいという点にある。現在使われているモデルは核子の自由度のみを用いた殻模型計算であるが, これに Δ -isobar, メソンの効果を含めた計算, またより複雑な配位を考えた計算も試みられている。しかしながら現在のところ, どの効果がどれほど寄与しているのかははっきりした結論はなく, より多くのデータを集めることが望まれている。

本研究ではアイソベクトル $0^+ \rightarrow 1^+$ 転移強度を精密, かつ系統的に測定することを目的に, これまでよく調べられていない ^{24}Mg , ^{28}Si , ^{32}S をターゲットに, 35MeV の陽子ビームを使い (p, n) 反応ならびに (p, p') 反応 (^{24}Mg と ^{28}Si のみ) の測定を行なった。これらの核は s-d 殻と呼ばれる $A=17\sim 39$ の領域にあり, 現在最良であると言われている Wildenthal と Brown の殻模型波動関数を用いることができるため, 信頼性の高いモデル計算が可能であると考えられる。一方実験の面から言えばこれらの核では準位密度が低いいため一つ一つのレベルが分離され, ピーク面積の計数やバックグラウンドの設定に不確定要素が少ないという利点がある。それに加えてこれらの核に対する電子散乱の実験が行なわれ, (p, n) 反応で励起される状態のアナログ状態への転移確率 $B(\text{IVM1})$ がすでに測定されている [参考文献 1, 2, 3]。 $B(\text{IVM1})$ と (p, n) 反応のアイソベクトル $0^+ \rightarrow 1^+$ 断面積の間には強い相関のあることが期待されるので, データを比較してみることは興味深い。

(p, n) 反応の実験は東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターの AVF サイクロトロンと中性子飛行時間測定装置を用いて行なわれた。中性子のエネルギーは飛行時間測定 (TOF) 法によって行ない, 高速中性子を高分解能で効率良く検出するためにターゲットから 44 m 離れた位置に大型検出器を置いた。検出器は総量 23 リッターの液体有機シンチレータで, 発光を光電子増倍管で電気信号に変換し, 飛行時間を計測する。検出効率は $^7\text{Li}(p, n)^7\text{Be}$ 反応を使って決定されている。検出器からの信号は CAMAC インターフェイスを通じて計算器に送ら

れる。データはイベントづつ磁気テープに記録されると同時に解析され、スペクトルがディスプレイに表示される。最終的なエネルギー分解能は90KeV~110KeVであった。

(p, p') 反応の測定は東京大学原子核研究所の SF サイクロトロンと荷電粒子分析スペクトロメータを用いて行なった。

(p, n) 反応の測定によりそれぞれの核で3本づつ計9本 1^+ ($T=1$) 状態を観測し、微分断面面積の角分布を測定することができた。図1と図2に $^{24}\text{Mg}(p, n)$ 反応のスペクトルと1.12MeVにある強い 1^+ 状態の微分断面面積の角分布を示す。(p, p') 反応では励起エネルギー10MeVより上に $T=1$ 状態があらわれるが、この領域では $T=0$ 状態の密度が高く一本一本の状態を観測するのが難しくなる。このため他のピークから分離して測定された 1^+ ($T=1$) 状態は ^{24}Mg で2本、 ^{28}Si で1本にとどまった。

これらの測定された微分断面面積に対し、殻模型計算による核構造を使った歪曲波ポルン近似(以下DWBAと略す)計算を行い、比較を行なった。核の波動関数として用いたのはWildenthal-Brownの殻模型計算値であるが、彼らはsd殻において良く知られた440本のレベルエネルギーを再現するような現象論的有効相互作用を求めた。この相互作用を用い、3本の一粒子軌道($d_{5/2}$, $s_{1/2}$, $d_{3/2}$)をモデルスペースとして、可能なすべての配位を考慮した計算を行なっている[参考文献4]。これは現在までに行なわれた計算としてはかなり広いモデルスペースを使った計算である。一方DWBA計算においては核子-核子有効相互作用としてBertschらの発表したM3Yと呼ばれているセット[参考文献7]を用いた。この相互作用はReidが求めた裸の核子間ポテンシャルを元にしており、これからG-行列を計算することによって核内における有効相互作用としている。この相互作用は低エネルギー(<50MeV)核子散乱に広く使われている。歪曲波を作る光学ポテンシャルとしては、陽子にBechetti-Greenleesのパラメータを、中性子にはCarlsonによるパラメータを用いた。[文献5, 6]

図2の例に示すようにDWBA計算値は測定された角分布のかなりよく再現しているが、絶対値までを再現することには成功していない。それぞれの核について測定された 1^+ ($T=1$) 状態の強度を計算値と比較してみた。(p, n) 反応の場合について図3, 4, 5に示す。ここでは測定した角度の範囲での積算断面面積で比較しており、それぞれの状態に対して比(測定値/計算値)と、核ごとに強度の総和をとった場合の比を示してある。これを見ると測定値と計算値の比は一つ一つの状態について0.24~1.9とかなり変動するが、核ごとに強度の和をとって比較してみると一様に0.5~0.6に集まっている。すなわちこれら3つの核では理論の予想が実験に対して2倍ほど大きすぎることになる。(p, p') 反応でもほぼ同じ結果が得られている。この結果はBrownとWildenthalが報告しているsd殻のGT型ベータ崩壊強度の測定値と理論値の比に一致しており、またIndianaのグループが報告している中間エネルギー(p, n) 反応で得られたGT型転移強度も同じ傾向を示している。この結果は核構造あるいは散乱のモデルにまた不備な点のあることを示唆しており、更に詳しい計算が望まれる。

次に電子散乱で測定されたB(IVM1)との比較を試みた。但し測定されたB(IVM1)には(p,

n) 反応には関与しない軌道角運動量項の寄与があるのでこれを殻模型計算値を使って差し引き、スピン項のみの寄与を求めた。また (p, n) 反応に関しては相互作用の中で中心力が支配的である比較的前方のデータに限った。図 6 で横軸に重心系15度から54度までの (p, n) 反応の積算断面積、縦軸に B(IVM1) のスピン成分をプロットしてある。2組の測定値の間には強い相関があることがわかり、特に³²Sを除けば比例関係が成立している。それは電子散乱による B(IVM1) と (p, n) 反応強度の間に強い関係があるという予想を裏付けるものである。

参考文献

- 1) A. Johnson et al, J. Phys. A7, 898 (1974)
- 2) R. Schneider et. al, Nucl. Phys. A323, 13 (1979)
- 3) P.E. Burt et. al, Phys. Rev. C29, 713 (1984)
- 4) B.H. Wildenthal, Prog. Part, Nucl. Phys 11 (1983)
- 5) F.D. Becchetti, Jr and G.W. Greenless, Phys. Rev. 182, 1190 (1969)
- 6) J.D. Carlson et al, Nucl. Phys. A249, 29 (1975)
- 7) G. Bertsch et al, Nucl, Phys. A284, 399 (1977)

図1 スペクトル

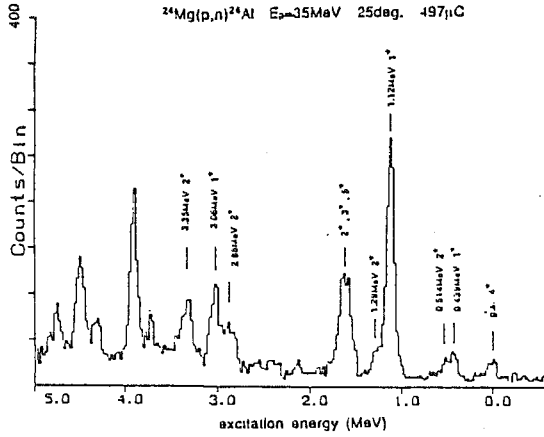


図2

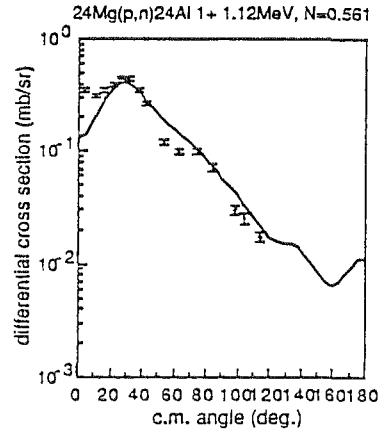


図3

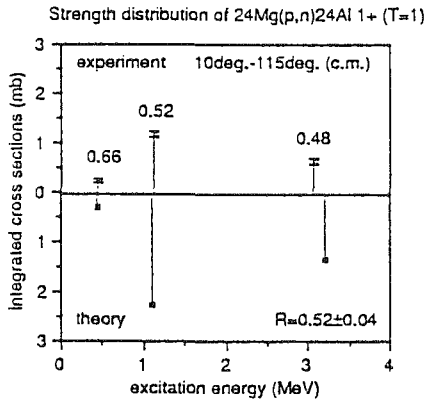


図4

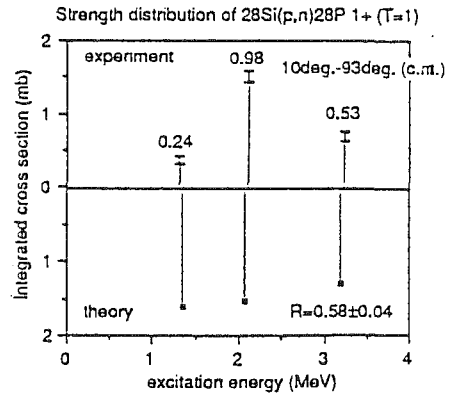


図5

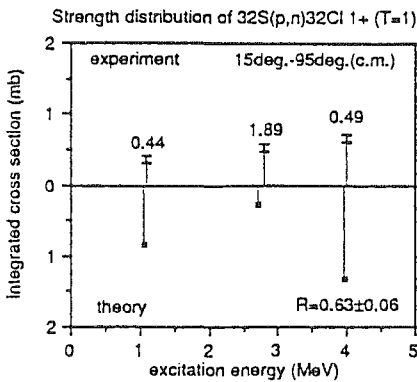
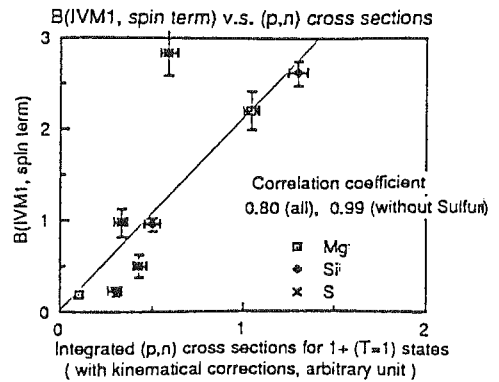


図6



論文審査の結果の要旨

高橋豊提出の論文は、 ^{24}Mg , ^{28}Si 及び ^{32}S を標的核とした (p, n) 反応の測定を行い、残留核の低励起準位の中、特に 1^+ と 2^+ のスピン・パリティをもつのに注目して測定結果を分析し、併せてこれ等準位のアイソバリック・アナログ準位を (p, n) 反応によって励起することを試みたものである。

^{24}Mg (p, n) ^{24}Al 反応においては、0.439, 1.12, 3.06 MeV の励起エネルギーに ^{24}Al の 1^+ 準位を、又、0.514, 1.29, 2.88 MeV に 2^+ 準位を観測し、これらに対する反応微分断面積の角分布を歪曲波ボルン近似 (DWBA) の計算によって解析している。計算においては、自由な核子-核子間相互作用に基づいて導出された核内核子-核子間有効相互作用を使用し、又、始状態と終状態の波動関数には原子核殻模型により計算されたものを使用している。DWBA 計算から導出された反応微分断面積は、いずれの場合においても観測された角分布の形を良く再現するが、絶対的な大きさについては理論値が実験値に比べて 2 倍程度大きくなるという結果が得られている。

^{28}Si (p, n) ^{28}P 反応においては、1.313, 2.104, 3.24 MeV に ^{28}P の 1^+ 準位を、又、0.1056, 2.18 MeV に 2^+ を観測し、更に、 ^{32}S (p, n) ^{32}Cl 反応においては、1.09, 2.80, 4.00 MeV に ^{32}Cl の 1^+ 準位を、1.26, 2.60, 3.39, 3.62 MeV に 2^+ 準位を観測し、これ等準位について ^{24}Mg (p, n) ^{24}Al 反応の場合と同様の DWBA 分析を行い、同様の分析結果を得ている。

この研究で観測された微分断面積の計算値と実験値の間の喰い違いと同様の喰い違いが、Gamow-Teller 型 β 崩壊や電子散乱の対応する転移についても広く観測されており、今後の研究に対して大きな問題を提起している。

更に著者は、本研究で測定された 1^+ 状態についての断面積を電子散乱実験から得られたアイソベクトル型 M1 転移の換算転移確率と比較して、(p, n) 反応断面積とこれに対応する換算転移確率のスピン成分との間に強い相関が存在することを発見している。

以上の研究成果は本論文の著者が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって高橋豊提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。