

高等师范院校物理专业实验教材

普通物理实验

PI WILSHY

教育学院系统《普通物理实验》编写组

大连理工大学出版社 1990

普通物理实验

教育学院系统《普通物理实验》编写组

孟韵池 主编

大连理工大学出版社

1990·3

内 容 提 要

本书是根据现行高等师范专科院校和教育学院物理专业现行普通物理实验大纲，以1989年国家教委世界银行贷款中学师资培训项目国内招标采购的仪器为对象所编写的。

全书共分绪论、误差与数据处理的基本知识、力学热学实验、电磁学实验、光学实验五章。共收集了五十一个实验题目。

本书可作为高等师范专科院校及教育学院物理专业的普通物理实验教学用书，也可以作为中学物理教师进修和教学参考用书。

普 通 物 理 实 验

Putong Wuli Shiyan

孟 韵 池 主 编

大连理工大学出版社出版发行（大连市凌水河）

大连市教育学院印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：13.75 字数：297千字

1990年3月第1版 1990年3月第1次印刷

印数：0001—5000册

责任编辑：尉迟喆斐

责任校对：志 向

封面设计：张凤鸣

ISBN 7-5611-0272-0/O·48 定价：4.98元

前 言

本书是根据高等师范专科院校和教育学院物理专业现“普通物理实验”教学大纲编写的。全书共分绪论、误差数据处理的基本知识、力学热学实验、电磁学实验、光学实验五章。共收集了五十一个实验题目。

一本实验教材用起来是否令人满意，很大程度上取决于实验教材涉及的仪器是否和实验室配套仪器一致。本书所涉及的仪器，基本上是以1989年国家教委世界银行贷款中学资培训项目国内招标采购的仪器为对象，这些仪器已配备各院校。本教材选材紧密结合教学大纲，仪器针对性强水平和繁简程度适合教育学院系统各专业和高等师范专科学校的普通物理实验教学，因此可作为上述院校相应课程的学用书，也可以做为中学物理教师进修和教学的参考用书。

本书是由世界银行贷款中学师资培训项目的用户协会委员会组织编写的。参加编写的院校共26所。

本书由北京师范大学物理系孟韵池副教授担任主编。主编是李鸿鹄、刘志祥(共同组织编写，刘志祥具体负责并纂全书)；(按章序)李永昌、王景祥(第一、二章统稿)；宝友、宋玉庆(第三章力学实验统稿)；吕友辉(第三热学实验统稿)；金淑红、杜彦(第四章电磁学实验统稿)周尚文、呼力雅格其(第五章光学实验统稿)。

编委是：(按姓氏笔划)丁保立、马福恩、王中义、

学峰、王智敏、孔凡成、牛超英、尹升道、陈一鸣、陈肇太、苏九清、吴 剑、张建全、周绍忠、郭旺周、滑超伦、谢俊国。

本书第一、二、四章和第五章分别由北京师范大学物理系曾贻伟、王书颖二位副教授审定。在此之前二位副教授还对原稿作了很多修改工作。

李鸿鹄同志也参加了对原稿的修改和审定工作。

本书所有实验题目的数据处理将由北京师范大学计算中心裴纯礼同志主持用“LOTUS 123”做程序编制工作。

全书的编写工作，得到国家教委大学发展项目顾问郝锡（高级工程师）及西南师范大学物理系阎其昌教授的大力支持和帮助，大连教育学院有关领导和同志们也给予积极支持和鼓励。我们在此谨致以衷心的感谢。

由于水平所限，加之时间仓促，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

1990年3月

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
第二章 误差与数据处理的基本知识	(3)
第一节 物理量测量和误差的基本概念	(3)
第二节 偶然误差的统计分布规律	(7)
第三节 系统误差的基本知识	(16)
第四节 粗大误差及坏值的剔除	(19)
第五节 测量结果误差的表示	(22)
第六节 间接测得量的误差处理及其结果的表示	(27)
第七节 误差传递公式在误差分析中的应用	(38)
第八节 测量结果的有效数字及运算法则	(44)
第九节 实验数据处理的表示和经验公式的获得	(48)
习 题	(72)
第三章 力学热学实验	(75)
实验一 长度测量	(75)
实验二 重力加速度的测定	(82)
实验三 固体和液体密度的测量	(89)

实验四	验证牛顿第二定律·····	(96)
实验五	分析天平的使用·····	(100)
实验六	验证动量守恒定律·····	(107)
实验七	用三线摆测量转动惯量·····	(112)
实验八	杨氏模量的测定·····	(118)
实验九	惯性秤·····	(124)
实验十	弦线上横波速度的测量·····	(129)
实验十一	声速的测定	
	(A) 用共鸣管装置测声速·····	(132)
	(B) 用声波驻波仪测声速·····	(136)
实验十二	谐振动研究	
	(A) 弹簧振子周期公式的研究·····	(143)
	(B) 气轨上谐振动的研究·····	(149)
实验十三	用落球法测定液体的粘滞系数·····	(153)
实验十四	复摆·····	(157)
实验十五	阻尼振动与受迫振动的研究·····	(162)
实验十六	用混合法测定金属的比热容·····	(170)
实验十七	水的汽化热的测定·····	(175)
实验十八	金属线胀系数的测定·····	(180)
实验十九	用拉脱法测定液体的表面张力系数·····	(185)
实验二十	良导体导热系数的测定·····	(190)
实验二十一	电流的热效应·····	(195)

第四章 电磁学实验·····(201)

电磁学实验简介·····(201)

实验一 静电场的描绘·····(206)

实验二	安伏法测二极管的特性·····	(211)
实验三	用惠斯通电桥测电阻·····	(218)
实验四	用电位差计测定电池的电动势·····	(223)
实验五	电表的改装和校准·····	(228)
实验六	灵敏电流计特性的研究·····	(233)
实验七	用直流双臂电桥测低值电阻·····	(237)
实验八	用箱式电位差计校正电表·····	(243)
实验九	电子束的聚焦和偏转·····	(247)
实验十	用冲击电流计测螺线管内轴向磁场的分布·····	(257)
实验十一	示波器的使用·····	(263)
实验十二	交流电桥·····	(273)
实验十三	万用电表的设计制作和定标·····	(278)
实验十四	磁场的描绘·····	(287)
实验十五	RLC 电路的谐振特性研究·····	(294)
实验十六	霍尔效应·····	(300)
实验十七	RLC 电路的暂态过程研究·····	(306)
实验十八	RLC 串联电路的稳态特性研究·····	(314)
第五章 光学实验·····		(321)
实验一	薄透镜焦距的测定·····	(321)
实验二	单缝衍射的光强分布·····	(326)
实验三	分光计调整及棱镜折射率的测定·····	(331)
实验四	菲涅尔双棱镜测波长·····	(339)
实验五	透镜组基点的测定·····	(344)
实验六	迈克尔逊干涉仪的调整和使用·····	(348)

实验七	固体液体折射率的测定.....	(355)
实验八	显微镜望远镜放大率的测定.....	(362)
实验九	等厚干涉现象的研究.....	(370)
实验十	用透射光栅测定光波波长及角色散.....	(375)
实验十一	偏振光和旋光现象的观察和分析.....	(379)
实验十二	发光强度的测定.....	(401)
附 录	(407)
参考文献	(432)

第一章 绪 论

物理学是一门以实验为基础的科学，任何物理概念的确立，物理规律的发现，都必须以严格的科学实验为基础；人们提出的理论是否正确，又必须通过实验和生产实践来检验。

当前，许多物理实验的方法，实验仪器，早已冲破了物理学的疆界，广泛地进入到其它学科的研究和生产领域中。因此，现代世界各先进国家都很重视实验技术的发展和实验技术队伍的培养。在我国也是这样，不仅在科学研究机构中，而且在各类学校的物理教学中，物理实验也越来越占有重要地位。在全国许多高等院校物理专业的教学计划中，《普通物理实验》被列为物理专业的一门重要基础课。

通过这门课程的学习，将使学生掌握基本的实验思想和方法，并成为培养学生理论联系实际，独立工作能力和良好的工作作风的重要途径之一。通过物理实验，加深学生对物理概念的理解和对物理规律的认识；使学生学习如何处理和解决物理问题的途径和方法；掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能；物理实验还有益于培养学生理论与实践紧密结合的科学工作态度，认真细致、一丝不苟的工作作风，注意观察现象、寻找规律的工作习惯等。

物理实验是学生在教师的指导下独立进行的，为了做好每一个实验，下面对预习实验、进行实验和书写实验报告三

个过程提出要求：

1. 实验前必须预习

课前必须认真预习实验讲义，明确实验目的，充分理解实验原理，弄清实验步骤，初步了解仪器的结构原理，仪器的规格、性能。掌握测量方法，准备好记录数据表格，力求在实验中处于主动地位。

2. 实验中仔细操作，认真观测和记录

实验时首先要仔细阅读有关仪器使用的注意事项或仪器说明书。正确安装和调整仪器，使其处在最佳工作状态，安排仪器时要尽量作到便于观察、读数 and 记录。使用中要严格按操作规程进行。认真爱护、稳拿、妥放以防仪器损坏。实验进行中要认真地观察，并及时正确地将实验数据记录在设计好的表格内，对观察到的物理现象也应作好记载。在数据测完后，应检查实验数据是否合理，否则需重新测定。做完实验后，应把仪器及用具整理好，保持实验室清洁整齐，养成良好的科学作风。

3. 认真写好实验报告

实验报告内容包括：实验名称、目的、仪器用具、简要原理、数据记录、实验结果、误差分析和作业题。

实验报告要书写清楚文理通顺。要用自己的语言简明写出实验原理和结论。回答问题应有自己的体会以及对实验的改进意见等。

第二章 误差与数据处理的基本知识

目前实验测量正朝着数字化、自动化和快速化方向发展，并用电子计算机处理数据。误差和数据处理也已形成一专门学科，并涉及到许多数学方法。数据处理和误差分析是得出正确实验结果的不可缺少的过程。因此，实验误差和数据处理是实验教学的重要组成部分。在这里我们主要阐述经典的误差理论和最常用的基本数据处理方法。

第一节 物理量的测量和误差的基本概念

在物理实验中，要用实验方法去研究各个物理量之间的关系，还要直接或间接地确定某个物理量的数值大小，这就离不开对一些物理量进行测量。

一、测量及其分类

从物理量的测定过程来说，可将测量分为直接测量和间接测量；而就物理量的多次测量中是否维持同一条件而言，又可分为等精度测量和不等精度测量。

直接测得量：凡是通过测量仪器直接测得结果的量称为直接测得量。

间接测得量：凡是通过一定的数学关系式计算出来的物理量称为间接测得量。

对某一确定的物理量来说直接测得量和间接测得量的划分，并非是绝对的，而与所使用的测量方法和手段有关。如电源电动势既可用电位差计直接测量，也可利用安伏法分别测得端电压及电流，而后通过计算得出待求电动势。无可置疑，随着科学技术水平的提高，能够直接测定的物理量必将越来越多。

等精度测量：当在同样的条件下（如实验者，实验仪器、实验方法和实验环境等相同），对某一物理量进行多次重复测量，虽各次测得结果可能有所不同，但却没有任何充足理由认为某次测量更精确。于是，将这种具有同样精确程度的测量称为等精度测量。

不等精度测量：在多次重复测量时，只要各实验条件中任何一个发生了变化，由此得到的测量结果精确程度显然不同，将这种测量称为不等精度测量。

实际上，在保持实验条件完全相同进行多次测量是极其困难的。但有些实验条件的变化可能对测量结果影响不大，有的甚至可以忽略，对这种测量，便可近似视为等精度测量。本章只限于研究等精度测量的数据处理问题。

二、真值与期望值，误差与偏差

被测物理量在一定条件下客观存在的真实大小称为其真值，用 A 表示。待测量的测量值 x 与其真值 A 之差称为测量的误差。用 Δ 表示，即

$$\Delta = x - A \quad (2-1-1)$$

误差反映了测量结果与被测量的真值之间存在着差异。事实上，除了理论真值（如三角形内角和为 180° ），国际计

量大会约定的公认值以及对仪器进行校核时，高一级的标准器的量值为被校仪器的近似真值以外，待测量的真值一般不能确切知道。因此，我们对待测物理量只能找出真值的最佳估计值，即用期望值来估计真值。在等精度测量中是取在同一条件下多次测量的算术平均值 \bar{x} 作为直接测得量的期望值，即以它作为真值的最佳估计值。我们把上述各测量值的集合称为测量列。若测量进行 n 次，则该测量列的算术平均值 \bar{x} 可表示为

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2-1-2)$$

可以证明，测量次数越多， \bar{x} 越接近真值。因此，在上述条件下用算术平均值 \bar{x} 作为待测物理量 x 真值的期望值是合理的。

由于待测量的真值无法由实验得出，因此，由 (2-1-1) 式得出测量误差也是不可能的，于是在实际工作中人们引入了偏差（或残差）的概念。将待测量的测量值与其测数列的算术平均值之差称为偏差（或残差）。偏差用 ν_i 表示：即 $\nu_i = x_i - \bar{x}$ (2-1-3)

由于待测量的真值无法确切知道，测量误差 Δ 也就无法计算出来。我们常常由各种依据估计出测量误差 Δ 的绝对值的一个上界 u ，即

$$|\Delta| = |x - A|, \quad |\Delta| \leq u$$

通常称这个上界值为不确定度，也就是说，我们可以估计出一个误差限来。所谓估计是指可能值或大概值，那么就会出现这样一个问题，估计的可信程度怎么样？我们把误差限的可信程度叫可信度，可信度一般是用概率给出的，所以

可信度又叫置信概率。

三、测量结果的表示，绝对误差与相对误差

对任何一个待测量进行测量时，首先，要求测量准确，尽量消除误差，误差若消除不了则应使之减至最小；其次，给出待测量的期望值；再次，估算出误差限，并给出其置信概率。因此无论是直接测量量，还是间接测量量，最后的结果应由五部分组成：①期望值；②误差限；③单位；④可信度（置信概率 P ）⑤测量的次数 n 即表示成

$$\bar{x} \pm \Delta; (\text{单位}) \quad P =, n = \quad (2-1-4)$$

对于直接测得量和间接测得量结果的区别在于以上几个量的计算办法不同。

误差通常表示成绝对误差 Δ 和相对误差 δ 。

绝对误差 Δ 则表示待测量的测量值与其真值偏离的绝对大小，用 (2-1-1) 式表示。在测量结果的表示式中，“ \pm ”表示测量结果误差的范围，即表示真值以一定的可能性（即置信概率）处在 $\bar{x} - \Delta$ 和 $\bar{x} + \Delta$ 的范围内，显然 Δ 较大，就表示测量不够准确。另外，仅用绝对误差 Δ 还不能完全反映出误差的严重程度，更不能比较两个不同测量结果的精确程度。例如，用准确度为 $\frac{1}{20}$ mm 的游标卡尺分别测定厚约 2mm 和 2cm 的平板厚度，测量结果的绝对误差都为 0.05 mm。若用绝对误差来衡量这二个结果的精确程度是相同的，但是，如果用绝对误差与它们本身大小的比值来衡量结果的优劣时，就会发现二者有明显的差别。即

$$\frac{0.05}{2} > \frac{0.05}{20}$$

由此看出，厚为2cm的测量结果比厚为2mm的测量结果要精确。为此，我们引入相对误差的概念，即有

$$\delta = \frac{\Delta}{A} \times 100\% \quad (2-1-5)$$

相对误差通常用百分比表示，故也称为百分误差。

第二节 偶然误差的统计分布规律

实验中从仪器的调整到各物理量的测量都会有误差，而且实验的设计、仪器的选择都需要误差理论的指导。所以，掌握误差理论就显得格外重要。本节就偶然误差的产生及特征，测量的精密度和偶然误差的统计分布规律做简单的讨论。

一、偶然误差的特征及其来源，测量的精密度

在测量时，由于种种随机性因素影响，如一些不可预测的偶然因素造成干扰使得在重复测量时，测量结果各异。这些由于偶然的或不确定的因素所造成的每一次测量值的无规则的涨落，即产生偶然误差。

偶然误差反映的是一组测量结果的重复性或弥散性。对此，我们用“精密度”一词来形容。如果其被测物理量经多次重复测量，其值彼此间很接近，差异甚小，说明此组测量重复性好，或者说，测量的精密度高；反之，若对同一量进行多次测量，所得结果数值极为分散，即彼此相差很大，说明该组测量重复性差，即精密度低。

二、偶然误差的统计分布规律

1. 偶然误差的统计规律性

偶然误差的特点是在相同的条件下，对同一量做多次测量，其测量结果相对真值时而偏大，时而偏小。对每次测量，究竟是偏大还是偏小，具有偶然性。但大量次数的测量所得数据的误差近似遵从如下正态分布的统计规律。

(1) 大小相等，符号相反的正负误差出现的次数接近，即大小相等，符号相反的正负误差出现的可能性相近。

(2) 小的误差出现比大的误差出现次数多，即小的误差出现的可能性比大的误差出现的可能性大。

(3) 超过一定范围的很大误差，极少出现或不出现。说明偶然误差有一定的限度。

前人曾对等精度测量的偶然误差的统计规律进行了研究，指出了多次等精度测量的偶然误差服从正态分布规律。由于统计规律是一种用概率表示的规律，所以正态分布也是一种概率分布，它的几率密度函数 $\varphi(\Delta)$ 为

$$\varphi(\Delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}} \quad (2-2-1)$$

或写成

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(x-A)^2}{2\sigma^2}} \quad (2-2-2)$$