

氏名・(本籍)	<small>たま</small> 玉 <small>え</small> 江 <small>ただ</small> 忠 <small>あき</small> 明
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理博第 560 号
学位授与年月日	昭和53年3月24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	中重核における (γ , α) 反応の研究
論文審査委員	(主査) 教 授 庄 田 勝 房 教 授 森 田 右 助 教 授 菅 原 真 澄

論文内容要旨

従来、光核反応の研究は (r, n) 反応と (r, p) 反応を中心に行なわれてきており、 (r, α) 反応についてはターゲットに制動放射光子を照射した時の放出 α 粒子のエネルギー・スペクトルの測定、Niより軽い核での (r, α_0) 反応や (α, r_0) 反応の研究が比較的良く行なわれている他は今まで余り盛んではなかった。特に (r, α) 反応断面積の測定はほとんど行なわれておらず、その反応機構もはっきりしていない。又、 (r, n) 反応や (r, p) 反応も含めて、光核反応の研究のほとんどは巨大共鳴領域で行なわれており、 ^{12}C や ^{16}O などの軽い核を除いては高いエネルギー領域で行なわれた実験例も少ない。

著者は α 粒子検出用に多線比例計数管を製作し、東北大核理研の電子リニアックからの電子線を用いて、いくつかの中重核(^{56}Fe , ^{60}Ni , ^{64}Zn , ^{90}Zr)で巨大共鳴領域を越えた高いエネルギーまで (r, α) 反応断面積の測定を行なった。又、 ^{52}Cr , ^{64}Zn , ^{90}Zr で (r, α_0) 反応断面積を巨大共鳴領域で測定した。使用した検出器は ^{52}Cr と ^{64}Zn ではSSD、 ^{90}Zr では多線比例計数管である。図1に (r, α) 及び (r, α_0) 反応断面積を示す(^{56}Fe , ^{60}Ni , の (r, α_0) 反応断面積は以前に測定したものである)。Ni附近の核での (r, α) 反応断面積はE1巨大共鳴領域に $250 \sim 450 \mu\text{b}/\text{sr}$ のピークを持ち、高いエネルギー領域に長い裾を引いている。 ^{90}Zr では巨大共鳴領域のピークは $45 \mu\text{b}/\text{sr}$ と小さく、その為に30 MeV以上での断面積の盛り上がりが顕著である。一方、Ni附近の核での (r, α_0) 反応断面積は (r, α) 反応断面積のピークより低いエネルギーで $80 \sim 150 \mu\text{b}/\text{sr}$ のピークを持ち、エネルギーが大きくなるに従って急速に小さくなる。又、 ^{90}Zr の巨大共鳴領域における (r, α) 反応断面積は大部分 (r, α_0) 反応によるものである。

統計理論による計算値と実験値とを比較した結果は図1から分かる様に ^{56}Fe , ^{60}Ni に対しては巨大共鳴領域での (r, α_0) 反応断面積、 (r, α) 反応断面積共に、ほぼ両者の一致は良い(^{52}Cr (r, α_0) 反応断面積でも同様)。ところが ^{64}Zn に対しては (r, α_0) 反応断面積で4.5倍、 (r, α) 反応断面積の場合には8.3倍も計算値の方が大きい。 ^{64}Zn で計算値がこの様に大きくなるのは、図2の様にNiで陽子の殻が閉じ($Z=28$)、 ^{64}Zn では殻の外にゆるく結合した状態で α 粒子が存在し得る為に、 (r, α) 反応の閾値が非常に小さくなる事による。統計理論による計算値は反応の閾値に敏感に影響され、閾値が小さくなれば反応断面積は大きくなる。ところが実験値にはその様な大きな変化は見られない。この理由は次の様に考えられる。 (r, α) 反応の閾値を急激に変化させるのは閉殻の外側に存在する数個の核子であり、大部分の核子は閾値の決定に関与していない。つまり閾値が下がると云っても、それは殻の外側の核子によって作られる α 粒子に対してのみ言える事であり、殻内部の核子によって作られる α 粒子の結合エネルギーは

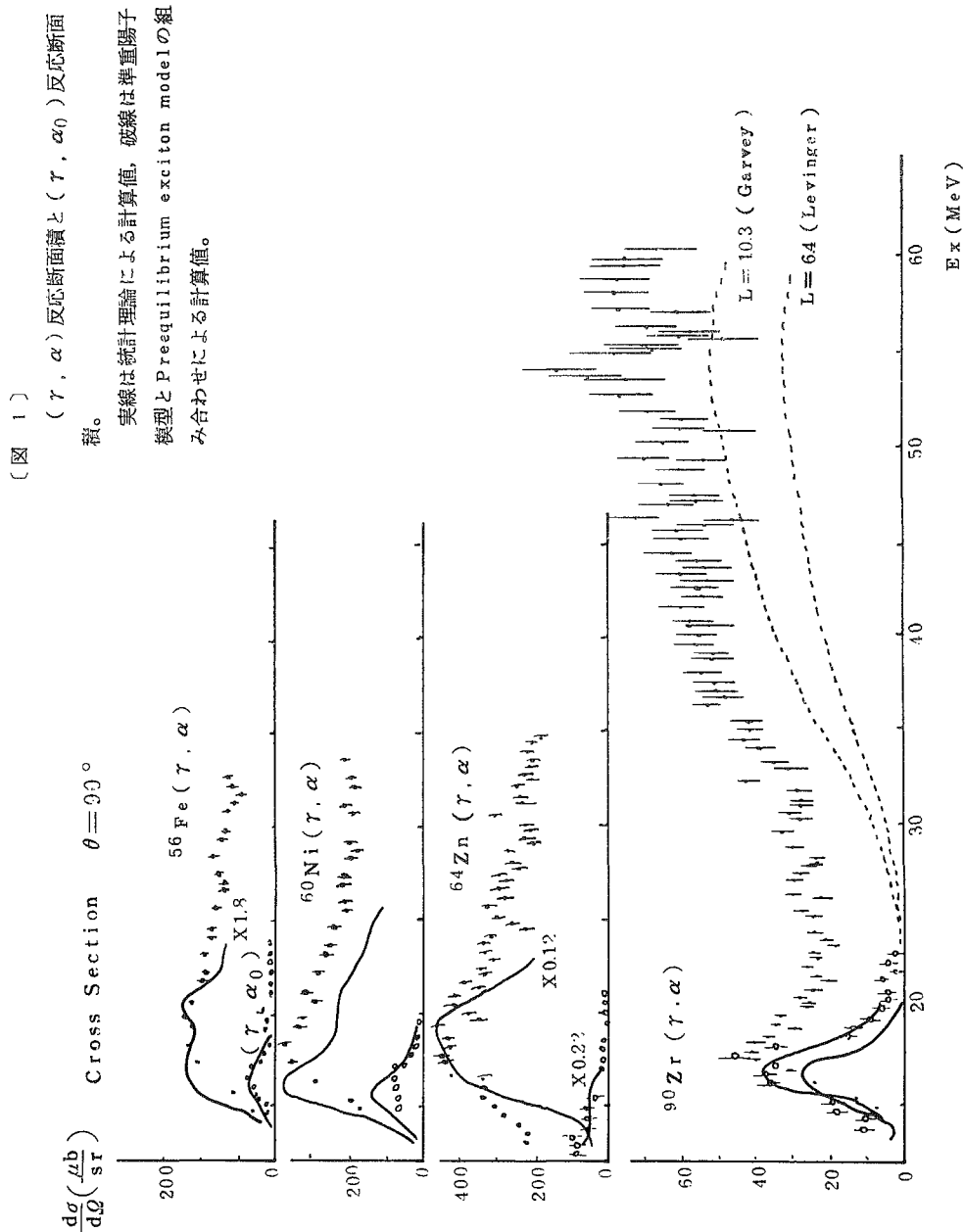
^{56}Fe や ^{60}Ni の場合とそれ程変わっていないと考えられる。従って、 (r, α) 反応を正しく説明する為には何らかの形で殻の影響を入れて考えなければならない。 ^{64}Zn の場合に図の様に反応を殻内の核子に関係した部分 (B) と殻外の核子に関係した部分 (A) に分けて考える。(B) の部分については、 ^{60}Ni の場合と大きな変化はなく、又、関与する核子数の少ない事から見て (A) の部分の寄与はそれ程大きくないとすれば、反応の閾値の小さな ^{64}Zn の場合にも、それ程断面積の大きくならない理由が理解できる。 (r, α) 反応の持つ統計的理論的性質と殻の影響の両方を定量的に説明する理論は今のところなく、今後の課題である。

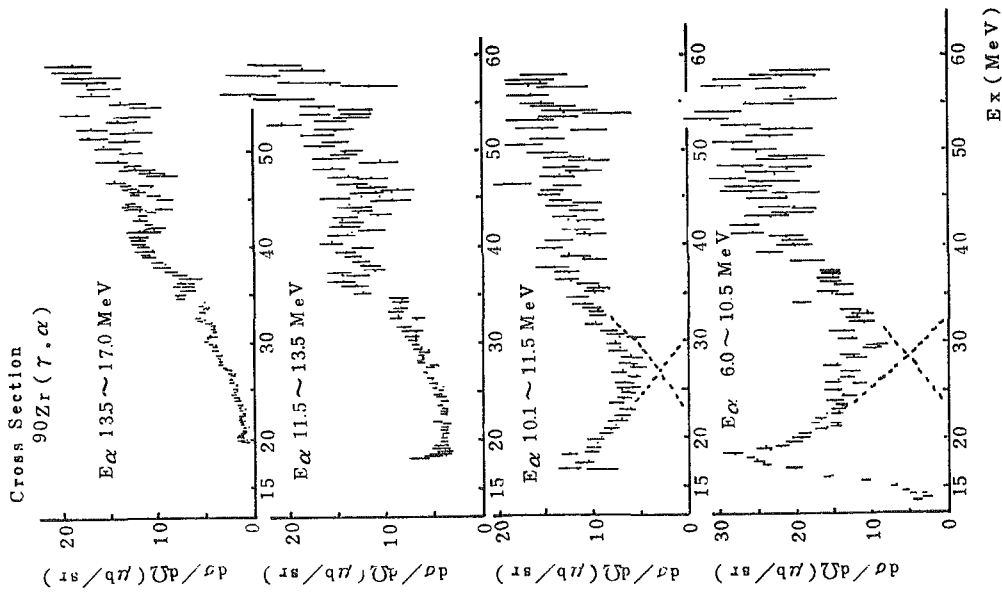
^{90}Zn の 30 MeV 以上の領域に発見された幅の広い断面積の盛り上がりについて、その性質を説明する為に更にいくつかの実験を行なった。まず、異なるエネルギーの放出 α 粒子に対する (r, α) 反応断面積 (アイソ・クロマト) を求めた (図 3)。13.5 MeV 以上の α 粒子のほとんど総ては 30 MeV 以上の領域から放出されており、 α 粒子のエネルギーが小さくなると共に巨大共鳴からの α 粒子の寄与が大きくなる。次に、ターゲットに 40 MeV の電子線を照射し、異なるエネルギー範囲にある α 粒子について角度分布を測定した。図 4 の様に角度分布は大きなエネルギーの α 粒子に対しては前方ピークを示し、励起エネルギー 30 MeV 以上の領域での反応が直接反響的特徴を持っている事を示唆している。又、 α 粒子のエネルギーが小さくなるに従って角度分布は 90° 対称に近づいているが、この事は次第に大きな寄与になる巨大共鳴領域での (r, α) 反応の大部分が (r, α_0) 反応によると云う事で説明することが出来る。

30 MeV 以上の領域の (r, α) 反応に寄与する電気多重極度を調べる為に、ターゲットの直前に制動放射光子発生用ターゲットの銅箔を置いて電子線と制動放射光子の両方でターゲットを照射し、銅箔の厚さを増していった時の計数の増加の様子を見た。計算によれば、増加の傾きは E2 励起の場合よりも E1 励起の場合の方が大きく、実験値と計算値とを比較する事によって多重極度を知る事が出来る。電子線エネルギー 60 MeV で実験を行なった結果 (図 5) は 30 MeV 以上の領域の反応が E1 励起によるものだという事を示している。E2 励起の寄与は最大 15% である。図中の実線は E1 励起を仮定した時の計算値、破線は E2 励起を仮定した時の計算である。ただし、巨大共鳴領域では E1 励起を仮定した。1点鎖線は E2 の割合を 15% としたものである。

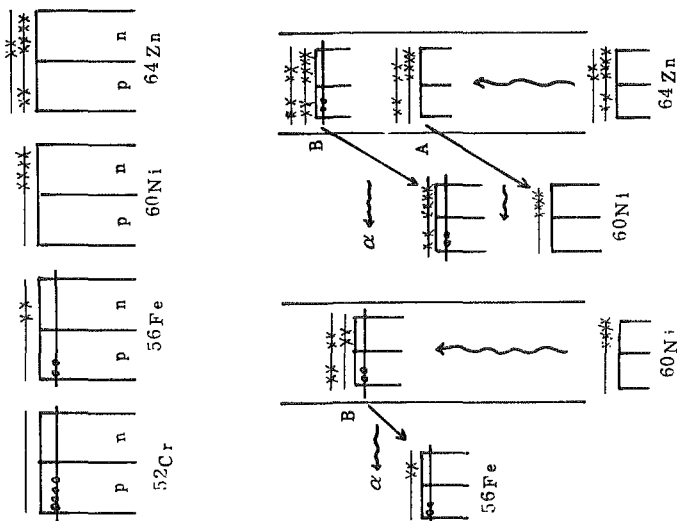
30 MeV 以上の領域に理論計算で大きな (r, α) 反応断面積が得られるかどうかを調べる為に、(i) 直接反応による計算、(ii) 準重陽子模型と Pre-equilibrium exciton model の組み合わせによる計算を試みた。 (α, α) 反応などから求められている種々の光学ポテンシャルを用いて行なった直接反応断面積の計算結果はいずれも 30 MeV 以下にピークを持ち、実験値の様な形状を示さない。一方、準重陽子過程により原子核が光子を吸収して $2p-2h$ 状態を作り、それが Pre-equilibrium excitation 過程によって α 粒子を放出すると考えて計算を行なうと実験

値と似た形状を持つ (γ, α) 反応断面積が得られる (図1の破線)。二本の破線は準重陽子過程で原子核が光子を吸収する断面積 $L(NZ/A)\sigma_d$ (σ_d は重陽子の光破壊断面積) の係数 L に対して Levinger の値 $L = 6.4$ 及び Garvey の値 $L = 10.3$ を用いて計算したものである。準重陽子模型は高いエネルギー領域での (γ, n) 及び (γ, p) 反応の実験結果の説明に成果を上げており、30 MeV 以上の領域での幅の広い (γ, α) 反応断面積を説明する有力な候補である。

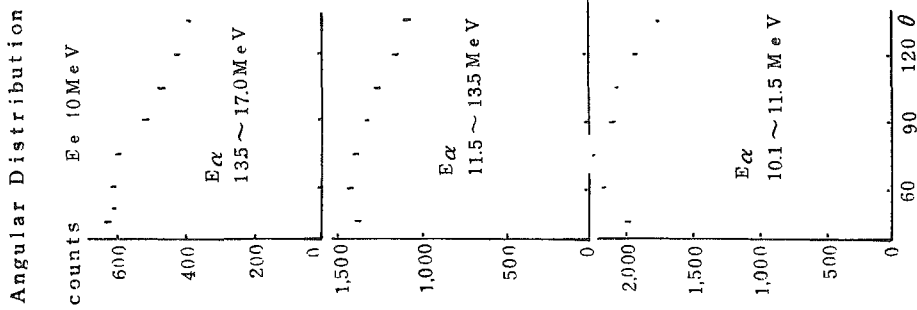




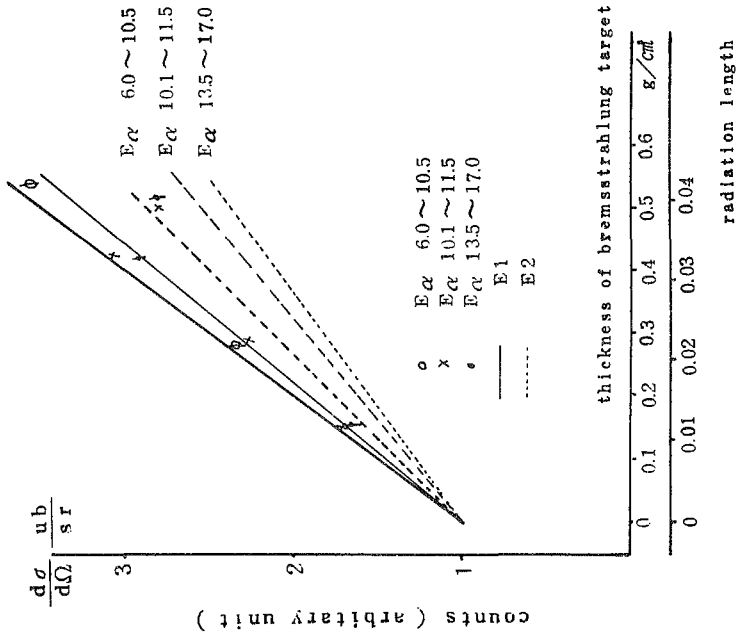
(図 3) 異なるエネルギーの α 粒子に対する $^{90}\text{Zr}(\gamma, \alpha)$ 反応断面積(アインシュタイン)



(図 2) ^{60}Ni と ^{64}Zn での (γ, α) 反応機構の違い



[図 4]
電子エネルギー40 MeVの時、 90° Zrから放出される α 粒子の角度分布



[図 5]
制動放射光子発生用の銅箔を厚くしていった時の計数増加の様子 (電子エネルギー60 MeV)

論文審査の結果の要旨

玉江忠明提出の論文は $(e, e'\alpha)$ 反応を用いて中重核 (^{56}Fe , ^{60}Ni , ^{64}Zn , ^{90}Zr) に関する (r, α) 反応の断面積及び角度分布を測定し更に理論による計算をも行い比較研究したものである。

光核反応の研究は従来 (r, n) , (r, p) 反応について行なわれてきたが, (r, α) 反応等に関してはその発生量が小さいため測定は殆んど行なわれていない。著者は (r, α) 反応の重要性を見出しその測定を計画した。このため多線比例計数管を製作完成し原子核理学研究施設電子リニアック付置の広域電磁石スペクトロメーターに之を設置した。この結果, スペクトロメーターは良好な α 粒子辨別能力及び大きな検出効率を示し, (r, α) 反応の研究を可能とした。本論文はこの検出器の製作, 性能についても述べている。

著者はこの検出器を用い (r, α_0) , (r, α) の断面積及び角度分布の測定を良好な精度で行なった。ここに得られた測定結果は世界で始めてのものである。測定結果によると (r, α_0) 反応断面積は E1 巨大共鳴に対応した共鳴を示すが, (r, α) 反応断面積はそのほかに 30 MeV 以上の高エネルギー部においても大きな断面積をもつ。特に ^{90}Zr (r, α) に関しては 50 MeV 以上のエネルギーにおいて巾の広い共鳴を示す。高エネルギー部の共鳴は (r, n) , (r, p) 反応を始め光核反応の実験においてこの様に明確に測定された事はなく, その発見の意義は大きい。

著者は, 統計模型による理論計算を行ない実験結果と比較した結果, E1 巨大共鳴に関して ^{64}Zn を除き良い一致を得た。又 ^{64}Zn における不一致に関しては原子核の殻構造の影響が大きいためである事を推論した。30 MeV 以上の反応に関しては放出 α 粒子の角度分布を測定し, 直接反応過程の寄与の大きい事を発見した。 ^{90}Zr の高エネルギー部の共鳴に関しては更にくわしい角度分布, アイソクロマート, その他の実験的解析を行ない, 更に種々の核模型を用いて計算し比較した結果, pre-equilibrium exciton model によって計算した理論結果が実験結果をよく説明する事を示した。

以上, この論文はその研究方法, 結果の討論等に見られるように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, 玉江忠明提出の論文の理学博士の学位論文として合格と認める。