

報告番号 <sup>※</sup> 甲 第 2886 号

# 主論文の要旨

題名

質量分離と化学分離を用いた質量数  
150近傍の核分裂生成物の核分光

氏名 柴田理尋

# 主論文の要旨

報告番号	※ 甲 第	号	氏 名
			柴田理尋
<b>1 研究の目的</b>			
<p>希土類原子核は、原子核が核子数にともなって球形から回転楕円体へと変形する遷移領域に属し、どちらの性質をより強く持つかを調べることは興味深い。しかし、<math>\beta</math>安定線から離れた原子核は、半減期が短く収率も減少するのでデータは少なく、またあっても充分でないものが多い。</p> <p>本研究では、対象核を遷移領域にある中性子過剰の原子核<math>^{152}\text{Nd}</math>、<math>^{151}\text{Pr}</math>、<math>^{147}\text{Pr}</math>とし、<math>\beta\gamma</math>核分光の手法で娘核<math>^{152}\text{Pm}</math>、<math>^{151}\text{Nd}</math>、<math>^{147}\text{Nd}</math>の核構造を調べることを目的とした。<math>^{152}\text{Nd}</math>、<math>^{147}\text{Pr}</math>の半減期は10分程度、<math>^{151}\text{Pr}</math>の半減期は20秒程度と短く、いずれも崩壊データは充分ではない。</p> <p><math>\beta\gamma</math>核分光は、崩壊に伴う<math>\beta</math>線や<math>\gamma</math>線、内部転換電子を測定して、娘核の励起準位を調べる手法である。<math>\beta</math>崩壊を利用すると、<math>\beta</math>崩壊に働く選択則から、一般的に比較的低いスピン状態の励起準位を調べることができる。また、<math>\gamma</math>遷移も励起状態の波動関数に関係した選択則が働き、励起準位の性質を知ることができる。<math>\beta\gamma</math>核分光で核構造を調べるには、崩壊に伴う<math>\gamma</math>線のエネルギーと強度、励起準位のエネルギーおよびスピン-パリティ、<math>\beta</math>崩壊エネルギー(<math>Q_\beta</math>)や半減期といった崩壊データによって構成される詳しい崩壊図式が最も重要となる。その崩壊図式に基づいて、核模型との比較や近傍核の系統性から核構造を考察する。</p> <p>本研究では、まず、3核種の詳しい崩壊図式を作成するため、線源の作成方法を改良、開発した。得られた線源から崩壊に伴う放射線を測定し、詳しい崩壊図式を作成した。崩壊図式に基づき、<math>^{152}\text{Nd}</math>、<math>^{151}\text{Pr}</math>では、変形核模型におけるNilsson軌道の振る舞いを調べ、<math>^{152}\text{Nd}</math>から<math>^{152}\text{Pm}</math>への強い<math>\beta</math>遷移(許容促進遷移)に関わる中性子と陽子のNilsson軌道について考察した。一方、<math>^{147}\text{Pr}</math>の娘核<math>^{147}\text{Nd}</math>は、<math>^{151}\text{Nd}</math>ほど変形が進んでいない原子核と考えられる。励起準位の半減期と内部転換係数を測定し、遷移確率<math>B(M1)</math>、<math>B(E2)</math>の値から励起状態の3空孔状態の性質及び3粒子状態との類似性を考察した。</p>			
<b>2 実験</b>			
2-1 線源の作成			
<p><math>\beta\gamma</math>核分光では、十分な強度の線源を得ることが必要である。<math>\beta</math>安定線から離れた短寿命の中性子過剰核を得るには、<math>^{235}\text{U}</math>等の核分裂が利用できる。その場合、目的と</p>			

# 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	柴田理尋
<p>する原子核を数多くの核分裂生成物中から迅速に分離する必要がある。質量数が150を越えると、核分裂の収率は急激に減少し、半減期もさらに短くなるので効率よく分離しなければならない。本研究では、質量分離と化学分離の2方法を用いて実験を行った。</p> <p><math>^{235}\text{U}</math>の核分裂生成物の質量分離には、京都大学原子炉実験所の研究用原子炉(京大炉(KUR))に附置したオンライン同位体分離装置(Isotope Separator On-Line = ISOL)KUR-ISOLを用いた。ISOLは、イオン化した原子核を電場と磁場によって分離する装置である。KUR-ISOLでは、酸化法やフッ化法を開発し、希土類元素を強く取り出すことが可能となった。<math>^{152}\text{Nd}</math>と<math>^{151}\text{Pr}</math>に酸化法を適用し、酸化物(<math>\text{NdO}^{1+}</math>, <math>\text{PrO}^{1+}</math>)の形態で分離した。</p> <p>化学分離には、NdやPrに有効と考えられる放射能イオンクロマトグラフィを、はじめて線源作成方法として応用した。この化学分離法は、高速液体クロマトグラフィと放射線検出器を組み合わせた極微量迅速分離システムとしてTamaiらによって開発され、放射能イオンクロマトグラフィと呼ばれている。</p> <p>放射能イオンクロマトグラフィには、</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 溶離液の種類、濃度、pHによって、分離時間を調整できる。</li><li>・ KUR-ISOLでは分離できないBrやIなどの陰イオンも分離することができる。</li><li>・ 装置の扱いが容易である。</li><li>・ 微量(ppm程度)分析が可能である。</li><li>・ 廃棄物の量が少ない。</li><li>・ 希土類元素をSm-Nd-Pr-Ce-Laの順に分離することができる。</li><li>・ ISOLのようにマシンタイムの厳しい制約が少ない。</li><li>・ KUR-ISOLは、酸化法が開発される以前は、質量数が150を越えると収率が落ち核構造を調べるのに十分な線源強度が得られなかったが、化学分離は安定に強い線源が作成できる。</li></ul> <p>などの特徴がある。</p> <p>硝酸ウラン<math>10^{-2}\text{M}</math>(<math>^{235}\text{U}</math>、93%濃縮)の液体、約<math>20\mu\text{l}</math>を原子炉で照射し、放射能イオンクロマトグラフィの核分裂生成物に対する分離特性を調べた。中性子源は、京大炉と立教大学原子力研究所の原子炉(TRIGA-II)を利用した。希土類相互分離用の溶離液には、75mMの<math>\alpha</math>-ヒドロキシイソ酪酸水溶液(pH=4.6)を用いた。その結果、Ndは10分以内に分離することができた。また、半減期が2分程度の原子核まで線源とす</p>				

# 主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

柴田理尋

ることが可能であると分かった。

## 2-2 測定

前述の2方法を用いて作成した線源に対し、半減期に合わせて効率的な時間振り分けで崩壊に伴う放射線を測定した。

$\gamma$ 線、 $\beta$ 線は高純度ゲルマニウム(HPGe)検出器で、内部転換電子はリチウムドリフト型シリコン検出器で測定した。 $\gamma$ 線と $\beta$ 線の測定には、シングル測定と $\gamma$ - $\gamma$ 、 $\beta$ - $\gamma$ 同時計数測定を行なった。励起状態の半減期測定には、HPGe検出器とプラスチックシンチレーション検出器を用いて $\beta$ - $\gamma$ 遅延同時計数測定を行なった。 $\beta$ 崩壊の半減期を決めるために、スペクトラムマルチスケーリング測定を行なった。 $\gamma$ 線、 $\beta$ 線のスペクトル及び同時計数事象は、磁気テープに記録し、実験終了後コンピュータで解析した。

測定した量は次ぎのものである。

$\gamma$ 線のエネルギーと遷移強度、 $\beta$ 線の最大エネルギー、 $\gamma$ 線の同時計数関係、内部転換電子、 $\beta$ 崩壊の半減期、励起準位の半減期

以上の量から、

励起準位のエネルギーとそのスピン及びパリティ、 $\beta$ 崩壊エネルギー( $Q_\beta$ ),

$\log ft$ 値、 $\gamma$ 遷移の内部転換係数と多重極度、 $\gamma$ 遷移の遷移確率 $B(M1)$ ,  $B(E2)$ を決定した。

## 3 結果

測定結果は崩壊図式としてまとめた。3核種について従来のものより詳しい崩壊図式を作成した。

$^{152}\text{Nd}$ については、新たに30本の $\gamma$ 線と9つの励起準位を含む、660keVまでの崩壊図式を作成した。また、 $Q_\beta$ 値(1088(27)keV)と半減期( $T_{1/2}=11.6(7)\text{min}$ )を決めた。7本の $\gamma$ 遷移の内部転換係数と多重極度を決めた。化学分離で同時に分離されるNdの同位体 $^{151}\text{Nd}$ との比較から、 $\gamma$ 線の絶対放出率を決めた。

$^{151}\text{Pr}$ については、新たに66本の $\gamma$ 線を見つけた。そのうち、57本の $\gamma$ 線と16の新たな励起準位を含む、2430keVまでの崩壊図式を作成した。 $Q_\beta$ 値(3816(50)keV)と半減期( $T_{1/2}=18.9(7)\text{s}$ )を決めた。11本の $\gamma$ 遷移の内部転換係数と多重極度を決めた。

$^{147}\text{Pr}$ については、新たに13本の $\gamma$ 線を見つけた。そのうち10本の $\gamma$ 線と1つの励

# 主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	柴田理尋
<p>起準位を、新たに崩壊図式に組み込んだ。15本の<math>\gamma</math>遷移の内部転換係数と多重極度を決めた。3つの励起準位の半減期を決定した。</p>				
<h4>4 考察</h4>				
<p>崩壊図式に基づき核模型との比較、近傍核の系統性から核構造について考察した。<math>^{152}\text{Nd}</math>から<math>^{152}\text{Pm}</math>への<math>\beta</math>遷移は、その<math>\log-ft</math>値が5.0以下の大変強い遷移であることが分かった。この遷移は、遷移の前後で中性子と陽子の漸近量子数に変化しない許容促進遷移である。<math>^{152}\text{Nd}</math>の92番目の中性子が、<math>^{152}\text{Pm}</math>の61番目の陽子軌道へと遷移するとき、この領域で許容促進遷移が可能なNilsson軌道は、それぞれ <math>\pi 5/2^-</math> [532<math>\uparrow</math>]と<math>\pi 3/2^-</math> [532<math>\downarrow</math>]に限られる。これは、Pm(Z=61)の同位体とN=91の同中性子核の系統性において、これらの軌道が低い励起状態に現われることから支持される。変形核模型に基づく計算は、実験から得られた<math>^{151}\text{Nd}</math>の低エネルギーの励起準位をよく再現した。<math>^{151}\text{Nd}</math>の変形度は、0.22程度となった。<math>^{151}\text{Pr}</math>の<math>^{151}\text{Nd}</math>への<math>\beta</math>崩壊から、<math>^{151}\text{Pr}</math>の59番目の陽子のNilsson軌道は、<math>\pi 3/2^-</math> [541<math>\uparrow</math>]が最も適当と考えられる。これは、<math>^{152}\text{Nd}</math>から<math>^{152}\text{Pm}</math>の許容促進遷移の軌道を支持する結果となった。</p> <p>一方、殻模型に近いとされる中性子数が87の<math>^{147}\text{Nd}</math>の低エネルギーの励起準位は、<math>2f_{7/2}</math>殻に3つの空孔がある3空孔状態として説明できることが、励起準位のエネルギーの系統性から提案されている。励起準位の半減期から、その3空孔状態間のM1遷移は抑制され、E2遷移は促進されることが分かった。その抑制と促進の程度は、<math>2f_{7/2}</math>殻を3つの粒子(中性子)が占める、中性子数N=85の原子核の3粒子状態と同程度であることが分かった。遷移確率の点からも3粒子状態との類似性を確認した。このことは、<math>^{147}\text{Nd}</math>の核構造は、<math>^{151}\text{Nd}</math>に比べると殻的な性質をまだ強く持っていることを示す。</p>				
<h4>5 まとめ</h4>				
<p><math>\beta\gamma</math>核分光の手法で質量数A=150近傍の遷移領域にある中性子過剰の原子核<math>^{152}\text{Nd}</math>、<math>^{151}\text{Pr}</math>、<math>^{147}\text{Pr}</math>の詳しい崩壊図式を作成した。線源作成のために、質量分離と化学分離の2方法について改良、開発し、線源として十分な強度を得ることができた。特に、化学分離法の放射能イオンクロマトグラフィを、<math>\beta\gamma</math>核分光にはじめて適用し成果を出した。崩壊図式に基づき娘核<math>^{152}\text{Pm}</math>、<math>^{151}\text{Nd}</math>、<math>^{147}\text{Nd}</math>の核構造を明らかにした。</p>				