

物理实验指导

物理教研组编

(全一册)

1960.6

沈阳农学院

目 录

緒論	1
游标測徑計、螺旋測微器讀數显微镜	6
向心力	10
扭秤	12
轉動慣量	14
楊氏模量之測定	15
熱導率系數	17
粘滯系數	19
气体的定压比热及定容比热之比值	21
基本电学仪表的認識和使用	23
改裝电表	30
用直流电桥測定电阻	31
电阻温度系數	33
复綫电位計及其应用	36
沿通电流圓綫圈軸綫上各點磁場的研究	40
电位綫和电力綫	42
冲击电流計及电容的測定	45
測定綫圈的互感系數	47
三極电子管的特性曲綫	49
LC 自激振盪器	51
电子示波器的应用	53
牛頓环	59
自由落体	60
光电管	62
附錄	66

緒 論

(一) 實驗目的

为什么要做物理实验呢？要能答这个问题，必须要对物理实验具有正确的認識。

首先应该明确的是物理实验在学习物理中的作用。物理学是自然科学中重要的部門之一，它是以前的科学家们根据他们对自然界某一部分现象的不断观察和实验而概括的理論。所以学习物理也和学习其他的科学一样，单是学习了理論是不够的，还必须用实验来验证这些理論，这样才算是对于一个問題告了一个段落。

例如波义耳定律 $PV = \text{常数}$ ，是经过波义耳多次实验而得出来的經驗定律。当我们在課本上学习到它的时候，要确定它的真实性，就必须找出若干对的对应 P 、 V 之值看看它们的乘积是否都近似的相等。

第二，物理实验是大学的基础課，它的操作方法也是基本的。为了将来在其他科学或工作岗位上的实验实习中，能有熟练的操作技术，必须在现在的基本操作方法上，打下良好的基础，和熟练一些基本仪器的使用法。

第三，在实验过程中，每个人总会遇见一些各式各样的問題，由于实验基本上是独立进行的，因此就经常须要自己来设法解决。这样我们就能在实验中逐渐培养了独立思考 and 独立工作能力。

(二) 实验数据

无论作甚么实验，都是先利用测量仪表，观测出各有关物理量，然后找出各量之间的規律。因此我们在实验中就一定须学习足够精确的观测，并记录讀数，和簡捷地推算出結果，并說明結果中的誤差大小。为此有必要正确地熟练的掌握有效数字的概念及其运算。

(1) 数据的含意

一个物理量的大小或多少，称为該量的数量。在实验中用仪器直接測讀出来（例如用米尺測長度，用安培計測电流）的数量，称为讀数；根据讀数按照一定公式推算出来（例如以時間除行程求平均速度）的数量，称为得数；讀数和得数都称为实验的数据。

任何一个数量，不管是讀数或是得数，都包含数值和單位两部分，因此在記錄每一数量时，必須同时記錄数值和單位。祇說出写出数值而不說出写出單位，实际上等于沒有說沒有写，例如我說屋高48，你一定要問是48尺呢是48丈呢还是48米。記錄数量，必須記錄單位。

(2) 有效数字

在处理实验数据时，立刻就遇到有效数的概念。有效数字就是說在观测和記錄讀数时，或将讀数运算时所取数值的位数，不得过多也不得过少，而是要切合实际，有效的部分都得記下，不可少記一位，而无效的部分就不再要它。今說明如下：例如在圖1中箭头A的位置是指着264（單位沒有写出来，不是沒有單位），最末位数字4是憑眼睛估計出来的，也可能有人估計它是3，所以是可變的数字，4所佔的数位就称可疑位。在这数值中26当然是很

准的是有效的，應該說出寫出。4 是估計的，雖会有一些出入，但出入不能太大，所以还是有效，應該說出寫出。至于 4 以后的数字就无法估計了，可疑位的数字已不太准，以后的数

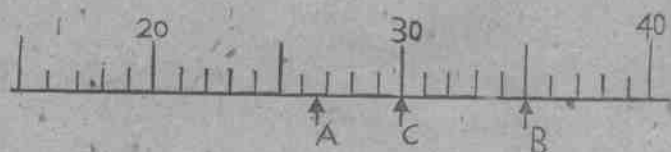


圖1

字当然就无效了，因此要在 4 的后边再添任何数都是不应该的，这说明数字的位数不得过多。再如箭头 B 指的是 35.00 是 300，其中 35 与 30 都是肯定的准确的，應該說出寫出。末位数字虽然都是 0，但它表示憑眼睛估計箭头是指在哪里，是有一定的有效意义，所以也应该說出寫出。如不說出寫出那么表示箭头的位置观测得不夠精密。因此可疑位上的数字必须要寫出，这说明数字的位数不得过少。这位数既不多又不少的一系列数字称为有效数字，它的特点是后一位总是可疑数字。

每一个仪器上都有它一定的刻度，刻度上最小的部分称为該仪器的准确度，如果尺上最小刻度为毫米，則此米尺的准确度为毫米，这是說以这米尺測量时，毫米位上数字有把握能正确地讀出，但再后面一位就不能正确地量而是估計的可疑位了。所以在观测与記錄时，首先应该看清每种仪器的准确度，然度一定要把估計数字与肯定的数字一同說出寫出。

此外像 26.4, 30.0, 35.0 我們称它为三位有效数字。又如观测到的数据是 42.31, 1.450, 0.7302, 0.01230, 和 0.003087 都称为四位有效数字，(最后二数据中，在 1 和 3 的前边都有 0，此 0 是表示小数点位置的，随单位不同而有多有少，故对数值來說不是有效部分。如 0.01230 厘米可以写成 0.1230 毫米或 0.0001230 米)，也就是說，实际所得的数据，除表示小数点位置的零以外，其他各数都称为有效数字。为了明确有效数字的位数，以上各数据我們应当改写为： 4.231×10^1 , 1.450 , 7.302×10^{-1} , 1.230×10^{-2} , 和 3.087×10^{-3} 。

(3) 有效数字的运算

下面介紹在四則运算中所得結果的有效数字的決定法：

(i) 求和或差：結果中之可疑位数，应以各量中最大可疑位数为准

$$\begin{array}{r} \text{例 1} \quad 342.31 \\ + 75.5 \\ + 0.0386 \\ \hline 417.8486 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{例 2} \quad 87.54 \\ - 0.112 \\ \hline 87.428 \end{array}$$

例 1 結果中直綫右边之 0.8 已可疑，故結果为 417.8。同理，例 2 中結果为 87.43 (根据 4 舍 5 入)。或者写成 4.178×10^2 和 8.743×10^1 ，即兩例的結果全是四位有效数字。

(ii) 求積或商：結果中有效数字应以各量中含有效数字最少者为准。

$$\begin{array}{r} \text{例 1} \quad 12.34 \\ \times 0.0234 \\ \hline 4936 \\ 3702 \\ 2468 \\ \hline 0.288756 \end{array}$$

$$1.234 \times 10 \times 2.34 \times 10^{-2} = 2.89 \times 10^{-1}$$

結果為三位有效數字

$$\begin{array}{r} \text{例 2} \quad 8.372 \\ 457.03826 \\ 36560 \\ \hline 1700 \\ 1371 \\ \hline 3290 \\ 3199 \\ \hline 910 \end{array}$$

$$\frac{3.826 \times 10^3}{4.570 \times 10^2} = 8.372$$

結果為四位有效數字

(三) 誤 差

(1) 誤差產生的原因

在實驗過程中往往會發生誤差，由於儀器的不準確性，測法本身的錯誤及觀察者的生理、技術、習慣等而產生的誤差叫做系統誤差，增加實驗的次數並不能減少此種誤差的影響，而只有對各該誤差產生的原因加以改正才行。

凡由於讀數的不准及實驗時間周圍情況的偶然變更而產生的誤差叫做偶然誤差，這類誤差是服從或然率的，增加測量的次數就可以減少這種誤差的影響，所以實驗時對每一數據往往都測量若干次，而後取其平均值以減少誤差。

(2) 絕對誤差

若測量某一物理量為 N ，產生的誤差為 ΔN ，故結果的數值應寫成 $N \pm \Delta N$ 。

例如用米尺測定桌面的厚度，讀數為 4.00 厘米，可能產生的誤差為 0.02 厘米，其結果為 (4.00 ± 0.02) 厘米，又如用米尺測量桌面寬度，讀數為 50.000 厘米，可能產生的誤差亦為 0.02 厘米，其結果為 (50.00 ± 0.02) 厘米。這就說明了結果的數值範圍，而 0.02 厘米就是用米尺測量時的絕對誤差。

(3) 誤差率 (百分誤差)

從上兩例中看出，同是用米尺，測量長度不同的物體，雖然發生的誤差，是一樣的 (0.02 厘米)，但對測量桌面厚度說來，不精確程度是千分之五，而對測量桌寬說來不精確程度是萬分之四。由此可見單靠絕對誤差還不足以說明測量的精確程度。通常用誤差率表示實驗的精確程度，如結果的測得值 (或取平均值) 為 N ，產生誤差為 ΔN ，則理論上的百分誤差為

$$\frac{\Delta N}{N} \times 100\% \quad (\text{誤差率為 } \frac{\Delta N}{N})$$

在普通物理實驗中，有時取已知的標準值或公認值為

$$N, \text{ 實驗者測得值為 } N', \text{ 於是得實驗的百分誤差為 } \frac{|N - N'|}{N} \times 100\% \quad (\text{誤差率為 } \frac{|N - N'|}{N})$$

從誤差率可以更直接看出有效數字的意義，如果是三位有效數字說明測量誤差在 0.5% ~ 5% 範圍內，四位有效數字說明誤差在 0.05% ~ 0.5% 範圍內，一般說來千分之几的誤差已是較精確的儀器裝置。

(4) 誤差的運算

設讀數為 A 的誤差為 ΔA ，讀數為 B 的誤差為 ΔB 。

(i) 在計算結果時若必須取兩數相加減則結果的絕對誤差是原數絕對誤差之和

$$N = A \pm B$$

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

$\therefore \Delta N = \Delta A + \Delta B$ (此式取正号是表明最大可能的誤差)

$$\text{誤差率} = \frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta A + \Delta B}{A \pm B}$$

(ii) 在計算結果時若必須取兩數相乘或相除則得數的誤差率是原數誤差率之和

$$N = A \times B$$

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

因 $\Delta A, \Delta B$ 之積很小可忽略不計

$$\therefore \Delta N = A\Delta B + B\Delta A$$

$$\therefore \frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B} \quad \text{仿此亦可求得 } N = \frac{A}{B} \text{ 時, } \frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}$$

(iii) 一數的某冪的誤差率的該數誤差率乘以該冪數 (下面的 m 和 n 表正整數) 當 $N = A^m$ 亦可證明 $\frac{\Delta N}{N} = m \frac{\Delta A}{A}$

$$N = A^{\frac{1}{n}} \quad \text{則} \quad \frac{\Delta N}{N} = \frac{1}{n} \frac{\Delta A}{A}$$

在微分學中我們將學得其他較複雜的誤差率求法。

(四) 平均值和差數平均值

(1) 平均值: 因為我們實驗時往往會因讀數不準確而產生偶然誤差, 所以我們為了減少這種誤差的影響, 對一個物理量必須測量若干次以求其平均值。

這個平均值是會較其他的值更接近於所測量的真實值的。

例如各次測得的值是 $N_1, N_2, \dots, N_n$ 則平均值即為:

$$\bar{N} = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n}{n}$$

通常在 $\bar{N}$ 上加一橫綫 (即 $\bar{N}$) 來表示 N 的平均值。

(2) 差數平均值: 在實驗中有时我們要求差數平均值, 其方法如下:

若測得物理量 $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ 現在求所有相鄰二量之差的平均值 (通常取 n 為偶數),

$$\text{設} \quad D_1 = Q_2 - Q_1, \quad D_2 = Q_3 - Q_2, \quad \dots, \quad D_p = Q_n - Q_{n-1}$$

$$\text{則相隔 } p \text{ 個量的差數平均值為 } \frac{|D_1| + |D_2| + |D_3| + \dots + |D_p|}{p}$$

$$\therefore \text{相鄰二量間的差數平均值為 } \bar{D} = \frac{|D_1| + |D_2| + \dots + |D_p|}{p}$$

(註) 若直接求差數平均值時如

$$\bar{D} = \frac{(Q_2 - Q_1) + (Q_3 - Q_2) + \dots + (Q_n - Q_{n-1})}{n-1} = \frac{Q_n - Q_1}{n-1}$$

除 Q_n, Q_1 二數據外其餘各數變成沒有意義。

(五) 圖 解

从已得的数据來驗證已知的定律，或推求未知的規律法則常常要用圖解的方法。若求甲乙兩量的关系时把实验数据中一系列甲量作为横座标，各甲量的相对应的乙作为縱坐标，在坐标紙上（方格紙）确定許多对应點。然后画一个光滑的綫經過这些點（不是把點和點联成折綫）。

作圖的要求

- (1) 在坐标紙上选择适当位置，画出軸綫和箭头，并註明各軸所代表的变量和單位。
- (2) 在縱軸及橫軸旁等距离的坐标上标以代表簡單整数的数标如0, 10, 20, ……等。
- (3) 在坐标内定出数据點以×或⊙表示。
- (4) 在繪制曲綫时，由于实验上的誤差，各数据點中有时不在光滑的曲綫或直綫上，我們可以讓光滑的綫平均地經過数据點。

(5) 每一小格所代表的單位大小应先估計好不应过大或过小，縱軸和橫軸所代表的單位大小可以不一样。总之要使圖清楚，明显的說明問題，如附圖II中橫坐标每一格是5秒而縱坐标每一格是10厘米。

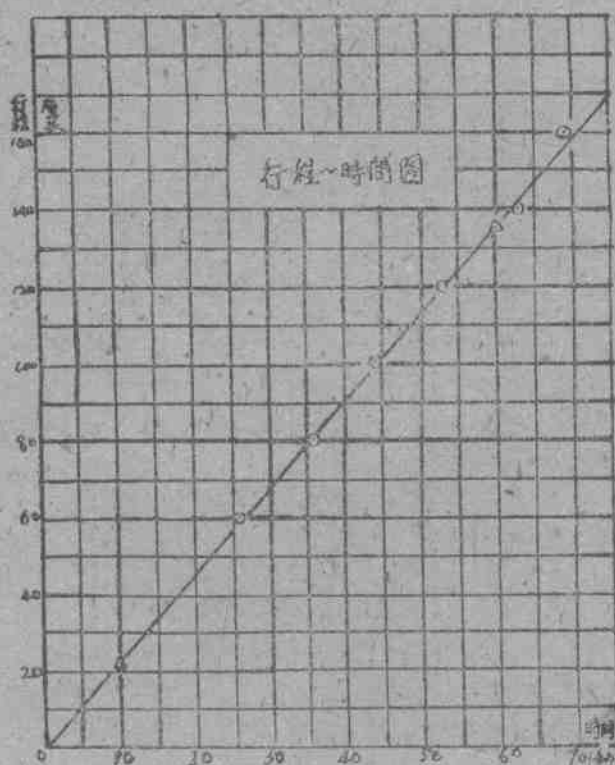


圖 II

(六) 几点注意事項

- (1) 為了使我們能在規定的時間內作好实验和实验后能收到应有的效果，实验前必須

仔細閱讀手冊（或講義）用自己的話簡短地將原理寫在預習報告紙上。當做完實驗寫實驗報告時，注意這時報告紙上的原理要求寫得能使別人看懂，要把本實驗所用一切主要原理都寫出，列出主要公式，並畫簡圖。

（2）為了使實驗結果能達到應有的準確度，在整個實驗過程中，從儀器安裝，觀察，測量到實驗作完，都必須細心謹慎，迅速，嚴肅地進行。

（3）以往很多同學實驗做完了，結果本來很好，但由於整理記錄的大意，發生計算上的錯誤，浪費很多時間，所以現在我們要求每個人做到開始記錄時用稿紙，實驗完了時，細心的整理記錄。並將結果算出一併抄到報告紙上，必須謄寫清楚，在交報告時應將記錄的稿紙附在實驗報告後面，一同交給教師。

（4）在進行實驗前，應看明所使用各項儀器的準確度，從而考慮在各步驟中所取的数据，要符合有效數字的位數。

游標測徑計、螺旋測微器及讀數顯微鏡

（目的）了解游標測徑計（簡稱游尺）、螺旋測微器及讀數顯微鏡的原理及構造，並學習其使用法。

（儀器）游尺，螺旋測微器，讀數顯微鏡，金屬圓柱體，金屬球。

（原理）

甲、游尺

游尺的構造如圖1。CD為一主尺，AB為一套于主尺上且可沿主尺移動的付尺，能估計主尺上最小刻度的準確值；E、F及e、f為游尺上的兩對齒，E、e固定于主尺上，f、F固定于付尺上。當E與F及e與f相接觸時，主尺上的0線與付尺上的0線恰恰相對，付尺之一分度與主尺之九分度相等。若主尺上之一分度為一毫米，則付尺之一分度為0.9毫米，將欲測之物体夾于EF間（或將e、f插入欲量之物体之內）即可測得物体之長度或厚度。

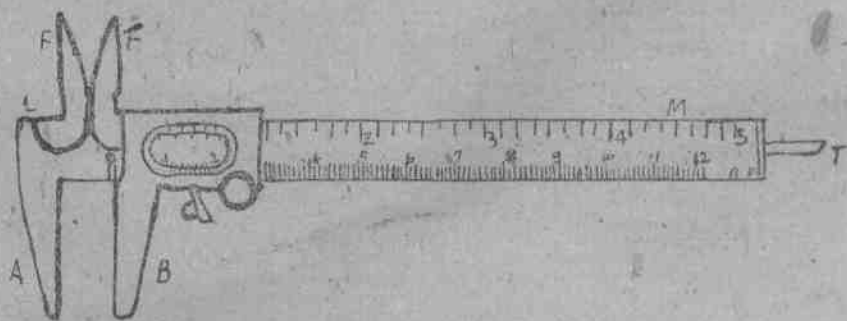


圖 1

今就圖2觀之，付尺之零線適與主尺之第五刻度相合，則該時夾于EF間物体之長度為5毫米，若付尺之零線在主尺之第5刻度與第6刻度之間，則此物体之長度為5毫米加一小數部分，此小數部分（即等於付尺的零線與主尺5毫米間之距離）可由付尺讀出，付尺一分度較主尺一分度短0.1毫米。今圖中付尺的第二刻度與主尺的第七刻度相對，於是物長之小數部分為 $0.1 \times 2 = 0.2$ 毫米，則欲測物体之長度為5.2毫米，若付尺的第三刻度與主尺的第八

刻度相对。則欲測物体之長度为5.3毫米，可見用該种游尺可量出主尺一毫米之 $1/10$ ，故精密仪器中多用之。

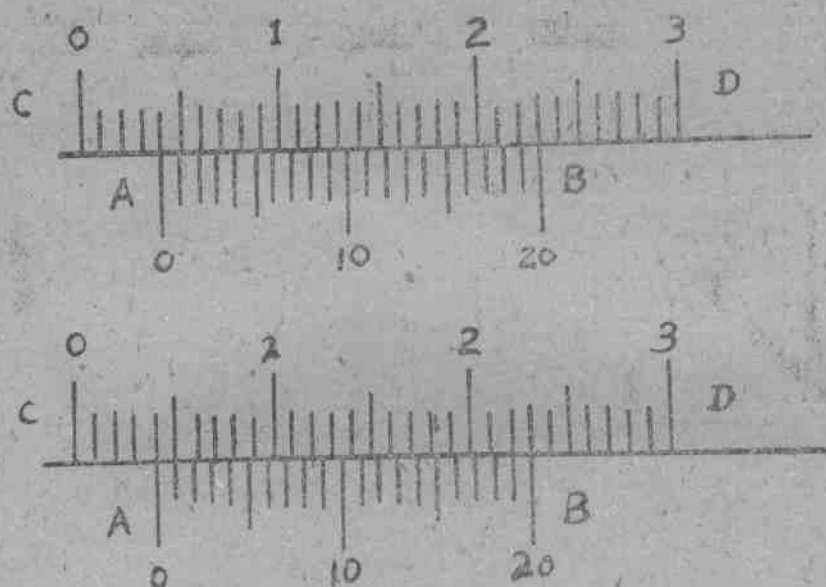


圖 2

当游尺之付尺的二十分度与主尺的十九分度相等时，若主尺上之一分度为一毫米，則付尺之一分度为0.95毫米（ $19/20$ 毫米），当付尺之零綫与主尺之第四刻度相对时，則夾于EF間物体之長度为4毫米，因为付尺之一分度較主尺之一分度短0.05毫米，若付尺的第一刻度与主尺之第五刻度相对时，則物長为4.05毫米，若付尺的第二刻度与主尺之第六刻度相对时，則物長为4.10毫米。同理若付尺X刻度与主尺上之某刻度相对时，則物長的小数数字为 $X/20$ 毫米。所以用該种游尺可以量出主尺一毫米的 $1/20$ ，可見該种游尺較前者更为精密。

乙、螺旋测微器

螺旋测微器的構造如圖 3 所示，A 为可以进退的螺旋柱头，A' 为固定柱头，B 为架，C 为主尺，D 为刻有刻度的圓錐形付尺，G 为尾部的轉柱，全部以金屬制成，主尺 C 上的一刻度为一毫米，螺旋柱的螺距（即轉一圈前進之距离）为0.5毫米，所以使 D 作一回轉时，其兩齒 AA' 間距离之变动为0.5毫米可于主尺上讀出。若 D 轉 $1/50$ 圈时，AA' 間距离的变动为 $1/50 \times 0.5 = 0.01$ 毫米，故将 D 周分为50等分，而 D 作一分度的回轉，則 AA' 間距离之变更為0.01毫米，亦即当 D 在同向上連續轉兩轉时，則 AA' 間距离之变更為1毫米。

測物体时，宜将 AA' 轉开，使 AA' 間之距离大于欲測物体之厚度或長度，插入物体后再轉 G 令 A 前進，至 A 不再前進为止，于是讀主尺 C 上一毫米及半毫米之数再加上在 D 上所示之百分之几毫米，即为

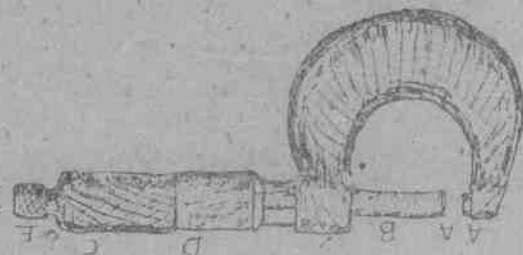


圖 3

該物體之厚度或長度。

丙、讀數顯微鏡

如圖4在顯微鏡架V上有刻度，顯微鏡F的焦距可由螺絲H上下移動調節，轉動螺旋G可使顯微鏡左右移動，其移動距離可由V上讀出。G移動一圈，V上讀數改變0.5毫米，G上有50分度，因此G移動一分度，顯微鏡向左（或右）轉動0.01毫米，因此顯微鏡的位置可由V讀出，其讀數方法與螺旋測微器同，顯微鏡向左或右移動的距離（物體的長度）可由顯微鏡兩次所在位置V的讀數得出。

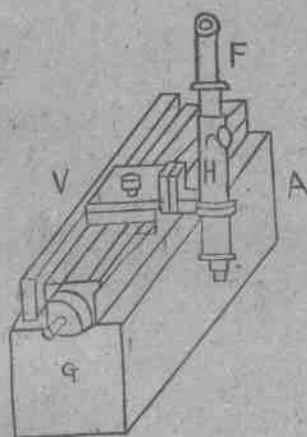


圖4

（步驟）

甲、游尺

- (1) 清潔游尺各部。
- (2) 用游尺測圓柱體之直徑及高度。
- (3) 重複以上步驟再作兩次，求其平均值。
- (4) 由所求之平均值求出圓柱體之體積。

乙、螺旋測微器

- (1) 首先旋轉G至AA'互相接觸，至G不再前進（即發出响声）為止，觀察此時D上之O線是否與G尺之原綫符合（原綫即沿主尺柱上的橫綫）否則須記下校正值。即當AA'相接觸時，主尺的O綫在主尺原綫下面，記下D尺上刻度的示數X，X即為校正值。當測量某物體的厚度時（或長度）將讀出的示數減去此校正值X，即為所測物體的實在厚度（或長度）。反之，若副尺的零綫在主尺的上面，記下D尺上刻度的示數X， $(50-X)$ 即為校正值，則物體的實在厚度為讀出的示數再加上此校正值 $(50-X)$ 。
- (2) 用螺旋測微器測金屬球之直徑。
- (3) 重複以上步驟，再作兩次，求其平均值。
- (4) 由所測得金屬球之直徑求其體積。

丙、讀數顯微鏡

- (1) 將金屬球置于讀數顯微鏡物鏡之下，轉動螺絲H調節顯微鏡的焦距使能看到金屬球。
- (2) 轉動螺旋G，使顯微鏡中的縱綫與V尺垂直，並使它与小球之右端相切，橫綫通過其切點，記下V尺之讀數a。
- (3) 使縱綫向左移動，使縱綫與小球的左端相切，橫綫通過其切點，記下V尺之讀數a'。
- (4) 計算 $a-a'$ 之數值，即為小球的直徑。與由螺旋測微器測得的直徑比較。

(記錄)

甲、游尺

測 次 數	圓 柱 體	
	直徑 d (厘米)	高度 h (厘米)
1		
2		
3		
平 均	$\bar{d} =$	$\bar{h} =$

$$\text{圓柱體半徑 } \bar{r} = \frac{\bar{d}}{2} = \text{厘米}$$

$$\text{圓柱體體積 } V = \pi \bar{r}^2 \bar{h} = \text{厘米}^3$$

乙、螺旋測微器

$$\text{校正值} = \pm \text{厘米}$$

測 次 數	測得金屬球之直徑 d (厘米)	金屬球之實際直徑 d' (厘米)
1		
2		
3		
平 均		$\bar{d}' =$

$$\text{金屬球體積 } V = \frac{1}{6} \pi \bar{d}'^3 = \text{厘米}^3$$

丙、讀數顯微鏡

測 次 數	讀數顯微鏡之讀數		金屬球之直徑 d
	右端 a (厘米)	左端 a' (厘米)	$ a - a' $ (厘米)
1			
2			
3			
平 均			$\bar{d}' =$

向 心 力

(目的) 証實作勻速圓周運動的物體所受之向心力 $f = m\omega^2 R$ 。

(儀器) 向心儀、萬能轉台及電動機、停錶、游尺、砝碼鉤及砝碼、鐵座、水準儀。

(原理) 看質量為 m 的物體，以角速度 ω ，沿半徑為 r 的圓周作勻速圓周運動，則該物體所受之向心力為：

$$f = m\omega^2 r \quad (1)$$

設在 t 秒時間內，物體轉動 N 周，則每秒轉動的周數為 $n = \frac{N}{t}$ 。因此

$$\omega = 2\pi n = \frac{2\pi N}{t} \quad (2)$$

如果 m 、 ω 和 r 都已測得，則 f 即可算出。

本實驗的主要儀器為圖 I 所示之向心儀，把向心儀的 A 柱插入萬能轉台的轉軸內（見圖 II），并用螺旋 S 把它固定起來，因此向心儀即可隨轉動軸而轉動。

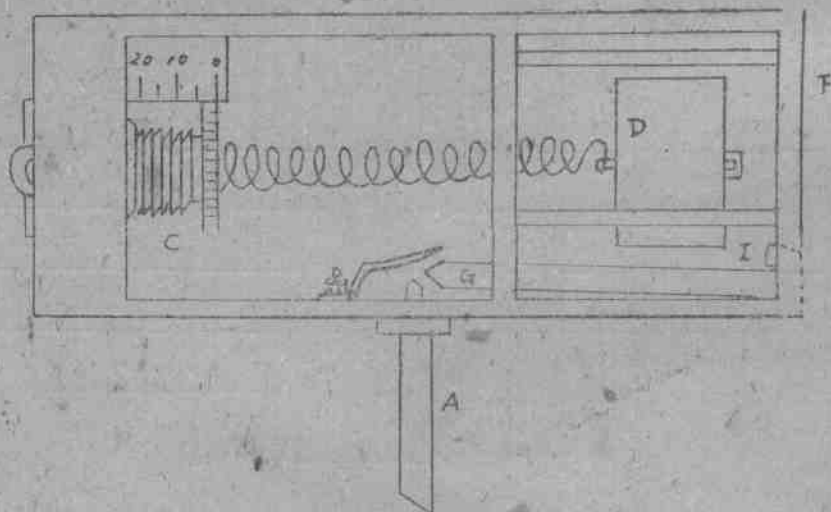
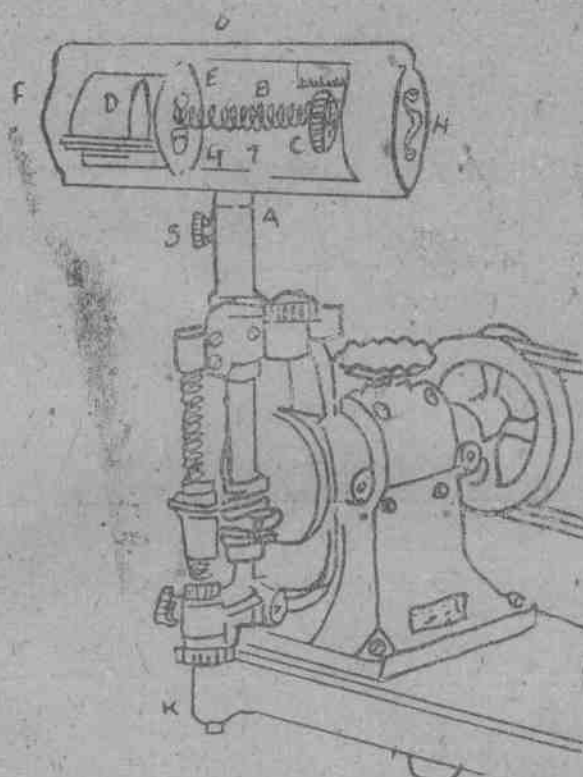


圖 1

圖 1 中的圓柱體 D ，即為本實驗中作圓運動的物體。 D 與一彈簧連接，彈簧的他端被約束在螺旋 C 內，螺旋 C 是調節彈簧張力大小的裝置。在 C 的上方，有一刻度指標 L ，因在轉動時我們不能量出圓柱體的旋轉半徑，故必須要維持半徑 r 為定值，而且這個定值，在轉動停止後仍然可以準確地知道才行。我們將用下面的方法來滿足這一要求。當向心儀沿鉛直軸轉動時，圓柱體 D 將沿三稜框向 F 端移動，轉速逐漸增加，圓柱體也就逐漸靠近 F 端。當 D 將要接觸 F 端時，使它先與一裝置 F 端下邊的活動指針 G 的突起部分 I 接觸，因而使指針尖端升起。觀察指針升起與否，就可判斷圓柱體 D 是否接觸到 I 。而 I 與轉動中心之距離為定值。該定值可在靜止時用尺量出。



圖II

应注意，当指针刚升起后，便不能再使转速增大，因为当圆柱体向F端移动而与I接触时，弹簧被拉紧张，此时弹簧之张力就是维持圆柱体作圆周运动的向心力，此张力之大小是可以测量出来的（见图III）。本实验就是用弹簧的张力来验证向心力公式。若转速再增加，则D将压到F端上，而受到F反作用力，此时D所受的向心力就不仅是弹簧拉力，同时还受到了附加的F的反作用力，但其大小无法测量，所以不能再增大转速。

（步骤）

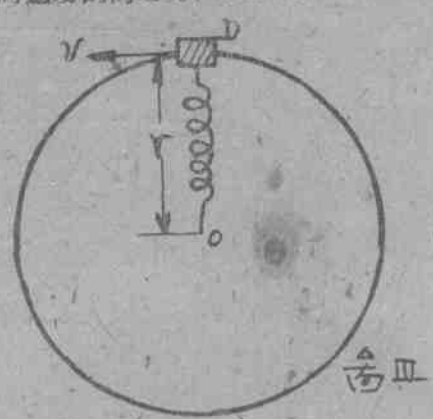
（1）将向心仪上螺旋C转到0刻度处，把它插入万能转台转轴内，用螺旋S固定之（如图II）然后以水准仪调节向心仪使之水平，使圆柱体在水平面内旋转。

（2）开动电动机，沿水平方向注视指针，若指针已升起，则需调缓转速以使指针下降，然后逐渐加快转速，至指针刚好升起时为止，固定调速螺旋K，停止电动机转动。

（3）将计数器扭到零读数，开动电动机，同时开动停表，待100秒时，停止电动机转动，同时按停表，记转数N及时间t。

（4）按（2）、（3）重作两次。

（5）取下向心仪，按图III将它悬挂起来，在其下端所加之砝码钩上逐渐加砝码，直到圆柱体刚接触到I为止，记下所加砝码及砝码钩之重量 m_1 ，若圆柱体之质量为 m_2 ，则弹簧之张



图III

力为 $f' = (m_1 + m_2)g$, f' 之大小应与圆柱体作匀速圆周运动时所受之向心力相等。

(6) 用游尺量旋轉半徑 r 三次, 求其平均值 (r 为圆柱体之中心綫到轉軸尖端之距离, 量 r 时要把圆柱体拉到与 I 相接触)。

(7) 將向心儀之螺旋 C 轉到刻度 15 处, 再按照以上步驟重作, 將前后所得的結果比較一下, 看彈簧張力 f' 之比值是否等于角速度 ω^2 之比。

(記錄)

圆柱体之質量 $m_2 =$ _____ 克

旋轉半徑 $r =$ _____ 厘米

C之 位置	時間 t (秒)	轉數 N	角速度 $\omega = \frac{2\pi N}{t}$ (弧度/秒)	ω 平均值	砝碼及砝碼 鉤的質量 m_1	彈簧拉力 $f = (m_1 + m_2)g$	由公式得 向心力 $f = m_2 \omega^2 r$	誤差 $\frac{f - f'}{f'} \times 100\%$
零								
处				$\omega_1 =$		$f_1' =$	$f_1 =$	
15								
处				$\omega_2 =$		$f_2' =$	$f_2 =$	

$$\frac{f_1'}{f_2'} = \dots\dots\dots$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \dots\dots\dots$$

扭 秤

(目的) 用扭秤拉脫法測定蒸餾水的表面張力系数。

(儀器) 扭秤, 銅絲圓環, 裝液体用的小玻璃盤, 蒸餾水, 游标尺, 螺旋測微器, 米突尺。

(原理) 設有銅絲圓環, 使其邊緣与液面接触, 然后将它徐徐上昇, 則見其下有一液所做成之薄膜, 此膜随圓環上昇而增高, 因而膜之收縮力亦增大, 及至薄膜將断时为最大。設此最大張力为 F , 圓環的內徑和外徑各为 d_1 及 d_2 , 則液体的表面張力系数为:

$$\alpha = \frac{F}{\pi(d_1 + d_2)} \quad (1)$$

本實驗为了測定將圓環由液体拉脫所需的力, 使用扭秤, 扭秤上有一細銅絲 OO' , 銅絲之中部固定一橫杆 P , 橫杆的另一端有一小鉤, 以便掛圓環, 銅絲之一端固定, 另一端穿過垂直齒輪中心之小孔及与齒輪連接之一短軸上, 該短軸又穿過一刻有刻度之标度盤之中心, 軸上并連一指針, 指針就在标度盤上記下銅絲轉過之角度。在垂直齒輪正下方有一刻螺紋的螺柱,

旋轉螺栓，齒輪帶着銅絲及指針隨着扭轉，在扭秤左方的支柱上有一小台，小台可在支柱上滑動，支柱旁邊的螺絲可將小台固定在我們所需要的位置，小台下面的升降螺絲可使小台在上下方向作微小的移動。

當圓環與液體恰恰接觸時，指針之示數為 θ_1 ，液體薄膜將斷時指針之示數為 θ_2 ，則銅絲扭轉的角度 $\theta = \theta_2 - \theta_1$ 。若以 r 表示銅絲之半徑， l 表示銅絲（從固定端到槓桿）之長度， N 表示銅絲之切變模量，則銅絲的轉矩為：

$$M = \frac{N\pi r^4 \theta}{2l} \quad (1)$$

若以 L 表示槓桿的長度，則當銅絲扭轉過 θ 角時液體薄膜所受之拉力為：

$$F = \frac{M}{L} = \frac{N\pi r^4 \theta}{2lL}$$

將此式代入(1)則得

$$\alpha = \frac{Nr^4 \theta}{2lL(d_1 + d_2)} \quad (2)$$

方程式(2)就是在記錄中計算時所要用的公式。

(步驟)

(1) 掛圓環于扭秤小鉤上，調節扭秤使其上之小台與圓環呈水平。

(2) 將裝有蒸餾水的小盤放於小台上，將小台調至適當的位置同時轉動螺柱使槓桿恰介於圓筒中之二水平銅絲之間，記算度盤上指針之示數 θ_1 。

(3) 慢慢轉動小台，下方的升降螺絲，使圓環恰與水面接觸。

(4) 慢慢轉動螺柱到水的薄膜剛剛被拉斷為止，從目筒中觀察，記算度盤上指針之示數 θ_2 。

(5) 用螺旋測微器量銅絲之半徑三次，求其平均值 r 。

(6) 用米尺測銅絲（從固定端到槓桿）的長度 l 。

(7) 用米尺測槓桿之長度 L 。

(8) 用游標尺量圓環之內徑三次，求其平均值 d_1 。

(9) 用游標尺量圓環之外徑三次，求其平均值 d_2 。

(10) 將以上測得數值代入公式(2)，計算出蒸餾水表面的張力系數。

(記錄)

銅絲的切變模量 $N = 8.1 \times 10^{10}$ 仟克力/厘米² = 7.9×10^{10} 達因/厘米²。

圓環下無蒸餾水薄膜時，標度盤上指針之示數 $\theta_1 =$ _____

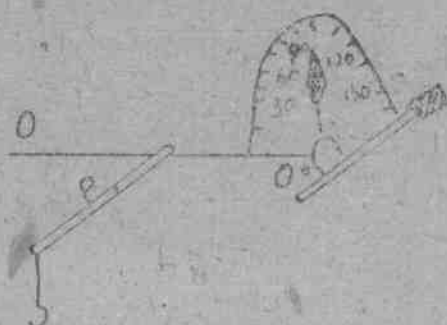
圓環下蒸餾水薄膜剛斷時，標度盤上指針之示數 $\theta_2 =$ _____

∴ 銅絲扭轉的角度 $\theta = \theta_2 - \theta_1 =$ _____ (以弧度表示)。

銅絲之半徑：

第一次為 _____ 厘米

第二次為 _____ 厘米



第三次为_____厘米 $\therefore$ 銅絲之平均半徑 $r =$ _____ 厘米
 銅絲 (从固定端到杠杆) 的長度 $l =$ _____ 厘米
 杠杆之長度 $L =$ _____ 厘米

圓环之內徑:

第一次为_____厘米
 第二次为_____厘米 $\therefore$ 圓环之平均內徑 $d_1 =$ _____ 厘米
 第三次为_____厘米

圓环之外徑:

第一次为_____厘米
 第二次为_____厘米 $\therefore$ 圓环之平均外徑 $d_2 =$ _____ 厘米
 第三次为_____厘米

$\therefore$ 蒸餾水的表面張力系数 $\alpha = \frac{Nr^*\theta}{2l(d_1+d_2)} =$ _____ 达因/厘米

轉 动 慣 量

(目的) 由扭擺之周期, 求物体之轉动慣量。

(仪器) 扭擺、停表、尺。

(原理) 扭擺为一金屬盤A (見圖I) 用銅絲C懸于固定擺B。金屬可繞懸掛點轉动。設此擺扭轉懸掛軸轉动之周期为T。其盤轉动慣量为I。則根据扭轉之周期公式可写成:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0}{C}} \dots\dots\dots ①$$

其中C为一常数。

如果在扭擺圓盤上加一个空心圓柱体, 其轉动慣量为I
 根据扭轉期公式写成:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + I}{C}} \dots\dots\dots ②$$

由①②式将

$$I = I_0 \frac{T^2 - T_0^2}{T_0^2} \dots\dots\dots ③$$

上式如果圓盤轉动慣量 I_0 为C, 周期 T_0 、T 在实验中可測得則空心圓柱体上可求出。

物体之轉动慣量因其質量, 形狀及其轉动軸綫而变。形狀規則而密度均匀物体, 其轉动慣量可計算出來。本实验所应用物体轉动慣量計算式列出如下:



物 体 形 狀	轉 动 軸 綫 之 位 置	轉 动 慣 量
实圓柱体 (圓盤)	与柱軸相合	$I_0' = \frac{1}{2} M_1 R^2$
空心柱体	与柱軸相合	$I' = \frac{1}{2} M_2 (R_1^2 + R_2^2)$

(步驟)

1. 將扭擺輕輕使之作有規則之轉動。與扭擺轉至一方最大角度時按停表開始記時起點數為零，與擺綫至前者同方向最大角時（一周期）記數為1，順次數至50周期時，停止停表，記停表所指之時間 t ，算出扭擺周期 T_0 。

2. 將欲測空心圓柱體懸于扭擺之上周按（1）求出此時扭擺周期 T 。

3. 用天秤求出實圓柱體（圓盤）空心圓柱體質量 M_1, M_2 。

4. 用尺量出圓柱體（圓盤）空心圓柱體之半徑 R 內外半徑 R_1, R_2 。

5. 把 T_0, T, I （根據已知公式計算）代入公式③求出空心圓柱體轉動慣量 I' 。

6. 用公式 $I' = \frac{1}{2} M_2 (R_1^2 + R_2^2)$ 求出空心圓柱體轉動慣量。

實驗百分誤差 $\frac{I' - I}{I'} \times 100\%$

(記錄與結果)

圓盤質量 M_1

圓盤半徑 R

空心圓柱體質量 M_2

空心圓柱體外半徑 R_1

空心圓柱半徑 R_2

次 數	扭 擺 周 期 (T_0)	扭擺上加空心圓柱體周期 (T)
1		
2		
3		
平 均		

楊氏模量之測定

(目的) (1) 用延伸法測定金屬絲之楊氏模量。

(2) 驗證在彈性限度內脅變與脅強成正比。

(儀器) 楊氏模量試驗器、銅絲、鉄砝碼鉤及鉄砝碼、螺旋測微器、皮尺、游尺、望遠鏡及標尺、光杠杆。

(原理) 設金屬絲長為 L 厘米，其橫截面積為 S 厘米²內金屬絲一端固定，他端加 F 達因時，若金屬絲伸長為 ΔL 厘米，則按虎克定律，即在金屬絲的彈性限度內，脅強和脅變成正比，這個比例常數稱為楊氏模量，以 E 表示之。

$$E = \frac{\text{脅強}}{\text{脅變}} = \frac{\text{單位面積上之拉力}}{\text{單位絲長之伸長量}} = \frac{F/S}{\Delta L/L} = \frac{F \cdot L}{S \cdot \Delta L} \quad \frac{\text{達因}}{\text{厘米}^2}$$

本實驗是用幾何光學測驗法，將光杠杆之尾足置于滑輪器上，前足置於板槽綫內（如圖1），對準望遠鏡，使能看見光杠杆平面鏡中標尺的象，移動標尺分度，使其恰在望遠鏡中之絲絲交點相重合，順序增加或減少錘環內碼鉤之砝碼，望遠鏡中標尺象即移動。