

21 世纪应用型高等院校示范性实验教材

主 编 赵亚林 周在进

大学物理实验

DAXUEWULISHIYAN

 南京大学出版社

21 世纪应用型高等院校示范性实验教材

大学物理实验

主 编	赵亚林	周在进
编 者	赵 骥	曹 前
	徐凯旋	李铮铮
	李冠男	李树友
	张 俊	高春来

南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/赵亚林主编. —南京:南京大学出版社, 2006. 3

21 世纪应用型高等院校示范性实验教材

ISBN 7—305—04665—5

I. 大... II. 赵... III. 物理学—实验—高等学校—教材 IV. 04—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 005864 号

丛 书 名 21 世纪应用型高等院校示范性实验教材

书 名 大学物理实验

主 编 赵亚林 周在进

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮编 210093

发行电话 025-83596923 025-83592317 传真 025-83328362

网 址 <http://press.nju.edu.cn>

电子邮件 nupress1@public1.ptt.js.cn

sales@press.nju.edu.cn(销售部)

印 刷 淮阴新华印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 19.25 字数 471 千

版 次 2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

印 数 1—5000

ISBN 7—305—04665—5/O·375

定 价 35.00 元

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购
图书销售部门联系调换

序

进入新世纪,随着社会经济的发展,各行各业对人才的需求呈现出多元化的特点,对应用型人才的需求也显得十分迫切,因此我国高等教育的建设面临着重大的改革.就目前形势看,大多数的理、工科大学,高等职业技术学院,部分本科院校办的二级学院以及近年来部分由专科升格为本科层次的院校,都把办学层次定位在培养应用型人才这个平台上,甚至部分定位在研究型的知名大学,也转为培养应用型人才.

应用型人才是能将理论和实践结合得很好的人才,为此培养应用型人才需理论教学与实践教学并行,尤其要重视实践教学.

针对这一现状及需求,教育部启动了国家级实验教学示范中心的评审,江苏省教育厅高教处下达了《关于启动江苏省高等学校基础课实验教学示范中心建设工作的通知》,形成国家级、省级实验教学示范体系,意在促进优质实验教学资源的整合、优化、共享,着力提高大学生的学习能力、实践能力和创新能力.基础课教学实验室是高等学校重要的实践教学场所,开展高等学校实验教学示范中心建设,是进一步加强教学资源建设,深化实验教学改革,提高教学质量的重要举措.

我们很高兴地看到很多相关高等院校已经行动起来,除了对实验中心的硬件设施进行了调整、添置外,对近几年使用的实验教材也进行了修改和补充,并不断改革创新,使其有利于学生创新能力培养和自主训练.其内容涵盖基本实验、综合设计实验、研究创新实验,同时注重传统实验与现代实验的结合,与科研、工程和社会应用实践密切联系.实验教材的出版是创建实验教学示范中心的重要成果之一.为此南京大学出版社在为“示范中心”出版实验教材方面予以全面配合,并启动“21世纪应用型高等院校示范性实验教材”项目.该系列教材旨在整合、优化实验教学资源,帮助示范中心实现其示范作用,并希望能够为更多的实验中心参考、使用.

教学改革是一个长期的探索过程,该系列实验教材作为一个阶段性成果,提供给同行们评议和作为进一步改革的新起点.希望国内广大的教师和同学能够给予批评指正.

孙尔康
2006年3月

前 言

21 世纪的中国高等教育已经从精英教育阶段迈入了大众化教育阶段,高等教育的大众化意味着大学生的培养规格、结构和层次更加丰富多样,培养的方式更加自主开放,教学内容更加灵活机动,更利于学生的自由选择.在以人为本和可持续发展的科学教育观的指导下,以满足高等教育的大众化需要为出发点,参考教育部非物理类专业物理基础课程教学指导委员会《大学物理实验课程教学基本要求》,我们编写了这本大学物理实验教材.

本教材在保证大学物理实验体系完整性的基础上,突出了知识、能力和科学素养培养过程的灵活性,可以菜单式组合实验项目,进行层次化、模块化的实验教学.内容共分为 4 部分:第 1 章“课前必读”是关于大学物理实验基本知识,尤其是物理实验思想方法、误差分析等知识的学习;第 2 章“技能实验”是培养大学物理实验基本技能的模块,可以作为选修内容,目的是帮助物理实验技能薄弱的同学达到学习大学物理实验的初步要求,该部分有 10 个实验项目,学生可根据自己能力状况进行选修,一般情况下选修 5,6 个项目较为适宜;第 3 章“基础实验”是大学物理实验的核心模块,共有 24 个实验项目,可以采用多种方法教学,如规定必修项目和选修项目,或者推荐几种组合供学生选修,本部分要求课时不低于 36 学时;第 4 章“提高实验”,可以供学习水平较高或者学习兴趣较浓的同学选修,也可以与第 3 章一起组合,目的是进一步拓宽大学物理实验的知识面、提高同学们的综合能力和独立研究问题能力.本教材是以项目内容为主线的实验编排,没有突出教学方法,为此,在具体地教学实践时,可以以每个实验项目的思考题为问题,要求同学们根据实验提供的仪器设备设计实验,从而培养学生的应用能力和创新能力;也可以指导教师事先命题或学生自行命题,进行研究性实验,让学生再实验从而得出实验结果和结论.

本书可作为工科和职业技术学院的大学物理实验课教材或理科(非物理类)的实验参考书.

由于水平、时间和条件所限,书中不可避免地存在着不妥和疏漏,欢迎大家批评和指正.

编 者

2005 年 3 月

目 录

第 1 章 课前必读

§ 1.1 绪论	(1)
一、大学物理实验的地位和作用	(1)
二、大学物理实验课的目的和任务	(2)
三、大学物理实验课的教学基本要求	(2)
四、大学物理实验课的基本环节	(3)
§ 1.2 物理实验基本知识	(7)
一、力学与热学实验基本知识	(7)
二、电磁学实验基本知识	(16)
三、光学实验基本知识	(23)
§ 1.3 常用物理实验方法	(39)
一、比较法	(39)
二、放大法	(40)
三、补偿法	(40)
四、转换法及传感器	(41)
五、模拟法	(46)
六、测量宽度展延法	(46)
七、量纲分析法	(47)
§ 1.4 数据处理基础知识	(49)
一、测量与误差	(49)
二、不确定度与测量结果表达	(52)
三、有效数字及测量结果有效位数的保留	(59)
四、常用数据处理方法	(65)

第 2 章 技能实验

实验 2.1 物体密度的测定	(73)
实验 2.2 气垫导轨的使用	(79)
实验 2.3 电表的改装与校正	(89)
实验 2.4 示波器的使用	(93)
实验 2.5 惠斯登电桥的使用	(107)

实验 2.6	板式电位差计的使用	(112)
实验 2.7	薄透镜焦距的测定	(117)
实验 2.8	显微镜的使用	(122)
实验 2.9	分光计的调节与使用	(126)
实验 2.10	电子天平的调节与使用	(133)

第 3 章 基础实验

实验 3.1	拉伸法测金属丝的杨氏弹性模量	(135)
实验 3.2	霍尔法测杨氏模量	(139)
实验 3.3	刚体转动惯量测定	(142)
实验 3.4	弦线驻波的研究	(147)
实验 3.5	液体表面张力系数测定	(150)
实验 3.6	液体粘滞系数测定	(154)
实验 3.7	空气比热容比的测定	(158)
实验 3.8	导热系数的测定	(163)
实验 3.9	电热法测热功当量	(168)
实验 3.10	直流双臂电桥	(172)
实验 3.11	非平衡电桥的应用	(176)
实验 3.12	学生型和低电势电位差计的使用	(180)
实验 3.13	静电场的描绘	(186)
实验 3.14	温差电偶的定标和测量	(191)
实验 3.15	霍尔效应和螺线管磁场测量	(195)
实验 3.16	声速测量	(203)
实验 3.17	牛顿环、劈尖	(208)
实验 3.18	迈克尔逊干涉	(214)
实验 3.19	衍射光栅	(219)
实验 3.20	光的偏振	(223)
实验 3.21	用旋光仪测糖溶液的浓度	(228)
实验 3.22	普朗克常数测定	(232)
实验 3.23	氢原子光谱	(237)
实验 3.24	导光纤维	(243)

第 4 章 提高实验

实验 4.1	液晶电光效应	(248)
实验 4.2	电光调制	(253)
实验 4.3	硅光电池特性研究	(262)
实验 4.4	全息照相	(267)
实验 4.5	核磁共振	(271)

附表

附表 1	国际单位制(SI)的基本单位	(282)
附表 2	具有专门名称的国际单位制导出单位	(282)
附表 3	部分已废除的单位	(283)
附表 4	常用基本物理常量	(283)
附表 5	海平面上不同纬度处的重力加速度	(284)
附表 6	某些元素及无机化合物的密度	(284)
附表 7	某些液体的密度	(285)
附表 8	水在不同温度时的密度	(285)
附表 9	水在不同压强 p 下的沸点 t	(285)
附表 10	空气的相对湿度与干湿泡温度计温差的关系	(286)
附表 11	水的饱和蒸气压(mmHg)与温度的关系	(289)
附表 12	不同温度下干燥空气中的声速	(291)
附表 13	铜—康铜热电偶分度	(291)
附表 14	一些物质的折射率	(292)
附表 15	一些常用谱线波长	(293)
附表 16	一些物质的旋光率	(295)

第 1 章 课前必读

§ 1.1 绪 论

科学理论来源于科学实验,并受到科学实验的检验.所谓科学实验,是人们按照一定的研究目的,借助特定的仪器,人为地控制和模拟自然规律,突出主要因素,对自然事物和自然现象进行仔细、反复研究,探究其内部规律性的一种研究方法.它是自然科学的根本,是工程技术的基础.因而作为培养 21 世纪全面发展的、高素质的高级工程技术人才的高等学校,不仅要使学生具备比较深广的理论知识,而且要使学生具有较强的从事科学实验的能力,以适应 21 世纪现代化建设的需要.

一、大学物理实验的地位和作用

物理实验是属于科学实验的重要组成部分之一.物理实验在科学、技术的发展以及现代技术的应用中有着独特的、重要的作用.物理学本质上是一门实验科学.无论是物理规律的发现、物理概念的确立还是物理理论体系的建立,都来源于对实验的观察和研究,并受实验的检验.例如:牛顿是在伽利略、开普勒等人的实验及工作的基础上总结出万有引力定律并建立了经典力学体系;杨氏的干涉实验使光的波动学说得以确立;赫兹的电磁波实验使麦克斯韦的电磁场理论得到普遍承认;卢瑟福的 α 粒子散射实验揭开了原子的秘密;以及电磁学中的一系列的定律也都是从大量的实验数据中归纳、总结出来的.在物理学发展中,人类已积累了丰富的实验方法,创造出各种精密巧妙的实验仪器,涉及到广泛的物理现象,从而使物理实验课有了充实的教学内容.

物理实验除了在物理学自身发展中起着重要作用以外,在推动各自然科学、工程技术的发展中也起着很重要的作用.特别是在 21 世纪现代技术迅猛发展过程中,物理实验的思想、物理实验的方法和技术与化学、生物学、电子学、天体学等许多学科相互结合,并取得了一定的成果.例如:光谱分析、质谱、波谱及 X 射线、电子显微镜、激光、全息、微波、超导、核磁共振、自动控制等许多现代物理实验技术和手段正活跃地应用在各种领域之中.

对高等理工科学校学生来说,大学物理实验是他们进行科学实验基本训练的一门独立的、必修的基础课程,是大学生进入大学后受到系统实验方法和实验技能训练的开端,也是工科类学生进行专业学科实验训练的重要基础.

大学物理实验和大学物理是两门各自独立的课程,它们同属于物理学科,但有着各自的研究内容和研究方法,不能用其中的一门课程去取代另一门课程,应该通过一门课程的学习去推动和促进另一门课程的学习.

二、大学物理实验课的目的和任务

大学物理实验作为一门独立的基础课程,它有以下三方面的目的和任务:

1. 掌握物理实验基本知识、基本方法和基本技能

通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量,学习并逐步掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能,并能运用物理学原理、物理实验方法研究物理现象和规律,加深对物理学原理的理解,同时也可以将已掌握的理论知识应用于指导实验和分析实验。

2. 培养与提高学生的科学实验能力

其中包括:

(1) 自学能力:能够自行阅读实验教材或参考资料,正确理解实验内容,在实验前作好准备,能写出简明的预习报告;

(2) 动手实践能力:能够借助教材、网络课件和仪器说明书,正确调整和使用常用仪器;

(3) 思维判断能力:能够运用物理学理论,对实验现象进行初步的分析和判断;

(4) 书写表达能力:能够正确记录和处理实验数据,绘制实验图线,说明实验结果,并写出合格的实验报告;

(5) 简单的设计能力:能够完成较简单的设计性实验,即能够根据课题要求,确定实验方法和实验条件,合理选择和使用实验仪器,拟定具体的实验程序,并完成实验。

三、大学物理实验课的教学基本要求

1. 注重培养学生的辩证唯物主义世界观和方法论

在教学过程中要适当地介绍有关的物理实验史料,以便使学生了解科学实验的重要性。

2. 树立学生的优良学风

在整个实验教学过程中,要教育学生养成良好的实验习惯,爱护公共财物,自觉遵守实验规则。

3. 培养学生正确处理实验数据的能力

具体内容包括:测量误差和不确定度的基本概念;有效位数的概念;实验数据的正确记录;直接测量数据的处理和实验结果的表示;间接测量数据的处理和结果的表示;某些常用的数据处理方法如列表法、作图法、逐差法和简单线性函数的最小二乘拟合等;并注意系统误差产生原因的分析及其减小或消除方法。

4. 培养学生其他基本技能

通过物理实验要求学生做到:

(1) 自行完成预习,独立实验操作,写出完备的实验报告;

(2) 掌握常用物理实验装置的调试和基本操作技能,例如零点校准、水平和铅直的调整、光路的等高同轴调整、视差的消除、逐次逼近调节以及根据已给的线路图正确连线等;

(3) 熟悉物理实验中的一些基本实验方法和测量方法,例如比较法、放大法、转换测量法、模拟法、补偿法等;

(4) 学会对常用物理量的一般测量,并了解常用仪器的性能及使用方法,例如测长仪器、质量称衡仪器、计时仪器、测温仪器、变阻器、直流电表、直流电桥、电位差计、通用示波器、低频信号发生器、分光计、常用电源和光源等的性能及使用方法。

当在进行上述各项基本训练时,教师要强调对物理现象的观察与分析,引导同学们运用已学过的理论去进一步指导实践,去解决实验中的问题.

四、大学物理实验课的基本环节

21 世纪的物理基础实验教学趋于全面开放式教学,传统的教师手把手的实验教学模式已不再适应时代的要求,实验的过程主要依靠学生独立完成,因此,学习物理实验课就需要同学们花较大的功夫和具有较强的独立自学和工作能力.学好物理实验课的关键,在于把握以下三个基本环节:

1. 课前预习

为了保证在正常实验课时内,顺利、按时地完成实验,实验之前必须进行预习.预习一般以实验教材为主,也可以借助于网络,通过“物理实验预习系统”进行预习,要求对实验原理、待测物理量、实验仪器结构和原理、实验要获得的结果等做到心中有数.若事先不熟悉,只是机械地照教材实验中实验步骤看一步动一步,即使得到了实验数据,却不了解其物理意义,也是没有什么意义的,因此一定要认真进行预习.尽量搞清楚实验导航中的问题.为了使测量结果眉目清楚,防止漏测数据,应按实验要求画好数据表格,要理解实验数据表格的内容.

预习时,必须要写预习报告.预习报告内容主要包括:

- (1) 实验名称;
- (2) 实验目的;
- (3) 仪器设备;
- (4) 基本原理,包括重要的计算公式、简单的电路图、光路图及简要的文字说明;
- (5) 数据草表;
- (6) 预习所遇到的问题.

其中数据草表是供实验时记录原始数据用的.

2. 进行实验

实验操作是物理实验课的重要环节.也就是到实验室完成实验的整个过程,其基本过程和要求一般为:

- (1) 进入实验室之前首先要按预约名单进行登记、签到.
- (2) 教师在检查完预习报告,并进行适当的讲解后,实验才可进行.
- (3) 实验正式进行前:① 要熟悉一下将要使用的仪器、设备等的性能以及正确的操作规程,切忌盲目操作;② 要全面地想一想实验操作程序,不要急于动手,因为误解一步或调错一次,都有可能使整个实验前功尽弃.
- (4) 实验中要注意对现象的观察,尤其对所谓的“反常”现象,更要仔细观察分析,不要单纯地追求“顺利”.要学习对观察到的现象和测得的数据随时进行判断,判断正在进行的实验过程是否正常合理.对实验过程中出现的故障,要学会及时排除.
- (5) 及时记录实验数据.在观察和测量时,要做到正确读数,在数据表格内实事求是地记录客观现象和数据.当实验结果与实验条件有关时,还要记下相应的实验条件,例如当时的室温、湿度、大气压等.

(6) 实验结束时,要把测得的数据交给指导教师检查签字.对不合理的或错误的实验结果,经分析后还要补做或重做.离开实验室前,要整理好使用过的仪器,关闭电源,做好清洁

工作。

3. 书写实验报告

实验结束后书写实验报告的目的是为了培养和训练学生以书面形式总结工作和报告科学成果的能力。要以简单扼要的形式将实验结果完整而又真实地表达出来。写报告要使用设计好的实验报告本。要求记录齐全、文字通顺、字迹端正、图表规范、结果正确、讨论认真,报告整洁。并及时将写好的实验报告交给相应的教师。

一份完整的实验报告通常包括以下内容:

- (1) 实验名称:一般应与教材中提法一致。
- (2) 实验目的:一般应与教材中提法一致。
- (3) 仪器设备:应写明仪器设备的型号或规格、精度等。
- (4) 基本原理:要求包括重要的计算公式、部分重要的电路图、光路图及简要的文字说明。

以上几部分内容,如无大的变动,就可以使用预习报告中的相应内容代替,而不必重写。

(5) 数据表格及处理(包括计算和作图)。这里的“数据表格”不同于预习报告中的“数据草表”。要求把数据草表记录的原始数据填入该数据表格中,并不得涂改。

- (6) 实验结果。
- (7) 问题讨论。
- (8) 课后小结,写出自己的感想体会。

附1:实验报告范例

实验名称:衍射光栅

实验日期:05.10.20 环境条件:(天气 晴 室温 18℃)
(湿度 气压)

批改日期: 教师签名:

一、实验目的

1. 观察光的衍射现象;
2. 测定光栅常数 d 和光波波长;
3. 进一步熟悉分光计的使用。

二、实验仪器

设备名称	规格、型号	数 量	设备编号
分光计	JJY1'	1	20000526
汞灯	GP20 Hg	1	2000522B
光栅	300 条/mm	1	

三、实验原理

JJY 型分光计(最小读数 1′)、衍射光栅、汞灯($\lambda_{\text{汞}}=546.07\text{ nm}$)。

当平行光垂直光栅入射时,满足光栅公式

$$d\sin\varphi=k\lambda \quad (k=0,\pm1,\pm2,\cdots)$$

的光形成明线。

由上式,如果已知波长 λ 和衍射级次 k ,就可根据测得的衍射角 φ 求出光栅常数 d ;如果知道光栅常数 d 和衍射级次 k ,就可根据测得的衍射角 φ 求出相应光谱线的波长。

为了保证平行光入射与出射,并减小测量误差,在测量前必须将分光计调节到使用状态。分光计调好的标准为:平行光管能够发出平行光;望远镜能够接收平行光;平行光管光轴、望远镜光轴都要垂直于仪器的旋转主轴。

四、实验步骤

- 1. 调节分光计,使之达到标准状态。
- 2. 将光栅放置在载物平台上,并注意让它与平行光管垂直;使光栅条纹垂直于旋转主轴。
- 3. 测出绿谱线($\lambda_{\text{绿}}=546.07\text{ nm}$) ±1 级, ±2 级的衍射角。由光栅公式求出光栅常数 d 。
- 4. 测出紫谱线 ±1 级和 ±2 级衍射角,根据前面测得的 d 和光栅公式,求出紫谱线的波长 $\lambda_{\text{紫}}$ 。

五、实验数据

(一) 测定光栅常数 d

亮纹级数	读 数			衍射角		$\sin \bar{\varphi}_k$	λ/nm	d/nm	$\bar{d}/\text{nm}$
	θ	θ'	平均	φ_k	$\bar{\varphi}_k$				
$k=0$	$50^{\circ}18'$	$230^{\circ}17'$	$140^{\circ}18'$						
$k=+1$	$30^{\circ}5'$	$210^{\circ}5'$	$120^{\circ}5'$	$20^{\circ}13'$	$19^{\circ}13'$	0.321 9	546.07	1.659×10^3	1.658×10^3
$k=-1$	$68^{\circ}32'$	$248^{\circ}32'$	$158^{\circ}31'$	$18^{\circ}13'$					
$k=+2$	$6^{\circ}18'$	$186^{\circ}18'$	$96^{\circ}18'$	$44^{\circ}13'$	$41^{\circ}13'$	0.659 0			
$k=-2$	$88^{\circ}45'$	$268^{\circ}46'$	$278^{\circ}46'$	$38^{\circ}26'$					

(二) 测定光波波长

亮纹级数	读 数			衍射角		$\sin \bar{\varphi}_k$	d/nm	λ/nm	$\bar{\lambda}/\text{nm}$
	θ	θ'	平均	φ_k	$\bar{\varphi}_k$				
$k=0$	$50^{\circ}18'$	$230^{\circ}17'$	$140^{\circ}18'$	φ_k	$\bar{\varphi}_k$	0.262 6	1.658×10^3	435.4	435.8
$k=+1$	$34^{\circ}23'$	$214^{\circ}21'$	$124^{\circ}22'$						
$k=-1$	$64^{\circ}47'$	$244^{\circ}48'$	$154^{\circ}48'$	$14^{\circ}30'$	$15^{\circ}13'$				
$k=+2$	$16^{\circ}52'$	$196^{\circ}54'$	$106^{\circ}53'$	$33^{\circ}25'$	$31^{\circ}45'$	0.526 2			
$k=-2$	$80^{\circ}23'$	$260^{\circ}22'$	$170^{\circ}23'$	$30^{\circ}5'$					

计算对于标准值的相对误差

$$\lambda_0 = 435.8 \text{ nm}, E = \frac{\bar{\lambda} - \lambda_0}{\lambda_0} = 0\%.$$

六、思考题

1. 光栅光谱和棱镜光谱有哪些不同之处? 在上述两种光谱中, 哪种颜色的光偏转最大?

答: 光栅光谱和棱镜光谱采用不同的分光器件——衍射光栅和三棱镜得到. 前者依据光栅方程 $d \sin \varphi = k \lambda (k=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$; 后者根据不同波长的光在玻璃中的折射率不同——色散. 在光栅光谱中, 对于同一衍射级次 k , λ 越大 φ 也越大, 即红光偏转最大; 在棱镜光谱中, 由于 λ 越大折射率越小, 偏向角也越小, 故紫光偏转最大.

2. 当狭缝太宽或太窄时将会出现什么现象? 为什么?

答: 狭缝太宽时谱线太亮、太宽, 所以会造成较大的测量误差; 狭缝太窄时谱线亮度不够, 甚至会造成找不到谱线. 因此应该使狭缝宽窄合适.

3. 入射光未垂直照射光栅所造成的后果.

从本次实验数据来看, k 为正值时的衍射角均大于 k 为负值时的衍射角. 通过分析可知, 这是由于入射光未垂直照射光栅所造成的. 由此给实验带来了系统误差.

当光线以 θ 角入射光栅时, 光栅公式变为

$$d(\sin \varphi + \sin \theta) = k \lambda \quad (k=0, \pm 1, \pm 2, \dots).$$

由于对正、负 k 级而言, θ 值为一正一负, 所以造成两边衍射角不相等. 如果只取一侧的衍射角, 代入 $d \sin \varphi = k \lambda$ 计算, 则误差较大. 在本实验中, 由于把正、负同级衍射角取了平均, 部分地消除了由此造成的误差. 在测波长时, 由于入射角 θ 不变, 所以进一步抵销了由此造成的误差.

但是从操作技能等方面考虑, 今后应尽量避免类似情况发生.

附2: 物理实验室规则

1. 进入实验室之前, 必须先预习实验, 写好预习报告, 经教师检查同意后方可进行实验.

2. 遵守实验纪律, 不得迟到不准无故缺课, 不得随意下位、串组. 不得大声喧哗、抽烟和吃东西, 以保持实验室的安静和卫生.

3. 爱护仪器, 进入实验室后不能擅自盲目摸弄仪器, 实验中严格按操作规程操作, 如有损坏, 照章赔偿. 公用工具用完后立即归还原处.

4. 如遇到自己不能处理的问题, 应及时报告教师. 电学实验电路连接好后, 务必经教师检查后方可接通电源.

5. 实验结束后, 学生应将仪器整理还原, 将桌面和凳子收拾整齐. 在规定时间内完成实验报告后交由教师签字或批改后方可离开实验室.

6. 在实验时, 应携带必需的工具, 如计算器、直尺、铅笔、橡皮等.

§ 1.2 物理实验基本知识

一、力学与热学实验基本知识

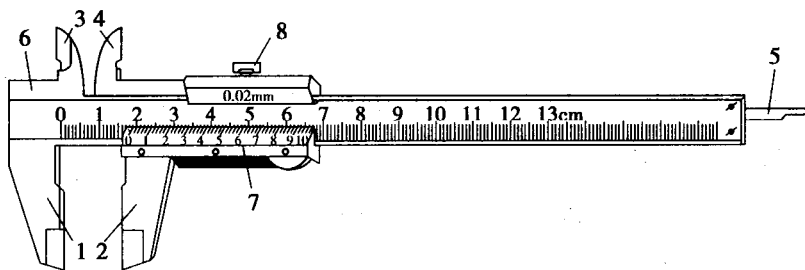
(一) 长度测量

物理实验中,长度测量是最基本的测量.测量长度的方法和仪器多种多样,而最基本的测量工具是米尺、游标卡尺和螺旋测微器等,通常用量程和分度值表示这些仪器的规格.量程是测量范围,分度值是仪器所标示的最小分划单位,它的大小反映仪器的精密程度.一般来说,分度值越小,仪器越精密.学习使用这些仪器要注意掌握它们的构造特点、规格性能、读数原理、使用方法以及维护知识等,并注意在今后的实验中适当地选择和使用.

1. 游标卡尺

在米尺上附加一个能够滑动的有刻度的小尺,叫游标,利用它可以把米尺估读的那位数准确地读出来.

游标卡尺主要由两部分构成(图 1.2-1):与量爪 1,3 相连的主尺 6(主尺按米尺刻度);与量爪 2,4 及深度尺 5 相连的游标 7.游标可贴着主尺滑动.量爪 1,2 用来测量厚度和外径,量爪 3,4 用来测量内径,深度尺 5 用来测量槽的深度.它们的读数值,都是由游标的 0 线与主尺的 0 线之间的距离表示出来的.8 为固定螺钉.



1,2. 钳口;3,4. 刀口;5. 深度尺;6. 主尺;7. 游标;8. 固定螺钉

图 1.2-1 游标卡尺

要了解游标卡尺,首先要了解游标.游标 7 是附在主尺 6 上的一个可移动的附件,利用它可以使测量数据更精确.以游标来提高测量精度的方法,不仅用在游标卡尺上,而且还广泛地用于其他仪器上,例如分光计、经纬仪和测高仪等等.游标的长度和分格数可以不同,但游标的基本原理和读数方法是相同的.

下面介绍游标卡尺的读数原理.游标卡尺在构造上的主要特点是:游标上 p 个分格的总长与主尺上 $(p-1)$ 个分格的总长相等.设 y 代表主尺上一个分格的长, x 代表游标上一个分格的长度,则有

$$px = (p-1)y, \quad (1.2-1)$$

那么主尺与游标上每个分格的差值是

$$\delta x = y - x = \frac{1}{p}y. \quad (1.2-2)$$

以 $p=10$ 的游标卡尺为例,主尺上一分格是 1 mm ,那么游标上 10 个分格的总长等于 9 mm ,这样游标上一个分格的长度是 0.9 mm , $\delta x = y - x = 0.1\text{ mm}$ 当量爪 $1,2$ 合拢时,游标上的“ 0 ”线与主尺上的“ 0 ”线重合,如图 1.2-2 所示.这时,游标上第一条刻线在主尺第一条刻线的左边 0.1 mm 处,游标上第二条刻线在主尺第二刻线的左边 0.2 mm 处……依次类推.这就提供了利用游标进行测量的依据.如果在量爪 $1,2$ 间放进一张厚度为 0.1 mm 的纸片,那么,与量爪 2 相连的游标要向右移动 0.1 mm ,这时,游标的第一条线就与主尺的第一条线相重合,而游标上其他各条线都不与主尺上任一条刻度线相重合;如果纸厚 0.2 mm ,那么,游标就要向右移动 0.2 mm ,游标的第二条线就与主尺的第二条线相重合……依次类推.反过来讲,如果游标上第二条线与主尺的刻度线重合,那么纸片的厚度就是 0.2 mm ,如图 1.2-3 所示.

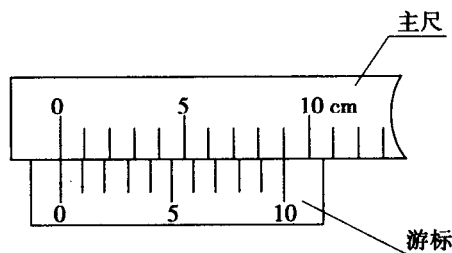
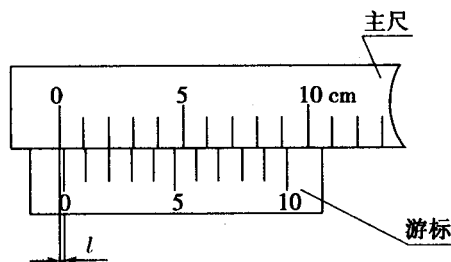


图 1.2-2 量爪合拢时读数

图 1.2-3 测量值为 0.2 mm

这种把游标等分为 10 个分格(即 $p=10$)的游标卡尺叫做“十分游标”.“十分游标”的 $\delta x = \frac{1}{10}\text{ mm}$,这是由主尺的刻度值和游标卡尺刻度值之差给出的,因此, δx 不是直接读出的,它是游标卡尺能读准的最小数值,即是游标卡尺的分度值.

上述图中测量纸片厚度的读数 l 由于用了游标,毫米以下这一位数是准确读出的.因此,根据仪器读数的一般规则,读数的最后一位应该是读数误差所在的一位,应该写为

$$l = 0.20\text{ mm} = 0.020\text{ cm},$$

最后加的一个“ 0 ”表示读数误差出现在最后这一位上.如果不能判定游标上相邻的两条刻度线哪一条与主尺重合或更相近些,则最后一位可估读“ 5 ”,即如图 1.2-4,可读为

$$l = 0.55\text{ mm} = 0.055\text{ cm}.$$

由此可见,使用游标可以提高读数的准确程序.游标卡尺的估读误差小于 $\frac{1}{2}\delta x$ (为什么?).

还有一种常见的游标是“二十分游标”($p=20$),即将主尺上的 19 mm 等分为游标上的 20 格,或者将主尺上的 39 mm 等分为游标上的 20 格,这样它们的分度值为

$$\delta x = 1.0 - \frac{19}{20} = 0.05(\text{mm}),$$

$$\delta x = 2.0 - \frac{39}{20} = 0.05(\text{mm}).$$

在这种情况下,主尺上两格(2 mm)与游标上一格相当,见图 1.2-5 和图 1.2-6.

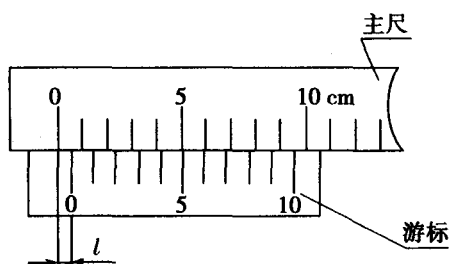


图 1.2-4 无法判断重合刻度的读数

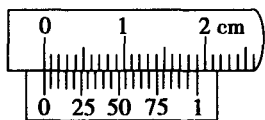


图 1.2-5 二十分游标(19 mm)

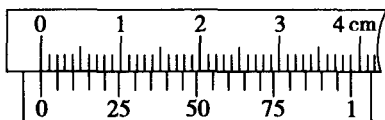


图 1.2-6 二十分游标(39 mm)

二十分游标常在游标上刻有 0, 25, 50, 75, 1 等标度, 以便于直接读数. 如游标上第 5 根刻线(标 25)与主尺对齐, 则读数的尾数为 $5 \times \delta x = 0.25 \text{ mm}$, 即可直接读出. 二十分游标的估读误差(小于 $\frac{1}{2} \delta x$)可认为在 $1/100 \text{ mm}$ 这一位上, 因此, 如 $l = 0.55 \text{ mm}$, 不再在后面加“0”.

另一种常用的游标是五十分游标($p=50$), 即主尺上 49 mm 与游标上 50 格相当, 见图 1.2-7. 五十分游标的分度值 $\delta x = 0.02 \text{ mm}$. 游标上刻有 0, 1, 2, 3, ..., 9, 以便于读数. 五十分游标的读数结果也写到 $1/100 \text{ mm}$ 这一位上.

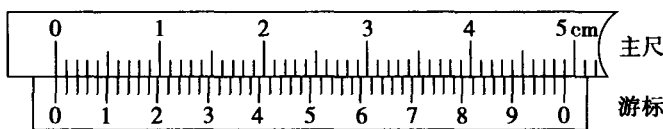


图 1.2-7 五十分游标

综上所述, 游标卡尺的分度值是由主尺与游标卡尺刻度的差值决定的, 亦即是由游标分度数目的决定的; 各种常用游标卡尺的读数都写到 $1/100 \text{ mm}$ 这一位上.

需要提醒的是, 游标只给出毫米以下的读数, 毫米以上的读数要从游标“0”线在主尺上的位置读出.

当测量大 1 mm 的长度时, 就先从游标卡尺“0”线在主尺的位置读出毫米的整数位, 再从游标上读出毫米的小数位. 即用游标卡尺测量长度 l 的普遍表达式为

$$l = ky + n\delta x. \quad (1.2-3)$$

式中, k 是游标的“0”线所在处主尺刻度的整毫米数, n 是游标的第 n 条线与主尺的某一条线重合, $y = 1 \text{ mm}$. 图 1.2-8 所示的情况, 即 $l = 21.58 \text{ mm} = 2.158 \text{ cm}$.

在用游标卡尺测量之前, 应先把量爪 A, B 合拢, 检查游标卡尺的“0”线是否与主尺“0”重合. 如不重合, 应记下零点读数, 加以修正, 即待测量 $l = l_1 - l_0$. 其中, l_1 为未作零点修正