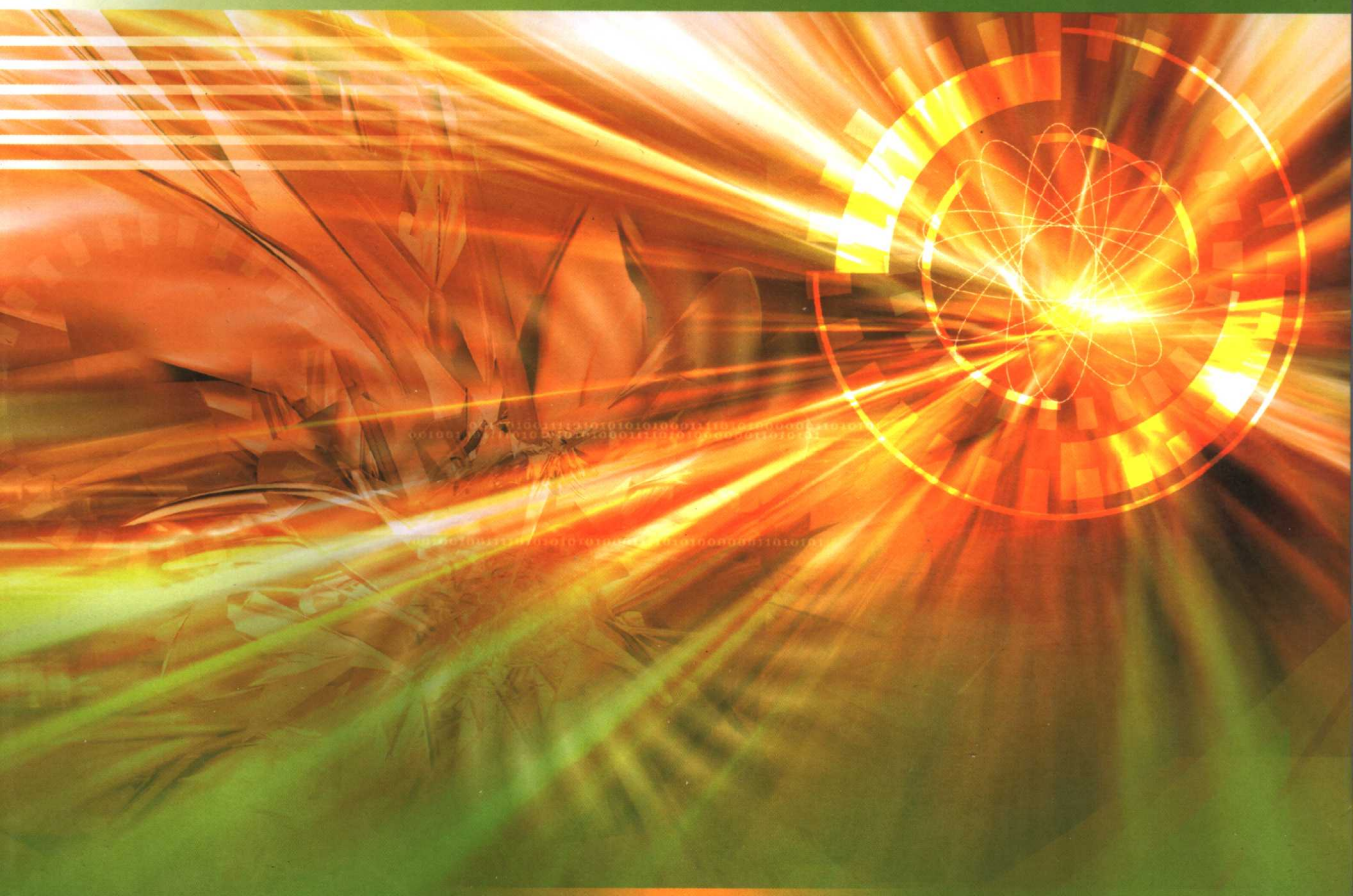


高等院校教材

*D*AXUEWULISHIYAN

大学物理实验

主编 熊中朝



陕西科学技术出版社

高等院校教材

大学物理实验

主 编	熊中朝		
副主编	张须欣	冯建武	智艾娣
	梁会琴	王金艳	路 莹
	杨杰慧	宁敏东	

页:

陕西科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/熊中朝主编. —西安: 陕西科学技术出版社, 2006. 8

ISBN 7-5369-4120-X

I. 大... II. 熊... 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 089593 号

出 版 者 陕西科学技术出版社
西安北大街 131 号 邮编 710003
电话(029)87211894 传真(029)87218236
<http://www.snstp.com>

发 行 者 陕西科学技术出版社
电话(029)87212206 87260001

印 刷 洛阳华中包装印刷发展有限公司

规 格 787mm × 1092mm 16 开本

印 张 24.5 印张

字 数 550 千字

版 次 2006 年 8 月第 1 版
2006 年 8 月第 1 次印刷

定 价 37.50 元

版权所有 翻印必究

前 言

物理学是一门重要的基础科学，在高等院校，物理课是理、工、农、医及部分文科学生都要学习的基础课，而物理实验则是物理课的极为重要的有机组成部分。所以，物理实验教学不仅有助于学生真正理解和掌握物理理论，而且是提高学生分析问题和解决问题能力不可缺少的教学环节。物理实验教学可使学生在如何运用理论知识、实验方法和实验技术解决科技问题方面得到必要的、基本的训练，对于培养学生严正的科学作风、科学态度以及辩证唯物主义世界观也有着不可忽视的作用。

我们根据教育部《物理学实验教学大纲》要求，和近年来其他高校实验教材的变迁，以及我们实验室新购仪器的特点，总结多年物理实验教学经验，参考大量文献和资料，编写了这本《大学物理实验》。

本教材适应理工科物理类及非物理类专业物理实验教学用书。本书由绪论、误差处理、力学实验、热学实验、电磁学实验、光学实验，以及近代物理实验七个章节组成。本书编写人员：熊中朝、张须欣、冯建武、智艾梯、梁会琴、王金艳、路莹、杨杰慧、宁敏东老师共同编写完成。熊中朝老师负责全书的统稿、校对等工作，以及前言、目录等的编写。本书由洛阳师范学院物理与电子科学系潘留占教授组织主审，感谢他们对本书提出的宝贵建议和意见。

由于编者水平所限，书中难免存在不妥或错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

2006年6月

于洛阳师范学院

实验要求

1. 实验前必须充分进行预习。预习要求：
 - (1) 认真阅读实验内容，分析、掌握实验原理。
 - (2) 完成实验中“预习要求”指定的内容。
 - (3) 做到实验思路清楚，实验任务明确。
 - (4) 熟悉实验仪器的使用方法及其注意事项。
2. 熟悉实验仪器的性能、操作方法以及注意事项，并在使用中严格遵守。
3. 实验中要多注意观察，特别对有破坏性的异常现象，如元件冒烟、发烫或有异味等应立即关闭电源，保持现场，报告指导老师。待找出原因、排除故障，经指导老师同意后再继续实验。
4. 实验中需更换仪器，经指导老师同意后方可进行。
5. 实验中应仔细观察实验现象，认真记录实验结果(数据、波形、现象)。所记录的实验结果经指导老师认可后方可拆除实验线路。
6. 实验结束后要关闭电源，并将仪器、工具、导线等按规定整理好，经指导老师同意后方可离开实验室。
7. 实验后每个同学必须按要求独立、认真完成实验报告。
8. 实验采取考试或操作+报告等方法，确定实验成绩。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 物理实验的重要性	(1)
第二节 普通物理实验课的要求	(2)
第三节 如何进行普通物理实验	(4)
第二章 实验数据的处理	(7)
第一节 实验误差的分析	(7)
第二节 实验不确定度的评定	(8)
第三节 制表、作图与拟合	(14)
附录一 正态分布与标准偏差	(18)
附录二 t 因子	(20)
附录三 物理量的单位	(20)
第三章 力学实验	(23)
实验一 长度与体积的测量	(23)
实验二 固体和液体密度的测定	(30)
实验三 单摆	(35)
实验四 自由落体	(41)
实验五 惯性秤	(45)
实验六 牛顿第二定律的验证	(49)
实验七 动量守恒定律的验证	(56)
实验八 简谐振动的研究	(59)
实验九 杨氏弹性模量的测定	(63)
实验十 三线摆	(67)
实验十一 刚体转动的研究	(70)
实验十二 扭摆法测定物体转动惯量	(74)
实验十三 弦振动的研究	(79)
实验十四 用共鸣管测声速	(82)
实验十五 振幅极值法测声速	(84)

附录一 部分计量器具的中华人民共和国计量检定规程(JJG)	(90)
第四章 热学实验	(91)
实验一 用混合法测定金属的比热容	(92)
实验二 用电热法测定热功当量	(94)
实验三 测定冰的熔解热	(98)
实验四 液体黏度的测定	(101)
实验五 液体表面张力系数的测定	(106)
实验六 金属线胀系数的测定	(109)
实验七 不良导体导热系数的测量	(111)
附表一 水的比热容与温度的关系	(116)
附表二 某些元素的比热容	(117)
附表三 液体的黏滞系数与温度的关系	(117)
附表四 水的表面张力与温度的关系	(117)
附表五 固体的线胀系数	(118)
附表六 固体的导热系数	(118)
第五章 电磁学实验	(119)
实验一 电磁学实验基础知识	(119)
实验二 制流电路与分压电路	(133)
实验三 欧姆定律的应用	(139)
实验四 线性电阻和非线性电阻的伏安特性曲线	(142)
实验五 静电场的描绘	(146)
实验六 用惠斯通电桥测电阻	(154)
实验七 用电位差计测量电源的电动势和内阻	(160)
实验八 用电位差计校电表	(163)
实验九 电表的改装与校准	(166)
实验十 低电阻的测量	(169)
实验十一 交流电桥	(174)
实验十二 霍尔效应实验	(178)
实验十三 霍尔效应法测定螺线管轴向磁感应强度分布	(188)
实验十四 示波器使用(一)	(197)
实验十五 示波器使用(二)	(206)
实验十六 铁磁材料的磁滞回线和基本磁化曲线	(221)

实验十七 半导体 PN 结的物理特性及弱电流测量	(234)
实验十八 数字万用表设计性实验	(240)
实验十九 BH-1 型电子电量与荷质比测定	(250)
附录一 常用物理常数	(252)
附录二 8SJ45J 电子示波管技术参数	(253)
附录三 电子在横向电场中的偏转—— L 应—偏转板中点标起的推证	(254)
附录四 地球磁场	(256)
附录五 螺线管磁场确定方向	(257)
附录六 几种电子荷质比 e/m 测定方法简介	(259)
第六章 光学实验	(268)
实验一 薄透镜焦距的测定	(269)
实验二 分光计的调节和应用	(275)
实验三 显微镜和望远镜放大率的测定	(281)
实验四 用阿贝折射计测液体的折射率	(284)
实验五 用双棱镜干涉测钠光波长	(288)
实验六 用牛顿环干涉测透镜曲率半径	(293)
实验七 迈克尔逊干涉仪的调节和使用	(398)
实验八 单缝衍射的相对光强分布的测定	(304)
实验九 用透射光栅测定光波波长	(307)
实验十 光偏振现象的研究	(311)
实验十一 用旋光仪测旋光性溶液的旋光率和浓度	(315)
实验十二 发光强度的测量	(319)
实验十三 照相技术	(322)
实验十四 光学全息照相的基本技术	(327)
第七章 近代物理实验	(336)
实验一 密立根油滴实验	(336)
实验二 夫兰克-赫兹实验	(343)
实验三 普朗克常数测定	(347)
实验四 塞曼效应	(351)
实验五 微波顺磁共振	(358)
实验六 核磁共振	(364)
实验七 激光拉曼光谱	(371)

实验八 光拍频法测量光速	(377)
附表一 某些物质的折射率	(381)
附表二 常用光源的谱线波长	(382)
附表三 某些物质的旋光率	(382)
参考文献	(383)

第一章 绪 论

第一节 物理实验的重要性

物理学是一门实验科学，特别是普通物理，更与实验密不可分。在物理学的发展过程中，实验是决定性的因素，发现新的物理现象，寻找物理规律，验证物理定律等，都只能依靠实验，离开了实验，物理理论就会苍白无力，就会成为“无源之水，无本之木”，不可能得到发展。

正是 16 世纪伟大的实验物理学家伽利略，用他出色的实验工作把古代对物理现象的一些观察和研究引上了当代物理学的科学道路，使物理学发生了革命性的变化。力学中的许多基本定律，如自由落体定律，惯性定律等，都是由伽利略通过实验发现和总结出来的。电磁学的研究，也是从库仑发明扭秤并用来测量电荷之间的作用力开始的。

牛顿对理论和实验的关系阐述得很明白。他在 1672 年给奥尔登堡的信中说：“探求事物属性的准确方法是从实验中把它们推导出来……考察我的理论的方法就在于考虑我所提出的实验是否确实证明了这个理论；或者提出新的实验去验证这个理论。”事实上，牛顿提出过许多理论。其中，万有引力定律被海王星的发现和哈雷彗星的准确观测等实践所证明；而他关于光的本性的学说却被杨氏干涉实验和许多衍射实验所推翻。

经典物理学的基本定律几乎全部是实验结果的总结与推广。在 19 世纪以前，没有纯粹的理论物理学家，所有物理学家，包括对物理理论的发展有重大贡献的牛顿、菲涅耳和麦克斯韦等，都亲自从事实验工作。近代物理的发展则是从所谓“两朵乌云”和“三大发现”开始的，前者是指当时经典物理学无法解释的两个实验结果，即黑体辐射实验和迈克尔逊 - 莫雷实验；后者是指在实验室中发现了 X 光、放射性和电子。由于物理学的发展越来越深入，越来越复杂，而人的精力有限，才有了以理论研究为主和以实验研究为主的分工，出现了“理论物理学家”。然而，即使理论物理学家也绝对不能离开物理实验，爱因斯坦无疑是最著名的理论物理学家，而他获得诺贝尔奖是因为他正确解释了光电效应的实验；他当初提出的相对论是以“光速不变”的假设为基础的，在经过长期大量的实验后，才成为一个被人们普遍接受的理论。

总之，物理学的理论来源于物理实验又必须最终由物理实验来验证。因此，要从事物理学的研究，必须掌握物理实验的基本功。正因为如此，我国物理学界的前辈们对物理实验都十分重视。创办复旦大学物理系的王福山先生亲自从一个弹簧开始筹措实验仪

器设备,为建立物理教学实验室倾注了大量的心血;创办清华大学物理系的叶企孙先生对李政道这样优秀的学生仍规定:“理论课可以免上,只参加考试;但实验不能免,每个必做”。

物理实验不仅对于物理学的研究工作极其重要,对于物理学在其他学科的应用也十分重要。当代物理学的发展已使我们的世界发生了惊人的改变,而这些改变正是物理学在各行各业中应用的结果。

电子物理、电子工程、光源工程和光科学信息工程等学科都显然是以物理学为基础的,当然有大量物理学的应用;在材料科学中,各种材料的物性测试、许多新材料的发现(如 C_{60} 、高温超导材料)和新材料制备方法的研究(如离子束注入、激光蒸发等),都离不开物理的应用;在化学中,从光谱分析到量子化学,从放射性测量到激光分离同位素,也无不是物理的应用;生物学的发展,离不开各类显微镜(光学显微镜、电子显微镜、X 光显微镜和原子力显微镜等)的贡献;近代生命科学更离不开物理学, DNA 的双螺旋结构就是美国遗传学家和英国物理学家共同建立并为 X 光衍射实验所证实的,而对 DNA 的操纵、切割、重组也都需要实验物理学家的帮助;在医学中,从 X 光透视、B 超诊断、CT 诊断、核磁共振诊断到各种理疗手段,包括放射性治疗、激光治疗、 γ 刀等都是物理学的应用。物理学正在渗透到各个学科领域,而这种渗透无不与实验密切相关。显然,实验正是从物理基础理论到其他应用学科的桥梁。只有正确掌握物理实验的基本功。才能顺利地把物理原理应用到其他学科而产生质的飞跃。

综上所述,要研究与发展物理学,要把物理理论应用到各行各业的实际中去,都必须重视物理实验,学好物理实验。

然而,物理实验的重要性却往往被忽视。中国社会长期以来重理论轻实践的错误观念至今仍有影响。杨振宁先生 1982 年在《光明日报》上发表“谈人才培养”的文章中语重心长地指出:“像我这样有了一点名气的人也有不好的影响,在国内有许多青年人都希望搞我这一行(指搞理论),但是,像我这样的人,中国目前不是急需,要增加中国的社会生产力需要的是很多会动手的人。”另一个获得诺贝尔物理学奖的华裔实验物理学家丁肇中先生则说:“我是一个做实验的工程师。希望通过我的得奖,能提高中国人对实验的认识,没有实验就没有现代科学技术。”据统计,1901 年以来,实验物理学家获得诺贝尔奖的人数是理论物理学家人数的两倍;而近 30 年来,前者的人数超过后者的六倍以上。由此可见,物理实验的重要性正在越来越明显地被认识到,我们必须摒弃旧观念,解放思想,面对现实,摆正理论与实践的关系,才能真正造就高素质的有创新精神的一代新人,使中华民族能真正昂首屹立于世纪先进民族之林。

第二节 普通物理实验课的要求

物理实验既然那么重要,怎样才能通过物理实验课教学使学生掌握物理实验的基本功,达到培养高素质创新人才的目的呢?概括起来,应通过物理实验课程达到以下三个

基本要求:

1. 在物理实验的基本知识、基本方法和基本技能方面(三基)得到严格而系统的训练,这是做好物理实验的基础。

基本知识包括实验的原理、各类仪器的结构与工作机理、实验的误差分析与不确定度评定、实验结果的表述方法及如何对实验结果进行分析与判断等。

基本方法包括如何根据实验目的和要求确定实验的思路与方案、如何选择和正确使用仪器、如何减少各类误差、如何采用一些特殊方法来获得通常难以获得的结果等。

基本技能包括各种调节与测试技术(粗调、微调、准直、调零、读数、定标等),真空技术(真空获得、维持、测量、应用等),电工技术(识别元件、焊接、排除故障、安全用电等),电子技术(微电流检测、弱信号放大等),传感器技术(力传感器、位移传感器、温度传感器、磁传感器、光传感器等),金工技术(机械制图及基本的车工和钳工技术等)以及查阅文献的能力、自学能力、协作共事的能力、总结归纳能力和口头表达能力等。

这种三基训练有时可能会比较枯燥,却是完全必要的,它体现了最基本的实际动手能力,因而必须首先保证这一要求的实现。没有这种严格的基本训练,很难成为高素质的人才。

2. 学习用实验方法研究物理现象、验证物理规律,加深对物理理论的理解和掌握,并在实践中提高发现问题、分析问题和解决问题的能力。

研究物理现象和验证物理规律是进行物理实验的根本目的。在学习“三基”的过程中要有意识地学习这种能力。一般的“验证性实验”虽然是教师安排好的,但学生应该仔细体会其中的奥妙所在,不应只按所规定的步骤操作、记数据、得结果就算完成,要多问几个为什么,想一想不按所规定的步骤去做会有什么问题,或者能否想出别的方法来达到同样的目的?在一定条件下,经老师同意,也可以做自己设计的实验。

进行物理实验也是真正理解和掌握理论的重要手段。只从书本上得到的知识往往是不完整、不具体的。只有通过实验,才能使抽象的概念和深奥的理论变成具体的知识和实际的经验,变为在解决实际问题中的有力工具。因此,要真正理解和掌握物理理论,不能只从课堂上学习,必须还要到实验室学习,亲自动手,亲身体会,才能学到真正有血有肉的活生生的物理。

在实验中往往会遇到一些意想不到的问题。这些问题虽然可能不是实验研究的主要对象,但也不应轻易放过。这常常是提高分析问题、解决问题能力的好机会。要注意观察,及时记录,认真分析,有必要时可以进行深入研究。实际上,科学史上不少重要发现都是在意想不到的情况下“偶然”得到的。

3. 养成实事求是的科学态度和积极创新的科学精神。

这是在整个教学过程中都要贯彻的要求,而在物理实验教学中尤其重要。因为物理学研究“物”之“理”,就是从“实事”中去求“是”,所以严肃认真的物理学研究工作者都坚持“实践是检验真理的唯一标准”。物理学中的“实践”主要就是物理实验,在物理实验课中最能培养实事求是、严谨踏实的科学态度。任何弄虚作假、篡改甚至伪造数据的行

为都是绝对不能允许的,也是比较容易发现的。在物理实验课中,严格规定了记录数据不准用铅笔,不能用涂改液,误记或错记数据的更改要写明理由并经指导教师认可等,都是为了帮助学生养成实事求是的良好习惯。实际上,实验结果是什么就是什么,没有“好”“坏”之分,与原来预想不一致的实验结果不仅不应随便舍弃,还应特别重视,它可能是某个新发现的开端。历史上许多新的物理理论都是由于旧理论无法解释某些实验现象而建立起来的。因此,实事求是的严谨态度与积极创新的科学作风是相联系的。在严格的实验中才能发现真正的问题,而解决这些问题往往就需要坚韧不拔的毅力和积极创新的思维。实际上,只要认真去做实验一定会发现许多问题,其中有些问题是教师也未必能解决的。所以,实验室应当而且可以成为培养学生求实态度和创新精神的最好场所。

第三节 如何进行普通物理实验

一、预习

预习是上好实验课的基础和前提,没有预习或许可以听好一堂理论课,但绝不可能完成好一堂实验课。预习的基本要求是仔细阅读教材,了解实验的目的和要求及所用到的原理、方法和仪器设备。一些实验有供预习的 CAI 软件,学生可以从电脑上更清晰看到实验概况及原理、仪器设备等。一些实验还没有预习的 CAI 软件,学生最好在规定时间内去实验室看一下实验的仪器设备状况。有些实验还需要翻阅一些参考书。通过预习,应对将做的实验有一个初步的大致了解,写好预习报告(包括实验目的、原理、步骤、电路或光路图及数据表格等)。有些实验不要求另写正式报告的,预习报告就是正式报告了,要特别认真撰写(按以下关于“实验报告”的要求写)。预习报告中,数据表格是很重要的,往往是真正理解了如何做实验才能画好这个表格。表中要留有余地,以便有估计不到的情况发生时能够记录。直接测量的量和间接测量的量(由直接测量的量计算所得的量)在表中要清楚地分开,不应混淆。

二、实验操作与记录

实验室与教室的最大区别就是实验中有大量的仪器设备和实验材料。在不同的实验室中,还分别有大功率电源、自来水源、煤气、压缩空气、放射性物质、激光、易燃易爆物品或其他有毒、有害物品等。因此,进入实验室前必须详细了解并严格遵守实验室的各项规章制度。这些规章制度是为保护人身安全和仪器设备安全而规定的,违反了就可能酿成事故,这是必须首先牢记的。

做实验时,要胆大心细,严肃认真,一丝不苟。对于精密贵重的仪器或元件,特别要稳拿妥放,防止损坏。在电学实验中,必须经教师检查无误后才可接通电源。在使用任何仪器前,必须先看注意事项或说明书;在调节时,应先粗调后微调;在读数时,应先取

大量程后取小量程；实验完成后，应整理好仪器设备，关好水、电、煤气等，方可离开实验室等等，这些都是一个实验工作者的基本素质，要成为良好的习惯。

实验记录是做实验的重要组成部分，它应全面真实反映实验的全过程，包括实验的主要步骤(必要时写明为什么要采取这样的步骤)、观察与测量的条件和情况以及观察到的现象和测量到的数据(为了清楚起见，数据常用表格来记录，制表方法详见第二章第三节)，不仅要记录与预想一致的数据和现象，更要记录与预想不一致的数据和现象。记录应尽量清晰、详尽。科学研究中的实验记录本是极其宝贵的资料，要长期保存，因此必须认真对待。

关于实验操作与记录，以下两点是要特别注意的：

1. 实验中，不仅要动手而且要动脑。做实验是为了培养从事科学研究工作的能力，学会某些仪器设备的使用方法不是目的而是手段。只有在实验中认真动手、积极动脑，才能触类旁通，掌握实验的真谛，学到从实践中发现问题、分析问题、解决问题的真功夫。其中，发现问题是解决问题的第一步，有所发现才能有所创造。因此，在实验过程中要十分注意各种实验现象，不仅对主要的现象，预先估计到的现象，要认真观察、仔细测量、工整记录；对于一些次要的现象、预先没有估计到的现象，也要注意观察和如实记录，以便进行分析和讨论。

2. 数据记录必须真实，绝不可任意伪造或篡改。这是一个科学工作者的基本道德素养。教学实验与科学实验不同，在教学实验室中，实验结果往往是预知的，或有公认值的。实验结果与公认值不一致的情况是经常发生的。这种不一致的原因，不一定是因为学生操作失误、概念理解不当或计算错误。它也可能是由于仪器设备不正常或环境等其他原因造成的。绝不可认为实验结果与公认值越接近，就表明实验做得越好，得分也会越高；更不可为追求实验结果与公认值的一致而伪造或篡改实验记录。从学生学习的角度讲，过程比结果更重要。教师对学生的培养与评价，应侧重于实验态度与作风，以及发现、分析和解决问题的能力。

三、写实验报告

实验报告可以在预习报告的基础上继续写，也可以重新另写一份。

对于实验报告，过去有些同学往往只重视数据处理和得出实验结果，对于实验的记录、原理及步骤等的撰写很不重视，这是很不对的。

写实验报告是培养实验研究人才的重要一环。

从事实验研究工作一般都需要有一个实验研究的记录本，用以记录实验当中发生的各种现象和数据，这是科学研究的宝贵资料，一般将长期保存在实验室中。为了养成良好的完整记录的习惯，从而学会从事实验研究工作的基本功，在实验报告中，要求详细记录实验条件、实验仪器、实验环境、实验现象和测量数据。

研究工作取得的成果，一般都要写成论文形式发表。为了训练对这种实验成果的文字表达能力，在实验报告中，要求用自己的语言简要地写明实验目的、原理和步骤并进行适当的讨论。

实验报告的内容主要应含有以下三方面：

1. 简要地阐明为什么和如何做实验。

这包括实验的目的、原理和步骤。写这些内容时，要尽量用自己的语言，不要从教材、书本或其他地方抄；内容应以别人能看懂，自己若干年后也能看懂为标准；篇幅应力求简短。

2. 真实而全面地记录实验条件和实验过程中得到的全部信息。

实验条件包括实验的环境(室温、气压等与实验有关的外部条件)，所用的仪器设备(名称、型号、主要规格和编号等)、实验对象(样品名称、来源及其编号等)以及其他有关器材等。实验过程中要随时记下观察到的现象、发现的问题和自己产生的想法；特别当实际情况和预期不同时，要记下有何不同，分析为何不同。记录实验数据要认真、仔细，但不要把数据先记在草稿上再誊上去，更不要算好了再填上去；要培养清晰而整洁地记录原始数据的能力和习惯。

3. 认真地分析和解释实验结果，得出实验结论。

实验结果不是简单的测量结果，它应包括不确定度的评定，对测量结果与期望值的关系的讨论，分析误差的主要原因和改进方法，还应包括对实验现象的分析与解释，对实验中有关问题的思考和对实验结果的评论等。

最后，实验报告中还可谈谈做本实验的体会和对教师或教材的批评和建议。

第二章 实验数据的处理

物理实验的目的是探寻和验证物理规律,而许多物理规律是用物理量之间的定量关系来表述的。在物理实验中可以获得大量的测量数据,这些数据必须经过认真地、正确地、有效地处理,才能得出合理的结论,从而把感性认识上升为理性认识,形成或验证物理规律。所以,数据处理是物理实验中一项极其重要的工作。本章将介绍一些最基本的数据处理方法,包括误差分析、不确定度评定、有效数字及作图拟合法等。

第一节 实验误差的分析

一个待测物理量的大小,在客观上应该有一个真实的数值,叫做“真值”。由于测量方法、测量仪器、测量条件及测量者的种种问题,实际测得的数值即测量值,只能是一个真值的近似值。测量值与真值之差称为误差。测量方法的考虑、测量仪器的选择、测量条件的确定及测量数据的处理等都应在可能的范围内力求减少误差。

所谓测量,就是由测量者采取某种测量方法,用某种测量仪器将待测量与标准量进行比较。例如,为测量一个铁球的质量,可以用天平(测量仪器)把铁球(待测物)放在天平的一侧,把适量的砝码(其质量为标准量)放在另一侧,适当调节而使两侧平衡时(测量方法),即可得到待测物的质量,即待测量。由此可知,测量值并不等于真值,测量值存在误差的原因可能有以下三方面:测量仪器(及标准量)的问题、测量方法的问题、测量者的问题。现分述如下:

(一) 测量仪器及标准量的问题

在许多情况下,测量仪器上的刻度(或数字显示)就代表了标准值,如米尺、温度计等。但是这种“标准量”也并非真正标准,它与真正的标准必有差距。例如,米尺端边会磨损、刻度有不均匀性或不够准确、在不同温度下米尺本身的长度有变化等。

(二) 测量方法的问题

采用不同的测量方法可能会得到不同的测量结果,其影响是很明显的。例如,为了测量一块玻璃板的温度,用一般的温度计测量和用激光测量,其结果就往往不一样;为了测量重力加速度,用测单摆周期的方法或用自由落体的方法结果也可能会不同。

(三) 测量者的问题

这方面的问题很多。首先是“估读”的不同,待测量位于标准量的某两刻度之间时,

必须估读其数值,不同测量者的估读会有不同,这与测量者的位置、熟练程度及仪器所处的环境状况等有关。其次是“判断”的不同,例如,要测量干涉条纹间的距离,为确定何处是干涉条纹的中心位置(即光最亮处或最暗处),需要经验和判断能力。最后还有“误读”的可能,即测量者长期工作中难免犯错误,把数据读错也是很可能发生的。

以上三方面的问题都会造成误差。其中第一个问题和第三个问题产生的误差大小与测量仪器、测量者、测量条件和测量次数有关,可以用一定的方法进行评定(第三个问题中的“误读”除外),这种评定的方法将在第二节详述。测量方法的问题则要进行定性分析以尽量避免或进行定量分析予以修正。

例如,要测量一块正在加热的平面玻璃的温度,无论用温度计或热电偶,放在玻璃板的任何一侧,都不可能测准。因为测温元件(温度计或热电偶)与待测元件(玻璃板)的受热与散热情况都不相同,它们的温度不可能相同。因此,可以改用激光测温的方法,它利用待测元件本身作为测温元件,从玻璃表面间反射光的干涉条纹变化来确定其温度变化,就可以避免因测温元件与待测元件的温度差而形成的误差。

又如,用单摆测量重力加速度的一般公式为

$$g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2}$$

式中 T 为单摆周期, L 为摆长。这里忽略了单摆摆线的质量,忽略了单摆运动是非简谐运动,也忽略了空气阻力的影响等。如要修正上述这些因素造成的误差,则要进行严格计算和修正。如摆线质量为 μ , 摆球半径为 r , 质量为 m , 则上述公式应修正为

$$g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2} \left(1 + \frac{2}{5} \frac{r^2}{L^2} - \frac{1}{6} \frac{\mu}{m} \right)$$

摆动的幅角较大或空气的浮力与阻力的影响较大时还应作其他各种修正。

实验误差的分析是一项十分重要的工作,要考虑实际上可能对测量结果产生影响的各种因素,分析其影响的大小。任何实验都不要求把一切影响因素全部消除,这在经济上、时间上、精力上都将造成浪费,而实际上也是不可能做到的,只要达到一定的误差允许范围之内就行。而这种分析需要广博的基础知识、丰富的实践经验和高超的判断能力。这就要求我们在各种实验中认真思索,以积累经验,丰富知识,提高分析判断能力。

第二节 实验不确定度的评定

一、不确定度评定的意义

如上所述,即使采用正确的测量方法,由于测量仪器和测量者的问题,测量结果仍不可能是绝对准确的,它必然有不确定的成分。实际上,这种不确定的程度是可以用一种科学的、合理的、公认的方法来表征的,这就是“不确定度”的评定。在测量方法正确