

Title	Elastic Surface Wave による液体ヘリウムの実験
Author(s)	赤尾, 文雄; 徳村, 正夫
Citation	大阪大学低温センターだより. 1977, 18, p. 4-6
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/10875
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

Elastic Surface Waveによる液体ヘリウムの実験

産業科学研究所 赤尾文雄, 徳村正夫(吹田 3562)

液体ヘリウムの音波吸収の研究, 特に T_λ 附近の吸収, 分散の研究は多くの人々によって行われています。又マイクロ波領域の超音波を用いて ^4He の膜の音波吸収についての研究も出て来ました。一方固体表面と液体ヘリウムの接触している場合のフォノン伝達の問題, いわゆる Kapitza Conductance の研究があります。この実験は超伝導ジャンクションを用いる数百GHz の超音波の発生と検出の技術の開発によってくわしく調べられ,⁽¹⁾ 今までの Khalatnikov の理論⁽²⁾ に対して, 新しい理論が出ています。⁽³⁾

超音波トランスデューサーが液体ヘリウムに浸されているとき, その境界に於ける音響的ミスマッチの状況は興味のあることです。

ここで述べるノートは表面波の超音波を用いて, 固体から液体ヘリウムへの音波の伝達を T_λ 附近で測定したものです。

表面波(レーリー波)が固体を伝わるときは, 表面に垂直の方向に長い楕円運動をしていて, 粒子の運動は波の進行方向に後方回転しているという特徴をもっています。即ち縦波と横波のコンビネーションとして表わせます。この表面波の発生と検出には, ピエゾ素子の板の上に二組の格子状の電極をフォトリソして作り, 一組の方に電磁波パルスを加え, 表面波を発生します。音波は固体の表面を伝わり他の一組の電極で検出されます。この様な方法で発生しうる表面波の周波数は現在のところ数 GHz までです。表面波の伝播は板の表面の状態にびん感で, 少し息をかけても忽ち大きい減衰を生じます。これを逆に利用して検出されているエコーが真の表面波かどうかのチェックに用います。

今この表面波トランスデューサーを液体ヘリウム中に浸してみると, どの様な表面波の減衰が生じるかを考えてみます。

表面波の減衰の原因の一つは, 表面から液体中に出てゆく縦波による減衰です。表面波によって生じた粒子振動の垂直成分によって, トランスデューサーをとりかこんでいる液体 ^4He 中における密度変化は圧縮波として出て行く。その角度は液体中の縦波の速度 V_F と表面波の速度 V , によってきまる。今の場合 V_F は V に比べてずっと小さいので縦波は殆んど表面に直角方向に放出される。(Fig.1.を参照)

この様な場合, 表面波の縦波の放出によって

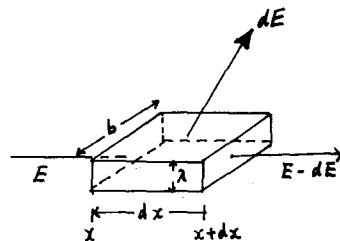
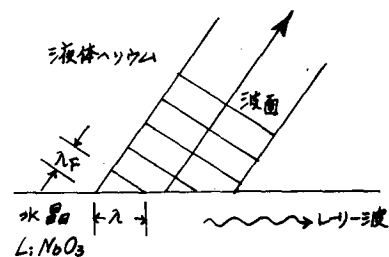


Fig. 1

生じる減衰は

$$\alpha_L \text{ (db)} = (1/E) dE/dx = 4.34 \times \rho_F V_F / \rho V \lambda \quad (\text{cm}^{-1}) \dots\dots\dots (1)$$

ρ_F は液体の密度, ρ は固体の密度, λ は表面波の波長

となります。これは液体が表面波の波長よりもずっと小さい平均自由行路をもつ連続体と考えた場合に適用されます。

もう一つの減衰は横波によるものです。即ち frictional loss です。

Fig.1 を参照しつつ, 粘性力 F をもとめると, $F = \eta (b dx) W / l$ となります。 W は表面での粒子速度, η は viscosity, そして l は液体中への横波の浸入度を表わします。これらから表面波の frictional loss を求めますと,

$$\alpha_S = \frac{dE'}{E' dx} = \frac{(\rho_F \eta \omega^2 / 2)^{1/2}}{4 \pi^2 \rho V^2} \times 4.34 \text{ (db/cm)} \dots\dots\dots (2)$$

となります。

これを GHz 領域で考えてみると, $\eta = 0$ の T_λ 点は別としても液体 He の温度範囲において, $\alpha_L \gg \alpha_S$ となります。従って表面波から液体ヘリウムに音波が放出されることによって生ずる表面波の減衰は縦波によるものと考えてよいわけです。勿論これらの取扱いは量子流体的なものは考えない古典的なものです。今, 私共が実験している周波数範囲では境界面の surfon の励起とは結びつかないでしょう。

$\alpha_L \gg \alpha_S$ として α_L を 1 GHz で考えると 60 デシベルとなり, 3 GHz では 180 デシベルとなります。言いかえるとこの実験は液体ヘリウムの様な小さい音響インピーダンスのものでこそ測定が可能です。

実験に用いた表面波トランスデューサーは水晶と LiNbO_3 の単結晶で, Fig.2 に測定器の構造を示します。液体 ^4He の温度を変化させて表面波の減衰を測定した結果を Fig.3 に示します。図でわかる

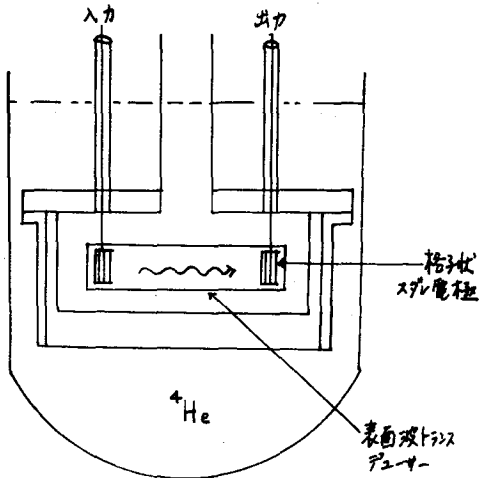


Fig. 2

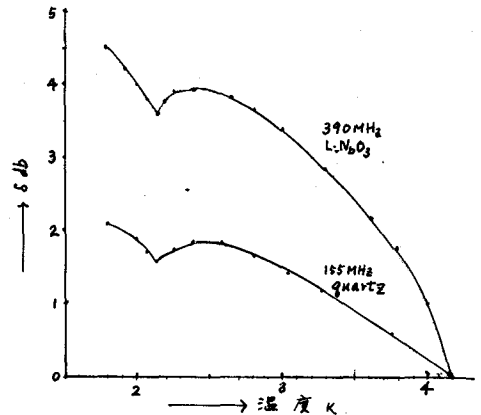


Fig. 3 α vs T

様に超流動になる温度附近で減衰がへります。この測定に用いた周波数は155MHzと390MHzです。この測定結果は前述の(1)式に ρ_F, V_F のこれまでの実測値を入れて求めたものと良く一致します。しかし乍ら、この場合液体ヘリウムの音響インピーダンスを形成する密度 ρ_F とはどういうものでしょうか。 ρ_F は超流動の ρ_S とノーマルな成分 ρ_N に分けて考えられます。 T_λ 附近ではいろいろの点からみて表面波による励起がCritical velocity をこえています。もっと低温では必ずしもそうとは言えず、 ρ_N による振舞があらわれると考えられます。実験結果はこれを否定しています。しかしこれ等については表面波の振巾と周波数を変化させた実験が必要で、今後の課題です。

文 献

- (1) H.Kinder and W.Dietsche, Phys. Rev. Lett. **33**, 578(1974).
- (2) I.M.Khalatnikov, An Introduction to the Theory of Superfluidity, p.138 (1965).
- (3) H.Namaizawa, Phonon Scattering in Solids, Proceedings of the Second International Conference, p.11 (1975).

第 23 回 低 温 研 究 会

半導体に重点を置いた低温研究会を3月18日(金)午後3時より5時まで工学部電気系会議室で開催した。参加者は15名で物理的な面、測定技術、結晶成長等に関して詳しい討論が行なれた。講演題目と講師は次の通りである。

1. N-InSb におけるマグネットフォノン共鳴

工学部電子工学科 河西和美氏, 白川二氏,
浜口智尋氏

2. ZnTe のアクセプターの光学的性質

工学部応用物理学科 中島信一氏