



普通高等教育“十三五”规划教材

大学物理实验 (下册)

主 编 詹卫伸

副主编 王 硕



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

大学物理实验

(下册)

主 编 詹卫伸

副主编 王 硕

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十三五”规划教材,分为上下册。上册包括大学物理实验规范、基础性物理实验和著名物理实验简介,下册为综合设计性物理实验。第一篇大学物理实验规范,包括有效数字及其运算规则、测量与误差、测量的不确定度、物理实验数据处理方法以及物理实验与物理实验报告,不确定度的处理符合国家规范。第二篇基础性物理实验,包含与力学、热学、光学、电磁学、量子物理等相关的经典物理实验。第三篇介绍了若干著名物理实验,激发学生的学习兴趣,拓宽学生的视野。第四篇综合设计性物理实验,涉及力学、热学、电磁学、光学、原子物理以及材料、传感、通信等与物理相关的综合设计性实验。本书内容翔实,层次清晰,结构合理,每个实验都有详细背景资料及在工程技术中的应用,并且对每个实验的理论、使用的仪器设备、操作、数据处理等都作了详细的介绍,具有很强的实用性。

本书可作为理工类本科生大学物理实验教材,也可作为从事物理实验教学的教师和工程技术人员的教学参考书以及物理类本科生普通物理实验教材。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验. 下册 / 詹卫伸主编. —北京: 科学出版社, 2016. 8
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-03-049368-2

I. ①大… II. ①詹… III. ①物理学-实验-高等学校-教材

IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 159999 号

责任编辑: 昌盛 罗吉/责任校对: 彭涛

责任印制: 白洋/封面设计: 迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

大厂书文印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 8 月第一次印刷 印张: 21 1/4

字数: 504 000

定价: 49.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《大学物理实验》编委会

主 编 詹卫仲

副主编 王 硕

编 委 程大海 孙宏恩 刘边卓

李 睿 王小风

前 言

为了适应国家中长期教育改革和发展规划纲要对新时期人才培养的需求,根据理工科类大学物理实验课程教学基本要求,我们组织编写了这部普通高等教育“十三五”规划教材.其目的在于培养学生严谨的科学思维 and 创新能力,培养学生理论联系实际,特别是与科学技术发展相适应的综合能力.使学生对知识的应用和迁移能力得到提升,从而提高学生提出问题、分析问题和解决问题的能力.通过创新设计性实验培养学生创新意识和创新思维,并且为学生提供一部实用的大学物理实验讲义,学生可以通过阅读实验讲义独立完成实验项目.在内容安排上以把握住综合性、探索性为原则,为了反映实验教学内容的时代特色和新学科的实验内容,增加了近代科学研究与工程技术应用广泛的现代物理技术,强化了物理实验与工程应用学科的密切联系,拓宽了应用和创新的思维空间.

本书力图为读者提供既符合国家测量标准又非常实用的物理实验指导书.全书包括:大学物理实验规范(有效数字及其运算规则、测量与误差、测量的不确定度、物理实验的数据处理方法、物理实验与物理实验报告)、大学物理实验(24个实验,分为基础性物理实验和综合设计性物理实验,上册有8个实验,下册有16个实验)、著名物理实验简介(20项).

本书的写作特点如下:

(1)不确定度.本书有关“不确定度”的处理问题,尽量符合国家质量技术监督局发布的“规范”,使学生对国家的“测试规范”有一个全面的了解.同时,考虑到学生物理实验的特点,力图达到“国家规范”与本科生物理实验相结合的目的.

(2)实用性.我们根据多年的实践,认为给学生提供尽量多的资料是必要的.本书对每个实验的理论、使用的仪器设备、操作、数据处理等都作了详细的介绍,以方便学生预习及对课后的数据进行处理,真正达到教学目的,同时对每个实验还提供了相关参考文献.

(3)实验数据处理提示.由于本书要求物理实验的数据处理特别是不确定度的处理要与国家规范接轨,对低年级的本科生来说是很困难的,如果不加以引导,将难以达到教学目的.因此,本书每个实验都有针对该实验的数据处理的详尽指导.

(4)背景材料.本书在每个实验题目的开始就介绍实验的详细背景资料和该实验以及相关实验在工程技术中的应用知识,以开阔学生的视野.

(5)著名物理实验简介.为了提高学生的学习兴趣,我们组织编写了著名物理实验简

介(20个题目),供学生阅读.

本书由詹卫伸担任主编,王硕担任副主编,程大海、孙宏恩、刘边卓、李睿、王小风参加编写.其中,大学物理实验规范由詹卫伸编写;上册的基础性物理实验由詹卫伸主笔,王硕、刘边卓、程大海、王小风参与编写;下册的综合设计性物理实验由詹卫伸、王硕、刘边卓、程大海、孙宏恩、李睿编写;著名物理实验简介由王硕、刘边卓、程大海、王小风、孙宏恩编写.本书由詹卫伸制定写作大纲,由詹卫伸和王硕统稿,物理实验中心全体人员集体讨论编写.

本书在编写过程中参考了兄弟院校大量的教材,在此一并表示感谢.

本书的编写和出版得到了大连理工大学盘锦校区教学事务部和基础教学部的大力支持,在此表示感谢.

编 者

2016年5月

目 录

前言

第四篇 综合设计性物理实验	1
实验 9 高温超导转变温度测量实验	3
实验 10 摆振动实验	13
实验 11 力学综合实验	39
实验 12 热学综合实验	67
实验 13 电磁学综合实验	94
实验 14 霍尔传感器应用实验	128
实验 15 光学综合实验	138
实验 16 光电器件性能测试实验	170
实验 17 光学传感与通信实验	211
实验 18 太阳能电池特性测试实验	235
实验 19 法拉第效应与磁光调制实验	248
实验 20 弗兰克-赫兹与原子光谱实验	261
20.1 弗兰克-赫兹实验	261
20.2 原子光谱实验	268
实验 21 密立根油滴实验	274
实验 22 黏滞系数测量实验	286
实验 23 超声波实验	296
实验 24 人体物理实验	310

第 四 篇

综合设计性物理实验

实验 9 高温超导转变温度测量实验

某些物质在一定温度下呈现出零电阻和完全抗磁性等性质, 这些物质称为超导体. 超导体具有特殊的电、热、磁等性质, 因而具有很多潜在的应用价值.

1911 年, 荷兰科学家昂内斯 (K. Onnes) 在实现了氦气液化之后不久, 利用液氦所能达到的极低温条件, 指导其学生进行金属在低温下电阻率的研究, 发现在温度稍低于 4.2 K 时水银的电阻率突然下降到一个很小值. 后来有人估计, 电阻率的下限为 $3.6 \times 10^{-23} \Omega \cdot \text{cm}$, 而迄今正常金属的最低电阻率大约为 $10^{-13} \Omega \cdot \text{cm}$. 与此相比, 可以认为汞进入了电阻完全消失的新状态——超导态.

超导现象发现以后, 许多科学家在超导物理现象、理论、材料及技术应用等方面做了大量工作, 取得了可喜的成绩. 20 世纪 80 年代, 关于超导工频线材的研究使低温超导出现了转机. 虽然所发现的低温超导材料的临界温度最高只有 23.2 K, 主要在液氦温区工作, 但在医学上使用的磁共振成像仪 (MRI) 已达到广泛应用的水平.

1986 年瑞士苏黎世实验室贝德诺兹 (J.G. Bednorz) 和缪勒 (K.A. Muller) 发现 LaBaCuO 的超导体 (超导临界温度 $T_c = 30 \text{ K}$), 为高温超导研究揭开了新的一页. 随后经过美国、中国、日本等国科学家的努力, 高温超导材料的临界温度 T_c 已达 90 K 以上. 高温超导材料经过不断的研究发展, 目前已出现了一些接近实际应用和达到工程使用水平的材料. 由于超导材料的进步, 不论是低温超导还是高温超导, 将进入逐步发展应用技术的新阶段.

一、实验原理

超导的两个主要特征是零电阻特性和完全抗磁性, 另外还有与这个特性有关的临界磁场、临界电流和临界温度等特性.

(一) 零电阻特性

1911 年, 荷兰莱顿大学卡末林·昂内斯教授首次发现汞金属温度在 4.15 K 时电阻急剧下降为零, 这一伟大的发现揭开了超导物理研究的序幕. 图 9-1 就是他当时的实验结果, 当汞温度降到某一值时, 汞的电阻消失, 电流稳定流动而不衰减. 这种低温下电阻消失的现象称为零电阻特性. 后来发现这种性质不只是汞特有的, 许多其他金属 (如锡在 3.8 K 时) 也会出现零电阻现象. 这种电阻为零的性质 (注意: 这里讨论的零电阻特性是指在直流电情况下, 对交流电来说, 存在交流电阻) 称为超导电性. 具有超导电性的物体称为超导体, 电阻突然消失时的温度叫做超导转变温度

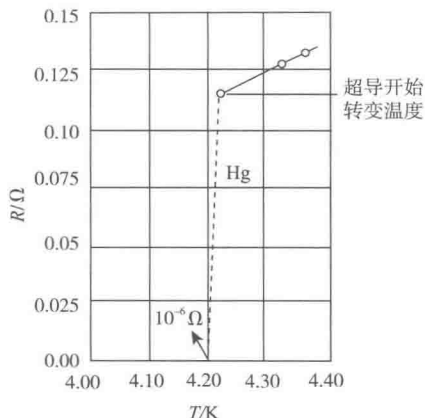


图 9-1 汞的电阻与温度的关系

或临界温度 T_c 。昂内斯确认, 在低温下金属材料进入电阻为零的状态是金属的新物态, 定义为“超导态”。当温度升高, 金属材料又恢复电阻, 由超导态回到正常态。

超导状态的零电阻特性可以表述为电阻率为零、电导率为无限大, 即

$$\rho \rightarrow 0, \quad \sigma \rightarrow \infty \quad (9-1)$$

(二)完全抗磁性——迈斯纳效应

超导现象发现以后, 人们一直把超导体看成除零电阻之外, 其他一切性质与普通金属相同的所谓理想导体。直到 1933 年, 德国物理学家迈斯纳 (Walter Meissner) 发现, 超导体一旦由正常态进入超导态, 体内的磁通量将全部被排出体外, 即在超导体内将永远保持磁感应强度为零 ($B=0$)。这种完全抗磁性被称为迈斯纳效应。

如图 9-2 所示, 在长圆柱体样品的表面绕一探测线圈, 线圈连接一“冲击电流计”。当样品处在正常态时, 沿轴向施加一磁场, 磁感应强度由零增加到 B , 由于电磁感应效应, 在线圈中产生一个正向感应电动势 ε , 在线圈中产生正向电流 i , 冲击电流计正向偏转角 α , α 的大小与进入样品的磁通量 Φ 成正比。然后缓慢降温, 当温度 $T < T_c$ 时, 冲击电流计反向偏转角度 $-\alpha$, 以后只要维持 $T < T_c$, 无论再撤去或恢复外磁场, 冲击电流计都不再发生偏转。在 $T < T_c$ 时, 冲击电流计反向偏转角度 $-\alpha$, 说明了在线圈中产生反向电流 $-i$, 在线圈中产生一个反向感应电动势 $-\varepsilon$, 由电磁感应效应, 穿过线圈的磁通量由 Φ 减小到零, 即此时超导体内部磁感应强度降为零。这证明进入超导态后, 超导体内部磁感应强度总是零, 体内的磁通量将全部被排出体外。

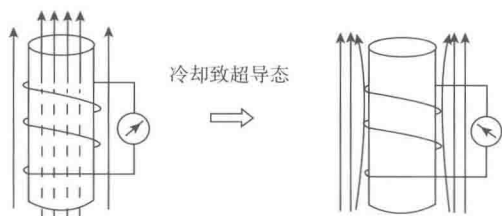


图 9-2 超导态的磁效应

迈斯纳实验表明, 不论是先降温后加磁场, 还是先加磁场后降温, 只要进入超导状态, 超导体就把全部磁通量排出体外, 与初始条件和过程无关。超导体内 B 不仅恒定不变, 而且恒定为零, $B \equiv 0$ 。再由电磁学公式 $B = \mu_0(H + M)$, 得到 $M = -H$ 。又因为 $M = \chi H$ 、 $B = \mu H$, 得到超导状态下超导体内的磁化率和磁导率为

$$\chi = -1, \quad \mu = 0 \quad (9-2)$$

超导体的完全抗磁性是独立于零电阻特性的, 不能由超导体的零电阻特性得到完全抗磁性。零电阻特性只能说明超导体是所谓的“理想导体”。由电导率 $\sigma \rightarrow \infty$ 和欧姆定律 $j = \sigma E$ 可知, 理想导体内部电场强度 E 必然处处为零, 否则电流密度 j 将趋于无限大, 而与超导体的 j 恒定有限的实验事实不符。而超导体作为电磁系统, 应遵守麦克斯韦方程 $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$, 由于在理想导体内 $E = 0$, 所以 $\frac{\partial B}{\partial t} = 0$ 。这说明, 理想导体内 B 应由初始条件决定, 原来体内有多大磁通量就维持不变, 即 $B \equiv B_0$, 所以理想导体与超导体不同, 超导态的这种完全抗磁性是独立于零电阻效应的又一超导特性。从这里可以看出超导体和理想导体之间的异同: 共同之处是都具有零电阻; 不同之处是理想导体内可以有磁力线, 而超导体则将其一切磁力线完全排斥在外。

注意, 超导体处于超导态时内部的磁场为零, 并不是说磁场在超导体的几何表面突然降到零, 它是通过表面薄层逐渐减弱的, 也就是磁力线能够进入超导体的表面薄层, 进入的深度与超导体自身性质有关。

迈斯纳效应可以通过实验来演示. 如图 9-3 所示, 把一个小型的永久磁体放在尚未达到超导态的超导圆盘上, 当圆盘温度降到 T_c 以下时, 磁铁会悬浮在一定的高度上而不触及超导圆盘, 这就是磁悬浮实验. 为什么磁铁能悬浮在一定的高度呢? 因为永久磁铁的磁力线被完全排斥在超导圆盘外, 在磁铁和圆盘之间存在斥力. 磁铁越远离超导圆盘, 斥力越小, 当斥力减弱到等于磁铁的重力时, 就悬浮不动了. 同理, 可用一通有持续电流的超导环将一个中空超导球悬浮起来, 根据这一原理可制成超导重力仪, 如果重力发生微小变化, 球就要偏离平衡位置, 这样, 就可以在其他相关技术的协助下精确地检测出重力的变化. 另外, 利用磁悬浮技术还可制造无摩擦轴承、超导罗盘及磁悬浮列车等。

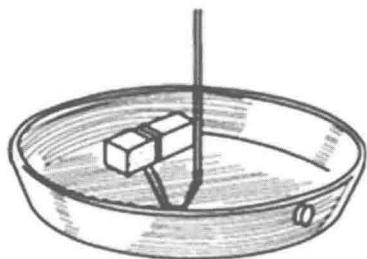


图 9-3 超导磁悬浮实验

(三)临界温度

实验表明, 超导体发生从正常态到超导态相变时, 电阻消失是在一定温度间隔中完成的, 如图 9-4 所示, 在此温度段中, 用三个温度标志 $R-T$ 的变化。

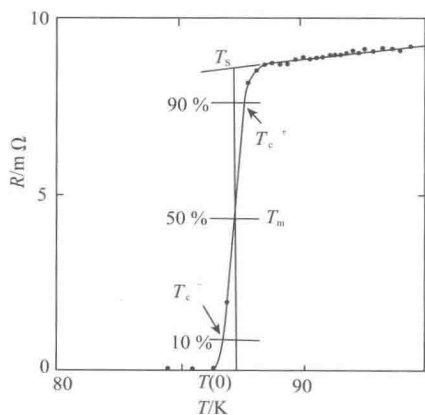


图 9-4 超导转变温度

起始转变温度 T_s 为 $R-T$ 曲线开始偏离线性的转折点温度。

中点温度 T_m 为电阻下降到正常态电阻 R_n 的 1/2 时所对应的温度。

零电阻温度 $T(R=0)$ 为电阻降到零时的温度。

超导转变宽度 ΔT 定义为 R_n 下降到 90%~10% 的温度间隔 $\Delta T = T_c^+ - T_c^-$ 。超导转变宽度与超导材料的纯度及均匀性有关。在以往的测试中, 一般将中点温度 T_m 定为临界温度 T_c 。临界温度是表征超导材料应用的三个主要特征量之一。

(四)临界磁场

1914 年, 昂纳斯发现超导态可以被外加磁场破坏. 这是因为当存在外界磁场时, 超导表面要形成表面电流以产生退磁场, 使内部磁场为零. 可以想象, 外界磁场越强, 要求的这种表面电流就越大. 但是, 表面电流过大将破坏超导性, 使其变成正常态. 因此, 在保持样品的超导状态下, 外加磁场有一个最大值限度 (又称破坏超导态的最小值), 这个值称临界磁场 H_c . H_c 与温度 T 有关, 其关系见图 9-5. $H_c(T)-T$ 曲线把 $H-T$ 平面划分为超导态和正常态两个区域, 沿线各点为超导态-正常态的相变点。

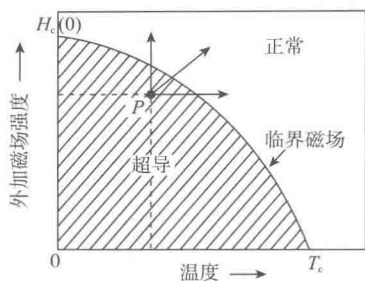


图 9-5 临界磁场与温度的关系

实验表明, 外加磁场 H_c 和温度 T 之间有以下关系:

$$H_c(T) = H_c(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right], \quad T < T_c \quad (9-3)$$

$H_c(0)$ 是 $T=0$ K 时超导体的临界磁场.

临界磁场也是一个物质常数, 其大小因超导体的材质不同而不同. 临界磁场也是表征超导材料应用的三个主要特征量之一.

(五)临界电流

超导体无阻载流的能力也是有限的. 昂纳斯发现, 当通过超导体的电流(电流密度)超过一定数值 I_c 后, 超导态便被破坏, 称 I_c 为超导体的临界电流. 这是由于超导体承载电流时会产生磁场, 当这一磁场达到超导体的临界磁场时, 超导电性被破坏.

临界电流也是温度的函数, 在无外加磁场的情况下, 临界电流在超导体表面所产生的磁场恰等于 H_c , 从而有

$$I_c(T) = I_c(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right], \quad T < T_c \quad (9-4)$$

式中, $I_c(0)$ 代表 $T=0$ K 时超导体的临界电流.

临界电流也是表征超导材料应用的三个主要特征量之一.

(六)比热容跃变

热力学理论和实验表明, 超导体的超导态与正常态的比热容不一样

$$c_s - c_n = \mu_0 T \left[H_c \frac{d^2 H_c}{dT^2} + \left(\frac{dH_c}{dT} \right)^2 \right] \quad (9-5)$$

式中, c_s 表示超导态的比热容, c_n 表示正常态的比热容.

由于 $T=T_c$ 时, $H_c=0$, 所以在超导转变温度处有

$$(c_s - c_n)_{T=T_c} = \mu_0 T_c \left[\left(\frac{dH_c}{dT} \right)^2 \right]_{T=T_c} \quad (9-6)$$

由此可见, 在超导转变温度处 ($T=T_c$), $c_s - c_n > 0$, $c_s > c_n$, 超导态的比热容相对正常态的比热容有一个突变.

进一步的理论分析表明, 超导态的比热容是随温度的降低而减小的. 在 $0 < T < T_c$ 范围

内(超导态)的某一温度 T_0 处, $c_s = c_n$; 在温度 T_0 以下, $c_s < c_n$; 但在温度降低到某一处时, 继续降温, 超导比热容 c_s 反而上升. 对超导态和正常态比热容的实验测量, 基本证实了这一热力学分析的结果.

二、实验内容与目的

(1) 学习液氮低温技术.

(2) 了解超导体的最基本特性以及判定超导态的基本方法.

(3) 测量氧化物超导体 YBaCuO 的临界温度, 掌握用测量超导体电阻-温度关系测定转变温度的方法.

三、实验装置

FD-RT-II 高温超导转变温度测量仪主要由实验主机、低温液氮杜瓦瓶和实验探棒以及前级放大器组成, 如图 9-6 所示.

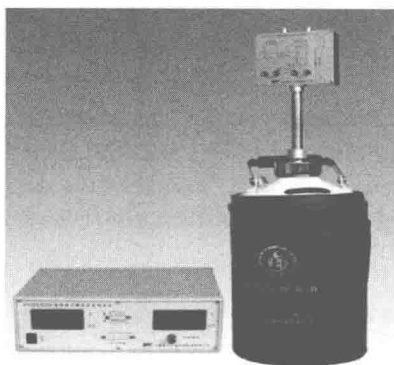


图 9-6 高温超导转变温度测量装置

1. 探棒

探棒上安装超导样品和温度计, 通过插入低温杜瓦瓶实现变温. 上部装有前级放大器, 底部是样品室. 棒身采用薄壁的德银管或不锈钢管制作. 底部样品室的结构见图 9-7.

样品室外壁和内部样品架均由紫铜块加工而成, 通过紫铜块外壁与液氮的热接触, 将冷量传到内部紫铜块样品架中. 样品架的温度取决于与环境的热平衡. 控制探棒插入液氮中的深度可以改变样品架的温度变化速度. 超导样品为常规的四引线接头方式, 其电流、电压引线分别连接到样品架的相应接头上. 图 9-7 中, 并排的中間两引线是电压接头, 靠外的两引线是电流引线. 样品架的温度由铂电阻温度计测定. 样品电阻的四引线和铂电阻的四引

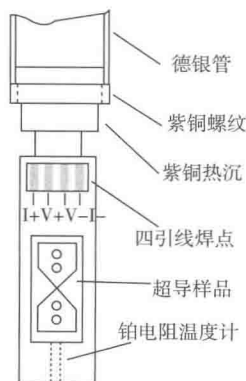


图 9-7 探棒样品室内部结构图

线通过紫铜热沉后接至探棒上端，再分别接至各自的恒流源和电压表。

2. 前级放大部分

前级放大器的框图见图 9-8。

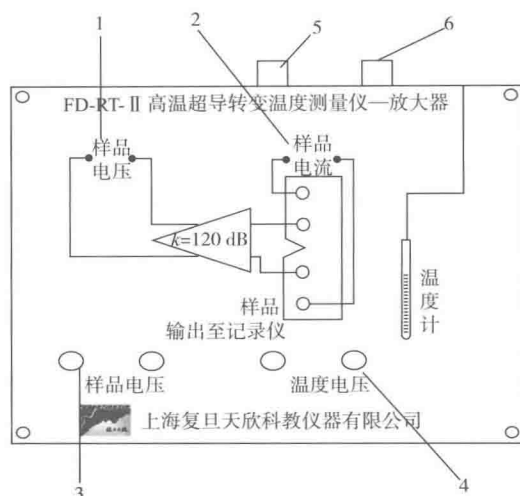


图 9-8 前级放大器框图

1. 样品上的电压经放大器放大 1000 倍后的输出，其与主机的连接在五芯航空头上；
2. 样品电流的测量端，其与主机的连接线也在五芯航空头上；
3. 两个插座为样品两电压端的直接引出点，未经放大；
4. 两个插座是铂电阻温度计的电压输出端；
5. 五芯的航空接头，是前级运放信号的输入和输出端；
6. 七芯航空接头，与主机的直流电源接口相连，提供直流电

3. 测量仪主机

测量仪主机前视图如图 9-9 所示。

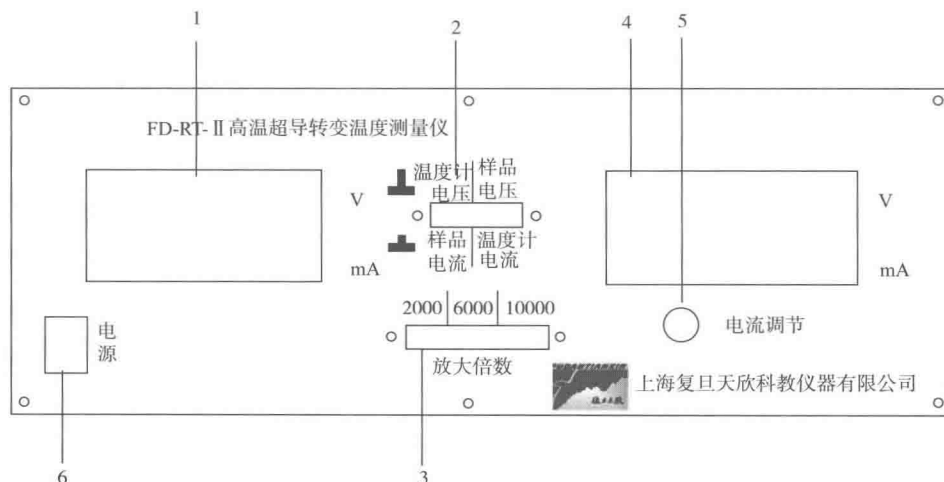


图 9-9 测量仪主机前面板

1. 数字电压表；
2. 按键开关；
3. 放大倍数按键开关；
4. 数字电压表；
5. 样品电流调节电位器；
6. 电源开关。

(1) 数字电压表：用于显示样品电流和经放大后的温度计电压值，只要除以已知的放大倍数(40倍)就可以得到温度计的原始电压值，通过查表就可以得出其对应的温度值。

(2) 按键开关：左边的开关控制左边表的显示，可分别显示样品电流和经放大后的温度计电压；右边的开关控制右边表的显示，可分别显示温度计电流和经放大后的样品电压值；

(3) 放大倍数按键开关：为适应因形状、制备工艺、性能材料成分等因素不同引起的样品阻值的不同，本测量仪样品电压测量备有不同的放大倍数。测量仪出厂时的三挡放大倍数如面板上所示为：2000、6000和10000(大概数值)。

(4) 数字电压表：显示温度计电流和经放大后的样品电压值，只要除以已知的放大倍数(通过放大倍数切换开关来获得)，就可以得到样品的原始电压值，样品的阻值由原始电压值除以样品电流值得到。

(5) 样品电流调节电位器：用来调节样品所需要的电流大小，电流范围为1.5~33 mA，连续可调。

(6) 电源开关：是仪器电源的控制端。

四、实验操作

本实验的目的是测量超导材料的转变温度，也就是在常气压环境下超导体从非超导态变为超导态时的温度。由于超导材料在超导状态时电阻为零，因此可用检测其电阻随温度变化的方法来判定其转变温度。实验中要测量样品的电阻及温度。样品的电阻用四引线法测量，通以恒定电流，测量两端的电压信号，由于电流恒定，电压信号的变化即是电阻的变化。温度用铂电阻温度计测量，它的电阻会随温度变化而变化，比较稳定，线性度也较好，实验时通以恒定的1.00 mA。测量温度计两端电压随温度变化情况，从附表中可查到其对应的温度。温度的变化是利用液氮杜瓦瓶空间的温度梯度来获得的。样品及温度计的电压信号可从数字电压表中读得。

(1) 样品、探棒与测量仪器用连接线连接起来，如图9-10所示。

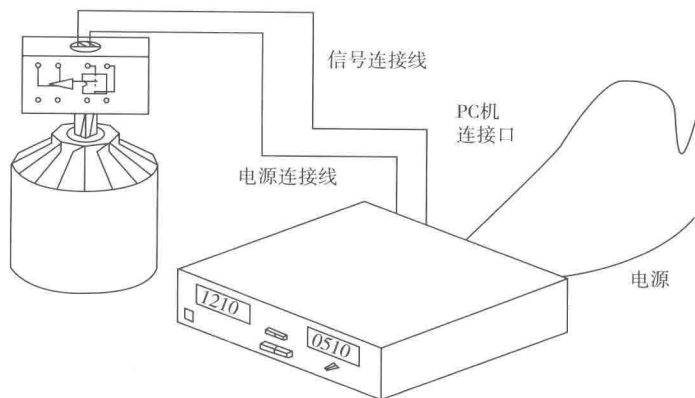


图9-10 测量超导材料的转变温度实验

(2) 样品连线连接好以后, 开启电源, 小心地把探测头浸入杜瓦瓶内, 待样品温度达到液氮温度后(一般等待 $10\sim 15\text{ min}$), 观察此时样品出现信号是否处于零附近(因此时温度最低, 电阻应为 0, 但因放大器噪声也被放大, 会存在本底信号). 注意此时不能再改变放大倍数, 放大倍数挡位置应与高温时一致. 如果此时电压信号仍很大, 与高温时一样, 则属不正常, 需检查原因. 如电阻信号小, 与高温时的电阻信号相差大, 则可进行数据测量了.

(3) 样品温度达到稳定到液氮温度时, 记下此时的样品电压及温度电压值, 然后把探测头小心地从液氮瓶内提拉到液面上方, 温度会缓慢升高, 在这个变化过程中, 温度计的电压信号及样品的电阻信号会同时变化, 同时记录这两个值, 记下 $30\sim 40$ 个数据.

(4) 从高温到低温再测量一次, 观察两条曲线是否重合, 解析原因.

(5) 实验结束工作: ①实验结束后关掉仪器电流, 用热吹风把探测头吹干; ②旋开探测头的外罩, 把样品吹干, 使其表面干燥无水气; ③用烙铁把样品与样品架连接的四个焊点焊开, 取出样品, 用滤纸包好, 放回干燥箱内, 以备下组实验者使用.

五、注意事项

(1) 实验操作过程中不要用手直接接触样品表面, 要带好手套, 以免沾污样品表面.

(2) 样品探测头放进液氮杜瓦瓶时应小心地缓慢进行, 以免碰坏容器, 皮肤不要接触液氮, 以免冻伤. 万一容器瓶损坏, 液氮溢出瓶外室内充满雾气, 这时也不要紧张, 这是液氮在气化蒸发, 只要不接到皮肤就不会冻伤, 过一会挥发完就好了.

(3) 灌倒液氮时要小心, 不要泼在手上、脚上, 其严重灼伤皮肤程度比开水更甚!

六、数据记录

(1) 记录温度计电压放大倍数(40 倍)、样品放大倍数.

(2) 记录温度计电流值及样品电流值(实验过程中保持恒定).

(3) 记录温度计电压值及样品电压值.

七、数据处理

(1) 由测量数据, 计算样品电阻 R 及温度计电阻 R_T ;

(2) 绘制样品电阻 R 与温度计电阻 R_T 关系曲线, 降温与升温曲线绘至同一坐标轴内;

(3) 作图并查表得超导样品的临界温度 T_c .

八、参考讨论问题

(1) 什么叫超导现象? 超导材料有什么主要特性? 实验中如何判断样品进入超导态了?

(2) 如何能测准超导样品的温度?