普通物理實驗

華東水利學院物理教研組

1957

說　明

这本实驗是自1953年我組成立以后逐步編寫的，中間由于統一教学大綱的修訂又加入了不少新內容，現在收集在这里的实驗大体上可供 175 学时及 216 学时兩种类型的專業选擇使用。

实驗是根据我們現有設备寫的，有些地方为了減少同学們操作的困难所以寫得比較具体每一个实驗都要求一人一組在二学时（90分鐘）內完成，同学們在進行实驗以前必須在課外進行充分預習，並寫好工作日誌，經驗証明，課外做好充分准备，二学时內完成一个实驗是不会感到困难的。另外，为了能够采用大循环制進行实驗所以原理部分的敍述都力求簡要，希望能使同学既不会感到理論不具备的困难，也不会覺得与講課內容重复而成为累贅。

这些实驗我們是分头編寫，集体審查，然后在使用过程中又進行多次修改而成的。在編寫修改过程中还参考了許多兄弟学校的交流資料，以及其他一些書籍但保管如此，我們相信謬誤之处仍在所难免，希望各兄弟学校的教师，以及使用的同学們能把發現的問題告訴我們，以便在再版时能予修正。

華东水利学院物理教究組

1957.8.

普通物理實驗勘誤表

頁	行	字	誤	正
1	倒15	最后	（漏）	（加）。
3			（右边算式中）35.7—	35.72
〃	倒5		$k=55.0837$	$k=55.80837$
6	2	最后	=	（去掉）
7	9		$\pm tonA\cdot\Delta A$	$\pm tanA\cdot\Delta A$
15			（A表中左边第6行）e_1	e_0
〃			（A表中右边第8行）$\frac{\lvert e-e\rvert}{1}$	$\frac{e-e_0}{1}$
18			（第二表中数字）	（改为与第一表完全相同）
19	倒1		（分子中最后一項）$-\frac{1}{2}mu^2$	$\frac{1}{2}mv^2$
27	2		$\therefore=\frac{B_1}{\left(\frac{n}{N}\text{秒}\right)^2}=B_1\left(\frac{N}{n}\right)^2$	$\therefore B=\frac{B_1}{\left(\frac{n}{N}\text{秒}\right)^2}=B_1\left(\frac{N}{n}\right)^2$
28			（表格中記号第一行）01	10
41	5		$\triangle\gamma_1=\lvert\gamma-\gamma_1\rvert=$	$\triangle\gamma_1=\lvert\bar{\gamma}-\gamma_1\rvert=$
	6		$\triangle\gamma_2=\lvert\gamma-\gamma_2\rvert=$	$\triangle\gamma_2=\lvert\bar{\gamma}-\gamma_2\rvert=$
	7		$\triangle\gamma_3=\lvert\gamma-\gamma_3\rvert=$	$\triangle\gamma_3=\lvert\bar{\gamma}-\gamma_3\rvert=$
	8		$\triangle\gamma_4=\lvert\gamma-\gamma_4\rvert=$	$\triangle\gamma_4=\lvert\bar{\gamma}-\gamma_4\rvert=$
	9		$\triangle\gamma_5=\lvert\gamma-\gamma_5\rvert=$	$\triangle\gamma_5-\lvert\bar{\gamma}-\gamma_5\rvert=$
	最后		$\frac{\overline{\Delta\gamma}}{\gamma}\times100\%=$	$\frac{\overline{\Delta\gamma}}{\bar{\gamma}}\times100\%=$
44	倒10		$e:l\times g=E:e$	$e:l\times g=E:f$
61	最后		$Q=m(T_2-T_4)$	$Q=m(T_3-T_4)$
63			（表格中）水的質量$m=m_1-m_2$	$m=m_2-m_1$
64	倒1	最后	度°	度。
65	12	26	D、E	D E
69	1	13	以	的
75	10	5	头	关
78	圖2			（"标准电池"应寫在B_3处）
81	倒4	3	K_g	R_g
84	12	8	流	極
84	倒9		（示圖2）。	示（圖2）。
85	4		6T5	6J5

87	倒1		$e=\frac{F\times n}{N\times n}=\frac{F}{N}$	$e=\frac{F\times n}{N_{\circ}\times n}=\frac{F}{N_{\circ}}$
89	2		$N=6.025\times10^{23}$	$N_{\circ}=6.025\times10^{23}$
101	15	7	于	（去掉）
104	倒5		在空气中 $\mu=I$	在空气中 $\mu=1$
105	倒9		K_3 及 K_2	K_3 及 K_2，
108	13	最后		（加上）（圖 1 ）
110	4		开关式电阻箱……	开关式电阻箱M……
112			[（3）表下]（減少）	（減少）
112			[（5）表中]（5）ef 曲線	（5）efa曲線
114	12		入是波長	λ 是波長
122	12	15	第于焦距	等于焦距
128	圖1		（上圖中）Ⅱ	（去掉）
			（下圖中）Ⅱ″	Ⅰ″
128	16		$m=\frac{l'}{l}=\frac{\frac{l'}{d}}{\frac{l}{d}}=\frac{\frac{l}{P}}{\frac{l}{d}}=\cdots\cdots$	$m=\frac{l'}{l}=\frac{\frac{l'}{d}}{\frac{l}{d}}=\frac{\frac{l}{p}}{\frac{l}{d}}=\cdots\cdots$
141	14		空气层的厚处	空气层的厚度
146	14		$N=$ 厘米	$N=$
附錄: 6	圖3		（顚倒）	（倒过來）

普通物理实驗

目　　録

普通物理實驗

緒論

Ⅰ．观察和实驗是物理学研究的基礎

物理学是研究物質运动最普遍的形态（力的、热的，电磁的等等）和它們之間的相互轉換。这种研究的目的，是要找出物質世界的規律，來利用自然，改造自然。怎样來認識物質世界和找出其中的規律呢？通常都必須經过兩个階段：低級的感性認識階段，和高級的理性認識階段。实踐論告訴我們：認識的「第一步是开始接触外部事物，屬于感覚階段。第二步是綜合感覚的材料加以整頓和改造，屬于概念，判断和推理的階段。」所以研究物理的方法，首先必須以观察和实驗为基礎。观察是对于平常情况下發生現象的观察，而实驗是在人为的情况下使現象再生而加以观察。因为自然界發生的諸現象是很錯綜复雜的，而又互相联系的。我們必須把許多現象划分开來，分別实驗，由此便可得到大量的材料或数据，我們可以从这些材料和数据的分析進而抓着了事物的本質，而得到了概念，再由判断和推理的方法就可以引導到定律和理論的建立。

由于測量仪器的不够完备，量度的結果不可能是絕对准确的，故从实驗方法确定下來的定律和理論也不可能是絕对准确的，而是接近的准确，这种接近的程度，相当于一定时期科学技术發展的水平。

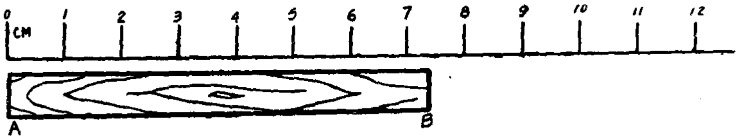
要使理論不斷地發展；要使对客观世界的認識越准确，我們必須遵照毛主席在实踐論中的指示：「通过实踐而發現眞理，又通过实踐而証实眞理和發展眞理，从感性認識而能动的發展到理性認識，又从理性認識而能动的指導革命实踐，改造主观世界和客观世界」

普通物理实驗的主要目的是：首先，使初学者認識重要的仪器和学会量度的基本方法；其次，使他們能更詳細地熟知某些自然現象和定律，这类实驗中虽然主要之点是研究現象本身，但仍然需要測量。

Ⅱ．量度和估計

实驗的目的，在求各种現象和变化中各种物理量間的数量关系，要达到这个目的，必須依靠量度，量度的基本原理，是將要量的物理量和另一性質相同的标准量相比較，例如要知道一根木条的長度，我們可把一根尺和它比較而求出这根木条是該尺的几倍。假如标准量的單位是 u，則物理量 $X = a\ u$，式中 a 称为讀数。

各种仪器都有它一定的精密度，用它來量度所得到的結果，不但要表示数量的大小，同时也应当表示出仪器的精密度。一根木条的長度不一定会正好是多少厘米的，所以把一根最小刻度是「厘米」的尺來量它、令木条的一端和尺上的某一刻度綫相重合，它的另一端就不一定正好和尺上的另一刻度綫重合，常是在兩条刻度綫之間，这最小刻度的十分之几，便要靠我們估計出來。在实驗工作中，估計是非常重要的，稍經練習，估計到最小刻度的十分之一，决非难事，但要估計出最小刻度的五十分之几或百分之几，我們就沒有这个本領 。



如圖所示，木条 AB 的 A 端和尺上的 0 厘米刻度綫相合，而另一端 B 則在 7 与 8 厘米兩刻度綫之間，估計結果，离 7 厘米綫約 $\frac{4}{10}$ 厘米。所以木条的長度是 7.4 厘米。相反的，我們看到这个結果。也应該明白用來量度的尺的最小刻度是厘米，它的精密度到 $\frac{1}{10}$ 厘米，如果尺上最小刻度是「毫米」，那么木条的長度便可量到以厘米为單位小数点后第二位，像 7.43 厘米，最末一位 3 是从估計得來，而这尺的精密度到 $\frac{1}{10}$ 毫米。

Ⅲ. 有效數字及其运算

从估計得來的数，决不像刻度示明的数一样可靠。凡一数末尾一位从估計得來的，这数的数字都称为有效數字，而对于其中的末一个数字，又称为欠准数字。在科学記錄上，估計的数位一定要寫出。若估計的数位适等于 0，这个 0 更不可少。例如 32 厘米和 32.00 厘米意义大不相同，前者表示厘米位已从估計得來，量度所用尺的最小刻度是「分米」（10 厘米），后者表明十分之一毫米方从估計得來，用的尺的最小刻度是「毫米」。

对于 0 这一个数字，我們还須特别加以說明，因为它有时是有效数字，有时並非有效数字。例如長度是 30.05 厘米，这兩个 0 都是有效数字，这数共有四个有效数字，又如用同一个尺測得的長度是 300.50 厘米，这三个 0 也都是有效数字，这数共有五个有效数字。可是，如果，我們說：是 0.0015 米，这三个 0 字都不是有效数字，因为这些 0 都是定位的，这数祇有兩个有效数字，（即 $1,5$）末一个数字 5 是欠准数字。遇大数或小数时，表示有效数字的記法如下：譬如某距离長为七千五百米，若是祇有兩个有效数字，应記为 7.5×10^3 米，三个有效数字时，記为 7.50×10^3 米，有四个有效数字时，方可寫成 7500 米。同样 0.0015 米，可寫成 1.5×10^{-3} 米，这样就很清楚地可以知道它有兩个有效数字。

下面來說明有效数字怎样运算，它的原則是：运算的結果保留一位欠准数字，多余的数字用四捨五入法去之。現在把运算方法举例說明如下，並于欠准数字下作一划以便識別。

加減：

$$\begin{array}{r} 25.4\underline{2} \\ 31.45\underline{4} \\ +\ 16.\underline{5} \\ \hline 73.\underline{3}\underline{7}\underline{4} \end{array} \qquad\qquad \begin{array}{r} 45.75\underline{3} \\ -\ 21.1\underline{4} \\ \hline 24.6\underline{1}\underline{3} \end{array}$$

故和数为 $73.\underline{4}$　　　　故差数为 $24.6\underline{1}$

故諸数之和或兩数之差，其小数点后保留的位数，要和原來諸数中小数点后面位数最少的一个相同，多余的用四捨五入法去之。

乘除：

$$
\begin{array}{r}
562.3\underline{1} \\
\times \quad 12.\underline{1} \\
\hline
\underline{5}\,\underline{6}\,\underline{2}\,\underline{3}\,\underline{1} \\
11246\underline{2} \\
5623\underline{1} \\
\hline
68\underline{0}\,\underline{3}.\underline{9}\,\underline{5}\,\underline{1}
\end{array}
\qquad\qquad
\begin{array}{r}
28.\underline{5}\,\underline{7} \\
1.2\underline{5}\,\big)\,35.7\underline{\ } \\
25\;\underline{0} \\
\hline
10\;\underline{7}\,\underline{2} \\
10\;0\underline{0} \\
\hline
\underline{7}\,\underline{2}\,\underline{0} \\
\underline{6}\,\underline{2}\,\underline{5} \\
\hline
\underline{9}\,\underline{5}\,\underline{0} \\
\underline{8}\,\underline{7}\,\underline{5} \\
\hline
\underline{7}\,\underline{5}
\end{array}
$$

故積数为 $6.8\underline{0}\times 10^{3}$

故商数为 $28.\underline{6}$

故諸数相乘之積或兩数相除之商，保留的数字一般和原有諸数中数字个数最少的一样而与小数点无关，多余的用四捨五入法去之。

注意：如測得銅柱的直徑为 2.48 厘米，則其半徑 $=\frac{2.48}{2}=1.24$ 厘米，不能因为除数只有一位而把結果寫成 1 厘米，因除数 2 是准确数。

乘方开方：

乘方或开方的道理和二数相乘或相除相似，所以乘方或开方后所得数字的个数，和原数的有效数字个数相同。

由于上面得到的規律，在有效数字运算时，必須按照下法進行，例如計算：

$$k=\left[\frac{0.427\times(72.6+4.38)}{323.7-319.3}\right]^2$$

因为 72.6 在小数点以下的有效数字祇有一个，所以可先將 4.38 改寫成 4.4，因此得 $72.6+4.4=77.0$ 于是：

$$k=\left[\frac{0.427\times 77.0}{4.4}\right]^2$$

又因为这三数中有效数字最小的（4.4）只有二个，所以 0.427 可改寫成 0.43，77.0 可改寫成 77。于是：

$$k=\left[\frac{0.43\times 77}{4.4}\right]^2=\left[\frac{33}{4.4}\right]^2=\left[7.5\right]^2=56$$

如果我們不用这样的計算法，而依照普通常用的計算法計算，可得 $k=55.0837$ 与 56 來比較其百分差祇是 $\frac{2}{558}=0.36\%$，所以这样的計算是很有用的，不独是可以節省計算所需的时間，更重要的是它能表示出实驗的准确度，因此它是合理的和符合实驗事实的。

Ⅳ. 誤差

由于我們所使用仪器的缺陷，以及我們感覺器官的不完善，所有的測量只能做到一定的

准确程度。因此，测量所得的結果总是所测的量的近似值，而不是其眞实数值，保管我們怎样改善仪器，怎样小心测量，这只能使测量的讀数接近眞实数值，但不会完全等于眞实数值。但我們能知道测量之准确度，就是說知道测得之近似值与眞实值最多差多少，例如用某一仪器测定一物体之質量时准确度能达到 0.1 毫克，則测出物体的質量与眞实值之差就小于 0.1 毫克。

测量的准确程度是由测量时所用的仪器以及全部测量方法所决定，企圖在已定条件下使测量超过其准确度的限度是錯誤的，因而也就是无理由地浪費时間。例如用一把刻度最小單位是毫米的尺去量一物体的長，准确度最多只能到刻度的十分之一，即 0.1 毫米，企圖將精确度增至 0.01 毫米是不可能的。

除了仪器和测量方法的限制，一部份测量的誤差（錯誤）是可以避免或減小的。测量或讀数的誤差可以由兩种原因產生，因此可分为兩类：系統誤差和偶然誤差。系統誤差產生的原因，是测量仪器的不准确性，测量方法的錯誤，或观测者某方面的習慣。例如，一把尺在 $0°C$ 时是准确的，但是由于热膨脹在 $20°C$ 也就是室溫时，刻度就不准确了。在室溫下用此尺时，所得讀数永远是小于眞实数值。为了求得比較可靠的数值，就应該利用此尺的热膨脹系数，加以适当地改正。再如，沒有做好必要的調節就使用天平，或則天平的兩臂的長短是不相等的，这样造成的誤差都是系統誤差，要避免这些誤差，需要对测量方法本身加以批判，需要將仪器的狀况加以修正，需要將观测者观测时的一些習慣性的錯誤加以改正。

偶然誤差是由於讀数的不准确而引起的，这种不准确產生的原因是由于我們器官的不完善，以及各种在测量中所无法估計的情况造成的。偶然誤差服从或然率的定律，这就是說，如果在某次的测量中我們测得的值比眞值大 ΔN，那么經过多次的测量也会有测得比眞值小 ΔN 的值，用或然率理論的話來講，测得的值比眞值大 ΔN 或小 ΔN 的机会是均等的。因此如果我們進行多次测量並求得这些测量之算术平均值，这个平均值就比所有各次测量的結果更接近于眞值，所以为了提高最后結果的准确度，減少偶然誤差的影响，任何正确的量度必須在相同的实驗条件下作若干次，不过无論怎样多次進行测量，或進行系統誤差的消除，所得的最后結果仍是眞值的近似值。我們有必要知道这个近似值的可靠性。在或然率的理論中，用平均絕对誤差与平均相对誤差來表示测量的准确度。这里略述一下这兩种概念的意义与計算它們的办法。

設 N_1，N_2，……，N_K 是各次测量的結果；此处 K 是测量的次数。那么照上面所說

$$N=\frac{N_1+N_2+\cdots\cdots+N_K}{K}$$

就是最接近于所测之量的眞值。各次测量与这平均值的差的絕对值 ΔN_i 也就是 $|N-N_i|$，称作各次测量的絕对誤差。我們所注意的不是这些誤差的正負号，而只是它們的数值。

各次絕对誤差之算术平均值，称作結果的平均絕对誤差。以 ΔN 表之。

$$\Delta N=\frac{\Delta N_1+N_2+\cdots\cdots+\Delta N_K}{K}$$

平均絕对誤差 ΔN 告訴我們测量的平均值与眞值的最大可能的誤差，通常將最后所得結果寫成

$$N \pm \Delta N$$

即所測物理量的真实数值一定在$N \pm \Delta N$之間。

平均絕对誤差ΔN与所測之量的平均值N之比称作結果的平均相对誤差（E），通常以百分数表出。

$$E = \frac{\Delta N}{N} \times 100\ \%$$

由平均相对誤差可以更清楚的表示測量之准确度。平均相对誤差越小則測量之准确度愈高，例如，称一物体之質量，測量所得平均值为10.01克，其平均絕对誤差为0.01克，其平均相对誤差为$0.1\ \%$。称另一物体，測量之平均值为0.08克，其平均絕对誤差仍为0.01克，此时平均相对誤差就达到$12\ \%$。前者比后者的正确程度高出百余倍。

有时我們測量的物理量是有公認值的，就可以公認值和实驗平均值之差作为实在誤差，实在誤差与公認值之比以百分数表之称为百分誤差，从百分誤差亦可檢查实驗結果的准确程度。

$$百分誤差 = \frac{实驗結果与公認值的差}{公認值} \times 100\%$$

$$= \frac{实在誤差}{公認值} \times 100\%$$

所謂公認值就是很多有經驗的实驗者用精确的仪器和方法实驗所得到的为大家公認的平均值。

实驗結果很少能只由一个物理量的測量直接得到。在大多数的情形下，我們遇到的是間接測量，就是必須進行几个物理量的測量，再由这些測量通过数学运算得到所要求的結果。这样測量每一个量的誤差必然影响总結果的計算。因此，需要知道如何計算各个量的誤差对于总結果所引起的誤差。

因为在計算总結果时要用到表示总結果与各种量的关系的数学式子，所以总結果的誤差不僅由測量各量的誤差决定，还和計算总結果所用数学式子有关。下面我們來看几个基本例子：

1.兩个所測之量的相加（或減），$N = A \pm B$之結果的絕对誤差与相对誤差：

設量A的測量的絕对誤差为ΔA；量B的測量的絕对誤差为ΔB。那么

$$N \pm \Delta N = (A \pm \Delta A) \pm (B \pm \Delta B)$$

誤差ΔA和ΔB是可正可負的，但是应当攷慮到最不好的情况來加以計算。在求兩量A及B之和时，如果A与B的測量誤差是同号的，我們就得到最大誤差；在求兩量的差时，如果誤差是異号的，我們也能得到最大誤差。因此在兩种情形中，所測之量N的絕对誤差ΔN都等于所測之量A与B各个的絕对誤差之和：

$$\pm \Delta N = \pm (\Delta A + \Delta B)$$

測量的相对誤差为：

$$对兩量之和 \quad E = \frac{\Delta N}{N} \times 100\% = \frac{\Delta A + \Delta B}{A + B} \times 100\%$$

$$对兩量之差 \quad E = \frac{\Delta N}{N} \times 100\% = \frac{\Delta A + \Delta B}{A - B} \times 100\%$$

2.兩量之積或商、$N=AB$和$N=\frac{A}{B}$，的絕对誤差和相对誤差：

設測A时的誤差为$\pm\Delta A$，而測B时的誤差为$\pm\Delta B$，那么$(N\pm\Delta N)=$
$=(A\pm\Delta A)(B\pm\Delta B)=AB\pm A\Delta B\pm B\Delta A+\Delta A\Delta B$。因$\Delta A$和$\Delta B$兩量和$A$，$B$相比可視为很小，所以$\Delta A\Delta B$可以略去不計，因此

$$\pm\Delta N=\pm(A\Delta B+B\Delta A)$$

我們仍然攷慮到最不好的情形，那时兩誤差的符号应当相同。因此相乘積的絕对誤差等于第一量的絕对誤差与第二量的相乘積加上第二量的絕对誤差与第一量的相乘積。

故相对誤差为：

$$E=\frac{\Delta N}{N}\times 100\%=\frac{(A\Delta B+B\Delta A)}{AB}\times 100\%=\left[\frac{\Delta A}{A}+\frac{\Delta B}{B}\right]\times 100\%$$

即相乘積的相对誤差等于各乘数相对誤差之和。

同样如果$N=\frac{A}{B}$，那么

$$N\pm\Delta N=\frac{A\pm\Delta A}{B\mp\Delta B}=\frac{(A\pm\Delta A)(B\pm\Delta B)}{B^2-(\Delta B)^2}=\frac{AB\pm B\Delta A\pm A\Delta B}{B^2}$$

我們仍然忽略誤差的平方与它們的相乘積，並攷慮到最不好的情况，那时測量中分子与分母的誤差要用相反的符号，因此：

$$\pm\Delta N=\pm\left(\frac{B\Delta A+A\Delta B}{B^2}\right)$$

即商的絕对誤差等于分子的絕对誤差与分母的相乘積加上分母的絕对誤差与分子的相乘積再除以分母的平方。故相对誤差为：

$$E=\frac{\Delta N}{N}\times 100\%=\left(\frac{B\Delta A+A\Delta B}{B^2}\right)\times\frac{B}{A}\times 100\%=\left(\frac{\Delta A}{A}+\frac{\Delta B}{B}\right)\times 100\%$$

即商的相对誤差等于被除数与除数相对誤差之和。

3.冪函数的絕对誤差与相对誤差及三角函数的絕对誤差和相对誤差可照同样方法求出，此处从略。

現在把最基本的及最有用的数学运算关系及計算誤差公式列举在表工中。如果計算公式中不僅僅包含表中所列的一个运算关系，那么就要分几个步驟，使每个步驟只包含一个簡單运算。

表工（a，n 表示数字常数）

数学运算关系	誤差	
	絕对	相对（×100%）
1、$N=A+B+C\cdots\cdots$	$\pm(\Delta A+\Delta B+\Delta C\cdots\cdots)$	$\pm\left(\frac{\Delta A+\Delta B+\Delta C+\cdots\cdots}{A+B+C}\right)$
2、$N=A-B$	$\pm(\Delta A+\Delta B)$	$\pm\left(\frac{\Delta A+\Delta B}{A-B}\right)$
3、$N=A\cdot B$	$\pm(A\Delta B+B\Delta A)$	$\pm\left(\frac{\Delta A}{A}+\frac{\Delta B}{B}\right)$
4、$N=A\cdot B\cdot C$	$\pm(BC\Delta A+A\cdot C\Delta B+A\cdot B\Delta C)$	$\pm\left(\frac{\Delta A}{A}+\frac{\Delta B}{B}+\frac{\Delta C}{C}\right)$
5、$N=A^n$	$\pm\ nA^{n-1}\Delta A$	$\pm n\cdot\frac{\Delta A}{A}$
6、$N=\sqrt[n]{A}$	$\pm\ \frac{1}{n}A^{\frac{1}{n}-1}\Delta A$	$\pm\ \frac{1}{n}\ \frac{\Delta A}{A}$
7、$N=\frac{A}{B}$	$\pm\ \frac{B\Delta A+A\Delta B}{B^2}$	$\pm\left(\frac{\Delta A}{A}+\frac{\Delta B}{B}\right)$
8、$N=sinA$	$\pm\ cosA\cdot\Delta A$	$\pm\ cot\,A\,\Delta A$
9、$N=cosA$	$\pm\ sinA\cdot\Delta A$	$\pm\ ton\,A\cdot\Delta A$
10、$N=tanA$	$\pm\ \frac{\Delta A}{cos^2A}$	$\pm\ \frac{2\Delta A}{sin2A}$
11、$N=cotA$	$\pm\ \frac{1}{sin^2A}\Delta A$	$\pm\ \frac{2\Delta A}{sin2A}$
12、$N=aA$	$\pm\ a\Delta A$	$\pm\ \frac{\Delta A}{A}$

習　　題

有一实心圓柱体，为了测量它的体積我們对它的直徑D与高h進行了多次測量，得到如下的数据：

測量次数	直徑D（單位厘米）	高度h（單位厘米）
1	0.98	1.99
2	1.00	2.01
3	1.01	2.02
4	0.99	1.97
5	0.97	1.95

試計算D及h之平均值及平均絕对誤差。

圓柱体体積的公式是$V=\frac{\pi}{4}D^2h$，証明計算体積之絕对誤差与相对誤差的公式为：

$$\Delta V=\frac{\pi}{2}Dh\Delta D+\frac{\pi}{4}D^2\Delta h$$

$$E=\frac{\Delta V}{V}\times 100\%=\left(\frac{2\Delta D}{D}+\frac{\Delta h}{h}\right)\times 100\%$$

由这些公式計算体積之数值，及其絕对誤差，和相对誤差。

实験1　　基本儀器

〔目的〕：通过測量鋼絲的直徑和銅管的密度学会游标尺螺旋測微計和物理天平的使用法。

〔仪器〕：螺旋測微計、游标尺、物理天平、砝碼、銅管、鋼絲。

〔原理〕：*1.*游标尺：假如用一普通的米尺來量度某一物体的長度，我們只能准确地讀到毫米，毫米以下就要靠估計，为了能够更准确地量出毫米的十分之几，我們在米尺旁再附一副尺，叫做游标，这样就成一游标尺（如圖*1*所示，圖中是放大了），而本來的米尺就叫做主尺。通常是把主尺上9毫米的長度分成10等分刻在游标上，也就是說游标上每一刻度長为$\frac{9}{10}$毫米。

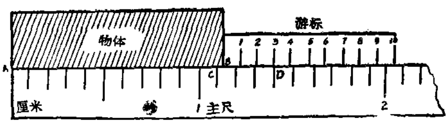


圖　*1*

如果我們要量度物体AB的長，AC部分可直接准确地讀出为*1.1*厘米，現在我們就是要靠游标尺的帮助把CB部分也准确地讀出。讓我們找出游标和主尺上有一刻度重合的地方D点（圖中是游标上第3个刻度）。

由圖可知$CB=CD-BD$。

$$但\ CD=3\text{毫米},\quad BD=3\times\frac{9}{10}\text{毫米}$$

$$故\ CB=3-3\times\frac{9}{10}=3\left(1-\frac{9}{10}\right)=3\left(\frac{1}{10}\right)=0.3\text{毫米。}$$

因而物体的全長 $AB=AC+CB=1.1+0.03=1.13$ 厘米。

其实上述这种情形的游标在实际測量时，不要經过这样的运算手續，我們既讀出*1.1*厘米，又找出游标上第3个刻度与主尺上某一刻度重合，那末我們只要在“*1.1*”后面加上“*3*”就可以讀出*1.13*厘米。

通常用的游标尺如圖2所示，$A'AD$为一主尺，$B'BS$为一游标，用大姆指推螺旋S可使游标沿主尺滑动，測量时把物体夾在AB間，但不要过分用力，至于C是一金屬桿可用以測量物体的深度，而$A'B'$則利用以量度物体內部的寬度（如筒的內徑），当A，B或A'，B'相接触时游标上“*0*”应对准主尺上的“*0*”。但很多的情形並不如此，因此在使用前应把此一讀数讀出称为初讀数，然后再由測量所得中減去初讀数才能使結果准确，但要注意如游标上“*0*”在主尺上“*0*”的右方則初讀数为正，否則为負。

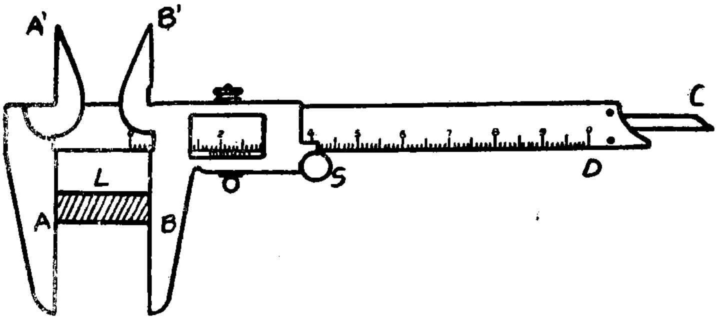


圖　2

游标的原理在仪器中应用很广，上述的一种（把主尺上九个最小刻度分成十个等分刻在游标上）是最簡單的，对一般游标尺來說：假定是把主尺上（$x-1$）个刻度分成x个等分刻在游标上，又設主尺上每一最小刻度是u毫米，而游标上第n个刻度与主尺上某一刻度重合。則除了可直接讀出的部分以外，最小刻度的小数部分应为：

$$n\,u-n\frac{x-1}{x}u=n\left(1-\frac{x-1}{x}\right)u=n\left(\frac{1}{x}\right)u\text{毫米}$$

根据这个通式，我們可以讀出任一种刻度的小数部分。

2.螺旋測微計：一个螺絲釘在螺絲母中每旋轉一週，所推進的距离，称为螺距P，若在螺旋的周界上刻有等分的n个刻度，如此每旋轉周界1个刻度，螺絲向前進行$\frac{P}{n}$的距离。利用这个原理可制造螺旋測微計，以提高測量的准确度。

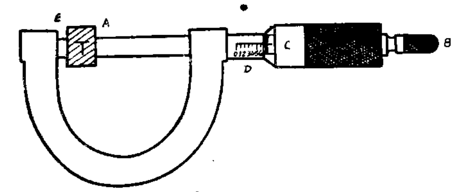


圖　3

測微計如圖3所示。它有固定的架DE，及可旋轉的部分ACB。用手將B旋轉一週，ACB卽沿着DE方向前進一个螺距P。一般測微計的螺距为0.5毫米，在C处周界上刻有50等分，因此C每轉一小格，軸卽前進0.01毫米，当不放欲測物而A与E重合时，D上之“0”刻度与C上之“0”刻度重合。在測量物体T时，物体長度的整数部分（毫米数），可以从刻在D上的刻度讀出，其小数部分，可以在C上讀出（可以准确的讀到$\frac{1}{100}$毫米，可估計到$\frac{1}{1000}$毫米，卽估計C上一分格之$\frac{1}{10}$）。

如圖3所示，此时測微計的讀数为6.459毫米，亦卽物体之長（最末一位是估計的）。

使用測微計时要注意之点：

（1）若当測微計上A与E相接触时，C上之0刻度与D上之0刻度不能完全重合。我們要記下初讀数，最后測微計讀数与初讀数之差，才为物体之实在長度。

（2）因測微計的螺距为0.5毫米，因此螺旋旋轉兩週，C才在D上前進一小格；在圖3中，若將B向后退一週，在C上的讀数仍为0.459毫米，但此时AE之距离已增为6.459++0.500毫米=6.959毫米，因此若要判断毫米的小数部分讀数大于或小于0.5，祗有看C之边緣在刻度D的小格上已超过一半与否而定的。有的測微計D上刻度的半毫米处有刻綫的，

看起來就比較便当了。

（3）旋轉測微計时不能旋轉大管C，而必須旋轉B。若旋轉C则难免用力过猛發生兩个嚴重的情况：

（一）螺旋已与物体A接触后，再使勁轉，必然会損坏精密的螺距。

（二）軸將物体压得过緊，不能准确的測出物体的長度。

旋轉B时便不会發生此种情况，因旋轉B时是利用B与C間的摩擦力帶动C旋轉而使A前進，但物体压到一定程度时，B与C即作相对滑动，不能帶动C，因而軸A不前進。

（4）当測微計用畢时，A与B要留一空隙，不然在热膨脹时，A与B即將过分压緊而損坏螺距。

3.物理天平：圖4为物理天平，它的主要部分为一横樑A，上有刀口架在支柱B上，指針C隨樑左右擺动，擺动的大小可由刻度H讀出，D为游碼可沿樑滑动，当其移到樑上刻度10处时，可代替10克之砝碼，靠它能估計到0.01克，E为可旋动的螺絲帽，用來調節在不称物体时樑的水平，F为螺旋用來調節支柱的鉛直，G为止动螺旋，旋轉之可使樑自由擺动或止动在SS'上，为了避免刀口摩損，当天平不用或在盤中加重量时，必須把天平止动。

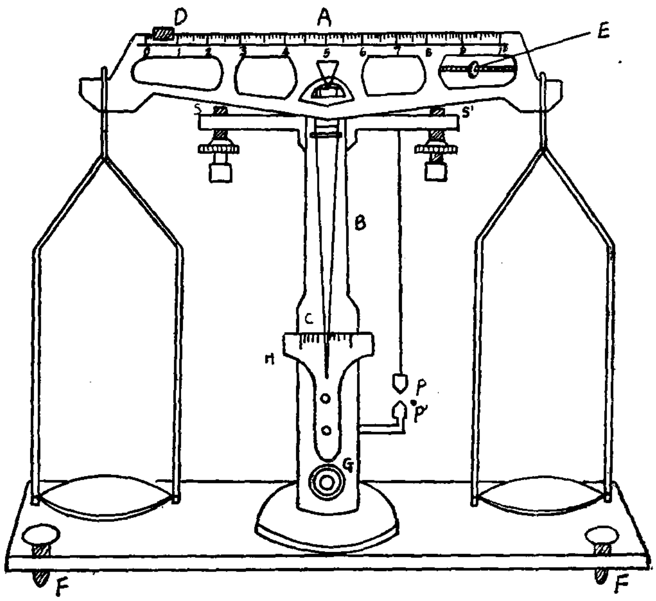


圖 4

使用天平的方法是：

1.調節F使支柱鉛直，鉛直与否，可靠PP'是否对准來判断。

2.把D移到左边"0"处，調整E使樑水平，是否水平可看C在刻度H上左右擺动是否相等來判断。

3.將物体放在左盤，砝碼放在右盤，10克以下砝碼不必用，可用游碼D，移动游碼的位置至指針兩边擺动大小相等时为止，此时即可讀出質量。

［步驟］：

1.旋轉螺旋測微計的B处，使$A\ E$剛相接触，讀下其初讀数R_0。

2.把鋼絲剛好夾在$A\ E$处，讀出讀数R_1十次（量时要在不同的地方）。由R_1-R_0，求出鋼絲的直徑d及其平均值和絕对誤差及相对誤差。

3.讀出游标尺的初讀数R_0。

4.用游标尺量銅管長l四次（量度时要在不同位置）求其平均值。

5.用游标尺量銅管外徑D及內徑d各四次（量度时也要在不同位置）各求其平均值。

6.依据天平的使用法称出銅管的質量m四次（注意：可估到1/100克）

7.算出銅管的体積V及其密度ρ。

〔数据表格及計算〕:

1.鋼絲　　　$R_0=$　　　毫米

次　　数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平 均 值
R_1（毫米）											
d（毫米）											
絕对誤差 Δd											

平均絕对誤差 $\Delta d=$

平均相对誤差 $\frac{\Delta d}{d}=$

2.銅管

游标尺号碼　　　　　　　　　　銅管号碼

量度 / 次数	長度 l（厘米）	外徑 D（厘米）	內徑 d（里米）	質量（克）
1				
2				
3				
4				
平　均				

銅柱的体積 $V=\frac{\pi}{4}(D^2-d^2)\,l=$

銅的密度 $\rho=\frac{m}{V}=$