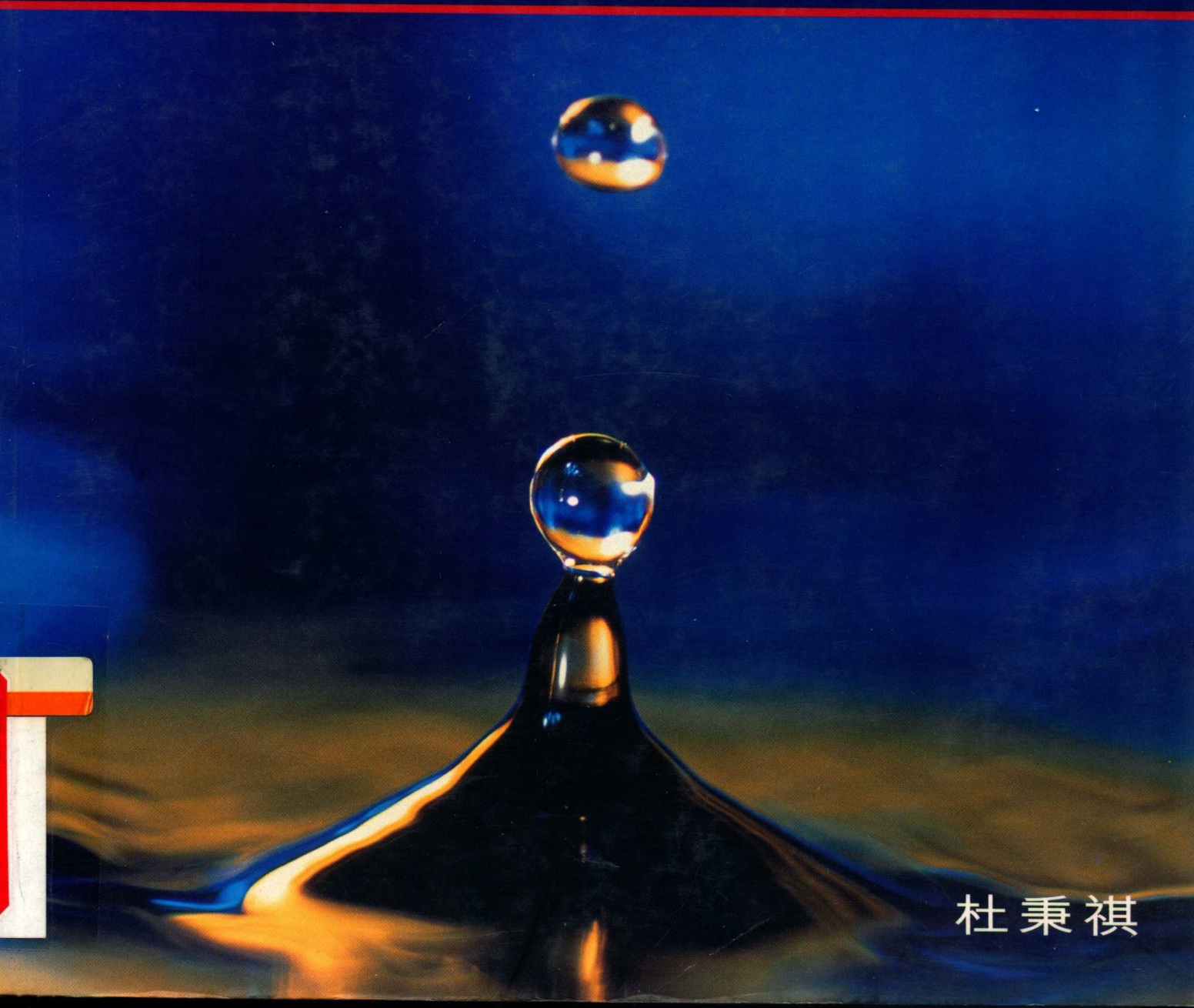


生活與物理

第二冊

第二版



杜秉祺

時間與位移



● 放在香港科技大學這件藝術品其實是個計時器。下次當你到那裏參觀時，想想它是怎樣量度時間的。

9 時間與位移

9.1 時間

力學研究的是運動、力和能量。要研究運動，就要知道物體改變位置的快慢程度，因此我們必須掌握量度時間與距離的方法。

時間的單位

在國際單位制* (SI 制) 中，時間 (time) 的單位是秒 (second)，符號為 s 。從前，秒的定義是一年的若干分之一，不過現在採用更為精確的定義，是以鉀原子的振動頻率為基準。時間的其他單位均為秒的倍數，例如：分、小時、日、週、月和年等。

計時器

人類發明過各式各樣的時計，最古老的如日規、沙漏、銅壺滴漏，或現代的如石英錶。圖 9.1a 顯示部分早期的計時器。

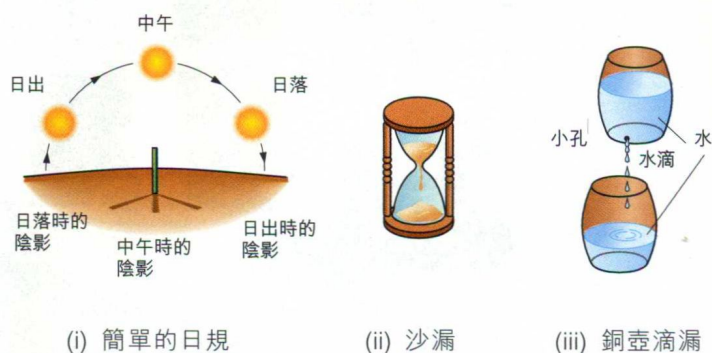


圖 9.1a 部分早期的計時器

你有沒有見過香港科技大學的日規 (圖 9.1b) ?



圖 9.1b 香港科技大學的日規

* 國際單位制 (SI 制) 包括一系列國際通用的單位，供科學研究之用。

最精確的計時器是鉀原子鐘，它以鉀原子的振動為調節基準，精確度高達每 3000 年只有 1 秒的誤差！

生活中的物理

香港地下鐵路公司的計時器

香港地下鐵路公司的總部安裝了一座銨原子鐘作為主鐘，它控制了地下鐵路系統的其餘超過 1200 個副鐘。



香港地下鐵路公司總部的銨原子鐘



地鐵站月台的副鐘

量度短暫的時間間隔

秒錶

秒錶 (stop-watch) 是用來量度時間的間隔 (圖 9.1c)。使用秒錶時，從看到現象發生到用手啟動 (或按停) 秒錶之間總有一段時差，這會產生一定的量度誤差，這種誤差稱為反應時間誤差。反應時間 (reaction time) 是因人而異的，一般人的約為 0.2 秒，所以秒錶不適用來量度非常短的時間間隔。

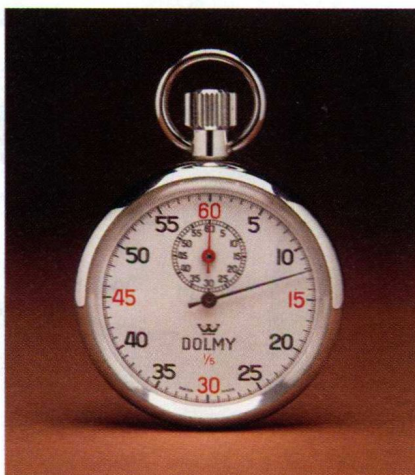


圖 9.1c 秒錶

例題 1

一女孩用秒錶量度一塊石頭從某高度下墜至地面所需的時間，她所得的結果為 1.1 s。如果該女孩的反應時間是 0.2 s，可能出現的百分誤差是多少？

題解

啟動秒錶時的可能誤差 = 0.2 s

按停秒錶時的可能誤差 = 0.2 s

⇒ 合起來的可能誤差

$$= 0.2 \text{ s} + 0.2 \text{ s} = 0.4 \text{ s}$$

∴ 可能的百分誤差

$$= \frac{0.4 \text{ s}}{1.1 \text{ s}} \times 100\% = 36\%$$

由於百分誤差太大，所以秒錶的讀數是不可靠的。

計時—計數器

在實驗室裏，一般是用計時—計數器 (timer-scaler) (圖 9.1d) 來量度精確至毫秒 (ms, $1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$) 的時間間隔的。要啟動或停止計時—計數器，可以用電觸點開關，也可以用遮擋光束的方法。這樣便可以避免了因反應時間而引起的誤差。

計時—計數器也應用於研究放射現象的實驗。(見第 3 冊第 26 章與第 27 章)



圖 9.1d 計時—計數器：精確度達千分之一秒

紙帶打點計時器

圖 9.1e 所示為紙帶打點計時器 (ticker-tape timer)。它是用 50 Hz 低壓交流電源操作的。紙帶打點計時器的主要部分是一個振動器，它以每秒 50 點的頻率打出黑點。在計時器運作時拉動紙帶，計時器便會在紙帶上打上黑點。只要計算在紙帶上的點數，便可以知道拉過紙帶所用的時間。

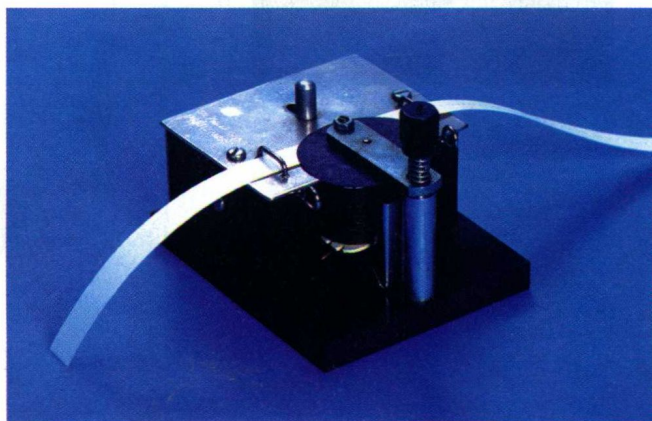
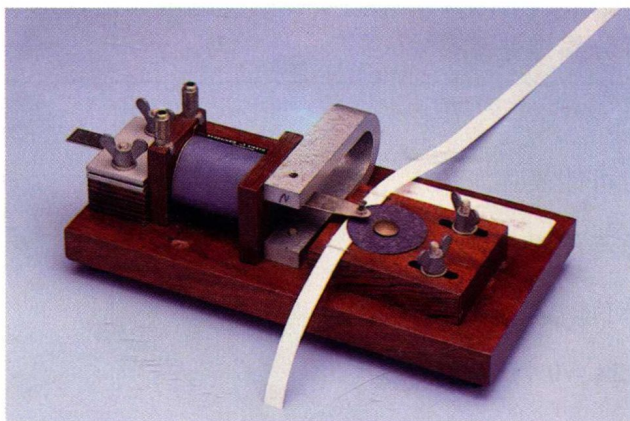


圖 9.1e 兩種紙帶打點計時器

紙帶上相鄰兩點之間的時間間隔稱為一「格」。

$$1 \text{ 格} = \frac{1}{50} \text{ s} = 0.02 \text{ s}$$

圖 9.1f 所示的紙帶有 5 格，所用的時間為 $5 \times 0.02 \text{ s}$ 或 0.1 s 。要注意 5 格的時間間隔要用 6 點顯示，為避免混亂，應將第一點標記為零。

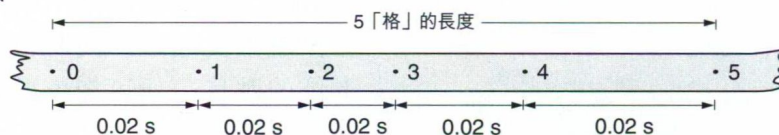
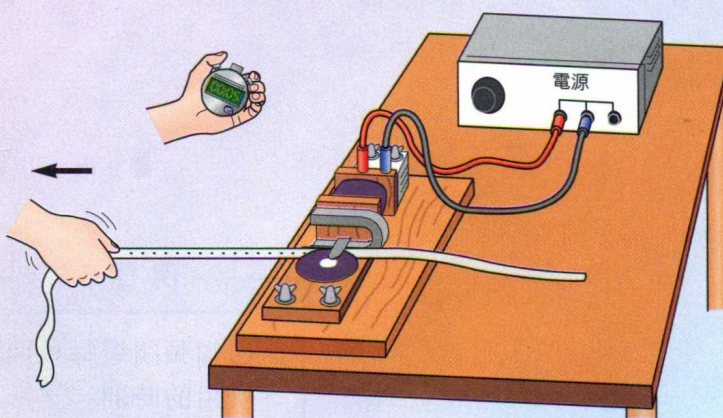


圖 9.1f 有 5 格的打點計時器紙帶

在量度各點之間的間隔時，更可求得物體移動的距離。這樣，打點計時器同時記錄了物體移動的距離及其所用的時間，因此非常適合用來研究物體的運動。

實驗 9A 紙帶打點計時器

裝置紙帶打點計時器，將一條長紙帶穿過碳紙盤下方。當計時器運行時，拉動紙帶通過計時器，用秒錶計時，5 s 後停止動作。檢查紙帶上標記的點，數出紙帶上有多少格，並且計算每格的時間間隔。



例題 2

為量度 1 s 鐘內紙帶打點計時器打出的點數，某同學用 5.0 s 的時間將紙帶拉過計時器，結果紙帶被打上 245 點。問該打點計時器每秒鐘在紙帶上打多少點？為甚麼每秒鐘打的不是 50 點？

題解

在 5.0 s 內，紙帶上打有 245 點。

$$\text{每 1 s 內打的點數} = \frac{245}{5.0} = 49$$

紙帶打點計時器是由 50 Hz 交流電源操作的，每秒鐘應該在紙帶上打 50 點。誤差是由以下原因引起的：

- (a) 某些點靠得太近造成計算錯誤；
- (b) 使用秒錶時的反應時間誤差。

頻閃計時器（頻閃照相法）

圖 9.1g 所示為體操運動員打空翻時的頻閃照片 (stroboscopic/strobe photograph)。拍照時使用的頻閃燈 (圖 9.1h) 每秒閃動 20 次，在體操運動員起跳的同時啟動頻閃燈拍下這組照片。計算頻閃照片上像的數目，便可知道運動員由開始打空翻到完成動作所用的時間。



圖 9.1g 體操運動員打空翻時的頻閃照片

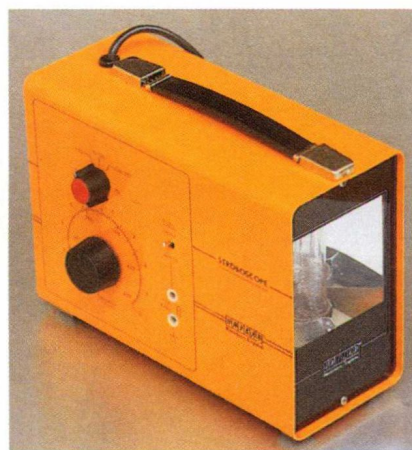


圖 9.1h 頻閃燈

例題 3

已知頻閃燈每秒閃動 20 次，求圖 9.1g 中體操運動員打空翻所用的時間。

題 解

頻閃燈的閃光頻率 = 每秒 20 次

∴ 兩個相鄰影像間的時間間隔

$$= \frac{1}{20} \text{ s} = 0.05 \text{ s}$$

像的數目 = 30

∴ 第 1 個像至第 30 個像的時間間隔

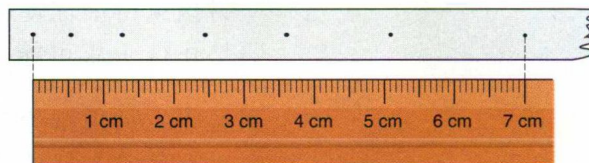
$$= (30 - 1) \times 0.05 \text{ s} = 1.45 \text{ s}$$

體操運動員打一次空翻需時 1.45 s。



多項選擇題

- 1 我們利用一部每秒打點 50 次的紙帶打點計時器記錄一個皮球下墜時的情況，紙帶上的紀錄如下。



動作開始



動作結束

皮球下墜至地面需時多久？

- A 7 cm B 0.12 s C 0.14 s



- 2 一攝錄機每秒可攝照片 25 幅，左圖是踢球時所拍得的一段影片。

踢球動作所需的時間是

- A $0.04 \text{ s} \times 3 = 0.12 \text{ s}$
 B $0.04 \text{ s} \times 4 = 0.16 \text{ s}$
 C $0.04 \text{ s} \times 5 = 0.20 \text{ s}$



生活中的物理



體育比賽中的電子計時器

現今體育比賽已廣泛使用電子計時器。當發令員的槍聲響起，計時器便會因電觸的緣故自動開啓。而在終點線上有一光束，當有運動員衝線，光束被阻，計時器便會立即停止計時。



問題與思考

- 1 一女孩用秒錶量得某人需要 15.6 s 來完成 100 m 賽跑。如果女孩的反應時間是 0.2 s ，求可能的百分比誤差。這個結果是否可以接受？
- 2 一男孩量得滾珠從斜面上滾下需時 1.5 s 。如果該男孩的反應時間是 0.3 s ，求可能百分誤差。這個結果是否可以接受？
- 3 兩名學生利用紙帶打點計時器量度皮球從高處跌下的時間。其中一人負責在球開始下落時啟動計時器，又在球到達地面時停止計時。同時，另一人將紙帶穩定地拉過計時器。結果，紙帶記錄了 281 點，求皮球下跌所用的時間。
- 4 圖 9.1i 所示是一部打點計時器所打出的三條紙帶，每條紙帶量得的時間間隔是多少？

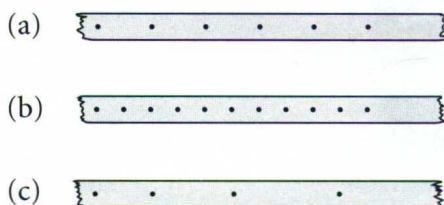


圖 9.1i

- 5 圖 9.1j 所示為一劍擊運動員示範前刺動作的頻閃照片。若頻閃燈的閃動頻率為每秒 100 次，求完成整個動作所需的時間。



圖 9.1j

9.2

距離與位移

當物體運動時，它的位置會改變。我們可以用兩種方法來描述位置的變化。

長度的單位

在國際單位制中，長度的單位是米 (metre)，符號為 **m**。從前，1 米的定義是地球經線長度的四千萬分之一（圖 9.2a），但現在採用更精確的定義，以氦原子發射的光的波長為基準。

距離與位移

圖 9.2b 所示為一物體從 A 移動至 B 所走過的路徑。

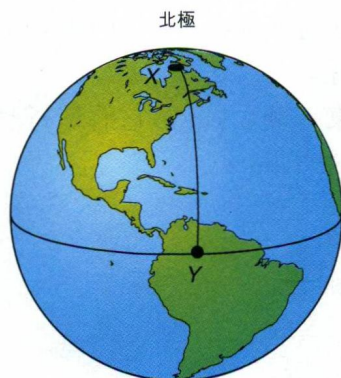


圖 9.2a 「米」在從前的定義



9.1

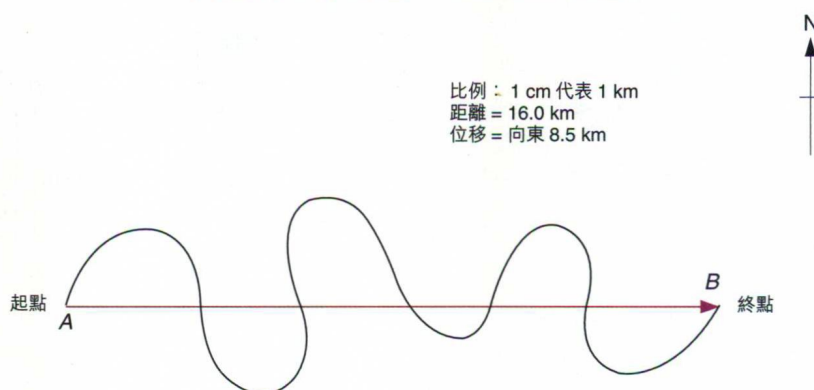


圖 9.2b 距離與位移

物體所走過的整條路徑的長度稱為**距離** (distance) 或路程。用一條線鋪蓋整段路徑，再量度線的長度，便可以量得物體走過的距離。根據圖中所用的比例，AB 的距離為 16 km。

按特定方向連接 AB（從 A 至 B）的直線定義為該物體的**位移** (displacement)。按照圖示的比例，AB 的位移為向東 8.5 km。

距離只有大小，而位移則既有大小也有方向。

無向量與向量

只用大小來描述的量稱為**無向量** (scalar)，例如距離、速率、質量、能量、溫度等等。

須同時用大小和方向才能描述的量稱為**向量** (vector)，例如位移、速度、加速度、力等等（見第 10 章及第 11 章）。

向量可以用有箭頭的線段表示（圖 9.2c），線段的長度代表向量的大小，而箭頭所指的方向則代表向量的方向。圖 9.2c 的向量可寫做 $\vec{AB}$ 或 $\vec{p}$ ，字母上方的箭頭表示這是一個向量。

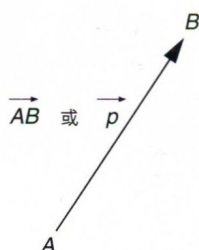


圖 9.2c 用箭頭表示向量

位移的合成

圖 9.2d 所示為兩個位移的加法：

- 汽車先向北行駛 4 km，然後再向北多行 3 km。它的總行駛距離是 7 km，而總位移則是向北 7 km。
- 汽車先向北行駛 4 km，然後又向南行駛 3 km。它的總行駛距離是 7 km，而總位移則是向北 1 km。
- 汽車先向北行駛 4 km，然後又向東行駛 3 km。它的總行駛距離是 7 km，而總位移則是向北 37° 東 5 km。

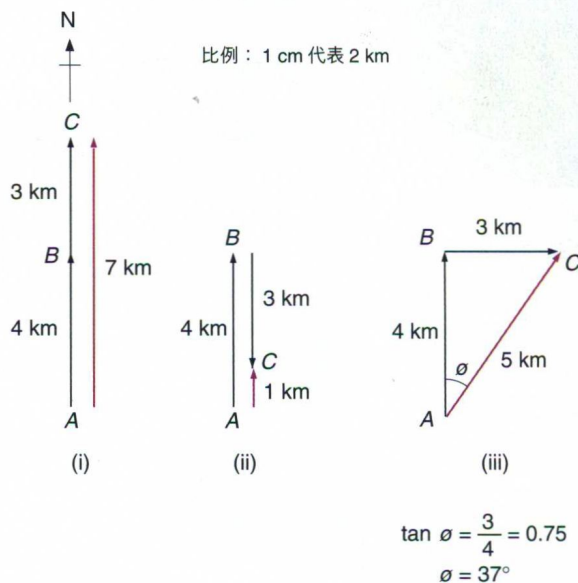


圖 9.2d 位移的合成

上面的例子利用「首尾連接法」來把位移相加（圖 9.2e）：

將兩個位移 $\vec{p}$ 與 $\vec{q}$ 相加時，先將 $\vec{p}$ 的「首」連接至 $\vec{q}$ 的「尾」，然後畫一條直線由 $\vec{p}$ 的「尾」連接到 $\vec{q}$ 的「首」。這條連線就代表 $\vec{p}$ 與 $\vec{q}$ 的總位移 $\vec{p} + \vec{q}$ 。

這方法亦適用於其他向量。

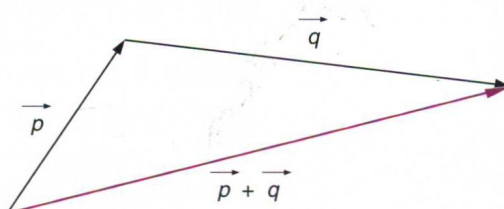


圖 9.2e 「首尾連接法」

例題 4

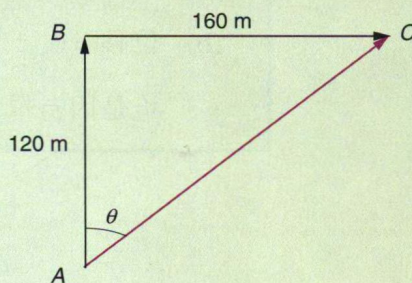
一女孩先向北走 120 m，再向東走 160 m。

- (a) 女孩走過的總距離是多少？
 (b) 她的位移是多少？

題解

- (a) 女孩走過的總距離 = 120 m + 160 m = 280 m

- (b)



在圖中，

$$AC = \sqrt{AB^2 + BC^2} \quad (\text{畢氏定理})$$

$$= \sqrt{120^2 + 160^2} \text{ m}$$

$$= \sqrt{40\,000} \text{ m}$$

$$= 200 \text{ m}$$

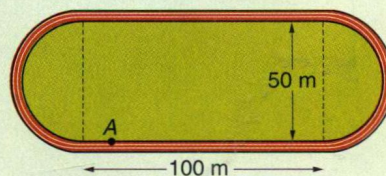
$$\tan \theta = \frac{160 \text{ m}}{120 \text{ m}} = 1.33$$

$$\Rightarrow \theta = 53^\circ$$

女孩的位移是向北 53° 東 200 m。

例題 5

在一場比賽中，一名單車手從 A 點出發，繞跑道駛了五圈後，最後回到 A 點停下來。



- (a) 單車手騎車行駛的距離是多少？
 (b) 單車手的位移是多少？為甚麼會得出這樣的答案？

題解

(a) 行駛距離

$$= \text{跑道的周界長度} \times 5$$

$$= (100 + 100 + \pi \times 50) \text{ m} \times 5$$

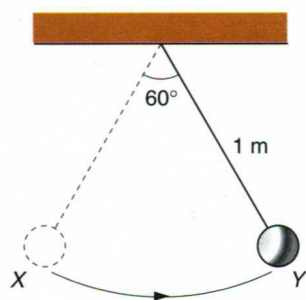
$$= 1785 \text{ m}$$

(b) 位移 = 0

這是因為單車手最後停留在他出發的位置。



多項選擇題

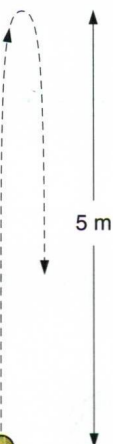


1 一個用繩子懸着的小球由 X 擺到 Y。球的位移是多少？

A $\frac{\pi}{3} \text{ m}$

B 1 m

C 向右 1 m



2 一男孩把球垂直向上拋。球回到原處時的位移是多少？

A 0 m

B 向上 5 m 再向下 5 m

C 10 m



問題與思考

- 1 下列的物理量中，哪些是向量？哪些是無向量？
功、能量、力、位移、速度、質量、速率、距離、溫度。
- 2 一男孩先向東走 300 m，然後向西走 400 m。
 - (a) 男孩走過的總距離是多少？
 - (b) 男孩的總位移是多少？
- 3 一輛汽車先向南行駛 16 km，然後向東行駛 12 km。
 - (a) 汽車走過的總距離是多少？
 - (b) 汽車的總位移是多少？
- 4 一個單車運動員騎車沿着圖 9.2f 所示的路徑行駛。
 - (a) 他經過的總距離是多少？
 - (b) 他的總位移是多少？

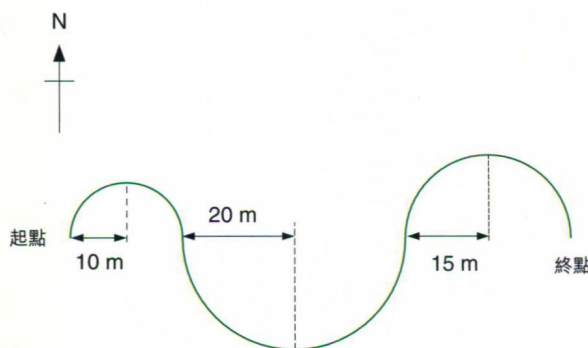


圖 9.2f

- 5 一女孩騎自行車沿著半徑為 40 m 的圓形跑道繞了一周。
 - (a) 求她經過的距離。
 - (b) 求她的位移。試簡單解釋你的答案。



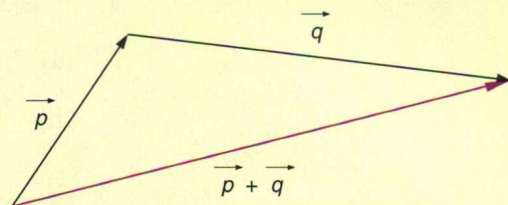
總 結

時 間

- 在國際單位制 (SI 制) 中，時間的單位是秒 (s)。
- 用手操作的計時器 (如秒錶) 存有反應時間誤差。
- 量度短暫的時間間隔的儀器包括：
 - 紙帶打點計時器 (精確度約為 0.02 s)
 - 計時—計數器 (精確度約為 0.001 s)
 - 頻閃照相法 (精確度要視乎閃燈的頻率)
- 紙帶經過紙帶打點計時器時，計時器每秒鐘會在紙帶上打上 50 個點。相鄰兩點之間的時間間隔稱為 1「格」，1 格 = 0.02 s。

距離與位移

- 在國際單位制 (SI 制) 中，距離的單位是米 (m)。
- 無向量是指只有大小的量；向量是指既有大小，又有方向的量。
- 距離是一個無向量，就是物體所經路徑的總長度。
- 位移是向量，它的大小等於連接起點和終點的直線長度；而方向則是由起點指向終點的方向。
- 位移可用「首尾連接法」相加。



詞 彙

1 時間	time	p. 2	8 頻閃照片	stroboscopic photograph/ strobe photograph	p. 6
2 秒	second	p. 2	9 米	metre	p. 9
3 秒錶	stop-watch	p. 3	10 距離	distance	p. 9
4 反應時間	reaction time	p. 3	11 位移	displacement	p. 9
5 計時—計數器	timer-scaler	p. 4	12 無向量	scalar	p. 9
6 紙帶打點計時器	ticker-tape timer	p. 4	13 向量	vector	p. 9
7 格	tick	p. 4			

00 9



練習題

- 1 設在香港地下鐵路公司總部的銩原子鐘每天的誤差不超過百萬分之一秒。

- (a) 可能的百分誤差是多少？
(b) 要經過多長時間，鐘的誤差才會累積到 1 s？

- 2 一位女學生用繩子懸掛一個金屬球（圖 9a），她用秒錶量得球左右擺動一次需時 1.2 s。



圖 9a

- (a) 如果她的反應時間是 0.1 s，求量度時的百分誤差是多少？
(b) 若她現在量得金屬球擺動 20 次需時 16.0 s。
(i) 球左右擺動一次需時多久？
(ii) 這次量度的百分誤差是多少？
- 3 用 5.0 s 的時間將一條紙帶拉過打點計時器，紙帶上共被打上了 248 個點。這個計時器每秒鐘可打多少點？為甚麼不是每秒鐘打 50 點？

- 4 由於是單程路的緣故，汽車從 A 點到 F 點必須按照圖 9b 所示的路線行駛。

- (a) 汽車所經過的總距離是多少？
(b) 汽車的總位移是多少？

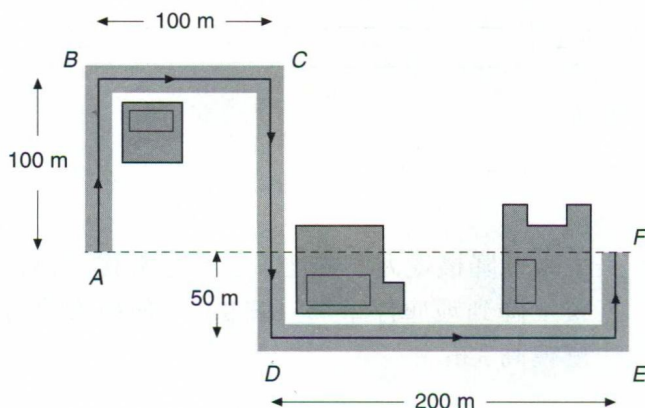


圖 9b

- 5 如圖 9c 所示，一單車手從 A 點出發，沿着圓形跑道踏了 $\frac{3}{4}$ 圈後到達 B 點。圓形跑道的半徑為 400 m。

- (a) 該單車手經過的總距離是多少？
(b) 該單車手的總位移是多少？

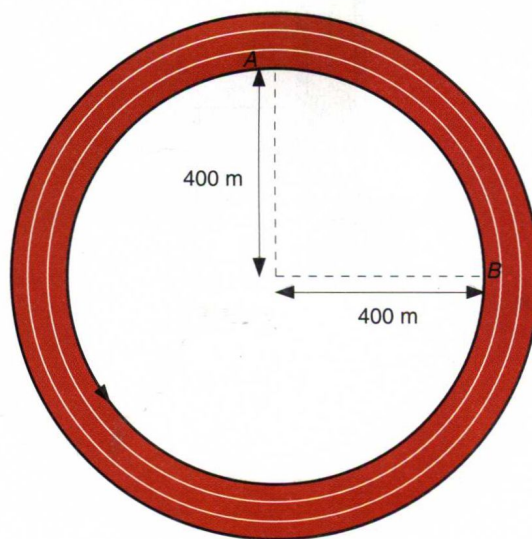


圖 9c

- 6 圖 9d 所示為三條紙帶被拉過紙帶打點計時器後得到的結果。若計時器的振動頻率為 50 Hz (即每秒鐘 50 次)，哪條紙帶記錄的時間最長？

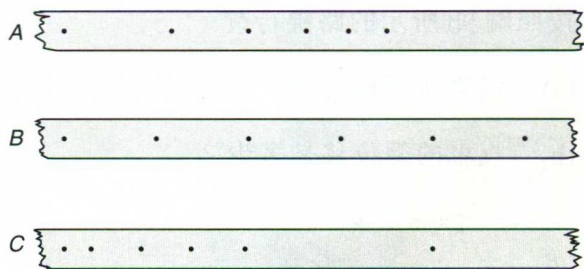


圖 9d

- 7 一人乘升降機從大廈的地下上升至五樓，再從五樓下降到地庫停車場 (圖 9e)。如果大廈每一層樓高 3 m，

- (a) 他經過的距離是多少？
(b) 他的位移是多少？

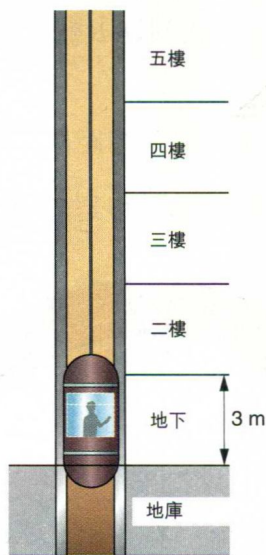


圖 9e

- 8 一緩步跑者向北跑 8 km，又向東跑 4 km，然後再向南跑 5 km。

- (a) 他跑過的距離是多少？
(b) 他的位移是多少？

- 9 圖 9f 所示為一個網球在地上反彈時攝得的頻閃照片。若頻閃燈每秒閃動 25 次，

試找出：

- (a) 球由 A 點到達 B 點的時間。
(b) 球由 A 點到達 B 點的位移。

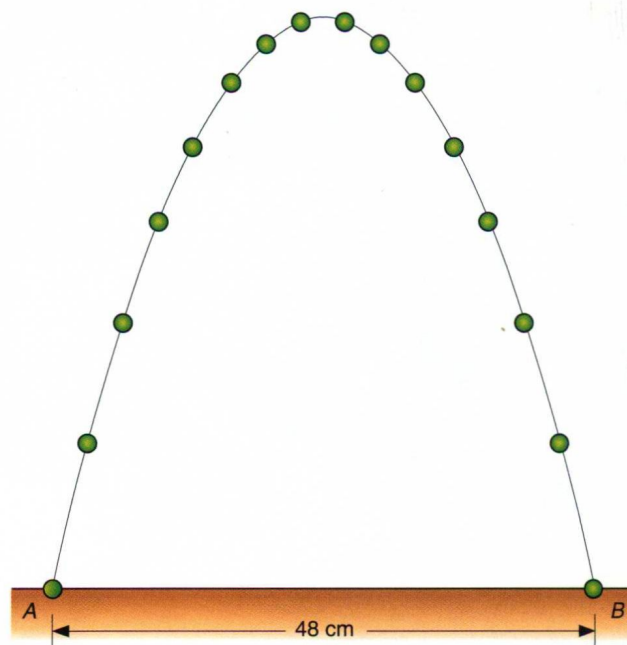


圖 9f