

p-27

核整列固体 ^3He の音速の測定

京都大学大学院理学研究科 山口真澄

^3He は常圧では絶対零度でも液体であり 35 気圧以上の高圧のもとで固体になる。この固体は量子効果により原子どうしが互いに位置を交換しあっているという性質を持ち大変興味深い。

固体 ^3He は低温で融解圧近傍では bcc 結晶をとる。核スピン 1/2 を持つので上記の交換相互作用の効果により約 1mK 以下で U2D2 相と呼ばれる反強磁性秩序状態になる。これはスピンの Up の面と Down の面が (100) 方向に2つずつ交互に並んだ構造である。U2D2 では bcc の対称性は失われるので (100) 及びそれに等価な3つの軸をそれぞれ異方軸とする磁区が存在するようになる。

交換相互作用は固体の密度に強く依存するので超音波を利用してスピン系を研究をすることができる。

実験は 0.5mK から数 mK にわたって 10MHz の超音波を用いて音速の測定を行っている。まず液体 ^3He を核断熱消磁冷却装置を用いて 0.5mK まで冷却する。これを融解圧より上に数 mbar 加圧して HeatPulse を加えると望みの場所に種結晶を作ることができ、この種結晶を適当な方法で超音波トランスデューサーの間に成長させる。これにより核整列固体 ^3He の精密な研究をする上では重要な単結晶単磁区の結晶を作ることができる。また、U2D2 の共鳴周波数は結晶軸と磁場とのなす角により、温度の関数として与えられているので、超音波の測定と同時に NMR を測定することで温度及び結晶と磁気異方性軸の方位を知ることができる。

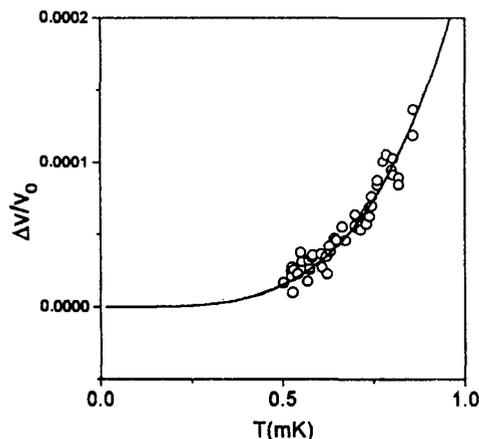


fig U2D2 における音速の変化

左図は U2D2 相での音速の温度変化の一例である。 $\Delta V/V_0$ は転移温度 T_N 以下では内部エネルギーを用いて

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta U}{2V_0 \rho} \gamma (\gamma + 1) \quad (1)$$

の様に見える。U2D2 相での内部エネルギーはマグノンによって記述されるので

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{1}{2V_0^2 \rho} \gamma (\gamma + 1) \left[\frac{\pi^2 \hbar}{15c^3} \left(\frac{k_B T}{\hbar} \right)^4 \right] \quad (2)$$

の様になり、音速の変化は T^4 に比例する。

ここに V_0 は音速、 ρ は固体の密度、 γ は交換相互作用に対するグルナイゼン定数、 c

はスピン波の伝搬速度である。

図の実線は T^4 でのフィットである。これは $\gamma = -18$ 、 $c = 7.8 [\text{cm/sec}]$ として 10% の範囲でよく一致している。