

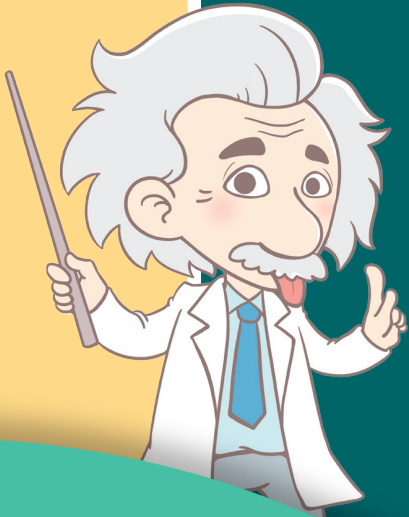
6 能量

本章是高一基礎物理的最後一章，要探討的是「能量」。第一節先複習國中學過的功、位能、動能及力學能守恆…等觀念。

第二節我們要從微觀的角度來分析能量，非常有趣喔！

第三節要探討能量守恆的問題，尤其是同學常有的疑惑「如果能量守恆，為什麼會有能源危機呢？」，在本節將獲得解答。

第四節的重點是核反應，從質能互換切入，分別探討核分裂和核融合的原理、應用與風險。本節最後並會介紹生活中非常實用的用電安全。



學習脈絡

✓ 國中學過

功
 $W=FS$

✓ 國中學過

【能量】
動能、位能
與其他形式

✓ 國中學過

力學能守恆

✓ 國中學過

熱能與內能

理想氣體
的熱能

絕對溫標

能量守恆

質能互換

核分裂

核融合

輻射安全

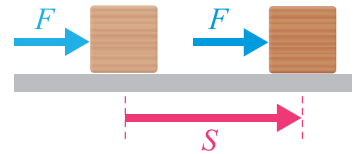
用電與
現代生活

6-1 能量的形式

一 功

1. 功的定義

(1) 我們可以藉由施力來改變物體的能量。如圖 6-1 所示，在光滑平面上將外力 F 作用在物體上，使其在與施力平行的方向產生位移 S 時，則我們稱外力對此物體**作功**。



▲圖 6-1

(2) 作功的量值定義為：**功 = 力 × 與施力平行方向上的位移**

$$\Rightarrow W = \underline{F \times S}。$$

2. 功的正負

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					

3. 功的 SI 制單位

物理量	力 (F)	位移 (S)	功 (W)
單位	牛頓 (N)	公尺 (m)	焦耳 (joule ; J)

功率 & 1 度電

1. **功率** (Power, 故常用代號為 P) 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。

2. 若 Δt 的時距內，力所作之功為 ΔW 時，則其平均功率為 $P = \Delta W / \Delta t$ ，

⇒ 在此時距內該力所作的總功 $\Delta W = P \Delta t$ 。

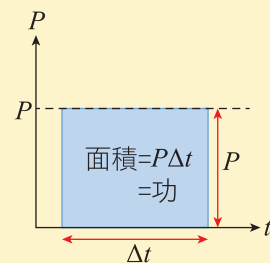
⇒ $P-t$ 圖的面積代表力對物體所作的功。

3. 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

⇒ 1 度電是能量的單位，不是功率的單位。

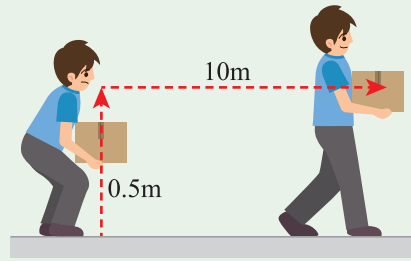
⇒ 1 度 (電) = 1 瓩 · 小時 = 1000 瓦 × 3600 秒 = 3.6×10^6 焦耳。

老師碎碎念



範例 1 功

學藝股長將全班總質量共 4 公斤的物理習作放在教室前方的地板上，老師請小明幫忙搬到教室後面的置物櫃上。小明將習作簿由地面等速提至高度為 0.5 公尺後，沿水平面緩慢行走 10 公尺到達置物櫃。設行走時習作簿維持在離地 0.5 公尺的高度，則小明對習作簿總共作功 _____ 20 _____ 焦耳。（設重力加速度為 10 公尺/秒²）。



解 { 由地面提高 0.5m $\Rightarrow W = F \times S = mgh = 4 \times 10 \times 0.5 = 20(\text{J})$ 。
 { 水平行走 10m \Rightarrow 因施力與位移垂直，故作功 = 0。
 \Rightarrow 共作功 $20 + 0 = 20(\text{J})$ 。

馬解 加速度 $a = \frac{F}{m} = \frac{2}{2} = 1(\text{m/s}^2) \Rightarrow$ 位移 $S = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 6^2 = 18(\text{m})$
 \Rightarrow 作功 $W = F \cdot S = 2 \times 18 = 36(\text{J})$ 。

馬上練習 1

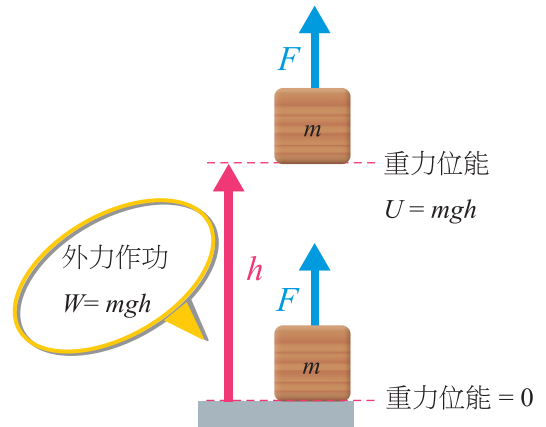
一質量 2 公斤的物體，原靜置於光滑的水平面上，受到 2 牛頓水平力作用，經歷 6 秒，則該水平力作功 _____ 36 _____ 焦耳。

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**。

1. 重力位能

(1) 如圖 6-2 所示，設重力加速度為 g ，對質量為 m 的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。此外力所作的功，會將能量儲存在物體與地球的系統中，且此能量與所提高的位置有關，稱為**重力位能**。



▲圖 6-2

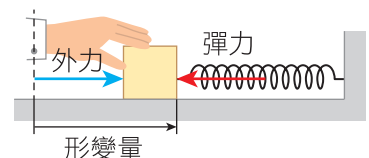
(2) 在整個過程中，所施的外力對物體作功 $W = mgh$ ，恰好等於其位能的變化。

\Rightarrow 以地表為重力位能的零位面，距地表高度 h 處，物體的重力位能 $U =$ _____ mgh _____。

※ **重力位能的零位面可以自由選取，我們通常以地表為零位面。**

2. 彈性能

當拉長或壓縮彈簧時，須施以一個外力來抵抗彈力，如右圖所示。此外力所作的功，會將能量儲存在彈簧系統中，且此能量與其形變量有關，稱為**彈性能**。



▲圖 6-3

老師碎碎念



功與能的關係

為什麼功和能量的單位相同呢？因為功和能量是一種互相轉換的關係。

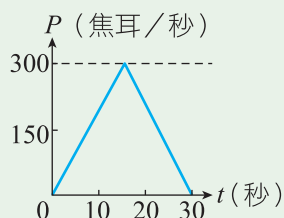
1. 「能量」代表一個物體可對其他物體作「功」的本領。換句話說，一個物體能夠對外界作功時，這個物體必須具有能量。

※ 注意：要作功必須具有能量，但具有能量時不一定得作功。

2. 作功是將能量由一物體傳到另一物體的過程。一個具有能量的物體，可透過作功的方式，將能量傳遞給其他物體。

範例 2 位能

甲生自一樓地面由靜止開始向上爬到一棟建築物的頂層地板後停止。假設在此過程，甲生消耗的體能中，用以克服重力的瞬時功率 P 隨時間 t 的變化如圖所示。已知甲生的質量為 50 公斤，每層樓的高度為 3.0 公尺，重力加速度為 10 公尺 / 秒²。



- (1) 甲生從一樓地面爬至頂層樓板，所消耗的能量有多少焦耳用以克服重力？ (A) 150 (B) 3000 (C) 4500 (D) 6000 (E) 9000。

答：(C)

〈106 學測，答對率 73%〉

- (2) 若甲生爬樓克服重力所消耗的能量，等於上樓所增加的重力位能，則甲生相當於爬了幾個樓層的高度？ (A) 1 (B) 3 (C) 5 (D) 7 (E) 9。

答：(B)

〈106 學測，答對率 55%〉

解 (1) 甲生克服重力所消耗的能量 = 功率 × 時間 = $P-t$ 圖面積 = $\frac{30 \times 300}{2} = 4500$ (J)。

(2) 每上升一層樓所增加的重力位能 = $mg\Delta h = 50 \times 10 \times 3.0 = 1500$ (J)

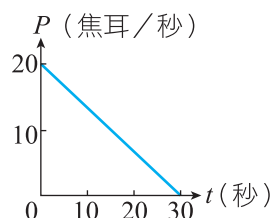
$$\Rightarrow \text{所爬樓層數} = \frac{4500}{1500} = 3 \text{ (層)}。$$

馬解 克服彈力所消耗的能量 = 功率 × 時間 = $P-t$ 圖面積 = $\frac{20 \times 30}{2} = 300$ (J)。

$$\text{由 } U = \frac{1}{2} kx^2 \Rightarrow 300 = \frac{1}{2} \times 150 \times x^2 \Rightarrow x = 2 \text{ (m)}。$$

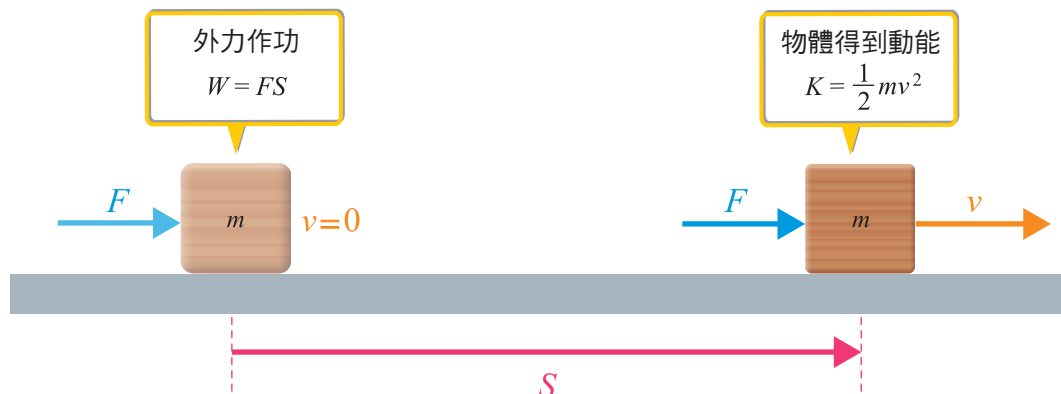
馬上練習 2

已知彈性常數為 k 的彈簧，在比例限度內將其拉長 x 距離後，其儲存的彈性位能 $U = \frac{1}{2} kx^2$ 。某生施力將原來鬆弛的大型彈簧在比例限度內拉長，其用以克服彈力的瞬時功率 P 隨時間 t 的變化如圖所示。已知該彈簧的彈性常數為 150 牛頓 / 公尺，則彈簧被拉長了多少公尺？ (A) 1 (B) 2 (C) 3 (D) 4 (E) 5。 答：(B)



三 動能

1. 運動中的物體，具有作功的本領，亦即具有能量。這種因為運動而具有的能量，稱為**動能**。
例如飛行中的飛機、行駛中的汽車均具有動能。
2. 如圖 6-4 所示，一質量為 m 的物體，原來靜置於光滑水平面上，施水平定力 F ，持續達位移 S 後，速度變為 v ，則：



▲圖 6-4

- (1) 此水平定力使物體獲得加速度 $a = \frac{F}{m}$ 。
- (2) 由等加速直線運動公式可得 $v^2 = v_0^2 + 2aS = 0^2 + 2 \frac{F}{m} S \Rightarrow FS = \frac{1}{2} mv^2$ 。

上式意謂：施力對質量為 m 的物體作功，使其獲得 $\frac{1}{2} mv^2$ 的能量。

- (3) 我們定義質量為 m 、速度為 v 的物體具有動能 $K = \frac{1}{2} mv^2$ 。

非試不可

	施力 F (牛頓)	位移 S (公尺)	動能 K (焦耳)	末速 v (公尺/秒)
狀況一	8	2	16	4
狀況二	16	4	64	8

物體質量 $m = 2$ 公斤，初速為零

四 力學能守恆定律

1. 力學能

(1) 在力學系統中，

有兩種形式的能量：

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{動能：物體因為運動而具有的能量。} \\ \text{位能：物體因為位置或形狀的變化而具有的能量。} \end{array} \right.$$

(2) 動能和位能我們統稱為力學能。

2. 力學能守恆

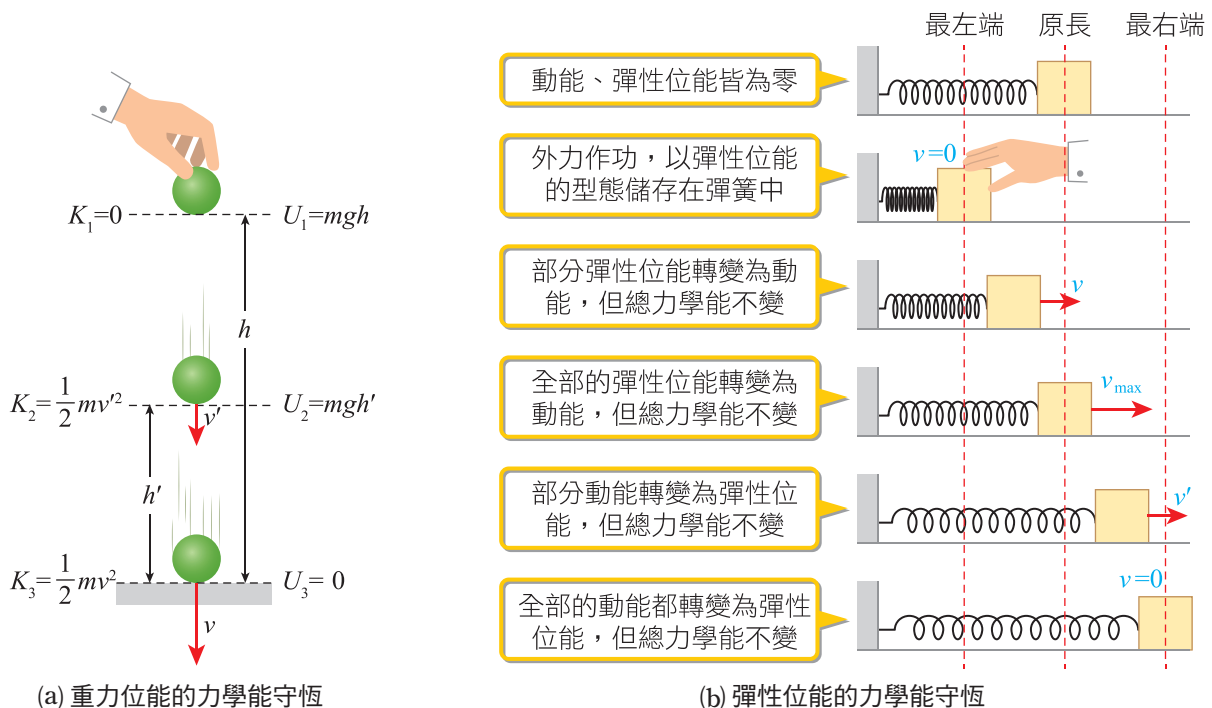
(1) 如圖 6-5(a) 所示，在重力場中，若僅考慮重力作用，而不考慮所有阻力時，動能與位能可互相轉換。若動能減少，則位能增加；若動能增加，則位能減少，但總力學能總是固定不變，稱為力學能守恆定律：

⇒ 在任何高度，**動能 + 位能 = 常數**

⇒ $K_1 + U_1 = K_2 + U_2 = K_3 + U_3 = \text{常數}$

⇒ $0 + mgh = \frac{1}{2}mv'^2 + mgh' = \frac{1}{2}mv^2 + 0$ 。

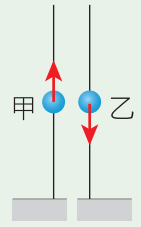
(2) 彈簧系統也有類似的力學能守恆定律，如圖 6-5(b) 所示。



▲圖 6-5

範例 3 力學能守恆

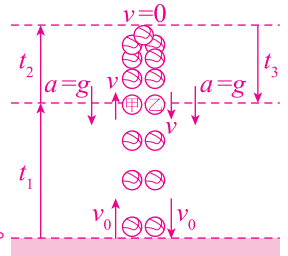
將一個小球從地面鉛直上拋，假設空氣阻力可以忽略。圖中甲時刻和乙時刻分別對應於小球往上升及往下掉的過程中，在任一相同高度處的運動狀態，則下列有關小球於甲、乙兩時刻對應的物理量，哪些一定相同？（應選3項）
 (A) 甲、乙兩時刻的加速度 (B) 甲、乙兩時刻的速度 (C) 甲、乙兩時刻的重力位能 (D) 甲、乙兩時刻的動能 (E) 從地面至甲時刻的時間與自最高點掉落至乙時刻的時間。
 答： (A)(C)(D)



<105 學測，得分率 48%>

解 小球運動的情形如圖所示：

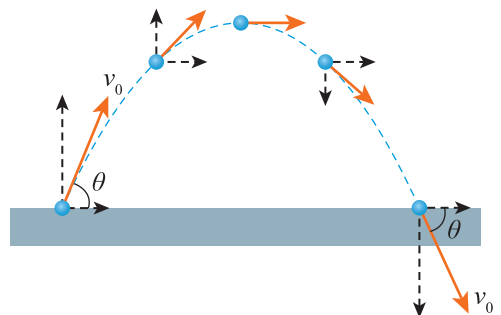
- (A) ○：甲、乙兩時刻的加速度皆為重力加速度 g 。
- (C) ○：甲、乙兩時刻的離地高度相同，故重力位能相同。
- (D) ○：承 (C)，由力學能守恆可知，甲、乙兩時刻動能亦相同。
- (B) ×：承 (D) 可知，兩者的速率相同，但其方向相反，故兩者的速度不相同。
- (E) ×：由對稱性可知，右圖中的 t_2 等於 t_3 ，但 t_3 未必等於 t_1 ，即從地面至甲時刻的時間與自最高點掉落至乙時刻的時間未必相同。



- 馬解 (B) ×：小球在最高點時有水平速度，動能不為零。
 (C) ×：力學能守恆，故沒有增加。
 (D) ×：力學能守恆，從發射到著地都一樣大。
 (E) ×：從發射到著地的加速度都等於重力加速度。

馬上練習 3

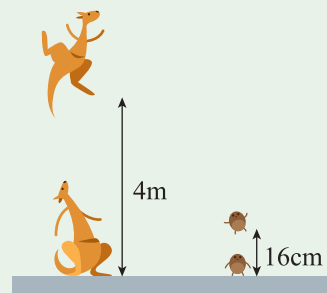
自地面將一小球斜向拋到空中，最後落回地面，其軌跡的示意圖如圖所示。小球在水平方向並無作用力，可保持等速運動，故在最高點時仍有水平速度。若空氣阻力可以忽略，對此過程之敘述，以下何者正確？
 (A) 小球在最高點時，位能最大 (B) 小球在最高點時的動能為零 (C) 小球上升時，力學能持續增加 (D) 小球在落地瞬間，力學能最大 (E) 小球落地時，加速度最大。
 答： (A)



範例 4 力學能守恆

袋鼠是跳得最高的哺乳動物，跳蚤則是動物界的跳高冠軍，牠可以跳到體長 50 倍以上的高度。動物跳躍時會將腿部彎曲然後伸直加速跳起。若某袋鼠和某隻跳蚤跳躍的垂直高度分別為 4.0 公尺和 16 公分，不計空氣阻力，則袋鼠躍起離地的瞬時速度約是跳蚤的多少倍？

(A) 1000 (B) 25 (C) 5 (D) 1 (E) 0.5。答：(C)



解 由力學能守恆 $\Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = mgh \Rightarrow v = \sqrt{2gh} \propto \sqrt{h} \Rightarrow \frac{v_{\text{袋鼠}}}{v_{\text{跳蚤}}} = \sqrt{\frac{4.0}{0.16}} = 5$ ，故選 (C)。

馬解 設最大落差高度為 h ，則由力學能守恆： $\frac{1}{2}mv^2 = mgh \Rightarrow h = \frac{v^2}{2g} = \frac{2.8^2}{2 \times 9.8} = 0.4(\text{m})$ 。

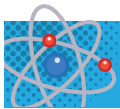
馬上練習 4

鮭魚洄游產卵，遇到水位落差時也能逆流而上。假設落差之間的水流連續，而且落差上下的水域寬廣，水流近似靜止。若鮭魚最大游速為 2.8 公尺 / 秒，且不計阻力，則能夠逆流而上的最大落差高度為何？（設 $g=9.8$ 公尺 / 秒²） (A) 9.8 (B) 2.8 (C) 1.4 (D) 0.8 (E) 0.4 公尺。答：(E)

〈學測〉

五 其他形式的能量

能量的形式	說明	圖示
熱能	<p>熱是能量的一種形式，就原子論的角度來看，熱能其實就是微觀的力學能。</p> <p>※ 詳見 § 6-2。</p>	
電磁能	<p>電磁能包括電能與磁能，兩者可以互相轉換：</p> <p>(1) 電能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，都是利用電能來運作的。</p> <p>(2) 磁能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。</p>	 
光能	<p>(1) 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。</p> <p>(2) 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。</p>	
化學能	<p>儲存在化學鍵中的能量，稱為化學能：</p> <p>(1) 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。</p> <p>(2) 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。</p>	 
核能	<p>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。</p> <p>※ 詳見 § 6-4。</p>	



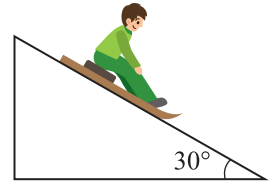
主題探究必考題

· 解析詳見解答本

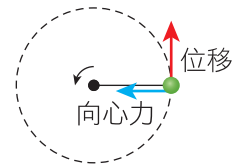
概念 功

- BDE** 1. 有關「功」的敘述，下列哪些正確？（應選 3 項）
- (A) 施力於物體必對其作功 (B) 對質點作功不為零，質點必有位移
(C) 功與速度的方向相同 (D) 功的 SI 制單位為牛頓·公尺
(E) 功與能量的單位相同，常以焦耳為單位。

- D** 2. 如圖所示，小平沿傾斜角為 30° 之草地斜坡自靜止等速度下滑，則：
- (A) 重力作功為零 (B) 摩擦力作功為零 (C) 正向力作正功
(D) 合力作功為零 (E) 以上皆非。



- ACE** 3. 下列選項中，作功恆為零者有哪些？（應選 3 項）
- (A) 單擺擺動時，擺線張力對擺錘所作的功
(B) 單擺擺動時，重力對擺錘所作的功
(C) 物體作等速圓周運動時（如圖），向心力對物體所作的功
(D) 人跳高時，重力對人所作的功
(E) 滑雪時，地面正向力對滑雪者所作的功。

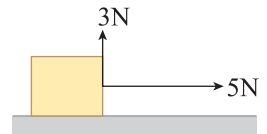


4. 施 10 牛頓的向右水平力於質量 2 公斤之靜止木塊上，使木塊在光滑水平長桌上向右移動，則 2 秒後：



- (1) 木塊的速率為 10 公尺 / 秒；動能為 100 焦耳。
(2) 木塊的位移為 10 公尺；水平力對木塊作功 100 焦耳。
(3) 驗證外力所作的功，是否恰與木塊動能的變化量相等？答：是

5. 一物體在光滑水平面受兩力作用，一力量值 5 牛頓，平行於水平面；另一力量值 3 牛頓，垂直於水平面，如圖所示。若物體沿水平面前進 5 公尺，此過程中合力對物體作功 25 焦耳。



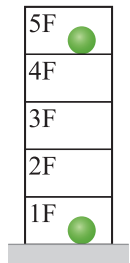
6. 質量為 5 公斤的物體靜止於地面，今施以 200 牛頓的拉力將物體自地面垂直向上提起 2 公尺。若 $g=10$ 公尺 / 秒²，則：
- (1) 拉力對物體所作的功為 400 焦耳。
(2) 重力對物體所作的功為 -100 焦耳。
(3) 合力對物體所作的功為 300 焦耳。

概念 重力位能

- CDE** 7. 質量為 m 的小球位於地表上方高度 h 處 ($h \ll R$)，若地球半徑為 R 、地表處重力加速度為 g ，則下列敘述哪些正確？（應選 3 項）
- (A) 小球的重力位能為 mgh
(B) 小球的重力位能為 $mg(R+h)$
(C) 重力位能是相對值，故須指定零位面後，才能計算重力位能的值
(D) 小球的重力位能由小球和地球所共同擁有
(E) 當小球再升高 Δh 時，重力位能可增加 $mg\Delta h$ 。

8. 胖虎將一個質量 5 公斤的小箱子由 1 樓地板搬到 5 樓地板，設每層樓高 3 公尺，重力加速度為 10 公尺/秒^2 ，試問：

- (1) 此期間箱子的重力位能增加 600 焦耳。
 (2) 若以 1 樓地板為零位能處，則在 5 樓地板處箱子的重力位能為 600 焦耳。
 (3) 若以 2 樓地板為零位能處，則在 5 樓地板處箱子的重力位能為 450 焦耳。



9. 質量 0.5 公斤的蘋果，自由落下 4 秒後，高度降低 80 公尺，重力位能減少 400 焦耳。（設 $g=10\text{m/s}^2$ ）。

概念 彈性能

10-11 題為題組

已知彈性常數為 k 的彈簧，在比例限度內將其拉長 x 距離後，其儲存的彈性能 $U = \frac{1}{2} kx^2$ 。

今有一條彈簧原長為 30 公分，在比例限度內，施力 20 牛頓可以將其拉長為 40 公分，試回答下列問題：

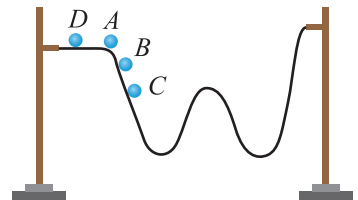
- D 10. 此彈簧的彈性常數 k 為多少牛頓 / 公尺？
 (A) 50 (B) 100 (C) 150 (D) 200 (E) 250。
A 11. 此時彈簧所儲存的彈性能為多少焦耳？
 (A) 1 (B) 2 (C) 3 (D) 4 (E) 5。

概念 動能

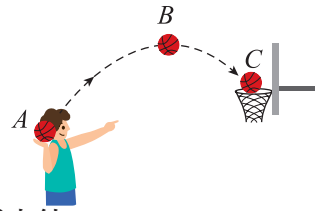
- BCE 12. 有關「動能」的敘述，下列哪些正確？（應選 3 項）
 (A) 物體的動能和速度大小成正比 (B) 動能的單位可為公斤·公尺²/秒²
 (C) 動能的單位和「功」的單位相同 (D) 動能是向量
 (E) 物體具有動能時，即有對外作功的能力。
E 13. 質量 10 公斤的靜止物體，受定力 30 牛頓作用而開始加速，力作用 10 秒後，物體的動能為多少焦耳？
 (A) 0 (B) 1000 (C) 1500 (D) 3000 (E) 4500。

概念 力學能守恆定律

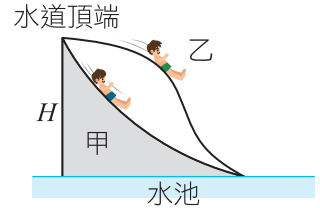
- B 14. 如圖所示，在光滑的凹槽鉛軌上，將一小鋼珠分別自不同位置釋放，並使其沿軌道滑出。其中在 D 點位置以某初速滑出，而 A 、 B 、 C 三點則自靜止釋放（設 D 與 A 等高，且釋放後仍在軌道內運動），則從四個位置釋放後，下列關於小鋼珠可到達對邊高度的敘述，何者正確？
 (A) $D=A>B>C$ (B) $D>A>B>C$ (C) $D=A=B=C$
 (D) $D=A<B<C$ (E) $D<A<B<C$ 。



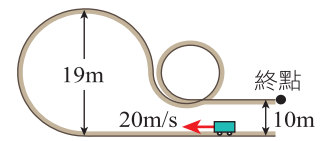
- ADE** 15. 小智在 A 點將籃球投出，經最高處 B 點後，在 C 點進入籃網，不計空氣阻力，則下列敘述哪些正確？（應選 3 項）
- (A) 球於 A 點動能最大 (B) 球於 B 點時動能為零
 (C) 球至 C 點時位能最大 (D) 球於 C 點速度量值小於 A 點
 (E) 由 A 點經 B 點至 C 點的過程中，一路上都遵守力學能守恆定律。



- C** 16. 在水池上有兩個高度同為 H ，但不同形狀的滑水道。甲、乙兩人分別同時自此二水道頂端，由靜止開始下滑，如圖所示。若摩擦力可忽略，下列關於到達水道底端時的敘述，何者正確？



- (A) 同時到達 (B) 甲的速率比乙大 (C) 到達水道底端時，甲和乙的速率相同 (D) 甲和乙的動能相同 (E) 甲和乙的位能相同。
17. 在遊樂場中，有一雲霄飛車的軌道如圖所示。若車的質量為 100 公斤、重力加速度為 10 公尺 / 秒²，在不考慮摩擦阻力的情況下，當車以 20 公尺 / 秒的速率由底部出發後，試問當車抵達離地高度 10 公尺的終點時，車的動能為 10000 焦耳；速率為 $10\sqrt{2}$ 公尺 / 秒。



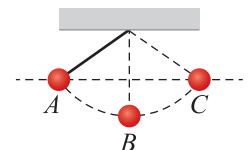
概念 其他形式的能量

- ABE** 18. 太陽能是指太陽的輻射能，臺灣的天然能源有限，因此太陽能的利用值得開發。以下有關太陽能的敘述，哪些正確？（應選 3 項）
- (A) 太陽能電池可將太陽能轉換成電能 (B) 太陽能熱水器可將太陽的輻射能轉換為水的熱能 (C) 臺灣目前許多交通號誌所使用的發光二極體 (LED) 即是直接利用太陽能發光 (D) 太陽能目前尚未成為人類主要的能源來源，最主要的原因是抵達地表的太陽能總量無法滿足全球能源需求 (E) 太陽的輻射能提供了光合作用所需的能量。

進階實力挑戰題

1-2 題為題組

如圖所示，將擺錘自 A 靜止釋放，如不計一切阻力作用，經最低點 B 到達 C 後又擺回 A ，試回答下列問題：



- ABC** 1. 單擺的擺錘由 A 擺至 B 時，下列敘述哪些正確？（應選 3 項）
- (A) 在 A 時擺錘動能最小，位能最大
 (B) 在 B 時擺錘動能最大，位能最小
 (C) 擺錘位能的損失，完全轉變為動能
 (D) 在 B 時擺錘速率最大，故力學能總和比在 A 時為大
 (E) 重力作負功。

1. (D)×：總力學能不變。

(E)×：由 A 點擺至 B 點期間，重力皆和運動方向夾銳角，故重力作正功。

ABD 2. 在 A 經 B 至 C 的擺動過程中，下列敘述哪些正確？（應選 3 項）

- (A) 在 A 和 C 的力學能相等 (B) 從 A 到 C ，重力對擺錘所作的總功為零
 (C) 在擺動過程中，擺繩的張力對擺錘作正功 (D) 合力做功為零
 (E) 若考慮阻力，由力學能守恆定律， C 的高度仍等於 A 高度。

2. (C) ×：繩子的張力時時和位移方向垂直，故做功為零。

(E) ×：若考慮阻力時，會有能量的損失， C 高度會比 A 低。

BE 3. 在地表附近，對質量固定的物體而言，下列哪些正確？（應選 2 項）

- (A) 重力位能與高度無關 (B) 物體高度增加，則重力位能亦增加
 (C) 重力位能和高度成正比 (D) 重力位能和高度成反比
 (E) 重力位能的增加量與高度的增加量成正比。

3. (1) 當高度增加 Δh 時，重力位能會增加 $mg\Delta h$ ，即 $\Delta U = mg\Delta h$ ----(A) ×、(B)(E) ○。

(2) 若設地表處位能 = 0，因高度 h 處的位能比地表處增加 mgh ，故 $U_{\text{高}h\text{處}} = mgh + 0 = mgh$ ，此時才可說重力位能 U 和高度 h 成正比。若以其他處為重力位能零位面，則選項 (C) 敘述便不成立。

4. 水平桌面上有一質量 m 的木塊，以初速度 v 在粗糙平面上滑行，經距離 L 後停止不動。則在這個過程中：

(1) 桌面的正向力做功為 0。

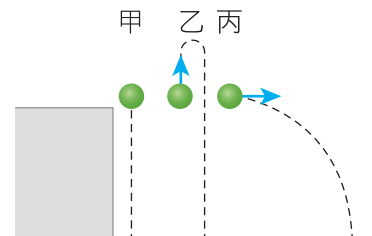
(2) 摩擦力做功為 $-\frac{1}{2}mv^2$ 。(3) 摩擦力的大小為 $\frac{mv^2}{2L}$ 。

4. (1) 正向力和位移方向垂直，故做功為零。

(2) 摩擦力作負功，其量值 = 物體減少的動能 = $\frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow$ 做功 = $-\frac{1}{2}mv^2$ 。

(3) $F \times L = -\frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow F = -\frac{mv^2}{2L}$ （負號代表摩擦力是阻力）。

AC 5. 在離地高度相同處，將甲、乙、丙三種質量相等的小鐵球以不同的方式被拋出。其中甲球由靜止自由釋放。乙球以 v 的速度鉛直上拋。丙球以 v 的速度水平拋出。若不計空氣阻力與摩擦力的影響，下列敘述哪些正確？（應選 2 項）



- (A) 甲、乙、丙的加速度相同 (B) 甲、乙、丙的位移相同
 (C) 重力對甲、乙、丙所作的功相同 (D) 甲、乙、丙三球的總力學能都相同
 (E) 甲、乙、丙三球，落地的速率都相同。

5. (A) ○：皆為重力加速度 g 。

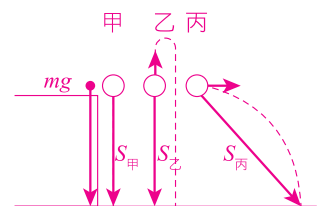
(B) ×：如圖所示， $S_{\text{丙}} > S_{\text{甲}} = S_{\text{乙}}$ 。

(C) ○：如圖所示，重力皆為 mg ，沿重力方向的位移皆為 h ，故重力做功皆為 mgh 。

(D) ×：以地面為重力位能的零位面，則總力學能：

甲： $mgh + 0$ ，乙： $mgh + \frac{1}{2}mv^2$ ，丙： $mgh + \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow$ 甲 < 乙 = 丙。

(E) ×：力學能不同，落地時的速率就不同 ($v_{\text{甲}} < v_{\text{乙}} = v_{\text{丙}}$)。





大考試題精選

• 解析詳見解答本

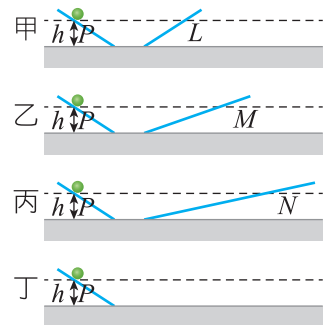
BE 1. 跳遠比賽時，某生助跑後從起跳板躍起落在沙坑中，已知起跳點與落地點在同一水平面。若空氣阻力可忽略，跳遠者僅受重力作用且可視為質量集中於質心的質點，則在該生起跳後到落地前的過程中，下列有關其運動的敘述哪些是正確的？（應選 2 項）

- (A) 該生作等速度運動
- (B) 該生作等加速度運動
- (C) 該生作變速圓周運動
- (D) 該生的速率在最高點達最大
- (E) 該生落地前的瞬間速率等於躍起時的瞬間速率。

〈101 學測，得分率 53%〉

2-3 題為題組

16 世紀伽利略設計了一個光滑沒有阻力的斜坡道實驗，如圖所示。左邊的坡道斜度是固定的，但是右邊坡道的斜度與長度不同，甲為最陡坡道，丁為一假想情境，沒有任何坡度且可水平的展延到無窮遠處。將一小球分別在甲、乙、丙、丁四個坡道由高度為 h 的 P 點靜止放下，實驗發現，在甲、乙、丙三個坡道，球最後都可以到達高度相同的 L 、 M 、 N 三個點，且與球的質量無關。



DE 2. 根據上文，下列敘述哪些正確？（應選 2 項）

- (A) 在坡道底部，較重的球比較輕的球滑動速度較快
- (B) 在坡道底部，較輕的球比較重的球滑動速度較快
- (C) 不同質量的球所受的重力都相同
- (D) 球經由丁坡道滑下後會維持等速度前進，不會停下來
- (E) 利用丁坡道的想像實驗可推論出動者恆動的說法。

〈102 學測，得分率 53%〉

CE 3. 上文所描述的運動過程中，下列哪些物理量不會隨時間發生改變？（應選 2 項）

- (A) 甲坡道上球的重力位能
- (B) 乙坡道上球的動能
- (C) 丙坡道上球的力學能
- (D) 丁坡道上球的重力位能
- (E) 丁坡道上球的力學能。

〈102 學測，得分率 60%〉

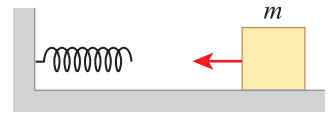
C 4. 下列何者為能量的單位？

- (A) 公斤·公尺
- (B) 公斤·公尺/秒²
- (C) 公斤·公尺²/秒²
- (D) 公斤·公尺/秒
- (E) 公斤·公尺²/秒。

〈104 學測，答對率 36%〉

5-6 題為題組

一質量可忽略的理想彈簧左端固定於牆上，其力常數為 k ，如圖所示。一質量為 m 的木塊，以初速率 v 向左滑行於水平面上，在正面擠壓彈簧後與彈簧保持接觸，直到被向右彈回，兩者分離。



已知彈簧壓縮量為 x 時，其彈簧位能 $U = \frac{1}{2} kx^2$ ，而木塊與彈簧系統的力學能，定義為木塊動能與

彈簧位能的總和。依據上述資料，回答下列問題。

ACE 5. 若木塊與水平面間沒有摩擦力，則木塊與彈簧系統的力學能守恆。在沒有摩擦力的假設下，下列敘述哪些正確？（應選 3 項）

- (A) 彈簧最大壓縮量 $x = \sqrt{\frac{m}{k}} v$
- (B) 在壓縮過程中，木塊的動能守恆
- (C) 木塊彈回右方起始位置時的速率為 v
- (D) 木塊在剛開始壓縮彈簧時受力最大
- (E) 彈簧被壓縮到最短時，木塊所受彈簧作用力最大。

〈105 學測，得分率 46%〉

AB 6. 當木塊與水平面間有摩擦力時，木塊與彈簧系統的力學能會持續減少。在有摩擦力的情況下，下列敘述哪些正確？（應選 2 項）

- (A) 彈簧最大壓縮量 $x < \sqrt{\frac{m}{k}} v$
- (B) 木塊彈回右方起始位置時速率小於 v
- (C) 木塊彈回右方起始位置時速率等於 v
- (D) 當彈簧的壓縮量為最大時，系統的力學能為最小
- (E) 當彈簧的壓縮量為最大時，系統的力學能為最大。

〈105 學測，得分率 45%〉

B 7. 王君搭乘熱氣球在廣闊無風的平原上空觀賞風景，熱氣球以等速度 5.0 公尺 / 秒鉛直上升時，王君不小心使相機從離地高度為 100 公尺處離手而成為自由落體，若不計空氣阻力並取重力加速度為 10 公尺 / 秒²，則相機著地前瞬間的速度量值約為多少公尺 / 秒？

- (A) 55 (B) 45 (C) 35 (D) 25 (E) 15。

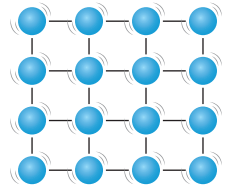
〈109 學測〉

6-2 微觀尺度下的能量

一 熱能與內能

1. 熱能與內能

- (1) 所有的物體都是由微小的原子或分子所組成。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，帶有動能也具有位能。例如，一塊靜止的銅並沒有在運動，但其內部的銅原子卻是永不休止地在搖擺振動，如圖 6-6 所示。
- (2) 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。換言之，以原子尺度的角度來看，**熱能其實就是微觀的力學能**。
- (3) 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**。



▲圖 6-6 銅塊內的原子不停地晃動

2. 動能與溫度

我們可以用溫度計來探知物體的溫度，而物體的溫度所反應的是物體內分子擾動的情況：**溫度愈高**，物體內部的分子晃動的愈快，其分子**平均動能就愈大**。

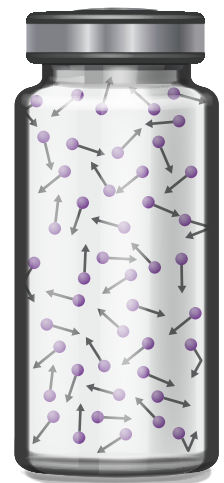
二 理想氣體的熱能

1. 理想氣體

- (1) 由於氣體分子具有體積，且彼此間存在著作用力，分析氣體的行為時頗為複雜。為了簡化問題，科學家假想了一種理想狀況的氣體，我們稱之為**理想氣體**。
- (2) 理想氣體必須滿足以下兩個條件：
 - ① 本身所占之體積與氣體所充滿之體積相比可以略去。
 - ② 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，亦為其總內能。

2. 理想氣體的動能與溫度

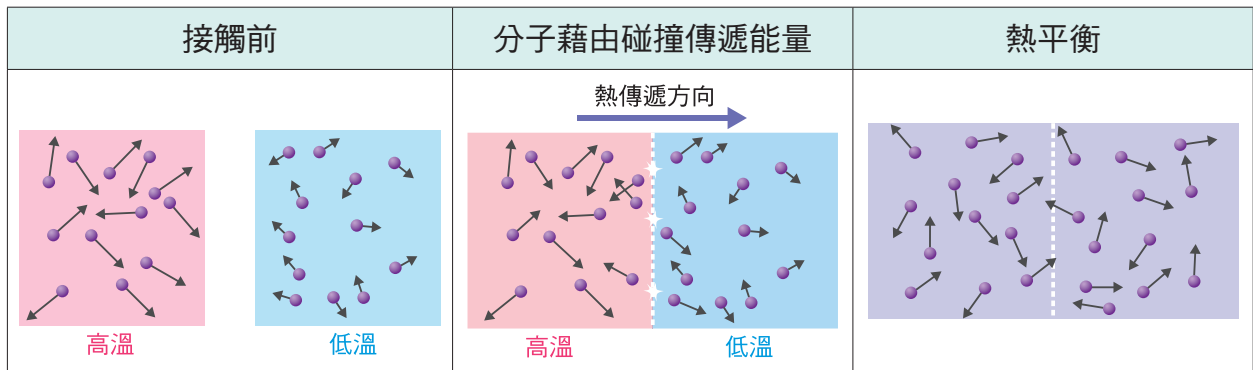
- (1) 如圖 6-7 所示，從微觀的尺度來看理想氣體，分子間的碰撞會造成速度的改變，因此每個氣體分子的動能，會隨著時間變化。但在巨觀的尺度上，氣體分子的數量龐大，當處於固定溫度的平衡態時，氣體的平均動能是定值。雖然無法確切知道每個分子的運動（微觀），但氣體**的熱能（巨觀）僅由溫度決定**。
- (2) 溫度的高低可作為理想氣體分子平均動能大小的指標。
 - ① **溫度低**時分子運動平均速率較慢，其**平均動能較小**。
 - ② **溫度高**時分子運動平均速率較快，其**平均動能較大**。



▲圖 6-7

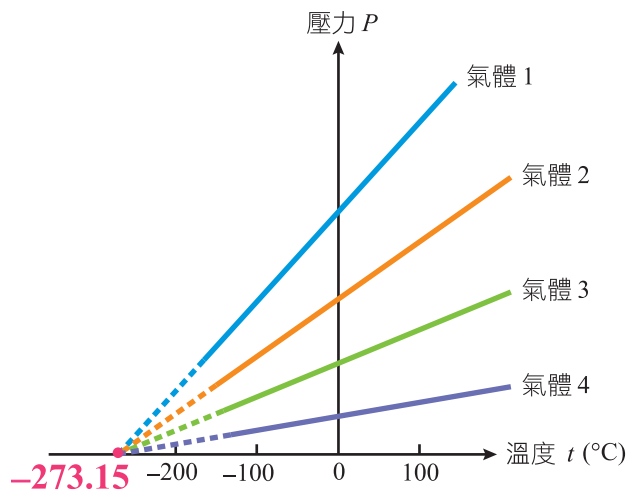
三 微觀角度看熱傳導

1. 不同溫度的物體接觸後，會有能量的傳遞，稱為熱傳導。
2. 高溫物體與低溫物體接觸時，熱會由高溫處傳向低溫處，使得高溫物體降溫，內能減少，而低溫物體升溫，內能增加。
3. 微觀來看，高溫處分子的平均動能較大，經碰撞後，會將能量傳給低溫處的分。這些能量的傳遞，就是巨觀上熱能傳導的現象。



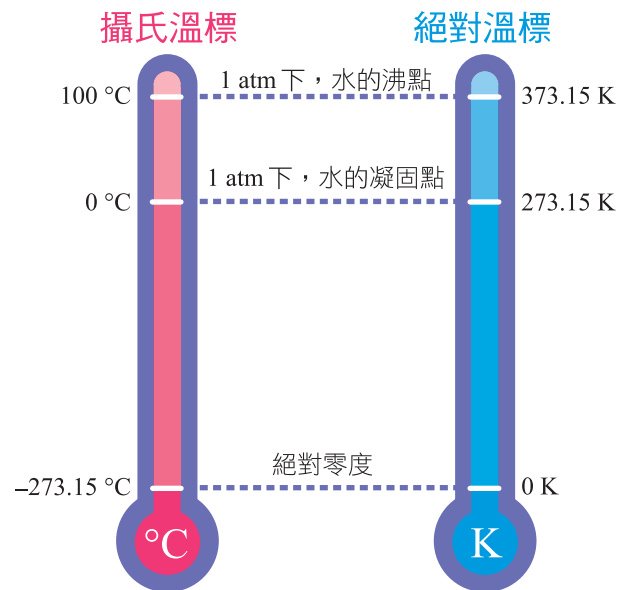
四 絕對溫標

1. 當溫度下降時，氣體分子的運動變慢，因此壓力也跟著下降。科學家發現，不同的理想氣體，當溫度降到 -273.15°C 左右，氣壓都應該變成零，如圖 6-8 所示。
2. 在 1848 年，克耳文 (Lord Kelvin, 1824-1907, 英國人) 建議採用絕對溫標，以 -273.15°C 作為絕對零度，每度間的溫差則與攝氏溫標相同，其單位為 K，絕對零度記作 0K。
 \Rightarrow 若 T 代表物體的絕對溫度， t 代表物體的攝氏溫度，則 $T = t + 273.15$ 。
3. 絕對溫標也稱為克氏溫標，為 SI 制採用的溫標。



▲圖 6-8 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 6-9 溫標的轉換

絕對溫標與攝氏溫標的轉換。



主題探究必考題

• 解析詳見解答本

概念 理想氣體

- ACD** 1. 下列哪些為理想氣體之特性？（應選 3 項）
- (A) 分子間無吸引力 (B) 分子間有位能存在
(C) 理想氣體的熱能就是氣體分子的總動能 (D) 理想氣體的熱能就是總內能
(E) 分子之體積不可忽略。

概念 熱能與內能

- CD** 2. 有關「熱能」的敘述，下列哪些正確？（應選 2 項）
- (A) 物體內原子、分子間有位能稱為熱能 (B) 物體內原子、分子的動能稱為熱能
(C) 熱能亦稱為內能 (D) 兩物接觸，熱能由溫度高者流向溫度低者
(E) 兩物接觸，熱能由熱能多者流向熱能少者。
- CD** 3. 下列關於溫度及能量的敘述，哪些正確？（應選 2 項）
- (A) 溫度的 SI 制單位為攝氏溫標
(B) $0^{\circ}\text{C} = -273.15\text{K}$
(C) 理想氣體的溫度愈高，氣體分子的平均動能愈大
(D) 物體溫度升高，則內能必增大
(E) 物體內能增大，則溫度必升高。
- ADE** 4. 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）
- (A) 理想氣體的熱能 (B) 每一個氣體分子的動能
(C) 每一個氣體分子的速率 (D) 氣體分子的平均動能
(E) 氣體分子的總動能。

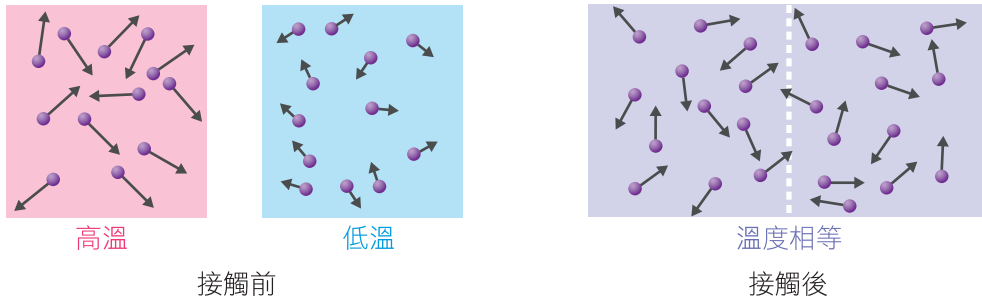
概念 微觀角度看熱傳導

- AE** 5. 下列有關熱傳導的敘述，哪些正確？（應選 2 項）
- (A) 不同溫度的物體間會有能量傳遞，稱為熱
(B) 兩溫度不同的物體進行熱傳導時，能量由熱量高的物體傳向熱量低的物體
(C) 承 (B)，由熱能低的物體傳向熱能高的物體
(D) 進行熱傳導時，高溫物體會降溫以增加內能
(E) 微觀來看，熱傳導是分子藉由碰撞來傳遞能量。

概念 絕對溫標

- B** 6. 下列有關溫度的敘述，何者正確？
- (A) 絕對零度相當於 273.15°C (B) 物質的溫度可以到達 10000°C 以上
(C) 物質的溫度可以低於零下 300°C 以下 (D) 液態氮的沸點為零下 196°C ，等於 87K
(E) 物體吸收熱能之後，溫度必上升。

CD 1. 如圖所示是兩溫度不同的理想氣體互相接觸後，經由熱傳導的過程而到達熱平衡的微觀模型，箭頭長度代表平均速度的量值。下列敘述哪些正確？（應選 3 項）



- (A) 兩個氣體接觸後，是利用熱輻射的方式交換熱量
- (B) 高溫氣體的每個氣體分子，其動能必大於任一個低溫氣體分子的動能
- (C) 總熱量會由高溫氣體傳給低溫氣體
- (D) 總熱量會由平均動能高的氣體傳給平均動能低的氣體
- (E) 總熱量會由總內能低的氣體傳給總內能高的氣體。

1. (A) ×：利用碰撞的方式交換熱量。

(B) ×：動能皆有高、有低，高溫氣體只是「平均動能」大於低溫氣體的「平均動能」，還是會有高溫氣體的「個別」分子動能小於低溫氣體「個別」分子動能的情形。

(C)(D) ○：總熱量會由高溫傳向低溫，而高溫者其平均動能高於低溫者。

(E) ×：我們僅能利用溫度高低判斷熱量的傳遞方向，無法由總內能高低判斷熱量的傳遞方向。



大考試題精選

• 解析詳見解答本

BC 1. 當質量 2 公斤的鐵塊和質量 3 公斤的銅棒接觸時，熱會由鐵塊傳向銅棒。接著將此銅棒放入質量為 2 公斤的水中時，水的溫度會升高，則下列哪些選項的敘述是正確的？（應選 2 項）

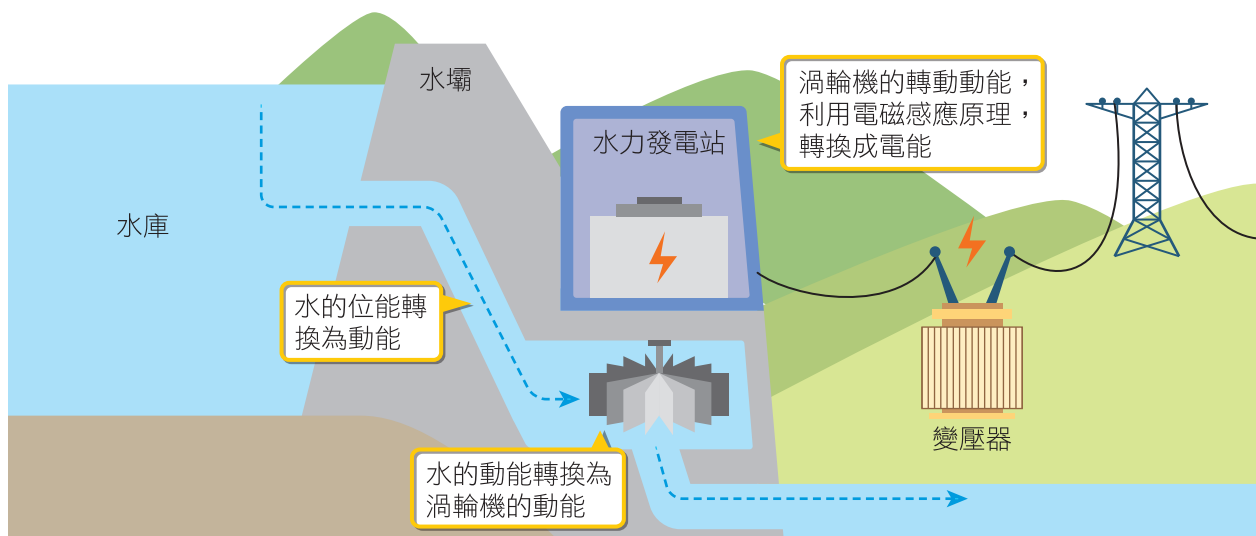
- (A) 因為鐵塊所含的熱量比銅棒多，所以熱會由鐵塊傳向銅棒
- (B) 鐵塊的溫度比水高
- (C) 銅棒和水剛接觸時，銅棒的溫度比水高
- (D) 因為銅棒的比熱比水大，所以熱由銅棒傳向水，使水溫升高。

〈學測〉

6-3 能量守恆

一 能量間的轉換

1. 不同形式間的能量可以互相轉換，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。
2. 以水力發電為例，在發電過程中，能量的形式經過多次轉變，如圖 6-10 所示：
 - (1) 首先水自水壩流下，重力位能轉換為動能。
 - (2) 落下的水流衝擊渦輪機內的葉片，轉換成旋轉的動能。
 - (3) 渦輪機的轉動動能，最後再利用電磁感應原理，轉換成電能。



▲圖 6-10

3. 由於能量的概念具共通性，不同能量間的轉換過程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（ATP，化學能），讓我們可以感覺思考（電能）或是運動（力學能）。

老師碎碎念

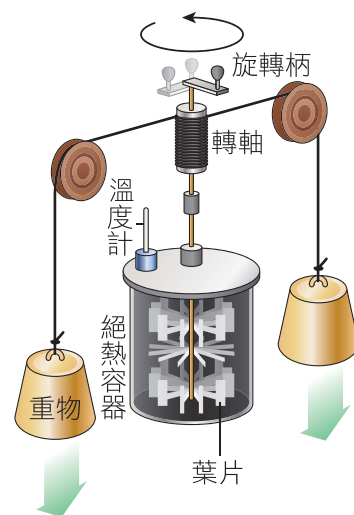
能量形式的分類並非絕對

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，是組成的原子或分子的動能。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。



二 熱功當量

1. 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？
2. 英國人焦耳在 1837 年至 1847 年間，以一連串的實驗證實了**熱量與功之間可以互相轉換**，並定出了它們單位之間換算的比值，圖 6-11 是其中最著名的一種裝置。
3. 焦耳在圖 6-11 的絕熱容器內裝水，容器內置有葉片，讓兩個重物往下掉，帶動葉片旋轉而攪動水，水溫因此升高。在此過程中，重物的重力位能先轉變成葉片的動能，再轉變成讓水溫上升的熱能。焦耳測量了重物下降的高度，以及水溫的變化，配合已知水的比熱，得到熱與能量的比值是一個常數，稱為**熱功當量**。



▲圖 6-11 焦耳實驗裝置示意圖

4. 目前公認的熱功當量值為 $\begin{cases} 1 \text{ 卡的熱量} = \frac{4.186 \approx 4.2}{1} \text{ 焦耳的能量。} \\ 1 \text{ 焦耳的能量} = \frac{1}{4.186} \approx \frac{1}{4.2} \approx 0.24 \text{ 卡的熱量。} \end{cases}$

三 能量守恆

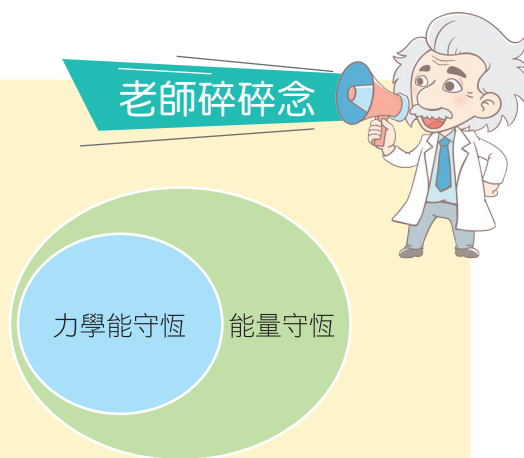
1. 各種形式的能量可以互相轉換。若不涉及質能互換，在轉換的過程中，能量不會憑空產生，也不會憑空消失，總和維持固定的值，稱為**能量守恆定律**。
2. 當能量的型態轉換時，雖然總能量守恆，但總會有一部分的能量是我們無法使用的，而散失了這部分的能量。例如：汽車引擎的效率通常低於 20%，汽油的化學能僅有一小部分轉換成車子的力學能，許多能量轉換為逸失的熱能。
3. 由此可知，能量固然守恆，卻不代表可以有效運用：能量一經轉換後，可以再利用的部分變少，並不會維持永久不變。因此能量即便守恆，也不代表我們不會面臨能源危機。

力學能守恆與能量守恆

能量守恆和力學能守恆並不是矛盾的關係，而是包含的關係，如圖所示。

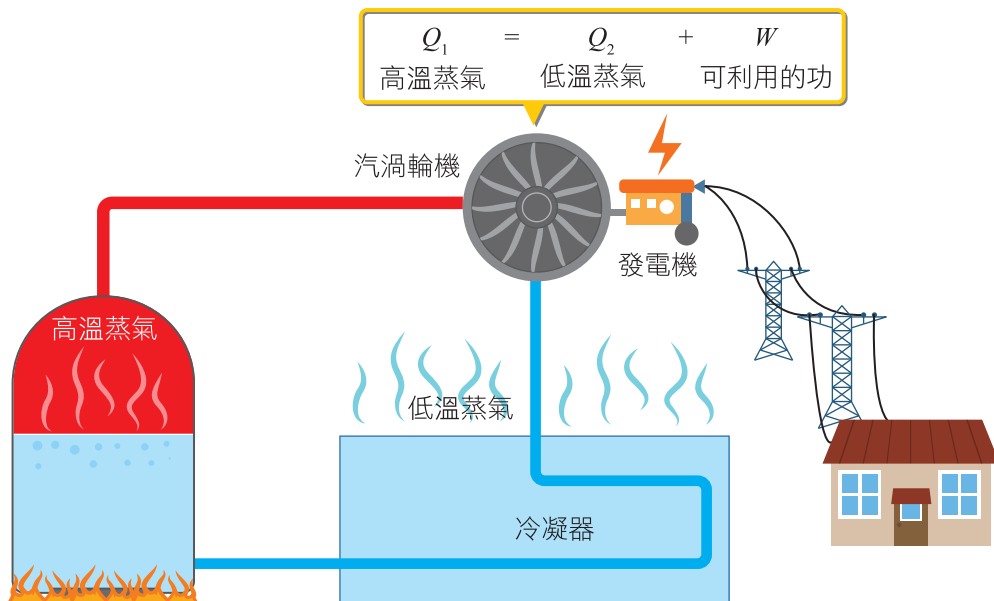
舉例而言，將球自高空中自由落下，若不考慮空氣阻力，球加速落下的過程中，重力位能逐漸轉換為動能，其力學能守恆。若考慮空氣阻力，此時球的位能並未完全轉為動能，部分轉換為熱能散失，但是整體的能量仍然遵守能量守恆定律。

老師碎碎念



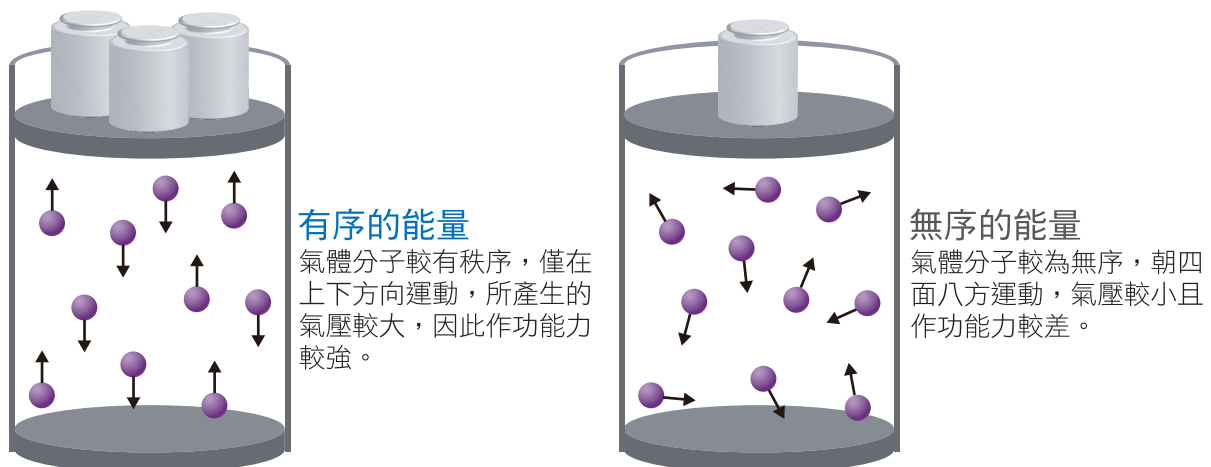
四 作功的能力

1. 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。
2. 如圖 6-12 所示，當高溫蒸氣推動汽渦輪機，在汽渦輪機的運作中，高溫蒸氣所帶的熱量 Q_1 ，一部分轉換為功 W ，另一部分則變成低溫廢氣的熱量 Q_2 ，並沒有辦法全部轉換為功。而根據能量守恆定律， $Q_1 = Q_2 + W$ ，但與高溫蒸氣相比，低溫廢氣的作功能力較差，我們可以說能量的「品質」變差了。



▲圖 6-12

3. 作功能力變差，是因為自然界有失去秩序的傾向。如圖 6-13 所示，即便總能量相同，有序的能量作功能力較強。然而根據自然定律，有序的氣體分子無法恆久維持，經相互碰撞後，氣體分子將會朝各個方向運動，變成較無秩序。在每次能量轉換後，雖然轉換前後的總能量相等，但系統會變得更亂，因此不容易輸出功。



▲圖 6-13 有序的能量作功能力較強

範例 1 能量守恆與能源危機

物理學上有「能量守恆」的原理，我們也常聽到「能源危機」的議題，下列哪種才是正確的？(A)「能量守恆」只有在特殊情況下才成立，一般來說，能量愈用愈少，總有用完之時，故有「能源危機」(B)「能量守恆」表示總能量不會減少，故能量是用不完的，所以「能源危機」只是勸人節省的口號而已(C)能量在使用中相互轉換，其總值會減少，故有「能源危機」(D)「能量守恆」總是成立的，但是被用來發電、行車的汽油與煤，用過之後變成廢氣和熱能，不易再使用，故有「能源危機」。

答：(D)

〈學測〉

解 能量守恆是指各種不同形式的能量間可以互相轉換，但總能量不變。雖然「能量守恆」一定成立，但在能量轉換的過程中，總有一部分會轉換成無法再利用的能量。因此，人類目前所使用之能源的確是愈來愈少，因此有「能源危機」的產生，故(D)的敘述正確。

馬解 阻力產生的熱能會散逸於空氣中，不可能轉換為動能，故選(E)。

馬上練習 1

高空彈跳者一躍而下，繩索伸長到最大長度時將彈跳者往上拉回，接著彈跳者又落下，然後再被繩索拉回，接連重複數次。在這彈跳過程中，下列何種能量轉換最不可能發生？(A)彈性位能轉換為重力位能 (B)彈性位能轉換為動能 (C)重力位能轉換為動能 (D)動能轉換為重力位能 (E)阻力產生的熱能轉換為動能。答：(E) 〈101 學測，答對率 79%〉

範例 2 能量間的轉換

我國明潭抽蓄水力發電廠以日月潭為上池，以水里溪河谷為下池，利用兩池之間約 400 公尺的水面落差，進行抽蓄水力發電，供應臺灣尖峰電力需求，由於下池蓄水量極為豐沛，上下池水面落差可視為定值。水力發電機組的總容量為 200 萬瓩 (2×10^9 瓦)，是世界上巨型抽蓄水力發電廠之一。試回答(1)～(2)題。

(1) 抽蓄水力發電，其能量轉換主要的過程為下列何者？(A)電能→水的位能→水的動能→電能 (B)電能→水的動能→水的位能→電能 (C)水的動能→化學能→水的位能→電能 (D)電能→化學能→水的動能→電能 (E)化學能→水的位能→水的動能→電能。答：(A) 〈100 學測，答對率 64%〉

(2) 今以明潭抽蓄水力發電廠為例，假設每天的離峰時間為 5 小時，離峰時的多餘電力功率為 10 萬瓩 (1×10^8 瓦)，且該電力可完全用於作功將水抽蓄，則此電廠每天約可將多少立方公尺的水從下池抽到上池？取重力加速度的量值為 10 公尺/秒²，水的密度為 1000 公斤/公尺³ (A) 1×10^4 (B) 5×10^5 (C) 5×10^8 (D) 1×10^9 (E) 2×10^{11} 。答：(B) 〈100 學測，答對率 39%〉

解 (1) 抽蓄水力發電是在離峰時間時，利用多餘「電能」，將水抽蓄至較高處的方式，以「水的位能」儲存能量，在尖峰時間利用上池水與下池水高低位能差，將上池水放下，變成「水的動能」，推動水輪機發電，變回「電能」。其能量轉換主要的過程為：電能→水的位能→水的動能→電能，故選(A)。

$$(2) W = Pt = mgh = V\rho gh \Rightarrow 1 \times 10^8 \times 5 \times 60 \times 60 = V \times 1000 \times 10 \times 400$$

$$\Rightarrow V = 450000 = 4.5 \times 10^5 \approx 5 \times 10^5 (\text{m}^3)。$$

馬解 (1) 水力發電是先將水的重力位能轉換為水的動能，再透過發電機轉換為電能，故選(C)。

(2) 愈接近壩底，水壩的厚度愈厚，故水庫的形狀並非長方體，而是類似如圖，其底部的面積較小，而水面的面積較大。因此估算水面的面積時，若用總體積來估算，誤差會很大。應取接近水面的小體積來估算，才會比較接近長方體，誤差就會很小。取最後兩個數據，如圖所示

$$\Rightarrow \Delta V \approx A \times \Delta h \Rightarrow A \approx \frac{\Delta V}{\Delta h} = \frac{47}{5} = 9.4 \text{ (百萬平方公尺)}。$$

(3) 水的密度為

$$\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3 = \frac{1.0 \times 10^{-3} \text{ kg}}{1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 10^3 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow 30 \text{ m}^3 \text{ 的水，}$$

$$\text{其質量 } M = V\rho = 30 \times 10^3 = 3.0 \times 10^4 \text{ kg}$$

\Rightarrow 水流量 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ ，意即每秒有 $3.0 \times 10^4 \text{ kg}$ 流過發電機，

依題目說明，重力位能的 25% 可用來轉換為電能。

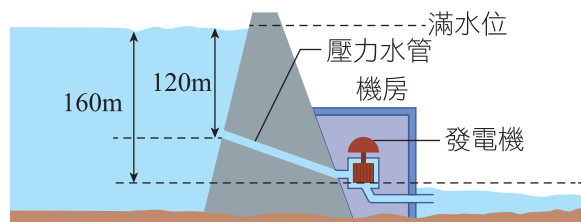
$$\Rightarrow \text{最大功率} = \frac{\text{總能量}}{\text{總時間}} = \frac{mgh \times 25\%}{1 \text{ s}} = \frac{3.0 \times 10^4 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 160 \text{ m} \times 25\%}{1 \text{ s}}$$

$$= 1.2 \times 10^7 (\text{W}) = 1.2 \times 10^4 (\text{kW}) = 12 (\text{MW})。$$



馬上練習 2

一座水庫的蓄水量與從壩底算起的水位關係如表所列，水位 250 公尺時為滿水位。在滿水位下方 120 公尺處，設置壓力水管將水引入發電機，進行水力發電，發電機位於滿水位下方 160 公尺處，如圖所示，且愈接近壩底，水壩的厚度愈厚。（取重力加速度 g 為 10 公尺/秒²，水的密度為 1.0 公克/公分³）



▼水庫水位與蓄水量

水位 (公尺)	220	225	230	235	240	245	250
水量 (百萬立方公尺)	1063	1084	1110	1140	1176	1217	1264

(1) 依據圖所示的水力發電設計，就能量轉換的觀點，下列敘述何者正確？ (A) 水的熱能轉換成電能 (B) 水的化學能轉換成電能 (C) 水的重力位能轉換成電能 (D) 電能轉換成水的力學能 (E) 水的彈性能轉換成電能。 **答：** (C) 〈108 學測，答對率 83%〉

(2) 滿水位時，水庫水面的面積最接近多少百萬平方公尺？ (A) 15 (B) 9.4 (C) 6.5 (D) 5.1 (E) 0.10。 **答：** (B) 〈108 學測，答對率 28%〉

(3) 已知發電廠設計的水流量為 30 公尺³/秒，若本發電裝置僅可將水力所提供能量的 25% 轉換為電能，且水庫在維持滿水位情況下發電，則本發電廠的最大發電功率約為多少？ (A) 12MW (B) 4MW (C) 12kW (D) 4kW (E) 1.5kW。

答： (A) 〈108 學測，答對率 21%〉

示範實驗四 力學能守恆



1. 實驗目的：

利用簡易的鋼珠與軌道，觀察鋼珠力學能的轉換。

2. 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)

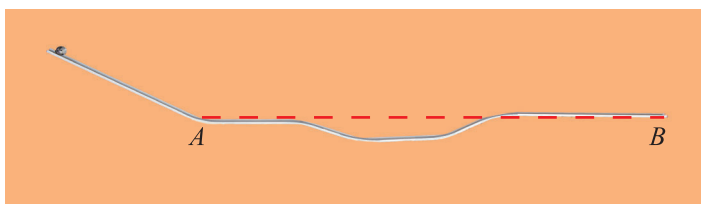
鋼珠 2 顆



3. 實驗步驟：

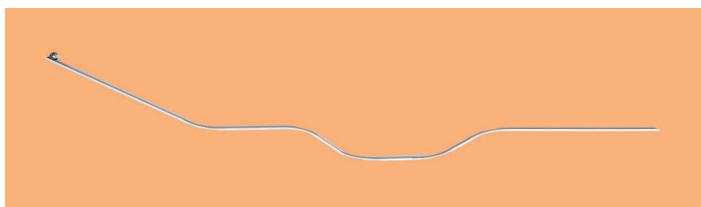
(1) 單一下凹軌道

先取一支塑膠軌道，彎曲成兩端等高，中間凹陷的形式（即右圖中的 A 、 B 兩處等高）。取一顆鋼珠放置軌道左端，輕推鋼珠使其有緩慢的初始速度，觀察鋼珠在各點的快慢變化。



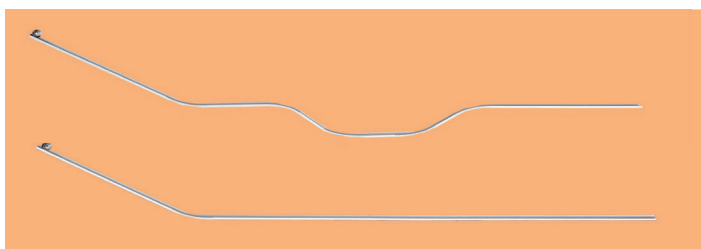
(2) 改變軌道深度

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。



4. 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？而深度愈深的軌道，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？



主題探究必考題

· 解析詳見解答本

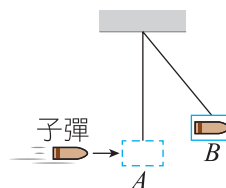
概念 能量間的轉換

BDE 1. 下列有關各種形式的能量轉換之敘述，哪些正確？（應選 3 項）

- (A) 綠色植物的光合作用：光能→熱能
- (B) 光使照相底片感光：光能→化學能
- (C) 水力發電：熱能→動能→電能
- (D) 汽油燃燒使汽車行駛：化學能→熱能→力學能
- (E) 乾電池放進手電筒供照明用：化學能→電能→光能。

AB 2. 如圖表示某子彈在 A 點時射中木塊，且停留在木塊中，使木塊盪到最高處 B 點。則到達 B 點時，子彈原有的動能變成下列哪些？（應選 2 項）

- (A) 熱能 (B) 重力位能 (C) 木塊的動能 (D) 化學能 (E) 以上皆非。



概念 熱功當量

CD 3. 有關「熱量」的敘述，下列哪些正確？（應選 2 項）

- (A) 熱量是質量的一種，稱為熱質 (B) 溫度與熱量是相同的物理量
- (C) 熱量的單位可以是焦耳 (D) 若以手持續攪拌一杯水，可使水溫升高
- (E) 1 卡約等於 0.24 焦耳。

B 4. 下列有關焦耳「熱功當量實驗」的敘述，何者錯誤？

- (A) 該實驗係將重錘的力學能轉換成熱能
- (B) 該實驗係利用化學能轉換為熱能
- (C) 重錘必須緩慢的下降
- (D) 須測得水溫的變化量
- (E) 熱功當量是指熱量與對應的功之比值。

5. 小明用一個標示為 420 瓦（註：1 瓦 = 1 焦耳 / 秒）的熱水器，加熱 1 公升 20°C 的水至沸騰，已知水的比熱為 1 卡 / 公克 $\cdot^{\circ}\text{C}$ ，1 卡 = 4.2 焦耳，則：

- (1) 將此 1 公升的水加熱至沸騰，共需吸收 80000 卡的熱量，相當於 336000 焦耳。
- (2) 若熱水器產生的熱可全部被水吸收，則小明將水加熱至沸騰的時間為 800 秒。

概念 能量守恆定律

CD 6. 有關「能量守恆定律」，其內涵指的是對一個封閉系統而言（應選 2 項）

- (A) 力學能的總和不隨時間而變 (B) 電磁能的總和不隨時間而變
- (C) 各種能量的總和不隨時間而變 (D) 各種形式的能量可以互相轉換 (E) 以上皆非。

- ADE** 7. 某人於無風的狀態下在水平路面上沿一直線騎腳踏車，已知車速愈快，空氣阻力愈大。下列有關其騎車過程的敘述，哪些是正確的？（應選 3 項）
- (A) 以不同的速度等速行進時，車速愈快愈費力，主要是須要克服來自空氣的阻力
 (B) 腳踏車行進時，地面與輪胎間如有滑動，則動摩擦力對人和腳踏車構成的系統並不作功
 (C) 如果考慮的系統包括人和腳踏車，則腳踏車行進時，系統的力學能是守恆的
 (D) 腳踏車行進時，地面與輪胎間的正向力，對人和腳踏車構成的系統並不作功
 (E) 如果考慮的系統包括人、腳踏車和地球，則腳踏車在加速、減速時，整個系統的能量是守恆的。

概念 作功的能力

- AB** 8. 下列敘述哪些正確？（應選 2 項）
- (A) 我們無法把熱完全轉換為功
 (B) 自然界有失去秩序的傾向
 (C) 自然界有整齊排列的傾向
 (D) 具有相同能量的等質量氣體，若氣體分子較為無序，朝四面八方運動時，會具有最強的作功能力
 (E) 自然界遵守能量守恆律，因此不可能發生能源危機。

進階實力挑戰題

1. 將 1000 瓦功率的電器，連續使用 1 小時，所需的能量稱為「1 度電」或「1 千瓦 - 小時」。試問：
- (1) 1 度電是哪個物理量的單位？
 (A) 電壓 (B) 電流 (C) 電阻 (D) 電功率 (E) 電能。答：(E)
- (2) 1 度電相當於 3.6×10^6 焦耳，相當於 864000 卡的熱量。（令 1 焦耳 = 0.24 卡）
- (3) 1 度電的能量若轉換成 100 公斤物體的重力位能，可使該物體的高度增加 3600 公尺。（令 $g = 10$ 公尺 / 秒²）
- (4) 1 度電的能量若轉換成 20 公斤物體的動能，可使物體的速率由靜止變為 600 公尺 / 秒。
- (5) 小宏打網咖，將規格為「110V、400W」的電腦，連續使用 20 小時，假設電腦在使用期間的耗電功率維持 400W，則其耗用的電能為 8 度電。若 1 度電的電費為 3 元，則網咖老闆的電費支出為 24 元。

1. (1) 由 $P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P \times t$ 可知：「千瓦 × 小時」是能量的單位。
 (2) $1 \text{ 度電} = 1 \text{ 千瓦} \times \text{小時} = 1000 \text{ 瓦} \times 3600 \text{ 秒} = 3.6 \times 10^6 \text{ (J)} = 3.6 \times 10^6 \times 0.24 \text{ (cal)} = 864000 \text{ (cal)}$ 。
 (3) 由 $U = mgh \Rightarrow 3.6 \times 10^6 = 100 \times 10 \times h \Rightarrow h = 3600 \text{ (m)}$ 。
 (4) 由 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow 3.6 \times 10^6 = \frac{1}{2} \times 20 \times v^2 \Rightarrow v = 600 \text{ (m/s)}$ 。
 (5) 度數 = $0.4 \text{ 千瓦} \times 20 \text{ 小時} = 8 \text{ 度電}$ ，電費 = $3 \times 8 = 24 \text{ (元)}$ 。

- B** 2. 一瀑布高為 420 公尺，假設水由瀑布頂端落至底端時的動能有 70% 變成熱能，且熱能可全部被水吸收。若重力加速度為 10 公尺 / 秒²、熱功當量為 4.2 焦耳 / 卡，則瀑布頂端與底端的水溫相差
- (A) 0.42°C (B) 0.70°C (C) 0.95°C (D) 1.76°C (E) 4.2°C。

2. 設有 m 公斤的水自由落下，且落下後溫度升高 Δt °C，70% 的動能（位能） $\xrightarrow{\text{轉換}}$ 熱能
 $\Rightarrow m g H \times 70\% = (1000 m \times 1 \times \Delta t) \times 4.2 \Rightarrow 10 \times 420 \times 70\% = 1000 \times \Delta t \times 4.2 \Rightarrow \Delta t = 0.7$ 。



大考試題精選

• 解析詳見解答本

C 1. 下面有關各種形態的能量相互轉換的敘述中，哪一項是錯誤的？

- (A) 家庭瓦斯爐將化學能轉換成熱能 (B) 水力發電機將力學能轉換成電能
(C) 飛機噴射引擎將電能轉換成力學能 (D) 光合作用將光能轉換成化學能
(E) 太陽能電池將光能轉換成電能。

〈學測〉

AD 2. 質量皆為 m 的兩相同金屬塊，且其初始溫度相同，以相同速率 v 對撞之後靜止，達成熱平衡後溫度上升 ΔT 。若不計阻力與熱量散失，小華預測不同對撞條件下，溫度的上升量如下表，則表中的預測哪些正確？（應選 2 項）

選項	質量	速率	預測溫度上升量
(A)	$2m$	v	ΔT
(B)	$2m$	v	$2\Delta T$
(C)	m	$2v$	$2\Delta T$
(D)	m	$2v$	$4\Delta T$

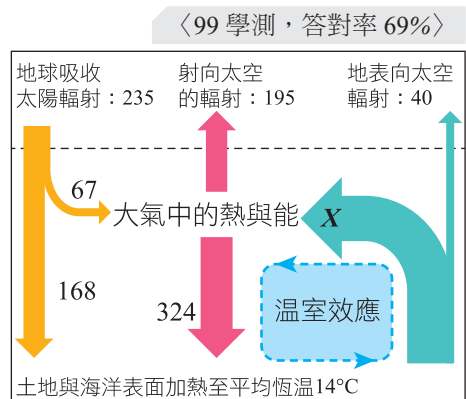
〈學測〉

C 3. 吃完午飯、午休後，小華很有力氣的將椅子搬到桌子上準備打掃。請判斷下列小華搬椅子時能量轉換的敘述，何者錯誤？

- (A) 小華搬椅子的動作是將食物內物質的化學能轉換成肌肉收縮的能量
(B) 小華搬椅子的動作是將肌肉收縮的能量轉換成椅子的位能
(C) 食物中物質的化學能都轉換成肌肉的能量
(D) 能量轉換過程中會有熱能的產生。

A 4. 如圖為溫室效應的簡化模型之一（圖中數據的單位為 W/m^2 ），展現了自然界，包含了太空、大氣與地表（水、陸平均）之間的能量流向與功率，以及溫室效應。圖中 X 為地表每單位面積轉移給大氣的熱量功率。依據右圖的資料與能量守恆定律，並以 W/m^2 為單位時， X 的數值最接近下列何者？

- (A) 452 (B) 492 (C) 324 (D) 235 (E) 168。



〈改自 106 學測，答對率 47%〉

5-6 題為題組

科學家發現光碟表面的微結構能提升太陽電池吸收日光的效率。如果先利用高分子材料將光碟表面的結構轉印下來，再轉移至太陽電池上，此微結構的尺寸介於 150 至 250 奈米間，不但可讓入射光線在元件內部的移動距離增長，並且可使元件吸收幾乎全部波段的日光，進而提升光能轉換成電能的效率，相較於未使用光碟圖案的太陽電池，其元件吸收效率高出 22%，效果卓越。

BD 5. 由上文可得知，哪些因素會影響太陽電池由光能轉換成電能的效率？（應選 2 項）

- (A) 電池的工作溫度 (B) 光在電池內部行經的路徑長 (C) 電池內外結構的電阻係數
(D) 電池吸收日光的波長範圍 (E) 太陽與電池之間的距離。

〈108 學測，得分率 63%〉

D 6. 光碟面之微結構的尺寸，約為一個氫原子直徑的多少倍？

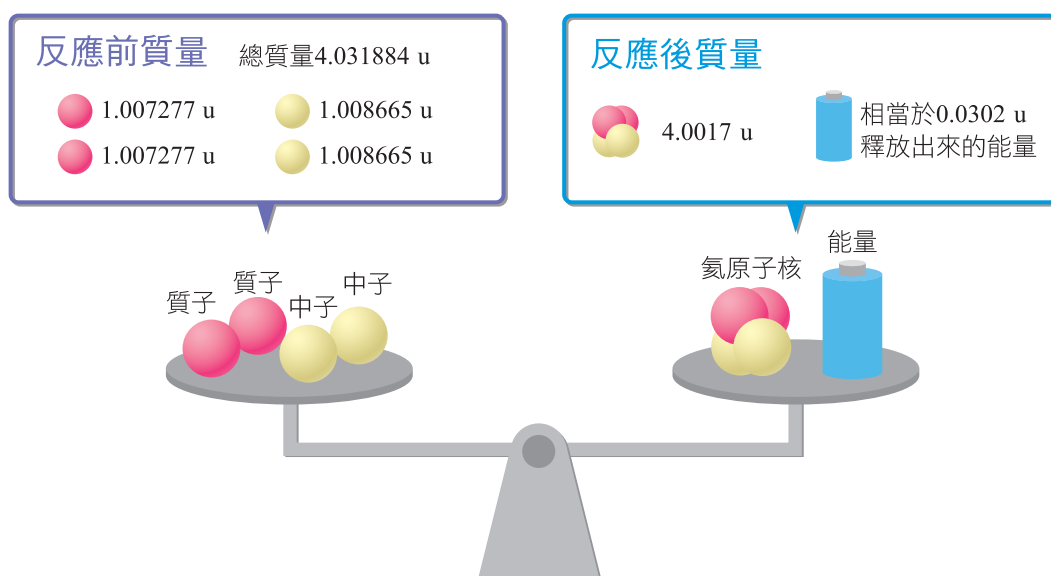
- (A) 0.1 (B) 1 (C) 10 (D) 1000 (E) 10000。

〈108 學測，答對率 56%〉

6-4 質能互換

一 愛因斯坦的質能互換

1. 愛因斯坦於 1905 年提出質量與能量是等效的觀念，質量為 m 的物體，即便它是靜止的，也具有靜能量 E ， E 與 m 的關係為 $E=mc^2$ ，式中的 c 為光速。
2. 換言之，質量可以轉換為能量，能量亦可轉換成質量。當質量 Δm 的物質轉換為能量時，釋出的能量為 $\Delta E = \Delta mc^2$ 。
3. 一般的化學反應，只與電子的轉移有關，故反應前後的總質量會守恆。但在核反應中，反應前後的總質量並不守恆，會有少許的質量損失。這些消失的質量正是核反應巨大能量的來源，如圖 6-14 所示。



▲圖 6-14

原子質量單位

1. 原子或原子核的質量，一般是用原子質量單位來表示，記為 u 。一個原子質量單位，定義為一個碳原子 ($^{12}_6\text{C}$) 質量的十二分之一，其值為 $1u = 1.660539 \times 10^{-27}$ 公斤。
2. 根據上面的定義，質子的質量為 $1.007277u$ ，而中子的質量為 $1.008665u$ ，都十分接近一個原子質量單位，但是中子比質子稍稍重一些。

老師碎碎念



範例 1 質能互換

在核反應中，損失的質量可轉換為巨大能量，這正是核能發電的基本原理。設某個核電廠的反應器內由於不斷的進行核反應，結果核燃料減少了 1 公克的質量。假設減少的質量全部轉換成電能，則可產生多少度的電能？ (A) 8.3×10^4 (B) 2.5×10^7 (C) 2.5×10^{10} (D) 9×10^{13} (E) 9×10^{16} 。答：(B)

解 由質能互換公式可得： $\Delta E = \Delta mc^2 = 0.001 \times (3 \times 10^8)^2 = 9 \times 10^{13} \text{ (J)}$

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

\Rightarrow 度數 = $\frac{9 \times 10^{13}}{3.6 \times 10^6} = 2.5 \times 10^7 \text{ (度)}$ ，故選 (B)。

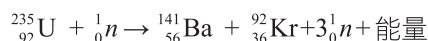
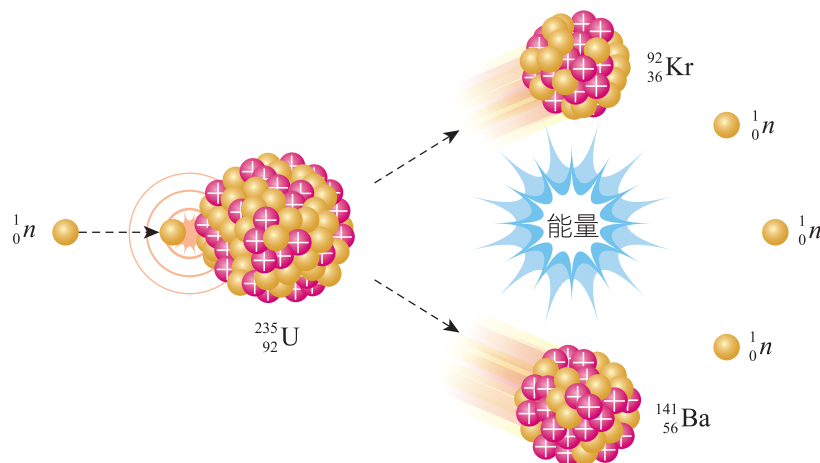
馬解 由質能互換 $\Delta E = \Delta m \times c^2 \Rightarrow \Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{4.0 \times 10^{26}}{(3 \times 10^8)^2} \approx 4.4 \times 10^9 \text{ (kg)}$ 。

馬上練習 1

設某科學家測量出每秒鐘太陽輻射的能量為 4.0×10^{26} 焦耳，則太陽因輻射而減損的質量，每秒鐘約為多少公斤？ (A) 1.5×10^{-2} (B) 1.5×10^3 (C) 3.3×10^5 (D) 1.1×10^7 (E) 4.4×10^9 。答：(E)

二 核分裂

1. 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**。例如，當鈾-235 (${}_{92}^{235}\text{U}$) 原子核受到中子撞擊後，可裂解成較輕的鋇原子核 (${}_{56}^{141}\text{Ba}$)、氪原子核 (${}_{36}^{92}\text{Kr}$) 與三個中子。



▲圖 6-15 鈾 235 之核分裂反應示意圖

2. 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：

- (1) 燃燒 2000 公斤的石油。
- (2) 燃燒 3 噸重的煤炭。
- (3) 觀賞功率約 100 瓦的電視 28 萬小時。

三 核反應式的平衡

在原子核的反應中，要遵守

1. 質量數守恆。
2. 質子數（原子序）或電荷數守恆。

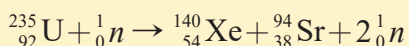
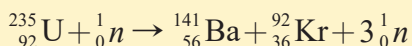


老師碎碎念



${}_{92}^{235}\text{U}$ 的核分裂

核分裂後的子核只要**滿足能量守恆、質量數守恆及質子數守恆**即可，因此可以有很多種組合，像 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 就可以產生數十種子核，大部分的情形是每一次分裂產生 2 個或 3 個中子，平均來說約有 2.5 個中子產生。下式為其中兩種例子：



範例 2 核反應式的平衡

當原子核發生 β 衰變時，必定伴生一個反微中子 ${}^0_0\bar{\nu}$ ，鐳原子核 (${}_{88}^{226}\text{Ra}$) 經一系列 α 衰變 (α 為 ${}^4_2\text{He}$) 和 β 衰變 (β 為高能量的電子 ${}^0_{-1}e$) 後，最後會變成穩定的鉛原子核 (${}_{82}^{206}\text{Pb}$)。故整個過程的核反應可用下式表示： ${}_{88}^{226}\text{Ra} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb} + x{}_2^4\text{He} + y{}_{-1}^0e + y{}^0_0\bar{\nu}$ 。則式中的 $x = \underline{\quad 5 \quad}$ ， $y = \underline{\quad 4 \quad}$ 。



$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{由質量數守恆：} 226 = 206 + 4x \Rightarrow x = 5 \\ \text{由質子數守恆：} 88 = 82 + 2x - y = 82 + 2 \times 5 - y \Rightarrow y = 4 \end{array} \right.$$



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{由質量數守恆：} 238 = 206 + 4x \Rightarrow x = 8 \\ \text{由質子數守恆：} 92 = 82 + 2x - y = 82 + 2 \times 8 - y \Rightarrow y = 6 \end{array} \right.$$

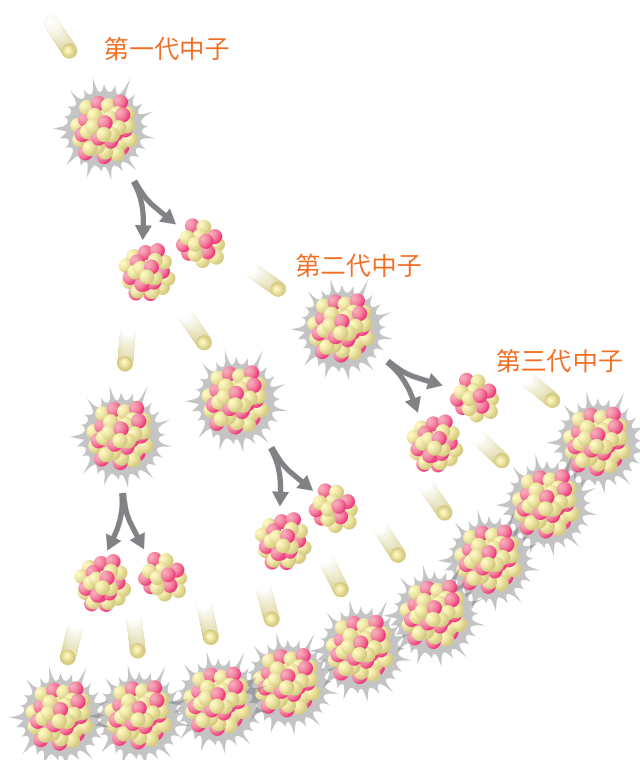
$$\Rightarrow x + y = 8 + 6 = 14$$

馬上練習 2

一個 ${}_{92}^{238}\text{U}$ (鈾) 原子核衰變成 ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ (鉛) 原子核時，若途中產生 x 次 α 衰變和 y 次 β 衰變，則 $x + y = \underline{\quad 14 \quad}$ 。

四 連鎖反應

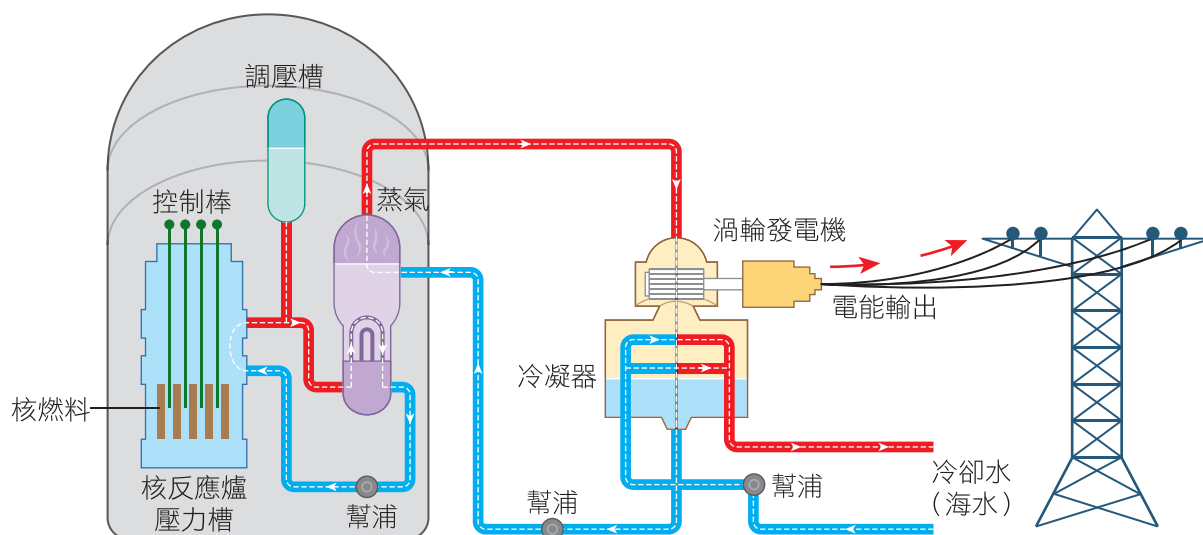
1. 由於一個鈾原子被一個中子撞擊後會產生 2 到 3 個中子，這些中子可再撞擊其他的鈾原子，再次產生核分裂，因此會**持續不斷的產生核分裂而放出巨大的能量**，稱為**連鎖反應**，如圖 6-16 所示。
2. 由於連鎖反應，非常大量的核能可以在很短的時間內釋放出來，利用這個原理製造的炸彈，其威力往往是一般炸彈的百萬倍，也就是俗稱的**原子彈**（近年來又稱為核彈）。
3. 相反地，若能藉由適當設計，讓核分裂反應變慢，就可以善用質能互換產生的能量，進行核能發電。



▲圖 6-16 鈾-235 分裂的連鎖反應

五 核能發電

1. 核能發電是**利用核分裂**反應所產生的能量，將水加熱使其變成蒸氣，蒸氣再推動發電機來發電，如圖 6-17 所示。
2. 核能發電廠所使用的 $^{235}_{92}\text{U}$ 濃度很低（約 3% 左右），且反應爐內裝有可吸收中子的**控制棒**（通常以吸收中子能力很強的鎳或硼製成，中子太多時就插入控制棒多一點，中子太少時就拔出控制棒一些），因此核分裂是在可控制的環境下緩慢進行，和原子彈（ $^{235}_{92}\text{U}$ 的濃度在 90% 以上）有很大的不同。
3. 核分裂時所產生的中子動能很大，但由於能量較低的熱中子比較容易誘發核分裂，所以我們必須想辦法讓中子的速度減緩下來變成熱中子去執行連鎖反應。一個有效的方法就是讓中子去撞擊與它的質量相當的粒子，這樣中子很容易將動能轉移給被撞的粒子。由於水中的氫原子核（質子）與中子質量相當，因此核能發電廠中常用的**緩速劑**就是水。



▲圖 6-17 核能發電示意圖

六 輻射安全

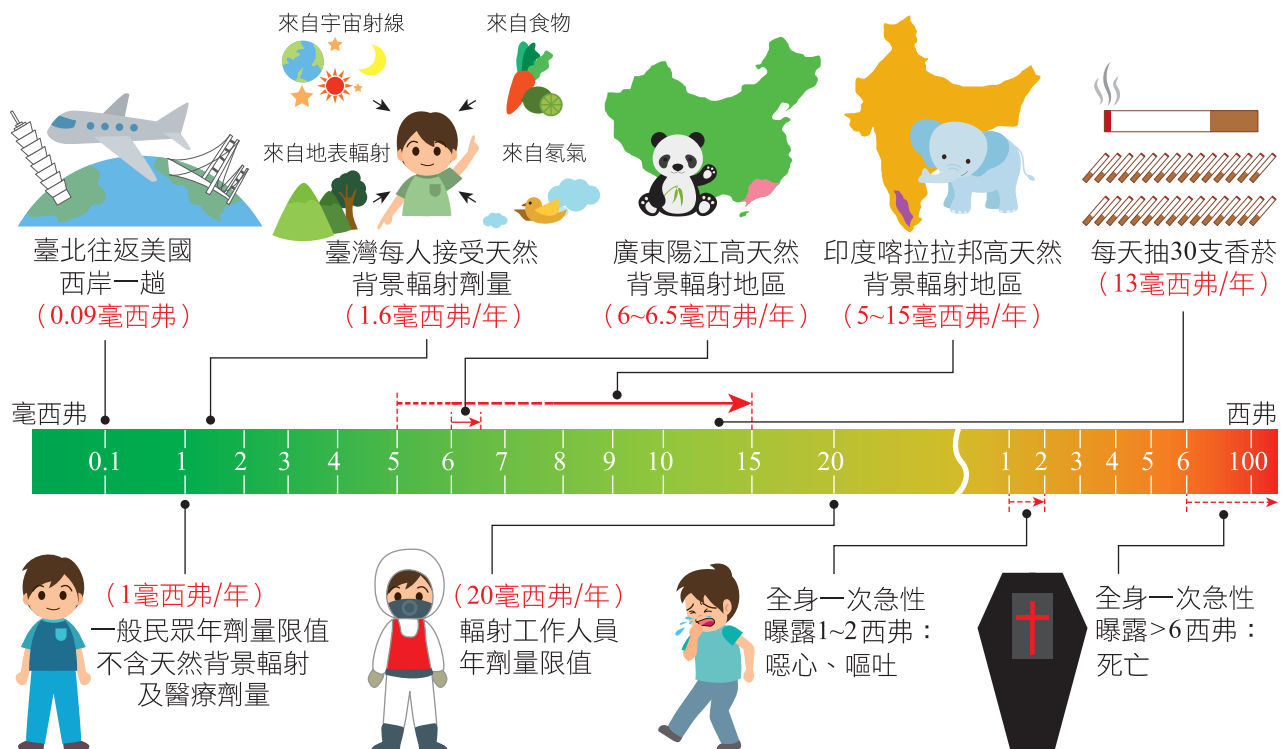
1. 輻射傷害的種類

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。

	本質	穿透能力	圖示
α 射線	氦原子核 (^4He)	一般紙張即可屏蔽	<p>紙 金屬板 厚鉛板 混凝土</p> <p>α 射線 β 射線 γ 射線 中子</p>
β 射線	高能量電子	數公分厚的金屬板才能阻隔	
γ 射線	高能量光子 (波長小於 30 皮米)	厚鉛板或水泥才能有效隔離	
中子 輻射	高能量中子	需要以富含氫核的物質 (如 混凝土、水) 才能屏蔽	

2. 輻射劑量

- (1) 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。
- (2) 由於 1 西弗的輻射劑量相當大，故常用的單位是**毫西弗** (mSv，即千分之一西弗)。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。常見的輻射劑量如圖 6-18 所示。



▲圖 6-18 輻射劑量圖

七 核融合

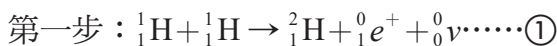
1. 核融合的概念

- (1) 將兩個以上較輕的原子核聚合在一起，形成一個較重的原子核，稱為**核融合**或**核聚變**反應。
- (2) 由於最後融合而成的原子核的質量會比最初原子核的總質量小，因此核融合和核分裂一樣，也會將質量轉換成能量。
- (3) **核融合反應是宇宙中恆星能量的主要來源。**

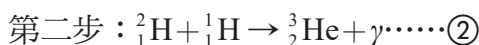
2. 太陽的核融合

- (1) 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。

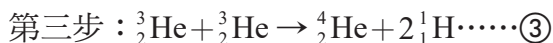
- (2) 如圖 6-19 所示，太陽內部的核融合反應，經過三個步驟：



（2 個質子相撞後融合成氘原子核，其中 1 個質子轉變成中子，並放出正電子與微中子）

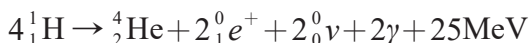


（氘和另一個氫原子核融合成較輕的氦同位素 ${}^3_2\text{He}$ ）



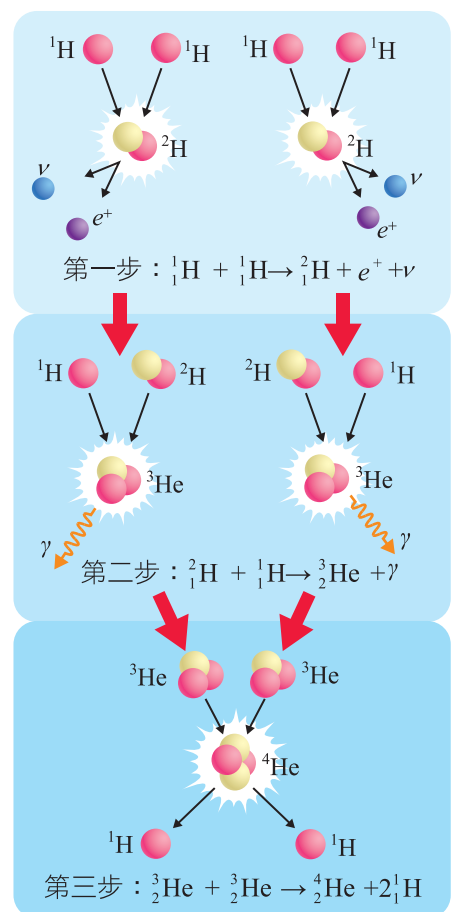
（兩個 ${}^3_2\text{He}$ 融合成氦原子核 ${}^4_2\text{He}$ ，並放出兩個質子）

上三式的淨反應式為：



即 4 個質子 ${}^1_1\text{H}$ 結合成一個氦原子核（ α 粒子），同時也放出了 25 百萬電子伏特的能量。

- (3) 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。



▲圖 6-19

3. 應用與展望

- (1) 科學家試著在地球上，創造人工的小太陽。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，而氚可藉由氘與氘融合而來。
- (2) 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。
- (3) 核融合反應之所以能發生於太陽內，是因為太陽內部的質子密度及溫度都非常高，但這些反應在地球自然環境中是不會發生的。因此，雖然有諸多優點，但目前核融合技術尚未成熟，故我們**尚無法利用核融合來大規模發電。**



太陽核融合反應涉及的基本作用力

上述太陽核融合的第一步中：

1. 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，故有**電磁力**參與。
 2. 有 1 個質子轉變成中子，顯然有**弱核力**參與。
 3. 中子和質子形成氘原子核，顯然是因為**強核力**的參與。
- 故電磁力、強核力、弱核力皆參與了太陽的核融合反應。

範例 3 核融合

經由核分裂與核聚變（或稱核融合）反應所釋放出來的能量，都可以轉換用來發電。下列有關此二種反應的敘述，何者正確？ (A) 核分裂與核聚變均使用鈾為燃料 (B) 核聚變時釋放出來的能量，並非來自核能 (C) 核聚變比核分裂產生更嚴重的輻射性廢料問題 (D) 太陽輻射放出的巨大能量，主要來自核聚變反應 (E) 目前已有許多發電廠利用核聚變反應提供商業用電。答： (D) 〈學測〉

- 解** (A)×：核能發電使用鈾為燃料來進行核分裂，而核融合則以較小的元素（如氫）為燃料。
 (B)×：核分裂與核融合都是利用核反應的質量損失，而釋放了原子核內的位能（即核能）。
 (C)×：核分裂會產生輻射性廢料，而核融合（即核聚變）則不會，是很乾淨的能源。
 (D)○：核融合（即核聚變）是太陽產生能量的方式。
 (E)×：科學家現在雖然已有能力製造核融合反應爐，但至今世界上還沒有任何一個商業運轉中的核電廠是利用核聚變，皆是利用核分裂來發電。

- 馬解** (A)○：質子的溫度高達約 10^8K 時，才具有可克服兩原子核間庫侖排斥力所需之能量，進而融合。
 (B)○：太陽中核融合反應的總反應式為： $4\text{}^1_1\text{H} \rightarrow \text{}^4_2\text{He} + 2\text{}^0_1\text{e}^+ + 2\text{}^0_0\nu + 2\gamma + 25\text{MeV}$ ，故其主要反應物為質子，而 α 粒子則是生成物之一。
 (C)○：海水中存在大量的氘。
 (D)×：核融合的反應，不會產生高放射性廢料。
 (E)×：欲提高核融合反應發生的機率，要能將反應物集中在一個小範圍內，以增加它們碰撞的機率。

馬上練習 3

下列有關「核融合」的敘述哪些正確？（應選 3 項） (A) 核融合需要高溫下才能進行 (B) 太陽的核融合是以質子為燃料，而 α 粒子為主要生成物 (C) 核融合所需的燃料如氘可從海水中取得 (D) 核融合產生的高放射性廢料問題比核分裂嚴重 (E) 反應物的分布範圍要廣，才能使核融合的機率提高。答： (A)(B)(C)

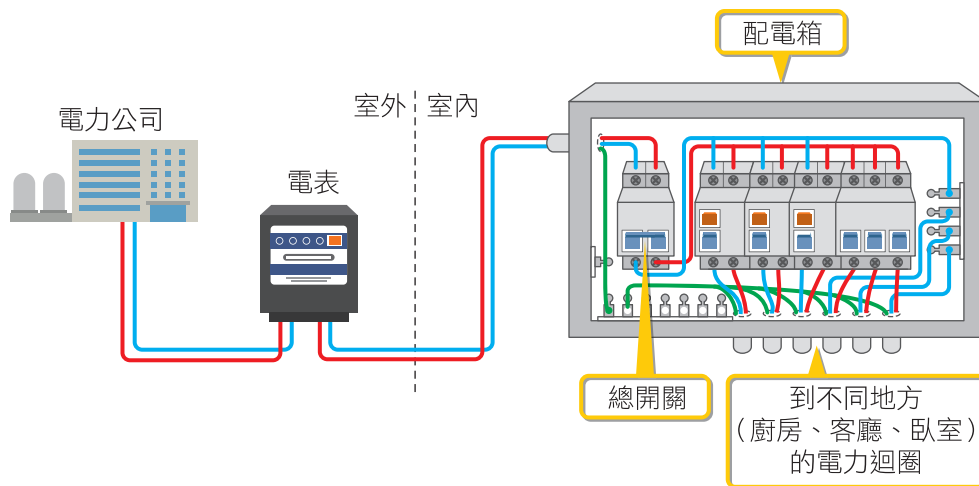
八 用電與現代生活

1. 現代生活中不可或缺的電

- (1) 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。
- (2) 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。

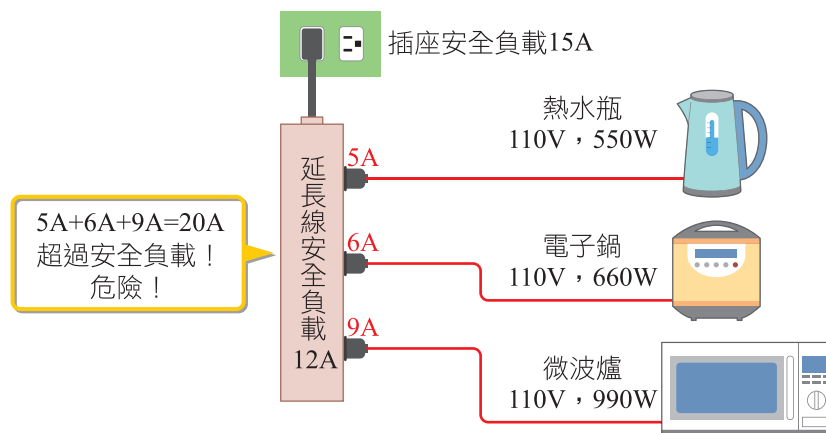
2. 用電安全

- (1) 首先我們先從家中的配電箱開始，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，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。每個電力迴圈在電力超載時會跳電以保護用電安全。（配電箱頗為複雜，下圖為簡化過的示意圖）



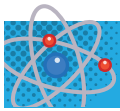
▲圖 6-20

- (2) 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，若沒有注意總電流是否超過負載，常常會導致火災發生，如圖 6-21 所示的狀況就非常危險。



▲圖 6-21

- (3) 手機也是電器用品，但因利用電池供電，往往被忽略了。有些人甚至會在泡澡時，邊充電、邊滑手機，這是相當危險的事情，因而觸電的新聞時有所聞。



概念 質能互換

- DE** 1. 有關「質能互換」的敘述，下列哪些**錯誤**？（應選 2 項）
- (A) 首先由愛因斯坦所提出
 - (B) 其能量 E 與質量損失 Δm 間轉換的關係式為 $E = \Delta mc^2$
 - (C) 承 (B)，式中的 c 代表光在真空中的速度
 - (D) 因質量與能量兩者可以轉換，故能量的單位亦可為公斤
 - (E) 承 (D) 質量的單位亦可為焦耳。
2. 已知某個核反應中，反應前後共減少了 $0.01u$ 的質量（ $1u \approx 1.66 \times 10^{-27} \text{kg} \approx 1$ 個質子的質量），則此能量相當於 1.49×10^{-12} 焦耳。

概念 核分裂

3. 以慢中子來撞擊鈾 (U) 原子時，其核反應式為： ${}_y^x\text{U} + {}_0^1n \rightarrow {}_{56}^{138}\text{Ba} + {}_{36}^{95}\text{Kr} + 3{}_0^1n + \text{能量}$ 。
- (1) 反應式中， $x = \underline{235}$ ， $y = \underline{92}$ 。
 - (2) 反應式中的「能量」產生的主要原因是：生成物的總質量 小 於反應物的總質量。（填大、等、小）

概念 核融合

- B** 4. 宇宙中的恆星（如太陽），其能量的主要來源為何？
- (A) 原子核的分裂 (B) 原子核的融合 (C) 恆星內部化學能的釋放
 - (D) 恆星內部電能的釋放 (E) 以上皆非。
- C** 5. 某核反應如右： ${}_1^1\text{H} + {}_7^{15}\text{N} \rightarrow X + {}_2^4\text{He}$ ，則 X 原子核為何？
- (A) ${}_6^{14}\text{C}$ (B) ${}_6^{13}\text{C}$ (C) ${}_6^{12}\text{C}$ (D) ${}_5^{12}\text{B}$ (E) ${}_5^{13}\text{B}$ 。
6. 以 α 粒子撞擊氮原子核 ${}_7^{14}\text{N}$ ，其核反應可用下式表示（ α 是 ${}_2^4\text{He}$ ； p 是質子）： ${}_2^4\text{He} + {}_7^{14}\text{N} \rightarrow \text{O} + p$ ，則產生的氧 (O) 原子核的質量數為 17。
7. 氘原子核和氚原子核發生核融合反應，其反應式如右式： ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_Z^Y\text{X} + {}_0^1n + \text{能量}$ 。
- (1) 反應式中， $Y = \underline{4}$ ， $Z = \underline{2}$ 。
 - (2) 反應式中， X 為：(A) H (B) He (C) D (D) T (E) U。答：(B)
 - (3) 核融合發生前後，生成物的總質量 小於 反應物的總質量。（填大於、等於、小於）

概念 核能發電

- D** 8. 有關核分裂電廠的敘述，下列何者正確？
- (A) 為使中子減速，常使用石墨作為緩速劑
 - (B) 核反應爐中的控制棒是為了加速連鎖反應的進行
 - (C) 核電廠通常蓋在海邊，是為了讓海水來稀釋輻射的濃度
 - (D) 核能發電所需的原料為鈾-235
 - (E) 核電廠的危險性如同一顆未爆的原子彈。

AE 9. 下列有關「核能」的敘述，哪些正確？（應選 2 項）

- (A) 核能的來源是由質量轉換而成的
- (B) 核能電廠運作時，輻射線容易散逸到反應爐外
- (C) 核能電廠所用的燃料與原子彈的燃料都是鈾，故核能電廠會如原子彈一樣產生毀滅性的爆炸
- (D) 核能發電比火力發電更易排放溫室氣體，使環境惡化
- (E) 核能發電比起火力發電，最大缺點在於會產生高輻射性的核廢料。

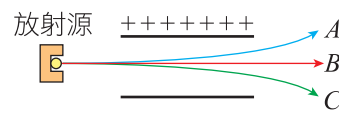
BCE 10. 下列有關「核能」的敘述，哪些正確？（應選 3 項）

- (A) 目前世界各地運轉中的核電廠，都是使用核融合的技術
- (B) 目前世界各地運轉中的核電廠，都是使用核分裂的技術
- (C) 原子經過核分裂反應，反應前後的原子種類改變了
- (D) 核能發電因為產生大量的熱，所以會使地球的溫室效應惡化
- (E) 比起煤或石油，核燃料只以很少的質量就可產生很大的能量。

概念 輻射安全

11. 一般伴隨核反應發射出的射線共有 α 、 β 、 γ 等三種射線，試回答下列問題：

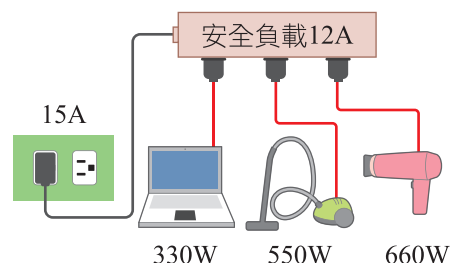
- (1) α 射線為氦原子核的粒子流。
- (2) β 射線為電子的粒子流。
- (3) γ 射線為高能量的電磁輻射。
- (4) 如圖所示，在同一位置放置不同的放射源，出現了三種不同軌跡，則圖中的 A 為 β 射線，B 為 γ 射線，C 為 α 射線。



概念 用電安全

CD 12. 小明因為家中的插座 (110V) 不夠，因此買了一條標示安全負載 12A 的延長線來使用。他同時將標示 110V、330W 的筆電；110V、550W 的吸塵器及 110V、660W 的吹風機接在該延長線使用。下列敘述哪些正確？（應選 2 項）

- (A) 筆電使用的電流為 6A
- (B) 吸塵器使用的電流為 3A
- (C) 吹風機使用的電流為 6A
- (D) 若三者同時使用，已超過該延長線的安全負載
- (E) 若同時使用吸塵器與吹風機，已超過該延長線的安全負載。



1. 某本科幻小說寫道：公元 2070 年，科技非常發達，每個人隨身攜帶一個微型發電器，只要把東西丟入，就能把所有的「質量」轉換成「能量」。

(1) 阿仁的手機沒電了，便隨手將地上 1 克的石頭丟到發電機中，

則產生的能量為 9×10^{13} 焦耳。

(2) 此能量的大小等於 2.5×10^7 度電。

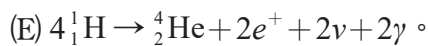
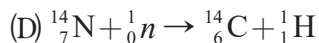
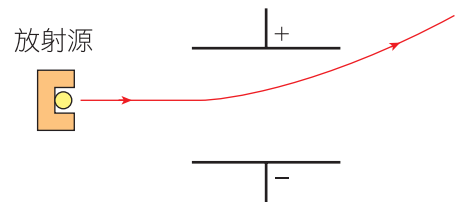
(3) 阿仁將電供給工廠中的機器使用，若 1 度電的電費為 3 元，則阿仁獲得了 7 千 5 百萬 元的電費。

1. (1) $E=mc^2 = (0.001) \times (3 \times 10^8)^2 = 9 \times 10^{13} \text{ (J)}$

(2) $1 \text{ 度電} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ (J)} \Rightarrow \frac{9 \times 10^{13}}{3.6 \times 10^6} = 2.5 \times 10^7 \text{ (度)}$

(3) $\text{電費} = 3 \times 2.5 \times 10^7 = 7.5 \times 10^7 = 7 \text{ 千 } 5 \text{ 百萬 (元)}$ 。

A 2. 某放射源進行衰變而放出輻射，通過兩平行電極板後，行進路線如圖。則此放射源可能進行下列何種衰變？



2. 由圖中可知，輻射線向正極偏折，故此射線帶負電。各選項的生成物中，唯一有帶負電者為 (A) 中的 β 。



大考試題精選

• 解析詳見解答本

A 1. 關於核能發電，下列敘述何者正確？

- (A) 核反應時損失之質量轉化成能量用以發電
- (B) 收集原子核放射之電荷用以發電
- (C) 核反應時，原子外圍之電子全體釋出，收集後用以發電
- (D) 收集原子核中之中子動能加以發電。

〈學測〉

D 2. 核電廠以鈾 235 為燃料，以慢中子促使其分裂，利用這分裂反應所釋出的能量來發電，有關反應事件的敘述，何項錯誤？

- (A) 原子經過核分裂反應，反應前後的原子種類改變了
- (B) 有的反應生成物，帶有很強的輻射性
- (C) 比起煤或石油來，核燃料只以很少的質量就可以產生很大的能量
- (D) 這種反應生成物的放射性，經過低溫冷凍處理即可清除。

〈學測〉

E 3. 若 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 的原子核放射出一個 α 粒子，則剩留的原子核內會含有幾個質子？

- (A) 237
- (B) 236
- (C) 146
- (D) 91
- (E) 90。

〈學測〉

E 4. 氦與鉛的核融合反應過程為

- (1) 高能的 ${}_{36}^{86}\text{Kr}$ 離子轟擊 ${}_{82}^{208}\text{Pb}$ 靶，氦核與鉛核融合，放出 1 個中子，形成新元素 X
- (2) 120 微秒後，X 元素的原子核分裂出 1 個氦原子核，而衰變成另一種新元素 Y
- (3) 600 微秒後又再釋放出一個氦原子核，形成另一種新元素 Z

下列有關此核融合反應的敘述，何者錯誤？

- (A) 氦核與鉛核融合產生 X 之核反應式為 ${}_{36}^{86}\text{Kr} + {}_{82}^{208}\text{Pb} \rightarrow {}_0^1n + {}_{118}^{293}\text{X}$
- (B) $\text{X} \rightarrow \text{Y}$ 之核反應式為 ${}_{118}^{293}\text{X} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{116}^{289}\text{Y}$
- (C) $\text{Y} \rightarrow \text{Z}$ 之核反應式為 ${}_{116}^{289}\text{Y} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{114}^{285}\text{Z}$
- (D) 元素 Z 原子核之中子數為 171
- (E) 元素 Y 原子核之中子數為 116。

〈99 學測，答對率 58%〉

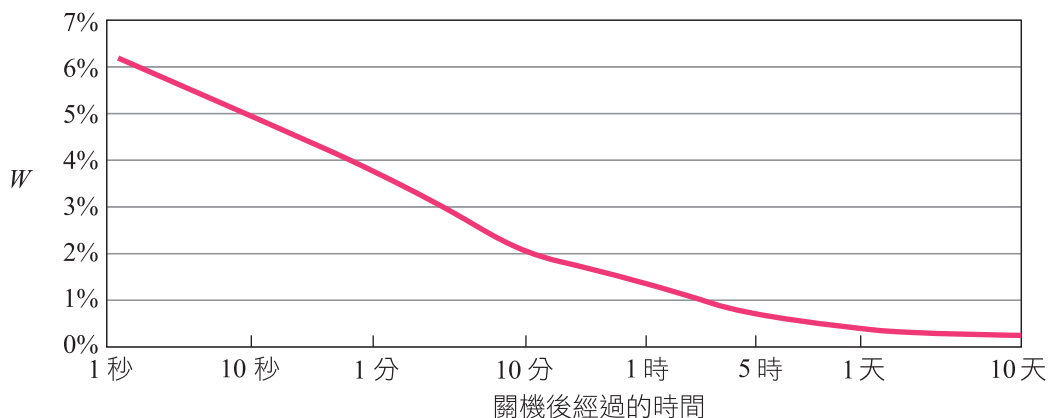
C 5. 下列關於 ${}_{84}^{210}\text{Po}$ (質量數 210) 原子及 ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ (質量數 226) 原子的敘述，何者正確？

- (A) ${}_{84}^{210}\text{Po}$ 和 ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ 兩種原子核中的中子數相差 16
- (B) ${}_{84}^{210}\text{Po}$ 和 ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ 兩種原子核中的質子數相差 16
- (C) ${}_{84}^{210}\text{Po}$ 和 ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ 兩種原子中的電子數相差 4
- (D) 釷和鐳兩個元素，在自然界都不存在
- (E) 釷和鐳的放射性都是源自其原子核釋出 X 光。

〈101 學測，答對率 64%〉

- D** 6. 核能發電反應機組停機後，核分裂連鎖反應會停止，但是反應後的產物仍具有放射性，也會持續產生餘熱而造成高溫。若停機後的餘熱發電功率為 P_r ，核能機組正常發電功率為 P ，以 $\frac{P_r}{P} = W$ 為縱軸，則其隨時間改變的曲線如圖所示。假設核電廠

某一機組正常發電功率為每小時 64 萬度，而某用戶每個月用電度數為 320 度，則停機經過一天後，該時的餘熱用來發電一小時的電能，與該用戶用電約多久時間的電能相等？



- (A) 3 小時
 (B) 3 天
 (C) 30 天
 (D) 300 天
 (E) 3000 天。

〈102 學測，答對率 38%〉

- BE** 7. 下列有關「鈾與氘」的敘述，哪些正確？（應選 2 項）

- (A) 臺灣核能發電是利用鈾-235 進行核融合反應
 (B) 核反應遵守質能守恆定律，符合愛因斯坦提出的質能互換關係式
 (C) 氫 (${}^1_1\text{H}$)、氘 (${}^2_1\text{H}$)、氚 (${}^3_1\text{H}$) 三元素稱為同素異形體
 (D) 氘 (${}^2_1\text{H}$) 具有 1 個電子、2 個中子
 (E) 氘與氧形成重水 (D_2O)，化學性質與水相似。

〈104 學測，答對率 41%〉

- A** 8. 核分裂時所產生的中子動能很大，但動能較低的慢中子（也稱為熱中子）較容易誘發核分裂。因此在核子反應爐中置入中子緩速劑，使高速中子與緩速劑中的原子發生一維彈性碰撞，造成能量轉移而得以減速，俾能產生連鎖反應。依以上所述，下列何者較適合當作中子緩速劑？

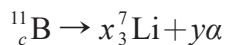
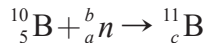
- (A) 水中的氫原子
 (B) 鉛塊中的鉛原子
 (C) 硫化鎘中的鎘原子
 (D) 氧化鐵中的鐵原子
 (E) 鈦合金中的鈦原子。

〈104 學測，答對率 33%〉

9-10 題為題組

核能可由核分裂及核融（熔）合兩種反應方式產生。核分裂技術已成熟而被廣泛使用，例如核能發電，但萬一產生意外引起核輻射外洩，則後果嚴重。兩個質量較小的原子核融合成一個質量較大的原子核時稱為核融合，例如氘、氚原子核融合成氦原子核，核融合釋出的巨大能量成為最具有潛力的清潔能源，為人類未來永久解決能源匱乏希望所寄，許多國家正極力研究發展中。

E 9. 若某地核能電廠的反應爐發生嚴重意外事故，且情況有擴大之虞，則專家會建議對電廠噴灑硼砂，以阻止反應爐的核反應繼續進行。已知硼可經由下列反應降低核反應產生的熱中子數目：



有關上列反應式中的 a 、 b 、 c 以及 x 、 y ，哪些正確？

甲： $a=1$ 乙： $b=1$ 丙： $c=4$ 丁： $x=1$ 戊： $y=2$

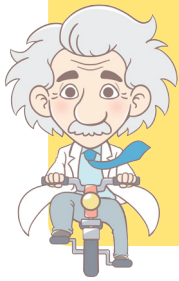
- (A) 甲乙
- (B) 乙丙
- (C) 丙丁
- (D) 甲丁
- (E) 乙丁。

〈107 學測，答對率 57%〉

A 10. 溫度高達約 10^9K 時可引發核融合反應，其主要的物理原因為下列何者？

- (A) 此高溫使氘、氚原子核具有高動能，可克服兩原子核間庫倫排斥力所需之能量，進而融合
- (B) 此高溫使氘、氚原子核內的夸克強作用增強，兩原子核相吸進而融合
- (C) 此高溫使氘、氚電子熔入各自原子核內後，兩原子核再融合
- (D) 此高溫使氘、氚原子核內弱作用增強，兩原子核相吸進而融合
- (E) 此高溫使氘、氚原子核熔化成液態自然融合在一起。

〈107 學測，答對率 47%〉



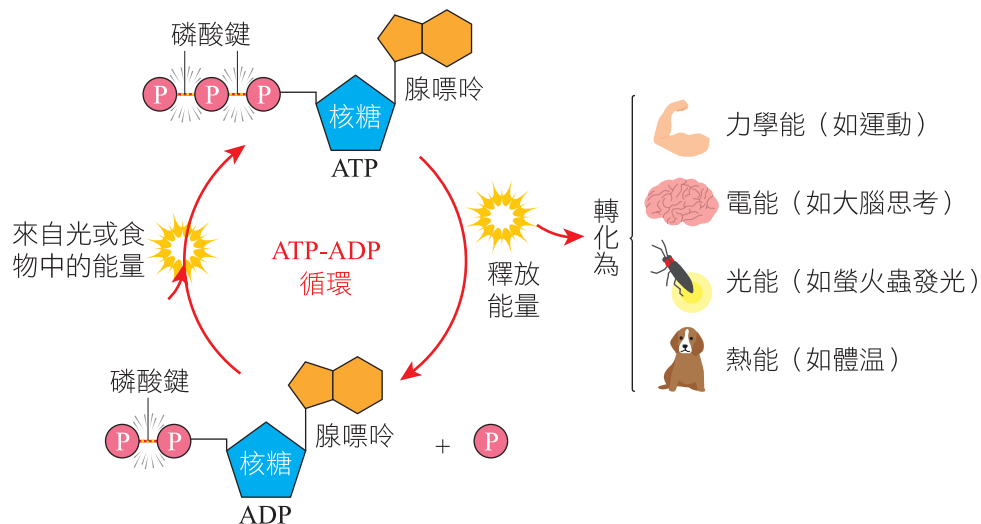
科學 素養題

1-3 題為題組

能量的轉換過程往往橫跨自然科學各個領域，細胞對於能量的使用，就是最好的例子。

腺苷三磷酸 (ATP) 是細胞內能量主要的攜帶者，科學家發現其能量是儲藏於磷酸鍵。在所有的生物中，從細菌、黴菌一直到高等動、植物，包括人類在內，ATP 同樣都是扮演能量的攜帶者，也就是說凡是生物需要能量時，就會使用 ATP。

生物如何使用 ATP 呢？ATP 是一種含有高能量的核苷酸，由核糖、腺嘌呤和三個磷酸基所構成，容易水解釋出能量供生物使用並變成腺苷二磷酸 (ADP，比 ATP 少一個磷酸基)，而 ADP 與磷酸基鍵結 (需能反應) 後又可以變回 ATP，形成 ATP-ADP 循環，如圖所示。



當我們吃下的食物，經由消化系統處理過之後，將其中的營養成分經過一連串的異化代謝過程後，部分能量轉變成人體細胞所需的 ATP，並儲存於肌肉細胞之中，當 ATP 被分解的時候，就能夠提供能量作肌肉活動之用了。不過 ATP 在肌肉內的儲存量極為有限，僅足以維持 3 秒的盡全力活動。但是沒關係，人體內就有三個供能系統，可以重新產生 ATP。【注意：這三個系統會同時啟動，並無次序之分】

1. ATP-PC 系統

在人體的肌肉細胞內，還儲存著另一種高能量化合物 – 磷酸肌酸 (phosphocreatine，簡稱 PC)。PC 可快速將磷酸基移轉到 ADP，使 ADP 轉換回 ATP。但整個 ATP-PC 系統所提供的能量只足以維持約 10 秒。

2. 乳酸系統

當肌肉細胞中 ATP 與 PC 將耗盡且運動需持續進行時，人體就會啟動乳酸系統。將葡萄糖或肝醣經由糖解作用分解為丙酮酸 (Pyruvic Acid) 或乳酸 (Lactic Acid)，並產生 ATP 供應身體所需，乳酸系統大約 30 秒就會完全耗盡。由於乳酸系統與 ATP-PC 系統過程中都不需氧氣的參與，因此兩者又合稱為無氧系統。

3. 有氧系統

有氧系統是身體將所攝取的碳水化合物、脂肪與蛋白質經過消化分解，並經過一連串的異化代謝作用之後，產生能量來幫助 ATP 的合成，此過程中需要氧氣參與，故稱為有氧系統，因為過程複雜，因此需要花費較長時間。

根據上面短文，試回答下列問題：

〈混合題〉

B 1. 下列何者為各種生物細胞內能量主要的攜帶者？

(A) 葡萄糖 (B) 腺苷三磷酸 (C) 腺苷二磷酸 (D) 磷酸肌酸 (E) 乳酸。

1. 生物能量的運儲者是腺苷三磷酸 (ATP)。

AE 2. 小華打棒球時，猛力一擊，打出了全壘打。下列關於此過程能量轉換的敘述，哪些正確？（應選 2 項）

(A) 小華打擊時，主要使用了肌肉中原來 ATP 中的能量

(B) 小華打擊時，主要使用 ATP-PC 系統轉化來的能量

(C) 小華打擊時，使用了有氧系統的能量

(D) 此能量轉換過程中不會有熱能的產生

(E) 整個打擊過程中，原來存在小華身體中的能量，有一定比例會轉化成棒球的力學能。

2. (A) ○、(B)(C) ×：揮棒過程為小於 3 秒的盡全力活動，因此主要是使用了肌肉細胞內原來 ATP 中的能量。

(D) ×：能量在轉化時，不可避免會有熱能產生。

(E) ○：身體細胞內的化學能有一部分會變成棒球的動能和位能。

3. 某學者研究發現，運動時人體細胞產出能量最大比率與時間的關係如圖所示。小華參加某場馬拉松比賽，花了 4 小時跑完全程。

(1) 馬拉松比賽屬於有氧或無氧運動？請簡述其理由。

(2) 在此 4 小時中，小華使用哪些系統所供應的能量？

3. (1) 由圖可知，運動 4 小時主要使用有氧系統供應的能量，屬於有氧運動。

(2) 有氧系統、ATP-PC 系統及乳酸系統都有提供能量。

