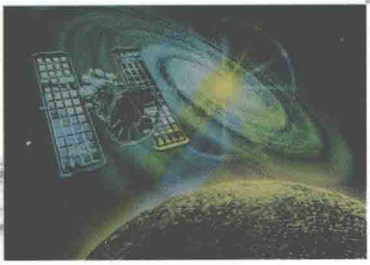
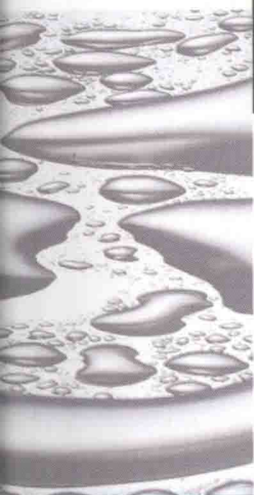
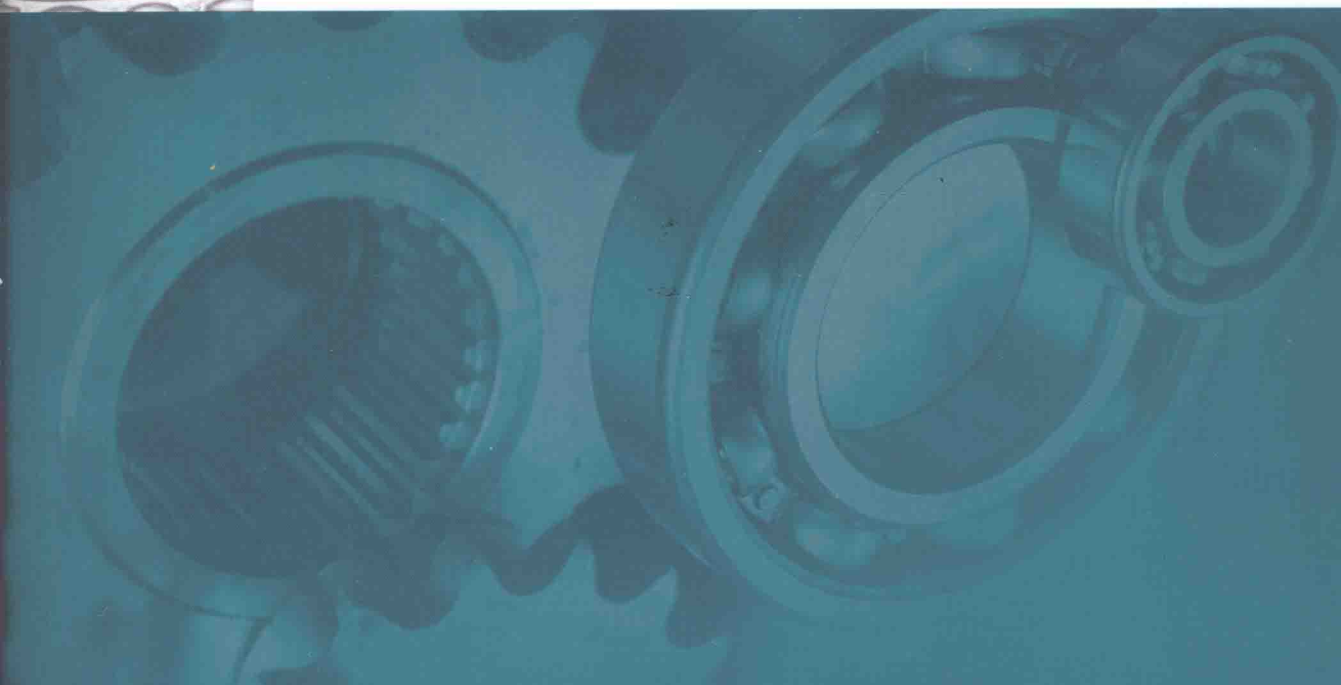




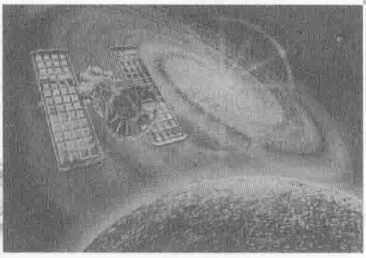
主编◎曾伦武

大学物理实验

Laboratory Experiments in College Physics



河海大学出版社
HOHAI UNIVERSITY PRESS



主　编◎曾伦武

副主编◎陈桂云　戴存礼　吴　威

丁　冬　赵志刚

大学物理实验

Laboratory Experiments in College Physics

河海大學出版社
HOHAI UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/曾伦武主编. 一南京:河海大学出版社,2010.10

ISBN 978-7-5630-2761-3

Ⅰ.①大… Ⅱ.①曾… Ⅲ.①物理学—实验—高等学校—教材 Ⅳ.①04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 198350 号

书　　名	大学物理实验
书　　号	ISBN 978-7-5630-2761-3/O·153
责任编辑	杨　曦
特约编辑	贾　湛
责任校对	王绍林
封面设计	杭永鸿
出版发行	河海大学出版社
地　　址	南京市西康路 1 号(邮编:210098)
电　　话	(025)83737852(总编室)　(025)83722833(发行部)
经　　销	江苏省新华发行集团有限公司
排　　版	南京理工大学资产经营有限公司
印　　刷	扬中市印刷有限公司
开　　本	787 毫米×1092 毫米　1/16　12.75 印张　208 千字
版　　次	2010 年 10 月第 1 版　2010 年 10 月第 1 次印刷
定　　价	22.00 元

目　录

有效数字与测量误差及不确定度

一、有效数字及运算

有效数字问题是任何一个做定量实验的人所不能回避的，必须熟练掌握，并且要养成按有效数字及其运算规则来记录、处理和表示实验结果以及理解他人所表示的测量结果的习惯。

1. 有效数字的定义：

能从仪器上直接读准的可靠数字和最后一位偶然误差或一位估读的可疑数字的总称。如用游标尺测得某一物体的长度为 12.35 mm，前三位是可直接读准的，叫可靠数字，后一位是含偶然误差或者是估读的，是可疑的数字。这个数的有效位数是 4 位。

2. 有效数字的正确记录

（1）有效数字前面的“0”不是有效数字，应写成 10 的 n 次幂的形式。如 0.1030 m 应写成 1.030×10^{-1} m，或 1.030×10^{-4} km。

（2）有效数字后面的 0 是否为有效数字，要看具体情况而定，如 10.30 cm，仪器可读到 1/100 cm，此时末位的 0 是可疑数字，如将此数写成 103 000 μm，最后两位 0 就不是有效数字了，这种写法就是错误的。因为它的有效数位是 4 位，所以应写成 1.030×10^{5} μm。

（3）有效数字中间的 0 是有效数字。

（4）有效数字的最后一位要与误差所在的一位对齐。

3. 有效数字运算

（1）加法与减法：诸数进行相加或相减运算时，所得结果的有效数字位数，

应该取到绝对误差最大的那个数的最后一位。即是说，有效数字写到开始可疑的那一位为止，后面的数字按舍入法处理

例 1 $32.\underline{1}+3.27\underline{6}=35.\underline{4}$

$$\begin{array}{r} 32.\underline{1} \\ +\quad 3.27\underline{6} \\ \hline 35.\underline{376} \end{array}$$

例 2 $12.\underline{4}-2.75\underline{6}=9.\underline{6}$

$$\begin{array}{r} 12.\underline{4} \\ -\quad 2.75\underline{6} \\ \hline 9.\underline{644} \end{array}$$

注：在计算时，我们在可疑数字下面加一横线，以便与可靠数字区别。

(2) 乘法和除法：在进行乘法或除法运算时，所得结果的有效数字位数，应以参与运算诸数中相对误差最大的那个数来决定，也就是要和参与运算诸数中有效数字位数最少的那个数相同。

4. 在进行有效数字的运算时需要注意的问题：

(1) 自然数和常数的取位：在运算中如遇自然数或常数如 π，e，$\sqrt{2}$ 等，因它们不是测量数，其有效数字位数可以认为是无穷的，根据运算法则可知，它取与测量值的位数相同就行了。

例 3 $1.32\underline{3}\times1.\underline{3}=1.\underline{7}$

$$\begin{array}{r} 1.32\underline{3} \\ \times\quad 1.\underline{3} \\ \hline \underline{3969} \\ 132\underline{3} \\ \hline 1.\underline{7199} \end{array}$$

例 4 $148.8\underline{3}\div1.2\underline{3}=12\underline{1}$

$$\begin{array}{r} 1.21 \\ 1.23\overline{)148.8\underline{3}} \\ 12\underline{3} \\ \hline 2\underline{5}8 \\ 24\underline{6} \\ \hline \underline{123} \\ \underline{123} \\ \hline 0 \end{array}$$

(2) 舍入法则：4 舍 6 入尾留双。小于 5 的舍去，大于 5 的入上去，等于 5 则要看前一位，前一位是奇数则进一，是偶数则去掉，使留的末位数字是双数，这样的取舍原则是让取舍的分量相同。

(3) 为简化计算，一般应将原始数据进行取舍后再运算。加减法保留与偶然误差最大的那一个位数相同；乘除法保留比最少的那一个位数多一位。

(4) 结果的有效数字与误差的关系：通常规定误差只保留一位，所以结果的有效数字的最后一位应与误差对齐。例如测量一物体长度 $L=12.00\pm0.03\,\mathrm{cm}$ 是正确的，而写成 $12.0\pm0.03\,\mathrm{cm}$ 则是错误的。

(5) 对数的有效数字的位数与其真数的有效位数相同。三角函数的有效数字的位数与其角度的有效数字位数相同。混合运算中，结果的有效数字位数比按规定运算的多保留一位。

(6) 乘方、开方的结果的有效数字与其底数的有效数字位数相同。

二、测量误差及不确定度分析

物理实验是以测量为基础的。测量可分为直接测量与间接测量，直接测量指直接用仪器测量读出测量量的过程，间接测量指利用直接测量的量与被测量之间的已知函数关系经过计算从而得到被测量值的测量。由于测量仪器、测量方法、测量环境、人员的观察力等种种因素的局限，测量是不能无限精确的，测量结果与客观存在的真值之间总是存在一定的差异，即存在测量误差。因此分析测量中产生的各种误差，尽量消除或减小其影响，并对测量结果中未能消除的误差作出估计，给出测量结果的不确定度就是物理实验和科学实验中必不可少的工作。为此我们必须了解误差的概念、特性、产生的原因及测量结果的不确定度的概念与估算方法等的有关知识。

(一) 误差的定义

测量结果 y 与被测量的真值(或约定真值)y_t 之差叫做误差，记为 dy。$dy = y - y_t$，被测值的真值是一个理想的概念，一般说来真值是不知道的。在实际测量中常用准确度高的实际值来作为约定真值，才能计算误差。

(二) 误差的分类及其处理方法:

误差主要分为系统误差和随机误差。

1. 系统误差

(1) 定义:在同一被测量的多次测量过程中，绝对值和符号保持恒定或以可预知的方式变化的测量误差的分量。

(2) 产生原因

① 仪器本身的缺陷或没按规定条件使用仪器而引起的误差(又称作仪器误

差）。例：电表的刻度不均匀——示值误差；等臂天平的两臂实际不等——机构误差；指针式电表使用前没调零——零位误差；大气压计未在标定条件下使用引起的系统误差等。②测量所依据的理论公式本身的近似性，或实验条件不能达到理论公式的要求，或测量方法所带来的系统误差（又称作理论误差或方法误差）。例：单摆运动方程小角度近似解引起的误差、伏安法测电阻时电表内阻引起的误差。

（3）分类及处理方法（根据误差的符号、绝对值确定与否分类如下）：

①已定系统误差——绝对值和符号已经确定的系统误差分量，如零位误差、大气压计室温下使用引起的误差、伏安法测电阻时电表内阻引起的误差等；这类误差分量一般都要修正。②未定系统误差——绝对值和符号未定的系统误差；对这类误差一般要估计出其分布范围（对应于不确定度估计中的 Δ_B）。

2. 随机误差

（1）定义：在同一量的多次重复测量中绝对值和符号以不可预知方式变化的测量误差分量。

（2）产生原因：实验条件和环境因素无规则的起伏变化，引起测量值围绕真值发生涨落的变化，如：用螺旋测微计测量时测力在一定范围内变化、光学实验读数时视差的影响引起的误差。

（3）特点：①小误差出现的几率比大误差出现的几率大；②大小相等符号相反的误差出现的几率相等，即多次测量时随机误差的分布具有抵偿性。

（4）分布：随机误差常满足一定的分布规律，当测量次数无限时，随机误差服从正态分布，而有限次测量，随机误差的分布服从 t 分布。

（5）处理方法：假定对一个量进行了 n 次测量，测量值为 $y_i(i=1, 2, \cdots, n)$，可用下述方法求被测量的最佳估计值并评定测得值的分散性。用多次测量的算术平均值 $\bar{y}$ 修正已定系统误差 y_0 后作为被测量的最佳估计值，$y=\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)/n-y_0$；用标准偏差 s 表示测得值的分散性，s 按贝塞尔公式求出：$s=\sqrt{\dfrac{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}{n-1}}$；$s$ 大，表示测量值很分散，随机误差分布范围宽，测量的精密度低；s 小，表示测量值

很密集，随机误差分布范围窄，测量的精密度高；s 可由带统计功能的计算器直接求出。

(6) 例：用螺旋测微计测某一钢丝的直径，6 次测量值 y_i 分别为 0.249，0.250，0.247，0.251，0.253，0.250；同时读得螺旋测微计的零位 y_0 为 0.004，单位 mm。

则：测得值的最佳估计值为 $y=\bar{y}-y_0=0.250-0.004=0.246(\mathrm{mm})$

测量列的标准偏差 $s=\sqrt{\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}{n-1}}=0.002\ \mathrm{mm}$

（三）测量结果的表示和不确定度估计

完整的测量结果应表示为 $Y=y\pm\Delta$，其中 Y 代表测量对象，y 是被测量值，Δ 为不确定度，有单位时还应给出单位（如电桥法测某一电阻的结果表示为：$R=910.3\pm0.4\ \Omega$）。

$Y=y\pm\Delta$ 表示：测量的真值落在 $(y-\Delta,\ y+\Delta)$ 范围内的概率很大，Δ 与一定的概率相联系。如果不确定度采用总不确定度 Δ，这样 $Y=y\pm\Delta$ 表示真值落在 $(y-\Delta,\ y+\Delta)$ 范围内的概率约等于或大于 95%，总不确定度以下也简称为不确定度。

1. 不确定度的概念

不确定度是指由于测量误差的存在而对被测量值不能确定的程度，表征被测量的真值所处的量值范围的评定。不确定度反映了可能存在的误差分布范围，即随机误差分量和未定系统误差的联合分布范围。由于真值的不可知，误差一般是不能计算的，它可正、可负也可能十分接近零；而不确定度总是不为零的正值，是可以具体评定的。

2. 直接测量结果的表示和不确定度估计方法

(1) 直接测量结果 $Y=y\pm\Delta y$ 中，取多次测量值的平均值 $y=\dfrac{1}{n}\sum\limits_{i=1}^{n}y_i$。特殊情况：若存在已定系统误差 y_0 时，取 $y=\bar{y}-y_0$（修正已定系统误差）。

(2) 不确定度的估计方法

依据国内外规范，在物理实验中采用以下的不确定度简化评定方法：

① 总不确定度 Δ 从评定方法上分为两类分量：A 类分量 Δ_A—— 多次重复测量时用统计学方法估算的分量；B 类分量 Δ_B—— 用其他方法（非统计学方法）评定的分量，这两类分量在相同置信概率下用方和根方法合成总不确定度 $\Delta = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2}$。

② Δ_A 由重复测量时的标准偏差 s 乘以因子 $t/\sqrt{n}$ 来求得 $\Delta_A = (t/\sqrt{n})s$，表示 t 分布时由于随机误差的影响，真值包含于（$y - \Delta_A$，$y + \Delta_A$）之间的概率约为 95%，s 由贝塞尔公式 $s = \sqrt{\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$ 求出，因子 $t/\sqrt{n}$ 可根据下表查出：

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	∞
$t/\sqrt{n}$	8.98	2.48	1.59	1.24	1.05	0.93	0.84	0.77	0.72	0.55	0.47	$1.96/\sqrt{n}$

教学实验中一般测量次数 $5 < n \leqslant 10$，$t/\sqrt{n} \approx 1$，可进一步简化为 $\Delta_A \approx s$。

③ Δ_B 的估计：在许多直接测量中 Δ_B 近似取计量器具的误差极限值 Δ_{INS}，即认为 Δ_B 主要由计量器具的误差特性决定。

④ 依据以上说明，对某一量进行多次直接测量时，不确定度可按下式估计：$\Delta = \sqrt{(t/\sqrt{n})^2 s^2 + {\Delta_{INS}}^2}$。

A）单次测量 $n = 1$ 时，简化处理方法，取 $y =$ 测得值 $-$ 已定系统误差，$\Delta = \Delta_{INS}$。

B）直接测量数据的处理过程。

a）求测量数据列的平均值 $\bar{y} = \dfrac{1}{n}\sum\limits_{i=1}^{n} y_i$。

b）修正已定系统误差 y_0，得出被测量值 y，$y = \bar{y} - y_0$

c）用贝塞尔公式求标准偏差 s，$s = \sqrt{\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$。

d）标准偏差 s 乘以因子 $t/\sqrt{n}$ 求得 Δ_A，$\Delta_A = (t/\sqrt{n})s$。

e）根据使用仪器得出 Δ_B，$\Delta_B = \Delta_{INS}$。

f）由 Δ_A、Δ_B 合成总不确定度 Δ，$\Delta = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2}$。

g）给出直接测量的最后结果为 $Y = y \pm \Delta$。

例 用 50 分度的游标卡尺测某一圆棒长度 L，6 次测量结果如下（单位 mm）：250.08，250.14，250.06，250.10，250.06，250.10，已知游标卡尺的仪器误差为 $\Delta_{INS} = 0.02$ mm，请给出完整的测量结果。

解 6 次测量的平均值为：$\bar{L} = 250.09$ mm，标准偏差为 $s = 0.03$ mm

6 次测量结果的不确定度为：$\Delta_L = \sqrt{s^2 + \Delta_{INS}^2} = 0.04$ mm

则：测量结果为 $L = 250.09 \pm 0.04$ mm

3. 间接测量结果的不确定度合成

间接测量的结果是由直接测量结果根据一定的数学式子计算而来，直接测量结果的不确定度必然会影响到间接测量结果，这种影响的大小也可由相应的数学式子来反映。设间接量 Y 与各直接量 x_i（$i = 1, 2, \cdots, n$）间的函数关系为：$Y = f(x_1, x_2, \cdots, x_n)$，根据微分推导，各直接量 x_i 的不确定度 Δx_i 对 Δ_Y 的贡献为 $\frac{\partial f}{\partial x_i}\Delta x_i$，对 $\frac{\Delta_Y}{Y}$ 的贡献为 $\frac{\partial \ln f}{\partial x_i}\Delta x_i$，考虑不确定度合成的统计性质，各个量的贡献按方和根形式合成间接量的不确定度，则间接量 Y 的总不确定度 Δ_Y 可由以下方程求得：或 $\Delta_Y = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\Delta x_i\right)^2}$（主要适用于和差形式的函数）；或 $\frac{\Delta_Y}{Y} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_i}\Delta x_i\right)^2}$（主要适用于积商形式的函数）。表 1 列出了一些常用函数不确定度传递的公式。

表 1 常用函数不确定度传递的公式

函数表达式	不确定度传递（合成）公式
$\varphi = x + y$ $\varphi = x - y$	$\Delta\varphi = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$
$\varphi = x \cdot y$ $\varphi = \frac{x}{y}$	$\frac{\Delta\varphi}{\varphi} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2}$
$\varphi = kx$	$\Delta\varphi = \lvert k \rvert \cdot \Delta x$

（续　表）

函数表达式	不确定度传递(合成)公式
$\varphi = x^k$	$\frac{\Delta\varphi}{\varphi} = \left\| k\frac{\Delta x}{x} \right\|$
$\varphi = e^x$	$\Delta\varphi = e^x \cdot \Delta x$
$\varphi = \ln x$	$\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{x}$
$\varphi = \sin x$	$\Delta\varphi = \| \cos x \| \cdot \Delta x$
$\varphi = \cos x$	$\Delta\varphi = \| \sin x \| \cdot \Delta x$

间接测量量的不确定度合成步骤如下：

① 先写出(或求出)各直接测量量 x_i 的不确定度 Δx_i。

② 依据 $Y = f(x_1, x_2, \cdots, x_n)$ 关系求出 $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ 或 $\frac{\partial \ln f}{\partial x_i}$。

③ 用 $\Delta_Y = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\Delta x_i\right)^2}$ 或 $\frac{\Delta_Y}{Y} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_i}\Delta x_i\right)^2}$ 求出 Δ_Y 或 $\frac{\Delta_Y}{Y}$。

④ 完整表示出 Y 的值 $Y = y \pm \Delta_Y$。

例　已知金属环的外径 $D = 2.995 \pm 0.006\ \text{cm}$，内径 $d = 0.997 \pm 0.003\ \text{cm}$，高度 $H = 0.9516 \pm 0.0005\ \text{cm}$，求环的体积 V 和不确定度 Δ_V。

解　$V = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)H$

$$= \frac{3.1416}{4}(2.995^2 - 0.997^2) \times 0.9516 = 5.961\ \text{cm}^3$$

$$\ln V = \ln\pi - \ln 4 + \ln(D^2 - d^2) + \ln H$$

$$\frac{\partial \ln V}{\partial D} = \frac{2D}{D^2 - d^2},\ \frac{\partial \ln V}{\partial d} = -\frac{2d}{D^2 - d^2},\ \frac{\partial \ln V}{\partial H} = \frac{1}{H}$$

$$\frac{\Delta_V}{V} = \sqrt{\left(\frac{2D}{D^2 - d^2}\right)^2 \times \Delta D^2 + \left(\frac{2D}{D^2 - d^2}\right) \times \Delta d^2 + \frac{1}{H^2} \times \Delta H^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{2 \times 2.995}{2.995^2 - 0.997^2}\right)^2 \times 0.006^2 + \left(\frac{2 \times 0.997}{2.995^2 - 0.997^2}\right)^2 \times 0.003^2 + \frac{1}{0.9516^2} \times 0.0005^2}$$

$$= 0.0046$$

$$\Delta_V = 0.0046 \times 5.961\ \text{cm}^3 = 0.03\ \text{cm}^3$$

$$V = 5.96 \pm 0.03\ \text{cm}^3$$

三、实验结果的记录和处理

（一）列表记录

列表记录是物理实验常用的一种记录方法，它可以清楚地表示出有关物理量之间的对应关系，并有助于分析物理量之间存在的某种规律性，便于及时地发现测量中或运算中所出现的问题。因此，表格的设计要简明，一般采用三线制，由三根水平线组成。要易于看出有关量间的关系；表中各符号所代表的物理意义要清楚，要注明物理量的单位；表中数据要正确地反映测量的精度，在表中不便说明的问题，可在表下加以说明。

（二）作图法

在物理实验中，用作图法处理数据可以研究物理量之间的变化规律，可发现系统误差，作修正曲线或校准曲线，提高计算效率。这种方法直观、简便、有取平均值的效果，可以及时地发现某些测量错误，可以把复杂的函数线性化，可以用它来求得某些物理量的数值。

作图规则：

1. 作图一定要用坐标纸。根据情况选用直角坐标纸、双对数坐标纸、单对数坐标纸、极坐标纸等。纸的大小要合适，不要取得太小，以免引进作图误差；也不能用得太大，使得本来在测量误差范围内可以连成光滑曲线的看起来却偏离太大。X 轴和 Y 轴比例和坐标原点的确定，也要根据具体情况而定，原则是让图线比较对称地充满整个图纸，不要缩在一边或一角；除特殊情况外，坐标轴的起点不一定取零值，亦即不一定是坐标原点。

2. 标明图名、轴名，并在轴上标数。在图纸上明显的位置处写出图名，图名可用文字说明，也可以用字母（代表的物理量是人们习惯的用法，或在原文中有说明的）标示，但应注意，将纵轴代表的意义写在前，横轴代表的意义写在后。在图上标明轴的方向，代表的物理意义（或符号），并标明单位。在图上还应标示每小格代表的物理量数值，为便于直接描点和读数，通常运用 1，2，5 来标示，而不

用 3，7，9 来标示。

3. 数据点。根据实验数据用削尖的铅笔在坐标纸上描点(标示数据点)。为了醒目,在图上用＋、×、△、○、□等符号标出数据点,符号的中心为实验数据,符号的大小取决于两物理量的最大误差。在一张图纸上,同一物理量用一种符号标记。如有几条曲线,可用几种不同的符号标记,但应作说明。

4. 连线。用直尺、曲线尺等,根据不同的情况和要求,把数据点连成直线或光滑曲线。但要注意,不一定所有的数据点都通过图线,最好是让它们较均衡地分布在直线的两侧,如有个别点偏离图线太远,说明误差太大,应及时查明原因,并重新测量核对,在最后酌情处理。

四、实验曲线的应用举例

1. 用实验曲线求经验公式。物理实验中由实验图线找出物理量之间的关系,并用数学方程式(函数关系式)表示,此为求经验公式。通常遇到的图线有直线、抛物线、双曲线、渐近线等。假定实验图线是一直线,由几何知识可知,对应的经验公式的函数形式应为：$y = ax + b$；如在直线的两端选两点(x_1，y_1)和(x_2，y_2),把这两点的 x，y 值分别代入以上方程便有 $y_1 = ax_1 + b$；$y_2 = ax_2 + b$;两式联立求解可得直线的斜率和截距 a 和 b,于是得到所求的经验公式。对于其他的非直线的实验图,通过变量代替,改用其他的坐标将图线变成直线(如指数方程 $y = ae^{-bx}$ 代换成直线方程 $\ln y = -bx + \ln a$ 后,可将实验图线画成直线,可简单地求出经验公式。

2. 由实验曲线求未知量

(1) 线性内插法。在实验中只能获得有限的几个实验点,但根据实验点画出的实验图线后,就得到某一范围内物理量之间的任意对应值,此法叫内插法。

(2) 外推法。一般情况下,实验中只能测出某一区域范围内的数据,对于区域以外的两个物理量间的对应值,可把实验曲线延长到区域外求得,这种方法叫外推法。

五、思考题

1. 指出下列情况属于随机误差还是系统误差。

(A) 视差　　(B) 游标尺的零点误差

(C) 水银温度计的毛细管不均匀　　(D) 天平的砝码质量不准

2. 用螺旋测微计测量一小球的直径，有一个同学操作并记录如下：

(A) 1.283±0.002 cm　　(B) 1.283±0.000 2 cm

(C) 1.28±0.000 2 cm　　(D) 1.3±0.000 2 cm

哪个错，哪个对？为什么？

3. 指出下列有效数字的位数。

(A) 0.021 m　　(B) 10.405 g

(C) 1.31×10^6 Hz　　(D) 0.001 cm

4. 用有效数字运算法则计算下列各题。

(1) $3.2+65.371=$　　(2) $42.1-12.37=$

(3) $87.54\times10.1=$　　(4) $273.5\div0.0010=$

(5) $76.000\div40.000-2.0=$　　(6) $3.85\div(1\times10^3)=$

(7) $(178.5+0.834)\times3.00^2=$　　(8) $25\times10^2-27=$

(9) $0.527\times(72.6+4.38)\div(223.7-219.3)=$

5. 今用螺旋测微计测得一小钢球的直径(单位：mm，$\Delta_{INS}=0.001$ mm)为：8.512，8.491，8.493，8.548，8.514，7.994，8.496，8.494，8.492，8.251。

(1) 求直径的平均值。

(2) 求直径的标准偏差。

(3) 写出直径完整的测量结果。

(4) 用上述数据求小钢球的体积及不确定度。

(5) 求体积时，甲同学先求直径的平均值再求体积，乙同学先求每次测量的体积，再求平均。你认为谁对谁错，请解释。

6. 利用单摆测重力加速度 g，当摆角 $\theta<5°$时，$T=2\pi\sqrt{l/g}$ 式中 l 为摆长，T 为摆的周期，测量结果为 $l=97.69\pm0.03$ cm，$T=1.984\pm0.023$ s，求