

Fig. 6

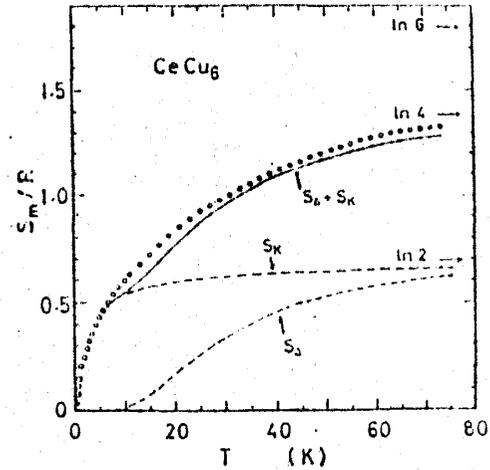


Fig. 7

17. パルス法核磁気共鳴による ^3He の流れの研究

鳥塚 潔

§ 目的

従来までの He II の流れの状態の研究は、温度、圧力等の熱力学的な量を測定し、それらの値をもとにして流れの状態を推測しているにすぎなかった。我々の研究室では He II の中に ^3He を少量入れてその NMR signal を観測することによって ^3He の動きを捉え、これと熱力学的な測定量とを合わせて He II の流れの状態を解明しようという方向で、研究を開始している。本研究では特に、 ^3He の速度分布、空間分布を得、それによって He II の流れの状態に関する直接的な知見を得ようと考え、実験を計画した。

§ 実験の原理

この実験では、パルス法核磁気共鳴を用いる。使用されるパルス系列は、Carr-Purcell-Meiboom-Gill 系列 (図 1) である。磁場勾配 G の存在する空間内 (図 2) を層流状態で流れている流体に対してこの系列のパルスを加えると、1st echo の振幅に流れに関する情報が含まれる。ただし磁場勾配の方向は流れの方向に平行とする。流体内のすべての磁気モーメントは、流れがなければ 180° パルスによって回転座標の y' 軸上に焦点を結び、これによって 1st echo が生じる。しかし、流れが存在する場合には、 y' 軸上ではなく、 y' 軸からある角度 ϕ だけずれた位置に焦点を結ぶ (図 3)。層流の場合には

$$\phi = r G v \tau^2$$

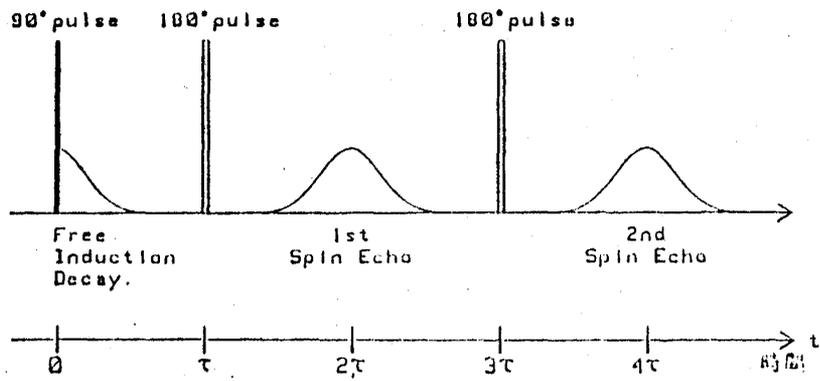
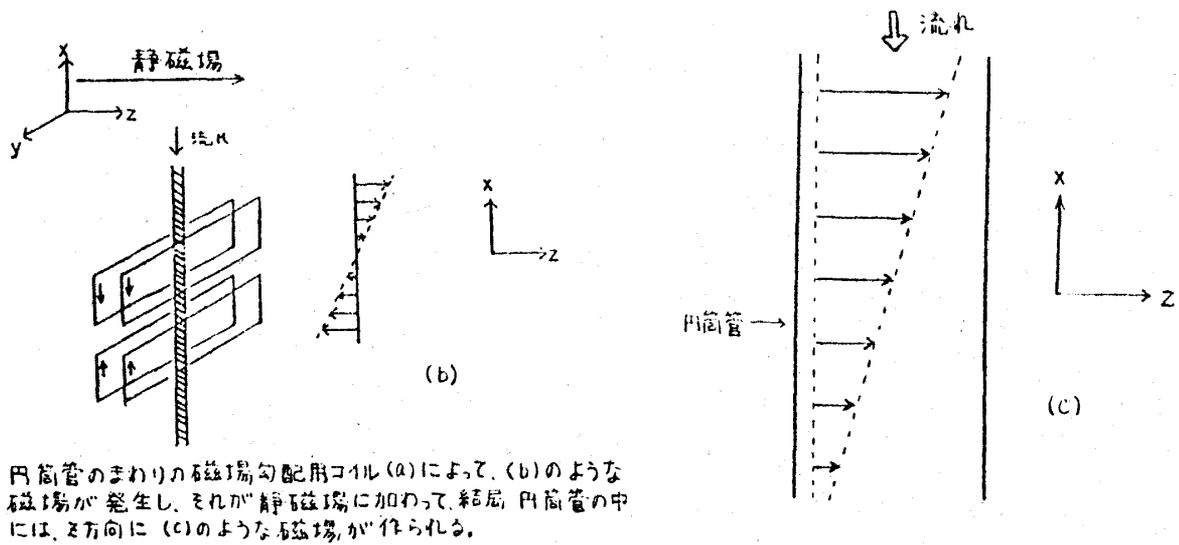


図 1



円筒管のまわりの磁場匀配用コイル(a)によって、(b)のような磁場が発生し、それが静磁場に加わって、結局円筒管の中には、z方向に(c)のような磁場が作られる。

図 2

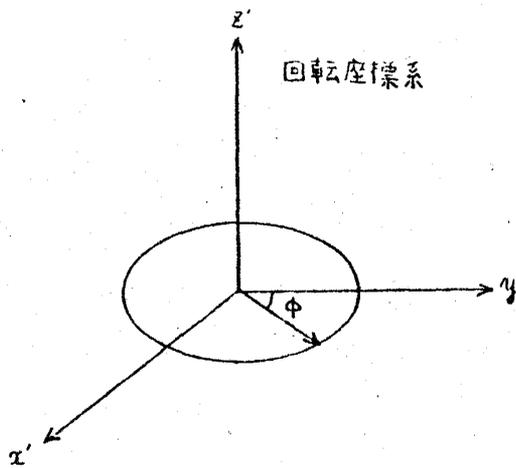


図 3

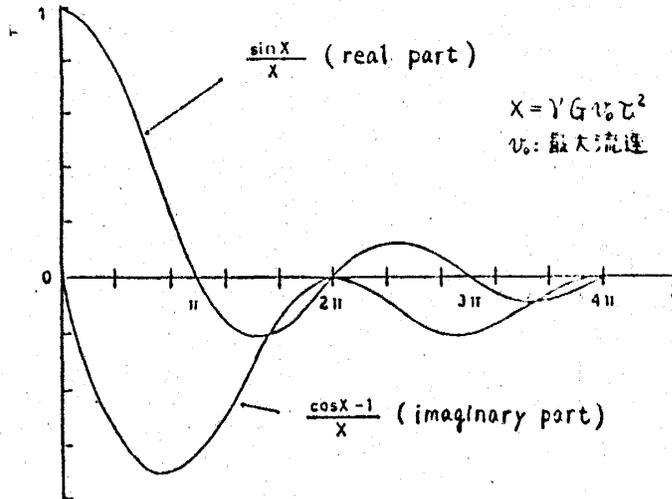


図 4

であることが証明される。ここで、 r は磁気回転比、 G は磁場勾配の大きさ、 v は流れている粒子の速度、 τ は 90° パルスと最初の 180° パルスとの間の時間間隔である。流体内のすべての磁気モーメントが y' 軸から角度 ϕ だけずれた位置に焦点を結んで1st echoを生じるということを数式を用いて書くと、粒子の流れの速度分布を $P(v)$ として、

$$A \propto \int P(v) \exp(i r G v \tau^2) dv \quad \text{①}$$

となる。 A は1st echoの振幅である。この式より、1st echoの振幅と速度分布 $P(v)$ とはFourier変換の関係にあることがわかる。従って、1st echoの振幅の G 変化に対する変化を測定し、Fourierの逆変換を行えば $P(v)$ が求められる。

§ 現段階における状況

まず実験装置を製作し、そしてその特性を個別的に調べた。その後、取り扱いに便利な水を用いて層流、特にPoiseuille流を作ってみて、実際に1st echo振幅の G 変化に対する変化を測定してみた。そしてそれが理論値と一致するかどうか比較した。Poiseuille流に対する1st echoの振幅の理論値は①式より計算できる(図4)。こうして理論値とうまく合えば、その実験装置は正しく動作していると判断できる。しかし、実際にこの実験をやってみると、磁場勾配の大きさの測定に関して検討する必要があることがわかった。

§ 結果と今後の課題

送信系、受信系の装置はいずれもみな正常な動作をしていることがわかった。磁場勾配に関

しては、二通りの方法でその大きさを測定したが、両者は一致しなかった。この原因を究明することがまず必要である。その後、もう一度水を用いて Poiseuille 流を作って同じ実験を繰り返す、その結果を使って Fourier の逆変換を行ない、速度分布 $P(v)$ を求めてみる。それがうまく理論値と合えば、もはや水を用いた実験は必要ではなくなり、ヘリウムを試料とする実験に移行することができる。

18. TmVO_4 の Kapitza 抵抗測定と ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ 稀薄溶液の冷却

水谷直樹

§ 目的

液体 ${}^4\text{He}$ 中に dilute に溶けた ${}^3\text{He}$ 、たとえば数%溶液中の ${}^3\text{He}$ の超流動状態の実現が興味をもたれているが、その転移温度は高く見積もっても 0.1 mK 以下とされている。液体 He を sub-mK あるいは、それ以下に冷却する際に障害となるのが、低温で増大する Kapitza 抵抗である。Kapitza 抵抗の機構自体、まだよくわかっておらず、 10 あるいは 20 mK 以下での、その振舞も説明できていない。

現在は、主に Cu 等の粉末が冷却媒体として用いられているが、我々は、何か他の物質で、冷却にとって良い物質はないかと考え、まず TmVO_4 をとり上げた。hyperfine enhanced 核スピン系の TmVO_4 は、我々のグループで、スピン-格子緩和時間が低温で非常に短かく、又核スピン系は、 80 mK まで、オーダーしないことがわかっている。

我々は mixture 冷却の可能性を見積もるために、 TmVO_4 と mixture の間の Kapitza 抵抗を測定した。又 ${}^3\text{He}$ に対しても Kapitza 抵抗を測定した。 ${}^3\text{He}$ に対しては、Tm 核スピンと ${}^3\text{He}$ 核スピンの magnetic coupling による Kapitza 抵抗の減少が、期待される。Kapitza 抵抗の機構解明に対する興味という点からも、今回の実験結果が、1つの資料となるといえる。size 効果なども考えられるので、 TmVO_4 の単結晶と powder について、それぞれ ${}^3\text{He}$ と $5\% {}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ dilute mixture に対して Kapitza 抵抗を測定した。

§ 装置と測定方法

測定方法は、スピン温度緩和法で、Tm 核スピンと液体 He の間の熱抵抗を測定した。装置を図 1 に示す。 TmVO_4 の単結晶の大きさは、 $4 \times 4.5 \times 23\text{ mm}$ 。powder は、 Tm_2O_3 の