

高等学校教材

基础物理实验

(第三册)

符时民 陈维石 封丽 编著



東北大學出版社
Northeastern University Press

高等学校教材

基础物理实验

(第三册)

符时民 陈维石 封 丽 编著

东北大学出版社

• 沈阳 •

© 符时民 陈维石 封 丽 2007

● 图书在版编目 (CIP) 数据

基础物理实验 (第三册) / 符时民, 陈维石, 封丽编著. — 沈阳: 东北大学出版社, 2007.6

ISBN 978-7-81102-421-0

I. 基… II. ①符… ②陈… ③封… 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 087512 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳中科印刷有限责任公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

幅面尺寸: 170mm×228mm

字 数: 283 千字

印 张: 14.875

出版时间: 2007 年 6 月第 1 版

印刷时间: 2007 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 牛连功

责任校对: 无 石

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

ISBN 978-7-81102-421-0

定 价 (全三册): 78.00 元

前 言

《基础物理实验》是物理专业学生的一门必修的专业主干基础课,也是化学、数学、计算机、教育技术等理科系及工科系非物理专业学生必修的一门重要的基础课。本书是按照教育部高等学校物理类专业及非物理类专业大学物理实验课程教学基本要求,借鉴国内物理实验教学内容和课程体系改革与研究的成果,结合多年的物理实验及教学经验编写而成的。全书共分三册,内容涵盖了物理实验基本知识、基础实验、综合性设计性实验及计算机辅助实验。它所安排的实验题目在内容上由浅入深、循序渐进,使学生逐步学会如何选题、选配实验器材,直到能独立进行实验设计和开展具有研究性内容的实验工作,从而锻炼和培养学生,使之具有初步的实验能力、实验设计能力和创新能力。本书为高等学校物理专业以及理、工、农、医等非物理专业的基础物理实验教学用书,也可作为夜大、函授等成人高等教育的物理实验教材。

本课程可以配合有关课程(主要是力学、热学、电磁学、光学等)的学习,帮助学生理解和掌握物理学各领域中的一些重要现象、概念和规律,掌握20世纪以来物理学发展各主要领域中的基本实验方法和技能,从而培养学生的综合思维能力与创新精神,学习如何用实验方法研究物理现象与规律。

本书在选择实验内容时注重时代性和先进性。物理实验必须与现代科学技术接轨,才能激发学生的学习积极性与热情,才能使现代科技进步的成果渗透到传统的经典课程内容中。在教学内容体系上与传统课程体系相比作了较大的调整。传统的物理实验课程体系是按力、热、电、光分别安排的封闭体系,学生每学期各完成其中的一门实验,限制了对学生跨学科思维能力和创造能力的培养。而我们按照新的实验课程独立发展体系把基础物理实验内容重新作了整合。其主要特点为:

1. 按照学生的学习规律,全面调整了实验内容体系,分为以基本量测量、基本实验仪器使用为主的基本实验以及综合性实验和设计性实验三大部分。

2. 各实验内容的选取与设计重视面与点的结合,实验内容体系强调实验过程与实验方法设计,强调基础性、综合性、设计性和研究性,强调分层次教学,同时增加了排除故障等技能的教学内容。

3. 对测量的评定,采用了“标准不确定度”,并且浅涉了测量统计标准及

其在认可论证中的应用,引导学生能尽快适应现代技巧规范。

4. 把新的仪器、测量技术和测量手段纳入了实验内容体系。比如,将计算机技术、光纤技术、传感器技术等现代技术和手段寓于实验中(其中不少是各领域的科研成果)。

本册基础物理实验的基本实验一、二、七、八、十三、十四、十九、二十,设计性实验一、二、七、八、十三、十四、十九、二十、二十五等内容由陈维石老师撰写;基本实验五、六、十一、十二、十七、十八、二十三、二十四,实验设计五、六、十一、十二、十七、十八、二十三、二十四、二十九、三十三、附录等内容由封丽老师撰写;基本实验三、四、九、十、十五、十六、二十一、二十二,实验设计概述,实验设计三、四、九、十、十五、十六、二十一、二十二、二十六、二十七、二十八、三十、三十一、三十二、三十四、三十五,计算机辅助实验一、二、三、四、五、六等内容由符时民老师撰写。本书由符时民老师统稿。

编写一套新型的教材,是一项艰苦而又复杂的任务,有赖于不断地改革实践和长期的研究探索,才能日臻完善。书中的缺点和错误在所难免,敬请使用和阅读本书的教师、同学不吝指正。

在本书的编写期间得到了许多同行的鼓励和支持,谨致深切的谢意。

编 者

2007年3月

目 录

前 言

基本实验	1
实验一 阻尼振动	1
实验二 空气比热容比的测定	5
实验三 用冲击电流计测螺线管内轴线上磁场的分布	8
实验四 用冲击电流计测铁磁物质的磁化曲线	13
实验五 全息照相	19
实验六 空间滤波与光信息处理	28
实验七 金属导热系数的测量 (流体换热法)	34
实验八 良导体导热系数的测定	37
实验九 用示波器测动态磁滞回线	42
实验十 交流电桥	48
实验十一 光纤传感实验	58
实验十二 音频信号光纤传输技术实验	67
实验十三 气体相对压力系数的测量	74
实验十四 温度传感器特性测量和应用研究	80
实验十五 LRC 电路的稳态特性	85
实验十六 LRC 电路的暂态过程研究	94
实验十七 超声光栅测声速实验	102
实验十八 光学材料折射率的测定	108
实验十九 热电偶温差电动势的测量	114
实验二十 热敏电阻温度特性的研究	124
实验二十一 LRC 电路谐振特性的研究	127
实验二十二 地磁场水平分量测量	135
实验二十三 硅光电池特性的研究	140
实验二十四 干涉法测定金属的线膨胀系数	145

实验设计	149
实验设计概述	149
实验设计一 气垫导轨上测重力加速度方法比较研究	156
实验设计二 用落体仪测重力加速度的研究	157
实验设计三 非线性电阻的伏安特性研究	157
实验设计四 用电压表测定电阻的阻值	158
实验设计五 凸透镜焦距的多种测量方法的比较	158
实验设计六 折射率测定装置的设计与制作	159
实验设计七 测定锌粒的密度	160
实验设计八 测定空气密度	160
实验设计九 用电流表测定电阻的阻值	160
实验设计十 用伏安桥法测定电阻的阻值	161
实验设计十一 用分光计测量液体的折射率	161
实验设计十二 光波波长测量方案和结果比较	162
实验设计十三 船漏水下沉时间的分析与模拟试验	163
实验设计十四 测定空气中的声速	163
实验设计十五 用电位差计测电压表内阻	164
实验设计十六 测量电压表内阻	164
实验设计十七 组合透镜	164
实验设计十八 白光干涉测透明薄膜的厚度	165
实验设计十九 音叉声场的研究	166
实验设计二十 用示波器-霍尔元件法测转速率	167
实验设计二十一 用伏安法测低电阻	167
实验设计二十二 简易万用电表的设计及校准	167
实验设计二十三 用光的干涉的方法测量薄膜的厚度或微小直径	168
实验设计二十四 激光测微小位移	169
实验设计二十五 液体在毛细管中上升的速率与液体表面张力系数、黏度系数的测量	170
实验设计二十六 用电位差计测电流表内阻	171
实验设计二十七 用惠斯通电桥测表头内阻	171
实验设计二十八 用自组电桥测检流计内阻	171
实验设计二十九 测定发散透镜组的基点	172
实验设计三十 测定液体或固体的电介质常数	172

实验设计三十一	机械阻尼简谐振子与 LRC 谐振电路的对比研究	173
实验设计三十二	用 XY 函数记录仪描绘暂态曲线	173
实验设计三十三	组装迈克耳孙干涉仪	174
实验设计三十四	测定按钮开关的开关时间	175
实验设计三十五	电桥法测定信号源的频率	176
计算机辅助实验		177
辅助实验一	声波音调和频率的关系	179
辅助实验二	声波的干涉——拍	181
辅助实验三	玻意耳定律	183
辅助实验四	楞次定律	186
辅助实验五	磁滞回线	189
辅助实验六	单丝衍射	194
附录一	中华人民共和国法定计量单位	199
附录二	物理学基本常数	202
附录三	物理常量表	203
附录四	世界十大经典物理实验	214
附录五	百年诺贝尔物理学奖与物理实验	221
参考文献		228

基本实验

实验一 阻尼振动

【引言】

纯粹的简谐振动实验是不存在的。一个自由振动系统，由于种种原因，在没有外来能量补充的情况下，其振动能量将逐渐减小，振幅因之逐渐衰减，最后停止振动，这就是阻尼振动。单摆和天平指针的摆动是阻尼振动；电流计指针的运动，LC 振荡电路中的电流、电压变化也是阻尼振动。因此研究阻尼振动有普遍意义。

【实验目的】

1. 观测弹簧滑块的阻尼振动，了解阻尼振动特性参数的意义。
2. 测定阻尼常数。

【实验仪器】

气轨，滑块，弹簧，光电门，数字毫秒计，小块永久磁铁，附加物，秒表等。

【实验原理】

1. 阻尼振动。

振动系统由水平的气垫导轨上的弹簧和滑块组成。该弹簧滑块系统受到两个力的作用：一是阻尼力 $f = -b \frac{dx}{dt}$ ，它主要是滑块周围的黏滞阻力，与滑块的运动速度成正比。另一个是弹性力 $-kx$ ，与滑块的位移成正比。在这两个力的作用下，滑块的运动方程为

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - b \frac{dx}{dt} \quad (1-1)$$

式中， m 为滑块的质量； $\frac{dx}{dt}$ ， $\frac{d^2 x}{dt^2}$ 是滑块运动的速度和加速度。令 $2\beta = \frac{b}{m}$ ，

$\omega_0^2 = \frac{k}{m}$ (其中常数 β 为阻尼系数, ω_0^2 为振动系统的固有频率), 则式(1-1)可改写为

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \quad (1-2)$$

当 $\beta^2 - \omega_0^2 < 0$ 时, 式(1-2)的解为

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \phi_0) \quad (1-3)$$

式中, A_0 , ϕ_0 是 $t=0$ 时刻的振幅及位相。式(1-3)表示一个振幅随时间不断减小的振动, 即阻尼振动。其振幅随时间按指数规律衰减:

$$A = A_0 e^{-\beta t} \quad (1-4)$$

振动角频率 ω 及周期 T 为

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \quad (1-5)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} \quad (1-6)$$

2. 描述阻尼振动特性的参量。

(1) 阻尼常数 b 。

由式(1-3)和式(1-4)可知, β 是描述系统阻尼特性的参量, 称为阻尼系数。 β 与阻尼常数 b 的关系为 $\beta = \frac{b}{2m}$ 。阻尼越大 b 越大, β 越大, 阻尼振动的振幅随时间衰减得越快; 反之, b 越小, β 越小, 振幅随时间衰减得越慢。

(2) 半衰期 $T_{1/2}$ 。

为了能直观地反映阻尼振动的衰减特性, 引入半衰期物理量, 用 $T_{1/2}$ 表示。其物理意义是: 阻尼振动的振幅从初值 A_0 衰减为 $\frac{A_0}{2}$ 时所需的时间。由式(1-4)可得

$$\frac{A_0}{2} = A_0 e^{-\beta T_{1/2}} \quad (1-7)$$

所以,

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\beta} \quad (1-8)$$

将 $\beta = \frac{b}{2m}$ 代入式(1-8), 可得阻尼常数和半衰期的关系式:

$$b = \frac{2m \ln 2}{T_{1/2}} \quad (1-9)$$

由式(1-9)可知, 可以通过测定半衰期 $T_{1/2}$ 来测定阻尼常数 b 。

(3) 品质因数 Q 。

振动系统的品质因数是反映振动系统能量衰减快慢的物理量。品质因数定义为振动系统的总能量 E 与在一个周期内损耗的能量 ΔE 之比的 2π 倍, 即

$$Q = 2\pi \frac{E}{\Delta E} \quad (1-10)$$

滑块克服阻尼力做功的瞬时功率大小, 等于阻尼力的大小乘以运动速率, 即

$$f \cdot v = bv \cdot v \quad (1-11)$$

式中, $v = \frac{dx}{dt}$, 一周期的平均功率 $\overline{f \cdot v}$ 用 $(bv^2)_{\text{平均}}$ 表示。这样, 一个周期内所损耗的能量 ΔE 就等于一个周期内滑块克服阻力作的功, 所以

$$\Delta E = (bv^2)_{\text{平均}} \cdot T \quad (1-12)$$

我们知道, 对于振动系统而言, 一个周期中的平均动能等于平均势能, 且均等于总能量的一半, 即

$$\left(\frac{1}{2} mv^2 \right)_{\text{平均}} = \left(\frac{1}{2} kx^2 \right)_{\text{平均}} = \frac{1}{2} E \quad (1-13)$$

$$(v^2)_{\text{平均}} = \frac{E}{m} \quad (1-14)$$

将式(1-14)代入式(1-12), 得

$$\Delta E = b \frac{E}{m} T \quad (1-15)$$

将式(1-15)和式(1-9)代入式(1-10), 得

$$Q = \frac{\pi T_{1/2}}{T \ln 2} \quad (1-16)$$

因此, 只要测出阻尼振动的半衰期及周期, 就可求得振动系统的品质因数。

【实验内容】

1. 调整气垫导轨及光电计时系统。

(1) 调平气轨。

(2) 用一组弹簧和滑块组成如图 1-1 所示的弹簧-滑块振动系统。在滑块的中部安放一窄片形的挡光片。

(3) 将一个光电门置于滑块平衡位置的挡光片处。另一个光电门切断电路, 处于不工作状态。

(4) 数字毫秒计的功能选择开关拨到测周期挡。

(5) 观察弹簧-滑块系统的振动状态。

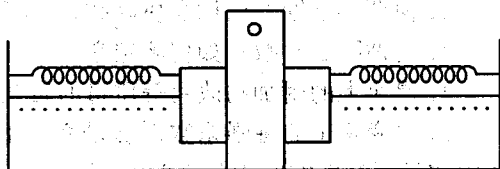


图 1-1 弹簧-滑块振动系统

2. 测阻尼振动的周期 T 和半衰期 $T_{1/2}$ 。

(1) 在滑块两侧对称地放置两小块附加物, 称滑块和附加物的总质量。

(2) 将滑块拉开, 离平衡位置 10cm 后松开, 测其振动周期 T (一次测 10 周期, 测 3 次, 取其平均值)。

(3) 用秒表测定滑块的振幅从 A_0 衰减到 $\frac{A_0}{2}$ 所需的时间 $T_{1/2}$ 。同时记录滑块振动一周期的最大位移(振幅)。

(4) 在滑块上对称地放置四个小块附加物, 重复步骤(1)(2)(3)。

(5) 取下四个小块附加物, 在滑块上对称地放置两块磁铁, 重复步骤(1)(2)(3)。

(6) 滑块及小磁铁不动, 弹簧换成倔强系数较大的一组, 构成新的振动系统, 重复步骤(1)(2)(3)。

【注意事项】

每次测量要保证初始条件相同。

【数据处理】

1. 计算阻尼常数 b 和品质因数 Q 。

根据上面四种情况下所测出的周期 T 和半衰期 $T_{1/2}$, 分别求出振动系统的 b 和 Q 。

2. 绘制滑块作阻尼振动时的振幅衰减曲线。(只要求画出有磁阻尼(步骤(5))及无磁阻尼(步骤(4))两种情形下的曲线。)

【思考题】

1. 阻尼振动的特点是什么?

2. 何谓半衰期? 何谓品质因数? 二者有何关系?

3. 何谓阻尼常数? 如何测定它?

4. 滑块上的附加物改用等质量的磁铁时, b 和 Q 是否变化? 为什么?

5. 改变弹簧的倔强系数对振动系统的阻尼常数是否有影响? 对系统的品质因数是否有影响? 为什么?

实验二 空气比热容比的测定

【引 言】

用绝热膨胀法测量空气的比热容比,是大专院校普通物理热学与热力学基本实验。本实验采用扩散硅压力传感器测量空气压强,用电流集成温度传感器测空气温度,测量手段先进,实验结果精确。

【实验目的】

1. 测量空气的定压比热容与定容比热容之比。
2. 观测热力学过程中空气的状态变化及其基本规律。
3. 学习用传感器精确测量气体压强和温度的原理与方法。

【实验仪器】

1. 实验设备。

本实验设备主要由四部分组成。

- (1) 贮气瓶: 包括玻璃瓶、进气活塞、橡皮塞。
- (2) 传感器: 扩散硅压力传感器和电流型集成温度传感器 AD590 各一只, 同轴电缆。
- (3) 数字电压表两只, 三位半数字电压表作硅压力传感器的二次仪表(测空气压强), 四位半数字电压表作集成温度传感器二次仪表(测空气温度)。
- (4) 钾电池四节, $5\text{k}\Omega$ 电阻(或电阻箱)一只, Forton 式气压计。

扩散硅压力传感器配三位半数字电压表, 它的测量范围大于环境气压 $0\sim 10\text{kPa}$, 灵敏度为 20mV/kPa 。实验时, 贮气瓶内空气压强变化范围约 6kPa 。空气温度测量采用电流型集成温度传感器 AD590, 该半导体温度传感器灵敏度高、线性好, 它的灵敏度为 $1\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ 。

实验装置如图 2-1 所示, 1 为进气活塞 C_1 ; 2 为放气活塞 C_2 ; 3 为电流型集成温度传感器 AD590, 它是新型半导体温度传感器, 温度测量灵敏度高, 线性好, 测温范围为 $-50\sim 150^\circ\text{C}$ 。AD590 接 6V 直流电源后组成一个稳流源(见图 2-2), 它的测温灵敏度为 $1\mu\text{A}/^\circ\text{C}$, 若串接 $5\text{k}\Omega$ 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, 可检测到最小 0.02°C 温度变化。四位气体压力传感器探头, 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。当待测气体压强为 P_0 时, 数字电压表显示为 0; 当待

测气体压强为 $P_0 + 10.00\text{kPa}$ 时, 数字电压表显示为 200mV , 仪器测量气体压强灵敏度为 20mV/kPa , 测量精度为 5Pa 。

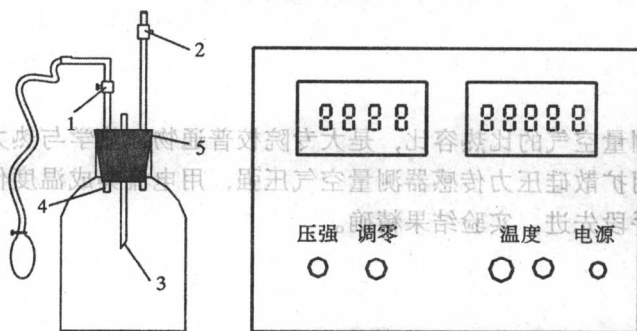


图 2-1 实验装置图

1—进气活塞 C_1 ; 2—放气活塞 C_2 ; 3—AD590; 4—气体压力传感器; 5—704 胶粘剂

2. 仪器使用注意事项。

(1) 实验时硅压力传感器请勿用手压, 以免影响测量准确性。

(2) 玻璃活塞如有漏气, 可用乙醚将油脂擦干净, 重新涂真空油脂。

(3) 橡皮塞与玻璃瓶或玻璃管接触部位等处有漏气只需涂 704 硅化橡胶, 即可防止漏气。

(4) 由于每只硅压力传感器的灵敏度不完全相同, 所以一台仪器配一只专用传感器。请勿将显示器与压力传感器互换。

【实验原理】

对理想气体的定压比热容 C_p 和定容比热容 C_v 之关系, 可由式(2-1)表示:

$$C_p - C_v = R \quad (2-1)$$

式中, R 为气体普适常数。气体的比热容比

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad (2-2)$$

气体的比热容比现称为气体的绝热系数, 它是一个重要的物理量, γ 值经常出现在热力学方程中。

测量 γ 值的仪器如图 2-1 所示。实验时先关闭活塞 C_2 , 将原处于环境大气压强 P_0 , 室温 T_0 的空气从活塞 C_1 处把空气送入贮气瓶 B 内, 这时瓶内空气压强增大, 温度升高。关闭活塞 C_1 , 稳定后瓶内空气达到状态 I (P_1, T_0),



图 2-2 AD590 接 6V 直流电源组成的稳流源

V_1), V_1 为单位质量的气体体积。

然后突然打开阀门 C_2 , 使瓶内空气与大气相通, 到达状态 II (P_1 , T_2 , V_2) 后, 迅速关闭活塞 C_2 , 由于放气过程很短, 可认为是一个绝热膨胀过程, 瓶内气体压强减小, 温度降低。绝热膨胀过程应满足泊松公式:

$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_0 \cdot V_2^\gamma \quad (2-3)$$

在关闭活塞 C_2 之后, 贮气瓶内气体温度将升高, 当升高温度至 T_0 时, 体系由状态 I (P_1 , T_0 , V_1) 改变为状态 III (P_2 , T_0 , V_2), 是等温变化, 应满足玻意耳定律:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \quad (2-4)$$

由式(2-3)和式(2-4)可得

$$\gamma = \frac{\lg P_0 - \lg P_1}{\lg P_2 - \lg P_1} \quad (2-5)$$

利用式(2-5)可以通过测量 P_0 , P_1 和 P_2 值, 求得空气的比热容比 γ 值。

【实验内容】

1. 按图 2-2 接好仪器的电路 (AD590 的正负极请勿接错), 用 Forton 式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, 将电子仪器部分预热 20 分钟, 然后用调零电位器调节零点, 把三位半数字电压表示值调到 0。

2. 把活塞 C_2 关闭, 活塞 C_1 打开, 用打气球把空气稳定地徐徐放入贮气瓶 B 内, 用压力传感器和 AD590 温度传感器测量空气的压强和温度, 记录瓶内压强均匀稳定时的压强 P_1 和温度 T_0 值 (室温为 T_0)。

3. 突然打开活塞 C_2 , 当贮气瓶的空气压强降低至环境大气压强 P_0 时 (这时放气声消失), 迅速关闭活塞 C_2 。

4. 当贮气瓶内空气的温度上升至室温 T_0 时记下贮气瓶内气体的压强 P_2 。

5. 用式(2-5)进行计算, 求得空气比热容比值。

【注意事项】

1. 实验内容 3 打开活塞 C_2 放气时, 当听到放气声结束应迅速关闭活塞, 提早或推迟关闭活塞 C_2 , 都将影响实验精度, 引入误差。由于数字电压表尚有滞后显示, 如用计算机实时测量, 发现此放气时间约零点几秒, 并与放气声的产生和消失一致, 所以关闭活塞 C_2 , 通过听声更可靠些。

2. 实验要求环境温度基本不变, 如发生环境温度不断下降的情况, 可在

远离实验仪处适当加温, 以保证实验正常进行。

【思考题】

1. 空气达到状态 I (P_1, T_0, V_1) 时, 若发现仪器的显示数字 P_1 不断减小, 没有一个稳定的数字, 这是什么问题?
2. 在实验步骤 3, 打开活塞 C_2 放气到放气结束关闭 C_2 , 为什么要以听声音为准?
3. 实验中, 操作的哪一步系统经历绝热过程? 是绝热压缩还是绝热膨胀? 应满足什么关系式?
4. 系统从状态 I (P_1, T_0, V_1) 变为状态 II (P_2, T_0, V_2) 是一个什么热力学过程, 满足什么关系式?
5. 请分析实验操作的每一步, 说明系统经历了什么热力学过程。请在 P - V 图上定性描出每一过程的图线。

实验三 用冲击电流计测螺线管内轴线上磁场的分布

【实验目的】

1. 学习用冲击法测磁感应强度的原理和方法。
2. 掌握冲击电流计的使用方法。

【实验仪器】

冲击电流计, 螺线管, 标准互感器, 电阻箱, 滑线变阻器, 直流安培表, 直流电源, 开关等。

【实验原理】

当螺线管通以电流 I 时, 管内轴线上任意一点的磁感应强度

$$B = \frac{1}{2} \mu_0 n_0 I (\cos \beta_1 - \cos \beta_2) \quad (3-1)$$

式中, μ_0 为真空磁导率, n_0 为单位长度线圈的匝数, β_1 和 β_2 分别为螺线管轴上某一点到两端的张角, 如图 3-1 所示。当螺线管为无限长时 ($\beta_1 = 0, \beta_2 = \pi$), 则磁感应强度

$$B_0 = \mu_0 n_0 I$$

如果螺线管的长度为 $2l_0$, 直径为 $2R$, 取螺线管的中点 O 为 X 轴的原

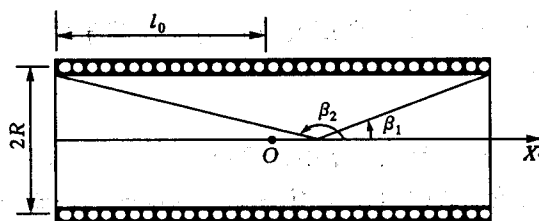


图 3-1 螺线管

点, 那么式(3-1)可写作

$$B = \frac{1}{2} \mu_0 n_0 I \left[\frac{l_0 - x}{\sqrt{R^2 + (l_0 - x)^2}} + \frac{l_0 + x}{\sqrt{R^2 + (l_0 + x)^2}} \right] \quad (3-2)$$

令 $\frac{R}{l_0} = m$, $\frac{x}{l_0} = n$, 而 $B_0 = \mu_0 n_0 I$, 则式(3-2)可写成

$$B = \frac{1}{2} B_0 \left[\frac{1-n}{\sqrt{m^2 + (1-n)^2}} + \frac{1+n}{\sqrt{m^2 + (1+n)^2}} \right] \quad (3-3)$$

或

$$\frac{B}{B_0} = \frac{1}{2} \left[\frac{1-n}{\sqrt{m^2 + (1-n)^2}} + \frac{1+n}{\sqrt{m^2 + (1+n)^2}} \right] \quad (3-4)$$

以 n 为横坐标、 $\frac{B}{B_0}$ 为纵坐标, 如果取三种 m 值, 则按式(3-4)得到的轴线上相对磁场分布如图 3-2 所示(详细数据见本实验附记部分)。

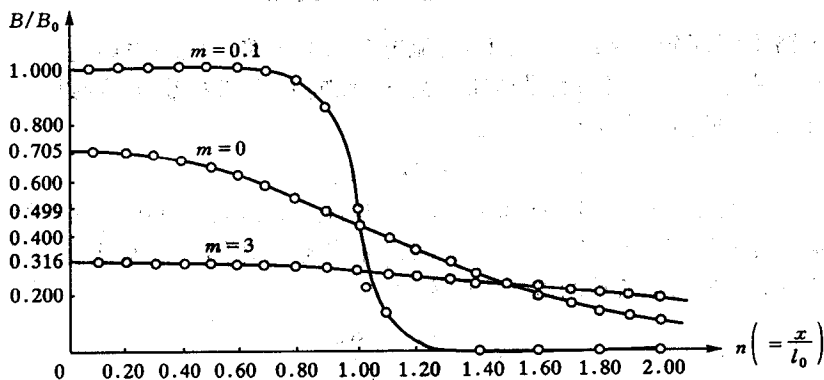


图 3-2 螺线管磁场分布图

由图 3-2 可知, m , n 值越小, 磁场越均匀, 当 $l \gg R$, 即 $m \rightarrow 0$ 时, 在