



工业和信息化普通高等教育“十二五”规划教材立项项目

大学物理实验

(第3版)

李滨 ◎ 主编

修可白 孟庆刚 王玥萌 姜平晖 姜伟 白继元 ◎ 副主编

College
Physics
Experiment



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



工业和信息化部普通高等教育“十二五”

大学物理实验

(第3版)

李滨 ◎ 主编

修可白 孟庆刚 王玥萌 姜平晖 姜伟 白继元 ◎ 副主编

**College
Physics
Experiment**



人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验 / 李滨主编. -- 3版. -- 北京: 人民邮电出版社, 2015.3
ISBN 978-7-115-38472-0

I. ①大… II. ①李… III. ①物理学—实验—高等学校—教材 IV. ①04-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第028623号

内 容 提 要

本书包含绪论、测量误差与数据处理、基础实验、设计性实验、大学物理实验预备知识 5 个部分。内容上包含了力学实验、热学实验、电磁学实验、光学实验、近代物理实验等。

本书可作为普通高等院校大学物理实验课程教材使用, 也可供相关技术人员参考。

◆ 主 编 李 滨

副 主 编 修可白 孟庆刚 王玥萌 姜平晖

姜 伟 白继元

责任编辑 马小霞

责任印制 张佳莹 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 15.75

2015 年 3 月第 3 版

字数: 387 千字

2015 年 3 月北京第 1 次印刷

定价: 36.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

本书参考教育部高等工科院校物理课程教学指导委员会发布的“高等工业学校大学物理实验课程教学基本要求”和“高等学校工科物理实验课程教学改革指南”，结合工程应用型本科人才培养特点，以及实验室仪器设备情况，在不断探索实践改革和总结多年实践教学经验的基础上编写而成。

大学物理实验作为大学生踏入高等院校后的第一门科学实验课，在授予科学实验的基本知识、方法、技巧的同时，还肩负着培养学生严谨的科学态度，提高理论联系实际和分析问题、解决问题能力的重任。

本书在第2版的基础上，对部分内容进行修订。

本书由李滨任主编，修可白、孟庆刚、王玥萌、姜平晖、姜伟、白继元任副主编。其中李滨负责第三章的实验一至实验八的编写工作；修可白负责第二章的编写工作；孟庆刚负责第三章的实验九至实验十三的编写工作；王玥萌负责第一章和第三章的实验十四至实验十八的编写工作；姜平晖负责第三章的实验十九至实验二十五的编写工作；姜伟负责第三章的实验二十六至实验三十以及第四章的编写工作；白继元负责第五章和附录的编写工作。全书由李滨统稿，秦进平审定。

限于编者的水平和经验，书中难免存在错误和不当之处，敬请广大读者批评指导。

编 者

2014年12月

目 录

第一章 绪论	1	实验十七 迈克尔逊干涉仪的 调整及应用	136
第一节 物理实验课程的作用和目的	1	实验十八 测定液体表面张力系数	138
第二节 物理实验的主要环节、实验 守则与实验安全	2	实验十九 胡克定律	143
第三节 基本测量方法和实验方法	4	实验二十 测定空气比热容比	148
第四节 基本实验操作技术	8	实验二十一 测量不良导体的导热 系数	151
第二章 测量误差与数据处理	11	实验二十二 落球法测量液体粘滞 系数	155
第一节 测量和误差的基本知识	11	实验二十三 薄透镜焦距的测量	159
第二节 不确定度及其运算	18	实验二十四 全息照相	165
第三节 间接测量的结果表达和 不确定度的传递	25	实验二十五 声速的测量	172
第四节 有效数字	27	实验二十六 弗兰克—赫兹实验	178
第五节 实验数据的处理方法	30	实验二十七 密立根油滴实验	182
第六节 物理实验报告一般式样、 作图法处理数据举例	36	实验二十八 多普勒效应综合实验	188
第三章 基础实验	44	实验二十九 铁磁材料居里点温度 测量实验	194
实验一 力学基本测量仪器的使用	44	实验三十 旋光仪测旋光性溶液 浓度实验	201
实验二 利用气垫导轨验证牛顿 第二定律	47	第四章 设计性实验	208
实验三 扭摆法测物体转动惯量	53	实验三十一 碰撞	209
附注：转动惯量测试仪简介	58	实验三十二 电表改装	209
实验四 拉伸法测定杨氏弹性模量	60	实验三十三 用迈克尔逊干涉仪测 空气的折射率	210
实验五 线胀系数的测量	65	实验三十四 测定金属丝的电阻率	210
实验六 示波器的调节和使用	69	实验三十五 偏振光研究	211
实验七 线性电阻和非线性电阻的 电流—电压特性	77	第五章 大学物理实验预备知识	212
实验八 用模拟法测绘静电场	82	第一节 力学实验预备知识	212
实验九 电位差计	87	第二节 电磁学实验预备知识	221
实验十 惠斯通电桥	92	第三节 光学实验预备知识	227
实验十一 用霍尔效应法测定螺线管 轴向磁感应强度分布	97	第四节 常用仪器的仪器误差	229
实验十二 等厚干涉实验	106	第五节 物理实验常用光源	237
实验十三 分光计的调整和使用	114	附录 A 常用基本物理量	240
实验十四 三棱镜折射率的测量	121	附录 B SI 国际单位制简介	241
实验十五 光栅特性研究	125	附录 C GB 非国际单位制单位	244
实验十六 用光电效应测定 普朗克常数	130	附录 D 常用物理数据	245
		参考文献	247

第一章

绪论

科学实验是科学理论的源泉，是工程技术的基础。作为培养德、智、体全面发展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厚的理论知识，而且要使学生具有较强的从事科学实验的能力，以适应科学技术不断进步和国家现代化建设迅速发展的需要。

第一节 物理实验课程的作用和目的

一、大学物理实验课的重要作用

物理学是研究物质运动一般规律及物质基本结构的科学，它必须以客观事实为基础，必须依靠观察和实验。归根结底，物理学是一门实验科学，无论物理概念的建立还是物理规律的发现都必须以严格的科学实验为基础，并通过今后的科学实验来证实。

物理实验在物理学的发展过程中起着重要和直接的作用。

(1) 实验可以发现新事实，实验结果可以为物理规律的建立提供依据

- ① 经典物理学(力学、电磁学、光学)规律是从以往的无数实验事实为依据总结出来的。
- ② X射线、放射性和电子的发现等为原子物理学、核物理学等的发展奠定了基础。
- ③ 卢瑟福从大角度 α 粒子散射实验结果提出了原子核基本模型。

(2) 实验又是检验理论正确与否的重要判据

理论物理与实验物理相辅相成。规律、公式是否正确必须经受实践检验，只有经受住实践的检验，由实验所证实，才会得到公认。

① 电磁场理论的提出与公认。其历程如图 1-1 所示。

② 1905 年爱因斯坦的光量子假说总结了光的微粒说和波动说之间的争论，能很好地解释勒纳德等人光电效应实验结果，但是直到 1916 年当密立根以极其严密的实验证实了爱因斯坦的光电效应方程之后，光的粒子性才为人们所接受。

③ 1974 年 J/ψ 粒子的发现更进一步证实盖尔曼 1964 年提出的夸克理论。

大学物理实验是对高等工科院校的学生进行科学实验基本训练的一门独立的必要基础课程，是学生进入大学后受到系统实验方法和实验技能训练的开始。各类科学实验所涉及的误差理论、不确定度以及有效数字等基本概念，各类实验所涉及的基本实验方法、基本实验仪器都要在大学物理实验中加以讨论。因此，大学物理实验也是理工科学生从事其他科学实验的基础。

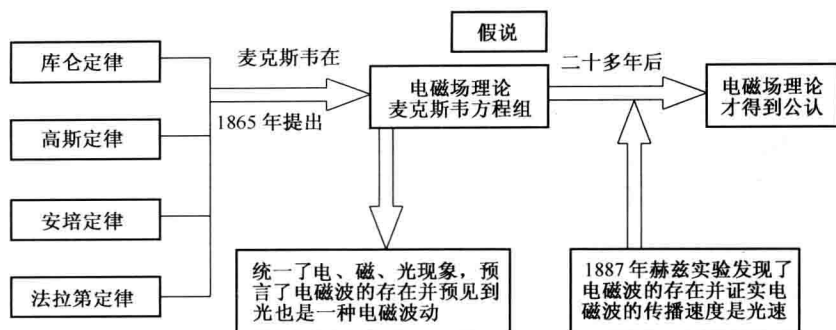


图 1-1 电磁场理论的提出与公认历程

二、大学物理实验课的目的

① 通过对物理实验现象的观测和分析，学习运用理论指导实验，分析和解决实验中问题的方法，加深对理论的理解。

② 培养学生具有初步从事科学实验的能力。它包括阅读教材，查阅资料，拟出或概括出实验原理和实验方法的能力；正确操作基本仪器，正确测量基本物理量，正确运用基本方法的能力；正确记录数据和处理数据的能力；正确分析实验结果和撰写实验报告的能力。简言之，要培养学生思维、工作、动手、分析、判断等从事科学工作的初步能力。

③ 通过实验培养学生实事求是、理论联系实际的作风。要善于用所学的理论指导实验，同时又善于从大量的实验现象和数据中总结规律，上升到理论。这正是人们在科学研究中所必须遵循的道路。

④ 培养学生严谨踏实、勇于探索与思考的科学精神以及团结互助和爱护公物的优良品德。

第二节 物理实验的主要环节、实验守则与实验安全

一、大学物理实验课的主要环节

实验课与听课不同，它的特点是同学们在教师的指导下自己动手，独立地完成实验任务。通常每个实验的学习，都要经历以下 3 个环节。

1. 做好实验预习

实验前必须认真阅读教材和有关资料，着重理解实验原理和所用的实验基本方法，明确哪些物理量是直接测量量，哪些是间接测量量。在此基础上写出预习报告，它作为正式报告的前面部分，要求在正式实验之前写好。它应包括以下几项内容。

- (1) 实验目的
- (2) 实验原理

实验原理应写得简明扼要，如列出实验所依据的主要公式，说明式中各量的物理意义及适用条件。还应包括电路图或光路图及相关的实验原理图。

(3) 实验数据

(4) 数据记录表格

表格应简单明了，能方便地记录直接测量的各个原始数据，并做好预习。

预习报告中最重要的是拟定出主要实验步骤和指明做好实验的关键，不可照抄教材。在预习中对做好本次实验的几个关键步骤要做到心中有数，绝不可应付了事。

2. 实验操作

内容包括仪器的安装与调整，观察实验现象与选择测试条件，读数与数据记录，计算与分析实验结果以及误差估算等。

进入实验室，要注意遵守实验守则和实验室的各项规章制度。实验过程中，对观察到的现象和测得的数据及时进行判断，判断它们是否正常与合理。实验过程中可能会出现故障，在教师的指导下分析故障原因，学会并掌握排除简单故障的本领。

实验过程中遇到问题和挫折不是坏事，坚持探索，认真分析研究，找出原因，解决问题，就可以得到更大的收获。

实验结束后，所用的仪器、电源、桌凳等都要整理好，同时将原始记录交给任课教师签字生效后，方可离开实验室。

3. 写一份简洁、清楚、工整和富有见解的实验报告

① 班级、组号、姓名、所用仪器台组（套）编号与实验名称写清楚（有时还需将实验时温度和大气压强等写在报告上）。

② 实验原理要写得简单明了，不要照抄教材，一般不超过 300 字。

③ 数据记录和处理，这是报告的核心，要认真计算和处理。

④ 回答思考题。

⑤ 小结。对实验中感到最深刻、最有收获的地方可以做一小结。小结全文不要超过 200 字。

原始记录随同实验报告在实验结束后的第 3 天必须交上；由任课教师批改。并在下次上课时反馈给学生。

二、实验守则

① 学生应在课表规定时间内进行实验，不得无故缺席或迟到。实验时间若要更动，须经实验室同意。

② 学生必须按照自己所在组的序号对照仪器的台（套）号入座；将预习报告放在实验桌上由教师检查，并回答教师的提问，经过教师检查认为合格后，方可进行实验。

③ 实验时，应携带必要的物品，如文具、计算器和草稿纸等。对于需要做图的实验应事先准备毫米格纸和铅笔。

④ 严格遵守实验室有关规定，不得大声喧哗、吵闹。未经许可，禁止擅自动用其他台（套）仪器。

⑤ 进入实验室后，根据仪器清单核对自己使用的仪器有否缺少或损坏。若发现问题，

应及时向教师提出。未列入清单的仪器, 另向教师借用, 实验完毕后归还。

⑥ 不得伪造数据, 一旦发现以零分计算, 同时要对其进行批评教育。

⑦ 如发现有仪器、组件等出现故障, 不得随意拆动, 应及时报告指导教师。凡因误操作, 使器物损坏者, 要照章赔偿。

⑧ 实验结束后, 数据交由教师签字。实验不合格或请假缺课的学生, 由指导教师登记, 通知学生在规定时间内补做。

三、实验安全

① 物理实验室电源为动力电, 所以实验过程中应注意防止触电事故。例如, 不要用手指触摸电源插座孔, 电源插头拔出前不要拆卸熔断器(保险丝), 仪器出现故障, 要先关闭电源等。

② 对于高压电源应注意安全, 不要触摸。即使在关闭电源后, 若未做放电处理, 切不可触摸导体部分以免被残余高压电击伤。

③ 实验中如果需要搬动较重物体, 如大砝码、光具座上的夹具座等, 要双手托稳, 防止重物落地伤脚。

④ 在光线较暗的实验室进行光学操作时, 要注意防止被锐器碰伤或触电, 特别要注意防止辅助棒、物刺伤眼睛。

⑤ 玻璃晶体(片)在使用中要防止破损和被破碎片划伤。

第三节 基本测量方法和实验方法

物理实验方法, 是依据所研究的物理规律、现象、原理, 确定出正确的物理模型, 以一种特殊的手段, 实现测量和观察的方法。物理实验基本测量方法, 大致可分为3种: 一是直接测量法; 二是根据被测量与测出量之间的关系, 通过函数关系计算被测量的值, 显然这是一种间接测量法; 三是模拟方法。

物理实验基本方法不同于仪器的调整方法, 也不同于数据处理方法。例如, 分光计实验, 为使望远镜光轴同仪器主轴严格垂直, 采用了自准直法调整仪器; 又如为了减少系统误差, 采用左右逼近法测量; 为了减少随机误差, 采用逐差法处理数据。显然, 以上三例都不是实验基本方法, 常用的实验基本方法有以下几种。

一、比较法

1. 直接比较

一个待测物理量与一个经过校准的、属于同类物理量的量具或量仪(标准量)直接进行比较, 从测量工具的标度装置上获取待测物理量量值的测量方法, 称为直接比较。如用米尺测金属杆的长度即为直接比较。

2. 间接比较

由于某些物理量无法进行直接比较测量, 故需设法将被测量转变为另一种能与已知标准

量直接比较的物理量,当然这种转变必须服从一定的单值函数关系。如用弹簧的形变去测力,用水银的热膨胀去测温等均为这类测量,此类方法称间接比较。

3. 比较系统

有些比较要借助于或简或繁的仪器设备,经过或简或繁的操作才能完成,此类仪器设备称为比较系统。天平、电桥及电位差计等均是常用的比较系统。

为了进行比较,常用以下方法。

(1) 直读法

米尺测长,电流表测电流强度,电子秒表测时,这些都是由标度尺示值或数字显示窗示值直接读出被测值,此为直读法。直读法操作简便,但一般测量准确度较低。

(2) 零示法

在天平称衡时,要求天平指针指零;用平衡电桥测电阻,要求桥路中检流计指针指零。这种以示零器示零为比较系统平衡的判据,并以此为测量依据的方法称零示法(或零位法)。零示法操作较繁琐,但由于人的眼睛判断指针与刻线重合的能力比判断相差多少的能力强,故零示法灵敏度较高,从而测量精密度也较高。

(3) 交换法和替代法

为消除测量中的系统误差,提高测量正确度,常用到交换法和替代法。例如,为消除天平不等臂的影响,第1次称衡时在左盘放置被称量物,第2次称衡时在右盘放置被称量物,两次称衡值的平均值即为被称量物的质量,类似的测量方法称交换法;在用平衡电桥测电阻时,先接入待测电阻,调电桥平衡,保持电桥状态不变,用可调电阻箱替换待测电阻,调节电阻箱重新使电桥平衡,则电阻箱示值即为被测电阻的阻值,类似的测量方法称为替代法。

二、补偿法

当系统受到某一作用时会产生相应的某种效应。在受到另一同类作用时,又产生了一种新效应,新效应与旧效应叠加,使新旧效应均不再显现,系统回到初状态,此种新作用补偿了原作用。如原处于平衡状态的天平,在左盘上放上重物后,在重力作用下,天平梁臂发生倾斜,当在右盘放上与物同质量的砝码后,在砝码重量的作用下,天平梁臂发生反向倾斜,天平又回到平衡状态。这是砝码(的重力)补偿了物(的重力)的结果。运用补偿思想进行测量的方法称为补偿法。常用的电学测量仪器——电位差计,即基于补偿法。补偿法往往要与零示法、比较法结合使用。

三、放大法

放大有两类含义,一类是将被测对象放大,使测量精密度得以提高;另一类是将读数机构的读数细分,从而也能使测量精密度提高。

1. 机械放大

利用丝杠鼓轮和蜗轮蜗杆制成的螺旋测微计和迈克尔逊干涉仪的读数细分机构,可把读数细分到 0.01mm 和 0.0001mm ,读数精密度大为提高。利用杠杆原理,也能将读数细分。

2. 视角放大

由于人眼分辨率的限制,当物对眼睛的张角小于 0.00157° 时,人眼将不能分辨物的细节,只能将物视作一点。利用放大镜、显微镜、望远镜的视角放大作用,可增大物对眼的视角,使人眼能看清物体,提高测量精密度。如果再配合读数细分机构,测量精密度将更高,如测微目镜、读数显微镜等。

3. 角放大

根据光的反射定律,正入射于平面反射镜的光线,当平面镜转过 θ 角时,反射光线将相对原入射方向转过 2θ ,每反射一次便将变化的角度放大一倍。而且光线相当一只无质量的甚长指针,能扫过标度尺的很多刻度。由此构成的镜尺结构,可使微小转角得以明显显示。用此原理制成了光杠杆及冲击电流计、复射式光点电流计的读数系统。

四、模拟法

为了对难以直接进行测量的对象(如静电场极易受干扰,舰船、飞机体积太大等)进行测量,可以制成与研究对象有一定关系的模型,用对模型的测试代替对原型的测试,这种方法称为模拟法。当模型与原型的关系满足以下两个条件时:

- ① 几何相似,模型与原型在几何形状上完全相似;
- ② 物理相似,模型与原型遵从同样的物理规律;

这类模拟称为物理模拟,飞机在风洞中吹风即其实例。另一类模拟称为数学模拟,其模型与原型在物理实质上可以完全不同,但它们却遵从相同的数学规律。如用稳恒电流场模拟静电场即属此类。

五、振动与波动方法

1. 振动法

振动是一种基本运动形式。许多物理量均可作为某振动系统的振动参量。只要测出振动系统的振动参量,利用被测量与参量的关系就可得到被测量。利用三线摆测量圆盘的转动惯量即是振动法的应用。

2. 李萨如图法

两个振动方向互相垂直的振动,可合成为新的运动图像。图像因振幅、频率、相位的不同而不同。此图称李萨如图。利用李萨如图可测频率、相位差等。李萨如图通常用示波器显示。

3. 共振法

一个振动系统受到另一系统周期性激励,若激励系统的激励频率与振动系统的固有频率相同时,振动系统将获得最多的激励能量,此现象称为共振。共振现象存在于自然界的许多领域,诸如机械振动、电磁振荡等。用共振法可测声音的频率、LC 振荡回路的谐振频率。

4. 驻波法

驻波是入射波与反射波叠加的结果。机械波、电磁波均会发生。驻波波长较易测得，故常用驻波法测波的波长。如又同时测出频率，则可知波的传播速度。

5. 相位比较法

波是相位的传播。在传播方向上，两相临同相点的距离是一个波长。可通过比较相位变化而测出波的波长。驻波法和相位比较法在声速测量实验中将用到。

六、光学实验方法

1. 干涉法

在精密测量中，以光的干涉原理为基础，利用对干涉条纹明暗交替间距的量度，实现对微小长度、微小角度、透镜曲率及光波波长等的测量。双棱镜干涉、牛顿环干涉等实验即为干涉测量，迈克尔逊干涉仪即为典型的干涉测量仪器。

2. 衍射法

在光场中置一线度与入射光波长相当的障碍物（如狭缝、细丝、小孔、光栅等），在其后方将出现衍射花样。通过对衍射花样的测量与分析，可定出障碍物的大小。用伦琴射线对晶体的衍射，可进行物质结构分析。

3. 光谱法

光谱法是利用分光组件（棱镜或光栅），将发光体发出的光分解为分立的按波长排列的光谱。光谱的波长、强度等参量给出了物质结构的信息。

4. 光测法

用单色性好、强度高、稳定性好的激光作光源，再利用声-光、电-光、磁-光等物理效应，可将某些需精确测量的物理量转换为光学量测量，光测法已发展为重要的测量手段。

七、非电量的电测法

随着科学技术的发展，许多物理量，如位移、速度、加速度、压强、温度、光强等都可经过传感器转换为电学量而进行测量，此即为非电量的电测法。一般说来，非电量电测系统如图 1-2 所示。

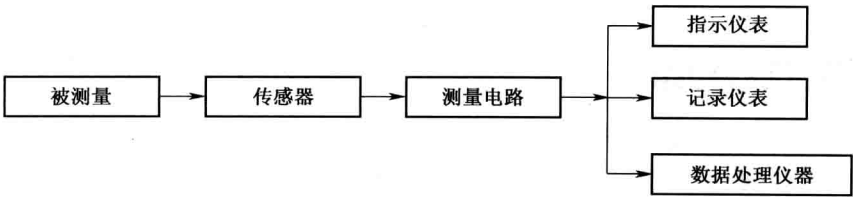


图 1-2 非电量电测系统

传感器是把非电的被测物理量转换成电学量的装置,是非电量电测系统中的关键器件。传感器都是根据某一物理原理或效应而制成的。

1. 温度—电压转换

进行温度—电压转换,可用热电偶来实现。热电偶是根据两种不同材料的金属接触时产生电势的接触电势效应和单一金属两端因温度不同而产生电势的温差电势效应而制成的。当两不同材料的金属导体两端均做密合接触,且两端温度又不同时,高、低温两端出现电势差,此电势差与材料和温度有关。若测出此电势差,并已知一端的温度(比如把此端置于冰水中),便可通过查阅事先编制好的表格而得知另一端的温度。这就是热电偶温度计。

2. 压强—电压转换

进行压强—电压转换,可用压电传感器来实现。这是利用某些材料的压电效应制成的。某些电介质材料,当沿着一定方向对其施力而使其变形时,内部产生极化现象,同时在它的两个表面上便产生符号相反的电荷,形成电势差,其大小与受力大小有关;当外力去除后,又重新恢复不带电状态;当作用力的方向改变时,电荷的极性也随之改变。这种现象称为正压电效应。反之,当在电介质的极化方向上施加电场,则会引起电介质变形,这种现象称为逆压电效应。正压电效应可用来测力与压强的大小,如对压电传感器施以声压,则会输出交变电压,通过测量电压的各参量而得知声波的各参量。

3. 磁感应强度—电压转换

进行磁感应强度—电压转换,可通过霍尔组件实现。霍尔组件是由半导体材料制成的片状物,当把它置于磁场中,并于两相对薄边加上电压,内部流有电流后,相邻两薄边将有异号电荷积累,出现电势差,其大小、方向与材料、电流大小及磁场磁感应强度有关,此效应称霍尔效应。用霍尔(组件)片可测磁感应强度。

4. 光—电转换

实现光—电转换的器件很多。利用光电效应制造的光电管、光电倍增管可测定相对光强。光敏电阻则是根据有些材料的电阻率会因照射光强不同而不同的性能制成的,因而可用它测量光束中谱线光强。光电池受到光照后会产生与光强有一定关系的电动势,从而可通过测电势来测量入射光的相对光强。光电二极管、光电三极管等器件,多用于电路控制。

第四节 基本实验操作技术

一、恢复仪器初态

所谓“初态”,是指仪器设备在进入正式调整、实验前的初始状态。正确的初态可保证仪器设备安全,确保实验工作顺利进行。如设置有调整螺丝的仪器,在正式调整前,应先使调整螺丝处于松紧合适的状态,具有足够的调整量,以便于仪器的调整。这在光学仪器中常会遇

到。又如在电学实验中,未闭合电源前,应使电源的输出调节旋钮处于使电压输出为最小的位置,使滑线变阻器的滑动端处于最安全位置(若做分压,应使电压输出最小;若做限流,应使电路电流最小),使电阻箱接入电路的电阻不为零等。这样既保证了仪器设备的安全,又便于控制调节。

二、零位(零点)调整

绝大多数测量工具及仪表,如千分尺、电压表等都有其零位(零点)。在使用它们测量之前,都须校正零位。如零位不对,能调整则调整,不能调整则记下其对零的偏差值,以后在测量值中予以修正。

三、水平、铅直调整

有些实验仪器须在水平或铅直状态下才能正常工作。水平状态可借助水平仪进行判断,铅直状态可借助重锤进行判断。对其进行调整一般借助仪器基座上的3个调整螺丝。3个螺丝成正三角形或等腰三角形排列,调节其中一个,基座便会以另外2个螺丝的连线为轴转动。

四、避免空程误差

由丝杠-螺母构成的传动与读数机构,由于螺母与丝杠之间有螺纹间隙,往往在测量刚开始或刚反向转动丝杠时,丝杠须转过一定角度(可能达几十度)才能与螺母啮合,结果与丝杠连接在一起的鼓轮已有读数改变,而由螺母带动的机构尚未产生位移,造成虚假读数而产生空程误差。为避免产生空程,使用这类仪器(如测微目镜,读数显微镜等)时,必须待丝杠与螺母啮合后,才能进行测量,且须单方向旋转鼓轮,切勿忽正转忽反转。

五、逐次(逐步)逼近调节

依据一定的判据,逐次缩小调整范围,较快捷地获得所需状态的方法称为逐次逼近调节法。判据在不同的仪器中是不同的,如天平是看天平指针是否指零,平衡电桥是看检流计指针是否指零,逐次逼近调节法在天平、电桥、电位差计等仪器的平衡调节中都要用到,在光路共轴调整、分光仪调整中也要用到,它是一个经常使用的调整方法。

六、消视差调节

当刻有刻度的标尺与需用此标尺来确定其位置或大小的物,如电表的表盘与指针,望远镜中叉丝分划板的虚像与被观察物的虚像不密合时,眼睛从不同方向观察会出现读数有差异或物与标尺刻线有分离的现象,此称视差现象。为了测量正确,实验时必须消除视差。消除视差的方法有两种:一是使视线垂直标尺平面读数。1.0级以上的电表表盘上均附有平面反射镜,当观察到指针与其像重合,此时读下指针所指刻度值即为正确。焦利称的读数装置也是如此。二是使标尺平面与被测物密合于同一平面内。如游标卡尺的游标尺被做成斜面,便是为了使游标尺的刻线端与主尺接近处于同一平面,减少视差。使用光学测读仪器均须做消视差调节,使被观测物的实像成在作为标尺的叉丝分划板上,即它们的虚像处于同一平面。

七、调焦

在使用望远镜、显微镜和测微目镜等光学仪器时,为了清楚地看清目的物,均需进行调节。对前者要调物镜到叉丝间的距离,对后者要调物镜到物间的距离,这种调节称为调焦。调焦是否已调好,以是否能看清目的物上的局部细小特征为准。

八、光路的共轴调整

在由两个或两个以上的光学组件组成的实验系统中,为获得好的像质,满足近轴光线条件等,必须进行共轴调整。调整一般分为两步,第一步进行粗调——目测调整,第二步根据光学规律进行细调,常用的方法有自准法和二次成像法。如果在光具座上进行实验,为了读数正确,还需把光轴调整得与光具座平行,即光学组件光心距光具座等高且光学组件截面与光具座垂直。

九、回路接线法

一张电路图可分解为若干个闭合回路。接线时,循回路由始点(如某高电位点)依次首尾相连,最后仍回到始点,此接线方法称回路接线法。按照此法接线和查线,可确保电路连接正确无误。

第二章

测量误差与数据处理

本章主要介绍测量误差、不确定度的基本概念，在此基础上，介绍有效数字及数据处理方法。考虑到本课程的特点，对于不确定度，在一定程度上进行了简化处理，以便使其具有较强的操作性。

第一节 测量和误差的基本知识

我们在进行物理实验时，不仅要對实验现象进行定性的观察，更主要的是找出有关物理量之间的定量关系。为了揭示物理量之间的内在关系，需要运用测量器具对物理量进行测量。在进行测量的时候，总会有误差，这是由于测量器具、测量环境、测量人员、测量方法等不理想，使得测量结果与真值之间总会有一定的差异。对同一物理量重复测量两次，结果并不一致，这就证明了这一点。随着科学技术的发展和测量方法的改进，误差可以愈来愈小，但仍然还会存在。

实践证明，测量结果中都存在着误差，误差自始至终存在于一切科学实验和测量的过程中。因此，分析测量中可能产生的各种误差，尽可能消除其影响，并对测量结果中未能消除的误差作出估计，是物理实验和许多科学实验中必不可少的工作。为此我们必须了解误差的概念、特性、产生的原因和估计方法等有关知识。

在测量误差理论学习中主要解决下列问题。

① 正确分析误差、消减系统误差到最低程度，合理测量、记录实验数据。

② 正确处理测量数据，以便得到接近于真值的最佳结果。

③ 合理评价测量结果的误差，写出测量结果的最终表达式。

④ 在设计性实验中，合理选择测量器具、测量方法和测量条件，以便得到最佳的结果。

误差贯穿于整个实验之中，希望同学们不断地深入领会，提高实验素养。

一、测量

所谓测量就是将待测的物理量与一个选来作标准的同类量进行比较，得出它们之间的倍数关系。选来作为标准的同类量称为单位。倍数称为测量数值。由此可见，一个物理量的测量值等于测量数值与单位的乘积。一个物理量的大小是客观存在的，选择不同的单位，相应的测量数值就有所不同。单位愈大，测量数值愈小，反之亦然。

测量可分为两类，即直接测量和间接测量。直接测量是直接將待测物理量与选定的同类

物理量的标准单位相比较, 直接得到测量值大小的一种测量。它不必进行任何函数运算。例如用米尺量长度, 表计时间, 天平称质量, 安培表测电流等。间接测量是根据直接测量所得到的数据, 根据一定的公式, 通过运算得到测量值大小的一种测量。例如, 我们要测量一个圆柱的体积 V , 在数学上, 已知 $V = \pi d^2 h / 4$, 其中 d 为圆柱体的直径, h 为高。利用长度测量工具, 例如卡尺、千分尺测得 d 和 h 后, 即可算出 V 。不言而喻, 体积 V 的测量就属间接测量, 则 V 这个量就是间接测量量, 而 d 与 h 则是直接测量量。

二、真值和误差

为了对测量及误差作进一步的讨论, 我们引入有关真值和误差的一些基本概念。

真值——被测量在其所处的确定条件下, 客观上所严格具有的量值。

误差——测量值与真值之差, 记为

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

式中, x 是测量结果 (给出值), A 是被测量的真值。 Δx 为测量误差, 又称绝对误差。

任何测量都存在着误差, 间接测量的误差来源于直接测量的误差。

任何一个测量结果表示为

$$x \pm \Delta x \quad (2-2)$$

Δx 反映的是测量结果总的绝对误差, 一般取正值 (绝对值), $\pm$ 号说明 Δx 是个范围, 所以式 (2-2) 表示 x 的真值 (一般是多次测量的算术平均值) 有较大的概率出现在 $(x + \Delta x) \sim (x - \Delta x)$ 区间。

真值是客观存在的, 但它是一个理想的概念, 在一般情况下不可能准确知道。然而在有些具体问题中, 真值在实际上可以认为是已知的。例如, ①理论值: 三角形三个内角的和为 180° 等; ②公认值: 世界公认的一些常数, 如普朗克常数等; ③相对真值: 用准确度高一个数量级的仪器校准的测定值, 如为了估计用伏安法测电阻的误差, 可以用可靠性更高的电桥的测量结果作为真值。这种以给定为目的, 能代替真值的量值, 常被称为约定真值。在实际测量中常用被测量的实际值或以修正过的算术平均值 $\bar{x}$ 来代替真值。

按照定义, 误差是测量结果与客观真值之差, 它既有大小又有方向 (正负)。由于真值在多数情况下无法知道, 因此误差也是未知的, 只能进行估计。

为全面评价测量结果引入相对误差。误差与真值之比称为相对误差, 考虑到一般情况下, 测量值与真值相差不会太大, 故可以把误差与测量值之比作为相对误差。有

$$E = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\% \quad (2-3)$$

例如, 用米尺测量两个物体的长度, 得出一个是 5cm, 另一个是 25cm, 测量的绝对误差为 0.05cm, 二者的绝对误差相同, 但前者误差占测量值的 $0.05/5 = 1\%$, 后者占 $0.05/25 = 0.2\%$ 。显然测量误差的严重程度不同。为了全面评价测量的优劣, 测量结果表示时, 必须同时表示出其测量结果的相对误差。

三、误差的分类

误差按其特征和表现形式可以分为两类: 系统误差和随机误差。为便于理解, 我们从两个具体的例子着手讨论。