



普通高等教育“十二五”规划教材

物理实验

主编 吴俊林



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

物 理 实 验

主 编 吴俊林

副主编 刘志存 华冰鑫

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十二五”规划教材,是在陕西国际商贸学院及多所高等院校十余年来物理实验教学改革与研究成果的基础上,吸纳了近年来物理实验教学改革与研究的主流成果编写而成的.本书注重教学实验和科学研究实验融合,并注重基础物理实验和应用相结合.本书将学生探索获取知识的能力、创新意识、独立评判能力以及解决实际问题的科学研究能力和可持续发展能力的培养渗透在物理实验教学的各个环节,具有鲜明的特色.全书共6章,包括基础实验19个,综合提高实验12个,设计性实验12个,共43个实验.

本书可作为高等综合类院校非物理专业物理实验课教材,也可作为高等院校理工科类大学物理实验课程教材,并适合不同层次的教学需要.

图书在版编目(CIP)数据

物理实验/吴俊林主编. —北京:科学出版社,2015.9

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-045599-4

I. ①物… II. ①吴… 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(2015)第206327号

责任编辑:窦京涛 / 责任校对:彭 涛

责任印制:霍 兵 / 封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年9月第一次印刷 印张:19

字数:450 000

定价:41.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

纵观物理学的发展过程,始终是人类先进生产力的开拓者,物理学的广泛应用从根本上改变了人类的生产方式、生活方式和人类文明;物理学的发展历程,又始终是先进文化的创造者,它的无穷魅力始终激励一批科学家,在物理学的前沿进行执著的追求.因此对人类的思维方式和世界观的进步作出了多方面的重要贡献.是什么力量推动着物理学的巨轮在 300 多年来一直滚滚向前,物理学的发展带给人类的启示:物理学的发展不断开辟新的先进生产力,在外部受到社会经济需求的大力牵引;它又是人类先进文化的重要组成部分,在内部一直为人类强烈追求对宇宙运动规律的认识所推动.这两种动力都不会停止,在 21 世纪将继续推动物理学向前发展.

物理学的魅力不仅体现在其物化成果可以极大地改变人类的生活,尤其需要指出的是,物理学、特别是近代物理学,彰显出科学给人类带来的智力上的升华.物理学广泛地改变了并继续改变着人们的日常生活.想一想晶体管和激光以及电视机、计算机和光纤连接的互联网,或许会更深刻地领会“物理学革命”的含义.

物理学的性质决定了它是整个自然科学的重要基础,是现代高新技术的主要源泉,也是工程科技的核心基石.物理学的发展不仅在于自身的学科体系内生长和发展出许多新的学科分支,而且它是许多新兴学科、交叉学科和新技术学科的源头和前导,成为推动现代高科技发展和新兴学科诞生的原动力.纵观科学技术的发展史,可以看出每次重大的技术革命都源于物理学的发展.物理学的每一项新突破,都转化为工程技术上的重大变革,继而发展成为新的生产力,推动社会的发展和人类文明进步.物理学对人类文化和文明的发展作出了巨大的贡献,对社会发展和人类生活产生了不可估量的影响.

物理实验是物理学和自然科学的核心基础,物理理论和实验的发展哺育着自然科学和近代高新技术的成长和发展.物理实验的思想、方法、技术和装置常常是自然科学研究和工程技术发展的生长点.现代高新技术的发明和突破无不源于物理实验研究上的重大发现,而高新技术的发展又不断推动着物理实验研究的手段、方法和设备的发展,极大地改变着人类对物质世界认识的深度和广度.物理实验课教学是高等学校理工科开设的一门实践性很强的必修课.它的任务是通过实验过程培养学生发现、分析和解决问题的能力,为从事科学研究打下坚实的基础.物理实验课程曾经为培养 20 世纪的优秀人才作出了卓越的贡献,也必将为培养新时期的高素质创新人才奠定坚实的基础.

本书是作者长期从事物理实验教学改革研究与实践的成果总结.本书试图以“从自然到物理、从物理到实验、从实验到技术、从技术到应用”为脉络,实验所讲述的内容既注重知识的发现发展过程,并适当介绍物理学史和著名人物传记,借以引入方法论的教育和科学精神、人文精神的熏陶,强调物理方法及思维方法的培养,又强调现代科学技术应用背景与物理学原理、物理实验相融合,能够使学生拓宽视野,加深其对物理学基本原理及基础物理实验在工程技术领域前沿作用的理解;在实验内容和教学方面力争营造自由的时空和选择、以兴趣驱动自主探索、独立评判和解决实际问题过程的感悟,以满足能力培养和层次化教学需要,努力做到在个

性化发展中融入创新意识和创新能力的潜在生长;实验内容中加入了“探索创新与拓展迁移”两方面的元素,意在营造氛围、引导学生的兴趣和好奇心,激励需要动机和探索创新的原动力,同时把基础物理实验的物理思想和方法拓展到现代科学技术的前沿应用,缩短了基础与前沿应用、教学与科学研究距离。本书最大限度地营造宽松自由或选择空间,启迪学生独立评判,注重兴趣探索和个性化发展,把科学素养、实践能力和创新能力培养渗透物理实验的全过程,真正做到创新人才培养和风细雨,持之以恒。

悠久的历史、几代人的积淀,大学物理实验教学改革及实验室建设在几代人的辛勤耕耘下,经过多次大的调整、不断改进、更新和扩充、积累经验、反复实践、不断改革完善才达到目前的规模和水平。因而,我们说本书的编写凝聚了多年来所有从事物理实验课教学的教师和实验技术人员的智慧和劳动成果。许多实验都包含有许多同志的贡献,在本书出版之际,谨向他们的无私奉献和辛勤劳动表示衷心感谢!

全书共6章:第一章物理实验概述;第二章物理实验测量误差与数据处理基础知识;第三章物理实验的基本测量方法与操作技能;第四章基础物理实验(19个实验);第五章综合提高物理实验(12个实验);第六章设计性物理实验(12个实验)。本书的编写由吴俊林、刘志存、华冰鑫等共同完成,最后由吴俊林负责全书整理和统稿工作。

本书在编写过程中,征求了许多兄弟院校从事物理实验教学的老师的意见和建议,参考并吸收了他们的有关资料和经验;陕西国际商贸学院对本书的编写和出版给予了极大的支持和鼓励;科学出版社的有关领导和编辑们为本书的出版作出了巨大的贡献。在此表示衷心的感谢!

实验室建设和实验教学改革是一项长期和复杂的系统工程,我们深知本书编写中可能还有许多不完善和需要改进之处,加上编者水平有限,编写时间仓促,书中难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

作者

2015年5月

于陕西国际商贸学院

目 录

前言

第一章 物理实验概述	1
第二章 物理实验测量误差与数据处理基础知识	13
第一节 测量误差的基本知识	13
第二节 测量不确定度和测量结果的表示	34
第三节 物理实验有效数字及其运算规则	38
第四节 物理实验数据处理的常用方法	40
习题	53
第三章 物理实验的基本测量方法与操作技能	56
第一节 物理实验的基本测量方法	56
第二节 物理实验的基本操作技能与操作原则	67
第四章 基础物理实验	72
实验 1 长度和体积测量	72
实验 2 固体和液体密度的测量	80
实验 3 空气密度的测定	88
实验 4 单摆及偶然误差的统计规律	94
实验 5 自由落体运动规律研究	101
实验 6 牛顿第二定律的研究	104
实验 7 弦振动的研究	111
实验 8 用三线摆测定物体的转动惯量	117
实验 9 扭摆法测定物体的转动惯量	121
实验 10 物体比热容的测定	125
实验 11 用落球法测定液体的黏滞系数	129
实验 12 金属线胀系数的测量	136
实验 13 固体导热系数的测量	139
实验 14 模拟法测绘静电场	147
实验 15 用霍尔效应法测量螺线管线圈磁场	150
实验 16 电学元件的伏安特性测量	161
实验 17 薄透镜焦距的测量及成像规律的研究	169
实验 18 分光计的调节及三棱镜折射率的测量	173
实验 19 等厚干涉的应用	181
第五章 综合提高物理实验	187
实验 1 液体表面张力系数的研究	187

实验 2	金属材料杨氏模量测定	196
实验 3	空气、液体及固体介质的声速测量	202
实验 4	电表的改装与校准	210
实验 5	示波器的原理及应用	217
实验 6	霍尔效应及其应用	224
实验 7	多功能电表的设计与校准	228
实验 8	用双棱镜干涉测光波波长	246
实验 9	迈克耳孙干涉仪的调节及光波波长的测定	250
实验 10	光电效应测定普朗克常量	256
实验 11	单缝衍射光强分布及缝宽的测量	262
实验 12	光栅特性研究及光波波长测定	267
第六章	设计性物理实验	271
实验 1	混合物成分测量的实验设计与研究	271
实验 2	弹簧振子运动规律的总结	271
实验 3	液体体胀系数测定的实验设计	273
实验 4	超导磁悬浮原理及应用研究	273
实验 5	热敏电阻温度计的设计与制作	275
实验 6	电容器电容量测量的实验设计	276
实验 7	研究用等厚干涉法测量液体的折射率	277
实验 8	光学材料色散关系的实验研究	277
实验 9	测透明固体的折射率	278
实验 10	用迈克耳孙干涉仪测玻璃片厚度的实验研究	278
实验 11	薄膜介质折射率测定的实验探索	279
实验 12	用声光效应测量液体中的声速	281
实验附表		286

第一章 物理实验概述

科学和技术的发展对于人类生活与社会进步文明发挥着越来越重要的影响. 20 世纪中叶, 电视和通信的发展已无不影响人们的日常生活, 而计算机技术的发展已开始将社会带入信息时代. 科学和技术已成为当今社会最重要的时代特征, 科学研究成为人类社会生活中最受关注的部分.

物理学是科学技术发展的重要基石. 物理学是研究物质运动一般规律及物质基本结构的科学, 是整个自然科学的基础, 也是当代科学技术的主要源泉. 物理学的发展不仅推动了整个自然科学的发展, 而且对人类的物质观、时空观、宇宙观和整个人类文化都产生了极其深刻的影响.

物理学的发展把人类对自然界的认识推进到了前所未有的深度和广度. 在微观领域, 已经深入到基本粒子世界, 并建立起统一描述电磁、弱、强相互作用的模型, 还引起了人们测量观、因果观的深刻变革. 量子力学为描述自然现象提供了一个全新的理论框架, 并成为现代物理学乃至化学、生物学等学科的基础. 在宇观领域, 研究的空间尺度已达到 10^{26} cm, 时间标度已达 10^{27} s 的宇宙纪元; 相对论引起了人们时空观、宇宙观的深刻变革. 在宏观领域, 关于物质存在状态和运动形式的多样性、复杂性的探索, 也取得了突破性的进展. 物理学还与其他学科相互渗透, 产生一系列交叉学科. 物理学的研究领域将继续朝着更小的尺度、更快的时间、更强的相互作用、更复杂的结构体系过渡.

物理学又是当代科学技术发展最主要的原动力, 其理论与实验的发展哺育着近代高新技术的创新和发展, 其思想、方法、技术、手段、仪器设备已经被普遍地应用在各个自然科学领域和技术部门, 常成为自然科学研究和工程技术创新发展的生长点. 纵观科学技术的发展史, 可以看出每次重大的技术革命都源于物理学的发展. 物理学的每一项新突破, 都转化为工程技术上的重大变革, 继而发展成为新的生产力, 推动人类社会的进步和发展. 人们常说的几次工业革命无不与物理学密切相关. 19 世纪, 力学和热学理论的发展, 使人类开创了以蒸汽机为标志的第一次工业革命; 电磁理论的建立, 使人们制造出了发电机、电动机、电话、电报等电器设备, 人类跨进了电气化时代; 电磁波的发现和原子物理学、量子力学导致了半导体材料的研制成功, 诞生了电子技术这门应用学科, 从而使广播、电视、雷达、通信、计算机、网络等事业异军突起, 从此人类进入了信息化时代. 近代物理学的发展, 为半导体、原子能、激光、量子器件的发现奠定了基础, 人类进入了以航天技术、微电子技术、光电子技术、生物技术、计算机及信息技术等高新技术为主要内容的崭新时代. 物理学是当代工程技术的重大支柱, 是许多工程技术(如机械制造、土木建筑、采矿、水利、勘探、电工、无线电、材料、计算机、航空和火箭等)的理论基础.

从本质上讲, 物理学是一门实验科学, 自从伽利略以实验的方法研究物体的运动, 从而为物理学奠定基础之后, 物理学的发展就离不开实验的推动, 在物理学的建立和发展过程中物理实验一直起着十分重要的作用. 从人们认识客观事物的规律来看, 总是先从实验出发, 经过分析和归纳, 上升为理论, 然后再回到实践中去指导实践, 并接受实践的检验. 三四百年前, 伽利

略和牛顿等学者,以科学实验方法研究自然规律,逐渐形成了一门物理科学.从此物理学中每个概念的提出,每个定律的发现,每个理论的建立,都以坚实、严格的实验为基础,并且要经受实验的进一步检验,所以物理实验是物理学的基础.例如,法拉第于1831年在实验室里发现了电磁感应现象,进而得出电磁感应定律和其他几个实验定律.麦克斯韦系统地总结了电磁学的成就,在1864年提出著名的电磁场理论.20多年后,赫兹的电磁波实验又检验和证实了电磁场理论的正确性.麦克斯韦的电磁场理论把电、磁、光三个领域的规律综合在一起,具有划时代的意义.物理学的发展离不开实验的推动,就是在物理学的研究深入到原子、核子、夸克等微观层次并扩展到星系、星系团等宇观层次,实验也总是理论的先导和准绳;即使在理论体系已相当完整的领域,物理学的研究和进展还是离不开实验技术的发展.物理学实验的仪器设备和研究方法还成为其他自然科学发展的必要工具,化学、生物学和材料科学的研究前沿已与物理难以区分,化学物理、分子生物学和纳米材料科学就是例子.物理学实验的仪器和方法也广泛应用于技术领域和日常生活,医学中的X射线、CT、B超、磁共振,信息技术中的计算机、通信设备、光纤,无一不是来源于物理学实验仪器.这些令人感慨的例子,数不胜数,但都说明了物理学及物理实验对人类社会发展的的重要性.

人类改造自然的实践活动有两种:一是生产实践,二是科学实验.所谓科学实验,是人们按照一定的研究目的,借助特定的仪器设备,人为地控制或模拟自然现象,突出主要因素,对自然事物和现象进行精密、反复的观察和测试,探索其内部的规律性.这种对自然有目的、有控制、有组织的探索活动是现代科学技术发展的源泉.原子能、半导体和激光等最新科技成果仅依靠总结生产技术经验是发现不了的,只有在科学家的实验室里才会被发现.现代化的企业为了不断地改进生产过程和创新产品,也十分重视实验研究工作,都有相当规模的研究实验室.因而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起着指导作用.要处理好实验和理论的关系,必须重视科学实验,重视进行科学实验训练的实验课教学.

现代教育理论研究表明:人的创新能力是在实践活动中通过构建知识,获取体验,形成技能,最终发展为能力.物理实验是高等学校学生实践性很强的必修基础课.物理实验教学是以教学形式培养科学技术后备人才的重要途径,在创新人才培养方面起着不可替代的作用.物理学在不断发展,物理实验的技术在不断更新,如何在大学物理实验教学中引入新的教学内容和方法,如何根据教学内容和方法更新改革物理实验课教学模式,使物理实验教学适应创新人才培养的要求,并把学生创新能力、实践应用能力培养渗透物理实验教学的各个环节,是物理实验教学改革及许多从事大学物理实验教学的教师近年来一直在努力探索的课题.作者长期从事大学物理实验教学和教学改革研究工作,在这方面做了大量的探索工作,取得了一些成效,本书就是其中之一.

一、物理实验的基本思想及实验的观点

物理学家们在进行物理学研究时,通常采用下列方法:首先,通过观察与实验认识研究对象的主要特征;接着,凭借理性思维提出假说,设法建立理想模型,运用数学语言对假说进行定量描述;最后,用实验对定量描述的内容加以检验和修正,使假说成为科学结论,从而完成建立物理理论的第一个“循环”.随着研究的深入,可能会出现一些理论解释不了的新问题,需要采用更先进的观察实验手段、数学手段或其他手段进入下一个层次的循环,以达到认识的深入和理论的更趋合理和完善.可见,物理学是以实验为基础的科学,即实验的观点.

1. 物理实验的思想及观点

物理科学研究中的实验,可以是一种探求未知自然的观测活动,也可以是在人为地控制或模拟物理现象,人为创设的、能排除各种干扰、突出主要因素的条件下,利用各种仪器或手段,去观测和研究物理现象的发生及变化规律的活动。

物理学及自然科学研究从通过观察与实验认识研究对象的主要特征开始,经过提出假说建立理想模型,到最后用实验检验和修正建立科学的物理理论。物理学是以实验为基础的科学。在物理学发展中,物理实验方法是物理学家研究物理学的重要方法。

物理学习与研究中实验的观点,其主题思想是:物理概念的建立和物理理论的发展都必须以严格的实验为基础,并经受严格的实验检验,实验是物理学的根基和科学发展的动力。因而物理实验在物理教学和人才培养中发挥着不可替代的作用。

2. 伽利略实验探索的思想和方法

早在古希腊时代,在当时的学术界影响极大的亚里士多德流传下来许多有关自然科学的著作,包括讨论物体在时空中的运动的《物理学》,其中有一些统治人们思想近两千年的错误认识。比如,“物体运动是由于受到力的作用”、“重的物体比轻的物体下落得快”……一系列与今天的物理学理论相悖的结论。

在伽利略之前,亚里士多德的运动理论,特别是落体定律,已经受到不少人的怀疑,他们通过对运动情况的一般观察而得出了基本正确的结论。但真正动摇亚里士多德理论的是伽利略开创性的工作。

意大利科学家伽利略(Galileo, 1564~1642)一生中在天文学和物理学方面均有卓越贡献。这里仅以他提出落体定律和惯性运动概念的经历为例。

为了驳斥亚里士多德关于“重物下落得比轻物快”的错误观点,他曾作如下推理:设想如何把一块重物 and 一块轻物捆在一起,让它们自由下落,按亚里士多德观点,重物下落速度快,轻物下落速度慢,那么两物体捆在一起后,快的重物会被慢的轻物拖慢;相反,慢的轻物将被快的重物拉快,也就是下落速度应介于单独重物和单独轻物两个下落的速度之间。但是,从另一角度看,两物体被捆在一起后,质量变得更大了,也就是下落速度要比两物体中重的那个还要快。可见,同样依据亚里士多德的观点,却得到了相互矛盾的两个结论。

接着,他借助数学分析方法,设计了小球沿斜面滚下的实验。伽利略的斜面是一块长约 45.7cm,宽约 23cm 的木板,中间刻一凹槽,尽可能地磨光。将木板斜放后,让一个光滑黄铜球沿斜面滚下。伽利略基于如下的分析:

将小球放在斜面上,它所受重力 $W = mg$ 有沿斜面的分量, ϕ 为斜面与水平地面的夹角。重力垂直于斜面的分量 F_P 则恰好与斜面对小球的反作用力 F_N 相互抵消。斜面对小球的摩擦力 F_f 使它不滑动,而产生转动,结果小球沿斜面无滑动地滚下来(即纯滚动)。然后他仔细地测定小球滚下来需要的时间 t 及其与距离 S 的关系。他用全程所用时间同滚下一半距离、3/4 距离或任何部分距离所用时间进行比较,发现距离 S 不是与 t 成正比,而是与 t^2 成正比。这就促使他进一步思考速度随时间变化的规律,最终通过实验弄清了加速度 a 的概念,对匀加速运动(a 为常数)且初速度为零时,末速度 $v = at$, 位移 $s = \frac{1}{2}at^2$ 。地球引力(重力)是小球得到加速

度的原因.实验表明,小球加速度与小球质量无关,只与斜面陡度有关,且斜面与地面夹角越大,小球加速度越大.于是,伽利略进一步设想:如果把斜面完全竖立起来,小球的下滚运动就是自由落体.由此,他推出在没有空气阻力时,在同一高度下落时所用时间一样,同时落地.这就是著名的伽利略定律.

后来人们通过伽利略进行研究时留下的手稿,推测:伽利略可能进一步设计了两个斜面的实验,并进行了一些理性的思考.一个小球从左方斜面滚下来,在平面上滚动一段距离后又爬上右方斜面.如果小球做无滑动滚动,但空气阻力不可忽略,则不能到达出发时的高度;如果空气阻力可忽略不计,则可达到相同高度(不管斜面陡度如何).于是,进一步设想:右方斜面与地面的夹角减小到零(即右方斜面不存在),同样可忽略空气阻力,则小球将保持滚到地面时的速度,匀速地在水平面上一直滚下去.为此,伽利略提出惯性运动概念——一个不受外力作用的物体将保持它的匀速运动状态.可见,力不是产生速度的原因,而是产生加速度的原因.

从伽利略开创性研究所体现的思想和方法,我们不难总结出以下几点:

第一,伽利略不满足于定性的思维过程,他提出了用实验来验证理论的思想,而且把实验与数学结合起来,使研究精确量化.

第二,实验探索过程中,不断改变实验的测量条件使其易于观察、测量,凭借理性思维提出假说,设法建立理想模型.

第三,思辨中,可以有意识地抛开一些次要因素,设想实验在理想的条件下进行,即排除实验中的次要因素,创造理想化的物理条件——突出重点,认识事物本质.这种理想实验方法的提出,在以后的科学研究中起了非常重要的作用.

第四,利用简单的仪器设备,并开创性地使实验、观察与理性思维相结合,发现非常基本、重要的科学概念,使实验结果上升到普遍的理论高度.

第五,将实验探索与理论结合起来,在实验的基础上演绎、推理,得出超越实验本身更普遍的理论.即把实验结果上升到理论高度,形成了一套完整的科学研究方法.

这使我们理解,为什么爱因斯坦要说“伽利略的发现以及他所用的科学推理方法是人类思想史上最伟大的成就之一,而且标志着物理学的真正开端”.也使我们理解,为什么时至2002年,伽利略的斜面实验还被英国著名的《物理学世界》杂志评为历史上“最美丽”的十大实验之一.

二、物理实验方法的特点及其在科学研究中的作用

1. 科学实验是科学发展的源泉、动力和检验标准

实验是从生产实践中分化出来的,是在理性指导下的一种感性活动.由于它的有目的性和人为控制性,即依研究的目的,利用仪器、设备,人为地排除一些干扰,控制一些条件的变化,突出了主要因素,因此能够抓住事物的一些本质特征.从过程和目的上讲,实验属于社会实践的一种基本形式.

物理实验作为一种科学研究的方法,有其重要的特点.

1) 物理实验可以纯化研究对象

任何自然现象或生产过程,都有多种多样的功能和属性,它们彼此联系着;同时自然现象或生产过程又同周围环境互相作用、互相影响.在这种状态下,单靠笼统的直观不能认识事物

的规律.为此,通过特制的仪器设备,将对象置于一个特殊的环境,让对象的某些功能或属性在简化了的、纯粹的形态下暴露出来,从而准确地认识它,这是纯化研究对象.

例如,1799年,英国物理学家亨弗利·戴维(Humphrey Davy,1778~1829)做了一个实验:他在真空中用一只钟表机件使两块冰互相摩擦,并把整个实验仪器都保持在水的冰点,这样就排除了实验物和周围环境的热交换,使实验在纯粹的摩擦条件下进行,结果冰融化了,证明融化冰所需的热只能来源于摩擦,从而给所谓“物体中存在一种没有重量的热素,由它引起物体温度变化”的“热素说”以致命打击,为热的分子运动论的发展扫除了障碍.这充分表明,用实验手段纯化对象,是导致科学发现的重要途径.

2)物理实验可以强化研究对象,能够保证在各种特殊条件下进行研究,从而导致新发现

由于许多事物的本质及其运动规律要在非常特殊条件下才能暴露出来而为人们所认识,但这样的条件在自然状态中却难以控制,在生产过程中也难以实现,只有在实验中才能创造出来.因此,用各种实验手段来强化研究对象,在科学研究中就具有相当普遍的意义.

例如,1931年范德格拉夫发明了静电加速器,接着又出现了回旋加速器,从而获得加速中子、氘核这些用以轰击原子核的“炮弹”,这就给实验创造了特殊条件,使人造元素的设想得以实现.为了强化研究对象,人们设法制造超高压、高真空、超低温、高能量等实验环境,使实验获得在自然状态或生产过程中不可能获得的许多重大发现.

又例如,1911年荷兰物理学家卡末林·昂尼斯,在接近热力学零度的实验中发现水银失去了电阻,从而引起了超导体及其性能的研究.事实表明,科学实验可以强化对象,从而保证在各种特殊条件下进行研究,并可能导致新的发现.

由于科学实验可以纯化、强化研究对象,它就能深入到事物的内部去获得反映事物本质规律的科学事实和数据,探究其中的普遍联系.因此,科学实验是建立科学规律的基本手段和最重要的方法.同样,由于科学实验可以纯化、强化研究对象,我们可以在特定的条件下准确测定物质常数,建立量纲协调的基本常数,因此,实验是检验和协调科学常数、为科学研究提供佐证的重要工作.

3)任何实验中的新发现,都必须能够被其他人的重复实验所证实,才能得到公认,才称得上是真正的新发现

一个学说或理论,如果被科学实验的结果所否定,它就失去了存在的价值.另外,科学发现是通过科学实验而获得的.但是,它不被其他人的重复实验所证实,也不能得到公认.这是因为实验的过程往往存在着多种复杂的因素,仪器设备的局限造成测量精度不够,或者实验者对复杂现象作出的判断有偏差,都可能导致结论的错误.再有,科学实验是一种探索性的活动,不可避免地要遭受多次失败才能获得成功.为此,科学界坚持:任何理论或发现,必须经受科学实验的检验.曾经在科学界盛行“以太说”,即充塞宇宙空间的是一种“以太”物质.1887年,美国科学家迈克耳孙和莫雷通过实验否定了“以太”的存在,从此“以太说”被否定.相反的例子,德国科学家哈恩公布了他的铀核裂变实验发现,美国的一批科学家在实验室中重复这方面的实验,在不到一个月的时间里纷纷得出同样的实验结果,哈恩的核裂变发现得到公认.又如,“磁单极”有关理论可以使麦克斯韦的电磁波方程显得更对称,使现行的电磁学理论显得更完美,但由于“磁单极”迄今为止没有获得科学实验的证实,因此,尽管该理论很诱人,但仍未被科学界所接受.

值得注意的还有:科学发现需要重复进行,而实验也恰好具有便于重复的优点.与生产实

践相比,实验规模小、周期短、花钱少,因而便于重复进行.此外,在实验室研究成果投入到生产中去的过程中,还需要中间实验这样的环节,通过中间实验才能把实验室的研究成果转移到工厂化生产中去.

4) 实验要求周密思考、精心设计

实验的全过程大体上可分为实验课题的选择、实验的设计和实施、对实验数据的分析和从中引出结论、对实验成果的鉴定等阶段.其中,周密思考和精心设计是实验成功与否的关键.正如英国科学家贝弗里奇说的“最有成就的实验家常常是这样的人:他们事先对课题加以周密思考,并将课题分成若干关键的问题,然后精心设计为这些问题提供答案的实验.”

丁肇中实验小组关于强子三喷注的著名实验,就是周密思考、精心设计的典范.其思考过程大致是这样的:由于具有电磁作用的粒子(电子等)可以辐射光子,从而认为层子也可能辐射胶子这一强互相作用力的传递媒介物;又由于正负电子对撞产生强子的实验中发现强子呈双喷注的空间分布,从而认为如果胶子存在,将在高能电子对撞产生强子的实验中看到强子的三喷注现象.经过这样的逻辑推理,再精心设计捕捉三喷注现象的实验方案,并把实验设计方案物化到实验设备中去进行实验.1979年丁肇中小组根据这一实验设计,在西德汉堡高能电子对撞机上进行的实验中发现了三喷注现象,从而取得了胶子存在的实验证据.

为了使实验设计巧妙、完善,人们还借助数学统计方法,把原先的简单对比设计发展到复杂因素的析因设计,引入偶然误差的基本理论和系统误差分析,从而选择最佳实验方案,实现实验设计的最优化.

5) 重视观察实验中的机遇发现

人们进行观察和实验,本来是为了发现某一事实,结果却意外地发现另一种很有意义的事实,从而导致科学技术的新发现,这种意外的发现通常称为机遇.

1895年,德国物理学家伦琴(W. C. Rontgen, 1845~1923)在研究阴极射线管的放电现象时,有一次偶然在旁边放了一包密封在黑色纸包里的照片底片,当他把底片显影时,发现已经曝光了.这一意外的现象引起他的注意.他分析一定有某种射线在起作用,并称它为X射线.经过进一步的实验证实了这一设想,于是他意外地发现了X射线,并将其应用于其他方面的研究,为此他获得了1901年的首次诺贝尔物理学奖.伦琴的这一意外发现宣布了现代物理学时代的到来,使医学发生了革命的变化.在伦琴之前,不少人都曾遇到类似情况,如1879年英国的克鲁克斯、1890年美国的兹皮德和詹宁斯、1892年勒纳德和德国另外的一些物理学家,都曾先后发现在阴极射线管附近的密封照片底片被曝光,但他们有的只是埋怨自己不小心,有的只是对这种“干扰”感到气恼,有的则认为与自己研究的课题无关而不予以深究,因此都失去了发现X射线的机遇.

机遇仅是科学发现的一种因素,只为科学发现提供一种重要线索,并没有解决科学发现的全部问题.能否利用机遇提供的重要线索,从中做出新发现,关键是要善于捕捉机遇,即随时警觉机遇的出现,一旦来临,能够认出它,抓住其中有重大价值的线索不放,追根究底,才有可能从中做出科学发现.这是需要敏锐的洞察力和丰富的学识支撑的.另外,人的识别能力不仅与所具备的科学知识有关,而且和精神状态密切相关.有些科学家学识不可谓不渊博,但因其保守思想或偏见之误,白白放走机遇中有价值的线索.而一些勤于观察实验和勇于探索新问题的新手,往往能有新发现.因此,学理科的人应当记住:机遇青睐的是具备敏锐的识别能力、尝试

新步骤的勇气、勤奋认真工作的态度、坚持不懈与锲而不舍的精神、丰富的学识和熟练的观察实验技能的人。

总之,物理实验中可能的机遇是具有意外性和偶然性的,也就是在观察实验的目的、对象、方式、步骤和场合等方面,具有全部或部分意料之外的性质。正是由于这点,常使人从中获益匪浅,也往往使人误入迷途。因此,怎样正确估计机遇的作用,怎样对待机遇,怎样才能捕捉到机遇等问题,是科学研究中经常遇到的重要问题。

由上述分析,我们说科学实验是科学发展的源泉、动力和检验标准。

2. 物理实验在科学研究中的作用

由上面对物理实验方法的特点的阐述,我们不难归纳出物理实验方法在科学研究中的作用。

1) 发现新事物和探索新规律

经典物理学发展中,伽利略的斜面实验、胡克的弹性实验、玻意耳的空气压缩实验等都为经典力学提供事实,并在此基础上建立了新规律;库仑、欧姆、法拉第等的实验,为库仑定律、欧姆定律、法拉第电磁感应定律的建立奠定基础;光的干涉、衍射、偏振等现象也都是首先在实验中发现的。正是这些实验发现促进了电磁学理论、光学理论的发展。19世纪末20世纪初,在物理学实验中电子、X射线和放射性这三大发现,揭示了经典物理的不足,从而开拓了相对论和量子物理这些新的领域,诞生了现代物理学。

2) 验证理论

实验是检验理论的重要手段。一次单独的实验可以推翻或确证所有可能的论据。麦克斯韦的电磁场理论只有当他预言的电磁波被赫兹的实验证实后才真正成为电磁理论的基础;而与“磁单极”相关的理论,尽管显得很完美,由于“磁单极”迄今尚未被实验所证实,该理论始终不被物理学界所公认。爱因斯坦的光电子假设——光的波粒二象性,直到1916年被密立根的严密的光电效应实验证实后才为人们接受。德布罗意的物质波假说也是在发现电子衍射后才得到肯定;杨振宁、李政道的弱相互作用下宇称不守恒理论也因为吴健雄的实验验证才获得成功。人们在研究中还发现:理论有一定的适用范围,这个范围往往也要由实验在检验理论的过程中确定。

3) 测定常数

物理学中,大量的实验是围绕物质常数(比热、电阻率、折射率等)和基本常数(真空中的光速、基本电荷、普朗克常量等)进行的。人们发现,常数之间的协调是检验物理理论的重要途径,尤其是基本物理常数的协调,不仅是物理学理论也是科学技术的重大问题,而每次协调都是在大量实验和取得众多新的研究成果的基础上做出的。比如,精细结构常数,是物理学中的一个基本常数,它由光速 c 、普朗克常量 h 和电子电量 e 这三个基本物理常数结合而成。最早是德国物理学家索末菲引进了 α ,它代表电子在第一玻尔圆周上的速度 v 与光速 c 之比,称为精细结构常数。康普顿效应显示了电子的波动性,电子经典半径显示了电子的微粒性,有意义的是:后者与前者的比恰好等于 α ,这样 α 把电子的波动性和微粒性这两种尺度联系起来,从本质上揭示了电子的波粒二象性。后来,英国科学家爱丁顿把带电粒子的作用量同辐射作用量联系起来,指出 α 是这两种作用量的自然单位的比, α^{-1} 大约是137。从20世纪30年代发展起来的量子电动力学,其中 α 被定义为电磁相互作用的耦合常数,它表示带电粒子所受电磁场作用力的

大小,这样,精细结构常数所反映的内容从带电粒子之间的相互作用推广到带电粒子和电磁场的相互作用,因此意义就更为广泛了.在近代物理学的研究领域中, α 在量子电动力学理论和实验上发挥了极其重要的作用.而有人预测, α 的物理意义还将随着物理学的深入研究取得进一步的揭示和认识.

4) 推广应用

现代社会的许多技术,如蒸汽机技术、内燃机技术、电工电子技术等,都离不开物理实验.各种发明创造,都是经过大量的科学实验研究才日臻完善的.

让我们回顾物理学家在探索原子和原子核结构方面经历了多少物理实验研究和理论探索,最后才使核物理获得应用的.

1896年,A. H. 贝克勒尔通过实验发现铀的天然放射性;

1897年,J. J. 汤姆孙通过实验发现电子;同年,E. 卢瑟福通过实验检测到 α 、 β 射线;

1900年,P. 维拉德发现 γ 射线;

1902年,居里夫妇通过实验发现更强的天然放射性元素钋和镭;

1905年,爱因斯坦通过理论探索,创立狭义相对论,得到质能公式 $E = mc^2$;

1909年,盖革、马斯登的实验:用 α 粒子轰击原子,发现大偏转角散射;

1911年,卢瑟福分析大角散射,提出原子的有核模型;

1913年,玻尔在实验基础上进行理论探索,建立量子化的原子模型;

1914年,弗兰克-赫兹实验,证明了原子能级的分立性;

1925~1926年,众多物理学家的理论探索,促进了量子力学的建立;

1932年,查德威克实验中发现中子;同年,海森伯、伊万年科等提出原子核的质子-中子模型;

1933年,居里夫妇在实验中发现人工放射性;

1939年,哈恩等在实验室里完成重核裂变;

1941年,费米实现核的链式反应;

1945年,原子弹实验成功;

1952年,氢弹实验成功;

1954年,第一座核电站建立,人类开始步入和平利用原子能时代.

近半个世纪,核电在整个能源中的比例,美国超过30%,欧洲一些国家超过50%,其中法国高达78%.

仅人类利用核能的历程就足以说明:物理实验在推广应用理论与技术上扮演着重要的角色.

三、物理实验课的目的和任务

物理学是实验的科学,实验是物理学的基础.大学物理实验不仅是物理专业学生一门重要的基础课程,也是培养大学所有理工科学生,甚至文科学生科学素质的一门重要的基础课程.因为物理实验既可以培养学生基本实验技能与动手能力,使其了解现代科学技术的应用,也可以培养学生的科学思维、创新能力、严谨的科学作风和坚韧不拔的科学精神及人文素养.因此,物理实验的教育对于培养高层次、高素质的创新人才和其他管理人才都是十分必要的.

大学物理实验课是一门独立设置的实践性很强的必修基础课程,它和理论课具有同等重

要的地位. 实验研究有自己的一套理论、方法和技能. 本课程的学习使学生了解科学实验的主要过程与基本方法, 为今后的学习和工作奠定基础. 本课程以基本物理量的测量方法、基本物理现象的观察和物理思想研究、常用测量仪器的结构原理和使用方法为主要内容进行教学, 对学生的基本实验能力、分析能力、表达能力和综合运用设计能力进行严格的培养. 本课程是对理工科学生进行科学实验基本训练的一门必修基础课, 是学生进入大学后在科学实验思想、方法、技能等方面, 接受较为系统、严格训练的开端, 是学生进行自主学习、培养创新意识、为后续课程及科学研究打好基础的第一步. 基本实验能力是科学研究的基本功, 只有具备熟练扎实的实验基础知识、方法和技能, 才有可能在科学研究中作出成绩. 本书各个层次的实验题目和内容都经过了精心设计和安排, 不仅可以使学生在理论和实验两方面融会贯通, 更重要的是在培养学生的基本科学实验能力、科学世界观和良好素质等方面具有特殊的不可替代的作用.

开设物理实验课的目的简单说来有以下三点:

(1) 学习物理实验的基本知识、基本方法和基本技能. 包括学习使用各种测量仪器, 学习各种物理量的测量方法, 观察分析各种实验现象, 还要学习测量误差的理论知识, 学会正确地记录和处理数据, 正确地表达实验结果, 对实验结果进行正确的分析评价等, 为以后的科学研究工作或其他科学技术工作打下良好的实验基础.

(2) 逐步培养严肃认真、实事求是的科学态度和工作作风, 养成良好的实验习惯. 科学是实实在在的学问, 来不得半点虚假和马虎. 良好的实验习惯是做好实验的重要条件, 一旦形成不好的习惯, 以后就很难改正. 要在每次实验中有意识地锻炼自己.

(3) 通过实际的观察和测量, 加深对物理理论知识的理解和掌握, 同时激发学生对学习物理科学的兴趣.

物理实验课程的具体任务是:

(1) 通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量, 学习物理实验知识, 加深对物理学原理的理解.

(2) 培养与提高学生的科学实验能力. 包括:

① 自学能力: 能够自行阅读实验教材和资料, 能正确理解原理, 做好实验前的准备;

② 实践能力: 能够借助教材或仪器的说明书, 正确使用常用仪器, 完成实验操作;

③ 思维判断能力: 能够运用物理学理论对实验现象进行初步分析, 作出判断;

④ 表达书写能力: 能够正确记录和处理实验数据, 绘制图线, 说明实验结果, 撰写合格的实验报告;

⑤ 简单的设计能力: 能够完成综合提高实验和设计性实验;

⑥ 创新能力: 能够举一反三, 灵活运用, 有所创新.

(3) 培养与提高学生的科学实验素质. 要求学生具有理论联系实际和实事求是的科学作风, 严肃认真的科学态度, 主动研究的探索精神, 遵守纪律、团结协作和爱护公共财物的优良品德.

四、物理实验课的三个环节

物理实验课是学生在教师指导下独立进行实验的一种实践活动, 无论实验内容的要求或研究的对象如何不同, 无论采用什么方法, 其基本程序大致相同, 一般都有三个基本环节.

1. 实验课前预习

物理实验课不同于理论课,做实验前一定要认真预习,预习的好坏直接影响实验的成败,因此,预习是做好实验的基础.预习时首先要仔细阅读教材的有关章节及实验,不能只将实验内容通读一遍,关键是要理解其意,明确实验的目的要求,弄清实验所依据的原理和采用的方法,初步了解所用量具、仪器、装置的主要性能及使用方法,明白如何进行操作,要测量哪些数据,要注意哪些事项.对一时弄不清楚的问题,应做出记录,以便在实验过程中加以注意,通过实验来解决.

阅读教材后要在规定的实验报告本或报告纸上写出简明扼要的预习报告,设计并画好记录原始数据的表格.上课时,教师将通过不同的方式检查预习情况,并作为评定课内成绩的一项内容.对于没有预习的学生,不允许做本次实验.

2. 实验观测

实验课内操作是实验课的关键环节,是学习科学实验知识,培养实验技能,完成实验任务的主要过程.进入实验室要遵守实验室规则.实验前应首先清点量具、仪器及有关器材是否完备,然后根据实验内容和测量方法进行合理布局,对量具、仪器进行调整或按电路、光路图进行连接,并清楚了解所用仪器的性能、使用方法,牢记注意事项.实验前如有必要应请指导教师检查.实验开始,如果条件允许,可先粗略定性地观察一下实验的全过程,了解数据分布情况,有无异常现象.如果正常就可以从头按步骤进行实验测试.实验过程中如出现异常情况,应立即中止实验,以防损坏仪器,并认真思考,分析原因,力求自己动手寻找、排除故障,当然也可与指导教师讨论解决.通过实验学习,探索和研究解决问题的方法.

物理实验过程中要仔细观察实验现象,手脑并用,边做实验边思考,做到认真测量、如实记录原始数据.实验完毕,原始数据记录经教师检查后,方能整理仪器,离开实验室.

3. 实验报告撰写

实验报告是实验完成后的书面总结,是把感性认识转化为理性认识的过程,是培养表达能力的主要环节.首先应该完整地分析一下整个实验过程:实验依据的理论和物理规律是什么;通过计算、作图等数据处理,得到什么实验结果,有的还要进行科学合理的误差或不确定度估算;有哪些提高;存在什么问题.应该注意的是,写实验报告不要盲目地抄教材.因为实验教材是供做实验的人阅读的,是用来指导其做实验的.实验报告则是向别人报告实验的原理、方法,使用的仪器,测得的数据,供别人评价自己的实验结果的.认真书写实验报告,不仅可以提高自己撰写科研报告和科学论文的水平,而且可以提高组织材料、语句表达、文字修饰的写作能力,这是其他理论课程无法替代的.

物理实验报告一般包括以下几项内容.

实验名称;

实验目的(或要求);

实验仪器用具.

实验原理 简要叙述实验的物理思想和所依据的物理规律、主要计算公式,电学和光学实验应画出相应的电路图和光路图.