

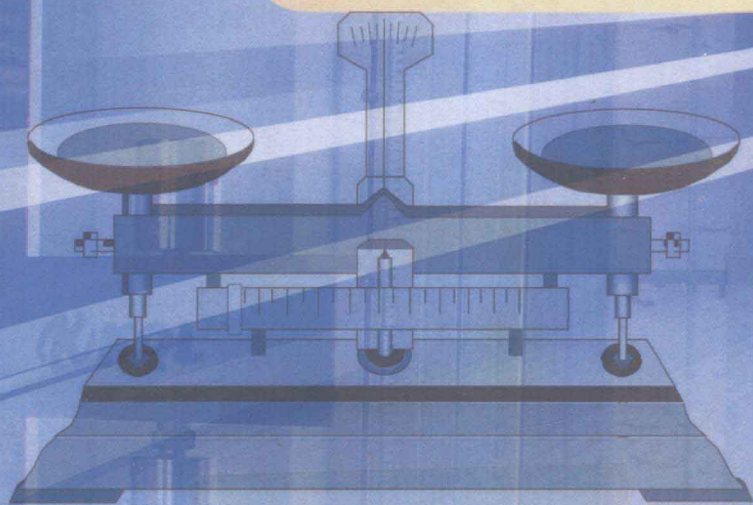
DAXUEWULI

SHIYANFANGFA JI SHIYANJISHU

大学物理

实验方法 及实验技术

蔡志华 闫卫国 李文军 编著



中国原子能出版社

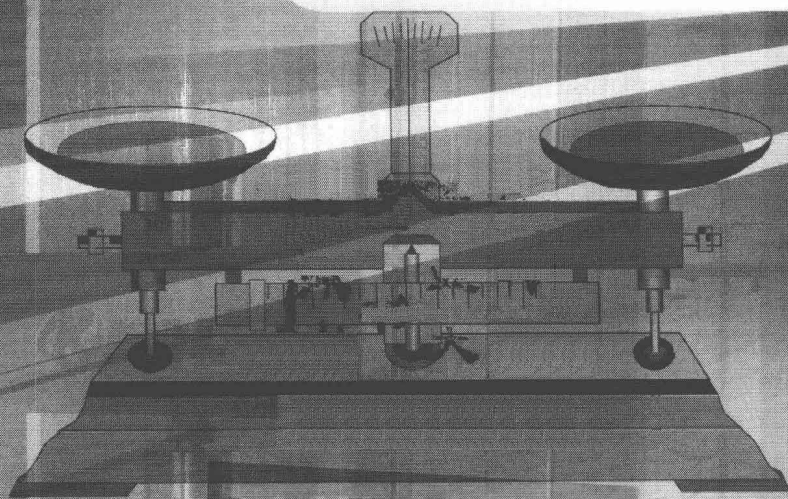
DAXUEWULI

SHIYANFANGFA JI SHIYANJISHU

大学物理

实验方法 及实验技术

蔡志华 闫卫国 李文军 编著



中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验方法及实验技术/蔡志华, 闫卫国,
李文军编著. —北京: 中国原子能出版社, 2011. 12
ISBN 978-7-5022-5417-9

I. ①大… II. ①蔡…②闫…③李… 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(2011)第 279030 号

内 容 简 介

通过大学物理实验的学习可以使学生系统掌握实验的基本理论、基本技能及研究方法, 并且培养严谨的科学态度、理论与实际相联系的能力等。为此, 本书在对大学物理实验的地位、作用、目的、任务及教学环节进行简单介绍之后, 讨论了测量误差与数据处理方法、物理实验的测量方法与技术、物理实验的常用仪器与器件, 并对基础物理实验研究、近代与综合性物理实验研究、设计与研究性物理实验、仿真物理实验研究进行了重点介绍。

大学物理实验方法及实验技术

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)
责任编辑 张 琳
责任印制 潘玉玲
印 刷 北京市登峰印刷厂
经 销 全国新华书店
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 16.625 字 数 404 千字
版 次 2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5022-5417-9 定 价 36.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn>

E-mail: atomep123@126.com

发行电话: 010—68452845

版权所有 侵权必究

前 言

大学物理实验是理工科学生必修的一门重要基础课程,也是他们在大学阶段接触到的第一个较系统的实践类课程,该课程将会使学生受到较为严格和系统的基本实验技能的训练。通过该课程的学习不仅可使学生较系统地掌握实验的基本理论和基本技能以及科学研究的方式和方法,同时在培养学生严谨的科学态度、理论联系实际的能力和适应科技发展的综合应用能力方面具有其他实践类课程无法替代的作用。

全书共分8章,具体内容如下。

第1章:绪论。从大学物理实验的地位与作用,目的与任务以及教学环节等三个方面简要介绍了大学物理实验方法与实际技术的基础知识。

第2章:测量误差与数据处理。本章在强调建立正确观念的基础之上,介绍了不确定度的概念、处理方法,以及有效数字的概念及其运算。

第3章:物理实验的测量方法与技术。囊括了大学物理实验的基本、常用的测量方法和技术,如比较法、转换测量法,非电量电测技术、测磁技术等。并较为详细地介绍了物理实验中的基本调整和操作技术。

第4章:物理实验的常用仪器与器件。本章主要介绍了电学、热学、电磁学以及光学这几大领域实验中常用的仪器与器件,并讲解了相关仪器、器件的日常保存方法及使用中的注意事项。

第5章:基础物理实验研究。基础物理实验中着重探讨了力学与热学,电学与磁学以及光学中典型的基础实验,例如力学中的杨氏弹性模量的测量,热学中的比热容的测定,电磁学的霍尔效应,光学的牛顿环实验等。

第6章:近代与综合性物理实验研究。重点介绍了十四个典型的近代综合性物理实验并加以研究,如全息照相、阿贝成像和空间滤波、夫兰克-赫兹实验等。

第7章:设计与研究性物理实验。在介绍了设计性实验程序与特点,方案的选择与仪器的配套后,重点引入十一个实例实验加以详细研究、探讨。

第8章:仿真物理实验研究。结合时代发展的趋势,介绍了物理实验的仿真技术并辅以典型实验分析研究。

全书由蔡志华、闫卫国、李文军撰写,具体分工如下:

第6章、第7章第12节~第13节、第8章:蔡志华(广州大学);

第1章、第4章第2节~第3节、第5章、第7章第1节~第11节:闫卫国(晋中师范高等专科学校);

第2章、第3章、第4章第1节:李文军(临汾职业技术学院)。

由于时间仓促,加上作者经验、水平有限,书中难免有遗漏或错误之处,恳请专家、同行及其他读者批评指正,不吝赐教。

作 者

2011年11月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 大学物理实验的地位与作用	1
1.2 大学物理实验的目的与任务	3
1.3 大学物理实验课程的教学环节	5
第 2 章 测量误差与数据处理方法	8
2.1 测量与误差	8
2.2 测量不确定度与测量结果表示	16
2.3 有效数字及其运算	25
2.4 实验数据处理方法	34
第 3 章 物理实验的测量方法与技术	42
3.1 物理实验的基本测量方法	42
3.2 物理实验的基本测量技术	51
3.3 物理实验中的基本调整与操作技术	64
第 4 章 物理实验的常用仪器与器件	74
4.1 力学和热学实验常用仪器	74
4.2 电磁学实验常用仪器	89
4.3 光学实验常用仪器	104
第 5 章 基础物理实验研究	115
5.1 力学和热学基础实验	115
5.2 电学和磁学基础实验	128
5.3 光学基础实验	142
第 6 章 近代与综合性物理实验研究	150
6.1 全息照相	150
6.2 迈克尔逊干涉仪	154
6.3 光电效应与普朗克常数的测定	157

6.4	夫兰克—赫兹实验	160
6.5	密立根油滴实验	164
6.6	氢原子光谱	168
6.7	阿贝成像和空间滤波	172
6.8	金属电子逸出功的测定	175
6.9	声速的测定	180
6.10	非线性电路混沌实验	184
6.11	用霍尔元件测量磁场	187
6.12	用光栅测量光波的波长	191
6.13	RLC 串联电路的暂态过程	193
6.14	声光效应实验	197
第 7 章	设计与研究性物理实验	202
7.1	设计性实验的程序与特点	202
7.2	实验方案的选择与实验仪器的配套	204
7.3	重力加速度的测定	205
7.4	简谐振动的研究	206
7.5	全息光栅的制作	208
7.6	简易万用表的设计与制作	210
7.7	多用电表的改装与调试	211
7.8	金属材料线胀系数的测定	214
7.9	金属细丝直径的测量	215
7.10	自组望远镜与显微镜	216
7.11	测定液体折射率	217
7.12	RC 串联电路充电与放电过程的研究	219
7.13	迈克尔逊干涉仪的深入研究	221
第 8 章	仿真物理实验研究	225
8.1	计算机仿真实验概述	225
8.2	大学物理仿真实验系统的安装与配置	227
8.3	碰撞和动量守恒	229
8.4	示波器仿真实验	236
8.5	塞曼效应仿真实验	240
8.6	核磁共振仿真实验	247
8.7	偏振光的研究	251
8.8	低真空的获得与测量	255
参考文献		260

第 1 章 绪论

物理学本质上是一门实验科学。无论是物理规律的发现,还是物理理论的验证,都离不开物理实验。在物理学发展的道路上,物理实验始终支撑着高新技术的成长和发展,大到宇航技术,小到微电子技术,无不与物理实验有着千丝万缕的联系。大学物理实验可以使学生较为系统地掌握实验的基础理论和基本技能以及科学研究方式和方法,并培养严谨的科学态度、理论联系实践的能力以及适应科技发展的综合应用能力等。

1.1 大学物理实验的地位与作用

1.1.1 物理实验的地位

1. 科学实验的地位

科学的理论来源于科学的实验,认识来源于实践。科学实验是独立的实践活动之一,人们根据一定的研究目的,通过积极的构思,利用科学仪器、设备等物质手段,人为地控制或模拟自然现象,使自然过程或生产过程以比较纯粹的或典型的形式表现出来,从而在有利条件下探索自然规律的一种研究方法这便是科学实验。

科学实验主要是研究人类尚未认识或尚未充分认识的自然过程,发现未知的自然规律,创立新学说、新理论,研制、发明新材料、新方法、新工艺,为生产实践提供科学理论依据,促进生产技术的进步和革命,提高人们改造自然的能力。近代自然科学的重大突破,多数是通过科学实验研究发现的。

科学实验既是一切理论研究活动的基础,但又离不开理论的指导,科学理论来源于科学实验,并受科学实验的检验。然而,实验方法的确定,实验数据的处理,以及由实验结果中提出的科学假设,做出的科学结论等,都始终受理论所支配。理论对实验的指导作用,还突出地表现在怎样对待科学探索中的“机遇”。有的科学工作者,由于具有很高的理论修养与较强的洞察力及实事求是的作风,因而对“机遇”所提供的信息十分敏感,能及时做出正确的判断,选择那些看来有希望的现象进行深入的研究。这也是他们富有创造力的表现。相反,有的科学工作者对“机遇”视而不见,或者轻易放过,这是缺乏创造力的表现。

可见,科学实验是科学理论的源泉,是自然科学的根本,是工程技术的基础,同时科学理论对实验也起着指导作用。因此,我们要处理好实验和理论的关系,重视科学实验,重视进行科

学实验训练的实验课的学习。

2. 物理实验的地位

物理实验是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中有着独特的作用。大学物理实验是对学生进行系统的实验方法和实验技能训练的开始。历史上每次重大的技术革命都起源于物理学的发展。热力学、分子物理学的发展,使人类进入热机、蒸汽机时代;电磁学的发展使人类跨入电气化时代;原子物理学、量子力学的发展,促进了半导体、原子核、激光和电子计算机技术的迅速发展。物理学本质上来讲是一门实验科学。几百年前,伽利略和牛顿等学者,以科学实验方法研究自然规律,后逐步建立和完善了物理学科。从此,一切物理概念的确立,物理规律的发现,物理理论的建立都有赖于实验并受实验的检验。

1.1.2 大学物理实验的作用

物理学研究的是自然物质的最基本、最普遍的形式。物理学研究的运动,普遍地存在于其他高级的、复杂的物质运动形式之中,其所研究的物质运动规律,具有最大的普遍性。物理学作为一门实验科学,其在物理学的发展过程中,科学实验起了重要的作用。

在材料科学中,各种材料的物性测试、许多新材料的发现(如高温超导材料)、新材料制备方法的研究(如离子束注入、激光蒸发等)都离不开物理实验;生命科学中 DNA 的双螺旋结构,就是美国遗传学家与英国物理学家共同建立的,并被 X 光衍射实验所证实的,而对 DNA 的操纵、切割、重组也要借助实验物理学家的帮助;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,都是应用物理实验;而生物学离不开各类显微镜(光学显微镜、电子显微镜、X 光显微镜、原子力显微镜等)的贡献;在医学领域,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 手术刀等,都是以物理实验为基础;在农业科学中,现代物理农业这一新的研究领域正在蓬勃发展,对人类的生产生活产生着越来越大的影响。

可归纳物理实验在物理学的发展中的作用体现在以下几个方面:

1. 检验理论。很多物理理论被提出之初,多数需要物理实验的验证,并最终为人们所接受。例如,1905 年,爱因斯坦用光电子假说总结了光的微粒说和波动说之间长期的争论,很好地解释了勒纳德的光电效应实验结果,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方程之后,光的粒子性才为人们所接受。1921 年,爱因斯坦因此获得诺贝尔物理学奖,可见只有经物理实验检验,才会最终为人们承认相关理论的正确与否。

2. 测定常量。在物理学的发展过程中,大量实验是围绕常量的测定进行的,基本物理常量的测定和研究,在物理学发展中占有极其重要的地位。如万有引力常量的数值,自牛顿发现万有引力定律以来,一直是人们力求测出和测准的对象,这个量究竟是不是常量?会不会随时间变化?到现在还是物理学界关心的问题。光速是测得最准的基本物理常量之一,人们不会忘记迈克耳孙的功绩,真空中的光速可以测得这样准,以至于被人们定成精确值,并由此定义长度单位——m,从而把时间单位和长度单位统一在光速这样一个基本物理常量上。

3. 推广应用,开拓新领域。如果说蒸汽机的发展超前于热学理论,那么,电机和电气工业

的发展完全是在电磁理论建立之后,人们自觉运用理论获得各种发明与发现的,然而,不论是蒸汽技术还是电工技术,都离不开实验,其中包括许多热学实验、物性学实验和电磁学实验。各种发明创造,诸如杜瓦瓶、电报、致冷机、电灯等,无一不是经过大量实验研究才逐渐完美的。进入20世纪,无线电电子学异军突起,从电子管到晶体管,从无线电报到雷达,任何一项发明创造都是实验科学的产物,科学理论通过实验这一中间环节,不断起着改造世界的作用,包括补充和改造科学理论自身。

4. 发现新事实,探索新规律。19世纪末,当经典物理学发展到了相当完善的地步,人们甚至认为物理学已经到顶了,以后只要把常数测得更准些,小数点向后进一步推进而已。然而,新的物理实验发现,揭示了经典物理学的严重不足,三个重大发现:X射线、放射性和电子以及黑体辐射实验研究、光电效应的实验研究,开拓了新的领域,将物理学推进到了一个新的阶段。

总而言之,物理实验在探索和研究新科技领域以及推动其他自然科学和工程技术的发展中,起到重要作用。虽然自然科学发展迅速,新的科学分支层出不穷,但基础学科还就只是数学和物理学两门,物理实验是研究物理测量方法与实验方法的科学,物理实验的特点是在于它具有普遍性,力、热、光、电都具备;具有基本性,它是其他一切实验的基础;同时它还有通用性,适用于一切领域,把高、精、尖的复杂实验分解成为“零件”,绝大部分是常见的物理实验。在工程技术领域中,研制、生产、加工、运输等都普遍涉及物理量的测量及物理运动状态的控制,这就是成熟的物理实验的推广和应用。现代高科技发展,设计思想、方法和技术基本上也都来源于物理实验。可见,科学技术的发展离不开物理实验

1.2 大学物理实验的目的与任务

物理学除了在自然科学方面的对人类社会发 展有重要影响外,还使得人类对整个世界,整个宇宙的结构、起源及发展方向的认识不断加深、完善,对人类的意识形态、世界观、人生观都有着重要的影响。例如,电子在晶体上的衍射实验验证了物质具有波粒二相性的德布洛意理论,都对人类关于世界本质的认识产生了重大的影响。人类认识自然的过程,大到天体宇宙,小到微观粒子无不显示着这个过程的各个历史时期的前进步伐。对自然界认识的深化,必然引发生产力的革命,即物理实验通过促进社会生产力和意识形态的发展,对社会科学的进步起着重要的推动作用。

大学物理实验作为一门独立的基础课程,它是以物理理论为指导,以实践为基础,以实际操作为手段,以能力培养为主要目的的课程。其主要目的与任务:

1. 巩固基本理论、拓宽知识面

物理实验中所涉及到的知识面很广,通过实验不仅可以加深巩固已学过的理论知识,还可以学习许多新的理论知识,特别是可以学习许多实验理论与方法,误差理论,仪器原理及使用方法等有关知识。

2. 掌握科学实验方法

一个实验项目(或科研课题)有了好的研究方案后,还要有好的测试方案(方法),要有完备的研究(实验)程序(步骤)才能完成。这就要求要掌握各种研究(或实验)方法才能办到,本课程涉及许多实验方法,例如,放大法、比较法、补偿法、干涉法、示波法、冲击法、频率法、周期法、转换法和气垫法,掌握这些实验(测量)方法都有现实或潜在的应用前景。

3. 提高科学实验能力

实验能力主要表现在能根据研究或实验要求,提出合理而且切合实际的研究或实验方案(办法),合理选用仪器,拟定具体的实验程序;并能运用理论知识对研究内容进行初步的分析与判断,应具有新思维与创新能力。实验能力的提高是要经过长期实践的积累过程的,不是一朝一夕便能达到的,这需要在实验中不断总结学习,循序渐进逐步提高。

基本实验能力是指能顺利完成某种实验活动(科研实验或教学实验)的各种相关能力的总和,其主要包括:

观察思维能力——在实验中通过观察分析实验现象,得出正确规律的能力。

数据处理能力——能正确记录、处理实验数据,正确分析实验误差的能力。

仪器操作能力——借助教材或仪器使用说明书掌握仪器的调整和使用方法的能力。

故障分析能力——对实验中出现的异常现象能正确找出原因并排除故障的能力。

报告写作能力——能写规范、合格的实验报告的能力。

初步实验设计能力——能根据课题要求,确定实验方案和条件,合理选择实验仪器的能力。

4. 训练科学实验技能

实验技能主要表现在:掌握仪器设备的构造原理、操作调整方法;正确记录和处理实验数据,绘制图表,说明实验结果,撰写合格的实验报告。

5. 培养严谨的科学作风

此处所指的科学作风主要是泛指思想作风、工作作风与科学作风。这些作风,虽属非智力因素范畴,但对一个人的成长、发展至关重要。通过实验教学,学生自己亲自动手做实验,研究实验,在实践磨练中会碰到许多问题,如何去面对这些问题,解决这些问题,通过处理这些问题的过程,便可以培养学生从事科学实验的素质。例如,理论联系实际、实事求是的科学作风;严谨认真的工作态度;不畏困难、主动进取的探索精神;遵守操作规程,爱护公共财物的优良品德;以及在实验过程中同学间相互协作、共同探索的协同精神。

此外,国家教委(教育部)颁布的《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》中提出的关于大学物理实验教学的几项基本要求:

(1)要求学生掌握的6项操作技术是:零位校准;铅直、水平调整;光路的共轴调节;视差的消除;逐次逼近调节;依据电路图正确接线。

(2)6种实验方法:比较法;放大法;转换测量法;补偿法;干涉法;模拟法。

(3) 几种常用物理量的测量:长度;时间;质量;力;温度;热量;电流强度;电压;电阻;磁感应强度;折射率。

(4) 12种常用仪器:测长仪器;计时仪器;测温仪器;变阻器;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;常用光源。

尽管“教学基本要求”中比较明确指出了对学生培养的几个重点。但由于学时及不同专业的要求,教师可适当调整教学内容。

1.3 大学物理实验课程的教学环节

大学物理实验课程的教学环节主要包括:实验前的准备——实验预习,实验进行中的观察与记录以及完成实验后的数据整理与分析——实验总结。

1.3.1 实验预习

为了在规定的时间内,高质量地完成实验任务,充分发挥每位学生的主观能动性,一定要做好实验前的预习工作。实验前的准备是保证实验顺利进行,并能得到满意结果的重要步骤。

1. 理论准备。首先要仔细阅读有关教材或材料,充分了解弄清实验的目的、理论依据、实验条件、主要内容步骤、实验关键、仪器的使用和测量方法等,在此基础上写出明晰的预习报告。预习报告应简明扼要,它包括:实验名称、目的、原理、仪器规格和实验需要记录的数据表格。

2. 实验准备。根据测量需要设计出记录表格,记录表格既要便于记录,又要便于整理数据。如果是设计性实验,需制定初步实验方案,提出对仪器设备的要求。

1.3.2 实验操作

实验时应遵守实验室规章制度,认真仔细,安全操作,养成严谨求实的作风。在实验过程中,一是要按操作规程调整和使用仪器;二是测量时要正确读数,实事求是地记录数据,测量完毕后检查自己的数据是否齐全、有否问题;三是多注意观察,多开动脑筋,积极探索,并在教师指导下尽可能通过自己的实践去解决所遇到的问题。

1. 仪器的安装与调整。使用仪器进行测量时,必须注意满足仪器的正常工作条件(水平、铅直、工作电压和光照等),必须按操作规程进行。以下列举几点共同性的注意事项。

- ① 拧动仪器上的旋钮或转动部分,不要用力过猛。
- ② 安置仪器时,应尽量做到便于观察、读数和记录。
- ③ 注意观察仪器的零点,必要时需要进行调零。
- ④ 使用电学仪器要注意电源的电压和极性,电路需经教师检查后方能接通电源。
- ⑤ 灵敏度高的仪器(如物理天平等)都有制动器,不进行测量时,应使仪器处于制动状态。
- ⑥ 砝码、透镜和表面镀膜反射镜等器件,为了保持测量精度和光洁度,不允许用手去摸,也

不要随使用布或纸去擦拭。

2. 实验中的观察与数据记录。在开始实验时不要马上忙于记录数据,应集中注意力去观察现象,在确定其没有问题时再开始记录。并如实地记下观察到的现象、简单的实验过程和原始数据(注意有效数字的位数,严禁伪造实验数据)。记录要简洁、清楚,数值一定要记录在表格中,并注明单位。

原始数据的记录不要随意修改,如果数据记录有误或有疑问,应在此数据上做一记号(如画一条斜杠),再将修正的数据写在旁边,以备检查。注意原始数据不要用铅笔记录。

实验应独立完成,如有二人或多人合做一个实验时,应注意团队精神及分工合作,人人动手,不要一人包办代替。观测实验现象及数据应认真仔细,实验过程中遇到难于解决或不好理解的问题,可上机进入实验辅导系统或上网寻找帮助。如实验过程出现异常现象或故障,应进行分析,查找原因、解决问题,特别是和电有关的实验,应立即切断电源暂停实验并及时报告实验指导教师处理。

3. 进行实验数据检查。一个好的实验结果必须是经过反复实验才能得到。对于已经测量的实验数据应认真地进行自查。认为没有问题时,再将实验记录提交指导老师审查,并由指导教师签名认可。在实验记录未获得指导教师审查认可前,切勿拆除实验装置。

4. 实验操作完成后,将实验数据交指导教师审阅后,再整理仪器并恢复到实验前的状态。

1.3.3 实验总结

实验报告是实验成果的总结并用于交流的书面材料,撰写实验报告是实验工作的一个重要组成部分。测量结束后要尽快整理好数据,计算出结果并绘出必要的图表,数据整理工作应尽可能在实验课上完成,若数据整理中发现问题,须作补充测量。

实验结束后要在规定的时间内完成实验报告,实验报告一律用实验报告纸书写,力求简单明了,用语确切,字迹清楚。实验报告的基本内容包括以下几个方面。

(1)实验名称。写明实验题目及实验者的姓名和学号。

(2)实验目的。简述实验所要达到的目的。

(3)实验原理。简要地阐述实验原理、基本理论依据,写出实验所用的公式及公式适用的条件,物理模型和数学模型、实验装置示意图,所用的测量方法和实验条件等。

(4)实验仪器。记录所用仪器的名称、规格、型号、精度或最小分度值等。

(5)实验步骤。简述实际操作的实验步骤及注意事项。

(6)数据处理。应将实验过程中记录的原始数据填入预先设计的表格中,写出完整的数据处理过程和实验结果。

写出数据处理的方法,明确数据处理方法的计算过程或所做图线的拟合,以最终测量结构表达的形式将该实验结果报告出来。

(7)分析与讨论。对实验结果进行分析和讨论,主要包括对实验结果的评价、误差的分析、实验中发生现象的解释、实验方法和实验装置存在的问题及对实验的改进意见等。实验的分析与讨论是培养学生分析能力的重要环节,应当认真完成。针对测量结果,简要明确写出通过实验所得出的结论。

物理实验中提倡学生在实验中用心思考,从实验的器材装置到实验的方法,从仪器调整到实验数据的测量等都是值得思考的。使用同一仪器、同一种方法可以测量不同的物理量,同一个物理量,也可以用不同的方法来测量。在正常教学实验后面安排有研究性课题,其目的就是开阔学生的思路,启发思考。只要勤于思考,积极动手,好好利用实验室现有的仪器设备,一个实验可以延伸到很大的学习空间。

1.3.4 实验总则

(1)进入实验室,就要树立安全第一的观念,实验过程中确保人身及设备安全。

①实验常用到 220V 交流电,有时也用到几千伏的直流电(如激光电源)。为了保证实验者的人身安全和仪器设备安全,以免触电、击穿、起爆、起火,实验者必须做到以下两点:

- 接、拆线路时,必须在断电状态下或消除静电后进行。
- 进入实验室后,在任课教师未同意之前,不准随意打开电源或触摸、调节实验仪器。

②在需要加热的场合,防止明火,避免烫伤和被蒸汽灼伤,尤其是在热学实验中。

③在使用强光或激光的场合,尤其应注意眼睛的防护,不使其过分疲劳。对激光光源,则更应该特别注意,严禁用眼睛直接观看激光光束,以避免灼伤眼球。

④在改变电表量程或改接电路中任何一部分时,必须断开电源,以免发生危险或损坏仪器,改接电路完毕,应再请教师检查。

⑤做完实验后,先断电后拆线。若电路中有多种电源,先断易损电源(如标准电池),再断其他电源,将仪器按要求放置整齐,将导线捆束整齐。

(2)课前做好预习,进入实验室应对号入座,首先从外观检查和核实实验仪器、用具、材料等,发现有短缺,应及时报告指导教师,切勿搬运他人的仪器和器材。

(3)但凡使用电源的实验,必须经指导教师检查电路并同意后,才能开启电源。

(4)在实验过程中,应保持严肃认真和实事求是的科学态度,严格遵守实验室的纪律,保持实验室的安静环境。

(5)爱护仪器设备,如有损坏、丢失,应立即报告指导教师。由于粗心大意或违反操作规程而损坏仪器者,除按规定赔偿外,还应做出书面检讨,并依情节轻重,做出处理。

(6)做完实验,测量数据要经教师审查核对签字。离开实验室前,应将仪器整理还原,桌面收拾整洁,凳子摆放整齐,负责值日的学生做好实验室的卫生。

(7)按时完成和上交实验报告。

第2章 测量误差与数据处理方法

物理实验不仅要定性地观察各种物理现象,更要找出有关物理量之间的定量关系,为此就需要进行测量。测量可说是人类认识自然、探索自然必不可少的一种重要手段,同时也是物理实验的基础。在对自然界中的所有量进行实验和测量时,由于参与测量的测量装置、测量人员、测量方法、测量环境和被测对象等自身都不能够做到确切精准,就使得某量的测量结果与该量的真实值之间存在差异,这个差异反映在数学上就是测量误差。本节主要介绍的就是测量误差和数据处理方法方面的内容。

2.1 测量与误差

2.1.1 测量的基本概念

1. 测量的定义

在科学实验中要进行各种物理量的测量,测量是人类对自然界中现象和实体取得数据概念的一种认识过程。物理实验中,物理量都是通过测量得到的。研究物理现象、了解物理性质及验证物理原理都离不开测量。

从广义上说,测量就是用实验的方法找出物理量量值的过程。所谓量值是指用数字和相关单位表示的量,如 3.65s 、 1.02m 。一般,要知道被测对象的量值,首先要选择一个标准量(即同类量作为单位),将被测的物理量与标准量进行比较,其倍数即为被测物理量的测量值。例如,某物体的长度是单位米(m)的 1.02 倍,则该物体的测量值为 1.02m 。显然测量值的大小与选取的标准单位有关,在表示一个测量值时数值与单位缺一不可。

对测量概念需要注意的是:

同类量——就是被测的量与标准量一定要是同类量才能进行比较(测量)。

例如,米尺 $\leftrightarrow$ 长度,砝码 $\leftrightarrow$ 质量,停表 $\leftrightarrow$ 时间。通过米尺绝不能测量出时间来,因为它们不是同类量。

标准量——测量中所选用的标准量(标准单位),其标准的内涵只有相对意义,而没有绝对意义。在一定条件下认作的标准量,不能认为是绝对标准的(没有误差),只是在测量的过程中将所选用的量具认为是标准量。很显然所选定标准单位越小,所测数值的位数就越多。

单位——一个测量数据不同于一个数值,它是由数值和单位两部分组成的,一个数值有了

单位才有一定的物理意义,才称得上是一个物理量。

2. 测量分类

(1) 直接测量与间接测量

根据获得测量结果的方法不同,测量分为直接测量和间接测量。

直接测量是指待测量与定标的测量仪器或量具比较,直接读出待测物理量的量值。用米尺测物体的长度、用秒表测量物体运动的时间、通过天平称物体的质量等这些都是直接测量,这类对应的被测量——长度、时间、质量等被称为直接被测量。

间接测量是指通过测量与被测量有函数关系的其它量,才能得到被测量值的测量方法,即通过和可直接测量的物理量间关系式计算得其数值。例如,铁柱密度的测量,还没有一种仪器可以直接测量出其大小,但可以用卡尺直接测量出它的高 h 和直径 d 的大小,用天平称出它的质量 m ,再根据铁柱的密度与铁柱体的质量、高度、直径间的关系式

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h}$$

计算出密度的大小。这种利用待测量与一些能直接测定的物理量间存在着的确定的函数关系,把直接测量的物理量代入函数中计算出待测物理量的数值的测量方法即为间接测量。

一般来说,大多数测量都是间接测量。但随着科学技术的发展,很多原来只能以间接测量方式来获得的物理量,现在也可采用直接的方式测量了。例如,电功率的测量,现在可用功率表直接测量,又如,速度也可用速率表直接测量等。

(2) 单次测量与多次测量

所谓单次测量是指通过一次的测量而测出被测量物理量的数值。单次测量在实际测量中并不多用。通常是因实验条件的限制,使得实验过程难于重复时,或者可以确定测量结果随机性不明显时,才用单次测量。

多次测量则是指通过重复测量并按平均值的计算方法来确定一个物理量的大小的测量方法。通常可根据多次测量中的测量条件的不同,又可进一步分为等精度多次测量和不等精度多次测量。

① 等精度测量

在相同条件(被测量、测量仪器、测量环境等条件相同)下进行的一系列测量。等精度测量所得到的每一个数据的信赖程度相同,可按同等原则处理。例如,同一人员在同样的环境下,在同一台仪器上,采用相同测量方法,对同一被测量进行多次测量。

② 非等精度测量

非等精度测量是指在测量过程中,测量条件发生变化的测量。若改变测量条件,如更换测量人员、更换测量仪器、改变测量方法、更改测量参数以及改变测量环境等,则在测量条件变更前后,测量结果的精确度不会相同。非等精度测量所得到的数据的信赖程度不同,需要用特殊方法进行处理。物理实验中尽量采用等精度测量。

应该指出,要使测量条件完全相同、绝对不变是难以做到的,一般测量实践中(包括物理实验),一些条件变化很小,或某些次要条件变化后对测量结果影响甚微,可按等精度测量处理数据。

2.1.2 误差的基本概念

1. 误差理论

在一定的条件下,任何物理量的大小都是一个客观存在的,都存在一个真正反映它大小的量值,这个量值就是被测量的真实值,简称真值。在测量过程中,人的主观愿望是准确地测得待测量的真值。但是任何测量仪器、测量方法都不可能绝对严密,测量环境不可能绝对稳定,测量者的观察能力和分辨能力也不可能绝对精密,这样测量结果与真值不可能完全相同,即测量值与真值之间总存在差异,这个差异称为测量误差。实践证明,误差自始至终存在于一切科学实验和测量过程中。被测量的真值只是一个理想概念,一般来说其数值是不可知的。因此,分析测量中可能产生的误差,尽可能消除其影响,对测量结果中未能消除的误差做出估计,科学地表示含有误差的测量结果以及对实验结果正确地评定等一系列工作,是物理实验和很多科学实验中必不可少的工作。

为了深入研究误差,人们将数理统计理论应用于误差并由此形成一门新学科——误差理论。任何实验都与误差理论密不可分,在实验研究方面要逐步建立起误差分析思想。

首先,根据误差理论能正确选择实验方案、合理安排实验仪器,以便在最经济的条件下得到理想的实验结果;其次,由误差理论可以认识误差的性质,分析误差产生的原因,以便在实际操作中减少误差;然后,用误差理论指导数据处理可以合理地计算、科学地表述实验结果,使得在一定的条件下,得到更接近真值的数据。此外,对实验结果的分析判断也离不开误差理论,判断实验结果是验证了还是推翻了理论假设,就要看实验结果与理论值的差异是否在实验允许的误差范围之内。

2. 误差与真值

通常将真值,记为 μ ,实际得到的测量值,记为 x 。测量值与真值的差值被定义为测量误差,简称误差,用符号 ϵ_x 表示,即

$$\epsilon_x = x - \mu (\text{单位}) \quad (2-1)$$

可将误差根据其量值表达方式不同分为绝对误差和相对误差。

ϵ_x 表示测量值偏离真值的绝对大小,称为绝对误差,相对误差反映的是测量值偏离真值的相对大小,用符号 E_x 表示,其对应的定义为

$$E_x = \frac{\epsilon_x}{\mu} \times 100\% \quad (2-2)$$

相对误差 E_x 没有量纲,是一个用百分数表示的比值,也被称为百分差。

通常评价一个测量结果的优劣,不仅要看绝对误差的大小,而且还要看相对误差的大小。

例如,假定一个物体的真实长度为100.0mm,而测得值为100.5mm,测量误差为0.5mm,另一物体真实长度为10.0mm,测得值为10.5mm,测量误差也为0.5mm,从绝对误差看两者相等,但测量结果的准确程度却大不一样,这时测量结果的准确程度需用相对误差来体现,第一个测量的相对误差 $E = \frac{0.5}{100.5} = 0.5\%$,而第二个测量的相对误差为 $E = \frac{0.5}{10.5} = 5\%$,显然,第

一个测量比第二个测量准确程度高。

由于误差不可避免,因此真值是得不到的。所以误差的概念只有理论上的价值。

3. 误差的分类

产生误差的原因来自多方面,根据误差的性质及产生的原因,一般将误差分为两大类,即系统误差和随机误差(也有叫偶然误差)。

(1) 系统误差

在一定的实验条件下,进行多次测量,其误差数值的大小和正负号固定不变或按一定的规律变化,这种误差称为系统误差。系统误差主要来源于以下几个方面:

① 理论(方法)误差

这种误差一般是由于测量所依据的理论公式本身的近似性或测量方法不完善而产生的。例如,在空气中称量物体时没有考虑空气浮力的影响,在电学测量中没有把接触电阻和接线电阻考虑在内等。

② 仪器误差

这种误差是由于仪器本身的缺陷或没有按规定条件使用仪器造成的。例如,仪器零点的偏移,天平不等臂,米尺刻度不均匀,在 20℃ 下标定的标准电阻在 30℃ 下使用等,下表 2-1 是常用物理实验仪器的仪器误差。

表 2-1 常用物理实验仪器的仪器误差

仪器名称	仪器误差	说 明
毫米尺	0.5mm	最小分度值的 $\frac{1}{2}$
游标卡尺	0.05mm(1/20 分度) 0.02mm(1/50 分度)	最小分度值
外径千分尺	0.004mm(或 0.005mm)	最小分度值的 $\frac{1}{2}$
读数显微镜	0.004mm(或 0.005mm)	最小分度值的 $\frac{1}{2}$
测微目镜	0.004mm(或 0.005mm)	最小分度值的 $\frac{1}{2}$
水银温度计(最小分度值 1℃)	0.5℃(或 1℃)	最小分度值的 $\frac{1}{2}$ (或最小分度值)
计时仪器	1s, 0.1s, 0.01s(各类机械表)	最小分度值
	$5.8 \times 10^{-6}t + 0.01s$ (电子表)	t 为时间的测量值
物理天平	0.05g(感量 0.1g) 0.01g(感量 0.02g)	物理天平标尺最小分度值的 $\frac{1}{2}$
分光计	1'	最小分度值