

# 強磁場下における超流動 $^3\text{He}$ のスピンドイナミクス

学籍番号 46122 石本研究室 小林 聡

## 【背景と目的】

$^3\text{He}$  は核スピン  $1/2$  を持つフェルミ液体で、原子の零点振動エネルギーが大きいため約 34bar 以下では絶対零度でも液体として存在し量子液体と呼ばれている。そして約 2mK 以下で超流動転移する。超流動  $^3\text{He}$  はスピン・軌道角運動量が有限で  $S=1, L=1$  の P 波の対形成をしている。従ってこの超流動状態の秩序パラメータは、自由度が 18 個あり非常に多様な状態が可能である。実際にはゼロ磁場下では A 相, B 相という 2 つの相があり、磁場を印加すると  $A_1$  という相が新た

に出現することが知られている。 $A_1$  相は図 1 において A 相と常流動相の間にあるわずかな部分を指す。常流動相と  $A_1$  相,  $A_1$  相と A 相の各転移温度をそれぞれ  $T_{c1}$ ,  $T_{c2}$  で示す。

$A_1$  相では印加された磁場と反平行のスピン (磁気モーメントは磁場と平行) の対を持つものだけが超流動となる。このため、 $A_1$  相の超流動は強磁性的であるという特徴がある。

これまで  $A_1$  相の実験の多くは Rutgers 大学の Kojima 研究室において行われてきたが [1][2], 本実験では 29bar までの広い圧力範囲と、8Tesla までの強磁場において色々な条件下においてスピンの緩和時間を測定した。

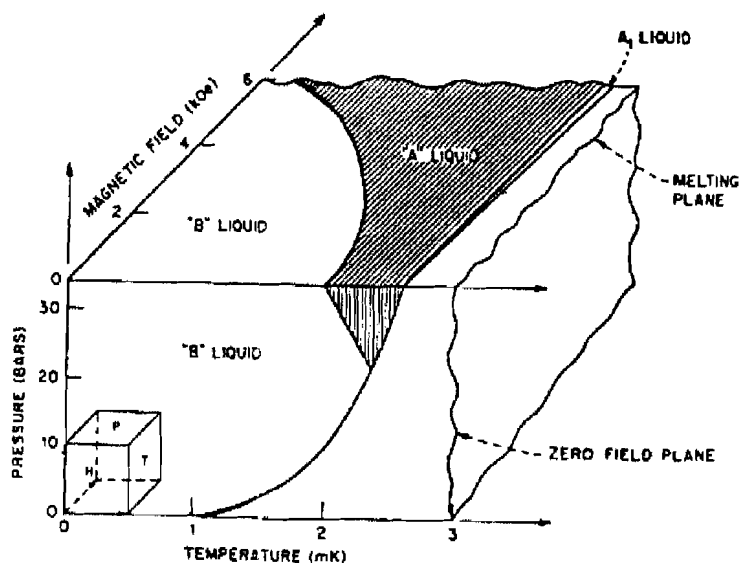


図 1. 超流動  $^3\text{He}$  の相図

## 【実験】

スピンの緩和時間の測定にあたり、磁気噴水効果 [3] という現象を利用した。これは 2 つの容器の間を超流動成分しか通れない superleak と呼ばれる細い管でつなぎ、ここに磁場勾配をかけると圧力差が生じ、超流動のみが片方の容器に移動するというものである。

図 2 に実験 Cell の概略図を示す。Cell は外側の Reserver Chamber と内側の Detector Chamber に分かれており、両者は Superleak によってつながっている。Superleak は 5 つのチャンネルから成り、 $10\mu\text{m} \times 3\text{mm} \times 2.2\text{mm}$  が 2 つと  $10\mu\text{m} \times 3\text{mm} \times 3\text{mm}$  が 3 つである。Detector Chamber には固定電極と Diaphragm (可変電極膜) からなる高感度差動圧力計が取り付けられている。

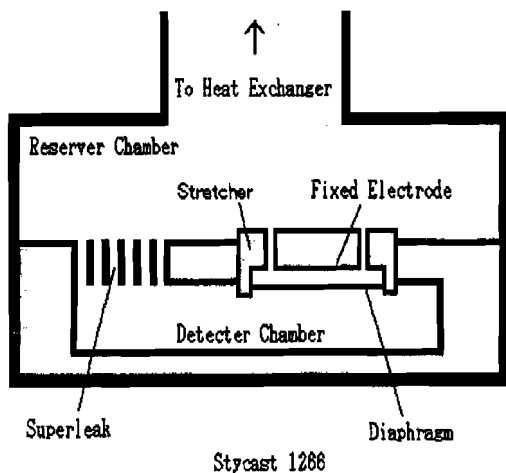


図2. Cell概略図

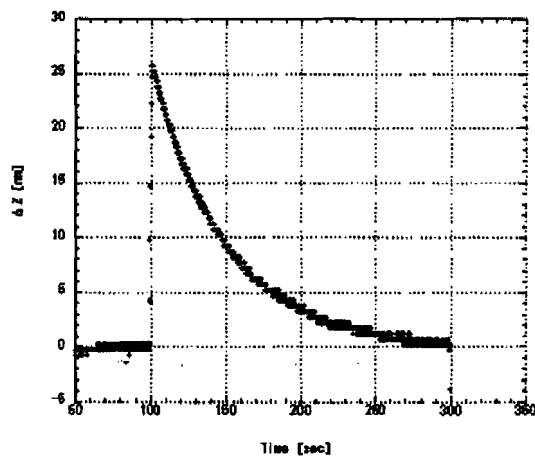


図3. 磁気噴水効果による Diaphragm の変位

Cellに磁場勾配を印加すると、超流動成分のみが Superleak を通って Detector Chamber 内へ入り Diaphragm が変位する。磁場勾配を印加し続けていてもスピン密度が外部磁場と平衡になるに従い圧力差は減少し、Diaphragm は初期位置に戻る。この様子を表したのが図3である。

このグラフから Diaphragm の変位が指数関数的に減衰していることがわかる。この減衰部分を指数関数でフィッティングすることにより Diaphragm の緩和時間を求めた。

測定は各磁場、圧力において  $T_{c2}$  から  $T_{c1}$  までゆっくり温度を上げながら  $A_1$  相全域にわたって行った。

【測定結果】

図4は21barにおいて磁場を0.2Teslaから8Teslaまで変えた時の磁場依存性を示しており、横軸が換算温度  $r=(T_{c1}-T)/(T_{c1}-T_{c2})$  で縦軸が Diaphragm の緩和時間である。グラフでは右側が  $T_{c2}$ 、左側が  $T_{c1}$  となっている。緩和時間は  $T_{c2}$  から温度が上がるにつれて増加している。各温度ごとに見ると磁場が高い方が緩和時間が長い。また、3Tesla以上では  $r=0.65$  付近に kink が見られるが、この原因はまだよく解っていない。

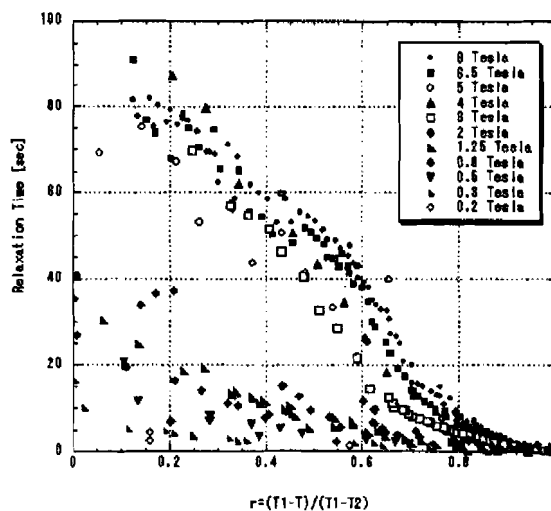


図4. 各磁場における Diaphragm の緩和時間の温度変化 (21bar)

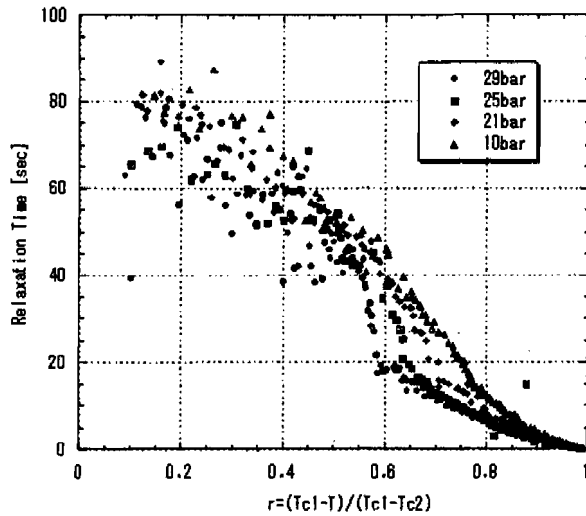


図5. 各圧力における Diaphragm の緩和時間の温度変化 (8Tesla)

図6はその一例で8Tesla, 25barのグラフである。フィッティングによると $(1-r)$ の係数は-1.58で、他のほとんどの磁場、圧力に対してもこの係数は約-1.5であることが判った。この値は圧力、磁場に依存しない普遍的な値である可能性が高い。このような現象の原因は全く不明であるが、 $A_1$ 相にわずかに存在する平行スピン対 (マイノリティスピン対[4]) の効果の可能性がある。

図5は磁場8Teslaにおいて圧力を10, 21, 25, 29barと変えた時の Diaphragm の緩和時間の圧力依存性を表している。

各温度において圧力が高いほど緩和時間は短くなっている。以上、緩和時間の温度・圧力・磁場依存性が $A_1$ 相に固有のものなのか、壁に吸着された固体 $^3\text{He}$ に依るものなのか今のところ判っていない。

そこでスピンの流れに関する表式を用いて得られた Diaphragm の緩和時間をスピンの縦緩和時間 $T_1$ に変換し、 $T_{c2}$ 近傍における $1/T_1$ の値を $(1-r)$ の関数として求めた。

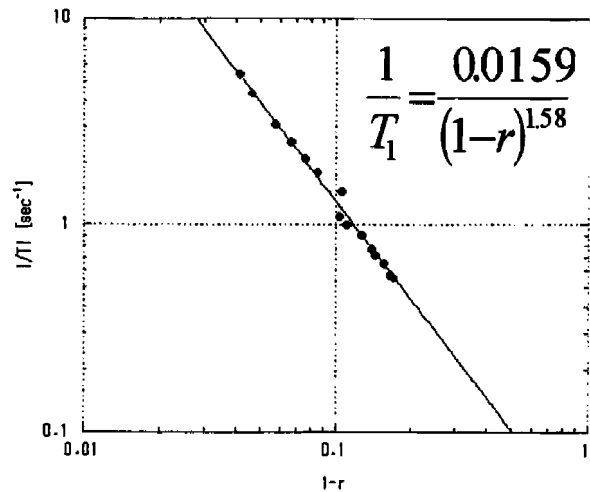


図6.  $1/T_1$  対  $1-r$  のグラフ (8Tesla, 29bar)

【参考文献】

- [1] S.T.Lu, Q.Jiang, and H.Kojima, Phys.Rev.Lett.62, 1639 (1989)
- [2] Q.Jiang and H.Kojima, Phys.Rev.B 45, 12616 (1992)
- [3] M.Liu, Phys.Rev.Lett 43, 1740 (1979)
- [4] H. monien and L. Tewordt, J. Low Temp. Phys. 60, 323 (1985)