

物 理 实 驗

緒 論

1. 对于物理实验应有的認識

“認識从实践开始，经过实践得到了理論的認識，还須再回到实践中去”——毛澤东。

“科学的原理向来都是由实践、由經驗来考驗的。如果科学和实践断絕了关系，那它还算是什麼科学呢？”——斯大林。

物理学是自然科学中最重要部門之一，是实验的科学。

为了研究物理現象的規律性，第一步就是要观察。但科学的观察，并不是很简单的。当我们探寻任何物理現象的規律性时，我們首先应当分析出它的主要因素，以及变换現象进行时所处的条件，即从简单的观察轉变到实验。在实验过程中，尤以測定各种物理現象的数量的特性为最重要，事前我們应当确定采用何种方法，应用何种仪器，来測定各种物理現象的特性，并且定量地找出各种物理定律。显然，实验对物理学的进步和发展起着莫大的重要意义。

对于初学者來說，物理实验課程主要有这样两个目的：第一：使实习者能够認識最重要的仪器，并初步知道物理学测量的基本方法；第二：使实习者能够更詳細地熟知某些自然現象和定律，对于这些現象和定律单靠物理講課，通常是不足以完全了解的。第二种任务的首要之点虽然不是测量，而是研究現象本身，但也有测量的性質。例如：用阿特武得机研究自由落体，光的偏振現象的研究等等。

在整个实习过程中，我們应当时时刻刻使自己培养成具有独力工作的能力，这样将来方可能做一个理論联系实际、具有创造性的、为祖国社会主义建設服务的工程师。

2. 实验制度与实验方法

物理实验以一人一組为原则，根据統一教学大綱，全部共做实验二十次。每十五人为一小班，每一小班由一位教师負責指导。

实验前，同学必須按照指定的材料进行預习，要做到进实验室前明确該实验的目的与要求，掌握这实验的基本原理与操作方法。进实验室后，由教师对同学进行个别的預习檢查，認為預习合格者，才准其开始实验。檢查时如发现准备不充份者，不准其进行实验，回去再行准备，在指定時間內再經過檢查后补做。在实验进行中，教师如发现同学有准备不足的現象，将看情况，随时停止其实验。

在实验进行中，尽量使同学能独立工作，而同学也应该保持主动性，努力钻研自行解决困难，必要时經教师启发和指导后，自己再思考，逐步解决困难，不应该有处处依賴教师的思想，因为只有經過自己充份的思想劳动而解决的問題才是巩固的，也只有这样才能达到逐步培养独立工作能力的目的。

实验结束后，必須将所得的数据請教师审阅，經教师認可并签字后，在实验課上即按自己的数据做报告，爭取把报告佔据紙一并繳进，經教师批閱，如

发现有严重錯誤时，得退回更正或重做。报告发回后，应妥为保存，以备考查。

3. 实验室規則

本院各实验室有一統一規則，茲将其中与物理实验室有关的規則，录之于后：

- (一) 实验应在規定時間內进行。
- (二) 在实验前必須先行了解实验之目的及实验之手續。
- (三) 在实验室内应专心实习，勿談笑喧嘩。
- (四) 在实验时应注意理論联系实际，培养自己在实习中的独立工作能力。
- (五) 实验室内应随时保持清洁与整齐。
- (六) 水、电、煤气不用时須立即关闭，以免浪費，蒸馏水的应用更須节约。
- (七) 实验室内不得抽烟，面包等物希勿携入，以免沾及毒物发生意外。
- (八) 特殊仪器非經教师許可不得自行动手。
- (九) 离实验室时，应将使用仪器及零件等整理，安放于适当位置。

4. 报告格式及內容

(一) 报告格式 实验报告(包括数据紙)一律用普通报告紙，用鋼笔写。

每一实验的数据紙上端应写明姓名等，格式如下：

实验(……)，实验名称(……)。

实验日期 _____ 年 _____ 月 _____ 日

姓名 _____

班級 _____ 組別 _____

指导教师 _____ 先生

(二) 报告內容

实验报告应包括实验的目的、原理的簡單說明、数据、計算及結果、問題解答及討論等几部份。

原理的簡單說明应根据自身体会写出，不得抄书，应力求精簡扼要。

5. 量度的种类

量度就是把自然界中的各种物理量，用各种仪器，各种方法测得它的大小。有些物理量我們是可以直接测出它的大小的。例如桌子的长度，我們可以用米尺直接比較就能量出它的大小，这种量度叫做直接量度。有时由于方法或仪器的限制，要依靠一定的已知关系，或計算公式，才能量出的，这种量度叫做間接量度。例如我們量一个物体的平均速度，时常量它在多大時間內移动了多少距离，然后依靠“平均速度 = $\frac{\text{距离}}{\text{時間}}$ ”这一公式求出。

6. 量度的誤差

測量某一物理量时，即使所用的方法及仪器，已經到达完善地步，但屡次所得的結果，常常得不到完全一致。或者說，和实际数量总有些出入。这种出入我們叫它做誤差。

例如用一个精密天平去称一个鉄块的重量得 20.8217 克，尽管鉄块的重量是一个确确实实的一点也不变的存在着的数值，但另一个人，甚至本人同样仔細的，用同一架天平重复的

去称，往往会得到不同的結果。至少我們由量度的結果 20.8217 克，就已經可以看出，用这架天平用这种方法，对于小于 0.0001 克的重量，已經无能为力了。究竟是 20.82173 克呢？还是 20.82169 克呢？无从知道。如果重复称量一次得 20.8218 克，再一次得 20.8219 克，那就是說最后一位并不可靠，实际数量究竟是 20.8217 克，还是 20.8219 克，还是介于二者之間的 20.8218 克？因此我們必須得出結論，量度的結果和实际被量度的物理量之間有出入，或者說量度必然有誤差，誤差实为各实验科学所不可能避免的，所以我們所量得的物理量，不是真实数量而只能得到它的近似值，但随着科学的发展，仪器的改良和发明，使測得的近似值和真实值間的相差越来越小。譬如近代測量长度，可以精密到光波的波长，即一米的几百万分之一，測量時間精密到一秒的万分之一，到百万分之一等等，在通常情况下，并不需要这样的精密和准确。因此为了节省人力和物力，我們选择一种測量方法，它的准确度适合我們实际需要就够了。

7. 誤差的种类

通常我們按照产生誤差时所遵循的規律，来区分它們。

(一)系統誤差：凡由于仪器的不精良，測法本身的錯誤，觀測者的某种疏忽或使用仪器时外界条件的改变而产生的誤差是属于这一类的。例如一根米尺在 0°C 时作得很好，刻度的总长度为 1.0000 米；但在 20°C 时因温度的升高而膨胀，变成 1.0001 米了，这样，假定沒有其他問題，所有在 20°C 情况下所量出的数值就和 0°C 量出的数值不同了，这个誤差的大小是由温度和米尺的綫脹系数所决定的，我們只要根据当时的温度和它的綫脹系数就可以計算誤差的大小，就可以把誤差消去。所以增加測量的次数，并不能减少这种誤差的影响，它們能否被免去只与对測法本身的批判，仪器状况的修正，是否严格遵守所制定的进行工作的实施規則等有关。

(二)偶然誤差：各次測量所得的結果，虽已加以相当的改正，而消除其系統誤差，但其中仍不能完全免去誤差。例如以尺量二点間之距离时，尺上最小刻度即使一毫米，則在一毫米以下的数值，只可由觀察者估計而得之，故經過若干次量度所得的結果相差之值可达到十分之几毫米。这种誤差有时为正，有时为負(对真实值而言)，其大小既无一定，且非实验者所能控制，惟若測量之次数愈多，則可发现这种誤差的大小及其符号，都服从于或然率定律，这就是說：

(1) 为值較小的誤差，发生的次数較多。为值較大的誤差发生的次数較少。

(2) 很大的誤差虽非不可能，然其发生的机会則甚少，即誤差愈大者其发生之或然率愈小。

(3) 数值相等之誤差，不論其符号为正为負，发生之或然率相等。

因此經過多次反复进行同一測量，就可减少这种偶然誤差的影响，因为我們沒有根据認為測量結果对真实值的偏差在某一方面比在另一方面更为可能。

8. 誤差的估計

任何实验，既然都有不可避免的誤差，那末实验結果的成败，当然要看它的誤差大小而定。所以我們对于实验所产生的誤差，应当能够指出它的范围，用')来表示其結果的可靠或正确程度。

例如我們对某物理量測量了 $k=6$ 次，各次測量所得的数值为 $N_1=12.3$ ， $N_2=12.4$ ，

$N_3=12.4$, $N_4=12.5$, $N_5=12.5$, $N_6=12.3$, 那末:

$$\begin{aligned}\text{平均值 } \bar{N} &= \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_k}{k} \\ &= \frac{12.3 + 12.4 + 12.4 + 12.5 + 12.5 + 12.3}{6} = 12.4\end{aligned}$$

它是最接近于所测之量的真值, 各次测量与这平均值之差, ΔN_i , 也就是諸量 $\bar{N} - N_1 = \pm \Delta N_1$, $\bar{N} - N_2 = \pm \Delta N_2$, ..., 称作各次测量的绝对误差。 $\Delta N_1 = 12.4 - 12.3 = +0.1$, $\Delta N_2 = 0$, $\Delta N_3 = 0$, $\Delta N_4 = -0.1$, $\Delta N_5 = -0.1$, $\Delta N_6 = +0.1$, 我們所注意的不是这些误差的正负号, 而只是它们的数值。

各次绝对误差数值之算术平均值, 称作結果的平均绝对误差, 以 ΔN 表示之。

$$\begin{aligned}\Delta N &= \frac{\Delta N_1 + \Delta N_2 + \dots + \Delta N_k}{k} \\ &= \frac{0.1 + 0 + 0 + 0.1 + 0.1 + 0.1}{6} = \frac{0.4}{6} = 0.07\end{aligned}$$

平均绝对误差说明了所测量的误差范围, 故最后結果可写为 $N = \bar{N} \pm \Delta N = 12.4 \pm 0.07$, 但实验所得的結果, 其准确与否, 不在于平均绝对误差的大小, 而視其所谓相对误差大小而定,

即其相对误差愈小, 則其結果愈准确, 相对误差就是平均绝对误差和平均值之比 $\frac{\Delta N}{\bar{N}}$, 相对误差用百分数表示时称为百分误差, 例如上例的百分误差 $\frac{\Delta N}{\bar{N}} \times 100\% = \frac{0.07}{12.4} \times 100\% = 6\%$ 。

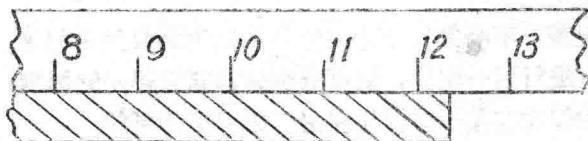
如果我們量度的物理量已經有人作过精密的量度, 他們得到的平均值得到大家的承認, 就称为公认值, 在这种情况下, 用平均值和公认值之差表示平均绝对误差, 即

$$\pm \Delta N = \text{公认值} - \text{实验平均值}.$$

百分误差則为平均绝对误差和公认值之比的百分数。

9. 有效数字

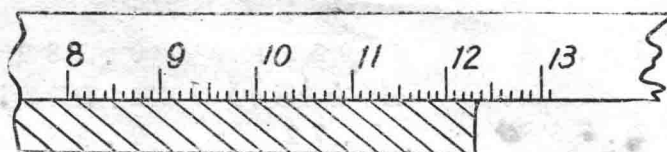
根据前面数节所讲的一切, 知道实验結果, 都有相当的误差。所以所测得的数值不是真实数值, 而只是它的近似值。随着科学的发展, 仪器的精密程度逐步提高, 所测得的数值愈接近于真实数值。例如用刻有厘米的米尺来测量一棒的长度, 如图 0—1 所示, 我們很容易



(图 0—1)

讀出这棒的长度大于 12 厘米, 小于 13 厘米。虽然米尺上没有刻毫米, 但我們可以估計到毫米(最小刻度的 $\frac{1}{10}$), 如图上棒长可以讀为 12.3 厘米, 至于再想多讀一位小数, 用这样的米尺是不能测出的。因为任何一个讀数的估計数字一般不能超过一位(即在通常情況下, 最多只能估計到它最小刻度的 $\frac{1}{10}$)。如果用刻有毫米的米尺来测量, 便可以直接讀出毫米而且可以

估計到一毫米的 $\frac{1}{10}$ ，如图0—2所示，可以讀为 12.34 厘米。如果这棒的长度恰好为 12.3 厘米时，我們应当写做 12.30 厘米。



(图 0—2)

由上面的例子，因为测量仪器的精密程度不同，所得的结果也不同。前者可估計到毫米，得到三位数字，后者可估計到 $\frac{1}{10}$ 毫米，得到四位数字，这些“1”“2”“3”“4”“0”等数字，都是从观测得来的，并非臆造而具有特殊意义的，叫做有效数字。12.3 厘米有三个有效数字，12.34 厘米有四个有效数字，二者截然不同，假使没有更换精密仪器来测量，随便地写成 12.340 厘米，那是唯心的，而不是科学的态度，而且要引起别人的误解，以为我們量到千分之一厘米。如果我們把 12.34 厘米，随便写成 12 厘米，这样无原則地减少了有效数字。至于 0.001234 厘米一数，其中亦尽含有四个有效数字，因为在此数中前面的两个“0”字乃用以表示小数点所在的位置，而不得视为有效数字。有效数字的多少，是由测量仪器的精密程度决定。

10. 有效数字与小数点

因为有效数字代表着测量的情形和结果，因此不因单位的改变而有增减，也就是和小数点的位置没有关系。例如 12.34 厘米（四个有效数字）化为微米和仟米，不能写做 123400 微米或 0.0001234 仟米。应当写做 1.234×10^5 微米及 1.234×10^{-4} 仟米（仍为四个有效数字）。所以有效数字和小数点没有关系。

11. 有效数字的运算

关于有效数字的运算，我們在这里只能谈它們基本的、簡略的規則。这几个規則只适用于测量数，对于公式中的常数、指定数等不須按照处理有效数字的方法来处理，通常可以用算术中的方法处理。

(1) 加法、諸数相加或相减时，所得结果的有效数字应以各数中最大可疑数字作为标准。

例一： $12.34 + 1.234 + 0.01234 = 13.59$

$$\begin{array}{r} 12.34 \\ 1.234 \\ + 0.01234 \\ \hline 13.58634 \end{array}$$

例二： $927.4 - 2.835 = 924.6$

$$\begin{array}{r} 927.4 \\ - 2.835 \\ \hline 924.565 \end{array}$$

以“一”表示可疑数，最后结果只须保持一位可疑数，其他位可疑数按4舍5入法摒弃之。

(2) 乘除法 諸数相乘或相除时，所得结果的有效数字应以各数中的最少有效数字作为标准。

例三: $12.34 \times 0.0234 = 0.289$
(四个有效数字) (三个有效数字) (三个有效数字)

例四: $2.738 \div 9.72 = 0.282$
(四个有效数字) (三个有效数字) (三个有效数字)

(3) 若乘数之一是常数或指定数，则此常数或指定数对于其他各测量数的乘积的有效数字没有影响。

例五: 用单摆测定重力加速度 g ，实验测得 $l = 100.23$ 厘米，振动 $n = 100$ 次，所需的时间 $t = 200.2$ 秒。

从单摆周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ，可以得到 $g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}$ ，而 $T = \frac{t}{n}$ ，上式中 $4\pi^2$ 是常数， l 、 t 是测量数， n 是指定数。

$$T = \frac{t}{n} = \frac{200.2}{100} = 2.002 \text{ 秒 (以测量数为依据，仍用四个有效数字)}$$

$$g = \frac{4\pi^2 \times 100.23}{(2.002)^2} = \frac{39.48 \times 100.23}{4.008} = \frac{3957}{4.008} = 987.3 \text{ 厘米/秒}^2 (\pi \text{ 等所用的有效数字应}$$

配合各测量数中有效数字最少的一个测量数)

在这个例子里，最要注意的何者是测量数，指定数，及常数？

运算中有效数字要适当。不能少，也不能多！

注意：实验的数据和计算的结果不能用分数来表示，表示百分误差时最多用二个有效数字。

(4) 用对数计算时，在定位之后的有效数字，应等于原有的有效数字。

例六: $\log 927.4 = 2.9673$

習 題

1. 下列测量数是几个有效数字？

102.2 秒，0.0108 克，760 毫米，25400 厘米， 0.08×10^6 达因， 3.84×10^8 尔格。

2. 测量一物体长度时，得到下列三种不同的读数：139 厘米，139.10 厘米， 1.4×10^2 厘米。问所用的测量仪器有何不同？

3. 设一长方体的长、闊、高，各为 12.2 厘米、2.1 厘米、0.3 厘米，试求出它的体积。

4. 用对数方法计算下式，并详细写出演算步骤。

$$\pi \times \left(\frac{3.100}{2} \right)^2 \times 7.034 = ?$$

式中分母上的 2 字是常数。

电学实验中常用仪器简述

在一般的电学实验里，有几种仪器，象电池、电流计、安培计、伏特计等等，几乎在每次实验都要用到，如果在实验以前没有很好掌握它们的性能，那就很容易把它们损坏，或在实验时得不到满意的结果。因此，我们必须先把最常用的仪器或零件作一些简单的介绍，以供参考。

1. 电 池

在实验室里常用的一种电池是铅板蓄电池，它有两个接头，叫做极，有“+”号（或是漆红色）的接头是正极。当电池供给电能（即输出电流）时，习惯上假定电流由此极向外输送。另一个接头有“-”号（漆黑色，蓝色或不漆色）的负极，是电流经过外电路回进电池的地方。两个极端间的端电压约为2伏。（有时三个电池串联在一起，端电压约为6伏。）

电池在电路中常用下面的符号来表示，如图1所示：

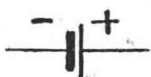


图 1.

长线代表正极，短线代表负极，有时为了更清楚起见，把“+”号或“-”号加上。使用铅板蓄电池的方法和注意事项：

(一)铅板蓄电池中含有硫酸溶液，使用时切勿倾倒以免硫酸溅出而致腐蚀衣物。

(二)铅板蓄电池的内电阻很小，如果外部电路中没有足够的电阻来限制电流，通常将输出很大电流，而使电池损坏或减少寿命。为了避免发生这种事故，在连接电路时，最后接上电池的任一接头；在拆除电路时，最先拆下电池的任一接头。

(三)电池的串联可用图2表示，正负极依次连接，其最外两端连接电路，其总端电压为诸电池的端电压之和。如果串联后的总端电压为10伏或20伏左右，通常不会有触电（即麻手）的危险，但在四十伏或五十伏以上，就应当特别小心。

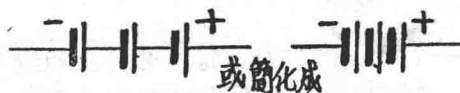


图 2.

除了铅板蓄电池外，有时也用于电池，但它的寿命较短，不能充电，端电压约在1.5伏至1.6伏间，携带便利，用法与铅板蓄电池相仿。

2. 开 关

或称电钥或电键，通常是用来连接和切断电路的。常用的开关有下列几种：

(一)单刀单掷开关 是一种最简单的开关，如图3所示，按下时接通电路，拉开时切断电路。



图 3.



图 4.



图 5.

(三)压触电键 是具有弹性回复力的开关，如图5所示，用手指按下时接通电路，当手

指放开时，由于弹性力自动弹回使电路切断。阻尼开关，即属这种类型。

(四)换向开关 也是一种双刀双掷开关，但是对角线的两头是分别用导线连接的，如图6所示。当闸刀掷向 $B_1 B_2$ 方向，则 A_1 和 B_1 相连， A_2 和 B_2 相连，若电流由 A_1 处输入，则经 B_1 输出至电路，而后由 B_2 回入。当闸刀掷向 $C_1 C_2$ 方向，则 A_1 和 B_2 相连， A_2 和 B_1 相连。若电流仍由 A_1 处输入，则电流由 B_2 输出至电路，而后由 B_1 回入，结果电路中的电流方向刚刚和闸刀掷向 $B_1 B_2$ 方向时相反。

最重要的是各种开关要在电路各部分都已接好，经过检查无误后，方可按上（尤其是通电池的开关）。

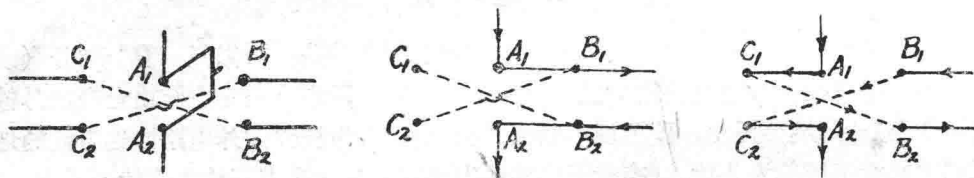


图 6.

3. 导线、变阻器和电阻箱

(一)导线的连接 较短较粗的导线的电阻很小，通常可以不必计算，在线路图中常用粗线表示。两根导线相接或不相接，有下面两种表示法：如图7及图8所示。



图 7.

图 8.

图7中相接处加以逗号，不相接处不加逗号，图8中相接处不加逗号，不相接处则须弯绕。

(二)变阻器 在物理实验中常用的变阻器，如图9(a)所示。它是一个绝缘的圆筒(或方形)，上面均匀地绕着电阻线，线的表面常附有一层氧化物，所以两匝之间仍旧绝缘。A, C是电阻线的两端，B是一个可以滑动的电刷。一般的变阻器上有三个接头A, C及B'。而B'与滑动电刷B之间有粗铜杆联接。它的用处有下列二种：

一个可以滑动的电刷。一般的变阻器上有三个接头A, C及B'。而B'与滑动电刷B之间有粗铜杆联接。它的用处有下列二种：

(1)作可变电阻用 如果用电阻器的接头A和B'时，当电刷B向A点滑近时，AB两端间电阻逐渐减少，当电刷B向C点滑近时，AB两端的电阻逐渐增加，如果用C和B'时，同样可以使CB间的电阻增加或减少，因此利用变阻器可以得到可变电阻。连接线路时，须用A, B'或C, B'，切勿用A, C连接，因为用A, C连接后，电流流过整个线圈，滑动B时，电阻不会改变的。

(2)作电位计用 我们对于变阻器的三个接头同时接用，如图10所

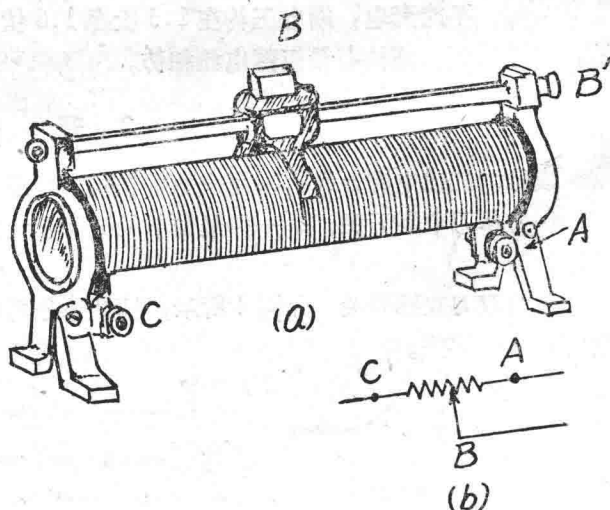


图 9.

示。AB 間的电位差只是 AC 間电位差的一部分。調节 B 点的位置，就可以調节 AB (或 BC) 間的电压，使电路中某部分的电压有适当的改变。例如若将 B 点滑向 C 点，則 BC 間的电位差接近于最小值 0；若将 B 点滑向 A 点，則 BC 間的电位差接近于最大数值 E，E 是电池的端电压。

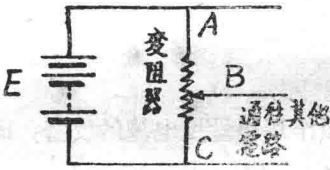


图 10.

每一只变阻器的固定线圈的电阻及此电阻所能通过的最大电流(通常称为安全电流)都标注在变阻器的规格証上。使用时超过了最大电流的限值就会把它烧坏。在接入电路时，要保持足够的电阻以避免产生过火性的电流，因此常将滑动电刷放在当中位置(或在最大电阻位置)比較安全。

(三)电阻箱 为了作电学实验，通常把标准电阻装在匣子里而成电阻箱，常用的电阻箱有二种：

(1)插塞式 一个电阻箱中有几个线圈，各具有不同的电阻值，而任意几个都可以串联。每个线圈两端分别接于两块铜块上，两铜块間可插入一插塞如图 11(a) 所示。插入后线圈即与电阻差不多为零的铜块并联，而总电阻也差不多等于零(称为短路)。先把 1, 2, 300, 400 等欧姆的线圈接于各铜块間，如图 11(b) 所示，而在各小孔內依不同的組合插入插塞，那末可以得到从 0 到 1110 欧姆間任何整欧姆数的电阻。例如，当插孔 100, 30, 4 及 1 內的插塞拔去，而其余各孔都已紧密插入，則 AB 兩端間的总电阻为

$$100 + 30 + 4 + 1 = 135 \text{ 欧姆}$$

当插塞插入时，須用旋紧螺旋的方式把插塞旋紧，設不用这种方式而直接插下，則不易插得紧密，因而影响电阻数值；拔出插塞时，須用反螺旋旋轉方向旋出。

(2)轉盘式 其結構如图 12 所示。十个 1 欧姆的电阻串联成环 I，十个 10 欧姆的电阻串联成环 II，十个 100 欧姆的电阻串联成环 III 等等。在各电阻間的接焊处連有一系列的金属电鈕扣，接触臂 A 在这些电鈕扣上滑过，因此环內任何数的电阻都可以包括在这电路中。例如图上所示，当接触臂 A 在环 II 上的位置在为 70 欧姆处，在环 I 上的位置为 6 欧姆处，則所示讀数为 76 欧姆。

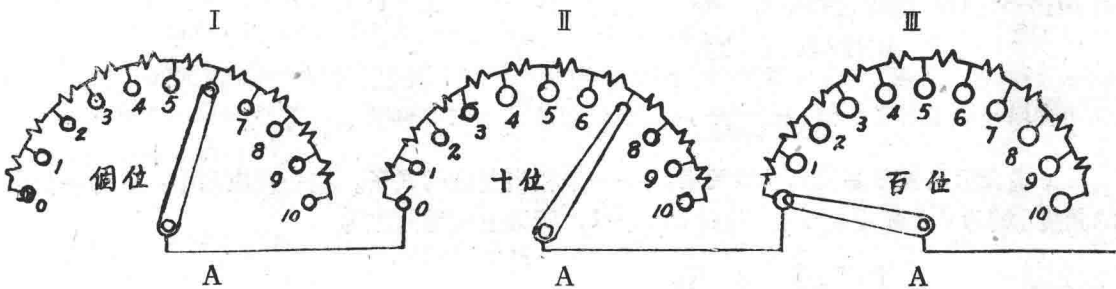


图 12.

电阻箱和变阻器一样，也有它最大的安全电流，超过了这个电流也能将电阻线圈烧毁。通常使用电阻箱时，必先拔去几个最大电阻处的插塞或把接触臂轉到最大电阻处的电鈕扣

上，以防止电流超过限值的危险。尤其是改变插塞式电阻箱上的电阻时，要先拔出某些插塞，然后再插入另一些插塞，养成了先拔后插的习惯，就可以防止在改变电阻过程中使总电阻为零的危险。

变阻器及电阻箱上接头不标明什么正、负符号，那就是说无须考虑电流经过它们的方向问题。

4. 电 流 计

电流计是利用通电线圈在磁场中所受力矩作用以量度电流的仪器，同时也可用以量度电量和电位差。

(一)达松发尔式(或墙式)电流计 图 13 表示达松发尔式或墙式电流计的简图。N 和 S 是马蹄形磁铁的两极，用以产生磁场。D 是软铁，它的作用是使磁力线集中。C 是一个很轻的线圈，上端吊在很细的磷铜悬丝上，下端接在弹簧 A 上。A 和 B 的另两端可跟外电路接通，使所要量度的电流通入线圈。C 的上端装有小镜 M，以便用标尺及望远镜观察 C 的偏转。

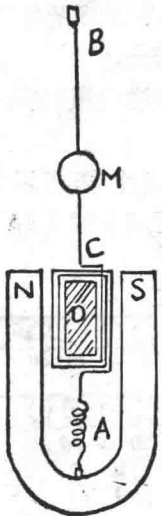


图 13.

当 C 未通电流时，它的平面和磁场平行，如图 14 中虚线所示。通电流后，C 即受磁力矩作用而转动。如 C 不受其他外力矩作用，则 C 的磁力矩 P_m 将转至磁场方向，即转 $\pi/2$ 角。但 C 是吊在悬丝上的，当 C 转动时，悬丝同时给 C 一个复形力矩(A 的复形力矩极小，可以不计)。磁力矩和复形力矩的转向，恰好相反，所以当这两种力矩的大小相等或合力矩为零时，C 就达到转动的平衡位置。

设线圈的面积和匝数各为 S 和 N，通过的电流为 I，线圈在平衡位置时，线圈偏转 θ 角，即磁矩和磁场 B 所成的角为 $\frac{\pi}{2} - \theta$ ，则磁力矩为：

$$M_1 = BNIS \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) = BNIS \cos \theta.$$

设 k 为悬丝的扭转系数，(它是和悬线的性质、长短、粗细有关的常数，当悬线扭转一弧度时，悬线所受的力矩等于 k)，则复形力矩为：

$$M_2 = k\theta$$

当 $M_1 = M_2$ 时，线圈达到平衡，得

$$BNIS \cos \theta = k\theta,$$

所以
$$I = \frac{k\theta}{BNS \cos \theta},$$

上式表示电流和偏转角 θ 的关系，是一个相当复杂的式子。在一般应用中， θ 为一很小的角度(约为 0.1 弧度或 6°)，这时 $\cos \theta \sim 1$ ，所以上式可简化为

$$I = \frac{k}{BNS} \theta = K\theta$$

式中 $K = k/BNS$ ，是电流计的特性常数。

偏转角 θ 是利用小镜 M 的反射作用，在标尺上量出来的，以后在测定电流计灵敏度的实验里再行详述。

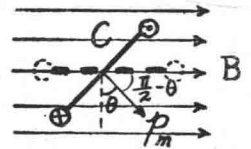


图 14.

(二)便携式电流計 因为墙式电流計必須悬挂在墙上(目的使它少受震动),所以应用时很不方便。在不需要很精确的量度中,通常使用便携式电流計。便携式和墙式电流計的原理是一样的,构造方面有三点不同:

(i)磁鉄的极面不用平面而用圓面,如图 15 所示,圓面的軸綫和綫圈的軸綫符合。这样两极端間形成一徑向磁場,無論綫圈的位置如何,它的磁矩和磁場方向所成的角均为 $\frac{\pi}{2}$, 所以它所受的力矩为

$$M_1 = BNIS.$$

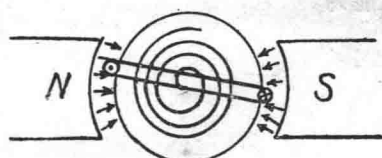


图 15.

(ii)綫圈不用悬綫挂着,而是利用轉軸,由宝石軸承来支持的,綫圈所需复形力矩 M_2 用盘香式彈簧来供給,彈簧的一端固定,另一端接在綫圈上。复形力矩的大小仍和偏轉角 θ 成正比,即

$$M_2 = k\theta$$

当綫圈在平衡位置时, $M_1 = M_2$, 得

$$BNIS = K\theta$$

所以
$$I = \frac{k}{BNS} \theta = K\theta$$

这样装置,虽然减低了灵敏度,但同时却减少了仪器的高度,增加了它的坚韧和便于携带的性能。

(iii)偏轉角 θ , 不用望遠鏡和标尺讀出, 而由装在綫圈上随綫圈一起轉动的指针来直接讀出。因此使用时方便得多。

注意在使用上面二种电流計时,通常用一比較大的电阻(約 10000 欧姆)与它們串联,这样可以限制流入电流計內的电流,而借以保护,不使綫圈燒坏。

(三)冲击电流計 冲击电流計是一种用以量度电量的仪器。例如把这仪器和电容器串联,那末当电容器放电时,就有暂时电流经过这仪器,这时这仪器就能把經過的电量量度出来。所以这仪器所量度的,不是电流而 i 是电量 $q = \int i dt$ 。

一只墙式电流計,如果它的綫圈的轉动慣量和它的悬綫的扭轉系数之比足够大的話,就可以用作量度电量的冲击电流計。

当电流通过綫圈时,綫圈就受到磁場的力矩作用,假定电流通过的时间非常短暫,那末綫圈受到的是一个冲量矩。冲量矩作用的结果,使綫圈获得一动量矩。在有力矩作用的过程中,因为时间的短暫,所以綫圈几乎没有轉动。但綫圈所获得的动量矩,却能使綫圈开始轉动,直到开始时所有的轉动能全部变为綫圈扭轉后所得的位能为止。观察綫圈的最大偏角,可以算出通过的电量。上述冲量矩作用和能量变换过程,恰和冲击摆受鎗彈射击时的冲量作用和能量变换过程完全相似。

现在用最簡單的方法导出最大偏角和电量的关系。設綫圈的面积为 S , 匝数为 N , 当綫圈中有电流 i 通过时,綫圈所受的力矩 M 和磁感强度 B 的关系是

$$M = BNiS \sin \varphi$$

因电流通过的时间非常短暫,綫圈几乎没有轉动,即 $\varphi = \frac{\pi}{2}$, $\sin \frac{\pi}{2} = 1$, 所以

$$M = BNiS$$

在电流通过的短時間內,綫圈所受冲量矩为

$$\int M dt = BNS \int i dt = BNSq$$

綫圈受到这冲量矩后, 获得一等值的动量矩。設綫圈的轉动慣量为 J , 获得的角速度为 ω , 則

$$J\omega = BNSq$$

$$\text{綫圈获得的轉动动能 } E_K = \frac{1}{2} J\omega^2$$

設 θ 为观察到的最大偏轉角, k 为悬綫的扭轉系数, 則綫圈在最大偏轉角时的扭轉位能是 $E_P = \frac{1}{2} k\theta^2$ 。(設 M' 为扭轉时的力矩, 則 $M' = k\theta$, 扭轉位能为

$$\int_0^\theta M' d\theta = k \int_0^\theta \theta d\theta = \frac{1}{2} k\theta^2)$$

因全部动能变为位能, 即 $E_K = E_P$, 所以

$$\frac{1}{2} J\omega^2 = \frac{1}{2} k\theta^2$$

$$\sqrt{J} \omega = \sqrt{k} \theta$$

$$\sqrt{J} \frac{BNSq}{J} = \sqrt{k} \theta$$

$$\text{或 } q = \left(\frac{\sqrt{Jk}}{BNS} \right) \theta,$$

$$\text{或 } q = K\theta$$

$K = \frac{\sqrt{Jk}}{BNS}$ 为一常数, 决定于电流計的条件, 称为电流計的冲击常数。

若考虑到綫圈轉动时所受到的空气阻力及感应电流产生的反抗綫圈轉动的力矩 (即电磁阻尼), 則 q 和 θ 的关系較為复杂。电流計的电磁阻尼, 在开路时最小, 短路时最大。所以在应用时最好是开路, 或在电流通过后使其开路。

5. 安培計和伏特計

直流安培計和直流伏特計是用来指示直流电流和直流电压的。它們都是由电流計加接适当的电阻改装而成的。

(一) 安培計 因为安培計是用来测量較大的电流, 所以有一个低电阻 R_s (分路电阻) 与电流計的綫圈相并联, 这样可使通过安培計的电流大部分經過 R_s , 而仅有小部分的电流經過电流計綫圈。因此只要在电流計里, 加一适当的分路电阻与电流計綫圈相并联, 即成为一个安培計。其构造如图 16 所示。設 R_g 为电流計綫圈的电阻, I_g 为电流計的量程, I 为所要改装的安培計的量程, R_s 为所需分路电阻的电阻, 那末

$$I_g = I \frac{R_s}{R_s + R_g}$$

$$\text{所以 } R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$$

(所謂量程即电流通过电流計及安培計时指針偏到最大的角度。)

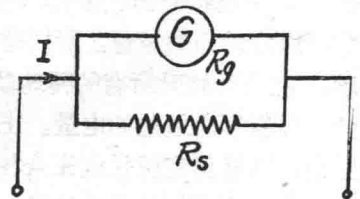


图 16.

例如 R_g 为 20 欧姆, I_g 为 0.010 安培, 設把这电流計改装成量程为 10 安培的安培計, 則由上式算出 $R_s \left(= \frac{0.010 \times 20}{10 - 0.010} \right)$ 为 0.020 欧姆。 R_s 为一个低电阻, 而整个安培計的电阻比 R_s 为小, 这样不致因安培計接入电路中, 而显著地影响原来电路中的电流。 安培計所需量程愈大, 則 R_s 愈小, 安培計电阻也愈小。 一般安培計的电阻不到 1 欧姆。

安培計上的“+”号接綫柱为电流进入安培計的地方, “-”号接綫柱则为电流流出安培計的地方, 如果把“+”“-”接綫柱接錯, 安培計上的指針反向偏轉, 而使指針损坏。

在使用安培計时, 必須要注意: (一) 安培計一定要和所测量的电路相串联; (二) 正負接綫柱不能接錯, (三) 我們实验中所用的安培計是多量程的(在安培計上加有几个接綫柱), 在不同实验里, 要看实际需要, 使用时取适当接綫柱, 故須注意某个量程的某种表面刻度, 不能接錯(即不能超过它的量程), 同时也不能讀錯。

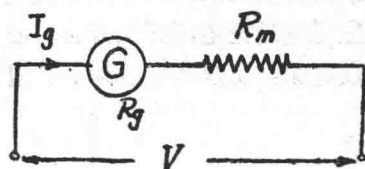


图 17.

(二) 伏特計 电流計是用以测量电流 I_g 的, 但因电流計端电位差 V 等于 $I_g R_g$, 所以电流計也可用它測定 V 。 平常电流計所能测量的电位差很小。 若欲量較大的电位差, 可把一高电阻 R_m 与电流計綫圈相串联, 这样就成为一个伏特計, R_m 称为倍程电阻。 如图 17 所示。 設 R_g 为电流計綫圈的电阻, I_g 为电流計量程, V 为所要改成的伏特計量程, R_m 为所需的倍程电阻, 那末

$$V = I_g(R_m + R_g)$$

或

$$R_m = \frac{V - I_g R_g}{I_g}$$

R_m 为一个高电阻, 整个伏特計的电阻比 R_m 更大。 伏特計量程愈大, 伏特計电阻也愈大。 伏特計电阻常至几千欧姆。 例如上述改装安培計的电流計, 現在利用它来改装成为量程等于 100 伏的伏特計, 則 $R_m \left(= \frac{100 - 0.010 \times 20}{0.010} \right)$ 为 9980 欧姆。

伏特計上的“+”号接綫柱为电流进入伏特計的地方, “-”号接綫柱则为电流流出的地方, 若把正負二接綫柱接錯, 則伏特計上的指針作反向偏轉, 而使指針损坏。

在使用伏特計时, 必須注意: (一) 伏特計恒与所测量的部分电路并联; (二) “+”“-”接綫柱不能接錯, (三) 我們所用的伏特計是多量程的(在伏特計上加有几个接綫柱), 在不同实验里, 要看实际需要, 使用时取适当接綫柱, 故須注意某个量程的某种表面刻度, 不能接錯(即不能超过它的量程), 同时也不能讀錯。

安培計与伏特計具体联接法举例如下: 例如我們要测量图 18 中經過 R_1 , R_2 电阻的电流, 則我們可将安培計 A 串联在 R_1 , R_2 的电路中, 如果我們要测量 R_1 二端的电位差, 則我們將伏特計 V 并联在 R_1 二端。

6. 进行电学实验时应注意之点

(一) 了解每一实验的电路图 电路图是表示在实验中各种仪器或另件的连接方法。 在操作接线以前必須先把綫路图研究一下, 要結合实验的原理和目的, 知道各个仪器的性能和作用, 明确各个导綫的作用和連結的必要, 弄清仪器的那些接头对应于电路中那些点, 須俟認識清楚后, 才能动手。

(二)連結电路的方法 連結电路时,应将仪器排列在适当的位置,选择适当长短的完好的絕緣导线,从电源的一个接头开始,依次接上,到电源的另一个接头結束。(注意:須經教师檢查后,才能把这个接头接上。)遇到繁复的电路,应当分区分段的連結,然后再加以組合。

(三)檢查电路 电路連接完竣后,应作仔細檢查,檢查所有接头是否都能紧密,变阻器的滑动接头是否在适当位置,电阻箱的的插塞已否将电阻大的几个拔掉,插上者是否轉紧,所有测量的仪器的指針是否都在零点等等,檢查完毕后,再請指导教师檢查,經教师許可后,才能把电源的另一个接头接上。

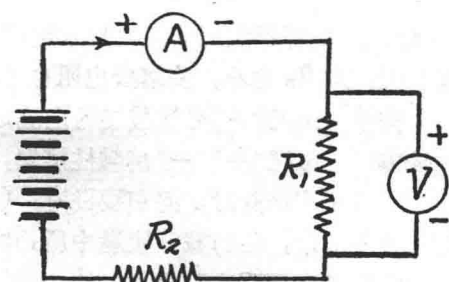


图 18.

(四)接上电源,按上开关,应仔細地注視安培計、伏特計或其他仪器的动作,如果发现它們的指針向标尺終点快速偏轉,这就表示电路內电流太大,应迅速地吧电源开关开啓。如发现电路中某一部分过于发热(用手去摸时燙手),甚至发出橡皮臭味,也应当迅速地开断电源开关,并报告教师。

实 驗 一

長 度 的 測 定

1. 目 的

学习基本测量仪器——游标尺、测微計及球徑計的原理及其使用法。

2. 仪 器

游标尺，测微計，球徑計，銅柱体，圓筒，鋼球，玻片，平玻璃。

3. 原 理

(一)游标的描述 我們用尺来测量物体长度时，可以估計到最小刻度的十分之一，但是这个估計数字是不十分可靠的，若使用游标，就可以使准确性提高。

游标是附于主尺上的一种装置，用这种装置，可以增进量度的精密度，它能够量出主尺上最小分度的十分之一或百分之一。测长用的游标尺是一根短尺，可以沿一主尺滑动，游标上刻有度数，共有 m 格，这 m 格的总长度等于主尺上 $(m-1)$ 格的总长度，(图 1—1)，也就是 $mx=(m-1)y$ ，这里 x 是游标上每格的长， y 是主尺上每格的长，除以 m 得：

$$x=y-\frac{y}{m}$$

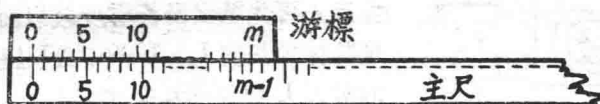


图 1—1

主尺上每格长与游标上每格长的差 Δx ($\Delta x = y - x = \frac{y}{m}$) 称为游标的精密度。

現在我們要談到游标测长时的情形，設 L 为被测物体的长度 (图 1—2)。

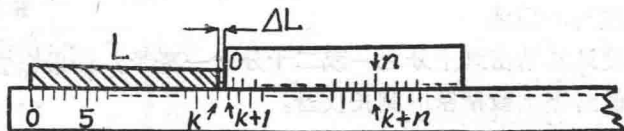


图 1—2

使 L 的起端和主尺上的零度綫相齐，假定 L 的另一端，在主尺的 K 和 $K+1$ 二刻度綫的中間，那末

$$L = KY + \Delta L$$

这里 ΔL 就是要依靠游标测定的长度 (主尺一格的一部分)。現在把游标推到 L 的末端，使游标上 0 刻度綫与 L 的末端相合，因为游标上的分度和主尺上不同，所以游标上第 n 格的分度綫可以和主尺上第 $K+n$ 格分度綫比較任何二分度綫接近，即这二綫 (游标上 n 格刻綫和主尺上 $K+n$ 格刻綫) 可說相齐。从图 1—2 中可以看出 $\Delta L = ny - nx = n(y - x) = n \Delta x = n$

$\frac{y}{m}$ ，所以 L 的全长等于 $L = KY + \Delta L = KY + n \frac{y}{m}$ 。

上式如果用文字叙述，就是：用游标测得的长度等于主尺的完整格数长 KY 加上游标的精密程度 $\left(\frac{y}{m}\right)$ 乘以游标上的若干格数 n 。

游标尺(图 1—3)由一分为毫米的主尺 LM 与套在主尺上的游标 CD 所构成，游标上边有一垂直于主尺长度之钳口 B ，可以和游标一起在主尺上滑动，套面上，对着主尺有一窗口，窗口旁边与主尺相并处，刻有分度，另一钳口 A 也垂直于主尺的长度，固定于主尺的一端，当二钳 A 、 B 密触时，游标上零度与主尺上零度相齐，欲量度的物体，就夹于二钳口之间。另有二钳 F 、 F ，是用以测量空心物体的内直径，伸出尾巴 T ，是用以测量深度的。

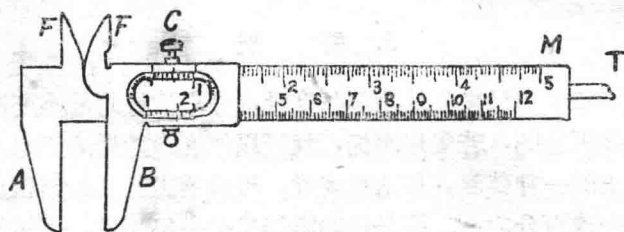


图 1—3

普通用的游标尺，它的游标长度 9 毫米，平均分为十格，那么游标上每格长为 0.9 毫米，主尺上每格长与游标上每格长的差 $\Delta x = 0.1$ 毫米。

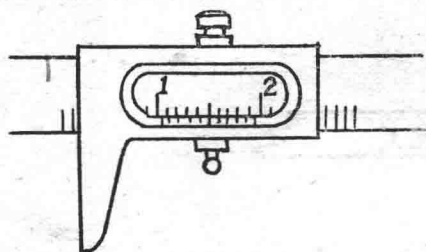


图 1—4

如果用游标测量一物体长度时(如图 1—4)，在主尺上可先读出游标零度线以前的整数 1.00 厘米，则物体的长度 $L = 1.00 + \Delta L$ 厘米，这里不满 1 毫米的数 ΔL 要靠游标来测定。

从上图可以看出游标上的第五条刻度线和主尺的刻度线相齐，所以

$$\Delta L = n \Delta x = 5 \times 0.1 = 0.5 \text{ 毫米。}$$

物体的总长

$$L = Ky + \Delta L = 1.00 + 0.05 = 1.05 \text{ 厘米。}$$

(二)测微计和球径计的描述

用游标尺测量长度只能精密到十分之一或二十分之一毫米，如果需要测量得更精密些，就需要用测微计和球径计等比较精密的测长仪器。

测微计和球径计都是利用螺絲推进的原理，如果螺絲在螺絲母中转动一个整圈，螺絲前进或后退一个螺距，如果螺絲转动一百分之一一个整圈，那末螺絲前进或后退一百分之一螺距，假使螺距是 0.5 毫米，螺絲就移动二百分之一毫米，如果转动五十分之一整圈，那末螺絲移动一百分之一毫米 $\left(\frac{1}{50} \times 0.5 = \frac{1}{100} \text{ 毫米}\right)$ 。

测微计的装置如图 1—5 所示：B 和螺絲相連，它的圆周上刻有分度(分为五十等分)，后面有旋鈕 C，是用来旋轉螺絲的，螺距是 0.5 毫米，因此圆周上每分相当于百分之一毫米。

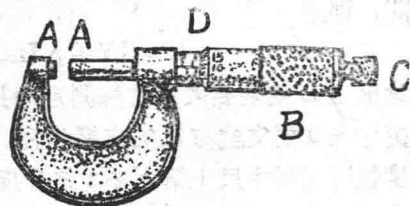


图 1—5

球徑計，如图 1—6 所示，有金属制的三脚架 A，在三脚中間有一鋼制螺旋 B，螺距为 0.5 毫米，螺絲下端成尖形，螺絲上端裝有圆盘 E，圆盘上刻有分度，把圆盘等分为一百分，每分相当于二百分之一毫米，在圆盘旁边有以一毫米分度的垂直尺 C，从尺上可讀出螺旋轉过的整圈数，看准盘上的那一刻度与直尺边絕相对而由盘 E 上讀出圈数的小数部分。

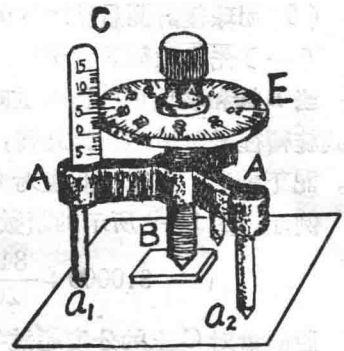


图 1—6

4. 实验步骤

(1) 用游标尺在圆柱体上的不同位置测量它的直径

五次，测量时分开游标尺的二钳口，使被测的物体可以纵向地放在钳口間，移动钳口 B 使两钳口輕輕夹紧，钳口和游标分度綫同时移动，柱的长度即等于钳口間的距离，而钳口間的距离可以从主尺上讀出的毫米数，和从游标上那个刻度与主尺上某一刻度相齐而算得。

(2) 用游标尺在圆柱体不同的地方测量它的高度五次。

(3) 用公式 $\frac{1}{4} \pi D^2 H$ 来计算圆柱体的体积。D 表示圆柱体的直径，H 表示圆柱体的高度。

(4) 用游标尺在圆筒口的內侧不同位置上测量它的內直径五次，测量时将游标尺钳口的 FF 部分插入管内，再将 FF 分开直到它們分別紧靠着管的內壁为止，才把讀数讀下。

(5) 用游标尺在圆筒內的不同位置测量它的深度五次，测量时将尺尾 T 插到筒底，尺端 M 与筒口相合，再把讀数讀下。

(6) 用测微計在鋼球的不同位置测量它的直径 D 五次。测量时先用 C 将螺絲旋进，直到钳口 AA 相触时发出格格之声为止，記下这时刻度数，除以 100，得初讀数，并注意初讀数的正負号。

然后将螺絲旋出，以便将被测物体放在钳口間，以后再用 C 将螺旋慢慢旋进，直到发出格格之声为止。設轉得太紧，則被测物体发生变形，螺旋也发生损坏。讀数时先讀主尺上的分度，(每格为一毫米，如超过半格应加 0.5 毫米)得主尺讀数，再讀下圆周上的分度，估計至一格的十分之几，除以 100，加上主尺讀数，即得末讀数。

被测尺寸(单位毫米) = 末讀数 ± 初讀数。

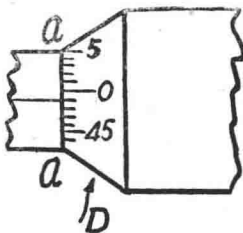


图 1—7

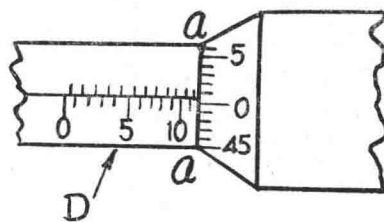


图 1—8

設初讀数如图 1—7 所示。則上式应取“+”号，反之則取“-”号。图 1—8 所示的讀数应为 (11.000 + 0.500 + 0.005) 毫米，即 11.505 毫米，因为 aa 絲已超过半格，所以加上 0.5 毫米，最后数值应加上或减去初讀数。

(7) 应用公式 $\frac{1}{6} \pi D^3$ ，求出鋼球的体积。