

大学物理实验 教程

杨俊才 等编著

DAXUE
WULI
SHIYAN
JIAOCHENG

DWSJ

国防科技大学出版社

大学物理实验教程

杨俊才 王吉元 编著
丁道一 郑振维

国防科技大学出版社

[湘] 新登字 009 号

内容提要

该书采用了“单元法”教学的新模式，突出了科学实验能力的培养。全书分为十四个单元，共收入了 56 个实验，内容涉及力学、热学、电磁学、光学和近代物理等方面。形式上又可分为基本实验、综合性实验和设计性实验等。

本书可作为高等工业学校各专业和应用物理专业的普通物理实验课程的教材或参考书，也可供业余大学、电视大学等选用，并可作为涉及物理学的广大实验工作者的参考书。

开本：787×1092 1/16 印张：19.25 字数：445 千

1994 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数：5000 册

ISBN 7-81024-325-X
O·40 定价：14.80 元

如有印刷装订质量问题，请直接与印刷厂家联系

目 录

序

前言

绪论

第一单元 物理实验基本知识

1.1 测量误差	(10)
1.2 误差处理	(14)
1.3 测量的不确定度和测量结果的表述	(18)
1.4 有效数字及其表示	(22)
1.5 数据处理常用方法	(24)
1.6 测量过程的设计	(31)
练习题	(36)
附录 1—1 高斯误差理论简介	(37)
附录 1—2 处理系统误差的一般知识	(44)
力学实验基本仪器	(49)

第二单元 重力加速度的测量

实验 2.1 统计与误差分布	(58)
实验 2.2 用单摆测重力加速度	(61)
实验 2.3 用谐振子测重力加速度	(63)
实验 2.4 用自由落体测重力加速度	(65)
附录 2—1 计时计数计频仪	(67)

第三单元 力学

实验 3.1 速度和加速度的测量	(71)
实验 3.2 碰撞	(74)
实验 3.3 周期运动	(76)
附录 3—1 MCS—48 型数字毫秒计	(79)

第四单元 微小长度变化量的测量——光杠杆

实验 4.1 金属杨氏模量的测量	(86)
实验 4.2 金属线膨胀系数的测定	(89)
电磁学实验基本仪器及预备知识	(93)

第五单元 电阻的测量及应用

实验 5.1 惠斯登电桥	(106)
实验 5.2 用双臂电桥测低电阻	(109)
实验 5.3 热敏电阻的温度特性	(112)
实验 5.4 电阻测温术	(113)
附录 5—1 EH 物理实验仪	(115)

第六单元 直流电测量

实验 6.1 变阻器的使用和特性研究	(117)
实验 6.2 用电位差计测量电动势	(122)
实验 6.3 用电位差计校准电流表	(124)
附录 6—1 UJ31 型电位差计	(126)

第七单元 电子束和示波器的使用

实验 7.1 电子束在电场、磁场中的聚焦和偏转	(129)
实验 7.2 示波器的使用	(137)
实验 7.3 用示波器观察磁滞回线	(144)
实验 7.4 用位相法测声速	(147)
附录 7—1 FSV—406 型多用测量仪	(150)

第八单元 静电场和磁场

实验 8.1 用电流场模拟静电场	(153)
实验 8.2 用霍尔元件测磁场	(158)
实验 8.3 非均匀磁场的测量	(163)

第九单元 交流电路特性研究

实验 9.1 交流电桥	(168)
实验 9.2 RLC 电路谐振特性的研究	(175)
实验 9.3 RLC 电路稳态特性的研究	(178)
实验 9.4 RLC 电路暂态过程的研究	(183)

光学实验预备知识	(188)
----------------	-------

第十单元 光的反射、折射和衍射

实验 10.1 分光计的调节与使用	(193)
实验 10.2 光的色散的研究	(198)
实验 10.3 光栅衍射	(204)
附录 10—1 图解插值法介绍	(203)

第十一单元 光的干涉

实验 11.1 牛顿环	(208)
实验 11.2 劈尖干涉	(211)
实验 11.3 双棱镜干涉	(213)
实验 11.4 迈克尔逊干涉仪	(216)

第十二单元 照相技术与光谱技术

实验 12.1 普通照相与底片的冲洗	(223)
实验 12.2 印相和放大	(228)
实验 12.3 全息照相	(230)
实验 12.4 彩虹全息术	(236)
实验 12.5 全息光栅的制作	(240)
实验 12.6 氢原子光谱	(243)
附录 12—1 氢原子光谱谱片示意图及谱线对应的波长值	(248)
附录 12—2 凤凰 205—B 电测光照相机	(248)
附录 12—3 常用洗印药水配方	(251)
附录 12—4 暗室操作规程	(252)

第十三单元 应用光学测量与研究

实验 13.1	平行光管的调校与应用	(253)
实验 13.2	用掠入射法测定折射率	(259)
实验 13.3	光的偏振现象的研究	(264)
实验 13.4	光电效应及光电管特性研究	(269)
第十四单元 开放设计性实验		
实验 14.1	单摆法测重力加速度系统误差的修正	(276)
实验 14.2	粘滞性阻尼常数的测定	(277)
实验 14.3	电桥灵敏度研究	(279)
实验 14.4	非线性电阻特性研究	(280)
实验 14.5	热敏电阻温度计线性化设计	(282)
实验 14.6	微小长度变化量的电测法	(283)
实验 14.7	示波器的使用	(285)
实验 14.8	用迈克尔逊干涉仪测量白光光源的相干长度	(286)
实验 14.9	用迈克尔逊干涉仪测量压电陶瓷的电致伸长系数	(287)
实验 14.10	金属细丝直径的测量	(289)
实验 14.11	用分光计测反射光的偏振特性	(290)
实验 14.12	全息光学透镜的制作	(291)
总附录		
1.	中华人民共和国法定计量单位	(293)
1.	一些常用的物理数据表	(295)

序

任何一位自然科学工作者或工程技术人员都承认科学实验的极端重要性。在物理学界,情况也是如此。虽然物理学各部分的理论结构是如此美好,以致让一些理论物理学家几乎独领风骚。他们深邃的思维和真知灼见也确实使人钦佩。但从根本上说,这些理论无一不以大量物理实验事实为依据,又都不断受到新的实验事实的检验。如果没有诸如 Coulomb 定律、Biot—Savart 定律、Faraday 电磁感应定律等重要实验结果为基础,很难想象能出现 Maxwell 的电磁场理论;没有大量的原子光谱实验数据和其它一些重要实验事实为依据,Bohr、Schrodinger 和 Heisenberg 等人也很难提出现今的量子力学理论;弱相互作用中宇称不守恒原理对研究基本粒子十分重要,但也是在直接由实验证实后才被人们所公认。物理学家们都深深懂得,物理学要继续完善和深入发展,为人类文明建设作出自己更多的贡献,必须寄希望于新的实验技术、水平更高更完善的实验设备、更精密可靠的测量仪器以及这些手段的综合运用。

学生一跨入大学门槛,普通物理实验可能是他们接触到的第一门较为系统完整的实验课程,因而该课程教学质量的好坏对学生独立工作能力的培养有十分重要的影响。该课程教学质量的高低是由学校各级领导对普通物理实验的重视程度、师资水平、实验室设备条件、教师对学生的循循善诱和严格要求以及课程如何组织实施等诸因素综合决定的。一本好的实验教材是其中的一个重要环节。

多年来,我校物理中心实验研究室的同志们为了提高大学物理实验课的教学质量,进行教学改革,加强实验室建设付出了巨大的劳动。近些年来,实验技术发展很快,国内有关工厂对教学仪器的生产能力也有显著提高,该室的同志们努力钻研业务、勇于探索、虚心学习国内外先进经验,使课程建设能跟上时代前进的步伐。特别是他们创造并长期坚持了一种称之为“单元教学法”的组织实施大学物理实验课的新模式(详见本书前言),该教学法将全部课程内容分解为若干个单元,每一单元由几个内容互有有机联系的实验组成;或都围绕同一个主要待测物理量;或使用的主要仪器设备相同;或都使用同一种方法或技术去测量不同的物理量……突出了一条主线,由浅入深,循序渐进。实验中还适当安排了一些选做内容或学生可以自行设计的内容。起点适中,落点较高,这种模式由于有利于调动学生学习的积极性和主动性,突出了对学生进行科学试验能力的培养,普遍受到教师和学生的好评。他们这些宝贵的教学实践经验都在本书中集中反映。

四十多年来,在我校物理实验室工作过的教师超过百人,他们都为普通物理实验课教学质量的提高付出了辛勤劳动,所使用的教材讲义经过反复修改、整理、充实,渐趋完善。这本书的出版,应该说也是许多同志共同工作的结晶。本书的四位作者都长期在该实验室工作。他们在许多同志工作的基础上,溶入了自己的教学经验和学术见解,编辑出版本书,这是一件很令人兴奋的事。我本人青年时期也曾作过普通物理实验的任课教师,此后在主

持系或教研室教学科研工作期间,与该实验室的同志们始终保持着密切联系,从他们那里获取了许多宝贵的教益和知识。这次他们要求我为本书写个序言,也使人感到十分欣慰。希望本书的出版能有助于我校大学物理实验课教学质量的进一步提高和与兄弟院校同行们之间的交流。

况蕙孙

一九九四年九月于长沙

前 言

本书是根据“高等工业学校物理实验课程教学基本要求”，结合国防科技大学多年来的教学实践，特别是在总结近十年来教学改革和课程建设经验的基础上编写而成的。

本书的特点是采用了“单元法”教学的新模式，把全部实验划分为十四个相对独立的单元，单元间循环教学，单元内循序渐进。一般每单元包括二至四个实验，这几个实验所需基本设备是相同的，只需加上相应的附件，就可完成不同的实验内容。每单元的前半部分侧重于基本训练，主要是让学生学习和掌握基本知识、基本测量方法和熟悉仪器使用，后半部分则侧重于分析、应用，甚至综合设计性的内容。单元内的几个实验在内容上有机地联系在一起，突出一条主线，并适当提高了深度和要求，加强了系统性和科学性。这样可对学生从学习基本知识到加强能力培养的若干个单元训练。每单元中还安排了一定数量的选做内容，以便因材施教。在整个实验内容的安排上，突出对学生科学实验能力的培养，力求把实验教学搞活，充分调动学生的学习积极性和主动性，使其在完成实验后有所“回味”，产生锲而不舍的心情。鼓励学生的创新精神，并为他们的“跃跃欲试”提供条件和机会。

书中单元的划分是从以下几方面考虑安排的：

1. 本单元内有一个中心待测物理量，围绕该量用不同的方法和仪器进行测量，使学生有一个反复实验、分析比较的机会，又能较系统地掌握该物理量的测量技术与有关知识，从反复中牢固掌握基本知识，从深入分析比较中加强能力培养。如在“重力加速度的测量”单元里，分别安排用单摆、谐振子和自由落体三种实验方法，并用不同精度的仪器去测量。使学生通过反复实验、比较分析，学会正确选择实验方法和仪器，学会确定最优化实验方案。

2. 运用某种方法或技术去测量不同的物理量，使学生能够充分掌握该方法或技术。如用光杠杆放大法测量微小长度变化量时，分别安排测金属丝的杨氏模量、固体的线膨胀系数等内容。

3. 以某种常用的重要仪器为主，从原理、使用到应用安排几个实验，使学生牢固掌握该仪器的基本原理、使用方法和实际应用。如在“电子束和示波器的应用”单元里，分别安排了“电子束的聚焦和偏转”、“示波器的使用”、“磁滞回线的观测”和“位相法测声速”等实验内容。

4. 同属于某一学科或某一方面的内容。如在“光的干涉”单元里，安排了“双棱镜干涉”、“薄膜等厚干涉”、“迈克尔逊干涉仪”等实验内容，使学生对各种干涉现象能有一个系统的观察和测量。

5. 有些单元安排为实验物理的形式，即让学生通过对实验现象的观察和分析，通过定量测量，然后总结出物理规律。如在“光的色散的研究”单元里，先让学生学会分光计的使用方法，然后用分光计观察和测量棱镜对氢光的色散现象，研究折射率随波长变化情

况,最后用最小二乘法回归出色散的经验公式。这是一种很重要的培养学生实验能力的方法。

各单元还具有以下显著特点:有的单元后面的实验需要用到前面实验的结果;有的单元需要用前面训练的基本知识去设计后面的应用性实验内容;有的单元则让学生先搞清楚较复杂仪器的基本原理和使用方法,然后使用该仪器去测量几个不同的物理量等等。目的是为了让学生能够真正掌握基本知识,并能灵活运用,达到培养能力的目的。例如,在“直流电测量”单元里,首先让学生研究变阻器的使用特性,学会控制电路的设计方法,然后学习用电位差计测量电动势,最后让学生设计一个简单的控制电路,用电位差计校准电表。

本教程的内容起点适中,落点较高。编写格式基本上删去了实验步骤和数据表格,采取加提示、注意及思考题等引导方式,注重能力的培养。在实验内容和时间上可具有开放性,除将内容分为基本要求和选做内容外,对每单元的实验内容可提出总要求,分两到三次课来完成。学生可以自己安排这些课时如何利用,可在两次课之间去处理结果、查找资料,发现不满足之处还可提出改进方案,下次再重复进行某些实验。这样,可以激发学生的学习积极性和主动性。

本书共列入实验 56 个,全部内容教学约需 100 学时左右。其中第一单元的物理实验基本知识约需 6 学时左右,其余每单元约需 6~9 学时,最后一个单元可根据需要单独安排。在内容的选题上,主要偏重于工科专业的需要,考虑到应用物理专业教学的需求,整个教材内容安排较多。不过对学时数较少的工科专业可从中选出一些单元,或在某些单元中减少一些内容,来满足教学时数的要求。本实验教程的要求对一般学生来说可能要比通常实验课程的要求为高。因此,有些学生就必须多花一些精力。但是,能力来自于勤奋,要真正提高科学实验的能力就必须多花一些精力。

实验教学是一项集体的事业,无论是实验的编排,实验仪器的安装或制作,还是教材的编写,都是实验室全体人员的劳动成果。特别是近十年来,全体教师和实验人员不断地进行教学改革、课程建设、实验内容改进,在此基础上编写的这本新教材,理所当然地反映了国防科技大学物理中心实验研究室全体同志的智慧和成果,这里难以完全记载他们的功绩。

本教程是在 1987 年讲义的基础上编写而成的。参加编写的人员有杨俊才(绪论、第一、二、五、六单元及总附录),丁道一(第三、四、八单元及力学实验基本仪器、电磁学实验基本仪器及预备知识、光学实验预备知识),郑振维(第七、十、十一单元),王吉元(第九、十二、十三、十四单元)。全书由杨俊才组织编写并统稿。

本书在编写过程中,参考了许多兄弟院校的教材,甚至引用了某些内容,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,实践经验不足,编写时间仓促,书中的错误和不足之处敬请读者批评指正。特别是编写一本新体系的教材,有赖于长期的探索研究和教学实践的考验,才能不断完善。我们所做的尝试,希望能起到抛砖引玉的作用,真诚希望使用本书的教师、学生、技术人员不吝指正,以便改进我们的工作。

编者

1994 年 9 月

绪 论

一、大学物理实验课的地位和任务

科学实验是人们研究自然规律和改造客观世界的基本手段。科学实验的任务是人们根据一定的研究目的,通过科学的思维,使自然现象和实际生产中的问题以抽象的、典型的形式表现出来,从而利用科学仪器进行实验观察,定性或定量地测量有关物理量,并通过数学处理和理论分析,总结出这些量之间的相互关系,以求得对自然现象及规律本质的认识。

人们对自然的认识是一个逐步深入的过程。人们根据科学实验结果,在一定的局限范围内,提出科学理论,再回到实践中去检验,通过实践又提出新的理论,进行新的认识,如此反复,促进了科学的发展。因此,科学实验是科学理论的源泉,是自然科学的根本,同时,科学理论对实验起着指导作用。我们既要重视科学理论,也要重视科学实验。

物理实验是科学实验的重要部分。物理学是一门建立在实验基础上的科学。历史上每次重大的技术革命,大都起源于物理学的发展。热力学、分子物理学的发展,使人类进入了蒸汽机时代;电磁学的发展,使人类跨入了电气化时代;原子物理学、量子力学的发展,促进了半导体、原子核、激光、电子计算等新技术的迅猛发展。因此,物理实验在科学技术的发展中起着重要的作用。

从物理学发展史看,任何物理概念的确立,物理规律的发现,都必须以严格的物理实验为基础。理论是否正确,又必须通过实验和生产实践来检验。让我们回顾一下人们对光的本性的认识,就可以看出实验是理论的源泉和动力。十八世纪,有关光的本性问题存在着两种学说——微粒说和波动说,两派意见分歧,争论不休。1802年,英国物理学家杨氏(Young)发表了双孔太阳光干涉实验和有关叠加原理的论文,使光的波动说在一个时期里占了统治地位。1864年,英国剑桥大学实验物理教授麦克斯韦(Maxwell)在奥斯特(Oersted)、法拉第(Faraday)和亨利(Henry)等人有关电与磁关系大量实验探索的基础上,建立了著名的麦克斯韦方程组,光的电磁理论诞生了,使人们确信光是一种电磁波。但是,当解释光和物质相互作用所表现出来的种种现象时,当时的电磁理论却无能为力,首先表现在解释黑体辐射问题上。许多科学家制造出各种各样、不同温度的黑体光源,坚韧不拔地准确地对它们的辐射分布进行测量,得出了大量的实验曲线。1900年,德国柏林大学教授普朗克(Planck)划时代地提出了能量子假设,成功的解释了黑体辐射规律,使人们进一步认识到光的波粒二象性。能量子假设作为一把金钥匙,打开了通向近代物理学的大门,使人们开始探索微观世界的运动规律。黑体辐射实验是人们跨向近代物理学的里程碑。这

里,我们强调了实验的重要性,另一方面,理论对实验的指导作用也是不容忽视的。

对高等工业学校的学生来说,不仅要有比较深广的理论知识,而且要具备从事科学实验的较强能力。实验课是与理论课并行的独立课程,具有自身独特的教学内容、教学方法、教学目的。动手能力和观察分析能力等都具有独立性,是不能用理论思维能力来代替的。大学物理实验是各专业的一门独立的公共基础实验课程,是对学生系统地进行科学实验能力训练的开端和基础,在培养学生理论联系实际,加强工程动手能力方面,以及培养与提高学生的科学实验素质方面,都有着十分重要的作用。本课程的具体任务是:

1. 学习和掌握物理实验的基本知识。

通过对物理实验现象的观察、分析和对物理量的测量;学习和掌握物理实验基本知识、基本方法和基本技术;懂得如何运用实验原理和方法去研究某个物理问题,加深对物理学原理的理解;熟悉常用仪器的基本原理、结构性能及使用方法。

2. 培养与提高学生的科学实验能力。

(1)自学能力——能够自行阅读实验教材,作好实验前的准备。对于实验中出现的根本问题,能够通过查阅资料而得到解释。

(2)动手能力——能够对实验仪器设备正确布局联接,借助教材或说明书正确使用仪器,具体测试,获得较准确的实验结果。能够排除实验中的简单故障,掌握和运用基本的物理实验技能。

(3)分析能力——理论联系实际,能够对实验现象进行初步分析、判断和解释,用理论去指导实验。

(4)表达能力——能够正确记录和处理实验数据,绘制实验曲线,说明分析实验结果,撰写合格的实验报告。

(5)设计能力——对于简单问题,能够从研究对象或课题要求出发,自己阅读资料,依据某项原理,设计实验方法,确定实验参数,选择配套仪器,拟定实验程序。

3. 培养与提高学生的科学实验素养。

要求学生具有实事求是、理论联系实际的科学作风;严肃认真、不怕困难、艰苦努力的科学态度;不断探索、勇于创新的科学精神;以及遵守纪律、团结协作、爱护公共财产的良好品德。

二、大学物理实验课的基本环节

大学物理实验课所涉及的内容,多数是测量某一物理量,或研究某一物理量随另一物理量变化的规律性。在本教程中,为了加强科学实验能力的培养,将实验内容划分成了若干个相对独立的单元,每单元实验中内容循序渐进,教学时单元间进行循环。但是,无论每个单元内的实验内容及要求如何,也无论实验采用哪一种方法,以及每个单元的内容、实验时间如何安排,物理实验课的程序大致相同,一般可分为以下三个基本环节。

1. 实验前的预习

每个实验都是一项具体工作,理解原理、掌握方法、熟悉仪器设备及测量数据的任务一般都比较繁重,而实验课的课内时间有限,不允许在实验课内才从头开始。为了提高教

学效果,做到胸有成竹、有的放矢,学生必须做好实验前的预习。预习一般应做到:

(1)预习实验教材

实验前应认真阅读实验教材,掌握实验的原理和方法,对每单元的实验内容和要求应全面了解,明确该单元的重点和难点,对需要设计的部分应事先设计好实验方案,并预习有关仪器使用说明等。预习时应根据实验要求画好数据记录表格,计划好测量次数等,以便实验时能及时、全面地获得需要测量的数据。

(2)写好预习报告

为了帮助学员做好预习准备工作,每单元都布置一定的预习思考题,要根据教师的要求,把预习思考题做在实验报告纸上,有助于学员对实验原理的理解,方法的掌握等。每次实验前,教师将检查预习报告,没有达到要求者,将不允许做实验。

2. 实验中的观测

实验是整个教学中最重要的一环。动手能力、分析问题和解决问题的能力培养,主要在具体实验时完成。因此,必须充分利用课内的有限时间,提高教学效果。一般应注意:

(1)认真听讲

每单元实验前,教师将就本单元的内容和要求、仪器使用和注意事项、以及难点重点提示等做简要讲解,学生应认真听讲并做好记录。

(2)进行实验

首先,应仔细阅读有关仪器使用说明及注意事项,熟悉仪器使用方法,严格按照仪器设备操作规程进行实验。应根据实验方法及内容,合理布局,连接调试仪器设备。对于电磁学实验,必须经教师检查电路的连接正确无误后,方可接通电源进行实验。实验时要有条有理,善于理论联系实际进行分析,每一步多问几个为什么,反对盲目蛮干。若发现异常现象或仪器故障,应立即报告教师。

(3)记录数据

应把实验中测量的原始数据及实验现象及时记录下来,一般应包括以下几个方面:

- A. 实验的条件,如温度、湿度、气压等。
- B. 仪器的规格、型号、参数等。
- C. 正确按照有效数字记录实验数据并注意物理量的单位。
- D. 及时记录实验中自己认为有意义的现象,并注意反复观察分析。

记录数据统一使用原始数据记录纸,用钢笔或圆珠笔书写整齐。如要更改数据,同时要注明原因,以便实验结束后分析核对。测试结束后,数据要经教师检查签名,认为合格后方可整理仪器结束实验,以避免数据不合格而需重新连接仪器。

3. 实验后的报告

实验报告是实验工作的全面总结,是培养科学表达能力的主要环节。实验结束后,应根据每个单元的要求及时写出实验报告。报告一律采用学校统一的实验报告纸书写,要求文字工整、语句简练、阐述清楚、图表规范、结果正确、分析认真。一份完整的实验报告应包括以下几方面。

(1)实验名称。

(2)实验目的。

(3)简要的实验原理,包括测量公式及必要的图表。注意书写时不要照抄讲义,应用自己的语言概括叙述。

(4)仪器设备,包括型号、规格、参数等。

(5)实验步骤,概括地写出实验进行的主要过程。

(6)实验数据表格,作图及计算。

(7)误差分析。包括两方面的内容,一是计算测量结果的不确定度,它是对测量结果的评价,与获得正确的测量结果具有同等重要性;二是要找出影响测量结果的主要因素,必要时给出每一因素对测量结果影响的量化估计值,从而采取必要的措施,以改进实验。

(8)实验结果。要给出完整的量化表达式,特别注意观察现象或验证定律时,要写出实验的结论。

(9)问题讨论。包括对实验中的现象解释,对实验方法的改进与建议、作业题、实验后的体会等。

三、如何学好物理实验课

前面已经讲过,大学物理实验课是一门与理论课并行的独立课程。它不但要使学生掌握物理实验的基本知识,更重要的是要培养学生的科学实验能力。而该课程的学时及内容有限,要打下坚实的实验基础和具有较强的科学实验能力,学生必须主动地、积极地、创造性地去学习。必须认识到,通过实验决不是仅仅为了得到几个实验数据,而是要通过实验去学习探索研究问题的方法,培养与锻炼科学实验的能力。那么,怎样才能学好这门课程呢?实验不同于理论,有其本身的规律和特点,学习方法也应有所不同。我们认为,应注意以下几点:

1. 要重视实验教学的每一个环节

在本教程中,实验内容按单元安排。每单元的几个实验在内容上有机地联系在一起,突出一条主线:有的用几种不同的方法去测量同一物理量;有的用某种重要方法去测量不同的物理量;有的以某种常用的基本仪器为主安排不同的实验;有的按学科内容系统地安排实验;有的编写为实验物理的形式,从实验中去总结物理规律。在每个单元中,前半部分侧重于基本训练,后半部分侧重于应用、分析,甚至设计性的内容。有的单元后面的实验内容需要用到前面的实验结果,有的单元需要用前面训练的基本方法去设计简单的设计性实验内容等等。这就要求学生在学时,必须认真预习,做好准备。每单元实验需要2~3次课完成,为了加强能力培养,教师只提出每个单元的总要求,学生可以安排这些学时如何利用。你可以在每单元的两次课之间去查找资料,改进方案、处理结果。如第一次实验结果不满意,则第二次还可重复实验,并在两次课间准备好下次课的内容及必要的设计方案。在实验过程中,要注意观察、分析、比较。实验结束后要及时撰写实验报告。

2. 要注意掌握所采用的实验方法

基本的测量方法在实际中既会经常用到,也是复杂测量方法的基础。学习时不但要弄清楚它的原理,运用条件、优点和缺点,而且要通过实验研究,逐步熟悉和记牢,并能运用这些方法设计一些简单的实验。一些重要的测量方法,只有自己动手实验并反复研究,才能融汇贯通,留下深刻的印象。

3. 要注意养成善于分析的习惯

实验时最好是带着问题去做,实验中要善于捕捉和分析实验现象,理论结合实际,指导实验操作。必要时,把每个单元的内容前后联系起来,进行分析比较。做完实验后一般要有所回味,这样才能得到提高。实验最后总要获得实验结果,结果是否正确靠什么来判断?实验数据的好坏说明什么问题?这些问题要靠分析实验来解决。实际上,任何理论都是在一定基础上的抽象或简化,都有其适应范围。而客观实际和实验所处环境要复杂得多,实验结果必然会带来和理论公式的差异,问题在于差异的大小是否合理,并找出不合理的原因。即必须分析实验方法是否正确,实验条件是否得到满足,它们带来多大误差,仪器带来多大误差,实验环境有多大影响等。千万不可认为实验的目的只是为了做出标准的数据结果。往往有些学生,当实验数据和理论值一致时,就会觉得心满意足,简单地认为已经学好了这次实验。而一旦实验数据和理论值差别较大时,又会感到失望,抱怨仪器装置,甚至拼凑数据。这两种表现都是不对的。

4. 要注意锻炼自己的动手能力

要学会正确使用各种仪器,并力求自己排除实验中出现的故障。应该说,能否发现实验故障并排除是实验能力强弱的一个重要表现。要想提高实验能力,必须自己多动手。对于应如何记录实验数据,如何安排仪器的布局,如何正确操作仪器等,只有在每次实验中有意识地加强锻炼,才能养成良好的习惯。

5. 要掌握好每单元实验的重点

每单元实验中内容较多,首先要认真完成基本内容,这既是基础,也是重点。完成基本要求后,如果还有时间,可进行一些选做内容,或深入研究一些实验现象,提出一些改进意见并重新实验等。每个实验都是一件实际工作,除了重点的学习内容外,还会遇到很多零散的、枝节的工作,这些工作固然需要做,但要把它完全搞懂,时间上是不可能的。因此,要根据实验目的,集中精力,提高学习效率。

6. 要注意培养自己认真、踏实、细致、坚韧不拔的实验素质和勇于创新的精神。

不轻易放过每一个实验现象,不怕挫折和失败,艰苦努力,力求以最小的代价取得最好的实验结果。

总之,实验课有它本身的特点和规律,要学好实验课不是一件容易的事。只有在学习过程中不断总结经验,逐步掌握规律,培养对实验课的兴趣,才能练好基本功,提高自己的科学实验能力。

第一单元 物理实验基本知识

本单元主要介绍测量误差理论、实验数据处理、实验结果表述及实验设计等方面的初步知识,作为进入实验前的基础准备。这些知识不仅在以后每次实验中要经常用到,而且是今后从事科学实验工作所必须了解和掌握的。但是,由于这部分内容涉及面很广,深入地讨论它,已超出了本课程的范围。如测量误差理论,应属于数理统计学或计量学的范围。因此,本课程只能注重介绍一些概念,引用一些结论和计算公式,以满足本课程教学的需要。由于学生还不具备足够的基础知识,学习这部分内容会觉得有些困难,加之内容较多,不可能在二、三次课中完全掌握。但是,这部分内容又非常重要,所以在以后的实验过程中,还将适当安排一些内容,通过运用逐步加以理解和掌握。

1.1 测量误差

1.1.1 测量及其误差

物理实验离不开对物理量进行测量,不论是研究物理现象、验证物理原理,还是研究物质特性等,都要进行测量。所谓测量,就是用一定的量具或仪器,通过一定的方法,直接地或间接地与被测对象进行比较。测量可分为直接测量和间接测量。如果直接从仪器或量具上读出待测量的大小为直接测量;如果待测量是由若干个直接测量量经过一定的函数关系运算后获得为间接测量。例如,用米尺测量物体的长度,用秒表计时等为直接测量;测量物体的密度,需先测出物体的体积和质量,再用公式计算出密度为间接测量。

在一定的条件下,任何物理量的大小都有一个客观存在的真值。进行测量,就是要想办法知道每个物理量的真值。然而,每个具体测量都是依据一定的理论或方法,在一定的环境中使用一定的仪器,由一定的人进行的。而由于理论的局限性或近似性,环境的不稳定性,实验仪器灵敏度和精度的局限性,人的实验技能和判断能力的影响等,测量值不可能与客观存在的真值完全相同,它们之间或多或少地总存在偏差,这种偏差就称为测量值的误差。

设被测量的真值为 a , 测量值为 x , 误差为 ε , 则

$$\varepsilon = x - a \quad (1-1-1)$$

上式定义的误差反映了测量值偏离真值的大小和方向,称为绝对误差。

真值是一个理想的概念,一般说来是不知道的。在实际测量中,一般根据测量数据,只能确定出测量的最佳值。

为了全面评价测量的优劣,还需要考虑被测量本身的大小。例如测量两个物体的质

量,得出一个是 1.00 克,另一个是 100.00 克,如果绝对误差都是 0.01 克,那么,从绝对误差看,对二者的评价是相同的。但前者的误差占测量值的 1%,而后者仅占 0.01%,显然测量误差的严重程度比前者要小得多。为了区分或评价测量的优劣,常用相对误差表示。相对误差定义为绝对误差与测量最佳值之比,常用百分数表示,即

$$\text{相对误差 } E = \frac{\text{绝对误差 } e}{\text{测量最佳值 } \bar{x}} \times 100\% \quad (1-1-2)$$

有时被测量有公认值或理论值,则用百分误差来表示。百分误差定义为

$$\text{百分误差 } E_0 = \frac{|\text{测量最佳值} - \text{公认值}|}{\text{公认值}} \times 100\% \quad (1-1-3)$$

误差存在于一切测量之中,而且贯穿于测量过程的始终。不论是在实验设计、测量操作,还是在实验数据处理中,都存在着误差问题。在误差必然存在的情况下,测量的任务就是要在一定的条件下,设法将测量值的误差尽量减小,得到一个最近真值,并估计出最近真值偏离真值的程度。反过来,根据误差的估算,又可以指导实验方案的设计、仪器的选择、参数的确定等,以便以最低的代价取得最佳的结果。

产生误差的原因是多方面的,从误差的性质上可分为系统误差和偶然误差两大类。它们对测量结果的影响不同,处理方法也不同。

1.1.2 系统误差

在同样条件下,对一物理量进行多次测量,其误差的绝对值和符号保持不变,或随着测量条件的变化而按确定的规律变化,这类误差称为系统误差。它的来源有以下几个方面:

1. 仪器本身的固有缺陷或没有按照规定条件使用而引起的误差。如仪器的刻度不准;零点没有校准;等臂天平不等臂等。

例如,按国家计量局规定,50 克的三等砝码允许有 ± 2 毫克的误差。当一个砝码的实际量值为 49.998 克时,它是一个合格产品。但当实验者使用这一标称值为 50 克的砝码进行称量时,它将引入 0.002 克的系统误差。

又如,秒表指针的转动中心 O 与刻度盘的几何中心 O' 不重合,如图(1-1)所示。当指针转过 $1/4$ 圈时指 14.8 秒,转过 $\frac{1}{2}$ 圈时指 30.0 秒等。显然,对于指针的一定位置,误差是定值的。而指针在不同位置时,误差的数值不同,它是周期性变化的。

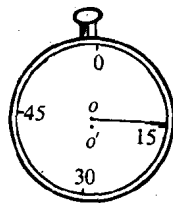


图 1-1

2. 由于测量所依据的理论公式本身的近似性,或实验条件不能达到理论公式所规定的要求等

而引起的误差。如单摆周期公式 $T = 2\pi \sqrt{l/g}$ 的成立条件是摆角趋于零,而测量中又必须具有一定的摆角;称重量时没有考虑空气的浮力;电路中没有考虑附加电阻的影响等。

3. 由于实验者本人的心理或生理特点而引起的误差。如器官不完善、反应速度迟缓、固有习惯不正确等。如有的人对准目标时总是偏左或偏右,致使读数偏大或偏小。

很多系统误差的变化是很复杂的,能否识别和消除系统误差,与实验者的经验有着密