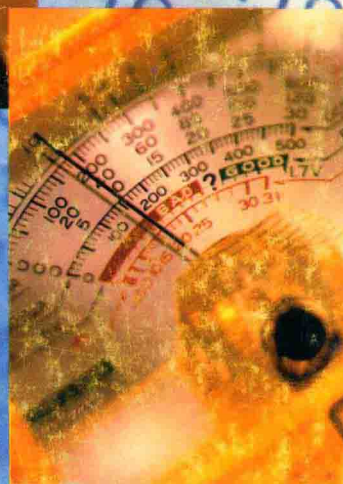
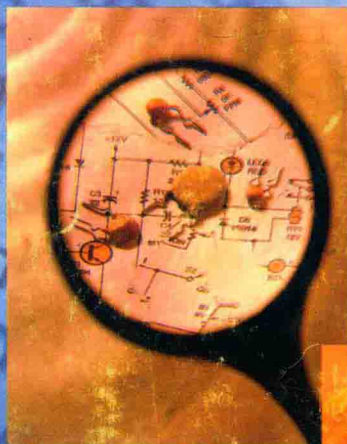


大学物理实验

董汇泽 主编



青海人民出版社

大学物理实验

主 编：董汇泽

副主编：李惠山
张卫华
姜 华

江苏工业学院图书馆
藏书章

青海人民出版社

大学物理实验

董汇泽 主编

出版：青海人民出版社(西宁市同仁路10号)
发行：邮政编码 810001 电话 6143426
印刷：西宁民族印刷厂
经销：新华书店
开本：787mm×1092mm 1/16
印张：9.5
字数：220千
版次：2001年12月第1版 2001年12月第1次印刷
印数：1—2 000

书号：ISBN 7-225-02019-6/G·792
定价：23.50元

版权所有 翻印必究

(书中如有缺页、错页及倒装请与工厂联系)

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/董汇泽主编. —西宁: 青海人民出版社, 2001. 12

ISBN 7-225-02019-6

I. 大… II. 董… III. 物理学—实验—高等学校—教材 IV. 04—33

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第087085号

前 言

本书是根据高等工业学校《物理实验课程教学基本要求》并参照基本要求的《修订征求意见稿》,以青海大学曾使用的《大学物理实验讲义》为基础编写的物理实验教材。内容包括:绪论、基础实验、基本实验、近代物理与综合性实验和附录,共选编了 30 个实验内容,供本科和专科学生使用。

大学物理实验是对高等工科院校学生进行科学实验基本训练的一门独立设置的必修基础课程,它在培养学生良好的科学态度,严谨的科学作风,严格的科学实验方法和实验技能等方面都起着重要的作用。我们在教材的编写中,本着从易到难、由浅入深、循序渐进的认识规律,以实验内容的三个阶段为主线进行编排。部分实验内容反映了物理教研室教师近年来在实验教学研究方面的最新成果,具有一定的特色。

参加本书编写工作的有:

姜 华——实验 5、6、7、29;

张卫华——实验 2、4、8、9、28;

李惠山——实验 1、13、17、24、25;

董汇泽——提出编写大纲,审定以上部分,编写其余部分并统稿。

物理实验教学是一项集体事业,本书的编写凝聚了青海大学物理教研室全体同仁多年来在实验课教学和实验室建设方面的辛勤劳动和集体智慧,谨致以衷心的感谢!

由于我们水平有限,错误和欠妥之处在所难免,只有在教学实践中不断研究探索,才能日臻完善,真诚欢迎各位读者提出宝贵意见。

编 者

2001 年 1 月

目 录

绪论

§ 一、物理实验课程的地位、作用和任务	(1)
§ 二、物理实验课的基本程序	(1)
§ 三、物理实验室规则	(2)

测量误差与数据处理

§ 一、测量与误差的基本概念	(3)
§ 二、有效数字及其运算	(3)
§ 三、直接测量结果的误差估算	(5)
§ 四、间接测量结果的误差计算	(7)
§ 五、实验数据处理的基本方法	(9)
习题	(13)

基础实验

实验一 物体密度的测定	(15)
实验二 用单摆测定当地的重力加速度	(19)
实验三 用毛细管法测定液体表面张力系数	(21)
实验四 气轨上的实验	(23)
(一) 验证牛顿第二定律	(28)
(二) 验证动量守恒定律	(32)
实验五 用焦利氏秤测弹簧的劲度系数	(36)
实验六 薄透镜焦距的测定	(37)
实验七 显微镜的组装及放大率的测定	(39)
实验八 常用电学仪器的认识和使用 ——伏安法测电阻	(40)

基本实验

实验九 用落球法测液体的粘度	(49)
实验十 用扭摆法测物体的转动惯量	(51)
实验十一 金属弹性模量的测定	(53)
(一) 用光杠杆法测金属丝的杨氏弹性模量	(54)
(二) 用百分表法测金属丝的杨氏弹性模量	(56)
实验十二 电阻温度系数的测定	
(一) 用惠斯通电桥测电阻的温度系数	(57)
(二) 用恒流源测电阻的温度系数	(59)
实验十三 电表的改装与校正	(61)
实验十四 线性电阻和非线性电阻的伏安特性	(64)
实验十五 电位差计的应用	(66)
(一) 用十一线电位差计测量电源的电动势和内阻	(67)
(二) 用箱式电位差计测电源的电动势	(69)

实验十六	模拟法测绘静电场	(70)
实验十七	示波器的使用	(74)
实验十八	等厚干涉	
(一)	牛顿环	(80)
(二)	劈尖	(83)
实验十九	光栅的衍射	(85)
实验二十	弦振动的研究	(88)
实验二十一	用冲击电流计测螺线管的磁场	(90)
实验二十二	用霍耳效应测量磁场	(95)
实验二十三	用旋光仪测旋光性溶液的浓度	(99)
近代物理与综合性实验		
实验二十四	光电管特性研究	(104)
实验二十五	迈克尔逊干涉实验	(106)
实验二十六	密立根油滴实验	(111)
实验二十七	压力传感器特性研究	(115)
实验二十八	全息照相	(118)
实验二十九	电子荷质比的测定	(122)
实验三十	非平衡电桥的研究	(125)
附表		
附表 1	基本物理常数 1986 年国际推荐值	(128)
附表 2	国际制词头	(129)
附表 3	在 20℃ 时常用品体和液体的密度	(130)
附表 4	在标准大气压下不同温度的水的密度	(131)
附表 5	全国主要城市的重力加速度	(132)
附表 6	在 20℃ 时某些金属的弹性模量	(133)
附表 7	某些合金和金属的电阻率及温度系数	(133)
附表 8	在不同温度下与空气接触的水的表面张力系数	(134)
附表 9	液体的粘度	(134)
附表 10	几种温差电偶的温差电动势	(135)
附表 11	光在有机物中偏振面的旋转	(135)
附表 12	显影液、停影液、定影液和漂白液的配方	(136)
附录		
附录 1	HH4310、20MHz 通用示波器面板说明及操作步骤	(138)
附录 2	HH1630 型函数信号发生器面板说明及操作步骤	(142)

绪 论

§ 一、 物理实验课程的地位、作用和任务

科学实验是一切科学理论的源泉,是工程技术的基础。一切科学理论的提出,都是通过大量的观察、反复地试验,再运用抽象思维的方法总结出来的。而理论的正确性,又依赖于科学实验的验证。

物理学是一门以实验为基础的自然科学。物理规律的发现和物理理论的建立,都必须以严格的物理实验为基础,并受到实验的检验。对高等工业院校的学生来说,物理实验教学和物理理论教学有同等重要的地位,它们既有深刻的内在联系和配合,又有各自的任务和作用。因此,在物理学学习中,正确处理好理论和实验课的关系是非常重要的。

大学物理实验是对高等院校学生进行科学实验基本训练的一门独立必修基础课程,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,是后续课程实验的重要基础。

本课程的具体任务是:

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)能够通过阅读实验教材或资料,作好实验前的准备;
- (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)能够完成简单的设计性实验。

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产的优良品德。

§ 二、 物理实验课的基本程序

1. 实验前的预习

学生进入实验室前必须进行预习,预习是完成实验的基础。预习时应仔细阅读实验教材,着重理解实验原理,明确实验的大体步骤。实验前要求写好预习报告,无预习报告者不准做实验。预习报告包括下列内容:

- (1)实验名称和实验目的。

(2)实验原理。原理应写得简明扼要,如列出所依据的主要公式。电学或光学实验应画出实验线路图或光路图等。

(3)数据记录表格。由学生自行设计或抄录教材中的表格,作记录数据之用。

2. 课堂实验

操作是课堂实验的中心环节。学生进入实验后,应在教师的指导下,对照仪器再次阅读教材和仪器说明书,熟悉仪器使用方法,并进一步理解实验原理。做实验时,应根据实验步骤和要求,认真调试仪器,仔细观察和测量有关物理量,如实记录测量数据及测试时的条件,如气压、气温等。实验完毕应将测量数据交给指导教师审阅,待教师签字后,收拾好仪器方可离开实验室。

3. 完成实验报告

实验报告是实验工作的全面总结,要用简明的形式将实验结果完整而又真实地表达出来。写报告时,要求文字通顺,字迹端正,图表规矩,结果正确,讨论认真。

实验报告通常包括以下几个部分:

(1)实验名称;(2)实验目的;(3)简要原理或计算公式;(4)仪器设备;(5)实验数据;(6)计算或作图;(7)误差分析;(8)实验结果;(9)讨论。

如果实验是观察讨论某一物理现象或验证某一物理定律,则只需扼要地写出实验结论。

在最后的讨论中,包括回答实验的思考题,实验过程中观察到的异常现象及其可能的解释,对实验仪器装置和实验方法的建议等,还可谈实验的心得体会。

§ 三、 物理实验室规则

1.学生在规定的时间内进行实验,不得无故旷课和迟到。无故迟到超过 10 分钟者,不得进入实验室。

2.进入实验室,应保持室内安静和整洁,不得大声喧哗。

3.对安排的实验要预习并写出预习报告,将预习报告交实验指导教师审阅。对于没有预习者,不得进入实验室做实验。

4.认真完成本组实验,不得擅自搬动和使用其它实验组的仪器和物品。

5.实验中发现仪器不正常和数据不合理时,应及时与指导教师联系。

6.自行改变实验方法,需与指导教师研究后方可进行。

7.电学实验线路接好经教师检查同意后,方可接通电源。光学实验严禁用手触摸光学元件的光学表面。

8.遵守仪器操作规程,爱护仪器设备,注意人身安全和设备安全,损坏仪器设备,酌情赔偿。

9.实验完成后,将原始数据交教师审阅签字,方可有效。

10.实验完毕,整理仪器,清点器材,面交指导教师。打扫卫生,关好门窗,方可离开实验室。

测量误差与数据处理

§ 一、 测量与误差的基本概念

进行物理实验时,不仅要定性地观察物理变化过程,而且还要定量地测定物理量的大小。所谓测量,就是借助仪器用某一计量单位把待测量的大小表示出来,即待测量是该计量单位的多少倍。

对待测量的测量可分为两类:

直接测量:可用仪表直接读出测量值的测量。例如用米尺量得一物体的长度为 0.5100 米。

间接测量:依据待测量和某几个直接测量值的函数关系求出待测量,称为间接测量。例如要测粗细均匀铜丝的线密度 ρ ,可先测出一段铜丝的长度 L 和质量 M ,然后根据公式 $\rho = M/L$ 算出铜丝的线密度。

物质均有各自的特性,反映这些特性的物理量所具有的客观的真实数值,称为该物理量的真值。测量的目的就是力图要得到真值。但由于实验仪器、环境,观察者等诸因素的影响,测量值和真值间或多或少总有差异,这种差异就称为测量值的误差。根据误差的性质及产生原因,可将误差分为系统误差和偶然误差。

系统误差:由仪器的固有缺陷、环境的影响,个人的习惯、理论公式的近似性等因素所致。系统误差的特征是其确定性,即误差总使测量结果偏向一方,或者偏大,或者偏小。多次测量求平均值并不能消除该误差。实验中应找到系统误差产生的原因,减少或消除它,或对测量结果进行修正。

偶然误差:由人的感官的灵敏程度不同,周围环境的干扰以及随测量而来的不可预料的偶然因素所致。偶然误差的特征是其随机性,即误差的大小和正负变化不定。偶然误差服从统计规律,例如对某量测量多次时,比真值大和比真值的小的测量出现的几率相等,且误差较小的数据比误差较大的数据出现的几率大。因此增加测量次数,可以减少偶然误差。在下列的讨论中,我们约定系统误差已经消除和修正,只剩下偶然误差。

§ 二、 有效数字及其运算

1. 有效数字

如上所述,用实验仪器直接测量的数值都含有误差,因此测得的数据只能是近似数,由这些近似数通过计算得到的间接测量值也是近似数。显然几个近似数的运算不可能使运算结果更准确,而只会增大其误差。因此近似数的表示和计算都有一些规则,以便确切地表示记录和

运算结果的近似性。

从仪器上读出的数字,通常要尽可能估计到仪器最小刻度线的下一位。例如用最小分度为毫米的米尺,测得某一长度为 7.62cm,其中 7 和 6 是准确读出的是确切数字,最后一位数字 2 是估读出来的,估读的结果因人而异。因此这一位数是有疑问的,称为存疑数字。由于第三位数字已存疑,它以下各位数的估计已无必要。我们把仪器上读出的数字包括最后一位存疑数字记录下来,称为有效数字。上述某一长度的测量值包含三位有效数字。

读有效数字时要注意“0”的位置。例如某棒重 0.80200Kg,长 0.0360m,第一个数字前的“0”不表示有效数字,只表示小数点位置,而数字中间和后面的“0”均为有效数字。为避免混淆,并使记录和计算方便,常用标准式写法,即只写某值的有效数字,而用 10 的幂来表示数量级。如将上例写为 $8.0200 \times 10^{-1} \text{Kg}$ 或 $8.02000 \times 10^2 \text{g}$, $3.60 \times 10^{-2} \text{m}$ 或 $3.60 \times 10 \text{mm}$ 。

有些仪器,例如数字式仪表或游标卡尺,是不可能估计最小刻度以下一位数字的,此时可认为直接读出的数字的最后一位数是存疑的,因为这类仪器中,最后一位数总有 ± 1 的误差。

2. 有效数字的运算规则

实验中数据的计算应按照有效数字运算规则来进行。根据国标 GB8170—87《数值修约规则》规定,舍入规则是:以保留数字的最后一位(称为末位)为单位,它后面的数大于 0.5 时,末位进一;小于 0.5 时,末位不变;恰为 0.5 时,末位为奇数时进一,末位为偶数时不变。这个规则可简称为“四舍六入五凑偶”。其目的是使末位后的数字为 0.5 时,舍与入的几率均等。

例如:将下列数据保留四位有效数字。

$$3.14159 \rightarrow 3.142$$

$$4.21050 \rightarrow 4.210$$

$$6.7435 \rightarrow 6.744$$

$$5.918501 \rightarrow 5.919 (\because 501 > 500)$$

$$2.387499 \rightarrow 2.387 (\because 499 < 500)$$

用计算器处理实验数据时,如不考虑有效数字的表示方法、运算法则和舍入规则,很容易出现有效数字错误。因此必须牢记这些规则,经过练习对每一次实验数据正确处理才能避免出错。

(1)有效数字的加、减 通过下面两例的运算,了解加、减运算中有效数字的取法。计算时在存疑数字下方加一横线,以便与确切数字相区别。

$\begin{array}{r} 32.\underline{1} \\ + 3.27\underline{6} \\ \hline 35.\underline{376} \end{array}$	$\begin{array}{r} 26.\underline{65} \\ - 3.92\underline{6} \\ \hline 22.7\underline{24} \end{array}$
---	--

在相加的结果中,由于第三位数“3”已为存疑数字,最后的二位数便无意义。按照数字舍入的原则,本例结果写成 35.4,有效数字为三位。同理,相减的结果为 22.72,有效数字为四位。

(2)有效数字的乘、除 通过下面两例的运算,了解乘、除运算中有效数字的取法。

$$\begin{array}{r}
 5.34 \underline{8} \\
 \times 20.5 \underline{5} \\
 \hline
 26740 \\
 0000 \\
 10696 \\
 \hline
 109.6340
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 173.4 \cdots \\
 21 \overline{7}) \quad 3764 \underline{3} \\
 \underline{217} \\
 1594 \\
 \underline{1519} \\
 753 \\
 \underline{651} \\
 1020
 \end{array}$$

在运算中存疑数字只保留一位,所以上面二例的结果分别为 110 和 173,有效数字均为三位。从两例中看出,两个量相乘(或除)的积(或商),其有效数字与诸因子中有效数字位数最少的相同。此结论可推广到多个量相乘除的运算中。

(3)乘方、开方的有效数字 不难证明,乘方、开方的有效数字与其底的有效数字位数相等。

§ 三、 直接测量结果的误差估算

1. 单次直接测量的误差估算

在实验中,由于条件不许可或测量准确度要求不高等原因,对某一物理量的测量只进行一次。这时可根据实际情况,对于偶然误差进行合理的具体的估算,不能一概而论。在一般情况下,对于偶然误差很小的测定值,可按仪器出厂鉴定书或仪器上直接注明的仪器误差作为单次测量的误差。如果没有注明,也可取仪器最小刻度的一半作为单次测量的误差。

2. 多次测量的平均值及误差

为减小偶然误差,可在同一条件下进行多次测量,将各次测量的算术平均值作为测量的结果。设在相同条件下对物理量 X 重复测量 n 次,其测量值分别为 $X_1, X_2, X_3, \cdots, X_n$, 用 $\bar{X}$ 表示平均值,则:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} (X_1 + X_2 + X_3 + \cdots + X_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

根据误差统计理论,在 n 次测量数据中,算术平均值 $\bar{X}$ 最接近于真值,称为测量的最佳值或近真值。当测量数无限增加时,算术平均值将无限接近真值。在这种情况下,测量值的误差可用算术平均偏差或标准偏差表示。多次测量的算术平均偏差 ΔX 定义为:

$$\begin{aligned}
 \Delta X &= \frac{1}{n} (|X_1 - \bar{X}| + |X_2 - \bar{X}| + \cdots + |X_n - \bar{X}|) \\
 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|
 \end{aligned}$$

多次测量的标准偏差定义为:

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

算术平均偏差与标准偏差都可作为测定值误差的量度,它们都表示在一组多次测量的数

据中,各个数据之间分散的程度。如果各个数据之间差别较大,那么其算术平均偏差 ΔX 和标准偏差 σ 也都较大,说明测量不精密,偶然误差较大。

在上述两种偏差的计算方法中,标准偏差 σ 与偶然误差理论中的高斯误差分布函数的关系更为直接和简明,因此在误差分析和计算中目前通用标准偏差作为偶然误差大小的量度。对于初学者来说,主要是树立误差的概念,以及对实验进行粗略的简明的分析,因此可采用算术平均偏差来进行误差的分析和运算。

严格来讲,误差是测量值与真值之差,而测量值与平均值之差称为偏差,两者是有差别的。当测量次数很多时,多次测量的平均值 $\bar{X}$ 最接近于真值,因此各次测量值与 $\bar{X}$ 的偏差也接近于它们与真值的误差。这样我们就不去区分偏差与误差的细微区别,把算术平均偏差称为算术平均误差,这样,测量结果应表示为:

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

3. 绝对误差与相对误差

上式中的 ΔX 是以误差的绝对数值表示测定值的误差,称为绝对误差。绝对误差可表示同一测量结果的可靠程度,但不能比较不同测量结果的优劣,故引入相对误差。

相对误差的定义为: $E_r = \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$

下面举例说明相对误差的意义。

例如测量两个物体的质量,其结果分别为: $m_1 = (1.00 \pm 0.01)g$
 $m_2 = (100.00 \pm 0.01)g$

则其相对误差分别为 1% 和 0.01%。

两者绝对误差相等,但相对误差不等,前者是后者的 100 倍。我们自然认为后一测量结果比前一个准确得多。

例题:将某一物体的长度测量 5 次,得到的测量值分别为: $X_1 = 3.41\text{cm}$, $X_2 = 3.43\text{cm}$, $X_3 = 3.45\text{cm}$, $X_4 = 3.44\text{cm}$, $X_5 = 3.42\text{cm}$ 。试计算 $\bar{X}$ 、 ΔX 、 E_r , 并写出测量结果。

解:算术平均值

$$\bar{X} = \frac{1}{5}(3.41 + 3.43 + 3.45 + 3.44 + 3.42)\text{cm} = 3.43\text{cm}$$

平均误差:

$$\Delta X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|$$
$$= \frac{1}{5}(0.02 + 0.00 + 0.02 + 0.01 + 0.01)\text{cm} \approx 0.02\text{cm}$$

相对误差:

$$E_r = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 100\% = \frac{0.02}{3.43} \times 100\% = 0.6\%$$

测量结果可表示为:

$$X = \bar{X} \pm \Delta X = (3.43 \pm 0.02)\text{cm}$$

4. 几点规定

由于绝对误差 ΔX 反映的是存在误差而不可靠的数字。因此本课程规定:

(1) 测量结果的绝对误差只取一位不为零的有效数字,其下一位只进不舍。

(2)测量值(即 $\bar{x}$)的最末一位与绝对误差位对齐,即由绝对误差决定测量值的存疑位,其后数字则采用有效数字运算法则处理。

(3)相对误差一般取一位有效数字,最多两位。

§ 四、 间接测量结果的误差计算

间接测得量是通过一定的公式计算出来的。既然公式中包含的直接测得量都是有误差的,那么间接测得量也必然有误差,这便是误差的传递。表达各直接测量值的误差与间接测量值的误差间的关系式称为误差传递公式。误差传递公式可用微分法求得。

设 $A, B, C, \dots$ 为直接测得量,测量结果分别为: $A = \bar{A} \pm \Delta A; B = \bar{B} \pm \Delta B; C = \bar{C} \pm \Delta C, \dots$ 。间接测得量 N 与它们函数关系为: $N = f(A, B, C, \dots)$

$$\text{其全微分为: } dN = \frac{\partial f}{\partial A} dA + \frac{\partial f}{\partial B} dB + \frac{\partial f}{\partial C} dC + \dots$$

上式表明:当 $A, B, C, \dots$ 有微小改变 $dA, dB, dC, \dots$ 时,其 N 相应也有微小改变 dN 。若将 $dA, dB, dC, \dots, dN$ 看作误差 $\Delta A, \Delta B, \Delta C, \dots, \Delta N$,则可用上式计算间接测量结果的绝对误差。

于是绝对误差公式可写为:

$$\Delta N = \frac{\partial f}{\partial A} \Delta A + \frac{\partial f}{\partial B} \Delta B + \frac{\partial f}{\partial C} \Delta C + \dots \quad (1)$$

相对误差公式可写为:

$$Er = \frac{\Delta N}{N} = \frac{1}{N} \left(\frac{\partial f}{\partial A} \Delta A + \frac{\partial f}{\partial B} \Delta B + \frac{\partial f}{\partial C} \Delta C + \dots \right) \quad (2)$$

计算中要注意的是:(1)考虑到误差可能出现最大值,式中各项系数均取绝对值;(2)式中 $\bar{N} = f(\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \dots)$ 而各个偏导数之值均以 $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \dots$ 代入计算。

为简化计算,有时对函数先取对数然后求全微分。对函数 $N = f(A, B, C, \dots)$ 有:

$$\frac{dN}{N} = \frac{\partial \ln f}{\partial A} dA + \frac{\partial \ln f}{\partial B} dB + \frac{\partial \ln f}{\partial C} dC + \dots$$

利用上式可计算相对误差,有

$$Er = \frac{\Delta N}{N} = \frac{\partial \ln f}{\partial A} \Delta A + \frac{\partial \ln f}{\partial B} \Delta B + \frac{\partial \ln f}{\partial C} \Delta C + \dots \quad (3)$$

式中各项系数在计算时仍取绝对值。上述(1)、(2)、(3)式为误差传递基本公式。式中各项如: $\frac{\partial f}{\partial A} \times \Delta A, \dots, \frac{\partial \ln f}{\partial A} \times \Delta A, \dots$ 叫做分误差。而 $\frac{\partial f}{\partial A}, \frac{\partial \ln f}{\partial A}, \dots$ 叫做误差传递系数。可见一个量的测量误差对总误差的影响不仅取决于本身误差的大小还取决于误差传递系数。对于和、差的函数,用式(1)先求绝对误差较方便;对于积、商的函数用(3)式先求相对误差较方便。

求间接测量值的误差的步骤为:

1. 对函数求全微分。
2. 合并同一变量的系数。
3. 将微分号变为误差号,取绝对值相加。

在计算间接测量误差时,除相加相减的情况外,一般先求相对误差 Er ,然后通过

$\Delta N = E_r \cdot \bar{N}$ 求出 ΔN , 最后将实验结果写成, $\bar{N} \pm \Delta N$ 的形式。

例: 写出用单摆测重力加速度的相对误差公式

解: $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2}$

取对数 $\ln g = \ln 4\pi^2 + \ln L - 2\ln T$

求全微分 $\frac{dg}{g} = \frac{dL}{L} - 2 \frac{dT}{T}$

取绝对值相加 $\frac{dg}{g} = \frac{dL}{L} + 2 \frac{dT}{T}$

改为误差号 $\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta L}{L} + 2 \frac{\Delta T}{T}$

因为振动周期 T 误差传递系数 2, 比摆长 L 对误差的影响大, 故周期 T 要设法测准。

为了方便应用, 表 0—1 列出了几个常用函数的误差传递公式, 以供查找。

表 0—1 常用函数的误差传递公式

函数形式 $N = f(A, B, C, \dots)$	绝对误差 ΔN	相对误差 E_r
$N = A + B + C + \dots$	$\Delta A + \Delta B + \Delta C + \dots$	$\frac{\Delta A + \Delta B + \Delta C + \dots}{A + B + C + \dots}$
$N = A - B$	$\Delta A + \Delta B$	$\frac{\Delta A + \Delta B}{A - B}$
$N = A \cdot B \cdot C$	$\bar{B} \cdot \bar{C} \Delta A + \bar{A} \cdot \bar{C} \Delta B + \bar{A} \cdot \bar{B} \Delta C$	$\frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C}$
$N = \frac{A}{B}$	$\frac{\bar{B} \Delta A + \bar{A} \Delta B}{\bar{B}^2}$	$\frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}$
$N = A^n$	$n \cdot \bar{A}^{n-1} \cdot \Delta A$	$n \cdot \frac{\Delta A}{A}$
$N = \sqrt[n]{A}$	$\frac{1}{n} \cdot \bar{A}^{\frac{1}{n}-1} \cdot \Delta A$	$\frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta A}{A}$
$N = \sin A$	$(\overline{\cos A}) \cdot \Delta A$	$(\text{Ctg} \bar{A}) \cdot \Delta A$
$N = \cos A$	$(\overline{\sin A}) \cdot \Delta A$	$(\text{tg} \bar{A}) \cdot \Delta A$
$N = \text{tg} A$	$\frac{\Delta A}{\cos^2 A}$	$\frac{2 \Delta A}{\sin 2A}$
$N = \text{Ctg} A$	$\frac{\Delta A}{\sin^2 A}$	$\frac{2 \Delta A}{\sin 2A}$

§ 五、 实验数据处理的基本方法

数据处理是指从获得数据起得出结论为止的加工过程,包括记录、整理、计算、作图、分析等方面的处理方法。在此主要介绍常用的列表法,图示法和图解法,逐差法等。

1. 列表法

把测得的数据和计算的结果列成表格。如

表 0—2

电阻 R 的伏安关系

电压(V)	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00
电流(mA)	0.00	0.05	1.02	1.49	2.05	2.51	2.98	3.52	4.00	4.48

由上可见,变量间的一一对应关系十分清晰,变化趋势也能看出。表格的设计必须正确,并力求简单、清楚,表中的数据应用有效数字表示,单位要标记明确。

2. 图示法

在坐标纸上描绘出各物理量之间相互关系的图线,称为图示法。如图 0—1,称为电阻 R 的伏安特性曲线。

作图时坐标点和实验图线必须画得清楚正确,能反映物理量之间的数量关系,容易读数。

图示法的具体规则是:

(1)选轴 以横轴代表自变量,纵轴代表因变量,在轴的末端近旁注明所代表的物理量及其单位。

(2)定标尺 对于每个坐标轴,在相隔一定距离上用数字来标度。标度时要做到:

①图上观测点的坐标读数的有效数字位数与实验数据的有效数字位数相同。例如,对于直接测量的物理量,轴上最小格的标度可与测量仪器的最小刻度相同。

②标度划分得当,以不用计算就直接读出图线各点的坐标为宜,通常用 1、2、5,而不选用 3、7、9 来标度。

③横轴和纵轴的标度可以不同,两轴的交点也可以不从零而取比数据最小值再小些的整数开始标值,也便于调整图线的大小的位置。

④如果数据特别大或特别小,可以提出乘积因子。例如提出 $\times 10$ 放在坐标轴上最大值的右边。

(3)描点 根据实验数据在图上用“.”、“*”的符号标出各数据点。同一图线上的数据点要用同一符号。若图上有两条图线,则应用两种不同的符号以区别。

(4)连线 连线时应尽量使线紧贴所有的数据点通过(但应当舍弃严重偏离图线的个别点),并使数据点均匀分布于图线的两侧。如欲将此线延伸到测量数据范围之外,则应依其趋

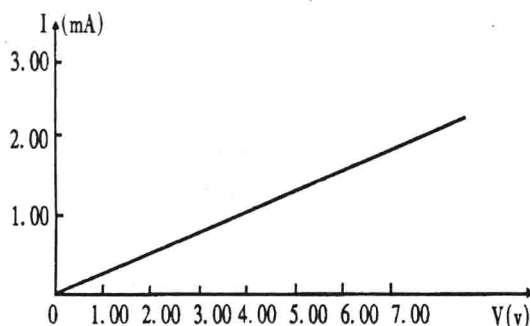


图 0—1 电阻伏安特性曲线

势用虚线表示。必须注意, 制图时应该用直尺、曲线板等, 不允许徒手画线。

3. 图解法

根据已做好的图线, 用解析方法得出曲线方程, 求出其它参数, 这种方法称为图解法。与实验曲线对应的方程式一般称为经验公式。建立经验公式的大致步骤是:

- (1) 根据解析几何知识判断图线的类型;
- (2) 由图线的类型判定公式的可能特点;
- (3) 作变量代换, 利用对数、半对数或倒数坐标纸将原图线改画为直线, 计算原公式中的常数;
- (4) 确定公式形式, 并用实验数据检验所得公式的准确程度。

下面首先讨论实验图线是直线的情况。

设经验公式为 $y = ax + b$

在直线上靠近两端处选两点 (X_1, Y_1) 和 (X_2, Y_2) , 其坐标最好为整数, 但不得用原始实验数据, 于是有

$$y_1 = ax_1 + b$$

$$y_2 = ax_2 + b$$

解得

$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

a 称为直线斜率。

如果 X 轴的起点为零, 则可直接从图上读出截距 b 。否则, 在求出斜率 a 后, 以直线上任一点的坐标 (X_3, Y_3) 代入 $Y = aX + b$ 中, 即可求出截距 b , 于是得到了与实验图线相适应的经验公式。

在实验图线不是直线的情况下, 仍可经过适当的变换, 把曲线改为直线。举例说明如下:

(1) 测量单摆的周期 T 随摆长 L 的变化, 可得到一组数据 (T_1, L_1) , 可断定画出的 $L-T$ 图线是一条抛物线。若用 L 作纵轴, T^2 作横轴画图, 结果得出一条通过原点的直线, 其斜率由图算出为 a , 截距为零。于是得到经验公式 $L = aT^2$, 然后可用 $a = g/4\pi^2$ 计算当地的重力加速度 g 。

(2) 已知某一现象中物理量 X, Y 按规律 $y = Ae^{-BX}$ 变化, 式中 A, B 是未知常数, 需用作图法确定。取对数得到 $\ln y = \ln A - BX$, 若在半对数坐标纸上以 $\ln y$ 为纵轴, 以 X 为横轴描图, 可得到描述该现象的经验公式。

4. 逐差法

逐差法是物理实验常用的数据处理方法之一。特别是在两个被测变量间成简单的线性关系, 且自变量为等间距变化的实验中更有其独特的优点。

逐差就是把实验测量数据进行逐项相减或分成高、低两组实行对应项相减。前者可以验证被测量之间的函数关系, 后者可以充分利用数据, 具有对数据取平均或减小相对误差的效果。

例如: 用拉伸法测定弹簧劲度系数 K 。已知在弹性限度范围内, 伸长量 X 与所受拉力 F 间满足 $F = KX$ 关系。等间距地改变拉力(负荷), 将测得的一组数据列表如下。