

1. 內能、熱、溫度

• 內能

物體的內能 = 所有分子的動能的總和 + 所有分子間鍵合的勢能的總和

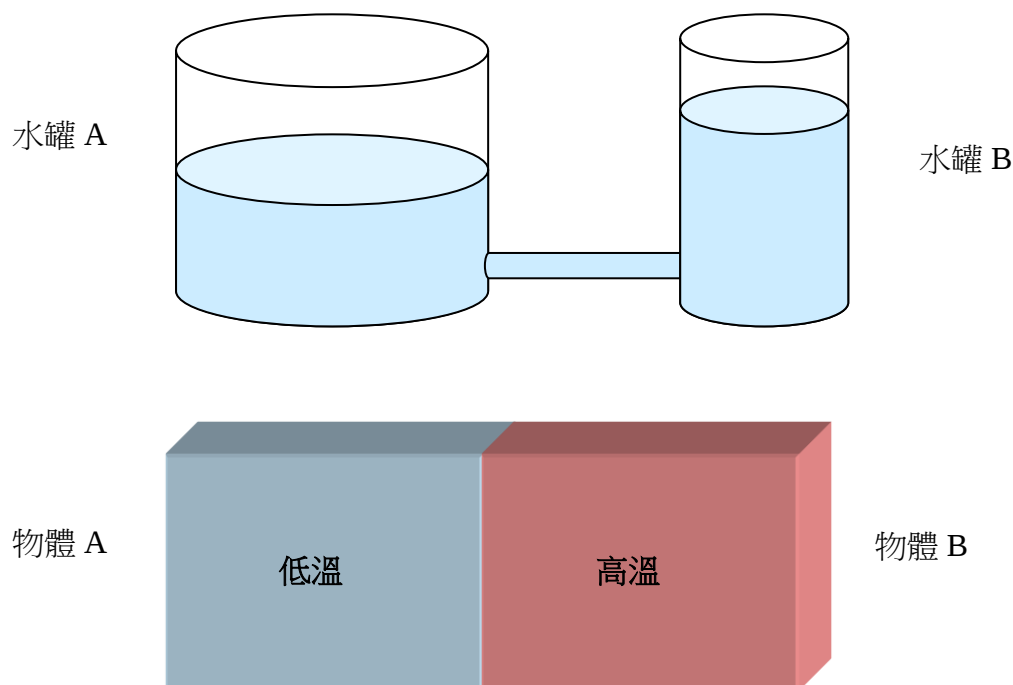
• 熱

加熱是增加物體內的粒子的動能的過程，而所增加的動能稱為**熱**，熱單位為 J。

熱是由於兩個物體的溫度有差別而傳遞的能量。

作功是增加物體內的粒子間鍵合的勢能的過程，而所增加的粒子間鍵合的勢能稱為**功**，單位是 J。

• 溫度



水罐比喻	熱學含意
每個罐內的水量	
由一水罐流到另一水罐的水量	
罐內的水位	

水由水罐 B 流向水罐 A，直至兩水罐的水位相同為止。熱由物體 B 流向物體 A 直至兩物體的溫度相同為止。

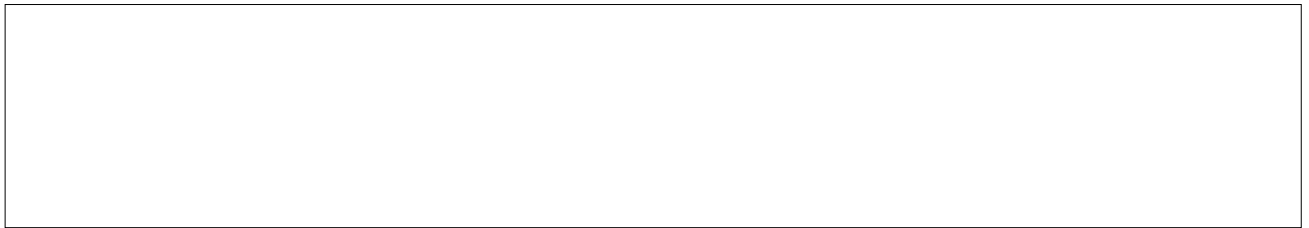
2. 溫度計

● 接觸式溫度計的工作原理

如果一個物體的某些物理量會隨溫度變化，例如體積、顏色、電阻等，這些物理量便可用來顯示溫度。製作溫度計時，物理量隨溫度的變化如果符合以下全部條件就更好。

- (1) 線性
- (2) 靈敏
- (3) 反應快

● 常見接觸式溫度計



● 用無刻度的溫度計量度溫度

- (1) 把未有刻度的溫度計放在沸水上的蒸氣中，然後記錄上定點的液柱長度。
- (2) 再把未有刻度的溫度計放在熔解中的冰中，然後記錄下定點的液柱長度。
- (3) 把溫度計放入要量度的物體中，該物體的溫度是：

$$\theta = \frac{x - x_0}{x_{100} - x_0} \times 100$$

x	現時液柱長度 [m]
x_{100}	上定點液柱長度 [m]
x_0	下定點液柱長度 [m]
θ	現時溫度 [°C]

3. 功率和能量守恆定律

● 功率

$$P = \frac{E}{t}$$

P	功率 [W]
E	傳入的能量 [J]
t	時間 [s]

● 能量守恆定律

在一個封閉系統內的總能量不會改變。或是說：

$$\text{系統內的能量的總改變} = 0$$

如果只涉及內能，即

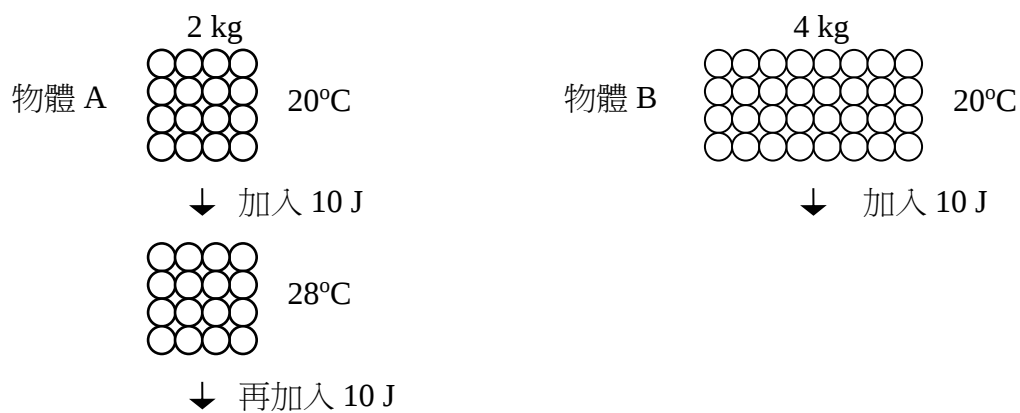
$$\text{系統內的內能的總改變} = 0$$

在計算系統內每個成員的能量改變時，以正數表示「吸入能量」；負數表示「放出能量」。

4. 熱容量及比熱容量

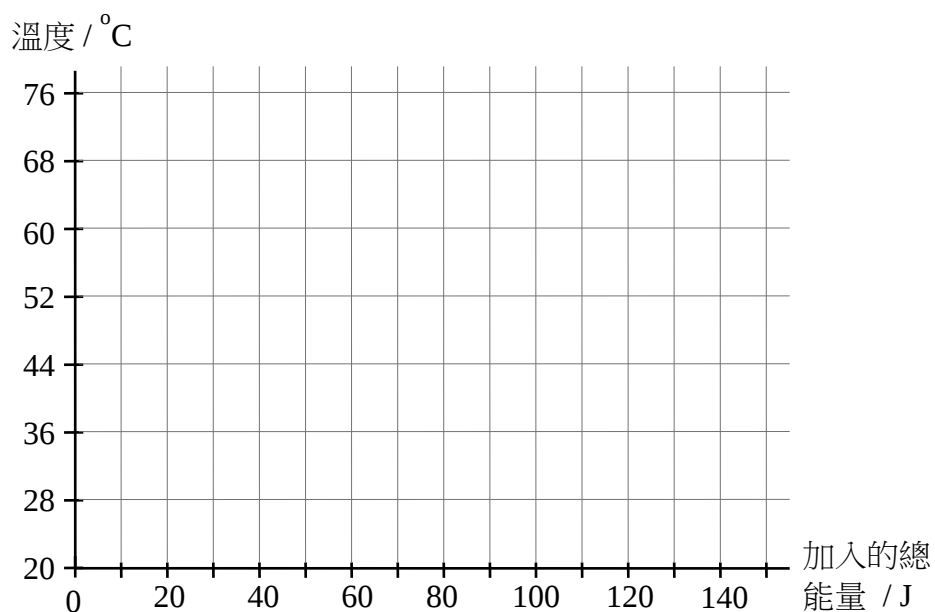
● 例子

分別把一塊 2 kg 的物體 A 和一塊相同質料 4 kg 的物體 B 從 20°C 開始加熱。



加入的能量 E 會跟物體質量 m 及所上升的溫度 $T_2 - T_1$ 成正比：

$$E \propto m(T_2 - T_1)$$



● 定義

$$C = \frac{E}{T_2 - T_1}$$

$$c = \frac{E}{m(T_2 - T_1)}$$

C 熱容量 [$\text{J } ^\circ\text{C}^{-1}$]

c 比熱容量 [$\text{J kg}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$]

E 加入的能量 [J]

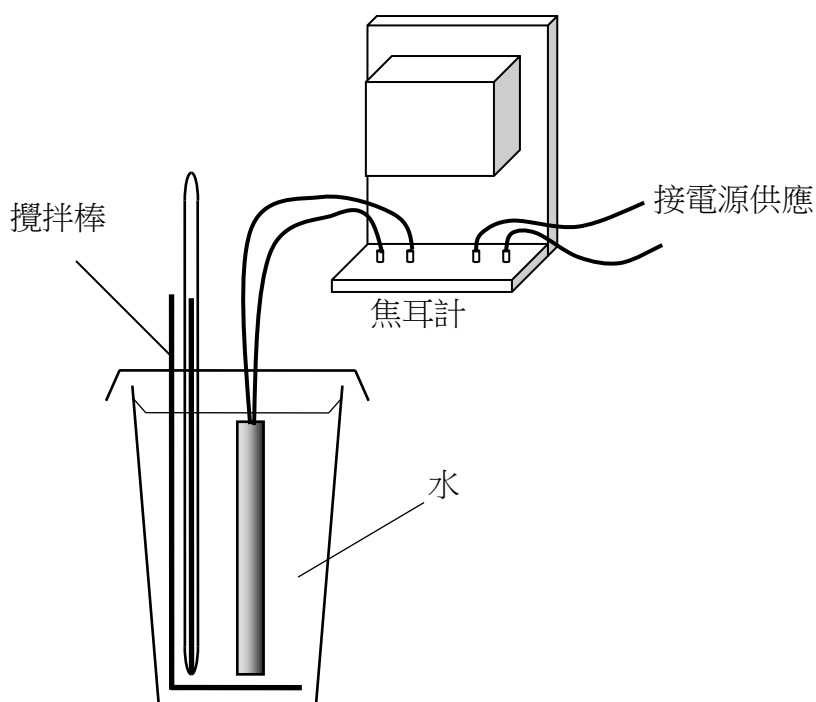
m 質量 [kg]

T_2 事後的溫度 [$^\circ\text{C}$]

T_1 事前的溫度 [$^\circ\text{C}$]

在上圖中，熱容量 = $\frac{1}{\text{斜率}}$ ；而比熱容量 = $\frac{1}{m \times \text{斜率}}$ 。物質在某一狀態下的比熱容是固定的，但同一種物質在不同狀態時有不同的比熱容。

● 量度水的比熱容



步驟：

- (1) 量度水的質量 m 。
- (2) 記錄焦耳計原本的讀數 E_1 及事前的溫度 T_1 。
- (3) 開啟電源。
- (4) 讓其加熱數分鐘。其間攪拌。
- (5) 關閉電源。
- (6) 讀取焦耳計新的讀數 E_2
- (7) 待溫度不在進一步上升時，讀取事後的溫度 T_2 。

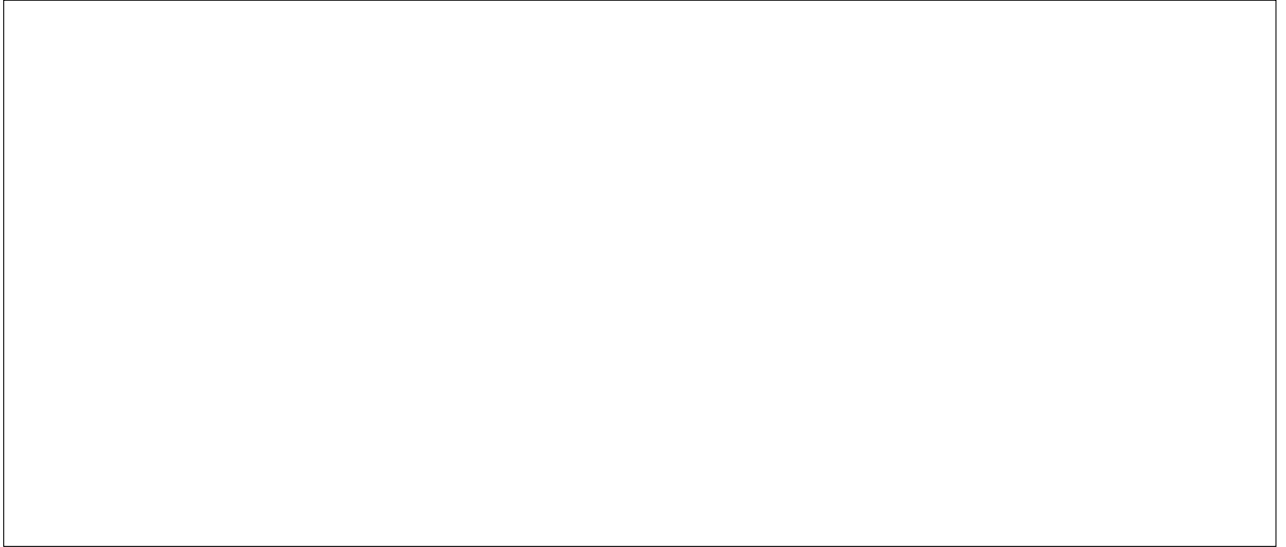
計算：

$$c = \frac{E_2 - E_1}{m(T_2 - T_1)}$$

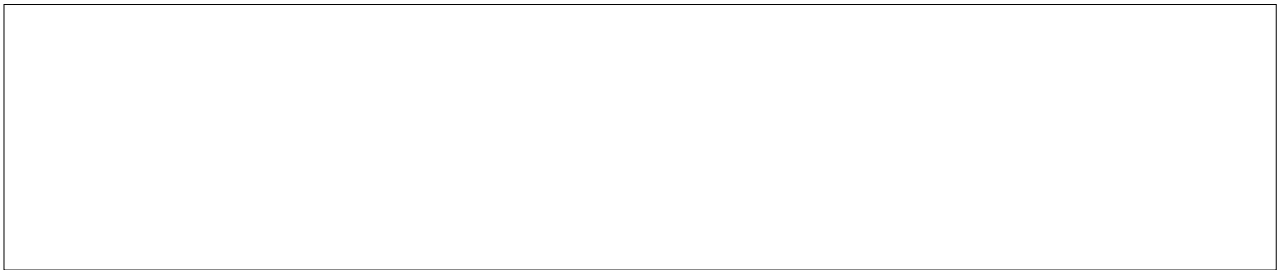
注意事項：

- 容器和蓋應用隔熱及低比熱容的物料。
- 電熱器應完全浸沒於水中

- 水的高比熱容對自然環境及生物生存的重要性

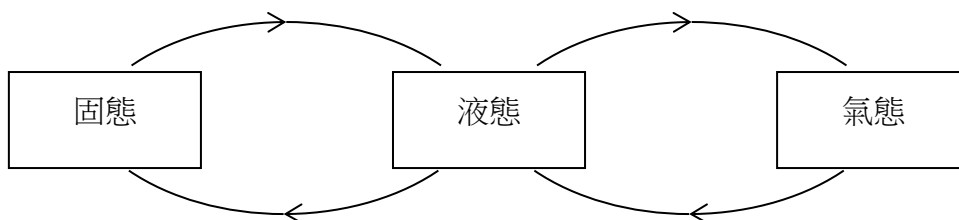


- 以水作為「冷卻劑」

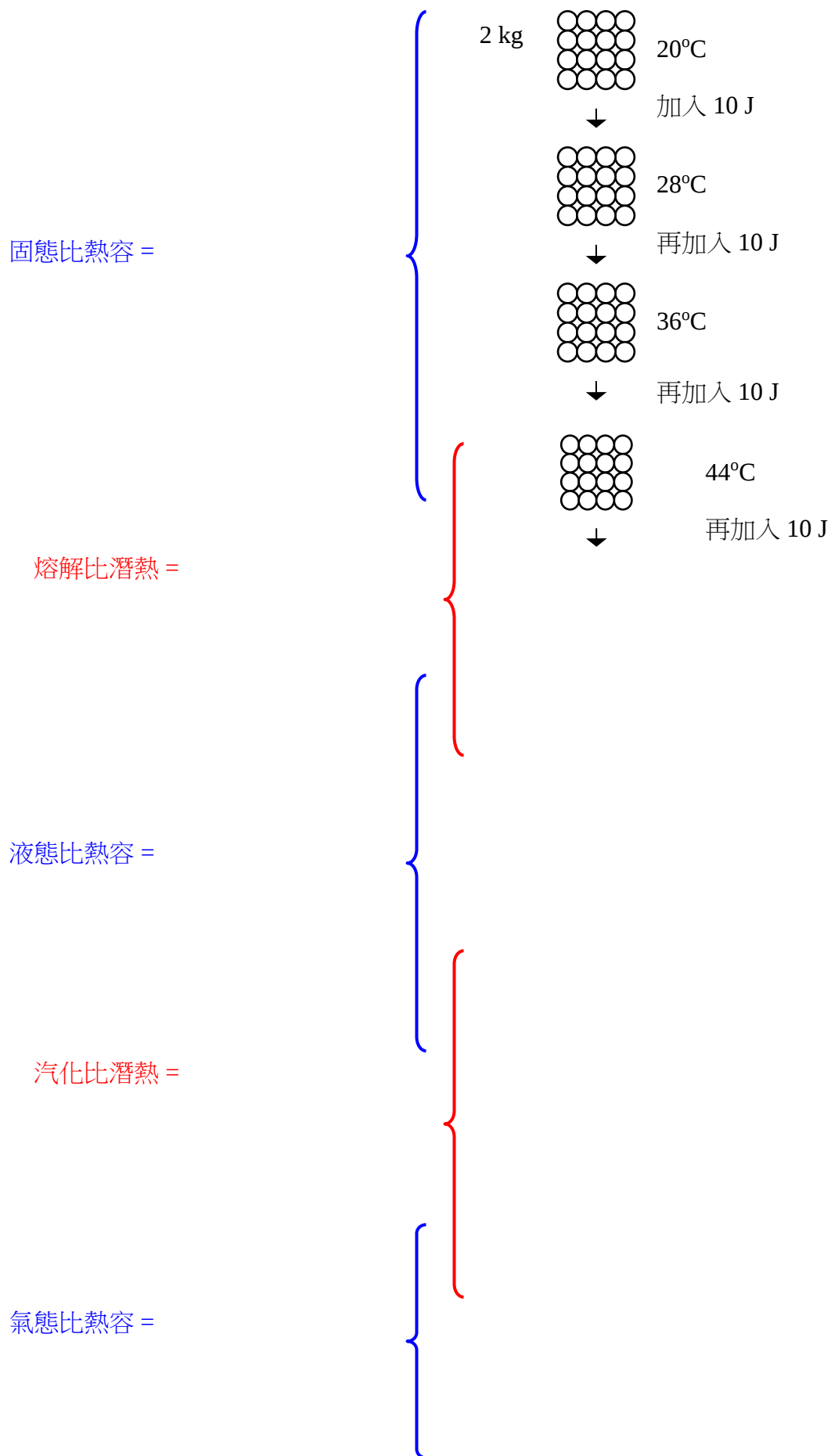


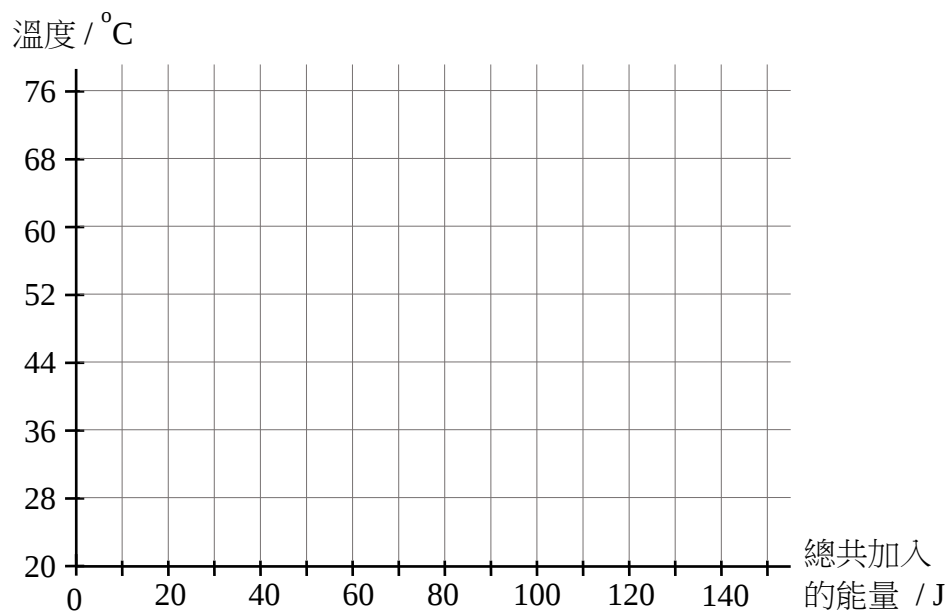
5. 物態轉變和比潛熱

- 物質的三種狀態



● 例子





● 熔解比潛熱

$$l_f = \frac{E}{m}$$

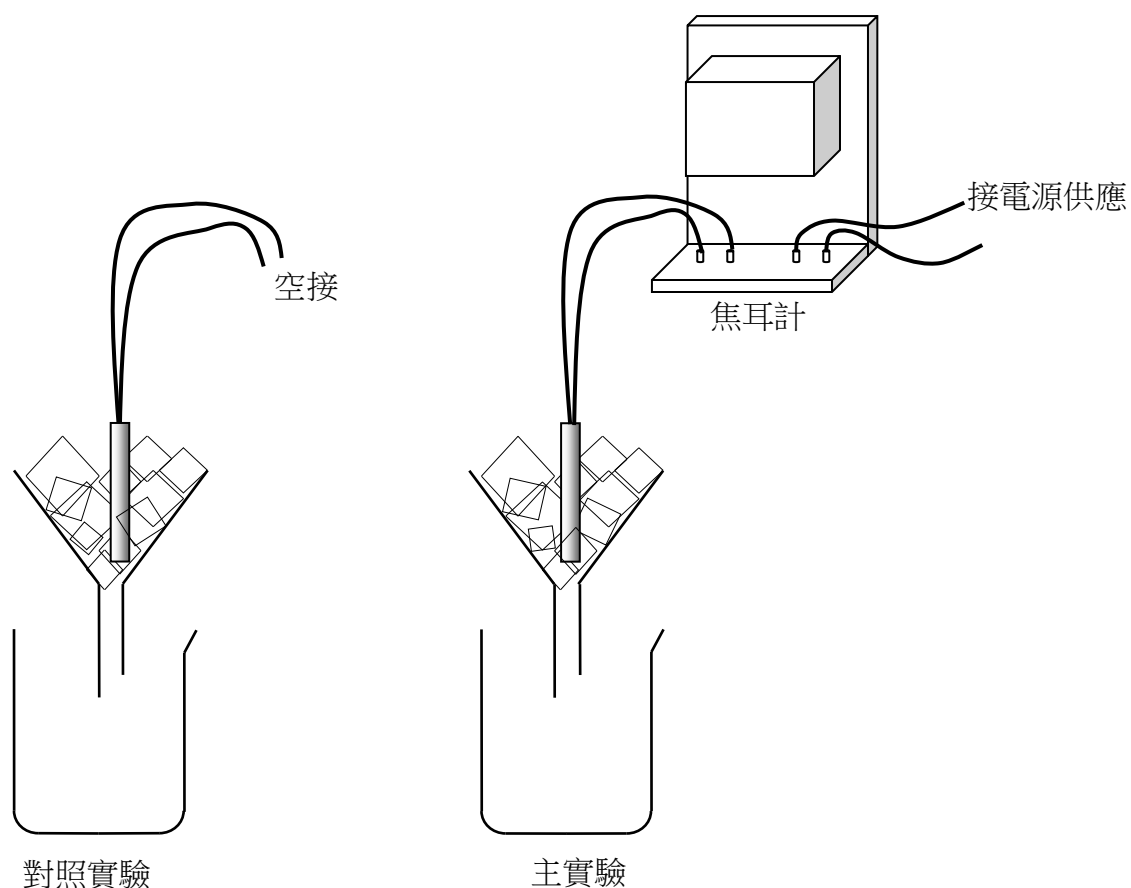
l_f 熔解比潛熱 [J kg^{-1}]
 E 熔解固體所須的能量 [J]
 m 質量 [kg]

● 汽化比潛熱

$$l_v = \frac{E}{m}$$

l_v 汽化比潛熱 [J kg^{-1}]
 E 汽化固體所須的能量 [J]
 m 質量 [kg]

● 量度水的熔解比潛熱



步驟：

- (1) 記錄焦耳計原本的讀數 E_1 。
- (2) 開啟電源，並即時換入兩個空燒杯。
- (3) 等待數分鐘。
- (4) 關閉電源，並即時取出這兩個燒杯。
- (5) 量度對照實驗中的燒杯內的水的質量 m_A 和主實驗中的燒杯內的水的質量 m_B 。記錄焦耳計的新讀數 E_2 。

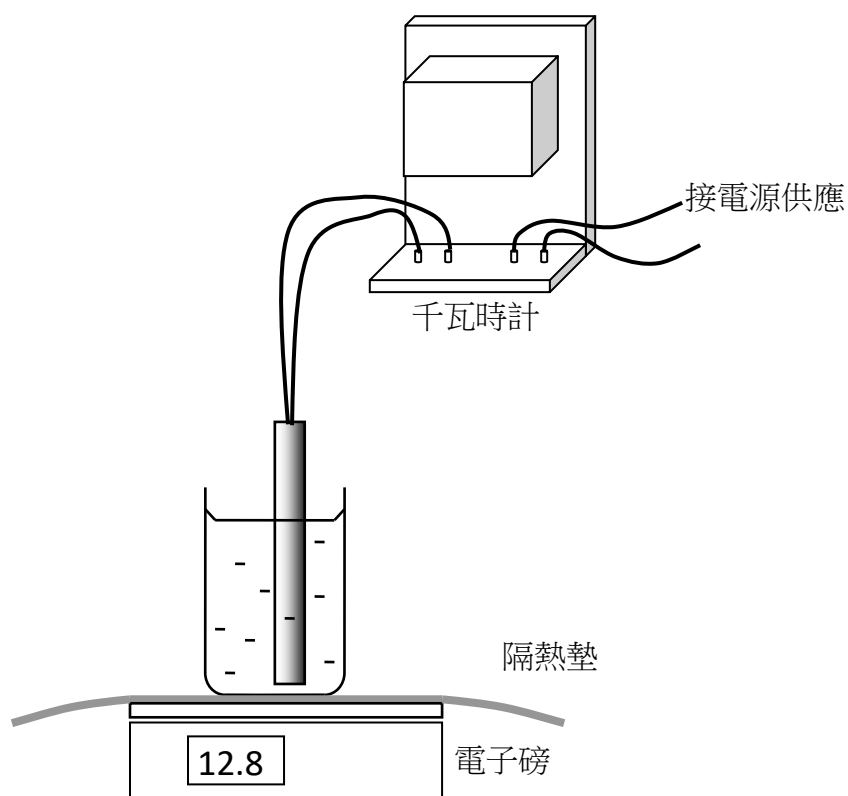
計算

$$l_f = \frac{E_2 - E_1}{m_B - m_A}$$

注意事項：

- 應使用打碎的冰。
- 應使用正在熔解中冰進行實驗。
- 電熱器應該完全藏於碎冰內。
- 對照實驗是用來求得無加熱下冰在室溫中熔解的份量。

● 量度水的氣化比潛熱



由於要把水煮沸需要較大功率的電熱器，所以通常使用千瓦時計代替焦耳計量度傳入電熱器的能量。千瓦時（kWh）與焦耳（J）同是能量的單位。1 kWh = 1000 × 60 × 60 J。

步驟：

- (1) 開啟電源。
- (2) 待水沸騰後，記錄千瓦時計讀數 E_1 及電子磅讀數 m_1 。
- (3) 等候數十分鐘。
- (4) 關閉電源。
- (5) 再記錄記錄千瓦時計 E_2 及電子磅讀數 m_2 。

計算：

$$l_v = \frac{E_2 - E_1}{m_2 - m_1}$$

注意事項：

- 容器應使用隔熱及低比熱容的物料。
- 電熱器應該完全浸沒於水中。
- 不應加上蓋，避免水蒸氣凝結在蓋上滴回杯中。

- **蒸發與沸騰**

蒸發和沸騰同屬汽化，要「蒸發」一個分子跟要「沸騰」同一個分子所須的能量相同。液體內分子的動能並不是平均的，表面的分子有較高動能，它們較易脫離液體表面而進入空氣。

	蒸發	沸騰
在什麼溫度發生？		
在什麼位置發生？		

影響蒸發速率的因素：

- (1) 風吹
- (2) 四週空氣的濕度
- (3) 溫度
- (4) 液體與空氣的接觸面積

涉及蒸發的生理現象：

6. **熱的三種傳遞方式**

- **傳導**

可以在固體、液體和氣體發生。

傳導是透過分子在原本位置振動而碰撞四周分子，把能量由熱的地方傳至冷的地方。

金屬是良好的導熱體；良好的絕熱體包括：發泡膠、木、空氣

- **對流**

只可以在液體和氣體發生。

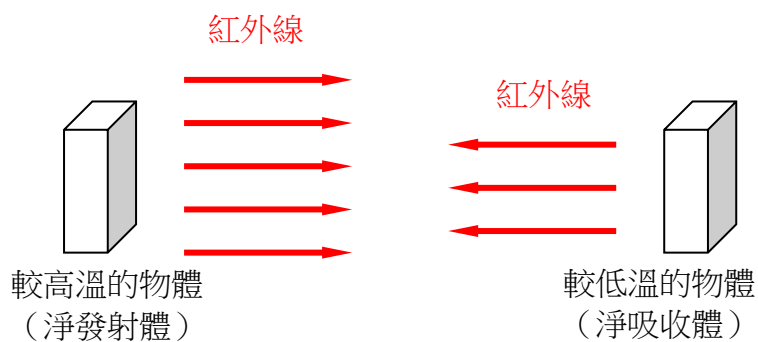
對流是透過物質本身流動，把能量由熱的地方傳至冷的地方

- **輻射**

可在真空或透明的物料中發生。

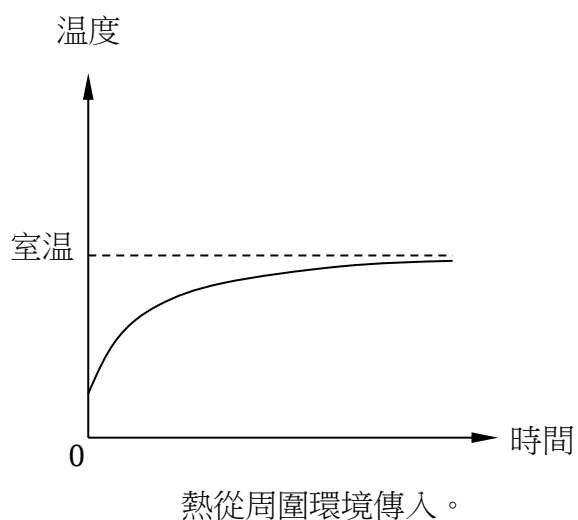
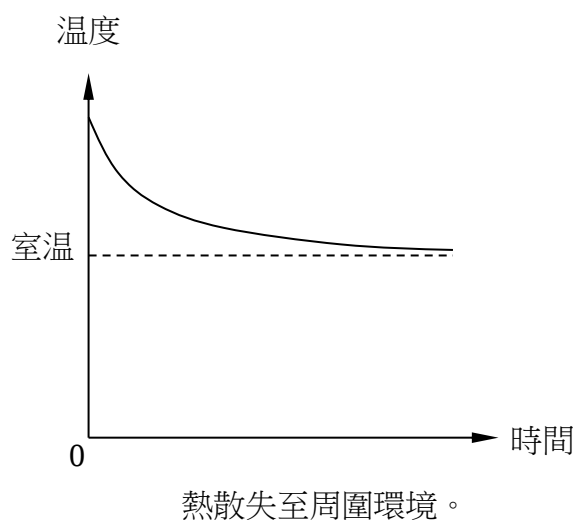
輻射是透過紅外線的淨傳播，把能量由熱的地方傳至冷的地方。較高溫的物體會發射較多紅

外線；較低溫的物體會發射較少紅外線。



表面白色的物體會發射和吸收較少紅外線；表面黑色的物體會發射和吸收較多紅外線。而表面光滑的物體會發射和吸收較少紅外線；表面粗糙的物體會發射和吸收較多紅外線。

- 熱的物體在室溫中冷卻及冷的物體在室溫中變暖

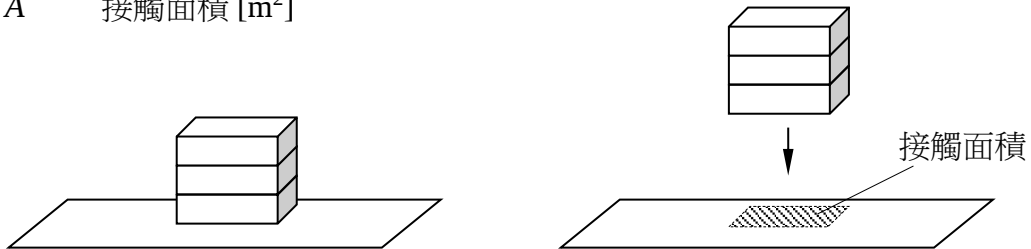


7. 氣體

● 壓強

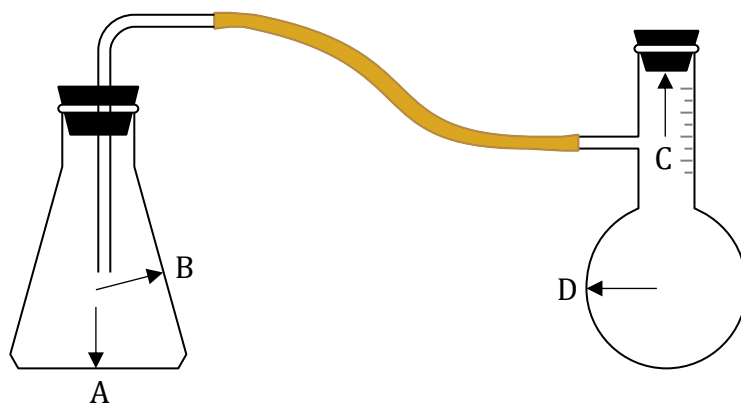
$$p = \frac{F}{A}$$

p 壓強 [Pa]
 F 與接觸面垂直的力 [N]
 A 接觸面積 [m²]



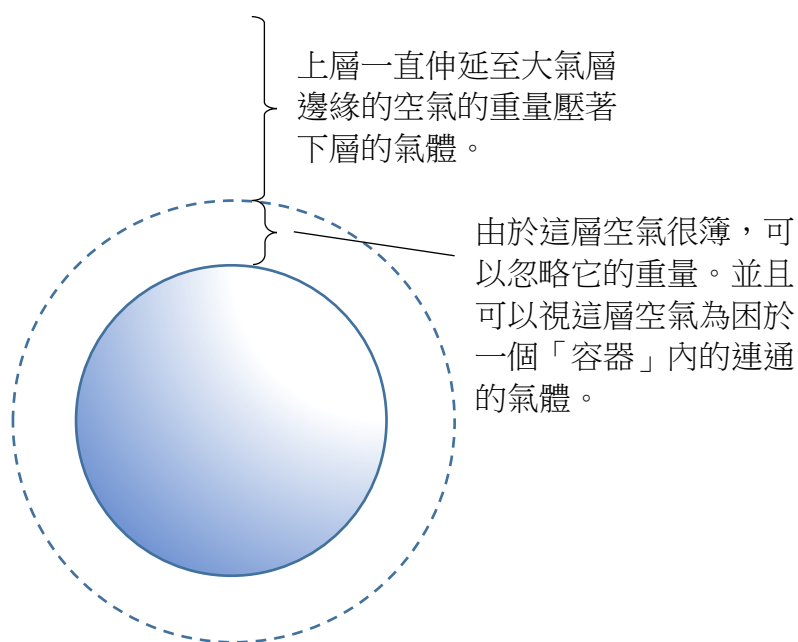
● 容器內氣體的壓強

一個容器內的氣體的分子不停撞擊容器內壁，形成壓強。如果忽略氣體自身的重量，容器內氣體會「自動平均分佈」施於內壁的壓強，使每處的壓強都相同。例如：

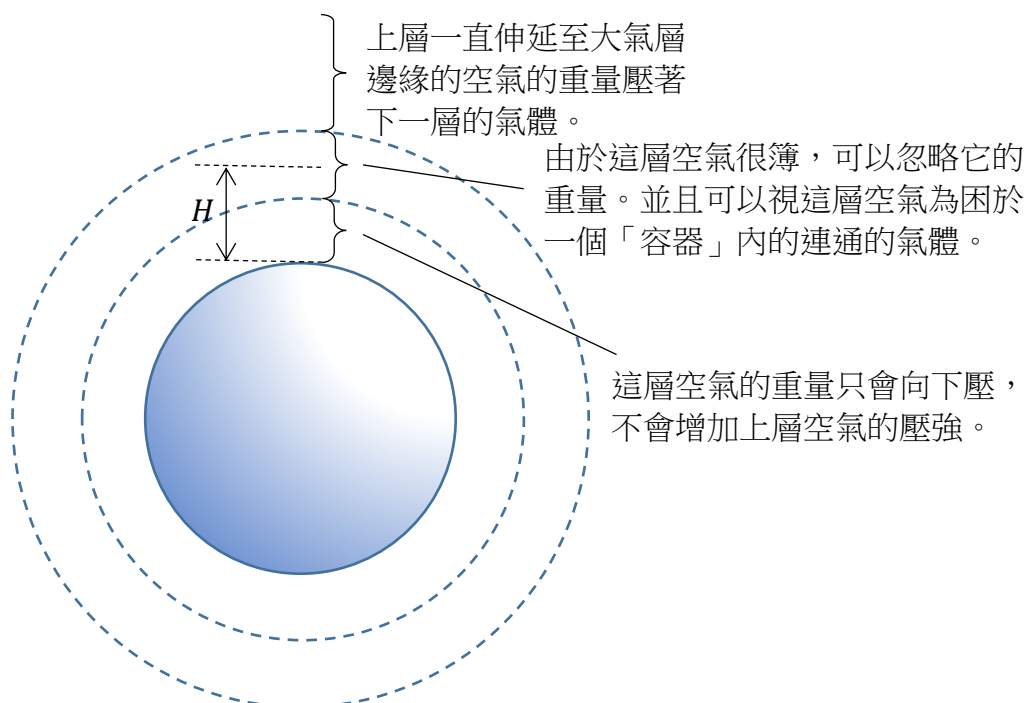


● 大氣壓強 - 假設大氣有重量，又同時忽略大氣的重量？

地球的萬有引力會把所有附近的東西吸向地心，包括大氣，整個大氣的重量是不能忽略。當研究一些在地面一個狹窄的高度範圍內發生的現象時，該層的空气的重量是可以忽略。



同樣，當研究一些在某高度 H 附近一個狹窄範圍內發生的現象時，該層的空气的重量是可以忽略。



所以越高的地方大氣壓強越小。

- 氣體定律

考慮同一團氣體，它的壓強 (p)、體積 (V) 及溫度 (以 K 為單位時溫度記作 T ，以 $^{\circ}\text{C}$ 為單位時溫度記作 θ) 大約有以下關係：

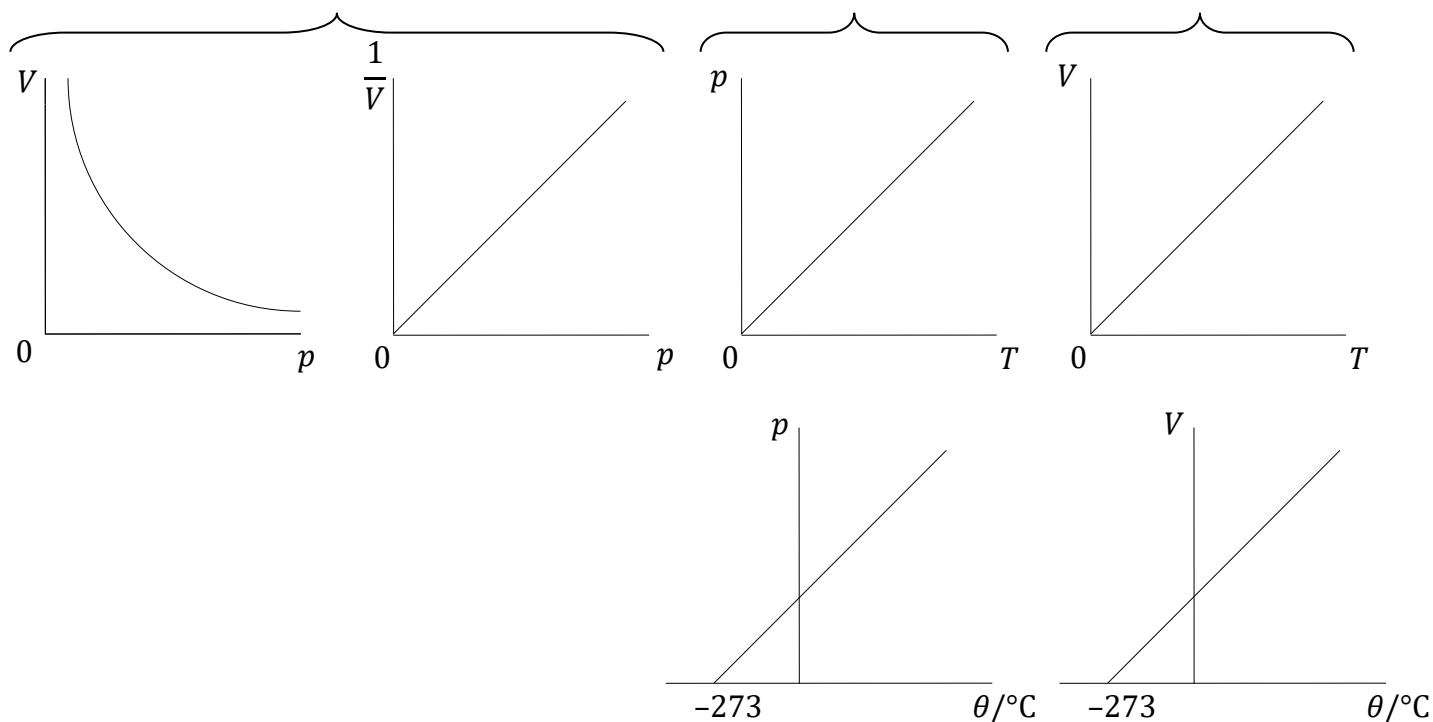
如果 T 保持不變，則
 $pV = \text{常數}$

如果 V 保持不變，則

$$\frac{p}{T} = \text{常數}$$

如果 p 保持不變，則

$$\frac{V}{T} = \text{常數}$$



把以上三個定律合併，可得普適氣體定律：

$$\frac{pV}{T} = \text{常數}$$

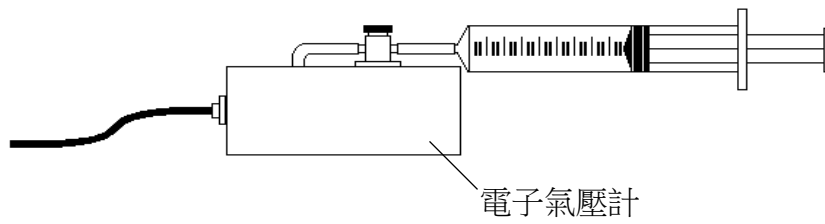
亦可記作：

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

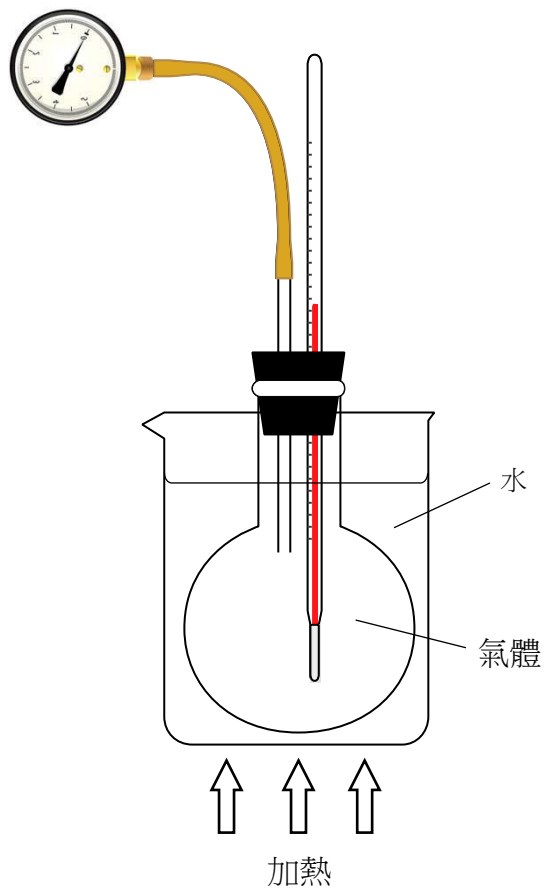
p_1 、 p_2 事前及事後的壓強 [Pa]
 V_1 、 V_2 事前及事後的體積 [m^3]
 T_1 、 T_2 事前及事後的溫度 [K]

- 驗證氣體定律的實驗

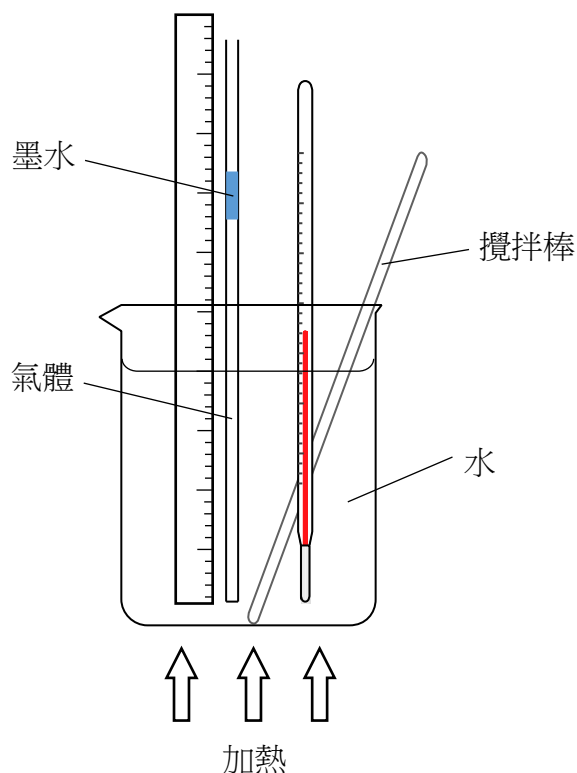
- (1) 驗證波義耳定律



- (2) 驗證氣壓定律



(3) 驗證查理定律



- 揭開氣體定律中「常數」之迷 – 阿佛加德羅定律

普適氣體定律中， $\frac{pV}{T}$ 是常數，因為同一團氣體，無論如何改變它的壓強、體積和溫度， $\frac{pV}{T}$ 都不會變。但如果換成另一團氣體，這個數當然不同。但這個數居然只跟氣體分子的數目成正比，而與氣體種類無關！

如果分子數目以每摩爾（mole）計，普適氣體定律其實是：

$$\frac{pV}{T} = Rn$$

p_1 、 p_2	事前及事後的壓強 [Pa]
V_1 、 V_2	事前及事後的體積 [m^3]
T_1 、 T_2	事前及事後的溫度 [K]
R	普適氣體常數 $8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
n	分子的摩爾數 [mol]

8. 分子運動理論

• 分子運動公式

如果以下各項假設成立：

- (1) 氣體分子沒有重量。
- (2) 氣體分子非常細小。
- (3) 氣體分子互相不會相吸或相斥。
- (4) 氣體分子與容器內壁的碰撞完全彈性。
- (5) 除碰撞時刻外，氣體分子與容器內壁不會相吸或相斥。

則可以證明：

$$p V = \frac{1}{3} m (v_1^2 + \dots + v_N^2)$$

如果定義 $v_{rms} = \sqrt{\frac{v_1^2 + \dots + v_N^2}{N}}$ ，則上式可寫作：

$$p V = \frac{1}{3} N m v_{rms}^2$$

或

$$p V = \frac{1}{3} M v_{rms}^2$$

p	氣體壓強 [Pa]
V	氣體體積 [m^3]
m	每粒氣體分子的質量 [kg]
N	氣體分子的數目
M	氣體的質量 [kg]
$v_1, \dots, v_N$	第 1 至第 N 粒氣體分子的速率 [m s^{-1}]
v_{rms}	氣體分子的方均根速率 [m s^{-1}]

證明：證明省略，但必須了解上式的證明全靠運用力學定律於物體分子碰撞中，證明的過程中並無使用氣體定律 $p V = n R T$ 。而上式中出現「 $p V$ 」純為巧合。

• 氣體溫度的含意

結合阿佛加德羅定律及分子運動模型，可得：

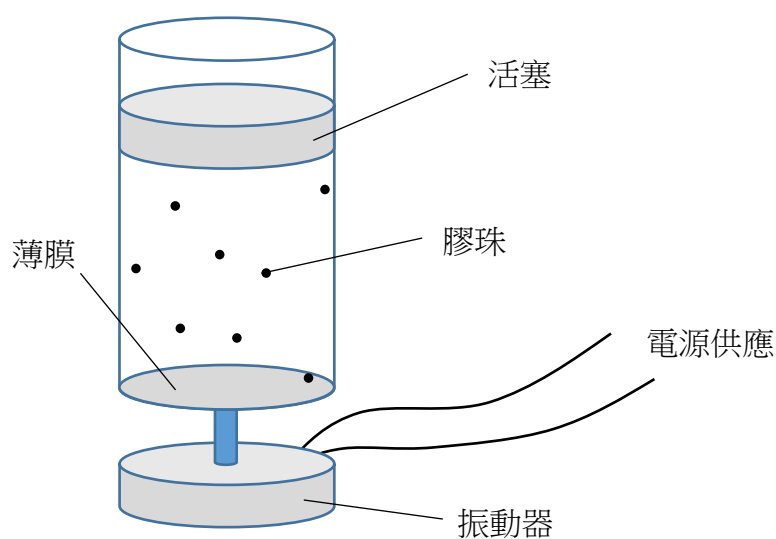
$$E_K = \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} T$$

E_K	氣體分子的平均動能 [J]
R	普適氣體常數 $8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
N_A	阿佛加德羅常數 $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
T	氣體溫度 [K]

證明：

上式指出氣體溫度與氣體分子的平均動能成正比。而當氣體處於絕對零度 ($T = 0\text{ K}$) 時，分子沒有動能。

- 模擬氣體定律的實驗模型



可以利用這模型模擬不同的氣體定律：

定律	模擬方法
波義耳定律	
查理定律	
氣壓定律	

- **模擬布朗運動的實驗模型**

可以在儀器內放入一個乒乓球，乒乓球會隨機向不同方向移動。乒乓球的運動稱為布朗運動。

