

# 工科物理 实验教程

浙江工学院  
中国计量学院 合编  
浙江丝绸工学院  
杭州高等专科学校

浙江大学出版社



0190251



科工委字第802 2 0048718 8

# 工科物理实验教程

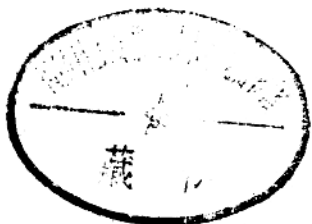
主 编 吴乃爵

主 审 李化平 陈守川

编 者 (按姓氏笔划为序)

王淑珍 朱兴国 吴乃爵

何安十 姚桂瑞 隋成华



浙江大學出版社

(浙)新登字 0号

## 内 容 简 要

本书从一般(非重点)工科院校的实际出发,以高等工业学校物理实验课程教学基本要求为纲,由杭州地区物理实验教学协作组编撰而成,它凝聚了杭州地区有关院校十年教改的经验与成果。

作为一门新兴的独立课程,其体系急待完善,本书是一种尝试。全书共分七篇:误差与数据处理、基本实验方法和测量方法、物理实验的基本仪器、基本实验、综合及中级物理实验、设计性实验及计算机应用。前两篇是理论基础,四、五、六篇是具体实验内容(它包含32个课题共40个实验),最后一篇为计算机辅助教学提供了部分程序及通用作图软件。

鉴于一般工科院校专业及层次较多,故在实验的选题及内容安排上铺陈面较广,有些课题中安排了不同的实验方法,有的实验中含提高的要求。

本书可作为各类地方工科院校各专业的物理实验教科书,亦适用于业余大学、函授大学、夜大、电视大学及职工大学。

## 工 科 物 理 实 验 教 程

浙江工学院、中国计量学院  
浙江丝绸工学院、杭州高等专科学校 合编

责任编辑 陈晓嘉

\* \* \*

浙江大学出版社出版  
萧山东湖印刷厂印刷  
浙江省新华书店发行

850×1168 32开本 15印张 370千字

1991年8月第1版 1992年6月第2次印刷

印数: 9311—13310

ISBN 7-308-00810-X

0·099 定价: 5.90元

GF571+

## 前 言

工科，尤其是非重点地方性工科院校，尽管在统一的课程基本要求下，但实验设备、师资及工作人员的配备等具体办学条件乃至教学对象，皆存在着较大差别，这是个不容忽视的问题。经过十年教改的积累，杭州物理实验教学协作组从这一客观实际出发，紧扣课程基本要求，编撰了这本教材。它旨在总结经验，并希望为促进物理实验课程在非重点院校的发展略尽绵力。

在教材编撰中我们力求做到：

一、朝着建设物理实验课程体系这一目标，加强了课程自身的基本理论与基本方法的编写。将误差与数据处理、基本实验方法和测量方法分别立篇。

二、强调了应用，在每一实验课题前皆有一小段引言，指出该实验的应用前景，以祈激发学生的学习热情。

三、为使教材能在更大范围适应不同类型、不同层次工科院校的需要，一方面在同一实验课题下编写不同的实验内容（如磁场测量的感应法和霍尔效应法）；另一方面对提高部分采用小字排版，如回归分析与计算机辅助教学等，供有关学校选择。

四、将常用实验仪器单独编辑成篇，这一方面是为了在编写具体实验时不受仪器所局限，使教材更适用于不同院校。更重要的是，它将促进学生查阅资料及阅读技术说明书能力的提高。

五、由浅入深地引导学生培养独立从事科学实验与撰写报告的能力。本教材依循序渐进原则，从详尽列出实验步骤、数据表格与误差估算方法过渡到要求学生自列数据表格及自行推导误差估算公式。至于设计性实验，则需自行选择仪器、实验方法，

并列实验步骤。

六、分层次的计算机应用：有作为测量仪器使用的TP-801单板机计时系统及微机实时测量。此外，提供了部分计算机数据处理程序及计算机作图的APPLE PLOT软件。各院校使用时可依据自身条件选用，或在本教材的基础上扩展。

七、选择引进了目前国外大学物理实验的两个内容——“冲击摆”与“气体导热系数的测定”。前者是西德的大学实验，后者来自Am.J.phys.48(6), June, 1980。它们皆有测量的物理量多、使同学得到更多的基本技能训练，以及实验的物理思想好、直观而且形象的特点。

本教材在成书过程中得到省教委与各编者所在院校领导的关怀与支持。由北京科技大学李化平与浙江大学陈守川主审，浙江工学院吴乃爵统稿主编。作者分工如下：

中国计量学院王淑珍（实验一、八、九、十三、十九、二十四、二十五、二十九及其有关仪器，第六篇引言）；浙江丝绸工学院何安华（实验十一、十四/2、十五、十八、二十、二十三、三十、三十二及其有关仪器）；杭州高等专科学校姚桂瑞（实验二、四、五、六、三十一及其有关仪器与第七篇第二、三节）；浙江工学院朱兴国（实验三、十六、二十六、二十七、二十八及其有关仪器与第七篇第五节）；浙江工学院隋成华（实验七、十、十二、十四/2、十七及第三篇第二章第一节~第六节）；浙江工学院吴乃爵（第一篇，第二篇，实验二十一、二十二以及有关仪器，第三、四、五、七篇引言及第七篇第一节、第四节）。

实验教学必须依靠集体的力量才能完成，本教材是四校实验教师和实验室工作人员劳动与智慧的结晶。在建设课程体系的过程中要走的路还很远，作为引玉之砖，错误、疏漏之处敬请广大读者批评指正。

编者

1991年3月

# 致未来的工程师

## 改变学习心态，奠定工程师的第一层基石

从中学的基本教育，到大学的高等专业教育，是个质的飞跃。同学们步入大学，不仅在生活上要尽快适应环境的变化，更重要的是要适应学习习惯上的变革：要改变那种“跟着习题走，功课即作业”的学习习惯；要改变那种只重理论的“认真做习题，马虎做实验”的错误学习心态。

中学物理实验是为了帮助同学们进一步了解与巩固课堂所学到的理论知识；而大学物理实验，其课程设置目的却产生了根本的变化。首先，它是工程教育中一系列实践教育的开端和基础，其次，它肩负着培养学生“进行系统实验方法和实验技能训练”的重任，要求学生通过本课程的学习，了解“从事科学实验的主要过程和基本方法”，并得到“从事科学实验的基本训练”。由于本课程提供的是普遍深刻的思维方法和运用实例，因此它的方法、手段和理论适用于各种科学领域而被称之为“工程师的奠基课”。

## 如何学好物理实验课

### 一、课前预习并写好预习报告

认真阅读教材，做到实验前心中有数。明确要做什么实验，应注意什么才不致损坏仪器。

预习报告应包括：

1. 实验目的。
2. 实验原理：扼要简述忌长篇抄书，写出主要公式，工整

地绘出线路图及必要的示意图。

3. 实验步骤：写出提示性步骤及避免损坏仪器的注意事项。

4. 绘制数据记录表格及推导误差估算公式。

## 二、课堂实验

自始至终应仔细观察、认真求索，边想边做，使对要完成的每一个实验步骤做到有意识、有目的。

对于陌生的仪器切忌盲目动手，应先阅读仪器使用说明，注意仪器工作电压、量程选择及人身与仪器的安全。

注意遵守实验室规章制度。

## 三、实验报告的撰写

在预习报告的基础上，将实验获得的测量数据整理后工整地填入数据表，然后列出计算公式、代入数据、得出测量结果，并估算其误差。最后对实验进行评价——可分析误差，亦可讨论实验方法，提出改进意见，亦可写出收获体会。

# 目 录

## 第一篇 误差与数据处理

<b>第一章 误差基础知识</b> .....	2
<b>第一节 误差的基本概念</b> .....	2
一、研究误差的重要意义 .....	2
二、直接测量、间接测量 .....	3
三、绝对误差、相对误差及其表示方法 .....	3
四、关于真值 $x_0$ 、算术平均值 $\bar{x}$ 与残差 $V$ .....	4
五、误差的分类 .....	5
六、精密度、正确度、准确度与精度 .....	6
<b>第二节 系统误差</b> .....	6
一、研究系统误差的意义 .....	6
二、系统误差的分类及其消除方法 .....	6
<b>第三节 偶然误差</b> .....	10
一、偶然误差的分布规律——高斯正态分布 .....	10
二、偶然误差的估算 .....	11
<b>第四节 直接测量误差的估算</b> .....	15
一、单次测量误差的估算 .....	15
二、多次重复测量误差的估算 .....	16
<b>第五节 间接测量误差的估算</b> .....	17
一、全微分法求间接量的最大绝对误差 .....	17
二、对数微分法求间接量的相对误差 .....	18
三、标准误差的传递累积公式 .....	19
四、常用的误差估算公式 .....	19



五、实验结果的表达 .....	20
<b>第二章 有效数字及数据处理</b> .....	21
第一节 有效数字 .....	21
一、误差与有效数字、有效数字的性质 .....	21
二、误差的定位与取值 .....	22
三、测得值的有效位及其修约法则 .....	22
第二节 有效数字的简单运算法则 .....	24
一、和差运算 .....	24
二、积商运算 .....	24
三、函数的有效位 .....	24
第三节 数据处理流程图 .....	25
第四节 数据处理举例 .....	25
第五节 数据处理方法 .....	28
一、列表法 .....	28
二、作图法 .....	29
三、逐差法 .....	31
* 四、回归法 .....	32
练习题 .....	39

## 第二篇 实验方法和测量方法

<b>第一章 物理实验中的基本实验方法</b> .....	42
第一节 换测法 .....	42
一、参量换测法 .....	42
二、能量换测法 .....	43
第二节 静态与动态研究法 .....	44
一、静态研究法 .....	44
二、动态研究法 .....	45
第三节 模拟法 .....	45
一、物理模拟 .....	45

二、数学模拟 .....	46
第四节 干涉法 .....	46
一、驻波法 .....	46
二、衍射法 .....	47
<b>第二章 物理实验中的基本测量方法</b> .....	48
第一节 比较法 .....	48
一、直接比较法 .....	48
二、间接比较法 .....	50
三、替代法 .....	51
第二节 测量宽度展延法 .....	52
第三节 线性放大法 .....	53
一、机械放大 .....	53
二、电磁放大 .....	53
三、光学放大 .....	53
第四节 对称测量法 .....	54
一、双向对称测量法 .....	54
二、平衡位置互易法 .....	56
三、内插法 .....	57

## 第三篇 物理实验常用仪器

<b>第一章 通用及力学实验仪器</b> .....	60
第一节 游标卡尺 .....	60
第二节 螺旋测微计 .....	63
第三节 读数显微镜 .....	65
第四节 杨氏模量实验仪 .....	68
第五节 焦利秤 .....	70
第六节 气垫导轨 .....	71
第七节 计时仪表 .....	73
一、停表 .....	73

二、QD-2双频率计 .....	74
三、QDDG—JS2型计时器 .....	75
四、TP—801单板机 .....	76
第八节 三线悬摆仪 .....	76
第九节 冲击摆 .....	77
第十节 DIC—6 微机开关信号采集装置 .....	78
<b>第二章 电磁学实验基本仪器</b> .....	<b>82</b>
第一节 仪器的布置、联接和安全操作 .....	82
第二节 电源 .....	84
一、交流电源 .....	84
二、直流电源 .....	84
第三节 电阻器 .....	85
一、滑线变阻器 .....	86
二、旋转式电阻箱 .....	87
三、标准电阻 .....	89
第四节 电表 .....	90
一、电流计(表头) .....	90
二、电流表(安培表) .....	91
三、电压表(伏特表) .....	91
四、晶体管毫伏表 .....	92
五、D26电动系交直流两用表 .....	93
六、静电系高压伏特计 .....	93
第五节 检流计(灵敏电流计) .....	94
一、复射式检流计(AC 15/5) .....	94
二、指针式检流计(AC5) .....	98
第六节 常见的电表标记符号、精度等级与读数 .....	99
一、常见符号 .....	99
二、电表精度等级和误差估算 .....	99
三、电表的读数方法 .....	101
第七节 电位差计 .....	103

一、线式电位差计(十一线电位差计) .....	103
二、箱式电位差计(UJ31与UJ36) .....	104
第八节 万用表 .....	109
一、指针式万用表(磁电式) .....	109
二、数字式万用表 .....	116
三、真空管和晶体管式万用表简介 .....	119
第九节 箱式直流电桥 .....	120
一、使用电桥的注意事项 .....	121
二、QJ23型单臂电桥 .....	121
三、QJ26型双臂电桥 .....	123
四、QJ36型单双臂两用电桥 .....	125
第十节 XFD-7A型低频信号发生器 .....	130
第十一节 PB-2型十进制频率计 .....	132
第十二节 示波器 .....	134
一、SB-10型示波器 .....	134
二、ST-16型示波器 .....	136
三、SB-14型慢扫描示波器简介 .....	141
第十三节 LZ3型函数记录仪 .....	143
<b>第三章 分光计、常用光源及照相设备 .....</b>	<b>150</b>
第一节 分光计 .....	150
第二节 常用光源 .....	155
一、白炽灯 .....	156
二、气体放电光源 .....	156
第三节 照相、印相设备 .....	158
一、照相机 .....	158
二、测光表 .....	160
三、冲洗设备 .....	161
四、黑白彩色两用放大机与恒温冲洗箱 .....	163

## 第四篇 基本实验

实验一	长度测量	167
实验二	金属丝杨氏弹性模量的测定	173
实验三	气轨上的物理实验	179
	(含 $v$ 、 $a$ 、 $g$ 的测定与简谐振动的研究)	
实验四	用冲击摆测定子弹的速率	190
实验五	三线悬摆测转动惯量	194
实验六	用夸特摆测重力加速度	201
	(使用停表或微机实时测量)	
实验七	液体表面张力系数的测定	206
实验八	电表的改装和校准	211
实验九	万用表的使用	217
实验十	伏安法测电阻	224
实验十一	直流电桥测电阻	232
	(含惠斯登电桥测中值电阻、凯尔文电桥测低值电阻)	
实验十二	电位差计及其应用	241
	(含电源电动势及内阻的测定、校准电表及热电偶的定标)	
实验十三	灵敏电流计研究	251
实验十四	磁场测量	257
	(含霍尔效应法及感应法)	
实验十五	模拟静电场	270
实验十六	电子束的聚焦和偏转	277
实验十七	示波器的调整和使用	293
实验十八	声速的测定	304
实验十九	光的等厚干涉	309
实验二十	分光计的调整及应用	317
	(含棱镜折射率的测定及光栅衍射光谱的测量)	
实验二十一	摄影技术(含黑白与彩色摄影)	332

## 第五篇 综合及中级物理实验

实验二十二	气体导热系数的测定	347
实验二十三	迈克尔逊干涉仪	360
实验二十四	夫兰克——赫兹实验	369
实验二十五	光电效应法测定普朗克常数	380
实验二十六	微波实验 (含单缝衍射、布拉格衍射、迈克尔逊干涉)	388
实验二十七	全息摄影	395

## 第六篇 设计性实验

实验二十八	碰撞实验设计	408
实验二十九	简易欧姆表设计	409
实验三十	单缝衍射的光强分布	411
实验三十一	光栅衍射法测定光波的波长	414
实验三十二	光的偏振	419

## 第七篇 计算机应用

第一节	计算机辅助教学——示波器的结构与示波器原理演示	422
第二节	冲击摆实验数据的微机处理	435
第三节	夸特摆实验数据的微机处理	436
第四节	一元线性回归	437
第五节	气体导热系数测定数据的微机处理	442
第六节	APPLE PLOT绘图软件的应用	445

### 附录

1. 国际单位制(SI) 150
2. 基本物理常数 451

3. 标准大气压下不同温度的纯水密度 .....	451
4. 20°C时常见固体和液体的密度 $\rho$ .....	452
5. 不同温度下与空气接触的水的表面张力系数 $\sigma$ .....	452
6. 部分液体同空气接触面的表面张力系数与温度的关系 .....	453
7. 在海平面上不同纬度处的重力加速度 .....	453
8. 20°C时某些材料的杨氏弹性模量 .....	454
9. 铜—康铜热电偶分度表 (0~100°C) .....	454
10. 水的沸点(°C)随大气压强 $p$ 的变化 .....	455
11. 几种常见光源的谱线波长表 .....	455
12. 几种常用光源的主要参数 .....	456
13. 黑白冲片与印相药液配方 .....	457
14. 彩色胶卷的冲洗药液配方及工艺 .....	458
15. 彩色照片的冲洗药液配方及工艺 .....	460
<b>参考文献</b> .....	465

# 误差与数据处理

任何测量和实验都受到误差的影响，估算并分析误差是科学实验过程中极为重要的组成部分。有关误差的理论及其应用已发展成为一门专门的学科。作为进行科学实验基本训练的物理实验课，必须赋予学生正确的最基本的误差理论知识，它包含误差的成因及其分类、减少测量和误差的基本方法、以及如何正确表达与估算。本篇讲的是最基础的误差理论，它为物理实验而写，亦适用于其他实验过程，是一切实验的基础知识。



# 第一章 误差基础知识

## 第一节 误差的基本概念

### 一、研究误差的重要意义

在科学实验中，由于实验仪器、实验方法、实验环境以及人的鉴别能力的局限，实验测得值和客观实际值（真值）不一致，这就是所谓误差。

任何实验结果，都不可避免地存在着误差。一个没有标明误差的实验结果，几乎没有用，因为人们将对它的可靠性提出质疑，所以误差是评价测量结果必不可少的数据。

误差的存在，可能歪曲客观规律。如相对论业已指出：光速是宇宙间的最高速度，然而有些科学家经多年观测，却提出了可能存在超光速的“快子”。他们劳而无功的原因是误差歪曲了事实。可见，在未对误差进行科学分析之前，不能贸然下结论。

历史上曾由于对误差的分析，成功地检验了科学理论，推动了科学技术的发展。如1916年爱因斯坦依广义相对论预言：光线行进至太阳附近时，其弯曲角度 $\alpha = 1.8''$ ，三年后被实验所证实：在置信度为95%情况下， $\alpha = 2.0'' \pm 0.3''$ 。又如：雷莱（Rayleigh）分别测定了由大气中分离出的氮和用化学方法制取的氮，两者密度相差二万分之一。经误差分析发现，其差异并非测量误差，这导致发现惰性气体。可以说，人类在科学技术“量”方面的研究所取得的一切成就，几乎都与分析误差、变革实验方法以减少误差及提高测量结果的准确度密切相关。