

超流 HeII 中第一声、第二声和 第四声声速的测量

宗有泰 钱幼能 周鸿赉

(南京大学物理系暨声学研究所)

1980年3月16日收到

提 要

本文介绍了在超流 HeII 中传播的第一声、第二声和第四声的特性以及利用声共振器测量它们的传播速度的实验装置。我们初步测量所得的结果与 Rudnick 教授等人的结果基本一致。

超流 HeII 中声波传播的研究工作在国外早已取得了许多成果^[1],我们最近也开始进行这方面的实验研究工作。观察到了在 HeII 中传播的第一声、第二声和第四声,测量了声速随温度变化的关系。测得的结果与 Rudnick^[2] 等人的结果^[2] 基本一致。

第一声^[3] 与通常液体中的纵声波的性质相同,以压强或密度的变化为主,几乎没有熵的变化。传播过程中任一小体元都作整体振动。它可以在 HeI 中传播,也可以在 HeII 中传播。第二声^[4] 是一种以温度或熵的变化为主,几乎没有压强或密度变化的温度波。传播过程中任一小体元的质量中心保持静止,而超流成分与正常成分相向地进行振动。第二声只能在 HeII 中传播。在 HeII 中填入直径很小的超漏粉末,粉末颗粒之间的空隙小于正常成分的粘滞波长时,正常成分被锁定,只有超流成分可以在粉末颗粒之间运动。在这种超漏系统中传播的声波是第四声^[4]。第一声、第二声和第四声声速的数学表达式分别为

$$u_1^2 = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_s, \quad (1)$$

$$u_2^2 = \frac{\rho_s T S^2}{\rho_n C_v}, \quad (2)$$

$$u_4^2 = \frac{\rho_s}{\rho} u_1^2, \quad (3)$$

式中 P , T , S 分别表示压强、温度和熵, C_v 为定容热容量, ρ 为氢密度, ρ_s 和 ρ_n 分别为它的超流成分和正常成分的密度。

测量原理 利用具有刚性管壁的圆管产生平面驻波声场,若第 n 个共振频率为 ρ_n ,则

1) 美国加州大学洛杉矶分校物理系教授, 1979年10至11月南京大学物理系及声学研究所访问教授。

声的传播速度 u 应为^[5]

$$u = \frac{2f_n l}{n} \quad (n = 1, 2, 3, \dots), \quad (4)$$

式中 l 为驻波管的长度。

实验装置 实验装置包括低温系统、声学系统和电子测量仪器三部分。

低温系统 如图 1. 采用普通的玻璃杜瓦瓶. 通过大抽速泵降低氨杜瓦内的饱和蒸汽压来降低液氮的温度. 用水银压力计读出饱和蒸汽压, 查表即可知相应的温度值. 抽气管道上的恒压装置用来保证在一个比较稳定的温度值下读得所需的一组数据。

声学系统 在直径为 6.2cm、长为 10.2 cm 的铜柱体上, 在平行于轴的方向钻出四个对称分布的直径为 0.6 cm 的长孔, 构成四个具有刚性管壁的驻波管, 如图 2. 在每一驻波管的两端相向地用铜螺钉安装一组完全对称的换能器, 一个用来发射, 另一个用来接收. 安装换能器时, 膜片的金属面与铜柱体相接触. 在用来测量第四声的驻波管中填有颗粒直径为 $1\ \mu\text{m}$ 的氧化铝粉, 平均孔隙率 (粉末间的空隙体积与驻波管腔体总体积之比) 为 57%. 第一声换能器的膜片采用单面镀铝的厚为 $10\ \mu\text{m}$ 的聚四氟乙烯薄膜, 用热极化工艺驻极. 后极板经喷砂处理或用细砂纸压毛. 换能器结构如图 3. 第二声换能器的结构与第一声的相同, 但膜片上要穿许多小孔或划几条细缝. 这样它们就不仅能产生和检测第一声, 而且也能产生和检测第二声. 由于这两种声波是彼此独立传播的, 且具有不同的传播速度, 在实验中是容易加以区别的. 第四声的换能器同第一声。

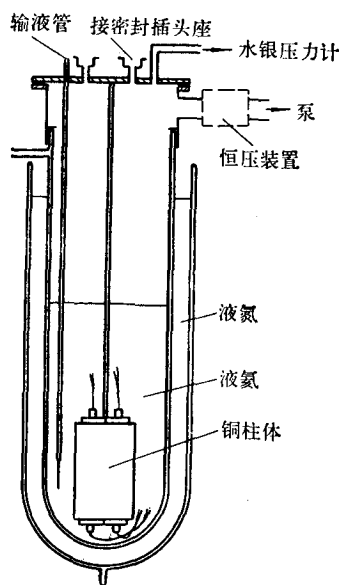


图 1

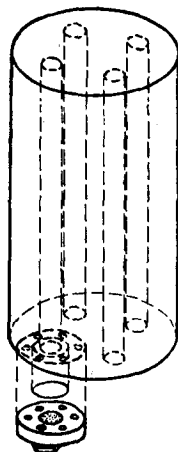


图 2

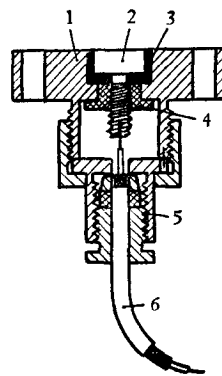


图 3

- 1——换能器座; 2——后极板;
3——环氧树脂; 4——绝缘定位环;
5——同轴线接头; 6——同轴线

电子测量仪器 电子测量仪器的连接如图 4. 讯号源经高阻抗馈送一定振幅的正弦讯号至发射器, 讯号频率由数字式频率计读出. 接收器接收的讯号经放大器放大后馈送至显示器。

实验过程与结果 当用大抽速泵使饱和蒸汽压降到一定值时, 使用恒压系统调节抽速, 使饱和蒸汽压稳定在这一数值附近, 分别对第一声、第二声和第四声从低到高缓慢地改变发射讯号的频率, 从显示器观察并记录下接收讯号达到极大值时的频率和极大值出现的序数, 即得到和该饱和蒸汽压相对应的温度下的共振频率 f_n . 然后继续用泵将饱和蒸汽压降到另一个数值, 并重复上述过程. 测得不同温度下的 f_n 后用(4)式即可算出不同温度下的声速. 我们测量的温度范围是从 4.2 K 到 1.92 K. 第二声和第四声仅当温度低于 λ 点时才出现, 即它们只存在于 HeII 中. 第一声在 HeI 和 HeII 中都可以传播, 但声速在 λ 点附近出现极小值. 具体结果如

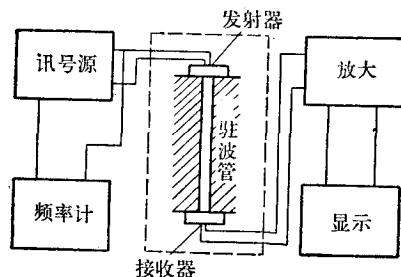


图 4

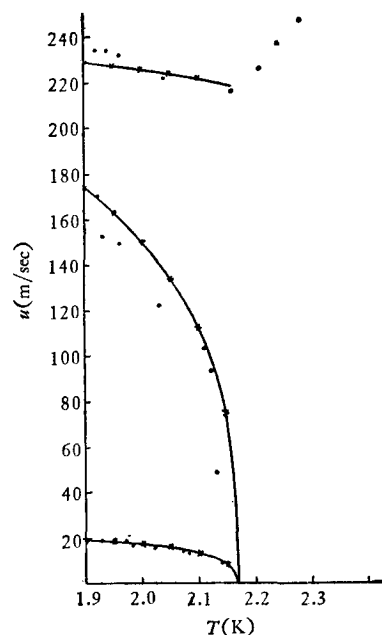


图 5

小黑点为测得的数据, 曲线根据文献[2]的数据作出

图 5 所示. 图 5 中同时画出了根据 Rudnick 等的数据^[2]作出的曲线, 可以看出我们的结果与 Rudnick 等的结果是基本一致的.

我们的实验工作仅仅是初步的. 由于泵和管道系统不够理想, 达到的温度下限不够低. 以示波器作为显示器来判断接收讯号是否达到极大值, 以对数刻度的拍频振荡器作为讯号源, 以及恒压装置(即温度控制)和温度测量的精度不够, 都会引起测量声速-温度关系的误差. 对声速随温度的变化率较大的第四声, 误差可能要更大一些.

工作中得到了魏荣爵教授和 Rudnick 教授的指导与支持, 对此表示感谢. 低温物理教研室致冷实验室为我们提供了低温条件, 钱昌国、缪国庆、赵超先等同志参加了部分实验工作, 亦一并致谢.

参 考 文 献

- [1] I. Rudnick, Physical Acoustics at UCLA in the Study of Superfluid Helium, in "New Directions in Physical Acoustics" (North-Holland Publ. Co., 1976); Lecture Notes of Low Temperature Acoustics at Nanking University (Oct. 1979).
- [2] J. Heiserman, J. P. Hulin, J. Maynard and I. Rudnick, *Phys. Rev.*, **B14**(1976), 2862; J. Maynard, *Phys. Rev.*, **B14**(1976), 3868.
- [3] Л. Д.朗道, E. M. 栗弗席兹著, 彭旭麟译, 连续介质力学, 人民教育出版社, (1978), 643—675页.
- [4] K. R. Atkins, *Phys. Rev.*, **113**(1959), 962.
- [5] P. M. 莫尔斯著, 南京大学«振动与声»翻译组译, 振动与声, 科学出版社, (1974).

MEASUREMENTS OF FIRST, SECOND AND FOURTH SOUND- VELOCITY IN SUPERFLUID HeII

ZONG YOU-TAI QIAN YOU-NENG ZHOU HONG-LAI

(Acoustics Institute and Physics Department, Nan jing University)

ABSTRACT

We have started the study of low temperature acoustics recently.

Here present the characteristics of the first, second and fourth sound propagating in superfluid HeII and the experimental equipment used to measure their propagating velocity employing acoustic resonator. The primary results we have got are in essential agreement with those obtained by Prof. I. Rudnick et al.