CH 1 運動學

透過觀察與分析，我們可以認識地球上物體各式各樣的運動，蘋果樹掉下的蘋果或水龍頭滴落的水滴，是常見的自由落體運動。騎馬的牛仔、溜冰的孩子、奔跑的山羊乃至爬行的蝸牛，也在進行五花八門的運動。圖中在鐵道上高速奔馳的火車，正是直線運動的實例。運動學描述的正是物

1-1 位置、位移與路徑長

小康從臺北搭高鐵到臺中探訪外婆，小熹由臺北到臺南探視爺爺後打算參觀科博館而停留臺中。二人都由臺北出發，在臺中巧遇，但運動的過程不同，如何準確地描述呢？

一、位置與位移

日常生活中常見的各種運動，不論直線或曲線，不論快或慢，也不論運動是否有變化，物體運動即表示它在空間中的**位置**（position）隨時間變化。所以描述物體位置與其位置的變化，就成為研究運動時最先遇到的問題。為了將複雜問題簡化，我們先將物體當作一個有質量的點（簡稱**質點**（particle））來處理。

先考慮質點在一條直線上的運動。為了描述質點在直線上的位置，任取直線上的一點作為原點，由原點畫出一條有方向的線段到質點所在的位置，線段的長度代表質點至原點的遠近，線段的方向表示質點在原點的左方或右方。質點的位置具有方向性，因此它是一個**向量**（vector），稱為位置向量。

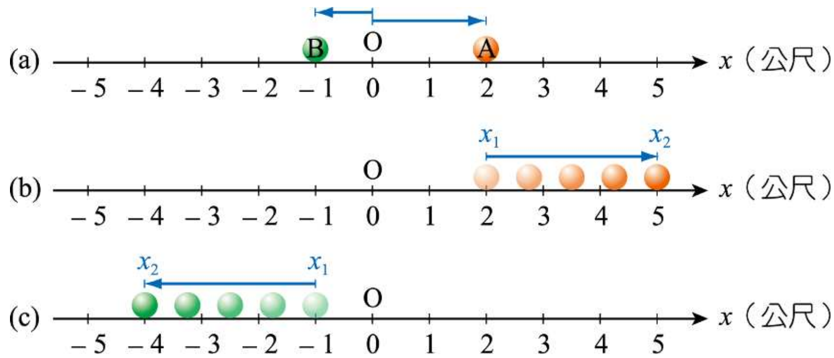
為方便起見，可將直線上位置向量的方向以正負號表示，指向原點右方的位置向量定為正值，指向左方則定為負值。如圖 1-1(a)的位置向量，取 O 點為 x 軸的原點，則質點 A 位於 x 坐標上的 2 公尺處，其位置向量 x 為 2 公尺向右，記為 $x=+2$ 公尺。質點 B 位於 x 坐標上的 -1 公尺處，其位置向量 x 為 1 公尺向左，記為 $x=-1$ 公尺。

當質點運動時，位置發生變化，定義位置的變化量為**位移**（displacement），以 d 或 Δx 表示，其 SI 單位為公尺（m），可寫為：

$$d=\Delta x=x_2-x_1 \quad \textbf{(1-1)}$$

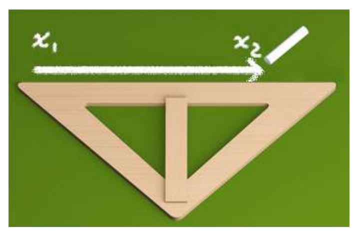
如圖 1-1(b)，若質點 A 的初位置為 $x_1=2$ 公尺，末位置為 $x_2=5$ 公尺，其位移為 $d=\Delta x=x_2-x_1=5-2=+3$（公尺），正號表示質點向 $+x$ 的方向移動，

即向右方運動。又如圖 1-1(c)，若質點 B 的初位置為 $x_1=-1$ 公尺，末位置為 $x_2=-4$ 公尺，則位移 $d=\Delta x=x_2-x_1=(-4)-(-1)=-3$（公尺），負號表示質點向 $-x$ 的方向移動，即向左方運動。



∴圖 1-1　(a)質點 A 與質點 B 之位置向量。
(b)質點 A 的位移為向右 3 公尺。
(c)質點 B 的位移為向左 3 公尺。

位移是向量，有量值也有方向。如圖 1-2，粉筆在黑板上由初位置 x_1 移動到末位置 x_2，位移的量值就是粉筆的初位置與末位置之間的最短距離，也就是粉筆經尺所畫之線段長度。而粉筆位移的方向由初位置 x_1 指向末位置 x_2。



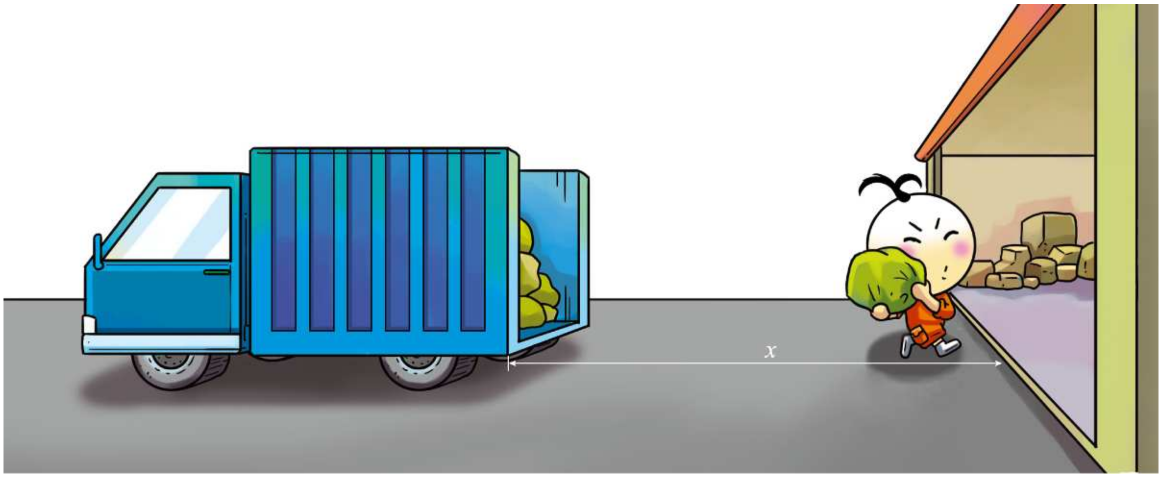
∴圖 1-2　粉筆位移的量值是粉筆經尺所畫出線段的長度，方向則由 x_1 指向 x_2。

二、路徑長

位移向量只與初位置、末位置有關，與如何到達末位置的過程是無關的。若將質點由初位置到達末位置經過的每一小段軌跡均在圖上描出並計算總長度，所得到的結果稱為**路徑長**（path length）ΔS，路徑長為一**純量**（scalar）且永遠為正值，而位移量值就是初位置到末位置的最短路徑長。

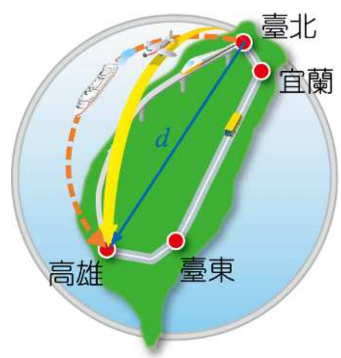
質點限制在一直線上運動時，若運動方向不變，末位置將持續遠離初位置，此情況下，路徑長與位移的量值恰好相等。但若過程中質點的運動方向反向，末位置將開始向初位置接近，位移向量的量值開始減小，但路徑長仍繼續增加，此

情況下路徑長就會大於位移的量值。如圖 1-3，一輛停在距貨倉 x 處之貨車，若以人力來回搬貨，則搬貨工人每來回一次之總位移為 0，但路徑長為 $2x$。



∴圖 1-3　工人來回搬貨一次，總位移為 0，但路徑長為 $2x$。

從臺北到高雄，可以選擇不同的交通工具，例如搭巴士、火車、高鐵、飛機甚至輪船，這些交通工具行經的路徑長 ΔS 均不相同，但就旅程的目的而言，是希望旅行者在地圖上的位置，均由初位置的臺北到達末位置的高雄，也就是由臺北至高雄的位移 d 是相同的，如圖 1-4 所示。



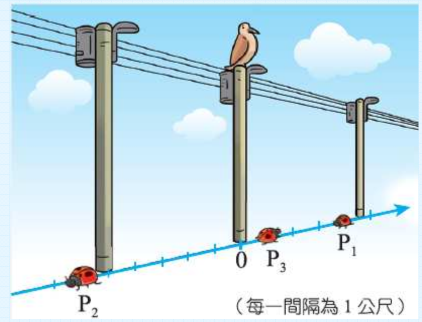
∴圖 1-4　搭乘不同的交通工具由臺北至高雄，經過的路徑不同，但位移相同。

想一想

設臺北、臺中、臺南三地約成一直線，且其間路徑亦可視為一直線，臺中距臺北、臺南兩地皆為 150 公里。若以臺北為原點，本節第一段引言所述之小康與小熹的位置、位移與路徑長，該如何描述呢？

例題 1-1

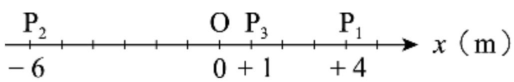
如圖，一隻鳥停於電線桿上，觀察一隻甲蟲於 60 秒內由 P_1 點爬行至 P_2 點後，再費時 30 秒爬行回 P_3 點。



(1)請於圖上標示出甲蟲在 P_1、P_2、P_3 三點之位置。

(2)繪出甲蟲在 90 秒內的位移向量 d，並計算其長度。

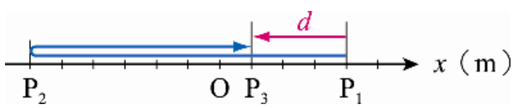
(3)繪出甲蟲在 90 秒內的路徑，並計算路徑長。

解 (1)


如圖，P_1 之位置在原點右方 4 公尺處，記為 $x_1=+4$（m）。

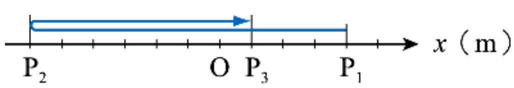
P_2 之位置在原點左方 6 公尺處，記為 $x_2=-6$（m）。

P_3 之位置在原點右方 1 公尺處，記為 $x_3=+1$（m）。

(2)


如圖，位移向量為由 P_1 點指向 P_3 點之向量，記為

$d=x_3-x_1=(+1)-(+4)=-3$（m）。

(3)


如圖，路徑長 $=\overline{P_1P_2}+\overline{P_2P_3}=10+7=17$（m）。

想一想

路徑長為什麼一定會大於或等於位移向量長度？

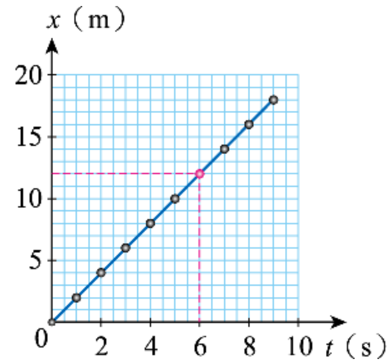
三、x–t 圖

描述質點在一直線上位置隨時間的變化的情況，可在標記其位置 x 的同時，也記下當時的時刻 t，t 為時間坐標上的一點，時間坐標上兩點間的間隔，稱為**時間間隔**或**時段**（time interval）。表 1-1 是一系列在不同時刻 t，質點位置的紀錄，可以描述該質點的運動情形。

∴表 1-1　質點運動的位置和時間坐標數據

t（s）	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x（m）	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18

將表 1-1 位置對應時間的數據，記錄在直角坐標上，取橫坐標為時間 t，縱坐標為位置 x，可繪製成位置–時間關係圖（x–t 圖），如圖 1-5。x–t 圖的表達方式可顯現出質點位置的連續性變化，也容易看出其運動的趨勢，是一種一目瞭然的表示法。

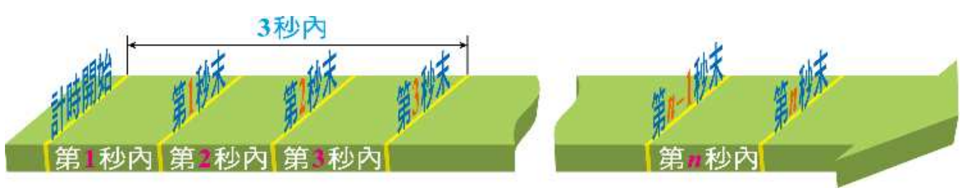


∴圖 1-5　描述質點作直線運動的 x–t 圖。

Note

時間坐標：

時刻為時間坐標上的一個點，時間間隔為時間坐標上兩點間的間隔，為一個線段。



想一想

引號內的文字意指時刻或是時間間隔？

(1) 一節課有「50 分鐘」。
(2)「30 分鐘後」下課。
(3)「3 分鐘前」他剛離開。
(4) 一天有「24 個小時」。
(5)「什麼時候」開始放煙火？
(6) 煙火秀「持續多久」？

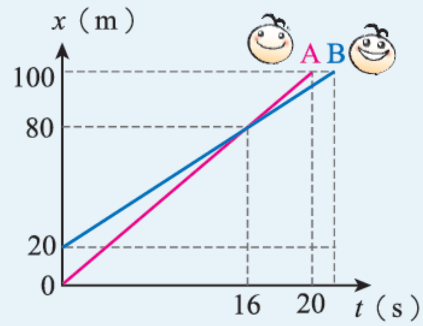
例題 1-2

小康與小熹比賽百米短跑，小康於起跑點出發，但讓小熹於起跑點前 20 公尺處出發，兩人之位置－時間關係圖如右，回答下列問題：

(1) 小康對應 A 直線或 B 直線？

(2) 誰先到達終點？

(3) 小康何時抵達終點？



解 (1) A 直線由 $x=0$（m）處出發，

B 直線由 $x=20$（m）處出發，

故小康對應 A 直線，小熹對應 B 直線。

(2) A 直線較先到達位置 100（m），故小康先到達終點。

(3) 小康對應 A 直線，A 直線於位置 $x=100$（m）時，

對應 $t=20$（s），

故小康於 20 秒到達終點。

自我練習

(1) 小康在何時追上小熹？

(2) 小康在何地追上小熹？

想一想

例題 1-2 中，$x-t$ 圖上 A 直線與 B 直線的交點有什麼物理意義？

CHAPTER 1

1-2 速度及速率

∴圖 1-6　所謂快慢應如何比較？

日常生活中，我們都知道騎自行車比走路快，汽車比自行車快，飛機又比汽車快。到底如何比較物體運動的快慢呢（圖 1-6）？我們可以比較物體移動相同位移或路徑長所用時間的多少，時間愈少就愈快；或者比較物體在相同時間內所移動的位移或路徑長，位移量值愈大或路徑長愈長就愈快。物理對於快慢的概念有嚴密的定義，就是以下要介紹的**速度**（velocity）及**速率**（speed）。

一、平均速度

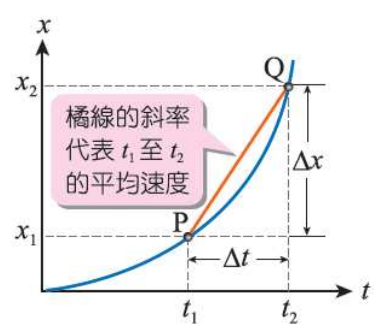
在直線運動中，質點的位移 Δx 與發生這段位移所用時間間隔 Δt 的比值 $\dfrac{\Delta x}{\Delta t}$，即代表質點運動的快慢，稱為**平均速度**（average velocity），即：

平均速度　$$v_{\text{ave}}=\bar{v}=\frac{\text{位移}}{\text{時間間隔}}=\frac{x_2-x_1}{t_2-t_1}=\frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \textbf{(1-2)}$$

$v_{\text{ave}}=\bar{v}$：平均速度（m/s）　Δx：位移（m）　Δt：時間間隔（s）

其中，t_1 為測量初始的時刻，t_2 為測量結束的時刻，x_1 為 t_1 時刻質點的位置（初位置），x_2 為 t_2 時刻質點的位置（末位置），測量時間間隔 $\Delta t=t_2-t_1$，質點位置變化量即位移，為 $d=\Delta x=x_2-x_1$。

將質點在直線上運動的 $x-t$ 圖描繪如圖 1-7 所示，P 點橫坐



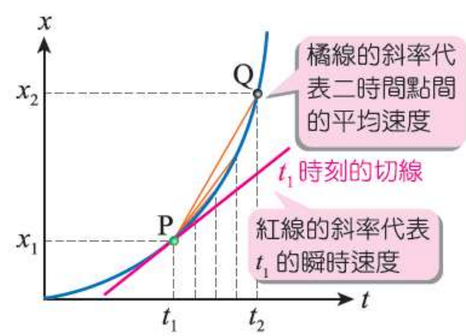
∴圖 1-7　在 $x-t$ 圖中，任取兩點連線的斜率，其數值等於此段時間間隔內的平均速度。

標 t_1 對應縱坐標 x_1，Q 點橫坐標 t_2 對應縱坐標 x_2，對照(1-2)式與圖 1-7 可以看出：質點在 t_1 至 t_2 的時間間隔內的平均速度即為橘色線段 $\overline{PQ}$ 的斜率。因此在 $x-t$ 圖中，任取曲線上兩點連線的斜率，即為所對應時間間隔內的平均速度。

由圖 1-8 可見，若測量的時間間隔 Δt 趨近於零，t_2 時刻趨近於 t_1 時刻，則 Q 點趨近於 P 點，紅色線段也趨近於與 P 點的切線重合。因此在 $x-t$ 圖中，曲線上任一點的切線斜率，即為此點對應時刻的**瞬時速度**（instantaneous velocity）。以 v 表示瞬時速度，則：

瞬時速度 $$v=\lim_{t_2\to t_1}\frac{x_2-x_1}{t_2-t_1}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta x}{\Delta t} \tag{1-3}$$

若沒有特別聲明，一般所稱的速度即為瞬時速度。速度在 SI 制的單位為公尺／秒（m/s）。由於位移是向量，所以速度也是向量。

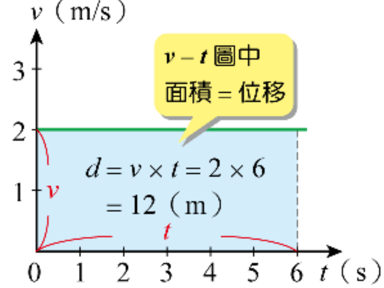


∴圖 1-8 在 $x-t$ 圖中，t_1 時刻的切線斜率即質點在 t_1 時刻的瞬時速度。

二、$v-t$ 圖

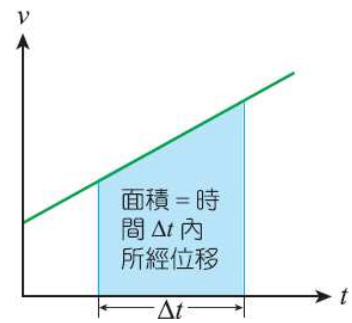
利用 $x-t$ 圖的斜率為速度的性質，可以將質點運動的 $x-t$ 圖轉為 $v-t$ 圖。圖 1-5 之 $x-t$ 圖描述

的運動為一種簡單易懂的運動，可以見到質點的位置 x 隨著時間 t 線性增加，任取曲線上兩點連線的斜率與任取一點的切線斜率相同，即任何時間間隔的平均速度與任何時刻的瞬時速度均相同，此種運動稱為**等速運動**（uniform motion）。圖 1-5 所對應的 $v-t$ 圖，如圖 1-9 所示，為一與橫軸平行的水平直線，在質點運動的時間間隔內，等速運動 $v-t$ 圖的曲線與 t 軸形成一長方形區域，如圖 1-9 的藍色區域。藍色區域的長、寬各為運動所費的時間 t 以及速度 v，由(1-2)式平均速度的定義 $v=\dfrac{d}{t}$，移項得全程位移 $d=vt=$寬×長=長方形區域的面積。



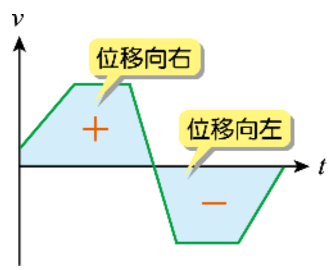
∴圖 1-9　等速運動之 $v-t$ 圖

等速運動 $v-t$ 圖的曲線與 t 軸包圍的面積即為質點的位移，這樣的關係在變速運動仍然成立。若考慮如圖 1-10 所示之變速運動，質點所經的位移等於曲線下的梯形面積。



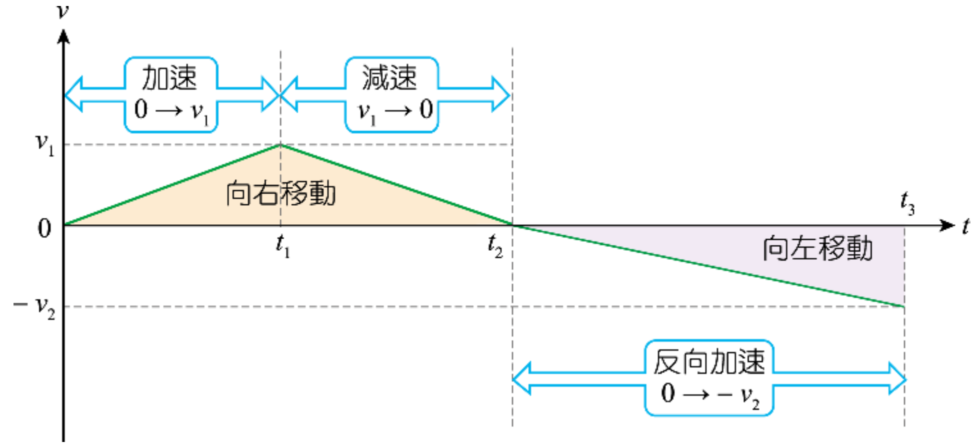
∴圖 1-10　$v-t$ 圖曲線下的梯形面積等於質點所經的位移。

若速度 v 為正值，即 $v-t$ 圖的曲線位在時間軸的上方，則其下所包圍的面積為正，表示位移為正；若速度 v 為負值，即 $v-t$ 圖的曲線位在時間軸的下方，與時間軸所包圍的面積為負，表示位移為負，如圖 1-11 所示。



∴圖 1-11　$v-t$ 關係圖曲線與 t 軸所圍的面積代表位移的量值，正負代表位移的方向。

當火車在直線軌道上行進，如圖 1-12 的 $v-t$ 關係圖表示：火車加速出發在 t_1 時達速度 v_1，之後速度漸減至 t_2 時停止，之後則掉頭反向加速，在 t_3 時，若時間軸上、下方所包圍的面積相等，表示火車行經原出發點。



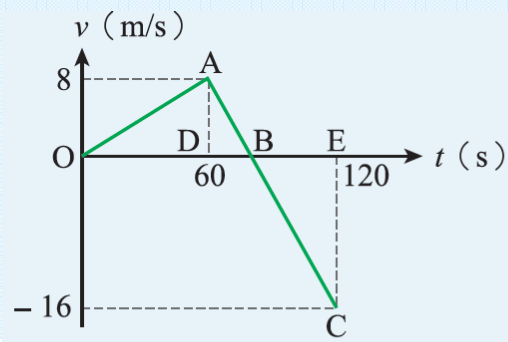
∴圖 1-12　在此 $v-t$ 關係圖中，若時間軸上、下方所包圍的面積相等，則表示火車會於 t_3 時刻行經原出發點。

例題 1-3

$v-t$ 圖之曲線與 t 軸所包圍的面積即物體運動之位移。右圖為一列於 $t=0$ 向北出發之火車的 $v-t$ 圖，請問：

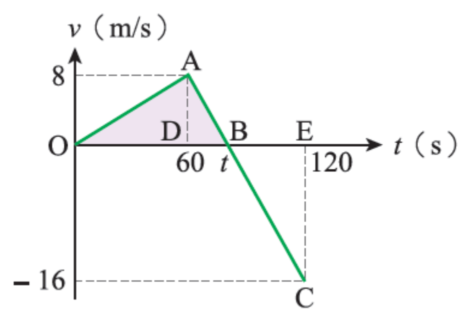
(1)火車向北之最大位移？

(2) 120 秒內之位移？



思路：$v-t$ 圖的圖線下面積為位移。速度 v 為正值，位移增加；速度 v 為負值，位移減小；當 $v=0$ 時，物體的位移達到最大值。

解 (1)物體運動方向改變時必定停止（$v=0$），此時有最大位移，故先求 B 點對應之時刻 t。由圖可知



$\triangle ABD \sim \triangle CBE$，$\dfrac{\overline{AD}}{\overline{BD}}=\dfrac{\overline{CE}}{\overline{BE}}$，

$\dfrac{8}{t-60}=\dfrac{16}{120-t}$，$t=80$（s），

故停止時刻為 80 秒末。

向北之最大位移即△OAB 之面積 $=\dfrac{1}{2}\times 80\times 8=320$（m）。

(2) △CBE 之面積 $=\dfrac{1}{2}\times(120-80)\times 16=320$（m），120 秒內之位移即

$\triangle OAB+(-\triangle CBE)=320+(-320)=0$（m），即火車回到原出發位置。

三、平均速率與瞬時速率

描述質點運動快慢程度的物理量，稱為速率，是一純量。定義路徑長 ΔS 與測量時間間隔 Δt 的比值 $\frac{\Delta S}{\Delta t}$ 為**平均速率**（average speed）$\overline{v_S}$ ，即：

$$\text{平均速率}\quad \overline{v_S} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \qquad \textbf{(1-4)}$$

平均速率 $\overline{v_S}$（m/s）　ΔS ：路徑長（m）　Δt ：時間間隔（s）

若測量的時間間隔 Δt 趨近於零，此時測得的速率稱為瞬時速率 v_S ，即：

$$\text{瞬時速率}\quad v_S = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} \qquad \textbf{(1-5)}$$

若沒有特別聲明，一般所稱的速率即為瞬時速率。質點若在一直線上作同方向的運動，路徑長恰等於位移量值，比較(1-4)式與(1-2)式，此時平均速率恰等於平均速度的量值。但除此特殊狀況之外，路徑長大於位移量值，故平均速率大於平均速度的量值。

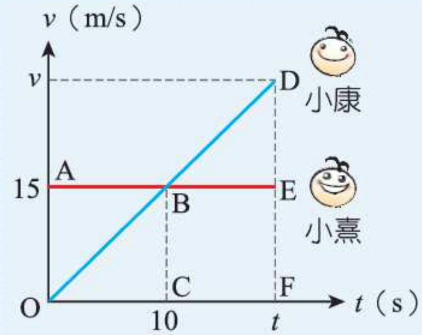
不論質點全程如何運動，若測量的時間間隔 Δt 趨近於零，此瞬間可視為運動方向不變的直線運動，路徑長等於位移量值，故瞬時速率等於瞬時速度的量值。

例題 1-4

小康與小熹同時同地出發作同方向運動，速度－時間關係圖如右，於 10 秒末圖形有交點。問：

(1) 何時二人之速度量值相等？

(2) 10 秒時何者在前，何者在後？



解 (1) 速度為 $v-t$ 圖之縱坐標，10 秒前小熹的速度量值較大；

10 秒後小康的速度量值較大，10 秒時兩者之縱坐標相等，

此時速度相等（均為 15 m/s）。

(2) 10 秒時兩者之速度量值相等，

但位移為 $v-t$ 圖形下面積，位移不一定相等。

10 秒時小康位移為△OBC 面積 $=\frac{1}{2}\times10\times15=75$（m），

小熹位移為長方形 OABC 面積 $=10\times15=150$（m），

故小熹在前，小康在後。

想一想

例題 1-4 中，$v-t$ 圖上 $\overline{AE}$ 和 $\overline{OD}$ 的交點有什麼物理意義？

加速度

生活中常見的直線運動，運動速度大多不是固定不變的。例如：列車由車站開出，速率漸大；列車準備靠站，速率漸小。飛機起飛過程與列車離站類似，速率漸增，但在有限的時間內，飛機必須達到一定的較大速度。可見列車與飛機在啟動時，速度變化的快慢有所差異，速度變化的快慢也是描述質點運動重要的物理量，稱之為**加速度**（acceleration）a。

一、加速度

通常我們測量在時間間隔 Δt 內，質點速度變化 Δv，則比值 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 稱為**平均加速度**（average acceleration）a_{ave}，即：

平均加速度 $$a_{\text{ave}}=\bar{a}=\frac{\text{速度變化量}}{\text{時間間隔}}=\frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}=\frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \textbf{(1-6)}$$

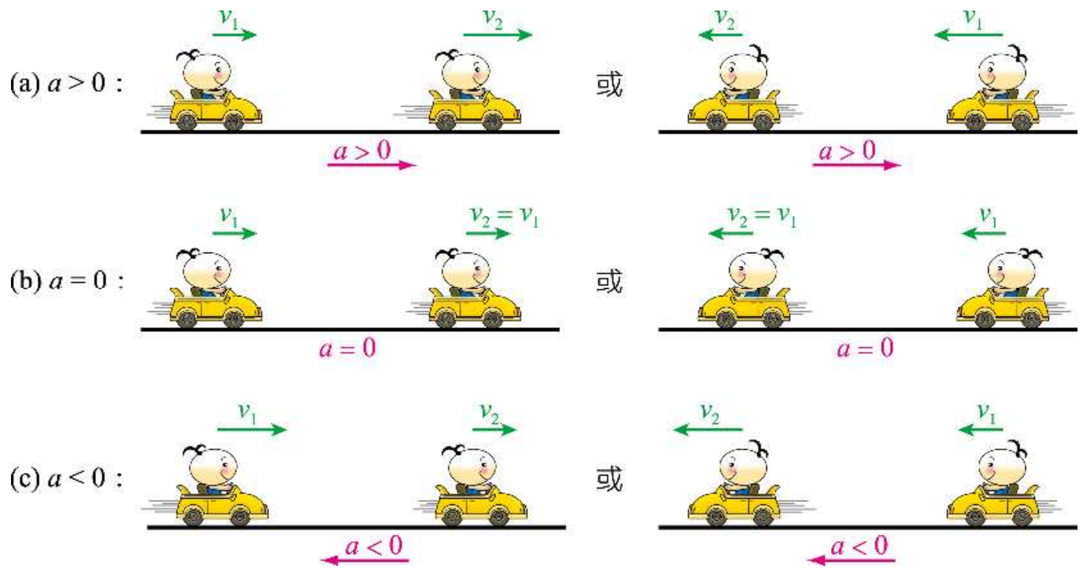
$a_{\text{ave}}=\bar{a}$：平均加速度（m/s^2）　Δv：速度變化量（m/s）　Δt：時間間隔（s）

其中，t_1 為測量初始的時刻，t_2 為測量結束的時刻，v_1 為 t_1 時刻質點的速度，v_2 為 t_2 時刻質點的速度，歷經的時間間隔 $\Delta t=t_2-t_1$，質點速度變化量 $\Delta v=v_2-v_1$。

速度是向量，速度的變化量也是向量，由(1-6)式可知加速度亦為一向量，不但具有量值，也具有方向。要注意的是，加速度的方向不一定是初速度 v_1 或末速度 v_2 的方向（雖然有時恰好與 v_1 或 v_2 同向），而是速度變化量 $\Delta v=v_2-v_1$ 的方向。加速度在 SI 的單位為公尺／秒^2（m/s^2），直線運動時加速度的正負即代表加速度的方向。

二、加速度對速度的影響

以圖 1-13 來說明，若定義向右為正，向左為負，則車子向右愈開愈快時，加速度為正值，向左愈開愈快時，加速度為負值。而車子向右愈開愈慢時，加速

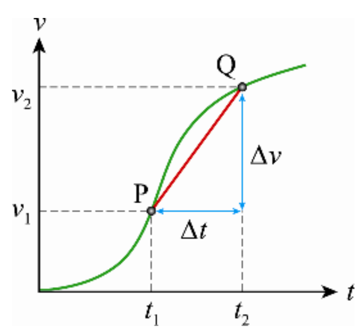


∴圖 1-13　(a)加速度為正，$v_2>v_1$，表向右加速運動或向左減速運動。
(b)加速度為零，$v_2=v_1$，表等速運動。
(c)加速度為負，$v_2<v_1$，表向右減速運動或向左加速運動。

度為負值，向左愈開愈慢時，加速度為正值。總而言之，若車子的速度和加速度的方向相同，則該車的速率將變大；若兩者的方向相反，則速率將變小；若加速度為零，速度不變，即物體作等速運動。

三、v–t 圖的斜率

將質點在直線上作變速運動的 $v-t$ 圖描繪如圖 1-14 所示，P 點之橫坐標 t_1 對應縱坐標 v_1；Q 點之橫坐標 t_2 對應縱坐標 v_2。對照(1-6)式與圖 1-14 可以看出，質點在 t_1 至 t_2 的時間間隔內的平均加速度，即為紅色線段 $\overline{PQ}$ 的斜率。因此在 $v-t$ 圖中，任取圖線上兩點連線的斜率，即為此兩點對應之時間間隔內的平均加速度。



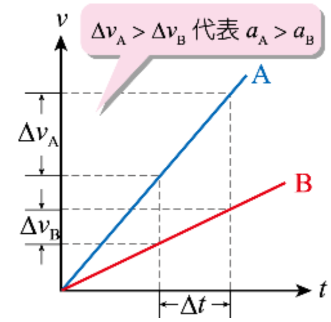
∴圖 1-14　在 $v-t$ 圖中，P、Q 兩點連線的斜率，即為此段時間間隔內的平均加速度。

當測量的時間間隔 Δt 趨近於零，t_2 時刻趨近於 t_1 時刻，此時測得的加速度稱為**瞬時加速度**（instantaneous acceleration），即：

瞬時加速度　$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$　(1-7)

瞬時加速度為 $v-t$ 圖之切線斜率。若沒有特別聲明，一般所稱的加速度即為瞬時加速度。

如果兩物體 A 和 B 在一直線上運動的 $v-t$ 圖如圖 1-15 所示，物體 A 的 $v-t$ 圖斜率較大，即在相同時間間隔 Δt 時，物體 A 速度的變化量 Δv_A 較大，也就是物體 A 的平均加速度較大。

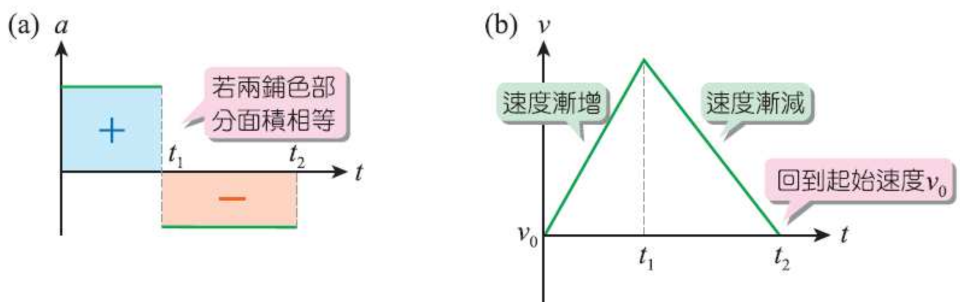


∴圖 1-15　在 $v-t$ 圖中，斜率愈大表示加速度愈大，圖中 A 的加速度 a_A 大於 B 的加速度 a_B。

四、$a-t$ 圖的面積

在定義上，速度為物體位置對時間的變化率，加速度為物體速度對時間的變化率。在 1-2 節中，已說明 $v-t$ 圖的曲線下面積為位置變化量，同理可以推論 $a-t$ 圖的曲線下面積為速度變化量。

若加速度 a 為正值，即 $a-t$ 圖的曲線位在時間軸的上方，則與時間軸所包圍的面積為正，表示速度變化量為正；若加速度 a 為負值，即 $a-t$ 圖的曲線位在時間軸的下方，與時間軸所包圍的面積為負，表示速度變化量為負，如圖 1-16(a)。



∴圖 1-16

(a) $a-t$ 圖曲線和時間軸所包圍的面積，等於質點運動之速度變化，面積的正負代表速度變化量的方向，大小代表速度變化量的量值。

(b)對應圖(a)的 $v-t$ 圖，0～ t_1 時速度漸增，t_1～t_2 時速度漸減至起始速度。

就幾何意義而言，可由 $v-t$ 關係圖時刻對應點的切線斜率求得 $a-t$ 關係圖。所以，在 $v-t$ 圖中某點的切線斜率等於在該點所對應同一時間之瞬時加速度。因此，$v-t$ 圖可轉換成 $a-t$ 圖，用於表示加速度隨時間的變化關係，如圖 1-16(b) 的 $v-t$ 圖，就可以轉換成如圖 1-16(a) 的 $a-t$ 圖。在圖 1-16(a) 中，因為 $a-t$ 關係圖曲線在時間軸的上方及下方所包圍的面積相等，所以計時開始後速度漸增至 t_1 時刻後漸減至 t_2 時刻回到原起始速度。

便利貼

$x-t$ 圖上某點切線的斜率即是物體在該點的（瞬時）速度。

$v-t$ 圖上某點切線的斜率即是物體在該點的（瞬時）加速度。

$v-t$ 圖曲線下的面積即是物體的位移（位置變化量）。

$a-t$ 圖曲線下的面積即是物體的速度變化量。

例題 1-5

如右圖所示，經過百萬年的演化，獵豹可以在 3.0 秒之內，從靜止加速到時速 100 公里，最昂貴的跑車都要瞠乎其後，可說是性能極佳的加速機器。設獵豹作直線運動，求獵豹在 3.0 秒內的平均加速度？

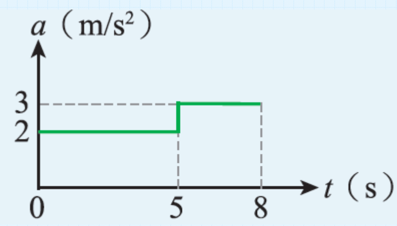
思路： 平均加速度定義為 $a_{ave}=\bar{a}=\dfrac{\text{速度變化量}}{\text{時間間隔}}=\dfrac{v_2-v_1}{t_2-t_1}=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$。

解　100（km/h）$=\dfrac{250}{9}$（m/s），

由(1-6)式，$\bar{a}=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=\dfrac{v_2-v_1}{\Delta t}=\dfrac{\frac{250}{9}-0}{3.0}=9.3$（$m/s^2$）。

例題 1-6

一輛汽車作直線運動的加速度與時間（$a-t$）關係圖如圖所示，若初速度為 10 公尺／秒，求 8 秒末汽車的速度為何？

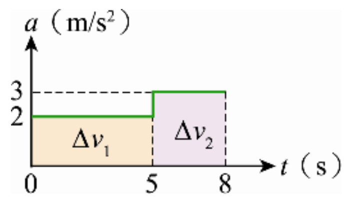


思路：$a-t$ 圖的曲線下面積為速度變化量。

解 $t=0$ ～ 5 秒時的速度變化量 Δv_1

即橘色長方形面積

$\Rightarrow \Delta v_1 = 5 \times 2 = 10$（m/s）；



$t=5$ ～ 8 秒時的速度變化量Δv_2

即紫色正方形面積

$\Rightarrow \Delta v_2 = (8-5) \times 3 = 9$（m/s）；

8 秒末速度$= v_0 + \Delta v_1 + \Delta v_2 = 10 + 10 + 9 = 29$（m/s）。

Note

在生活中常說：「某人跑得很快。」或「某車開得很快。」在物理上，「快」的意義是什麼呢？精確的說，應該是速率大。當然，如果僅考慮同向直進的情況，速率大也就是速度的量值大，也就是在相同的時間內，某人或某車可行進較大的位移。回頭來說，為什麼某人或某車可行進較快呢？若同時由靜止啟動，某人或某車必然有較大的加速度或可以維持加速度較長時間，以達到較大速度，因此加速的能力也是影響快慢的重要因素。

一維空間的等加速運動

一質點的加速度若不隨時間改變，則此質點的運動狀態稱為**等加速運動**（uniformly accelerated motion）。如圖 1-17(a) 所示，質點的加速度–時間關係圖（$a-t$ 圖）為一與橫軸（t 軸）平行之水平線，這表示加速度 a 不隨時間 t 而變化，在 t 秒內 $a-t$ 圖的曲線下之長方形面積代表速度變化 Δv，故

$$\Delta v = at \text{ ，}$$

$$v - v_0 = at \text{ ，}$$

$$v = v_0 + at \qquad \textbf{(1-8)}$$

v：末速度（m/s）　v_0：初速度（m/s）　a：加速度（m/s^2）　t：時刻（s）

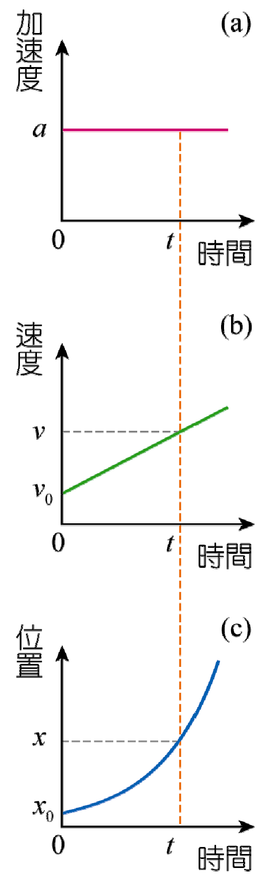
(1-8)式為等加速運動的速度–時間關係式，據此式畫出速度–時間關係圖（$v-t$ 圖）為一斜率不為零的直線，如圖 1-17(b)。可見質點作等加速運動時，速度隨時間穩定的變化（本例為增加），代表加速度的斜率為一定值。在 t 秒內 $v-t$ 圖的曲線下之梯形面積代表位移 d，故

$$d = (v_0 + v) \times t \times \frac{1}{2} \qquad (1\text{-}9)$$

將(1-8) 式代入上式，可得

$$d = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \qquad \textbf{(1-10)}$$

d：位移（m）　v_0：初速度（m/s）　a：加速度（m/s^2）　t：時刻（s）



∴圖 1-17　等加速運動的
(a)加速度－時間圖
(b)速度－時間圖
(c)位置－時間圖

位移即位置的變化量，$d=x-x_0$，代回(1-10)式可得

$$x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2 \tag{1-11}$$

等加速運動的平均速度可以由(1-9)式得出

$$\bar{v}=\frac{d}{t}=\frac{v_0+v}{2} \tag{1-12}$$

由(1-12)式可知，等加速運動的平均速度為初速度與末速度之算術平均數。

(1-10)式為等加速運動的位移–時間關係式，依據此式畫出位置–時間關係圖（$x-t$ 圖）為一拋物線，如圖 1-17(c)。

由(1-8)式移項可得

$$t=\frac{v-v_0}{a} \tag{1-13}$$

代入(1-9)式，移項整理後可得速度–位移關係式（$v-d$ 關係式）

$$v^2={v_0}^2+2ad \tag{1-14}$$

v：末速度（m/s）　v_0：初速度（m/s）　a：加速度（m/s^2）　d：位移（m）

便利貼

一維空間的等加速運動公式

(1) $v=v_0+at$。　(2) $d=v_0t+\frac{1}{2}at^2$。　(3) $v^2={v_0}^2+2ad$。

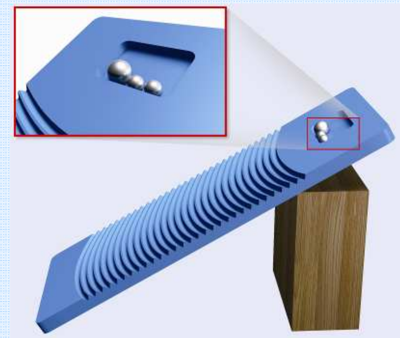
v：末速，v_0：初速，d：位移，t：從 0 起算的時間，a：加速度。

上述等加速運動的公式，均由運動函數關係圖的性質推導而得，使用這些公式與使用運動函數關係圖之性質來解題均會得到相同的答案。公式可得到物理量間的定量關係，以函數圖形來表達物理量間的關係時，可得到直觀的效果。兩者均為學習物理不可或缺的工具。

動動手

等加速運動小實驗

實驗器材：塑膠洗衣板一塊、大小鋼珠數個



1. 斜置一塑膠洗衣板使之成為斜面，斜度不宜太小，取鋼珠由上端靜止釋放，鋼珠經過洗衣板的凸出部分時將發出聲音，由於洗衣板的凹槽間距固定，鋼珠每經一個凹槽即發出一聲響，若聲音間隔固定，則鋼珠作等速運動；若聲音愈來愈密集，則可判斷鋼珠作加速運動。
2. 取重量不同的二鋼珠由洗衣板上端靜止釋放，由聲音判斷二鋼珠之運動型態是否相同。
3. 改變洗衣板之傾斜角度，由聲音判斷鋼珠之運動型態是否相同。

例題 1-7

如右圖所示，台灣高鐵列車最高營運速率為 300 公里／小時（即速度量值約為 83 公尺／秒），最大加速度約為 0.56 公尺／秒 ^{2}，則：

(1) 列車以最大加速度由靜止作等加速運動至最高營運速率，需時多少秒？

(2) 承(1)，列車加速至最高營運速率時，經過的位移量值為多少公尺？

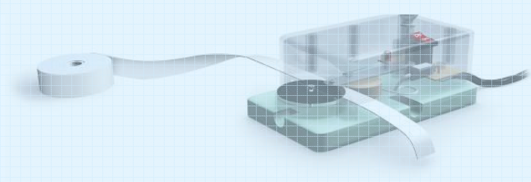
思路： 等加速運動之末速 $v = v_0 + at$，位移 $d = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$。
給定初速 v_0、末速 v 與加速度 a，即可求出時間 t 與位移 d。

解 (1) 由(1-8)式，$v = v_0 + at$，得 $83 = 0 + 0.56t$，故 $t = 150$（s）。

(2) 由(1-10)式，$d = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times 0.56 \times 150^2 = 6300$（m）。

例題 1-8

右圖之打點計時器為一規律振動的打點器，物體連接著紙帶，運動時帶動紙帶通過打點計時器之複寫紙下方，撞針打在複寫紙上，在紙帶上留下記號。藉由紙帶點距的變化，可以判斷物體的運動情形。



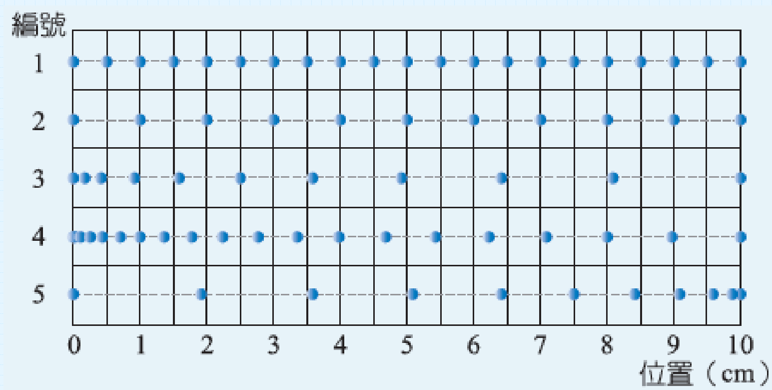
小康將分別為等速運動及等加速運動的五次實驗的紙帶，依實驗 1～5 編號整理如下圖所示。則：

(1) 哪幾次實驗是等速運動？

(2) 哪幾次實驗是等加速運動？

(3) 各個等速運動實驗的速度有何不同？

(4) 各個等加速運動實驗的加速度有何不同？



思路： 等速運動在相同的時間間隔 Δt 內位移 $d = v\Delta t$ 均為定值，故打點均勻分布。等加速運動因速度均勻增加（或均勻減小），相同的時間間隔 Δt 內位移不為定值，打點間隔將漸大(或漸小)。

解 (1) 第 1、2 次的實驗打點均勻分布，故為等速運動。

(2) 第 3、4、5 次的實驗打點間隔漸大或漸小，故為等加速運動。

(3) 實驗 2 之打點間隔較實驗 1 的間隔大，故實驗 2 之速度量值較實驗 1 的速度量值大。

(4) 實驗 3 與實驗 4 之打點間隔漸大，故速度量值漸大，加速度與速度均為正，實驗 5 之打點間隔漸小，故速度量值漸小，加速度為負。實驗 3 全程費時 10 個時間間隔，而實驗 4 費時 19 個時間間隔，實驗 3 之平均速度量值較大，故可判斷實驗 3 之加速度量值較實驗 4 之加速度量值大。

1-5 自由落體運動

一、何謂自由落體運動？

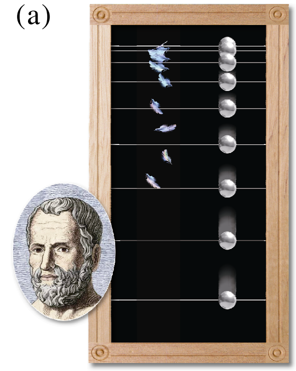
物體從空中落下的運動，若只受到地球重力的作用，不受空氣阻力或其它作用力的影響，稱為**自由落體**（freely falling body）運動。不論物體是由靜止下落、或以一初始速度鉛直上（下）拋，若物體均只受重力作用，皆為自由落體運動。

二、觀察與想法的變遷

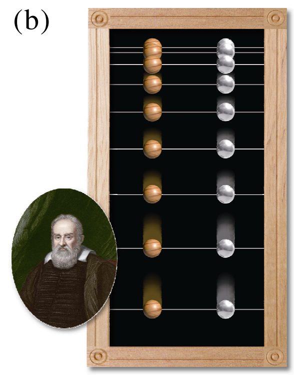
不小心由手中掉落的物體，就是一種靜止出發的自由落體。日常生活中當我們看到蘋果比羽毛下落得快時，自然而然的就得出「物體愈重，下落愈快」的結論。早在西元前 4 世紀，古希臘哲學家亞里斯多德（Aristotle，384～322 B.C.）就曾說：「物體的重量決定下落的快慢（圖 1-18(a)）」，兩千多年以來，一直沒有人質疑這個論點。

直至 17 世紀，伽利略（Galileo Galilei，義大利，1564～1642）才向這一「理所當然」的論點提出挑戰，在他的《兩種新科學的對話》中，伽利略指出這個論點自相矛盾的地方，並推斷重物不會比輕物下落得更快。他的推論如下：由高處落

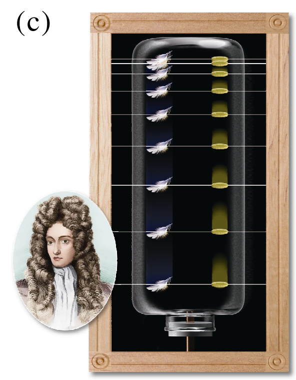
(a)



(b)



(c)



∴圖 1-18　(a)亞里斯多德認為：重物比輕物下落得快。
(b)伽利略以假想實驗推論：物體下落所需時間與其重量無關。
(c)波以耳以實驗證實：在真空中，不同重量之物體自同高度落下，所需時間相同。

∴圖 1-19　自由落體運動的實驗圖，左邊是在空氣中，右邊管內為真空，橫線間隔標示單位時間。

下的一塊大石頭，它的落地速率如果是 10 公尺／秒，另一塊小石頭， 落地速率為 8 公尺／秒，將他們綁在一起，較慢的小石頭將拉扯較快的大石頭，整個系統的落地速率應該在 8 與 10 公尺／秒之間，但兩塊石頭綁在一起成了更重的一塊石頭，落地速率應該比 10 公尺／秒更大，這樣就得到了自相矛盾的結論。因此伽利略推測：物體下落所需的時間與其重量無關，如圖 1-18(b)。

17 世紀，波以耳（Robert Boyle，英國，1627～1691）作了一個有名的實驗：他把一個管子抽成真空，去除了空氣阻力的影響，管子裡面放一支羽毛和一個硬幣，實驗結果是落下所需的時間間隔相同，如圖 1-18(c)。

圖 1-19 可以見到在真空中，鐵球和羽毛因僅受重力，故並排下落而同時到達管底；空氣中的鐵球運動時受到的空氣阻力遠小於重力，所以它的運動過程與在真空中幾乎相同；但羽毛受到的重力不大，在空氣中所受到的空氣阻力無法忽略，所以它的運動過程明顯與在真空中不同。

月球表面沒有空氣，也就沒有空氣阻力。1971 年搭乘阿波羅 15 號登月的太空人史考特（Dave R. Scott，美國，1932～）在月球表面就進行了自由落體實驗。史考特左手拿了一根羽毛，右手拿著一把鍾子，二者在同一高度同時由靜止下落後，最終也同時墜落至月球表面。

三、初速度為零的自由落體運動

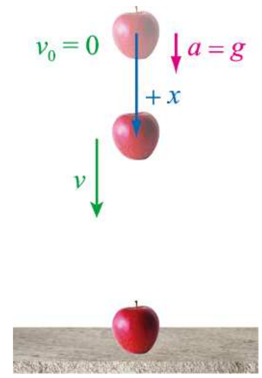
物體在地表附近所受的重力為定值，故重力所產生的加速度，即重力加速度亦為定值，以符號 g 表之，測量值約為 9.8 公尺／秒^2，方向朝向地心。故由空中靜止出發的自由落體運動，為初速度 v_0 等於零、加速度 a 等於重力加速度 g 的等加速運動。如圖 1-20 所示，一物體由靜止作自由落體運動，以起始位置為原點，取鉛直向下的方向為正，將 $v_0 = 0$，$a = g$ 代入(1-8)式、(1-10)式與(1-14)式可得

$$v = gt \qquad \textbf{(1-15)}$$

$$d = \frac{1}{2}gt^2 \qquad \textbf{(1-16)}$$

$$v^2 = 2gd \qquad \textbf{(1-17)}$$

其中 v 為物體於 t 秒末的速度，d 為 t 秒內的位移，(1-17)式為速度 v 與位移 d 之關係式。



∴圖 1-20　由靜止自由落下的物體以起始位置為原點，向下取正號，向上取負號。

例題 1-9

如右圖所示，小康與小熹模仿伽利略約 400 年前於比薩斜塔所作的實驗，使二顆大小不同的石子自高樓的樓頂同時由靜止自由落下，經測量為 2.00 秒後同時到達地面，可知二石子之運動型態相同。求：

(1) 高樓的高度。

(2) 石子著地瞬間的速度量值。

解 (1) 設樓頂高度為 h，即自由落體之位移量值 d，

$$h = d = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 = 0 + \frac{1}{2} \times 9.8 \times 2.00^2 = 19.6 \text{（m）}。$$

(2) $v = v_0 + gt = 0 + 9.8 \times 2.00 = 19.6$（m/s）。

例題 1-10

鉛直上拋運動是一種初速度與加速度方向相反的等加速運動。若自地面以 9.8 公尺／秒的速度鉛直上拋一球，如右圖所示，不計空氣阻力，則：

(1) 球上升之最大高度為多少公尺？

(2) 球飛行時間為多少秒？

(3) 球觸地前瞬間之速度為多少公尺／秒？

解 取向上為正，

(1) 球到達最高點，速度為零，

由(1-14)式，$v^2 = {v_0}^2 + 2ad$，代入得 $0 = 9.8^2 + 2 \times (-9.8) \times H$，

得最大高度 $H = 4.9$（m）。

(2) 球落地表 $d = 0$，

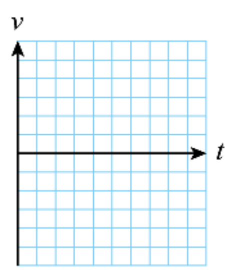
由(1-10)式，$d = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$，代入得 $0 = 9.8t + \frac{1}{2} \times (-9.8) \times t^2$，

解得 $t = 2$（s）（$t = 0$ 不合）。

(3) 由(1-8)式，$v = v_0 + at = 9.8 + (-9.8) \times 2 = -9.8$（m/s），負號表方向向下，故球落地時速度與初速度量值相等、方向相反。

自我練習

畫出球的速度－時間關係圖。



科學家小故事

亞里斯多德的貢獻

在物理學上常提到亞里斯多德所犯的錯誤，但能在受各種條件所限的二千多年前，基於日常經驗的觀察開啟人類理性的思維，也是功不可沒。他有句名言：「我愛我師，但我更愛真理（Plato is dear to me, but dearer still is truth.）」。後世真理的彰顯，一定為他所樂見。

伽利略的運動學研究

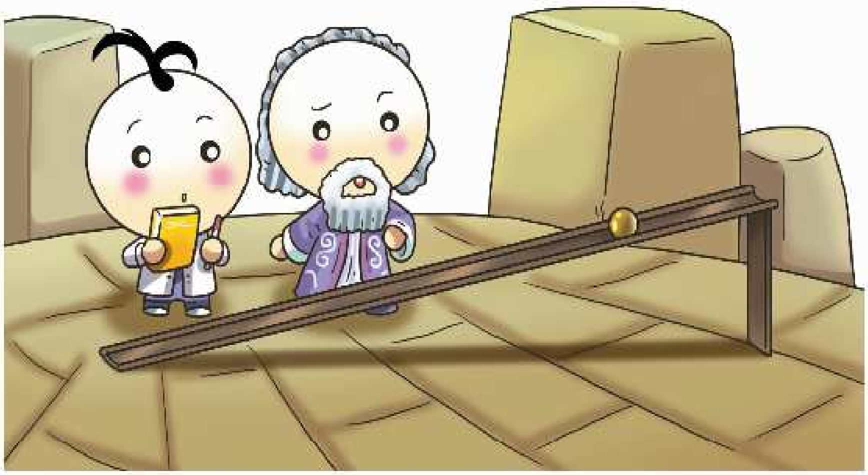
在將近四百年前，伽利略為了研究物體的運動現象，做了一系列的實驗，基本的觀察可以發現，當物體作自由落體運動或沿光滑斜面下滑時，速率會漸漸增加，但是否為等加速運動則難以斷定。要如何判斷物體是否作等加速運動，真正的困難在於時間的測量，特別是自由落體的速度太快，而物體沿斜面下滑則比較慢，所以伽利略選擇了斜面上物體的運動來作實驗，他想出了一個不必直接測量瞬時速度，就可以判定是否為等加速運動的好方法：「由初速為零的等加速運動的公式 $d=\frac{1}{2}at^2$ 可知，物體作等加速運動，則其位移與所經時間間隔的平方成正比。」所以只要測量物體位移與時間的關係，就可以得知物體是否為等加速運動。

雖然伽利略以自己的脈搏比較教堂大吊燈的擺動，發現了「擺的等時性」，但據此原理發明的時鐘問世，已是數十年後了。當時最準確的計時工具是利用漏壺滴水的水鐘和自己的脈搏。在《兩種新科學對話》一書中伽利略介紹了他的實驗方法：「先準備寬約 23 公分，長約 550 公分（比三個成人的身高還長）的厚木板，在木板中間挖一條長直的溝槽，再將溝槽打磨光滑。實驗時將木板的一端抬

科學家小故事

高，使之成為傾斜斜面，再讓銅球沿溝槽滑下，並測量時間。改變銅球下滑的距離，便可以得到位移與時間平方成正比的事實。再改變斜面的傾斜度，所得到的結果仍然是如此。」雖然斜面傾斜度愈大，實驗測量變得愈困難，伽利略仍依此推論物體在鉛直方向的運動狀況，指出從靜止狀態開始自由下落的物體，經過的距離與所需的時間平方成正比，事實上這個比值就是重力加速度的一半。

有些人認為數學是抽象的思考，生活中的自然現象不可能遵照精確的數學規則，伽利略作了反駁：「就像計算砂糖、蠶絲或羊毛的淨重，必須先扣除包裝的外盒和容器，只要先去除物質的障礙，例如摩擦力或空氣阻力，物質的運動就會像算術一樣精確了！」



∴ 圖 1-21　伽利略的斜面實驗示意圖。

本章重點

1. 位移是物體位置的變化量， $d=\Delta x=x_2-x_1$ 。
2. 路徑長是物體經過軌跡的總長度。
3. 平均速度是一段時間間隔內位置的變化率： $\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}$ ，時間間隔非常短時的平均速度稱為瞬時速度。
4. 平均速率是單位時間所經過的路徑長： $\overline{v_S}=\frac{\Delta S}{\Delta t}$ 。
5. 平均加速度是一段時間間隔內速度的變化率： $\bar{a}=\frac{\Delta v}{\Delta t}$ ，時間間隔非常短時的平均加速度稱為瞬時加速度。
6. 一維空間的等加速運動公式：

   (1) $v=v_0+at$ ，

   (2) $d=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ ，

   (3) $v^2={v_0}^2+2ad$ 。

   （ v_0 表示初速，a 表示加速度，t 表示時間間隔，v 表示末速，d 表示位移）
7. 自由落體運動為物體在地表附近僅受重力之等加速運動，其向下加速度為 g，地表附近 $g=9.8$ 公尺／秒 ^{2} 。

習 題

是非題

1. 運動物體的位置與時間（$x-t$）關係圖，圖形上某點切線的斜率代表該點對應時刻的加速度。
2. 運動物體的速度與時間（$v-t$）關係圖，圖形下面積代表物體加速度。
3. 運動物體的加速度與時間（$a-t$）關係圖，圖形下面積代表速度變化量。
4. 物體作直線運動時之路徑長與位移量值永遠相等。
5. 運動中的物體某時間間隔內之平均速度的量值通常大於平均速率。
6. 運動中的物體任意時刻之瞬時速度量值與瞬時速率永遠相等。
7. 物體作同方向的直線運動，其任何時間間隔平均速度量值與平均速率均相等。
8. 運動中的物體加速度為零時，物體一定停下來。
9. 物體於運動過程中停下來時，加速度必為零。

選擇題

■1-1 位置、位移與路徑長

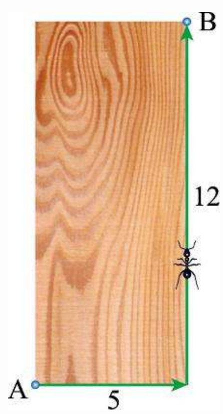
1. 下列物理量何者為向量？（應選三項）

   (A)位移　(B)路徑長　(C)速度　(D)速率　(E)加速度。

2. 如圖，長方形之長、寬分別為 5 公分與 12 公分，則一螞蟻由圖中長方形一角 A 點沿圖示軌跡運動至另一角 B 點，求：

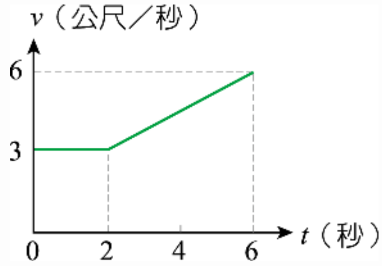
   (1)螞蟻的路徑長為　(A) 4　(B) 9　(C) 12　(D) 15　(E) 17　公分。

   (2)螞蟻的位移量值為　(A) 4　(B) 9　(C) 13　(D) 15　(E) 18　公分。



■1-2 速度及速率

3. 右圖是描述汽車在一直線上運動的速度與時間圖，則汽車在 6 秒內，總共行走的距離為多少公尺？

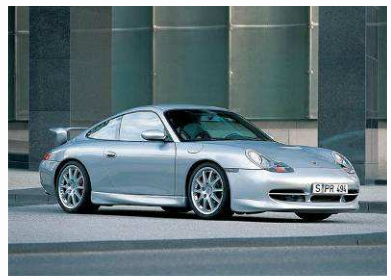


(A) 6　(B) 12　(C) 18　(D) 24

(E) 36。　【87 學測】

■1-3 加速度

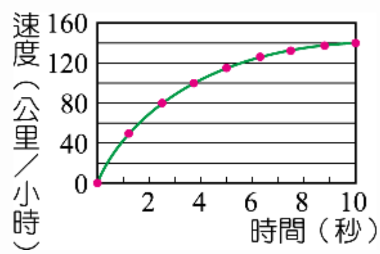
4. 車展中展示某價值千萬的跑車，宣傳資料上寫「零至時速一百公里僅需 5 秒鐘」，這句話代表這輛跑車的平均加速度約為多少公尺／秒^2？



(A) 3　(B) 6　(C) 9　(D) 12

(E) 15。

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



(A)跑車以等加速運動

(B)跑車的加速度愈來愈小

(C)跑車的最大速度為 160 公里／小時

(D)跑車的平均加速度為 14 公里／小時^2。　【92 學測補考】

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

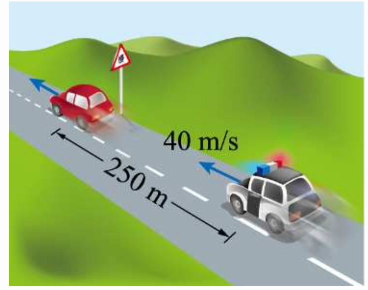
(A) (0, 0)　(B) (0, 1)　(C) (0.5, 1)　(D) (1, 0)。　【93 學測】

■1-4 一維空間的等加速運動

7. 如圖所示，一物體沿平滑斜面滑下，在下滑的過程中，下列有關該物體的加速度量值 a 和速度量值 v 的變化，何者正確？

(A) a 和 v 都不變　(B) a 和 v 都漸變大　(C) a 和 v 都漸變小　(D) a 不變，v 漸變大　(E) a 漸變小，v 漸變大。　【89 學測】

8. 一警車接獲搶案通報之後，以最高車速 40 公尺／秒，沿直線道路往東趕往搶案現場。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

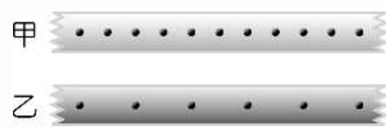
(C)搶匪駕車從靜止經過 10 秒，前進了 200 公尺

(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】

9. 如右圖，甲、乙兩圖是進行滑車速度測量實驗時，利用兩個不同的打點計時器，分別在甲、乙兩車拉動紙帶時所打的點痕。甲圖紙帶上相鄰兩點的距離皆為 0.5 公分，乙圖紙帶上相鄰兩點的距離皆為 1.0 公分。若甲圖的打點計時器頻率為 20 Hz，乙圖的打點計時器頻率為 10 Hz，則甲、乙兩車運動速率的關係，下列何者錯誤？



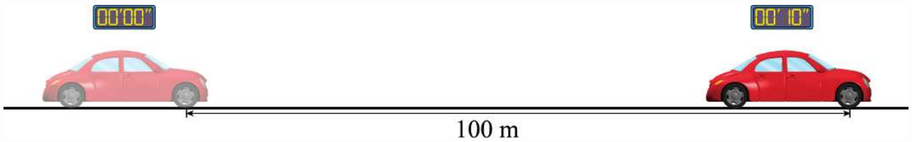
(A)兩車均作等速運動

(B)甲車的速度量值 > 乙車的速度量值

(C)甲車的速度量值為 10 公分／秒

(D)乙車的速度量值為 10 公分／秒。

10. 一小車由靜止開始行駛，前進 100 公尺費時 10 秒，如下圖所示。



設此運動過程為等加速運動，則：

(1)加速度 = ？

(A) 2　(B) $2\sqrt{2}$　(C) 10　(D) $10\sqrt{2}$　(E) 20　公尺／秒^2。

(2) 5 秒末瞬時速度= ？

(A) 2　(B) $2\sqrt{2}$　(C) 10　(D) $10\sqrt{2}$　(E) 20　公尺／秒。

(3)中點處速度= ？

(A) 2　(B) $2\sqrt{2}$　(C) 10　(D) $10\sqrt{2}$　(E) 20　公尺／秒。

(4)終點處速度= ？

(A) 2　(B) $2\sqrt{2}$　(C) 10　(D) $10\sqrt{2}$　(E) 20　公尺／秒。

(5)全程平均速度= ？

(A) 2　(B) $2\sqrt{2}$　(C) 10　(D) $10\sqrt{2}$　(E) 20　公尺／秒。

(6)全程平均速率= ？

(A) 2　(B) $2\sqrt{2}$　(C) 10　(D) $10\sqrt{2}$　(E) 20　公尺／秒。

(7)當小車瞬時速度到達平均速度時，是否正好在位移中點（即 50 公尺處）？　(A)是　(B)否。

(8)當小車瞬時速度到達平均速度時，是否正好在時間中點（即 5 秒末）？　(A)是　(B)否。

■1-5 自由落體運動

11. 張三在實驗室的真空裝置中，使離地高度相同的乒乓球與小鉛球由靜止狀態同時落下後，比較兩球在各個時刻的速度、加速度及所受地球重力。若兩球的體積相同，試問可能發生的情形為何？（從表中選三項）　【88 學測】

速度方面	(A)乒乓球比鉛球大	(B)乒乓球比鉛球小	(C)兩者相同
加速度方面	(D)乒乓球比鉛球大	(E)乒乓球比鉛球小	(F)兩者相同
所受地球重力方面	(G)乒乓球比鉛球大	(H)乒乓球比鉛球小	(I)兩者相同

12. 一石塊垂直上拋後自由落下，如果不計空氣阻力，則下列敘述何者正確？（應選二項）

(A)石塊往上飛行時和向下掉落時的加速度量值相同，且方向相同　(B)石塊往上飛行時和向下掉落時的加速度量值相同，但方向相反　(C)石塊往上飛行到最高點時，其速度和加速度皆為零　(D)石塊往上飛行到最高點時，其速度和加速度皆不為零　(E)石塊往上飛行到最高點時，其速度為零，但加速度不為零。

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

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

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

【92 學測補考】

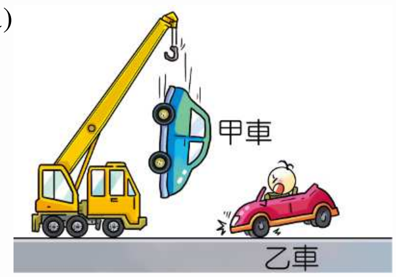
14. 如圖所示，小明手持米尺，使米尺下端零點位於小華拇指與食指之間。小華一看到小明鬆手，就立即抓握米尺，結果米尺落下 20 公分。若重力加速度為 10 公尺／秒 ^{2} ，則小華的反應時間約為多少秒？

(A) 0.02　(B) 0.2　(C) 2　(D) 20。

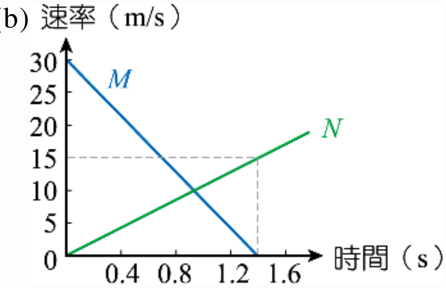
【84 學測】

15. 電視廣告中，有一甲車從高空自由落下，同時在地面急馳的乙車開始緊急煞車，如圖(a)。當甲車著地瞬間，乙車也恰好停在落地點前。圖(b)為兩汽車速率變化關係。小英依此作出結論：(一)關係圖中直線 M 代表甲車，N 代表乙車；(二)直線 M 的加速度量值比 N 小。下列何者正確？

(a)



(b)

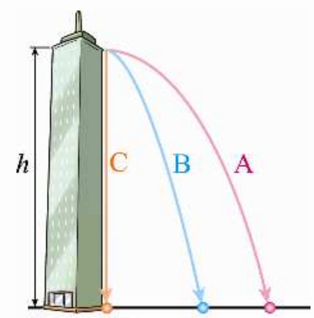


(A)兩結論均正確　(B)兩結論均錯誤　(C)結論(一)正確，(二)錯誤　(D)結論(一)錯誤，(二)正確。

題組題

一物體水平方向的運動型態並不影響其在鉛直方向的運動型態，兩垂直方向的運動各自獨立，互不影響，稱為拋體運動的獨立性。

在高於地面某處，以初速向水平方向拋出物體，拋出後物體的運動型態稱為水平拋射運動，就是在 x 方向等速度前進，同時在 y 方向作自由落體的合成運動。



設想三個學生於甚高的高樓陽臺上做實驗，高中生與小學生將球水平丟出，另一幼稚園生使球由靜止自由落下，忽略空氣阻力，軌跡分別為 A、B、C，如圖所示。請回答下列問題：

1. 三球由離手至落地所需時間 t_A、t_B、t_C 之長短順序為何？

(A) $t_A > t_B > t_C$　(B) $t_A < t_B < t_C$　(C) $t_A = t_C > t_B$　(D) $t_A = t_C < t_B$　(E) $t_A = t_B = t_C$。

2. 三球落地前的瞬間速率 v_A、v_B、v_C 之大小順序為何？