



高等学校“十一五”规划教材

物理实验教程

Wuli Shiyan Jiaocheng

于建勇 主编

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

高等学校“十一五”规划教材

物理实验教程

于建勇 主编

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

全书共六章内容,包括绪论、物理实验的基本方法、测量误差及数据处理的基础知识和 45 个实验项目。其中实验项目分为基本实验项目 25 个、近代与综合性实验项目 12 个以及设计性实验项目 8 个等三个部分。按由浅入深、多层次循序渐进的原则,有助于培养和逐步提高学生的科学实验素质和创新能力。

本书可作为高等院校理工科各专业的物理实验教学用书或教学参考用书,也可作为成人教育、高等职业教育、大专院校等物理实验教学选用或教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

物理实验教程 / 于建勇主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2007. 12

ISBN 978-7-81107-824-4

I. 物… II. 于… 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(2007)第 200847 号

书 名 物理实验教程

主 编 于建勇

责任编辑 钟 诚

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)

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 17.75 字数 443 千字

版次印次 2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

印 数 1~10 000 册

定 价 28.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本教材是根据“高等工业学校物理实验课程教学基本要求”和物理实验中心实际情况而编写的。在参加编写的全体教师共同努力下,本教材在原出版教材基础上对教材内容体系做了较大修改。在所编写的四十五个实验项目中,新增加实验项目十八个,另有九个实验项目内容做了较大改动,删除了部分实验项目。它反映了近几年来我们在实验教学改革和实验室建设方面取得的成果。

实验教材建设是教学改革的重要组成部分。为适应实验教学改革的需要,本次教材在编排上着重突出了分阶段、分层次的模块化教学体系。按照由浅入深、多层次循序渐进的原则,将实验项目划分为基础实验、近代与综合性实验和设计性实验等三大模块。在实验内容的选择上,本教材结合我校学生实际情况和各专业特点,注重选取了培养学生动手能力、思维能力和创新能力效果较好的实验项目;并在教材的大部分实验项目中新增加了预习要点,完善了预习思考题和课后思考题等内容。这将有助于培养和逐步提高学生的科学实验素质 and 创新能力。

实验教材建设一直伴随着实验室的建设和发展。物理教学实验中心经过几代人几十年的教学实践,特别是近几年经过“211 工程”建设、中国“高等教育发展”世界银行贷款项目建设、省级“示范中心”建设以及教育部“修购专项”经费等资助,物理教学实验中心建设工作取得了显著成绩,物理实验课程建设得到了质的飞跃。在此非常感谢几十年来在物理实验教学工作岗位辛勤工作的所有老师和实验技术人员。

本次教材的编写出版,是一项集体创作,它是长期从事物理实验教学的老师和实验技术人员共同辛勤劳动的成果,是集体智慧的结晶。在此对参加历次教材编写的各位老师表示衷心的感谢。

本书由于建勇担任主编,参加编写的人员有吴玉喜、郭治天、吕冬玲、李华、张伦、张涤华、侯秋文、唐芙蓉、郭昌清、蒋荣侠。

由于编者水平有限,教材中难免有错漏之处,真诚希望同行和广大读者批评指正。

编 者

2007 年 12 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 物理实验课的目的与任务	1
第二节 学生物理实验守则及选课方法	2
第三节 关于实验预习和实验过程	3
第四节 怎样写实验报告	3
第二章 物理实验的基本方法	5
第一节 物理实验分析方法	5
第二节 物理实验的基本测量方法	5
第三节 物理实验中的基本调整与操作方法	8
第三章 测量误差及数据处理的基本知识	10
第一节 测量与有效数字	10
第二节 测量的误差	12
第三节 测量结果的总不确定度估算	18
第四节 实验数据的处理方法	24
第四章 基本实验	33
实验一 薄透镜焦距的测量	33
实验二 用拉伸法测金属丝的杨氏模量	38
实验三 金属线胀系数的测定	44
实验四 用扭摆法测定物体转动惯量	47
实验五 空气比热容比的测量	52
实验六 不良导体导热系数的测定	55
实验七 声速测量	58
实验八 用模拟法测绘静电场	63
实验九 双臂电桥测低电阻	68
实验十 交流电桥实验	73
实验十一 用电势差计测电动势	83
实验十二 高阻直流电势差计的应用	88
实验十三 P—N 结正向压降与温度关系的研究	92

实验十四	霍耳效应	97
实验十五	霍耳效应测螺线管磁场	100
实验十六	电子束的控制、加速与静电聚焦	105
实验十七	电子束的偏转研究	111
实验十八	电子束的磁聚焦及电子比荷的测定	117
实验十九	用电磁感应法测交变磁场	121
实验二十	电子示波器的使用	127
实验二十一	数字存储示波器的使用	135
实验二十二	分光计测三棱镜玻璃折射率	145
实验二十三	分光计测光栅常数	152
实验二十四	等厚干涉——牛顿环和劈尖	155
实验二十五	迈克耳逊干涉仪	160
第五章	近代与综合性实验	167
实验二十六	波尔共振仪——受迫振动研究	167
实验二十七	多普勒效应综合实验	175
实验二十八	光电效应测普朗克常数	184
实验二十九	夫兰克—赫兹实验	189
实验三十	测定铁磁材料的基本磁化曲线和磁滞回线	197
实验三十一	密立根油滴实验——电子电荷的测定	202
实验三十二	非线性电路中的混沌现象	208
实验三十三	光的偏振特性研究	214
实验三十四	平面光栅单色仪的使用	219
实验三十五	光栅衍射实验	224
实验三十六	微波光学实验	228
实验三十七	红外传输实验	238
第六章	设计性实验	246
实验三十八	非线性电阻元件 $V-A$ 特性的研究	246
实验三十九	半导体温度传感器的研究	251
实验四十	非平衡电桥测温仪的设计	254
实验四十一	数字万用表的设计与校准	261
实验四十二	望远镜的组装	270
实验四十三	显微镜的组装	273
实验四十四	电学实验的研究与设计	277
实验四十五	光学平台上的实验设计	277

第一章 绪 论

物理实验是理工类专业的学生进入大学后的必修课程。本课程是培养与提高学生的科学素质和能力的重要课程之一。学生通过系统的物理实验基本知识、实验方法、实验技能的学习,必将得到科学素质的提高。这里说的科学素质主要是指科技工作者应具备的强烈的求知欲望、科学的世界观和创造能力、科学的研究方法、严谨的科学作风和优秀的心理素质等。在培养知识人才科学素质方面,物理实验课的作用是任何课程都不可替代的。

物理学研究的是物质世界的基本属性,物质运动的基本规律。观察与实验是科学研究的基本方法。物理实验的基本方法是测量,不论是直接的还是间接的,都是观察的定量反映,这也是认识物质世界最基本的方法。

随着人们认识的不断加深,真理的绝对性与认识的相对性在实验测量值的认识上有了具体的表现。真值是客观存在的,只能接近而永不能达到。测量值的精度可以随着技术的发展、仪器的更新和方法的改变不断得到提高,但客观真值是达不到的。人们对客观世界的认识就是如此。物理实验不仅是技能的训练,更重要的是科学世界观的培养。在整个学习过程中,学生应通过测量方法的学习、实验仪器的使用、实验条件的建立、实验结果的分析,培养科学的唯物主义世界观。

每一个物理实验都包含着矛盾的对立统一。做实验就是解决矛盾,在实验中不仅仅要解决具体问题,更重要的是要熟悉实验的方法,掌握抽象、假说、数学和逻辑等自然科学研究的一般方法,掌握物理实验中具体的研究方法,学习实验的设计思想与设计路线以及研究问题的各种基本方法,这是物理实验的关键。

在实验中还要锻炼学生与他人合作的精神、克服挫折的心理准备、选择与批判的能力、独立判断能力、文学修养等。学生要注重培养实事求是的科学态度和严肃认真的工作作风。实事求是就是既要客观地反映研究的结果,又要从实际出发,灵活、务实地处理问题。

需要特别说明的是,教学实验不同于科学实验,教学实验是以教学为目的,其任务是培养人才,而不在于探索,是以传授知识、培养人才为目的的,因此,教学实验从宗旨、内容和形式上都有别于科学实验。教学实验通常都是理想化了的,排除了次要干扰因素而简化过的实验,是经过精心设计准备,一定能成功的。由于本课程承担着培养与提高学生的科学素质和实验能力的任务,因此物理实验教学具有非常重要的地位。

第一节 物理实验课的目的与任务

(1) 通过实验现象的观察与分析 and 常用物理量的测量,使学生掌握物理实验的一些基本知识和基本方法,学会实验的一些基本技能,加深对物理学基本原理的理解。

(2) 培养与提高学生科学实验能力:在实验中提出和发现问题、分析问题的能力以及独立实验的能力;通过阅读实验教材理解实验的基本原理与内容的能力;借助教材或仪器使用说明正确常用仪器的能力;正确取得实验数据、掌握误差理论的基本知识、掌握有效数字运算及数据处理方法的能力;能分析、说明实验现象与结果的能力;能简单地分析误差、写出简明扼要的实验报告的能力。

(3) 培养与提高学生的科学实验素质。培养学生理论联系实际、实事求是的工作作风,严肃认真的工作态度,勇于探索的精神,团结协作、遵守实验室各项规章制度和实验操作规程的优良品德。

第二节 学生物理实验守则及选课方法

一、学生《大学物理实验》课程守则

(1) 学生应在实验课前对要做的实验进行预习,并按要求写出预习报告。无预习报告不得做实验。

(2) 学生必须在规定的周次内完成规定的实验教学内容。学生应在选定的时间内进行实验,不得无故缺席或迟到,迟到十分钟取消本次实验资格。若要变更实验上课时间,必须经实验中心同意,否则按无故缺席处理。

(3) 进入实验室后,服从指导教师安排;出示预习报告,经指导教师检查确认合格后,方可进行实验。

(4) 实验时应先仔细观察仪器构造,操作时应严格遵守各种仪器仪表的操作规范。如有损坏仪器,要及时报告指导教师,并填写仪器损坏(赔偿)单,根据情况按学校规定处理。

(5) 实验完成后,应先将实验数据交给教师审阅。实验数据合格者,需教师签字通过,才能拆除线路与装置。实验数据记录不能用铅笔书写。

(6) 实验过程中,应注意保持实验室整洁、安静。实验完成后应将仪器、桌椅恢复原状,放置整齐,并打扫实验室卫生。

二、《大学物理实验》课程选课方法

《大学物理实验》课程采用开放式教学,学生每学期必须在实验中心所开出的实验项目中,选择并完成规定的实验项目。每个班级指定一名同学负责选课,各班将同学按班级序号单、双号分成 A、B 两组。

每次每组做相同的实验内容,每次实验前一周通过网络进行预约选课,选择本次实验内容和上课时间。具体选课步骤如下:

(1) 登陆物理教学实验中心主页

首先进入中国矿业大学主页→进入理学院主页→进入物理教学实验中心主页。

(2) 进入选课系统

在选课系统窗口输入用户名、密码,点击“登陆”,进入选课系统。该部分有四个功能:① 学生选课;② 查询选课;③ 成绩查询;④ 修改密码。

(3) 选课

① 点击“学生选课”进入选课菜单,选择 A 组(或 B 组),选择实验内容,选择上课时间,

点击“选好了”键提交。

② 点击“继续选课”，选择 B 组(或 A 组)，点击“选好了”键提交，再点击“返回”，返回选课系统。

(4) 查询选课

点击“查询选课”，进行选课查询，记录所选实验内容及上课时间。点击“返回”，退出选课系统，关闭浏览器。

注：若要调整所选实验内容或上课时间，可在查询选课状态下点击“删除选课”并确认，则所选课程即被删除，A、B 两组应全部删除。选课删除后，可重新进行选课。

第三节 关于实验预习和实验过程

(1) 要做好实验首先要预习。实验前必须认真阅读教材，做好必要的准备工作，要对实验原理和方法进行认真的理解。预习也是培养学生阅读能力、自学能力的重要环节。没有充分的准备是做不好实验的，也不会有大的收获。实验的过程应是学生积极主动思考、研究、探索的过程，而不是跟在教师后面重复知识的过程，只有这样才能有较大的收获，因此预习是十分必要的。在预习中将关键点与难点记录下来(在教师指导下，通过实验，自己解决)。在实验数据记录纸上做好数据记录表格，同时要写出实验预习报告。实验前的准备工作是培养锻炼学生理解能力的重要环节。

以上工作必须在实验前做好。

(2) 到实验室做实验。首先要让实验指导教师检查预习报告，并签字，然后需经实验指导教师同意后方可动手操作仪器。实验必须在实验教师指导下独立完成。

(3) 实验记录。实验的原始数据先记录在专用的“物理实验原始记录”纸上。实验完成后经教师签字方有效。在写报告时，必须重新整理在正式报告第(5)部分。原始记录要随实验报告一起上交。原始数据一定要用钢笔或圆珠笔记录，不得任意涂改。确定测错且无用的数据，用横线划去(例：28.32)，在旁边写出更改后的数字，不允许在原始数上改写或涂抹，或用胶带纸贴掉。

(4) 实验结束，须教师在原始记录上签字后，再拆除实验装置。

(5) 将仪器整理好。各班实验结束后，留人打扫实验室卫生。

(6) 实验报告与原始记录在实验结束后一周内交，不得延误。

总之，学生应将每次实验当做培养自己创造意识与创新能力的一次锻炼机会，认真努力地完成实验教学内容。

第四节 怎样写实验报告

在科学实验与工程测量、工程设计中都要有技术报告，科学研究也要撰写科学研究论文。学生写物理实验报告是这种锻炼的开端。

实验报告由实验预习报告与实验报告组成。

预习包括以下内容:

- (1) 实验人姓名、班级、班级序号、仪器组号、实验日期。
- (2) 实验名称、实验要求(说明本实验的目的)、实验仪器(本实验所用仪器名称)。
- (3) 原理摘要。在理解实验原理的基础上,用自己的语言简要地写出进行某物理量测量时或进行某种研究所依据的主要原理、方法及主要公式,包括原理图、电路图或光路图,并要有说明。公式中的各物理量的意义以及公式的简化、适用条件也要说明(请学生注意既不要照抄教材,也不要寥寥数语,上述每项内容在原理部分中必须体现)。

完整的实验报告要包括如下内容:

将实验预习报告的一至三部分直接作为实验正式报告的前三部分(在预习时学生直接写在报告纸上)。

(4) 实验步骤(实验内容)。要求写出仪器的主要调整方法和测量技巧,不要照抄教材的操作步骤,一定要反映实际操作过程。

(5) 数据与数据处理。包括实验数据表格,原始记录不能代替报告的数据表。要有数据计算的主要过程(列出公式,依据公式代入数据,结果)、图表和最后结果的误差分析。要认识到,科学研究的最后结果不是产生在测量之后,而是产生在对测量数据的分析处理之后。特别需要指出的是,学生往往只重视结果“值”是什么,而忽略结果的不确定度、结果的适用范围,而这才是科学研究与工程测量中更为重要的实验结果的一部分。

(6) 实验小结。小结内容范围很广。可以是对观察到的实验现象进行分析,对结果与误差原因进行分析;也可以对实验方法提出改进意见,谈一下自己设计的实验方案;还可以谈自己在科学实验方面的体会。

(7) 由教师签字的实验原始记录。

第二章 物理实验的基本方法

第一节 物理实验分析方法

物理实验的基本任务是测量,为了完成对物理量的测量,应在实验前根据对实验测量精度的要求,进行具体分析,选择合适的测量方法和测量仪器。选择正确的测量方法和测量仪器,不仅仅要对影响实验测量精度的众多因素进行分析,找出对实验结果影响较大的主要因素,抛开那些与主要因素相比影响小得多的次要因素,选择适合的测量方法,同时,也应在众多的测量仪器中选择满足实验测量精度要求的实验仪器。归纳来讲物理实验精度分析法包含以下几个方面:

(1) 分清影响物理实验精度的主次因素。在物理实验过程中,存在着影响实验测量精度的诸多因素。突出重点抓住对实验精度影响较大的主要因素,合理地调整主要因素,满足实验测量精度要求。

(2) 基本误差分析与确定。受实验条件、实验环境、实验仪器和观测者等偶然因素的影响,每个物理实验的误差都存在一个最低限度——基本误差。基本误差会因为偶然因素的不同其大小也不相同。另外,物理实验过程中由于各因素之间存在着相互影响和相互制约,单纯地提高其中一个或几个量的测量精度,往往并不能有效地提高实验测量精度。

(3) 测量方法的选择。对于测量同一种物理量但其量值范围不同的情况,为获得相同的测量精度,将采用不同的测量方法。而对于量值范围相同的情况,由于测量精度的要求不同,也可以采用不同的测量方法。根据量值范围和测量精度要求,分析选择合适的测量方法,在物理实验中占有重要位置。

(4) 仪器配置的选择。使用单一仪器进行测量时,为了满足不同的实验测量精度,应选择不同的测量仪器。若需使用由多件实验仪器组成的成套仪器进行测量,将根据实验精度的要求对实验仪器进行选择。单纯地选择其中一种或几种高精度实验仪器,往往不仅不能有效地提高实验测量精度,而且将会增加实验投入,有时还会影响到实验的顺利进行。客观地分析和合理地进行实验仪器的配置,是顺利完成物理实验的必备条件。

第二节 物理实验的基本测量方法

物理实验方法即是以一定的物理现象、物理规律和物理学原理为依据,建立合适的物理模型,研究各物理量之间关系的科学实验方法。不论是经典的还是现代的物理实验,都离不

开定量的测量和计算,所以实验方法通常指测量方法和数据处理方法两个方面。

由于物理实验测量内容的广泛性,故带来测量方法的繁多。按被测内容划分,可分为电量测量和非电量测量;按被测物理量随时间变化来划分,可分为静态测量和动态测量。

这里只概括介绍物理实验中常用的几种基本测量方法。

一、比较测量法

1. 直接比较测量法

直接比较测量法是把待测物理量与已知的同类物理量或标准量直接比较,测出其量值。这种比较通常要借助经过校准的仪器或标准量具。直接比较测量法的特点:① 待测量与标准量纲相同。② 待测量与标准量直接进行比较,从而获得待测量的量值。③ 待测量与标准量的比较是同时发生的,没有时间的超前与滞后。

2. 间接比较测量法

当一些物理量无法用直接比较测量法测量时,通常借助物理量之间的函数关系将待测物理量与同类标准量进行间接比较测量,这就是间接比较测量法。例如用替代法测电阻,其原理就是先测出被测电阻电路中的电流值,然后用一标准电阻替代被测电阻,调节标准电阻值,使电路中的电流与前面被测电阻电路中的电流值相同,此时的标准电阻值就是被测电阻值。

二、补偿法、均衡法和示零法

把标准值调节到与待测物理量值相等,用于补偿(或抵消)待测物理量的作用,使系统处于补偿(或平衡)状态的方法叫补偿法(或均衡法)。处于平衡状态的测量系统,待测物理量与标准量具有确定关系。其特点是测量系统中包含有标准量具和平衡器(或示零器),在测量过程中,待测物理量与标准量直接比较,调整标准量,使待测物理量与标准量之差为零(故也称其为示零法)。其优点是可以免去一些附加的系统误差,当系统具有高精度的标准量具和平衡指示器时,可获得较高的分辨率、灵敏度及测量的精确度。广义上讲,该方法也属于直接比较测量法。

三、放大测量法

为了适应各种范围内的精密测量,把待测物理量按一定的规律加以放大,再进行测量,这就是放大法。广义上的放大,包括放大倍数小于1的情况,即缩小。

1. 积累(或累计)放大法

如果受测量仪器的精度限制,或受人的反应时间的限制,单次测量的误差很大或无法测量出待测量的有用信息,常采用在时间或空间上积累的方法(即积累放大法)以减少测量的相对误差。例如,单摆实验周期的测量,如果所用计数器的仪器误差为0.1 s,单摆周期约为1 s,则单次测量周期的相对误差为10%;若测量50个周期的累计时间间隔,则计数器的仪器误差引起的相对误差降为0.2%,这就提高了测量精度。

2. 机械放大法

利用机械部件之间的几何关系,使标准单位量在测量过程中得到放大的方法,称为机械放大法。机械放大是最直观的一种放大法。例如螺旋测微仪利用螺杆鼓轮(微分筒)机构,使仪器的最小刻度从1 mm变为0.01 mm,从而提高了测量的精度。

3. 光学放大法

光学放大法大体分为两种,其中一种仪器只是在观察中放大视角,并不是实际尺寸的变

化,所以并不增加误差,它们有放大镜、显微镜和望远镜等。另一种是通过测量放大的物理量来获得本身较小的物理量。它们有检流计、光杠杆等。不仅如此,光学放大法经常在仪器设计中被广泛使用。

4. 电子学放大法

在对微弱电信号进行观察、测量的实验中,常用到电子学放大法。微弱电信号的放大可以是电压放大、电流放大、功率放大,微弱电信号可以是交流也可以是直流的。例如三极管基极电流的微小变化都会使集电极电流产生很大的变化,所以三极管常用作放大器。现在各种新型的高集成度的仪器放大器、高精度运算放大器不断涌现,把微弱电信号放大十几个数量级已非常容易。因此,在实验中经常将物理量转换成电信号放大后再转换回去。

四、转换测量法

转换测量法是利用物理量之间的各种效应和定量函数关系通过变换原理进行测量的方法。通常换测法的测量是将不能直接测量的物理量转为用已有仪器可以测量的物理量。

换测法大致可分为参量换测法和能量换测法两大类。

1. 参量换测法

参量换测法是利用各种参量变换及其变化的相互关系来测量某一物理量的方法。这种方法几乎贯穿于整个物理实验领域中。例如在用伏安法测量电阻实验中,是利用欧姆定律,经过电阻的电流随电阻两端的电压变化的规律,通过测量电流与电压得到被测电阻值。

2. 能量换测法

某些运动形式的物理量不易直接测量,可转换成易于测量的另一种运动形式,这种方法称为能量换测法。而且随着新型功能材料的不断涌现,如热敏、光敏、磁敏、压敏、气敏、湿敏材料等,各种各样的敏感器件和传感器也就应运而生,为科学实验和物性测量方法的改进提供了很好的条件。由于电学参量的测量技术比较成熟,易于测量,所以很多能量换测法都是把其他形式的能量转换成电能。下面介绍几种比较典型的能量换测法。

(1) 热电测换。将热学量转换成电学量测量。如利用半导体 PN 结电压随温度而变化的特性,将温度测量转换为电压测量。

(2) 压电测换。将压力转换成电学量测量。如话筒是把声波的的压力变化转换为电压的变化,而扬声器则是进行相反的转换,即把变化的电压转换成变化的声波信号。

(3) 光电测换。将光通量转换成电学量测量。能够实现这种转换的物理器件称之为光电换能器(或称光电传感器),其变换的原理是光电效应。转换器件有光电管、光电倍增管、光电池、光敏二极管、光敏三极管等。

(4) 磁电测换。将磁场转换成电学量测量。如利用半导体霍尔元件产生的霍尔效应进行磁学量与电学量的转换测量。

五、模拟法

由于条件所限,不能直接研究自然现象或过程的本身,这就要用与这些自然现象或过程相似的模型来进行研究。模拟法是以相似理论为基础的,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方法。如利用光测弹性法模拟工件内部应力分布情况。还有在一种称为“风洞”的高速气流装置中模拟实际飞机在大气中的飞行,等等。

数学模拟是指把两个本质不同的物理现象或过程,用相似的数学形式来描述的模拟方法。如模拟静电场实验中,就是基于被模拟的静电场分布与模拟的稳恒电流场的分布,可以

用相同的数学形式来表示的原理。

物理模拟法与数学模拟法相互配合使用,其效果更好。将计算机引入物理实验,用计算机进行模拟更为方便,而且还可以将两种模拟法更好地结合起来。

第三节 物理实验中的基本调整与操作方法

物理实验需要实际动手操作,在实验中掌握调整方法和操作技术是十分重要的,只有正确地调整和操作才能完成实验,而且对提高实验结果的准确度有直接影响。高水平的物理实验调整和操作能力,需在实验过程中逐渐积累。

一、零位的调整

零位调整,就是要求测量前首先检查各测量仪器的初始位置是否正确。由于受各种因素的影响,仪器的零位往往发生偏离,因此在实验前总需要检查和校准仪器零位,以避免不必要的零位误差引入。

零位校准的方法:一是通过调节仪器零点,将仪器零位校准;二是在数据误差处理中进行剔除。

二、水平、垂直度调整

实验时有些仪器使用前需要进行水平和垂直度调整。通常这种调整需要借助于悬锤与水准仪,通过调节仪器可调节底角螺丝进行水平和垂直的调整。

垂直的调节方法:常用的方法是采用悬锤调整,通过调节仪器可调节底角螺丝,使下悬的锤头尖与底座上座尖相互对准即可。

水平的调节方法:常用的方法是使用气泡水准器调整,通过调节仪器可调节底角螺丝,使气泡水准器中气泡居中即可。

一般情况下水平与垂直调整可相互转化,互为补充。对于没有安装水准仪或悬锤的仪器,可利用自身的装置进行调整。

三、视差的消除

在测量中,经常会遇到读数标线(指针、叉丝)和标尺平面不重合的情况。此时,当眼睛在不同角度位置观察时,获得的指示值将会有差异,这种差异被称为视差。实验时应根据实际情况选择相应的方法消除误差。

视差消除的方法:一种视差类型是带指针类仪表,由于表的指针与标度尺面之间存在间隙,为了消除视差,读数时应做到从正面垂直观测。由于表度尺面处镶有镜面,所以垂直观测的要点是看指针是否与镜面中指针像重合,若重合则垂直。另一种视差类型是在进行非接触式测量时,例如带有叉丝的测微目镜、望远镜和读数显微镜等仪器。为了消除视差,先调节目镜与叉丝之间的距离,通过目镜看清叉丝,然后调节叉丝与物镜之间的距离,使物像清晰。此时,叉丝与物像共面,并且处于人眼经目镜后明视距离的平面上,这时即无视差。该过程需要反复调节,才能达到较理想状态。

四、同轴等高调节

光学仪器在使用时,都要求仪器内部的各个光学元件主光轴相互重合,并且此轴要与光床轴向平行,称为等高同轴。因此这类光学仪器使用前要对各光学元件进行同轴等高调整。

同轴等高的调节方法:首先采用目测法进行粗调,将各光学元件和光源中心调成等高,使各光学元件所在平面基本上相互平行且铅直,此时,各光学元件的光轴基本上接近重合。其次进行细调。细调过程中,使用一般光源进行实验时,利用光学系统本身或者借助其他光学仪器,依据光学的基本规律来调整。例如薄透镜焦距测量实验,应用自准直法和二次成像法调节同轴等高。较详细的调节方法见“薄透镜焦距测量”实验。另外,当使用激光光源进行实验时,先用一光屏沿着确定的激光束方向平移一较长距离,调节激光器方位,使屏上激光点位置前后一致,并保持不变;然后,分别放入其他光学元件高低和左右调节,使激光光束经过各光学元件后仍照射在光屏原位置不变。详细的调节方法见相关实验内容。

五、实验的基本调节步骤

物理实验过程中,通常实验仪器的调节过程都不是一次成功的,而要经过仔细、反复的调节。常用的迅速而有效的技巧是“逐次逼近”。所谓“逐次逼近”,就是在实验仪器零点或某位置左右反复调节,逐步接近零点或最佳位置。

在物理实验中注意遵循这样两个原则,第一先粗调,后细调原则;第二先定性,后定量原则。

第三章 测量误差及数据处理的基本知识

第一节 测量与有效数字

一、测量

研究物理现象,了解物理特性、验证物理原理都必须进行测量,物理实验就是以测量为基础来研究和观察物理规律。测量的意义在于将待测物理量与一个作为标准的同类量进行比较,得到它们之间的倍数关系。标准同类量是单位,倍数称为测量数值,物理测量值为二者乘积。测量可以分为两类,即直接测量与间接测量。通过测量工具直接测量得到的物理量,如天平称质量、秒表计时间、尺量长度是直接测量量;而用数个直接测量量通过运算得到的物理量称为间接测量量。要得到应有的直接测量量或间接测量量,就必须要在测量中满足所规定的测量条件、测量方法,正确使用仪器,因此,实验中不仅要了解实验目的,而且要有合适的实验条件、实验方法,还要仔细、认真操作,正确读数和记录,这样才能达到实验的目的。

二、有效数字及其表示

测量值都是用若干个数字组成的数值表示的。在测量时如何正确记录数值,即确定记录数据的位数是首先遇到的、必须解决的问题。这就是测量结果的“有效数字”问题。用有效数字表示测量结果是一种近似方法,一定要与不确定度联系起来才能对测量结果给予准确的描述。

1. 直接测量量的有效数字

(1) 有效数字的概念

仪器上直接测读的数据位数是由被测量的大小及仪器的精密度决定的。在仪器最小分度为1个单位的情况下,一般正确的读数是读到仪器最小分度以下再估读一位。例如:用最小分度为1 mm的米尺测量一物体的长度。它的厘米部分及毫米部分可以借助尺上的刻度线准确读出,但毫米以下只能凭眼睛估计。而这最后一位的估读是因人而异的,即使是同一人在不同的时候估读值也不全相同,所以具有偶然性,因而它是欠准确的、可疑的。

任何测量值都有几位可靠的准确数字,而最后都有一位估计的但有意义的、可疑的、欠准确的数字。我们将可靠的几位数字及最后一位可疑数字合称为测量结果的“有效数字”。而有效数字的数字个数称为“有效数字的位数”。

(2) 有效数字的特点

① 用有效数字表示的测量值大小,其结果都是近似的,最后一位是可疑数字。但它在

一定程度上反映了被测量对象的大小信息,因而是有意义的。特别是从最后一位可疑位的单位即可知此测量结果不准确的大致范围,一般不会超过该单位的一半。

② 有效数字的位数与测量对象的大小以及所用仪器的精密度有关。可疑位的单位可反映所用仪器的“精密度”。测量结果的有效数字位数越多,则测量结果越精确。

所谓仪器的精密度即是仪器的最小分度值,它一般是可以测准的。最小分度以下即需估读,为可疑位。如何估读要视分度的宽窄、目力分辨能力以及测量条件来定。

对数字显示式仪表,一般最后一位即为可疑位。

③ 有效数字的位数与单位无关。有效数字是从测量值中第一位不等于零的数字算起。通常将测量值写成“标准形式”,或叫“科学表达式”,即:“ $\square.\square\square\dots\times 10^n$ ”,其中 $\square.\square\square\dots$ 是有效数字, 10^n 表示数量级。如

$$3.48\text{ cm}=3.48\times 10^{-2}\text{ m}=3.48\times 10^1\text{ mm}$$

④ 测量结果中不为零的数字以后的零是有效数字。

2. 间接测量的有效数字

由于间接测量量是通过直接测量量计算得到的,所以它的有效数字也是通过直接测量量的有效数字按照一定的运算法则得到的。运用这些法则还可简化实际运算过程。

(1) 一般规则

① 可疑数字与准确数字(或可疑数字)之间的四则运算结果为可疑数字,但运算进位一般是准确数字。

② 运算最终结果只保留一位可疑数字。去掉后面一位可疑数字时,一般是用“四舍五入”法进行取舍。

(2) “和”、“差”、“积”、“商”的有效数字

由一般规则可以推得:

① “和”(或“差”)的有效数字只保留到相加(或相减)各数中最大的可疑位。

例: $41.75+11.4\approx 53.2$

$$\begin{array}{r} 41.75 \\ + 11.4 \\ \hline 53.15 \end{array}$$

② “积”(或“商”)的有效数字位数与相乘(或相除)各量中有效数字位数最少的相同。

例: $34.17\times 211\approx 7.21\times 10^3$

$$\begin{array}{r} 34.17 \\ \times 211 \\ \hline 3417 \\ 3417 \\ 6834 \\ \hline 720987 \end{array}$$

③ 有的情况下“积”可能比此法则多得一位,“商”则可能比此法则少一位。

除法运算,当除到余下数首数为可疑数时,则该位商即为可疑数。

(3) 对数和指数函数的有效数字

函数运算的有效数字不能用四则运算的规则,一般应运用微分公式求出误差来确定。