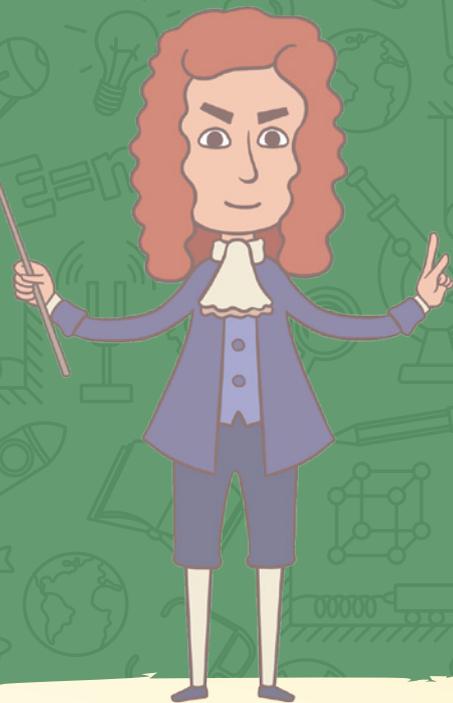


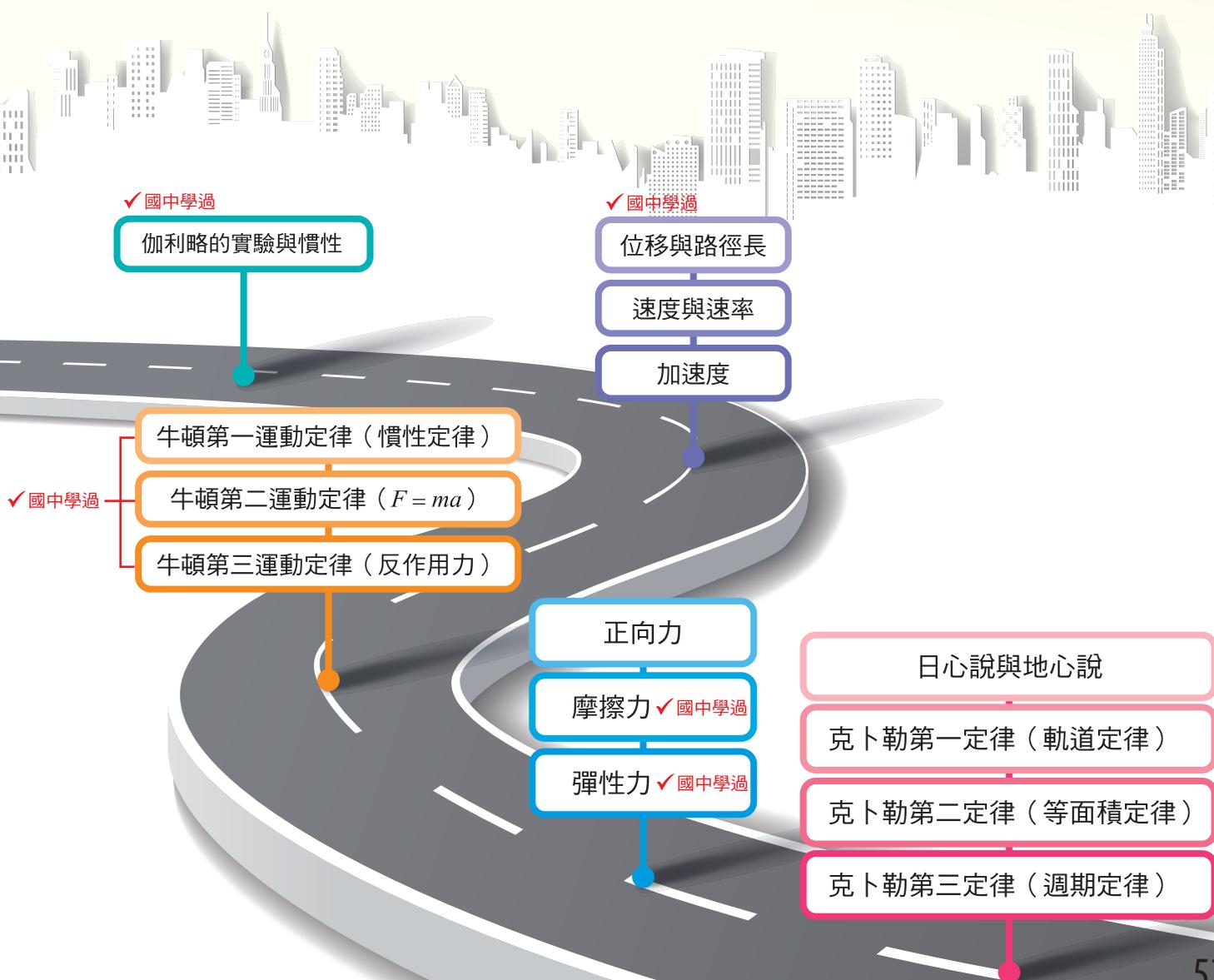
3 物體的運動

本章要研究的是「物體的運動」，第一節我們先從科學史切入，介紹亞里斯多德和伽利略對物體運動的不同看法。第二節我們先研究物體運動的三個重要物理量：位移、速度與加速度，隨後則討論知名的牛頓運動三定律。

物理存在生活當中，因此第三節我們討論生活中常見的力，包括正向力、摩擦力及彈性力等等。人類研究科學發源自天文學，因此第四節討論天體運動，先介紹克卜勒行星運動三定律，然後再以牛頓定律的角度來分析天體運動，體會物理之美。



學習脈絡





3-1 物體的運動



重點 1 亞里斯多德的假說



物體的運動

自然運動



受迫運動



馬拉車前進



重點 2 伽利略的實驗與慣性

內容		圖示													
斜面實驗	1. 伽利略提出「在阻力的效應可忽略時，物體落下距離與落下時間的平方成正比。」的結論。 2. 以當時的技術，自由落體太過快速，無法進行精確測量。聰明的伽利略利用斜面使加速度變小，進而驗證了落體運動的規律，如右圖所示。		<table border="1"> <tr> <td>時間 (t)</td> <td>1 單位</td> <td>2 單位</td> <td>3 單位</td> </tr> <tr> <td>落下距離 (h)</td> <td>1 單位</td> <td>4 單位</td> <td>9 單位</td> </tr> <tr> <td>兩者關係</td> <td colspan="3">$h \propto t^2$</td> </tr> </table>	時間 (t)	1 單位	2 單位	3 單位	落下距離 (h)	1 單位	4 單位	9 單位	兩者關係	$h \propto t^2$		
	時間 (t)	1 單位	2 單位	3 單位											
落下距離 (h)	1 單位	4 單位	9 單位												
兩者關係	$h \propto t^2$														
思想實驗 I	<p>速度會增加 速度會減慢 做何種運動？</p>	合理的分析													
思想實驗 II	<p>最後的位置 何處是最後的位置？</p>	小球應該維持 等速度運動 小球將會一直到達等高處才會停止運動，亦即 小球將永恆不斷的運動下去 （因為永遠到達不了等高處）													
結論	在水平面上運動的物體，並不需要對物體施力，物體就會永遠維持等速運動。而不是如亞里斯多德所說，要維持物體在水平面上做等速運動，就必須對物體持續施力。														
慣性	1. 伽利略藉由上述的思想實驗，推論物體有維持原有運動狀態的傾向，稱為 慣性 。 2. 換言之，無外力作用時，若物體 原來靜止 ，就會 保持靜止 的狀態，若物體 原來作等速運動 ，則會 維持等速運動 ，而不會停下來，推翻了亞里斯多德的說法。 3. 伽利略強調測量的重要性，試著將自然現象定量化，開創 實驗物理學 ，被稱為 近代實驗方法之父 ，甚至尊稱其為 近代科學之父 。														

簡單觀念 基礎題

· 解析詳見解答本

BCD 1. 下列有關伽利略的敘述，哪些正確？（應選3項）

- (A) 信奉亞里斯多德的理論
 (B) 提出「物體落下距離與落下時間的平方成正比」的觀念
 (C) 提出慣性定律
 (D) 開創實驗物理學
 (E) 被尊稱為光學之父。

B 2. 如圖所示的裝置中，摩擦力極小可忽略不計，將一小球自左邊斜面上的 O 點自由滑下，則小球在 A 、 B 、 C 三斜面爬升高度的高低比較，何者正確？



- (A) $A > B > C$ (B) $A = B = C$ (C) $C > B > A$ (D) $A = B > C$ (E) $A > B = C$ 。

C 3. 承上題，小球在 A 、 B 、 C 三斜面滑行距離的長短比較，何者正確？

- (A) $A > B > C$ (B) $A = B = C$ (C) $C > B > A$ (D) $A = B > C$ (E) $A > B = C$ 。

主題探究 必考題

· 解析詳見解答本

概念 亞里斯多德的假說

D 1. 亞里斯多德相信在水平地面上運動的物體，如果沒有受到推力，就會停下來。這樣的觀念好像也言之有理，例如一塊在水平地面滑行的木塊，若沒有持續施以推力，木塊就會慢慢停下來。這當然是個錯誤的觀念，推力的作用其實是在抵抗哪一種作用力？

- (A) 重力 (B) 正向力 (C) 彈性力 (D) 摩擦力 (E) 反作用力。

概念 伽利略的實驗與慣性

ABD 2. 下列關於慣性的敘述，哪些正確？（應選3項）

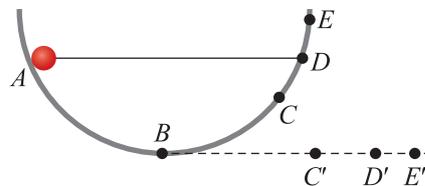
- (A) 慣性的意思是物體保持原來運動狀態的特性
 (B) 物體不受外力作用時，若原先是靜止的，就會保持靜止的狀態
 (C) 物體不受外力作用時，若原先是作等速運動的，就會慢慢停下來
 (D) 物體不受外力作用時，若原先是作等速運動，會繼續保持原有的速度前進
 (E) 原先是作等速運動的，若要保持原有的速度等速前進，必須持續施加外力。

3. 如圖的半圓形光滑軌道面，試回答：

(1) 當一物體由圖中光滑軌道上的 A 點靜止滑下來時，最高可到達另外一側的 **D** 點。

(2) 當物體由 A 點以速度 v 衝下來時，則在 B 、 C 、 D 、 E 各點中， **E** 點可能是最高點。

(3) 當軌道面的右半部 $BCDE$ 放平（如圖中 $BC'D'E'$ 所示），再讓物體由 A 點靜止滑下，則通過 B 點後，物體將作 **等速** 運動。





3-2 牛頓三大運動定律



重點 1 路徑長與位移

物理量	說明	圖示
質點	在探討物體運動時，為了簡化問題，可以先忽略物體的大小，將其視為具有質量的點，稱為 質點 。	<p>路徑長 L 路徑長是純量，由此定義而來的速率也是純量。</p> <p>位移 \vec{s} 位移是向量，由此定義而來的速度也是向量。</p>
路徑長	從家裡出發，沿著彎曲的小路走到學校，所行經的軌跡總長度，稱為 路徑長 L 。	
位移	<ol style="list-style-type: none"> 若僅考慮位置的變化，即連接家裡和學校兩點間的直線距離，稱為位移 \vec{s}。 位移為向量，僅與起點及終點有關，與運動的過程無關。 	



重點 2 速度與速率

物理量	速度	速率
說明	<ol style="list-style-type: none"> 單位時間的位移，稱為該時段內的平均速度。由於位移是向量，故平均速度也是向量： \Rightarrow 平均速度 $v_{av} = \frac{\text{位移}}{\text{時距}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$。 若時距 Δt 極小，所對應的位移 Δx 也變得極小，此時的速度稱為該時刻的瞬時速度。 	<ol style="list-style-type: none"> 單位時間的路徑長，稱為該時段內的平均速率。由於路徑長是純量，故平均速率也是純量： \Rightarrow 平均速率 $v_s = \frac{\text{路徑長}}{\text{時距}} = \frac{L}{\Delta t}$。 若時距 Δt 極小，所對應的路徑長 L 也變得極小，此時的速率稱為該時刻的瞬時速率。
圖示	<p>一維運動為例，質點的位置可用坐標 x 表示。在時間 t_1 時，其位置在 x_1，在時間 t_2 時，其位置移到 x_2</p>	



純量與向量

質量、電荷、路徑長等物理量，只需要用一個數值描述，沒有方向性，稱為純量。但像位移 \vec{S} 、速度 \vec{v} 、加速度 \vec{a} 、力 \vec{F} 等物理量，除了其量值外，尚具有方向性，此類物理量稱為向量。我們用帶有箭頭的線段代表向量，線段的長度就是其量值，而箭頭就代表其方向，但在描述一維運動時，為簡化記號會略去箭頭。

瞬時速度和瞬時速率的關係

1. 當時間極短時，物體的軌跡趨近於直線，路徑長與位移的量值相等，故瞬時速度的量值等於瞬時速率。即：**瞬時速度 = 瞬時速率 + 方向**
2. 瞬時速度的方向，即為運動軌跡的**切線**方向。



範例 1

《速度與速率》

小龍的學校和韓國的高中進行交流。參訪團自高雄小港機場出發，直飛首爾的仁川機場，全程飛行時間 2 小時 30 分。圖中，綠色的軌跡為實際的飛行路徑，約 1900 公里；紅色為飛行的直線距離，約 1750 公里；而全程所跨越的經度與緯度大約分別為 6° 與 15° ，試回答：



- (1) 全程的平均速率約為 760 公里 / 時。
- (2) 全程的平均速度量值約為 700 公里 / 時。
- (3) 已知地球赤道的周長約 4 萬公里，若將地球視為正球體，並忽略因地球曲度所造成的誤差，則飛機全程在由南往北的分量，位移約為 1667 公里，平均速度量值約為 667 公里 / 時。

解 (1) 平均速率 $v_s = \frac{L}{\Delta t} = \frac{1900}{2.5} = 760 \text{ (km/h)}$ 。

(2) 平均速度 $v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1750}{2.5} = 700 \text{ (km/h)}$ 。

(3) 如圖所示，計算由南往北的分量，應考慮所跨越的緯度

\Rightarrow 位移 $\Delta y = 4 \times 10^4 \times \frac{15^\circ}{360^\circ} \approx 1667 \text{ (km)}$

\Rightarrow 平均速度 $v_{av} = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{1667}{2.5} \approx 667 \text{ (km/h)}$ 。



馬解 計算由南往北的分量，應考慮所跨越的緯度

\Rightarrow 位移 $\Delta y = 4 \times 10^4 \times \frac{10^\circ}{360^\circ} \approx 1111 \text{ (km)}$ \Rightarrow 平均速度 $v_{av} = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{1111}{7 \times 24} \approx 6.6 \text{ (km/h)} \approx 7 \text{ (km/h)}$

馬上練習 1

在電影「海角七號」的故事中，日本籍的老師搭船離開臺灣回到日本，此一由臺灣出發到日本的航程共七天，跨越的經度與緯度大約分別為 15° 與 10° 。已知地球赤道的周長約 4 萬公里，則此船的速度在由南往北的分量，平均約為多少公里 / 時？

- (A) 7 (B) 21 (C) 42 (D) 70。答：(A)

學測修



範例 2

《等速運動》

一般人在打噴嚏時，眼睛往往會不自覺地閉住約 0.5 秒。如果某人在高速公路上開車，通過某直線路段時正以 90 公里 / 時的速率行駛，則在他打噴嚏閉眼時，車子前進了 12.5 公尺。



解 (1) $90\text{km/h} = \frac{90 \times 1000}{3600} \text{ m/s} = 25 \text{ (m/s)}$ 。

(2) 等速運動的位移 = 速度 × 時間 $\Rightarrow \Delta x = v\Delta t = 25 \times 0.5 = 12.5 \text{ (m)}$ 。

馬解 $50\text{km/h} = \frac{50 \times 1000}{3600} \text{ m/s} = \frac{125}{9} \text{ m/s} \Rightarrow \Delta x = v\Delta t = \frac{125}{9} \times 0.5 = \frac{125}{18} \cong 7 \text{ (m)}$ ，故選 (B)。

馬上練習 2

汽車後煞車燈的光源，若採用發光二極體 (LED)，則通電後亮起的時間，會比採用燈絲的白熾車燈大約快 0.5 秒，故有助於後車駕駛提前作出反應。假設後車以 50 公里 / 時的車速等速前進，則在 0.5 秒的時間內，後車前行的距離大約為多少公尺？

(A) 3 (B) 7 (C) 12 (D) 25。答： (B)

學測



重點 3 加速度

1. 單位時間內速度之變化量稱為加速度，為向量

$$\Rightarrow \text{平均加速度 } a_{av} = \frac{\text{速度變化量}}{\text{時距}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}。$$



2. 若時距 Δt 極小，所對應的速度變化量 Δv 也變得極小，此時的加速度稱為該時刻的**瞬時加速度**。



範例 3 《加速度》

一架波音客機在跑道上，自靜止開始滑行 20 秒後，達到 360 公里 / 時的速度而起飛，則：

(1) 360 公里 / 時的速度相當於 100 公尺 / 秒。

(2) 此飛機在跑道上滑行時，平均加速度的量值為 5 公尺 / 秒²。

解 (1) $360\text{km/h} = \frac{360 \times 1000}{3600} \text{ m/s} = 100(\text{m/s})。$ (2) $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{末} - v_{初}}{\Delta t} = \frac{100 - 0}{20} = 5(\text{m/s}^2)。$

馬解 設球轟出速度為 $+50\text{m/s}$ ，則球投進本壘的速度為 -30m/s ：

(1) $\Delta v = v_{末} - v_{初} = 50 - (-30) = 80(\text{m/s})。$ (2) $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{80}{0.02} = 4000(\text{m/s}^2)。$

馬上練習 3

在美國大聯盟的某場棒球比賽中，著名的雙刀流投手大谷翔平將球以每秒 30 公尺的水平速度投進本壘，被強打少年哈波以每秒 50 公尺的速度反向轟出。假設棒球與球棒接觸時間為 0.02 秒，則：

(1) 棒球的速度變化量量值為 80 公尺 / 秒。

(2) 這段時間內棒球的平均加速度量值為 4000 公尺 / 秒²。

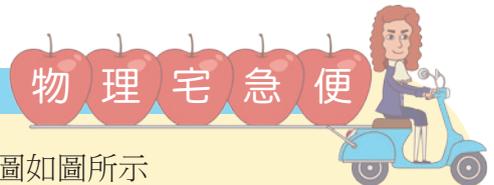


重點 4 等加速直線運動

若物體作等加速直線運動，初速度為 v_0 、加速度為 a ， t 秒後的末速為 v 、位移為 Δx ，則：

1. 末速與時間的關係： $v = \underline{v_0 + at}$ 。
2. 末速與加速度的關係： $v^2 = \underline{v_0^2 + 2a\Delta x}$ 。
3. 位移與時間的關係： $\Delta x = \underline{\frac{v_0 + v}{2} \times t} = \underline{v_0 t + \frac{1}{2} at^2}$ 。

利用 $v-t$ 圖推導運動公式



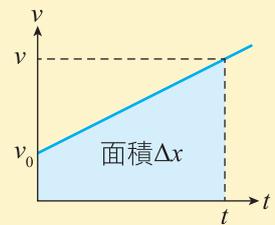
1. 初速度為 v_0 、加速度為 a 的等加速直線運動，其 $v-t$ 圖如圖所示

$$\Rightarrow a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - 0} \Rightarrow v = v_0 + at \dots\dots\dots ①$$

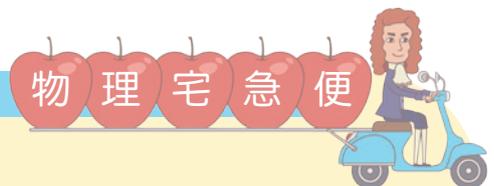
2. $v-t$ 圖的面積 = 位移 $\Rightarrow \Delta x = \frac{v_0 + v}{2} \times t \dots\dots\dots ②$

3. 將 ① 代入 ② $\Rightarrow \Delta x = \frac{v_0 + v_0 + at}{2} \times t = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \dots\dots\dots ③$

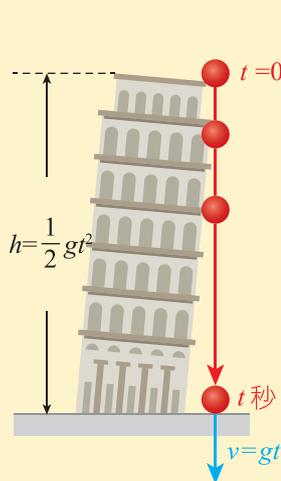
4. 由 ① 可得： $t = \frac{v - v_0}{a}$ 代入 ② $\Rightarrow \Delta x = \frac{v + v_0}{2} \times \frac{v - v_0}{a} = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \Rightarrow v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \dots\dots\dots ④$



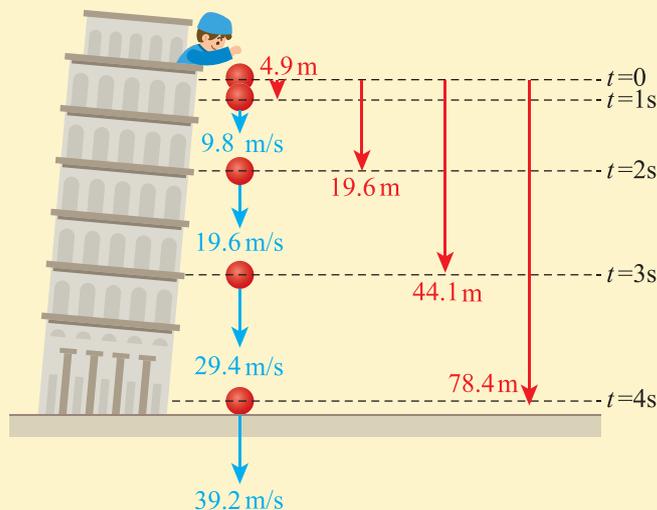
初速為零的自由落體



1. 自由落體為加速度量值等於 g 的等加速運動。
2. 由 $\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ 可得釋放後 t 秒，其落下的高度 $h = \frac{1}{2} gt^2$ 。
3. 由 $v = v_0 + at$ 可得釋放後 t 秒，其速度 $v = gt$ 。



▲圖 (a) 自由落體的公式



▲圖 (b) 自由落體的數據

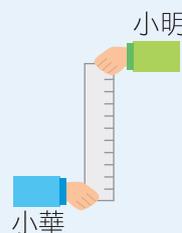


範例 4

《自由落體運動》

如圖所示，小明手持直尺，使直尺下方零點位於小華拇指與食指之間。小華一看到小明鬆手，就立即抓握直尺，結果直尺落下 20 公分。若重力加速度為 10 公尺/秒^2 ，則

- (1) 小華的反應時間約為 0.2 秒。
 (2) 此時直尺的瞬時速率為 2 公尺/秒。



解 (1) 設反應時間為 t ，由 $h = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow 0.2 = \frac{1}{2} \times 10 \times t^2 \Rightarrow t = 0.2 \text{ (s)}$ 。(2) $v = gt = 10 \times 0.2 = 2 \text{ (m/s)}$ 。

馬解 (E) \times ：質量 $m = V \times d$ ，今兩球相同體積但鐵的密度較大，故鐵球的質量較大。

(A) \times ：鐵球的質量 m 較大，又重力 $W = mg$ ，故其所受的重力較大。

(B) \circ ：球下落的距離 $h = \frac{1}{2}gt^2$ ，今兩球的 g 、 t 均相等，故兩球下落的距離相同。

(C) \circ ：落下 t 秒後，球的速度 $v = v_0 + at = 0 + gt = gt$ ，今兩球的 g 、 t 均相等，故兩球有相同的速度。

(D) \circ ：兩球的加速度均為重力加速度 g 。

馬上練習 4

具有相同體積且質料均勻的實心鐵球與鋁球，從離地面等高處由靜止自由落下，重力加速度的量值為 g 。在落下的時間均為 t 時（尚未到達地面），忽略空氣阻力及風速的影響，下列哪些正確？（應選 3 項）

- (A) 兩球所受的重力相同 (B) 兩球下落的距離相同 (C) 兩球有相同的速度 (D) 兩球有相同的加速度 (E) 兩球有相同的質量。答：(B)(C)(D)

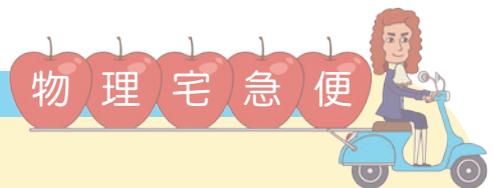
學測



重點 5 運動的函數圖形

	位置和時間的關係圖 ($x-t$ 圖)	速度和時間的關係圖 ($v-t$ 圖)	加速度和時間的關係圖 ($a-t$ 圖)
圖例	 $x(t) = 2t^2 - 4t + 3(\text{m})$	 $v(t) = 4t - 4(\text{m/s})$	 $a(t) = 4(\text{m/s}^2)$
圖形與時間軸圍成的面積	無意義	位移 (在時間軸的上方為正，下方為負)	速度變化量 (在時間軸的上方為正，下方為負)
斜率	速度	加速度	無意義

斜率和速度、加速度的關係



1. 斜率

斜率代表直線傾斜的程度，如圖 (a) 所示，數學對斜率的定義為：

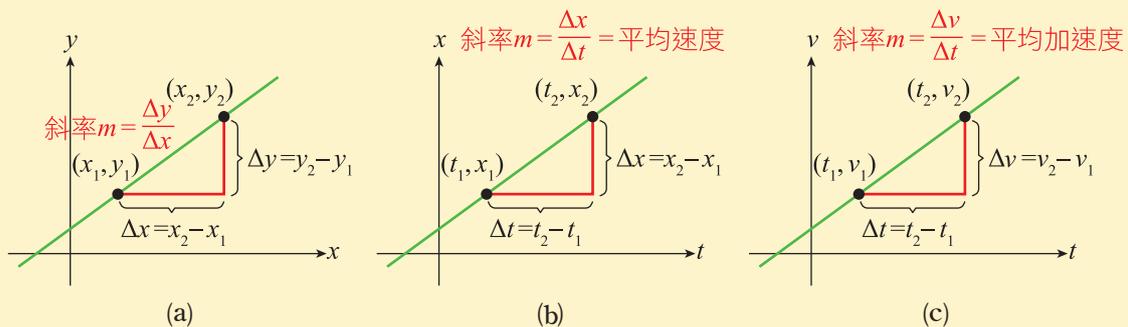
$$\text{斜率 } m = \frac{\text{縱軸的變化量}}{\text{橫軸的變化量}} = \frac{\Delta y}{\Delta x}。$$

2. $x-t$ 圖的斜率

如圖 (b) 所示， $x-t$ 圖的斜率 $m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \text{平均速度}$ \Rightarrow 若時距 Δt 極小，則 $x-t$ 圖的斜率代表瞬時速度。

3. $v-t$ 圖的斜率

如圖 (c) 所示， $v-t$ 圖的斜率 $m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{平均加速度}$ \Rightarrow 若時距 Δt 極小，則 $v-t$ 圖的斜率代表瞬時加速度。





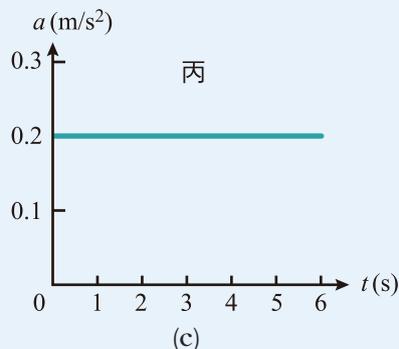
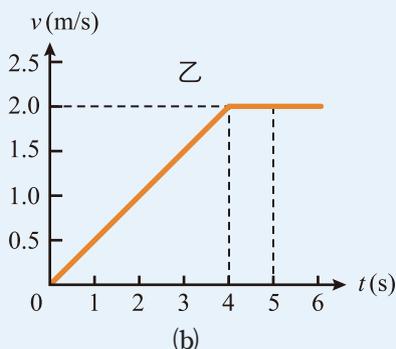
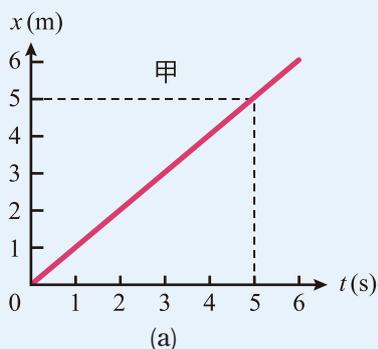
範例 5 《運動的函數圖形》

三個靜止的物體甲、乙、丙，同時開始在水平面上作直線運動，其運動分別以下列三圖描述：圖 (a) 為甲的位移與時間的關係，圖 (b) 為乙的速度與時間的關係，圖 (c) 為丙的加速度與時間的關係。

在時間為 5 秒時，甲、乙、丙三者的加速度量值關係為何？ 答： (A)

(A) 甲 = 乙 < 丙 (B) 甲 = 丙 < 乙 (C) 甲 < 乙 = 丙 (D) 甲 > 乙 > 丙 (E) 丙 < 甲 < 乙。

101 學測，答對率 46%



- 解** (1) 甲作等速運動，故甲的加速度為零。
 (2) 4 ~ 6 秒間，乙作等速運動，故乙的加速度為零。
 (3) 丙作等加速運動，可直接由 $a-t$ 圖讀出丙的加速度為 $0.2 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 。

馬解 (1) ① 甲的 $x-t$ 圖為斜直線，作等速運動，故 $t=2$ 秒時的瞬時速率 = $0 \sim 5$ 秒期間的平均速度

$$\Rightarrow v_2 = \bar{v}_{0 \sim 5} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{5-0}{5-0} = 1 \text{ (m/s)}。$$

② 乙為 $v-t$ 圖，可直接讀出 $t=2$ 秒時的瞬時速率 = 1 (m/s) 。

③ 由 $a-t$ 圖的面積 = 速度變化量 $\Rightarrow v_2 = v_0 + \Delta v_{0 \sim 2} = 0 + 0.2 \times 2 = 0.4 \text{ (m/s)}$ 。

(2) $v-t$ 圖的斜率 = 加速度，故 $t=2$ 秒時，乙的加速度 $a_2 = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2.0-0}{4-0} = 0.5 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 。

馬上練習 5

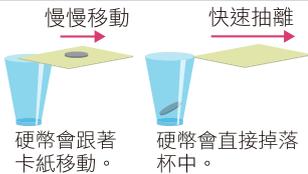
承範例 4：

(1) $t=2$ 秒時，甲的瞬時速率 = 1 公尺 / 秒；乙的瞬時速率 = 1 公尺 / 秒；
 丙的瞬時速率 = 0.4 公尺 / 秒。

(2) $t=2$ 秒時，乙的加速度 = 0.5 公尺 / 秒²。



重點 6 牛頓第一運動定律

內容	牛頓第一運動定律指出：「若物體不受外力作用或所受合力為零時，會保持原來的運動狀態：靜者恆靜，動者作等速直線運動。」第一定律也常被稱為慣性定律。		
慣性的大小	慣性是物體保持原來運動狀態的傾向，而物體質量的大小即代表物體慣性的大小。		
生活中的應用	實例	現象	圖示
	坐車	搭車時，車子若突然啟動，身體會向後仰，而遇到緊急煞車時，身體欲保持原有運動狀態而向前傾。	
	鐵鎚鬆脫	鐵鎚鬆脫時，只要向下敲擊木柄，就可利用鐵鎚的慣性重新卡緊。	
杯上的硬幣	慢慢移動杯上的卡紙，硬幣由於摩擦力，會跟著卡紙移動。但若是迅速抽離紙片，硬幣由於慣性，就會直接掉落杯中。		



範例 6 《牛頓第一運動定律》

一小球在水平面上移動，每隔 0.02 秒小球的位置如圖所示。每一段運動過程分別以甲、乙、丙、丁和戊標示。



試問在哪一段，小球所受的合力為零？

(A) 甲 (B) 乙 (C) 丙 (D) 丁 (E) 戊。答：(C) 學測

解 合力為 0 表示速度的大小和方向都不改變，故題目圖中的小球位置應為等間隔且直線分布。只有丙段的小球位置符合等間隔且直線分布，故在丙段小球所受的合力為 0，故選 (C)。

- 馬解** (A) ×：每一段落對應的時間 $t = 0.02 \times 4 = 0.08$ (s)。
 (B) ×：小球在乙段的運動方向一直改變，不是等速運動。
 (C) ○：戊段起點與終點間的直線距離最長，故其平均速度量值最大。
 (D) ×：乙段起點與終點間的直線距離最短，故其平均速度量值最小。
 (E) ○：小球在甲段速度漸減，所以速度與加速度反方向。

馬上練習 6

在範例 6 中，下列關於小球的敘述，哪些正確？（應選 2 項）

- (A) 每一段所對應的時間長為 1 秒 (B) 小球在乙段作等速運動 (C) 小球在戊段的平均速度量值最大 (D) 小球在丙段的平均速度量值最小 (E) 小球在甲段速度與加速度反方向。

答：(C)(E)



重點 7 牛頓第二運動定律

內容	<p>物體受外力作用時，會沿著受力方向產生加速度。此加速度的量值與外力成正比，而與物體的質量成反比。</p>	<p>$F = ma$</p> <p>外力和 加速度</p>
單位	<p>按照國際標準單位，質量的單位是公斤 (kg)，加速度的單位是公尺 / 秒² (m/s²)，而力的單位則為公斤 · 公尺 / 秒² (kg · m/s²)，這樣的單位稱為牛頓，簡寫為 N。</p>	



範例 7 《牛頓第一運動定律》

棒球賽一名投手以水平速度 108 公里 / 時，擲出質量約為 0.15 公斤的棒球。如果投手對原靜止棒球的加速時間約為 0.15 秒，則投手對棒球的平均施力約為多少牛頓？

(A) 16 (B) 30 (C) 45 (D) 108 (E) 200。答：(B)

103學測，答對率52%

解 $108\text{km/h} = \frac{108 \times 1000}{3600} \text{ m/s} = 30\text{m/s} \Rightarrow F = ma = m \times \frac{\Delta v}{\Delta t} = 0.15 \times \left(\frac{30 - 0}{0.15} \right) = 30(\text{N})。$

馬解 (1) 設球回擊的方向為正向，

則 $\Delta v = v_{末} - v_{初} = 360 - (-216) = 576(\text{km/h}) = \frac{576 \times 1000}{3600} (\text{m/s}) = 160(\text{m/s})。$

(2) $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{160}{0.02} = 8000(\text{m/s}^2)。$

(3) $F = ma = 0.005 \times 8000 = 40(\text{N})。$

馬上練習7

在某次的羽球比賽中，日本選手山口茜所發出 216 公里 / 時的來球，被臺灣羽球好手戴資穎以時速 360 公里 / 時回擊，已知該羽球的質量為 5 公克、球拍與羽球的接觸時間為 0.02 秒，設來回瞬間羽球都只有水平速度，則：

- (1) 羽球的速度變化量量值為 160 公尺 / 秒。
- (2) 羽球的加速度量值為 8000 公尺 / 秒²。
- (3) 球拍施予羽球的平均力量值為 40 牛頓。

**範例 8****《牛頓第二運動定律——合力》**

一架飛機從水平跑道一端，自靜止以 4×10^4 牛頓的固定推進力開始作等加速運動，第 5 秒末時，飛機瞬時速率為 10 公尺 / 秒。若飛機質量為 10^4 公斤，則飛機在前 5 秒的加速過程所受之平均阻力為多少牛頓？

(A) 4×10^5 (B) 2×10^5 (C) 4×10^4 (D) 2×10^4 (E) 4×10^3 。答：(D) 99學測，答對率49%

解 設飛機在前 5 秒的加速度為 a ，所受的平均阻力為 f ，

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{10-0}{5} = 2(\text{m/s}^2),$$

$$\text{再由 } F=ma \Rightarrow 4 \times 10^4 - f = 10^4 \times 2 \Rightarrow f = 2 \times 10^4 (\text{N}).$$

馬解 (1) 物體受到「向上的拉力」和「向下的重力」作用，故所受的合力

$$F = 30 - 20 = 10(\text{kgw}) = 98(\text{N}).$$

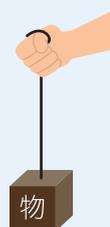
$$(2) \text{ 由 } F=ma \Rightarrow 98 = 20 \times a \Rightarrow a = 4.9(\text{m/s}^2).$$

$$(3) \text{ 由 } v = v_0 + at = 0 + 4.9 \times 10 = 49(\text{m/s}).$$

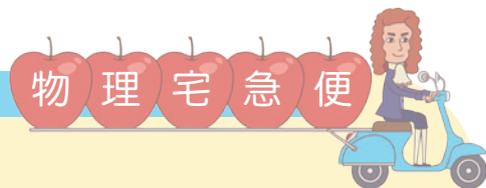
馬上練習 8

施 30 公斤重的力量，向上提起一質量為 20 公斤的靜止物體，如圖所示，設重力加速度為 9.8 公尺 / 秒²，則：

- (1) 物體所受的合力為 98 牛頓。
- (2) 物體產生的加速度量值為 4.9 公尺 / 秒²。
- (3) 經 10 秒後物體的速度量值變為 49 公尺 / 秒。

**重點 8 牛頓第三運動定律**

	說明	圖示
內容	對任何一個作用力，都同時存在一反作用力，其量值相同但方向相反。也就是說，兩物體間的相互作用力，永遠量值相同但方向相反。	
性質	作用力與反作用力的受力物體不同，因此不會互相抵消，而且產生的運動效應也不盡相同。	

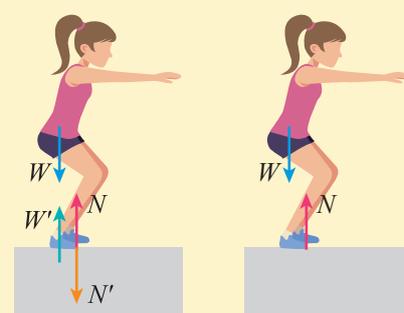


平衡力

並非量值相同但方向相反的力就是作用力與反作用力。如圖(a)所示，地球作用於人的重力 W 與人作用於地球的重力 W' 是一對作用力 – 反作用力；地面作用於人的正向力 N 與人作用於地面的正向力 N' 也是一對作用力 – 反作用力。【註】

但如圖(b)所示，人共受 W 及 N 兩個力，雖然二者量值相等、方向相反，但並不是一對作用力 – 反作用力。此兩力使得人所受合力為零而保持平衡，稱為**平衡力**。

※ 註：正向力的觀念，於 3-3 節會有詳細的討論。



(a) 系統的受力圖

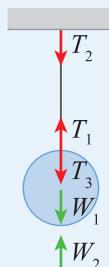
(b) 人的受力圖



範例 9 《牛頓第三運動定律》

一金屬球以質量可忽略的細線靜止懸掛於天花板，如圖所示。此系統相關的受力情況如下：

W_1 為金屬球所受的重力， W_2 為金屬球對地球的引力， T_1 為懸線施於金屬球的力， T_2 為懸線施於天花板的力， T_3 為金屬球施於懸線的力。下列敘述哪些正確？（應選 3 項） (A) T_1 與 T_2 互為作用力與反作用力 (B) W_1 與 W_2 互為作用力與反作用力 (C) T_1 與 T_3 互為作用力與反作用力 (D) T_1 與 W_1 互為作用力與反作用力 (E) T_1 、 T_2 、 T_3 、 W_1 與 W_2 的量值均相等。答：(B)(C)(E)



103學測，得分率51%

解 由表可知 $\begin{cases} W_1 \text{ 與 } W_2 \text{ 互為作用力與反作用力} \Rightarrow W_1 = W_2 \\ T_1 \text{ 與 } T_3 \text{ 互為作用力與反作用力} \Rightarrow T_1 = T_3 \\ T_1 \text{ 與 } W_1 \text{ 為一對平衡力} \Rightarrow T_1 = W_1 \end{cases}$

因細線的質量可忽略，繩上張力相等 $\Rightarrow T_1 = T_2$
 $\Rightarrow T_1 = T_2 = T_3 = W_1 = W_2$ ，故選 (B)(C)(E)。

力	施力體	受力體
W_1	地球	金屬球
W_2	金屬球	地球
T_1	懸線	金屬球
T_2	懸線	天花板
T_3	金屬球	懸線

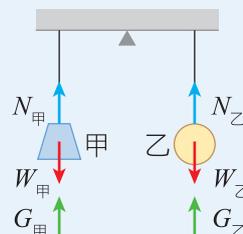
馬解

力	意義	反作用力	反作用力的代號
$W_{甲}$	甲所受的重力 = 地球對甲的萬有引力	甲對地球的萬有引力	$G_{甲}$
$W_{乙}$	乙所受的重力 = 地球對乙的萬有引力	乙對地球的萬有引力	$G_{乙}$
$N_{甲}$	天平對甲的向上拉力	甲對天平的向下拉力	×
$N_{乙}$	天平對乙的向上拉力	乙對天平的向下拉力	×

故選 (D)。

馬上練習 9

如圖所示，甲與乙兩物體在等臂天平兩端，天平保持平衡靜止，其中 $W_{甲}$ 與 $W_{乙}$ 分別代表甲與乙所受的重力， $N_{甲}$ 與 $N_{乙}$ 分別為天平對甲與乙的向上拉力，若 $G_{甲}$ 與 $G_{乙}$ 分別代表甲與乙對地球的萬有引力，則下列選項中哪一對力互為作用力與反作用力？ (A) $W_{甲}$ 與 $W_{乙}$ (B) $N_{甲}$ 與 $W_{甲}$ (C) $N_{甲}$ 與 $N_{乙}$ (D) $G_{甲}$ 與 $W_{甲}$ 。答：(D)

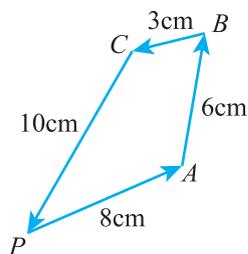


學測

BDE 1. 下列物理量，哪些為向量？（應選 3 項）

(A) 路徑長 (B) 位移 (C) 速率 (D) 速度 (E) 加速度。

2. 如圖所示為某質點移動的路線，由 P 點出發，經 A 、 B 、 C 三點回到 P 點，
 全程歷時 9 秒，則在此時距內：



(1) 質點的位移 = 0 公分；

平均速度量值 = 0 公分 / 秒。

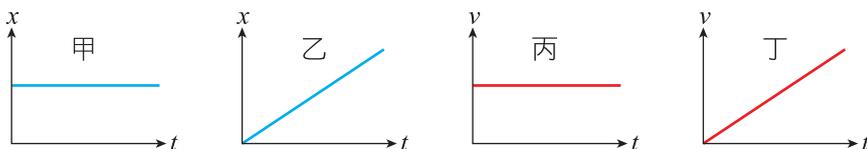
(2) 質點所經的路徑長 = 27 公分；

平均速率 = 3 公分 / 秒。

CD 3. 加速度的方向與哪些方向相同？（應選 2 項）

(A) 位移的方向 (B) 速度的方向 (C) 速度變化的方向 (D) 物體所受合力的方向
 (E) 為純量，故無方向。

B 4. 下列圖示分別表示甲、乙、丙、丁四個物體沿直線運動時，位置或速度與時間的關係，
 那兩個物體有相同的運動型態？



(A) 甲丙 (B) 乙丙 (C) 甲丁 (D) 乙丁 (E) 丙丁。

E 5. 一隻老鷹向東方等速度飛翔，則老鷹所受的合力方向為何？

(A) 向東 (B) 向西 (C) 向上 (D) 向下 (E) 合力為零，沒有方向。

ABE 6. 關於作用力與反作用力的敘述，下列哪些正確？（應選 3 項）

(A) 兩力的量值相等 (B) 兩力的方向相反 (C) 兩力一定會互相抵消 (D) 兩力作用在相同物體上 (E) 兩力同時產生、同時消失。

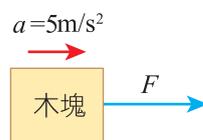
D 7. 滑冰選手滑滑的質量為 60 公斤，冰冰的質量為 50 公斤。某個動作是滑滑以 100 牛頓的力將冰冰推開。設冰面與人之間的摩擦力可忽略，則滑滑所受推力為何？

(A) 0 (B) 20 (C) 50 (D) 100 (E) 120 牛頓。

A 8. 固定質量之物體受定力作用，下列敘述何者正確？

(A) 在相同時距內，速度變化量必相同 (B) 必沿直線運動 (C) 速度必與力同向
 (D) 可作等速圓周運動 (E) 作等速直線運動。

9. 如圖，在質量為 9.8 公斤的木塊上施一向右的水平力 F ，使其產生 5 公尺 / 秒² 向右的加速度，若不考慮摩擦力，則 $F =$ 49 牛頓 = 5 公斤重。

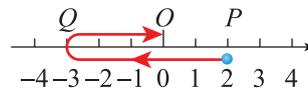


主題探究 必考題

· 解析詳見解答本

概念 位移、路徑長、速度與速率

1. 如圖所示，一質點由 P 點沿直線運動，經由 O 點到達 Q 點後折返，最後於 O 點停止，全程歷時 4 秒，則在此時距內：



(1) 質點的位移量值 = 2 公尺；平均速度量值 = 0.5 公尺 / 秒。

(2) 質點所經的路徑長 = 8 公尺；平均速率 = 2 公尺 / 秒。

ACD 2. 有關「等速運動」的敘述，下列哪些正確？（應選 3 項）

(A) 速度的量值和方向皆不改變的運動，稱為等速運動 (B) 可能是曲線運動 (C) 其平均速度必等於瞬時速度 (D) 平均速度的量值必等於平均速率 (E) 等速圓周運動亦為一種等速運動。

D 3. 英文在國文課本學到木蘭詩，敘述花木蘭為了代父從軍，於是「東市買駿馬、西市買鞍轡、南市買轡頭、北市買長鞭。」試問木蘭從出門至進門的過程中：① 路徑長 ② 位移 ③ 平均速率 ④ 平均速度量值 ⑤ 騎著駿馬奔跑時的瞬時速度量值，何者為零？

(A) ①② (B) ①③⑤ (C) ②③④ (D) ②④ (E) ②④⑤。

AC 4. 大雄由位置 $x=5$ 公尺處出發，以等速 8 公尺 / 秒運動，下列敘述哪些正確？（應選 2 項）

(A) 大雄的運動方向保持不變 (B) 大雄在前 10 秒內的平均速度量值等於 0 公尺 / 秒 (C) 大雄前 10 秒內的平均速率等於 8 公尺 / 秒 (D) 大雄第 5 秒內的位移量值為 40 公尺 (E) 大雄第 5 秒末的位置在 $x=40$ 公尺處。

概念 加速度

AE 5. 有關直線運動的敘述，下列哪些正確？（應選 2 項）

(A) 等速運動必為直線運動 (B) 等加速運動必為直線運動 (C) 當物體的加速度不為零時，速率會愈來愈大 (D) 平均速度的量值等於平均速率 (E) 加速度的方向即是速度變化的方向。

BD 6. 有關速度與加速度的敘述，下列哪些正確？（應選 2 項）

(A) 加速度為零時，速度一定為零 (B) 速度為零時，加速度不一定為零 (C) 加速度與速度的方向一定不相同 (D) 加速度與速度變化的方向一定相同 (E) 加速度逐漸減小時，速度必跟著減小。

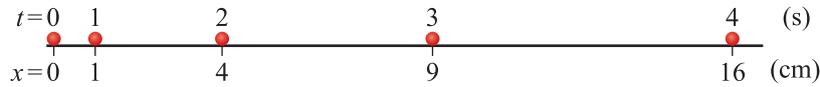
概念 等加速運動

ACE 7. 有關「等加速運動」的敘述，下列哪些正確？（應選 3 項）

(A) 加速度的量值和方向皆不改變的運動，稱為等加速運動 (B) 必為直線運動 (C) 平均加速度必等於瞬時加速度 (D) 速率必定愈來愈快 (E) 物體運動的方向可能改變。

8. 由靜止起動作直線等加速運動的物體，其每秒的位置如圖所示，則：

- (1) 0 ~ 4 秒內的平均速度量值為 4 公分 / 秒。
 (2) 加速度量值為 2 公分 / 秒²。



9. 某物體作等加速直線運動，其初速度為 10 公尺 / 秒，加速度為 4 公尺 / 秒²。則：

- (1) 物體 5 秒末的速度為 30 公尺 / 秒。
 (2) 物體 5 秒內的位移量值為 100 公尺。
 (3) 物體 5 秒內的平均速度量值為 20 公尺 / 秒。

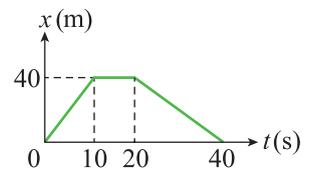
B 10. 小柯夢見自己變成伽利略，夢境中的他拿著 10 公斤的鐵球進入臺北 101 大樓，在距地約 80 公尺的樓層，將鐵球靜止釋放，若不計空氣阻力，則鐵球幾秒後落地？（重力加速度 $g=10$ 公尺 / 秒²）

- (A) 2 (B) 4 (C) 6 (D) 8 (E) 10。

概念 函數圖形

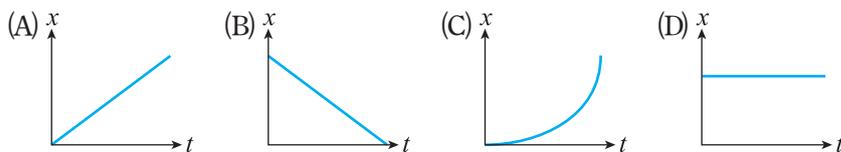
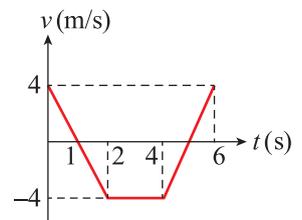
11. 如圖為某質點作直線運動的 $x-t$ 圖，則：

- (1) 第 5 秒末的瞬時速度大小 = 4 m/s。
 (2) 10 ~ 20 秒的平均速度 = 0 m/s。
 (3) 30 ~ 40 秒的平均速度 = -2 m/s。
 (4) 0 ~ 40 秒的平均速度大小 = 0 m/s。



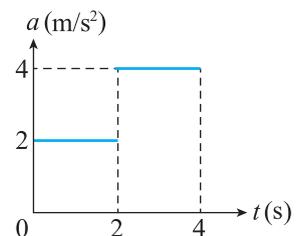
12. 如圖為某運動體作直線運動之速度 v 與時間 t 的關係圖，則：

- (1) 第 1 秒末的瞬時加速度為 -4 公尺 / 秒²。
 (2) 6 秒內的位移大小為 8 公尺；
 (3) 6 秒內的平均加速度為 0 公尺 / 秒²；
 (4) 第 2 到 4 秒的位置 x 與時間 t 的關係圖可能為下列何者？答：(B)



13. 如圖為一質點作直線運動的 $a-t$ 圖，若初速度為 5 公尺 / 秒且方向與加速度相同，則：

- (1) 此質點 4 秒內的速度變化量為 12 公尺 / 秒。
 (2) 此質點 4 秒末的速率為 17 公尺 / 秒。



概念 牛頓第一運動定律

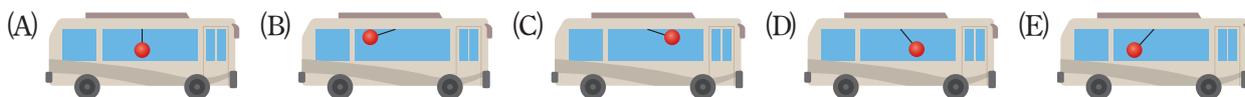
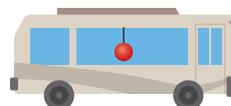
BC 14. 下列關於慣性的敘述，哪些正確？（應選 2 項）

- (A) 物體的運動速度愈大，則慣性愈大 (B) 物體的質量愈大，慣性愈大 (C) 物體的運動狀態改變時，物體一定受外力作用 (D) 牛頓第一運動定律說明外力可以改變物體的慣性大小 (E) 同一物體在靜止狀態與運動中的慣性大小不同。

D 15. 下面哪一個現象無法以慣性定律來解釋？

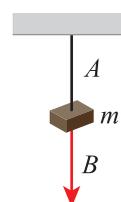
- (A) 車子加速啟動瞬間，車上的人會向後傾斜 (B) 旋轉雨傘時，雨傘上的小水滴會沿切線方向飛離 (C) 搖樹可使果實掉落 (D) 月球繞地球作等速圓周運動 (E) 賽跑者跑到終點時仍會往前衝一段距離。

16. 一輛客車以 60 公里 / 時的車速等速行駛時，車內單擺的擺線與鉛垂線重疊，如圖所示。試由 (A) ~ (E) 選項，選出下列情形中，單擺的擺線可能的情形？



- (1) 當客車在直線車道上正在加速前進時。答：(B)(E)
 (2) 承上題，加速完成後，客車以 100 公里 / 時的車速等速行駛時。答：(A)
 (3) 承上題，行駛一段時間後，司機發現前方遠處有一輛拋錨的車子而踩煞車客車正在減速時。答：(C)(D)

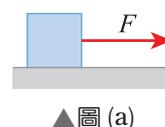
AD 17. 如圖，將一細線分成 A、B 兩段，而以 A 線段懸掛重物，B 線段則繫於物體下方，用手向下拉 B 線段，則下列敘述哪些正確？（應選 2 項）



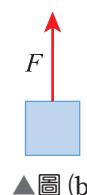
- (A) 若拉力逐漸加大，則 A 線段先斷裂 (B) 若拉力逐漸加大，則 B 線段先斷裂 (C) 若用手大力猛然下拉，則 A 線段先斷裂 (D) 若用手大力猛然下拉，則 B 線段先斷裂 (E) 何者先斷裂完全是機率問題。

概念 牛頓第二運動定律

18. 如圖 (a) 所示，一物體的質量為 2 公斤，靜止在一光滑無摩擦的水平桌面上，以水平定力 $F=40$ 牛頓向右拉之，設重力加速度為 10 公尺 / 秒²，則物體的加速度大小為 20 公尺 / 秒²。



19. 承上題，若施大小相等之拉力，將此物體鉛直上提，如圖 (b) 所示，其上升之加速度為 10 公尺 / 秒²。

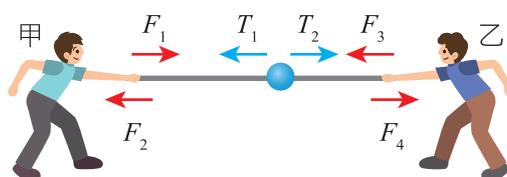


概念 牛頓第三運動定律

ABC 20. 靜止於光滑水平桌面上，重量為 W 的物體，受到桌面的正向力 N 之作用，下列關於此兩力的敘述，哪些正確？（應選 3 項）

- (A) 量值相等 (B) 方向相反 (C) 作用於同一物體上 (D) 不能互相抵消 (E) 互為一組作用力與反作用力。

BDE 21. 如圖所示，甲、乙兩人以繩索水平拉扯一圓環向右等速度移動，若圓環兩端分別受拉力 T_1 與 T_2 ， F_1 與 F_2 分別為繩拉甲與甲拉繩之力， F_3 與 F_4 分別為繩拉乙與乙拉繩之力，下列敘述哪些正確？（應選 3 項）



- (A) 因為圓環向右等速移動，故 T_2 的量值比 T_1 的量值大 (B) 因為圓環向右等速移動，故 T_2 和 T_1 的量值相等 (C) T_1 和 T_2 的量值相等，因為 T_1 和 T_2 互為作用力和反作用力 (D) F_1 和 F_2 的量值相等，因為 F_1 和 F_2 互為作用力和反作用力 (E) F_3 和 F_4 的量值相等，因為 F_3 和 F_4 互為作用力和反作用力。

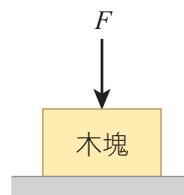


本節大考試題精選

· 解析詳見解答本

E 1. 如圖所示，有人施力 F 於一放置在桌面上的木塊。設 W 代表木塊所受之地球引力， N 代表桌面作用於木塊之力。下列敘述何者正確？

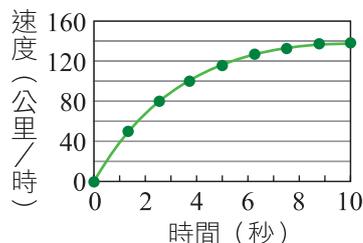
- (A) F 和 W 互為作用力和反作用力
- (B) F 和 N 互為作用力和反作用力
- (C) W 和 N 互為作用力和反作用力
- (D) F 、 W 和 N 三者同時互為作用力和反作用力
- (E) F 、 W 和 N 三者中沒有任何作用力和反作用力的關係。



學測

B 2. 一輛跑車自靜止開始，沿一直線運動，最初 10 秒內的速度與時間的關係如圖所示。在這段時間內，下列有關此跑車的敘述，何者正確？

- (A) 跑車以等加速運動
- (B) 跑車的加速度愈來愈小
- (C) 跑車的最大速度為 160 公里 / 時
- (D) 跑車的平均加速度為 14 公里 / 時²。



學測補考

B 3. 一跳傘員在時刻 $t=0$ 時，由停留於空中定點的直昇機上跳落，等了幾秒鐘後才打開降落傘。下表為跳傘員鉛直下落的速度與時間的關係，則降落傘在什麼時候打開？（重力加速度 $g=10$ 公尺 / 秒²）

時刻 t (秒)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
速度 (公尺/秒)	0	10	20	30	22	14	12	9	9	9

- (A) 2 秒到 3 秒之間
- (B) 3 秒到 4 秒之間
- (C) 4 秒到 5 秒之間
- (D) 5 秒到 6 秒之間
- (E) 6 秒到 7 秒之間。

學測補考

B 4. 王同學投擲溜溜球 (Yo-Yo 球)。溜溜球以每秒 1 公尺的速率擲出，在 2 秒後以相同速率、相反方向回到他的手中（王同學手的位置未變）。溜溜球自離開王同學手中到回到他手中的平均速度及平均加速度大小，各為 X 公尺 / 秒與 Y 公尺 / 秒²，試問下列哪一選項的數字可表示 (X, Y) ？

- (A) (0, 0)
- (B) (0, 1)
- (C) (0.5, 1)
- (D) (1, 0)。

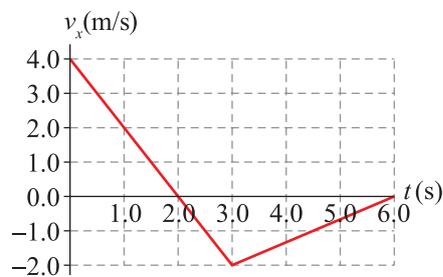
學測

A 5. 甲的質量為 50 公斤，乙的質量為 25 公斤，兩人在溜冰場的水平冰面上，開始時都是靜止的。兩人互推後，甲、乙反向直線運動，甲的速率為 0.1 公尺 / 秒，乙的速率為 0.2 公尺 / 秒。假設互推的時間為 0.01 秒，忽略摩擦力及空氣阻力，則下列敘述哪一項正確？

- (A) 甲、乙所受的平均推力均為 500 牛頓，方向相反
- (B) 甲、乙所受的平均推力均為 250 牛頓，方向相反
- (C) 甲受的平均推力 500 牛頓，乙受的平均推力 250 牛頓，方向相反
- (D) 甲受的平均推力 250 牛頓，乙受的平均推力 500 牛頓，方向相反。

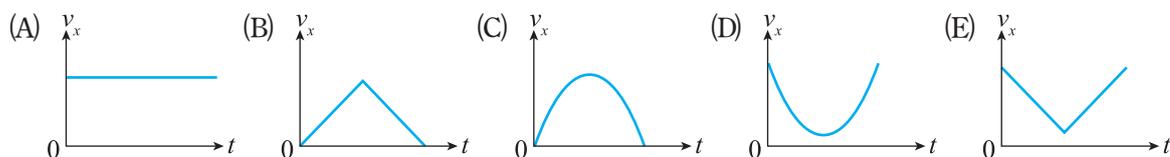
學測

D 6. 質點沿 x 軸作一維直線運動，其速度 v_x 與時間 t 的關係如圖所示。下列有關該質點位移與路徑長關係的敘述，何者正確？

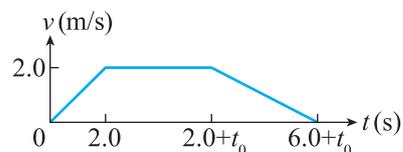


- (A) 從 0.0 至 2.0 秒的全程運動，質點的位移量值大於路徑長
 - (B) 從 0.0 至 2.0 秒的全程運動，質點的位移量值小於路徑長
 - (C) 從 0.0 至 3.0 秒的全程運動，質點的位移量值等於路徑長
 - (D) 從 0.0 至 3.0 秒的全程運動，質點的位移量值小於路徑長
 - (E) 從 0.0 至 6.0 秒的全程運動，質點的位移量值等於路徑長。
- 100學測，答對率61%

A 7. 棒球比賽中，打擊者用力向斜上方揮棒，擊出高飛全壘打。若不考慮空氣阻力，因此棒球在空中飛行時水平方向不受外力作用，則下列圖形何者可以代表棒球的水平方向速度 v_x 與其落地前飛行時間 t 的關係？



B 8. 某生搭電梯由五樓直接下降到一樓，行進的距離為 12 公尺，取重力加速度為 10 公尺 / 秒²。電梯的速率 v 隨時間 t 而變，如圖所示。當電梯由靜止啟動後可分為三個階段：最初的 2.0 秒加速行進；接著有 t_0 秒以 2.0 公尺 / 秒等速行進；最後 4.0 秒減速直到停止。下列何者為圖中的 t_0 值？



- (A) 2.5
 - (B) 3.0
 - (C) 3.5
 - (D) 4.0
 - (E) 4.5。
- 103學測，答對率59%

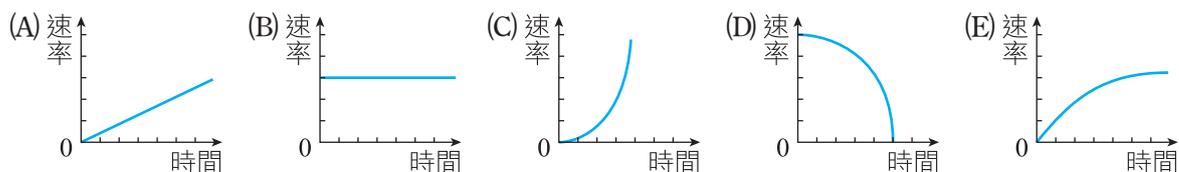
D 9. 假設某地區發生地震時，P 波的傳遞速度為 6 公里 / 秒，S 波的傳遞速度為 4 公里 / 秒，則當該地區發生地震時，這兩種地震波到達甲測站的時間差為 10 秒，到達乙測站的時間差為 30 秒，如果甲測站在上午 9 : 25 : 30 (9 點 25 分 30 秒) 測到初達 P 波，則乙測站應在何時測到初達 P 波？

- (A) 9 : 25 : 40
 - (B) 9 : 25 : 50
 - (C) 9 : 26 : 00
 - (D) 9 : 26 : 10
 - (E) 9 : 26 : 20。
- 103學測，答對率41%

D 10. 日常生活中常見的運動與牛頓運動定律息息相關，下列有關牛頓三大運動定律的敘述，何者正確？

- (A) 依據第二定律，運動物體的速度方向必定與其所受合力的方向相同
 - (B) 依據第二定律，運動物體的位移方向必定與其所受合力的方向相同
 - (C) 用槳划水使船前進及加速的過程，可分別利用第三與第一定律解釋
 - (D) 用噴氣使火箭前進及加速的過程，可分別利用第三與第二定律解釋
 - (E) 溜冰選手站立於光滑水平地面以手猛推一下牆壁，反彈及其後以等速度離開，可分別利用第一與第二定律解釋。
- 106指考，答對率76%

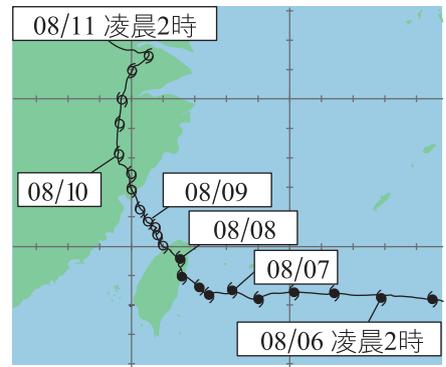
E 11. 若以速率對時間關係圖來描述一小球在空氣中由高空靜止落下的運動，則下列哪一示意圖最能描述小球受到空氣阻力影響時的運動過程？



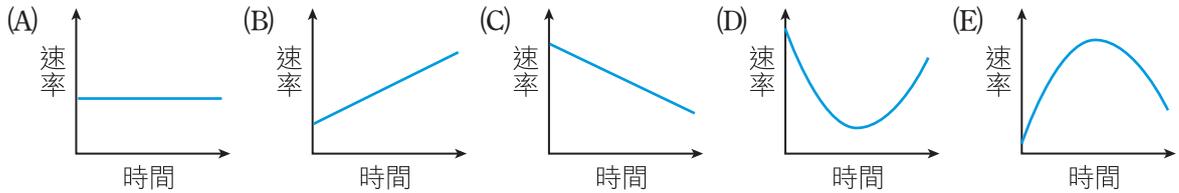
107學測，答對率49%

- D** 12. 颱風之風雨往往對臺灣造成巨大災害，因此對颱風特性的了解是重要的。如圖為某次颱風中心位置隨著日期變化的路徑圖（每日凌晨 2 時開始記錄，每 6 小時記錄一次）。自 08/06 凌晨 2 時至 08/11 凌晨 2 時期間，該颱風中心移動的平均速率隨著時間變化的趨勢曲線，最接近下列何者？

108學測，答對率48%



實心點表示強烈或中度颱風
空心點表示輕度颱風



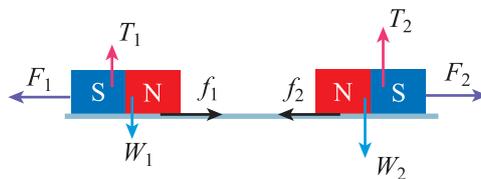
- C** 13. 一艘探勘潛艇失去推進動力，只能利用進水、排水以控制潛艇的下潛或上浮。在上浮過程中，為了避免上升速度過快，導致人體難以承受壓力驟變，工作人員於是進行潛艇減速。已知該水域水體靜止，且潛艇在進水或排水後的總質量皆可視為 m ，所受浮力的量值為 F_B 、垂直阻力的量值為 F_R ，而重力加速度的量值為 g ，則在潛艇沿垂直方向減速上升的過程中，下列關係何者正確？

108學測，答對率38%

- (A) $F_B + F_R = mg$ (B) $F_B - F_R = mg$ (C) $F_B - F_R < mg$ (D) $F_B + F_R < mg$ (E) $F_B - F_R > mg$ 。

14-15 題為題組

兩塊質量不同的磁鐵靜置於水平桌面，同性磁極 N 相向，達靜力平衡後，圖為它們受力情形的示意圖， F_1 、 F_2 為磁力， f_1 、 f_2 為摩擦力， W_1 、 W_2 為重力， T_1 、 T_2 為正向力。



- A** 14. 下列哪一對的力，互為作用力與反作用力？

109學測

- (A) F_1 、 F_2 (B) f_1 、 f_2 (C) F_1 、 f_1 (D) T_1 、 W_2 (E) F_1 、 f_2 。

- E** 15. 設重力加速度為 g ，若僅考慮力的量值，則下列關係式何者正確？

109學測

- (A) $F_1 = W_1 g$ (B) $T_2 = W_2 g$ (C) $W_1 = W_2$ (D) $T_1 = T_2$ (E) $f_1 = f_2$ 。



3-3 生活中常見的力



重點 1 力的分類

力分為兩大類：

- 1. **接觸力**：
 - 意義：兩物體必須互相接觸，才能發生作用的力
 - 實例：摩擦力、彈性力、車禍時的撞擊力…
- 2. **超距力**：
 - 意義：兩物體不必互相接觸，相隔一段距離也能發生作用的力
 - 實例：重力、磁力、靜電力…



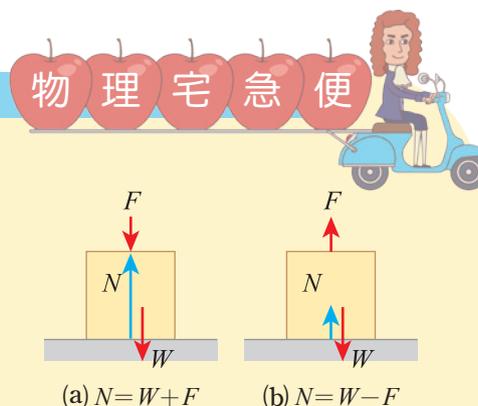
重點 2 正向力

	說明	圖示
概念	1. 如圖所示，將物體放置於水平地面時，物體受兩力作用： <ul style="list-style-type: none"> (1) 地球施予該物體的重力 W。 (2) 接觸面施予物體的支撐力 N，此力稱為正向力。 2. 物體的正向力量值與重力量值相同，但方向相反，即 $W=N$ ，故物體靜止不動。	<p>圖 (a) 靜止物體所受的正向力</p>
性質	1. 正向力是一種 接觸力 ，作用於兩個相互接觸物體的接觸面上。 2. 正向力與接觸面 垂直 ，方向從接觸面指向物體。 3. 由牛頓第三運動定律可知，物體亦施予接觸面正向力 N' ，如圖所示。	<p>圖 (b) 物體和接觸面間正向力的反作用力</p>

正向力一定等於重量嗎？

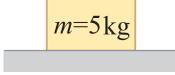
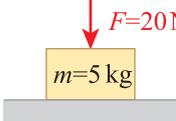
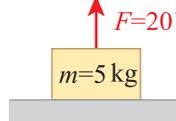
正向力不見得等於重量喔！

- 1. 如圖 (a) 所示，當有下壓外力 F 作用時， $N=W+F$ 。
- 2. 如圖 (b) 所示，當有上提外力 F 作用時 ($F \leq W$)， $N=W-F$ 。



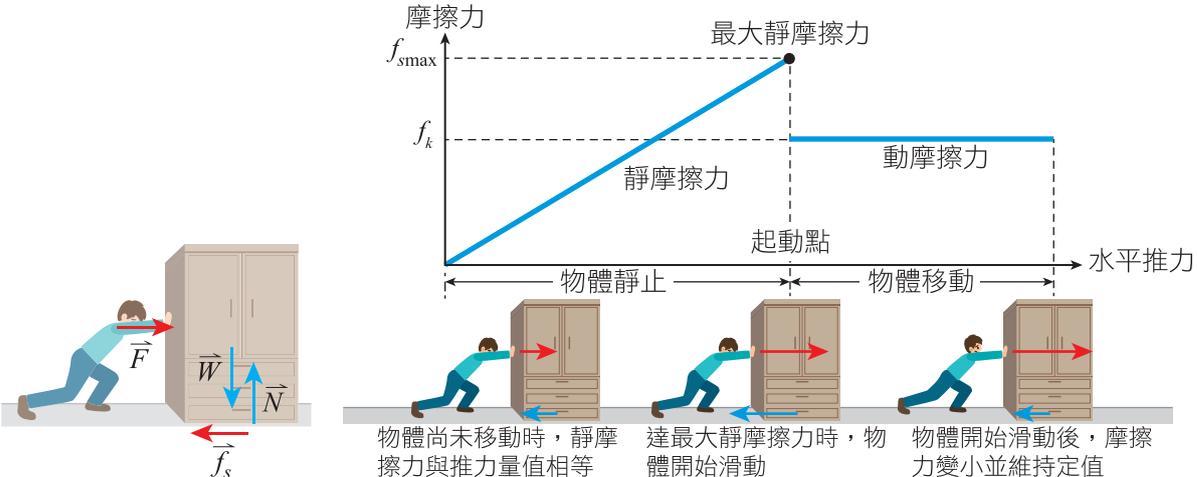
一個觀念或一條公式就可解題，幫助學生建立信心。

非試不可

條件			
桌面施予木塊的正向力	$N_1 = mg = 5 \times 9.8 = 49 \text{ (N)}$	$N_2 = mg + F = 49 + 20 = 69 \text{ (N)}$	$N_3 = mg - F = 49 - 20 = 29 \text{ (N)}$
木塊施予桌面的正向力	$N_1' = N_1 = 49 \text{ (N)}$	$N_2' = N_2 = 69 \text{ (N)}$	$N_3' = N_3 = 29 \text{ (N)}$



重點 3 摩擦力

	性質	公式
靜摩擦力	<ol style="list-style-type: none"> 物體與接觸面間沒有相對運動時，物體所受的摩擦力，稱為靜摩擦力。 靜摩擦力並不是一個定值，而是隨著作用力 F 的量值而改變。 	靜摩擦力 = <u>作用力</u> $\Rightarrow f_s = \underline{\quad F \quad}$ 。
最大靜摩擦力	<ol style="list-style-type: none"> 物體正要由靜止開始和接觸面做相對運動的瞬間，所受的摩擦力稱為最大靜摩擦力（記為 $f_{s\max}$），或簡稱最大靜摩擦，這是靜摩擦力的最大值，亦稱為起動摩擦。 在接觸面性質相同的情形下，$f_{s\max}$ 與接觸面的面積無關，但與兩物體間的正向力成正比。 	課外補充 最大靜摩擦力 = 靜摩擦係數 \times 正向力 $\Rightarrow \underline{f_{s\max} = \mu_s N}$
動摩擦力	<ol style="list-style-type: none"> 兩接觸面間有相對運動時，物體與接觸面間存在阻止物體作相對運動的摩擦力，這種摩擦力稱為動摩擦力（記為 f_k）。 動摩擦力 f_k 之性質與 $f_{s\max}$ 類似，在接觸面性質相同的情形下，f_k 與接觸面的面積大小無關，也與接觸面間的相對速度量值無關，但與兩物體間的正向力成正比。 	課外補充 動摩擦力 = 動摩擦係數 \times 正向力 $\Rightarrow \underline{f_k = \mu_k N}$
水平推力與摩擦力的關係圖	 <p>圖 (a) 靜摩擦力 f_s 阻止衣櫥移動</p> <p>圖 (b) 摩擦力與水平推力的關係</p>	

非試不可

如圖，某人想要推動放在粗糙地板上的物體，對物體施以水平作用力，試完成下表：

人施的水平力 (kgw)	0	1	3	5	7	8	9
物體的狀態	靜止	靜止	靜止	靜止	正好起動	運動	運動
摩擦力 (kgw)	0	1	3	5	7	小於 7	
摩擦力的種類	無摩擦力	靜摩擦力			最大靜摩擦力	動摩擦力	



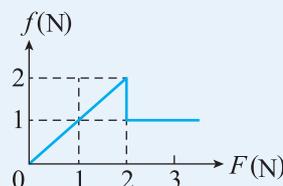
何時會出現摩擦力？



當兩物體的接觸面間，有**相對運動**的現象或有**相對運動的趨勢**時（此時仍為相對靜止），就會出現這種**平行於接觸面**，且有阻止兩物體做相對運動的摩擦力。

範例 1 《摩擦力》

某物體原來靜止在水平桌面上，後來物體受一由小而大的水平作用力作用，其所受摩擦力 f 與作用力 F 的關係如圖所示。已知物體的質量為 2 公斤，試問：



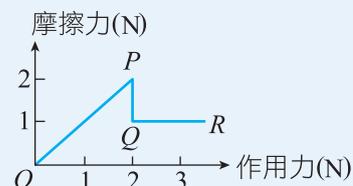
- 物體所受的最大靜摩擦力 = 2 牛頓，
動摩擦力 = 1 牛頓。
- 當作用力為 1.5 牛頓時，物體所受的摩擦力 = 1.5 牛頓。
- 當作用力為 3 牛頓時，物體所受的摩擦力 = 1 牛頓，物體的加速度量值 = 1 公尺 / 秒²。

解 (1) 由題目附圖可知，物體所受的最大靜摩擦力為 2 牛頓，動摩擦力為 1 牛頓。
 (2) 此時物體受到靜摩擦力 = 作用力 = 1.5 牛頓。
 (3) 此時物體受到動摩擦力 $f_k = 1$ 牛頓 $\Rightarrow F - f_k = ma \Rightarrow a = \frac{F - f_k}{m} = \frac{3 - 1}{2} = 1 \text{ (m/s}^2\text{)}。$

馬解 (A) \times ：由圖可知，作用力 F 需大於 2N（最大靜摩擦力），才能開始運動。(B) \circ ：從 O 點到 P 點時，摩擦力 = 作用力，故物體維持靜止。(C) \circ ： P 點的摩擦力為最大靜摩擦力，為摩擦力的最大值。(D) \times ：在 P 點時，物體恰將運動（還未運動），故此時的加速度為最小值（等於 0）。(E) \circ ：從 Q 點到 R 點時，摩擦力為動摩擦力 f_k ，其大小不變，但作用力 F 漸增，故加速度愈來愈大。

馬上練習 1

一物體在某水平面上開始時為靜止，後來物體受一由小而大的水平作用力作用，其所受摩擦力與作用力的關係如圖所示。下列有關摩擦力的敘述哪些正確？（應選 3 項） (A) 物體受力作用後立即開始運動 (B) 作用力如圖從 O 到 P 點時，物體維持靜止 (C) 作用力如圖 P 點時，物體所受摩擦力最大 (D) 作用力如圖 P 點時，物體的加速度最大 (E) 作用力如圖從 Q 到 R 點時，物體運動的加速度愈來愈大。

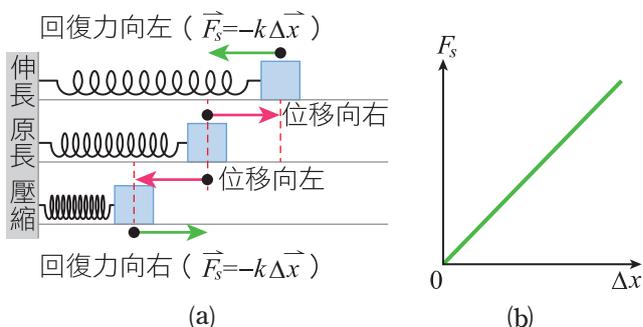


答：(B)(C)(E) 學測



重點 4 彈性力

- 如圖 (a) 所示，將彈簧拉長或壓縮時，彈簧因具有彈性，會想回到原來長度而對附著的物體施力 \vec{F}_s ，這一種力稱為**彈性力**或**回復力**。
- 彈簧於比例限度內，其回復力的大小 F_s 與**形變量**（伸長或縮短的長度 Δx ）**成正比**，如圖 (b) 所示，但其**方向與其形變的方向相反**。此關係由虎克發現，故稱為**虎克定律**。



- 虎克定律的數學式可表為：

$$\begin{cases} \text{向量式（考慮量值及方向）：} \vec{F}_s = -k\Delta\vec{x} \\ \text{純量式（只考慮量值）：} F_s = k\Delta x \end{cases}$$
- 上式中的 $k = \frac{F_s}{\Delta x}$ 稱為**彈性常數**或**彈力常數**（簡稱力常數），與彈性體的材料、粗細和長短有關。彈性常數愈大，表示彈簧愈不容易形變。彈性常數常用的單位為：牛頓 / 公尺 (N/m)、牛頓 / 公分 (N/cm)、公斤重 / 公尺 (kgw/m) 等等。



範例 2 《虎克定律》

下表為一條垂直懸掛的輕彈簧，當下方吊掛不同重量的砝碼時，其全長與砝碼重量間的關係，則根據該表可知：

彈簧下端所懸掛的砝碼重量 (gw)	0	4	8	12	16
彈簧全長 (cm)	10	18	26	34	42

- 該彈簧的彈性常數為 0.5 公克重 / 公分。
- 若砝碼重量為 10 公克重時，彈簧的伸長量為 20 公分；總長為 30 公分。

解 (1) 由 $F_s = k\Delta x$ ，取砝碼重量為 4gw 計算 $\Rightarrow 4 = k \times (18 - 10) \Rightarrow k = 0.5 \text{ (gw/cm)}$ 。

(2) 設此時伸長量為 $\Delta x \Rightarrow$ 由 $F_s = k\Delta x \Rightarrow 10 = \frac{1}{2} \times \Delta x \Rightarrow \Delta x = 20 \text{ (cm)}$
 \Rightarrow 總長 = 原長 + 伸長量 = 10 + 20 = 30 (cm)。

馬解 (1) 設原長為 ℓ ，由 $F_s = k\Delta x$ ：

$$\begin{cases} \text{砝碼重量為 } 50\text{gw 時} \Rightarrow 50 = k(40 - \ell) \cdots \cdots \text{①} \\ \text{砝碼重量為 } 70\text{gw 時} \Rightarrow 70 = k(44 - \ell) \cdots \cdots \text{②} \end{cases} \Rightarrow \text{解得：} \begin{cases} \ell = 30 \text{ (cm)} \\ k = 5 \text{ (gw/cm)} \end{cases}$$

$$(2) \begin{cases} \text{由 } F_s = k\Delta x \Rightarrow 60 = 5 \times (x_{60} - 30) \Rightarrow x_{60} = 42 \text{ (cm)} \\ \text{由 } F_s = k\Delta x \Rightarrow 80 = 5 \times (x_{80} - 30) \Rightarrow x_{80} = 46 \text{ (cm)} \end{cases}$$

馬上練習 2

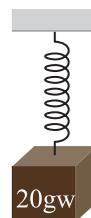
下表為某質量可忽略的彈簧，在彈性限度內所懸掛砝碼重量與全長的關係，試完成下表：

彈簧下端所懸掛的砝碼重量 (gw)	0	50	60	70	80
彈簧全長 (cm)	30	40	42	44	46
彈性常數 = <u>5</u> 公克重 / 公分					

簡單觀念 基礎題

• 解析詳見解答本

- AC** 1. 下列哪些力屬於接觸力？（應選 2 項）
 (A) 摩擦力 (B) 重力 (C) 空氣阻力 (D) 靜電力 (E) 磁力。
- CD** 2. 有關摩擦力的敘述，哪些正確？（應選 2 項）
 (A) 正向力量值恆等於物體的重量 (B) 摩擦力的量值與接觸面積成正比 (C) 最大靜摩擦力與正向力之量值成正比 (D) 最大靜摩擦力一般大於動摩擦力 (E) 正向力愈大，摩擦係數也愈大。
3. 如圖所示，將彈性常數為 5 公克重 / 公分、原長為 30 公分的彈簧繫於天花板上並掛上 20 公克重的砝碼，則懸掛砝碼後彈簧的總長度變為 34 公分。



主題探究 必考題

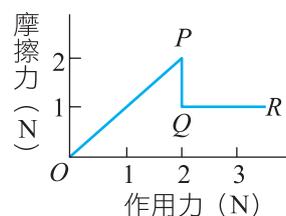
• 解析詳見解答本

概念 接觸力和超距力

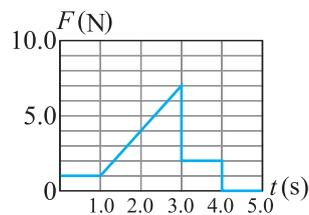
- BCD** 1. 下列哪些為超距力？（應選 3 項）
 (A) 手擲飛盤的力 (B) 隕石掉落地球的力 (C) 磁鐵相互吸引的力 (D) 摩擦過的塑膠尺吸引頭髮的力 (E) 讓氣球上飄的力。

概念 正向力與摩擦力

- BD** 2. 靜止於水平面上的物體，由小而大施加一個水平作用力，測得接觸面摩擦力與作用力的關係如圖所示。下列敘述哪些正確？（應選 2 項）
 (A) 由 O 到 P 點，均為最大靜摩擦力 (B) 由 O 到 P 點，摩擦力漸增 (C) 由 O 到 P 點，摩擦係數漸增 (D) 由 Q 到 R 點，均為動摩擦力 (E) 由 Q 到 R 點，物體作等加速運動。



3. 重量為 1 公斤重的物體停放在桌面上，若此物體和桌面間靜摩擦係數為 0.5，動摩擦係數為 0.4；用一水平作用力推此物，並且此力量值的變化如圖，重力加速度 $g=10$ 公尺 / 秒²，則：



- (1) 最大靜摩擦力為 5 牛頓；動摩擦力為 4 牛頓。
 (2) 第 2.3 秒時，物體正要由靜止開始運動。
 (3) 第 0.5 秒時的摩擦力為 1 牛頓，加速度大小為 0 公尺 / 秒²。
 (4) 第 2.0 秒時的摩擦力為 4 牛頓，加速度大小為 0 公尺 / 秒²。
 (5) 已知第 3.5 秒時，物體處於運動狀態，則此時的摩擦力為 4 牛頓，加速度大小為 2 公尺 / 秒²。

- A** 4. 將某均勻材質的重物置於粗糙地面，阿花試著以下圖所示的四種方法使物體移動 ($\theta=30^\circ$)，則恰使物體移動時的施力大小順序為何？(箭頭代表施力方向)
- (A) $F_3 > F_1 = F_2$ (B) $F_3 = F_1 = F_2$ (C) $F_2 > F_1 = F_3$ (D) $F_1 > F_2 = F_3$ (E) $F_2 > F_1 > F_3$ 。



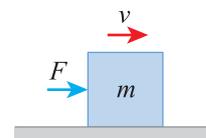
- ACD** 5. 小張將一本質量為 200 公克的書，施一垂直於牆壁的水平作用力在書上，他發現若此水平力夠大，書本就不會掉落，若作用力太小，則書本就會掉落。下列敘述哪些正確？(應選 3 項)

- (A) 水平作用力增加時，則書本和牆壁間的正向力也會增加
 (B) 承 (A)，當正向力增加時，則兩者間的最大靜摩擦力會減少
 (C) 書本會掉落時，表示摩擦力小於 200 公克重
 (D) 當正向力增加，使得最大靜摩擦力大於或等於 200 公克重時，書本便不會掉落
 (E) 承 (D)，此時書本以此最大靜摩擦力抵抗重力使其不致掉落。

- D** 6. 畢卡索欲將心愛的畫作掛上牆壁，他先用手把畫框暫時壓在牆壁上，若畫框背面與牆壁間的靜摩擦係數為 0.5，畫框重為 10 公斤重，則為避免畫框滑下，畢卡索壓在畫框上的力至少應多少公斤重？

- (A) 5 (B) 10 (C) 15 (D) 20 (E) 25。

- A** 7. 一個在水平面上質量為 m 的箱子，當受到的水平推力為 F 時 ($F > 0$)，以 v 等速度向右移動。若地面摩擦力以外的阻力可以不計，則下列敘述何者正確？



- (A) 此時箱子所受的摩擦力的量值等於推力 F (B) 推力 F 的量值必須大於箱子的重量
 (C) 當推力為 $2F$ 時，箱子所受的摩擦力亦為 $2F$ (D) 當推力為 $2F$ 時，箱子會以 $2v$ 作等速移動 (E) 當推力為 $2F$ 時，箱子的加速度為 $\frac{2F}{m}$ 。

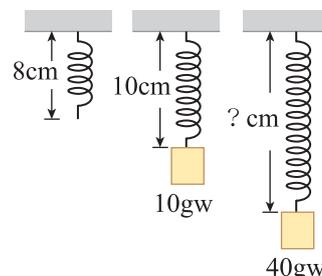
概念 虎克定律

8. 在比例限度內，將一原長為 18 公分質量可忽略的彈簧，用 6 公克重的力可將其拉長為 23 公分。則：

- (1) 彈性常數 k 為 1.2 公克重 / 公分。
 (2) 若欲將彈簧拉長 3 公分，則需施力 3.6 公克重。
 (3) 施力 3 公克重壓縮彈簧，則彈簧的長度變為 15.5 公分。

9. 比例限度內，將一原長為 8 公分質量可忽略的彈簧，以圖示的情形懸掛物體，則：

- (1) 彈性常數 k 為 5 公克重 / 公分。
 (2) 懸掛 40 公克重的重物時，彈簧的長度為 16 公分。

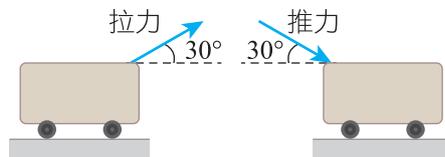




本節大考試題精選

· 解析詳見解答本

- A** 1. 如圖所示，在水平地面上，某人以斜向拉或斜向推的方式，使行李箱沿地面等速度移動，若拉力或推力與水平面的夾角皆為 30° ，行李箱與地面間的摩擦力分別為 $f_{\text{拉}}$ 和 $f_{\text{推}}$ ，則下列敘述何者正確？



- (A) $f_{\text{拉}} < f_{\text{推}}$ ，斜向上拉會比斜向下推省力
- (B) $f_{\text{拉}} < f_{\text{推}}$ ，斜向上拉會比斜向下推費力
- (C) $f_{\text{拉}} > f_{\text{推}}$ ，斜向上拉會比斜向下推費力
- (D) $f_{\text{拉}} > f_{\text{推}}$ ，斜向上拉會比斜向下推省力。

學測補考

- C** 2. 為了安全的考量，一般腳踏車或汽、機車輪胎的表面都有胎紋。當胎紋的磨損嚴重時，必須更換新輪胎。下列何者是輪胎有胎紋的主要原因？

- (A) 多樣化的胎紋，使輪胎看起來比較美觀
- (B) 可減少製造輪胎所需的材料，降低成本
- (C) 雨天時，地面的積水可自胎紋縫隙流走，避免車子打滑
- (D) 減少輪胎與地面的接觸面積，以降低行車時輪胎的磨損。

學測補考

- C** 3. 曾同學站在行駛中的車內，當煞車時，她的身體會向前傾。依據圖示，下列哪一項是造成曾同學身體向前傾的主要理由？



- (A) 車輪給曾同學一向前的力
- (B) 車內空氣給曾同學一向前的力
- (C) 車地板給曾同學一向後的摩擦力
- (D) 車在煞車時，改變了曾同學重力的方向。

學測

- B** 4. 在正常狀況下，下列何者的摩擦力愈小愈好？

- (A) 走路時，鞋底與地面之間的摩擦力
- (B) 滑雪時，滑雪板與雪地之間的摩擦力
- (C) 使用工具時，手與工具把手之間的摩擦力
- (D) 騎腳踏車煞車時，煞車板與輪子之間的摩擦力。

學測

- C** 5. 質量為 2000 公斤的轎車，原本在水平地面上以等速度前進，接著駕駛急踩煞車，使車輪迅速停止轉動，在車輪不轉的情況下，轎車隨即減速滑行至靜止。若地面與輪胎間的動摩擦係數為 0.4，且取重力加速度 $g=10$ 公尺 / 秒²，則減速滑行時的加速度量值為多少？

- (A) 0 (B) 0.4 (C) 4 (D) 80 (E) 800 公尺 / 秒²。

100指考

3-4 天體運動

重點 1 地心說與日心說

學說	提倡者	理論
地心說	托勒米	地心說假設地球處於宇宙的中心，太陽、恆星、行星、月球全都環繞地球運行。
日心說	哥白尼	日心說將太陽擺在宇宙的中心，其他的行星包括地球，皆以圓形軌道繞日而行，而月球還是繞著地球轉。

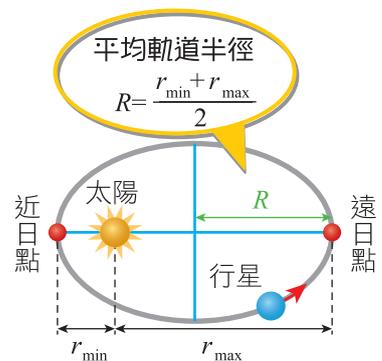
重點 2 克卜勒的發現

1. 哥白尼的日心說由於違反當時的宗教教義，被視為邪說。篤信宗教的丹麥人第谷為了維護教義，藉由裸眼與輔助工具，一點一滴地蒐集了大量的精確數據，想要證明哥白尼的錯誤，但是並沒有成功，後來他找來了精於數學的克卜勒擔任他的助手。
2. 第谷去世後，他珍貴的觀測數據就由克卜勒接收。克卜勒從這些精確的天文資料中，修正哥白尼正圓軌道為橢圓軌道，於 1609 年發現第一、第二定律，又於 1619 年發現第三定律。

重點 3 克卜勒行星運動第一定律（軌道定律）

1. 行星以**橢圓**軌道繞太陽運行，太陽位於橢圓的其中一個**焦點**，如圖所示。

2. 行星的平均軌道半徑 $R = \frac{r_{\min} + r_{\max}}{2}$ 。



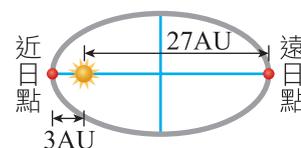
天文單位

天文學家常以地球公轉軌道半徑作為一個長度單位，稱為天文單位（astronomical unit，簡稱為 AU）。



非試不可

假設太陽系內有一彗星繞太陽的軌道如圖所示，其在近日點、遠日點與太陽的距離分別為 3 天文單位及 27 天文單位；則該彗星的軌道平均半徑為 15 天文單位。

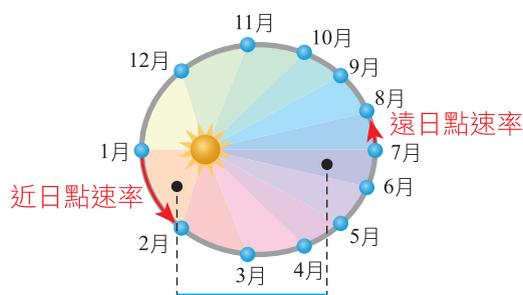


解 $R = \frac{r_{\min} + r_{\max}}{2} = \frac{3 + 27}{2} = 15(\text{AU})$ 。



重點 4 克卜勒行星運動第二定律（等面積定律）

1. 在相同時間內，行星與太陽連線掃過的面積相同。
2. 第二定律適用於同一行星在不同位置時。當行星離太陽較遠時，速率較小；當行星較靠近太陽時，速率較大。

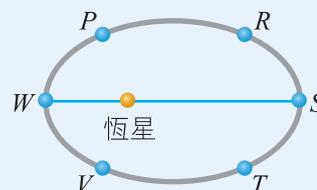


地球與太陽的連線，在相同的時間內都會掃出相同的面積。在近日點運行速率快，而在遠日點運行速率慢，但是單位時間掃出的面積，仍然是一樣的。



範例 1 《克卜勒行星運動第二定律》

若某行星環繞一恆星做橢圓運動，其軌道如圖所示，其中 W 為近日點， S 為遠日點， P 、 V 與恆星等距， R 、 T 亦與恆星等距，則圖上哪兩點的速率相等？（應選 2 項）



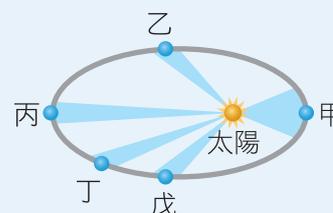
- (A) P 、 T (B) W 、 S (C) P 、 V (D) P 、 R (E) R 、 T 。答：(C)(E)

解 由克卜勒行星運動第二定律可知，與恆星距離相等處，行星的速率相等。故 P 、 V 兩點速率相等， R 、 T 兩點的速率相等。

馬解 由等面積定律可知，距太陽愈近處，行星的速率愈快。再由動能 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 可知，距太陽愈近處，行星的動能愈大。甲點距太陽最近，故其動能最大。

馬上練習 1

克卜勒分析第谷的行星觀測資料發現等面積定律，即一個行星與太陽的連線，在等長的時間內，於行星軌道所掃過的面積必相等，如右圖中的五個灰色區域所示。已知太陽在右邊焦點上，則此行星在甲、乙、丙、丁、戊五點上，哪一點的動能最大？



- (A) 甲 (B) 乙 (C) 丙 (D) 丁 (E) 戊。

答：(A)

103學測，答對率77%



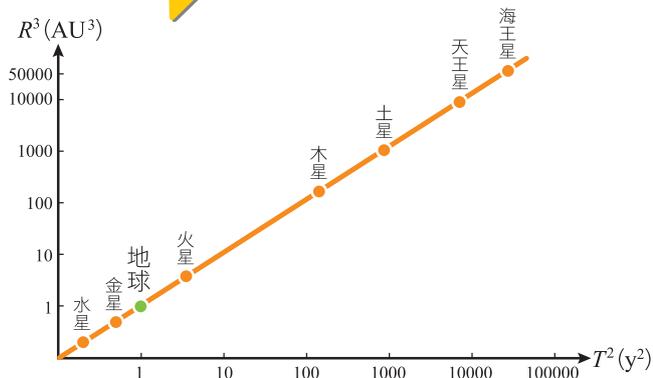
重點 5 克卜勒行星運動第三定律（週期定律）

1. 太陽系各行星平均軌道半徑 R 的立方，與繞日週期 T 的平方成正比，即 $\frac{R^3}{T^2} = \text{常數}$ 。
2. 第三定律適用於以不同軌道繞同一恆星之所有行星。行星離太陽愈遠，其繞行週期愈大。
3. 第三定律亦可適用於以不同軌道繞同一行星之所有衛星。

所有行星的數據點都落在一直線上，即 R^3 與 T^2 成正比。

$$\frac{R^3}{T^2} = \text{常數}$$

要驗證克卜勒第三定律，可以用地球作為基準：
地球平均軌道半徑定為 1 天文單位(AU)，約
1 億 5 千萬公里，地球繞日週期為 1 年(y)。



行星	繞日週期 T (y)	行星平均軌道半徑 R (AU)	R^3/T^2 (AU^3/y^2)
海王星	164.774	30.110	1.005
天王星	84.022	19.218	1.005
土星	29.458	9.555	1.005
木星	11.862	5.203	1.001
火星	1.881	1.524	1.000
地球	1.000	1.000	1.000
金星	0.615	0.723	0.999
水星	0.241	0.387	0.998



範例 2 《克卜勒行星運動第一定律與第三定律》

地球與太陽之平均距離為 1 天文單位，已知某彗星繞太陽做橢圓軌道運行，週期為 64 年，此彗星與太陽之最近距離約為 2AU。假設所有行星對此彗星的影響均可略去不計，則：

- (1) 此彗星與太陽的平均距離為 16 AU。
- (2) 此彗星與太陽之最遠距離約為 30 AU。

解 (1) $\frac{R_1^3}{T_1^2} = \frac{R_2^3}{T_2^2} \Rightarrow \frac{1^3}{1^2} = \frac{R_2^3}{64^2} \Rightarrow R_2 = 16(\text{AU})$ 。

(2) 設最遠距離為 r_{\max} ，而平均軌道半徑 $R = \frac{r_{\max} + r_{\min}}{2} \Rightarrow 16 = \frac{r_{\max} + 2}{2} \Rightarrow r_{\max} = 30(\text{AU})$ 。

馬解 (1) 由克卜勒行星運動第三定律知 $\frac{R_{\text{地}}^3}{T_{\text{地}}^2} = \frac{R^3}{T^2} \Rightarrow \frac{1^3}{1^2} = \frac{R^3}{125^2} \Rightarrow R = 25(\text{AU})$

(2) 設最遠距離為 r_{\max} ，而平均軌道半徑 $R = \frac{r_{\max} + r_{\min}}{2} \Rightarrow 25 = \frac{r_{\max} + 5}{2} \Rightarrow r_{\max} = 45(\text{AU})$ ，故選 (D)。

馬上練習 2

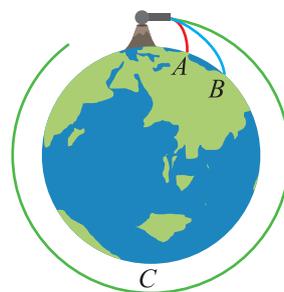
週期大於 20 年至 200 年的週期彗星，稱為哈雷型彗星。設某哈雷型彗星的週期為 125 年，該彗星與太陽之最近距離約為 5AU。設所有行星對該彗星的影響均可略去不計，則可推算該彗星與太陽之最遠距離為何？ (A) 15 (B) 25 (C) 35 (D) 45 (E) 55 AU。答：(D)



重點 6 牛頓運動定律與克卜勒行星運動定律

1. 牛頓的大砲

- (1) 牛頓深入探討這個重要的問題：「蘋果受重力作用而落下，那月球也受到地球的重力吸引，為什麼不會掉下來呢？」。
- (2) 牛頓假想在地球上的一座高山上，設有一座威力十足的大砲，將砲彈沿著水平方向射出：
 - ① 速度不大時，砲彈很快就會掉落到地面，如路徑 A。
 - ② 增加射出的速度，砲彈飛經更長的距離後才會落回地面，如路徑 B。
 - ③ 依此類推，若是砲彈的初始速度夠大，就可以用穩定的軌道繞行地球，而不會落回地面，如路徑 C。



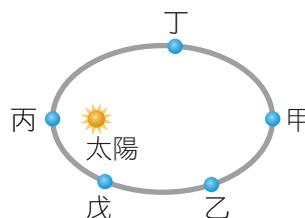
2. 牛頓運動定律與克卜勒行星運動定律

- (1) 牛頓大膽假設，上面假想實驗的推論，就是月球得以繞行地球的原因。後來他結合牛頓運動定律與萬有引力定律，運用高明的數學技巧，推導出月球的軌道是橢圓。這樣的計算可以推廣到一般行星的運動，進而推導出所有的克卜勒行星運動定律，讓**數學成為物理學的重要語言**。
- (2) 克卜勒由繁瑣的觀測資料中，**歸納整理**出簡單的定律；牛頓則利用運動方程式加上萬有引力定律，來解釋克卜勒定律，是**演繹式**的推導。這兩種方法，都是研究科學的重要方法，不可偏廢。

簡單觀念 基礎題

• 解析詳見解答本

1. 土星的軌道在近日點、遠日點與太陽的距離分別大約為 9.0、10.0 天文單位，則土星的軌道平均半徑為 9.5 天文單位。
- E 2. 若某一行星在近日點時與太陽距離 0.5AU，遠日點時距太陽 1.5AU，則此行星在近日點與遠日點時，與太陽的連線在單位時間內所掃掠的面積比為何？
(A) 3 : 1 (B) 1 : 3 (C) 9 : 1 (D) 1 : 9 (E) 1 : 1。
- C 3. 若有一彗星繞著太陽作橢圓軌道運動，則該彗星在圖中所示各點的速率，何者最快？
(A) 甲 (B) 乙 (C) 丙 (D) 丁 (E) 戊。
- CDE 4. 下列何者之「平均軌道半徑立方和週期平方」的比值與地球比值相等？（應選 3 項）
(A) 月球 (B) 福衛五號衛星 (C) 金星 (D) 水星 (E) 哈雷彗星。



概念 克卜勒行星運動第一定律

- CE** 1. 有關克卜勒行星運動第一定律的敘述，下列哪些正確？（應選 2 項）
- (A) 主要是在闡述哥白尼日心說的內容 (B) 行星皆以正圓形軌道繞太陽做等速圓周運動
 (C) 行星皆以橢圓軌道繞太陽運動 (D) 太陽位於橢圓軌道的中心點上
 (E) 太陽位於橢圓軌道的焦點之一處。

概念 克卜勒行星運動第二定律

- BCE** 2. 根據克卜勒行星運動定律，可推知地球繞太陽運動時，（應選 3 項）
- (A) 作等速橢圓軌道運動 (B) 作變速橢圓軌道運動
 (C) 地球在近日點的繞日速率比遠日點快 (D) 地球在近日點的繞日速率比遠日點慢
 (E) 地球與太陽的連線，在 1 月份和 7 月份所掃掠的面積相等。

概念 克卜勒行星運動第三定律

- C** 3. 某天文台發現了一顆繞日公轉的彗星，已知此彗星繞日公轉的平均軌道半徑為地球的 4 倍，則其公轉週期為地球的幾倍？ (A) 2 (B) 4 (C) 8 (D) 16 (E) 32。
- D** 4. 有四個繞地球運轉的人造衛星：甲衛星作半徑為 R 的圓周運動；乙衛星作半徑為 $2R$ 的圓周運動，丙衛星作近地點距離 R 、遠地點距離 $3R$ 的橢圓運動；丁衛星作近地點距離 R 、遠地點距離 $5R$ 的橢圓運動。則哪個衛星的公轉週期最長？
 (A) 甲 (B) 乙 (C) 丙 (D) 丁 (E) 皆相同。
- D** 5. 下列關於克卜勒行星運動定律的敘述，何者正確？
 (A) 第一定律說明行星繞太陽的軌道為橢圓形，而太陽位於橢圓的中心點上 (B) 第二定律說明行星與太陽的連線在相同時間內掃過相同面積，所以當行星與太陽的連線距離愈大時，行星的速率愈快 (C) 第三定律說明行星繞太陽平均軌道半徑的平方與週期的立方成正比 (D) 當行星由近日點運動至遠日點所經歷的時間，與行星由遠日點運動至近日點所經歷的時間相等 (E) 地球繞太陽的週期為 1 年，月球繞地球的週期為 1 個月，我們可以利用第三定律算出兩者平均軌道半徑的比。

概念 牛頓運動定律與克卜勒行星運動定律

- CD** 6. 克卜勒整理第谷的觀測資料歸納出行星運動三定律，發現行星運動遵循某種明確的自然規律。此規律牛頓利用高明的數學技巧，配合哪些定律可推導出來？（應選 2 項）
 (A) 等面積定律 (B) 週期定律 (C) 萬有引力定律 (D) 運動三定律 (E) 軌道定律。
- CD** 7. 地球與水星都是太陽系的行星，下列有關行星運行的敘述，哪些正確？（應選 2 項）
 (A) 依照托勒米的學說，行星是以太陽為中心運行 (B) 依照哥白尼的學說，行星是以地球為中心運行 (C) 行星運行符合克卜勒的行星運動定律 (D) 牛頓提出萬有引力定律及運動三定律，可以解釋行星如何運行 (E) 牛頓的學說才是正確的，克卜勒的行星運動定律不再適用。



本節大考試題精選

· 解析詳見解答本

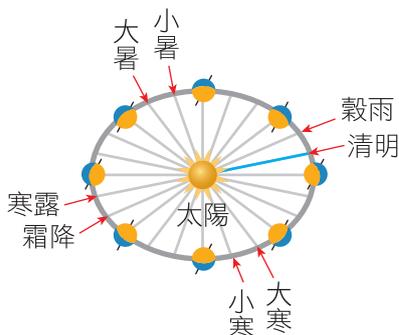
- E** 1. 若將地球公轉太陽一圈的時間（公轉週期）稱為「地球年」，如表為太陽系內地球與某行星的資料，則表中 T 的數值最接近下列哪一項？ (A)1 (B)30 (C)50 (D)100 (E)160。

105學測，答對率35%

行星	軌道平均半徑 (百萬公里)	公轉週期 (地球年)
地球	約 150	1
某行星	約 4500	T

2-4 題為題組

自古流傳：「種田無定例，全靠節氣。」24 節氣於 2016 年已正式列入聯合國教科文組織人類非物質文化遺產名錄，它的訂定是以 24 個節氣為分段點，將地球繞太陽公轉的軌道劃分為 24 段，相鄰兩節氣所對應之地球到太陽的連線，其夾角均為 15° 。北半球某年春夏秋冬四季中等角度間隔之相鄰兩節氣如圖所示（僅為示意圖，未完全符合實際情況）。下表列出了各季節兩節氣之間的時距。假設表中相鄰兩節氣之間，地球與太陽連線平均每秒鐘掃過的角度分別為 $\omega_{春}$ 、 $\omega_{夏}$ 、 $\omega_{秋}$ 、 $\omega_{冬}$ ，而平均每秒鐘掃過的面積分別為 $\lambda_{春}$ 、 $\lambda_{夏}$ 、 $\lambda_{秋}$ 、 $\lambda_{冬}$ 。



季	節氣	時距	物理量
春	清明	15 天 07 時 09 分	$\omega_{春}$ 、 $\lambda_{春}$
	穀雨		
夏	小暑	15 天 17 時 26 分	$\omega_{夏}$ 、 $\lambda_{夏}$
	大暑		
秋	寒露	15 天 13 時 09 分	$\omega_{秋}$ 、 $\lambda_{秋}$
	霜降		
冬	小寒	14 天 17 時 27 分	$\omega_{冬}$ 、 $\lambda_{冬}$
	大寒		

依據以上資料及克卜勒等面積定律，試回答下列問題。

- D** 2. 關於相鄰兩節氣之間地球與太陽連線平均每秒鐘掃過的角度，下列敘述何者正確？
(A) $\omega_{春}$ 最大 (B) $\omega_{夏}$ 最大 (C) $\omega_{秋}$ 最大 (D) $\omega_{冬}$ 最大 (E) $\omega_{春}$ 、 $\omega_{夏}$ 、 $\omega_{秋}$ 、 $\omega_{冬}$ 都相等。

106學測，答對率43%

- E** 3. 關於相鄰兩節氣之間地球與太陽連線每秒鐘掃過的面積，下列敘述何者正確？
(A) $\lambda_{春}$ 最大 (B) $\lambda_{夏}$ 最大 (C) $\lambda_{秋}$ 最大 (D) $\lambda_{冬}$ 最大 (E) $\lambda_{春}$ 、 $\lambda_{夏}$ 、 $\lambda_{秋}$ 、 $\lambda_{冬}$ 都相等。

106學測，答對率57%

- C** 4. 隨著季節變化，地球與太陽的距離以及地球公轉的速率也會變化，比較表中的四季時段，並利用克卜勒等面積定律，下列有關地球公轉的推論，何者正確？
(A) 從節氣時距的大小，無法推論地球距太陽遠近的變化 (B) 從節氣時距最小，可以推論冬季時地球運行最慢 (C) 從節氣時距最小，可以推論冬季時地球距太陽最近 (D) 從節氣時距最大，可以推論夏季時地球距太陽最近 (E) 從節氣的訂定，可以推論地球在兩節氣之間公轉的路徑長，四季都相同。

106學測，答對率53%

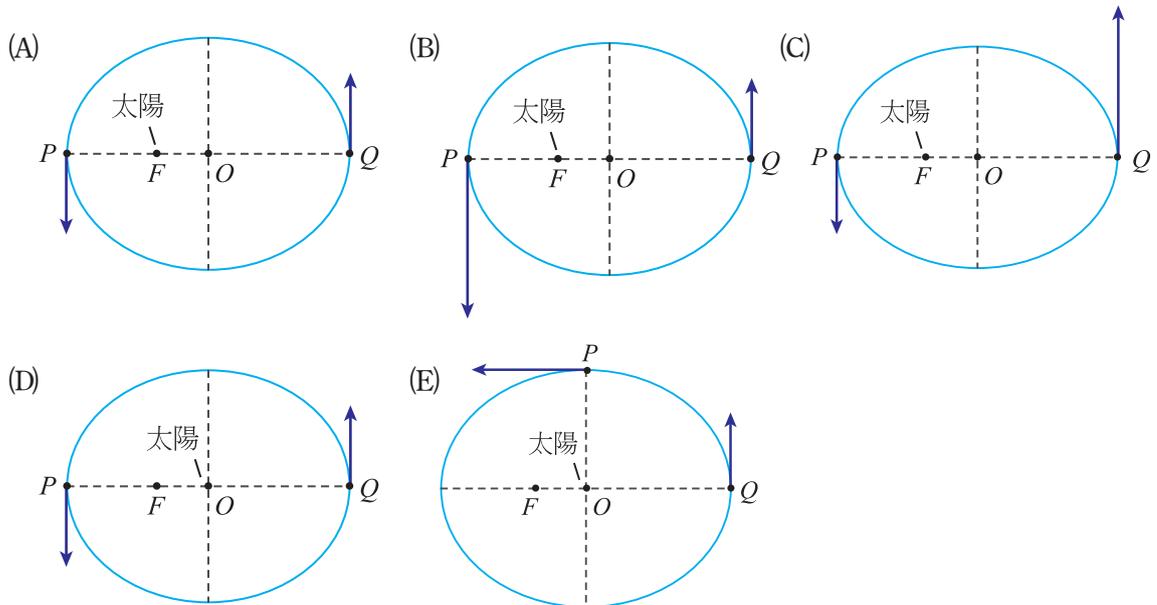
- A** 5. 同步衛星繞地球運行的週期和地球自轉的週期相同。若部署一顆與同步衛星質量相同的新衛星，使其繞行地球一次的時間約為 3 小時，且兩顆衛星的軌道均為圓形，則該新衛星所受的重力量值約是同步衛星的多少倍？

(A) 16 (B) 8 (C) 1 (D) $\frac{1}{8}$ (E) $\frac{1}{16}$ 。

108學測，答對率27%

- B** 6. 下列選項中橢圓為行星繞太陽的軌道， O 點代表橢圓的中心， F 點代表橢圓的焦點， P 、 Q 兩點處箭號與其長度分別代表行星在該處的速度方向與量值。哪一個選項中的圖最接近實際的情況？（選項(A)與選項(D)圖中的兩箭號等長，選項(B)、選項(C)與選項(E)圖中的兩箭號不等長）。

109學測





科學 素養題

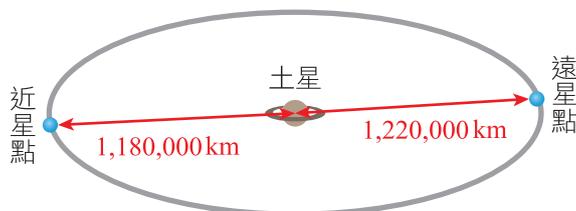


1-4 題為題組

外星人是人類對地球以外智慧生命的統稱。人類對外星人一直存在著想像，以外星人為主題的科幻電影，如復仇者聯盟、變形金剛、*E.T.*、異形、阿凡達等都是極為賣座的電影。

雖然英國著名物理學家史蒂芬·霍金曾幾度表示，在宇宙裡外星人是肯定存在的，而且大部分的科學家也都相信外星人的存在。但時至今日，科學家仍沒有掌握外星人存在的確切證據。不過，科學家不遺餘力的努力著，其中探索太陽系是否存在生命，也是科學家努力的方向。除了行星，行星的衛星也是重要研究的對象。

土星最大的衛星稱為「土衛六」，又稱為「泰坦」，其體積甚至比行星水星還大（雖然質量沒有水星大），在太陽系中它的大小僅次於木星最大的衛星—木衛三。由於它是太陽系第一顆被發現擁有濃厚大氣層的衛星，因此被高度懷疑有生命體的存在。土衛六在近星點、遠星點與土星的距離分別如圖所示。



相對於土衛六的巨大，土星擁有的 62 顆衛星中，大部分的體積都很小，即便是土星的第六大衛星的「土衛二」，其直徑也大約只有土衛六的十分之一。土衛二是土星內圈衛星中地質活動最激烈的一顆，它是如今還有地質活動的太陽系天體中最小的一顆，並在南極地區表面下可能存在著液態水。因此科學家認為土衛二是我們尋找外星生命的絕佳地點。

根據上面短文，試回答下列問題： 1. 根據內文可知，土衛二及土衛六可能孕育外星生命。

混合題

BD 1. 土星擁有的 62 顆衛星中，哪些衛星可能孕育外星生命？（應選 2 項）

(A) 土衛一 (B) 土衛二 (C) 土衛四 (D) 土衛六 (E) 土衛七。

CD 2. 下列敘述哪些正確？（應選 2 項）

(A) 外星人只是電影的情節，科學家並不相信外星人的存在 (B) 土衛二是土星最大的衛星 (C) 土衛二是如今還有地質活動的太陽系天體中最小的一顆 (D) 土衛六的體積比水星大 (E) 土衛六的質量比水星大。

3. 請將第 2 題中，不正確選項填入表格，並說明錯誤之處。

不正確選項			
說明			

E 4. 土衛六繞行土星的平均軌道半徑為多少公里？

(A) 1,180,000 (B) 2,360,000 (C) 1,220,000 (D) 2,440,000 (E) 1,200,000。

2. (A) ×：根據內文，大部分科學家相信外星人的存在。

(B) ×：土衛六才是土星最大的衛星。

(E) ×：雖然土衛六的體積比水星大，但質量比水星小。

$$4. \text{ 平均軌道半徑 } R = \frac{r_{\min} + r_{\max}}{2} = \frac{1180000 + 1220000}{2} = 1200000 \text{ (km)}。$$