

てんびん

□ 目的

試料の質量をてんびんを用いてミリグラムの $1/10$ まで正確に測定する。

□ 実験用具

てんびん、分銅、試料

□ 構造と原理

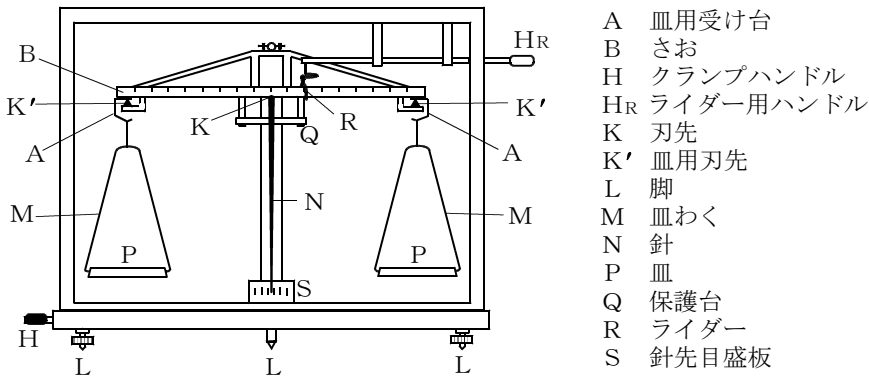


図 1

この実験で使用するてんびんは非常に精密なもので、ガラスの箱に入れたまま測定できるようになっている。これを使用するときには、極めて細心の注意が必要である。てんびんには測定範囲（秤量）があり、それを越える質量を測定することはできない。ここで用いるてんびんの測定範囲は 200g までである。

図 1 に示すように、てんびんは金属製のさお B が中央の支点 K で支えられ、さらにさおの両端 K' に 2 つの皿 P がかけられている。精密な質量の測定をするためには、この 3 つの支点の摩擦をできるだけ小さくし、また滑らかに動くようにしなければならない。そのために、支点には水晶やメノウのような固い結晶で作られたプリズム型の刃先（ナイフエッジ）が、同じ結晶の平らな板（受け台）に接して、さおと皿を支えるようになっている。てんびんの心臓部ともいべき支点の刃先は鋭く尖っており、この刃先を保護するために、ふだんはクランプハンドル H によって刃先を受け台から離して、固定しておくようにしてある。測定に際して、この刃先に傷をつけないように、細心の注意をはらう必要がある。測定するときには、ハンドル H をゆっくりと向こう側に回して、さお全体を保護台からはずし、刃先を受け台の上に静かに置くことが必要である（図 2 参照）。さおの中央に取り付けられた細長い針 N は、さおの傾きを拡大してみるためのものであり、針の先端にある目盛板 S によって、その位置を読み取るようになっている。

調整されたてんびんでは、左右の皿に何も載せないとき（これを無負荷の状態という）、針 N の先端は目盛 S のほぼ中央をさすようになっているが、正確に中央をさしているとはかぎらない。この無負荷のときにさし示す目盛 S の値を無負荷静止点といい、試料の質量を測定する場合には、まずこの無負荷静止点を求めておかななくてはならない。

この実験では振動法によりまず無負荷静止点を求め、次に試料の質量を求める。振動法とは、てんびんが静止するまで待つのではなく、振動している状態で静止するであろう位置を求める方法である。

てんびん使用上の注意

- (1) てんびんを勝手に移動してはいけない
- (2) てんびんの前とびらは決して開けてはいけない。分銅、試料の出し入れは必ず側面のとびらを開けて行う。
- (3) 分銅を扱うには必ずピンセットを用い、直接手で触れてはいけない。
- (4) 試料や分銅を、皿に載せたりおろしたりするときには、必ずクランプして行う。
- (5) 測定するときには必ずとびらを閉める。
- (6) 振動しているてんびんをクランプするときには、針先が振動の中心をまさに過ぎようとするときをねらって行う。また、クランプをゆるめるときには静かに行って、決して衝撃を与えない。
- (7) 指針の目盛を読むときは、目盛の正面に眼をおき、斜めから見ない。
- (8) 測定が終わったら、分銅とライダーを必ずもとの位置に納める。

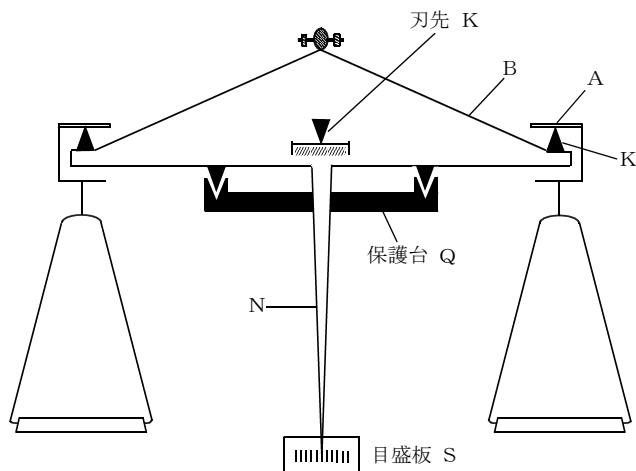


図 2

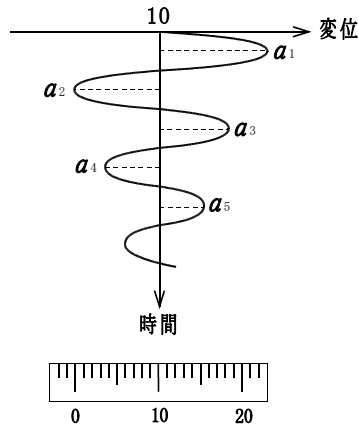


図 3

ほぼつりあっているてんびんの場合、さお、および、皿は K を支点として振子の運動をし、針のさす目盛は 図 3 に示すように、だんだん振幅を減少させながら周期的に変動する。この変動の様子を読み取り、その値を用いてやがて静止するであろうと思われる位置を次のような方法で求める。すなわち、図 3 のように針先が左右で折り返す位置を連続 5 回読み取り、これを a_1, a_2, \dots, a_5 とする。そうすると静止点 a は次の式で求めることができる。

$$a = \frac{1}{2} \left(\frac{a_1 + a_3 + a_5}{3} + \frac{a_2 + a_4}{2} \right) \quad (1)$$

なお、目盛は 図 3 のように、左端を 0、右端を 20 とし、小数第 1 位まで正確に読み取る。

□ 実験方法

- (1) 水準器を見ながら、図 1 の L をまわして装置全体を水平にする。水準器はてんびんの支柱の後方にあり、気泡が水準器の中心にくるようにする。
- (2) クランプハンドル H を静かにまわして、さおが振動するようにする。針先が中央の目盛 10 をはさんで、左右にほぼ等しい幅で振動することを確かめる。もし、はなはだしく偏った振動をしたり、なめらかに振動しないときには、教員に申し出て調整してもらおう。
- (3) 図 3 のように a_1, a_2, \dots, a_5 を読み取り、(1) 式 を使って無負荷静止点を計算によって求める。これを 3 回繰り返して、結果の値のばらつきが ± 0.2 以内であれば、平均して無負荷静止点とする。もしも値のばらつきが大きい場合には、測定をやり直す。このとき、針先が目盛板からとび出さないように、静かに振動させることが必要である。また、測定中はてんびんのとびらを決して開けないこと、測定が終わったら

必ずクランプすること、などの点に細心の注意をはらう。

- (4) てんびんがクランプされていることを確かめてから、左側のとびらを開けて試料を皿の中央に載せる。試料の質量はてんびんの測定できる範囲（秤量）を越えてはならない。秤量はてんびんの支柱に刻印してある。ここで用いるてんびんの場合 200g である。
- (5) 次に、右側のとびらを開け、分銅を右の皿に載せる。分銅をひとつ載せるたびに、針先を見ながら左手でクランプハンドルをゆっくりとゆるめ、針先がどちらの方向にふれるかを注意する。もし左の方にふれれば分銅が重すぎるので、次の軽いものにかえる。もし右の方にふれれば次の軽い分銅を加え、以下同じことを繰り返し、最小の分銅 10mg まで行う。つまり、このとき

$$(\text{試料の質量}) - (\text{分銅の合計}) \leq 10\text{mg}$$

という状態になるわけである。

測定に際して、さおが傾きすぎないように、つねに注意して行うことが必要である。また、分銅は重いものから軽いものへと順次に皿に載せてゆくと、無駄な時間を使わないですむ。

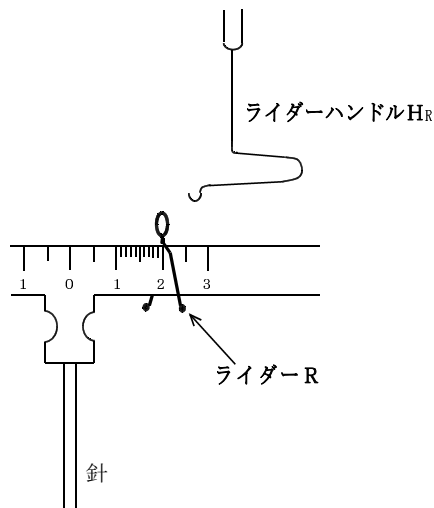


図 4

- (6) 10mg 以下の調整をライダーによって行う。ライダー R をライダーハンドル H_R の左側のかぎにつるし（図 1 参照）とびらを閉めてから、ライダーハンドルを操作してライダーをさおの前面にあるスケールの上に載せる。この目盛の数字はミリグラムを示している。はじめ目盛 10 のところへ載せ、重すぎたら 5 のところへ載せ、軽すぎたら 7 のところへ載せ・・・、というようにライダーはつねに数字のある目盛の

上に正しく載せて(図4) だんだんに差をつめていく。このときに、軽すぎるか重すぎるかを判断する基準は、無負荷静止点にあることを注意する必要がある。たとえば、目盛 6 では軽すぎ、目盛 7 では重すぎるという場合には試料の質量は次のように表すことができる。

$$(\text{分銅の合計}) + 6\text{mg} < (\text{試料の質量}) < (\text{分銅の合計}) + 7\text{mg}$$

測定の際に、ライダーの特別な位置(例えば 6) に対する静止点が、偶然に無負荷静止点と一致することがある。このときはライダーを 5 と 7 において静止点を求め、比例計算から結果を求めるのがよい。

- (7) (6) で定めたライダーの 2 つの位置について、おのおの 3 回ずつ静止点を求めて平均する。方法は無負荷静止点の場合と同様である。ここで求めた 2 つの静止点が、無負荷静止点をはさむようになっていなければならない。
- (8) 求めた 3 つの静止点から、比例計算によって試料の質量をもう 1 桁くわしく求める。

□ 実験例

(1) 無負荷静止点

$a_1 \cdots 4.7$ $a_3 \cdots 5.1$ $a_5 \cdots 5.4$	}	$15.7 \cdots a_2$ $15.3 \cdots a_4$		3.8 4.3	}	16.9 16.5 16.1		5.8 6.1	}	15.0 14.7 14.4
平均		5.1 15.5		4.1		16.5		6.0		14.7
静止点		$\frac{5.1 + 15.5}{2} = 10.3$		静止点		10.3		静止点		10.4

$$\text{静止点の平均} \quad \frac{1}{3}(10.3 + 10.3 + 10.4) = \underline{10.3}$$

(2) 35.636g のときの静止点

7.8 8.2 8.5	}	14.4 14.0		7.4 7.8	}	15.1 14.7 14.4		7.9 8.2 8.5	}	14.4 14.1
平均		8.2 14.2		7.6		14.7		8.2		14.3
静止点		11.2		静止点		11.2		静止点		11.3

$$\text{静止点の平均} \quad \frac{1}{3}(11.2 + 11.2 + 11.3) = \underline{11.2}$$

(3) 35.637g のときの静止点

5.4	6.4	6.9
5.8	6.8	7.2
6.0	7.1	
14.2	13.3	13.2
13.9	12.9	12.8
12.5		12.5
平均 5.7	6.8	7.1
14.1	13.1	12.8
静止点 9.9	静止点 10.0	静止点 10.0

$$\text{静止点の平均} \quad \frac{1}{3}(9.9 + 10.0 + 10.0) = \underline{10.0}$$

(4) 35.636g のときの静止点 と 35.637g のときの静止点 の 目盛の差が 0.001g に相当する。そこで、35.636g のときの静止点 と 無負荷静止点 との目盛の差は何グラムに相当するかを計算する。

ここでは $11.2 - 10.0 = 1.2$ 目盛が 0.001g に相当している。

$11.2 - 10.3 = 0.9$ 目盛に相当する質量を x [g] とすると、 x は次のように比例計算で求めることができる。

$$x = \frac{0.9 \times 0.001}{1.2} = 0.0008$$

ゆえに、求める質量は

$$35.636 + 0.0008 = 35.6368 \text{ [g]}$$

となる。