

海军重点建设教材

大学物理实验 上册

University Physics Experiments

主 编 陈 聪

副主编 杨绍华 杨海彬 张景卓

高等教育出版社

海军重点建设教材

大学物理实验

Daxue Wuli Shiyan

(上册)

主编 陈聪

副主编 杨绍华 杨海彬 张景卓

高等教育出版社·北京

内容提要

本书根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会编制的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010年)和总参军训和兵总部下发的《军队院校本科大学物理实验课程教学基本要求》编写而成,并得到了海军教材重点建设立项的支持。

本书体系采用模块化设计,分上下两册,系统介绍了实验方法、数据处理、误差分析等相关基础知识,分层次精选了演示实验40项、预修实验5项、基本型实验12项、综合型实验28项及研究型实验12项。实验内容层次化展开,在必做实验内容之外设置了一定量的选做实验内容,以满足因材施教的教学要求。每个实验后都设有相关的思考题,并特别在演示实验中提供了大量思考与探究问题,以激发学生探索自然奥秘的热情和学习物理课程的兴趣。实验项目的选择贴近军事工程应用,强化了数字化测量和计算机技术在物理实验教学中的应用,适当引入了光电、传感、激光等现代物理技术。本书还包含大量的实验教学信息资源,通过扫描书中二维码即可获得相关实验的教学视频及课件,有利于学生的自主学习和自主实验。

本书可作为理工科学校非物理类专业大学物理实验课程的教材,可为物理实验课程教学提供教辅资源,也可为其他相关专业实验课程提供方法指导和技术支持,还可为一般工程技术人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验.上册 / 陈聪主编.--北京:高等教育出版社,2017.2
ISBN 978-7-04-047102-1

I. ①大… II. ①陈… 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(2017)第 000186 号

策划编辑 程福平 责任编辑 程福平 封面设计 张志 版式设计 王艳红
插图绘制 杜晓丹 责任校对 陈杨 责任印制 尤静

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	北京明月印务有限责任公司		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	22.5		
字 数	600 千字	版 次	2017 年 2 月第 1 版
购书热线	010-58581118	印 次	2017 年 2 月第 1 次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	39.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 47102-00

前 言

大学物理实验是一门独立设置的必修基础课程,具有独立、完整的教学内容体系,旨在通过物理实验的系统训练,让理工科学生掌握科学实验的基本理论、方法和技能,培养他们在现代测试技术条件下进行科学实验的综合素质和能力。本书是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会编制的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010年版)和总参军训与兵总部下发的《军队院校本科大学物理实验课程教学基本要求》编写的大学物理实验课程教学用书。

全书分上、下册。上册共五篇。第一篇为实验基础理论部分,主要介绍物理实验的地位、作用及教学要求;物理量的基本测量方法;物理实验中基本仪器的使用及维护;实验数据的处理方法及误差理论等。第二篇包含40项演示实验项目,第三、第四、第五篇分别由5项预修实验、12项基本型实验及8项综合型实验构成。下册共两篇,分别包括20项综合型实验及12项研究型实验。

本书凝聚了海军工程大学应用物理系几代人的集体智慧,融入了多年来实验课程教学改革的实践经验,是一系列教改成果的集中体现。本书主要有以下几个特点:

1. 内容体系采用模块化设计

本书在编写过程中,注重贯彻课程教学基本要求,遵循基础性与创新性兼顾的原则,突出实验技能训练,强化能力培养和素质提升。在保留基本物理实验项目的同时,增添了演示实验部分,补充了一些综合型、研究型新实验及近代物理实验,并将实验项目划分为演示实验、预修实验、基本型实验、综合型实验及研究型实验五个模块,打破了以前力学、热学、声学、光学、电学实验的编排体系,便于实验教学组织实施。

2. 实验内容层次化展开

本书按照因材施教的教育理念对实验内容进行恰当延伸和拓展,把实验内容分为必做和选做两个部分,层次化的设计使学生在达到基本要求以后,还可以根据自己的兴趣和能力继续深入。每个实验后面精选了一定量的思考题,启发学生分析讨论。特别是演示实验所附的大量的思考与探究内容,更能加深学生对物理现象的理解、激发探索自然奥秘的热情。另外还采用附录的方式,将相关的知识进行链接,以拓宽学生的知识面、提高对实验的认识。有关测量误差分析和数据处理的要求,贯穿于本书的始终。教学内容层次化展开,由浅而深,由易到难,为因材施教奠定基础。

3. 项目选择贴近军事工程应用

结合军事院校人才培养目标要求,本书还特别注意实验内容与工程技术、军事应用的衔接。恰当引入光电、传感、激光等现代物理技术,大量应用热、声、光、电、磁等传感器;强调数字化测量和计算机技术在物理实验中的应用,增加计算机数据采集和处理的实验内容。特别增加了与动力机械原理有关的热机和热传导实验、与海洋特性有关的水中声速测量实验、与消磁技术有关的

亥姆霍兹线圈磁场测量和磁化曲线测绘实验、与目标探测有关的超声定位和红外扫描成像实验、与先进武器系统有关的微波和电磁炮实验等。项目内容选择贴近军事工程应用,利于军事人才培养。

4. 教材配套信息资源丰富

本书将先进的信息技术引入传统的纸质教材编写中,构建纸质教材与信息资源融为一体的新形态教材。通过增设二维码,将长期建设积累的信息资源成果(如教学视频、课件、动画等)与主教材相链接。学生通过扫描二维码,即可获得所需的教学辅助资源,极大地方便了学员的自主学习和自主实验,有力地提高了物理实验教学的信息化水平。

本书由陈聪担任主编,负责全书结构设计,杨绍华、杨海彬、张景卓担任上册副主编,王建中、蒋治国、樊洋担任下册副主编。其中,陈聪负责编写上册第一、第二篇全部文字内容,并负责在2007年国防工业出版社出版的《大学物理实验》(陈聪主编)一书的基础上对上册第三、第四、第五篇全部内容、下册第一篇中的实验3、5—18以及下册第二篇中的实验5进行全面修订;杨绍华负责编写下册第一篇中的实验2、4、19以及第二篇中的实验1;张景卓负责编写下册第二篇中的实验3、8、11;王建中负责编写下册第一篇中的实验1和第二篇中的实验12;蒋治国负责编写下册第二篇中的实验9、10;樊洋负责编写下册第二篇中的实验4、7;谭浩负责编写下册第二篇中的实验2、6;姚琨负责编写下册第一篇中的实验20。杨绍华、杨海彬、张景卓、王建中、樊洋、蒋治国参与了部分文字修订工作。另外,本书还包含大量信息资源,其中演示实验视频和课件全部由杨海彬、李娟完成,夏千千参与了视频制作;其他实验视频及课件由陈聪、杨绍华、杨海彬、张景卓、李娟、熊杰、王枫、蒋治国制作完成;项祥章负责全部实验设备保障工作。书中部分插图由兰州理工大学汪可馨完成。全书由陈聪负责统稿和定稿。

本书获批海军教材重点建设立项,编写过程中得到了海军工程大学训练部的大力支持,得到了理学院及应用物理系领导和老师的关心和帮助,在此表示衷心感谢!同时本书也凝集了很多未能直接参加教材编写的老师多年的劳动和奉献,吸收了广大实验教学工作者教学改革的经验 and 做法,参阅了许多兄弟院校的相关教材和仪器开发技术人员提供的技术资料,在此也一并表示感谢!

由于编者水平有限,实践经验不足,书中难免存在疏漏,恳请读者批评指正,提出宝贵意见和建议。

编 者

2016年10月

目 录

第一篇 绪 论

第 1 章 “大学物理实验”课程教学目标和要求	2
第 2 章 物理量的基本测量方法	7
第 3 章 基本仪器的使用和维护	12
第 1 节 力学基本仪器	12
第 2 节 电磁学基本仪器	20
第 3 节 光学基本仪器及元器件	28
第 4 节 热学基本仪器	34
第 4 章 实验数据的处理	38
第 1 节 测量与误差	38
第 2 节 系统误差的分析和处理	42
第 3 节 偶然误差的分析和估算	45
第 4 节 测量不确定度的评定	50
第 5 节 有效数字及其运算规律	55
第 6 节 数据处理的基本方法	60
第 7 节 用计算机处理实验数据	64

第二篇 演 示 实 验

实验 2-1 辉光球	73
实验 2-2 巴克豪森效应	74
实验 2-3 避雷针	75
实验 2-4 磁混沌摆	76
实验 2-5 磁悬浮地球仪	77
实验 2-6 阿基米德螺旋	78
实验 2-7 激光琴	79
实验 2-8 手触电池	80
实验 2-9 雅各布天梯	82
实验 2-10 鱼洗	83
实验 2-11 锥体上滚	84
实验 2-12 普氏摆	85
实验 2-13 声波可见	86
实验 2-14 弹性碰撞	87

实验 2-15	龙卷风	88
实验 2-16	赫兹振荡器	89
实验 2-17	声聚焦	91
实验 2-18	质心运动	92
实验 2-19	伽尔顿板	93
实验 2-20	导轨滚柱	94
实验 2-21	弹簧中的纵波和驻波	95
实验 2-22	电磁驱动	97
实验 2-23	弹簧片受迫振动与共振	98
实验 2-24	单向旋转磁场	99
实验 2-25	涡流热效应	100
实验 2-26	激光振动合成	101
实验 2-27	记忆合金花	102
实验 2-28	阻尼摆和非阻尼摆	104
实验 2-29	跳环式楞次定律演示	105
实验 2-30	维氏起电机	106
实验 2-31	尖端放电	107
实验 2-32	静电摆球与静电跳球	109
实验 2-33	散射光干涉	110
实验 2-34	流线演示	111
实验 2-35	弦驻波	112
实验 2-36	静电除尘	113
实验 2-37	气体速率分布	114
实验 2-38	对比式楞次定律演示	116
实验 2-39	电介质对电容的影响	117
实验 2-40	滴水自激感应起电	118

第三篇 预修实验

实验 3-1	固体密度的测量	122
实验 3-2	气垫导轨上的一维运动	124
实验 3-3	热电偶的定标和测温	133
实验 3-4	薄透镜焦距的测量	138
实验 3-5	电阻的伏安特性测量	144

第四篇 基本型实验

实验 4-1	转动惯量的测量	150
实验 4-2	杨氏模量的测量	159
实验 4-3	落球法测量液体的黏度	170

实验 4-4	液体表面张力系数的测量	174
实验 4-5	空气 γ 值的测量	180
实验 4-6	材料导热系数的测量	183
实验 4-7	用惠斯通电桥测电阻	192
实验 4-8	补偿法测电动势	202
实验 4-9	模拟示波器的使用	207
实验 4-10	非平衡直流电桥的原理与应用	227
实验 4-11	光的偏振	238
实验 4-12	分光计的调整和三棱镜折射率的测量	246

第五篇 综合型实验

实验 5-1	波尔共振	258
实验 5-2	空气热机实验	267
实验 5-3	电子和场	277
实验 5-4	连续信号和瞬态信号的测量	289
实验 5-5	交流电路的综合特性研究	301
实验 5-6	计算机数据采集实验	315
实验 5-7	电表改装与校准	327
实验 5-8	霍耳元件的特性研究	335

附录	345
附表一 常用物理常量表	345
附表二 计量单位	346
附表三 常用函数误差计算公式	348
附表四 标准大气压下不同温度时水的密度	349
附表五 常见材料的各向同性杨氏模量	350
附表六 声速表	350

参考文献	351
------------	-----

第一篇 绪 论

物理实验课是高等学校对学生进行科学实验基本训练的必修基础课程,是学生接受系统实验方法和实验技能训练的开端.课程内容覆盖面广,涉及的实验思想、方法和手段丰富又独特,同时能提供综合性很强的实验技能训练,因此是培养学生科学实验能力、提高学生科学素养的重要基础课程.物理实验课在培养学生严谨的科学态度、活跃的创新意识、理论联系实际和适应科技发展的综合能力等方面,具有其他课程不可替代的作用.

本篇共分4章.

第1章介绍物理实验的地位、作用及“大学物理实验”课程的教学环节和教学要求;

第2章介绍物理量的基本测量方法;

第3章介绍物理实验中基本仪器的使用及维护;

第4章介绍实验数据的处理方法及误差理论的基本内容.

本篇集中介绍开展物理实验必备的基础知识,为学生科学有效地完成课程学习提供指导和帮助.

第 1 章 “大学物理实验”课程教学目标和要求

物理学是研究物质的基本结构、基本运动形式、相互作用及相互转化规律的自然科学,它的基本理论渗透在自然科学的各个领域,应用于生产技术的各个方面,是其他自然科学和工程技术的基础.纵观物理学发展历史,可以清楚地看出,物理学的理论来源于实验最终又必须由实验来验证,因此物理学是一门实验科学.离开了实验,物理理论就会成为“无源之水,无本之木”,不可能得到发展.

420 多年以前,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自然现象的观察和总结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.力学中的许多基本规律,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,是从库仑发明精巧的扭秤并用来测量电荷之间的相互作用力开始的.

.....

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,而物理规律的正确性又要靠实验来证明.

近代物理的发展也起源于实验.从所谓的“两朵乌云”和“三大发现”开始,量子理论和相对论逐步建立.“物理学晴朗的天空中飘来两朵乌云……”指的是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耳孙-莫雷实验;“三大发现”是指在实验室中发现了 X 射线、放射性和电子.

在 19 世纪以前,可以说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、麦克斯韦等,都亲自从事实验工作.牛顿曾在 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验所证明;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.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结果;他当初提出的相对论是以“光速不变”的假设为基础的,正是在经过长期大量的实验后,相对论才成为一个被人们普遍接受的理论.

显然,在物理学的发展过程中,实验是决定性的因素.

实验不仅对物理学的发展起了决定性的作用,同时也是把物理基础理论应用到其他学科的桥梁.

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.物理电子、电子工程、光信息科学与工程等学科显然都是以物理学为基础的;在材

料科学中,各种材料的物性测试、许多新材料的发现(如高温超导材料等)和新材料制备方法的研究(如离子束注入、激光蒸发等),都离不开物理学的应用;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,也无不是物理学的应用;在生物学的发展史中,离不开各类显微镜(光学显微镜、电子显微镜、X射线显微镜、原子力显微镜)的贡献,近代生命科学更离不开物理学,如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射线衍射实验所证实的,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射线透视、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,只有真正掌握了物理实验的基本功,才能顺利地把物理学原理应用到其他学科从而带来质的飞跃.

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实践中去,都必须重视物理实验,做好物理实验.

“大学物理实验”课程是对学生进行科学实验基础训练的一门必修课程,是学生入学后受到系统的实验能力训练的先行课,是后续工程技术课程实验的基础.

一、“大学物理实验”课的教学目标

“大学物理实验”课程的总体目标,是使学生通过对实验现象的深入观察、分析和对物理量的测量,巩固物理知识,获得基本实验技能,掌握建立合理的物理模型、定量研究物理量变化规律的方法,从而初步了解科学实验的基本方法与主要过程,培养和提高学生独立开展科学研究的素质和能力,使学生具有理论联系实际和实事求是的科学态度,严肃认真的工作作风,主动研究和勇于探索的创新精神.

通过“大学物理实验”课程的学习,学生应初步具备以下几方面的能力:

(1) 动手能力

通过阅读教材、仪器使用说明书、参考资料等,能够自行完成实验预习,正确理解实验内容,概括实验原理和实验方法的要点,正确调整和使用常用仪器,掌握基本物理量的测量方法和实验技能,得出正确的实验结果.通过实验技能的训练,能解决一般的实际问题.

(2) 观察分析和归纳总结能力

通过对实验现象的深入观察、分析和对物理量的测量,建立合理的物理模型,正确记录和处理实验数据,定量研究变化规律,并能分析实验结果,撰写严谨且有一定深度的实验报告.

(3) 综合设计能力

能够根据实验要求,运用物理理论和数学工具进行初步分析和判断,初步具备思考实验方法、合理选择实验仪器、确定实验测量条件和实验步骤等的能力.

(4) 创新能力

能够注意观察,发现新现象新问题,并能突破传统思维定式,寻求变异,积极探索新的实验方案和进一步研究的方向.有一定的想象力、创造力,初步具备对未知领域主动探索的精神和开拓创新的意识.

同时“大学物理实验”课程教学也有利于学生的素质培养,包括:

(1) 实事求是的精神——追求真理的勇气、严谨求实的科学态度.

(2) 开拓创新的意识——求知热情、探索精神、创新欲望,以及敢于向旧观念挑战的精神.

(3) 坚忍不拔的作风——刻苦钻研的作风,面对困难和问题不逃避、不放弃、坚持到底的精神。

二、“大学物理实验”课的基本环节

1. 预习

实验课中既要理解原理、熟悉和调整仪器、测量数据,还要了解各种误差的影响及解决方法,时间十分紧张.要保证实验顺利进行,就必须做好预习.如果到实验课开始后才去了解需要做什么和怎么做,不仅白白浪费了宝贵实验时间,盲目操作还会损坏仪器设备,导致整个实验仓促被动.或是一味依赖教师的指导,或是机械地照着教材所规定的步骤操作,难以完成教学要求.

预习要求如下:

(1) 预习实验教材及辅助资源

实验前应认真阅读实验教材,掌握实验方法和原理,熟悉实验内容,明确实验的重点和难点,对需要设计的部分事先设计好实验方案,预习相关的仪器使用说明.

同时可以借助教材及实验中心网站上提供的多媒体课件、视频、虚拟实验等提高预习效果.个别地方需要自行查阅资料的,也应借助图书馆、互联网等做好资料查阅.

(2) 写好预习报告

在弄清楚实验目的、原理、方法、数据测量要求的基础上,认真撰写预习报告.

预习报告是实验报告的前半部分,主要包括实验目的、实验原理以及实验仪器三部分.还应根据实验要求画好数据记录表格,计划好测量次数等,以便提高实验效率,达到比较好的实验效果.

实验课前必须全面预习,正式实验之前教师必须检查预习情况.未达到预习要求者,教师可以取消其进行该项实验的资格.

2. 实验操作

实验操作是实验课的主体,必须充分利用课内的有限时间完成实验内容.实验过程主要包括以下几个环节.

(1) 简要讲解

实验课开始时,教师通常要检查预习,并且会根据实验的具体情况进行简短介绍.主要涉及原理、方法;实验难点、重点;注意事项等,学生应认真听讲,并做好记录.

(2) 安装和调整仪器

首先是根据实验方法和内容,安装和调整仪器,使之满足正常的工作条件(接线、水平、垂直、工作电压、同轴、准直和光照等).调整和使用仪器是实验技能训练的核心内容之一,要求耐心细致,符合操作规程;未调整好时不要忙于测量,否则得不到可靠的测量结果,反而浪费时间,还有可能对仪器造成损伤.

注意要严格按照仪器设备操作规程进行.对于有电子仪器的实验,必须经教师检查连线后,方可接通电源进行实验.若发现异常现象或仪器故障,应立即报告教师.

(3) 测量数据的原始记录

记录内容一般应包括简要调整步骤、典型的实验现象及测量数据.记录时不要忘记仪器规格如型号、参量的记录,并且要按照仪器的精度确定出正确的有效数字,同时加上正确的物理量

单位。

原始数据记录是教师批改实验报告的重要依据之一,不可用铅笔记记录实验数据。如果觉得测量数据错了,可在错误的数据上作标记,并记录错误原因,不要用笔随意涂改。因为错误数据也是有内涵的履历,就像病人的“病历”,是对正确的实验操作的提示;另外错误数据有时经过比较分析后可能竟是对的。当实验结果与环境温度、湿度和气压有关系时,还要及时记下实验进行时的温度、气压、湿度等。

特别注意原始数据记录的完整性、原始性、客观性和科学性。完整性要求实验者在完成实验若干时间后,还能根据记录重复该实验,并得到相近结果;原始性要求严格记录仪器仪表的显示数据,而不进行任何的计算和单位变换,即使这种计算和变换非常简单,以求将实验中出错的可能性降到最低;客观性要求实验者像照相机、录像机、计算机一样如实、认真、直接的记录感官感受到的和观察到的现象和结果,不加入任何个人的判断、看法和猜测;科学性要求实验者用不可涂改的笔进行记录,发现有出乎意料或不合理的现象和数据,则要重复观察和测量,并用删除线标出错误的地方,并在旁边写下重新测量的正确数据,原来的错误数据和重新测量的正确数据都必须清晰可见,以便判断实验者是否篡改数据。

(4) 分析误差

根据实验数据,在教师的指导下有重点地复测、检验,正确分析实验中出现的各种误差是实验完成优秀的标志之一。

(5) 数据签字

实验数据的原始记录教师必须签字才有效,不符合要求的要重做,所以实作时应抓紧时间,以便能及时纠正错误。教师签字后的原始数据必须附在实验报告后面一并上交批改。

(6) 仪器整理复位

实验完成后应按要求将仪器整理复位(如保护挡、初始位置等),填写仪器使用登记卡,打扫清洁。

3. 实验报告

实验课后,要求根据原始实验数据记录做好数据处理,回答思考题,在预习报告的基础上完成实验报告。

实验报告是实验项目完成的重要组成部分,要求字体工整、语言简练、阐述清楚、图表规范、结果正确、分析认真。准确严谨地完成报告是工程技术人员的基本素质。

一份完整的实验报告应包括以下几个方面:

(1) 实验名称

(2) 实验目的

(3) 实验仪器

包括所使用仪器的型号、规格、参量等。

(4) 实验原理

简要说明实验理论依据,必须包括计算公式、示意图或电路图、光路图等。设计性实验应写出自拟的实验方案。

注意,实验原理并不是照抄实验教材上的内容,而是在理解的基础上用简洁的语言对教材相关内容加以总结和概述,且只需写与实验内容和数据处理直接相关的知识。

以上各项应在预习报告中完成。

(5) 实验内容

实验内容部分应包括简要操作步骤、典型现象、各项测量内容及数据表格。

注意,对于教材上已详细说明的实验步骤,可以写简略一些;要求自己设计或安排的实验内容及步骤,则可适当写得详细一些。

另外,数据表格要将原始实验数据进行整理后重新绘制,不能用后附的原始数据记录来代替。

(6) 数据处理

数据处理部分应包括实验结果计算、误差分析、不确定度评估及必要的图表绘制。

注意,计算实验结果时,应简要写出计算步骤,并用标准格式给出实验结果;要求进行不确定度评估时,应简要写出不确定度计算的过程和依据;计算过程中如需用到实验记录以外的数据时,则应对其来源及依据做出说明;需用图表来表示实验结果时,应严格按规范画出。

(7) 分析讨论

分析讨论部分包括对实验结果进行分析、讨论物理量之间的函数关系;分析实验误差、阐述不确定度的来源;分析实验过程中的异常现象及其可能的原因;提出实验改进建议并撰写心得体会等,还需要回答实验思考题。

对实验结果进行分析和讨论对于培养学生分析问题的能力很有好处,应该努力去做,尤其是实验误差分析,应利用实测数据加以说明和尽量运用数学工具定量分析。

实验报告撰写完毕后应单独装订成册,并将有教师签字的原始数据记录附上,在下一次实验课前上交。为方便成绩录入,应使用专门的实验报告封面,并将学号、姓名、实验时间等相关信息标注清楚。

三、物理实验室规则

1. 学生必须有秩序地进入实验室,注意保持实验室环境的安静和整洁。
2. 自觉地爱护实验中的仪器设备,注意节约实验材料和水、电。
3. 学生进入实验室后首先刷卡签到,并按预约结果到预约实验位并使用规定仪器设备进行实验。未经同意,不准调换。如发现实验所用仪器设备有损坏或缺少时,应报告教师予以解决。
4. 实验前必须做好预习,经教师检查预习报告后方可参加实验。
5. 使用仪器前,应先了解仪器的性能及使用方法,遵守操作规程及注意事项,切实注意安全!实验中要敢于实践,胆大心细,要做到有的放矢,有条有理,反对粗枝大叶,盲目操作。
6. 电学实验连接好电路之后,必须经教师检查,同意后方可接通电源进行实验。作光学实验时,严禁用手触摸元件光学表面。
7. 实验中仪器发生故障时,应立即控制现场(或切断电源),停止操作,并报告教师检查并排除故障。若损坏或遗失仪器时,则应根据实际情况,按规定酌情处理或赔偿。
8. 实验完毕,应将记录数据交给教师检查。教师签字同意后,将仪器设备整理还原,认真填写仪器使用登记簿,经教师验收后方可离开实验室。

第2章 物理量的基本测量方法

物理量测量泛指以物理理论为依据,利用实验仪器装置和实验技术手段对未知量进行测量的过程.同一个物理量的测量,可能会有多种测量方法,不同的测量方法所得到的精度和投入的人力物力也不尽相同.物理量测量的对象非常广泛,它包括对力学量、分子物理与热学量、振动和波动参量、电磁学量和光学量等的测量.因此,物理量的测量方法门类繁多,但究其共性可以概括出一些基本测量方法,如比较法、放大法、模拟法、补偿法、干涉法、转换测量法等.

以下就物理实验中常用的几种基本测量方法作简要介绍.实际上,在物理实验中各种方法往往是相互联系、综合使用的,所以在进行物理实验时,应十分关注实验中应用了哪些测量方法.

一、比较法

1. 直接比较

将待测量与一个已知的标准量进行比较,从而测得待测量,这就是直接比较.如用米尺测量长度.直接比较是最基本也是最简单的测量方法.

2. 间接比较

由于某些物理量无法进行直接比较测量,故需设法将待测量转变为另一种能与已知标准量进行直接比较的物理量,称为间接比较.如利用弹簧的形变来测力的大小;利用水银的热膨胀来测温等.当然这种转变必须服从一定的单值函数关系.

通常情况下,物理量测量大都是进行间接比较,即通过测量装置将待测量与“已知量”进行比较,当两者的效应相同时,它们的数值必然是相等的.

间接比较通常需要借助于一定的仪器设备、经过一定的操作才能完成,此类仪器设备称为比较系统.如天平、电桥、电位差计等.

二、放大法

在物理量的测量中,对于一些微小量,如微小长度、微弱电流、微弱光信号等,如果采用常规的测量方法,往往测不出结果或者测量结果精确度不高,此时可将待测量放大后再进行测量,这也是一种基本测量方法,称为放大法(缩小也是一种放大,其放大倍数小于1).具体可分为机械放大、电子学放大、光学放大和累计放大等.

1. 机械放大

机械放大是指通过机械原理和装置加以放大.

如测量长度用的游标卡尺、千分尺(螺旋测微器),就是分别利用游标原理、丝杠鼓轮机械使读数更为精确.

又如测量压力用的一类弹性压力计.当压力变化时,弹性体发生伸长、位移等形变,通过接上机械放大装置,直接传动指示仪表进行读数.

2. 光学放大

当待测物体的线度很小时,由于人的视力限制及操作上的困难,应用一般测量仪器无法进行直接测量,这时常应用显微镜将待测物体放大后再进行测量.另外,当待测物体相距较远又不便于接近时,则可先用望远镜得到待测物体的像再进行测量.上述应用光学原理进行的这种测量是无接触测量,它具有不破坏待测物体原来状态等明显优点,在物理测量中普遍应用.

当需要测量物体的微小位移或微小变形(例如钢丝在拉力作用下的微小伸长量)时,常应用光杠杆镜尺法.这也是一种利用光学原理把微小长度变化加以放大后再进行测量的装置.光杠杆的原理已被广泛应用于其他测量技术或测量仪器中,许多高灵敏度的电表,如冲击电流计、复射式光点检流计等,都应用了光杠杆的放大原理.

3. 电子学放大

微弱的电信号可以经放大器放大后进行观测.若待测物理量为非电学量时,则可经传感器将之转换为电学量,再经电子学放大后进行测量.这在电磁测量中应用最为广泛.

4. 累计放大

如测量摆的周期时,用手按停表的反应时间是测量误差的主要来源.由于一次摆动时间(一个周期)很短,直接测量一个周期相对误差较大.这时如果改为一次测量 N 个周期,则可大大降低相对误差.

又如,测量光的干涉条纹间距时,由于条纹间距很小,为了减小测量误差,一般也不是一次只测量单个间距,而是一次测量 N 个条纹的总间距以提高测量精度.

电信号和光信号的累计叠加处理可以改善信噪比、对比度,提高分辨率.

三、补偿法

采用可调的附加装置,补偿实验中某部分能量损失或能量变换,使得实验条件满足或接近理想条件,这种实验方法称为补偿法.

补偿法就是将因种种原因使测量状态受到的影响加以弥补.例如,用电压补偿法弥补因用电压表直接测量电压时引起被测支路工作电流的变化;用温度补偿法弥补因某些物理量(如电阻)随温度变化而对测试状态带来的影响;用光程补偿法弥补光路中光程的不对称等.

由于补偿法可消除或减弱测量状态受到的影响,从而大大提高了实验的精度,所以这种实验方法在精密测量和自动控制等方面得到广泛应用.如电位差计是测量电压的精密仪器,其基本原理就应用了“补偿法”.

四、模拟法

模拟法是一种间接的测量方法,指不直接研究物理现象或物理过程的本身,而是利用与该物理现象或过程相似的模型来进行研究的一种方法.

采用模拟法的基本条件是模拟量与被模拟量必须是等效或相似的.模拟法用途很广,对于许多难以测量甚至无法测量的物理量或物理过程,可以通过模拟法进行.另外,在工程设计中,也常采用该方法.

模拟法可分为物理模拟和数学模拟.物理模拟就是保持同一物理本质的模拟,如用光测弹性法模拟工件内部的应力情况;用“风洞”(高速气流装置)中的飞机模型模拟在大气中飞行的实际

飞机等.数学模拟是基于两个物理现象遵从的物理规律具有相似的数学表达形式,如用恒定电流来模拟静电场就是基于这两种场的分布有相同的数学形式.

物理模拟和数学模拟两者互相配合使用,成效更为显著.随着计算机技术的迅猛发展,由此引发的仿真技术、虚拟现实技术使模拟法的应用更为广泛.

五、光学方法

1. 干涉法

干涉法是以光的干涉原理为基础,通过对干涉图样的形状、位置、条纹间距等特征的分析、计算,实现对微小长度、微小角度、透镜曲率、光波波长等物理量的测量.如牛顿环、迈克耳孙干涉仪等就是典型的干涉测量仪器.

2. 衍射法

在光场中放置一尺寸与波长相当的障碍物(如狭缝、细丝、小孔、光栅等),在其后将出现衍射图样.通过对衍射图样的分析与测量,可得出障碍物的大小.

3. 光谱法

利用分光元件,将发光体发出的光分解为分立的、按波长排列的光谱.光谱的波长、强度等参量给出了物质结构的信息.

六、转换测量法

物理量之间存在的多种效应导致各种不同的转换测量方法.随着科学技术的发展,物理实验技术本身也不断向高精度、宽量程、快速测量、遥感测量和自动化测量发展,愈加显示了转换测量法的重要性和实际意义,构成了物理实验中最富有开创性的一个方面.

转换测量法分为参量转换测量法和传感器测量法两类.

1. 参量转换测量法

参量转换测量法就是利用各种参量的变换及相应的定量函数关系,来实现某一物理量的测量的方法.

这种方法几乎贯穿于整个物理实验中,应用十分广泛.例如,利用单摆周期随摆长的变化关系可以测定重力加速度;利用应变与应力之间的线性变化关系可以测定材料的杨氏模量(即弹性模量);利用光栅方程可以测定衍射光栅常量 d 或光波波长 λ ,等等.

2. 传感器转换测量法

用传感器进行转换测量又称能量转换测量法,泛指某种形式的物理量通过变换器变成另一种形式的物理量的测量方法.例如,将非电学量转换为电学量、非光学量转换为光学量的测量.我们称这种将一种能量转换为另一种能量的器件为“换能器”,又称“传感器”或“变换器”.目前,随着材料科学的发展,传感器技术已形成了一个新型的科学技术领域,有着广阔的发展前景.

非电学量的电测系统主要包括输入装置、测量电路和输出装置.输入装置的核心是传感器,它将待测非电学量转变为电学量,作为测量电路的输入信号.测量电路则把输入信号加以处理,处理结果最后通过输出装置输出.测量结果的输出一般有指示仪表显示、数字显示或图像显示等几种方式.

在物理实验中,非电学量的电测技术应用很普遍,其内容十分丰富,涉及的传感器种类繁多.