

2. 東教大に於ける液体ヘリウムの実験の報告

東教大理 櫛 原 良 正

我々の所で現在進行中である 2つの実験の現状を申し上げる。

A) He^4 の臨界点附近の光散乱 (correlation length と compressibility)

(この実験は主に富永昭君が行ない、松本厚二、中沢章両君が手伝っている)

He^4 の臨界点附近の臨界蛋白光の温度依存性を気相側の共存曲線にそって、又、臨界等密度線にそって (予備実験) 測定した。

光源はヘリウムネオンレーザーを使い、その他の光学系は減衰器、レンズ系とサンプルセル、散乱角 90° の方向においたフotonカウンティングモードの光電子増倍管から出来ている。

クライオスタットへ入射する光のパワーは約 3 mW で 1% 以上の精度で一定にした。温度制御器を使って、サンプルの温度を $20 \mu\text{K}$ 以下の精度で制御した。又、サンプルの圧力は感度 $25 \mu\text{Hg}$ の圧力計で測定した。臨界点は、散乱強度が最大になった点として決定し、

$$T_c = 5189.808 \pm 0.03 \text{ mK}$$

$$P_c = 1706.008 \pm 0.025 \text{ mmHg とした。}(T_{58} \text{ scale})$$

Einstein-Ornstein-Zernike 理論によると、散乱強度は

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial \mu} \right) T / [1 + (k\xi)^2]^{1-\eta/2}$$

に比例する。

ρ : サンプルの密度

μ : サンプルのケミカルポテンシャル

k : 散乱波数ベクトル

ξ : the long-range correlation length

η : Ornstein-Zernike 理論からのはずれをあらわす
指数

液相側の共存曲線にそった場合

$$1) \quad T < T_c \quad (2 \times 10^{-5} < (1 - T/T_c) < 4 \times 10^{-2})$$

気相、液相の境界面のすぐ下に入射光の焦点をおいた結果は、第1図の通りである。

$$(\partial \rho / \partial \mu)_T \sim (1 - T/T_c)^{-r'}, \quad \xi = \xi_0 (1 - T/T_c)^{-\nu'}$$

と表わせるとすると、我々の結果は、

$$r' = 1.180 \pm 0.01, \quad \nu' = 0.59_{+0.14}^{-0.04}, \quad \xi_0 = 1.59_{-1.3}^{+0.95} \text{ \AA}$$

を与える。第1図に示した様に、 $1 - T/T_c \leq 4 \times 10^{-4}$ では、データはそれより高い $(1 - T/T_c)$ の温度依存性とは異って、直線性からはずれてくる。

その原因の1つとして、入射光の減衰が考えられるが、それは T_c に最も近い測定点で1%にすぎない。又、重力効果も小さい。我々は、このはずれをすべて ξ の温度依存性によると考えて、 ν' と ξ_0 を決定した。実験誤差の範囲内で $\nu' = r'/2$ であり、Fisherによると η は非常に小さく、我々の現在のデータはこの大きさを決定する程正確でないので $\eta = 0$ と仮定した。

$$2) \quad T > T_c \quad (\text{等密度曲線})$$

予備実験の結果は、 $r = 1.21 \pm 0.05$ であるが、更に実験を実施中である。

Sample	r'	r	remarks
He^4	1.180 ± 0.01	1.21 ± 0.05	我々の結果
		(予備実験)	
	1.1 ± 0.1 or 1.5 ± 0.2	1.14 ± 0.1 1.4	Roach (密度測定) Garfunkel (光散乱)
He^3	1.17 ± 0.05	1.17 ± 0.05	Wallace-Meyer
Ar		1.20 ± 0.05	Bale
Xe	1.21 ± 0.02	1.21 ± 0.03	Benedek
SF_6		1.225 ± 0.02	Puglieli-Ford
CO_2		1.219 ± 0.01	Lunacek-Cannel
	1.17 ± 0.02	1.17 ± 0.02	White et al

我々の r' の値は他のヘリウムの実験と一致している様に思われるが、一般に想像されている様に $r' \simeq r$ とすると Garfunkel の値より小さい。しかし、これは彼等の実験の大きな background scattering のためと思う。

ヘリウムの r' の値は他の物質よりやゝ小さい値を示している。

臨界指数間の関係

$$\alpha + 2\beta + r' \geq 2 \quad r' \geq \beta(\delta - 1) \text{ があるが,}$$

$$\left. \begin{array}{l} \beta = 0.352 \pm 0.003 \text{ (Roach-Douglass)} \\ r' = 1.180 \pm 0.01 \text{ (我々の結果)} \end{array} \right\} \text{ を用いると,}$$

$$\alpha' \geq 0.12, \quad \delta \leq 4.35 \text{ となり,}$$

$$\alpha \quad (\text{Moldover}) \quad 0.127$$

$$\delta \quad (\text{Kiang の liquid-droplet model}) \quad 4.218$$

とくらべて、あっている。

B) $\text{He}^3 - \text{He}^4$ 混合液の λ 線附近の第 2 音波 (この実験は主に上原富美哉君が行なっている)。

液体 He^4 及び He^3 のモル濃度 1.1%, 3.7%, 11.5% の $\text{He}^3 - \text{He}^4$ 混合液中の第 2 音波の音速を λ 線附近の温度範囲で測定を行なった。 $\epsilon = 1 - (T/T_\lambda)$ とすると液体 He^4 に対しては、

$$2 \times 10^{-5} < \epsilon < 5 \times 10^{-3} \quad \begin{array}{l} \text{1.1\% 溶液には } 4 \times 10^{-4} \\ < \epsilon < 3 \times 10^{-2} \end{array}$$

他の濃度に対しては、 $1 \times 10^{-3} < \epsilon < 4 \times 10^{-2}$ である。

音速の測定法は共鳴法を用い、受信器の直径 1.2 cm, その間隔は 0.48 cm である。これらを銅のセルの中に入れ、セルは液体ヘリウム中につかっている。温度制御器を使って温度を 5×10^{-6} K の範囲に制御した。 T_λ の値は第 2 音波の音速が零になる点を外挿法を使って決定した。

混合液においては、ヒートフラッシュ効果によって濃度で一様でなくなり、測定する音速が変化する。その効果は第 2 音波を送受信する熱によっておこり、実験的に

$U_2(W_1, W_2) = U_2(0)(1 - AW_1 - BW_2)$ であらわされるように思われる。ここで、 $U_2(W_1, W_2)$ は測定音速、 W_1, W_2 は受信器の d. c. バイアスのパワー、 W_2 は送信器へのパワーで $U_2(0)$ はそれらのパワーが零の時の濃度が一樣な状態の第 2 音波の速度で外挿によって求めた。

以下、 $U_2(0)$ と ϵ の関係である。尚、Nable-Sandiford の言う様な速度の時間的变化はみとめられなかった。

液体ヘリウム-4 の音速は、a simple power law

$$u_2^2 = B\epsilon^z \text{ を仮定すると}$$

$B = 2166$, $z = 773 \pm 0.004$ であり、これから超流動成分 $\rho_s/\rho = (2.39 \pm 0.05)\epsilon^{0.669 \pm 0.005}$ となる。

この結果は、他の測定 (2)(3) とあっている。

混合液中の第 2 音波の音速は Nable et al の測定範囲 ($\epsilon > 5 \times 10^{-3}$) で彼等の結果とよく一致する様に思われる。しかし、混合液中の音速は Pure He^4 中の音速の ϵ 依存性と異なる様に思われるが、結論は出ていない。

Gapanini-Maldover の混合液の比熱のデータが濃度と共に変化する状態と第 2 音波の我々の測定との間には関係がある様に思われる。

現在、更に多くの実験とその検討を行なうとしている。

檜原研の研究報告に対する質疑応答

生嶋氏 Pure He^4 のデータで、 $B(\rho_s/\rho = B \cdot \epsilon^z)$ の値 ($B = 2.39 \pm 0.05$)、普通信じられているもの ($B = 1.41$) と異っているが？

原氏 調べてみます。

$B = 1.41$ は $\epsilon = T_\lambda - T$ とした時の値で、 $B = 2.39$ は $\epsilon = (T_\lambda - T)/T_\lambda$ とした時の値です。

鈴木氏 κ と $z(u_2^2 = A \cdot \epsilon^z)$ と、同じ傾向を持つとすると、Pure He^4 に於ける κ の圧力依存性と mixture に於ける κ の He^3 濃度依存性とは、共にそれらが、 He^4 の密度変化に起因していると考えれば、定性的にその傾向は一致しているように思える。