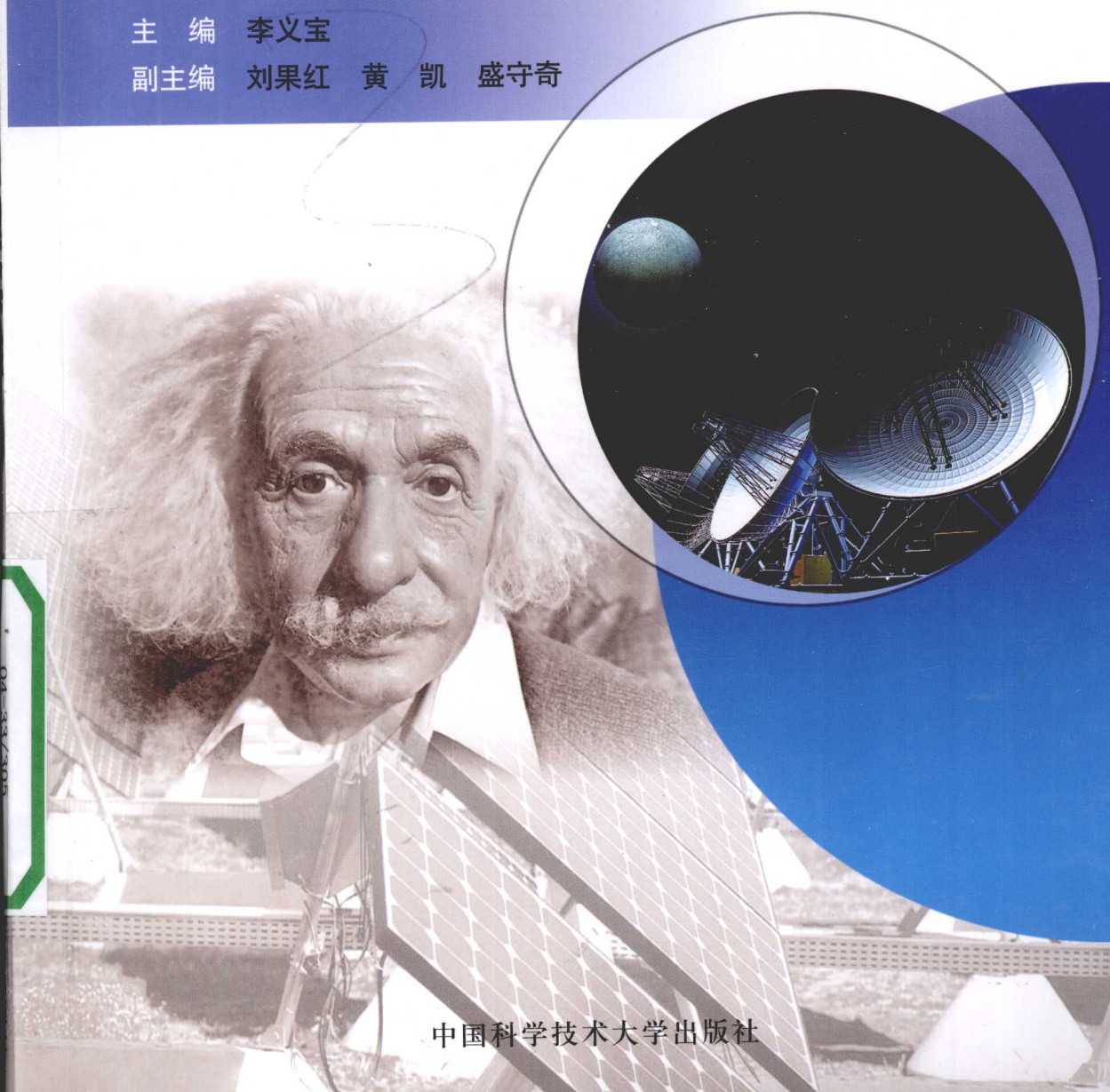


DAXUE WULI SHIYAN

大学物理实验

主 编 李义宝

副主编 刘果红 黄 凯 盛守奇



中国科学技术大学出版社

04-33/305

2009

大学物理实验

主 编 李义宝

副主编 刘果红 黄 凯 盛守奇

中国科学技术大学出版社

2009 · 合肥

内 容 简 介

本书是遵照全国工科实验物理课程指导委员会制定的教学基本要求,在总结普通高等院校多年来工科物理实验教学改革实践的基础上,为适应新的教育教学改革和发展而编写的。

本书的体系注重基础性和提高性实验,全书共4章,46个实验项目。由绪论;实验误差与数据处理的基础知识;基础性实验;综合及提高性实验和设计性实验组成。每部分相对独立,循序渐进,可供不同专业学生选做。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/李义宝主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2009.12
ISBN 978-7-312-02645-4

I. 大… II. 李… 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(2009)第 200849 号

出版发行:中国科学技术大学出版社

地址:安徽省合肥市金寨路 96 号,邮政编码:230026

网址:<http://press.ustc.edu.cn>

电话:发行部 0551—3602905 邮购部 0551—3602906

印 刷:合肥现代印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:710 mm×1000 mm 1/16

印 张:16.75

字 数:320 千

版 次:2009 年 12 月第 1 版

印 次:2009 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1—7000 册

定 价:26.00 元

前 言

大学物理实验是大学生从事科学实验和研究工作的入门向导,是一系列后续专业实验课程的重要基础。它侧重培养学生科学实验能力和实验技能的基本训练和良好的科学实验规范。本书是根据“高等学校工科本科物理实验课程教学基本要求”的精神,结合我校近年来工科物理实验教学改革和实验室建设的成果编写而成的。全书由绪论、实验误差和数据处理的基本知识、基础性实验、综合及提高性实验、设计性实验及附录组成。共 46 个实验项目,其中基础性实验 24 个,综合及提高性实验项目 14 个,设计性实验项目共 8 个。内容涉及力学、热学、电磁学、光学、近代物理等方面,其中还有一些综合设计性实验。在实验选题上更加注重基础性、应用性和拓展性,以求达到培养具有创新精神和实践能力的应用型人才的培养目标。本书具有普适性,可作为普通工科院校的大学物理实验教材,适合不同层次的教学需要。也可作为实验教师和技术人员的参考书。

本书由李义宝主编,参编人员有刘果红、黄凯、盛守奇、唐震、杨志云、卢永、周玉坤。李义宝完成了全书的统稿和主审工作。实验教材离不开实验室的建设和发展,经过几十年的教学实践,作过多次调整、更新和扩充,我们才达到了目前的规模和水平。这里面凝聚了教师和实验技术人员的智慧和劳动,是物理教学实验中心近年来教学改革成果的体现,实际上是一项集体创作。

本书在编写过程中,得到了安徽建筑工业学院数理系领导的关心和全体实验中心同志的积极支持,同时参阅了兄弟院校的相关教材,借鉴了一些宝贵的教学经验,在此一并表示感谢!同时对中国科学技术大学出版社对本教材提出的很多宝贵意见表示感谢!

由于时间仓促,编者水平有限,教材中难免存在错误和不妥之处,敬请广大读者和专家批评指正,谢谢!

编 者

2009 年 7 月

目 录

前言	(I)
绪论	(1)
第一节 大学物理实验课程的地位和作用	(1)
第二节 大学物理实验课的学习特点	(2)
第一章 实验误差与数据处理的基础知识	(5)
第一节 测量误差及不确定度的基本概念	(5)
第二节 实验数据处理方法	(22)
第三节 物理实验的基本方法	(29)
第四节 实验报告范例	(32)
第二章 基础性实验	(37)
实验 1 固体和液体密度的测量	(37)
实验 2 电位差计的原理与使用	(42)
实验 3 薄透镜焦距的测定	(46)
实验 4 单摆实验	(53)
实验 5 用玻尔共振仪研究受迫振动	(57)
实验 6 杨氏模量的测定	(63)
实验 7 恒力矩法测量刚体的转动惯量	(72)
实验 8 多普勒效应综合实验	(77)
实验 9 液体表面张力系数的测定	(82)
实验 10 固体导热系数的测定	(85)
实验 11 热电偶的定标	(89)

实验 12	气体比热容比的测量	(93)
实验 13	电阻元件的伏安特性	(96)
实验 14	示波器的原理与使用	(100)
实验 15	直流电桥测电阻	(107)
实验 16	亥姆霍兹线圈磁场的分布	(115)
实验 17	RLC 电路特性的研究	(122)
实验 18	声速测量	(133)
实验 19	用非线性电路研究混沌现象	(139)
实验 20	静电场描绘	(145)
实验 21	分光计的调整与三棱镜折射率的测量	(149)
实验 22	迈克尔逊干涉仪实验	(158)
实验 23	光的干涉	(163)
实验 24	光电效应测定普朗克常数	(170)
第三章	综合及提高性实验	(175)
实验 25	空气热机	(175)
实验 26	液体黏滞系数的测定	(181)
实验 27	热敏电阻的温度特性研究	(186)
实验 28	铁磁材料的磁滞回线及基本磁化曲线	(190)
实验 29	金属线膨胀系数的测量	(195)
实验 30	超声光栅测声速	(199)
实验 31	光弹性实验	(204)
实验 32	太阳能电池基本特性的研究	(209)
实验 33	弗兰克-赫兹实验	(213)
实验 34	密立根油滴实验	(218)
实验 35	光速测量	(224)
实验 36	氢原子光谱	(230)

实验 37 核磁共振(NMR)实验	(234)
实验 38 扫描隧道显微镜	(241)
第四章 设计性实验	(245)
第一节 设计性实验的性质与任务	(245)
第二节 设计性实验项目	(246)
实验 39 动量守恒定律的研究	(246)
实验 40 简谐振动的研究	(248)
实验 41 开放式多用电表的改装	(250)
实验 42 用混合法测定金属的比热容	(252)
实验 43 利用等厚干涉测透明液体的折射率	(253)
实验 44 测透明固体的折射率	(254)
实验 45 铜丝电阻温度系数的测定	(255)
实验 46 原子光谱的研究	(256)
附录	(257)
参考文献	(260)

绪 论

本章主要内容是介绍实验误差的特点及克服方法;不确定度概念及估算方法;有效数字概念等。并着重介绍图表法、逐差法;游标卡尺原理及使用方法;部分作业题的讲解等。实验是科学理论的源泉,是工程技术诞生的摇篮。学好物理实验对于高校理工科学生是十分重要的。

第一节 大学物理实验课程的地位和作用

在物理学史上,16 世纪意大利物理学家伽利略首先摒弃了形而上学的空洞思辨,代之以敏于观察、勤于实验的实践,并把物理实验作为物理学系统理论的基础、依据和发展物理学必不可少的手段,从而使物理学走上真正的科学道路。在物理学发展史上,这方面的例子不胜枚举。如对光的本性认识中,牛顿倡导的微粒说和惠更斯主张的波动说进行了一个多世纪的争论,孰是孰非,莫衷一是。最后托马斯·杨在 1800 年发表了双缝干涉实验,结果才使波动说得到了确认。然而,到了 19 世纪末、20 世纪初,由于光电效应实验又揭示了光的粒子性,从而使人们认识到光具有波粒二象性。又如 19 世纪初,多数物理学家对光和电磁波的传播不需要媒质的观点是不能接受的,因此假设宇宙空间存在着一种称之为“以太”的媒质,它具有许多异常而又不合理的特性。正是在这种情况下,迈克尔逊和莫雷合作,用干涉仪进行了有名的“以太风”实验,实验的“零结果”否定了“以太”的存在。

物理实验也是推动科学技术发展的有力工具。20 世纪现代科学技术的发展,如现代核技术是建立在铀、钚和镭等元素天然放射性的发现、 α 粒子散射实验、重核裂变和核的链式反应的实现等物理实验基础之上的,从而才有后来的原子弹、氢弹的爆炸,核电站的建立。激光技术,如激光通讯、激光熔炼、激光切割、激光钻孔、激光全息术、激光外科手术和激光武器等几乎都是从物理实验室中走出来的。而信息技术则是在量子力学和固体能带理论的建立与验证的基础上,于 1974 年在物理实验室中研制出晶体管,并发展成现在的大规模集成电路,超大规模集成电路,集成度以每 10 年 1000 倍的速度增长。可见,现代技术的突破大多是从实验室中诞生的。

随着物理学的发展,人类积累了丰富的实验思想和实验方法,创造出了各种精密巧妙的仪器设备;同时,用于实验的数学方法以及计算机科学在实验中的应用等,使物理测量技术不断得到发展。这实际上已赋予物理实验以极其丰

富的、不同于物理学本身的特有的内容,并逐步形成一门单独开设的具有重要教育价值和教育功能的实验课程。它不仅可以加深对理论的理解,更重要的能使同学们获得基本的实验知识、技能和科学创新的能力,为今后从事科学研究和工程实践打下扎实的基础。

“大学物理实验”是一门独立的必修基础实验课程,是同学们进入大学后受到系统实验方法和实验技能训练的开端。本课程的目的和任务是:

(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,提高对科学实验重要性的认识。

(2) 培养与提高学生的科学实验能力。其中包括:① 能够通过阅读实验教材或资料,做好实验前的准备;② 能够借助教材或仪器说明书,正确使用常用仪器;③ 能够运用物理学理论,对实验现象进行初步的分析判断;④ 能够正确记录和处理实验数据,绘制实验曲线,说明实验结果,撰写合格的实验报告;⑤ 能够完成简单的具有设计性内容的实验。

(3) 培养与提高学生的科学实验素养,要求学生具有理论联系实际和实事求是的科学作风,严肃认真的工作态度,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。

第二节 大学物理实验课的学习特点

大学物理实验课程的教学主要由三个环节构成:

1. 实验前的预习——实验的基础

实验前的预习是一次“思想实验”的练习,同学们在课前要认真阅读实验内容和有关资料,理解实验原理、方法和目的,然后在脑子中“操作”这一实验,拟出实验步骤,思考可能出现的问题和得出怎样的结论,最后写出预习报告。预习报告内容包括如下几方面:

(1) 实验名称。

(2) 实验目的。

(3) 实验原理摘要:主要原理公式及简要说明,画出必要的原理图、电路图或光路图。

(4) 主要仪器设备(型号、规格等)。

(5) 实验内容及注意事项,重点写出“做什么,怎么做”,哪些量是直接测量的,各用什么仪器和方法测量?哪些量是间接测量的?结果的不确定度如何估算等。

(6) 列出数据记录表格。

未完成预习和预习报告者,教师有权停止其实验或将成绩降档。

2. 实验中的操作——实践的过程

- (1) 遵守实验室规则。
- (2) 了解实验仪器的使用及注意事项。
- (3) 正式测量之前可作试验性探索操作。
- (4) 仔细观察和认真分析实验现象。
- (5) 如实记录实验数据和现象。

在实验操作中要逐步学会分析实验,排除实验中出现的各种故障,而不能过分地依赖教师;对所得结果要做出粗略的判断,与理论预期相一致后,再交教师签字认可。

离开实验室前,要整理好所用的仪器,做好清洁工作,数据记录须经教师审阅签名。

3. 实验后的报告——实验的总结

实验报告是实验工作的总结,要求文字通顺、字迹端正、图表规范、数据完备和结论明确。一份好的实验报告还应给同行以清晰的思路、见解和新的启迪。同学们要养成在实验操作后尽早写出实验报告的习惯,即对原始数据进行处理和分析,得出实验结果并进行不确定度评估和讨论。

实验报告通常分三部分:

一、预习报告

预习报告为正式报告的前期内容,要求在实验前写好,内容包括:

- (1) 实验名称。
- (2) 实验目的。
- (3) 实验原理摘要:在理解的基础上,用简短的文字扼要阐述实验原理,切忌照抄。力求图文并茂。图是指原理图、电路图或光路图;写出实验所用的主要公式,说明各物理量的意义和单位,以及公式的适用条件等。
- (4) 主要仪器设备(型号、规格等)。
- (5) 实验内容及注意事项,重点写出“做什么,怎么做”。
- (6) 列出记录数据的表格。

二、实验记录

实验记录是进行实验的一项基本功,同学们要在实验课上完成,要养成这个良好的习惯。内容包括:

- (1) 仪器。记录实验所用主要仪器的编号和规格。记录仪器编号是一个好的工作习惯,便于以后必要时对实验进行复查。
- (2) 实验内容和实验现象记录。
- (3) 数据。数据记录应做到整洁清晰,有条理,尽量采用列表法。表格栏内要注明物理单位。要实事求是地记录客观现象和实验数据,不能只记结果而略

去原始数据,更不可为拼凑数据而对实验记录作随心所欲的修改。

三、数据处理与计算

数据处理及计算在实验后进行。

内容包括:

- (1) 作图、计算结果和作不确定度估算。
- (2) 结果:按标准形式写出实验结果(测量值,不确定度和物理单位),有必要时注明实验条件。

(3) 作业题:完成教师指定的思考题。

(4) 对实验中出现的说明和讨论,以及实验心得或建议等。

实验室规则:

- (1) 实验前应认真预习,按时上实验课。
- (2) 进入实验室,必须衣着整洁、保持安静,严禁闲谈喧哗、吸烟、随地吐痰。不得随意动用与本次实验无关的仪器设备。
- (3) 遵守实验室规则,服从教师指导,按规定和步骤进行实验。认真观察和分析实验现象,如实记录实验数据,不得抄袭他人的实验结果。
- (4) 注意安全,严格遵守操作规程。爱护仪器设备,节约用水、电和药品、试剂、元器件等。凡违反操作规程或不听从教师指导而造成仪器设备损坏等事故者,必须写出书面检查,并按学校有关规定赔偿损失。
- (5) 在实验过程中若仪器设备发生故障,应立即报告指导人员及时处理。
- (6) 实验完毕,应主动协助指导教师整理好实验用品,切断水、电、气源,清扫实验场地。
- (7) 按指导教师要求,及时认真完成实验报告。凡实验报告不合格者,均须重做。平时实验成绩不及格者,不得参加本门课程的考试。

第一章 实验误差与数据处理的基础知识

第一节 测量误差及不确定度的基本概念

物理实验离不开物理量的测量,由于测量仪器、测量方法、测量条件、测量人员等因素的限制,对一物理量的测量不可能是无限精确的,即测量中的误差是不可避免的。没有测量误差知识,就不可能获得正确的测量值;不会计算测量结果的不确定度就不能正确表达和评价测量结果;不会处理数据或处理数据方法不当,就得不到正确的实验结果。由此可知,测量误差、不确定度和数据处理等基本知识在整个实验过程中占有非常重要的地位。本单元从实验教学的角度出发,主要介绍误差和不确定度的基本概念、测量结果不确定度的计算、实验数据的处理和实验结果的表示等方面的基本知识。这些知识不仅在每一个实验中要用到,而且也是同学们以后从事科学实验必须要具备的基本素养。然而,这部分内容涉及面较广,深入的讨论需要较多的数学知识和丰富的实践经验,因此不能指望通过一两次的学习就完全掌握它。我们要求实验者首先对上述提到的问题有一个初步的了解,在以后的学习中,要结合一个个具体的实验再仔细阅读有关内容,通过实际运用,逐步加以掌握。

误差分析、不确定度计算以及数据处理贯穿在实验的过程始终,它表现在实验前的设计与论证、实验过程中的控制与监视,实验结束后的数据处理和结果分析。通过本单元的学习和今后各实验的运用,要求达到:

- (1) 建立误差和不确定度的概念,能正确估算不确定度,懂得如何正确、完整地表达实验结果。
- (2) 掌握有效数字的概念及运算规则,了解有效数字与不确定度的关系。
- (3) 了解系统误差对测量结果的影响,学会发现某些系统误差、减少系统误差及影响的方法。
- (4) 掌握列表法、作图法、逐差法和线性回归法等常用的数据处理方法。

一、测量与误差的基本概念

1. 测量和单位

所谓测量,就是把待测的物理量与一个被选作标准的同类物理量进行比

较,确定它是标准量的多少倍。这个标准量称为该物理量的单位,这个倍数称为待测量的数值。可见,一个物理量必须由数值和单位组成,两者缺一不可。

选作比较用的标准量必须是国际公认的、唯一的和稳定不变的。各种测量仪器,如米尺、秒表、天平等,都有符合一定标准的单位和与单位成倍数的标度。

本教材采用通用的国际单位制(SI),在附录中列出了国际单位制的基本单位、辅助单位和部分导出单位,供同学们查阅。

2. 测量分类

根据获得测量结果的方法不同,测量可以分为直接测量和间接测量。

由仪器或量具直接与待测量进行比较读数,称为直接测量。如用米尺测量物体的长度,用电流表测量电流强度等,所得到的相应物理量称为直接测量量。

在大多数情况下,需要借助一些函数关系由直接测量量计算出所要求的物理量,这样的测量称为间接测量,相应的物理量称为间接测量量。如钢球的体积 V 可由直接测得的直径 D ,用公式 $V = \frac{1}{6} \pi D^3$ 计算得到。则 D 为直接测量量, V 为间接测量量。在误差分析和估算中,要注意直接测量量与间接测量量的区别。另外,这种测量的分类是相对的,随着测量技术的提高,一些间接测量量也可以通过直接测量得到。如密度的测量,如果通过测量物体的体积和质量求得密度,则密度便是间接测量量;如用密度计测量物体的密度,那么,密度就是直接测量量。

对重复的多次测量,可分为等精度测量和不等精度测量两类。如对某一待测物进行多次重复测量,而且每次测量的条件都相同(同一测量者、同一套仪器、同一种实验方法、同一实验环境等),那么就没有理由可以判定某一次测量比另一次测量更准确,对每次测量的精度只能认为是具有相同精度级别的。我们把这样的重复测量称为等精度测量。在诸测量条件中,只要有一个条件发生了变化,这时所进行的重复测量,就难以保证各次测量精度一样,我们称这样的测量为不等精度测量。一般在进行重复测量时,要尽量保持为等精度测量。

3. 测量误差

物理量在客观上存在确定的数值,称为真值。然而,实际测量时,由于实验条件、实验方法和仪器精度等的限制或者不够完善,以及实验人员操作水平的限制,使得测量值与客观上存在的真值之间有一定的差异。为描述测量中这种客观存在的差异性,我们引进测量误差的概念。

误差就是测量值与真值之差。即:

$$\text{误差} = \text{测量值} - \text{真值}$$

被测量量的真值是一个理想概念,一般来说真值是不知道的(否则就不必进行测量了)。为了对测量结果的误差进行估算,我们用约定真值来代替真值求误差。所谓约定真值就是被认为是非常接近真值的值,它们之间的差别可以

忽略不计。一般情况下,常把多次测量结果的算术平均值、标称值、校准值、理论值、公认值、相对真值等均可作为约定真值来使用。上面定义的误差称为绝对误差。设被测量的真值为 X , 则测量值 x 的绝对误差为

$$\delta = x - X \quad (1-1-1)$$

绝对误差可以表示某一测量结果的优劣,但在比较不同测量结果时则不适用,需要用相对误差表示。例如,用同一仪器测量长 10 m 相差 1 mm 与测量长 100 m 相差 1 mm,其绝对误差相同。显然,只有绝对误差难以评价这两个测量结果的可靠程度,因此必须引入相对误差的概念。相对误差是绝对误差与真值之比,真值不能确定时,则用约定真值。在近似情况下,相对误差也往往表示为绝对误差与测量值之比。相对误差常用百分数表示。即:

$$E = \frac{|\delta|}{X} \times 100\% \approx \frac{|\delta|}{x} \times 100\% \quad (1-1-2)$$

因此,在测量过程中,我们要建立起误差永远伴随测量过程始终的实验思想。

4. 测量值与有效数字

测量总是有误差的,它的值不能无止境地写下去。例如,用米尺测量一物体长度,如图 1-1-1 所示,其长度 $L = 24.3 \text{ mm}$,最后一位“3”是估读出来的,是可疑数字,也即在该位上出现了测量误差(小数点后第一位上)。如果用精度更高的游标卡尺测量同一长度,结果为 $L = 24.30 \text{ mm}$,此时小数点后第二位上的“0”是估读位即误差所在位。在数学上, $24.3 = 24.30$,但对测量值来说, $24.3 \text{ mm} \neq 24.30 \text{ mm}$,因为它们有着不同的误差,测量的准确度不同。为此,引入有效数字的概念,即规定测量数值中可靠数字与估读的一位可疑数字,统称为有效数字。因此,在记录实验数据时要切记读数的有效数字。

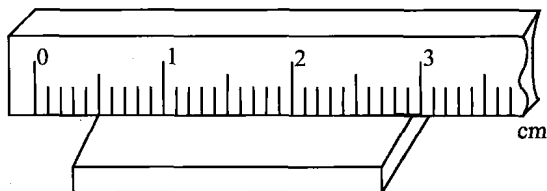


图 1-1-1 测量与有效数字

测量值 = 读数(有效数字) + 单位

有效数字 = 可靠数字 + 可疑数字(估读)

有效数字位数的多少,直接反映实验测量的准确度:有效数字位数越多,测量准确度越高。如上例的长度测量结果: 24.30 mm 比 24.3 mm 的测量准确度一般要高一个数量级(因为误差出现在最后一位的可疑位上,前者最大误差 $\delta = 0.09$,后者最大误差 $\delta = 0.9$,显然,它们的相对误差要相差一个数量级)。因此,实验结果有效位数既不能多写一位,也不能少写一位。

十进制单位换算只涉及小数点位置改变,而不允许改变有效位数。例如 1.3 m 为两位有效数字,在换算成 km 或 mm 时应写为:

$$1.3 \text{ m} = 1.3 \times 10^{-3} \text{ km} = 1.3 \times 10^3 \text{ mm}$$

而 $1.3 \text{ m} = 1300 \text{ mm}$ 的写法是错的。

5. 有效数字的运算

在数据运算中,首先应保证测量的准确度,在此前提下,尽可能节省运算时间,免得浪费精力。运算时应使结果具有足够的有效数字,不要少算,也不要多算。少算会带来附加误差,降低结果精度;多算没有必要,算的位数很多,但决不可能减少误差。有效数字运算取舍的原则是:运算结果保留一位可疑数字。

(1) 加、减运算。

例:

$$\begin{array}{r} 20.1 \\ +) 4.178 \\ \hline 24.278 \end{array} \rightarrow 24.3$$

结论: 诸量相加(相减)时,其和(差)值在小数点后所应保留的位数与诸数中小数点后位数最少的一个相同。

(2) 乘、除运算。

例:

$$\begin{array}{r} 4.178 \\ \times) 10.1 \\ \hline 42.1978 \end{array} \rightarrow 42.2 \text{ (三位)}$$

结论: 诸量相乘(除)后其积(商)所保留的有效数字,只须与诸因子中有效数字最少的一个相同。

(3) 乘方和开方的有效数字与其底的有效数字相同。

(4) 对数函数、指数函数和三角函数运算结果的有效数字必须按照不确定度传递公式来决定(详见本四节中的 3)。

6. 有效数字尾数修约规则

在计算数据时,当有效数字位数确定以后,应将多余的数字舍去,其舍去规则为:

(1) 拟舍弃数字的最左一位数字小于 5 时,则舍去,即保留的各位数字不变。

(2) 拟舍弃数字的最左一位数字大于 5,或者是 5 而其后跟有并非为 0 的数字时,则进 1,即保留的末位数数字加 1。

(3) 拟舍弃数字的最左一位数字是 5,而右面无数字或皆为零时,若所保留的末位数字为奇数则进 1,为偶数则舍去,即“单进双不进”。

上述规则也称数字修约的偶数规则,即“四舍六入逢五配双”规则。

例: 4.32749→4.327 4.32750→4.328
 4.32651→4.327 4.32850→4.328

这样处理可使“舍”和“入”的机会均等,避免在处理较多数据时因人多舍少而带来系统误差。

二、误差分类及其处理方法

按误差产生的原因和性质的不同,可分为系统误差、随机误差和粗大误差。

1. 系统误差

误差值的大小和正负总保持不变,或按一定的规律变化,或是有规律的重复,这种误差称为系统误差。

系统误差有多种来源,从基础物理实验教学角度出发,主要有:

(1) 仪器的示值误差。例如一电压表的示值不准,用它测量某一电压 U 时,得 $U=8.00\text{ V}$;用一只高一级的电表 A 校准此读数,得 $U_A=8.100\text{ V}$ (U_A 即为 U 的相对真值),则系统误差为 $\delta_U=U-U_A=-0.10\text{ V}$ 。对于有示值误差的仪器,一般应对示值进行修正。修正值 $C_x=-\delta_x$ (设待测量为 x),上例中 $C_U=-\delta_U=0.10\text{ V}$ 。所以:

$$\text{实际值}=\text{示值}+\text{修正值}=8.00\text{ V}+0.10\text{ V}=8.10\text{ V}$$

(2) 仪器的零值误差。例如电表的指针不指在零位,即产生零值误差。所以在使用电表前,应先检查指针是否指零,指针未指零,则必须旋动零位调节器使指针指零。又如,在使用千分尺测长度之前,也要先检查零位,并记下零读数(即零值误差),以便对测量值进行修正。

(3) 仪器机构误差和测量附件误差。前者由于诸如等臂天平的两个臂事实上不全相等,或者如惠斯顿电桥两个比例臂示值实际上不相等等原因所致,这类误差可用交换测量法来消除;后者如电学线路中开关、导线等附加电阻所引入的误差,这类误差可用替代法来巧妙地避免这些因素的影响。

(4) 理论和方法误差。由于实验理论和实验方法不完善,所引用的理论与实验条件不符等产生的误差。如在空气中称量质量而没有考虑空气浮力的影响;测量长度时没有考虑热胀冷缩使尺长改变;用伏安法测未知电阻,由于电表内阻的影响,使测量值比实际值总是偏大或总是偏小。

(5) 系统误差也包括按一定规律(指非统计规律)变化的误差。例如在一直流电路中,可分别精确地测出两串联电阻电压 U_1 、 U_2 ,并由 $\frac{U_1}{U_2}$ 求得此两电阻之比。但由于干电池在工作时,其电动势随时间均匀地略有下降,依次测定 U_1 、 U_2 时的电路电流有些不同,因而产生有规律性的误差。要消除这一误差,可采用相同时间间隔依次测定 U_1 、 U_2 和 U'_1 (即再测一次的值),将 U_1 的平均值与 U_2 相比即可。再如“分光计的使用和调整”实验中,角度的测量存在周期性的

误差,此误差可通过对称设置双读数游标来解决。

从上述的介绍可知,我们不能依靠在相同条件下多次重复测量来发现系统误差的存在,也不能借此来消除它的影响。原则上,系统误差均应予以修正,但系统误差的发现和估计是个实验技能问题,常取决于实验者的经验和判断能力。在基础物理实验教学中,处理系统误差的通常做法是:首先对实验依据的原理、方法、测量步骤和所用仪器等可能引起误差的因素——进行分析,查出系统误差源;其次通过改进实验方法和实验装置,校准仪器等方法对系统误差加以补偿、抵消;最后在数据处理中对测量结果进行理论上的修正,以消除或尽可能减小系统误差对实验结果的影响。在本课程中,我们把处理系统误差的思想和方法结合到每个实验中进行讨论。比如在长度测量实验中对零值误差进行修正;在牛顿环实验中,用逐差法消除了中心难以确定和因附加光程差而引起的系统误差等等。希望同学们重视对系统误差的学习,并在实践中不断总结提高。

2. 随机误差(偶然误差)

图 1-1-2 是随机误差分布图。随机误差(习惯上又常称为偶然误差),是指在同一被测量量的多次测量过程中,测量误差的绝对值与符号以不可预知(随机)的方式变化并具有抵偿性的测量误差分量。

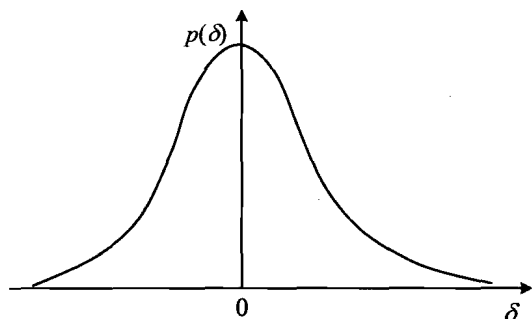


图 1-1-2 随机误差分布图

随机误差是实验中各种因素的微小变动性引起的。例如实验周围环境或操作条件的微小波动;测量对象的自身涨落;测量仪器指示数值的变动性;观测者在判断和估计读数上的变动性……这些因素的共同影响就使测量值围绕着测量的平均值发生有涨落的变化,这变化量就是各次测量的随机误差。

可见随机误差的来源是非常复杂而且是难以确定的。因而我们不能像处理系统误差那样去查出产生随机误差的原因,然后通过一定的方法予以修正或消除。正像处理大量分子做无规则运动时,难以确定每个分子的具体运动规律,但大量的分子运动却表现出统计规律一样。我们发现,就某一测量值的随机误差来说是没有规律的,其大小和方向都是不可能预知的。但对某一量进行足够多次的测量,则会发现其随机误差服从一定的统计规律分布:

(1) 单峰性。测量值与真值相差愈小,这种测量值(或误差)出现的概率(可能性)愈大;与真值相差愈大的误差,则出现的概率愈小。

(2) 有界性。绝对值很大的误差出现的概率趋近于零。也就是说,总可以