

氏名・(本籍)	ひの 日野	たけし 威
学位の種類	理	学 博 士
学位記番号	理博第	900号
学位授与年月日	昭和60年3月26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	巨大共鳴領域における ^{63}Cu , ^{65}Cu , ^{59}Co の (e, p_0) , (e, p_1) 反応の研究	
論文審査委員	(主査)	
	教 授 菅 原 真 澄	教 授 吉 田 思 郎
		教 授 藤 平 力

論 文 目 次

第1章 序

第2章 実験装置

- §2-1 加速器及びビーム偏向系
- §2-2 散乱槽
- §2-3 磁気スペクトロメーター
- §2-4 検出器
- §2-5 オンラインデータ処理系
- §2-6 スペクトロメーターの検出効率

第3章 実験方法及び解析方法

- §3-1 標的
- §3-2 陽子の識別
- §3-3 粒子のエネルギー損失

- § 3-4 (e, p)反応陽子エネルギースペクトルの導出
- § 3-5 (γ, p_0) , (γ, p_1) 反応微分断面積の導出
- § 3-6 (e, p)反応陽子エネルギースペクトル差し引き法による陽子エネルギースペクトルと (γ, p_0) , (γ, p_1) 反応微分断面積の導出

第4章 実験結果及び議論

- § 4-1 (γ, p_0) 及び (γ, p_1) 反応断面積
- § 4-2 (e, p)反応陽子エネルギースペクトル差し引き法による陽子エネルギースペクトルと統計モデル
- § 4-3 (γ, p_0) 及び (γ, p_1) 反応断面積と統計モデル
- § 4-4 (γ, p_0) 反応断面積と Direct-Semidirect Model
- § 4-5 (γ, p_0) 及び (γ, p_1) 反応断面積と Direct-Semidirect Model, Dynamic Collective Model

第5章 結論

謝 辞

Appendix I (e, p)反応陽子エネルギースペクトル

Appendix II 統計モデル

Appendix III Direct-Semidirect Model

Appendix IV Dynamic Collective Model

参考文献

論文内容要旨

1) 序

中重核における巨大共鳴領域の(γ, p_0)反応は、これまでの研究により統計モデル、直接過程では説明できず、Direct-Semidirect (DSD)モデルにより比較的良く説明できることが分かってきている。(γ, p_0)反応以外の(γ, p_i)反応に DSD モデルを適用した例としては、Ishkhanov 等によるモデルがあるが、これは(γ, p)反応の終状態が単一粒子空孔状態となる様な反応を説明したモデルで、終状態が集団的な状態となる(γ, p_i)反応はこれまであまり研究されてこなかった。実験的にも連続 γ 線を用いた実験が多かったため、(γ, p_1), (γ, p_2)……等の残留核を励起状態に残す(γ, p_i)反応断面積を導出するにはひじょうに統計の良いデータが必要であり、これ等の(γ, p_i)反応について研究した実験はあまり行なわれなかった。

一方、低励起集団運動と巨大共鳴の結合を考慮したモデルに Dynamic Collective Model (DCM)がある。DCM では巨大共鳴と回転運動・四重極表面振動等の低励起集団運動の結合を考慮しているために巨大共鳴の構造を説明したり、巨大共鳴から低励起集団準位への γ 線転移確率を計算したりすることができる。

低励起集団準位を終状態とする(γ, p_i)反応を説明した計算はこれまでにないが、巨大共鳴と低励起集団運動の結合があると考え、これまでの DSD モデルの拡張でこの様な(γ, p_i)反応を理解できるのではないかと予想することができる。

本研究では振動領域の原子核 ^{63}Cu , ^{65}Cu , ^{59}Co を標的に選び、測定角度 90° における(γ, p_0), (γ, p_1)反応微分断面積を測定した。(γ, p_0)反応に対しては統計モデル、DSD モデルと比較を行なった。(γ, p_i)反応に対しては(γ, p_i)反応を正確に記述した計算がないので、(γ, p_i)反応断面積の(γ, p_0)反応断面積に対する相対的な強さを巨大共鳴と低励起集団運動の結合と粒子振動結合を仮定して評価し議論した。

2) 実験

実験は東北大学理学部原子核理学研究施設の300MeV 電子線型加速器から得られた電子線を直接標的に照射し、反応により放出された陽子を広帯域磁気スペクトロメーターで運動量分析し、測定角度 90° における(e, p)反応陽子エネルギースペクトルを測定した。用いた標的は ^{63}Cu (10.09mg/cm 2), ^{65}Cu (9.58mg/cm 2), ^{59}Co (9.66mg/cm 2)である。

(γ, p_0)反応微分断面積は(e, p)反応陽子エネルギースペクトルから仮想光子理論を用いて導出した。(e, p)反応陽子エネルギースペクトルにおいて、(e, p_1)反応の成分は(e, p_0)反応の成分の内に埋まっている。このため、(γ, p_1)反応微分断面積は先に得られた(γ, p_0)反応微分断面積を用いて(e, p)反応陽子エネルギースペクトルから(e, p_0)反応の寄与を差し引いた後に仮想光子理論を用いて導出した。差し引きを行うため、(e, p)反応陽子エネルギースペクトルは充分統計を上げて測定した。

3) 解析・議論

理論との比較のために測定角度90°における反応微分断面積を全断面積に変換した。 $^{63}\text{Cu}(\gamma, p_0)$ 反応, $^{65}\text{Cu}(\gamma, p_0)$ 反応については以前行なわれた ^{63}Cu , $^{65}\text{Cu}(e, p_0)$ 反応角度分布のデータを用いた。その他の反応については測定角度90°における反応微分断面積を 4π 倍して全断面積とした。こうして得られた (γ, p_0) 反応断面積を第1図に, (γ, p_1) 反応断面積を第2図に示す。

励起エネルギーの測定範囲について断面積を積分した値とE 1総和則60NZ/Aに占める割合を第1表に示す。

第1図・第2図における破線は統計モデルによる計算値である。図から分かる様に ^{63}Cu , ^{65}Cu , ^{59}Co の (γ, p_0) 反応, (γ, p_1) 反応は統計モデルでは説明のできないことが分かる。

第1図においてDSDモデルの計算結果を一点鎖線で示した。第1図から, DSDモデルは (γ, p_0) 反応断面積の大体の傾向を説明できることが分かる。

一方, 序で述べた様に, 残留核を四重極振動準位に残す様な (γ, p_1) 反応を正確に取り扱った理論はないので, 巨大共鳴と低励起四重極表面振動との結合と粒子-振動結合を仮定する。すなわち, 普通のDSDモデルにおけるSemidirect過程の様に, (γ, p_1) 反応は巨大共鳴を経由するとし, 巨大共鳴と原子核の外側にいる陽子とが相互作用を起こして陽子が放出されることにより (γ, p_1) 反応が起こると考え, さらに, この巨大共鳴は低励起四重極表面振動と結合していると考える。巨大共鳴と低励起四重極表面振動との結合はDCMにより考慮する。

DCMでは巨大共鳴が低励起四重極表面振動に結合しているために, 巨大共鳴は次の様に記述することができる。

$$\psi^{(K)} = a_0^{(K)} | 1^- \rangle + a_1^{(K)} | 1^- \rangle \otimes | 2^+ \rangle + \dots$$

この式の第1項は純粋なE1巨大共鳴振動子による成分であり, 第2項はE1巨大共鳴振動子に四重極振動子の1振動子状態 $| 2^+ \rangle$ が結合している成分である。E1巨大共鳴振動子 1^- が消滅して巨大共鳴が崩壊する際に第1項からは基底状態に遷移し, 第2項からは第一励起状態に遷移すると考え, この時粒子-振動結合により一番外側にある陽子が放出されると考える。陽子放出の際の粒子・振動結合による相互作用の大きさは, 第1項に対しても, 第2項に対しても同じだと仮定すると, (γ, p_0) 反応断面積, (γ, p_1) 反応断面積は

$$\sigma(\gamma, p_0) = C \sum_K \frac{a_0^{(K)4} E_K \Gamma_K E^2}{(E_K^2 - E^2)^2 + E^2 \Gamma_K^2}$$

$$\sigma(\gamma, p_1) = C \sum_K \frac{a_0^{(K)2} a_1^{(K)2} E_K \Gamma_K E^2}{(E_K^2 - E^2)^2 + E^2 \Gamma_K^2}$$

と書くことができる。ここで, ひとつひとつの巨大共鳴状態にローレンツ型の幅をつけ, 和をとった。上に述べた仮定は低励起四重極表面振動と結合した巨大共鳴からのSemidirect過程を考慮したことになるので, DCMによる計算値を (γ, p_0) 反応断面積の実験値に規格化して, 規格化定数Cを定め, (γ, p_0) (γ, p_1) 反応断面積と比較する。これを第2図・第3図の実線に示す。

図より Cu の場合は、比較的良く傾向を説明しているように見える。しかし、 ^{59}Co の場合は良く説明できていない。これは、Cu の場合、Ni 閉殻の外側に $2p_{3/2}$ 陽子が 1 個あるだけなのに対し、 ^{59}Co の場合、一番外側の $1f_{7/2}$ 軌道に陽子が 7 個あるためであると考えられる。このために、標的核の基底状態を残留核の各状態で展開した形

$$\sqrt{S_0} | 0^+ \rangle \otimes | \text{proton} \rangle + \sqrt{S_1} | 2^+ \rangle \otimes | \text{proton} \rangle + \dots$$

に書くと、 ^{59}Co の場合、第 1 項目の成分は小さく、第 2 項目の成分が大きいため、 (γ, p_0) 反応断面積は小さく、 (γ, p_1) 反応断面積は大きくなると考えられる。一方、今回の DCM を用いた計算は、第 1 項目からの寄与しか考慮していないから、計算値を (γ, p_0) 反応断面積に規格化して、 (γ, p_1) 反応断面積と比較すると計算値は実験値よりも小さくなってしまふ。実際に、 (n, d) 反応 ($d, ^3\text{He}$) 反応等のピック・アップ反応から得られた分光学的因子を見ると、Cu の場合、第 1 項目の S_0 が大きく、第 2 項目の S_1 が小さくなっているが、 ^{59}Co の場合には、第 1 項目に対する S_0 が小さく、第 2 項目に対する S_1 が大きくなっている。

4) 結 論

振動領域の原子核 ^{63}Cu , ^{65}Cu , ^{59}Co の測定角度 90° における (γ, p_0) , (γ, p_1) 反応微分断面積を測定した。

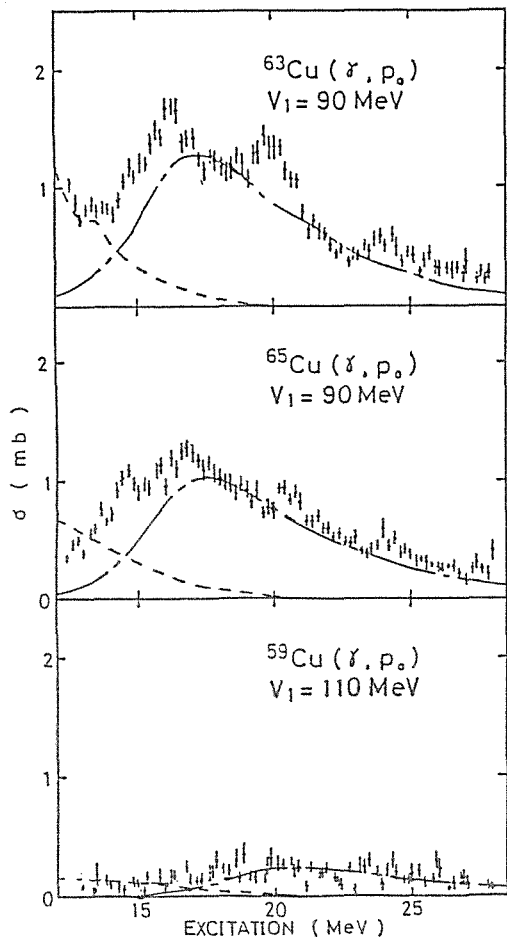
(γ, p_0) 反応は従来の DSD モデルによりほぼ理解できることが分かった。

巨大共鳴と低励起集団運動の結合と粒子-振動結合を仮定すると (γ, p_0) 反応、 (γ, p_1) 反応は統一的に理解できることが分かった。

今回用いたモデルはひじょうに簡単なモデルなので、さらに理論的に精密な取り扱いが必要であるととも、系統的なデータの蓄積が必要であると考えられる。

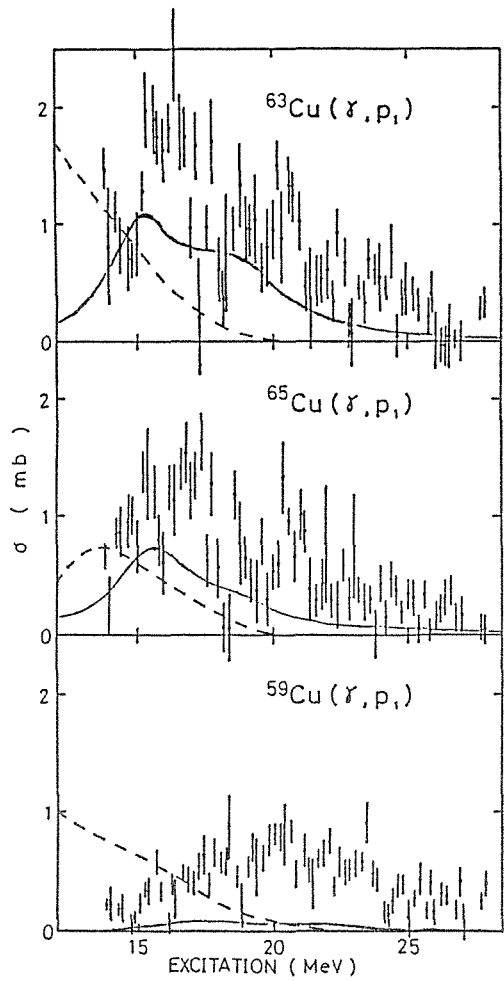
第 1 表 (γ, p_0) 反応断面積、 (γ, p_1) 反応断面積と TRK E1 総和則

		範 囲 (MeV)	$\int \sigma dE$ (mb·MeV) 実験値	TRK sum rule $60 \frac{NZ}{A}$ (mb·MeV)	(%)	(%)
^{63}Cu	(γ, p_0)	12.4~28.0	13.3 ± 0.1	939	1.42 ± 0.01	2.63 ± 0.04
	(γ, p_1)	13.7~28.0	11.4 ± 0.4		1.21 ± 0.04	
^{65}Cu	(γ, p_0)	12.3~28.1	10.7 ± 0.1	964	1.11 ± 0.01	2.01 ± 0.03
	(γ, p_1)	13.7~28.0	8.7 ± 0.3		0.90 ± 0.03	
^{59}Co	(γ, p_0)	12.8~28.1	2.5 ± 1.0	879	0.28 ± 0.11	0.99 ± 0.11
	(γ, p_1)	13.8~28.1	6.2 ± 0.2		0.71 ± 0.02	



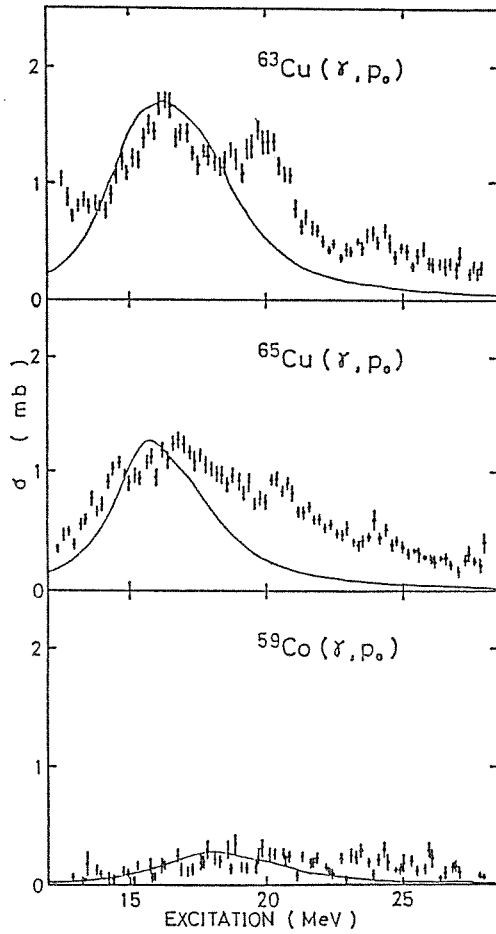
第1図 (γ, p_0) 反応断面積

破線は統計モデル，一点鎖線はDSD
モデルによる計算結果。



第2図 (γ, p_1) 反応断面積

破線は統計モデルによる計算結果，
実線はDCMによって得られた強度
 $\sum_K \frac{a_0^{(K)2} a_1^{(K)2} E_K \Gamma_K E^2}{(E_K^2 - E^2)^2 + E^2 \Gamma_K^2}$ ， $\Gamma_K = 3.0 \text{ MeV}$
とした。大きさは (γ, p_0) 反応断面積
に規格化した(第3図)。



第3図 (γ, p_0) 反応断面積

実線はDCMにより得られた強度 $\sum_K \frac{a_0^{(K)4} E_K \Gamma_K E^2}{(E_R^2 - E^2)^2 + E^2 \Gamma_K^2}$
 $\Gamma_K = 3.0 \text{ MeV}$ とした。大きさは実験値に規格化した。

論文審査の結果の要旨

本論文は光核反応に現れる電気双極巨大共鳴の構造を (e, p_0) , (e, p_1) 反応によって明らかにすることを目的としたものである。原子核には核表面の四重極振動による励起準位が存在することが知られている。この表面振動との結合により巨大共鳴に構造が現れる可能性が以前から理論的に指摘されていた。若しこのような結合が存在すれば巨大共鳴に構造が現れるとともに、ガンマ線、陽子等の放出による崩壊の際に残留核の表面振動準位への遷移が強く起る筈である。

著者はこの点に着目し、 ^{63}Cu , ^{65}Cu 原子核を電子線で照射することにより巨大共鳴を励起し、これが崩壊して残留核の ^{62}Ni , ^{64}Ni の表面振動準位に遷移する際に放出される陽子の放出断面積 $\sigma(e, p_1)$ を測定した。巨大共鳴状態に表面振動との結合がなければこの断面積は小さいことがピック・アップ反応等で求められた結果から推測される。しかし実験値は大きく、基底状態への断面積 $\sigma(e, p_0)$ と殆んど等しいことがわかった。著者は巨大共鳴と表面振動の結合強度を Dynamic Collective Model によって計算し、更に表面振動成分の巨大共鳴への混合強度が残留核の表面振動準位への断面積 $\sigma(e, p_1)$ を決定するとして、基底状態への断面積 $\sigma(e, p_0)$ との比を求めた。この結果は実験値とよく一致し表面振動と巨大共鳴の結合が起っていることを確認した。又比較のために測定した ^{59}Co の場合には $\sigma(e, p_1)$ は $\sigma(e, p_0)$ の約2.5倍であり ^{63}Cu , ^{65}Cu の場合とは異なる。これは他の実験から知られているように、 ^{59}Co の基底状態には既に残留核 ^{58}Fe の第一励起状態の混合があり、これが $\sigma(e, p_1)$ 反応断面積を大きくしている原因であることを示唆した。

表面振動と巨大共鳴との結合を陽子放出反応の測定から明らかにしたのは本論文が最初であり、著者の巨大共鳴研究に対する功績は大きい。今後この方法による研究の発展が期待される。

以上本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いる。よって日野威提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。