



“十三五”普通高等教育规划教材

# 大学物理实验教程

DAXUE WULI SHIYAN JIAOCHENG

湖南工程学院物理实验中心 编



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)



“十三五”普通高等教育规划教材

# 大学物理实验教程

湖南工程学院物理实验中心 编



本书资源操作说明

北京邮电大学出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书是根据教育部颁布的《非物理类理工科大学物理实验课程教学基本要求》(2010年版),并结合湖南工程学院物理实验中心仪器设备的实际情况,在总结多年教学实践的基础上编写而成。

全书共分为6章,共31个实验。绪论部分主要介绍大学物理实验的任务、基本程序和要求,给出了大学物理实验全开放系统的使用与大学物理实验成绩评定的参考评分标准,重点介绍了有效数字、误差理论和数据处理的基本方法等内容。第2章至第6章根据物理实验中心的仪器设备和学校应用型人才培养的要求选编了力学、热学、电磁学、光学和近代物理等方面的31个实验。在编写的过程中力求做到:实验目的明确、突出,要求具体,实验原理叙述清楚,实验内容和步骤详尽,方便学生学习。

本书可作为高等学校各专业物理实验课的教材,也可作为涉及物理学的实验人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验教程 / 湖南工程学院物理实验中心编. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2019. 3

ISBN 978-7-5635-5577-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 191322 号

- 
- 书 名 大学物理实验教程  
编 者 湖南工程学院物理实验中心  
责任编辑 张保林  
出版发行 北京邮电大学出版社  
社 址 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)  
电话传真 010-82333010 62282185(发行部) 010-82333009 62283578(传真)  
网 址 www.buptpress3.com  
电子信箱 ctrd@buptpress.com  
经 销 各地新华书店  
印 刷 三河市骏杰印刷有限公司  
开 本 787 mm×1 092 mm 1/16  
印 张 13  
字 数 331 千字  
版 次 2019 年 3 月第 1 版 2019 年 3 月第 1 次印刷
- 

ISBN 978-7-5635-5577-2

定价: 39.00 元

如有质量问题请与发行部联系

版权所有 侵权必究

# 前 言

本书是根据教育部颁布的《非物理类理工科大学物理实验课程教学基本要求(2010年版)》,并结合湖南工程学院物理实验中心仪器设备的实际情况,在总结多年教学实践的基础上编写而成。

全书共分为6章,共31个实验。绪论部分主要介绍大学物理实验的任务、基本程序和要求,给出了大学物理实验全开放系统的使用与大学物理实验成绩评定的参考评分标准,重点介绍了有效数字、误差理论和数据处理的基本方法等内容。第2章至第6章根据物理实验中心的仪器设备和学校应用型人才培养的要求选编了力学、热学、电磁学、光学和近代物理等方面的31个实验。在编写的过程中力求做到:实验目的明确、突出,要求具体,实验原理叙述清楚,实验内容和步骤详尽,方便学生学习。

实验教学是一项集体的事业,本书编入的实验项目,汇聚湖南工程学院大学物理实验中心全体教师多年的教学经验和体会,无论是教材的编写、实验的编排,还是实验仪器的安装调试,都是全体教师的劳动成果,参加编写工作老师为邓永和、戴雄英、赵光强、贺文阳、李玉琮、刘艳辉、文大东、洪彦鹏、卢旺军。

本书的出版,得到了湖南工程学院物理学湖南省应用特色学科的支持,得到湖南工程学院教务处和理学院的大力支持,许多兄弟高校老师对本书的编写给予了大力的支持和指导,并提出了许多宝贵意见,对此一并表示衷心的感谢。

大学物理实验赖于不断地改革实践和长期地研究探索,才能日臻完善。我们所做的工作只是一块引玉之砖,缺点和错误在所难免,敬请使用和阅读本书的读者不吝指正,以便再版时修改更正。

# 目 录

第 1 章 绪论	1
第 2 章 力学实验	11
实验 1 长度测量	11
实验 2 物体密度的测定	16
实验 3 拉伸法测金属丝的杨氏模量	21
实验 4 用扭摆法测定物体的转动惯量	26
实验 5 空气、液体及固体介质的声速测量	33
第 3 章 热学实验	42
实验 6 金属丝的线膨胀系数的测量	42
实验 7 PN 结正向压降与温度关系的研究和应用	45
实验 8 落球法测量液体黏滞系数	50
实验 9 稳态法测量固体的导热系数	55
实验 10 用直流电桥法测量 Pt100 金属电阻的温度特性	61
第 4 章 电磁学实验	67
实验 11 电阻的伏安特性研究	67
实验 12 电表的改装和校准	70
实验 13 多用表的使用	74
实验 14 电位差计的使用	79
实验 15 用稳恒电流场模拟静电场	83
实验 16 利用霍尔效应法测磁场	89
实验 17 霍尔效应测霍尔元件的基本参数	96
实验 18 示波器的调整与使用	103
实验 19 用示波器观测铁磁材料的磁滞回线	111
实验 20 数字电表原理与万用表设计使用	120
实验 21 电磁学设计性实验	141
第 5 章 光学实验	148
实验 22 薄透镜焦距的测量	148
实验 23 分光计测三棱镜顶角	154
实验 24 用分光计测折射率	162

实验 25	用分光计测光栅常数和波长 .....	165
实验 26	用牛顿环测透镜的曲率半径 .....	169
实验 27	自组显微镜 .....	173
实验 28	自组望远镜 .....	178
<b>第 6 章 近代实验</b> .....		182
实验 29	弗兰克-赫兹实验 .....	182
实验 30	迈克耳孙干涉仪测波长 .....	191
实验 31	太阳能电池基本特性的研究 .....	197
<b>参考文献</b> .....		202

# 第1章 绪论

## 一、大学物理实验课的教学目的

大学物理实验是理工科各专业必修课程,也是理工科各专业进入大学学习阶段最先接触的实验课程.大学物理实验是科学与技术的结合,为培养合格的工程技术人才和应用型人才,大学物理实验在理工科各专业的人才培养中扮演着十分重要的作用,其教学目的主要是:

① 学习物理实验的基本知识,培养实验技能,包括仪器使用、测量技术、实验方法、实验数据处理、实验结果的判断和分析等.

② 通过实际的观察与测量,从理论和实验的结合上深入认识物理现象,学习和掌握基本的物理概念和实验规律,为后续的专业实验奠定基础.

③ 培养学生认真严谨、实事求是的科学态度和工程实践工作作风,更好地培养学生分析问题和解决问题的能力.

## 二、新时代本科生能力培养要素

“创新是一个民族的灵魂”,作为以培养人才为己任的高等院校,必须为培养创新人才而努力奋斗.如何培养创新人才,本科生应该具有怎样的素质和能力是高校教师面临的一个十分重要的问题,作为新时代创新型人才,必须具备如下四个方面的素质.

### 1. 科学素质

纵观新中国的国民经济发展史和科学技术发展史以及世界科技发展史,我们首先应该特别强调对大学生的科学素质培养,科学素质主要包括三个方面——科学思维、科学态度和科学方法.大学生毕业后不管从事什么工作,都必须用科学思维、科学态度和科学方法去工作,这是解决复杂工程实际问题的基本素质,是工作取得成果的重要保证.

大学物理实验的基本原理、基本规律、实验验证、实验方法、实验技能,全部都离不开科学思维、科学态度和科学方法.这一点强有力地说明对学生科学素质的培养,是物理教育工作者责无旁贷的工作,务必培养学生具有坚实的科学基础,大力提高学生的科学素质.

### 2. 综合应用知识的能力

科学技术发展到今天,特别是新工科专业人才的培养,越来越需要培养学生的综合知识的应用,任何单一的知识和技术都很难在工作上取得重大的突破和成绩,更谈不上会有重大的发明创造.因此,掌握和能够综合应用各种知识和技术,才是今后取得重要成果的基本保证.

### 3. 掌握新知识和新技术

知识和技术的发展突飞猛进、日新月异,知识和技术的更新周期越来越短.因此,我们的高等教育必须将最新的知识和技术教给学生,同时必须培养学生更新知识和更新技术的能力,这样才能使学生具有创新的基础.

### 4. 创新思维、创新意识和创新精神

基本的常识告诉我们:墨守成规决不能做出创造性工作,决不能取得创造性的成果,这样

的人也绝不是创新人才。作为创新人才,必须具有创新精神,具有创新意识,能够进行创新思维。

### 三、大学物理实验各教学环节及其要求

大学物理实验课程是必修课程,要求同学们具有认真和严谨的态度,在教师的指导下,充分发挥积极性,主动地克服困难,努力做好每一个实验,必须做好三个环节的工作:

#### 1. 预习

预习就是在实验前仔细自学实验教材对应的实验内容,明确本次实验的目的和要求,弄清实验原理和方法,弄清楚要测量哪些量,用什么仪器测和怎样测,了解仪器的规格、工作原理和使用方法,留心注意事项,通过互联网技术先进行实验操作视频的观看。实践证明,预习得好坏,常常关系到做实验的成败、有无收获、超不超时、是否出事故等。因此,没有预习好的学生,是无权也不允许做实验的。

#### 2. 做实验

(1) 调整仪器:在对所有仪器了解清楚的基础上,根据测量要求和操作方便的原则,将仪器放在合理的位置,并注意整齐美观。然后按照操作规程,有目的、有步骤地调节仪器,使其达到能正式测试的要求。仪器没有调整好,常常无法进行测量或得出错误的结果,实际上操作上的困难往往就在于调整仪器。因为调整仪器,除了必须懂得方法外,还需要丰富的经验和熟练的技巧,要战胜这个困难,必须在实践中勤学苦练。

(2) 测量:在考虑好整个的测量程序后,就要有条不紊地进行测量,并认真读取数据和记录数据,在测量中要保持仪器的正常和安全。

(3) 处理数据:根据所测数据,用适当的方法算出测量结果,或作出所要求的实验曲线,数字计算也应条理分明,便于复查。

应当指出,实验室的实际操作,是锻炼实际工作能力的决定性环节。因此不只是要求测量和得出结果,而且要求通过对实际现象的观察、测量和分析,获得实际知识,提高观察能力、操作能力和分析判断能力,这就不应当只是机械地执行测量步骤或抱单纯完成任务观点,而是应当联系和运用理论知识,认真观察、积极思考,加深对物理现象、物理规律的认识,结合实际操作,反复琢磨测量方法和使用仪器的技巧。

#### 3. 写实验报告

写实验报告是对一个实验进行总结,可以起到巩固和深化实验收获,训练概括和表达能力的的作用,一般实验报告应包括以下几项:

(1) 实验者的姓名、专业班级、实验组别。

(2) 实验进行的时间、地点。

(3) 实验名称及实验目的、实验要求。

(4) 实验原理概述及公式。

(5) 主要仪器(记下名称、规格及编号)。

(6) 数据处理表格和必要的实验曲线。

(7) 实验结果及讨论。

(8) 实验思考。

实验报告要求字迹清楚、文字通顺、图表规矩、结果正确、讨论认真。

## 四、测量

大学物理实验不仅要定性观察各种物理现象,更重要的是找出有关物理量之间的定量关系.为此就需要进行测量,测量的意义就是将待测的物理量与一个选作计量标准单位的同类量进行比较,得出它们之间的倍数关系.选来作为标准的同类量称之为单位,选作计量单位的标准必须是国际公认的、唯一的、稳定不变的,倍数称为测量数值.由此可见一个物理量的测量值等于测量数值与单位的乘积.一个物理量的大小是客观存在的,选择不同的单位,相应的测量数值就有所不同.单位愈大,测量数值愈小,反之愈大.

测量可分为两类:一类是直接测量,把被测量直接与标准量进行比较,直接读数,直接得到数据,这样的测量为直接测量,相应的物理量称为直接测量量.例如用米尺测长度;用电流表测电流等.另一类是间接测量,是根据直接测量所得到的数据,通过函数关系得到被测量的测量数据,这样的测量为间接测量,相应的物理量为间接测量量.例如直接测量圆管的高度  $h$ , 外径  $D$  和内径  $d$ , 然后应用公式  $V = \pi h(D^2 - d^2)/4$ , 求得它的体积.在实际测量中,绝大部分是间接测量.

不同的物理量有各自不同的单位,但各物理量不是相互独立,而是由许多物理定义和物理规律联系起来的,所以只需要规定少数几个物理量的单位,其他物理量的单位就可根据定义和物理规律推导出来.独立定义的单位叫作基本单位,相对应的物理量叫作基本量,由基本单位推导出的单位叫作导出单位,相对应的物理量叫作导出量.

在物理学发展过程中,曾建立过各种不同的单位制,各单位制选取的基本量和规定的单位各不相同,使用中常常造成混乱,带来诸多不便.1960年国际计量大会正式通过了一种通用于一切计量领域的单位制——国际单位制,用符号“SI”表示.SI规定的基本单位只有7个.为了保证单位量值的统一,国际计量局设有复现单位标准的专门实验室,每个国家又都有自己的计量组织.任何工厂生产的量具、仪表都要经过计量单位检验鉴定才能出售使用,以保证量具能在规定的准确度标准下体现出量度单位.我国规定以SI单位为国家法定计量单位.

## 五、有效数字

### 1. 什么叫有效数字

进行物理实验,总是要对某些物理量进行测量,测得的数据称为测量值(或叫实验值).由于人的判断能力有限和测量仪器的精度各不相同等主要客观因素存在,因而任何测量值与其“真”值存在着某种程度的差异,称为测量存在某种程度的误差.因此,测量值一般都是写到开始发生误差的数字为止,这样可以反映测量是在哪一个数字上发生误差.例如,用正常的最小分格为毫米的米尺去测量一段金属丝的长度,测量结果为5.46 cm,这就意味着该测量值在毫米的下一位“6”这个数字上开始发生误差,其中“5.4”这两个数字是可靠数字,而“6”是估计出来的,不一定可靠,故称“6”为可疑数字,但它还有参考价值,应给以保留.5.46厘米这个测量值有三个有效数字,就称该测量值有三位有效数字.如果用米做单位,写作0.0546米,仍为三位有效数字,因为数字“5”前面的“0.0”不算有效数字,它们只表示单位不同而出现的数字.若用微米做单位( $1 \mu\text{m} = 10^{-4} \text{cm}$ ),写作  $5.46 \times 10^4 \mu\text{m}$ , 还是三位有效数字.“ $10^4$ ”只表示单位不同而出现的数量级,但是,一定不能写成  $54600 \mu\text{m}$ , 这种写法是五位有效数字,表示误差在微米数位(末尾为“0”)上开始发生,与实际测量时误差在  $100 \mu\text{m}$  数位“6”上开始发生的实际情况不

符合。从测量的观点来看,  $54\,600\ \mu\text{m}$  和  $5.46 \times 10^4\ \mu\text{m}$  这两种不同的写法, 表示二者的准确度是大不相同的, 前者的准确度比后者约高 100 倍。

综上所述, 测量中的有效数字, 一般是指测量值从第一个不为“0”的数字起写到开始有误差的数字为止的那群数字, 它有几位就叫几位有效数字。有效数字是从测量既准确而又不能绝对准确的客观现实中提出来的, 它表示测量的大致准确程度, 对同一个量来说, 有效数字的位数越多, 就表示测量的准确度越高。一个科技工作者和工程技术人员, 若对有效数字的概念不清楚或对它重视不够, 任意增减有效数字的位数, 是脱离实际的表现。因此, 实验中的测量数据, 都要求用有效数字来表示。

## 2. 有效数字概念应用举例

(1) 判别测量值(或手册中所列物理学常数)有几位有效数字时, 注意数字前面的“0”不算有效数字, 而中间的“0”和末尾的“0”要算有效数字。例如, 测量值“0.3020”有四位有效数字; “ $1.60 \times 10^3$ ”有三位有效数字, 又如从手册中查到水在  $11.5\ ^\circ\text{C}$  时的密度为  $0.999\,580\ \text{g}/\text{cm}^3$ , 有六位有效数字。

(2) 从仪器上直接读取数据时, 一般都读到仪器最小分格的下一位。例如, 经常用的最小分格为  $1\ ^\circ\text{C}$  的温度计测量室温下水的温度, 应该记录到  $1\ ^\circ\text{C}$  的下一位。若温度计的示数为  $18\ ^\circ\text{C}$ , 也必须记录为“ $18.0\ ^\circ\text{C}$ ”, 这个小数点后的“0”是有效数字, 是有意义的, 不能任意去掉, 将末尾的有效数字的“0”任意出掉, 这是初学者最容易犯的错误。如果确实在仪器最小分格数位上开始发生, 就记录到最小分格值。

(3) 当测量值本身很大而有效数字位数又少发生矛盾时, 就采用“科学式”写法来表示。例如, 测量值  $65\ \text{m}$ , 是两位有效数字, 若用厘米做单位, 就写成科学式  $6.5 \times 10^3$  厘米, 仍然是两位有效数字, 采用科学式不仅解决了上述矛盾, 而且还有简单明了的作用。又如测量值  $0.000\,018\,5$ , 写成  $1.85 \times 10^{-5}$  就简单明了多了, 一般情况下测量值都用科学式表示。

## 3. 有效数字运算规则

实验中最终要测定的物理量, 常常不是像上面举的例子那样简单, 而是要经过数字运算才能得到最后的结果, 由于参加运算的数据绝大多数都是位数有限的有效数字, 因而运算所得结果也只能是位数一定有效数字。位数算多了, 既浪费时间, 又不符合测量的实际情况; 位数少了, 必然牺牲测量的准确程度, 也违反实际。因此, 人们在实践中, 根据确保计算质量而又省事的原则, 总结出有效数字的运算规则, 我们不去讨论总结的过程, 只把常用的运算规则介绍如下:

### (1) 加减运算规则

几个数值相加减时, 先以小数点后位数最少的那个数值作为“基准”, 将其他数值小数点后的位数调整到比“基准”的多一位, 再进行计算, 其结果应保留的小数点后的位数与“基准”的相同。例如:

$$33.366 + 26.2 - 18.751 = 33.36 + 26.2 - 18.75 = 40.8$$

### (2) 乘除运算规则

几个数值相乘除时, 先以小数点后位数最少的那个数值作为“基准”, 将其他数值小数点后的位数调整到比“基准”的多一位, 再进行计算, 其结果应保留的小数点后的位数与“基准”的相同, 或多一位, 或少一位(若最终结果第一位数字比“基准”的第一个数字小得多时, 则多一位; 反之, 则少一位)。例如:

$$\textcircled{1} 1.583 \times 7.4 \div 1.796 = 1.58 \times 7.4 \div 1.80 = 6.5 \text{ (和“基准”相同)}$$

②  $9.6 \times 1.349 = 9.6 \times 1.35 = 13.0$  (比“基准”多一位)

③  $1.8976 \div 2.06 = 1.90 \div 2.06 = 0.92$  (比“基准”多一位)

有效数字的乘方与开方,其结果应保留的有效位数和乘除规则相同.再说明几点:

① 尾数的舍入一般采用“四舍五入五凑偶”法则.

“四舍”:若舍出部分第一个数字为4或小于4则舍.

“五入”:若舍出部分第一个数字大于5或等于5且5后面的数字不为“0”则入.

“五凑偶”:若舍出那部分第一个数字为5,且5后面的数字为“0”则凑偶,即5前面的一个数字为奇数则入,凑成偶数,5前面的一个数字为偶数则不入,保持原来的偶数.

② 如果估算了实验结果的误差,则最终结果的有效位数由误差决定.

③ 在数值运算中,除有效数字外,还经常出现另一类数,例如计算圆面积是  $s = \frac{1}{4} \pi d^2$  ( $d$  为圆的直径),公式中1,4和 $\pi$ 这些数,可认为有效位数是无限的,需要几位就可以写几位,在运算中,不把这类数选做“基准”.

④ 测量中的有效数字,它的末尾可疑数字上可能有 $\pm 1$ 到 $\pm 9$ 个单位的误差,当没有具体指明它的误差有多大时,在讨论问题中,可假定可疑数字上的误差是 $\pm 1$ 个单位.

#### 4. 有效数字运算规则应用举例

例1 用在静止液体中称衡法测一固体的密度,计算公式为:

$$\rho = \frac{m}{m - m'} \rho_0$$

测得  $m = 3.93 \text{ g}$ ,  $m' = 2.32 \text{ g}$ , 水在  $11.5 \text{ }^\circ\text{C}$  时的密度为  $0.999580 \text{ g/cm}^3$ .

(1) 按有效数字运算规则运算

因  $m - m' = 3.93 - 2.32 = 1.61 \text{ g}$  (三位有效数字)

故取  $\rho = 1.000 \text{ g/cm}^3$ , 代入公式计算

$$\rho = \frac{3.93}{1.61} \times 1.000 = 2.44 \text{ g/cm}^3 \text{ (取三位有效数字)}$$

故考查运算是否符合实际,我们可以假定  $m'$  的测量在末位上发生一单位的误差,即令  $m' = 2.33 \text{ g}$ , 则  $m - m' = 3.93 - 2.33 = 1.60 \text{ g}$ , 由此计算得到:

$$\rho = \frac{3.93}{1.60} \times 1.000 = 2.439968 \text{ g/cm}^3$$

可见后面一种计算方法既浪费时间,又使结果不符合实际,多保留了一些不必要的数字,增多了计算量,数字也越来越繁琐,因此在计算过程中引起错误的机会也很多,致使算出来的结果往往还是错误的.

例2 单摆测重力加速度  $g$ , 计算公式为:

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}$$

式中  $l$  为摆长,  $T$  为周期, 测定值  $l = 100.0 \text{ cm}$ ,  $T = 2.009 \text{ s}$ .

因  $l$  和  $T$  均为四位有效数字,故  $\pi$  取五位有效数字,即周期  $\pi = 3.1416$ , 代入公式

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2} = 4 \times 3.1416^2 \times \frac{100.0}{2.009^2} = 4 \times 9.8696 \times \frac{100.0}{4.0360} = 39.478 \times \frac{100.0}{4.0360} = 978.2 \approx 9.78 \text{ m/s}^2$$

这里最终计算结果的第一个数字为“9”,它比作为“基准”的  $l = 100.0 \text{ cm}$  的第一个数字“1”大得多,按有效数字运算规则, $g$  的最终结果取三位有效数字就足够了(比“基准”的少一位),无

论是  $l$  还是  $T$  的测量在末位发生一个单位的误差,都会影响到  $g$  的测量结果,在个位数“8”上开始发生误差。

脱离实际者,认为 2.009 有四位有效数字,在计算中它既是分母(除数),又有平方,把 2.009 代入计算嫌太麻烦,就马虎从事,用 2 取代,其结果

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2} = 4 \times 3.1416^2 \times \frac{100.0}{2^2} = 4 \times 9.8696 \times \frac{100.0}{4.0360} = 9.87 \text{ m/s}^2$$

这样,计算的确省事一些,但与上述按规则运算的结果比较差别较大,则无谓地牺牲了测量的准确程度,违反了实际,这就不是实事求是的科学态度。

## 六、测量与误差的基本概念

① 实验的定义:用人为的方法有控制地再现自然现象,并从中进行仔细的观察和认真的探测。

② 测量的定义:把待测物理量与另一个选来作为标准的同类量进行比较的过程,得到待测物理量与同类量最小计量单位的倍数关系。

③ 直接测量的定义:直接测量是可以由仪表直接读出测量值的测量,相应的物理量为直接测得量。

④ 间接测量的定义:间接测量是只能用间接的方法进行的测量,相应的物理量为间接测得量。

基本单位:人为规定的独立定义的少数几个物理量的单位,相对应的物理量为基本量。

导出单位:由基本单位推导出的单位,相对应的物理量为导出量。

## 七、测量结果的有效位

### 1. 测量结果的表示

测量结果通常表示为

被测量的符号 = (测量结果的值 ± 不确定度的值) 单位

或

被测量的符号 = 测量结果的值 (不确定度的值) 单位

### 2. 不确定度的有效位

本课程的教学为了简化,我们规定一律取两位。

不确定度计算过程中要多保留一位,最后修约成两位。

### 3. 测量结果的有效位

国际上规定,测量结果的修约间隔与其不确定度的修约间隔相等,即不确定度给到了哪一位,测量结果也应给出到这一位。

例如国际科学协会科学技术委员会 1986 年公布:

阿伏伽德罗常数  $L = 6.022\ 136\ 7(0.000\ 003\ 6) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

更习惯的表示是  $L = 6.022\ 136\ 7(36) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

原子质量常数  $m_u = 1.660\ 540\ 2(0.000\ 001\ 0) \times 10^{-27} \text{ kg}$

$m_u = 1.660\ 540\ 2(10) \times 10^{-27} \text{ kg}$

在弄清测量不确定度的大小时,无法确定测量结果给出到哪一位,一旦得到了测量结果的不确定度,给出到哪一位就确定了,测量结果的有效位也就明确了。

## 八、不确定度

### (一) 几个基本概念

- ① 真值: 一个理想化的概念, 只有通过符合定义的、完美无缺的测量才可能得到. 这是反映物质自身特性所具有的客观的真实数值.
- ② 约定真值: 对于给定目的、具有适当不确定度的赋予特定量的值.
- ③ 绝对误差: 测量结果与真值之差.
- ④ 相对误差: 绝对误差除以真值.
- ⑤ 示值误差: 仪表示值与真值之差.
- ⑥ 引用误差: 仪表示值误差与引用值(如全量程)之比.
- ⑦ 准确度等级: 有时用引用误差绝对值对超过某个界限的百分数来确定仪表的准确度等级.

### (二) 误差估算

#### 1. 单次直接测量

一般取仪器上直接注明的仪器误差作为单次测量的误差.  
如无注明, 也可取仪器最小刻度的一半作为单次测量的误差.

$$A = X \pm \sigma \text{ 或 } A = X \pm \frac{1}{2} \text{ 最小分度}$$

#### 2. 多次测量的平均值及误差

##### ① 算术平均偏差

$$\text{最佳值或近真值: } \bar{X} = \frac{1}{n}(X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

则每次的偏差

$$d_1 = X_1 - \bar{X} \quad d_2 = X_2 - \bar{X} \dots\dots$$

$$\Delta X = \frac{1}{n}(|d_1| + |d_2| + \dots) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |d_i|$$

##### ② 均方根偏差(标准偏差)

总体标准偏差:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

任一次测量, 样本标准偏差:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

多次测量, 样本平均值标准偏差

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

严格地说, 误差是测量值与真值之差, 偏差则是测量值与平均值之差, 这两者是有差别的.

$$X = \bar{X} \pm \sigma = \bar{X} \pm \Delta X$$

## 九、数据处理方法

### (一) 列表法

#### 1. 列表法的优点

① 能简单地反映出相关的物理量之间的对应关系,清楚地显示出测量数据的变化情况。

② 较容易地从排列的数据中发现个别有错误的数。

③ 为进一步用其他方法处理数据创造了条件。

#### 2. 列表规则

① 用直尺画线打表,力求工整。

② 对应关系清楚简洁,行列整齐,一目了然。

③ 表中所列为物理量的数值。

④ 提供必要的说明和参数。

### (二) 作图法

#### 1. 作图法的优点

① 能够形象、直观、简便地显示出物理量的相互关系以及函数的极值、拐点、突变和周期等特征。

② 具有取平均的效果。

③ 有助于发现测量中的个别错误数据。

④ 用作图法求值时,一般不再计算不确定度。

#### 2. 作图规则

① 列表 按列表规则,将作图的有关数据列成完整的表格,注意名称、符号及有效数字的规范使用。

② 选择坐标纸 作图必须用坐标纸,根据物理量的函数关系选择适合的坐标纸。

③ 标出坐标轴的名称和标度 在坐标轴上标明所代表物理量的名称和单位,标注方法与表的栏头相同,分度比例要便于换算和描点。

④ 描点和连线 根据测量数据,用削尖的铅笔在坐标图纸用“+”或“×”标出各测量点,使各测量数据坐落在“+”或“×”的交叉点上。

⑤ 在图上空旷位置,写出完整的图名、绘制人姓名及绘制日期,所标文字应当用仿宋体。

#### 3. 求直线斜率和截距

### (三) 逐差法

#### 1. 逐差法的优点

① 充分利用测量数据,更好地发挥了多次测量取平均值的效果。

② 绕过某些定值未知量。

③ 可验证表达式或求多项式的系数。

#### 2. 逐差法的适应条件

① 两物理量  $x$ 、 $y$  之间的关系可表达为多项式形式。

② 自变量  $X$  必须是等间距变化,且较因变量  $Y$  有更高的测量精确度,以至于通常  $X$  的测量不确定度忽略不计。

### 3. 逐项逐差

逐项逐差就是把因变量  $Y$  的测量数据逐项相减,用来检查  $Y$  对于  $X$  是否呈线性关系,否则用多次逐差来检查多项式的幂次。

#### (1) 一次逐差

若  $y = b_0 + b_1 x$ ,测得一系列对应的数据:

$$x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_n,$$

$$y_1, y_2, \dots, y_k, \dots, y_n,$$

逐项逐差,得到:

$$y_2 - y_1 = \Delta y_1$$

$$y_3 - y_2 = \Delta y_2$$

.....

$$y_{k+1} - y_k = \Delta y_k$$

因为  $y$  对于  $x$  呈线性关系,且  $x$  为等间距变化,故  $\Delta y_k = \text{常量}$ 。所以,若对实验测量值进行逐项逐差,得到:

$$\Delta y_k \approx \text{常量}$$

则证明  $y$  对于  $x$  呈线性关系。

#### (2) 二次逐差

若  $y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2$ ,则逐项逐差后所得结果  $\Delta y_k \neq \text{常量}$ ,遂将  $\Delta y_k$  再作一次逐项逐差:(称为二项逐差)

$$\Delta y_2 - \Delta y_1 = \Delta' y_1$$

$$\Delta y_3 - \Delta y_2 = \Delta' y_2$$

.....

$$\Delta y_{k+1} - \Delta y_k = \Delta' y_k$$

同理,若二次逐差结果  $\Delta' y_k = \text{常量}$ ,则可证明  $y$  对于  $x$  为二次幂的关系。依此类推,还可以进行三次逐差或更高次逐差。

### 4. 分组进行逐差求多项式的系数

用逐差法来求因变量变化的平均值,或求多项式的系数时,不能用逐项逐差,而是把  $n$  项测量值分为上、下两组,用下组中的每一个数据与上组中对应的数据一一相减。

## 十、物理实验成绩评定参考标准

### 1. 上课准时(6分)

上课准时,以上课铃声为准。上课准时记6分,迟到者扣6分。迟到300分钟以上者,本次实验记不及格。

### 2. 预习报告(14分)

预习报告包括实验名称(2分)、实验目的(2分)、实验原理(10分)。

### 3. 实验操作(50分)

① 按实验步骤和实验程序,自觉认真完成实验且实验数据达到要求者,记满分50分。

② 抄袭数据者扣50分。

③ 根据实验步骤的规范程度和实验数据的正确程度酌情记分。

#### 4. 文明卫生纪律(5分)

① 遵守实验规则记5分,违者扣5分,情节严重者,本次实验记不及格。

② 实验完毕后,要打扫室内卫生,不打扫者扣5分。

③ 上实验课闲谈、大声喧哗或不听指导者扣5分。

④ 上实验课违反纪律、屡教不改或早退者,本次实验成绩不及格。

#### 5. 仪器整理(5分)

① 实验完毕,按要求主动整理好仪器的,记5分。

② 实验完毕,没有整理仪器的,扣5分。

③ 实验完毕,整理仪器不符合要求者,可视其情况酌情扣分。

#### 6. 实验报告(20分)

实验报告计分细则:实验步骤记5分,注意事项记2分,数据处理记10分,体会记3分,其他视实验报告的情况酌情记分。

### 十一、学生实验守则

① 学生应在约定时间内进行实验,不得无故缺席或迟到,实验时间若要改动,须经实验指导同意。

② 学生在每次实验前对约定要做的实验应进行预习,并在预习的基础上写好预习报告。

③ 进入实验室后,应将预习报告放在桌上由教师检查,经过教师检查认为合格后,才可以进行实验。

④ 实验时,应携带必要的物品,如文具、计算器和草稿纸等,对于需要作图的实验应事先准备毫米方格纸和铅笔。

⑤ 进入实验室后,根据仪器清单核对自己使用的仪器是否有缺少或损坏,若发现问题,应向教师或实验室管理员提出,未列入清单的仪器,另向实验指导老师借用,实验完毕时归还。

⑥ 实验前应细心观察仪器构造,操作时应谨慎细心,严格遵守各种仪器仪表的操作规则及注意事项,尤其是电学实验,线路接好后,先经教师或实验室工作人员检查,经许可后才可接通电源,以免发生意外。

⑦ 实验完毕,应将实验数据交给教师检查,实验合格者,教师予以签字通过,原则上不允许缺课者补做实验。

## 第2章 力学实验

基本实验包括力学和热学实验、电磁学实验、光学实验部分。安排这些实验的目的是使学生加强基本的实验训练,培养实验习惯和兴趣,了解实验进程和实验方法,为后续实验做准备。本章内容要求学生掌握基本物理量的测量,了解常用仪器的性能并掌握其使用方法,通过实验的验证加深对物理理论知识的理解。在这些基本训练中,可以培养实验者的科研精神、实验工作能力、科学思维方法以及认真、严谨、实事求是的科学作风。

### 实验1 长度测量

#### 【实验目的】

1. 学会使用游标卡尺,掌握游标的基本原理。
2. 学会使用螺旋测微计,了解它的构造和原理。
3. 巩固误差和有效数字的知识,正确地记录和表示测量结果和误差。

#### 【实验仪器】

游标卡尺,螺旋测微计,几何工件。

#### 【实验原理】

##### 1. 游标卡尺

游标卡尺是常用的测量仪器,它可以测量物体的长度、深度及圆环的内外径等。它的外形和基本构造如图 1-1 所示。

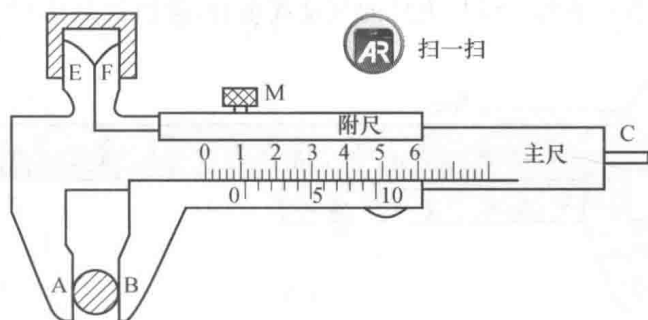


图 1-1 游标卡尺