

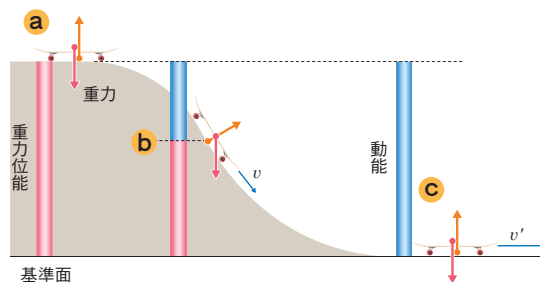
## CH. 5

## 學習重點

國中學過

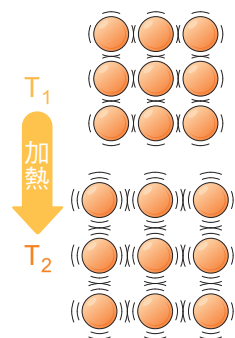
## 功與能量的形式

- 功
- 動能
- 位能：重力位能、彈性能
- 力學能守恆律
- 能量的形式：熱能、光能、電能、化學能
- 〈實驗〉力學能守恆與運動



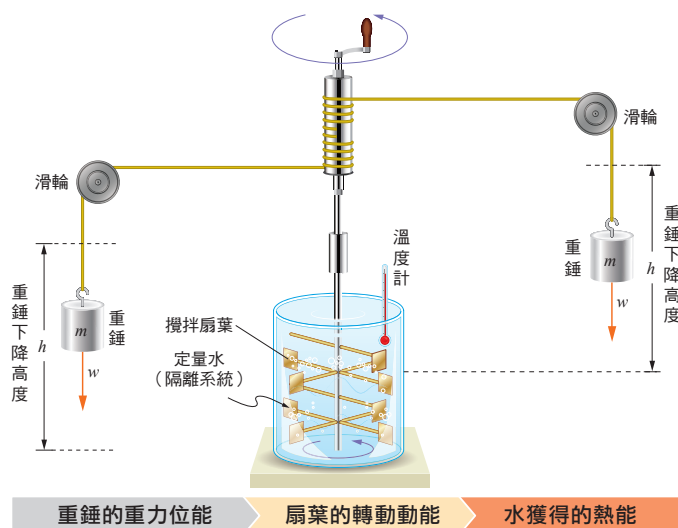
## 微觀尺度下的能量

- 溫度與溫標：攝氏、華氏、克氏
- 溫度與能量：
  - 分子的平均動能、熱運動
- 理想氣體的內能
- 熱與熱能 國中學過



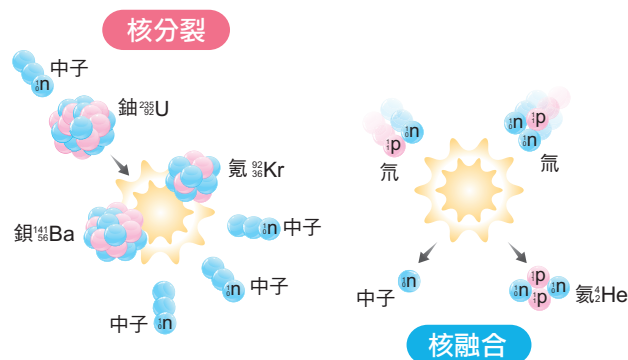
## 能量間的轉換與能量守恆

- 各種能量間的轉換
- 焦耳的熱功當量實驗：
  - 1 卡 = 4.186 焦耳
- 能量守恆



## 質能轉換與核能

- 質能互換： $E = mc^2$
- 核能：核分裂、核融合
- 輻射安全：
  - 核衰變、放射線、游離輻射



## 5-1 功與能量的形式

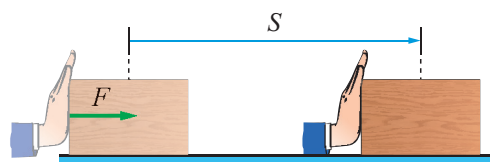
### 學習概念 1 功

配合課本 150 頁

#### 1. 功的定義：

- (1) 如右圖所示，施一固定量值的力  $F$  於一個物體上，使物體沿施力方向產生一個位移  $S$ ，我們稱此力對物體作功，符號為  $W$ 。
- (2) 功的定義是**力和受力方向上位移的乘積**。

$$W = F \cdot S \xrightarrow{\text{單位}} \text{N} \cdot \text{m} = \text{J} \text{ (牛頓} \cdot \text{米} = \text{焦耳)}$$



⊙ 功的定義

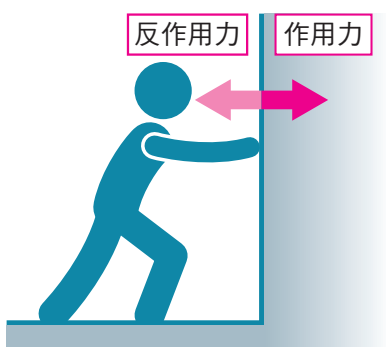
#### ! 小提醒

功為純量，有累積之效果，不同時作用的功可以用代數和計算。

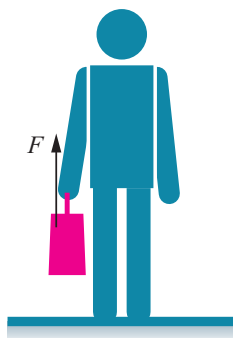
#### 2. 功的特性：

- (1) 正功：當力與運動方向夾角為  $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$ ，則外力對物體作正功，物體能量增加。
- (2) 負功：當力與運動方向夾角為  $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$ ，則外力對物體作負功，物體能量減少。
- (3) 零功：即外力對物體不作功，物體能量沒有增減。可能的情況有三種：

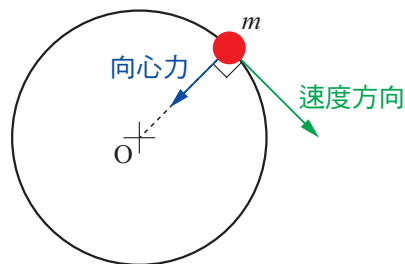
零功的情況	舉例
外力為零 ( $F = 0$ )	等速移動的物體，合力為零，則合力對物體作功為零。
位移為零 ( $S = 0$ )	① 手推牆，牆不動，人往後退→人對牆不作功，如下圖(a)所示。 ② 手提重物原地站立不動→手對重物不作功，如下圖(b)所示。
作用力與位移垂直 (夾角 $\theta = 90^\circ$ )	物體作圓周運動，向心力對物體不作功，如下圖(c)所示。



(a) 人對牆不作功



(b) 手對重物不作功



(c) 向心力對物體不作功

⊙ 外力對物體不作功的釋例

## 範例 1 功

曉華以 10 N 的水平力推物體移動 10 m，過程中受摩擦力 4 N。

- (1) 曉華施於物體所作的功為何？
- (2) 摩擦力施於物體所作的功為何？
- (3) 合力施於物體所作的功為何？

答 (1) + 100 J ; (2) - 40 J ; (3) + 60 J

解 依  $W = F \cdot S$   $\begin{cases} (1) \text{考慮「曉華」的施力作功：} W_{\text{曉華}} = 10 \times 10 = 100 \text{ J} \\ (2) \text{考慮「摩擦力」的施力作功：} W_{\text{摩擦力}} = (-4) \times 10 = -40 \text{ J} \\ (3) \text{考慮「合力」的施力作功：} W_{\text{合力}} = (+100) + (-40) = 60 \text{ J} \end{cases}$

類題：如右圖所示，以輕繩連接質量皆為 4 公斤的 A、B 兩物塊，由靜止釋放 B 物塊，B 物塊等速下降 2 米， $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。下列有關運動過程各力作功的敘述，哪些正確？（應選 3 項）

- (A) 重力對 A 做功為 0 J      (B) 重力對 B 做功為 + 80.0 J  
(C) 繩子對 A 做功為 - 80.0 J      (D) 繩子對 B 做功為 - 80.0 J  
(E) 摩擦力對 A 做功為 + 80.0 J

答 (A)(B)(D)

- (A) ☐   
 (B) ☐   
 (D) ☐

(1) 分別取 A、B 兩物塊為隔離體圖如右：

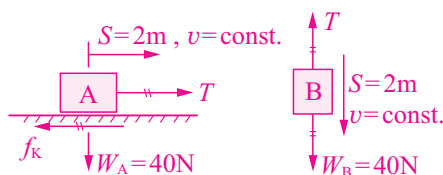
$$\because v = \text{const.} \therefore \Sigma F = 0 \quad \begin{cases} \text{B: } T = W_B = 40 \text{ N} \\ \text{A: } T = f_k = 40 \text{ N} \end{cases}$$

(2) 依  $W = F \times S$   $\begin{cases} \text{同向, } F \text{ 作正功} \\ \text{反向, } F \text{ 作負功} \end{cases}$

① 重力做功：  $\begin{cases} \text{A: } m_A g \perp S \Rightarrow W_A = 0 \\ \text{B: } m_B g \parallel S, \text{ 同向} \Rightarrow W_B = + (40 \times 2) = + 80 \text{ J} \end{cases}$

② 繩張力做功：  $\begin{cases} \text{A: } T \parallel S, \text{ 同向} \Rightarrow W_A' = + (40 \times 2) = + 80 \text{ J} \\ \text{B: } T \parallel S, \text{ 反向} \Rightarrow W_B' = - (40 \times 2) = - 80 \text{ J} \end{cases}$

③ 摩擦力做功：  $f_k \parallel S, \text{ 反向} \Rightarrow W_{\text{摩擦力}} = - (40 \times 2) = - 80 \text{ J}$ 。故選(A)(B)(D)。



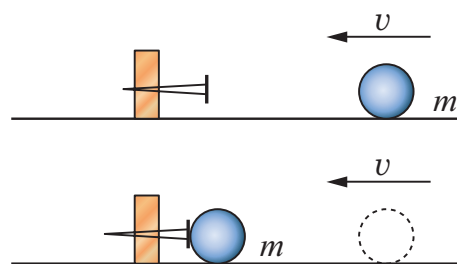
## 學習概念 2 能—力學能

配合課本 152 頁

1. 能的意義：凡物體具有作功的本領或能力，稱該物體具有能。
2. 力學能：動能與位能合稱為力學能，或稱為機械能。
3. 動能：

(1) 物體因「運動」而具有作功的本領，稱為動能。

$$K = \frac{1}{2} m v^2 \quad \begin{cases} m: \text{物體質量 (kg)} \\ v: \text{運動速率 (m/s)} \\ K: \text{動能 (J)} \end{cases}$$

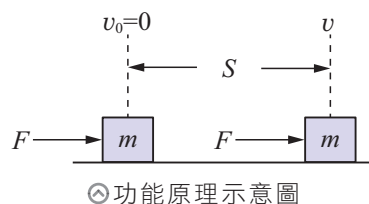


⊙ 具有動能的小球向釘子作功

(2) 功能原理：

- ① 如右圖所示，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，恰好等於其增加的動能。

$$W_{\text{外力}} = \Delta K = K = \frac{1}{2} mv^2$$



【證】a. 物體受定外力作用進行等加速度運動：

$$\text{依 } v^2 = v_0^2 + 2aS \xrightarrow{v_0=0} S = \frac{v^2}{2a}$$

b. 外力對物體作功：

$$\text{依 } W = F \times S \quad W_{\text{外力}} = (ma) \times \left( \frac{v^2}{2a} \right) = \frac{1}{2} mv^2 = K$$

② 推論：

質量  $m$  沿直線運動的物體受到外力  $F$  作用，期間加速度為  $a$ ，當該物體之速度由  $v_1$  變為  $v_2$ ，且行進位移  $S$ ，則外力  $F$  對物體所作的功，等於此物體動能的變化量  $\Delta K$ 。

$$W_{\text{外力}} = \Delta K = K_2 - K_1 = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2)$$

4. 位能：物體因為位置改變或是形狀改變而具有作功的能力，稱為位能。

物理量	定義及公式	圖示
重力位能	<p>物體因為所在位置的高度而具有的能量，稱為重力位能 <math>U_g</math>。</p> $U_g = mgh$ <p> <math>m</math>：物體質量 (kg)  <math>g</math>：重力加速度 (<math>9.8 \text{ m/s}^2</math>)  <math>h</math>：與零位面的高度差 (m)  <math>U_g</math>：重力位能 (J) </p>	<p>⊙ 砝碼下落，重力位能減小</p>
彈性位能	<p>彈簧因為形變所具有的能量，稱為彈性位能 <math>U_s</math>。</p> $U_s = \frac{1}{2} k \cdot \Delta x^2$ <p> <math>k</math>：力常數 (N/m)  <math>\Delta x</math>：形變量 (m)  <math>U_s</math>：彈性位能 (J) </p>	<p>⊙ 不論彈簧伸長或壓縮，皆具有彈性位能</p>

⚠ 小提醒

位能值是與零位面間的相對值。

## 範例 2 力學能

高速公路上一輛 1000 公斤的車，引擎驅動使車的速率由 20 m/s 增加到 40 m/s 時，不計各項阻力的效應，試問：

- (1) 增速期間，車子動能增加多少？
- (2) 引擎對車做功若干？

答 (1)  $6 \times 10^5 \text{ J}$  ; (2)  $6 \times 10^5 \text{ J}$

解 (1) 由  $\Delta K = \frac{1}{2} m (v_f^2 - v_i^2)$   $\Delta K = \frac{1}{2} \times 1000 \times (40^2 - 20^2) = 6 \times 10^5 \text{ J}$

(2) 由  $W_{\text{外力}} = \Delta K \xrightarrow{\text{承(1)}} W_{\text{引擎}} = 6 \times 10^5 \text{ J}$

類題 1：有一質量 2000 公克的物體，在一條挺直的東西向道路上運動。

- (1) 當其速度為 10 公尺/秒向東時，其動能為若干焦耳？
- (2) 承(1)，若速度變為 20 公尺/秒向東，則動能變為若干焦耳？
- (3) 承(1)、(2)，期間動能增加若干焦耳？

答 (1) 100 J ; (2) 400 J ; (3) 300 J

(1) 依  $K = \frac{1}{2} mv^2$   $m = 2000 \text{ g} = 2 \text{ kg} \rightarrow K_i = \frac{1}{2} \times 2 \times 10^2 = 100 \text{ J}$

(2) 同(1)， $K_f = \frac{1}{2} \times 2 \times 20^2 = 400 \text{ J}$

(3) 承(1)、(2)， $\Delta K = K_f - K_i = 400 - 100 = 300 \text{ J}$ 。

類題 2：若質量為 720 公斤的球體，具有 3600 千焦耳的動能，則此球體的速率約為多少公尺/秒？

59% 答對率 111 學測



- (A)  $10^2$  (B)  $10^3$  (C)  $10^4$  (D)  $10^5$  (E)  $10^6$

答 (A) (A) ○ 依  $K = \frac{1}{2} mv^2$   $K = 3600 \times 10^3 \text{ J} \rightarrow 3.6 \times 10^6 = \frac{1}{2} \times 720 \times v^2 \Rightarrow v = 100 \text{ m/s}$ 。故選(A)。

## 學習概念 3 力學能守恆律

配合課本 154 頁

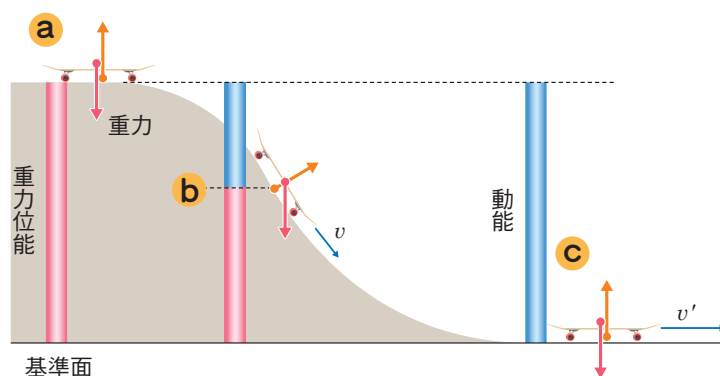
### 1. 內容：

如果物體在運動過程中，不考慮摩擦阻力的效應，物體僅受重力或彈力作功的情況下，則物體的動能和位能的總和不變，這稱為「力學能守恆律」。

$$\text{或 } \begin{cases} \Sigma E = K + U = \text{const.} \\ (U \text{ 包含 } U_g, U_s) \end{cases} \begin{cases} \text{動能 } K = \frac{1}{2} mv^2 \\ \text{重力位能 } U_g = mgh \\ \text{彈性位能 } U_s = \frac{1}{2} k \Delta x^2 \end{cases}$$

## 2. 說明例：

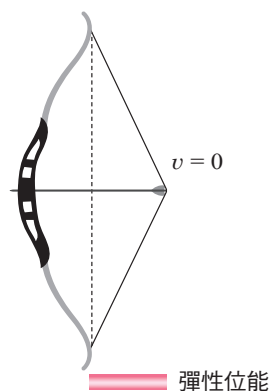
- (1) 如右圖所示，一位玩滑板的運動好手，站在 U 形板坡頂時，僅擁有重力位能，其動能為零。若忽略腳對坡面的施力及坡面的摩擦力，在他滑下斜坡的過程中，重力位能逐漸減小，而動能增大，當到達坡底時重力位能最小，則



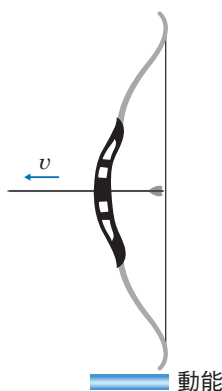
◎ 動能與重力位能的守恆律

- 動能最大，即速率最大。又當衝上斜坡時重力位能逐漸增大，而動能則逐漸減小。
- (2) 如下圖(a)所示，射箭選手拉弓時，弓弦儲存彈力位能，箭矢是靜止的，其動能為零，而在下圖(b)，當選手將弓弦鬆開後射出箭矢，能的轉移情形將如何變化？

由  $K + U_s = \text{const.} \Rightarrow 0 + \frac{1}{2} k \Delta x^2 = \frac{1}{2} m v_f^2$  得  $v_f = \sqrt{\frac{k}{m}} \Delta x$ ，即箭矢離開弓弦後，將獲得動能（速率）向前方飛去。



(a) 拉弓儲存彈性能



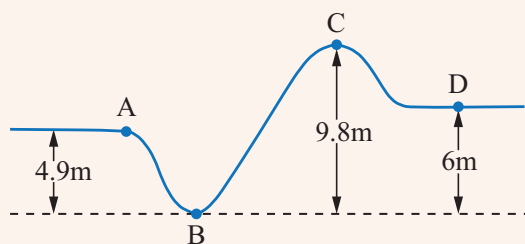
(b) 釋放彈性能，箭擁有了動能

◎ 動能與彈性能的守恆律

## 範例 3 力學能守恆律

一光滑軌道如右圖所示，質量為  $2.0 \text{ kg}$  的質點，自靜止狀態出發。試求：

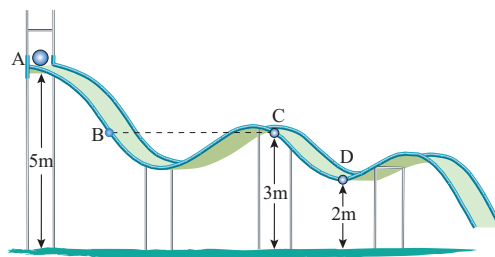
- (1) 從 A 點滑到 B 點時，速率為若干？
- (2) 質點從 C 點滑到 A 點時，速率為若干？
- (3) C 點比 A 點的位能高出多少？
- (4) 在 B 點時質點的速度為  $9.8 \text{ m/s}$ ，當滑到 D 點時，速率為若干？（ $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ）



答 (1)  $9.8 \text{ m/s}$ ；(2)  $9.8 \text{ m/s}$ ；(3)  $96 \text{ J}$ ；(4) 無法到達 D 點

解 解析見解答本。

**類題：**一顆鋼球由光滑軌道的最高點 A 靜止下滑，如右圖所示。已知鋼球在 A 點的力學能為  $E$ ，且設定地面處的重力位能為零，若忽略空氣阻力，則下列各項有關鋼球的力學能敘述哪些正確？（應選 3 項）



- (A) 鋼球在 A 點的重力位能為  $E$  (B) 鋼球在 B 點的力學能為  $E$   
 (C) 鋼球在 B 點的重力位能為  $E$  (D) 鋼球在 C 點的動能為  $\frac{2}{5} E$   
 (E) 鋼球在 D 點的動能  $\frac{2}{5} E$

**答：** (A)(B)(D)

(A) ☐ (B) ☐ (1) 鋼球沿光滑軌道滑行，僅受重力作功，各位置處時時保持力學能守恆。

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + mgh \xrightarrow{v_A=0} E = (U_g)_A$$

(C) ☐ (D) ☐ (2) 同(1)，得  $\begin{cases} E = \frac{1}{2}m \cdot 0^2 + mg(5) \Rightarrow mg = \frac{E}{5} \cdots \cdots ① \\ E = K_C + mg(3) \cdots \cdots ② \end{cases}$

將①代入②，得  $K_C = E - \frac{3}{5}E = \frac{2}{5}E$ ， $(U_g)_B = (U_g)_C = \frac{3}{5}E$

(E) ☐ (3) 同(2)，得  $E = K_D + mg(2) \cdots \cdots ③$

將①代入③，得  $K_D = E - \frac{2}{5}E = \frac{3}{5}E$ 。故選(A)(B)(D)。

#### 學習概念 4

#### 日常生活中常見的能量形式

配合課本 158 頁

常見能量形式	說明	圖示
熱能	<p>(1) 熱能可由物體的溫度升高或產生物質三態的相變而發現。</p> <p>(2) 早在古希臘時代就有科學家發明一種蒸氣輪球，如右圖所示，可用來演示熱能可以作功推動物體；但一直要到 18 世紀下半葉，蒸汽機被改良到一定程度之後，人們才廣泛地運用熱能來工作。</p>	
光能	<p>(1) 看到的太陽光與看不見的紅外線、紫外線等都是電磁波的一種，各種電磁波都有能量，稱之為光能或稱為（電磁）輻射能。</p> <p>(2) 光能轉換成其他形態的能量，例如：太陽能熱水器便是將光能轉換為熱能，而太陽能發電的面板則是將光能轉換為電能。</p>	



常見能量形式	說明	圖示
電能	<p>(1) 電能是指流動的電荷（電流）所傳遞的作功能力，是我們日常生活中最常見、最方便使用的能量。</p> <p>(2) 日常生活中使用的電能，主要是由其他形式的能量透過發電過程轉換而來。</p> <p>例如：</p> <div><p>① 太陽能發電是把光能 <math>\xrightarrow{\text{轉換}}</math> 電能</p><p>② 水力發電是把力學能 <math>\xrightarrow{\text{轉換}}</math> 電能</p><p>③ 火力發電是把化學能 <math>\xrightarrow{\text{轉換}}</math> 熱能 <math>\xrightarrow{\text{轉換}}</math> 電能</p></div>	 <p>⊙ 電動機（馬達）</p>
化學能	<p>(1) 儲存於物質內部，藉著化學變化作功轉換出來，我們稱之為化學能。</p> <p>(2) 常見的乾電池及蓄電池，當電池的兩極接通燈泡後，電池的內部產生化學變化，將化學能轉變為電能，電流流經燈絲電阻，使其發熱發光。</p>	 <p>負電極 正電極</p> <p>離子在電解液中運動</p>

範例 4 日常生活中常見的能量形式

下列有關「太陽能」的敘述，何者不正確？

(A)太陽能（光）經由太陽輻射而出，為一不可見光 (B)太陽能可經由輻射將其能量傳遞到地球上 (C)植物的光合作用為一種太陽能與化學能的轉換 (D)地球上大部分能源如化石燃料、水力、風力與生質能等，係由太陽能間接轉換而來 (E)太陽能電池、太陽能熱水器等日常家庭電器用品都是太陽能的應用

答 (A)

解 (A) × 電磁波是一種廣義的光，有可見光、不可見光。故選(A)。

類題：有關「能的形式」，下列敘述哪些正確？（應選 3 項）

(A)有物體的振動、有介質的傳播便可產生聲音，聲音不是一種能 (B)原子彈爆炸放出的能是由核能轉換而來的 (C)輻射能可看成是一種電磁波所攜帶之電磁能 (D)任何熱的物體都可放出輻射 (E)潮汐是地球表面的海水，主要因受太陽的引力作用，使水位作週期性的升降運動，是重力位能

答 (B)(C)(D)

(A) × (1)聲音是一種波動，是一種能量。

(E) × (2)潮汐是地球表面的海水，因受「月亮」的引力作用，致水位作週期性的升降。故選(B)(C)(D)。



## 5-1

## 課後練習



## 基礎題

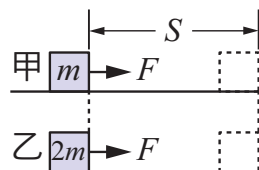
## 概念 功

(解析見解答本)

- ( C ) 1. 臺中縣霧峰鄉光復國小的操場上有一塊岩石，長 3 公尺，寬 2 公尺，高 1 公尺，因為地震使得地面抬升 4 公尺。試問地面作用力對這塊岩石所作的功，最接近下列哪一個數值？（岩石密度約為  $4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ， $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）  
 (A)  $10^2 \text{ J}$  (B)  $10^4 \text{ J}$  (C)  $10^6 \text{ J}$  (D)  $10^8 \text{ J}$  (E)  $10^9 \text{ J}$

## 概念 能—力學能

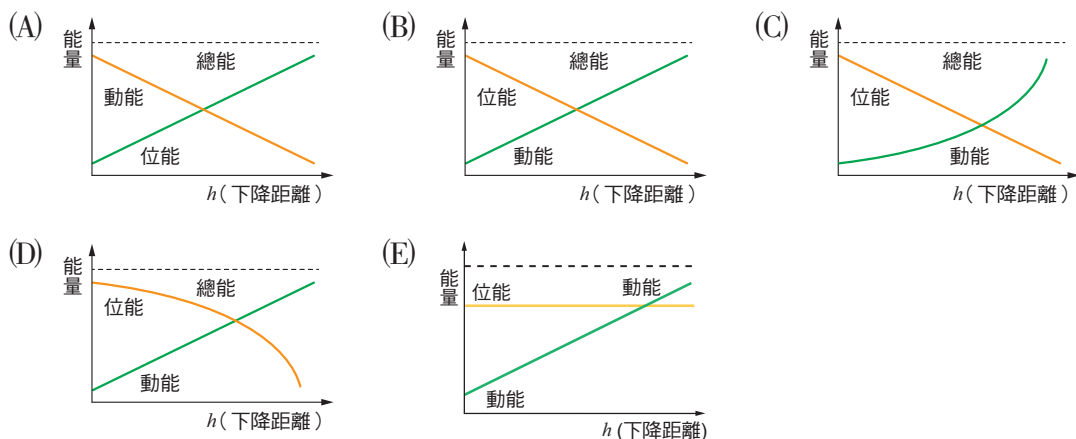
- ( C ) 2. 如右圖所示，在光滑的水平面上，靜止的甲、乙兩物體質量分為  $m$ 、 $2m$ ，受同樣的水平力  $F$  作用，沿力的方向移動相同距離  $S$ ，則下列何者正確？



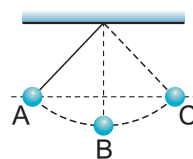
- (A) 水平力  $F$  對物體乙做功較大 (B) 水平力  $F$  對物體甲做功較大 (C) 甲、乙兩物體獲得的動能一樣大 (D) 甲、乙兩物體獲得的速率一樣大 (E) 甲、乙兩物體獲得的加速度一樣大
- ( D ) 3. 假日裡小築騎腳踏車悠遊於河堤岸邊，人車質量總和為 60 公斤，途經馬場町時以等速度行進，已知動能為 3000 焦耳，由於受到順著運動方向的一股強風力  $F$  作用了一段距離後，車速率增加了 5 公尺/秒，則該強風力  $F$  對小築與車系統所作的功為多少焦耳？  
 (A) 9750 (B) 6750 (C) 4750 (D) 3750 (E) 2750

## 概念 力學能守恆律

- ( B ) 4. 一隻老鷹抓攫獵物，以 10 公尺/秒的水平等速度飛行，飛行之中獵物突然脫落，如果忽略空氣阻力，下列何圖代表獵物的「力學能」隨著獵物在垂直方向下降時距離的變化關係？



- ( A B ) 5. 如右圖單擺由 A 點靜止釋放，如不計一切阻力作用，經最低點 B 達 C 後又擺回 A，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 點和 C 點的力學能相等 (B) 從 A 到 C，重力對擺錘所作的總功為 0 (C) 在擺動過程中，擺繩的拉力對擺錘作正功 (D) 合力做功為 0 (E) 若考慮阻力，由力學能守恆律，C 點的高度仍等於 A 點的高度
- ( A B ) 6. 在水平地面上有一球落地反彈又落地，周而復始。前後兩次反彈又落地的過程之最大高度比為 1 : 0.64。假設空氣阻力可以忽略，以地面為零位面，則下列有關前後兩次反彈又落地過程的敘述，哪幾項正確？（應選 2 項）
- (A) 最大動能的比例為 1 : 0.64 (B) 「最大位能－最小位能」的比例為 1 : 0.64 (C) 最大力學能的比例為 1 : 0.8 (D) 最大速度量值的比例為 1 : 0.64 (E) 最大力學能的比例為 1 : 1

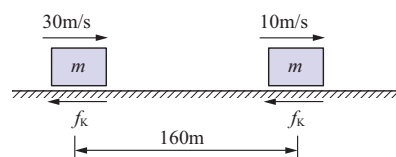
7. 一物體由高  $h$  處自由落下，設地面重力位能為零。

- (1) 當動能與位能相等時，其高度為若干？  
 (2) 承(1)，又該物體速度為若干？  
 (3) 承(1)，當物體距地面  $\frac{h}{3}$  時，動能與位能之比值為若干？

答 (1)  $\frac{h}{2}$  ; (2)  $\sqrt{gh}$  ; (3) 2

### 進階題

- ( B ) 1. 如右圖所示，一物塊以速度 30 m/s 在水平地面上滑動 160 m 後，速度變為 10 m/s，試問讓此物塊繼續滑動下去，最後還可以行走多遠的距離？



- (A) 10 m (B) 20 m (C) 40 m (D) 60 m (E) 100 m

- ( D ) 2. 將一球由地面以動能  $E$  斜向拋出，當小球在空中的動能為  $0.6 E$  時，小球當時的離地高度為何？（令小球質量  $m$ 、重力加速度  $g$ ）

- (A)  $\frac{E}{mg}$  (B)  $\frac{2E}{mg}$  (C)  $\frac{E}{2mg}$  (D)  $\frac{2E}{5mg}$  (E)  $\frac{E}{4mg}$

3. 質量 1.0 kg 的物體以 10 m/s 的速率撞擊一彈簧將之壓縮 0.20 m。若物體反彈的速率為 8.0 m/s，則物體動能的損失為若干 J？

答 18 J



1. 實驗目的：觀察並分析力學能守恆關係。

2. 實驗器材：

力學能實驗組	1 組	玻璃珠	1 顆
複寫紙	1 張	A4 紙	1 張
水平儀	1 支	30 公分直尺	1 支

3. 實驗原理：利用位能轉換為動能，動能再轉換為位能實驗數據找出力學能守恆關係。

4. 實驗步驟：

- (1) 架設好力學能實驗組，之後，以水平儀檢測軌道末端是否水平。
- (2) 準備一張 A4 白紙，取一張複寫紙（碳粉面朝下）覆蓋在白紙上，水平放置在彈珠出口端前面的桌面上，用以記錄後續彈珠打點位置。
- (3) 選定五種不同高度（ $H$ ），並於適當位置放置複寫紙讓玻璃珠可以落至複寫紙上方打點，記錄在不同高度下，彈珠從軌道出口到打點位置的水平距離數據（ $x$ ）。每一種高度請重複做 5 次並將每次的  $x$  數據記錄下來。
- (4) 依照所記錄的數據（即高度  $H$  以及打點距離  $x$ ）分別繪製：
  - ①  $x$ - $H$  圖、②  $x^2$ - $H$  圖、③  $\sqrt{x}$ - $H$  圖（圖表橫軸代表總高度，單位為公分）

5. 注意事項：

- (1) 架設「力學能實驗組」務求調整至水平。
- (2) 採用「水平儀」檢測滑軌的水平部分是否呈水平狀態時，當玻璃管內部的氣泡往右側偏移，表該位置較高，須調整降低該位置；依序檢測各處，直到氣泡始終落於兩夾線中間，表該力學能實驗組呈水平。
- (3) 選定不同高度（ $H$ ）放置彈珠，務必量測準確，以免產生較大的誤差量。

6. 問題與討論：

- (1) 請同學觀察落下高度與彈珠由軌道水平射出速度快慢的關係？請討論原因。

**答：**落下高度愈高，則由軌道水平射出速度愈快。因為由愈高的位置落下則位能愈大，轉換的動能也愈大，故速度愈快。

- (2) 請說明為何橫軸數據皆由 10.00 cm 開始？

**答：**由於  $H$  在軌道上的最低點為 10 cm，故橫軸數據皆由 10 cm 開始。

- (3) 請利用力學能守恆分析高度（ $H$ ）與落地水平位置（ $x$ ）存在何種關係？

**答：**因  $mg \cdot (H - 10) = \frac{1}{2} mv^2$ ，可知  $(H - 10) \propto v^2$

$$\text{又 } x = v \cdot t \xrightarrow{t=\text{const.}} x \propto v \Rightarrow (H - 10) \propto x^2$$

$\therefore H$  與  $x^2$  呈一次方線性關係。

## 實驗 4

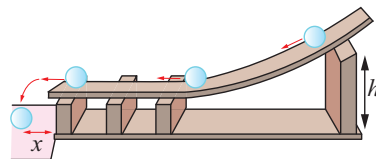
## 實驗試試看



## 一、選擇題

(解析見解答本)

- ◎ 偉致進行「力學能守恆」實驗的相關檢測，裝置如右圖所示。測量出的彈珠高度  $h$  與落出軌道後平拋的水平位移  $x$ ，如下表所示，試回答下列各問題：

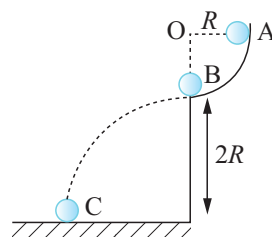


彈珠高度 $h$ (cm)	12	15	20	25	30
彈珠落出軌道後平拋的水平位移 $x$ (cm)	8.9	14.0	20.1	24.5	28.5

- ( E ) 1. 由「實驗數據」，可以推論出以下哪一結論？  
 (A)彈珠高度  $h$  與彈珠落出軌道後平拋的水平位移  $x$  成正比  
 (B)彈珠高度  $h$  與彈珠落出軌道後平拋的水平位移  $x$  平方值成正比  
 (C)彈珠高度  $h$  與彈珠落出軌道後平拋的水平位移  $x$  開根號值成正比  
 (D)彈珠高度  $h$  與彈珠落出軌道後平拋的水平位移  $x$  成線性正相關  
 (E)彈珠高度  $h$  與彈珠落出軌道後平拋的水平位移  $x$  成正相關
- ( D ) 2. 本實驗結果要用何種理論才能合理解釋？  
 (A)動能守恆 (B)質量守恆 (C)質能守恆 (D)力學能守恆 (E)重力不減定理

## 二、非選題

- ◎ 如右圖所示，半徑為  $R$  的弧形軌道，鉛直豎立於距地面高度  $2R$  處。取一質量為  $m$  的彈珠自軌道頂端的 A 點靜止釋放，彈珠沿軌道下滑至 B 點後，再沿水平方向飛出並落於水平地面上的 C 點。若不計彈珠體積與一切阻力且重力加速度為  $g$ ，試問彈珠落至 C 點的速率為何？



答：  $\sqrt{6gR}$

# 5-2 微觀尺度下的能量

## 學習概念 1 溫度與溫標

配合課本 160 頁

### 1. 溫度與溫標：

- (1) 物體的「冷熱程度」稱為溫度，為一種主觀意識，必須藉由「溫標」來客觀定義。
- (2) 用來測量物體溫度數值的尺標稱為溫標。

### 2. 常用的溫標：

以 1 atm 下「H<sub>2</sub>O」的冰點及沸點作為訂定溫度的標準：

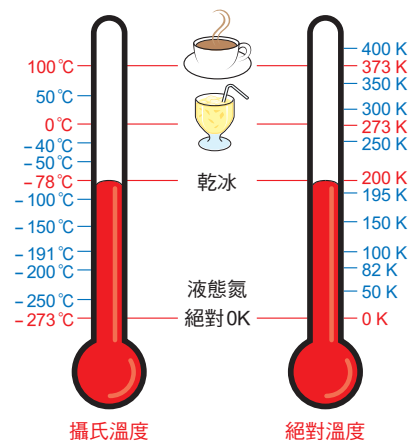
	冰點	沸點	等分間格
攝氏溫標 (°C)	0°C	100°C	100 等份
華氏溫標 (°F)	32 °F	212 °F	180 等份
克氏溫標 (K)	273 K	373 K	100 等份

- (1) 冰點，一定氣壓下純淨的冰與水共同存在的溫度。
- (2) 沸點，一定氣壓下水沸騰時水與水蒸氣共存之溫度。

### 3. 溫標間的轉換：

- (1) 日常生活中，常用攝氏溫標或華氏溫標，但在科學研究上測量溫度時常用絕對溫標（或稱克氏溫標）。

- (2) 轉換式：
$$\begin{cases} \text{°F、°C 之轉換：°F} = \frac{9}{5}\text{°C} + 32 \\ \text{K、°C 之轉換：K} = \text{°C} + 273 \end{cases}$$



不同溫標的對應關係

## 學習概念 2 熱的本質

補充資料

### 1. 熱質說與熱能說：

理論	內容	證據
熱質說	熱是一種會流動的物質，稱為熱質（caloric），由高溫處流向低溫處，當物體吸收熱質時溫度升高，放出熱質時溫度降低。	熱質說無法解釋某些物理現象（如質量守恆），且與事實矛盾，故應捨棄。
熱能說	(1) 熱是一種能量，稱為熱能（heat energy）。 (2) 物質組成分子零亂運動的動能和位能即是物質所含的內能。當物體加熱時，吸收熱量，使分子的熱運動更激烈。	倫福特在鑽製砲管時，發現熱可由鑽磨時的摩擦力作功而不斷地產生，認定熱是一種能量。

## 學習概念 3

## 溫度與能量的關係

配合課本 161 頁

## 1. 溫度：

(1) 由微觀角度觀察：

溫度反映了分子無序運動的激烈程度，各個分子在任一瞬間的運動速率有快有慢，但整體來說會有一個平均速率。

(2) 由實驗顯示：

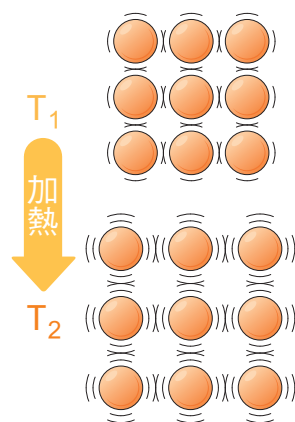
如右圖所示，在溫度低時，分子運動的平均速率較小；溫度高時，則反之。

(3) 以能量的觀點來看：

物體自外界獲得能量，使其溫度升高，表示其內分子的熱運動變得更激烈，意即分子的平均速率變大，其平均動能亦變大。

## 2. 「溫度」實為分子平均動能的測量：

巨觀上，用溫度來定量表示物體的冷熱程度；微觀上，溫度就是分子熱運動的劇烈程度，或分子平均動能（平均速率）的測量。



⊙ 溫度的微觀意義

## 範例 1 溫度與能量的關係

以下有關「溫度」的敘述，哪些正確？（應選 2 項）

- (A) 兩容器內的氣體，溫度愈高，氣體分子的平均動能愈大
- (B) 兩容器內的氣體，溫度愈高，氣體分子的總動能愈大
- (C) 兩容器內的氣體，溫度愈高，表示氣體分子數目愈多
- (D) 兩容器內的氣體，溫度愈高，表示氣體分子間的作用力愈大
- (E) 溫度實為分子平均動能的測量

答 (A)(E)

解 (A) ☐ (E) ☐ 溫度顯示氣體分子運動速率的量值，即溫度愈高，氣體分子的「平均動能」愈大。故選(A)(E)。

類題：密閉容器內理想氣體分子的「溫度」很高，表示哪些意義？（應選 2 項）

- (A) 每一個分子速率都很大 (B) 分子的平均速率很大 (C) 容器內壓力很大
- (D) 分子平均動能很大 (E) 分子的半徑很小

答 (B)(D)

- (B) ☐ (D) ☐ (1) 溫度高表示分子群的「平均速率大」或「平均動能大」。
- (A) ☐ (C) ☐ (2) 溫度高，未必「每一個」分子的速率都大。
- (C) ☐ (E) ☐ (3) 容器溫度高，會導致「壓力」、「體積」的改變。
- (E) ☐ (4) 分子半徑與環境溫度無關。故選(B)(D)。



學習概念 4

理想氣體的熱能（內能）

配合課本 162 頁

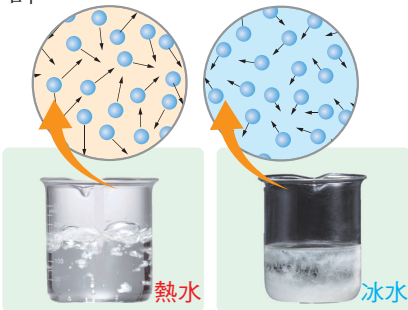
1. 理想氣體模型：

19 世紀時物理學家研究氣體分子的運動行為，提出「理想氣體」基本性質。

- (1) 由極大數目且不斷作「無規律」運動的分子組成。
- (2) 分子碰撞前後總動能保持不變。
- (3) 分子之間相距甚遠，交互作用力微弱，可忽略不計。
- (4) 分子本身的總體積與氣體占據的空間相較甚微，可忽略不計。

2. 理想氣體的內能（熱能）：

- (1) 如右圖所示，熱水溫度大於冷水溫度，即熱水分子的平均動能（速率）大於冷水的平均動能（速率）。
- (2) 由於理想氣體分子間無交互作用力，分子間不具有位能，因此理想氣體的總能量即為所有分子動能的總和，以巨觀角度來看，亦可稱為理想氣體的內能或熱能。



⊙ 分子運動激烈的程度——溫度

學習概念 5

熱與熱能

配合課本 163 頁

1. 「熱」與「熱能」是不一樣的物理概念：

	定義及範例
熱 (熱量)	<p>由於物體溫度的高低不同，發生熱交互作用，產生能量的轉移。是與熱交換過程有關的物理量。</p> <p>例 一杯 50 克、10℃ 的冷水置於酒精燈下加熱，升溫至 30℃，則冷水吸「熱（量）」為 <math>H = m \times S \times \Delta T = 50 \times 1 \times (30 - 10) = 1000</math> 卡。</p>
熱能 (內能)	<p>物體所含能量的多寡，描述能量的本身。</p> <p>例 (1) 如下圖(a)所示，等量的甲、乙兩杯水，其中甲杯水較乙杯水溫度高，甲杯水分子運動較激烈。</p> <p>(2) 如下圖(b)所示，溫度相同、不等量的甲、乙兩杯水，水分子的平均動能雖相等，但甲杯水水量多，分子數目多，總動能較大，因此具有較多的「熱能」。</p> <div><div><p>甲杯                      乙杯</p><p>(a) 甲杯水較乙杯水溫度高，分子運動激烈</p></div><div><p>甲杯                      乙杯</p><p>(b) 甲、乙兩杯水溫度相等，分子平均動能相等，而甲杯水水量多，熱能大</p></div></div> <p>⊙ 熱能（內能）的意義</p>



## 範例 2 熱與熱能

密閉容器內裝入定量的理想氣體，當溫度升高時，下列哪些物理量必增加？（應選 3 項）

- (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

答 (C)(D)(E)

解 (C) ○ (1) 溫度實為氣體分子「平均動能」、「總動能」之測量。  
(D) ○ (2) 溫度升高，氣體分子的「熱能（內能）」增加。故選(C)(D)(E)。  
(E) ○

類題 1：媽媽利用廚房裡的鍋子煮開水，發現鍋內的水溫度逐漸升高，有四位同學對此現象發表推論，哪幾位是正確的？

小東：鍋內的水因加熱，溫度增加，所以水的動能增加

小南：鍋內的水因加熱，溫度增加，所以水的內能增加

小西：鍋內的水因加熱，溫度增加，所以水分子的運動更加劇烈

小北：鍋內的水不因沸騰而質量改變

(A) 小東、小南、小西、小北 (B) 小東、小南、小西 (C) 小東、小西、小北

(D) 小南、小西、小北 (E) 小東、小南

答 (B) (B) ○ { 小東  
小南：溫度升高，水分子的 { 平均動能  
小西 { 熱能（內能）增加。故選(B)。  
運動速率

類題 2：將裝水的隔熱容器搖動一段時間後擱置，等到容器內的水完全停止下來，此時，下列各項敘述哪些正確？（應選 2 項）

- (A) 容器中水分子的平均動能為零 (B) 水的溫度升高 (C) 外界對容器所作的功變為熱能 (D) 水分子的總數增加 (E) 水分子停止撞擊器壁

答 (B)(C) (A) × (1) 外界搖動容器，對容器所作的功轉換為熱能，致水溫升高，水分子平均動能增大。  
(B) ○  
(C) ○  
(D) × (2) 外界搖動容器，水分子的總數不改變。  
(E) × (3) 容器內水雖停止搖動，仍具溫度，水分子仍具熱運動，會撞擊器壁。故選(B)(C)。

## 5-2

## 課後練習



## 基礎題

## 概念 溫度與能量的關係

（解析見解答本）

- ( C ) 1. 水沸騰時再繼續加熱，發現溫度不再升高。關於這種現象的解釋，下列各項敘述何者正確？  
 (A)水分子熱能不增加  
 (B)水分子的總動能增加，但用於使分子振動的能量不增加  
 (C)水分子的總動能不增加，但所供給的能量使密集分子拉開變成水汽  
 (D)此時所加熱能都變成輻射能  
 (E)此時能量不守恆
- ( A ) 2. 將固體物質加熱，其內部的分子與原子之振動振幅會如何改變？  
 (A)變大 (B)變小 (C)不變 (D)轉向 (E)先變大轉而變小

## 概念 理想氣體的熱能（內能）

- ( B C ) 3. 有關微觀尺度下氣體的敘述，下列哪些是正確的？（應選 2 項）  
 (A)在微觀的尺度下，氣體分子總是固定不動，僅有位能  
 (B)在微觀的尺度下，氣體分子總是持續不停地運動著，既帶有動能，也有位能  
 (C)理想氣體分子間的位能可被忽略  
 (D)理想氣體分子間的位能不可被忽略  
 (E)高溫處的氣體分子動能一定比低溫處的氣體分子大

## 概念 熱與熱能

- ( B ) 4. 兩物體相互接觸時，會發生熱量的傳遞，主要是此兩物體的何種性質所致？  
 (A)質量 (B)溫度 (C)比熱 (D)密度 (E)體積
- ( E ) 5. 下列有五位同學對於「熱平衡」分別提出各自的觀點，哪幾位是正確？  
 甲、任何物體接觸後均會達到熱平衡狀態。  
 乙、熱平衡時，物體熱量相等。  
 丙、熱平衡時，兩物體的溫度相等。  
 丁、熱平衡時，兩物體的溫度、熱量均相等。  
 戊、熱平衡時，兩物體具有相同的冷熱程度。  
 (A)甲、乙、丙 (B)甲、乙、丁 (C)甲、丁 (D)乙、丙 (E)甲、丙、戊

- ( C ) 6. 有關物體「熱能」的敘述，下列何者正確？
- (A)物體內原子、分子間的位能稱為熱能
  - (B)物體內原子、分子的動能稱為熱能
  - (C)熱能亦稱為內能
  - (D)兩物體接觸，熱能由質量多者流向質量少者
  - (E)兩物體接觸，熱能由熱能多者流向熱能少者

### 進階題

- ( C D ) 1. 理想氣體的「氣壓」，由碰撞的觀點來解釋，為何我們始終不曾感覺其碰撞？  
(應選 3 項)
- (A)這是科學家假想的模型，是不存在的
  - (B)當氣體分子的數目多到一定的程度，才會顯現碰撞的現象
  - (C)氣體分子甚小，產生的碰撞力太小，遠在我們的感官之外，不易察覺
  - (D)容器內氣體分子的數目太多，撞擊十分均勻，不易察覺
  - (E)氣體分子運動產生的碰撞力太小，不易察覺
- ( A E ) 2. 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

# 5-3 能量間的轉換與能量守恆

學習概念 1 各種能量間的轉換

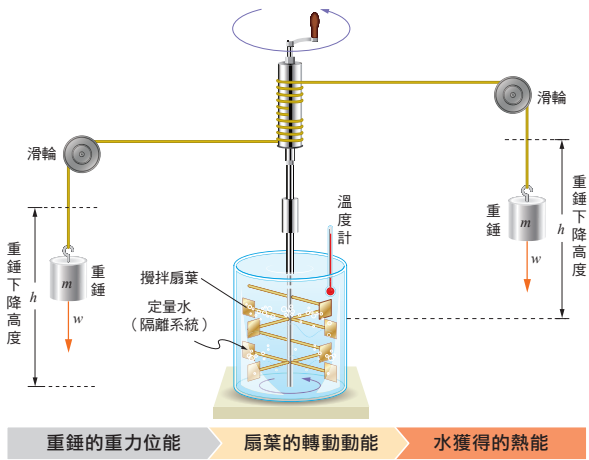
配合課本 164 頁

1. 功與熱的轉換：

1847 年，焦耳做了著名的「熱功當量」實驗，操作設計如右圖所示。

- (1) 目的：  
驗證熱是一種能量，並藉以測定熱與作功量值的數量關係。
- (2) 原理：  
由重錘等速下降所損失的重力位能（ $W$ ），悉由容器內摩擦阻力化成水及容器的熱能（ $H$ ），致使水和容器等的溫度升高。

- (3) 結果：
  - ① 功可以完全轉換為熱，但是不能以「有限次」的操作，把熱全部轉換為功。



◎ 焦耳熱功當量實驗

- ② 功（ $W$ ）可以完全轉換為熱（ $H$ ），此二數量的比值為

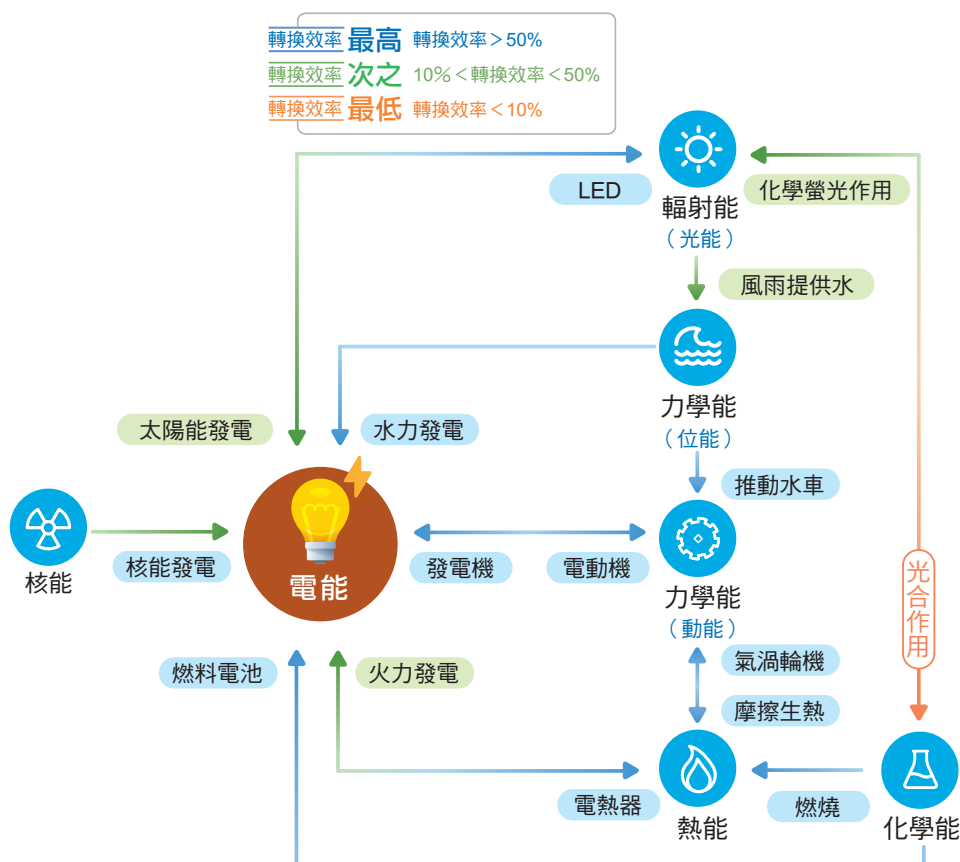
$$J = \frac{W_{\text{(功, 力學)}}}{H_{\text{(熱, 熱學)}}} = 4.186 \text{ J/cal} \Leftrightarrow \text{作功 4.186 焦耳可產生 1 卡的熱}$$

- ③ 熱功當量：熱和功同為能量，其間的數量換算關係為  $1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$ 。

2. 生活中各種能量間的轉換：

(1)化學能的轉換及利用	
①化學能→熱能	柴油或汽油在內燃機中的燃燒，就是利用燃燒後所產生的熱能來推動活塞，是交通工具動力的來源
②化學能→電能	由於電池內部化學物質的反應，產生電流
(2)光能的轉換及利用	
①光能→熱能	太陽能熱水器利用太陽光透過收集器將水加熱
②光能→電能	利用太陽能電池將太陽能轉變成電能
(3)電能的轉換及利用	
①電能→動能	家庭電器如電扇的轉動、洗衣機的轉動或玩具小火車繞行軌道運行等就是電能轉變為動能
②電能→熱能	電鍋、電熱水器等就是電能轉變為熱能
③聲能→電能	話筒中可藉由人的聲音振動轉化成電流，使遠端的親友可以聽到你的聲音

### 3. 能量在轉換過程中不可能有百分之百的轉換：



#### 範例 1 各種能量間的轉換

下列有關「焦耳實驗」的敘述，哪些正確？（應選 3 項）

- (A) 驗證「熱」是能量的一種形式
- (B) 驗證「力學能」可以轉換為「熱能」
- (C) 消耗一定量的「熱」可以產生一定量的「力學能」
- (D) 必須在絕熱良好的環境下做此實驗
- (E) 重錘減少的力學能與容器系統溫度升高所需的熱量之比值為定值

答 (A)(B)(E)

解 (C) × (1) 焦耳實驗旨在消耗「力學能」轉換為「熱能」。

(D) × (2) 焦耳實驗的裝置，「容器系統」必須絕熱。故選(A)(B)(E)。

類題 1：下列有關各種形態的能量相互轉換的敘述中，哪一項是錯誤的？

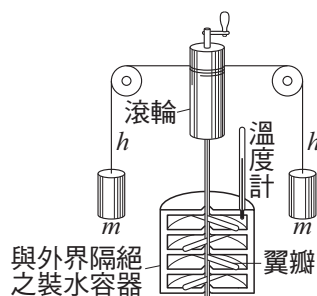
- (A) 家庭瓦斯爐將化學能轉換成熱能
- (B) 水力發電機將力學能轉換成電能
- (C) 飛機噴射引擎將電能轉換成力學能
- (D) 光合作用將光能轉換成化學能
- (E) 太陽能電池將光能轉換成電能

答 (C)

(C) × 飛機噴射引擎將「化學能」轉換成力學能，故選(C)。

**類題 2:** 焦耳設計了一個實驗，如右圖所示左右兩重錘等速下降，帶動轉軸及槳葉，槳葉攪動使水溫升高，下列敘述哪些正確？（應選 3 項）

- (A) 本實驗設計不良，重錘的重力位能下降而動能卻未增加  
 (B) 實驗中重錘的力學能逐漸減少，顯示能量守恆不適用於本實驗  
 (C) 重錘減少的力學能轉變成水溫上升所需的熱能，能量守恆律是成立的  
 (D) 力學能在實驗中轉變成熱能，所以本實驗力學能是不守恆的  
 (E) 實驗結果，作功 4.186 焦耳可產生 1 卡的熱



- 答：** (C)(D)(E) (A) × (1) 實驗過程中，重錘的重力位能下降轉換為容器系統的熱能，致動能沒有增加。  
 (B) × (2) 本實驗能量的轉換，包括熱能的形式，因此若力學能轉換成熱能，力學能雖然不守恆，但總能量是守恆的。  
 (C) ○ (3) 熱功當量：1 cal = 4.186 J。故選(C)(D)(E)。)  
 (D) ○  
 (E) ○

## 學習概念 2 能量守恆律

配合課本 167 頁

### 1. 能量守恆律：

在一個封閉系統中（與外界隔絕時），能量可以各種形式存在，而且能量之間可以互相轉換，則此系統內各種能量的總和是一個不隨時間改變的定值，即

$$\text{總能量} = \text{動能} + \text{位能} + \text{熱能} + \text{化學能} + \text{電磁能} + \text{核能} + \cdots = \text{定值}$$

稱為能量守恆律。

### 2. 科學的探索：

能量守恆律是一個普遍適用的定律，當發現有個能量不守恆的反應就該想到是否有某個能量被忽略了。

### 範例 2 能量守恆

一物體質量 5 公斤由高度 100 公尺的大樓靜止釋放，落地時速度  $v = 5 \text{ m/s}$ ，請問力學能有守恆嗎？（ $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）

**答：** 沒有

**解：** 若遵守「力學能守恆律」，則落地速度應為  $mgh = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{2gh} = 44.7 \text{ m/s}$ ，顯然

與題目落地時速度  $v = 5 \text{ m/s}$  不同，因此力學能沒有守恆。

**類題：** 承範例 2，請問能量有守恆嗎？請說明。

**答：** 有，詳見解析



## 5-3

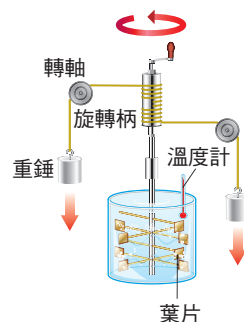
## 課後練習

## 基礎題

## 概念 各種能量間的轉換

- ( E ) 1. 焦耳在十九世紀時，利用實驗確認熱與能的本質相同，這在科學發展史上是件意義重大的事情。右圖所示是焦耳研究熱與力學能轉換的實驗裝置，實驗的操作過程，必須儘量使重錘下降時釋放的重力位能變成容器內液體的熱能。根據以上描述可知，下列各項敘述何者不正確？
- (A)重錘下降會釋放重力位能 (B)容器內裝水 (C)熱的產生與摩擦有關 (D)容器的絕熱性必須很好 (E)葉片的轉動愈快愈好

(解析見解答本)



- ( A ) 2. 在焦耳有關「熱功當量」的實驗中，若兩邊重錘的質量為  $m$  公斤、每次下降的距離為  $h$  公尺、重錘下降的次數為  $N$ ，而絕熱容器內水的質量為  $M$  公斤，且升高的溫度為  $t^{\circ}\text{C}$ ，則熱功當量為下列何者？（設所有熱能僅限於水）
- (A)  $\frac{Nmgh}{500 Mt}$  (B)  $\frac{2 Nmgh}{Mt}$  (C)  $\frac{2000 Nmgh}{Mt}$  (D)  $\frac{500 Mt}{Nmgh}$  (E)  $\frac{Mt}{2000 Nmgh}$
- ( C ) 3. 下列有關各種形式的能量轉換之敘述，何者錯誤？
- (A)綠色植物的光合作用：光能→化學能 (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
- ( C D ) 4. 以下哪些屬於一次直接轉換成電能，且能量形式描述正確？（應選 2 項）
- (A)乾電池：熱能→電能 (B)水力發電：位能→電能 (C)風力發電：動能→電能  
(D)太陽能電池：光能→電能 (E)天然氣發電：化學能→電能

## 概念 能量守恆律

- ( A D ) 5. 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  $\Delta T$ 。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 3 項）

選項	質量	速率	預測溫度上升量
(A)	$2m$	$v$	$\Delta T$
(B)	$2m$	$v$	$2\Delta T$
(C)	$m$	$2v$	$2\Delta T$
(D)	$m$	$2v$	$4\Delta T$
(E)	$3m$	$3v$	$9\Delta T$



- ( B ) 6. 不考慮空氣阻力效應，一質量 10 公斤的木塊以初速 10 m/s 滑行於光滑水平地板上，之後，進入一段草皮地，木塊受摩擦而產生熱能 320 J，試問該木塊離開草皮地時速率為若干 m/s？  
(A) 3 (B) 6 (C) 9 (D) 12 (E) 15
- ( C ) 7. 1972 年外太空突然飛來一顆大隕石劃過大氣層，墜落在加拿大西部的大沙漠，所幸並沒有造成居民的損傷。科學家測量得該隕石的質量約  $4 \times 10^6$  kg、著地速率約 15 km/s。假如隕石行進於大氣層期間，質量不會因與大氣摩擦而產生耗損，且保持等速率擊中地球表面。科學家也得知第二次世界大戰時在廣島所投下的原子彈約等於 13300 公噸的 TNT 炸藥，又粗略估計一公噸 TNT 炸藥其能量約為  $4.2 \times 10^9$  J，則下列有關隕石撞地球所造成的影響敘述何者正確？  
(A) 其在大氣飛行的過程中力學能守恆 (B) 在隕石下降過程中，由於隕石等速率下降，故重力不對其做功 (C) 其撞地球所損失的動能為  $4.5 \times 10^{14}$  J (D) 隕石所損失的動能約為一公噸 TNT 炸藥的  $1.07 \times 10^6$  倍 (E) 隕石所損失的動能約相當於 5 顆原子彈的能量

## 進階題

- ( B ) 1. 一瀑布高度落差為 420 公尺，假設水由瀑布頂端落至底端時的動能 70% 變成熱能。若重力加速度為 10 公尺/秒<sup>2</sup>、熱功當量為 4.2 焦耳/卡，則瀑布頂端與底端的水溫相差若干℃？  
(A) 0.42 (B) 0.70 (C) 1.00 (D) 1.76 (E) 4.2
2. 根據經濟部能源局研究，定義臺灣沿海各地波浪高度的上、下限分別取 0 m 與 5 m，由波浪傳遞的性質可以推算出波浪傳遞的功率，進而制定臺灣沿海各處的波浪能源密度為單位波浪高度的傳遞功率。已知臺灣東北海岸波浪能源密度為 13 kW/m，已符合波浪發電的標準。因此，工程師沿海岸 10 m 長安置一座波浪發電機組進行發電實驗，如右圖所示，這座發電機組的效率高達 80%，又一天裡每戶人家的用電大約為 24 度，假定某日浪高約 2.5 m，試問實驗一天約可供應幾戶人家的用電？



答 ▶ 26 戶

3. 1 公克的奶油在體內氧化產生 5 千卡的能量，若 80% 的能量用於禦寒與基本身體需求，其餘全部的能量可以完全轉變為力學能，則約需多少公克奶油，就可以供應一位體重 50 公斤重的登山者由平地攀登至 3000 公尺的高峰？（重力加速度  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）

答 ▶ 357 g

## 5-4 質能轉換與核能

### 學習概念 1

### 質能互換

配合課本 170 頁

1. 愛因斯坦提出的「相對論」認為，物質的質量與能量是可以互相轉換的，其關係如下：

$$E = \Delta m \times c^2 \quad \begin{cases} E: \text{反應中轉化而得的能量 (J)} \\ \Delta m: \text{反應中減少的質量 (kg)} \\ c: \text{光速 (} c = 3 \times 10^8 \text{ m/s)} \end{cases}$$

2. 說明例：若 1 公克的物質質量轉化成能量，則能量約為若干焦耳？合若干度電？

【解】依  $E = \Delta m \times c^2 \Rightarrow E = \frac{1}{1000} (3 \times 10^8)^2 = 9 \times 10^{13} \text{ J}$

又  $1 \text{ 度電} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} \Rightarrow E = \frac{9 \times 10^{13}}{3.6 \times 10^6} = 2.5 \times 10^7 \text{ 度電}$

這些能量相當於二千五百萬度的電能，可提供約三千五百戶普通住家全年的電力消費。

3. 由質能互換公式計算的結果，可以發現小小的質量即可以轉換成為巨大的能量。現行核能發電的原理實際上就建立在這個關係式上。

### 範例 1 質能互換

1945 年美國在日本廣島投下原子彈，由於側風的緣故，原子彈偏離瞄準點相生橋約 240 米，在廣島醫院上空 600 公尺處引爆，它的爆炸當量為 16,000 噸 TNT 炸藥，相當可產生 67 兆焦耳的能量。此能量相當於核反應時，損失質量\_\_\_\_\_克所產生的能量。

答 0.74

解 假設損失質量  $m$ ，則  $E = mc^2$ ， $67 \times 10^{12} = m \times (3.00 \times 10^8)^2$ ， $m = 7.4 \times 10^{-4} \text{ kg} = 0.74 \text{ g}$ ，相當損失了 0.74 克的質量所產生核能。

類題：某次核反應中，有 2 mg（毫克）的質量損失，依照愛因斯坦的質能互換關係，請問此次核反應將放出能量多少 cal？（1 cal = 4.2 J）

答  $4.3 \times 10^{10} \text{ cal}$

$$\begin{aligned} & (\text{依 } E = mc^2 \xrightarrow{m = 2 \text{ mg} = 2 \times 10^{-6} \text{ kg}} E = (2 \times 10^{-6}) \cdot (3 \times 10^8)^2 = 18 \times 10^{10} \text{ J} \\ & \text{又 } 1 \text{ cal} = 4.2 \text{ J} \Rightarrow E = \frac{18 \times 10^{10}}{4.2} \approx 4.3 \times 10^{10} \text{ cal}。) \end{aligned}$$

5

教師用書

貼心伴隨·敬請賜教

學習概念 2 核能

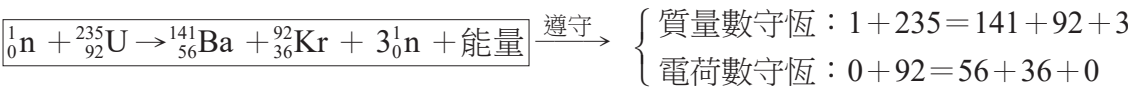
配合課本 170 頁

1. 核反應：

	核反應種類	遵守的守恆律
核反應	核分裂、核融合	(1) 質能守恆：核反應後總質量會減少，稱為「質量虧損」，依 $E = m \times c^2$ 可計算得轉換的能量。 (2) 電荷數守恆：核子反應前的總電荷數與反應後的總電荷數相同。 (3) 質量數守恆：核子反應前的總質量數與反應後的總質量數相同。

2. 核分裂：

- (1) 西元 1938 年，漢恩和史特拉斯曼，發現以「慢中子」撞擊鈾 ( $^{235}_{92}\text{U}$ ) 靶時，鈾原子核會分裂成質量數較輕的鋇 ( $^{141}_{56}\text{Ba}$ ) 和氪 ( $^{92}_{36}\text{Kr}$ ) 等兩個原子核，並放出大量的能量，這種現象稱為核分裂。



★慢中子：指中子的運動速率，等於室溫下的氣體分子之速率，又稱為熱中子。

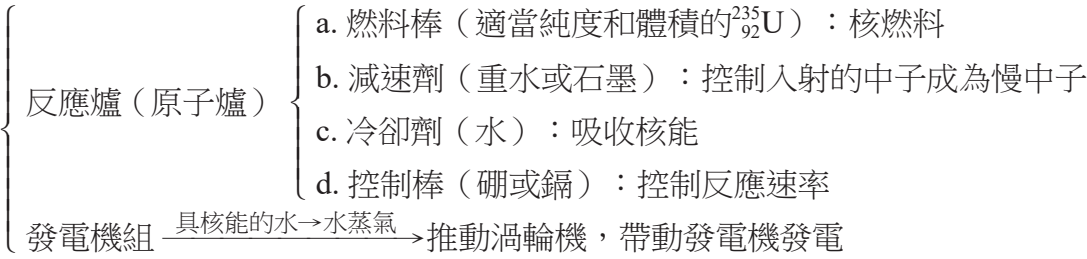
- (2) 由於一個鈾原子被一個中子撞擊後會產生 2 ~ 3 個中子，這些中子可再撞擊其他的鈾原子，再次產生核分裂，如下頁圖(a)所示，因此會持續不斷的產生核分裂而放出巨大的能量，稱為連鎖反應。
- (3) 應用：核能發電

西元 1942 年，美國物理學家費米 (Fermi) 成功地驗證用人為的方式控制核分裂反應的速率，使其能量以細水長流的方式釋放出來，促使人類開始大規模和平使用核能。

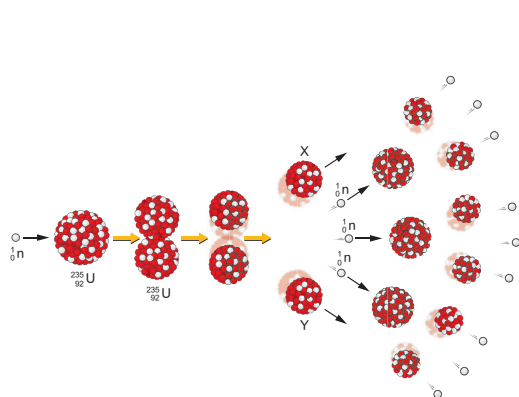
① 核能發電流程：

核分裂反應所產生的能量，將水加熱使其變成蒸氣，再推動汽輪機與發電機來發電，如下頁圖(b)所示。

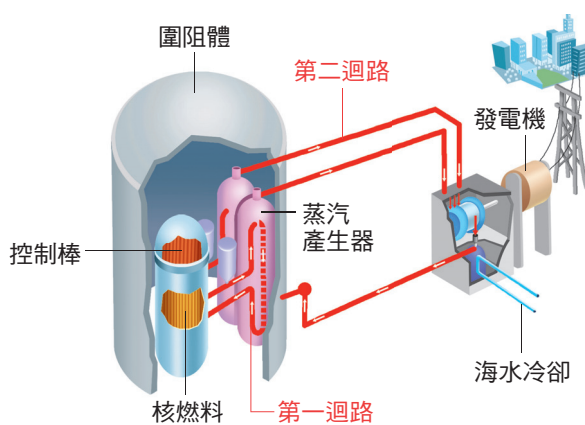
② 核電廠的布置：



- ③ 核能發電使用的  $^{235}_{92}\text{U}$  濃度很低 (約 3% 左右)。
- ④ 核分裂是在可控制的環境下進行，和原子彈 ( $^{235}_{92}\text{U}$  的濃度需在 90% 以上) 不同。



(a)核分裂示意圖

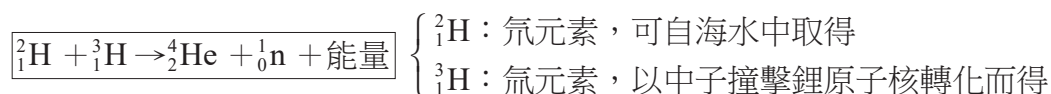


(b)核能發電廠布置示意圖

☉核分裂的應用——核能發電

### 3. 核融合：

- (1) 兩個較小質量的原子核在極高溫 ( $10^6^\circ\text{C}$ ) 的條件下，可以融合成一個較大質量的原子核及其他粒子的反應，稱為核融合或核聚變。



- (2) 核融合結束，總質量會比最初原子核的總質量小，因此也將質量轉換成能量。
- (3) 核融合反應是宇宙中恆星能量的主要來源，且無核汙染之問題，為乾淨能源。

#### 範例 2 核能

核融合反應： ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ 。若式中 ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_2\text{He}$ 、 ${}^1_0\text{n}$ 之質量分別為  $3.3445 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 、 $5.0082 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 、 $1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ，則融合成 1 個 ${}^3_2\text{He}$ 原子所產生之能量為若干 J？

答  $5.31 \times 10^{-13}$

解 (1) 計算質量虧損： $m = 2(3.3445 \times 10^{-27}) - (5.0082 \times 10^{-27} + 1.6749 \times 10^{-27})$   
 $= 5.9 \times 10^{-30} \text{ (kg)}$

(2) 依  $E = mc^2 \Rightarrow E = 5.9 \times 10^{-30} \times (3 \times 10^8)^2 = 5.31 \times 10^{-13} \text{ (J)}$

**類題 1：**拉塞福在 1919 年以  $\alpha$  粒子 ( ${}^4_2\text{He}$ ) 撞擊氮原子核 ( ${}^{14}_7\text{N}$ ) 產生核反應，若該反應產生兩種粒子，有一為氧原子核 ( ${}^{17}_8\text{O}$ )，則另一粒子為何？

(A) 電子 (B) 中子 (C) 質子 (D)  $\alpha$  粒子 (E) 鈹原子核 ( ${}^9_4\text{Be}$ )

答 (C)

((C) ○ 核反應： ${}^4_2\text{He} + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_a\text{X}$ ，

$\therefore$  核反應遵守原子序守恆及質量數守恆

$\therefore \begin{cases} a = 4 + 14 - 17 = 1 \\ b = 2 + 7 - 8 = 1 \end{cases}$ ，即 ${}^1_1\text{X} = {}^1_1\text{P}$  (質子)。故選(C)。

**類題 2：**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) (A) × (1)核分裂使用鈾為燃料，核聚變使用氫為燃料。  
(B) × (2)核聚變時釋放出來的能量，來自核能。  
(C) × (3)核分裂會產生較嚴重的輻射性廢料問題。  
(E) × (4)核聚變反應提供商業用電的技術尚未成熟。故選(D)。

學習概念 **3** 輻射安全

配合課本 175 頁

- 1. 核衰變：**  
一個高能量、不穩定的原子核，常會放射出一些粒子（放射線），成為另一種原子核，這種過程稱為原子核衰變，同時稱此原子核種為放射性元素。如鐳、鉭等。
- 2. 放射線的種類：**  
不穩定的原子核進行核分裂反應時，常會伴隨產生  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  等三種放射線。

	$\alpha$ 射線	$\beta$ 射線	$\gamma$ 射線
衰變反應式	${}_Z^A\text{母核} \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}\text{子核} + {}_2^4\alpha$	${}_Z^A\text{母核} \rightarrow {}_{Z+1}^A\text{子核} + {}_{-1}^0\beta$	${}_Z^A\text{母核} \rightarrow {}_Z^A\text{子核} + \gamma$
本質	氦原子核 ( ${}_2^4\text{He}^{2+}$ ) 的粒子流	電子 ( ${}_{-1}^0\text{e}$ ) 流	波長極短的電磁波 (在 1 埃以下)
質量	質子的 4 倍	質子的 $\frac{1}{1840}$ 倍	無靜止質量
帶電量	$+2e$	$-e$	電中性
在電場中的偏向	向負極偏折	向正極偏折	不會偏折
游離氣體的能力	最強	次之	最弱
感光能力	最弱	次之	最強
穿透能力 (在空氣中)	最弱 (約一張紙片即可阻止)	次之 (約 5 mm 厚的鉛板可阻止)	最強 (約 15 cm 厚的水泥牆方可阻止)

The diagram illustrates the penetration of three types of radiation through different materials. On the left, three horizontal lines represent the radiation entering from the left. The top line, labeled  $\alpha$  射線, is stopped by a piece of paper (紙). The middle line, labeled  $\beta$  射線, passes through the paper but is stopped by a lead plate (鉛板). The bottom line, labeled  $\gamma$  射線, passes through both the paper and the lead plate, being stopped by a concrete wall (水泥). The materials are shown as vertical blocks: paper, lead plate, and concrete wall.



### 3. 輻射安全：

#### (1) 游離輻射：

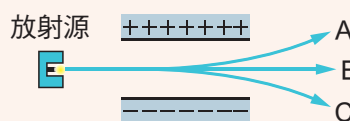
帶電質點直接或間接使物質中的電子自原子或分子產生游離作用之電磁輻射或粒子輻射稱為游離輻射。反之，無法使物質產生游離的輻射稱為非游離輻射，例如：可見光、紅外線、微波、無線電波及雷達等。

#### (2) 輻射劑量：

- ① 測量輻射的劑量為西弗（Sv）。人體每公斤接受  $\gamma$  射線的能量為 1 焦耳時，其劑量定為 1 西弗。
- ② 依原子能委員會的規定，民眾每年接受的輻射劑量限定為 5 毫西弗。平均每個人一年內受到天然輻射的劑量約為 2 毫西弗。

### 範例 3 輻射安全

如右圖所示，一般伴隨核反應發射出的射線共有  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  等三種射線，試回答下列各問題：（請以 A、B、C 回答）

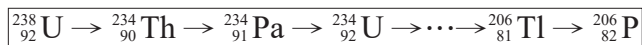


- (1) \_\_\_\_\_ 射線為氦原子核的粒子流。
- (2) \_\_\_\_\_ 射線為電子的粒子流。
- (3) \_\_\_\_\_ 射線為高能量的電磁輻射。

答 (1) C；(2) A；(3) B

解 通過一個帶電板可以知道 A 為電子流，因為正負相吸；B 為高能量電磁輻射，因為不帶電，因此不偏移；C 為氦原子核帶正電，向負的方向偏。

**類題：**放射性同位素的衰變有  $\alpha$  衰變、 $\beta$  衰變及  $\gamma$  衰變等三種，這三種衰變方式發出的放射線分別為  $\alpha$  射線、 $\beta$  射線及  $\gamma$  射線。 $\alpha$  射線就是氦-4 ( ${}^4_2\text{He}$ ) 的原子核， $\beta$  射線就是具有高能量的電子，而  $\gamma$  射線就是波長極短的電磁波。依據下式所示鈾-238 ( ${}^{238}_{92}\text{U}$ ) 衰變為鉛-206 ( ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ ) 的過程，下列關於鈾與鉈同位素放射衰變的敘述，哪些正確？（應選 2 項）



53% 全對率 112 學測



- (A) 鈾-238 ( ${}^{238}_{92}\text{U}$ ) 發生  $\alpha$  衰變後成為鈾-234 ( ${}^{234}_{90}\text{Th}$ ) (各個放射線的符號分別為  ${}^4_2\alpha$ 、 ${}^0_{-1}\beta$ 、 ${}^0_0\gamma$ ，而核衰變的過程遵守 { 質量數守恆, 電荷數守恆 )
- (B) 鈾-238 ( ${}^{238}_{92}\text{U}$ ) 發生  $\beta$  衰變後成為鈾-234 ( ${}^{234}_{90}\text{Th}$ )
- (C) 鈾-238 ( ${}^{238}_{92}\text{U}$ ) 發生  $\gamma$  衰變後成為鈾-234 ( ${}^{234}_{90}\text{Th}$ )
- (D) 鉈-206 ( ${}^{206}_{81}\text{Tl}$ ) 發生  $\alpha$  衰變後成為鉛-206 ( ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ )
- (E) 鉈-206 ( ${}^{206}_{81}\text{Tl}$ ) 發生  $\beta$  衰變後成為鉛-206 ( ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ )

答 (A)(E)

分析上列各核反應式，可以不必知道各個選項的產物為何種元素，本題只要檢測判斷出各式質量數與電荷數是否守恆即可。故選(A)(E)。

## 5-4

## 課後練習



## 基礎題

## 概念 質能互換

(解析見解答本)

- ( E ) 1. 有關「質能互換」的敘述，下列何者錯誤？  
 (A)首先由愛因斯坦所提出 (B)其能量  $E$  與質量  $m$  間轉換的關係式為  $E = mc^2$   
 (C)承(B)，式中的  $c$  代表光在真空中的速度 (D)在核反應前後，總質量不守恆  
 (E) 1 公克質量的物質若完全轉換，則可得  $9 \times 10^{16}$  焦耳的能量

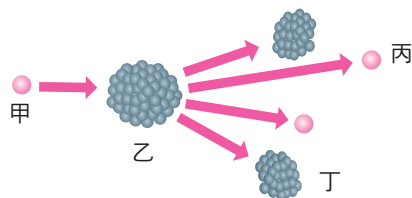
2. 利用核反應： ${}_0^1\text{n} + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{56}^{141}\text{Ba} + {}_{36}^{92}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n} + \Delta E$

試估算 1 kg 的  ${}_{92}^{235}\text{U}$  完全進行核分裂所釋放出來的能量。(  ${}_{92}^{235}\text{U} = 235.0439 \text{ amu}$  ,  ${}_0^1\text{n} = 1.0087 \text{ amu}$  ,  ${}_{56}^{141}\text{Ba} = 140.9139 \text{ amu}$  ,  ${}_{36}^{92}\text{Kr} = 91.8973 \text{ amu}$  ,  $1 \text{ amu} = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$  )

答  $8.25 \times 10^{13} \text{ J}$

## 概念 核能

- ( C ) 3. 右圖所示，為我國核能電廠利用核能發電時，所發生的一個原子核的分裂反應，請仔細觀察此圖，並判斷下列敘述何者錯誤？



- (A)甲為中子 (B)乙為  ${}_{92}^{235}\text{U}$  原子核  
 (C)丙為質子 (D)丁為放射性的原子核  
 (E)反應中會伴隨能量的產生
- ( B ) 4. 哪一種發電方式所造成的空氣汙染最為嚴重？  
 (A)水力發電 (B)火力發電 (C)核能發電 (D)太陽能發電 (E)離岸風力發電

- ( A C ) 5. 核反應式： ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{-1}^0\beta + {}_a^b\text{X}$ ，下列各選項哪些正確？(應選 2 項)  
 (A)  $a = 93$  (B)  $b = 239$  (C)  $a + b = 331$  (D)  $\beta$  就是氦核 (E)  $\beta$  是電磁波

- ( A B ) 6. 下列有關「核融合」的敘述哪些正確？(應選 3 項)  
 C  
 (A)核融合須在高溫下才能進行 (B)核融合是太陽輻射出的巨大能量的主要來源  
 (C)核融合所需的燃料例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



**概念 輻射安全**

- ( A ) 7. 關於「核能發電」，下列敘述何者是錯誤的？  
 (A)核反應時損失之能量轉化成質量用以發電 (B)核能發電的最大缺點在於會產生高輻射性的核廢料 (C)核能發電時能量轉換的次序是核能→熱能→動能→電能 (D)發電廠利用鉛板及鋼筋混凝土善加防護，理想情況下可將輻射線減低到少於我們日常接受的天然輻射量 (E)進入核電廠之人員身上皆須配戴一晶片用以測量人體所受的輻射劑量，該劑量之單位為 Sv 或 mSv
- ( B E ) 8. 若甲原子核經過  $A$  次的  $\alpha$  衰變、經過  $B$  次的  $\beta$  衰變而成為乙原子核，則下列各項敘述哪些正確？（應選 2 項）  
 (A)甲原子核的質量數比乙原子核多  $A$  個  
 (B)甲原子核的質量數比乙原子核多  $4A$  個  
 (C)甲原子核的質子數比乙原子核多  $2A + B$  個  
 (D)甲原子核的中子數比乙原子核多  $2A - B$  個  
 (E)甲原子的電子數比乙原子多  $2A - B$  個

**進階題**

- ( C ) 1. 伊萬帕發電廠是一個全新的太陽能發電中心，位於美國西部的莫哈維沙漠，這個發電中心內有三座最先進的熱力發電廠，擁有超過 17 萬個自動追蹤太陽的鏡面板，在 1415 公頃大的場地上接收大量直射的太陽光，並將陽光導向三個接收塔頂上可產生熱蒸氣的加熱鍋爐，這些蒸氣直接用來驅動發電渦輪，總發電功率達 392 百萬瓦特。若以此功率發電 1000 小時，則對應核能發電，其產生的能量相當約若干克的質量消滅轉換而成？（光速  $c = 3 \times 10^8$  公尺/秒）  
 (A)  $1.57 \times 10^{-2}$  (B) 1.57 (C)  $1.57 \times 10^1$  (D)  $1.57 \times 10^4$  (E)  $1.57 \times 10^7$
2. 一座  $0^\circ\text{C}$ 、 $10^5$  公斤的冰山，擬以「核能」予以摧毀，致使其熔化為  $0^\circ\text{C}$  的水，則核反應過程中需減損放射性元素之質量若干公克？

**答**  $3.73 \times 10^{-4} \text{ (g)}$

3. 科學家發現了一種新的放射性物質－X，取得一份實驗樣品觀測其衰變的情形。發現 X 所射出的粒子對某些遮蔽物會造成如下的效果：

(甲)若僅射出  $\alpha$  粒子，則不能穿過一張紙

(乙)若僅射出  $\beta$  粒子，則需用 5 mm 厚的鋁板才能完全擋住

(丙)若僅射出  $\gamma$  射線（可視為粒子），則即使擋以 25 mm 厚的鉛板，也只能將粒子數約減少一半

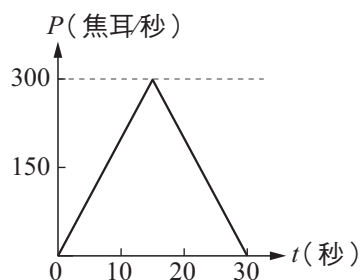
今再取另一份放射性物質 Y，放在一個偵測器的感應口前，此偵測器可量測  $\alpha$ 、 $\beta$  及  $\gamma$  的總粒子數，然後分別用一張紙、5 mm 厚的鋁板及 25 mm 厚的鉛板，擋在放射源和感應口的中間，各次測得的總粒子數如右表所示。試分析放射性物質 Y 最有可能放射出哪些粒子？

遮蔽物	每分鐘測得的總粒子數
無	402
紙（1 張）	402
鋁板（5 mm）	362
鉛板（25 mm）	178

**答**  $\beta$  及  $\gamma$  粒子

## 1、2. 題為題組

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  $t$  的變化如右圖所示。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  $10 \text{ 公尺/秒}^2$ 。



- ( C ) 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？



73% 答對率 (106 學測)

(A) 150 (B) 3000 (C) 4500 (D) 6000 (E) 9000

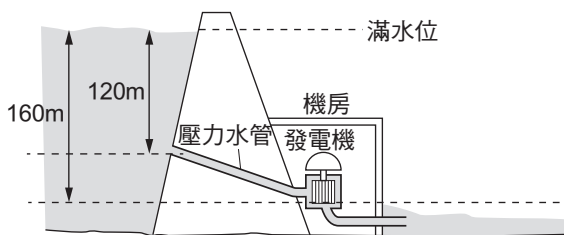
- ( B ) 2. 若甲生爬樓克服重力所消耗的能量，等於上樓所增加的重力位能，則甲生相當於爬了幾個樓層的高度？



55% 答對率 (106 學測)

(A) 1 (B) 3 (C) 5 (D) 7 (E) 9

- ( C ) 3. 一座水庫的蓄水量與從壩底算起的水位關係如下表所列，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，如右圖所示，且愈接近壩底，水壩的厚度愈厚。（取重力加速度  $g$  為  $10 \text{ m/s}^2$ ，水的密度為  $1.0 \text{ g/cm}^3$ ）



83% 答對率 (108 學測)

▼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

依據上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) 水的彈性位能轉換成電能

- ( A B ) 4. 下列哪些過程中有涉及到力學能的能量轉換？（應選 3 項）

E



59% 全對率 (110 學測)

- (A) 隕石墜落到月球表面的過程  
(B) 彈簧與物體組合成的系統做週期性振盪運動  
(C) 燃燒煤產生熱的過程  
(D) 太陽能發電的過程  
(E) 水力發電的過程

( E ) 5. 下列(甲)~(戊)為 5 個與能源有關的敘述：



(甲)核能發電廠利用核分裂發電後，反應爐內的原子總質量會比發電前少。

(乙)發電廠利用核分裂發電時，鈾 235 燃料的全部質量都可轉換為熱能而用以發電。

(丙)以變壓器供電的電器，即使關機，只要變壓器接在插座上而通有電流就會耗電。

(丁)在相同車型與行駛條件下，兩車各載一人與一車載兩人的燃油消耗相同。

(戊)相同耗電功率的 LED 燈與白熾燈泡，其發光與照明的效能一定相同。

在上述 5 項敘述中，正確的為下列何者？

71% 全對率 (112 學測)

(A)甲乙丙 (B)甲丁戊 (C)乙丙戊 (D)乙丁 (E)甲丙

( A D ) 6. COVID-19 疫情於 2019 年底爆發後，為防止疫情擴散，在初步辨認是否感染病毒時，會先以額溫槍測量額頭溫度；若有確診情形，則會將較嚴重的患者隔離於負壓病房以便診療，並避免病毒隨空氣外洩。關於上述的防疫措施，下列敘述哪些正確？（應選 3 項）



56% 全對率 (112 學測)

(A)負壓病房內的空氣壓力比病房外為低，故病房內的空氣不易外洩

(B)負壓病房內的空氣壓力比病房外為高，故病房內的空氣不易外洩

(C)健康的人在體溫正常時與周圍環境必處於熱平衡狀態

(D)發燒時利用冰枕可使額頭降溫，主要是靠額頭與冰枕之間的熱傳導

(E)在量測額溫時，額頭到額溫槍之間是以電磁波的方式進行熱傳播

( A C ) 7. 臺灣目前的核能電廠利用核燃料以發電，全部過程中主要牽涉到以下哪些形式的能量轉換與反應？（應選 3 項）



67% 全對率 (113 學測)

(A)質能轉換 (B)聲能轉電能 (C)熱能轉動能 (D)核融合 (E)核分裂

## 關於空氣汙染

煤主要作為燃料，在 2020 年提供了全球超過 1/3 的電力，但煤的使用會破壞環境，是造成氣候變化最大的人為二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ）來源。為了實現巴黎協定將全球暖化控制在  $2^\circ\text{C}$  以下的目標，從 2020 年到 2030 年，煤的使用量需要減半。利用水力以取代燃煤來發電，是很多國家降低  $\text{CO}_2$  排放量所採取的對策之一。

假設你被要求提出一個水力發電廠的規畫案，目標是要使它一年可達成的  $\text{CO}_2$  減排量  $M$  為  $10^9 \text{ kg}$ 。已知水庫供水與下游水道排水都無問題，每部發電機提供電能的功率設定為  $P_1 = 10^9 \text{ W}$ ，水庫水面與發電機進水口的水位落差為  $h = 100 \text{ m}$ ；當水庫的水在到達發電機進水口時，每單位質量所具有的動能為  $u_w$ 。下表列出的甲～己（括弧內為其符號）為規劃時需要考慮的一些參數。

(112 學測)

甲 ( $c_1$ )	乙 ( $c_2$ )	丙 ( $\mu$ )	丁 ( $\varepsilon$ )	戊 ( $T$ )	己 ( $N$ )
燃煤發電時每單位電能耗用的煤質量	每單位質量的煤發電時排放的 $\text{CO}_2$ 質量	每單位時間流入發電機的水質量	發電機將水力轉換為電力的效率	每部發電機每日發電的平均時間	安裝的發電機數目

- ( D ) 1. 依設計，預定的水位落差  $h$  為  $100 \text{ m}$ ，若取重力加速度  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，則  $u_w$  約為多少  $\text{J/kg}$ ？



62% 答對率

(A)  $10^0$  (B)  $10^1$  (C)  $10^2$  (D)  $10^3$  (E)  $10^4$ 

- ( B ) 2. 為了確保每部發電機都能提供預定的發電功率  $P_1$ ，需要確定表中哪些參數的數值？



47% 答對率

(A) 甲丁 (B) 丙丁 (C) 乙戊 (D) 丙戊 (E) 丁戊

- ( A ) 3. 為了估計採用水力發電以取代燃煤發電時，其所發每單位的電能可減少的  $\text{CO}_2$  排放量，需要取得表中哪些參數的數值？



44% 答對率

(A) 甲乙 (B) 乙丁 (C) 甲丙 (D) 乙丁戊 (E) 甲丁戊己

4. 以  $E_1$  代表每部水力發電機在一年（= 365 天）的期間內可提供的電能，並依題幹所述以  $M$  代表所有  $N$  部水力發電機一年可達成的  $\text{CO}_2$  減排量。考慮依上述規格設計出來的水力發電廠，試回答以下問題。

- (a) 利用數值常數、 $u_w$  與表中定義的參數符號，以數學式表示每部發電機一年可提供的總電能  $E_1$ 。
- (b) 利用  $E_1$  與表中定義的參數符號，以數學式表示整個水力發電廠一年可達成的  $\text{CO}_2$  減排量  $M$ 。

答：(a)  $E_1 = \mu \times T \times u_w \times \varepsilon \times 365$ ；(b)  $M = N \times E_1 \times c_1 \times c_2$



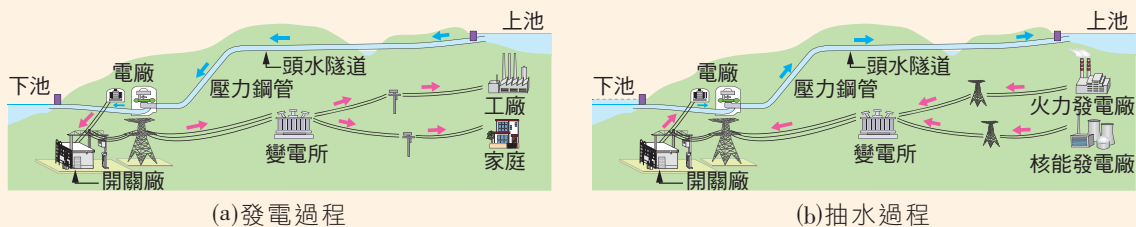


## 「潮汐」發電的探索

21 世紀人類最重要的課題莫過於「能源」的有效利用，生活中各項的電力設施，必需兼顧使用能源所帶來的「利」亦需同時考慮到其所造成的「害」。

下圖(a)、(b)所示，為我國在民國 83 年完工的明潭抽蓄水力發電工程，對日後電力的調度及節約使用是相當良好的。圖(a)為放電過程：在白天尖峰用電時，利用上池的水經由水路至發電機發電，經變壓器變壓，再經輸電系統至變電所降壓後，最後送達用戶。圖(b)為抽水過程：深夜離峰用電時，利用火力及核能電廠多餘的電，經變壓器變壓後，送入電動機帶動抽水將下池的水經原路抽回上池，以供次日發電之用。

明潭抽蓄機組係以日月潭為上池，明潭水庫作為下池，攔截日月潭沖下的湖水。明潭電廠與日月潭水庫之間高低位能差達 380 公尺，共裝置六部「豎軸法蘭西斯可逆式」水輪機及發電機，利用上、下池間的位能差帶動發電機，當正轉時，可帶動發電機發電；反轉時，則可將下池的庫水抽回至上池蓄存，故可配合電力負載需求，將水力能源配合火力及核能基載發電運作，有效增加尖峰時間之供電量。每日明潭水庫之水位變動約二十八公尺，水位變化量大，形成獨特的「潮汐」景觀。每部發電機的機組容量為 26 萬 7 千瓩，總計明潭發電廠的裝置容量達 160.2 萬瓩（1602 MW），超過核一廠，而每年發電量則約 24 億度。依據內文試回答下列各問題：



- ( A D ) 5. 祖勝是明潭抽蓄水力發電廠的一位工程師，負責檢測高處的上池水（質量為  $m$ ，速率為  $v$ ）流入下池中與原下池內水（質量為  $m$ ）因相撞擊造成的溫差效應，假定兩處的水對撞後呈靜止，達成熱平衡後，下池水溫上升  $\Delta T$ 。若不計水道摩擦阻力效應與碰撞熱量的散失，設定各狀況對撞條件下，溫度的上升量如下表所示，試問表中所列預測的數值對應關係哪些是正確的？（應選 3 項）

選項	上池水		下池水		預測溫度上升量
	水量	速率	質量	速率	
(A)	$2m$	$v$	$2m$	0	$\Delta T$
(B)	$2m$	$v$	$2m$	0	$2\Delta T$
(C)	$m$	$2v$	$m$	0	$2\Delta T$
(D)	$m$	$2v$	$m$	0	$4\Delta T$
(E)	$3m$	$3v$	$3m$	0	$9\Delta T$

- ( D ) 6. 「可再生能」是指由各種可持續補充的自然資源（包括日光、風、雨、潮汐、地熱等）中取得的能量，它大約占了全球總耗用能量的五分之一。下列與可再生能源有關的敘述，何者錯誤？
- (A) 太陽輻射的能量是由其內部的核能轉換而來
  - (B) 可再生能源如：日光，具有不會提高  $\text{CO}_2$  排放量的優點
  - (C) 太陽能電池是一種直流電源，可將太陽光能直接轉換為電能
  - (D) 潮汐之所以能提供能量，完全源自地球對海水的重力作用，與其他星球無關
  - (E) 潮汐是一種可再生能，需在較大潮差的海岸邊設置，因此有地域的限制
- ( C E ) 7. 下列有關「能源」的敘述，哪些錯誤？（應選 2 項）
- (A) 明潭抽蓄水力發電工程對電力的調度及節約使用是個良好的範例
  - (B) 太陽能電池是利用光能產生電流，理論上轉換過程中不消耗物質
  - (C) 核能是指核分裂或核融合時所產生的能量，並遵守質量不減定律
  - (D) 潮汐發電、波浪發電、洋流發電、海洋溫差發電等均屬於海洋能源
  - (E) 潮汐發電與明潭抽蓄水力發電相雷同，都是利用水位高低產生的核能，使水流過水輪機進而帶動發電機發電。
8. 祖勝繼續分析明潭抽蓄水力發電每日的功效，以每日尖峰時刻為早上 6 ~ 10 時，及下午 3 ~ 7 時兩個時段，依電廠的各項機電布置，在理想的發電狀態下日月潭需釋放水量多少公斤？（重力加速度  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）

**答：** $1.2 \times 10^{10} \text{ kg}$