21世纪高等医药院校教材

侯俊玲
孙　铭
主编

物理学实验

科学出版社
www.sciencep.com

21世纪高等医药院校教材

物理学实验

侯俊玲 孙 铭 主编

科学出版社
北 京

内 容 简 介

本套教材是根据教育部对中医药院校中医、针推、中药、制药工程专业物理学实验教学大纲的要求，由北京中医药大学等十余所高等医学院校物理学专家、教授编写而成的全国高等中医药院校教材《物理学》、《物理学实验》、《物理学习题指导》系列教材之二。本书为实验教材，内容包括基本测量、刚体转动、液体黏滞系数的测定等19个实验，最后列有附表，以方便学生查阅参考。本书适应性强，有助于学生提高独立思考、培养自我动手能力。

本书可供全国高等中医药院校中医、针推、中药、制药工程专业本科学生使用，也可作成人教育、远程教育、自学考试人员、广大中医药工作者、物理实验人员及中医药爱好者的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

物理学实验/侯俊玲，孙铭主编.—北京：科学出版社，2003.7
(21世纪高等医药院校教材)
ISBN 7-03-011503-1

Ⅰ.物… Ⅱ.①侯… ②孙… Ⅲ.物理学-实验-中医学院-教材 Ⅳ.O4-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第037319号

责任编辑：郭海燕 曹丽英 / 责任校对：宋玲玲
责任印制：刘士平 / 封面设计：卢秋红

科学出版社 出版
北京东黄城根北街16号
邮政编码：100717
http://www.sciencep.com
新蕾印刷厂 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销
*
2003年7月第 一 版 开本：(720×1000) 1/16
2007年1月第三次印刷 印张：8 3/4
印数：9 001—11 000 字数：164 000

定价：15.00元
(如有印装质量问题，我社负责调换〈环伟〉)

《物理学实验》编委会

主　编　侯俊玲　孙　铭

副主编　吴晓丹　高建平　李琮丽　徐远友

凌高宏　陈清梅　张建华

编　委　（按姓氏笔画排序）

王　贺	黑龙江中医药大学
安　红	北京中医药大学
刘文艳	首都医科大学中医药学院
孙　铭	首都医科大学中医药学院
李维峰	北京中医药大学
李琮丽	北京中医药大学
吴晓丹	辽宁中医学院
何振林	成都中医药大学
张小华	北京中医药大学
张建华	华北电力集团公司职业技能培训中心
张　莉	北京中医药大学
陈清梅	北京中医药大学
周恭勤	山东中医药大学
孟　丽	成都中医药大学
侯俊玲	北京中医药大学
高建平	甘肃中医学院
凌高宏	湖南中医学院
徐远友	湖北中医学院
殷学毅	湖北中医学院
葛黎新	陕西中医学院
魏晋忠	甘肃中医学院

前　言

本书是21世纪高等医药院校教材《物理学》、《物理学实验》、《物理学习题指导》配套教材系列之二，供全国高等医药院校中医、针推、中药、制药工程等专业本科学生使用的实验教材。

本教材是根据教育部《关于"十五"期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神，为适应高等中医药教育发展的需要，全面推进素质教育，培养21世纪高素质创新人才而编写的。在编写过程中，根据卫生部制定的高等医药院校物理学教学大纲的要求，针对近年来各院校专业设置的实际情况和多年来物理实验教学实践和经验的积累，反映教学改革的成果，适应21世纪医药院校物理实验课教学的需要，由北京中医药大学等十余所院校联合编写的。本教材以力学、热学、电学、光学为主要内容，共编写了19个实验题目，以适用于各个医学院校的使用及相关专业的参考。

本教材以物理学基础理论为中心，以训练学生实践技能为主线，以验证定理、定律为主要内容，注重理论联系实际，充分体现医药院校物理实验的特色，加强学生创新素质的培养。本教材的编写突出了以下几个特点：

(1) 根据21世纪教材《物理学》各章的内容来安排实验内容。

(2) 注重物理实验技能的训练与基础理论的应用相结合。

(3) 通过每个实验既可复习和验证其原理，又提高了应用能力及动手能力。

(4) 注重实验仪器、原理、性能、使用及适用性的分析，有利于实验教学的改革。

(5) 同一个实验题目，根据各个院校的特点，安排有两种以上的不同实验方法，或者选用不同的仪器来测量同一物理量。

(6) 每个实验项目后都列入了一定量的思考题，使学生能够带着问题进行实验，并在实验中加以解决。

每个实验都是按照下述规范编写的，即实验目的、实验仪器、实验原理、实验步骤与内容、实验记录及思考题等，并要求实验者要按照误差理论对实验的最终结果进行分析及处理。教师可根据各校的教学大纲、实验室条件和实验课时来安排和选取实验课。

在本教材编写过程中，受到了北京中医药大学各级领导的关心与支持，各位参编老师也倾注了大量的心血，在此表示诚挚的谢意！

由于编者水平有限，经验不足，虽然做出了很大的努力，但仍难免有不足之处，望广大读者不吝赐教，以便进一步修订。

编者

2003年5月

目　　录

绪　论

物理学是一门实验性科学。物理学的研究方法、物理定律和理论的建立都是以实验为基础,并要经受实验的检验。例如,爱因斯坦的光子学说,是在光电效应实验的基础上建立起来的,它的正确性又为康普顿散射实验进一步证实。这种事例是不胜枚举的。由此可见,物理实验与理论之间具有相互依存、相互促进的关系。对于医、药专业来讲,物理实验的重要性在于它是医学和药学等科学实验的基础,在物理实验中使用的基本方法和基本技能也已广泛地应用于医、药的实践中。

本课程的目的与要求

(1) 学习和掌握运用实验原理、方法去研究某些物理现象和进行具体测试,得出某些结论(着重具体测试)。

(2) 初步培养学生进行科学实验的能力,即如何从测量目的(研究对象)或课题要求出发,依据哪项原理,通过什么方法,选用哪种合适的仪器与设备,确定合理的实验程序去获取准确的实验结果(着重获取准确的实验结果)。

(3) 进行实验技能的基本训练,熟悉常用仪器的基本原理、结构性能、调整操作、观测分析和排除故障等(着重调整操作)。

(4) 学习处理实验数据的方法,以及分析实验方法、测量仪器、周围环境、测量次数和操作技能等对测量结果的影响(着重处理实验数据的方法)。

(5) 通过实验培养严肃认真、细致踏实、一丝不苟、实事求是的科学态度和克服困难、坚韧不拔的工作作风(着重三“严”,即操作要认真严格,态度要踏实严谨,思维要活跃严密)。

在整个物理实验教学过程中,学生必须主动、自觉、创造性地获得知识和技能;绝不是仅仅通过实验获取几个数据,而是要通过实验去探索研究问题。因此,在观察实验现象时,要事先明确做什么、应该怎样去做,而且还要懂得为什么要这样去做。在做实验过程中,要正确简明、有条有理地记录数据,要做到在做第 100 次测试时仍像第一次测试那样认真,并对测试结果完全负责。在写报告时,要确切地分析评定自己的工作。

总之,我们不仅要求学生具有知识,更重要的是要求学生能将知识转化为能力。

（一）物理量的测量与误差

一切物理量都是通过测量得到的，在物理实验过程中，总要通过对一系列物理量的测定来探索寻找物理量之间的相互关系，所以从这个意义上说物理实验首先碰到的就是测量问题。

何谓测量？所谓测量就是将待测量 X 与某个被选为基准的单位 μ 进行比较。如待测量为 μ 的 k 倍，我们就称 $X = k\mu$。

例如，我们选定米(m)为长度的单位量，要测定运动场跑道一圈的长度，发现它为单位长度米的 400.25 倍，我们就称它的长度为 400.25m，可写成长度 $L = 400.25\mathrm{m}$。同时我们必须注意到测量结果应是有单位的量。我们所熟知的物理量如质量、时间、速度、加速度等，它们的单位分别为千克(kg)、秒(s)、米/秒(m/s)、米/秒^2(m/s^2)。

物理量本身应存在一个客观值 X，称为真值。严格说来，任何测量由于受到当时技术水平与认识水平的限制，或受到观察者主观视听与环境条件偶然起伏的影响，都不可能绝对准确。这些就导致了所测到的值 X_0 与 X 之间有一个差值 $\Delta X = X - X_0$。

这 ΔX 就是我们所说的误差。

误差来源的分析、误差大小的估算对实验工作十分重要，它将直接影响到测量水平的高低。

（二）测量误差的分类

我们已经知道，任何一个物理量的测量都不可避免地存在误差。根据误差产生的性质及导致误差产生的原因，我们可以把它分为系统误差与偶然误差两大类。

1. 系统误差

由于测量仪器设备的缺陷、测量方法的不尽完善或测量者自身的习惯等所产生的误差称为系统误差。

例如，测物体的重量时没有考虑到空气浮力的影响，测时间时秒表走时不准，测高度时尺子未调到铅直，测量者读数时总是将头偏右等等。系统误差有一个显著的特点，就是测量值 X_0 总是同一方向地偏离真值 X，不是一律偏大，就是一律偏小。这些还是由于类似于上面所列举的那些确定的因素所引起的。可以这样说，测量结果的精确与否很大程度上取决于对系统误差的发现与消除。消除得愈彻底，所得测量结果也就愈精确。

系统误差的发现是比较困难的，它需要测量者有较为丰富的实践经验和一定

的理论知识。从实验方法的角度上考虑，可以采取扩大实验范围（如条件允许的话），即用不同的实验方法或同一种方法改变实验条件等手段，对被测物体的测量过程进行细致的观察、对比，分析各种实验手段或各种状态下所测到的结果，找出它们之间的差异。这将有助于进一步分析产生系统误差的因素，并想方设法尽可能有效地将其消除到最低程度。

2. 偶然误差

由于诸多无法控制的属于测量者自身或是外界环境干扰等因素所引起的误差称为偶然误差。

例如，测量者感官分辨能力的限制，电压的不稳定，温度的不均匀，仪器设备受振动等偶然因素。正是由于这类偶然性无法消除，所以偶然误差是不可避免的。然而偶然误差有一个显著的特点：就是各次测量的误差是随机出现的，它的大小以及与其真值的偏离方向都是无法确定的。从统计意义上讲，在重复多次测量过程中，出现测量值偏离真值的大、小与偏离真值的方向的机会是均等的。而且随着测量次数的增多，这一规律表现得愈为明显。正是由于这一点，在客观上要求我们对待测物体进行尽可能多的重复测量。将重复测量所得到的一系列测量值，经过适当的数据处理之后，使之更接近于真值。

例如，最为常用的方法就是计算算术平均值，使正、负偶然误差相互补偿，从统计上可以保证算术平均值以最大的概率接近于真值。

除上面所说的系统误差与偶然误差之外，人为的过失与疏忽也会造成测量工作的差错。例如：读错仪器刻度，数据记录的笔误，数据处理过程中的计算错误等等。但只要当事人以认真细致的态度进行实验，这些差错理应完全避免。

（三）测量误差的简单处理方法

一个待测物理量的真值一般是不会知道的，而通过测定所得的量值又必定含有误差。就测量而言，一次直接测量是一种最为简单的情形。在这种情形下，误差的估计只能根据仪器设备的精度来确定。通常，可以取仪器最小分值的一半作为单次测量的误差。当然一次直接测量的精确程度一般是不尽人意的。我们下面所涉及的主要是多次测量时的偶然误差的情形，为方便起见，先假定这些测量均为直接测量。

假设在相同的实验条件下，对一个物理量进行 n 次测量，记录各次的测定值，分别为 X_1、X_2、X_3、…、X_n，计算它们的算术平均值。

$$X_0 = \frac{1}{n}(X_1 + X_2 + X_3 + \cdots + X_n) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$$

上面曾谈到，从统计的意义上可以保证 X_0 可作为所需待测量 X 的最佳近似

值。

设 $\Delta X_i = |X_i - X_0| \quad i=1,2,\cdots,n$,即最佳近似值与各次测定值差的绝对值,称为各次测定值的绝对误差。

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

即各次测定值的绝对误差平均值,称为平均绝对误差。

通常把多次测量值的结果写成

$$X = X_0 \pm \Delta X$$

式中 ± 号为 X 介于 $X_0 - \Delta X$,$X_0 + \Delta X$ 之间,即

$$X_0 - \Delta X \leqslant X \leqslant X_0 + \Delta X$$

绝对误差虽能反映一些测量的精度,但不能全面评定测量结果的优劣。

例如,测量一根金属棒的长度,其结果是 20.2cm ± 0.2cm;测量一间房屋的长度,其结果是 1162cm ± 2cm。从绝对误差的角度上考虑,自然后者为 2 大于前者 0.2,但我们并不能由此得出金属棒的测量精度高于房屋的测量精度,因为这里有一个很明显的事实,就是两者本身的长度有很大的差异。为了有效地评价各种测量精度的优劣,我们引入所谓平均相对误差这个概念,它规定为平均绝对误差 ΔX 与真值 X 之比,即

$$\frac{\text{平均绝对误差 }\Delta X}{\text{真值 }X} \approx \frac{\Delta X}{X_0} \times 100\%$$

就上面的例子进行分析

测金属棒长度 $$\frac{\Delta X}{X_0} = \frac{0.2}{20.2} \times 100\% \approx 0.99\%$$

测房屋长度 $$\frac{\Delta X}{X_0} = \frac{2}{1162} \times 100\% \approx 0.17\%$$

由此可见,测量房屋长度的精度高于测量金属棒长度的精度。

引入平均相对误差概念之后,可将多次测量值的结果改写为

$$X = X_0\left(1 \pm \frac{\Delta X}{X_0}\right)$$

平均相对误差是一个很重要的概念,它是判断、比较、改进各种测量手段的主要依据。

上面讨论的是对物理量进行直接测量时的情形,通常在更多的场合下,物理量的测定是通过间接测量的手段得到的。所谓间接测量即若要对某一物理量进行测量,必须先经过对其他的物理量进行直接测量,然后再根据有关的公式(即它们之间的相互关系)进行计算求得。

例如,要测一个均匀玻璃小球的密度。先用游标卡尺测出它的直径 d,利用球

体积公式 $V=\frac{1}{6}\pi d^3$ 算得其体积;再用托盘天平测出它的质量 m,于是根据密度 $\rho=m/V$ 的关系式计算出小球的密度。

由于在直接测量时,测定值都不可避免地含有误差,而间接测定值又是通过直接测定值计算求得,所以间接测量也就不可避免地含有误差。我们也可同时得出结论:间接测量的误差除与相应的直接测量本身的误差有关外,还决定于运算关系。间接测量误差的计算牵涉到许多统计学知识,在此不再介绍了。现将常用运算关系的误差计算公式列于表 1 中,以便查阅。

表 1　常用运算关系的误差计算公式

运算关系	平均绝对误差 ΔN	平均相对误差 $\frac{\Delta N}{N}$
$N=X\pm Y$	$\Delta X+\Delta Y$	$(\Delta X+\Delta Y)/(X_0\pm Y_0)$
$N=X\cdot Y$	$X_0\cdot\Delta Y+Y_0\cdot\Delta X$	$\Delta X/X_0+\Delta Y/Y_0$
$N=kX$(k 为常数)	$k\Delta X$	$\Delta X/X_0$
$N=X/Y$	$(X_0\cdot\Delta Y+Y_0\cdot\Delta X)/Y_0^2$	$\Delta X/X_0+\Delta Y/Y_0$
$N=X^k$(k 为常数)	$kX_0{}^{k-1}\cdot\Delta X$	$k\cdot\Delta X/X_0$
$N=\sqrt[k]{X}$(k 为常数)	$\frac{1}{k}X_0{}^{\frac{1}{k}-1}\cdot\Delta X$	$\frac{1}{k}\Delta X/X_0$
$N=\log_{10}X$	$\frac{1}{\ln 10}X_0^{-1}\Delta X$	$\frac{1}{\ln X_0}X_0^{-1}\Delta X$
$N=\ln X$	$X_0^{-1}\Delta X$	$\frac{1}{\ln X_0}X_0^{-1}\Delta X$
$N=\sin X$	$\cos X_0\cdot\Delta X$	$\cot X_0\cdot\Delta X$
$N=\cos X$	$\sin X_0\cdot\Delta X$	$\tan X_0\cdot\Delta X$
$N=\tan X$	$\sec^2 X_0\cdot\Delta X$	$2\csc 2X_0\cdot\Delta X$
$N=\cot X$	$\csc^2 X_0\cdot\Delta X$	$2\csc 2X_0\cdot\Delta X$

(四) 有效数字及其运算

1. 有效数字

什么是有效数字? 让我们举例来说明:用米尺测量棒的长度时,将棒的一端对准米尺的零线,另一端在米尺刻度 1.3cm 和 1.4cm 之间,读数 1.3 和 1.4 之间的数字要由测量者估计得出,假设估计数为 4,则棒长的读数为 1.34cm。由于最后一位数字是估计出来的,其估计结果可因人而异,是不很准确的,通常称它为欠准

数字。欠准数字虽有误差，但保留下来还是有意义的，总比略去不计要准确些。我们把测量数据中有意义的数字，包括从仪器上确切读出的数字和最后一位欠准数字，通称为有效数字。上例中用米尺测出棒的长度为 1.34cm 是三位有效数字。由于第三位数字是欠准的，故其误差约为百分之几厘米。如果改用螺旋测微计来测量时，设读得棒长为 1.3456cm，是五位有效数字，第五位数字才是估计出来的欠准数字，故其误差约为万分之几厘米，比用米尺测量要精确得多。可见有效数字非但指出了测量值的大小，还可用以粗略地估计测量的精确程度。测量数据的有效数字愈多，结果愈为精确。但是，有效数字位数的多少决定于所使用仪器的精密度，不能随意增添。

为了减少偶然误差，我们往往重复地进行多次测量，取其算术平均值作为测量的结果。例如用米尺测棒长三次，读数分别为 1.34、1.36 和 1.36cm，其平均值为循环小数 1.35 333… 可以写出无穷多位。但是实际上，每次测量值只能估计到 1/100cm，在平均值中数字“5”的这一位上已有误差，保留其后的数字就毫无意义了，应当按照“尾数的舍入法则”把它写成 1.35cm，仍为三位有效数字。如果把测量的结果写成 1.35 333cm，反而是不正确的。因为这样记录将被理解为六位有效数字，其误差为十万分之几，显然这是不符合实际情况的。由此可见，有效数字的位数是不能随意增减的，当然也不能在测得的数值后面随意加“0”。像 1.34 和 1.340cm 在数学上是等价的，但作为测量数据，两者却具有不同的意义。前者是三位有效数字，表示误差在 1/100cm 这一位；后者是四位有效数字，仅有千分之几厘米的误差。与此相反，如果有效数字的末位数是“0”，也不能把“0”随便抹掉。

必须指出，有效数字的位数与小数点的位置无关。例如，用天平称得某物体的质量为 1.030g，也可以写成 0.001 030kg 或 1030mg，三者的有效数字是相同的。可见，在纯小数的情况下，紧接在小数点后面第一个非“0”数字前面的“0”，不算有效数字，如 0.001 030kg 是四位有效数字。在纯整数或小数的情况下，最后几位“0”都算有效数字，如 1030mg 和 1.030g 的最后一位都是“0”，它们都是有效数字。那么，如果以 μg 为单位，该物体的质量能否写成 1 030 000μg? 很明显，这样写法是不符合有效数字的规定的，因为这是七位有效数字。为了避免混淆，并使记录和计算方便，通常把数据写成标准形式，即在小数点之前，一般取一位有效数字。采用不同单位而引起数值上的不同，可用 10 的幂来表示。例如上述物体的质量可写成

$$1.030\text{g},\ 1.030\times10^{3}\text{mg},\ 1.030\times10^{6}\mu\text{g} \text{ 或 } 1.030\times10^{-3}\text{kg}$$

2. 尾数的舍入法则

通常采用的四舍五入法对于大量尾数分布概率相同的数据来说是不合理的，因为入的概率总是大于舍的概率。现在通用的法则是：尾数小于五则舍；大于五则入；等于五则把尾数凑成双。这个法则可使尾数舍和入的概率相等，例如：

8.765　取三位有效数字为 8.76

8.775　取三位有效数字为 8.78

8.76 501　取三位有效数字为 8.77

8.77 499　取三位有效数字为 8.77

0.08 850　取二位有效数字为 0.088

3. 有效数字的运算法则

1）加减法

和或差的有效数字，写到各数中欠准数字位数最高的那一位为止。为了简便起见，先把各数中在该位以后的数，用舍入法处理后再进行运算。

例 1　设 $x=230.501, y=76.5, z=12$，求 $N=x+y-z$。

解：在三个数中，位数最高的欠准数字在 z 的个位数上。运算时可把各量中在个位数以后的数用舍入法处理，得 $x=231, y=76, z=12$，所以

$$N=231+76-12=295$$

2）乘除法

乘除法中的积或商的有效数字位数，一般应与各量中有效数字位数最少的相同。

例 2　设 $x=4.03, y=154.783, z=0.12414$，求 $N=xy/z$。

解：在三个数中有效数字位数最少的是 x，仅三位数，积或商的有效数字一般也取三位。在运算过程中，各个数都取三位即可。这样取 $x=4.03, y=155, z=0.124$，则

$$N=\frac{4.03\times155}{0.124}=\frac{625}{0.124}=5.04\times10^3$$

通常在运算过程中各个数也可多保留一位，即取 $x=4.03, y=154.8, z=0.1241$，则

$$N=\frac{4.03\times154.8}{0.1241}=\frac{623.8}{0.1241}=5027$$

最后结果应取三位有效数字，即 $N=5.03\times10^3$。可见，两次计算的结果仅在欠准数字上稍有差异，基本相同。

3）乘方与开方

乘方与开方的有效数字应与其底的有效数字位数相同。

例 3　测得直径 $d=1.03\text{cm}$，求圆面积。

解：圆面积 $S=\frac{\pi d^2}{4}$，式中“4”是确定的常数，计算时不影响有效数字的位数。d 为三位有效数字，d^2 亦应取三位数，故常数 π 也取三位数即可。计算如下

$$S=3.14\times1.03^2/4=3.14\times1.06/4=0.833\text{cm}^2$$

如果在运算过程中多保留一位，结果仍基本相同。

上述运算法则既可避免那些不必要的繁杂计算，又可以满足实验的要求，同时

还可以指导我们如何适当地选用仪器。例如,用伏安法测量电阻时,如果使用的安培计只能读出两位有效数字,则在测量相应的电压时,只要使用一般的伏特计,能读出二、三位有效数字就已足够。因为通过计算,能得出电阻的有效数字最多是两位。即使使用精密的伏特计也不能提高实验结果的精确度。与此相反,如果使用一般仪器去代替精密仪器进行测量时,所得结果的精确度将会降低,这是在实验工作中应当注意的一个原则。

一般说来,用上述运算法则定出的有效数字位数和用误差理论确定的位数是一致的。但也有例外,这就需用误差的理论来修正,这里不予介绍了。

(五)测量结果的图示法

在物理实验中往往测得两个物理量之间一系列相应的数据,把它们描绘成图线,可以直观地看出这两个物理量之间的关系。这是一种应用得非常广泛的方法,称为图示法。

现将图示法的一般规则简述如下:

1. 选定坐标轴

以横轴代表自变量,纵轴代表因变量,并标明各自所代表的物理量、单位及图的名称。

2. 定标尺

要选定适当的标尺比例,起点标度,在轴上等间隔地注明标度值。要注意:

(1) 应保证从坐标点读出的有效数字位数与实验数据相当。

(2) 应充分利用整个图纸纸面,使图线不偏于图纸的一角。为此坐标轴的标度起点不一定从"0"开始,两轴标尺的比例也不一定相同。

(3) 标尺比例以每格代表1、2、5、10等单位,不可代表3、7、9等,以便于计算和描点。

3. 描点和连线

根据测量数据,用符号"×"或"⊙"标出各点的位置("×"和"⊙"的中心代表坐标位置),然后根据各实验点做出一条直线或平滑的曲线,切勿连成折线。并要注意以下两点:

(1) 符号要小而清楚,应用直尺或曲线板描绘直线或曲线,粗细要适宜。

(2) 所有实验点不可能都落在曲线上。描绘时,务必使落在曲线以外的点尽可能靠近曲线,而且落在曲线两侧实验点的数目要大致相等。对于个别的实验点偏离曲线过大,应重新测量核对或予以舍弃。

现举例说明作图方法,并从图线求出函数关系。例如,我们做平行板电容器的实验,研究电容器通过电阻放电时,两板间的电位差 u 随时间 t 而减少的规律。设

测得 u 与 t 相应的数据如下：

时间 t(s)	0	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
电位差 u(V)	10.0	7.15	4.90	3.63	2.46	1.82	1.25

以 t 为横坐标，u 为纵坐标，标尺比例如图 1 所示。在方格纸上描绘实验点，用曲线板连成平滑曲线，这曲线代表电容器放电时电位差的递减规律，实质上这是一条指数曲线。这一曲线既难描绘，又不直观。如果改用 $\ln u$ 为纵坐标，t 为横坐标，或者在半对数坐标纸上作图时，就可得出一条如图 2 所示的直线。这条直线的方程将代表电容器放电时 u 与 t 的函数关系。因为这是对数标尺，所以，直线的截距是 $\ln 10.0$，斜率为

$$k = \frac{\ln 10.0 - \ln 1.25}{0 - 6.00} = -0.3471$$

其直线方程为　$\ln u - 0.347t = \ln 10.0$　化成指数函数为　$u = 10.0e^{-0.347t}$

式中，e 为自然对数的底。这一公式表示电容器通过电阻放电时，两极间的电位差随时间递减的经验公式。由此可见，用半对数坐标纸作图可将指数曲线化为直线，既便于作图，又易于求出它们的函数关系。这是在实验中常用的直线化方法之一。

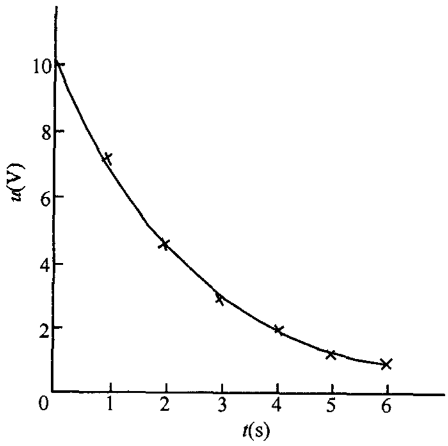

图 1　电容器放电曲线之一

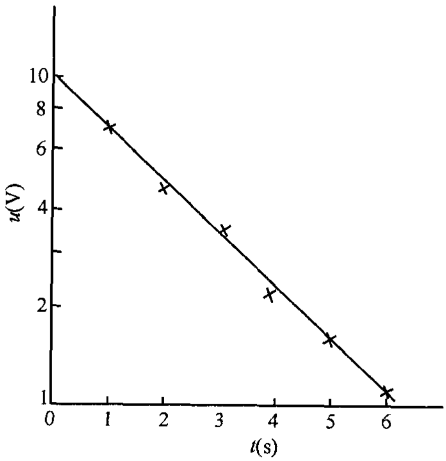

图 2　电容器放电曲线之二

（六）线性拟合方法简介

图解法虽然是处理数据的一种较为简单的方法，但毕竟是一种较粗略的方法。有时在实际问题中往往要求从实验数据出发列出经验方程，其中最常用的一种方

法是用最小二乘法线性拟合(或称最小二乘法线性回归),求得回归方程。下面对这种方法作简单的介绍。

先要假定所研究的两个物理量 X 与 Y 之间存在线性相关关系,即回归方程,形式为

$$Y = a + bX \quad ①$$

现有测得的数据组为$(X_i, Y_i)(i = 1, 2, \cdots, n)$,问题是如何确定系数 a、b 使其符合给定的拟合优劣准则,使下式为最小。

$$\sum_{i=1}^{n} [Y_i - (a + bX_i)]^2 \quad ②$$

令 $f(a,b) = \sum_{i=1}^{n} [Y_i - (a + bX_i)]^2$ 由数学知识可知,上面的问题即为一个求以 a、b 为自变量的二元正值函数$f(a,b)$的最小值问题。将式②分别对 a、b 求偏导数,并令其为 0,解得

当 $b = \dfrac{X_0 Y_0 - (XY)_0}{X_0^2(X^2)_0}$,$a = Y_0 - bX_0$ 时,就可使 $f(a,b)$为最小,其中

$$X_0 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i, \quad Y_0 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i,$$

$$(XY)_0 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i, \quad (X^2)_0 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i^2$$

将所求得的 a、b 代回式①,便得到了所需的回归方程。

【思考题】

(1) 产生测量误差的主要原因是什么?如何才能减少测量的误差?

(2) 尾数的舍入法则与“四舍五入”法有何不同?

(3) 从 π 值中截取 3 位、5 位有效数字,分别计算绝对误差和相对误差(最佳近似值可用多取一位代替)。

(4) 空气中 0℃ 时的声速为(331.63 ± 0.04)m/s,试求其绝对误差与相对误差。

(5) 用千分尺测球的直径,得下列数据:d(mm):1.673;1.674;1.676;1.678 求 d 的平均值,平均绝对误差,平均相对误差;然后求出这只球的体积及其误差。

(6) 说明下列各数有效数字的位数

0.005 400	1.28	8 100	3.0 074
0.018	5.310×10^{-2}	7.347×10^5	5.8×10^9

(7) 用有效数字运算法则计算下列各式

(1)$92.500 - 1.501 + 20 =$	(2)$1.11 \times 0.100 =$
(3)$123.4 \div 0.10 =$	(4)$(11.37 - 10.17) \times 125/10 =$
(5)$(9.0 - 7.9) \div 0.100 =$	(6)$(12.5 - 11.5) \times 200 =$