

College Physics Experiment

大学 物理 实验

姚安居 吴庆州 编

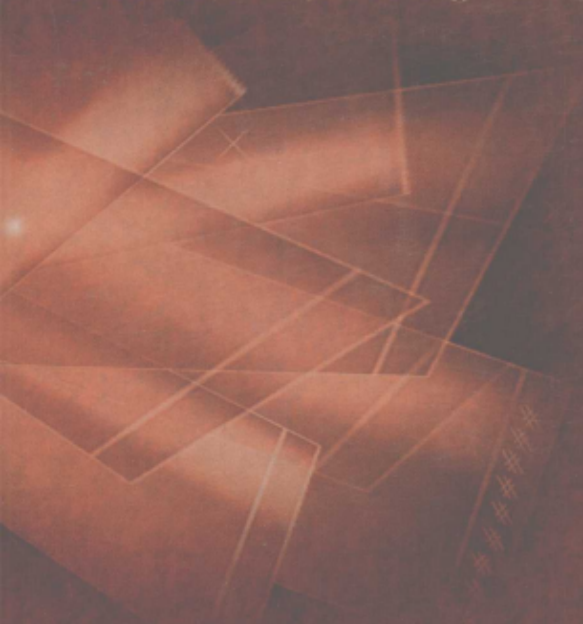
中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

责任编辑 潘俊成 封面设计 肖新生

College Physics Experiment

China University of Mining and Technology Press



ISBN 978-7-5646-0139-3



9 787564 601393 >

定价: 28.00 元

内容简介

大学物理实验

姚安居 吴庆州 编

第1章 实验目的与任务

1.1 实验目的与任务

1.2 实验任务

1.3 实验任务

1.4 实验任务

1.5 实验任务

1.6 实验任务

1.7 实验任务

1.8 实验任务

1.9 实验任务

1.10 实验任务

1.11 实验任务

1.12 实验任务

1.13 实验任务

1.14 实验任务

1.15 实验任务

1.16 实验任务

1.17 实验任务

1.18 实验任务

1.19 实验任务

1.20 实验任务

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书根据教育部高等学校物理学与天文学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会于2008年制定的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》,吸取了南京理工大学物理实验中心的长期教学经验,并结合南京理工大学紫金学院物理实验室历年教学实际情况编写而成。为达到培养复合型应用人才的目标,编写时特别注重培养学生的基本实验技能和科学实验能力、注重培养学生严谨的治学态度和活跃的创新意识,提高学生的科学素养,促使学生养成良好的作风。

全书分为五章——第一章为测量误差、不确定度和数据处理;第二章为常用实验仪器、量具和器件;第三章为常用物理实验方法;第四章为基础性实验和综合性实验;第五章为设计性实验和研究性实验。

本书具有一定特色,可作为高等学校理工科非物理类专业教材,也可供实验技术人员和其他相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/姚安居,吴庆州编. —徐州:中国矿业大学出版社,2009.2

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0139 - 3

I. 大… II. ①姚…②吴… III. 物理学—实验—高等学校—教材 IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 192942 号

书 名 大学物理实验

编 者 姚安居 吴庆州

责任编辑 潘俊成

责任校对 李 敬

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 16.75 字数 418 千字

版次印次 2009年2月第1版 2009年2月第1次印刷

定 价 28.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

2008年3月,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制定了新的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)。该《基本要求》充分凝练了近10多年来我国高校在大学物理实验课程教学改革中的先进教学理念和教学成果,反映了时代对人才、知识、能力和素质的要求,全面提出了对课程的教学体系、教学内容、教学模式和教学方法的基本要求,对于如何搞好大学物理实验课程建设和教学起到了重要的指导作用。

大学物理实验课覆盖面广,有丰富的实验思想、方法、手段,能提供综合性很强的基本技能训练,是培养学生科学实验能力、提高科学素质的重要基础。在培养学生严谨的治学态度、活跃的创新意识、理论联系实际和适应科技发展的综合应用能力等方面具有其他实践类课程不可替代的作用。对于应用型人才来说,实验训练尤为重要。要完成这一任务,一本合适的教材是必不可少的。根据南京理工大学紫金学院历年教学情况并吸收南京理工大学等院校的教学经验,我们编写这本教材。

全书内容分为五章——第一章为测量误差、不确定度和数据处理;第二章为常用实验仪器、量具和器件;第三章为常用物理实验方法;第四章为基础性实验和综合性实验,各实验之间相对独立以供各院校选择使用;第五章为设计性实验和研究性实验。

针对独立学院的具体情况,我们在编写教材时对若干问题做了适当简化处理,而对实验的安排则比较仔细;同时选录了若干参考资料、提出了若干思考问题,供学有余力的同学进一步学习使用,也可供相关人员参考。

实验教学多为集体事业,本教材包含了许多教师的辛勤劳动结晶。在此,谨向南京理工大学物理实验中心和南京理工大学紫金学院物理实验室的全体教师致谢。特别要感谢李相银、杨庆、王红翌、陈柏飞、张逢沛、郭宏志、李广忠、刘少山、王海林老师和于院生、米少军、陈瑞忠、李晓梅、孔燕芬、佟刚等同志,为本书的编写和出版所做的大量工作和支持。

由于编者水平所限,书中难免存在错误和不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2008年12月

绪 论	1
第一章 测量误差、不确定度和数据处理	7
第一节 测量与误差	8
第二节 不确定度的基本知识	10
第三节 直接测量的扩展不确定度	12
第四节 间接测量的不确定度和不确定度的传递	15
第五节 有效数字	18
第六节 常用数据处理方法	22
第七节 数据处理在物理实验中的其他应用	29
第二章 常用实验仪器、量具和器件	34
第一节 长度测量仪器	34
第二节 质量称衡仪器	37
第三节 计时仪器	42
第四节 测温仪器	44
第五节 电学标准量具	51
第六节 电阻器和电容器	54
第七节 常用电源	58
第八节 电表	58
第九节 光学实验基本仪器	72
第三章 常用物理实验方法	81
第一节 比较法	81
第二节 放大法	82
第三节 补偿法	83
第四节 转换法和传感器	84
第五节 模拟法	89

第六节 测量宽度展延法	89
第四章 基础性实验和综合性实验	91
实验 1 常用物理仪器的使用	91
实验 2 刚体转动惯量的测定	94
实验 3 用稳态法测定橡胶板导热系数	100
实验 4 金属杨氏模量的测量	106
实验 5 气体比热容比的测定	109
实验 6 直流电桥	114
实验 7 弱电流测量及 pn 结物理特性的研究	118
实验 8 示波器的使用	122
实验 9 霍耳效应	137
实验 10 螺线管和亥姆霍兹线圈磁场的研究	146
实验 11 光电效应和普朗克常量的测定	152
实验 12 超声声速的测定	162
实验 13 全息照相	168
实验 14 牛顿环	175
实验 15 旋光效应	181
实验 16 衍射光栅	185
实验 17 迈克耳孙干涉仪测波长	193
实验 18 氢原子光谱	200
实验 19 夫兰克—赫兹实验	204
实验 20 密立根油滴实验	209
实验 21 棱镜折射率的测定	216
实验 22 传感器综合实验	222
实验 23 衍射光强分布	230
实验 24 液晶光学双稳态	232
实验 25 偏振光的研究	237
第五章 设计性实验和研究性实验	245
实验 26 白光干涉条纹的调节和研究	245
实验 27 劈尖干涉的研究	246
实验 28 入射光与光栅面不垂直对测量影响的研究	246
实验 29 用时差法测量超声声速	247
实验 30 用微安表组装成欧姆表	248
实验 31 反射光栅的研究	248
实验 32 pn 结正向压降—温度特性的研究	249

实验 33 半导体制冷片的研究	250
实验 34 傅立叶分解和合成	250
实验 35 热管的研究	251
附录.....	252
参考文献.....	259

绪 论

本章要点:

① 了解本课程的地位、作用和任务及教学要求。

② 明确学习本课程的基本程序和有关规定。

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。作为培养全面发展的复合型应用人才的高等工科院校,不仅需要使学生具有比较深广的理论知识,还必须使学生具有较强的从事科学实验的能力。这样,才能适应科技进步和社会发展的需要。物理学是研究物质的基本结构、基本运动形式、相互作用及其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,应用于生产技术的许多部门,是其他自然科学和工程技术的基础。

在人类追求真理、探索未知世界的过程中,物理学展现了一系列科学的世界观和方法论,深刻影响着人类对物质世界的基本认识、人类的思维方式和社会生活,是人类文明的基石,在人才的科学素质培养中具有重要的地位。

物理学本质上是一门实验科学。物理实验是科学实验的先驱,体现了大多数科学实验的共性,在实验思想、实验方法以及实验手段等方面是各学科科学实验的基础。

一、本课程的地位、作用和任务

物理实验课具有非常重要的地位。它是高等理工科院校对学生进行科学实验基本训练的必修基础课程,是本科生接受系统实验方法和实验技能训练的开端。

物理实验课覆盖面广,具有丰富的实验思想、方法、手段,同时能提供综合性很强的基本实验技能训练,是培养学生科学实验能力、提高科学素质的重要基础。它在培养学生严谨的治学态度、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实践类课程不可替代的作用。

本课程的具体任务是:

(1) 培养学生的基本科学实验技能,提高学生的科学实验基本素质,使学生初步掌握实验科学的思想和方法。

(2) 培养学生的科学思维和创新意识,使学生掌握实验研究的基本方法,提高学生的分析能力和创新能力。

(3) 提高学生的科学素养,培养学生理论联系实际和实事求是的科学作风,认真严谨的科学态度,积极主动的探索精神,遵守纪律、团结协作、爱护公共财产的优良品德。

二、教学内容的基本要求

大学物理实验应包括普通物理实验(力学、热学、电磁学、光学实验)和近代物理实验,具

体的教学内容基本要求如下。

(1) 掌握测量误差的基本知识,具有正确处理实验数据的基本能力。包括:

① 测量误差与不确定度的基本概念,能逐步学会用不确定度对直接测量和间接测量的结果进行评估。

② 处理实验数据的一些常用方法,包括列表法、作图法和最小二乘法等。随着计算机及其应用技术的普及,应包括用计算机通用软件处理实验数据的基本方法。

(2) 掌握基本物理量的测量方法。例如,长度、质量、时间、热量、温度、湿度、压强、压力、电流、电压、电阻、磁感应强度、光强度、折射率、电子电荷、普朗克常量、里德伯常量等常用物理量及物性参数的测量,注意加强数字化测量技术和计算技术在物理实验教学中的应用。

(3) 了解常用的物理实验方法,并逐步学会使用。例如,比较法、转换法、放大法、模拟法、补偿法、平衡法、干涉法、衍射法以及在近代科学研究和工程技术中广泛应用的其他方法。

(4) 掌握实验室常用仪器的性能,并能够正确使用。例如,长度测量仪器、计时仪器、测温仪器、变阻器、电表、交/直流电桥、通用示波器、低频信号发生器、分光仪、光谱仪、电源和光源等常用仪器。

还应根据条件,在物理实验课中逐步引进在当代科学研究与工程技术中广泛应用的现代物理技术,如激光技术、传感器技术、微弱信号检测技术、光电子技术、结构分析波谱技术等。

(5) 掌握常用的实验操作技术。例如,零位调整、水平/铅直调整、光路的共轴调整、消视差调整、逐次逼近调整、根据给定的电路图正确接线、简单的电路故障检查与排除,以及在近代科学研究与工程技术中广泛应用的仪器的正确调节。

(6) 适当介绍物理实验史料和物理实验在现代科学技术中的应用知识。

三、能力培养的基本要求

(1) 独立实验的能力——能够通过阅读实验教材、查询有关资料和思考问题,掌握实验原理及方法,做好实验前的准备;正确使用仪器及辅助设备,独立完成实验内容,撰写合格的实验报告;培养学生独立实验的能力,逐步形成自主实验的基本能力。

(2) 分析与研究的能力——能够融合实验原理、设计思想、实验方法及相关的理论知识对实验结果进行分析、判断、归纳与综合。掌握通过实验进行物理现象和物理规律研究的基本方法,具有初步的分析与研究的能力。

(3) 理论联系实际的能力——能够在实验中发现、分析问题并学习解决问题的科学方法,逐步提高学生综合运用所学知识和技能解决实际问题的能力。

(4) 创新能力——能够完成符合规范要求的设计性、综合性内容的实验,进行初步的具有研究性或创意性内容的实验,激发学生的学习主动性,逐步培养学生的创新能力。

四、物理实验课的基本程序和有关规定

物理实验课的基本程序大致可以分为以下三个阶段:

(1) 课前预习

实验课课内的时间有限,所以必须预先了解实验内容,否则,要在短短的课内时间完成实验是有困难的。在实验之前,应对实验原理、待测物理量、预期获得的实验结果等做到胸有成竹。若事先全不了解,只是机械地按照教材中的实验步骤看一步做一步,虽然得到了实验数据,却不了解其物理意义,收获是不会大的。因此,必须做好预习。

预习时,要阅读教材的相应内容(可参考实验报告册封面的介绍),一般以理解本教材所述实验原理为主,并大致了解实验具体步骤。预习后,要写好预习报告(预习报告可直接写在实验报告册上)。预习报告主要包括:

- ① 实验名称;

- ② 实验目的：了解电阻器、电感器、电容器在电路中的作用，并能根据电路要求选择合适的元件。

- ③仪器设备：超声波测厚仪、器外查缺测漏装置等；手工磨削砂轮，工具⑥、⑦、⑧

- ④ 基本原理,包括重要的计算公式、电路图、光路图及简要文字说明;

- ⑤ 为了使测量结果眉目清楚,防止漏测数据,应按实验要求在实验报告册的“实验草表”页上画好草表。表上要注明文字符号代表的物理量和单位,并确定测量次数。

(2) 进行实验 根据实验步骤和实验原理, 设计实验方案, 进行实验, 记录实验数据, 分析实验结果, 得出结论。

每次实验前,要按照前述要求充分预习。必须准时到达实验室,必须携带教材、实验报告册和必要文具。除此之外,还必须带鞋套,穿好鞋套后才能进入实验室。

要按规定位置就座,并要仔细检查仪器。实验室为每组仪器建立了仪器使用登记本(见下表),封面上列出该组仪器的清单,检查时请对照清单核对。如无误,在仪器使用登记本的前三栏上签名登记,表明已经从实验室接收了仪器。如果仪器有问题,应该及时向指导教师反映。

实验仪器使用登记本

[illegible]

为了督促同学们进行预习,实验指导教师在上课时还要检查预习报告,并对预习情况进行登记。

实验正式进行前,首先要熟悉一下将要使用的仪器、设备的性能以及正确的操作规程,切忌盲目操作;其次要全面地想一想实验操作程序,不要急于动手,因为程序错一步或调错一次,都有可能使整个实验前功尽弃。

实验中要注意对现象的观察,尤其对所谓“反常”现象更要仔细观察分析,不要单纯地追

求“顺利”；要学习对观察到的现象和测得的数据随时进行判断，以确定正在进行的实验过程是否正常合理；对实验过程中出现的故障，要学会及时排除。每次测量后应立即将数据记录在数据草表中，并要注意正确确定数据的有效位数。当实验结果与实验条件有关时，还要记下相应的实验条件，如当时的室温、湿度、大气压强等。

实验结束前，要对测得的数据进行分析，如发现明显不合理的数据，必须重测。只有当自己确切认为数据合理后，再把数据交给指导教师检查签字。如指导教师发现实验结果不合理，则经分析后还要补做或重做。

离开实验室以前，要整理好使用过的仪器，将仪器使用情况等记录在仪器登记本的第④、⑤、⑥栏上，做好清洁工作；然后请指导教师检查仪器，并请指导教师将仪器登记本上最后一栏签字。注意一定要请指导教师签字，以证明仪器已经完好地交还给实验室了。

以上各项工作结束后，方能离开实验室。出了实验室后，再脱鞋套。

(3) 写实验报告

书写实验报告是实验完成后的全面总结，要简明扼要地将实验结果完整而又真实地表达出来。实验后要及时写好实验报告，写报告要使用统一规格的实验报告纸，要求文字通顺、字迹端正、图表规范、结果正确、讨论认真。

一份完整的实验报告通常包括下述内容：

- ① 实验名称；
- ② 实验目的；
- ③ 仪器设备；
- ④ 基本原理，包括重要的计算公式、电路图、光路图及简要的文字说明；
- ⑤ 实验步骤；
- ⑥ 数据表格及数据处理（包括计算和作图），这里的“数据表格”不同于预习报告中的“数据草表”，应该另行正规画出，并把数据草表记录的原始数据填入数据表格中；
- ⑦ 实验结果；
- ⑧ 问题讨论；
- ⑨ 预习报告中的“数据草表”应作为附件附于实验报告之后，交实验报告时一并交给指导教师。

以上①~④部分内容，如无大的变动，就可以使用预习报告中的相应内容代替，而不必重写。

写好的实验报告，应于下次实验以前主动交给班长或班级的负责同学。班长或负责同学应在下次实验老师开始讲解以前交给实验指导老师。超过这一时间，即属于迟交。

我们希望每一位同学都能够通过物理实验课的学习受到锻炼、得到提高。为此，要求大家严格按照实验室的规定，认真做好每一个实验。

实验报告范例

学号 ××××××××

姓名 ×××

一、实验名称

衍射光栅。

二、实验目的

测定光栅常数 d ; 用已知光栅常数的光栅测量未知谱线的波长。

三、实验仪器

JJY 型分光计(最小读数 $1'$)、衍射光栅、汞灯($\lambda_{\text{绿}}=546.08\text{ nm}$)。

四、实验原理

当平行光垂直光栅入射时,满足光栅公式 $d\sin\varphi=k\lambda(k=0,\pm 1,\pm 2,\cdots)$ 的光形成明线。

由上式知,如果已知波长 λ 和衍射级次 k ,就可根据测得的衍射角 φ 求出光栅常数 d ;如果知道光栅常数 d 和衍射级次 k ,就可根据测得的衍射角 φ 求出相应光谱线的波长。

为了保证以平行光入射与出射,并减小测量误差,在测量前必须将分光计调节到使用状态。分光计调好的标准为:平行光管能够发出平行光;望远镜能够接收平行光;平行光管光轴、望远镜光轴都要垂直于仪器的旋转主轴。

五、实验步骤

1. 调节分光计。
2. 将光栅放置在载物平台上,并注意让它与平行光管垂直,使光栅条纹平行于旋转主轴。
3. 测出绿谱线($\lambda_{\text{绿}}=546.07\text{ nm}$) ± 1 级和 ± 2 级的衍射角,由光栅公式求出光栅常数 d 。
4. 测出蓝谱线 ± 1 级和 ± 2 级衍射角,根据前面测得的 d 和光栅公式,求出蓝谱线的波长 $\lambda_{\text{蓝}}$ 。

六、实验数据

(一) 测定光栅常数

亮纹级数	读 数			衍射角		$\sin \bar{\varphi}_k$	d/nm	λ/nm	$\bar{\lambda}/\text{nm}$
	θ	θ'	平均						
$k=0$	$50^{\circ}18'$	$230^{\circ}17'$	$140^{\circ}18'$	φ_k	$\bar{\varphi}_k$	0.321 9	546.07	1.659×10^3	1.662×10^3
$k=+1$	$30^{\circ}5'$	$210^{\circ}5'$	$120^{\circ}5'$	$20^{\circ}13'$	$19^{\circ}13'$				
$k=-1$	$68^{\circ}32'$	$248^{\circ}32'$	$158^{\circ}31'$	$18^{\circ}13'$					
$k=+2$	$8^{\circ}48'$	$188^{\circ}46'$	$98^{\circ}47'$	$41^{\circ}31'$					
$k=-2$	$90^{\circ}45'$	$270^{\circ}46'$	$180^{\circ}46'$	$40^{\circ}28'$	$40^{\circ}59'$				

(二) 测定光波波长

亮纹级数	读 数			衍射角		$\sin \bar{\varphi}_k$	d/nm	λ/nm	$\bar{\lambda}/\text{nm}$
	θ	θ'	平均						
$k=0$	$50^{\circ}18'$	$230^{\circ}17'$	$140^{\circ}18'$	φ_k	$\bar{\varphi}_k$				
$k=+1$	$34^{\circ}23'$	$214^{\circ}21'$	$124^{\circ}22'$	$15^{\circ}56'$	$15^{\circ}13'$	0.262 6	1.662×10^3	436.4	436.8
$k=-1$	$64^{\circ}47'$	$244^{\circ}48'$	$154^{\circ}48'$	$14^{\circ}30'$					
$k=+2$	$16^{\circ}52'$	$196^{\circ}54'$	$106^{\circ}53'$	$33^{\circ}25'$	$31^{\circ}45'$	0.526 2		437.2	
$k=-2$	$80^{\circ}23'$	$260^{\circ}22'$	$170^{\circ}23'$	$30^{\circ}5'$					

计算对于标准值的相对误差

$$\lambda_0 = 435.8\text{ nm}$$

$$E = \left| \frac{\bar{\lambda} - \lambda_0}{\lambda_0} \right| \times 100\% = 0.2\%$$

七、问题讨论

1. 光栅光谱和棱镜光谱有哪些不同之处? 在上述两种光谱中,哪种颜色的光偏转最大?

答:光栅光谱和棱镜光谱是利用不同的分光器件——衍射光栅和三棱镜得到的。前者依据光栅方程 $d \sin \varphi = k\lambda$ ($k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$); 后者根据不同波长的光在玻璃中的折射率不同(色散)。在光栅光谱中,对于同一衍射级次 k , λ 越大 φ 也越大,即红光偏转最大;在棱镜光谱中,由于 λ 越大折射率越小,偏向角也越小,故紫光偏转最大。

2. 当狭缝太宽或太窄时将会出现什么现象? 为什么?

答:狭缝太宽时谱线太亮、太宽,所以会造成较大的测量误差;狭缝太窄时谱线亮度不够,甚至会造成找不到谱线。因此应该使狭缝宽窄合适。

3. 入射光未垂直照射光栅所造成的后果?

从本次实验数据来看, k 为正值时的衍射角均大于 k 为负值时的衍射角。通过分析可知,这是由于入射光未垂直照射光栅所造成的,由此给实验带来了系统误差。

当光线以 θ 角入射光栅时,光栅公式变为:

$$d(\sin \varphi + \sin \theta) = k\lambda \quad (k=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

由于对正、负 k 级而言, θ 值为一正一负,所以造成两边衍射角不相等。如果只取一侧的衍射角,代入 $d \sin \varphi = k\lambda$ 计算,则误差较大。在本实验中,由于把正、负同级衍射角取了平均,部分地消除了由此造成的误差。在测波长时,由于入射角 θ 不变,所以进一步抵消了由此造成的误差。

但是从操作技能等方面考虑,今后应尽量避免类似情况发生。

附 原始数据草表(略)

点评:

这是一份比较好的实验报告。

1. 在报告首页上方,写明班级、学号、姓名,可以避免与别人的报告相混,也便于教师登记成绩,发还报告。

2. 写明实验日期、时间,可供今后查阅。如能进一步注明环境条件,如气温、天气等,则会有更大的参考价值。

3. 仪器一栏写明了仪器型号,往往可以由此知道仪器的极限误差以及使用方法。

4. 用自己的语言对原理作了概述,有主要公式。如能画上光栅衍射示意图则更佳。

5. 数据表格清晰。在记录及处理数据时,遵照了有效位数运算规则。例如,由于仪器误差约为 $1'$, φ 在 $15^\circ \sim 42^\circ$ 范围内,故 $\sin \varphi$ 的末位在小数点后第 4 位;由于 $d = \frac{k\lambda}{\sin \varphi}$, λ 为 5 位, $\sin \varphi$ 为 4 位,故 d 也取了 4 位有效位数,等等。

6. 发现了实验数据中的问题,并进行了一定的分析。这是一种值得提倡的科学态度。千万不能看到数据中的问题后,采用篡改数据的自欺欺人的办法。如果能进一步作定量的分析,收获可能会更大一些。

7. 报告完整,并把原始数据附在报告最后一起交来,便于核对数据。

第一章 测量误差、不确定度和数据处理

本章要点:

① 确立若干相关的基本观点,包括实验离不开测量;从测量的角度看误差是不可避免的;做实验必须尽可能减小误差;对实验结果需要正确地评定其不确定度;需要正确地表示和报告测量结果等。

② 掌握测量、误差、不确定度、有效数字等基本概念。

③ 掌握简化的不确定度评定方法,会正确使用有效数字,会正确表示测量结果。

④ 了解一些常用的数据处理方法。

实验是在理论思想指导下,利用科学仪器设备,人为地控制或模拟自然现象,使它以比较纯粹和典型的形式表现出来,然后再通过观察与测量去探索自然界客观规律的过程。现代的物理实验离不开定量的测量和计算,因此数据处理是物理实验的一个重要组成部分。

有些初学者认为,数据处理无非是在做完实验以后算个数,作个图,计算一下不确定度,最后给出一个结果而已。这是一种片面的认识。实际上,数据处理问题贯穿于物理实验的始终。在实验前,要根据对实验结果准确度的要求去选择实验方案和实验方法;去考虑实验的理论应近似到哪一级,对环境条件的要求应保证到什么程度,还有由此考虑选用或设计仪器等。要考虑在这些设计的条件下实验能否得出预期的结果,要分析每个因素对实验结果可能造成的影响以及是否需要作修正,要选择最佳的仪器配置和测量方案等。

在实验的进行过程中,要考虑仪器的调节和实验条件的保证程度怎样才是恰当的,既不至于粗略以致影响实验结果,又不作不必要的苛求以致影响操作的效率。例如用单摆测量重力加速度这个实验中,究竟应该数多少个周期?测 p_n 结正向电流—正向电压关系时,如何选取电压的间隔值?等等。

实验操作结束后,首先要经过数据处理得出结果,然后还要从数据分析中去寻找、发现规律性。

综上所述,数据处理能力对于培养和提高实验能力的各个方面——如设计实验的能力、实验的动手和操作能力、处理和分析实验结果的能力、在实验中进行观察和思考的能力等都有着直接的密切的联系,它是一个很重要的基础。因此,在大学物理实验中,我们要加强数据处理方面的训练,不仅要掌握一些具体的数据处理的方法,还要着眼于提高整个实验能力。

另外,由于大学物理实验是大学里学生接触到的第一门系统的实验课程,因此我们在比较全面地介绍有关知识的同时,又作了相当程度的简化处理。这一点希望学生给予注意。

第一节 测量与误差

一、测量

(一) 测量的定义

测量是用实验方法获得量的量值的过程。实验离不开测量。例如,我们用游标卡尺来测量某圆柱体的直径、高度,从而测出它的体积;用天平测量某物体的质量;测量某导体的电阻、长度和截面积,以确定它的电阻率,等等。

(二) 测量的分类

测量有很多种不同的分类方法。按照测量方法的不同,可将测量分为以下两大类。

(1) 直接测量(direct measurement)

直接测量是将待测量与预先标定好的仪器、量具进行比较,直接从仪器或量具上读出量值大小的测量。例如,直接用长度测量工具测出长度、宽度、高度、半径、直径等,直接用电表测量电压、电流,直接用秒表或数字毫秒计、电子钟等测量时间,直接用功率计或能量计测量激光输出的功率或能量等。

(2) 间接测量(indirect measurement)

间接测量是指需先由直接测量获得数据,利用已知的函数关系经过运算才能得到待测量的数值。例如,要测量某矩形物体的面积,可以利用公式 $S=ab$,先测出它的长度 a 和宽度 b ,再求出面积 S ;利用激光测距方程 $L=\frac{1}{2}ct$,测出激光发出到由目标反射回来的时间间隔 t ,就可以计算得到 L 。那么,面积 S 和距离 L 都是间接测量的量值,长度 a 、宽度 b 和时间 t 都是直接测量的量值。

要注意,直接测量和间接测量是按照测量方法来区分的,而不是按照测量对象来区分的。例如,同样是测量长度,如果用米尺直接测得某长度,那就是直接测量;如果采用上述激光测距或三角的方法,然后计算求得,那就是间接测量。

这两种方法的数据处理也不同,在下一节里将对此详细介绍。所以,一般情况下,在数据处理以前,要先分清涉及的是哪一种测量。

二、误差

(一) 真值与误差的定义

物理实验离不开对物理量的测量。由于测量仪器、实验条件以及种种因素的局限,测量是不可能无限精确的。测量结果与真值之间总是可能存在一定的差异,也就是说总是存在着测量误差。那么,什么是真值与误差呢?

所谓真值,是指当某量能被完善地确定并能排除所有测量上的缺陷时,通过测量所得到的量值。当对某量的测量不完善时,通常就不能获得真值。从测量的角度来讲,测量总是不能绝对完善的,因此真值不可能确切获知。一个量的真值,是在被观测时本身所具有的真实大小,它是一个理想的概念。当然,在一些情况下真值是通过定义获得的,例如真空中的光速,那么真值就是确定的。

所谓测量误差,是指测量结果与被测量真值之差。如果用 Δx 来代表误差,用 x 来代表测量结果,用 $x_{\text{真}}$ 来代表被测量的真值,则有:

$$\Delta x = x - x_{\text{真}} \quad (1-1)$$

由此式可知,误差是有正负的。当 $x > x_{\text{真}}$ 时, Δx 为正,当 $x < x_{\text{真}}$ 时, Δx 为负。

(二) 误差的分类

误差产生的原因很多。按照误差产生的原因和不同性质,可将误差分为系统误差、随机误差和粗大误差三类。

(1) 系统误差

系统误差是指在同一量的多次测量过程中,保持恒定或以可预知方式变化的测量误差的分量。

系统误差及其产生的原因可能已知,也可能未知。系统误差包括已定系统误差和未定系统误差。已定系统误差是指符号和绝对值已经确定的系统误差;未定系统误差是指符号或绝对值未经确定的系统误差。

系统误差特征是其确定性(恒定或以可预知的方式变化)。系统误差的来源主要有仪器的固有缺陷(如电表的示值不准、零点未调好,等臂天平的两臂不相等)、环境因素(如温度、压强偏离标准条件)、实验方法的不完善或这种方法依据的理论本身具有近似性(如伏安法测电阻时没有考虑电表内阻的影响、称质量时未考虑空气浮力的影响)、实验者个人的不良习惯或偏向(如有的人习惯于侧坐、斜坐读数,使读得数值总是偏大或总是偏小)以及动态测量的滞后等。

由于系统误差在测量条件不变时有确定的大小和正负号,因此在同一测量条件下多次测量求平均并不能减小它或消除它。

对于系统误差,必须找出其产生原因,针对原因去消除或引入修正值对测量结果进行修正。系统误差的处理是一个比较复杂的问题,没有一个简单的公式可以遵循,需要根据具体情况作出具体处理。首先要对误差进行判别,然后将误差尽可能地减小到可以忽略的程度。这需要实验者具有相应的经验、学识与技巧。一般可以从以下几个方面进行处理:

- ① 检验、判别系统误差的存在。
- ② 分析造成误差的原因,并在测量前尽可能消除。
- ③ 测量过程中采取一定方法或技术措施,尽量消除或减小系统误差的影响。
- ④ 估计残余系统误差的数值范围,对于已定系统误差,可用修正值(包括修正公式和修正曲线)进行修正;对于未定系统误差,尽可能估计出其误差限值,以掌握它对测量结果的影响。

在今后的某些实验中,我们将针对具体情况对系统误差进行分析和讨论。

(2) 随机误差

随机误差是指在同一量的多次测量过程中,以不可预知方式变化的测量误差的分量。根据随机误差的特点可以知道,随机误差不可能修正。随机误差就个体而言是不确定的,但其总体(大量个体的总和)服从一定的统计规律,因此可以用统计方法估计其对测量结果的影响。

随机误差的特征是其随机性。随机误差的主要来源有测量仪器、环境和测量人员。这些因素对测量会产生微小的影响,而这些影响往往是随机变化的。