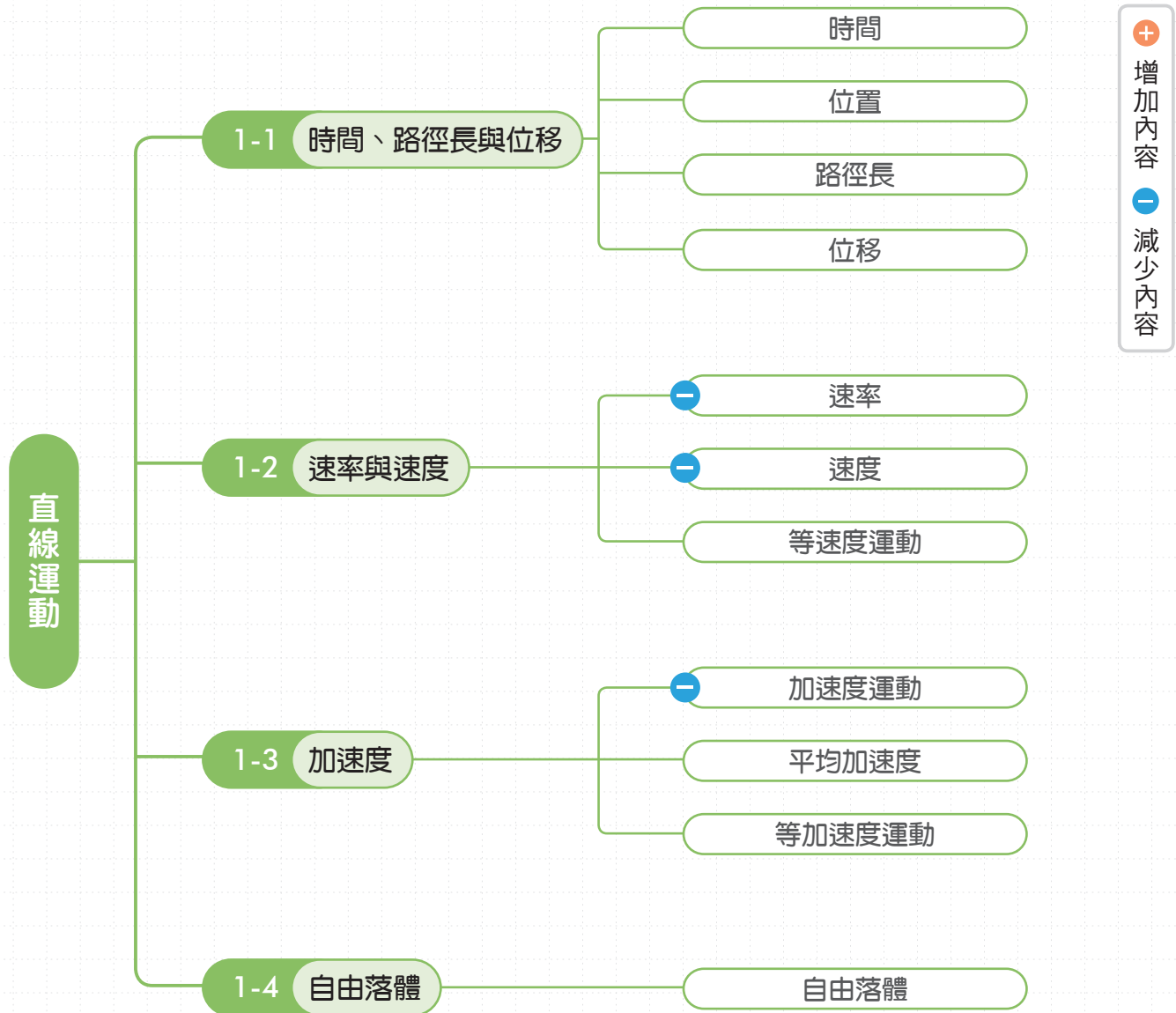


1 各階段教學內容銜接

國小（先備知識）	國中（本章概念）	高中（未來發展）
<p>INc-II-2 生活中常見的測量單位與度量。</p> <p>INc-II-4 方向、距離可用以表示物體位置。</p> <p>INc-III-2 自然界或生活中有趣的最大或最小的事物（量），事物大小宜用適當的單位來表示。</p>	<p>1-1 時間、路徑長和位移</p> <p>Ea-IV-1 時間、長度、質量等為基本物理量，經由計算可得到密度、體積等衍伸物理量。</p> <p>Eb-IV-8 距離、時間及方向等概念可用來描述物體的運動。</p>	<p>物理選修</p> <p>課程名稱：力學一</p> <p>主題：物質系統</p> <p>次主題：力與運動</p>
<p>INc-III-6 運用時間與距離可描述物體的速度與速度的變化。</p>	<p>1-2 速率與速度</p> <p>Eb-IV-8 距離、時間及方向等概念可用來描述物體的運動。</p>	<p>物理選修</p> <p>課程名稱：力學一</p> <p>主題：物質系統</p> <p>次主題：力與運動</p>
<p>INc-III-4 對相同事物做多次測量，其結果間可能有差異，差異愈大表示測量愈不精確。</p>	<p>1-3 加速度</p> <p>Eb-IV-8 距離、時間及方向等概念可用來描述物體的運動。</p>	<p>物理選修</p> <p>課程名稱：力學一</p> <p>主題：物質系統</p> <p>次主題：力與運動</p>
	<p>1-4 自由落體</p> <p>Eb-IV-8 距離、時間及方向等概念可用來描述物體的運動。</p>	<p>物理選修</p> <p>課程名稱：力學一</p> <p>主題：物質系統</p> <p>次主題：力與運動</p>

2 本章教學概念圖



3 教材調整說明

➖ 減少 瞬時速率與瞬時速度的相關內容

➖ 減少 瞬時加速度的相關內容

配合課綱將「瞬時速率」、「瞬時速度」與「瞬時加速度」移到高中選修課程中，故於國中課程內刪除。

	教學目標	教學重點	學習內容
1-1 時間、路徑長與位移 (2 節)	1. 知道可以利用物體位置的規律變化作為測量時間的工具。 2. 了解物體位置的表示。 3. 知道路徑長和位移的定義。	1. 讓學生了解規律變化的事物或現象可作為測量時間的工具。 2. 了解如何表示物體的位置。 3. 能了解路徑長和位移的意義與區別。	1. Ea-IV-1 時間、長度、質量等為基本物理量，經由計算可得到密度、體積等衍伸物理量。 2. Eb-IV-8 距離、時間及方向等概念可用來描述物體的運動。
1-2 速率與速度 (1.5 節)	1. 認識速率和速度。 2. 了解平均速率和平均速度的區別。 3. 認識等速率運動和等速度運動。	1. 讓學生了解速率和速度相關概念的意義和區別。 2. 讓學生能應用速度、速率等概念，描述日常生活的運動。 3. 能了解平均速率。 4. 能了解平均速度。 5. 能分辨等速率運動和等速度運動。	1. Eb-IV-8 距離、時間及方向等概念可用來描述物體的運動。
1-3 加速度 (3 節)	1. 讓學生了解平均加速度的意義。 2. 知道等加速度運動。	1. 讓學生了解平均加速度的意義。 2. 能了解等加速度運動的特性。	1. Eb-IV-8 距離、時間及方向等概念可用來描述物體的運動。
1-4 自由落體 (0.5 節)	1. 讓學生了解自由落體是一種等加速度運動。 2. 認識自由落體運動和重力加速度。	1. 讓學生了解自由落體是一種等加速度運動。 2. 能了解自由落體和重力加速度的關係。	1. Eb-IV-8 距離、時間及方向等概念可用來描述物體的運動。

筆記欄 Memo

1

直線運動

1-1 時間、路徑長與位移

1-2 速率與速度

1-3 加速度

實驗 1-1 速度的變化

1-4 自由落體



扉頁故事

在古代，人類的祖先為了與猛獸、大自然環境搏鬥，經常會做出不同形式的跑、跳和擲等動作。不斷重複這些動作後，自然而然的形成各種跑、跳和擲等動作。後來，人類甚至把各種的跑、跳和擲作為訓練的重要內容，而後演變出比賽模式，也就是現在的「田徑運動」。田徑運動是由「徑賽」、「田賽」及「全能運動」所組成，而「徑賽」是指一切以時間計算成績的項目，花費時間愈短者，代表速度愈快，例如：競走、跑等。田徑運動可說是人類社會經過長時期發展出來的一種活動，直至現今，已然成為全民運動。



無論是都市中繁忙的交通運輸、原野上的動物或是宇宙中的日月星辰，我們眼底的萬物若不是靜止，就是在運動。當物體在移動時，我們該如何透過物體位置與時間的關係，來描述物體的運動情形？物體的運動又有哪些類別？本章將帶你進入「直線運動」的世界。

第 1 章

教學動畫

- ▶公車速度的改變
- ▶直線運動
- ▶行車速率
- ▶路程

教學影片

- ▶雙珠競走

實驗影片

- ▶實驗 1-1 速度的變化

本冊各章會考試題統計

章別	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7
題數	15	23	20	17	8	44	50

本章會考試題歷年分布

年度	103	104	105	106	107	108	109	109 補	110	110 補	111	111 補	112
題數	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1



教學引導技巧

- 參與：可以藉由漫畫內容詢問學生下列問題：

1. 小光提早 10 分鐘到達三角點，是因小光真的走得比較快嗎？你的想法是什麼？你要如何分析判斷？
2. 小光所說的「我的速度還是比你們快」這句話中，他的意思是「速度比較快」，還是「速率比較快」呢？學完這個單元，你就會知道答案囉！

- 探索：

1. 針對上述問題，可引導學生依序思考：

- (1) 登山步道會隨山勢而彎來彎去，亦會上坡及下坡，你認為步道告示牌上所

標示的距離是如何測量出來的呢？是以實際走過的路徑，或是以兩地的直線距離來量測的呢？

- (2) 你如何判斷小光是否走得比較快？可引導學生講出：「描述物體移動的快慢可以由『距離 / 所花的時間』來判斷」。

- (3) 引導學生思考：若要判斷小光是否走得比較快，仍需要測量小光及其他兩位所花的時間，才可以據此推斷。

2. 從上述探索區塊第 1 點登山步道距離標示的問題，了解到距離的計算可分成兩種，一種是以實際走過的路徑來測量距離，即路徑長；另一種是以兩地的直線距離來測量距離，即位移。那麼，若要判斷小光是否走得比較快，其距離測量應該採用路徑長或是位移？從以上分析，小光是否走得比較快這件事，討論的是「速度」還是「速率」呢？

- 解釋：

1. 登山過程是輕鬆還是勞累，還是要視登山步道是平緩還是陡峭來判斷。
2. 小光快了 10 分鐘到達，不見得就是走得比較快。移動的快慢是以「距離 / 所花的時間」來決定。
3. 步道告示牌上所標示的距離，是以實際走過的距離（即路徑長）來計算，而非以兩地的直線距離（即位移）來計算。因此，步道告示牌所標示的距離是指路徑長。因此小光的說法「我的速度還是比你們快」是不對的，他應將說法修正為「我的平均速率還是比你們快」才對。



如何知道速度的快慢呢？

日常生活中，我們常用「速度」來表示物體移動的快慢，例如：獵豹是陸地上移動速度最快的動物；高鐵是目前臺灣陸上最快的交通工具。要如何知道他們的速度呢？又該如何表示？



「速度」的定義是什麼？
可以如何測量與計算？



劇場小知識

我們該如何知道物體運動的快慢呢？依據生活經驗，要得知物體運動的快慢，必須先知道物體移動的距離及所花費的時間。

在物體移動相同的距離情況下，所花費的時間較多，則代表其移動得較慢；反之花費時間較少，則代表其移動得較快。就以平常出現在運動會中的百米賽跑為例，因為所有跑者的移動距離都相等，所以先通過終點線的跑者所花費的時間較少，代表跑得比較快。

若在物體花費相同時間的情況下，物體移動的距離較大，則代表其移動較快，反之移動距離較小，代表其移動較慢。例如：汽車儀表板顯示車速為 60，代表汽車開 1 小時的距離為 60 公里；顯示車速為 100，代表汽車開 1 小時的距離為 100 公里。汽車同樣開 1 小時，但移動 100 公里汽車跑得比較快。

距離的計算可以分成兩種，一種是以實際走過的路徑來測量，即路徑長，為純量（只有大小值、沒有方向）；另一種是以兩地的直線距離來測量，即位移，為向量（有方向性）。因此，物體經過的「路徑長」除以「花費的時間」即為平均速率；而物體「位移」除以「花費的時間」則為平均速度。

以小劇場登山步道距離標示來說，是採用路徑長標示。因此，討論小光登山的快慢問題，其移動快慢 = 路徑長 / 花費時間 = 平均速率，是屬於討論平均速率的範疇。

1-1 時間、路徑長與位移



Warm up

讓學生思考「對同一物體的位置，可能會有不同的描述」，取決於說明時所選定的參考點。藉由此活動可澄清學生對於位置描述的迷思概念，而重新建構位置描述的正確方法。

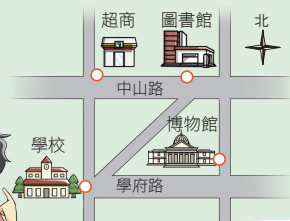
答
我們應該說出參考點、方向與距離等內容，例如：從學校沿著前方道路走到十字路口後，向左轉再走約 200 公尺即可到達。



WARM UP

在街上被路人詢問附近的景點位置時，應該如何表達，才能引導他抵達想去的地方呢？參考右圖的地圖，試著回答看看。

請問該怎麼從學校走到博物館呢？



知識便利貼

秒的定義

西元 1967 年，世界度量衡標準會（CIPM）以鈉原子釋放的輻射波頻率作為時間計時的依據，將「1 秒」定義為這種輻射波振動 9,192,631,770 次所需的時間。鈉原子鐘非常準確，三百萬年內誤差還不到 1 秒。



鈉原子鐘

1 時間

自古以來，人們藉由觀察日月星辰的規律變化，訂出年、月、日等時間計量單位，並為了能夠更方便計時，而發明出許多計時工具，例如：古人使用的日晷與沙漏、現代較先進並精準的機械鐘與數位錶等（圖 1-1）。目前國際單位制所使用的時間單位「秒」，是根據鈉原子鐘作為國際標準計時器。

2 位置

當我們要描述物體位置時，須先選定一個參考點作為參考基準，再說明物體相對於參考點的方向和距離。



日月星辰



日晷

圖 1-1 不同的計時工具 1

1 計時工具

古人利用物體規律變化的現象來計時，例如：一炷香、一頓飯都可以是計時的單位，但利用這種方式來計時，誤差大又不方便。

以 Warm Up 為例，當我們在學校門口遇到有人詢問博物館的位置時，你可能會回答：「請你由學校門口（參考點）向東沿著學府路（方向）走 200 公尺（距離），遇到十字路口（參考點）後，左轉（方向）並走 50 公尺（距離），你就會看到博物館在你的左邊」。

中央氣象署也是採用此方式發布地震震央的位置，如氣象署發布地震訊息：「111 年 3 月 23 日 1 時 41 分 38 秒發生規模 6.7 地震，震央為花蓮縣政府南方 65.6 公里處」。其中參考點為花蓮縣政府，方向為南方，距離 65.6 公里（圖 1-2）。

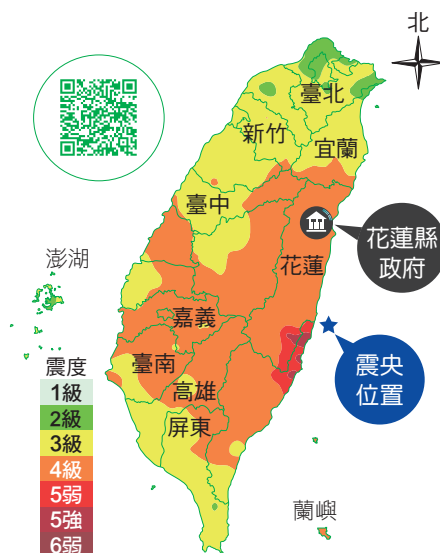


圖 1-2

透過參考點、方向及距離的描述，可確知地震震央的位置

3 路徑長

物體移動過程中實際經過的路徑總長度稱為路徑長，路徑長不具有方向性。例如：中山高速公路設起點基隆為 0 公里，路旁標示 178.6 的里程牌，表示該處和基隆的「路徑長」相距 178.6 公里（圖 1-3）。



圖 1-3

里程牌數字表示該處距離起點的實際路徑長為 178.6 公里



機械鐘



擺鐘



數位錶



教學引導技巧

- 介紹時間的各種單位。
- 藉 Warm Up 提供的活動，讓學生思考應該如何描述景點的位置。
- 介紹時間的各種單位。
- 說明位置要如何描述。
- 說明參考點的重要性。

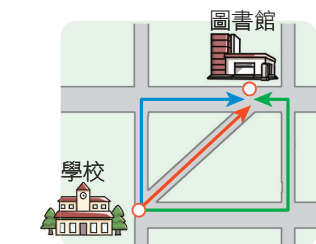
4 位移

物體移動時，位置會隨之改變。**位移**即物體的「位置變化量」，相當於直線坐標中，物體末位置 x_2 和初位置 x_1 的差：

$$\text{位移} = \text{末位置} - \text{初位置} = x_2 - x_1$$

位移的大小是起點到終點的直線長度，而起點到終點的方向就是位移的方向，以正號、負號表示。如圖 1-4 所示，假設向東為正，甲從 A_1 跑至 A_3 ，位移 5 m，方向向東；乙從 A_4 跑至 A_2 ，位移 -4 m，負號代表方向向西。

而圖 1-5 中，若想從學校走到圖書館，有藍、紅、綠三種不同的路線可選擇。雖然三條路線實際經過的路徑長不同，但起點和終點相同，所以這三條路線的位移大小、方向都相同，其位移方向都是由學校指向圖書館的方向。



3 圖 1-5
從學校到圖書館的不同
路線示意圖

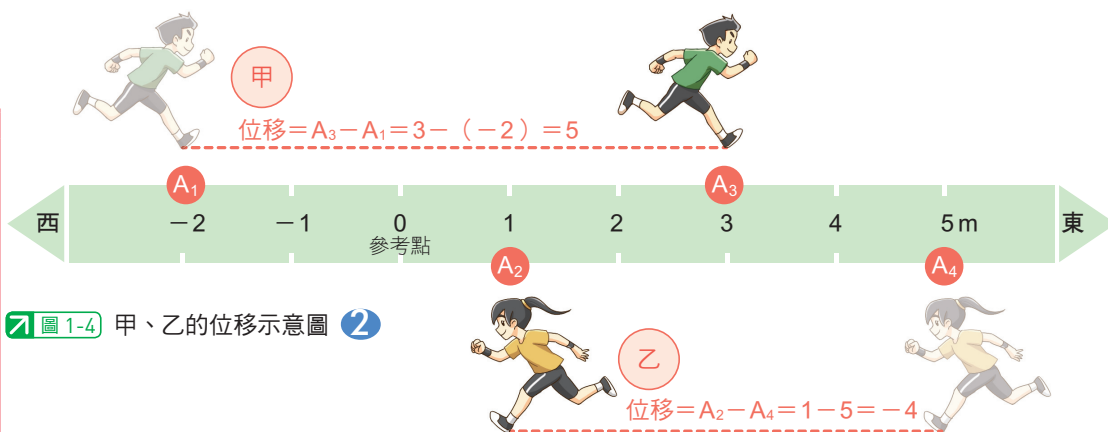


圖 1-4 甲、乙的位移示意圖

探索小 Q

答

- 路標所標示的數字是以該路標的位置為參考點。數字代表的是路徑長。
- 嘉義與大林之間的路程為 $19 - 5 = 14$ 公里。
- 此里程是北上的路標，因此會先到達嘉義（距路標 5 公里），再到達大林（距路標 19 公里），因此，大林的地理位置是在嘉義的北方。



探索小 Q

右圖為中山高速公路北上的里程路標，請問：

- 路標上標示的數字是以何處為參考點？數字代表的是位移或路徑長？
- 嘉義與大林之間的路徑長相距多遠？
- 大林的地理位置是在嘉義的北方或南方？



教學引導技巧

- 強調位移的方向性。
- 藉由圖 1-5 講解說明路徑長和位移的不同。
- 進行「探索小 Q」讓學生於日常生活中思考路標的標示意義。

2 位移

我們可用直線坐標來描述物體在直線上的位置，坐標的原點就是參考點，若以正數表示物體的位置在原點的右方，則負數表示物體的位置在原點的左方。改變參考點位置時，物體位置也會改變。

物體的位移大小表示為「終點位置和起點位置之間的直線距離」；而物體的位移方向為「起點指向終點」的方向。

3 路徑長與位移

由學校走到圖書館的路線雖然路徑長不同，但其位移大小和方向都相同。

1-2 速率與速度



WARM UP

目前臺灣道路在多個路段採用區間測速，以防止汽車超速。你了解區間測速的機制嗎？警方是如何利用儀器判斷汽車是否超速？請查詢資料，並與同學一起討論與分享。



Warm up

答

區間測速是利用兩個固定的偵測點，當車子通過偵測點 A 時，系統會進行車輛辨別及記錄通過時間。當車子行駛該路段後，又會通過另一個偵測點 B，此時系統同樣進行車輛辨別及記錄通過時間。A、B 兩點間的距離是固定的，因此只要計算通過 A、B 兩點間的時間，利用距離/所花費時間＝平均速率，系統即可算出該車輛在這段距離的平均速率。當平均速率大於速限時，代表該車輛超速。

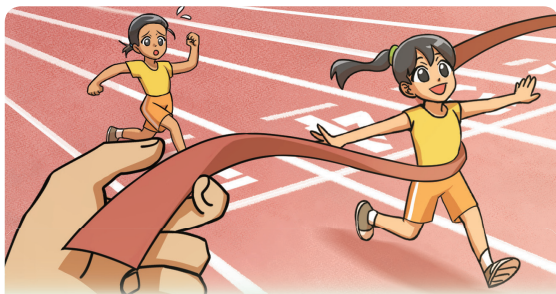
1 速率

我們該如何描述物體運動的快慢？依據生活經驗，我們發現物體運動的快慢，與路徑長的長短及經歷時間有關。以百米競賽為例，先抵達終點者，跑得較快；但若花費的時間相同，則移動路徑長較長者，跑得較快（圖 1-6）。

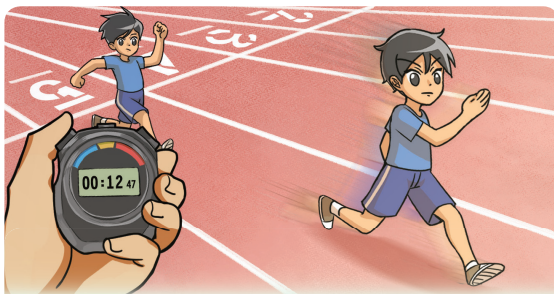
我們以物體「單位時間內所經過的路徑長」表示物體在這段時間內的運動快慢，稱為**平均速率**。因此，物體經過的「路徑長」除以「經歷的時間」即為平均速率，用下列式子表示：

$$\text{平均速率} = \frac{\text{路徑長}}{\text{經歷時間}}$$

如果路徑長的單位是公尺（m），時間的單位是秒（s），則平均速率的單位為公尺/秒（m/s），此外也常用公里/小時（km/hr）作為單位。



A 賽跑的**路徑長**相同時，花費時間較少者，跑得較快。



B 賽跑的**時間**相同時，移動路徑長較長者，跑得較快。

圖 1-6 比較物體運動的快慢

4 世界上跑得最快的人

在西元 2009 年，世界田徑錦標賽中，牙買加隊的博爾特（Usain Bolt）以 9 秒 58 的成績成功打破男子 100 公尺世界紀錄；同一場賽事中，再度以 19 秒 19 的成績打破男子 200 公尺世界紀錄，成為世界上跑得最快的人，至今無人超越這項紀錄。



教學引導技巧

- 藉 Warm Up 的例子，讓學生思考運動快慢的意義。
- 藉跑步快慢的實例，探索平均速率（平均速度）概念的意義。
- 以公式說明平均速率的定義。



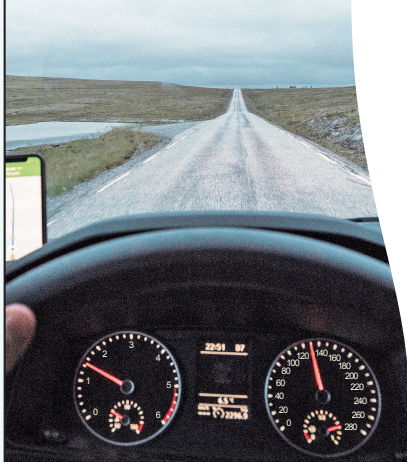
道路速限標誌

右圖為平時道路旁所豎立的速限標誌。由於開車的過程中，因路況不同，車速有時快、有時慢。當汽車當時的車速超過速限標誌的數字，即表示車子超速違規。



圖 1-7

汽車儀表板上所顯示的數字，即是汽車當時一瞬間真正的運動快慢。



當一輛車在 1 小時內行駛 60 公里，則在這 1 小時中平均速率為 60 公里/小時；另一輛車在第 1 小時內行駛 80 公里，接下來的 2 小時中共行駛 100 公里，則在這 3 小時中的平均速率仍為 60 公里/小時。因此，利用路徑長除以經歷時間得到物體運動過程的平均速率，不一定能完整描述物體在某一時刻真正的運動情形。生活中，當汽車行駛時，眼睛看往汽車儀表板，那一時刻所讀取的數字，即是汽車當時真正的運動快慢²（圖 1-7）。

當物體運動過程中維持相同的速率時，我們稱該物體做**等速率運動**。

例 1

物體在一直線上朝同一方向運動，其位置與時間的關係如下圖。



此物體在 0 秒～4 秒內的平均速率為：

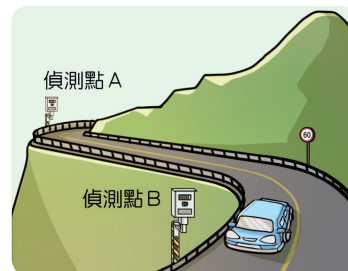
- (A) 4 m/s (B) 5 m/s (C) 8 m/s (D) 10 m/s

答

(D)。路徑長 = $30 - (-10) = 40$ ，因此，
平均速率 = 路徑長 / 經歷時間 = $40 \div 4 = 10 \text{ m/s}$ 。

例 2

某路段設置區間測速，偵測點 A 至偵測點 B 的路程為 2.5 公里，這個路段的速限為 60 公里/小時。當小南開著車子通過 A、B 兩個偵測點時，測量到通過的時間為 2 分鐘，試問小南是否超速駕駛？



答

是。平均速率 = 路徑長 / 經歷時間，路徑長 = 2.5 公里，經歷時間 = 2 分鐘 = $1/30$ 小時，因此，平均速率 = $2.5 / (1/30) = 75$ 公里/小時，故小南超速駕駛。



教學引導技巧

- 藉由討論了解平均速率無法表達特定時刻的運動情形。
- 讓學生了解汽車儀表板上的時速錶所顯示的是當時的速率。
- 說明等速率運動、速率的定義。
- 透過例題的教學與解說，讓學生理解並學習本單元之教學重點與內容。

2 速度

平均速率可以表示物體在一段時間內的運動快慢，卻無法表示運動方向。如圖 1-8 所示，假設以東方為正，甲車往東行駛，乙車往西行駛，雖然甲車和乙車的運動快慢相同，但運動方向卻不同。

科學上以「物體在單位時間內的位置變化量（位移）」描述物體的運動方向和快慢，稱為**平均速度**。假設物體在 t_1 時位於位置 x_1 ，在 t_2 時位於位置 x_2 ，物體的位移為 $x_2 - x_1$ ，經歷的時間 $t_2 - t_1$ ，則這段時間的平均速度可表示為：

$$\text{平均速度} = \frac{\text{位置變化量（位移）}}{\text{經歷時間}} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

平均速度常用的單位和平均速率相同，為公尺/秒（m/s）或公里/小時（km/hr）。平均速度具方向性，其方向與位移相同。

科學上常以坐標圖描述物體運動的過程。若要描述物體位置隨時間變化的情形，則以位置（x）為縱坐標，時間（t）為橫坐標，繪製**位置—時間關係圖**，簡稱**x-t 圖**。若要描述物體運動的快慢和方向，則以速度（v）為縱坐標，時間（t）為橫坐標，繪製**速度—時間關係圖**，簡稱**v-t 圖**。

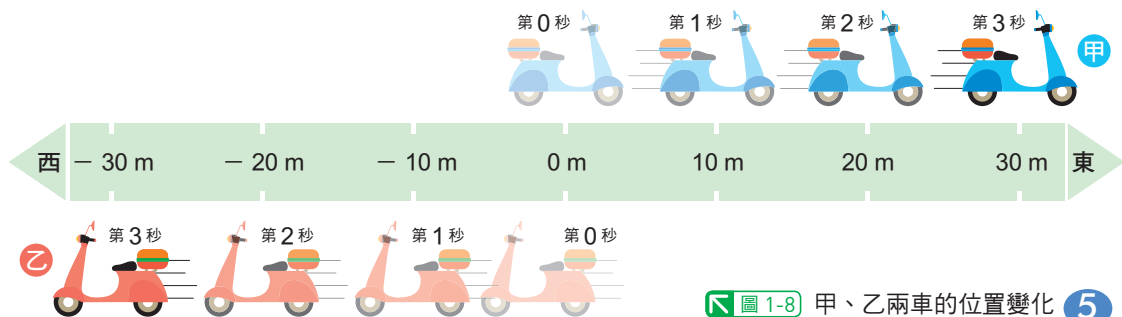


圖 1-8 甲、乙兩車的位置變化

5 速度具有方向性

甲、乙兩車的位置隨時間變化示意圖，甲車往正方向行駛，乙車往負方向行駛。



教學引導技巧

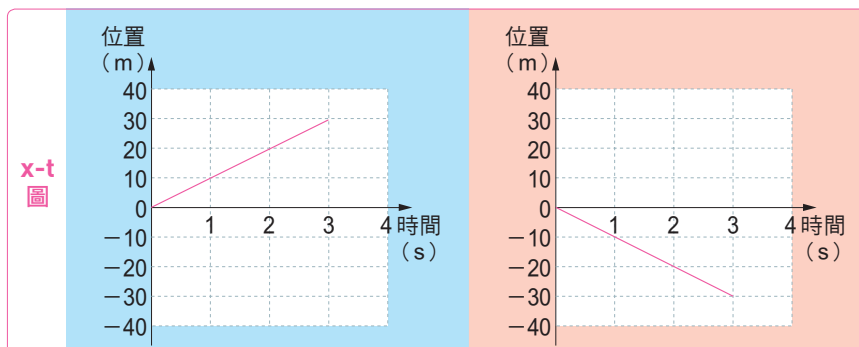
- 藉圖 1-8 說明平均速率無法表示出物體真正的運動方向，再介紹平均速度。
- 說明平均速度、速度的定義。

根據圖 1-8，試著繪製甲、乙兩車的 $x-t$ 圖及 $v-t$ 圖。

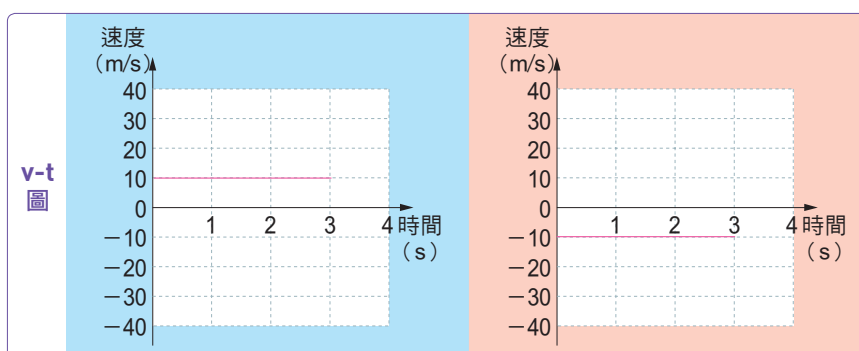
- 1 請依據圖 1-8，將甲、乙兩車的運動狀態資料填入下表：

		甲車			乙車		
項 目		位置 (x)	位移 (m)	平均速度 (m/s)	位置 (x)	位移 (m)	平均速度 (m/s)
時間 間 隔	第 0 秒	0			0		
	第 1 秒	10	10	10	-10	-10	-10
	第 2 秒	20	10	10	-20	-10	-10
	第 3 秒	30			-30		

- 2 以位置 (x) 為縱坐標，時間 (t) 為橫坐標，畫出甲、乙兩車的 $x-t$ 圖：



- 3 以速度 (v) 為縱坐標，時間 (t) 為橫坐標，畫出甲、乙兩車的 $v-t$ 圖：



甲車速度為 10 m/s

乙車速度為 -10 m/s



教學引導技巧

- 引導學生了解，在分析物體的運動狀態時，可將資料先彙整成表格。
- 說明位置—時間關係圖 ($x-t$ 圖)。
- 說明速度—時間關係圖 ($v-t$ 圖)。



繪圖注意事項

- 甲車從原點出發，朝正方向等速度運動，其 $x-t$ 圖是通過原點的一條斜直線；其 $v-t$ 圖是和時間軸平行的一條水平線。
- 乙車從原點出發，朝負方向等速度運動，其 $x-t$ 圖是通過原點，往負方向發展的一條斜直線；其 $v-t$ 圖是在不同象限和時間軸平行的一條水平線。

3 等速度運動

根據上頁繪製甲、乙兩車 x-t 圖及 v-t 圖的結果，甲車的位置變化量為正值，表示平均速度為正值，向東移動；乙車的位置變化量為負值，表示平均速度為負值，向西移動。整個運動過程，甲車與乙車的速度大小和方向都保持一定，則稱甲車與乙車皆做**等**

5 **速度運動**，差別在於兩車的移動方向不同。

再以從原點出發的甲、丙兩車做比較，其運動狀態皆向東做等速度運動，甲車速度為

10 **10 m/s**，丙車速度為

5 m/s（圖 1-9），兩車的 x-t 圖及 v-t 圖如圖 1-10 所示。

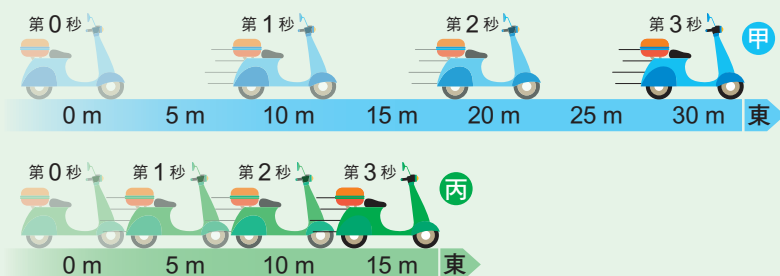


圖 1-9 甲、丙兩車的位置隨時間變化示意圖

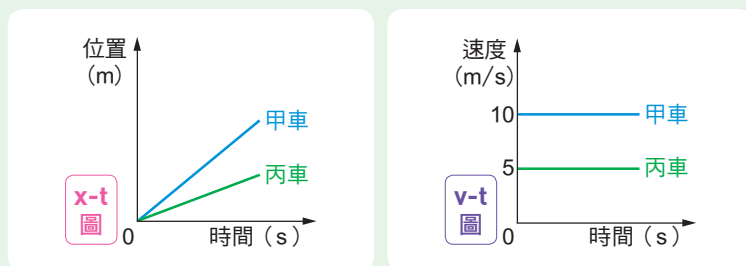


圖 1-10 甲、丙兩車的 x-t 圖與 v-t 圖

在 x-t 圖中，做等速度運動的物體皆為斜直線，直線傾斜程度愈大，代表相同時間內的位移愈大，即甲車速度較丙車大。

20 物體為等速度運動時，速度為 v ，經歷時間為 $(t_2 - t_1)$ ，則：

$$v = \frac{\text{位移}}{(t_2 - t_1)}, \text{ 位移} = v \times (t_2 - t_1)$$

觀察 v-t 圖可知，位移大小的值就等於速度 (v) 與經歷時間 $(t_2 - t_1)$ 所圍成的面積（圖 1-11），而位移的正、負，可由速度的正、負來推知。而不論物體是否為等速度運動，v-t 圖中速度與時間軸所圍成的面積，都等於物體的位移。

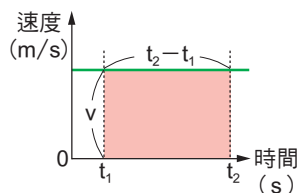


圖 1-11 6 位移的大小即為 v-t 圖中速度與經歷時間所圍成的面積

6 物體的位移

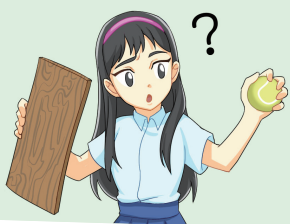
做等速度運動的物體，其平均速度 (\bar{v}) 等於瞬時速度 (v)；在 Δt 時刻內的位移，即 $\Delta x = v \times \Delta t$ ，恰好等於 v-t 關係圖線下所包圍的面積。



教學引導技巧

- 說明等速度運動的定義。
- 說明 v-t 圖內，其關係曲線與時間軸所包圍的面積等於位移。

1-3 加速度



1 加速度運動

在上一節，我們學到：「當運動的速度大小和方向都保持一定時，物體正在做等速度運動。」如圖 1-12 所示，在相同時間間隔的條件下，網球由甲端沿斜面向下滾落至乙端，移動間距愈來愈大，表示速度逐漸增加；當網球改由丙端沿斜面向上滾升至丁端，移動間距愈來愈小，代表速度逐漸減小。網球在這兩種不同斜面中的滾動速度發生改變，皆不屬於等速度運動，因此，科學上將速度會隨時間改變的情形稱為**加速度運動**。我們將在實驗 1-1 利用打點計時器⁷，進一步探討速度隨時間變化的運動情形。

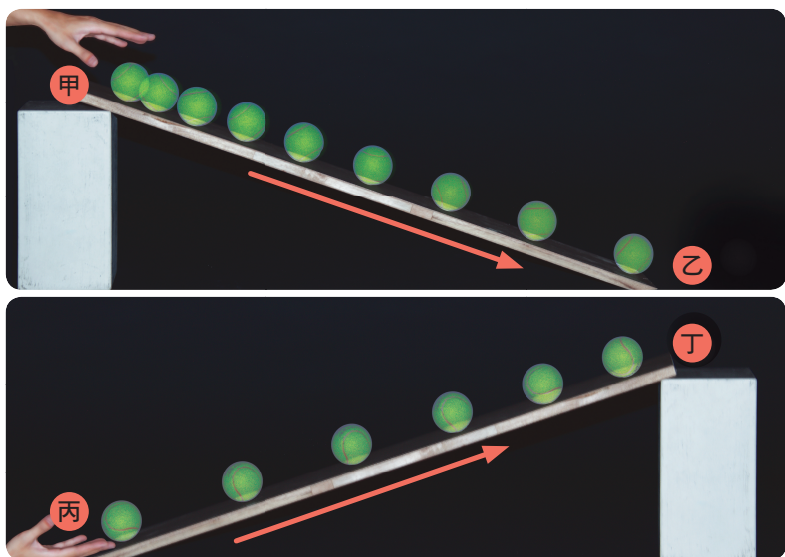


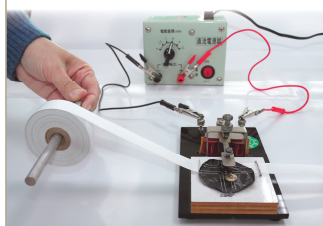
圖 1-12 使用相機的連續拍攝功能，觀察網球在斜面上的滾動情形。

知識便利貼

打點計時器⁷ ⁸

通電後的打點計時器會規律的在複寫紙上打點，並在紙帶上留下墨點。紙帶上，任何相鄰兩點間的時間間隔皆相同，因此可作為計時的工具。

若打點計時器每秒在紙帶留下 50 個點（打點頻率為 50 Hz），則相鄰兩點間的時間間隔 $\Delta t = 1/50$ 秒。



7 電火花打點計時器

知識便利貼中的打點計時器為電磁打點計時器，利用交流電的電流方向變化，使電磁鐵裝置因磁力吸引而打擊紙帶產生墨點。另有一款坊間常見的電火花打點計時器，是利用火花放電使墨粉在紙帶上打出黑色點漬的方式來進行計時。使用這種計時器實驗時，紙帶運動時受到的阻力較小，打出的點跡較為清晰，不會出現拖尾和雙點現象，所以具有實驗誤差小、準確性高的優點。

8 紙帶與速度的變化

	終點	起點	
甲	• • • • • • • •	•	較慢的等速度運動
乙	• • • • • • • •	•	較快的等速度運動
丙	• • • • • • • •	•	愈來愈慢的運動
丁	• • • • • • • •	•	愈來愈快的運動
戊	• • • • • • • •	•	靜止不動



教學引導技巧

- 藉網球在兩種不同斜面中的滾動情形，了解物體可能發生加速度運動。
- 介紹打點計時器，說明打點計時器的計時原理。
- 提出問題：打點計時器在紙帶上所留下點的分布，代表何種意義。



實驗

1-1

速度的變化

教材釋疑

步驟 3 中需要比較紙帶前、後半段的打點軌跡，是因為當滑車從木板上往下滑時，前半段紙帶是進行等加速度運動，而因滑車已經下滑至桌面上，故後半段紙帶是進行等速度運動。

目的

以滑車拉動紙帶，利用打點計時器在紙帶上留下的墨點分布，觀察滑車運動的快慢，藉以了解速度變化的概念。

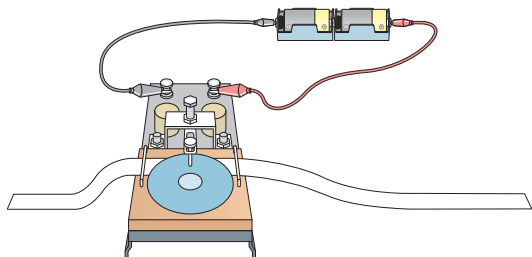
器材

(以組為單位)

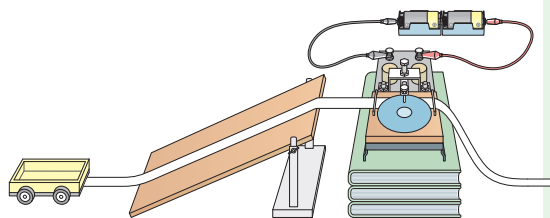
- 滑車 ×1 □打點計時器 ×1
- 鐵架 ×1 □木板(長度 80 cm) ×1
- 直尺 ×1 □量角器 ×1
- 紙帶(每段長約 130 cm) ×1

步驟

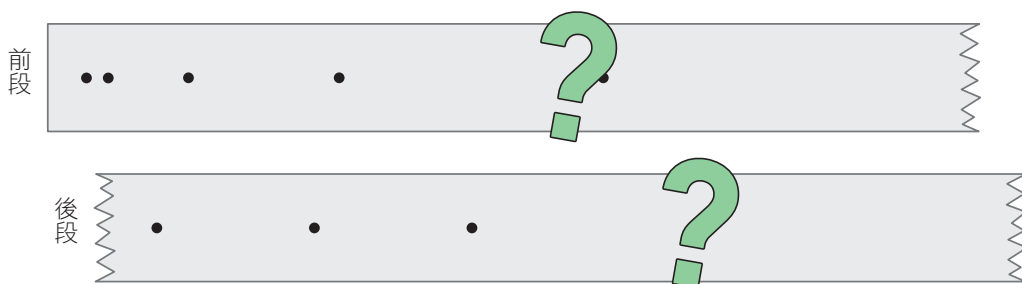
- ① 將紙帶穿過打點計時器的複寫紙下方，打開打點計時器電源，在滑車靜止不動的情況，觀察打點計時器在紙帶上所留下的墨點分布情形。



- ② 將滑車置於木板上，木板一端抬高約 25 cm，固定於鐵架，使滑車由較高的一端自由下滑至底端(木板上滑車下滑距離約 70 cm)；並讓已滑至底端的滑車再繼續於平面上向前滑行約 50 cm。



- ③ 觀察打點計時器在紙帶前段(滑車處於斜面時)和後段(滑車處於平面時)的痕跡分布情形。



- ④ 重複步驟 ② 兩次，觀察紙帶上的痕跡分布情形有何變化。



教學引導技巧

- 進行「實驗 1-1 速度的變化」，藉打點計時器在紙帶上留下的打點分布，觀察物體運動快慢的變化，以便幫助學生了解速度變化的概念。
- 藉由紙帶上的打點分布，說明等速度運動與加速度運動的意義與區別。



實驗注意事項

1. 步驟②中，紙帶前半段(約 70 公分)是表示滑車從木板上方滑至底端的運動狀態，因過程中滑車做等加速度運動，所以紙帶上墨點間的距離會愈來愈大。
2. 步驟②中，紙帶後半段(約 50 公分)是表示滑車於平面上向前滑行的運動狀態，因過程中滑車做等速度運動，所以紙帶上墨點間的距離會相同。
3. 進行步驟⑤之前，請學生先行測量步驟②中木板的傾斜角度，再讓學生思考控制變因及操作變因的差別。
4. 學生以分組的方式討論步驟⑤，由學生改變木板的傾斜角度。有些組別會選擇提高角度，請教師特別留意，滑車下滑至底端會遇到轉折處，當木板的角度過大時(如 90 度)，需注意是否會明顯阻礙滑車行進的動力，如果會影響，則須請學生降低角度。

- 5 若想探討木板的傾斜角度是否會改變滑車下滑的運動狀態，則此實驗的

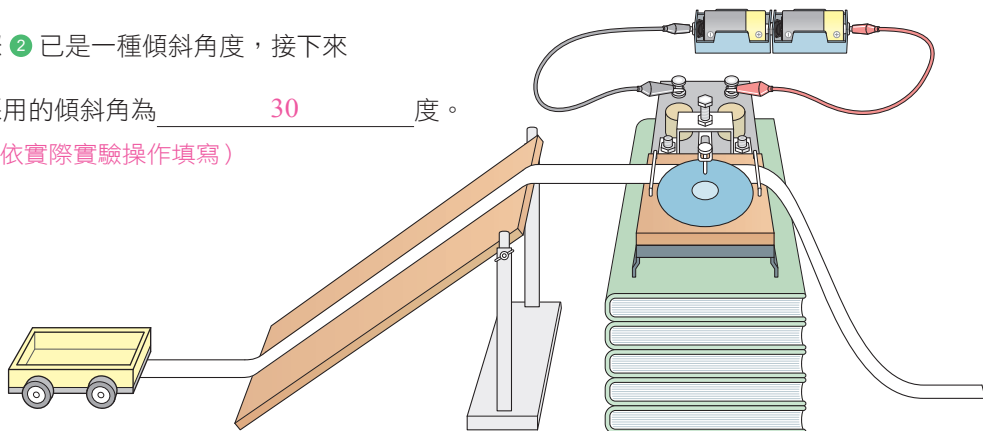
控制變因：滑車質量、相同的木板

操作變因：木板傾斜角度

步驟 2 已是一種傾斜角度，接下來

我採用的傾斜角為 30 度。

(請依實際實驗操作填寫)



- 6 記錄打點計時器在紙帶前段(滑車處於斜面時)和後段(滑車處於平面時)的痕跡分布情形。觀察並討論紙帶上的痕跡分布情形有何變化？試著比較與分析實驗結果，你發現了什麼？

問題與討論

- 步驟 1 中，紙帶上所留下的墨點分布情形為何？代表何種意義？
- 步驟 3 中，觀察紙帶前段(滑車處於斜面時)和後段(滑車處於平面時)的痕跡分布情形，相鄰兩點間的距離有何變化？各代表滑車的運動狀態為何？
- 步驟 4 中重複兩次實驗得到的實驗數據與步驟 3 相同嗎？為什麼？
- 步驟 6 中，觀察紙帶前段(滑車處於斜面時)和後段(滑車處於平面時)的痕跡分布情形，相鄰兩點間的距離有何變化？各代表滑車的運動狀態為何？



進一步探討

- 滑車自兩種不同傾斜角度的木板上下滑，觀察與比較步驟 3 及步驟 6 紙帶前段(滑車處於斜面時)的痕跡分布情形，兩者紙帶上相對應兩點間的距離是否相同？為什麼？
- 承上題，觀察與比較步驟 3 及步驟 6 紙帶後段(滑車處於平面時)的痕跡分布情形，兩者紙帶上相對應兩點間的距離是否相同？為什麼？



題與討論

- 紙帶上只呈現一個墨點，代表紙帶靜止不動。
- 紙帶前段分布的墨點，相鄰兩點間的距離愈來愈大，代表滑車拉動紙帶前進的速度愈來愈大；紙帶後段分布的墨點，相鄰兩點間的距離幾乎相同，代表滑車做等速度運動。
- 約略相同。重複實驗得到的數據和原數據會因為存在測量誤差等因素，而無法完全相同。
- 紙帶前段分布的墨點，相鄰兩點間的距離愈來愈大，代表滑車拉動紙帶前進的速度愈來愈大；紙帶後段分布的墨點，相鄰兩點間的距離幾乎相同，代表滑車做等速度運動。



進一步探討

- 否。假設步驟 6 的木板傾斜角度較步驟 3 大，步驟 6 紙帶上相鄰兩點間的距離比步驟 3 大，代表步驟 6 滑車的速度較快。
- 否。假設步驟 6 的木板傾斜角度較步驟 3 大，雖然兩者皆為等速度運動，但步驟 6 紙帶上相鄰兩點間的距離比步驟 3 大，表示步驟 6 滑車的速度較快。

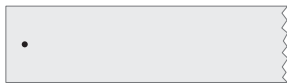
假設打點計時器以 50 Hz 規律的在紙帶上打點，表示相鄰兩點間的時間間隔皆為 $1/50$ 秒。當紙帶隨滑車前進時，紙帶上相鄰兩點間的距離，即為該時間間隔內（ $1/50$ 秒）滑車位移的大小。

由實驗發現，滑車靜止不動時，打點計時器一直打在紙帶上的同一位置，紙帶呈現一點墨點（圖 1-13A）。

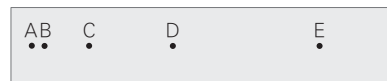
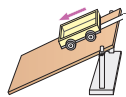
滑車從傾斜木板下滑過程中，紙帶上相鄰兩點間的距離愈來愈大，表示滑車拉動紙帶前進的速度愈來愈快，滑車做加速度運動（圖 1-13B）。

當滑車下滑至底端後，於平面上再繼續向前滑行，紙帶上任何相鄰兩點間的距離都相等，表示各點間的平均速度相等，滑車做等速度運動（圖 1-13C）。

A 紙帶呈現一點墨點，表示滑車靜止不動。

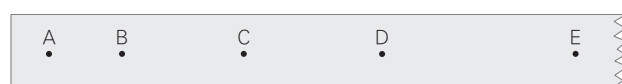
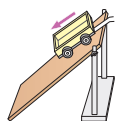


B 滑車在斜面運動時，紙帶相鄰兩點間的距離愈來愈大，表示滑車的速度愈來愈快。



木板傾斜角度較小

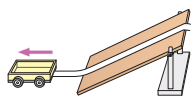
← 紙帶拉動方向



木板傾斜角度較大

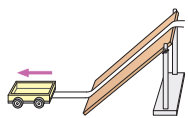


C 滑車在平面運動時，紙帶相鄰兩點間的距離相等，表示滑車的速度保持不變。



木板傾斜角度較小

← 紙帶拉動方向



木板傾斜角度較大

圖 1-13 紙帶上打點痕跡與滑車運動速度變化的關係



教學引導技巧

- 說明紙帶上相鄰兩點間的距離即該段時間內位移的大小。
- 說明當滑車從傾斜木板下滑時，紙帶上相鄰兩點間的位移愈來愈大（圖 1-13 B），表示滑車拉動紙帶前進的速度愈來愈快，正在做加速度運動。
- 說明木板傾斜角度愈大時，滑車沿斜面向下的加速度也愈大。

9 滑車運動

如果拉動紙帶的速度愈來愈快，則紙帶上任何相鄰兩點之間的位移也愈來愈大，表示紙帶上各標示點間的平均速度都不相等，這種運動情形稱為加速度運動。

當木板傾斜的角度愈大（愈陡）時，滑車下滑的速率愈快，表示其加速度愈大。

2 平均加速度

滑車從傾斜木板下滑的過程中，正在做加速度運動，科學上以「單位時間內的速度變化量」表示物體速度變化的大小和方向，稱為**平均加速度**。假設物體在 t_1 時的速度是 v_1 ， t_2 時的速度是 v_2 ，則平均

5 加速度可以用下列式子表示：

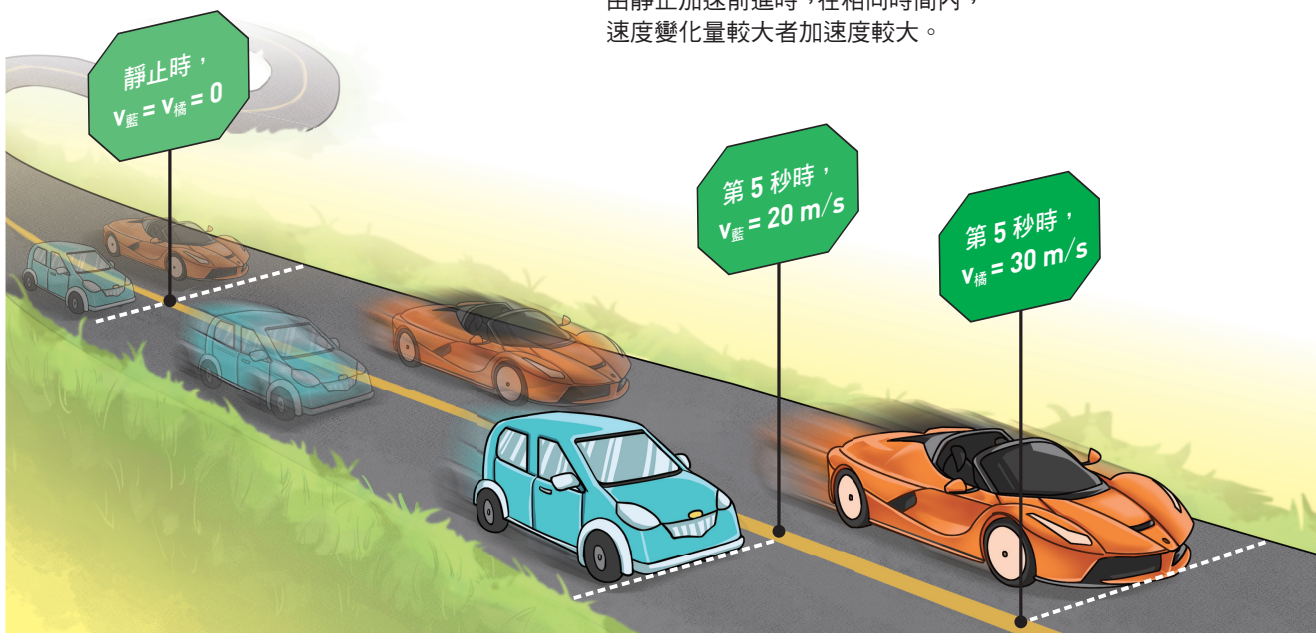
$$\text{平均加速度} = \frac{\text{速度變化量}}{\text{經歷時間}} = \frac{\text{末速度} - \text{初速度}}{\text{經歷時間}} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

若速度的單位為公尺/秒 (m/s)，時間的單位為秒 (s)，則平均加速度的單位就是 (公尺/秒)/秒，寫成公尺/秒² (m/s²)。

10 當兩物體做加速度運動時，該如何比較兩者加速度的大小？以靜止的藍色、橘色兩車為例，如果啟動加速，藍車 5 秒後速度達 20 公尺/秒，橘車 5 秒後速度達 30 公尺/秒。在相同時間內，橘車的速度變化量比藍車大，則我們說橘車的加速度比藍車大 (圖 1-14)。

圖 1-14

由靜止加速前進時，在相同時間內，速度變化量較大者加速度較大。



教學引導技巧

- 說明平均加速度的定義。
- 強調平均加速度是「單位時間內的速度變化量」，表示物體速度變化的大小和方向。
- 說明加速度的單位。



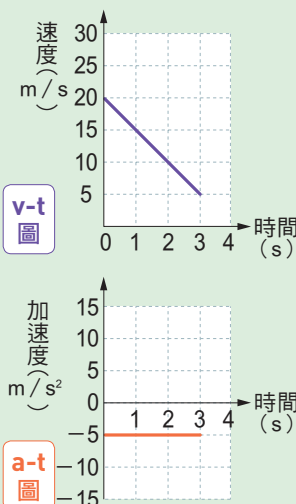
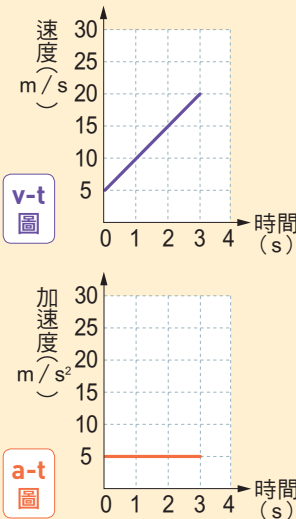
3 等加速度運動

如圖 1-15 所示，假設東方為正，甲車向東做直線運動，其速度愈來愈快，可畫出「速度—時間關係圖」(v-t 圖)，得到一條向右上傾斜的直線。

- 5 改畫「**加速度—時間關係圖**」(a-t 圖)，可得任一時刻加速度皆為 5 公尺/秒²的水平直線，表示甲車做等加速度運動，且加速度為正值，表示加速度方向為向東。

- 10 如圖 1-16 所示，乙車同樣向東做直線運動，但速度愈來愈慢，畫出 v-t 圖，可得一條向右下方傾斜的直線。改畫 a-t 圖，可得任一時刻的加速度皆為 -5 公尺/秒²的水平直線，表示乙車做等加速度運動，且加速度為負值，表示加速度方向為向西。

- 15 甲車及乙車在運動過程中，兩者加速度大小和方向始終維持一定，則表示甲車及乙車皆做**等加速度運動**，僅是兩車的加速度方向不同。



教學引導技巧

- 說明等加速度運動的意義。
- 說明等加速度運動，其速度對時間作圖 (v-t 圖) 的特徵。
- 說明等加速度運動，其加速度對時間作圖 (a-t 圖) 的特徵。

10 等加速度正向

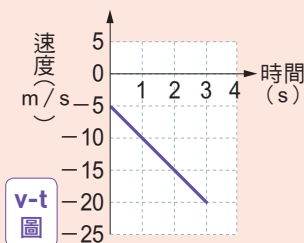
表示甲車向東做直線運動，且愈來愈快，其速度與時間的關係圖，是一條向右上傾斜的直線，加速度為正值。

11 等加速度負向

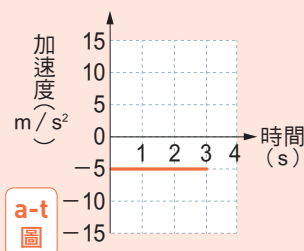
表示乙車向東做直線運動，且愈來愈慢，其速度與時間的關係圖，是一條向右下方傾斜的直線，加速度為負值。



圖 1-17 丙車的速度與加速度方向相同，其速度變快。 12

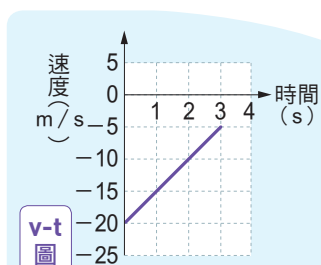


丙車向西做直線運動，任一時刻加速度皆為 -5 公尺/秒^2 ，表示丙車速度與加速度同方向，其速度愈來愈快。

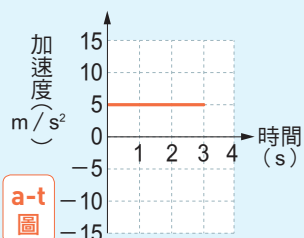


加速度具有方向性，因此直線運動狀態的物體，以正負號表示速度變化的方向。要判斷直線運動物體的速度是變快或變慢，則須先考慮加速度的方向⁴是否與速度的方向相同。

當加速度與速度方向相同時（同為正值或同為負值），物體的速度將變快（圖 1-15、圖 1-17）；反之，當加速度與速度方向相反時，物體的速度將變慢（圖 1-16、圖 1-18）。



丁車向西做直線運動，任一時刻加速度皆為 5 公尺/秒^2 ，表示丁車速度與加速度的方向相反，其速度愈來愈慢。



知識便利貼

轉彎也具有加速度⁴

當運動物體的加速度方向和原速度方向不在同一直線上（有夾角時），物體將會轉彎，即「改變方向」，表示加速度可使運動方向改變。此內容將於第 2-4 節進一步介紹。



圖 1-18 丁車的速度與加速度方向相反，其速度變慢。 13

12 速度與加速度同向

表示丙車向西做直線運動，且愈來愈快，其速度與時間的關係圖，是一條向右下方傾斜的直線，加速度為負值。

13 速度與加速度反向

表示丁車向西做直線運動，且愈來愈慢，其速度與時間的關係圖，是一條向右上傾斜的直線，加速度為正值。



教學引導技巧

- 說明加速度也具有方向性。
- 說明當加速度 a 與速度 v 的方向相同時，物體的速度變快。當加速度 a 與速度 v 方向相反時，物體的速度變慢。

如圖 1-19 所示，紅車及綠車皆由靜止開始向東做等加速度運動，將兩車各時段對應的速度繪製成 $v-t$ 圖，為速度漸增的斜直線，再藉由速度的變化量，計算出每時段的平均加速度，繪製成的 $a-t$ 圖為一水平直線，表示兩車的加速度皆沒有變化，但紅車的等加速度較綠車大（圖 1-20）。因此， $v-t$ 圖的傾斜程度愈大，代表單位時間內速度的變化量愈大，即加速度愈大。

5

紅車

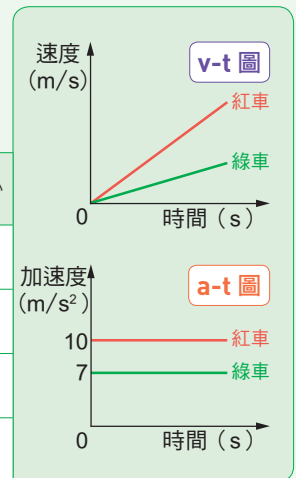


綠車



圖 1-19 紅、綠兩車的運動狀態比較圖

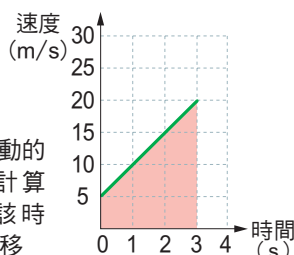
項目 \ 時間		第 0 秒	第 1 秒	第 2 秒	第 3 秒
紅車	速度 (m/s)	0	10	20	30
	平均加速度 (m/s ²)	10			
綠車	速度 (m/s)	0	7	14	21
	平均加速度 (m/s ²)	7			

圖 1-20 紅、綠兩車的速度與 $v-t$ 圖、 $a-t$ 圖

14

圖 1-21

等加速度運動的 $v-t$ 圖，可計算出物體於該時間段中的位移



由於物體所經歷時間 t 秒內的總位移，等於 $v-t$ 圖中線段和時間軸所包圍的面積大小，故第 24 頁的甲車在 3 秒內的位移，即為如圖 1-21 中的橘色梯形面積： $(5 + 20) \times 3 \div 2 = 37.5$ 公尺。

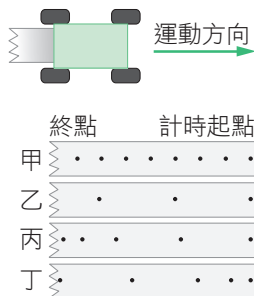
10

14 等加速度的位移

1. 在初速度為 0 時（或由靜止起動）的等加速度運動，其位移大小 Δx 與加速度 a 、時間 t 的關係為 $\Delta x = \frac{1}{2} at^2$ ，恰等於關係曲線與時間軸包圍的面積大小，因此，也可由三角形面積公式算出。
2. 在初速度為 v_0 時的等加速度運動（ $v_0 \neq 0$ 時），其位移大小 Δx 與加速度 a 、時間 t 的關係為 $\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ ，恰等於關係曲線與時間軸包圍的面積大小，因此，也可由梯形面積公式算出。

例 5

滑車向右運動，同時拉動穿過打點計時器的紙帶，以不同方式操作四次，分別得到紙帶甲～丁（如右圖），若打點計時器每秒在紙帶上打出 f 個點，則：



- (1) 紙帶上相鄰兩點的時間間隔為多少秒？
- (2) 四條紙帶中，何者表示滑車做等速度運動？
- (3) 四條紙帶中，何者表示滑車愈來愈快？

(1) $1/f$ 秒。打點計時器每秒在紙帶打出 f 個點，則

答 相鄰兩點之間歷經的時間為 $1/f$ 秒。

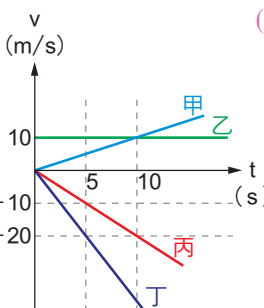
(2) 甲和乙。因為每兩點間的距離都相同，表示滑車做等速度運動。

(3) 丁。紙帶向右拉動，丁紙帶往左的墨點間距愈來愈大，表示滑車愈來愈快。

例 6

右圖代表四輛車子的運動狀態，圖中 v 代表速度、 t 代表時間，其中乙車向東維持等速度運動，試回答以下問題？

- (1) 何者做等加速度運動且其行進的運動狀態是愈來愈快？
- (2) 何者運動方向向西？
- (3) 在 10 秒內各車位移大小的值由大至小依序為？
- (4) 試判斷以上四車加速度大小的值由大至小依序為？



(3) 各車於 10 秒內的總位移，等於 v - t 圖中線段和時間軸所包圍的面積大小。面積由大到小為丁 $>$ 丙 $=$ 乙 $>$ 甲，故位移大小為丁 $>$ 丙 $=$ 乙 $>$ 甲。

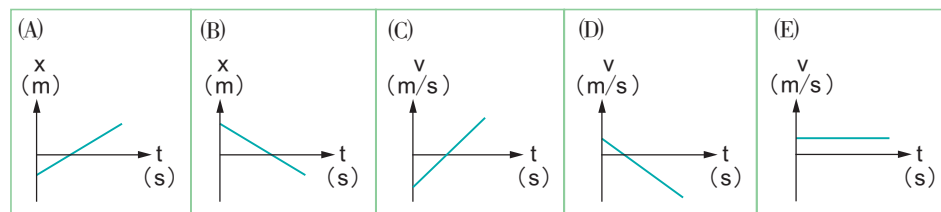
(4) 加速度大小由 v - t 圖斜率可判斷為丁 $>$ 丙 $>$ 甲 $>$ 乙。

答 (1) 甲、丙、丁皆為等加速度且愈來愈快，但甲車向東，丙、丁兩車則為向西。乙為等速度運動。

(2) 丙、丁兩車皆向西行進。

例 7

請問下列何者運動狀態為等速度運動？何者運動狀態為等加速度運動？



答 等速度運動：(A)(B)(E)

等加速度運動：(C)(D)



教學引導技巧

- 引導學生利用繪製 v - t 圖的方式，了解關係曲線與時間軸所包圍的面積等於位移大小，並可自行計算得出。

1-4 自由落體



Warm up

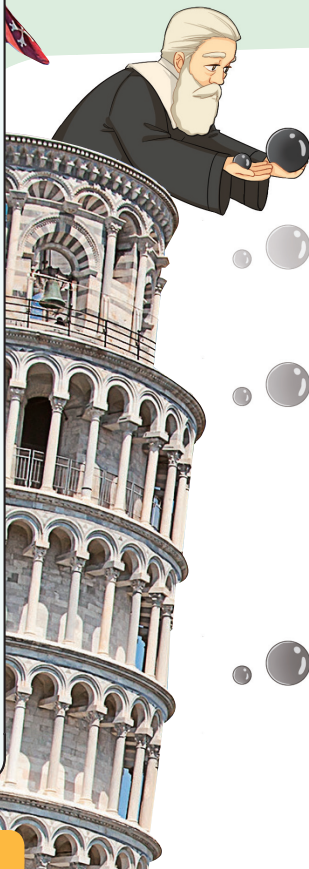
答

國內外的大型遊樂園提供許多的遊樂設施讓民眾遊玩，特別是一些親身體驗後會讓人尖叫聲不斷的遊樂設施，例如：雲霄飛車、海盜船、旋轉咖啡杯、自由落體等等。許多遊樂設施利用在極短時間內造成的速度變化、方向變化或位置變化，讓參與的遊客產生瞬間的生理變化而有刺激感。右圖中的遊樂設施是一種自由落體遊樂設施，讓人體驗長達 3 秒鐘的自由落體感受。



WARM UP

國內外的大型遊樂園有許許多多的遊樂設施，同學們曾經親身體驗讓人尖叫聲不斷的遊樂設施嗎？右圖中的遊樂設施是利用什麼樣的原理，讓大家有如此驚心動魄的感受？



古希臘哲學家亞里斯多德（Aristotle, 384 ~ 322 B.C.）曾提出以下思想實驗⁵：重量不同的物體從同一高度自由落下，重物會先落地。在 16 世紀以前，大部分的人都直覺的認為，若讓不同重量的物體從同一高度自由落下，重物會比輕物先落地。

5

據說西元 1590 年，伽利略在比薩斜塔（圖 1-22）將二個不同重量的鐵球由塔頂自由釋放，觀察落地的時間，發現二個鐵球幾乎同時到達地面。伽利略因此認為，從同一高度自由落下的物體，無論物體的輕重，著地所需的時間應該都相同。

10

16

圖 1-22 比薩斜塔 15



教學引導技巧

- 藉 Warm up 的提問，讓學生思考自高處掉落的變化與感受。
- 說明亞里斯多德早期的自由落體論點。
- 說明伽利略的落體實驗。

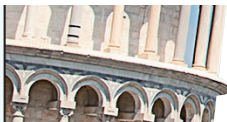


知識便利貼

思想實驗（Thought Experiment）⁵

運用想像力所進行的實驗，在現實中並未真正進行的實驗。例如：伽利略當年的思想實驗有：「如果不受空氣阻力的影響，相同高度、同時落下的物體會同時著地，和物體的輕重無關。」以及「如果小球由斜面頂端釋放，下滑到完全光滑沒有摩擦力的水平面上，小球將沿直線等速度不停的前進。」

15 比薩斜塔



比薩斜塔是義大利比薩城大教堂的獨立式鐘樓，位於比薩大教堂的後面，比薩斜塔的建造開始於西元 1173 年 8 月，歷經約 200 年才完工，比薩斜塔一開始的設計並非就是設計成斜的，而是垂直建造，但是在建造過程中由於地基不均勻和土層鬆軟而傾斜，比薩斜塔曾在西元 1990 年 1 月 7 日停止向遊客開放，經過 11 年的整修，比薩斜塔被扶正 44 厘米，專家認為，只要不出現不可抗拒的自然因素，經過修復的比薩斜塔，300 年內將不會倒塌。西元 2001 年 12 月 15 日起再次向遊客開放。

16 伽利略落體實驗的真假？

二千多年以前，古希臘哲學家亞里斯多德認為兩個重量不等的物體，從相同高度同時落下時，重的物體會先落到地面。亞里斯多德的說法，被認為是天經地義而流傳了二千多年。最早做實驗來推翻亞里斯多德的論點的人，其實並不是伽利略。而是荷蘭的科學家西蒙史蒂芬（Simon Stevin, 1548 ~ 1620）。他早在西元 1586 年，就做了相關的落體實驗，發現輕重差距十倍的物體，落下的時間並沒有差距十倍。

至於伽利略有沒有在比薩斜塔上做落體實驗？最早的記載自伽利略的門生—維維安尼（Vincenzo Viviani, 1622 ~ 1703）在西元 1654 年所著《伽利略的生平》一書。維維安尼在書中說，伽利略是在西元 1590 年的某一天，當著眾人面前，在比薩斜塔的七層陽臺上做了落體實驗，但是根據後人多方考證，伽利略、比薩大學和其他當代相關人員都沒有關於落體實驗的記載。

後來，英國科學家波以耳（Robert Boyle, 1627 ~ 1691）把羽毛和銅幣放入一根玻璃管底部，將玻璃管抽成真空，再將玻璃管迅速倒轉，比較羽毛和銅幣的落下的情形，結果，發現羽毛和銅幣同時落到管底（圖 1-23）。此實驗證實了：「如果不受空氣阻力的影響，從相同高度、同時落下的物體會同時著地，和物體的輕重無關。」

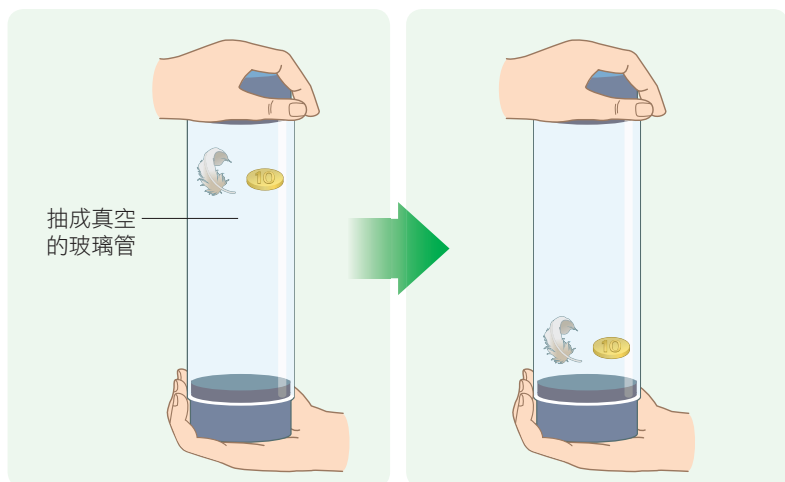


圖 1-23 在真空管頂部落下的羽毛和銅幣會同時到達底部

物體在運動過程中，若只受重力而不受其他作用力影響，我們將這種運動稱為**自由落體**。在地球表面附近，自由落體的加速度值約為 9.8 公尺/秒^2 ，這個加速度是因地球的重力作用而產生的，故稱為**重力加速度**，通常以 g 表示，方向向下。因為 g 值在地表附近可視為定值，故自由落體的過程為等加速度運動。

當彈珠從高處自由落下，初速度為零，若無空氣阻力影響，彈珠掉落過程中的重力加速度值約為 9.8 公尺/秒^2 ，表示速度每秒約增加 9.8 公尺/秒 ，由此可知，第 1 秒末的速度大小值為 9.8 公尺/秒 ，第 2 秒末的速度大小值為 19.6 公尺/秒 ，以此類推可得彈珠掉落過程中的速度變化（圖 1-24）。



$$t = 0$$

$$v = 0 \text{ m/s}$$



$$t = 1 \text{ 秒}$$

$$v = 9.8 \times 1 \\ = 9.8 \text{ m/s}$$



$$t = 2 \text{ 秒}$$

$$v = 9.8 \times 2 \\ = 19.6 \text{ m/s}$$



$$t = 3 \text{ 秒}$$

$$v = 9.8 \times 3 \\ = 29.4 \text{ m/s}$$



$$t = 4 \text{ 秒}$$

$$v = 9.8 \times 4 \\ = 39.2 \text{ m/s}$$

圖 1-24

不考慮空氣阻力，彈珠從高處自由落下的示意圖。

17 波以耳的落體實驗

英國科學家波以耳（Robert Boyle, 1627 ~ 1691）利用自己發明的抽氣機做了一個實驗：他把一根羽毛和一枚銅幣從同一高度自由釋放，結果發現當管中有空氣時，銅幣落下較快；但是當他把管中的空氣抽光後，重新做實驗，這時羽毛和銅幣就幾乎同時落到管底。這實驗證明：從同一高度落下的物體，如果不考慮空氣阻力和浮力的影響，則物體著地的時間快慢，和它的重量大小無關。

18 羽毛與銅幣的真空實驗

若將此實驗移至月球表面進行，則無需真空管。在月球表面相同高度下，兩手同時釋放銅幣和羽毛，則兩者也會同時落地，兩者有相同的末速度。

19 彈珠自由落體

在理想狀態下，若不考慮空氣阻力，可由圖中數據判斷得知：彈珠在各秒末的落下距離和末速度皆相同。



教學引導技巧

- 說明波以耳的落體實驗證實：「如果不受空氣阻力的影響，從相同高度、同時落下的物體會同時著地，和物體的輕重無關。」及其成功之處。
- 說明自由落體是一種等加速度運動。

① 位置變化

- ① 位置描述：(1)參考點；(2)相對於參考點的方向；(3)與參考點的距離。

負方向

正方向



② 路徑長與位移

名稱	定義	方向性
路徑長	物體在運動過程中實際移動的距離。	不具方向性
位移	物體在運動過程中位置的變化量。↑	具方向性，由起點指向終點

$$\text{位移} = \text{末位置} - \text{初位置} = x_2 - x_1$$

- ③ x-t 圖：表示物體位置隨時間變化的情形，可看出物體運動的方向及快慢。

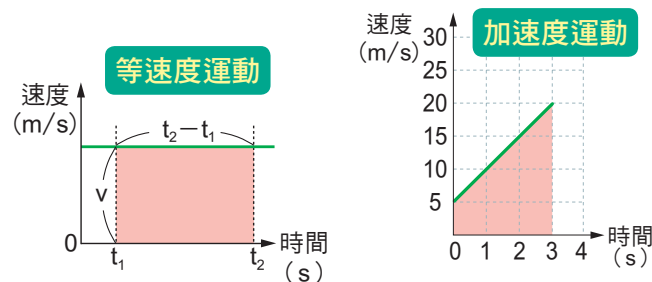
② 運動快慢

① 平均速率與平均速度

名稱	定義	關係式	常用單位
平均速率	物體在單位時間內移動的路徑長，不具方向性。	$\frac{\text{路徑長}}{\text{經歷時間}}$	公尺/秒 (m/s) 公里/小時 (km/h)
平均速度	物體在單位時間內的位置變化量（位移），具有方向性。	$\frac{\text{位移}}{\text{經歷時間}}$	

$$v = \frac{\text{位移}}{(t_2 - t_1)}, \text{位移} = v \times (t_2 - t_1)$$

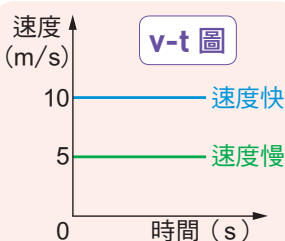
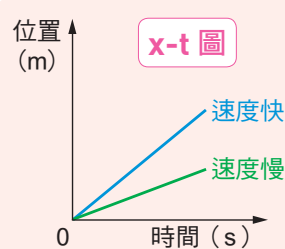
- ② v-t 圖：表示物體速度隨時間變化的情形，速度與時間軸所圍成的面積，即等於物體的位移。



③ 等速度運動

- ① 定義：物體運動的速度與方向保持不變。（加速度為 0）

- ② x-t 圖皆為斜直線，傾斜程度愈大，表示速度愈快；v-t 圖皆為水平直線。



③ 不同方向的等速度運動

等速度運動	x-t 圖	v-t 圖	a-t 圖
速度為正			
速度為負			

④ 加速度運動

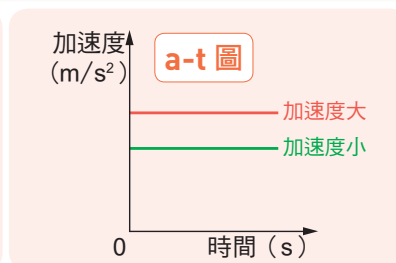
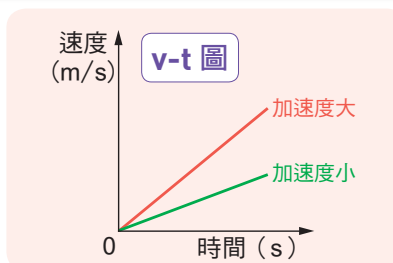
① 加速度運動與等加速度運動

類別	定義
加速度運動	物體運動的速度快慢或行進方向改變。
等加速度運動	物體運動的過程中，加速度的大小與方向維持一定。

② **平均加速度**：單位時間內的速度變化量，常用單位為公尺/秒² (m/s²)。

$$\text{平均加速度} = \frac{\text{速度變化量}}{\text{經歷時間}} = \frac{\text{末速度} - \text{初速度}}{\text{經歷時間}} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

③ 等加速度運動的 v-t 圖為斜直線，傾斜程度愈大，表示加速度愈大；a-t 圖為水平直線。



④ 加速度具有方向性，當速度與加速度方向相同，物體速度變快；速度與加速度方向相反，物體速度變慢。（設東方為正）

等加速度運動	速度為正	速度為負
加速度與速度同方向	<p>物體向東運動，且愈來愈快</p>	<p>物體向西運動，且愈來愈快</p>
加速度與速度反方向	<p>物體向東運動，且愈來愈慢</p>	<p>物體向西運動，且愈來愈慢</p>

直線運動

⑤ 自由落體

① **自由落體**：物體在運動過程中，只受重力作用，不受其他作用力的影響。

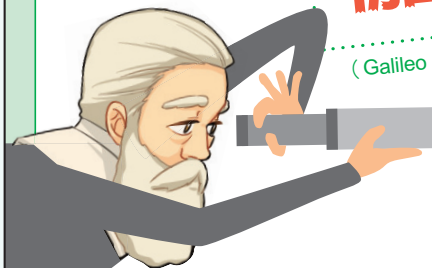
② 不考慮空氣阻力和浮力，兩物體自相同高度落下至地面，所需的時間相同，和物體重量無關。

③ 地表附近的重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ，方向向下。

近代科學之父
伽利略

伽利略推翻了以往傳統純屬思辨的科學觀，開創以實驗事實為根據與嚴密邏輯推論的科學方法，被譽為「近代科學之父」。

(Galileo Galilei, 1564 ~ 1642) 出生於義大利。



擺動實驗

西元 1581 年，伽利略 17 歲時，就讀比薩大學學習醫學。某天聽到李奇的數學講課，從此對算術、幾何學著迷不已，隨後向父親請求讓他改讀數學與自然哲學，並獲得允許。西元 1583 年，伽利略注意到比薩教堂上方吊燈擺動的時間似乎不變，後來他使用銅球模擬這個擺動實驗，發現小幅擺動的條件下，擺動週期只會受到擺長的影響，且發現擺動週期與擺長的平方根成正比。惠更斯利用這個原理在西元 1657 年製成世界上第一架擺鐘，其一天的計時誤差不超過 10 秒，因此大幅提升了當時計時的精準度。

西元 1586 年伽利略撰寫論文，嘗試設計溫度測量器、發明液體比重天平，並發表若干靜力學新定理，這些成就獲得

學術界的關注。西元 1589 年，比薩大學聘他擔任數學教授，講授幾何學和天文學，當時年僅 25 歲。伽利略在比薩大學任教三年後，於西元 1592 年轉至學風比較自由的帕多瓦大學擔任教授，在此時期，他深入研究力學，如落體運動、拋射運動、靜力學、慣性原理以及研究土木建築等，並成功發明溫度計和望遠鏡。

發明望遠鏡

西元 1609 年，伽利略聽聞荷蘭人發明了一種可看遠的望遠鏡，他在未見到實物的情況下，以風琴管和各一片凹、凸透鏡，自製出一具倍率三倍的望遠鏡，之後又提升到九倍。他到處展示所設計的望遠鏡，參觀者無不驚喜萬分，威尼斯參議院因此聘請伽利略為帕多瓦大學的終身教授。

發現月球坑洞、木星衛星

西元 1609 年 12 月，伽利略經過改良後，完成一具放大率達到二十倍的望遠鏡，這使他開始使用望遠鏡對著天空觀察，開創天文觀測的新一頁。他發現月球上具有坑洞及高大的山脈，並將其中最高峰命名為阿爾卑斯山，亦發現木星周圍有四顆衛星環繞運行。

由於這些重大發現，伽利略於西元 1610 年出版《星際使者》，該書的發行導致了天文學的一場革命。當時科學家多數認同亞里斯多德及托勒密的宇宙觀，即所有天體都會圍繞著地球運轉的地心說理論，但伽利略所發現數個小行星（衛星）圍繞著大行星（木星）運轉的現象並不符合地心說的宇宙觀。隨後，他又利用望遠鏡觀察銀河，發現銀河是由許許多多的星星所構成，並發現太



此為示意圖，僅供參考

陽自轉及記錄太陽黑子，而於西元 1613 年發表《論太陽黑子》一書。

伽利略在天文學的觀察和研究的成果，使他深信地球是繞著太陽旋轉。西元 1615 年，伽利略被控告其學說與論點違反聖經教義，天主教皇保羅五世在西元 1616 年下達了著名的「1616 年禁令」，伽利略被迫不得以口頭或任何文字形式宣揚及捍衛他的學說。

西元 1632 年，伽利略撰寫完成《關於托勒密和哥白尼

宇宙論的對話》一書，闡述及宣揚哥白尼宇宙論的日心說理論，揚棄托勒密以地球為宇宙中心的地心說理論。隔年伽利略因而被指控違反 1616 年禁令及聖經教義，被處以在家終身軟禁且不得會客，也不得出版及重印任何著作。伽利略即使被監視，但仍然從事一些較無爭議的研究，例如：新興材料力學、動力學，思考利用單擺的原理，以設計機械鐘以及發明氣壓計。晚年伽利略漸漸失明，於西元 1642 年病逝。巧合

的是，同一年牛頓於英國誕生。

伽利略的一生中都在從事科學研究，同時亦集數學家、物理學家及天文學家於一身。牛頓曾說「如果我比別人看得更遠，那是因為我站在巨人的肩上」，伽利略就是其中一位巨人。西元 1992 年，教宗若望保祿二世表示對於當年教會處理伽利略事件的方式感到遺憾，承認當年對伽利略的判決是不恰當的，伽利略長達三百多年的冤屈才因此得到平反。聯合國為了紀念伽利略發明折射式望遠鏡 400 周年，故將西元 2009 年訂為國際天文年。



20 單擺的等時性

21



教學引導技巧

- 藉伽利略的發現，說明單擺的等時性。
- 讓學生自行裝設一個單擺來進行實驗，探討影響擺動週期的因素有哪些？
- 探討進行小角度單擺實驗時，改變擺錘質量、擺角、擺長的大小，會不會影響單擺的擺動快慢？

十六世紀時，義大利科學家伽利略（Galileo Galilei, 1564～1642）利用自己的脈搏，測量教堂天花板吊燈來回擺動的時間，發現的結果讓計時工具的演變有了一大進步。他究竟發現了什麼？讓我們重現當年伽利略的單擺實驗，進一步探討單擺的特性。



伽利略

目的

探討影響單擺擺動快慢的因素。

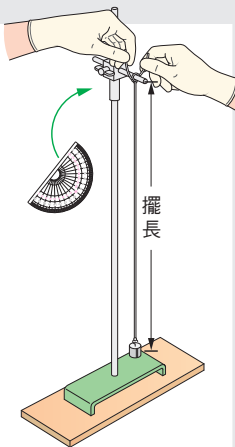
器材

（以組為單位）

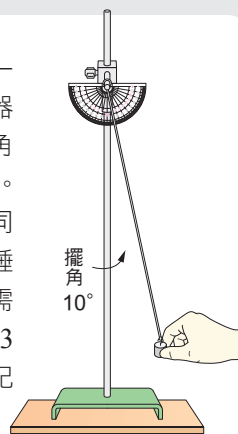
- 量角器 ×1 □直尺 ×1 □馬表 ×1
□鐵架及固定夾 ×1 □細線（長度 100 cm 以上）×1
□擺錘（附掛勾的 20 g、50 g、100 g 砝碼各 1 個）

步驟

- 一條細線上端固定於鐵架，下端懸掛 100 g 擺錘。倒置量角器固定於鐵架上端，調整細線長度，使固定點到擺錘中心的距離為 100 cm（稱為擺長）。



- 將 100 g 擺錘拉向一側，使其與量角器中央垂直線的夾角約 10° （稱為擺角）。輕輕放開擺錘，同時以馬表測量擺錘來回擺動 10 次所需的時間，重複測量 3 次，分別將結果記錄於下表。



擺長 (公分)	擺角 (度)	擺錘質量 (公克)	來回擺動 10 次的時間 (秒)			來回擺動 10 次的 平均時間 (秒)	來回擺動 1 次的 平均時間 (秒)
			1st	2nd	3rd		
100	10	100	20.0	20.3	20.1	20.1	2.01

20 單擺的三要素

三要素	說明	
擺長	由繩子上方一端到擺錘球心的距離。	
擺角	擺繩由中央直線到擺動最高點時之間的夾角。	
擺錘質量	擺錘的質量大小。	

21 伽利略

伽利略出生於舉世聞名的比薩斜塔所在地——比薩（Pisa），父親是個沒落的貴族。年輕時的伽利略即在數學和工藝方面，表現出非凡的理解能力和過人的天分。

伽利略就讀比薩大學醫學院時，在比薩大教堂內觀察懸吊在天花板上的吊燈擺動，他按著手腕上的脈搏，默數吊燈擺動的次數，發現了單擺的等時性（isochronism of the pendulum）。

後來，伽利略利用單擺的等時性，製作了一種計脈器（pulsilogium），其原理是調整計脈器的擺線長度，使單擺的擺動次數和病人的脈搏跳動達到一致，不但可以幫助醫生測量病人的脈搏跳動快慢，而且方便比較病人前後兩次就診時的脈搏跳動變化。

3 試著思考有哪些因素會影響單擺擺動的快慢？並猜測這些因素會讓單擺擺動的時間如何變化？

可能影響擺動時間的因素	預測擺動週期的變化 (填入變長、變短或不變)
擺長	擺長變短，週期 <u>變短</u> 。
擺角	擺角變大，週期 <u>不變</u> 。
擺錘質量	擺錘變重，週期 <u>不變</u> 。
其他	

教學引導技巧

- 說明單擺的等時性，以及小角度單擺運動時，其擺角、擺錘質量、擺長與週期的關係。

4 試著將你的想法實際進行操作，並加以探討。

老師

甲生

乙生

若想證實擺角的大小對單擺擺動週期的影響，要如何設計實驗？

實驗的操作變因就是擺角的大小。

不能改變的擺長與擺錘質量，是控制變因。

實驗結果 22 23

在擺角不大的情況下，固定擺長、擺角與擺錘質量，單擺擺動的週期幾乎相同，此即為單擺的等時性，也是後來發明擺鐘的原理。當擺角與擺錘質量固定，僅改變擺長，單擺擺動週期會隨擺長變短而變小，擺長愈長週期也愈長；而只改變擺角或擺錘質量時，則不會影響單擺的週期。

A 改變擺長
固定擺角與擺錘質量

擺動週期較大 擺動週期較小

B 改變擺角
固定擺長與擺錘質量

擺動週期相同

C 改變擺錘質量
固定擺長與擺角

擺動週期相同

22 週期與頻率

擺動一次所需的時間稱「週期」（單位：秒）；反過來說，每秒擺動的次數稱為「頻率」（單位：1/秒）。週期和頻率互成倒數，即「週期 = 1/頻率」或「頻率 × 週期 = 1」。

23 單擺的週期

當擺角為小角度時，固定擺錘質量，擺長愈長，單擺的週期也愈長；擺長愈短，單擺的週期也愈短。擺鐘即是利用此原理製成。

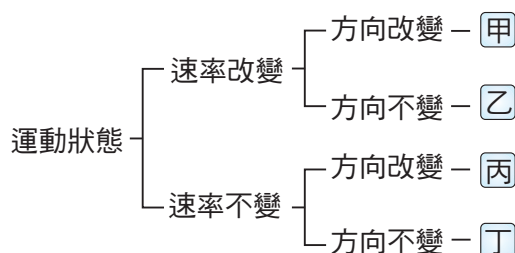
單擺的週期	說明
$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$	1. 週期常以「秒」為單位。 2. 擺長的大小（ ℓ ）與萬有引力的大小（ g ）均會影響單擺週期的大小。

一、單選題

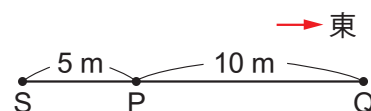
- (D) 1. 右圖為各種運動的分類，老師請志豪將「等速度運動」的圖卡貼在圖中甲、乙、丙、丁中的一個位置上，則他貼在哪一個位置才是正確的判斷？【103. 會考⑬】

(A) 甲
(B) 乙
(C) 丙
(D) 丁

1. 等速度運動即速率不變且方向不變，故選(D)。



- (C) 2. 智耀在筆直的跑道上折返跑，他從 P 點起跑，其路徑為 $P \rightarrow Q \rightarrow P \rightarrow Q \rightarrow P \rightarrow S$ ，總共歷時 15 s，如右圖所示。下列何者可表示此次智耀折返跑的平均速率？【105. 會考⑫】



(A) 0.33 m/s
(B) 0.33 m/s，方向向西
(C) 3 m/s
(D) 3 m/s，方向向西

2. 平均速率無方向性，此人的路徑長為 45 m，總共花了 15 s 的時間，平均速率 = $45 / 15 = 3 \text{ m/s}$ ，答案選(C)。

- (C) 3. 小花在實驗室中找到一份舊實驗紀錄簿，紀錄簿中有一頁單擺實驗的紀錄表，此表因蟲蛀而使部分資料無法判讀，如下圖所示。若製作此表時的實驗步驟正確且結果合理，則由可辨識的資料來判斷，下列何者最可能為組別丙的擺長長度？【107. 會考⑪】

3. 單擺週期只與擺長有關，由丙與甲擺動 10 次的時間約略相同可知丙與甲的擺長約相等，故選(C)。

組別	擺錘質量(公克)	擺長(公分)	擺角(度)	擺動10次的時間(秒)
甲	50	100.0	5.0	20.1
乙	50	25.0	5.0	9.9
丙	100		5.0	20.0



(A) 25.0 公分 (B) 50.0 公分 (C) 100.0 公分 (D) 200.0 公分

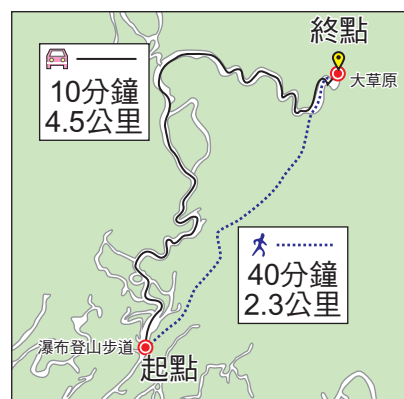
- (B) 4. 甲、乙、丙三地位於同一條筆直的道路，且乙地位於甲、丙之間，甲、乙二地的距離為 S_1 ，乙、丙二地的距離為 S_2 。小明沿著道路由甲地出發經乙地到達丙地後再折返回乙地，其路線即甲 \rightarrow 乙 \rightarrow 丙 \rightarrow 乙，已知此過程小明的平均速度大小為每小時 3 公里，平均速率為每小時 15 公里，則 $S_1 : S_2$ 為下列何者？

(A) 1 : 1 (B) 1 : 2
(C) 1 : 4 (D) 1 : 5

【107. 會考⑮】

4. 平均速度 = $S_1 / t = 3 \text{ 公里/小時}$ ；平均速率 = $(S_1 + S_2 + S_2) / t = 15 \text{ 公里/小時}$ ；可得 $S_1 : S_2 = 3 : 6 = 1 : 2$ 。

- (A) 5. 可慧使用網路上的電子地圖來規劃行程，當她輸入起點與終點後，電子地圖提供了步行（）與開車（）兩種路線規劃，如右圖所示。下列有關此兩種路線規劃的敘述，何者正確？



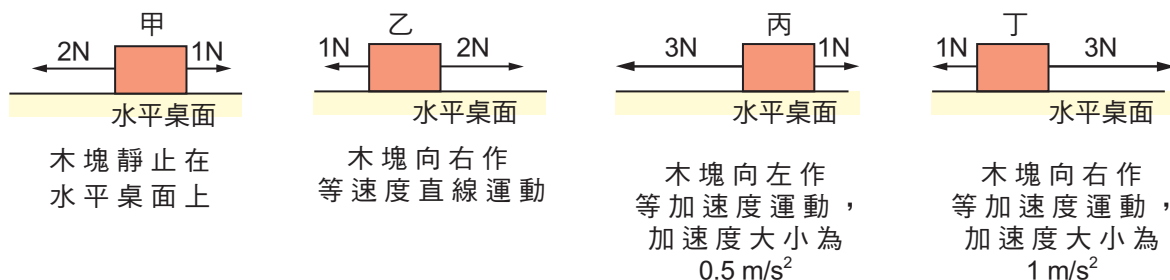
- (A) 位移相同
(B) 路徑長相同
(C) 平均速度相同
(D) 平均速率相同

【108. 會考⑦】

5. (A) 位移為起點與終點的直線距離，必相等，與路徑距離、花費時間無關。

- (C) 6. 甲、乙、丙、丁四個木塊的質量均為 2 kg ，分別置於不同的水平桌面上，並對木塊施以兩個方向相反的水平力，右圖為四個木塊的受力情形及其運動狀態，則此時哪一個木塊所受合力大小為 1 N ？

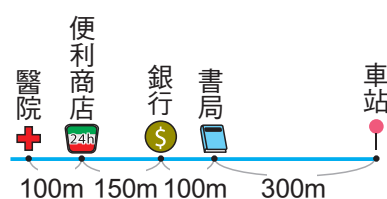
【108. 會考④6】



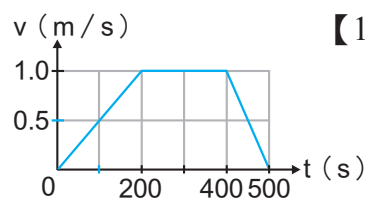
- (A) 甲 (B) 乙 (C) 丙 (D) 丁

6. 甲木塊靜止表示合力為 0 ；乙木塊做等速度運動表示合力為 0 ；丙木塊所受合力 = 質量 \times 加速度 = $2 \times 0.5 = 1\text{ N}$ ；丁合力 = 質量 \times 加速度 = $2 \times 1 = 2\text{ N}$ ，故選(C)。

- (B) 7. 志興家和車站位於同一條筆直的馬路上，這條路上有書局、銀行、便利商店、醫院，其距離關係如下圖(一)所示。若圖(二)為志興由家門前出發走直線到車站的速率 (v) 和時間 (t) 關係圖，他在 $t = 0\text{ s}$ 時出發， $t = 500\text{ s}$ 時到達車站，且過程中不回頭走重覆路線，則志興家的位置最可能坐落於何處？



圖(一)



圖(二)

【109. 會考②9】

- (A) 車站與書局之間 (B) 書局與銀行之間
(C) 銀行與便利商店之間 (D) 便利商店與醫院之間

7. 志興在 500 s 內共走了 (梯形下面積) = $1 \times 200 / 2 + 1 \times 200 + 1 \times 100 / 2 = 350\text{ (m)}$ ，可知志興家距車站 350 公尺 ，即在書局與銀行之間，故選(B)。

- (D) 8. 一滑車作直線運動，在時間 $t = 0\text{ s}$ 時的速度為 5 m/s ，方向向東； $t = 5\text{ s}$ 時的速度為 10 m/s ，方向向西，則此滑車在 $t = 0 \sim 5\text{ s}$ 期間的平均加速度為下列何者？

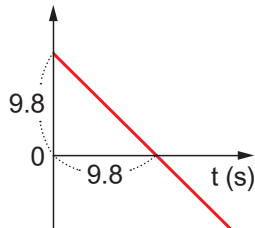
【109. 會考補考④0】

- (A) 1 m/s^2 ，方向向東 (B) 1 m/s^2 ，方向向西
(C) 3 m/s^2 ，方向向東 (D) 3 m/s^2 ，方向向西

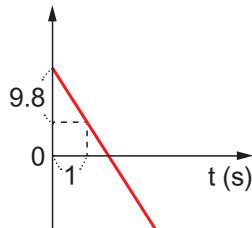
8. 以東方為正，可得平均加速度 = (末速 - 初速) / 時間 = $(-10 - 5) / (5 - 0) = -3\text{ m/s}^2$ 。即平均加速度為 3 m/s^2 ，方向向西。

- (B) 9. 將一顆球鉛直上拋，球上升一段高度後便向下墜落。已知此地的重力加速度為 9.8 m/s^2 ，若不計空氣阻力的影響，速度方向以鉛直向上為正、鉛直向下為負。下列選項中，哪一個最可能是此球運動過程的速度 (v) 與時間 (t) 關係圖？

(A) $v \text{ (m/s)}$

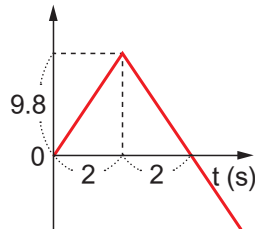


(B) $v \text{ (m/s)}$

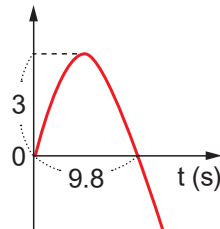


【110. 會考④3】

(C) $v \text{ (m/s)}$



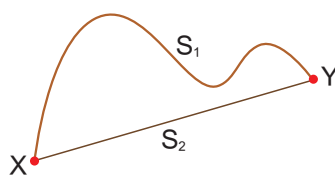
(D) $v \text{ (m/s)}$



9. 加速度一直都是 $-9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ，故選(B)。

- (D) 10. 如下圖所示，圖中 X 點到 Y 點有 S_1 、 S_2 兩條路徑可以選擇，小志與阿耀同時由 X 點出發向 Y 點移動，且途中無折返，抵達 Y 點後計算出兩人的平均速度大小與平均速率，如下表所示。有關誰先抵達 Y 點及他們選擇的路徑，下列敘述何者正確？

【110. 會考補考②7】



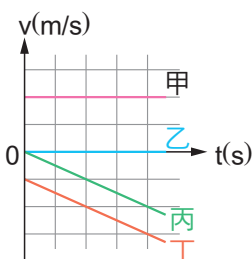
	小志	阿耀
平均速度大小 (km/h)	40	40
平均速率 (km/h)	60	40

- (A) 小志先抵達，且兩人選擇相同的路徑
(B) 阿耀先抵達，且兩人選擇不同的路徑
(C) 兩人同時抵達，且兩人選擇相同的路徑
(D) 兩人同時抵達，且兩人選擇不同的路徑

10. 兩人的平均速度大小相等（位移相等，經過的時間相等），表示兩人同時抵達 Y 點；又小志的平均速率較大，可知同時間內小志移動的距離較大，即小志是沿 S_1 ，阿耀是沿 S_2 移動。故選(D)。

- (D) 11. 在筆直的道路上有甲、乙、丙、丁四輛車，右圖為四車的速度 (v) 與時間 (t) 關係圖。若 $t = 0 \text{ s}$ 時，四車位於同一位置，則有關 $t > 0 \text{ s}$ 車輛間距離的敘述，下列何者正確？

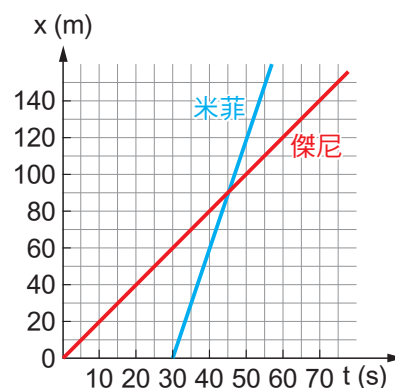
【111. 會考②5】



- (A) 甲、乙兩車的距離保持不變
(B) 丙、丁兩車的距離保持不變
(C) 甲、丙兩車的距離愈來愈近
(D) 乙、丁兩車的距離愈來愈遠

11. (A) 乙不動，故甲乙距離隨時間變大；(B) 丁初速度較大，由曲線與時間軸的面積（移動距離）可知丁與丙距離逐漸變大；(C) 甲、丙兩車方向相反（曲線在時間軸上、下），故距離隨時間變大。

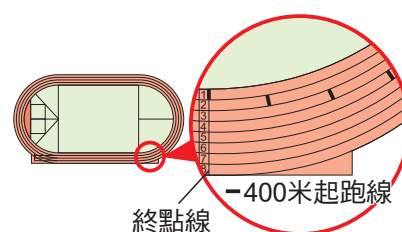
- (A)12. 米菲和傑尼在筆直的道路進行賽跑，右圖是比賽中兩者的位置 (x) 與時間 (t) 關係圖。凱蒂在他們比賽的跑道旁觀看，她觀測到傑尼跑過她面前後，再經過 10 s，米菲才通過她面前。若凱蒂沒有改變過她所站立的位置，則凱蒂觀賽的位置應為下列何者？ 【111. 會考補考②1】



- (A) $x = 60$ m
(B) $x = 70$ m
(C) $x = 110$ m
(D) $x = 120$ m

12. 由圖中可知在距離原點 90 m 處米菲和傑尼經過 45 秒後同時到達，在 45 秒之前傑尼跑在前面； $x = 60$ m 處，傑尼在 $t = 30$ 秒時通過，米菲在 $t = 40$ 秒時通過，即兩者相差 10 s，可知凱蒂觀賽的位置即在 $x = 60$ m 處。

- (A)13. 400 米賽跑的距離剛好是室外標準跑道最內圈一圈的長度，比賽中選手需跑在自己的跑道上，因內、外圈跑道長度的差異，不同跑道的選手起跑位置需作對應調整，如右圖所示。在這項比賽中最先跑完 400 米的選手，他在比賽過程哪一項物理量的大小必高於其他所有選手？



【112. 會考⑱】

- (A) 平均速率
(B) 平均速度
(C) 過程中速率的最大值
(D) 過程中速度的最大值

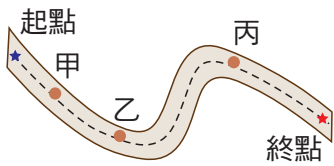
13. 非直線運動中，距離相等，所用時間最短者，其平均速率最大，故選(A)。

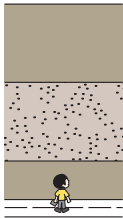
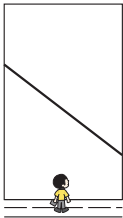
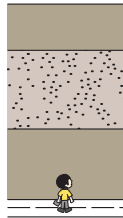
二、題組

閱讀下列選文，回答 14 ～ 17 題：

老師帶著筱喬與同學到野外進行地質考察，一行人沿著水平的公路慢慢走，並觀察路旁山壁上的水平連續岩層。已知該區的岩層未發生上下翻轉與褶皺，且只在乙點發現斷層。右圖為考察路線示意圖，起點與終點的位置以星號標示，黑點是停留觀察的位置，筱喬當天繪製的岩層剖面示意圖與觀察紀錄如下表所示。

【104. 會考(51)～(54)】



活動	起點走到 甲點	甲點觀察	甲點走到 乙點	乙點觀察	乙點走到 丙點	丙點觀察	丙點走到 終點
備註	路徑長 230 m	停留 30 分鐘	路徑長 470 m	停留 15 分鐘	路徑長 850 m	停留 20 分鐘	路徑長 510 m
岩層剖面與觀察紀錄		 <p>淺色是砂岩，深色是頁岩。在頁岩中有乳白色物體，滴上鹽酸有氣泡產生，老師說是貝類與珊瑚化石。</p>		 <p>岩層的種類與甲點的相同，可看到逆斷層活動造成地層的不連續。因時間限制只繪得斷層位置。</p>		 <p>岩層的種類與甲點的相同，受到乙點所觀察的斷層活動影響，導致此處的砂岩的高度改變。</p>	

(B)14. 下列四者是筱喬根據她的紀錄，提出關於甲點岩層的說明或推論，則四者中何者最不合理？

- (A)深色的頁岩應該是沉積岩的一種
- (B)該頁岩形成時的環境應為陸地環境
- (C)貝類與珊瑚可能曾同時生活在同一地點
- (D)從貝類生存年代可推測頁岩的年代範圍

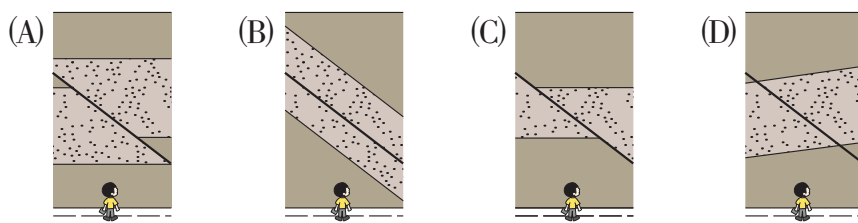
14. 頁岩中含有貝類與珊瑚化石，可知為淺海環境沉積。故(B)最不合理。

(D)15. 根據老師的結論，若筱喬在甲點進行檢測實驗時，收集產生的氣泡並通入蒸餾水中，則形成溶液的過程， $[H^+]$ 和 pH 值分別會有何種變化？

- (A)兩者都變大
- (B)兩者都變小
- (C) $[H^+]$ 變小；pH 值變大
- (D) $[H^+]$ 變大；pH 值變小

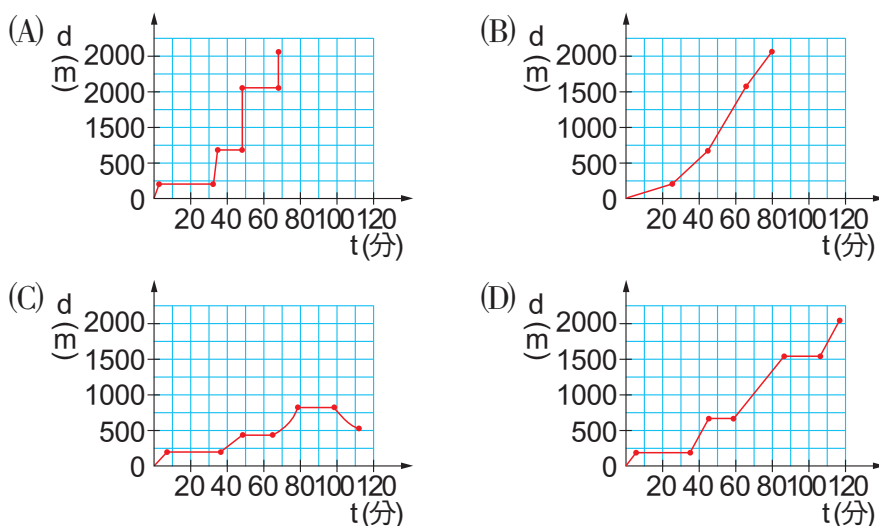
15. 氣泡為 CO_2 ，溶於水呈酸性，可知 $[H^+]$ 變大，pH 值變小。

- (A) 16. 地質考察結束後，筱喬想將乙點的岩層剖面示意圖繪製完整，根據紀錄內容判斷，筱喬完成的圖最可能是下列何者？



16.(A)圖中為逆斷層；(C)為正斷層。故選(A)。

- (D) 17. 若下列選項中，有一項為筱喬進行野外觀察時，起點至終點間的路徑長 (d) 與時間 (t) 關係圖，其中各時間點的路徑長均對應起點，考慮筱喬行進時速率的合理性及此圖的正確性，假設筱喬在各點停留觀察時均站立不動，則此圖最可能為下列何者？

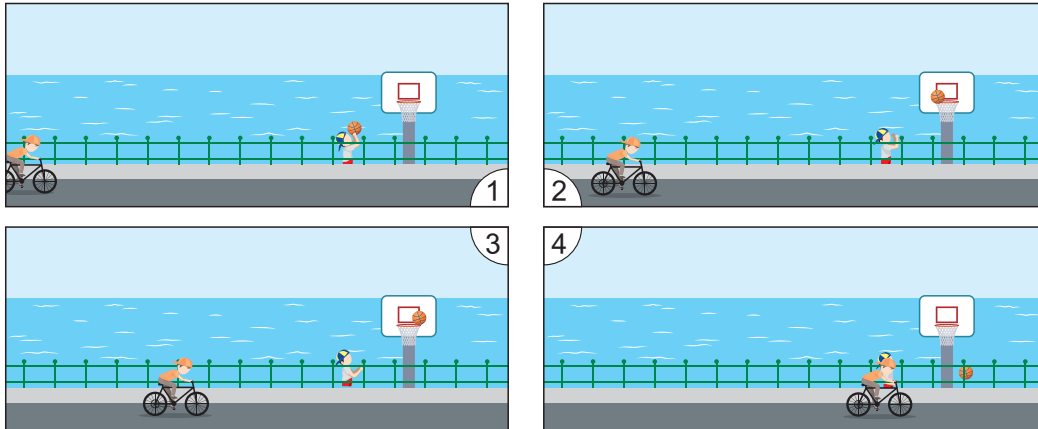


17.(A)圖不合理；由表中
[備註]欄的資料，
可知最可能為(D)圖。

請閱讀下列敘述後，回答 18 ~ 19 題：

【106. 會考(51)(52)】

下圖為小育在海邊依序拍攝的四張照片，其角落的標號表示拍攝的先後順序，四張照片均在相同位置、相同角度下拍攝，已知照片中的小威在練習投籃，騎車的阿祁，在拍攝過程中沿著欄杆旁的筆直道路作「等速度運動」。



- (D) 18. 假設路邊的欄杆，兩兩之間的距離均相同。拍攝照片 1 至拍攝照片 2 之間的時間間隔為 t_1 秒，拍攝照片 2 至拍攝照片 3 之間的時間間隔為 t_2 秒，拍攝照片 3 至拍攝照片 4 之間的時間間隔為 t_3 秒。觀察此四張照片，推測 t_1 、 t_2 、 t_3 之間的大小關係為下列何者？

- (A) $t_1 > t_2 > t_3$ (B) $t_1 = t_2 < t_3$
(C) $t_1 = t_2 = t_3$ (D) $t_1 < t_2 < t_3$

18. 因為騎腳踏車者做等速度運動，故 V 相同； $S = V \times t$ ，所以騎的距離間隔愈遠，時間間隔會愈大；從圖形可知， t_1 、 t_2 、 t_3 之間的大小關係為 $t_1 < t_2 < t_3$ ，故答案選(D)。

- (B) 19. 觀察照片右方小威所投出的籃球，在哪兩張照片中，籃球相對於水平地面的重力位能是相等的？

- (A) 照片 1 及照片 2 (B) 照片 2 及照片 3
(C) 照片 3 及照片 4 (D) 照片 4 及照片 1

19. 以水平地面為零位面，相同物體高度愈高重力位能愈大，題目要找籃球所具有的重力位能相同的兩張照片，從圖形可知照片二和三中的籃球距離零位面的高度相等，故答案選(B)。

無人鞦韆 為什麼會晃動？

文／臺中市立福科國中
何莉芳 老師

網路上傳言，某位學生無意中拍下一座無人鞦韆自晃擺動 2 分鐘的影片，將影片放在網路上的隔天，就出了車禍住院。明明沒有人，鞦韆為什麼還會自然擺動？甚至超過 2 分鐘還不會靜止。靈異節目：「就像有人坐在上面，一直加快鞦韆的速度。」這種靈異現象讓人感覺非常害怕。

通常，鞦韆在人離開之後還會擺動一段時間，然後受空氣阻力和摩擦力作用影響，擺動幅度會愈來愈小，最後靜止。而我們在盪鞦韆的時候，透過身體姿勢的蹲低站高或是雙腳晃動，或是由後面的人幫忙推，提供能量讓鞦韆愈盪愈高。

只是，毫無規律地動作或亂推並無法使擺動幅度變大，只有抓住時間頻率，每當鞦韆盪去的時候就推一下，有週期性地推動，才能使鞦韆擺動幅度變大、愈盪愈高。也就

是說，當外力的頻率與振動體（鞦韆）的頻率接近或相等時，振動的幅度就增加，這也是共振造成的現象。

在影片中，無人的鞦韆會晃動，可能是之前才有人從鞦韆上下來，或是有風在推動著鞦韆。不過為什麼它能持續晃動這麼久呢？共振或許可以提供解釋。當鞦韆與風共振時，就會不斷地持續提供晃動的能量。要破壞這種跟風共振的現象，只要調整鞦韆的條件或長度，使它的振動頻率改變，就不會因共振而一直累積能量持續擺盪了。

下次，若看到這個現象，觀察一下有沒有風，不必自己嚇自己。