

論文審査の結果の要旨

氏名 高野 俊

本論文は、常圧ゼロ磁場において特異な量子臨界性を示す重い f 電子系化合物ベータ YbAlB₄ について、その特異な磁性の起源を探るために、ホウ素およびアルミニウムサイトの核磁気共鳴 (NMR) 実験を行った結果を報告したもので、全 6 章より成る。

第 1 章では、これまでの重い f 電子系の研究を背景として、ベータ YbAlB₄ の特異な性質が述べられている。特に、常圧ゼロ磁場において Yb が価数揺動状態にあるにも関わらず、低温の磁化率や比熱が絶対零度に向かって発散する量子臨界性を示すこと、層状の結晶構造における結晶場効果により、層に垂直な c 軸方向に著しい 1 軸性の磁気異方性を示すこと、2 ギガパスカル (GPa) 以上の圧力印加によって電気抵抗率の温度依存性に反強磁性転移を示唆する異常が現れることなど、本研究を遂行する上で重要な先行研究の結果がまとめられている。

第 2 章では本研究の主題である NMR 測定の原理と、結果の解析に必要な理論的基礎が、第 3 章では実験に用いた試料の合成法、NMR の測定装置、極低温測定に用いた希釈冷凍機の動作原理などの実験手法について、それぞれ述べられている。

続く第 4 章 (実験結果) および第 5 章 (解析と考察) が本論文の中心部分である。第 4 章では、まず常圧下における NMR 測定の結果が示されている。最初に、B1、B2、B3 の 3 種類の非等価なホウ素サイトおよびアルミサイトにおける NMR スペクトルを、磁場の方位を変えながら詳細に測定し、各サイトのナイトシフトおよび電場勾配のテンソル成分を決定した。Yb をリング状に囲むホウ素サイトの超微細相互作用の主軸が放射状に整列していることを見出し、Yb の 4f 電子とホウ素の伝導電子の軸対称な混成を支持する結果を得た。またナイトシフトおよび核磁気緩和率 ($1/T_1$) の温度依存性の測定から極低温における量子臨界性を検証した。c 軸方向の磁場下における B2 サイトの低温の $1/T_1T$ の値は磁場の低下とともに増大し、磁化率が示すゼロ磁場に向かっての量子臨界的な増大と整合する。しかし強い 1 軸性異方性のために低エネルギー磁気励起に影響を及ぼさないと考えられる ab 面内の磁場に対しては、1K 以下の極低温においても期待された $1/T_1T$ の増大は観測されなかった。これはこの物質の量子臨界性に再考を促す重要な結果である。更に、B2 サイトとアルミサイトでは $1/T_1T$ の異方性が大きく異なること、また超微細相互作用の強いアルミサイトの方が B2 サイトより電子相関に起因する $1/T_1T$ の増強因子が小さいこと、などの予想外の結果が得られた。

次に高圧下の測定を行った。電気抵抗率に反強磁性転移を示唆する異常が観測された 3GPa において、3 つのホウ素サイトやアルミサイトいずれにおいても、NMR スペクトルは低温まで常圧と変化がなく、磁気秩序は存在しないことが結論された。しかし 8GPa

まで圧力を増すと、全てのサイトにおいて 8K 以下で NMR 共鳴線の分裂が観測され、磁気秩序の存在が明らかとなった、更にホウ素サイトの共鳴線の数が c 軸方向の磁場が 5 テスラと 1 テスラの場合で異なることから、磁場によって磁気構造が変化することが結論された。この結果はこの物質が高圧下で磁気秩序を示すことの初めての微視的な証拠である。

第 5 章では、核磁気緩和率及び高圧下 NMR スペクトルについての解析結果が述べられている。まず、結晶の対称性に基づく各サイトの超微細相互作用テンソルと核磁気緩和率に現れる構造因子の考察によって、B2 サイトとアルミサイトで見られた異方性の違いが説明できること、両サイトにおける $1/T_1T$ の増強因子の違いが、磁気相関が発達する波数領域によっては説明可能であることが示された。次いで同様な考察によって 8GPa の高圧下、1 テスラの磁場下で観測されたホウ素サイトの共鳴線の分裂を再現する反強磁性磁気構造が同定された。この磁気構造ではアルミサイトの共鳴線は分裂しないはずであるが、1 テスラの磁場下でアルミサイトの NMR 測定を行うことは今後の課題である。またこの磁気構造を安定化する磁気相関はアルミサイトの $1/T_1T$ の増強には寄与しないことも判明した。

最後の第 6 章では全体のまとめが述べられている。

以上述べたように、本論文は重い電子系化合物ベータ YbAlB_4 の特異な磁性について、微視的な実験により重要な新しい知見をもたらしたものである。なお、本論文の第 4 章は Mihael Grbic、木村和博、吉田誠、瀧川仁、Eoin O'Farrell、久我健太郎、中辻知、播磨尚朝の諸氏との共同研究であるが、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上 1 9 3 8 字