

修士論文の和文要旨

大学院 電気通信学研究科 博士前期課程		量子・物質工学専攻
氏名	小林 利章	学籍番号 0333009
論文題目	多孔質体中の ⁴ Heの超音波測定	

2004年, Kimらはねじれ振り子を用いて多孔質 Vycor に閉じ込めた固体 ⁴He の測定を行い, 0.2K 以下の低温でねじれ振り子の振動に固体が追従しない超流動的な振る舞いを観測した。[1] 観測された超流動成分は低温においても 1% 程度で, 振動速度が 33 $\mu\text{m/s}$ 以上では臨界速度を超え超流動が抑制される。

我々は, 同様に多孔質 Vycor 中に固体 ⁴He を生成し, 超音波を用いて固体 ⁴He の超流動の観測を試みた。一般に音速 v は密度 ρ , 弾性定数 C を用いて $v = \sqrt{C/\rho}$ と表される。多孔体中の ⁴He が超流動に転移すると超流動成分が超音波の振動に追従しなくなり, 有効な密度が減少し音速上昇が観測され, 超流動が確認できる。しかし Kim らにより観測された固体の超流動の臨界速度は小さく, 一般に適用されるパルスエコー法では超音波の振動速度が大きくなり臨界速度を超え, 観測できない可能性がある。そこで我々は, 試料内に連続した超音波を入射し定在波を励起してその共鳴周波数の変化から音速の変化を求める共鳴法を利用した。これにより 1 $\mu\text{m/s}$ 以下の微小振幅での測定が可能となった。共鳴周波数の変化と音速変化は $\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta v}{v}$ で関連付けられる。測定に用いた試料は多孔質 Vycor ガラスの両端に縦波または横波の超音波トランスデューサを貼り付けた。多孔質 Vycor ガラスは空孔率 28%, 平均孔径 4nm, SiO₂ が主成分の多孔質体である。見かけの密度は 1.5g/cm³ で, ガラス自体の密度はおよそ 2g/cm³ である。固体 ⁴He の超流動転移に伴う音速変化は, 多孔質 Vycor の空孔率と密度, ⁴He の密度, Kim らの報告による固体 ⁴He の超流動密度から計算し, 最低温でおよそ 500Hz 程度 (図中の矢印) であると見積もった。高圧試料容器内に設置し, 高圧の ⁴He を冷却することで固体 ⁴He を生成した。測定は励起振幅を変えて音速の温度依存性を測定し, 各振幅の温度依存性を比較することで超流動現象の検出を試みた。

図 1 は, 0.47 $\mu\text{m/s}$ から 148 $\mu\text{m/s}$ まで, 4 つの振動速度で測定した音速と検出された定在波の振幅の温度依存性を示す。振幅は比較のために上下にずらして描いた。音速の測定精度は 10⁻⁵ 以上で, 固体超流動に伴い期待される周波数の上昇をとらえるのに十分な精度を確保した。測定結果は, Vycor ガラス固有の音速の温度依存性により 0.2 K 付近にピークがある。臨界速度以上で超流動が抑制される 47 $\mu\text{m/s}$ 以上の振動速度での測定と, 4.7 $\mu\text{m/s}$ 以下の超流動が抑制されていない測定を比較すると, 測定誤差内で音速変化が一致し, 超流動の兆候は観測されなかった。

[1] E. Kim & M. H. W. Chan, Nature, **427**, 225 (2004)

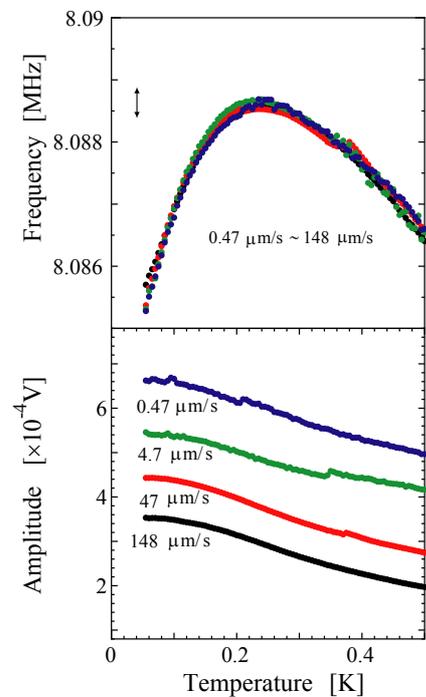


図 1: 共振周波数と検出された振幅の温度依存性 数字は振動速度, 矢印は見積もった超流動に伴う音速変化