

氏名	國友正和 くにともまさかず
学位の種類	理学博士
学位記番号	理博第205号
学位授与の日付	昭和46年3月23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	理学研究科物理学第一専攻
学位論文題目	二重および混合回転系におけるスピン温度

論文調査委員 (主査) 教授 端 恒夫 教授 富田和久 教授 長谷田泰一郎

論文内容の要旨

申請者の主論文は二重及び混合回転系におけるスピン温度仮説の当否を実験的に検討したものである。

申請者は以下にのべる三種の実験を行なっている。実験はスピン格子緩和時間に比べて充分短い時間内になされ、加えられる高周波は何れもスピン系を飽和させるに充分な強さを有するものである。

その第一は二重回転系における断熱消磁及び磁化の実験である。試料としてはCaF₂単結晶中のF¹⁹スピン系およびKH₂PO₄中のH¹、及びNaCl中のNa²³スピン系が用いられた。実験方法はまず Spin-locking の技術を用いて静磁場H₀方向にあった平衡磁化をH₀まわりに $\omega_0 = \gamma H_0$ の角周波数で回転している回転磁場H₁の方向に向ける。次にH₀に平行に振動数 ν_2 、強さH₂の振動磁場を加える。 ν_2 は一重回転系での共鳴周波数に比べて充分高くとり二重回転系(H₀のまわりに ω_0 で回転し同時にH₁のまわりに ν_2 で回転している座標系)から見れば有効磁場は磁化に反平行になるようにしておく。つぎにH₁の大きさをゆるやかに増加する。この変化が充分ゆるやかで各瞬間にスピン系が二重回転系におけるスピン温度で記述される状態にあるとすれば、磁化は有効磁場の方向に追隨して変化するはずである。申請者は ν_2 を種々に変えて磁化が二重回転系における有効磁場の変化に対してどのように変化するかを実験的に調べ、二重回転系スピン温度を仮定して得られた計算結果と比較した。実験結果はH₁の不均一性に対する補正を加えれば、二重回転系スピン温度を仮定した計算結果と極めてよい一致を示すことが確かめられた。

申請者の第2の実験はH₁を局所場に比べて大きくとり、一重回転系においてゼーマンおよびダイポール温度が異なる状態を作り、一重回転系における共鳴周波数に近い高周波を照射した場合の効果について調べたものである。

実験操作の前半は、二重回転系における断熱消磁と同様である。ただし、H₁の変化は周波数 ν_2 に対する共鳴磁場の所で止める。つぎに振幅H₂を断熱的に減少させ零にする。H₁が局所場より充分大きければこの状態は一重回転系においてゼーマン温度が無限大で、ダイポール温度が非常に低い状態である。この状態でH₀に平行に一重回転系における共鳴周波数に近い周波数をもった高周波を加え平衡状態に達した

時のゼーマン温度を測定している。実験結果は、平衡状態は二重回転系で一つのスピンの温度で記述出来る状態であると仮定して得られた計算結果と比較され H_1 の不均一性及びスピン拡散の影響を考慮すればよい一致が得られることが確かめられている。試料は第一の実験の場合と同じである。

申請者の第三の実験は混合回転系におけるスピン温度に関するものである。この場合は2種のスピン系に2種の高周波が加えられている。実験はNaCl中の Na^{23} と Cl^{35} スピン系を用いて行なわれた。実験方法はスピンのカロリメトリーと呼ばれるものの一種で、まず Na^{23} スピン系を回転系においてスピン温度の低い状態に用意し、高い温度の Cl^{35} スピン系と熱接触を行なわせて平衡温度を調べるものである。実験結果は混合回転系におけるスピン温度を仮定した計算結果とよく一致する。スピン系の接触の時間がスピン格子緩和時間にくらべて充分短くない場合についてもスピン格子緩和の影響を考慮した検討がなされている。又、スピン系の熱接触の際にNa及びClスピンの1対1に反転する過程のみでなく、多重反転過程がおこなっていることが実験的に見出されている。

参考論文その1は $Na^{23}-Cl^{37}$ 系を用いたスピンのカロリメトリーおよび多重スピン反転の実験で、主論文の第三の実験の先駆をなすものである。参考論文その2からその4までは回転系二重共鳴法を用いて強誘電体 KH_2PO_4 中の K^{39} 核のNMRを検出し、四重極結合定数、非対称定数等を決定したものである。参考論文その5はこれらの定数の温度変化を調べたものである。

論文審査の結果の要旨

回転系スピン温度の仮説は、固体の磁気共鳴飽和現象を説明するために提出されたもので、強い共鳴高周波回転磁場が作用している場合には、固体中のスピン系はこの回転磁場に同期して回転している座標系からみて、温度で記述出来るような平衡状態に達するということを仮定したものである。この仮説は固体の磁気共鳴に関する最も基礎的な概念の一つであって、その当否を実験的に検証することはこの分野における重要な課題である。

申請者の主論文は、同時に2つの高周波が作用した場合について回転系スピン温度仮説の当否を実験的に検討したものである。

主論文における第一および第二の実験において、申請者は静磁場 H_0 の中におかれた一種スピン系に、角周波数 $\omega_0 = \gamma H_0$ 、回転磁場の強さ H_1 をもつ高周波と、一重回転座標系における共鳴周波数 $\omega_1 = \gamma H_1$ に近い周波数をもつ高周波とが同時に作用した場合を取扱い、この2つの高周波に同期して回転している二重回転座標系におけるスピン温度仮説について検討している。

申請者の得た実験結果は二重回転系における断熱消磁および磁化を行なうことが出来、この過程における磁化の変化が二重回転系スピン温度を仮定して得られる理論の結果とよく一致すること、および H_1 が局所場に比べて充分大きい場合には、一重回転系においてゼーマンおよびダイポール温度による記述が可能であり、一重回転系における共鳴周波数 ω_1 に近い周波数をもつ高周波を照射した場合には、二重回転系において一つのスピン温度で記述出来るような平衡状態に達するということである。

第一の結果はSlichterとHoltonによって行なわれた一重回転系断熱消磁および磁化の実験による一重回転系スピン温度仮説の検証の拡張と見なされるものであり、第二の結果はProvotorovの理論の回転

系における検証と考えられるものである。これらの研究は何れも申請者によって最初に行なわれたもので、二重回転系スピ温度仮説の妥当性について、従来得られていなかった実験的検証を与えたものである。

主論文の第三の実験において申請者は2種スピンのそれぞれに共鳴するような二つの高周波が作用している場合を取り扱い、スピカロリメトリーの方法で混合回転系スピ温度仮説の当否を実験的に検討している。結論としては二種スピン系の熱混合後の平衡温度は混合回転系スピ温度仮説にもとづく理論結果と非常によく一致することが得られている。

混合回転系スピ温度仮説の実験的検討はすでに Li^7 — Li^6 系を用いて行なわれたものがあるが、申請者の研究は従来の結果にくらべてはるかに精密で確定的な検証を行なったものである。又、この研究に附随して熱混合の要素過程の一つとして多重スピン反転による過程がおこっていることを報告しているが、これは、申請者によって始めて見出されたものである。

要するに、主論文は従来一重回転系について得られていた結果を拡張し、固体における磁気二重共鳴に際して二重および混合回転系スピ温度概念を用いることが妥当であるということを実験的に示したもので、磁気共鳴の分野において重要な意味をもつ研究である。

参考論文1は混合回転系スピ温度に関するもので、その2からその5までは回転系二重共鳴の方法を用いて強誘電体 KH_2PO_4 中の K^{39} 核のNMRを検出し、電気四重極結合定数等の諸定数を決定し、その温度変化についてしらべたものである。何れも申請者のこの分野における豊富な知識とすぐれた研究能力を示している。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。