

氏名・(本籍)	あら 新	い 井	やす 康	お 夫
学位の種類	理	学	博	士
学位記番号	理博第	749	号	
学位授与年月日	昭和57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	$T_z = -\frac{1}{2}$ 核 $^{59}\text{Zn}$ の崩壊の研究			
論文審査委員	(主査)			
	教	授	石	松
	敏	之	教	授
			庄	田
			勝	房
			教	授
			藤	岡
			学	

## 論 文 目 次

- 第1章 序 論
- 第2章 実験装置と実験方法
  - §2・1 サイクロトロン
  - §2・2 質量分離装置とイオン源
  - §2・3 テープ輸送装置と放射線測定系
- 第3章 データ解析と結果
  - §3・1  $\beta^+$ 線
  - §3・2  $\gamma$ 線
  - §3・3 遅発陽子
  - §3・4  $\beta$ 線分岐比と  $\log ft$  値
- 第4章 考 察
  - §4・1  $^{59}\text{Zn}$ の質量

§4・2 Gamow-Teller 行列要素

§4・3  $\beta$  崩壊強度関数

第5章 まとめ

§5・1 実験結果のまとめ

§5・2 今後の展望

# 論文内容要旨

## 第1章 序論

$T_z = -1/2$ 核は  $\beta^+$ 崩壊により鏡映核に遷移をおこなう。核力には荷電対称性があるため、この崩壊の前後の波動関数はアイソスピン量子数の第3成分を除き同一と考えることができ、核構造を調べる上で  $T_z = -1/2$ 核は重要な役割を果たしてきた。本研究で調べた<sup>59</sup>Znは  $T_z = -1/2$ 系列の新しい構成員の一つであり、半減期のみ測定されている<sup>71</sup>Krを除くと、最も重い所に位置するものである。こうした重い  $T_z = -1/2$ 核を研究する時には、 $\beta$ 安定領域から遠く離れた核種であるため、半減期が短かく、また様々な核種が同時に生成されてしまうための困難が生じてくる。本研究は、<sup>58</sup>Ni(<sup>3</sup>He, 2n)反応により生成される<sup>59</sup>Znをオンライン質量分離装置 (ISOL : Isotope Separator On-Line)を用い分離し、その崩壊の様子を調べたものである。

## 第2章 実験装置と実験方法

実験は、東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターの AVF サイクロトロンを使用しておこなった。サイクロトロンからのビームを質量分離装置のイオン源内にあるターゲットに照射し、核反応により目的とするラジオアイソトープ (RI) を生成する。この RI はイオン源内でイオン化され、高電圧により引き出され加速され、磁場により質量分離される。質量分離された RI は Al-ポリエステル・テープの Al 面に打ち込まれ、検出器により崩壊の際に出す放射線の測定がおこなわれる。

ターゲット・イオン源は Hollow-Cathode 型イオン源をもとにして、オンライン実験用に改造したものを使用した。ターゲットは約 600 mg/cm<sup>2</sup> の自然 Ni 箔をボロンナイトライド (BN) のるつぼに入れ使用した。ターゲットはサイクロトロンからの<sup>3</sup>He ビームによる熱とオープン電力により液体状態 (> 1500°C) となっており、生成された RI はターゲット中から拡散と蒸発により飛びだしてくる。

核反応で生成された目的とする RI のうち、テープ上にくるものの割合を ISOL の効率とすると、我々の場合は約  $1.7 \times 10^{-5}$  であると推定された。このうちイオン化の効率、ビーム輸送の効率などを考慮した残りの部分は、ターゲット中から崩壊する前に出てきたものの割合と考えられるが、この値は約 0.2% と見積もられた。

放射線の測定は、 $\beta^+$ 線、 $\gamma$ 線、遅発陽子についておこなった。 $\beta^+$ 線の検出器としては  $\phi 25\text{mm} \times 10\text{mm}$  (～5 cm<sup>3</sup>) の planer 型 Ge(HP) を使用した。線源と検出器との間には 16  $\mu\text{m}$  の Al-ポリエステル・テープ、20  $\mu\text{m}$  の Al 箔、127  $\mu\text{m}$  の Be 箔があり、これらの箔中での  $\beta$ 線のエネルギー損失は  $E_\beta = 8$  MeV に対して約 40 keV である。 $\gamma$ 線の検出器としては、75 cm<sup>2</sup> の Ge(HP) を使用した。検出器の前には厚さ 5 mm の銅の吸収体を入れ、検出器への  $\beta$ 線の入射をふせいだ。遅発陽子の測定は、50 mm<sup>2</sup>  $\times$  500  $\mu\text{m}$  の Si(Au)あるいは  $\Delta E(50\text{mm}^2 \times 26\mu\text{m}, \text{Si(Au)}) + E(150\text{mm}^2 \times 500$

$\mu\text{m}$ , Si(Au)) 検出器を使用しておこなった。 $\Delta E-E$  の組合せでは,  $\Delta E$  検出器中でのエネルギー損失の値により陽子のみのスペクトルを選びだすことにより,  $\beta^+$  線による低エネルギー側のバックグラウンドを除くことができた。

これらの放射線スペクトルの時間変化を見るために, 0.5~1 秒程度テープ上に RI を収集した後質量分離装置のビームを切り, 時間と共に放射線エネルギーを磁気テープ上に記録していくということをおこなった。特に  $\gamma$  線の測定の際には, ターゲット付近で発生する中性子によるバックグラウンドを減少させるために, パルス型ビームチョッパーによるサイクロトロン・ビームの間引きもおこなった。これらの制御とテープ輸送装置の制御はすべてマイクロ・コンピュータでおこなった。

### 第 3 章 データ解析と結果

$\beta^+$  線の崩壊曲線から最小 2 乗法により  $^{59}\text{Zn}$  の半減期  $T_{1/2}=182.0\pm 1.8\text{ms}$  を求めた。また  $\beta^+$  線の最大エネルギーの決定をするために, まず簡単な形であらわされた検出器の応答関数を仮定し, そのパラメーターを最大エネルギーのわかっている  $\beta$  崩壊の測定により決めるということをおこなった。このようにして決めた応答関数を使用し,  $\beta^+$  線スペクトルを真のスペクトルの形に直し, Kurie プロットをおこなうことにより,  $\beta^+$  線の最大エネルギーとして  $E_{\beta^+}^{\text{max}}=8.1\pm 0.1\text{MeV}$  という値を得た。

$\gamma$  線のスペクトルからは,  $^{59}\text{Zn}$  の崩壊に伴う  $\gamma$  線として 491keV と 914keV の  $\gamma$  線を同定し, それらの強度を決めた。

$^{59}\text{Zn}$  からの遅発陽子の測定は, 質量分離をおこなわない方法で以前に報告されているが, 私々も同様なスペクトルを得ることができ, これらの遅発陽子が  $^{59}\text{Zn}$  の崩壊に伴って出てきたものであるということに確信を与えることができた。

以上の測定結果から,  $^{59}\text{Zn}$  の崩壊図式を図 1 のように組立て, 各準位への遷移に対する log ft 値を決めた。

### 第 4 章 考 察

#### ・1 $^{59}\text{Zn}$ の質量

$^{59}\text{Zn}$  からの  $\beta^+$  線の最大エネルギーと娘核  $^{59}\text{Cu}$  の質量により,  $^{59}\text{Zn}$  の質量を求めることができる。特に,  $T=1/2$  核間の質量差は水素-中性子間の質量差を除き, Coulomb エネルギー差と等しいので, 理論式による Coulomb エネルギー差との比較をおこなうことができる。簡単な液滴模型にもとづくものから殻模型にもとづくものまで比較をおこなったところ, いずれも実験値の誤差内でほぼ一致した。また,  $^{59}\text{Zn}$  の質量を直接いくつかの質量公式による予想と比較し, 質量公式の一般的な傾向について考察した。

次に,  $T=1/2$  核間の質量差を利用した Kelson-Garvey の質量関係を使い  $^{54-58}\text{Zn}$  同位体の質

量予想をおこなった。この結果、 $^{54}\text{Zn}$  では1陽子放出、2陽子放出に対して不安定であることがわかった。

## •2 Gamow-Teller 行列要素

$^{59}\text{Cu}$  の低励起状態への遷移に対する Gamow-Teller 行列要素の値を求め、これを1粒子値、殻模型値と比較した。それぞれの値を表1に示す。殻模型計算は、有効相互作用として MSDI (Modified Surface Delta Interaction) を使用し、 $A=57\sim 59$  の Ni と Cu の低励起状態について  $(2p_{3/2}, 1f_{5/2}, 2p_{1/2})$  空間で求めた波動関数を使用して計算をおこなった。基底状態への遷移に対する Gamow-Teller 行列要素の実験値は、1粒子値の30%、殻模型値の40%しかなく、このずれは sd 殻領域などと比べて大きい。この原因として、コアとして考えた  $^{56}\text{Ni}$  が LS 結合に対しては閉じていないため、コアの中の  $f_{7/2}$  軌道の陽子が Gamow-Teller 演算子  $\sigma \cdot \tau$  により  $f_{5/2}$  へ移行する過程が大きな寄与をしているのではないかとすることを考察した。

## •3 $\beta$ 崩壊強度関数

遅発陽子の測定により、高励起状態まで  $\beta$  崩壊強度関数を求めることができた。その結果、 $^{59}\text{Zn}$  の  $\beta$  崩壊強度関数には基底状態付近に幅のせまいピーク、5.5MeV 付近に幅の広い ( $\sim 2$  MeV) ピークがあることがわかった。前者のピークは、1粒子値と傾向が似ていることから、 $2p_{3/2}$  軌道の陽子の  $2p_{3/2}, 1f_{5/2}, 2p_{1/2}$  中性子軌道への遷移に対応すると考えられる。また後者のピークは幅の広いこと、エネルギーなどから考えて、コアの中の  $1f_{7/2}$  軌道の陽子の  $1f_{5/2}$  中性子軌道への遷移に対応するものと考えられる。

## 第5章 まとめ

本研究ではオンライン質量分離装置をもちい、 $T_z = -1/2$  核  $^{59}\text{Zn}$  の半減期、 $\beta^+$  線の最大エネルギー、 $\gamma$  線のエネルギー・強度、遅発陽子のエネルギー・強度の測定をおこない、 $^{59}\text{Zn}$  の崩壊図式、 $\log ft$  値等を決めた。また  $^{59}\text{Zn}$  の質量、Gamow-Teller 行列要素、 $\beta$  崩壊強度関数に関する考察をおこなった。今後の問題点についてのまとめもおこなっている。

表1.  $^{59}\text{Cu}$ の低励起状態への遷移に対する Gamow-Teller 行列要素

$E_f$ (keV)	$j_i \rightarrow j_f$	$\langle \sigma \cdot \tau \rangle_{\text{exp.}}$	$\langle \sigma \cdot \tau \rangle_{\text{s.p.}}$	$\langle \sigma \cdot \tau \rangle_{\text{MSDI}}$
0	$\frac{3}{2}^- \rightarrow \frac{3}{2}^-$	$0.39 \pm 0.06$	1.291	0.985
491	$\rightarrow \frac{1}{2}^-$	$0.23 \pm 0.02$	1.155	0.829
914	$\rightarrow \frac{5}{2}^-$	$0.13 \pm 0.02$	0	0.116

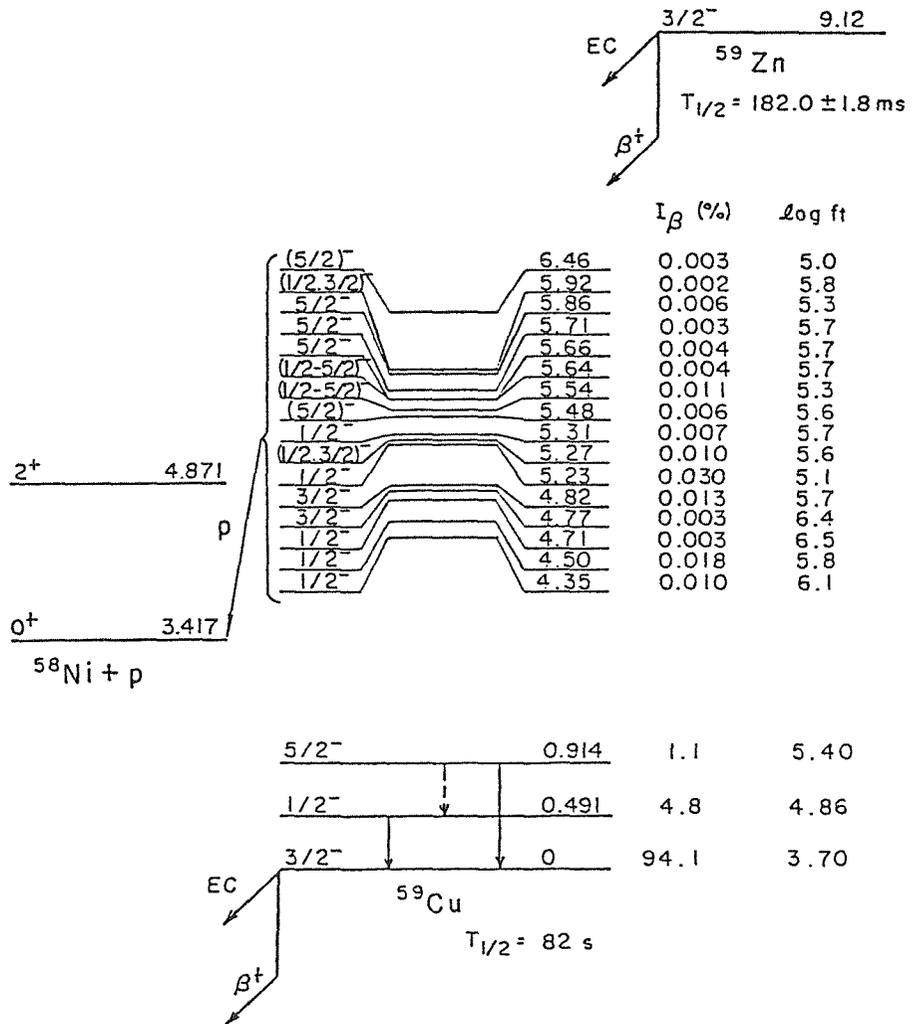


図1.  $^{59}\text{Zn}$ の崩壊図式。準位のエネルギーは $^{59}\text{Cu}$ の基底状態を0としたもので、単位は MeV。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は  $\beta$  安定線からかなり中性子欠損側に離れた、陽子数が中性子数より 1 だけ大きい、 $T_z = -\frac{1}{2}$  核  $^{59}\text{Zn}$  をオンライン質量分離器によって製造し、それが放出する  $\beta^+$  線をはじめて測定し、あわせてそれに伴う  $\gamma$  線及び遅発陽子を検出し、実験結果を核構造理論と比較検討したものである。

本論文の第 1 章では  $T_z = -\frac{1}{2}$  核の研究の重要性が述べられている。 $^{59}\text{Zn}$  はこれまで知られている最も重い  $T_z = -\frac{1}{2}$  核で、その半減期が短く、 $\beta$  安定線からかなり離れているため製造が困難であり、オンライン同位体分離による方法が最もすぐれている。第 2 章では、本研究に用いられたオンライン同位体分離器とそれに附属するテープ輸送装置等について記されている。また、測定に用いられた検出器、エレクトロニクス及びデータ処理系について、及び実験方法の概要が示されている。第 3 章は個々の測定とその結果の解析について述べている。 $^{59}\text{Zn}$  はサイクロトロンからの  $^3\text{He}$  ビームをイオン源内に置かれた Ni 箔ターゲットにあて、 $^{58}\text{Ni}(^3\text{He}, 2n)^{59}\text{Zn}$  反応により生成され、イオン源内でイオン化され、質量分離されたあとテープ輸送装置のテープ上にイオン注入され、ついで種々の検出器によってその放射線が測定された。即ち、Ge 検出器で  $\beta^+$  線を測定し、その最大エネルギーを  $8100 \pm 100 \text{keV}$  と定め、 $^{59}\text{Zn}$  の半減期を  $182.0 \pm 1.8 \text{ms}$  と定めた。また、Ge 検出器によって  $\gamma$  線を測定し、これから  $^{59}\text{Zn}$  から  $^{59}\text{Cu}$  の励起準位への転移の割合を導出した。更に、Si(Au) 検出器によって遅発陽子線を測定し、その強度を定めた。第 4 章では、以上のデータに基づき、まず質量公成を利用して未発見の  $^{58-54}\text{Zn}$  の質量の予想値を導き、ついで  $^{59}\text{Zn} \rightarrow ^{59}\text{Cu}$  の  $\beta$  崩壊の Gamow-Teller 行列要素を導き、殻模型計算と比較した結果、軽い  $T_z = -\frac{1}{2}$  核の場合とは異なって実験と理論の間に大きな不一致を見出し、これを  $^{56}\text{Ni}$  芯核の不安定性によるものと解釈した。また  $^{59}\text{Zn}$  の崩壊の Gamow-Teller 強度が  $^{59}\text{Cu}$  核の基底状態近傍と励起エネルギー 5 MeV 附近に集中していることを示し、殻模型に基づいた定性的な説明を行っている。

本研究の結果得られた知見は  $^{59}\text{Zn}$  近傍における殻模型の理論に大きな問題をなげかけるものであり、核構造研究上重要な寄与をなした。これは本論文の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、新井康夫提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。