

新高中 生活與物理

第二版

黃小玲 彭永聰 李浩然 林兆斌

1

高中生活與物理（第二版）以第一版的內容為基礎重新修訂，能完全符合2014年更新的《**物理課程及評估指引（中四至中六）**》所列明之要求，並加強討論學習物理的各種基本技巧。第二版課本用更多切合生活的情景和例子，既能闡述物理學的概念，又能凸顯物理學與日常生活的緊密關係。外，第二版課本增添詳盡圖解，更新相片，並應用各式各樣的圖表來幫助學生掌握知識。

本共有10冊，六冊屬於「必修部分」，四冊屬於「選修部分」。

必修部分

第1冊*：熱和氣體

第2冊*：力和運動

第3A和3B冊：波動

第4冊：電和磁

第5冊：放射現象和核能

選修部分

第E1冊：天文學和航天科學

第E2冊：原子世界

第E3冊：能量和能源的使用

第E4冊：醫學物理學

備**組合科學（物理）**版本。

教材包括課本、實驗手冊和多媒體學習資源。

OXFORD
UNIVERSITY PRESS

牛津大學出版社
www.oupchina.com.hk

ISBN 978-0-19-944189-1



9 780199 441891

新高中
生活與物理
第二版

1

教師用書

OXFORD
牛津

OXFORD



教師用書

黃小玲 彭永聰 李浩然 林兆斌

新高中

生活與物理

第二版

熱和氣體

1

目錄

作者簡介

序言

iii

vi

第1課 溫度與溫度計

1.1 溫度與溫標

1.2 溫度計

總結 1

複習 1

自我評核 1

2

7

15

16

20

第2課 熱與內能

2.1 內能

2.2 比熱容量

總結 2

複習 2

自我評核 2

22

29

47

49

56

第3課 物態的改變

3.1 潛熱

3.2 蒸發

總結 3

複習 3

自我評核 3

58

80

87

89

98

第4課

熱的傳遞

4.1 傳導

4.2 對流

4.3 輻射

總結 4

複習 4

自我評核 4

100

110

119

133

135

145

第5課

氣體

5.1 氣體定律

5.2 氣體分子運動論

總結 5

複習 5

自我評核 5

148

169

183

185

193

答案

自我評核題解

索引

鳴謝

圖片鳴謝

附錄

197

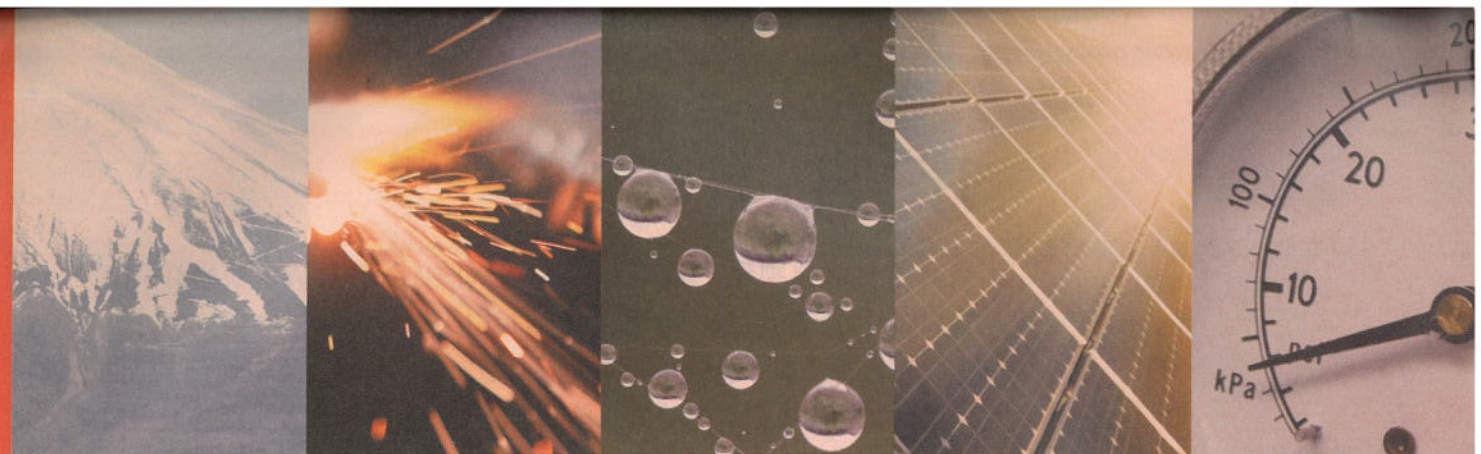
202

203

205

206

208



多媒體資源

下列多媒體資源讓學生透過不同種類的學習模式來增進知識。



模擬程式 1.1



錄像片段 1.1

- 模擬程式設互動功能，展示不同的物理現象和實驗。
- 錄像片段記錄有趣的物理現象，以及實驗的過程和結果。
- 虛擬實驗室讓學生在虛擬的環境操作實驗儀器。
- 生活中的物理、歷史點滴、物理DIY 提供額外的文章和錄像，供學生參考。
- 詞語表列出課本內的物理學詞語，並附以詳細解釋和英文正確讀音。

採用新高中生活與物理（第二版）的學生均獲得登入密碼，可經牛津物理網 (<http://www.oupchina.com.hk/physics/chi/>) 使用上述多媒體資源。



1

溫度與溫度計

我們在这一課會學到

- 溫度和量度溫度的方法
- 攝氏溫標
- 不同種類的溫度計

✓ 本節重點

- 1 以溫度描述物體的冷熱程度
- 2 攝氏溫標

起點 冷和熱



冷熱程度是否用「冷」和「熱」兩個字就可準確描述出來？在上述情況，應怎樣說才能避免產生誤會？ ▶ 參看第3頁。

1 溫度

吃火鍋和雪糕（圖 1.1a），會有不同的冷熱感覺。不同物體有不同的冷熱程度，但是否憑我們的感覺就可以準確地比較得到？



圖 1.1a 吃火鍋和雪糕會有不同的冷熱感覺

回想一下在中二年級做過的一個實驗（圖 1.1b）。兩隻手指雖然浸在同一杯水，但卻有不同的冷熱感覺，這個結果證明憑感覺比較物體的冷熱程度，做法並不可靠。

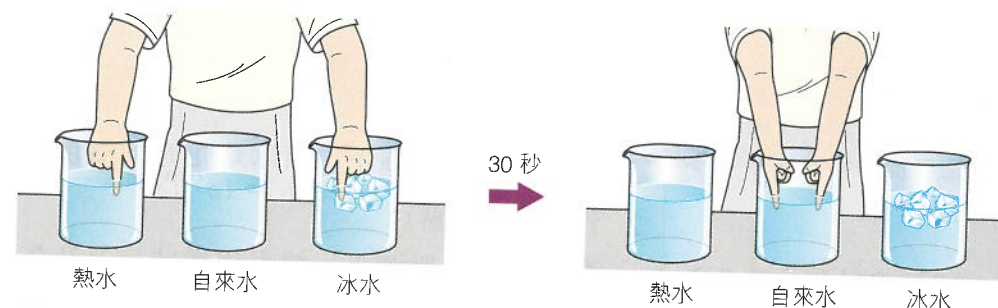


圖 1.1b 憑感覺比較冷熱程度，做法是否可靠？

在起點中，如果以溫度描述兩地的冷熱程度，便能避免產生誤會。

要準確比較物體的冷熱程度，便要用適當的儀器量度物體的**溫度**。量度溫度的儀器稱為**溫度計**。

溫度表示物體的冷熱程度。

2 攝氏溫標 $^{\circ}\text{C}$

玻璃-管液體溫度計

溫度計必須附有溫標（圖 1.1c），才可量度溫度。溫度計早在 16 世紀便開始使用，但當時並沒有一個標準的溫標。直至 18 世紀，科學家才懂得運用定點來定義溫標（圖 1.1d）。定點就是可以重複產生的特定溫度。

第 8 頁實驗 1a 會詳述有關步驟。

圖 1.1d 左方為法國科學家瑞歐莫 (Reaumur) (1683–1757)。他應用乙醇和水來製作溫度計，但這種液體混合物在不同溫度的膨脹幅度不一，須制定一個複雜的溫標來解決這個問題。在他所設計的溫度計上，水的熔點與沸點之間共分為 80 度。



圖 1.1c 溫度計上的溫標

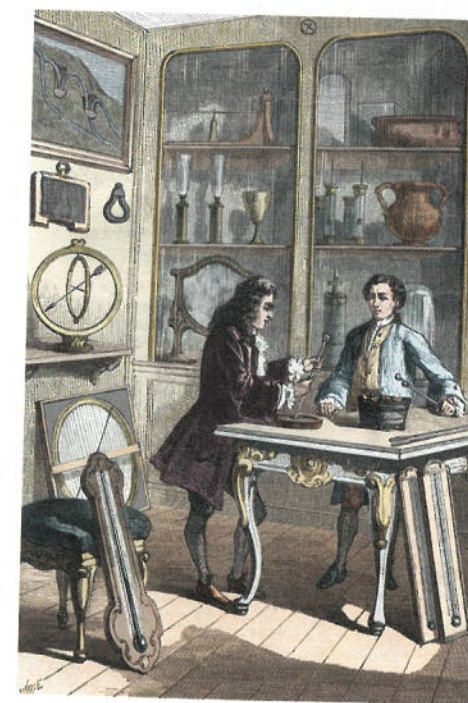


圖 1.1d 18 世紀，科學家製作溫度計，並以定點來定義溫度計上的溫標

定義溫標時，通常挑選兩個容易產生的溫度作為定點，然後把該兩個定點之間的範圍分成若干等份，每等份稱為一度。

溫標有很多種，最常用的是攝氏溫標。攝氏溫標的低定點設定於冰點，高定點設定於汽點（圖 1.1e）。

冰點和汽點會隨大氣壓強而改變。標準大氣壓強是指海平面的大氣壓強。

純水沸騰的溫度可視為汽點。

- 1 冰點（低定點）：
在標準大氣壓強下，純冰熔化時的溫度。
 $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$
- 2 汽點（高定點）：
在標準大氣壓強下，純水沸騰時，上升蒸汽的溫度。

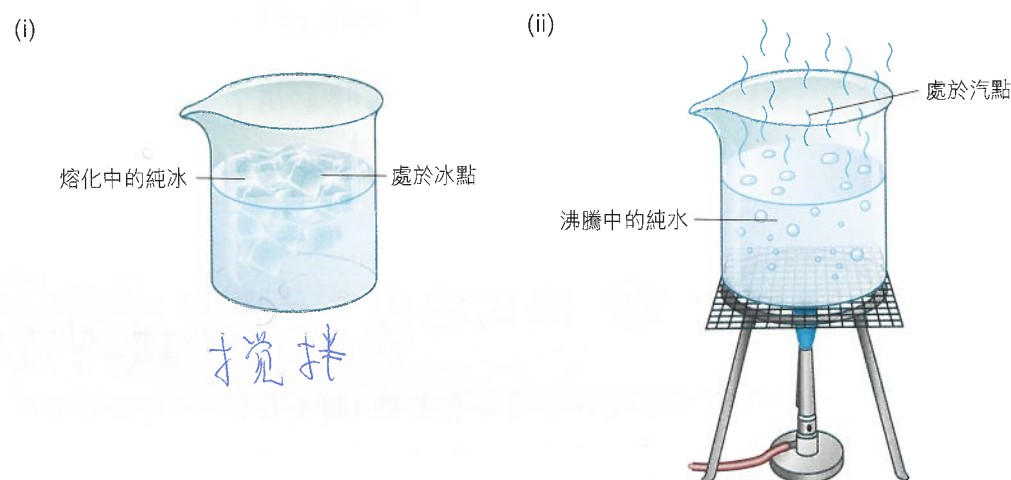


圖 1.1e 產生 (i) 冰點、(ii) 汽點

只要把低定點與高定點之間的範圍分為 100 等份，每等份就是 1 攝氏度 ($^{\circ}\text{C}$)。低定點設定為 0°C ，高定點設定為 100°C （圖 1.1f）。

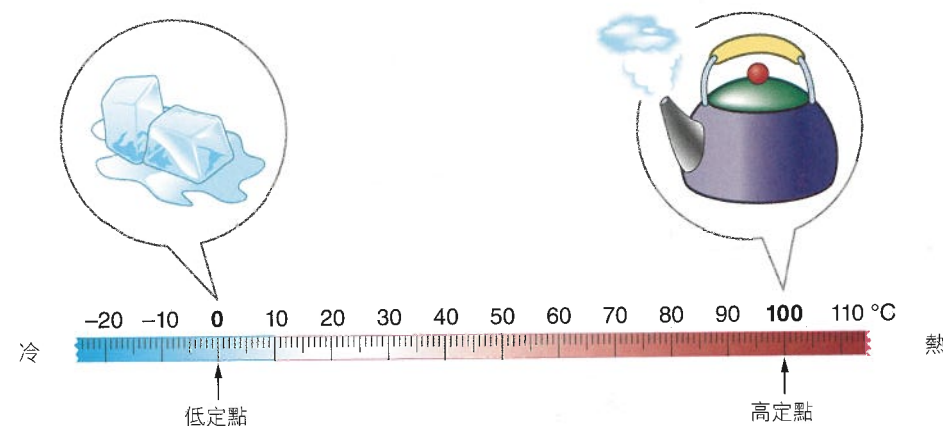


圖 1.1f 攝氏溫標

攝氏溫標 Celsius temperature scale 低定點 lower fixed point 冰點 ice point
高定點 upper fixed point 汽點 steam point 攝氏度 ($^{\circ}\text{C}$) degree Celsius

圖 1.1g 列出了一些物體的攝氏溫度。從中可見，不同物體的溫度可以相差很遠。

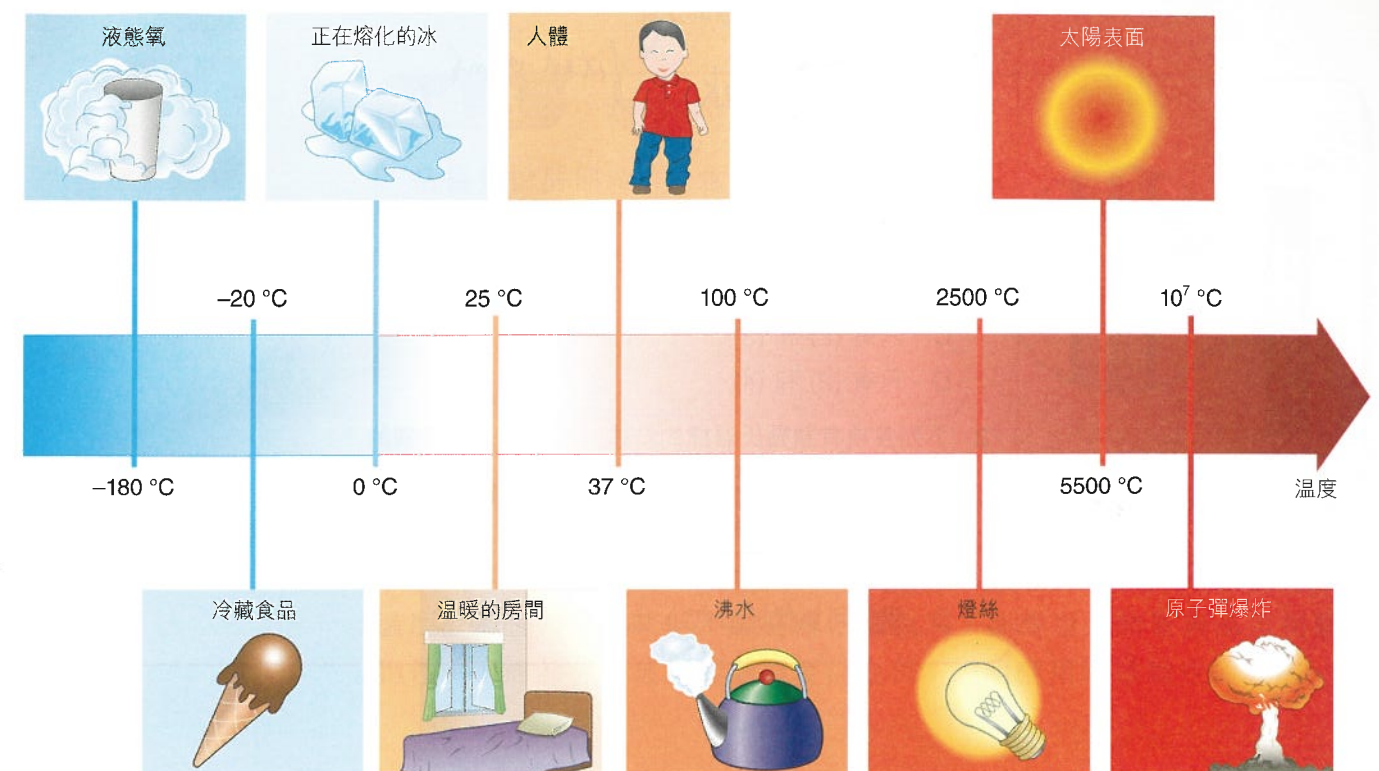


圖 1.1g 物體的溫度可以相差很遠（圖不按比例繪畫）

歷史點滴 攝爾修斯 (1701–1744)

攝氏溫標於 1742 年由瑞典的科學家攝爾修斯制定，並從 20 世紀開始廣為採用。在此之前，許多科學家提出過不同的方法定義溫標，但沒有一個溫標能像攝氏溫標般普及各地。



牛津物理網

補充資料 其他常用溫標

其他常用溫標包括華氏溫標和開氏溫標，兩者分別於 1724 年和 1848 年制定。現時，華氏溫標於美國廣泛使用。這個溫標的單位是華氏度，符號是 $^{\circ}\text{F}$ ，冰點和汽點分別設定為 32°F 和 212°F 。華氏溫度 (T_F) 和攝氏溫度 (T_C) 可用以下公式換算：

$$T_F = 1.8T_C + 32$$

開氏溫標的單位是開，符號是 K。

klevin



可向學生說明開氏溫標在物理學中很常用，這個溫標只有一個定點（水的三相點）：開氏度是熱力學溫度的單位，等於水三相點的熱力學溫度的 $\frac{1}{273.16}$ 。

攝爾修斯 Anders Celsius

進度評估 1 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.2)。

21 以下哪些是攝氏溫標的定點？

- (1) 汽點
(2) 沸點
(3) 冰點
(4) 熔點

- Ⓐ 只有 (1) 和 (3)
B 只有 (1) 和 (4)
C 只有 (2) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (4)

22 下列各項有關攝氏溫標的敘述，哪一項是不正確的？

- A 低定點是 0°C ，高定點是 100°C 。
B 如果把低定點和高定點之間的範圍分為 100 等份，每一份就稱為 1 攝氏度。
Ⓒ 攝氏溫標是唯一的溫標。
D 溫度可以低於 0°C ，也可以高於 100°C 。

習題與思考 1.1

21 人體的體溫是 37°C 。為甚麼這溫度不能作為攝氏溫標的定點？

- (1) 這溫度不是固定的。
(2) 這溫度不容易產生。
(3) 人體體溫與另一個定點的溫度範圍太小。

- Ⓐ 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (2) 和 (3)

22 (a) 攝氏溫標中，低定點和高定點的溫度分別是多少？ 0°C 、 100°C

(b) 怎樣產生上述兩個溫度？

23 試把下列溫度由低至高排列出來：

- (I) 沸水的溫度 100°C
(II) 冰箱內的溫度 $\sim -17^{\circ}\text{C}$
(III) 200°C
(IV) 冰塊熔化時的溫度 0°C
(V) 人的正常體溫 37°C
(II) · (IV) · (V) · (I) · (III)

★ 4
1, 2

(a) 溫度是甚麼？

(b) 為甚麼攝氏溫標的兩個定點設定為冰點和汽點？

(c) 試描述怎樣可以制定出較精細的溫標，使溫標中每一等份代表 0.1°C (圖 a)。

圖 a

(d) 嘉威說：

「汽點就是蒸汽的溫度。」

試評論他的敘述。不正確

1.2

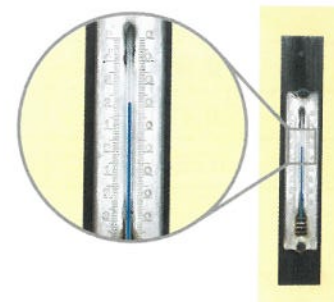
溫度計

起點

褪色的溫度計

浩揚執拾房間時，無意中找到一支舊溫度計，上面的刻度大部分都已褪色。浩揚怎樣做才可準確地重新畫上刻度？

參看第 9 頁。



✓ 本節重點

- 1 校準不同溫度計
2 溫度計以及與溫度相關的物性

溫度計的種類繁多，但不論是哪一種款式，都應用了物質與溫度相關的物性。下面部分以玻璃液體溫度計為例，說明應用這種物性的方法。

1 玻璃液體溫度計

a 運作原理

有些液體會隨溫度改變而均勻地膨脹或收縮，它們的體積就是一種與溫度相關的物性，這種物性可應用於玻璃液體溫度計之中 (圖 1.2a)。

玻璃液體溫度計由溫度計泡和細玻璃管連接而成，溫度計泡內盛載了液體。溫度上升時，液體膨脹，並沿玻璃管上升。玻璃管印有刻度；液體柱頂端的位置，就顯示出當時的溫度。

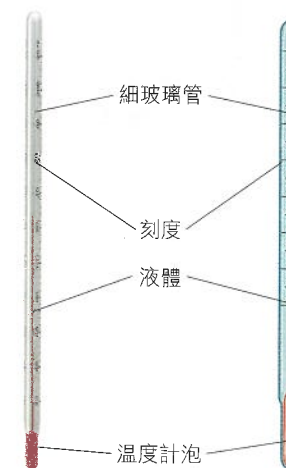


圖 1.2a 玻璃液體溫度計

b 校準溫度計

可比較校準溫度計與校準米尺的過程。

在溫度計上畫上刻度的過程，稱為**校準**。怎樣才可校準一支沒有刻度的溫度計（圖 1.2b）？實驗 1a 會有詳細說明。

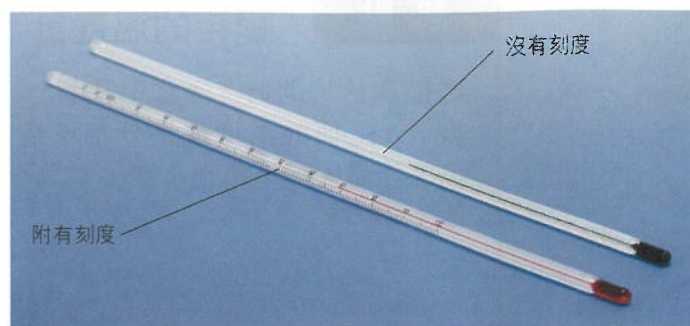


圖 1.2b 附有刻度和沒有刻度的玻璃液體溫度計

→ 模擬程式 1.1 是校準玻璃液體溫度計的「虛擬實驗」。

→ 錄像片段 1.1 示範實驗 1a。

模擬程式 1.1
錄像片段 1.1

實驗 1a 校準溫度計

- 如圖 a 所示，把沒有刻度的玻璃液體溫度計放入正在熔化的純冰中（處於 0°C ，即低定點），確保溫度計與燒杯沒有互相接觸。標出液體柱頂端的位置。
- 如圖 b 所示，改用正在沸騰的純水（處於 100°C ，即高定點），並重複步驟 1。把兩個刻度之間的範圍分為 10 等份，每份代表 10°C 。
- 用這支校準了的溫度計，量度自來水的溫度。

小心：加熱時，切勿觸摸燙熱的裝置。

可向學生指出只要用其他隨溫度改變的量取代液體柱的長度，便能以類似的方法校準各種溫度計。



圖 a



圖 b

討論

為甚麼要待液體柱頂端停留在固定位置後，才把它標出？
確保溫度計內的液體達至純熔冰和純沸水的溫度（分別為 0°C 和 100°C ）。

我們在實驗 1a 簡化了校準的過程，所標出的刻度並不够仔細。一般而言，實用溫度計的刻度比較精細，定點之間的每一等份代表 1°C 。

溫度也可以用符號 θ 代表。

這線圖稱為校準圖。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

線圖

標繪線圖後，檢查下列各項：

- x 軸和 y 軸附有適當的標示和單位；
- 數據點和兩軸的比例正確；
- 正確繪畫一條穿過數據點的圖線。

在起點中，浩揚只要使用實驗 1a 或例題 1 的方法，便可校準溫度計。

設 T 為溫水的溫度。

$$\frac{L_T - L_0}{L_{100} - L_0} = \frac{T - 0}{100 - 0}$$

$$T = \frac{L_T - L_0}{L_{100} - L_0} \times 100$$

除上述方法外，也可用線圖來校準沒有刻度的溫度計。例題 1 展示這個方法。

例題 1 校準溫度計

一支沒有刻度的玻璃液體溫度計處於不同溫度時，液體柱有不同的長度（表 a）。

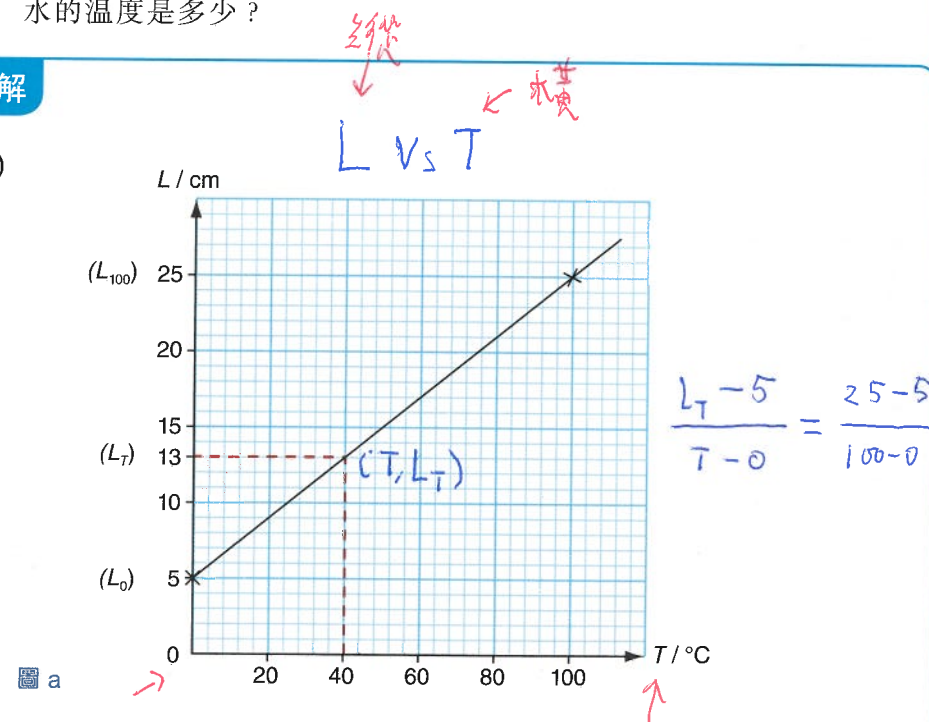
溫度計泡的位置	溫度 $T / ^\circ\text{C}$	液體柱長度 L / cm
於熔冰中	0	5.0
於沸水中	100	25.0

表 a

- 標繪 L 對 T 的線圖。
- 假設溫度計放入一杯溫水時，液體柱的長度 L 變成 13.0 cm 。溫水的溫度是多少？

題解

(a)



(b) 方法一：

從線圖讀出溫度。溫度是 40°C 。

方法二：

把 5.0 cm 和 25.0 cm 兩個標記之間的範圍分成 100 等份。按照比例：

溫水的溫度

$$= \frac{13.0 - 5.0}{25.0 - 5.0} \times 100$$

$$= 40^\circ\text{C}$$

進度評估 2 Q1 (p.13)

如果不慎打破了溫度計，酒精比水銀安全和容易處理，因此學校實驗室較常使用酒精溫度計。

水銀的凝固點約為 -39°C 。
酒精的沸點約為 78°C 。

有些酒精溫度計能量度 78°C 以上的高溫，這是因為溫度計內的酒精處於高壓狀態，令沸點遠高於這個溫度。

c 水銀溫度計和酒精溫度計

水銀和酒精（染紅色）常用作玻璃液體溫度計內的液體，但兩種溫度計的特性並不相同（表 1.2a）。

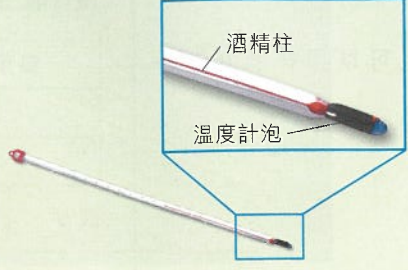
水銀溫度計	酒精溫度計
	
☺ 可量度較高的溫度（高達 357°C ，即水銀的沸點）	☺ 可量度較低的溫度（低至 -115°C ，即酒精的凝固點）
☺ 對溫度的變化反應迅速	☹ 對溫度的變化反應較慢
☹ 水銀有毒	☺ 酒精無毒

表 1.2a 比較水銀溫度計和酒精溫度計

生活中的物理 舊式的體溫計

舊式的體溫計是一種特別設計的水銀溫度計。量度體溫時，只須把溫度計泡放在舌頭下數分鐘（圖 a），便可得出結果。溫度計泡附近有一個折彎處（圖 b），能防止液體倒流回溫度計泡；即使體溫計從口腔抽出，讀數也不會下跌。使用後，要用動體溫計，液體才會回流到溫度計泡內。

體溫計上只標出正常體溫以外幾度的範圍，因此，量度結果會十分準確。



2 不同種類的溫度計

表 1.2b 介紹一些常見的溫度計。

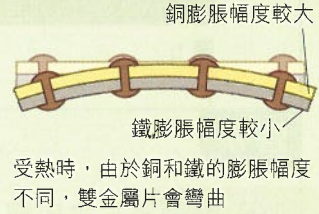
溫度計	與溫度相關的物性	應用範圍
玻璃液體溫度計 	液體的體積 $T \uparrow \Rightarrow \text{體積} \uparrow$	量度人體、液體、氣體的溫度
紅外輻射溫度計 	紅外輻射的強度 $T \uparrow \Rightarrow \text{強度} \uparrow$	量度體溫
轉動式溫度計 	雙金屬片的曲率 $T \uparrow \Rightarrow \text{曲率} \uparrow$ 	量度焗爐、冰箱、食物的溫度
電阻溫度計 	金屬的電阻 $T \uparrow \Rightarrow \text{電阻} \uparrow$	量度高溫物體（例如焗爐和引擎）的溫度
熱敏電阻溫度計 熱敏電阻器 	熱敏電阻器的電阻 $T \uparrow \Rightarrow \text{電阻} \downarrow$	量度人體、電器的溫度，或用作溫度感應器
液晶體溫度計 	液晶體的顏色 $T \text{ 改變} \Rightarrow \text{顏色改變}$	量度人體、魚缸的溫度

表 1.2b 不同種類的溫度計

例題 2 轉動式溫度計

雙金屬片由銅片和鐵片結合而成(圖 a)。

(a) 受熱時，銅膨脹的幅度比鐵大。雙金屬片受熱時會怎樣？



(b) 轉動式溫度計經常用來量度食物的溫度(圖 b)。它內置一塊捲曲的雙金屬片(圖 c)；雙金屬片的一端是固定的，另一端連接到溫度計的指針。解釋轉動式溫度計的運作原理。



圖 b

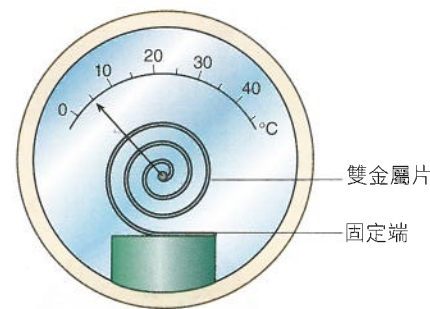


圖 c

題解

(a) 雙金屬片會向鐵片彎曲。

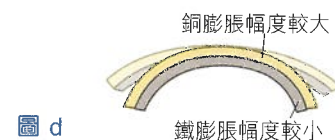


圖 d

(b) 溫度上升時，雙金屬片的捲曲程度會加大，指針因而指向較大的讀數。相反，溫度下降時，指針便指向較小的讀數。

▶ 複習 Q16 (p.18)

生活中的物理 香港天文台怎樣測量溫度？

香港天文台的自動氣象站採用鉑電阻溫度計來測量氣溫。每支溫度計都安裝在保護罩內，免受陽光和雨水影響。電腦會每分鐘記錄氣溫一次，然後分析結果。



保護罩內的鉑電阻溫度計

預試訓練 1 標繪線圖

表 a 列出電阻溫度計(圖 a)於不同溫度 T 時的電阻 R 。電阻的單位是 Ω 。

$T / ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40
R / Ω	12	23	35	50	61

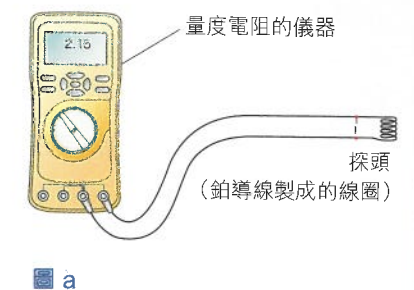


表 a

(a) 標繪 R 對 T 的關係線圖。

(3 分)

(b) $R = 40 \Omega$ 時，溫度是多少？

(1 分)

題解

(a) 圖 b 顯示 R 對 T 的關係線圖。

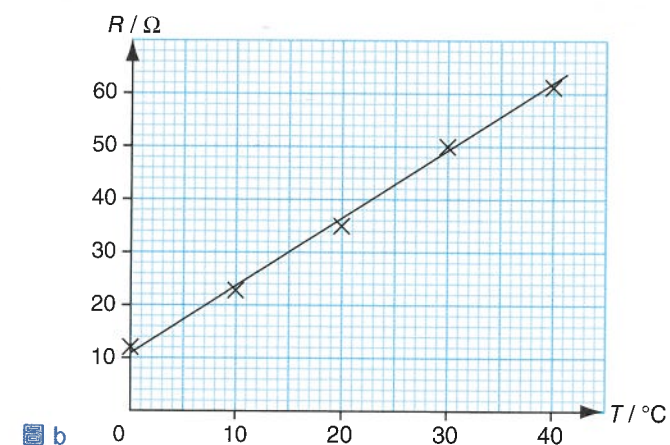


圖 b

(標明兩軸並附有單位)

(正確的點和比例)

(正確的直線)

(b) 根據線圖， $R = 40 \Omega$ 時， $T = 23 ^\circ\text{C}$ 。

常見錯誤

1A 學生或忘記標上單位，或沒有充分利用方格紙的空間繪圖，以致讀取數據時出現較大誤差。

1A

1A

1A 繪畫直線能減低個別數據引起的誤差。

1A

進度評估 2 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.7)。

11 圖 a 展示一支溫度計的校準圖。

(a) 溫度是 $60 ^\circ\text{C}$ 時，液體柱的長度是多少？**15 cm**

(b) 液體柱的長度是 19 cm 時，溫度是多少？ **$80 ^\circ\text{C}$**

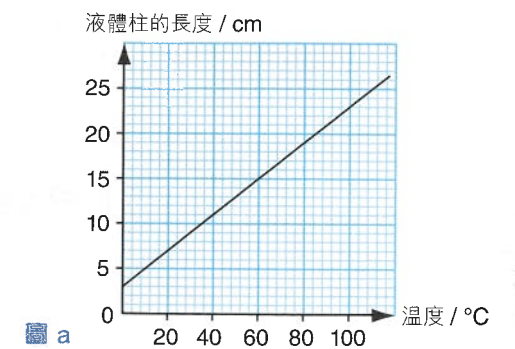


圖 a

習題與思考 1.2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.7)。

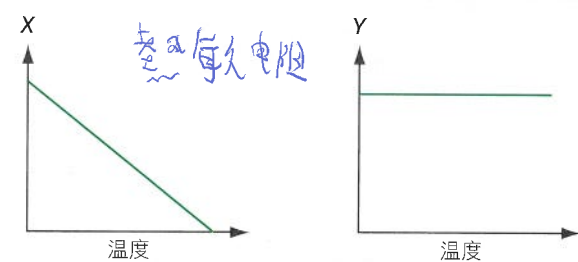
1 下列哪一項不是以攝氏溫標校準玻璃管液體溫度計的步驟？

- A 把溫度計放在熔化中的純冰。
- B 用本生焰加熱溫度計。**
- C 標記液體柱在高定點時的長度。
- D 把高定點和低定點之間的範圍分成 100 等份。

2 下列哪一種溫度計可放進耳朵中量度體溫？

- A 玻璃液體溫度計
- B 液晶體溫度計
- C 紅外輻射溫度計**
- D 轉動式溫度計

3 下列哪些是與溫度相關的物性？

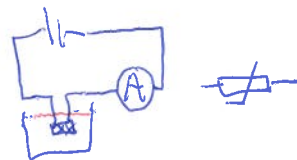


- A 只有 X 和 Y
- B 只有 X 和 Z**
- C 只有 Y 和 Z
- D X、Y 和 Z

4 (a) 熱敏電阻溫度計 (圖 a) 應用了哪種與溫度相關的物性？



(b) 據此，解釋熱敏電阻溫度計的運作原理。



5 電阻溫度計內有一個金屬線圈。冰點時，線圈的電阻是 35 單位；汽點時，電阻是 120 單位。如果線圈的電阻是 80 單位，溫度是多少？

6 (a) 列出三種可以量度體溫的溫度計。
(b) 在題 (a) 所列出的各種溫度計，分別應用了哪種與溫度相關的物性？

7 學生要校準一支酒精溫度計。他把溫度計先後放入在熔化的純冰和沸騰中的純水，得出酒精柱的長度分別是 4.2 cm 和 18.4 cm。

- (a) 如果酒精柱的長度是 15.6 cm，溫度是多少？
- (b) 溫度是 30 °C 時，酒精柱的長度是多少？

8 在一次實驗中，學生把已校準的溫度計放入正在熔化的冰塊中，然後再放入沸水中。液體柱在 0 °C 時的長度是 5 cm，在 100 °C 時的長度是 25 cm。假設液體柱長度與溫度帶線性關係。

- (a) 試在圖 b 標繪線圖，以顯示液體柱的長度怎樣隨溫度改變。
- (b) 溫度是 50 °C 時，液體柱的長度是多少？
- (c) 液體柱的長度是 21 cm 時，溫度是多少？

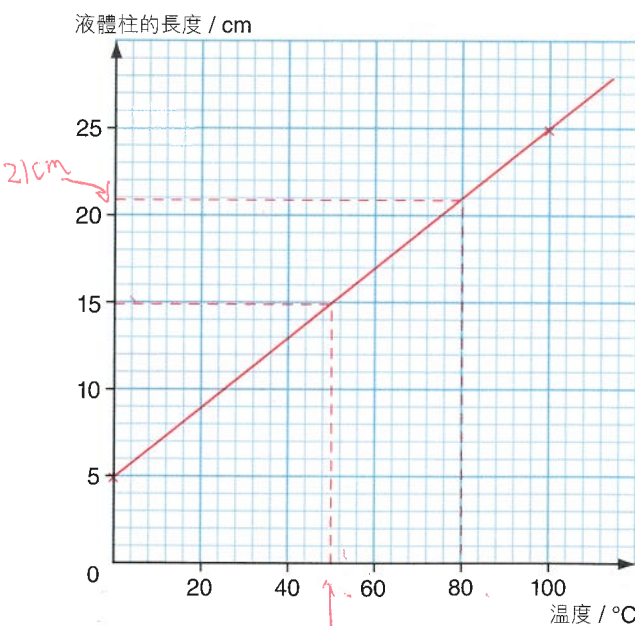


圖 b

總結 1

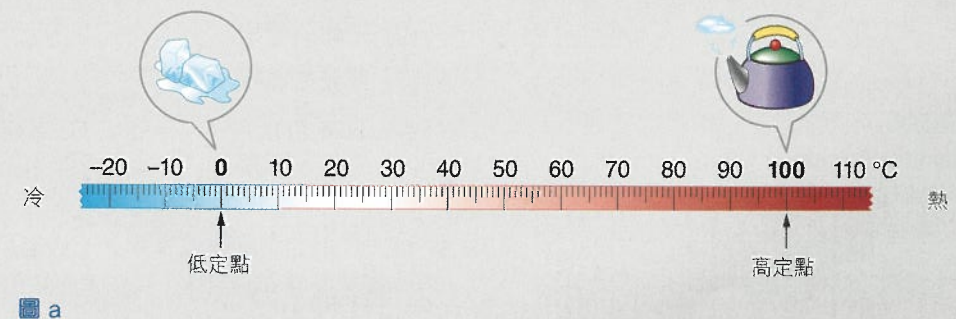
詞彙

1 溫度 temperature	p.3	7 汽點 steam point	p.4
2 溫度計 thermometer	p.3	8 攝氏度 (°C) degree Celsius	p.4
3 攝氏溫標 Celsius temperature scale	p.4	9 與溫度相關的物性 temperature-dependent property	p.7
4 低定點 lower fixed point	p.4	10 玻璃液體溫度計 liquid-in-glass thermometer	p.7
5 冰點 ice point	p.4	11 校準 calibrate	p.8
6 高定點 upper fixed point	p.4		

課文摘要

1.1 溫度與溫標

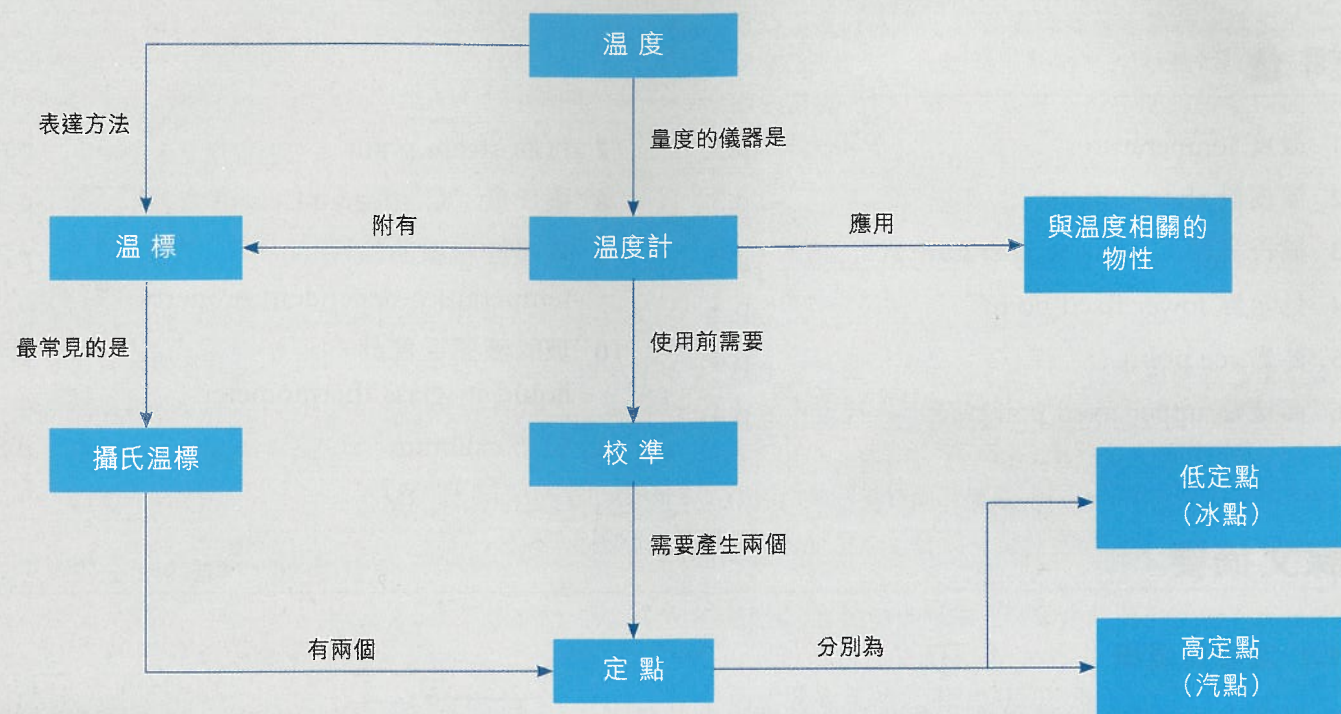
- 溫度表示物體的冷熱程度。溫度計是量度溫度的儀器。
- 每個溫標通常都有兩個容易重複產生的定點。把兩個定點之間的範圍分成若干等份，每一等份稱為一度。
- 攝氏溫標 (圖 a)：
 - 低定點設定為冰點：在標準大氣壓強下，純冰熔化時的溫度；
 - 高定點設定為汽點：在標準大氣壓強下，純水沸騰時，上升蒸汽的溫度。



1.2 溫度計

- 每種溫度計應用了一種與溫度相關的物性。
- 溫度計經校準後才可用來量度溫度。

概念圖



複習 1

- Q1 攝氏溫度的單位應該是 $^{\circ}\text{C}$ 。
Q2 溫度計應置於正在熔化的純冰中。

概念重溫

(第 1 至 2 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

- 1.1.1 攝氏溫度的單位是 $^{\circ}\text{C}$ 。 F
1.2.2 在校準溫度計的過程中，產生冰點的方法是把溫度計放在標準大氣壓強下的純冰中。 F

多項選擇題

- 1.1.3 下列哪項相當於攝氏溫標中的低定點？

- (1) 0°C
(2) 汽點
(3) 冰點
A 只有 (1) 和 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- 1.2.4 下列哪種物質的特性可以應用於製作溫度計？

- (1) 金屬的電阻
(2) 液體的體積
(3) 氣體的體積
A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)
D (1)、(2) 和 (3)

- 1.1.5 華氏溫標在美國比較常用，華氏溫度 T_F (以 $^{\circ}\text{F}$ 量度)與攝氏溫度 T_C 可用以下公式換算：

$$T_F = 1.8T_C + 32$$

下列哪些敘述是正確的？

- (1) 冰會在 0°F 熔化。
(2) 水會在 212°F 沸騰。
(3) 溫度上升 1°C 相等於上升 1°F 。
A 只有 (2)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 6 金屬線放入正在熔化的冰塊時，電阻是 25 單位；放進沸水時，電阻是 80 單位。如果金屬線放入 40°C 的水中，電阻是多少？(假設金屬線的電阻與溫度帶線性關係。)

- A 22 單位
B 25 單位
C 47 單位
D 55 單位

- ★ 7 下列哪一項特性最不适合用於量度溫度？

- A 大小
B 顏色
C 質量
D 導電能力

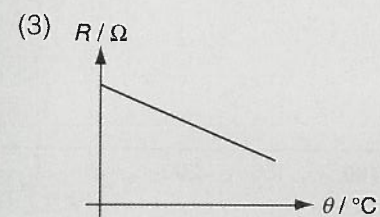
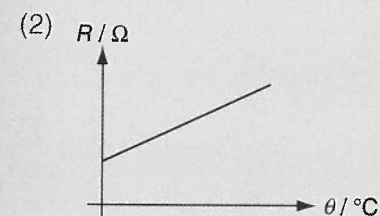
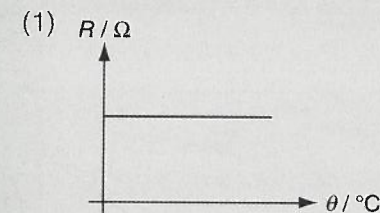
- ★ 8 一支刻度均勻的溫度計於校準時出現誤差。它放在正在熔化的冰塊時，讀數是 10°C ；放在沸水上方的蒸汽時，讀數是 90°C 。如果溫度計的讀數是 40°C ，真正的溫度應該是多少？

- A 27.5°C
B 32°C
C 37.5°C
D 40°C

▶ 參看 p.9

- 1.2.9 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一甲部 Q1

下圖顯示三個不同電路元件的電阻 R 隨溫度 θ 的變化。哪個/哪些電路元件可用作量度溫度？



- A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

問答題

- ★ 10 志美用沒有刻度的溫度計(圖 a)來量度不同的溫度，結果如下(表 a)：



圖 a

溫度計的位置	溫度/ $^{\circ}\text{C}$	液體柱的長度/ cm
沸水中	100	24.6
志美舌頭的下方	x	12.0
熔冰中	0	3.7

表 a

求 x 的值。39.7 (2 分)

- ★ 11 一支溫度計的部分刻度已經褪色，只知道液體柱在 0°C 和 80°C 的長度分別是 6 cm 和 21 cm。假設液體柱長度與溫度帶線性關係。試找出液體柱在 (a) 37°C 和 (b) 汽點時的長度。 (3 分)

12.9 cm 24.8 cm

- ★ 12 試描述怎樣定義攝氏溫標。 (4 分)

- ★ 13 志明正在校準一支溫度計，他先把溫度計放入熔冰中，然後放進沸水中，液體柱的長度分別是 3.2 cm 和 18.2 cm。假設液體柱長度與溫度帶線性關係。

(a) 如果液體柱的長度是 7.7 cm，溫度是多少？

30 $^{\circ}\text{C}$ (2 分)

(b) 溫度是 65°C 時，液體柱的長度是多少？13.0 cm (2 分)

- ★ 14 志傑要校準一支水銀溫度計，於是把它先後放入正在熔化的純冰和沸騰中的純水，水銀柱的長度分別是 3.8 cm 和 16.4 cm。

(a) 如果水銀柱長 8.8 cm，溫度是多少？ (2 分)

39.7 $^{\circ}\text{C}$

(b) 寫出水銀柱長度 L 與溫度 T 的關係，並據此草繪 L 與 T 的關係線圖。 $L = 0.126T + 3.8$ (3 分)

(c) 我們不應隨便丟棄水銀溫度計，試解釋原因。 (1 分)

- ★ 15 圖 b 是一支水銀溫度計的校準圖。

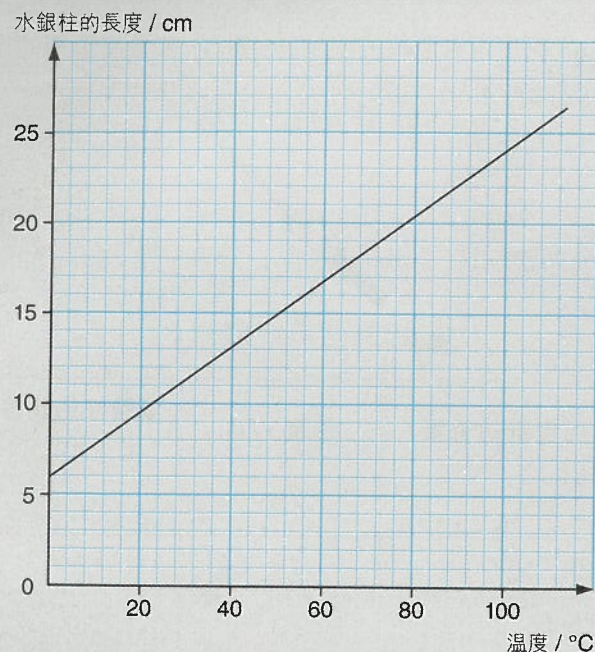


圖 b

- (a) 如果水銀柱長 16 cm，溫度是多少？ (1 分)
 (b) 溫度是 -10°C 時，水銀柱的長度是多少？ (2 分)
 (c) 求線圖的斜率。 (2 分)
 (d) 據此，寫出溫度 T 與水銀柱 L 長度的關係。

$$L = 0.187T + 6 \quad (1 \text{ 分})$$

- ★ 16 (a) 解釋為甚麼轉動式溫度計安裝的是雙金屬片，而不是單一的金屬片。 (3 分)
 (b) 圖 c 展示鋅和鐵的熱膨脹幅度。某個轉動式溫度計的雙金屬片就是用這兩種金屬製成的 (圖 d)。金屬 A 是哪種金屬？試加以解釋。

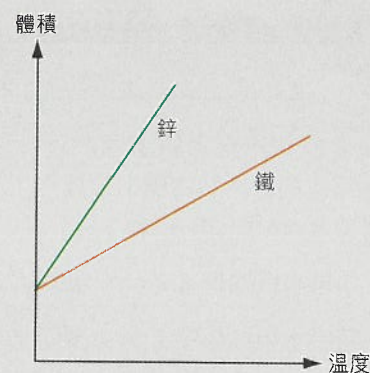


圖 c



圖 d

- ★★ 17 表 b 顯示一些金屬的資料 (愈多 ★ 代表該項能力或數字愈大)。

	銅	鐵	金屬 X
導電能力	★★★	★	★★
熱膨脹程度	★★★	★★	★
熔點	★	★★	★★★★

表 b

根據以上資料回答下列問題。

- (a) 要製造一個靈敏度高的轉動式溫度計，應選用哪兩種金屬？為甚麼？銅、金屬 X (2 分)
 (b) 要使溫度計可量度最大的溫度範圍，你會選用哪種金屬？你又會製造哪種溫度計？試解釋你的答案。金屬 X、電阻溫度計 (3 分)

▶ 參看 p.11-12

- ★★ 18 圖 e 顯示水銀溫度計中，水銀體積與溫度的關係。圖 f 標示了水銀柱的長度。

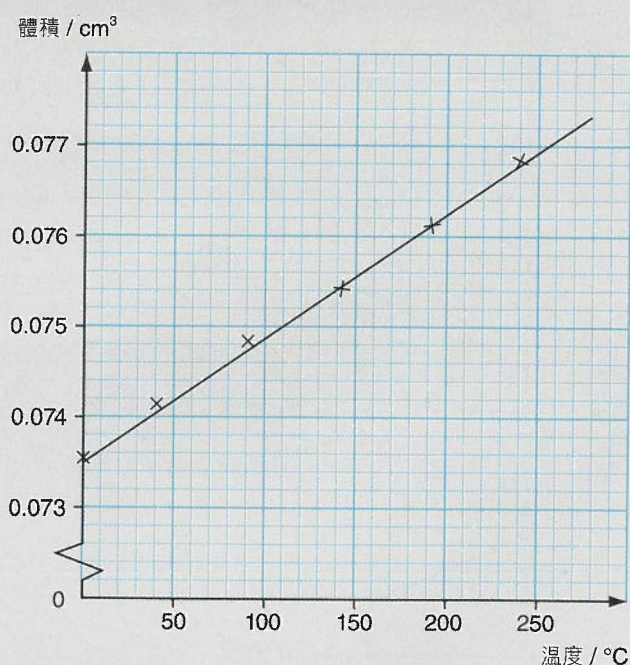


圖 e

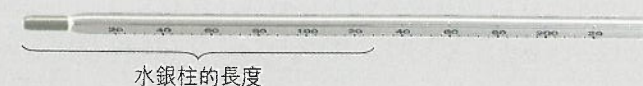


圖 f

- (a) 以水銀作為玻璃液體溫度計內的液體有哪些好處？試舉出兩個。 (2 分)
 (b) 水銀溫度計放進熔化中的純冰時，水銀柱長 3.6 cm。現在，溫度計放進沸騰中的純水。已知溫度計玻璃管的截面積是 0.01 mm^2 。
 (i) 根據上圖，找出水銀體積的改變。 (1 分)
 (ii) 據此，求水銀柱的長度。 (2 分)
 (c) 浩文認為，溫度計內的水銀可用染了顏色的水來代替，並以校準水銀溫度計的方法重新校準後，便能正常運作。試評論他的想法。 (2 分)

不正確 ▶ 參看 p.9

實驗題

- ★ 19 文浩校準一個熱敏電阻溫度計。他先後把溫度計放入 0°C 和 100°C 的水中，並量度熱敏電阻器的電阻。電阻在 0°C 和 100°C 時分別是 55.0 單位和 5.0 單位。

- (a) 繪出 R 對 T 的關係線圖，並標示為 L_1 。 (2 分)
 (b) 文浩然後把溫度計放入不同水溫的水中，結果如下 (表 c)：

$T / ^{\circ}\text{C}$	0	20	40	60	80	100
$R / \text{單位}$	55.0	28.5	15.5	9.5	6.0	5.0

表 c

- (i) 在同一幅線圖上，繪出 R 對 T 的關係線圖，並標示為 L_2 。 (2 分)
 (ii) 試將電阻在 $0-100^{\circ}\text{C}$ 時的實際值，與題 (a) 中線圖的數值作比較。 (1 分)

物理文章分析

- ★ 20 閱讀下列一段文章，然後回答隨後的問題。

與溫度相關的物性在日常生活中的應用

與溫度相關的物性可應用於日常生活中的不同範疇。

課文中曾提及，液晶體溫度計會隨溫度變化而改變顏色，一些嬰兒奶瓶的設計也應用了類似的特性。舉例來說，如果所盛載的奶溫度太高，不適合嬰兒飲用時，那些奶瓶會呈現紅色；奶的溫度降至合適的範圍時，奶瓶便會變成綠色。此外，有些嬰兒用的湯匙也應用了類似的原理 (圖 g)。

雙金屬片的曲率會隨溫度改變，而且這種金屬片可以導電，所以適合製作不同類型的控溫電路，例如恆溫器或火警警報系統。圖 h 中的電路包括一塊雙金屬片，如果溫度過低，燈泡便會亮起。



圖 g

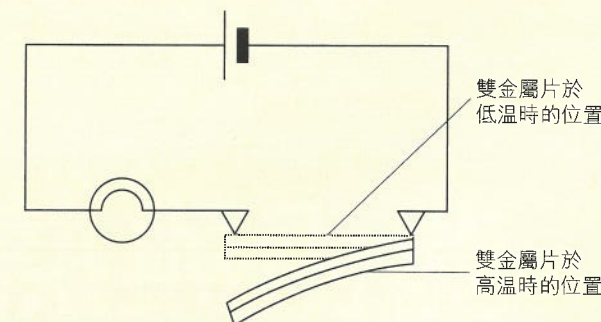


圖 h

- (a) 文章中的嬰兒奶瓶採用哪種與溫度相關的物性？這與哪種溫度計的運作原理相似？ (2 分)
 (b) 解釋雙金屬片有哪些優點，因而適用於控制溫度的電路系統。 (2 分)

自我評核 1

🕒 時間：10 分鐘 ✅ 總分：4 分

答題須知

- 1 全部題目均須作答。
- 2 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 3 答案須寫在預留的空位內。
- 4 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲 部

- 1.21 圖 a 顯示某種溫度計的結構。它由導電的金屬圈組成，但它並不需要電池驅動。

這溫度計應用了哪一種與溫度相關的物性？

- A 電阻 B 體積
C 曲率 D 長度



C

乙 部

- 1.22 圖 b 和 c 分別顯示電阻溫度計 X 和 Y 的校準圖。

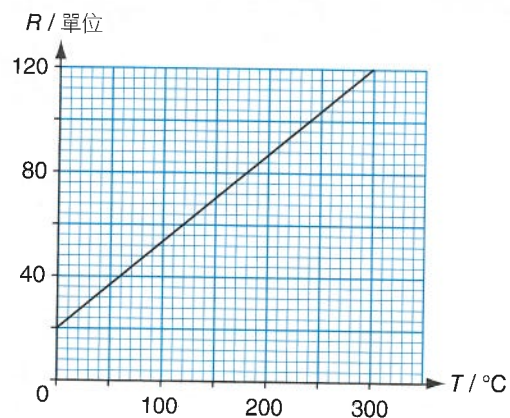


圖 b 溫度計 X 的校準圖

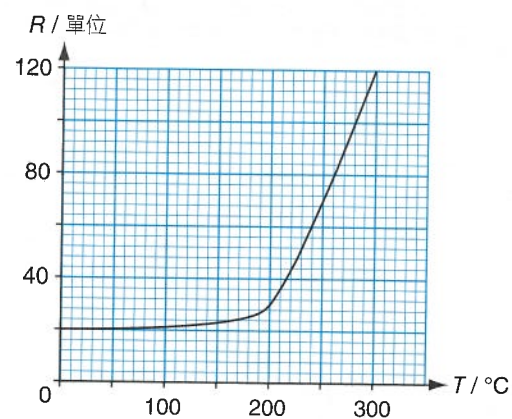


圖 c 溫度計 Y 的校準圖

- (a) 在量度溫度方面，溫度計 X 較溫度計 Y 有甚麼優勝之處？試舉出一項。 (1 分)

- (b) 寫出溫度計 Y 最適用的溫度範圍。 (1 分)

200–300 °C

- (c) 指出一項溫度計 X 和 Y 比酒精溫度計優勝之處。 (1 分)



2 熱與內能

我們在這課會學到

- 物體的內能
- 物體的熱容量及比熱容量
- 能量轉移和熱平衡

起點

儲存在物體的能量

兩杯質量相同但溫度不同的水，哪一杯儲存的能量較多？ 參看第24頁。



✓ 本節重點

- 1 物體的內能
- 2 熱為溫差引致的能量轉移
- 3 功率 = $\frac{\text{能量}}{\text{時間}}$

1 內能

a 物質的微觀模型

我們中一年級時學過，物質由很多不停運動的微小原子或分子組成。另外，物質有不同的物態（圖 2.1a）；在不同物態中，分子的排列方法和運動模式都不相同（表 2.1a，見 p.23）。

原來，物體的運動和排列方式與它們的能量有關。以下部分會先詳細說明分子的運動與物體的能量有甚麼關係。

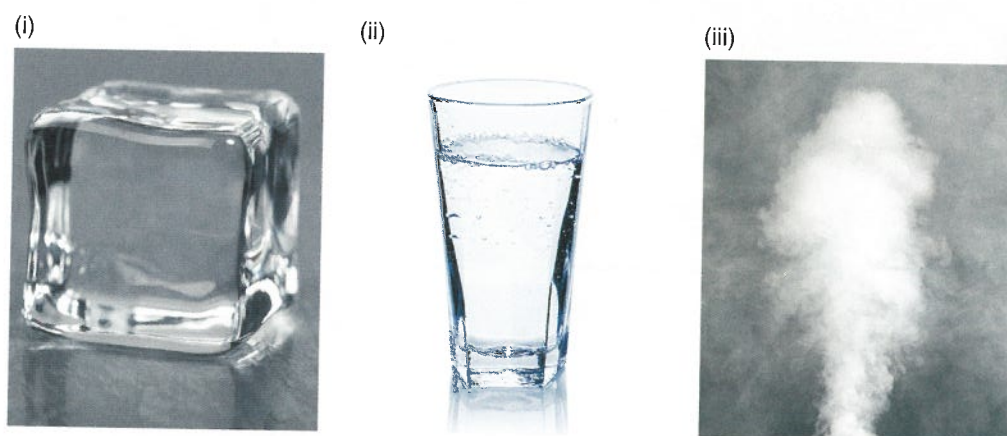


圖 2.1a 水的 (i) 固態、(ii) 液態和 (iii) 氣態

圖 (iii) 中呈現的白色「霧」實際由蒸氣凝結而成，詳細解說可參閱第 59 頁圖 3.1c。



模擬程式 2.1

→ 模擬程式 2.1 比較物質在不同物態和溫度下，分子的排列和運動。

學生可能較難接受液體和氣體分子會不斷運動，他們或會以為分子在地心吸力的影響下，會移動得愈來愈慢，甚至下跌。可向他們說明分子的質量很小，所以地心吸力的影響可以忽略不計。在碰上其他分子或容器壁之前，分子都會因為慣性而沿直線移動。

物態	特質	分子的排列	分子的運動
固態 	- 固定體積 - 固定形狀	- 緊密排列 - 維持在固定位置	在固定位置不停振動
液態 	- 固定體積 - 沒有固定形狀	- 緊密排列 - 沒有固定位置	自由移動
氣態 	- 沒有固定體積 - 沒有固定形狀	- 分子間相距很遠 - 沒有固定位置	以高速自由移動

表 2.1a 比較不同物態下分子的排列和運動

b 分子的動能

物體的分子移動時具有**動能**。分子移動得愈快，具有的動能愈多。

雖然我們無法看見物體的分子移動得有多快，但卻可以根據物體的溫度推斷出來。物體的溫度上升時，分子移動得較快，因而具有較多動能；物體的溫度下降時，分子移動得較慢，因而具有較少動能。

由此可知：

分子運動，因而具有動能；物體的溫度顯示分子平均動能的大小。

可強調溫度並不等於分子的平均動能，但兩者卻有密切的關係。第5課會有詳細說明。

可指出 0°C 的分子仍具有「大量」動能。

換言之，如果兩個物體的分子具有相同的平均動能，它們的溫度便相同。

溫度不斷下降的話，分子的平均動能最終會達至最低值，對應這個最低值的溫度稱為**絕對零度**。絕對零度約為 -273°C ，所有物體都不會低於這溫度。

c 內能

物體內所有分子的總勢能是構成內能的另一部分，有關概念會在第3課詳細介紹。

▶ 物體儲存的總能量稱為**內能**，物體內所有分子的總動能只是內能的一部分。

內能與其他形式的能量一樣，單位都是**焦耳**，簡寫是 **J**。較大的能量可以用千焦耳 (kJ) 或兆焦耳 (MJ) 為單位。

$$1 \text{ kJ} = 10^3 \text{ J} = 1000 \text{ J}$$

$$1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J} = 1\,000\,000 \text{ J}$$

在**起點**中，熱水儲存的能量（內能）較多。

▶ 內能取決於物體的溫度和質量；溫度愈高或質量愈大，內能便愈高。

內能也取決於物態，詳情可參閱第3課。

▶ (圖 2.1b)。

技巧分析

科學記數法

我們會用科學記數法表達很大或很小的數值，例如：

$$192\,000 = 1.92 \times 10^5$$

$$0.001\,23 = 1.23 \times 10^{-3}$$

為方便起見，我們會用前綴來簡化科學記數法，下表列出一些例子：

前綴	意義
m	10^{-3}
c	10^{-2}
k	10^3
M	10^6

例如：

$$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m} = 0.01 \text{ m}$$

使用前綴時，要注意英文字母的大小寫代表不同的意義，例如：

$$1 \text{ mJ} \neq 1 \text{ MJ}$$

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

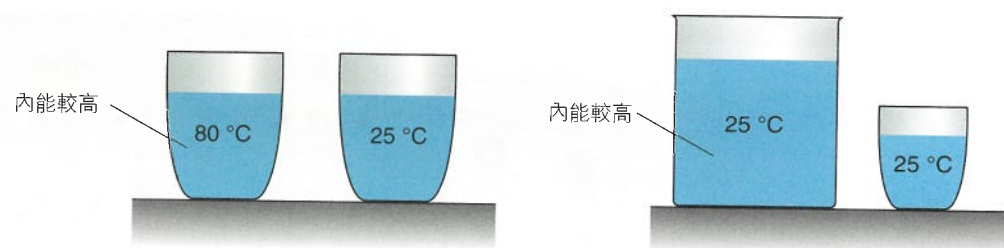


圖 2.1b 比較物體的內能

進度評估 1

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.22）。

- 11 是非題：物體的溫度上升時，分子的動能增加。 (對/錯)
- 12 偉文說：「這個物體非常冰冷！」以下哪一項**不可能**是該物體的溫度？
 (A) -300°C
 B -30°C
 C 0°C
 D 13°C
- 12 下列哪一項敘述是**不正確**的？
 A 氣體分子相距很遠，各自以高速移動。
 B 物體的溫度上升時，分子會移動較得快。
 (C) 物體的溫度顯示分子的總動能。
 D 如果兩個物體的溫度相同，它們的分子便有相同的平均動能。

2 熱與能量轉移

如圖 2.1c 所示，一杯熱茶置於一盆冷水內。

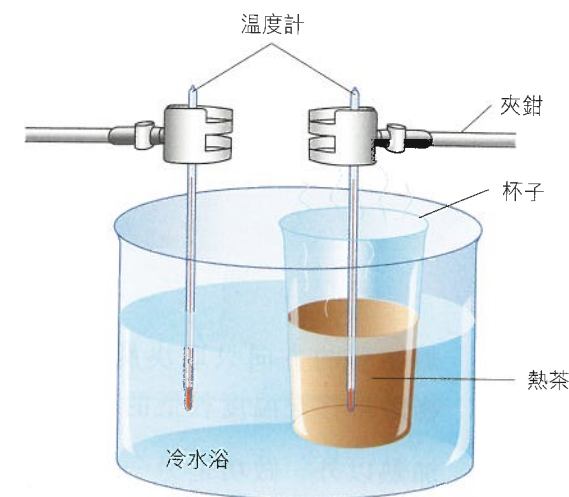


圖 2.1c 研究熱怎樣在冷水和熱茶之間轉移

冷水的溫度上升，表示水分子的平均動能增加，因此冷水的內能也增加。

熱茶的溫度會不斷下降，冷水的溫度會不斷上升，直至兩者的溫度相同為止。過程中，熱茶的內能不斷減少，而冷水的內能則不斷增加。

能量由熱茶轉移至冷水，所轉移的能量稱為**熱**。當兩個物體達至同一溫度，能量便停止轉移。

不要混淆熱和內能。內能指物體**儲存**的能量，而熱則指由**溫差**而引致的**能量轉移**。

熱由溫差導致，是從一個物體轉移至另一個物體的能量。

熱的符號是 Q ，單位是焦耳。

加熱是指由溫差導致的能量轉移過程。物體獲得熱，它的內能便增加；物體損失熱，它的內能便減少（圖 2.1d）。

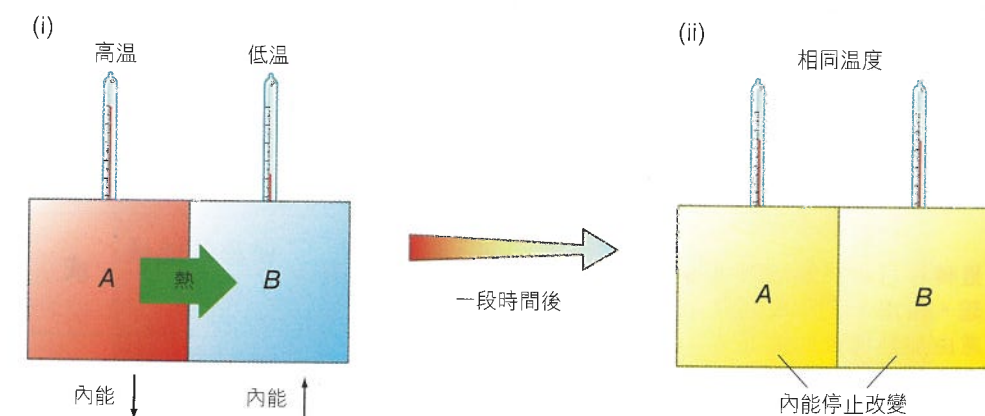


圖 2.1d (i) 熱由溫度較高的物體轉移至溫度較低的物體；(ii) 兩個物體的溫度相同，兩者之間便再沒有熱轉移

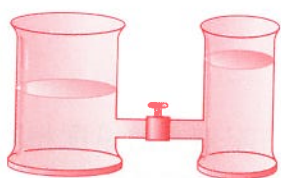
歷史點滴 焦耳 (1818–1889)

焦耳是一名英國物理學家，他證明了「熱」並非一種物質，而是能量的一種形式。這個概念日後逐漸發展成物理學的一條重要定律，稱為「能量守恆定律」。能量的單位就是以他的名字命名。

牛津物理網



必須確保學生清楚了熱、內能和溫度的分別。以下類比可幫助學生分辨這三個量。



類比的項目如下：

容器 $\Rightarrow$ 物體

水的分量 $\Rightarrow$ 內能

水位 $\Rightarrow$ 溫度

水的流量 $\Rightarrow$ 熱

水喉 $\Rightarrow$ 熱接觸

可向學生提出以下問題：

1 水會在甚麼時候停止流動（熱傳遞會在甚麼時候停止）？是在水的分量（內能）相同時，還是水位（溫度）相同時？

2 「水位（溫度）較高的容器有較多水（內能）。」這敘述是否正確？

熱轉移的方向只取決於溫差（而不是內能差），而且必定從溫度較高的物體轉移至溫度較低的物體。

加熱以外，做功是另一個增加物體內能的方法。例如，摩擦雙手時會做功，因此手掌變得溫暖（圖 2.1e）；掐着萬字夾的兩端，迅速把它拉直和屈曲數次，屈曲點的溫度便會增加（圖 2.1f）。



圖 2.1e 摩擦雙手，手掌會感到溫暖

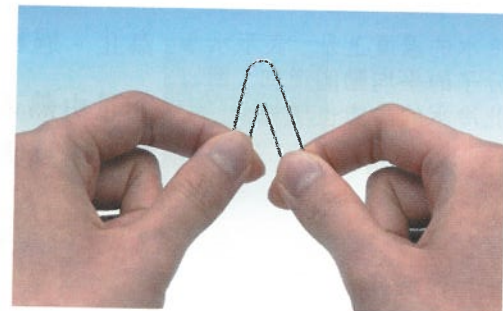


圖 2.1f 萬字夾經迅速拉直和屈曲後會變暖

3 熱轉移和功率

很多時候，我們想知道能量轉移得有多快，找出答案的方法就是量度能量的轉移率，也就是**功率**。

$$\text{功率} = \frac{\text{轉移的能量}}{\text{時間}} \quad \text{或} \quad P = \frac{Q}{t}$$

功率的單位是**瓦特**，簡寫是**W**。 $1 \text{ W} = 1 \text{ J s}^{-1}$ 。

較大的功率單位是千瓦 (kW) 和兆瓦 (MW)。

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W} = 1000 \text{ W}$$

$$1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W} = 1\,000\,000 \text{ W}$$

能量轉移可由加熱或做功引起。在這一冊，我們只考慮由加熱導致的情況。

例題 1 能量轉移

志明用一個 2 kW 的電熱水瓶（圖 a）加熱冷水。接通電源 3 分鐘後，有多少能量轉移到水裏？



圖 a

題解

$$\begin{aligned} \text{能量轉移 } Q &= Pt \\ &= 2000 \times 180 \\ &= 360\,000 \text{ J} \\ &= 360 \text{ kJ} \end{aligned}$$

進度評估 2 Q5 (p.28)

一焦耳的能量非常微小（燃燒一支火柴也可釋放 2000 J 能量），在實際情況下，我們通常用**千瓦小時**（簡寫 **kWh**）來量度能量。電費也是以這個單位來計算的。

緊記千瓦小時是能量的單位，而不是功率的單位。一千瓦小時相等於功率為 1 kW 的電器，使用一小時所消耗的能量，即：

$$1 \text{ kWh} = (1000 \text{ J s}^{-1})(3600 \text{ s}) = 3\,600\,000 \text{ J} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

我們可以視乎電能的多少，選擇用**焦耳計**或**千瓦時計**（圖 2.1g）來量度供應給電器的電能。一般來說，焦耳計用來量度低壓電源供應的電能，千瓦時計則量度市電供應的電能。



圖 2.1g (i) 焦耳計和 (ii) 千瓦時計

歷史點滴

瓦特 (1736–1819)



瓦特是一名英國數學家和工程師。馬力這個單位便是由他引入的，至今我們仍然會用它來量度引擎和蒸汽機的功率。功率的單位就是以瓦特的名字命名的。

牛津物理網

千瓦小時 (kWh) kilowatt-hour 焦耳計 joulemeter 千瓦時計 kilowatt-hour meter
瓦特 James Watt

進度評估 2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.22)。

- 3 1 一個燈泡經焦耳計連接到電源。焦耳計量度的是甚麼？
 A 燈泡發出的熱
 B 燈泡的內能
 C 燈泡的溫度
 (D) 供應給燈泡的能量
- 2 2 一些冰塊放進了一杯暖水中 (圖 a)。下列哪一項會由水轉移到冰塊？
 (A) 熱
 B 溫度
 C 質量
 D 功率
- 3 3 電熱水瓶在 5 分鐘內把 540 000 J 的能量轉移到水中。它的功率是多少？
 A 1080 W
 (B) 1800 W
 C 9000 W
 D 108 000 W
- 3 4 功率為 2 kW 的發熱器操作了 30 分鐘後，共消耗了多少能量？ $3.6 \times 10^6 \text{ J}$ $Q = 2000 \times 30 \times 60$
 [提示：發熱器消耗的能量 = $Pt = ?$] $= 3.6 \times 10^6 \text{ J}$
- 3 5 某電熱水瓶的功率是 2500 W。用這電熱水瓶把 1.2 kWh 的能量轉移至水，需要多少時間？1728 s
 [提示：根據 $P = \frac{Q}{t}$, $t = ?$] $2500 = \frac{1.2 \times 10^6}{t}$
 $t = 1728 \text{ s}$



圖 a

習題與思考 2.1

- 1 1 以下哪項會隨物體的溫度上升而增加？
 (1) 物體粒子的平均動能 KE
 (2) 物體粒子的總動能
 (3) 物體的內能 $IE = PE + KE$
 A 只有 (1) 和 (2) B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3) (D) (1)、(2) 和 (3)
- 2 2 下列哪項必定能增加物體的內能？
 (1) 讓它與另一個內能較高的物體互相接觸
 (2) 把它加熱 Q
 (3) 猛力摩擦物體
 A 只有 (1) 和 (2)
 B 只有 (1) 和 (3)
 (C) 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)
- 2 3 冷的匙子放進熱湯時，
 A 湯的所有內能都會轉移到匙子。
 (B) 湯的內能會減少。
 C 匙子會儲存更多熱。
 D 匙子的溫度會下降。
- 1 4 考慮一瓶冷水和一杯熱水。下列哪項敘述必然正確？
 (1) 熱水的內能較高。
 (2) 熱水粒子的總動能較高。
 (3) 熱水粒子的平均動能較高。
 (A) 只有 (3)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)
- 3 5 一個 5 kW 電熱器的發熱元件完全浸在水中。電熱器啟動半小時後，有多少能量轉移到水裏？試以 (a) kWh 和 (b) J 表示答案。 $E = 5000 \times 0.5 \times 3600 = 9 \times 10^6 \text{ J}$
 2.5 kWh $9 \times 10^6 \text{ J}$
- ★ 6 電熱水瓶在 10 分鐘內把 600 kJ 的能量轉移至水。如果該電熱水瓶要提供 1100 kJ 的能量來把水加熱，需要多少時間？1100 s
 $E = Pt$
 $600 \text{ kJ} = P \times 10 - \text{①}$
 $1100 \text{ kJ} = P \times t - \text{②}$
 $\frac{1100}{600} = \frac{t}{10}$
 $t = 18.3 \text{ min}$
- ★ 7 評論以下敘述句。
 1, 2 (a) 「如果 X 的溫度較 Y 高，X 的內能必定較 Y 多。」 不正確
 (b) 「熱總是從內能較多的物體轉移至內能較少的物體。」 不正確

2.2

比熱容量

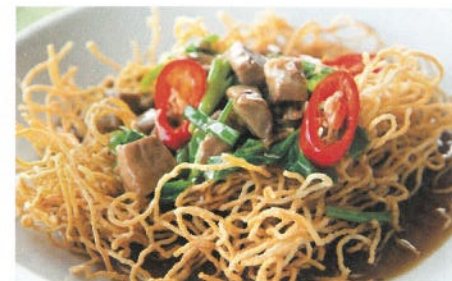
起點

湯麵與炒麵

你試過在冬天吃湯麵和炒麵嗎？有沒有留意到炒麵通常比湯麵冷卻得快？為甚麼會這樣？參看第 42 頁。



湯麵



炒麵

✓ 本節重點

- 1 熱容量 C
- 2 比熱容量 c
- 3 應用方程 $Q = mc\Delta T$
- 4 熱平衡
- 5 水具有高比熱容量的重要性

這部分會討論有哪些因素影響物體受熱時的溫度轉變。

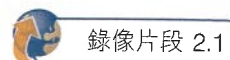
1 能量轉移與溫度轉變

把水煲內的水加熱，水的溫度就會上升。如果要讓水溫升得更高，便須要延長加熱時間。此外，水煲內的水愈多，加熱時間便愈長 (圖 2.2a)。



圖 2.2a 加熱水煲內的水。如果 (i) 水溫要升得更高、(ii) 水的質量增加，便要延長加熱時間

以下實驗會探討加熱時的能量轉移、物體的溫度轉變、物體的質量，三者有甚麼關係。



錄像片段 2.1

→ 錄像片段 2.1 示範實驗 2a。

實驗 2a 能量轉移、溫度轉變和質量的關係

如圖 a 所示裝置實驗器材，把焦耳計連接電源。找出電熱器轉移至水的能量、水溫的轉變、水的質量有甚麼關係。

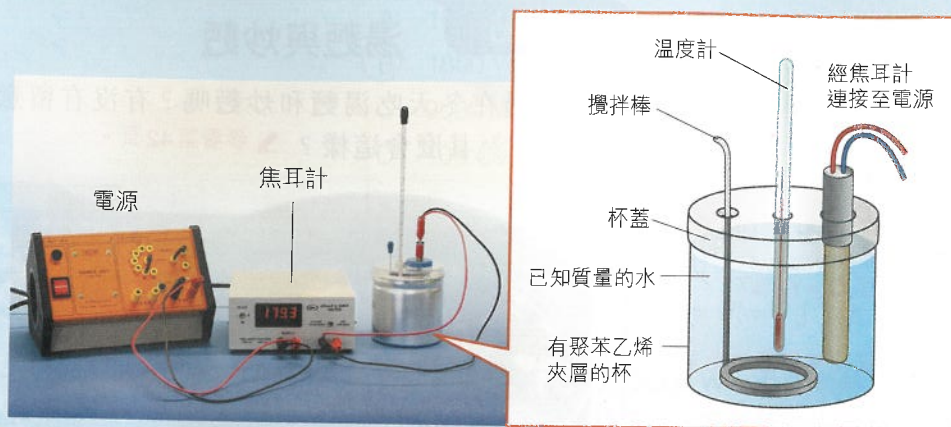


圖 a

預防措施

- 1 先把電熱器的發熱部分完全浸沒在水中，然後才接通電源，否則電熱器可能因過熱而損壞。
- 2 實驗過程中，電熱器的發熱部分必須完全浸沒在水中，儘量讓電熱器的能量都轉移到水裏。
- 3 把水攪勻後才記錄溫度，以確保整杯水的溫度相同。

討論

- 1 水的質量不變時，電熱器轉移至水的能量和水溫轉變有甚麼關係？
兩者成正比。
- 2 在相同的水溫轉變下，電熱器轉移至水的能量和水的質量有甚麼關係？
兩者成正比。

補充資料 聚苯乙烯杯

研究熱的實驗，通常都會用聚苯乙烯杯或有聚苯乙烯夾層的杯，因為：

- 1 它只會吸收很少能量；
- 2 它能減少散失到周圍環境的能量。



聚苯乙烯的熱容量很低，所以只會吸收很少能量。它的導熱率很低，所以能減少散失到四周的能量。

技巧分析

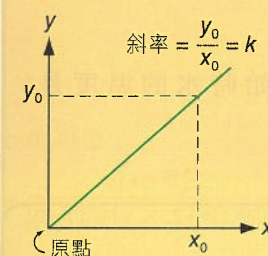
 $y \propto x$

y 與 x 成正比，可寫成 $y \propto x$ ，這代表 $y = kx$ ，其中 k 是常數。

利用下表可以標繪 $y \propto x$ 的線圖。

x	y
0	0
x_0	y_0
$2x_0$	$2y_0$

以直線連接各點，便會得出通過原點而斜率是 k 的線圖。



「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

根據實驗 2a 的結果，把轉移的能量 Q 與溫度轉變 ΔT 標繪成線圖後，會得到一條通過原點的直線（圖 2.2b），這說明 Q 與 ΔT 成正比。

$$Q \propto \Delta T \quad (m \text{ 保持不變}) \quad (1)$$

實驗還證明，在相同的溫度轉變 ΔT 下，轉移的能量 Q 與水的質量 m 成正比（圖 2.2c）。

$$Q \propto m \quad (\Delta T \text{ 保持不變}) \quad (2)$$

上述關係也適用於其他物質。

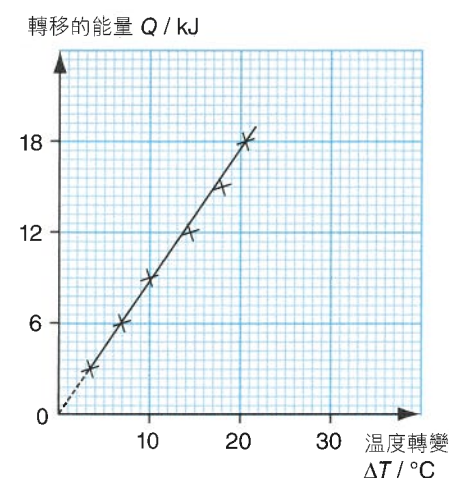


圖 2.2b 轉移的能量對溫度轉變的關係線圖。如果質量不變，溫度的變化愈大，所需的能量愈多。

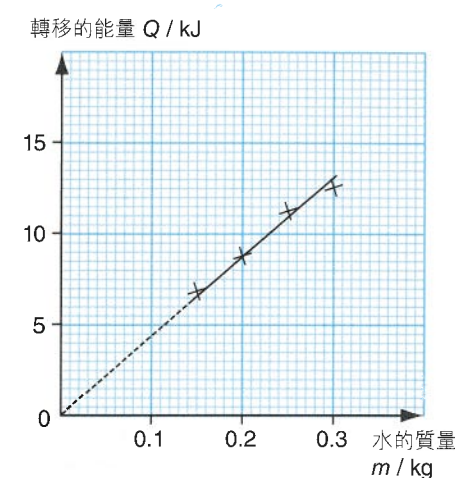


圖 2.2c 轉移的能量對水的質量的關係線圖。如果溫度轉變相同，物體的質量愈大，所需的能量愈多。

2 熱容量

根據 (1)，轉移到物體的能量 Q 與溫度轉變 ΔT 成正比，它們的關係可以用以下公式表示

$$Q = C\Delta T \quad \text{或} \quad C = \frac{Q}{\Delta T}$$

圖 2.2b 中，直線的斜率代表水的熱容量。

$$\begin{aligned} C \text{ 的單位} &= \frac{Q \text{ 的單位}}{\Delta T \text{ 的單位}} \\ &= \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}} \\ &= \text{J } ^\circ\text{C}^{-1} \end{aligned}$$

其中 C 是常數，稱為**熱容量**，單位是 $\text{J } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

加熱物體，令它的溫度升高 1°C 所轉移的能量，稱為該物體的**熱容量**。

假設要把一杯水和一泳池內所有水的溫度都提升 1°C 。根據常識，加熱泳池內的水顯然需要較多能量，由此可推論出泳池水的熱容量較大。

例題 2 不同質量的水具有的熱容量

要使一杯水的溫度由 15°C 上升至 20°C ，需要 4 kJ 的能量。要使泳池內所有水的溫度有同樣變化，則需要 $5 \times 10^7\text{ kJ}$ 的能量。



圖 a



圖 b

- (a) 以上兩者的熱容量是多少？
 (b) 假設有 4 kJ 的能量供應給杯內的水。如果開始時水的溫度是 25°C ，水加熱後的溫度是多少？

題解

$$(a) \text{ 杯內水的熱容量} = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{4 \times 10^3}{20 - 15} = 800\text{ J }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$\text{泳池內水的熱容量} = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{(5 \times 10^7) \times 10^3}{20 - 15} = 10^{10}\text{ J }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

- (b) 由於供應給水的能量相同，無論初溫度是多少，水的溫度總是上升 5°C 。

$$\therefore \text{水加熱後的溫度} = 25 + 5 = 30^{\circ}\text{C}$$

▶ 進度評估 3 Q1 (p.32)

所需能量取決於溫度變化，而不是初溫度。

進度評估 3 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.29)。

- 11 火爐把 $240\,000\text{ J}$ 的能量轉移到鐵塊中，鐵塊的溫度便上升 80°C 。鐵塊的熱容量是多少？
 A $2400\text{ J }^{\circ}\text{C}^{-1}$ B $3000\text{ J }^{\circ}\text{C}^{-1}$
 C $16\,000\text{ J }^{\circ}\text{C}^{-1}$ D $19\,200\text{ J }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- 12 發熱器把 500 kJ 的能量轉移到 30°C 的水裏。如果水的熱容量是 $10\,000\text{ J }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，它在加熱後的溫度是多少？
 A 80°C B 50°C
 C 30°C D 20°C

3 比熱容量

物體的熱容量各有不同。在例題 2 中，即使水杯內的水和泳池內的水屬同一種物質，它們的熱容量也相差很遠。為了方便比較把不同物質加熱 1°C 所需的能量，我們可以找出每單位質量的熱容量，也就是**比熱容量**。

加熱 1 kg 的物質，令它的溫度升高 1°C 所轉移的能量，稱為該物質的比熱容量。

物質的比熱容量高，便要向它供應更多能量，才能使每單位質量的物質上升 1°C 。

根據第 31 頁的公式 (1) 和 (2)，轉移到物體的 energy Q 和物體的溫度轉變 ΔT 成正比，也和物體的質量 m 成正比。它們的關係可用以下公式表示：

$$Q = mc\Delta T \text{ 或 } c = \frac{Q}{m\Delta T}$$

$$\begin{aligned} c \text{ 的單位} &= \frac{Q \text{ 的單位}}{m \text{ 的單位} \times \Delta T \text{ 的單位}} \\ &= \frac{\text{J}}{\text{kg} \times ^{\circ}\text{C}} \\ &= \text{J kg}^{-1}^{\circ}\text{C}^{-1} \end{aligned}$$

▶ 其中 c 是比熱容量，單位是 $\text{J kg}^{-1}^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。把以上公式與熱容量的公式比較，得出：

$$c = \frac{C}{m} \text{ 或 } C = mc$$

注意熱容量 C 描述個別物體的特性，而比熱容量 c 描述物質的特性。

例題 3 提升物體溫度所需的能量

- (a) 把 5 kg 鉛塊從 20°C 加熱至 100°C ，需要多少能量？鉛的比熱容量是 $900\text{ J kg}^{-1}^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。
 (b) 鉛塊內的分子運動和鉛塊的內能，兩者會怎樣改變？

題解

$$\begin{aligned} (a) \text{ 所需能量 } Q &= mc\Delta T \\ &= 5 \times 900 \times (100 - 20) \\ &= 360\,000\text{ J} \end{aligned}$$

- (b) 分子振動得更劇烈，因此分子的動能增加。由此可知，鉛塊的內能也會增加。

▶ 習題與思考 2.2 Q8 (p.45)

例題 3 中，鉛塊的能量改變可用圖 2.2d 表達：

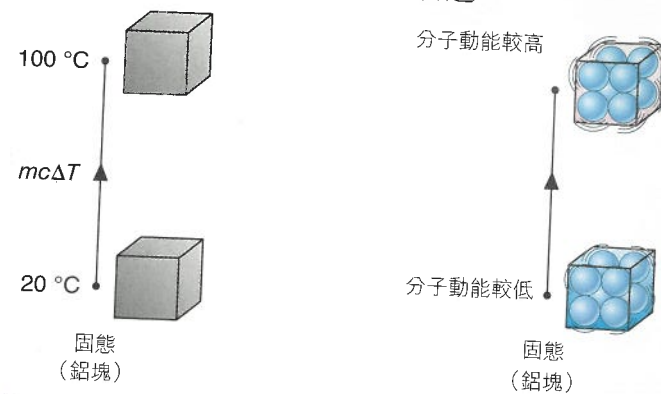


圖 2.2d 鉛塊的溫度、分子動能和內能的改變

圖 2.2d 顯示，鉛塊的內能增加了 $mc\Delta T$ ；此外，鉛塊的分子振動得更劇烈，因此分子的動能也增加。

模擬程式 2.2
錄像片段 2.2

→ 模擬程式 2.2 是量度水的比熱容量的「虛擬實驗」。

→ 錄像片段 2.2 示範實驗 2b。

實驗 2b 量度水的比熱容量

如圖 a 所示裝置實驗器材。找出把 0.2 kg 水加熱約 10 °C 所需的能量，並計算水的比熱容量。



預防措施

- 1 先把電熱器的發熱部分完全浸沒在水中，然後才接通電源，否則電熱器可能會因過熱而損壞。
- 2 實驗過程中，電熱器的發熱部分必須完全浸沒在水中，儘量讓電熱器的能量都轉移到水裏。
- 3 關上電熱器後，須不斷攪拌杯內的水，以確保整杯水的溫度相同，並記錄測得的最高溫度。剛切斷電源時，電熱器比水熱得多，須等待一段時間，讓電熱器的能量全部傳遞到水中。

討論

- 1 實驗中哪些因素會引致誤差？
能量散失到四周；能量傳遞至聚苯乙烯杯、攪拌器和溫度計。
- 2 這些因素怎樣影響實驗結果？
實驗結果會大於標準值。

實驗技巧應用

例題 4 水的比熱容量

在實驗 2b 中，得到以下數據：

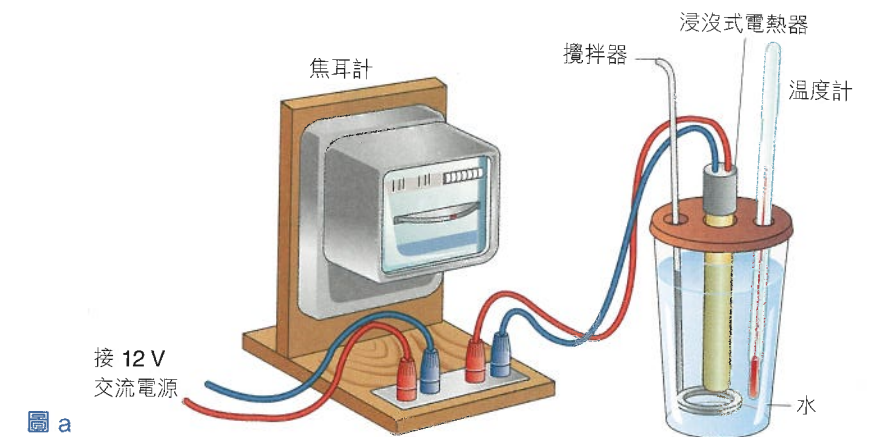
焦耳計的初讀數 = 46 000 J

焦耳計的末讀數 = 61 000 J

水的初溫度 = 20 °C

水的末溫度 = 37 °C

水的質量 = 0.2 kg



- (a) 找出水的比熱容量。
- (b) 水的比熱容量標準值是 $4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。計算題 (a) 的百分誤差。
- (c) 列舉兩個會引致實驗誤差的因素，並描述它們怎樣影響實驗結果。
- (d) 怎樣才能提高實驗的準確度？

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

有效數字與近似值

我們可根據所需的準確度，以適當的有效數字寫出答案結果。

例如，取 3 位有效數字：

$4543 \approx 4540$

取 2 位有效數字

$4543 \approx 4500$

如果答案是小數，取 3 位有效數字：

$6.545 \approx 6.55$

取 2 位有效數字：

$6.545 \approx 6.5$

除特別指明外，本書的答案一般以 3 位有效數字表達。

題解

$$(a) Q = 61\,000 - 46\,000 = 15\,000 \text{ J}$$

$$\Delta T = 37 - 20 = 17 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

水的比熱容量

$$= \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{15\,000}{0.2 \times 17} = 4410 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

(b) 百分誤差

$$= \frac{4410 - 4200}{4200} \times 100\% = 5\%$$

(c) 引致誤差的因素包括：(1) 能量散失到周圍環境；(2) 部分能量轉移至聚苯乙烯杯、攪拌器和溫度計。這些因素會令實驗結果較標準值大。

(d) 用棉絮包裹聚苯乙烯杯，以減少能量散失到周圍環境。

複習 Q30 (p.53)

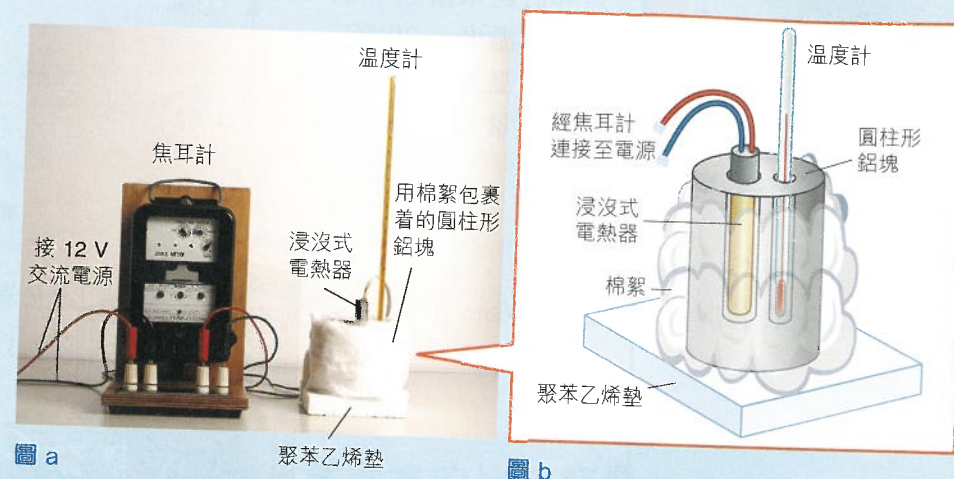
模擬程式 2.3
錄像片段 2.3

→ 模擬程式 2.3 是量度鋁的比熱容量的「虛擬實驗」，學生可選擇用不同金屬來完成實驗。

→ 錄像片段 2.3 示範實驗 2c。

實驗 2c 量度鋁的比熱容量

如圖 a 和 b 所示裝置實驗器材。找出把 1 kg 的圓柱形鋁塊加熱約 10 °C 所需的能量，並計算鋁的比熱容量。



預防措施

- 1 在小孔內加入幾滴油，以確保電熱器、溫度計與鋁塊有良好的接觸。
- 2 把鋁塊放在聚苯乙烯墊上，減少能量散失到桌面。
- 3 電熱器的發熱部分完全插入鋁塊後才接通電源，否則電熱器可能會因過熱而損壞。
- 4 關上電熱器後，不要立刻記錄溫度，應記錄測得的最高溫度。

討論

- 1 為甚麼要用棉絮包裹鋁塊？這可減少能量散失到四周。
- 2 實驗中哪些因素會引致誤差？能量散失到四周；能量傳遞至聚苯乙烯墊和溫度計。

每種物質都有特定的比熱容量，表 2.2a 列出一些常見物質的比熱容量。對於液體和固體物質，只要分別依照實驗 2b 和 2c 的方法量度比熱容量，便可得出表內的數值。注意水的比熱容量非常高。

物質	水	鋁	玻璃	鐵	鋼	銅	鉛	金
比熱容量 / $\text{J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	4200	900	600	480	466	370	130	129

表 2.2a 一些常見物質的比熱容量

水的高比熱容量源自它的分子間氫鍵。水的高比熱容量的應用見第 42–43 頁。

預試訓練 1 比熱容量 ☆ 香港中學會考 2008 年卷一 Q4

圖 a 中，某隔熱性能良好的容器內有一個質量為 1.6 kg 的鋁塊。浸沒式電熱器和溫度計插入鋁塊的小孔內，電熱器所供應的能量以焦耳計量度。圖 b 顯示鋁塊的溫度 T 怎樣隨電熱器供應的能量 Q 改變。

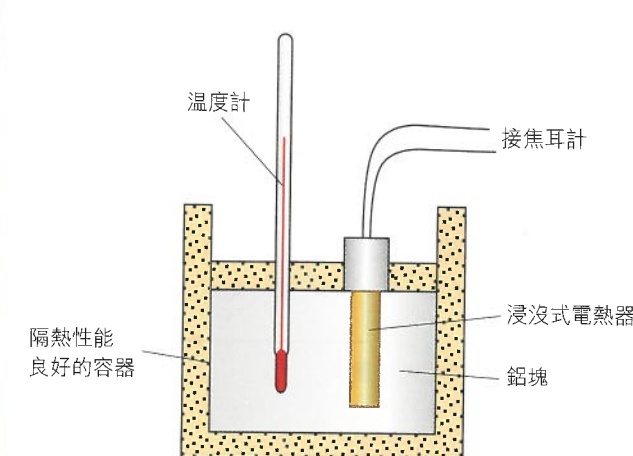


圖 a

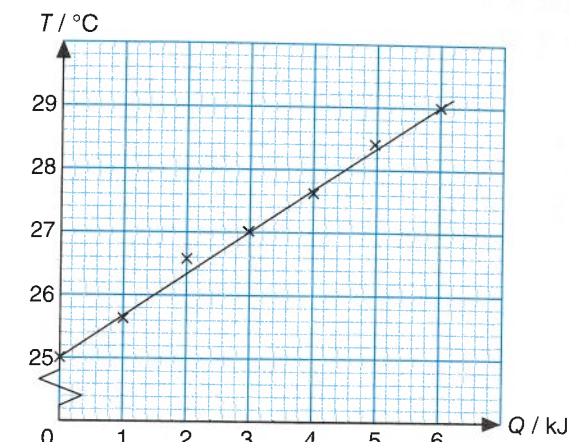


圖 b

- 求鋁的比熱容量。 (2 分)
- 指出一個引致實驗誤差的因素。 (1 分)
- 指出線圖的斜率在以下情況怎樣改變：
 - (i) 在題 (b) 提及的因素可以略去不計； (1 分)
 - (ii) 鋁塊的質量增加。 (1 分)

題解

- 參閱圖 b。電熱器供應 6 kJ 的能量時，鋁塊的溫度由 25 °C 升至 29 °C。

根據 $Q = mc\Delta T$,

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{6 \times 10^3}{1.6 \times (29 - 25)} = 938 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

- 容器和溫度計吸收了部分由電熱器供應的能量。
- (i) 斜率會增加。
(ii) 斜率會減少。

常見錯誤

1M 學生可能會從 T 對 Q 的線圖選出一組數據來代入方程 $Q = mc\Delta T$ ，並嘗試找出答案。然而，這個方法並不正確，原因是線圖並不穿過原點。緊記 ΔT 對 Q 的關係線圖才會穿過原點。

常見錯誤

1A 學生或誤以為誤差是由能量散失到周圍環境所引致。事實上，使用隔熱性能良好的容器，能量流失的程度並不顯著。

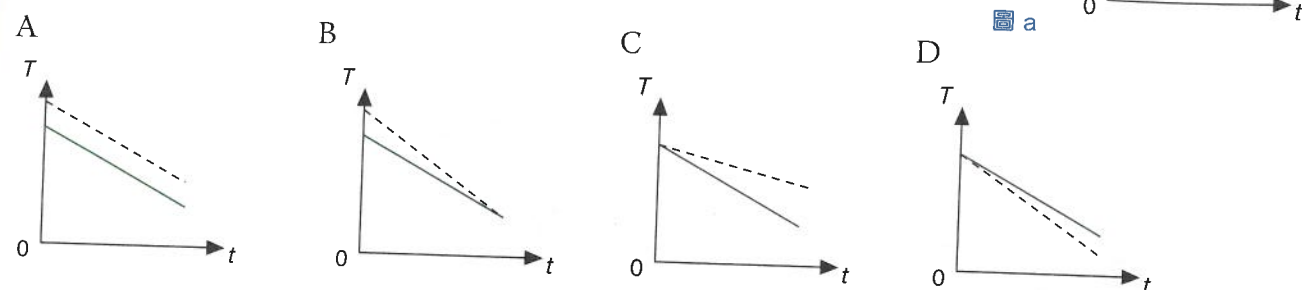
▶ 複習 Q31 (p.54)

預試訓練 2

溫度—時間關係線圖 ☆ 香港中學會考 2010 年卷二 Q33

學生做實驗時，利用風扇冷卻高溫物體 X 。圖 a 顯示 X 的溫度 T 怎樣隨時間 t 改變。

假設 X 的質量增加，而它的能量流失率不變。以下哪一幅圖的虛線最能顯示 T 與 t 的關係？



題解

由於能量流失率不變，物體每秒鐘失去的能量 Q 與之前相同。考慮方程 $Q = mc\Delta T$ 。如果質量 m 上升，每秒鐘內的溫度變化 ΔT 便會下降，亦即是說溫度下降得較慢。

∴ 答案是 C。

常見錯誤

學生或誤以為質量愈大，溫度便下降得愈快。出現這種誤解的原因，可能是解題時沒有應用方程 $Q = mc\Delta T$ 。

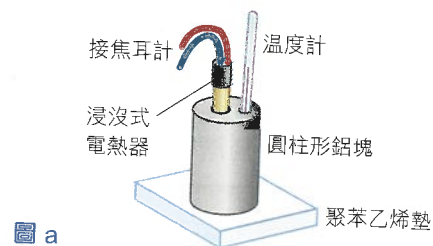
留意 A 和 B 的線圖代表物體的初溫度比之前高。

▶ 複習 Q17 (p.51)

進度評估 4

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.29)。

21



在圖 a 的實驗中，電熱器會加熱下列哪些儀器？

- (1) 溫度計 (2) 鋁塊
(3) 聚苯乙烯墊
- A 只有 (1) B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3) **D (1)、(2) 和 (3)**

3 2 試找出 5 kg 鐵的熱容量。 $2400 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}$

(鐵的比熱容量 = $480 \text{ J kg}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$)

[提示: $C = mc = ?$]

3 3 一杯質量為 0.5 kg、溫度為 $80 ^\circ\text{C}$ 的熱水冷卻至 $30 ^\circ\text{C}$ 。熱水會釋出多少能量？ **105 kJ**

取水的比熱容量為 $4200 \text{ J kg}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

[提示: $Q = mc\Delta T = ?$]

模擬程式 2.4

→ 模擬程式 2.4 是模擬兩個溫度不同的物體接觸時的情況。學生可改變物體的初溫度，然後找出它的末溫度。

▶ 兩個物體達到熱平衡時，熱仍會由一個物體轉移至另一個物體，但熱的淨轉移是零。

4 熱平衡

兩個溫度不同的物體互相接觸時，能量會由較熱的物體轉移至較冷的物體。當這兩個物體達至相同溫度，能量便停止轉移 (圖 2.2e)，在這個情況下，這兩個物體就達到**熱平衡**。

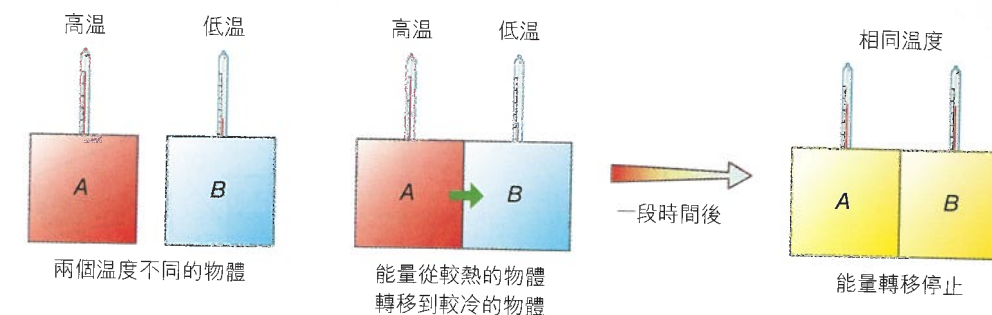


圖 2.2e 能量轉移的過程

假設沒有能量散失到周圍環境，則：

較熱物體失去的能量 = 較冷物體吸收的能量

以上結論遵守**能量守恆定律**：

一個封閉系統的總能量是守恆的 (總是保持不變)。我們既不能創造能量，也不能把它毀滅。

這是一條十分重要的定律，往後的章節會有更詳細的討論。

錄像片段 2.4

→ 錄像片段 2.4 示範實驗 2d。

實驗 2d 「混合物」

分別量度一杯冷水和一杯熱水的質量和溫度，然後把兩杯水迅速混合，並量度「混合物」的溫度 (圖 a)。計算熱水失去的能量，以及冷水吸收的能量。

討論

減少能量散失到四周。

- 1 為甚麼須在短時間內完成實驗？
- 2 冷水吸收的能量與熱水散失的能量相同嗎？為甚麼？

不相同，因為有能量散失到四周。



圖 a

如果知道兩杯水的初溫度，便可以根據能量守恆定律，找出兩者混合後的末溫度。例題 5 會闡明所用的計算方法。

例題 5 混合物的末溫度

學生把 0.5 kg、溫度為 90 °C 的水加入 0.2 kg、溫度為 15 °C 的水中 (圖 a)。

- (a) 假設沒有能量散失到周圍環境，試找出水混合後的末溫度。取水的比熱容量為 $4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。
- (b) 經量度所得，水混合後的末溫度是 65 °C。把這數值與題 (a) 的答案比較，並解釋兩者的差異。



題解

- (a) 設混合物的末溫度是 $T \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

熱水失去的能量 = 冷水吸收的能量

$$0.5 \times 4200 \times (90 - T) = 0.2 \times 4200 \times (T - 15)$$

$$0.5 \times (90 - T) = 0.2 \times (T - 15)$$

$$T = 68.6$$

末溫度是 68.6 °C。

- (b) 量度結果較題 (a) 的答案低，原因是熱水和混合物的部分能量散失到周圍環境。

▶ 習題與思考 2.2 Q19 (p.46)

例題 5 中，水混合時的能量轉變可用圖 2.2f 來表達。

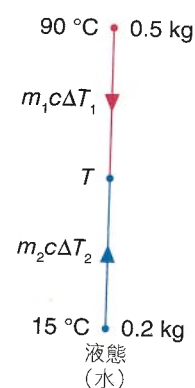


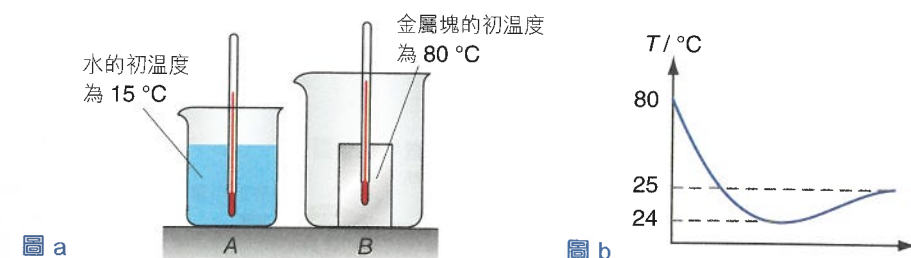
圖 2.2f 水混合時的能量轉變

圖 2.2f 中，箭號表示兩杯水混合後各自的能量轉變。如果只考慮量值，兩杯水的能量轉變相同，即 $m_1c\Delta T_1 = m_2c\Delta T_2$ 。

實驗技巧應用

例題 6 量度比熱容量的實驗

君怡設計了以下實驗裝置來量度金屬的比熱容量：實驗開始時，容器 A 盛有 0.5 kg、溫度為 15 °C 的水；容器 B 則盛有 0.95 kg、溫度為 80 °C 的金屬塊 (圖 a)。她迅速把水倒進容器 B，並量度金屬塊在往後一段時間內的溫度變化 (圖 b)。



- (a) 試找出 (i) 室溫、(ii) 水和金屬剛達至熱平衡時的溫度 T 。
- (b) 求金屬塊的比熱容量 c 。取水的比熱容量為 $4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。
- (c) 君怡認為，以聚苯乙烯杯取代容器 B 能提高實驗的準確度。解釋她的想法是否正確。

題解

- (a) (i) 室溫是 25 °C。

(ii) T 是金屬塊在整個過程中的最低溫度，即 24 °C。

- (b) 金屬塊失去的能量 = 水吸收的能量

$$0.95c \times (80 - 24) = 0.5 \times 4200 (24 - 15)$$

$$c = 355 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

- (c) 君怡的想法正確。聚苯乙烯杯能減少散失至周圍環境的能量，也能減少從周圍環境吸收的能量。

▶ 複習 Q29 (p.53)

在某段時間內，水和金屬的溫度都低於室溫。使用聚苯乙烯杯能減少由周圍環境傳遞到水和金屬的能量。

補充資料 量度溫度

用溫度計量度物體溫度時，溫度計和物體互相接觸，因此會出現熱轉移，直至兩者的溫度相同為止。所以，量度溫度的過程會稍微改變物體的溫度。



5 水具有高比熱容量的重要性

在起點中，湯麵的水含量遠高於炒麵，所以熱容量較炒麵高，因而冷卻得較慢。此外，湯麵的總質量一般較大，這是冷卻得較慢的另一原因。

水的比熱容量很高 ($4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)，因此它在吸收或釋放大量能量後，溫度也不會大幅改變。正因為這種特性，水在多方面都具有實用價值。

a 用作冷卻劑

水十分適宜用作汽車引擎的冷卻劑。汽車引擎運作時溫度很高，水會吸收引擎的能量，然後通過散熱器把能量釋放到空氣中 (圖 2.2g)。

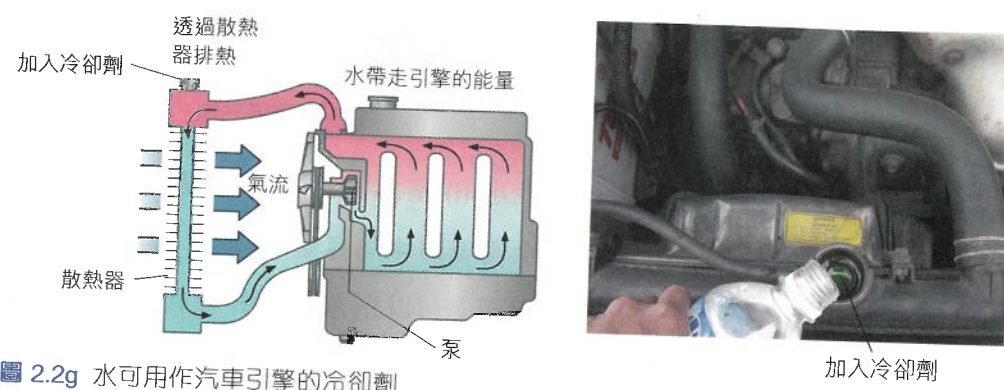


圖 2.2g 水可用作汽車引擎的冷卻劑

此外，發電站 (圖 2.2h) 和大型空調系統 (圖 2.2i) 也會用水作冷卻劑。



圖 2.2h 冷卻塔內的水吸熱並轉為蒸汽



圖 2.2i 大型空調系統的冷卻塔

太空衣也會以水作為冷卻劑，把過量的熱從太空人身上帶走 (圖 2.2j)。有些軍服、運動服、消防保護裝備也應用了類似的設計。



圖 2.2j 以水作為冷卻劑的衣服



錄像片段 2.5

→ 錄像片段 2.5 示範「滅火奇招」。

b 調節體溫

水佔人體質量的 60–70%。由於水的比熱容量很高，在氣溫轉變時，我們可以靠體內的水分來維持體溫 (圖 2.2k)。



圖 2.2k 水對維持體溫非常重要

c 對氣候的影響

相比同一緯度的內陸城市，沿海城市夏季較涼快，冬季較和暖。以下的實驗有助理解個中原因。



錄像片段 2.6

→ 錄像片段 2.6 示範實驗 2e。



實驗 2e

水溫改變的快慢

- 1 預備質量相同的水和沙各一杯，兩者溫度與室溫相同。以鎢絲燈從正上方照射兩個燒杯 (圖 a)，利用溫度計或溫度感應器，記錄水和沙的溫度。



圖 a

- 2 移走鎢絲燈，並改用 40°C 的水和沙，再次記錄水和沙的溫度。觀察兩者的溫度改變。

討論

水還是沙的溫度變化得較快？沙

實驗 2e 模擬沿海地區和內陸地區的情況。水的比熱容量很大，因此水與沙相比，前者的溫度上升和下降得較慢。由此可解釋為甚麼沿海地區一日之內的溫差比內陸地區小 (即使兩地緯度相同)，也可解釋沿海地區冬暖夏涼的原因。

進度評估 5

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.29)。

41 固體 X 與固體 Y 互相接觸一段時間後，兩者達至熱平衡。試指出以下各項敘述是否正確。假設散失至周圍環境的能量可略去不計。

- (a) 它們的溫度相同。正確
 (b) 它們的內能相同。不正確
 (c) 一個固體失去的能量等於另一個固體吸收的能量。正確

42 A 和 B 是由相同物料製成的碟子，它們的初溫度分別是 4°C 和 20°C ，質量分別是 0.5 kg 和 0.25 kg 。兩者互相接觸後，溫度是多少？ 9.33°C
 [提示：A 吸收的能量 = B 失去的能量]

STSE 熱容量、全球暖化與海平面上升

全球暖化指地球表面的平均溫度不斷上升，成因是地球的大氣層困住愈來愈多來自太陽的能量。海洋的熱容量遠高於陸地，因此，大氣層困住的能量大部分會儲存在海洋。假如這些能量都儲存在陸地，會發生甚麼事情？

海洋受熱後，海水膨脹。海洋的熱容量很高，因此溫度改變得很慢，可能要經過數百年，溫度才穩定下來，海洋才停止膨脹。

海洋膨脹是海平面上升的一個主要原因。綜觀所有原因，海洋膨脹為海平面上升所帶來的影響估算約為 57%。有關海平面上升的資料，可瀏覽香港天文台的網站：http://www.hko.gov.hk/climate_change/faq/faq_uc.htm#Q9



孟加拉地勢低，經常出現氾濫。假如全球暖化導致海平面大幅度上升，會出現甚麼後果？

如果未來數百年海平面持續上升，沿海城市會怎樣？海水溫度上升對海洋生物又有甚麼影響？

習題與思考 2.2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.29)。

(第 1 至 2 題) 學生做實驗時把四種不同的物質加熱，表 a 顯示實驗結果：

	P	Q	R	S
質量 / kg	1	5	3	2
$\Delta T / ^{\circ}\text{C}$	5	5	10	10
所需能量 / J	645	5850	11 540	10 460

表 a C 129 234 385 523

31 哪一種物質的比熱容量最高？

- A P
 B Q
 C R
 D S

$$Q = mc\Delta T$$

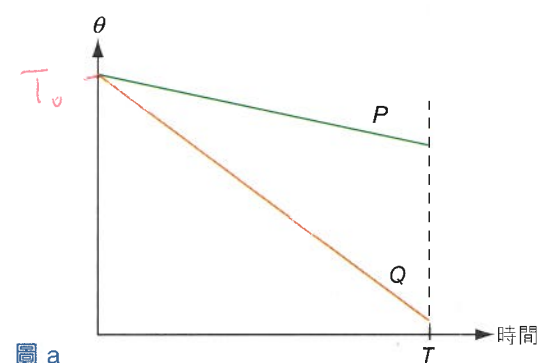
$$c = \frac{Q}{m\Delta T}$$

$$P = \frac{645}{1 \times 5} = 129$$

32 該四種物質以不同的電熱器加熱，但加熱時間相同。加熱哪一種物質的電熱器功率最高？

- A P
 B Q
 C R
 D S

1, 2, 3 熱的液體 P 和 Q 有相同的質量和初溫度，兩者放進了同一雪櫃之內。圖 a 顯示它們的溫度 θ 怎樣隨時間改變。



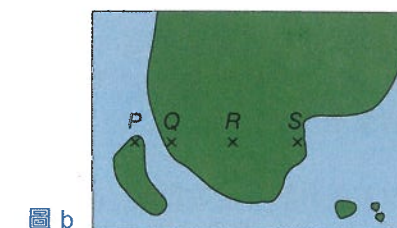
下列哪項敘述是正確的？

- (1) P 的熱容量較 Q 大。
 (2) P 的比熱容量較 Q 大。
 (3) 在時間 T，P 的分子平均動能較 Q 高。
 A 只有 (1) 和 (2)
 B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

$$T \uparrow \Rightarrow KE \uparrow$$

$$KE \uparrow \Rightarrow T \uparrow$$

54 圖 b 顯示一幅地圖，當中藍色的部分代表海洋，綠色的部分代表陸地。P、Q、R、S 是四個緯度及高度相同的城市。全日的溫差最大的，最有可能是哪一個城市？



- A P
 B Q
 C R
 D S

55 以下哪項與水的比熱容量有關？

- (1) 蘋果批的餡料容易燙傷舌頭，但外層的酥皮卻甚少出現這種情況。
 (2) 泳池的水於日間時分較夜間暖。
 (3) 太空衣用水來調節太空人的體溫。

- A 只有 (2)
 B 只有 (3)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

★ 6 以下哪些物體互相接觸時會處於熱平衡？

- (1) 一杯內能是 E、溫度是 20°C 的水
 (2) 內能未知、溫度是 20°C 的酒精
 (3) 一壺內能是 E、溫度是 25°C 的水
 A 只有 (1) 和 (2)
 B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

★ 7 假設把 1 kg 溫度是 80°C 的銅塊置於 1 kg 溫度是 20°C 的水中。它們的末溫度是多少？

- A 16°C
 B 24°C
 C 50°C
 D 75°C

$$Q_{\text{loss}} = Q_{\text{gain}}$$

$$m_c c_c \Delta T_c = m_w c_w \Delta T_w$$

$$1 \times 370 (80 - T) = 1 \times 4200 \times (T - 20)$$

$$29600 - 370T = 4200T - 84000$$

$$113600 = 4570T$$

$$T = 24.8^{\circ}\text{C}$$

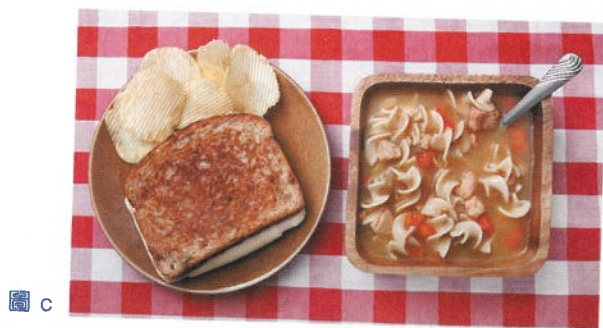
38 一杯質量為 1.75 kg 的牛奶，從 20°C 加熱至 60°C 需要多少能量？牛奶的比熱容量是 $3770\text{ J kg}^{-1}^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。 $2.64 \times 10^5\text{ J}$

- 2 9 如果把相同的能量轉移到質量相同的水和銅，哪個的溫度升幅會較高？簡單解釋你的答案。**銅**

- 3 10 志強用 200 W 的電熱器加熱 0.5 kg 湯，湯的初溫度是 20 °C。5 分鐘後，湯的溫度是多少？**54.3 °C**
(取湯的比熱容量為 3500 J kg⁻¹ °C⁻¹。)

- 3 11 以一個功率為 1500 W 的加熱器，把質量是 2 kg 的橄欖油從 25 °C 加熱至 90 °C，需時多久？橄欖油的比熱容量是 1970 J kg⁻¹ °C⁻¹。**171 s**

- 1 12 嘉隆在寒冷的冬天點了一客套餐，當中包括熱多士和湯麵(圖 c)。多士還是湯麵會較快變冷？解釋你的答案。**多士**



- 4 13 子威把 0.5 kg 溫度是 5 °C 的火腿，加入 1 kg 溫度是 90 °C 的熱水中。如果混合物的溫度是 70 °C，求火腿的比熱容量。**2580 J kg⁻¹ °C⁻¹**

- 4 14 淑敏把 200 g 溫度是 90 °C 的熱水，加入 80 g 溫度是 20 °C 的杯麵中。加入熱水後，杯麵的末溫度是多少？杯麵的比熱容量是 2000 J kg⁻¹ °C⁻¹。**78.8 °C**

- ★ 15 圖 d 顯示能量轉移與物體溫度變化的關係。該物體的熱容量是多少？**250 J °C⁻¹**

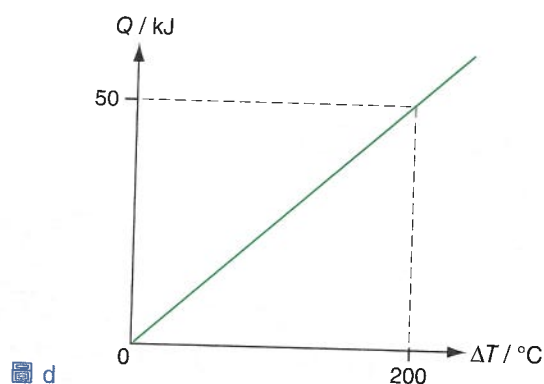


圖 d

- ★ 16 一個電熱器透過焦耳計連接至電源，並用來加熱質量為 0.2 kg 的液體。圖 e 顯示溫度 T 對焦耳計讀數 R 的關係線圖。求該液體的比熱容量。**4580 J kg⁻¹ °C⁻¹**

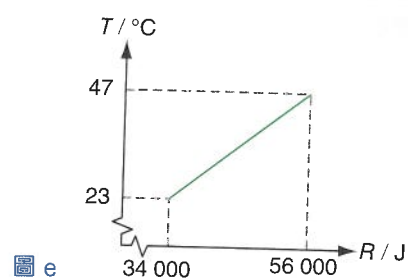


圖 e

- ★ 17 隔熱的房間內裝有一部功率是 1500 W 的暖爐。房間內有 130 kg 的空氣，空氣的比熱容量是 1000 J kg⁻¹ °C⁻¹。

(a) 暖爐把空氣的溫度由 20 °C 提升至 28 °C 需時多久？**693 s**

(b) 空氣的溫度達至 28 °C 時，暖爐的功率減半。5 分鐘後，房間內的空氣溫度是多少？**29.7 °C**

- ★ 18 質量為 3 kg 的金屬塊受熱至 100 °C，然後置於 5 kg 水中。水的溫度由 27 °C 上升至 31.7 °C。

(a) 指出熱由哪個物體轉移至哪個物體。

(b) 求金屬塊的熱容量。**1450 J °C⁻¹**

- ★ 19 如果 2 kg、溫度為 80 °C 的液體和 5 kg、溫度為 30 °C 的同一種液體混合在一起，兩者混合後的末溫度是多少？**44.3 °C**

- ★ 20 試扼要解釋利用水作汽車引擎和冷氣機冷卻劑的原因。

- ★ 21 把氣球放近火焰，它會立即爆裂。但如果先把水注入氣球，氣球便不會立即爆裂(圖 f)。試解釋原因。



圖 f

錄像片段 2.7

→ 錄像片段 2.7 示範 Q21 所描述的情況。

總結 2

詞彙

1 動能 kinetic energy	p.23	9 千瓦小時 (kW h) kilowatt-hour	p.27
2 絕對零度 absolute zero	p.24	10 焦耳計 joulemeter	p.27
3 內能 internal energy	p.24	11 千瓦時計 kilowatt-hour meter	p.27
4 焦耳 (J) joule	p.24	12 熱容量 heat capacity	p.31
5 熱 heat	p.25	13 比熱容量 specific heat capacity	p.33
6 功 work	p.26	14 熱平衡 thermal equilibrium	p.39
7 功率 power	p.26	15 能量守恒定律 law of conservation of energy	p.39
8 瓦特 (W) watt	p.26		

課文摘要

2.1 內能

- 所有物質都由原子或分子組成。
- 物體分子的動能與分子的移動速率有關。物體的溫度顯示分子平均動能的大小。
- 物體分子的平均動能達至最低值時的溫度，稱為絕對零度。絕對零度大約是 -273 °C。
- 內能是物體所儲存的能量。
- 物體的溫度上升或質量增加時，內能都會增加。(內能的大小也取決於物體的物態，詳情於第 3 課討論。)
- 內能的單位：焦耳 (J)
- 我們可以用以下方法，把能量從一個物體轉移至另一個物體：
 - 加熱
 - 做功
- 熱由溫差導致，是從一個物體轉移至另一個物體的能量。
- 熱的單位：焦耳
- 功率 = $\frac{\text{轉移的能量}}{\text{時間}}$ 或 $P = \frac{Q}{t}$
- 功率的單位：瓦特 (W)

2.2 比熱容量

- 12 加熱物體，令它的溫度升高 1°C 所轉移的能量，稱為該物體的熱容量 C 。

$$\text{熱容量} = \frac{\text{轉移的能量}}{\text{溫度轉變}} \quad \text{或} \quad C = \frac{Q}{\Delta T}$$

- 13 熱容量的單位： $\text{J } ^{\circ}\text{C}^{-1}$

- 14 加熱 1 kg 的物質，令它的溫度升高 1°C 所轉移的能量，稱為該物質的比熱容量 c 。

$$\text{比熱容量} = \frac{\text{轉移的能量}}{\text{質量} \times \text{溫度轉變}} \quad \text{或} \quad c = \frac{Q}{m\Delta T}$$

- 15 比熱容量的單位： $\text{J kg}^{-1} ^{\circ}\text{C}^{-1}$

- 16 熱容量 = 質量 $\times$ 比熱容量 或 $C = mc$

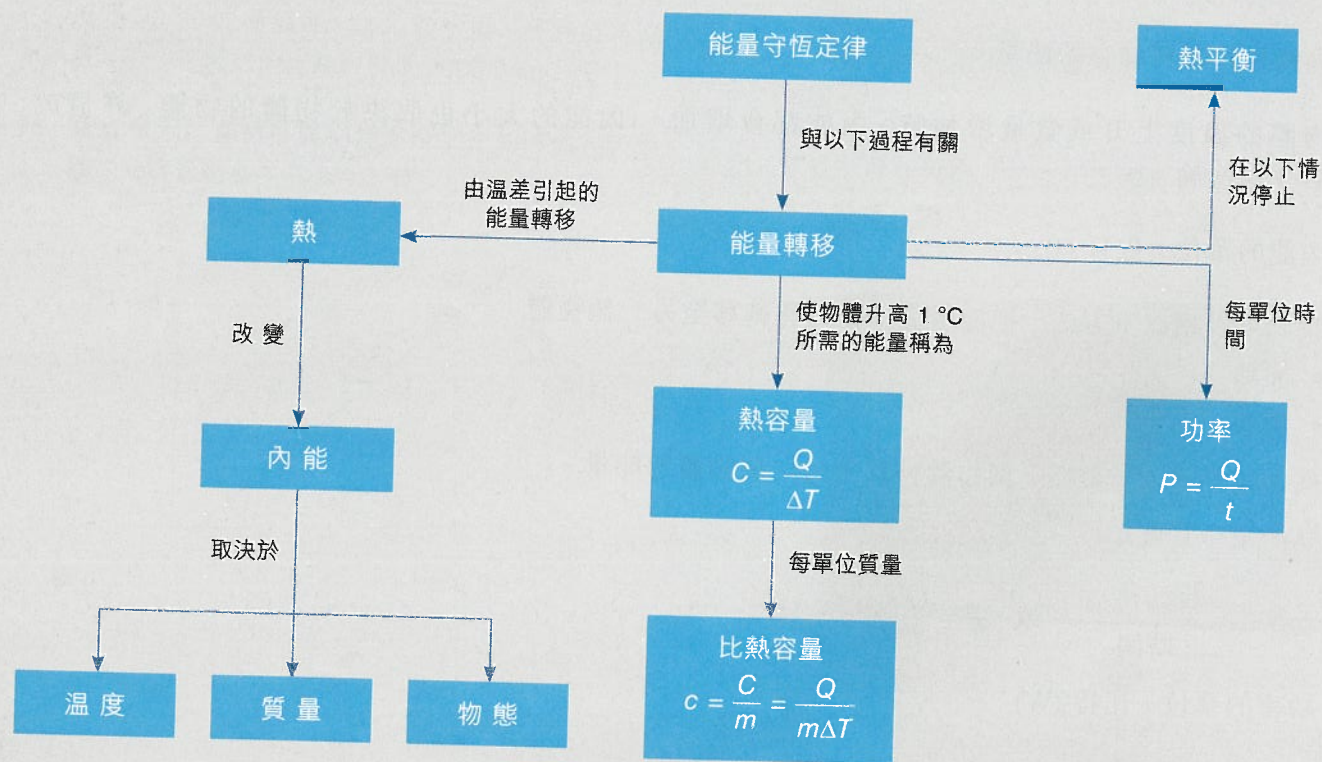
- 17 兩個溫度不同的物體混合時，

較熱物體失去的能量 = 較冷物體吸收的能量

- 18 水的比熱容量很高，所以它在多方面都具有實用價值：

- 用作汽車引擎、發電站等的冷卻劑；
- 調節體溫；
- 令沿海地區的夏季比較涼快，冬季比較和暖。

概念圖



複習 2

- Q1 熱是兩個物體之間的能量轉移，由溫差（而非內能差）導致。此外，若冷水的質量比熱水大，內能也可能比熱水高。
- Q2 兩個金屬塊的末溫度也受它們的質量和比熱容量影響。

取水的比熱容量 $c = 4200 \text{ J kg}^{-1} ^{\circ}\text{C}^{-1}$

概念重溫

（第 1 至 2 題）判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

☆ 香港中學會考 2005 年卷二 Q27

- 2.11 熱水和冷水混合時，由於熱水的內能較冷水多，所以會發生熱轉移。F

☆ 香港中學文憑試 2012 年卷一甲部 Q1

- 2.22 溫度是 T_1 的金屬塊與溫度是 T_2 的金屬塊互相接觸後，兩者的末溫度是 $\frac{T_1 + T_2}{2}$ 。F

多項選擇題

- 2.23 下列哪一項等同於熱容量的單位？

- A $\text{J kg}^{-1} ^{\circ}\text{C}^{-1}$ B $\text{kW h } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
C $\text{kW } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ D kW

- 2.14 兩個物體互相接觸時，如果它們之間沒有能量轉移，則它們必定有相同的

- A 溫度。
B 內能。
C 熱容量。
D 比熱容量。

- 2.25 志明把 2 kg 溫度是 100°C 的金屬塊（圖 a）放進溫度是 20°C 的水裏，水溫最後升至 35°C 。水的質量是多少？（金屬的比熱容量 = $480 \text{ J kg}^{-1} ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ）



- A 0.229 kg
B 0.990 kg
C 1.14 kg
D 2.00 kg

- ☆ 香港中學會考 2000 年卷二 Q22
綜合題 6 物體 P 的溫度比物體 Q 高。下列哪項敘述是正確的？

- (1) P 的內能必定比 Q 高。
(2) P 的熱容量必定比 Q 高。
(3) 如果 P 和 Q 互相接觸，熱會從 P 轉移至 Q 。
A 只有 (3) B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 7 下列哪項敘述是正確的？

- 2.1 (1) 物體分子的平均動能在 0°C 時達至最低值。
(2) 於絕對零度時，兩個物體的分子的平均動能相等。
(3) 如果兩個物體的分子的總動能相等，兩者分子的平均動能也必定相等。

- A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (2) 和 (3)

- ★ 8 下列哪項敘述是正確的？

- 2.1 (1) 如果兩個物體的溫度相等，它們分子的平均動能也相等。
(2) 在溫度不變的情況下，固體有固定的體積和形狀。
(3) 對於同一種物質而言，處於固態時的溫度總比處於氣態時高。

- A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

- ★ 9 以下哪項敘述是不正確的？

- 2.1 (1) 物體的溫度無法降低至低於絕對零度。
(2) 物體的溫度降至絕對零度時，其分子的平均動能下降至最低值。
(3) 絕對零度是 273°C 。
A 只有 (3)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D 以上皆不是

★ 10 以下哪一項敘述必定正確？

2.1

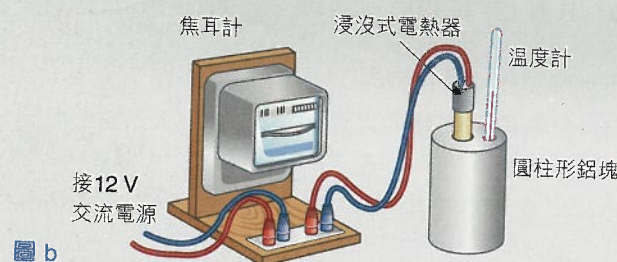
- A 熱的物體比冷的物體有更多內能。
B 重的物體比輕的物體有更多內能。
C 物體熱的時候比冷的时候，分子有較多的平均動能。
D 熱物體分子的總動能比冷物體多。

★ 11 下列哪項敘述是正確的？

2.1

- (1) 物體在溫度高的時候比在溫度低的時候儲存較多熱。
(2) 熱物體的分子比冷物體的分子擁有較多平均動能。
(3) 質量較大的物體總是比質量較小的物體擁有較多內能。
A 只有 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

(第12至13題) 圖 b 顯示量度鉛的比熱容量的實驗裝置。



★ 12 下列哪一個方法不能減少實驗誤差？

2.2

- A 把油加在擺放溫度計的小孔中。
B 把聚苯乙烯墊放在鉛塊下。
C 關掉電熱器後立即讀取末溫度。
D 用隔熱物料包裹鉛塊。

★ 13 鉛塊的質量和溫度變化分別是 m 和 ΔT ，焦耳計的初讀數和末讀數分別是 J_1 和 J_2 。下列各項有關鉛塊比熱容量 c 的不等式，哪一項是正確的？

2.2

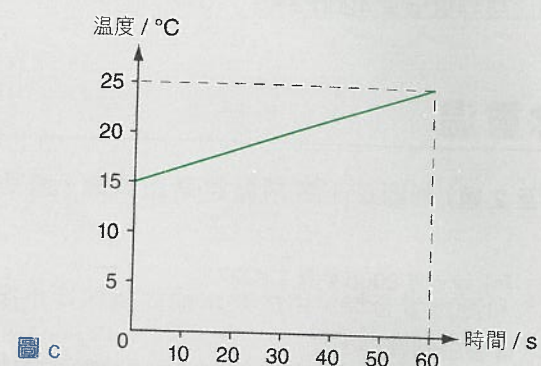
(不可忽略散失到周圍環境的能量。)

- A $c > m\Delta T(J_2 - J_1)$
B $c < \frac{J_2 - J_1}{m\Delta T}$
C $c > \frac{J_2 - J_1}{m\Delta T}$
D $c > \frac{m(J_2 - J_1)}{\Delta T}$

★ 香港中學會考 1998 年卷二 Q21

★★ 14 一個 400 W 的發熱器加熱 2 kg 的液體。圖 c 顯示液體的溫度怎樣隨時間改變。求液體的比熱容量。假設液體吸收了發熱器提供的所有能量。

2.2



- A $600 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ B $800 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
C $1200 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ D $1600 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

▶ 參看 p.37

2.2 15 香港中學會考 2007 年卷二 Q10

有四種質量相同的液體 P、Q、R 和 S，將它們以相同的功率加熱。以下線圖顯示這四種液體的溫度隨時間而變化的情況 (圖 d)。

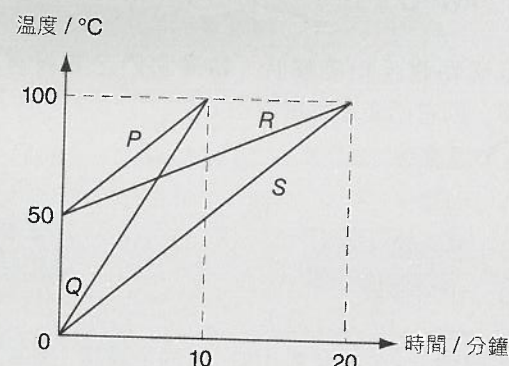


圖 d

哪一種液體的比熱容量最大？

- A P
B Q
C R (64%)
D S

2.1 16 香港中學會考 2008 年卷二 Q34

下列哪一種情況的分子平均速率最大？

- A 1 g、 -10°C 的冰塊
B 10 g 熔化中的冰塊
C 100 g 室溫下的水
D 0.1 g、 100°C 的水蒸氣 (86%)

2.2 17 香港中學會考 2010 年卷二 Q33

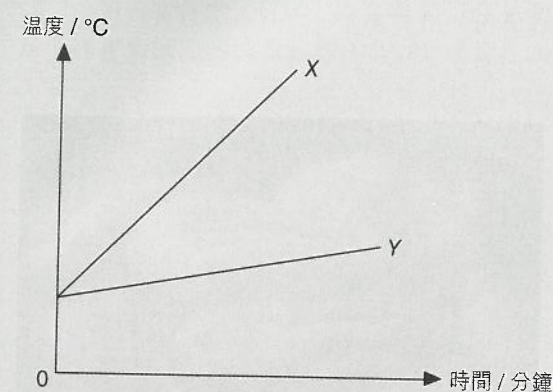


圖 e

X 和 Y 兩件物件以相同的功率加熱。圖 e 顯示它們的溫度—時間關係線圖。以下哪些推論是正確的？

- (1) X 的熱容量較小。
(2) 若 X 和 Y 以相同物料製成，X 的質量較小。
(3) X 的比熱容量較小。
A 只有 (1) 和 (2) (39%)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

2.2 18 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q1

如圖 f 所示，質量相同的兩金屬塊 X 與 Y 最初溫度分別為 40°C 及 30°C ，兩金屬塊的導熱接觸良好。X 的比熱容較 Y 大。當達到穩定狀態時，下列哪一項描述正確？假設沒有熱散失到周圍環境中。

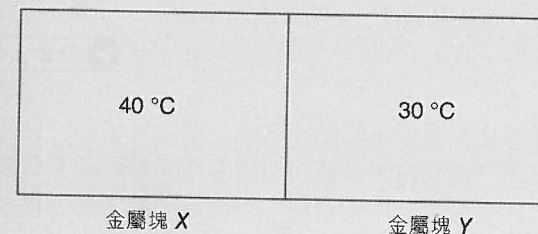


圖 f

- A 金屬塊 X 的溫度高於金屬塊 Y。(5%)
B 兩金屬塊溫度相同並低於 35°C 。(12%)
C 兩金屬塊溫度相同並高於 35°C 。(63%)
D 兩金屬塊溫度相同並等於 35°C 。(20%)

問答題

★ SQA Intermediate 2 Physics 2006

綜合題 19 一個熱鐵球的質量是 1.2 kg，熱容量是 $576 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。文浩把這鐵球放進水中降溫 (圖 g)。水的質量是 3 kg，初溫度是 12°C 。5 分鐘後，鐵球和水達至熱平衡，末溫度是 15°C 。

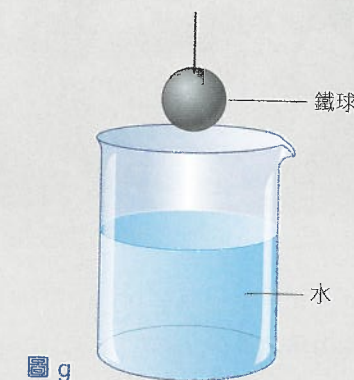


圖 g

- (a) 求水吸收的能量。37 800 J (2 分)
(b) 求能量從鐵球轉移至水的平均功率。126 W (2 分)
(c) 鐵球的初溫度是多少？80.6 °C (2 分)

★ 20 電熱水瓶在 1.5 分鐘內把 600 g 水從 10°C 加熱至 70°C 。

2.1

- (a) 計算電熱水瓶的功率。1680 W (3 分)
(b) 電熱水瓶的實際功率較題 (a) 的答案高、低，還是相等？試簡單解釋。較高 (2 分)

★ 21 水管 X 和 Y 內分別有 20°C 和 30°C 的水流動，並於水管 Z 混合。水在 X 和 Y 的流量分別是 5 kg s^{-1} 和 7 kg s^{-1} (圖 h)。

2.2

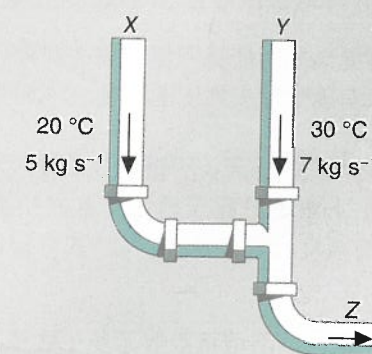


圖 h

- (a) 求水管 Z 內水的溫度。25.8 °C (2 分)
(b) 假設流量和初溫度都不變，但水管內所有水都以液體 W 代替。液體 W 的比熱容量是 $2500 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。試解釋這個改變會怎樣影響 (a) 部的結果。(2 分)

- ★ 22 嘉倫正在煮魚蛋麵 (圖 i)。他把魚蛋放進 800 g 的水中，並放在煮食爐上加熱。加熱前，兩者的初溫度都是 20 °C。魚蛋的熱容量是 192 J °C⁻¹。

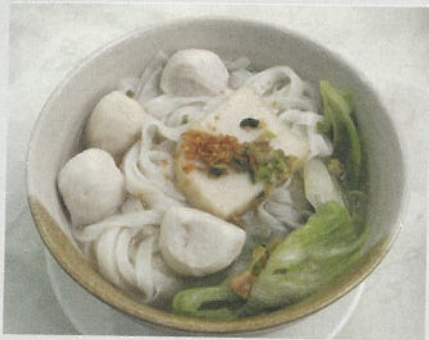


圖 i

- (a) 如果把水和魚蛋加熱至 90 °C 需時 5 分鐘，煮食爐的功率是多少？**829 W** (3 分)
- (b) 在煮食爐功率不變的情況下，嘉倫把初溫度是 15 °C 的麵加進水和魚蛋中。一分鐘後，「混合物」的溫度再次上升至 90 °C。麵的熱容量是多少？**663 J °C⁻¹** (2 分)

- ★ 23 浩然把 2 kg 溫度是 90 °C 的銅塊，以及 5 kg 溫度是 70 °C 的銅塊，放進 9 kg 溫度是 10 °C 的水中。

已知：銅的比熱容量是 450 J kg⁻¹ °C⁻¹
銅的比熱容量是 385 J kg⁻¹ °C⁻¹

- (a) 假設「混合物」的末溫度是 T 。以 T 表示以下各項：
- 銅塊失去的能量 **135 000 - 1930T**
 - 銅塊失去的能量 **81 000 - 900T**
 - 水吸收的能量 **37 800 T - 378 000** (3 分)
- (b) 據此，利用能量守恆定律，計算 T 的值。假設沒有能量散失到周圍環境。**14.6 °C** (2 分)

- ★ 24 在夏季炎熱的一天，秀瑩把 300 g 冷水注入水袋，然後把水袋置於露天地方。水的初溫度是 8 °C，而周圍環境的溫度是 30 °C。5 分鐘後，水的溫度是 23 °C。

- (a) 冷水從周圍環境吸收了多少能量？假設水袋本身吸收的能量可以略去不計。**18 900 J** (2 分)
- (b) 求水吸收能量的平均功率。**63 W** (2 分)
- (c) 如果秀瑩先把水袋放進一個聚苯乙烯容器內，題 (b) 的答案會怎樣改變？解釋你的答案。
減少 (2 分)

- ★ 25 媽媽把 0.6 kg 溫度是 4 °C 的冷藏蝦放入 1 kg 溫度是 25 °C 的水裏 (圖 j)。兩者混合後，「混合物」的溫度是 18 °C。假設散失到周圍環境的能量可以略去不計。



圖 j

- (a) 蝦的比熱容量是多少？**3500 J kg⁻¹ °C⁻¹** (2 分)
- (b) 試解釋把蝦放進水裏後，水的內能怎樣改變。(3 分)
- (c) 接着，媽媽啟動電爐。如果電爐以 1.5 kW 的功率把能量轉移到蝦和水的「混合物」中，需要多少時間才能把它加熱至 100 °C？(3 分)

344 s

▶ 參看 p.40

- ★★ 26 一杯 20 °C 的水放進了雪櫃。雪櫃內的溫度是 4 °C。

- (a) 描述水分子動能的轉變。(2 分)
- (b) 假設 1 kg 水和 1 kg 鐵放進雪櫃內，兩者的初溫度都是 20 °C。試比較兩者內能的轉變。(2 分)
- (c) 「放進雪櫃的水愈多，停電時，雪櫃內的溫度上升得愈慢。」試評論以上說法。**正確** (3 分)

▶ 參看 p.42

- ★★ 27 慧芬把相同分量的熱湯倒進一個金屬碗和一個陶瓷碗內，兩個碗的質量和初溫度相同 (圖 k)。假設沒有能量散失到周圍環境。已知陶瓷的比熱容量較金屬高。



圖 k

哪個碗的末溫度較高？試簡單解釋。(5 分)

☆ Specification A Unit 2

2.2 28 AQA GCE January 2006 Q4

在一個量度本生燈火焰溫度的實驗中，研究員用本生燈把質量為 0.12 kg 的銅塊加熱數分鐘後，立即把銅塊放進盛有 0.45 kg 水的燒杯中 (燒杯的熱容量可以略去不計)，然後量度水溫的升幅。

(水的比熱容量 = 4200 J kg⁻¹ °C⁻¹；銅的比熱容量 = 390 J kg⁻¹ °C⁻¹)

- (a) 如果水溫由 15 °C 上升至 35 °C，水吸收了多少能量？**37 800 J** (2 分)
- (b) (i) 寫出銅塊失去的能量。假設沒有能量散失到周圍環境。**37 800 J**
- (ii) 試計算銅塊的溫度下降了多少。**808 °C**
- (iii) 根據以上結果，計算用本生燈把銅塊加熱時，銅塊達到的溫度。**843 °C** (4 分)

實驗題

- ★ 29 翠珊以圖 l 中的實驗裝置量度鋁的比熱容量。她得到以下數據：

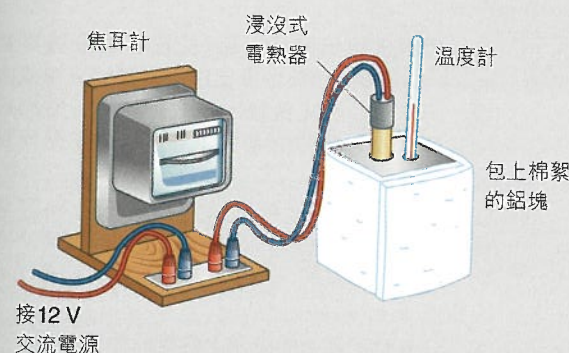


圖 l

鋁塊的質量 = 1.20 kg

焦耳計的初讀數 = 98 500 J

焦耳計的末讀數 = 106 900 J

鋁塊的初溫度 = 28.5 °C

鋁塊的末溫度 = 35.0 °C

- (a) 求鋁的比熱容量。**1080 J kg⁻¹ °C⁻¹** (2 分)
- (b) 鋁的比熱容量標準值是 900 J kg⁻¹ °C⁻¹。題 (a) 中的百分誤差是多少？**19.7%** (2 分)
- (c) 試指出一項安全措施，以及一項能提升實驗準確度的預防措施。(2 分)

☆ 略去 (d) 部。□ 考試報告見第 54 頁。

30 香港中學會考 2004 年卷一 Q8

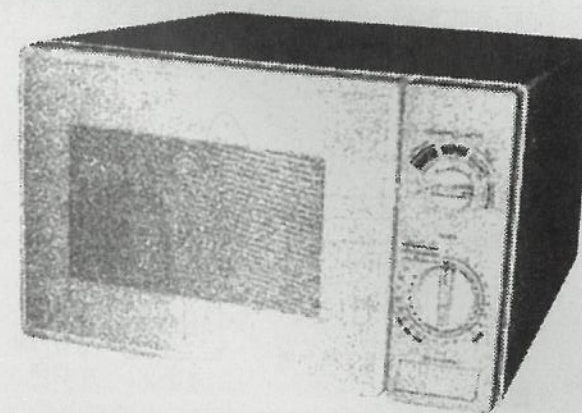


圖 m

圖 m 顯示一台微波爐。曼麗嘗試進行一項實驗，以估算這微波爐的有效輸出功率。所提供的儀器和物料如圖 n 所示。

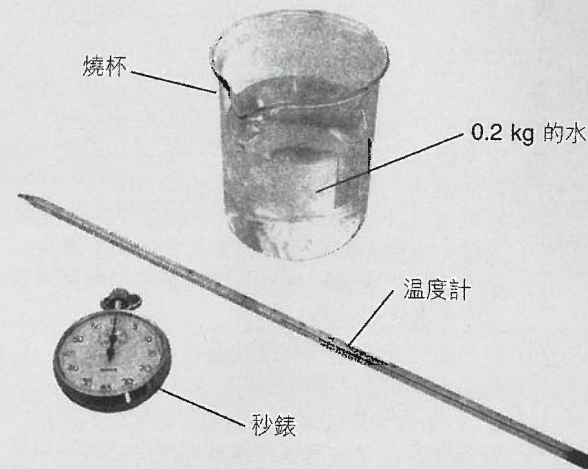


圖 n

- (a) 描述曼麗應如何進行這實驗。列出她必須進行的量度，並寫出一條方程以計算有效輸出功率。(5 分)
- (b) 曼麗發覺所求得的數值，小於這微波爐的額定功率。舉出一個可能的原因以解釋這差異。(1 分)
- (c) 曼麗提出以下的措施，以提高實驗的準確度：
- 1 以一個熱容量較小的容器代替燒杯。
 - 2 增加實驗中水的質量。
- 解釋以上每項措施是否有效。(3 分)

2.2 31 香港中學會考 2008 年卷一 Q4

一名學生使用圖 o 的裝置進行一項測定液體 X 比熱容量的實驗。圖中焦耳計用作量度浸沒式電熱器所耗的能量。

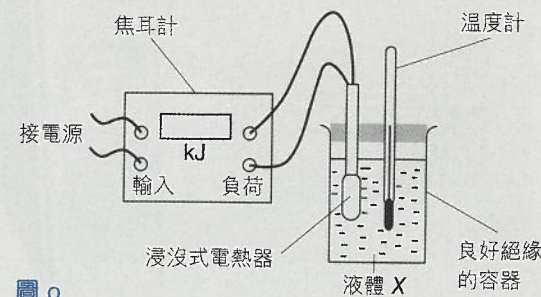


表 a 列出對於不同質量 (m) 的液體 X，當溫度同樣上升 10°C 時，焦耳計的讀數增加量 (E)。

E / kJ	1.6	2.9	4.1	5.3
m / kg	0.05	0.10	0.15	0.20

表 a

□ Q30 考試報告：本題關乎熱學，所涉及的情境為微波爐。

- (a) 絕大部分考生能簡單描述這個實驗。然而部分只給出實驗程序和應作的量度，而完全沒有提及實驗所需的儀器，例如秒錶和溫度計等。還有一些考生提及把溫度計也放入微波爐中，以按預定的時間記錄溫度。考生須知這是非常危險的，絕不應當試，一些考生錯誤建議把水放入微波爐中加熱至沸騰，方才記錄最終的溫度。
- (b) 很多考生能正確解釋微波爐額定功率的值，和從實驗中求得值之間的差異。
- (c) 絕大多數考生對於為何使用熱容量較小的容器，可以提高實驗的準確度這個事實，提出正確的解釋。然而很多考生對於使用較多質量的水，對實驗的準確度有何影響，則不甚了解。

- (a) 指出在此實驗中使用「良好絕緣」容器的重要性。(1 分)
- (b) (i) 繪出 E 對 m 的關係線圖。用 1 cm 表示 0.5 kJ 和 0.025 kg。(4 分)
- (ii) 使用 (b)(i) 所繪的關係線圖，求液體 X 的比熱容量。 $2470 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (3 分)
- (iii) 估算儀器所吸收的熱量。 0.4 kJ (1 分)
- (iv) 若改用比熱容量較液體 X 為小的另一種液體 Y 來重複此實驗，而每次升溫也是 10°C ，在 (b)(i) 的圖中草繪出你所預期的 E 對 m 關係線圖，並用 L 作為標記。(2 分)

□ Q31 考試報告：本題是有關一項測定液體 X 比熱容量的實驗。考生整體表現令人滿意。

- (a) 大部分考生明白在實驗中使用「良好絕緣」容器的重要性。
- (b) (i) 考生應熟悉繪出關係線圖（能量 E 對液體質量 m ）。部分考生錯誤地畫出經過原點的直線或曲線，而非一條在能量軸出現截距並經各點的最佳直線。能力較弱的考生並且錯誤地在點與點之間連成線段。
- (ii) 在使用所繪的關係線圖求液體 X 的比熱容量時，許多考生不知道如何求出直線的斜率。他們只錯誤地嘗試將一組 E 和 m 的實驗數據代入方程式 $E = mc\Delta\theta$ 。
- (iii) 大部分考生不知道能量軸上截距的物理意義。
- (iv) 只有能力較強的考生能正確地畫出一條與 (b)(ii) 部相同截距但斜率較小的直線。

物理文章分析

- ★ 32 閱讀下列一段有關預熱餐具的文章，然後回答隨後的問題。

預熱餐具

某些熱飲的味道容易受溫度影響，溫度不恰當，味道便大打折扣。因此，一些餐廳、咖啡店、茶室會預先把杯子加熱至特定溫度，然後才用它們盛載熱飲。杯子的熱容量頗大，如果不預先加熱，飲品的溫度便會大幅下降。

以咖啡為例，假設最佳的飲用溫度是 $70\text{--}80^\circ\text{C}$ 。在這個溫度範圍內的咖啡倒進處於室溫的陶瓷杯子中，溫度一般會下降 30%，原本可口的咖啡最終可能會變成一杯很糟糕的飲品。

除了飲品，一些流行菜式也會用預熱的餐具來奉客。以「鐵板牛排」這種本地菜式為例（圖 p），牛排烤好後，會放在一塊預熱至極高溫度的鐵板上；如果牛排放在室溫的碟子上，味道定必遜色多了。



圖 p

- (a) 假設 200 g (200 mL) 初溫度為 75°C 的咖啡，倒進了初溫度為 20°C 的陶瓷杯中。試利用文章第二段提供的資料，估算陶瓷杯的熱容量。取咖啡的比熱容量為 $4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 。 $582 \text{ J }^\circ\text{C}^{-1}$ (3 分)
- (b) 如果容器預先加熱，使用較大還是較小的容器來盛載熱的食物，較能保持食物的溫度？為甚麼？ (3 分)

較大的容器

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲 部

2.1 1 下列哪組物體的分子具有相同的平均動能？

- 1 kg 銅塊和 1 kg 水，兩者均為 10°C
- 2 kg 銅塊和 1 kg 水，兩者均為 10°C
- 2 kg 溫度為 10°C 的水，和 1 kg 溫度為 20°C 的水

- A 只有 (1) 和 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

A

2.1 2 兩個溫度不同的物體互相接觸。下列哪項是正確的？

- 熱必定從內能較高的物體轉移至內能較低的物體。
- 它們的內能和溫度也會增加。
- 它們的末溫度會相同。

- A 只有 (3)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

A

乙 部

綜合題

3 電熱器連接至焦耳計後，便把質量為 3 kg 的金屬塊加熱 5°C (圖 a)。金屬塊的比熱容量為 $450 \text{ J kg}^{-1}^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。以下是實驗結果：

焦耳計的初讀數 = 75 651 J

焦耳計的末讀數 = 82 681 J

(a) 求轉移至金屬塊的能量。

6750 J

(b) 求電熱器供應的能量。

7030 J

(1 分)

(c) 求有多少百分比的能量散失至周圍環境。

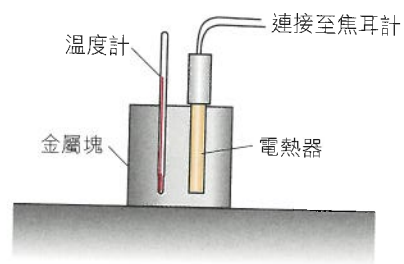
3.98%

(2 分)

(d) 電熱器的功率是 50 W。整個加熱過程有多長？

141 s

(2 分)



(2 分) 圖 a

3 物態的改變

我們在这一課會學到

- 潛熱和比潛熱
- 蒸發和凝結

3.1

潛熱

起點

哪一個瓶子較冷？

準備 A 和 B 兩個完全相同的膠瓶，瓶 A 要盛有小量正在熔化的冰，瓶 B 要盛有 0°C 水，冰和水的質量須相同。兩手各拿起一個瓶子，2 分鐘後，你覺得哪個瓶子較冷？瓶 A (可參看本頁頁底)



1 潛熱與物態改變

物質在不同的溫度下呈現不同的物態。原來，物質的物態會在特定溫度出現變化，例如冰(固態)會在 0°C 轉變為水(液態)，這個溫度就是冰的熔點，這個轉變過程稱為**熔解**(圖 3.1a)。

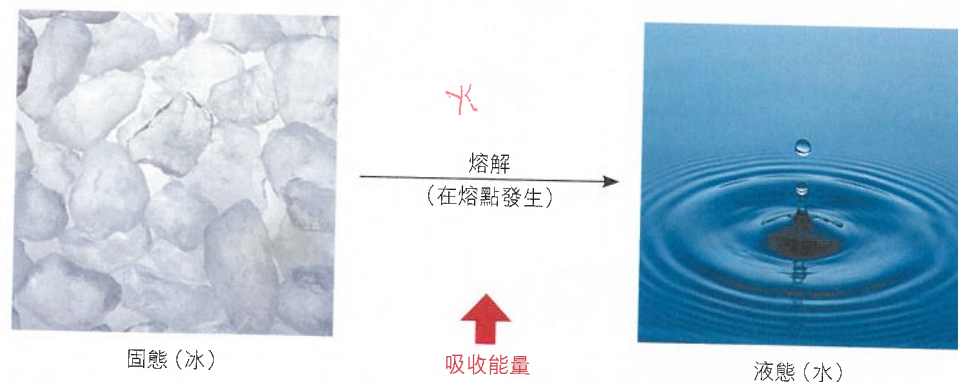


圖 3.1a 熔解：由固態轉變為液態的過程

在起點中，冰和水的初溫度同樣是 0°C ，但觸摸瓶子一段時間後卻覺得瓶 A 較冷(盛有熔冰)。事實上，整個過程中，瓶 B 的溫度一直增加，而瓶 A 在一段時間後卻仍保持在 0°C (圖 3.1b，見 p.59)。

熔解 fusion

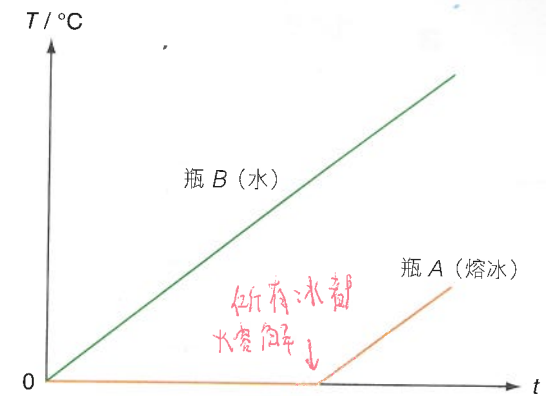


圖 3.1b 熔冰與 0°C 水的溫度改變

可指出汽化並不完全等同於沸騰，汽化指物質由液態轉化為氣態的相變 (phase transition)，因此蒸發也屬汽化的一種。

熔冰和水都不斷從周圍環境吸收能量。然而，冰的溫度沒有上升，但卻由固態轉變為液態。物態改變時所吸收的能量稱為**潛熱**。

同樣，物質從液態轉變為氣態時也會吸收能量(潛熱)，期間物質的溫度保持不變。例如：水(液態)在 100°C 時吸收能量來轉變為蒸汽(氣態)，這個溫度稱為水的沸點(圖 3.1c)，這個轉變過程稱為**沸騰**，是**汽化**過程的一種。

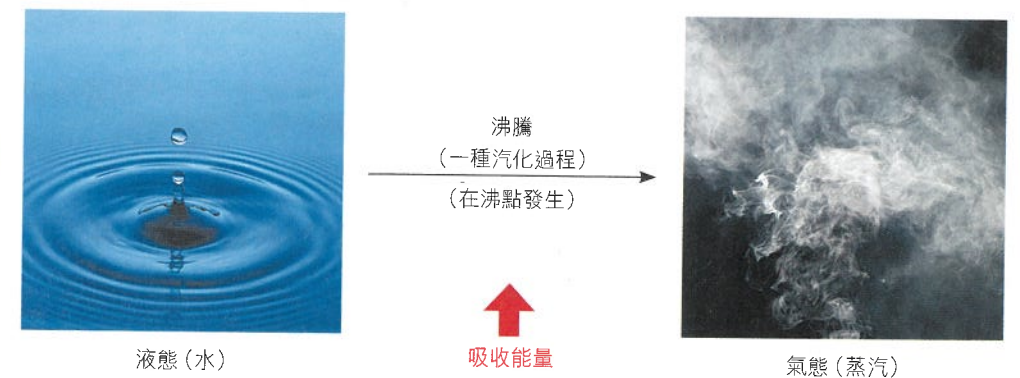
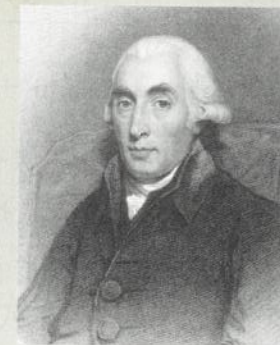


圖 3.1c 汽化：由液態轉變為氣態的過程

歷史點滴 布拉克 (1728–1799)

潛熱這概念是由布拉克於 1760 年代提出的。布拉克是蘇格蘭物理學家和化學家，他在研究物質的比熱容量方面，也貢獻良多。



潛熱 latent heat 沸騰 boiling 汽化 vaporization 布拉克 Joseph Black

a 加熱曲線

以下部分會深入探討物質的物態改變。

錄像片段 3.1

→ 錄像片段 3.1 示範實驗 3a。

小心處理熱水！

實驗 3a 十八烷醇的加熱曲線

- 1 把固態十八烷醇和溫度感應器放進大試管內（圖 a），再把大試管浸在 75 °C 的水浴器中（圖 b）。
- 2 利用數據記錄器的軟件標繪加熱曲線，展示十八烷醇的溫度隨時間的變化。



討論

描述加熱曲線的形狀。過程中，十八烷醇的溫度是否一直在上升？
溫度首先穩定上升，然後保持不變，之後再上升。

圖 3.1d 顯示十八烷醇的加熱曲線。值得注意的是，即使不斷向十八烷醇供應能量，它的溫度卻不是一直在上升。

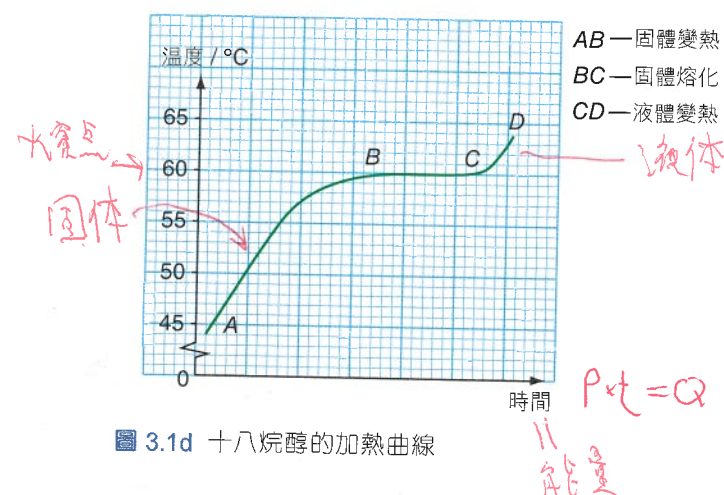


圖 3.1d 十八烷醇的加熱曲線

十八烷醇的加熱曲線有以下特點：

- AB 段：固態十八烷醇的溫度穩定上升。
- BC 段：溫度保持在熔點。在這階段，十八烷醇正在熔化，固態與液態同時存在。十八烷醇會不斷吸收潛熱，直至完全變成液態為止。
- CD 段：液態十八烷醇的溫度正在上升。

十八烷醇的熔點大約是 60 °C。

加熱曲線 heating curve

b 冷卻曲線

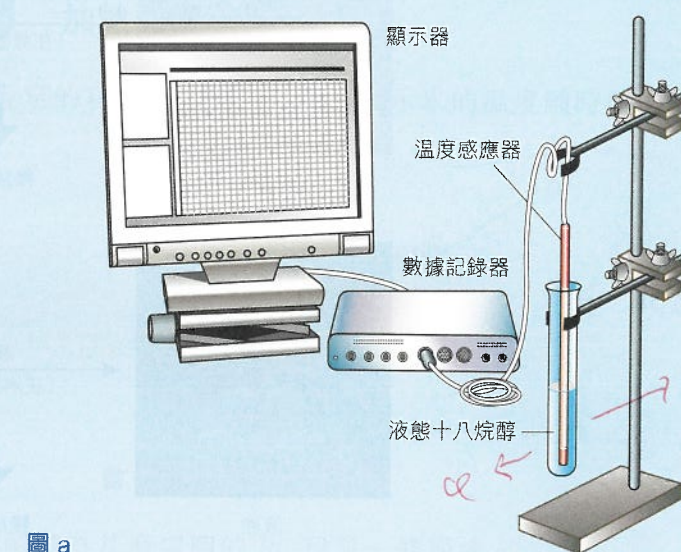
實驗 3b 會深入探討物質冷卻時的物態改變。

錄像片段 3.2

→ 錄像片段 3.2 示範實驗 3b。

實驗 3b 十八烷醇的冷卻曲線

- 1 利用水浴器把固態十八烷醇完全熔化。
- 2 從水浴器取出十八烷醇。把溫度感應器連接至數據記錄器後，用它來量度十八烷醇的溫度，並繪出冷卻曲線（圖 a）。



討論

描述冷卻曲線的形狀。過程中，十八烷醇的溫度是否一直在下降？
溫度首先穩定下降，然後保持不變，之後再下降至室溫。

圖 3.1e 顯示十八烷醇的冷卻曲線。在 BC 這個時段內，十八烷醇的溫度保持不變，但它卻不斷在釋放能量（潛熱）。這個過程稱為凝固。

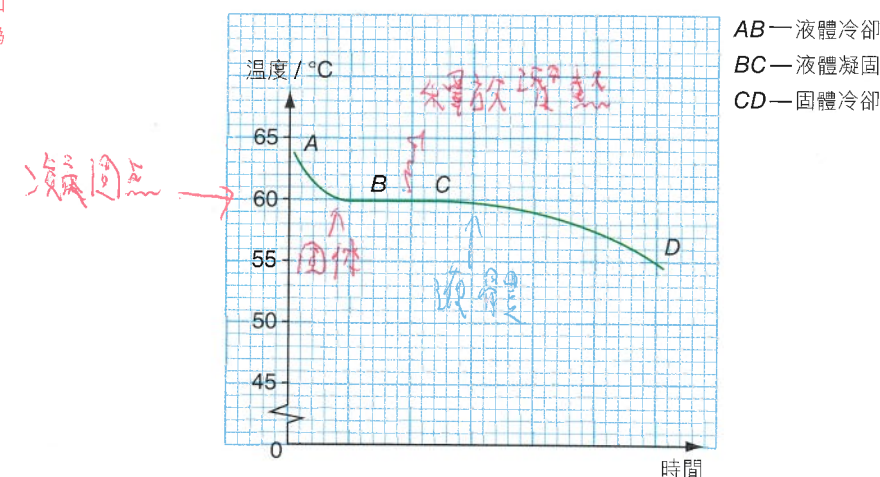


圖 3.1e 十八烷醇的冷卻曲線

冷卻曲線 cooling curve 凝固 solidification

圖 3.1f(i) 顯示水的凝固過程。過程中，水的溫度一直保持在凝固點 (0°C)。

同樣，在凝結的過程中，物質從氣態轉變為液態，同時釋放能量（潛熱），但溫度卻保持不變。例如蒸汽（氣態）在沸點 (100°C) 釋放能量來凝結成水（液態）（圖 3.1f(ii)）。

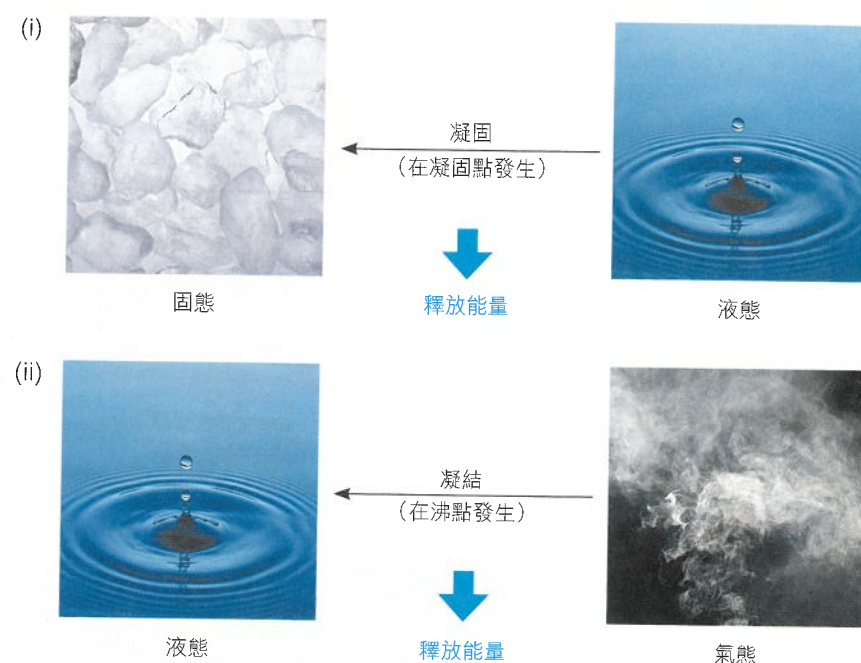


圖 3.1f (i) 凝固：從液態轉變為固態的過程；(ii) 凝結：從氣態轉變為液態的過程。兩個過程中，物質都會釋放能量（潛熱）

以上討論的結果可概述如下：

潛熱是指物態轉變過程中，物質吸收或釋放的能量。

圖 3.1g 總結了物態改變時，物質所吸收或釋放的能量（潛熱）。

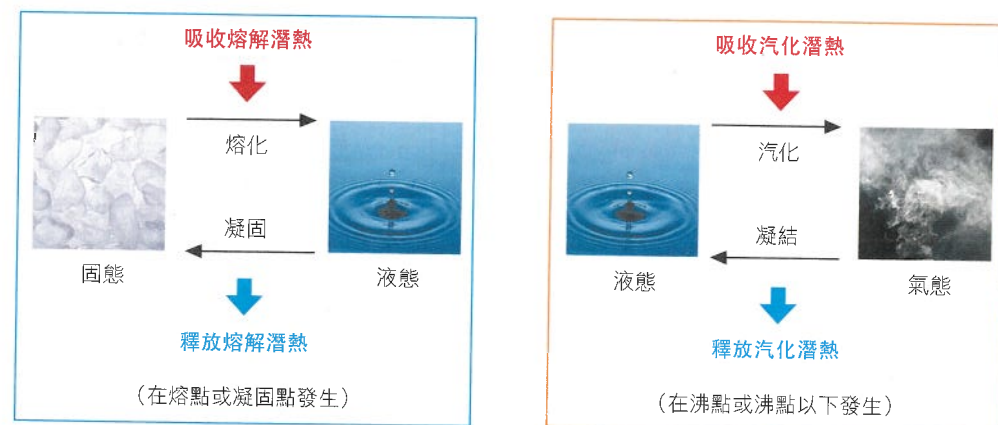


圖 3.1g 物態改變時，物質吸收和釋放能量（潛熱）的情況

凝結 condensation

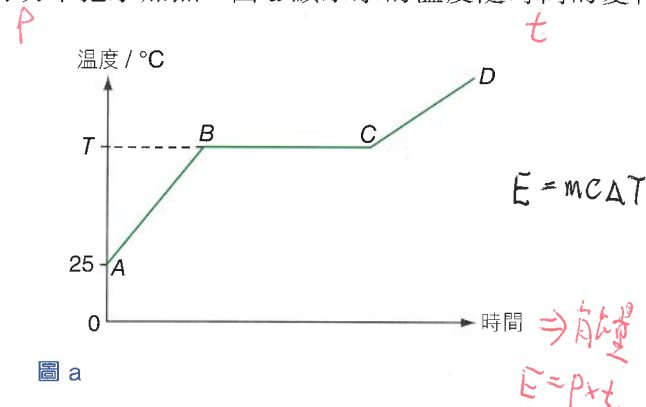
同一種物質的熔點和凝固點是相同的（例如，冰的熔點 = 水的凝固點）。物質處於熔點或凝固點時，會由固態轉換為液態，或由液態轉換為固態，過程中所吸收或釋放的能量稱為熔解潛熱。

同樣，物質處於沸點時，會由液態轉換為氣態，或由氣態轉換為液態，過程中所吸收或釋放的能量稱為汽化潛熱。

物質在沸點汽化的過程也可稱為沸騰。原來，物質還可以在沸點以下的溫度汽化和凝結，第 3.2 節會詳細討論這兩個過程怎樣在沸點以下發生。

例題 1 加熱曲線

學生以恆定的功率把水加熱，圖 a 顯示水的溫度隨時間的變化。



- 扼要解釋為甚麼線圖的 BC 段是一條橫線。
- 試評論以下的敘述，並扼要解釋你的答案。
「在 BC 段，水並沒有吸收能量。」
- T 的值是多少？

題解

- 在 BC 段，水正在沸騰，所以溫度保持不變。
- 敘述並不正確。水在 BC 段吸收汽化潛熱。
- 100°C

T 是水的沸點。

進度評估 1 Q1-2 (p.64)

生活中的物理 電飯煲怎樣運作？

電飯煲怎樣知道哪個時候要自動關火呢？

想知道巧妙所在，可以瀏覽「物理園」的網頁找出答案。

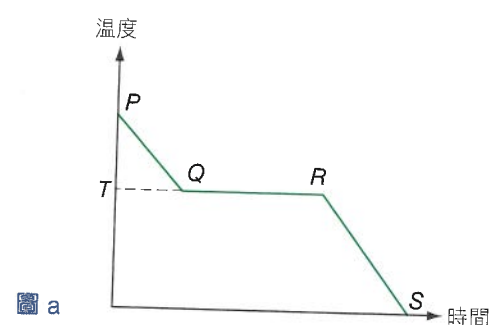
<http://www.hk-phy.org/iq/cooker/cooker.html>



進度評估 1

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.58)。

(第 1 至 2 題) 圖 a 顯示某物質的冷卻曲線。



- 2.1 下列哪一項必然是正確的？
- A 物質的熔點是 T 。
 - B 物質的沸點是 T 。
 - C 在 QR 段，物質吸收潛熱。
 - D 在 QR 段，物質釋放潛熱。**
- 2.2 下列哪一項有關於該物質物態的敘述必然正確？
- A 在 PQ 段，物質處於液態。
 - B 在 PQ 段，物質處於氣態。
 - C 在 RS 段，物質處於固態。
 - D 在 QR 段，物質的物態多於一種。**

2 比潛熱

比潛熱是 1 kg 物質改變物態時所需的潛熱。

在溫度不變的情況下，加熱質量為 1 kg 的物質，令它的物態改變，過程中所轉移的能量就是該物質的比潛熱。

比潛熱的符號是 l 。

如果質量為 m 的物質須要吸收能量 Q 來改變物態，該物質的比潛熱 l 就是

$$\begin{aligned} \text{比潛熱的單位} &= \frac{Q \text{ 的單位}}{m \text{ 的單位}} \\ &= \frac{\text{J}}{\text{kg}} \\ &= \text{J kg}^{-1} \end{aligned}$$

▶ 比潛熱 l 的單位是 J kg^{-1} 。

$$l = \frac{Q}{m} \quad \text{或} \quad Q = ml$$

$Q = m l_f$ or $m l_v$ Vapour
fusion 水變汽
vaporisation 汽化

比潛熱 specific latent heat



錄像片段 3.3

→ 錄像片段 3.3 顯示乙醚蒸發時從水吸收熱，因而令水凝固。

模擬程式 3.2
錄像片段 3.4

→ 模擬程式 3.2 是量度冰的熔解比潛熱的「虛擬實驗」。

→ 錄像片段 3.4 示範實驗 3c。

a 冰的熔解比潛熱

在溫度不變的情況下，把 1 kg 冰變成水所需的能量稱為冰的**熔解比潛熱** l_f ，數值是 $3.34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$ 。



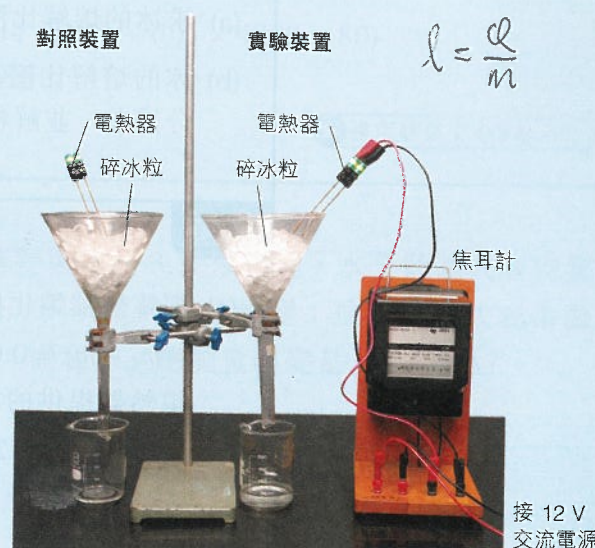
實驗 3c

量度冰的熔解比潛熱

- 1 如圖 a 所示裝置實驗器材。把同等分量、正在熔化的碎冰粒放在兩個漏斗裏。

- 2 開啟電熱器一段時間。計算有多少質量的碎冰粒經電熱器熔化，並從焦耳計讀取電熱器所提供的能量。

- 3 根據以上結果，計算冰的熔解比潛熱。



預防措施

- 壓碎冰粒，以增加冰粒與電熱器的接觸面。
- 使用熔化中的冰粒，以確保它們的溫度是 0°C ，因此所提供的能量不會用於提升冰的溫度至熔點。
- 待兩個漏斗的滴水率穩定並大致相同，才開啟電熱器。
- 關上電熱器後，應待兩個漏斗的滴水率逐漸穩定並大致相同，才移開燒杯。
- 在漏斗頸部放一小片鐵絲網或鋼絲團，可防止冰塊直接掉進燒杯。

注意

- 冰粒會從周圍環境吸收能量，因此必須設置對照實驗。
- 實驗也可按以下方法進行：把 0.25 kg 熔化中的冰加入質量相同的 100°C 水。所有冰剛好完全熔化時，量度混合物的末溫度，然後從實驗結果計算冰的熔解比潛熱。

討論

比較實驗結果與標準值 ($3.34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$)。實驗中哪些因素可能引致誤差？兩個漏斗的滴水率不相同；能量散失到四周

熔解比潛熱 specific latent heat of fusion

題解 2 計算冰的熔解比潛熱

以下是實驗 3c 的結果：

實驗燒杯中水的質量 $m_1 = 0.050 \text{ kg}$

對照燒杯中水的質量 $m_2 = 0.014 \text{ kg}$

焦耳計的初讀數 $J_1 = 15\,000 \text{ J}$

焦耳計的末讀數 $J_2 = 29\,200 \text{ J}$

(a) 求冰的熔解比潛熱 l_f 。

(b) 冰的熔解比潛熱的標準值是 $3.34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$ 。計算實驗結果的百分誤差，並解釋為甚麼實驗結果與標準值會有差異。

題解

(a) 經電熱器熔化的冰的質量

$$= m_1 - m_2 = 0.050 - 0.014 = 0.036 \text{ kg}$$

電熱器提供的能量

$$= J_2 - J_1 = 29\,200 - 15\,000 = 14\,200 \text{ J}$$

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

$$= \frac{14\,200}{0.036}$$

$$= 3.94 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$$

(b) 百分誤差

$$= \frac{3.94 \times 10^5 - 3.34 \times 10^5}{3.34 \times 10^5} \times 100\% = 18\%$$

引致差異的原因包括：

- 1 難以使兩個漏斗的滴水率在開電熱器前和關電熱器後相同；
- 2 部分能量散失到周圍環境中。

▶ 進度評估 2 Q4 (p.67)

例題 2 中，熔冰的能量轉變可用圖 3.1h 來表達。水平箭號代表物質改變物態時，吸收熔解潛熱 ml_f 所引致的能量轉變。

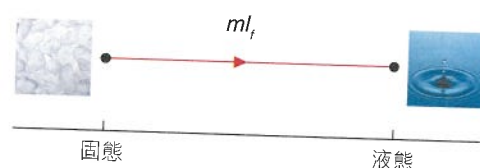


圖 3.1h 改變物態時引致的能量轉變

例題 3 把冰加熱

要把 0.5 kg 溫度是 0°C 的冰熔化，並把它的溫度提升至 80°C ，需要多少能量？

題解

$$\begin{aligned} \text{所需的總能量} &= ml_f + mc\Delta T \\ &= (0.5 \times 3.34 \times 10^5) + (0.5 \times 4200 \times 80) \\ &= 3.35 \times 10^5 \text{ J} \end{aligned}$$

▶ 進度評估 2 Q3 (p.67)

吸收的總能量 ($ml_f + mc\Delta T$) 等於物體所增加的內能，詳情可參閱第 74 頁。

例題 3 中，冰和水的能量轉變可用圖 3.1i 來表達。水平箭號代表物質改變物態時，吸收熔解潛熱 ml_f 所引致的能量轉變；垂直箭號代表由溫度改變引致的能量轉變 $mc\Delta T$ 。過程中，總能量轉變是 $ml_f + mc\Delta T$ 。

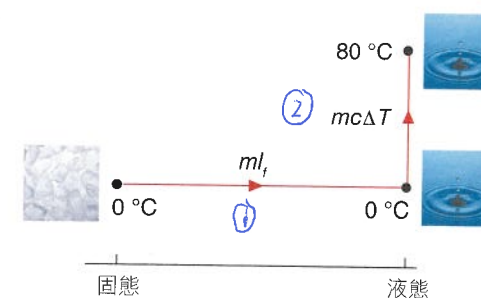
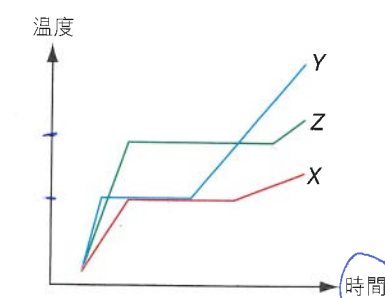


圖 3.1i 改變物態和溫度後，總能量的轉變

進度評估 2 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.58)。

(第 1 至 2 題) 國雄在相同的環境中，用相同的電熱器來熔化質量相等的三種物質 X、Y 和 Z。圖 a 記錄了 X、Y 和 Z 的溫度怎樣隨時間改變。

假設沒有能量散失到周圍環境。



21 哪種物質的熔點最高？Z

22 哪種物質的熔解比潛熱最大？Z

33 要從 0.7 kg 溫度是 10°C 的水吸收多少能量，它才可以凝固成冰？ $2.63 \times 10^5 \text{ J}$

34 要讓 0.3 kg 溫度是 0°C 的冰完全熔化，最少需要 $107\,000 \text{ J}$ 的能量。計算冰的熔解比潛熱。 $3.57 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$

$$3. \quad Q = mc\Delta T + ml_f = 0.7 \times 4200(10-0) + 0.7 \times 3.34 \times 10^5 = 2.63 \times 10^5 \text{ J}$$

$$4. \quad Q = ml_f \Rightarrow 107000 = 0.3 l_f \\ l_f = \frac{107000}{0.3} = 3.57 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$$

$$Q = P \times t$$

b 水的汽化比潛熱

在溫度不變的情況下，把 1 kg 水變成蒸汽所需的能量稱為水的**汽化比潛熱** l_v ，數值是 $2.26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ 。

模擬程式 3.3
錄像片段 3.5

→ 模擬程式 3.3 是量度水的汽化比潛熱的「虛擬實驗」。

→ 錄像片段 3.5 示範實驗 3d。

實驗 3d 量度水的汽化比潛熱

1 如圖 a 所示裝置實驗器材。

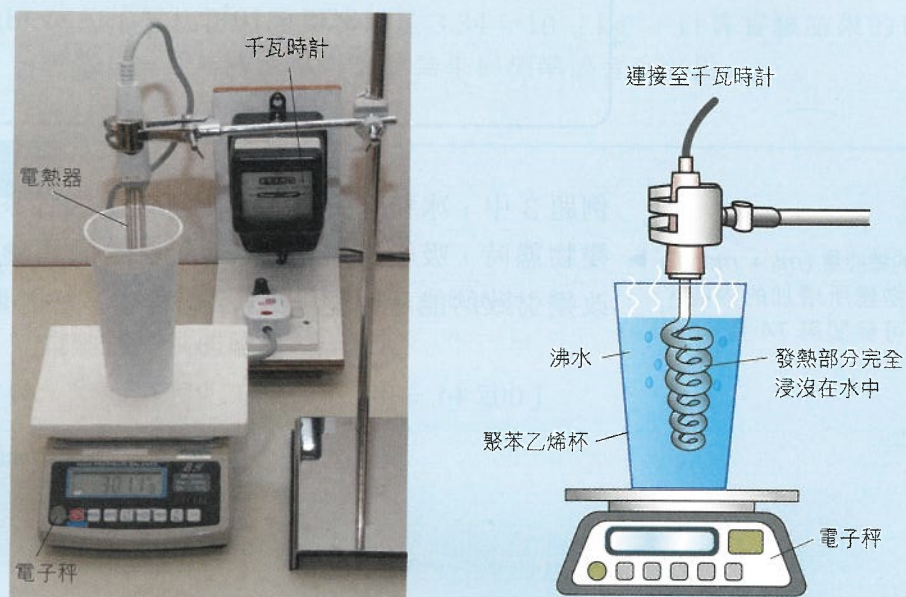


圖 a

- 水沸騰後，記錄電子秤的讀數，同時開始數算千瓦時計圓盤轉動的圈數。
- 圓盤轉動 20 圈後，關上電源，待杯中的水平靜下來，記下電子秤的讀數。
- 根據圓盤轉動的圈數，計算電熱器提供的能量。
- 計算電子秤兩次讀數之差，從而找出汽化了的水的質量。
- 利用以上結果，計算水的汽化比潛熱。

預防措施

先將電熱器的發熱部分完全浸在水中，然後才接通電源，否則電熱器可能會因過熱而損壞。

討論

比較實驗結果與標準值 ($2.26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$)。實驗中哪些因素會引致誤差？在電熱器上凝結的蒸汽滴回杯內；能量散失到四周

例題 4 找出水的汽化比潛熱

在量度水的汽化比潛熱 (l_v) 的實驗中，得到以下數據：

水的初質量 = 0.82 kg

水的末質量 = 0.72 kg

千瓦時計的標度 = 600 轉 / kW h

圓盤轉動的圈數 = 41

} $\Rightarrow J$

- 求 l_v 的值。
- 水的汽化比潛熱標準值是 $2.26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ 。舉出兩個引致誤差的原因。
- 某學生建議，在杯上加蓋，可以減低實驗誤差。試評論他的建議。

題解

(a) 汽化了的水的質量 = $0.82 - 0.72 = 0.10 \text{ kg}$

千瓦時計的標度 = 600 轉 / kW h

$1 \text{ kW h} = 1 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$

圓盤轉動一圈所提供的能量 = $\frac{3.6 \times 10^6}{600} = 6000 \text{ J}$

用於汽化水的能量 = $6000 \times 41 = 246\,000 \text{ J}$

$l_v = \frac{Q}{m} = \frac{246\,000}{0.10} = 2.46 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$

(b) 實驗結果較標準值大，原因包括：

- 蒸汽在電熱器頂部凝結後流回杯中，
- 部分能量散失到周圍環境中。

✱(c) 加上蓋後，雖然散失到周圍環境的能量減少了，但蒸汽會凝結並流回杯中。因此，學生的建議不能減少實驗誤差。

▶ 複習 Q26 (p.93)

如果實驗結果較標準值小，原因可能是有些水從杯中濺出。

✱「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

千瓦時計

千瓦時計量度電源供應給電熱器的能量。千瓦時計運作時，內部的圓盤會轉動，而千瓦時計上列明每提供 1 kW h 能量，圓盤會轉動多少圈。因此，只要數一數圓盤轉動的圈數，便可計算出供應給電熱器的能量。



千瓦時計上的圓盤

補充資料

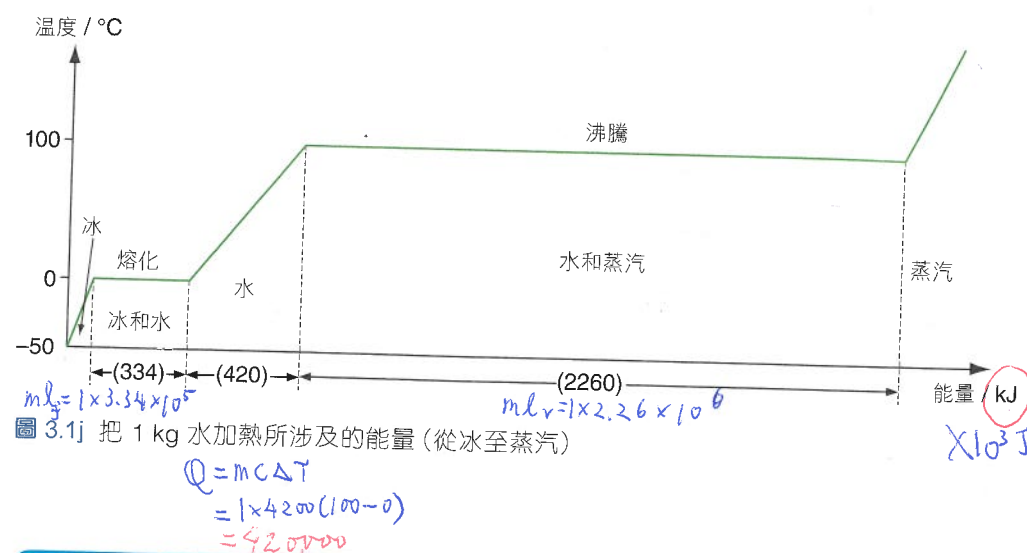
物態的改變

到以下網站觀看模擬程式並回答問題，從而發掘更多知識，了解由熔解至汽化過程的種種概念。

http://www.hkedcity.net/iclub_files/a/1/38/webpage/LatentHeat/cindex.htm



圖 3.1j 總結把 1 kg 冰轉變為蒸汽時，每個步驟所需的能量。



例題 5 蒸汽和熱水

求在下列情況下釋放的能量：

- 15 g 的水由 100 °C 冷卻至 50 °C。
- 15 g 的 100 °C 蒸汽冷卻為 50 °C 的水。

題解

(a) 釋放的能量

$$= mc\Delta T = 0.015 \times 4200 \times (100 - 50) = 3150 \text{ J}$$

(b) 100 °C 的蒸汽會先釋放潛熱，並轉化成相同溫度的水。

$$\begin{aligned} \text{釋放的總能量} &= mL_v + mc\Delta T \\ &= (0.015 \times 2.26 \times 10^6) + 3150 \\ &= 37\,050 \text{ J} \end{aligned}$$

習題與思考 3.1 Q8 (p.78)

圖 3.1k 顯示例題 5(b) 所涉及的能量轉變。總能量改變是 $mL_v + mc\Delta T$ ，箭號的方向顯示能量先從蒸汽再從水釋放出來。

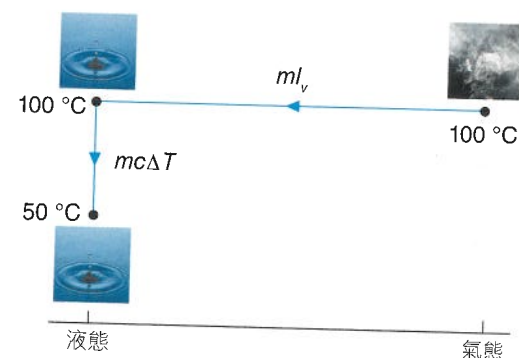


圖 3.1k 蒸汽轉變為水時所涉及的能量轉變

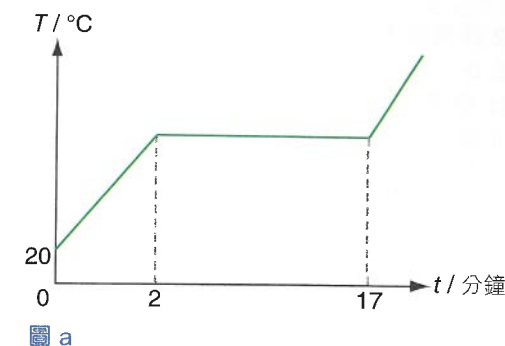
雖然蒸汽和沸水的溫度轉變相同，但蒸汽釋放的能量遠多於熱水。因此，蒸汽比沸水更有可能導致嚴重燙傷。

完(整)圖

例題 6 把水加熱

慧君以固定功率把 500 g 水加熱，並得出圖 a 的加熱曲線。

- 求電熱器的功率。取水的比熱容量為 $4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ °C}^{-1}$ 。
- 由此，估算水的汽化比潛熱。



題解

(a) 根據 $Q = mc\Delta T$ 和 $P = \frac{Q}{t}$,

$$P = \frac{mc\Delta T}{t} = \frac{0.5(4200)(100 - 20)}{2 \times 60} = 1400 \text{ W}$$

(b) 根據 $Q = mL_v$ 和 $P = \frac{Q}{t}$,

$$L_v = \frac{Q}{m} = \frac{Pt}{m} = \frac{1400 \times (17 - 2) \times 60}{0.5} = 2.52 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$$

習題與思考 3.1 Q4 (p.77)

生活中的物理 冰雹

香港平均每兩年便會落雹一次。落雹時，冰粒(雹)會在雲層內形成，然後掉落地面。圖 a 顯示冰雹的形成過程。

冰雹的大小由 0.5 cm 至 15 cm 不等(圖 b)，較大的冰雹能造成嚴重破壞。因此，落雹時應儘量留在室內安全的地方，免受傷害。要更深入認識冰雹，可觀看以下的影片：

<https://www.youtube.com/watch?v=oVmcaPE4oxI>

2014 年，本港市區受雹暴襲擊。可以從以下影片回顧當天落雹的情況：

<https://www.youtube.com/watch?v=AauHh9PW-KQ>



圖 a 冰雹的形成過程



圖 b



第2課例題5中(p.40)，混合在一起的都是液體。試比較第2課例題5和第3課例題7的結果。

例題 7 把湯翻熱

美美利用蒸鍋，把250 g的湯由4 °C開始翻熱。過程中，共有20 g溫度為100 °C的蒸汽在湯面凝結。湯的比熱容量是3700 J kg⁻¹ °C⁻¹。

- (a) 求湯的末溫度。假設沒有能量散失到周圍環境。
(b) 假設散失到周圍環境的能量不可略去，比較實際的末溫度與題(a)的答案。

題解

- (a) 設 T 為湯的末溫度。由於沒有能量散失到周圍環境，
蒸汽失去的能量 = 湯吸收的能量

$$m_s l_v + m_w c_w \Delta T_w = m_t c_t \Delta T_t$$

$$(0.02)(2.26 \times 10^6) + (0.02)(4200)(100 - T) = (0.25)(3700)(T - 4)$$

$$T = 56.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- (b) 如果散失到周圍環境的能量不可略去，湯吸收的能量便會減少，因此 ΔT_t 也會減少。由此可知，湯的末溫度會較低。

習題與思考 3.1 Q10 (p.78)

下標 s 、 w 、 t 分別代表蒸汽、水、湯。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

生活中的物理

煮食的物理：潛熱

蒸法是常用的中式烹調方法。過程中，蒸汽會在食物上凝結，釋放大量潛熱，把食物快速均勻地烹調。

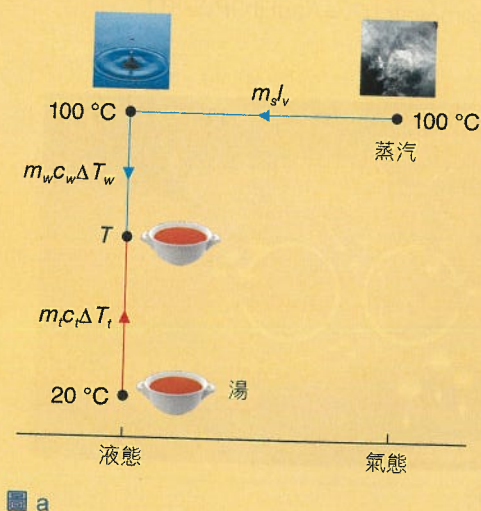


技巧分析

利用圖像表達物質混合時的能量轉變

例題7中，蒸汽和湯的能量轉變可用圖a來表達：

兩支藍色箭號代表蒸汽改變物態和溫度後的總能量轉變($m_s l_v + m_w c_w \Delta T_w$)；紅色箭號代表湯因溫度改變而出現的能量轉變($m_t c_t \Delta T_t$)。蒸汽和湯的能量轉變量值相同，由此可計算出末溫度 T 。



預試訓練 1

溫度對時間的關係線圖

☆ 香港中學會考2005年卷一 Q3 及
香港中學會考2011年卷二 Q9、10

密封的金屬罐盛有0 °C的碎冰，罐子浸沒在80 °C的熱水中。溫度感應器X和Y分別記錄水和碎冰的溫度(圖a)，圖b顯示X所錄得的溫度變化。

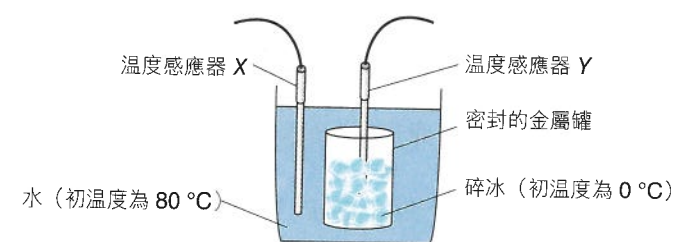


圖 a

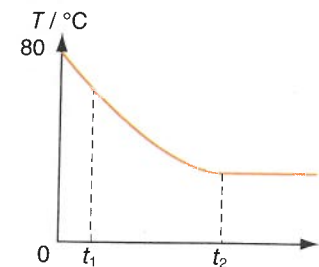
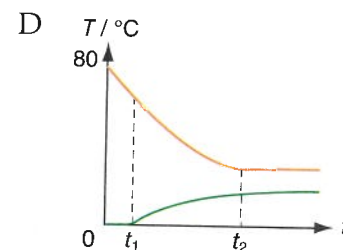
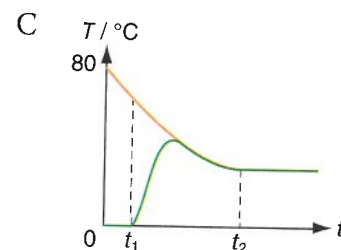
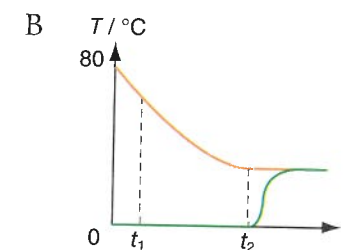
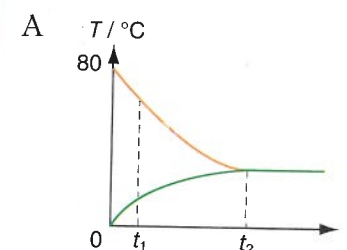


圖 b

在時間 t_1 ，剛好所有碎冰熔化。在時間 t_2 ，水的溫度穩定下來。下列哪一條圖線(綠色)最能顯示Y所錄得的溫度變化？



題解

開始時，碎冰熔化並吸收潛熱，過程中溫度會維持在0 °C。

∴ A 不正確。

在時間 t_1 ，碎冰全都熔化。因此，時間 t_1 以後，所錄得的溫度會上升。

∴ B 不正確。

在時間 t_2 之後，水的溫度不變(由X量得)，由此可知水與周圍物體之間的熱轉移為零。因此，水和熔化了了的冰塊應有相同的溫度。

∴ D 不正確。

∴ 答案是C。

常見錯誤

學生或不知道，冰塊熔化後，溫度可以上升至室溫以上。事實上，熔化了了的冰塊和熱水可以先達至熱平衡(相同溫度)，然後才一同降至室溫。

複習 Q15-16 (p.91)

題目中的兩個「Q」並不相等，第一個「Q」是把水由 0 °C 加熱至 100 °C 所需的能量，第二個「Q」是把整杯水汽化所需的能量。題目提供的資料並不足夠，他不能單靠這些資料計算出水的汽化比潛熱。

進度評估 3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.58）。

- 41 質量為 m 的水從 0 °C 加熱至 100 °C 後便開始沸騰。已知水的比熱容量是 $4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。某學生根據以上資料計算水的汽化比潛熱，圖 a 展示他的計算步驟。

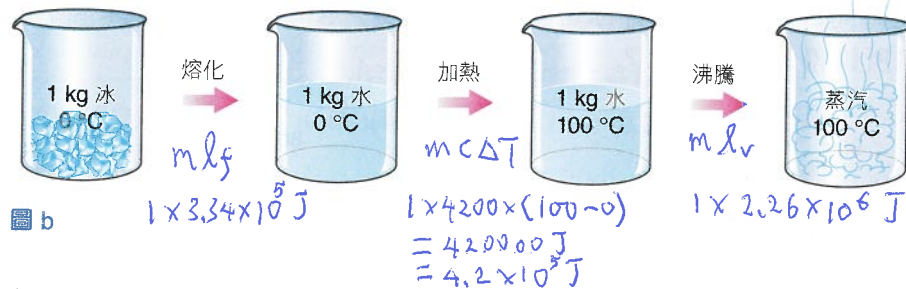
他的計算方法是否正確？**不正確**

$Q_1 \neq Q_2$

$$\begin{aligned} \therefore Q &= mc\Delta T \text{ 和 } Q = mL \\ \therefore L &= c\Delta T \\ &= 4200 \times 100 \\ &= 420\,000 \text{ J kg}^{-1} \end{aligned}$$

圖 a

- 2 參看圖 b，找出把 1 kg 的 0 °C 冰塊加熱至 100 °C 的蒸汽，需要多少能量。
3, 4



- 43 如果用 1.5 kW 的電熱器把 2 kg 的 100 °C 水加熱至完全汽化，最少需要多少時間？**3010 s**

模擬程式 3.4

→ 模擬程式 3.4 展示了固體 / 液體 / 氣體粒子模型在溫度改變時，怎樣從一個物態轉化為另一個物態。

3 內能與分子勢能

上一課提及，分子運動時具有動能；物體的溫度上升時，分子的運動加快，分子的平均動能便會增加。

此外，各分子會互相施力，因此都具有**勢能**。物質由固態轉變為液態，或由液態轉變為氣態時，分子要吸收能量（潛熱）來克服它們之間的吸力，才能更自由地移動（圖 3.11）。物質經歷上述的物態轉變時，分子的勢能會增加，但分子的平均動能卻不變。

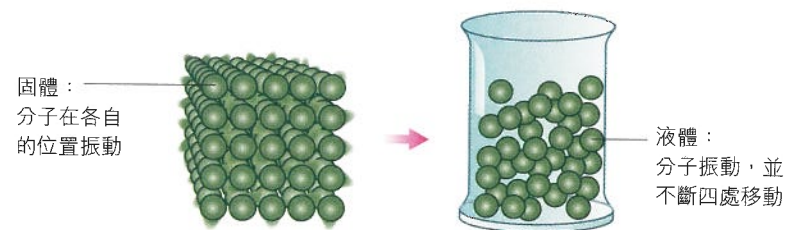


圖 3.11 固體的分子要吸收能量（潛熱），才能克服它們之間的吸力，改變原本具有規律的排列方式

分子的動能是物體內能的一部分，詳情可參閱第 2 課第 24 頁。

事實上，分子間的勢能是物體內能的一部分。因此，物體吸收潛熱時，它的內能也會增加。

物體的內能是該物體所有分子的動能和勢能的總和，也就是物體儲存的總能量。

物體的內能取決於物體的質量、溫度、物態，它們之間的關係如下：

$$\begin{aligned} \text{內能} &= \text{分子的總動能} + \text{分子的總勢能} \\ &= \underbrace{\text{分子數目}}_{\text{隨質量增加而增加}} \times (\underbrace{\text{分子的平均動能}}_{\text{隨溫度上升而增加}} + \underbrace{\text{分子的平均勢能}}_{\text{取決於物態}}) \end{aligned}$$

表 3.1a 仔細解釋上述因素怎樣影響物體的內能。我們要注意，0 °C 的水比 0 °C 的冰具有較多的分子勢能，即使兩者的溫度和質量相同，水也具有較多內能。

因素	內能	分子的動能和分子的勢能
溫度 	質量相同時，熱水比冷水具有較多內能。	兩者的分子勢能相同，但熱水具有較多分子動能，因此也有較多內能。
物態 	質量相同時，0 °C 的水比 0 °C 的冰具有較多內能。	兩者的分子動能相同，但水有較多分子勢能，因此也有較多內能。
質量 	溫度相同時，質量較大的水具有較多內能。	兩者的平均分子動能和平均分子勢能相同，但質量較大的水有較多分子，因此也有較多內能。

表 3.1a 比較內能

預試訓練 2

翻熱蔬菜 ☆ 香港中學文憑試 2012 年卷一乙部 Q1

君怡利用蒸鍋把 800 g 的蔬菜由 25 °C 開始翻熱 (圖 a)。首先，她把蒸鍋內 750 g 溫度是 20 °C 的水煮沸。

已知：水的汽化比潛熱 = $2.26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$

水的比熱容量 = $4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

蔬菜的比熱容量 = $3000 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$



圖 a

- (a) 試描述蒸鍋內的水受熱時，它的分子動能、分子勢能、內能怎樣改變。 (2 分)
- (b) 水開始沸騰時，君怡把蔬菜放進蒸鍋內加熱 10 分鐘。假設所產生的 100 °C 蒸汽中，有一半在蔬菜上凝結。設能量以 250 W 供應給水。
- (i) 在蔬菜上凝結的蒸汽，總質量是多少？ (2 分)
- (ii) 蔬菜的末溫度是多少？ (2 分)

題解

- (a) 水由 20 °C 加熱至 100 °C 時，分子動能和內能增加，分子勢能則保持不變。 1A

100 °C 的水繼續受熱至沸騰時，分子動能保持不變，分子勢能和內能則增加。 1A

- (b) (i) 根據 $Q = ml_v$ 和 $P = \frac{Q}{t}$,

在 10 分鐘內產生的 100 °C 蒸汽的總質量

$$= \frac{Pt}{l_v} = \frac{250 \times 10 \times 60}{2.26 \times 10^6} = 66.4 \text{ g} \quad 1M$$

凝結在蔬菜上的 100 °C 蒸汽的總質量

$$= \frac{1}{2} \times 66.4 = 33.2 \text{ g} \quad 1A$$

- (ii) 根據 $Q = ml_v$ 和 $Q = mc\Delta T$,

$$m_v l_v + m_v c_w \Delta T_w = m_v c_v \Delta T_v$$

$$0.0332(2.26 \times 10^6) + 0.0332(4200)(100 - T) = 0.80(3000)(T - 25)$$

$$T = 58.7 \text{ } ^\circ\text{C} \quad 1A$$

常見錯誤

學生或會忘記考慮水從 100 °C 降至末溫度時所釋放的能量。有些學生誤以水的比熱容量當作蔬菜的比熱容量。

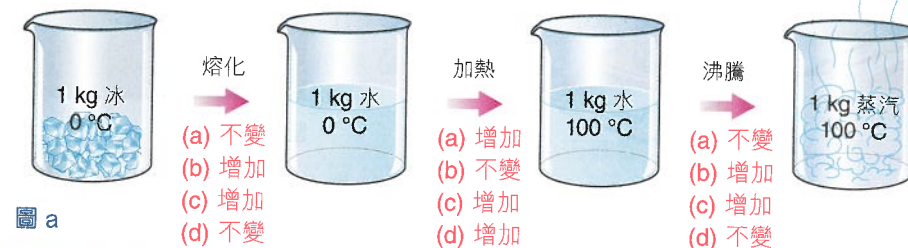
▶ 複習 Q35 (p.95)

進度評估 4

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.58)。

- 51 圖 a 中，1 kg 溫度是 0 °C 的冰轉變成 100 °C 的蒸汽。描述下列各物理量在各階段怎樣改變：(a) 分子的動能 (b) 分子的勢能 (c) 內能和 (d) 溫度。以「增加」、「減少」或「不變」作答。

KE 溫度 物態 PE PE+KE



習題與思考 3.1

水的比熱容量 = $4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

冰的熔解比潛熱 = $3.34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$

水的汽化比潛熱 = $2.26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$

- 51 物態改變時，以下哪一個物理量會保持不變？

- A 分子的總能量 PE+KE
B 分子的平均勢能
C 分子的平均動能 KE ← T
D 分子的平均動能和平均勢能的總和

- 22 圖 a 顯示某物質由固態轉變成液態時，物理量 X 隨時間 t 的變化。以下哪項可能是 X？

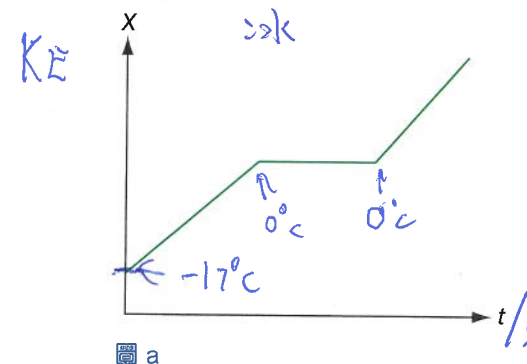


圖 a

- (1) 分子的動能
(2) 分子的勢能
(3) 內能 PE+KE
A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- 3 把功率為 1 kW 的電熱器浸在 0.5 kg 溫度為 20 °C 的水中，然後啟動電熱器。10 分鐘後有多少水變成蒸汽？

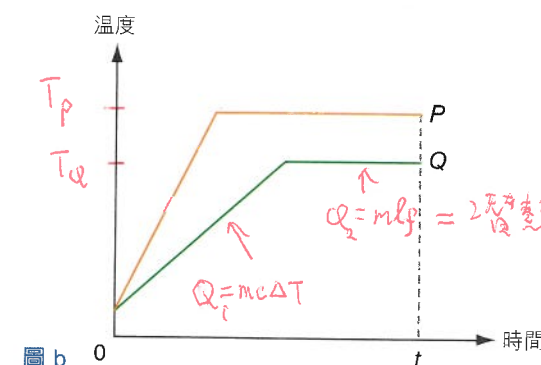
- A 0.191 kg
B 0.275 kg
C 0.35 kg
D 0.5 kg

$$Q = Pt = mc\Delta T + m'l_v$$

$$1000 \times 10 \times 60 = 0.5 \times 4200(100 - 20) + m' \times 2.26 \times 10^6$$

$$m' = 0.191 \text{ kg}$$

- 4 P 和 Q 是兩種不同物質的固體。以相同而恆定的功率把它們加熱後，得出圖 b 中的加熱曲線。在時間 t，兩個固體都完全熔化。



下列哪項敘述必定正確？

- (1) Q 吸收較少潛熱。
(2) P 的熔解比潛熱較高。m?
(3) 因為 Q 的熔點較 P 低，所以 Q 較早開始熔化。
A 只有 (1) B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 5 寶生想找出某液體的汽化比潛熱(圖 c)。下列哪一項可以使實驗結果更準確?

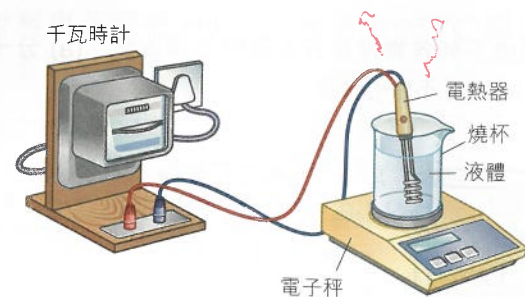


圖 c

- A 用蓋子蓋住燒杯
 B 用棉布包裹燒杯
 C 改用功率較小的電熱器
 D 關上電源後立即記錄電子秤讀數

- 1, 2 6 文卓把某固體物質加熱後，讓該物質慢慢冷卻下來。圖 d 和 e 顯示熔化和冷卻過程中，物質的溫度 T 怎樣隨時間 t 改變。

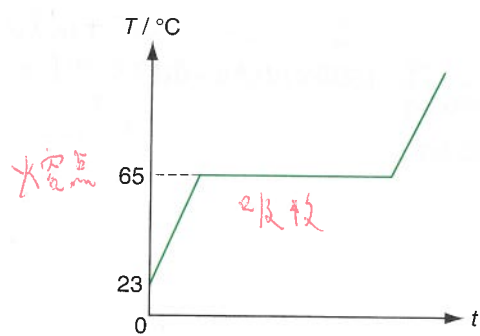


圖 d 物質受熱

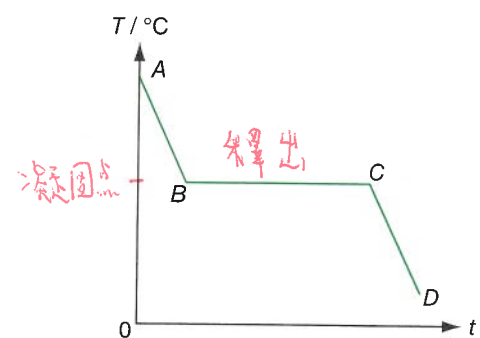


圖 e 物質冷卻

- (a) 在圖 e 中，物質於 BC 段的溫度是多少? 65°C
 (b) 解釋以下敘述是否正確。
 「在圖 e 的 BC 段中，由於物質的溫度不變，物質沒有吸收或釋出能量。」 **不正確**

- 3 7 某座冰山(圖 f)的質量是 10^8 kg ，溫度是 0°C 。



圖 f

- (a) 要把冰山完全熔化，需要多少能量? $3.34 \times 10^{13} \text{ J}$
 (b) 要把冰山的溫度由 0°C 提升至 4°C ，需要多少能量? $3.51 \times 10^{13} \text{ J}$
 $Q = mc\Delta T = 10^8 \times 4200 \times (4-0)$

- ★ 8 美兒以電熱水瓶把 0.2 kg 溫度是 10°C 的水加熱。電熱水瓶的功率是 1200 W 。把所有水加熱至變成 100°C 蒸汽需時多久? 440 s

- ★ 9 子妮打算把 100°C 的蒸汽加入 0°C 的水中，從而得出 1 kg 溫度是 100°C 的水。她需要多少 100°C 的蒸汽和 0°C 的水? 答案以 kg 為單位。
 0.157 kg 、 0.843 kg

- ★ 10 浩揚把 0.1 kg 溫度是 0°C 的冰塊加入 0.3 kg 溫度是 25°C 的汽水中(圖 g)。(汽水的比熱容量是 $5300 \text{ J kg}^{-1}^\circ\text{C}^{-1}$)



圖 g

- (a) 估算混合物的末溫度。 3.16°C
 (b) 指出你在計算過程中的一項假設。
 (c) 如果以溫度計量度末溫度，量度所得的值會大於還是小於題 (a) 所得的答案? 為甚麼? **大於**

- ★ 11 凱莉把果汁粉和熱水混合，製成一杯 0.3 kg 溫度是 68°C 的果汁。
 (a) 如果把果汁的溫度下降 38°C 需要 100 g 溫度是 0°C 的冰，求果汁的比熱容量。 $4040 \text{ J kg}^{-1}^\circ\text{C}^{-1}$
 (b) 如果要把果汁從 68°C 冷卻至 15°C ，她要加入多少 0°C 的冰塊? 0.162 kg

- ★ 12 一個大型蒸籠能在 5 分鐘內把 0.3 kg 溫度是 100°C 的水轉變成 100°C 的蒸汽。

- (a) 估算蒸籠的功率。 2260 W
 (b) 描述水分子的動能和勢能在物態改變過程中的變化。 **動能：不變、勢能：增加**

- ★ 13 比較 1 kg 溫度是 0°C 的水浴器，以及 0.2 kg 溫度是 0°C 的冰塊，哪個能令 0.3 kg 溫度是 50°C 的水冷卻至較低的溫度? 寫出計算的步驟。 **冰塊**

- ★ 14 要把 250 g 溫度是 80°C 的水冷卻至 0°C ，需要多少溫度是 -4°C 的冰塊? 冰的比熱容量是 $2060 \text{ J kg}^{-1}^\circ\text{C}^{-1}$ 。 245 g

- ★ 15 智雄把 0.02 kg 熔化中的冰塊加入 0.3 kg 溫度是 20°C 的水中。一段時間後，冰塊完全熔化，形成一杯末溫度是 14°C 的水。 $3.19 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$

- (a) 利用智雄的實驗結果，求冰的熔解比潛熱。
 (b) 比較智雄的實驗結果與標準值。
 (c) 實驗的誤差可能源自哪裏? 試舉出一個來源，並說明它怎樣影響實驗結果。

- ★ 16 怎樣提升以下實驗(圖 h 至 j)的準確度? 試在下表適當的位置填上「✓」號。

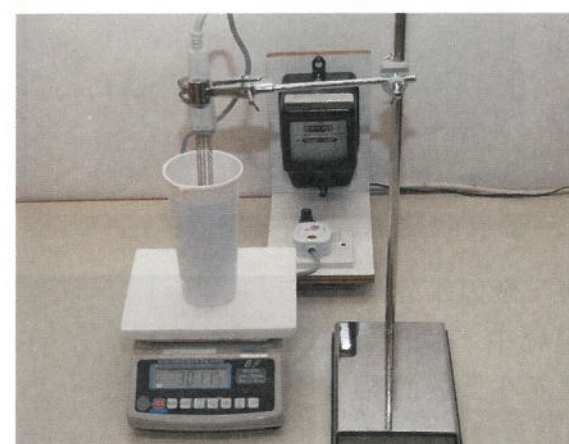
圖 h 量度水的汽化比潛熱 (l_v)圖 i 量度冰的熔解比潛熱 (l_f)

圖 j 量度水的比熱容量 (c)

	措施	量度 l_v	量度 l_f	量度 c
a	關掉電源後立即量度實驗樣本的溫度。			
b	在容器上加蓋。			✓
c	做實驗時不斷攪拌實驗樣本。			✓
d	使用敲碎的實驗樣本。		✓	
e	使用熔化中的實驗樣本。		✓	
f	把電熱器的發熱部分完全浸在實驗樣本中。	✓	✓	✓
g	用棉絮包裹容器。	✓	✓	✓
h	用較短的電線連接電熱器和電源。			
i	在實驗和對照裝置加入相同分量的樣本。		✓	

3.2 蒸發

起點 下雨天

下雨時，有些購物商場會放置一台特別的吹風機，它所吹出的強風能迅速吹乾地面。為甚麼這個方法能令地面保持乾爽？ 參看第 83 頁。



- ✓ 本節重點
- 1 比較蒸發和沸騰
 - 2 蒸發的冷卻效應
 - 3 蒸發和分子運動
 - 4 影響蒸發的因素
 - 5 凝結——與蒸發相反的過程

水窪乾涸 (圖 3.2a)，濕衣服變乾，全因水變成蒸氣所致；在這個物態轉變的過程中，水的溫度都低於沸點。由此可見，液體能在低於沸點的溫度轉變成蒸氣，這個過程稱為**蒸發**。



圖 3.2a 水窪的水會因蒸發而消失

1 蒸發和沸騰

蒸發和沸騰都屬汽化過程。兩者同樣牽涉汽化潛熱，但卻有以下不同之處 (表 3.2a)：

蒸發	沸騰
可在任何溫度發生	只在特定的溫度發生 (沸點)
在液體表面發生	在液體內的所有地方發生
不產生氣泡	產生氣泡
能量來自液體本身或周圍環境	能量來自熱源

表 3.2a 比較蒸發和沸騰

蒸發所需的能量來自液體本身或周圍環境，所以液體蒸發時，它本身或周圍環境的溫度會下降，因而產生冷卻效應。

 其實，沸騰也可看成是一個冷卻的過程。沸水不斷受熱，溫度也維持在 100°C ，這顯示冷卻和加熱的快慢一樣。壓力煲內的水可加熱至超過 100°C ，就是因為壓力煲阻礙了沸騰。

2 蒸發的冷卻效應 *風寒效應 wind-chill effect*

雙手塗上酒精消毒劑後，會感覺涼快 (圖 3.2b)，原因是酒精可以迅速蒸發，從皮膚帶走能量，即使溫度很低，蒸發依然會發生。蒸發時所吸收的能量相等於汽化潛熱。

出汗或身體濕透的時候，只要一陣風吹過，就會覺得寒冷 (圖 3.2c 和 3.2d)，原因是風吹的時候，身上的水分加快蒸發。相反，如果在夏季遇上潮濕天氣，空氣中充滿水汽，汗水蒸發得很慢，難以產生冷卻效應，我們便會感到悶熱不適。



圖 3.2b 塗上酒精消毒劑後會感覺涼快



圖 3.2c 出汗時刮大風，會感到寒冷



圖 3.2d 從泳池走出來，會感到寒冷

生活中的物理 相對濕度

相對濕度量度空氣中水汽的密度，這個密度的高低會影響蒸發率，從而影響蒸發的冷卻效應。因此，只要反過來找出冷卻效應的快慢，便可以計算出相對濕度。

圖 a 顯示量度相對濕度的裝置，當中包括兩支相同的溫度計 D 和 W 。一塊濕布部分浸在水中，沒有浸水的部分則蓋住 W 的溫度計泡。由於蒸發產生冷卻效應， W 的讀數會較 D 低，而且，相對濕度愈低，兩者的差異便愈大。從這兩個讀數，就可以計算出相對濕度。

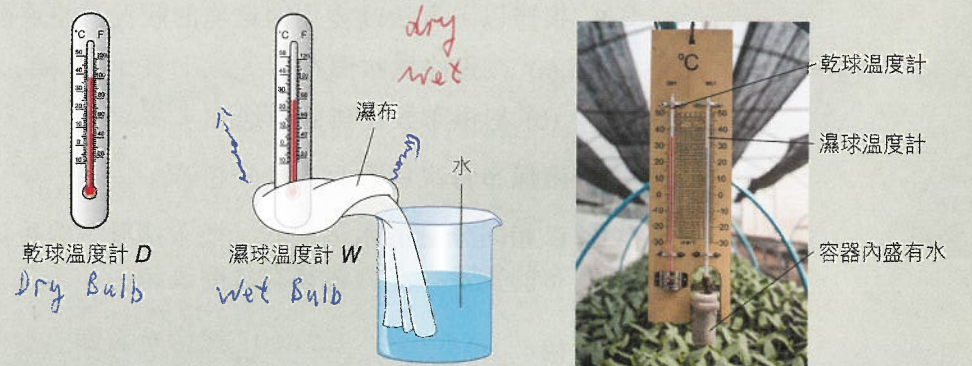


圖 a 量度相對濕度

溫度計 D 和 W 分別稱為乾球溫度計和濕球溫度計。它們應置於有遮擋的地方，避開陽光和雨水，但周圍環境必須空氣流通。

3 蒸發和分子運動

模擬程式 3.5

→ 模擬程式 3.5 顯示接近液體表面的分子怎樣運動，以闡明蒸發的過程。

溫度和分子的平均動能有關。

a 解釋蒸發的冷卻效應

液體中的分子不停互相碰撞，結果，一些分子的動能增加，而另一些分子的動能減少。

在液體表面的分子得到足夠動能的話，或會逃離液體，成為蒸氣分子（圖 3.2e）。餘下分子的平均動能因而下降，液體的溫度也就隨之下降。這就是蒸發會產生冷卻效應的原因。

在液體表面，運動得較快的分子會逃離液體；但在蒸氣中，運動得較慢的分子卻會返回液體表面。淨蒸發率就是分子的逃逸率與返回率之差。

kinetic energy

$KE = \frac{1}{2}mv^2$ 內能 IE
動能 KE (溫度) PE 勢能 (物態)

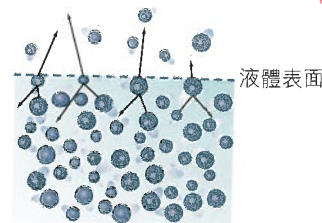


圖 3.2e 在蒸發過程中，能量較多的分子逃離液體表面，剩下的都是能量較少的分子

b 影響蒸發的因素



錄像片段 3.6

→ 錄像片段 3.6 示範實驗 3e。

實驗 3e 影響蒸發的因素

- 量度一塊濕布的質量。
- 讓風筒的熱風吹向濕布（圖 a）。量度布的質量在 5 分鐘後有甚麼改變。



- 根據以下方法改變周圍環境的狀況，並重複步驟 1 和 2：

- 改用冷風吹濕布；
- 把濕布放在無風的地方。

確保布每次所吸收的水分相若。

- 以相同分量的水沾濕布，把布摺疊，然後放在無風的環境下。量度布的質量在 5 分鐘後有甚麼改變。

討論

- 在甚麼環境下，布較快變乾？用熱風吹沒有摺疊的濕布
- 以上的各個因素怎樣影響蒸發率？蒸發率在以下情況會較高：
 - 1 水溫高
 - 2 有風
 - 3 布曝露於空氣的表面面積大

根據實驗 3e，液體的蒸發率受以下幾種因素影響（表 3.2b）。

因素	對蒸發的影響	原因
溫度	溫度愈高，蒸發率也愈高。	分子平均速率較高，因此有較多分子能逃離液體表面。
表面面積	表面面積愈大，蒸發率也愈高。	蒸發只會在液體表面發生。
蒸氣的密度 RH	蒸氣的密度愈高，蒸發率便愈低。	蒸氣的密度高，蒸氣分子返回液體表面的機會便較大。

表 3.2b 影響蒸發的因素

影響蒸發率的因素是蒸氣密度的高低，而不是有沒有空氣。液體在真空的環境下也可以蒸發。

在起點，吹風機能減低水汽的密度，讓地面上的水迅速蒸發，這樣有助於保持地面乾爽。

此外，風能吹走過多的蒸氣，降低蒸氣密度。所以，有風的環境能提升蒸發率。

例題 8 流汗的冷卻作用

一個質量為 60 kg 的人在做運動，身上滿是汗水（圖 a）。

- 當 1 kg 汗水蒸發，所帶走的能量是多少？假設汗水的汽化比潛熱和水相同。
- 如果上述的能量不能通過排汗釋放，那個人的體溫會增加多少？取人體的平均比熱容量為 $3500 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。
- 為甚麼在潮濕的日子，中暑的機會較大？



圖 a

物理 DIY

快速冷凍妙法

即使沒有雪櫃，也可以快速冷卻飲品！用濕布包裹一罐室溫的飲品，然後把飲品放在風扇前吹。十分鐘後，便可享用凍飲了。



罐裝飲料

題解

(a) 1 kg 汗水蒸發時所帶走的能量
 $= ml_v = 1 \times 2.26 \times 10^6 = 2.26 \times 10^6 = 2.26 \text{ MJ}$

4.3 M

(b) 根據 $Q = mc\Delta T$,

$$\Delta T = \frac{Q}{mc} = \frac{2.26 \times 10^6}{60 \times 3500} = 10.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

體溫會增加 $10.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

- (c) 在潮濕的日子，汗水蒸發得較慢，人體不能有效地經排汗來散熱，因此中暑的機會較大。

► 習題與思考 3.2 Q8 (p.86)

進度評估 5

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.80)

- 41 如果熱湯的表面有一層油覆蓋，湯冷卻所需的時間會 (增加/減少)，原因是油層會 (加快/減慢) 熱湯蒸發。
- 12 下列哪一項關於沸騰和蒸發的敘述是正確的？
- A 液體沸騰時須吸收汽化潛熱，但蒸發時則無須吸收汽化潛熱。
- B 沸騰只在特定的溫度發生，但蒸發卻不是。
- C 沸騰在液體表面發生，但蒸發卻在整個液體內發生。
- D 沸騰會快速地產生氣泡，但蒸發只會緩慢地產生氣泡。
- 2-43 下列哪一項有關液體蒸發的敘述必然正確？
- A 只有在溫度高於 0°C 時，液體才會蒸發。
- B 蒸發時，所有在液體表面的分子都獲得足夠的勢能來離開液體表面。
- C 蒸發會導致液體的內能減少。 $IE = KE + PE$
- D 在無風的日子，液體不會蒸發。
- 44 試舉出影響蒸發率的兩個因素。
(以下任何兩項)
- 液體的溫度；液體的表面面積；蒸氣的密度
- 空氣的流動

生活中的物理 中暑

體溫過高很可能導致中暑，所以在炎夏進行戶外活動時尤其要小心。

中暑時身體不能正常排汗，體溫會飆升 (可以超過 40.6°C)，皮膚變得又乾又紅。中暑可以引致昏迷，甚至死亡。遇到有人中暑，必須立即替他降溫，方法包括：把病人移到陰涼的地方；用冷水抹拭病人的皮膚；為病人搧風等等。這樣做可加快蒸發率，儘快帶走病人體內多餘的能量。

即使溫度相同，在濕度較高時我們會感到較熱。所以，科學家以熱壓力指數來綜合溫度和濕度等因素所形成的「表觀溫度」(圖 b)。我們也可以利用右列的應用程式來計算「表觀溫度」。



Android



圖 a

相對濕度 / %	溫度 / $^{\circ}\text{C}$																			
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
40	27	27	28	29	31	33	34	36	38	40	43	46	48	51	54	58	61	64	67	70
45	27	28	29	31	32	34	36	38	40	43	46	48	51	54	58	61	64	67	70	73
50	27	28	29	31	33	35	37	39	42	45	48	51	54	58	61	64	67	70	73	76
55	27	29	30	32	34	36	38	41	44	47	51	54	58	61	64	67	70	73	76	79
60	28	29	31	33	35	38	41	43	47	51	54	58	61	64	67	70	73	76	79	82
65	28	29	32	34	37	39	42	46	49	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83
70	28	30	32	35	38	41	44	48	52	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87
75	29	31	33	36	39	43	47	51	56	60	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91
80	29	32	34	38	41	45	49	54	58	62	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93
85	29	32	36	39	43	47	52	57	61	65	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96
90	30	33	37	41	45	50	55	59	63	67	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
95	30	34	38	42	47	53	58	62	66	70	74	77	80	83	86	89	92	95	98	101
100	31	35	39	44	49	55	60	64	68	72	76	79	82	85	88	91	94	97	100	103

不同顏色代表長時間曝曬時中暑的可能性

低 中 高 非常高

圖 b 在不同溫度和相對濕度下的「表觀溫度」

4 凝結

凝結是汽化的逆向過程，如果又暖又潮濕的空氣突然冷卻，部分水汽便會凝結。雲和霧由成千上萬的小水點構成，成因也是如此。蒸氣在低溫的環境或冰冷的表面較易凝結 (圖 3.2f)，過程中會釋放汽化潛熱。



圖 3.2f 水汽在較冷的表面凝結



例題 9 凝結 氣體 → 液體

思琪從雪櫃取出一罐飲品，再把它放在室溫環境下。罐的表面凝結了 3 g 的水汽 (圖 a)。



圖 a

- (a) 估算 3 g 水汽凝結時釋放了多少能量。
- (b) 水汽凝結會使飲品的溫度上升多少？
取整罐飲品的熱容量是 $1200 \text{ J } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

題解

(a) $Q = mL_v = 0.003(2.26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}) = 6780 \text{ J}$

(b) 根據 $Q = C\Delta T$, $\Delta T = \frac{Q}{C} = \frac{6780}{1200} = 5.65^{\circ}\text{C}$

▶ 進度評估 6 Q2 (p.85)

進度評估 6

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.80)。

- 51 是非題：水汽凝結時，周圍的空氣會變暖。 (對/錯)
- 52 在熱帶氣旋內，水汽凝結成水點，釋放潛熱。熱帶氣旋一天能釋放高達 $5.2 \times 10^{19} \text{ J}$ 能量，即是有多少質量的水凝結了？ $2.30 \times 10^{13} \text{ kg}$

$$Q = mL_v$$

$$5.2 \times 10^{19} = m \times 2.26 \times 10^6$$

$$m = 2.30 \times 10^{13} \text{ kg}$$

習題與思考 3.2

水的比熱容量 $c = 4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

冰的熔解比潛熱 $l_f = 3.34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$

水的汽化比潛熱 $l_v = 2.26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$

★ 1 下列哪一項因素會令濕衣服乾得較慢？

- (A) 摺起衣服
(B) 低濕度
(C) 有風
(D) 有陽光照射

1. 摺起衣服
2. 低濕度
3. 有風
4. 有陽光照射

★ 2 下列哪一項最能解釋蒸發令液體冷卻的原因？

- (A) 物態改變時，液體的分子勢能降低。
(B) 液體蒸發時，分子數量會減少，所以液體分子的總動能減少。
(C) 蒸發時，運動較快的分子離開液體，所以餘下分子的平均動能較低。
(D) 液體表面的分子會和空氣分子碰撞，並損失動能，所以它們的平均動能會減少。

★ 3 下列哪項關於汽化的敘述是正確的？

- (1) 沸騰是汽化過程的一種。
(2) 水總是在 $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 汽化。
(3) 凝結是汽化的逆過程。

- (A) 只有 (3)
(B) 只有 (1) 和 (2)
(C) 只有 (1) 和 (3)
(D) 只有 (2) 和 (3)

★ 4 求 1.5 kg 的汗水蒸發時所吸收的能量。汗水的汽化比潛熱是 $2.26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ 。

$$Q = m l_v = 1.5 \times 2.26 \times 10^6 = 3.39 \times 10^6 \text{ J}$$

★ 5 從泳池走出水面會覺得冷，有風時寒冷的感覺更強烈，為甚麼呢？

★ 6 試解釋為甚麼在下列情況下，眼鏡表面會蓋上一層霧（圖 a）：

- (a) 離開空調汽車時，
(b) 走進熱氣騰騰的浴室時。



圖 a

★ 7 在酷熱的天氣下，某人一小時內流了 0.5 kg 汗。假設這些汗全部蒸發掉。

- (a) 一小時內，這個人經排汗最多可釋放多少能量？
(b) 排汗時，身體的冷卻率是多少（即從身體帶走能量的率）？
(c) 指出兩項影響蒸發率的因素。

★ 8 子俊沐浴後，水從他皮膚的表面蒸發。

- (a) 如果他皮膚表面有 0.2 kg 的水蒸發，蒸發過程共帶走多少能量？
(b) 假設以上的能量全部來自子俊的身體。如果他無法維持體溫，體溫會下降多少？子俊的質量是 50 kg ，人體的平均比熱容量是 $3500 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

★ 9 解釋為甚麼大帽山的溫度降至 $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下時，山上會結霜（圖 b）。



圖 b

★ 10 廚房內有兩個相同的玻璃杯，每個杯都有相同分量的熱水，且水溫相同。玻璃杯 A 的大半個杯口被膠片蓋住，玻璃杯 B 則沒有蓋上膠片（圖 c）。數小時後，兩個杯子的水位都下降了，但杯 A 的水位比杯 B 高。試扼要解釋原因。



圖 c

總結 3

詞彙

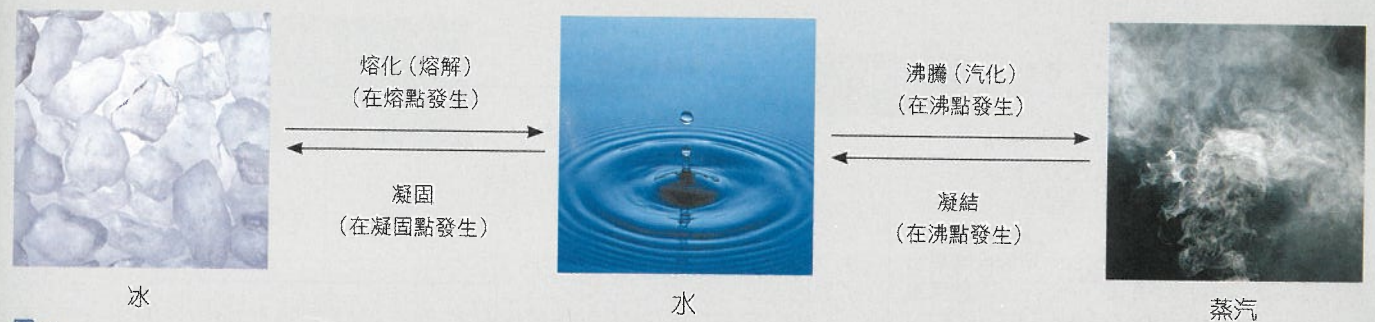
1 熔解 fusion	p.58	8 凝結 condensation	p.62
2 潛熱 latent heat	p.59	9 比潛熱 specific latent heat	p.64
3 沸騰 boiling	p.59	10 熔解比潛熱	p.65
4 汽化 vaporization	p.59	specific latent heat of fusion	
5 加熱曲線 heating curve	p.60	11 汽化比潛熱	p.68
6 冷卻曲線 cooling curve	p.61	specific latent heat of vaporization	
7 凝固 solidification / freezing	p.61	12 勢能 potential energy	p.74
		13 蒸發 evaporation	p.80

課文摘要

3.1 潛熱

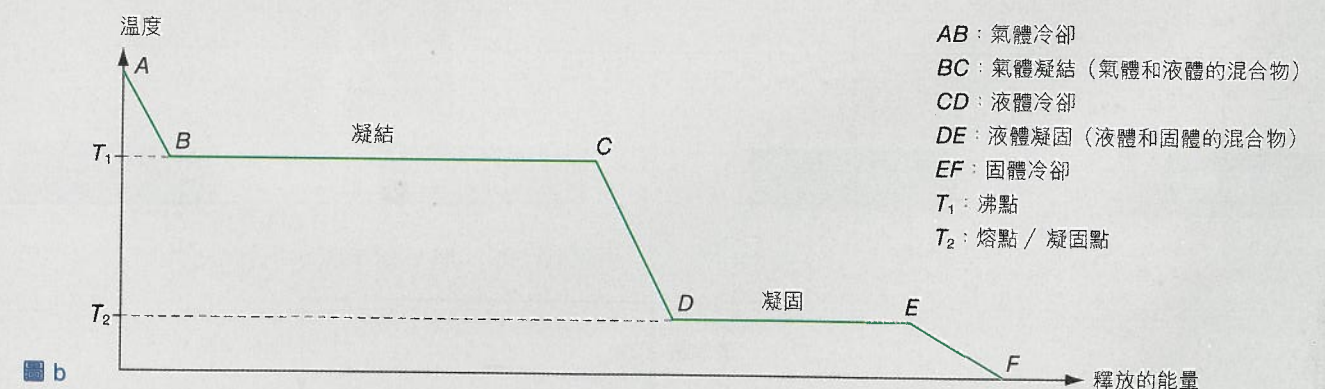
1 物質有三種物態：固體、液體和氣體。把物質加熱或冷卻，可使物質從一種物態轉變為另一種物態。

2 水的物態改變：



3 加熱曲線和冷卻曲線分別顯示物質受熱和冷卻時，溫度隨時間的變化。

4 冷卻曲線提供下列關於物質的資料：



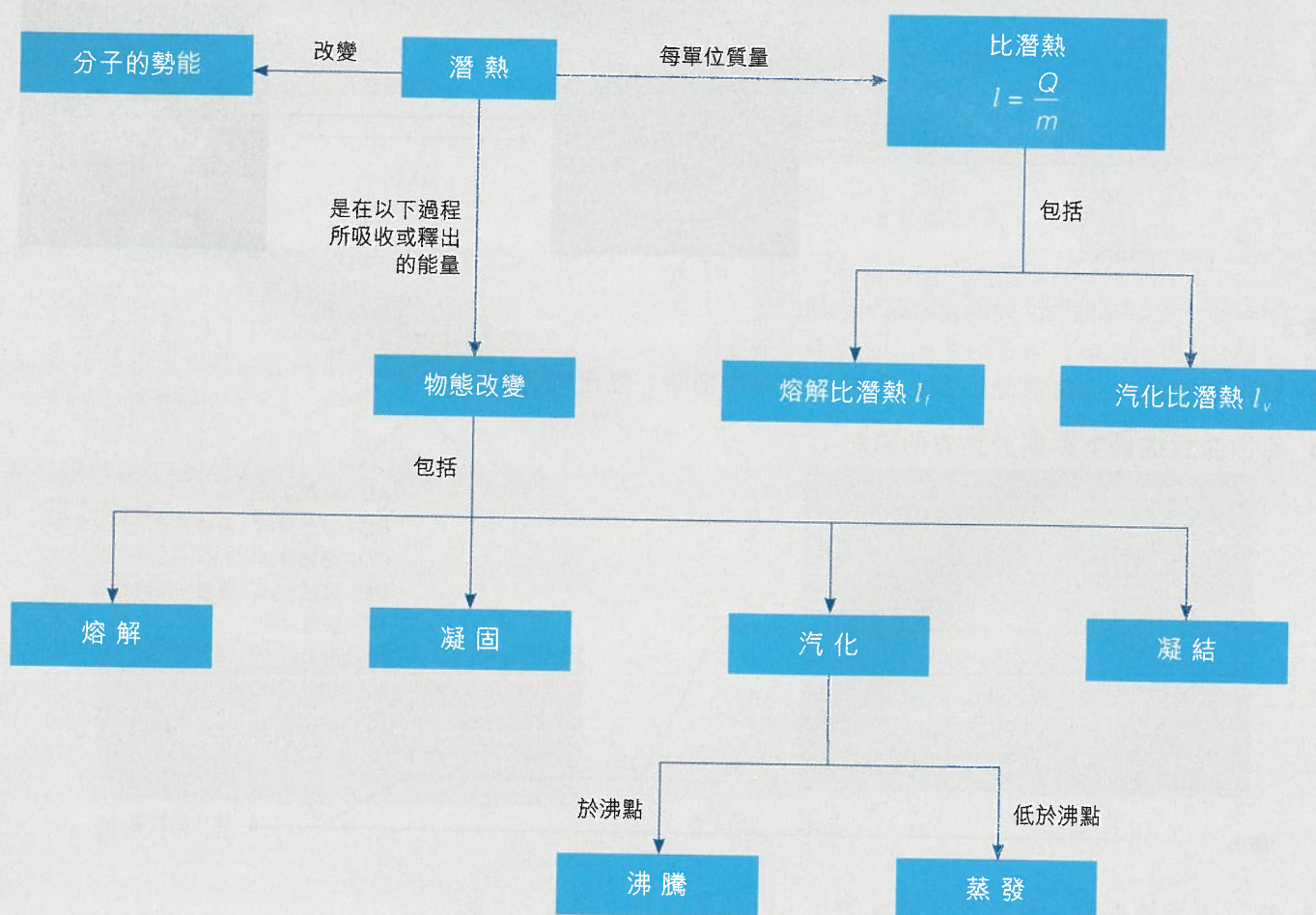
5 物質改變物態時，會吸收或釋放潛熱，但溫度維持不變。

- 6 熔解比潛熱 (l_f) 是指在溫度不變的情況下，把 1 kg 的固體物質轉變成液體所需要的能量。冰的 l_f 是 $3.34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$ 。
- 7 汽化比潛熱 (l_v) 是指在溫度不變的情況下，把 1 kg 的液體物質轉變成氣體所需要的能量。水的 l_v 是 $2.26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ 。
- 8 潛熱與物態改變時物質的分子勢能變化有關。
- 9 內能是物體儲存的能量，即物體中所有分子的動能與勢能的總和。
- 10 物體的內能取決於溫度、質量和物態 (表 3.1a，見 p.75)。

3.2 蒸發

- 11 在溫度低於沸點時，液體轉變成蒸氣的現象稱為蒸發。蒸發在液體的表面發生。
- 12 液體蒸發時需要吸收潛熱，因此產生冷卻效應。
- 13 液體蒸發，因為在它的表面有些分子運動得較快，能夠離開液體。
- 14 蒸發率取決於以下因素：溫度、表面面積和蒸氣密度。這些因素可用液體的分子運動來解釋 (表 3.2b，見 p.83)。
- 15 水汽遇冷就會凝結，並釋放潛熱。

概念圖



Q1 冰和熱水混合後的一刻，混合物的溫度高於 0°C 。

Q2 兩個情況中，曝露於空氣的液體表面面積相同，所以蒸發率相同。

複習 3

水的比熱容量 = $4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

冰的熔解比潛熱 = $3.34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$

水的汽化比潛熱 = $2.26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$

概念重溫

(第 1 至 2 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

☆ 香港中學會考 2009 年卷一 Q3

- 3.1 1 把 0°C 的冰和 90°C 的水混合時，即使冰在熔化，混合物的溫度也可以在 0°C 以上。T

☆ 香港中學會考 2011 年卷一 Q1

- 3.2 2 不同分量但同一種液體加入相同的圓柱體容器內時，分量較多的液體會蒸發得較快。F

多項選擇題

- 3.2 3 一杯水在室溫環境下蒸發。下列哪些會減低蒸發率？

- (1) 在杯上加上蓋
(2) 把水杯放在陽光下
(3) 降低室溫

- A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- 3.1 4 燙衣服時會把熱傳遞到衣服，從而消除衣服上的摺痕。有些燙斗可以產生蒸汽 (圖 a)，下列哪項最能解釋用蒸汽燙衣服的原因？



圖 a

- (1) 我們接觸蒸汽後也不給嚴重燙傷。
(2) 蒸汽能增加衣服附近的水汽密度，使衣服加快變乾。
(3) 蒸汽凝結時把大量能量釋放到衣服。

- A 只有 (3) B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

- 3.2 5 下列哪項敘述是正確的？

- (1) 液體蒸發時會從周圍環境吸收能量。
(2) 蒸發會稍為增加液體的溫度。
(3) 在濕度高的環境中，蒸發率較高。

- A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

- 3.1 6 把某種物質以恆定功率加熱，它的溫度隨時間的變化如圖 b 所示。以下哪一項敘述是正確的？

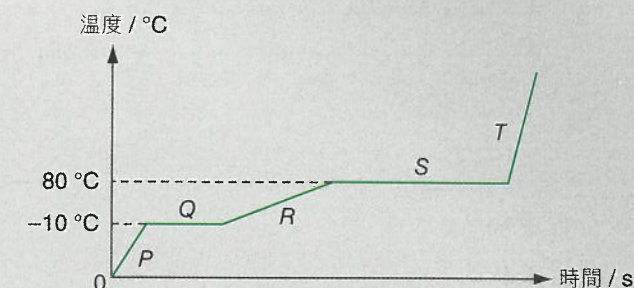


圖 b

- A 汽化比潛熱的值小於熔解比潛熱的值。
B 物質在固態時的比熱容量較在氣態時高。
C 物質的熔點是 80°C 。
D 在 Q 段，該物質沒有固體存在。

- 3.1 7 圖 c 顯示某物質由液體轉變成固體的冷卻曲線。

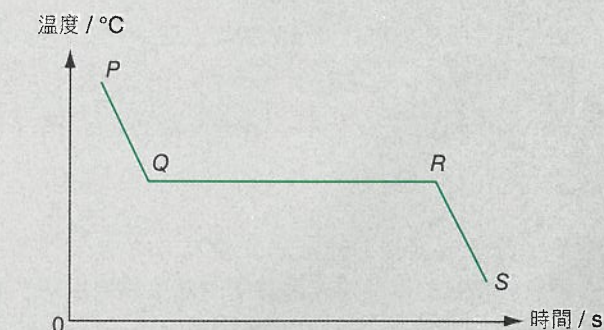


圖 c

下列哪項敘述是正確的？

- (1) 在 QR 段，固體和液體同時存在。
(2) 在 PQ 和 RS 段，分子的平均動能維持不變。
(3) 在 QR 段，物質的內能維持不變。

- A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 8 圖 d 顯示把不同質量正處於沸騰的液體 X 汽化所需的能量。

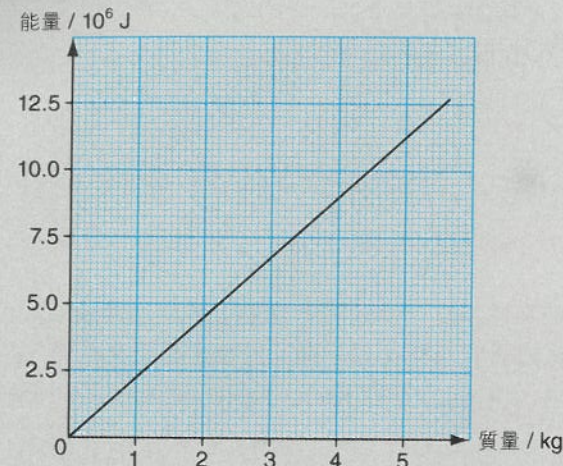


圖 d

從圖 d 可以找出下列哪項資料？

- (1) X 的比熱容量
(2) X 的比潛熱
(3) X 的沸點

- (A) 只有 (2)
(B) 只有 (1) 和 (2)
(C) 只有 (1) 和 (3)
(D) 只有 (2) 和 (3)

- ★ 9 下列哪項描述蒸發和凝結的共通點？

- (1) 它們都涉及物質的內能改變。
(2) 它們都涉及物質分子的勢能改變。
(3) 它們都可以在沸點以下發生。

- (A) 只有 (1) (B) 只有 (1) 和 (2)
(C) 只有 (2) 和 (3) (D) (1)、(2) 和 (3)

- ★ 10 學生用浸沒式電熱器加熱質量為 m 的物質，圖 e 顯示該物質的溫度怎樣隨時間改變。如果用同一電熱器加熱質量較大 (M) 的物質體，下列哪一個線圖最能表達該物質的溫度隨時間的變化？

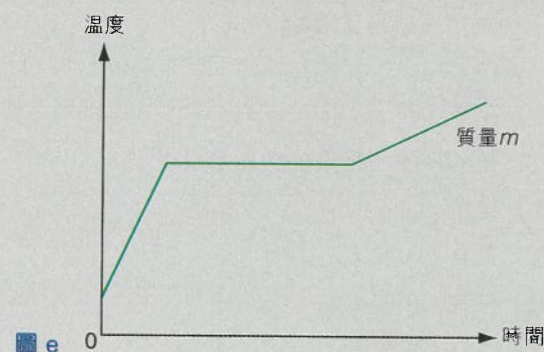
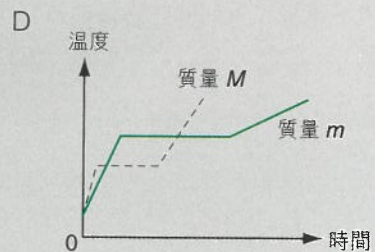
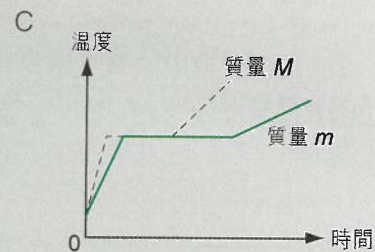
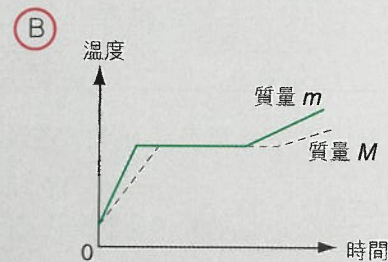
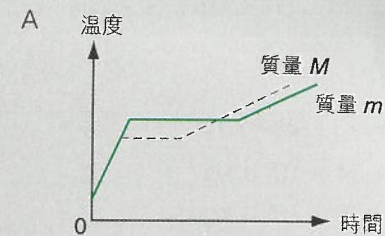


圖 e



- ★ 11 美美以恆定的功率加熱一鍋正在沸騰的湯 (圖 f)。下列哪些物理量是不變的？



圖 f

- (1) 湯的內能
(2) 鍋內湯的質量
(3) 鍋內湯分子的平均動能

- (A) 只有 (3) (B) 只有 (1) 和 (2)
(C) 只有 (2) 和 (3) (D) (1)、(2) 和 (3)

- ★ 12 志強把幾瓶 0°C 的水放進雪櫃 (圖 g)，雪櫃的溫度保持在 0°C 。下列哪項敘述是正確的？



圖 g

- (1) 水分子的平均動能會減少。
(2) 水分子的總能量維持不變。
(3) 部分水會轉變成冰。

- (A) 只有 (1) (B) 只有 (2)
(C) 只有 (1) 和 (3) (D) 只有 (2) 和 (3)

- ★ 13 健恩把 0.5 kg 溫度是 0°C 的冰與 1 kg 溫度是 20°C 的水混合 (圖 h)。假設「混合物」與周圍環境之間沒有能量轉移。求「混合物」的末溫度。

- (A) -19.8°C
(B) -13.2°C
(C) 0°C
(D) 10°C



圖 h

▶ 參看 p.70-71

- ★ 14 把 0°C 的冰塊與 100°C 的蒸汽混合後，變成了 50°C 的水。冰塊與蒸汽的質量比是多少？

- (A) 1 : 1
(B) 3 : 1
(C) 4.5 : 1
(D) 6.8 : 1

▶ 參看例題 7 (p.72)

(第 15 至 16 題) 利用圖 i 的裝置求冰的熔解比潛熱。在時間 $t = 0$ 時，把 0.15 kg 溫度為 0°C 的冰塊加進 1 kg 的熱水中。熱水的初始溫度為 60°C 。圖 j 顯示水溫隨時間的變化。在 Q 時，所有冰塊完全熔化。

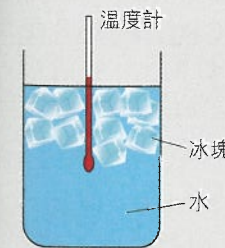


圖 i

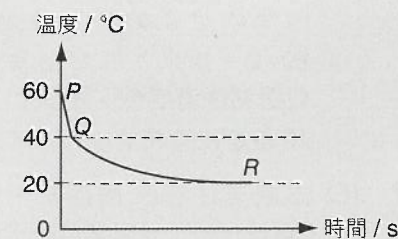


圖 j

- 3.1 15 香港中學會考 2011 年卷二 Q9

根據此實驗所估算冰的熔解比潛熱是多少？

已知：水的比熱容量 = $4200\text{ J kg}^{-1}^\circ\text{C}^{-1}$

- (A) $3.34 \times 10^5\text{ J kg}^{-1}$ (13%)
(B) $3.92 \times 10^5\text{ J kg}^{-1}$ (25%)
(C) $4.48 \times 10^5\text{ J kg}^{-1}$ (9%)
(D) $5.60 \times 10^5\text{ J kg}^{-1}$ (53%)

Q15 考試報告：
53% 考生在計算中沒有考慮把 (由冰溶化而成的) 0°C 的水提升至 40°C 所需的能量，誤選 D 為答案。

- 3.1 16 香港中學會考 2011 年卷二 Q10

以下哪項有關此實驗的敘述是正確的？

- (A) 在 P 和 Q 之間，水從冰中吸收熔解潛熱。
(B) 在 P 和 Q 之間，冰的溫度正在上升。
(C) 在 Q 和 R 之間，水從周圍環境中吸收能量。
(D) 周圍環境的溫度是 20°C 。(63%)

- 3.2 17 香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q1

以下哪些有關液體的沸騰和蒸發的敘述是正確的？

- (1) 液體沸騰時會吸收能量，而液體蒸發時則不會。
(2) 沸騰在特定溫度下進行，而蒸發是在高於室溫時發生。
(3) 沸騰在整個液體內發生，而蒸發只在液體表面發生。

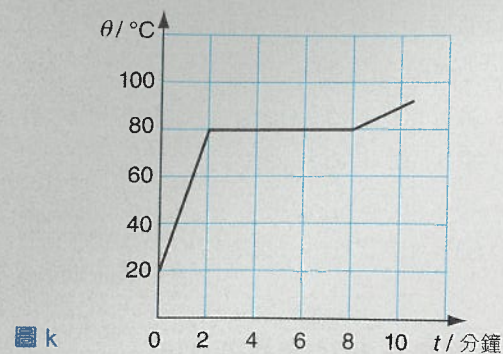
- (A) 只有 (1)
(B) 只有 (3) (54%)
(C) 只有 (1) 和 (2)
(D) 只有 (2) 和 (3)

- 3.1 18 香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q2

在一個量度水的汽化比潛熱的實驗中，以電發熱器使一燒杯內的水沸騰汽化。以下哪一誤差來源會使實驗結果小於標準值？

- (A) 能量散失到周圍環境。
(B) 水從燒杯中濺出。(49%)
(C) 水蒸汽在發熱器較冷的地方凝結並滴回燒杯內。
(D) 發熱器並不是完全浸沒於水中。

3.1 19 香港中學文憑考試 2014 年卷一甲部 Q2

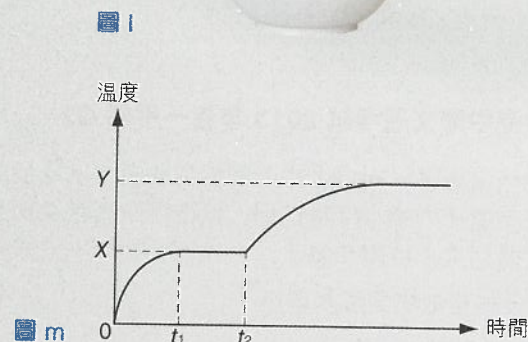


跟周圍環境隔熱的一個固體物質 X ，以功率恆定的電熱器將其加熱。它的溫度 θ 隨時間 t 的變化如圖 k 所示。 X 在固態時的比熱容為 $800 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。 X 的熔解比潛熱是多少？

- (A) $144 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (55%)
 (B) $192 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
 (C) $202 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
 (D) 沒法求得答案，因 X 的質量和電熱器的功率未有提供。

問答題

- 3.1 20 容器內有一些冰 (圖 l)。圖 m 顯示冰的溫度怎樣隨時間改變。



- (a) X 代表甚麼？**熔點** (1 分)
 (b) Y 代表甚麼？**室溫** (1 分)
 (c) 描述在下列的時間內，冰分子的勢能和平均動能怎樣改變。
 (i) 由 $t = 0$ 至 t_1
 (ii) 由 $t = t_1$ 至 t_2 (2 分)

- ★ 21 雪櫃能在 5 小時內令 1.5 kg 溫度是 30°C 的水凝固成 -5°C 的冰。已知冰的比熱容量 = $2060 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。求

- (a) 水釋放的總能量， **$7.05 \times 10^5 \text{ J}$** (3 分)
 (b) 水釋放能量的功率。 **39.2 W** (2 分)

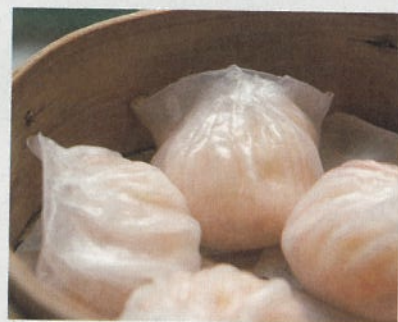
- ★ 22 (a) 如果把 0.2 kg 溫度是 30°C 的水放進冷藏格內，讓它變成冰塊，要從水中取走多少能量？ **$92\,000 \text{ J}$** (2 分)

- (b) 在寒冷地區，農夫會向果樹灑水，以防止果實結冰 (圖 n)。試解釋農夫所用方法的原理。(3 分)

圖 n

- ★ 23 (a) 雅文準備蒸蝦餃 (圖 o)。她利用蒸鍋，以 15 g min^{-1} 的速率提供 100°C 的蒸汽。假設蒸汽凝結成 100°C 的水。試計算蒸鍋提供能量的功率。答案以 W 為單位。 **565 W** (3 分)

- (b) 假設 60% 蒸汽凝結在蝦餃上。在 4 分鐘內有多少能量轉移至蝦餃？ **$81\,400 \text{ J}$** (2 分)

圖 o

- ★ 24 (a) 房間內有一個 1 kg 溫度是 0°C 的冰塊，房間內空氣的總質量是 70 kg ，初溫度是 20°C 。如果冰塊融化為 0°C 的水，空氣吸收潛熱後溫度會下降多少？空氣的比熱容量是 $1012 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。 **4.71°C** (2 分)

- (b) 志威居住在一個經常下雪的地方。他說：「雪融化時，空氣溫度會下降。」他的說法正確嗎？試扼要解釋原因。**正確** (3 分)

- ★ 25 (a) 一個沒有加上蓋的容器內，有 0.5 kg 溫度是 25°C 的水。把容器內所有水汽化需要多少能量？ **$1.29 \times 10^6 \text{ J}$** (3 分)

- (b) 嘉文在鍋內加入 0.5 kg 溫度是 25°C 的水。她把鍋蓋好，才開始加熱。鍋內的蒸汽仍能從小孔泄出 (圖 p)。

圖 p

- (i) 把所有水汽化需要的能量較題 (a) 多還是少？(1 分)
 (ii) 簡單解釋你在題 (b)(i) 的答案。散失到周圍環境的能量可以略去不計。(2 分)

- ★ 26 紫琪用浸沒式電熱器加熱某液體，該電熱器以 20 J s^{-1} 的率提供能量 (圖 q)。液體到達沸點後，紫琪額外把它加熱 3 分鐘，使液體的質量減少了 10 g 。

圖 q

- (a) 該液體的汽化比潛熱是多少？(2 分)
 $3.6 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$
 (b) 如果所使用液體的汽化比潛熱，標準值是 $3.00 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$ ，紫琪的加熱過程中有多少能量散失到周圍環境？假設該液體的蒸汽沒有凝結並流回容器中。 **600 J** (2 分)

- ★ 27 雨的形成過程都跟水的潛熱有密切關係。考慮在晴朗炎熱天氣時的海水。

- (a) 寫出海水變成水汽的過程的名稱。**蒸發 / 汽化** (1 分)
 (b) 已知離海面愈高，空氣的溫度愈低。試解釋雨水是怎樣形成的。(3 分)
 (c) 在題 (b) 中，水汽周圍的空氣會有甚麼變化？(2 分)

- ★ 28 靜兒以 350 W 的電熱器加熱 0.8 kg 壓碎了的固體。

已知：

固體的熔點 = 90°C

固體的比熱容量 = $1300 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

固體的熔解比潛熱 = $6.10 \times 10^4 \text{ J kg}^{-1}$

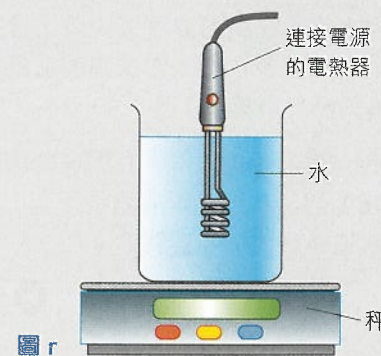
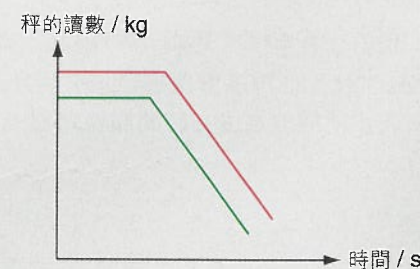
固體的初溫度 = 25°C

- (a) (i) 靜兒在 $t = 0$ 開啟電熱器。固體會何時開始熔化？ **193 s** (2 分)
 (ii) 計算要熔化所有固體額外需要多少時間。 **139 s** (2 分)

- (b) 根據你在題 (a) 的答案，草繪固體的加熱曲線。在圖中清楚標示：

- (i) 固體的熔點
 (ii) 固體開始熔化的時間
 (iii) 所有固體都熔化的時間 (4 分)
 (c) 草繪固體質量減半時的加熱曲線。(3 分)

- ★ 29 美珍把載有水的燒杯放在秤上，再用浸沒式電熱器加熱燒杯內的水 (圖 r)。圖 s 顯示加熱時秤的讀數怎樣改變。蒸發的效應和散失到周圍環境的能量可以略去不計。

圖 r 圖 s

- (a) 畫線圖表示燒杯中水的溫度怎樣隨時間改變，並簡單解釋你的答案。(3 分)
 (b) 如果水的分量增加，秤的讀數會怎樣隨時間改變？在圖 s 草繪你的答案，並加以解釋。(4 分)

★★ 30 相對濕度是指在某溫度下，空氣中實際所含水汽的分量，與最多能包含水汽的分量之比。如果相對濕度太高或太低，我們都會感到不舒服。

- (a) 如果相對濕度太低，增濕器便大派用場。圖 t 顯示了一款增濕器，它有一個水槽，水槽裏的水會滲到底下的盆內，棉心會吸收盆內的水，而風扇會向着棉心吹風（圖 u）。

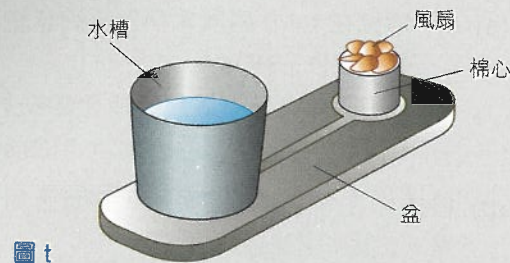


圖 t

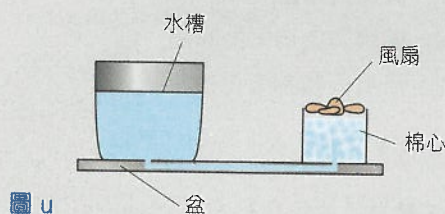


圖 u

- (i) 風扇怎樣加強增濕器的功效？ (2分)
- (ii) 製造商聲稱這部增濕器有自動調節功能：在相對濕度增加時，增濕器會自動放出較少水汽；在相對濕度減少時，增濕器會自動放出較多水汽。你認為製造商的說法是真的嗎？為甚麼？是 (2分)
- (b) 假設在一個乾燥的日子，在門窗緊閉的房間內啟動增濕器。在啟動增濕器後不久，我們會感到較暖或是較冷？為甚麼？ (2分)

▶ 參看 p.81

3.1 31 香港中學會考 2005 年卷一 Q3

仲熙泡了一杯熱茶（見圖 v）。隨後，他在茶中加進一些冰粒。他用溫度傳感器量度這杯茶的溫度。圖 w 表示所得的溫度—時間關係線圖。

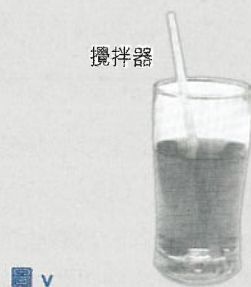


圖 v

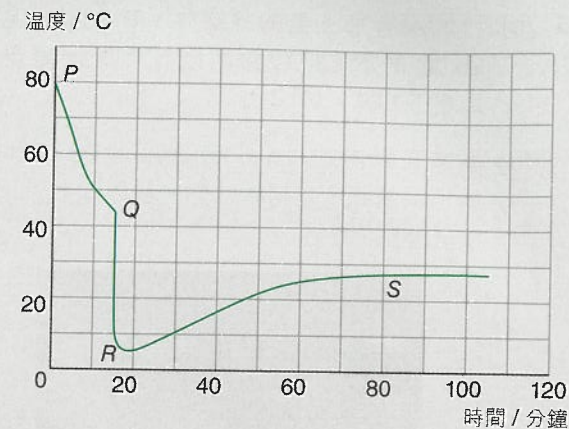


圖 w

- (a) 仲熙在整個實驗中不斷攪拌這杯茶，指出他這樣做的目的。 (1分)
- (b) P、Q、R 和 S 是線圖上的四個點。指出下列每一種情況所對應的點。
- (i) 當加入冰粒的瞬間。Q (1分)
- (ii) 當冰粒全部溶解的瞬間。R (1分)
- (c) 為甚麼從 R 至 S 階段內這杯茶的溫度是上升的？ (2分)
- (d) 估算周圍環境的溫度。27 °C (1分)

□ 考試報告見第 96 頁。

3.1 32 香港中學會考 2007 年卷一 Q4

小靜將溫度為室溫 T_1 、質量為 0.12 kg 的水放入冰箱的製冰格內製造冰粒。圖 x 顯示這些水的冷卻曲線。

已知：冰的溶解比潛熱 = $3.34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$

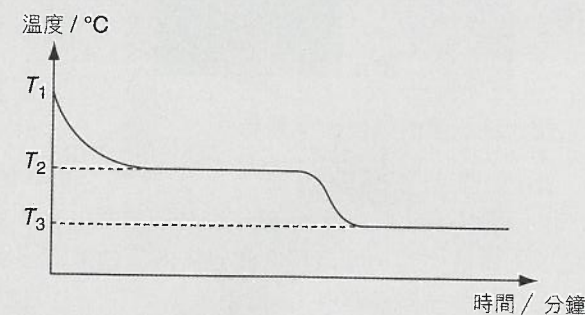


圖 x

- (a) 指出溫度 T_2 的物理意義。冰的熔點 (1分)
- (b) 求在上述過程中釋出的潛熱。40 100 J (2分)
- (c) 如將一粒冰從該製冰格中取出並放在室溫 T_1 下，在圖 y 中草繪出該冰粒溫度的預期變化。 (3分)

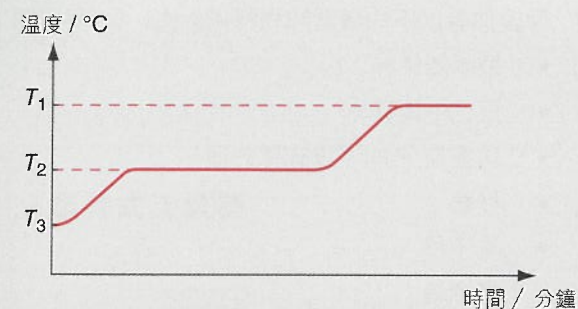


圖 y

3.1 33 香港中學會考 2009 年卷一 Q3

在時間 $t = 0$ ，穎文在一杯溫水中加進數顆 0 °C 的冰粒。圖 z 顯示水的溫度—時間關係線圖。

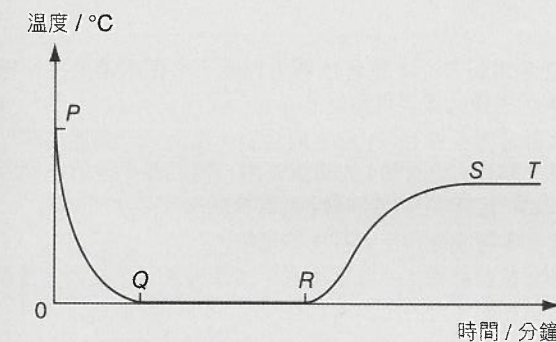


圖 z

- (a) 指出冰粒完全熔化的瞬間。R (1分)
- (b) 解釋下列兩個時段中，為何溫度沒有變化。
- (i) 從 Q 至 R： (2分)
- (ii) 從 S 至 T。 (1分)

3.1 34 香港中學會考 2010 年卷一 Q4

圖 aa 顯示一個連接市電電源的电水壺。



圖 aa

電水壺的功率 = 1500 W
 壺內水的質量 = 1.3 kg
 壺內水的初始溫度 = 25 °C
 水的比熱容量 = $4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ °C}^{-1}$
 水的汽化比潛熱 = $2.26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$

電水壺接通電源後 5 分鐘水開始沸騰。假設所有供應的電能均傳送到電水壺和壺內的水，以及它們的溫度相同。

- (a) 估算電水壺的熱容量。540 J °C⁻¹ (4分)
- (b) 水沸騰後電水壺維持接通電源多 10 分鐘，估算電水壺內剩餘的水的質量。假設所產生的蒸汽全部離開電水壺。0.902 kg (2分)

□ 考試報告見第 96 頁。

35 香港中學會考 2012 年卷一乙部 Q1

綜合題

泡沫咖啡是鋪有一層鮮奶泡沫的意大利咖啡（圖 ab）。



圖 ab

將水蒸汽吹進金屬杯盛着的鮮奶可製成鮮奶泡沫（圖 ac）。水蒸汽則從泡沫咖啡機的蒸汽噴嘴噴出（圖 ad）。



圖 ac



圖 ad

已知：水的汽化比潛熱 = $2.26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$
 水的比熱容 = $4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ °C}^{-1}$
 水蒸氣的比熱容 = $2000 \text{ J kg}^{-1} \text{ °C}^{-1}$
 鮮奶的比熱容 = $3900 \text{ J kg}^{-1} \text{ °C}^{-1}$

- (a) 當 20 g 溫度為 110 °C 的水蒸汽冷卻至 100 °C 並凝結為 100 °C 的水，計算所釋放出的總熱量。45 600 J (3分)
- (b) 把 20 g 溫度為 110 °C 的水蒸汽吹進 200 g 溫度為 15 °C 的鮮奶，製成鮮奶泡沫。利用 (a) 部所得結果估算鮮奶泡沫的溫度。76.0 °C (2分)
- (c) 鮮奶泡沫的實際溫度是高於、等於還是低於 (b) 部所得的結果？試解釋。低於 (2分)

實驗題

- ★ 36 貝兒以圖 ae 的實驗裝置量度冰的熔解比潛熱 l_f 。

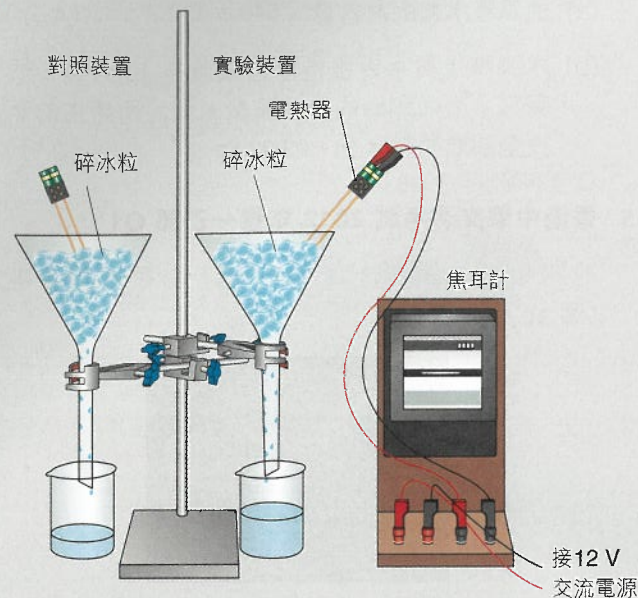


圖 ae

- (a) 解釋設置對照裝置的目的。(1分)
- (b) 如果沒有對照裝置， l_f 的量度值會變大還是變小？解釋你的答案。變小 (2分)
- (c) 貝兒建議，量度汽化比潛熱 l_v 時，應如圖 af 所示設置對照裝置。試評論她的建議。(2分)

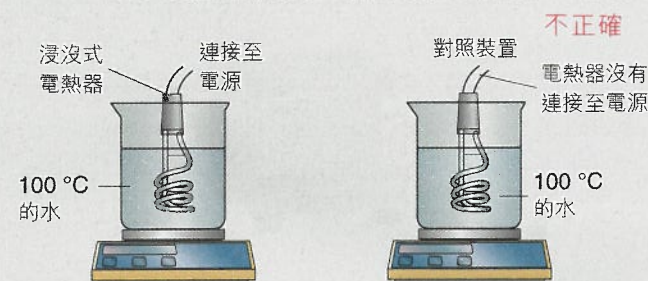


圖 af

- ★★ 37 假設你有以下的儀器和物料：

3.1

- 聚苯乙烯杯
- 熔化中的碎冰
- 功率為 P 的浸沒式電熱器
- 秒錶
- 電子秤
- 電源箱

假設聚苯乙烯杯的絕緣能力極高。描述怎樣利用以上的儀器和物料，量度冰的熔解比潛熱。清楚說明要量度哪些物理量，以及怎樣從量度結果得出答案。指出一個導致實驗誤差的因素。(5分)

▶ 參看 p.65-66

□ Q32 考試報告：本題考核考生對水 / 冰在冰箱內冷卻過程的理解，考生一般表現良好。

- (a) 大部分考生知道 T_2 是冰的熔點。然而，一些能力較弱的考生寫出「比潛熱」的錯誤答案，他們並不理解在題目中（溫度 T_2 的）「物理意義」這術語。
- (b) 大多數考生能得出過程中的潛熱。
- (c) 相當數目的考生不能從繪圖中清楚地表示冰粒的溫度最終維持在室溫 T_1 。

□ Q35 考試報告：考生在 (a) 及 (c) 部的表現頗佳，但只有能力較高者才可以完成 (b) 部，有些在 (a) 部錯用 $4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 為蒸氣的比熱容。很多考生在 (b) 的運算中沒有考慮到當水由溫度 100°C 降至 T 時所釋出的能量。

物理文章分析

- ★ 38 閱讀下列一段有關蒸發式冷氣機的文章，然後回答隨後的問題。

3.2

蒸發式冷氣機

利用蒸發的冷卻效應，即使沒有傳統的冷氣機，也可以令空氣降溫。

圖 ag 顯示一個簡單的蒸發式冷氣機，內裏有一個水泵，可以保持帘子濕潤。吹風機把室外乾燥的熱空氣抽進冷氣機。熱空氣經過帘子時，部分能量會用來蒸發帘子上的水，因而令溫度下降。冷氣機最後把冷卻的空氣吹進室內。

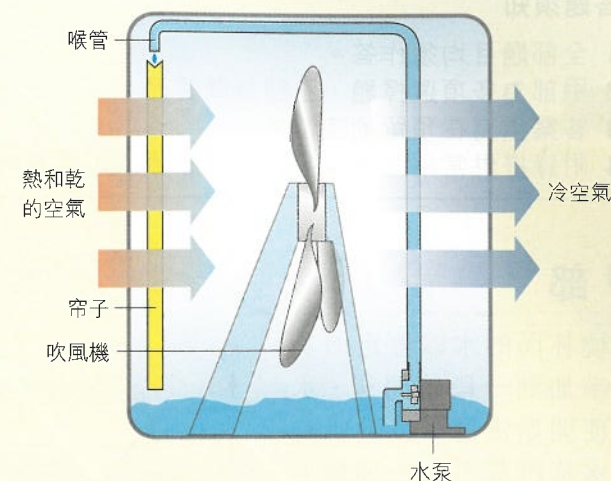


圖 ag

- (a) 要蒸發式冷氣機能有效運作，室外的空氣要符合哪一項條件？解釋你的答案。(2分)
- (b) 指出這種蒸發式冷氣機的缺點。(2分)
- (c) 只用風扇能否令空氣降溫？解釋你的答案。不能 (2分)

STSE 利用潛熱加熱和冷卻

有些加熱和冷凍系統應用了潛熱的原理運作，就好像上述的蒸發式冷氣機一樣。

冰蓄冷凍系統

冰蓄冷凍系統（圖 a）在晚間製造冰塊，冰塊在日間熔化時冷卻空氣，冷空氣則經由喉管輸送到大廈每個角落。這種設計能節省電力，減少污染。

模擬程式 3.6 → 模擬程式 3.6 示範冰蓄冷凍系統的操作原理。

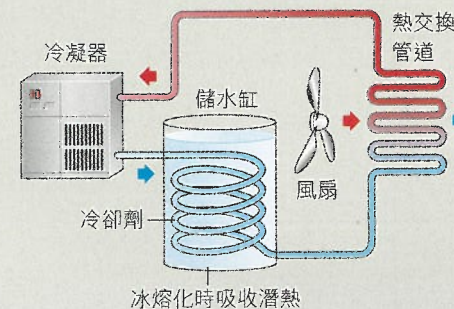


圖 a

☞ 日間的電力需求遠高於夜晚，如果在日間製冰，發電廠便要提高輸出功率；如果在晚間製冰，電廠便不用提高輸出功率，因此能以穩定的輸出功率運作，這樣可節省電力，減少污染。

潛熱回收系統

潛熱回收系統（圖 b）的運作原理與冰蓄冷凍系統恰好相反。日間，太陽的能量會把系統內的蠟製物質熔化；晚上，這種物質會凝固，並釋放潛熱，用來加熱水或空氣。

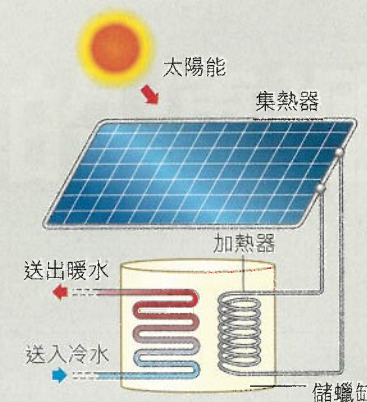


圖 b

自我評核 3

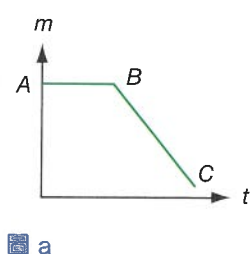
時間：15 分鐘 總分：9 分

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

- 3.1 1 燒杯內的水以恆定的功率加熱一段時間後，水便開始沸騰。假設所有水蒸汽都不會在燒杯上凝結。圖 a 顯示燒杯中水的質量 m 隨時間 t 的變化。



如果加熱的功率增加，線圖會怎樣改變？

	AB 段	BC 段
A	較短	較斜
B	較長	較斜
C	較短	較水平
D	較長	較水平

A

乙部

- 3.1 2 祖兒以功率為 300 W 的浸沒式電熱器加熱 250 g 的水，水的初溫度是 50 °C。在時間 t_1 ，水開始沸騰；在時間 t_2 ，剛好有一半分量的水汽化了。

(a) 求 t_1 和 t_2 的值。

(4 分)

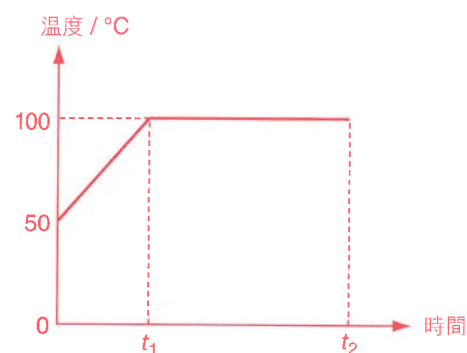
$$t_1 = 175 \text{ s}$$

$$t_2 = 1117 \text{ s}$$

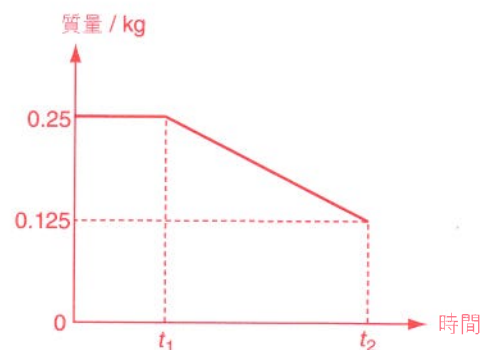
(b) 草繪水的 (i) 溫度—時間關係線圖、(ii) 質量—時間關係線圖，並在圖中標示 t_1 和 t_2 。

(4 分)

(i) 溫度—時間關係線圖



(ii) 質量—時間關係線圖



4 熱的傳遞

我們在這課會學到：

- 傳導、對流和輻射三種傳遞能量的方式
- 以分子運動解釋傳導
- 熾熱物體發射的輻射
- 影響輻射發射與吸收的因素

✓ 本節重點

- 1 固體、液體和氣體的傳導
- 2 導熱體和絕緣體
- 3 傳導和粒子運動

起點 北極熊

北極的溫度可以低至 -30°C ，居住在那裏的北極熊體溫卻是 37°C ，比周圍環境高約 70°C 。牠們是怎樣維持體溫的？ 參看第 103 頁。



第 2 課提到，熱是兩個物體因溫度不同而導致的能量轉移，並且總是從溫度較高的物體傳遞至溫度較低的物體。在這一課，我們會深入探討熱是怎樣傳遞的。熱有三種傳遞方式，分別是傳導、對流、輻射。本單元會先介紹傳導。

1 固體、液體和氣體的傳導

用煎鍋烹調食物時（圖 4.1a），熱會傳遞到煎鍋的不同部分，並由煎鍋透過直接接觸傳遞到食物。這種熱的傳遞方式稱為**傳導**。我們可以透過以下實驗探討熱的傳導。

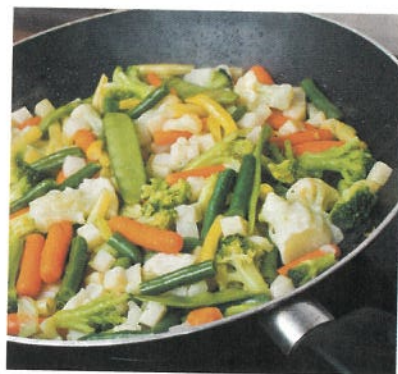
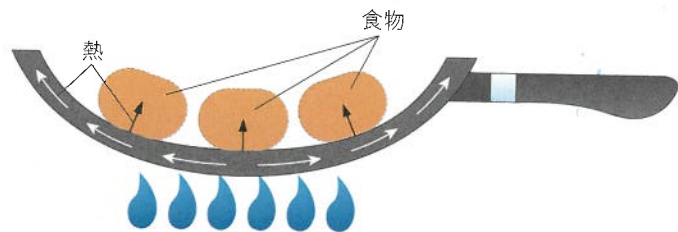


圖 4.1a 熱由煎鍋傳導至食物



傳導 conduction



錄像片段 4.1

→ 錄像片段 4.1 示範實驗 4a。



小心：加熱時，切勿觸摸燙熱的裝置。



實驗 4a

固體、液體和氣體的傳導

熱怎樣沿固體傳遞？

- 1 在銅棒的一端均勻地塗上一層蠟，然後把幾顆圖釘黏附在蠟層上，各圖釘之間的距離相等。加熱銅棒的另一端（圖 a），觀察圖釘下跌的次序。能量怎樣沿銅棒傳遞？**熱由銅棒較高溫的部分傳遞至較低溫的部分。**

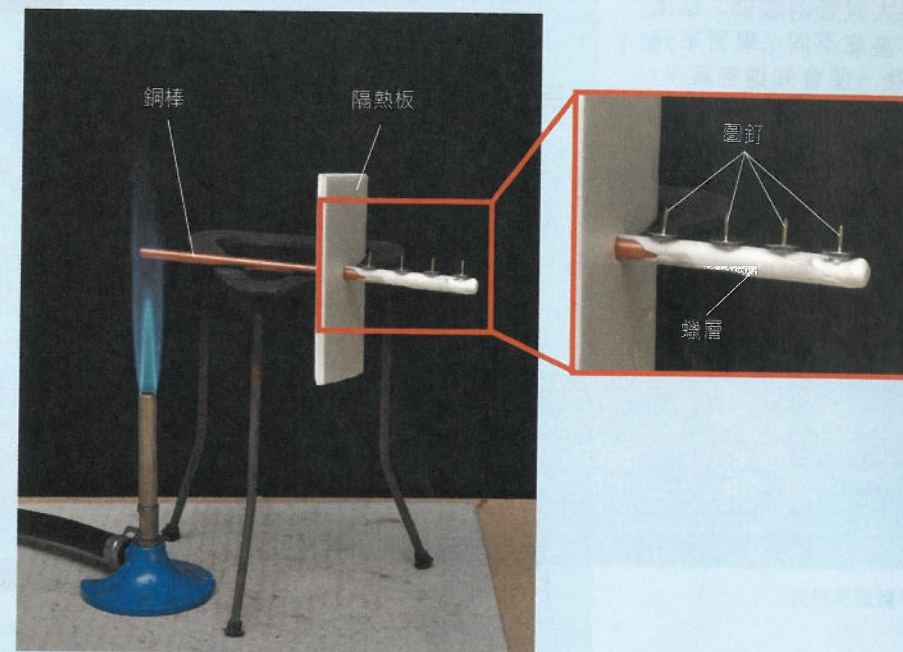


圖 a

哪種固體傳導熱較快？

- 2 把木棒、鐵棒、銅棒和玻璃棒一起放進一杯熱水之中（圖 b），觸摸各棒的末端，看看哪支棒首先變熱。哪種物料傳導熱最快？**銅**
- 3 此外，也可在每支棒的一端塗上同等分量的蠟，然後把棒的另一端浸在熱水裏（圖 c）。觀察蠟熔化的先後次序。哪種物料傳導熱最快？**銅**

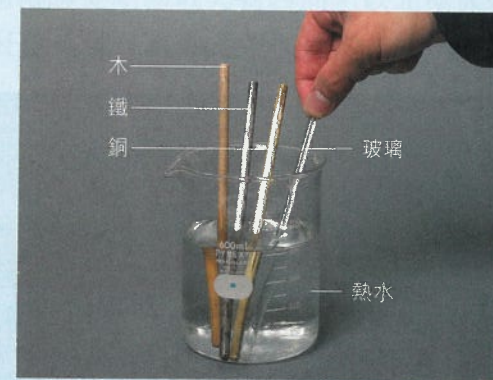


圖 b



圖 c

續下頁

大試管上半部的水沸騰時，下面的冰仍沒有熔解。學生見到這情形，會感到十分意外。

如果讓冰塊浮在水面，並加熱大試管的底部，結果會有甚麼不同？學習單元 4.2 後，便會知道答案。

如果讓冰塊浮在水面，熱會通過對流由試管底部傳遞到頂部，因此冰會在水沸騰前熔解。

水傳導熱的快慢

- 4 用鐵絲網把冰塊固定在大試管底部，然後慢慢加熱大試管頂部的冰（圖 d）。細心觀察冰塊，根據大試管兩端的溫差，你能得出甚麼結論？

水是不良的導熱體。



圖 d

空氣傳導熱的快慢

- 5 把卡紙捲成管狀，並放近電暖爐（圖 e）。一段時間後讀取溫度計的讀數。從兩支溫度計的讀數可得出甚麼結論？空氣是不良的導熱體。

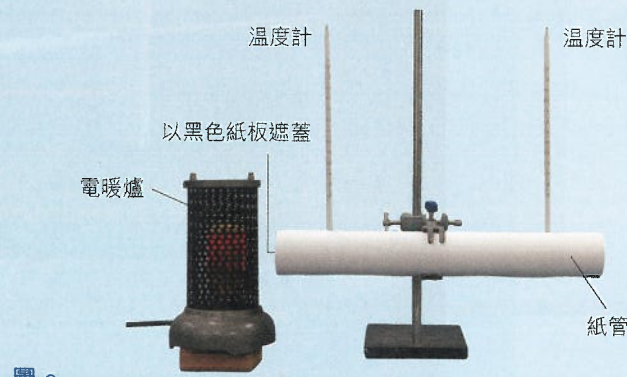


圖 e

討論

完成實驗後，你對熱傳導有甚麼認識？

在實驗 4a 的第一部分中，圖釘從最接近熱源的一顆開始順序下跌（圖 4.1b）。由此可見，在傳導過程中，熱從高溫的一端逐漸傳遞到低溫的一端。

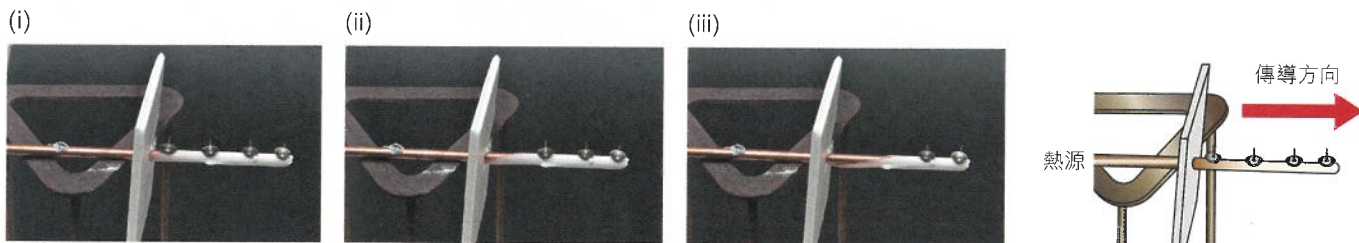


圖 4.1b 傳導的方向：(i) 開始加熱，(ii) 最接近熱源的圖釘掉下，(iii) 餘下的圖釘逐一掉下

傳導是指熱由物體較高溫的部分傳遞至較低溫的部分，或從較熱的物體傳遞至較冷的物體。整個過程只傳遞能量，而不傳遞物質。

E3 冊第 3 課會詳細討論 ▶ 傳導不受物體的擺放方向影響。例如在圖 4.1c 中，加熱兩支金屬棒的一端時，它們另一端變熱的快慢一致。

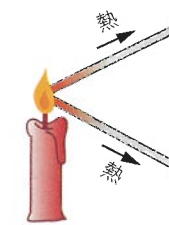


圖 4.1c 傳導不受物體的擺放方向影響

水銀在室溫下是液體，而導熱能力甚高。它能迅速反映溫度轉變，因此適用於玻璃管液體溫度計。

導體與絕緣體

實驗 4a 也顯示，固體、液體和氣體傳導熱的快慢各有不同（圖 4.1d）。金屬傳導熱較非金屬快，是熱的良好導體（亦即良好的導熱體）；而非金屬固體、液體、氣體通常是不良導熱體，亦即熱的良好絕緣體。



圖 4.1d 比較不同物質的導熱能力（與玻璃相比）

2 傳導和絕緣的例子

a 保温

有些動物靠絕緣來保暖。牠們除了積聚一層皮下脂肪外，還長有毛髮或羽毛來困住空氣（圖 4.1e）；脂肪和空氣都是良好的絕緣體，能減慢能量透過傳導從動物散失到四周。以北極熊為例，牠身上有一層厚厚的毛髮，能困住空氣；有些毛髮更是空心的，能困住更多空氣（圖 4.1f）。一些嶄新的保温布料也按類似的原理設計。

這是北極熊保暖的主要方法。生活在極端環境下的動物各有不同的方法減少吸收或流失熱，詳情可參閱第 128 頁。

北極熊的皮膚底部有一層厚厚的脂肪（厚度約為 10 cm），此外，牠的毛皮全面應用了空氣的絕緣特性。北極熊長有兩種毛髮，一種比較纖細，作用就像內衣一樣讓暖空氣緊貼皮膚表面，另一種是帶油質的長毛，透明而空心（如內文所描述），除困住空氣外也可引導陽光，讓北極熊的黑色皮膚吸收能量。



圖 4.1e 雀鳥靠羽毛困住空氣來保暖

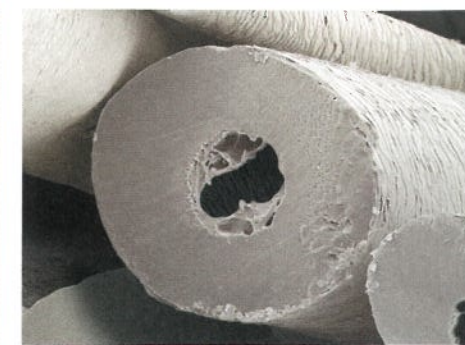


圖 4.1f 北極熊毛髮的截面（放大率：220 倍）

導體 conductor 絕緣體 insulator

學生須留意衣服並非熱源，它能保持人體溫暖，全因它減慢能量傳遞（能量散失到四周）。

冬天，我們會穿着羽絨外套，或以毛氈覆蓋身體來保暖（圖 4.1g）。這些物料並不會產生熱，但能大幅減少能量散失，所以能保持身體溫暖。

(i)



(ii)



圖 4.1g (i) 羽絨外套和 (ii) 毛氈能困住空氣來保暖

down

b 煮食

鑊和鍋（圖 4.1h）是常見的廚具，通常以金屬製造，讓熱有效地由煮食爐傳遞到食物。另一方面，這些廚具的手柄都是用塑膠、木等不良導熱體製成的。因此，即使接觸手柄，也不會被燙傷。

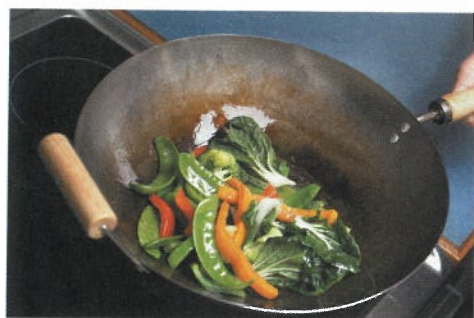


圖 4.1h (i) 鐵鑊配木手柄 (ii) 金屬鍋配塑膠手柄



錄像片段 4.2

→ 錄像片段 4.2 顯示砂鍋即使移離火爐，仍可把裏面的食物烹煮一段時間。

有時，我們希望食物上桌後，還可以在鍋子內多煮一會兒。要符合這個要求，鍋子反而要以不良的導熱體製成。由於鍋子減慢熱從食物傳導到周圍環境，食物無須持續加熱，也能維持高溫一段時間（圖 4.1i）。



圖 4.1i 中式砂鍋是不良的導熱體，在上桌後一段時間仍能保持食物的溫度

c 建築

在不同的季節，我們會開空調機或暖爐，令室溫維持在舒適的水平。然而，熱會透過傳導經牆壁在室內外之間傳遞，因此有些大廈的牆壁會鋪上一層發泡膠板（圖 4.1j）。發泡膠是不良導熱體，內裏有很多小孔（圖 4.1k），能困住空氣，減少經傳導而散失或吸收能量。



圖 4.1j 在混凝土牆壁上鋪上發泡膠夾層

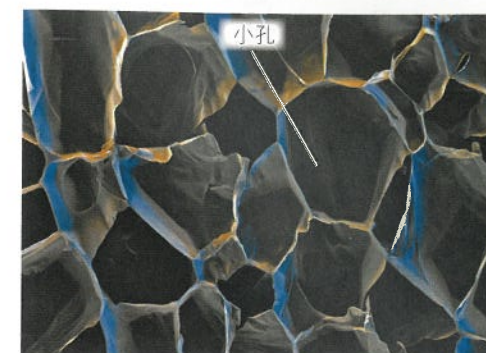


圖 4.1k 發泡膠的結構（放大率：80 倍）

d 其他日常生活的例子

如上文所述，發泡膠是極佳的絕緣體，因此也常用於製造各種食物容器（圖 4.1l）。這種物料除了能有效保持食物的溫度外，也避免容器燙手。



圖 4.1l 不同的發泡膠容器

冬天時，為甚麼在相同溫度下，金屬的表面摸上去會比木的表面冰冷？

這是另一個原因，解釋為甚麼憑感覺量度溫度或比較冷熱程度的做法不可靠（見 p.3）。

這是因為金屬是良好導熱體，較容易從手掌帶走能量，使我們感到冰冷（圖 4.1m）。

以下的影片載有更多演示這現象的有趣實驗：

<https://www.youtube.com/watch?v=vqDbMEdLiCs>

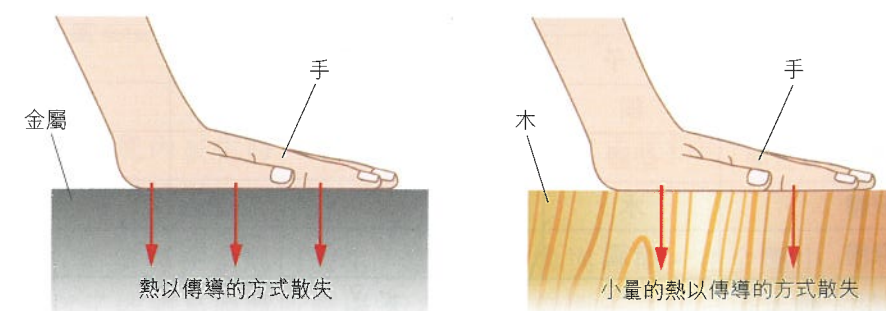


圖 4.1m 我們覺得金屬較木冰冷，因為金屬比木更快帶走手中的熱

例題 1 紙杯隔熱套

在外賣的熱飲杯上套上隔熱套(圖 a)，可以減低被燙傷的機會。

- (a) 為甚麼套上隔熱套能減低被燙傷的機會？
 (b) 假如不慎沾濕隔熱套，會怎樣影響它的絕緣效能？



題解

- (a) 隔熱套能困住空氣，由於空氣是不良導體，能大大減慢熱由飲品傳導至手。因此，套上隔熱套後能減低被燙傷的機會。
 (b) 隔熱套沾濕後，困住的空氣便會減少，絕緣的效能會較低。

▶ 習題與思考 4.1 Q5 (p.109)

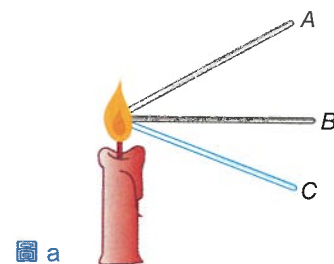
進度評估 1

✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.100)。

1.1 在傳導的過程中，能量怎樣傳遞？

- A 由較高的位置傳遞至較低的位置
 B 由內能較高的部分傳遞至內能較低的部分
 C 由溫度較高的部分傳遞至溫度較低的部分
 D 由比熱容量較高的部分傳遞至比熱容量較低的部分

2.2 麗君加熱 A、B、C 三支大小相同的棒(圖 a)，它們分別由鐵、銅和玻璃製成。哪支棒會首先變熱？棒 B ↑



2.3 指出下列哪些是良好導熱體，哪些是良好絕緣體(表 a)。在適當的位置內加「✓」。

物料	例子	良好導熱體	良好絕緣體
固體(金屬)	銅	✓	
固體(非金屬)	塑膠		✓
液體	水		✓
氣體	空氣		✓

表 a

比熱容量

3 傳導和粒子運動

我們可以用粒子模型解釋熱的傳導。在粒子模型中，所有物質都由原子組成。每個原子都有一個原子核，電子則圍繞着原子核運行(圖 4.1n)。

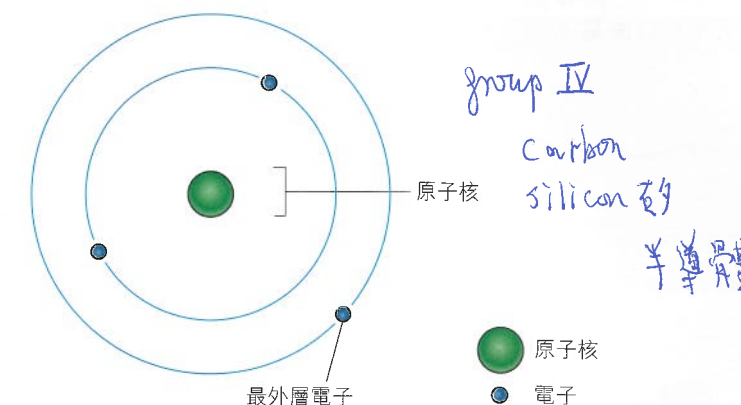


圖 4.1n 原子中，電子圍繞原子核運行



模擬程式 4.1

→ 模擬程式 4.1 顯示熱由金屬棒的一端傳導到另一端時，金屬棒的粒子怎樣運動。

在固體內，原子排列得十分緊密，只能在固定的位置不停振動。固體的一端受熱時，那處的原子會加快振動，更會碰撞鄰近振動得較慢的原子，使它們也加快振動。於是，鄰近原子的平均動能增加，亦即受熱端鄰近部分的溫度上升。以上情況會由受熱一端逐漸向外圍擴展開去(圖 4.1o)。

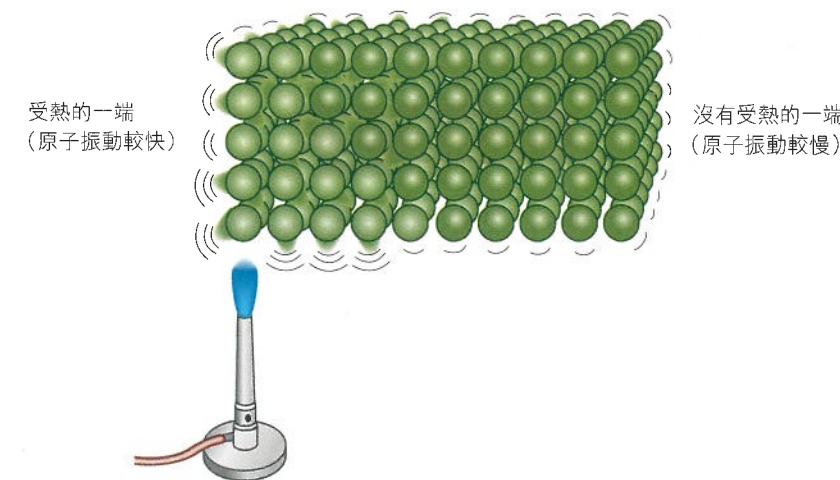


圖 4.1o 快速振動的原子碰撞鄰近較慢的原子，使它們加快振動



模擬程式 4.2

→ 模擬程式 4.2 顯示在不同物質中傳導的微觀描述。

傳導在固體內發生時，原子都會依據上述方式互相碰撞。以這種方式，能量傳遞得較慢。

不過，若傳導在金屬內發生，電子也會參與碰撞。在金屬中，原子的最外層電子能輕易脫離所屬原子，並在各個原子之間自由移動。這些能自由移動的電子稱為自由電子。

自由電子 free electron

金屬的一端受熱時，那處的自由電子會移動得較快，並碰撞鄰近的原子和電子。自由電子不受原子束縛，能有效地傳遞能量（圖 4.1p），令熱傳導在金屬內快速進行，所以金屬是良好的導熱體。

傳導的快慢取決於自由電子的密度。良好導熱體在每單位體積內有大量自由電子；相反，不良導熱體則幾乎沒有自由電子。

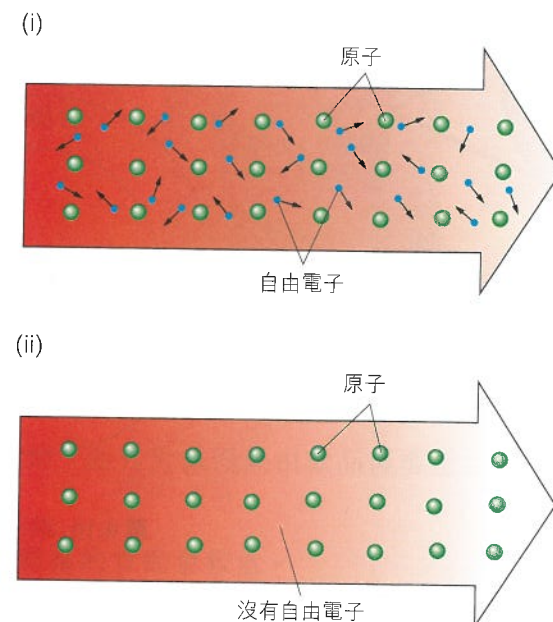


圖 4.1p (i) 傳導能在金屬內有效地進行 (ii) 傳導在非金屬進行得較慢

非金屬液體和氣體都是不良導熱體。在液體中，液體分子以不規則的方式緊密地排列在一起，較熱部分的分子不能有效地使鄰近的分子加快振動，因此傳導進行得較慢。在氣體中，氣體分子相距很遠，快速移動的分子難以碰撞其他分子。因此，氣體是最差的導熱體（也就是最好的絕緣體）。

進度評估 2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.100）。

31 大部分金屬都是良好導熱體，因為

- A 它們的原子緊密地排列。
- B 它們的原子在金屬受熱時會振動得較快。
- Ⓒ 它們的原子周圍有自由電子移動。
- D 它們有很多電子圍繞原子核移動。

32 下列哪項關於金屬的傳導是正確的？

- (1) 金屬的原子不會互相碰撞來傳熱。
- (2) 金屬的自由電子愈多，傳導發生得愈快。
- (3) 因為金屬的原子不受束縛，所以傳導能在金屬內有效地進行。
- Ⓐ 只有 (2)
- B 只有 (1) 和 (3)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

習題與思考 4.1

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.100）。

2 1 罐裝汽水和塑膠飯盒（圖 a）放在雪櫃並冷卻至 4°C 。把它們取出並用手觸摸，哪一個會較冰冷？為甚麼？



圖 a

- A 兩者同樣冰冷，原因是兩者的溫度相同。
- B 兩者同樣冰冷，原因是它們在同一環境下冷卻。
- Ⓒ 鋁罐比塑膠飯盒冰冷，原因是鋁傳導熱較快。
- D 塑膠飯盒比鋁罐冰冷，原因是塑膠傳導熱較慢。

★ 2 美儀把兩支相同的溫度計 X 及 Y 放入沸水內一段時間（圖 b），然後把它們取出，並用毛皮包裹溫度計 X。下列哪一項是正確的？



圖 b

- A X 的讀數慢慢升高。
- B X 的讀數維持不變。
- Ⓒ X 的讀數下降得比 Y 慢。
- D X 的讀數下降得比 Y 快。

★ 3 下列各項有關傳導的敘述，哪項是正確的？

- (1) 能量由物體較熱的部分傳遞至較冷的部分。
- (2) 加熱金屬棒時，受熱部分的原子振動較猛烈。
- (3) 固體內較熱部分的原子移動得較快，它們會移動至較冷的部分。

- A 只有 (1)
- B 只有 (3)
- Ⓒ 只有 (1) 和 (2)
- D (1)、(2) 和 (3)

2 4 (a) 解釋為甚麼燒烤叉的手柄是以絕緣體製造的（圖 c）。
(b) 試建議一種可以用來製造燒烤叉手柄的物料。



圖 c

★ 5 圖 d 中的外套內充滿羽絨。試解釋這件外套怎樣保持身體溫暖。

Down
(金屬使空氣)
全到衣服內仍形
一個空氣層



圖 d

★ 6 在真空中沒有任何粒子。試解釋為甚麼傳導不會在真空中發生。

依靠粒子的振動，
由高能
量粒子得到
低能量粒子

★ 7 很多在寒冷地區生活的動物都有一層厚厚的脂肪。試解釋這層脂肪怎樣幫助牠們保持體溫。

★ 8 設計一個簡單方法來比較一張紙、一塊玻璃和一顆鐵釘的熱傳導能力。[提示：在相同的溫度下，為甚麼有些物體摸上去會較冰冷？]

★ 9 圖 e 和 f 分別顯示金屬扶手和木製的扶手。

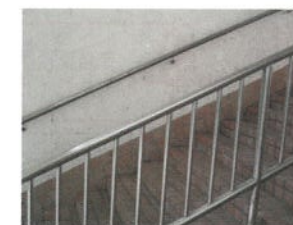


圖 e



圖 f

(a) 指出在冬天用手觸摸扶手時，熱從哪一個物體傳遞至哪一個物體。

(b) 解釋為甚麼在冬天時，即使兩種扶手的溫度相同，但金屬扶手摸上去會較木製扶手冰冷。

等於室溫

不相同熱體

4.2

對流

起點

保暖風扇？

有些安裝在天花板的吊扇，除了向下吹風，還可以逆向轉動，把空氣往上抽。製造商聲稱，這種風扇在冬天能用來保暖。這是真的嗎？

參看第 113 頁「生活中的物理」。



✓ 本節重點

- 1 液體和氣體的對流
- 2 對流的例子

雖然液體和氣體一般都是不良導熱體，但這不表示它們不會傳熱。事實上，液體和氣體可以經**對流**的方式傳遞熱。



錄像片段 4.3

→ 錄像片段 4.3 示範實驗 4b。



實驗 4b

對流

水中的對流

- 1 小心地把紫色晶體放進盛了水的燒杯中，晶體要放近燒杯邊。用本生燈慢慢加熱晶體附近的水，觀察燒杯內紫色的水怎樣流動（圖 a）。



警告：不要用手直接拿取紫色晶體，必須使用鑷子。



圖 a

續下頁

對流 convection

空氣中的對流

- 2 如圖 b 所示裝置實驗器材。把 T 字形的卡紙放在燒杯上，點燃蠟燭，把正在燃燒的香支放在卡紙的另一邊，並觀察香支釋放的煙霧怎樣流動。
- 3 如圖 c 所示，把螺旋形鋁箔懸掛在火焰上，並觀察鋁箔怎樣運動。



圖 b



圖 c

討論

熱的紫色水會上升，冷卻後下沉。圖 b 的煙霧會流向卡紙的另一邊，然後上升。螺旋形鋁箔會轉動。

- 1 試描述紫色水、煙霧和螺旋形鋁箔的運動。
- 2 試解釋為甚麼在水和空氣中會出現對流。

水和空氣受熱後會膨脹，密度因而下降。熱的流體上升，周圍較冷的流體會流進來，這過程不斷重複，形成對流。

1 液體和氣體的對流

對流可以在**流體**（即液體和氣體）之中發生。考慮實驗 4b 的第一部分（圖 4.2a）：



模擬程式 4.3

→ 模擬程式 4.3 顯示水的對流。

$$\text{密度} = \frac{\text{質量}}{\text{體積}}$$

- ① 底部的水受熱膨脹，密度因而降低。
 - ② 熱水的密度較周圍的水低，因此熱水上升。
 - ③ 周圍較冷的水流向熱水先前所在的位置，以填補熱水的空間。
- ① 至 ③ 周而復始，令整杯水逐漸變熱。

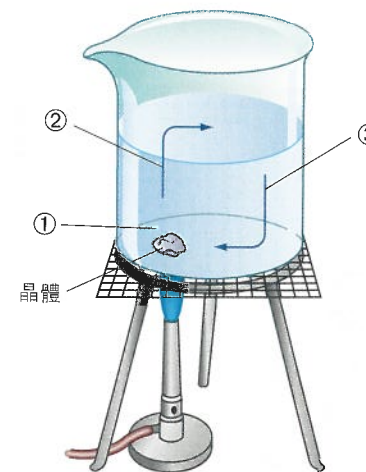


圖 4.2a 水的對流

以上過程中，能量經水的流動傳遞，這種熱的傳遞方式稱為對流；因加熱而產生的水流也稱為**對流**。氣體對流的原理與液體相同（圖 4.2b）。

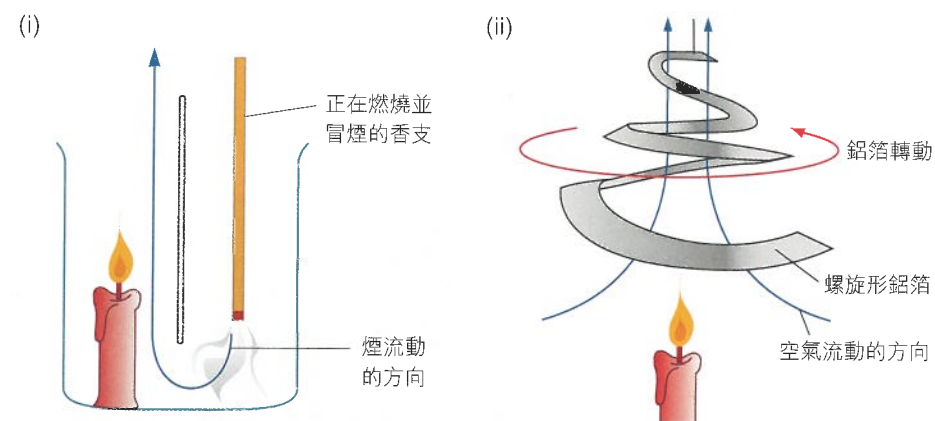


圖 4.2b 空氣的對流

傳導並無傳遞物質，而對流則有。

流體（液體或氣體）能通過本身的流動傳遞熱，這個過程稱為對流。

2 對流的例子

a 電暖爐和空調機

對流式電暖爐（圖 4.2c）內有發熱元件，能以傳導的方式加熱附近的空氣。空氣受熱後會上升，並在房間內形成對流。因此，電暖爐通常放在地上（圖 4.2d）。

如果把電暖爐放在高處，會有甚麼結果？

對流難以出現，房間不能均勻地變暖。

相反，空調機通常安裝在高處。空調機噴出的冷空氣會下沉，把暖空氣向上推，形成對流（圖 4.2e）。空調機吸入暖空氣，把它冷卻後再噴出來。這個過程不斷重複，房間內所有空氣都會逐漸降溫。



圖 4.2c 對流式電暖爐

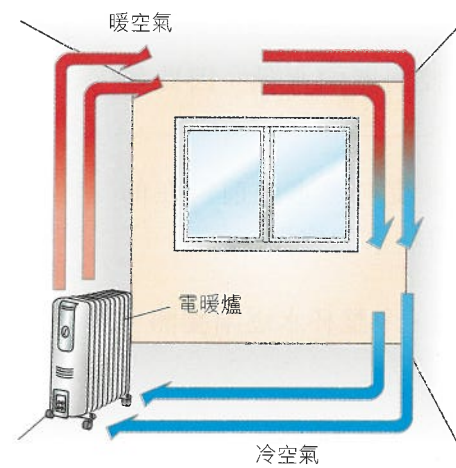


圖 4.2d 電暖爐形成的對流

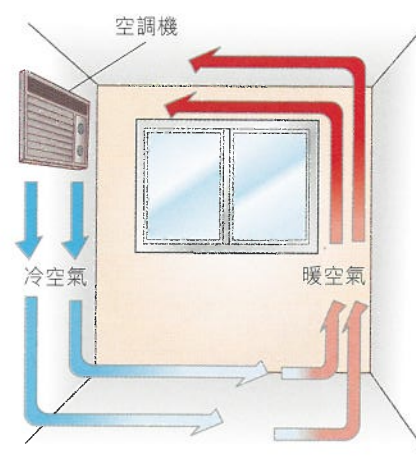


圖 4.2e 空調機形成的對流

對流 convection current

生活中的物理

保暖風扇

由於熱空氣向上升，房間頂部的溫度通常會較底部高。傳統吊扇僅能單向轉動，但有些新式吊扇卻可以逆向轉動，把底部較涼的空氣往上抽，並且把頂部較暖的空氣往下吹。因此，在冬季，只要風扇的轉速不太快，這種風扇的確可使我們感到較溫暖。這回答了起點的問題。要更深入瞭解這種風扇的原理，可瀏覽以下網站：

<http://www.ceilingfan.com.hk/ceiling-fan-usage-21514251592999236884.html>



日 夜 b 海風和陸風

夏季，香港經常吹海風和陸風，兩者都是由空氣對流產生的。

日間，陸地吸熱較海洋快，陸地上的暖空氣上升後，冷空氣從海面流入作補充（圖 4.2f），形成由海面吹向陸地的海風。

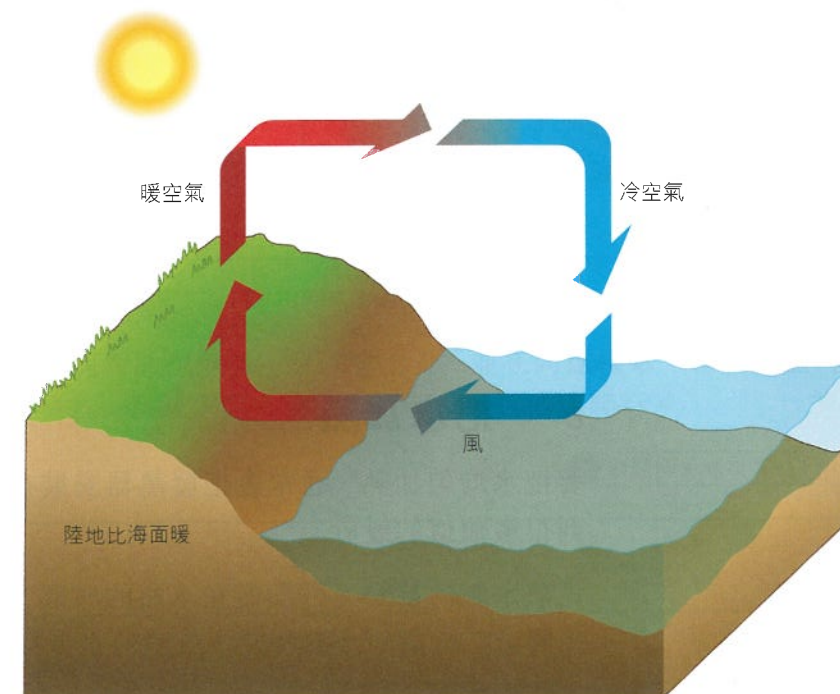


圖 4.2f 海風怎樣在日間形成

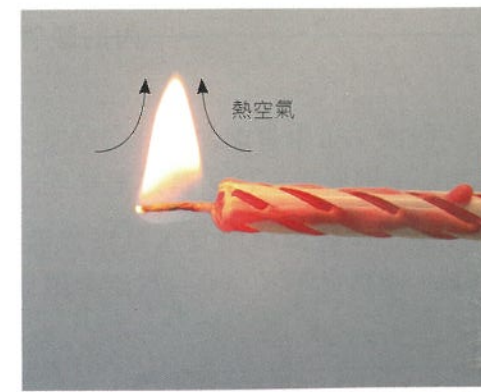
你能用類似的方法解釋夜間的情形和形成陸風的原因嗎？

c 火焰的形狀

不管蠟燭怎樣擺放，它的火焰總會指向上方（圖 4.2g），原因是對流中的熱空氣總是向上流動。



圖 4.2g 蠟燭火焰總是指向上方



d 抽油煙機

廚房通常都安裝抽油煙機(圖 4.2h)，以抽走煮食時產生的油煙。由於熱空氣和油煙會隨對流上升，抽油煙機通常置於煮食爐的上方。



圖 4.2h 抽油煙機

e 把水加熱

要把水均勻加熱，通常會把發熱器安裝在容器底部。在日常生活中可找到很多類似的設計。

電熱水瓶的發熱元件安裝在水瓶的底部(圖 4.2i)。如果發熱元件置於瓶頂附近，瓶頂的水沸騰時，瓶底的水還需要很長的時間才會沸騰。



圖 4.2i 電熱水瓶的發熱元件

飼養熱帶魚的魚缸(圖 4.2j)通常設有暖管，以調節缸內的水溫。魚缸內的暖管應放近缸底，以形成對流，從而有效加熱整個魚缸內的水。

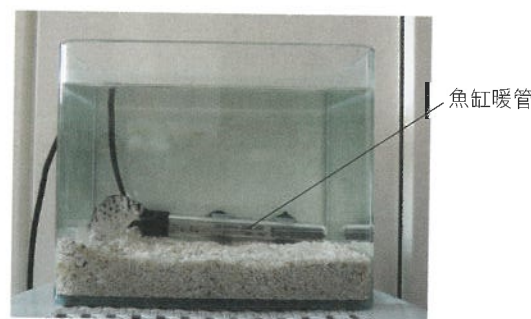


圖 4.2j 魚缸暖管

例題 2 為甚麼發生火警時應在地上爬行？

要逃離濃煙密佈的火場，應儘量貼近地面爬行(圖 a)。為甚麼？



圖 a

題解

濃煙比周圍的空氣熱，所以會上升，並在高處積聚。吸入濃煙可能會引致窒息，為減少吸入濃煙，應儘量貼近地面爬行。

▶ 習題與思考 4.2 Q5 (p.118)

例題 3 利用空氣保暖

慧君到郊外露營，但碰巧遇上寒冷天氣。她在郊外架起大型帳幕(圖 a)，而帳幕是以絕緣物料製造的。

- (a) 慧君說：「羽絨外套會困住空氣，而空氣是良好的絕緣體，所以穿上羽絨外套便感到溫暖。帳幕比外套能困住的空氣更多，但在帳幕內脫下外套卻感到非常寒冷。為甚麼會這樣？」試解答慧君的疑問。



圖 a

- (b) 試解釋羽絨外套保暖的原理。

題解

- (a) 原因是帳幕內的空氣會形成對流，把慧君身體的能量帶走。此外，慧君的身體要釋出更多能量，才能令整個帳幕內的空氣變暖。
- (b) 羽絨外套內的羽毛能困住空氣，而空氣是不良的導熱體，能減少經傳導而流失的熱。此外，羽毛能鎖住空氣，令空氣不易流動，減少熱經對流而流失。

▶ 習題與思考 4.2 Q7 (p.118)

帳幕內空氣的溫度要上升至某水平，慧君才不會感到寒冷。

例題 4 雪糕火鍋

雪糕火鍋是一款西式甜品。享用時，先把冰凍的雪糕球放進暖的朱古力醬裏涮一下（圖 a）。曉翔買了一份外賣雪糕火鍋，內有一盒雪糕球和一鍋朱古力醬。

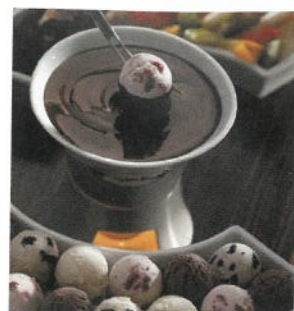


圖 a

- (a) 雪糕盒上放了一包乾冰（溫度約為 -79°C ）。解釋為甚麼乾冰要放在雪糕盒的上方（圖 b），而不是下方。
- (b) 曉翔吃雪糕火鍋時，把熱源放在朱古力鍋的下方來把它翻熱（圖 c）。解釋為甚麼熱源應放在鍋子的下方，而不是上方。

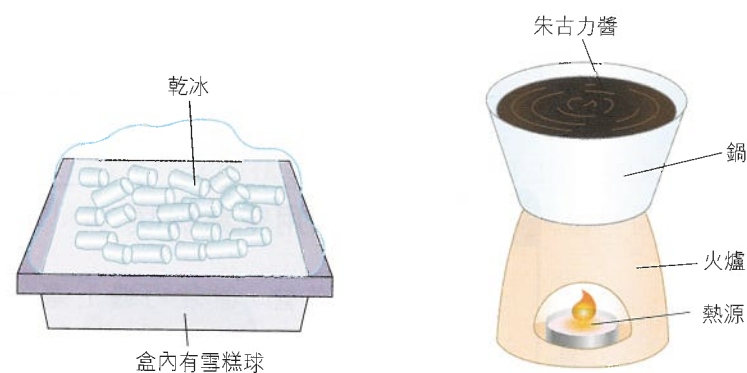


圖 b

圖 c

題解

- (a) 乾冰冷卻盒內頂部的空氣。冷空氣下沉，把較暖的空氣向上推，形成對流（圖 d），能令盒內所有空氣保持冰冷。

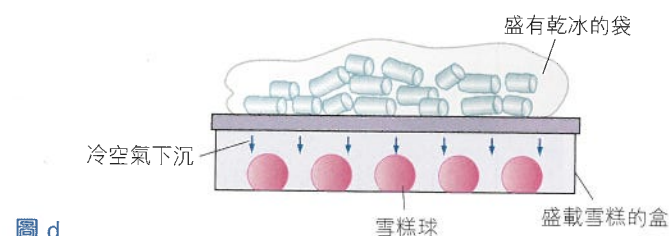


圖 d

- (b) 把熱源放在鍋子的下方，便可把底部的朱古力醬加熱，形成對流，使鍋內所有朱古力醬均勻變暖。

習題與思考 4.2 Q6 (p.118)

進度評估 3 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.110）。

- 11 在圖 a 繪出燒水時水中的對流。
- 22 房間內的空調機安裝在牆上中間的位置，而不是接近天花板的位置。
- (a) 試描述空調機噴出的冷空氣會怎樣移動。向下
- (b) 要使房間內的人感到涼快，要用較長還是較短的時間？較短



圖 a

補充資料 零碳天地空調系統

家居的空調機一般都安裝在接近天花板的位置，使室內的空氣能均勻冷卻。但是，位於九龍灣的「零碳天地」之內，冷空氣是直接從地板噴出的（圖 a），這種設計有助節省能量。

冷空氣如果從地板噴出，便能直接吹向房間內的人，而不用冷卻接近天花板的空氣。由於「零碳天地」的天花板遠比一般住宅的高，這種設計能節省大量能量，又能令房間內的人感到舒適。

房間內人數較多時，人羣周圍的空氣會較暖，暖空氣會上升至天花板，而地板噴出的冷空氣則繼續停留在房間內較低的位置。

要認識「零碳天地」的其他節能設計，可瀏覽以下網站：

<http://zcb.hkcic.org/Chi/index.aspx>



圖 a

零碳建築每年運作所需的能源，完全由可再生能源提供或補償。「零碳天地」向公眾開放，可為參觀人士安排導賞團，詳情可瀏覽以上網站。

生活中的物理 冰屋

在一些嚴寒的地方，例如格陵蘭和阿拉斯加等，氣溫可以低至 -45°C 。當地人會用雪塊建造冰屋（圖 a），雪是良好絕緣體，能大大減少能量透過傳導而流失。此外，冰屋的入口狹小，而且十分貼近地面。由於熱空氣往上升，這種設計有助把暖空氣困在冰屋內（圖 b）。因此，冰屋內的溫度可以遠高於外面的溫度。



圖 a

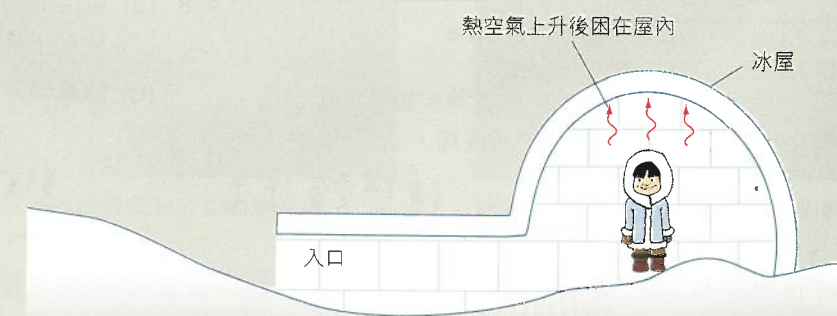


圖 b

牛津物理網

習題與思考 4.2

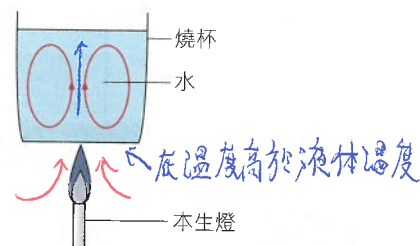
✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.110)。

- 1 如果對流在某個介質中出現，下列哪一項是**不正確**的？

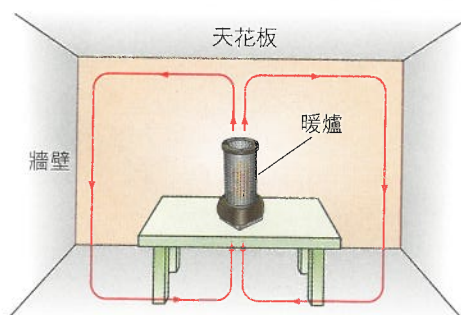
- (A) 這個介質可以是氣體、液體或固體。
B 在對流的不同位置，介質的溫度會不同。
C 在對流的不同位置，粒子的運動方向會不同。
D 在對流的不同位置，介質的密度會不同。

- 2 畫出下列各個情況中的對流。

(a)



(b)



- 3 試解釋對流**不會**在真空中發生的原因。

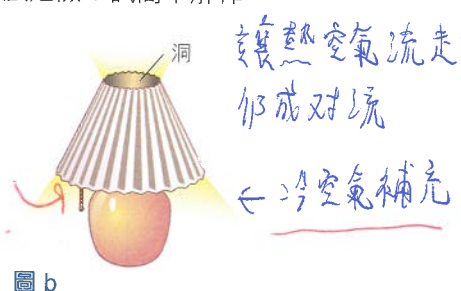
- 4 在太空中，如果空氣供應充足，蠟燭的火焰便會呈半圓形 (圖 a)。試簡單解釋原因。



錄像片段 4.4
錄像片段 4.5

- 錄像片段 4.4 顯示無重狀態下的火焰。
→ 錄像片段 4.5 顯示下落的火焰。

- 5 圖 b 的檯燈中，燈罩頂部有一個洞。如果這個洞給雜物遮蓋會有甚麼危險？試簡單解釋。



- 6 涼茶店通常會用玻璃蓋着涼茶 (圖 c)，原因之一是為涼茶保溫。相反，超級市場的冷凍櫃卻沒有上蓋 (圖 d)。試扼要解釋兩者的分別。

熱空氣
向上升，
透過對流
而散失

圖 c



圖 d



- 7 浩揚做了以下實驗：在炎熱的一天，他首先停留在溫度為 15 °C 的房間內一段長時間，然後穿上羽絨外套走到室外。室外的溫度是 33 °C。

- (a) 在浩揚剛走到室外的一段短時間內，哪個情況下 he 會感到較熱，穿上外套還是不穿外套？
(b) 描述羽絨外套怎樣影響浩揚剛走到室外時的能量轉移過程。

- 8 (a) 圖 e 中，冒煙紙條釋出的煙首先往下移動，然後向上移動。解釋為甚麼煙會沿這方向移動。
(b) 解釋為甚麼對流**不能**在固體內發生。

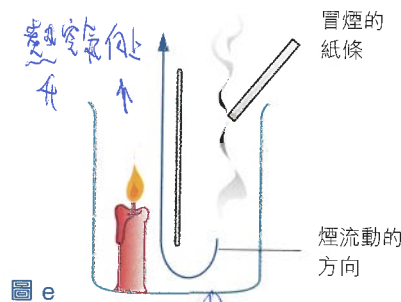


圖 e

4.3

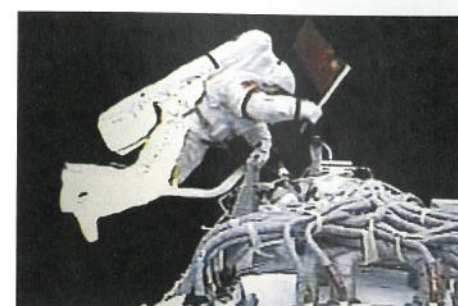
輻射

溫度 (紅外線輻射)
 $< -170^{\circ}\text{C}$ $> 500^{\circ}\text{C}$

起點

太空衣

為甚麼太空人在太空漫步時，所穿的太空衣是白色的？如果太空衣是黑色的，會有甚麼後果？參看第 122 頁。



✓ 本節重點

- 以輻射傳遞能量
- 物體發出紅外線輻射的現象
- 影響物體發射和吸收輻射的因素

1 以輻射傳遞能量

受陽光照射時 (圖 4.3a)，能量從太陽傳遞過來，因此我們會感到溫暖。但是，太陽和地球之間是真空的，而真空中沒有粒子，傳導和對流都不會發生，太陽的能量怎麼傳遞至地球呢？原來，能量還可以透過一種稱為**輻射**的過程傳遞。

因為雙手沒有接觸電暖爐，也不是放在電暖爐的上方，所以透過傳導和對流傳遞的能量十分少。

雙手放在電暖爐旁，會感到溫暖。在這情況下，能量主要以輻射的形式傳遞至雙手。事實上，所有物體都會向各個方向發射能量。

溫度



圖 4.3a 陽光須經過真空才能到達地球



圖 4.3b 感受由電暖爐發射的輻射

3B 冊會更詳細介紹紅外線輻射。

物體所發射的輻射受它的溫度影響。圖 4.3b 的電暖爐主要發射**紅外線輻射**，如果它的溫度上升，它便會發射更強的紅外線輻射，甚至開始發射可見光。在下頁的圖 4.3c 中，鐵棒的右端溫度較高，棒的不同部分發射出不同種類和強度的輻射。

輻射 radiation 紅外線輻射 infra-red radiation

鎢絲燈也以相同的原理運作。燈泡通電時，燈絲變得十分熾熱（超過 3000°C ），因而發射可見光和紅外輻射（圖 4.3d）。

熱怎樣從鐵棒溫度較高的一端傳遞至溫度較低的一端？**經傳導傳遞**

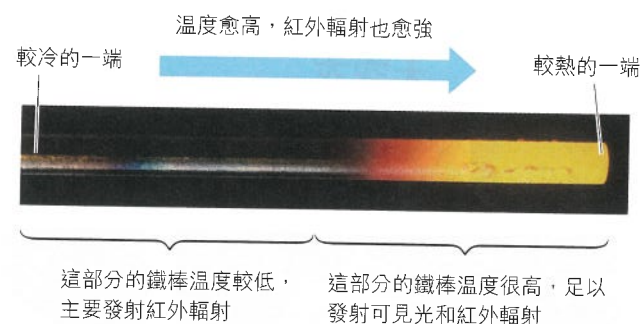


圖 4.3c 物體的溫度和所發射的輻射



圖 4.3d 鎢絲燈

輻射是不需要介質或粒子的熱傳遞方式，會沿所有方向出現。

模擬程式 4.4

→ 模擬程式 4.4 顯示會影響物體發射和吸收輻射的因素。

2 影響發射和吸收輻射的因素

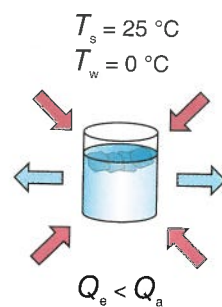
a 與周圍環境的溫差

所有物體都是**吸收體**和**輻射體**。換言之，物體會從周圍環境吸收輻射，同時又會發射輻射到周圍環境。

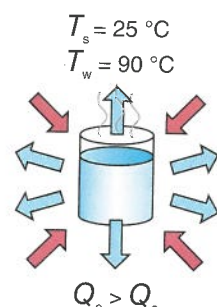
物體較周圍環境冷時，會透過輻射有**淨能量吸收**，它的溫度於是上升（圖 4.3e）。相反，物體較周圍環境熱時，會透過輻射有**淨能量損失**，它的溫度於是下降。如果物體和周圍環境的溫度相同，兩者之間的**淨能量傳遞**就是零。

物體與周圍環境的溫差愈大，吸收或損失淨能量的過程也發生得愈快。

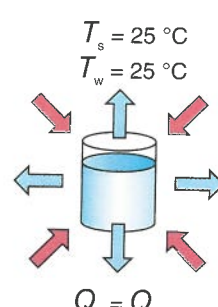
(i) 淨能量吸收



(ii) 淨能量損失



(iii) 沒有淨能量傳遞



註： T_s 是周圍環境的溫度， T_w 是水的溫度， Q_e 是發射的能量， Q_a 是吸收的能量

圖 4.3e 一杯水和周圍環境之間的淨能量傳遞

吸收體 absorber 輻射體 radiator

b 顏色

實驗 4c 輻射

不同表面吸收輻射的能力

1 準備兩塊鋁箔，在它們的一面塗一層蠟，再從中挑一塊鋁箔，在它的另一面塗上黑漆（圖 a）。把兩塊鋁箔放在輻射器前方相等距離的位置，有蠟的一面背向輻射器（圖 b）。開啟輻射器，觀察哪塊鋁箔的蠟會首先熔化。

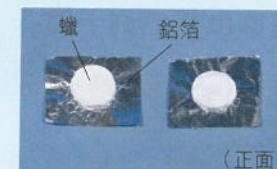


圖 a



圖 b

錄像片段 4.6
→ 錄像片段 4.6 示範實驗 4c。

小心：除非輻射器已經冷卻，否則切勿觸摸它的發熱部分。

在塗黑了的鋁箔上，蠟熔化得較快。

不同表面發射輻射的能力

2 把相等分量的沸水注入兩個燒瓶內，一個燒瓶塗上黑色，另一個塗上銀色（圖 c），然後用瓶塞連溫度計把燒瓶密封。10 分鐘後，比較兩者的水溫。哪個燒瓶散熱較快？**塗黑了的燒瓶**



圖 c

討論

根據實驗結果，解釋物體的表面怎樣影響它吸收和發射輻射。
暗黑色的表面比光亮表面更有效吸收和發射輻射。

在實驗 4c 中，在塗黑了的鋁箔上，蠟熔化得較快；黑色燒瓶內的水，溫度也下降得較快。事實上：

- 黑色暗啞的表面是良好的吸收體，也是良好的輻射體；
- 淺色光亮的表面是不良的吸收體，也是不良的輻射體。

在起點，如果太空衣是黑色的，它便會更有效地透過輻射來吸收或釋放能量，這可能令太空人的體溫大幅改變，危害生命。

因此，在猛烈陽光下，深色衣服的淨能量吸收較淺色衣服多，因此穿着深色衣服會感到較熱；相反，在寒冷的晚上，深色衣服的淨能量損失較淺色衣服多，因此穿着深色衣服會感到較冷。

其他例子包括：汽車的散熱器是黑色的（圖 4.3f），但燃料儲存缸卻是銀白色的（圖 4.3g）。你能舉出其他例子嗎？



圖 4.3f 汽車的散熱器是黑色的，能更有效地散熱



圖 4.3g 燃料儲存缸是銀白色的，能反射來自太陽的能量，以免儲存缸過熱

例題 5 希臘小島上的小屋

希臘的夏季非常炎熱，當地的小屋外牆都塗上白色。試解釋為甚麼這個做法有助在日間保持室內涼快。

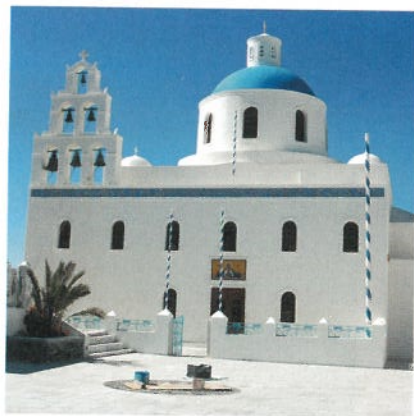


圖 a

題解

白色外牆是不良的輻射吸收體，會把大部分照向它們的陽光反射，這樣有助保持室內涼快。

▶ 習題與思考 4.3 Q4 (p.132)

預試訓練 1

房間保暖 ☆ 香港中學會考 2011 年卷二 Q12

細小而密封的房間由暗啞的灰色混凝土牆建成，內有一個已經開啟的暖爐。房間外的溫度遠低於房間之內。

以下哪項改變有助保持房間溫暖？

- (1) 把牆壁外側塗上黑色。
- (2) 把牆壁外側塗上白色。
- (3) 以暗啞的灰色金屬牆代替混凝土牆。

- A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

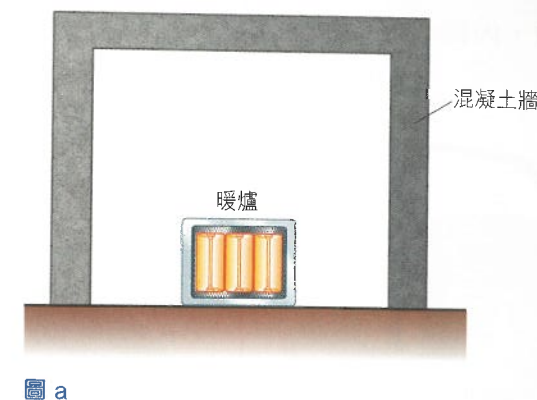


圖 a

題解

黑色牆是良好的輻射體，會令房間內的能量加快散失；相反，白色牆是不良的輻射體，能令房間內的能量散失得較慢。

∴ (1) 不正確但 (2) 正確。

金屬是良好的導熱體，比混凝土更快把房間內的熱傳導到房間外。

∴ (3) 不正確。

∴ 答案是 B。

常見錯誤

學生或忽略金屬會快速把能量傳導到房間外這個重點。

▶ 複習 Q15 (p.137)

c 表面面積

除了溫差和顏色外，表面面積也會影響物體發射和吸收輻射。如果其他因素不變，物體的表面面積愈大，輻射的發射率和吸收率便愈高。

表 4.3a 總結了影響物體發射和吸收輻射的因素。

因素	影響
與周圍環境的溫差	溫差 ↑ ⇒ 淨能量發射/吸收 ↑
顏色	黑色暗啞的表面 ⇒ 良好的吸收體和輻射體
表面面積	表面面積 ↑ ⇒ 淨能量發射/吸收 ↑

表 4.3a 影響物體發射和吸收輻射的因素

進度評估 4 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.119)。

31 深色物體是(良好/不良)的輻射吸收體。所以，在寒冷的白天穿着深色衣物，會感到較(溫暖/寒冷)。

32 下列哪項能令熱湯(圖 a) 加快冷卻？

- (1) 以黑色暗啞的容器盛載湯
- (2) 把一半湯倒進另一個相同的容器
- (3) 把湯放進雪櫃

- A 只有 (3)
- B 只有 (1) 和 (2)
- C 只有 (1) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)**



圖 a

3 輻射傳熱的例子

a 保溫瓶和真空煲

保溫瓶能保溫、保冷，因為它能減低食物與環境之間因傳導、對流及輻射而產生的熱傳遞(圖 4.3h)。

錄像片段 4.7

→ 錄像片段 4.7 顯示保溫瓶的結構。

可詳細講解保溫瓶的設計特點，讓學生明白保溫瓶怎樣減少能量透過傳導、對流和輻射散失到四周。

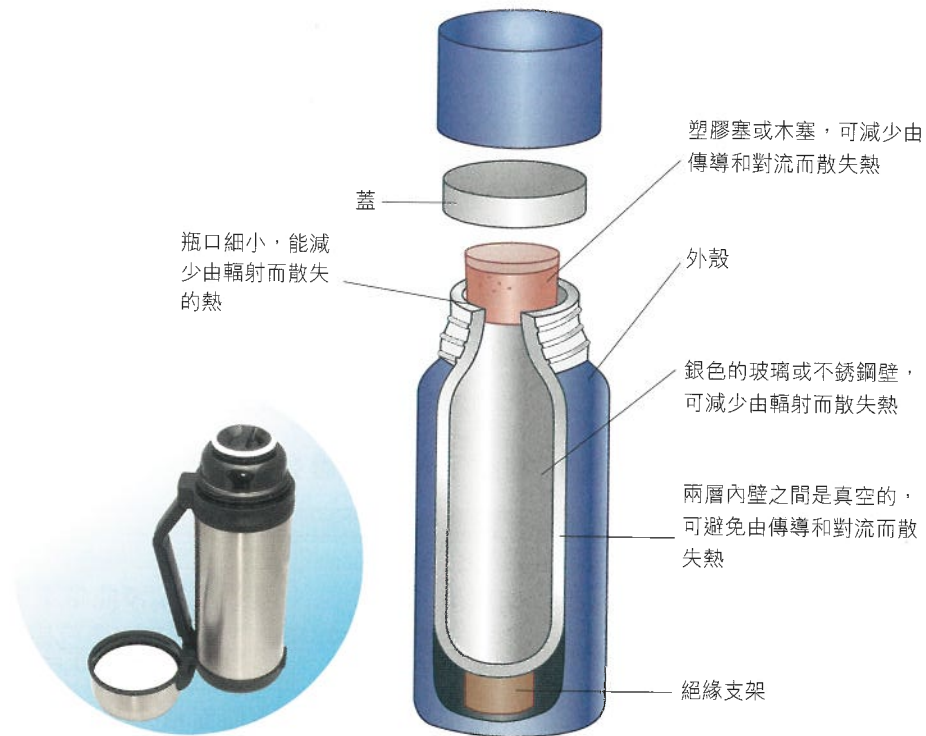


圖 4.3h 保溫瓶

真空煲也以相同原理運作。它由導熱內鍋及隔熱外鍋組成，內鍋以不銹鋼和鋁製造，以確保良好的傳導能力；外鍋是不銹鋼的保溫真空鍋。食物首先放進內鍋以爐火烹調，然後連內鍋一併放入絕緣的外鍋內，這樣做可以讓食物繼續在高溫下烹調，期間無須加熱(圖 4.3i)。



圖 4.3i 真空煲

b 溫室

溫室(圖 4.3j)是一種經特別設計的屋，通常由透明物料(如玻璃)製造，能營造一個溫暖的環境讓植物生長。



圖 4.3j 溫室

以下是溫室內較溫暖的原因：

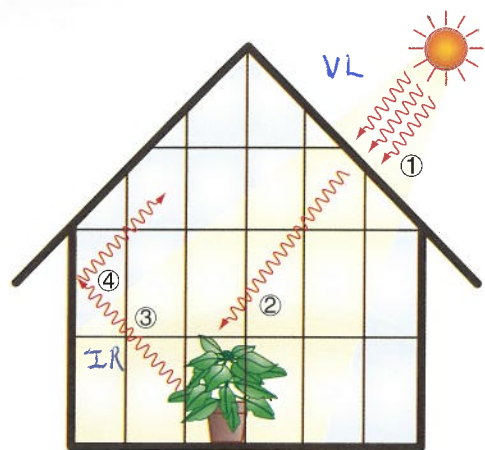
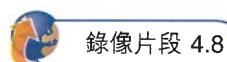


圖 4.3k 溫室能困住能量

此外，部分暖空氣亦被困溫室之內，因此經由對流而散失的能量會大幅減少。集合以上各種效應，溫室內的每個角落也能保持溫暖，讓溫室內的植物在寒冬也能茂盛生長。

以下實驗顯示，在熱源附近以玻璃困住空氣，會怎樣影響空氣的溫度改變。



錄像片段 4.8

→ 錄像片段 4.8 示範實驗 4d。

實驗 4d 加熱玻璃容器內的空氣

1 如圖 a 所示裝置實驗器材，記錄溫度計 A 及 B 的讀數。

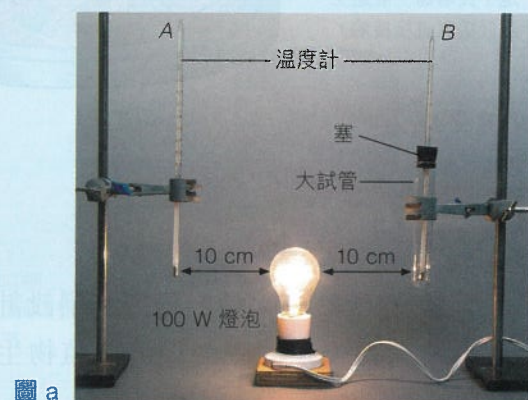


圖 a

2 亮着燈泡，在大約 20 分鐘（或更長時間）後再讀取溫度。

3 關掉燈泡，在大約 20 分鐘後再讀取溫度。

討論

1 亮着燈泡後，哪支溫度計的讀數上升得較多？溫度計 B

2 關掉燈泡後，哪支溫度計的讀數下降得較多？溫度計 A

實驗 4d 顯示，大試管內的空氣上升得較快，下降得較慢。

生活中的物理 在車廂內中暑

烈日當空，露天停泊的汽車即使車窗打開，車廂也像個溫室一樣（圖 a）。儘管戶外的溫度只有 21 °C 左右，由於溫室效應，車廂內的溫度可迅速上升至 49 °C。如果車內沒有空調，乘客可能會中暑。

要減低汽車的溫室效應，通常會使用銀色反光板（圖 b）。你能解釋銀色反光板的原理嗎？



圖 a



圖 b

c 煮食

有些電熱平板爐（圖 4.3l）透過發射紅外輻射，把熱傳遞到煮食鍋。煮食鍋一般以良好的導體製造，能透過傳導把熱傳遞至食物。

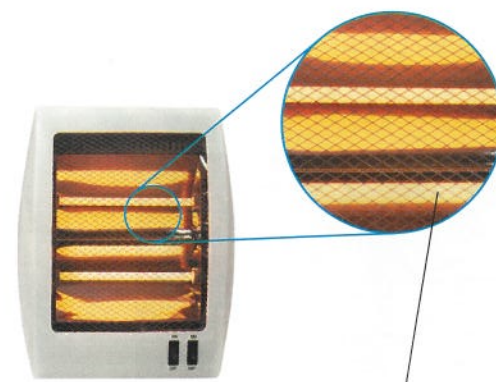


圖 4.3l 以紅外輻射煮食

d 輻射式暖爐

輻射式暖爐會直接發射紅外輻射到我們的身體（圖 4.3m）。這種暖爐較少直接加熱空氣或推動空氣流動，因此能源效益較高。

輻射式暖爐適用於快速定點加熱，只會加熱指定範圍，但不適合用於加熱大範圍。對流式暖爐則適用於加熱整個房間，但這種暖爐通常需要較長時間來加熱。有些對流式暖爐有風扇來加快空氣流動。



發射紅外輻射的管

圖 4.3m 輻射式暖爐



極度乾燥
super dry

例題 6 保温杯

保温杯 A (圖 a) 盛有熱咖啡。它的表面是銀色的，杯蓋是黑色的，它能夠把保温杯密封。杯的內壁和外壁之間有一真空層。



- (a) 描述保温杯散失熱的主要途徑。
 (b) 試評論以下敘述：「保温杯內的真空層能防止熱經輻射散失。」
 (c) 保温杯 B 有相同的容積，並盛有相同分量的咖啡，但杯蓋較大。試解釋哪個保温杯較能保持熱咖啡的溫度。

題解

- (a) 熱主要透過杯蓋經輻射散失。杯蓋是黑色的，是良好的輻射體。另一方面，杯內有真空層，所以透過其他表面散失的熱相對較少。
 (b) 敘述不正確。輻射不需要介質，所以真空層無法減少熱經輻射散失。
 (c) 熱主要經杯蓋散失，所以保温杯 A (杯蓋較小) 較能保持熱咖啡的溫度。

▶ 進度評估 5 Q1 (p.130)

生活中的物理 大自然中的熱傳遞

撒哈拉銀蟻

撒哈拉銀蟻居住在沙漠地帶。牠們的身體呈銀色 (圖 a)，能反射陽光，以儘量減少從太陽吸收的熱，有利於適應夏季的高溫環境。



圖 a

變色龍

有一種變色龍懂得施展這樣的本領：冬季日落時，朝向太陽一面的皮膚會變成黑色，另一面則變成銀色 (圖 b)。變身後，身體就有較長的時間保持暖和。



圖 b

寒帶動物

有些居住在嚴寒地區的動物，如北極熊和豎琴海豹 (圖 c)，身上有銀白色的毛皮，有助減少熱經輻射散失，保持體溫。



圖 c

預試訓練 2 儲存冰冷的沙律 ☆ 香港中學會考 2005 年卷二 Q7

志明用鋁製的盤子盛載冰冷的沙律，並以白色卡紙蓋着盤子，然後把盤子放於室溫的環境。以下哪項正確描述沙律與周圍環境的熱傳遞？



圖 a

- (1) 鋁盤能減少經傳導而傳遞的熱。
 (2) 鋁盤能減少經輻射而傳遞的熱。
 (3) 白色卡紙能減少經對流而傳遞的熱。
 A 只有 (1)
 B 只有 (2)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

題解

鋁是良好的導熱體，它能快速地把周圍環境的熱透過傳導傳遞至沙律。

∴ (1) 不正確。

鋁的表面呈銀色，所以它是不良的輻射吸收體。

∴ (2) 正確。

相對於周圍較暖的空氣，冰凍沙律的位置較低。因此，即使沒有卡紙，也不會形成對流。換句話說，卡紙沒有減少經對流傳遞的熱。

∴ (3) 不正確。

∴ 答案是 B。

常見錯誤

學生可能知道傳導和金屬 (鋁) 有關，但答題時並沒有仔細思考兩者的關係。良好的導熱體不能減少經傳導傳遞的能量。

常見錯誤

學生或誤以為容器的蓋子總會阻礙對流形成。

▶ 複習 Q12 (p.136)

進度評估 5

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.119)。

11 保溫瓶哪部分能防止熱經由輻射流失 (圖 a)?

(1) 膠塞 *對流*

(2) 不銹鋼壁

(3) 兩層內壁之間的真空層 *傳導*

A 只有 (2)

B 只有 (1) 和 (3)

C 只有 (2) 和 (3)

D (1)、(2) 和 (3)

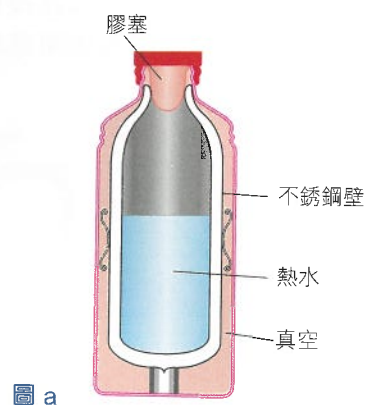


圖 a

32 散熱器 (圖 b) 安裝在電腦內。它有以下設計幫助散熱。

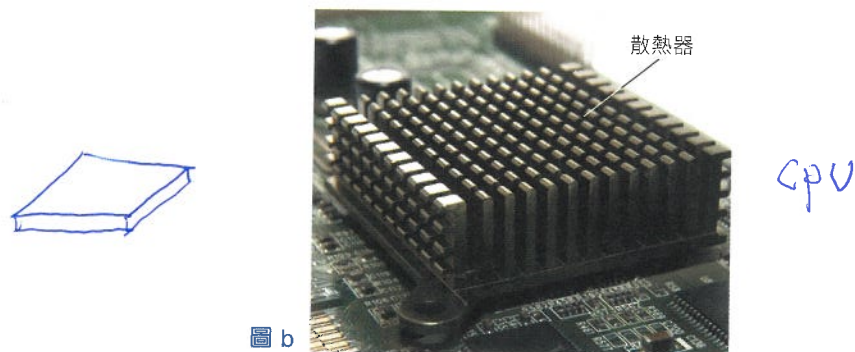


圖 b

(a) 散熱器用 金屬 (金屬 / 塑膠) 製成，熱可透過傳導迅速散失。

(b) 散熱器塗上 黑色 (黑色 / 白色)，熱可透過輻射迅速散失。

(c) 鰭狀設計增加表面面積，熱可透過 傳導 (傳導 / 輻射) 散失到空氣。

STSE 太陽灶

太陽灶利用太陽的輻射煮食，優點是不損害環境，而且使用成本低，維修費用也不高，因此，太陽灶特別適用於陽光充足的落後地區。此外，使用太陽灶能減少燒柴，從而減少砍伐林木。

設計優良的太陽灶能收集和困住許多能量，並且有良好的導熱面作煮食之用。太陽灶在怎樣的情況下效能最好？你會怎樣設計一個成本低廉的太陽灶？



燒柴煮食



用太陽灶燒水

STSE 溫室效應和全球暖化

天然溫室效應使地球變得溫暖，適合生物居住。圖 a 顯示天然溫室效應怎樣發生。如果沒有天然溫室效應，地球會變成怎樣？

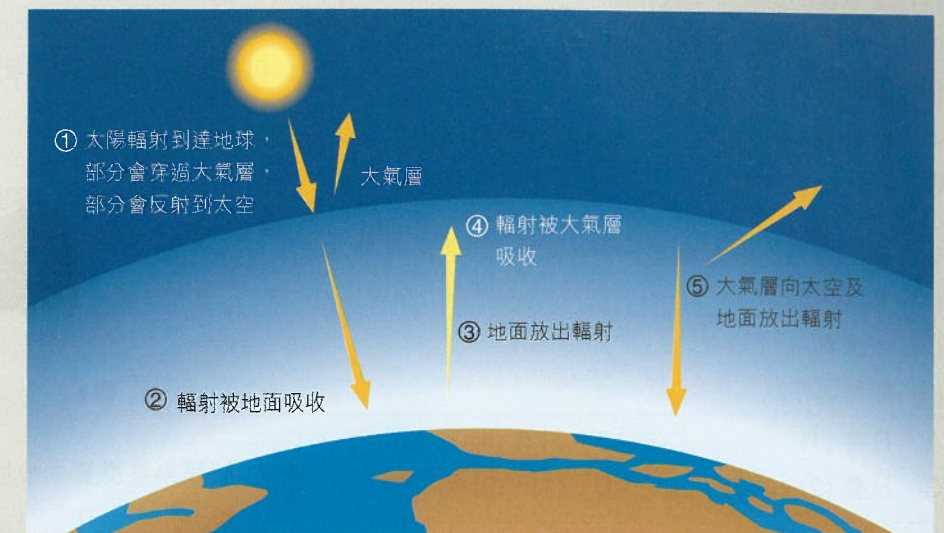


圖 a

自 19 世紀以來，愈來愈多溫室氣體 (例如二氧化碳) 釋放出來，這些氣體主要來自人類活動，尤其是燃燒化石燃料。過量的溫室氣體使溫室效應加劇，導致全球暖化 (圖 b)。

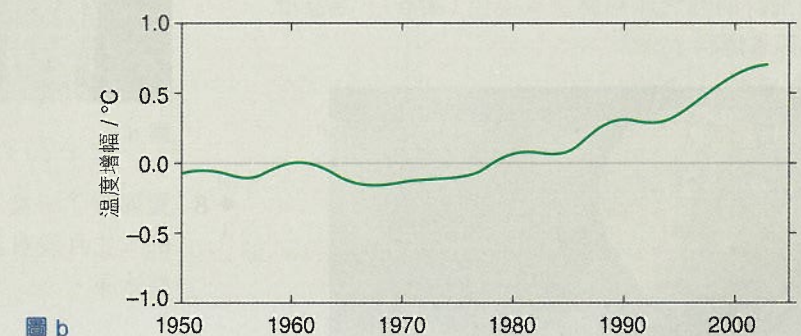


圖 b

全球暖化的影響

科學家相信，全球暖化導致極端天氣，例如極高或極低氣溫、暴雨等。表 a 顯示，香港的極端天氣事件變得愈來愈頻繁。這現象對我們的生活有甚麼影響？

極端天氣事件	發生的頻率	
	在 1900 年	在 2000 年
日最低氣溫 $\leq 4^{\circ}\text{C}$	每 6 年一次	每 163 年一次
日最高氣溫 $\geq 35^{\circ}\text{C}$	每 32 年一次	每 4.5 年一次
一小時雨量 $\geq 100\text{ mm}$	每 37 年一次	每 18 年一次
兩小時雨量 $\geq 150\text{ mm}$	每 32 年一次	每 14 年一次
三小時雨量 $\geq 200\text{ mm}$	每 41 年一次	每 21 年一次

表 a 發生極端天氣事件的頻率 (資料來源：香港天文台)

習題與思考 4.3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.119)。

2 1 以下哪個物體會透過輻射發射能量？

- (1) 燈泡裏的燈絲 IR
 (2) 火紅的炭塊 IR $T \rightarrow IR$
 (3) 這本書 IR

- A 只有 (1) B 只有 (2)
 C 只有 (1) 和 (2) **D (1)、(2) 和 (3)**

3 2 以下哪個物體的表面會塗上淺色來減少吸收輻射？

- (1) 太空衣
 (2) 救護車
 (3) 燃料儲存缸

- A 只有 (1) **B 只有 (1) 和 (3)**
 C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

1, 3 3 兩塊冰塊放在陽光下照射，一塊以白布遮蓋，另一塊則以黑布遮蓋。兩塊布的大小相同。

- (a) 指出冰塊與周圍環境之間淨能量轉移的方向。
 (b) 哪塊冰塊會融化得較快？試解釋你的答案。

用黑布遮蓋的冰塊

3 4 作遠程飛行的熱汽球都會塗成淺色 (圖 a)。為甚麼這樣能節省燃料？



圖 a

★ 5 以下兩個燒瓶 (圖 b) 載有溫度和質量都相同的水。

1, 3



圖 b

(a) 哪個燒瓶內的水溫度下降 1°C 所需的時間較短？**黑色燒瓶**

(b) 描述每一個燒瓶的淨能量轉移。

瓶內熱水的動能漸漸
移到空氣中

★ 6 今天天氣寒冷，但陽光普照。浩揚打算同時穿上這兩件外衣：一件透明膠外套和一件黑色外套 (圖 c)。他應該把哪件外套穿在外面來保暖？試扼要解釋。**透明膠外套**



圖 c

★ 7 解釋為甚麼夏季校服通常較淺色，冬季校服則較深色 (圖 d)。



圖 d

★ 8 麗麗買了一盒冰凍的蛋糕，盛載蛋糕的紙盒是白色的，並且沒有蓋。試解釋這個紙盒怎樣幫助保持蛋糕冰凍。

3

★ 9 圖 e 的袋可在夏天用來保持飲品冰冷，袋內有銀白色的表面。

3

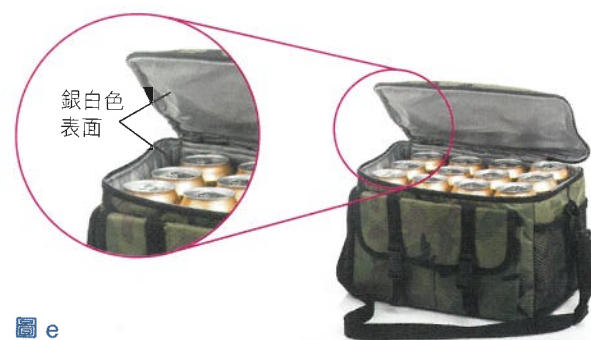


圖 e

(a) 解釋銀白色的表面怎樣幫助保持飲品冰冷。

(b) 這個袋能用來維持熱飲的溫度嗎？解釋你的答案。**能**

總結 4

詞彙

1 傳導 conduction	p.100	6 對流 convection current	p.112
2 導體 conductor	p.103	7 輻射 radiation	p.119
3 絕緣體 insulator	p.103	8 紅外輻射 infra-red radiation	p.119
4 自由電子 free electron	p.107	9 吸收體 absorber	p.120
5 對流 convection	p.110	10 輻射體 radiator	p.120

課文摘要

4.1 傳導

1 傳導是指熱由物體較高溫的部分傳遞至較低溫的部分，或從較熱的物體傳遞至較冷的物體，整個過程只傳遞能量，而不傳遞物質。

2 金屬是良好導熱體，而非金屬則是良好絕緣體。

3 在固體內，原子排列得十分緊密，只能在固定位置不停振動，所以傳導能在固體進行 (圖 a)。

金屬帶有高密度的自由電子，自由電子的頻密碰撞能加快熱傳導的過程。因此，一般來說，熱傳導在金屬內進行得較快。

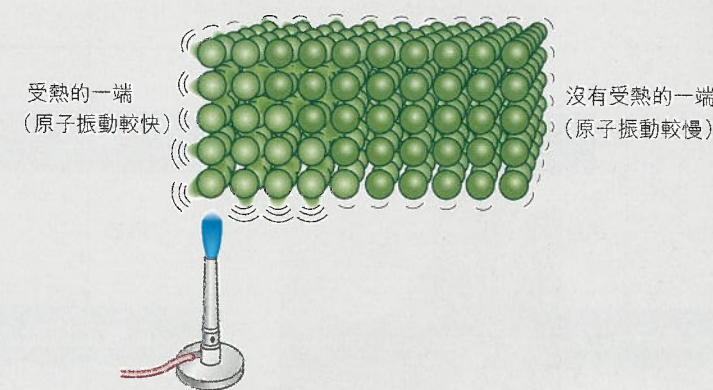


圖 a 快速振動的原子碰撞鄰近較慢的原子，使它們加快振動

4.2 對流

4 流體 (液體或氣體) 能通過本身的流動傳遞熱，這個過程稱為對流。

5 流體較熱的部分膨脹並上升，它們原來的位置隨即由周圍較冷的流體取代，形成對流 (圖 b)。

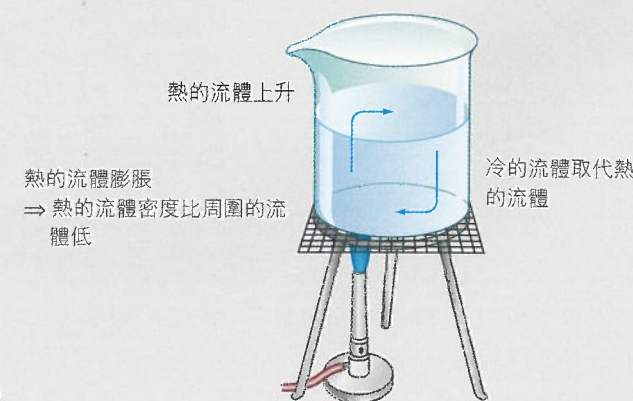
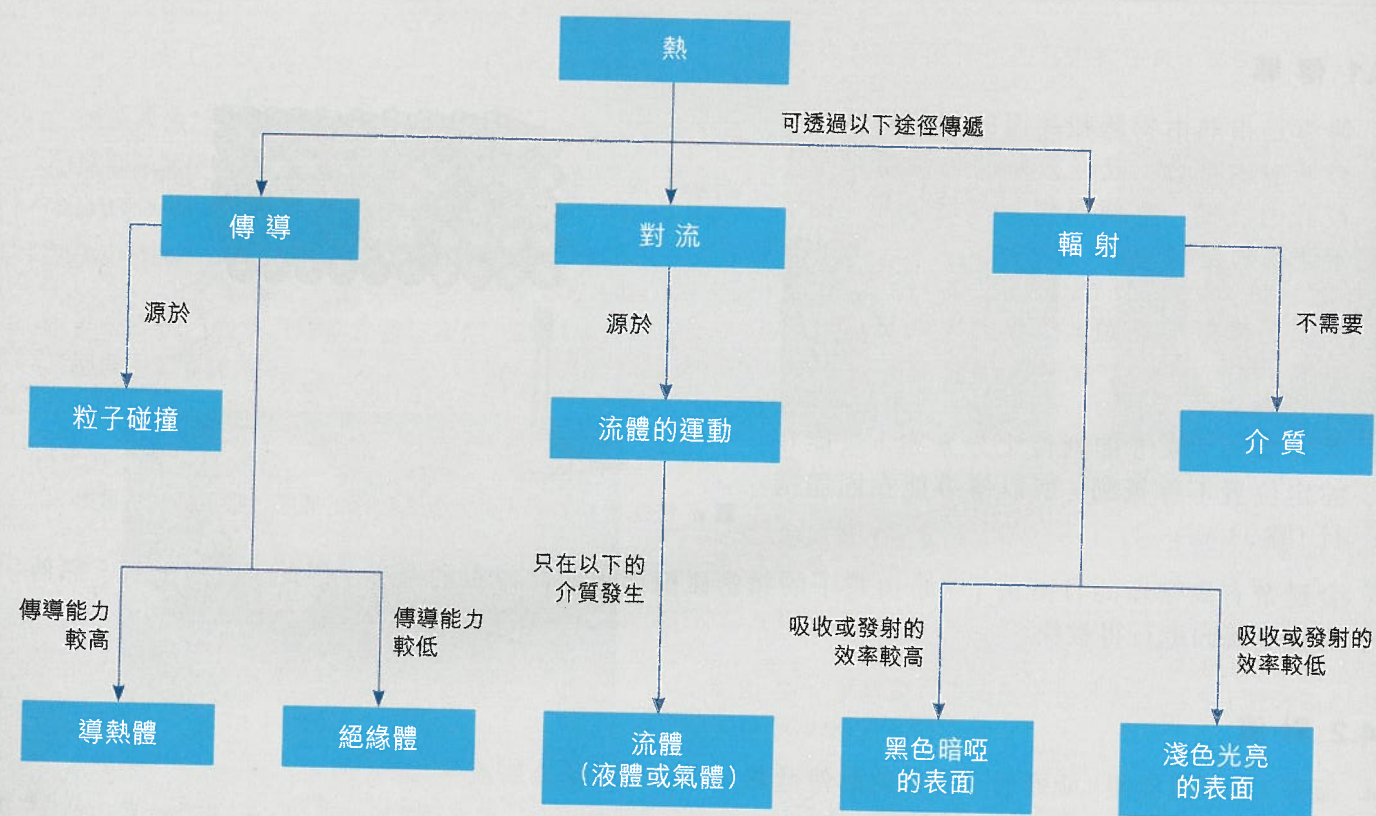


圖 b

4.3 輻射

- 6 輻射是一種不需要介質或粒子的熱傳遞方式，會沿所有方向出現。
- 7 物體的溫度愈高，它所發射的輻射便愈多。物體較周圍環境熱時，會透過輻射有淨能量損失；物體較周圍環境冷時，會透過輻射有淨能量吸收。
- 8 黑色暗啞的表面是良好的吸收體和輻射體；淺色光亮的表面是不良的吸收體和輻射體。
- 9 物體的表面面積愈大，輻射的發射率和吸收率便愈高。

概念圖



Q1 真空層能避免能量經傳導和對流散失。

Q2 膨脹的是流體而非分子。

複習 4

概念重溫

(第1至2題)判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

☆ 香港中學會考2006年卷二 Q9

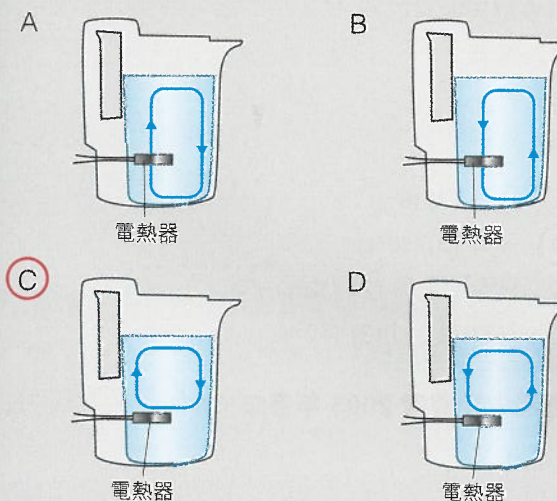
綜合題 1 保溫瓶的真空層能避免能量經輻射散失。F

☆ 香港中學會考2011年卷一 Q1(a)

4.2 2 對流發生時，流體較熱部分的分子因受熱膨脹而上升。F

多項選擇題

4.2 3 浸沒式電熱器安裝在水煲中央。下列哪一幅圖顯示的對流是正確的？



★ 4 水中的魚也能接收到來自太陽的熱(圖a)。以下哪項是熱傳遞的主要過程？



圖 a

- (1) 傳導
(2) 對流
(3) 輻射

A 只有 (2)

B 只有 (3)

C 只有 (1) 和 (2)

D 只有 (1) 和 (3)

★ 5 我們穿着厚衣(圖b)時會感到溫暖，下列哪項是正確的原因？



圖 b

- (1) 厚衣釋出熱並轉移至我們的身體。
(2) 厚衣減低我們身體散失能量的速率。
(3) 厚衣增加我們吸收能量的速率。

A 只有 (2)

B 只有 (1) 和 (3)

C 只有 (2) 和 (3)

D (1)、(2) 和 (3)

★ 6 用火把肉烤熟的過程中會牽涉下列哪種熱傳遞方式(圖c)？



圖 c

- (1) 傳導
(2) 對流
(3) 輻射

A 只有 (2)

B 只有 (3)

C 只有 (2) 和 (3)

D (1)、(2) 和 (3)

★ 7 下列哪項有關真空瓶的敘述是正確的？

- (1) 與曝露在空氣中比較，熱湯儲存在真空瓶內會冷卻得較慢。
(2) 與曝露在空氣中比較，如果凍茶放在真空瓶內，溫度會上升得較快。
(3) 在雪櫃內，真空瓶所盛載的熱水會較普通玻璃瓶所盛載的熱水冷卻得慢。

A 只有 (1)

B 只有 (1) 和 (3)

C 只有 (2) 和 (3)

D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 8 下列各項敘述中，哪項是正確的？
- 綜合題
- (1) 和非金屬相比，金屬是較好的導熱體。
 - (2) 熱可以透過傳導在氣體或液體內傳遞，但速率很慢。
 - (3) 由於金屬內的電子能自由移動，因此對流可以在金屬內發生。
- A 只有 (1) **B 只有 (1) 和 (2)**
C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

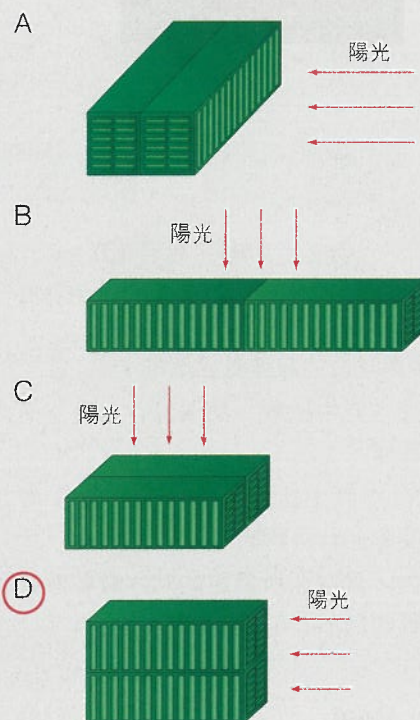
- ★ 9 火山爆發會噴出大量熱氣體和火山灰，有時甚至會形成蘑菇雲（圖 d）。下列哪項是形成蘑菇雲的過程？
- 綜合題



圖 d

- (1) 傳導
 - (2) 對流
 - (3) 輻射
- A 只有 (1) **B 只有 (2)**
C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 10 一名運輸工人打算把兩個完全相同的貨櫃放在陽光下。下列哪種擺放方法能減少貨櫃內的溫度上升？
- 4.3



- ★ 11 小琪把手放在一個鎢絲燈泡的下方，燈絲十分熾熱。能量主要透過下列哪種方式傳遞到她的手？
- 綜合題
- (1) 傳導
 - (2) 對流
 - (3) 輻射
- A 只有 (3)** B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

綜合題 12 香港中學會考 2005 年卷二 Q7



圖 e

以上照片顯示一個用光亮鋁箔包裹着的熱馬鈴薯（圖 e）。鋁箔可以減少馬鈴薯以哪一種方式向周圍環境散失能量的率？

- (1) 傳導
 - (2) 對流
 - (3) 輻射
- A 只有 (2) (8%)
B 只有 (3) (50%)
C 只有 (1) 和 (2) (12%)
D 只有 (1) 和 (3) (30%)

4.1 13 香港中學會考 2005 年卷二 Q8

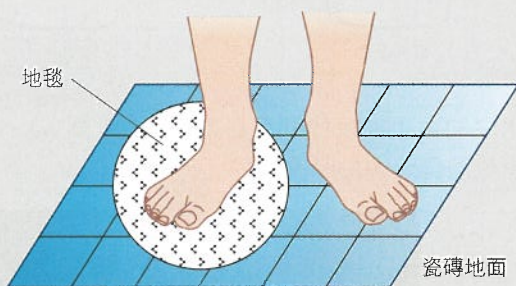


圖 f

芷晴將一塊地毯置於瓷磚地面上。過了一會，她赤腳站立，一隻腳站在瓷磚地面上，另一隻腳則站在地毯上，如圖 f 所示。她感覺瓷磚地面較地毯涼快。以下哪一項最能解釋以上現象？

- A 瓷磚的熱絕緣性較地毯良好。(18%)
B 瓷磚的溫度比地毯的低。(12%)
C 瓷磚的比熱容量比地毯的小。(21%)
D 能量從芷晴腳部傳向瓷磚的率比傳向地毯的率大。(49%)

綜合題 14 香港中學會考 2006 年卷二 Q9

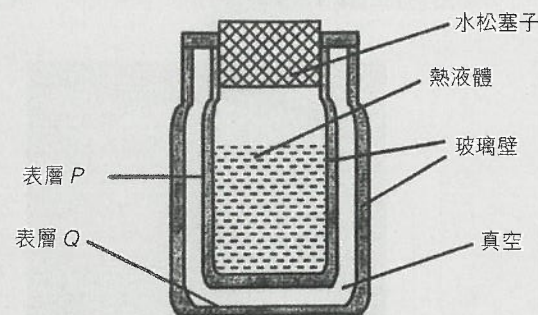


圖 g

圖 g 顯示有兩層玻璃壁的真空水瓶。以下敘述中哪些是正確的？

- (1) 表層 P 和表層 Q 塗上銀色以減少熱損耗。
 - (2) 水松塞子能減少因熱傳導及熱對流所引致的熱損耗。
 - (3) 兩層玻璃壁間的真空能減少因熱輻射所引致的熱損耗。
- A 只有 (1) 和 (2) (48%)**
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

綜合題 15 香港中學會考 2011 年卷二 Q12

圖 h 顯示一個太陽灶。以下哪項有關其設計的敘述是不正確的？

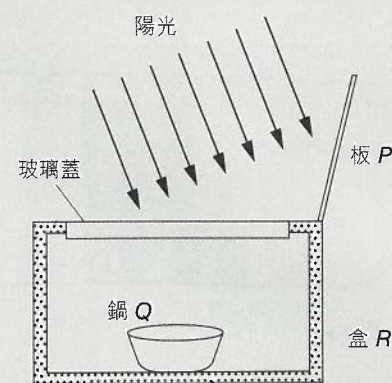


圖 h

- A 板 P 應是光亮的，用以把陽光反射到灶內。
B 鍋 Q 應塗以黑色，以增加熱的吸收。
C 盒 R 應以金屬製成，以促進熱的傳遞。(54%)
D 玻璃蓋可減少因對流造成熱的散失。

綜合題 16 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一甲部 Q2

圖 i 中的訓練池 B 位於主池 A 旁邊。訓練池 B 的面積較細小，水深也較淺。如果兩池同時受陽光照射，以下哪項有關兩池水溫上升的敘述是正確的？假設兩池的初始水溫相同。

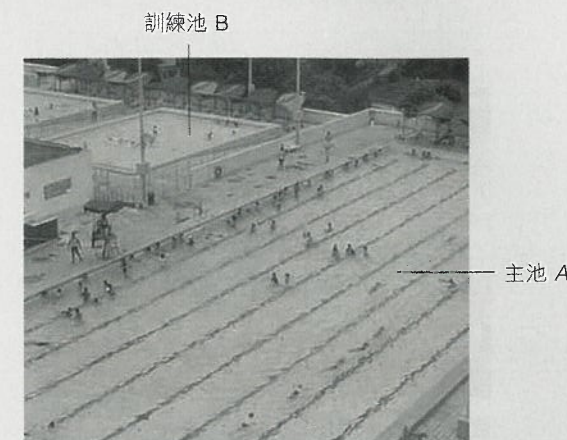


圖 i

- A 訓練池 B 的水溫上升較快，因為水深較淺。**
B 訓練池 B 的水溫上升較快，因為它的表面面積較小。
C 主池 A 的水溫上升較快，因為水深較深。
D 主池 A 的水溫上升較快，因為它的表面面積較大。

4.3 17 香港中學文憑考試 2014 年卷一甲部 Q1

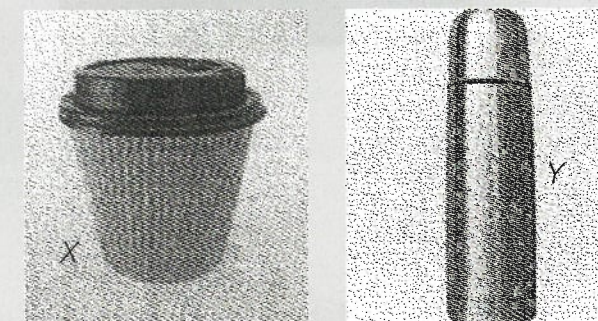


圖 j

從雪櫃取出兩球相同的雪糕，並放進圖 j 所示的紙杯 X 和真空瓶 Y。在室溫下，容器內的雪糕完全融化所需時間分別為 t_x 及 t_y 。下列哪項是預期的結果以及正確解釋？

- A $t_x > t_y$ ，因真空瓶可減少熱散失至周圍環境。
B $t_x > t_y$ ，因真空瓶可保持物件熱燙。
C $t_y > t_x$ ，因真空瓶可透過放熱至周圍環境以保持物件冷凍。
D $t_y > t_x$ ，因真空瓶可減低從周圍環境吸熱的率。(83%)

問答題

綜合題 18 解釋下列雪櫃的設計怎樣幫助保持食物格冰凍：

- (a) 雙層外壁 (2分)
(b) 雪櫃門的密封條 (圖 k) (2分)



圖 k

- ★ 19 與普通大廈比較，有玻璃幕牆的大廈 (圖 l) 通常需要製冷能力較高的空調系統。試指出一個原因。 (2分)



圖 l

- ★ 20 廚具供應商聲稱用三層鍋煮食能令熱平均傳遞到食物中。這種鍋的中層由鋁製成，夾在兩層不銹鋼中間 (圖 m)。已知鋁的導熱能力較不銹鋼高。



圖 m

- (a) 試解釋夾層的設計怎樣令熱平均分佈。 (2分)
(b) 試解釋這個鍋有哪些設計能減少熱散失到周圍環境。 (2分)

- ★ 21 (a) 試舉出一個原因，解釋為甚麼燃料儲存缸通常是白色的 (圖 n)。 (2分)



圖 n

- (b) 長跑選手完成比賽後會用反光箔氈包裹身體 (圖 o)。試簡單解釋。 (2分)



圖 o

- (c) 在夏季的下午，陽光直接照射富恆的房間。試解釋怎樣利用遮光板 (圖 p) 降低室內的溫度。 (2分)

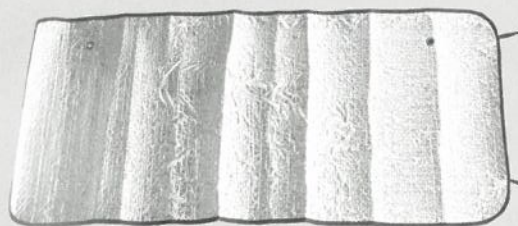


圖 p

- ★ 22 一架飛機在天空高處飛行 (圖 q)。試指出把飛機塗上淺色的一個好處。 (3分)



圖 q

- ★ 23 熱可以透過房間的窗戶傳遞至室外。要減少熱流失，可使用較厚的玻璃窗或雙層玻璃窗 (圖 r)。雙層玻璃窗的兩塊玻璃之間有一層空氣。

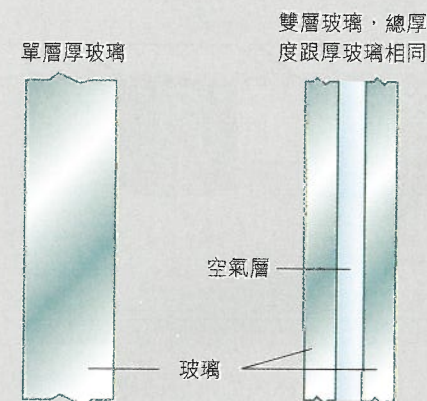


圖 r

- (a) 試解釋為甚麼雙層玻璃窗比單層厚玻璃窗更有效減少熱損耗。 (2分)
(b) 有些雙層玻璃窗的兩塊玻璃之間不是空氣，而是真空。評論把玻璃之間的空氣改為真空後，雙層玻璃窗的隔熱效能會有甚麼改變。 (3分)

- ★ 24 圖 s 是一個內置風扇的電焗爐，焗爐內的發熱元件能加熱焗爐內的空氣，空氣受熱後與食物接觸，把食物煮熟。



圖 s



焗爐背後的風扇

- (a) 焗爐內安裝了風扇，使空氣循環流動。試解釋這種做法怎樣提高焗爐的效能。 (2分)
(b) 試解釋焗爐壁為甚麼會夾有一層玻化搪瓷。(玻化搪瓷是不良導熱體。) (1分)
(c) 試解釋焗爐內的表面為甚麼是光亮的。 (2分)

- ★ 25 麗蓉設計了一個容器，用來在烈日下保持雪糕冰凍。她的容器由雙層玻璃組成，兩層玻璃之間是真空 (圖 t)。

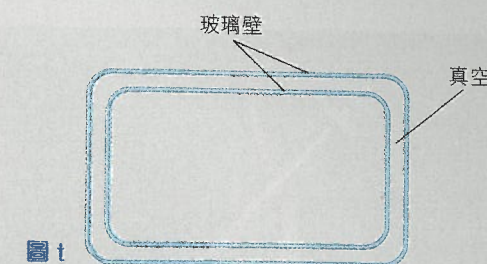


圖 t

- (a) 解釋她的容器怎樣能保持雪糕冰凍。 (2分)
(b) 然而，容器的保冷效果並不理想。試舉出一個原因。 (2分)
(c) 根據你在題 (b) 的答案，提出一個改善方法。 (2分)

- ★ 26 太陽灶靠收集陽光來燒水 (圖 u)。

綜合題

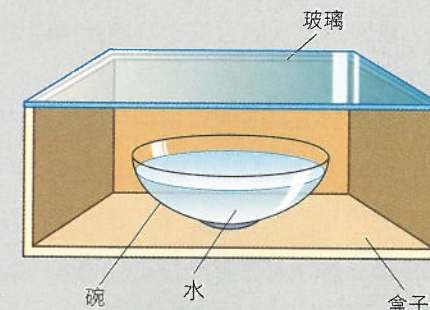


圖 u

- (a) 解釋為甚麼這個太陽灶必須要安裝玻璃。 (2分)
(b) 碗內有 0.5 kg 溫度是 20 °C 的水，30 分鐘後水溫升至 60 °C。計算這碗水吸收了多少能量。取水的比熱容量為 4200 J kg⁻¹ °C⁻¹。 (2分)
(c) 圖 v 顯示另一個太陽灶，它的設計與圖 u 的相似，但額外有一塊銀色板。

銀色板



圖 v

- 試解釋銀色板的用途。 (2分)

- ★ 27 智雄用鐵絲網把一些冰塊固定在大試管的底部，然後用本生燈加熱大試管的頂部。大試管頂部的水沸騰時，冰塊仍然熔化得很慢（圖 w）。



圖 w

- (a) 解釋為甚麼冰塊熔化得很慢。（2分）
 (b) 如果以金屬製的管取代大試管，結果會有甚麼不同？（2分）
 (c) 描述加熱大試管底部時的熱傳遞過程。（1分）

- ★ 28 (a) 寫出熱由太陽傳遞至地球的方法。**輻射**（1分）
 (b) 試解釋為甚麼晚間陸地的溫度比海洋下降得快。（2分）

- (c) 圖 x 顯示夏季某一晚的海邊。



圖 x

陸風是由於陸地和海洋的溫差所形成的。在圖 x 畫出箭號，顯示陸風怎樣形成，並指出寒冷區域及溫暖區域的位置。（3分）

- ★ 29 有蓋的白色發泡膠容器可把食物保持在高溫。

- (a) 描述熱食物和周圍環境之間的熱轉移方向。（1分）
 (b) 試解釋這個發泡膠容器怎樣影響 (i) 傳導、(ii) 對流和 (iii) 輻射來保持食物的溫度。（3分）
 (c) 在炎熱的夏季中，小文以發泡膠容器盛載冰凍的食物。試解釋發泡膠容器怎樣影響食物的溫度改變。（2分）

- ★★ 30 房間內有三個燒杯，燒杯內盛有沸水，並蓋上膠蓋。三個燒杯當中有一個燒杯以黑色的紙包裹着，有一個以銀色的紙包裹着（圖 y）。

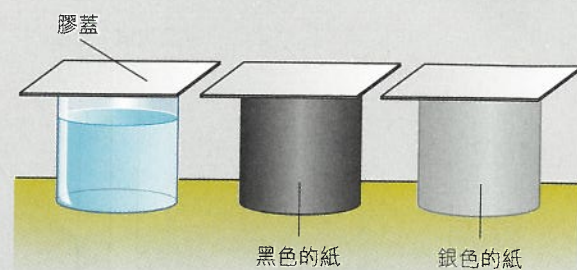


圖 y

圖 z 顯示各燒杯內的水溫改變。

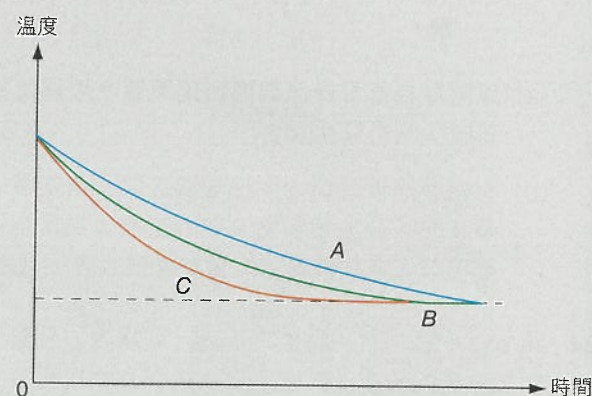


圖 z

- (a) 哪條曲線代表
 (i) 被黑色紙包裹的燒杯？**C**
 (ii) 被銀色紙包裹的燒杯？**A**（2分）
 (b) 解釋你在題 (a) 的答案。（3分）
 (c) 一段時間後，曲線 C 溫度的下降速率減慢至低於曲線 A 的速率。試解釋這現象的原因。（1分）
 (d) 假設大文把這三個燒杯放在太陽下，並重複這實驗。
 (i) 考慮沒有被紙包裹着的燒杯。它的溫度改變較之前的情況有甚麼不同？（2分）
 (ii) 考慮被銀色紙包裹的燒杯。在同一幅圖上，草繪這個燒杯內水溫的改變。（2分）

▶ 參看 p.120-123

- ★★ 31 圖 aa 顯示一種太陽能熱水器，這種熱水器透過收集陽光來把水加熱。熱水器有兩塊大型平板上下擺放，位於上方的平板是透明的，位於下方的平板則是黑色的（圖 ab）。黑色板上有一些水管，板與水管有良好的接觸，能有效地傳熱。

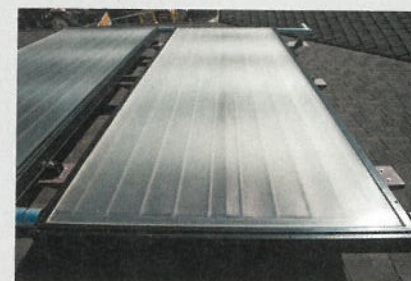


圖 aa

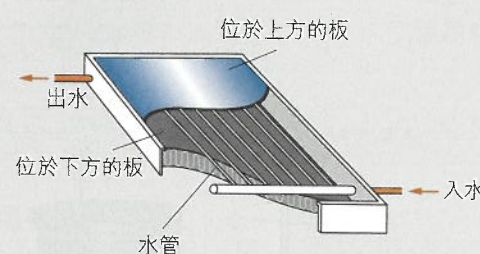


圖 ab

- (a) 位於上方的透明板有甚麼作用？（2分）
 (b) 為甚麼位於下方的板要塗上黑色？試解釋原因。（2分）

這種太陽能熱水器通常安裝在屋頂（圖 ac）。



圖 ac

- (c) 指出熱是怎樣
 (i) 從太陽傳遞至地球；**輻射**（1分）
 (ii) 從水管傳遞至水。**傳導**（1分）
 (d) 哪種物料較適合製造這熱水器的水管？是銅還是塑膠？試簡單解釋。**銅**（2分）
 (e) 某天，這太陽能熱水器把 80 kg 水由 25 °C 加熱至 50 °C 需要 8 小時。試估算當天能量由太陽轉移至水的平均功率。水的比熱容量是 4200 J kg⁻¹ °C⁻¹。**292 W**（3分）

▶ 參看 p.120-123

☆ 略去 (c) 部。

- 32 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一乙部 Q1

圖 ad 顯示一個太陽能熱水系統。加熱器由以玻璃蓋着的木盒所製成。盒內的銅管塗了黑色。加熱器放在一斜面上。通過銅管，油在加熱器和儲水缸之間循環。

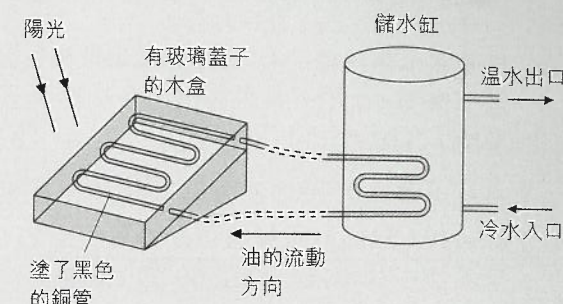


圖 ad

- (a) (i) 解釋為甚麼盒子內的銅管塗上黑色。（1分）
 (ii) 解釋為甚麼木盒要蓋上玻璃。（1分）
 (iii) 解釋為甚麼油會以圖 ad 所示的方向在系統中循環。（2分）
 (b) 當油以每分鐘 0.3 kg 的率流經加熱器的管道時，油的溫度由 25 °C 增加至 37 °C。試求油所吸收的功率。**150 W**（3分）
 已知：油的比熱容 = 2500 J kg⁻¹ °C⁻¹

- 33 香港中學文憑考試 2013 年卷一乙部 Q1

圖 ae 所示為裝設在屋頂的太陽能加熱器。在日間，加熱器將 1.5 m³ 的水加熱至 80 °C。在夜間，貯水箱中的熱水會循環到屋內各房間的散熱器（圖 af，見 p.142）為房間保溫。

已知：水的密度 = 1000 kg m⁻³
 水的比熱容 = 4200 J kg⁻¹ °C⁻¹

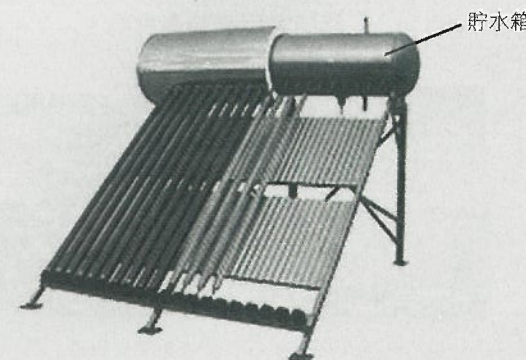
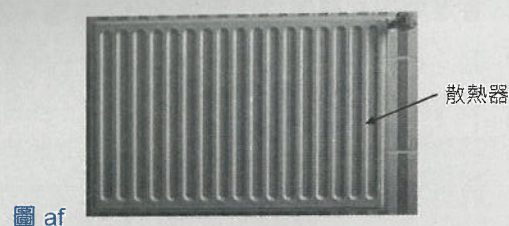


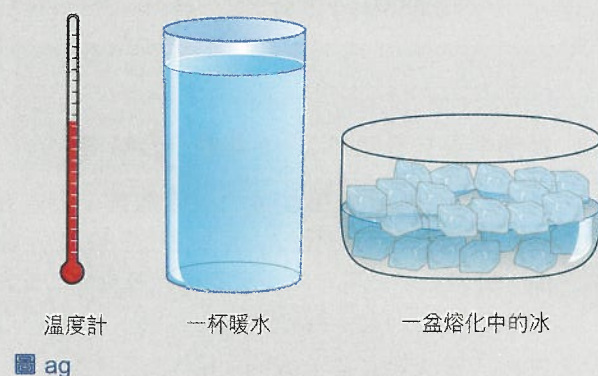
圖 ae



- (a) 已知將水傳送期間有 15% 的能量散失，當水溫下降至 60°C ，系統放出了多少熱量到各房間？ $1.07 \times 10^8 \text{ J}$ (3 分)
- (b) 已知散熱器在夜間能維持平均輸出功率於 4.5 kW。散熱器可維持這平均功率多久，直至系統中的水溫下降至 60°C ？答案以小時表達。 6.61 小時 (2 分)
- (c) 事實上，太陽能加熱系統的放熱率在 (b) 部所計算得的時段內並非恆定，而是逐漸下降。試解釋為何如此。 (1 分)

實驗題

- ★ 34 4.1 假設你有以下的儀器和物料 (圖 ag)。在不使用額外儀器的情況下，描述你會怎樣演示水是不良的導體。 (3 分)



- ★ 35 綜合題 鋁箔有兩個面，其中一面是暗啞的，另一面則是光亮的 (圖 ah)。鋁箔常用來包裹食物。



我們常聽到：

- (i) 如果用鋁箔紙包裹食物烤焗，暗啞的一面應該向外。
- (ii) 如果用鋁箔紙為食物保溫，暗啞的一面應該向內。

現在你有兩個相同的燒瓶、瓶塞連溫度計、秒錶、熱水和暖爐。試設計一個簡單實驗，以驗證以上兩句敘述。清楚寫出過程中要量度哪些物理量。 (5 分)

- ★ 36 4.3 啟明利用以下的實驗裝置 (圖 ai)，驗證黑色表面是良好的輻射體。A 和 B 是兩個相同的燒杯，但 B 的表面塗上了黑色。實驗開始時，兩個燒杯盛載着分量和溫度都相同的熱水。熱水的溫度以溫度感應器量度。

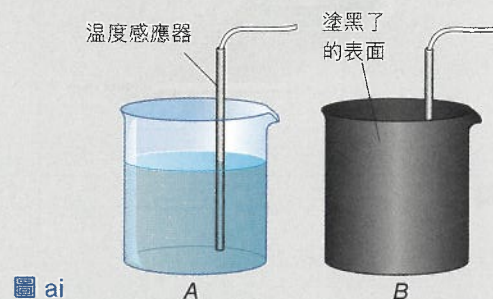


圖 aj 顯示燒杯 A 內的溫度怎樣隨時間變化。

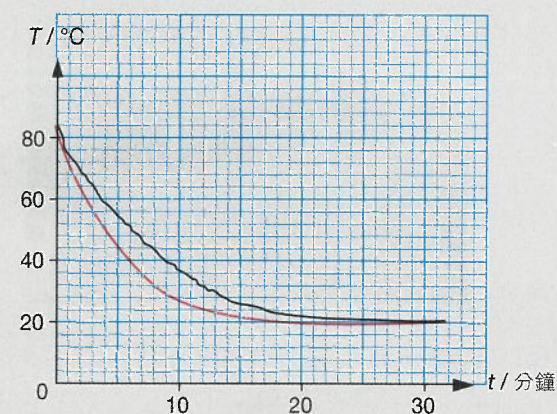


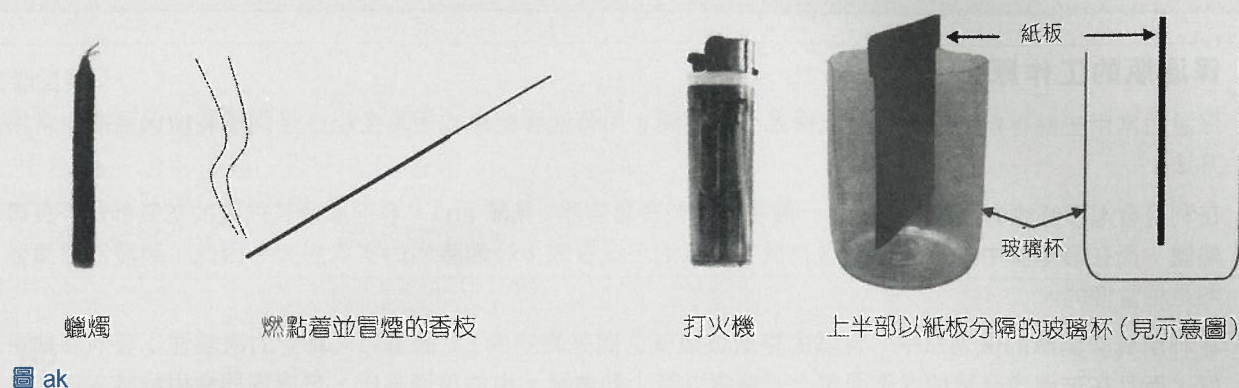
圖 aj

- (a) 室溫是多少？ 20°C (1 分)
- (b) 為甚麼燒杯 A 內的溫度在實驗初段下降得較快，在後段下降得較慢？ (2 分)
- (c) 在圖 aj 草繪燒杯 B 內的溫度變化。 (2 分)
- (d) 怎樣修改啟明的實驗裝置，以驗證黑色表面是良好的輻射吸收體？ (2 分)

□ 考試報告見第 146 頁。

4.237 香港中學會考 2010 年卷一 Q3

描述如何利用圖 ak 所示的儀器進行實驗以演示空氣的對流現象。 (5 分)



物理文章分析

- ★ 38 綜合題 閱讀下列一段有關馬克杯的文章，然後回答隨後的問題。

馬克杯

馬克杯即大柄杯子，是一種很常見的杯子 (圖 al)。馬克杯的外觀簡單，但其實它的設計充分應用了物理學的原理，有助維持飲品的溫度。

馬克杯通常以陶瓷製造，而陶瓷是良好的絕緣體。此外，底部向內凹陷 (圖 am)，減少杯子與桌面之間以傳導方式傳遞能量。手柄也是以陶瓷製造的，而且與杯身的接觸面積很小，所以，即使杯內盛有很熱的飲品，手柄的溫度也不會明顯上升。因為這些設計，飲品的表面變成主要的能量散失途徑。要再減少能量散失，可以選擇杯口較小或者較淺色的馬克杯。當然，把杯子蓋好，也是一個非常有效的方法。

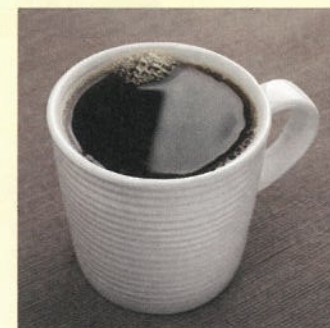


圖 al 馬克杯

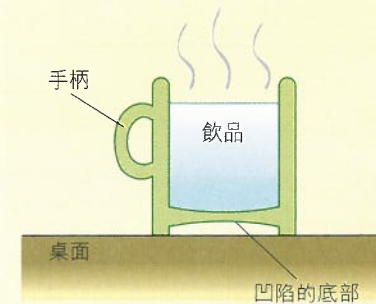


圖 am 馬克杯的截面圖

- (a) 如果飲品的溫度分別較室溫 (i) 高和 (ii) 低，杯蓋怎樣減少飲品和周圍環境之間的熱傳遞？ (4 分)
- (b) 甚麼顏色的杯蓋能最有效保持飲品的溫度？**銀色** (1 分)
- (c) 解釋杯口較小能減低能量散失的原因。 (1 分)
- (d) 考慮一個陶瓷製的馬克杯和一個形狀大小都相同的金屬杯。哪一個較能保持飲品的溫度？為甚麼？ (2 分)

陶瓷製的馬克杯

□ 考試報告見第 146 頁。

綜合題 39 香港中學會考 2007 年卷一 Q3

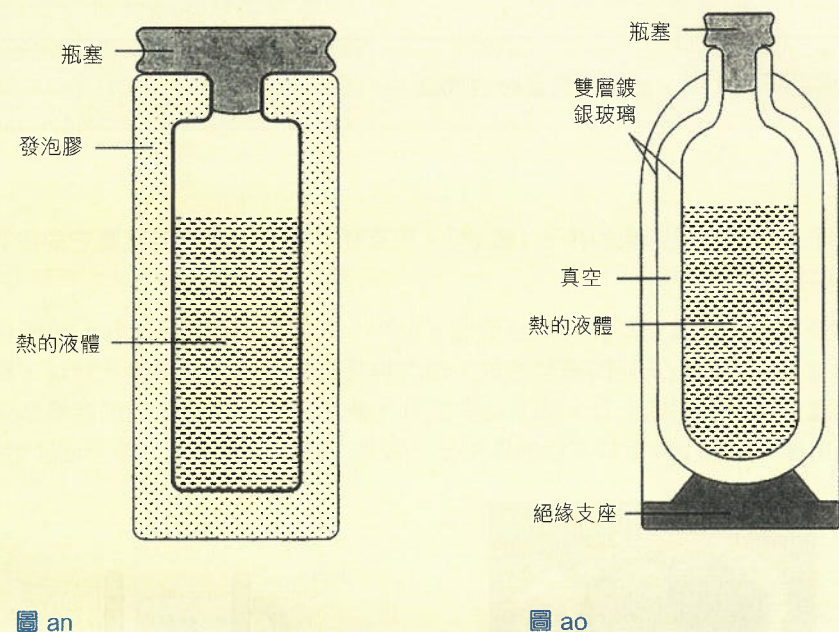
閱讀下列一段有關保溫瓶的文章，然後回答隨後的問題。

保溫瓶的工作原理

保溫瓶常用於儲存熱的液體，並能保溫一段時間。用發泡膠絕緣或用真空絕緣是兩種製造保溫瓶的常用方法。

在利用發泡膠絕緣的保溫瓶中，以一層發泡膠包裹着容器（見圖 an）。發泡膠及其內藏的空氣都是不良導熱體。而在發泡膠中的空氣被分隔為很多小氣泡，這會減少發泡膠內的空氣對流。因此，經發泡膠傳遞熱是相當慢的。

在利用真空絕緣的保溫瓶中，容器的雙層玻璃壁之間是真空的（見圖 ao）。真空的絕熱性比發泡膠的更好，而且在玻璃容器壁的內表面鍍上一層銀以減少熱傳遞。由於玻璃易碎，玻璃容器會用絕緣支座和外殼保護。



- (a) 解釋發泡膠如何減少熱傳導和對流。 (2 分)
- (b) 解釋為甚麼雙層玻璃壁之間真空的絕熱性能比發泡膠的好。 (2 分)
- (c) 指出圖 ao 中真空保溫瓶減少因輻射而散失熱的一項設計。 (1 分)
- (d) 保溫瓶也可以儲存冷的液體並保持冷凍一段時間嗎？試加以解釋。 (2 分)

可以

自我評核 4

時間：15 分鐘 總分：8 分

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

- 4.3 1 麗娟把一鍋 90°C 的湯放在室溫的環境。 4.3 2 某個太陽灶由一塊大型曲面鏡和一個鍋子組成，運作時曲面鏡會把陽光集中在鍋子。下列哪項敘述是正確的？

- (1) 湯發射輻射的功率恆定不變。
 (2) 湯發射輻射的功率不斷減少。
 (3) 湯的溫度降至室溫後，便不再發射輻射。

- A 只有 (1) B 只有 (2)
 C 只有 (1) 和 (3) D 只有 (2) 和 (3)

B

- (1) 把曲面鏡塗上黑色。
 (2) 把鍋子塗上黑色。
 (3) 把鍋子放在透明盒內。

- A 只有 (2) B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

C

乙部

- 綜合題 3 圖 a 顯示一種特製的混凝土，它比一般的混凝土（圖 b）具有較多的小孔。製造商聲稱，與一般混凝土相比，這種混凝土是較佳的絕緣體。



圖 a

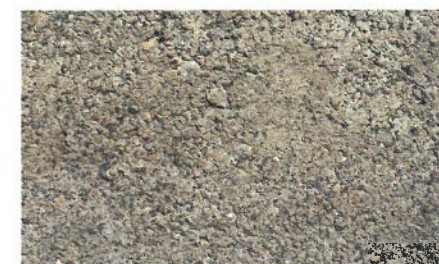


圖 b

- (a) 解釋為甚麼與一般混凝土相比，圖 a 中的混凝土是較佳的絕緣體。 (2 分)

- (b) 這種混凝土是否適合在 (i) 較冷；(ii) 較熱的城市用作建築材料？為甚麼？ (2 分)

- (c) 在小欣居住的城市，每天日夜的溫差十分大。如果她把自己屋子的外牆塗上黑色，屋內的日夜溫差會怎樣受影響？為甚麼？ (2 分)

□ Q37 考試報告：本題要求考生利用指定的儀器演示空氣的對流現象。很多考生並不熟悉該實驗，考生整體表現僅令人滿意。只有能力較高的考生清楚描述蠟燭和香枝應如何放置，以及在對流現象下煙的運動。而很多能力較弱的考生錯誤認為蠟燭應置於杯下把空氣加熱，亦不明白實驗中應觀察煙的運動。

□ Q39 考試報告：本題考核考生對一段有關保溫瓶工作原理文章的閱讀理解。本題是一典型問題，考生整體表現良好。

- (a) 大部分考生從章節中直接地找出有關的句子或對熱學有基本的知識，因此都能正確作答。
- (b) 明顯地有部分能力較弱的考生不了解甚麼是真空，在解釋為甚麼雙層玻璃壁之間真空的絕熱性能比發泡膠好時，未能清楚地指出在真空中沒有傳導及對流產生，而只說出傳導及對流減少。
- (c) 大部分考生能夠指出題目中真空保溫瓶減少因輻射而散失熱的一項設計。
- (d) 大多數考生能解釋為甚麼保溫瓶也可儲存冷的液體（並保持冰凍一段時間）。



F-X Ext

5 氣體

我們在这一課會學到

- 氣體的壓強、溫度和體積之間的關係
- 普適氣體方程式
- 分子運動論

5.1

氣體定律

起點 噴霧劑

噴霧劑通常以高壓氣體的形式儲存在金屬罐，而我們常聽說高壓金屬罐必須遠離火種，你知道原因嗎？ 參看第 155 頁。



✓ 本節重點

- 1 壓強
- 2 波義耳定律
- 3 開氏溫標
- 4 氣壓定律
- 5 查理定律
- 6 普適氣體定律與理想氣體
- 7 氣體定律與線圖

1 壓強

誰都知道，用鋒利的刀子切食物，較用鈍的刀子容易得多（圖 5.1a）。由於利刀的刀鋒與食物的接觸面積較小（圖 5.1b），如果作用力不變，作用於食物的壓強便較大。



圖 5.1a 切開食物

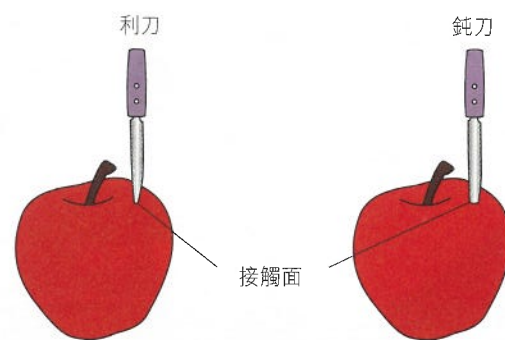


圖 5.1b 利刀的接觸面比鈍刀小

 可提醒學生力是矢量，而壓力則是標量。

第 2 冊第 3 課會討論「力」的概念。力的單位是牛頓 (N)。

壓強的定義是作用於每單位面積的法向（垂直）力。

$$\text{壓強} = \frac{\text{作用於表面的法向力}}{\text{表面面積}} = \frac{F}{A}$$

$$\begin{aligned} p \text{ 的單位} &= \frac{F \text{ 的單位}}{A \text{ 的單位}} \\ &= \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \\ &= \text{N m}^{-2} \end{aligned}$$

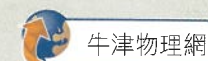
壓強的符號是 p ，單位是帕斯卡，簡寫 Pa。

► $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2}$

壓強 pressure 帕斯卡 (Pa) pascal

歷史點滴 帕斯卡 (1623–1662)

帕斯卡是法國科學家。他在流體學方面貢獻良多，也闡明了壓強和真空這兩個概念。壓強的單位就是以他的名字命名的。



例題 1 釘牀

某人的重量是 500 N。

試計算在以下各情況中，接觸點的壓強：

- (a) 站在地面上；
 - (b) 站在一口釘上；
 - (c) 站在 200 口釘上
- (圖 a)。

取兩隻腳掌的總面積為 $4.0 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ ，釘子末端的面積為 $4.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ 。



圖 a

題解

$$\begin{aligned} \text{(a) 壓強} &= \frac{F}{A} = \frac{500}{4.0 \times 10^{-2}} = 1.25 \times 10^4 \text{ Pa} \\ \text{(b) 壓強} &= \frac{F}{A} = \frac{500}{4.0 \times 10^{-6}} = 1.25 \times 10^8 \text{ Pa} \\ \text{(c) 壓強} &= \frac{F}{A} = \frac{500}{4.0 \times 10^{-6} \times 200} = 6.25 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

► 進度評估 1 Q1 (p.151)

這也可解釋為甚麼特技人躺在釘牀上不會受傷。事實上，釘子愈多，作用在特技人的壓強便愈小，受傷的機會也愈小。

a 氣體壓強

i 大氣壓強

有些流動裝置內置壓強感應器，安裝適當的應用程式後，可用來量度大氣壓強。類似的應用程式有：



Android

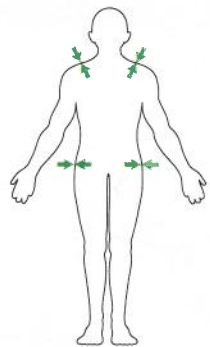
物體會對一個表面施加壓強，同樣，氣體會對表面施力，所以也會對表面施加壓強。大氣層所施加的壓強稱為大氣壓強，它作用於任何接觸大氣的物體上，包括我們的身體。我們一直都受大氣壓強作用，但因為已習慣在大氣壓強下生活，所以難以察覺它的存在。

氣體壓強可直接以大氣壓強為單位，單位的符號是 atm。1 atm 的壓強就是於海平面的大氣壓強，約為 100 kPa。

帕斯卡 Blaise Pascal 大氣壓強 atmospheric pressure
atmosphere

$$Pa = N m^{-2}$$

我們身體有一股壓強從體內往外推，大小與大氣壓強相同，因此身體不會像圖 5.1c 的紙盒般塌陷。▶ (i)



大氣壓強對我們的影響無時無刻都存在。吸吸紙盒裝飲品時，盒內的氣壓遠低於盒外的大氣壓強，紙盒因而塌陷（圖 5.1c(i)）；同樣道理，用飲管吸吸飲料時，飲管內的氣壓下降，飲管外的大氣壓強便把飲料沿飲管向上推（圖 5.1c(ii)）。



圖 5.1c (i) 吸吸飲料時，紙盒會塌陷 (ii) 利用飲管吸吸飲料



錄像片段 5.1

→ 錄像片段 5.1 顯示「塌陷的罐子」實驗。實驗中，罐子受熱，罐內的部分空氣擠至罐外，這時，若把罐子密封並淋上冷水，罐子便會塌陷。

吸盤可以牢固地吸附在垂直的表面上（圖 5.1d），原因是它與表面之間的壓強低於大氣壓強，大氣壓強便把它往表面推壓過去。

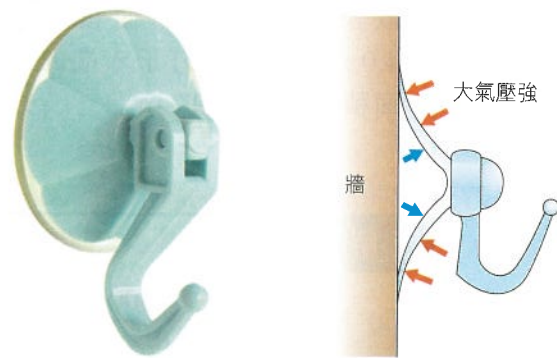


圖 5.1d 吸盤

ii 量度氣體的壓強

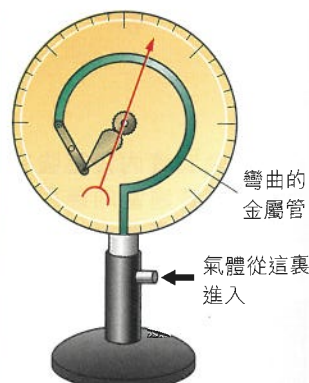
布爾登氣壓計可用來量度氣體的壓強，原理跟吹捲笛相似（圖 5.1e）。氣壓計內有一條彎曲的金屬管，管內的壓強增加時，管子會稍稍伸直，帶動指針在刻度盤上轉動（圖 5.1f）。



圖 5.1e 吹捲笛



圖 5.1f 布爾登氣壓計及它的結構



例題 2 不同高度的大氣壓強

- (a) 圖 a 顯示不同高度的大氣壓強。舉出一個原因，解釋為甚麼大氣壓強會出現這個變化。
(b) 攀山者登上夏威夷毛納基火山的山頂（約 4000 m 高），喝光了一瓶水。他把密封的膠瓶帶返山腳，一路上，瓶子變得愈來愈凹陷（圖 b）。試解釋這現象。

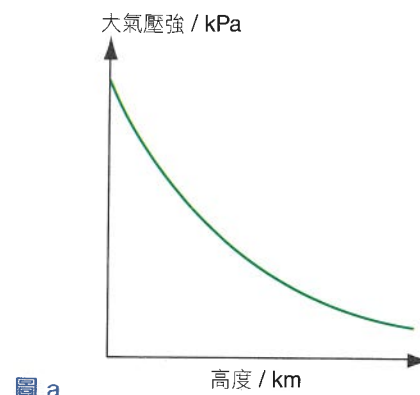


圖 a

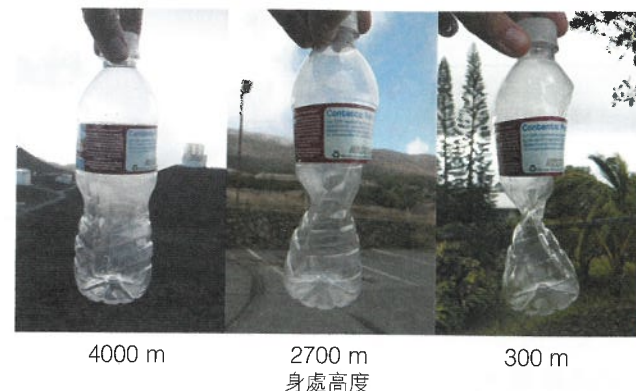


圖 b

題解

- (a) 隨着高度增加，空氣變得愈來愈稀薄，對表面所施加的力也變得愈來愈小。根據 $p = \frac{F}{A}$ ，大氣壓強會下降。
(b) 膠瓶在山頂上密封，那處位置較高，因此瓶子內的氣壓比低處的大氣壓強低。瓶外的大氣壓強把瓶子推向內，瓶子因而凹陷。

▶ 複習 Q7 (p.185)

進度評估 1 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.148）。

- 11 密封立方體每邊長 0.25 m（圖 a），盛載了 110 kPa 的氣體。求氣體作用於立方體每個表面上的力。6880 N

提示：壓強 = $\frac{F}{A}$

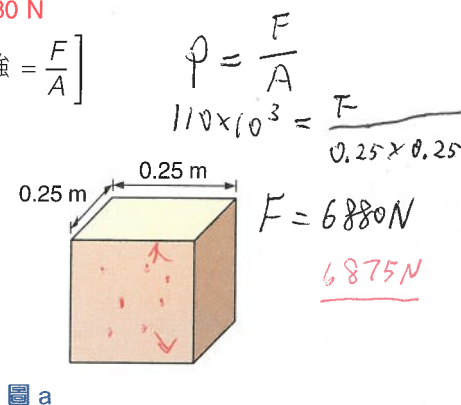


圖 a

- 12 (a) 寫出圖 b 中儀器的名稱。布爾登氣壓計

- (b) 這儀器顯示的讀數是多少？答案以 N m^{-2} 為單位。1.0 x 10^5 N m^-2

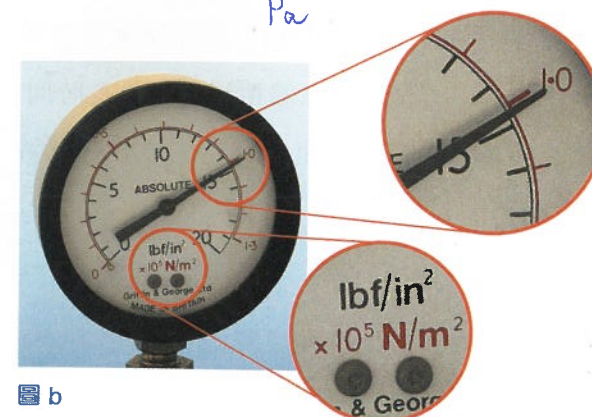


圖 b

2 波義耳定律

壓強、體積、溫度、質量都是描述氣體常用的物理量，它們之間究竟有甚麼關係？17 世紀，波義耳研究氣體在質量和溫度不變時，壓強和體積有甚麼關係。



模擬程式 5.1
錄像片段 5.2

→ 模擬程式 5.1 是波義耳定律的「虛擬實驗」。

→ 錄像片段 5.2 示範實驗 5a。



實驗 5a

波義耳定律 Boyle's Law

- 1 如圖 a 所示裝置實驗器材，圖中的腳踏氣泵可用來增加空氣柱的壓強 p 。(空氣柱的體積是 V 。)
- 2 讀取幾組 p (以布爾登氣壓計的讀數代表) 和 V 的數據。標繪 p 對 V 的關係線圖，以及 p 對 $\frac{1}{V}$ 的關係線圖。
- 3 另一方法：把針筒連接至壓強感應器和數據記錄器 (圖 b)。推拉針筒的活塞，讀取幾組 p 和 V 的數據，並標繪 p 對 V 的關係線圖，以及 p 對 $\frac{1}{V}$ 的關係線圖。

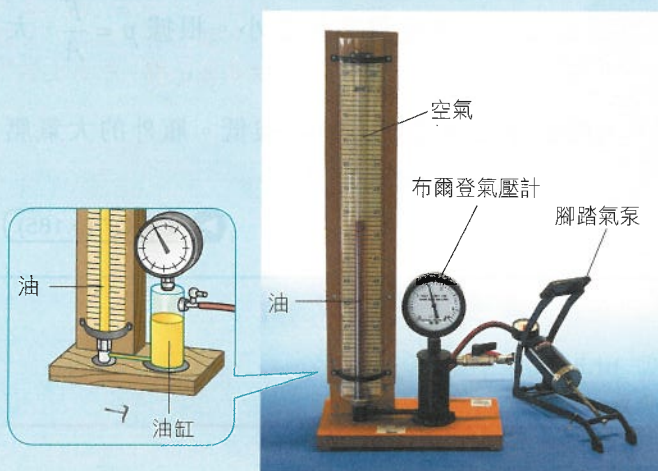


圖 a



圖 b

預防措施

- 1 慢慢改變空氣柱的體積，避免空氣溫度改變 (或讓改變減至最少)。
- 2 在步驟 3，改變空氣體積時，不要長時間握着針筒，避免空氣溫度改變 (或讓改變減至最少)。
- 3 在步驟 3，儘量減短橡膠管的長度，以減少量度空氣體積時的誤差。針筒的讀數並不包括橡膠管內的空氣體積。

討論

氣體的壓強和體積有甚麼關係？氣體的壓強和體積成反比。

壓強對體積的關係線圖是一條曲線 (圖 5.1g)，壓強對體積倒數的關係線圖卻是一條穿過原點的直線 (圖 5.1h)。

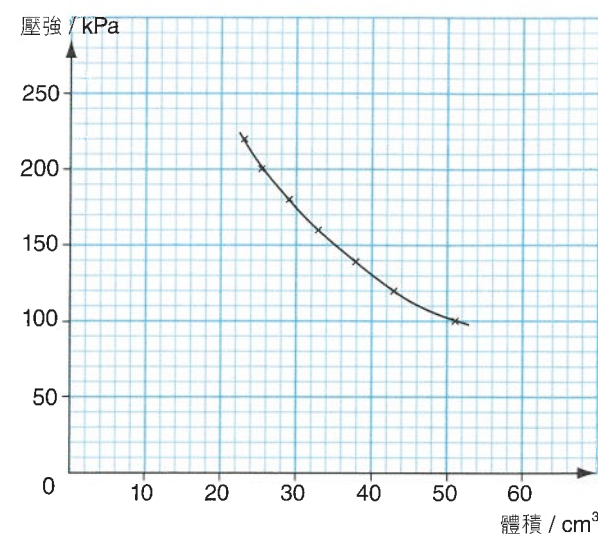


圖 5.1g 壓強對體積的關係線圖

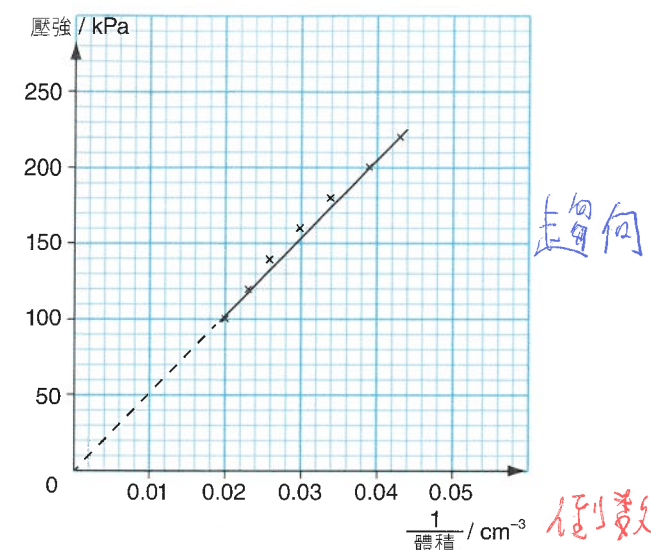


圖 5.1h 壓強對體積倒數的關係線圖

以上結果顯示，氣體的壓強與體積成反比，這關係稱為波義耳定律：

如果氣體的質量和溫度不變，它的壓強與體積就會成反比，即

$$p \propto \frac{1}{V} \quad (T \text{ 不變})$$

換言之，質量和溫度不變時， $pV = \text{常數}$ 。設原來的壓強和體積分別是 p_1 和 V_1 ，在溫度不變的情況下，壓強和體積分別變成 p_2 和 V_2 ，則：

$$pV = \text{常數} \quad \text{或} \quad p_1V_1 = p_2V_2 \quad (T \text{ 不變})$$

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

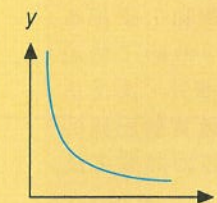
$$y \propto \frac{1}{x}$$

如果 y 與 x 成反比 (可用數式寫成 $y \propto \frac{1}{x}$)，則 $y = \frac{k}{x}$ ，其中 k 是常數。

利用下表，有助草繪 $y \propto \frac{1}{x}$ 的線圖。

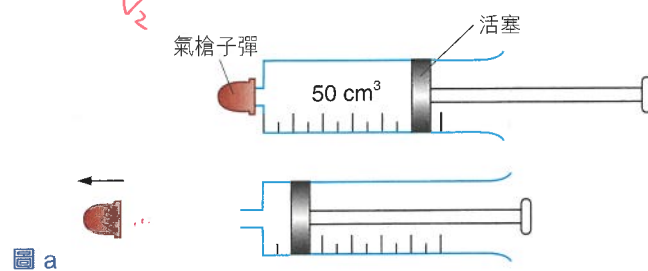
x	x_0	$2x_0$	$3x_0$	$4x_0$	$5x_0$
y	y_0	$\frac{y_0}{2}$	$\frac{y_0}{3}$	$\frac{y_0}{4}$	$\frac{y_0}{5}$

注意 $xy = \text{常數}$ 。



例題 3 氣槍

志文把一支針筒改裝成氣槍(圖 a)。他用氣槍子彈把針筒口封住，如果氣體的壓強上升至 125 kPa，子彈便會射出。開始時，針筒內有 50 cm³ 處於大氣壓強 (100 kPa) 的空氣，如果志文慢慢推進活塞，子彈射出時，空氣的體積是多少？



題解

空氣壓縮得很慢，因此它的溫度保持不變。

根據波義耳定律， $100 \times 50 = 125 \times V_2$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2} = \frac{100 \times 10^3 \times 50}{125 \times 10^3} = 40 \text{ cm}^3$$

子彈射出時，空氣的體積是 40 cm³。

▶ 進度評估 2 Q2 (p.154)

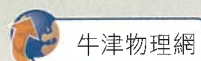
注意：公式所代入的是 $V_1 = 50 \text{ cm}^3$ ，因此 V_2 的答案也是以 cm³ (而非 m³) 為單位。

歷史點滴

波義耳 (1627–1691)



波義耳是愛爾蘭科學家，對物理和化學都有重大貢獻。他除了發現波義耳定律外，還是首位製作準確實驗記錄的科學家，並因而聞名於世。



牛津物理網

進度評估 2 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.148)。

11 判斷以下各項是否壓強的單位。

(a) N cm⁻² 是 (b) kPa 是 (c) N m² 不是

22 針筒 (圖 a) 注入 10 cm³ 處於 100 kPa 的空氣後密封。如果把氣體壓縮，使它的體積減少 45%，針筒內的壓強是多少？182 kPa

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$100 \times 10 = p_2 \times 5.5$$

$$p_2 = 182 \text{ kPa}$$



23 (a) 波義耳定律在甚麼情況下才適用？溫度不變

(b) 密封的針筒內有 50 cm³ 處於大氣壓強 (100 kPa) 的空氣。如果空氣的體積減少至 45 cm³，它的壓強是多少？假設波義耳定律適用。111 kPa

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$100 \times 50 = p_2 \times 45$$

$$p_2 = 111 \text{ kPa}$$

3 氣體壓強與溫度的關係

如果溫度改變而體積不變，氣體的壓強會怎樣改變？試從實驗 5b 找出答案。

→ 模擬程式 5.2 是一個「虛擬實驗」，示範氣體壓強與溫度的關係。

→ 錄像片段 5.3 示範實驗 5b。



模擬程式 5.2
錄像片段 5.3



燒瓶非常熱，切勿用手直接觸摸。

有些焗爐有外露的發熱線，或會燒着棉花，不可用於這個實驗。



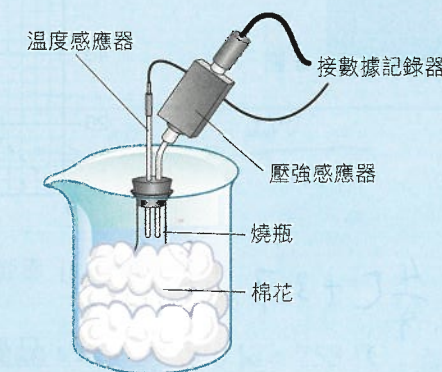
實驗 5b

氣體壓強與溫度的關係

- 1 用棉花包裹燒瓶，然後把燒瓶放在 150 °C 的焗爐內，20 分鐘後取出燒瓶，然後把它密封。
- 2 用壓強感應器和溫度感應器量度燒瓶內的壓強 p 和溫度 T (圖 a)。標繪 p 對 T 的關係線圖。



圖 a



在起點，儲存壓縮氣體的金屬罐放近火種時，罐內的溫度增加，罐內的壓強也因而增加。如果壓強過大，罐便會爆炸。

更準確的數值是 -273.15 °C。

- ▶ 實驗 5b 顯示，壓強與溫度的關係是線性的 (圖 5.1i)。如果圖線延長至溫度軸，兩者便會相交於 -273 °C 附近的位置。即使改用其他氣體重複實驗，圖線在溫度軸上的截距也相同。

$$p \propto T$$

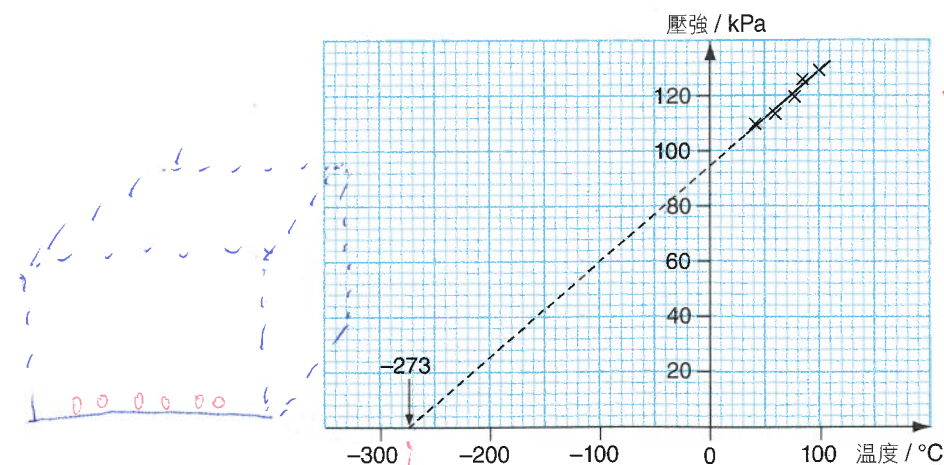


圖 5.1i 壓強對溫度的關係線圖

a 開氏溫標

根據實驗 5b，氣體的壓強 p 和攝氏溫度 T_C 的關係可用以下數式表達：

$$p \propto (T_C + 273)$$

如果把壓強軸向左平移至截距 $(-273\text{ }^\circ\text{C})$ ，圖線便會通過原點（圖 5.1j）。

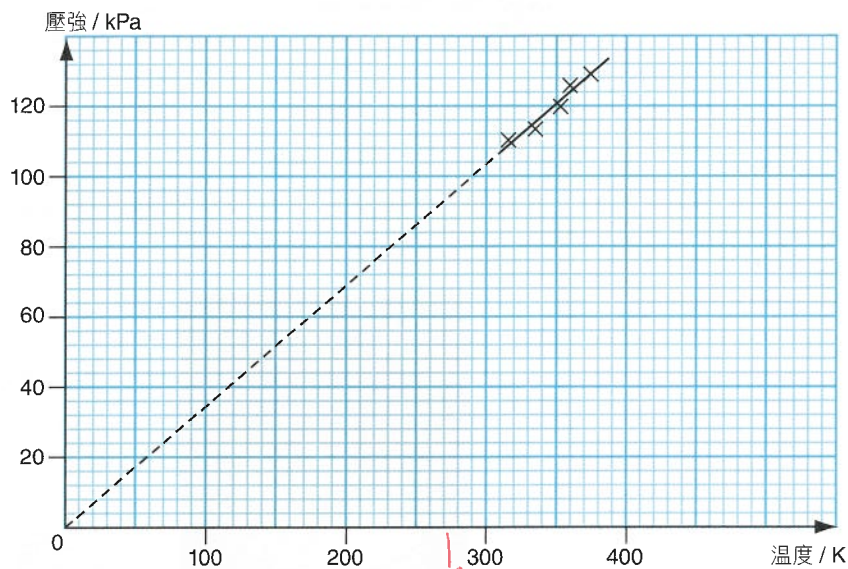


圖 5.1j 壓強對溫度的關係線圖，壓強軸向左平移 $273\text{ }^\circ\text{C}$

由此可見，只要定義一個新的溫標，壓強與溫度便可改為正比關係。該溫標稱為**開氏溫標**。

$$T_K (\text{開氏溫度}) = T_C (\text{攝氏溫度}) + 273$$

要注意符號是 K 而不是 $^\circ\text{K}$ 。開氏溫標的單位是**開**，符號是**K**。

在開氏溫標中，0 K 稱為**絕對零度**，正因如此，開氏溫標也可以稱為**絕對溫標**。

我們現在懂得轉用開氏溫標表達溫度。以一些常見的溫度為例，水的凝固點可寫成 273 K，沸點可寫成 373 K。開氏溫標和攝氏溫標每一單位的差別相同，也就是說，1 K 的溫度轉變相等於 $1\text{ }^\circ\text{C}$ 的溫度轉變。

b 氣壓定律

以開氏溫標量度溫度，氣體的壓強和溫度就會有以下的關係：

如果氣體的質量和體積不變，它的壓強與開氏溫度就會成正比，即

$$p \propto T \quad (V \text{ 不變})$$

開氏溫標 Kelvin temperature scale 開 (K) kelvin 絕對零度 absolute zero
絕對溫標 absolute temperature scale

在公開考試中，氣壓定律也稱為**壓強—溫度關係**。以上關係稱為**氣壓定律**，它也表示壓強與開氏溫度的比例是一個常數，即：

$$\frac{p}{T} = \text{常數} \quad \text{或} \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (V \text{ 不變})$$

例題 4 燈泡內的壓強

製造鎢絲燈泡（圖 a）時，會把溫度為 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 的惰性氣體注入燈泡，直至氣體壓強達至 80 kPa 為止。已知燈泡能夠承受的最大內部壓強為 280 kPa 。氣體上升至哪個溫度，燈泡便會爆裂？



圖 a

題解

燈泡的體積固定，因此可以運用氣壓定律來計算。

緊記將 $^\circ\text{C}$ 轉換成 K。

根據氣壓定律，

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

$$T_2 = \frac{T_1}{p_1} \times p_2 = \frac{273 + 20}{80 \times 10^3} \times 280 \times 10^3 = 1026\text{ K} = 753\text{ }^\circ\text{C}$$

氣體的溫度是 $753\text{ }^\circ\text{C}$ 時，燈泡便會爆裂。

進度評估 3 Q3 (p.157)

進度評估 3

各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.148）。

31 下列哪些敘述是正確的？

(1) 開氏溫標的單位是 k°K 。

(2) 攝氏溫標 T_C 和開氏溫標 T_K 的轉換公式是 $T_C = T_K + 273$ 。

(3) 1 K 的溫度轉變相等於 $1\text{ }^\circ\text{C}$ 的溫度轉變。

A 只有 (3)

B 只有 (1) 和 (2)

C 只有 (2) 和 (3)

D (1)、(2) 和 (3)

32 完成下表。

	$^\circ\text{C}$	K
人體溫度	37	310
水銀的熔點	-39	234

$$\frac{p}{T_1} = \frac{3p}{T_2}$$

43 密封的容器內有溫度為 300 K 的氣體。如果要讓氣體的壓強增加至原來的 3 倍，應把它加熱至哪個溫度？設氣體的體積是固定的。

900 K

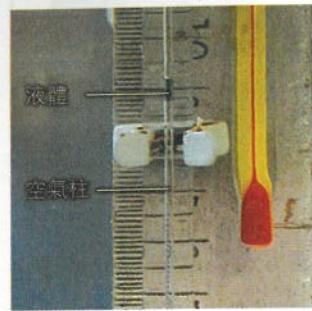
4 氣體體積與溫度的關係

→ 模擬程式 5.3 是一個「虛擬實驗」，示範氣體體積與溫度的關係。

→ 錄像片段 5.4 示範實驗 5c。

模擬程式 5.3
錄像片段 5.4

毛細管內有一滴液體，能困住空氣柱。



毛細管的頂端並非密封，所以空氣柱的壓強在整個實驗中都等於大氣壓強。

小心：加熱時，切勿觸摸燙熱的裝置。

實驗 5c 研究在氣體壓強不變的情況下，體積和溫度會怎樣改變。

查理定律

實驗 5c 氣體體積與溫度的關係

1 如圖 a 所示裝置實驗器材。把毛細管浸在水中，然後把水加熱。記錄在不同溫度 T 時，空氣柱的長度 L 。

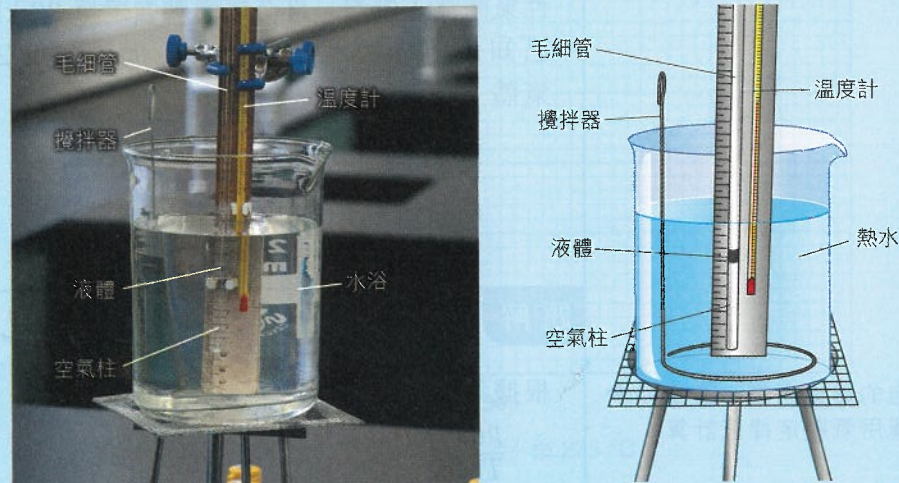


圖 a

2 標繪 L 對 T 的關係線圖 (L 代表空氣的體積)。

預防措施

每次記錄數據前，都應該停止加熱，並把水徹底攪拌，以確保整杯水的溫度相同。

討論

氣體的體積與溫度有甚麼關係？**氣體的體積與它的開氏溫度成正比。**

實驗 5c 顯示，**體積與溫度的關係是線性的**。圖線延長的話，也會與溫度軸相交於 $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ 附近的位置 (圖 5.1k，見 p.159)。即使改用其他氣體重複實驗，圖線在溫度軸上的截距也相同。

如果溫度以開氏溫標量度，線圖也會通過原點 (圖 5.1l，見 p.159)。

所以，體積和溫度有以下的關係：

如果氣體的質量和壓強不變，它的體積與開氏溫度就會成正比，即

$$V \propto T \quad (p \text{ 不變})$$

在公開考試中，查理定律 以上關係稱為**查理定律**，它也表示體積與開氏溫度的比例是一個常數，也稱為**體積—溫度關係**。即：

$$\frac{V}{T} = \text{常數} \quad \text{或} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (p \text{ 不變})$$

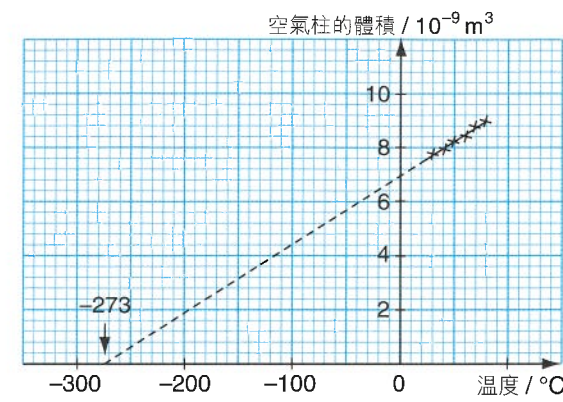


圖 5.1k 體積對溫度的關係線圖

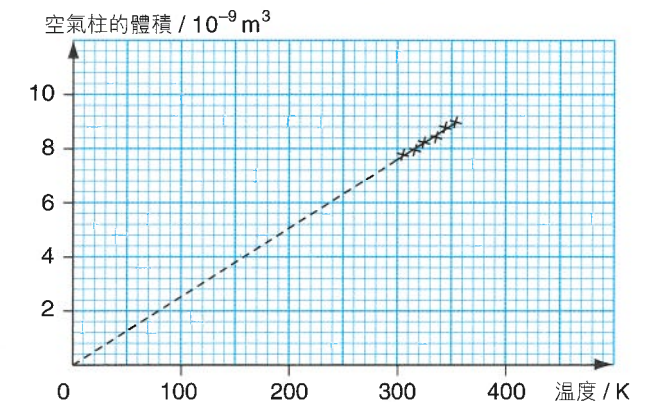


圖 5.1l 體積對溫度的關係線圖，體積軸向左平移 $273\text{ }^{\circ}\text{C}$

例題 5 針筒的體積

密封針筒內有 30 cm^3 的空氣，溫度為 $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ (圖 a)。如果把針筒放進雪櫃並冷卻至 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，針筒內空氣的體積會變成多少？設針筒內的空氣壓強固定不變。

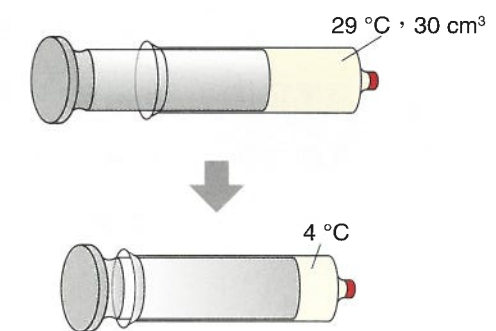


圖 a

題解

根據查理定律，

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

$$V_2 = \frac{V_1}{T_1} \times T_2 = \frac{30}{273 + 29} \times (273 + 4) = 27.5\text{ cm}^3$$

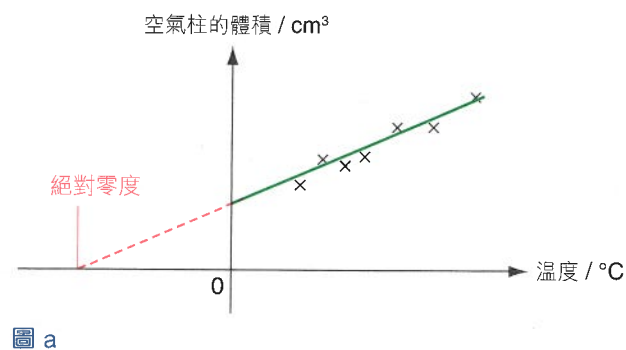
針筒內空氣的體積會變成 27.5 cm^3 。

進度評估 4 Q2 (p.160)

進度評估 4

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.148)。

51 學生做實驗以研究查理定律。他以攝氏溫度為單位，標繪圖 a：



- (a) 根據上圖，推斷氣體的體積與溫度有甚麼關係。**線性關係**
 (b) 在圖 a 的溫度軸上，標出絕對零度的位置。

52 氧氣在 27 °C 時，體積是 1 m³。如果氧氣的壓強和質量保持不變，則在 117 °C 時，體積是多少？**1.3 m³**

5 普適氣體定律與理想氣體

a 普適氣體定律

總結前面的部分，可得到以下關係：

波義耳定律： $p \propto \frac{1}{V}$ (T 不變)

氣壓定律： $p \propto T$ (V 不變)

查理定律： $V \propto T$ (p 不變)

這些關係可以結合成單一的表達式：

$$pV \propto T \text{ 或 } \frac{pV}{T} = \text{常數}$$

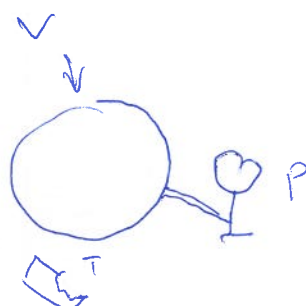
質量固定的氣體，如果它的壓強、體積、開氏溫度分別從 p_1 、 V_1 、 T_1 變成 p_2 、 V_2 、 T_2 ，則：

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

此外，在壓強和溫度不變的情況下，氣體的體積 V 與分子數目 N 成正比，即 $V \propto N$ 。

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

$$\frac{1}{27+273} = \frac{V_2}{117+273}$$



分子的總數一般都很多，方便起見，可改用**摩爾**為單位，它的符號是 **mol**。每摩爾有 6.02×10^{23} 個分子，這個數目稱為**阿佛加德羅數** (N_A)。如果有 n mol 氣體，則：

$$N = nN_A \Rightarrow N \propto n$$

如果用 N 取代 n ，普適氣體定律便會變成

$$pV = NkT$$

其中 k 是玻耳茲曼常數，可寫成

$$\frac{R}{N_A}, \text{ 數值為 } 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}.$$

$$\Rightarrow V \propto n$$

將這關係與之前所得到的表達式結合，可得出**一條普適表達式**：

$$pV \propto nT$$

加入比例常數後，以上比例便可改寫為**一條方程**，稱為**普適氣體定律**：

$$pV = nRT$$

其中 R 為**普適氣體常數**。經實驗求得， R 等於 $8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 。無論是**哪種氣體**，這個值都不變。

阿佛加德羅數以意大利物理學家阿佛加德羅 (Amedeo Avogadro) (1776–1856) 命名。1811 年，阿佛加德羅提出，在相同溫度和相同壓強的情況下，所有體積相同的氣體都有同等數目的分子。阿佛加德羅提出這個概念後，科學家嘗試找出這個數的數值，最後於 1960 年，把該數定義為 12 g 碳-12 中的原子數目，並透過實驗找出這個數目為 6.02×10^{23} 。

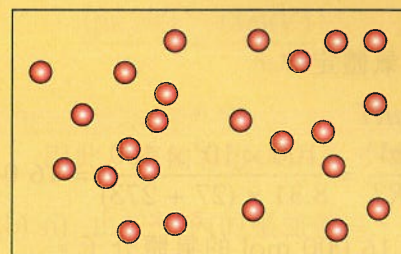
「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

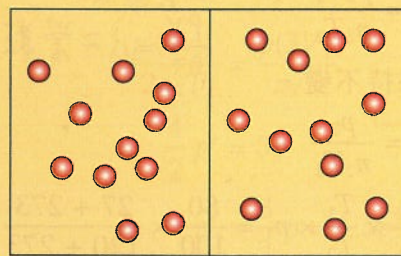
分子數目和摩爾

N 和 n 都是計算分子數目的單位， N_A 則是這兩個單位的換算因子。事實上，在日常生活中，我們也會應用不同的單位計算數目：

彈珠數目



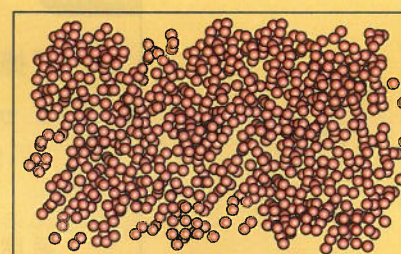
24 顆彈珠 ($N = 24$)。



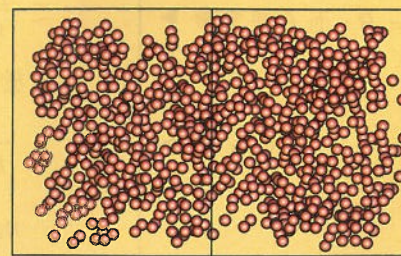
2 打彈珠 ($n = 2$)

1 打彈珠有 12 顆。

分子數目



12×10^{23} 個分子 ($N = 12 \times 10^{23}$)



2 摩爾分子 ($n = 2$)

1 摩爾分子有 $N_A = 6.02 \times 10^{23}$ 個。

i mole

摩爾 (mol) mole 阿佛加德羅數 Avogadro's number 普適氣體定律 general gas law
 普適氣體常數 universal gas constant

如果溫度低於沸點，氣體
會凝結為液體。

所以，普適氣體定律亦稱
為理想氣體定律。

壓強必須低得足以略去分子
間的作用力。事實上，
普適氣體定律適用於很多
處於室溫和大氣壓強的氣體，
例如 H_2 、 O_2 、 CO_2 、
 He 和 N_2 。

b 理想氣體

- 遵守普適氣體定律（或其他三條氣體定律）的氣體，稱為**理想氣體**。真實氣體並不完全遵守普適氣體定律，但在**低壓強**和**高溫**（遠高於沸點）下，真實氣體的表現會與理想氣體十分相近，這時，普適氣體定律可準確描述真實氣體的表現。

例題 6 熱氣球

熱氣球的體積固定為 400 m^3 （圖 a）。開始時，內裏空氣的溫度和壓強分別是 27°C 和 100 kPa ；隨着氣球不斷受熱，空氣分子的數目也不斷改變。（取 $R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ）



- (a) 受熱前，氣球內有多少摩爾的氣體分子？
(b) 受熱後，氣體的溫度升高至 120°C ，氣球也上升到壓強為 80 kPa 的高度。這時氣球內有多少摩爾的氣體分子？

題解

- (a) 根據普適氣體定律，

$$pV = nRT$$

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{100 \times 10^3 \times 400}{8.31 \times (27 + 273)} = 16\,040 \text{ mol} \approx 16\,000 \text{ mol}$$

氣球內有 $16\,000 \text{ mol}$ 的氣體分子。

- (b) 根據普適氣體定律，

$$R = \frac{p_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{p_2 V_2}{n_2 T_2}$$

由於 V 保持不變，

$$\frac{p_1}{n_1 T_1} = \frac{p_2}{n_2 T_2}$$

$$n_2 = \frac{p_2}{p_1} \times \frac{T_1}{T_2} \times n_1 = \frac{80}{100} \times \frac{27 + 273}{120 + 273} \times 16\,040 = 9800 \text{ mol}$$

氣球內有 9800 mol 的氣體分子。

複習 Q17 (p.188)

圖方

n changed

h ↑ ⇒ P ↓

Ideal gas

Real gas

$$\frac{pV}{nT} = R, \text{ 而 } R \text{ 是常數}$$

由於兩個容器的氣體分子數目相同，學生可能誤以為氣體不會從一個容器流到另一個容器。

例題 7 把氣體混合

容器 X 和 Y 經一條細管連接，細管上的開關已關上（圖 a）。兩個容器盛載了同一種理想氣體。 X 的體積是 Y 的三倍，而 Y 內的壓強是 X 的三倍。

假設在任何時候氣體的溫度都保持在 T 。

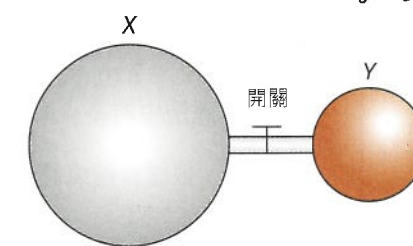


圖 a

- (a) 比較兩個容器內的氣體分子數目，並解釋你的答案。
(b) 開關打開後，氣體便開始流動。
(i) 描述氣體的流動方向。解釋你的答案。
(ii) X 內的壓強最終改變了多少？

題解

- (a) 設 p 為 X 內的壓強， V 為 Y 的體積。根據 $pV = nRT$ ，

$$R = \frac{p_X V_X}{n_X T_X} = \frac{p_Y V_Y}{n_Y T_Y}$$

由於兩個容器內的氣體溫度都是 T ，

$$\frac{(p)(3V)}{n_X} = \frac{(3p)(V)}{n_Y}$$

$$n_X = n_Y$$

因此，兩個容器內的分子數目相同。

- (b) (i) 由於 Y 內的壓強較高，氣體會由 Y 流動至 X 。
(ii) 開關打開後， X 和 Y 便形成單一的大容器，體積是 $4V$ ，盛有 $2n_X$ 個氣體分子。設 p' 為末壓強。考慮大容器（由 X 和 Y 組成）以及 X 。

$$\frac{p'(4V)}{2n_X T} = \frac{p(3V)}{n_X T}$$

$$\frac{4}{2} p' = 3p$$

$$p' = \frac{3}{2} p = 1.5p$$

∴ X 內的壓強增加了 50% 。

習題與思考 5.1 Q16 (p.168)

進度評估 5

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.148)

$$1 \text{ atm} = 100 \times 1000 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa}$$

- 61 密封的針筒內有 80 cm^3 氣體，溫度為 27°C ，壓強為 100 kPa 。如果迅速推進針筒活塞，使氣體的體積減少至 70 cm^3 ，溫度便上升至 33°C 。這時，氣體的壓強是多少？ **117 kPa**

提示： $\frac{pV}{T} = \text{常數}$ $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ $\frac{100 \times 80}{27+273} = \frac{p_2 \times 70}{33+273}$

- 62 一間 $5 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 2.2 \text{ m}$ 的睡房處於 25°C 和大氣壓強的環境下 (圖 a)。試估算睡房中有多少摩爾的空氣分子。取 $R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 。 **3110 mol**

提示：根據普適氣體定律， $n = \frac{pV}{RT}$

$$pV = nRT$$

$$10^5 \times (5 \times 7 \times 2.2) = n \times 8.31 \times (25 + 273)$$

$$n = 3110 \text{ mol}$$

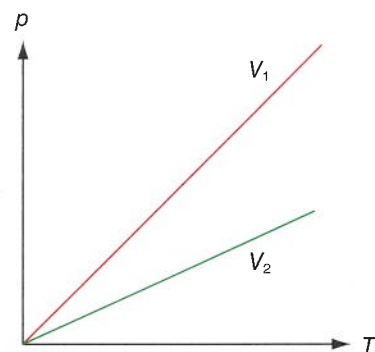


圖 a

6 氣體定律與線圖

氣體的體積保持在固定數值 V_1 時， p - T 線圖是一條穿過原點的直線。然而，如果氣體的體積保持在另一固定數值 V_2 ， p - T 線圖會與原來的線圖有甚麼不同之處呢？

要解答這條問題，要先把普適氣體定律寫成 $p = \frac{nR}{V} T$ 。由此可知， p - T 線圖的斜率是 $\frac{nR}{V}$ 。因此，如果 V_2 大於 V_1 ，直線的斜率便會減少 (圖 5.1m)。

圖 5.1m $V_1 < V_2$ 時的 p - T 線圖

如同類型問題涉及普適氣體定律中其他物理量，也可應用類似的方法解題。

例題 8 把氣體混合

圓柱形容器有一個可滑動的活塞，活塞上有一些砝碼。容器盛載了體積為 V 的理想氣體 (圖 a)。一個壓強感應器連接容器，以量度氣體的壓強 p 。氣體的溫度維持在 23°C 。圖 b 顯示 p 對 $\frac{1}{V}$ 的關係線圖。

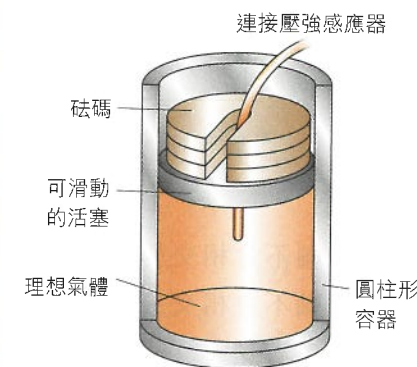


圖 a

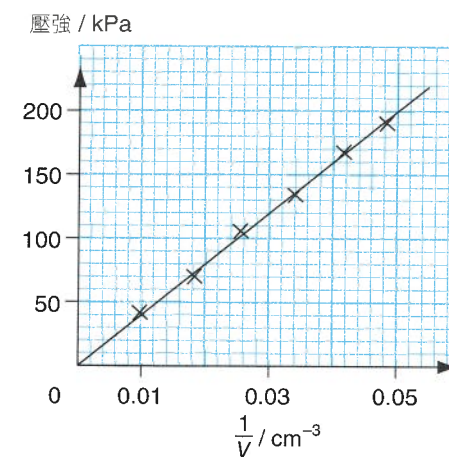


圖 b

- (a) 砝碼的數目可以自由增減。試舉出砝碼在上述裝置中的用處。
- (b) 求容器內氣體分子的摩爾數。
- (c) 假如把氣體的溫度提升至 23°C 以上，然後重複實驗，圖 b 的線圖會怎樣改變？簡單解釋你的答案。

題解

- (a) 砝碼用來改變 p 的大小。

- (b) 根據 $pV = nRT$ ， $p = nRT \frac{1}{V}$

線圖的斜率

$$= nRT = \frac{200 \times 10^3 - 0}{0.05 \times 10^{-6} - 0} = 4.00 \text{ N m}$$

氣體分子的摩爾數

$$= \frac{\text{斜率}}{RT}$$

$$= \frac{4.00}{8.31 \times (23 + 273)}$$

$$= 1.63 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

- (c) 根據題 (b)，斜率 $= nRT$ 。因此溫度增加時，斜率亦會增加。

$\therefore$ 線圖是一條穿過原點的直線，斜率較原來的線圖大。

▶ 進度評估 6 Q1 (p.166)

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

找出斜率的單位

$$\text{斜率的單位} = \frac{\text{壓強的單位}}{\text{體積的單位}}$$

$$= \text{壓強的單位} \times \text{體積的單位}$$

$$= \text{N m}^{-2} \times \text{m}^3$$

$$= \text{N m}$$

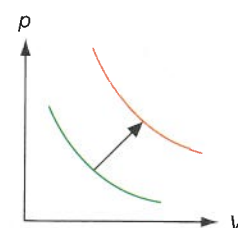
$$1 \text{ cm}^{-3} = 1 (\text{cm})^{-3}$$

$$= 1 (10^{-2} \text{ m})^{-3}$$

$$= 10^{-6} \text{ m}^{-3}$$

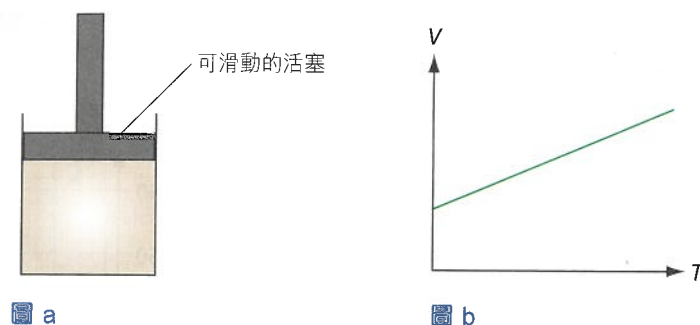
由於 T 依然是一個常數， $p \propto \frac{1}{V}$ ，所以線圖會穿過原點。

對應的 p - V 線圖會移向右上方。



預試訓練 1 斜率和截距 ☆ 香港中學文憑試 2012 年卷一甲部 Q3

圖 a 的容器有一個可滑動的活塞，容器內盛有理想氣體。圖 b 顯示氣體的壓強 p 保持不變時，氣體的體積 V 怎樣隨攝氏溫度 T 改變。如果圖線延長，會與溫度軸在 Y 點相交。



以下哪項有關線圖的敘述是正確的？

- 如果理想氣體分子的數目減少，圖線和溫度軸不會相交於 Y。
 - 如果以其他理想氣體重複實驗，圖線和溫度軸不會相交於 Y。
 - 如果 p 增至一個較高的固定值，線圖的斜率會減少。
- A 只有 (1) B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2) D 只有 (2) 和 (3)

題解

根據 $pV = nRT$, $V = \frac{nR}{p} T$, $V-T$ 線圖的斜率是 $\frac{nR}{p}$, 因此改變理想氣體分子的數目 n 只會影響斜率。所有理想氣體都會符合以上方程，因此在它們的 $V-T$ 線圖中，圖線與溫度軸的交點都相同。

∴ (1) 和 (2) 不正確。

線圖的斜率是 $\frac{nR}{p}$, 換句話說，壓強增加會令斜率減少。

∴ (3) 正確。

∴ 答案是 B。

常見錯誤

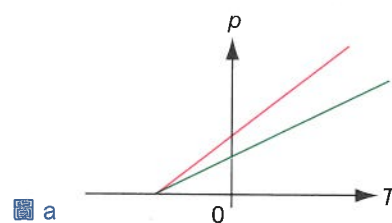
學生或誤以為圖線在溫度軸的截距會改變。事實上，對於所有理想氣體，溫度軸上的截距必然等於絕對零度。

▶ 複習 Q14 (p.187)

進度評估 6 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.148)。

7 1 學生研究理想氣體壓強與溫度之間的關係，圖 a 顯示他的研究結果。

- 圖中的直線並不穿過原點。試估算圖線在溫度軸上的截距。 -273°C
- 寫出斜率的表達式。 $\frac{nR}{V}$
- 學生增加理想氣體的分量，然後重複實驗。在圖 a 的 $p-T$ 線圖上草繪新的線圖。



習題與思考 5.1

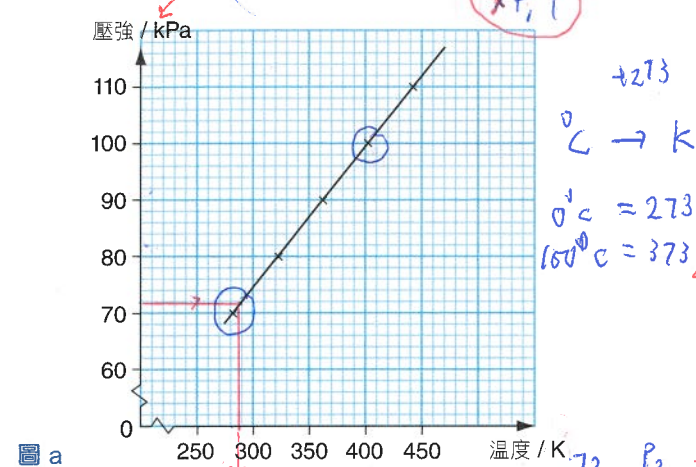
✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.148)。

取 $R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 。

3 1 下列哪項敘述是正確的？

- 絕對零度相等於 0°C 。 -273°C
 - 汽點與冰點的溫差是 100 K 。 $\Delta T = (373\text{K} - 273\text{K}) = 100\text{K}$
 - 汽點相等於 100 K 。 100°C
- A 只有 (1) B 只有 (2)
C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

(第 2 至 3 題) 學生用固定質量和體積的氣體來研究氣壓定律，並根據所得結果標繪了圖 a。



4 2 氣體的壓強是 72 kPa 時，溫度是多少？

- A 17°C B 72 K
C 290°C D 563°C

4 3 氣體的溫度是 600 K 時，壓強是多少？

- A 34.8 kPa B 110 kPa
C 150 kPa D 157 kPa

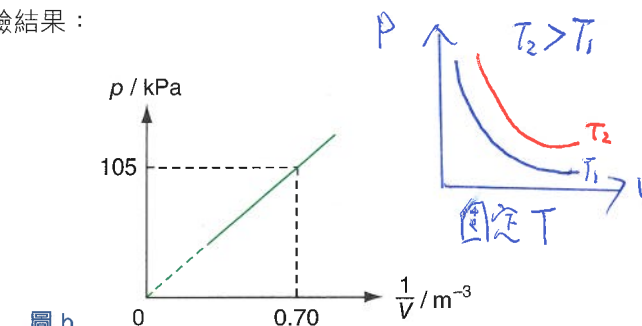
6 4 普適氣體定律可以寫成 $pV = nRT$ ，當中 n 的單位是甚麼？

- A 個 B mol
C mol^{-1} D 它沒有單位

★ 5 真實氣體在以下哪一個情況下，與理想氣體表現相似？

- | | 溫度 | 壓強 |
|---|----|----|
| A | 高 | 高 |
| B | 高 | 低 |
| C | 低 | 高 |
| D | 低 | 低 |

★ 6 學生以理想氣體研究波義耳定律，圖 b 是所得的實驗結果：

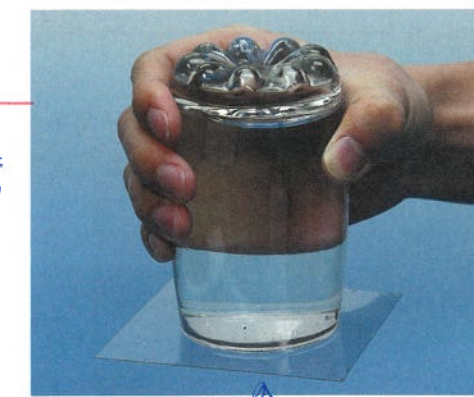


假設氣體的溫度一直保持在 20°C ，求氣體的摩爾數。

- A 29 mol
B 62 mol
C 295 mol
D 602 mol

7 密封的容器注入了溫度 20°C 、壓強 $0.9 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的氣體。如果在體積不變的情況下，把氣體的壓強增加至大氣壓強 (100 kPa)，氣體的溫度應該是多少？答案以攝氏度為單位。 52.6°C

8 用塑膠片蓋着盛滿水的杯後，即使把杯倒轉，水不會傾瀉出來 (圖 c)。試解釋這現象。



★ 9 壓力煲能把蒸汽困住，迅速烹調食物。假設煲內的溫度由 100°C 增加至 105°C 。

- 描述煲內的壓強怎樣改變。增加
- 壓力煲內的溫度過高或會發生危險。為甚麼？

★ 10 密封的金屬罐內的理想氣體處於 -100°C 和 50 kPa 。學生把罐加熱至 200°C ，罐受熱膨脹，體積因而增加 2% 。求罐內的最終壓強。 134 kPa

- ★ 11 棉花糖內有很多小孔。浩揚把一粒棉花糖放進鐘形罩內(圖 d)，並把裏面的空氣抽走。



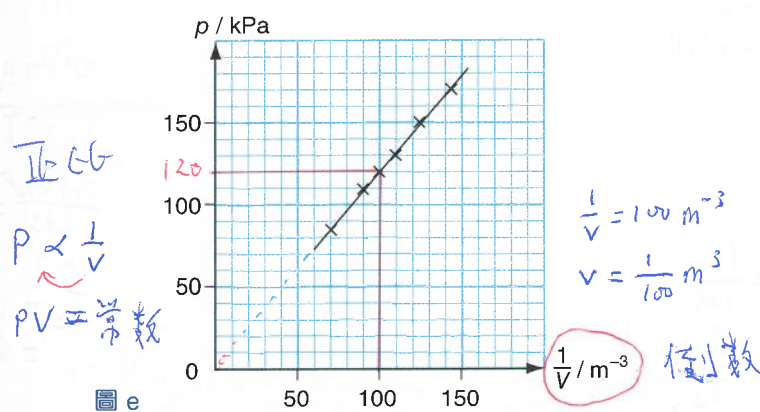
→ 錄像片段 5.5 示範膨脹的棉花糖。

錄像片段 5.5

(a) 棉花糖會有甚麼變化?

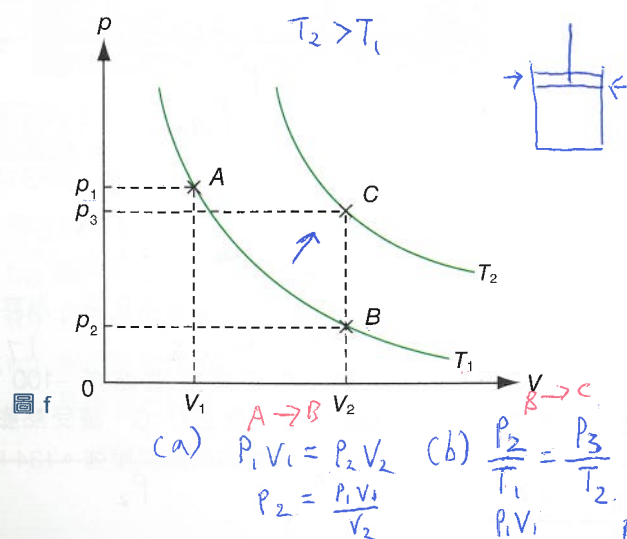
(b) 以波義耳定律解釋這個結果。 $PV = \text{常數}$
 $P \downarrow \Rightarrow V \uparrow$

- ★ 12 在一個研究波義耳定律的實驗中，氣體的質量和溫度都固定不變。圖 e 顯示氣體的壓強 p 怎樣隨體積 V 的倒數改變。



- (a) 氣體的壓強為 120 kPa 時，體積是多少? 0.01 m^3
(b) 利用圖 e 展示的資料，驗證波義耳定律。

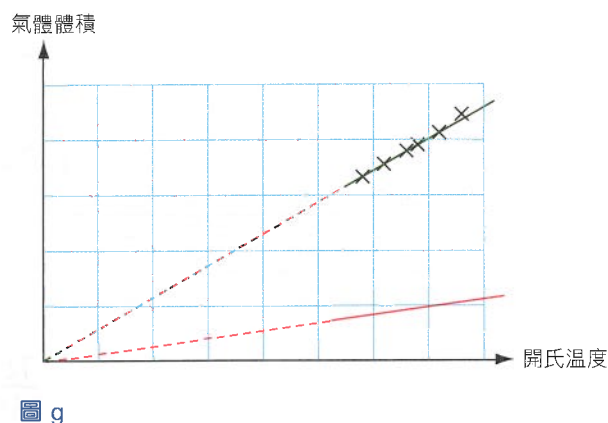
- ★ 13 學生做實驗研究一密封容器內的理想氣體。圖 f 顯示氣體的 p - V 線圖。



- (a) A 點顯示氣體初時的狀況：壓強為 p_1 ，體積為 V_1 。氣體在溫度不變的情況下膨脹至 B 點。利用波義耳定律，以 p_1 、 V_1 和 V_2 表示 p_2 。 $p_2 = \frac{V_1}{V_2} p_1$
(b) 然後，氣體受壓，從 B 點轉移 C 點，過程中體積保持不變。以 p_1 、 V_1 、 T_1 、 T_2 和 V_2 表示 p_3 。 $p_3 = \frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} p_1$
(c) 學生以相同的理想氣體做另一個實驗，這次氣體在 p - V 線圖中的 A 點直接轉移至 C 點。求氣體的最終壓強。 $\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} p_1$

- ★ 14 兩個容器 X 和 Y 盛有兩種不同的理想氣體。在大氣壓強下，X 的體積是 1.2 m^3 ，溫度是 20°C ；Y 的體積是 0.9 m^3 ，溫度是 25°C 。計算 X 的氣體分子數目 (N_X) 與 Y 的氣體分子數目 (N_Y) 之比。
 $1.36 : 1$

- ★ 15 學生驗證查理定律時，得出以下線圖(圖 g)。



假設學生以一半分量的氣體重複實驗，並把壓強增加至原來的兩倍，體積對溫度的關係線圖會怎樣？試草繪預期的線圖，並解釋你的答案。

- ★ 16 兩個相同的容器 X 和 Y 經細管連接，細管的體積十分小，可以略去不計。容器注入相同的理想氣體。一隻夾子封住細管，阻止氣體流通。開始時，X 有 1.5 mol 的氣體，Y 有 2.4 mol 的氣體，兩者的溫度相同。夾子鬆開後，氣體在兩個容器之間流通，直至兩者的壓強平衡。

- (a) 假設夾子鬆開之前，Y 內的壓強是 p_Y 。求當時 X 內的壓強。 $0.625 p_Y$
(b) 夾子鬆開後，兩個容器內的壓強是多少? $0.813 p_Y$
(c) 求 X 內壓強的百分改變。 30%

$$(c) \frac{A}{\frac{p_1 V_1}{T_1}} = \frac{C}{\frac{p_3 V_2}{T_2}} \Rightarrow \frac{p_2}{T_1} = \frac{p_3}{T_2} \Rightarrow \frac{p_1 V_1}{V_2 T_1} = \frac{p_3}{T_2} \Rightarrow p_3 = \frac{p_1 V_1}{V_2 T_1} \times T_2$$

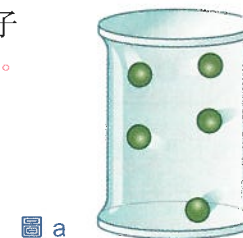
5.2

microscopic
氣體分子運動論

起點

氣體與氣體分子

氣體可視為數目龐大的分子羣(圖 a)。究竟分子運動和氣體的特性有甚麼關係呢? 參看第 177 頁。



✓ 本節重點

- 1 氣體分子的隨機運動
- 2 理想氣體的假定
- 3 壓強與分子運動
- 4 溫度與分子運動
- 5 以分子運動論解釋氣體定律

1 氣體分子的隨機運動

氣體定律能展示氣體發生甚麼變化，但卻不能說明發生變化的原因。要解釋箇中原因，科學家提出了氣體的分子運動論。根據這套理論，氣體分子在任何時間都作隨機運動。實驗 5d 以間接的方法演示氣體分子的隨機運動。

→ 錄像片段 5.6 示範實驗 5d。

錄像片段 5.6

在中一，你可能做過類似的實驗。

實驗 5d 觀察分子的隨機運動

如圖 a 所示，把煙霧盒放在顯微鏡上，然後在盒中注入少許煙霧。煙霧微粒會反射光線，在顯微鏡下呈現為明亮的光點(圖 b)。觀察煙霧微粒的運動。



圖 a

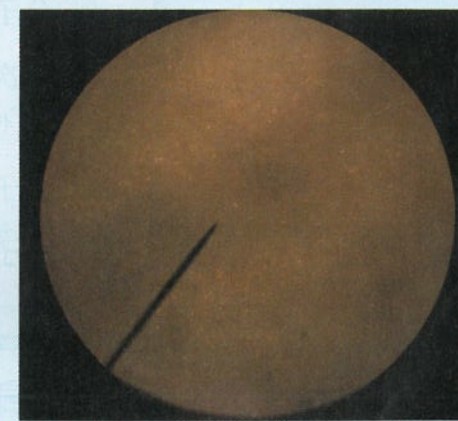


圖 b

討論

煙霧微粒怎樣運動? 為甚麼以這樣特別的方式運動?

煙霧微粒被無數隨機運動的空氣分子包圍，這些空氣分子從不同方向撞擊微粒，但撞擊的分佈並不均勻，令微粒不規則地運動。

模擬程式 5.4

→ 模擬程式 5.4 解釋煙霧微粒隨機運動的成因。

可指出這種運動稱為布朗運動。1827年，蘇格蘭植物學家布朗無意中發現花粉會以這種方式運動，他不知道成因，但這種獨特的運動方式卻以他的名字命名。直至1805年（差不多80年後），愛因斯坦才以分子運動論適切地解釋布朗運動的成因。從這個故事可以知道，科學的發展並非一帆風順，很多時候都波折重重。

煙霧微粒會不規則地運動（圖 5.2a）。科學家提出，煙霧微粒周圍有大量空氣分子，它們在隨機運動，而且會從四方八面撞擊煙霧微粒，但撞擊的次數並不相同（圖 5.2b），因此煙霧微粒會先向一個方向移動，然後又轉向另一個方向，構成不規則的運動。

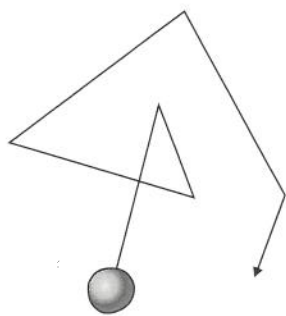


圖 5.2a 煙霧微粒不規則地運動

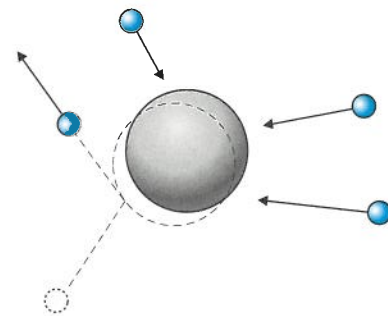


圖 5.2b 煙霧微粒受大量來自不同方向的空氣分子撞擊

2 理想氣體的假定

以下各項為理想氣體分子的假定，是建立分子運動論的基礎。

- ① 所有分子完全相同，並具有相同的質量。
- ② 所有分子不斷隨機運動。
- ③ 容器內的分子數目十分龐大。
- ④ 分子的大小比它們之間的距離小得多，可以略去不計。
- ⑤ 每次碰撞的撞擊時間比兩次碰撞之間的時距短得多，可以略去不計。
- ⑥ 分子與分子之間，以及分子與容器之間的碰撞都是彈性的。
- ⑦ 分子間的作用力可以略去不計。

在真實氣體中，未必所有分子都完全相同，而分子間的作用力也未必可以忽略。

真實氣體不會完全符合這些假定，但若處於 **高溫及低壓強**，則會表現得非常接近理想氣體。

前文提及，符合普適氣體定律的氣體（即同時符合波義耳定律、氣壓定律和查理定律），便是理想氣體，這是理想氣體的宏觀定義。在微觀角度，符合上述各項假定的，就是理想氣體。

3 壓強與分子運動

氣體壓強源自氣體分子撞擊容器壁時的作用力（圖 5.2c）。如果分子撞擊容器壁的頻率增加，或撞擊時造成更大的動量差，壓強就會增加。

對於理想氣體，不同物理量之間的關係是：

$$pV = \frac{1}{3} Nmc^2 \quad (*)$$

$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$

其中 p 是氣體作用在容器壁的壓強；

V 是容器的體積；

N 是氣體分子的數目；

m 是每個氣體分子的質量；

c 是氣體分子的速度。

方程中 c^2 是氣體分子速度的 **方均值**，定義是容器內全部氣體分子速度平方的平均值：

$$c^2 = \frac{c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_N^2}{N}$$

分子的速度各不相同。我們考慮各分子的平均值，而不是個別分子的速度。

其中 c_1 至 c_N 是容器內 N 個氣體分子的速度。

Nm 是氣體的質量。利用方程 (*), 可以找出氣體分子的平均距離，

即 $\sqrt[3]{\frac{V}{N}}$ 。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

物理量之間的互換 (I)

氣體的質量和分子數目可以用不同形式描述，每種方式所用的符號十分相近。

物理量	物理意義
n	氣體分子的摩爾數
N	氣體分子的數目
N_A	一摩爾氣體所含分子的數目 ($= 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)
m	每個氣體分子的質量
Nm	所有氣體分子的質量總和 = 氣體的質量
$N_A m$	一摩爾氣體分子的質量 = 氣體的摩爾質量

根據上表可得： $n = \frac{N}{N_A}$ 和 $n = \frac{Nm}{N_A m}$ 。

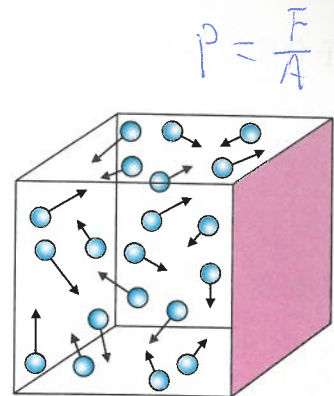


圖 5.2c 氣體分子不斷撞擊容器內壁，產生壓強

速率 speed
速度 velocity

例題 9 方均速率與壓強

體積固定的密封容器內有一些理想氣體。如果加熱氣體，令分子的方均速率加倍，氣體的壓強會有甚麼轉變？

題解

氣體的體積、摩爾數，以及氣體分子的質量都不變，因此，根據

$$pV = \frac{Nmc^2}{3}, p \propto c^2。$$

$$\therefore \frac{p_2}{p_1} = \frac{c_2^2}{c_1^2} = 2$$

氣體的壓強會增至原來的 2 倍。

▶ 進度評估 7 Q1 (p.175)

例題 9 中，氣體壓強增至原來的 2 倍而體積不變。根據氣壓定律，氣體的溫度也應增加至原來的 2 倍，由此可知，溫度與速度的方均值成正比。

4 溫度與分子運動

a 從分子運動理解溫度

比較第 171 頁的方程 (*) 和普適氣體定律：

$$pV = \frac{1}{3}Nmc^2 \quad \text{和} \quad pV = nRT$$

$$\Rightarrow \frac{1}{3}Nmc^2 = nRT$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}Nmc^2 = \frac{3}{2}nRT$$

▶ 方程式左邊是所有氣體分子的總動能。

$$\text{以上方程可寫成：} \frac{\frac{1}{2}Nmc^2}{n} = \frac{3}{2}RT$$

$$\therefore \text{一摩爾氣體的總動能} = \frac{3}{2}RT$$

$$\text{每個氣體分子的平均動能是：} \frac{1}{2}mc^2 = \frac{3RT}{2} \left(\frac{n}{N} \right) = \frac{3RT}{2N_A}$$

$$KE_{\text{average}} = \frac{3RT}{2N_A}$$

根據定義：

$$\overline{c^2} = \frac{c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_N^2}{N}$$

$$\Rightarrow N \left(\frac{1}{2} \overline{mc^2} \right)$$

$$= \frac{1}{2}mc_1^2 + \dots + \frac{1}{2}mc_N^2$$

= 總動能

以 KE_{average} 代表每個氣體分子的平均動能。▶ $\therefore$

▶ 學生或會誤解方均速率，他們可能會以為答案是

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{c_2^2}{c_1^2} = \frac{2^2}{1} = 4$$

在上述方程中， T 必須以 K 為單位。換句話說，氣體的開氏溫度與分子的平均動能成正比：

$$T \text{ (以 K 為單位)} \propto KE_{\text{average}}$$

第 2 課提及，在 0 K 時，分子的動能降至最低值。

參看第 23 頁。▶ 所以，正如第 2 課提及，溫度顯示氣體分子的平均動能；溫度上升時，氣體分子便會獲得能量，並移動得較快。

根據第 170 頁的假定 ⑦，理想氣體並沒有分子勢能，因此總分子動能就是氣體的內能。

總能量

$$\therefore \text{氣體的內能} = \frac{3}{2}nRT$$

b 分子的方均根速率

同一氣體內的分子各有不同的速率（圖 5.2d），而速率的分佈取決於氣體的溫度。

「分佈」是指有多少氣體分子（縱軸）以各特定速率移動（橫軸）。曲線在某個速率愈高，代表有愈多分子以該速率移動。

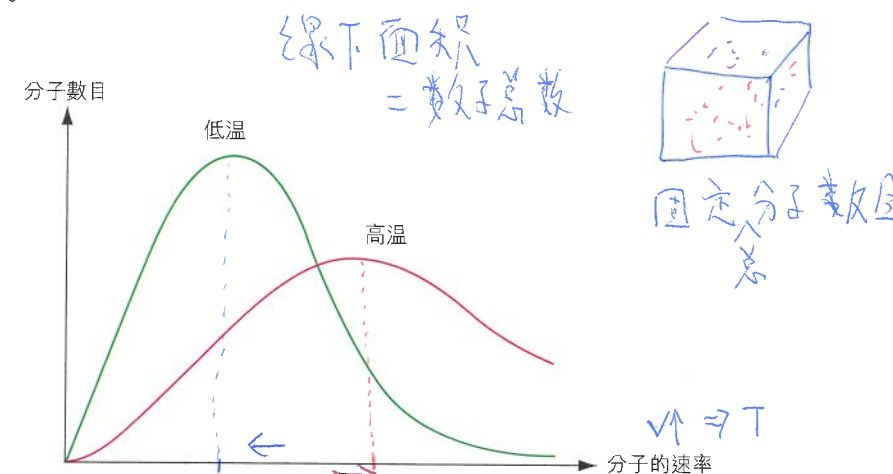


圖 5.2d 分子速率的分佈情況

考慮方程式 $pV = \frac{1}{3}Nmc^2$ 和 $\frac{1}{2}mc^2 = \frac{3RT}{2N_A}$ 。在這些方程式中， $\overline{c^2}$ 是所有分子的 c^2 的平均值。 $\overline{c^2}$ 的平方根稱為**方均根速率**，可看成是代表氣體內所有分子的速率，簡寫是 c_{rms} 。

$$c_{\text{rms}} = \sqrt{\overline{c^2}} = \sqrt{\frac{3pV}{Nm}} = \sqrt{\frac{3RT}{mN_A}}$$

留意 Nm 是氣體的總質量， mN_A 是 1 摩爾氣體的質量，即**摩爾質量**。

例題 10 罐內的氣體

一個密封罐子的體積是 350 cm^3 ，內裏裝滿了處於 120 kPa 和 20°C 的理想氣體 (圖 a)。取氣體的摩爾質量為 29.0 g mol^{-1} ， R 為 $8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 。

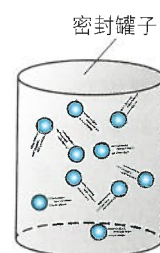


圖 a

- (a) (i) 求罐內有多少摩爾的氣體。
 (ii) 求氣體分子的方均根速率。
 (iii) 求每摩爾氣體的動能。
 (b) 現在，罐子放在冰水中，罐內的氣體冷卻至 0°C 。求氣體分子總動能的轉變。

題解

- (a) (i) 根據普適氣體定律，

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{120 \times 10^3 \times 350 \times 10^{-6}}{8.31 \times (273 + 20)} = 0.01725 \text{ mol} \approx 0.0172 \text{ mol}$$

罐內有 0.0172 mol 的氣體。

- (ii) 方均根速率

$$= \sqrt{\frac{3RT}{mN_A}} = \sqrt{\frac{3 \times 8.31 \times (20 + 273)}{29.0 \times 10^{-3}}} = 502 \text{ m s}^{-1}$$

- (iii) 每摩爾氣體的動能

$$= \frac{3}{2}RT = \frac{3}{2}(8.31)(20 + 273) = 3650 \text{ J mol}^{-1}$$

- (b) (i) 氣體的總動能 $= \frac{3}{2}nRT$

總動能的轉變

$$= \frac{3}{2} \times 0.01725 \times 8.31 \times [(20 + 273) - (0 + 273)] = 4.30 \text{ J}$$

▶ 複習 Q21 (p.188)

mN_A 是氣體的摩爾質量。

不同氣體的質量各有所不同，所以方均根速率 c_{rms} 也不同。例如在室溫下，氮氣和氧氣的 c_{rms} 分別是 1927 m s^{-1} 和 482 m s^{-1} 。

▶ 「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

物理量之間的互換 (II)

下表概括了不同物理量之間的轉換。

注意：摩爾質量的單位是 g mol^{-1} 或 kg mol^{-1} ，而每摩爾分子動能的單位是 J mol^{-1} 。

	質量	動能	
1 個分子	m	$\frac{3}{2} \frac{1}{N_A}(RT)$	$\times N_A$
1 mol 分子	$N_A m$	$\frac{3}{2}(RT)$	
所有分子	$Nm = nN_A m$	$\frac{3}{2}n(RT)$	$\times n$

進度評估 7

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.169)。

- 31 在體積為 40 cm^3 的容器內，氣體的壓強是 120 kPa ，氣體的總質量是 $6.5 \times 10^{-5} \text{ kg}$ 。求氣體分子的方均速率。 **2.22 × 10⁵ m² s⁻²**
- 42 容器內共有 0.5 mol 處於 25°C 的理想氣體。取 $R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 以及 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。求下列各項：
- (a) 氣體分子的總動能 **1860 J**
- (b) 每摩爾氣體的動能 **3710 J mol⁻¹**
- (c) 氣體分子的平均動能 **$6.17 \times 10^{-21} \text{ J}$**

5 以分子運動論解釋氣體定律

a 分子運動論模擬器

分子運動論模擬器可用來模擬氣體分子的運動，有助理解氣體定律。模擬器包括一個透明筒，筒內有大量滾珠，用來代表氣體分子 (圖 5.2e)。滾珠之上放置了一個聚苯乙烯活塞。透明筒底部有一個由電動機驅動的振動器，帶動滾珠振動。

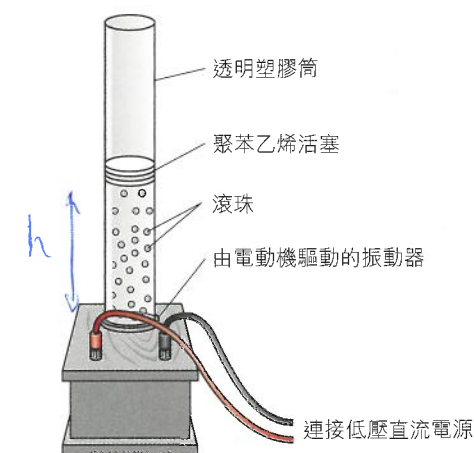


圖 5.2e 分子運動論模擬器

這個模擬器也可以用來展示三條氣體定律。表 5.2a 說明模擬器怎樣表示氣體的壓強、溫度和體積。

物理量	分子運動論模擬器
壓強	活塞的重量 (可放置更多的硬紙片來增加重量)
溫度	電動機的電壓
體積	活塞的高度

表 5.2a 分子運動論模擬器能表示的物理量

錄像片段 5.7

→ 錄像片段 5.7 示範實驗 5e。

實驗 5e 分子運動論模擬器

1 裝置分子運動論模擬器，研究以下變化會導致哪些結果：

保持不變	增加
(a) 電壓	活塞的重量
(b) 活塞的高度	電壓
(c) 活塞的重量	電壓
(d) 電壓和活塞的重量	滾珠數目

2 在筒內加入一個較大而顏色不同的聚苯乙烯小球（圖 a）。留意小球的運動。

討論

以上各步驟展示了甚麼？

參閱表 5.2b。

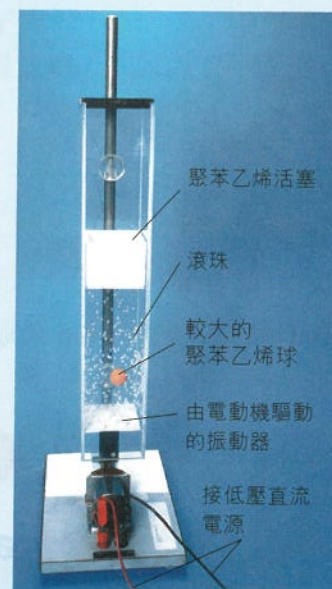


圖 a

實驗的步驟 1 展示了以下情況（表 5.2b）。

條件	結果	詮釋
電壓不變 活塞的重量 ↑	活塞的高度 ↓	溫度不變， 壓強 ↑ ⇒ 體積 ↓ 模擬波義耳定律
活塞的高度不變 電壓 ↑	活塞的重量 ↑	體積不變， 溫度 ↑ ⇒ 壓強 ↑ 模擬氣壓定律
活塞的重量不變 電壓 ↑	活塞的高度 ↑	壓強不變， 溫度 ↑ ⇒ 體積 ↑ 模擬查理定律
活塞的重量不變 電壓不變 滾珠的數目 ↑	活塞的高度 ↑	壓強和溫度不變， 滾珠數目 ↑ ⇒ 體積 ↑

表 5.2b 詮釋分子運動論模擬器實驗的結果

參閱實驗 5d（見 p.169）。► 實驗的步驟 2 顯示聚苯乙烯球顛簸地運動，這說明煙霧微粒的隨機運動由空氣分子撞擊而成。

b 利用分子運動論作定性解釋

這部分回應了起點中提出的問題。► 根據分子運動論，氣體由大量極微小的分子組成，每個分子質量相同，並不斷隨機運動（圖 5.2f），它們會互相碰撞，並撞擊容器內壁。

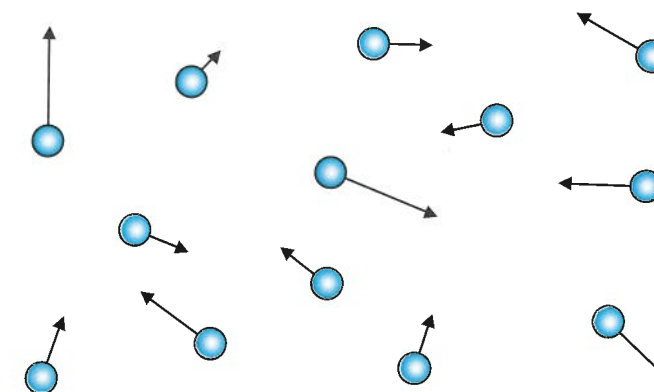


圖 5.2f 分子運動論：分子不斷隨機運動

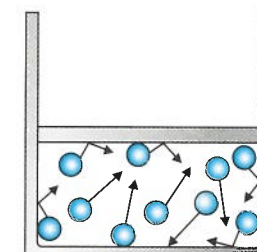
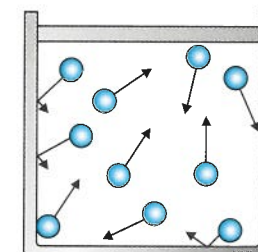
利用分子運動論，可以從定性的角度解釋氣體定律。

波義耳定律

分子愈頻密或愈猛烈地撞擊容器壁（即造成的動量差愈大），氣體作用在容器壁的壓強便愈大。► 氣體被壓縮時，分子的運動空間減少，於是撞擊容器內壁的頻率增加，因而產生較高的壓強（圖 5.2g）。（溫度不變時，氣體分子的平均速率保持不變。）

模擬程式 5.5

→ 模擬程式 5.5 以分子運動論解釋氣體定律，它以動畫的形式表達圖 5.2g 至 5.2j 的解釋。

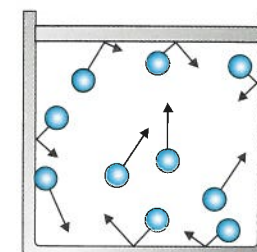
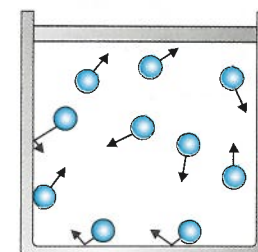


體積減少
⇒ 分子撞擊容器壁的頻率增加
⇒ 壓強增加

圖 5.2g 波義耳定律和分子運動

氣壓定律

溫度上升時，分子的運動會加快。由於容器的體積固定，分子撞擊容器內壁的頻率會增加。此外，因為分子的速率增加，所以每次撞擊都會造成更大的動量差。這兩個效應都會導致壓強增加（圖 5.2h）。



溫度升高
⇒ 分子運動加快
⇒ 壓強增加

圖 5.2h 氣壓定律和分子運動

查理定律

溫度上升時，分子的運動會加快，因此，撞擊的頻率增加，而每次撞擊造成的動量差也增加。如果壓強要維持不變，體積就必須增加，以降低撞擊的頻率。所以，在固定壓強下，溫度上升會使體積增加（圖 5.2i）。

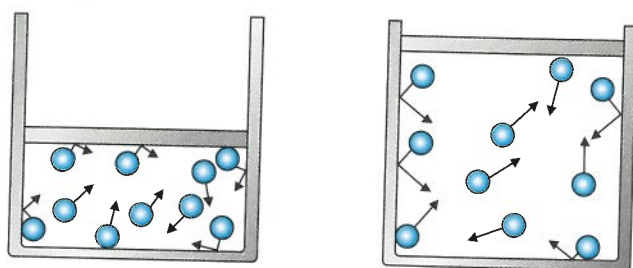


圖 5.2i 查理定律和分子運動

溫度上升
⇒ 分子運動加快
⇒ 體積必須增加，以保持壓強不變

體積與分子數目的關係

這情況與吹氣球相似，你能解釋吹氣球時的情況嗎？

▶ 隨著分子數目增加，撞擊的頻率會上升，於是體積必須增加，以維持壓強和溫度不變（圖 5.2j）。

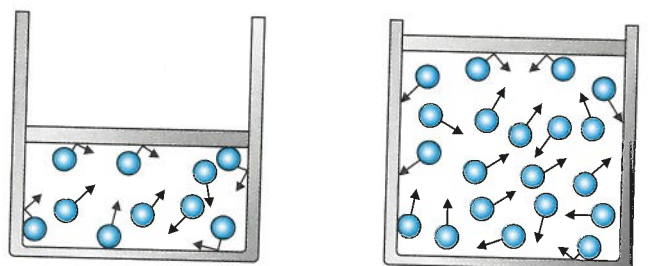


圖 5.2j 氣體的體積與分子數目

分子數目增加
⇒ 撞擊頻率增加
⇒ 增加體積，以保持壓強和溫度不變

生活中的物理

把雞蛋放進瓶子裏

大文接受挑戰，要把一枚已剝殼的熟雞蛋完整無缺地放進瓶子裏。然而，瓶口太小，瓶頸又長，雞蛋看似難以通過（圖 a）。



由於雞蛋有彈性而且表面光滑，大文嘗試把它直接塞進瓶子。但愈用力，就愈難把雞蛋塞進去。結果，雞蛋在瓶頸給壓壞了。

你能否以 (a) 氣體定律和 (b) 分子運動論，解釋難以把雞蛋直接塞進瓶子的原因？你能根據答案，給大文建議一個較佳的方法嗎？

小心危險！
切勿嘗試！

現實中曾發生類似的意外，詳情可參閱以下網站：

<http://www.chinatimes.com/realtimenews/20140907001176-260405>



例題 11 爆炸

乾冰（圖 a）在 -78.5°C 會從固態直接轉變為氣態。小詩把乾冰放進膠瓶後，扭緊瓶蓋，然後把膠瓶放在室溫的環境。一段時間後，膠瓶發生爆炸。試以

圖 a



- 普適氣體定律；
 - 分子運動論
- 解釋爆炸的原因。

題解

由於室溫遠高於 -78.5°C ，瓶內的乾冰直接從固態轉變為氣態。

- 瓶內的氣體分子的數目 (n) 和氣體的溫度 (T) 都不斷增加，但氣體的體積 (V) 卻保持不變。根據 $pV = nRT$ ，膠瓶內的壓強 p 會不斷增加，增至某程度時，膠瓶便發生爆炸。
- 由於氣體分子的數目和速率都不斷增加，分子與容器的碰撞變得愈來愈頻密和劇烈，膠瓶抵受不了分子的撞擊，因而爆炸。

▶ 複習 Q25 (p.189)

進度評估 8

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.169）。

- 51 把一個空杯倒轉並垂直推入水中後，水沒有湧入杯內填塞空間（圖 a）。下列哪一項是這現象的原因？

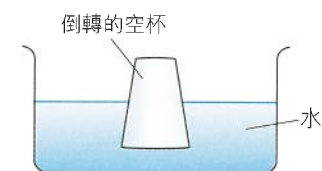
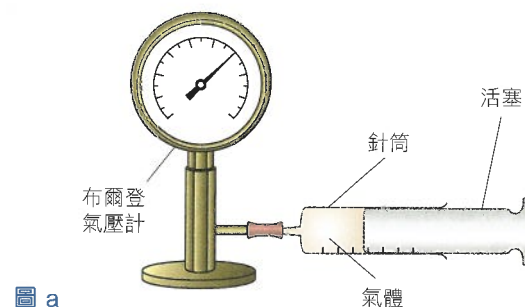


圖 a

- 空氣分子撞擊水的表面。
 - 水分子的質量太低。
 - 沒有外力把水推進杯內。
 - 大氣壓強較杯內空氣的壓強大。
- 52 在分子運動論模擬器中，以下各項分別代表甚麼？
- 滾珠 氣體分子
 - 聚苯乙烯活塞的重量 壓強
 - 模擬器的電壓 溫度
 - 活塞的高度 體積

預試訓練 2 普適氣體定律和分子運動論 ☆ 香港高級程度會考 2004 年卷二 Q5

振豪把固定質量的理想氣體注入針筒，並把針筒連接到布爾登氣壓計（圖 a）。設氣體的體積、溫度和壓強分別為 V 、 T 和 p 。



(a) 振豪按以下的步驟完成實驗：

步驟 1：把氣體由 T_1 加熱至 T_2 ，並讓活塞自由滑動。過程中，氣體的體積由 V_1 增加至 $2V_1$ 。

步驟 2：拉動活塞，使氣體的體積由 $2V_1$ 增加至 $3V_1$ 。過程中，氣體的溫度一直保持在 T_2 。

(i) 在步驟 1 中， p 怎樣改變？ (1 分)

(ii) 利用分子運動論，解釋 p 在步驟 2 中怎樣改變。 (2 分)

(iii) 草繪上述兩個步驟中 p 對 V 的關係線圖。 (2 分)

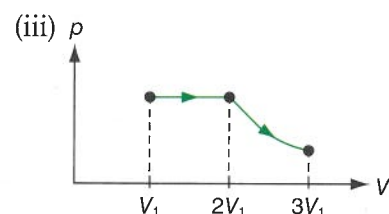
(b) 氣體壓強是 85 kPa 時，氣體的密度是 0.657 kg m^{-3} 。求氣體分子的方均根速率。 (3 分)

題解

(a) (i) p 保持不變。

(ii) 由於氣體的體積增加，氣體分子撞擊容器壁的頻率減少，

因此 p 會減少。



(步驟 1 中 p 不變)

(步驟 2 呈反比關係)

(b) 根據 $pV = \frac{1}{3}Nmc^2$,

$$p = \frac{1}{3} \frac{Nm}{V} \overline{c^2} = \frac{1}{3} \rho \overline{c^2}$$

$$\overline{c^2} = \frac{3p}{\rho} = \frac{3 \times (85 \times 10^3)}{0.657} = 3.88 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$$

$$c_{\text{rms}} = \sqrt{3.88 \times 10^5} = 623 \text{ m s}^{-1}$$

常見錯誤

學生或不知道活塞可以自由滑動時，氣體的壓強會保持不變（相等於大氣壓強）。

常見錯誤

學生或忽略了 T 不變這個條件（即方均根速率也不變），因而誤以為氣體分子碰撞容器的劇烈程度會減低。

密度 $\rho = \frac{\text{質量}}{\text{體積}} = \frac{Nm}{V}$ ，其中 m 是每個氣體分子的質量。

常見錯誤

學生或會混淆方均根速率和方均速率。

▶ 複習 Q26 (p.189)

科學本質 科學理論

理論是科學家創造的「假想模型」，用來解釋和預測某些現象。科學家認同分子運動論的原因，並非他們能看見氣體分子，而是這個理論能恰當解釋和預測氣體的特性。

過去曾經有另一套理論與分子運動論比拼：

物體發熱的原因是由於它的分子擁有動能。

(分子運動論)



伯努利 (18 世紀)

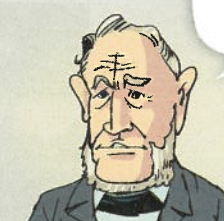
物體發熱的原因是由於它含有一種稱為熱質的物質。

(熱質論)



拉瓦節 (18 世紀)

嗯，兩套理論都與觀察結果相符，不應否定任何一套啊！



克勞修斯 (19 世紀)

科學家會尋找證據去支持或否定一套理論。如果觀察結果與理論相符，便會繼續應用這套理論，否則修改甚至捨棄它。

我找到了支持分子運動論的證據，但這些證據卻無法支持熱質論。



焦耳 (19 世紀)



麥克斯韋 波茲曼
(19 世紀)

即是說應捨棄熱質論。我們來把分子運動論修改一下，便能應用它來解釋更多的現象。

在科學探究過程中，科學家會修改或捨棄現有的理論，並提出更好的理論。新的理論能更恰當地解釋一些物理現象，並能作出更準確的預測。全憑科學家過往的堅持和努力，現今的人類才能對大自然有如此深入的認識和理解。

習題與思考 5.2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.169)。

取 $R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。

- 5 1 在分子運動論模擬器中，增加電壓可以模擬下列哪一種情況？

A 增加氣體的壓強
B 增加氣體的體積
C 增加氣體的溫度
D 增加氣體分子的數目

- 2 2 下列哪一項不是理想氣體的假定？

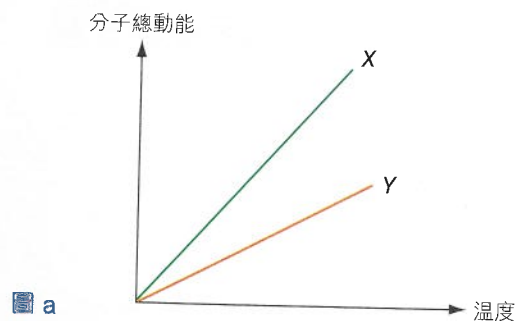
A 分子的運動是隨機的。
B 所有碰撞都是彈性的。
C 在同一溫度下，所有分子的速率都相同。
D 分子間的作用力可以忽略。

- ★ 3 根據分子運動論，下列哪項能增加理想氣體的壓強但保持溫度不變？

(1) 氣體分子的數目增加。
(2) 氣體的密度上升。
(3) 氣體的體積減少。

A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 4 理想氣體 X 和 Y 分別盛載於不同的容器內，圖 a 展示氣體分子的總動能怎樣隨溫度改變。下列哪一項是 X 的圖線斜率較大的原因？



A 盛載 X 的容器體積較大
B X 的分子數目較多
C X 的壓強較大
D X 的分子質量較大

- 4 5 氣體 X 的溫度是 100°C ，氣體分子的方均根速率是多少？已知氣體 X 每個分子的質量是 $3.34 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。2150 m s⁻¹

- 1 6 (a) 某氣體內有一顆煙霧微粒。描述煙霧微粒在氣體中的運動。
(b) 為甚麼煙霧微粒會以題 (a) 所述的方式運動？
(c) 把氣體冷卻後，煙霧微粒的運動會怎樣改變？

- 3, 4 7 密封的罐盛載一些空氣。志文把罐加熱。

(a) 罐內空氣分子的平均速率會怎樣改變？增加
(b) 利用分子運動論，解釋罐內空氣的壓強會怎樣改變。

- 5 8 子健把空氣泵進單車輪胎 (圖 b)。假設輪胎的體積保持不變。利用分子運動論，解釋為甚麼輪胎內的壓強增加。



圖 b

- 4 9 已知某理想氣體的摩爾質量是 $0.0337 \text{ kg mol}^{-1}$ 。求 25°C 時，氣體分子的方均根速率。470 m s⁻¹

- ★ 10 容器盛載 7.28×10^{24} 個理想氣體的分子。把氣體由 25°C 加熱至 80°C ，氣體分子的總動能增加了多少？8290 J

- ★ 11 某理想氣體的質量固定不變。在下列情況下，氣體分子的平均動能會有甚麼變化？

(a) 氣體體積增加至原來的 3 倍，壓強維持不變。3 倍
(b) 氣體體積和壓強都增加至原來的 3 倍。9 倍
(c) 氣體體積增加至原來的 3 倍，溫度維持不變。不變

- ★ 12 由分子運動論可得出以下方程式：

$$pV = \frac{1}{3} Nmc^2$$

(a) m 和 Nm 代表甚麼？
(b) 根據以上方程，推導每摩爾分子總動能的公式，答案以溫度 T 表示。

總結 5

詞彙

1 壓強 pressure	p.148	11 查理定律 Charles' law	p.159
2 帕斯卡 (Pa) pascal	p.148	12 摩爾 (mol) mole	p.161
3 大氣壓強 atmospheric pressure	p.149	13 阿佛加德羅數 Avogadro's number	p.161
4 布爾登氣壓計 Bourdon gauge	p.150	14 普適氣體定律 general gas law	p.161
5 波義耳定律 Boyle's law	p.153	15 普適氣體常數 universal gas constant	p.161
6 開氏溫標 Kelvin temperature scale	p.156	16 理想氣體 ideal gas	p.162
7 開 (K) kelvin	p.156	17 分子運動論 kinetic theory	p.169
8 絕對零度 absolute zero	p.156	18 動量 momentum	p.171
9 絕對溫標 absolute temperature scale	p.156	19 方均根速率 root-mean-square speed	p.173
10 氣壓定律 pressure law	p.157	20 摩爾質量 molar mass	p.173

課文摘要

5.1 氣體定律

- 1 作用於某個表面上的壓強是每單位面積的法向 (垂直) 力。

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

壓強的單位：帕斯卡 (Pa)

- 2 波義耳定律： $pV = \text{常數}$ 或 $p_1V_1 = p_2V_2$ (T 不變)

- 3 氣壓定律：

$$\frac{p}{T} = \text{常數} \text{ 或 } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (V \text{ 不變})$$

- 4 查理定律：

$$\frac{V}{T} = \text{常數} \text{ 或 } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (p \text{ 不變})$$

- 5 開氏溫度 T_K 和攝氏溫度 T_C 的關係可用以下算式表示： $T_K = T_C + 273$

- 6 延長體積—溫度關係線圖或壓強—溫度關係線圖，直至與溫度軸相交，可得到絕對零度的數值。絕對零度是 -273°C 或 0 K 。

- 7 普適氣體定律： $\frac{pV}{T} = \text{常數}$ 或 $pV = nRT$

其中 $R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

- 8 遵守普適氣體定律的氣體稱為理想氣體。在高溫和低壓強的環境下，真實氣體與理想氣體表現十分相似。

5.2 氣體分子運動論

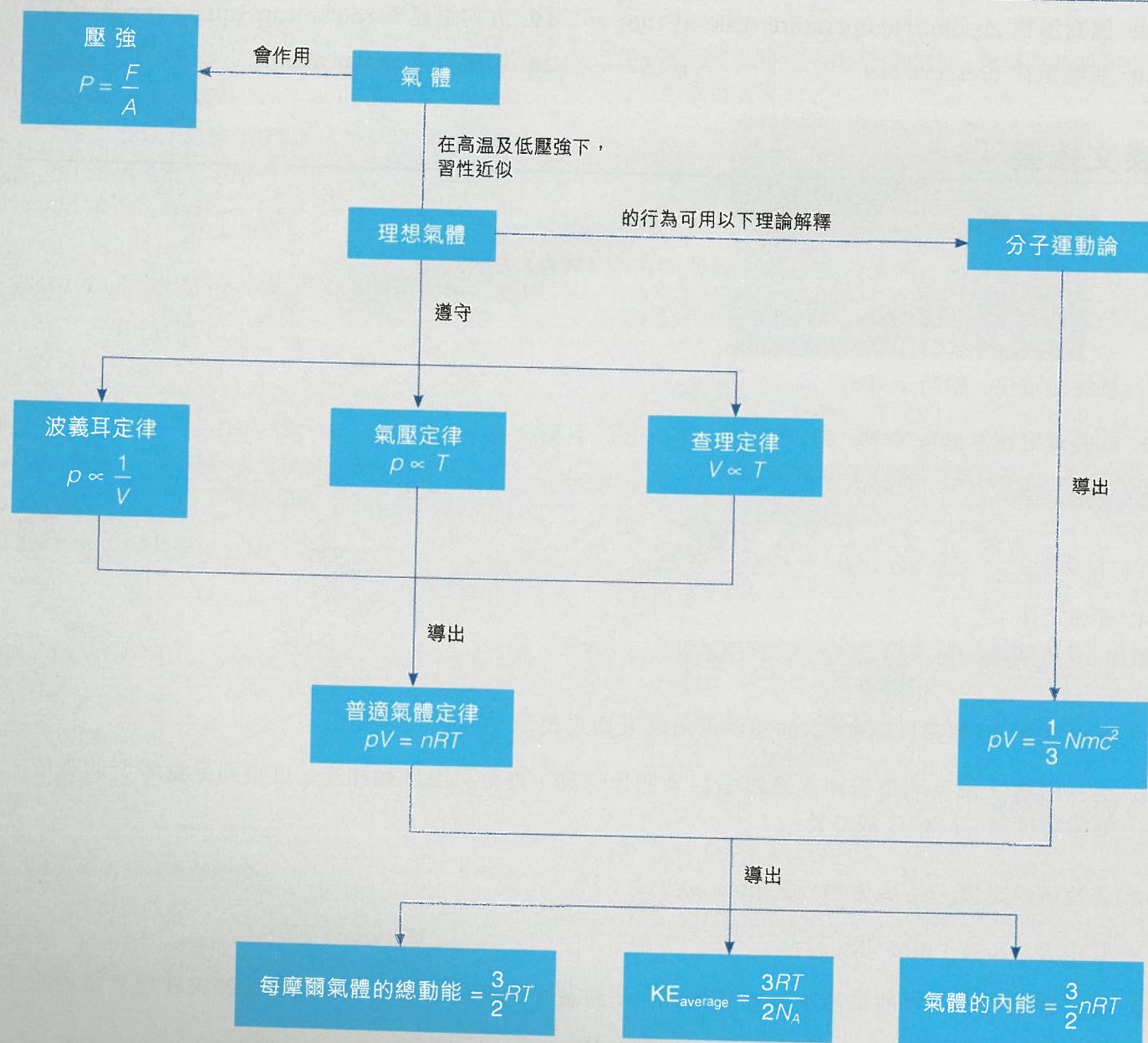
9 根據分子運動論：

- 氣體由大量極微小的分子組成，所有分子都不斷隨機運動。
- 氣體壓強由氣體分子對容器壁的作用力所造成。如果分子撞擊容器的頻率增加，或每次撞擊有更大的動量差，壓強就增加。
- 溫度顯示氣體分子的平均動能。

10 分子運動論對理想氣體作出了幾項假定（參看 p.170）。

11 氣體的分子運動造成的 p - V 關係是： $pV = \frac{1}{3}Nmc^2$ 。從這關係可找出氣體分子的總動能、每摩爾分子的動能和氣體分子的平均動能（參看 p.172-173）。理想氣體的內能等於氣體分子的總動能。

概念圖



複習 5

Q1 理想氣體的內能相等於氣體分子的總動能，即 $\frac{3}{2}nRT$ 。

Q2 假定提及分子除了會撞擊容器內壁，也會互相碰撞，且所有碰撞都是彈性的。

取 $R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ， $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。

概念重溫

(第 1 至 2 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

☆ 香港高級程度會考 2007 年卷一 Q4(a)

5.2.1 因為理想氣體的分子間沒有勢能，所以理想氣體的內能等於氣體分子的動能，即 $\frac{3RT}{2N_A}$ 。F

☆ 香港高級程度會考 2011 年卷二 Q41

5.2.2 分子運動論假定每個理想氣體分子只與容器內壁碰撞，而不會與其他氣體分子碰撞。F

多項選擇題

5.2.3 某氣體滿足方程 $pV = \frac{1}{3}Nmc^2$ 。下列哪項敘述是正確的？

- (1) 氣體有 $N \times N_A$ 摩爾的分子。
- (2) 氣體有 N_A 個分子。
- (3) 氣體的質量是 Nm 。

- (A) 只有 (3) B 只有 (1) 和 (2)
 (C) 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

☆ 香港高級程度會考 2005 年卷二 Q20

5.2.4 兩個相同的容器（圖 a）分別盛載氣體 X 和氣體 Y，兩種氣體的溫度都相同，並可假設為理想氣體。對於這兩種氣體，下列哪一個量必然相同？



圖 a

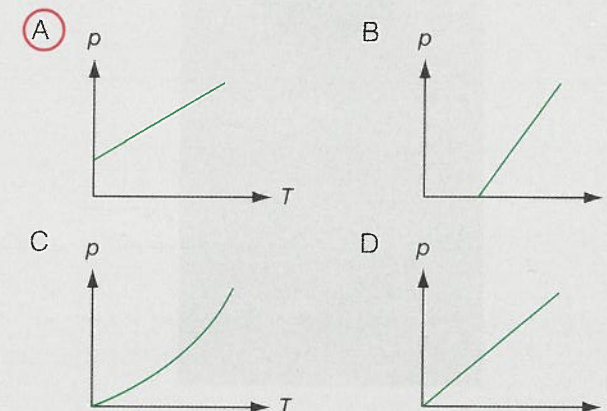
- 氣體分子的總動能
- 氣體分子的方均根速率
- 氣體分子的平均動能
- 氣體的總質量

☆ 香港高級程度會考 2002 年卷二 Q40

5.2.5 某固定質量的理想氣體在 20°C 時，分子的方均根速率是 u 。如果溫度上升至 80°C ，氣體分子的方均根速率會變成多少？

- A $4u$ B $2u$
 C $1.20u$ D $1.10u$

5.1.6 如果理想氣體的質量和體積都不變，而溫度 T 以 $^\circ\text{C}$ 為單位，以下哪一幅圖有可能是該理想氣體的 p - T 線圖？

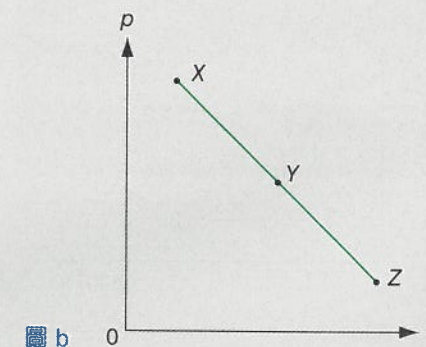


5.1.7 飛機在距離海平面 12 km 的高度飛行。當時機艙內空氣的壓強是 80 kPa。小芳在機艙把膠瓶內的水喝光後扭緊瓶蓋。飛機降落時，機艙內空氣的壓強慢慢增加至大氣壓強（100 kPa）。這時膠瓶會有甚麼變化？

- A 由於膠瓶內處於真空狀態，因此膠瓶會塌陷。
 (B) 由於膠瓶內的空氣壓強較大氣壓強低，因此膠瓶會塌陷。
 C 由於膠瓶內的空氣壓強較大氣壓強高，因此膠瓶會膨脹。
 D 瓶內外的壓強差會引致爆炸。

☆ 香港高級程度會考 2004 年卷二 Q37

5.1.8 質量固定的理想氣體體積為 V ，壓強為 p ，它從狀態 X 沿所示路徑變成狀態 Z（圖 b）。已知 $T_X = T_Z$ 。



以下哪一項必定正確？

- A $T_X > T_Y$
 (B) $T_Y > T_Z$
 C $T_X = T_Y$
 D 無法確定

- ★ 9 一個氦氣球擺放了幾天後，氦氣開始從氣球漏出 (圖 c)。



圖 c

有關氦氣球的敘述，下列哪項是正確的？

- (1) 氣球內氦氣的壓強小於氣球外空氣的壓強。
- (2) 氦氣沒有完全填滿氣球內的空間。
- (3) 如果氣球外空氣的壓強減少，氣球的體積會增加。

- A 只有 (1)
 B 只有 (3)
 C 只有 (1) 和 (2)
 D 只有 (2) 和 (3)

- ★★ 10 膠袋載有理想氣體。圖 d 顯示氣體壓強對溫度的關係線圖。如果氣體從狀態 X 沿路徑 XY 變成狀態 Y，體積會怎樣改變？

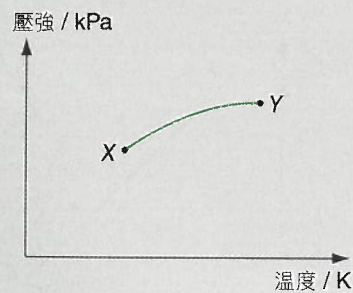


圖 d

- A 增加
 B 減少
 C 不變
 D 無法確定

▶ 參看 p.164-166

- ★★ 11 圖 e 顯示的兩個容器都是由傳熱效能良好的物料製成。其中一個容器盛有理想氣體 X，另一個則盛有理想氣體 Y。經過一段長時間後，下列哪項敘述必定正確？

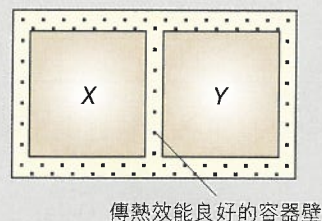


圖 e

- (1) 如果氣體的總質量相同，方均根速率便會相同。
- (2) 如果氣體的摩爾質量相同，方均根速率便會相同。
- (3) 氣體分子的平均動能會相同。

- A 只有 (1)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D 只有 (2) 和 (3)

▶ 參看 p.172-173

5.2 12 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一甲部 Q5

一個配有無摩擦活塞的柱形容器載着固定質量的理想氣體，如圖 f 所示。若氣體在定壓下冷卻，

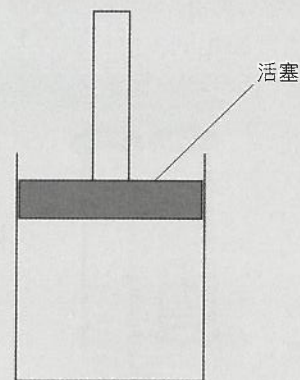


圖 f

- (1) 氣體分子的平均間距會減少。
- (2) 氣體分子的方均根速率會減少。
- (3) 每秒鐘氣體分子碰撞活塞的次數會減少。

- A 只有 (1) 和 (2) (29%)
 B 只有 (1) 和 (3) (5%)
 C 只有 (2) 和 (3) (33%)
 D (1)、(2) 和 (3) (33%)

5.2 13 香港高級程度會考 2012 年卷二 Q36

容器 X 和 Y 分別載有相同質量的一理想氣體。X 所載氣體的溫度較 Y 所載的高，而 X 內的氣體壓強跟 Y 的相等。以下哪些敘述正確？

- (1) X 所載氣體分子的平均間距較 Y 的大。
- (2) X 內每一個氣體分子的動能都較 Y 的大。
- (3) X 內的分子跟容器壁每單位面積的碰撞頻率跟 Y 的相等。

- A 只有 (1) (27%)
 B 只有 (2) (29%)
 C 只有 (1) 和 (3) (26%)
 D 只有 (2) 和 (3) (18%)

5.1 14 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q3

理想氣體載於固定體積的密閉容器內，圖 g 顯示氣體的壓強 p 與其攝氏溫度 θ 的變化。

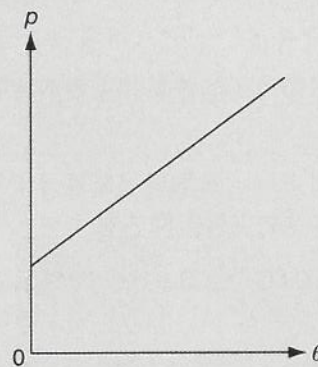
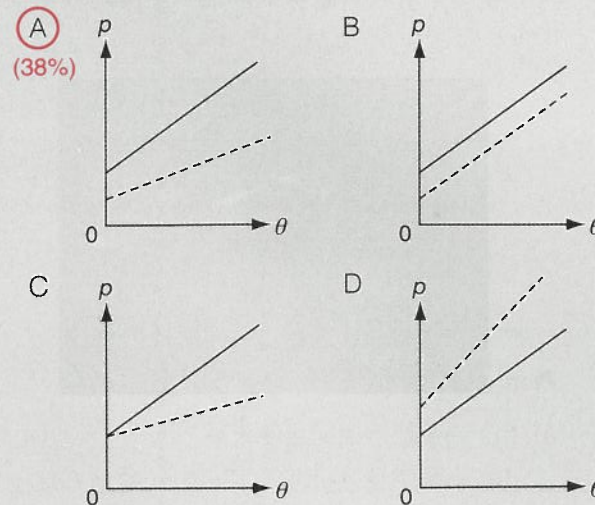


圖 g

如容器內的氣體分子數目減半，下列哪一個圖表的虛線最能顯示 p 與 θ 的關係？



5.1 15 香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q4

如圖 h 所示，體積 V 的容器 X 跟體積 $2V$ 的容器 Y 以短窄管相連。初時開關 S 閉合，而同一理想氣體載於 X 和 Y，壓強分別為 $2p$ 及 p 而溫度相同。稍後開啟 S，並最終達到平衡狀態而溫度保持不變。以下哪項敘述不正確？

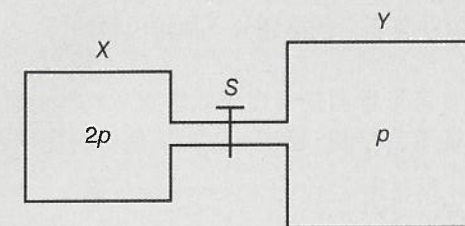


圖 h

- A 在 S 開啟之前，兩容器載有相同數目的氣體分子。
- B 在 S 開啟之前，兩容器內氣體分子的平均動能相同。
- C 當 S 開啟時，氣體由容器 X 淨流入容器 Y。
- D 當達到平衡時，氣體壓強為 $\frac{3}{2}p$ 。(48%)

問答題

- 5.1 16 大文正在表演「魔術」。他把長尺子放在桌子的邊緣，然後如圖 i 所示用一張大面積的報紙覆蓋尺子。



圖 i

然後，他請助手拍打尺子的 X 點，以移動報紙。出乎意料，報紙似乎很重，幾乎完全不動。

- (a) 解釋為甚麼報紙幾乎完全不動。(3 分)
- (b) 大文應做哪些預防措施，確保他的「魔術」成功？試建議兩項措施。(2 分)

★ 17 針筒內有 100 cm^3 的理想氣體，壓強為 100 kPa 。

5.1

(a) 已知氣體的溫度是 25°C 。計算針筒內有多少摩爾的氣體，以及有多少個氣體分子。(4 分)

$$4.04 \times 10^{-3} \text{ mol}, 2.43 \times 10^{21}$$

(b) 大文慢慢按壓針筒的活塞，以排出一些氣體。過程中，氣體的溫度和壓強都保持不變，而氣體體積以恆定的速率 $10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 不斷減少。求每秒有多少個氣體分子被排出針筒。(2 分)

$$2.43 \times 10^{19}$$

★ 18 一個立方容器盛有理想氣體 X 。 X 的一個分子 P 正以速率 v 移動(圖 j)。 X 的溫度保持在 T 。

5.2

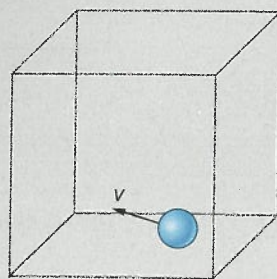


圖 j

(a) 子珊認為，氣體的方均根速率是 v 。她的想法正確嗎？解釋你的答案。不正確 (2 分)

(b) 現在， X 的溫度提升至一個高於 T 的值，子珊認為這時 P 的速率必定高於 v 。試評論她的說法。不正確 (2 分)

★ 19 學生利用鐘形罩、氣球和膜片製成一個肺部的模型(圖 k)。鐘形罩是密封的，因此鐘形罩內的氣體總量不變。Y 形管並非密封，空氣可以從 Y 形管流入或流出氣球。

5.1



圖 k

(a) 氣球內的氣壓是多少？大氣壓強 (1 分)

(b) 學生把膜片向下拉。氣球會有甚麼改變？解釋你的答案。(3 分)

(c) 如果鐘形罩內的溫度增加，氣球會有甚麼改變？解釋你的答案。(2 分)

★ 20 汽車輪胎內有體積是 0.02 m^3 ，壓強為 220 kPa 的理想氣體(圖 l)。志明打開輪胎排氣閥，讓輪胎內裏的氣體自然流出，過程中輪胎沒有被壓縮。

5.1



圖 l

(a) 如果輪胎最終的壓強相等於大氣壓強 (100 kPa)，有多少百分比的氣體會從輪胎流出？設輪胎的溫度和體積保持不變。(3 分)

$$54.5\%$$

(b) 輪胎內氣體的 (i) 方均根速率和 (ii) 內能會怎樣改變？解釋你的答案。(4 分)

☆ 香港高級程度會考 2003 年卷一 Q1(c)

★ 21 根據理想氣體的分子運動論，我們得出方程

5.2

$$pV = \frac{1}{3} Nmc^2$$

(a) 運用這方程，展示理想氣體分子的方均根速率、氣體分子的質量和氣體的絕對溫度之間的關係。(2 分)

(b) 運用這方程，展示理想氣體分子的總動能、摩爾數和絕對溫度之間的關係。(2 分)

(c) 求在 70°C 下， 3.5 mol 理想氣體的總動能。 $15\,000 \text{ J}$ (1 分)

(d) 真實氣體會在兩個條件下會與理想氣體很接近？(2 分)

★ 22 潛水員在水面以下 10 m 的地方(圖 m)，那處的壓強是正常大氣壓強的兩倍，溫度則較水面低 10% 。

綜合題



圖 m

(a) (i) 為甚麼水面的溫度較高？(4 分)

(ii) 一個氣泡從水面以下 10 m 的地方往上升至水面。氣泡的體積會增加多少？(2 分)

$$2.22 \text{ 倍}$$

(b) 據此，解釋潛水員從水底上升時，如果沒有適當地控制肺內的壓強會有甚麼危險。(2 分)

★ 23 在標準大氣壓強 (100 kPa) 及 27°C 的環境下，研究人員把 5 m^3 的氮氣注入氣象氣球內(圖 n)。

綜合題



圖 n

(a) 氣球內有多少摩爾的氣體？ 201 mol (2 分)

(b) 氣球上升至壓強為 80 kPa 、溫度只有 7°C 的高空。

(i) 氣球體積會變為多少？ 5.83 m^3 (1 分)

(ii) 求氣體的內能改變。 $50\,000 \text{ J}$ (2 分)

(iii) 氮氣分子的質量是 $6.64 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。求氮氣分子的方均根速率。 1320 m s^{-1} (2 分)

★ 24 女孩快要喝完一包紙包飲料(圖 o)。她用力吸吸餘下飲料時，紙盒塌陷變形(圖 p)。

綜合題



圖 o

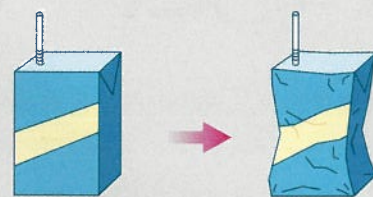


圖 p

(a) 判斷以下各項有沒有變化，並描述變化的情況。

(i) 紙盒中空氣分子的總數 減少

(ii) 紙盒中空氣分子的平均速率 不變 (2 分)

(b) 為甚麼紙盒會塌陷變形？(3 分)

(c) 在紙盒保持塌陷時，用膠紙將紙盒的開口密封。試舉出一個方法，使紙盒回復原來的形狀。扼要解釋答案。(3 分)

★★ 25 圖 q 顯示的針筒是密封的，並盛載着理想氣體。針筒活塞的重量可以略去不計，而且能沿着針筒上下自由滑動。針筒內氣體的初溫度等於室溫 (25°C)。

5.1

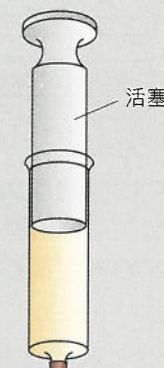


圖 q

(a) (i) 氣體的壓強是多少？大氣壓強 (1 分)

(ii) 容器內的氣體慢慢加熱至 80°C 。利用分子運動論，解釋活塞的位置會怎樣改變。(3 分)

(b) 把氣體溫度保持在 80°C 的情況下，把活塞拉動至較高的位置。根據分子運動論，解釋氣體的壓強和內能會怎樣改變。(4 分)

(c) 現在固定活塞的位置，並移走熱源。以分子運動論解釋氣體的壓強會怎樣改變。(2 分)

▶ 參看 p.177-178

☆ 略去原題 (b)(ii) 和 (c) 部。□ 考試報告見第 191 頁。

綜合題 26 香港高級程度會考 2004 年卷二 Q5

(a) 試藉氣體的一個分子模型解釋：

(i) 氣體施於容器的「壓強」(無需數學推導)，
(ii) 「內能」的意思。(4 分)

(b) (i) 列出理想氣體和真實氣體兩點不同之處。

(ii) 就某一溫度下的理想氣體，求氣體分子「方均根速率」與「分子質量」的關係式。據此計算在室溫下氫和氧的方均根速率之比。假定此兩氣體都具理想氣體習性。(已知：氧的相對原子質量為 16。)

$$4:1 \text{ (4 分)}$$

□ 考試報告見第 191 頁。

27 香港中學文憑考試 2014 年卷一乙部 Q2

綜合題

圖 r 顯示一個籃球以短膠喉接駁着氣泵。每一次把氣泵的活塞往內推，可將氣筒內 120 cm^3 處於大氣壓強和室溫下的空氣壓入籃球。

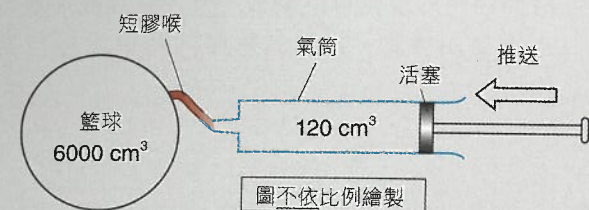


圖 r

初始時，籃球內空氣的體積為 6000 cm^3 ，且跟 100 kPa 的大氣壓強平衡。用於正式比賽的籃球其壓強需達 156 kPa 。在整個泵氣過程中，設籃球以及周圍環境的溫度保持在恆定的室溫。

每一次把活塞往內推，氣泵的活門（未有在圖 r 顯示）可容許氣筒內的空氣全部壓入籃球，並防止其於活塞往外拉時重返氣筒。

- (a) (i) 證明需把 3360 cm^3 原本處於大氣壓強的空氣壓入籃球，方能使其壓強適用於正式比賽。設籃球的體積 6000 cm^3 保持不變。 (3 分)

- (ii) 據此估算要令籃球達至所需的壓強，需最少把活塞往內推多少次？28 (1 分)

- (b) 根據理想氣體的分子運動論，解釋當空氣被壓入籃球時，球內的壓強為何增加。 (2 分)

實驗題

- ★ 28 詠詩正在研究理想氣體的 p - T 關係。她把理想氣體注入燒瓶後，把燒瓶密封，然後放進熱水裏（圖 s）。她量度氣體在不同溫度 T 的壓強 p 。

5.1

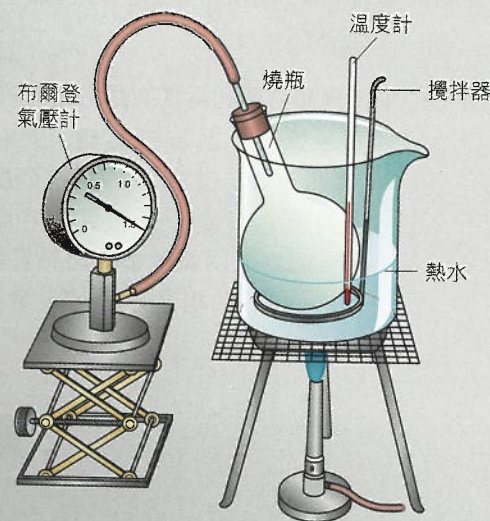


圖 s

- (a) 指出實驗裝置中的所有錯處。 (3 分)

- (b) 詠詩改正了題 (a) 指出的錯處後，得出表 a 的數據：

p / kPa	100	105	110	115	120
$T / ^\circ\text{C}$	20	35	50	65	80

表 a

- 標繪 p 對 T 的關係線圖。 (4 分)

- (c) 利用題 (b) 的線圖，求氣體在 320 K 時的壓強。109 kPa (1 分)

- ★★ 29 大偉以圖 t 的儀器研究查理定律。毛細管內的油滴困住了固定分量的理想氣體 X，而氣體浸沒在水中。

5.1

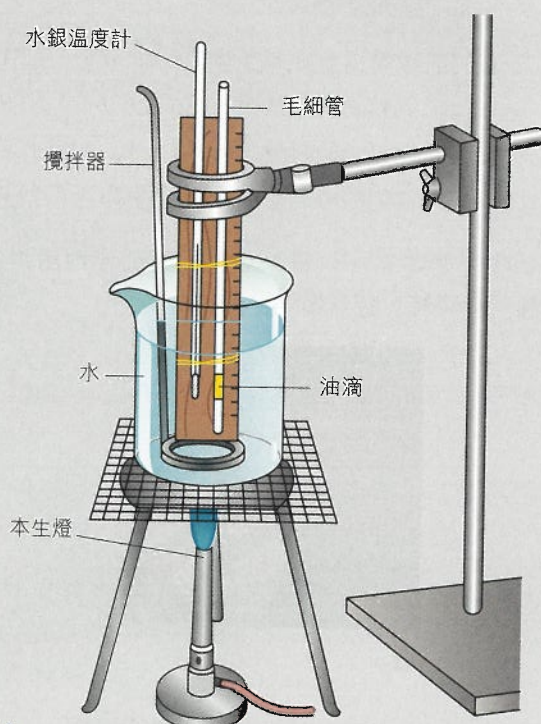


圖 t

- (a) 做這個實驗時，查理定律在甚麼條件下才會成立？ (1 分)

- (b) 如果油滴的重量可略去不計，氣體 X 的壓強是多少？大氣壓強 (1 分)

- (c) 如果不使用額外儀器，怎樣確保實驗過程滿足 (a) 項提出的條件？ (1 分)

- (d) 為甚麼要攪拌水？ (2 分)

- (e) 解釋以溫度計來攪拌水有甚麼潛在危險。 (1 分)

- (f) 某學生認為，加入對照裝置（同樣的實驗裝置，但移走本生燈），能提高實驗的準確度。試評論他的想法。不正確 (2 分)

▶ 參看 p.158-159

- ★★ 30 嘉倫做實驗以研究查理定律（圖 u）。

5.1

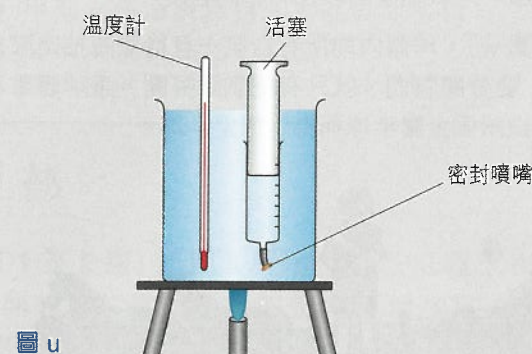


圖 u

- (a) 指出一項能提升實驗準確度的措施。 (1 分)

- (b) 解釋為甚麼不能直接用本生燈加熱針筒內的氣體。 (2 分)

- (c) 表 b 顯示氣體的體積 V 與溫度 T 的變化。

V / cm^3	40	42	44	46	48
$T / ^\circ\text{C}$	20	35	47	64	76

表 b

- (i) 以攝氏溫度為單位，標繪 V - T 的關係線圖。 (3 分)

- (ii) 根據 (c)(i) 的線圖，絕對零度是多少？假設氣體是理想氣體。-264 °C (2 分)

- (iii) 已知氣體在實驗中保持在 100 kPa 。求氣體有多少摩爾的分子。 (3 分)

 $1.68 \times 10^{-3}\text{ mol}$

▶ 參看 p.158-159

□ Q26 考試報告：(a)(i) 部答得較好，但能合乎邏輯，有效地表達出所有要點的考生不多。在 (a)(ii) 部，較差的考生不會清楚指出氣體內能是分子動能和勢能的總和。他們也不會區別「氣體所佔體積」和「氣體分子本身的體積」。在 (b)(ii) 部，很多考生用摩爾質量而不是用題目所要求的分子質量來表達方均根速率。有些考生還將方均根速率和速率平方的平均值相混淆。

5.131 香港中學文憑考試 2013 年卷一乙部 Q2

在圖 v 顯示的均勻毛細管中，空氣柱被一小段水銀困住。實驗裝置在水槽中加熱，記錄空氣柱於不同溫度 θ 之下的長度 L 。

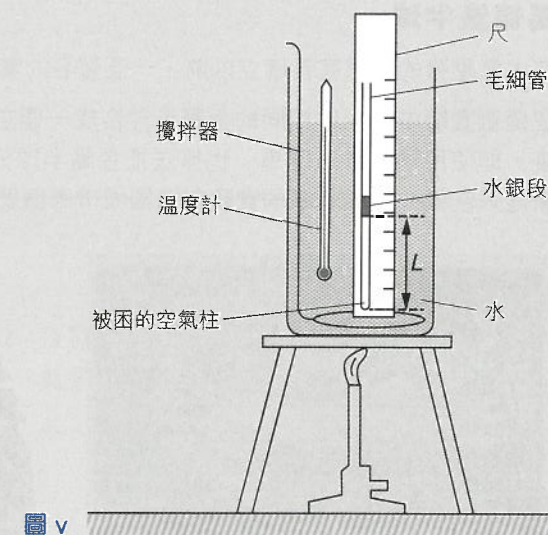


圖 v

部分結果表列如下：

溫度 $\theta / ^\circ\text{C}$	20		92
空氣柱的長度 L / mm	64		80

- (a) 描述在記錄每一讀數之前須進行的步驟，以確保被困的空氣跟水的溫度達至相同。 (2 分)

- (b) 假設長度 L 一直隨溫度 θ 線性地增加。

- (i) 當溫度計錄得 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 的溫度時，估算空氣柱的長度。74 mm (2 分)

- (ii) 以這個實驗所得的結果求「絕對零度」。-268 °C (2 分)

□ Q27 考試報告：這題是測試考生對氣體定律及分子運動論的知識和理解，考生整體的表現平平。在 (a) 部，很多考生並不完全明瞭籃球泵氣過程中壓強與體積的關係，有些考生雖然能聯繫籃球中壓強與氣體分子數目的關係，但未能推算出其與原本處於大氣壓強下所需的空氣體積的比例關係。在 (b) 部，極少考生利用分子運動論解釋籃球內壓強增加時能夠指出溫度與體積皆保持不變。

物理文章分析

- ★ 32 閱讀以下一篇有關馬德堡半球的文章，然後回答隨後的問題。

馬德堡半球

在大氣壓強的概念完善確立以前，一個著名的實驗已經可以顯示大氣壓強的存在和它的強度。

在這個實驗中，兩個相同的金屬半球合成一個空心的球體（圖 w）。球體內的所有空氣一旦從氣閥抽出來後，即使用兩隊各八匹馬，也無法把金屬半球分開（圖 x）。要分開它們，就只有把氣閥打開，讓球體重新注入空氣。這個著名的實驗在德國城市馬德堡進行，因此這兩個金屬半球稱為馬德堡半球。



圖 w

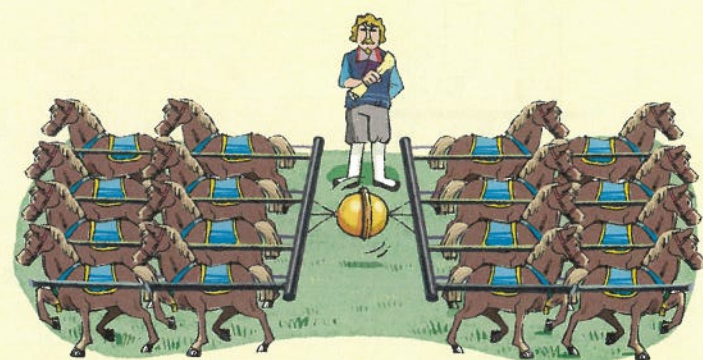


圖 x

- (a) 為甚麼把空氣抽走後，兩個金屬半球便難以分開？ (2分)
- (b) 假設實驗不是用兩個半球，而改用兩個圓柱形的「杯子」來做，每個杯子的直徑是 50 cm。在抽走空氣後，如圖 y 所示對每個杯子施加力 F 來把它們分開。計算 F 最小的值。 $1.96 \times 10^4 \text{ N}$ (2分)

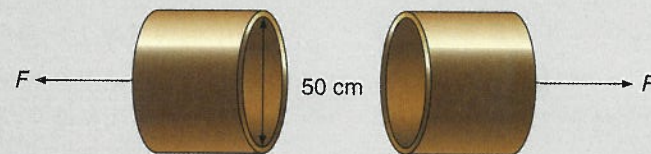


圖 y

自我評核 5

時間：15 分鐘 總分：10 分

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲 部

(第 1 至 2 題) 如圖 a 所示，理想氣體 Y 由狀態 M 開始，在體積不變的情況下增加壓強，然後在壓強不變的情況下膨脹至狀態 N。取大氣壓強為 10^5 Pa 。

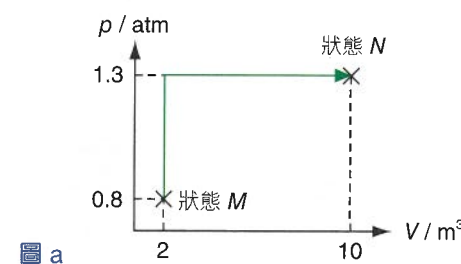


圖 a

- 1 求 Y 的內能改變。

綜合題

- A 0.24 MJ B 1.71 MJ
C 1.95 MJ D 2.19 MJ

B

5.2 2 在狀態 N，Y 的溫度是 60°C 。求 Y 有多少個氣體分子。

- A 2.61×10^{20} B 1.57×10^{22}
C 4.70×10^{23} D 2.83×10^{26}

D

5.2 3 四個完全相同的分子，速率分別是 3 m s^{-1} 、 4 m s^{-1} 、 8 m s^{-1} 和 10 m s^{-1} 。計算分子的方均根速率。

- A 2.5 m s^{-1} B 6.25 m s^{-1}
C 6.87 m s^{-1} D 47.25 m s^{-1}

C

5.2 4 容器內有溫度為 28°C 的理想氣體，氣體的摩爾質量是 18 g mol^{-1} 。求氣體的方均根速率。

- A 62 m s^{-1} B 196 m s^{-1}
C 204 m s^{-1} D 646 m s^{-1}

D

乙 部

5 圓柱形容器內有 20°C 、 100 kPa 的理想氣體，困在一個很輕的活塞之下。活塞的半徑是 5 cm，高度保持在 h (從容器底部開始量度)。

綜合題

- (a) 容器內有多少摩爾的氣體分子？答案以 h 表達。 (2分)

$0.323h \text{ mol}$

- (b) 開始時， $h = 20 \text{ cm}$ 。然後，一個 200 N 的砝碼置於活塞上，氣體因而被壓縮。

- (i) 容器內的壓強增加了多少？氣體的壓強是多少？ (3分)

25.5 kPa 、 125 kPa

- (ii) 氣體的溫度增加至 21°C 。求 h 最終的值。 (2分)

16.0 cm

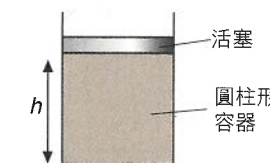


圖 b

推導 $pV = \frac{1}{3} Nmc^2$

這部分應用了假定①。
(參考在第170頁上列出的①-⑦項假定。)

這裏應用了假定②。

根據⑥，碰撞是彈性的。

a 一維空間的情況

考慮一個邊長度為 l 的立方容器，內裏盛載 N 個相同的分子，全部都在隨

機運動(圖 a)。設一個質量為 m 的分子以速度 v 垂直撞向容器壁 A，與容

器壁發生彈性碰撞，然後以相同速率反彈(圖 b)。

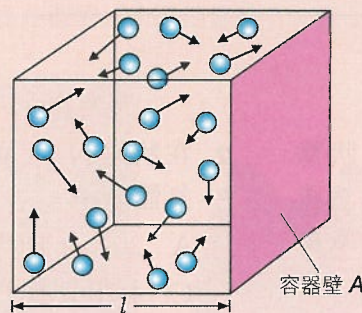


圖 a 邊長為 l 的立方容器，載有 N 個相同的分子，全都在隨機運動

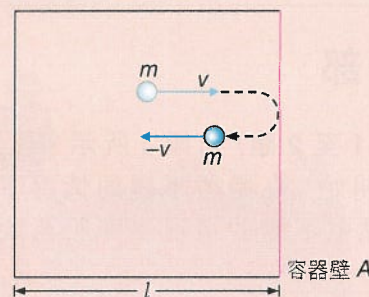
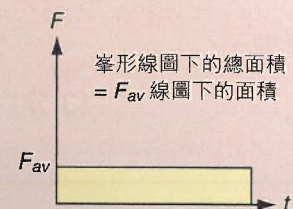
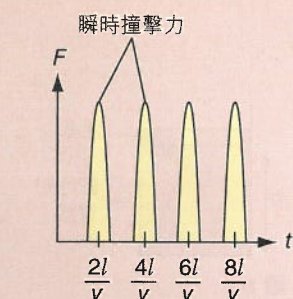


圖 b 初速度為 v 的分子，與容器壁 A 發生彈性碰撞後，以速度 $-v$ 反彈

根據④，分子來回一次所移動的距離是 $2l$ 。

根據⑤，分子與容器壁在兩次相連碰撞之間的時距是 $\frac{2l}{v}$ 。

F 指的是「平均力」。事實上，每次碰撞的瞬時撞擊力比平均力大得多。不過，由於容器壁不斷有大量的碰撞發生(根據③)，只有平均力才有意義。



兩幅線圖下方的面積相同。

分子的動量差 $= -mv - mv = -2mv$

∴ 容器壁由這次碰撞造成的動量差 $= +2mv$

分子來回移動了 $2l$ 的距離後，再次撞擊容器壁 A (圖 c)。所以，每隔 $\frac{2l}{v}$ 的

時距，容器壁便與分子碰撞一次，並承受 $+2mv$ 的動量轉變。於是，分子作用於容器壁的平均力 F 可用以下方程式表示：

$$F = \frac{\text{動量差}}{\text{相隔時距}} = \frac{2mv}{\frac{2l}{v}} = \frac{mv^2}{l}$$

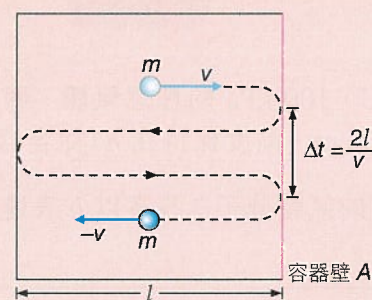


圖 c 分子移動了 $2l$ 的距離後，會再與容器壁 A 碰撞

分子作用於容器壁的壓強可寫成：

$$p = \frac{\text{力}}{\text{面積}} = \frac{\frac{mv^2}{l}}{l^2} = \frac{mv^2}{l^3} = \frac{mv^2}{V}$$

其中 V 是立方容器的體積。

b 普遍情況

然而，大多數分子都以斜角撞擊容器壁。因此，應把分子的速度分解成不同的分量來計算(圖 d)。

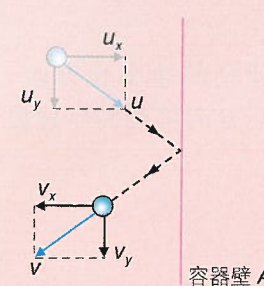


圖 d 分子以斜角撞擊容器壁，並發生彈性碰撞

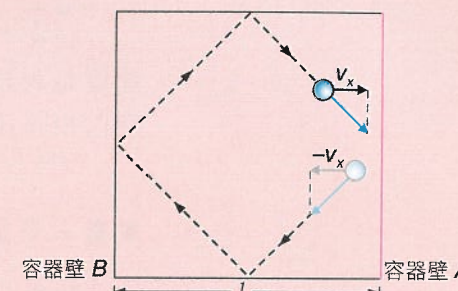


圖 e 分子以斜角撞擊容器壁的來回時間

考慮分子撞擊容器壁 A 和 B 時的情況。沿 y 軸方向的速度沒有轉變，動量差只會沿 x 軸的方向出現。因為發生的是彈性碰撞，因此：

這裏應用了假定⑥。

這裏應用了假定④。

這裏應用了假定⑤。

動量差 $= -mv_x - mv_x = -2mv_x$

同樣地，分子沿 x 軸來回移動了 $2l$ 的距離後，再次撞擊容器壁 A。所以，

每隔 $\frac{2l}{v_x}$ 的時距，容器壁便與分子碰撞一次(圖 e)。分子作用於容器壁的壓強可寫成：

$$p = \frac{mv_x^2}{V}$$

由於容器內有 N 個分子，作用在容器壁上的總壓強就是所有分子的總效應：

根據①，所有氣體分子的質量都是 m 。

$$p = \frac{m}{V} (v_{x1}^2 + v_{x2}^2 + \dots + v_{xN}^2) = \frac{m}{V} N \overline{v_x^2} \dots\dots\dots (1)$$

由於分子沿不同方向移動，不同分子的 v_x 可以相差很遠。

其中 $\overline{v_x^2} = \frac{v_{x1}^2 + v_{x2}^2 + \dots + v_{xN}^2}{N}$ 是所有分子 v_x^2 的平均值。

根據隨機運動的對稱性，速度沿 x 、 y 和 z 軸的分量平均值相等，即：

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} \dots\dots\dots (2)$$

根據②，分子的運動是隨機的，因此可以假設運動的對稱性。

利用畢氏定理可以證明：

$$c^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

此外，速度的方均值可寫成：

$$\overline{c^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2} \dots\dots\dots (3)$$

結合關係式(2)和(3)： $\overline{c^2} = 3\overline{v_x^2}$

將以上公式代入(1)： $p = \frac{m}{V} N \left(\frac{\overline{c^2}}{3} \right)$

Nm 是氣體的總質量。

$$pV = \frac{1}{3} Nmc^2$$

因為 Nm 是氣體的總質量，而 V 是氣體的體積，所以這個等式可以改寫成

$$p = \frac{1}{3} \rho \overline{c^2}$$

其中 ρ 是氣體的密度。

有關運動的概念

速度 v 是每單位時間 t 內位移 s 的改變，即

$$v = \frac{s}{t}$$

速度是矢量，包含了運動的速率和方向。若物體以速度 v 向某方向移動，它以相同速率但向相反方向移動時，速度就變成 $-v$ 。

動量 = 質量 $\times$ 速度

上式也可寫成：

$$p = mv$$

動量是矢量，方向與速度相同。

根據動量守恆定律，若沒有外力作用在系統上，則系統的總動量守恆。以包含兩個物體的系統來說，

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

這表示所有物體的動量差總和是零，即

$$(m_1 v_1 - m_1 u_1) + (m_2 v_2 - m_2 u_2) = 0$$

碰撞中作用在物體上的力 = $\frac{\text{動量差}}{\text{撞擊時間}}$

$$\text{即 } F = \frac{mv - mu}{t}$$

若物體持續碰撞，作用在物體上的平均力 = $\frac{\text{每次碰撞的動量差}}{\text{每次碰撞相隔的時距}}$

動能 (KE) 是物體運動時所具有的能量。

$$\text{KE} = \frac{1}{2} mv^2$$

若整個系統的總動能在碰撞前後保持不變，這種碰撞稱為彈性碰撞。

第 2 冊會詳述以上概念。

速度 velocity 動量 momentum 動量守恆定律 law of conservation of momentum
力 force 動能 kinetic energy

答案

1 溫度與溫度計

進度評估 1 (p.6)

- 1 A 2 C

習題與思考 1.1 (p.6)

- 1 A
2 (a) 0°C 、 100°C
3 (II)、(IV)、(V)、(I)、(III)
4 (d) 不正確

進度評估 2 (p.13)

- 1 (a) 15 cm (b) 80°C

習題與思考 1.2 (p.14)

- 1 B 2 C 3 B
4 (a) 熱敏電阻器的電阻
5 52.9°C
7 (a) 80.3°C (b) 8.46 cm
8 (b) 15 cm (c) 80°C

複習 1

概念重溫 (p.16)

- 1 F 2 F

多項選擇題 (p.16)

- 3 B 4 D 5 A 6 C
7 C 8 C 9 D

問答題 (p.17)

- 10 39.7
11 (a) 12.9 cm (b) 24.8 cm
13 (a) 30°C (b) 13.0°C
14 (a) 39.7°C (b) $L = 0.126T + 3.8$
15 (a) 56°C (b) 4.2 cm
(c) 0.18 (d) $L = 0.18T + 6$
16 (b) 鋅
17 (a) 銅和金屬 X
(b) 金屬 X、電阻溫度計
18 (b) (i) 0.0013 cm^3 (ii) 16.6 cm
(c) 不正確
20 (a) 嬰兒奶瓶的顏色

2 熱與內能

進度評估 1 (p.24)

- 1 對 2 A 3 C

進度評估 2 (p.28)

- 1 D 2 A 3 B
4 $3.6 \times 10^6\text{ J}$ 5 1728 s

習題與思考 2.1 (p.28)

- 1 D 2 C 3 B 4 A
5 (a) 2.5 kW h (b) $9 \times 10^6\text{ J}$
6 1100 s
7 (a) 不正確 (b) 不正確

進度評估 3 (p.32)

- 1 B 2 A

進度評估 4 (p.38)

- 1 D
2 $2400\text{ J }^\circ\text{C}^{-1}$
3 105 kJ

進度評估 5 (p.44)

- 1 (a) 正確 (b) 不正確
(c) 正確
2 9.33°C

習題與思考 2.2 (p.45)

- 1 D 2 C 3 D 4 C
5 C 6 A 7 B
8 $2.64 \times 10^5\text{ J}$
9 銅
10 54.3°C
11 171 s
12 多士
13 $2580\text{ J kg}^{-1}^\circ\text{C}^{-1}$
14 78.8°C
15 $250\text{ J }^\circ\text{C}^{-1}$
16 $4580\text{ J kg}^{-1}^\circ\text{C}^{-1}$
17 (a) 693 s (b) 29.7°C
18 (b) $1450\text{ J }^\circ\text{C}^{-1}$
19 44.3°C

複習 2

概念重溫 (p.49)

- 1 F 2 F

多項選擇題 (p.49)

- 3 B 4 A 5 B 6 A
7 B 8 B 9 A 10 C
11 A 12 C 13 B 14 C
15 C 16 D 17 A 18 C

問答題 (p.51)

- 19 (a) 37 800 J (b) 126 W
(c) 80.6 °C
20 (a) 1680 W (b) 較高
21 (a) 25.8 °C
22 (a) 829 W (b) 663 J °C⁻¹
23 (a) (i) 135 000 – 1930T
(ii) 81 000 – 900T
(iii) 37 800T – 378 000
(b) 14.6 °C
24 (a) 18 900 J (b) 63 W
(c) 減少
25 (a) 3500 J kg⁻¹ °C⁻¹ (c) 344 s
26 (c) 正確
28 (a) 37 800 J
(b) (i) 37 800 J (ii) 808 °C
(iii) 843 °C

實驗題 (p.53)

- 29 (a) 1080 J kg⁻¹ °C⁻¹ (b) 19.7%
31 (b) (i) 2470 J kg⁻¹ °C⁻¹ (ii) 0.4 kJ

物理文章分析 (p.55)

- 32 (a) 582 J °C⁻¹ (b) 較大的容器

3 物態的改變

進度評估 1 (p.64)

- 1 D 2 D

進度評估 2 (p.67)

- 1 Z 2 Z
3 2.63×10^5 J 4 3.57×10^5 J kg⁻¹

進度評估 3 (p.74)

- 1 不正確 2 3.01×10^6 J
3 3010 s

進度評估 4 (p.77)

- 1 熔化：
(a) 不變 (b) 增加
(c) 增加 (d) 不變
加熱：
(a) 增加 (b) 不變
(c) 增加 (d) 增加
沸騰：
(a) 不變 (b) 增加
(c) 增加 (d) 不變

習題與思考 3.1 (p.77)

- 1 C 2 A 3 A 4 A
5 B
6 (a) 65 °C (b) 不正確
7 (a) 3.34×10^{13} J (b) 3.51×10^{13} J
8 440 s
9 0.157 kg、0.843 kg
10 (a) 3.16 °C (c) 大於
11 (a) 4040 J kg⁻¹ °C⁻¹ (b) 0.162 kg
12 (a) 2260 W
(b) 動能：不變、勢能：增加

13 冰塊

14 245 g

15 (a) 3.19×10^5 J kg⁻¹

	量度 L_v	量度 L_f	量度 c
a			
b			✓
c			✓
d		✓	
e		✓	
f	✓	✓	✓
g	✓	✓	✓
h			
i		✓	

進度評估 5 (p.84)

- 1 增加、減慢
2 B 3 C

進度評估 6 (p.85)

- 1 對 2 2.30×10^{13} kg

習題與思考 3.2 (p.86)

- 1 A 2 C 3 C
4 3.39×10^6 J
7 (a) 1.13×10^6 J (b) 314 W
8 (a) 4.52×10^5 J (b) 2.58 °C

複習 3

概念重溫 (p.89)

- 1 T 2 F

多項選擇題 (p.89)

- 3 B 4 A 5 A 6 B
7 A 8 A 9 D 10 B
11 A 12 B 13 C 14 C
15 B 16 D 17 B 18 B
19 A

問答題 (p.92)

- 20 (a) 熔點 (b) 室溫
21 (a) 7.05×10^5 J (b) 39.2 W
22 (a) 92 000 J
23 (a) 565 W (b) 81 400 J
24 (a) 4.71 °C (b) 正確
25 (a) 1.29×10^6 J
26 (a) 3.6×10^5 J kg⁻¹ (b) 600 J
27 (a) 蒸發/汽化
28 (a) (i) 193 s (ii) 139 s
30 (a) (ii) 是
31 (b) (i) Q (ii) R
(d) 27 °C
32 (a) 冰的熔點 (b) 40 100 J
33 (a) R
34 (a) 540 J °C⁻¹ (b) 0.902 kg
35 (a) 45 600 J (b) 76.0 °C
(c) 低於

實驗題 (p.96)

- 36 (b) 變小 (c) 不正確

物理文章分析 (p.97)

- 38 (c) 不能

4 熱的傳遞

進度評估 1 (p.106)

- 1 C 2 棒 B

3	固體 (金屬)	✓	
	固體 (非金屬)		✓
	液體		✓
	氣體		✓

進度評估 2 (p.108)

- 1 C 2 A

習題與思考 4.1 (p.109)

- 1 C 2 C 3 C

進度評估 3 (p.117)

- 2 (a) 向下 (b) 較短

習題與思考 4.2 (p.118)

- 1 A
7 (a) 穿上外套

進度評估 4 (p.124)

- 1 良好、溫暖 2 D

進度評估 5 (p.130)

- 1 A
2 (a) 金屬 (b) 黑色
(c) 傳導

習題與思考 4.3 (p.132)

- 1 D 2 B
3 (b) 用黑布遮蓋的冰塊
5 (a) 黑色燒瓶
6 透明膠外套
9 (b) 能

複習 4

概念重溫 (p.135)

- 1 F 2 F

多項選擇題 (p.135)

- 3 C 4 B 5 A 6 D
7 B 8 B 9 B 10 D

- 11 A 12 B 13 D 14 A
15 C 16 A 17 D

問答題 (p.138)

- 26 (b) 84 kJ
28 (a) 輻射
30 (a) (i) C (ii) A
31 (c) (i) 輻射 (ii) 傳導
(d) 銅 (e) 292 W
32 (b) 150 W
33 (a) 1.07×10^8 J (b) 6.61 小時

實驗題 (p.142)

- 36 (a) 20 °C

物理文章分析 (p.143)

- 38 (b) 銀色 (d) 陶瓷製的馬克杯
39 (d) 可以

5 氣體

進度評估 1 (p.151)

- 1 6880 N
2 (a) 布爾登氣壓計 (b) 1.0×10^5 N m⁻²

進度評估 2 (p.154)

- 1 (a) 是 (b) 是
(c) 不是
2 182 kPa
3 (a) 溫度不變
(b) 111 kPa

進度評估 3 (p.157)

- 1 A
2

人體溫度		310
水銀的熔點	-39	

3 900 K

進度評估 4 (p.160)

- 1 (a) 線性關係
2 1.3 m³

進度評估 5 (p.164)

- 1 117 kPa
2 3110 mol

進度評估 6 (p.166)

- 1 (a) -273 °C (b) $\frac{nR}{V}$

習題與思考 5.1 (p.167)

- 1 B 2 A 3 C 4 B
5 B 6 B
7 52.6 °C
9 (a) 增加
10 134 kPa
12 (a) 0.01 m³
13 (a) $\frac{V_1}{V_2} p_1$ (b) $\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} p_1$
(c) $\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} p_1$
14 1.36 : 1
16 (a) 0.625 p_Y (b) 0.813 p_Y
(c) 30%

進度評估 7 (p.175)

- 1 2.22×10^5 m² s⁻²
2 (a) 1860 J (b) 3710 J mol⁻¹
(c) 6.17×10^{-21} J

進度評估 8 (p.179)

- 1 A
2 (a) 氣體分子 (b) 壓強
(c) 溫度 (d) 體積

習題與思考 5.2 (p.182)

- 1 C 2 C 3 D 4 B
5 2150 m s⁻¹
7 (a) 增加
9 470 m s⁻¹
10 8290 J
11 (a) 原本的 3 倍
(b) 原本的 9 倍
(c) 數值不變

複習 5

概念重溫 (p.185)

- 1 F 2 F

多項選擇題 (p.185)

- 3 A 4 C 5 D 6 A
7 B 8 B 9 B 10 A
11 D 12 A 13 A 14 A
15 D

問答題 (p.187)

- 17 (a) 4.04×10^{-3} mol · 2.43×10^{21}
(b) 2.43×10^{19}
18 (a) 不正確 (b) 不正確
19 (a) 大氣壓強
20 (a) 54.5%
21 (c) 15 000 J
22 (a) (ii) 2.22 倍
23 (a) 201 mol
(b) (i) 5.83 m³ (ii) 50 000 J
(iii) 1320 m s⁻¹
24 (a) (i) 減少 (ii) 不變
25 (a) (i) 大氣壓強
26 (b) (ii) 4 : 1
27 (a) (ii) 28

實驗題 (p.190)

- 28 (c) 109 kPa
29 (b) 大氣壓強
(f) 不正確
30 (c) (ii) -264 °C (iii) 1.68×10^{-3} mol
31 (b) (i) 74 mm (ii) -268 °C

物理文章分析 (p.192)

- 32 (b) 1.96×10^4 N

自我評核題解

自我評核 1

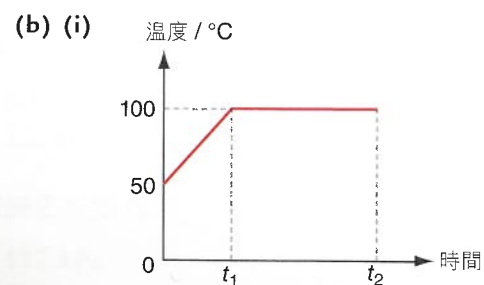
- 1 C
2 (a) X 的電阻在大範圍的溫度內作線性改變。 1A
(b) 200–300 °C 1A
(c) X 和 Y 都可以量度較高的溫度。 1A

自我評核 2

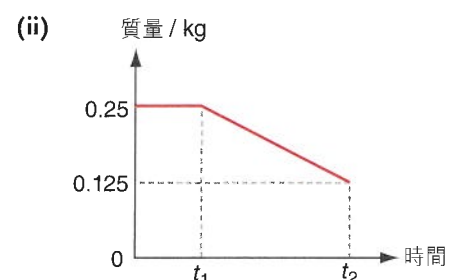
- 1 A 2 A
3 (a) 轉移至金屬塊的能量
 $= mc\Delta T$ 1M
 $= 3 \times 450 \times 5$
 $= 6750 \text{ J}$ 1A
 (b) 電熱器供應的能量
 $= 82\,681 - 75\,651$
 $= 7030 \text{ J}$ 1A
 (c) 能量散失的百分比
 $= \frac{7030 - 6750}{7030} \times 100\%$ 1M
 $= 3.98\%$ 1A
 (d) $t = \frac{Q}{P}$ 1M
 $= \frac{7030}{50}$
 $= 141 \text{ s}$

自我評核 3

- 1 A
2 (a) $Pt = mc\Delta T$ 1M
 $300 \times t_1 = 0.25 \times 4200 \times (100 - 50)$
 $t_1 = 175 \text{ s}$ 1A
 設 t 為一半分量的水汽化所需的時間。
 $Pt = ml_v$
 $300 \times t = 0.5 \times 0.25 \times 2.26 \times 10^6$
 $t = 942 \text{ s}$ 1M
 $t_2 = t_1 + t = 175 + 942 = 1117 \text{ s}$ 1A



(線圖的形狀正確) 1A
(標明兩軸及附有單位) 1A



(線圖的形狀正確) 1A
(標明兩軸及附有單位) 1A

自我評核 4

- 1 B 2 C
3 (a) 圖 a 中的混凝土能困住較多空氣， 1A
 可減少經傳導而散失或吸收能量。 1A
 (b) 兩個城市都適合。 1A
 因為無論在哪個城市，這種混凝土都能減少大廈和周圍環境之間的熱傳遞。 1A
 (c) 黑色表面是良好的輻射吸收體，亦是良好的輻射體。 1A
 室內溫度會隨着室外溫度而迅速改變。因此，屋內的日夜溫差亦會很大。 1A

自我評核 5

- 1 B 2 D 3 C 4 D
5 (a) $n = \frac{pV}{RT} = \frac{(100 \times 10^3)(\pi \times 0.05^2 \times h)}{8.31 \times (20 + 273)}$ 1M
 $= 0.323h \text{ mol}$ 1A
 (b) (i) $\Delta p = \frac{\text{重量}}{A}$
 $= \frac{200}{\pi \times 0.05^2}$ 1M
 $= 25.46 \text{ kPa} \approx 25.5 \text{ kPa}$ 1A
 氣體的壓強 $= 100 + 25.46$
 $= 125.46 \text{ kPa} \approx 125 \text{ kPa}$ 1A
 (ii) 根據 $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$,
 $\frac{p_1(Ah_1)}{T_1} = \frac{p_2(Ah_2)}{T_2}$,
 $h_2 = \frac{p_1}{p_2} \times \frac{T_2}{T_1} \times h_1$
 $= \frac{100 \times 10^3}{125.46 \times 10^3} \times \frac{21 + 273}{20 + 273} \times 0.2$ 1M
 $= 16.0 \text{ cm}$ 1A
 h 最終的值是 16.0 cm。

索引

三劃

千瓦小時 kilowatt-hour (kW h) 27
 千瓦時計 kilowatt-hour meter 27
 大氣壓強 atmospheric pressure 149

四劃

分子運動論 kinetic theory 169
 內能 internal energy 24
 比熱容量 specific heat capacity 33
 比潛熱 specific latent heat 64
 汽化比潛熱 of vaporization 68
 熔解比潛熱 of fusion 65
 方均根速率 root-mean-square speed 173
 方均值 mean square value 171

五劃

功 work 26
 功率 power 26
 瓦特 watt (W) 26
 瓦特 Watt, James 27
 加熱曲線 heating curve 60
 布爾登氣壓計 Bourdon gauge 150

六劃

冰點 ice point 4
 自由電子 free electron 107
 全球暖化 global warming 131

七劃

汽點 steam point 4
 汽化 vaporization 59
 冷卻劑 coolant 42
 冷卻曲線 cooling curve 61
 吸收體 absorber 120

八劃

定點 fixed point 3
 低定點 lower fixed point 4
 高定點 upper fixed point 4
 物態 state 22
 固態 solid 23
 沸點 boiling point 59
 沸騰 boiling 59
 帕斯卡 pascal (Pa) 148
 帕斯卡 Pascal, Blaise 149
 波義耳定律 Boyle's law 153
 阿佛加德羅數 Avogadro's number 161

九劃

度 degree 4
 紅外輻射 infra-red radiation 119
 保溫瓶 vacuum flask 124
 查理定律 Charles' law 159

十劃

馬力 horsepower 27
 校準 calibrate 8
 能量守恆定律 law of conservation of energy 39
 氣態 gas 23
 氣壓定律 pressure law 157
 真空煲 vacuum cooker 125

十一劃

動能 kinetic energy 23
 動量 momentum 171
 液態 liquid 23
 理想氣體 ideal gas 162
 理想氣體定律 ideal gas law 162

十二劃

溫度 temperature 3
 溫度計 thermometer 3
 水銀溫度計 mercury-in-glass 10
 玻璃液體溫度計 liquid-in-glass 7
 紅外輻射溫度計 infra-red radiation 11
 酒精溫度計 alcohol-in-glass 10
 液晶體溫度計 liquid crystal 11
 電阻溫度計 resistance 11
 熱敏電阻溫度計 thermistor 11
 轉動式溫度計 rotary 11
 體溫計 clinical 10
 溫標 temperature scale 3
 絕對溫標 absolute 156
 華氏溫標 Fahrenheit 5
 開氏溫標 Kelvin 156
 攝氏溫標 Celsius 4
 溫室 greenhouse 125
 絕對零度 absolute zero 24
 絕緣體 insulator 103
 焦耳 joule (J) 24
 焦耳 Joule, James 26
 焦耳計 joulemeter 27
 散熱器 radiator 42
 開 kelvin (K) 156