

UPt₃ 超伝導状態についての現象論

京都大学大学院理学研究科 大見哲巨

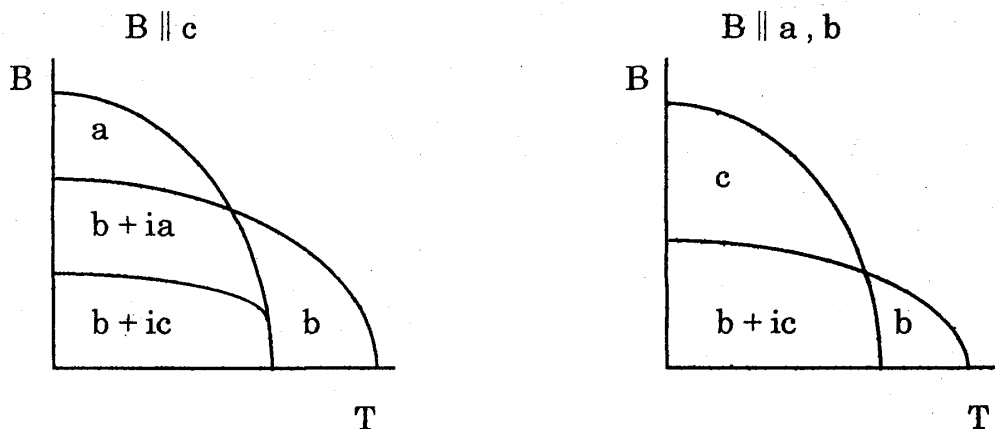
UPt₃の超伝導対の対称性が藤達のナイトシフトの実験によりほぼ確定した。その状態は我々が現象論の立場から提唱していたノンユニタリ状態すなわち弱い自発磁化の発生を伴った強磁性的超伝導状態とも言うべき特異な状態である。なぜこのような状態が実現するのか明かにするのが今後の重要な課題になった。

藤達の実験結果をまとめると次の表のようになる。

	a 方向	b 方向	c 方向
強磁場	×	× (?)	×
弱磁場	×	○	○

表は常伝導から超伝導へさらに超伝導状態で温度を下げ B 相または C 相にしたとき、かける静磁場の方向により、また強磁場か弱磁場かによってナイトシフトが変化するかどうかを示してたものである。

この結果を説明できる超伝導対の状態はユニークに決まると我々は考える。即ち対はスピン三重項状態、B 相でのスピン状態は直交する二つの d ベクトルを用いて $d_1 + id_2$ ($d_1 \perp d_2$) と表わされるノンユニタリ状態である。d ベクトルで表わされるスピン状態は d の方向からみて上向きスピンと下向きスピンの電子が対を作った状態であるということから明らかなように d ベクトルの方向に磁場をかけると一重項状態と同じように超伝導状態で帯磁率は減少する、その結果ナイトシフトは温度変化する。この様に考えると磁場-温度(B-T)平面での対のスピン状態は図の様に与えられるであろう。



図において a, b, c はそれぞれ a 軸、b 軸、c 軸方向のベクトルを表わしている。

$B=0$ で A 相のスピン状態が b 、B 相のスピン状態が $b + ic$ であるのは symmetry breaking field (反強磁性の揺らぎ方向と考えている) が b 方向を、それより弱い結晶場が c 方向を優先するように働き、凝縮エネルギーが大きい方から b 方向、 c 方向、 a 方向の順になっているからである。また結晶場は非常に弱いと考えられる。 $B \parallel c$ での B 相において、スピン状態が $b + ic$ から $b + ia$ に変わるのは、磁場の効果が結晶場に打ち勝って d ベクトルを c 方向から a 方向に向けたと説明できる (d ベクトルは磁場に垂直に向きたがる)。

ここで強調しておきたいのは表には書かなかったが藤達の実験において、 b 方向と c 方向で $\bigcirc$ から $\times$ に変わる磁場の強さが違うということである。既に述べたが $B \parallel c$ のときにはこの変化が d ベクトルが磁場に垂直な方向へ回転するという事で説明された、一方 $B \parallel b$ では B 相から C 相に転移することで b 方向の成分が消えるためと説明される。この様に実験を説明するには異なったふるまいをする二種類の d ベクトルが存在する必要がある、この結果は我々の現象論を強く支持する。

また付け加えると $B \parallel a$ でナイトシフトに変化がないのは図に示したように d が a 方向を向かないからである。

最後に表で ? マークを付けた強磁場、 $B \parallel b$ 場合について述べる。我々の現象論ではここは C 相、 d ベクトルは c 軸方向を向いている。一方、実験では B 相から磁場を強くして C 相に入ったとき、一旦ナイトシフトが温度変化しなくなるがさらに磁場を強くすると、また温度変化するようになる。この現象はそのまま素直に解釈すると磁場が強くなってわざわざ磁場のエネルギーを損する b 方向を d ベクトルが向くということで、それは不自然である。なにか新しい現象が起きていると考えるのが妥当ではないかと我々は思う。ともかくこの現象を説明するにはもっと詳しい実験とそれに伴う理論が必要である。