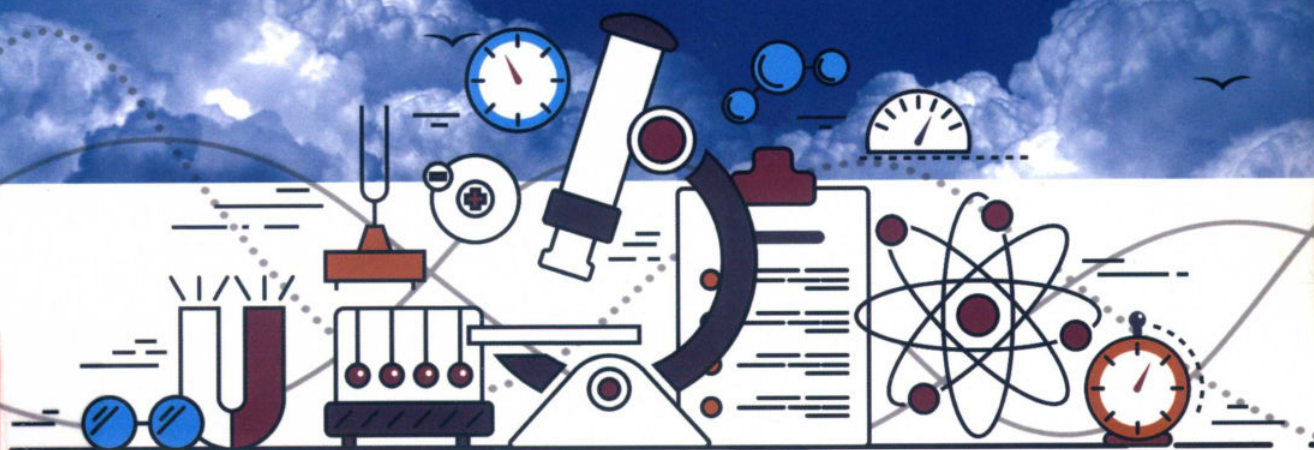



普通高等教育电子与通信类专业规划教材

大学物理实验

◎主编 梁瑞生 王宁星 ◎副主编 廖伯勋 刘伟慈



 中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育电子与通信类专业规划教材

大学物理实验

主 编 梁瑞生 王宁星

副主编 廖伯勋 刘伟慈

贵州师范学院内部使用

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书内容以电磁学实验为主，同时介绍了部分力学实验和光学实验，具体内容包括误差理论，常用力学、电磁学和光学仪器的使用方法，以及部分综合设计实验。全书共有三十一个实验。本书所选实验项目实用性强，且注重基础训练。本书的编写以学生为本，以知识传授、能力培养等协调发展的教育理念为指导思想，以物理原理的理解和实验技能的培养为主导，旨在合理使用实验资源，满足应用型高等院校的教学需求。本书中多数实验附有思考与讨论、实验设计和参考文献等模块，有利于开发学生的研究和设计思路。实验原理简洁明了、深入浅出，实验步骤较为详细。部分实验还附有数据记录表格，本书最后还附有实验报告范例。

本书可作为普通高等院校和应用型本科院校“大学物理实验”课程的教材或参考书，尤其适合学时较少的相关专业的学生使用，还可作为学生自学用书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理实验 / 梁瑞生, 王宁星主编. —北京: 电子工业出版社, 2020.1

ISBN 978-7-121-36522-5

I. ①大… II. ①梁… ②王… III. ①物理学—实验—高等学校—教材 IV. ①O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 092075 号

责任编辑: 李 静

特约编辑: 田学清

印 刷: 北京七彩京通数码快印有限公司

装 订: 北京七彩京通数码快印有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱

邮编: 100036

开 本: 787×1092

1/16

印张: 12.5

字数: 320 千字

版 次: 2020 年 1 月第 1 版

印 次: 2020 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：(010) 88254604, lijing@phei.com.cn。

前 言

大学物理是一门以实验为基础的自然学科，在理工科各专业中具有重要的地位，是高等院校理工科学生的必修课程。大学物理实验是一门以培养学生基本实验技能、提高学生动手能力为目的的实验课程，与大学物理有着同等重要的地位，是其他实验课的基础，它有助于学生对大学物理的理解，并且可以培养学生的动手能力。

随着各类应用型本科学校的涌现，编写出可以满足这类学校教学需求的大学物理实验教材迫在眉睫。本书便是根据应用型本科学校的特点和需求编写的，书中内容以电磁学实验为主，同时介绍了部分力学实验和光学实验。本书中误差理论和实验原理叙述精练，突出了物理思想和实验思路；数据处理要求较简单；实验步骤较详细。绪论中列出实验的具体要求，本书最后附有实验报告范例。所以，此书也可作为学生自学用书。

另外，为了提高学生的实验技能，加强创新能力的培养，本书除编有综合设计实验以外，在每个实验的最后都附有实验内容和参考文献，方便学生查询，有利于激发学生的科学探索兴趣。

本书由梁瑞生、王宁星任主编，廖伯勋、刘伟慈任副主编，是编者多年教学经验和教学改革成果的体现。本书参考了不少文献，在此向这些文献的作者致以衷心的感谢。本书得到了广州工商学院的大力支持，同时电子工业出版社的编辑也为本书的出版付出了辛勤的劳动，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，书中尚有需要完善和改进的地方，恳请专家、读者提出宝贵意见。

编者

2019年5月

目 录

第一章 绪论.....	1
第一节 大学物理实验课程的地位和作用.....	1
第二节 大学物理实验课程的任务和基本要求.....	2
第三节 测量误差与实验数据处理.....	3
第二章 力学实验.....	9
第一节 常用力学仪器的介绍.....	9
第二节 力学基础实验.....	15
实验一 用三线摆测定刚体的转动惯量.....	15
实验二 空气中声速的测定.....	20
实验三 简谐振动特性研究与弹簧劲度系数测定.....	26
实验四 用光杠杆法测定金属丝的杨氏模量.....	31
实验五 弦线上的驻波研究.....	38
实验六 用落球法测液体的黏滞系数.....	43
第三节 综合设计实验.....	47
实验七 重力加速度测量方法的探讨.....	47
实验八 液体表面张力系数的测定设计.....	50
第三章 电磁学实验.....	54
第一节 常用电磁学仪器的介绍.....	54
第二节 电磁学基础实验.....	68
实验九 电阻伏安特性实验.....	68
实验十 用电流场模拟静电场.....	75
实验十一 QJ31 型直流单双臂电桥的使用.....	82
实验十二 表头内阻的测量.....	87
实验十三 电表的改装与校准.....	89
实验十四 新型十一线电位差计的使用.....	94
实验十五 滑动变阻器分压和限流特性的研究.....	100
实验十六 用非平衡电桥研究热敏电阻的温度特性.....	106



实验十七 温差热电势的应用	110
实验十八 铜电阻温度特性的测定	113
实验十九 示波器的使用	117
实验二十 电子在电场和磁场中运动规律的研究	125
实验二十一 霍尔效应及其应用	135
第三节 综合设计实验	141
实验二十二 电阻测量的设计	141
实验二十三 电子温度计的设计	142
实验二十四 多用表的设计	143
第四章 光学实验	146
第一节 常用光学仪器的介绍	146
第二节 光学基础实验	152
实验二十五 薄透镜焦距的测定	152
实验二十六 等厚干涉	158
实验二十七 分光计的调节及棱镜折射率的测定	163
实验二十八 用透射光栅测定光波波长	173
实验二十九 迈克尔逊干涉仪的调整及使用	176
第三节 综合设计实验	184
实验三十 显微镜和望远镜的设计	184
实验三十一 分光计应用的探讨	186
附录 A	188
参考文献	193

第一章

绪 论

第一节 大学物理实验课程的地位和作用

大学物理是一门以实验为基础的自然学科。物理学概念的形成、规律的发现及理论的建立都是以实验为基础的，都需要经过实验的验证。没有经过实验验证的物理理论是空洞的理论。

大学物理实验是根据研究和学习目的，利用实验仪器和设备，人为地控制、创造、纯化或模拟某种自然物理现象，排除各种干扰，突出主要因素，使之按预期的进程发展，同时对实验过程进行观测，以探究物理过程或现象及其变化规律的一种科学活动。在大学物理实验中，重要的任务是找出物理过程或现象中的规律性，并得出结论，建立物理定律，形成物理理论。现有的一些物理概念、物理规律及物理公式都是通过实验总结出来的，学者们所提出的一些物理研究前沿的理论也要通过实验进行验证。物理实验的内容涉及面极广，除涉及物理知识以外，还涉及数学、测量学、误差理论和计算机科学等方面的知识。

物理实验是各类科学实验的基础，体现了大多数科学实验的共性。它的基本理论渗透到自然科学的各个领域中，应用于生产技术的各个部门，在实验思想、实验方法和实验手段等方面都是各类科学实验的基础。反之，物理实验的思想、方法和技术的研究也促进了物理学自身的发展。可以说，没有物理实验的重大突破，就没有物理学的发展。

大学物理实验课程是高校理工科大学生的必修课程，能提供综合性很强的基本实验技能训练，是培养学生科学实验能力、科学素养、严谨治学态度、创新意识，以及提高学生理论联系实际能力和适应科技发展能力的课程，是其他实践类课程无法取代的。所以，大学物理实验课和大学物理理论课具有同等重要的地位。



第二节 大学物理实验课程的任务和基本要求

作为高校基础教学课程的大学生物理实验，不同于科学研究实验，其主要任务是通过观察实验现象、分析和对物理量的测量，学习并掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能。同时，通过物理实验的各个教学环节，培养学生科学的思维方式、一丝不苟的学习态度、实事求是和团结协作的精神。大学物理实验课程的任务和基本要求可概括为以下几个方面。

(1) 使学生通过做物理实验加深对物理理论知识的认识、理解和掌握。

(2) 对学生进行实验方法和实验技能的基本训练，使之能够自主完成实验预习，正确理解实验原理，掌握基本物理量的测量方法，正确调整和使用常用仪器，学会分析和判断实验结果，撰写合格的实验报告，掌握基本的实验技能。

(3) 通过严格的实验素养训练，培养学生求实严谨的科学作风、严肃认真的科学态度、勇于探索的科学精神、遵章守纪的优良作风、爱护公共财物的优良品德。

(4) 通过实验训练，包括阅读教材、仪器使用说明书、参考资料等，培养学生的独立实验能力，逐步提高学生综合运用所学知识和技能解决实际问题的能力，特别是与科学技术的进步和发展相适应的综合创新能力，以适应时代的发展。

综上所述，大学物理实验课程可分为以下 3 个环节。

(1) 课前：做好预习工作，画好原始数据记录表格。

(2) 课堂：认真做实验，做好实验记录。

(3) 课后：进行数据处理，分析实验结果，撰写实验报告。

实验报告内容主要包括以下 7 点。

(1) 实验题目。

(2) 实验目的。

(3) 实验原理：主要公式和主要光路图、电路图，简单扼要的文字叙述。

(4) 实验仪器：名称、规格、型号。

(5) 实验内容与主要步骤。

(6) 数据处理：包括作图、不确定度的估算及分析。

(7) 思考与讨论。

第三节 测量误差与实验数据处理

(一) 测量与误差

1. 测量

物理实验是以测量为基础的实验。所谓测量,就是用合适的工具或仪器,通过科学的方法,将被测物理量与选作标准单位的同类物理量进行比较的过程。例如,用米尺测量某个物体的长度,就是将待测物与米尺进行比较,从而得到待测物的长度。

测量可分为直接测量和间接测量。

直接测量:无须对被测物理量与其他实测物理量进行一定函数关系的辅助计算,即可直接得到被测物理量值的测量方法。例如,用米尺测量物体的长度、用电流表测量电路中的电流等。

间接测量:通过直接测量量与被测物理量之间的函数关系,得到该被测物理量值的测量方法。例如,用伏安法测电阻就是通过测量待测电阻上的电压和通过该电阻的电流,由欧姆定律算出待测电阻。

一个物理量能否直接测量不是绝对的。随着科学技术的发展,测量仪器在不断改进,很多原来只能间接测量的物理量,现在也可以直接测量。

2. 误差

误差是指测量值与真值之间的差值。真值是指被测物理量在确定条件下客观具有的值。

由于测量工具或仪器、实验条件、实验环境等因素的限制,测量不可能绝对精确,物理量的测量值与真值之间总会存在着一定的差异,这种差异就是测量误差。真值是得不到的,因此误差也无法准确知道。

误差与错误不同,错误是应该且可以避免的,而误差是无法绝对避免的。

若在相同条件下对一个物理量进行多次测量,则多次测量为等精度测量。所谓相同条件,是指同一个人,用同一台仪器,每次测量时实验条件和实验环境相同,所取参数等均相同。所以,对于等精度测量,每次测量的可靠程度相同。

设某个物理量的真值为 a ,对其进行了 n 次等精度测量,测量值分别为 x_1, x_2, \dots, x_n ,其算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1.1)$$

可以证明,若不考虑系统误差(或系统误差已经消除),当测量次数 $n \rightarrow \infty$ 时, $\bar{x} \rightarrow a$, 即算术平均值 \bar{x} 为测量值的近似真值。所以,当对同一个待测物理量进行多次等精度测量时,常用算术平均值 \bar{x} 作为其近似真值。

误差的表示方法有绝对误差和相对误差两种。

绝对误差 Δ_x : 测量值 x 与真值 a 之差, 即

$$\Delta_x = x - a$$

相对误差 E : 绝对误差 Δ_x 与真值 a 的比值, 用百分数表示:

$$E = \frac{\Delta_x}{a} \times 100\%$$

实际估算时,一般将算术平均值作为近似真值代入上式。

(二) 误差的分类

根据性质和产生的原因不同,误差可分为系统误差和随机误差。

1. 系统误差

在相同条件下多次测量同一个物理量时,误差的大小和方向保持恒定,或在条件改变时,误差的大小和方向按一定规律变化,这种误差称为系统误差。其特点是有确定的规律性。

系统误差的来源主要包括以下几个方面。

(1) 由实验原理和实验方法不完善造成的误差。例如,由计算公式的近似性引起的误差。

(2) 由仪器本身的缺陷或没有按规定要求使用仪器造成的误差。

(3) 由环境变化引起的误差。

(4) 由观测者生理或心理特点造成的误差等。

在教学实验中,系统误差可简单地只考虑仪器本身的误差 Δ_i 。对于一些常用、通用仪器,一般有特定的仪器误差估算方法。有些仪器说明书中会以某种方式注明仪器误差的估算方法。对于不知道误差估算方法的仪器,可以根据情况简单地取仪器的分度值,即最小刻度,或最小刻度的 $1/10$ 、 $1/5$ 、 $1/2$ 作为仪器误差。

2. 随机误差

在相同条件下多次测量同一个物理量时,每次测量出现的误差时大时小、时正时负,没有规律,这种误差称为随机误差,也称偶然误差。其特点是单次测量结果具有随机性,但多次重复测量结果总体服从一定的统计规律。所以可以用相应的统计分布规律来讨论随机误差对测量结果的影响。

在教学实验中,多次重复直接测量的测量次数一般为 6 次左右,这时可简单地用贝

塞尔公式估算随机误差：

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1.2)$$

当对实验结果的精度要求不高时，也可简单地用式 (1.3) 估算随机误差：

$$\Delta_x = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (1.3)$$

(三) 不确定度

由于真值是得不到的，测量误差也就不能确定，所以物理实验中引入了“不确定度”的概念，它是评价测量值（近似真值）可靠程度的指标。

测量不确定度可以估算测量值与真值之差（误差）的范围，是对测量结果可信赖程度的具体评定。如果不确定度小，即测量值与真值之差的可能范围小，则测量结果可信赖程度高；如果不确定度大，则测量结果可信赖程度低。目前公认用不确定度评定测量值比用误差评定测量值更合理。所以，实际讨论和估算的都是“不确定度”，而不是“误差”，因为误差不能确定。

通常将随机误差称为 A 类不确定度 [用式 (1.2) 或式 (1.3) 估算]，将系统误差称为 B 类不确定度。那么，总的 uncertainty 由 A 类不确定度和 B 类不确定度合成：

$$A_x = \sqrt{A_x^2 + A_1^2} \quad (1.4)$$

(四) 结果表示

测量结果可表示为

$$\begin{cases} x = \bar{x} \pm \Delta_x \\ E_x = \frac{\Delta_x}{\bar{x}} \times 100\% \end{cases} \quad (1.5)$$

式中， E_x 为相对不确定度。

为简单起见，一般绝对不确定度保留一位有效数字，多余的位数一律进位；相对不确定度保留两位有效数字。测量值 x 的位数取决于不确定度数值的位置，即测量值的末位数与不确定度的所在位对齐。

（注：关于不确定度估算方法和有效位数的取舍，不同的教材略有差异，本教材按最简洁的方式来处理。）

例：用游标卡尺测量一个圆盘的直径，5 次的测量值分别为

D (mm)	110.92	110.94	110.92	110.90	110.94
--------	--------	--------	--------	--------	--------

游标卡尺的最小分度值为 0.02mm，试写出测量结果的标准式。

解：直径 D 的算术平均值为

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^5 D_i = \frac{1}{5} (110.92 + 110.94 + 110.92 + 110.90 + 110.94) \approx 110.92 \text{mm}$$

游标卡尺的不确定度为

$$\Delta_1 = 0.02 \text{ mm}$$

圆盘直径的不确定度为

$$\begin{aligned} \Delta_D &= \frac{\sum |D_i - \bar{D}|}{n} \\ &= \frac{|110.92 - 110.92| + |110.94 - 110.92| + |110.92 - 110.92| + |110.90 - 110.92| + |110.94 - 110.92|}{5} \\ &\approx 0.02 \text{mm} \end{aligned}$$

合成不确定度为

$$\Delta_D = \sqrt{\Delta_D^2 + \Delta_1^2} = \sqrt{0.02^2 + 0.02^2} \approx 0.03 \text{mm}$$

相对不确定度为

$$E_D = \frac{\Delta_D}{\bar{D}} \times 100\% = \frac{0.03}{110.92} \times 100\% \approx 0.027\%$$

测量结果为

$$D = \bar{D} \pm \Delta_D = 110.92 \pm 0.03 \text{mm}$$

$$E_D = 0.027\%$$

（五）有效数字

任何物理量的测量都存在误差，因而表示测量值的数值位数不应随意取，所取的位数应能正确反映测量精度。能够正确而有效地表示测量和实验结果的数字称为有效数字。

对于直接测量，有效数字直接由测量仪器最小分度以上的若干位准确数值与最小分度的下一位（有时是在同一位）估读数值（或称可疑数字）构成。

例如，用米尺测量一个物体的长度，如图 1.1 所示，读出的长度为 3.59cm，读数的前两位数 3.5cm 直接从米尺上读出，是准确的，称为可靠数字；末位数 0.09cm 是从米尺上的最小分度中估读出来的，这个数字带有一定的误差，因而称为可疑数字。

对此待测物体，若用普通米尺测量，只能读到小数点后两位，共有三位有效数字。要想提高测量精度，可以换用精度更高的测量仪器，如用 50 分度的游标卡尺测量此物体长度，测量结果为 3.592cm（其中 3.59cm 是可靠数字），比用普通米尺测量多了一位有效数字。可见，有效数字位数的多少不仅与被测对象本身的大小有关，还与所选用的

测量仪器的精度有关,通常测量仪器的精度越高,对于同一个被测对象,所得结果的有效数字位数越多,但要注意下面的两种情况。

(1) 数字中的“0”不同于其他9个数字(1,2,⋯,9)。有效数字的位数从第一个不是“0”的数字开始算起,数字末位的“0”和中间的“0”都属于有效数字。如图1.2所示,若物体边缘恰好与米尺上3.6cm刻度线对齐,测量数据应是3.60cm,不可以写成3.6cm,因为此处的“0”仍然属于有效数字,它表示测量值的十分位是准确的,3.6cm则表示测量值的十分位是可疑的。3.60表示有三位有效数字。

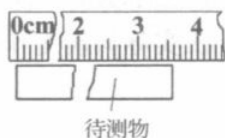


图 1.1 用米尺测量一个物体的长度(一)



图 1.2 用米尺测量一个物体的长度(二)

(2) 有效数字的位数与小数点位置或单位换算无关。例如,1.28m可以写成128cm,但不能写成1280mm,因为前者表示有三位有效数字,而后者表示有四位有效数字,它们表示的测量精度不相同。故数字末尾不能随意加“0”,后者可以写成 1.28×10^3 mm,即用科学记数法表示。

(六) 数据处理

物理实验中测量得到的许多数据,需要处理后才能表示测量的最终结果。数据处理是指从获得数据到得出结果的处理过程。数据处理包括记录、整理、计算、分析、拟合等多种过程,常用的数据处理方法有列表法、作图法、图解法、最小二乘法等,下面只简单介绍列表法和作图法。

1. 列表法

列表法是记录和处理数据的基本方法,也是记录数据的最好方法。设计记录表的要求如下。

(1) 列表要简单明了,利于记录、运算处理数据和检查处理结果,便于一目了然地看出有关量之间的关系。

(2) 表中各栏的物理量都要用符号标明,并写出数据所代表物理量的单位及量值的数量级。单位写在符号标题栏,不要重复记在各个数值后。

(3) 表中记录的数据应能正确反映测量结果的有效数字。一般记录表格应有表号和表题。

例如,计算圆柱体体积时,测圆柱体高 H 和直径 D 的记录表如表1.1所示。

表 1.1 测圆柱体高 H 和直径 D 的记录表

测量次数 i	1	2	3	4	5	平均值
H_i (mm)	35.32	35.30	35.32	35.34	35.30	35.32
D_i (mm)	8.135	8.137	8.136	8.133	8.132	8.135

2. 作图法

用作图法处理实验数据是数据处理的常用方法之一,它能直观地显示各物理量之间的对应关系,揭示各物理量之间的联系。作图法是在现有的坐标纸上用图形描述各物理量之间的关系,将实验数据用几何图形表示出来的方法。在实际科研工作中,可用各种软件作图。

作图时要注意以下几点。

(1) 作图要用坐标纸。当确定作图的参量后,根据函数关系选用直角坐标纸、单对数坐标纸、双对数坐标纸、极坐标纸等。大学物理实验课程中常用的是直角坐标纸。

(2) 坐标纸的大小及坐标轴的比例应当根据所测得的有效数字位数和结果的需要来确定。数字中的有效数字位数应在图中体现出来,数字中最后一位可靠位对应于图中的整数格。除特殊需要以外,坐标轴数值的起点一般不必从 0 开始, X 轴和 Y 轴的比例可以不同,作的图大体上能充满整张坐标纸,使图形布局美观、合理即可。

(3) 标明坐标轴。直角坐标系一般以自变量为横轴,以因变量为纵轴,采用实线描出坐标轴,并用箭头表示出方向,注明所示物理量的名称、单位。一般在坐标轴旁每隔一定整分格间距,以 1、2、5、10 等为基数标注量值。

(4) 描点。根据测量数据,借助直尺和铅笔等工具使其函数对应的实验数据点准确地落在相应的位置,当需要在一个坐标系中画几条曲线时,每条曲线应用不同的标记符号,如“ \times ”“ $+$ ”等标出(避免用“ \cdot ”,因为连线时会把“ \cdot ”盖住),以免混淆。

(5) 连线。将不同函数关系对应的实验数据点连成直线或光滑的曲线(校准曲线中的数据点则连成折线),注意连线要用直尺或曲线板。由于每个实验数据都有一定的不确定度,绘制的曲线不一定通过所有的实验数据点(校准曲线例外),应让多数实验数据点落在曲线上,其余的实验数据点均匀分布在曲线的两侧,并尽可能使曲线两侧所有点到直线的距离之和最小且两侧的点到直线的距离之和近似相等。对于个别偏离很远的实验数据点,在进行数据处理时可通过分析看其是否为异常数据,再决定是否将该实验数据点对应的数据舍去,但原始数据点应保留在图中。

(6) 写图名。作完图后,在图纸下方或空白的明显位置处,写上图的名称、作者和作图日期,有时还需要附上简单的说明,如实验条件等,使读者一目了然。写图名时,一般将纵轴代表的物理量写在前面,横轴代表的物理量写在后面,中间用“-”连接,如 $Y-X$ 曲线(示例参见本书附录 A 中的附图 A.2)。

第二章

力学实验

第一节 常用力学仪器的介绍

常用的力学仪器有米尺、游标卡尺、螺旋测微器、读数显微镜、天平和计时器等。本节只介绍游标卡尺、螺旋测微器和读数显微镜。

(一) 游标卡尺

游标是为了提高角度、长度微小量的测量精度而采用的一种读数装置，长度测量用的游标卡尺就是利用游标原理制成的典型量具。

1. 结构

如图 2.1 所示，游标卡尺主要由主尺及套在主尺上并能沿主尺滑动的副尺组成。主尺的分度值为毫米，其上有两个垂直于主尺的固定量爪 A 和 A'。副尺上有游标、垂直于主尺的活动量爪 B 和 B'、尾尺、紧固螺钉及推把。其中，A、B 称为外量爪，A'、B' 称为内量爪。

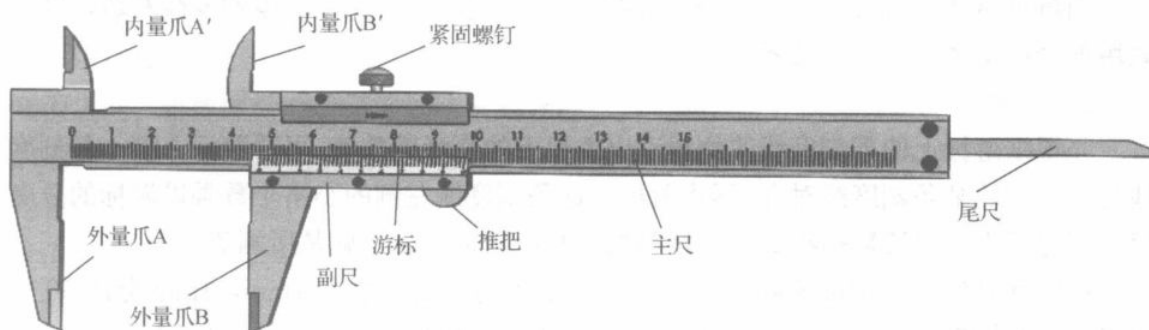


图 2.1 游标卡尺的结构



2. 读数原理

常见教学用的游标卡尺的分度值有 0.10mm、0.05mm 和 0.02mm，分别对应 10 分度、20 分度和 50 分度的游标。游标分度值是游标卡尺主尺上 1 个小格与游标上 1 个小格的宽度之差。

50 分度游标卡尺的读数原理示意图如图 2.2 所示。游标上 50 个小格的总宽度正好等于主尺上 49 个小格的总宽度。因此，游标上 1 个小格的宽度是 0.98mm，它与主尺上 1 个小格的宽度之差为 0.02mm，即游标分度值为 0.02mm。

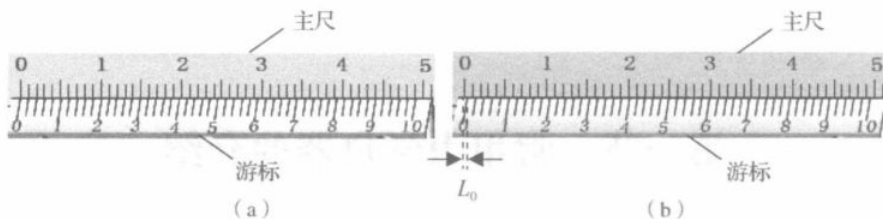


图 2.2 50 分度游标卡尺的读数原理示意图

如图 2.2 (a) 所示，从游标上的零刻度线和主尺上的零刻度线对齐开始向右移动游标，当移动了 0.02mm 时，主尺和游标两尺上的零刻度线右边的第一条刻度线对齐，此时主尺上的零刻度线和游标上的零刻度线相距 0.02mm。以此类推，可得到游标在某位置时主尺读数的小数值。

3. 游标卡尺的读数方法

1) 检查零点

测量之前，检查当量爪合拢时，游标上和主尺上的零刻度线是否重合，若不重合，则读出两条零刻度线间的距离 L_0 ，如图 2.2 (b) 所示。若测量物体长度后的读数为 L' ，则物体的长度应为

$$L = L' \pm L_0$$

当量爪 A 和量爪 B 合拢时，若游标上的零刻度线在主尺上的零刻度线左边，则上式用加号；反之，上式用减号。

2) 读数

先根据游标上的零刻度线的位置读出主尺上的毫米整数值，再看游标上哪一条刻度线与主尺上的某条刻度线对齐，再将游标上这条刻度线左侧的小格个数乘以游标的分度值，即可得出主尺读数的小数值。将整数值和小数值相加，就是所测值。

在实际测量中可直接读数。由于游标上的 50 分度总值表示 1mm，1mm 分成 10 个大格，每个大格表示 0.1mm，即游标上的数字表示小数后的第一位数字（单位为 mm）。每个大格又分成 5 个小格，所以每个小格表示 0.02mm。图 2.3 中游标上与主尺上对齐的刻度线是游标上“6”右边的第一条刻度线，所以小数位为 $0.6\text{mm} + 1 \times 0.02\text{mm} = 0.62\text{mm}$ 。

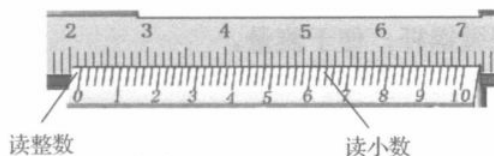
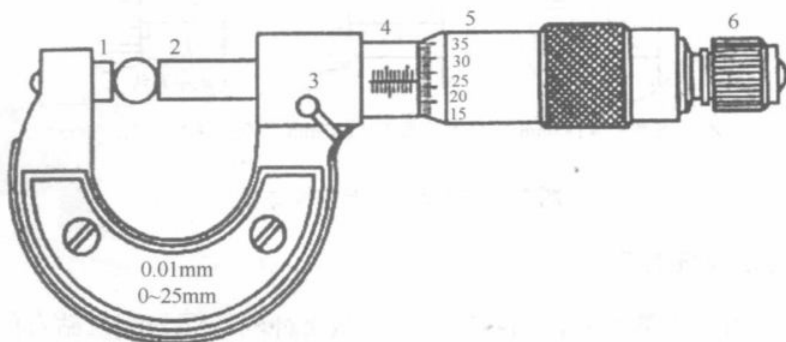


图 2.3 游标卡尺的读数方法

(二) 螺旋测微器

1. 结构

螺旋测微器（又称千分尺）也是用于测量长度的精密仪器，其外形示意图如图 2.4 所示。固定套筒上的水平基线的上、下方均有刻度线，其上方（主尺）刻度线的间距是 1mm，下方（副尺）每条刻度线在上方每两条刻度线的中央，所以，相邻的上、下两条刻度线的间距为 0.5mm。



1—测量砧台；2—测微螺杆；3—锁紧手柄；4—固定套筒；5—活动套筒；6—棘轮。

图 2.4 螺旋测微器外形示意图

活动套筒端部的圆周等分为 50 个分度。活动套筒转动一周，测微螺杆横向移动 0.5mm，所以活动套筒转动一个分度对应测微螺杆移动的距离为 0.01mm，0.01mm 即螺旋测微器的分度值。

用螺旋测微器测量物体长度时，被测物被夹在螺旋测微器的测量砧台和测微螺杆的端面之间。测微螺杆的端面施加给被测物的压力不同，读数也会有差异。为使测微螺杆的端面每次施于被测物的压力一致，在测微螺杆尾部设计了棘轮。当转动棘轮时，用棘轮带动活动套筒转动，当测微螺杆的端面施于被测物的压力达到某个定值时，棘轮就会发出“咯咯”声，此时活动套筒就不再转动，即测微螺杆不再移动。这样做的目的是保证测微螺杆的端面每次施于被测物的压力一致。

所以，用螺旋测微器测量物体长度时（特别是当测微螺杆的端面接近被测物时），必须使用棘轮带动活动套筒转运。当听到“咯咯”声后，便可读数。