

Title	Nuclear Magnetic Resonance and Relaxation in Ferromagnetic Heavy Rare Earth Metals : Terbium and Dysprosium
Author(s)	Sano, Naokatsu
Citation	大阪大学, 1971, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/2222">https://hdl.handle.net/11094/2222</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

[43]

氏名・(本籍)	佐野直克
学位の種類	工学博士
学位記番号	第 2278 号
学位授与の日付	昭和 46 年 3 月 25 日
学位授与の要件	基礎工学研究科物理系 学位規則第 5 条第 1 項該当
学位論文題目	強磁性重希土類金属 Tb と Dy の核磁気共鳴と緩和
論文審査委員	(主査) 教授 伊藤 順吉  (副査) 教授 永宮 健夫 教授 川井 直人

### 論文内容の要旨

希土類金属では  $(5s)^2(5p)^6$  の完全殻に囲まれた  $4f$  殻が、不完全殻のまま、3価の孤立イオンとなって伝導電子の海の中に浸っている。 $4f$  電子の軌道角運動量と、スピン角運動量は全角運動量  $J$  を作る。それによって生じる磁気モーメントは種々の磁気構造を示すが、Tb 金属は  $220^\circ\text{K}$  以下で、Dy 金属は  $85^\circ\text{K}$  以下で全ての磁気モーメントが同一方向に揃う単純な強磁性体となる。これらの核スピンと、不完全  $4f$  殻の作る  $J$  との間には、非常に大きな磁気双極子相互作用と電気四重極相互作用による超微細構造が存在する。これらの相互作用によって、原子核の位置に生じる内部磁場を利用して、外部磁場なしに核磁気共鳴を観測することができる。Tb と Dy 金属におけるこれらの相互作用は核比熱やメスバウワー効果等の測定によりすでに観測されているが、核磁気共鳴の実験により得られる情報の量や精度と比べると、それらの実験によるものは非常に劣っている。

我々は強磁性 Tb 金属中の  $^{159}\text{Tb}$  (核スピン  $I = \frac{5}{2}$ ) と強磁性 Dy 金属中の  $^{161}\text{Dy}$  と  $^{163}\text{Dy}$  (共に  $I = \frac{5}{2}$ ) の核磁気共鳴をスピン・エコー法により液体ヘリウム温度領域に於て観測した。これらの核磁気共鳴線は非常に大きな電気四重極相互作用によって等間隔に分離した  $2I$  本の共鳴線からなっている。ゼーマン・エネルギーに対応する中心共鳴周波数は、 $^{159}\text{Tb}$  で  $3120\text{MHz}$ 、 $^{161}\text{Dy}$  で  $830\text{MHz}$ 、 $^{163}\text{Dy}$  で  $1162\text{MHz}$  である。又電気四重極相互作用に対応する、相隣り合う共鳴線の周波数間隔は、 $^{159}\text{Tb}$  で  $673\text{MHz}$ 、 $^{161}\text{Dy}$  で  $386\text{MHz}$ 、 $^{163}\text{Dy}$  で  $409\text{MHz}$  である。

これらの共鳴周波数を与えるのは不完全  $4f$  殻の作る  $J$  との磁気双極子相互作用と電気四重極相互作用による影響が主であり、他からの影響、例えば伝導電子や内殻の  $S$  電子のスピン偏極、球対称でない結晶の作る電場配等による影響は、高々 1 割から数パーセント程度の大きさしかない。

核スピン—格子緩和時間はスティムレイテッド・エコー法により  $1.4^\circ\text{K}$  から  $4.2^\circ\text{K}$  の温度領域で観測された。核スピン—格子緩和によるエコー強度の減衰は電気四重極相互作用の存在のため非常に複雑になり、 $2I$  個の減衰定数を含んだ指数関数の線型結合で表わされる。スティムレイテッド・エコ

一強度の減衰曲線の測定により核スピン-格子緩和の遷移確率  $W_{m, m+1}$  は  $\omega_{m, m+1}^2 T(I-m)$  ( $I+m+1$ ) に比例することがわかった。(ここで  $\omega_{m, m+1}$  は核スピンレベル  $m, m+1$  間の共鳴周波数  $T$  は絶対温度)。その値は  $^{159}\text{Tb}$  で  $W_{-3/2, -1/2} / T = 4.58 \times 10^3 \text{ s e c}^{-1}, ^\circ\text{K}^{-1}$ ,  $^{163}\text{Dy}$  で  $W_{-5/2, -3/2} / T = 4.76 \times 10^2 \text{ s e c}^{-1}, ^\circ\text{K}^{-1}$  である。この様な遷移確率を与える核スピン-格子緩和機構として、核スピンの  $m$  から  $m+1$  へ遷移した時のエネルギーは  $4f$  電子との超微細相互作用によって仮のスピン波を励起し、そのマグノンが  $sf$  交換相互作用により伝導電子のスピンを引っくり返し、同時に運動エネルギーを変える緩和機構を計算した。

この緩和機構による遷移確率は、 $\omega_{m, m+1}^2 T(I-m)(I+m+1)$  に比例する。この機構による理論的な遷移確率の概算値は、実験値に非常に近い値を与える。

又、他の色々な緩和機構によっては、強磁性  $\text{Tb}$  と  $\text{Dy}$  金属の核スピン-格子緩和を説明することは出来なかった。故に強磁性  $\text{Tb}$  と  $\text{Dy}$  金属に於ける核スピン-格子緩和は先に述べた緩和機構で生じているとの結論を得た。

核スピン-核スピン緩和時間は、 $1.4^\circ\text{K}$  から  $4.2^\circ\text{K}$  の温度領域で普通のスピン・エコー強度の減衰定数より求めた。 $^{163}\text{Dy}$  のスピンスピン緩和時間は、絶対温度に逆比例する。よって  $^{163}\text{Dy}$  スピンスピン緩和時間は Walstedt の提案したものと同様な機構、すなわち核スピン-格子緩和確率のみによって定まっている。又、 $^{159}\text{Tb}$  では絶対温度に逆比例する項と温度に依存しない項とに分離出来た。これは、前者が  $^{163}\text{Dy}$  と同じく核スピン-格子緩和確率により、後者が Suhl-Nakamura 相互作用(仮のスピン波を介在する  $I \cdot I$  結合による相互作用)によるスピンスピン緩和確率によって定まっていることを示している。

## 論文の審査結果の要旨

強磁性相における  $\text{Dy}$  および  $\text{Tb}$  金属について、核磁気共鳴を行い、とくに核磁気緩和を詳細に研究した。このような磁気整列相における稀土類金属の核磁気共鳴は世界中で他のところでは成功していないものであり、きわめて独創的な研究である。本論文においては、とくにスピン格子緩和の詳細な測定を行い、これの理論的解釈をていねいに行っている。その結果、稀土類イオンの全角運動量と核の超微細相互作用、および伝導電子のスピンとの  $sf$  相互作用を通じて、スピン波を媒介にした伝導電子の運動のエネルギーへのスピン格子緩和が主要なものであることを明らかにし、数値計算によっても正しいオーダーの値を得ている。またスピンスピン緩和の機構についてもその本質を明らかにしている。実験技術の上からもマイクロ波に近い周波数帯のスピンエコー装置の開発を行っており、磁気共鳴の技術に貢献しているものと考えられる。

以上の如く、本研究はこの方面の物性物理学の進歩に重要な寄与をなしたものであり、工学博士の学位に十分値するものと認める。