



普通高等学校工科基础课教材

综合设计性

物理实验

吴振森 武颖丽 胡荣旭 李平舟 吴兴林 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

西安电子科技大学教材建设基金项目

普通高等学校工科基础课教材

综合设计性物理实验

吴振森 武颖丽

编著

胡荣旭 李平舟 吴兴林

西安电子科技大学出版社

2007

内 容 简 介

本书根据“高等工科学学校物理实验基本要求”，结合电子类院校的专业特点和西安电子科技大学物理实验教学实践经验编写而成。编写时考虑要充分体现出设计性实验课程的特点，力求打破传统实验课程体系结构，尝试将各门实验重组与融合，通过实验仪器与测量目标交叉组合的教学方法实现综合设计性实验教学目标。全书由综合性实验、同一仪器测量多种物理量实验、同一物理量用不同方法测量实验三个部分的 25 个实验组成，涵盖了力学、热学、光学、电学和近代物理等知识点。

本书是西安电子科技大学物理实验“十一五”规划建设系列教材之一，可作为普通高等学校相关专业的综合设计性物理实验教材，也可作为成人教育、电视大学、函授大学、职工大学等学校的设计性物理实验教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

综合设计性物理实验/吴振森等编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2007. 9

普通高等学校工科基础课教材

ISBN 978-7-5606-1912-5

I. 综… II. 吴… III. 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(2007)第 134035 号

责任编辑 陈婷 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http: //www. xduph. com E-mail: xdupfxb@pub. xaonline. com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 14.75

字 数 336 千字

印 数 1~8000 册

定 价 20.00 元

ISBN 978-7-5606-1912-5/O·0085

XDUP 2204001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

前 言

本书是按照“高等工科大学物理实验基本要求”，适应电子类高等院校的专业特点，按照教育部教学示范中心建设和为培养“重基础、宽口径、高素质、强能力”复合型人才的要求，在结合西安电子科技大学多年积累的设计性实验经验的基础上编写完成。

物理实验是学生进入大学后系统学习基本实验知识、实验方法和实验技能的开端，是我国普通高等学校为了培育大学生科学素质、动手能力与开拓创新精神而开设的以实验为主要内容的首门课程。基础物理实验是按普通物理(力、热、光、电)和近代物理实验分别安排的封闭体系，远不能满足培养学生跨学科思维能力和创造能力的需要。为了实现设计性物理实验的培养目标，需要在设计性物理实验教学中打破大学物理实验内容的传统体系结构。本教材提出了“以学生为根本，知识、能力、素质教育协调发展”的实验教学新理念，在内容上打破普物实验中力、热、电、光的界限，打破普物实验与近物实验的界限以及近物实验与专业实验的界限，从而启迪学生科学思维和创新意识出发，精心设计利用“同一仪器设计多种实验”和“用不同仪器或方法完成同一目的实验”以及综合性实验方案，侧重培养学生的综合思维和创造能力，进而激发学生强烈的学习热情，使学生的被动学习变为主动学习。

在编写过程中，我们根据工科类本科专业设置特点，在吸取国内同类教材优点的基础上，融入了编者多年来积累的大学物理实验教学改革经验。书中实验在整体编排及具体实验编写中，坚持由浅入深、循序渐进的原则，内容由综合性实验、同一仪器测量多种物理量实验、同一物理量用不同方法测量实验三部分的 25 个实验组成，涵盖了力学、热学、光学、电学和近代物理等知识点。

西安电子科技大学综合设计性物理实验教学是一项集体事业，本书集结了物理实验中心全体教师的集体智慧和辛勤劳动，是日积月累、逐步完善、发展和升华的结果，编者代表综合设计性物理实验教学全体教师对其成果进行书面整理和总结，其成果理应归西安电子科技大学物理实验中心所有。

本书是西安电子科技大学物理实验“十一五”规划建设系列教材之一，由吴振森、武颖丽、胡荣旭、李平舟、吴兴林编写、修改完成。

大学物理实验教学方法的探讨是永无止境的长期任务，作者在书中所提新方法与新观点难免有不妥之处，加之时间紧迫、编写仓促、业务水平有限，错误、疏漏之处难免，恳请同行及广大读者提出宝贵意见。

西安电子科技大学物理实验中心

2007 年 6 月

物理实验学生守则

一、爱护实验室一切公物，保持实验室安静、整洁，遵守实验室纪律。

二、上课不迟到，不早退，不旷课。因病不能及时到课者，凭医院病假条与教师联系补做实验。

三、课前要认真预习，写出实验预习报告。课后要及时写好实验报告，并在下次做实验时交指导教师批改，最迟不得超过两周交实验报告。

四、实验前要仔细检查所用实验仪器是否齐全、完好，如果有缺损，要及时报告教师处理，不得随意挪动别组仪器。

五、做实验时要严格遵守所用仪器的操作规程和注意事项，不得擅自拆卸仪器，以防仪器损坏或发生人身事故。对违反操作规程而损坏仪器的学生，教师有权按照学校有关规定进行处理。

六、做电学实验时，在按实验原理要求接好线路，自己检查确认无误后，须请教师检查，经教师检查认可无误后，方可接通电源进行实验。

七、在做光学实验时，要按光学仪器或器件的操作要求进行实验。

八、学生做完实验后，要将实验记录的原始数据交教师审阅，教师审阅无较大错误并签字后，学生才能将仪器恢复到实验前的状态，安放整齐后方可离开实验室。

九、实验结束后，值日生要打扫实验室卫生，清洁、整理实验仪器。

物理实验选课指南

综合设计性物理实验教学实行全开放、分层次网上预约选课,学生根据自己所学专业特点在网上自主选择实验并完成。

物理实验课为必修课,共 54 学时,分为基础物理实验(27 学时,第二学期 24 选 9)和综合设计性物理实验(27 学时,第三学期 24 选 9)。第三学期结束时笔试一次,平时实验成绩占 50%,笔试成绩占 50%。每级学生登记一次成绩。

一、选课要求

(1) 仔细阅读网上选课通知,每学期至少选择完成 9 个实验。

(2) 新学期开学第一天(周一)在计算机基础实验中心选课,选课时间为一周,第二周开始上实验课,每天进行两批,实验时间如下:

春冬季: 14:00~17:00; 18:30~21:30

夏秋季: 14:30~17:30; 19:00~22:00

(3) 实验选定后要按时完成,缺席按 0 分记录。

(4) 不能按时进行实验者,应提前三天在网上取消当次实验并重新选定。

(5) 建议每周选做完成一个实验。

(6) 建议教改班和物理类专业选择综合性较强的实验;其余专业学生根据专业特点选择实验。

二、选课方法

(1) 从任何地方进入互联网,输入 <http://lxy.xidian.edu.cn/>,在理学院网站主页面上选:物理实验选课(本部学生),进入选课系统,或登录西安电子科技大学主页(<http://www.xidian.edu.cn/>)→院系设置→理学院→选课系统。

(2) 第一次进入系统须输入学号,按照提示要求进行注册并设定自己的密码。

(3) 注册成功后,即可输入学号与密码,进入选课系统选课。

(4) 课程一经选定,一般不予更改。如需更改须提前三天以上进入选课系统自行修改。

(5) 选课地点: E 栋Ⅲ区计算机基础实验中心。

(6) 开课地点: F 栋 2 层和 3 层物理实验中心。

(7) 选课过程中如遇问题,可拨打物理实验中心开放实验办公室电话(81891123)咨询。

综合设计性物理实验选课登记表

实验 顺序	实 验 名 称	周/次	日/批	实验室号
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

填表说明：“周/次”栏填写第几周/星期几；“日/批”栏填写日期/下午(晚上)。

目 录

第一部分 综合性实验

实验一 空气比热容比的测定	3
实验二 热敏电阻温度特性及热敏电阻温度计的设计	8
实验内容 1 热敏电阻的温度特性	8
实验内容 2 热敏电阻温度计的设计	10
实验三 硅光电池特性及应用的研究	13
实验四 音频信号光纤传输实验	19
实验五 光的偏振现象的研究	26
实验六 电源外特性及稳压二极管特性的测量	34
实验内容 1 电阻伏安特性及电压源特性的测量	34
实验内容 2 二极管伏安特性及电流源特性的测量	37
实验七 金属电子逸出功的测定	43
实验八 测定铁磁材料的磁化曲线	47
实验九 直流电路综合设计实验	54
实验内容 1 用伏安法测电阻	55
实验内容 2 非线性电阻的伏安特性曲线	57
实验内容 3 伏安表内阻的测量	59
实验内容 4 电表的改装和校准	60
实验内容 5 用惠斯登电桥测电阻	63
实验内容 6 分压与限流电路特性研究	67

第二部分 同一仪器测量多种物理量

实验一 等厚干涉现象的研究与应用	71
实验内容 1 利用牛顿环测平凸透镜曲率半径	72
实验内容 2 用劈尖干涉测量微小长度	74
实验二 分光计的应用	78
实验内容 1 光栅特性研究和光波波长的测定	78
实验内容 2 利用超声光栅测量液体中的声速	81
实验内容 3 角度的测量	84
实验内容 4 测量玻璃棱镜的折射率	86
实验三 迈克尔逊干涉仪的应用	87
实验内容 1 测氦—氖激光的波长	88

实验内容 2 测量固体薄片折射率	92
实验内容 3 定域等倾干涉圆条纹测量钠双线波长差	94
实验内容 4 测量汞灯某一条谱线相干长度	95
实验四 示波器的结构原理及其应用	96
实验内容 1 示波管的基本结构——电子束实验	96
实验内容 2 示波器的工作原理	105
实验内容 3 示波器的应用简介	109
实验五 冲击电流计的测量原理及应用研究	112
实验内容 1 测量螺线管磁场	113
实验内容 2 测量电容	117
实验内容 3 测量高阻	117
实验六 数字万用表的设计与应用	120
实验内容 1 数字万用表的设计	120
实验内容 2 数字万用表的应用	128
实验内容 3 用指针万用电表检测常用电子元器件	130
实验七 霍尔元件的应用	135
实验内容 1 霍尔元件测量磁场	139
实验内容 2 霍尔元件制作霍尔开关	141
实验内容 3 霍尔元件制作霍尔式传感器	142
实验内容 4 霍尔元件应用于电功率的测量	143
实验内容 5 霍尔元件制作霍尔磁卡电度表	143
实验八 电桥的应用	145
实验内容 1 电桥测量电阻	145
实验内容 2 交流电桥	148
实验内容 3 非平衡电桥	149

第三部分 同一物理量用不同的方法测量

实验一 弦振动的研究	153
实验方法 1 电动音叉产生的弦振动的研究	153
实验方法 2 固定均匀弦振动仪产生的弦振动的研究	156
实验二 液体粘滞系数的测定	159
实验方法 1 落球法	159
实验方法 2 转筒法	162
实验方法 3 毛细管法	166
实验三 刚体转动惯量的测定	167
实验方法 1 动力法(落体法)	167
实验方法 2 三线摆法	171
实验方法 3 复摆法	172
实验方法 4 扭摆法	173
实验四 折射率的测量	175
实验方法 1 最小偏向角法测定折射率	175

实验方法 2	掠入射法测定折射率	176
实验方法 3	阿贝折射仪法	178
实验方法 4	应用偏振片测量玻璃片折射率	180
实验方法 5	迈克尔逊干涉仪测量折射率	180
实验方法 6	利用牛顿环测液体折射率	181
实验方法 7	用偏振仪测量薄膜厚度及折射率	182
实验五	液体的表面张力的测定	184
实验方法 1	用焦利氏秤测定液体的表面张力	184
实验方法 2	吊环法测定溶液的表面张力	185
实验方法 3	毛细管法测定液体的表面张力	187
实验方法 4	用扭秤测定液体的表面张力系数	190
实验六	声速的测定	191
实验方法 1	空气(水)中声速的测量	191
实验方法 2	用昆特管测量超声波的速度	196
实验方法 3	用共鸣管测量声波的速度	197
实验方法 4	用超声光栅测量超声波在液体中的速度	198
实验七	磁场的测量	199
实验方法 1	应用磁阻效应测量磁场——地磁场的测定	199
实验方法 2	感应法测磁场——交变磁场的分布与测量	202
实验方法 3	恒定磁场磁通和磁通密度的测量	206
实验八	RLC 电路特性的研究	209
实验方法 1	RC 串联电路测量电容	209
实验方法 2	RC 移相电路	211
实验方法 3	RLC 串联电路的暂态过程	213
附录		219

第 一 部 分

综 合 性 实 验

实验一 空气比热容比的测定

气体的定压比热容与定容比热容之比称为气体的绝热指数，它是一个重要的热力学常数。本实验用新型扩散硅压力传感器测空气的压强，用电流型集成温度传感器测空气的温度变化，从而得到空气的绝热指数；要求观察热力学现象，掌握测量空气绝热指数的一种方法。

【实验目的】

- (1) 用绝热膨胀法测定空气的比热容比。
- (2) 观测热力学过程中状态变化及基本物理规律。
- (3) 了解压力传感器和电流型集成温度传感器的使用方法及特性。

【实验仪器】

FD-NCD 型空气比热容比测定仪、AD590 集成温度传感器、扩散硅压力传感器、气压计、水银温度计等。

1. FD-NCD 型空气比热容比测定仪

本实验采用的 FD-NCD 型空气比热容比测定仪由扩散硅压力传感器、AD590 集成温度传感器、电源、容积为 1000 ml 左右的玻璃瓶、充气球及导线等组成，如图 1-1-1 所示。图 1-1-2 所示为测定仪电源面板示意图。

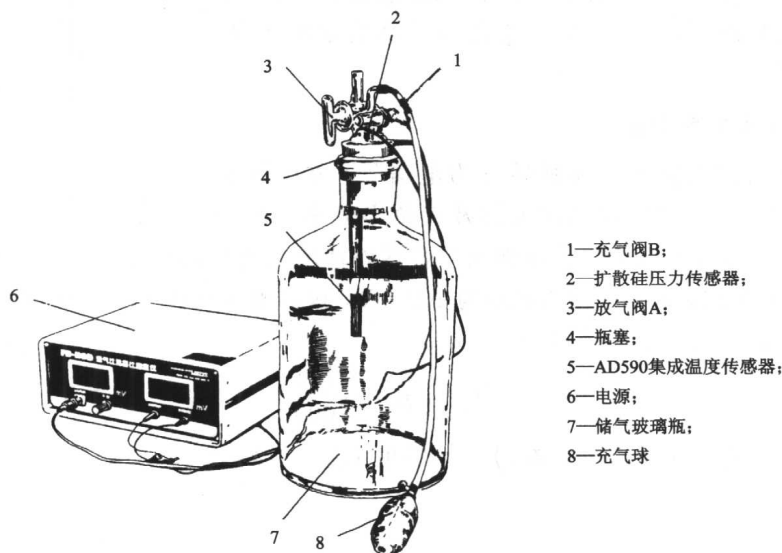
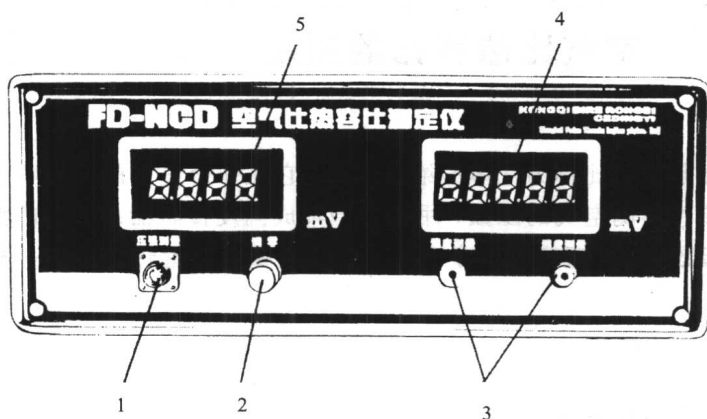


图 1-1-1 FD-NCD 空气比热容比测定仪



- 1—压力传感器接线端口;
- 2—调零电位器旋钮;
- 3—温度传感器接线插孔;
- 4—四位半数字电压表面板(对应温度);
- 5—三位半数字电压表面板(对应压强)

图 1-1-2 测定仪电源面板示意图

2. AD590 集成温度传感器

AD590 是一种新型的半导体温度传感器,测温范围为 $-50 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 。当施加 $+4 \sim +30\text{ V}$ 的激励电压时,这种传感器起恒流源的作用,其输出电流与传感器所处的温度成线性关系。如用摄氏温度 t 表示温度,则输出电流为

$$I = Kt + I_0 \quad (1-1-1)$$

K 取 $1\text{ }\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$,对于 I ,其值从 $273 \sim 278\text{ }\mu\text{A}$ 略有差异。AD590 输出的电流 I 可以在远距离处通过一个适当阻值的电阻 R 转化为电压 U ,由公式 $I=U/R$ 算出输出电流,从而算出温度值。如图 1-1-3 所示。串接 $5\text{ k}\Omega$ 电阻后,可产生 $5\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ 的信号电压,接 $0 \sim 2\text{ V}$ 量程四位半数字电压表,最小可检测到 0.02°C 的温度变化。

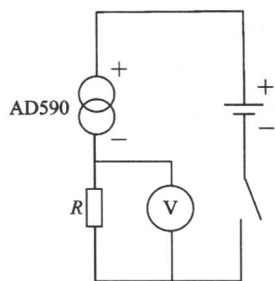


图 1-1-3 AD590 电路简图

3. 扩散硅压力传感器

扩散硅压力传感器是把压强转化为电信号,并由同轴电缆线输出信号,与仪器内的放大器及三位半数字电压表相接。它显示的是容器内的气体压强大于容器外环境大气压的压强差值。当待测气体压强为 $p_0 + 10.00\text{ kPa}$ 时,数字电压表显示为 200 mV ,仪器测量气体压强灵敏度为 20 mV/kPa ,测量精度为 5 Pa 。可得测量公式:

$$p_1 = p_0 + \frac{U}{2000} \quad (1-1-2)$$

式中,电压 U 的单位为 mV ;压强 p_1 、 p_0 的单位为 10^5 Pa 。

【实验原理】

理想气体的压强 p 、体积 V 和温度 T 在准静态绝热过程中,遵守绝热过程方程: pV^γ 等于恒量,其中 γ 是气体的定压比热容 C_p 和定容比热容 C_v 之比,通常称 $\gamma=C_p/C_v$ 为该气体的比热容比(亦称绝热指数)。

如图 1-1-4 所示,我们以储气瓶内空气(近似为理想气体)作为研究的热学系统,试进行如下实验过程:

(1) 首先打开放气阀 A, 储气瓶与大气相通, 再关闭 A, 令瓶内充满与周围空气同温(设为 T_0)同压(设为 p_0)的气体。

(2) 打开充气阀 B, 用充气球向瓶内打气, 充入一定量的气体, 然后关闭充气阀 B。此时瓶内空气被压缩, 压强增大, 温度升高。等待内部气体温度稳定, 即达到与周围温度平衡, 此时的气体处于状态 I (p_1, V_1, T_0)。

(3) 迅速打开放气阀 A, 使瓶内气体与大气相通, 当瓶内压强降至 p_0 时, 立刻关闭放气阀 A, 将体积为 ΔV 的气体喷泻出储气瓶。由于放气过程较快, 瓶内保留的气体来不及与外界进行热交换, 此过程可以认为是一个绝热膨胀的过程。在此过程后, 瓶中的气体由状态 I (p_1, V_1, T_0) 转变为状态 II (p_0, V_2, T_1), 其中 V_2 为储气瓶容积, V_1 为保留在瓶中这部分气体在状态 I (p_1, T_0) 时的体积。

(4) 由于瓶内气体温度 T_1 低于室温 T_0 , 因此瓶内气体慢慢从外界吸热, 直至达到室温 T_0 为止, 此时瓶内气体压强也随之增大为 p_2 。稳定后的气体状态为 III (p_2, V_2, T_0)。从状态 II 到状态 III 的过程可以看做是一个等容吸热的过程。状态 I $\rightarrow$ II $\rightarrow$ III 的变化过程如图 1-1-5 所示。

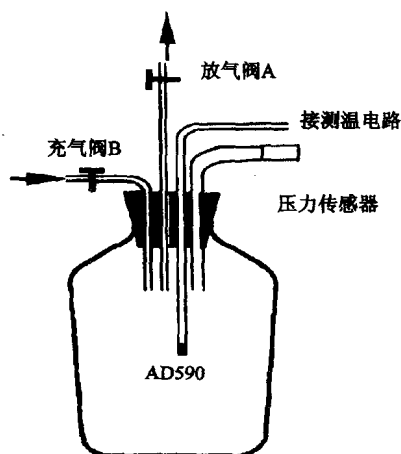


图 1-1-4 实验装置简图

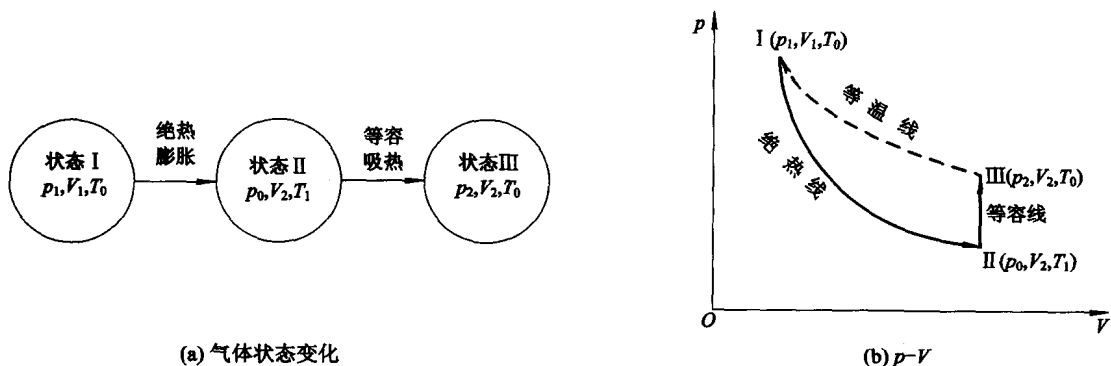


图 1-1-5 气体状态变化及 $p-V$ 图

从状态 I 到状态 II 是绝热过程, 由绝热过程方程得:

$$p_1 V_1^\gamma = p_0 V_2^\gamma \quad (1-1-3)$$

状态 I 和状态 III 的温度均为 T_0 , 由气体状态方程得:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (1-1-4)$$

合并式(1-1-3)和式(1-1-4), 消去 V_1, V_2 得:

$$\gamma = \frac{\ln p_1 - \ln p_0}{\ln p_1 - \ln p_2} = \frac{\ln(p_1/p_0)}{\ln(p_1/p_2)} \quad (1-1-5)$$

由式(1-1-5)可以看出, 只要测得 p_0, p_1, p_2 , 就可求得空气的绝热指数 γ 。

【实验内容】

(1) 打开放气阀 A, 按图 1-1-1 连接电路, 集成温度传感器的正负极请勿接错, 电源机箱后面的开关拨向内侧。用气压计测定大气压强 p_0 , 用水银温度计测环境室温 T_0 。开启电源, 让电子仪器预热 20 分钟, 然后旋转调零电位器旋钮, 把用于测量空气压强的三位半数字电压表指示值调到“0”, 并记录此时四位半数字电压表指示值 U_{T_0} 。

(2) 关闭放气阀 A, 打开充气阀 B, 用充气球向瓶内打气, 使三位半数字电压表示值升高到 100~150 mV。然后关闭充气阀 B, 观察 U_T 、 U_{p_1} 的变化, 经历一段时间后, 当 U_T 、 U_{p_1} 指示值不变时, 记下 (U_{p_1}, U_T) , 此时瓶内气体近似为状态 I (p_1, T_0)。注: U_T 对应的温度值为 T 。

(3) 迅速打开放气阀 A, 使瓶内气体与大气相通, 由于瓶内气压高于大气压, 瓶内 ΔV 体积的气体将突然喷出, 发出“嗤”的声音。当瓶内空气压强降至环境大气压强 p_0 时(即放气声刚结束), 立刻关闭放气阀 A, 这时瓶内气体温度降低, 状态变为 II。

(4) 当瓶内空气的温度上升至温度 T 且压强稳定后, 记下 (U_{p_2}, U_T) , 此时瓶内气体近似为状态 III (p_2, T_0)。

(5) 打开放气阀 A, 使储气瓶与大气相通, 以便于下一次测量。

(6) 把测得的电压值 U_{p_1} 、 U_{p_2} 、 U_T (以 mV 为单位)填入数据表格, 依公式(1-1-2)计算气压值, 依公式(1-1-5)计算空气的绝热指数 γ 值。

(7) 重复步骤(2)~(4), 重复三次测量, 比较多次测量中气体的状态变化有何异同, 并计算 $\bar{\gamma}$ 。

【注意事项】

(1) 实验中储气玻璃瓶及各仪器应放于合适位置, 不要将储气玻璃瓶放于靠桌沿处, 以免打破。

(2) 转动充气阀和放气阀的活塞时, 一定要一只手扶住气瓶, 另一只手转动活塞, 避免损坏活塞。

(3) 实验前应检查系统是否漏气。检查方法是关闭放气阀 A, 打开充气阀 B, 用充气球向瓶内打气, 使瓶内压强升高到 1000~2000 Pa(对应电压值为 20~40 mV), 然后关闭充气阀 B, 观察压强是否稳定, 若压强一直下降则说明系统有漏气之处, 须找出原因。

(4) 做好本实验的关键是放气要十分迅速, 即打开放气阀后又关上放气阀的动作要快捷, 使瓶内气体与大气相通要充分且尽量快地完成。注意记录电压值。

【问题讨论】

(1) 本实验研究的热力学系统是指哪部分气体?

(2) 实验内容(2)中的 T 值一定与初始时室温 T_0 相等吗? 为什么? 若不相等, 对 γ 有何影响?

(3) 实验时若放气不充分, 则所得 γ 值是偏大还是偏小? 为什么?

【拓展】

在上面的实验中,环境温度(室温)假设是恒值,瓶中气体处于室温不变情况下而得出测量公式(1-1-4)。实际测量中,室温是波动的,用高灵敏度测温传感器观测时(如本实验所用的 AD590,温度每变化 0.02°C ,电压变化 0.1 mV),这种变化很明显。那么, p_1 , p_2 值短时间内不易读取。

为了得出更细致的测量公式,让我们再回顾瓶内气体状态变化过程:设充气前室温为 T_0 ,充气后瓶内气体平衡时的室温为 T'_0 ,气体状态为 I (p'_1, V'_1, T'_0);放气后,绝热膨胀,气体状态为 II (p_0, V_2, T'_1);等容吸热瓶内气体平衡时室温为 T''_0 ,气体状态变为 III (p'_2, V_2, T''_0)。其中, V_2 为储气瓶容积, V'_1 为保留在瓶中的气体在状态 I (p'_1, T'_0) 时的体积。瓶内气体状态变化为:

$$\text{I } (p'_1, V'_1, T'_0) \xrightarrow{\text{绝热膨胀}} \text{II } (p_0, V_2, T'_1) \xrightarrow{\text{等容吸热}} \text{III } (p'_2, V_2, T''_0)$$

从状态 I $\rightarrow$ 状态 II 是绝热过程,由绝热过程方程得:

$$p'_1 V'^{\gamma}_1 = p_0 V_2^{\gamma}$$

I、III 两状态,由理想气体状态方程得:

$$p'_1 V'_1 = nRT'_0$$

$$p'_2 V_2 = nRT''_0$$

其中, n 为气体的摩尔数, R 为气体的普适常数。

合并以上三式,消去 V'_1 、 V_2 得:

$$\gamma = \frac{\ln \frac{p'_1}{p_0}}{\ln \frac{p'_1 T'_0}{p'_2 T''_0}} \quad (1-1-6)$$

由式(1-1-6)可知,只要测得 p'_1 、 p_0 、 p'_2 、 T'_0 、 T''_0 ,就可求得空气的比热容比 γ 。很显然,用现有仪器只能得出 T'_0 、 T''_0 的粗略值,那么公式(1-1-6)将毫无意义。为了得出温度的较精确且直观的数值,需要解决这样两个问题:① 定出测量公式(1-1-1)中的 I 的具体值;② 把温度传感器改装成为真正的数字温度计。