物 理 实 验 教 程

胡其图　主编

气象出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内 容 提 要

本书系统地介绍了测量误差、测量结果的不确定度基本知识和数据处理基本方法,概括地介绍了物理实验教学中常用的基本测量方法、基本测量技术和一些常用基本仪器,提供了数据处理过程中应用计算机编程计算的常用源程序,详细地介绍了计算机仿真物理实验内容。本书重视对学生的科学素质培养,遵循由浅入深、循序渐进的学习规律,把物理实验教学内容分为基本物理实验、综合性或应用性物理实验、设计性物理实验和计算机仿真物理实验四种类型,形成从基础到应用、从传授知识到培养综合能力、逐步提高科学实验能力的物理实验课程体系。本书内容详实,深入浅出,文字流畅。

本书可作为高等工业学校各专业物理实验课程的教材或教学参考书,也可供涉及物理学的从事实验工作的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

物理实验教程/ 胡其图主编 .-北京:气象出版社,1999 2
ISBN 7-5029-2678-X

Ⅰ.物… Ⅱ.胡… Ⅲ.物理-实验-教材 Ⅳ.04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 03067 号

物理实验教程
胡其图 主编
责任编辑:张斌 终审:陆同文
气象出版社出版发行
(北京市海淀区白石桥路 46 号 100081)
北京昌平环球印刷厂印刷
* * *
开本:787×1092 1/16 印张:19.375 字数:480 千字
1999 年 2 月第一版 2001 年 1 月第二次印刷
印数:3001～6000
ISBN 7-5029-2678-X/O·0057
定价:26.00 元

《物 理 实 验 教 程》编 委 会

主　编　胡其图

副主编　缪兴中　薛运才

编　委　程令孝　吴明阳　陈镇平

前　言

物理实验课程是对高等学校学生进行科学实验基本训练的一门独立的必修基础课,是对学生进行科学素质培养的一个重要方面,对培养学生的动手能力、良好的实验习惯、严谨的科学态度以及提高解决实际问题的能力起着重要作用。通过物理实验课程的教学,可使学生在物理实验基本知识、基本方法、基本技能等方面受到系统训练。物理实验的思想、方法、技术和装置常常是自然科学研究和工程技术发展的新起点,现代高新技术的产生,往往源于物理学上的重大发现,而高新技术的发展,又不断推动着物理实验的手段、方法和装备的进步,大大改变着人类对物质世界认识的深度和广度。

随着课程建设和教学改革的深入发展,如何搞好物理实验课程的教学改革,提高物理实验课程的教学质量,以适应 21 世纪科学技术发展的需要,是目前亟待解决的问题。本书作者承担了国家教育部面向 21 世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划中的‘信息技术与智能教学模式的整合研究’项目和河南省高等教育面向 21 世纪教学改革计划中的‘工科物理课程教学内容和体系的改革与实践’项目,本书是在上述两个项目的研究与实践过程中编写的教材,主要有如下特点:

1.在测量误差教学内容中,系统地介绍了测量误差和测量结果的不确定度,用不确定度科学地表示测量结果,体现了现代误差理论在物理实验教学中的应用,有利于学生对误差概念的深刻理解。在数据处理教学内容中,系统地介绍了常用的数据处理基本方法,提供了数据处理过程中应用计算机编程计算的常用源程序,使得一些计算量很大、在科学实验中经常使用的极普遍的数据处理方法(例如,用最小二乘法进行方程的拟合和参数的估计)在物理实验教学中变得简单容易,为在物理实验教学中应用计算机处理实验数据铺平了道路。

2.概括地介绍了物理实验中常用的基本测量方法和基本测量技术,这些方法和技术是对分散在各个物理实验中所用到的测量方法和测量技术的归纳和总结,它们已经超越了各个物理实验而具有普遍的指导意义。同时还概括地介绍了物理实验教学中的一些常用基本仪器,使学生系统地了解仪器原理、性能和构造,并初步掌握仪器的基本调整方法和使用方法,以增强适用性。

3.按照学生的认知规律和现有的实验条件,把物理实验教学内容分为基本物理实验、综合性或应用性物理实验、设计性物理实验和计算机仿真物理实验四种类型,其中基本物理实验教学内容为本课程的基本内容,通过基本物理实验的教学,可使学生受到基本实验方法、实验技能、仪器使用、物理量测量等方面的系统训练,并初步掌握实验数据处理和测量结果的不确定度估算方法。在完成基本物理实验的基础上,选做部分综合性或应用性物理实验,使学生利用已有的仪器,根据一定的物理规律和定律,实现对物质的某些规律的研究和物理量的测量,了解一些新知识和现代高新技术,提高进行综合实验的能力。学生在经过上述教学环节的训练、完成一定数量的物理实验之后,已经具备了一定的实验知识和实验技能,可在教师的指导下选做部分设计性物理实验,应用所学过的实验知识,根据实验题目、任务和要求,自己设计实验方案,自己选择和准备实验仪器,在此基础上独立完成物理实验,由此培养学生综合应用理论知识和实验技能的能力、分析问题和解决问题的能力以及独立进行科学研究工作的能力,并提高

学生的综合思维和创造能力。在面向 21 世纪的教学内容改革中,通过信息技术与教学过程的整合,将导致教学模式发生重大变革。因此,在物理实验课程的教学改革中,需要研究如何发挥现代信息技术在物理实验课程中的作用,在应用信息技术组织教学活动的过程中,建立物理实验课程的智能教学模式。在新的教学模式中,计算机仿真物理实验将成为物理实验教学不可缺少的重要一环。本书引入了部分计算机仿真物理实验,学生可在计算机上模拟实验环境、模拟具体操作、完成物理实验的各个环节,使学生理解计算机仿真实验的原理,提高进行计算机仿真实验的能力,在新的实验方法和实验技术方面开阔视野,进一步提高科学素质和实验能力。

4 .本书遵循由浅入深、循序渐进的学习规律,将实验分为四种类型,形成从基础到应用、从传授知识到培养综合能力、逐步提高科学实验能力的物理实验课程体系,每一种类型都标志着不同的实验技能和科学思维水平。在物理实验教学内容的安排上,按照由详细到简单的原则,对于基本物理实验和综合性或应用性物理实验,不仅比较详细地阐述了物理实验原理,而且在每个物理实验的实验内容项中列出了完整的实验步骤;对于设计性物理实验和计算机仿真物理实验,则尽量简化,引导学生独立完成。每个实验后附有一定数量的预习思考题和分析讨论题,前者引导学生实验前预习,后者供学生实验后对实验内容进一步分析讨论和巩固提高。

书中所用的名词术语与全国自然科学名词审定委员会公布的《物理学名词》(1996)保持一致,需要说明的是:本书把电位差计称为电势差计,一方面考虑到了上述要求,另一方面也考虑到了本书所采用的名词术语与大学物理课程中的名词术语应当统一,由于仪器面板和仪器说明书上注明的是电位差计,由此可能给实验教学带来一些不便之处。但是,这样做是妥善的,便于物理实验课程和大学物理课程在教学上的有机结合。与上述情况类似的个别仪器名称也均作同样处理与考虑,此处不再赘述。

本书执笔分工如下:第一章由缪兴中撰写;第二章由胡其图撰写;第三章 §3 .1～§3 .4 由缪兴中撰写,§3 5 由胡其图撰写;第四章 §4 .1 由缪兴中撰写,§4 .2 由程令孝撰写,§4 .3 由薛运才撰写;第五章 §5 .1 由陈镇平撰写,§5 .2 由刘海增撰写,§5 .3 由薛运才撰写,§5 .4 由陈镇平撰写,§5 5 由吴明阳撰写,§5 .6 由陈镇平撰写,§5 .7由师一华撰写,§5 .8 由陈镇平撰写,§5 9 由刘海增撰写,§5 .10 由胡其图撰写,§5 .11 由缪兴中撰写,§5 .12 由吴明阳撰写,§5 .13 由师一华撰写,§5 .14、§5 .15 由薛运才撰写,§5 .16 由师一华撰写,§5 .17由王广宇撰写,§5 .18、§5 .19 由吴明阳撰写,§5 .20 由薛运才、王如梅撰写;第六章 §6 .1、§6 .2 由陈镇平撰写,§6 3～§6 .6 由王广宇撰写,§6 .7 由刘海增撰写;第七章 §7 .1～§7 .6 由薛运才撰写,§7 .7 由王如梅撰写;第八章 §8 .1 由胡其图撰写,§8 .2、§8 .3 由王如梅撰写,§8 .4～§8 .6 由王如梅、苏玉玲撰写;计算机制图和附录由胡其图、王如梅负责。最后,全书由胡其图统稿、定稿,缪兴中、薛运才参加了统稿工作。

在项目的研究与实践、教材的编写过程中,曾先后得到陈泽民教授、耿完桢教授、朱荣华教授、张兆奎教授、杨俊才教授、张希之教授的指导或帮助,丁太献、陈霭玲、刘文吉、韩立文、刘强、张运强、施大英、吕文利等同志给予具体的支持和帮助,我们在此谨致以衷心的感谢。

由于水平所限,书中不免有疏漏和错误之处,恳请师生不吝指正,以便再版时改正。

胡其图

1999 年 1 月 8 日

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　　录

第一章　绪论 …… 1
§1.1 物理实验的地位和作用 …… 1
§1.2 物理实验课程的目的和任务 …… 4
§1.3 物理实验课程的基本环节 …… 5
§1.4 如何上好物理实验课 …… 7
第二章　测量误差和测量结果的不确定度 …… 11
§2.1 测量和测量误差 …… 11
§2.2 有效数字及其运算 …… 16
§2.3 误差处理 …… 19
§2.4 测量不确定度与测量结果的表示 …… 26
第三章　数据处理基本方法 …… 38
§3.1 列表法 …… 38
§3.2 作图法 …… 39
§3.3 逐差法 …… 44
§3.4 最小二乘法 …… 47
§3.5 计算机在数据处理中的应用 …… 55
第四章　物理实验基本方法和技术 …… 84
§4.1 物理实验中常用的基本测量方法 …… 84
§4.2 物理实验中常用的基本仪器及其使用 …… 91
§4.3 物理实验基本测量技术 …… 115
第五章　基本物理实验 …… 128
第一部分 力学和热学实验
§5.1 长度与体积的测量 …… 128
§5.2 转动惯量的测定 …… 133
§5.3 金属丝杨氏模量的测定 …… 137
§5.4 热导率的测定 …… 140
第二部分 电磁学实验
§5.5 用模拟法测绘静电场 …… 144
§5.6 灵敏电流计特性研究 …… 149
§5.7 用惠斯通电桥测电阻的温度系数 …… 155
§5.8 用双臂电桥测低电阻 …… 159
§5.9 电势差计的原理和使用 …… 164
§5.10 示波器的使用 …… 169
§5.11 霍尔效应测量磁场 …… 177
第三部分 光学和近代物理实验

§5.12 用牛顿环测定透镜的曲率半径 …… 184
§5.13 迈克耳孙干涉仪的调整与使用 …… 188
§5.14 分光计的调整与使用 …… 194
§5.15 衍射光栅 …… 198
§5.16 光的偏振现象研究 …… 201
§5.17 密立根油滴法测定电子电荷 …… 205
§5.18 光电效应测定普朗克常量 …… 210
§5.19 弗兰克-赫兹实验 …… 214
§5.20 小型棱镜摄谱仪的使用 …… 220
第六章 综合性或应用性物理实验 …… 226
§6.1 声速的测量 …… 226
§6.2 微波光学实验 …… 231
§6.3 全息照相系列实验(1)——静态全息照片的摄制与观察 …… 239
§6.4 全息照相系列实验(2)——白光再现全息照片的摄制与观察 …… 244
§6.5 传感器系列实验(1)——传感器及其测量原理 …… 249
§6.6 传感器系列实验(2)——传感器技术 …… 255
§6.7 室内混响时间的测定 …… 261
第七章 设计性物理实验 …… 265
§7.1 设计性物理实验基础知识 …… 265
§7.2 伏安法测电阻 …… 268
§7.3 多用电表的设计与制作 …… 269
§7.4 非线性电阻特性研究 …… 271
§7.5 铁磁材料磁化曲线和磁滞回线的测绘 …… 273
§7.6 光学介质折射率的测定 …… 275
§7.7 金属细丝直径的测定 …… 278
第八章 计算机仿真物理实验 …… 280
§8.1 计算机仿真物理实验基础知识 …… 280
§8.2 偏振光实验的计算机仿真 …… 284
§8.3 光电效应测定普朗克常量实验的计算机仿真 …… 285
§8.4 弗兰克-赫兹实验的计算机仿真 …… 289
§8.5 氢氘光谱拍摄实验的计算机仿真 …… 292
§8.6 氢氘光谱测量及阿贝比长仪实验的计算机仿真 …… 294
附录 …… 298
1.中华人民共和国法定计量单位 …… 298
2.一些常用的基本物理常量 …… 300
主要参考文献 …… 301

第一章　绪　论

§1.1　物理实验的地位和作用

物理学是一切自然科学和工程技术的基础。

物理学是一切自然科学中最重要、最活跃的领头学科，推动着各学科的发展，诱发出许多交叉学科和技术领域。

然而，物理学本质上是一门实验科学。实验是物理学理论的基础和源泉，也是物理学发展的动力，在物理学的发展中，实验起了决定性的作用。

物理理论和实验的发展，哺育着近代高新技术的成长和发展。物理实验的思想、方法、技术和装置是自然科学研究和工程技术发展的新起点，现代高新技术的发明和突破，往往源于物理学上的重大发现，而高新技术的发展，又不断推动着物理实验的研究手段、方法和装置的发展，大大改变着人类对物质世界认识的深度和广度。

在某些历史时期，震撼世界的物理实验，不仅对物理学的发展起着划时代的作用，而且推动着社会文明的大步前进，甚至会引发人类思想观念的全新改变。

让我们走进物理实验的科学殿堂，去感受它对世界的震撼，领悟它的丰富内涵和文化魅力。

物理学概念的确立，物理学规律的发现，物理学理论的建立都有赖于实验，并受实验的检验。

开普勒三定律是依据布拉赫(T .Brahe)所积累的大量实验观测资料，又把哥白尼(N . Copernicus)的圆轨道修改为椭圆轨道而得到的。牛顿三定律是在伽利略(Galileo Galilei)、开普勒(J .Keppler)、胡克(R .Hooke)、惠更斯(C .Huygens)等人的实验基础上总结出来的。能量守恒与转换定律也是大量实验的归纳，其中包括焦耳(J .P Joule)所做的著名的热功当量实验。

电磁学中的一系列定律，如库仑定律、欧姆定律、安培定律、毕奥 - 沙伐尔定律、法拉第电磁感应定律等都是实验的总结。赫兹(H .R .Hertz)通过电磁波实验使麦克斯韦(J .C . Maxwell)的电磁场理论得到了证实。迈克耳孙 - 莫雷实验动摇了 19 世纪占统治地位的以太假说，为爱因斯坦(A .Einstein)创立狭义相对论铺平了道路。

物理学中常常发生一些用不同的理论解释同一个问题的争论，实验往往会给某种理论以有力的支持，只有实验才能对某种理论的正确性作出终审判决。

在对光的本性认识的历史进程中，以牛顿(I .Newton)为代表的微粒说和以惠更斯为代表的波动说发生过长期的争论。光的成影和直线传播的事实支持了微粒说；光的独立传播的事实又给波动说提供了佐证。托马斯·杨(T .Young)的杨氏双缝干涉实验证明光是一种波动；列别捷夫(Петр Николаевип Лебедев)的光压测定又利于光是微粒的学说。劳厄(M .F .T .von Laue)的 X 射线实验证实了 X 射线也是一种电磁波，具有波动的性质；光电效应又给光量子论以有力的支持。最后，在大量实验事实的基础上，以光的波粒二象性结束了这场旷日持久的争论。

物理实验常常成为修正错误的依据。

古希腊的亚里士多德(Aristotle)曾经断言:力的持久作用是保持物体匀速运动的原因。这一曾经统治近 2000 多年的错误理论终于被伽利略斜面实验引出的惯性定律所否定。托里拆利(E .Torricelli)实验和托里拆利真空打碎了亚里士多德“自然害怕真空”的精神枷锁,带来了精神的解放、思想智力的活跃和追求科学的狂热。

物理实验往往成为发展理论的新起点。

1911 年,昂纳斯(H.K .Onnes)在研究低温下水银电阻变化的实验中发现了低温超导现象,由此开始了一个新的物理学分支——超导物理,并且兴起了全球的超导热。

1956 年,物理学家杨振宁、李政道在布鲁克海文实验室作研究工作时提出了在弱相互作用下空间对称的不成立。这一观点被实验物理学家吴健雄在华盛顿国家标准局低温实验室里精心安排的β衰变实验所证实后,才确定了新的科学理论——在弱相互作用下宇称不守恒定律的成立,杨振宁、李政道也因此获得了 1957 年的诺贝尔物理学奖。

物理实验可以使假说成为科学的定论。

19 世纪 60 年代麦克斯韦系统地总结了从库仑(C .A .Coulomb)到安培(A .M .Ampere)和法拉第(M .Faraday)等人的电磁学的全部成就,并在此基础上提出了有旋电场和位移电流的假说,建立了著名的麦克斯韦方程组,从理论上阐明了电磁波以光速在空间传播,与光波有共同的特性。这是一个极其卓越的理论成果。但是,直到 1888 年赫兹接收到了由振荡源放电发出的电磁波,并且作了电磁波的反射、折射、衍射和偏振实验,测出电磁波的传播速度与光速同数量级以后,才从实验上证实了麦克斯韦的全部假说,使麦克斯韦的电磁理论开始被普遍接受。德国物理学家、量子力学奠基人之一、诺贝尔物理学奖获得者玻恩(Max Born)正确地说过:赫兹“重新论证”了麦克斯韦的电磁理论。千真万确,正是赫兹这些划时代的实验才使麦克斯韦创立的电磁方程——“出于上帝之手的符号”——被公认为是从牛顿的引力场到爱因斯坦的相对论这段历史时期中最重要的理论成就。难怪爱因斯坦说:“一个美妙的实验,通常要比从我们头脑中提取的二十个公式更有价值”——这是科学伟人对物理实验的精彩描述!

实验可以纠正理论权威的某些不正确论断,导致新物理效应的发现。

1879 年美国物理学家霍尔(E .H .Hall)在其研究生生活的最后一年,因对麦克斯韦的《电磁学》中的一个论断——“在导线中流动的电荷本身完全不受磁铁接近或其它电流的影响”——表示怀疑,而设计了一个被后人称之为霍尔效应的实验。霍尔效应实验不仅纠正了权威物理学家麦克斯韦的那个不正确论断,而且为后来的半导体物理提供了重要的研究手段。

粒子物理学的研究必须在实验室里进行。

基本粒子中的一些粒子只能在实验室里产生,或者很少在自然界中出现。在为进行粒子物理实验而建造的各种各样的加速器中发现了数百种称为强子的粒子。随着实验能量的不断提高,人们又发现了强子具有一定的大小并有内部结构,在对大量强子性质分析的基础上,提出了强子结构的夸克模型。在深度非弹性散射实验中,人们用高能电子和中微子作为“探针”,探测到了质子内部有“又小又硬”的东西,这表明夸克是有可能真实存在的。1974 年 J/Ψ 粒子和 1977 年γ粒子的实验发现,是确立夸克理论的决定性事件。到 1977 年,实验上已经发现了五味夸克:上夸克、下夸克、奇异夸克、粲夸克和底夸克。美国费米国家实验室的 CDF 实验小组对质子-反质子对撞机两年的实验数据进行分析后,于 1995 年 3 月 2 日正式宣布了第六味夸克——顶夸克的存在,这是物理学和整个科学界的重大事件。

物理实验不仅促进了物理学自身的发展,而且在其它科学领域也有着重要的应用。

在生物学中,用物理实验的方法可以了解分子的传输、膜的结构以及在脑神经和肌肉中的信号过程。通过单跨膜分子通道对离子流进行的最新的物理测量,为了解中心分子机理提供了重要的直接途径。

用风洞这种模拟物理实验,可以了解风沙运动的受力机制、沙粒的起动风速、风沙运动形式和沙流结构,为研究当今世界重大问题之一的沙漠化提供了重要方法。

在物理实验测量中发展起来的激光测高法、精密雷达探测、地球卫星和行星探测器上的遥感探测以及断层 X 射线摄影术,为研究地球和海洋内部结构提供了重要手段。

材料科学的研究也离不开物理实验。粒子束技术、喷涂和分子束与表面的相互作用涉及原子物理实验技术。材料科学的分析实验采取了包括卢瑟福散射、粒子束实验在内的原子物理学的分析实验方法。

物理实验方法在应用学科迅速推广应用的例子也是数不胜数的:激光打孔、切割,超声无损探伤,磁悬浮列车,静电植绒,物理勘探,地震预报,种子的辐射处理,花卉和蔬菜生长的温室技术以及医学的 CT 扫描、核磁共振成像等比比皆是。物理实验方法已经渗透到技术学科乃至人类生活的一切领域。

物理实验不仅为物理学、一切自然科学和工程技术领域提供着硬件支持,而且向人类智慧提出了最深刻的挑战。

在现实世界里,绝对黑体这种物体是不存在的,即使看上去非常黑的物体,当它被你看见时,已经有光反射到你的眼睛里了。怎样做出一个绝对黑体的实验模型?

通常,要用某种容器才能把物体贮存起来,但是,在受控热核反应的实验研究中,高温等离子体的温度高达上亿度,如果用容器装,世界上还找不到哪一种材料可以耐这样的高温。怎样才能把高温等离子体贮存起来?

相干光源需要振动方向、振动频率相同和维持相位差固定的严格条件。如何寻求满足这一条件的相干光源?

迈克耳孙-莫雷实验的光学底盘十分庞大,如何保持它的自由旋转和水平状态?

让我们探察一下这些实验的巧妙构思。

在一个空心球体上开一个小窗口,当光射入这个窗口后,在球壳内经过反复的漫反射不断减弱,到达窗口时已经几近于零了。这个窗口并不是一个物体,但可以认为是一个近似的绝对黑体。于是,用不是物体的物体解决了绝对黑体的实验模型。

在受控热核反应的研究中,用磁约束或惯性约束把上亿度的高温等离子体“贮存”起来,成功地实现了不用容器的约束。

在杨氏双缝实验和菲涅耳双棱镜实验中,利用分波阵面法很方便地解决了相干光源的技术难题。

利用液体在重力作用下保持水平表面和水银有最大浮力的特性,迈克耳孙(A .A .Michelson)和莫雷(E .W .Morley)完成了一个最重大的否定性实验。

通过观察在重力和静电场力共同影响下漂浮在空气中的带电油滴的运动情况,精确地测出了基本电荷的数值,明确地、定量地验证了电荷的量子化这一突破性、革命性的崭新观念——当走进密立根油滴实验历时七年的漫长时空,观察小油滴宛如夜空中的明星那样缓缓运行,好像直接“看到”一个、二个电子“跑来”附在油滴上,或从油滴上“跑掉”的时候,谁也不能不

为油滴实验的智慧光芒和科学魅力所叹服。

物理实验的卓越构思,不是一般意义上的技能和技巧,它是一种智慧、一种文化,是人类创造性思维的宝贵财富。

自 17 世纪伽利略把实验方法与物理规律结合起来研究,使物理学走上真正科学的道路以来,物理学一直为自然科学的领头学科,推动着各学科的发展,诱发出许多交叉分支学科和技术领域。实验支撑着雄伟壮观的物理学大厦,促进了高新技术与产业的诞生和迅速发展,出现了步伐越来越快的新技术革命。

没有物理实验就没有物理学,就没有今天的人类文明。

物理学在今后的自身发展及推动自然科学、工程技术乃至人类文明的大步前进中,仍将不断经受着物理实验激动人心的检验和挑战。

今天,人类社会已经进入了知识经济的崭新时代,培养智能型、创造型的高素质人才是当今世界面临的共同课题。作为培养高级工程技术人才的高等工业院校,不仅要使学生具备比较深广的理论知识,而且要使学生具有从事科学实验的较强能力。物理实验是学生进行科学实验基本训练的一门独立的必修基础课程,是学生进入大学后系统学习科学实验知识和技能的开端,也是后续实验课程的基础。它在学生深入观察现象,建立合理的实验模型,定量研究变化规律,分析、判断实验结果的可信度,激发学生的想象力、创造力,培养和提高学生开展科学研究工作的素质和能力方面具有重要的奠基作用。

物理实验课程所覆盖的知识面和包含的信息量以及能够对学生完成的基本训练内容是其它课程的实验环节难以比拟的。

物理实验课程将为学生今后的学习、深造和工作奠定坚实的基础。

物理实验丰富的科技文化内涵和智慧光芒将使学生终生受益。

§1.2 物理实验课程的目的和任务

作为一门独立的基础课程,物理实验具有自身独特的教学内容、教学方法、教学目的和课程任务。物理实验课程对学生能力和素质的培养不仅包括一般的实验技能、操作技能,也包括实验过程中发现问题和解决问题的能力、综合分析的能力、创造性思维的能力、总结表达的能力,还包括实验者的科学态度、求是精神、坚韧不拔的意志、追求真理的勇气以及爱护实验仪器、节省实验材料的良好品德和科学习惯。这是其他课程所不能完成,理论思维能力所不能替代的。作为对学生系统地进行科学实验能力训练的开端和基础,物理实验课程的目的和任务是:

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的基本知识、基本方法、基本技术;懂得如何运用实验方法去研究物理现象和规律,加深对物理学原理的理解;熟悉常用实验仪器的基本原理、结构性能、使用方法;学习物理实验中独特而巧妙的思维方法。

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和参考资料,正确理解实验内容和实验原理,作

需要全本请访问 www.ertongbook.com

好实验前的准备;对实验中出现的基本问题,能够通过查阅资料而得到解决。

(2)动手能力——能够借助实验教材或仪器说明书,正确地使用仪器和进行各种基本操作;培养一定的动手操作能力,能够解决实验技术中的一般性问题,排除实验中的简单故障;在既定的仪器设备条件下,通过努力,得出尽可能好的实验结果。

(3)观察能力——能够通过自身的感觉器官和它们的延伸物——实验仪器,捕捉实验过程所呈现的各种现象,发觉实验现象的各种特征,通过对现象的观察和比较,获得全面的、本质的实验信息。

(4)分析能力——能够运用物理学理论和实验原理对实验现象和实验结果进行初步分析、判断和解释;对各种因素可能引起的误差进行初步估计,对结果进行初步评价。

(5)表达能力——能够正确记录和处理实验数据,设计表格,绘制图线,描述实验现象,说明实验结果,撰写合格的实验报告。

(6)设计能力——对于简单问题,能够从研究对象或课题要求出发,查阅资料;依据基本原理,设计实验方法,确定实验参数,选配实验仪器,拟定实验程序,合理地、有效地安排测量方案和实验步骤。

3 .培养与提高学生的科学实验素质

在物理实验课的学习和训练中,要培养学生实事求是、理论联系实际的科学作风,严肃认真、一丝不苟、不怕困难、艰苦努力的科学态度,不断探索、大胆质疑、勇于创新的科学精神以及遵守纪律、团结协作、节约资源、爱护公物的优良品德。

物理实验课程将通过以上密切相关的三个方面,使学生不仅能在实验室里对自然界的基本规律进行考察,同时又有机会吸取现代科学的最新营养,从而受到从实验能力、实验素质到科学方法论的最全面的基本训练。

§1.3 物理实验课程的基本环节

物理实验是在教师和教材的指导下,由学生独立进行的课程。为达到物理实验课程的目的,完成物理实验课程的任务,必须充分发挥学生的主动精神,调动学生的学习积极性,自觉地、创造性地获得知识和技能。为此,应当高度重视物理实验课程具有自身特殊性的三个基本教学环节,即课前预习、实验过程和实验报告。

1 .课前预习

课前预习是做好实验的关键。

一次实验课的时间有限,从熟悉仪器到测出数据,任务繁重。若课前不明确实验的目的要求和原理方法,不知道要测量哪些物理量、用什么仪器和怎样测量,不明确实验的思路和基本过程,不了解哪些地方是本次实验的重点应当特别注意,到上课时就不可能做好实验。可以肯定地说,实验能否顺利进行,能否获得预期的结果,在很大程度上取决于预习是否充分。因此,每次做实验前必须预习,而且必须认真预习。

预习时主要阅读实验教材,必要时还需参考其它资料,以求基本掌握实验的整体概况,明确实验目的,弄懂实验原理,了解实验内容,知道实验步骤。对实验中使用的仪器和装置要阅读教材中有关仪器部分,了解使用方法和注意事项。总之,要通过课前的阅读和思考,在脑海

中形成一个初步的实验方案,并在此基础上写出预习报告。预习报告的内容包括实验名称、实验目的、实验原理、实验仪器、实验内容和步骤以及数据记录和处理表格。表格的设计要清晰、明确、简洁、规范。预习思考题有助于学生对实验原理的理解和对实验方法的掌握,在预习报告中也应对其做出回答。

2 .实验过程

实验过程是实验课的中心环节。

在动手实验之前,要先认识和清点所用仪器、装置和器具,了解其主要功能、量程、级别、操作方法和注意事项,不要急于测量。

实验时,要有目的、有计划地进行操作。

首先是布置、安装(或接线)和调试仪器。仪器的布局要合理,以方便操作和读数,特别要考虑到仪器和实验者的安全。调试要细致、耐心,合理选择仪器量程,严格遵守使用说明和操作规程,把仪器调整到最佳工作状态。在电磁学实验中,接线完毕后,学生应自己作一次检查,再请指导教师复查,确认正确无误后才能接通电源。

调试完毕后即可开始实验。起初可作探索性试验操作,粗略地观察一下实验过程,若无异常现象,便可正式进行实验。如有异常现象,应立即切断电源,认真分析,仔细排查,并向指导教师反映。待找出原因,排除异常后再开始进行实验。

测量时要把原始数据整齐地记录在预习时已经准备好的数据处理表格中,注意数据的有效数字和单位。不要用铅笔记录,也不要先草记在另外的纸上再誊写在数据表格中,这样容易出错,况且这已经不再是第一手的“原始记录”了。如果记录的数据有错误,可用一斜线轻轻划掉,把正确的原始数据写在其旁,但不得涂改数据。要永远记住,原始数据是实验的最珍贵资料。

一份完整的实验原始记录,除数据之外,还应包括实验日期、环境条件(温度、湿度、气压、阴晴雨风等气象情况)、观察到的有关现象以及主要仪器的名称、型号、级别、量程、编号等。

在测量过程中要尽量保持实验条件不变,注意操作姿势,不要使仪器受到振动或移动。

实验完毕后,要暂时保持测试条件,请教师审阅实验记录,必要时也可能要重新测量。

最后,经教师确认并签字后,再复原整理仪器,离开实验室。

3 .实验报告

实验报告是对所做实验的系统总结,是学生表达能力和信息交流能力的集中体现,也是交流实验成果的媒介。

实验报告应写在专用的实验报告纸上,要求层次分明、字迹清楚、文理通顺、简明扼要、图表规范、结论明确。书写实验报告是逐步培养理工科学生分析、总结问题的能力,提高文化素养和综合素质的一个重要方面。

实验报告的内容一般为:

(1)实验者姓名。

(2)实验的环境条件。实验日期、温度、湿度、气压、阴晴风雨等气象情况。

(3)实验名称。

(4)实验目的。

(5)实验原理。在对实验原理充分理解的基础上,用实验者自己的语言简要叙述有关的物理内容(包括电路图、光路图、原理和实验装置示意图),测量和计算所依据的主要公式,式中各

量的物理含义、单位以及公式成立必须满足的实验条件等。

(6)实验仪器。主要仪器的型号、编号、量程、精度、最小分度值等。

(7)实验内容和步骤。除概括地写出实验进行的主要程序之外,还应包括实验中观察了哪些物理量,测量了哪些物理量,调节的要领和技巧,以便重复或检验已经完成的实验。

(8)数据处理。在数据处理中要完成计算、作图、误差估算及结果表达等工作。要把原始数据按有效数字列成科学的表格,使阅读者能纵观全局,一目了然。在数据处理和误差运算中,应有主要过程,做到言之有据,结果可信。实验结果的表达,不仅要指出测量值的大小,还须按要求用误差范围或不确定度来评定测量结果。

(9)分析讨论。分析讨论的内容相当广泛,可以深入探讨实验现象或进一步进行误差分析,也可以对实验本身的设计思想、实验仪器、实验方法的改进写出自己的心得体会或建设性意见,甚至于根本不同的意见。通过对分析讨论题的回答,还可以进一步深入理解物理实验的理论。分析讨论将为学生在更高层次上发挥自己的聪明才智提供一个自由思考的广阔空间。

以上只是提供了实验报告的一般格式。一份成功的实验报告,就是一篇科学论文的雏形,应力求用严谨的结构、流畅的文笔、清晰的思路和个性化的色彩,简洁地描述实验的内容、方法和步骤,表达实验所阐明的物理思想和概念,给出可信的明确结论。实验报告的撰写可以培养和提高学生的分析、表达和信息交流的能力。

实验报告可以和预习报告结合起来完成。

§1.4 如何上好物理实验课

物理实验课是高等工业院校学生接受系统实验技能训练的开端,是培养未来工程师的高等教育中一系列实践教育的基础和先导。它不仅要使学生掌握物理实验的基本知识,更重要的是通过从事科学实验的基本训练来培养学生的科学实验能力和科学实验素质。为达到物理实验课程的目的,完成物理实验课程的任务,学生必须主动地、积极地、创造性地去学习,有意识地培养和锻炼自己。实验课不同于理论课,也不同于实习课,它既有极强的理论性,更有极强的实践性。作为对学生系统地进行科学实验能力训练的开端,要学好这门课程,不但要花气力、下功夫,而且要有一定的学习方法。

怎样才能真正上好物理实验课呢?

第一,注意掌握基本的实验方法和测量技术

基本的实验方法和测量技术不仅会经常用到,而且也是复杂实验和测量的基础。学习时不仅要弄清它的原理、适用条件、优点和缺点,而且要通过实验实践,逐步熟悉和记牢,逐渐达到得心应手,运用自如。对分散在每一个实验中的具有普遍意义的实验方法、测量技术和巧妙构思,要联系起来、举一反三、反复研究、认真思考、不断总结,才能融汇贯通,留下深刻印象。

第二,注意培养观察能力

观察是实验者通过自身的感觉器官或它们的延伸物——仪器来获得研究对象的信息的一种方法,是在相应的实验条件下为一定的实验任务而进行的有计划的知觉过程。

所有的物理规律都是通过相应的现象表现出来的,物理实验就是通过对这些现象的观察和测量来认识它们的。因此,实验的过程离不开观察,观察是实验的基础。通过观察所获得的

信息越全面、越本质,对物理实验所呈现规律的认识就越正确、越深刻。观察是认识客观规律的重要途径。

培养学生的观察能力,就是要通过一定的训练,使学生学会从物理过程中去发觉和捕捉研究对象的各种特征,善于全面、深入、正确地认识这些特征。物理实验区别于一般性实用测量的显著特点是它的直观性,即能较好地显示物理过程。学生既要观察过程的定性规律,又要观测过程中各物理量之间的定量关系,既要观测过程的精细结构,又要观察过程的总体趋向,必要时还要创造各种理想化条件,观测各种因素对实验过程的影响。

对实验过程的观察,不限于知觉,应当同积极的思维相结合。实验过程中会出现各种各样现象,要充分利用感官和大脑思维去观察、试探、估量物理现象是否预期出现,仪器的工作状态是否正常,仪器显示的物理信息是否受到干扰,观察到的物理现象是正常还是“反常”……,要抓住其中的关键,以实验原理为指导,以实验事实为依据,对观察到的现象进行分析、思考、保留或舍弃,必要时还须重复观察实验过程。

有效的观察还需有明确而具体的观察目的和关于所观察对象的预备知识。因此,要提高观察能力,必须做好预习,掌握实验过程,明确观察对象、观察目的和观察任务。

培养观察能力的训练还具体表现在合理地发挥观测仪器的功能,在仪器精度范围内充分有效地观察和捕捉物理现象,测准物理信息。

总之,学会观察、善于观察甚至多方位观察,是物理实验过程对学生能力培养的重要方面。只有在实验课的每个环节中,养成观察的习惯,才能领悟观察的方法,逐步提高实验观察能力。

第三,注意提高科学分析的能力

分析是科学思维的基本过程和方法,能使在实验过程中由观察得到的现象和信息所反映的本质及其变化规律得以显现和总结。分析能力是实验者最重要、最基本的素质。

在物理实验中可以通过对实验过程中的正常和“反常”现象的分析、测试故障的分析、仪器的分析、测试环境影响的分析、误差分析和测量结果的分析等,来培养学生的分析和综合能力。

例如,实验最后一般都要获取数据结果,数据是否正确靠什么去判断,数据的好坏说明什么问题,实验结果是否可信,这些问题要靠分析思考才能作出综合判断,即必须分析实验方法是否正确,实验条件是否满足,仪器的精度和使用是否配合得当,实验环境有多大影响以及上述各种因素可能带来的误差大小,等等。

实际上,任何理论都是在一定基础上的抽象或简化,而客观现实和实验所处的环境条件要复杂得多,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,应通过分析找出其中的原因。千万不可认为,实验就是按教材所列举步骤的机械操作,其目的只是为了做出标准的实验数据。往往有些学生,当实验数据和理论计算一致时,就心满意足,简单地认为自己已经学好了这个实验;一旦实验数据和理论计算差别较大时,又感到失望,抱怨仪器装置,甚至拼凑数据。这两种缺乏科学分析的表现都是不对的。

在科学实验的历史上曾经出现过这种情况,即实验结果与原有的理论或习惯认识不一致,而通过分析和综合肯定了实验结果在测量误差范围之外,这时,实验者可能已经打开了通向科学发现的一扇大门。例如,1894 年英国物理学家瑞利(T .B .Rayleigh)测定空气中氮气(N_2)的密度为 ρ = 1 .2565g/ l,而他从分解氨气(NH_3)得到的氮气的密度为 ρ = 1 .2507g/ l,两者的测量值在第四位有效数字上发生了差异。经过实验分析,他肯定两者的差异超出了实验的测量误差范围(他当时认为空气中除了氧以外都是氮),后来进一步的研究,导致了空气中氩气的发

现。现代量子电动力学的建立过程也有这样的例子:在进行电子磁矩的测量时,发现测量结果与狄拉克方程给出的理论值差千分之一,通过综合分析,确信了这不是测量误差,于是导致了量子电动力学的建立。

由此可见,科学分析在物理实验过程中的极端重要性。简单的实验结果,哪怕与理论值十分接近,甚至于完全相符,也不能替代对实验的科学分析。当然,在我们物理实验的课堂上,上述科学发现的几率也许非常之小,但是,在实验课程中对科学分析能力的培养将使学生终生受益。

第四,注意掌握每次实验的重点

实验是在理论指导下手脑并用的一项实际工作。从某种意义上来说,实验课所面临的问题要比理论课更加丰富多彩、复杂而具体,除了需要重点学习的内容之外,总会遇到许多零碎的问题,甚至要去完成一些枝节的工作。这些工作固然也需要学习,需要做好,但要想在一次有限的实验学时内把它们完全搞清楚,也是不可能的。应当根据实验目的,抓住关键性的重要问题首先解决,对某些零散的枝节性问题可以滞后一步解决,以集中精力,提高学习效率。

第五,注意培养良好的实验习惯

良好的实验习惯是经过重复或练习而巩固下来的并变成自身需要的科学行动方式。它对保证实验的正常进行,确保实验中的安全,保护实验仪器的正常运作,防止差错的发生将产生潜在的影响或直接的作用。良好的实验习惯是科学工作者文化修养和综合素质的反映和体现。因此,培养良好的实验习惯应该是学生从事科学实验基本训练开端和基础的物理实验课程的一个重要任务。

怎样培养良好的实验习惯呢?

良好的实验习惯是和严肃认真、一丝不苟的作风紧密相连的,需要从一件件十分具体的“小事”做起。例如,要养成做每个实验之前,先了解一下该实验全貌的习惯;要养成使用任何一种仪器之前,先了解它的精度、量程以及先调整或校正,然后再使用的习惯;要养成在实验记录中尊重实验事实的习惯;要养成在实验报告中记录实验日期和环境条件的习惯;要养成科学摆放实验仪器的习惯;要养成在放置较重仪器时,先部分放下再全部放下,在搬动轻巧仪器时,左手托、右手档的双手配合习惯;要养成安全用电的习惯;要养成使用电学仪器时,先开启总电源开关,再开启仪器开关,使用完毕后先关闭仪器开关,再关闭总电源开关的习惯;要养成对某些仪器短路保护的习惯;要养成不用手直接触摸光学元件工作面的习惯;要养成保持实验环境清洁整齐以及遵守实验室规则、保护实验设备、节约实验材料的习惯等。

千万不要认为,良好的实验习惯仅仅是区区小事而不必重视。不良的实验习惯一旦形成,将很难改正,还会对今后的科学工作产生潜在危害,甚至会造成重大损失。

对于一个孤立的单个实验来说,良好的实验习惯往往因很细小、太简单、易明白、好掌握而被初学者所忽视。其实,良好实验习惯的养成并非是一件简单的事情,进行实验的目的性、顽强性、果断性和自制性这些具有意志特征的优良品质以及抓住某些特异现象不放的强烈好奇心和求知欲,是良好实验习惯的最高境界。

良好的实验习惯是综合素质的重要组成部分,需要经过很多实验的总结、反思、回顾和实验中的不断磨练才能形成,当你形成了稳定的良好实验习惯之后,你的科学实验素养就会在不知不觉中进入到一个更高的层次。

物理实验是理论与实践相结合,实验方法与科学思维相结合,课上与课下相结合的一门独

立课程,它包括实验方法、实验条件、仪器装置、实验设计、操作测量、数据处理以及实验分析等诸多方面,每一个方面都有其自身的特点和规律,并形成许多实验思想。要学习好物理实验决不是一件轻而易举的事情,必须在掌握基本知识、基本技能和基本方法的训练中,在动手能力、观察能力、分析能力和表达能力的培养中,在养成良好实验习惯的磨练中以及在感悟和体验物理实验的文化内涵和智慧魅力中把自己逐渐培养成懂理论、能动手、善思维、具有较高科学素质的高级工程技术人才。

需要全本请访问 www.ertongbook.com