

Pt 中の短寿命 β 放射核 ^{13}O の 異状ナイトシフトとスピン格子緩和時間



研究ノート

松多 健 策*

Anomalous Knight Shift and Spin-Lattice Relaxation Time for Short-Lived β -Emitter ^{13}O in Pt

Key Words : β -NMR, Knight Shift, Spin Lattice Relaxation Time, Electronic Structure

1. はじめに

金属結晶中に導入した微量のプローブ核の NMR (核磁気共鳴) から金属内の電子構造をうかがい知ることが出来る。特に、ナイト (Knight) シフト K やスピン格子緩和時間 T_1 は核の位置での電子密度を直接反映する。この様な研究では、微量の注入量でも極めて感度が高い β -NMR 法が有効で、この場合不純物同士の影響を無視して良い。今回は Pt 中の電子のバンド構造を調べるために ^{13}O プローブ核を格子間不純物として植え込み、 β -NMR を観測した¹⁾。

2. 短寿命核生成と β -NMR 法

実験は、高エネルギー重イオン衝突による ^{13}O の生成と分離、Pt 中への植え込み及び β -NMR 法による内部場の観測という手順から成る。図 1 の様に、核子当たり 135 MeV に加速した ^{16}O ビームを Be 標的に照射する。 ^{16}O ビームは 3

個の中性子をはぎ取られ ^{13}O を生成するが、この時同時に生成する様々な原子核を破砕片分離装置 (フラグメントセパレータ) を用いて分離すると、純粋な ^{13}O 核の二次ビームが得られる。反応の際、右又は左の偏向角のみを選ぶと ^{13}O 核は核スピン偏極する。得られた偏極 ^{13}O 核ビームを核子当たり約 10 MeV まで減速した後、4 kOe の強磁場中に置いた捕集体試料に植え込む。偏極した ^{13}O 核の崩壊で放出される β 線は核スピンの方向と反対方向とで非対称に分布するから、この β 線の非対称度から偏極量を知ることが出来る。静磁場と垂直にかけた高周波振動磁場の共鳴条件でスピン偏極が崩れると、こ

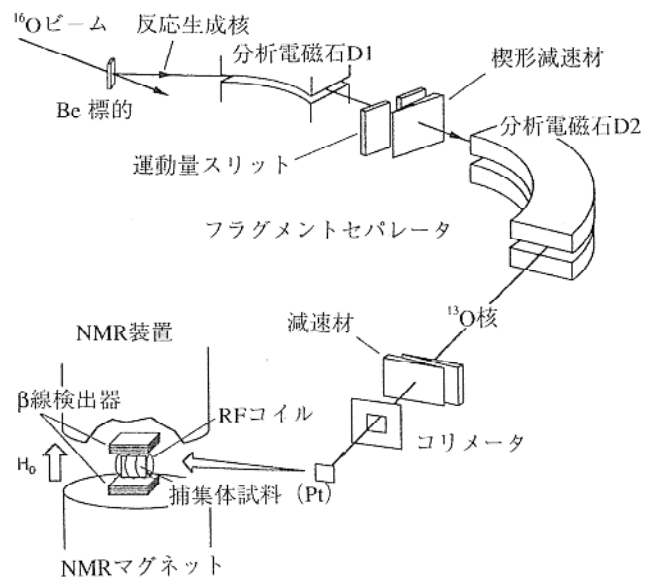


図1 実験装置の概観

*Kensaku MATSUTA
1957年1月6日生
大阪大学理学研究科物理学専攻博士課程修了 1984年単位取得退学
1985年博士号取得
現在、大阪大学理学部物理学科、
助手、理学博士、物理学
TEL 06-850-5520
FAX 06-850-5535
E-Mail matsuta@hep.sci.osaka-u.ac.jp



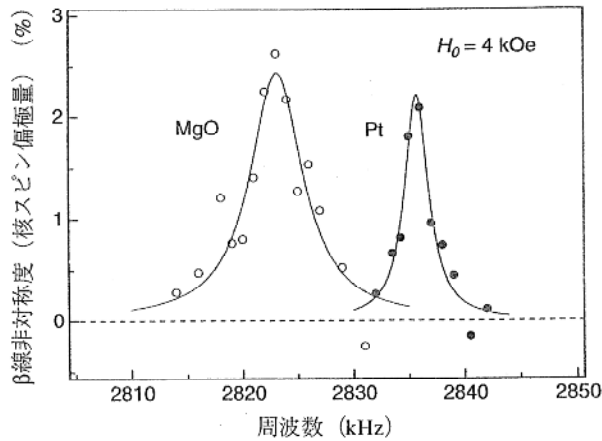


図2 ¹³OのNMRスペクトル
白丸はMgF₂中, 黒丸はPt中のもの.

の非対称度が消失し, これによってNMR効果を検出できる.

3. ¹³Oの磁気モーメントとPt中のナイトシフト及びスピン格子緩和

¹³Oは最も寿命の短い(8.6 ms)β⁺崩壊核種であり, 酸素の同位体として興味を持たれながら生成が難しく, これまでNMRは観測されていなかった. 今回上記の技術によって, NMRスペクトルの観測に成功し, 単結晶MgO中での共鳴周波数(図2左側)から¹³Oの磁気モーメントをμ(¹³O) = -1.3891 ± 0.0005 μ_Nと決定した.

図2右側のNMRスペクトルに示す様に, Pt中の¹³O核では伝導電子の常磁性により共鳴周波数がシフトする. これをナイトシフトと呼び,

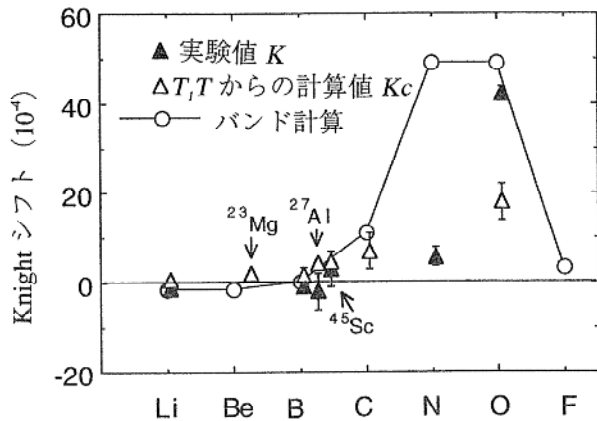


図3 Pt中のナイトシフトの実験値及び理論計算値
実験値は三角で白抜きはT₁Tからの計算値Kc,
白丸は赤井等の計算値.

伝導電子と核とのフェルミ接触相互作用により,

$$K = \Delta H/H = (8\pi/3)\mu_B^2 \rho(E_F)$$

と表されるから, フェルミエネルギーE_Fでの局所電子密度ρ(E_F)を与える. 図3に示す様にPt中のBやAl等の格子間隙不純物核のナイトシフトは比較的小さく, Pt中の電子のバンド構造の特殊性の現れとしてこれまで良く知られていた. ところが, 今回の結果はK(¹³O in Pt) = +4.23 ± 0.14 × 10⁻³と極めて大きく, 高いρ(E_F)を示唆している.

一方, この様にρ(E_F)が高いと,

$$(T_1 T)^{-1} = (128\pi^4 k_B/9h)(\mu/I)\mu_N^2 \mu_B^2 \{\rho(E_F)\}^2$$

に示される様に, スピン偏極の緩和時間T₁が速くなる. これを確認するため室温(T=300 K)でPt中の¹³O核にNMRにおける速い断熱通過(AFP)の方法を適用して核スピン偏極を反転した後, 偏極量の時間発展を40 msにわたって観測した(図4). その結果得られたスピン格子緩和時間T₁ = 9.7 + 2.6 - 1.7 ms (又はT₁T = 2.90 ± 0.65 Ks)は予想通り極めて速く, ナイトシフトの場合と同じく高いρ(E_F)を示唆した.

上の2式からはコリンガの関係式T₁TK² = (h/8π²k_B)(γ_e/γ_N)²が導かれるが, フェルミ接触相互作用が主要な相互作用であるなら, T₁

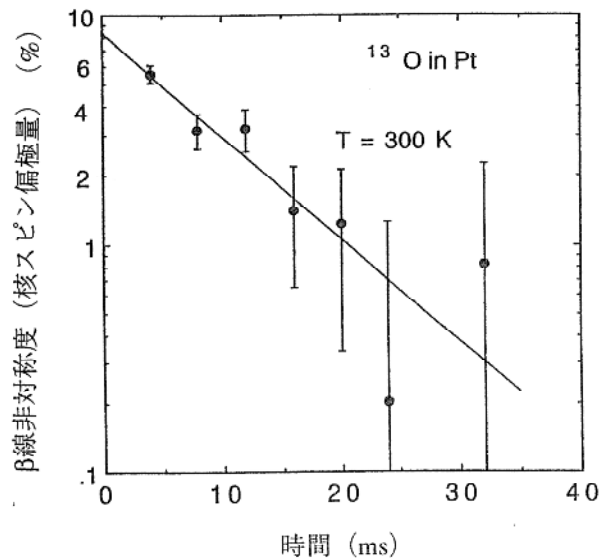


図4 ¹³Oの核スピン偏極の時間変化

の実験値からコリンガの関係式を通して得られる Kc と実験値の K との一致は良いはずである。実際今回の T_1 からは $Kc = 1.8 \pm 0.3 \times 10^{-3}$ と計算され、これが K の実験値と近い事から、フェルミ接触相互作用を主要因と考えてほぼ正しい様である。

4. KKRバンド計算

通常フェルミ接触相互作用で今回の異常ナイトシフトが説明可能かどうか興味を持った赤井等は Pt 中の第二周期典型元素の電子のバンド構造を KKR 法を基礎にして計算した (図3)。通常、電子密度のバンド構造には s-d 混成による反結合状態の山がフェルミレベルより高いエネルギーに有り、フェルミレベルは局所電子密度 $\rho(E_F)$ の谷間に位置する。価数の小さい Li から C までがこの場合に当たり、 $\rho(E_F)$ が低いためにナイトシフトが小さくなっている。

赤井等の予言によると、この反結合状態の山は価数の増加と共に低エネルギー側に移動し N, O の付近でフェルミレベルの上に来る。このため N, O でナイトシフトが巨大になり、今回の ^{15}O の異常ナイトシフトを比較的良く再現する。F では山はさらに低エネルギー側に移動す

るためナイトシフトは再び小さくなる。

しかしながら、図3に示す様に、後に行った実験で ^{12}N のナイトシフトは比較的小さく、 ^{13}O 程大きくない事が分かった。バンドの山の移動は赤井理論に比べて遅れているように見える。この推論が正しければ、F でのナイトシフトは小さくならず大きい可能性が高い。今後 F や第三周期での測定から Pt のバンド構造がもっと詳しく明らかになると期待する。

参考文献

- 1) K. Matsuta, M. Fukuda, M. Tanigaki, T. Minamisono, Y. Nojiri, H. Arai, T. Izumikawa, M. Nakazato, M. Mihara, T. Yamaguchi, A. Harada, M. Sasaki, T. Miyake, T. Onishi, K. Minamisono, T. Fukao, K. Sato, Y. Matsumoto, T. Ohtsubo, S. Fukuda, K. Yoshida, A. Ozawa, S. Momota, T. Kobayashi, I. Tanihata, J. R. Alonso, G. F. Krebs and T. J. M. Symons, *Hyperfine Interactions*, 97/98(1996), 501-508.

