

氏名・(本籍)	み　　うら　　こう　　じ 三　　浦　　浩　　二
学位の種類	理　　学　　博　　士
学位記番号	理第　　7　9　4　　号
学位授与年月日	昭　和　60　年　9　月　25　日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
最　終　学　歴	昭和41年3月 東北大学大学院理学研究科 (修士課程) 原子核理学専攻修了
学位論文題目	陽子エネルギー 52 MeV における基底状態間の (p, t) 反応の研究
論文審査委員	(主査) 教　授　藤　平　　力　　教　授　織　原　彦之丞 教　授　石　松　敏　之

論　文　目　次

第1章	序　論
第2章	実験方法
第3章	実験結果
第4章	解析方法
第5章	議　論
第6章	結　論
	謝　辞
	参考文献

論文内容要旨

1. 序

原子核の基底状態間の二中性子移行反応は、核内の二中性子の残留相互作用としての対相関の性質を調べる有力な手段として、これまで多くの理論的、実験的研究がなされてきた。核相関の強い、閉殻から遠く離れた原子核の基底状態は、超伝導状態（BCS状態）で表され、基底状態間の二中性子移行反応の強度がきわめて大きいことがYoshidaによって示され、Sn同位元素等で実験的にも確かめられてきた。一方、対相関の弱い閉殻付近の原子核に対してBohrは二核子を付加又は除去する場に基く振動モードの存在を示し、二中性子移行反応についての対振動状態間の強度についての理論的予測を行った。Pb同位元素等の対振動状態間の強度が実験的に研究されたが、閉殻から少し離れると予測から大きくずれることが知られてきた。

最近ArimaとIachelloは、相互作用するボソン近似模型（IBA模型）に基いて、基底状態間の二中性子移行反応の強度を与える式を示した。彼等は、球形核領域、変形核領域および主殻の終端の領域に適用できる式をそれぞれ示したが、特にBohrの示した対振動状態間の強度予測と実験結果の間の矛盾について解決する式を与えた。

これまでの基底状態間の二核子移行反応の実験においては、それぞればらばらの入射エネルギーで、ある限られた領域の核についての微分断面積が得られているにすぎず、広い領域の原子核の基底状態間の強度について理論による予測と比較することが難しい。この論文では、きまった入射エネルギー52 MeVで、ほとんど全部の領域の核（質量数 $A = 23 \sim 238$ ）に関する基底状態間の強度を、角度分布の第一ピークにおける微分断面積で代表されることにし、それを測定した。得られた実験結果に対してIBA模型に基く解析および基底状態としてBCS波動関数を用いた場合のゼロレンジDWBA計算を試みた。

2. 実験方法

実験は、東京大学原子核研究所のFMサイクロトロンを用いて行った。入射エネルギーは $E_p = 51.9$ MeVで、散乱された三重陽子は磁気分析器とその収束面上において200連の比例係数管および粒子弁別のためのプラスチックシンチレーションカウンターを組合せて、運動量分析を行った。

ターゲットの多くは、天然の物質を用い、一部は濃縮された同位体を用いた。大部分は単体の物質であるが、一部化合物も用いた。金属の多くはローラーによる圧延法で作成し、他に蒸着法、電着法、沈降法等を用いて作った。厚さは大部分は $2 \sim 6$ mg/cm²で重量法で求めたものが多く、一部は弾性散乱を測定して光学ポテンシャル法で決定した。磁気分析器系とターゲットの厚さを合せた全系でのエネルギー分解能は80~120 keVであった。

運動量スペクトルのピーク分離は、一部のターゲットで難しいものがあったが、基底状態間のピークは十分強く、良い精度で測定できた。

微分断面積の絶対値は、 $^{56}\text{Fe}(p, t_0)^{54}\text{Fe}$ 反応について通常の散乱槽でSSDを用いた $\Delta E-E$ カウンターテレスコープ系でも測定し比較した結果10%の範囲で一致していることを確かめた。 $L=0$ の角度分布の第一ピークの角度は52 MeVでの他の著者等の実験結果を参照し、内挿法で定めて得られた。

3. 実験結果

図1に実験結果を示す。図中の誤差は統計誤差、ピーク分離等で生じる誤差、バックグラウンドの差し引き誤差を含む。中性子数 N が、28, 50, 82, 126の閉殻付近で微分断面積が極小となり、その中間で極大となる。しかし稀土類核の変形核領域では微分断面積は小さく、極大値を示さない。 $N=116$ の核で不連続が見られ、また $N=20$ の閉殻では極小値を示さない。

4. 解析方法

IBA模型による解析では $N=30\sim 126$ の領域を対象とした。IBA模型による強度には、質量数、 Q 値などの運動学的因子を含まないので、実験値からその因子をとり除いて比較しなければならない。その方法として $L=0$ 、 $S=0$ の二中性子クラスターが標的核中で束縛されていると仮定し、そのクラスターを (p, t_0) 反応の Q 値でピリアップする相対微分断面積を計算し、実験値をその値で割ったものをIBA模型の予測強度と比較した。陽子と三重陽子の光学ポテンシャルとして、それぞれMenet等、Flynn等のパラメータを用いた。IBA模型の強度と実験値との規格化は、全領域が最も良く一致するように、 $^{176,174}\text{Yb}(p, t_0)$ 反応において行った。結果は図2に示されている。 $N=30\sim 50$ では、振動核領域に関する強度 I^{VIB} は、実験結果の1/2倍だが、傾向はほぼ一致する。 $N=52\sim 82$ および変形核領域では、それぞれ I^{VIB} および変形核領域に関する強度 I^{ROT} と非常に良く一致している。 $N=116$ での不連続は、 I^{ROT} から、 I^{VIB} または主殻の終端の核に対する強度 $I^{\alpha(6)}$ への移行を示している。

ゼロレンジDWBA解析を $N=52\sim 82$ の主殻と、 $N=84\sim 126$ の主殻の部分の、閉殻から離れた部分の核に対して試みた。基底状態をBCS波動関数で表し、球形核に対してはYoshidaによる分光学的振巾を、変形核に対してはBogliaによる分光学的振巾を用いて計算を行った。計算ではDWUCK4を用いたが、DWBA計算に必要な規格化定数として、経験値として得られた $D_0^2 = 22 \times 10^4 \text{ MeV}^2 \cdot \text{fm}^3$ を用いることが多い。52 MeVでもこの D_0^2 の値を用いてよいかどうか $^{208}\text{Pb}(p, t_0)$ 、 $^{92}\text{Zr}(p, t_0)$ 反応についてそれぞれTakahashi等及びFlynn等による分光学的振巾を用いて微分断面積を計算し、両反応の実験値を17%以内で説明できることを確認した。結果は図3に示されるように、大部分実験値によく一致する。特に変形核領域での一致は良いが、ここでは活性軌道としてフェルミ表面の上下に20本のNilsson軌道をとっている。

5. 議論

得られた実験結果と既に他の著者によって得られた52 MeV付近での (p, t_0) 反応と比較する

と、50種の核のうち、ごく一部をのぞき25%以内で非常に良く一致しており、実験結果の信頼性が高いことが示された。

IBA模型による解析で、最近議論の多い $N \approx 116$ 付近の強度の不連続に関しては、我々の結果はOs 同位元素は I^{ROT} で、Pt は I^{VIB} 又は I^0 (6)で説明され、Cizewski等の結果と矛盾する。これはCizewski等の実験結果が不連続があまり大きくない事と、どこでIBA模型の予測と規格化するかという問題に関連している。また同時にIBA模型との比較は、我々のように広い領域の核で行うべきであることを示している。

DWBA解析では、分光学的振巾を得るのに、実験結果から得られる非占拠確率、占拠確率 U_j, V_j を用いる方法もあるが、広い領域の核について比較する場合は U_j, V_j を計算値で求めることが必要である。変形核では活性軌道を20本でなくPrior等のように64本となると計算結果は2倍以上となり、実験値との一致はきわめて悪い。

6. 結論

$A = 23 \sim 238$ の広い領域にわたる偶数の中性子数を持つ核について $E_p = 52$ MeVのきまった入射エネルギーで系統的な (p, t_0) 微分断面積が初めて測定された。実験結果は、閉殻付近で極小値をとり、その中間で極大値をとる。しかし変形核領域では極大値をとらず断面積は小さい。これ等の結果はIBA模型の予測がほぼ正しいことを示した。また閉殻から離れた、対相関の強い核の基底状態をBCS波動関数を用いて表した場合、経験的な規格化定数を用いてゼロレンジDWBA計算を行うと、球形核でも変形核でも、その微分断面積は、得られた実験値をほぼ再現できることがわかった。

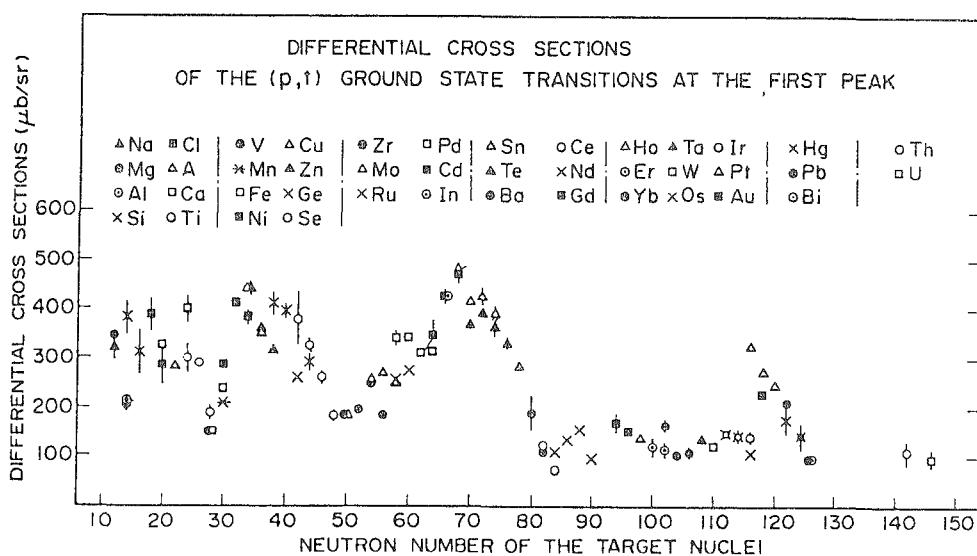


図1

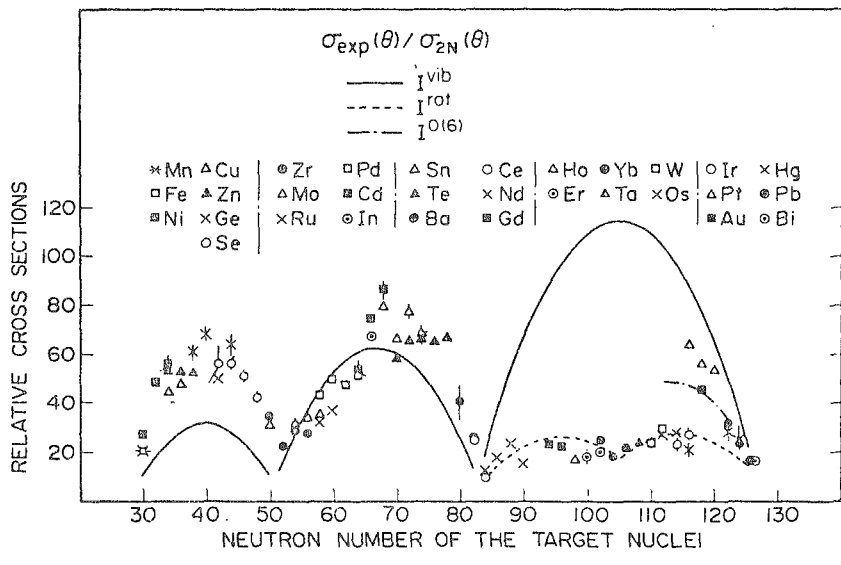


图 2

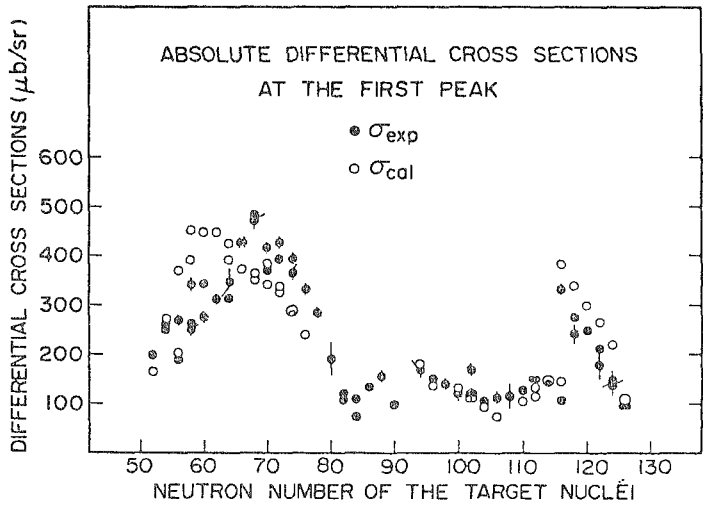


图 3

論文審査の結果の要旨

原子核内の中性子対相関の性質を調べる有力な手段に、原子核の基底状態間の二中性子移行反応としての (p, t_0) 反応がある。対相関の強い、閉殻から遠くはなれた原子核の基底状態は超伝導状態 (BCS 状態) で表わされ、基底状態間の二中性子移行反応の強いことが理論的にも示されている。一方、対相関の弱い閉殻近傍では対振動状態間の強度が示されたが、 $(0, 0)$ 状態から少し離れると予測から大きくずれる。閉殻から遠く離れるにつれて、対相関の様子は、対振動から対回転へと変化するが、その途中で、相転移が観測され、基底状態間の二核子移行反応の強度も、実験的に特徴的な性質を示すことが期待される。相互作用するボゾン近似模型 (IBA 模型) を用いて、Arima らは、球形核、変形核、および主殻の終端領域での広い範囲で説明出来ることを示した。又、これまでの基底状態間の二核子移行反応の実験は、それぞれ異った入射エネルギーで、しかも限られた領域での核種に限定されているため、広い領域に渡って基底状態間の強度について理論の予測と比較をすることは難しい。

本論文は、これらの理論を検証するため、東大核研 FM サイクロトロンでの 52 MeV 陽子による (p, t_0) 反応を測定し、理論と実験の解析を行った。三重陽子は磁気分析器とその収束面上の 200 連の比例計数管を用い、その運動量分析を行った。ターゲットは質量数 23 の Na から 238 の U まで 50 種の核種を用いた。基底状態間の強度は、 $L = 0$ 角分布の第一ピークの角度での微分断面積を測定して導出した。微分断面積の絶対値は、 $^{56}\text{Fe}(p, t_0)^{54}\text{Fe}$ 反応を SSD を用いた $\Delta E - E$ カウンターテレスコープで測定比較し、10% 以内で一致していることを確めている。実験結果は、ごく一部を除き、52 MeV 近傍での他の実験と 25% 以内で一致している。得られた結果は、中性子数 N が 28, 50, 82, 126 の閉殻付近で強度が極小となり、その中間で極大となる。しかし、稀土類核種の変形核領域では、強度は小さく、極大値を示さない。 $N \simeq 116$ の核では不連続が見られ、又、 $N = 20$ の閉殻では極小値を示さない。これらの結果は IBA 模型がほぼ正しく、広範囲に渡って統一的に実験結果を説明出来ることを示した。又、閉殻から離れた対相関の強い核の基底状態を BCS 波動関数を用いた場合、経験的な規格化定数を用いたゼロレンジ DWBA 計算を行うと球形核でも変形核でもその微分断面積は、得られた実験値をほぼ再現出来ることを示した。

以上、この論文は、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おり、よって三浦浩二提出の論文は、理学博士の学位論文として合格と認める。