

应用型本科物理实验教程

大学物理实验教程

DAXUE WULI SHIYAN JIAOCHENG

主编 余建立 刘 鹏

中国科学技术大学出版社

大学物理实验教程

主 编 余建立 刘 鹏
编 委 (排名不分先后)
李 莉 毛雷鸣 秦 雷
邵 瑞 史马良 王桂英
王闻琦 向 荣 许雪艳
叶吾梅 朱爱国 纵榜峰

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本教材是由具有多年大学物理实验教学经验的教师共同编写的. 为了更好地满足应用型本科院校的办学定位和人才培养的要求, 本教材在编写内容上与其他实验教材有所不同, 在数据处理与误差部分增加了用计算机处理实验数据的内容; 在实验部分增加了设计性内容; 在每一个实验的后面增加了课后思考题, 以此来培养学生运用所学知识分析问题、解决问题的能力, 以及增强学生的创新意识.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验教程/余建立, 刘鹏主编. —合肥: 中国科学技术大学出版社, 2012. 1

ISBN 978-7-312-02944-8

I. 大… II. ①余… ②刘… 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(2011)第 282650 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号, 230026
<http://www.press.ustc.edu.cn>
印刷 安徽江淮印务有限责任公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710mm×960mm 1/16
印张 14.25
字数 277 千
版次 2012 年 1 月第 1 版
印次 2012 年 1 月第 1 次印刷
定价 23.00 元

前 言

大学物理实验是理工科学生进入大学后的第一门实验课程,是学生系统接受科学实验基本训练的开端,在培养学生实践能力和创新意识、提高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理论和实践课程无法替代的作用.随着教育的不断深入,地方性应用型本科院校培养动手能力强、创新能力高的应用型人才是时代的呼唤.为了适应新的培养目标,特编写此书.

本教材由巢湖学院和宿州学院具有多年大学物理实验教学经验的教师共同编写.为了更好地满足应用型本科院校的办学定位和人才培养的要求,本教材在编写内容上与其他实验教材有所不同,在数据处理与误差部分增加了用计算机处理实验数据的内容;在实验部分增加了设计性实验;除此以外,在每一个实验的后面还增加了课后思考题,以此来培养学生运用所学知识分析问题、解决问题的能力,以及增强学生的创新意识.

全书除绪论外共分为4章.绪论简要介绍了物理实验课程的地位、作用、任务以及基本程序与要求.第1章系统地介绍了误差理论、常用的数据处理方法和计算机在数据处理中的应用.第2章主要介绍物理实验常用仪器和基本测量方法.基于应用型本科院校的现有条件和教学基本需要,实验仪器的选择与介绍仅考虑通用与普及型仪器,一些专用仪器在每个实验中再作详细介绍.第3章共有22个实验,主要是基础性实验,包括力学、热学、电磁学、光学和近代物理实验的内容,突出基本物理量的测量、常用物理实验方法和技术、常用实验仪器与使用等的训练.第4章共有8个实验,主要是设计与探索性物理实验,所涉及的实验方法、技术和仪器等多数与基础性实验中的内容有联系,有利于学生的学习,并能帮助学生运用所学的实验知识与技能解决实际的问题.考虑到实验数据的记录、数据处理与误差等部分对应用型本科院校的学生来说有一定的难度,在实验中对数据的记录与数据处理提供举例说明,以便学生学习参考.

本教材的内容组织和策划由巢湖学院余建立和宿州学院刘鹏负责.本书编写分工如下:余建立编写绪论,第2章,第3章实验10、17、19,第4章实验8,附录,参考文献;刘鹏编写第3章实验14、15、16;许雪艳和刘鹏共同编写第3章实验11、

12;毛雷鸣编写第3章实验1、6、7;纵榜峰编写第3章实验2、5,第4章实验2、3;朱爱国编写第3章实验9、21,第4章实验4、5、6;邵瑞编写第3章实验18,第4章实验7;向荣编写第3章实验3、8;王闻琦编写第3章实验4,第4章实验1;李莉编写第3章实验13;秦雷编写第3章实验20;史马良编写第3章实验22;叶吾梅和王桂英共同编写第1章.

实验教学是一项集体的事业,本书的撰写是集体劳动的结晶,是多年从事物理实验教学的实验教师和技术人员的经验总结,体现了大家的智慧和多年积累的教学成果,同时也吸收了兄弟院校的宝贵经验.

本教材是地方性应用型本科院校理工类各专业大学物理实验课的教材,也可以作为高职高专理工类各专业大学物理实验教材和参考书.

本书在编写过程中,得到了多方面的关怀和支持,参阅了其他相关的教材和仪器厂家的使用说明书,在此我们向对本书作出贡献的所有同志表示真挚的谢意.

由于编者的水平有限,加之时间仓促,书中难免有缺点和错误,恳请读者批评指正.

编 者

2012年1月

目 录

前言	(I)
绪论	(1)
第 1 章 实验误差理论与数据处理的基本方法	(6)
1.1 测量与误差的基本概念	(6)
1.2 测量结果及其不确定度估计	(9)
1.3 常用的数据处理方法	(13)
1.4 用计算机处理实验数据	(18)
习题	(26)
第 2 章 物理实验常用仪器和基本方法	(28)
2.1 物理实验常用仪器	(28)
2.2 物理实验基本测量方法	(50)
2.3 物理实验基本调整技术	(54)
第 3 章 基础性实验	(56)
实验 1 长度及密度的测量	(56)
实验 2 牛顿第二定律的验证	(62)
实验 3 三线摆测物体的转动惯量	(70)
实验 4 自由落体运动	(77)
实验 5 用单摆测重力加速度	(81)
实验 6 弦振动的研究	(86)
实验 7 液体黏滞系数的测定	(92)
实验 8 固体线胀系数的测定	(97)
实验 9 制流与分压电路	(102)

实验 10	用惠斯通电桥测电阻	(106)
实验 11	静电场的描绘	(111)
实验 12	霍耳效应	(120)
实验 13	伏安法测二极管的特性	(134)
实验 14	用板式电势差计测干电池的电动势和内阻	(138)
实验 15	一阶 RC 暂态电路的研究	(144)
实验 16	RLC 串联电路暂态过程研究	(150)
实验 17	薄透镜焦距的测定	(154)
实验 18	等厚干涉	(162)
实验 19	分光计的调节及三棱镜玻璃折射率的测定	(170)
实验 20	用透射光栅测定光波的波长	(178)
实验 21	弗兰克-赫兹实验	(184)
实验 22	密立根油滴实验	(192)
第 4 章	设计与探索性实验	(200)
实验 1	落体法测重力加速度	(200)
实验 2	牛顿第二运动定律的验证	(201)
实验 3	固体比热容的测量	(203)
实验 4	三用电表的设计、制作与校正	(204)
实验 5	电子示波器的使用	(206)
实验 6	伏安法测电阻	(208)
实验 7	显微镜和望远镜的组装	(209)
实验 8	三棱镜色散曲线的研究	(211)
附录		(214)
附录 1	仪器的误差限	(214)
附录 2	国际单位制和常用物理数据表	(214)
参考文献		(220)

绪 论

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学科.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,是自然科学和工程技术的基础.

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、实验方法及实验手段等方面是各学科科学实验的基础.

1. 物理实验的地位和作用

物理实验是人们根据所要研究的项目,运用科学仪器设备,人为地控制、创造或纯化某种自然物理过程,使之按预期的进程发展,同时在尽可能减少干扰的前提下进行观测,以探究物理过程变化规律的一种科学活动.

物理实验思想、方法和技术的研究不但促进了物理自身的发展,而且也常常成为自然科学研究和工程技术发展的生长点.物理学是建立在实验基础上的一门学科,物理学概念的形成、规律的发现以及理论的建立都是以实验为基础的,并受到实验的检验,可以说没有物理实验的重大突破就没有物理学的发展.大学物理实验是高校对理工科大学生进行科学实验基本训练的必修课程,是大学生接受系统实验方法和实验技能训练的开端,是培养学生科学实验能力和科学素养、提高理论联系实际和适应科技发展的综合应用能力的课程,是其他理论和实践类课程不可替代的.

2. 物理实验课程的任务和内容

大学物理实验课程内容涉及面广,除物理知识外,还涉及数学、测量学、误差理论和计算机科学等方面的知识.它具有丰富的实验思想、方法和手段,同时还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、提高科学素养的重要课程.作为基础教学的大学物理实验,它不同于科学研究实验,其主要任务概括起来有以下两个方面:

(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;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;提高学生综合运用所学知识分析、解决问题的能力和创新能力。

(2) 提高学生的科学素养;培养学生理论联系实际、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、爱护公共财产的良好品德。

大学物理实验包括普通物理实验(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) 测量误差和数据处理方法

掌握测量误差和不确定度的基本知识,能够运用不确定度对直接测量和间接测量的结果进行评估;具有正确处理实验数据的基本能力,掌握处理实验数据的一些常用方法,包括列表法、作图法、逐差法和最小二乘法等,能用计算机通用软件进行实验数据处理。

(2) 基本物理量的测量

通过大学物理实验的学习,掌握基本物理量的测量,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、折射率、电子电量、普朗克常量等,加强数字化测量技术和计算机技术在物理实验中的应用。

(3) 物理实验方法

掌握物理实验中常用的方法,例如:比较法、转换法、放大法、模拟法、补偿法、平衡法等;了解一些前沿技术,如传感器技术等。

(4) 常用仪器的使用

掌握实验室中常用仪器的性能与使用,例如:长度测量仪器、计时仪器、测温仪器、变阻器、电表、示波器、信号发生器、分光计、干涉仪、光谱仪、常用电源和光源等。

(5) 常用的实验操作技术

掌握常用的实验操作技术,例如:零位调整、水平、铅直调整、光路的共轴等高调整、消视差调整和逐次逼近调整等,能够根据给定的电路图正确接线,掌握简单的电路故障检查与排除。

(6) 了解物理实验所涉及的物理学史与应用

适当了解物理实验史和物理实验在现代科学技术中的应用。

3. 物理实验课程的基本程序和要求

物理实验课程一般按照实验项目进行,其基本程序和要求可分为三个过程。

(1) 实验课前的预习

由于实验课的时间有限,而熟悉实验设备和仪器并完成实验现象的观察和数据测量的任务一般都比较重,如果学生在上实验课时才开始研究实验的原理,机械地按照教材指定的步骤进行操作,这将导致实验进程缓慢、在规定的课时内不能完

成规定的实验内容.即使勉强完成了规定的实验内容,由于熟悉实验设备和实验原理占用了大量的时间,导致动手能力的训练和实验现象观察与分析的有效时间缩短,从而不能高质量地完成实验课的任务.因此,实验课开始前的预习是必不可少的.

预习时,通过认真阅读实验教材和有关参考资料,充分了解实验目的、原理和测量方法及实验所要使用的实验仪器,明确实验步骤和注意事项等.

预习要求写好预习报告,其内容一般应包括:① 实验项目名称;② 实验目的;③ 实验使用的设备和仪器;④ 实验原理;⑤ 列出实验数据记录表格;⑥ 预习过程中存在哪些问题.其中,实验名称和目的应与教材中一致,关于实验使用的设备和仪器要根据实验室中的设备来进行确定,实验原理要在理解的基础上,简明扼要地说明实验依据,不可按照教材整篇照抄,列出实验原理中要用的主要公式,画出与实验有关的实验原理图,如电路图、光路图及实验装置示意图等,实验数据记录表格要根据测量方法和步骤,并参考教材自行设计,完成预习报告.

(2) 进行课堂实验

实验开始前,实验指导教师先对实验做简单扼要地介绍,重点指出实验操作、仪器使用要求及注意事项.学生应根据指导教师的讲解,对照教材或有关说明资料熟悉实验仪器,了解仪器的工作原理和方法,将实验仪器设备安装调整好,例如:力学实验中,调节气垫导轨达到水平;光学实验中,调节光具座上各光学元件处于共轴等高,调节分光计使得望远镜适合于观察平行光、准直管产生平行光、望远镜和准直管的光轴与转轴垂直;电磁学实验中,元器件的电路连接与调节等.

调试完成后,开始进行实验现象的观察和数据测量,测量的原始数据要整齐有序地记录在实验数据记录表格中,所记录的数据应根据所用器材决定其有效数字,并一定要标明单位.注意不得任意涂改实验数据,即使对错误的数据进行删改时,也应注明删改的理由.此外,当实验结果与环境条件(如温度、压强等)有关时,也应及时记下.完成所有测量后,记录的数据要经过指导教师审阅评价.发现错误数据时,应认真分析产生原因,必要时重新进行测量.

(3) 实验报告的撰写

实验报告是实验工作的总结,学会撰写规范的实验报告是培养实验能力的一个重要环节.实验报告要求用简明的形式将实验结果完整而真实地表达出来,并且要求文字通顺,字迹清楚端正,图表规范,结果结论正确,讨论充分.实验报告要求课后独立完成,用学校统一印制的“实验报告本”书写.

完整的实验报告通常包括以下几个部分:

① 实验项目名称;② 实验目的;③ 实验设备和仪器;④ 实验原理;⑤ 实验内容与数据记录;⑥ 数据处理与误差分析;⑦ 实验结果和结论;⑧ 问题讨论与展望.

实验项目名称和实验目的与教材中一致;实验设备和仪器可能与教材中提供的不一致,所以要依据实验室中提供仪器设备,标明仪器的名称、型号和规格;实验原理部分要详细写出本实验依据的理论、画出实验原理图及重要的公式等;实验内容与数据记录部分应列出实验时进行的内容和步骤,尽可能以表格的形式列出实验中测量的数据,要与原始实验数据相一致(交实验报告要附上预习报告中的原始数据记录情况);数据处理与误差分析部分要尽可能地反映完整的数据处理过程,应根据原理中提供的公式,代入测量的数据进行有关的计算,或者根据测得的实验数据进行绘图,误差分析要根据误差理论,对各测量结果进行不确定度评定,以确定实验结果的误差范围,这是一项很有意义的工作,在精确测量中判定实验结果的误差范围与获得实验结果具有同等的重要性.实验结果和结论部分要给出实验测量值 $\bar{X}$, 绝对误差的估计 δ_A 和相对误差的估计 E_r , 综合起来可写为: $X = \bar{X} + \delta_A$ (单位) 和 $E_r = (\delta_A / X) \times 100\%$, 实验结果应注意有效数字和单位的正确表示,实验的结论得出要合理.问题讨论和展望可涉及多方面内容,如讨论实验中观察到的异常现象以及可能产生的原因,分析实验误差的主要来源以及减少误差的可能措施,也可以是对实验仪器的选择和实验方法的评价与改进意见,实验的心得体会,实验中所获得的收获,灵活选择,一般没有统一的格式和要求.

实验完成后,应按期提交一份内容完整、格式规范的实验报告.

4. 物理实验室守则

为了保证实验教学的正常运行,培养严肃认真的工作作风和良好的实验习惯,每个实验室都有实验室规则,具体见实验室内的实验室守则.其中特别应注意以下几点:

① 按实验分组安排表在规定的时间内到规定的实验室进行实验,不得任意调换实验项目,不得无故缺席或迟到,因故不能及时出勤的应在教师的允许下补做实验.

② 实验前应做好实验预习,无预习实验报告不准进入实验室;进入实验室后应签到,并接受教师对预习报告的检查.

③ 进入实验室后,不得随意启用或摆弄仪器,应按事先预习的情况熟悉仪器,检查实验仪器是否缺少和损坏,如有问题,应及时报告.

④ 实验课上课时,应认真听取指导教师讲授实验原理、仪器设备的操作规则、注意事项以及实验内容与要求.对一些危险性较大的实验,在启动设备时,应先经教师或实验室工作人员检查许可后方可启动.

⑤ 实验过程中仪器如出现故障或损坏,应及时报告教师或实验室工作人员,损坏仪器的要以书面的形式说明原因,并按学校的规定处理.

⑥ 实验结束后,应将实验数据交指导教师检查并签阅,实验合格者,实验指导

教师应给予评价,实验数据不合格或数据有错误的,必要时应重做或补做实验,课后及时完成实验报告,并于下次实验时,提交一份完整的实验报告.

⑦ 遵守实验室的各项规章制度,保持实验室内安静、整洁,禁止大声喧哗、吸烟、吃零食、吐痰、乱扔杂物.

⑧ 实验室内一切物品未经本实验室负责人员批准,严禁携带出实验室,借出设备一定要履行登记手续.

第 1 章 实验误差理论与数据处理的基本方法

1.1 测量与误差的基本概念

1.1.1 测量

测量是物理实验的基础,所谓测量就是使用合适的工具或仪器,通过科学的方法确定被测物理量的量值的过程.测量按方法不同可分为直接测量和间接测量两类.直接测量是将待测物理量与选定的同类物理量的标准单位直接比较,所得的值就是被测物理量的测量值,如测量钢球的直径,使用千分尺直接读出数据等.间接测量是利用待测物理量与某些可直接测量量之间的已知函数关系,求得该待测物理量的测量值,如测量钢球体积,可通过测量钢球直径 D (直接测量),再利用体积公式 $V = \pi D^3 / 6$ 计算得出.此外,测量按测量的次数又可分为单次测量和多次测量.

1.1.2 误差

一个物理量的客观存在值(即真值),与测量所用的仪器及理论方法无关.而实际得到的测量值是依据一定的理论方法,使用确定的仪器,通过直接测量或间接测量得到的物理量的值.因此物理量的真值与测量值之间必定存在一定的差异.测量值只是真值的近似值,测量值与真值的差值称为绝对误差(简称误差).绝对误差与真值的比值称为相对误差.假设真值为 x_0 ,测量值为 x ,绝对误差为 δ ,相对误差为 E ,则有

$$\delta = x - x_0 \quad (1.1.1)$$

$$E = \frac{x - x_0}{x_0} \quad (1.1.2)$$

测量值的平均值,又称为最佳估计值,即在相同条件下,对某物理量进行多次测量,取这多次独立测量值的算术平均值,记为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.1.3)$$

实际中,由于无法获得真值,一般处理数据时,用平均值代替真值.

误差存在于一切测量之中,而我们的目的是尽量减小或消除误差,以求接近真值.所以对误差做出估计是测量不可缺少的组成部分.

对误差可按产生原因和性质将其分为系统误差和随机误差两类.

1. 系统误差

在相同的条件下,对同一物理量进行多次测量时,误差的大小和符号保持恒定,或以某种可预知的方式变化,这种误差称为系统误差.产生系统误差的原因是多方面的,主要有以下几个方面的因素:

① 仪器因素.仪器本身刻度不准确或未校准零点等,如物理天平未调平就测量,则每次的测量值都有一共同误差.

② 个人因素.测量员的心理或生理差异导致的误差.如某测量员读数时,喜好略微偏大.

③ 理论与方法因素.例如,采用电压表外接或内接来测量电阻时,其所得电阻值统一偏大或偏小.

④ 环境因素.例如,实验环境因素与要求的标准状态不一致.

系统误差的特点是恒定的,不能用增加测量次数的方法使它减小.在实验中发现和消除系统误差是很重要的,因为它常常是影响实验结果准确度的主要因素.对不同原因引起的系统误差要分别对待.已定系统误差在测量结果中引入修正量可对误差进行消除,如伏安法测电阻时,要计算出电表内阻产生的修正量,可采用合适的测量方法对误差进行补偿和消除.未定系统误差不可消除,但要估算出分布范围.

2. 随机误差

由于实验条件和环境等因素的不同,引起测量值围绕真值发生涨落,这种误差称为随机误差.随机误差无法消除,随机误差对每一次测量结果的影响具有随机性的特点.但在多次测量中表现出确定的规律——统计规律.因此,可用概率统计理论对随机误差的影响程度做出客观的估计和评价.

(1) 正态分布

实践表明,大多数偶然误差(其中包括多次测量的算术平均值的偶然误差以及间接测量结果的偶然误差)都可以近似地认为服从正态分布(又称为高斯分布).正态分布是一种很重要的概率分布,服从正态分布的偶然误差往往是大量的、微小的、互相独立的因素综合起来作用的结果.正态分布的概率密度函数为

$$p(\delta) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} \quad (1.1.4)$$

且有

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(\delta) d\delta = 1 \quad (1.1.5)$$

一般来说,多次测量某一测量量,当次数趋向于无穷多次时,随机误差服从正态分布,如图 1.1.1 所示.

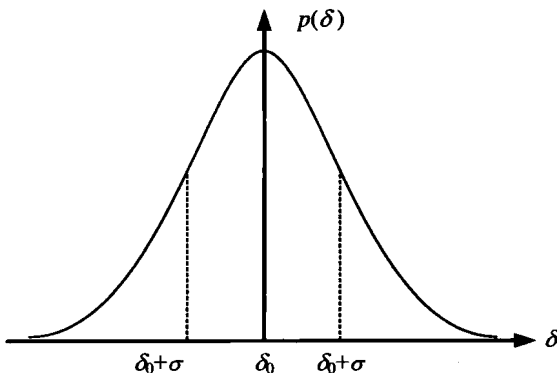


图 1.1.1 随机误差的正态分布曲线图

图 1.1.1 中横坐标 δ 为误差,纵坐标为误差的概率密度分布函数 $p(\delta)$, σ 是一个与实验条件有关的常数,称为标准误差,其值为

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n}} \quad (1.1.6)$$

由概率分布函数可以证明,对任一次测量,其测量值误差出现在区间 $(-\sigma, \sigma)$ 内的可能性(概率)为 68.3%. 任一次测量值误差出现在区间 $(-3\sigma, 3\sigma)$ 的可能性(概率)为 99.7%,可以看出,测量值误差超过 $\pm 3\sigma$ 范围的情况几乎不会出现,所以把 3σ 称为极限误差.

(2) 标准偏差

真值一般是无法测得的,因此标准误差式(1.1.6)只有在理论上有意义,由于算术平均值最接近真值,因此可以用算术平均值参与对标准误差的估算.对具有偶然误差的测量值,其分散情况的定量表示用标准偏差 s 估算,它的定义式为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1.1.7)$$

其中 n 为测量次数.可以证明,当 n 足够大时,可以用式(1.1.7)的值代替

式(1.1.6)的值.

(3) 算术平均值的标准偏差

通过多次重复测量,获得了一组数据,并把求得的算术平均值 $\bar{x}$ 作为测量结果.但是,如果在完全相同的条件下,再重复测量该被测量量时,由于随机误差的影响,不一定能得到完全相同的 $\bar{x}$,这表明算术平均值本身具有离散性.为了评定算术平均值离散性,引入算术平均值的标准偏差,它与标准偏差 s 的关系为

$$s(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (1.1.8)$$

由式(1.1.8)可得, $s(\bar{x})$ 是测量次数 n 的函数,测量次数越多,算术平均值的标准偏差越小,所以多次测量可以提高测量的精度.但也不是测量次数越多越好,因为测量误差是随机误差和系统误差的综合,多次测量只对随机误差减小有作用,对系统误差无影响.

1.2 测量结果及其不确定度估计

1.2.1 不确定度的基本概念

由于测量误差的存在使得对被测量值不能准确确定的程度,称为测量不确定度.不确定度表示一个区间,被测量的真值以一定的概率存在于此区间中.而误差表示测量值偏离真值的大小,是一个确定的值.不确定度可以根据实验仪器、操作者经验等进行评定,做出定量确定,而误差无法计算.不确定度是对测量质量的重要表征,它给出测量误差可能出现的范围.不确定度越小,测量结果可信度越高.

不确定度根据估算方法的不同,分为 A 类不确定度 u_A (用统计方法计算)和 B 类不确定度 u_B (用非统计方法计算).

1. A 类不确定度

由于偶然效应,被测量量多次重复测量值具有分散性,可以用统计学方法估算不确定度分量.通常就用平均值的标准偏差评定 A 类不确定度,即

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (1.2.1)$$

据正态分布的误差理论,若不存在其他误差的影响,测量值在 $(\bar{x} - u_A, \bar{x} +$

u_A)范围内包括真值的概率为 68.3%(置信概率)。

2. B 类不确定度

当误差的影响,仅使测量值向某一方向有恒定的偏离,这时不能用统计的方法评定不确定度,这一类的评定需要用 B 类不确定度评定。B 类评定有的依据计量仪器说明书或检定书,有的依据仪器的准确度等级,有的则粗略依据仪器最小分度值。从不同的途径获得的极限误差若为 $\Delta_{\text{仪}}$,此类误差一般可视为均匀分布,而 $\Delta_{\text{仪}}/\sqrt{3}$ 为均匀分布的标准差。则 B 类不确定度 u_B 为

$$u_B = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{\sqrt{3}} \quad (1.2.2)$$

严格地说,从 $\Delta_{\text{仪}}$ 求 u_B 的变换系数与实际分布有关,通常均近似按照均匀分布来处理。

3. 合成不确定度

A 类和 B 类不确定度采用方和根合成,得到合成的不确定度为

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (1.2.3)$$

相对不确定度为

$$u_r = \frac{u_C}{\bar{x}} \times 100\% \quad (1.2.4)$$

不确定度量值的大小与置信概率有关,所以在给出测量结果表达式时,必须注明置信概率。

1.2.2 测量的不确定度估算

1. 测量结果的表示

对于一个测量结果,不论它是直接测量得到的还是间接测量得到的,只有同时给出它的最佳估计值和不确定度时,这个结果才算是完整的和有价值的,因此对测量结果的正确表示有重要的意义。一般测量结果可以表示为

$$\text{待测物理量}(x) = \text{近真值}(\bar{x}) \pm \text{标准不确定度}(u_C) \quad (\text{置信概率}) \quad (1.2.5)$$

书写测量结果时应注意以下几点:

- ① 近真值、标准不确定度、单位三者缺一不可。
- ② 标准不确定度最多取两位有效数字。
- ③ 近真值和不确定度二者的末位必须对齐。
- ④ 近真值和不确定度的单位、数量级必须统一。

2. 直接测量的不确定度估算

对直接测量数据进行处理的一般程序是: