

氏名・(本籍)	おお さわ さとし 大 澤 哲
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 6 5 5 号
学位授与年月日	昭和 5 5 年 3 月 2 5 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	電子散乱による ^{24}Mg , ^{148}Sm , ^{152}Sm , ^{90}Zr の 巨大共鳴
論文審査委員	(主査) 教 授 鳥 塚 賀 治 教 授 吉 田 思 郎 助 教 授 宇 井 治 生 助 教 授 湯 田 春 雄

論 文 目 次

- 第 1 章 序 論
- 第 2 章 測定方法
- 第 3 章 データ編集及び輻射補正
- 第 4 章 電子散乱の基礎的理論
- 第 5 章 ^{24}Mg の巨大共鳴
- 第 6 章 ^{148}Sm と ^{152}Sm の巨大共鳴
- 第 7 章 ^{90}Zr の磁気巨大共鳴

論文内容要旨

東北大学核理研の300 MeV 電子線型加速器及び電子散乱の測定装置を用いて、 ^{24}Mg 、 ^{148}Sm 、 ^{152}Sm 、 ^{90}Zr の巨大共鳴に関する電子散乱の実験を行なった。以下はその結果の概要である。

光核反応により以前から知られていた双極子巨大共鳴の他に、近年新しい巨大共鳴であるアイソスカラーの四重極巨大共鳴($\Delta T = 0, \text{GQR}$)が、中重核に於いて $E_x = 63 A^{-1/3}$ MeVに系統的に存在する事が明らかになった。それ以来、巨大共鳴に対する関心が高まり、多くの研究が行なわれてきた。以下に述べるのは、巨大共鳴の異なる三つの問題について実験的研究を行なった結果である。

1 軽い核に於ける巨 共鳴

中重核に於いて、 $\Delta T = 0$ のGQRが発見されて以来、sd殻核に於いてもGQRが $E_x = 63 A^{-1/3}$ MeV に集中して存在するかどうか注目されてきたが、最初の高分解能の(α , α')の実験で、GQRが1個のピークで構成されているのではなく、いくつかのピークに分かれているのが測定された。

sd殻核の1つである ^{24}Mg で巨大共鳴の分散の様子を調べる為に、散乱電子スペクトルを運動量移行 $q = 0.37 \sim 1.29 \text{ fm}^{-1}$ に渡って8点測定した。各スペクトルは多重極の和であるからC1, C2, C3, $\sum_{l=4}^6 C_l$ の多重極成分に分離した。 ^{24}Mg の場合の様に比較的軽い核の場合には、双極子巨大共鳴はGoldhaber-Teller模型が良く合うので、双極子巨大共鳴の形状因子の計算にはこの模型を用い、それ以外の多重極の計算にはTassie模型を用いた。 ^{24}Mg のスペクトルを多重極成分に分離するのにこの形状因子を使った。

^{24}Mg は変形しているので、その変形の効果が多重極成分の分離の結果に影響を及ぼす可能性がある。それを調べる為に、変形の効果を取り入れたSuzuki-Roweの遷移電荷密度を使って双極子共鳴と四重極共鳴の形状因子を計算し、それらについても多重極成分の分離を行なった。形状因子は量子数 K によって q 依存性がかなり変化しているが、多重極成分を分離した結果はあまり変化しない。又、変形を考慮しないで分離した結果は、これらの中間にある。この事は、分離した結果が模型に特有なものではなく信頼できるものである事を意味している。

分離されたC1成分は、(r , n), (r , total)のスペクトルと形が似ており、又遷移強度も誤差の範囲で一致していて、これらの光核反応の実験結果と矛盾しない事が判った。

注目されたC2は、20個以上のピークに分かれて $E_x = 34 \text{ MeV}$ まで広く分布しており、強く励起されたピークのうち、 $E_x = 12.6 \text{ MeV}$, 12.8 MeV , 13.1 MeV , 13.9 MeV , 16.9 MeV 及び 17.3 MeV のピークは α 散乱の結果と 100 keV の精度で一致している。しかし α 散乱の実験でC2とした $E_x = 16.6 \text{ MeV}$ と 18.2 MeV の強く励起されたピークは、我々の解析ではC3であった。

又、分離されたC3の成分は、C2と同様に広いエネルギー領域に渡って沢山のピークに分散しており、中重核に於ける様な集中は観測されなかった。これらの分離されたC1、C2、C3の各成分は $E_x = 34\text{MeV}$ までその遷移強度を加え合わせるとEWSRの100%を尽す。

2 変形核の巨大共鳴

巨大共鳴がいくつかの状態に分離するもう一つの興味ある問題として、核変形の効果がある。変形核のGQRが二つに分離する事は良く知られているが、GQRでは核変形効果はどの様に現われるであろうか。それを調べる為に、変形核である ^{152}Sm と球形核である ^{148}Sm で電子散乱の実験を行なった。流体模型によれば、GQRは変形核では $K=0, 1, 2$ の3成分に分離すると考えられる。 K は角運動量の対称軸方向の成分である。

Sm の様に原子核が重くなってくると、従来の radiation tailの近似式では近似が悪くなるのでそれを改善した。

巨大共鳴の断面積を測定したスペクトルからもとめようとする場合に、問題となるのが、弾性散乱の低エネルギー側に引く裾(tail)である。巨大共鳴の断面積と比較して、これらの下に連続的に分布してバックグラウンドと成る弾性散乱の裾の方が大きい為、巨大共鳴の断面積を正確に出せるかどうかは、この裾の計算精度にかかっている。

従来の方法では原子番号 Z が大きくなってくると、裾の引き残しが生じるという問題があった。これを改善する為に輻射補正の考察を行なった。その結果、総ての電子が標的の中心で散乱されるとする近似は、 Z が大きくなると精度が悪くなり、標的の任意の部分で散乱される電子が散乱の前後に於いてエネルギーを失なう効果を正しく考慮してやる必要があることが判った。従来使用してきた裾の式は、 Z が小さくて標的が薄い場合には良い近似式であるが、 Z が大きくなってくると、近似しない厳密な式を使う必要がある。従来の方法では、巨大共鳴領域に於いて弾性散乱の裾をやや過少評価していたが、新しい方法によりこの領域での励起状態の断面積がより正確に決められた。

最近Suzukiは総和則の方法を使って、EWSRの100%を尽くす巨大共鳴の遷移電荷密度の計算を変形核の場合にまで拡張した。この理論を使って多重極巨大共鳴の各成分の形状因子をDWBAで計算し、それと一致する様にローレンツ型の巨大共鳴の大きさと幅を決めて、測定されたスペクトルと比較した。共鳴の中心エネルギーはGQRの場合には (τ, n) の実験値を用いたが、GQRとGMR(単極子巨大共鳴)では、Suzuki理論等で予想されるエネルギー付近に、測定されたスペクトルに合う様に中心エネルギーを決めた。適当なバックグラウンドを仮定すれば、各巨大共鳴がEWSRの100%を尽くすとして、Suzuki理論により測定されたスペクトルはかなり良く再現される。

^{148}Sm と ^{152}Sm の測定されたスペクトルを比較すると、 $\Delta T=0$ のGQR領域($E_x \sim 11.5\text{MeV}$)の幅は実際に ^{152}Sm の方が ^{148}Sm より2MeVほど広がっており、 ^{152}Sm に於ける $\Delta T=0$ のGQR

が $K=0, 1, 2$ の3成分に2 MeVほど分離しているとしてスペクトルは良く再現される。この分離のエネルギー値は、いくつかの理論で予想される変形核のGQRの分離エネルギーと一致している。又、核の圧縮率からその存在が注目されていたGQRを $E_x = 15.5$ MeVに考えないとスペクトルは再現されない。これはハドロン散乱の結果と一致している。

一方 $E_x = 24$ MeV付近には $\Delta T=1$ のGQRを仮定したが、これだけでは測定されたスペクトルの大きさは説明されない。この部分には、理論的に予想される八重極巨大共鳴(GOR)が存在すると考えられる。又、 $E_x = 5 \sim 9$ MeVには水素の弾性散乱以外にも断面積が存するが、これは中重核で系統的に見られるEWSRの20%程度を占める八重極共鳴であると考えられる。

3 スピンに依存した巨大共鳴

今まで実験的に研究されてきた巨大共鳴は、核内の電荷や核子の運動に伴う電流と外部から与えられる電磁場が相互作用して発生する共鳴である。この種の巨大共鳴の他に、核の持つ磁気能率と電磁場が相互作用して起きるスピンの依存した巨大共鳴が考えられる。アイソスピン、スピンモードの巨大共鳴はその1つである。これはスピン上向きの陽子とスピン下向きの中性子の集団に対して、スピン上向きの中性とスピン下向きの陽子の集団が互いに逆位相で振動する共鳴状態である。

この種の巨大共鳴は、間接的な方法によりその存在の可能性が指摘されてはいるが、直接測定した実験はまったく無く、大いに関心が持たれている。アイソスピン、スピンモードの巨大共鳴は、電子散乱の横成分演算子によって励起されるので、散乱断面積の横成分が強調されて見える後方散乱の実験を行えば、この巨大共鳴に関する情報が得られる。

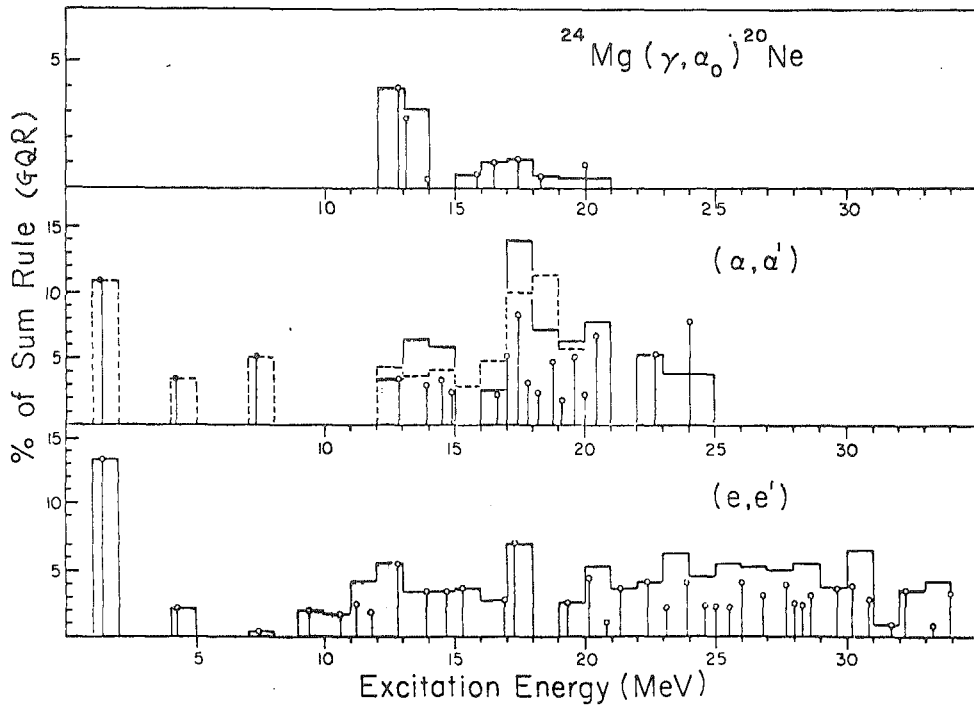
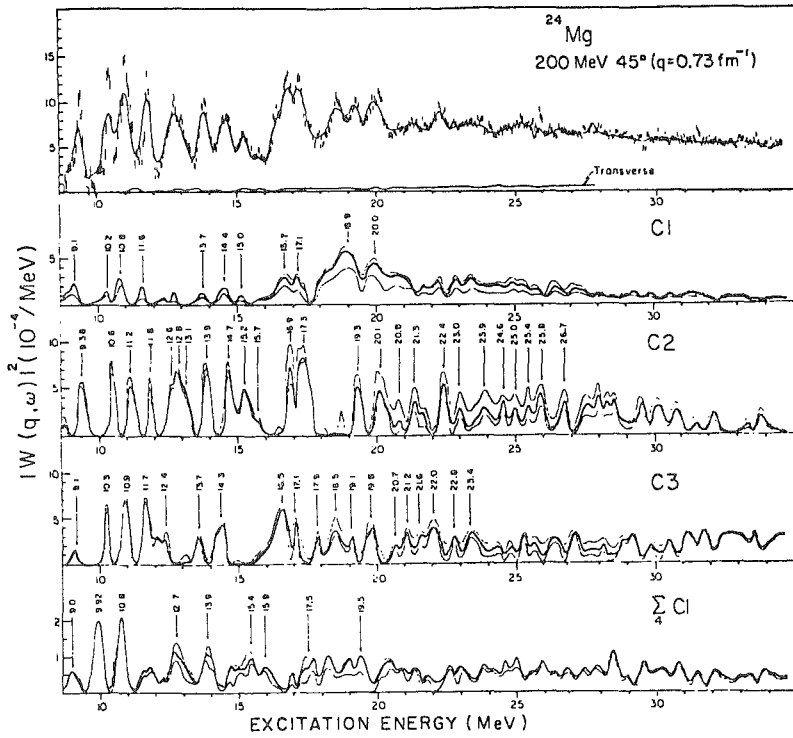
$\theta = 155^\circ$ で測定された ^{90}Zr のスペクトルには、 $E_x = 9$ MeVに顕著なピークが、又 $E_x = 14.5$ MeVと17.5 MeVには、幅の広いピークが見られる。9 MeV付近の盛り上がりは、運動量移行が変化すると形が変わる。これはこの盛り上がりは単純な状態ではなく、様々な多重極状態の集合である事を表わしている。実際に、M2からM6までの遷移について、形状因子をたし合せたものと測定値は良く合う。又、Darmstadtでは同じ励起エネルギー領域を $\theta = 165^\circ$ で測定し、 $E_x = 8.8 \sim 9.13$ MeVにM2と思われる8個のピークがあると報告している。我々の測定した75 MeVと96 MeVのスペクトルにも、対応するエネルギーに幅の狭いピークがある。これはEWSRの20%程度を占めるM2である。

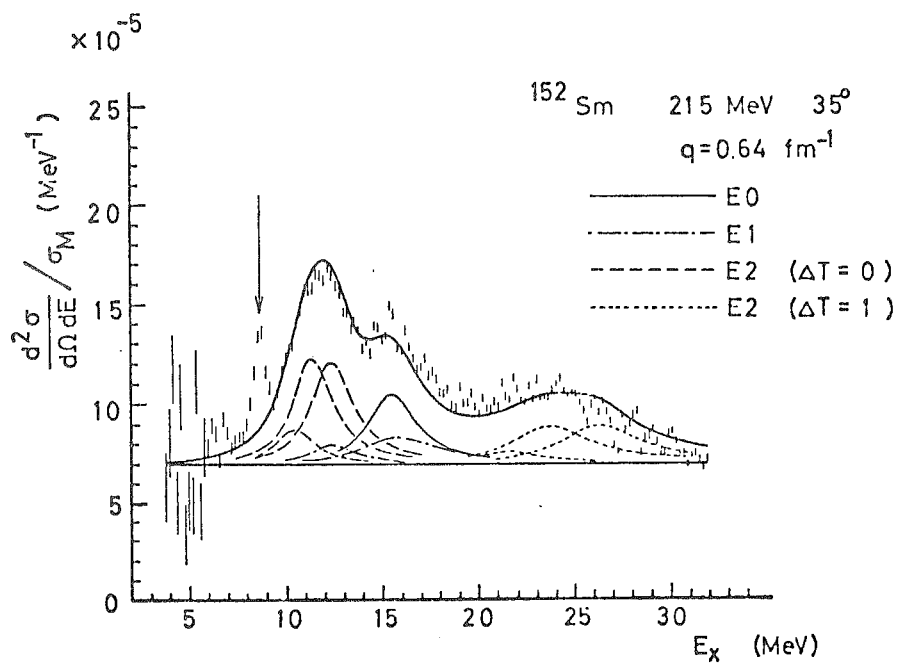
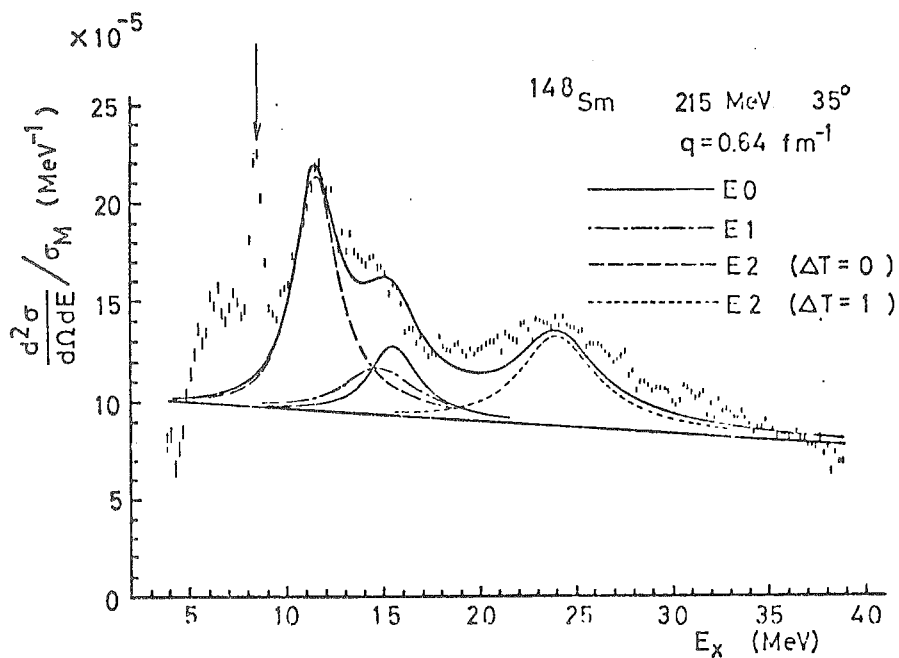
一方理論では、 $E_x = 14$ MeVと18 MeVにそれぞれアイリスピン、スピンモードのM2及びE1巨大共鳴を予想している。Suzuki理論では、これらの形状因子は同じになるので、 $E_x = 11 \sim 12$ MeVの断面積全体からバックグラウンドを引いてもとめた形状因子と、理論の予想するM2、E1巨大共鳴の形状因子と比較した。

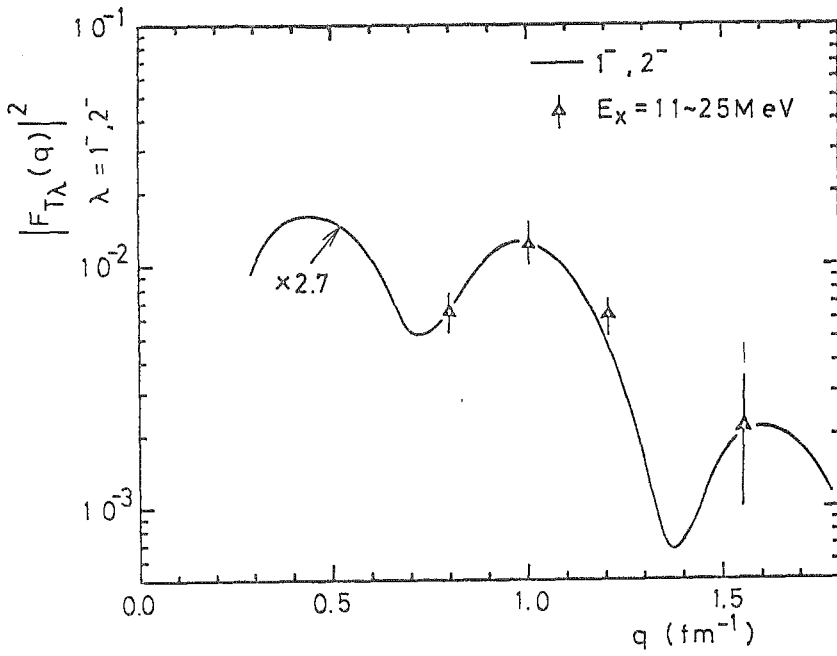
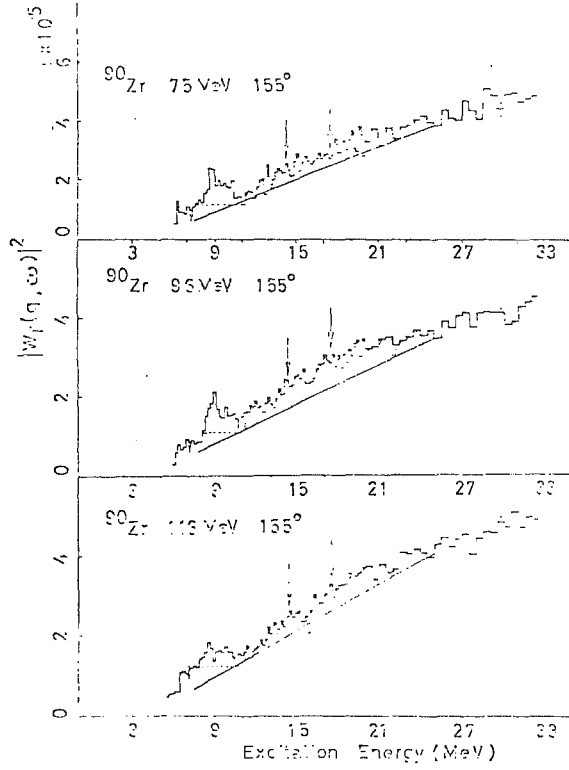
これらは良く一致しており、 $E_x = 14.5$ MeVと17.5 MeVのピークが総和則を尽くすアイソスピン・

スピンモードのM2, E1巨大共鳴である事を示している。

$E_x = 11 \sim 25 \text{ MeV}$ の断面積を出すのに、バックグラウンドを差し引いたが、これはいわゆるroom back groundではなく、準弾性散乱の断面積であり、物理的に意味のある断面積である。事実、準弾性散乱の断面積を単一粒子模型で計算すると、 $E_x = 30 \text{ MeV}$ 以上では計算値は測定された断面積とほぼ同じ大きさになり、この領域では、バックグラウンドの断面積は、準弾性散乱が主である事を示している。







論文審査の結果の要旨

本論文は電子散乱によって原子核の巨大共鳴に関する研究を行ったもので内容は次の三つの題目からなっている。

(1) 軽い核における巨大共鳴

本論文は ^{24}Mg について電子散乱実験を行い、輻射補正の後、一連のスペクトラムについて多重展開を行い、C1, C2, C3成分を抽出した。その結果のC1スペクトラムはガンマ線吸収によって得られたC1共鳴とよく一致しており、この方法の信頼度をあらわしている。C2成分はアルファ粒子非弾性散乱で得られたピークとよく対応している。また、C3スペクトラムはアルファ粒子反応でC2としているピークの一部がC3であることを示唆している。

(2) 変形核の巨大共鳴

本論文においては球形核 ^{148}Sm と変形核 ^{152}Sm について実験し、二つの核の巨大共鳴領域を比較した。E2共鳴が主ピークとしてあらわれ、その幅は変形している方が2MeV程度大きくなっている。この値は変形パラメーターが予測するE2巨大共鳴の分離エネルギーと一致している。

変形核においても球状核と殆んど同じ励起エネルギーにE0共鳴が存在するとしなければ、実験のスペクトラムを説明できない。

(3) スピンに依存した巨大共鳴

今まで研究されてきた巨大共鳴は核子の電荷に外部電磁場が相互作用して起るであるが、この他に核子のもつ磁気能率と電磁場が相互作用するスピンの依存する巨大共鳴の存在が予想されている。本論文においては ^{90}Zr についてスピン・アイソスピン反転モードの共鳴を探る実験を行った。測定した横成分の14.7MeVと17.5MeVに構造があり、スピン反転のE1, M2共鳴の形状因子と比較した。

以上述べた如く本論文は巨大共鳴に関する問題点について研究し、有意義な成果をあげており、博士論文として適当であると認められる。本論文は著者が今後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。よって大沢哲提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。