

大学物理实验

DAXUE WULI
SHIYAN

► 龚志强 曹建湘 夏灿芳 主编

湖南科学技术出版社

DAXUE WULI SHIYAN



大学物理实验

DAXUE WULI
SHIYAN

► 龚志强 曹建湘 夏灿芳 主编

湖南科学技术出版社

DAXUE WULI SHIYAN

江苏工业学院图书馆
藏书章



大学物理实验

主 编:龚志强 曹建湘 夏灿芳

责任编辑:曹 阳

出版发行:湖南科学技术出版社

社 址:长沙市湘雅路 280 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系:本社直销科 0731-4375808

印 刷:长沙市飞鹏印刷有限公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址:长沙市德雅路 226 号

邮 编:410003

出版日期:2004 年 2 月第 1 版第 1 次

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:14.25

字 数:326000

书 号:ISBN 7-5357-3801-X/O·215

定 价:24.00 元

(版权所有·翻印必究)

前 言

物理学是一门以实验为基础的科学。实验物理在物理学发展史上占有非常重要的地位,并对科学发展和社会进步具有很大的推动作用。

大学物理实验是一门独立设置的重要的基础课程,是学生进入大学后受到系统实验方法和实验技能训练的开端,是理工科学生后续课程和科学实验训练的重要基础。本课程涉及的知识面较广,并具有较强的综合性和技术性。通过本课程的学习,可以丰富和活跃学生的物理思想,培养他们对物理现象的观察和分析能力,引导他们了解物理实验在物理概念的产生、形成和发展过程中的作用,学习物理实验中的一些常用的方法、技术、仪器和知识,培养正确良好的实验习惯和严谨的学风,使学生掌握一些用实验研究物理现象和规律的技能。学习好本课程,为培养学生成为 21 世纪高素质人才打下良好的基础。

本书是根据《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》,参照 1993 年对《基本要求的修订征求意见稿》和 1991 年颁布的《高等学校工程专科物理实验课教学基本要求》编写而成。

本书广泛吸收物理实验事业前辈在长期的实践中积累的宝贵经验,采纳近年较新的实验技术内容,并引进结合专业特色的创新实验,以物理实验中常用的操作技术、基本的实验方法和测量方法为主线并考虑到扩招后学生基础的实际情况和实验仪器实际编写。实验内容的安排是由易到难,循序渐进,对仪器的使用方法和技术要求作一定的介绍,更加方便学生实验预习时自学。实验项目可根据不同专业类型的需要,选做不同的内容。书中物理量的名称和定义、单位的名称和符号、仪器的有关术语、仪器误差的计算和准确度等级的划分等,都参照了最新的国家标准,这些都是本书的特点。

本书由龚志强、曹建湘、夏灿芳任主编,参加编写工作的有:龚志强

(实验 6、实验 15、实验 16*、实验 20*、实验 23*、实验 31*、实验 32、附录I、附录II、附录III)、曹建湘(绪论*、实验 1*、实验 2*、实验 10、实验 11、实验 12、实验 13、实验 18、实验 19*、实验 21*、实验 26、实验 16*、实验 29*、电学基础)、夏灿芳(实验 16*、实验 25、实验 27、实验 28、实验 26*、实验 29*、实验 31*、附录IV、附录V)、盛忠志(绪论*、实验 1*、实验 2*、实验 7*、实验 8、实验 9、实验 14*、附录VI)、李水(实验 3、实验 4、实验 5、实验 22);杨恶恶(实验 19*、实验 21*)、王凯军(实验 7*、实验 14*)、易德文(实验 17、实验 24)、牟群英(实验 30)、罗勇锋(实验 19*、实验 21*、实验 20*、实验 23*)。注:※为多人共同合作完成项目。在书稿编写工作中,物理教研室的老师们结合实验教学中出现的问题,对教材提出了许多宝贵意见和建议,在此我们表示衷心的感谢,同时对支持我们工作的学校教务处领导、理学院领导表示衷心的感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免存在缺点,诚恳地希望读者批评指正。

编 者

2003 年 12 月

目 录

基础篇

绪 论	(3)
实验 1 测量误差与数据处理	(6)
实验 2 基本物理量的测量	(21)
电磁学实验预备知识	(27)

综合篇

实验 3 气轨测量速度和加速度	(35)
实验 4 验证动量守恒定律	(39)
实验 5 简谐振动的研究	(46)
实验 6 弦线上的驻波	(50)
实验 7 用三线摆法测刚体的转动惯量	(54)
实验 8 用落球法测液体的黏度	(59)
实验 9 液体表面张力系数的测定	(63)
实验 10 动力学法测定材料的杨氏模量	(67)
实验 11 电子元件伏安特性的测量	(71)
实验 12 电表的改装和校准	(75)
实验 13 万用电表的使用	(81)
实验 14 用模拟法描绘静电场	(88)
实验 15 用双臂电桥测量低电阻	(92)
实验 16 铁磁材料的磁滞回线和基本磁化曲线	(98)
实验 17 磁场描绘	(109)
实验 18 示波器的使用	(114)
实验 19 测量三棱镜的折射率	(124)
实验 20 等厚干涉——牛顿环	(132)
实验 21 光栅的衍射	(137)

近代篇

实验 22 光的偏振	(145)
实验 23 迈克尔孙干涉仪测 He-Ne 激光的波长	(151)
实验 24 夫兰克-赫兹实验	(157)

实验 25	密立根油滴实验	(161)
实验 26	核磁共振实验	(166)
实验 27	光电效应测定普朗克常数	(171)
实验 28	音频信号光纤传输技术实验	(174)

创新·设计篇

实验 29	晶体管特性的研究	(183)
实验 30	微波技术应用于木材干燥	(186)
实验 31	PN 结正向压降与温度关系的研究	(189)
实验 32	纳米材料的制备与物性研究	(195)

信息资料篇(附录)

附录 I	中华人民共和国法定计量单位	(211)
附录 II	基本物理常数(1986 年国际推荐值)	(214)
附录 III	常用光源谱线波长表	(215)
附录 IV	常见物质的密度	(216)
附录 V	部分液体的黏度系数	(216)
附录 VI	大学物理实验报告举例	(217)
参考文献		(220)

基础篇

绪 论

科学实验是研究自然规律的基本手段,是检验科学理论的标准。作为一名合格的工程技术人员,不仅应该具备较深广的理论知识,同时还应具备一定的从事科学实验的能力和实践经验。物理实验本身有一整套实验理论、方法和技术,必须经过系统学习和训练,才能掌握物理实验的知识并将其运用于以后的科学研究之中。

大学物理实验是教育部确定的六门主要基础课程之一,是一门理工科学生必修的公共主干基础课程。大学物理实验是理工科院校系统地对对学生进行科学实验能力的培养和训练的开端,是工科类专业对学生进行科学实验训练的重要基础。

一、物理实验课的任务

根据国家教育部颁发的《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》的规定,物理实验课程的具体任务是:

(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。

(2) 培养与提高学生的科学实验能力。其中包括:

- ① 能够自行阅读实验教材和资料,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分析判断;
- ④ 能够正确记录和处理实验数据,绘制图线,说明实验结果,撰写合格的实验报告;
- ⑤ 能够完成简单的设计性实验。

(3) 培养和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和遵守纪律、团结协作、爱护公共财产的良好品德。

物理实验是一门实践性课程,在教学过程中,学生必须通过自己的独立工作来增长实验知识,提高实验技能。因此,在完成本课程的学习任务时,学生应充分发挥主动性、自觉性和创造性,以取得较好的学习效果和成绩。

二、大学物理实验课的基本程序和实验报告

在做物理实验时,我们应着重掌握实验中所采用的方法,特别是基本的实验方法和测量技术。实验中应有意识地培养自己良好的实验习惯,并逐步学会分析实验中出现的問題,提高解决问题的能力。

大学物理实验的每一个项目的完成,一般分为预习、课堂实际操作和完成实验报告三个阶段。

1. 预习

实验课前认真阅读教材及其他参考资料,弄清本次实验的目的、原理、仪器的情况及测量方法和实验内容步骤,并能回答预习报告中提出的問題,写出预习报告。预习的好坏将决定实验能否顺利完成,务必引起足够的重视。预习报告的内容有:

【实验目的】

扼要写出本次实验的目的要求。

【实验仪器】

简要记录实验仪器的名称、型号及精确度等主要性能。

【实验原理】

简单明确地叙述实验原理,写出本实验的主要公式及公式中各符号的物理意义及必要条件。画出必要的实验图示(不包括实验仪器原理图)。

【主要步骤】

写出实验中的主要内容与具体操作步骤,指出关键操作和注意事项。

【原始数据表格】

设计并画好记录原始数据的表格。

2. 实验操作

进入实验室后必须交上次的实验报告和本次实验的预习报告,没写预习报告不得进行实验。实验操作之前,必须先了解本次实验的有关注意事项,核对仪器规格、编号、精确度、使用条件等。发现仪器缺损等问题应及时报告老师,不允许擅自调换仪器。实验中应严格遵守各种仪器的操作规则和注意事项,发现仪器故障或异常现象,应立即停止实验(如关闭电源开关),待检查排除故障请示老师后才可继续进行实验,以避免造成严重后果。凡人为损坏、丢失仪器,应照章赔偿。必须实事求是记录原始数据,不得弄虚作假,原始数据具体记录要求如下:

① 记录主要仪器的名称、精度、量程等主要技术指标。

② 测量数据必须用钢笔或圆珠笔填入表格之中。每个数据都必须符合有效数字要求。不合格的数据不得涂改,在重新测定之后,另起行记录。

数据记录尽量采用列表法,力求做到条理清楚,分类合理,便于复核、计算。原始数据必须经老师检查签字,原始数据签字后,关闭电源,整理好仪器,并将桌面收拾整洁,实验操作

全部结束后要在“学生实验登记本”上签名。

记录数据必须实事求是,切忌伪造、随意修改或抄袭他人数据。在实验报告中发现有上述问题者(包括提供数据人),其实验报告一律作废。操作考试出现上述问题作舞弊处理。

3. 撰写实验报告

实验报告是实验工作的简明总结,是实验结果的文字报道。应该做到重点突出,书写整洁,文字工整,文理通顺,图表规范,表格清晰,数据完备,并有科学结论。一份完整的实验报告应包括如下几部分主要内容:

① 实验名称。

② 数据表格。将计算、整理后的数据填入表格之中。

③ 数据处理与误差计算(计算、作图、误差分析)。按实验要求计算待测量的量值、绝对误差及相对误差。书写在报告上的计算过程:公式 → 代入数据 → 结果,中间计算不写在报告上。误差的计算过程:公式 → 代入数据 → 单项误差 → 用百分数书写。

④ 实验结果。写出完整的最后测量结果的量化表达形式(注意有效数字和单位的正确表达):

$$x = \bar{x} \pm \Delta x$$

$$x = \bar{x} \pm \Delta x$$

$$E_r = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\%$$

或

$$E_r = \frac{|x_{\text{理论}} - \bar{x}|}{x_{\text{理论}}} \times 100\%$$

⑤ 讨论和建议。对本次实验的结果及主要误差因素作简要的分析讨论。

实验 1 测量误差与数据处理

物理实验是以测量为基础的。测量任何物理量,由于测量条件不能尽善尽美、仪器的分度值不可能无限小,所得结果都不会是绝对精确的。对测量结果精确度的评价是一门专门科学,涉及面非常广泛。对实验数据的处理和测量误差的分析估算能力,是科学实验技能的一个重要方面。在物理实验课中,将对有关知识作初步介绍,并通过具体实验进行最基本的训练。

一、量与误差

1. 物理量的测量

在科学实验和生产中,所有的物理量都是通过测量得到的。测量是为确定被测对象的数值多少而进行的实验过程,在这个过程中,通常借助专门的工具、仪器,把被测对象直接或间接地与同类标准量进行比较,得出用数值和单位共同表示的测量结果。所谓测量就是将被测物理量与作为标准的同类物理量进行比较,从而获得被测物理量的量值为目的的全部操作。

测量物理量的具体方法多种多样。根据获取测量数据的方式不同,可将测量分为直接测量和间接测量;根据测量条件的不同,可分为等精度测量和不等精度测量。

(1) 直接测量。待测物理量可以从量具或仪器上直接读取的方式叫直接测量。如用米尺测量长度,用天平测量质量,用电表测量电压等都是直接测量。

(2) 间接测量。待测物理量不能由测量仪器直接读出,而是需要用一些原理和公式由直接测量得到的各物理量推算出来的方式叫间接测量。如测量圆管的体积 V ,先要测量圆管的高度 h 、外径 D 和内径 d ,然后通过公式

$$V = \frac{1}{4} \pi h (D^2 - d^2)$$

计算求得圆管的体积 V ,这就是间接测量。

在工程技术中,能直接测量的物理量是很少的,大部分物理量的测量是采用间接测量。然而,一个物理量的测量需用直接测量还是用间接测量并不是绝对的,通常与仪器的选择有关。如测量液体的相对密度,选用量筒和天平作为测量工具为间接测量,选用比重计作为测量工具则为直接测量。随着科学技术的进步和发展,将有更多、更精密的仪器设备以满足对更多物理量进行直接测量。

(3) 等精度测量。在相同测量条件下对某一物理量重复 n 次测量,得出的数值为 $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$,这几个数值中我们没有理由认为其中某一次测量比另一次测量更准确些或不准确些,即每次测量的精度是相同的,这种测量称为等精度测量。比如在完全相同的条件下,用螺旋测微器对钢珠的直径进行 n 次的测量即为等精度测量。

测量条件是指一切能影响测量结果,本质上又可控制的全部因素。测量条件包括:进行测量的人、测量方法、测量仪器及其调整方法、环境条件等。环境条件是指测量过程中环境的

温度、湿度、大气压力、气流、振动、辐射强度等。

(4) 不等精度测量。测量条件中只要其中一个发生了变化,就变为不等精度测量。如在不同的环境温度下测量电阻就是不等精度测量,因为电阻是随温度的变化而变化的物理量。

等精度测量与不等精度测量的数据在处理方法上是不同的,在以下的讨论中所涉及的测量数据均为等精度测量的情况。

2. 测量误差

在确定的条件下,反映任何物质(物体)物理特性的物理量所具有的客观真实数值,称为真值。测量的目的就是力图获得真值。但是,由于受仪器灵敏度和分辨率、实验原理的近似性、环境的不稳定性以及测量者自身因素的局限,测量总是得不到真值,测量值只能是真值不同程度的近似值。测量值与真值之间的差异叫测量误差。如果用 x 表示测量值, a 表示真值,测量误差 Δx 为

$$\Delta x = x - a, \quad (1.1)$$

因为 Δx 与 x 具有相同的单位,故又称为绝对误差,简称误差。

随着科学技术的进步,测量误差可以被控制得越来越小。但实践证明,任何实验的误差都不能降为零,误差始终存在于一切科学实验中,这个结论称为误差公理。也就是说,从测量的角度来讲,真值不可能确切获得。因此,将测量的实际值、已修正过的算术平均值等认为是充分接近真值,可用来替代真值。用来替代真值的量值称为约定真值。这样一来,绝对误差就是测量结果与约定真值之差。误差既然是客观存在的,那么就有必要研究、分析误差的来源和性质。

(1) 误差的分类。

根据误差产生的原因及性质,可将误差分为两类。

① 系统误差。在确定条件下多次测量同一物理量时,测量值总是有规律地朝着某一方向偏离真值,这种误差称为系统误差。系统误差的特点是误差的数值和符号基本保持恒定,或在条件改变时按一定规律而变化。系统误差的主要来源有:

a. 实验装置误差。由于仪器本身的缺陷,或者由于测量前没有很好地调节仪器所引起的误差。比如天平两臂不等长,仪表零点不准等。

b. 方法或理论误差。由于测量原理、方法不完善而引起的误差。比如测量体积时未考虑到膨胀因素,温度变化对仪器本身影响太大等。

c. 环境误差。由于外界影响而引起的误差。比如温度发生变化,电磁场干扰等。

d. 人员误差。由于测量者在操作经验、分辨能力、反应速度、读数习惯与偏向引起的误差。比如有的人读数总是偏大或偏小等。

系统误差服从因果规律,任何一种系统误差,都有其确定的发生原因。在一定的测量条件下,只要找出产生系统误差的原因,采取一定的措施,都能消除或减小系统误差。发现、减小或消除系统误差,常取决于实验者的经验和素质。学生在学习过程中要积累这方面的感性知识,结合实验具体情况对系统误差进行分析和讨论。

② 随机误差。在同一物理量的多次测量过程中,以不可预知方式变化的测量误差称为随机误差。随机误差的产生是由许多偶然因素造成的,因而也叫偶然误差。它的特征是误差的大小和符号表面看来没有任何规律性。随机误差起因于一些随时随地都会发生的微小的

不可控制的因素,如无规则的温度变化,气压起伏,地基、桌面的振动,电磁场的干扰,光线的闪动,电压、电流的波动,以及观察者感官(听觉、视觉、触觉)分辨能力的微小变化和最小读数的估计产生的误差,等等。这些因素既不可控制,又无法预测和消除。某次测量的随机误差往往是由多种随机因素共同造成的。

随机误差表面上看来似乎毫无规律,纯属偶然,然而对多次等精度测量结果进行分析,可以发现随机误差具有以下一些内在规律性:

a. 对某一物理量进行了多次等精度测量,每次测量值的误差的绝对值不会超过某一限度,这个特性称为有界性。

b. 误差数值越大者出现的次数越少,误差数值越小者出现的次数越多,这个特性称为单峰性。

c. 绝对值相等的正误差和负误差出现的概率相等,这个特性称为对称性。

d. 误差的算术平均值随测量的次数的增加而减小。当测量次数无限增加时,随机误差的算术平均值将趋于零,即:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i = 0, \quad (1.2)$$

这个特性称为抵偿性。将式 1.1 代入式 1.2 得:

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - a) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - a = 0, \\ \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i &= a, \end{aligned} \quad (1.3)$$

即仅存在随机误差的情形下,测量次数无限多时的算术平均值就是真值。当测量次数为有限次时,算术平均值最接近真值,因此,在本课程中,我们以算术平均值作为最佳测定值。

(2) 仪器的误差。

仪器的误差即国家计量局规定的该项仪器的出厂公差或允差,是一种系统误差。用合格的仪器或量具进行测量,若操作正确,即使只测 1 次,其仪器的误差一般不会超过公差。即出厂公差提供了仪器的最大误差。额定值通常都标明在仪器或量具上,如游标卡尺的额定误差就是所标明的精度,通用的有 0.02mm 和 0.05mm 两种。

本书附录 2 中收录了部分有关仪器误差的国家标准和检定规程,供估算实验误差时使用。

3. 测量结果的表示

既然任何测量都有误差,那么测量结果的表示格式为:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x.$$

式中 $\bar{x}$ 为真值的估计值(即测量值), Δx 为测量误差的估计值(即绝对误差)。这种格式的物理意义是说明真值以一定的可能性(概率)包含在 $\bar{x} - \Delta x$ 至 $\bar{x} + \Delta x$ 范围内。误差的估算方法不同,这个概率的大小也不同。

为了全面反映测量结果的优劣,还需要考虑被测物理量本身的大小,定义相对误差为绝对误差 Δx 与(约定)真值之比。因为最佳测量值 $\bar{x}$ 与真值最接近,相对误差也可定义为误差与最佳测量值之比。即相对误差:

$$E_r = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\%,$$

待测量有理论值或公认值时,其结果表达式为:

$$x = \bar{x};$$

$$E_r = \frac{|x_{\text{理论}} - \bar{x}|}{x_{\text{理论}}} \times 100\%.$$

4. 精密度、正确度和准确度

在测量中常用精密度、正确度和准确度来评价测量结果的好坏。精密度表示测量结果中随机误差大小的程度;正确度表示测量结果中系统误差大小的程度;准确度(精确度)是表示随机误差和系统误差的合成误差大小的程度。

二、有效数字及其运算规则

1. 有效数字的一般概念

测量是为确定被测对象的数值而进行的实验过程。由于测量始终存在误差,因而测量结果的数值就不应无止境地写下去,而只能写到误差所在位。例如用米尺测量钢棒 A 的长度(如图 1.1 所示)。A 棒长在 3.6 ~ 3.7cm。这棒究竟有多长呢?我们可以估读为 3.67cm,也可估读为 3.68cm 或 3.69cm。这百分位上的 7、8、9 是估计出来的,而且每人估计出的值也可能不同,所以我们把这些估计出来的数称为存疑数字(可疑数字)。存疑数字前的 3.6cm 是仪器测出的确切数字,称为可靠数字。

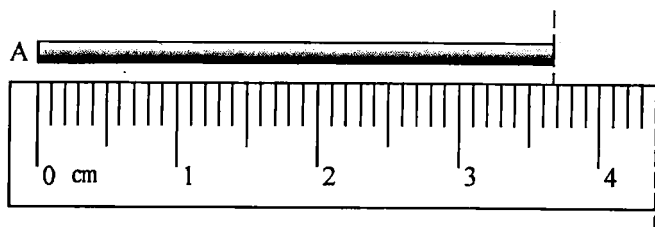


图 1.1

我们把测量结果的几位可靠数字加上估计的一位数字(可疑数字)统称为有效数字。测量结果中有几个有效数字,就称为是几位有效数字。A 棒长度的测量结果 3.67cm、3.68cm 或 3.69cm 都是三位有效数字。

在使用有效数字时应注意以下几点:

① 数据中第一位非零数字前面的“0”不是有效数字。单位换算不改变有效数字的位数。

② 测量结果末位的“0”仍为有效数字。直接测量的有效数字位数是由被测物理量的大小及仪器的精密度确定的,直接测量取仪器的分度值的读数为可靠数字,估读一位为可疑数字。要注意的是:

$$3.60\text{cm} \neq 3.6\text{cm}.$$

这是因为 3.6cm 是两位有效数字,6 是存疑数字。而 3.60cm 的存疑位是 0。因此,有效数字的位数越多,测量就越准确。有效数字是测量结果的客观反映,其位数多少不能随意增减。

③ 电子秒表、电阻箱、便携式电桥等仪器无法进行估读。这些仪器在测量值的最后一位

就存在着仪器误差,就是存疑数字,而不必再估读。

④ 参与运算的常数,由于它们不是测得量,其有效数字的位数是无限的,可根据需要来选取。

2. 有效数字的运算

例1 加减运算, $x_1 = 20.1$, $x_2 = 4.17$, $x_3 = 6.784$, 求 $x_1 + x_2 + x_3 = ?$

解 写成竖式运算,在下面加一横表示可疑数字。任一可疑数字与其他数字运算后其结果就是可疑的。

$$\begin{array}{r} 20.1 \\ 4.17 \\ + 6.784 \\ \hline 31.054 \end{array}$$

于是,作为最终结果,我们只保留一位可疑数字,即 $x_1 + x_2 + x_3 = 31.0$ 作为中间结果参加下一步运算。我们可以多保留一位可疑数字,即 $x_1 + x_2 + x_3 = 31.05$ 。由此可见,在加减运算中,运算结果的存疑位以参与运算的各量中存疑位最高的为准。

例2 乘除运算, $4.178 \times 10.1 = ?$ $41.78 \div 11.2 = ?$

解 写成竖式表示

$$\begin{array}{r} 4.178 \\ \times 10.1 \\ \hline 4178 \\ 41780 \\ \hline 42.1978 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3.730 \\ 11.2 \overline{) 41.78} \\ \underline{336} \\ 818 \\ \underline{784} \\ 340 \\ \underline{336} \\ 400 \end{array}$$

按规定, $4.178 \times 10.1 = 42.2$, $41.78 \div 11.2 = 3.73$, 运算结果三位有效数字与最少有效数字位数一致。

归纳起来,有效数字的运算规则有如下几点:

加减运算 先找出各数中可疑数字最靠前的,以此数的最后一位数的位置为标准,对其他数进行取舍,但在运算过程中可以多保留一位。

乘除运算 先找出有效数字位数最少的,以它的有效数位为准对其他数进行取舍,可以多保留一位。

三角函数 三角函数的有效数字位数与其角度(用弧度表示)的有效数字位数相同,如 $\sin 2.41 = 0.668$ 。

对数 对数的有效数字位数与真值的有效数字位数相同,如 $\ln 2.823 = 1.038$ 。

幂和根 幂和根的有效数字位数和它们的底的有效数位相同。但 $\sqrt{2}$ 、 π 、 e 等常数的有效数位在运算中需要几位就取几位。

3. 数的修约规则(尾数舍入法则)

对于大量尾数分布概率相同的数据来源,“4”舍“5”入不尽合理。现在通用“4”舍“6”入,对于“5”,若前面为偶数则舍(“0”作为偶数),若前面为奇数则入,即所谓四舍六入五凑偶,以保证尾数取舍几率相等(根据国家标准《GB 3101—1993 有关量、单位和符号的一般原