ノギスとマイクロメーター

目的

　一つの球の直径を、ノギスとマイクロメーターで測定し、それぞれの場合の体積を計算して結果を比較する。

実験用具

　ノギス、マイクロメーター、試料

原理

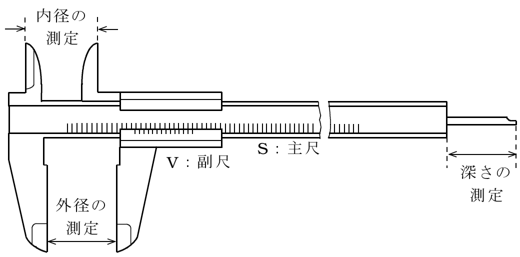


図１

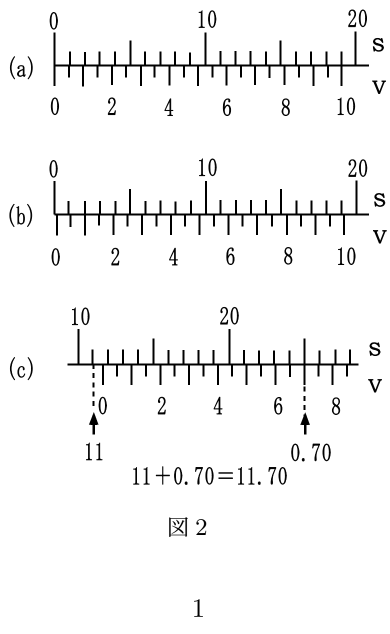


図２

長さは物理学の最も基本的な量のひとつである。長さの測定には、その大きさに応じた方法がある。例えば星と星との距離の場合から、原子の大きさを測る場合まで、その方法は多彩である。ここでは、20 分の 1 あるいは 1000 分の 1 ミリメートルの精度で長さを測定する簡便な方法として、ノギス (nonius) と マイクロメーター (micrometer) の使い方を学び、試料の体積の測定を行う。

1. ノギスの場合

   ノギスには 図 1 に示すように主尺 S のほかに、S に沿って移動することのできる副尺 V がついている。この副尺によって 1/20mm の精度まで測定することができる。主尺の 1 目盛は 1mm である。副尺には、主尺の 19 目盛分を 20 等分した目盛がついている。ノギスでは、測ろうとしている物の長さは副尺の 0 の位置を正確に読み取ることで得られる。例えば、図 2(a) のように主尺と副尺の 0 が一致していれば、求める長さは 0.00mm であり、この時、副尺の右側 10 の目盛（20 番目の目盛）は主尺の 19 と一致している。つまり、副尺の 1 目盛の長さは主尺の 1 目盛より 1/20mm だけ短く、この差を利用して微小な距離を拡大して測ることができるのが副尺の特徴である。図 2(b) では、副尺の 1 の目盛（2 番目の目盛）が主尺の目盛と一致している。この場合、副尺の 0 の位置は主尺の 0 から 0.1mm ずれていることになる。したがって、副尺にふってある目盛は 2 目盛で 0.1mm に対応し、0.05mm まで読み取ることができる。一般の場合について、図 2(c) の例を考えてみよう。副尺の 0 が、主尺の 11mm と 12mm の間にあるから、ここで測定する物の長さはこの間にあることがわかる。小数点以下については、副尺と主尺の一致したところの副尺の目盛を読めばよい。この図では、副尺の 7 の目盛（14 番目の目盛）が主尺の目盛に一致しているので、この場合には 11.70mm となる。

   このようにすれば、1mm 以下の長さを目分量で読むよりは、はるかに正確に測定することができる。(副尺は長さの測定には一般的に使われる。それぞれの場合で副尺の目盛の刻み方は異なっているので注意が必要である。例えば、実験『テープの面積』で使う遊動顕微鏡の副尺は 1/100mm まで測ることができるようになっている。)

2. マイクロメーターの場合

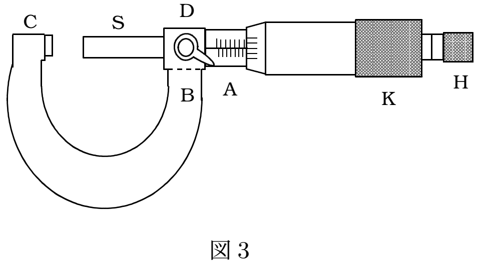
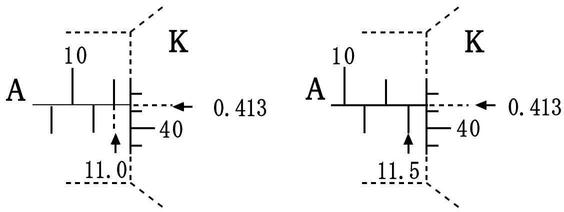


図 3



11.0＋0.413＝11.413 mm　　11.5＋0.413＝11.913 mm

図 4

マイクロメーターの外観を 図 3 に示す。試料は図の S と C の間にはさんで、その長さを測定する。A、B、C、D は一体になっており、K と S も一体になっている。K を一回転させると、S は 0.5mm だけ左または右に移動し、その進みは、目盛 A で読み取ることができる。K の左端には一周を 50 等分した目盛がふってあり、目盛 A の横線を使って読み取るようになっている。この目盛を目分量で 1/10 まで読み取れば、1/1000mm まで測定することができる。試料の長さは、目盛 A と K の値を加え合わせることによって求められる。読み取りの一例を 図 4 に示してある。

実験方法

（ノギスの場合）

1. ここでは 図 1 で外径の測定と書いてある部分に試料をはさんで直径を測定する。直径を測る場合には、試料の最も太い部分をはさまなければいけない。（管のようなものの内径や、隙間の間隔などを測る場合には 図 1 で内径の測定と書いてある部分を差し込んで測る。右側に出ている棒は深さを測るときに用いる。）
2. まず、試料を測定する前にゼロ点の測定を行う。試料をはさまずに副尺を左側いっぱいに移動して副尺と主尺の目盛りが一致する点を読み取る。もし副尺の 0 の目盛が、主尺の目盛 0 より左側にくればゼロ点はマイナスとなる。ゼロ点の測定は 10 回行い、その結果を記録し、平均してゼロ点の値とする。
3. ゼロ点の測定値と、その平均値との差を記録する。その値が 0.05mm 以内であることを確かめる。それ以上の差がある場合には測定をやり直す。
4. 次に試料をはさむ。まず副尺の 0 の位置を読み取り、次に副尺の目盛と主尺の目盛が一致する値を読み取る。試料が完全な球形であるとは限らないので、いろいろな場所で 10 回測定し、結果を記録し、平均したものを試料の測定値とする。
5. 試料の測定値と、その平均値との差を記録し、その差が 0.05mm 以内であることを確かめる。それ以上の差がある場合には測定をやり直す。

6. 試料の測定値の平均からゼロ点の測定値の平均を差し引いたものが求める直径 D である。
7. 実験例に示すように、試料（球）の体積とその誤差を計算によって求める。

実験方法

（マイクロメーターの場合）

1. 誤差を少なくするために 図 3 の S と C の試料に接触する部分にゴミなどが付着していないことを確かめる。
2. K を回転させて試料をはさむときに、はさむ力を一定にする必要がある。そのために、S が試料に接触する直前になったら、K を使わずに、右端にある H を使って静かに回転させる。この H は ラチェットストップ (rachet stop) と呼ばれ、ある一定以上の力を受けると空回りするようになっている。
3. まずゼロ点を測定する。試料をはさまずに、S と C を接触させてその値を読み取る。この場合にもラチェットストップを使って慎重に測定しなければならない。ゼロ点の測定は 10 回行い、その結果を記録し、平均してゼロ点の値とする。
4. ゼロ点の測定値と、その平均値との差を記録する。その値が 0.01mm 以内であることを確かめる。それ以上の差がある場合には測定をやり直す。
5. 試料をはさんで測定を行う。試料が完全な球形であるとは限らないので、いろいろな場所で 10 回測定し、その結果を記録し、平均したものを試料の測定値とする。
6. 試料の測定値と、その平均値との差を記録し、その差が 0.01mm 以内であることを確かめる。それ以上の差がある場合には測定をやり直す。
7. 試料の測定値の平均からゼロ点の測定値の平均を差し引いたものが求める直径 D である。
8. 実験例に示すように、試料（球）の体積とその誤差を計算によって求める。

実験例

（ノギスの場合）

回	ゼ　ロ　点		試 料	
	測 定 値	平均との差	測 定 値	平均との差
1	0.00 [　]	0.00 [mm]	15.85 [mm]	−0.02 [mm]
2	0	0	15.85	−0.02
3	0	0	15.9	+0.03
4	0	0	15.85	−0.02
5	0	0	15.85	−0.02
6	0	0	15.85	−0.02
7	0	0	15.9	+0.03
8	0	0	15.9	+0.03
9	0	0	15.85	−0.02
10	0	0	15.85	−0.02
平均	0.00		15.87	

直径 D は、試料の測定値の平均から、ゼロ点の測定値の平均を差し引いて、次のように得られる。

$$D = 15.87 - 0.00 = 15.87 \text{ [mm]} \tag{1}$$

この値から球の体積 V [mm^3] を求める。

$$V = \frac{\pi}{6}D^3 = \frac{3.142}{6} \times (15.37)^3 = 2093 \text{ [mm}^3\text{]} \tag{2}$$

（誤差の見積）V の誤差 ΔV は次式で求めることができる。

$$\Delta V = 3\frac{\Delta D}{6}V \tag{3}$$

ΔD は直径の誤差である。この場合にはノギスで読み取ることのできる最小目盛を誤差の最大値と考える。すなわち、$\Delta D = 0.05$ [mm] である。

$$\Delta V = 3 \times \frac{0.05}{15.87} \times 2093 \risingdotseq 3 \times \frac{0.05}{16} \times 2100 = 20 \text{ [mm}^3\text{]} \tag{4}$$

この結果、体積 V は次のようにあらわされる。

(2) 式により、体積は $V = 2093$ [mm^3] と得られたが、(4) 式にみるように、これには $\pm$ 20mm^3 の誤差が含まれている。すなわち、この試料の体積 V は

$$2073 < V < 2113 \text{ [mm}^3\text{]}$$

の範囲にあることになる。誤差は 2 桁に及ぶので 1 の位の 3 には意味がない。このような場合、体積 V は次のように書き表す。

$$V = (209 \pm 2) \times 10 \text{ [mm}^3\text{]}$$

または、

$$V = (2.09 \pm 0.02) \times 10^3 \ [\mathrm{mm}^3]$$

実験例

（マイクロメーターの場合）

回	ゼ　ロ　点		試 料	
	測 定 値	平均との差	測 定 値	平均との差
1	−0.025 [　]	0.000 [　]	15.843 [　]	+0.001 [　]
2	−0.025	0.000	15.842	0.000
3	−0.026	−0.001	15.841	−0.001
4	−0.027	−0.002	15.839	−0.003
5	−0.025	0.000	15.842	0.000
6	−0.024	+0.001	15.839	−0.003
7	−0.025	0.000	15.841	−0.001
8	−0.025	0.000	15.843	+0.001
9	−0.025	0.000	15.843	+0.001
10	−0.025	0.000	15.844	+0.002
平　均	−0.025		15.842	

直径 D は、試料の測定値の平均から、ゼロ点の測定値の平均を差し引いて、次のように求められる。

$$D = 15.842 - (-0.025) = 15.867 \ [\mathrm{mm}]$$

この値を用いて、体積 V は次のように求められる。

$$V = \frac{\pi}{6} D^3 = \frac{3.1416}{6} \times (15.867)^3 = 2091.6 \ [\mathrm{mm}^3]$$

（誤差の見積）長さの誤差として、マイクロメーターの最小目盛である 0.01mm を ΔD とすれば、体積の誤差は、ノギスの場合と同じようにして次のようになる。

$$\begin{aligned}\Delta D &= 3\frac{\Delta D}{D} V \\ &= 3 \times \frac{0.01}{15.867} \times 2091.6 \\ &\fallingdotseq 3 \times \frac{0.01}{16} \times 2100 \\ &= 3.9 \ [\mathrm{mm}^3]\end{aligned}$$

したがって、体積 V は次のようにあらわすことができる。

$$V = 2092 \pm 4 \ [\mathrm{mm}^3]$$

《注意》マイクロメーターで測定した結果がノギスで測定した誤差範囲に含まれていることを確かめなさい。もしそうなっていなければ、測定に誤りがあるのでやり直しなさい。

(3) 式の導き方

D の誤差が ΔD であったとき、V にどの程度の誤差 (ΔV) が生じるかを検討してみよう。

$$\begin{aligned} V + \Delta V &= \frac{\pi}{6}(D + \Delta D)^3 \\ &= \frac{\pi}{6}\{D^3 + 3D^2\Delta D + 3D(\Delta D)^2 + (\Delta D)^3\} \end{aligned}$$

ここで、ΔD は D に比べて十分に小さいので、$(\Delta D)^2$ および $(\Delta D)^3$ の項は無視することができる。したがって、この式は次のようになる。

$$V + \Delta V \fallingdotseq \frac{\pi}{6}D^3 + \frac{\pi}{2}D^2\Delta D$$

また、$V = \frac{\pi}{6}D^3$ であるから、これは次のように書き換えることができる。

$$\Delta V \fallingdotseq \frac{\pi}{2}D^2\Delta D = 3\frac{\Delta D}{D} \cdot \frac{\pi}{6}D^3 = 3\frac{\Delta D}{D}V$$