

能量

- | | | |
|------------|----------|-----|
| 5-1 | 能量的形式 | 141 |
| 5-2 | 微觀尺度下的能量 | 148 |
| 5-3 | 能量守恆 | 152 |
| 5-4 | 質能互換 | 159 |





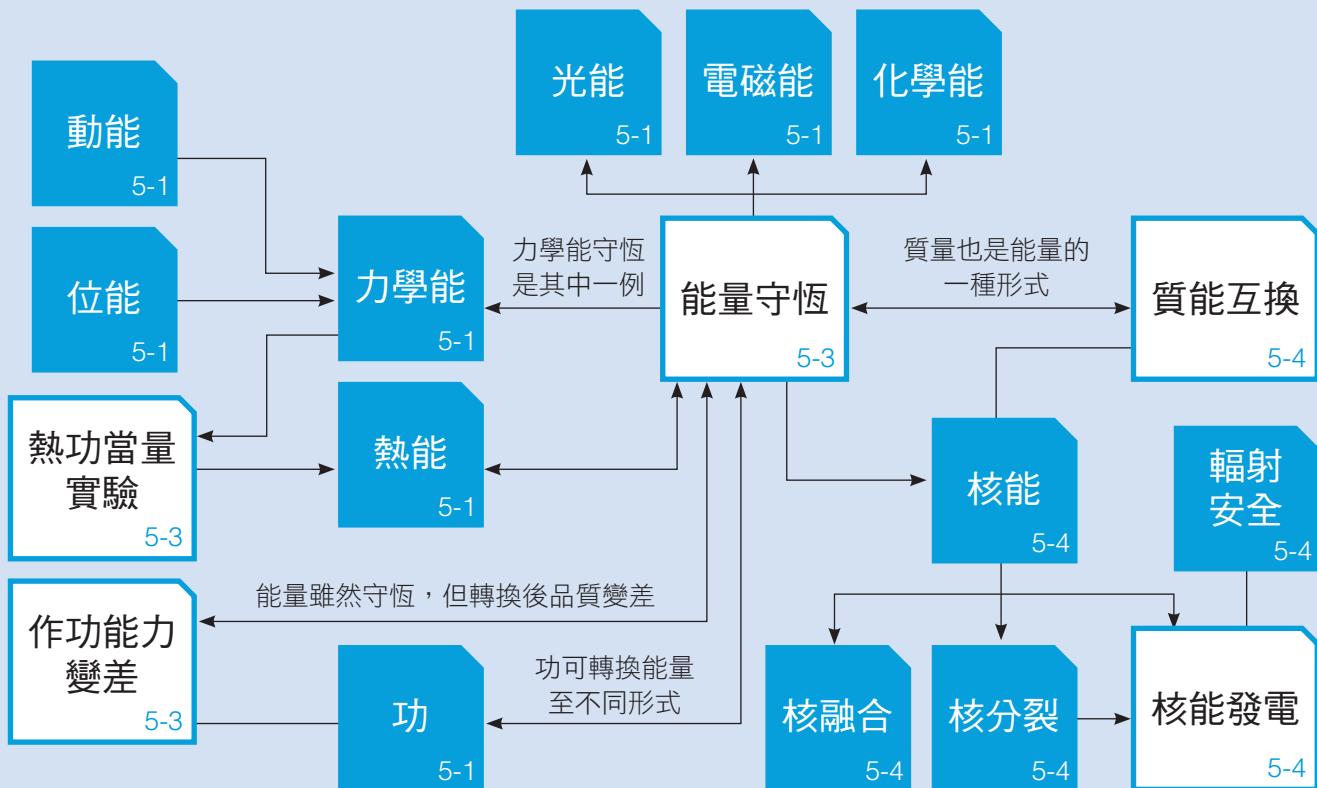
既然能量守恆，那怎會有能源危機呢？

能量在自然界以各式各樣的面貌出現，但無論如何轉換，總能量是恆定不變的，這是物理最重要的守恆定律之一。換個角度思考，既然能量是守恆的，那我們擔心的能源危機，是不是想太多了？

環顧地球上的萬物的運動與變化，其背後推動的能量，幾乎都來自同一個巨大的核電廠，不但安全而且還蓋得遠遠的。你猜對了嗎？答案就是太陽：藉由核融合釋放出巨大的光能，穿越浩瀚的空間抵達地球表面。陽光照耀在綠色的植物上，悄悄將光能轉為化學能，草食動物消化後，轉換成維持生命的能量。陽光同時也泛照在耀眼的海洋上，默默推動風與水的流轉，形塑地球各個區域的氣候，以及家門口陰晴不定的天氣。能量幻化成不同的面貌，串起自然學科的各種現象，卻堅定地告訴我們：「不會多一丁點，也不會少一丁點」。

那太陽是如何持續地給出如此巨大的能量呢？在熾熱的太陽裡，經由強核力與弱核力的作用，四個氫核融合成一個氦核，而核融合反應前後的質量差，轉換成能量。我們了解能量會藉由不同的面貌互相轉換，但令人訝異的是，質量與能量居然是一體的兩面： $E = (\Delta m)c^2$ 。好奇的讀者，可以在本章中了解核融合的物理過程，也會挖掘出能源危機背後的物理定律。

學 習 概念圖



5-1 能量的形式

一、功

在日常生活中，我們可以藉由施力，改變物體的運動狀態，也可以藉此改變其能量。為了定量描述能量的變化，必須先了解**功**（work）的定義：如圖 5-1 所示，外力 F 作用在物體上，使其在施力方向產生位移 d 時，外力對物體作功 W 為兩者的乘積，

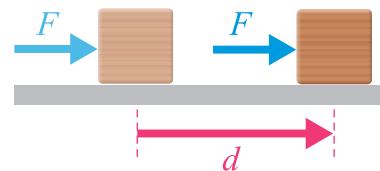
$$W = Fd$$

功的單位是牛頓 · 公尺 ($N \cdot m$)，也稱為焦耳 (J)。

對一物體作功，可以改變其能量，而能量的形式有很多種，我們先介紹最基本的力學能，然後再介紹其它形式的能量。 習題 1、2

► 圖 5-1 功的定義

功等於力與位移的乘積。



想一想

施力予物體一定會對物體作功嗎？



小百科

正功與負功

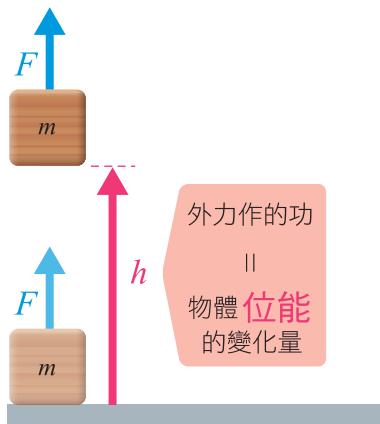
作功是純量，但有正功、負功、不作功之別。

功的正負	正功		不作功	負功	
力的方向	與位移同向	與位移夾銳角	與位移垂直	與位移反向	與位移夾鈍角
圖例					

功率

功率用來表示作功的效率，代表力在單位時間內所作的功，單位是焦耳 / 秒 (J/s)，也稱為瓦 (Watt)，符號為 W 。若 Δt 的時距內，力所作之功為 ΔW 時，則其平均功率為 $P = \Delta W/\Delta t$ ，換言之，在此時距內該力所作的總功 $\Delta W = P\Delta t$ 。

圖 5-2 外力作功轉換成位能



想一想

功與能的單位都是焦耳，你能說出兩者之間的關係嗎？

二、位能

若物體由於所處的位置不同，而具有不同的能量，這種形式的能量稱為**位能**（potential energy）。舉例來說，物體與地球間有重力，因此物體離地面的高度 h 越高，能量也越高。我們可以定義地面的重力位能為零，則高度為 h 處的重力位能 U 為

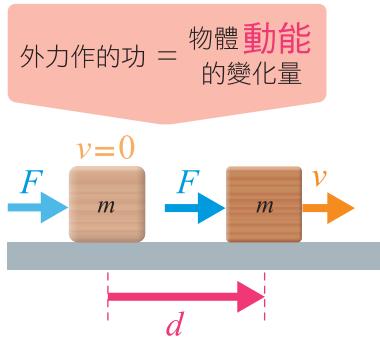
$$U = mgh$$

位能的單位與功相同，都是焦耳。

如圖 5-2 所示，若對物體施一向上的外力，其量值恰好等於該物體的重量 mg ，緩緩將物體從地面提到高度 h 的位置。在整個過程中，所施的外力對物體作功 $W = mgh$ ，恰好等於其位能的變化。也就是說，我們對物體作的功，轉變成其重力位能。

除了重力位能外，彈性位能也十分常見。當一物體發生形變時，因形變而儲存在內部的能量，稱為彈性位能。以彈簧為例，當彈簧處於原長度時，其彈性位能為零，無論是壓縮彈簧或是拉伸彈簧時，其彈性位能會增加。由於彈性位能的形式較為複雜，我們將在《選修物理》再做進一步的討論。

圖 5-3 外力作功轉換成動能



三、動能

物體因運動速率不同，顯然也帶有不同的能量，這種形式的能量稱為**動能**（kinetic energy）。以速率 v 運動的物體，可定義其動能 K 為

$$K = \frac{1}{2} mv^2$$

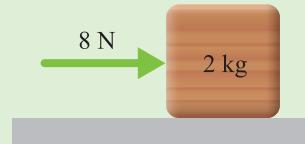
動能的單位與功相同，也是焦耳。

如圖 5-3 所示，對一靜止的物體施一外力，使其加速到速率 v ，整個過程外力所作的功，恰好就等於其增加的動能。

範例 5-1**作功與動能變化量**

施 8 牛頓的向右水平力於質量 2 公斤之靜止木塊上，使木塊在光滑水平長桌上向右移動，則 1 秒後：

- (1) 木塊的速率為何？動能為何？
- (2) 木塊的位移為何？水平力對木塊作了多少焦耳的功？
- (3) 驗證外力所作的功，是否恰與木塊動能的變化量相等？

**分析**

1. 由牛頓第二運動定律 $F = ma$ ，可得加速度 $a = \frac{F}{m}$ 。
2. 原為靜止的物體作等加速運動時： $\begin{cases} \text{位移 } d = \frac{1}{2} at^2 \\ \text{速率 } v = at \end{cases}$ 。

解答

$$(1) \text{木塊的加速度 } a = \frac{F}{m} = \frac{8 \text{ N}}{2 \text{ kg}} = 4 \text{ m/s}^2, \text{ 故速率 } v = at = 4 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ s} = 4 \text{ m/s},$$

$$\text{得動能 } K = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (4 \text{ m/s})^2 = 16 \text{ J}.$$

$$(2) \text{木塊的位移 } d = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} \times 4 \text{ m/s}^2 \times (1 \text{ s})^2 = 2 \text{ m}, \text{ 故水平力作功 } W = Fd = 8 \text{ N} \times 2 \text{ m} = 16 \text{ J}.$$

(3) 比較 (1)(2) 可知，外力作功 16 焦耳，木塊的動能亦增加 16 焦耳，即外力所作的功恰等於木塊動能的變化量。

知識延長線

外力作功轉換成動能的過程，可藉由等加速運動來理解。利用等加速運動公式 $v^2 = 0^2 + 2ad$ ，可以算出物體的位移 $d = \frac{v^2}{2a}$ 。

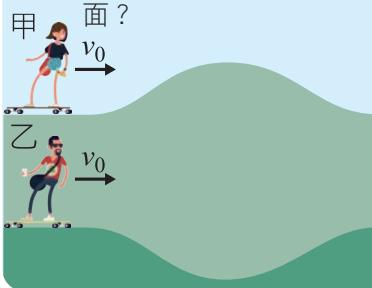
$$\text{外力所作的功 } W \text{ 等於外力 } F \text{ 與位移 } d \text{ 的乘積，} W = Fd = ma \times \frac{v^2}{2a} = \frac{1}{2} mv^2$$

即可驗證外力作功恰好等於物體動能的變化量。



想一想

甲、乙兩人溜滑板車，以初速 v_0 分別企圖越過山丘和低谷，抵達對面同高度處。假設除重力外，各種外力作功均不計，則何者必能抵達對面？



四、力學能守恆

物體動能與位能的和，稱為**力學能** (mechanical energy)。若略去摩擦力不計，我們發現物體受重力落下時，或是物體連接彈簧往復振盪時，力學能在運動的過程中是守恆的，

$$K + U = \text{常數}$$

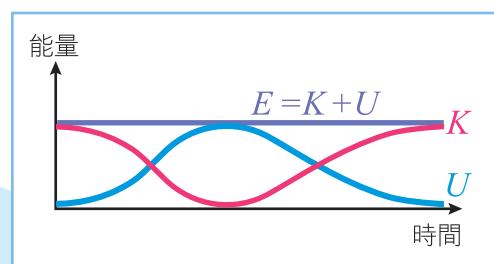
稱為**力學能守恆定律** (law of conservation of mechanical energy)。

舉地表附近的自由落體為例，一開始將靜止的球放開時，位能最大但動能為零。隨著位置下降，位能跟著減小，然而球速變快，其動能增加。當球到達地面的瞬間，其位能為零而動能最大。雖然動能與位能都會隨著時間變化，但是其總和的力學能一直維持一定值。

如圖 5-4 所示，即便小車翻山越嶺的運動，較為複雜許多，但若略去摩擦力，在整個起伏運動的過程中，小車的力學能維持一定值。力學能守恆是**能量守恆** (conservation of energy) 的特例，等我們了解各種形式的能量後，會發現自然界永遠遵循能量守恆定律。 習題 5、6

▼ 圖 5-4 力學能守恆

若略去摩擦力的影響，小車在一整個運動的過程中，動能加上位能是一定值，此即是力學能守恆。



水平地面

在水平地面運動的小車，一開始位能為零，但動能不為零。

小丘頂端

小車到達小丘頂端時，若恰好靜止，此時動能為零，原先小車的動能，全部轉變為位能。

下滑過程

當小車再度下滑時，動能逐漸增加，而位能逐漸減少。

範例 5-2**力學能守恆**

習題 7

在水上樂園中，張同學由高臺上（高度為 H ），分別沿著甲、乙兩個光滑水道（長度分別為 S_1 和 S_2 ）下滑，

- (1) 滑至底部時的速率何者較快？
- (2) 滑至底部的時間何者較短？

**分析**

1. 水道光滑，可視為沒有摩擦力作用。
2. 無論從哪一個滑水道下滑，皆遵守力學能守恆，即 $U + K = U' + K' \Rightarrow K' - K = U - U'$ 。換言之，動能的增加量，恰等於重力位能的減少量。
3. 坡度越陡，加速度值越大。

解答

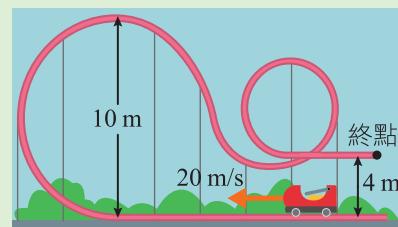
- (1) 由「動能的增加量 = 重力位能的減少量」可得： $mgH = \frac{1}{2}mv^2$ ，故末速 $v = \sqrt{2gH}$ ，今甲、乙的高度相等，故滑至底部的速率亦相等。
- (2) 甲滑水道較為陡峭，故下滑加速度較大，又其下滑距離較短，故由甲滑水道下滑所需的時間較短。

範例 5-3**力學能守恆**

習題 8

在遊樂場中，有一雲霄飛車的軌道如圖所示。若車的質量為 50 公斤、重力加速度為 10 公尺 / 秒²，在不考慮摩擦力的情況下，當車以 20 公尺 / 秒的速率由底部出發，試問當車抵達終點時：

- (1) 車的動能為多少焦耳？
- (2) 車的速率為多少公尺 / 秒？

**分析**

車不受摩擦力作功，滿足力學能守恆。

解答

- (1) 由 $K_{\text{起點}} + U_{\text{起點}} = K_{\text{終點}} + U_{\text{終點}}$ ⇒ $\frac{1}{2} \times 50 \text{ kg} \times (20 \text{ m/s})^2 + 0 \text{ J} = K_{\text{終點}} + 50 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 4 \text{ m}$
⇒ $K_{\text{終點}} = 8000 \text{ J}$ 。
- (2) 由 $K_{\text{終點}} = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow 8000 \text{ J} = \frac{1}{2} \times 50 \text{ kg} \times v_{\text{終點}}^2 \Rightarrow v_{\text{終點}} = \sqrt{320} \text{ m/s} = 8\sqrt{5} \text{ m/s}$ 。

五、能量的各種形式

除了**力學能**外，能量可以用各式各樣的形式出現：熱能、電磁能、光能、化學能、核能等等，如圖 5-5，讓我們在以下一一介紹。

1. 热能 (thermal energy)

將一壺水放在火爐加熱，可增加其熱能，當水煮沸時，部分的熱能轉換成水蒸氣的動能，衝出汽笛提醒我們水滾開了。18 世紀工業革命，就是將鍋爐中水蒸氣的熱能，轉換成其他形式的能量，帶動人類文明的巨大變革。

就原子論的角度來看，**熱能**其實就是微觀的力學能。所有的物體都是由微小的原子或分子組成。在常溫下，即便物體看起來是靜止的，原子或分子在微觀的尺度下，總是持續不停地運動，帶有動能也有位能。若將所有原子或分子的力學能加總，所得到的能量就是熱能。由於在巨觀的尺度上，原子或分子的運動不易察覺，物體的熱能只與其內部狀態有關，因此也稱為內能。

2. 電磁能 (electromagnetic energy)

電磁能是電能與磁能的總稱。**電能** (electric energy) 是儲藏在電場內的能量，可以驅動帶電粒子產生電流。電能是現代生活最方便的能量形式，舉凡家中照明、風扇、冰箱、電視、電腦等等，都是利用電能來運作的。

磁能 (magnetic energy) 是儲藏在磁場內的能量，用磁鐵將桌上的鐵釘向上吸起，正是將部分的磁能轉換成重力位能。由於電與磁的

▼ 圖 5-5

各式各樣的能量

自然界的能量，以各式各樣的形式出現。不同形式的能量間，可以彼此轉換，但轉換前後的總能量，不多不少地維持定值。





統一，電能與磁能可以互相轉換。如港口起重機的電磁鐵，將電能轉換成磁能，藉此搬運龐大的貨櫃。

3. 光能 (light energy)

光是電磁波，其振盪的電磁場也可以推動帶電粒子，所攜帶的能量稱為光能。太陽提供的光能，是地球上能量的主要來源，能提供綠色植物行光合作用，也能照射在太陽能電池上，直接產生電能。

4. 化學能 (chemical energy)

儲存在化學鍵中的能量，稱為化學能。食物中的醣類、蛋白質、脂肪等營養素，經由體內的生化反應，其化學能可以提供生物活動的能量。汽油中的化學能，藉由內燃機與機械設計，可以轉化成汽車的動能。電池中的化學能，可以轉換成電能，供手電筒、手機、筆記型電腦等使用。

5. 核能 (nuclear energy)

藉由原子核的融合或分裂，可以釋出巨大的能量，這種潛藏在原子核內的能量，稱為核能。從原子弹到氫彈的毀滅性武器，就是利用核能設計出來的。但核能也有和平用途，只要穩定控制核反應速率，可以藉由核能來發電。在 5-4 節我們將深入介紹核能的原理、應用與輻射安全。

從以上的介紹可以看出，能量有各式各樣的型態，不只在物理現象出現，也適用於化學、生物、地球科學等自然科學領域，是跨領域的重要概念。

一、理想氣體的熱能

前面提及在微觀的尺度下，原子或分子總是持續不停地運動著，既帶有動能，也有位能。最簡單的多粒子系統就是**理想氣體**（ideal gas）：氣體分子間幾乎無作用力，其位能可被忽略，因此**理想氣體的熱能，就是所有氣體分子動能的總和**。從微觀的尺度來看，分子間的碰撞會造成速度的改變，因此每個氣體分子的動能，會隨著時間變化。但在巨觀的尺度上，氣體分子的數量龐大，當處於固定溫度的平衡態時，氣體的平均動能是定值。雖然無法確切知道每個分子的運動（微觀），但氣體的熱能（巨觀）僅由溫度決定。

如圖 5-6(1) 所示，理想氣體的氣壓，可以由微觀的碰撞來解釋。運動中的分子撞擊器壁時，會對器壁施加一個很小的力，計算單位面積所受的總力，即可解釋器壁所受壓力。當溫度較低時，理想氣體中的分子運動速率較慢，氣體分子的平均動能小。而當溫度升高時，分子運動速率變快，氣體分子的平均動能增加。因此，理想氣體的分子平均動能，可以作為溫度的指標。

不同溫度的物體間會有能量傳遞，稱為熱。利用分子平均動能與溫度的關係，可以理解熱傾向由高溫處傳向低溫處。如圖 5-6(2) 所示，平均來說，高溫處的氣體分子動能較大，微觀來看，經碰撞後，會將能量傳給低溫處的氣體分子。這些能量的傳遞，就是巨觀上熱能傳導的現象，傾向由溫度較高的地方，傳遞到溫度較低的地方。 習題 9

想一想

對理想氣體加熱時，每一個氣體分子的動能都會變大嗎？



趣味實作

我們都是小焦耳

在上課一開始準備保溫瓶裝一半的水，上課時由學生開始搖，每人搖一分鐘剛好到下課，看看前後的溫差可以到幾 °C 呢？

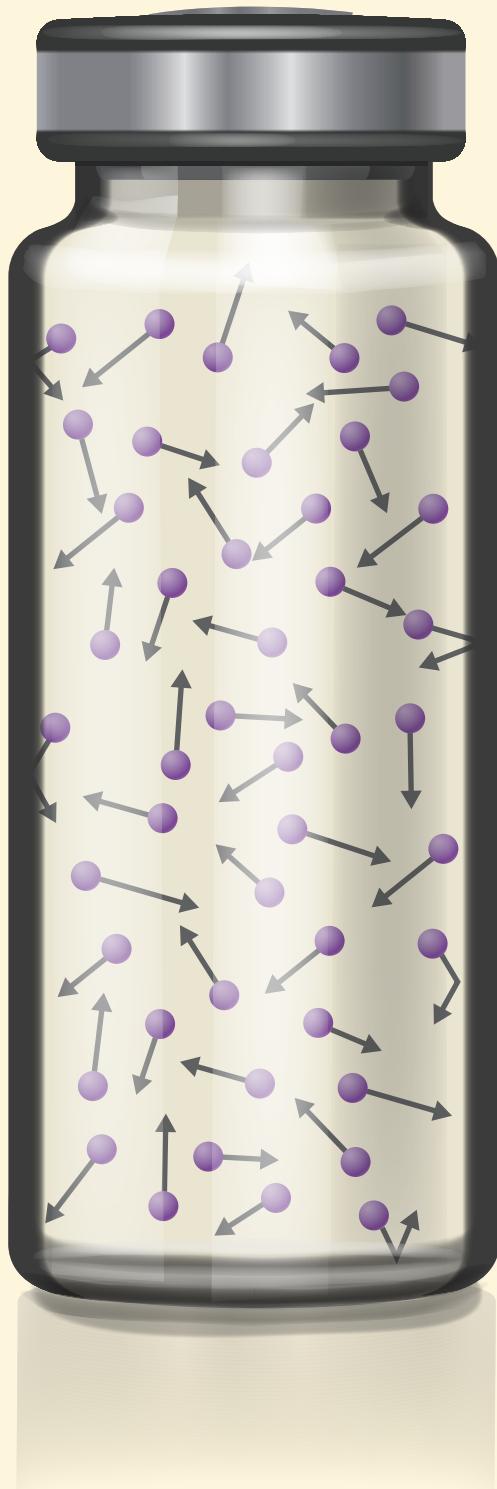


▼ 圖 5-6

氣體微觀運動

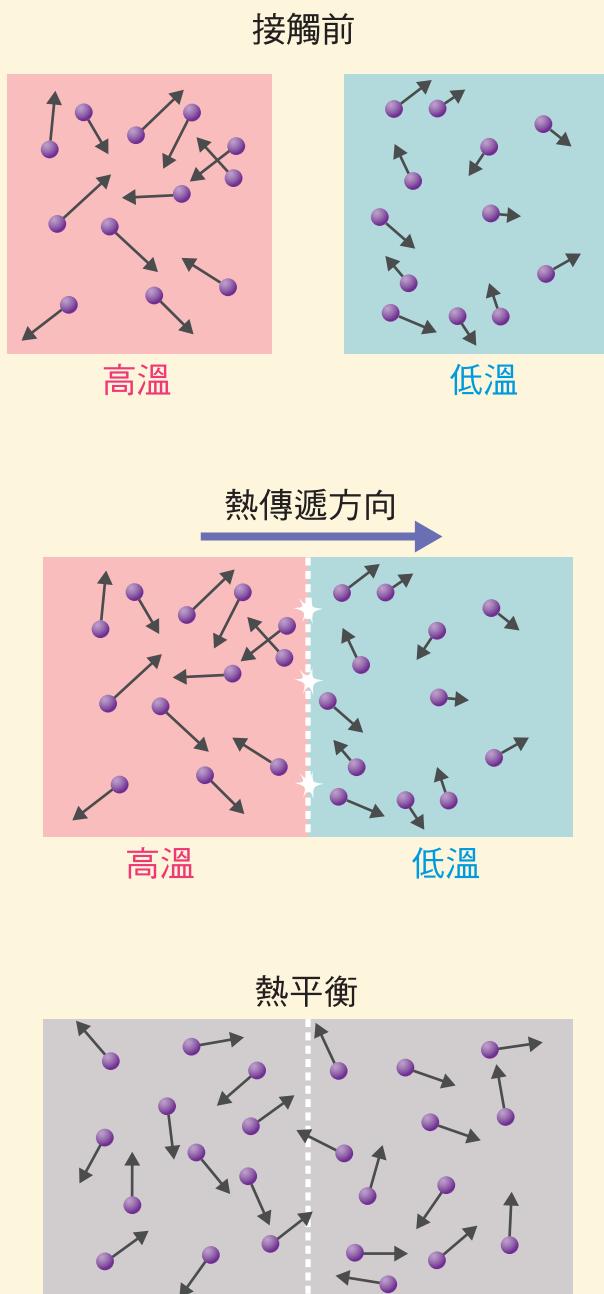
1 氣體分子的微觀運動

微觀尺度的氣體分子碰撞，是密閉容器氣壓的成因。溫度低時氣體分子運動平均速率較慢，其平均動能小；溫度高時分子運動平均速率快，其平均動能大。



2 微觀上的熱傳導

熱傳導是因為微觀的分子碰撞而來，因此熱會從分子平均動能大（高溫）的區域，傳遞到分子平均動能小（低溫）的區域。



二、絕對溫標

科學家進行理想氣體實驗時，發現一件有趣的現象。如圖 5-7 所示，隨著溫度下降，氣體分子的運動變慢，因此壓力也跟著下降。而所有理想氣體的壓力變化，都指向溫度降到 -273.15°C 左右，所有的氣壓都應該變成零。

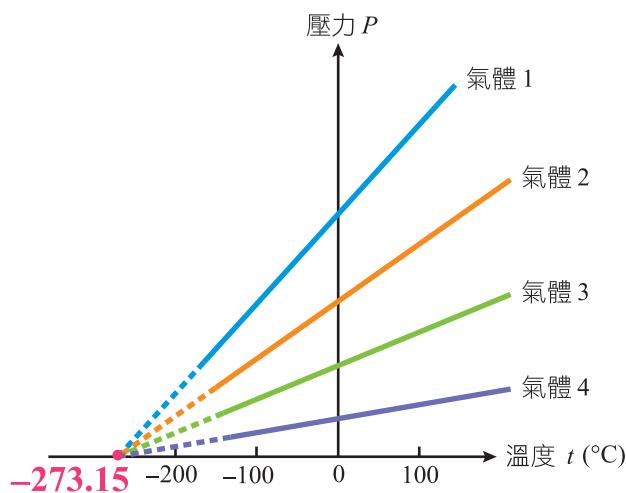
在 1848 年，克耳文（Lord Kelvin，1824 - 1907，英國人）建議採用 **絕對溫標**（absolute scale of temperature），以 -273.15°C 作為絕對零度，每度間的溫差則與攝氏溫標相同。如圖 5-8 所示，兩溫標間的轉換相當簡單，

$$\text{絕對溫度 (K)} = \text{攝氏溫度 } (\text{ }^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

絕對溫標也稱為熱力學溫標或克氏溫標，其單位為 K。絕對零度記作 0 K，即便現代低溫物理學家可以將原子分子降溫到 100 nK（即 0.000 000 1 K）以下，這已經十分神奇了，但還是未能到達絕對零度呢！

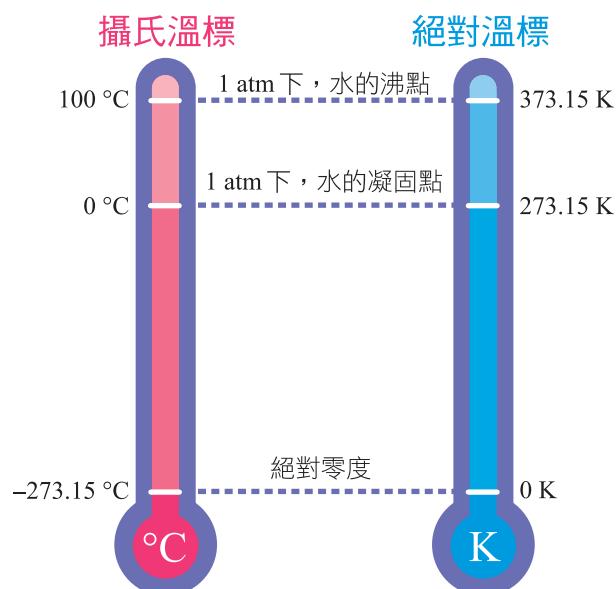
► 圖 5-7 絕對零度的存在

測量不同理想氣體的壓力變化，隨著溫度下降，氣壓也呈現線性下降的趨勢。雖然下降的斜率不同，但都指向「絕對零度」。



► 圖 5-8 溫標的轉換

絕對溫標與攝氏溫標的轉換。



範例 5-4 溫標

習題 10

下列各溫度條件，由高而低依序為何？

- (甲) 宇宙的背景溫度 3 K；(乙) 1 大氣壓下冰的熔點；(丙) 85 °C 的咖啡；(丁) 氣體溫度 300 K。

分析

可利用轉換式： $K = {}^\circ C + 273.15$ ，全部轉換為絕對溫標來比較。

解答

(乙) 1 大氣壓下冰的熔點 $\Rightarrow 0 {}^\circ C = 273.15 K$ ，

(丙) 85 °C 的咖啡 $\Rightarrow 85 {}^\circ C = 358.15 K$ ，

故溫度由高而低依序為：(丙) > (丁) > (乙) > (甲)。

一、能量間的轉換

不同形式間的能量可以互相轉換。如圖 5-9 所示，水力發電將水庫中水的重力位能，轉變成便利的電能。光合作用將太陽光的光能，轉變成葡萄糖內的化學能。日常生活常見的鋰電池，可藉由充放電的過程，在電能與化學能間相互轉換。在現代文明中，能量的傳遞以電能最為普遍，已成為生活不可或缺的一角。 習題 11

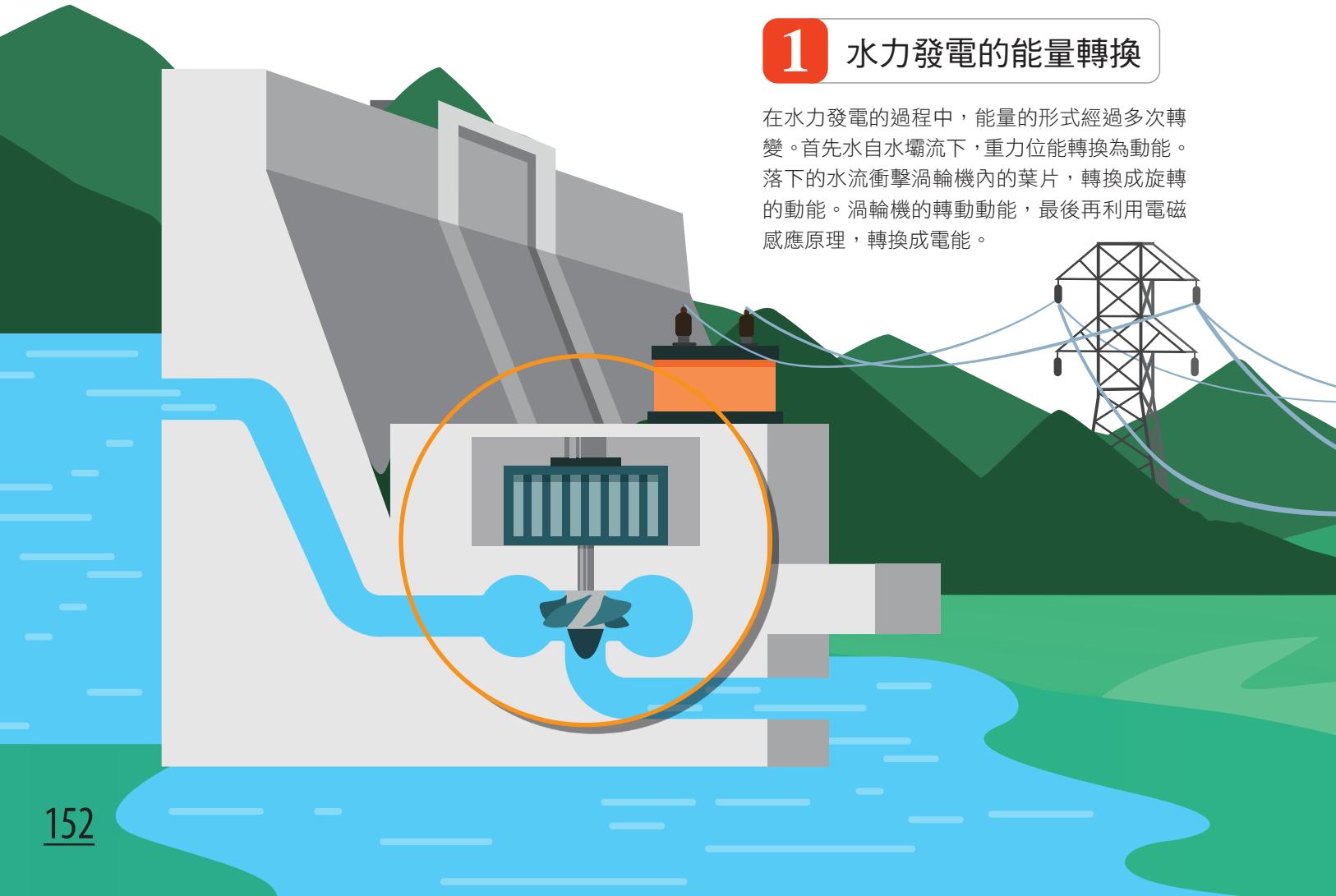
▼ 圖 5-9

能量的轉換

1

水力發電的能量轉換

在水力發電的過程中，能量的形式經過多次轉變。首先水自水壩流下，重力位能轉換為動能。落下的水流衝擊渦輪機內的葉片，轉換成旋轉的動能。渦輪機的轉動動能，最後再利用電磁感應原理，轉換成電能。





由於能量的概念具共通性，其轉換往往橫跨自然科學各個領域，如太陽光（光能）照射在綠色植物上，藉由光合作用產生葡萄糖（化學能），我們食用後轉換成細胞內的腺苷三磷酸，也就是 ATP（化學能），讓我們可以感覺思考（電能）或是運動（力學能）。那能量在不同形式轉換時，會不會有所逸失呢？這個重要的問題，將在 5-4 節討論。

雖然我們將能量粗分成不同的形式，以利說明，但是這樣的區分並非絕對。如理想氣體的熱能，是組成原子或分子的動能。在巨觀的尺度上，我們摩擦雙手可以產生熱能，但也可以從微觀的角度分析，我們只是把手的力學能，轉換成原子或分子的力學能。可見當觀察的尺度不同時，能量的形式不見得能嚴格區分。

想一想

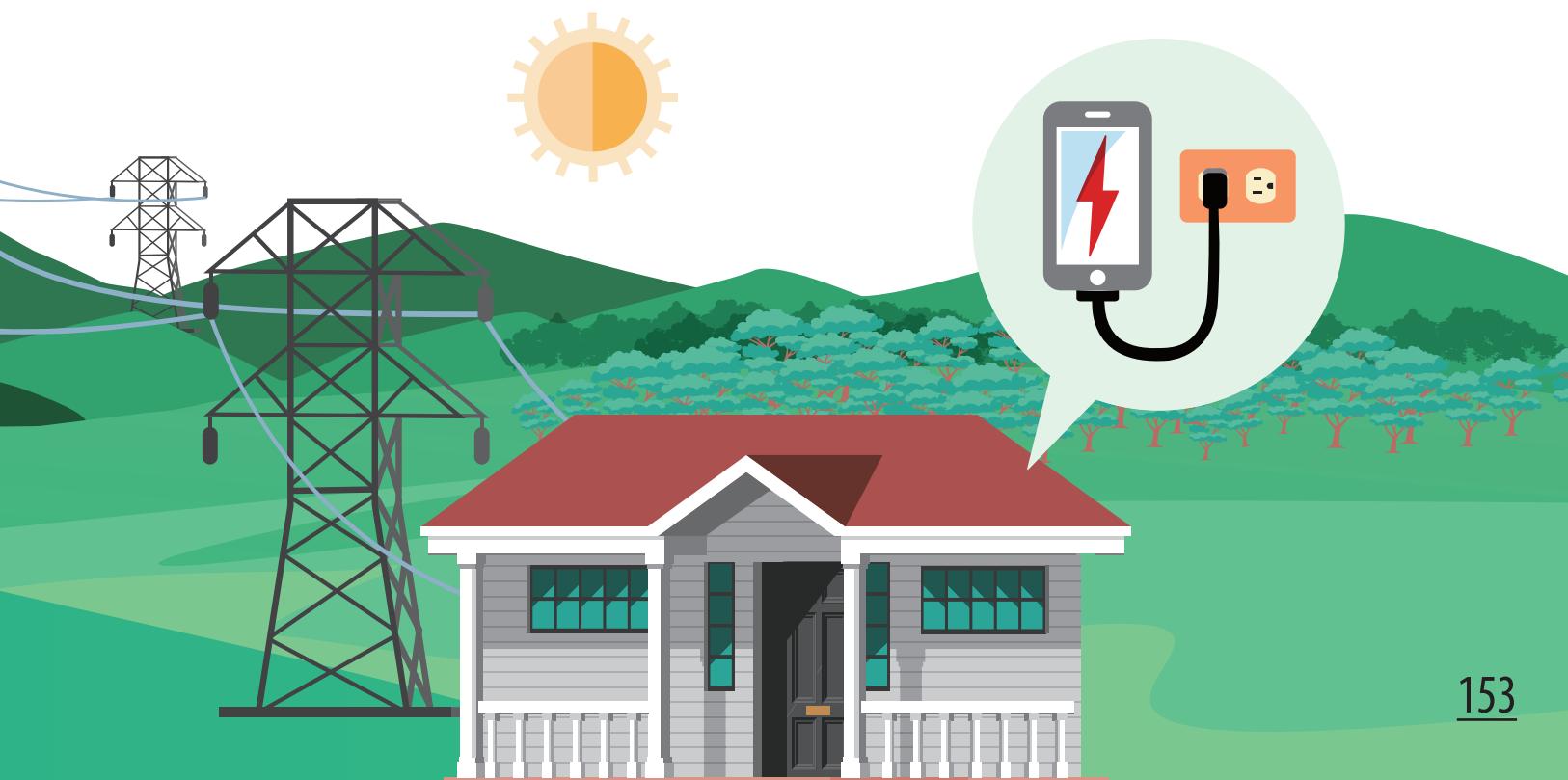
陳同學在家中打開電燈立即得到光能與熱能，若陳同學家的電力來源來自水力發電，試完整描述此能量的最初來源及其轉換的過程。

2 光合作用的能量轉換

綠色植物藉由太陽提供的光能，經光合作用後，將二氧化碳與水合成為氧氣與葡萄糖。原先的光能，最後轉變成葡萄糖內的化學能，提供生物能量。

3 鋰電池的能量轉換

日常生活常見的鋰電池，在充電時期，可將輸送到家裡的電能轉變成化學能，而在放電時期，則將化學能轉換成電能。由於鋰電池的可攜性，這樣的能源轉換帶來許多生活上的便利性。



小百科

可再生能源

可再生能源是指在短時間內能夠從大自然再生、取之不盡的能源，例如太陽能、風力、潮汐能、波浪能、地熱能、水力、生質能等。和石化燃料與核燃料相比，再生能源屬於較乾淨、低汙染的能源，也因此從永續環保的角度來看，再生能源的開發與利用，是世界各國必須重視的課題。

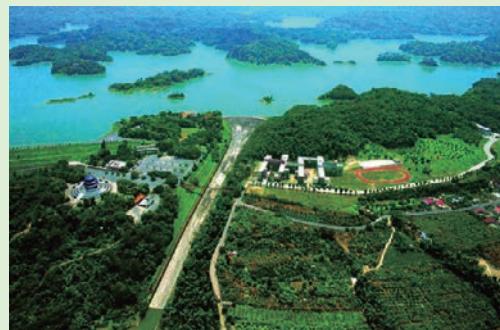
何謂「1度電」

以 1 瓩的電功率連續輸出 1 小時，輸出的總電能稱為 1 度電，即
 $1 \text{ 度(電)} = 1 \text{ 瓩} \cdot \text{小時} = 1000 \text{ 瓦} \times 3600 \text{ 秒} = 3.6 \times 10^6 \text{ 焦耳}$ 。

範例 5-5

能量間的轉換

烏山頭水力發電廠位於臺南市烏山頭水庫風景區內，是臺灣首座民營水力發電廠，利用烏山頭水庫與送水口處約 24 公尺之水位落差進行發電，設計流量為每秒 41 立方公尺，發電後將水洩放回歸灌溉渠道，不影響灌溉用水。已知此發電廠將水的力學能轉換成電能的效率為 90 %，試問此發電廠的發電功率為多少瓩？（設重力加速度值為 10 公尺 / 秒²）



分析

- 1 立方公分的水質量為 1 公克，因 $1 \text{ 立方公尺} = 1 \times 10^6 \text{ 立方公分}$ ，故 1 立方公尺的水之質量為 $1 \times 10^6 \text{ 公克} = 1 \times 10^3 \text{ 公斤}$ 。
2. 分析能量的轉換過程為：重力位能 $\xrightarrow{\text{轉換}}$ 動能 $\xrightarrow{90\% \text{ 轉換}}$ 電能。
3. 發電功率即每秒發電的總能量，即發電功率 $P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$ 。

解答

1. 水的流量為每秒 41 立方公尺，即每秒的流量為 41 000 公斤。故減少的重力位能

$$U = mgh = 41000 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 24 \text{ m} \approx 9.8 \times 10^6 \text{ J}$$
2. 發電功率 $P = \frac{\Delta W}{\Delta t} \times 90\% = \frac{9.8 \times 10^6 \text{ J}}{1 \text{ s}} \times 90\% = 8.820 \times 10^6 \text{ W} = 8820 \text{ kW}$ 。

二、能量守恆

各種形式的能量可以互相轉換，而且轉換前後的總能量相等，稱為**能量守恆定律**（law of conservation of energy）。或許你會質疑，汽車引擎的效率通常低於 20 %，可見汽油的化學能，僅有一小部分轉換成車子的力學能，看來能量並沒有守恆啊！這樣的迷思，往往來自逸失的熱能，若是將環境中產生的熱能也通通加進來，就會發現能量在轉換前後，可是一丁點都沒有少。

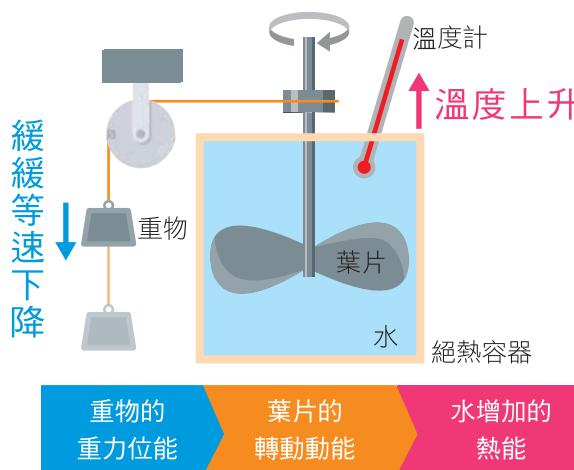
在 1845 年，焦耳就設計如圖 5-10 的實驗裝置，研究力學能如何轉換成熱能。能量的單位是焦耳，而熱的單位是卡，也就是讓 1 大氣壓下 1 公克的水上升 1°C 所需的熱量。那卡與焦耳之間的關係是什麼呢？焦耳藉由熱功當量實驗，得到兩者之間的關係：

$$1 \text{ 卡} = 4.186 \text{ 焦耳}$$

焦耳的熱功當量實驗，展示重力所作的功，可以完全轉換成熱能。除了彰顯熱能也是能量的一種，也再度驗證能量守恆。焦耳的實驗證實，透過作功可以輕易地把力學能轉換成熱能，那我們可以藉由適當的實驗設計，將熱完全拿來作功嗎？我們將在下一小節說明。

► 圖 5-10 焦耳的熱功當量實驗

在絕熱容器內裝水，當重物落下時，帶動葉片旋轉並攪動水，由於摩擦生熱而讓水溫升高。在整個過程中，重物的重力位能先轉換成葉片的旋轉動能，再轉變成讓水溫上升的熱能。測量重物落下的距離，可以計算重力位能的改變，而測量水溫的變化，則可得到產生的熱能。根據能量守恆定律，減少的重力位能等於增加的熱能，由此可得卡與焦耳兩單位間的關係。



三、作功的能力

在某些情況下，我們常把能量視為物體的作功能力，但事實卻不一定如此。舉例來說，圖 5-11 中相同的金屬塊，一為高溫且靜止，另一為低溫但處於運動中。靜止的金屬塊在微觀尺度下，因高溫其原子具有較大的平均動能，卻沒有作功能力。而滑動中的金屬塊，雖然溫度較低，但金屬塊整體往同一方向運動，故其動能為作功能力較好的有序能量，因此可以輕易對足球作功。

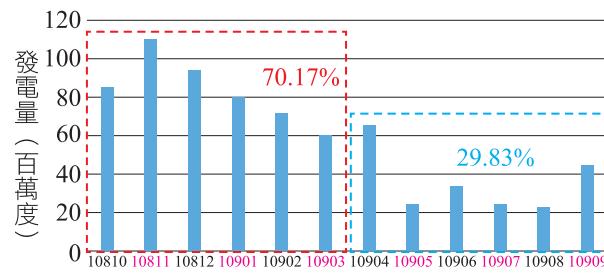
為何高溫金屬塊的能量，無法有效轉換成作功能力呢？那是因為高溫金屬塊的原子運動雖然較為激烈，但卻是朝四面八方作凌亂的振動，此種動能屬於作功能力較差的無序能量。關於無序的能量，可以用兩個人想要推動一輛拋錨汽車來比喻：如果兩人在車子後方同時、同方向推車（有序能量），則可以推動這輛車子；但如果兩人一前一後反方向推車（無序能量），則作功能力將大減而無法推動汽車。因此有序的能量，如運動中金屬塊的動能，作功能力較好；無序的能量，如靜止金屬塊的熱能，其作功能力較差。而作功能力好的有序能量，其能量品質較高，大致上也可以稱為能源。風力發電便是利用大自然中有序的風能，為我們開創有用的再生能源，以臺灣為例，每年 10 月到隔年 3 月的風力發電量，占整年度的 70 % 以上（如圖 5-12 所示），正是因為東北季風盛行的關係；相較之下，夏季雖然溫度高，空氣分子的平均動能較大，但因為風向不穩定，因此發電量較低。

► 圖 5-11 有序能量與無序能量

滑動中的金屬塊具有作功能力較好的有序能量，可以對足球作功；高溫靜止的金屬塊，在微觀尺度下具有較大的平均動能，卻沒有作功能力。



► 圖 5-12 臺灣近 12 個月的風力發電量

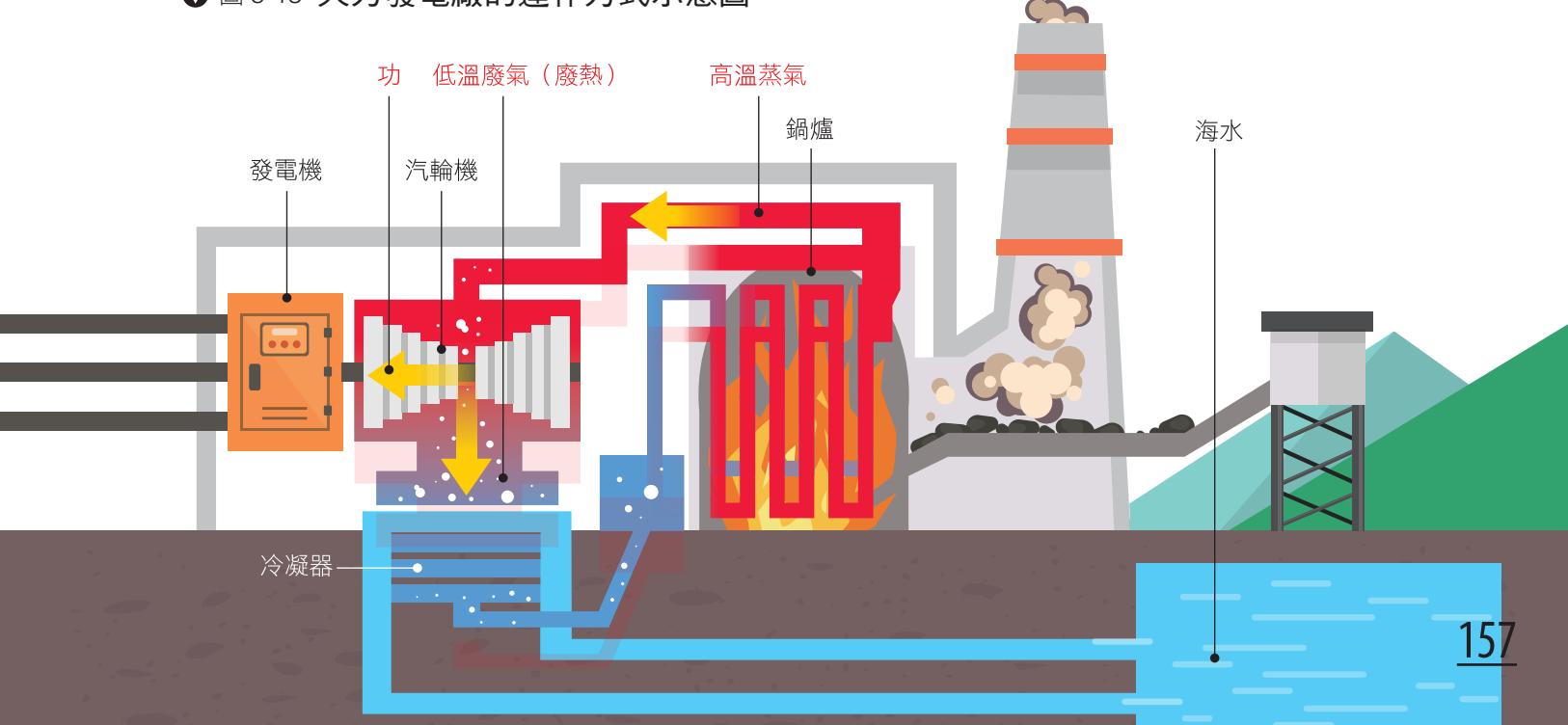


若只從能量守恆來看，熱應該可以完全轉換為功，但所有實驗都顯示，我們無法把熱完全轉換為功，即便儀器設備如何精良，都是如此。火力發電是世界上多數國家所仰賴的能源生產方式，也是臺灣目前的主要電力來源。如圖 5-13 所示，火力發電廠燃燒化石燃料後，將燃料的化學能轉變成熱能，加熱鍋爐內的水，使其成為高溫、高壓的蒸汽，並推動汽輪機發電。然而在發電的過程中，最初燃燒產生的熱能只有一部分可以轉換為功（轉動動能），剩下的部分為無序的熱能且無法再利用，稱為廢熱，必須被冷凝器吸收以及排放至較低溫的環境中。這反映了一項事實：能量雖然守恆，但整體能量在轉換後的作功能力卻變差了。

例如明潭抽蓄式水力發電廠在電力離峰時段，用多餘電力將水抽回水庫，以利再次發電。然而輸入的電力，只有一部分可以再次轉變為輸出電力，發電過程中逸失的熱能，無法有效再回收利用。又如汽車引擎將汽油內的化學能，轉變成汽車的動能，但無法避免廢氣的產生、輪胎與地面或車體與空氣的摩擦生熱等等，汽油一經使用，幾乎無法再回復到原來的樣態，作功能力變差。

能量在每次轉換後，雖然轉換前後的總能量相等，但整體能量會變得較無秩序，因此不容易輸出功。由此可知，能量固然守恆，卻不代表可以有效運用：能量一經轉換後，可以再利用的部分變少，並不會維持永久不變。因此能量即使守恆，也不代表我們不會面臨能源危機。 習題 12

▼ 圖 5-13 火力發電廠的運作方式示意圖



示範實驗 4 力學能守恆



實驗目的：利用簡易的鋼珠與軌道，觀察鋼珠力學能的轉換。

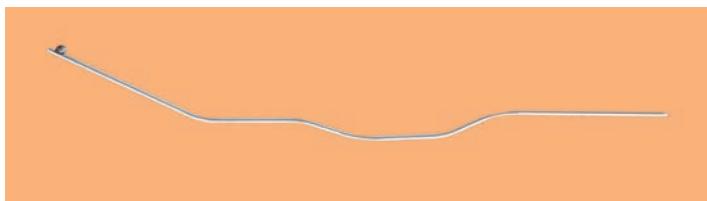
實驗器材：可任意彎曲的塑膠軌道 2 支
(如本實驗是使用收納電線的整線器，加熱彎曲成形)
鋼珠 2 顆



實驗步驟：

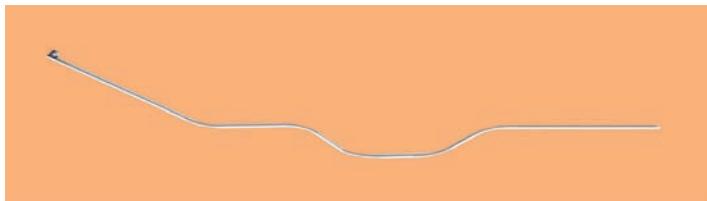
1 單一下凹軌道

先取一支塑膠軌道，彎曲成兩端等高，中間凹陷的形式。取一顆鋼珠由左側斜面靜止釋放，觀察鋼珠在各點的快慢變化。



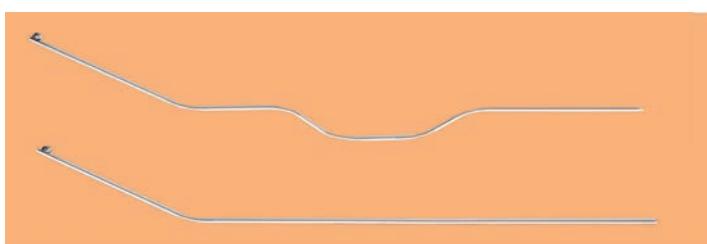
2 改變軌道深度

改變軌道的凹陷深度數次，重複步驟 1。



3 雙珠競走

拿出另一支塑膠軌道，將兩軌道彎曲成右圖。將兩顆鋼珠同時由左側斜面靜止釋放，預測哪一種軌道會先到達右側終點。



實驗探究：

1. 在單一下凹軌道實驗中，鋼珠的速度在不同位置的變化是如何？該如何解釋呢？
2. 改變不同凹陷深度後，比較速度變化的模式是否相同？而深度越深的軌道，鋼珠有什麼差別？
3. 雙珠競走實驗為什麼要一開始使用一個斜面？哪一個軌道的鋼珠會先到達終點？到達終點時鋼珠的速度哪個軌道比較快？

5-4

質能互換

一、質量與能量

質量 m 與能量 E ，原本是兩個截然不同的概念。在 1905 年，愛因斯坦發表劃時代的論文「物體的質量與其所含的能量有關嗎？」，指出物體放出能量 E 的電磁輻射時，其質量會減少 $\Delta m = E/c^2$ 。也就是說，質量與能量是一體的兩面，兩者遵循簡單的關係式：

$$E = (\Delta m)c^2$$

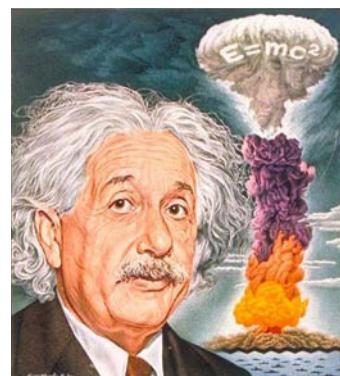
上式中 c 為真空中的光速。由此可見，物體的質量確實可視為其所含能量的衡量標準，端看能否找到適當的方法，將質量轉換成能量。

如圖 5-14 所示，質能互換不但是科學上重大的發現，也是人類文明發展的重大變革。藉由核反應將些許的質量，轉換成巨大的能量，可以用在發電，也可以生產核子武器。十分反諷地，在人類歷史上，我們第一次擁有了摧毀自己文明的力量。

以氮原子核形成為例，2 個質子與 2 個中子的質量總和，比反應後氮原子核的質量，稍稍多了一些。如圖 5-15 所示，雖然反應前後的質量變化，不到千分之八，但根據質能互換公式，卻可轉換成相當可觀的能量。也就是說，2 個質子與 2 個中子結合成氮核後，少掉一點點質量，轉換成能量釋放出來。

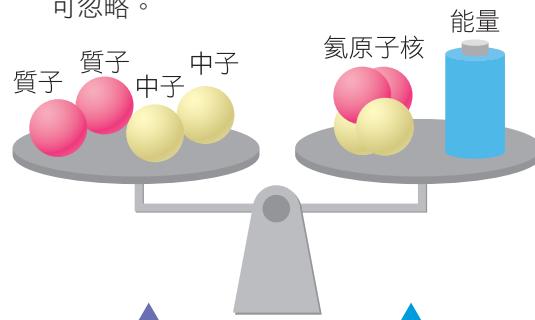
▼ 圖 5-14 質能互換與核子武器

此封面圖點出現代科學的突破，不再只是象牙塔裡的風景，與整個文明社會的發展，有著緊密的關聯。



▼ 圖 5-15 質能互換

氦原子核形成時的質量變化雖小，但是不可忽略。



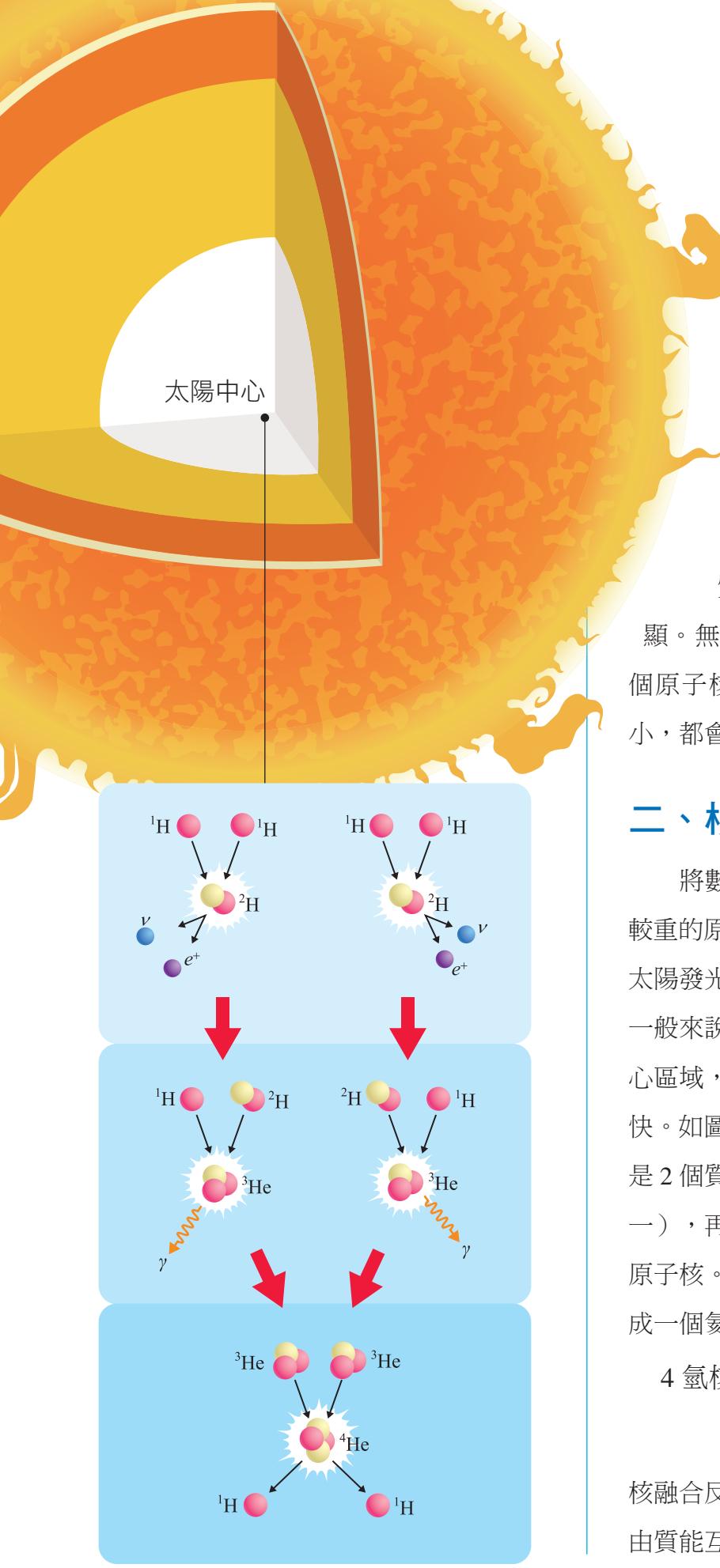
反應前質量

1.007 277 u
1.007 277 u
1.008 665 u
1.008 665 u
總質量 4.031 884 u

反應後質量

4.0017 u
相當於 0.0302 u 釋放出來的能量

原子質量單位 (u) 的定義為 ^{12}C 原子質量的 12 分之一，單一質子或中子的質量約為 1 u。



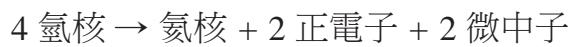
◆ 圖 5-16 太陽內部的核融合

太陽中心的核融合反應，將 4 個氫核融合成一個氦核。由於其中心溫度高達 1600 萬度，核融合反應速度快，每秒鐘融合超過 6 噸的氫核。

質能互換的現象，在核反應中最為明顯。無論是不穩定原子核的分裂，或是將 2 個原子核融合，由於反應後質量比反應前略小，都會轉換成巨大的能量釋放出來。

二、核融合

將數個輕的原子核聚合在一起，形成一個較重的原子核，即是核融合（nuclear fusion）。太陽發光發熱的機制，就是藉由核融合反應。一般來說，核融合反應不易發生，但在太陽核心區域，密度大且溫度高，可以讓反應速率變快。如圖 5-16 所示，太陽內部的核融合反應，是 2 個質子先融合成氘原子核（質子與中子各一），再經過其他反應過程，進一步融合成氦原子核。基本上是 4 個氫原子核（質子）融合成一個氦原子核。



核融合反應後，總質量變輕，所減少的質量藉由質能互換釋出，這就是太陽的能量來源。

讓我們進一步分析，太陽核融合的初步反應中，2個質子撞擊在一起，形成氘原子核，並放出正電子（電子的反粒子，質量相同但電荷相反）與微中子。上述的核反應，除了強核力外，電磁力與弱核力也扮演重要的角色。質子間由於庫侖斥力不易靠近，使得這樣的核融合不易發生。核融合的過程中，質子轉變成中子，顯然有弱核力參與。弱核力的強度弱，因此核反應發生的機率很低。從以上的分析可以看出，2個質子藉由核融合反應，形成氘原子核的過程，並不是單一基本作用力的產物，必須統整考量才能得到正確結果。

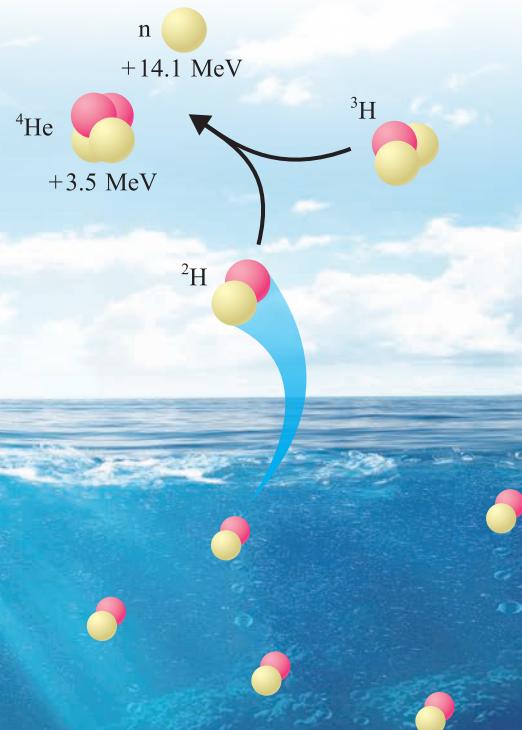
◎ 習題 13

若仔細追溯地球上各式各樣能量的來源，往往都指向太陽。舉凡植物的生長、動物的運動、洋流大氣的流動，都是藉由太陽光默默推動的。太陽是提供地球能源最大的「核電廠」，蓋得遠又安全，自動管理且沒有需處置的核廢料。下次你曬太陽時，就可以感受到這座大核電廠，用電磁波直接傳送能量到你身上。

科學家也試著在地球上，創造人工的小太陽。如圖 5-17 所示，藉由氘與氚的核融合反應，來產生能量。氘可以自海水取得，來源豐沛，而氚可藉由氫與氫融合而來。除此之外，氘與氚的核融合反應相對安全，易於管理，加上不會排放溫室氣體，也不會遺留高放射性核廢料，是最佳的能量來源之一。雖然有諸多優點，但目前核融合技術尚未成熟，還沒有辦法用來大規模發電。

▼ 圖 5-17 可發電用的核融合反應

在適當的反應條件下，氘核與氚核可融合成氦核，並釋出一個中子，產生可觀的能量。

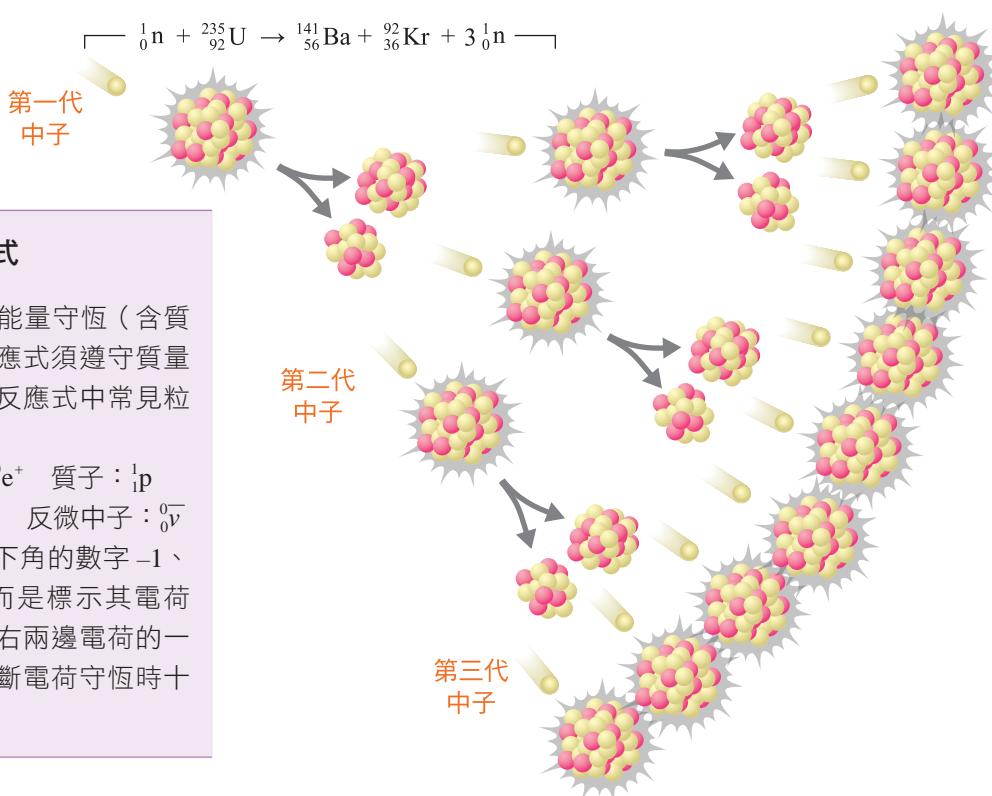


三、核分裂

經由外界撞擊，一個原子核可以分裂成數個較輕的原子核，稱為核分裂（nuclear fission）。舉例來說，鈾有許多同位素，在天然鈾礦中，相對穩定的鈾-238 ($^{238}_{92}\text{U}$) 約占 99.3%，而容易發生核分裂的鈾-235 ($^{235}_{92}\text{U}$) 僅占 0.7% 左右。如圖 5-18 所示，當鈾-235 原子核受到中子撞擊後，會裂解成 2 個較輕的原子核，並釋放出 2 或 3 個中子。核分裂反應後的總質量變小，會釋放出相當驚人的能量，1 公克的鈾經過核分裂反應後，其質量約減少 0.1%，因此會產生約 10^{11} 焦耳的能量。這樣的能量約等於燃燒 2000 公斤的石油，或是 3 噸重的煤炭，還是很難想像嗎？若以電視功率約 100 瓦估算，這等同可以讓你看 28 萬小時的電視節目呢！

由於一個鈾原子核分裂後，會產生數個中子，這些中子可以再撞擊其它鈾原子核，形成核分裂的連鎖反應（chain reaction）。原子彈的設計原理，正是利用連鎖反應，在短時間內大量釋放核分裂產生的能量，產生摧毀性的破壞力。相反地，若能藉由適當設計，讓核分裂反應變慢，就可以善用質能互換產生的能量，進行核能發電。 習題 14、15

▼ 圖 5-18 鈾-235 分裂的連鎖反應



小百科

核反應式

原子核反應除了滿足能量守恆（含質能互換）之外，其反應式須遵守質量數及電荷守恆。在核反應式中常見粒子可表示如下：

電子： $^0_{-1}\text{e}^-$ 正電子： $^0_1\text{e}^+$ 質子： ^1_1p
 中子： ^1_0n 微中子： $^0_0\nu$ 反微中子： $^0_0\bar{\nu}$
 其中電子、正電子左下角的數字 -1、1，不代表質子數，而是標示其電荷數，為平衡反應式左右兩邊電荷的一種常用表示法，在判斷電荷守恆時十分有用。

四、核能發電與輻射安全

目前核能發電皆以核分裂反應為主，利用質能互換產生的能量，將水加熱變成水蒸氣，使其推動渦輪機來發電。如圖 5-19，核電廠一般可區分成反應爐、發電機組、冷卻系統三大部分。反應爐設計的重點，就是讓核反應穩定進行，若是反應太快時，即插入可吸收中子的鎔或硼所做成的控制棒，讓連鎖反應變慢而不至於失控。由於核能發電的過程，會產生大量的熱，冷卻系統亦扮演重要的角色。例如在 2011 年發生的福島核電廠事故，雖然在強震發生時，反應爐即進入自動停機狀態，但大量的餘熱仍須冷卻系統來降溫。不料隨即而來的海嘯，摧毀緊急發電機組，造成冷卻系統停擺，進而造成爐心熔毀、氫氣爆炸、輻射外洩等複合性災難。可見核能電廠的設計與運作，必須做整體性的考量與操作訓練。

相較其他發電方式，核能發電有其優勢：發電效率高、成本穩定、無空氣汙染、不會加重溫室效應等等。雖說核能電廠發生事故的機率低，然而一旦發生輻射外洩，並無有效的善後措施，而且核廢料的處置時間長，墊高發電的隱形成本。是否應該發展核能發電，優缺點之間如何取捨，確實是國家能源政策的重點所在。

想一想

公民議題：請同學廣蒐資料，並以科學的角度來分析核能發電的優點與缺點。試著扮演下列不同的角色（政府官員、代議士、學者、企業主、一般民眾），闡明自己支持核電存廢的立場。



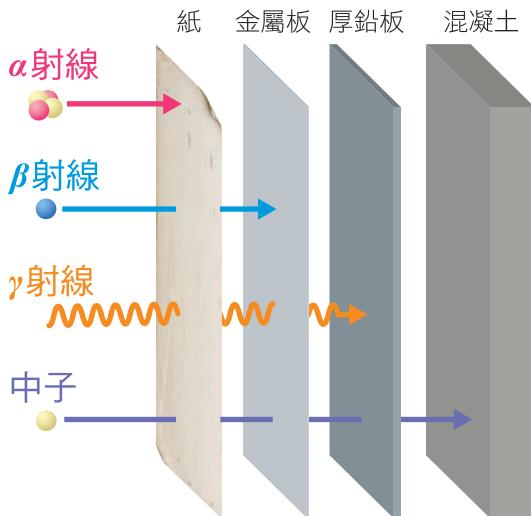
▼ 圖 5-19 核電廠基礎構造

核電廠的設計與運作複雜，一般可以分為三大部分：反應爐、發電機組、冷卻系統。



圖 5-20 各種輻射線的穿透力

不同類別的輻射線，具有截然不同的穿透力。



核分裂反應後的子核，具有放射性，若是照射在人類或其他生物時，會破壞組織細胞，造成輻射傷害。如圖 5-20 所示，不同類別的輻射線，具有不同的穿透力。 α 射線即是氦原子核，一般紙張即可屏蔽，而 β 射線（高能量電子）則需要數公分厚的金屬板才能阻隔， γ 射線是波長小於 30 皮米的高能量光子，具有極強的穿透力，需要厚鉛板或水泥才能有效隔離。過去書中較少被提及的是中子輻射，核反應爐是常見的中子放射源，高能量的中子穿透力比 γ 射線更驚人，需要以富含氫核的物質（如混凝土、水）才能屏蔽。

範例 5-6 核分裂及其能量

習題 16

在核電廠的實際運作中，燃料丸並不會完全產生核分裂。已知每一顆燃料鈾丸（約 1 公克）經核分裂後，會減少 0.1 毫克的質量而釋放出能量，若 1 焦耳 = 0.24 卡，試問：

- (1) 每一顆鈾丸經核分裂過程，會產生多少焦耳的能量？
- (2) 此能量會讓鍋爐中多少公斤的水，溫度由 20 °C 升至 100 °C 沸騰？
- (3) 此能量約為多少度電？
- (4) 以每度電 4 元計算，此能量可售得電費多少元？

分析

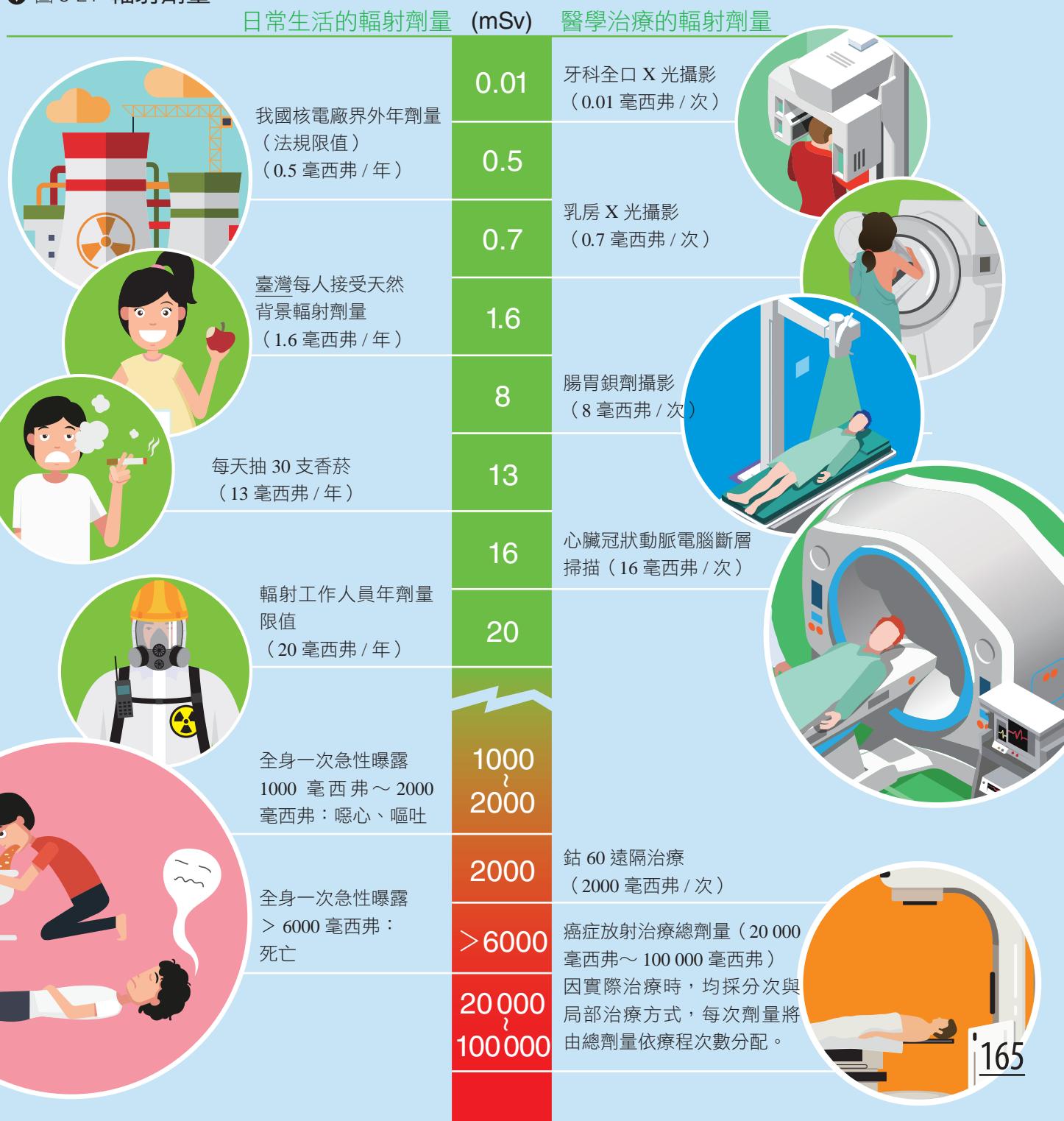
1. 質能互換 $E = (\Delta m)c^2$ 。
2. 吸收熱能： $H = ms\Delta T$ ，其中 m 的單位為公克。
3. 1 度（電）= 1 瓩 · 小時 = 3.6×10^6 焦耳。

解答

$$\begin{aligned}
 (1) E &= (\Delta m)c^2 = (1 \times 10^{-7} \text{ kg}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 9 \times 10^9 \text{ J} \\
 (2) \underbrace{(9 \times 10^9 \text{ J})}_{\text{焦耳}} \times 0.24 \text{ cal/J} &= H = ms\Delta T = \underbrace{m \times 1 \text{ cal} \cdot \text{g} / ^\circ\text{C} \times (100 - 20) ^\circ\text{C}}_{\text{焦耳}} \\
 \Rightarrow m &= 2.7 \times 10^7 \text{ g} = 2.7 \times 10^4 \text{ kg} \\
 (3) \text{度數} &= \frac{9 \times 10^9 \text{ J}}{3.6 \times 10^6 \text{ J} / \text{度電}} = 2500 \text{ 度電} \\
 (4) \text{售得電費} &= 4 \text{ 元} / \text{度電} \times 2500 \text{ 度電} = 1 \text{ 萬元}。
 \end{aligned}$$

人體所受輻射劑量的國際單位為西弗（sievert），符號為 Sv，其定義為 1 西弗 = 1 焦耳 / 公斤，用來表示輻射對人體影響的程度。由於 1 西弗的輻射劑量相當大，故常用的單位是毫西弗（mSv），若短期曝曬超過 6000 毫西弗的輻射劑量，極可能導致急性死亡。目前我國核電廠界外年劑量（法規限值）為 0.5 毫西弗，而日常生活的各種輻射劑量可以參見圖 5-21。而在接受醫學治療時，也需考量全年的輻射劑量，進行整體性評估，並避免不必要的恐慌。

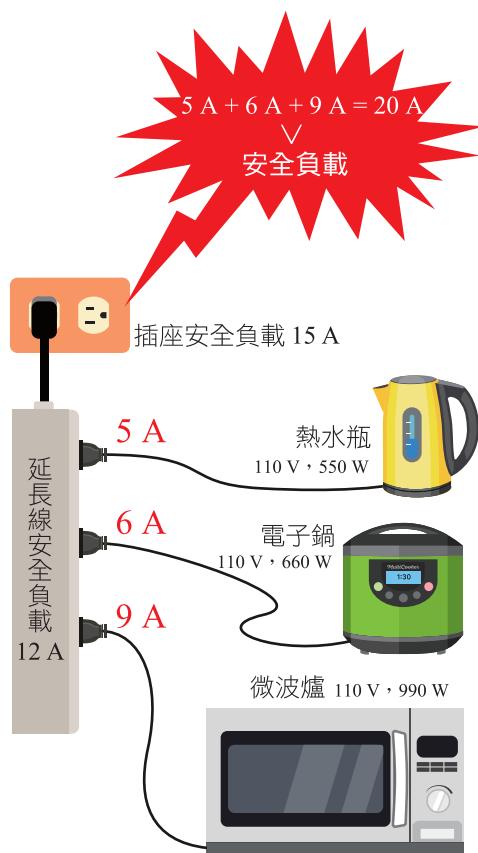
▼ 圖 5-21 輻射劑量



五、電與現代生活

● 圖 5-22 安全負載

由各個電器的功率可以算出所對應的電流，相加可得通過延長線的總電流，若是超過插座或延長線的安全負載，就可能釀成災害。



能量跟我們的生活息息相關，隨著文明演進，人類開發不同的能源，追求更好的生活品質，而在現代生活中，電是最常見也最便利的能量來源。舉凡冰箱、電扇、冷氣機、電熱爐、電暖器、電視機、電腦等等，藉由電力配送，這些家電滿足多元便利的生活需求。隨著科技突飛猛進，手機、平板電腦等等電子設備藉由可攜式電池，加上無線通訊支援，讓我們可以隨處連結上網路，大幅改變生活的型態與樣貌。

但在享受電的便利同時，也必須注意到用電的安全性。首先可以先從家中的配電箱（電源總開關）開始，了解家中電力迴圈的個數與設計。每個電力迴圈都有個開關，可從成對的正負線看出。一個電力迴圈通常提供好幾個插座供電，但有些迴圈只設置一個插座，為高耗電的電器（如冷氣、電熱水器、微波爐等）獨立供電。同一迴圈電器使用總電流若是超過負載，開關就會自動跳脫以避免危險，也就一般所謂的跳電。大家可以檢視一下家中的配電箱，總共有幾個電力迴圈呢？能負載的電流又是多少呢？

有時候因為插座的個數不足或是位置不便，延長線是家居生活的必備品項，但延長線能負載的最大電流有限，若每次都插得滿滿的，恐怕會釀成災害。通過安全檢驗的延長線，都會標明能負載的總電流，而總電流就是各個分電流的總和，如果超過會使電線過熱，甚至引起絕緣的外皮燃燒，導致火災發生。舉例來說（圖 5-22），一般電器都會標示功率 (W)，同時使用電子鍋 (660 W)、微波爐 (990 W) 與熱水瓶 (550 W)，其電流可由功率與電壓 (110 V) 相除算出，分別為 6 A、9 A 與 5 A，總共是 20 A。若該插座與延長線最高負載電流分別為 15 A 與 12 A，由於總電流超過安全負載，同時使用會造成危險！

手機也是電器用品，但因利用電池供電，往往被忽略了。由於網路發達，現代人往往手機黏著度高，多數人即便在使用浴廁時，也會攜入手機或是平板電腦使用。然而由於浴室濕度高，若是一邊充電一邊滑手機，便會產生安全上的疑慮，有些人甚至在泡澡時，拿著充電中的手機使用，這是相當危險的事情，除了觸電的風險外，手機也可能因為高濕度或進水，因漏電或爆炸而造成傷害。正如水能載舟亦能覆舟，現在開始好好注意一下家居的電力迴圈設計、插座與延長線的安全負載，汰換老舊的電器，享受便利同時，也注意用電安全。

重點整理

5-1 能量的形式

- 外力對物體作功 W 為兩者的乘積， $W = Fd$ ，功的單位是牛頓·公尺（N·m），也稱為焦耳（J）。
- 若物體由於所處的位置不同，而具有不同的能量，這種形式的能量稱為位能。
- 以速率 v 運動的物體，其動能為 $K = \frac{1}{2}mv^2$ ，動能的單位與功相同，也是焦耳。
- 物體若只受重力作用，力學能在運動的過程中是守恆的，稱為力學能守恆定律。

5-2 微觀尺度下的能量

- 理想氣體氣體分子間幾乎無作用力，其位能可被忽略，因此理想氣體的熱能，就是所有氣體分子動能的總和。
- 理想氣體的分子平均動能，可以作為溫度的指標。
- 絕對溫標以 -273.15°C 作為絕對零度，每度間的溫差則與攝氏溫標相同。
絕對溫度（K）= 攝氏溫度（ $^\circ\text{C}$ ）+ 273.15

5-3 能量守恆

- 各種形式的能量轉換前後的總能量相等，稱為能量守恆定律。
- 焦耳藉由熱功當量實驗，得到卡與焦耳之間的關係為：1 卡 = 4.186 焦耳。
- 我們無法把熱完全轉換為功，因為自然界有失去秩序的傾向，能量雖然守恆，但作功能力會變差。

5-4 質能互換

- 質量 m 與能量 E 是一體的兩面， $E = mc^2$ ， c 為真空中的光速。故可藉由核反應將些許的質量，轉換成巨大的能量。
- 將數個輕的原子核聚合在一起，形成一個較重的原子核，即是核融合。
- 太陽內部的核融合反應，基本上是 4 個氫原子核融合成一個氦原子核。
$${}_1^1\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + 2 {}_1^0e^+ + 2 {}_0^0\nu$$
- 太陽內部的核融合反應，除了強核力，電磁力與弱核力也扮演重要的角色。
- 經由外界撞擊，一個原子核可以分裂成數個較輕的原子核，稱為核分裂。
- 當鈾-235 原子核受到中子撞擊後，會裂解成 2 個較輕的原子核，並釋放出 2 或 3 個中子，這些中子可以再撞擊其它鈽原子核，形成核分裂的連鎖反應。
- 核電廠的核反應太快時，利用可吸收中子的鎘或硼所做成的控制棒，讓連鎖反應變慢而不至於失控。
- α 射線一般紙張即可屏蔽； β 射線則需要數公分厚的金屬板才能阻隔， γ 射線是需要厚鉛板或水泥才能有效隔離；高能量的中子，需要以富含氫核的物質（如混凝土、水）才能屏蔽。
- 人體所受輻射劑量常用的單位是毫西弗（mSv），若短期曝曬超過 6000 毫西弗的輻射劑量，極可能導致急性死亡。

習題

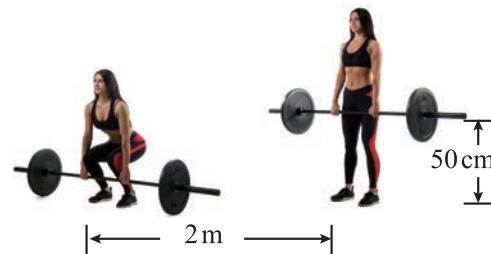
5-1 能量的形式

() 1. 在光滑水平面上，施一固定的水平力於質量 2 公斤的靜止木箱上，使其產生 $5 \text{ 公尺} / \text{秒}^2$

- P.141 的加速度，並移動了 6 公尺的位移，試問施力作功多少焦耳？
 (A) 12 (B) 20 (C) 60 (D) 84 (E) 120。

() 2. 健身教練將質量 20 公斤的槓鈴由地面等速緩慢提至 50 公分的高度，再沿水平面緩慢等速

- P.141 行走 2 公尺後，最後再將槓鈴等速緩慢放下至地面，則健身教練對槓鈴總共作了多少焦耳的功？(設重力加速度為 $10 \text{ 公尺} / \text{秒}^2$)
 (A) 0 (B) 10 (C) 100 (D) 200 (E) 400。



2017 年世界棒球經典賽 (WBC) 為國際職業棒球的重要賽事，由 16 個國家參賽。臺灣參加的第一輪預賽在韓國的首爾舉行。某場比賽中，旅美投手江少慶將質量 150 公克的棒球以 144 公里 / 時的速度投出。若棒球動能的增加量皆來自投手對球作功，依據上述資料，試回答 3 ~ 4 題：

() 3. 棒球與投手分離的瞬間，其動能為多少焦耳？

- P.142 (A) 60 (B) 120 (C) 180 (D) 240 (E) 300。

() 4. 已知投手對球施定力 F ，並使球在施力方向上產生 120 公分的位移，則 F 為多少牛頓？

- P.142 (A) 100 (B) 200 (C) 300 (D) 400 (E) 500。

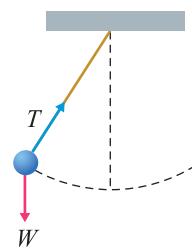
() 5. 芬蘭聖誕老人村是傳說中聖誕老人的故鄉。當村中的雪花正以等速下落時（不熔化），

- P.144 有關雪花的敘述，下列何者正確？
 (A) 力學能守恆，動能亦守恆 (B) 力學能守恆，動能不守恆
 (C) 力學能不守恆，但動能守恆 (D) 力學能不守恆，動能亦不守恆
 (E) 重力位能和動能的總和為定值。

() 6. 如圖所示，繩子一端繫於天花板、另一端綁有小球。將此小球拉高至

- P.144 某高度後由靜止放手，小球受有重力 W ，繩線張力 T ，忽略摩擦力作用。則由靜止放手至小球擺盪到最低點的過程中，下列敘述哪些正確？(應選 3 項)

- (A) 重力對小球作正功 (B) 繩子的張力對小球作負功
 (C) 合力對小球作正功 (D) 小球的動能漸增
 (E) 小球的力學能不守恆。



習題

() 7. 貓擁有強大的跳躍能力，約可跳身長 5 倍的高度，原因是貓會利用全身進行跳躍，且其

P.145 靈活的關節與骨骼結構，有利於力量的傳導。在電影《貓的報恩》中，胖胖和男爵兩隻貓垂直跳離地面可達的高度分別為 125 公分和 180 公分，試問兩隻貓跳離地面的初速比值為若干？

$$(A) \frac{1}{2} \quad (B) \frac{2}{3} \quad (C) \frac{3}{4} \quad (D) \frac{4}{5} \quad (E) \frac{5}{6}.$$

() 8. 電影《飛躍奇蹟》中，主角英國傳奇跳臺滑雪選手艾迪從冬季奧運會的高臺上，不靠滑

P.145 雪杖沿軌道由靜止滑下，已知高臺與地面的高度差為 80 公尺，忽略各種摩擦阻力的影響，試問艾迪由軌道滑出最後落地時的速率為多少公尺 / 秒？

$$(A) 35 \quad (B) 40 \quad (C) 45 \quad (D) 50 \quad (E) 55.$$

5-2 微觀尺度下的能量

() 9. 當定量的理想氣體溫度升高時，下列哪些物理量必增加？（應選 3 項）

P.148 (A) 每一個氣體分子的動能 (B) 每一個氣體分子的速率
(C) 氣體分子的平均動能 (D) 氣體分子的總動能
(E) 理想氣體的熱能。

() 10. 下列有關溫度的敘述，下列敘述何者正確？

P.151 (A) 絶對零度相當於 273.15°C (B) 物質的溫度可以到達 $10\,000^{\circ}\text{C}$ 以上
(C) 宇宙背景溫度為 3 K ，等於 270°C (D) 液態氮的沸點零下 196°C 大於 87 K
(E) 物體吸收熱能之後，溫度必上升。

5-3 能量守恆

() 11. 有關各種形態的能量相互轉換的敘述，下列何者錯誤？

P.152 (A) 鋰電池在充電時，是將電能轉換成化學能
(B) 鋰電池在放電時，是將化學能轉換成電能
(C) 光合作用是將光能轉換為化學能
(D) 水力發電是將位能轉換為電能
(E) 燃油汽車的引擎是將電能轉換成力學能。

() 12. 能量守恆是物理最重要的守恆定律之一，但能源危機卻又是科學家關切的問題。下列關於

P.157 能量或能源的敘述哪些正確？（應選 2 項）

- (A)既然能量是守恆的，所以能量是用不完的，能源危機危言聳聽而已
- (B)能量守恆只有在實驗室中才成立，所以生活中的能量總有被用完的一天，因此能源危機是真的
- (C)各種不同形式的能量間可以互相轉換
- (D)不同形式的能量在轉換過程中，其總值會減少，故有能源危機
- (E)人類利用機械時，在能量轉換過程中不可避免地會產生無法再回收的熱能，雖然總能量守恆，但可利用的能量卻減少了，故有能源危機。

5-4 質能互換

() 13. 某研究室正在進行一項實驗，其反應式如右： ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + \text{n}$ ，已知各粒子的質量分

P.161 別為： ${}^2_1\text{H}$ ：2.0141 u、 ${}^3_1\text{H}$ ：3.0161 u、 ${}^4_2\text{He}$ ：4.0026 u、n：1.0087 u。則：

- (A)核反應式中的 ${}^2_1\text{H}$ 是氫的同位素
- (B)核反應式中的 ${}^3_1\text{H}$ 是氫的同位素
- (C)此實驗是核分裂反應，故反應後會釋放出巨大能量
- (D)此實驗是核融合反應，故生成物的總質量大於反應物的總質量
- (E)因核反應式中反應物和生成物的質量數守恆，故不會有質能釋放出。

() 14. 有關核分裂與核融合的比較，下列何者正確？

P.162 (A)氘核和氚核的融合，須在極低溫環境下才能產生核反應

- (B)核分裂與核融合都會產生大量的放射性廢料
- (C)目前世界上的核電廠大都是運用核融合原理
- (D)二次世界大戰的原子彈是利用核融合原理所製成
- (E)太陽巨大能量來自於其內部的核融合反應。

() 15. 若鈾 (${}^{238}_{92}\text{U}$) 發生核反應，由原子核中放射出一個 α 粒子 (${}^4_2\text{He}$)，則鈾會轉換成下列哪

P.162 種元素？

- (A) ${}^{234}_{90}\text{Th}$ (B) ${}^{234}_{91}\text{Pa}$ (C) ${}^{228}_{88}\text{Ra}$ (D) ${}^{209}_{84}\text{Po}$ (E) ${}^{205}_{82}\text{Pb}$ 。

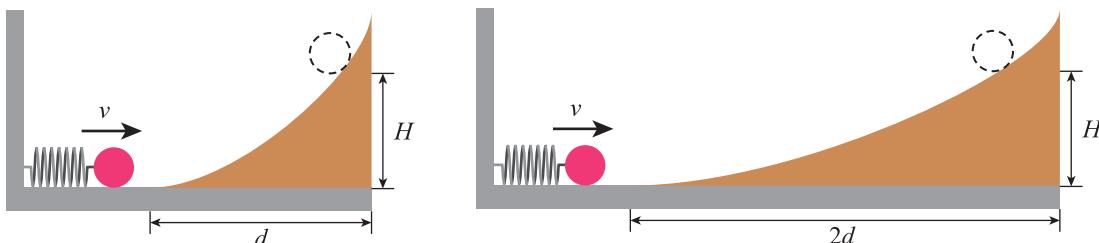
() 16. 在核能電廠的發電過程中，若核燃料減少 10 毫克，且減少的質量轉換為能量後，其中約

P.164 有 80 % 再轉換為電能，試問此電能大小相當於多少度電？

- (A) 10 萬度 (B) 20 萬度 (C) 30 萬度 (D) 40 萬度 (E) 50 萬度。

探究 實驗題

小智設計了一組驗證力學能守恆的實驗裝置，如圖所示。他將一表面光滑的曲面軌道固定於光滑水平地面，並在地面的另一端架設彈簧，利用壓縮彈簧將質量 m 的小球彈出，假設小球每一次經由彈簧彈出瞬間，都能得到 $v = 1$ 公尺 / 秒向右的速度，沿曲面軌道往上爬，但曲面軌道的高度夠高不至於讓球越過。



試回答下列問題。

1. 已知曲面軌道的水平長度為 d 時、小球在曲面軌道所能爬升的最大高度為 H ，若重力加速度量值為 10 公尺 / 秒²，則 H 為何？
2. 今將曲面軌道的水平長度加倍增為 $2d$ ，則小球在曲面軌道所能爬升的最大高度 H' 將變成 H 的幾倍？簡述其理由。
3. 承第 1 題，如果地面和曲面軌道表面並非完全光滑，則小球在曲面軌道所能爬升的最大高度與 H 相較，應增大、減小、還是不變？

素養題

電是現代生活最方便的能量形式，但如何將電輸送到每個家庭呢？1882年，愛迪生在紐約曼哈頓地區建立直流電網，提供數十戶家庭電壓為110V的直流電源，緊接著陸續在芝加哥、波士頓、費城等城市展開直流供電系統。當時直流電網的瓶頸在於供電距離，用戶端幾乎都必須在電廠2公里內，因此需要建置很多電廠，才能擴大供電範圍。

愛迪生的員工特斯拉則著手開發交流電供電技術，由於愛迪生不認同，特斯拉出走後與其他企業合作，在匹茲堡成功建立交流電供電系統，開啟直流電與交流電的商業競爭。由於交流電可利用變壓器，輕鬆改變電壓，因此可以在送電過程中提高電壓，大幅降低電力損耗，達到遠距離供電的目標。由於這個優勢，交流電在競爭中逐漸領先，目前全世界的大型電網，幾乎都採交流電供電。

然而藉由遠距供電建立的龐大電網，也浮現過度集中化的後遺症，造成許多大停電事故發生，如1999年在臺灣發生的729事故、2003年8月14日美國大停電等等。若要維持電網的穩定性，應該開發分散式電源為主的微電網，以避免大停電事故的發生。目前以直流電為主的電網正在實驗中，各種電子設備直接用插頭接上直流電，省去交流電轉為直流電的過程後，可以大幅降低能量損耗。經過多年後，愛迪生當初建構的直流供電系統，似乎也有可取之處呢！

【混合題】

- () 1. 愛迪生開發直流供電系統時，為何電廠需要離用戶端這麼近呢？(應選2項)
- (A)所使用的電壓太低
 - (B)減少電力輸送時的損耗
 - (C)避免連接的家電用品短路
 - (D)調節家電用量，穩定供電
 - (E)避免過度集中化，造成大停電。
2. 為避免大停電事故的發生，應該開發分散式電源為主的微電網，目前微電網的開發與研究，為何以直流電為主，而不是變壓方便的交流電？試說明主要原因為何。

電是現代生活最方便的能量形式，但如何將電輸送到每個家庭呢？

