

氏名・(本籍)	くま がい のり たか 熊 谷 教 孝
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理博第 5 1 6 号
学位授与年月日	昭和52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	( $r, r'$ )反応による $^{52}\text{Cr}$ , $^{56}\text{Fe}$ の $J^\pi = 1^+$ の 高い励起状態の研究
論文審査委員	(主査) 教 授 石 松 敏 之 教 授 庄 田 勝 房 助 教 授 藤 岡 学

## 論 文 目 次

- 第1章 序 論
- 第2章 原子核共鳴散乱
- 第3章 実験装置
- 第4章 データ解析と実験結果
- 第5章 考 察
- 第6章 ま と め

# 論文内容要旨

## 第1章 序 論

原子核において、色々な多重極度を持った巨大共鳴状態が  $(\gamma, \gamma')$ ,  $(e, e')$ ,  $(p, p')$  反応によって報告されている。これらの状態は、その転移強度がエネルギー荷重和則の大部分を尽くしてしまっていることから、これらの状態は、多くの粒子が同位相で運動している集団励起状態であると理解されている。そして、この巨大共鳴状態の存在が、四重極能率、磁気モーメント、 $\gamma$ 線転移強度などの観測される物理量に大きな影響を及ぼすと予想されている。それ故に、その励起エネルギーと転移強度の大きさが重要な研究課題となっている。

これら巨大共鳴状態で、M1 巨大共鳴状態と呼ばれる状態には、次のような問題点がある。

- 1) このM1 状態は、質量数40以下の原子核では励起エネルギー7~15 MeV に0.1~1 Weisskopf units 程度の転移強度を持って  $(\gamma, \gamma')$ ,  $(180^\circ e, e')$  反応で一般的に励起される。ところが、質量数40以上の原子核では  $^{208}\text{Pb}$  の  $E_x = 7.9$  MeV のM1 状態を除いて、今だにこのM1 巨大共鳴状態そのものの存在が明確でない。
- 2) 配位混合理論によると奇核の磁気モーメントのミュミット値からの大きなずれは、奇核の隣の偶核にM1 状態を仮定することによって、非常に良く説明できる。このM1 状態は $\gamma$ 線を照射したとき、強く励起されなければならない。ところが、1) で述べたように、質量数40以上の原子核では、これに対応するM1 状態は今だに報告されていない。

この論文の目的は、高分解能Ge(Li) 検出器とベータートロンからの連続X線を用いた原子核共鳴散乱の実験によって、質量数40以上の原子核のM1 状態について明らかにすることである。ターゲットとしては、磁気モーメントのミュミット値からのずれから強いM1 転移が予想される  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{56}\text{Fe}$  を用いた。これらの核の準位巾を決定するために、我々は散乱法と呼ばれている方法を用いた。

## 第2章 原子核共鳴蛍光

原子核をその励起エネルギーに等しいエネルギーの光子で照射すると、原子核はその光子の全エネルギーを吸収し励起し、その励起状態の寿命に従って $\gamma$ 線を放出する。この現象を原子核共鳴蛍光という。この共鳴蛍光の断面積が基底状態転移巾  $\Gamma_{\gamma_0}$  と全巾  $\Gamma$  に依存していることから、この断面積を測定することによって、原子核励起準位の準位巾を決定することができる。この断面積を測定する方法には、散乱法と自己吸収法がある。散乱法では共鳴散乱した光子の数から直接準位巾を決めることが出来るため、測定時間が短かく、原子核の系統的特徴を調べることができる。しかし、入射光子数、検出効率、立体角、角度分布等の量を知らなければならない。このようなデータ解析の繁雑さを避ける目的で考えられたのが自己吸収法である。この方法は散乱体

と同種の共鳴吸収体を入射光子中に入れた場合と入れない場合との共鳴散乱  $\gamma$  線の変化量から準位巾を得る。そのため、二回の測定で共通な量が消去できる。しかし、意味のある精度で準位巾を決定するためには、非常に時間がかかるため、全ての原子核に利用できる方法ではない。しかし、この方法そのものの特徴によって ( $\gamma$ ,  $\gamma'$ ) 反応の中では最も信頼されている方法の一つである。そこで我々は、散乱法に必要な光子数  $\times$  検出効率という量を導き出すために、欲求される  $^{11}\text{B}$  の 5 本の準位に対して、この自己吸収法を用いた。

### 第 3 章 実験装置

東北大学 25 MeV ベータートロンからの最大エネルギー 14 MeV の制動放射 (連続 X 線) を ( $\gamma$ ,  $\gamma'$ ) 反応の光源として用いた。ベータートロンは、繰り返し 50 Hz、ビーム巾 300  $\mu\text{sec}$  で運転した。散乱体で共鳴散乱した  $\gamma$  線は、40 cc Ge(Li) 検出器で検出され、2 MeV  $\sim$  13 MeV のエネルギー範囲を 4096 ch PHA で解析した。測定は、散乱角  $12.5^\circ$  と  $150^\circ$  の二点で行った。測定の全期間を通じてエネルギー分解能は 8.920 MeV で 8 keV であった。原子番号が大きくなるに従って atomic な散乱による  $\gamma$  線が  $Z^3 \sim Z^4$  に比例して増加するために、この種の実験では S/N 比の悪化が最大の問題となる。我々は、この問題を出来る限り軽くするために、実験装置の配置、検出器前のフィルターの選択、およびビーム拡張装置の改良等のことを行うことによって  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{56}\text{Fe}$  の ( $\gamma$ ,  $\gamma'$ ) の測定を可能とした。更に実験期間が非常に長いため、これによって導入される誤差を出来る限り小さくするために、実験装置を制御する回路を信頼性の高いものに作り換えた。

### 第 4 章 データ解析と実験結果

ターゲットとして用いた  $^{11}\text{B}$ ,  $^{24}\text{Mg}$ ,  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{56}\text{Fe}$  のデータを下に示した。

$^{11}\text{B}$ : 純度 9.6% の天然の非晶形ボロンを 3.78  $\text{gr}/\text{cm}^3$  に圧縮

$^{24}\text{Mg}$ : 純度 99.6% の天然のマグネシウム金属を 4.35  $\text{gr}/\text{cm}^3$  に加工

$^{52}\text{Cr}$ : 純度 99.9% の天然のクロム粉末を 7.54  $\text{gr}/\text{cm}^3$  に圧縮

$^{56}\text{Fe}$ : 純度 99.6% の天然の金属の板, 厚さ 13.62  $\text{gr}/\text{cm}^2$

我々は  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{56}\text{Fe}$  の準位巾を決定するために、実験期間の点から散乱法を用いた。そのため入射光子数、検出効率、準位エネルギー、スピン、分岐比の知識を知らなければならない。そこでまず、入射光子数と検出効率をかけた量を  $^{11}\text{B}$  と  $^{24}\text{Mg}$  の準位巾のよく知られている準位を用いて、実験的に決定した。準位エネルギー、分岐比は散乱角  $12.5^\circ$  と  $150^\circ$  の二点のスペクトルから決定した。スピンは基底状態のスピンが  $0^+$  であることから  $\theta = 12.5^\circ$  と  $150^\circ$  での角度分布の測定から決めた。得られた実験結果をまとめたものを表-1 に示した。この準位巾を決定するための計算には、東北大学大型計算機センターを利用した。

## 第5章 考 察

我々は  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{56}\text{Fe}$  の  $(\gamma, \gamma')$  反応から、これらの励起準位のエネルギー、スピン、分岐比、準位巾を決定することができた。しかし、励起準位のパリティを決めることは、我々の実験装置ではできなかった。そこでこの偶奇性に関する情報を得るために、我々は、今回の実験で得た結果と  $(^3\text{He}, d)$ ,  $(180^\circ\text{e}, \text{e}')$  として Obu 等の  $^{58}\text{Ni}$  での粒子空孔配位の計算との比較を行った。その結果 D. D. Armstrong らの  $^{51}\text{V}(^3\text{He}, d)^{52}\text{Cr}$  と我々の結果との比較から  $^{52}\text{Cr}(\gamma, \gamma')$  反応で励起された 7.8 MeV 付近のピークが  $(f_{\frac{7}{2}}^{-1} f_{\frac{5}{2}})$  配位を持った  $1^+$  状態であることが分った。しかし  $^{55}\text{Mn}(^3\text{He}, d)^{56}\text{Fe}$  の測定は、我々の知る限り  $E_x = 7 \text{ MeV}$  以上の測定は存在していない。そこで、彼らの f-p shell での陽子単一粒子状態のエネルギー系統性から  $^{56}\text{Fe}(\gamma, \gamma')$  で測定された  $E_x = 8.2 \text{ MeV}$  付近の準位に対して  $1^+$  と結論することが可能であった。これらの  $1^+$  状態は、最近 NRL-NBS グループによって行われた  $^{58}\text{Ni}, ^{60}\text{Ni}(e, e')$  の結果、M1 状態が  $^{58}\text{Ni}$  で 6.5, 8.5, 10.5 MeV に励起されたとの報告ともエネルギー的、および転移強度の点からもほぼ一致する。又、Obu らの粒子-空孔配位の  $^{58}\text{Ni}$  での計算から、我々が  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{56}\text{Fe}$  で測定したピーク付近にはほとんど E1 状態によるピークは存在し得ないことが報告されている。以上のことから、今回我々が測定したピークの大部分を M1 状態と結論することが出来た。更に得られた転移強度を M1 Sum Rule と比較した結果、ほぼこれを満している。

## 第6章 ま と め

$^{52}\text{Cr}$  と  $^{56}\text{Fe}$  の M1 状態を原子核共鳴蛍光散乱を用いて研究した。その結果、今まで M1 状態の存在がはっきりしなかった質量数 40 以上の原子核においても、この M1 状態が一般的励起状態であることを部分的にはあるが検証できた。そして、この M1 状態が M1 sum rule との比較から、配位混合理論で期待されている芯の  $1^+$  状態に対応するものである。そして、今回我々が用いた高分解能 Ge(Li) 検出器と制動輻射を用いた  $(\gamma, \gamma')$  の方法は、質量数 40 以上の原子核の高い励起状態 ( $E_x > 5 \text{ MeV}$ ) 特に M1 状態の研究には最も有力な実験手段を我々に与えてくれた。

表-1  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ の結果

Nucleus $J_0, T_0$	Excitation Energy (MeV $\pm$ keV)	J, T	$\Gamma_{\gamma 0}/\Gamma$	$\Gamma_{\gamma 0}(\text{eV})$
$^{52}\text{Cr}$ , $0^+$ , 2	7.5 4 2 $\pm$ 3	1,2	1	0.8 4 $\pm$ 0.1 7
	7.7 2 9 $\pm$ 3	1,2	1	1.4 1 $\pm$ 0.1 9
	7.8 9 6 $\pm$ 3	1,2	1	4.6 6 $\pm$ 0.3 4
	8.0 9 1 $\pm$ 3	1,2	1	1.3 2 $\pm$ 0.2 4
	9.1 3 8 $\pm$ 3	1,2	1	2.5 1 $\pm$ 0.2 9
	9.2 1 1 $\pm$ 3	1,2	1	2.3 9 $\pm$ 0.4 1
	9.7 8 3 $\pm$ 3	1,2	1	3.6 8 $\pm$ 0.3 9
$^{56}\text{Fe}$ , $0^+$ , 2	6.9 2 7 $\pm$ 3	1,2	1	0.9 2 $\pm$ 0.2 1
	7.2 1 2 $\pm$ 3	1,2	1	0.6 5 $\pm$ 0.1 6
	8.1 3 1 $\pm$ 4	1,2	1	3.0 0 $\pm$ 0.4 7
	8.2 4 3 $\pm$ 3	1,2	1	4.7 1 $\pm$ 0.4 6
	8.5 3 8 $\pm$ 4	1,2	1	4.0 4 $\pm$ 0.5 7
	1 0.4 7 9 $\pm$ 3	1,2	1	3.6 3 $\pm$ 0.5 3
	1 1.1 3 3 $\pm$ 3	1,2	1	2.6 6 $\pm$ 0.4 2

## 論文審査の結果の要旨

この論文は、 $^{52}\text{Cr}$ と $^{56}\text{Fe}$ の原子核による電磁波の共鳴散乱の測定から、これら原子核が7MeVから11MeVまでの比較的限られた励起エネルギー範囲に核スピン1の励起状態を持つことを示し、これら状態の幅を決定し、更にこれら状態のパリティが正であること、すなわちこれら状態による電磁波の吸収・放出がM1転移によって行われていることの可能性を、いくつかの観点から議論したものである。

東北大学理学部物理学教室所属の25MeVベータートロンによって発生した連続X線ビームで $^{52}\text{Cr}$ と $^{56}\text{Fe}$ を照射し、入射方向に対して $12.5^\circ$ および $15.0^\circ$ 方向に散乱された電磁波のエネルギー・スペクトルをGe(Li)検出器と4096チャンネル波高分析器によって測定し、共鳴散乱ピークを検出することに成功し、これらピークの $12.5^\circ$ と $15.0^\circ$ 方向の相対強度から、散乱に関与した励起状態の核スピンの1であることを決定した。更に散乱断面積の測定値から、これら励起状態の幅を決定しているが、その際、幅の良く知られている原子核励起状態、具体的には $^{11}\text{B}$ の5個の励起状態と $^{24}\text{Mg}$ の2個の励起状態による共鳴散乱の測定を同一装置を使用して繰り返すことにより、解析に必要な共鳴エネルギーでの入射X線強度と検出器効率の相乗因子の較正を行っている。この場合、 $^{11}\text{B}$ の励起状態の幅については、精度の良い実測値が存在しないため、この研究の一部として、 $^{11}\text{B}$ による二重共鳴散乱の測定、すなわち自己吸収法によりこれら状態の幅を決定し、その値を使用することにより実験精度の向上を計っている。

強いM1相互作用を示す $1^+$ 励起状態についての知識は、M1巨大共鳴や核磁気モーメントと関連して、核構造を理解する上で非常に重要であるにもかかわらず、主として実験の困難さのためにCrやFe附近の質量数範囲では実験データが乏しく、この研究は核物理学に一つの新しい知見を加えたものと言うことができ、熊谷教孝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。よって熊谷教孝提出の論文は、理学博士の学位論文として合格と認める。