

課前想一想



____年____班 座號____

姓名：_____

※在進行本章的學習內容之前，先重新溫習國中學過的概念，試著回答以下幾個問題。

章節 第3章 物體的運動

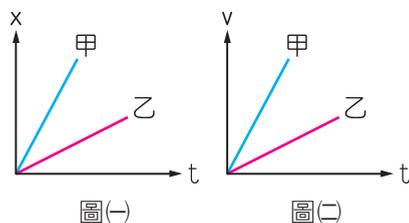
銜接國中概念 ➡ 直線運動、力與運動

1. 為了描述物體的位置變化，在「直線運動」的課程中我們定義了兩個物理量：路徑長與位移。請問你可以說出這兩個物理量的意義嗎？並且指出這兩個物理量的差異。

答 路徑長是運動軌跡的總長度；位移是由初位置指到末位置的有向線段。

路徑長不具有方向性，需要知道物體運動的詳細過程才可以計算；位移則具有方向性，只需要知道物體的初位置與末位置就可以決定。

2. 為了描述物體的運動情況，我們常常畫出運動物體的位置 x 對時間 t 的關係圖與速度 v 對時間 t 的關係圖。請根據國中課程已經學過的概念，判斷圖(一)中哪一個物體移動的比較快？圖(二)中哪一個物體的加速度比較大？



答 在位置 x 對時間 t 的圖形中，斜直線代表等速運動，斜率愈大，則其速度也愈大，故甲的速度大於乙的速度；在速度 v 對時間 t 的圖形中，斜直線代表等加速運動，斜率愈大，則其加速度也愈大，故甲的加速度大於乙的加速度。

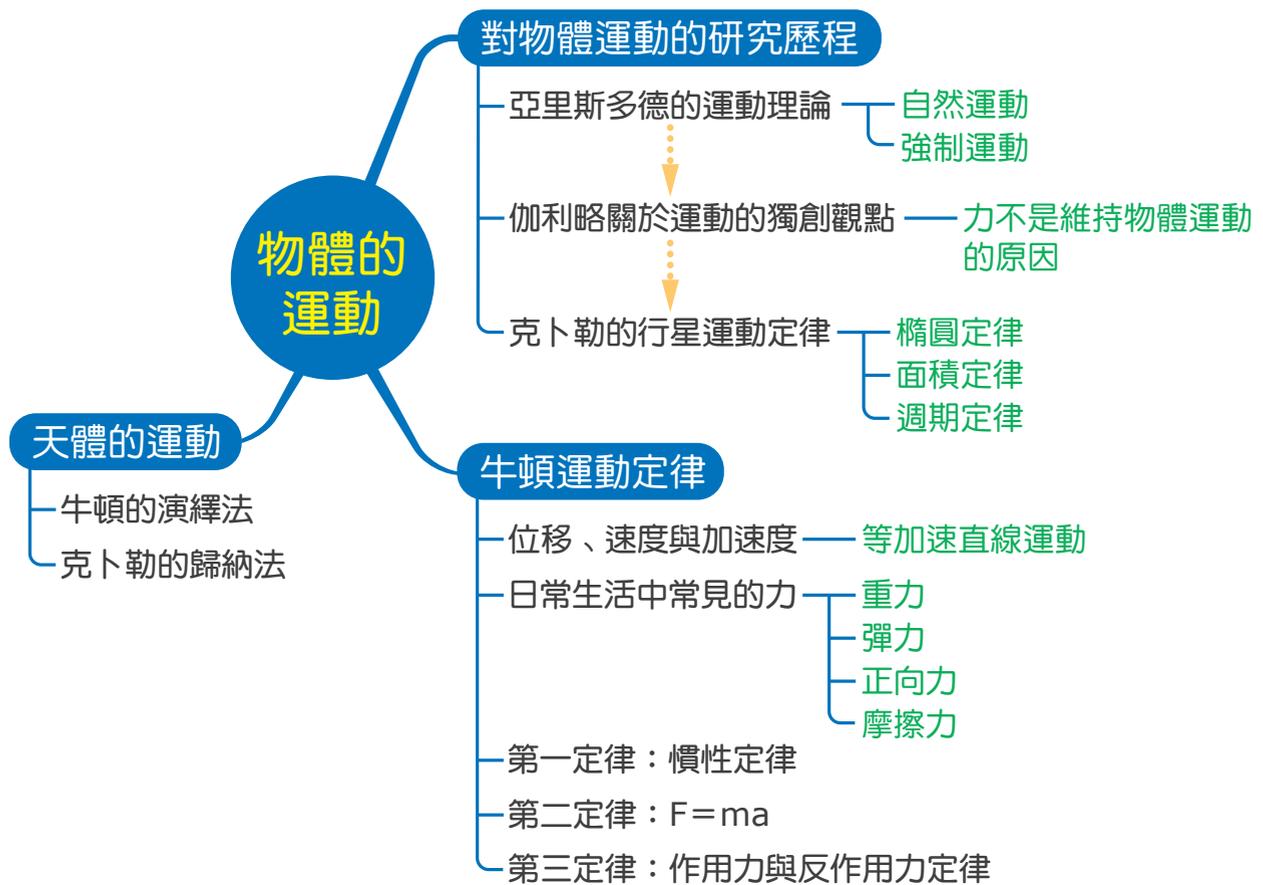
3. 牛頓第一運動定律又稱為慣性定律，它的內容是描述一個不受力或所受合力為零的物體，會繼續保持其原本的運動狀態。請回憶一下國中課程中所學到的慣性定律，判斷以下現象中，哪幾項是慣性定律所造成的？

編號	現象	編號	現象
1	靜止的車突然開動，車上站立的乘客上半身會向後傾	6	在等速度的火車上，用手將一球鉛直上拋，小球最後又會落於手中
2	火箭引擎噴出大量氣體，推動火箭升空	7	用力踢足球，使足球改變其運動快慢或運動方向
3	不考慮空氣阻力，所有的自由落體不論輕重，落下的加速度皆相同	8	在賣場推購物車，購物車內的東西愈來愈多，感覺愈來愈難推動
4	短跑衝刺的選手到達終點，不易立即停止	9	急停揮動的鋼筆，即可灑出鋼筆內部的墨水
5	汽車駕駛踩煞車後，汽車速度逐漸減慢	10	划船時用力將水向後划，就可以使船前進

答 編號 1、4、6、9 皆是物體慣性所造成的現象。



本章心智圖



第 3 章

物體的運動

3-1 對物體運動的研究歷程

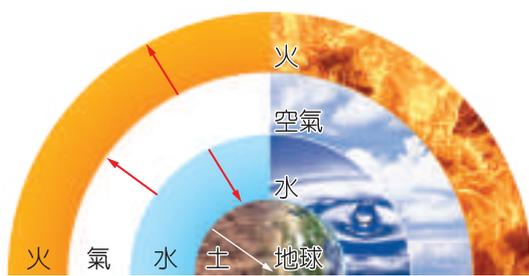
一 亞里斯多德的理論

配合課本 P.62~P.69

1. 亞里斯多德主張運動可分成兩種：第一種是「自然運動」，第二種是「強制運動」。

2. 自然運動：

(1) 在不受干擾下，物體運動的最終位置由它們的本性 (nature) 來決定，組成宇宙萬物的本性有四種元素：土、水、氣、火，如圖 3-1 所示。



▲圖 3-1

(2) 水與土較重，故會向下運動，這種特性稱為重性。重性愈大的物體，掉落得也愈快。

(3) 火與氣較輕，會向上運動，最終的運動目標是在天際之外。天體的本性為不生不滅、永恆不息，此性質造成它們會作循環不止的等速圓周運動。

3. 強制運動：

(1) 凡受到外力干擾違反自然運動者，皆屬於強制運動，例如：用力拋擲一個石塊，石塊可以在一段時間內作垂直向上或斜向上運動，這不是石塊的本性，而是石塊受到外來參與者的作用。

(2) 因此亞里斯多德主張：物體最自然的狀態是靜止在對應其本性的位置上，若要使物體發生強制運動，則必須對物體不斷施力。

二 伽利略的觀點

1. 伽利略質疑亞里斯多德的自然運動之說法，認為一個物體的運動並不是由物體之本性所決定。例如：想像一個小圓球自傾斜面上方釋放，在光滑水平面上的小圓球並未受到外界的干擾，但會沿著水平方向繼續運動，既不是向上，也不是向下運動，如圖 3-2 所示。



▲圖 3-2

2. 因此伽利略認為，外力並不是「維持」物體運動的原因，外力是「改變」物體運動狀態的原因。例如：在一般粗糙平面上移動的物體之所以最終會停下來，是因為物體持續受到與運動方向相反的摩擦力作用。

3. 伽利略的推理：如圖 3-3 所示，假設重物下落得比輕物快是對的，那麼把一重一輕的兩物綁在一起，整體應該下落得更快或更慢？第一種想法：因為整體的重性增加了，故應該下落得更快；第二種想法：輕物會「拖累」重物，使整體下落得比重物單獨下落時還慢。以上這兩種想法的結論相互矛盾，故可知前提是錯誤的。



▲圖 3-3

4. 關於落體運動還有另一個迷思，即下落速度與落下的距離成正比，但伽利略運用簡單的數學推理就證明出這個假設會得到另一荒謬結論
- 課 P.68 閱讀資料**。伽利略主張物體的下落速度應該僅與時間成正比，其比例常數就是中世紀時期之科學家所說的加速度，後來測得此加速度的量值約為 9.8 m/s^2 ，此加速度即為重力加速度。
5. 伽利略對落體運動的觀點為後來的科學研究提供了一個非常有力的思維模式：科學不應該只是精確地描述自然現象，因為真正重要的訊息常常是隱藏在現象背後，如果缺乏清晰理論的引導，永遠無法提出有深刻內涵的科學論述。

範例 1 運動理論的發展歷史

亞里斯多德與伽利略對於物體的運動現象有許多截然不同之看法，請依據這兩人各自提出的理論，判斷下列敘述哪些正確？（應選三項）

- (A) 亞里斯多德認為物體的運動與其本性有關，伽利略認為物體的運動與其本性無關
 (B) 亞里斯多德認為重物下落得比輕物快，伽利略認為物體的輕重與下落速度無關
 (C) 亞里斯多德認為物體若不受力則必趨於靜止，伽利略認為物體不受力可以等速運動
 (D) 亞里斯多德認為鉛直上拋一石塊，此石塊的上行過程是屬於「自然運動」
 (E) 伽利略認為落體運動的下落速度應該與落下的距離成正比。

解題關鍵：比較亞里斯多德與伽利略兩人關於運動的看法，並體會其差異。

答 (A)(B)(C)

解 (D) 亞里斯多德認為重物的自然運動應向下，向上的運動則屬於強制運動，發生強制運動是由於有外力干擾。

(E) 伽利略主張物體的下落速度應該與時間成正比，而非落下的距離。

類題 下列哪一項是伽利略對於物體運動的看法？

- (A) 愈重的物體下落得愈快 (B) 天體運動之所以永恆不息是因為其本性所致 (C) 物體必須持續受到外力作用才能保持運動 (D) 物體不受外力作用依然可以保持等速運動 (E) 落體運動由高處掉向低處是屬於自然運動。

答 (D)

(A) 伽利略認為物體的輕重不會影響下落的快慢。

(B)(C)(E) 皆為亞里斯多德的主張，不是伽利略對物體運動現象的看法。

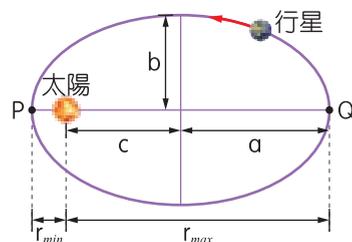
克卜勒的行星運動定律

1. 丹麥天文學家第谷 (Tycho Brahe, 1546 ~ 1601) 以自製儀器，累積二十多年大量、精確的行星觀測數據，克卜勒繼承這些珍貴的天文數據，並從中歸納出以下三個行星運動定律，使哥白尼的「日心說」廣泛地被接受。

2. 第一定律 (橢圓定律)：如圖 3-4 所示。

(1) 行星繞太陽的軌道為一橢圓，且太陽位於橢圓的其中一個焦點上。

(2) 在橢圓軌道上有一點 P 與太陽最近，稱為近日點；反之，有一點 Q 與太陽最遠，稱為遠日點。這兩點與太陽的距離分別稱為近日距 (r_{min}) 與遠日距 (r_{max})。



▲圖 3-4

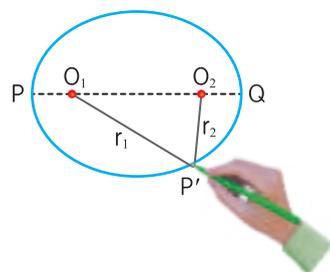
(3) 一個橢圓的平均軌道半徑 R 定義為近日距與遠日距的算數平均值，即半長軸長 a。

$$R = \frac{r_{min} + r_{max}}{2} = \frac{(a-c) + (c+a)}{2} = a$$

【註】數學上有幾種對橢圓的定義，其中之一是：「平面上到兩定點之距離和為定值的所有點之集合」。該兩定點即為此橢圓的焦點，如圖 3-5 中的 O_1 、 O_2 即為橢圓的兩個焦點。

如圖 3-4，描寫一個橢圓最常用的三段長度：a 稱為半長軸長，b 稱為半短軸長，c 稱為焦距。三者的關係：

$$a^2 = b^2 + c^2$$



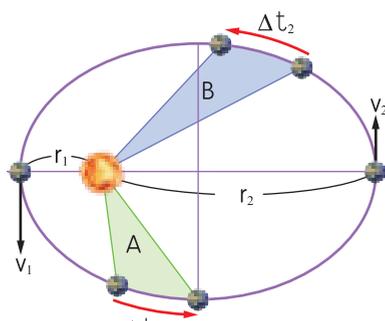
▲圖 3-5

3. 第二定律 (面積定律)：如圖 3-6 所示。

(1) 同一顆行星與太陽的連線，在相同時間內掃過相同面積。例如：行星分別在 Δt_1 、 Δt_2 的時間內掃過面積 A、

B，則必有以下關係：面積速率 = $\frac{A}{\Delta t_1} = \frac{B}{\Delta t_2}$

(2) 由此推論，行星愈接近太陽時，在軌道上必須行經愈長的距離，才會在相同時間內掃過相同面積。所以在近日點處，軌道速率 v_1 最快；反之，在遠日點處，軌道速率 v_2 最慢。



▲圖 3-6

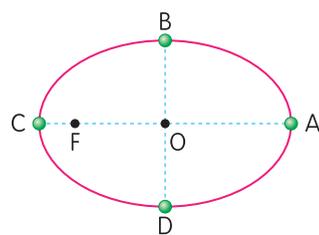
【課外補充】利用面積定律，可以推導出在近日點與遠日點的切向速率恰與近日

距與遠日距成反比，寫成數學式： $r_1 v_1 = r_2 v_2$ 或 $\frac{r_1}{r_2} = \frac{v_2}{v_1}$

範例 2 橢圓定律與面積定律

相關題型：單元練習 2 ~ 5、13

如右圖所示，A、B、C、D 為某行星繞一恆星逆時針公轉時橢圓軌道上的四個位置，O 為橢圓正中心，F 為橢圓的焦點。根據克卜勒行星運動定律，試判斷下列推論哪些正確？



(應選三項)

(A) 此恆星必位於 O (B) 行星與恆星最近的距離與最遠的距離之

比值為 $\frac{\overline{CF}}{\overline{FA}}$ (C) 平均軌道半徑定義為 $\frac{\overline{OA} + \overline{OB}}{2}$ (D) 由 B 經過 C 到 D 的時間必小於

由 D 經過 A 到 B 的時間 (E) 行星通過 A 時的速率最小，通過 C 時的速率最大。

解題關鍵：行星繞恆星（太陽）的軌道為一橢圓，且恆星位於橢圓的其中一個焦點上；平均軌道半徑 R 定義為近日距與遠日距的算數平均值；同一顆行星與恆星的連線在相同時間內掃過相同面積。

答： (B)(D)(E)

解： (A) 恆星（太陽）應位於橢圓的焦點 F。

(C) 平均軌道半徑 $R = \frac{\overline{CF} + \overline{FA}}{2}$

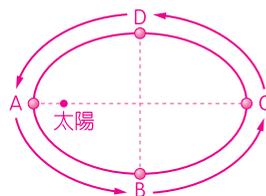
類題 下列有關火星繞日運動的敘述，哪些正確？（應選三項）

(A) 火星繞日的軌道為一橢圓形 (B) 太陽位於橢圓軌道的焦點上 (C) 火星繞日運動的面積速率處處相等 (D) 火星繞日運動的切向速率處處相等 (E) 火星由近日點到遠日點的時間小於由遠日點到近日點的時間。

答： (A)(B)(C)

(D) 火星繞日運動，通過近日點時的切向速率最大，通過遠日點時的切向速率最小。

(E) 如右圖所示，由 A 經過 B 到 C 的時間等於由 C 經過 D 到 A 的時間。



4. 第三定律（週期定律）：如圖 3-7 所示。

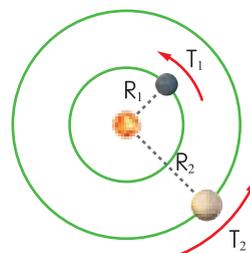
(1) 繞太陽運行的所有行星，其平均軌道半徑 R 的立方與其公轉週期 T 的平方之比值為一個定值。

(2) 週期定律可以寫成數學式： $\frac{R_1^3}{T_1^2} = \frac{R_2^3}{T_2^2} = \dots = K \dots \dots \dots$ ①

(3) 平均軌道半徑 R 定義為近日距 r_{min} 與遠日距 r_{max} 的算數平均

$$\text{值, } R = \frac{r_{min} + r_{max}}{2}$$

(4) 若平均軌道半徑的單位為天文單位 (AU)，週期的單位為地球年 (y)，則式①中的 $K=1$ 。下表為太陽系八個行星繞日運行的主要數據：



▲圖 3-7

	水星	金星	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星
與太陽平均軌道半徑 R (AU)	0.387	0.723	1.00	1.52	5.20	9.54	19.2	30.1
公轉週期 T (y)	0.241	0.615	1.00	1.88	11.9	29.5	84.0	165
$\frac{R^3}{T^2}$ ($\frac{AU^3}{y^2}$)	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00

範例 3 週期定律的應用

相關題型：單元練習 6.~9.

已知哈雷彗星約 76 年回歸 1 次，哈雷彗星與太陽之最近距離約為 0.6 天文單位，地球與太陽之平均軌道半徑為 1 天文單位。設所有行星對哈雷彗星的影響均可略去不計，則可推算哈雷彗星與太陽之最遠距離與下列哪一距離（天文單位）最為接近？

(A) 17.9 (B) 35.2 (C) 70.4 (D) 140.8 (E) 168.2。

解題關鍵：繞日運動的所有天體，其平均軌道半徑 R 的立方與其公轉週期 T 的平方比為一個定值；平均軌道半徑 R 定義為近日距 r_{min} 與遠日距 r_{max} 的算數平均值。

答：(B)

解：設平均軌道半徑為 R ， $\frac{R^3}{76^2} = \frac{1^3}{1^2} \Rightarrow R \approx 17.9$ (天文單位)

$$R = \frac{r_{min} + r_{max}}{2} \Rightarrow 17.9 = \frac{0.6 + r_{max}}{2} \Rightarrow r_{max} = 35.2 \text{ (天文單位)}$$

類題 假如太陽系中又發現一個小行星，其與太陽的最近距離為 3 天文單位、最遠距離為 5 天文單位，可估計其繞太陽公轉的週期約為多少年？

(A) 4 (B) 8 (C) 12 (D) 16 (E) 18。

答：(B)

$$R = \frac{3+5}{2} = 4 \text{ (天文單位)}$$

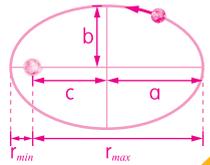
$$\frac{4^3}{T^2} = \frac{1^3}{1^2} \Rightarrow T = 8 \text{ (年)}$$



觀念辨析

1. 如右圖，平均軌道半徑 R

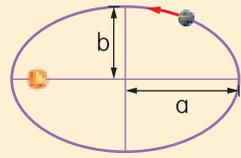
$$= \frac{r_{min} + r_{max}}{2} = \frac{(a-c) + (a+c)}{2} = a$$



(×) 1. 在克卜勒的行星運動定律中，一個橢圓軌道的平均軌道半徑

定義為： $\frac{a+b}{2}$ ， a 與 b 分別是右圖中的長軸與短軸之一半長

度。 2. 面積定律僅適用於同一行星在公轉軌道上不同的位置，不同的行星各自有不同的面積速率。



(×) 2. 地球與火星繞太陽時，兩者與太陽的連線在相同時間內會掃過相同面積。

(×) 3. 月球繞地球與水星繞太陽，兩者之公轉週期的平方與平均軌道半徑的立方之比值相等。 3. 週期定律僅適用於繞同一個引力來源的所有運動物體，而月球是繞地球、水星是繞太陽，兩者的環繞對象不同。

3-1

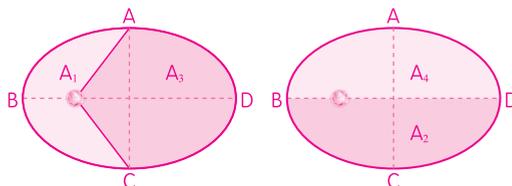
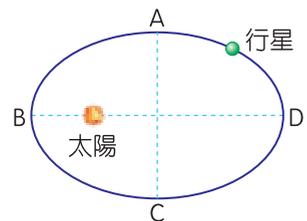


單元練習

單一選擇題

★簡單 ★一般 ★難

- ★ (B) 1. 下列哪一位科學家從大量的天文觀測數據中歸納出行星運動定律，使得日心說獲得強力的佐證？ 1. 克卜勒由第谷所遺留的大量天文數據中歸納出三大行星運動定律。
(A)哥白尼 (B)克卜勒 (C)伽利略 (D)牛頓 (E)第谷。
- ★ (C) 2. 某行星的橢圓軌道之近日距為 3 天文單位，平均軌道半徑為 5 天文單位，則其遠日距為多少天文單位？ 2. $R = \frac{r_{min} + r_{max}}{2} \Rightarrow 5 = \frac{3 + r_{max}}{2} \Rightarrow r_{max} = 7$ (天文單位)
(A) 4 (B) 6 (C) 7 (D) 8 (E) 10。
- ★ (C) 3. 根據克卜勒的行星運動定律，行星在以太陽為焦點的橢圓形軌道上運動，行星與太陽之連線在相等時間內掃過的下列哪一選項相等？ 3. 面積定律是指同一行星與太陽連線在相同時間內掃過相同面積。
(A)弧長 (B)位移 (C)面積 (D)弧度角 (E)立體角。
- ★ (E) 4. 假設天文學家發現某一新行星，此新行星在近日點時與太陽距離為 0.5 天文單位，遠日點時與太陽距離為 1.5 天文單位，則新行星在近日點與遠日點時的面積速率比為何？ 4. 不論位於橢圓軌道的何處，面積速率皆相等。
(A) 1 : 3 (B) 3 : 1 (C) 1 : 9 (D) 9 : 1 (E) 1 : 1。
- ★ (A) 5. 某行星繞太陽軌道如右圖所示，已知該行星由 A → B → C 需時 t_1 ，由 B → C → D 需時 t_2 ，由 C → D → A 需時 t_3 ，由 D → A → B 需時 t_4 ，則四者的關係為何？ 5. 如下圖所示，因 $\frac{A_1}{t_1} = \frac{A_2}{t_2} = \frac{A_3}{t_3} = \frac{A_4}{t_4}$ 故可知 $t_3 > t_2 = t_4 > t_1$



- ★ (B) 6. 木星繞行太陽的平均軌道半徑 (以天文單位 AU 為單位) 的立方與週期 (以地球年 y 為單位) 的平方之比值約為多少 $\frac{\text{AU}^3}{y^2}$?

(A) 0.6
(B) 1.0
(C) 3.8
(D) 5.0

(E) 條件不足，無法計算。

6. 根據克卜勒行星運動第三定律，繞行太陽的所有行星，其 $\frac{R^3}{T^2}$ 的值皆與地球相同，故 $\frac{R^3}{T^2} = \frac{1^3}{1^2} = 1 \left(\frac{\text{AU}^3}{y^2} \right)$

- ★ (D) 7. 已知土星繞太陽運轉的平均軌道半徑為地球繞太陽運轉之平均軌道半徑的 10 倍，則土星繞太陽一周需時多少年？

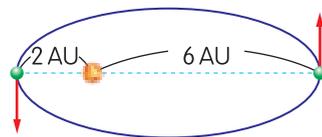
(A) $\frac{1}{10}$ (B) $\sqrt{10}$ (C) 10 (D) $10\sqrt{10}$ (E) 1000。

$$7. \frac{10^3}{T^2} = \frac{1^3}{1^2} \Rightarrow T = 10\sqrt{10} \text{ (年)}$$

$$8. R = \frac{2+6}{2} = 4 \text{ (AU)}, \frac{4^3}{T^2} = \frac{1^3}{1^2} \Rightarrow T = 8 \text{ (年)}$$

- ★ (D) 8. 假設某一行星繞日運轉，其近日點、遠日點分別距太陽 2 AU、6 AU，如右圖所示，則此行星公轉週期為何？

(A) 1 年 (B) 2 年 (C) 4 年 (D) 8 年 (E) 12 年。



- ★ (D) 9. 考慮四個繞地球運轉的人造衛星：衛星甲作半徑為 R 的圓周運動；衛星乙作半徑為 $2R$ 的圓周運動；衛星丙作近地點距離 R 、遠地點距離 $2R$ 的橢圓運動；衛星丁作近地點距離 R 、遠地點距離 $4R$ 的橢圓運動。請問哪一個衛星的週期最長？

(A) 甲 (B) 乙 (C) 丙 (D) 丁 (E) 皆相同。

- ★ (D) 10. 關於克卜勒行星三大運動定律，下列敘述何者正確？

(A) 行星繞太陽為橢圓軌道，太陽在橢圓的中心上
(B) 地球繞太陽的面積速率等於火星繞太陽的面積速率
(C) 地球從近日點到遠日點所花的時間，與從遠日點到近日點所花的時間不同
(D) 人造衛星繞地球的平均軌道半徑之立方與週期平方的比值，和月球繞地球的平均軌道半徑之立方與週期平方的比值相同
(E) 地球與太陽連線每秒鐘所掃過的面積在近日點附近最大、遠日點附近最小。

10. (A) 太陽位於橢圓的一個焦點上。(B) 面積定律是指同一行星繞太陽的面積速率在其公轉軌道上處處相等，但不同行星的面積速率不會相等。(C) 地球從近日點到遠日點的時間等於從遠日點到近日點的時間，且都是其公轉週期之一半。(D) 因為人造衛星與月球都是繞地球公轉，兩者之間存在週期定律。(E) 在近日點或遠日點的面積速率皆相等。

多重選擇題

- ★ (C)(E) 11. 下列有關行星繞日運行的敘述，哪些正確？(應選兩項)

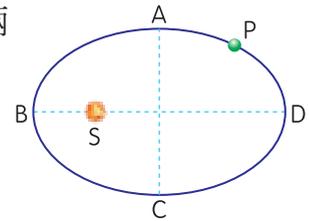
(A) 軌道為橢圓，太陽位於橢圓的正中心
(B) 作等速率運動
(C) 作變加速運動
(D) 平均軌道半徑愈大，行星公轉週期愈小
(E) 行星與太陽之連線於相同時間內掃過相同面積。

11. (A) 太陽位於橢圓的焦點，而非正中心。
(B) 行星作變速率運動。
(D) 平均軌道半徑愈大，行星公轉週期愈長。

★ (A)(C) 12. 下列有關克卜勒行星運動定律，哪些正確？（應選兩項）

- (A) 行星繞太陽作橢圓軌道運動
 (B) 在相同時間內，地球與太陽連線掃過的面積及火星與太陽連線掃過的面積相同
 (C) 行星與太陽的平均軌道半徑是行星在近日點與遠日點到太陽距離的算術平均值
 (D) 火星與地球繞太陽平均軌道半徑的平方與其繞太陽週期的立方之比值相同
 (E) 行星繞太陽為等加速運動。

★ (A)(E) 13. 某行星 P 繞太陽 S 之橢圓軌道如右圖，A、C 兩點為短軸兩端，B、D 兩點為長軸兩端，下列敘述哪些正確？



（應選兩項）

- (A) 在整個公轉軌道上，行星在 B 點的軌道速率最快
 (B) 行星由 A 點經過 B 點到 C 點的時間與 C 點經過 D 點到 A 點的時間相等
 (C) 行星通過 B 點的瞬間速率與 D 點的瞬間速率相等

(D) 平均軌道半徑為 $\frac{\overline{BD} + \overline{AC}}{2}$

13. (B) 根據面積定律，A → B → C 的時間必小於 C → D → A 的時間。

(C) 因 B 點為近日點、D 點為遠日點，故 $v_B > v_D$

(E) 行星在 A、C 兩點的瞬時速率相等。 (D) 平均軌道半徑為 $\frac{\overline{BS} + \overline{SD}}{2}$ 。

★ (B)(C) 14. 下列選項哪些和「地球公轉軌道週期的平方與平均軌道半徑的立方」之比值相等？（應選三項）

- (A) 福爾摩沙三號衛星 (B) 哈雷彗星 (C) 水星 (D) 天王星 (E) 月球。

12. (B) 地球與火星各自有其面積速率，兩者並不相同。

(D) 平均軌道半徑的立方正比於週期的平方。

(E) 因太陽作用於行星的引力量值會隨距離而變，且引力方向（加速度方向）也一直變化，故行星繞太陽應為變加速運動。

14. 繞同一個引力源的物體，才可適用週期定律。福爾摩沙三號衛星、月球皆是繞地球運行；哈雷彗星、水星、天王星皆是繞太陽運行，與地球相同。



3-2

牛頓運動定律

一 位移、速度與加速度

配合課本 P.69 ~ P.81

1. 位移：

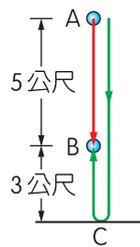
- (1) 位移是描述物體位置變化的物理量。
- (2) 定義：從質點的起點位置（初位置）指向終點位置（末位置）之有向線段，可以記成：

$$\text{位移} = \text{末位置} - \text{初位置}$$

- (3) 數學式： $\Delta x = x - x_0$ ， x_0 為初位置， x 為末位置。

SI 的單位：公尺（m）。

- (4) 位移具有長度及方向兩個要素，在直線運動中常定向右為正，向左為負；向上為正，向下為負。可自由選定哪個方向為正，但選定後須保持一致。
- (5) 位移只與物體運動的初、末位置有關，而與運動過程無關。例子：如圖 3-8 所示，有一皮球從距地面 8 公尺高的 A 點自由落下，在地面的 C 點發生碰撞後反彈到距地面 3 公尺高的 B 點，則在這段時間內，皮球的位移為 5 公尺向下，只與 A、B 兩點的位置有關，而不必計較 B、C 之間的運動。



▲圖 3-8

2. 速度：

- (1) 速度是描述物體運動快慢的物理量。
- (2) 平均速度的定義：物體運動的一段位移，與發生這段位移所用的時間之比值。

- (3) 數學式： $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ ， Δx 為位移， Δt 為時間。

SI 的單位：公尺 / 秒（m / s）。

- (4) 當上式中所經歷的時間 Δt 趨近於零時，則所得的比值改稱為瞬時速度。
- (5) 速度也是具有方向性的物理量，依定義可知，速度的方向應與位移方向一致。

3. 加速度：

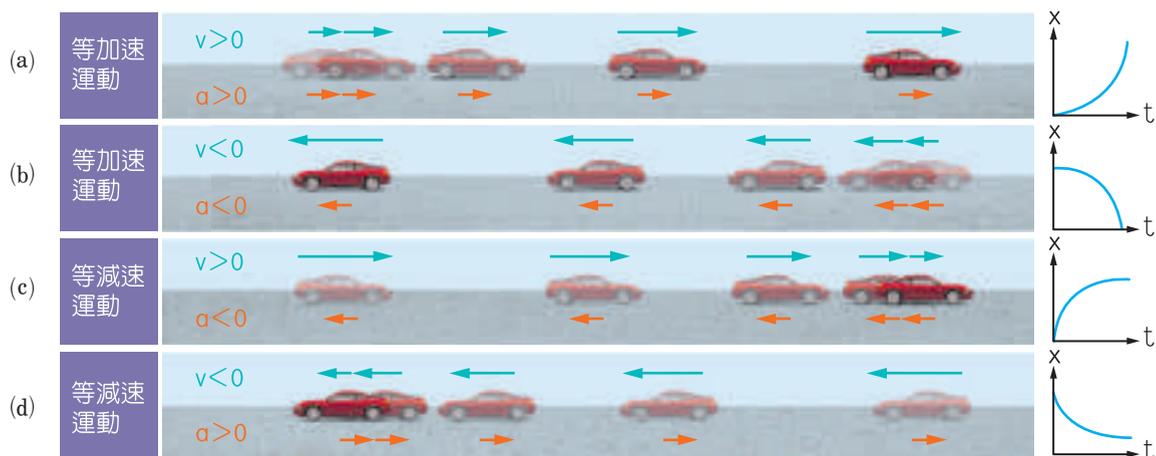
- (1) 加速度是描述物體速度變化快慢的物理量。
- (2) 平均加速度的定義：在某一段時間內，物體的速度變化量與此段時間的比值。

- (3) 數學式： $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ， Δv 為速度變化量， Δt 為時間。

SI 的單位：公尺 / 秒²（m / s²）。

- (4) 當上式中所經歷的時間 Δt 趨近於零時，則所得的比值改稱為瞬時加速度。
- (5) 加速度也是具有方向性的物理量，其方向與速度變化量的方向相同（注意：不一定與速度的方向相同）。

- (6) 若物體的速度 v 與加速度 a 的方向相同，則該物體的速度會愈來愈快，如圖 3-9 (a)、(b)；若兩者的方向相反，則該物體的速度會愈來愈慢，如圖 3-9 (c)、(d)。



▲圖 3-9

範例 1 位移、平均速度與平均加速度的基本定義

相關題型：單元練習 1、2

如右圖所示，一靜止質點從 $t=0$ 自 A 點 ($x=+2$) 往左前進至 B 點 ($x=-4$) 後，折回至 C 點 ($x=0$)，通過 B、C 兩點的時刻分別為 $t_B=3\text{ s}$ 、 $t_C=5\text{ s}$ ，通過 B、C 兩點的瞬時速度分別為 $v_B=0$ 、 $v_C=10\text{ cm/s}$ ，試回答以下各小題：

- (1) $t=0 \sim 5\text{ s}$ ，質點的位移為何？ (2) $t=3 \sim 5\text{ s}$ ，質點的平均速度為何？
 (3) $t=0 \sim 3\text{ s}$ 與 $t=0 \sim 5\text{ s}$ ，質點的平均加速度分別為何？

解題關鍵：理解並熟記位移、平均速度與平均加速度的定義。

答 (1) -2 cm (2) 2 cm/s (3) $0, 2\text{ cm/s}^2$

解 (1) 位移 $\Delta x = 0 - 2 = -2\text{ (cm)}$

$$(2) \text{ 平均速度 } v = \frac{\text{位移}}{\text{時間}} = \frac{0 - (-4)}{5 - 3} = 2\text{ (cm/s)}$$

$$(3) \text{ 平均加速度 } a = \frac{\text{速度變化量}}{\text{時間}}, t=0 \sim 3\text{ s}, a = \frac{0 - 0}{3} = 0; t=0 \sim 5\text{ s}, a = \frac{10 - 0}{5} = 2\text{ (cm/s}^2\text{)}$$

類題 如右圖所示（圖中長度的單位為 cm ）， $t=0$ 時，一靜止質點自 O 點移動到 P 點，到達 P 點的時刻 $t=4\text{ s}$ ，再轉向移動到 Q 點，到達 Q 點的時刻 $t=10\text{ s}$ ，瞬時速度 $v_Q = -15\text{ cm/s}$ ，試回答以下各小題：

- (1) $t=0 \sim 10\text{ s}$ ，質點的位移為何？ (1) 位移 $\Delta x = (-3) - 0 = -3\text{ (cm)}$
 (2) $t=0 \sim 10\text{ s}$ ，質點的平均速度為何？ (2) 平均速度 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-3}{10} = -0.3\text{ (cm/s)}$
 (3) $t=0 \sim 10\text{ s}$ ，質點的平均加速度為何？ (3) 平均加速度 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(-15) - 0}{10} = -1.5\text{ (cm/s}^2\text{)}$

答 (1) -3 cm (2) -0.3 cm/s (3) -1.5 cm/s^2

二 等加速運動

1. 加速度維持恆定的運動，稱為等加速運動。加速度恆定不變，意味著加速度的量值與方向皆不隨時間改變。

2. 等加速直線運動最常用的三個公式：

(1) 末速 = 初速 + 加速度 × 時間

$$\text{數學式： } v = v_0 + at \dots\dots\dots ①$$

(2) 位移 = 初速 × 時間 + $\frac{1}{2}$ × 加速度 × (時間)²

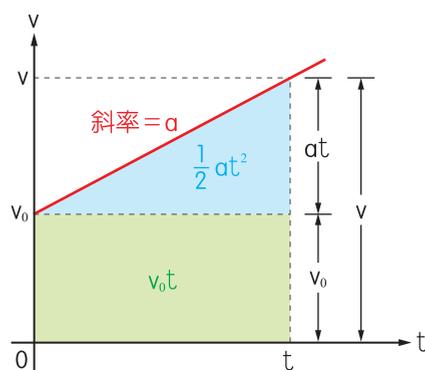
$$\text{數學式： } \Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 = \frac{v + v_0}{2} t \dots\dots\dots ②$$

上述①、②兩式可以由圖 3-10 直接看出。

(3) (末速)² = (初速)² + 2 × 加速度 × 位移

$$\text{數學式： } v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

(4) 使用上述三個公式時，要特別注意位移、速度與加速度的方向性，亦即這些物理量的正、負號。



▲圖 3-10

範例 2 等加速直線運動的基本公式

相關題型：單元練習 5.~7.

一質點作等加速直線運動，在 $t=0$ 時以初速度 20 m/s 由 $x=5 \text{ m}$ 處朝 $+x$ 方向移動，加速度量值為 4 m/s^2 ，方向朝 $-x$ 方向，試回答以下各小題：

- (1) 在 $t=3 \text{ s}$ 時，質點的速度為何？ (2) 在 $t=3 \text{ s}$ 時，質點的位置坐標為何？
 (3) 質點朝 $+x$ 方向移動的最大位移為何？

解題關鍵： 等加速直線運動最常用的公式： $v = v_0 + at$ 、 $\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 = \frac{v + v_0}{2} t$ 、 $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$

答： (1) 8 m/s (2) 47 m (3) 50 m

解： (1) $v = v_0 + at \Rightarrow v = 20 + (-4) \times 3 = 8 \text{ (m/s)}$

$$(2) \Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \Rightarrow \Delta x = 20 \times 3 + \frac{1}{2} (-4) \times 3^2 = 60 - 18 = 42 \text{ (m)}$$

$$\text{末位置} = \text{初位置} + \text{位移} = 5 + 42 = 47 \text{ (m)}$$

(3) 質點先向右行，再向左行，故朝 $+x$ 方向移動有最大位移時，其瞬時速度必為零

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \Rightarrow 0 = 20^2 + 2(-4)\Delta x \Rightarrow \Delta x = 50 \text{ (m)}$$

類題 一賽車以 4 m/s^2 的等加速度由靜止起跑，在直線跑道上跑完 200 m ，試回答以下各小題：

- (1) 跑完 200 m 所需的時間為何？
 (2) 跑完 200 m 時的瞬時速度為何？
 (3) 跑完 200 m 時的平均速度為何？

答： (1) 10 s (2) 40 m/s (3) 20 m/s

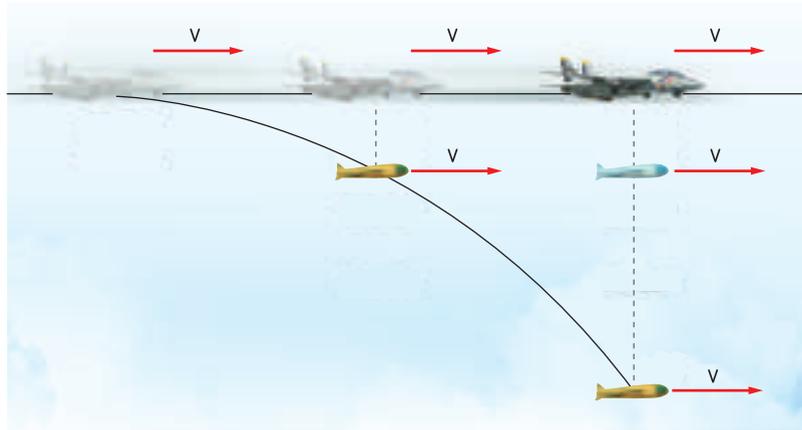
$$(1) \Delta x = \frac{1}{2} at^2 \Rightarrow 200 = \frac{1}{2} (4) t^2 \Rightarrow t = 10 \text{ (s)}$$

$$(2) v = at \Rightarrow v = 4 \times 10 = 40 \text{ (m/s)}$$

$$(3) \text{平均速度 } v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{200}{10} = 20 \text{ (m/s)}$$

三 牛頓第一運動定律

1. 定律內容：若物體不受外力作用，則物體會保持原來的運動狀態。靜者恆靜，動者恆作直線等速運動。
2. 物體這種保持原來運動狀態的特性，稱為慣性，因此牛頓第一運動定律又稱為慣性定律。
3. 慣性定律的例子：
 - (1) 公車突然起動時，站立在車內的人上半身會向後傾；反之，公車突然煞車時，人的上半身會向前傾。
 - (2) 揮動中的鋼筆突然停止，可以灑出筆中的墨水。
 - (3) 等速行進的車廂中，鉛直向上拋出一球，球仍落於拋球者手中。
 - (4) 從水平等速飛行的飛機上釋放炸彈，炸彈著地前，在水平方向上會維持與飛機相同的速度 v ，如圖 3-11 所示。 **課圖 3-13 (B)**

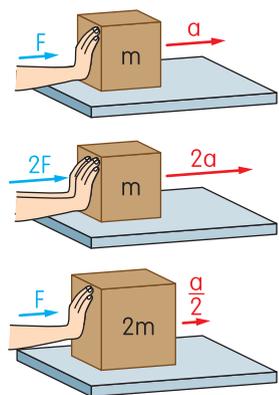


▲圖 3-11

四 牛頓第二運動定律

1. 定律內容：物體受外力作用時，物體所獲得的加速度量值與合力量值成正比，與物體質量成反比，且加速度方向與合力方向相同，如圖 3-12 所示。
2. 定義：使質量 1 kg 的物體，獲得 1 m/s^2 之加速度所需力的量值為 1 N ，則定律內容可寫成數學式： $F = ma$
3. 代入數值到上述數學式，需要將其單位統一成 SI 單位，如下表：

物理量	力 (F)	質量 (m)	加速度 (a)
SI 單位	牛頓 (N)	公斤 (kg)	公尺 / 秒 ² (m/s^2)



▲圖 3-12

範例 3 牛頓第二運動定律

相關題型：單元練習 10.

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。

103.學測 答對率 52%

解題關鍵：先求出棒球的加速度 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ，再利用牛頓第二運動定律： $F = ma$

答：(B)**解：** $v = 108$ 公里 / 時 = 30 公尺 / 秒

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{30 - 0}{0.15} = 200 \text{ (公尺 / 秒}^2\text{)}$$

$$F = ma = 0.15 \times 200 = 30 \text{ (牛頓)}$$

類題 一顆質量為 0.15 公斤的棒球，以 42 公尺 / 秒的水平速度打中一牆，而以 38 公尺 / 秒的速度垂直牆面反彈。設棒球與牆的接觸時間為 0.02 秒，則在這段時間內，棒球所受的平均力之量值為多少牛頓？

(A) 30 (B) 150 (C) 300 (D) 480 (E) 600。

答：(E)

如右圖，定向右為正

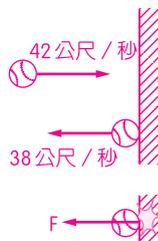
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(-38) - 42}{0.02}$$

$$= -4000 \text{ (公尺 / 秒}^2\text{)}$$

球受力 $F = ma$

$$= 0.15 \times (-4000)$$

$$= -600 \text{ (牛頓) (負號表示球受力方向向左)}$$



五 日常生活中常見的力

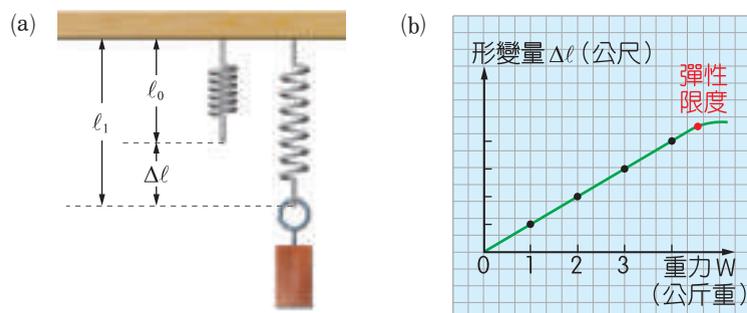
1. 日常生活中的各種力，大致上分為接觸力與超距力（非接觸力）兩大類。接觸力是兩物體必須有實質接觸才會發生的作用力；反之，超距力則是兩物體間不需要接觸也可以發生。例如接下來會介紹的重力（萬有引力）、彈力、摩擦力、正向力，除了重力是屬於超距力，其餘各力皆屬於接觸力。

2. 重力：

- (1) 地表附近之物體受到地球的萬有引力，稱為重力。
- (2) 重力 W 等於物體的質量 m 與重力加速度 g 之乘積，即： $W = m \times g$ 。重力的方向為鉛直向下，即與水平面垂直向下。
- (3) 質量為 1 公斤的物體在地球北緯 45° 海平面所測得之重力，定義為 1 公斤重（kgw）。根據定義：1 公斤重（kgw）= 9.8 牛頓（N）

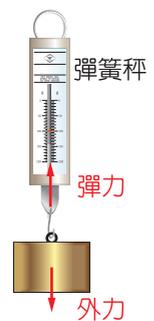
3. 彈力：

- (1) 彈簧受外力作用時，會發生形變，同時彈簧內部會有一股想要恢復原狀的作用力，這種力稱為彈力或回復力。
- (2) 虎克定律：在彈性限度內，彈簧的彈力 F 與彈簧的形變量（可能伸長或縮短） $\Delta \ell$ 成正比，可以寫成數學式： $F = k \cdot \Delta \ell$ ，其中比例常數 k 稱為彈簧的力常數；若超出彈性限度，彈簧會產生永遠形變而無法回復到原來長度，如圖 3-13 所示。



▲圖 3-13

(3) 彈簧秤：以虎克定律為工作原理的測力工具，主要組成是一輕質彈簧與經過校準的刻度，如圖 3-14 所示。當彈簧受到外力作用而處於平衡狀態時，外力與彈力的量值相等、方向相反，故可經由彈簧的形變量測出外力的量值。

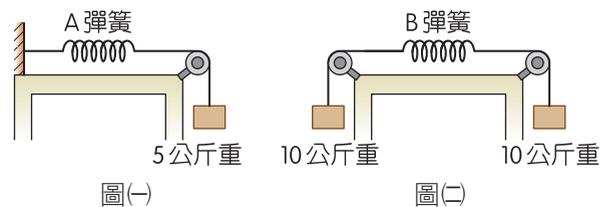


▲圖 3-14

範例 4 虎克定律

相關題型：單元練習 12、13

A、B 兩個完全相同的彈簧，原長均為 30 公分，A 彈簧一端固定於牆上，另一端吊以 5 公斤重的砝碼，彈簧的伸長量為 4 公分，如圖(-)所示，試回答以下各小題：



(所有拉力皆在彈性限度之內)

- (1) 若在圖(-)中的砝碼下面再加掛一個 3 公斤重的砝碼，則 A 彈簧的全長應為多少公分？
- (2) 如圖(二)所示，若 B 彈簧兩端各吊以 10 公斤重的砝碼，則 B 彈簧全長應為多少公分？

解題關鍵：彈簧一端固定於牆、另一端施以 F 的拉力，與彈簧兩端同時施以 F 的拉力，這兩者的形變量皆相等。

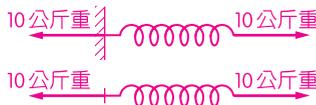
答：(1) 36.4 (2) 38

解：(1) $F = k \cdot \Delta \ell \propto \Delta \ell$

$$\frac{4}{5} = \frac{\Delta \ell}{5+3} \Rightarrow \Delta \ell = 6.4 \text{ (公分)}$$

故 A 彈簧全長為 36.4 公分。

- (2) 如右圖所示，兩端掛 10 公斤重的砝碼與一端固定在牆、另一端掛 10 公斤重的砝碼，彈簧所受的拉力完全相同。

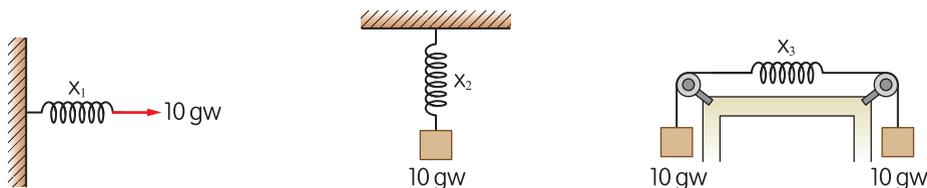


$$\frac{4}{5} = \frac{\Delta \ell}{10} \Rightarrow \Delta \ell = 8 \text{ (公分)}$$

故 B 彈簧全長為 38 公分。



類題 下列三圖中的彈簧均為力常數相等的理想彈簧，假設在此三圖中，彈簧的伸長量分別為 x_1 、 x_2 、 x_3 ，則此三段伸長量的比 $x_1 : x_2 : x_3$ 應為何？（皆在彈性限度之內）



答：1 : 1 : 1

設彈簧的力常數為 k ，根據題意

$$x_1 = \frac{10}{k}, x_2 = \frac{10}{k}, x_3 = \frac{10}{k}$$

故 $x_1 : x_2 : x_3 = 1 : 1 : 1$

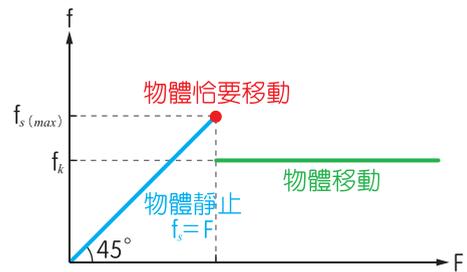
4. 摩擦力：

(1) 看起來非常光滑的表面，在電子顯微鏡底下仍然凹凸不平，如圖 3-15 所示。因此若兩粗糙表面疊合在一起，要使其產生相對運動就必須施加外力，來克服此種因表面粗糙而存在的阻力，這種阻力稱為摩擦力，其方向為在接觸面間阻止物體產生相對運動的方向。



▲圖 3-15

(2) 如圖 3-16 所示，摩擦力 f 按照物體間有無相對運動可以分為動摩擦力 f_k 與靜摩擦力 f_s 。當物體處於靜止狀態，外力 F 的量值等於靜摩擦力 f_s 的量值；當外力量值等於最大靜摩擦力 $f_s(max)$ 量值時，物體恰要發生移動；當物體開始移動後，物體所受的動摩擦力是一定值，與外力量值無關。

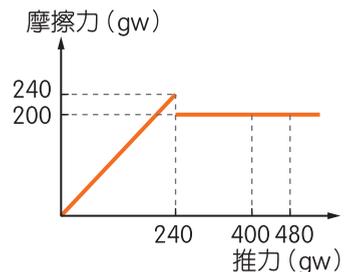


▲圖 3-16

範例 5 摩擦力

相關題型：單元練習 14~17。

有一重量為 480 gw 的木塊靜置於水平桌面，今施以一水平推力推動木塊，其推力與摩擦力之關係如右圖所示，請根據右圖，試回答以下各小題：



- (1) 當推力為 180 gw 時，木塊所受的摩擦力量值為多少？
- (2) 要使木塊從靜止開始移動，所需的最小水平推力為多少？
- (3) 當推力為 480 gw 時，木塊所受的摩擦力量值為多少？

解題關鍵： 摩擦力可依物體與接觸面間是否存在相對運動分為靜摩擦力（相對靜止）與動摩擦力（有相對運動），使物體從靜止開始移動的瞬間，所受的摩擦力稱為最大靜摩擦力。動摩擦力是一定值，與外力量值無關。

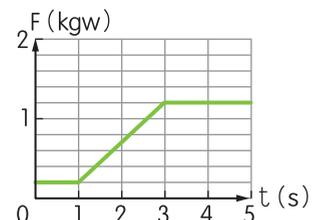
答： (1) 180 gw (2) 240 gw (3) 200 gw

解： (1) 由題圖可知，木塊與桌面間的最大靜摩擦力為 240 gw、動摩擦力為 200 gw，故當推力為 180 gw 時，靜摩擦力亦為 180 gw。

(2) 要使木塊移動，最小的水平推力應等於最大靜摩擦力，故為 240 gw。

(3) 當推力為 480 gw 時，已超過最大靜摩擦力 240 gw，故木塊受到動摩擦力作用，量值恆等於 200 gw。

類題 一木箱靜置在有摩擦力的水平面上，若已知此木箱與水平面間的最大靜摩擦力為 1 kgw、動摩擦力為 0.8 kgw，則以右圖所示的水平推力 F 推此木箱，圖中 t 為時間，試回答以下各小題：



(1) $t=2$ s 時，木箱所受的摩擦力為多少？

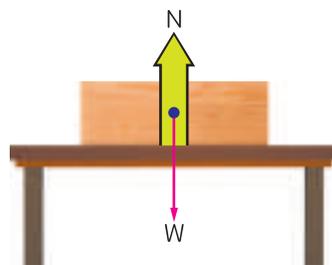
(2) 在何時木箱恰好開始移動？

(3) $t=4$ s 時，木箱所受的摩擦力為多少？

答： (1) 0.7 kgw (2) 2.6 s (3) 0.8 kgw

5. 正向力：

- (1) 兩物體接觸時，因相互擠壓，在接觸面上會產生垂直接觸面的互相作用之力，此力稱為正向力，正向就是「垂直」的意思。
- (2) 如圖 3-17 所示，一物體靜置於水平桌面上受到重力 W 與桌面給予的正向力 N 之作用而靜止於桌面上，此時正向力 N 的量值恰等於重力 W 的量值。

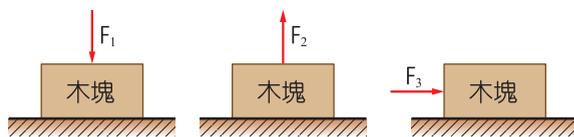


▲圖 3-17

範例 6 正向力與牛頓第二運動定律的應用

相關題型：單元練習 11

如右圖所示，將一質量為 3 kg 的木塊放置在光滑水平桌面上，並按照圖中方式向木塊施力，重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，試回答以下各小題：



- (1) 鉛直向下施力 $F_1 = 40 \text{ N}$ 於木塊，木塊維持靜止不動，則桌面作用於木塊之正向力為多少 N ？
- (2) 鉛直向上施力 $F_2 = 20 \text{ N}$ 於木塊，木塊維持靜止不動，則桌面作用於木塊之正向力為多少 N ？
- (3) 鉛直向上施力 $F_2 = 40 \text{ N}$ 於木塊，木塊的加速度為多少 m/s^2 ？
- (4) 水平向右施力 $F_3 = 40 \text{ N}$ 於木塊，木塊的加速度為多少 m/s^2 ？

解題關鍵：物體靜止不動，則合力為零；合力不為零，則加速度 a 與合力 F 成正比。

答 (1) 70 (2) 10 (3) $\frac{10}{3}$ (4) $\frac{40}{3}$

解 (1) 如圖(一)所示

$$N_1 = F_1 + W \Rightarrow N_1 = 40 + 30 = 70 \text{ (N)}$$

(2) 如圖(二)所示

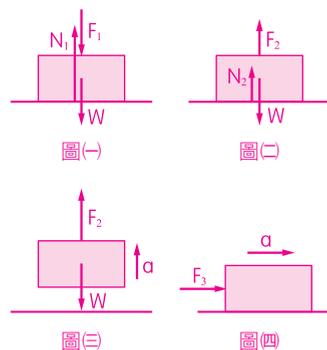
$$N_2 + F_2 = W \Rightarrow N_2 = W - F_2 = 30 - 20 = 10 \text{ (N)}$$

(3) 如圖(三)所示

$$F_2 - W = m \cdot a \Rightarrow 40 - 30 = 3 \cdot a \Rightarrow a = \frac{10}{3} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

(4) 如圖(四)所示

$$F_3 = ma \Rightarrow 40 = 3 \cdot a \Rightarrow a = \frac{40}{3} \text{ (m/s}^2\text{)}$$



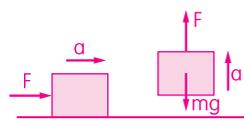
類題 重量為 100 N 的貨物置於光滑水平桌面上，若施以一水平力推它，可使貨物作速度為 15 m/s^2 的等加速運動，則當將此推力改為鉛直向上（量值不變）的拉力作用在此貨物上時，貨物的加速度應為何？（重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）

答 5 m/s^2

如右圖

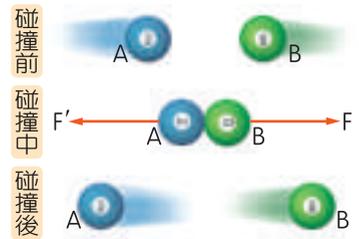
$$\begin{cases} F = ma = m \times 15 \\ F - mg = ma' \end{cases}$$

$$\Rightarrow 15m - m \times 10 = ma' \Rightarrow a' = 5 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

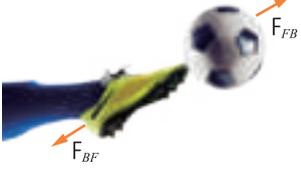
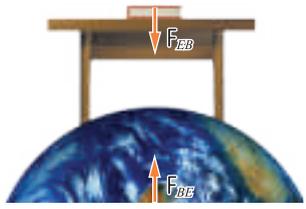


六 牛頓第三運動定律

1. 定律內容：如圖 3-18 所示，A、B 在發生相互作用的期間，A 若給 B 一個作用力 F ，B 必同時給 A 一個反作用力 F' ，作用力與反作用力總是量值相等、方向相反，且作用在同一直線上。牛頓第三運動定律又稱為作用力與反作用力定律。
2. 作用力與反作用力是分別作用在兩個不同物體上的力，故這兩個力不能相互抵消。
3. 作用力與反作用力同時產生、同時消失，一定是性質相同的一對力。
4. 下表為三種作用力與反作用力的例子：



▲圖 3-18

施力情形			
作用力	腳踢球 (F_{FB})	正電荷吸引負電荷 (F_{Qq})	地球吸引書本 (F_{EB})
反作用力	球施力於腳 (F_{BF})	負電荷吸引正電荷 (F_{qQ})	書本吸引地球 (F_{BE})

範例 7 牛頓第二及第三運動定律

相關題型：單元練習 20

質量分別為 60 kg 及 40 kg 之甲、乙兩人，面對面靜止站在光滑的水平冰面上，若甲、乙兩人同時施一定力推對方，甲推乙的力為 160 N，乙推甲的力為 80 N，試回答以下各小題：

- (1) 甲、乙互推期間內，甲、乙所受合力量值的比為何？
- (2) 甲、乙互推期間內，甲的加速度量值為多少 m/s^2 ？

解題關鍵：作用力與反作用力總是量值相等、方向相反。

答：(1) 1 : 1 (2) 4

解：(1) 如右圖，甲、乙兩人在施力推對方的同時，亦會受到與推力等大反向的反作用力作用（圖中上方箭號），故甲、乙兩人所受的合力皆為 $160 + 80 = 240$ (N)
故甲、乙兩人所受合力量值的比為 1 : 1。

(2) 因甲、乙皆受到 240 N 的合力作用，故

$$a_{\text{甲}} = \frac{240}{60} = 4 \text{ (m/s}^2\text{)}$$



類題 體重分別為 50 公斤重及 70 公斤重之甲、乙兩人，在無摩擦的水平冰面上互推，在互推的作用期間，若甲所受的合力為 30 公斤重，則乙所受的合力量值為何？

- (A) 20 公斤重 (B) 30 公斤重 (C) 80 公斤重 (D) 100 公斤重 (E) 120 公斤重。

答：(B) 根據作用力與反作用力定律，互推期間，甲、乙兩人所受的合力量值必相等，故選(B)。



觀念辨析

- (×) 1. 在一直線上運動的某質點，當其加速度隨時間逐漸減小，其速度量值也必隨時間逐漸減小。
 1. 只要加速度 a 與速度 v 同方向，即使 a 漸小， v 仍然變大。
- (○) 2. 從水平等速飛行的飛機上每隔 10 秒釋放 1 顆炸彈，總共釋放 5 顆，不計空氣阻力，在這些炸彈著地前，地面上的靜止觀察者會看見這些炸彈與飛機排列在同一條鉛直線上。
 3. W ：地球作用於書本， N ：桌面作用於書本，因受力對象皆為書本，故可知這不是一對作用力與反作用力。
- (×) 3. 靜置在桌面上的一本書，設地球對書本的萬有引力為 W ，桌面對書本的正向力為 N ，因 W 與 N 量值相等、方向相反，故 W 與 N 是一對作用力與反作用力。

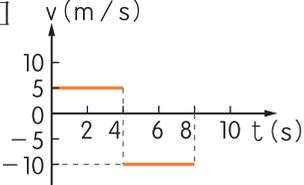
3-2



單元練習

單一選擇題

★ 簡單 ★ 一般 ★ 難

- ★ (E) 1. 小翰沿一人行道先直線向東步行 300 m，再 180° 轉彎向西步行 400 m，步行期間共費時 500 s，則小翰的平均速度為何？
 (A) 1.4 m/s，向西 (B) 1.4 m/s，向東 (C) 0.8 m/s，向西 (D) 0.6 m/s，向東
 (E) 0.2 m/s，向西。
- ★ (B) 2. 發球機將乒乓球從離地 40 cm 處以 1.0 m/s 的向上速度射出，0.4 s 後該球以 3.0 m/s 的向下速度落回地面。乒乓球從發射至落地，平均速度及平均加速度的量值分別為 X m/s 與 Y m/s²，試問下列哪一選項的數字可表示 (X, Y) ？
 (A) (100, 10) (B) (1, 10) (C) (100, 5) (D) (10, 5) (E) (1, 5)。
- ★ (C) 3. 某物體在一東西向的直線上移動之速度 v 對時間 t 關係圖如右圖所示，則物體在 8 s 內的位移為何？（定向東為正）
 (A) 30 m，向東 (B) 40 m，向西 (C) 20 m，向西
 (D) 20 m，向東 (E) 60 m，向東。
- 
- ★ (A) 4. 一輛公車發現前方路面上有障礙物，立即緊急煞車，在煞車後公車滑行的過程中，下列敘述何者正確？
 (A) 速度向前，加速度向後
 (B) 速度與加速度都向前
 (C) 速度向後，加速度向前
 (D) 速度與加速度都向後
 (E) 速度與加速度有時同向、有時反向。
4. 公車煞車過程，加速度（向後）與速度（向前）反向，故速率逐漸減慢。
- ★ (B) 5. 一位自行車選手在速度為 10 m/s 時，以等減速度煞車，滑行 10 m 後停下來，則從煞車到停止共歷時多少 s？
 (A) 1 (B) 2 (C) 3 (D) 4 (E) 5。
5. $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \Rightarrow 0 = 100 + 2a(10)$
 $\Rightarrow a = -5 \text{ (m/s}^2\text{)}$
 $v = v_0 + at \Rightarrow 0 = 10 - 5 \cdot t \Rightarrow t = 2 \text{ (s)}$

- ★ (D) 6. 一質點作等加速直線運動，其初速為 5 m/s 向東，經 5 s 後速度為 15 m/s 向西，則此物體的加速度為何？

(A) 2 m/s^2 ，向東 (B) 2 m/s^2 ，向西 (C) 4 m/s^2 ，向東 (D) 4 m/s^2 ，向西
(E) 5 m/s^2 ，向東。

6. 定向東為正

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(-15) - 5}{5} = -4 \text{ (m/s}^2\text{)}，負號表向西$$

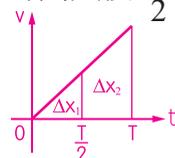
- ★ (C) 7. 一質點由靜止開始作等加速運動，經過一段時間 T 後，其前 $\frac{T}{2}$ 時間與後 $\frac{T}{2}$ 時間之位移比為何？

7. 畫出此質點的 $v-t$ 圖，則由右圖可以看出

$$\Delta x_1 : (\Delta x_1 + \Delta x_2) = 1^2 : 2^2$$

$$\text{故 } \Delta x_1 : \Delta x_2 = 1 : 3$$

(A) 1 : 1 (B) 1 : 2 (C) 1 : 3 (D) 2 : 3 (E) 3 : 4。



- ★ (D) 8. 牛頓第一運動定律又稱為「慣性定律」，「慣性定律」的內容為何？

(A) 物體的加速度與質量成反比
(B) 物體的加速度與外力成正比
(C) 物體的形變量與外力成正比
(D) 物體不受力時，靜者恆靜，動者恆作等速運動
(E) 作用力與反作用力量值相同、方向相反。

8. 慣性定律是指物體不受外力作用時，其運動狀態將保持不變。

$$9. F = ma \Rightarrow 110 - 20 = 30 \cdot a \\ \Rightarrow a = 3 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

- ★ (B) 9. 一個愛斯基摩人拉著 30 kg 之雪橇通過平坦的雪地，若此人拉雪橇的水平力為 110 N ，且雪橇所受的動摩擦力為 20 N ，則雪橇的加速度為多少 m/s^2 ？

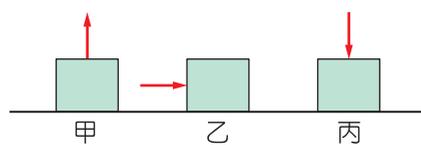
(A) 3.6 (B) 3.0 (C) 1.5 (D) 1.2 (E) 0.67。

$$10. F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = 0.15 \times \frac{60 - (-40)}{0.02} \\ = 0.15 \times 5000 = 750 \text{ (牛頓)}$$

- ★ (E) 10. 在某場棒球對抗賽中，投手王建民將球以每秒 40 公尺的水平速度投進本壘，打擊者以每秒 60 公尺的速度反向擊出。假設棒球質量為 0.15 公斤，而球與球棒接觸時間為 0.02 秒，請問打擊者在這段時間內平均出力量值為多少牛頓？

(A) 15.3 (B) 76.5 (C) 150.0 (D) 375.0 (E) 750.0。

- ★ (B) 11. 一個木塊靜置在水平桌面上，受到量值相等、方向如右圖甲、乙、丙所示之外力（圖中箭頭）作用。假設施力後，木塊仍然與桌面接觸，則木塊所受桌面之正向力大小關係為何？



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

- ★ (A) 12. 在彈性限度內，彈簧下掛 20 克重物體時，全長為 13 公分；掛 40 克重物體時，全長為 16 公分。請問彈簧的原長應為多少公分？

(A) 10 (B) 11 (C) 12 (D) 13 (E) 14。

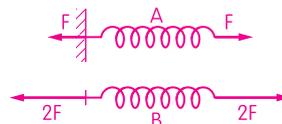
$$12. k = \frac{F}{\Delta \ell}, \frac{20}{13 - L_0} = \frac{40}{16 - L_0} \Rightarrow L_0 = 10 \text{ (公分)}$$

- ★ (C) 13. 兩個完全相同之彈簧 A、B，A 彈簧一端固定於牆上，另一端以 F 克重的力拉之，A 彈簧伸長量為 x 公分。若 B 彈簧兩端各以 $2F$ 克重的力同時拉之，則 B 彈簧伸長量為多少公分？

13. 如右圖，根據題意

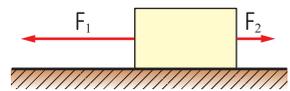
$$\begin{cases} F = kx \\ 2F = kx' \end{cases}$$

$$\Rightarrow x' = 2x$$



(A) $4x$ (B) $3x$ (C) $2x$ (D) $1.5x$ (E) x 。

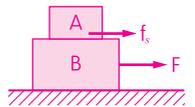
- ★ (B) 14. 如右圖，一質量 5 kg 的木塊受左右的水平力 $F_1 = 15 \text{ kgw}$ 、 $F_2 = 5 \text{ kgw}$ 時，仍靜止不動。今若木塊只受 $F_2 = 5 \text{ kgw}$ 的力，此時木塊所受的靜摩擦力量值應為多少 kgw？
(A) 2.5 (B) 5 (C) 10 (D) 12.5 (E) 15。



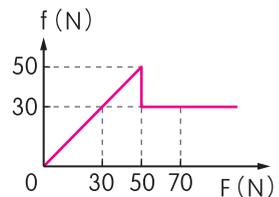
- ★ (D) 15. 重量為 100 牛頓的貨物置於水平桌面上，小翰以一 30 牛頓的水平拉力拉它，恰可使貨物移動，則當水平拉力為 10 牛頓時，此貨物與桌面間的摩擦力為何？
(A) 20 牛頓的動摩擦力 (B) 10 牛頓的動摩擦力 (C) 20 牛頓的靜摩擦力 (D) 10 牛頓的靜摩擦力 (E) 無摩擦力。

15. 由題意可知最大靜摩擦力為 30 牛頓，故當拉力只有 10 牛頓時，物體應靜止不動，靜摩擦力等於水平拉力。

- ★ (E) 16. 下列有關摩擦力之敘述，何者正確？
16. (A) 不一定，如右圖所示，A、B 兩物體疊在一起受外力 F 作等加速運動，則 B 給 A 的靜摩擦力 f_s 使 A 加速向右。
(B) 不一定，若外力恰等於動摩擦力，則物體作等速運動。
(C) 不一定，如(A)解析中的例子，靜摩擦力的方向與運動方向相同。
(D) 推力的大小不影響動摩擦力的大小。
(E) 物體受推力作用仍靜止，則推力愈大，靜摩擦力愈大。



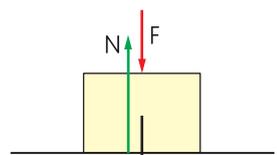
- ★ (D) 17. 做摩擦力實驗時，將一物體靜置於水平桌面上，施一水平外力 F 拉之，得到所施水平外力 F 與所受摩擦力 f 之關係圖如右圖所示，則下列敘述何者錯誤？



- (A) 當 $F = 10 \text{ N}$ 時，物體處於靜止狀態
(B) 當 $F = 20 \text{ N}$ 時，物體所受摩擦力量值為 20 N
(C) 當物體處於靜止狀態， $F = 30 \text{ N}$ 時，物體仍靜止不動
(D) 當物體處於移動狀態， $F = 30 \text{ N}$ 時，物體作等加速運動
(E) 當 $F = 70 \text{ N}$ 時，物體所受動摩擦力為 30 N。

17. (D) 當物體處於移動狀態，其所受的動摩擦力為 30 N，故當 $F = 30 \text{ N}$ 時，物體所受的合力恰等於零，應作等速運動。

- ★ (E) 18. 如右圖所示，人施力 F 於一放置在桌面上的木塊，假設 W 代表木塊所受的地球引力， N 代表桌面作用於木塊的力。下列有關作用力與反作用力的看法，哪一項敘述正確？



- (A) F 與 W 互為作用力與反作用力
(B) F 與 N 互為作用力與反作用力
(C) W 與 N 互為作用力與反作用力
(D) F 、 W 與 N 三者中的任何一對皆互為作用力與反作用力
(E) F 、 W 與 N 三者中的任何一對皆不互為作用力與反作用力。

18. 根據題意， F 是人作用於木塊的力， W 是地球作用於木塊的重力， N 是桌面作用於木塊的正向力，此三力的受力對象皆為木塊，故不可能互為作用力與反作用力。

- ★ (E) 19. 當成熟的蘋果由樹上落下時，根據牛頓的萬有引力定律，下列敘述何者正確？

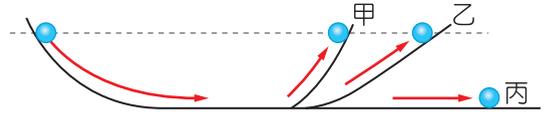
- (A) 地球對蘋果有吸引力，但是蘋果對地球沒有吸引力
(B) 蘋果對地球有吸引力，但是地球對蘋果沒有吸引力
(C) 僅考慮力的量值時，地球對蘋果的吸引力大於蘋果對地球的吸引力
(D) 僅考慮力的量值時，地球對蘋果的吸引力小於蘋果對地球的吸引力
(E) 僅考慮力的量值時，地球對蘋果的吸引力等於蘋果對地球的吸引力。

19. (A)(B) 地球對蘋果有吸引力，蘋果對地球也有吸引力，此兩力是一對作用力與反作用力。

(C)(D)(E) 作用力與反作用力的量值必相等。

- ★(C) 20. 質量比為 2:1 的甲、乙兩人在絕對光滑的水平面上互推，甲用 20 kgw 之力推乙，乙用 10 kgw 之力推甲，則下列敘述何者正確？
 (A) 甲、乙所受合力量值比為 1:2 (B) 因兩推力方向相反，故甲、乙均受 10 kgw 的合力 (C) 甲、乙在力作用期間，加速度比為 1:2 (D) 甲、乙在力作用期間，加速度比為 1:1 (E) 當兩人分開後，甲、乙均作等加速運動。

- ★(A) 21. 伽利略對「慣性」的體認，來自右圖中這個高明的想像實驗：忽略所有阻力



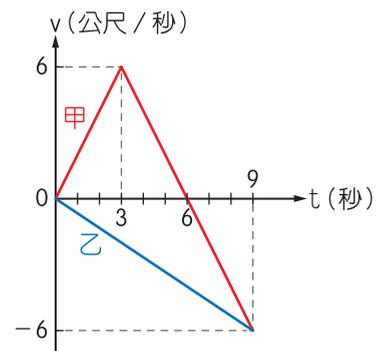
時，小球從左側斜坡軌道上的相同位置靜止下滑後，總能循著右側上升斜坡軌道甲或乙，抵達同一高度。若丙為一水平軌道， $t_{甲}$ 、 $t_{乙}$ 為沿軌道甲、乙滑行至最後位置（圖中水平虛線處）所需的時間，則下列敘述何者正確？

- (甲) 坡度愈陡，上滑距離愈短。
 (乙) $t_{甲} = t_{乙}$ 。
 (丙) 若小球從左側斜坡軌道上相同位置靜止釋放，沿水平軌道丙滑行時，經歷 $t_{甲}$ 時間，小球便會停下來。

- (A) 僅有(甲)正確
 (B) 僅有(乙)正確
 (C) 僅有(甲)(乙)正確
 (D) 僅有(甲)(丙)正確
 (E) (甲)(乙)(丙)均正確。
21. (甲) 正確，因小球會抵達與出發點的另一高度處，故坡度愈陡，上滑距離愈短。
 (乙) 錯誤，坡度愈陡，所需時間愈短， $t_{甲} < t_{乙}$ 。
 (丙) 錯誤，在水平軌道丙滑行時，若忽略所有阻力，小球將會持續運動下去，不會停下來。

105.全國模考 /

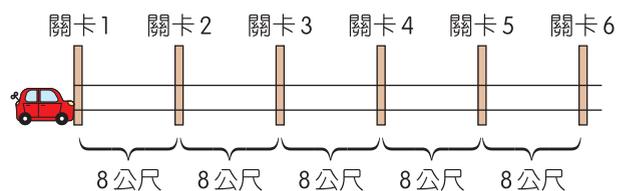
- ★(D) 22. 甲與乙兩質點由同一位置出發，沿一直線運動的速度 v 與時間 t 之關係圖，如右圖所示。則在 $t=0$ 至 $t=9$ 秒期間，關於甲、乙兩質點運動過程的敘述，下列何者正確？



- (A) 甲質點在第 3 秒末時改變運動方向
 (B) 甲質點在第 9 秒末時離出發點最遠
 (C) 甲與乙兩質點在第 9 秒末時恰相遇
 (D) 甲與乙兩質點在第 3 秒末時相距 12 公尺
 (E) 甲質點在 0 至 9 秒期間作等加速運動。

105.全國模考 /

- ★(B) 23. 如右圖，小穎設計一「遙控車跑道儀控」遊戲，遊戲方法為在筆直的通道上每隔 8 公尺設計一個關卡，各關卡會同步放行 5 秒後同步關閉



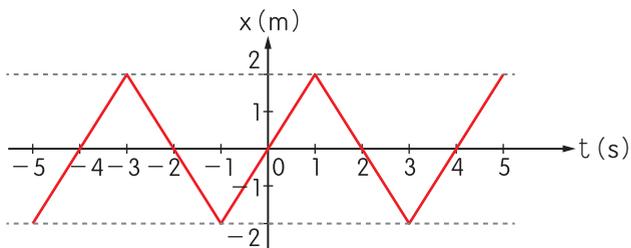
2 秒，依此循環，一開始關卡放行 5 秒時，遙控車從關卡 1 開始出發並以加速度 2 公尺/秒² 由靜止加速到 4 公尺/秒，然後等速前進，則最先擋住車子前進的關卡是哪一個？

- (A) 關卡 2 (B) 關卡 3 (C) 關卡 4 (D) 關卡 5 (E) 關卡 6。

106.全國模考 /

多重選擇題

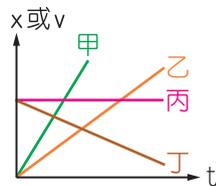
- ★ (A)(B) 24. 一質點沿 x 軸作週期性的運動，其位置坐標 x 對時間 t 的關係如右圖所示。下列有關此質點運動的敘述，哪些正確？（應選三項）



- (A) 質點在第 2 s 時又回原出發點
 (B) 質點在 $0 \sim 1$ s 沿 x 軸作等速運動 (C) 質點在 $0 \sim 2$ s 沿 x 軸作等速運動
 (D) 質點在 $0 \sim 2$ s 的平均速率為零 (E) 質點在 $0 \sim 2$ s 的平均速度量值為零。

修改自 98.學測

- ★ (A)(D) 25. 在東、西向直線道路上行駛的甲、乙、丙、丁四輛汽車，定向東為正，其位置對時間 ($x-t$) 關係圖或速度對時間 ($v-t$) 關係圖如右圖，下列敘述哪些正確？（應選兩項）



- (A) 如果為 $x-t$ 圖，丙車為靜止不動
 (B) 如果為 $v-t$ 圖，甲車恆在乙車的東方
 (C) 如果為 $x-t$ 圖，甲車的加速度恆大於乙車的加速度
 (D) 如果為 $v-t$ 圖，由開始至乙、丙兩車速度相同時，丙車的位移比乙車的位移大
 (E) 如果為 $v-t$ 圖，當乙、丙兩車速度相同時，丁車的速度向西，加速度也向西。

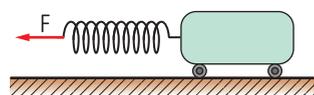
- ★ (A)(C) 26. 在直線運動中，下列敘述哪些正確？（應選三項）

- (D) (A) 速度為零時，加速度不一定為零 (B) 若加速度小於零，則速率漸慢 (C) 加速度與速度同方向，則速率漸快 (D) 加速度與速度反方向，則速率漸慢 (E) 加速度逐漸減小時，速率必跟著減小。

- ★ (B)(C) 27. 下列物理現象，哪些可以用慣性定律解釋？（應選三項）

- (D) (A) 百米賽跑選手聽到槍聲後忽然起跑 (B) 拍打衣服可去除灰塵 (C) 甩動雨傘時驟停，可除去雨傘上的水 (D) 站在汽車內之乘客，當汽車突然起動易向後仰，突然停止易向前傾 (E) 腳踏車在路面滑行時，最終會停下。

- ★ (B)(C) 28. 如右圖，小車在光滑水平面上由靜止而運動，拉力 F 的方向維持不變，當彈簧伸長量漸小時，下列有關小車的敘述哪些正確？（應選三項）



- (A) 速率漸減 (B) 速率漸增 (C) 加速度漸減 (D) 加速度漸增 (E) 所受彈力漸減。

- ★ (D)(E) 29. 下列有關牛頓三大運動定律的敘述，哪些正確？（應選兩項）

- (A) 牛頓第一運動定律描述的是物體受力與所產生的加速度之關係
 (B) 兩物體間的作用力遵守牛頓第三運動定律，量值相等、方向相反，故可以抵消
 (C) 一物體要維持等速運動，必須施加外力作用
 (D) 物體的加速度方向，一定與物體所受合力方向相同
 (E) 當作用在物體的合力不為零時，物體的速率不一定會改變。



3-3

天體運動

一 克卜勒三大行星運動定律

配合課本 P.81 ~ P.84

克卜勒行星運動定律	定律內容	相關圖形
第一定律	橢圓定律：行星繞太陽的軌道為一橢圓，且太陽位於橢圓的其中一個焦點上	
第二定律	面積定律：同一顆行星與太陽的連線在相同時間內掃過相同面積	
第三定律	週期定律：繞太陽運行的所有行星，其平均軌道半徑 R 的立方與其公轉週期 T 的平方之比值為一個定值	

二 牛頓推導出三大行星運動定律的獨創概念

1. 指向圓心的向心力：經過長期思考後，牛頓認為作圓周運動的物體是受到向心力影響，而不是離心力的作用。只要物體受向心力作用，則該物體必會滿足克卜勒行星運動第二定律，即面積定律。
2. 距離平方成反比的萬有引力：若物體所受的向心力是與兩物體之距離平方成反比，則物體可作橢圓運動（解釋了克卜勒行星運動第一定律）；作等速圓周運動的物體，若其所受向心力是與半徑平方成反比，則該物體必滿足克卜勒行星運動第三定律，即公轉週期的平方與平均軌道半徑之立方成正比。

歸納法與演繹法

1. 歸納法：從觀測或實驗的資料出發，不加任何假設，尋找出現象背後隱藏的共同規律，稱為歸納法。例如：在重點①所提克卜勒透過大量的天文觀測數據得出三大行星運動定律。
2. 演繹法：由基本的定律或概念出發，經過合理的推導，得到或預測出正確結果的方法，稱為演繹法。例如：在重點②所提牛頓利用某些基本概念也可推導出三大行星運動定律。
3. 在自然科學的探究過程中，歸納法與演繹法經常交互使用。



觀念辨析

- (×) 1. 克卜勒歸納出的週期定律，是經由分析大量的行星繞日之天文觀測數據所得，故只適用於繞日行星，並不適用於繞地球的月球與人造衛星。
- (○) 2. 利用萬有引力定律 $F = \frac{GMm}{r^2}$ ，結合行星運動的向心力公式 $F = \frac{mv^2}{r} = \frac{4\pi^2 rm}{T^2}$ ，牛頓可以從理論上推導出克卜勒行星運動第三定律：週期定律。
- (○) 3. 牛頓經過長期思考，最後獲得一個重要結論：只要物體受到指向圓心的引力作用，則該物體與圓心的連線在相同時間必掃過相同面積。

1. 克卜勒行星運動第三定律雖然是由繞日的行星歸納而得，但此定律適用於所有繞著同一個天體（引力來源）的運動物體。
2. 利用 $\frac{GMm}{r^2} = \frac{4\pi^2 rm}{T^2} \Rightarrow \frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2} = \text{定值}$
3. 只要物體受到指向圓心的引力作用，必適用面積定律。



第3章 歷屆試題



單一選擇題

- (B) 1. 王君搭乘熱氣球在廣闊無風的平原上空觀賞風景，熱氣球以等速度 5.0 m/s 鉛直上升時，王君不小心使相機從離地高度為 100 m 處離手而成為自由落體，若不計空氣阻力並取重力加速度為 10 m/s^2 ，則相機著地前瞬間的速度量值約為多少 m/s ？



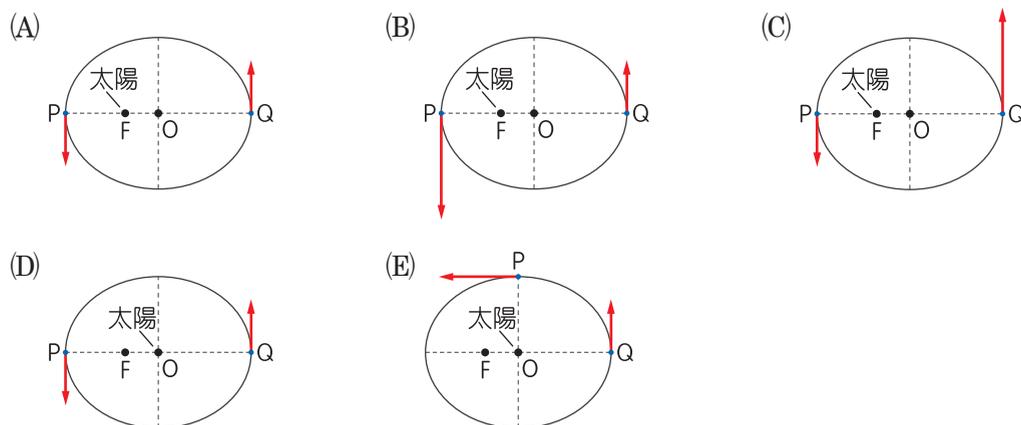
(A) 55 (B) 45 (C) 35 (D) 25 (E) 15。

109.學測 答對率 57%

- (B) 2. 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）



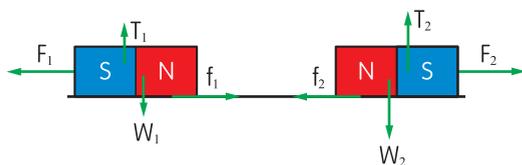
109.學測 答對率 66%



3、4 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，右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。

109.學測



3. 作用力與反作用力必須發生在同一對相互作用的物體之間， F_1 、 F_2 為兩磁鐵之間相互作用的磁力，故選(A)。

答對率 29%

- (A) 3. 下列哪一對的力，互為作用力與反作用力？



(A) F_1 、 F_2 (B) f_1 、 f_2 (C) F_1 、 f_1 (D) T_1 、 W_1 (E) F_1 、 f_2 。

- (E) 4. 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？



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

答對率 24%

- (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%

(C) 6. 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？



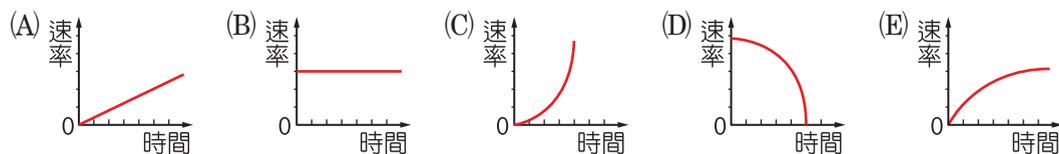
- (A) $F_B + F_R = mg$
- (B) $F_B - F_R = mg$
- (C) $F_B - F_R < mg$
- (D) $F_B + F_R < mg$
- (E) $F_B - F_R > mg$ 。

6. 根據題意，潛艇是「減速上升」，故其速度向上，但加速度向下，因此合力也是向下（合力必與加速度同方向）。作用在潛艇上的外力如右圖所示，因合力向下，故 $mg + F_R > F_B$
 $\Rightarrow mg > F_B - F_R$



108.學測 答對率 38%

(E) 7. 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%

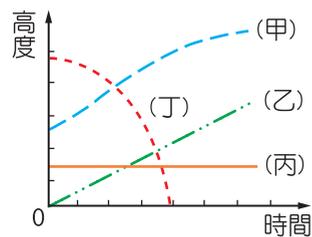
(E) 8. 質量為 50 kg 的某生站在電梯內的體重計上，電梯原靜止於第一樓層，電梯起動後最初 10 s 體重計的讀數均為 60 kgw ，之後 20 s 體重計的讀數均為 45 kgw 。若取重力加速度為 10 m/s^2 ，則電梯經過 30 s 的位移為多少 m ？



- (A) 100 (B) 150 (C) 200 (D) 250 (E) 300。

105.學測 答對率 22%

(E) 9. 某生靜坐在樹幹筆直的果樹下，觀測以下 (I) 至 (IV) 四者的高度隨時間變化的情況：(I) 樹幹上的凹洞；(II) 從樹下沿樹幹等速向上爬行的松鼠；(III) 樹上落下的果實；(IV) 從樹上起飛且愈飛愈高的小鳥。該生將各運動簡化為質點運動，並以質點距地面的高度為縱坐標，時間為橫坐標，繪製高度對時間的關係圖，如右上圖所示。關於圖線 (甲) 至 (丁) 與 (I) 至 (IV) 四者的高度隨時間變化的對應關係，下列選項何者最可能？



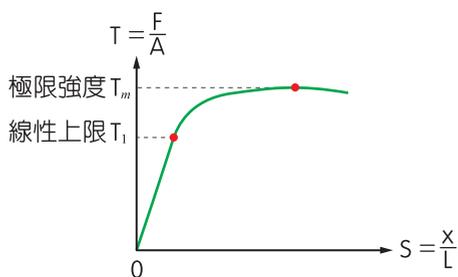
104.學測 答對率 86%

情境 \ 圖線	甲	乙	丙	丁
(A)	I	II	III	IV
(B)	II	I	IV	III
(C)	IV	III	I	II
(D)	III	IV	II	I
(E)	IV	II	I	III

10.~12題為題組

一些常見的繩索在拉力作用的情況下，與彈簧類似。當達成靜力平衡時，其伸長量 x 會隨著拉力的量值 F 而改變。若以 L 與 A 分別代表繩索未受拉力時的長度與橫截面積，並令繩索單位長度的伸長量 $\frac{x}{L}=S$ 、單位面積所受的拉力 $\frac{F}{A}=T$ ，則 T 對 S 的曲線大致如下圖所示。當 T 不超過線性上限 T_1 時，因 L 與 A 為定值，故拉力 F 與伸長量 x 成正比，即 $F=kx$ ，式中 k 為力常數。當繩索受到拉力而未斷裂時， T 的最大值稱為極限強度，以 T_m 表示。下表的力常數 k 是各類繩索在相同粗細與長度下測得的相對值，而 k_0 則為尼龍繩的力常數；至於 T_m 則僅與材質有關，而與繩索的粗細與長度無關；在表中 MPa 代表 10^6 N/m^2 。試依據上述文字與相關圖表，回答下列問題：

104.學測/



繩索名稱	力常數 k	極限強度 T_m (MPa)
尼龍繩	k_0	620
棉繩	$2k_0$	230
蜘蛛絲	$3k_0$	1000
鋼索	$52k_0$	1330
碳纖維繩	$77k_0$	3430

(C) 10. 依據題表的資料，如果繩索的粗細與長度都相同，則使用下列何種繩索，可懸吊的物體重量最大？
 10. 由題表可知碳纖維繩的極限強度 T_m 值最大，故可懸吊的物體重量最大。
 (A)棉繩 (B)尼龍繩 (C)碳纖維繩 (D)鋼索 (E)蜘蛛絲。 答對率85%

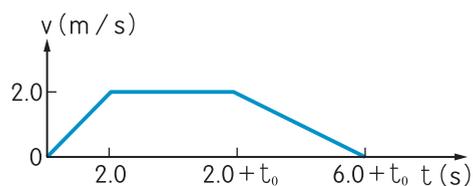
(B) 11. 登山者在攀岩時常靠一端釘牢在岩壁的登山繩來支撐體重，但萬一不慎失足滑落，在將繩子拉直並繼續下降到最低點的過程中，失足者就會像高空彈跳者一樣，受到繩子向上的拉力而減速。減速過程的時間愈短，繩子對失足者的拉力會愈大，人也就更容易受傷。假設由同一高處失足滑落，且所使用的繩索長短與粗細均相同，受力亦未超過線性上限，則登山者選用下列何種繩索，最可能可以減輕上述傷害？
 11. 由題表可知尼龍繩的力常數 k 最小，故有最長的減速時間，因此對人的平均拉力也較小，最可能可以減輕對人的傷害。
 (A)棉繩 (B)尼龍繩 (C)碳纖維繩 (D)鋼索 (E)蜘蛛絲。 答對率42%

(E) 12. 假設電影中的蜘蛛人使用題表中的蜘蛛絲，希望能支撐 5000 N 的張力而不斷裂，則該蜘蛛絲的最小截面積約為多少 m^2 ？
 (A) 2×10^{-3} (B) 2×10^{-4} (C) 5×10^{-4} (D) 2×10^{-5} (E) 5×10^{-6} 。 答對率41%

$$12 \text{ 根據題意, } T_m \cdot A \geq 5000 \Rightarrow A \geq \frac{5000}{1000 \times 10^6} = 5 \times 10^{-6} (\text{m}^2)$$

13.、14題為題組

某生搭電梯由五樓直接下降到一樓，行進的距離為 12 m ，取重力加速度為 10 m/s^2 。電梯的速率 v 隨時間 t 而變，如右圖所示。當電梯由靜止啟動後可分為三個階段：最初的 2.0 s 加速行進；接著有 $t_0 \text{ s}$ 以 2.0 m/s 等速行進；最後 4.0 s 減速直到停止。



103.學測/

(B) 13. 下列何者為題圖中 t_0 的值？



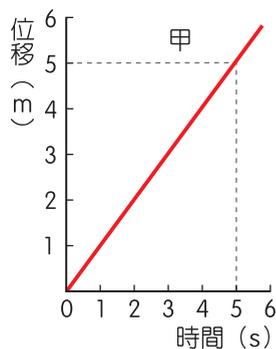
(A) 2.5 (B) 3.0 (C) 3.5 (D) 4.0 (E) 4.5。13. 因 $v-t$ 圖的面積等於位移 $12 = \frac{(t_0 + 6 + t_0) \times 2}{2} \Rightarrow t_0 = 3$ (s) 答對率 59%

(D) 14. 若該生的質量為 50 kg，考慮在下降過程的三個階段中，電梯地板對該生在各階段的平均施力，三者中最大的量值為多少 N？

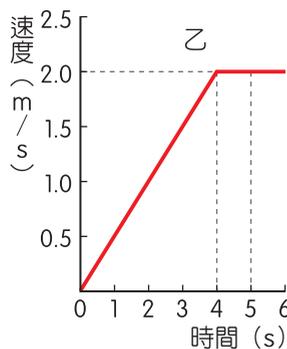


(A) 25 (B) 50 (C) 500 (D) 525 (E) 550。答對率 25%

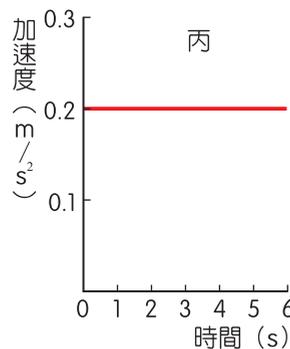
(A) 15. 三個靜止的物體甲、乙、丙，同時開始在水平面上作直線運動，其運動分別以下列三圖描述：圖(一)為甲的位移與時間的關係，圖(二)為乙的速度與時間的關係，圖(三)為丙的加速度與時間的關係。在時間為 5 s 時，甲、乙、丙三者的加速度量值關係為何？



圖(一)



圖(二)



圖(三)

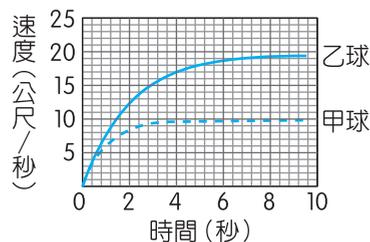
(A) 甲 = 乙 < 丙 (B) 甲 = 丙 < 乙 (C) 甲 < 乙 = 丙 (D) 甲 > 乙 > 丙 (E) 丙 < 甲 < 乙。

15. 由題圖(一)可知，甲作等速運動， $a_{甲} = 0$
 由題圖(二)可知，乙在 $t = 5$ s 時， $a_{乙} = 0$
 由題圖(三)可知，丙作等加速運動， $a_{丙} = 0.2 \text{ m/s}^2$
 故 $a_{甲} = a_{乙} < a_{丙}$

101.學測 / 答對率 46%

16.、17.題為題組

由離地相同高度處，於同一瞬間，使甲球與乙球自靜止狀態開始落下，兩球在抵達地面前，除重力外，只受到來自空氣阻力 F 的作用，此阻力與球的下墜速度 v 成正比，即 $F = -kv$ ($k > 0$)，且兩球的比例常數 k 完全相同，右圖所示為兩球的速度—時間關係圖。



101.學測 /

(B) 16. 若甲球與乙球的質量分別為 m_1 與 m_2 ，則下列敘述何者正確？

- (A) $m_1 = m_2$ ，且兩球同時抵達地面
- (B) $m_2 > m_1$ ，且乙球先抵達地面
- (C) $m_2 < m_1$ ，且乙球先抵達地面
- (D) $m_2 < m_1$ ，且兩球同時抵達地面
- (E) $m_2 > m_1$ ，且甲球先抵達地面。

16. 如右圖，當球重 mg 與阻力 kv 量值相等時，球作等速運動，故由題圖可知

$$\begin{cases} m_1 g = k \cdot 10 \\ m_2 g = k \cdot 20 \end{cases} \Rightarrow m_2 > m_1$$

且因從同一高度落下，乙球的終端速度 20 公尺 / 秒較大，故乙球抵達地面所需時間較短。



答對率 40%

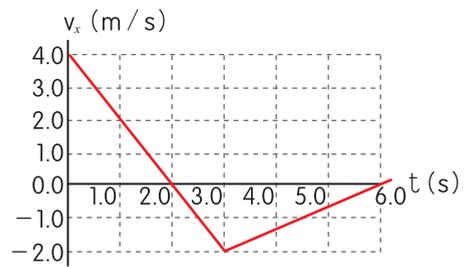
(B) 17. 若已知甲球質量為 0.2 公斤，落下過程中重力加速度恆為 10 公尺 / 秒²，則比例常數 k 值約為多少公斤 / 秒？

- (A) 0.1 (B) 0.2 (C) 4 (D) 10 (E) 40。

17. 若 $m_1 = 0.2$ 公斤，則 $0.2 \times 10 = k \cdot 10$
 $\Rightarrow k = 0.2$ (公斤 / 秒)

答對率 47%

- (D) 18. 一質點沿 x 軸作一維直線運動，其速度 v_x 與時間 t 的關係如右圖所示。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 s 的全程運動，質點的位移量值大於路徑長
 (B) 從 0.0 至 2.0 s 的全程運動，質點的位移量值小於路徑長
 (C) 從 0.0 至 3.0 s 的全程運動，質點的位移量值等於路徑長
 (D) 從 0.0 至 3.0 s 的全程運動，質點的位移量值小於路徑長
 (E) 從 0.0 至 6.0 s 的全程運動，質點的位移量值等於路徑長。

100.學測 答對率 61%

- (D) 19. 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 。

99.學測 答對率 49%

19. $v=at \Rightarrow 10=a \times 5 \Rightarrow a=2$ (公尺 / 秒²)， $F=ma \Rightarrow 4 \times 10^4 - f = 10^4 \times 2 \Rightarrow f = 2 \times 10^4$ (牛頓)

- (B) 20. 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 s，故有助於後車駕駛提前作出反應。假設後車以 50 km / h 的車速等速前進，則在 0.5 s 的時間內，後車前行的距離大約為多少 m？

- (A) 3 (B) 7 (C) 12 (D) 25。

98.學測 答對率 62%

20. $v=50 \text{ km/h} \doteq 13.9 \text{ (m/s)}$

$\Delta x = v \cdot \Delta t = 13.9 \times 0.5 = 6.95 \text{ (m)}$

故選(B)。

- (A) 21. 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。

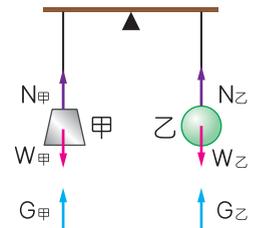
21. $v_{甲} = a_{甲} \cdot \Delta t \Rightarrow 0.1 = a_{甲} \times 0.01 \Rightarrow a_{甲} = 10$ (公尺 / 秒²)

甲所受的合力 $F_{甲} = 50 \times 10 = 500$ (牛頓)

且甲、乙兩人互推時，甲、乙兩人所受的合力量值相等、方向相反。

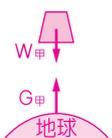
97.學測 答對率 53%

- (D) 22. 右圖中，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 $W_{甲}$ 。

22. 作用力與反作用力必須是發生在兩個物體間的一對性質相同的力，如右圖所示。

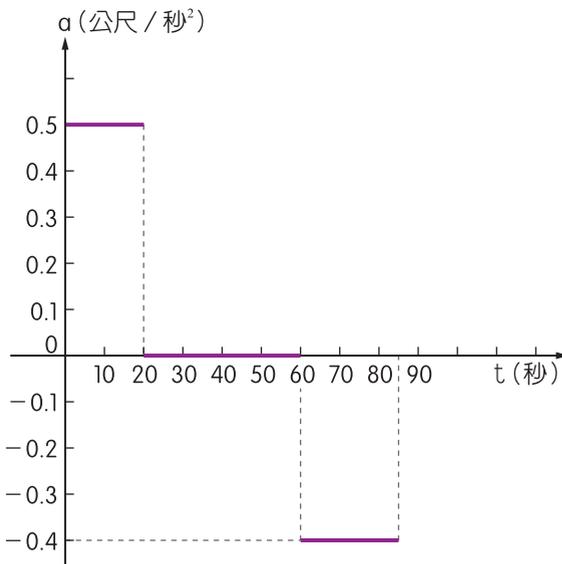


95.學測 答對率 37%

多重選擇題

23、24題為題組

某人駕駛汽車在筆直水平路面上行駛，遇紅燈而停，綠燈亮時車開始前進並設此時刻為 $t=0$ ，由此時刻到 $t=85$ 秒的期間，汽車加速度 a 與時間 t 的關係如右圖所示。



得分率 60%

(C)(E) 23. 下列關於此汽車運動的敘述，哪些正確？（應選兩項）



- (A) 汽車在 0 到 20 秒間作等速運動
- (B) 汽車在 20 到 60 秒間靜止不動
- (C) 汽車在 20 到 60 秒間以等速前進
- (D) 汽車在 60 到 85 秒間速度可能小於 0
- (E) 汽車在 $t=85$ 秒時恰好停止。

(A) 24. 此汽車在 $0 \leq t \leq 85$ 秒期間，共行駛多長的距離？（單選）

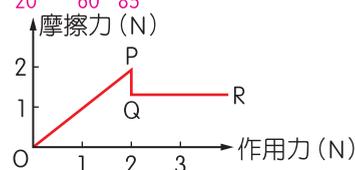


- (A) 625 公尺
 - (B) 525 公尺
 - (C) 485 公尺
 - (D) 300 公尺
 - (E) 100 公尺。
23. (A) $t=0 \sim 20$ 秒，作等加速運動。
 (B)(C) $t=20 \sim 60$ 秒，作等速運動。
 (D)(E) $t=0 \sim 20$ 秒的 $\Delta v = 0.5 \times 20 = 10$ (公尺/秒)
 $t=60 \sim 85$ 秒的 $\Delta v = -0.4 \times 25 = -10$ (公尺/秒)
 故在 $t=60 \sim 85$ 秒間速度不可能為負，在 $t=85$ 秒的瞬間，速度恰為零。
24. 畫出 $t=0 \sim 85$ 秒的 $v-t$ 圖如右圖所示，
 梯形面積即為汽車位移
 $\Delta x = \frac{(40+85) \times 10}{2} = 625$ (公尺)



答對率 48%

(B)(C) 25. 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作用力作用，其所受摩擦力與作用力的關係如右圖所示。依據右圖，下列有關摩擦力的敘述何者正確？（應選三項）



- (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。
25. (A) 在作用力小於 2 N 前，物體是靜止的。
 (D) 在 P 點時，物體的合力仍為零，故加速度為零。
 (E) 從 Q 到 R 點，因外力愈來愈大，動摩擦力是一定值，故合力愈來愈大，加速度也愈來愈大。

96.學測 得分率 45%

(B)(C) 26. 一警車接獲搶案通報之後，以最高車速 40 公尺/秒（144 公里/時），沿直線道路向東趕往搶案現場。當警車距離搶匪 250 公尺時，搶匪開始駕車從靜止以 4 公尺/秒² 的加速度，沿同一道路向東逃逸。警車保持其最高車速，繼續追逐匪車。若匪車最高車速也是 40 公尺/秒，則下列敘述哪幾項正確？（應選三項）

- (A) 搶匪駕車 10 秒後被警車追上
- (B) 兩車相距最近距離為 50 公尺
- (C) 搶匪駕車從靜止經過 10 秒，前進了 200 公尺
- (D) 搶匪駕車從靜止經過 10 秒，車速為 40 公尺/秒
- (E) 追逐過程警車引擎持續運轉，警車的動能持續增加。

95.學測 得分率 40%

第3章 重點回顧



► 物體的運動

亞里斯多德的理論

1. 物體的最終位置由它們的本性來決定，重物比輕物更快掉落。
2. 運動可分成兩種，一種是自然運動，另一種是強制運動。
3. 受到外力干擾違反自然運動者，皆屬於強制運動。

伽利略的觀點

1. 物體的運動並不是由物體的本性所決定，輕重不影響掉落的快慢。
2. 物體不受力，可以既不向上也不向下，維持水平等速運動。
3. 力不是維持物體運動的原因，力是改變物體運動狀態的原因。

克卜勒行星運動定律

- 橢圓定律：**行星繞太陽為一橢圓軌道，太陽位於其中一個焦點。
- 面積定律：**行星與太陽的連線在相同時間內掃過相同面積。
- 週期定律：**繞太陽的行星之平均軌道半徑立方與公轉週期平方的比值為一個定值。

位移、速度與加速度

位移：位移 = 末位置 - 初位置，從初位置指向末位置的有向線段。 $\Delta x = x - x_0$

平均速度：位移與發生這段位移所用的時間之比值。 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

平均加速度：在一段時間內，速度變化量與此段時間的比值。 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

等加速直線運動

第一號公式： $v = v_0 + at$

第二號公式： $\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 = \frac{v + v_0}{2} t$

第三號公式： $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$

牛頓運動定律

牛頓第一運動定律：若物體不受外力作用，則物體會保持原來的運動狀態。靜者恆靜，動者恆作直線等速運動。

牛頓第二運動定律：物體受外力作用時，物體所獲得的加速度量值與合力量值成正比，與物體質量成反比。

牛頓第三運動定律：兩物體間的作用力必成雙出現，作用力與反作用力總是量值相等、方向相反，且作用在同一直線上。

日常生活中常見的力

重力：地表附近之物體受到的地球萬有引力。

彈力：彈簧會發生形變，內部會有一股想要恢復原狀的作用力。

摩擦力：因表面粗糙而生的抗拒相對運動之阻力，可分為靜摩擦力與動摩擦力。

正向力：兩接觸面因相互擠壓，所產生的垂直接觸面之相互作用力。

天體的運動

歸納法：從觀測或實驗的資料出發，不加任何假設，尋找出現象背後隱藏的共同規律。例如：克卜勒透過大量的天文觀測數據得出三大行星運動定律。

演繹法：由基本的定律或概念出發，經過合理的推導，得到或預測出正確結果的方法。例如：牛頓利用基本定律加上某些物理公式，即可推導出克卜勒的三大行星運動定律。