

新高中 生活與物理

第二版

黃小玲 彭永聰 李浩然 林兆斌

2

新高中生活與物理（第二版）以第一版的內容為基礎重新修訂，能完全符合 2014 年更新的《物理課程及評估指引（中四至中六）》所列明之要求，並加強討論學習物理的各種基本技巧。第二版課本引用更多切合生活的情景和例子，既能闡述物理學的概念，又能凸顯物理學與日常生活的緊密關係。此外，第二版課本增添詳盡圖解，更新相片，並應用各式各樣的圖表來幫助學生掌握知識。

課本共有 10 冊，六冊屬於「必修部分」，四冊屬於「選修部分」。

必修部分

- 第 1 冊*：熱和氣體
- 第 2 冊*：力和運動
- 第 3A 和 3B 冊：波動
- 第 4 冊：電和磁
- 第 5 冊：放射現象和核能

選修部分

- 第 E1 冊：天文學和航天科學
- 第 E2 冊：原子世界
- 第 E3 冊：能量和能源的使用
- 第 E4 冊：醫學物理學

* 另備 組合科學（物理）版本。

整套教材包括課本、實驗手冊和多媒體學習資源。

OXFORD
UNIVERSITY PRESS
牛津大學出版社
www.oupchina.com.hk



新高中
生活與物理
第二版

2

教師用書

黃小玲 彭永聰 李浩然 林兆斌

教師用書

OXFORD
牛津

新高中 生活與物理

第二版

力和運動

OXFORD

2

有待更正版本

目錄



作者簡介	iii
序言	vi
第 1 課 運動 I	
1.1 長度與時間	2
1.2 距離與位移	8
1.3 速率、速度與加速度	13
1.4 直線上的運動	22
總結 1	30
複習 1	32
自我評核 1	38
第 2 課 運動 II	
2.1 直線運動的線圖	40
2.2 勻加速運動方程	60
2.3 自由落體的運動	70
總結 2	80
複習 2	82
自我評核 2	92
第 3 課 力與運動 I	
3.1 力的簡介	94
3.2 慣性與牛頓運動第一定律	100
3.3 淨力與運動：牛頓運動第二定律	108
3.4 重量、摩擦力與流體阻力	115
3.5 作用力與反作用力：牛頓運動第三定律	128
總結 3	135
複習 3	137
自我評核 3	146
第 4 課 力與運動 II	
4.1 力的合成與分解	150
4.2 共面力與牛頓運動定律	158
總結 4	168
複習 4	169
自我評核 4	176
F-X 第 5 課 力矩	
5.1 力的轉動效應	178
5.2 剛體的平衡	187
總結 5	199
複習 5	200
自我評核 5	206

第 6 課 功、能量和功率	
6.1 功與能量轉移	208
6.2 動能與勢能	214
6.3 能量轉換與能量守恆	220
6.4 功率	234
總結 6	240
複習 6	242
自我評核 6	250
第 7 課 動量	
7.1 動量守恆	254
7.2 動量變化	270
總結 7	282
複習 7	283
自我評核 7	294
Ext 第 8 課 拋體運動	
8.1 平拋運動	298
8.2 一般拋體運動	306
總結 8	319
複習 8	321
自我評核 8	328
F-X Ext 第 9 課 勻速圓周運動	
9.1 圓周運動的簡介	330
9.2 向心力	337
總結 9	354
複習 9	356
自我評核 9	364
F-X Ext 第 10 課 引力	
10.1 牛頓萬有引力定律	366
10.2 引力作用下的圓周運動	378
總結 10	386
複習 10	388
自我評核 10	396
答案	397
自我評核題解	408
附錄	411

多媒體資源

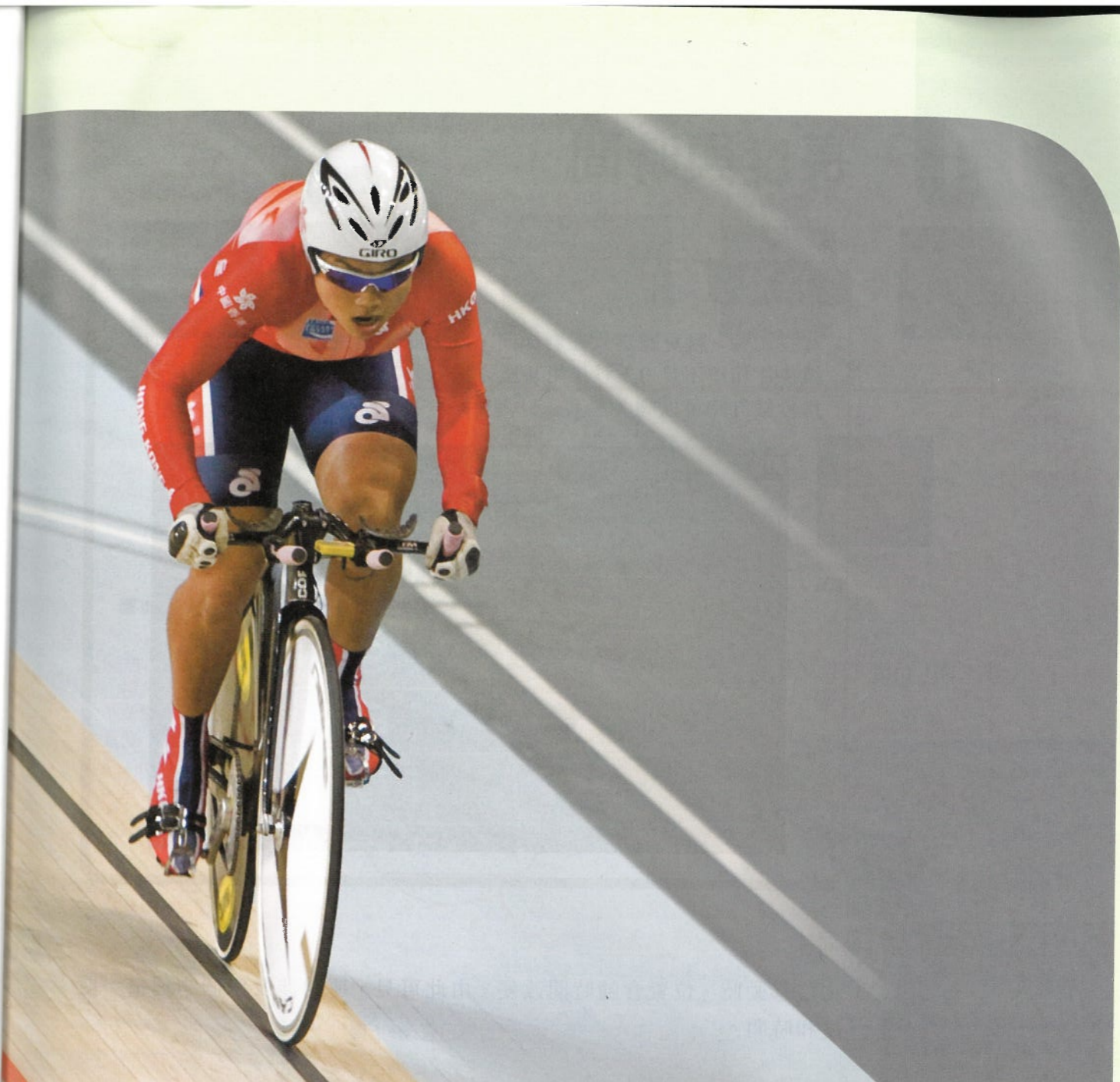
下列多媒體資源讓學生透過不同種類的學習模式來增進知識。

模擬程式 1.1

錄像片段 1.1

- 模擬程式設互動功能，展示不同的物理現象和實驗。
- 錄像片段記錄有趣的物理現象，以及實驗的過程和結果。
- 虛擬實驗室讓學生在虛擬的環境操作實驗儀器。
- 生活中的物理、歷史點滴、物理DIY 提供額外的文章和錄像，供學生參考。
- 詞語表列出課本內的物理學詞語，並附以詳細解釋和英文正確讀音。

採用新高中生活與物理（第二版）的學生均獲得登入密碼，可經牛津物理網 (<http://trc.oupchina.com.hk/physics/nssphy2e/chi/>) 使用上述多媒體資源。



1 運動 I

我們在这一課會學到

- 長度和時距的量度方法
- 以位移描述物體位置的改變
- 以速度描述物體移動的快慢
- 以加速度描述物體速度改變的快慢

1.1

長度與時間

起點 計時

有些比賽，勝負關鍵只在剎那間，以 100 米短跑比賽為例，選手的成績往往相差不足 0.1 秒。用甚麼方法計時才可得出如此準確的結果？用秒錶計時可以嗎？ 參看第 6 頁生活中的物理。



- ✓ 本節重點
- 1 長度的單位
- 2 量度長度
- 3 時間的單位
- 4 量度時間

例如在 2014 亞運會中，女子 100 米短跑頭三名的成績為 11.48 s、11.49 s 及 11.50 s。

補充資料

國際單位制

國際單位制是科學界的標準公制單位系統，它定義了 7 個基本單位，例如長度的單位是米 (m)，時間的單位是秒 (s)，質量的單位是公斤 (kg)。其他單位都可由這 7 個基本單位衍生出來，例如密度的單位是 kg m^{-3} 。

詳情可參考以下網頁：

http://content.edu.tw/vocation/chemical_engineering/tp_ss/content-wa/wchm1/wpage1-1.htm



物體移動時，位置會隨時間改變，由此可見，運動涉及兩個物理量：長度和時間。

1 長度

國際單位制是一套現代的公制單位系統，在科學範疇極為常用。在這系統中，長度的單位是米 (metre)，簡寫為 **m**。較小的長度單位有納米 (nm)、毫米 (mm) 和厘米 (cm)，較大的有千米 (亦稱公里) (km)。

$$1 \text{ nm} = \frac{1}{1\,000\,000\,000} \text{ m} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \text{ mm} = \frac{1}{1000} \text{ m} = 10^{-3} \text{ m}$$

$$1 \text{ cm} = \frac{1}{100} \text{ m} = 10^{-2} \text{ m}$$

$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m} = 10^3 \text{ m}$$

不同物體的長度差異極大，圖 1.1a 是一些例子。

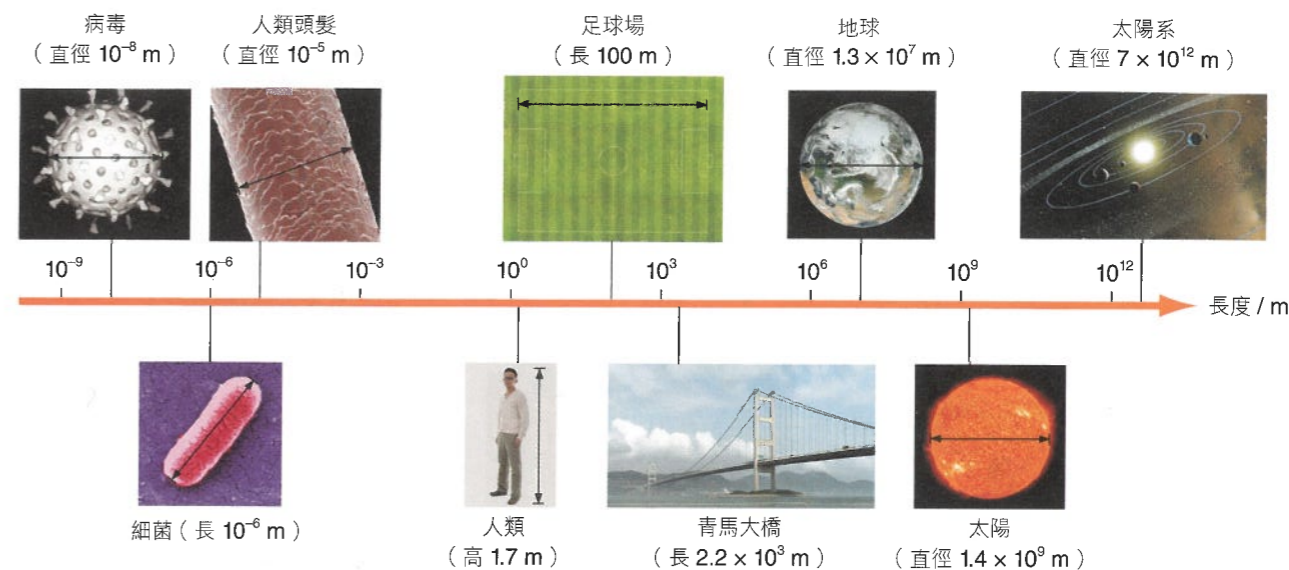


圖 1.1a 不同長度

可告訴學生，為方便起見，極長或極短的長度可用其他單位 (例如 Å 和光年) 去量度。

$$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ 光年} = 9.46 \times 10^{15} \text{ m}$$

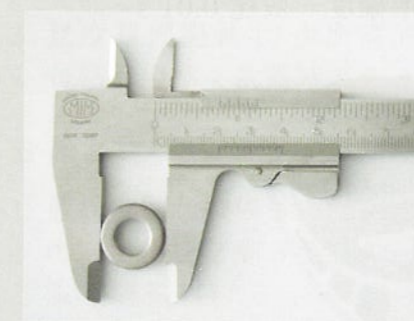
直尺和捲尺是量度長度的常用工具，準確度達 1 mm (圖 1.1b)。



圖 1.1b 直尺和捲尺

補充資料 其他量度長度的工具

要更精確量度長度，可使用游標尺 (準確度達 0.1 mm) 或測微計 (準確度達 0.01 mm)。



游標尺



測微計

2 時間

「時間」有兩個意思，一個是事件發生的時間（某一時刻），另一個是事件持續的時間（時距）。

在國際單位制中，時間（指時距）的單位是秒，簡寫是 s。較小的時間單位有微秒 (μs) 和毫秒 (ms)。此外，分鐘 (min) 和小時 (h) 也是常用的時間單位。

$$1 \mu\text{s} = \frac{1}{1\,000\,000} \text{s} = 10^{-6} \text{s}$$

$$1 \text{ms} = \frac{1}{1000} \text{s} = 10^{-3} \text{s}$$

$$1 \text{min} = 60 \text{s}$$

$$1 \text{h} = 60 \text{min} = 3600 \text{s}$$

日常發生的事件，各有長短不同的時距（圖 1.1c）。

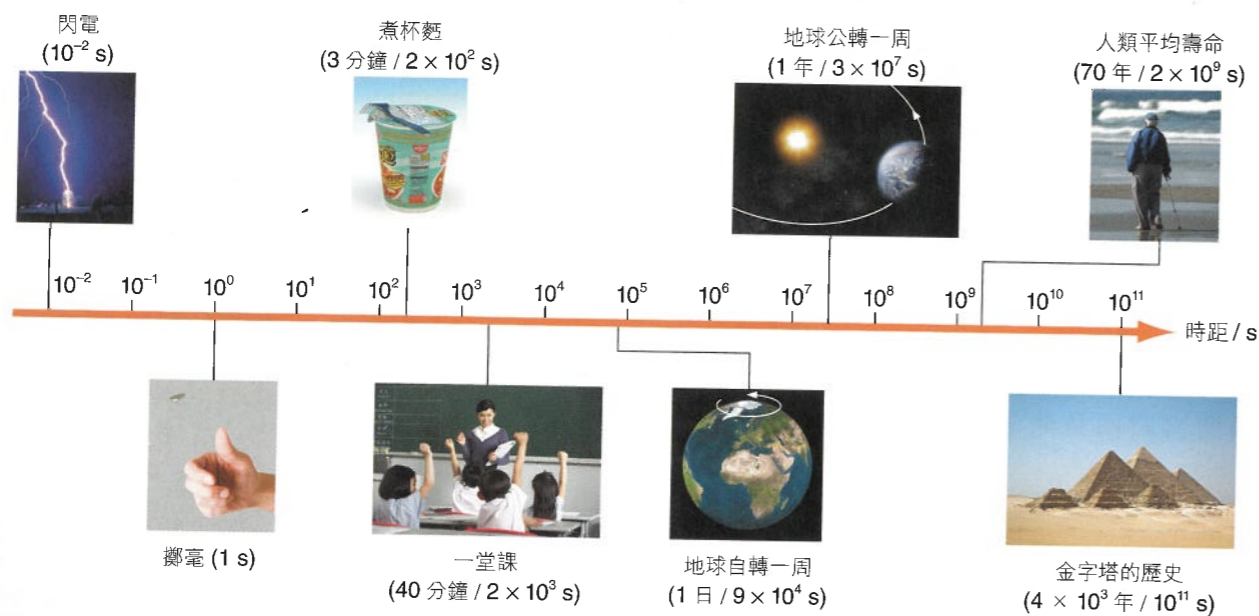


圖 1.1c 不同時距

秒錶（圖 1.1d）是常用的計時工具，有些流動電話也有內置的秒錶（圖 1.1e）。秒錶的準確度一般達 0.01 s。



圖 1.1d 電子秒錶



圖 1.1e 流動電話的內置秒錶

秒 (s) second 微秒 (μs) microsecond 毫秒 (ms) millisecond

用秒錶計時涉及人的反應，從看到事件發生到啟動（或按停）秒錶之間總有時差。以一般人來說，這段反應時間約為 0.2 s。

技巧分析

百分誤差

百分誤差顯示誤差對測量結果的影響有多大。若測量所得的讀數是 R ，誤差是 E ，則：

$$\text{百分誤差} = \frac{E}{R} \times 100\%$$

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

例題 1 計時的百分誤差

家儀用秒錶量度鞦韆來回擺動一次所需的時間（圖 a），結果為 2.31 s。她啟動和按停秒錶的總反應時間為 0.4 s。試估算因她的反應時間而導致的百分誤差。

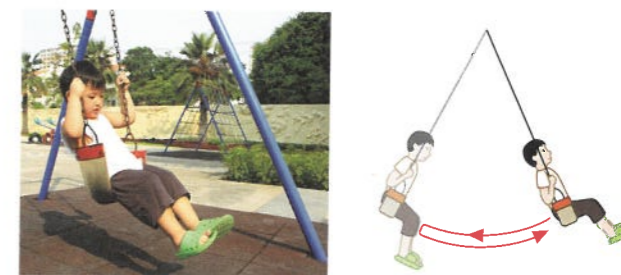


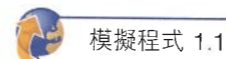
圖 a

題解

$$\text{百分誤差} = \frac{\text{誤差值}}{\text{真值}} \times 100\% = \frac{0.4}{2.31} \times 100\% = 17.3\%$$

習題與思考 1.1 Q1 (p.7)

→ 模擬程式 1.1 是一系列量度平均反應時間的測試。



模擬程式 1.1

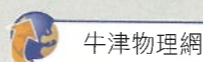
物理 DIY

反應時間

試根據本書網頁，製作尺子來量度你的反應時間。



讀過單元 2.3 後，你便會明白以這方法量度反應時間的原理。



牛津物理網

實驗 1a 減低百分誤差

- 1 把重物懸掛在輕繩的末端，造成一個單擺（圖 a）。
- 2 把重物拉向一旁然後放手，待重物到達最高點時啟動秒錶，量度單擺來回擺動 1 次所需的時間。
- 3 量度單擺擺動 10 次所需的時間，然後估算擺動 1 次需時多久。



圖 a

討論

- 1 假設啟動和按停秒錶的總反應時間為 0.4 s。步驟 2 和 3 量得的時間，百分誤差是多少？
- 2 步驟 2 和 3 量得的時間，哪個較準確？ 步驟 3

反應時間 reaction time 單擺 simple pendulum

從實驗 1a (p.5) 可見，如果事件會不斷重複發生，而每次需時一樣，只要量度重複若干次所需的時間，便可減低反應時間對測量結果的影響。然而，許多事件（例如短跑）都不會重複，要避免因反應時間引致的人為誤差，可改用一些能自動開關的計時器。

計時—計數器集計時器和計數器於一身。計時器用於量度準確至毫秒 (ms) 的時距，計數器則用於放射實驗以量度計數率。

例如，光閘與計時—計數器或數據記錄器連接後（圖 1.1f），便組成一個能自動開關的計時器，準確度達到 10^{-3} s。當光閘發出的光束被物體遮擋，裝置便開始計時；物體離開後，光束不再受遮擋，裝置便停止計時。

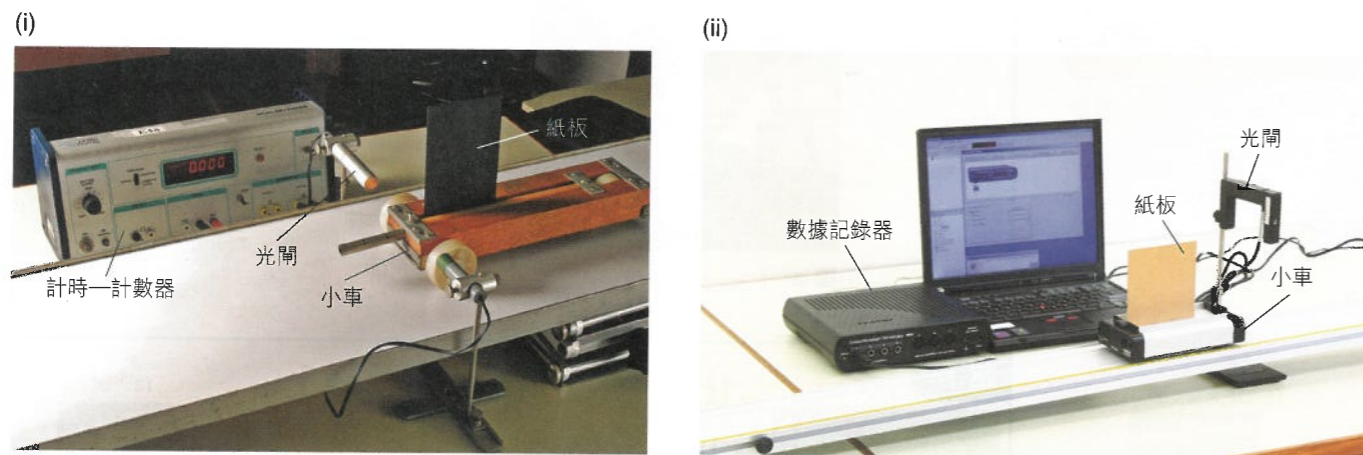


圖 1.1f (i) 計時—計數器或 (ii) 數據記錄器都可接駁光閘，量度小車駛過特定距離（即紙板闊度）所需的時間

進度評估 1

各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.2）。

- 11 在國際單位制中，長度的單位是
 A 寸。 B 尺。
 C 米。 m D 秒。
- 3 2 在國際單位制中，時間的單位是
 A 小時。 B 分鐘。
 C 秒。 s D 年。

習題與思考 1.1

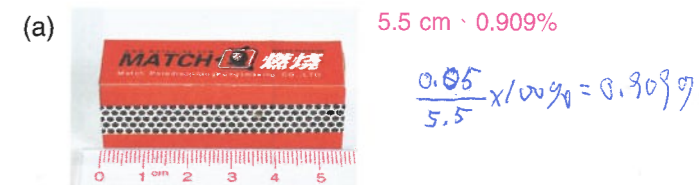
- 4 1 香港天文台有一個銨原子鐘（圖 a），它的最大誤差是每日 10^{-6} s。求銨原子鐘的最大百分誤差。
- 2, 4 6 寫出下圖所示的讀數，並計算百分誤差。取直尺的最大誤差為 0.5 mm，秒錶的最大誤差為 0.005 s。



$\frac{10^{-6}}{24 \times 3600} \times 100\%$

- A $1.16 \times 10^{-11} \%$ B $1.16 \times 10^{-9} \%$
 C $10^{-6} \%$ D $10^{-4} \%$

- 4 * 2 錦文的手錶每日慢一分鐘。他在 2014 年 1 月 1 日下午 2 時校準手錶，當實際時間為 2014 年 1 月 10 日下午 2 時，手錶顯示的時間便是
 A 下午 1 時 50 分。 B 下午 1 時 51 分。
 C 下午 2 時 9 分。 D 下午 2 時 10 分。



5.5 cm · 0.909%
 $\frac{0.05}{5.5} \times 100\% = 0.909\%$



23.38 s · 0.0214%
 $\frac{0.005}{23.38} \times 100\% = 0.0214\%$

（無須考慮反應時間）

- 2 * 3 浩琳用直尺量度物體的長度。若直尺的最大誤差是 0.5 mm，而量度結果的百分誤差是 5%，物體的長度是多少？
 A 1 mm B 5 mm
 C 1 cm D 5 cm
- 4 * 7 智傑在學校陸運會的 100 m 短跑中勝出。計時員以秒錶量度到智傑的成績是 12.04 s。
 (a) 假設由計時員反應時間引致的總誤差是 0.3 s。求智傑成績的百分誤差。
 (b) 為甚麼奧運會並不會採用秒錶來量度時間？

- 2 4 把下列長度改為以米為單位。
 (a) 183.4 cm $1.834 m$ (b) 357 500 km $357\,500\,000 m / 3.575 \times 10^8 m$
 (c) 32.0 nm $0.000\,000\,032\,0 m / 3.20 \times 10^{-8} m$

- 4 5 把下列時距改為以秒為單位。
 (a) 一日 $86\,400 s$
 (b) 一年 (365 日) $31\,536\,000 s / 3.1536 \times 10^7 s$
 (c) 3 小時 35 分鐘 4 秒 $12\,904 s$



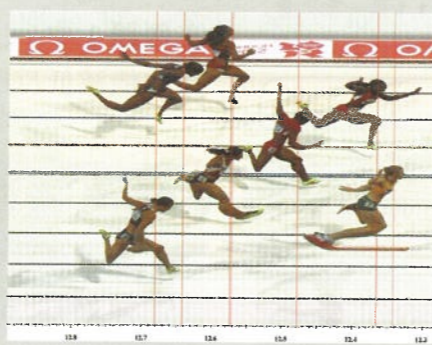
生活中的物理 體育比賽的電子計時

1968 年，電子計時器首次用作奧運會的主要計時工具，但是，那個時代的計時系統反應較緩慢，量度結果往往要稍作調整。時至今日，奧運會採用的電子計時器已經大幅改良，而大會公佈的計時結果則取近似值至 0.01 秒。

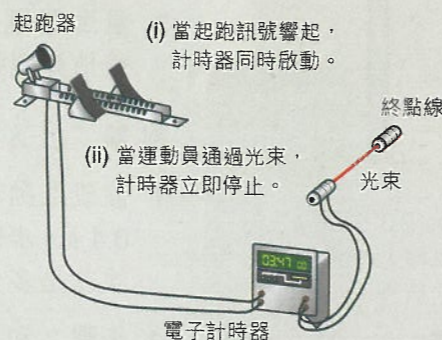


要達至這個準確度，可以運用幾種不同的計時方法。以短跑比賽為例，計時器由起跑訊號啟動，而終點線安裝了高速攝影機，每秒可拍攝多達 3000 幅照片，記錄選手衝線時的情況。每幅照片都附有時間，經分析後，每個選手的成績便一目了然。

這解答了起點的問題。



此外，通常終點線亦會安裝光閘，選手衝線時會遮擋光閘的光束，計時器便立即停止計時，由此得出冠軍選手的成績。



1.2

distance displacement
距離與位移

起點 標距柱

你也許在遠足時見過類似下圖的標距柱，但你知道刻在標距柱上的數字，有甚麼意思嗎？
參看第 11 頁生活中的物理。



本節重點

- 1 距離與位移
- 2 矢量與標量
- 3 直線上的位移
- 4 平面上的位移

模擬程式 1.2

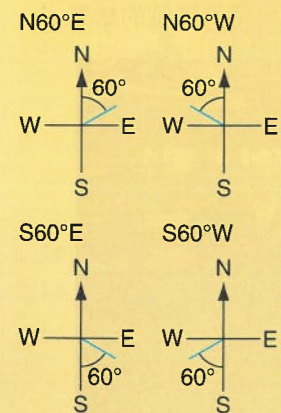
→ 模擬程式 1.2 說明距離與位移的分別。學生可以拉動皮球，使它沿 (a) 直線或 (b) 曲線移動，程式會顯示皮球移動的距離及位移。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

方向

我們可以用象限角來表達方向，例如：



1 描述位置的改變

假設我們沿足球場由 A 點走到 B 點，然後再走到 C 點 (圖 1.2a)。這個位置的改變可用距離來描述，距離即所經過路線的長度，在上述例子中，距離是 150 m (= AB + BC)。

另一方面，位置的改變也可用位移來描述。要完整表達位移，必須交待兩項資料，就是量值和方向。

- 1 量值：連接起點和終點的直線長度。
- 2 方向：由起點指向終點的直線方向。

因此，從 A 點走到 C 點，位移的量值是 108 m，方向是 S56.3°W，在圖 1.2a 中以藍色箭號表示。

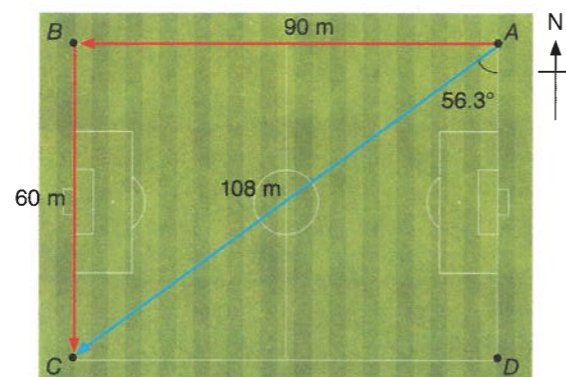


圖 1.2a 移動距離和位移

學生或會混淆位移和移動的路徑，老師應強調位移不一定是實際移動的路徑。

位移只取決於起點和終點的位置，因此，在圖 1.2b 中，不論沿路徑 X 或 Y 移動，位移也相同。

與距離相比，位移能更準確表達物體從起點移動到甚麼地方。

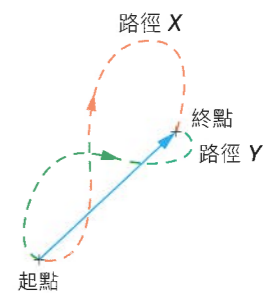
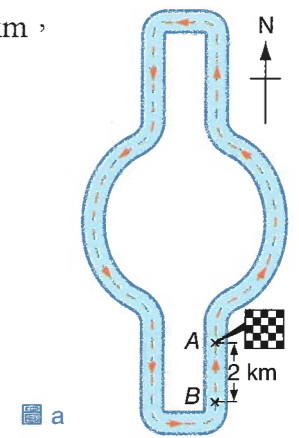


圖 1.2b 不論沿路徑 X 或 Y 移動，位移也相同 (以藍色箭號表示)

例題 2 移動距離與位移

志成參加公路單車賽，賽道每一圈的長度是 52 km，起點和終點都是 A 點 (圖 a)。

- 志成第一次到達 B 點時，
 - 他移動的距離是多少？
 - 他相對於 A 點的位移是多少？
- 他到達終點時，相對於 A 點的位移是多少？



題解

- (i) 移動距離 = 52 - 2 = 50 km
- (ii) 位移是向南 2 km。
- 因為起點和終點都是 A 點，所以志成的位移是 0。

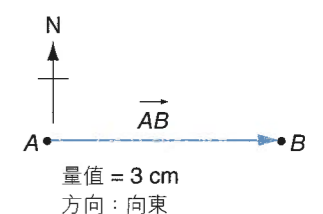
進度評估 2 Q1, 2 (p.11)

2 向量與標量

位移要用量值和方向才可完整地表達出來，這種物理量稱為**向量**或**向量**。畫圖時，向量可以用箭號來表示，箭號的長度代表量值，箭頭所指的方向就是向量的方向。

例如，物體由 A 點向東移 3 cm 後到達 B 點，它的位移便如圖 1.2c 所示，並可寫成 \vec{AB} 。

相反，如果物理量只有量值，則稱為**標量**或**無向量**，例子有距離和溫度。

圖 1.2c 向量 \vec{AB}

\vec{AB} 中的箭號只代表它是一個向量，與它的實際方向無關。

3 總位移

a 直線上的位移

假設我們從 E 點向東走 30 m 到 A 點，再向西走 90 m 到 B 點 (圖 1.2d)。我們相對於 E 點的總位移 (或合位移) 就是從 E 點指到 B 點的矢量，以 \vec{EB} 表示。從圖 1.2d 可見， \vec{EB} 指向西，量值是 $90 - 30 = 60$ m。

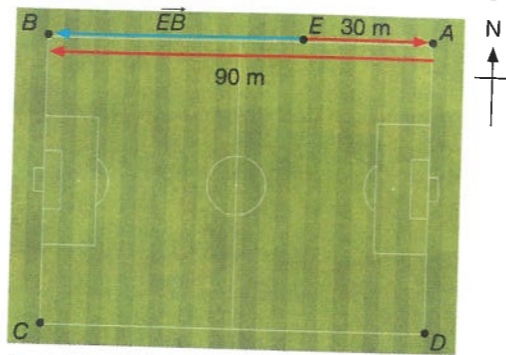


圖 1.2d 從 E 點走到 A 點，再走到 B 點

b 平面上的位移

假設我們從 C 點向東走 90 m 到 D 點，再向北走 60 m 到 A 點 (圖 1.2e)。我們的總位移是 \vec{CA} 。

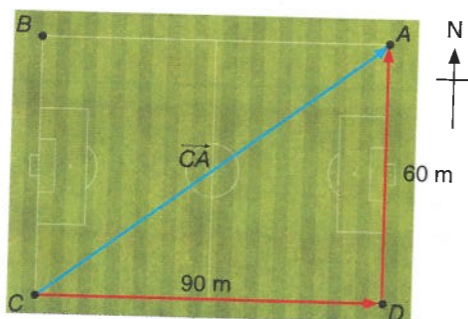


圖 1.2e 從 C 點走到 D 點，再到 A 點

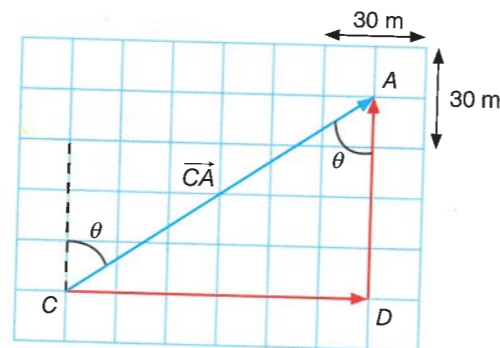


圖 1.2f 在附有比例尺的方格紙上畫出位移

如果以合適的比例和正確的方向畫出上述矢量， \vec{CA} 的量值和方向便可以用直尺和量角器量度 (圖 1.2f)，得出量值約為 108 m，方向約為 N56°E。

另外，也可以運用畢氏定理和三角比來計算 \vec{CA} 的量值和方向。在以上例子，

$$CA^2 = CD^2 + DA^2$$

$$CA = \sqrt{90^2 + 60^2} = 108 \text{ m}$$

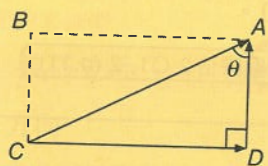
$$\tan \theta = \frac{90}{60}$$

$$\theta = 56.3^\circ$$

因此， \vec{CA} 的量值為 108 m，方向為 N56.3°E，與直接量度所得的結果一致。

→「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析



畢氏定理

在直角三角形中， $AC^2 = CD^2 + DA^2$

三角比

$$\tan \theta = \frac{CD}{DA}, \sin \theta = \frac{CD}{CA}$$

$$\cos \theta = \frac{DA}{CA}$$

用三角學找出 $\angle BCA$

應用三角學來找出 $\angle BCA$ ：

$\angle BCA = \theta$ (內錯角， $BC \parallel AD$)

例題 3 總位移

汽車從 A 點出發，沿綠色路線經 B 點到達 C 點 (圖 a)。求汽車的總位移。

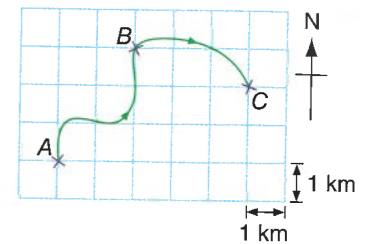


圖 a

題解

參閱圖 b。根據畢氏定理，

$$AC = \sqrt{AD^2 + CD^2} = \sqrt{2^2 + 5^2} = 5.39 \text{ km}$$

利用三角比，

$$\tan \theta = \frac{5}{2}$$

$$\theta = 68.2^\circ$$

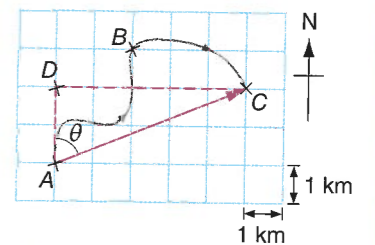


圖 b

總位移的量值是 5.39 km，方向是 N68.2°E。

▶ 習題與思考 1.2 Q5 (p.12)

進度評估 2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.8)。

(第 1 至 2 題) 如圖 a 所示，文迪沿半圓形跑道從 X 點走到 Y 點。跑道的直徑是 800 m。

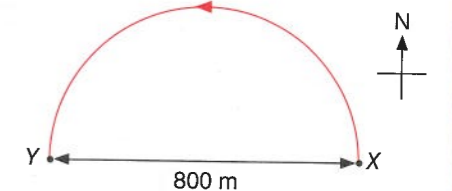


圖 a

11 文迪移動的距離是多少？ 1260 m

[提示：圓周 = $\pi \times$ 直徑]

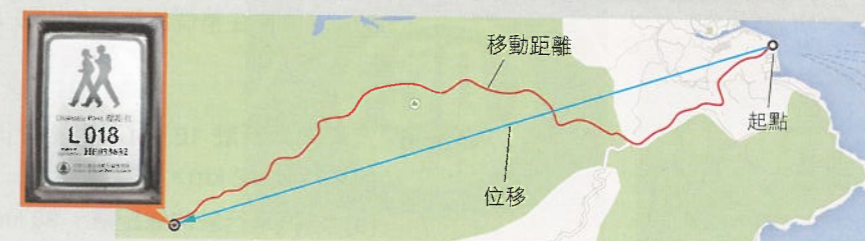
12 相對於 X 點，文迪的位移是多少？

800 m (向西)

生活中的物理 標距柱

本港部分遠足徑每 500 m 便豎立一根標距柱，告知遠足者身處的位置。在起點中，該遠足徑的第一根標距柱為 L 000，豎立在起點。由起點出發，沿路走到標距柱 L 018，經過的距離便是 9000 m (= 500 × 18)。

第二組數字 (HE033632) 是地圖座標，顯示所在地的準確位置。從起點指向該位置的矢量，就是遠足者的位移。



習題與思考 1.2 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.8)。

- 1 1 碧珊和偉文在同一跑道上向相反方向慢跑 (圖 a)。
 1 4 如圖 c 所示，足球員準備射罰球。為避開人牆，足球須沿曲線而不是直線飛行。

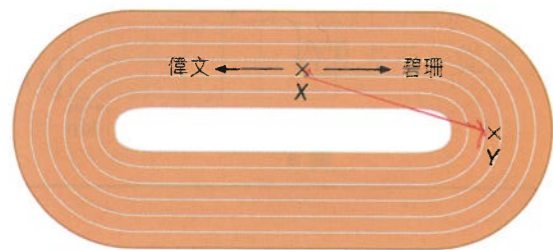


圖 a

他們的位移

- A 量值和方向都不相同。
 B 量值不相同，但方向相同。
 C 量值和方向都相同。
 D 量值相同，但方向不相同。



圖 c

現假設沒有人牆，考慮圖 c 中的直線路徑 A 和曲線路徑 B。

- (a) 比較足球沿這兩條路徑的移動距離。 $B > A$
 (b) 比較足球沿這兩條路徑移動的位移。 相同

- 1 2 下列有關物體移動的距離和位移的敘述，哪一項必定正確？

- A 物體移動的距離愈長，位移的量值愈大。
 B 物體位移的量值愈大，移動的距離愈長。
 C 物體位移的量值可大於移動的距離。
 D 物體移動的距離可大於位移的量值。

- 3 桌上有三個倒置的杯，每個相距 15 cm (圖 b)。魔術師將硬幣放在位置 B 的杯下，然後將位置 A 和 B 的杯對掉，再將位置 A 和 C 的杯對掉。每次對掉中，硬幣都隨杯移動。求硬幣的總位移。

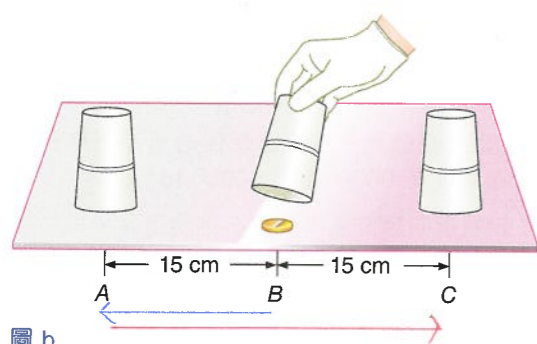


圖 b

- A 0
 B 向左 15 cm
 C 向右 15 cm
 D 無法確定

- 5 偉業駕車從 A 點出發，行駛 26 km 至 B 點，再駛 8 km 至 C 點，最後駛了 14 km 至 D 點 (圖 d)。D 點位於 B 點正南方。

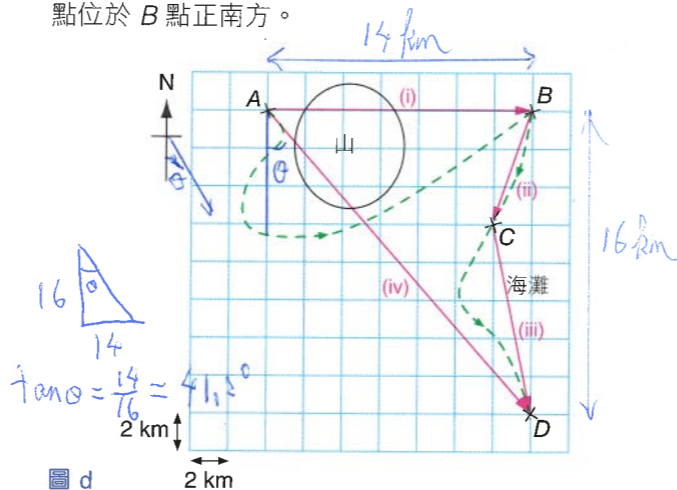


圖 d

(a) 在圖 d 中，繪畫偉業在下列各段路程的位移。

- (i) 從 A 至 B 14 km
 (ii) 從 B 至 C 8 km
 (iii) 從 C 至 D 14 km
 (iv) 整個旅程

(b) 求偉業在整個旅程的總位移。 21.3 km (S41.2°E)

- 6 汽車向南行駛 16 km，然後向北行駛 10 km，最後向東行駛 12 km。

- (a) 求汽車行駛的總距離。 38 km
 (b) 求汽車的總位移。 13.4 km (S63.4°E)

Handwritten calculation: $s = \sqrt{6^2 + 12^2} = 13.4 \text{ km}$, $\tan \theta = \frac{12}{6}$, $\theta = 63.4^\circ$

1.3

速率、速度與加速度

距離 / 時間
 位移 / 時間

起點 飛行時間

飛機由關島飛往香港，速率最高可達 960 km h^{-1} ，以兩地相距約 3400 km 來說，需時應不超過 4 小時，但實際上飛機卻往往要用上大約 5 小時，才可到達目的地。為甚麼？參看第 14 頁。



本節重點

- 1 速率
- 2 平均速率和瞬時速率
- 3 速度
- 4 平均速度和瞬時速度
- 5 加速度

1 速率

速率表示物體移動的快慢。

速率 = 每單位時間內物體移動的距離

速率是標量，不會顯示物體移動的方向。

在國際單位制中，速率的單位是米 / 秒，簡寫是 m s^{-1} 。另一個速率單位是千米 / 小時 (km h^{-1})。

$1 \text{ m s}^{-1} = 3.6 \text{ km h}^{-1}$ 或 $1 \text{ km h}^{-1} = 0.278 \text{ m s}^{-1}$

$1 \text{ km h}^{-1} = \frac{1 \text{ km}}{1 \text{ h}} = \frac{1000 \text{ m}}{60 \times 60 \text{ s}} = \frac{1}{3.6} \text{ m s}^{-1}$

Handwritten conversion: $\text{km h}^{-1} \xrightarrow{\div 3.6} \text{m s}^{-1}$, $\text{m s}^{-1} \xrightarrow{\times 3.6} \text{km h}^{-1}$

本港道路的車速限制一般都是 50 km h^{-1} ，但有時會因應不同情況而調整，例如北大嶼山公路的車速限制是 110 km h^{-1} (圖 1.3a)。



圖 1.3a 本港的車速限制標誌

圖 1.3b 顯示不同事物的速率。

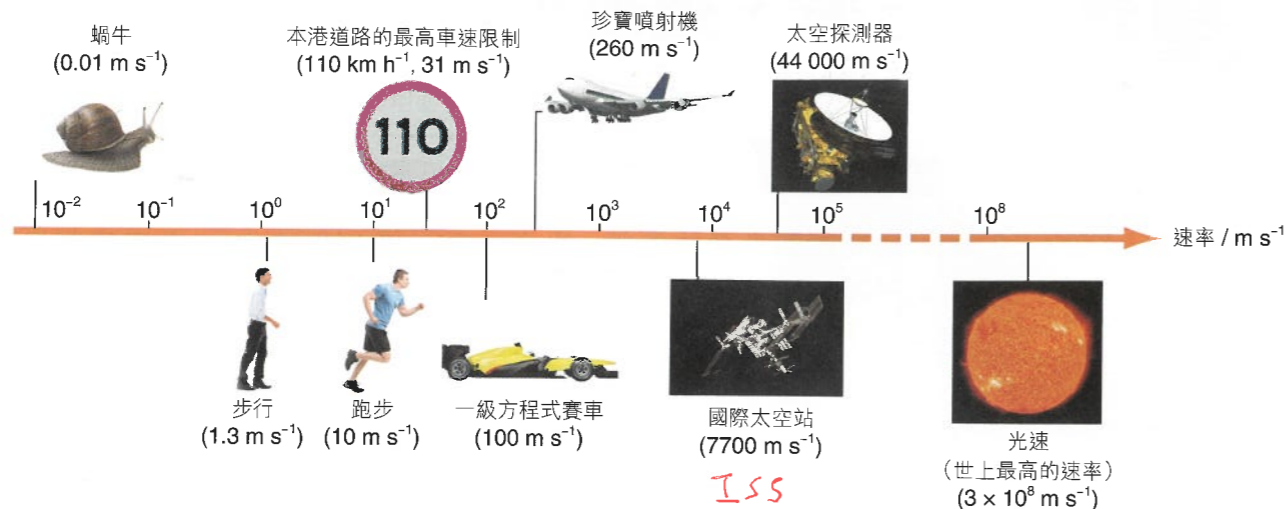


圖 1.3b 不同事物的速率

a 平均速率

要概觀物體在整段路程中移動的快慢，可以計算物體的**平均速率**。

$$\text{平均速率} = \frac{\text{移動的距離}}{\text{所需時間}}$$

起點提及的飛機並非一直以最高速率飛行，它的平均速率低於 960 km h^{-1} 。此外，它不一定沿直線飛行，飛行的距離可能大於 3400 km 。因此，它的飛行時間會較長。

物體不一定以恆速率移動，平均速率並不能顯示物體在旅程中的速率變化。一般而言，物體在某一時刻的速率並不等於平均速率。

b 瞬時速率

「瞬時速率」通常簡稱「速率」。

物體在某一瞬間的速率稱為**瞬時速率**。量度物體在極短時距內的平均速率，便可估算出瞬時速率的大小。量度的時距愈短，估算的結果愈準確。

→ 模擬程式 1.3 說明瞬時速率與平均速率的分別。

模擬程式 1.3

若物體以恆速率移動，它的瞬時速率便等於平均速率。

汽車車速計、小巴車速顯示器，兩者所顯示的讀數都是車輛的瞬時速率（以 km h^{-1} 為單位）（圖 1.3c 和 1.3d）。



圖 1.3c 汽車車速計



圖 1.3d 小巴車速顯示器

學生或會認為，在極短的時間內，運動中的物體所移動的距離是零。這想法可能由一些照片而來，因為照片通常不能顯示物體在運動中的位置改變。老師可以向學生解釋由於物體的運動不夠快，所以不能從照片觀察到位置的改變。

例題 4 平均速率與瞬時速率

小巴由 $t = 0$ 至 $t = 15 \text{ min}$ 的平均速率是 70 km h^{-1} ，在 $t = 8 \text{ min}$ 的速率是 100 km h^{-1} 。

(a) 求小巴由 $t = 0$ 至 $t = 15 \text{ min}$ 所行駛的距離。

(b) 如果道路的車速限制是 80 km h^{-1} ，司機有沒有超速駕駛？

題解

(a) 平均速率 = $\frac{\text{移動的距離}}{\text{所需時間}}$

∴ 行駛的距離 = 平均速率 × 所需時間

$$= 70 \text{ km h}^{-1} \times 15 \text{ min} = 70 \text{ km h}^{-1} \times \frac{15}{60} \text{ h} = 17.5 \text{ km}$$

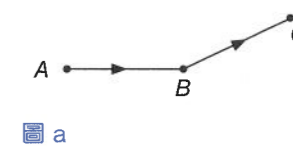
別忘記轉換單位。

(b) 司機超速駕駛，因為小巴在 $t = 8 \text{ min}$ 的瞬時速率超出了車速限制。

習題與思考 1.3 Q8 (p.21)

預試訓練 1 旅程的平均速率 ☆ 香港中學會考 2001 年卷二 Q2

智浩以 4 km h^{-1} 的速率從 A 點走到 B 點（圖 a），然後以 2 km h^{-1} 從 B 點走到 C 點。B 點與 C 點的距離等於 A 點與 B 點的距離。



智浩在整個旅程中的平均速率是多少？

A 0.5 km h^{-1}

B 1.67 km h^{-1}

C 2.67 km h^{-1}

D 3 km h^{-1}

速率的變化率恆定不變時，平均速率才會等於 $\frac{v_1 + v_2}{2}$ 。教授單元 2.1 後，可吩咐學生做習題與思考 2.1 第 12 題 (p.59)，然後叫他們解釋為甚麼這預試訓練的答案不是 D。

題解

設 A 點與 B 點的距離為 d ，智浩走這段路所需的時間為 t 。

$$\therefore \frac{d}{t} = 4 \text{ km h}^{-1}$$

智浩由 B 點走到 C 點時，速率減至原來的一半，而經過的距離相同，因此走這段路所需的時間為 $2t$ 。

現在，考慮智浩由 A 點走到 C 點的情況。

$$\begin{aligned} \text{平均速率} &= \frac{\text{總移動距離}}{\text{所需時間}} \\ &= \frac{2d}{t + 2t} = \frac{2}{3} \times \frac{d}{t} = \frac{2}{3} \times 4 = 2.67 \text{ km h}^{-1} \end{aligned}$$

∴ 答案是 C。

常見錯誤

學生或誤以為平均速率 = $\frac{4 + 2}{2} = 3 \text{ km h}^{-1}$ 。

複習 Q16 (p.34)

實驗技巧應用

例題 5 用光閘量度瞬時速率

小車沿跑道移動，車上裝有一塊 4 cm 闊的紙板（圖 a）。跑道中央的上方安裝了一個連接數據記錄器的光閘。系統錄得的時間是 0.048 s。

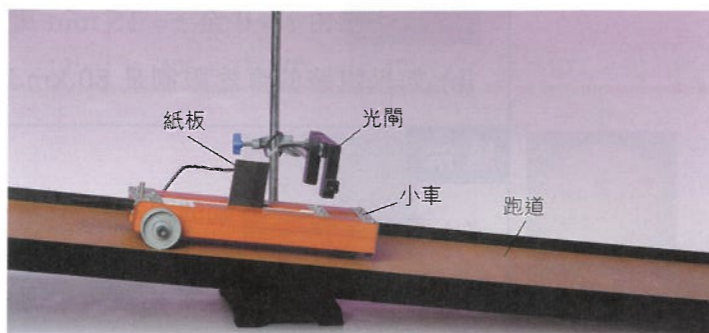


圖 a

- 解釋光閘的運作原理。
- 量度小車瞬時速率的近似值時，車上的紙板不可以過闊。試簡單解釋原因。
- 估算小車通過光閘時的瞬時速率。

題解

- 當光閘的光束被物件遮擋，計時器便開始計時；當物件離開，光束不再受遮擋，計時便終止。因此，光閘能夠量度物體通過它所用的時間。
- 紙板愈闊，通過光閘所用的時間愈長，瞬時速率的量度結果便愈不準確。
- 瞬時速率
 \approx 紙板通過光閘的平均速率
 $= \frac{0.04}{0.048} = 0.833 \text{ m s}^{-1}$

「 \approx 」即「大約等於」。

▶ 複習 Q31 (p.37)

進度評估 3 題號旁的數字對應本節重點（參看 p.13）。

1 下表列出港鐵三條路線的資料。試在空格內填上答案。
1, 2

	將軍澳線	西鐵線	迪士尼線
長度 / km	12.4	35.7	3.5
行駛時間 / s	1200	2220	210
平均速率 / m s^{-1}	10.3	16.1	16.7

提醒學生在日常用語中，「速率」和「速度」的意思相同。但物理學上，兩者是不同的概念：「速率」是標量而「速度」是矢量。

2 速度

速度顯示物體移動的快慢和方向，定義如下：

$$\text{速度} = \text{每單位時間內物體的位移}$$

速度是矢量，包含量值和方向。在國際單位制中，速度的單位是 m s^{-1} 。如果一艘船以 10 m s^{-1} 的速率向東航行（圖 1.3e），它的速度就是向東 10 m s^{-1} 。



圖 1.3e 船向東航行

a 平均速度

平均速度的計算方法與平均速率類似，所應用的公式是：

$$\text{平均速度} = \frac{\text{總位移}}{\text{所需時間}}$$

平均速度的方向與總位移相同（圖 1.3f）。

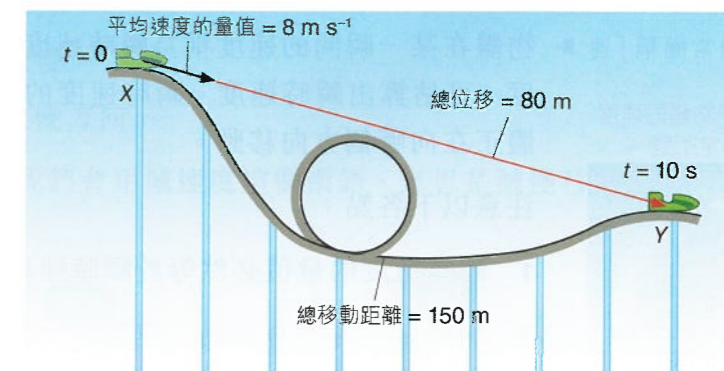


圖 1.3f 總位移及平均速度的方向

$$\begin{aligned} \text{平均速率} &= \frac{150}{10} = 15 \text{ m s}^{-1} \\ \text{平均速度的量值} &= \frac{80}{10} = 8 \text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

平均速度的量值通常與平均速率不同，例如在圖 1.3f 中，過山車的平均速率是 15 m s^{-1} ，但平均速度的量值卻是 8 m s^{-1} 。

例題 6 汽車的平均速率與平均速度

汽車向北行駛 7 km，然後向西行駛 3 km。整段路程用了 10 分鐘。

- (a) 求汽車的平均速率。
- (b) 求汽車的平均速度。

題解

(a) 平均速率 = $\frac{\text{總移動距離}}{\text{所需時間}} = \frac{7000 + 3000}{10 \times 60} = 16.7 \text{ m s}^{-1}$

(b) 總位移的量值
 $= \sqrt{7000^2 + 3000^2} = 7620 \text{ m}$

平均速度的量值
 $= \frac{\text{總位移量值}}{\text{所需時間}}$
 $= \frac{7620}{10 \times 60}$

$= 12.7 \text{ m s}^{-1}$
 平均速度的方向：

$\tan \theta = \frac{BC}{AB}$
 $= \frac{3000}{7000}$
 $\theta = 23.2^\circ$

汽車平均速度的量值是 12.7 m s^{-1} ，方向是 N23.2°W。

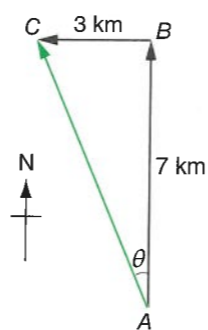


圖 a

進度評估 4 Q1 (p.19)

若汽車以恆速率 16.7 m s^{-1} 行駛 10 分鐘，行駛的距離也是 10 km。

物體以甚麼方式運動，平均速度的量值才會等於平均速率？
 運動方向保持不變

b 瞬時速度

「瞬時速度」通常簡稱「速度」。物體在某一瞬間的速度稱為**瞬時速度**。量度物體在極短時距內的平均速度，可估算出瞬時速度。瞬時速度的方向就是物體的運動方向，展示物體正在向哪個方向移動。

提醒學生如果物體的速度恆定，速率也必定不變。

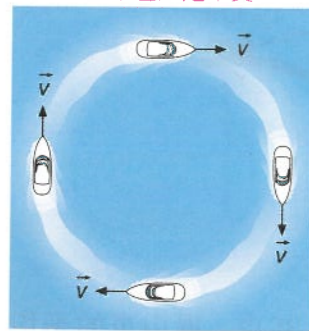


圖 1.3g 船繞圈航行時，速度不斷改變

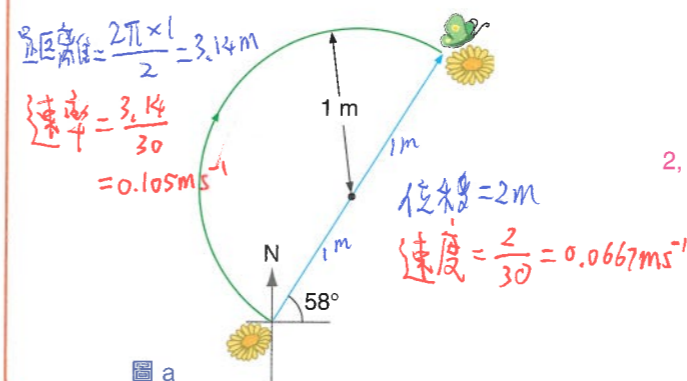
注意以下各點：

- 1 瞬時速度的量值必然等於瞬時速率。
- 2 物體以恆速率移動時，速度不一定恆定不變。圖 1.3g 顯示一艘船以恆速率繞圈航行，在圖示的每個位置，船的移動方向都不相同，因此瞬時速度也不相同。
- 3 倘若物體以恆速度移動，即速率和移動方向都不變，那麼它所做的就是**勻速運動**。它的瞬時速度保持不變，也就等於平均速度。

瞬時速度 instantaneous velocity 勻速運動 uniform motion

進度評估 4 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.13)。

(第 1 至 2 題) 蝴蝶沿半徑 1 m 的半圓路徑飛行，需 2.41 時 30 s。



提示：平均速率 = $\frac{\text{總移動距離}}{\text{所需時間}} = ? \text{ } 0.105 \text{ m s}^{-1}$
 平均速度 = $\frac{\text{總位移}}{\text{所需時間}} = ?$

2.42 是非題：蝴蝶的瞬時速率與瞬時速度的量值必然相同。
 0.0667 m s^{-1} (N32°E)
 (對/錯)

3 加速度

日常用語中，「加速」的意思是移動得愈來愈快。物理學有「加速度」這個術語，但它的含義較廣，除了可以描述正在加快的運動外，也可以描述正在減慢或改變方向的運動。

加速度定義為速度的變化率，它表示物體速度改變的快慢。

加速度 = 每單位時間內物體的速度變化
 per sec

加速度的單位
 $= \frac{\text{速度的單位}}{\text{時間的單位}}$
 $= \frac{1 \text{ m s}^{-1}}{\text{s}}$
 $= \text{m s}^{-2}$

不要混淆加速度的單位 (m s^{-2}) 和速度的單位 (m s^{-1})!

▶ 加速度是矢量。在國際單位制中，它的單位是**米 / 平方秒**，簡寫是 m s^{-2} 。

每當物體的速度出現變化 (圖 1.3h)，物體便有加速度。速度變化包括以下幾種情況：

- 1 物體加快；
- 2 物體減慢；
- 3 物體改變方向。

有時候，我們會用**減速度**這個術語，意思是減慢移動。



圖 1.3h 電單車加快、減慢或改變方向時，便有加速度

「減速度」(或「減速」) 這術語在公開試頗常見 (例如文憑試 2012 年卷一乙部 Q4、會考 2010 年卷二 Q6)，常用於表示物體減慢時加速度的量值 (例如會考 2003 年卷一 Q11)。從這個意義來看，減速度不會是負數。

加速度 acceleration 減速度 deceleration

當物體的速度在一段時間內出現變化，它的平均加速度就可用以下方法求得：

$$\text{平均加速度} = \frac{\text{速度的總變化}}{\text{所需時間}}$$

單元 1.4 會討論物體沿直線運動時的平均加速度，第 9 課會探討物體繞圈運動時的加速度。

例題 7 山羊的平均加速度

山羊看見獅子，立即沿直線向東逃跑，只用了 3 s 便從靜止加快至 14 m s^{-1} 。山羊平均加速度的量值是多少？

題解

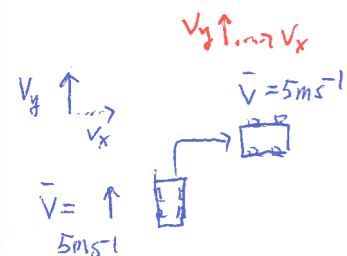
$$\begin{aligned} \text{平均加速度的量值} &= \frac{\text{速度的總變化}}{\text{所需時間}} \\ &= \frac{14 - 0}{3 - 0} \\ &= 4.67 \text{ m s}^{-2} \end{aligned}$$

▶ 進度評估 5 Q2 (p.20)

進度評估 5 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.13)。

51 是非題：物體以恆定速率移動時，加速度必然是零。 (對/錯)

52 單車從靜止沿直線向北加速，4 s 後速度達到 10 m s^{-1} 。單車平均加速度的量值是多少？ 2.5 m s^{-2}

$$a = \frac{v - u}{t} = \frac{10 - 0}{4} = 2.5 \text{ m s}^{-2}$$


習題與思考 1.3

- 2, 4 1 水星每年繞太陽運行 4 圈，每繞一圈所經過的距離是 $3.64 \times 10^{11} \text{ m}$ 。當水星剛好繞了 1 圈，
- A 它的平均速率是 3 km s^{-1} 。
 - B 它的平均速率是 12 km s^{-1} 。
 - C 它的平均速度是 12 km s^{-1} 。
 - D** 它的平均速度是零。

2 2 汽車在 4 分鐘內行駛了 3 km，它的平均速率是多少？

- A 0.75 m s^{-1}
 - B** 12.5 m s^{-1}
 - C 45 m s^{-1}
 - D 750 m s^{-1}
- $$\bar{v} = \frac{3000}{4 \times 60} = 12.5 \text{ m s}^{-1}$$

5 3 電單車沿直路向西加速行駛 (圖 a)，在 $t = 0$ 至 $t = 5 \text{ s}$ 之間，速度從 10 m s^{-1} 提升至 20 m s^{-1} 。電單車平均加速度的量值是多少？



圖 a

- A** 2 m s^{-2}
- B 5 m s^{-2}
- C 10 m s^{-2}
- D 15 m s^{-2}

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{20 - 10}{5} = 2 \text{ m s}^{-2}$$

4 * 4 下列哪項有關物體瞬时速度的敘述是正確的？

- (1) 它的方向必然與平均速度相同。
- (2) 它展示物體在某一時刻移動的快慢。
- (3) 它大約等於物體在極短時距內的平均速度。
- A 只有 (1)
- B 只有 (1) 和 (2)
- C** 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

1-4 * 5 女孩以平均速率 3 km h^{-1} 走了 1 小時。下列哪一項敘述**不**正確？

- A 女孩總位移的量值不會大於 3 km 。
- B 女孩的瞬時速率可以大於 3 km h^{-1} 。
- C 女孩瞬時速度的量值可以大於 3 km h^{-1} 。
- D** 女孩平均速度的量值可以大於 3 km h^{-1} 。

2, 4 * 6 物體以恆速率移動時，以下哪些物理量的數值必然相等？

- (1) 物體的平均速率
- (2) 物體的瞬時速率
- (3) 物體平均速度的量值
- (4) 物體瞬時速度的量值
- A 只有 (1) 和 (2)
- B 只有 (3) 和 (4)
- C** 只有 (1)、(2) 和 (4)
- D (1)、(2)、(3) 和 (4)

2, 4 7 保持 (圖 b) 是 100 米和 200 米短跑的世界紀錄保持者。



圖 b

- (a) 他 100 米的紀錄是 9.58 s，200 米的紀錄是 19.19 s。求他在這兩項賽事的平均速率。
- (b) 在這兩項賽事中，保持平均速度的量值是否等於他的平均速率？

$$10.4 \text{ m s}^{-1}, 10.4 \text{ m s}^{-1}$$

100 米：是
200 米：不是
走了彎道

$$v_1 = \frac{100}{9.58} = 10.4 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_2 = \frac{200}{19.19} = 10.4 \text{ m s}^{-1}$$

2 8 小巴在車速限制為 50 km h^{-1} 的道路上行駛，在 2 分鐘內經過了 1.5 km。

- (a) 求小巴的平均速率。 45 km h^{-1}
- (b) 小巴有沒有超速？試簡單解釋原因。無法確定

$$\bar{v} = \frac{1.5}{2 \div 60} = 45 \text{ km h}^{-1}$$

3, 5 9 一匹馬沿直線以 30 km h^{-1} 奔跑 (圖 c)。



圖 c

(a) 牠跑過 600 m 的距離，需要多長時間？ 72 s

(b) 牠在 5 s 內從 30 km h^{-1} 加快至 40 km h^{-1} 。

求它平均加速度的量值。 0.556 m s^{-2}

$$v = \frac{30}{3.6} = \frac{600}{t}, t = 72 \text{ s}$$

$$a = \frac{40 - 30}{3.6 \times 5}$$

2, 4 * 10 啟明沿直路從 A 點走到 B 點 (圖 d)，這段路程共用了 5 分鐘，平均速率是 1.5 m s^{-1} 。然後他向右轉，以 1.2 m s^{-1} 的平均速率走了 8 分鐘，最後到達 C 點。啟明在整段路程中的平均速度是多少？

0.937 m s^{-1} (N72.0°E)

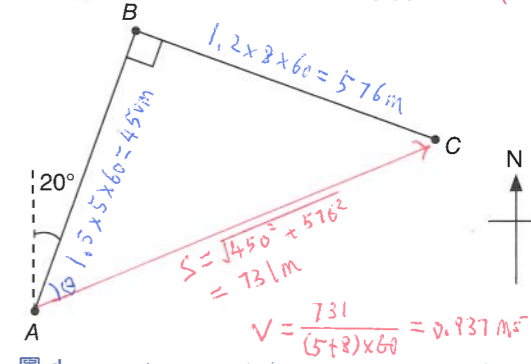


圖 d

2 * 11 正豪以 1.4 m s^{-1} 的平均速率步行 5 km，再以平均速率 v 步行 10 km。若他在整個旅程的平均速率是 2 m s^{-1} ， v 是多少？ 1.12 m s^{-1}

2, 4 * 12 (a) 試舉例說明在甚麼情況下，兩輛汽車的瞬時速率相同，但瞬時速度卻不相同。

(b) 試舉例說明在甚麼情況下，一個人的平均速率不是零，但平均速度卻是零。

$$t_1 = \frac{5000}{1.4}, t_2 = \frac{10000}{v}$$

$$2 = \frac{5000 + 10000}{1.4 t_1 + t_2}$$

1.4

直線上的運動

本節重點

- 1 在直線上表示矢量
- 2 沿直線的加速運動

起點 哪輛車的加速度較大？

高速列車的速率可達 380 km h^{-1} ，跑車的最高速率則約為 200 km h^{-1} 。根據這些資料，可以知道哪輛車的平均加速度較大嗎？參看第 25 頁例題 8。



高速列車



跑車

在這單元，我們會深入探討位移、速度和加速度。為簡單起見，我們只集中討論一維運動，即直線運動。

模擬程式 1.4

→ 模擬程式 1.4 示範怎樣表示直線上的矢量。

1 直線上的矢量

在一維空間中，矢量只有兩個方向，可以用正號 (+) 和負號 (-) 表示。

在圖 1.4a 中，男孩在正午時從 A 點出發，步行 200 m 後，在 12:03 pm 到達 B 點。他在 12:15 pm 離開 B 點，跑了 1000 m 後，在 12:20 pm 到達 C 點。

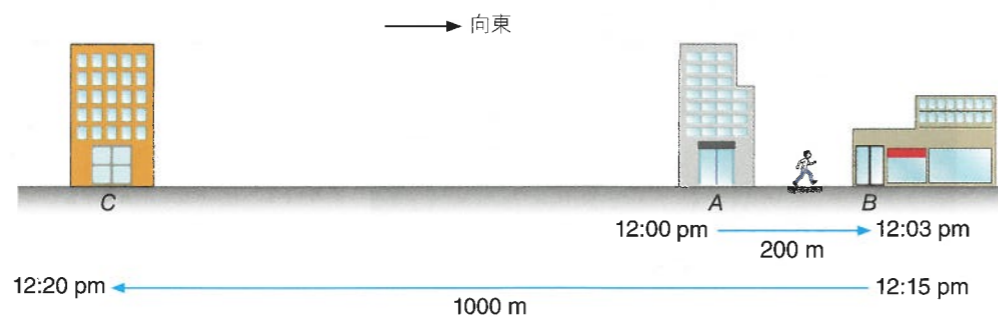


圖 1.4a 男孩沿直路行走

用矢量描述以上運動的話，首先要選定「正」的方向：假設取向東為正方向，那麼向西就是負方向。然後便可以計算男孩在旅程中的位移和平均速度（表 1.4a，見 p.23）。

可鼓勵學生在圖 1.4a 畫上「→+」的符號，提醒自己所選取的符號法則。

我們可任意選取正方向。如果取向西為正，各路段的位移和平均速度是多少？

如果取向西為正，位移和速度的正負值會相反，但意義不會改變。老師可着學生自行試做。

可着學生在圖 1.4a 上練習繪畫總位移。

	位移	所需時間	平均速度
由 A 至 B	$s_{AB} = +200 \text{ m}$	$t_{AB} = 3 \text{ min} = 180 \text{ s}$	$v_{AB} = \frac{s_{AB}}{t_{AB}} = +1.11 \text{ m s}^{-1}$
在 B 點	$s_B = 0$	$t_B = 12 \text{ min} = 720 \text{ s}$	$v_B = \frac{s_B}{t_B} = 0$
由 B 至 C	$s_{BC} = -1000 \text{ m}$	$t_{BC} = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$	$v_{BC} = \frac{s_{BC}}{t_{BC}} = -3.33 \text{ m s}^{-1}$
由 A 至 C	$s_{AC} = s_{AB} + s_{BC} = +200 + (-1000) = -800 \text{ m}$	$t_{AC} = 20 \text{ min} = 1200 \text{ s}$	$v_{AC} = \frac{s_{AC}}{t_{AC}} = -0.667 \text{ m s}^{-1}$

表 1.4a 各路段的位移和平均速度

位移為正數，表示位移矢量指向正方向（男孩在該路段起點的東邊）；位移為負數，表示位移矢量指向負方向（男孩在該路段起點的西邊）。

同樣，速度為正數，表示速度矢量指向正方向；速度為負數，表示速度矢量指向負方向。在同一時段內，平均速度與總位移的正負值必然相同。

圖 1.4b 顯示在各路段男孩的位移和平均速度的矢量。

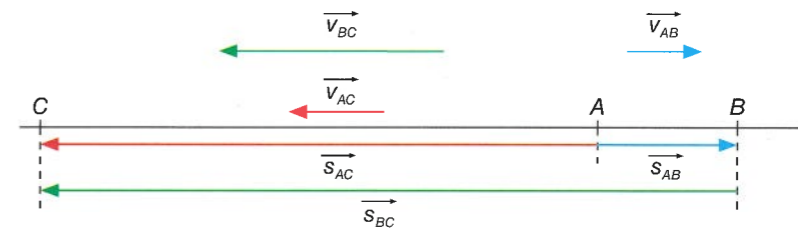


圖 1.4b 男孩的位移和平均速度的矢量

進度評估 6 題號旁的數字對應本節重點（參看 p.22）。

11 飛機沿着直線，由 P 飛到 Q，再到 R，最後到 S（圖 a）。表 a 顯示飛機的航班資料。

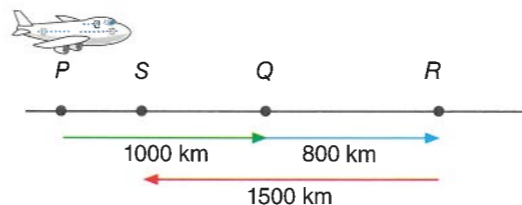


圖 a

	起飛	著陸
P → Q	9:38 am	10:46 am
Q → R	11:00 am	12:45 pm
R → S	1:15 pm	3:08 pm

表 a

求下列各段路程的總位移和平均速度。

- (a) 1800 km (向右)、578 km h^{-1} (向右)
- (b) 300 km (向右)、54.5 km h^{-1} (向右)
- (c) 700 km (向左)、169 km h^{-1} (向左)

- (a) 從 P 飛到 R
- (b) 從 P 飛到 S
- (c) 從 Q 飛到 S

2 加速運動

a 加速度的量值

加速度的大小有甚麼意義？試比較圖 1.4c 中兩部汽車的運動。兩車從靜止開始，沿直路朝相同方向勻加速，的士的加速度是 2 m s^{-2} ，跑車的加速度是 4 m s^{-2} 。加速度的量值表示速度的變化率。圖 1.4c 以圖像顯示汽車在不同時間的速率，帶出加速度的意義。

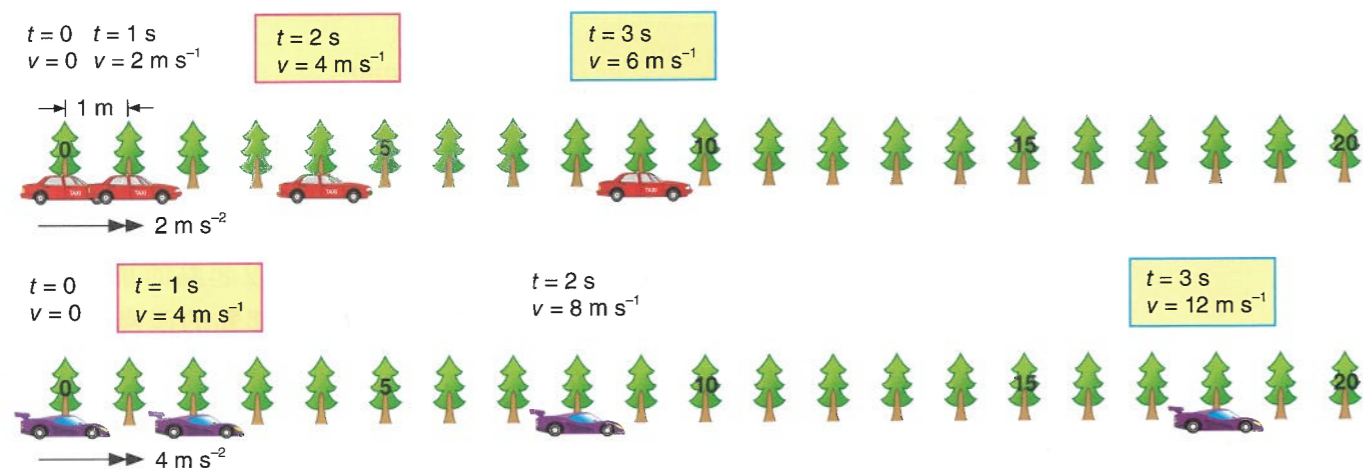


圖 1.4c 汽車在首 3 s 的運動 (兩車從靜止以不同的勻加速度前進)

從圖中可見：

- 1 的士的速率每秒增加 2 m s^{-1} ，跑車的速率每秒增加 4 m s^{-1} 。
- 2 兩車每秒駛過的距離會隨時間增加。
- 3 兩車同時從靜止勻加速，加速度較大的汽車
 - (i) 在較短時間內達到某個速率 (見紅色方格)；
 - (ii) 在同一時距內行駛的距離較長 (見藍色方格)。

汽車在碰撞中會減速。不同事物的加速度量值各不相同 (圖 1.4d)。

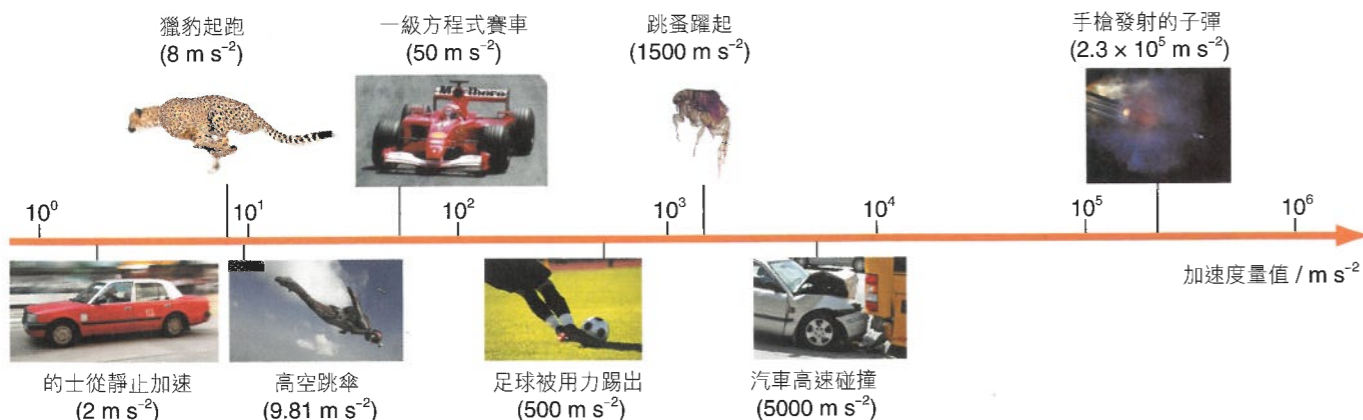


圖 1.4d 不同事物加速度的量值

即使物體的加速度很大，也不表示它能夠達到很高的速率。例如，跳蚤能以很大的加速度從靜止躍起，但加速過程只能維持大約一毫秒，所以最終速率並不很高。

例題 8 平均加速度與最高速率

考慮起點提及的高速列車和跑車。沿直路行駛時，高速列車用 7 分鐘從靜止加速至 380 km h^{-1} ，跑車用 5 s 從靜止加速至 97 km h^{-1} 。哪輛車的平均加速度較大？

題解

應用關係式：平均加速度 = $\frac{\text{速度的總變化}}{\text{所需時間}}$

$$\text{高速列車的平均加速度} = \frac{380 - 0}{7 \times 60} = 0.251 \text{ m s}^{-2}$$

$$\text{跑車的平均加速度} = \frac{97 - 0}{5} = 5.39 \text{ m s}^{-2}$$

跑車的平均加速度較大。

▶ 習題與思考 1.4 Q1 (p.28)

與跑車相比，高速列車的最高速率較大，但平均加速度較小。要加速至最高速率，列車所需的時間比跑車長得多。單憑物體的最高速率，並不能推斷它的加速度。

b 加速度的方向

物體加速度的正負值表示加速度的方向，即速度變化的方向，但並不表示物體的運動方向。

i 加速度和運動的方向

圖 1.4e 中，運動員沿直路跑步，表 1.4b (見 p.26) 記錄了他在不同時段的運動情況。

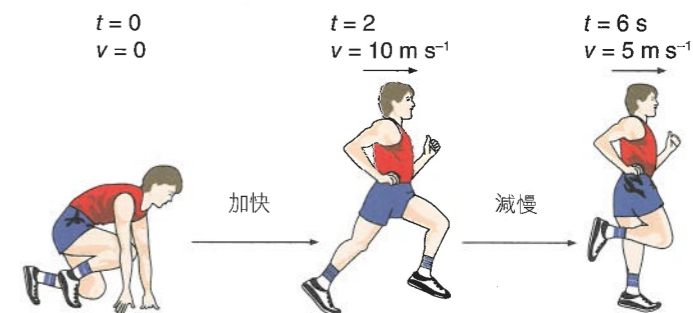


圖 1.4e 運動員沿直路跑步

試用箭號繪畫加速度的矢量。如果選取的正方向改變，這些箭號的方向會改變嗎？不會

提醒學生在解決有關加速度的問題時，慣常以物體向前或初速度的方向為正。如此一來，正加速度即表示加快，而負加速度即表示減慢。

時間	a	運動	v 的正負值	a 的正負值
取向前為正				
0-2 s	$\frac{10-0}{2-0} = 5 \text{ m s}^{-2}$	加快	+	+
2-6 s	$\frac{5-10}{6-2} = -1.25 \text{ m s}^{-2}$	減慢	+	-
取向後為正				
0-2 s	$\frac{-10-0}{2-0} = -5 \text{ m s}^{-2}$	加快	-	-
2-6 s	$\frac{-5-(-10)}{6-2} = 1.25 \text{ m s}^{-2}$	減慢	-	+

表 1.4b 運動員的運動情況

從表 1.4b 可得出以下結論。

- 雖然運動員一直向前跑，但加速度的正負值卻在中途改變了，這就是說，單憑物體的加速度，無法得知物體移動的方向。
- 單憑物體加速度的正負值，無法得知物體在加快還是減慢。
- 物體移動時，如果加速度和速度的正負值相同（即方向相同），就表示物體正在加快，相反則正在減慢。無論取哪個方向為正，情況都一樣。

物體移動的方向即速度的方向。

例題 9 汽車減速後的速率

汽車沿直路行駛，由 50 km h^{-1} 開始以 2 m s^{-2} 勻減速 3 s。求汽車的末速率。

題解

取汽車行駛的方向為正。

設 v 為汽車的末速度。

$$\text{平均加速度} = \frac{\text{速度的總變化}}{\text{所需時間}}$$

$$-2 = \frac{v - 50}{3}$$

$$v = 7.89 \text{ m s}^{-1}$$

汽車的末速率 = v 的量值 = 7.89 m s^{-1}

習題與思考 1.4 Q3 (p.28)

汽車的加速度恆定，所以平均加速度等於它在任何時刻的加速度。

ii 方向改變的運動

當物體的加速度方向與速度相反，物體便會移動得愈來愈慢。如果速率下降至零後加速度的方向依然不變，物體會怎樣運動？

取向右為正，考慮初速度為 $+8 \text{ m s}^{-1}$ 的汽車以勻加速度 -2 m s^{-2} 行駛，圖 1.4f 顯示汽車的速度怎樣改變。

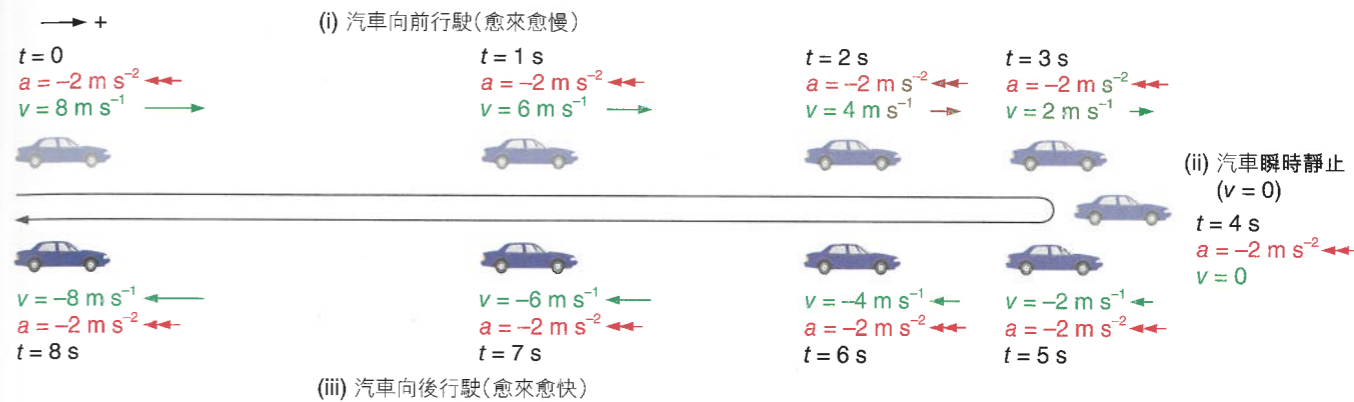


圖 1.4f 汽車沿速度的相反方向加速，最終改變移動方向

汽車的速率逐漸下降至零（每秒下降 2 m s^{-1} ）。速率為零時，汽車瞬時靜止，然後改變方向往左行駛，並行駛得愈來愈快。在整個過程中，汽車的速度由正變為負。

例題 10 方向改變的加速運動

手球員在 $t = 0$ 垂直跳起射球（圖 a），起跳的速度為 4.5 m s^{-1} 。在 $t = 0.67 \text{ s}$ ，他的速度變為向下 2 m s^{-1} 。在這期間，他的平均加速度是多少？



圖 a

題解

取向上為正。

$$\text{平均加速度} = \frac{\text{速度的總變化}}{\text{所需時間}} = \frac{-2 - 4.5}{0.67} = -9.70 \text{ m s}^{-2}$$

他的平均加速度是向下 9.70 m s^{-2} 。

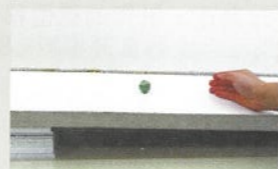
習題與思考 1.4 Q9 (p.29)

彈珠移動得很慢，適合用作示範。

物理 DIY

觀察方向改變的運動

把彈珠彈上斜面，會看到它逐漸減慢（減速）直到瞬時靜止，然後沿斜面滾下，並逐漸加快。

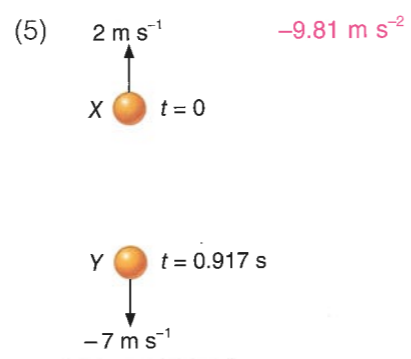
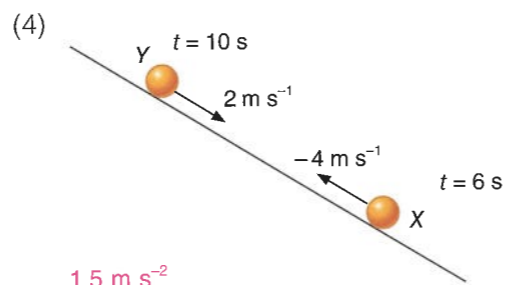
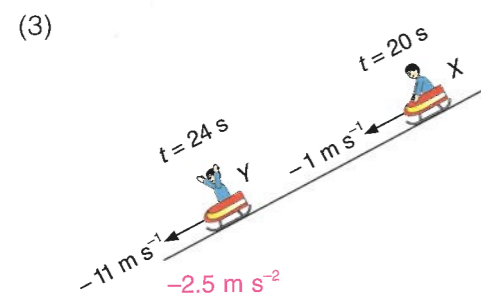
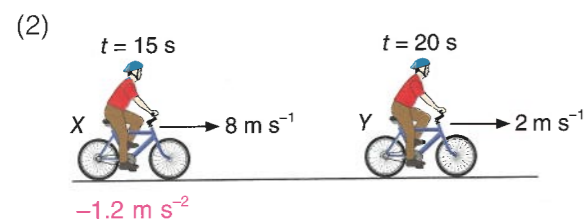
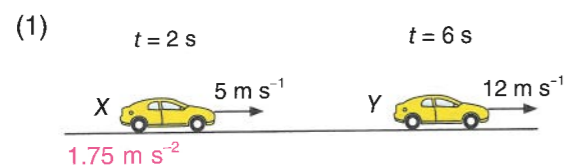


進度評估 7

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.22)。

1 在以下情況中，物體沿直線從 X 點移動至 Y 點。

- 1, 2 (a) 各個物體的平均加速度是多少？
 (b) 選取不同的方向為正，會影響加速度的正負值嗎？會



習題與思考 1.4

- 1 1 火箭的平均加速度是向上 25 m s^{-2} ，速度由向上 20 m s^{-1} 提高至 60 m s^{-1} ，需時多久？
 A 0.625 s
 B 1.6 s
 C 15 s
 D 1000 s
- 1, 2 2 對於加速度為正數的物體，下列哪一項敘述必然正確？
 A 物體正在加快。
 B 物體正以圓形路徑移動。
 C 物體的速度正在改變。
 D 物體的移動方向正在改變。
- 2 3 巴士沿直路行駛，在 5 s 內從 40 km h^{-1} 勻減速至停下。巴士的減速度 (加速度的量值) 是多少？
 A 2.22 m s^{-2}
 B 8 m s^{-2}
 C 11.1 m s^{-2}
 D 20 m s^{-2}
- 2 4 在一場足球比賽中，景亮以 5 m s^{-1} 向前跑，準備快攻。跑了 2 s 後，隊友失了球，景亮便以 6 m s^{-1} 向後跑以協助防守。若取前方為正，景亮的總位移就是 -8 m 。景亮向後跑了多久？
 A 0.3 s
 B 1.3 s
 C 1.7 s
 D 3.0 s

(第 5 至 6 題) 工作平台離地 20 m (圖 a)，以恆定速率下降 2 分鐘至地面，然後又以相同速率上升 2.5 分鐘。取向下為正。



圖 a

- 1 5 在整個過程中，工作平台的總位移是多少？
 A -25 m
 B -5 m
 C 5 m
 D 25 m

- 1 6 在整個過程中，工作平台的平均速度是多少？
 A -16.7 cm s^{-1}
 B -1.85 cm s^{-1}
 C 1.85 cm s^{-1}
 D 16.7 cm s^{-1}

- 2 7 女孩在 $t = 0$ 把小球垂直向上拋出，小球逐漸減慢，在 $t = 2 \text{ s}$ 達到最高點，並瞬時靜止。小球在 $t = 4 \text{ s}$ 跌回最初的位置，速率跟拋起時的初速率相同。關於小球上升和下降時的加速度，下列哪一項敘述是正確的？
 A 它們的量值和方向都相同。
 B 它們的量值相同，方向相反。
 C 它們的量值不同，但方向相同。
 D 它們的量值不同，方向相反。

2 8 汽車在直路上勻加速，表 a 顯示汽車速率增加的情況。試完成表 a，並據此找出汽車加速度的量值。

時間 / s	0	2	4	6	8
速率 / m s^{-1}	2	7	12	17	22

表 a

2 9 志勤以 15 m s^{-1} 的初速率向上拋起小球。小球的平均加速度是 10 m s^{-2} (向下)。在 2 s 後，小球的速度是多少？ 5 m s^{-1} (向下)

2 10 法拉利 FXX 跑車 (圖 b) 能夠在 2.5 s 內從靜止加速至 100 km h^{-1} 。它的平均加速度量值是多少？ 11.1 m s^{-2}



圖 b

1 11 黃太從自己的家走了 4 分鐘到陳太的家 (圖 c)，與陳太閒談半小時後，走了 10 分鐘到街市。取向右為正。

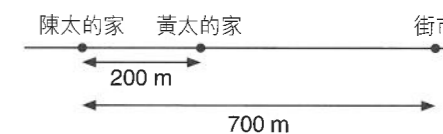


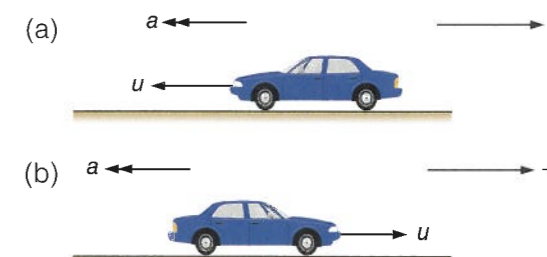
圖 c

- (a) 黃太在陳太的家時，位移是多少？ -200 m
 (b) 黃太在整個旅程中的總位移是多少？ 500 m
 (c) 黃太從陳太的家走到街市，平均速度是多少？ 1.17 m s^{-1}
 (d) 黃太在整個旅程中的平均速度是多少？ 0.189 m s^{-1}

2 12 溜冰運動員以 1.2 m s^{-2} 減速。過了 2 s 後，她的速度下降至 3 m s^{-1} 。

- (a) 草繪圖表，以顯示運動員的加速度與末速度的方向。
 (b) 求運動員的初速度。 5.4 m s^{-1}

2 13 在以下情況中，假設汽車的加速度 a 不變，試描述汽車在開始時及隨後的運動。



總結 1

詞彙

1 米 (m) metre	p.2	9 速率 speed	p.13
2 秒 (s) second	p.4	10 平均速率 average speed	p.14
3 距離 distance	p.8	11 瞬時速率 instantaneous speed	p.14
4 位移 displacement	p.8	12 速度 velocity	p.17
5 量值 magnitude	p.8	13 平均速度 average velocity	p.17
6 方向 direction	p.8	14 瞬時速度 instantaneous velocity	p.18
7 矢量 / 向量 vector	p.9	15 勻速運動 uniform motion	p.18
8 標量 / 無向量 scalar	p.9	16 加速度 acceleration	p.19

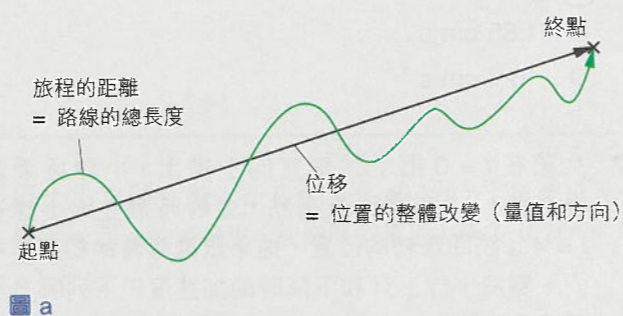
課文摘要

1.1 長度與時間

- 1 在國際單位制中，長度的單位是米 (m)。
- 2 在國際單位制中，時間的單位是秒 (s)。

1.2 距離與位移

- 3 標量只需以量值來描述，矢量則需同時以量值和方向來描述。
- 4 距離是標量。物體移動的距離是它所走路線的長度 (圖 a)。
- 5 位移是矢量。物體的位移是從物體最初位置指到最終位置的矢量 (圖 a)。



1.3 速率、速度與加速度

- 6 速率 = 每單位時間內物體移動的距離
- 7 速率是標量。
- 8 平均速率 = $\frac{\text{移動的距離}}{\text{所需時間}}$
- 9 物體的瞬時速率是它在某一瞬間的速率。量度物體在極短時距內的平均速率，便可找出瞬時速率的近似值。
- 10 速度 = 每單位時間內物體的位移
- 11 速度是矢量。

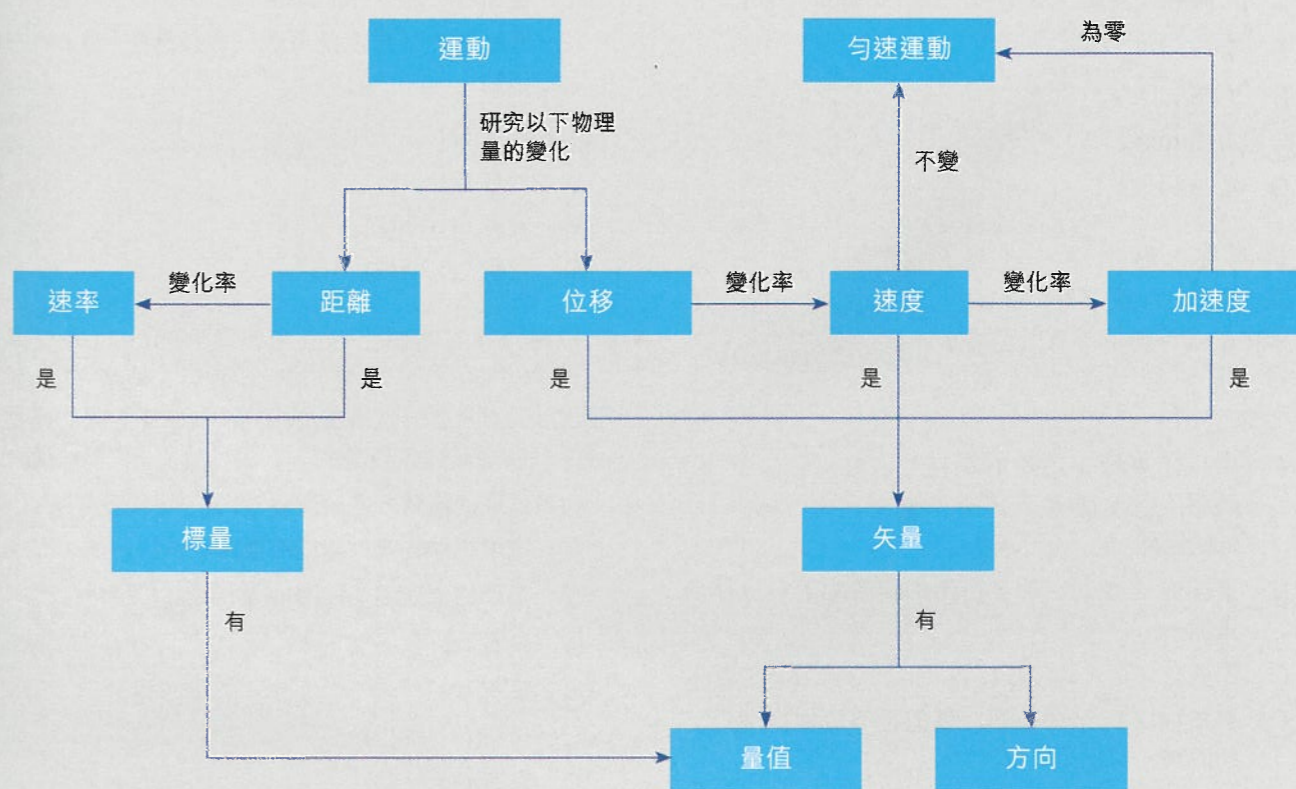
12 平均速度 = $\frac{\text{總移位}}{\text{所需時間}}$

- 13 物體的瞬時速度是它在某一瞬間的速度。量度物體在極短時距內的平均速度，便可找出瞬時速度的近似值。
- 14 在國際單位制中，速率和速度的單位是 m s^{-1} 。
- 15 物體的瞬時速率與瞬時速度的量值相同。
- 16 勻速運動即物體以恆速度移動。
- 17 加速度 = 每單位時間內物體的速度變化
- 18 加速度是矢量。
- 19 在國際單位制中，加速度的單位是 m s^{-2} 。
- 20 平均加速度 = $\frac{\text{速度的總變化}}{\text{所需時間}}$

1.4 直線上的運動

- 21 物體沿直線運動時，位移、速度和加速度的方向可用正號 (+) 和負號 (-) 表示。
- 22 物體移動時，如果加速度和速度的正負值一致 (即方向相同)，就表示物體正在加快；相反，就表示物體正在減慢。
- 23 對於勻加速的物體，若它的初速度與加速度方向相反，且加速度維持的時間足夠長，物體的移動方向便會改變。

概念圖



複習 1

- Q1 汽車在圓形路徑上行駛時，移動方向不停改變（見 p.18）。
Q2 正負方向是隨意選取的（見 p.26）。

概念重溫

(第 1 至 3 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

- ☆ 香港中學會考 2005 年卷二 Q6
1.3 1 汽車能夠以恆速度在圓形路徑上行駛。 F
☆ 香港中學會考 1997 年卷一 Q1(a)
1.4 2 當沿直線移動的物體速度減少，它必然向着「負」方向移動。 F
☆ 香港中學會考 1997 年卷一 Q1(c)
1.4 3 物體沿直線加快運動時，它的加速度可以是負數。 T

多項選擇題

- 1.3 4 灰姑娘在 12:01 am 跑出皇宮，王子立即追出，跑了 840 m，在 12:06 am 發現灰姑娘的玻璃鞋（圖 a）。王子拾起玻璃鞋後，在 12:14 am 回到皇宮。王子在整段路程的平均速率是多少？

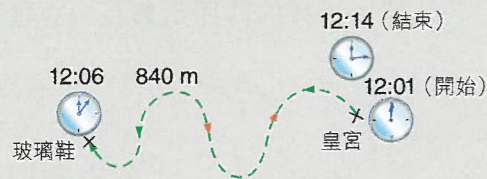


圖 a

- A 零
B 1.75 m s^{-1}
C 2.15 m s^{-1}
D 2.28 m s^{-1}
- 1.2 5 男孩從 X 點出發，經過 Y 點，最後到達 Z 點（圖 b）。圖中的虛線顯示男孩所走的路線。下列哪一項敘述是正確的？
- A 男孩從 X 至 Y 所走的距離相等於他從 X 至 Z 所走的距離。
B 男孩從 X 走到 Z 時，行走的距離相等於位移的數值。
C 男孩從 X 至 Y 的位移相等於他從 X 至 Z 的位移。
D 男孩從 X 至 Y 的位移，數值相等於他從 X 至 Z 的位移。

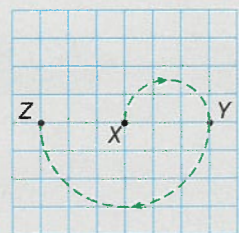


圖 b

- 1.3 6 一輛汽車從 R 行駛 2 小時至 S，再行駛 3 小時至 T，最後行駛 1 小時至 U（圖 c）。求汽車在整個旅程中的平均速率與平均速度的量值。

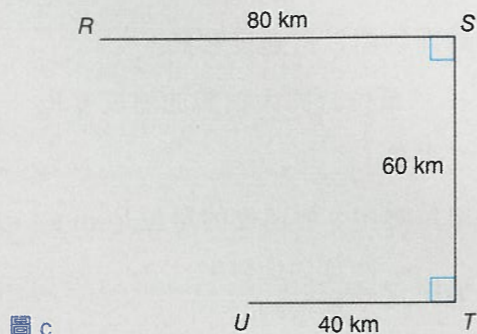


圖 c

	平均速率 / km h^{-1}	平均速度的量值 / km h^{-1}
A	17	12
B	17	17
C	30	12
D	30	17

- 1.4 7 對於沿直線運動的物體，下列哪項敘述是正確的？
- (1) 當物體的速度是負數，它必然向「負」的方向移動。
(2) 當物體的加速度是負數，它必然正在減慢。
(3) 當物體的加速度是負數，它必然向「負」的方向移動。
- A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (2) 和 (3)

- 1.4 8 一輛汽車在直路上以恆加速度 -2 m s^{-2} (取汽車前進的方向為正) 行駛。在 $t = 0$ 時，汽車的速度是 20 m s^{-1} 。對於汽車在 $t = 0$ 至 $t = 5 \text{ s}$ 之間的運動，下列哪項敘述是正確的？
- (1) 汽車的移動方向改變。
(2) 汽車每秒駛過的距離不斷減少。
(3) 汽車的末速度是 -10 m s^{-1} 。
- A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (1) 和 (3)

- 1.2 9 最初，美儀位於 O 點（圖 d）。若她走了 16 m，而總位移是 8 m，下列哪一項有可能是她最終到達的位置和所走的路線？假設美儀沿直線從一個位置走到另一個位置。

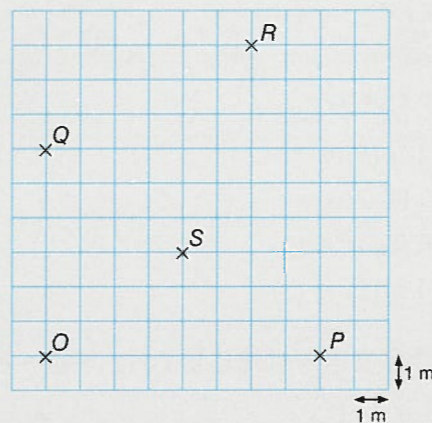


圖 d

	最終位置	路線
A	R	$O \rightarrow Q \rightarrow R$
B	P	$O \rightarrow R \rightarrow P$
C	P	$O \rightarrow Q \rightarrow S \rightarrow P$
D	R	$O \rightarrow Q \rightarrow S \rightarrow R$

- 1.2 10 一輛汽車沿直路行駛了 10 分鐘（取汽車前進的方向為正）。汽車在整個旅程中的平均速度是 72 km h^{-1} ，它在 $t = 3 \text{ min}$ 時的瞬時速度則是 50 km h^{-1} 。下列哪項敘述必然正確？

- (1) 汽車行駛的總距離是 12 km。
(2) 汽車的加速度一直維持正數。
(3) 在整個旅程中的某些時刻，汽車的瞬時速度大於 72 km h^{-1} 。
- A 只有 (1)
B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

- 1.2 11 一隻螞蟻在紙上爬行。牠在三個不同時距內，先後爬行了 5 cm、3 cm 和 4 cm。下列哪項敘述是正確的？
- (1) 螞蟻的位移可能是零。
(2) 螞蟻位移的數值不會大於 12 cm。
(3) 螞蟻爬行的距離可能少於 12 cm。
- A 只有 (1)
B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (2) 和 (3)

- 1.3 12 健生沿圖 e 所示的路線從 O 點走到 Y 點，整段路程用了 4 小時。健生的平均速度是多少？

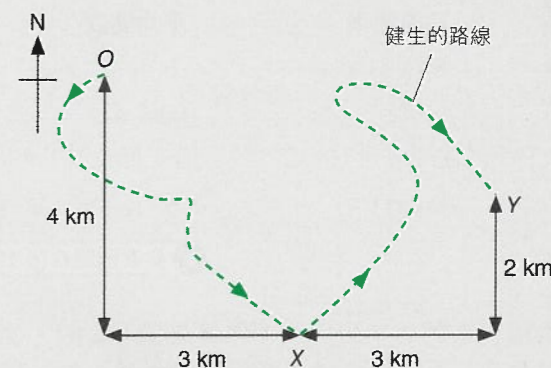


圖 e

- A 0.439 m s^{-1} (S71.6°E)
B 0.439 m s^{-1} (S18.4°E)
C 1.58 m s^{-1} (S71.6°E)
D 1.58 m s^{-1} (S18.4°E)

- 1.3 13 圖 f 顯示的運輸帶把貨物從 X 點傳送到 Y 點。

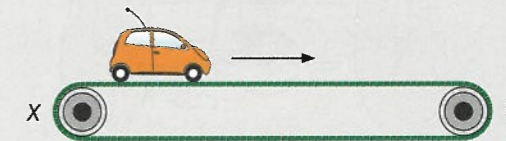


圖 f

玩具車以恆速率從 X 點移動到 Y 點，再返回 X 點。若運輸帶在整個過程中以恆速率向同一方向移動，玩具車完成上述旅程所需的時間為 t_1 。若運輸帶靜止不動，玩具車完成上述旅程所需的時間為 t_2 。下列哪一項正確顯示 t_1 和 t_2 的關係？

[提示：若運輸帶的速率與玩具車的速率相等，會出現甚麼情況？]

- A $t_1 > t_2$
B $t_2 > t_1$
C $t_1 = t_2$
D 無法確定 t_1 和 t_2 的關係。

參看 p.14

- 1.3 14 偉寧踏單車從 X 點行駛 300 m 到達 Y 點，然後向左轉，再行駛 200 m 到達 Z 點（圖 g）。

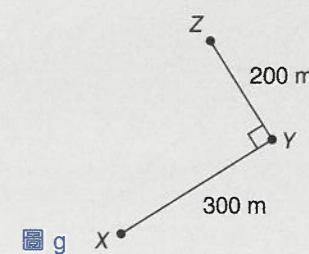


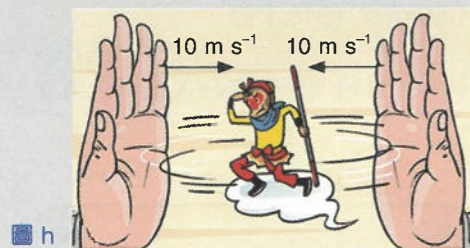
圖 g

下列哪一項可能是偉寧在整個旅程中的平均速率與平均速度的組合？

- | | 平均速率 | 平均速度 |
|----------|------------------------|--------------------------|
| A | 5 m s^{-1} | 5 m s^{-1} |
| B | 5 m s^{-1} | 3.85 m s^{-1} |
| C | 20 km h^{-1} | 14.4 km h^{-1} |
| D | 20 km h^{-1} | 7.69 km h^{-1} |

▶ 參看例題 6 (p.18)

★★ 15 孫悟空被困在如來佛祖的兩掌之間(圖 h)。他嘗試逃走，不斷以恆速率 30 m s^{-1} 從佛祖的一掌飛到另一掌。佛祖兩掌同時以 10 m s^{-1} 朝孫悟空移動，直至把他捉住。在時間 $t = 0$ 時，佛祖兩掌相距 80 m 。從 $t = 0$ 至孫悟空被佛祖捉住的一刻，孫悟空的總飛行距離是多少？



- A 30 m B 60 m
C 120 m D 240 m

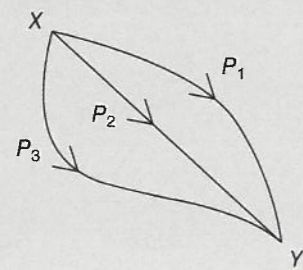
▶ 參看 p.14

1.3 16 香港中學會考 2001 年卷二 Q2

一女孩沿直路以平均速率 1 m s^{-1} 從點 A 步行至點 B。她接着循原路以平均速率 2 m s^{-1} 從 B 步行返回 A。求她在整個旅程中的平均速率。

- A 零 **Q16 考試報告：** 本題中，超過半數考生誤以為整個旅程的平均速率為兩段旅程的平均速率的算術平均值。事實上，他們應採用公式 $\frac{\text{總移動距離}}{\text{總時間}}$ 計算平均速率。
 B 0.67 m s^{-1}
C 1.33 m s^{-1}
 D 1.41 m s^{-1}
 E 1.50 m s^{-1}

綜合題 17 香港中學會考 2009 年卷二 Q2



上圖顯示在水平面上由 X 點至 Y 點之三條路徑 P_1 、 P_2 和 P_3 。三位同學用相同時間分別沿該三條路徑由 X 行走至 Y。以下哪項/哪些有關同學們行程的物理量會相等？

- (1) 位移
 (2) 距離
 (3) 平均速率
A 只有 (1) (81%)
 B 只有 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D 只有 (2) 和 (3)

1.3 18 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一甲部 Q6

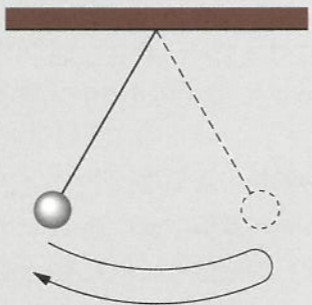


一輛玩具車用 5 s 向東行駛了 10 m，然後立即轉向北面再用 1 s 行駛了 5 m。該車的平均速率是多少？

- A 1.9 m s^{-1} B 2.2 m s^{-1}
C 2.5 m s^{-1} D 3.5 m s^{-1}

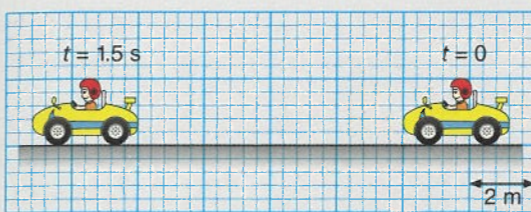
問答題

1.1 19 小芬設計了一個「單擺鐘」(圖 k)，鐘內的細繩吊着金屬球，使它能夠擺動。小芬用秒錶量度金屬球來回擺動一次的時距，所得的結果是 1.1 s。由她的反應時間引致的總誤差是 0.3 s。



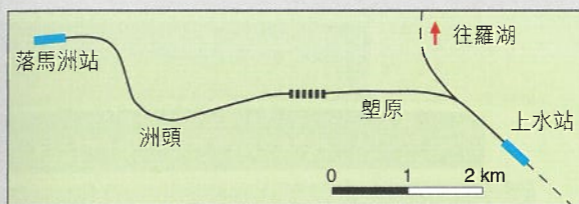
- k**
 (a) 量度結果的百分誤差是多少？ **27.3%** (1 分)
 (b) 小芬可以如何提高量度結果的準確度？試簡單解釋。 (2 分)

綜合題 20 一輛汽車在直路上行駛。圖 l 顯示汽車在兩個不同時刻的位置，在這段時間內，汽車以恆速度行駛。



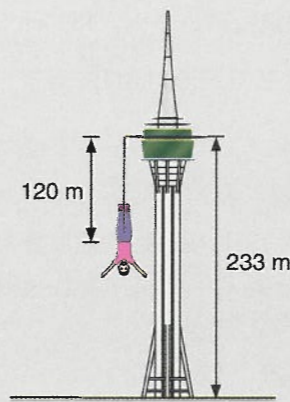
- l**
 7.47 m s^{-1} (向左)
 (a) 在這段時間內，汽車的速度是多少？ (2 分)
 (b) 隨後，汽車以 2 m s^{-2} 減速。
 (i) 汽車加速度指向哪個方向？ **向右** (1 分)
 (ii) 求汽車減速 3 s 後的速度。 (2 分)
 1.47 m s^{-1} (向左)

1.3 21 落馬洲支線是連接香港與中國內地的鐵路。這條支線從上水連接落馬洲，全長 7.4 km (圖 m)。在這條支線上，列車的平均速率是 74 km h^{-1} 。



- m**
6 min
 (a) 列車從上水駛至落馬洲需要多長時間？ (2 分)
 (b) 根據地圖上的比例尺，估算列車平均速度的量值。 **63 km h^{-1}** (3 分)

1.3 22 詠心從澳門旅遊塔作笨豬跳(圖 n)。她在 5 s 內下墜了 120 m。



- n**
 (a) 求詠心的位移。 **120 m (向下)** (2 分)
 (b) 求詠心的平均速度。 **24 m s^{-1} (向下)** (2 分)
 (c) 求詠心的平均速率。 **24 m s^{-1}** (2 分)

★ 23 表 a 顯示皓文在三項鐵人賽中的成績。比賽中，各參賽者須游泳 1500 m，踏單車 40 km 和跑步 10 km (圖 o)。

游泳	踏單車	跑步	總成績
0:21:28	1:01:53	0:39:47	2:03:08

表 a



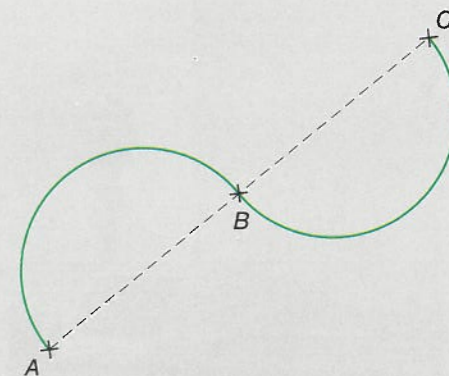
「奧運賽程」三項鐵人賽

個人及接力賽	游泳	踏單車	跑步
	750 m x 2 圈 (1500 m)	10 km x 4 圈 (40 km)	5 km x 2 圈 (10 km)

圖 o

- 6.97 m s^{-1}**
 (a) 在整個賽事中，皓文的平均速率是多少？ (2 分)
 (b) 在哪一部分的賽事中(游泳、踏單車或跑步)，皓文的平均速率最高？ **踏單車** (1 分)
 (c) 考慮計時誤差的因素，指出大會可否用秒錶來計時。試簡單解釋。 **可以** (2 分)

★ 24 圖 p 顯示的曲線 ABC 由兩個半徑相同的半圓 AB 和 BC 組成。舒亞沿曲線 ABC 步行，平均速率是 0.8 m s^{-1} 。他共用了 120 s 來完成整個旅程。



- p**
 (a) 整個旅程的總長度是多少？ **96 m** (2 分)
 (b) 舒亞總位移的量值是多少？ **61.1 m** (2 分)
 (c) 舒亞平均速度的量值是多少？ **0.509 m s^{-1}** (2 分)

- ★ 25 一輛跑車從靜止沿直線加速，先以 6 m s^{-2} 的加速度行駛了 4 s ，再以 -4 m s^{-2} 的加速度行駛了 2 s 。
- (a) 求跑車的最高速度，答案以 km h^{-1} 為單位。
86.4 km h⁻¹ (2分)
- (b) 求跑車的末速度，答案以 km h^{-1} 為單位。
57.6 km h⁻¹ (2分)
- (c) 求跑車的平均加速度，答案以 m s^{-2} 為單位。
2.67 m s⁻² (2分)

- ★ 26 慧珊和美儀在公園內的圓形小徑上散步(圖 q)。她們都從 X 點出發。慧珊沿逆時針方向步行，美儀則沿順時針方向步行。

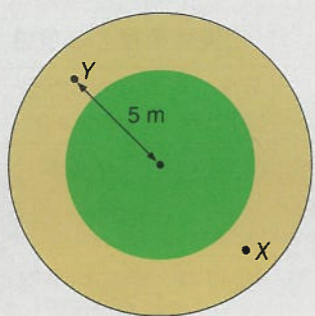


圖 q

- (a) 慧珊走了小徑的一半，從 X 點走到 Y 點。求她的總位移量值和所走的總距離。
10 m, 15.7 m (4分)
- (b) 她們在 Y 點相遇。美儀對慧珊說：「因為我們沿相反的方向步行，所以我們從 X 點至 Y 點的位移，量值相同，但方向相反。」試評論美儀的說法。**不正確** (2分)

- ★ 27 上海磁浮列車(圖 r)是全球首列商用磁浮列車，鐵路全長 30 km ，列車的**最高速率**是 430 km h^{-1} 。列車從浦東東部駛至上海浦東國際機場，只需 8 分鐘 。



圖 r

- (a) 求列車的**平均速率**，答案以 km h^{-1} 為單位。
225 km h⁻¹ (2分)

- (b) 比較 (a) 部的速率與列車的**最高速率**。寫出一個導致兩者不同的原因。
(2分)
- (c) 圖 s 和 t 顯示磁浮列車內的屏幕，屏幕顯示當時的時間和列車的速率。假設列車沿直路行駛。
- (i) 求列車在這段時間內**平均加速度的量值**。
0.527 m s⁻² (2分)
- (ii) 隨後，列車以 0.4 m s^{-2} 勻減速。到了 11:06:30，列車的速率是多少？
(2分)
102 m s⁻¹ / 366 km h⁻¹



圖 s 開車前一刻



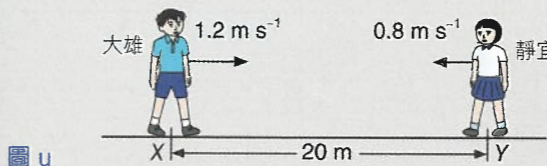
圖 t 剛達到最高速率

- ★ 28 一輛汽車從城市 X 出發，向 $\text{N}60^\circ\text{E}$ 的方向行駛 120 km ，到達城市 Y，然後再向 $\text{N}30^\circ\text{W}$ 的方向行駛 50 km ，到達城市 Z。
- (a) 汽車行駛的**總距離**是多少？**170 km** (1分)
- (b) 汽車的**總位移**是多少？**130 km (N37.4°E)** (2分)
- (c) 若汽車以勻速 60 km h^{-1} 行駛，它的**平均速度**是多少？
(3分)
45.9 km h⁻¹ / 12.7 m s⁻¹ (N37.4°E)

- ★★ 29 浩賢在直路上步行。他從 X 點出發，以恆速度 v 步行了時間 t 。然後，他的速度變為 $2v$ ，並以此速度步行了時間 $2t$ ，到達 Y 點。浩賢在上述旅程的**平均速度**是 1.8 m s^{-1} 。
- (a) 求 v 的值。**1.08 m s⁻¹** (3分)
- (b) 隨後，他從 Y 點以恆速度 -1.4 m s^{-1} 回到 X 點。在整個旅程中，浩賢從 X 點走到 Y 點，再回到 X 點，共歷時 12 分鐘 。求 X 點和 Y 點的距離。**567 m** (2分)

▶ 參看預試訓練 1 (p.15)

- ★★ 30 大雄和靜宜以不同的恆速度沿直線向對方前進。大雄以 1.2 m s^{-1} 前進，靜宜則以 0.8 m s^{-1} 前進。 $t = 0$ 時，大雄在 X 點，靜宜在 Y 點(圖 u)。



- (a) 他們在甚麼時候相遇？ **$t = 10 \text{ s}$** (2分)
- (b) 他們相遇後，一起以 0.5 m s^{-1} 向左前進，直至到達 X 點。
- (i) 他們在甚麼時候到達 X 點？ **$t = 34 \text{ s}$** (2分)
- (ii) 求他們在整個旅程中各自的**平均速度**。
大雄：**0**、靜宜：**0.588 m s⁻¹ (向左)** (2分)
- (iii) 求他們在 $t = 0$ 至 $t = 12 \text{ s}$ 之間各自的**平均速率**。
大雄：**1.08 m s⁻¹**
靜宜：**0.75 m s⁻¹** (3分)

▶ 參看例題 4 (p.15)

實驗題

- ★ 31 在斜面上的 X 點放開靜止的玩具車(圖 v)，玩具車會沿直線移動到 Y 點。

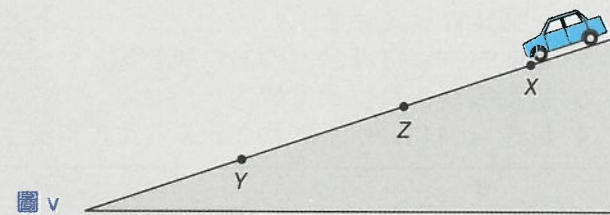


圖 v

你有捲尺、秒錶、連接數據記錄器的光閘和一些紙板。

- (a) 描述如何量度玩具車從 X 點至 Y 點的**平均速率**。
(3分)
- (b) 描述如何量度玩具車在 Z 點(XY 的中點)的**瞬時速率**，並寫出實驗的一個預防措施。
(4分)

物理文章分析

- ★ 32 細閱這段有關「懸掛在彈簧上的物體」的文章，並後回答下列問題。

懸掛在彈簧上的物體

物體懸掛在彈簧上時(圖 w)，會在某特定位置靜止不動。這個位置稱為**平衡位置**。

如果將物體從平衡位置沿垂直方向移至另一位置，然後放手，物體就會不斷上下移動。物體從平衡位置向下移動時會減慢，並在最低點瞬時靜止。然後物體向上加速，經過平衡位置後再次減慢，並在最高點瞬時靜止，之後向下加速。整個過程不斷重複。

以上描述的運動是一種**簡諧運動**。在這種運動中，物體的**加速度**總是指向它的平衡位置。



圖 w

物體懸掛在彈簧上，不斷上下移動。取向**下**為正。

- (a) 畫圖顯示物體在以下情況中，**位移**、**速度**和**加速度的方向**。
- (i) 物體的**位移**為正數，且正在**加快**。
- (ii) 物體的**位移**為負數，且正在**減慢**。
(4分)
- (b) 物體在哪一個位置時的**速率**最高？**平衡位置** (1分)
- (c) 物體在平衡位置時，**速度**是 1.2 m s^{-1} (向下)。它在 0.5 s 後到達最低點。求物體的**平均加速度**。
(2分)
2.4 m s⁻² (向上)

自我評核 1

🕒 時間：15 分鐘 ✅ 總分：9 分

答題須知

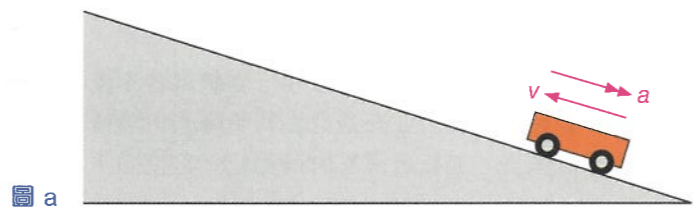
- 1 全部題目均須作答。
- 2 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 3 答案須寫在預留的空位內。
- 4 附錄 (p.411) 附有常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

- 1.3 1 女孩在直路上步行。她先以恆速率 4 m s^{-1} 從 P 點走到 Q 點，再以較高的恆速率從 Q 點回到 P 點。若女孩在整個旅程中的平均速率是 6 m s^{-1} ，她從 Q 點至 P 點的速率是多少？
- A 5 m s^{-1}
B 8 m s^{-1}
C 12 m s^{-1}
D 無法確定
- C
- 1.4 2 物體保持以恆加速度運動，下列哪項有關這物體的敘述是正確的？
- (1) 物體的速率總是大於零。
(2) 物體的速度不斷改變。
(3) 物體的總位移總是大於零。
- A 只有 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C (1)、(2) 和 (3)
D 以上皆不是
- A

乙部

- 1.4 3 小車沿斜面向上移動 (圖 a)，加速度為沿斜面向下 1.5 m s^{-2} ，在整個旅程中保持不變。在 $t = 0$ ，小車的速度為沿斜面向上 3 m s^{-1} 。



- (a) 在圖 a 中，畫出 $t = 0$ 時小車速度的方向和加速度的方向。 (2 分)
- (b) 在表 a 中填寫小車在不同時刻的速度。 (2 分)

時間 / s	0	1	2	3
速度 / m s^{-1}	3	1.5	0	-1.5

表 a

- (c) 描述小車由 $t = 0$ 至 $t = 3 \text{ s}$ 的運動。 (3 分)

(題解見 p.408)



2 運動 II

我們在这一課會學到

- 利用運動線圖來表示運動
- 利用運動方程來研究勻加速運動
- 利用運動方程來研究自由落體的運動

2.1

直線運動的線圖

起點 誰領先？

施華和鍾斯參加 60 m 短跑。施華在首 6 s 一直在勻加速，在 $t = 6$ s 時以 10 m s^{-1} 越過 30 m 線；鍾斯在首 3 s 勻加速至 8 m s^{-1} ，然後以這速率完成賽事。誰先跑完首 30 m？
 ▶ 參看第 49 頁例題 6。



✓ 本節重點

- 1 位移—時間關係線圖
- 2 速度—時間關係線圖
- 3 加速度—時間關係線圖
- 4 各運動線圖的關係
- 5 其他運動線圖
- 6 運動分析儀器

→ 模擬程式 2.1 用位移—時間關係線圖顯示不同的運動過程。學生可隨意選擇關係線圖，估計物體的運動過程，再觀察屏幕所示物體實際的運動情況，核實自己的估計結果。他們也可以先觀察運動過程，再繪畫位移—時間關係線圖。

模擬程式 2.1

第 1 課概述了怎樣用位移、速度和加速度來描述直線運動，這單元則會介紹怎樣應用各種運動線圖來記錄直線運動。

1 位移—時間關係線圖

實際上， $s-t$ 線圖顯示物體在不同時刻相對於某一固定點的位置。▶ **位移—時間關係線圖** 簡稱 $s-t$ 線圖，顯示物體在不同時刻相對於參考點的位移。線圖的 x 軸代表時間， y 軸代表位移。

汽車以勻速運動。▶ 假設一輛汽車在直路上以恆速度 10 m s^{-1} 前進（圖 2.1a）。取汽車前進的方向為正，表 2.1a 記錄了汽車在不同時刻相對於大樹（參考點）的位移。

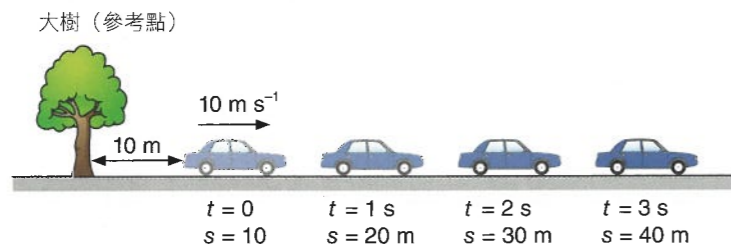


圖 2.1a 汽車以 10 m s^{-1} 行駛

t / s	s / m
0	10
1	20
2	30
3	40

表 2.1a 汽車在不同時刻的位移

根據表 2.1a 的數據標繪汽車的 $s-t$ 線圖，會得出一條直線（圖 2.1b）。除表中記錄的時刻外，線圖還顯示汽車在其他時刻的位移。例如，在 $t = 1.5$ s，汽車的位移是 25 m。

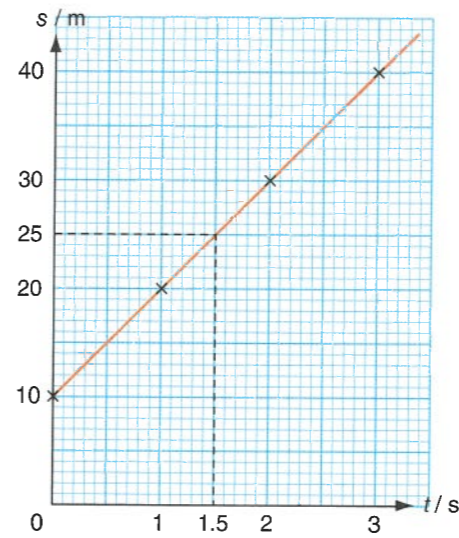


圖 2.1b 汽車的 $s-t$ 線圖（以 10 m s^{-1} 行駛）

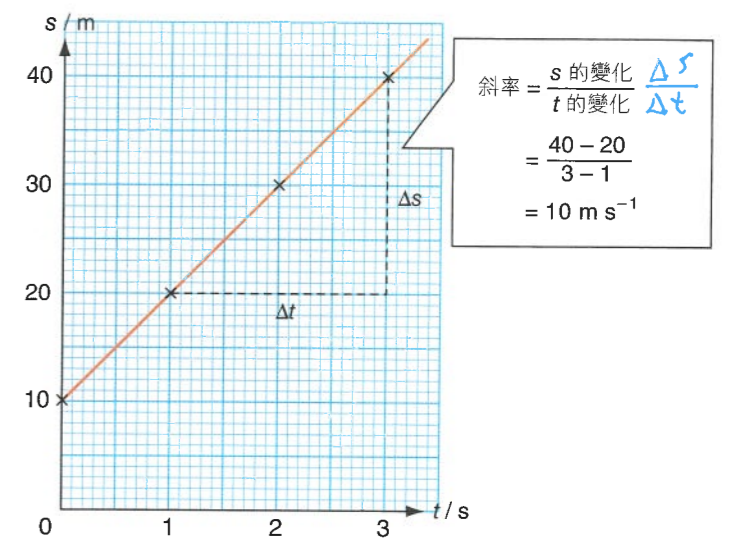


圖 2.1c 汽車 $s-t$ 線圖的斜率（以 10 m s^{-1} 行駛）

此外， $s-t$ 線圖的斜率顯示物體的位移隨時間改變的快慢，也就是說，

$s-t$ 線圖的斜率等於物體的速度。

以數式表達，

斜率的單位 = 速度的單位 ▶ $s-t$ 線圖的斜率 = $\frac{\text{位移的變化}}{\text{時間的變化}} = \text{速度}$

汽車 $s-t$ 線圖的斜率是 10 m s^{-1} （圖 2.1c），與汽車的速度相同。

見第 42 頁例題 1。▶ 在 $s-t$ 線圖中，斜率的正負值表示速度的方向，此外，圖線愈斜，速度的量值（即速率）愈大。不管 $s-t$ 線圖是直線還是曲線，以上法則都適用。

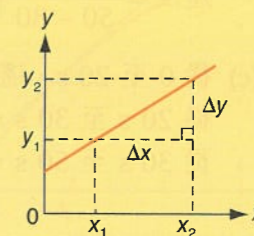
▶ 在 $s-t$ 線圖中，位移代表物體相對於某一參考點（ $s = 0$ 那一點）的位置，所以 $s-t$ 線圖的斜率，等於在單位時間內物體相對於這參考點的位移變化。

另一方面，在第 17 頁，速度的定義為每單位時間內物體的位移，這裏位移是指物體在這時距內的位置變化，不涉及任何參考點。

技巧分析

直線的斜率

直線的斜率 = $\frac{y \text{ 的變化}}{x \text{ 的變化}} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$



▶ 「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

例題 1 分析 s-t 線圖

遙控車沿直線移動 (圖 a)，圖 b 顯示它首 50 秒的 s-t 線圖，線圖取遙控車前進的方向為正。



圖 a

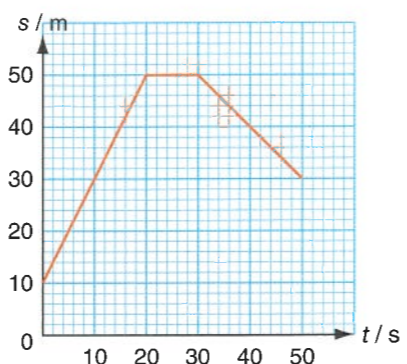
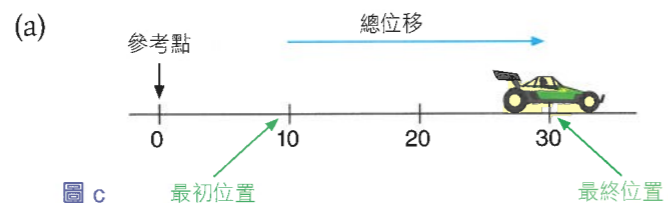


圖 b

- (a) 遙控車在首 50 s 的總位移是多少？
- (b) 在 $t = 10$ s 及 40 s，遙控車的速度是多少？
- (c) 描述遙控車在首 50 s 的運動。

題解



總位移 = 位置的變化
 $= 30 - 10$
 $= 20$ m

- (b) 運用關係式：速度 = s-t 線圖的斜率。

在 $t = 10$ s，
 速度 = $\frac{50 - 10}{20 - 0} = 2$ m s⁻¹

在 $t = 40$ s，
 速度 = $\frac{30 - 50}{50 - 30} = -1$ m s⁻¹

- (c) 從 0 至 20 s，遙控車以勻速 2 m s⁻¹ 前進。
- 從 20 s 至 30 s，遙控車靜止。
- 從 30 s 至 50 s，遙控車以勻速 1 m s⁻¹ 後退。

▶ 進度評估 1 Q1 (p.45)

遙控車在首 50 s 的總移動距離是 60 m。你知道這個結果怎樣計算出來嗎？

總移動距離
 $= 0-20$ s 的移動距離 +
 $30-50$ s 的移動距離
 $= (50 - 10) + (50 - 30)$
 $= 60$ m

「-」號表示遙控車向後移動。

例題 2 加快還是減慢？

- (a) 圖 a 顯示汽車沿直路行駛時的 s-t 線圖。求汽車在 $t = 3$ s、7 s 和 10 s 的速度。
- (b) 圖 b 顯示另一汽車沿直路行駛時的 s-t 線圖。求汽車在 $t = 1$ s、5 s 和 9 s 的速度。
- (c) 圖 c 和 d 顯示汽車在兩段時間內的 s-t 線圖。哪幅圖顯示汽車正在加快？哪幅圖顯示汽車正在減慢？

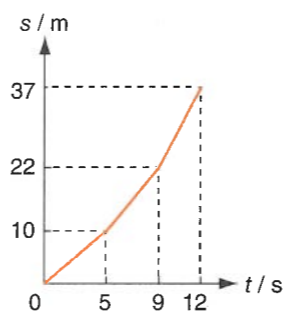


圖 a

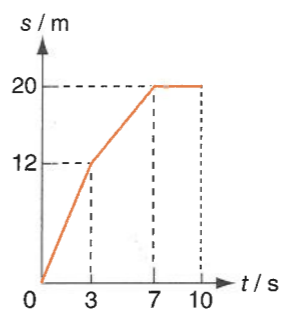


圖 b

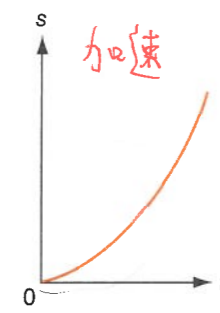


圖 c



圖 d

題解

(a) 時間 / s	3	7	10
速度 v = 線圖的斜率	$v = \frac{10 - 0}{5 - 0} = 2$ m s ⁻¹	$v = \frac{22 - 10}{9 - 5} = 3$ m s ⁻¹	$v = \frac{37 - 22}{12 - 9} = 5$ m s ⁻¹

(b) 時間 / s	1	5	9
速度 v = 線圖的斜率	$v = \frac{12 - 0}{3 - 0} = 4$ m s ⁻¹	$v = \frac{20 - 12}{7 - 3} = 2$ m s ⁻¹	$v = \frac{20 - 20}{10 - 7} = 0$

- (c) 圖 c 顯示汽車正在加快。
- 圖 d 顯示汽車正在減慢。

▶ 習題與思考 2.1 Q9 (p.58)

如果 s-t 線圖是曲線，物體在某一時刻的速度 (即瞬時速度) 等於在該時刻曲線的斜率 (圖 2.1d)。

▶ 如果 s-t 線圖是曲線，學生雖不必計算瞬時速度，但應懂得從曲線的形狀指出速度的變化。

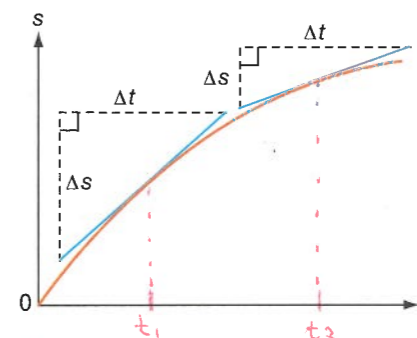


圖 2.1d s-t 線圖不同時刻的斜率

以下網頁載有法蘭西斯與汽車對決的影片：

<http://www.mirror.co.uk/sport/other-sports/athletics/man-vs-car-mark-lewis-francis-834091>



法蘭西斯代表英國參加2004 雅典奧運 4×100 m 接力，跑最後一棒，並奪得冠軍。

例題 3 人車對決

奧運短跑金牌得主法蘭西斯與汽車在 100 m 直路上競逐 (圖 a)，圖 b 顯示兩者的 $s-t$ 線圖，線圖取前進方向為正。



圖 a

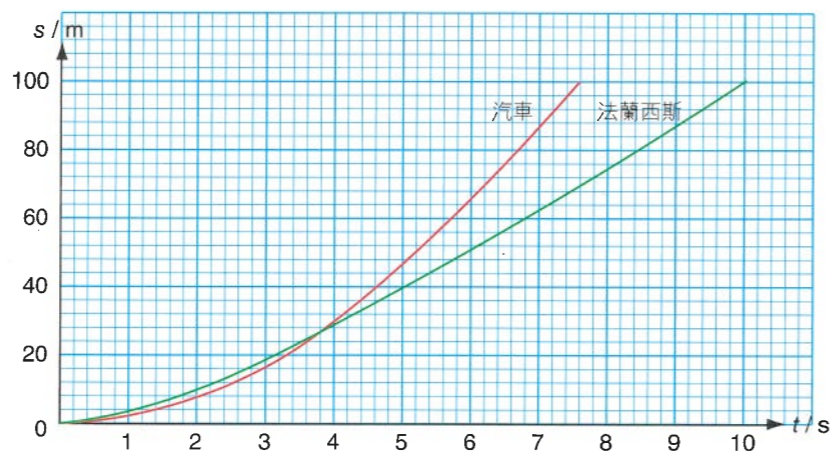


圖 b

- 誰在首 20 m 領先？
- 估算汽車在甚麼時候超越法蘭西斯。
- 估算兩者在比賽中的平均速度。
- 他們是否以勻速運動？

題解

- 法蘭西斯
- 離開起點後，汽車在兩者相遇時超越法蘭西斯。
∴ 汽車在 $t = 3.8 \text{ s}$ 超越法蘭西斯。
- 法蘭西斯的平均速度 = $\frac{100}{10} = 10 \text{ m s}^{-1}$
汽車的平均速度 = $\frac{100}{7.6} = 13.2 \text{ m s}^{-1}$
- 不是

習題與思考 2.1 Q4 (p.57)

勻速運動的 $s-t$ 線圖是直線。事實上，法蘭西斯和汽車在比賽中都不斷加快。

進度評估 1

✓ 題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.40)。

11 男孩沿直路走，他的 $s-t$ 線圖如下 (圖 a)。

找出以下每個時段中，男孩的位移變化和速度。

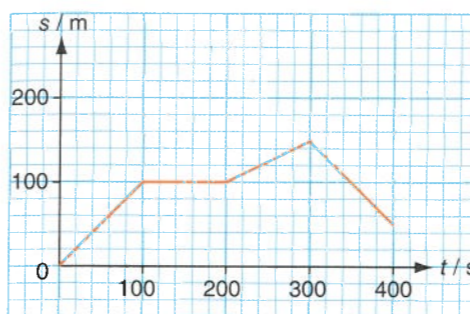


圖 a

時段 / s	位移變化 / m	速度 / m s^{-1}
0-100	100	1
100-200	0	0
200-300	50	0.5
300-400	-100	-1

模擬程式 2.2

→ 模擬程式 2.2 用速度—時間關係線圖顯示不同的運動過程。學生可隨意選擇關係線圖，估計物體的運動過程，再觀察屏幕所示物體實際的運動情況，核實自己的估計結果。他們也可以先觀察運動過程，再繪畫速度—時間關係線圖。

2 速度—時間關係線圖

速度—時間關係線圖簡稱 $v-t$ 線圖，顯示物體於不同時刻的速度。如果汽車以 10 m s^{-1} 的恆速度行駛，它的 $v-t$ 線圖就是一條水平直線 (圖 2.1e)。

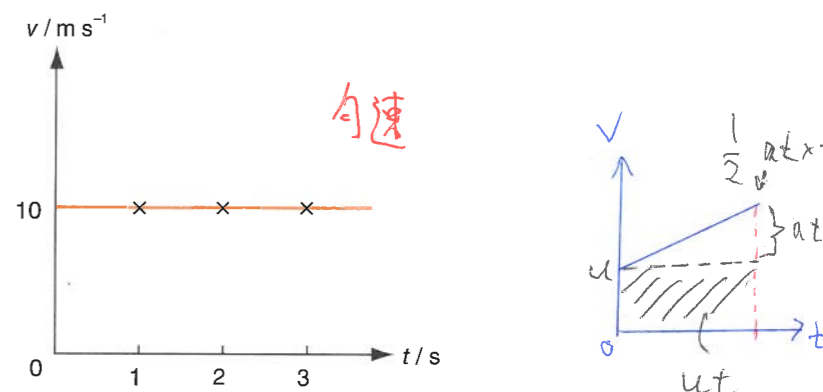


圖 2.1e 汽車的 $v-t$ 線圖 (以 10 m s^{-1} 行駛。取向前為正)

現假設另一輛汽車從靜止開始，沿直路以 3 m s^{-2} 向前勻加速 (圖 2.1f)。汽車的速度每秒增加 3 m s^{-1} ，因此， $v-t$ 線圖如圖 2.1g 所示。

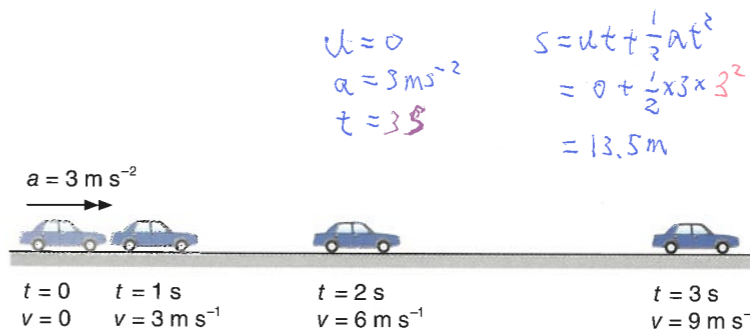


圖 2.1f 汽車從靜止以 3 m s^{-2} 加速

$v = u + at$

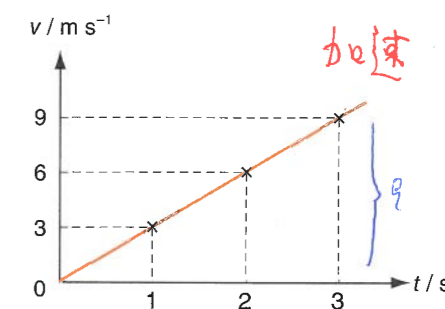


圖 2.1g 汽車的 $v-t$ 線圖 (從靜止開始以 3 m s^{-2} 勻加速。取向前為正)

a 速度—時間關係線圖的斜率

$v-t$ 線圖的斜率顯示物體速度隨時間改變的快慢，也就是說，

$v-t$ 線圖的斜率等於物體的加速度。

以數式表達，

斜率的單位 = 加速度的單位

► $v-t$ 線圖的斜率 = $\frac{\text{速度的變化}}{\text{時間的變化}} = \text{加速度}$

斜率 = $\frac{9-3}{3-1} = 3 \text{ m s}^{-2}$

第 45 頁圖 2.1e 中， $v-t$ 線圖的斜率是零，表示汽車沒有加速。圖 2.1g 中，線圖的斜率是 3 m s^{-2} ，這也是汽車的加速度。

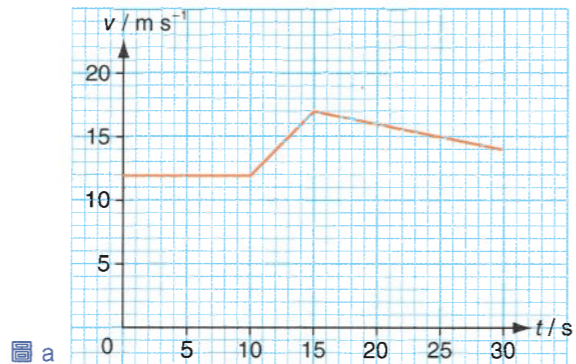
斜率的正負值表示加速度的方向，此外，圖線愈斜，加速度的量值愈大。不管 $v-t$ 線圖是直線還是曲線，以上法則都適用。

► 如果 $v-t$ 線圖是曲線，學生雖不必計算加速度，但應懂得從曲線的形狀指出加速度的變化。

例題 4 從 $v-t$ 線圖找出加速度

巴士沿直路前進，圖 a 是它的 $v-t$ 線圖，線圖取巴士前進的方向為正。

- (a) 巴士在 $t = 25 \text{ s}$ 的速度是多少？
 (b) 求巴士在 0–10 s、10–15 s 和 15–30 s 三個時段內的加速度。



題解

(a) 15 m s^{-1}

(b)

時間 / s	0–10	10–15	15–30
加速度 a = 線圖的斜率	$a = 0$ 巴士以勻速移動。	$a = \frac{17-12}{15-10} = 1 \text{ m s}^{-2}$ 巴士以 1 m s^{-2} 加快。	$a = \frac{14-17}{30-15} = -0.2 \text{ m s}^{-2}$ 巴士以 0.2 m s^{-2} 減慢。

► 進度評估 2 Q1 (p.49)

在 10–15 s， a 和 v 的正負值相同，代表巴士正在加快；在 15–30 s， a 和 v 的正負值相反，代表巴士正在減慢。

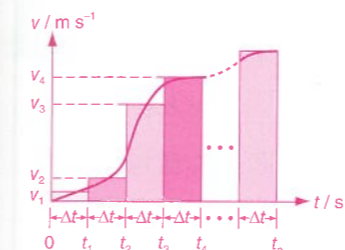
b 速度—時間關係線圖下方的面積

$v-t$ 線圖下方的面積是速度和時間的乘積，因此，

$v-t$ 線圖下方的面積等於物體在該段時間內的總位移。

線圖下方面積的單位 = 位移的單位

► 如果單車手的速度不停隨時間改變（即線圖為曲線），可如下圖所示繪畫一連串極細的長方條，線圖下方的面積便等於所有長方條的面積之和。



即使線圖是曲線， $v-t$ 線圖下方的面積仍等於位移。

圖 2.1h 深入說明 $v-t$ 線圖下方面積的意義。不管 $v-t$ 線圖是直線還是曲線，線圖下方的面積都等於物體的位移。

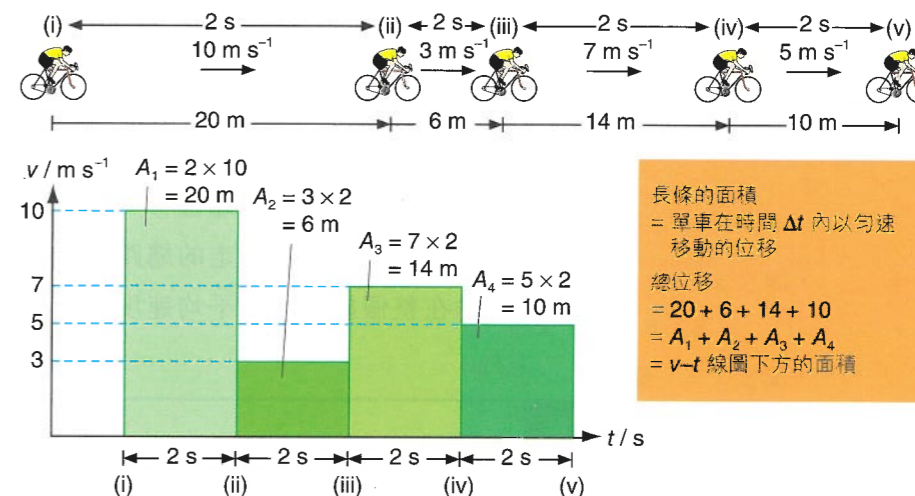


圖 2.1h $v-t$ 線圖下方的面積等於位移

「線圖下方的面積」指線圖與水平軸所包圍的面積。

► 物體的位移可正可負， $v-t$ 線圖下方的面積也一樣：在時間軸以上的面積是正數，在時間軸以下的面積則是負數。面積的正負值表示位移的方向。

以圖 2.1i 的情況為例，取向東為正，男孩踏單車沿直路以 10 m s^{-1} 行駛 30 s，然後以 -8 m s^{-1} 行駛 60 s。圖 2.1j 顯示這個運動的 $v-t$ 線圖。

總位移 = $v-t$ 線圖下方的總面積 = $300 + (-480) = -180 \text{ m}$

這表示在 $t = 90 \text{ s}$ ，男孩位於起點以西 180 m 處。

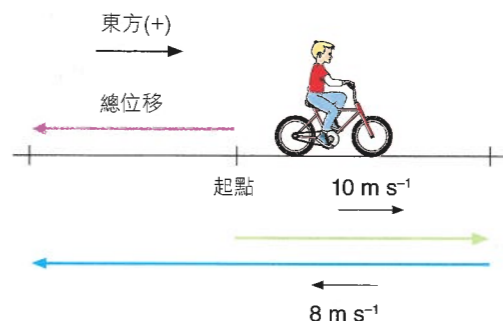


圖 2.1i 男孩踏單車沿直路行駛

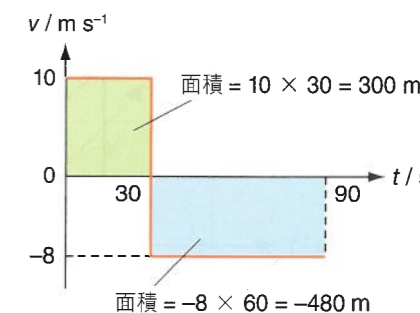
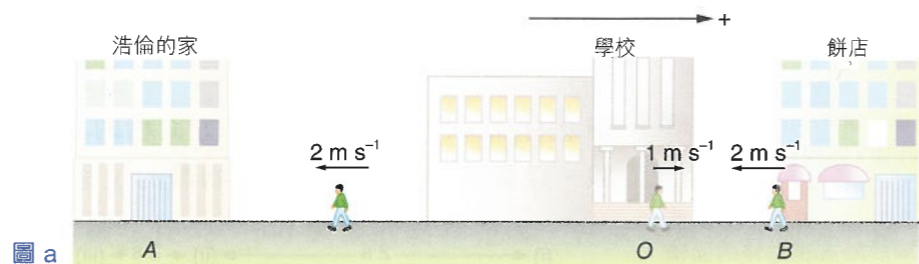


圖 2.1j $v-t$ 線圖下方的面積

例題 5 $v-t$ 線圖的正面積與負面積

浩倫從學校 (O) 出發，以 1 m s^{-1} 步行 200 s 到餅店 (B)，在那裏逗留 100 s 後，以 2 m s^{-1} 步行 500 s 回到家中 (A) (圖 a)。

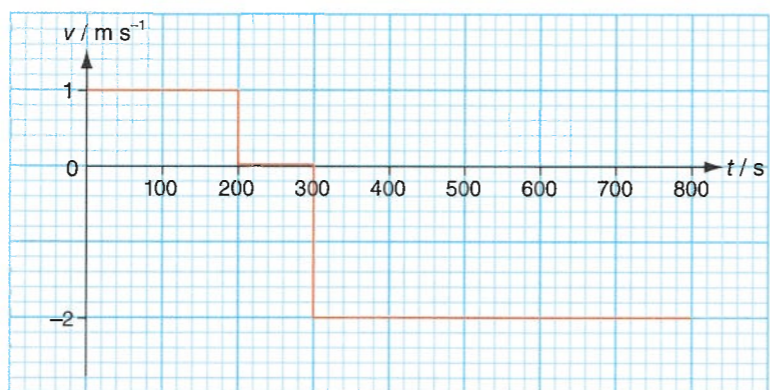


取向右為正。

- (a) 繪畫浩倫整個旅程的 $v-t$ 線圖。
- (b) 求浩倫在整個旅程中的總位移。
- (c) 求浩倫在整個旅程中行走的總距離。
- (d) 求浩倫在整個旅程中的平均速度和平均速率。

題解

(a) 圖 b 為浩倫的 $v-t$ 線圖。



- (b) 總位移 = $v-t$ 線圖下方的總面積
 $= 1 \times 200 + (-2) \times 500$
 $= -800 \text{ m}$
- (c) 行走的總距離 = $1 \times 200 + 2 \times 500 = 1200 \text{ m}$
- (d) 平均速度 = $\frac{\text{總位移}}{\text{所需時間}} = \frac{-800}{800} = -1 \text{ m s}^{-1}$
 平均速率 = $\frac{\text{總移動距離}}{\text{所需時間}} = \frac{1200}{800} = 1.5 \text{ m s}^{-1}$

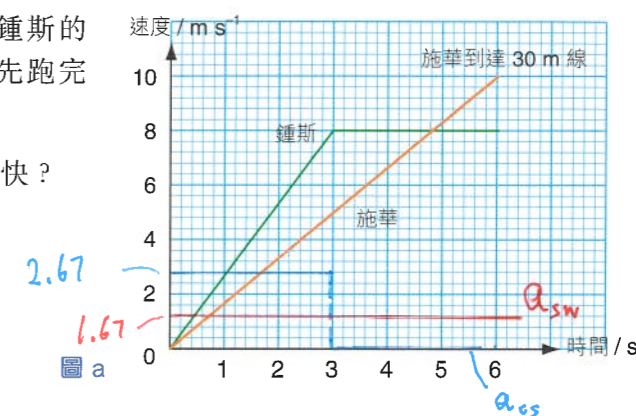
距離是標量。

▶ 進度評估 2 Q2 (p.49)

例題 6 誰先跑完首 30 m?

考慮起點提及的 60 m 賽跑。只要繪畫施華和鍾斯的速度—時間關係線圖 (圖 a)，便可輕易找出誰先跑完首 30 m。

- (a) 比賽開始後，施華在哪一刻跑得跟鍾斯一樣快?
- (b) 誰先跑完首 30 m?



題解

- (a) $t = 4.8 \text{ s}$
- (b) 設鍾斯在時間 T 越過 30 m 線。

線圖下方的面積 = 30

$$\frac{1}{2} \times 8 \times 3 + 8 \times (T - 3) = 30$$

$$T = 5.25 \text{ s}$$

因為施華用了 6 s，所以鍾斯比他先跑完首 30 m。

在 $t = 0$ 至 $t = 3 \text{ s}$ 之間，

$$\text{面積} = \frac{1}{2} \times 8 \times 3$$

▶ 在 $t = 3 \text{ s}$ 至 $t = T$ 之間，

$$\text{面積} = 8 \times (T - 3)$$

▶ 在首 30 m 中的不同時刻，領先的是誰？

鍾斯在首 30 m 一直領先。

▶ 進度評估 2 Q3 (p.49)

進度評估 2 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.40)。

(第 1 至 2 題) 在 $t = 0$ ，A、B、C、D 四個物體從 O 點沿同一直線移動。圖 a 顯示它們的 $v-t$ 線圖。

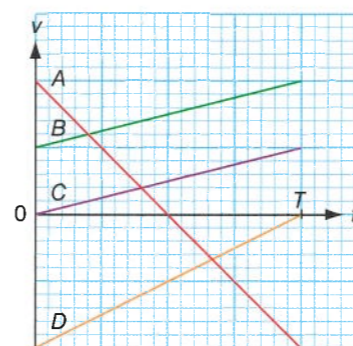


圖 a

21 在圖示的時段內，哪個物體的加速度量值最大？A

22 在時間 T ，哪個物體與 O 點相距最遠？B

23 選手 X 和 Y 賽跑，圖 b 是他們的 $v-t$ 線圖。誰在 $t = 10 \text{ s}$ 領先？X

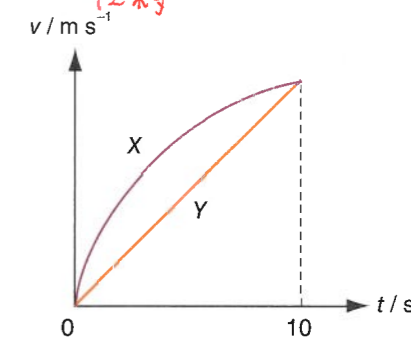


圖 b

3 加速度—時間關係線圖

加速度—時間關係線圖簡稱 $a-t$ 線圖，顯示物體於不同時刻的加速度。如果汽車以恆速度行駛，加速度是零，它的 $a-t$ 線圖就是一條位於時間軸的水平線（圖 2.1k）。如果汽車以 3 m s^{-2} 勻加速，它的 $a-t$ 線圖就是一條在 $a = 3 \text{ m s}^{-2}$ 的水平線（圖 2.1l）。

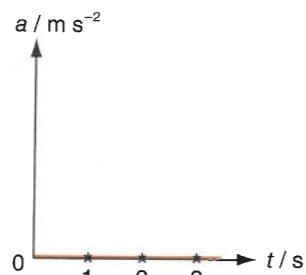


圖 2.1k 汽車的 $a-t$ 線圖（以恆速度行駛。取向前為正）

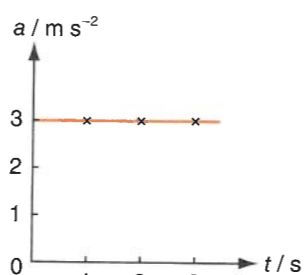


圖 2.1l 汽車的 $a-t$ 線圖（以 3 m s^{-2} 勻加速。取向前為正）

→ 模擬程式 2.3 顯示 $s-t$ 、 $v-t$ 和 $a-t$ 線圖三者的關係。

模擬程式 2.3

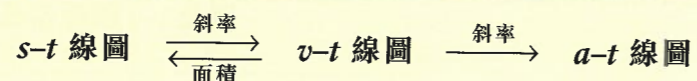
→ 模擬程式 2.4 顯示不同運動的 $s-t$ 、 $v-t$ 和 $a-t$ 線圖。

→ 模擬程式 2.5 容許學生隨意繪畫 $v-t$ 線圖，並根據線圖估計物體的運動過程，然後觀察屏幕所示物體實際的運動情況，核實自己的估計結果。

模擬程式 2.4, 2.5

4 各運動線圖的關係

從以上討論可知， $s-t$ 線圖、 $v-t$ 線圖和 $a-t$ 線圖的關係如下：



我們可以用不同的運動深入說明上述關係。

a 勻速運動

假設一輛汽車以 10 m s^{-1} 的恆速度向前行駛（圖 2.1a，見 p.40）。圖 2.1m 顯示汽車各運動線圖的關係。注意勻速運動的 $s-t$ 線圖是直線。

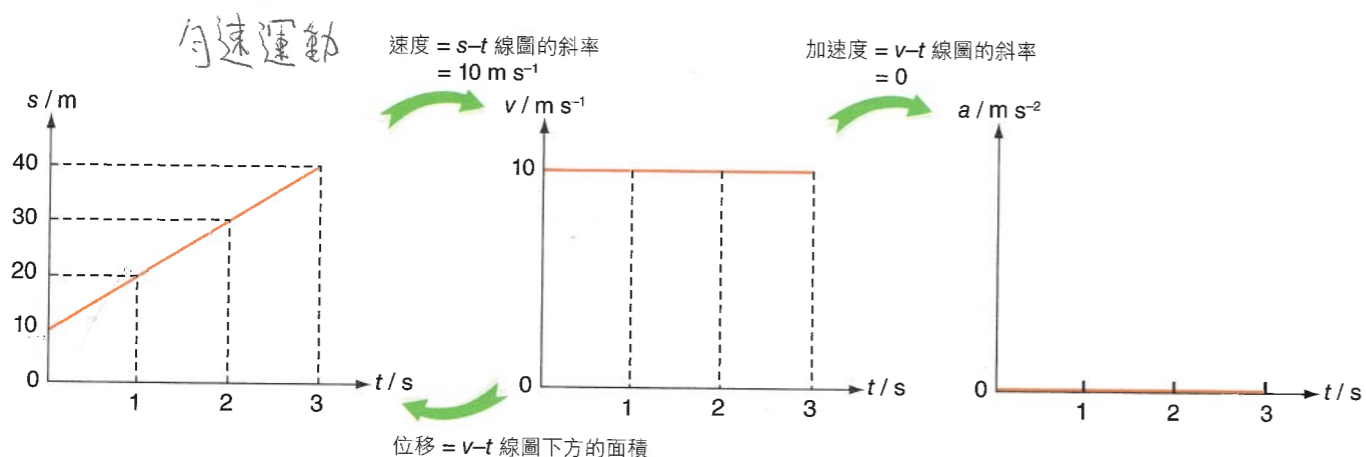


圖 2.1m 汽車的運動線圖（以 10 m s^{-1} 勻速行駛。取向前為正）

b 勻加速運動

i 運動方向不變

假設一輛汽車從靜止開始，以 3 m s^{-2} 向前勻加速（圖 2.1f，見 p.45）。圖 2.1n 顯示汽車各運動線圖的關係，其中 $s-t$ 線圖是一條斜率不斷增加的曲線，表示速度不斷增加。

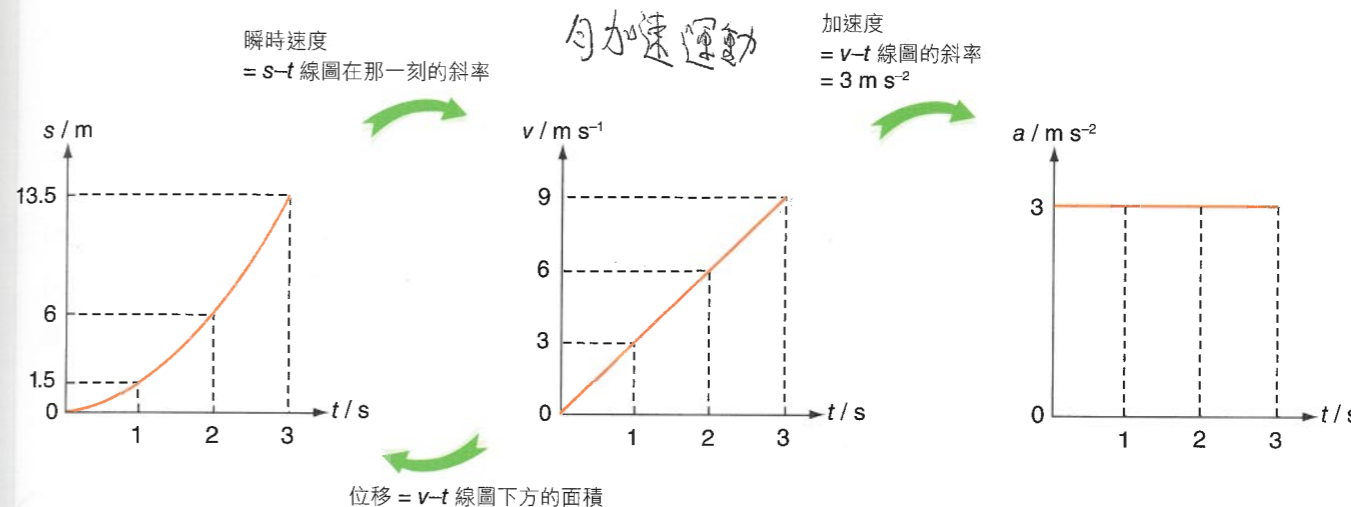


圖 2.1n 汽車的運動線圖（從靜止開始以 3 m s^{-2} 勻加速。取向前為正）

在以下網站中，輸入變量後，系統便會自動畫出運動線圖，並以動畫顯示運動的情況。

http://www.walter-fendt.de/html5/phen/acceleration_en.htm



ii 運動方向改變

單元 1.4 第 27 頁曾提到，如果汽車原本以 8 m s^{-1} 向右行駛，並以 2 m s^{-2} 向左勻加速，汽車會減慢、瞬時靜止（ $v = 0$ ），繼而加快向左行駛。圖 2.1o 顯示汽車的運動線圖。

汽車的 $s-t$ 線圖是一條曲線，斜率由正數變為負數，顯示汽車改變了行駛方向。在改變行駛方向前一刻，位移達到最大。

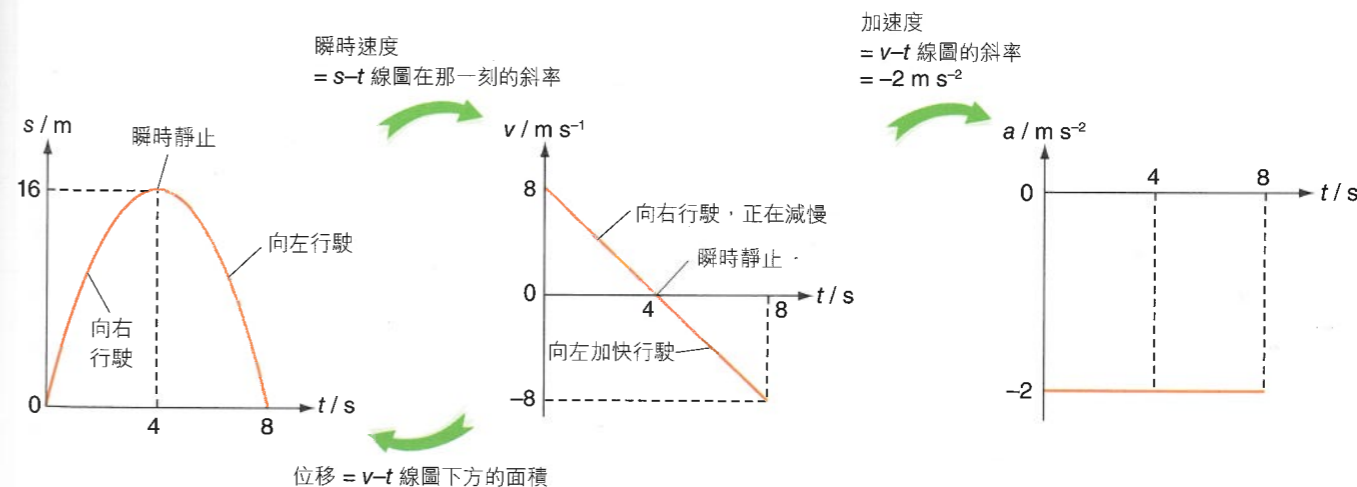


圖 2.1o 汽車的運動線圖（先向右行駛，並以 -2 m s^{-2} 勻加速。取向右為正）

預試訓練 1 單車在斜坡上的運動 ☆ 香港中學會考 2011 年卷一 Q2

逸謙踏單車沿直路登上斜坡 (圖 a)。

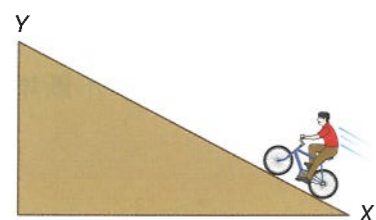


圖 a

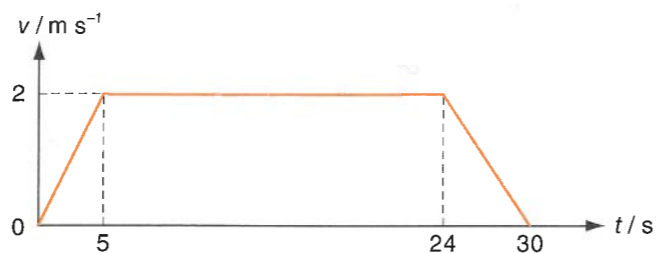


圖 b

他在時間 $t = 0$ 離開 X 點，然後在 $t = 30$ s 到達 Y 點。圖 b 顯示他的速度 v 怎樣隨 t 改變。取上斜坡的方向為正。

- (a) 描述逸謙在 $t = 0$ 至 $t = 30$ s 之間的運動。 (3 分)
- (b) 求逸謙在 $t = 0$ 至 $t = 30$ s 之間的平均速率。 (3 分)
- (c) 他在 $t = 30$ s 至 $t = 36$ s 的時段內停留在 Y 點，然後以恆加速度下斜坡。回到 X 點時，速率是 7 m s^{-1} 。試延伸 $v-t$ 線圖至他回到 X 點那一刻。 (3 分)

題解

- (a) 從 $t = 0$ 至 $t = 5$ s，他從靜止開始勻加速。
- 從 $t = 5$ s 至 $t = 24$ s，他以勻速 2 m s^{-1} 移動。
- 從 $t = 24$ s 至 $t = 30$ s，他勻減速至停下。

1A

1A

1A

常見錯誤

學生或沒有描述旅程開始和結束時的運動狀況。

- (b) 總移動距離 = $v-t$ 線圖下方的面積

$$= \frac{[(24 - 5) + 30] \times 2}{2}$$

$$= 49 \text{ m}$$

$$\text{平均速率} = \frac{\text{總移動距離}}{\text{所需時間}}$$

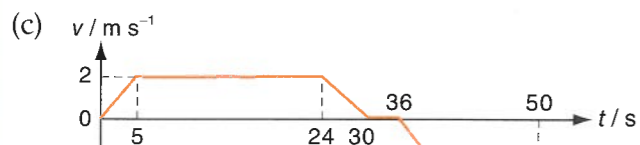
$$= \frac{49}{30} = 1.63 \text{ m s}^{-1}$$

1M

1M

1A

單車只往單一方向移動，所以移動距離就是位移的量值。



- (30–36 s：位於 x 軸的水平線)
- ($t = 36$ s 以後：斜率為負值的直線)
- (在 $t = 50$ s， $v = -7 \text{ m s}^{-1}$)

1A

1A

1A

常見錯誤

學生或未能找出逸謙回到 X 點的時間。

$$\begin{aligned} \text{位移} &= \text{線圖下方的面積} \\ -49 &= \frac{1}{2} \times (-7) \times (t - 36) \\ t &= 50 \text{ s} \end{aligned}$$

▶ 複習 Q38 (p.89)

進度評估 3 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.40)。

- 31 物體沿直線從靜止加速，圖 a 顯示它的加速度—時間關係線圖。

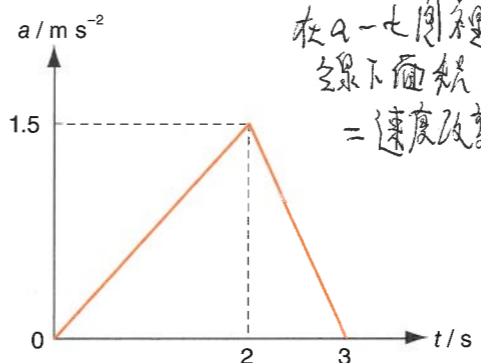


圖 a

下列哪一項敘述是正確的？

- (A) 物體在 $t = 3$ s 的速度最高。
- B 物體在 $t = 0$ 至 $t = 3$ s 之間的總位移是 0。
- C 物體在 $t = 2$ s 改變運動方向。

- 42 圖 b 顯示汽車的 $v-t$ 線圖。

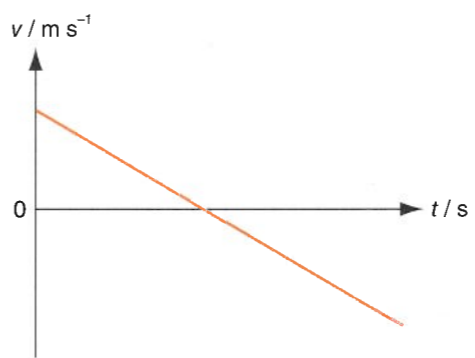
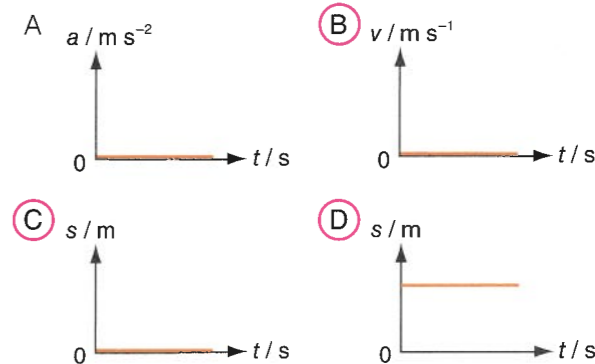


圖 b

這汽車每秒漏出一滴電油，在路上留下油漬。下列哪一幅圖顯示正確的油漬圖案？

- A
- B
- (C)

- 3 下列哪幅線圖所描述的物體必然靜止不動？可選多於一個選項。



- 44 汽車在直路上行駛，圖 c 顯示它的 $s-t$ 線圖。下列哪項有關該汽車運動的敘述是正確的？可選多於一個選項。

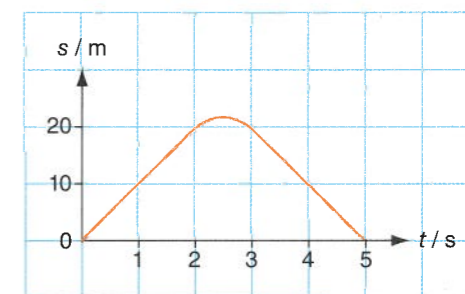


圖 c

- (A) 在 $t = 0$ 至 $t = 2$ s 之間，汽車以恆速度 10 m s^{-1} 行駛。
- (B) 在 $t = 2$ s 至 $t = 3$ s 之間，汽車減慢、瞬間靜止，然後沿相反方向加快行駛。
- C 在 $t = 2$ s 至 $t = 3$ s 之間，汽車的平均加速度是 -10 m s^{-2} 。

- 45 草繪例題 6 (p.49) 中施華和鍾斯的 $s-t$ 線圖及 $a-t$ 線圖。

- 46 圖 d 顯示物體的 $s-t$ 線圖。試草繪它的 $v-t$ 線圖。

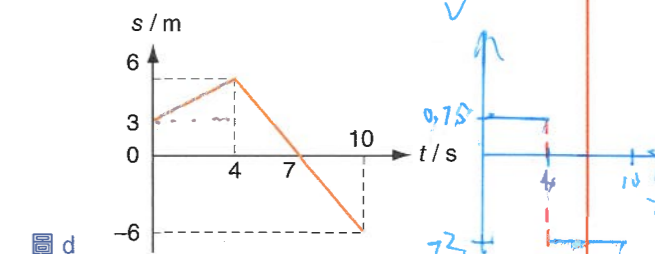


圖 d

5 其他運動線圖

$s-t$ 和 $v-t$ 線圖只可描述直線運動，而距離—時間和速率—時間等關係線圖來描述物體的運動。以例題 5 (見 p.48) 為例，浩倫的運動可以用距離—時間關係線圖和速率—時間關係線圖來描述 (圖 2.1p)。

如果物體的移動方向不變，它的位移—時間關係線圖和速度—時間關係線圖，便會與距離—時間關係線圖和速率—時間關係線圖相同。

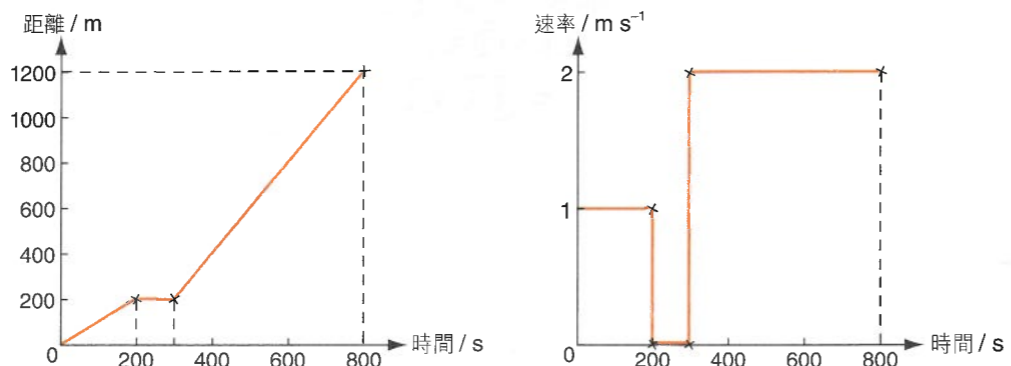


圖 2.1p 浩倫的距離—時間和速率—時間關係線圖

以上兩種線圖不能顯示物體的移動方向，所提供的資料較 $s-t$ 線圖和 $v-t$ 線圖為少。單憑距離—時間關係線圖，無法得知浩倫的最終位置。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

運動感應器

運動感應器可探測前方 0.15 m 至 8 m 之間的物體。如果物體在這範圍以外，感應器會收到錯誤訊號，導致結果出現誤差。

此外，物體必須沿直線移近或移離感應器，因為感應器不能探測其他方向的運動。

6 運動分析儀器

a 數據記錄系統

i 感應運動

要把實驗結果記錄在運動線圖上，較方便的做法是使用運動感應器 (圖 2.1q)。運動感應器經數據記錄器連接電腦，電腦內的數據記錄程式會繪製運動線圖。



圖 2.1q 運動感應器

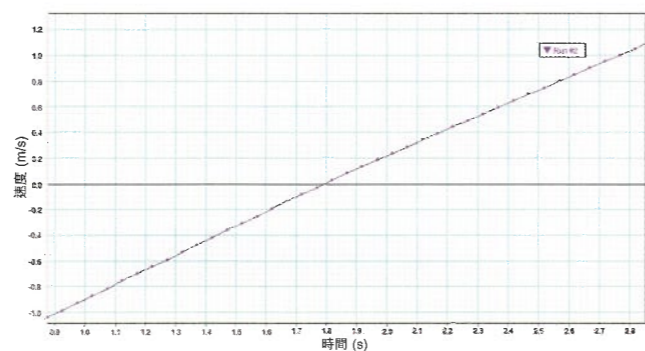


圖 2.1r 數據記錄程式製作的 $v-t$ 線圖

3B 冊第 7 課會詳細介紹超聲波。

運動感應器會發出超聲波訊號，然後探測物體反射回來的訊號，數據記錄程式根據發出和接收訊號之間的時距，計算出物體的位置。感應器會不斷發出訊號，從而測得物體在不同時刻的位置，數據記錄程式便根據結果繪製各種運動線圖 (2.1r)。

運動感應器 motion sensor 超聲波 ultrasound

模擬程式 2.6 錄像片段 2.1

→ 模擬程式 2.6 示範實驗 2a 的步驟。這程式可在實驗前用作解釋步驟或在實驗後用作總結，並不旨在取代實驗。
→ 錄像片段 2.1 示範實驗 2a。

提醒學生如有其他物體接近量度目標，運動感應器或會錄得錯誤訊號。

模擬程式 2.7 錄像片段 2.2

→ 模擬程式 2.7 示範實驗 2b 的步驟。這程式可在實驗前用作解釋步驟或在實驗後用作總結，並不旨在取代實驗。
→ 錄像片段 2.2 示範實驗 2b。

實驗 2a 使用運動感應器

1 裝置運動感應器和數據記錄器 (圖 a)。



圖 a

2 沿直線離開運動感應器，感應器會探測你的運動。觀察電腦屏幕顯示的 $s-t$ 線圖和 $v-t$ 線圖。
3 以不同的運動重複步驟 2。

討論

以勻速率離開運動感應器時， $s-t$ 線圖是怎樣的？若愈走愈快， $v-t$ 線圖又是怎樣的？ $s-t$ 線圖是斜率為正的直線。 $v-t$ 線圖可以是曲線或直線，斜率為正值。

實驗 2b 滑下斜面的加速度

1 裝置實驗器材 (圖 a)，把跑道傾斜放置，確保小車可以沿跑道愈滑愈快。
2 讓小車沿跑道下滑，觀察所得的 $s-t$ 和 $v-t$ 線圖。



圖 a

結果與討論

圖 b 是實驗所得 $s-t$ 和 $v-t$ 線圖。根據這些線圖，可推斷出小車的運動是怎樣的？小車以恆加速度運動。

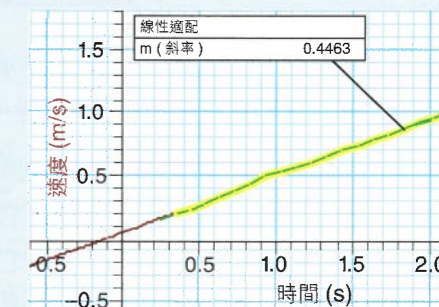
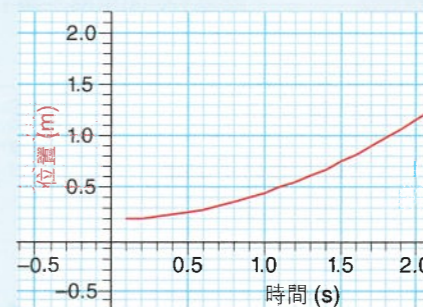


圖 b

ii 閱讀線圖

運動感應器的位置是物體位移的參考點，物體在這一點的位移是零。

實驗 2a 和 2b 示範怎樣利用數據記錄系統製作運動線圖。系統通常取移離感應器的方向為正 (圖 2.1s)，於是，

- 位置的讀數必定是正數。▶ 1 物體移離運動感應器時，位置的讀數 (位移) 是正數，且數值愈來愈大。
- 2 物體移離感應器時，速度是正數；移近感應器時，速度是負數。

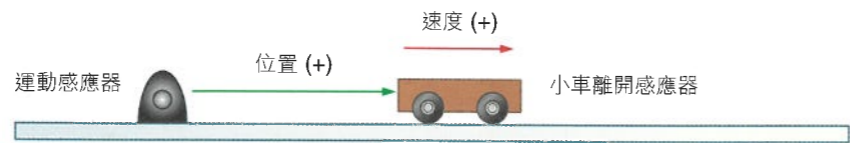


圖 2.1s 運動感應器怎樣探測運動

b 錄像運動分析

下載以下應用程式，便可▶ 即使在實驗室以外，也可分析物體的運動。假設一段影片記錄了學生沿直路跑步的過程，我們便可應用電腦軟件，分析學生的運動，並製作運動線圖 (圖 2.1t)。

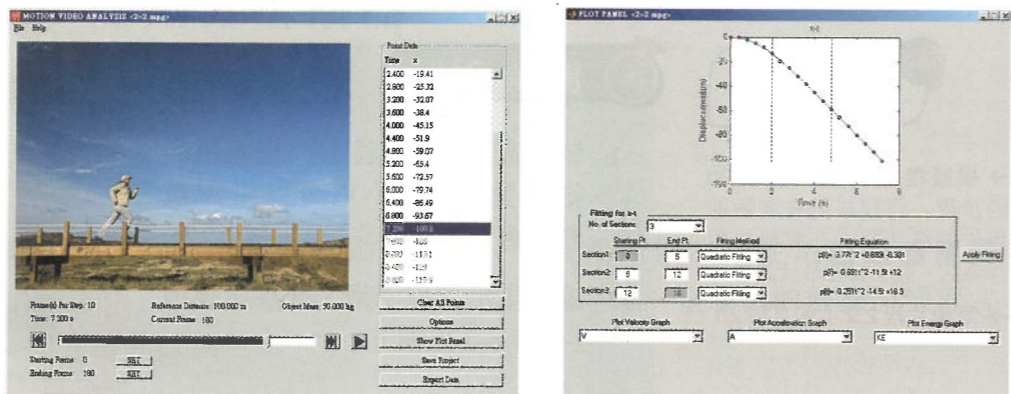


圖 2.1t 錄像運動分析

進度評估 4

✓ 題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.40)。

1 學生利用運動感應器探測小車的運動，並得出一幅 s-t 線圖 (圖 a)

下列哪一項有關小車的敘述**不**正確？

- A 它在 $t = 0.5$ s 靜止不動。
- B 它在 $t = 1.0$ s 至 $t = 2.0$ s 之間以恆速度移動。
- C** 它向着運動感應器移動。

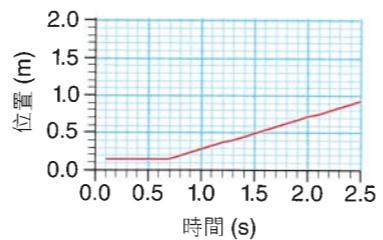


圖 a

習題與思考 2.1

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.40)。

1 1 男孩爬一條垂直的梯子，圖 a 顯示他在不同時刻的高度。由 $t = 0$ 至 $t = 10$ s，他的總位移是多少？

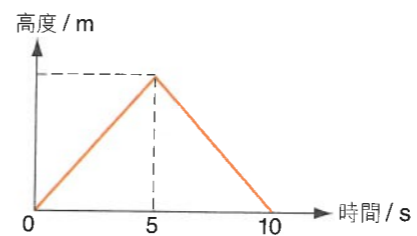
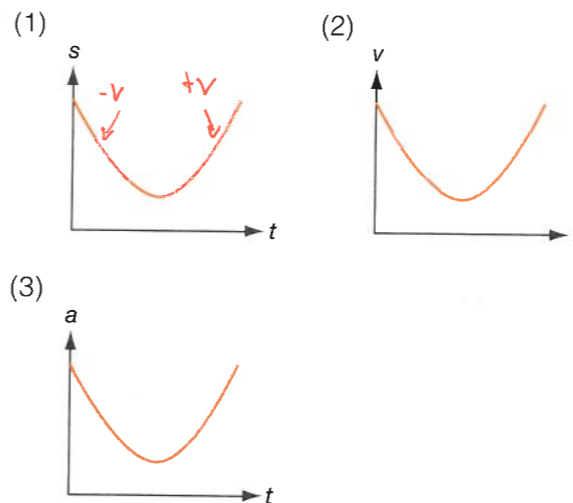


圖 a

- A** 0
- B 2 m
- C 4 m
- D 10 m

1-3 2 以下各運動線圖描述不同物體沿直線運動時的情況。哪幅線圖所描述的物體必定改變過運動方向？



- A** 只有 (1)
- B 只有 (1) 和 (2)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

2*3 匪徒駕駛的士沿直路行駛，從警車旁邊經過時，警車立即從靜止開始追趕。圖 b 顯示兩車的 v-t 線圖。

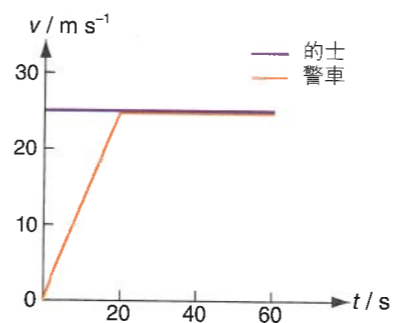


圖 b

下列哪項敘述是正確的？

- (1) 警車在首 20 s 的加速度是 1.25 m s^{-2} 。
- (2) 在 $t = 20$ s 後，警車和的士以相同的勻速度行駛。
- (3) 警車在 $t = 20$ s 追上的士。
- A 只有 (1)
- B** 只有 (1) 和 (2)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

1*4 運動員 X 和 Y 參加 50 m 短跑，圖 c 顯示他們的 s-t 線圖。

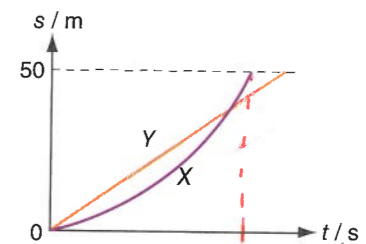


圖 c

下列哪一項敘述是正確的？

- A X 在整場比賽中以恆速度移動。
- B X 一直落後於 Y。
- C X 和 Y 相遇時，兩者速度相同。
- D** 在整場比賽中，X 的平均速度比 Y 高。

2*5 卓輝和志豪參加游泳比賽，圖 d 是他們的 v-t 線圖。

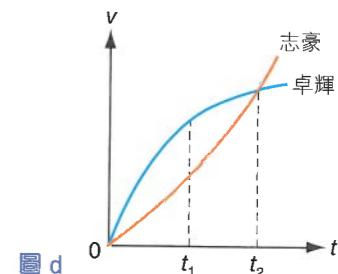


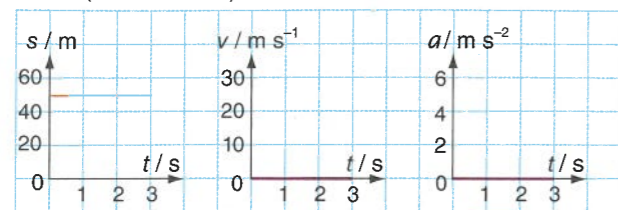
圖 d

下列哪項敘述是正確的？

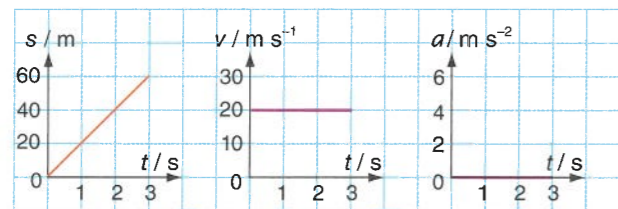
- (1) 在圖示的時段內，卓輝愈游愈慢。
- (2) 在時間 t_1 ，卓輝領先志豪。
- (3) 在時間 t_2 ，卓輝領先志豪。
- A 只有 (1)
- B 只有 (1) 和 (2)
- C** 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

4 6 完成以下汽車的運動線圖。

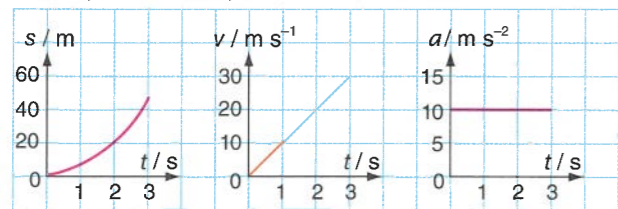
汽車 A (已知 s-t 線圖)



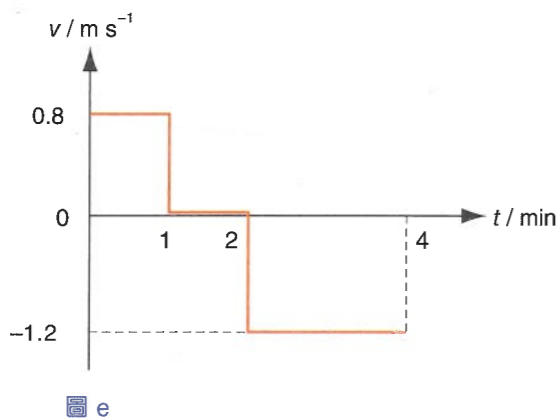
汽車 B (已知 s-t 線圖)



汽車 C (已知 v-t 線圖)



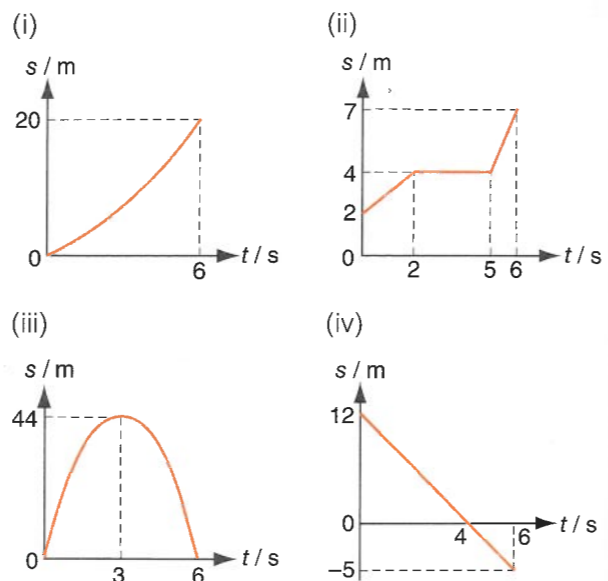
★ 7 譚文沿直路走，圖 e 是她的 v-t 線圖。試草繪線圖，顯示她經過的距離怎樣隨時間變化。



1 ★ 8 草繪下列物體的 s-t 線圖，並寫出取哪個方向為正。

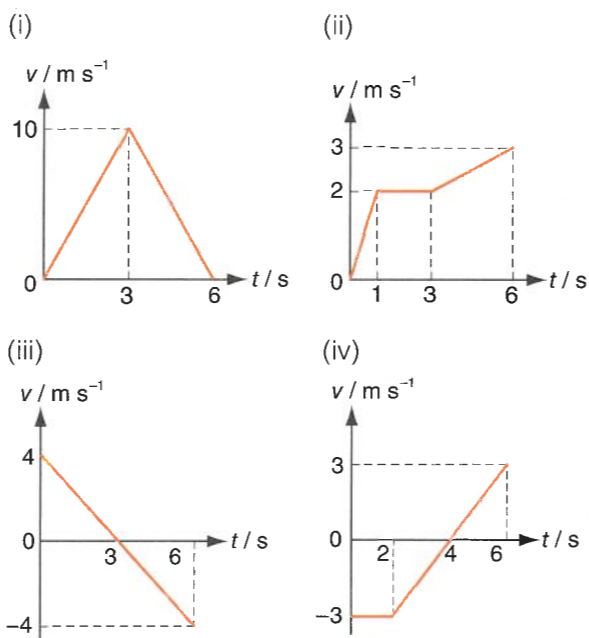
- (a) 女孩用 8 s 向東慢跑 10 m，接着用 5 s 沿相同方向跑 20 m，最後用 20 s 慢跑回原位。
- (b) 花貓用 1 s 朝老鼠跑了 5 m，抓住老鼠後，在原地停留 5 s，然後用 20 s 往相反方向走 10 m。
- (c) 俊明以 1 m s^{-1} 向左走 30 s 後突然停下，再以 1.5 m s^{-1} 向右走 30 s。

1 ★ 9 以下 s-t 線圖描述不同物體沿直線的運動。



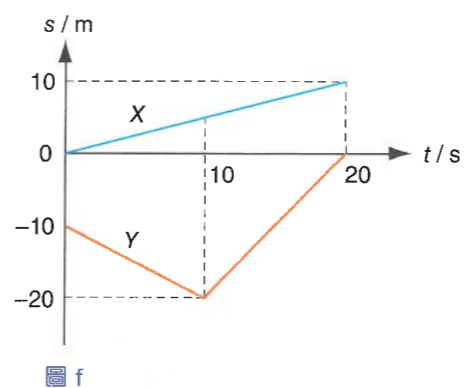
- (a) 簡單描述每幅線圖所展示的運動。
- (b) 求每個物體在 $t = 0$ 至 $t = 6 \text{ s}$ 之間的總位移。
- (c) 求每個物體在 $t = 0$ 至 $t = 6 \text{ s}$ 之間的平均速度。

★ 10 以下 v-t 線圖描述不同物體沿直線的運動。



- (a) 簡單描述每幅線圖所展示的運動。
- (b) 求每個物體在 $t = 0$ 至 $t = 6 \text{ s}$ 之間的總位移。
- (c) 求每個物體在 $t = 0$ 至 $t = 6 \text{ s}$ 之間的平均速度。
- (d) 草繪每個物體在 $t = 0$ 至 $t = 6 \text{ s}$ 之間的 a-t 線圖。

★ 11 物體 X 和 Y 在南北向的直線上移動。圖 f 顯示它們的 s-t 線圖，線圖取向北為正。



- (a) 物體在甚麼時候相距最遠？ $t = 10 \text{ s}$
- (b) 它們在 $t = 0$ 至 $t = 20 \text{ s}$ 之間的平均速度是多少？ $X = 0.5 \text{ m s}^{-1}$ 、 $Y = 0.5 \text{ m s}^{-1}$
- (c) 它們在 $t = 5 \text{ s}$ 和 $t = 15 \text{ s}$ 的瞬時速度是多少？

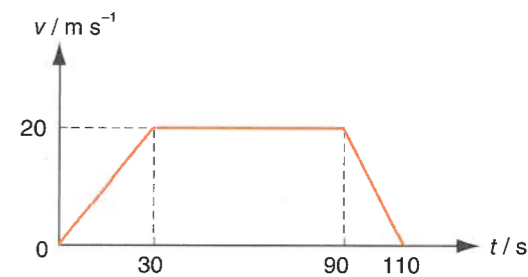
★ 12 物體開始時的速度是 u ，以勻加速度 a 移動了時間 t 後，速度變為 v 。

- (a) 草繪物體的 v-t 線圖。
- (b) 證明物體在這段時間內的平均速度是 $\frac{u+v}{2}$ 。

★ 13 草繪下列物體的 v-t 線圖，並寫出取哪個方向為正。

- (a) 猴子在樹上以 1 m s^{-1} 向上爬了 3 s，停留 6 s 後，以 1.5 m s^{-1} 向下滑了 2 s。
- (b) 汽車從靜止以 2 m s^{-2} 勻加速 10 s，然後以當時的速度行駛 10 s，最後以 4 m s^{-2} 減慢至停下。

★ 14 港鐵列車沿直線從車站 X 行駛至車站 Y，圖 g 顯示列車的 v-t 線圖。

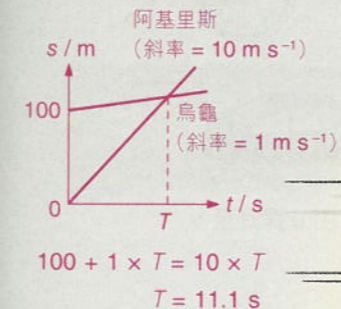


- (a) X 和 Y 相距多遠？ 1700 m
- (b) P 點位於 X 和 Y 之間，與 X 相距 1500 m。列車在甚麼時候經過 P 點？ $t = 90 \text{ s}$
- (c) 求列車從 X 行駛至 Y 的平均速度。 15.5 m s^{-1}
- (d) 草繪列車的 s-t 線圖和 a-t 線圖。

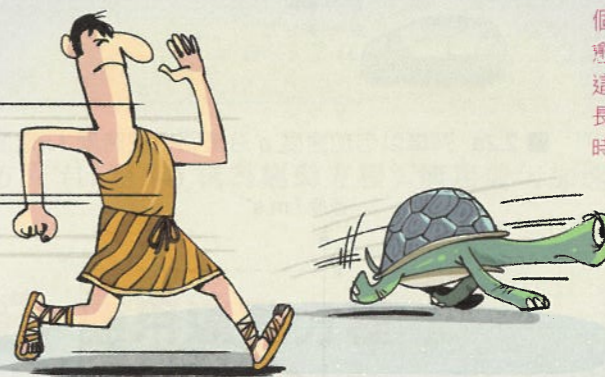
補充資料 阿基里斯與烏龜

大約 2400 年前，希臘哲學家芝諾提出了以下悖論（似是而非的說法）：

阿基里斯與烏龜賽跑。阿基里斯的速度是 10 m s^{-1} ，烏龜的速度是 1 m s^{-1} ，阿基里斯讓烏龜在他前面 100 m 處起步。當他跑了 100 m，烏龜已在他前面 10 m；他再跑 10 m，烏龜仍在他前面 1 m。總之，每當他跑到烏龜先前的所在，也依然落後烏龜一段距離，怎樣也追不上烏龜。



在這悖論中，阿基里斯追上烏龜所需的時間分為無限個小時段，而每個時段愈來愈短。利用數學可以證明，這些小時段的總和並非無限長，所以阿基里斯可在有限時間內追上烏龜。



你也認為阿基里斯追不上烏龜嗎？試繪畫兩者的 s-t 線圖，從中找出答案。

2.2

勻加速運動方程

起點 汽車間的安全距離

汽車在道路上行駛時，須與前方車輛保持一段安全距離。你知道原因嗎？這個距離要有多遠？▶ 參看第64頁 STSE。



- ✓ 本節重點
- 1 勻加速運動
- 2 使用運動方程解題
- 3 運動方程和運動線圖

1 推導運動方程

在勻加速運動中， a 的量值 and 方向都恆定不變。▶ 本單元會深入探討勻加速運動。假設初速度為 u 的汽車沿直路以勻加速度 a 行駛，時間 t 後末速度為 v (圖 2.2a)。圖 2.2b 顯示它的 $v-t$ 線圖。利用這線圖，可以推導出四條很重要的方程來描述勻加速運動。

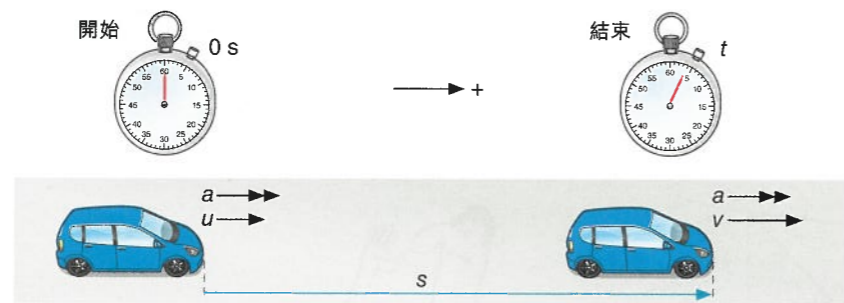


圖 2.2a 汽車以勻加速度 a 沿直路行駛時間 t ，速度由 u 提升至 v

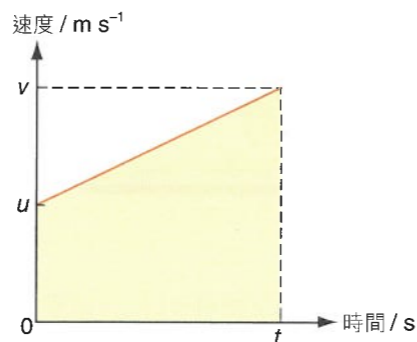


圖 2.2b 汽車的 $v-t$ 線圖 (以勻加速度行駛)

根據加速度的定義，

在勻加速運動中，物體的加速度總是與平均加速度相等。

$$a = \frac{v - u}{t}$$

$$v = u + at \dots\dots\dots (1)$$

所指的是在時距 t 內的位移。▶ $v-t$ 線圖下方的面積等於物體的位移 s 。

$$s = \frac{1}{2} \times (u + v) \times t \dots\dots\dots (2)$$

把 (1) 代入 (2)，

$$s = \frac{1}{2} \times [u + (u + at)] \times t$$

$$s = ut + \frac{1}{2} at^2 \dots\dots\dots (3)$$

把 $a = \frac{v - u}{t}$ 改寫為 $t = \frac{v - u}{a}$ ，然後代入公式 (2)，

$$s = \frac{1}{2} \times (u + v) \times \frac{v - u}{a}$$

$$2as = (v + u) \times (v - u)$$

$$2as = v^2 - u^2$$

$$v^2 = u^2 + 2as \dots\dots\dots (4)$$

$$(v + u) \times (v - u)$$

$$= v^2 - vu + uv - u^2$$

$$= v^2 - u^2$$

於是，我們得出描述勻加速運動的四條方程：

- $v = u + at \dots\dots\dots (1)$
- $s = \frac{1}{2} (u + v)t \dots\dots\dots (2)$
- $s = ut + \frac{1}{2} at^2 \dots\dots\dots (3)$
- $v^2 = u^2 + 2as \dots\dots\dots (4)$

勻速運動是勻加速運動的特例，其中 $a = 0$ ，於是：
 (1) 和 (4) $\Rightarrow v = u$
 (2) 和 (3) $\Rightarrow s = vt$

▶ 可吩咐學生完成習題與思考 2.2 第 11 題 (p.69)，推導以下方程：
 $s = vt - \frac{1}{2} at^2$

方程 (1) 至 (4) 稱為**運動方程**，適用於勻加速運動。

2 應用運動方程

上述方程只適用於勻加速運動，如果物體的加速度不是恆定，就不能應用這些方程。

只要知道 a 、 u 、 v 、 s 和 t 中任何三個的數值，餘下兩個便可用這些方程求得。

▶ 應用這些方程時， s 、 u 、 v 和 a 的正負值必須與題目所定的正負方向一致。以下例子會說明這點。

技巧分析

應用運動方程

- 指定「正」的方向。
- 在 u 、 v 、 s 、 t 和 a 中，找出哪些是已知數，哪些是要計算的未知數。
- 選擇合適的方程。所選的方程應該包含 3 個已知數，以及僅僅 1 個未知數。
- 把已知數代入方程，然後求未知數。緊記各變數要使用合適的單位。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

例題 7 格力犬的速度

格力犬沿直線以 6.3 m s^{-2} 加速 (圖 a)，求牠從靜止加速 3 s 後的速度和位移。



圖 a

題解

取格力犬的前進方向為正。

$$u = 0, a = 6.3 \text{ m s}^{-2}, t = 3 \text{ s},$$

$$v = ?, s = ?$$

根據 $v = u + at$,

$$v = 0 + 6.3 \times 3 = 18.9 \text{ m s}^{-1}$$

根據 $ut + \frac{1}{2}at^2$,

$$s = 0 + \frac{1}{2} \times 6.3 \times 3^2 = 28.4 \text{ m}$$

牠加速 3 s 後，速度是 18.9 m s^{-1} ，位移是 28.4 m。

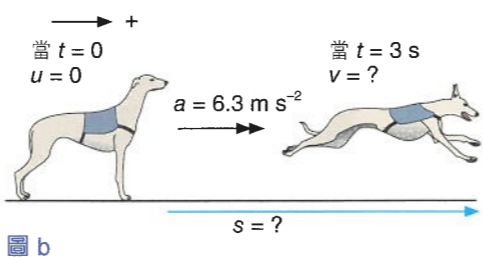


圖 b

▶ 進度評估 5 Q1 (p.60)

例題 8 快艇的加速度

快艇 (圖 a) 沿直線從 60 km h^{-1} 勻加速至 100 km h^{-1} ，過程中航行了 30 m。求快艇的加速度。



圖 a

題解

取快艇的前進方向為正。

$$u = 60 \text{ km h}^{-1} = \frac{60}{3.6} \text{ m s}^{-1} = 16.7 \text{ m s}^{-1},$$

$$v = 100 \text{ km h}^{-1} = \frac{100}{3.6} \text{ m s}^{-1} = 27.8 \text{ m s}^{-1}, s = 30 \text{ m}, a = ?, t = ?$$

根據 $v^2 = u^2 + 2as$,

$$a = \frac{v^2 - u^2}{2s} = \frac{27.8^2 - 16.7^2}{2 \times 30} = 8.23 \text{ m s}^{-2}$$

快艇的加速度是 8.23 m s^{-2} 。

▶ 進度評估 5 Q2 (p.63)

進度評估 5

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.60)。

- 2.1 婉玲身高 1.5 m，她站在蘋果樹下，正上方有一個蘋果。蘋果離地 2.5 m，若以 9.81 m s^{-2} 的加速度掉下來 (圖 a)，需時多久才會擊中婉玲？0.452 s

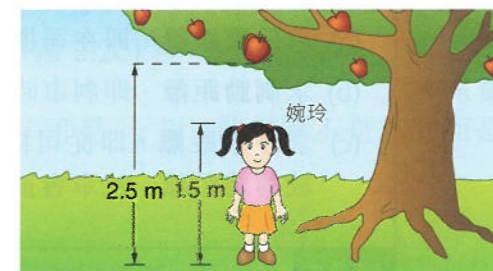


圖 a

- 2.2 電單車能夠沿直線以 9.79 m s^{-2} 的勻加速度從靜止加速至 26.8 m s^{-1} 。試估算這過程中電單車的位移。36.7 m

例題 9 估算初速率

汽車在交通意外中緊急剎車，留下長 20 m 的剎車痕 (圖 a)。調查人員發現，相同的汽車以 50 km h^{-1} 行駛時緊急剎車，會留下長 10 m 的剎車痕。假設上述兩輛汽車以相同的恆減速度剎車。試估算發生意外的汽車在剎車前一刻的速率。



圖 a

題解

根據 $v^2 = u^2 + 2as$,

$$u^2 = v^2 - 2as = -2as \propto s$$

根據比例，

$$\frac{u_1^2}{u_2^2} = \frac{s_1}{s_2}$$

$$u_1 = \sqrt{\frac{s_1}{s_2}} \times u_2 = \sqrt{\frac{20}{10}} \times 50 = 70.7 \text{ km h}^{-1}$$

汽車剎車前一刻的速率是 70.7 km h^{-1} 。

▶ 習題與思考 2.2 Q3 (p.68)

另解：

在調查人員的測試中，

根據 $v^2 = u^2 + 2as$,

$$0 = \left(\frac{50}{3.6}\right)^2 + 2a(10)$$

$$a = -9.645 \text{ m s}^{-2}$$

在意外中，

根據 $v^2 = u^2 + 2as$,

$$0 = u^2 + 2(-9.645)(20)$$

$$u = 19.64 \text{ m s}^{-1}$$

$$= 70.7 \text{ km h}^{-1}$$

例題 10 的目的：

- 1 帶出交通安全的信息
- 2 提供運動方程一項有趣的應用

例題 9 中的剎車痕顯示 ▶ 巴士的制動距離。

▶ 假設汽車在反應時間內以恆速度移動。

留意 a 的正負值。 ▶

例題 10 制動距離

汽車沿直路以 60 km h^{-1} 行駛，司機看見前方 30 m 有障礙物，於是剎停汽車。司機的反應時間是 0.9 s 。剎車時，汽車以 7 m s^{-2} 均勻地減慢。

- 求反應距離，即在司機的反應時間內汽車行駛的距離。
- 求制動距離，即剎車時汽車行駛的距離。
- 求停車距離，即從司機看見障礙物至汽車停下這段時間內汽車行駛的總距離。汽車會撞上障礙物嗎？

題解

取汽車的前進方向為正。

(a) 反應距離 = 汽車的速率 \times 反應時間 = $\frac{60}{3.6} \times 0.9 = 15 \text{ m}$

(b) 根據 $v^2 = u^2 + 2as$,

$$\text{制動距離} = \frac{v^2 - u^2}{2a} = \frac{0^2 - \left(\frac{60}{3.6}\right)^2}{2 \times (-7)} = 19.8 \text{ m}$$

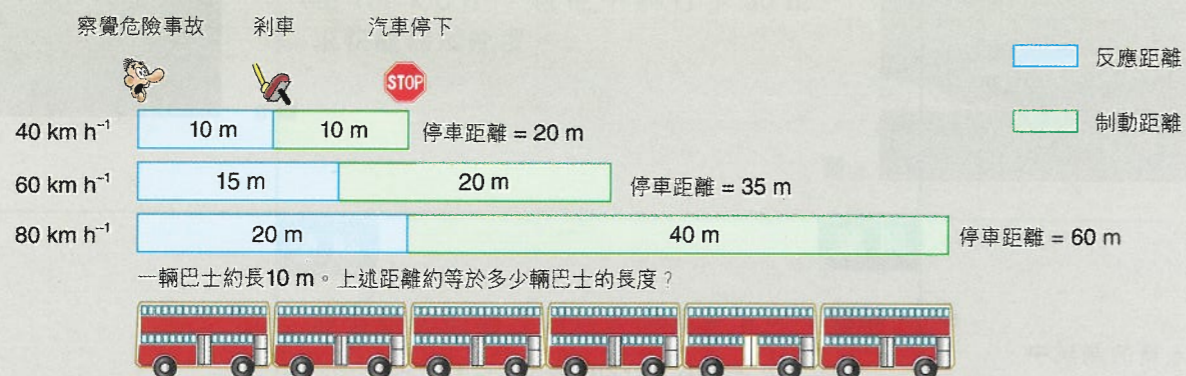
(c) 停車距離 = $15 + 19.8 = 34.8 \text{ m} > 30 \text{ m}$

\therefore 汽車會撞上障礙物。

▶ 習題與思考 2.2 Q9 (p.69)

STSE 停車距離

如例題 10 所示，停車距離可用運動方程來估算。司機應留意不同車速的最短停車距離，車速愈高，停車距離愈長。



回想起點提出的問題。兩輛車之間的安全距離應大於停車距離，這樣的話，即使前方的車輛突然停下，後方的車輛也可及時剎停。

要判斷兩車之間的安全距離，有一個簡易的方法：「兩秒守則」。所謂「兩秒」，就是指後車應與前車保持兩秒的駕駛距離。假設兩車一同以 60 km h^{-1} 行駛，安全距離便是 $\frac{60}{3.6} \times 2 \approx 33 \text{ m}$ 。

除了車速，還有其他因素會影響停車距離。例如道路濕滑時，汽車的減速度會較低，停車距離因而較長。你可舉出其他影響停車距離的因素嗎？

司機如受藥物或酒精影響，反應時間和反應距離都會較長。
超載或輪胎磨損會減低汽車的減速度，制動距離因而較長。

3 運動方程與運動線圖

想像一個物體由特定的初速度開始勻加速，它的 a 和 u 就是常數。應用運動方程，有助繪畫和理解這物體的運動線圖。

若 $u \neq 0$ ， v 與 t 就不是成比例。▶ 方程 $v = u + at$ 顯示 v 隨 t 作線性改變，因此， v 對 t 的線圖是直線，斜率為 a ， y 截距為 u (圖 2.2c)。

從方程 $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ 可見， s 對 t 的線圖不是直線而是曲線 (圖 2.2d)。

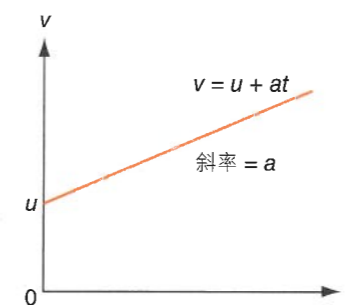


圖 2.2c v 對 t 的線圖

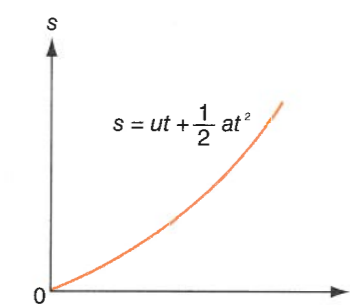


圖 2.2d s 對 t 的線圖

兩幅線圖與圖 2.1n (見 p.51) 有何異同？

▶ 這個例子中，初速度 u 不是零，所以 $v-t$ 線圖不會穿過原點，此外，在 $t=0$ ， $s-t$ 線圖的斜率不等於零。

不要混淆 t^2 與 t 。▶ 如果 $u = 0$ ，得出 $s = ut + \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}at^2$ ，可見 s 與 t^2 成正比，因此， s 對 t^2 的線圖是一條穿過原點的直線，斜率為 $\frac{1}{2}a$ (圖 2.2e)。

方程 $v^2 = u^2 + 2as$ 顯示 v^2 隨 s 作線性改變，所以 v^2 對 s 的線圖是直線，斜率為 $2a$ ， y 截距為 u^2 (圖 2.2f)。

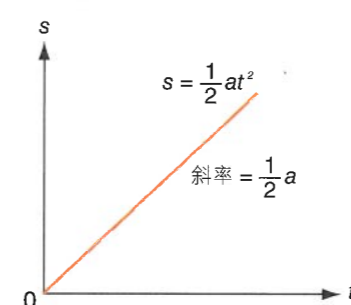


圖 2.2e s 對 t^2 的線圖 ($u = 0$)

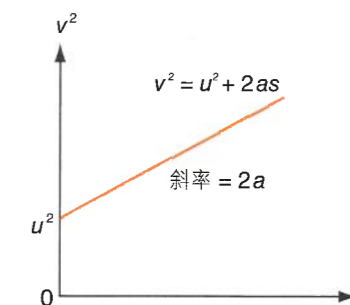


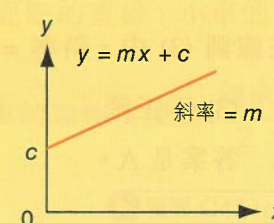
圖 2.2f v^2 對 s 的線圖

技巧分析

線性關係

「 y 隨 x 作線性改變」，表示 y 對 x 的線圖是直線。這直線的方程可以寫成 $y = mx + c$ ，其中 m 是斜率， c 是 y 截距。

若 $c = 0$ ，則 y 與 x 成正比，線圖就會穿過原點。

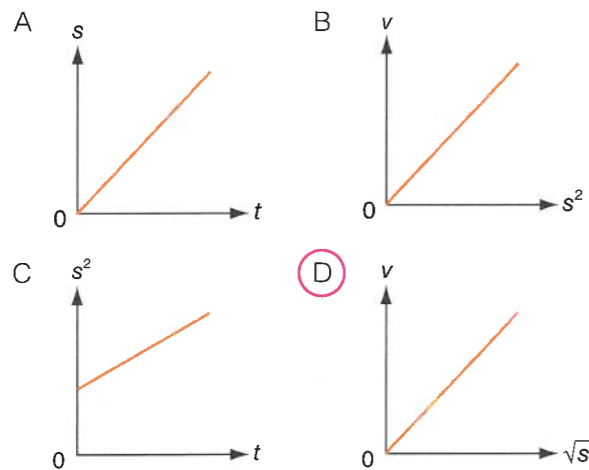


▶ 「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

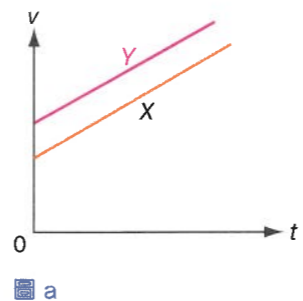
進度評估 6

各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.60)。

31 物體以勻加速度運動且 $a \neq 0$ 。下列哪一幅線圖顯示物體的運動?



32 物體 X 和 Y 以相同勻加速度向同一方向移動。在 $t=0$, Y 的速度高於 X。圖 a 顯示 X 的 $v-t$ 線圖。試在圖 a 草繪 Y 的 $v-t$ 線圖。



習題與思考 2.2

21 機場的跑道必須夠長, 才能讓噴射機由靜止加速至起飛速率 290 km h^{-1} 。假設噴射機起飛時會沿直線以 1 m s^{-2} 勻加速, 求跑道的最短長度。5

- A 2 km
 B 3 km
 C 3.5 km
 D 4 km

$u=0$
 $v = 80.6 \text{ ms}^{-1}$
 $v^2 = u^2 + 2as$
 $80.6^2 = 0^2 + 2 \times 1 \times s$
 $s = 3244 \text{ m}$

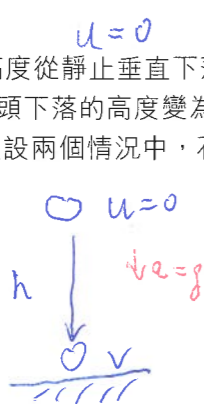
22 子彈穿過 16 cm 厚的木牆, 需時 $5 \times 10^{-4} \text{ s}$ 。如果子彈碰到木牆時的速率是 500 m s^{-1} , 剛穿出木牆時的速率是多少? 假設子彈在整個過程中都沿同一直線移動, 且在木牆內以勻減速度移動。

- A 70 m s^{-2}
 B 140 m s^{-2}
 C 210 m s^{-2}
 D 265 m s^{-2}

$s = 0.16 \text{ m}$
 $t = 5 \times 10^{-4} \text{ s}$

23 石頭在離地 h 的高度從靜止垂直下落, 掉到地面時速率為 v 。如果石頭下落的高度變為 $2h$, 掉到地面時速率是多少? 假設兩個情況中, 石頭以相同的恆加速度下跌。

- A v
 B $1.41v$
 C $2v$
 D $4v$



34 看門狗坐在地上, 看到小偷在 10 m 外的地方跑過去, 小偷同時起步逃走。5 s 後, 小偷跑了 20 m, 看門狗剛好捉住小偷(圖 a)。如果看門狗捉住小偷前一直沿直線勻加速, 牠的加速度是多少?

- A 0.8 m s^{-2}
 B 1.6 m s^{-2}
 C 2.4 m s^{-2}
 D 3.0 m s^{-2}

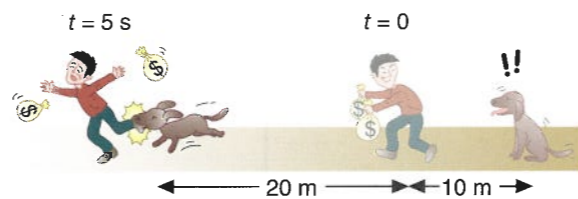


圖 a

$u=0$
 $s = 20 + 10 = 30 \text{ m}$
 $t = 5 \text{ s}$
 $s = ut + \frac{1}{2}at^2$
 $30 = \frac{1}{2}a \times 5^2$
 $a = 2.4 \text{ m s}^{-2}$

35 巴士沿直路勻加速, 圖 b 顯示巴士的速度 v 怎樣隨位移 s 改變。巴士的加速度是多少?

- A 0.333 m s^{-2}
 B 0.666 m s^{-2}
 C 1 m s^{-2}
 D 2 m s^{-2}

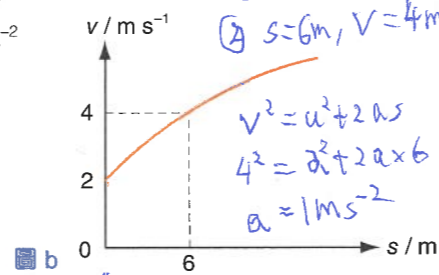


圖 b

$u=0$
 $s = 0, v = 2 \text{ m s}^{-1}$
 $s = 6 \text{ m}, v = 4 \text{ m s}^{-1}$
 $v^2 = u^2 + 2as$
 $4^2 = 2^2 + 2a \times 6$
 $a = 1 \text{ m s}^{-2}$

36 羽毛球沿直線移動, 圖 c 顯示它的 $v-t$ 線圖。在時間 t_1 , 羽毛球的速度是 v_1 , 加速度是 a_1 。下列哪項有關羽毛球的敘述是正確的?

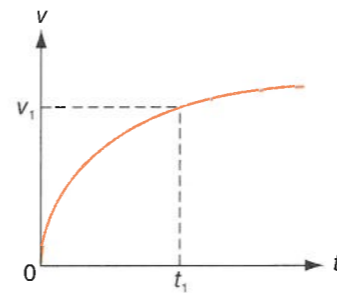


圖 c

- (1) 在圖示的時間內, 羽毛球移動得愈來愈快。
 (2) 羽毛球的總位移相等於曲線下方的總面積。
 (3) 羽毛球的速度 v_1 等於 $a_1 t_1$ 。

- A 只有 (2)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

27 在圖 d 所示的一刻, 一列火車以 15 m s^{-1} 向右行駛, 並開始減慢; 行駛 180 m 後, 在車站停下來。假設火車的加速度勻均。

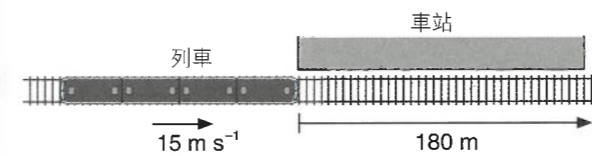


圖 d

- (a) 求火車的加速度。 0.625 m s^{-2} (向左)
 (b) 求火車停下需時多久。 24 s

28 高爾夫球與球洞相距 8 m (圖 e)。球手擊球後, 球沿直線移動, 並以 0.5 m s^{-2} 勻減速。



圖 e

- (a) 要球掉進洞, 球的最低初速率是多少? 2.83 m s^{-1}
 (b) 以 (a) 部的最低初速率計算, 球掉進洞需時多久? 5.66 s

29 汽車以 108 km h^{-1} 沿直路行駛。司機看見前方有障礙物, 3 s 後汽車便停下來。

- (a) 假設司機的反應時間是 0.8 s, 找出他的反應距離。 24 m
 (b) 假設汽車勻減速, 求制動距離。 33 m
 (c) 求汽車的停車距離。 57 m

10 電單車從 90 km h^{-1} 沿直路勻減速至 36 km h^{-1} , 過程中, 行駛了 175 m。

- (a) 求減速過程所用的時間。 10 s
 (b) 求電單車的減速度。 1.5 m s^{-2}
 (c) 草繪線圖, 顯示電單車速度的平方 v^2 隨位移 s 的變化。寫出線圖斜率的物理意義。
 $2 \times \text{加速度}$

11 (a) 物體沿直線以恆定率 a 加速。證明

$$s = vt - \frac{1}{2}at^2$$

其中 s 是加速過程中物體的位移, v 是物體的末速度, t 是加速所用的時間。

(b) 女孩沿直路踏單車, 以 2 m s^{-2} 勻加速, 5 s 後速率變為 14 m s^{-1} 。求女孩在過程中的位移。 45 m

12 景華從靜止開始滑下雪山(圖 f)。滑雪道分為兩段, 第一段較平緩, 景華滑下時以 0.1 m s^{-2} 加速, 滑行 500 m 後到達第二段滑雪道, 這段較陡峭, 長 800 m, 景華滑下時以 0.5 m s^{-2} 加速。

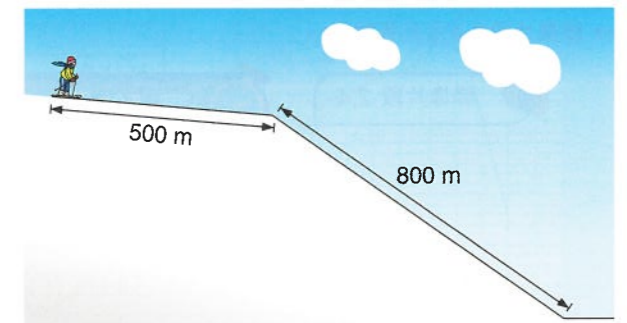


圖 f

- (a) 滑過首 500 m 後, 景華的速率是多少? 10 m s^{-1}
 (b) 求景華滑下兩段滑雪道共需時多久。 140 s
 (c) 設景華相對起點的位移是 s , 所用的時間是 t 。試草繪 $s-t^2$ 關係線圖, 顯示景華在首 500 m 的運動狀況。

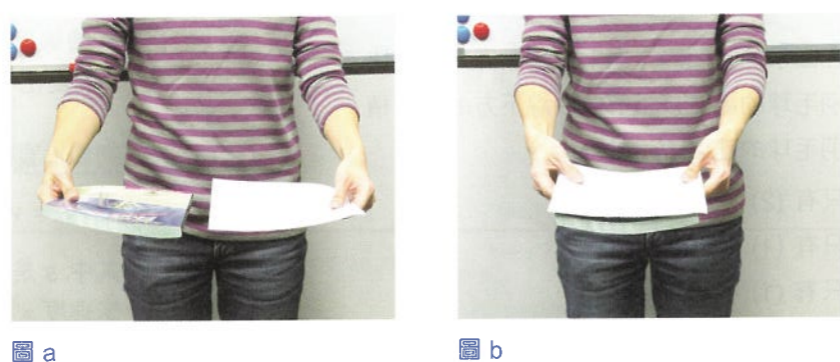
2.3

自由落體的運動

起點 哪個下墜得較快？

把面積相同的紙和書提起至同一高度，然後同時放手（圖 a），哪一個下墜得較快呢？答案當然是書。

現在把紙放在書上面（圖 b），然後放手。這次是哪一個下墜得較快？為甚麼？▶ 參看第 71 頁。



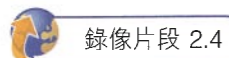
✓ 本節重點

- 1 研究自由落體的運動
- 2 重力加速度
- 3 重力作用下的垂直運動

1 重力加速度

因為有重力，所以物體會下墜。物體愈重，似乎會下墜得愈快，這個想法是否正確？我們可以從實驗 2c 找出答案。

→ 錄像片段 2.4 示範實驗 2c。



錄像片段 2.4

實驗 2c 「硬幣與羽毛」實驗

- 1 把一枚硬幣與一塊小紙片（代表羽毛）放在玻璃管內。
- 2 讓它們在管內下墜（圖 a）。
- 3 抽掉管內的空氣，然後重複步驟 2。

討論

重的物體必然比輕的物體下墜得快嗎？

不是，如果沒有空氣阻力，所有物體會下墜得一樣快。

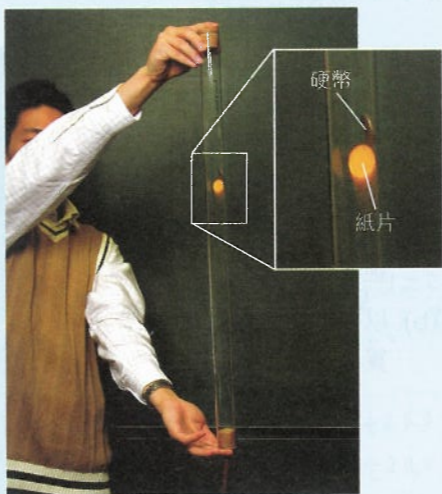


圖 a

在起點中，當紙放在書上，就會與書下墜得一樣快。這是因為紙的下方沒有空氣，所以不受空氣阻力影響。



模擬程式 2.8
錄像片段 2.5

→ 模擬程式 2.8 示範實驗 2b 的步驟。這程式可在實驗前用作解釋步驟或在實驗後用作總結，並不旨在取代實驗。

→ 錄像片段 2.5 示範實驗 2d。

在實驗 2c 中，只要抽掉管內的空氣，就能排除空氣阻力的影響。這方法可用來研究物體只受重力作用時的運動。

實驗結果顯示，空氣存在時，從相同高度下墜的兩個物體，着地時間或有不同；但在真空中，沒有空氣阻力，所有受重力作用的物體便下墜得一樣快。

物體只受重力作用時會怎樣運動？從實驗 2d 可以找出答案。

實驗 2d 量度自由落體的加速度

- 1 裝置實驗器材（圖 a），運動感應器的正面向下。
- 2 取質量為 0.5 kg 的砝碼，放在運動感應器下方。放手讓砝碼自由下落。
- 3 利用實驗所得的 $v-t$ 線圖，找出砝碼的加速度。
- 4 以不同質量的砝碼重複實驗。



圖 a

結果與討論

圖 b 顯示實驗所得的 $v-t$ 線圖。

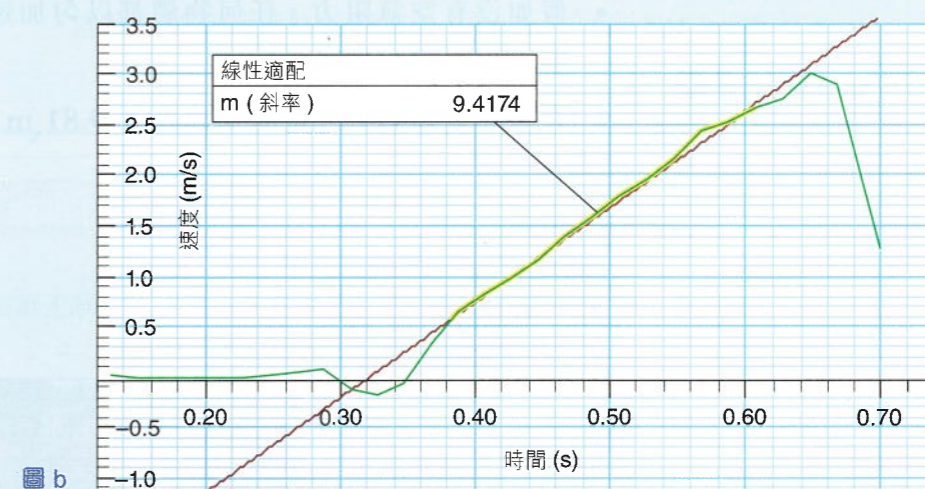


圖 b

- 1 砝碼是否以勻加速度下墜？ 是
- 2 實驗所得的加速度是否等於自由落體的加速度標準值 (9.81 m s^{-2})？如果不相等，實驗的誤差來自甚麼地方？ 不相等，因為有空氣阻力。
- 3 不同砝碼的加速度是否一樣？ 大致一樣

拋體運動也是自由下落運動。

當物體受重力作用，且不受空氣阻力等其他因素影響，它的下墜運動就稱為**自由下落**。這時物體會以勻加速度下墜，這個加速度稱為**重力加速度**，符號為 g 。在接近地球表面的位置， g 的標準值是 9.81 m s^{-2} ，方向為垂直向下。

假設空氣阻力可略去不計。從高處放開小球，讓它自由下落，小球便會從靜止向下加速（圖 2.3a，取向下為正。為方便起見，取 $g = 10 \text{ m s}^{-2}$ ）。

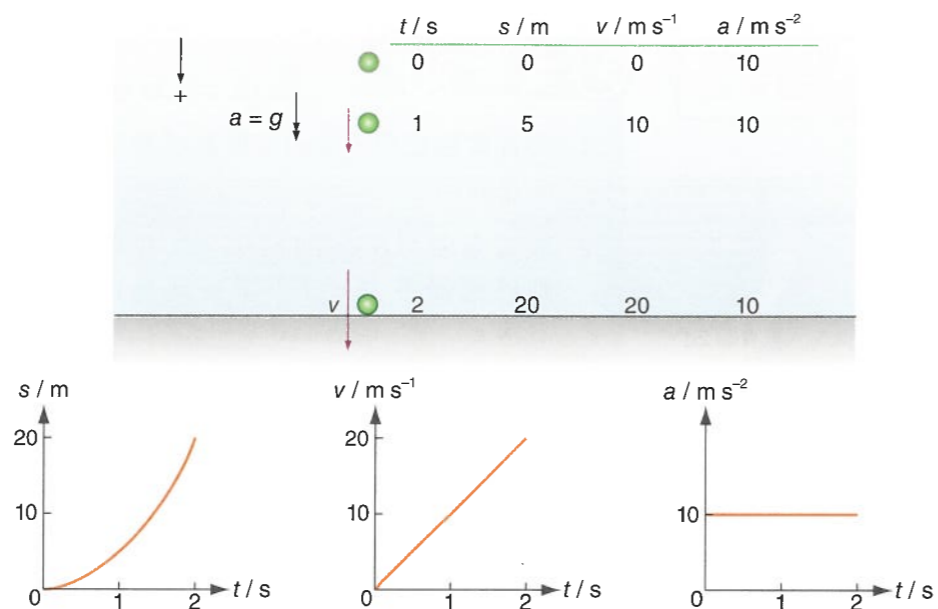


圖 2.3a 小球自由下落時的運動（取 $g = 10 \text{ m s}^{-2}$ ）

自由落體以勻加速度下墜，我們可以用運動方程來研究它的運動。

- 假如沒有空氣阻力，任何物體都以勻加速度 g 下墜。這個加速度稱為**重力加速度**。
- 在地球表面附近，重力加速度是 9.81 m s^{-2} （向下）。

歷史點滴 鐵鎚和羽毛

在阿波羅 15 號任務中，太空人史考特在月球上讓鐵鎚和羽毛同時掉下。因為月球沒有空氣，所以鐵鎚和羽毛同時到達地面。



你可在以下網頁找到這段影片。

http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo_15_feather_drop.html



STSE

高空墮物足以致命

例題 12 中的混凝土速率極高，達 101 km h^{-1} 。即使物件細小如電池，從高處墮下也是十分危險的。以往，高空墮物的意外不時釀成人命傷亡；現今本港樓宇愈建愈高，有些更高達 300 m（超過 70 層高），高空墮物的問題正日趨嚴重。

10/6/2014

旺角天降飛凳
途人無辜喪命

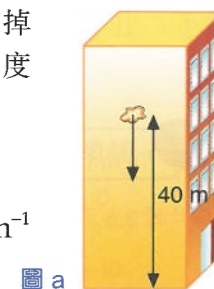
16/5/2014

葵涌晾衫竹墮下傷途人

例題 12 高空墮物

大廈老舊的外牆剝落，混凝土從離地 40 m 的高處掉下（圖 a）。假設空氣阻力可略去不計，取重力加速度為 9.81 m s^{-2} 。

- 混凝土掉到地面需時多久？
- 求混凝土掉到地面時的速率，答案以 m s^{-1} 及 km h^{-1} 為單位。



題解

取向下為正。

已知 $u = 0$, $s = 40 \text{ m}$, $a = g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$

- 根據 $s = ut + \frac{1}{2}at^2$,

$$40 = 0 + \frac{1}{2} \times 9.81 \times t^2$$

$$t = 2.86 \text{ s}$$

混凝土需要 2.86 s 才掉到地面。

- 根據 $v^2 = u^2 + 2as$,

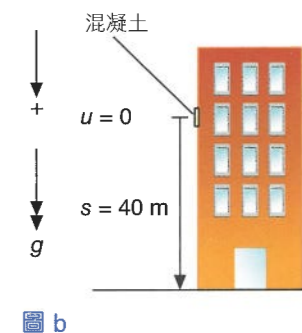
$$v^2 = 0 + 2 \times 9.81 \times 40$$

$$v = 28.0 \text{ m s}^{-1}$$

$$= 28.0 \times 3.6 \text{ km h}^{-1}$$

$$= 101 \text{ km h}^{-1}$$

混凝土掉到地面時的速率是 28.0 m s^{-1} （或 101 km h^{-1} ）。



進度評估 7 Q3 (p.73)

進度評估 7

各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.70）。

- 在日常生活中，輕的物體通常比重的物體下墜得慢，原因是
 - 重力加速度的大小視乎物體的重量。
 - 物體受空氣阻力影響。
 - 量度時出現誤差。
- 是非題：隨着自由落體下墜得愈來愈快，它的加速度也會不斷增加。（對 / 錯）

學生或誤以為移動得較快的物體加速度也必定較大。
- 永明在距離海面 45 m 的懸崖上垂直向下投擲石子，石子在 2.5 s 後到達海面。假設空氣阻力可略去不計，石子的初速率是多少？取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ 。
 - 1.47 m s^{-1}
 - 2.97 m s^{-1}
 - 5.74 m s^{-1}
 - 18.0 m s^{-1}

2 重力作用下的垂直運動

物體在重力作用下自由下落時，會以恆加速度 g 移動。如果物體在重力作用下向上移動，情況又會怎樣？

錄像片段 2.6

→ 錄像片段 2.6 示範實驗 2e。

實驗 2e 重力作用下的垂直運動

1 裝置實驗器材 (圖 a)，運動感應器的正面向下。



圖 a

- 把籃球拿到運動感應器下方，然後放手，讓籃球自由下落到地面，並反彈數次。
- 觀察實驗所得的 $s-t$ 線圖和 $v-t$ 線圖。從 $v-t$ 線圖找出籃球 (a) 向上運動及 (b) 向下運動時的加速度。

結果與討論

圖 b 顯示實驗所得的 $v-t$ 線圖。

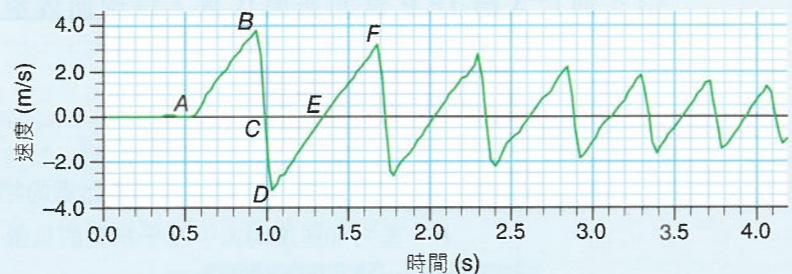


圖 b

- 籃球在哪些時刻撞擊地面？ $t = 0.9\text{ s}$ 、 1.7 s ……
- 考慮圖 b 中 DE 和 EF 兩部分。籃球向上和向下運動時，加速度相同嗎？相同，因為 D、E 和 F 三點成一一直線。

從實驗 2e 可見，物體不論向上或向下運動，加速度的量值都恆定不變，而且總是指向下方。如果空氣阻力可略去不計，這個加速度就是 9.81 m s^{-2} (向下)。

線圖取哪個方向為正？
向下

指出球向下移動時 (例如圖中 AB 和 EF 部分) v 為正數，向上移動時 (例如 DE 部分) v 為負數。

籃球在 B 點和 D 點之間並非自由下落，因為這時候籃球與地面互相接觸。

模擬程式 2.9

→ 模擬程式 2.9 以 $v-t$ 線圖展示重力作用下物體的運動情況。學生可以看到物體由某個高度從靜止開始跌下、拋起和擲下時的運動情況。

留意小球上升和下墜所需的時間相同。

小球上升時會減慢，即加速度與速度方向相反；小球下落時會加快，即加速度與速度方向一致。因此在這兩個情況下，小球的加速度都是向下的。

考慮一個從地面以 30 m s^{-1} 垂直向上射出的小球。取向上為正；為方便起見，取 $g = 10\text{ m s}^{-2}$ ，並假設空氣阻力可略去不計。小球上升時，速率以 10 m s^{-2} 減少 (圖 2.3b)；到達最高點時，小球瞬時靜止；下墜時，速率以 10 m s^{-2} 增加 (小球的速度變為負數)。

$a/\text{m s}^{-2}$	$v/\text{m s}^{-1}$	s/m	t/s		t/s	s/m	$v/\text{m s}^{-1}$	$a/\text{m s}^{-2}$
-10	0	45	3	●	3	45	0	-10
-10	10	40	2	●	4	40	-10	-10
-10	20	25	1	●	5	25	-20	-10
-10	30	0	0	●	6	0	-30	-10

圖 2.3b 小球的運動 (以 30 m s^{-1} 向上射出。取 $g = 10\text{ m s}^{-2}$)

圖 2.3b 小球的運動 (以 30 m s^{-1} 向上射出。取 $g = 10\text{ m s}^{-2}$)

本圖與圖 2.1o (見 p.51) 有何異同？

圖 2.3c 顯示小球的運動線圖。

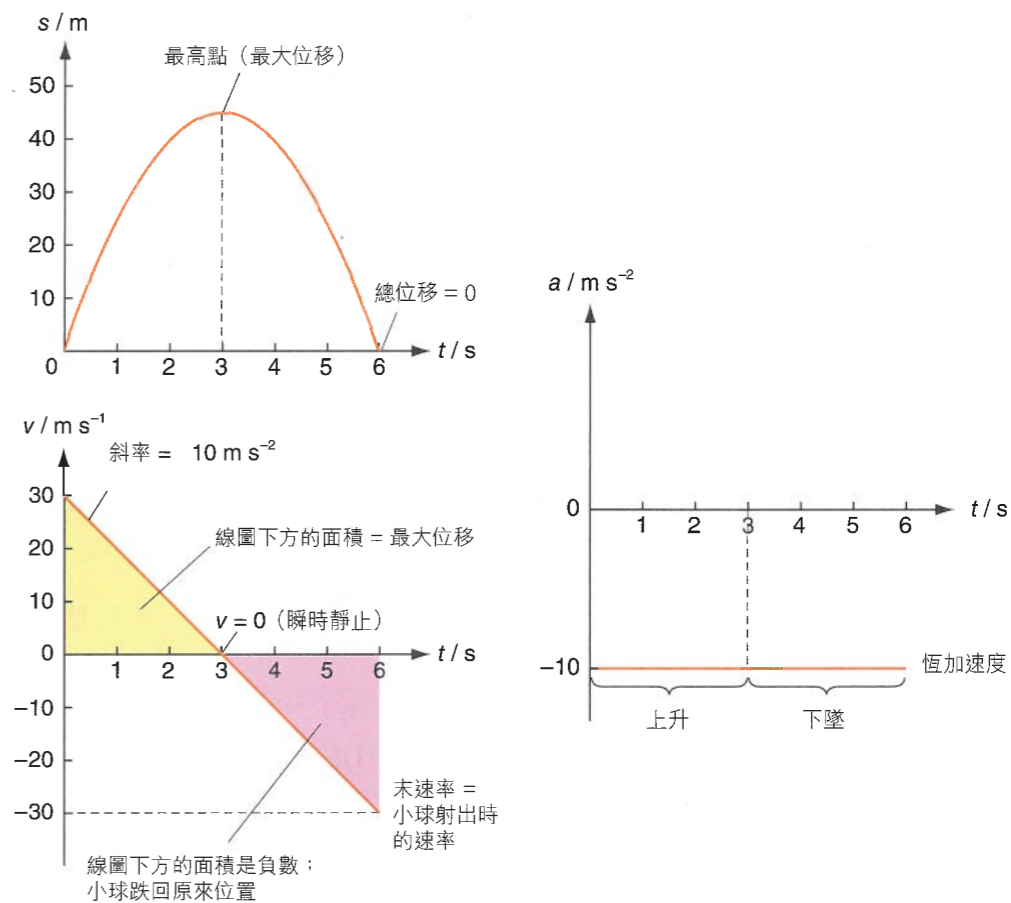


圖 2.3c 小球的運動線圖 (以 30 m s^{-1} 向上射出。取 $g = 10\text{ m s}^{-2}$)

強調小球自由下落時，即使速度的大小及方向都在改變，加速度卻恆定不變 (向下 10 m s^{-2})。

$v-t$ 線圖下的面積

$$= \frac{3 \times 30}{2} + \frac{(6-3)(-30)}{2}$$

$$= 0$$

∴ 總移位 = 0

線圖下方的面積 = 最大位移

線圖下方的面積是負數；小球跌回原來位置

末速率 = 小球射出時的速率

例題 13 排球發球

在 $t = 0$ ，球員把排球從 1.70 m 高的位置以 7 m s^{-1} 垂直向上拋，並在球跌回 2.80 m 的高度時把它擊出。空氣阻力可略去不計，取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ 。



- (a) 排球到達的最高點離地多高？
- (b) 球員把排球拋出後，有多少時間準備擊球？
- (c) 如果球員沒有把球擊出，球跌到地面時的速度是多少？

圖 a

題解

取向上為正。

- (a) 考慮球上升時的運動 (圖 b)。

根據 $v^2 = u^2 + 2as$ ，

$$s = \frac{v^2 - u^2}{2a} = \frac{0^2 - 7^2}{2 \times (-9.81)} = 2.50 \text{ m}$$

最高點離地的高度
 $= 2.50 + 1.70$
 $= 4.20 \text{ m}$

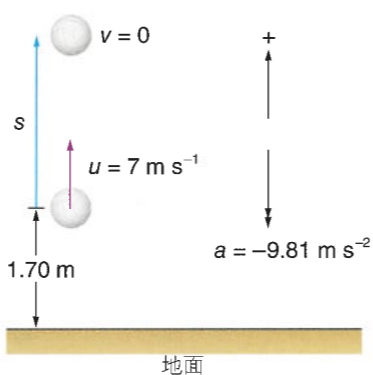


圖 b

- (b) 考慮整個運動過程 (圖 c)。

根據 $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ ，

$$2.80 - 1.70 = 7t + \frac{1}{2}(-9.81)t^2$$

$$4.905t^2 - 7t + 1.1 = 0$$

用二次方程求根公式來解以上方程，

$t = 1.25 \text{ s}$ 或 0.180 s (捨去)
 球員有 1.25 s 準備。

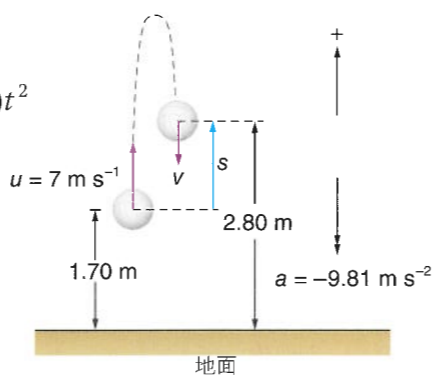


圖 c

- (c) 根據 $v^2 = u^2 + 2as$ ，
 $v^2 = 7^2 + 2(-9.81)(-1.70)$
 $v = -9.07 \text{ m s}^{-1}$ 或 9.07 m s^{-1} (捨去)
 球的速度是 9.07 m s^{-1} (向下)。

▶ 進度評估 8 Q1, 2 (p.77)

這是排球上升至離地 2.80 m 的時間。

為甚麼要捨去 $t = 0.180 \text{ s}$ ？

技巧分析

二次方程求根公式

要解二次方程 $ax^2 + bx + c = 0$ ，可用二次方程求根公式：

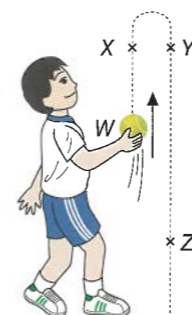
$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

進度評估 8

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.70)。

(第 1 至 2 題) 學生把小球從 W 點垂直向上拋起 (圖 a)，球以 2 m s^{-1} 的初速率上升。Z 點位於 W 點下方 0.3 m。



- X: $s +, v +, a -$
- Y: $s +, v -, a -$
- Z: $s -, v -, a -$

- 31 取向上為正，位移從 W 點開始量度。找出小球在 X、Y、Z 三點時，位移 s 、速度 v 及加速度 a 的正負值。

- 32 小球在 Z 點的速率是多少？

- A 1.89 m s^{-1}
- B 2.60 m s^{-1}
- C 3.14 m s^{-1}**
- D 9.89 m s^{-1}

33 嘉倫舉起手臂時，雙手離地 2.3 m。籃球框離地 3.05 m。若嘉倫以 4.3 m s^{-1} 起跳，他能夠入樽嗎 (圖 b)？能夠

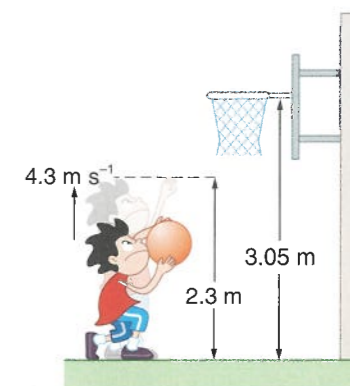


圖 b

- 24 在時間 $t = 0$ ，石子由高處從靜止下墜。找出石子在 $t = 1 \text{ s}$ 、 2 s 和 3 s 的速率及下墜的距離。

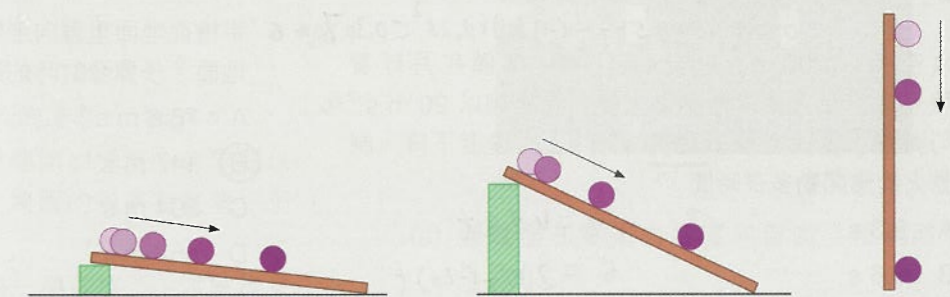
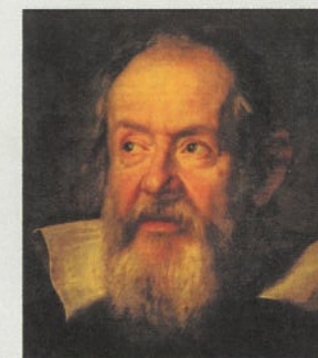
- 在 $t = 1 \text{ s}$: 9.81 m s^{-1} 、 4.91 m
- 在 $t = 2 \text{ s}$: 19.6 m s^{-1} 、 19.6 m
- 在 $t = 3 \text{ s}$: 29.4 m s^{-1} 、 44.1 m

歷史點滴 伽利略 (1564–1642)

伽利略是第一個人用實驗的方法去研究物體運動的科學家。據說他曾在意大利的比薩斜塔上做實驗，比較不同重量的物體下墜的情況。

自由落體移動得很快，當時沒有計時工具可以準確量度，伽利略於是利用斜面「把運動減慢」。他用水鐘計時，發現不同重量的球體滾下斜面時加速度相同，而且球體移動的距離與時間的平方成正比。

他以不同的傾斜角度重複實驗，都得到相同的結果。他推論，自由落體只不過沿傾斜角度為 90° 的斜面移動，應與其他情況無異。這推翻了物體愈重下墜得愈快的固有成見。



習題與思考 2.3

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.70)。

取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ 。無須考慮空氣阻力。

21 敏淇放手讓石頭掉進井裏，並量度石頭下墜的時間，從而找出井的深度。她應該運用下列哪一條方程？

- A $s = \frac{1}{2}(u + v)t$
- B $v = u + at$
- C $v^2 = u^2 + 2as$
- D** $s = ut + \frac{1}{2}at^2$

32 慧蘭從學校二樓以 10 m s^{-1} 擲出棒球，她應該向上擲還是向下擲，棒球到達地面時的速率才會較高？

- A 向上
- B 向下
- C** 無論向上或向下擲出棒球，棒球到達地面時的速率都相同。
- D 由於不知道二樓的高度，所以無法判斷。

3 * 3 小狗躍起，0.5 s 後回到地面 (圖 a)。牠到達的最大高度是多少？



圖 a

$v = u + at$
 $0 = u - 9.81 \times 0.25$
 $u = 2.45 \text{ m s}^{-1}$

- A** 0.307 m
- B 0.5 m
- C 1.23 m
- D 2.45 m

2 * 4 太空船以 200 m s^{-1} 的速率下降，準備在月球著陸。太空船只要開動制動火箭，便能夠以 20 m s^{-2} 勻減速。要太空船以低於 5 m s^{-1} 的速度下降，制動火箭應開動多長時間？

- A 9.3 s
- B 9.6 s
- C** 9.9 s
- D 10.2 s

3 * 5 梅利準備發球。他把網球垂直向上拋起 (圖 b)，但由於觀眾發出噪音，梅利決定不擊球，讓球掉到地上。

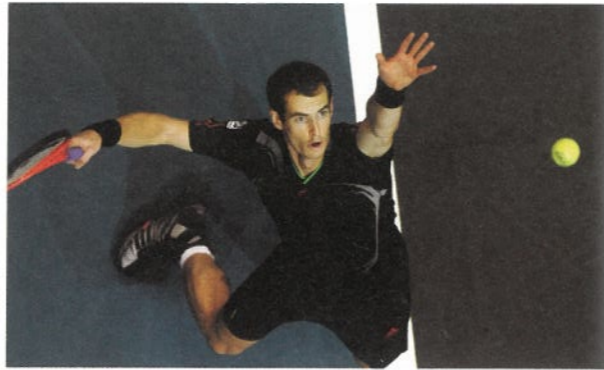
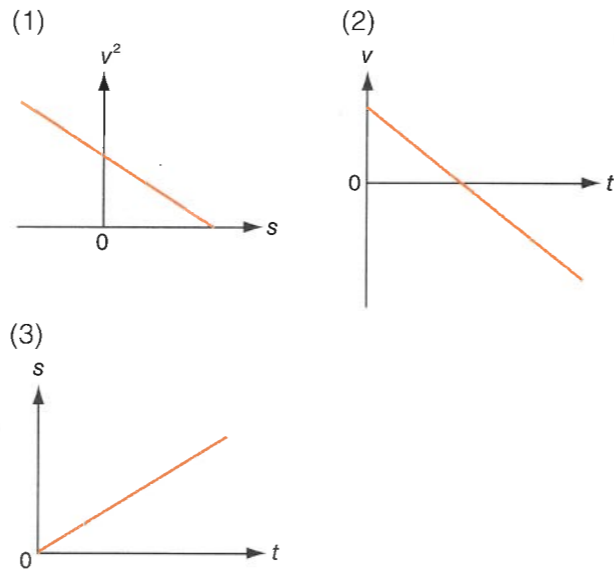


圖 b

下列哪幅圖正確描述球的運動？



- A 只有 (1)
- B** 只有 (1) 和 (2)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

手槍從地面垂直向上射出子彈，子彈在 30 s 後掉回地面。子彈發射時的速率是多少？

- A 73.6 m s^{-1}
- B** 147 m s^{-1}
- C 294 m s^{-1}
- D 552 m s^{-1}

37 小球從地面以 8 m s^{-1} 垂直向上拋出，天花板離地 3 m 。小球在甚麼時候撞上天板？

38 座頭鯨跳出水面 (圖 c)，到達的最高點與水面相距 3 m 。假設空氣和水的阻力可略去不計。



圖 c

- (a) 座頭鯨離開水面時的速度是多少？ 7.67 m s^{-1} (向上)
- (b) 座頭鯨從水面上升至最高點需要多長時間？ 0.782 s

3 * 9 煙花在最高點爆發會最燦爛。在一次煙花匯演中，兩枚煙花 X 和 Y 會在不同高度同時爆發 (圖 d)。

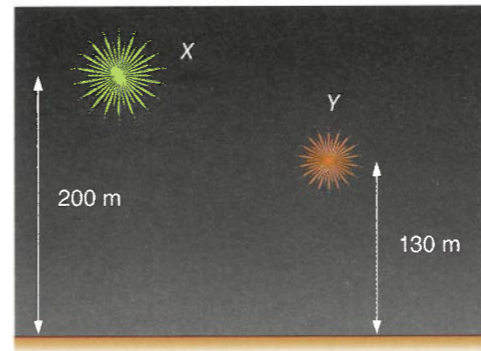


圖 d

- (a) 煙花 X 發射時的速率是多少？ 62.6 m s^{-1}
- (b) 煙花 X 需要多長時間才到達圖中所示的高度？ 6.39 s
- (c) 根據 (a) 部和 (b) 部的結果，制訂一個使煙花 X 和 Y 同時爆發的安排。

3 * 10 展明在跳彈牀。他在 $t = 0$ 跳起，經過 A 點時的速率是 4 m s^{-1} ，最後在 $t = 1.2 \text{ s}$ 回到彈牀。

- (a) 展明到達的最高點距離彈牀的高度是多少？ 1.77 m
- (b) A 點距離彈牀的高度是多少？ 0.950 m

2 * 11 蘋果在離地 4 m 的位置從樹上掉下。

- (a) 蘋果下墜至地面需時多久？ 0.903 s
- (b) 求蘋果到達地面前一刻的速率。 8.86 m s^{-1}
- (c) 草繪蘋果在半空下墜期間的速度—時間關係線圖 (取向下為正)。線圖的斜率有甚麼物理意義？
- (d) 一個較重的蘋果從同一高度掉下。試解釋它到達地面前一刻的速率是否與 (b) 部的答案相同。是

書豪跳射時 (圖 e)，在半空中逗留了 0.8 s 。假設射球動作不會影響書豪在空中的運動。



圖 e

- (a) 他離開地面的最大位移是多少？ 0.785 m
- (b) 他回到地面時的速率是多少？ 3.92 m s^{-1}
- (c) 草繪書豪在跳射過程中的 $v-t$ 線圖。

2 * 13 美國太空總署的零重力研究中心設在美國俄亥俄州地底 (圖 f)。研究中心有一個鋼鐵製造的真空室，內有一座垂直塔，運載器能在其中自由下落 132 m 後才以減速裝置刹停。



圖 f

- (a) 運載器在零重力裝置內自由下落的時間有多長？ 5.19 s
- (b) 估算運載器的最高速率。 50.9 m s^{-1}
- (c) 草繪運載器在自由下落過程中的 $v-t$ 線圖。

總結 2

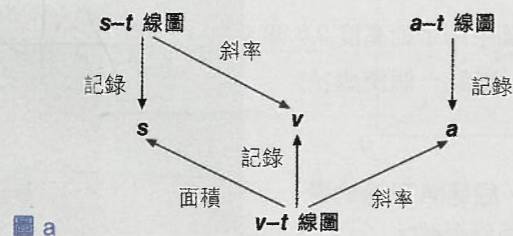
詞彙

1 位移—時間關係線圖 displacement–time graph	p.40	4 運動方程 equations of motion	p.61
2 速度—時間關係線圖 velocity–time graph	p.45	5 重力 gravity	p.70
3 加速度—時間關係線圖 acceleration–time graph	p.50	6 空氣阻力 air resistance	p.71
		7 自由下落 free fall	p.72
		8 重力加速度 acceleration due to gravity	p.72

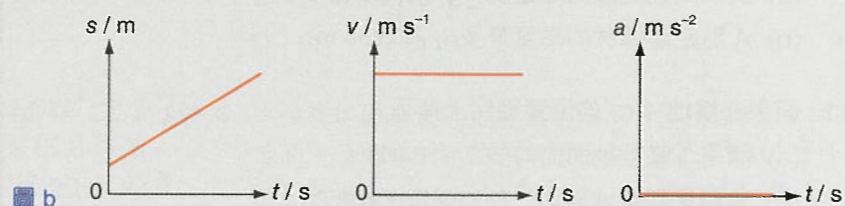
課文摘要

2.1 直線運動的線圖

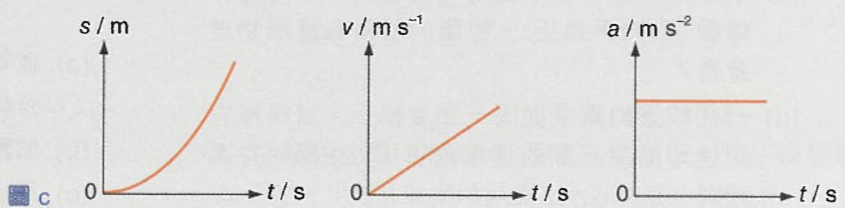
- 1 位移—時間關係線圖 (或 $s-t$ 線圖) 記錄物體於不同時刻的位移。
 - 斜率 = 物體的速度
- 2 速度—時間關係線圖 (或 $v-t$ 線圖) 記錄物體於不同時刻的速度。
 - 斜率 = 物體的加速度
 - 線圖下方的面積 = 物體的位移
- 3 加速度—時間關係線圖 (或 $a-t$ 線圖) 記錄物體於不同時刻的加速度。
- 4 不同運動線圖的關係 (圖 a) :



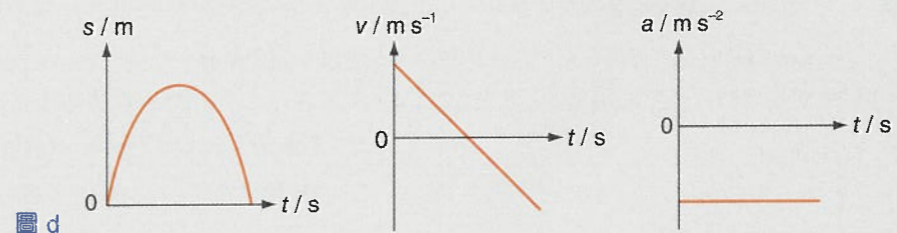
- 5 如果物體以勻速運動，它的運動線圖如圖 b 所示：



- 6 如果物體從靜止勻加速，它的運動線圖如圖 c 所示：



- 7 如果物體勻加速，且過程中運動方向有改變，它的運動線圖如圖 d 所示：



- 8 我們可以利用數據記錄系統或錄像運動分析軟件研究物體的運動。

2.2 勻加速運動的方程

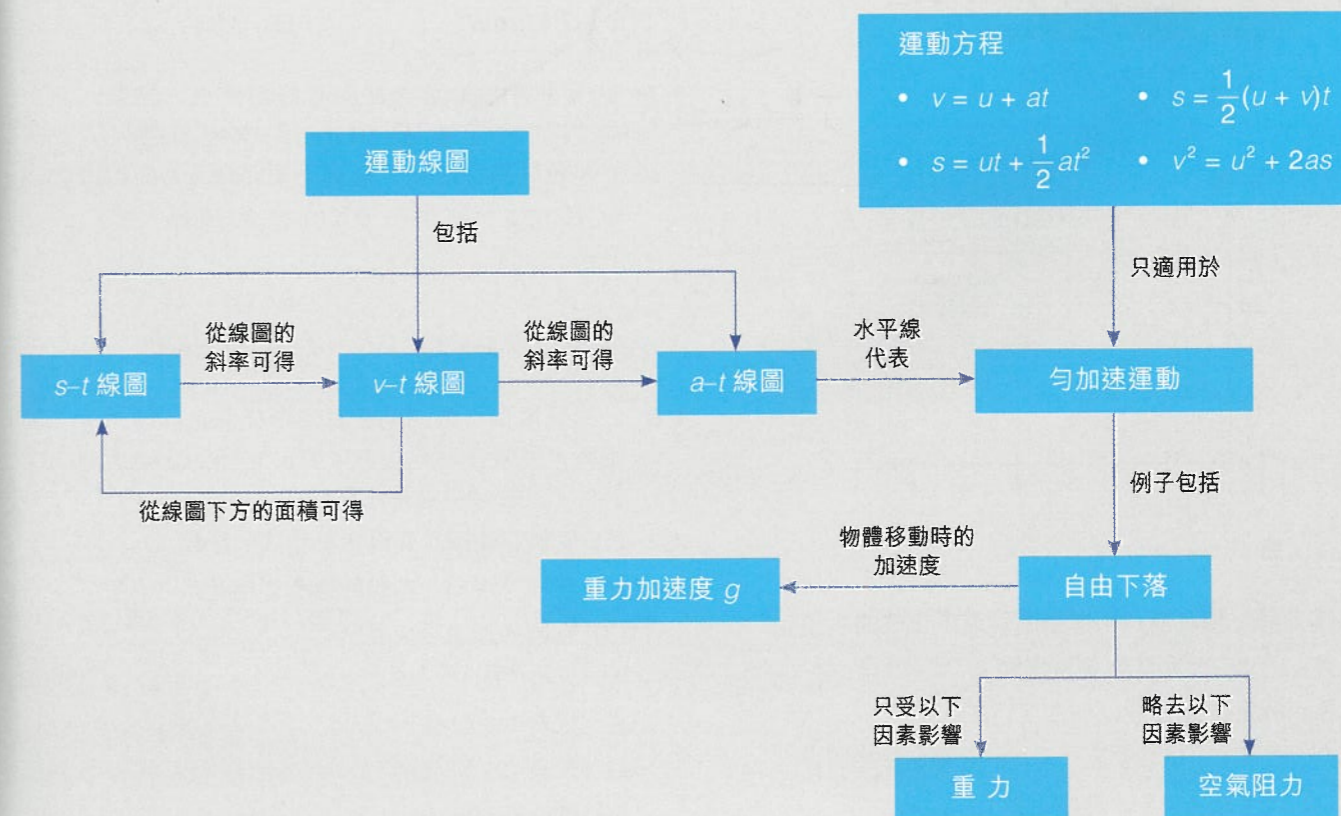
- 9 運動方程可用來解答有關勻加速運動的問題。

- $v = u + at$
- $s = \frac{1}{2}(u + v)t$
- $s = ut + \frac{1}{2}at^2$
- $v^2 = u^2 + 2as$

2.3 自由落體的運動

- 10 假如沒有空氣阻力，任何物體都以勻加速度 g 下墜。這個加速度稱為重力加速度。
- 11 在接近地球表面的位置，重力加速度是 9.81 m s^{-2} (向下)。

概念圖



複習 2

Q1 在第一秒內下跌的距離 = $s_1 = ut + \frac{1}{2}at^2 = 0 + \frac{1}{2}g(1)^2 = \frac{g}{2}$

在第二秒內下跌的距離 = $0 + \frac{1}{2}g(2)^2 - \frac{g}{2} = \frac{3g}{2} = 3s_1$

Q2 物體受重力作用在空中自由運動時，加速度一直都是 g 。

取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ 。除特別指明外，空氣阻力可略去不計。

概念重溫

(第 1 至 2 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

☆ 香港中學會考 1997 年卷二 Q6

2.3.1 物體在重力作用下從靜止下墜，它在第 2 秒鐘內所移動的距離是第 1 秒鐘的 2 倍。F

☆ 香港中學會考 2001 年卷二 Q3

2.3.2 當物體向上發射，它在最高點時加速度是零。F

多項選擇題

(第 3 至 4 題) 一輛汽車在直路上行駛(圖 a)。以下 $s-t$ 線圖顯示汽車相對於交通燈的位移 s 隨時間 t 的變化(圖 b)。



圖 a

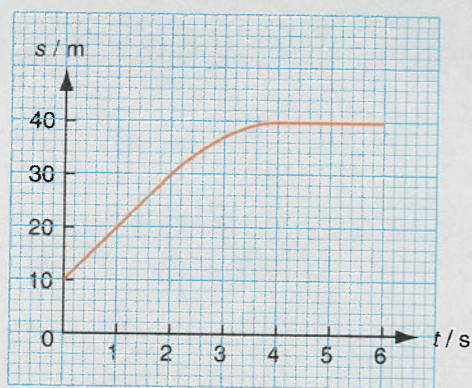


圖 b

2.1.3 下列哪一項有關汽車運動的敘述是正確的？

- A 汽車在 $t = 0$ 經過交通燈。
- B 汽車在首 3 秒以勻速度行駛。
- C 汽車在 $t = 3 \text{ s}$ 至 $t = 4 \text{ s}$ 之間愈駛愈快。
- D 汽車在 $t = 5 \text{ s}$ 靜止不動。

2.1.4 汽車在 $t = 1 \text{ s}$ 的速度是多少？

- A 6 m s^{-1}
- B 10 m s^{-1}
- C 15 m s^{-1}
- D 20 m s^{-1}

2.2.5 一輛汽車在直路上從 v_1 加速至 v_2 ，行駛距離為 d (圖 c)。過程中，汽車的加速度並不恆定。

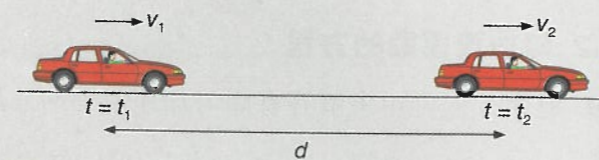


圖 c

汽車的平均速度是多少？

- A $\frac{v_1 + v_2}{2}$
- B $\frac{v_1 + v_2}{t_1 + t_2}$
- C $\frac{d}{2}$
- D $\frac{d}{t_2 - t_1}$

2.2.6 一名運動員在筆直的跑道上以 10 m s^{-1} 奔跑時，突然有人在運動員前方 25 m 的位置進入跑道。如果運動員要在那人面前停下，他的最低減速度是多少？假設運動員的反應時間是 0.2 s。

- A 0.22 m s^{-2}
- B 2 m s^{-2}
- C 2.17 m s^{-2}
- D 3.33 m s^{-2}

2.2.7 單車手 X 和 Y 沿直路向着終點前進。在某一刻，他們的速率都是 10 m s^{-1} 。X 離終點 150 m，Y 則離終點 250 m。在剩下的路段，X 的速率維持在 10 m s^{-1} ，Y 則以 0.5 m s^{-2} 勻加速。誰先衝過終點？

- A X
- B Y
- C 他們同時衝線
- D 無法確定

2.2.8 一枚硬幣與一根羽毛在真空中從靜止同時掉下。開始時，硬幣在羽毛上方。對於它們到達地面前的情況，下列哪項敘述是正確的？

- (1) 它們在相同時間內移動相同的距離。
- (2) 在任何時刻，它們的速度都相等。
- (3) 它們的加速度相等。

- A 只有 (3)
- B 只有 (1) 和 (2)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

2.1.9 物體沿直線運動。圖 d 顯示它的 $a-t$ 線圖。

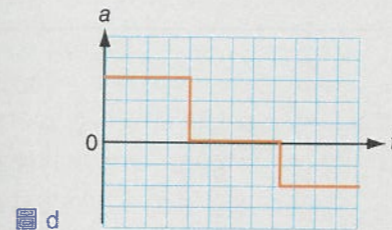
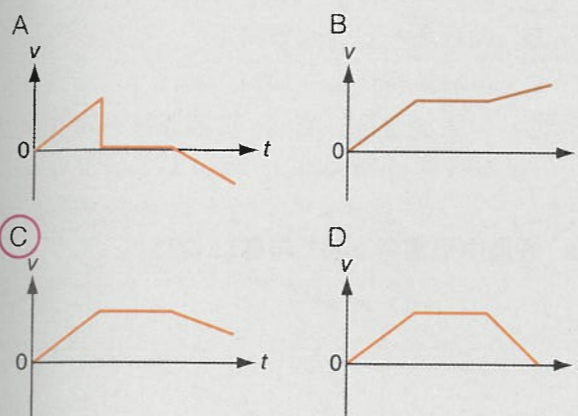


圖 d

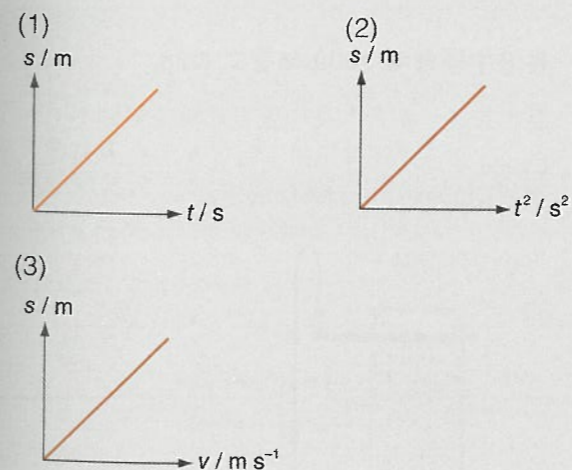
下列哪一幅是該物體的 $v-t$ 線圖？



2.3.10 一塊石頭從地面以速率 v 垂直向上發射，在空中逗留的時間為 t 。若石頭以速度 $2v$ 發射，在空中逗留的時間會是多少？

- A t
- B \sqrt{t}
- C $2t$
- D $4t$

2.2.11 物體從靜止自由下落。下列哪幅圖正確描述物體的運動？(位移從釋放物體的位置起計。)



- A 只有 (1)
- B 只有 (2)
- C 只有 (1) 和 (3)
- D 只有 (2) 和 (3)

2.1.12 圖 e 顯示物體的 $v-t$ 線圖。

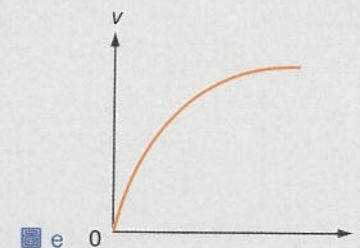


圖 e

下列哪項有關物體運動的敘述是正確的？

- (1) 物體的運動愈來愈慢。
- (2) 物體的加速度不斷減少。
- (3) 物體的位移不斷增加。

- A 只有 (3)
- B 只有 (1) 和 (2)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

2.3.13 圖 f 顯示物體的 $v-t$ 線圖。線圖上哪一點表示物體與開始位置距離最遠？

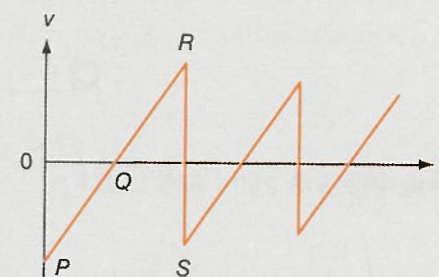


圖 f

- A P
- B Q
- C R
- D S

2.2.14 物體 X、Y 和 Z 向相同方向移動。在 $t = 0$ ，它們的位移是零。圖 g 顯示三個物體的 $s-v^2$ 線圖。

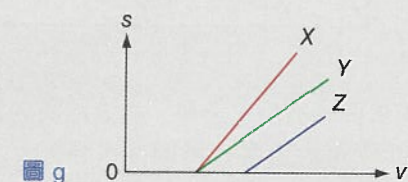


圖 g

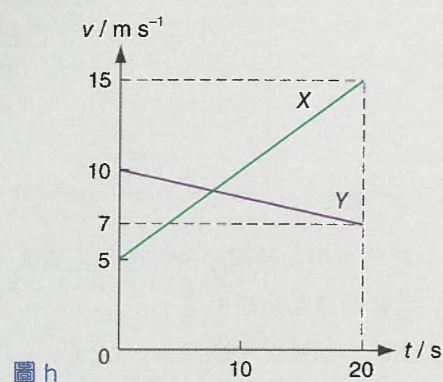
下列哪項敘述是正確的？

- (1) 在相同時段內，Z 的位移大於 Y。
- (2) X 的加速度高於 Y。
- (3) 在 $t = 0$ ，X 的速度與 Y 相等。

- A 只有 (2)
- B 只有 (1) 和 (3)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

參看 p.65

★★ 15 圖 h 顯示汽車 X 和 Y 的 $v-t$ 線圖。兩車在 $t=0$ 相遇。

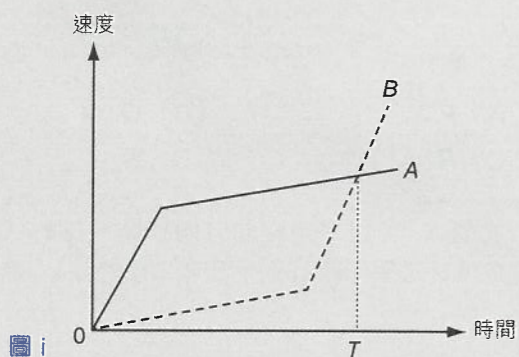


下列哪項敘述是正確的？

- (1) X 和 Y 向相反方向行駛。
 - (2) X 和 Y 以恆加速度行駛。
 - (3) X 和 Y 在 $t = 10$ s 前會再次相遇。
- A 只有 (1)
B 只有 (2)
 C 只有 (1) 和 (2)
 D 只有 (2) 和 (3)

參看例題 6 (p.49)

2.1 16 香港中學會考 2006 年卷二 Q1

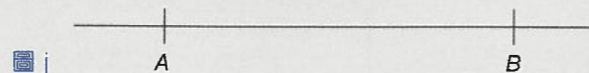


A、B 兩車同時從靜止出發，並沿相同直路前進。上圖顯示兩車的速度—時間關係線圖。以下有關兩車運動的敘述中，哪些必定正確？

- (1) 在 0 至 T 時段內，A、B 的平均速度相同。
 - (2) 在 0 至 T 時段內，A、B 的平均加速度相同。
 - (3) 在 0 至 T 時段內，A、B 的位移相同。
- A 只有 (1)
B 只有 (2) (45%)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D 只有 (2) 和 (3)

□ Q17 考試報告：本題中，考生未能利用速率—時間關係線圖題。簡單草繪速率—時間關係線圖可輔助考生判斷 v_1 與 v_2 的關係而不須牽涉任何計算。

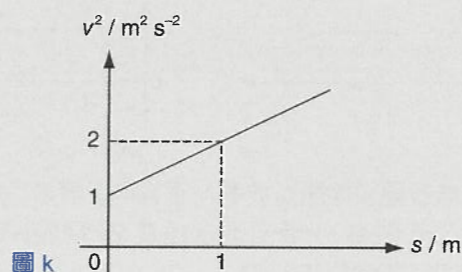
17 香港中學會考 2006 年卷二 Q28



一輛汽車以勻加速度從 A 沿一直路行駛至 B。該車從 A 出發後，於經過一半旅程時間時的瞬時速率為 v_1 ，而於由 A 至 B 的一半路程時的瞬時速率為 v_2 。以下敘述中，哪一項是正確的？

- A v_1 總是小於 v_2 。(36%)**
- B v_1 總是大大於 v_2 。(15%)
- C v_1 總是等於 v_2 。(19%)
- D v_1 大於還是小於 v_2 ，要視乎該輛車在 A 處的初速度。(29%)

2.2 18 香港中學會考 2007 年卷二 Q33



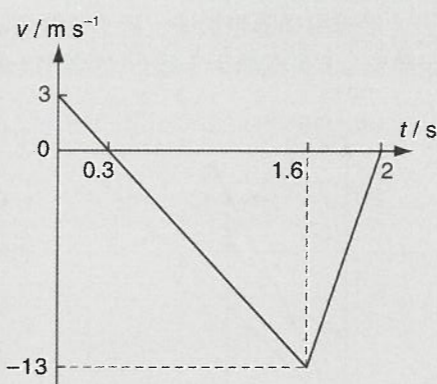
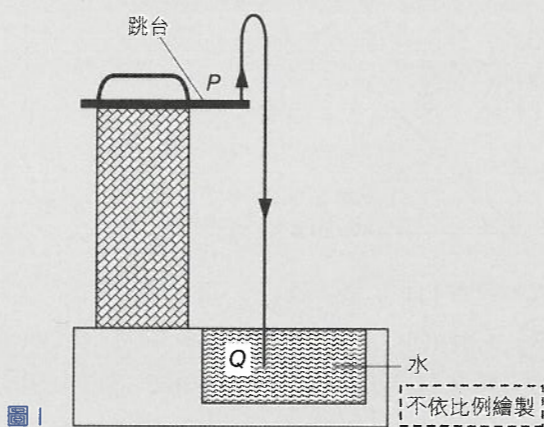
以上線圖顯示一個沿直線運動質點的速度平方 v^2 隨位移 s 的變化情況。該質點的加速度是多少？

- A 0.5 m s^{-2} (34%)**
- B 1 m s^{-2} (33%)
- C 1.5 m s^{-2} (19%)
- D 2 m s^{-2} (14%)

□ Q18 考試報告：本題中，一些考生錯將 y 軸認為 v ，而不是正確的 v^2 。

2.3 19 香港中學會考 2009 年卷二 Q28

跳水員從一跳台向空中豎直起跳並落到水中。下面的 $v-t$ 關係線圖顯示跳水員從起跳點 P 至落入水中最低點 Q 的速度對時間的變化。



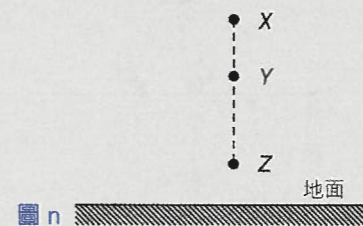
以下哪一項是正確的？

	由 P 移動至 Q 的總距離 (m)	跳台離水面的高度 (m)
A	8.9	8
B	10.6	10
C	11.5	8 (51%)
D	11.5	10.6

2.3 20 香港中學會考 2013 年卷一甲部 Q8

如圖所示，一顆粒子在點 X 從靜止釋放，需時 t_1 從 X 下墜至 Y，而從 Y 下墜至 Z 則需時 t_2 。如果 XY:YZ = 9:16，求 $t_1:t_2$ 。空氣阻力可略去不計。

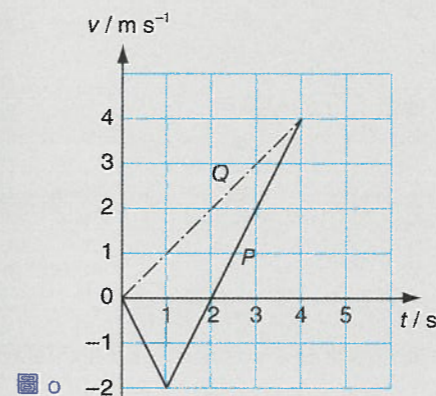
- A 2:3 (10%)
- B 3:4 (37%)
- C 4:3 (12%)
- D 3:2 (41%)**



□ Q20 考試報告：考生似未能純熟運用公式 $s = \frac{1}{2}gt^2$ 。

2.1 21 香港中學會考 2013 年卷一甲部 Q11

兩顆粒子 P 和 Q 於同一位置出發並沿一直線運動。圖示為 P 和 Q 的速度—時間 ($v-t$) 線圖。以下哪些有關它們運動的描述是正確的？



- (1) 在 $t = 1$ s，P 在改變它運動的方向。
- (2) 在 $t = 2$ s，P 和 Q 的間距為 4 m。
- (3) 在 $t = 4$ s，P 和 Q 相遇。

- A 只有 (1)
B 只有 (2) (48%)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D 只有 (2) 和 (3)

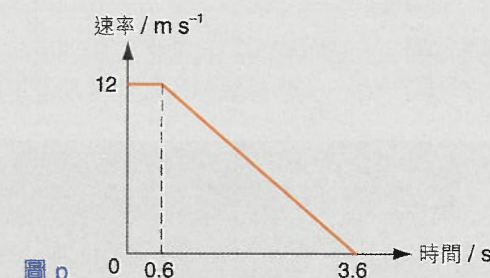
22 香港中學會考 2014 年卷一甲部 Q5

一粒子沿直線以勻加速度一直運動，用了 4 s 移動 36 m 的距離，接着用了 2 s 再移動 36 m。粒子的加速度是多少？

- A 2.5 m s^{-2}
- B 3.0 m s^{-2} (37%)**
- C 4.0 m s^{-2}
- D 4.5 m s^{-2}

問答題

2.1 23 汽車沿直路以 12 m s^{-1} 行駛。在 $t = 0$ ，司機看見前方 27 m 的交通燈從綠色轉為黃色，便立即剎車。圖 p 顯示汽車的速率—時間關係線圖。



- (a) 求司機的反應時間。0.6 s (1 分)
- (b) 剎車時，汽車的加速度是多少？ 4 m s^{-2} (2 分)
(與移動方向相反)
- (c) 汽車能夠在交通燈前停下嗎？能夠 (3 分)
- (d) 草繪汽車在 $t = 0$ 至 $t = 3.6$ s 之間的 $s-t$ 線圖。(2 分)
- (e) 草繪汽車在 $t = 0$ 至 $t = 3.6$ s 之間的 $a-t$ 線圖。(2 分)

2.1 24 汽車沿直路勻加速，在 3 s 內從 6 m s^{-1} 加速至 12 m s^{-1} 。

- (a) 草繪汽車的速度—時間關係線圖。(2 分)
- (b) 求汽車行駛的總距離。27 m (2 分)
- (c) 求汽車的平均速率。 9 m s^{-1} (2 分)

- ★ 25 跑車在交通燈前停下，小巴則以 7 m s^{-1} 駛向交通燈 (圖 q)。

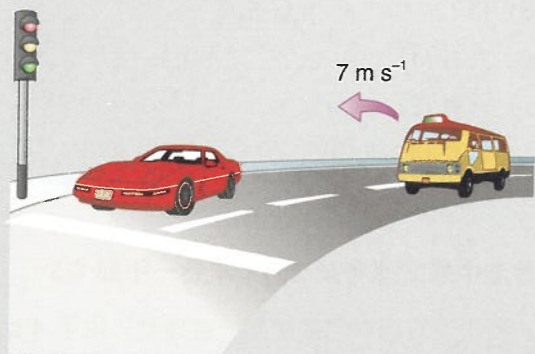


圖 q

交通燈在小巴未到達前便轉為綠色。小巴經過交通燈時，開始從 7 m s^{-1} 的速度以 2 m s^{-2} 加快行駛。同一時間，跑車從靜止以 5 m s^{-2} 加速。

- (a) 取小巴經過交通燈的一刻為時間 $t = 0$ 。繪畫跑車和小巴在 $t = 0$ 至 $t = 3 \text{ s}$ 之間的速度—時間關係線圖。 (4分)
- (b) 跑車和小巴的速度在甚麼時候會相等? ($t = 2.33 \text{ s}$) (1分)
- (c) 在 $t = 3 \text{ s}$ ，哪輛車會領先? 列出你的計算步驟。 (小巴) (4分)
- ★ 26 獵豹 (圖 r) 沿直線從靜止加速至 96 km h^{-1} ，過程中奔跑了 40 m 。假設獵豹的加速度是恆定的。



圖 r

- (a) 求獵豹的加速度。 (8.89 m s^{-2}) (2分)
- (b) 一輛跑車能夠在 3.7 s 內沿直線從靜止加速至 100 km h^{-1} 。假設跑車的加速度是恆定的。
- (i) 求跑車的加速度。 (7.51 m s^{-2}) (2分)
- (ii) 如果獵豹與跑車比賽，誰會在首 40 m 領先? 領先多遠? (獵豹, $6.22 \text{ m} / 0.264 \text{ s}$) (4分)
- (iii) 跑車的最高速率比獵豹高得多。試簡單解釋。 (1分)

- ★ 27 粒子 X 沿直線從靜止加速。過了時間 t 後，它移動的距離為 s 。下圖顯示 s 隨 t^2 的變化 (圖 s)。

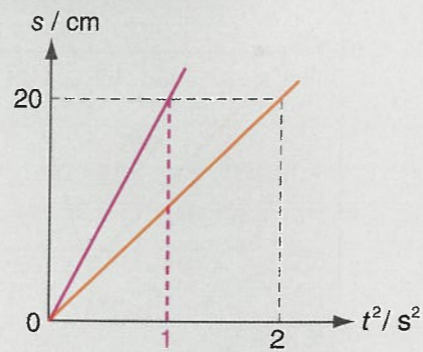


圖 s

- (a) 粒子 X 的加速度是多少? (0.2 m s^{-2}) (3分)
- (b) 粒子 Y 沿同一路線從靜止加速，但加速度是粒子 X 的 2 倍。在圖 s 草繪粒子 Y 的 $s-t^2$ 線圖。 (2分)

- ★ 28 在 $t = 0$ ，施雅與家駿相距 20 m 。施雅走向家駿 (圖 t)，家駿則靜止不動。施雅相對於家駿的位移為 s 。圖 u 顯示 s 隨 t 的變化。

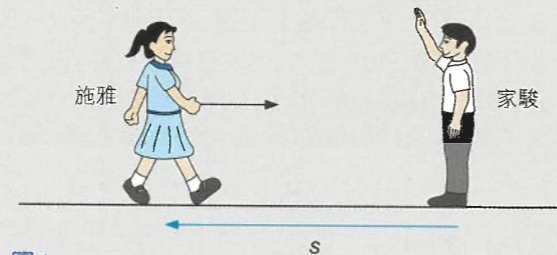


圖 t

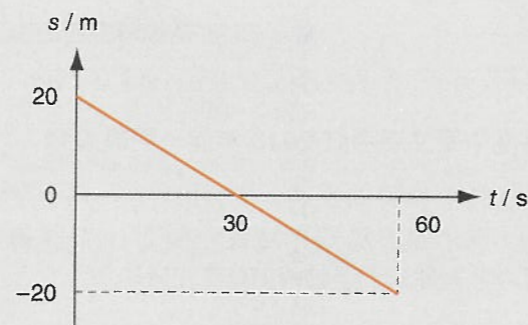


圖 u

- (a) 繪畫圖 u 的線圖時，取了哪一個方向為正? (向左) (1分)
- (b) 求施雅在 $t = 0$ 至 $t = 60 \text{ s}$ 之間的總位移。 (-40 m) (2分)
- (c) 施雅在 $t = 30 \text{ s}$ 的速度是多少? (-0.667 m s^{-1}) (2分)
- (d) 描述施雅在 $t = 0$ 至 $t = 60 \text{ s}$ 之間的運動。 (2分)

- ★ 29 小車沿跑道移動。一個運動感應器記錄了小車的運動，並經電腦製作出 $s-t$ 線圖 (圖 v)。

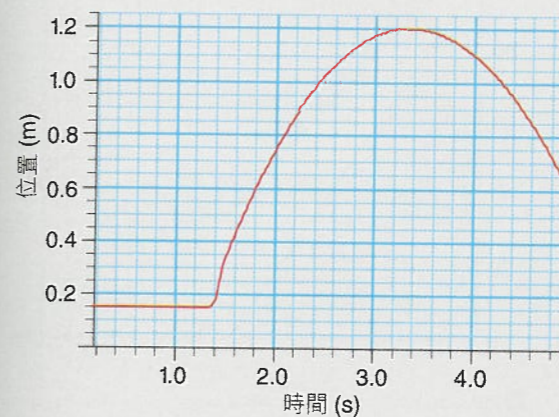


圖 v

- (a) 描述小車在 $t = 2 \text{ s}$ 至 $t = 4.5 \text{ s}$ 之間的運動。 (3分)
- (b) 假設小車在 $t = 2 \text{ s}$ 至 $t = 4.5 \text{ s}$ 之間的加速度不變。估算小車在這期間的加速度。 (0.469 m s^{-2} (沿跑道向下)) (2分)

- ★ 30 一輛汽車在直路上行駛。它以 15 m s^{-2} 勻減速 3 s 後，速度變為 10 m s^{-1} 。然後，它以 10 m s^{-1} 行駛 20 s ，再勻減速 5 s 後停下。

- (a) 汽車的初速度是多少? (14.5 m s^{-1}) (2分)
- (b) 草繪汽車在整個旅程的 $v-t$ 線圖。 (3分)
- (c) 汽車在整個旅程的總位移是多少? (262 m) (2分)
- (d) 在整個旅程中，汽車的平均加速度是多少? (0.518 m s^{-2} (與移動方向相反)) (2分)

- ★ 31 張先生以 1.6 m s^{-1} 走向巴士站。當他走到距離巴士站 30 m 的位置，看到一輛巴士快將到站，巴士與巴士站的距離為 50 m (圖 w)。從這一刻開始，巴士由 10 m s^{-1} 勻減速直至在巴士站停下，而張先生則以 1.2 m s^{-2} 加快行走了 2 s ，然後以加速後的速率跑到巴士站。

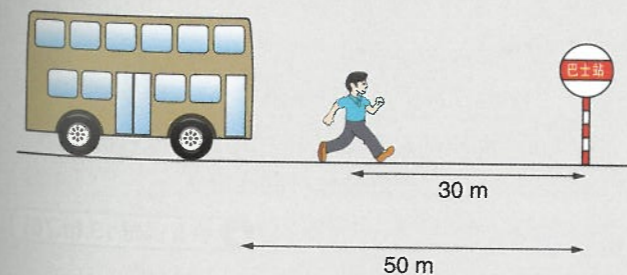


圖 w

- (a) 求巴士到達巴士站所需的時間。 (10 s) (2分)
- (b) 求張先生到達巴士站所需的時間。 (81 s) (2分)
- (c) 在同一幅圖上，草繪張先生與巴士的位移—時間關係線圖。 (4分)

- ★ 32 綜合題

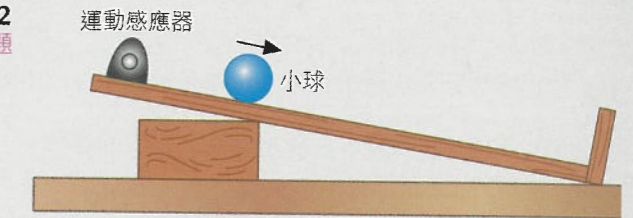


圖 x

學生把連接數據記錄器的運動感應器安裝在傾斜跑道較高的一端。接着，他把一個小球放在感應器前方，然後放手 (圖 x)。小球反彈數次後停下。圖 y 顯示小球的 $s-t$ 線圖和 $v-t$ 線圖。

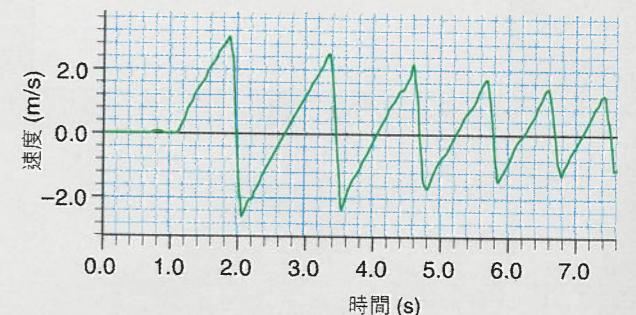
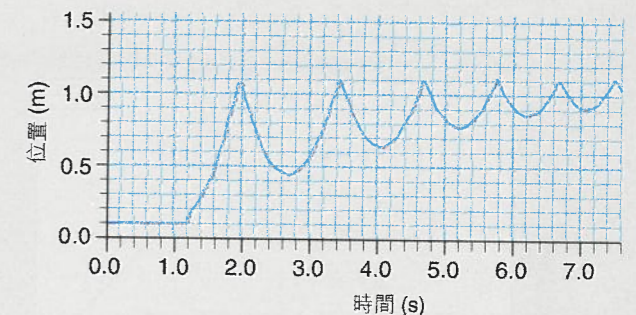


圖 y

- (a) 估計小球與感應器最初的距離。 (0.1 m) (1分)
- (b) 小球在第 3 次反彈後，與感應器之間的最短距離大約是多少? (0.8 m) (1分)
- (c) 小球第 3 次撞擊跑道的末端時，速率大約是多少? (2.2 m s^{-1}) (1分)
- (d) 估算小球在 $t = 4.0 \text{ s}$ 的加速度。 (4.18 m s^{-2} (沿跑道向下)) (3分)

2 運動 II

★ 33 綜合題 詠芝站在泳池的彈板上。她跳到半空，到達最高點後下墜進入水中。

- (a) 詠芝起跳後，用了 0.4 s 到達最高點。她離開彈板時的速率是多少？ **3.92 m s⁻¹** (2 分)
- (b) 彈板與水面的距離為 3 m。詠芝在空中逗留了多長時間？ **1.28 s** (2 分)
- (c) 求詠芝入水時的速率。 **8.62 m s⁻¹** (1 分)
- (d) 草繪 $v-t$ 線圖，以顯示詠芝在空中的運動。(取向上為正。) (3 分)
- (e) 另一跳水運動員的體重是詠芝的 2 倍，她以較高速率起跳。在 (d) 部的線圖中，草繪出這名運動員的 $v-t$ 線圖。 (2 分)

★ 34 2.1 學生用運動分析軟件，研究汽車由 $t = 0$ 至 $t = 8$ s 的運動。圖 z 是軟件製作的 $v-t$ 線圖，圖中取汽車的前進方向為正。

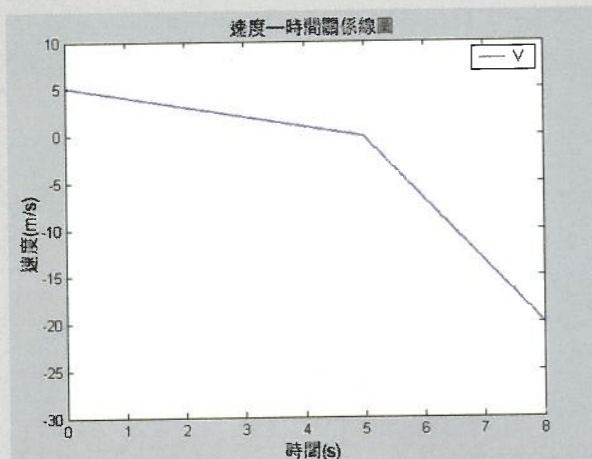


圖 z

- (a) 扼要描述汽車的運動。 (3 分)
- (b) 估算汽車的總位移。 **-17.5 m** (2 分)
- (b) 在 $t = 0$ ，汽車前方 12 m 處有個路障。汽車會撞上這路障嗎？ **會** (1 分)

★ 35 綜合題 在高速公路上，汽車 X 和 Y 在同一條筆直的行車線上行駛。汽車 X 在汽車 Y 前方 30 m。汽車 X 突然剎車，汽車 Y 的司機發現後也立即剎車。

圖 aa 顯示兩車的速度—時間關係線圖。

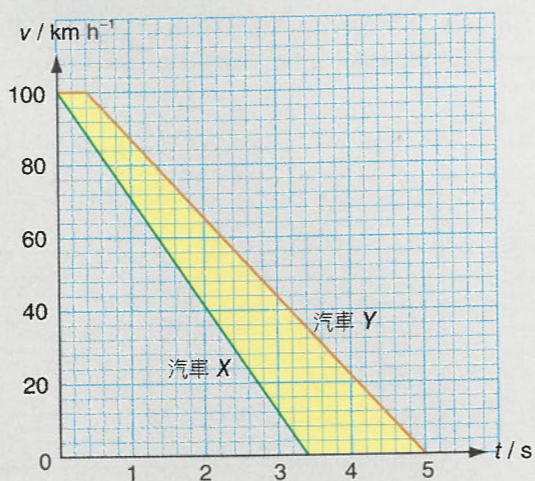


圖 aa

- (a) 汽車 X 和 Y 剎車時的減速度分別是多少？
X: 8.17 m s⁻², Y: 6.04 m s⁻² (3 分)
- (b) 求汽車 Y 的反應距離和制動距離。 **11.1 m, 63.9 m** (2 分)
- (c) 圖 aa 中，黃色區域的面積有甚麼物理意義？
Y 比 X 多行駛的距離 (1 分)
- (d) 汽車 Y 會與汽車 X 相撞嗎？試解釋你的答案。
不會 (3 分)
- (e) 司機應遵守兩秒守則。這守則指出後車與前車的距離不應少於後車在兩秒內所走的距離。汽車 Y 的司機有沒有遵守兩秒守則？ **沒有** (2 分)
- (f) 如果汽車 X 只減速至 12 km h⁻¹ 而不是停下，兩車之間的最短距離是多少？ **8 m** (2 分)

▶ 參看例題 6 (p.49)

★★ 36 2.3 直升機以恆速率 15 m s⁻¹ 垂直上升。在時間 $t = 0$ 時，一名高空跳傘者從直升機跳出。第 2 名及第 3 名跳傘者則分別在 $t = 1$ s 及 $t = 2$ s 時跳出。跳傘者跳出時，速度都跟直升機的速度相同。

- (a) 在 $t = 2$ s 時，第 1 名及第 2 名跳傘者的距離是多少？ **14.7 m** (3 分)
- (b) 第 1 名跳傘者在速率上升至 66 m s⁻¹ 時打開降傘。
(i) 他在甚麼時候打開降傘？ **$t = 8.26$ s** (2 分)
(ii) 其餘兩名跳傘者也在相同高度打開降傘。他們在甚麼時候打開降傘？ (4 分)

$t = 9.48$ s, 10.7 s

▶ 參看例題 13 (p.76)

□ 考試報告見 p.90。

2.1 37 香港中學會考 2005 年卷一 Q1

一輛汽車沿直路行駛。圖 ab 顯示該車從路上某一點算起的位移 x 隨時間 t 變化的關係。

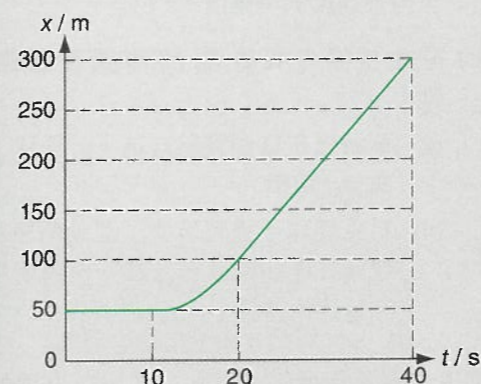


圖 ab

- (a) 描述該車從 $t = 0$ 到 40 s 期間的運動狀況。 (3 分)
- (b) 求該車從 $t = 0$ 到 40 s 期間的平均速度。 **6.25 m s⁻¹** (2 分)

□ 考試報告見 p.90。

38 香港中學會考 2011 年卷一 Q2

綜合題

志明在一水平草地上把皮球滾出，讓他的 小狗接回。於時間 $t = 0$ 時，志明站於小狗旁邊，把皮球沿直線滾出。小狗立即向皮球跑去。圖 ac 顯示小狗跑向皮球的某一刻。



圖 ac

片刻之後皮球停下，小狗稍後到達皮球處。圖 ad 顯示小狗的速度—時間關係線圖。

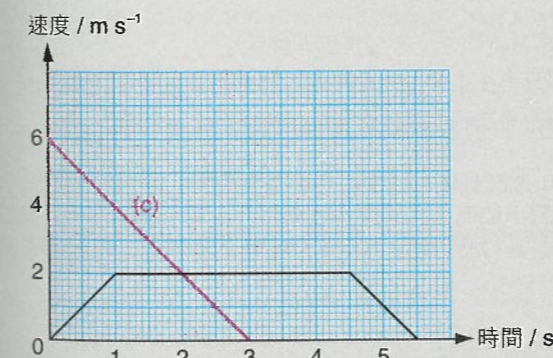


圖 ad

- (a) 描述小狗在 $t = 0$ 至 5.5 s 之間的運動。(3 分)
- (b) 小狗在 $t = 5.5$ s 時到達皮球處。皮球滾動了多遠？ **9 m** (2 分)

(c) 志明把皮球以初始速度 6 m s⁻¹ 滾出，皮球隨後作勻減速運動。在圖 ad 繪出皮球的速度—時間關係線圖。 (2 分)

☆ Physics A Unit G481 · 略去 (b) 部

39 OCR GCE Jan 2013 Q4

綜合題

□ 考試報告見 p.148。

- (a) 寫出加速度的定義。 (1 分)
- (b) 圖 ae 顯示小火箭的速度 v 隨時間 t 的變化。

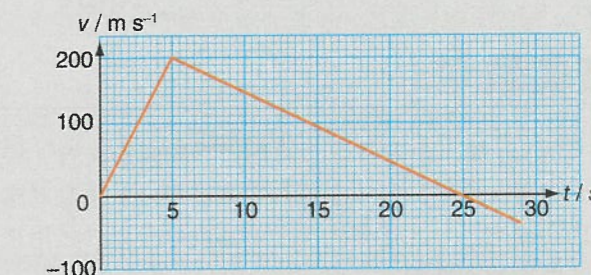


圖 ae

火箭由靜止開始從地面垂直向上發射，在時間 5.0 s 耗盡所有燃料，當時的垂直速度為 200 m s⁻¹。假設空氣阻力對火箭運動的影響可略去不計。

- (i) 不必作任何計算，試描述火箭在以下時段內的運動。
(1) 由 $t = 0$ 至 $t = 5.0$ s
(2) 由 $t = 5.0$ s 至 $t = 25$ s (3 分)
- (ii) 計算火箭到達的最大高度。 **2500 m** (3 分)
- (iii) 試解釋為甚麼火箭撞上地面時速率會高於 200 m s⁻¹。 (1 分)

□ 考試報告見 p.90。

40 香港中學文憑考試 2014 年卷一乙部 Q3(a)-(c)

綜合題

初始時，在相同位置的兩輛車 A 和 B 沿同一水平直路開始運動。下面的線圖顯示兩車的速度如何隨時間變化。

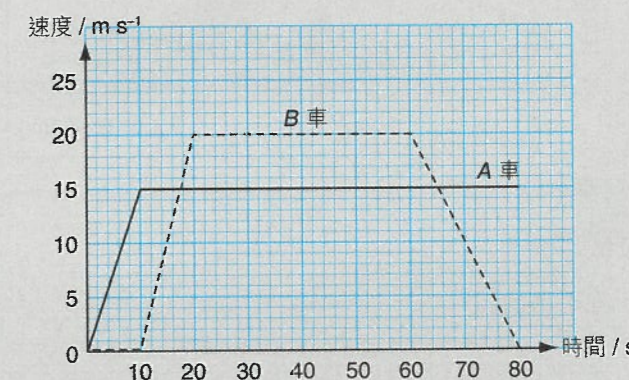


圖 af

- (a) 描述 A 車在 $t = 0$ 至 $t = 80$ s 整個旅程的運動。 (2 分)

- (b) (i) 哪一輛車在旅程中達到的加速度最大？求該加速度。 $B \cdot 2 \text{ m s}^{-2}$ (2分)
- (ii) 草繪 B 車從 $t = 0$ 至 $t = 80 \text{ s}$ 的加速度—時間 ($a-t$) 線圖。(2分)
- (c) (i) 在 $t = 20 \text{ s}$ ， A 車和 B 車的間距是多少？ 125 m (2分)
- (ii) 推斷 B 車在哪一時間追及 A 車。(2分)
 $t = 45 \text{ s}$

實驗題

★ 41 圖 ag 顯示用來量度重力加速度的實驗裝置。學生拿着一個壁球，放在運動感應器下方。運動感應器正面向下，固定在米尺上，延出桌子以外，用來探測壁球的運動。

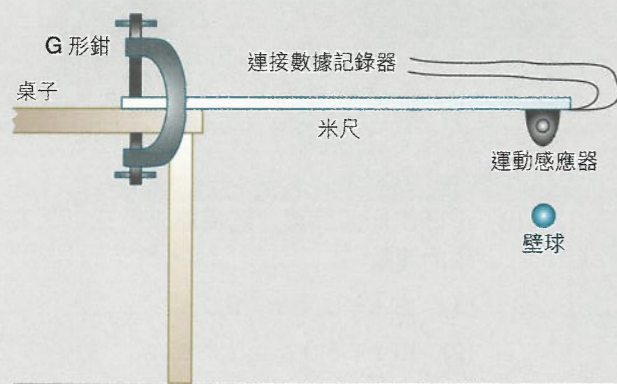


圖 ag

學生放手，使壁球從靜止垂直下墜。圖 ah 顯示他所獲得的 $v-t$ 線圖。線圖上標示了 5 個數據點 (A 、 B 、 C 、 D 和 E)，以及列出了它們的座標。

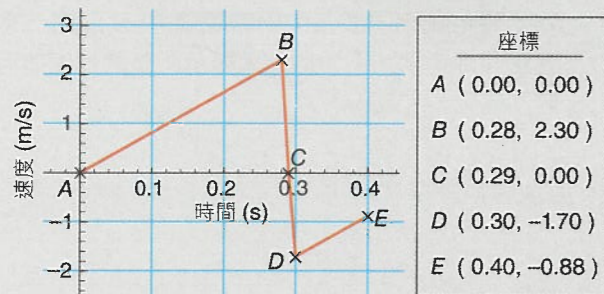


圖 ah

□ Q37 考試報告：

- (a) 一些能力較弱的考生將位移—時間關係線圖誤為速度—時間關係線圖。
- (b) 部分考生忽略汽車的初始位移，把汽車在 40 s 內的位移誤為 300 m 。部分能力較弱的考生更在計算過程中將 40 s 分作不同的時段處理，這反映他們對平均速度的概念欠缺透徹的理解。

- (a) 根據線圖上的數據點，估算重力加速度。 8.21 m s^{-2} (2分)
- (b) 試舉出一個改良實驗的方法，以提高實驗所得重力加速度的準確度。(1分)
- (c) 學生提議做實驗時，可將運動感應器放在地上。
- (i) 草繪出在這個實驗方法下，壁球下墜過程的 $v-t$ 線圖。(2分)
- (ii) 為免壁球下墜時破壞了運動感應器，學生建議在運動感應器上放一塊透明膠板。試評論他的建議。(2分)

★ 42 綜合題

美玉做實驗來量度小車沿傾斜跑道下滑的加速度 (圖 ai)。她在跑道較高的一端放開小車，讓小車從靜止下滑，然後量度小車移動特定距離 s 所用的時間 t 。她以不同的 s 值重複實驗，並量度對應的時間 t 。表 a 列出所記錄的數據。

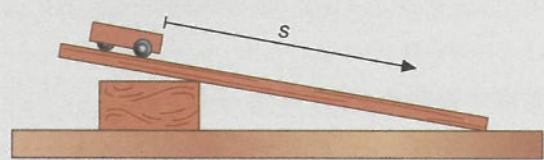


圖 ai

s / m	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
t / s	1.60	1.51	1.37	1.31	1.24

表 a

- (a) 標繪適當的線圖，以顯示小車的加速度是恆定的。(4分)
- (b) 據此估算小車加速度的量值。 0.800 m s^{-2} (3分)
- (c) 指出實驗的一個誤差來源。(1分)

□ Q38 考試報告：考生表現大致良好。

- (a) 部分考生遺漏了運動開始時和結束時運動的狀態。
- (c) 很多考生未能繪出正確的 x 截距。

□ Q40 考試報告：考生的表現普遍不錯。部分能力較弱者在 (b)(i) 部未能寫出加速度的正確單位。在 (c)(ii) 部，只有能力較強者可以利用 (c)(i) 的結果正確導出 B 車在何時追及 A 車。

物理文章分析

★ 43 2.1 閱讀這段有關紙帶打點計時器的文章，並回答下列問題。

紙帶打點計時器

在數據記錄系統發明以前，實驗室普遍採用紙帶打點計時器 (圖 aj) 來研究物體的運動。物體會把紙帶拉過計時器，計時器同時在紙帶上每秒打出 50 個圓點。兩個相鄰圓點代表 0.02 s 的時距 (即 1 格)。物體移動得愈快，圓點之間的間距便愈大。只要量度圓點之間的間距，便可得到物體運動的資料 (圖 ak)。

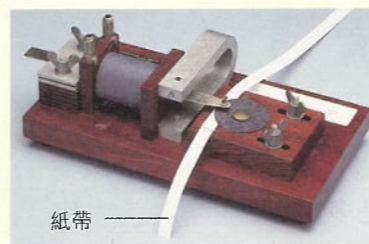


圖 aj

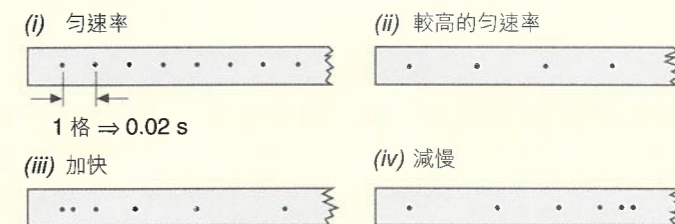


圖 ak

紙帶通常會剪成每段有 5 格的紙條。只要把紙條按次序並排貼起，便製成紙帶圖 (圖 al)。由於每段紙條表示在 0.1 s 時距內的平均速率，紙帶圖其實就是一幅 $v-t$ 線圖 (圖 am)。

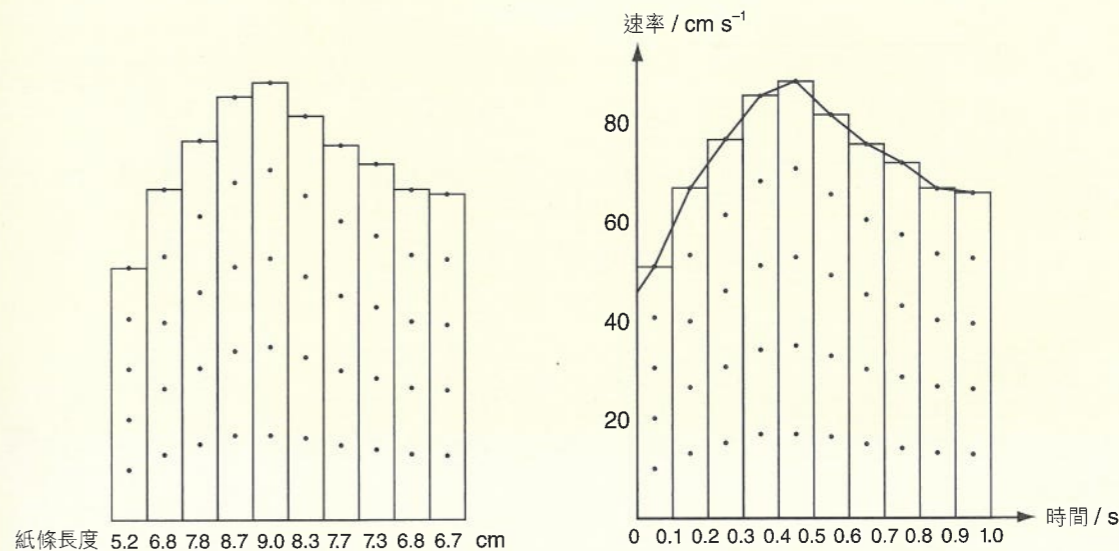


圖 al

圖 am

跟運動感應器不同，紙帶打點計時器只能記錄物體的前進運動。此外，紙帶與計時器之間的摩擦力也會影響結果的準確度。

- (a) 考慮圖 al 和 am 中的第 2 段與第 4 段紙條。
- (i) 從第 2 段與第 4 段紙條的量度結果，找出物體在這兩段時間的平均速度。 0.68 m s^{-1} 、 0.87 m s^{-1} (2分)
- (ii) 取第 2 段與第 4 段紙條之間的時距為 $2 \times 0.1 \text{ s} = 0.2 \text{ s}$ 。估算物體在這段時間的平均加速度。 0.95 m s^{-2} (2分)
- (b) 指出紙帶打點計時器的兩個缺點。

自我評核 2

⌚ 時間：15分鐘 ✓ 總分：9分

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄 (p.411) 附有常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

- 2.1 1 一輛汽車在直路上行駛。圖 a 顯示它的 $v-t$ 線圖。 2 一輛汽車在直路上從 30 m s^{-1} 勻減速，直至綜合題 在交通燈前停下。圖 b 顯示它的 $s-t$ 線圖。
 t_1 的值是多少？

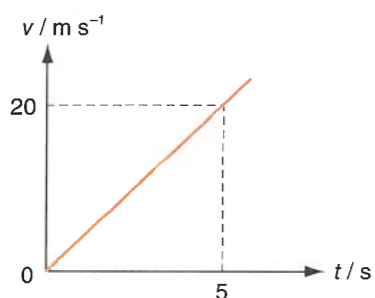


圖 a

在下列哪一個時刻，汽車的位移等於 30 m？

- A $t = 3 \text{ s}$ B $t = 3.87 \text{ s}$
C $t = 4.23 \text{ s}$ D $t = 5 \text{ s}$

B

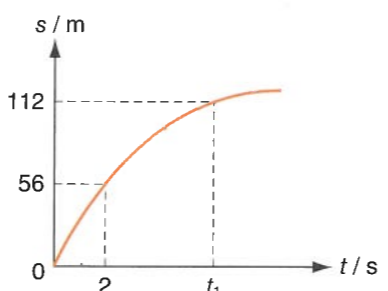


圖 b

- A 3.73 B 4.00
C 4.37 D 25.6

C

乙部

- 2.3 3 燕明從距離地面 10 m 的高度釋放小球 X，同一時間，偉成以初速度 12 m s^{-1} 從地面垂直向上拋起小球 Y (圖 c)。兩個小球在掉到地面前在半空相遇。

(a) 兩個小球在甚麼時間相遇？

(3分)

0.833 s

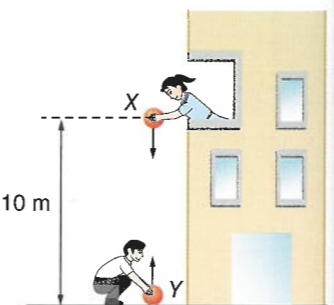


圖 c

(b) 如果 Y 向上拋起的速度是 6 m s^{-1} ，它在掉到地面前會與 X 相遇嗎？試簡單解釋。 (4分)

不會

(題解見 p.408)



3 力與運動 I

我們在这一課會學到

- 力的基本知識
- 慣性與牛頓運動第一定律
- 淨力與牛頓運動第二定律 (一維運動)
- 重量、摩擦力和流體阻力
- 作用力—反作用力對與牛頓運動第三定律

3.1

力的簡介

起點 作用於物體的力

在遊樂場中，過山車沿軌道飛馳，海豚從水中飛躍到半空。過程中，它們受哪些力作用？
參看第97頁及第98頁例題1。



✓ 本節重點

- 1 力的基本知識
- 2 力的日常生活例子
- 3 隔離體圖
- 4 淨力

單元 3.3 會詳細討論牛頓這個單位。

物理學上，重量是一種力，單位是 N 而不是 kg。第 97 頁會簡單介紹重量，然後單元 3.4 會再詳細討論。

1 力的基本知識

移動物體可以用不同方法，包括拉、推或提起等等。無論用哪種方法，都要施力於物體上。

1 在國際單位制中，力的單位是牛頓，符號為 N。

圖 3.1a 顯示一些力的典型數值。



圖 3.1a 一些力的典型數值

力 force 牛頓 (N) newton

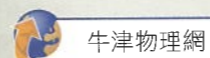
單元 3.5 會詳細討論這個概念。

歷史點滴

牛頓 (1642–1727)



牛頓對力學貢獻良多，他的發現改變了人類對大自然的理解，並奠定經典力學的基礎。他的三條運動定律是這門學問的根本。力的單位以他命名，以表揚這傑出的科學家。



牛津物理網

- 2 力就是一個物體作用在另一個物體上的推力或拉力。它是兩個物體之間的相互作用。
- 3 力是**矢量**，有量值和方向。向某方向作用的力，可用箭號來表示，箭號的方向和長度分別顯示力的方向和量值。
- 4 力是成對出現的。在圖 3.1b 中，女孩推車子的時候，會感到車子同時也在推她。



圖 3.1b 女孩推車子時，車子亦在推女孩

- 5 在實驗室裏，通常使用**彈簧秤** (圖 3.1c) 或**力感應器** (圖 3.1d) 去量度力的大小。彈簧秤只能量度拉力，而接駁數據記錄器的力感應器則可以量度拉力和推力。

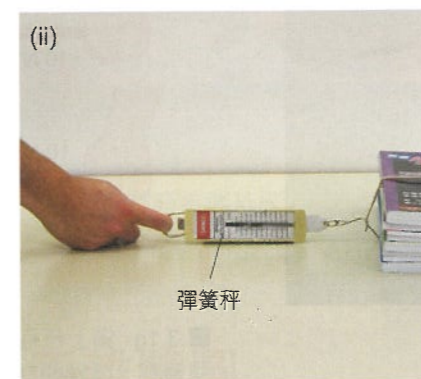
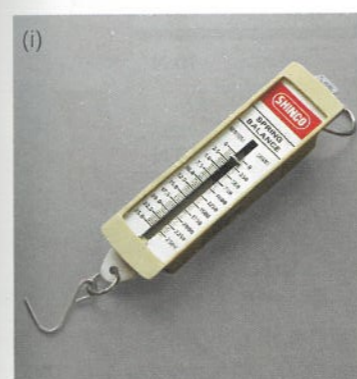


圖 3.1c (i) 彈簧秤 (ii) 用彈簧秤量度拉書本的力

第 117 頁會討論彈簧秤的原理。



圖 3.1d 力感應器

2 力的日常例子

力是無所不在的，它可分為**接觸力**和**非接觸力**。

a 接觸力

推手推車、拉桌子或踢球，都是接觸力的常見例子。以下是接觸力的其他例子。

彈簧秤 spring balance 力感應器 force sensor 牛頓 Isaac Newton
接觸力 contact force 非接觸力 non-contact force

i 摩擦力 f

我們會在單元 3.4 學到更多摩擦力的知識。▶ 物體在另一個物體的表面上滑動或有滑動傾向時，**摩擦力**便出現。摩擦力的方向總是與兩個表面相對的移動方向相反，或與兩個表面之間的移動趨勢相反（圖 3.1e）。

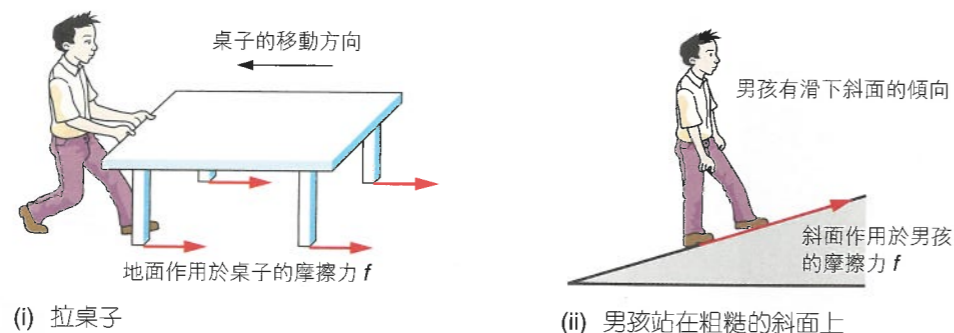


圖 3.1e 摩擦力總是妨礙物體運動，或總是對抗物體運動的趨勢

ii 張力 T

嚴格來說，繩索不可延伸和質量可以略去不計時，繩上每一點的張力才會相同。

繩索拉緊時會產生力，這個力稱為**張力**。例如在拔河比賽中，參賽者拉着繩索兩端時，都會感受到張力（圖 3.1f）。張力總是沿繩索的方向拉扯物體，量值在繩上任何一點都相同（圖 3.1g）。



圖 3.1f 繩的張力

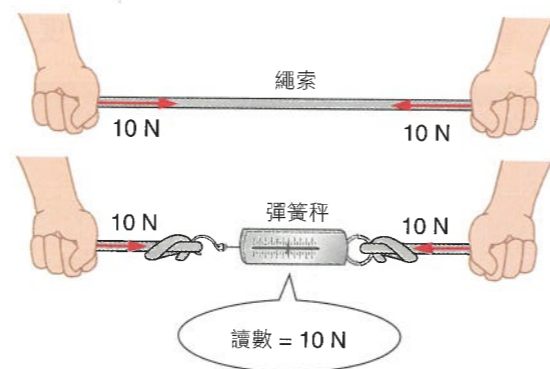


圖 3.1g 繩上任何一點的張力都相同。如果繩中間有一個彈簧秤，而秤兩端的張力都是 10 N，它的讀數便是 10 N

iii 法向力

Normal
h

法向力是物體與一個表面接觸時，表面作用於物體的力。法向力總與表面互相垂直。圖 3.1h 中，無論男孩在 A 點（斜面）還是 B 點（水平面），作用於他的法向力都與滑梯表面互相垂直。在 C 點，男孩與滑梯沒有接觸，所以不受法向力作用。

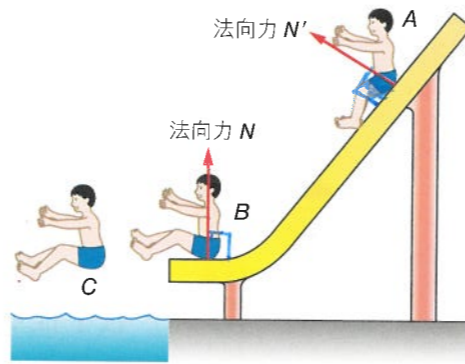


圖 3.1h 滑梯與男孩互相接觸時，會對他施加法向力

b 非接觸力

i 重量

物體的**重量**是地球作用於物體的拉力（圖 3.1i），方向總是垂直向下指向地球中心。即使物體不是接觸着地球，它仍受重量作用。

起點中的海豚躍到半空，重量是唯一作用於牠的力。

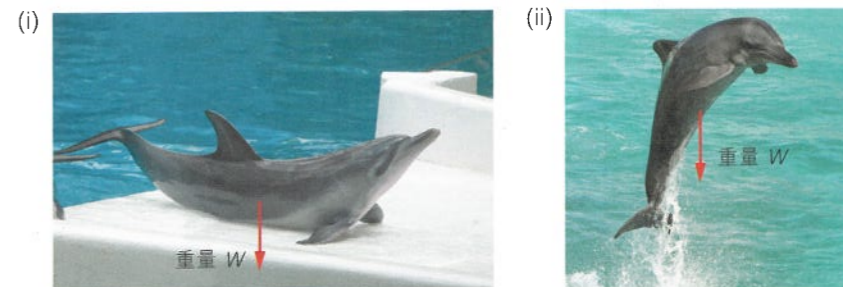


圖 3.1i 不論海豚 (i) 碰到或 (ii) 碰不到地面，都受重量作用

錄像片段 3.1

▶ 錄像片段 3.1 顯示物體間的磁力。
▶ 展示錄像片段，着學生想想若把地球儀拉低一點，手會有甚麼感覺。

ii 電力與磁力

電力在電荷之間出現（圖 3.1j），而磁力在磁石之間，或磁石與磁性物件之間出現（圖 3.1k）。這兩種力都可以在互不接觸的物體之間作用。



圖 3.1j 帶電膠尺沒有接觸紙碎，卻可將它們吸起



圖 3.1k 兩顆磁石相隔一段距離，但我們仍能感受到它們之間的吸力

3 隔離體圖

隔離體圖（又稱**自由體圖**）顯示所有作用於物體的力，在圖 3.1l 中，男孩滑下滑梯，作用於他的力有重量 W ，以及來自滑梯的法向力 N 和摩擦力 f ，圖 3.1m 就是他的隔離體圖。



圖 3.1l 男孩滑下滑梯

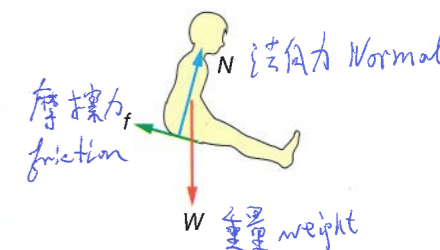


圖 3.1m 男孩的隔離體圖

技巧分析

繪畫隔離體圖

- 找出所有作用在物體上的力及它們的方向。
- 畫出物體。如果物體的形狀複雜，只須簡單勾畫它的外形，或把它畫成一點。
- 將每道作用於物體的力畫成箭號，箭號的方向應與力的方向相同，長度雖不必符合比例，但適宜用較長的箭號代表較大的力。

起點 問及有甚麼力作用於過山車，(b) 部解答了這問題。

沒有轉動效應時，可把物體畫成一點。

例題 1 繪畫隔離體圖

畫出以下物體的隔離體圖。

- 在手掌上靜止不動的燈籠 (圖 a)
- 沿斜路疾衝而下的過山車 (圖 b)

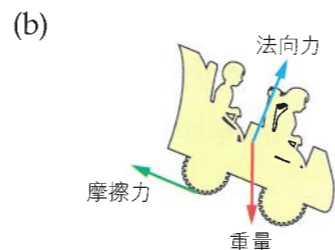
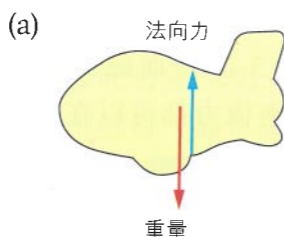


圖 a



圖 b

題解



進度評估 1 Q1 (p.99)

4 淨力

假如有多道力作用於物體，把這些力加起來所得的總和就是淨力。力的平行力可排成一條直線。矢量的加法會在單元 4.1 詳細討論。如果作用於物體的力互相平行，可用表 3.1a 所示的方法找出它們的總和。

分開的力	淨力

表 3.1a 平行力的加法，取向右為正

淨力 net force

進度評估 1

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.94)。

- 31 男孩拉着一車書 (圖 a)。把小車和書看作同一件物體，畫出它的隔離體圖。



圖 a

- 42 圖 b 顯示所有作用於物體的力，求淨力的量值和方向。15 N (向下)

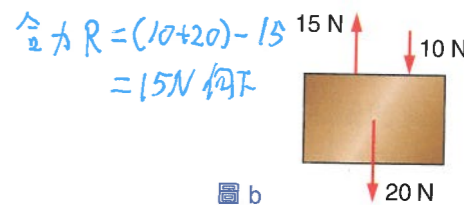


圖 b

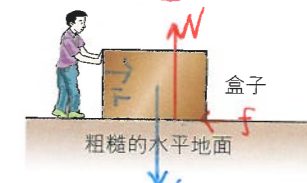
習題與思考 3.1

- 下列哪一項有關力的敘述不正確？
 - 力是矢量。
 - 力總是成對地出現。
 - 物體必須互相接觸，才能向對方施力。
 - 力的單位是牛頓。
- 下列哪項敘述是正確的？
 - (1) 繩索上的張力總是沿着繩索作用。
 - (2) 物體只有接觸地面時，才會受重量作用。
 - (3) 法向力妨礙兩個表面之間的相對運動。

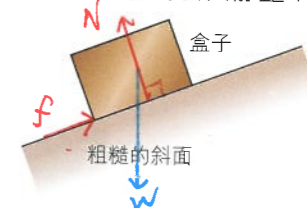
- 44 兩道力作用於箱子：它的重量和垂直指向上的力 F 。箱子的重量是 10 N，如果作用於它的淨力是向上 12 N， F 是多少？22 N $F = 10 + 12 = 22N$

- 35 畫出下列盒子的隔離體圖。

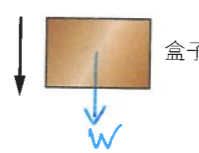
- (a) 一個人在粗糙的水平地面推盒子。



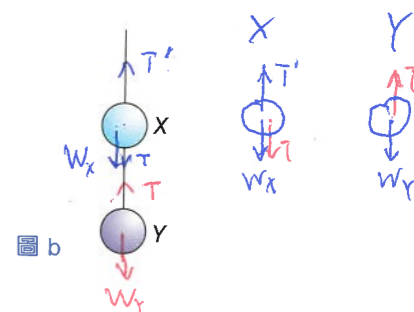
- (b) 箱子在粗糙的斜面靜止不動。



- (c) 箱子在半空中下墜 (空氣阻力可略去不計)



- 36 球 X 和 Y 如圖示般懸掛 (圖 b)。畫出每個球的隔離體圖。



- 23 雅明和家誠如圖示拉着繩子 (圖 a)。

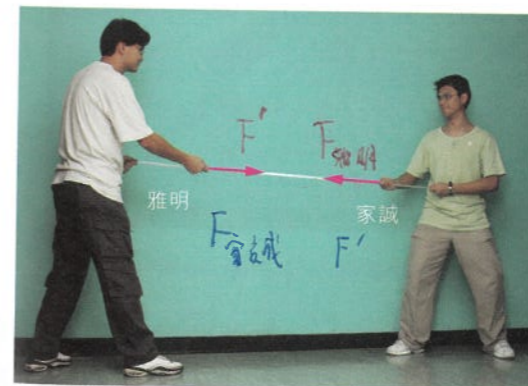


圖 a

- (a) 在圖中繪畫箭號，表示作用於雅明和家誠的張力。

- (b) 作用於雅明和家誠的張力，量值是否相同？是

3.2

慣性與牛頓運動第一定律

起點 港鐵車廂中

港鐵列車正向左行駛，以下照片顯示三個不同時刻的情況。



圖 a

圖 b

圖 c

哪張照片顯示這幾個情況：列車剛開動、以恆速行駛、正在剎停？

參看第 106 頁例題 3。

✓ 本節重點

- 1 慣性與質量
- 2 牛頓運動第一定律

1 要用力才可令物體持續移動嗎？

日常生活中，要物體持續移動，似乎須向物體不斷施力，否則它就會慢慢停下（圖 3.2a）。在超級市場推手推車時，應有類似體驗。

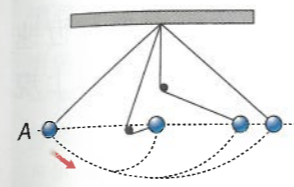


圖 3.2a 日常生活中，似乎須向物體不斷施力才可令它持續移動

古希臘哲學家亞里士多德根據日常觀察，認為要物體保持恆速移動，就須不斷向它施力。往後的 1800 年，大眾對亞里士多德的看法都深信不疑，直到 17 世紀初，才有人提出質疑。這個敢於挑戰權威的人就是伽利略，他提出了一個假想實驗：讓小球沿光滑彎曲軌道的一端重複滾下，每次改變軌道另一端的傾斜角度（圖 3.2b，見 p.101）。

亞里士多德 Aristotle

伽利略曾做過以下「針和單擺」實驗：



他發現不論小球沿哪條路徑移動，所到達的高度都與最初的位置 A 相同。這結果支持他在假想實驗中的推論。

錄像片段 3.2

→ 錄像片段 3.2 示範「針和單擺」實驗。

錄像片段 3.3

→ 錄像片段 3.3 示範實驗 3a。

氣墊導軌產生一層氣墊，小車在氣墊上移動時，所受到的摩擦力會大大減少。

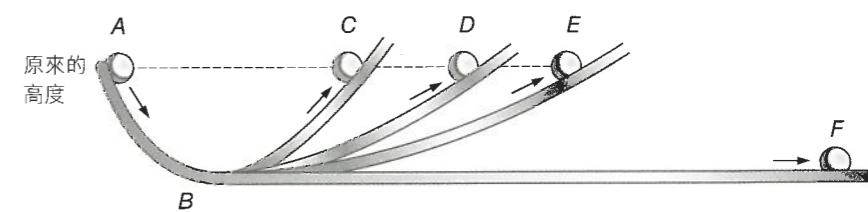


圖 3.2b 伽利略假想實驗

伽利略認為，在 A 點放開小球後，即使軌道末端的傾斜角度改變，小球都可以上升至與 A 點相同的高度。如果軌道沿 ABF 彎曲，末端 BF 為水平，小球便永遠無法回到 A 點的高度，在這情況下，小球會持續沿直線以恆速率移動。

雖然伽利略假想實驗不能在現實世界中精確地完成，但他的見解卻可以從以下實驗的結果展示出來。

實驗 3a 摩擦力對物體運動的影響

- 1 如圖 a 所示裝置實驗器材。
- 2 不要啟動氣泵，輕推小車一下。
- 3 啟動氣泵，輕推小車一下。



圖 a

結果與討論

圖 b 顯示步驟 3 得到的 s-t 線圖。

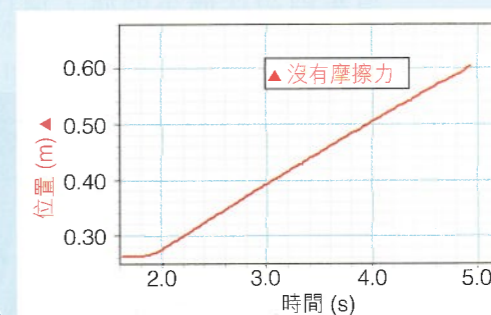


圖 b

- 1 試描述小車在步驟 2 和 3 的運動。在步驟 2，小車減慢至停下。在步驟 3，小車保持它的運動狀態。
- 2 根據伽利略假想實驗和這實驗的結果，如果靜止的物體在無摩擦力的水平表面上被人推了一下，會有甚麼事情發生？

物體會以恆速率沿直線移動。

伽利略只是想像這個實驗，然後推論結果，所以這實驗稱為假想實驗。

物理 DIY

氣墊圓盤



氣墊圓盤移動時，作用於它的摩擦力接近零。試用身邊常見的物料製作氣墊圓盤，然後觀察它在平地怎樣運動。以下片段示範氣墊圓盤的製作過程。

<https://www.youtube.com/watch?v=sktJTzRtr7M>



牛津物理網

錄像片段 3.4

→ 錄像片段 3.4 示範質量與慣性的關係。

2 慣性與質量

實驗 3a 顯示，在沒有摩擦力的水平表面上，移動中的物體會保持恆速直線移動。同樣，如果沒有外力干擾，靜止的物體會保持靜止。以上規律稱為**伽利略慣性定律**，可總結如下：

物體傾向保持它原來的靜止狀態或以恆速度運動的狀態，這傾向稱為**慣性**。

物體的慣性與**質量**有關。

質量反映物體慣性的大小。

在國際單位制中，質量的單位是**千克**，又稱**公斤**，符號為**kg**。物體的質量愈大，慣性就愈大（即速度愈難改變）。圖 3.2c 清楚顯示了這個關係。

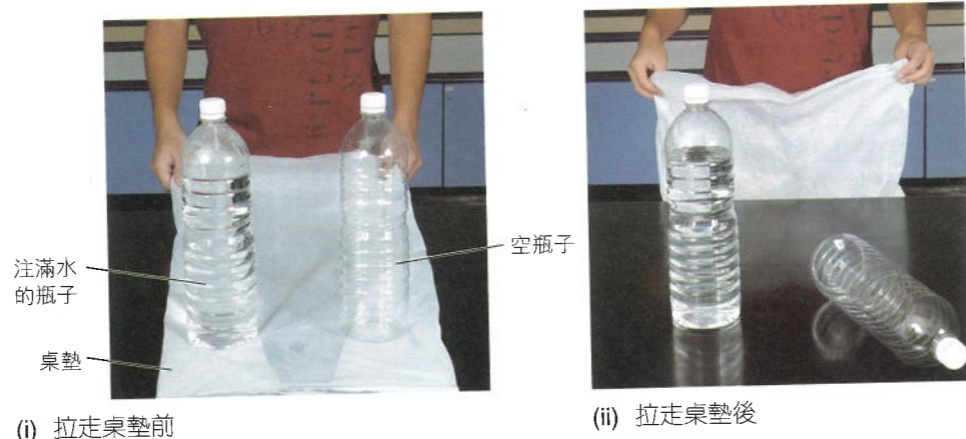
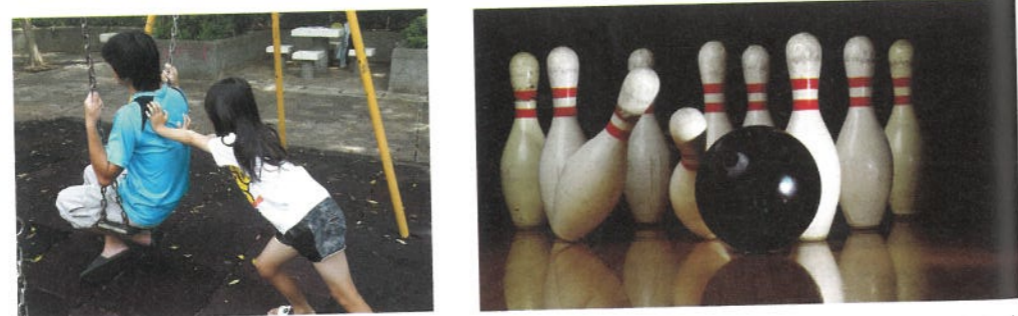


圖 3.2c 展示質量與慣性的關係

如果將桌墊快速拉走，注滿水的瓶子仍能保持直立，但空瓶子卻倒下。這是因為注滿水的瓶子慣性較大，所以較難使它移動。圖 3.2d 展示慣性的其他例子。



(i) 推動坐了人的鞦韆，比推動空着的鞦韆難得多
(ii) 保齡球的慣性很大，撞倒木瓶後，滾動的路線也不會改變

圖 3.2d 慣性的例子

伽利略慣性定律 Galileo's law of inertia 慣性 inertia 質量 mass 千克/公斤 (kg) kilogram

物理 DIY

慣性小把戲

用繩子懸着重物，並把一根相同的繩子繫到重物底部。使勁拉動下方的繩子，看看哪根繩子會斷掉。更換斷掉的繩子後，輕輕拉動下方的繩子，然後慢慢增強拉力。這次哪根繩子會斷掉？



課本的網站有更多慣性小把戲。這些小把戲的原理是甚麼？

牛津物理網

這些小把戲包括：

- 哪根繩子會斷
- 杯接雞蛋
- 妙手抽卡
- 塔下取錢
- 拯救紙幣

在「哪根繩子會斷」中，如果使勁拉繩子，下方的繩子會斷掉；如果慢慢增強拉力，則上方的繩子會斷掉。

重物的慣性很大，很難令它移動。如果使勁拉繩子，拉繩的時間 t 便會很短，重物的位移也會很小，所以上方的繩子張力只會輕微增加，不會斷掉。如果慢慢增加拉力，時間 t 便長得多，上方的繩子張力也會大增，由於這根繩子懸着重物，張力比下方的繩子大，所以會先斷掉。

3 牛頓運動第一定律

牛頓研究和發展了伽利略的運動理論，並提出了三條運動定律。這三條定律是物理學最基本的定律，至今仍很有用。

牛頓運動第一定律指出（圖 3.2e）：

除非受到淨力或**不平衡力**作用，否則所有物體都會保持靜止狀態或勻速直線運動狀態。

- 淨力 = 0 → 速度的改變 = 0
- 物體保持靜止
- 物體保持勻速直線運動

圖 3.2e 牛頓運動第一定律

牛頓運動第一定律可幫助我們了解多種現象，以下是三個例子。

1 一隻狗靜坐地上，牠的重量 W 跟地面施於牠的法向力 N 抵銷。沒有淨力作用於牠，所以牠保持靜止（圖 3.2f）。

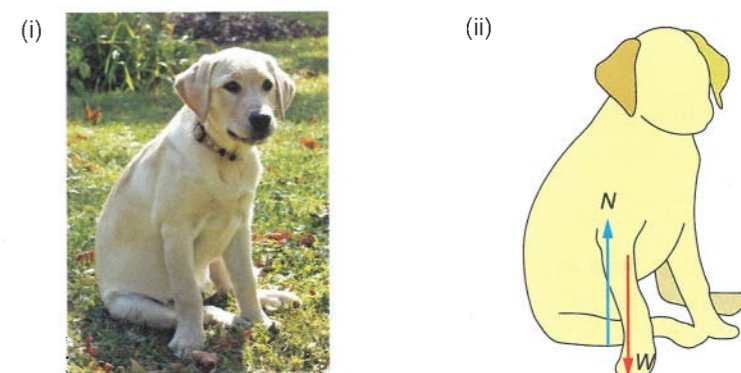


圖 3.2f (i) 狗坐在地上 (ii) 牠的隔離體圖

2 冰上曲棍球被打中後在冰面移動。它和冰面之間的摩擦力極小，而它的重量 W 與冰面施於它的法向力 N 互相抵銷。由於無淨力作用於球，球以恆速度移動（圖 3.2g）。

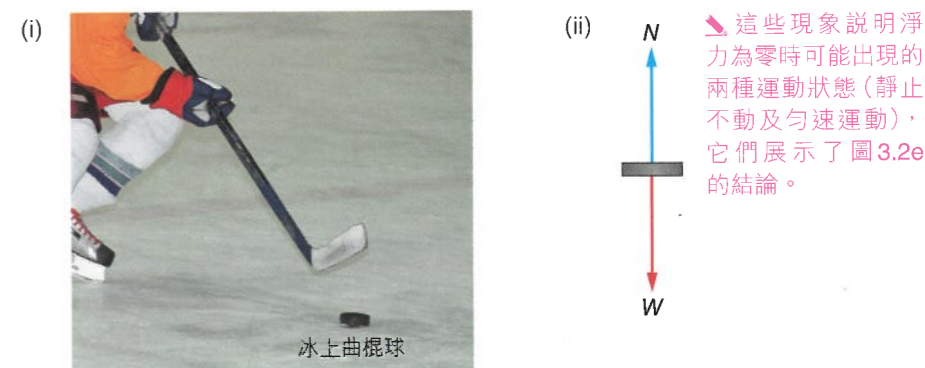


圖 3.2g (i) 冰上曲棍球在冰面移動 (ii) 它的隔離體圖

這些現象說明淨力為零時可能出現的兩種運動狀態（靜止不動及勻速運動），它們展示了圖 3.2e 的結論。

3 考慮汽車突然刹停的情況，由於制動力只作用於汽車而不是乘客，乘客仍保持勻速移動，直至給安全帶拉停為止。

那麼為甚麼圖 3.2a (p.100) 中的人不用力推，車子很快會便會停下來？這是因為有摩擦力作用於車子。要使車子保持移動，就要向車子施力以抵銷摩擦力。

STSE 安全帶和頭枕

如果高速行駛的汽車突然停下，司機和乘客仍會以高速往前移動，可能撞上儀錶板和擋風玻璃，因而受傷或死亡(圖 a)



圖 a 撞擊測試顯示汽車猛烈撞上障礙物時，乘客會衝向前方，甚至拋出車外

當司機和乘客佩戴了安全帶，一旦汽車急速停下，安全帶作用於他們的力會改變他們的運動狀態，防止他們被拋離座位而受傷(圖 b)。根據本港法例，私家車、的士等汽車的司機和乘客都必須佩戴安全帶。

同樣，如果靜止的汽車被另一輛車從後撞擊，靜止汽車上的乘客會被座椅往前推，但頭部卻傾向保持靜止。椅背上的頭枕能保護乘客頭部和頸部，以免嚴重受傷(圖 c)。

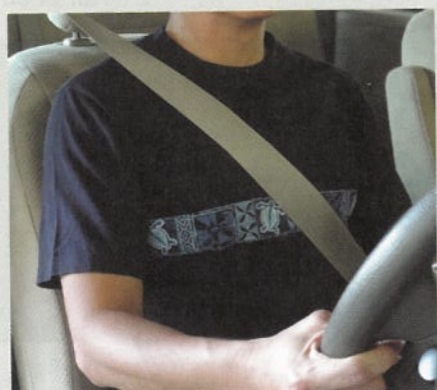


圖 b 安全帶



圖 c 頭枕

以下是撞擊測試的影片，後座的兩個假人沒有佩戴安全帶：

<http://www.youtube.com/watch?v=K6tsgzFVW10>

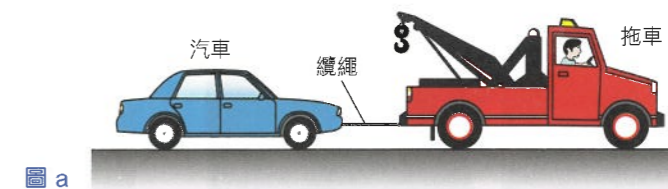


英國工程師喬治凱利(George Cayley)於19世紀發明安全帶。他在航空學方面貢獻良多。

汽車急遽停止時，安全帶可稍為伸長，延長撞擊時間，因而大幅減低撞擊力。單元7.2會討論撞擊時間與撞擊力的關係。

例題 2 作用於勻速運動物體的力

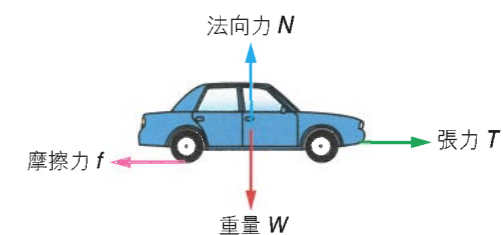
拖車以纜繩拉着汽車，沿水平直路以恆速度行駛(圖 a)。汽車的重量是 10 000 N，它與地面之間的摩擦力是 2000 N。拉着汽車的纜繩保持水平。



- (a) 求地面施於汽車的法向力。
- (b) 求纜繩的張力。

題解

(a) 圖 b 是汽車的隔離體圖。



由於汽車不會沿垂直方向移動，根據牛頓第一定律，沿這方向作用於汽車的淨力是零。

取向上為正。

$$N - W = 0$$

$$N = W = 10\,000\text{ N}$$

地面施於汽車的法向力是 10 000 N。

(b) 汽車沿水平方向以勻速移動，根據牛頓第一定律，沿這方向作用於汽車的淨力是零。

取向前為正。

$$T - f = 0$$

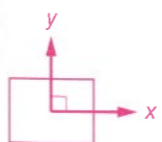
$$T = f = 2000\text{ N}$$

纜繩的張力是 2000 N。

▶ 進度評估 2 Q2 (p.106)

物體沿水平和垂直方向的運動可以截然不同，原因是這兩個方向是互相垂直的。與作用力方向互相垂直的運動，不受這作用力影響，這現象與矢量的性質有關，留待第 8 課再討論。

可用一個簡單的例子闡明這概念。



x、y 兩個方向互相垂直。如果一道力沿 x 方向拉扯物體，物體便會沿 x 方向移動，但卻不會沿 y 方向移動。這就是說，物體沿 y 方向的運動，不受沿 x 方向的力影響。

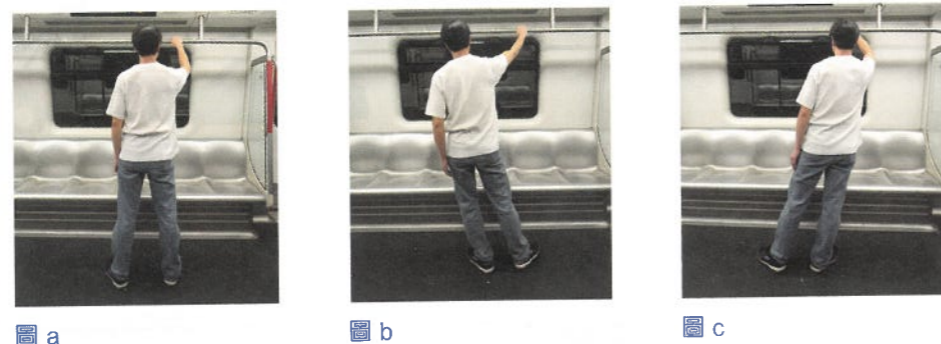
科學本質 科學知識的演進

伽利略基於實驗和推論，質疑阿里士多德的運動理論，並由此徹底改變我們對運動的認識。這故事說明：

- 科學建基於經驗證據。
- 科學知識不斷演進。只要出現新的證據，無論理論有多完備，也可能給推翻或改良。但要令人撇棄舊有概念而接受新概念，或須待以時日。
- 抱着合理的懷疑心態，懷着挑戰權威的勇氣，往往可發掘新的科學知識。

例題 3 慣性與列車的運動

在起點中，向左行駛的列車內有一個乘客。當列車停止不動或以勻速行駛，乘客的情況如圖 a 所示。圖 b 和 c 顯示列車的運動改變時，乘客相對於列車的運動。哪張圖顯示列車 (a) 正在剎停和 (b) 剛開動？



題解

- (a) 列車剎停時速率下降，然而根據慣性，乘客會以原本的速率繼續向左移動（速率較列車高），所以相對於列車，乘客會向左移動。因此，圖 b 顯示列車剎停時的情況。
- (b) 列車剛開動時向左加速，然而根據慣性，乘客會保持靜止（速率較列車低），所以相對於列車，乘客會向右移動。因此，圖 c 顯示列車剛開動的情況。

習題與思考 3.2 Q7 (p.107)

進度評估 2

各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.100）。

- 21 男孩踏着滑板以恆速度沿平緩的斜坡向下滑（圖 a）。



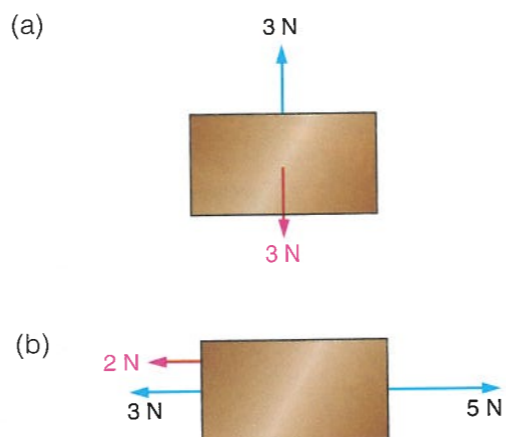
圖 a

下列哪一項敘述是正確的？

- (A) 因為男孩以恆速度移動，所以沒有淨力作用於他。
- B 因為男孩正沿斜坡滑下，所以必然有淨力作用於他。

$F=ma$
 $a=0 \Rightarrow F=0$
 $F=0$

- 22 下列各圖均顯示作用於物體的力，但還欠一道力沒畫出來。已知物體保持靜止或以勻速移動，試畫出剩下的那道力。



習題與思考 3.2

各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.100）。

- 1 X 和 Y 是兩輛相同的貨車，X 載着 1000 kg 棉花，Y 載着 1000 kg 鐵。哪輛車的運動狀態較難改變？
 A 貨車 X
 B 貨車 Y
 C 難度相同
 D 資料不足，無法確定
- 2 巴士以 70 km h^{-1} 的恆速度向前行駛，計程車以 90 km h^{-1} 的恆速度超越巴士。哪輛車受到不平衡力作用？
 A 只有巴士
 B 只有計程車
 C 巴士和計程車
 D 兩者都不受不平衡力作用

$F_{net} = 0$

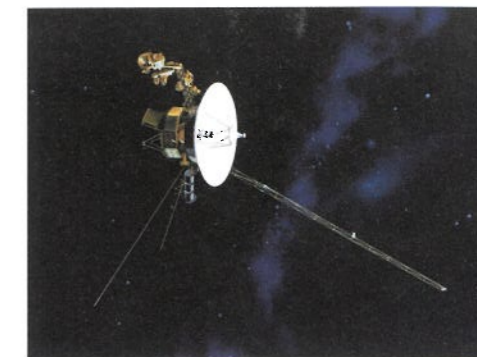


圖 c

- 23 拖船以水平的纜繩拉着汽車渡輪，以恆速度向前行駛（圖 a）。如果水施於汽車渡輪的摩擦力是 2000 N，纜繩的張力是多少？



圖 a

- A 0
 B 1000 N
 C 2000 N
 D 4000 N

- 24 一片茶葉浮在茶中（圖 d）。如果沿水平面轉動茶杯，茶葉會跟着轉動嗎？試加以解釋。不會

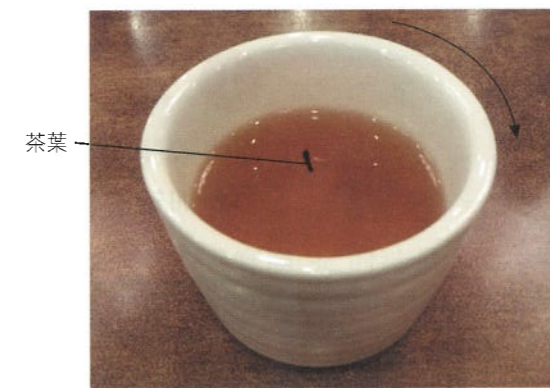


圖 d

- 25 為甚麼乘搭巴士或地鐵時要緊握扶手？

- 26 要用繩索懸掛起重物，以下哪個方法中的繩索會較易斷？試解釋答案。方法 2

方法 1：繩索兩端都繫在重物上（圖 e）

方法 2：繩索一端固定，另一端繫在重物上（圖 f）

- 27 乒乓球和保齡球以同一速度移動（圖 b）。哪個較難停下？試解釋答案。保齡球



圖 b

$m_2 \gg m_1$
 保齡球的慣性較大

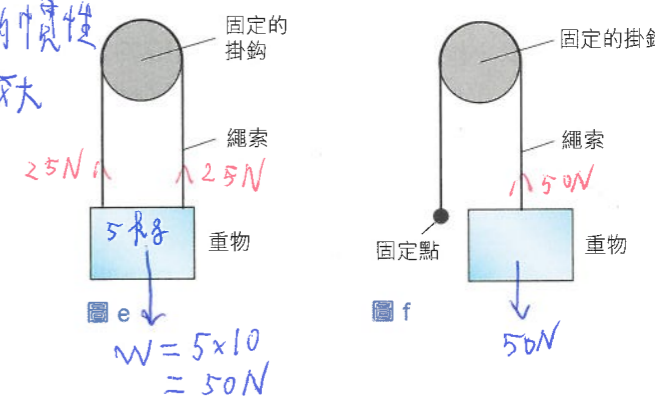


圖 e

圖 f

25 N
 25 N
 5 kg
 重物
 $W = 5 \times 10 = 50 \text{ N}$

15 N
 150 N
 重物
 50 N

3.3

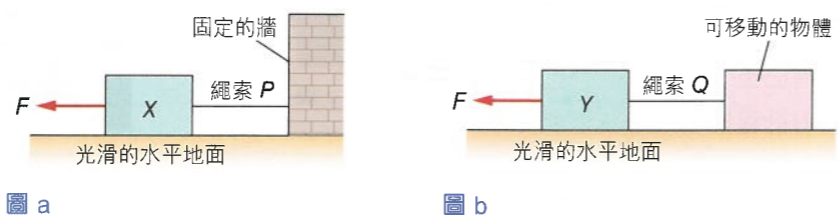
淨力與運動： 牛頓運動第二定律

本節重點

- 1 加速度、淨力和質量
- 2 牛頓運動第二定律

起點 哪根繩先斷？

在光滑的水平地面上，相同的物體 X 和 Y 以相同的繩索 P 和 Q 繫到不同物體上，相同的作用力 F 把 X 和 Y 拉向左方。力 F 逐漸增強時，哪根繩索會先斷掉？
參看第 113 頁例題 6。



1 加速度與淨力

淨力改變物體的運動，使物體加速。完成實驗 3b 後，我們就會了解淨力和加速度的關係。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

補償摩擦作用跑道

在補償摩擦作用跑道上，摩擦力的作用因跑道的斜度而消除。這種跑道的一端較高，跑道上的小車被輕推一下之後，便會以恆速率沿跑道滑下。

橡筋延伸得愈長，作用於小車的拉力愈大。

橡筋作用於小車的力，量值與橡筋的數量成正比。

實驗 3b 加速度與淨力

1 如圖 a 所示裝置實驗器材，調整跑道的斜度以補償摩擦作用。開始記錄數據。

應使用彈性較低的橡筋，以免小車移動得太快，學生難以保持橡筋的張力不變。



2 以橡筋拉動小車，過程中橡筋延伸的幅度保持不變。以 2 條、3 條和 4 條橡筋重複實驗，每次橡筋延伸的幅度都相同。

3 繪畫加速度 a 對淨力 F (橡筋的數量) 的關係線圖。

強調跑道是平滑的 (無摩擦力) 或是有補償摩擦作用的，因此 F 是淨力。

討論

根據 a 對 F 的關係線圖，可以得出甚麼結論？ $a \propto F$ (m 不變)

- 模擬程式 3.2 模擬實驗 3c。
- 錄像片段 3.6 示範實驗 3c。

模擬程式 3.2
錄像片段 3.6

可使用氣墊導軌及它的專用小車來做實驗 3b 及 3c。

另外，可用懸垂的重物向小車施加拉力，但重物要較小車輕很多才能得出準確的結果。

學生可能不明白為甚麼要繪畫 a 對 $\frac{1}{m}$ 的關係線圖。老師可先繪出 a 對 m 的關係線圖，並向學生解釋難以從這線圖看出兩者的關係。

2 加速度與質量

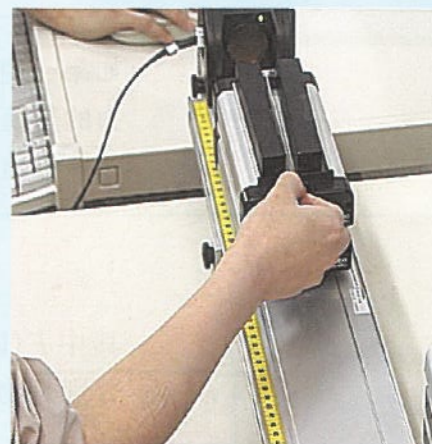
實驗 3c 的目的是探討加速度與質量的關係。

實驗 3c 加速度與質量

- 1 裝置實驗器材 (圖 a)，並開始記錄數據。
- 2 用恆定的力拉兩條橡筋，令小車移動。改變小車的質量 m 並重複實驗，橡筋延伸的幅度應與之前相同。
- 3 繪畫加速度 a 對 $\frac{1}{m}$ 的關係線圖。

討論

根據 a 對 $\frac{1}{m}$ 的關係線圖，可以得出甚麼結論？ $a \propto \frac{1}{m}$ (F 不變)



3 牛頓運動第二定律

圖 3.3a 顯示實驗 3b 的結果，圖 3.3b 則顯示實驗 3c 的結果。

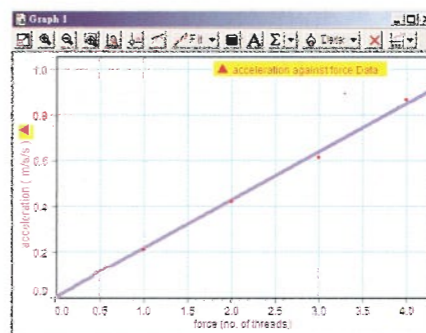


圖 3.3a a 對 F 的關係線圖

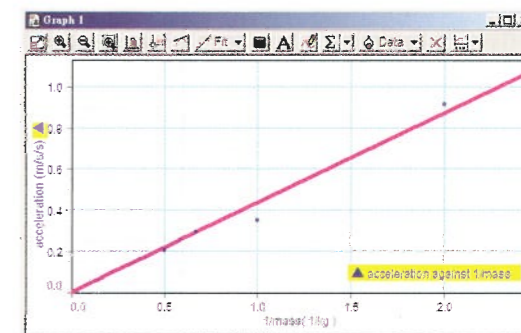


圖 3.3b a 對 $\frac{1}{m}$ 的關係線圖

根據圖 3.3a，

$$a \propto F \quad (m \text{ 不變}) \quad \dots \quad (1)$$

根據圖 3.3b，

$$a \propto \frac{1}{m} \quad (F \text{ 不變}) \quad \dots \quad (2)$$

符合 (1) 和 (2) 的關係式為：

$$a \propto \frac{F}{m} \Rightarrow F \propto ma$$

以等式表達，

$$F = k \times ma \dots\dots\dots (3)$$

其中 k 是常數。這就是**牛頓運動第二定律**，它指出：

物體的加速度與作用於物體的淨力成正比，與物體的質量成反比；
加速度與淨力方向相同。

如果一道力可以令質量為 1 kg 的物體以 1 m s^{-2} 加速，根據定義，這道力的量值便是 1 牛頓。把 $F = 1 \text{ N}$ 、 $m = 1 \text{ kg}$ 和 $a = 1 \text{ m s}^{-2}$ 代入方程 (3) 中，得出常數 k 等於 1 。因此，(3) 變成

$$F = ma$$

其中 F (以 N 為單位) 是淨力， m (以 kg 為單位) 和 a (以 m s^{-2} 為單位) 分別是物體的質量和加速度。

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m s}^{-2}$$

例題 4 溜冰時的加速度

在光滑的冰面上，建華以 100 N 的力把秀瑩推向前，秀瑩便開始移動 (圖 a)。秀瑩的質量是 50 kg 。求她的加速度。



圖 a

題解

圖 b 是秀瑩的隔離體圖。

秀瑩沿水平方向加速，而垂直方向的力不會影響水平方向的運動，因此計算加速度時只須考慮建華施於她的力。

取向右為正。根據 $F = ma$ ，

$$a = \frac{F}{m} = \frac{100}{50} = 2 \text{ m s}^{-2}$$

她的加速度是向右 2 m s^{-2} 。



圖 b

▶ 進度評估 3 Q1 (p.111)

例題 5 繩的張力

美珊在練習滑水 (圖 a)。她由靜止開始沿直線以 2 m s^{-2} 向左加速，期間她拉着的繩保持水平。她的質量是 55 kg ，與水之間的摩擦力為 100 N 。



圖 a

- (a) 繩的張力是多少？
- (b) 美珊突然放開繩索。假設作用於她的摩擦力保持不變，試描述她剛放手時的運動。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

運用牛頓第二定律解題

- ① 畫出物體的隔離體圖。
- ② 選定哪個方向為正。為方便起見，通常取初速度的方向為正。
- ③ 找出沿這方作用於物體的淨力，垂直於這方向的力一般無須考慮。
- ④ 寫出方程式 $F = ma$ 並代入數字。留意減號已表示 f 的方向。
- ⑤ 找出未知量。

題解

圖 b 是美珊的隔離體圖。

取向左為正。

(a) 根據 $F = ma$ ，

$$\begin{aligned} T - f &= ma \\ T &= ma + f \\ &= 55 \times 2 + 100 \\ &= 210 \text{ N} \end{aligned}$$

繩的張力是 210 N 。

(b) 美珊放手後，摩擦力便成為作用於她的淨力。

根據 $F = ma$ ，

$$a = \frac{F}{m} = \frac{-100}{55} = -1.82 \text{ m s}^{-2}$$

美珊向左移動，減速度是 1.82 m s^{-2} 。

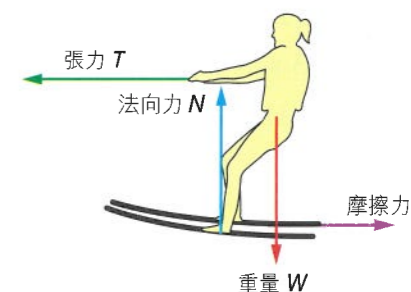


圖 b

第 98 頁的表 3.1a 把作用力相加來計算淨力 ($F = F_1 + F_2$)，當中所有力都是矢量，本例題則把淨力寫作 $T - f$ ，這裏 f 其實是摩擦力的量值，算式中的減號已處理了摩擦力的方向。

▶ 進度評估 3 Q2 (p.111)

進度評估 3

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.108)。

21 司機看見交通燈轉為紅燈，便以 3 m s^{-2} 減慢汽車。汽車的總質量是 1500 kg ，作用於汽車的淨力量值是多少？ **4500 N**

22 家明和美娟合力推車 (圖 a)，家明的推力是 600 N ，美娟的推力是 300 N 。如果道路是水平的，而汽車的質量是 2000 kg ，加速度是向前 0.1 m s^{-2} ，作用於它的摩擦力是多少？ **700 N**



圖 a

預試訓練 1

摩擦力與淨力 ☆ 香港中學會考 2010 年卷一 Q1 及香港中學會考 2006 年卷一 Q4

工人推着手推車沿水平的直路前進，手推車載着一個質量為 4 kg 的盒子（圖 a），盒子與手推車一起移動，並沒有滑動。圖 b 顯示盒子的 $a-t$ 關係線圖，圖中取向左為正。在 $t = 0$ ，盒子以速度 v_0 向左移動。

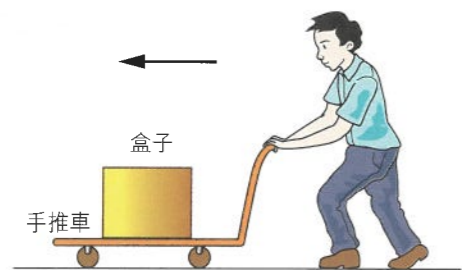


圖 a

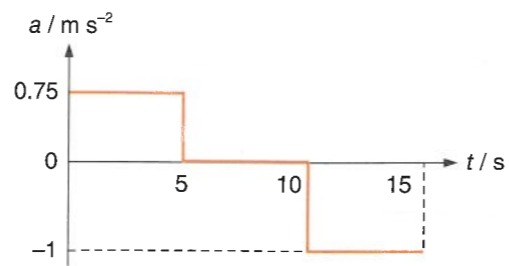


圖 b

- (a) 畫出盒子在 $t = 3$ s 的隔離體圖。 (2 分)
- (b) 在 $t = 3$ s 和 $t = 13$ s，作用於盒子的摩擦力是多少？ (3 分)
- (c) 草繪 0-15 s 之間盒子的速度—時間關係線圖。無須再作任何運算。 (3 分)

題解

(a) 來自手推車的法向力 N
 摩擦力 f
 盒子的重量 W

（一個正確的力及名稱） 1A
 （所有正確） 1A

常見錯誤

學生或誤以為摩擦力和加速度方向相反，他們不知道摩擦力就是令盒子加速的淨力。

(b) 作用於盒子的淨力等於摩擦力。
 運用 $F = ma$ 。
 在 $t = 3$ s，摩擦力 $f = ma = 4 \times 0.75 = 3$ N
 在 $t = 13$ s，摩擦力 $f = ma = 4 \times (-1) = -4$ N

負號表示摩擦力在 $t = 13$ s 時指向右。

(c)

常見錯誤

學生或沒注意到，在 0-5 s 與 10-15 s 這兩段時間內，手推車的加速度量值並不相同，於是他們的線圖中，這兩段時間的圖線斜率量值相同。

- (0-5 s：加速度恆定) 1A
- (5-10 s：速度恆定) 1A
- (10-15 s：減速度恆定，斜率量值大於 0-5 s 期間) 1A

複習 Q41 (p.144)

技巧分析

解答有關相連物體的題目

- ① 繪畫每個物體的隔離體圖。
- ② 對每個物體應用牛頓運動第二定律。
- ③ 解方程。

另外，也可以把這些物體看作一個整體，並以牛頓運動第二定律計算它的加速度。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

例題 6 相連的物體

- (a) 一道 10 N 的水平力把方塊沿光滑水平地面拉向左方（圖 a），方塊的質量為 5 kg。求方塊的加速度 a 。
- (b) 然後，方塊分裂成 X 和 Y 兩部分，X 的質量是 2 kg，Y 的質量是 3 kg。X 和 Y 以不可延伸的輕繩連接，一道 10 N 的水平力把 X 沿光滑水平地面拉向左方（圖 b）。求 X 的加速度 a_x 和輕繩的張力 T 。

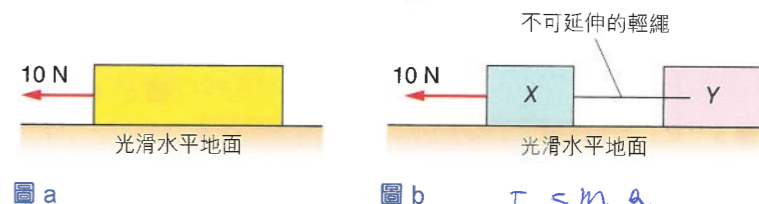


圖 a

圖 b

$F = ma$
 $10 = (3+2)a$
 $a = 2 \text{ m s}^{-2}$

題解

考慮水平方向，並取向左為正。

(a) 根據 $F = ma$ ，
 $a = \frac{F}{m} = \frac{10}{5} = 2 \text{ m s}^{-2}$

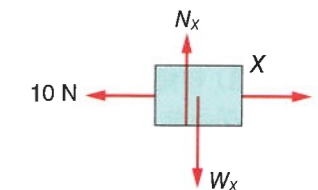


圖 c

(b) 考慮 X（圖 c）。根據 $F = ma$ ，
 $10 - T = 2a_x$ (1)

考慮 Y（圖 d）。根據 $F = ma$ ，
 $T = 3a_x$ (2)

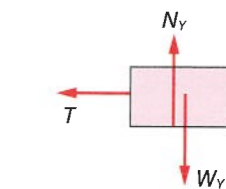


圖 d

(1) + (2),
 $10 = 5a_x$
 $a_x = 2 \text{ m s}^{-2}$

把 $a_x = 2 \text{ m s}^{-2}$ 代入 (2)，
 $T = 3 \times 2 = 6 \text{ N}$

習題與思考 3.3 Q6 (p.114)

$F_{net} = ma$
 $T_1 > T_2$ $F > T_1$ $P: F - T_1 = m_p a$ — ①
 $Q: T_1 - T_2 = m_q a$ — ②
 $R: T_2 = m_r a$ — ③

進度評估 4 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.108）。

（第 1 至 2 題）在光滑的水平面，三個相同的物體 P、Q 和 R 以兩條不可延伸的輕繩相連（圖 a）。力 F 沿水平方向把 P 向右拉，令三個物體一起向右移動。如圖所示，兩條繩的張力是 T_1 和 T_2 。

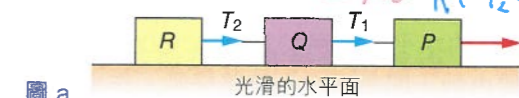


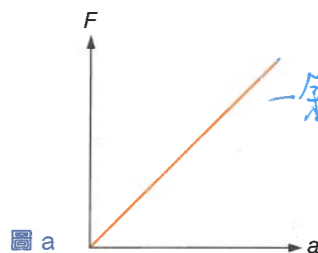
圖 a

- 21 求作用於 P 的淨力。答案以 F 、 T_1 和 T_2 表示。
 $F - T_1$
- 22 F 、 T_1 和 T_2 三個力，哪個的量值最小？ T_2



習題與思考 3.3 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.108)。

1 學生畫出物體的 a - F 關係線圖，其中 a 是物體的加速度， F 是作用於物體的淨力 (圖 a)。物體的質量是 m 。圖線的斜率有甚麼物理意義？

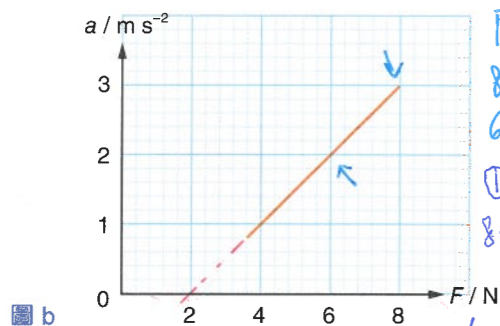


- A m^{-2} B m^{-1}
 C m D m^2

2 某人以 50 N 的力推 40 kg 的箱子，箱子便以 0.5 m s^{-2} 加速。作用於箱子的淨力是多少？

- A 20 N B 30 N
 C 40 N D 50 N

(第 3 至 4 題) 物體置於粗糙的水平面上，受水平力 F 作用。圖 b 顯示物體的加速度 a 怎樣隨 F 變化。作用於物體的摩擦力保持不變。



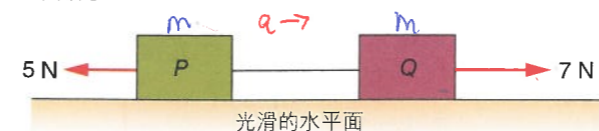
- 2 * 3 估算物體的質量。
 A 0.33 kg B 0.5 kg
 C 2 kg D 3 kg
- 2 * 4 估算作用於物體的摩擦力是多少。
 A 2 N B 4 N
 C 6 N D 8 N

2 * 5 一道 1000 N 的水平力作用於質量為 1500 kg 的汽車，汽車便由靜止開始沿水平直路移動。作用於汽車的摩擦力是 500 N。汽車受力 10 s，期間經過的距離是多少？

- A 16.7 m B 33.3 m
 C 50 m D 100 m

$s = ut + \frac{1}{2}at^2$
 $F - f = ma$
 $1000 - 500 = 1500a, a = 0.33 \text{ m s}^{-2}$
 $s = 0 + \frac{1}{2} \times 0.33 \times 10^2 = 16.7 \text{ m}$

6 光滑的水平面上有兩個完全相同的箱子 P 和 Q，它們以不可延伸的輕繩連接 (圖 c)。一道 5 N 的水平力把 P 拉向左方，一道 7 N 的水平力把 Q 拉向右方。



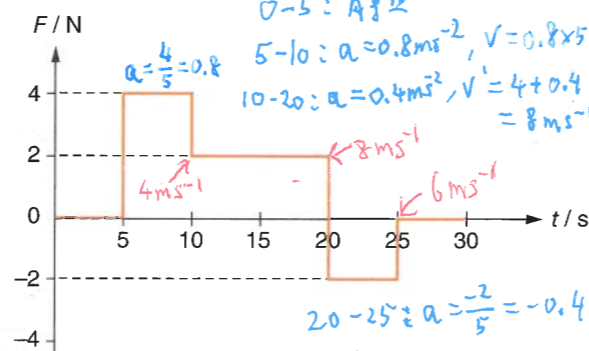
作用於 P 的淨力量值是多少？

- A 1 N B 2 N
 C 12 N D 無法確定，因為箱子的質量是未知數

7 汽車沿直路由 72 km h^{-1} 勻減速至停下，制動距離為 40 m。汽車的質量是 1000 kg。

(a) 汽車的加速度是多少？
 (b) 作用於汽車的制動力是多少？

8 圖 d 顯示作用於物體的淨力 F 怎樣隨時間 t 變化。在整個過程中，物體沿直線移動。物體的質量是 5 kg，在 $t = 0$ 時是靜止的。試描述物體在 0-30 s 的運動。



9 一道 10 N 的水平力把一個 4 kg 的盒子推向右，令它沿水平直路以 2 m s^{-2} 向右勻加速。

- (a) 如果力的量值增至 20 N，盒子的加速度是多少？
 (b) 假設盒子本來是靜止的，20 N 的水平力作用於盒子 5 s，盒子的位移是多少？
 (c) 試舉出一個方法，令盒子受到這 20 N 水平力推動時加速度變得更大。

(a) $20 - 2 = 4a \therefore a = 4.5 \text{ m s}^{-2}$
 (b) $s = 0 + \frac{1}{2} \times 4.5 \times 5^2 = 56.3 \text{ m}$
 (c) $s = 0 + \frac{1}{2} \times 4.5 \times 5^2 = 56.3 \text{ m}$

3.4

重量、摩擦力與流體阻力

起點 好奇號著陸

好奇號是美國太空總署送去火星的探察機械人，在 2012 年 8 月 6 日登陸。好奇號要安全降落，就要在大約 400 s 內把速率由 5.8 km s^{-1} 減至 0.75 m s^{-1} ，所受的制動力最大值約為 $4 \times 10^5 \text{ N}$ 。這制動力從何而來？參看第 124 頁例題 11。



- ✓ 本節重點
 1 質量和重量
 2 摩擦力
 3 流體阻力

這單元會深入探討三種不同的力，以及如何在相關情況下運用牛頓運動第二定律。

1 重量

在地球上，物體的重量是地球作用於它的重力 (又稱引力) (圖 3.4a)。物體自由下落時，因重量的作用而以 g 加速。如果物體的質量為 m ，根據 $F = ma$ ，它的重量 W 就是 mg 。



圖 3.4a 重量是地球作用於物體的重力

物體在地球的重量是地球作用於它的重力。

$W = mg$

在地球表面， $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ ，因此，質量為 1 kg 的物體，它的重量為

$W = 1 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m s}^{-2} = 9.81 \text{ N} \approx 10 \text{ N}$

a 質量與重量

在日常生活中，我們不會區分質量和重量，但在科學範疇，它們是兩個不同的概念。物體的質量代表它的慣性有多大，重量則是作用於它的重力。

學生須懂得區分質量和重量。

物體的質量視乎它包含的物質而定，所以無論在哪裏量度，結果都是一樣的。相反，物體的重量取決於地點。例如，地球上的物體置於水星時，重量會變小，置於木星時重量則會變大（圖 3.4b），這是因為這些星球上的重力加速度都不同。

第 10 課會解釋為甚麼不同地方的重力加速度並不相同。



圖 3.4b 在不同星球上，同一質量的東西重量並不相同

錄像片段 3.7

錄像片段 3.7 顯示人類第一次登陸月球的情況，學生當可看出月球的重力加速度比地球小。

例題 7 太空人在月球的重量

太空人在地球的質量是 80 kg，他登陸月球後（圖 a），重量只及在地球時的六分之一。



圖 a

- (a) 他在月球的質量和重量是多少？
- (b) 月球上的重力加速度是多少？

題解

- (a) 在月球的質量 = 在地球的質量 = 80 kg
 在月球的重量 = $\frac{1}{6} \times$ 在地球的重量 = $\frac{1}{6} \times 80 \times 9.81 = 131 \text{ N}$
- (b) 根據 $W = mg$ ，太空人在月球上，
 $131 = 80g_M$
 $g_M = 1.64 \text{ m s}^{-2}$
 月球上的重力加速度是 1.64 m s^{-2} 。

進度評估 5 Q2-3 (p.121)

表 3.4a 是質量與重量的對比。

質量	重量
代表物體慣性的大小	作用於物體的重力
以 kg 為單位	以 N 為單位
數值不受地點影響	數值取決於地點

表 3.4a 比較質量與重量

b 量度質量與重量

第 5 課會討論天平的原理。天平（圖 3.4c）是量度質量的常用工具，原理與蹺蹺板相似：在天平一邊放已知質量的砝碼，另一邊放未知質量的物體，藉着比較兩者的重量，便可知道物體的質量（圖 3.4d）。在同一地方，兩個質量為 m_1 和 m_2 的物體，它們各自的重量是

$$W_1 = m_1g$$

$$W_2 = m_2g$$

因此，如果兩個物體在同一地方的重量相同，它們的質量也必相同。在不同地方用天平量度物體的質量，結果不會改變。

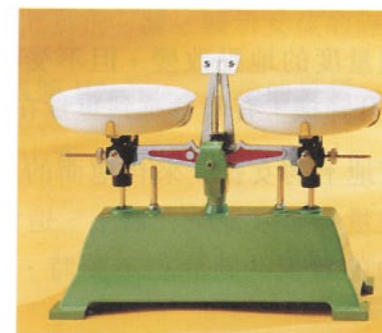


圖 3.4c 天平



可吩咐學生畫出圖 3.4e 中彈簧秤的隔離體圖，然後他們當會知道以下彈簧秤的讀數是 F 。

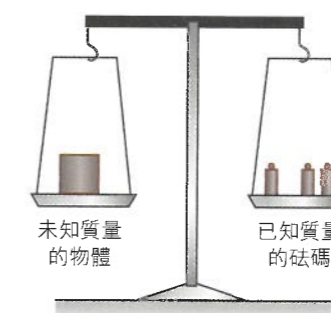


圖 3.4d 量度質量

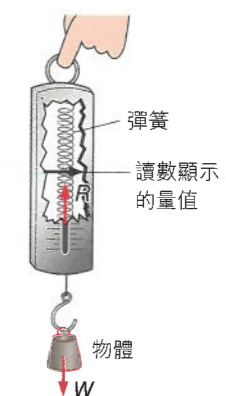


圖 3.4e 彈簧秤的原理

重量是一種力，所以能夠用彈簧秤量度。物體拉長秤裏的彈簧，令彈簧產生向上的拉力 R ，抵銷物體的重量 W （圖 3.4e）。秤的讀數就是力 R 的量值。

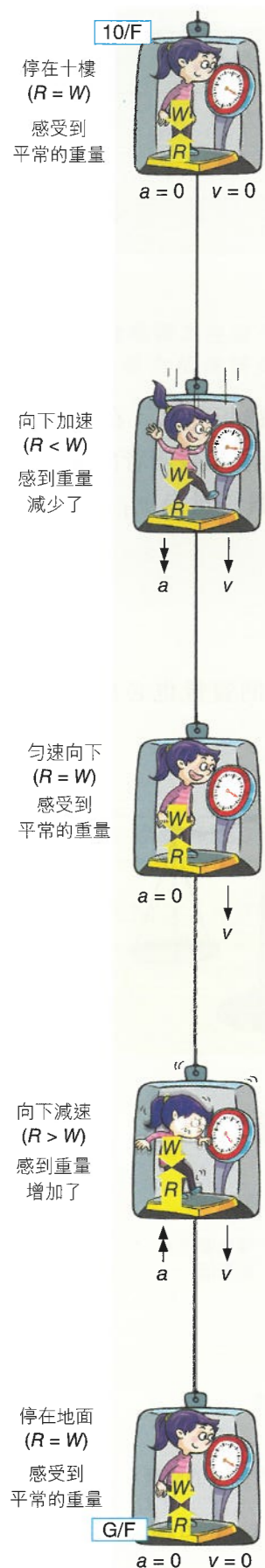


圖 3.4h 女孩乘升降機下降

量度重量除了用彈簧秤外，日常生活還可使用各式各樣的磅（圖 3.4f）。它們的原理跟彈簧秤相似。

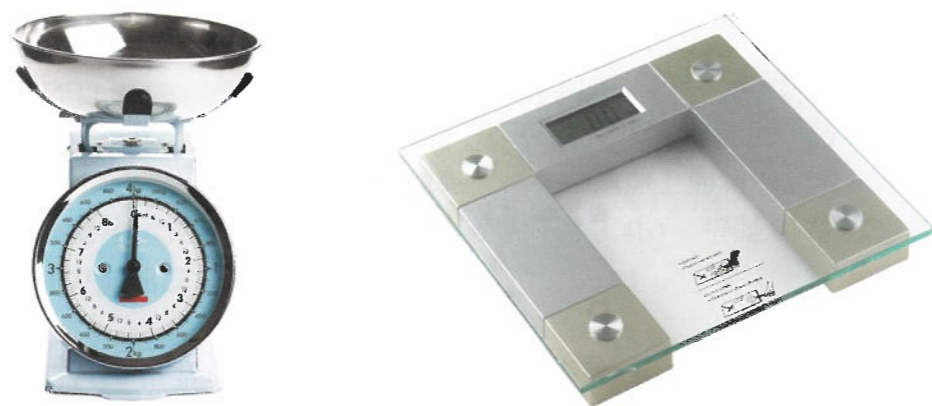


圖 3.4f 不同種類的磅

用彈簧秤或任何磅量度物體的重量，在不同地方或會得出不同的數值（圖 3.4b，見 p.116）。

c 在升降機中感受到的重量

物體的重量隨量度的地點改變，但不受物體的運動狀態影響。不過，回想一下，乘搭升降機，有時會感到重量在減少或增加，為甚麼會這樣呢？

考慮一個站在地上的女孩。來自地面的法向力支撐着她的身體，令她感受到自身的重量。如果她站在磅上，這法向力就會來自磅，而磅的讀數就顯示這道力的量值。她靜止不動時，磅的讀數 R 和重量 W 是相同的（圖 3.4g）。

升降機加速時 R 不等於 W 。可在教授單元 3.5 後問學生這結果是否違反牛頓第三定律。



圖 3.4g 靜止不動時，磅的讀數 R 和重量 W 相同

她的重量必然是 mg ，但如果升降機加速，作用於身體的法向力（即她感受到的重量）便會改變。圖 3.4h 所舉的例子，顯示升降機從十樓下降到地面，期間女孩所感受到的重量（稱為表觀重量）怎樣改變。

生活中的物理

跳樓機

玩過海洋公園的跳樓機嗎？從二十層樓高的地方自由下落，你感受到的重量會是多少？零



牛津物理網

模擬程式 3.3
錄像片段 3.8

→ 模擬程式 3.3 解釋乘搭升降機時表觀重量改變的原因。這程式說明升降機的運動（靜止、勻速、加速及減速）怎樣影響作用於乘客的反作用力。
→ 錄像片段 3.8 顯示升降機 (a) 上升和 (b) 下降時，乘客表觀重量的變化。

升降機正在減速。

女孩自由下落 $\Rightarrow a = -g$

女孩會感到失重。

自由下落時，磅和天平都不能正常運作。

例題 8 在升降機中感受到的重量

女孩在台北 101（圖 a）的升降機做了一個實驗。她站在一個以牛頓為單位的磅上，升降機靜止時磅的讀數為 500 N。升降機在 $t = 0$ 從靜止開始移動，用了 39 s 由 1 樓上升到 89 樓，期間磅的讀數如圖 b 所示。



圖 a

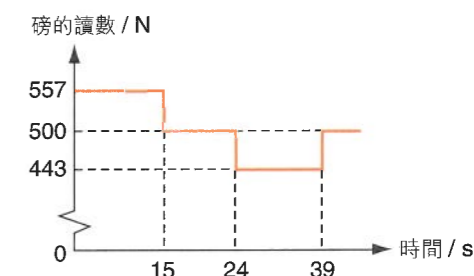


圖 b

- 求升降機在 (i) 0–15 s，(ii) 24–39 s 期間的加速度。
- 在 15–24 s 期間，升降機的速率是多少？
- 假若發生意外，升降機和女孩一起自由下落，磅的讀數會是多少？

題解

取向上為正。圖 c 顯示女孩的隔離體圖。

(a) 根據 $W = mg$ ，女孩的質量 = $\frac{W}{g} = \frac{500}{9.81} = 50.97 \text{ kg}$

(i) 在 0–15 s 期間，根據 $F = ma$ ，

$$\begin{aligned} R - W &= ma \\ 557 - 500 &= 50.97a \\ a &= 1.12 \text{ m s}^{-2} \end{aligned}$$

升降機的加速度是向上 1.12 m s^{-2} 。

(ii) 在 24–39 s 期間，根據 $F = ma$ ，

$$\begin{aligned} R - W &= ma \\ 443 - 500 &= 50.97a \\ a &= -1.12 \text{ m s}^{-2} \end{aligned}$$

升降機的加速度是向下 1.12 m s^{-2} 。

(b) 在 0–15 s 期間，升降機從靜止開始勻加速。在 15–24 s 期間，升降機以 $t = 15 \text{ s}$ 時所達到的速率上升。

在 15–24 s 期間，速率 = $u + at = 0 + 1.12 \times 15 = 16.8 \text{ m s}^{-1}$

(c) $R - W = -mg$

$$R - 500 = -500$$

$$R = 0$$

磅的讀數是 0。

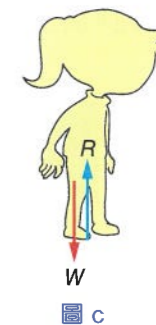


圖 c

▶ 習題與思考 3.4 Q11 (p.127)

▶ 可着學生估算 89 樓的高度。

$$s = [0 + \frac{1}{2}(1.12)15^2] + 16.8(24 - 15) + [16.8(39 - 24) + \frac{1}{2}(-1.12)(39 - 24)^2] = 400 \text{ m}$$

實驗技巧應用

例題 9 牛頓第二定律實驗

質量為 800 g 的小車放在水平的跑道上，並以不可延伸的輕繩連接 100 g 砝碼 (圖 a)。運動感應器安裝在跑道的一端，以記錄小車的加速度。

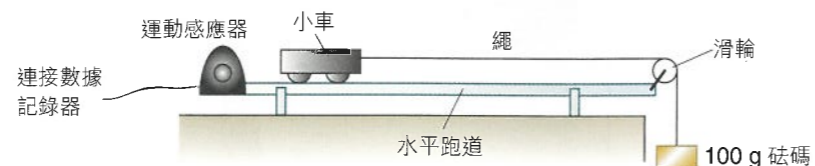


圖 a

- (a) 放開砝碼後，小車會加速。某學生認為作用於小車的淨力等於砝碼的重量。試解釋為甚麼這說法是錯的。
- (b) 根據題目提供的資料，找出小車加速度的理論值。
- (c) 實驗量得的加速度與 (b) 的答案不同，試舉出一個原因。

題解

- (a) 放開砝碼後，砝碼會向下加速，這顯示繩的張力小於砝碼的重量，因此，作用於小車的淨力小於砝碼的重量。
- (b) 由於砝碼和小車以不能延伸的繩連着，它們的加速度有相同的量值 a 。

考慮砝碼 (圖 b)。取向下為正。
 根據 $F = ma$ ，
 $mg - T = ma$
 $T = mg - ma$
 $T = 0.1g - 0.1a \dots\dots\dots (1)$

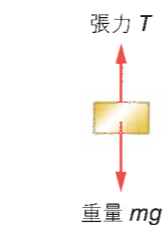


圖 b

考慮小車 (圖 c)。取向右為正。
 張力 T 是作用於小車的淨力。
 根據 $F = ma$ ，
 $T = 0.8a \dots\dots\dots (2)$

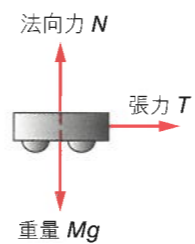


圖 c

把 (2) 代入 (1)，
 $0.8a = 0.1g - 0.1a$
 $a = \frac{0.1g}{0.9} = \frac{0.1 \times 9.81}{0.9} = 1.09 \text{ m s}^{-2}$

小車加速度的理論值是 1.09 m s^{-2} 。

- (b) 有摩擦力作用於小車。

▶ 複習 Q42 (p.144)

▶ 可作以下示範：
 垂直懸起軟彈簧，然後放手讓彈簧落下。着學生小心觀察彈簧下落的情形，並解釋彈簧下端的運動。
 詳情可參考以下網站：
<http://www.youtube.com/watch?v=mAA613hqz0>



答案：
 放開彈簧上端後，彈簧下端仍是拉長的。
 作用於彈簧下端的淨力
 $= T - W = 0$
 所以彈簧下端與彈簧上端相撞之前，會一直保持靜止。

根據 (2)，
 $T = 0.8 \times 1.09$
 $= 0.872 \text{ N}$
 這比砝碼的重量小。

進度評估 5 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.115)。

- 11 下列哪一項是重量的單位？
 A 千克 B 米
 C 牛頓 D 瓦特
- (第 2 至 4 題) 一個質量為 2 kg 的物體懸掛在彈簧秤上，物體靜止不動。
- 12 在地球上，彈簧秤的讀數是多少？
 A 0 B 2 N
 C 17.7 N D 19.6 N
- 13 如果彈簧秤和物體都在金星上，秤的讀數會是多少？金星的重力加速度為 8.87 m s^{-2} 。
 A 0 B 2 N
 C 17.7 N D 19.6 N
- 14 如果物體和彈簧秤一起自由下落，秤的讀數會是多少？
 A 0 B 2 N
 C 17.7 N D 19.6 N

2 摩擦力

我們走路時腳會向後推，▶ 摩擦力在生活中不可或缺，擰開水瓶的蓋子需要摩擦力，走路時也要有摩擦力推動我們前進 (圖 3.4i)。



圖 3.4i 摩擦力的用途

不過，摩擦力有時也會帶來不便，這時我們便要設法減低摩擦力 (圖 3.4j)。



(i) 車輪把滑動變為滾動

(ii) 潤滑油避免兩個表面接觸

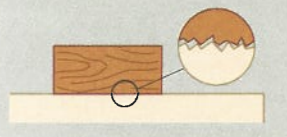
(iii) 氣墊隔開船身和水面

圖 3.4j 減低摩擦力

補充資料

摩擦力的成因

兩個表面之間有摩擦力，是因為物體的表面充滿微細的凹凸處。兩個表面接觸時，這些微細的凹凸處互相嵌在一起，產生摩擦力。



考慮一個置於粗糙水平面的盒子(圖 3.4k)。顯而易見，如果作用於盒子的外力 F 為零，盒子與水平面之間的摩擦力 f 也是零。

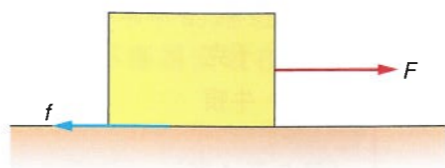


圖 3.4k 盒子置於粗糙水平面

現在，假設 F 不是零，但量值很小。從日常經驗可知， F 太小的話，盒子不會移動。根據牛頓第一定律，作用於盒子的淨力一定是零。即是說， f 與 F 大小相同，但方向相反。

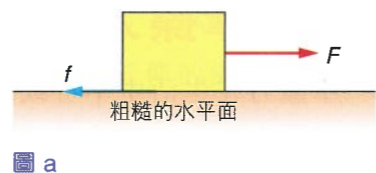
當 F 增加， f 也會相應增加。可是 f 不能無限增加，它有一個最大值。假如 F 大於這個數值，盒子便會移動。盒子移動時，摩擦力會保持不變。

緊記摩擦力的方向必定與物體的移動方向相反。

學生不必知道靜摩擦比動摩擦略大，但應知道不同情況下摩擦力的變化，以回答類似文憑試 2012 年卷一甲部 Q11 的題目。

例題 10 摩擦力與施力

在粗糙的水平面上，水平力 F 把質量為 2 kg 的箱子拉向右，作用於箱子的摩擦力是 f (圖 a)。



- (a) 當 F 等於 5 N，箱子靜止不動。求 f 。
- (b) 當 F 等於 10 N，箱子以 0.5 m s^{-2} 向右加速。
 - (i) 求 f 。
 - (ii) 力 F 突然消失，這時摩擦力是多少？指向哪個方向

題解

(a) 由於箱子靜止，根據牛頓第一定律，

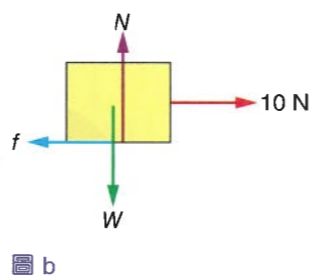
$$f = F = 5 \text{ N}$$

(b) (i) 取向右為正(圖 b)。

根據 $F = ma$ ，沿水平方向，

$$10 - f = 2 \times 0.5$$

$$f = 9 \text{ N}$$



- (ii) F 剛消失時，箱子還會繼續在平面上向右移動，因此 f 保持不變。
 \therefore 摩擦力是 9 N，指向左方。

習題與思考 3.4 Q8 (p.127)

F 消失後，箱子因慣性而繼續向右移動。這時摩擦力是作用於箱子的淨力，而這力總是妨礙物體運動，所以箱子會減慢，直至停下。

3 流體阻力

物體在流體(即氣體或液體)中移動時，會受流體阻力作用。空氣阻力就是流體阻力的一種。

物體在流體中移動的速率愈高，遇到的阻力愈大。如果物體在流體中靜止不動，阻力便是零。流線型的物體遇到的流體阻力較小(圖 3.4l)。

風洞測試利用煙(相中的白線)來展現空氣流過汽車的情況。



圖 3.4l 流線型的物體



錄像片段 3.9

錄像片段 3.9 顯示跳傘的情況。

加速度減低，不代表移動減慢。他的速率仍在增加，不過增加得愈來愈慢。

提醒學生加速度減低與減速度的分別。跳傘員只在打開降落傘後才會減速。

表 3.4b 以跳傘為例，分析流體阻力的作用。跳傘員受自身重量和空氣阻力作用，他的運動可分為數個階段。

- ① 跳傘員剛跳出機艙時，向下的速度為零，所以不受空氣阻力作用，重量 W 就是作用於他的淨力 F 。在這一刻，他的加速度是 g 。
- ② 他的速率增加，作用於他的空氣阻力 f 亦相應增大。淨力 $F (= W - f)$ 逐漸減少，因此加速度也逐漸減低(根據 $F = ma$, $F \downarrow \Rightarrow a \downarrow$)。
- ③ f 最終增大至足以抵銷 W ，作用於跳傘員的淨力 F 變為零，因此，他的加速度也是零。這時他以恆速率下跌，這速率稱為終端速率。
- ④ 跳傘員繼續以終端速率下跌。
- ⑤ 跳傘員打開降落傘，令空氣阻力大幅增加。這時淨力 $F (= W - f)$ 和加速度都指向上，他的速率會大減至低於 5 m s^{-1} ，因此可以安全著陸。

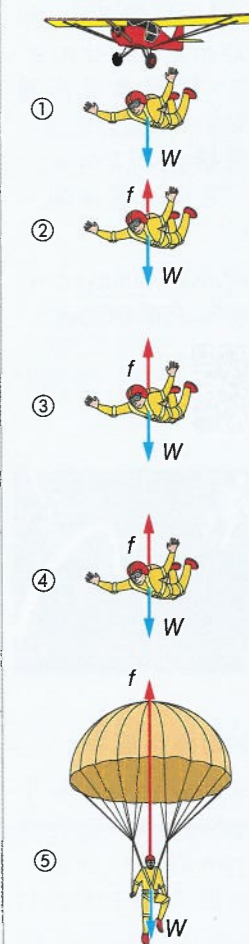


表 3.4b 跳傘的不同階段(取向下為正)

3 力與運動 I

為甚麼跳傘員打開降落傘後，線圖會再次趨向水平？

跳傘員打開降落傘後會減慢，所以空氣阻力 f 逐漸減少。最後，淨力 $F (= W - f)$ 變為零，因此加速度亦變為零。

圖 3.4m 顯示跳傘員的 $v-t$ 和 $a-t$ 關係線圖。

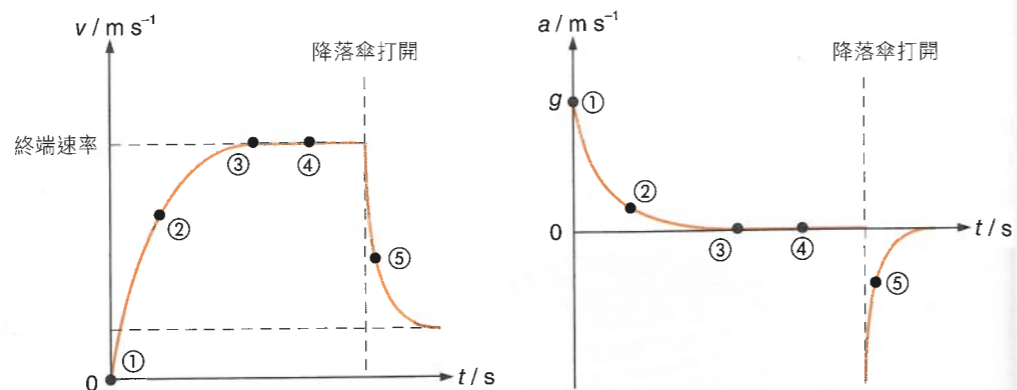


圖 3.4m 跳傘員的 $v-t$ 和 $a-t$ 關係線圖 (取向下為正)

尤斯塔斯 (Alan Eustace) 在 2014 年 10 月 24 日從離地 41.4 km 的高空跳下，打破了保加拿的最高跳傘高度的世界紀錄，不過他的終端速率 (367 m s^{-1}) 卻不及保加拿。

生活中的物理

跳傘的終端速率

跳傘員的終端速率一般為 50 m s^{-1} 至 90 m s^{-1} 左右。保加拿曾由離地 39 km 的高空跳下，最高速達 377 m s^{-1} 。以下是這次跳傘的片段。

<http://www.youtube.com/watch?v=2RR-tzGOyi0>



雨點的終端速率

不同大小的雨點有不同的終端速率。直徑為 0.5 mm 的細小雨點，終端速率為 2 m s^{-1} ；直徑為 5.0 mm 的大雨點，終端速率更可達到 9 m s^{-1} 。

例題 11 好奇號著陸

起點提及的好奇號由太空船運載，太空船進入火星大氣層後，因流體阻力而減速。

太空船離火星表面 11 km 時，降落傘打開 (圖 a)。太空船的質量是 3890 kg，在火星上的重量是 14 400 N。在某一刻，它垂直下降，減速度為 50 m s^{-2} 。

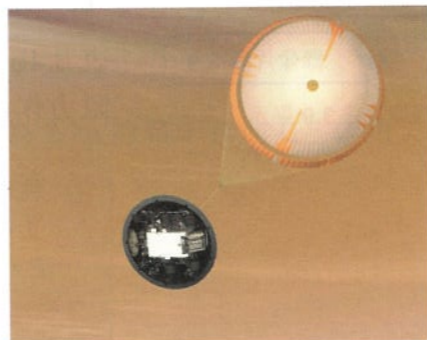


圖 a

- (a) 繪畫太空船垂直下降並減速時的隔離體圖。
- (b) 太空船以減速度 50 m s^{-2} 垂直下降時，作用於它的流體阻力是多少？

題解

- (a) 圖 b 顯示太空船的隔離體圖。
- (b) 取向上為正。

淨力 $= f - W = f - 14\,400$
 根據 $F = ma$ ，
 $f - 14\,400 = 3890 \times 50$
 $f = 209\,000 \text{ N}$
 流體阻力是 209 000 N。

最主要的減速在打開降落傘前出現，在這階段減速的原因是太空船與火星大氣層之間出現流體阻力。
<http://space.brevardtimes.com/2012/08/nasa-mars-curiositys-7-minutes-of.html>



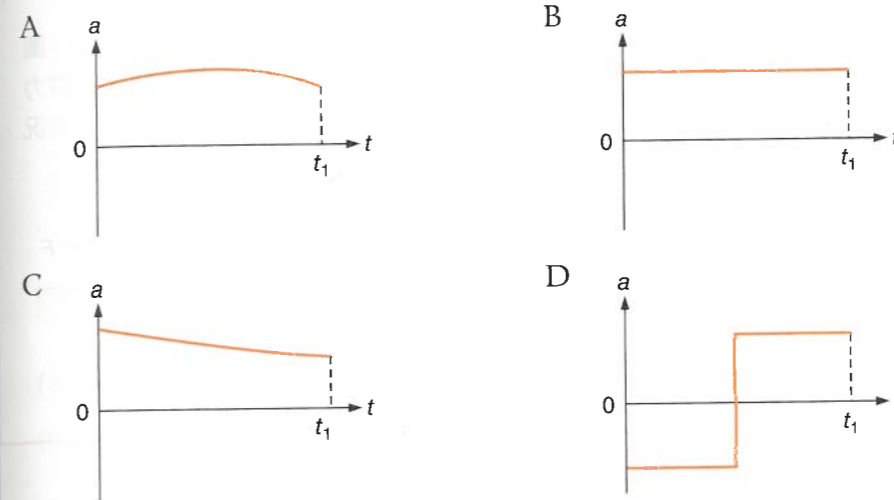
圖 b

習題與思考 3.4 Q4 (p.126)

預試訓練 2

空氣阻力下的垂直運動 ☆ 香港中學會考 2010 年卷二 Q30

家良在 $t = 0$ 把乒乓球垂直向上拋，球在 $t = t_1$ 跌回原本位置。如果空氣阻力不可略去不計，下列哪一幅線圖最能顯示乒乓球加速度 a 與時間 t 的關係？取向下為正。



題解

球上升時，空氣阻力 R 指向下 (圖 a)。

根據 $F = ma$ ，
 $a = \frac{R + W}{m} > \frac{W}{m} = g$

因為球正在減速，所以 R 不斷減少。因此，球上升時 a 會愈來愈小。

球到達最高點時是瞬時靜止的，這時 R 是零 (圖 b)。

$\therefore a = g$
 球下跌時，空氣阻力 R 指向上 (圖 c)。
 $\therefore a = \frac{W - R}{m} < \frac{W}{m} = g$

因為球正在加速，所以 R 不斷增大。因此，球下跌時 a 會愈來愈小。

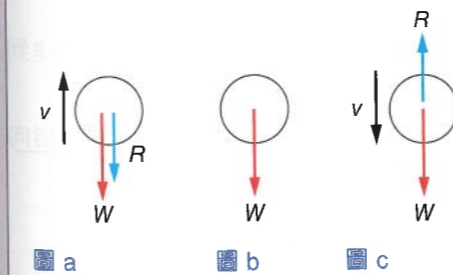


圖 a 圖 b 圖 c

- \therefore 在整個旅程中 a 都在減少。
- \therefore 答案是 C。

常見錯誤

學生可能不知道怎樣處理受空氣阻力影響的情況，他們不懂得將球的運動分作不同階段來考慮。

複習 Q20 (p.139)

進度評估 6

各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.115)。

(第 1 至 2 題) 君勇在相同高度放開紙團 X 和平直的紙張 Y(圖 a), X 和 Y 的質量都是 0.005 kg。它們碰到地面前都達到終端速率。



圖 a

3 1 哪張紙先到達地面? X

3 2 X 和 Y 達到終端速率後, 作用於它們的空氣阻力是多少? 0.0491 N (向上)

2 3 在粗糙的水平面上, 箱子受水平力 F 作用(圖 b)。如果箱子在平面上移動, 它們之間的摩擦力就是 25 N。假設箱子原本是靜止的。求以下情況中, 箱子與平面之間的摩擦力。

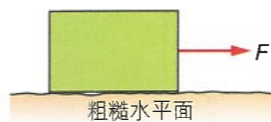


圖 b

- (a) $F = 10 \text{ N}$ 10 N
- (b) $F = 20 \text{ N}$ 20 N
- (c) $F = 30 \text{ N}$ 25 N
- (d) $F = 40 \text{ N}$ 25 N

習題與思考 3.4

如有需要, 取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$, 除特別指明外, 空氣阻力可略去不計。

1 1 下列哪一項敘述是正確的?

- A 重量與即是質量。
- B 重量的單位是千克。
- C 不論在甚麼位置, 物體的質量都不變。
- D 不論在甚麼位置, 物體的重力都不變。



1 2 要量度太空人的質量, 不能使用普通的磅, 而要使用圖 a 所示的儀器, 它會以恆定的力拉動太空人, 並量度太空人的加速度。



圖 a

假設這儀器以 23.3 N 的力拉動太空人時, 太空人的加速度是 0.321 m s^{-2} 。這太空人的質量是多少?

- A 65.0 kg
- B 69.9 kg
- C 72.6 kg
- D 74.8 kg

$F = ma$
 $23.3 = m \times 0.321$
 $m = 72.6 \text{ kg}$

3 3 長征三號乙火箭發射時, 加速度是 4.09 m s^{-2} (圖 b)。它的質量是 $4.26 \times 10^5 \text{ kg}$ 。它的向上推力有多大?



圖 b

- A $1.74 \times 10^6 \text{ N}$
- B $2.44 \times 10^6 \text{ N}$
- C $4.18 \times 10^6 \text{ N}$
- D $5.92 \times 10^6 \text{ N}$

$v = ut + at$
 $27.8 = 52.8 + a \times 0.8$
 $a = -31.3 \text{ m s}^{-2}$
 $R - W = ma$
 $R - 70 \times 9.81 = 70 \times 31.3$

(水)阻力 = 重量

3 4 質量為 70 kg 的跳傘員張開降落傘, 他下跌的速度在 0.8 s 內從 190 km h^{-1} 降低至 100 km h^{-1} 。假設他在這段時間內的減速度是恆定的, 作用在他身上的空氣阻力是多少?

- A 788 N
- B 1500 N
- C 2190 N
- D 2870 N

3 5 石頭於 $t = 0$ 由靜止開始在水中下沉, 於 $t = T$ 達到終端速率。下列哪項敘述是正確的?

- (1) 由 $t = 0$ 至 $t = T$ 期間, 作用於石頭的淨力指向上。
- (2) 過了時間 T 之後, 石頭的重量變為零。
- (3) 石頭在 $t = 0$ 至 $t = T$ 期間加快下沉。

- A 只有 (3)
- B 只有 (1) 和 (2)
- C 只有 (1) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)



3 6 日常生活中, 我們會說「糖果重 1 千克」。在物理學上, 這句話卻是不恰當的。恰當的說法應該是怎樣?

3 7 兩點從天上掉下時, 受兩道力 A 和 B 作用(圖 c)。



圖 c

- (a) 寫出力 A 和 B 的名稱。A: 重量、B: 空氣阻力
- (b) 為甚麼雨點下跌一段時間後, 會以勻速運動?

2 8 力 F 在粗糙的桌面上拉木箱, 使它沿直線移動(圖 d)。

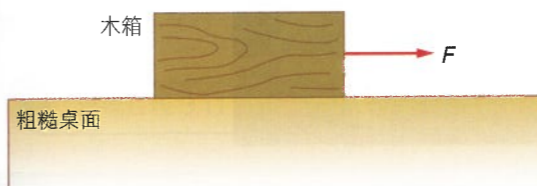


圖 d

- (a) 繪畫木箱的隔離體圖。
- (b) 當 F 等於 3 N, 木箱以勻速移動。作用於木箱的摩擦力是多少? 3 N
- (c) 如果 F 等於 5 N, 木箱的加速度是 2 m s^{-2} , 且摩擦力等於 (b) 部的答案, 求木箱的質量。1 kg

1 9 在下列情況中, 利用天平量度物體的質量, 所得的結果與在地球表面的相同嗎? 試扼要解釋。

- (a) 在木衛一(木星的衛星)表面(圖 e) 相同

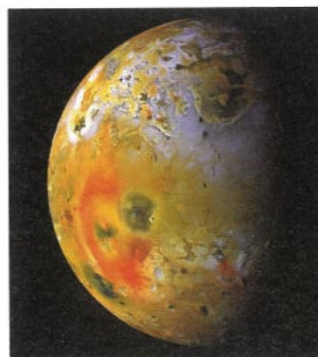


圖 e

- (b) 在向上勻加速的直升機中 相同
- (c) 在自由下落的密閉艙中 天平不能正常運作。

1 10 偉民把質量為 1 kg 的小車放在光滑的水平面上, 並以輕繩連接方塊(圖 f)。起初他捉着小車, 令小車靜止不動。

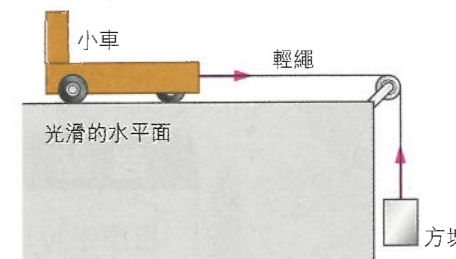


圖 f

- (a) 在圖中繪出作用於小車和方塊的張力指向哪個方向。
- (b) 偉民放開小車後, 繩子的張力是 4 N。
 - (i) 方塊的加速度是多少? 4 m s^{-2} (向下)
 - (ii) 方塊的質量是多少? 0.688 kg

1 11 女孩在升降機內用彈簧秤吊着一個 1.2 kg 的砝碼。在下列情況中, 秤的讀數是多少?

- (a) 升降機靜止不動。11.8 N
- (b) 升降機下降, 加速度為向下 1.5 m s^{-2} 。9.97 N
- (c) 升降機以恆速率下降。11.8 N
- (d) 升降機下降, 加速度為向上 0.5 m s^{-2} 。12.4 N

3 12 芝姬從離地 6000 m 的飛機跳下(圖 g), 在離地 2000 m 時張開降落傘。假設她從靜止開始垂直下跌, 而空氣阻力不能略去不計。



圖 g

- (a) 繪畫芝姬張開降落傘前的隔離體圖。
- (b) 描述 (a) 部的力怎樣隨時間改變。
- (c) 描述芝姬張開降落傘前的運動。
- (d) 草繪由芝姬跳出機艙直至張開降落傘的 $v-t$ 關係線圖。求線圖下的面積。4000 m

3.5

作用力與反作用力：
牛頓運動第三定律

✓ 本節重點

- 1 牛頓運動第三定律
- 2 作用力—反作用力對

起點 怎樣在相撲比賽中取勝

相撲手可以把對手推出土俵圈外，是否因為他推對手的力比對手推他的力大呢？「不！」牛頓大概會這樣回答。為甚麼呢？



參看第 131 頁例題 12。

1 成對的力

單元 3.1 提到力必定成對地出現。以下實驗會深入探討力的這個性質。

錄像片段 3.10

→ 錄像片段 3.10 示範實驗 3d。

實驗 3d 成對的力

- 1 把卡紙放在一層塑膠珠上，開動玩具車，然後把它放在卡紙上（圖 a）。觀察會發生甚麼事情。
- 2 A、B 二人 (a) 輪流拉繩子，(b) 同時拉繩子（圖 b）。觀察會發生甚麼事情。

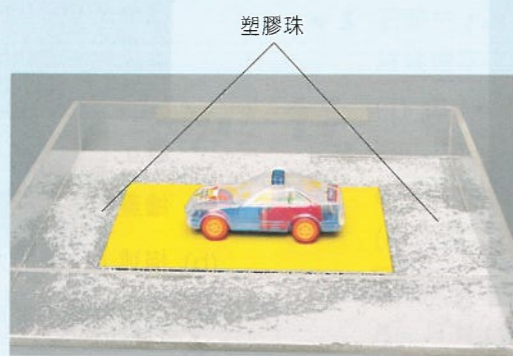


圖 a



圖 b

續下頁

- 3 開動風扇車（圖 c），並把它放在桌面。觀察空氣的流動方向和風扇車的行駛方向。
- 4 把水注入水火箭至半滿（圖 d），然後把空氣泵進水火箭內。拉動發射器發射水火箭。觀察會發生甚麼事情。

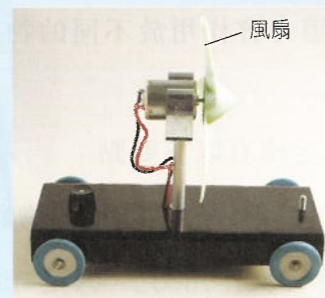


圖 c

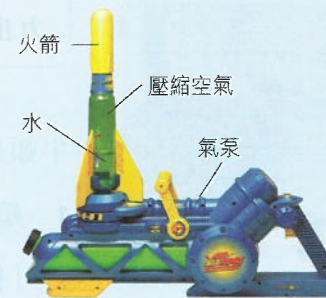


圖 d

討論

- 1 步驟 1 的卡紙會發生甚麼事情？卡紙會向後退。
- 2 步驟 2(a) 和 2(b) 中，哪個人會移動？兩人都會移動。
- 3 步驟 3 中，風吹向哪個方向？車子向哪個方向行駛？右、左。
- 4 步驟 4 中，水噴向哪個方向？火箭飛向哪個方向？下、上。

→ 錄像片段 3.11 示範實驗 3e。

錄像片段 3.11

實驗 3e 牛頓運動第三定律

- 1 如圖 a 所示裝置實驗器材，在每輛小車上安裝一個力感應器。
- 2 開始記錄數據，並完成以下步驟：
 - (a) 推一推小車 A，令它撞上小車 B。
 - (b) 同時推一推小車 A 和 B，令它們迎頭相撞。
 留意每次得出的力—時間關係線圖（ $F-t$ 關係線圖）（圖 b），並把線圖儲存起來。
- 3 把小車 A 的質量增至原來的 2 倍，並用更大的力推動小車，重複步驟 2。

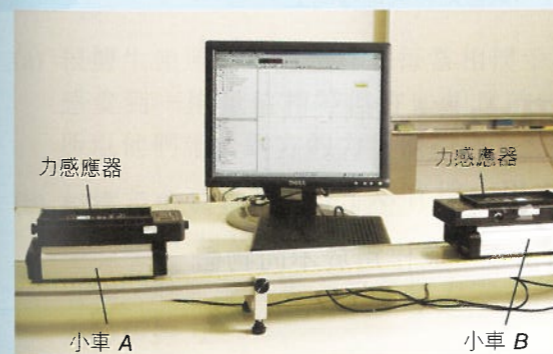


圖 a

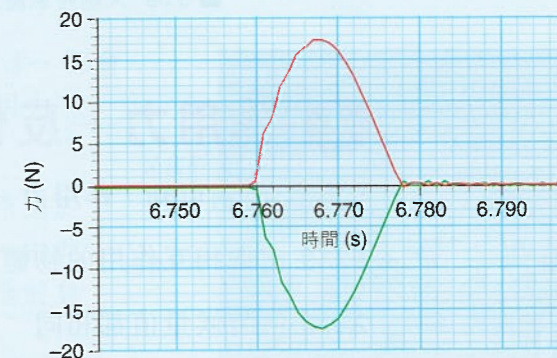


圖 b

討論

所得的 $F-t$ 關係線圖顯示，作用在小車上的力有甚麼特質？作用於各小車的力並非恆定不變，但量值總是相同的。

物理 DIY

小小水火箭

利用有蓋的小容器和一小片會冒氣泡的藥片，可製成簡單的水火箭。



牛津物理網

實驗 3d 顯示力必定成對地出現，而且方向相反。實驗 3e 顯示物體 A 對物體 B 施力時，物體 B 也對物體 A 施力，兩道力量值相同但方向相反。這些現象可歸納為**牛頓運動第三定律**：

當一道作用力出現，同時會有另一道量值相等、方向相反的反作用力出現。兩道力會作用於不同的物體。

牛頓運動第三定律有以下要點：

- 1 這定律應用於兩個相互作用的物體上，只有一個物體時並不適用。
- 2 「作用力」和「反作用力」，只是一種命名的方法，兩道力之中，可稱任何一道為「作用力」，另一道為「反作用力」。即使稱為「作用力」，也不表示「反作用力」由它產生。

牛頓運動第三定律可解釋火箭如何運作：火箭向氣體施力，把它向下噴出，根據牛頓運動第三定律，氣體對火箭施以量值相等但方向相反的力，將火箭推向上（圖 3.5a）。



圖 3.5a 火箭將氣體推向下，氣體則將火箭推向上。

學生或誤以為火箭能夠上升，是因為它噴出的氣體撞向地面。可提醒學生，火箭在太空中向後噴氣，也能向前加速。



圖 3.5b 坐在凳上時感受到的力

2 作用力—反作用力對

從以上討論可知，**作用力—反作用力對**有以下性質：

- 1 在兩個相互作用的物體之間出現，並作用於不同物體
- 2 任何時候量值都相同
- 3 方向相反

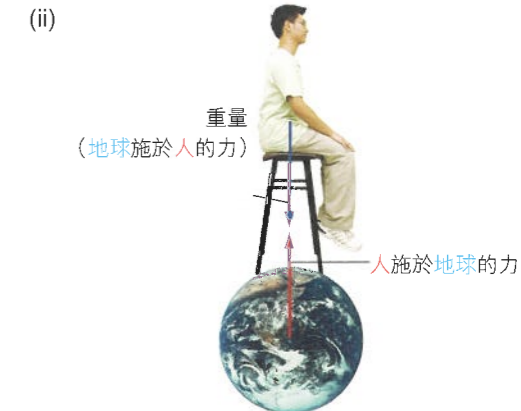
考慮一個坐在凳上的人。作用於他的力有他的重量，以及凳作用於他的法向反作用力（圖 3.5b）。雖然這兩道力量值相同且方向相反，但它們都作用於同一物體（人），所以不是作用力—反作用力對。

圖 3.5c 顯示兩組作用力—反作用力對。

如果我們叫一道力作「凳施於人的力」，它的反作用力便是「人施於凳的力」。因此，要辨認反作用力，只要把作用力中兩個物體的名稱互換便可。



可着學生證明人施於椅子的力，量值等於人的重量。



這兩幅圖並非隔離體圖。圖 3.5c 作用力—反作用力對

為甚麼這人保持靜止？汽車施於他的力被地面施於他的摩擦力抵銷了。

作用力和反作用力各自作用於不同物體，所以不會互相抵銷。在圖 3.5d 中，人用力推汽車，汽車卻靜止不動，這是因為人施於汽車的推力，被地面施於汽車的摩擦力抵銷了。

本課不考慮力矩的效應。



圖 3.5d 人用力推汽車

例題 12 相撲

考慮起點提及的相撲比賽。

- (a) 「相撲手能夠把對手推出土俵圈外，是因為他施於對手的力大於對手施於他的力。」試解釋為甚麼這句話是錯的。
- (b) 為甚麼相撲手能夠把對手推開？

題解

- (a) 根據牛頓運動第三定律，每當相撲手推對手，都會感受到一道量值相等但方向相反的反作用力，所以他們施於對方的力量值相等。
- (b) 相撲手能夠推開對手前進，是因為地面作用於他的摩擦力大於對手施於他的力（圖 a）。由此可知，地面施於勝方的摩擦力大於地面施於負方的摩擦力。



圖 a

習題與思考 3.5 Q6 (p.134)

錄像片段 3.12

→ 錄像片段 3.12 顯示風扇車有帆和沒有帆時的運動。

提醒學生，物體的運動取決於作用於它的力，而不是它施於其他物體的力。人能夠跳起，不是因為他向地面施以向下的力，而是因為地面向他施以向上的力。

例題 13 風扇車的運動

風扇車開動後，把空氣向前吹。

- (a) 風扇車放在桌面時，會向後行駛。試解釋原因。
- (b) 如果在風扇前方裝上一張垂直的帆（圖 a），風扇車便不會動。試解釋原因。

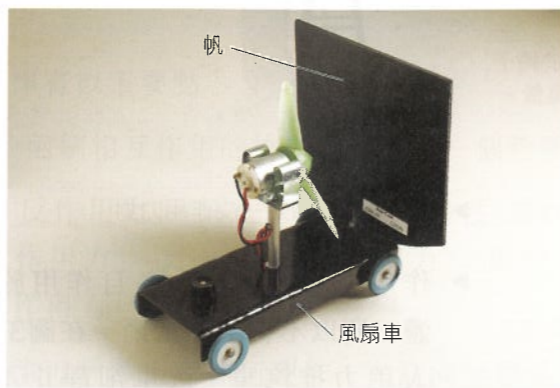


圖 a

題解

- (a) 根據牛頓運動第三定律，風扇對空氣施加力 F ，同時空氣也對風扇施加一道量值相同但方向相反的力 F' ，把風扇車向後推。
- (b) 圖 b 顯示作用於風扇、空氣和帆的力。風扇以力 F 推空氣，然後空氣以力 F'' 推帆，如果風扇推動的空氣全部都被帆擋着，則 $F = F''$ 。

根據牛頓運動第三定律， $F = F'$ ，因此， $F'' = F = F'$ 。作用於風扇車的水平淨力 ($F' - F''$) 是零，所以風扇車不會動。

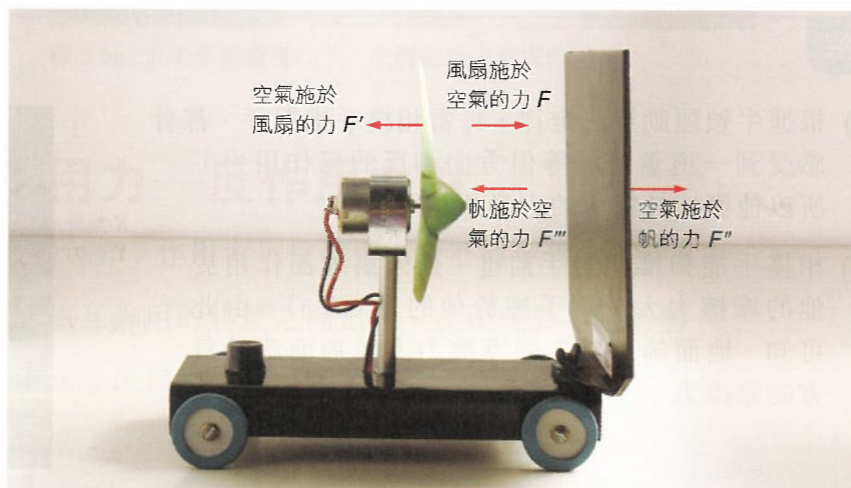


圖 b

複習 Q38 (p.143)

進度評估 7 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.128)。

21 標繪在下列情況中產生運動的作用力—反作用力對。

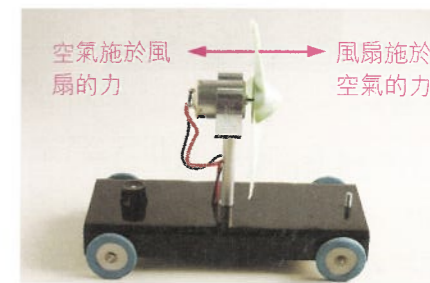
- (a) 玩具車在卡紙上行駛



- (b) A 和 B 拉繩時會移動



- (c) 風扇開動後，小車便會移動



- 1, 2 在光滑的水平面上，物體 X 和 Y 互相緊貼，水平力 F 作用於 X (圖 a)。繪畫 X 和 Y 各自的隔離體圖，並據此寫出一對作用力和反作用力。

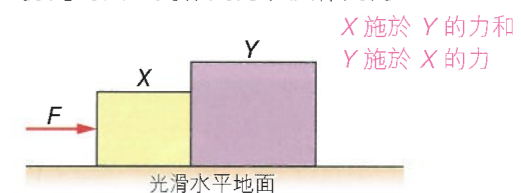


圖 a

生活中的物理

感受作用力和反作用力

我們每天都感受到作用力和反作用力。倚在牆上時身體會向牆施力，牆也會向身體施力，使身體不會翻倒。走路時腳會向後推，地面的反作用力則把腳推向前。你可以舉出其他例子嗎？



習題與思考 3.5

如有需要，取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ ，除特別指明外，空氣阻力可略去不計。

(第 1 至 2 題) 如圖 a 所示，力 F 作用於桌面上的書本 (圖 a)。



圖 a

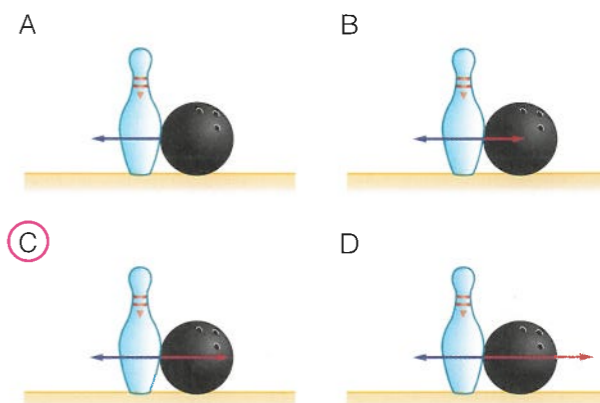
- 21 下列哪一項是作用力—反作用力對？

 - A 力 F 和作用於書本的摩擦力
 - B 力 F 和作用於桌面的摩擦力
 - C 書本的重量和桌面作用於書本的法向反作用力
 - D 作用於書本的摩擦力和作用於桌面的摩擦力

- 1, 2 若第 1 題中的「作用力」消失，「反作用力」會怎樣？

 - A 仍作用於物體
 - B 稍後消失
 - C 即時消失
 - D 量值逐漸減至零

- 1, 2, 3 下列哪一幅圖正確顯示碰撞時作用於球瓶和保齡球的力？



- ★4 在光滑水平面上，三個木塊 X、Y 和 Z 放在一起，力 F 作用於 X (圖 b)。

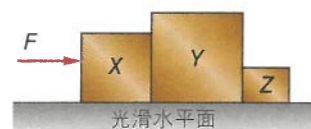


圖 b

以下哪項敘述是正確的？

- (1) Y 作用於 Z 的力與 F 相等。
 (2) Y 作用於 Z 的力，量值與 Y 作用於 X 的力相等。
 (3) X 作用於 Y 的力，量值與 Y 作用於 X 的力相等。
- A 只有 (3) B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

- 15 跳水時，為甚麼用力蹬跳台可向前跳出 (圖 c)？



圖 c

- 16 汽車前進時，車輪施於地面的力指向哪個方向？為甚麼汽車會向前移動？

向後

- ★7 男子向上跳起。試比較地面作用於他的法向反作用力與他的重量。這種情況是否有違牛頓運動第三定律？不是

- ★8 玩具車 B 在光滑水平面上靜止不動，玩具車 A 被推了一下後，以 1.2 m s^{-1} 撞向玩具車 B (圖 d)。碰撞時，玩具車 B 加速了 0.5 s ，平均加速度為 3 m s^{-2} 。玩具車 A 的質量是 3 kg ，玩具車 B 則是 1 kg 。

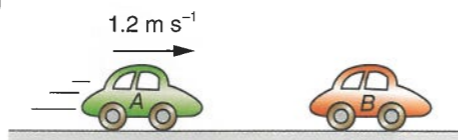


圖 d

- (a) 碰撞時，玩具車 A 作用於玩具車 B 的平均力是多少？ 3 N (向右)
 (b) 碰撞時，玩具車 B 作用於玩具車 A 的平均力是多少？ 3 N (向左)
 (c) 求玩具車 A 在碰撞後的速度。 0.7 m s^{-1} (向右)

- ★9 一個人從地面乘搭升降機上升。
- 1, 2 (a) 繪畫乘客和升降機各自的隔離體圖。
 (b) 乘客的質量為 65 kg ，升降機的質量為 200 kg 。升降機以 0.6 m s^{-2} 的加速度上升。
 (i) 分開考慮乘客和升降機，找出升降機鋼纜的張力。 2760 N
 (ii) 把乘客和升降機看作一個整體，找出升降機鋼纜的張力。 2760 N

歷史點滴 力和運動的理論發展

要物體以恆速率移動，就須對它施以恆定不變的力……

根據我所想像的實驗 (伽利略假想實驗)，阿里士多德可能錯了。如果物體移動時不受干擾，會繼續以同一速率移動……

必須對物體施「力」，才能改變它的運動。讓我研究一下力與物體的質量、加速度有甚麼關係……



阿里士多德 (384-322 BC)



伽利略 (1564-1642)



牛頓 (1642-1727)

牛頓頗準確地描述了力與運動的關係。可是，後來的科學家發現，牛頓定律在極高速 (接近光速) 時出現偏差。愛因斯坦 (1879-1955) 提出狹義相對論，更準確地描述在極高速時力與運動的關係。

時至今日，科學家仍然努力不懈，修正現有的物理理論和定律。

總結 3

詞彙

1 力 force	p.94	14 質量 mass	p.102
2 牛頓 (N) newton	p.94	15 千克 / 公斤 (kg) kilogram	p.102
3 彈簧秤 spring balance	p.95	16 牛頓運動第一定律	p.103
4 力感應器 force sensor	p.95	Newton's first law of motion	
5 接觸力 contact force	p.95	17 不平衡力 unbalanced force	p.103
6 非接觸力 non-contact force	p.95	18 牛頓運動第二定律	p.110
7 摩擦力 friction	p.96	Newton's second law of motion	
8 張力 tension	p.96	19 終端速率 terminal speed	p.123
9 法向力 normal force	p.96	20 力—時間關係線圖	p.129
10 重量 weight	p.97	force-time graph	
11 隔離體圖 / 自由體圖 free-body diagram	p.97	21 牛頓運動第三定律	p.130
12 淨力 net force	p.98	Newton's third law of motion	
13 慣性 inertia	p.102	22 作用力—反作用力對	p.130
		action-and-reaction pair	

課文摘要

3.1 力的簡介

- 1 力是矢量，有量值和方向。
- 2 在國際單位制中，力的單位是牛頓 (N)。
- 3 力可分為接觸力和非接觸力。
- 4 當物體在另一個物體的表面上滑動，或有滑動傾向時，便會產生摩擦力。摩擦力總是阻礙物體之間的相對運動，或防止兩個表面之間的運動。
- 5 繩索拉緊時會產生張力。張力總是沿着繩索拉扯物體，量值在繩上任何一點都相同。
- 6 法向力是物體與表面接觸時，表面作用在物體上的力，這力總是與表面垂直。
- 7 物體的重量是地球作用於物體的拉力。
- 8 物體的隔離體圖顯示所有作用在物體上的力。

3.2 慣性與牛頓運動第一定律

- 9 物體傾向保持它原來的靜止狀態或以恆速度運動的狀態，這傾向稱為慣性。
- 10 物體的質量反映慣性的大小。物體的質量愈大，慣性愈大。
- 11 在國際單位制中，質量的單位是千克 (kg)。
- 12 牛頓運動第一定律：除非受到淨力作用，否則所有物體都會保持靜止狀態或勻速直線運動狀態。

3.3 淨力與運動：牛頓運動第二定律

13 牛頓運動第二定律：物體的加速度與作用於物體的淨力成正比，與物體的質量成反比；加速度與淨力方向相同。

$$F = ma$$

14 如果一道力可以令質量為 1 kg 的物體以 1 m s^{-2} 加速，根據定義，這道力的量值便是 1 牛頓。

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m s}^{-2}$$

3.4 重量、摩擦力與流體阻力

15 在地球上，物體的重量 W 是地球作用於它的重力。

$$W = mg$$

16 質量和重量的對比。

質量	重量
代表物體慣性的大小	作用於物體的重力
以 kg 為單位	以 N 為單位
數值不受地點影響	數值取決於地點

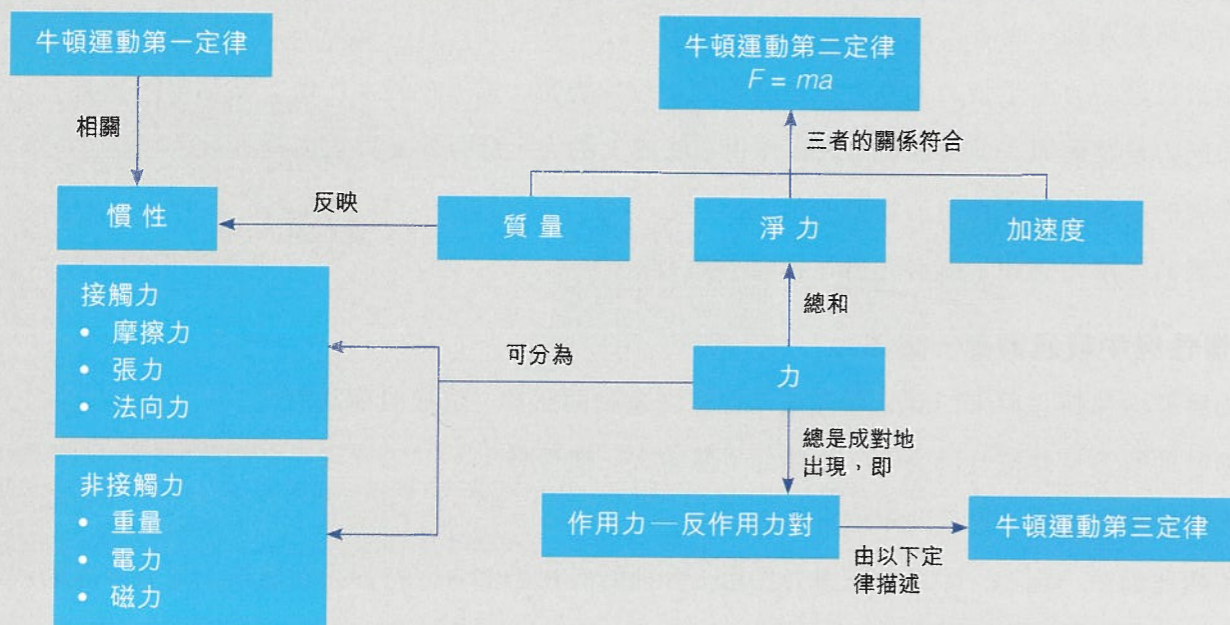
17 物體在一個表面上靜止不動時，兩者之間的摩擦力可能會改變。如果一道力沿着這表面作用於物體，當這道力大於摩擦力的最大值，物體便會移動。

18 物體在流體（即氣體或液體）中移動時，會受流體阻力作用。空氣阻力便是流體阻力的一種。如果物體在流體中下跌，重量被流體阻力抵銷時，物體便會以終端速率下跌。

3.5 作用力與反作用力：牛頓運動第三定律

19 牛頓運動第三定律：當一道作用力出現，同時會有另一道量值相等、方向相反的反作用力出現。兩道力會作用於不同的物體。

概念圖



複習 3

- Q1 除非受不平衡力作用，否則移動中的物體會保持勻速運動。不平衡力會令物體加速。
Q2 作用於物體的淨力是它們的重量。物體質量相同時，這敘述句才正確。

如有需要，取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ 。除特別指明外，空氣阻力可略去不計。

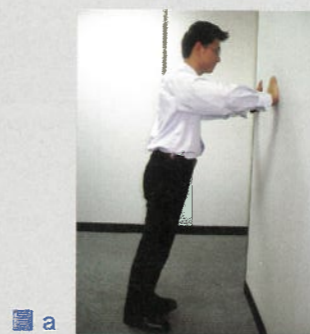
概念重溫

(第 1 至 4 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

- ☆ 香港中學會考 1996 年卷二 Q5
3.2 1 要物體持續移動，必須有不平衡力作用於物體。F
☆ 香港中學會考 1996 年卷二 Q6
3.2 2 當兩個物體在真空中自由下落，作用於它們的力必定相同的。F
☆ 香港中學會考 2011 年卷一 Q9(a)
3.5 3 一對作用力和反作用力，必定作用於不同物體。T
☆ 香港中學會考 2007 年卷二 Q5
3.5 4 你向前行走時，地面作用於你的摩擦力指向前方。T

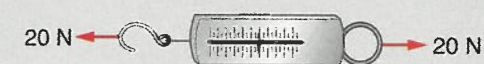
多項選擇題

- 3.1 5 以下哪項是矢量？
(1) 重量
(2) 加速度
(3) 速度
A 只有 (2)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)
- 3.5 6 男子用力推牆壁(圖 a)，下列哪一項是作用力—反作用力對？



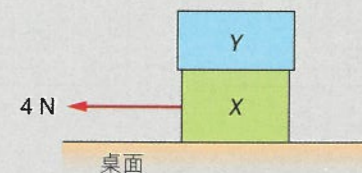
- A 男子的重量和地面作用於他的法向反作用力
B 男子推向牆壁的力和牆壁作用於他的力
C 作用於男子腳底的摩擦力和牆壁作用於他的力
D 作用於男子腳底的摩擦力和他推向牆壁的力

3.1 7 在圖 b 中，兩道 20 N 的力施於彈簧秤兩端。秤的讀數是多少？



- 圖 b
A 0
B 10 N
C 20 N
D 40 N

3.4 8 如圖所示，盒 X 置於水平桌面，盒 Y 置於盒 X 之上(圖 c)。X 與桌面之間的最大摩擦力為 5 N，而 X 與 Y 之間的最大摩擦力為 3 N。當一道 4 N 的水平力施於 X，X 與 Y 之間的摩擦力是多少？



- 圖 c
A 0
B 1 N
C 3 N
D 4 N

3.4 9 升降機擠滿人，剛好沒超載(圖 d)。在下列哪個時刻，超載的警鐘會響起？

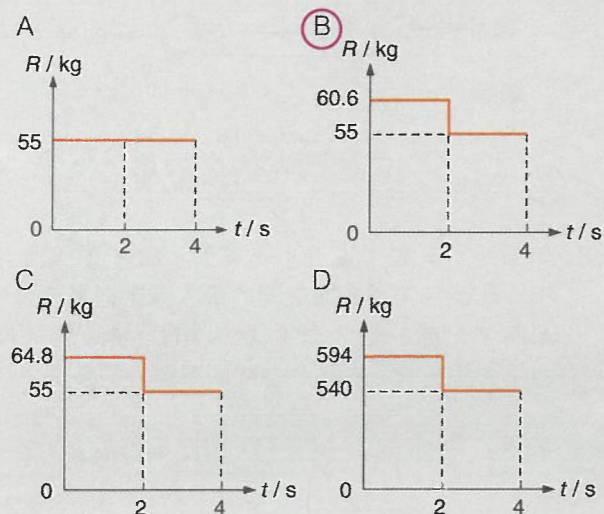


- (1) 升降機上升時減速。
(2) 升降機下降時加速。
(3) 升降機下降時減速。
A 只有 (1)
B 只有 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

3.3 10 男孩在水平的草地上踢了球一下，球滾動 20 m 後停下。球的質量是 1.2 kg。假設球以勻減速運動，作用於球的阻力是多少？答案以球的初速率 u 表示。

- A $0.01u^2$
B $0.02u^2$
C $0.03u^2$
D $0.06u^2$

3.4 ★ 11 在升降機內，質量為 55 kg 的女人站在以千克為單位的浴室磅上。由 $t = 0$ 至 $t = 2$ s，升降機從靜止開始以 1 m s^{-2} 向上加速，然後在 $t = 2$ s 至 $t = 4$ s 以勻速度移動。下列哪一幅圖最能表示磅的讀數 R 隨時間 t 的變化？



3.3 ★ 12 質量為 1500 kg 的汽車以 108 km h^{-1} 行駛，然後司機刹停汽車，作用於汽車的制動力為 6000 N。汽車的制動距離是多少？

- (A) 113 m
- (B) 120 m
- (C) 432 m
- (D) 1460 m

(第 13 至 14 題) 家明把一個 2 kg 砝碼以輕繩連接一個 3 kg 砝碼，輕繩則繞過一個順滑的滑輪 (圖 e)。一開始時家明捉着 2 kg 砝碼，令它靜止不動，然後家明放開了這砝碼。



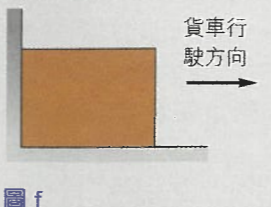
3.4 ★ 13 家明放開 2 kg 砝碼前，輕繩的張力是多少？

- (A) 9.81 N
- (B) 19.6 N
- (C) 29.4 N
- (D) 49.1 N

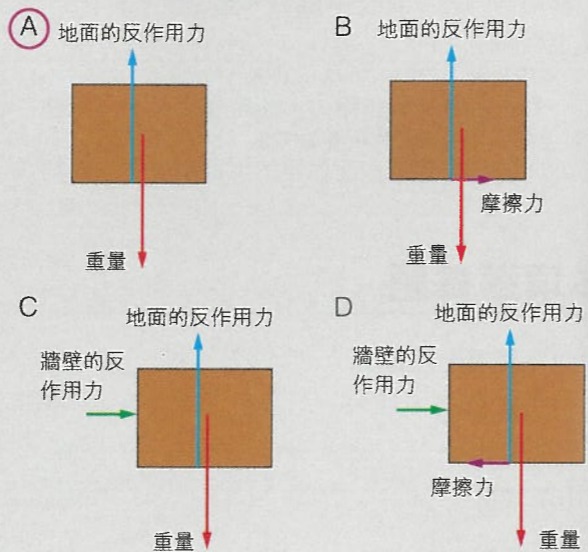
★ 14 家明剛放開 2 kg 砝碼後，輕繩的張力是多少？

- 3.4 (A) 0
- (B) 9.81 N
- (C) 23.5 N
- (D) 49.1 N

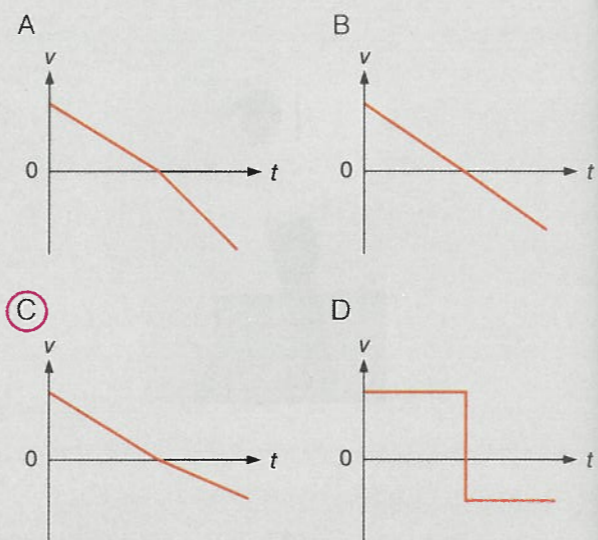
★ 15 在貨車的貨櫃內，一箱貨物靠牆而放 (圖 f)。貨車以恆速度向右行駛。



以下哪一幅是這貨物的隔離體圖？

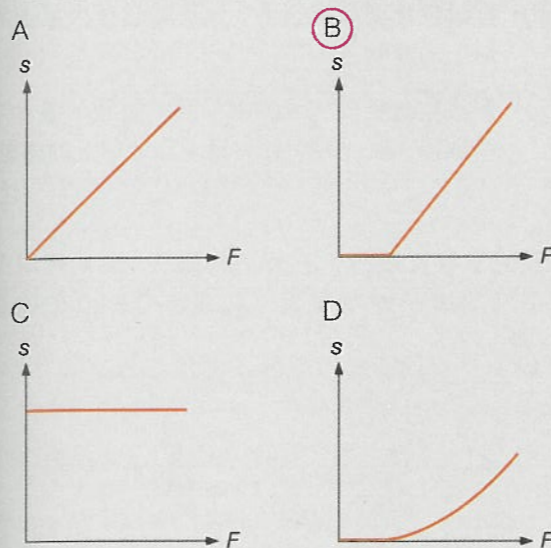


★★ 16 少芬把膠球垂直向上拋出，一會兒後膠球回到原來位置。假設作用於膠球的空氣阻力量值不變，考慮球被拋出的一刻至它回到原來位置這段期間，下列哪一幅 $v-t$ 線圖最能代表球的運動？



參看預試訓練 2 (p.125)

★★ 17 學生以力 F 在粗糙的水平桌面上推動木塊，歷時 2 s，並記錄木塊的位移 s 。他以不同大小的 F 來重複實驗，下列哪一幅圖最能顯示木塊的 $s-F$ 線圖？



參看 p.122

3.3 18 香港中學會考 2006 年卷二 Q31

一名學生完成一項實驗以探究在不同負載的情況下，影響小車的加速度的因素。表 a 顯示記錄的數據：

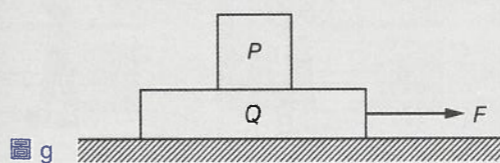
試驗	淨力 / N	小車負載後的總質量 / kg	加速度 / m s^{-2}
(i)	2	2	1
(ii)	2	1	2
(iii)	2	0.5	4
(iv)	4	2	2
(v)	4	4	1
(vi)	8	2	4

表 a

哪些試驗可被學生用來推算作用在小車上的淨力和加速度之間的關係？

- (A) (i)、(ii) 和 (iii)
- (B) (i)、(iv) 和 (vi) (59%)
- (C) (ii)、(iv) 和 (v)
- (D) (iii)、(v) 和 (vi)

3.3 19 香港高級程度會考 2009 年卷二 Q3



方塊 P 放在另一方塊 Q 上，而 Q 則置於水平面上。兩方塊的質量同為 m 。一水平力 F 施於方塊 Q ，如圖所示。假設所有接觸面皆光滑，每一方塊加速度為多少？

	P 的加速度	Q 的加速度
(A)	零	$\frac{F}{m}$ (42%)
(B)	零	$\frac{F}{2m}$
(C)	$\frac{F}{2m}$	$\frac{F}{m}$
(D)	$\frac{F}{2m}$	$\frac{F}{2m}$

3.4 20 香港中學會考 2010 年卷二 Q30

把一件物件垂直向上拋擲。 F 表示作用於該物件淨力的量值， W 表示該物件重量的量值。若空氣阻力不可被略去不計，以下哪些描述是正確的？

- (1) 當物件向上移動時， F 大於 W 。
- (2) 當物件位於最高點時， F 等於 W 。
- (3) 當物件向下移動時， F 小於 W 。

Q20 考試報告：本題中，29% 的考生認為句子 (2) 錯誤而選 B 為答案。這反映考生未能充分理解物件位於最高點瞬間靜止時的情況。

- (A) 只有 (1) 和 (2) (14%)
- (B) 只有 (1) 和 (3) (29%)
- (C) 只有 (2) 和 (3) (12%)
- (D) (1)、(2) 和 (3) (45%)

3.3 21 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q8

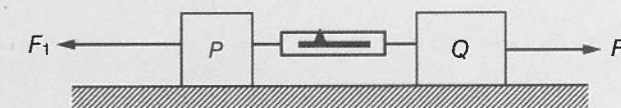
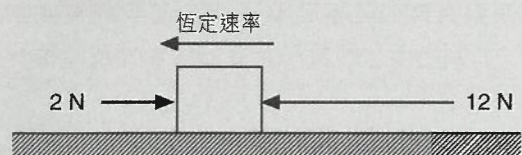


圖 h

圖示方塊 P 和 Q 的質量分別為 m 及 $2m$ ，兩者以一個輕彈簧秤連接並放置於光滑水平面上。倘水平力 F_1 和 F_2 (設 $F_1 > F_2$) 分別作用於 P 和 Q ，而整個系統以恆加速向左移動，彈簧秤的讀數是多少？

- (A) $\frac{2F_1 - F_2}{3}$
- (B) $\frac{2(F_1 - F_2)}{3}$
- (C) $\frac{2F_1 + F_2}{3}$ (36%)
- (D) $\frac{F_1 + 2F_2}{3}$

3.4 22 香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q7



■ i

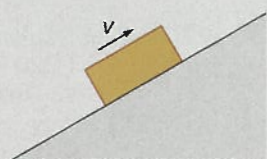
在粗糙水平面上，方塊受圖中的兩個水平力 2 N 和 12 N 作用下，如圖所示以恆定速率向左運動。如果突然把 12 N 的力撤走，在這一瞬間作用於方塊的淨力是多少？

- (A) 12 N (25%)
- (B) 10 N (15%)
- (C) 8 N (26%)
- (D) 2 N (34%)

Q22 考試報告：只有四分之一的考生選對正確答案 A，這揭示了大部分考生不知道摩擦力仍在作用於運動中的方塊。

問答題

3.1 23 物體射上粗糙斜面(圖 j)，移動了一段距離後停下。



■ j

繪畫物體在下列情況下的隔離體圖。

- (a) 沿斜面向上移動 (2分)
- (b) 在斜面上靜止不動 (2分)

24 圖 k 所示的地球儀浮在半空，作用於它的兩個力分別是它的重量和磁力。它的重量是 1 N。



■ k

- (a) 繪畫地球儀的隔離體圖。 (2分)
- (b) 找出施於地球儀的磁力。1 N (向上) (2分)
- (c) 寫出這情況中的一對作用力和反作用力。支架施於地球儀的磁力和地球儀施於支架的磁力 (1分)

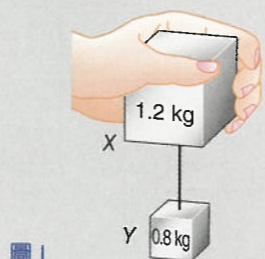
★ 25 物體在火星上的重量是在地球上的三分之一。

3.4

- (a) 估算火星的重力加速度。3.27 m s⁻² (2分)
- (b) 假設物體從高處墮下，試比較它在火星上和地球上的運動。 (2分)
- (c) 假設物體置於光滑的水平面，並受一道水平力所推移，試比較它在火星上和地球上的運動。 (2分)

★ 26 美蘭拿着質量為 1.2 kg 的物體 X，這物體以不可延伸的繩子連接着另一質量為 0.8 kg 的物體 Y (圖 l)。

綜合題



■ l

- (a) 繪畫這兩個物體的隔離體圖。 (4分)
- (b) 美蘭以一道 25 N 向上的力施於 X，這時候繩子的張力是多少？10 N (3分)
- (c) 美蘭放開 X，這時候繩子的張力是多少？零 (1分)

★ 27 偉良站在列車車廂內，列車以恆速度 20 m s⁻¹ 前進。

綜合題

- (a) 他猜想，如果在車廂內把小球垂直向上拋起(圖 m)，因為列車正在前進，所以小球會向後飛。試評論他這想法。不正確 (3分)
- (b) 他把質量為 0.2 kg 的小球向後拋(圖 n)，拋擲時作用於小球的淨力是向後 2 N，並維持了 0.5 s。相對於以下兩人，小球剛離開偉良手掌時，速度是多少？
 - (i) 偉良 5 m s⁻¹ (向後) (2分)
 - (ii) 一個站在月台上的人 15 m s⁻¹ (向前) (2分)



■ m



■ n

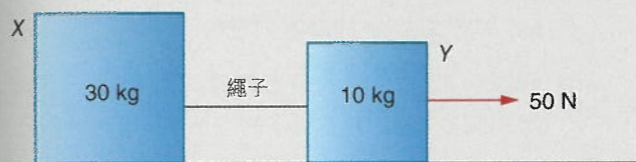
★ 28 雅儀的質量是 50 kg。她走進升降機，然後站上一個以牛頓為單位的磅上。升降機從靜止開始上升。

綜合題

- (a) 定義牛頓這個單位。 (1分)
- (b) 求下列各情況下磅的讀數。
 - (i) 升降機開始時以 1.5 m s⁻² 向上加速。566 N (2分)
 - (ii) 升降機以 5 m s⁻¹ 的勻速度上升。491 N (1分)
 - (iii) 升降機最後以 1.2 m s⁻² 的減速度上升。431 N (2分)
- (c) 磅施於雅儀的法向反作用力不一定等於她的重量，這違反牛頓第三定律嗎？試解釋你的答案。不違反 (2分)

★ 29 兩個以繩子連接的箱子 X 和 Y 放在光滑的水平面上。惠儀以 50 N 的力把箱子拉向右方(圖 o)，使兩個箱子以相同的加速度移動。

綜合題

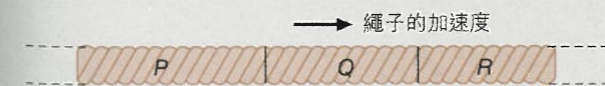


■ o

- (a) 求 Y 的加速度。1.25 m s⁻² (向右) (2分)
- (b) 繪畫每個箱子的隔離體圖。 (4分)
- (c) 計算繩子的張力。37.5 N (2分)
- (d) 求作用於 Y 的淨力。12.5 N (向右) (1分)
- (e) 惠儀認為如果繩子突然斷開，X 會停下來。試評論她的說法。不正確 (3分)

★ 30 一條拉緊了的繩以恆加速度向右移動。P、Q 和 R 是繩的三個小段(圖 p)，可看作是三個物體。繩子是不可延伸的。

3.5

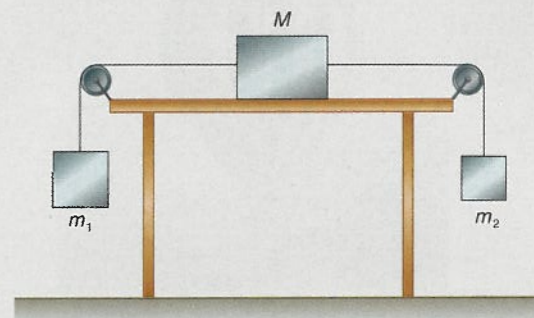


■ p

- (a) 如果 P 作用於 Q 的張力為 T，Q 作用於 P 的張力是多少？T (1分)
- (b) 假設 Q 的質量可略去不計，證明 P 作用於 Q 的張力與 R 作用於 Q 的張力量值相同。 (3分)

★ 31 學生捉着物體 M，令它在粗糙的桌面上靜止不動。物體 m₁ 及 m₂ 各以不可延伸的繩連接 M，每條繩都繞過一個光滑的滑輪(圖 q)。m₁ 的質量較 m₂ 大。接着學生放手，讓 M 自由移動。

綜合題



■ q

- (a) 繪畫 M 的隔離體圖。 (2分)
- (b) 描述並解釋這系統可能以甚麼方式運動。 (4分)
- (c) 假設 M、m₁ 和 m₂ 的質量依次為 1 kg、0.8 kg 和 0.5 kg，而 M 與桌面之間的最大摩擦力是 5 N，懸掛着 m₂ 的繩張力是多少？4.91 N (3分)

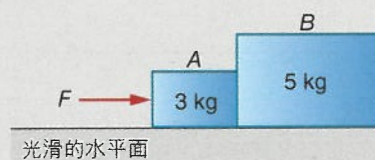
★ 32 一個花盆從大廈天台墮下。

綜合題

- (a) 心怡說：「由於空氣阻力作用於花盆，花盆墮下的速率會愈來愈小。」你同意她的說法嗎？試扼要解釋。不同意 (4分)
- (b) 草繪線圖，顯示花盆墮下時作用於它的淨力 F 怎樣隨時間 t 變化。假設花盆撞上地面前已達到終端速率。 (3分)
- (c) 花盆撞上地面前，加速度在哪一刻最大？剛開始墮下時 (1分)

★ 33 兩個木塊互相緊貼，置於光滑的水平面上(圖 r)，作用力 F 把木塊 A 向右推，令兩個木塊一起以 0.8 m s⁻² 加速。

綜合題



■ r

- (a) 繪畫每個木塊的隔離體圖。 (3分)
- (b) (i) 求 F。6.4 N (2分)
- (ii) 求 B 作用於 A 的力和 A 作用於 B 的力。4 N (向左), 4 N (向右) (3分)

★ 34 圖 s 顯示熱氣球從地面升起，作用於它的上升力為 8000 N，它的重量為 7000 N。

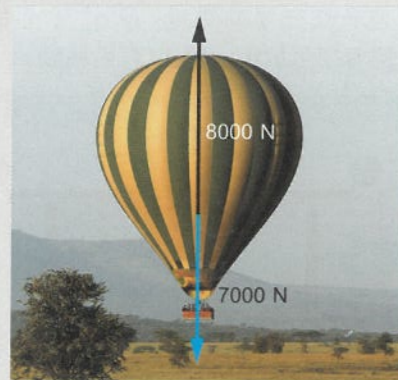


圖 s

- (a) 熱氣球的加速度是多少？**1.40 m s⁻² (向上)** (2分)
- (b) 熱氣球乘客的重量會怎樣改變？試扼要解釋。
不變 (2分)
- (c) 熱氣球向上的速度達到 20 m s⁻¹ 時，一個質量為 50 kg 的沙包從熱氣球掉下。沙包在多久之後才到達地面？**7.80 s** (4分)

★ 35 學生想驗證牛頓運動第三定律。他將小車 X 和 Y 放在光滑的水平路軌上，又在每輛小車上安裝一個力感應器 (圖 t)。兩個力感應器量度互相作用於對方的力。每輛小車連力感應器的質量是 1.2 kg。學生以力 F 推動 X，X 和 Y 便以相同的加速度移動。取向右為正。圖 u 顯示 F 如何隨時間 t 改變。

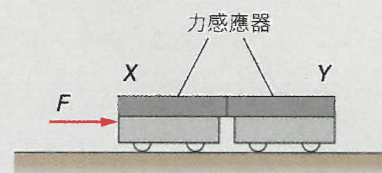


圖 t

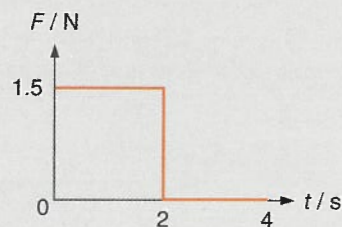


圖 u

- (a) 在 $t = 1\text{ s}$ ，X 的加速度是多少？**0.625 m s⁻²** (2分)
- (b) 在同一幅圖中，草繪由 $t = 0$ 至 $t = 4\text{ s}$ 這期間，作用於兩個力感應器的力會怎樣隨時間變化。 (3分)
- (c) 如果以彈簧秤取代力感應器，應怎樣做實驗去驗證牛頓運動第三定律？ (2分)

★ 36 木塊 X 置於木塊 Y 之上，木塊 Y 則置於粗糙的水平面上 (圖 v)。木塊 X 的質量是 2 kg，木塊 Y 的質量是 3 kg。如果木塊在這平面上移動，平面與 Y 之間的摩擦力為 5 N。最初木塊是靜止的。一道水平力 F 作用於 Y。

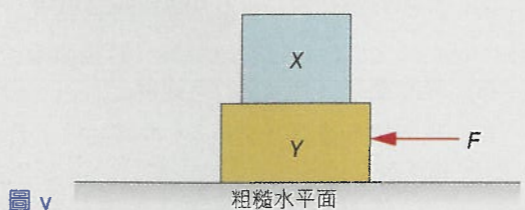


圖 v

- (a) 當 $F = 3\text{ N}$ ，Y 作用於 X 的摩擦力是多少？**零** (1分)
- (b) 然後 F 增強至 10 N，兩個木塊一同移動，它們之間沒有滑移。
(i) 繪畫每個木塊的隔離體圖。**2 N (向左)** (4分)
(ii) Y 作用於 X 的摩擦力是多少？**2 N (向右)** (3分)
(iii) X 作用於 Y 的摩擦力是多少？**2 N (向右)** (1分)
- (c) 假設 X 和 Y 之間的最大摩擦力為 15 N。試舉出兩個令 X 在 Y 上滑移的方法。 (2分)

★ 37 一個 2 kg 砝碼置於粗糙的水平桌面，一條輕繩繞過滑輪連接這個砝碼和另一個質量不明的砝碼 m (圖 w)。兩個砝碼從靜止開始移動，圖 x 顯示 2 kg 砝碼的速度 v 如何隨時間 t 變化，圖中取向右為正。

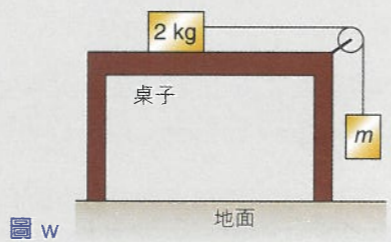


圖 w

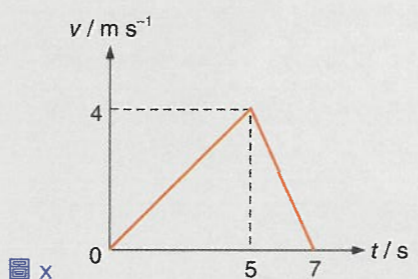


圖 x

- (a) 解釋 2 kg 砝碼的運動。 (4分)
- (b) 2 kg 砝碼與桌面之間的摩擦力是多少？**4 N** (3分)
- (c) 求砝碼 m 的質量。**0.622 kg** (3分)

▶ 參看例題 9 (p.120)

★★ 38 圖 y 所示的遙控飛碟能在半空飄浮。它有一個強力風扇，將空氣往下吹。



圖 y

- (a) 繪畫飛碟的隔離體圖，標明所有作用於飛碟的力。 (2分)
- (b) 解釋飛碟能在半空飄浮的原因。 (3分)
- (c) 家豪為了找出風扇產生的力有多大，便把飛碟放在電子磅上，然後開動飛碟的風扇。飛碟升高了數厘米後停在半空。電子磅的讀數是零嗎？解釋你的答案。**不是** (3分)

▶ 參看例題 13 (p.132)

□ 考試報告見第 148 頁。

39 香港中學會考 2007 年卷一 Q1

綜合題

一個充了空氣的氣球套在圓盤上，並透過圓盤底部的小孔釋放空氣。此氣球圓盤在水平直線軌道上運動 (見圖 z)。圖 aa 顯示其速度—時間關係線圖。

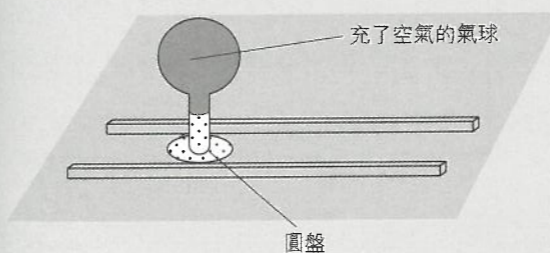


圖 z

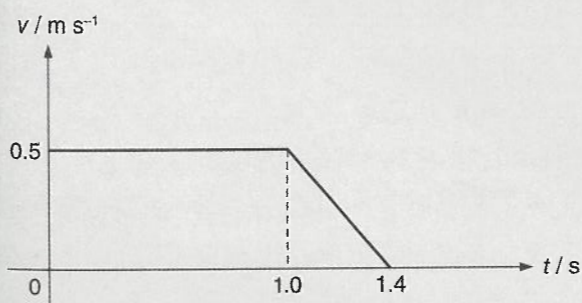


圖 aa

- (a) (i) 描述氣球圓盤從時間 $t = 0$ 至 1.4 s 期間的運動。 (2分)
- (ii) 解釋為甚麼在 $t = 1.0\text{ s}$ 時氣球圓盤的運動會改變。 (2分)
- (b) 如果氣球充入較少量空氣，且其初速度仍是 0.5 m s^{-1} ，在圖 ab 中草繪出氣球圓盤相應的速度—時間關係線圖。 (2分)

40 OCR GCE AS Jan 2007 Q8

綜合題

如圖 ab 所示，一輛由火箭推動的模型車沿水平軌道從靜止開始加速。



圖 ab

- (a) 模型車的質量是 0.80 kg，火箭提供的前推力是 3.0 N。求車的初加速度。**3.75 m s⁻²** (2分)
- (b) 車的速率不斷增大，但加速度漸漸減小。車子到達最大速率後，便以這速率在軌道上移動。在整個運動過程中，車的前推力保持 3.0 N 不變。根據作用於車的力，解釋為甚麼
(i) 隨着車的速率增大，它的加速度會減小； (2分)
(ii) 車會到達恆速率。 (2分)
- (c) 車繼續沿軌道前進時，車尾的減速傘張開，而車的前推力保持在 3.0 N。圖 ac 的線圖顯示車的速度從減速傘打開的一刻 (時間 $t = 0$) 開始的變化。

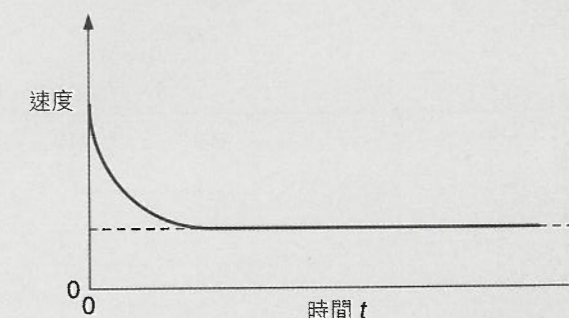


圖 ac

- (i) 根據線圖，描述從減速傘打開的一刻開始，車的運動怎樣變化。 (2分)
- (ii) 解釋車的運動出現上述變化的原因。 (2分)

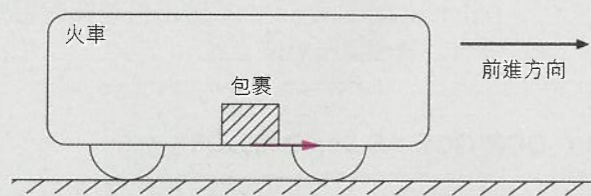
3 力與運動 I

□ 考試報告見第 148 頁。

41 香港中學會考 2010 年卷一 Q1

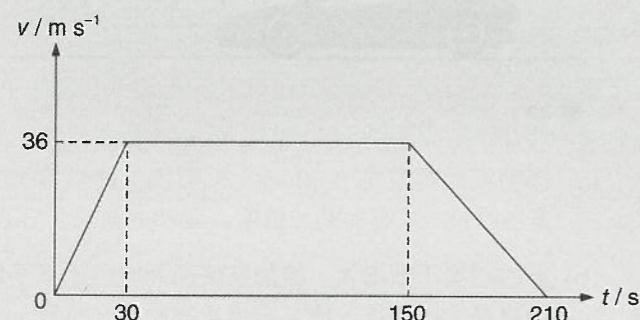
綜合題

圖 ad 顯示一質量為 15 kg 的包裹被置於一列火車的地板上，火車正沿水平直線路徑行走。在整個過程中，包裹和火車一起運動而沒有滑移。以火車前進的方向為正方向。



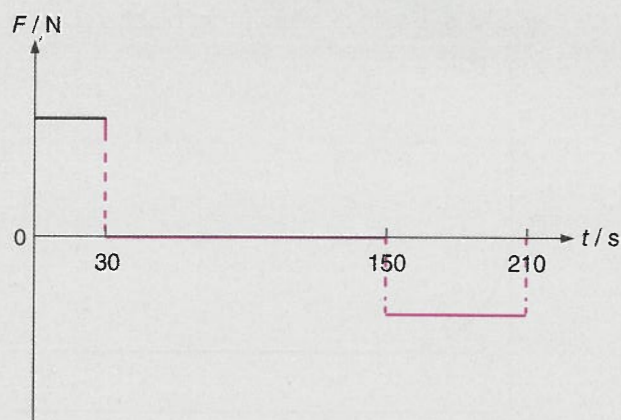
ad

圖 ae 顯示該列火車的速度—時間關係線圖。



ae

- (a) 於圖 ad 以箭嘴顯示在時間 $t = 0$ 至 30 s 之間火車地板作用於包裹摩擦力的方向。(1 分)
- (b) 在圖 af 的力—時間關係線圖中草繪在 $t = 30$ s 至 210 s 之間作用於包裹的淨力。(圖中已顯示在 $t = 0$ s 至 30 s 之間的部分)(2 分)



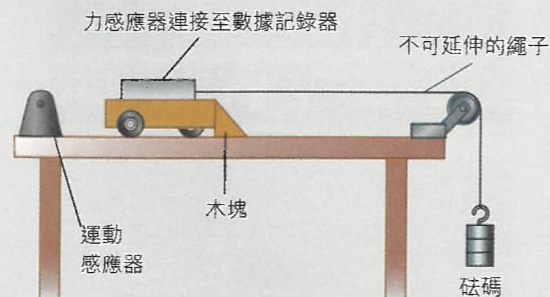
af

- (c) 求在 $t = 0$ 至 30 s 之間作用於包裹淨力的量值。**18 N** (2 分)
- (d) 求火車從 $t = 0$ 到 210 s 期間行走的距離。**5940 m** (2 分)

實驗題

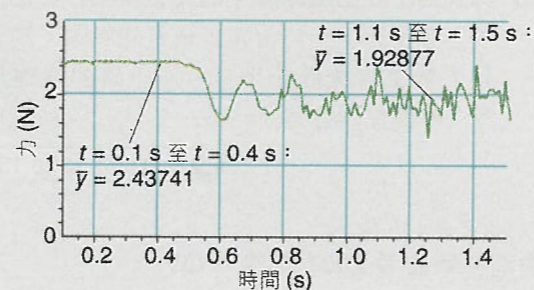
- ★ 42 學生利用圖 ag 的實驗裝置，研究牛頓運動第二定律。

綜合題

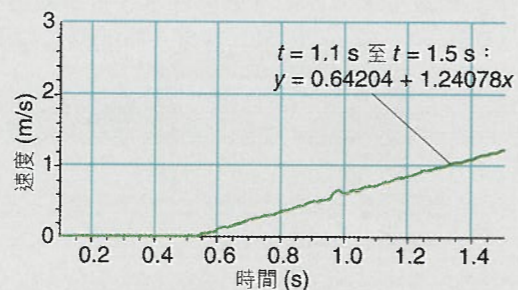


ag

他把質量為 333 g 的力感應器安裝在質量為 718 g 的小車上，再用不可延伸的繩子把力感應器連接砝碼。運動感應器會記錄小車的運動情況。移走木塊後，小車向右移動。圖 ah 和圖 ai 是實驗所得的力—時間關係線圖和速度—時間關係線圖。



ah



ai

- (a) 利用圖 ah 初段的數據，估算所用砝碼的質量。**0.244 kg** (2 分)
- (b) 考慮小車開始移動時的情況。
- (i) 估算繩子的張力。**1.93 N** (1 分)
- (ii) 估算小車的加速度。**1.24 m s⁻²** (1 分)
- (c) 試證明 (b) 的結果不符合牛頓運動第二定律。舉出一個原因解釋這現象。(3 分)

物理文章分析

43 香港中學會考 2005 年卷一 Q13

綜合題

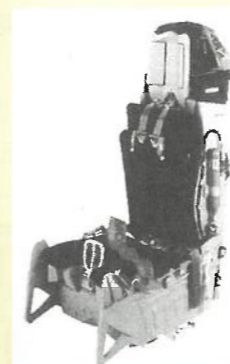
閱讀以下有關彈射座椅的描述，然後回答隨後的問題。

彈射座椅(見圖 aj)是戰機中很重要的逃生設備。當遇上緊急事故時，飛行員連同座椅被彈出機外。圖 ak 所示為一項彈射測試。最初，將仿真飛行員的模型置於停在地面的彈射座椅上。彈射過程可以分為兩個階段。

第一階段：在時間 $t = 0$ ，將裝在座椅下面的火箭點燃。在 $t = 0$ 至 0.5 s 期間，座椅向上加速。

第二階段：在 $t = 0.5$ s 時，火箭的燃料耗盡。過了一會，座椅升至最高點。接着，飛行員模型脫離座椅，其所攜帶的降落傘同時張開。最後，飛行員模型着地。

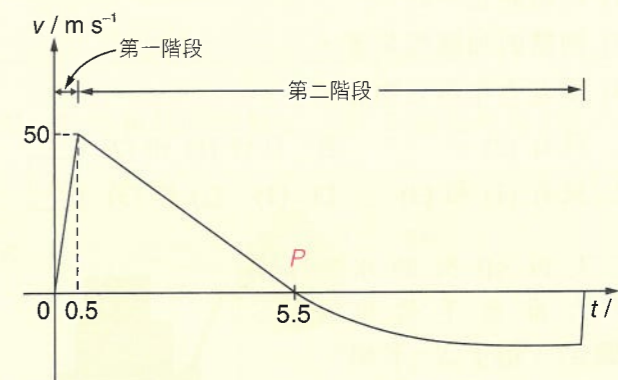
圖 al 顯示在彈射過程中飛行員模型的速度—時間關係線圖。假設在整個過程中，飛行員模型作豎直運動，而在張開降落傘之前，空氣阻力的效果略去不計。



aj



ak



al

- (a) 在圖 al 中的線圖上，標出飛行員模型到達最高點的瞬間。(注意：用 P 作記號。)(1 分)
- (b) 求飛行員模型到達地面以上的最大高度。**138 m** (2 分)
- (c) 飛行員模型的質量為 80 kg，求在第一階段中，彈射座椅對飛行員模型的作用力。**8800 N** (3 分)
- (d) 考慮到作用在飛行員模型的各個力，解釋下列飛行員模型在第二階段中的運動：
在張開降落傘後，飛行員模型起始加速向下運動，隨後以勻速下落(見圖 al)。
已知降落傘作用於飛行員模型的力隨它的速率而增加。(4 分)

□ Q43 考試報告：整體表現尚可。

- (a) 有些考生誤以為模型於 $t = 0.5$ s 一刻到達最高點。
- (c) 只有小部分考生列出模型的正確運動方程 $R - mg = ma$ ，以計算彈射座椅對飛行員模型的作用力 R 。很多考生沒有考慮模型的重量而誤用公式 $R = ma$ 計算答案。
- (d) 考生在這部表現欠佳。他們未能正確描述作用於飛行員模型淨力的變化，因此無法對飛行員模型在第二階段的運動提供一個圓滿的解釋。有些考生更不能辨認所有作用於飛行員模型的力。此外，有些考生對加速度的概念模糊不清，他們未能分辨「加速度減小」及「減速」。

自我評核 3

時間：25分鐘 總分：19分

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄 (p.411) 提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

1 作用於物體的淨力為零時，下列哪項敘述必定正確？

- 物體靜止不動。
- 物體的加速度是零。
- 沒有力作用於物體。

- A 只有 (2) B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

A

2 工人以 80 N 的水平力推着手推車 (圖 a)，箱子 X、Y 和手推車的質量分別是 20 kg、15 kg 和 10 kg。作用於手推車的摩擦力是 35 N。

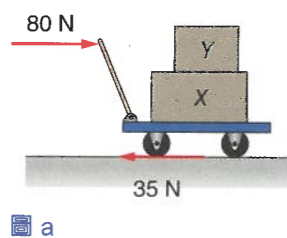


圖 a

取手推車的移動方向為正，Y 作用於 X 的摩擦力是多少？

- A -45 N B -15 N
C 15 N D 45 N

B

3.5 4 某人的質量為 70 kg，他在列車車廂中握着扶手 (圖 b)。他施於扶手的力垂直指向下方，量值為 20 N。列車沿水平方向行駛地板作用於他的法向反作用力是多少？



圖 b

- A 667 N
B 687 N
C 707 N
D 883 N

A

乙部

3.4 5 救援人員為搜救登山者，以繩索從直升機吊下，並以恆速度垂直下降 (圖 c)。他的質量是 70 kg。

(a) 繪畫救援人員的隔離體圖。

(2分)

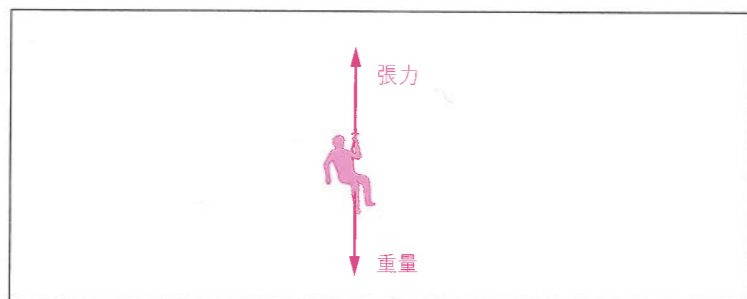


圖 c



(b) 繫着救援人員的繩索張力是多少？

(2分)

687 N

(c) 其後，救援人員與登山者一同由繩索拉起 (圖 d)。登山者的質量是 65 kg。在某一刻，他們向上的加速度為 0.2 m s^{-2} 。

(i) 登山者會覺得他的重量與平時相比有甚麼分別？

(1分)

比平時大

(ii) 繩索的張力 T 是多少？

(2分)

1350 N



圖 d

6 一根不可延伸的輕繩繞過懸掛在天花板上的滑輪，把兩個相同的盤子 A 和 B 連接起來 (圖 e)。A 和 B 分別盛載砝碼 m_1 和 m_2 ，兩個砝碼完全相同。

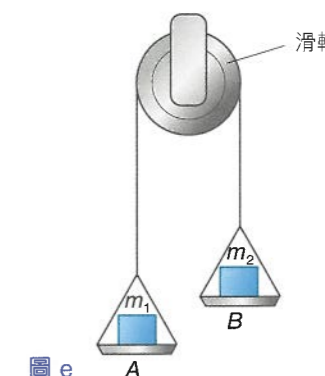
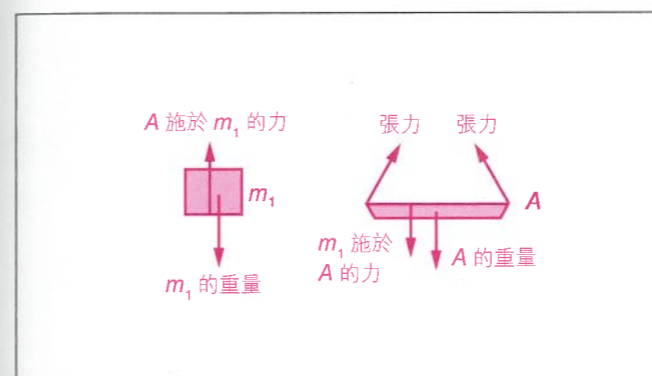


圖 e

(a) 繪畫 m_1 和 A 各自的隔離體圖。

(3分)

(b) 舉出一組作用力—反作用力對。

(1分)

A 施於 m_1 的力與 m_1 施於 A 的力

(c) 寫出這個系統所有可能出現的運動狀態。

(2分)

(d) 如果輕繩斷掉，作用於 m_1 的作用力會怎樣改變？

(2分)

(題解見 p.408)

□ 複習2 Q39 考試報告：大部分考生都能在本題取得最少5分。(b)(i) 須用文字回答，答案顯示考生並不明白「率」(rate) 這概念，考生在 (b)(ii) 則可清楚列出運算步驟。

(a) 失分的考生多誤用「每單位時間」(例如「加速度是速度在每單位時間的變化率」)，或誤以速率而非速度來定義加速度。不少考生寫出文字方程(例如加速度 = 速度的變化 / 時間)，這答案可以接受。

(b) (i) 火箭的運動分為兩個階段，正確的描述為恆加速然後恆減速。有些考生的描述令人莫名其妙。很多考生以為火箭在 5.0 s 後墮向地面而非繼續上升，這令他們在 (b)(ii) 部計算火箭到達的最大高度時出錯。少數考生知道火箭在 25 s 到達最大高度時是瞬時靜止的。考生頗為濫用「率」這個術語。不時有考生混淆了速度和加速度。以下列出一些常見錯誤。

火箭以恆定的率移動。

在 0 至 5.0 s 之間，火箭加速度的率恆定不變。

火箭的加速度恆定，並以恆速度移動。

「0 至 5.0 s 期間速率增加」及「速率在 5.0 s 後減少」等答案，都可獲得部分分數。

(b) (ii) 最常見的答案是「 $\frac{1}{2} \times 200 \times 5.0 = 500 \text{ m}$ 」。約三分之一考生知道火箭在 25 s 到達最高點，並懂得計算 0 至 25 s 期間速度—時間關係線圖下的面積。不少考生用運動方程來計算 0 至 5.0 s 及 5.0 s 至 25 s 期間火箭移動的距離。

(b) (iii) 本題要考生解釋為何火箭到達地面時速率高於 200 m s^{-1} ，甚少考生可取得分數。大部分考生都嘗試回答本題，但答案大多含混不清。很多考生回答火箭因重力而下墮，加速度為 9.81 m s^{-2} ，或火箭因燃料消耗而質量減少。

□ Q39 考試報告：考生一般表現良好。

(a) (i) 部分考生只提及氣球圓盤從時間 $t = 1.0 \text{ s}$ 至 1.4 s 內減速，未能清楚指出勻減速。

(ii) 能力較弱的考生卻誤以為從圓盤底部釋出的空氣對抗摩擦力從而推動圓盤前進。他們亦誤以為在時間 $t = 1.0 \text{ s}$ 時，氣球圓盤的運動改變是因為「較少空氣被釋放」。

(b) 大部分考生能正確繪出速度—時間關係線圖。

□ Q41 考試報告：考生表現良好。

(a) 不少能力較弱的考生錯誤認為當火車加速時，火車地板作用於包裹摩擦力的方向和火車及包裹運動的方向相反。部分考生亦混淆了作用於包裹的摩擦力和作用於火車車輪的摩擦力。

(b) 很多考生忽略了 $t = 150 \text{ s}$ 至 210 s 之間火車的減速度(以致作用於包裹的力)的量值較 $t = 0$ 至 30 s 之間的值小。(見於速度—時間關係線圖於該兩時段內斜率的量值。)

□ 複習4 Q26 考試報告：考生整體表現令人滿意。

(b) 考生對利用矢量圖求出合力並不熟悉。部分考生錯誤以為題目圖 v 的矢量圖是按比例畫出並錯誤將 T_2 抄到(包括量值和方向)圖 w 中。

(c) (i) 不少考生繪出速度對時間關係線圖時，錯誤指出勻速於 8 秒時開始，又誤以為勻速為 1.5 m s^{-1} 。

(ii) 在使用繪出的關係線圖求出 X 與 Y 之間的距離時，部分考生只計算三角形的面積而非計算梯形的面積。



4 力與運動 II

我們在這一課會學到

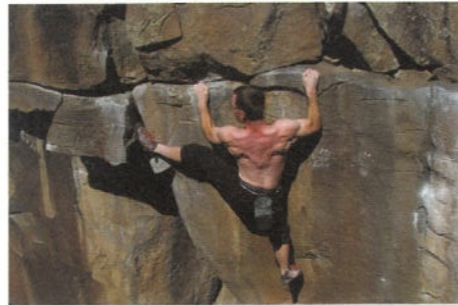
- 力的合成和分解
- 共面力與牛頓運動定律

4.1

力的合成與分解

起點 攀石

攀石運動員必須將作用於他的力靈活結合，才能攀上懸崖峭壁。你知道不同方向的力是如何結合的嗎？▶ 參看第 152 頁例題 2。



✓ 本節重點

- 1 用作圖法及代數法找出合力
- 2 把力分解

1 力的合成

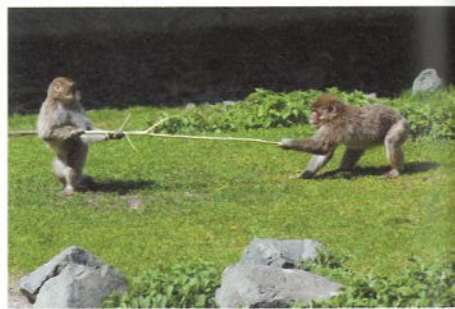
所有作用於物體的力都相加起來，得出的合力便是作用於物體的淨力。

如果有多道力作用於物體，這些力可以相加起來，當作單一的力，這單一的力稱為**合力**。合力對物體的影響，相等於原本的力對物體影響的總和。合力的量值可以大於或小於原本每道力的量值（圖 4.1a）。



(i) 向相同方向施力，合力較強

圖 4.1a 力合成後，得出的合力可能較強或較弱



(ii) 向相反方向施力，合力較弱

a 平行力

單元 3.1 討論過如何將兩道平行的力加起來，方法是先取其中一個方向為正，反方向為負，然後把這些數值相加，所得的結果就是合力（圖 4.1b）。

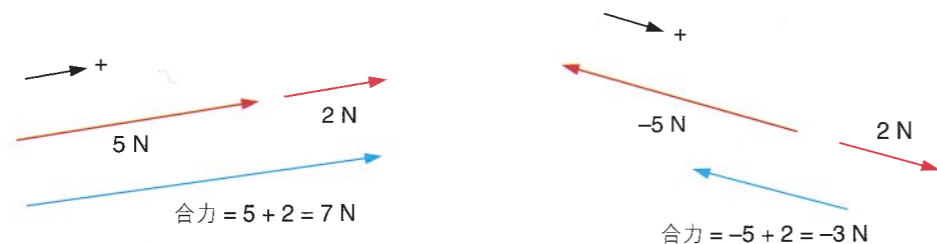


圖 4.1b 平行力相加

合力 resultant force

符號的表達方法像位移一樣， \vec{F} 代表矢量， F 代表矢量的量值。

模擬程式 4.1
錄像片段 4.1

→ 模擬程式 4.1 說明怎樣利用 (a) 「首尾連接法」，以及 (b) 力的平行四邊形法則把兩道力相加。

→ 錄像片段 4.1 顯示不同力的組合，可以產生相同的合力。

使用力的平行四邊形法則時，每道力（包括 \vec{F}_1 、 \vec{F}_2 和 $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ ）的尾端相交於一點。

b 任何方向的力

力是矢量，可以用作圖法相加。要把兩道力 \vec{F}_1 和 \vec{F}_2 加起來，可用 \vec{F}_1 和 \vec{F}_2 作為鄰邊，繪畫平行四邊形（圖 4.1c），從力的作用點出發，畫至四邊形的對角，這對角線便是合力 $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ 。這方法稱為**力的平行四邊形法則**。

除此之外，也可以用**首尾連接法**，找出 \vec{F}_1 和 \vec{F}_2 的合力：移動 \vec{F}_2 ，令它的尾端連接 \vec{F}_1 的首端，它們的合力就是由 \vec{F}_1 尾端指向 \vec{F}_2 首端的矢量（圖 4.1d）。這方法與力的平行四邊形法則原理相同。

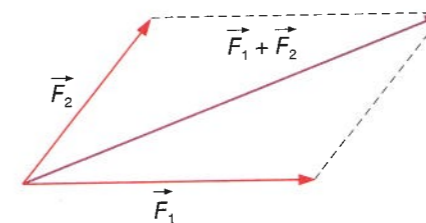
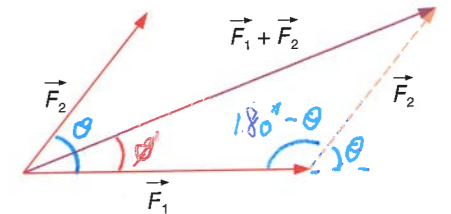


圖 4.1c 力的平行四邊形法則



▶ 位移的加法必定遵從首尾連接法。

圖 4.1d 首尾連接法

如果兩道力方向相同，得出的合力是最大的；如果兩道力方向相反，得出的合力是最小的。

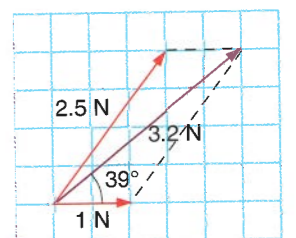
▶ 兩道力之間的角度愈大，合力的量值愈小（可參考文憑試 2012 年卷一甲部 Q5）。着學生完成習題與思考 4.1 Q3 (p.157)，以驗證這個規律。學生應懂得用作圖法找出合力。

模擬程式 4.2

→ 模擬程式 4.2 示範力的合成，學生可控制力的大小以及力之間的角度。

如果所有力都按比例繪畫且方向正確，就能用作圖法畫出合力，然後直接量度合力的大小和方向（圖 4.1e）。

假若兩道力互相垂直，就可以用畢氏定理及三角比來找出合力，如例題 1 所示。



比例：1 cm = 1 N

圖 4.1e 用作圖法找出合力

例題 1 拉緊的弓

圖 a 顯示一柄拉緊的弓。若弓弦的張力是 34 N，且兩段弓弦互相垂直，則弓弦作用於箭的合力是多少？

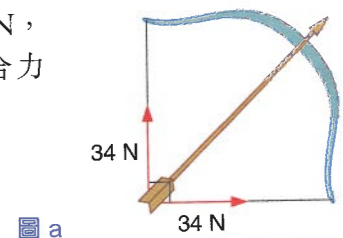


圖 a

題解

$$\text{合力的量值} = \sqrt{34^2 + 34^2} = 48.1 \text{ N}$$

$$\tan \theta = \frac{34}{34} \Rightarrow \theta = 45^\circ$$

合力是 48.1 N（指向上方，與水平成 45° 角）。

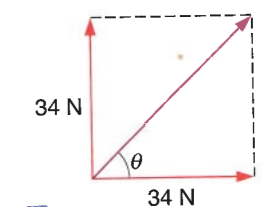


圖 b

▶ 進度評估 1 Q2 (p.152)

例題 2 作用於攀石運動員的淨力

考慮起點提及的攀石運動員(圖 a)。在圖 b 中,所有作用於他(圖中 C 點)的力都按比例繪出,試以作圖法找出作用於他的淨力。

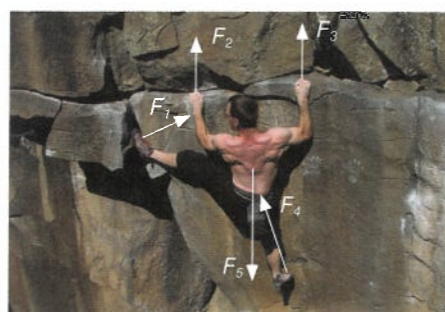


圖 a

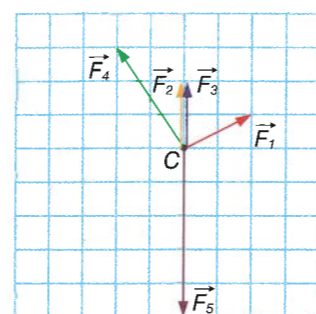
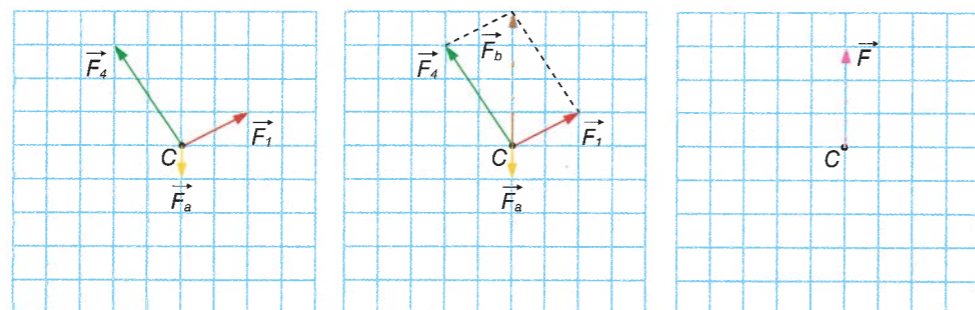


圖 b

圖 a 中的箭號不依比例繪畫。

題解

作用力相加的先後次序不限,因此,可以先處理平行力,再處理不平行力。



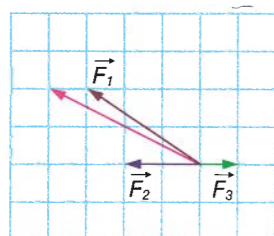
- ① \vec{F}_2 、 \vec{F}_3 和 \vec{F}_5 相加, 得出 \vec{F}_a 。
 ② \vec{F}_1 和 \vec{F}_a 相加, 得出 \vec{F}_b 。
 ③ \vec{F}_a 和 \vec{F}_b 相加, 得出淨力 \vec{F} 。

▶ 進度評估 1 Q1 (p.152)

進度評估 1

✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.150)。

11 在圖 a 中畫出合力, 並找出它的量值。2.23 N



比例: 1 cm = 1 N

圖 a

12 如圖 b 所示, 兩根繩索拉着一棵大樹。若每根繩索的張力是 120 N, 求作用於大樹的合力量值。

- A 120 N
 B 170 N
 C 195 N
 D 240 N

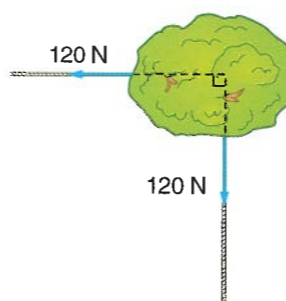


圖 b

2 力的分解

假若兩道力既不平行又不垂直, 怎樣用代數法找出它們的合力呢? 要解答這個問題, 先要學習如何將力分解。

兩道力既然可以合成一道, 一道力當然也可以分解成兩道, 而這兩道力對物體的整體影響, 相等於原本的力對物體的影響。分解出來的力稱為分量。我們通常會把力分解成互相垂直的分量。

考慮圖 4.1f, 要找出力 \vec{F} 沿 x 軸和 y 軸的分量, 只要以 \vec{F} 為對角線繪畫長方形, 長方形兩條鄰邊便是分量 \vec{F}_x 和 \vec{F}_y 。

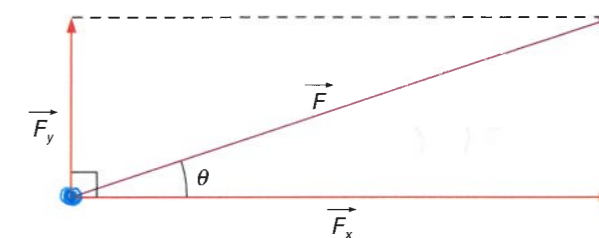


圖 4.1f 把力分解成兩個互相垂直的分量

只有兩個分量互相垂直時, 才能使用這個方法。▶ 利用代數法, 可找出圖 4.1f 中各分量的量值。

提醒學生如果把力分解為兩個並非互相垂直的分量, 這些分量的量值會很難計算。

$$\frac{F_x}{F} = \cos \theta \Rightarrow F_x = F \cos \theta \text{ 鄰邊}$$

$$\frac{F_y}{F} = \sin \theta \Rightarrow F_y = F \sin \theta \text{ 對邊}$$

例題 3 以代數法將力分解

女孩以 10 N 的力拉小狗(圖 a), 繩索跟水平的夾角為 30° 。拉力的水平分量是多少?

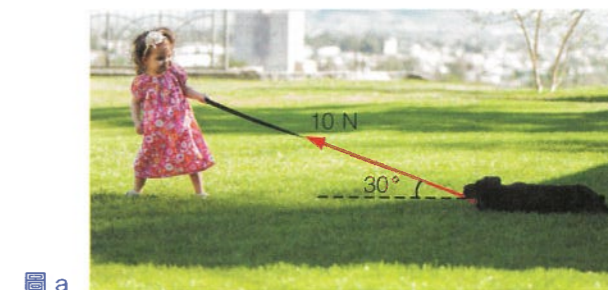


圖 a

題解

拉力的水平分量
 $= F \cos 30^\circ$
 $= 10 \cos 30^\circ$
 $= 8.66 \text{ N}$

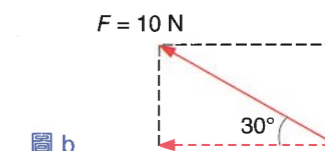


圖 b

▶ 進度評估 2 Q1 (p.154)

4 力與運動 II

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

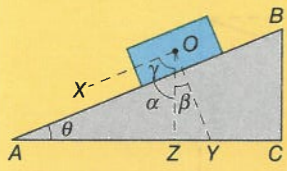
技巧分析

斜面的角度

例題 4 圖 b 中的 β 為甚麼等於 25° ?

考慮一個放在斜面上的木塊。

$$\begin{aligned} OX \parallel AB &\Rightarrow \gamma = \alpha \\ OX \perp OY &\Rightarrow \beta = 90^\circ - \gamma \\ OZ \perp AC &\Rightarrow \theta = 90^\circ - \alpha \\ &= 90^\circ - \gamma \\ &= \beta \end{aligned}$$

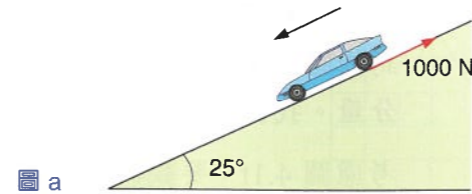


除了垂直和水平兩個方向之外，力亦可以沿其他方向分解。這方向通常視物體的移動方向而定。

可在此處講解補償摩擦作用。把跑道傾斜，令小車重量沿跑道的分量與摩擦力相抵銷，跑道就具有補償摩擦作用。這時，如果推小車一下，小車就會以勻速率沿跑道下滑。本書第 108 頁介紹過補償摩擦作用跑道。

例題 4 重量沿斜坡的分量

質量為 1200 kg 的汽車駛下斜坡，斜坡與水平的夾角為 25° ，作用於汽車的總阻力是 1000 N (圖 a)。



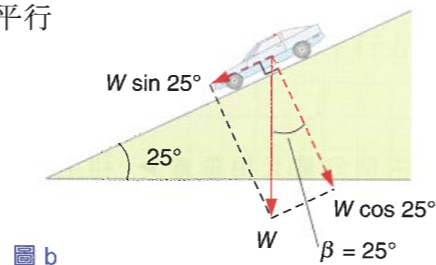
- (a) 求汽車重量沿斜坡方向的分量。
(b) 沿斜坡作用於汽車的合力是多少?

題解

- (a) 圖 b 顯示汽車的重量 W ，以及它平行斜坡和垂直斜坡的分量。

$$\begin{aligned} \text{重量沿斜坡的分量} &= W \sin 25^\circ \\ &= 1200 \times 9.81 \times \sin 25^\circ \\ &= 4980 \text{ N} \end{aligned}$$

- (b) 取沿斜坡向下的方向為正。
合力 = $4980 - 1000$
= 3980 N



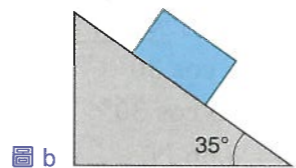
進度評估 2 Q2 (p.154)

進度評估 2 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.150)。

- 21 某人以 10 N 的力拉行李箱 (圖 a)，施力與垂直線的夾角為 60° 。求施力的水平分量。8.66 N



- 22 重量為 15 N 的木塊在斜面上靜止不動 (圖 b)。求木塊重量垂直於斜面的分量。12.3 N



3 用代數法計算合力

若兩道力不是互相垂直，便無法使用畢氏定理來找出合力，但我們可以先將每道力分解成分量，再利用這些分量計算合力。

例題 5 作用於水桶的淨力

直升機以纜索懸着一個重量為 25 000 N 的水桶 (圖 a)。纜索與水平的夾角為 60° ，張力為 30 000 N。略去空氣阻力不計，求作用於水桶的淨力。

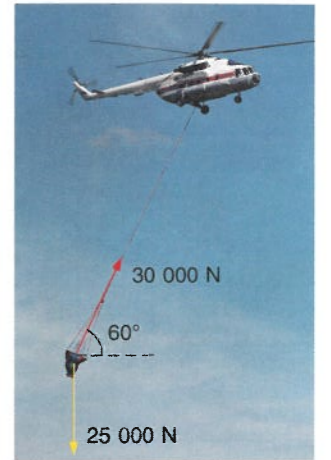


圖 a

題解

把張力 T 沿垂直和水平方向分解 (圖 b)。

沿垂直方向，取向上為正。

$$\begin{aligned} \text{合力 } F_y &= 30\,000 \sin 60^\circ - 25\,000 \\ &= 981 \text{ N} \end{aligned}$$

沿水平方向，取直升機的前進方向為正。

$$\begin{aligned} \text{合力 } F_x &= 30\,000 \cos 60^\circ \\ &= 15\,000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{淨力 } F \text{ 的量值} &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ &= \sqrt{15\,000^2 + 981^2} \\ &= 15\,030 \text{ N} \\ &\approx 15\,000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{F_y}{F_x} \\ &= \frac{981}{15\,030} \\ \theta &= 3.73^\circ \end{aligned}$$

淨力是 15 000 N，指向水平線上 3.73° 。

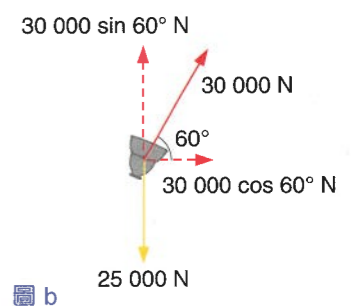


圖 b

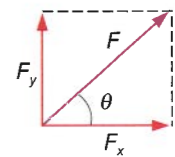


圖 c

習題與思考 4.1 Q6 (p.157)

水桶以數根細繩連接至纜索。細繩張力的總和必定等於纜索的張力，否則細繩與纜索的交接點便會有相對於系統的運動。

把力 F 分解成分量後，在往後的計算中便應略去 F 。

我們可以用實驗去驗證這個力的加法。

錄像片段 4.2

→ 錄像片段 4.2 示範實驗 4a。

實驗 4a 力的合成

- 1 如圖 a 設定實驗裝置，把橡筋固定於 X 點。
- 2 用兩個彈簧秤將橡筋拉到量角器的中心點 O。記錄彈簧秤的讀數，以及角度 a 和 b。

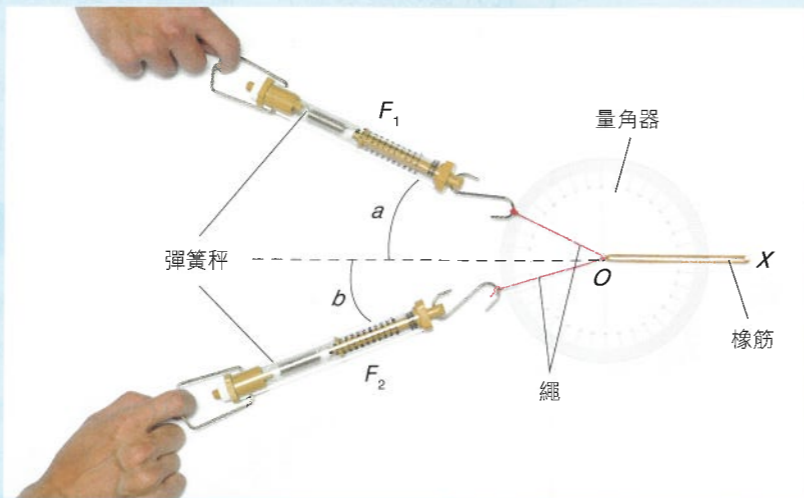


圖 a

- 3 以代數法或作圖法找出 F_1 和 F_2 的合力。
- 4 重複以上步驟，以不同的力度及角度將橡筋拉到 O 點。

討論

F_1 和 F_2 的合力每次都相同嗎？相同

為甚麼每次實驗都要將橡筋拉到 O 點？
這確保每次實驗中橡筋的拉力都相同。

進度評估 3

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.150)。

- 1 圖 a 中作用於粒子的合力，量值是多少？指向哪個方向？
1, 2 6.36 N (向右，x 軸以上 87.6°)

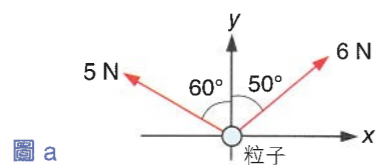


圖 a

- 12 兩道 5 N 的力作用於同一點，合力的量值也是 5 N。這兩道力之間的夾角是多少？
 120°

[提示：這兩道力與合力形成一個等邊三角形]

- 3 重量為 20 N 的箱子滑下斜面 (圖 b)，作用於箱子的摩擦力是 8 N，斜面與水平之間的夾角是 30° 。沿斜面作用於箱子的淨力是多少？

[提示：摩擦力指向哪個方向？]
 2 N (沿斜面向下)

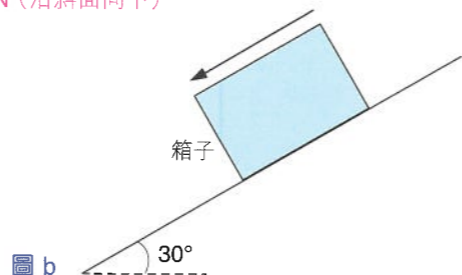
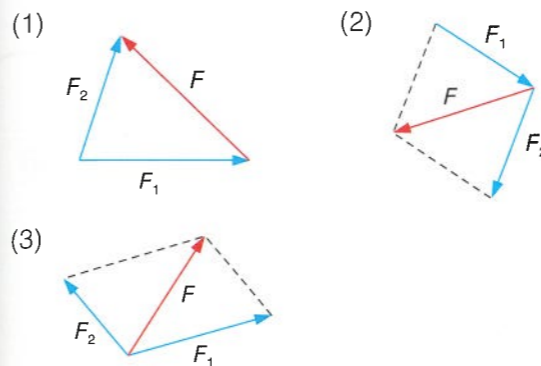


圖 b

習題與思考 4.1

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.150)。

- 11 以下哪幅圖正確顯示 F_1 和 F_2 的合力 F ?



- A 只有 (2)
 B 只有 (3)
 C 只有 (1) 和 (2)
 D 只有 (2) 和 (3)

- 22 重量為 W 的物體置於斜面上。以下哪一幅圖正確顯示 W 與斜面平行和垂直的分量 (以虛線表示)?

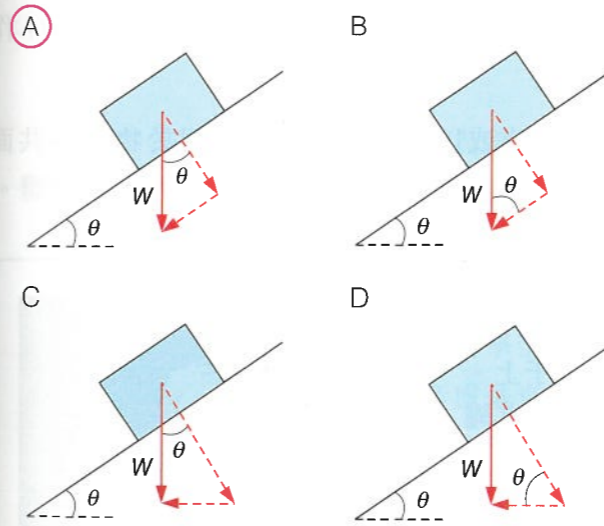
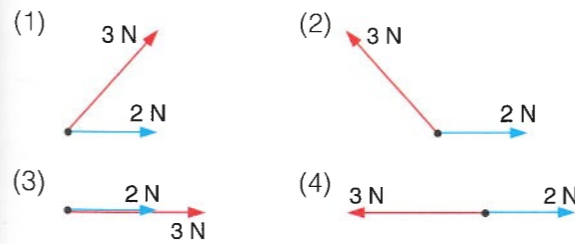


圖 c

- 13 如下圖所示，一道 2 N 和一道 3 N 的力以不同方式作用於同一點。把這四個情況按合力的量值由小至大排列。

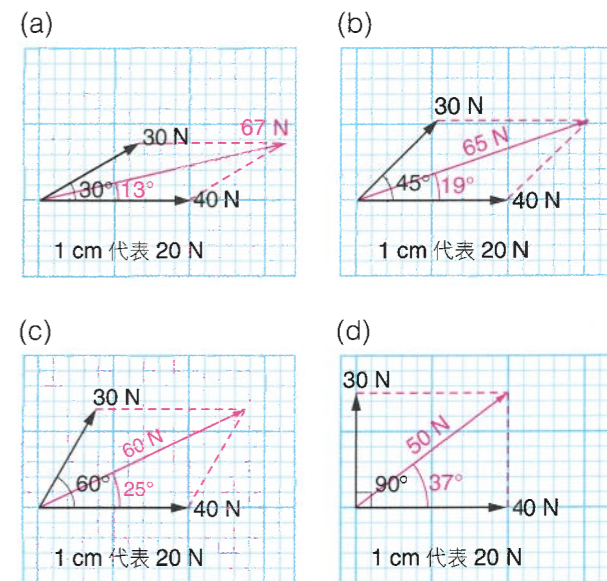


- A (1)、(3)、(2)、(4) B (1)、(4)、(2)、(3)
 C (4)、(1)、(2)、(3) D (4)、(2)、(1)、(3)

- 4 一道 3 N 和一道 4 N 的力相加後，合力的量值不可能是

- A 0 N B 1 N
 C 4 N D 7 N

- 15 用作圖法找出下列各對力的合力。



- 26 用代數法找出第 5 題中各對力的合力。
 67.7 N (12.8°)、 64.8 N (19.1°)、 60.8 N (25.3°)、 50 N (36.9°)

- 17 力 F 是 F_1 和 F_2 的合力，圖 a 顯示了 F_1 和 F 。在圖 a 畫出 F_2 。

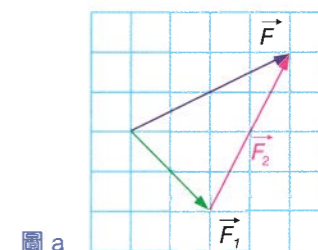


圖 a

- 8 三道力作用於同一物體，它們的合力為零。圖 d 顯示了其中兩道力，試在圖中畫出第三道力。

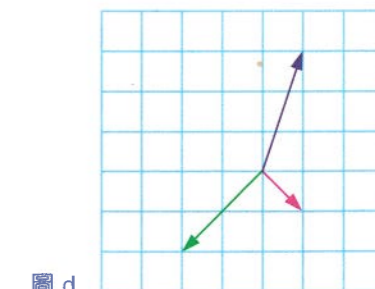


圖 d

4.2 共面力與牛頓運動定律

起點 直升機

你見過直升機向前加速的情況嗎？它加速時機身並非水平，而是向前傾的。你知道原因嗎？[參看第 163 頁例題 11。](#)

以下影片顯示直升機由靜止開始加速的情形。

http://www.youtube.com/watch?v=LiuRP_9CJZ4



✓ 本節重點

- 1 共面力與牛頓第一定律
- 2 共面力與牛頓第二定律



第 3 課討論過物體受平行力作用時，怎樣應用牛頓運動定律。以下部分會探討更為普遍的情況，就是物體受共面力（即在同一平面上的力）作用時的運動。

根據牛頓第一定律，物體保持靜止或以勻速移動時，作用於物體各共面力的合力必定是零。這就是說，沿任何方向，都沒有淨力作用於物體。

例題 6 掛在繩上的衣服

如圖 a 所示，一件衣服掛在繩子上。衣服和衣架的總重量是 5 N。求繩子的張力 T 。



題解

圖 b 是衣服和衣架的隔離體圖。

由於它們保持靜止，沿垂直方向作用於它們的淨力是零。

$$T \cos 80^\circ + T \cos 80^\circ - 5 = 0$$

$$T = 14.4 \text{ N}$$

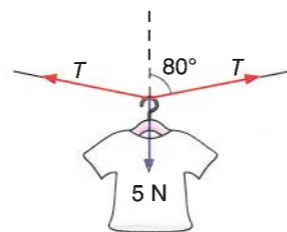


圖 b

▶ 進度評估 4 Q1 (p.160)

例題 7 用滑輪提起箱子

質量為 50 kg 的學生用輕繩和光滑的滑輪，吊起一個質量為 20 kg 的箱子（圖 a）。學生和箱子都保持靜止。

- 繪畫學生和箱子各自的隔離體圖。
- 求輕繩的張力。
- 求地面施於學生的法向反作用力。
- 學生施於地面的力量值是多少？
- 如果地面是光滑的，學生可以站穩不動嗎？試簡單解釋。

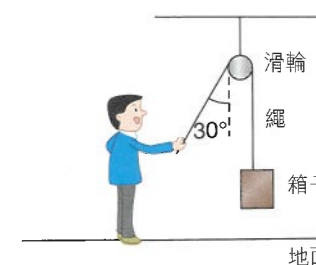


圖 a

題解

取向上和向右為正。

(a)

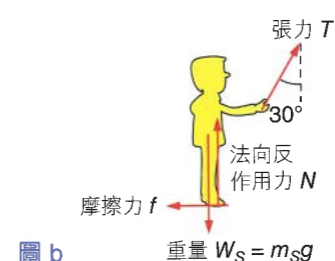


圖 b

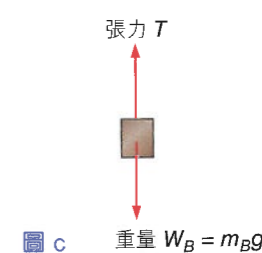


圖 c

(b) 因為箱子保持靜止，所以作用於它的淨力是零。

$$T - W_B = 0$$

$$\Rightarrow T = W_B = 20 \times 9.81 = 196.2 \text{ N} \approx 196 \text{ N}$$

輕繩的張力是 196 N。

(c) 因為學生保持靜止，所以作用於他的淨力是零。

考慮垂直方向。

$$N + T \cos 30^\circ - W_S = 0$$

$$\Rightarrow N = W_S - T \cos 30^\circ = 50 \times 9.81 - 196.2 \cos 30^\circ = 320.6 \text{ N} \approx 321 \text{ N}$$

地面施於學生的法向反作用力是 321 N。

(d) 沿水平方向作用於學生的淨力是零。

$$T \sin 30^\circ - f = 0$$

$$\Rightarrow f = T \sin 30^\circ = 196.2 \sin 30^\circ = 98.1 \text{ N}$$

地面施於學生的合力

$$= \sqrt{N^2 + f^2} = \sqrt{320.6^2 + 98.1^2} = 335 \text{ N}$$

根據牛頓第三定律，學生施於地面的力是 335 N。

(e) 如果地面是光滑的，張力的水平分量便是作用於學生的淨力，根據牛頓第二定律，學生會向右加速，不可以站穩不動。

▶ 習題與思考 4.2 Q7 (p.167)

例題 8 以作圖法找出作用力

木板以兩根繩子懸掛(圖 a)，靜止不動。圖 b 以正確比例顯示木板的重量 \vec{W} 和張力 \vec{T}_1 。

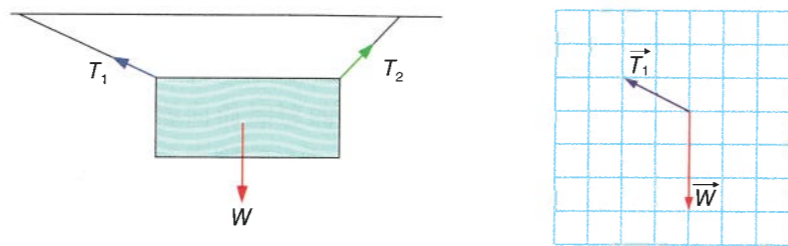


圖 a

圖 b

(a) 以作圖法畫出 \vec{T}_1 和 \vec{W} 的合力。

(b) 在 (a) 的圖中畫出張力 \vec{T}_2 。

題解

(a) \vec{T}_1 和 \vec{W} 的合力可用力的平行四邊形法則找出(圖 c)。

(b) 因為木板靜止，所以作用於它的淨力是零，即 \vec{T}_2 抵銷了合力 $\vec{T}_1 + \vec{W}$ ，因此， \vec{T}_2 的量值與 $\vec{T}_1 + \vec{W}$ 相同，但方向相反(圖 c)。

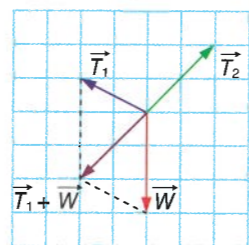
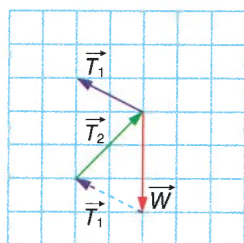


圖 c

▶ 進度評估 4 Q2 (p.160)

另解：

以首尾連接法把這 3 道力加起來，會畫出一個三角形，由此可輕易畫出 \vec{T}_2 。



進度評估 4

✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.158)。

11 質量為 2 kg 的木塊以勻速滑下粗糙斜面，斜面與水平的夾角是 30° (圖 a)。求斜面施於木塊的法向反作用力。17.0 N

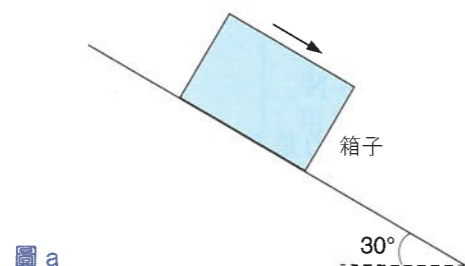


圖 a

12 圖 b 中，物體受四道力作用，因而靜止不動。

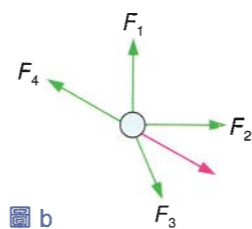


圖 b

突然，力 F_4 消失而其他三道力維持不變。在它消失的一刻，作用於物體的淨力指向哪個方向？在圖 b 畫出這道淨力的方向。

假設物體受共面力作用，而這些力並沒互相抵銷。根據牛頓第二定律，物體會沿淨力的方向加速。只要找出這道淨力，然後運用牛頓第二定律，便可知道這物體的運動狀態。

有時候，我們只想知道物體沿某一方向的運動狀態。在這情況下，可把共面力分解，以找出沿該方向的淨力，物體沿該方向的加速度就取決於這淨力。

模擬程式 4.4

→ 模擬程式 4.4 顯示怎樣改變一個箱的加速度。學生可控制施於箱的力的大小及角度，箱的重量及摩擦力也可隨意改變。

例題 9 雪橇的加速度

女孩坐在雪橇上，男孩則拉着雪橇，令它沿水平方向加速(圖 a)。繩子與水平的夾角是 40° ，張力是 55 N，作用於雪橇的摩擦力是 30 N。女孩與雪橇的總質量是 50 kg。求雪橇的加速度。



圖 a

題解

圖 b 是女孩坐在雪橇上的隔離體圖。把張力沿垂直和水平方向分解。由於雪橇沿水平方向加速，因此只須考慮水平方向。

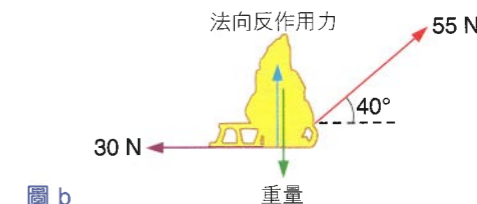


圖 b

取向右為正。

沿水平方向的淨力 = $55 \cos 40^\circ - 30 = 12.13 \text{ N}$

根據 $F = ma$,

$$a = \frac{F}{m} = \frac{12.13}{50} = 0.243 \text{ m s}^{-2}$$

雪橇的加速度是向右 0.243 m s^{-2} 。

▶ 習題與思考 4.2 Q3 (p.166)

✓「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

運用牛頓第二定律處理共面力

- ① 繪畫物體的隔離體圖。
- ② 確定沿哪兩個互相垂直的方向將力分解，所選的方向應方便解題，例如物體的移動方向。
- ③ 選取正方向。
- ④ 找出沿上述兩個方向施加的淨力。
- ⑤ 應用 $F = ma$ ，找出未知量。

(步驟 ③ 至 ⑤ 與第 3 課第 111 頁的技巧分析步驟 ② 至 ⑤ 大同小異。)

例題 10 將手推車推上斜坡

揚浩將手推車推上斜坡(圖 a)，他作用於手推車的力平行於斜坡，量值為 200 N。斜坡與水平的夾角為 10°，手推車連貨物的質量為 50 kg，斜坡施於手推車的摩擦力為 80 N。



圖 a

- (a) 斜坡施於手推車的法向力，量值是多少？
- (b) 求手推車的加速度。

題解

(a) 圖 b 是手推車的隔離體圖。

將重量 W 分解成與斜坡平行和垂直的分量(圖 c)。

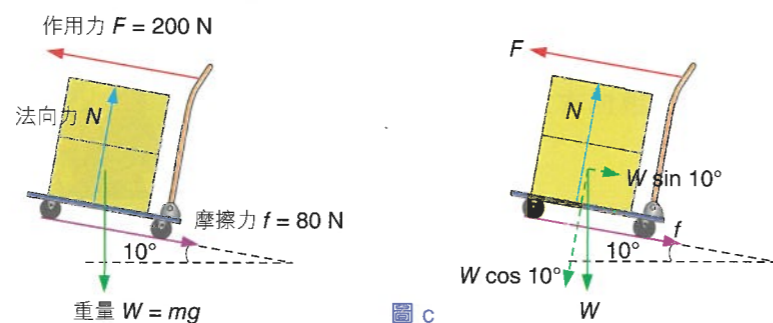


圖 b

圖 c

隔離體圖中， N 是施於車輪的法向力合力， f 是施於車輪的摩擦力合力。注意我們不會在隔離體圖中畫出力的分量。

手推車不會沿垂直於斜坡的方向移動，所以這方向的加速度是零，亦即是說這個方向的淨力是零。

取法向力 N 的方向為正。

$$N - W \cos 10^\circ = 0$$

$$\Rightarrow \text{法向力} = W \cos 10^\circ = 50 \times 9.81 \times \cos 10^\circ = 483 \text{ N}$$

(b) 考慮平行於斜坡的方向。

取沿斜坡向上的方向為正。

$$\begin{aligned} \text{平行於斜坡的淨力} &= F - W \sin 10^\circ - f \\ &= 200 - 50 \times 9.81 \times \sin 10^\circ - 80 \\ &= 34.83 \text{ N} \end{aligned}$$

根據 $F = ma$ ，

$$a = \frac{F}{m} = \frac{34.83}{50} = 0.697 \text{ m s}^{-2}$$

手推車以 0.697 m s^{-2} 的加速度上斜坡。

習題與思考 4.2 Q11 (p.167)

上升力總是垂直於螺旋槳的轉動平面。

例題 11 直升機的加速度

一道上升力 U 作用於直升機(圖 a)，使它沿直線水平飛行。直升機連負載的總質量為 5400 kg，假設空氣阻力可以略去不計。



圖 a

- (a) 上升力 U 的量值是多少？
- (b) 求作用於直升機的淨力。
- (c) 直升機的加速度是多少？
- (d) 假設上升力的大小變為 $6 \times 10^4 \text{ N}$ ，而它與垂直線的夾角仍舊是 20° 。直升機加速度的量值是多少？

題解

圖 b 是直升機的隔離體圖。

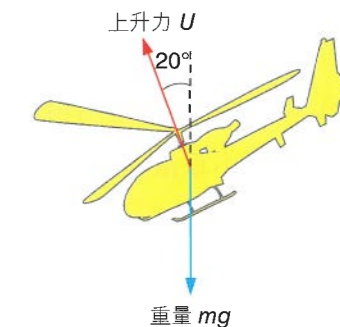
取向上和向左為正。

(a) 因為直升機沒有沿垂直方向移動，這方向的淨力是零。

$$U \cos 20^\circ - mg = 0$$

$$\Rightarrow U = \frac{mg}{\cos 20^\circ} = \frac{5400 \times 9.81}{\cos 20^\circ} = 5.64 \times 10^4 \text{ N}$$

圖 b



(b) $F_x = U \sin 20^\circ = 5.64 \times 10^4 \times \sin 20^\circ = 1.93 \times 10^4 \text{ N}$
作用於直升機的淨力是向左 $1.93 \times 10^4 \text{ N}$ 。

(c) 根據 $F = ma$ ，

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1.93 \times 10^4}{5400} = 3.57 \text{ m s}^{-2}$$

直升機的加速度是向左 3.57 m s^{-2} 。

(d) 沿垂直方向的淨力 F_y

$$= U \cos 20^\circ - mg = 6 \times 10^4 \times \cos 20^\circ - 5400 \times 9.81 = 3410 \text{ N}$$

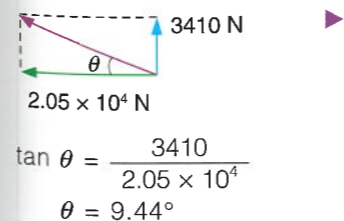
沿水平方向的淨力 F_x

$$= U \sin 20^\circ = 6 \times 10^4 \times \sin 20^\circ = 2.05 \times 10^4 \text{ N}$$

淨力的量值

$$= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(2.05 \times 10^4)^2 + 3410^2} = 2.08 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\text{加速度的量值} = \frac{F}{m} = \frac{2.08 \times 10^4}{5400} = 3.85 \text{ m s}^{-2}$$



$$\tan \theta = \frac{3410}{2.05 \times 10^4}$$

$$\theta = 9.44^\circ$$

直升機向着水平線以上 9.44° 的方向加速。

習題與思考 4.2 Q9 (p.167)

實驗技巧應用

例題 12 斜面施於小車的摩擦力

永雄做實驗，研究質量為 0.5 kg 的小車在斜面上移動時遇到的摩擦力（圖 a）。他把運動感應器安裝在斜面較高的一端，以紀錄小車的運動。

永雄推了小車一下，小車便沿斜面向上移動一段距離，然後依原路滑下。圖 b 是小車的 $v-t$ 關係線圖。

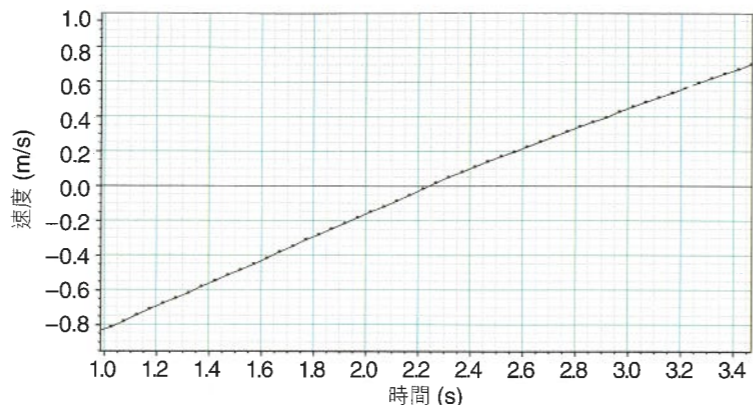
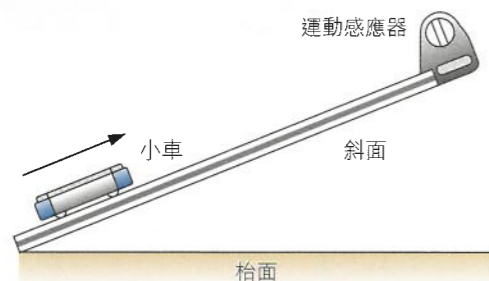


圖 a

圖 b

- (a) 寫出這實驗的一件注意事項。
- (b) 估算小車沿斜面向上和向下移動時的加速度。
- (c) 斜面與水平的夾角為 3.6° 。估算小車沿斜面向上移動時，作用於它的摩擦力。

題解

取沿斜面向下為正。

(a) 小車不要推得太大力，以免它撞上運動感應器。（或：小車必須沿直線移近或移離運動感應器。）

(b) 向上移動時的加速度 a_U

$$= \text{線圖在 } 2.25 \text{ s 前的斜率} = \frac{-0.10 - (-0.60)}{2.10 - 1.35} = 0.667 \text{ m s}^{-2}$$

◀ 小車向上移動時，會移近運動感應器，因此速度是負數，所以在 2.25 s 以前，小車都在向上移動。

向下移動時的加速度 a_D

$$= \text{線圖在 } 2.25 \text{ s 後的斜率} = \frac{0.50 - 0.10}{3.10 - 2.40} = 0.571 \text{ m s}^{-2}$$

(c) 圖 c 顯示小車沿斜面向上移動時作用於它的力。

考慮平行斜面的方向。

根據 $F = ma$ ，

$$\begin{aligned} W \sin \theta + f &= ma_U \\ f &= ma_U - W \sin \theta \\ &= 0.5 \times 0.667 - 0.5 \times 9.81 \times \sin 3.6^\circ \\ &= 0.0255 \text{ N} \end{aligned}$$

摩擦力是 0.0255 N。

◀ 由於量度數據有誤差，小車向上和向下移動時，計算所得的摩擦力有少許不同。

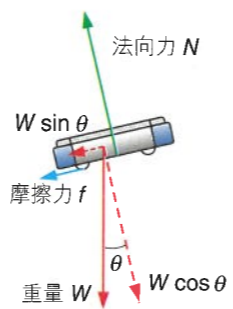
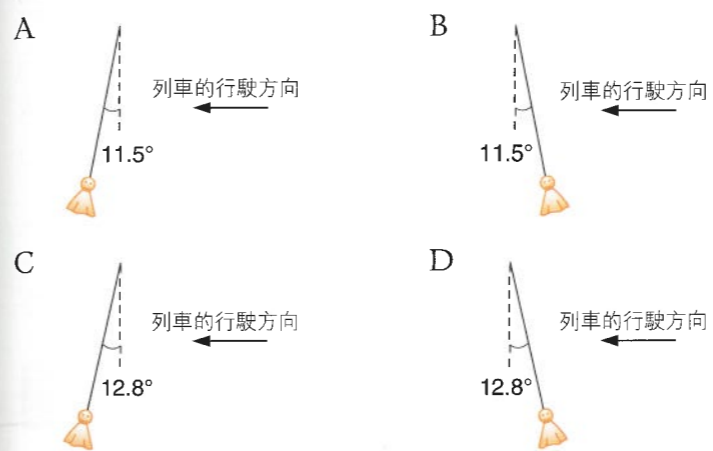


圖 c

▶ 複習 Q27 (p.174)

預試訓練 1 用吊飾計算加速度 ☆ 香港中學會考 2010 年卷二 Q31

偉倫在港鐵車廂裏拿着一個吊飾。他發現列車加速時，懸着飾物的吊繩會傾斜。假如列車向左行駛時以 2 m s^{-2} 減速，以下哪一幅圖最能夠代表吊飾的位置？



題解

圖 a 顯示選項 A 和 C 中作用於吊飾的力。

圖 b 顯示選項 B 和 D 中作用於吊飾的力。

在圖 a 中，水平方向的淨力 ($T \sin \theta$) 指向右；在圖 b 中，水平方向的淨力則指向左。

因為列車向左行駛時減速，所以它的加速度指向右。

∴ 作用在吊飾上的淨力亦指向右。

∴ 選項 B 和 D 不正確。

因為飾物不會沿垂直方向移動，所以這方向的淨力為零。

$$T \cos \theta - mg = 0$$

$$T \cos \theta = mg \dots \dots \dots (1)$$

考慮水平方向。取向右為正。

根據 $F = ma$ ，

$$T \sin \theta = ma \dots \dots \dots (2)$$

(2) ÷ (1) :

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{a}{g} \\ &= \frac{2}{9.81} \\ \theta &= 11.5^\circ \end{aligned}$$

∴ 答案是 A。

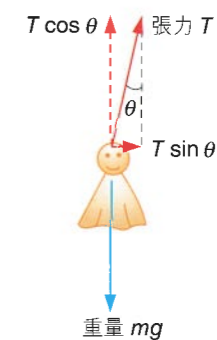


圖 a

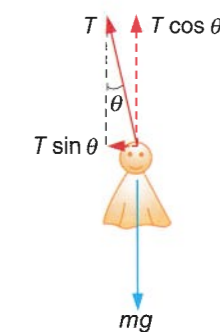


圖 b

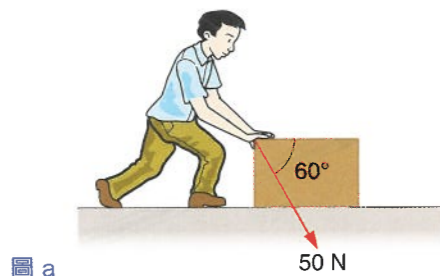
留意吊繩的傾斜角度與飾物的質量無關。

▶ 複習 Q12 (p.170)

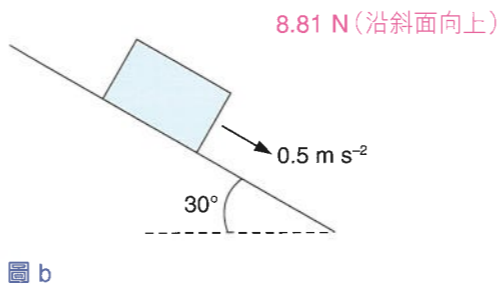
進度評估 5

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.158)。

21 一個人以 50 N 的力推動地上的盒子 (圖 a)，這力與水平的夾角是 60° 。盒子的質量為 25 kg，它與地面之間的摩擦力為 20 N。盒子的加速度是多少？ 0.2 m s^{-2} (向右)



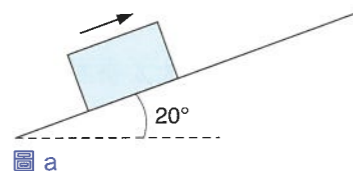
22 盒子沿粗糙斜面滑下，斜面與水平的夾角為 30° (圖 b)，盒子的質量為 2 kg，加速度為 0.5 m s^{-2} 。求盒子和斜面之間的摩擦力。



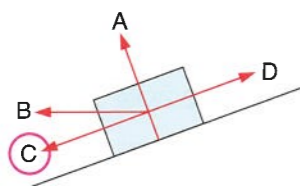
習題與思考 4.2

如有需要，取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ ，除特別指明外，空氣阻力可略去不計。

(第 1 至 2 題) 質量為 2 kg 的木塊被推了一下之後，沿粗糙的斜面向上移動 (圖 a)，移動一段距離後停下。木塊沿斜面上移時，兩者之間的摩擦力為 10 N。



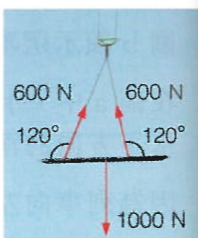
21 木塊沿斜面上移的時候，作用於它的淨力指向哪個方向？



12 木塊在斜面上靜止不動時，作用於它的摩擦力是多少？

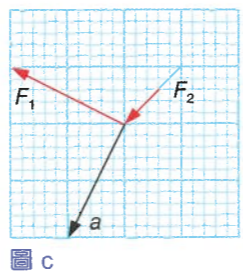
- A 6.71 N
- B 7.14 N
- C 10 N
- D 18.4 N

23 兩條纜繩懸着總重量為 1000 N 的鋼材 (圖 b)，每條的張力為 600 N。鋼材的加速度是多少？



- A 0.385 m s^{-2} (向上)
- B 1.96 m s^{-2} (向上)
- C 0.0392 m s^{-2} (向下)
- D 3.92 m s^{-2} (向下)

24 三道力 F_1 、 F_2 和 F_3 作用於同一物體，圖 c 顯示 F_1 和 F_2 ，以及物體加速度 a 的方向。



以下哪一幅圖最能代表 F_3 ？

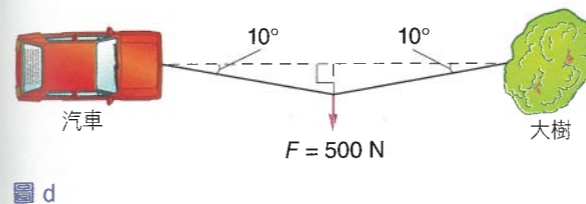
- A
- B
- C
- D

15 三道力作用於同一物體時，該物體靜止不動。下列哪項必定是正確的？

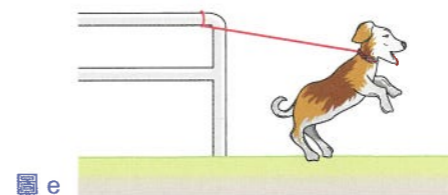
- (1) 三道力互相平行。
- (2) 三道力的量值相同。
- (3) 任何兩道力的合力，必定與第三道力的方向相反。

- A 只有 (1)
- B 只有 (3)
- C 只有 (1) 和 (3)
- D 只有 (2) 和 (3)

126 一輛汽車掉入溝渠。司機用繩索把汽車緊緊地繫於大樹上，然後以 500 N 的力拉繩索的中央，圖 d 顯示汽車剛開始移動的一刻。求繩索的張力。



17 小狗想走開，但卻給狗帶繫在欄杆上。在圖 e 所示的一刻，牠靜止不動。



- (a) 繪畫狗的隔離體圖。
- (b) 地面作用於狗的摩擦力指向哪個方向？試扼要解釋。

28 蒲公英種子隨風飄揚 (圖 f)。在某一刻，作用於一顆種子的風力是 $6 \times 10^{-3} \text{ N}$ ，方向與垂直線成 35° 。這種子的質量為 0.4 mg。



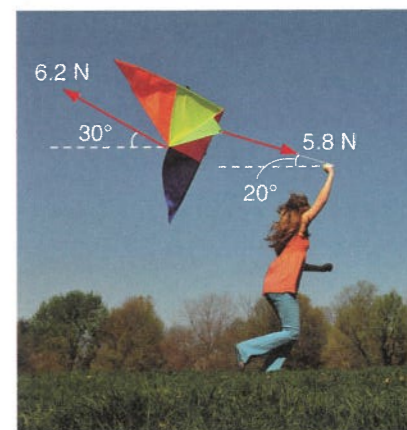
- (a) 作用於這種子的淨力，量值是多少？指向哪個方向？
- (b) 這種子的加速度是多少？

29 圖 g 中的 V-22 魚鷹式傾轉旋翼機，它安裝了可以改變方向的轉子，因此能夠垂直起飛和降落。假設它負載後的總質量是 20 000 kg。



- (a) 這飛機降落時轉子會垂直指向上。如果它垂直向下移動，並以 1 m s^{-2} 減速，轉子產生的力是多少？
- (b) 假設飛機起飛。在某一刻，轉子斜指向上，產生一道 210 000 N 的上升力，這道力與垂直線的夾角為 20° 。求飛機的加速度。

210 女孩握着風箏的線往前跑 (圖 h)，風箏線與水平的夾角為 20° ，張力為 5.8 N。空氣施於風箏的力為 6.2 N，方向為水平之上 30° 。風箏的質量是 100 g。所有的力都在同一平面之上。求風箏的加速度。



11 質量為 2 kg 的小車給輕推一下後，以恆速率滑下斜面。

- (a) 若斜面與水平的夾角是 10° ，作用於小車的摩擦力是多少？
- (b) 小車重量平行於斜面的分量，與小車施於斜面的摩擦力，兩者是否作用力—反作用力對？試解釋答案。
- (c) 若斜面與水平的夾角變為 30° ，小車滑下斜面時的加速度是多少？假設摩擦力與 (a) 部的答案相同。

總結 4

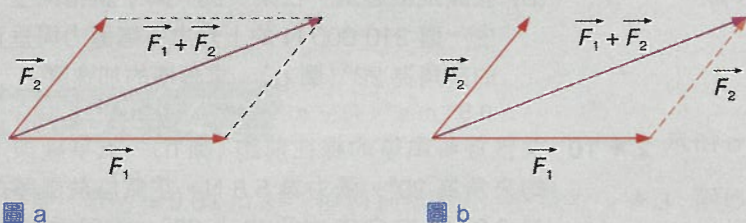
詞彙

- 1 合力 resultant force p.150
- 2 分解 resolve p.153
- 3 分量 component p.153

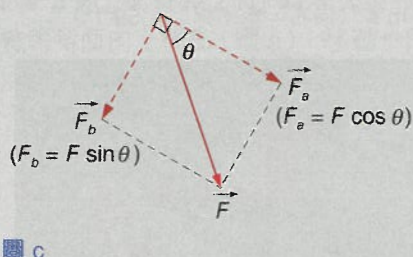
課文摘要

4.1 力的合成與分解

1 兩個或多個力相加而成的合力，可用力的平行四邊形法則（圖 a）或首尾連接法求得（圖 b）。



2 力可以分解成分量（圖 c）。



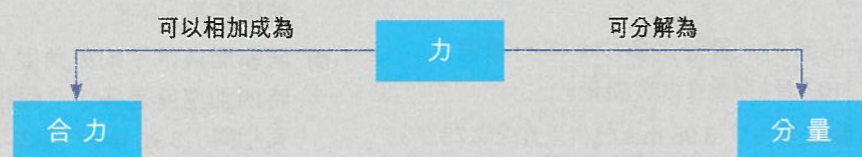
Q28 考試報告：考生表現令人失望。在 (a) 部，只有能力較強者懂得繪畫自由體圖，大多數考生沒法清楚解釋當箱子向上加速時需要向上的淨力，導致張力增加（比重量大）而彈簧進一步延伸（ h 值下降）。(b) 部答得很差，考生多未能從提供的訊息獲得正確的彈簧秤讀數，有些並不知道彈簧秤量度的物理量而誤以米作為答案的單位。極少考生能從方程 $T - W = ma$ 正確計算出加速度，有些在計算中錯取質量 $m = 5 \text{ kg}$ 。在 (c) 部，只有能力較強者能正確推斷電話的顯示模式。很多考生不懂如何分拆向量，數據的負值亦對部分考生造成困惑。

3 要將任意方向的力相加，可先把它們分解為分量。

4.2 共面力與牛頓運動定律

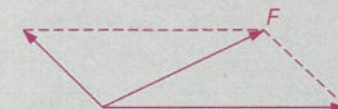
- 4 物體保持靜止或以勻速運動時，沿任何方向，都沒有淨力作用於它。
- 5 多個共面力作用於物體時，要找出物體的加速度，可先找出作用於物體的淨力，然後應用牛頓運動第二定律。

概念圖



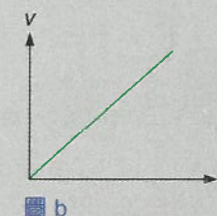
複習 4

Q1, Q2 力 F 可以分解為右圖所示的分量



如有需要，取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ ，除特別指明外，空氣阻力可略去不計。

★5 小車由靜止開始滑下斜面。圖 b 是它的 $v-t$ 關係線圖。



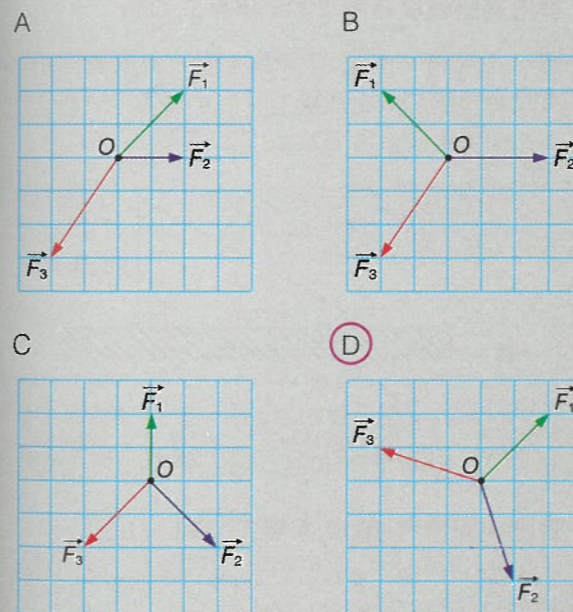
概念重溫

(第 1 至 2 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

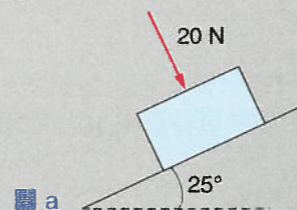
- 4.1.1 分解一道力時，它的分量必然互相垂直。F
- 4.1.2 力 F 分解為分量時，每個分量與 F 相比，量值都定較小。F

多項選擇題

4.1.3 在下列哪情況中，作用於物體 O 的淨力是零？

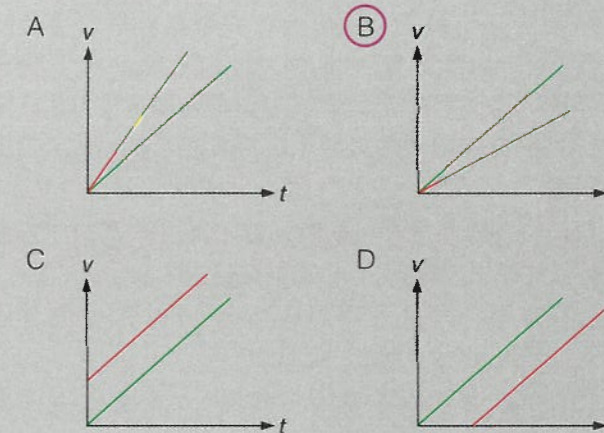


4.2★4 木塊置於粗糙斜面，一道 20 N 的力垂直地作用於木塊（圖 a）。木塊的質量是 3 kg 。斜面作用於木塊的法向反作用力是多少？



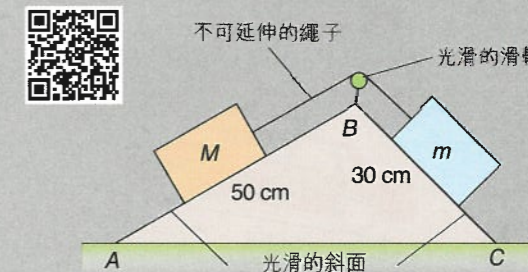
- A 6.67 N
- B 20 N
- C 32.4 N
- D 46.7 N

然後斜面與水平的夾角減小，小車再次由靜止開始滑下斜面。以下哪一幅線圖（以紅線表示）最能代表小車的新 $v-t$ 圖？



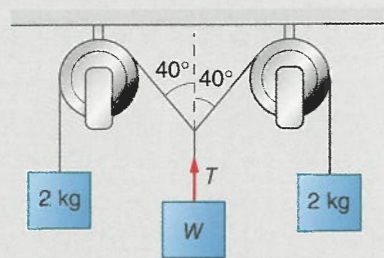
★6 不可延伸的繩子繞過光滑的滑輪，連接着兩個質量為 M 和 m 的方塊，方塊在三角形木塊 ABC 的光滑斜面上靜止不動， AB 長 50 cm ， BC 長 30 cm （圖 c）。求 $M:m$ 。

(以下影片或可給你一點啟示：<http://www.youtube.com/watch?v=nDKGHGdXLEg>)



- A 9:25
- B 3:5
- C 5:3
- D 25:9

- 4.2 **★ 7** 三個方塊在兩個滑輪之間懸着(圖 d)。如果 W 靜止不動, 懸着它的繩子的張力 T 是多少?



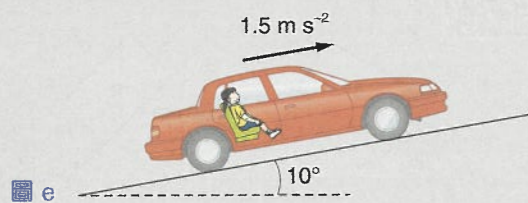
- A 25.2 N
B 30.1 N
 C 32.9 N
 D 39.2 N

- 4.2 **★ 8** 木塊 X 滑下斜面, 作用於它的摩擦力是它重量的 0.2 倍。如果質量比木塊 X 大的木塊 Y 滑下同一斜面, 而作用於 Y 的摩擦力也是它重量的 0.2 倍, 下列有關這兩個木塊滑下這斜面的敘述, 哪項是正確的?

- (1) 如果它們滑下斜面時加速, 作用於 Y 的淨力會比作用於 X 的大。
 (2) 如果它們滑下斜面時加速, Y 的加速度會比 X 大。
 (3) 如果 X 以恆速度滑下斜面, Y 也會以恆速度滑下。

- A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

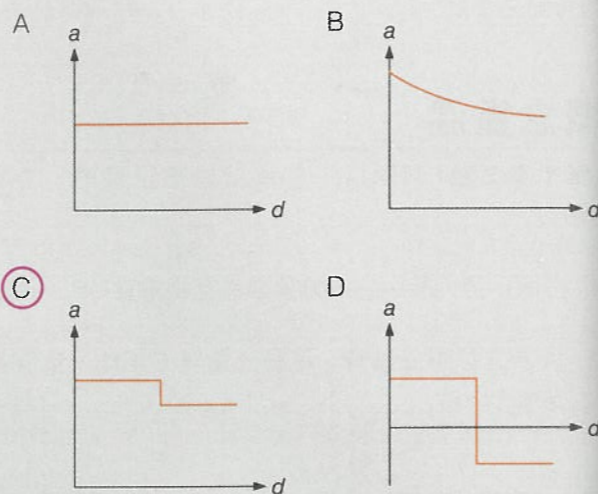
- 4.2 **★ 9** 質量為 20 kg 的女孩坐在汽車內, 汽車以 1.5 m s^{-2} 的恆加速度駛上斜路(圖 e)。路面的斜度是 10° 。汽車施於女孩的力量值是多少?



- A 30.0 N
 B 64.1 N
 C 193 N
D 204 N

參看例題 11 (p.163)

- ★★ 10** 綜合題 小車被推了一下後, 沿粗糙的斜面向上移動。小車到達最高點後沿着本來的路徑滑下。以下哪一幅圖最適切顯示小車的加速度 a 隨移動距離 d 的變化?

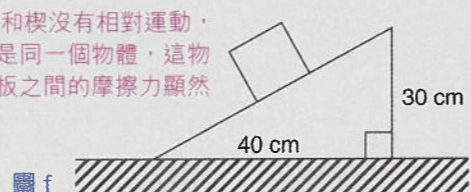


參看例題 12 (p.164)

4.2.11 香港高級程度會考 2005 年卷二 Q1

圖示質量為 2.5 kg 的方塊在楔的粗糙表面上, 楔又放在粗糙的水平地板上。如果整個系統靜止, 地板作用於楔的摩擦力為多少?

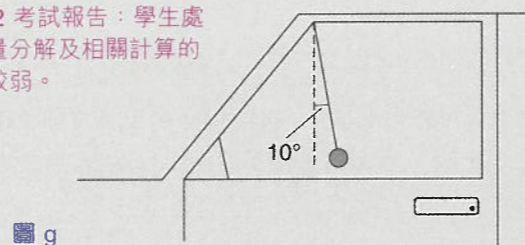
方塊和楔沒有相對運動, 可看作是同一個物體, 這物體與地板之間的摩擦力顯然是零。



- A 0 N (12%) (9%)
 B 12 N (31%) (16%)
C 15 N (47%) (61%)
 D 20 N (10%) (14%)

4.2.12 香港中學會考 2010 年卷二 Q31

Q12 考試報告: 學生處理向量分解及相關計算的能力較弱。

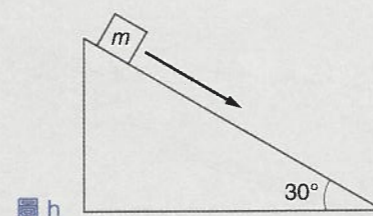


上圖顯示一球以繩子懸掛於車內。當該車沿水平路面加速, 繩子與豎直成 10° 。求該車加速度的量值。

- A 1.74 m s^{-2} (31%)
B 1.76 m s^{-2} (37%)
 C 5.67 m s^{-2} (20%)
 D 9.85 m s^{-2} (12%)

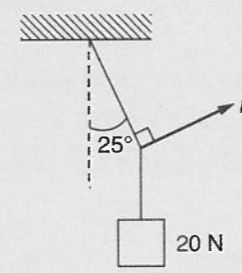
4.2.13 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q10

一個質量為 m 的方塊置於 30° 的斜面上, 輕輕一推會使方塊以勻速滑下斜面。下列哪些有關方塊沿斜面運動的敘述正確?



- (1) 沒有淨力作用於方塊。
 (2) 作用於方塊的摩擦力為 $0.5mg$ 。
 (3) 如開始時給與方塊較大的初速, 它會以加速度滑下斜面。
 A 只有 (1) (18%)
 B 只有 (3) (13%)
C 只有 (1) 和 (2) (55%)
 D 只有 (2) 和 (3) (14%)

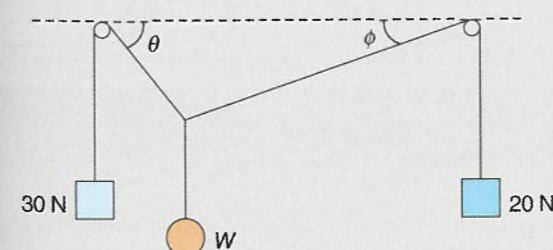
4.2.14 香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q5



如圖所示, 重量為 20 N 的方塊以一輕繩懸掛於天花板。施力 F 使方塊移往一邊, 而繩跟豎直線成 25° 角, 求 F 的值。

- A 8.5 N (44%)**
 B 9.3 N
 C 18.1 N
 D 47.3 N

4.2.15 香港中學文憑考試 2014 年卷一甲部 Q4

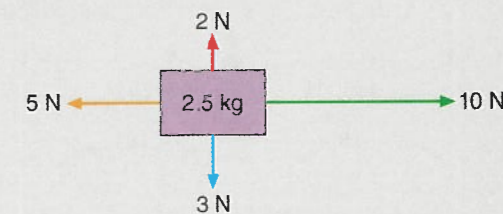


如圖所示, 兩條輕繩穿越兩個在同一高度的滑柱並連接重量 W 。繩子另外兩端分別繫着 30 N 及 20 N 的重量, 整個系統處於平衡狀態。下列哪項有關 W 的推斷是正確的?

- A W 小於 50 N。 (54%)**
 B W 等於 50 N。
 C W 大於 50 N。
 D 未能獲得有關 W 的資料, 因角 θ 和 ϕ 為未知數。

問答題

- 16 綜合題 如圖 k 所示, 有多個力作用於方塊。



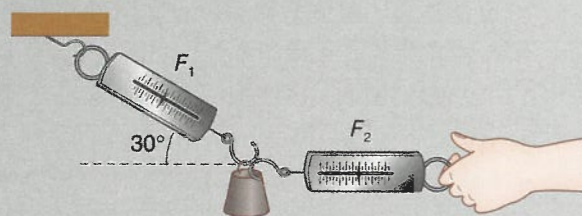
- (a) 沿以下方向作用於方塊的淨力是多少?
 (i) 垂直方向 **1 N (向下)** (1 分)
 (ii) 水平方向 **5 N (向右)** (1 分)
 (b) 作用於方塊的淨力是多少? (2 分)
5.10 N (向右, 水平線以下 11.3°)
 (c) 方塊的加速度是多少? (2 分)
 2.04 m s^{-2} (向右, 水平線以下 11.3°)

- 4.2.17 質量為 45 kg 的女孩滑下滑梯(圖 l), 滑梯與水平之間的夾角是 50° 。



- (a) 繪畫女孩的隔離體圖。 (2 分)
 (b) 下列各情況下, 作用於女孩的淨力指向哪個方向?
 (i) 下滑得愈來愈快 **沿滑梯向下** (1 分)
 (ii) 以恆速慢慢下滑 **沒有淨力** (1 分)
 (iii) 坐在滑梯上靜止不動 **沒有淨力** (1 分)
 (c) 如果她和滑梯之間的摩擦力是 300 N, 她的加速度是多少? (2 分)
 0.848 m s^{-2} (沿滑梯向下)

- ★ 18 如圖 m 所示，兩個彈簧秤鉤着一個重 10 N 的砝碼。砝碼靜止不動。

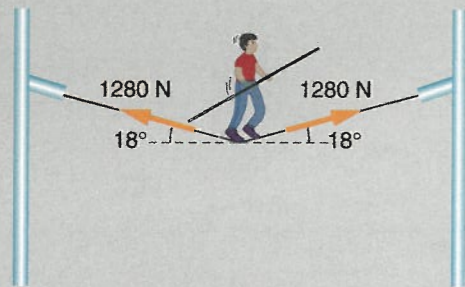


■ m

- (a) 繪畫砝碼的隔離體圖。(2分)
 (b) 作用於砝碼的淨力是多少？零(1分)
 (c) 求兩個彈簧秤的讀數 F_1 和 F_2 。(3分)

20 N、17.3 N

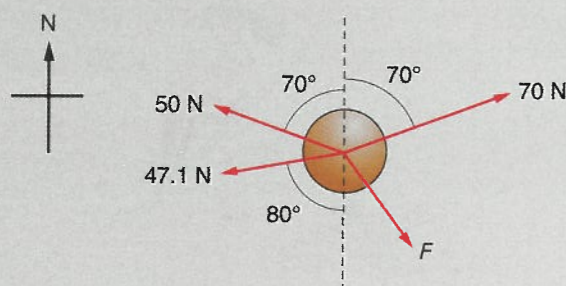
- ★ 19 特技人站在鋼索上(圖 n)。鋼索的張力是 1280 N。



■ n

- (a) 草繪矢量圖，顯示作用於特技人的兩道張力，以及它們的合力。(2分)
 (b) 這兩道張力的合力量值是多少？791 N(2分)
 (c) 特技人的重量是多少？791 N(1分)

- ★ 20 如圖 o 所示，4 道水平力作用於一件置於光滑水平面的物體。物體維持靜止，它的質量為 20 kg。

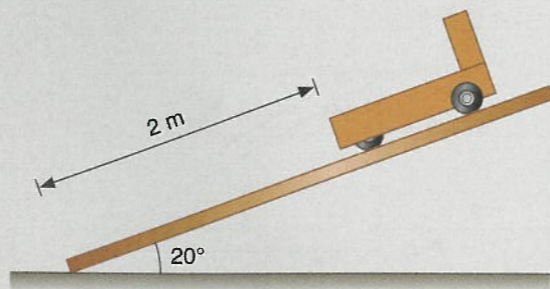


■ o

- (a) 求 F 的量值。42.9 N(3分)
 (b) 求 F 的方向。S40.0°E(2分)
 (c) 如果那道 70 N 的力突然消失，在這一時刻物體向哪個方向加速？加速度量值是多少？假設剩下的三道力保持不變。(3分)

3.5 m s⁻² (N40.0°W)

- ★ 21 質量為 1 kg 的小車沿粗糙斜面由靜止開始滑下(圖 p)。斜面與水平的夾角為 20°。小車以勻加速度滑下斜面。

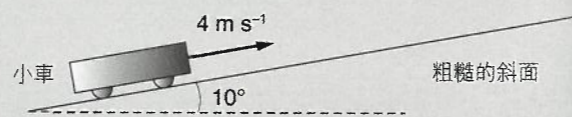


■ p

(ii) 0.25 m s⁻² (沿斜面向下)

- (a) (i) 繪畫小車的隔離體圖。(2分)
 (ii) 小車下滑了 2 m 到達斜面底部，整個過程歷時 4 s。求小車的加速度。(2分)
 (iii) 找出作用於小車的摩擦力。(2分)
 3.11 N (沿斜面向上)
 (b) 斜面經調整後，小車以勻速下滑。有學生認為，若把小車沿斜面向上輕輕推一下，它便會以勻速沿斜面向上移動。試解釋這學生的看法是否正確。不正確(3分)

- ★ 22 質量為 0.4 kg 的小車射上粗糙的斜面，在 $t = 0$ 的初速率為 4 m s⁻¹(圖 q)。它在 $t = 1.6$ s 達到最高點，之後沿本來的路徑滑落。斜面與水平的夾角是 10°。



■ q

- (a) 小車沿斜面向上移動時，加速度是多少？2.5 m s⁻² (沿斜面向下)(2分)
 (b) 小車沿斜面向上移動時，作用於它的摩擦力是多少？0.319 N (沿斜面向下)(2分)
 (c) 假設小車向上和向下移動時，作用於它的摩擦力量值相同。
 (i) 小車回到原來的時候時，速率是多少？2.41 m s⁻¹ (3分)
 (ii) 草繪小車由 $t = 0$ 至回到原來位置期間的 $v-t$ 關係線圖。(4分)

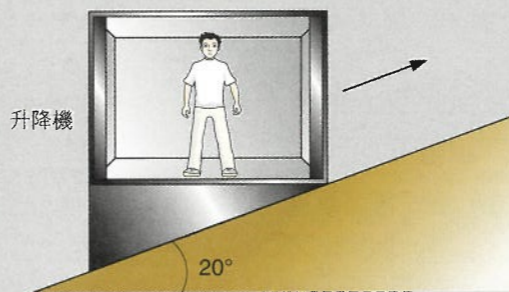
- ★ 23 在圖 r 中，起重機吊起一個物體。假設物體的質量為 225 kg。連接物體的 4 條繩索與垂直線的夾角都是 40°，且張力相同。



■ r

- (a) 物體保持靜止。
 (i) 作用於物體的淨力是多少？零(1分)
 (ii) 求每條繩索的張力。720 N(2分)
 (b) 如果起重機把物體以 0.4 m s⁻² 的加速度提起，每條繩索的張力是多少？750 N(2分)
 (c) 如果張力過大，繩索便會斷裂。以較長還是較短的繩索來吊起物體會較安全？試扼要解釋。較長(3分)

- ★ 24 工程師製造了一部升降機，可把乘客沿直線運送上斜坡(圖 s)。升降機的地板保持水平。



■ s

假設質量為 65 kg 的男子乘搭這升降機上斜坡，找出以下情況中，升降機地板施於他的法向力 N 和摩擦力 f (量值和方向)：

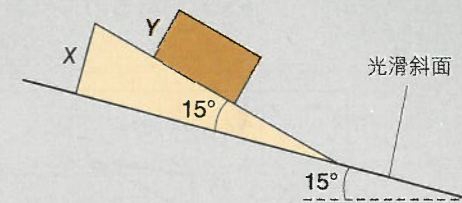
- (a) 升降機以 0.5 m s⁻² 加速。(4分)
 $N = 649$ N、 $f = 30.5$ N (向右)
 (b) 升降機以 1.2 m s⁻¹ 勻速移動。(2分)
 $N = 638$ N、 $f = 0$
 (c) 升降機以 0.8 m s⁻² 減速。(2分)

[提示：加速度可分解成分量。]

$N = 620$ N、 $f = 48.9$ N (向左)

參看 p.161

- ★★ 25 學生把木塊 Y 放在木塊 X 之上，木塊 X 則放在光滑斜面上(圖 t)。X 的質量是 2 kg，Y 的質量是 0.5 kg。光滑斜面跟水平的夾角是 15°。



■ t

- (a) 起初學生捉着 X，令 X 在斜面上保持靜止，而 Y 則因它與 X 之間的摩擦力而在 X 之上靜止不動。
 (i) 繪畫 Y 的隔離體圖。2.45 N(2分)
 (ii) 作用於 Y 的摩擦力量值是多少？(2分)
 (b) 學生放開手後，Y 與 X 一起移動，它們之間沒有滑移。
 (i) Y 的加速度量值是多少？指向哪個方向？2.54 m s⁻² (沿斜面向下)(3分)
 (ii) Y 作用於 X 的力量值是多少？指向哪個方向？4.74 N (向左，水平線以下 75°)(4分)

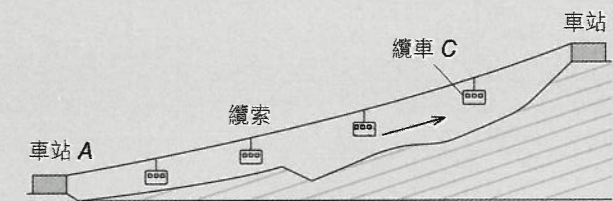
參看例題 11 (p.163)

考試報告見第 148 頁。

- 26 香港中學會考 2008 年卷一 Q9 略去 (c)(iii)、(iv) 部。

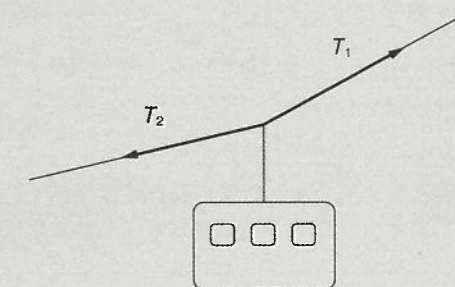
綜合題

圖 u 顯示一個纜車系統，它把乘客從車站 A 運送到山頂車站 B。



■ u

- (a) 纜車 C 的質量為 600 kg，寫出其重量的大小和方向。6000 N (向下)(2分)



■ v

- (b) 圖 v 顯示纜車 C 用纜索在兩邊分別以張力 \vec{T}_1 和 \vec{T}_2 懸吊。此纜車正以恆速向山頂前進。假設空氣阻力可忽略不計，在圖 w 中完成矢量圖以顯示出 \vec{T}_1 、 \vec{T}_2 和它們的合力 \vec{T} 。圖中已繪出了 \vec{T}_1 。(2分)

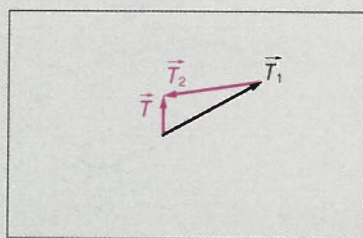


圖 w

- (c) 纜車 C 以 4.5 m s^{-1} 的水平恆速進入車站 B。為讓乘客離開此車艙，纜車 C 在經過 X 處後開始以恆減速度減慢行駛，到達 Y 時的速度減少至 0.5 m s^{-1} (見圖 x)。此後又以恆速繼續前進。纜車 C 從 X 至 Y 用了 8 s。

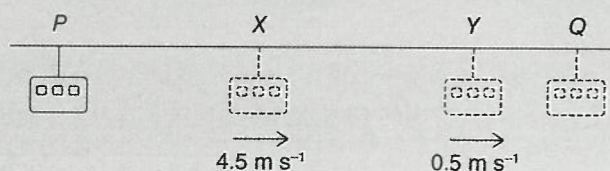


圖 x

- (i) 在圖 y 中草繪出纜車由 X 至 Q 的車程中速度對時間的關係線圖。(2分)

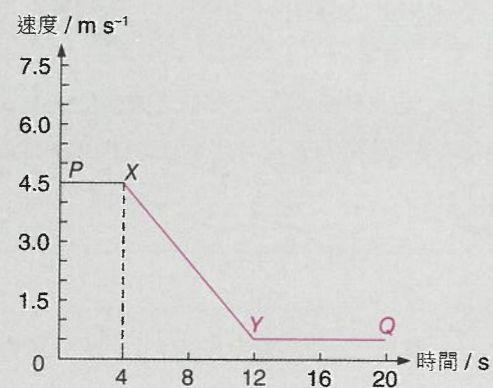


圖 y

- (ii) 由此，或用其他方法，求 X 與 Y 之間的距離。20 m (2分)

Q27 考試報告：考生一般表現令人滿意。

- (a) (i) 能力較弱的考生未能繪出有正確標明軸、正確比例、準確標示點和最佳直線的關係線圖。
 (ii) 很多考生沒有給予適當有效數字的斜率數值。
 (iii) 部分考生誤取關係線圖的斜率為加速度。此外，很多考生只嘗試將表 a 中 D 和 t 的數據代入方程 $s = ut + at^2/2$ ，而非利用關係線圖的斜率找出方塊的平均加速度。
 (b) 很多考生錯誤把重力分量加入隔離體圖。部分考生並寫下力的符號而非題目所要求的名稱。

實驗題

27 香港中學會考 2009 年卷一 Q9

綜合題

圖 z 顯示一個實驗裝置，用來量度傾斜木板作用於滑行中塑料方塊的平均摩擦力，木板和水平成 25° 。當方塊在 X 處從靜止釋放，計時器開始計時；當方塊到達 Y 處，計時器停止計時。沿斜板改變 Y 的位置並重複實驗。表 a 顯示所得的結果。

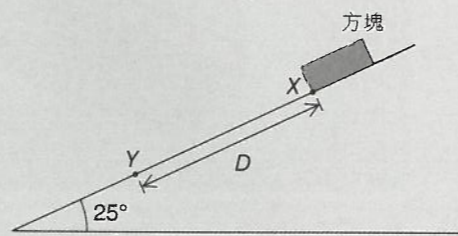


圖 z

X 和 Y 的距離 (D / m)	所需的時間 (t / s)
0.4	0.79
0.8	1.12
1.2	1.37
1.6	1.59

表 a

- (a) (i) 繪出 t^2 對 D 的關係線圖。用 1 cm 表示 0.2 s^2 及 0.2 m 。
 (ii) 從 (a)(i) 中所繪線圖，求它的斜率。
 (iii) 由此，求該方塊的平均加速度。
 (b) 繪一幅隔離體圖以顯示滑行方塊所受的所有力，並指出各個力的名稱。
 (c) 方塊的質量為 0.178 kg 。求作用於該滑行方塊的平均摩擦力。

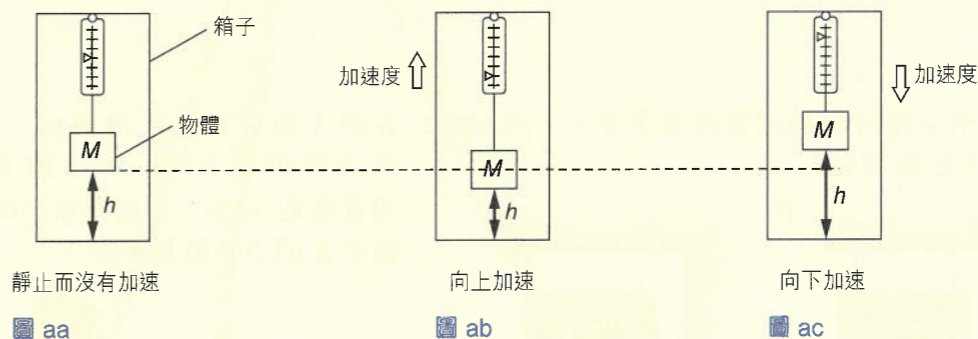
物理文章分析

28 香港中學文憑考試 2014 年卷一乙部 Q4

綜合題

細閱這段有關「加速計」的敘述，並回答下列問題。

加速計是量度加速度的裝置。以下例子闡明一個簡單加速計的原理。在一個箱子內，質量為 M 的物體以彈簧秤懸掛着。如果箱子靜止沒有加速，物體距箱底為 h (圖 aa)。當箱子向上加速時，h 值減少 (圖 ab)。同樣地，當箱子向下加速時，h 值則增加 (圖 ac)。已知彈簧秤的張力跟其伸長成正比，因此箱子加速度的量值和方向可透過量度 h 值找到。



- (a) 繪出附標示的自由體圖，以顯示當箱子以加速度 a 向上加速時物體所受的力。解釋為何 h 值在這情況下會減少。
 (b) 彈簧秤的刻度已校準為每當受力改變 2 N 則指針移動 1 cm。物體的重力為 5 N。如果 h 值比圖 aa 的情況減少了 0.5 cm，彈簧秤的讀數是多少？據此求箱子對應的加速度的量值。
 (c) 採用相近原理的電子加速計已廣泛應用於智能電話。電話內置了數個加速計以檢測其定向，每個加速計分別檢測沿電話上相互垂直的軸上的重力加速度。圖 ad 左方顯示豎直定向的電話，其沿 Y 軸的加速計感應到的是重力加速度，標示為 $a_y = -g$ 。當電話繞垂直 X 及 Y 軸的水平軸旋轉超過 45° 時，「縱向顯示」會變為「橫向顯示」，如圖 ad 右方所示。

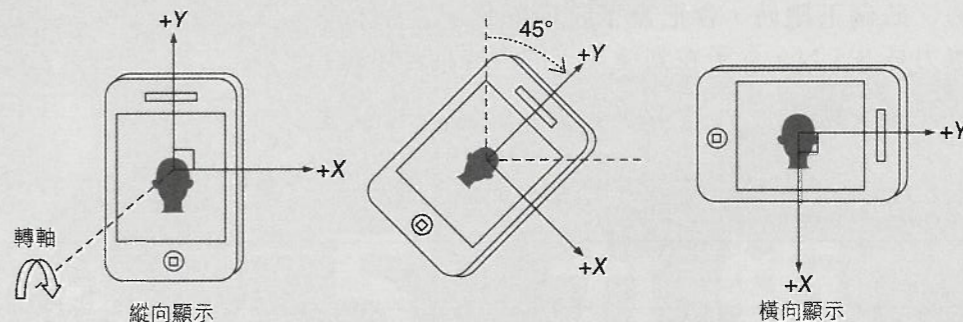


圖 ad

- 如果將電話沿順時針旋轉，直至在旋轉了的 Y 軸上的加速計感應到的加速度 a_y 為 $-0.5g$ ，所出現的會是哪一種顯示？試加以說明。

自我評核 4

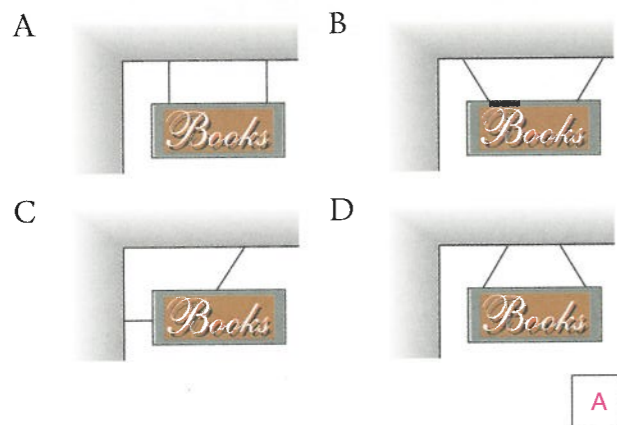
🕒 時間：15 分鐘 ✅ 總分：9 分

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄 (p.411) 附有常用的數據、公式和關係式以供參考。

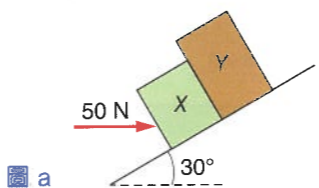
甲部

4.2 1 廣告牌由兩條相同的鋼索懸掛在半空。下列哪個懸掛方法最安全？



A

4.2 2 方塊 X 和 Y 置於光滑斜面，一道 50 N 的水平力作用於 X (圖 a)。X 的重量是 20 N，Y 的重量是 30 N，斜面與水平的夾角是 30°。Y 施於 X 的力量值是多少？

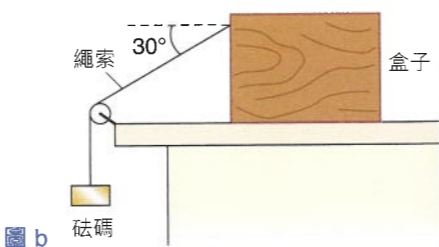


- A 0 B 7.32 N
C 11.0 N D 18.3 N

C

乙部

4.2 3 繩索繞過光滑的滑輪，連結着一個 800 g 的盒子與一個 500 g 的砝碼 (圖 b)。砝碼下墮時，會把盒子拉向左面。盒子和桌面之間的摩擦力是 3.5 N。盒子在到達桌子的邊緣前停下。



- (a) 在圖示的一刻，繩的張力是多少？盒子的加速度又是多少？ (4 分)

4.60 N、0.607 m s⁻² (向左)

- (b) 盒子由加速變為減速的一刻，連着盒子的繩索與水平的夾角是多少？ (3 分)

44.5°

(題解見 p.408)



F-X

5 力矩

我們在这一課會學到

- 力矩的定義
- 力矩和力偶的用途
- 剛體平衡的條件
- 闡釋和測定物體的重心

5.1

力的轉動效應

起點 打開罐蓋

如果金屬罐子的蓋緊緊閉上，可以用鑰匙或螺絲起子把蓋打開。所用的工具愈長，要施加的力愈小。你知道原因嗎？[參看第181頁。](#)



✓ 本節重點

- 1 力矩
- 2 力矩的相加
- 3 力偶

我們會在這一課探討力的轉動效應和它的應用。

1 力矩

力能令剛體（有固定形狀和大小的物體）圍繞一點轉動。開門或開窗時，都可以感受到力的轉動效應（圖 5.1a）。

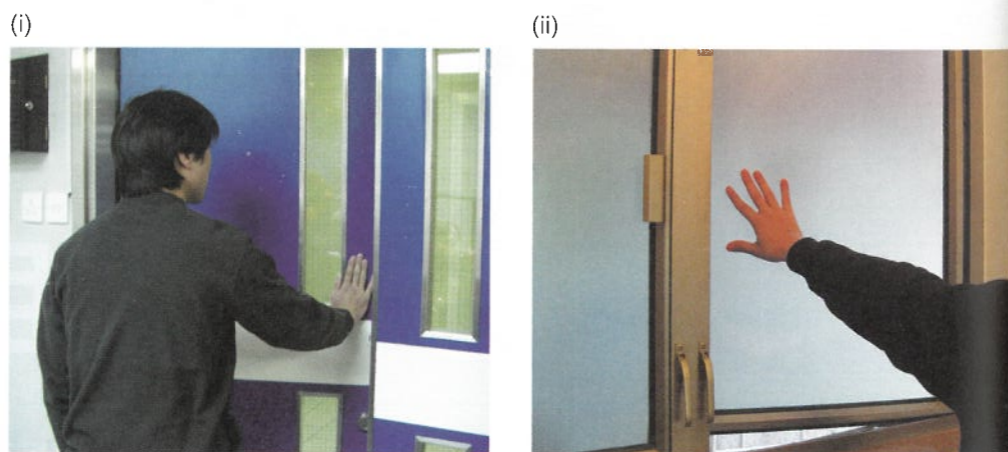


圖 5.1a 利用力的轉動效應來 (i) 開門，(ii) 開窗

毋庸置疑，力的轉動效應與作用力的大小有關，作用力愈大，轉動效應就愈大，但還有沒有其他因素影響這效應？我們可以做以下實驗來找出答案。

剛體 rigid body



錄像片段 5.1

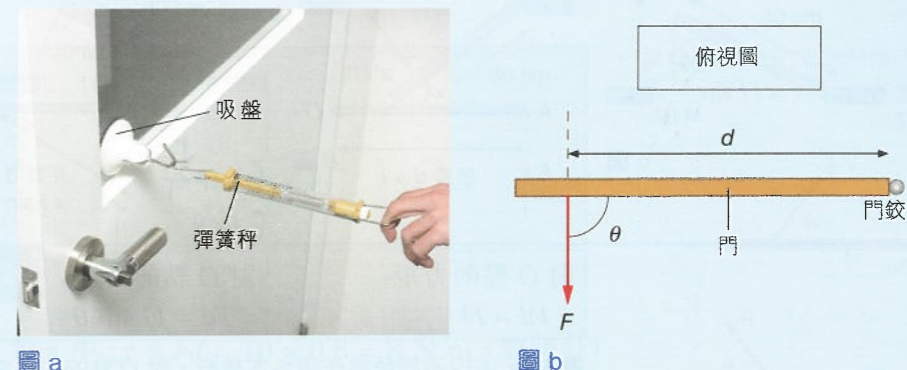
→ 錄像片段 5.1 示範實驗 5a。

不要使用油壓門，打開這種門所需的力或超出彈簧秤可量度的範圍。



實驗 5a 力的轉動效應

- 1 把吸盤固定在門上近門鎖的地方，然後把彈簧秤鉤在吸盤上（圖 a）。拉彈簧秤，向門施加一個與它垂直（即 $\theta = 90^\circ$ ）的力 F 把門打開（圖 b）。記錄力的量值，以及力與門鉸的距離 d 。



- 2 縮短吸盤與門鉸的距離 d ，重複步驟 1。
- 3 改變向門施力的角度 θ ，重複步驟 1。

討論

- 1 吸盤的位置怎樣影響開門所需的力？吸盤愈接近門鉸，所需的力愈大。
- 2 從哪個角度向門施力，開門所需的力最小？ 90°

實驗 5a 顯示，力的轉動效應取決於作用力的大小，也取決於力作用的位置和角度，以下會詳細說明。

τ 是希臘字母，讀作「tau」。▶ 力對某一點所產生的轉動效應，由力矩或轉矩來量度，通常用符號 τ 來表示，定義為：

力對某一點的力矩（轉矩）= 力 \times 力至該點的垂直距離

力矩的單位
= F 的單位 $\times d$ 的單位
= N m

▶ 力矩是矢量，單位是牛頓米 (N m)。力矩的方向可以是順時針或逆時針，視乎它會令物體向哪個方向轉動（圖 5.1b）。

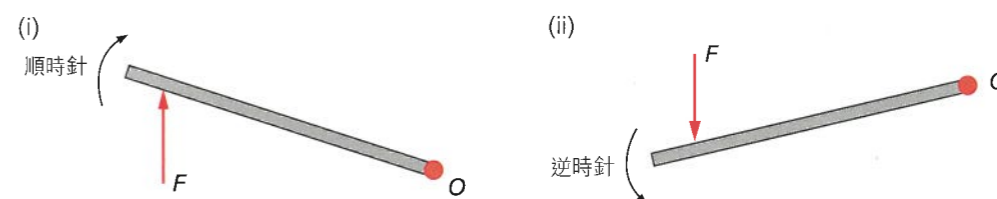


圖 5.1b 力對 O 點產生 (i) 順時針的力矩，(ii) 逆時針的力矩

力矩 moment of force 轉矩 torque

力 F 對某一點產生力矩，大小取決於 F 與該點之間的垂直距離。這距離稱為**矩臂**，會隨 F 作用的位置和角度而改變。

沿力的方向繪畫延長線，有助計算矩臂的長度 d 。

以下兩個情況中， F 對 O 點產生的力矩 ($\tau = Fl \sin \theta$) 是相同的。

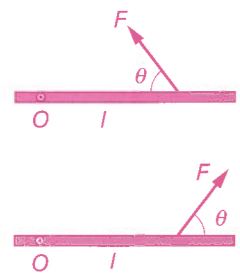


表 5.1a 中，力 F 以不同角度作用於木棒 AO 的 A 點，對 O 點產生力矩。 F 作用的角度改變時，矩臂的長度會隨之改變，因而影響力矩的大小。力與木棒互相垂直時，矩臂最長；力沿着木棒作用時，矩臂最短 (= 0)。

對 O 點的力矩 $= Fd = Fl$	對 O 點的力矩 $= Fd = Fl \sin \theta$	對 O 點的力矩 $= Fd = 0$

表 5.1a F 以不同角度作用於木棒時，對 O 點的力矩會改變

如果力 F 作用於其他形狀的物體，可以畫一條直線把 O 點和 F 作用的位置連起來 (圖 5.1c)，設這條線的長度為 l ， F 與這條線之間的夾角為 θ ， F 對 O 點的力矩就是 $Fl \sin \theta$ 。

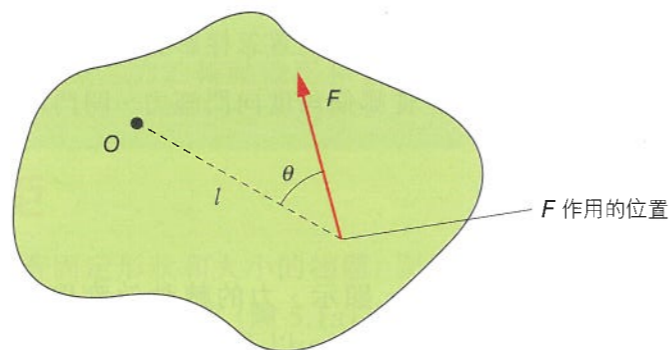


圖 5.1c 力 F 對形狀不規則的物體所產生的力矩

物體受力矩作用時，可能會沿某一點轉動，這一點叫做**支點**。推門時，門鉸就是支點。

力矩在日常生活中很常見 (圖 5.1d)。



(i) 踩腳踏



(ii) 玩蹺蹺板

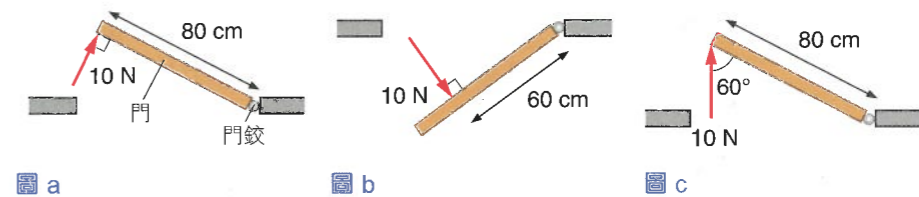


(iii) 轉動門把

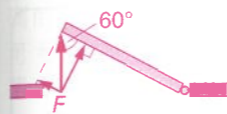
圖 5.1d 日常可見的力矩

例題 1 推門

男孩以量值為 10 N 的力推門。這道門可向前後兩個方向打開，圖 a 至 c 是它的俯視圖，力 F 對門鉸產生不同的力矩。求這三幅圖中力矩的量值和方向。



提醒學生下圖中力的分量位置有誤，力的分量須與原來的力施於同一位置。



注意：

- 1 把力分解時，不能改變力的作用點。(即圖 d 中箭頭的位置)
- 2 力與門平行的分量不會對門鉸產生任何力矩。

題解

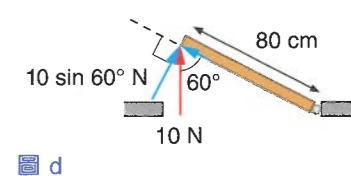
在圖 a 中， $\tau = Fd = 10 \times 0.8 = 8\text{ N m}$ (順時針)

在圖 b 中， $\tau = Fd = 10 \times 0.6 = 6\text{ N m}$ (逆時針)

在圖 c 中， $\tau = Fd = 10 \times (0.8 \times \sin 60^\circ) = 6.93\text{ N m}$ (順時針)

圖 c 的另一解法：

可把力分解，並以垂直於門的分量來計算力矩 (圖 d)。



$$\tau = Fd = (10 \sin 60^\circ) \times 0.8 = 6.93\text{ N m (順時針)}$$

圖 d

進度評估 1 Q1, 2 (p.181)

起點提及用工具打開金屬罐的蓋。要把蓋打開，須對這工具施加力矩，工具愈長，矩臂 d 愈長，產生力矩所需的力 F 也就愈小 (圖 5.1e)。

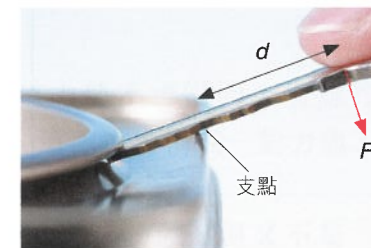
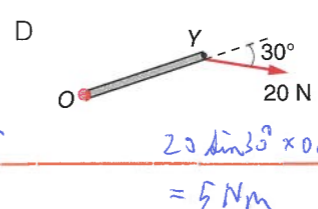
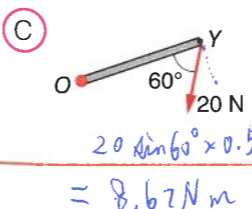
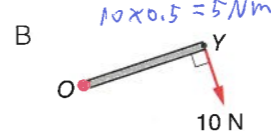
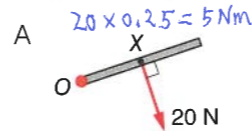


圖 5.1e 以鑰匙打開罐蓋

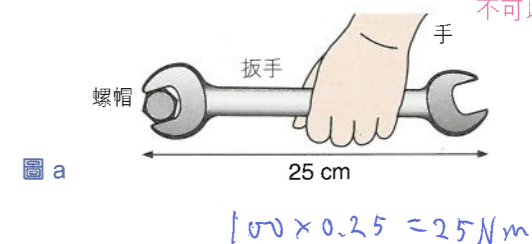
進度評估 1 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.178)。

1.1 下列哪幅圖中，對 O 點的力矩最大？

已知： $OX = 25\text{ cm}$ ， $OY = 50\text{ cm}$



1.2 學生想用扳手鬆開螺帽 (圖 a)。扳手長 25 cm ，他能施於扳手的力最大為 100 N ，而鬆開螺帽所需的最小力矩為 30 N m 。他可以鬆開螺帽嗎？



2 力矩的相加

力矩像力一樣，在考慮各自的方向後，也可以相加起來，得出總效應。力矩相加之後，所得的量值可大於或小於原本每個力矩的量值。

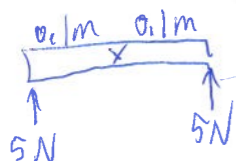
a 淨力矩

淨力矩是對物體同一點的所有力矩的總和。若取順時針方向為正，可得

$$\text{淨力矩} = \text{順時針合力矩} - \text{逆時針合力矩}$$

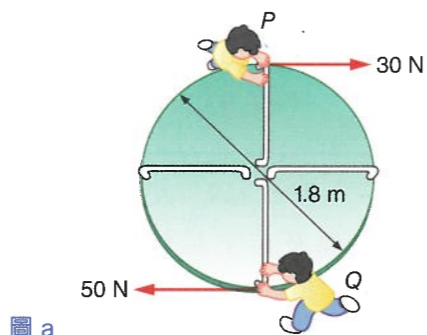
如果物體不轉動，淨力矩便是零，即

$$\text{順時針合力矩} = \text{逆時針合力矩}$$



例題 2 「氹氹轉」

兩個小孩 P 和 Q 如圖 a 所示推着「氹氹轉」，他們的推力垂直於氹氹轉的扶手，P 的推力為向右 30 N，Q 的推力為向左 50 N。氹氹轉的直徑是 1.8 m。



- 對氹氹轉中心點的淨力矩是多少？
- 如果 Q 改為向右推，(a) 的答案會變為多少？

題解

取順時針方向為正。

$$(a) \text{ 對氹氹轉中心點的淨力矩} = 30 \times \frac{1.8}{2} + 50 \times \frac{1.8}{2} = 72 \text{ N m}$$

對氹氹轉中心點的淨力矩是 72 N m (順時針方向)。

$$(b) \text{ 對氹氹轉中心點的淨力矩} = 30 \times \frac{1.8}{2} - 50 \times \frac{1.8}{2} = -18 \text{ N m}$$

對氹氹轉中心點的淨力矩是 18 N m (逆時針方向)。

▶ 進度評估 2 Q1 (p.185)

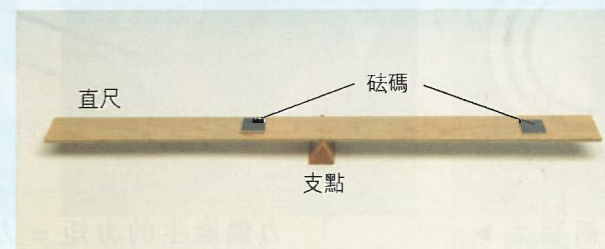
我們可以做以下實驗來驗證力矩的加法。

模擬程式 5.1
錄像片段 5.2

→ 模擬程式 5.1 可讓學生隨意改變施力的大小和位置，也可改變支點的位置。
→ 錄像片段 5.2 示範實驗 5b。

實驗 5b 力矩的相加

- 以三角形木塊作支點，保持直尺平衡。



- 把兩個不同的砝碼放到直尺上，並保持直尺平衡 (圖 a)。
- 計算對支點的順時針力矩和逆時針力矩。
- 用不同砝碼重複實驗。

討論

直尺保持平衡時，順時針合力矩和逆時針合力矩是否必定大小相同？ 是

砝碼施於直尺的力等於砝碼的重量。要證明這點，可參考習題與思考 5.1 第 8 題 (見 p.186)。

b 力偶

在圖 5.1f(i) 中，兩道量值相等但方向相反的平行力沿同一直線作用於開瓶器。由於兩道力以及它們產生的力矩都互相抵銷，因此開瓶器不會移動或轉動。

如果任意一道平行力往右移 (圖 5.1f(ii))，兩道力便不再沿同一直線作用，這次開瓶器會轉動，但不會移往其他位置。這兩道力構成一對力偶。

兩個量值相等但方向相反的平行力，同時施於同一物體，但又不是沿同一直線作用時，便構成一對力偶。

應當注意力偶的合力是零，但合力矩不是零。

▶ 這兩道力是作用力一反作用力對嗎？

兩道力作用於同一物體，所以不是作用力一反作用力對。

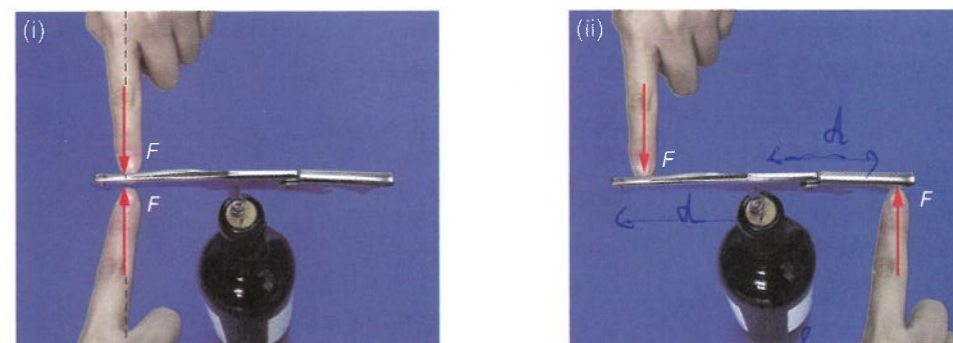


圖 5.1f 兩道量值相等但方向相反的力 F 沿 (i) 同一直線，(ii) 不同直線施於開瓶器

如果力偶的力與物體的夾角為 θ ，力偶的力矩便是：

$$\tau = FD \sin \theta$$

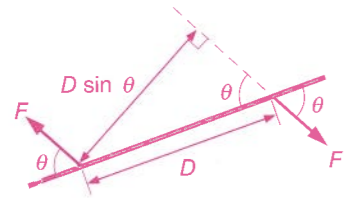


圖 5.1g 中，力偶的兩道力垂直作用於棒，這力偶對 O 點的力矩是

$$\tau = F \times x + F \times y = F(x + y) = FD$$

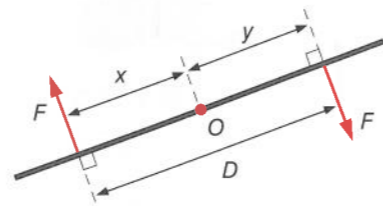


圖 5.1g 作用於棒的力偶

在圖 5.1f(i) 中，兩個力之間的距離是零，所以合力矩是零，開瓶器不會轉動。

力偶產生的力矩 = 力 \times 兩道力之間的垂直距離

例題 3 力偶的力矩

單車手沿順時針方向轉動把手 (圖 a)，兩手作用於把手的力 (F_1 和 F_2) 構成一對力偶 (圖 b)。

- 求力偶對 X 點的力矩。
- 藉着找出 F_1 和 F_2 的力矩總和，顯示力偶對 Y 點的力矩跟 (a) 部是相同的。



圖 a

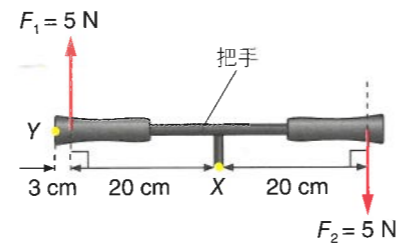


圖 b

題解

- 力偶對 X 點的力矩
 $= FD$
 $= 5(0.2 + 0.2)$
 $= 2 \text{ N m}$ (順時針方向)
- 取順時針方向為正。
 對 Y 點計算力矩。
 力偶的力矩
 $= 5(0.03 + 0.2 + 0.2) - 5(0.03)$
 $= 2 \text{ N m}$ (順時針方向)

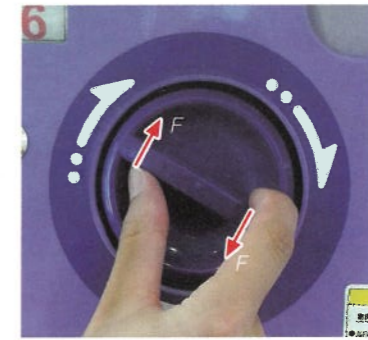
F_1 產生逆時針方向的力矩，所以取負值。
 力偶對任何一點的力矩都相同。

進度評估 2 Q2 (p.185)

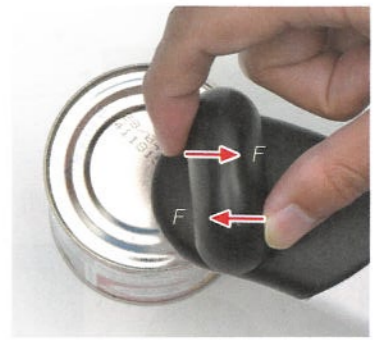
力偶可令物體轉動。我們在日常生活中經常會應用力偶，圖 5.1h 顯示數個例子。



(i) 轉動軚盤



(ii) 轉動扭蛋機轉鈕



(iii) 轉動罐頭刀把手

圖 5.1h 力偶的應用

進度評估 2 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.178)。

2.1 A 和 B 兩人比賽，一人把轉輪按順時針方向推，另一人則按逆時針方向推 (圖 a)。計算淨力矩，看看誰勝誰負。B

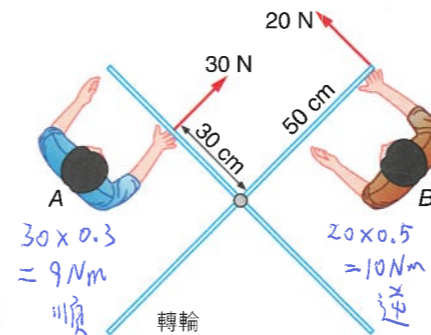
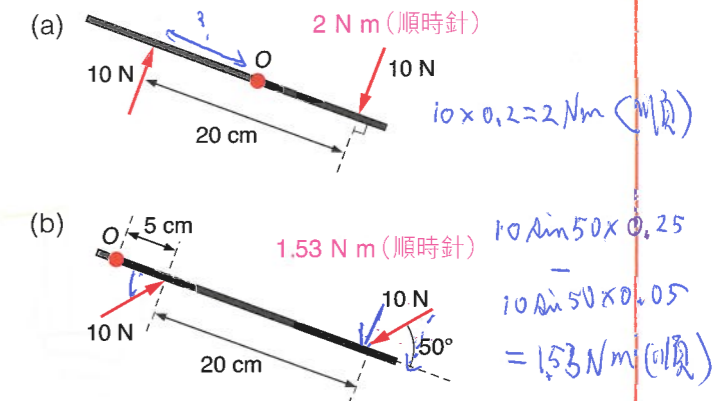


圖 a

Handwritten calculations:
 For A: $30 \times 0.3 = 9 \text{ Nm}$ (順)
 For B: $20 \times 0.5 = 10 \text{ Nm}$ (逆)

3.2 在以下情況中，找出力偶對 O 點的力矩。



[提示：兩道力之間的垂直距離是多少？]

Handwritten calculation for (b): $10 \sin 50^\circ \times 0.2 = 1.53 \text{ Nm}$

習題與思考 5.1

1.1 擺球的重量為 30 N ，懸垂在長 0.7 m 的繩子末端 (圖 a)。在圖示的一刻，重力對懸垂點 X 產生的力矩量值是多少？

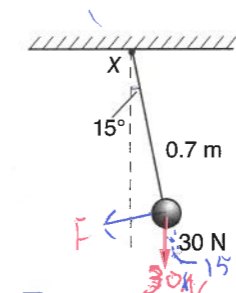


圖 a

- 5.44 N m
- 5.63 N m
- 20.3 N m
- 21 N m

Handwritten calculation: $30 \sin 15^\circ \times 0.7 = 5.44 \text{ Nm}$

3.2 李先生對軚盤施加一對力偶，令汽車往左轉。軚盤的直徑是 20 cm ，李先生每隻手施於軚盤的力為 5 N 。作用於軚盤的力偶最大量值是多少？向哪個方向？

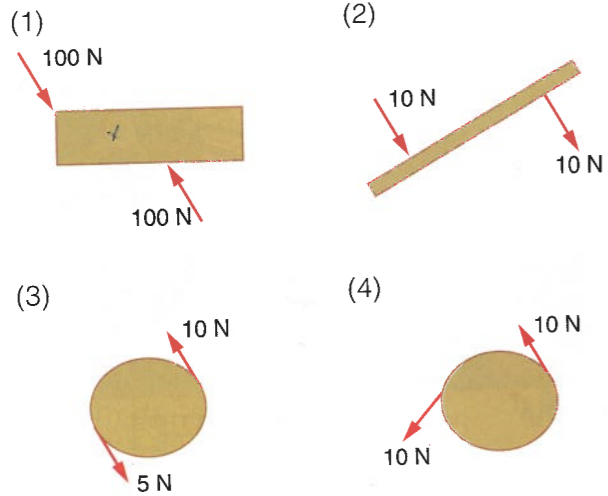
	最大量值	方向
A	1 N m	順時針
B	1 N m	逆時針
C	2 N m	順時針
D	2 N m	逆時針

Handwritten calculation: $5 \times 0.4 = 2 \text{ Nm}$

Handwritten diagram and calculation: $0.2 \text{ m} \times 5 \text{ N} = 1 \text{ Nm}$ (for one hand), 2 Nm (for a pair of hands). Direction: 逆時針.

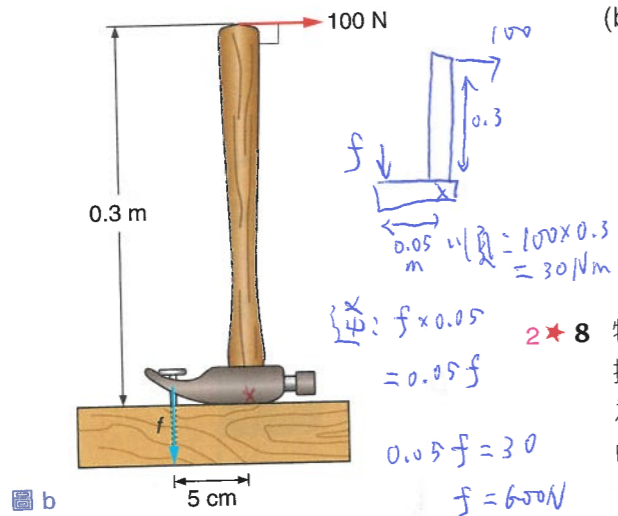
EX

3 以下哪些力構成力偶?



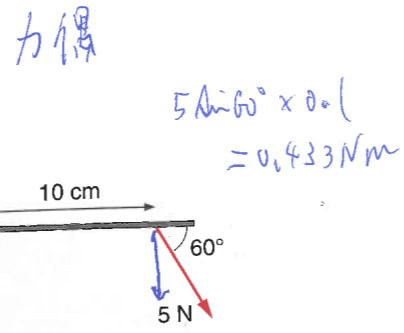
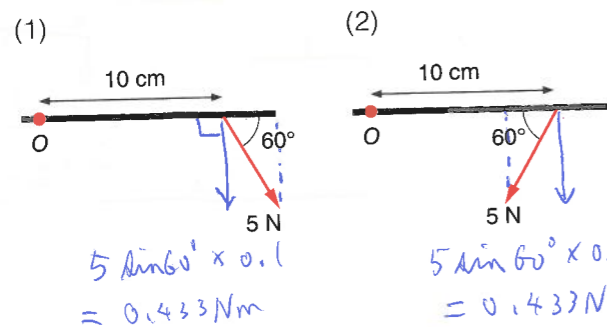
- (A) 只有 (1)
 (B) 只有 (1) 和 (4)
 (C) 只有 (2) 和 (3)
 (D) (1)、(2)、(3) 和 (4)

2★4 工人使用鐵鎚從木板上起出一根釘子(圖 b)。他在手柄末端施加一道垂直於手柄的 100 N 力時，釘子開始移動。木板作用於釘子的阻力 f 是多少? 假設鐵鎚施於釘子的力與 f 平行。



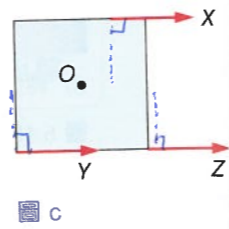
- (A) 1.5 N
 (B) 30 N
 (C) 35 N
 (D) 600 N

★5 在以下哪個情況中，對 O 點的淨力矩量值最大?

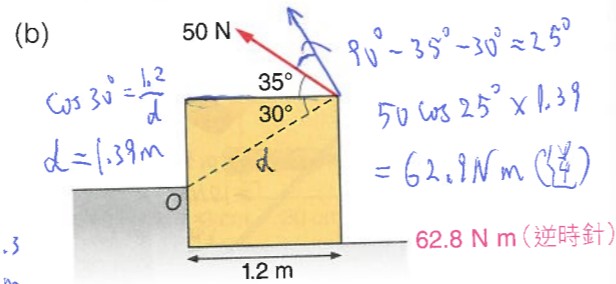
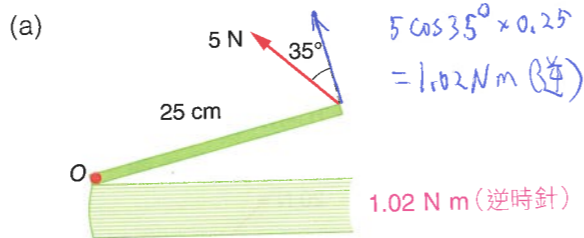


- (A) (1)
 (B) (2)
 (C) (3)
 (D) 三個情況的力矩相同

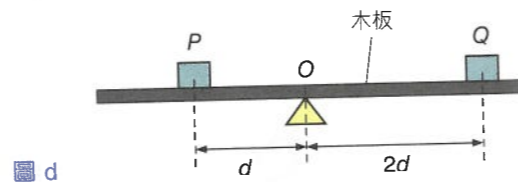
1 6 如圖 c 所示，三道量值相同的力 X、Y 和 Z 作用於一個正方形的物體，O 點是物體的中心。哪道力對 O 點的力矩最大?
 三道力的力矩相同



1★7 在以下情況中，作用力對 O 點的力矩是多少?



2★8 物體 P 和 Q 放在木板兩邊，三角形木塊在 O 點支撐着木板(圖 d)，令木板保持平衡。P 與 O 的距離為 d ，Q 與 O 的距離為 $2d$ ，P 的質量是 m ，木板的質量可略去不計。



- (a) 繪畫 P 和木板各自的隔離體圖。
 (b) 在 (a) 的各道力中，寫出一對作用力和反作用力。
 (c) 證明 P 施於木板的力等於它的重量。
 (d) 求 Q 的質量，答案以 m 表示。

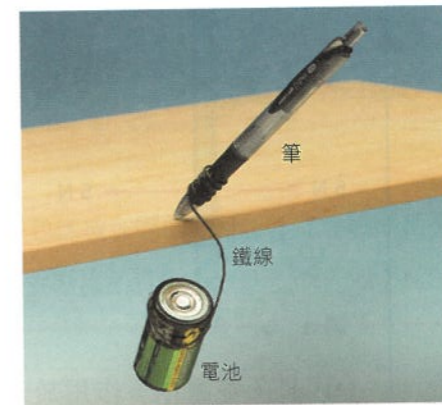
5.2

剛體的平衡

起點 不倒筆

下圖所示的筆佇立桌上，即使推它，它也不會倒下。為甚麼會這樣?

參看第 191 頁物理 DIY。



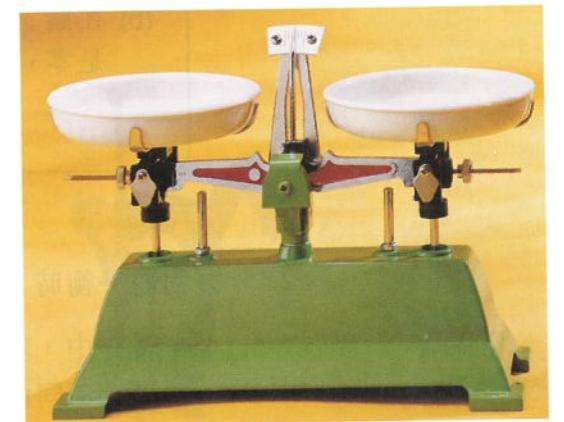
- ✓ 本節重點
 1 剛體的平衡
 2 重心

1 平衡的條件

剛體靜止不動時，它就處於平衡狀態，既不移動也不轉動。要令物體平衡，必須符合兩個條件：

- 1 沒有淨力：作用於物體的力互相抵銷。
- 2 沒有淨力矩：作用於物體的力對任何一點的力矩總和都是零，即
 順時針合力矩 = 逆時針合力矩

很多活動都與平衡有關，例如體育運動、雜技表演和測量工作(圖 5.2a)。



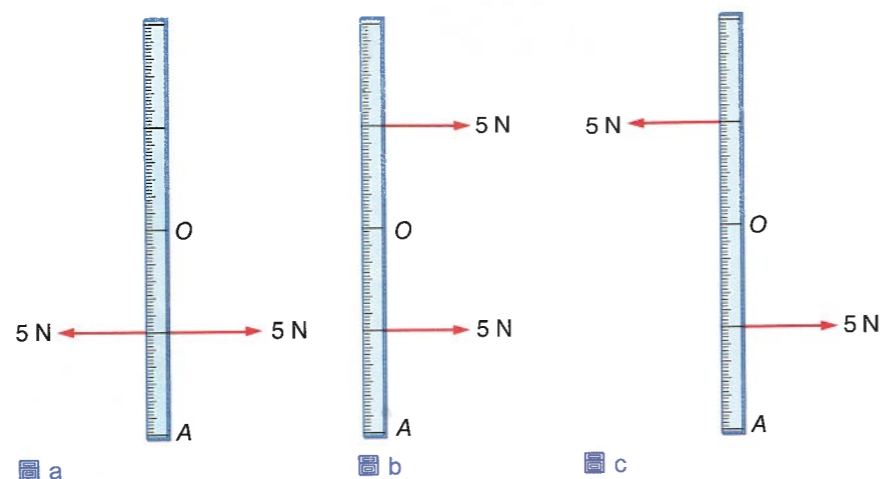
5.2a 平衡的應用

模擬程式 5.2

→ 模擬程式 5.2 可讓學生隨意改變施力的大小和位置，令物體達到平衡狀態。

例題 4 哪把米尺是平衡的？

光滑的水平桌面上有一把很輕的米尺，尺上刻有三點，把尺分成四等份。下圖顯示作用力以三種不同的方法作用於米尺。



- (a) 求在各圖中，作用於米尺的淨力，以及對 O 點和 A 點的淨力矩。取向右和順時針方向為正。
- (b) 哪把尺處於平衡狀態？試扼要解釋。

題解

(a)	圖 a	圖 b	圖 c
淨力	$F = 5 - 5 = 0$	$F = 5 + 5 = 10 \text{ N}$	$F = 5 - 5 = 0$
對 O 點的淨力矩	$\tau = 5 \times 0.25$ $- 5 \times 0.25$ $= 0$	$\tau = 5 \times 0.25$ $- 5 \times 0.25$ $= 0$	$\tau = -5 \times 0.25$ $- 5 \times 0.25$ $= -2.5 \text{ N m}$
對 A 點的淨力矩	$\tau = 5 \times 0.25$ $- 5 \times 0.25$ $= 0$	$\tau = 5 \times 0.25$ $+ 5 \times 0.75$ $= 5 \text{ N m}$	$\tau = 5 \times 0.25$ $- 5 \times 0.75$ $= -2.5 \text{ N m}$

- (b) 在圖 a 中，既沒有淨力作用於米尺，對尺上不同位置的淨力矩也是零，所以這米尺處於平衡狀態。

習題與思考 5.2 Q4 (p.198)

物體平衡時（例題 4 圖 a），對物體任何一點的淨力矩都必定是零。

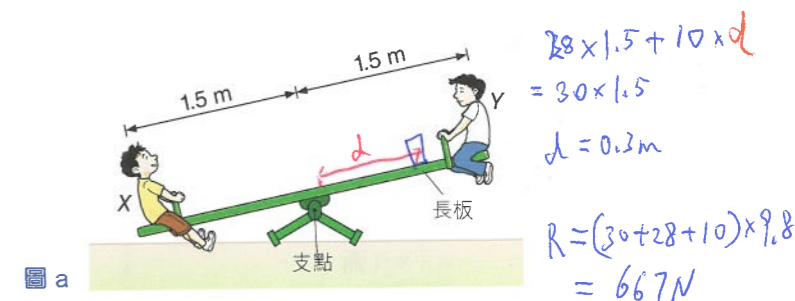
在圖 b 中，米尺沒有轉動，但它受淨力作用，所以它不是處於平衡狀態。對尺上不同的點計算力矩，結果並不相同。

研究正在轉動的物體時，我們通常會對它的支點計算力矩。

進度評估 3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.187）。

（第 1 至 2 題）男孩 X 和 Y 在玩蹺蹺板（圖 a）， X 的質量是 30 kg ， Y 的質量是 28 kg ，他們都距離支點 1.5 m 。蹺蹺板並非處於平衡狀態。假設蹺蹺板的長板十分輕。



- 1 1 質量為 10 kg 的書包應放在哪個位置，才能令蹺蹺板平衡？支點右方 0.3 m
- 1 2 書包放上長板後，支點施於長板的力是多少？ 667 N （向上）

2 重心

你能像圖 5.2b 所示一樣，用指頭托起硬幣或直尺嗎？怎樣可以做到？是否任何物件都能夠只用一個支撐點來托起？

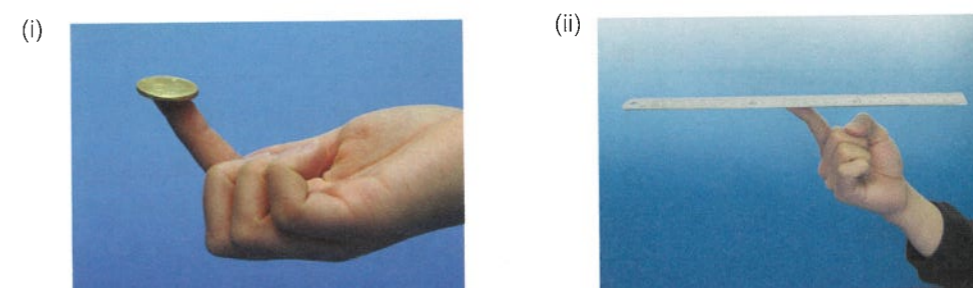


圖 5.2b 只靠一個支撐點托起 (i) 硬幣，(ii) 直尺

以下片段中，參賽者巧妙運用物體的重心，可謂神乎其技。

<http://www.youtube.com/watch?v=U0YOFw74N1s>



每個剛體都有一個稱為**重心**（簡稱 c.g.）的固定點，剛體的全部重量好像都作用於這一點。如果作用於剛體的力只有它的重量和一個量值相同的向上支持力，只要這支持力與剛體的重心位於同一直線，剛體便能保持平衡（圖 5.2c）。

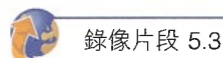


圖 5.2c 舞者的平衡

5 力矩

T-X

→ 錄像片段 5.3 示範實驗 5c。



錄像片段 5.3

圖釘的位置愈接近卡紙的邊沿，實驗結果愈準確。為甚麼？

你可以解釋當中原因嗎？

第一題答案：

卡紙與圖釘之間有摩擦力，如果圖釘穿過卡紙的位置太接近重心，卡紙重量做成的力矩便可能不足以克服摩擦力的作用。

第二題答案：

用圖釘在兩個不同位置懸起卡紙，重心都在圖釘正下方。兩個標記的相交點是唯一能符合這條件的位置。

實驗 5c 找出物體的重心

- 1 用卡紙隨意剪出一個形狀。
- 2 用圖釘穿過卡紙近邊沿的一點，同時懸起卡紙和一根吊着重物的繩子(圖 a)。卡紙應可暢順地繞圖釘轉動。在卡紙上標記繩子的位置。
- 3 改用卡紙的另一點重複步驟 2。卡紙的重心就在兩個標記的相交點(圖 b)。
- 4 試用鉛筆在重心支撐起卡紙(圖 c)。剪出另一個形狀的卡紙，重複實驗。為省時間，每組學生可只研習一個形狀，然後與其他組別比較結果。



圖 a



圖 b



圖 c

討論

- 1 物體的重心一定位於它的內部嗎？ 不一定
- 2 這個找出二維物體重心的方法，可應用於三維物體嗎？ 可以

物體會不會翻倒，重心的位置極為重要。如果重心超出了基底(即支撐物體的範圍)，便會產生淨力矩，令物體失去平衡而翻倒(圖 5.2d)。

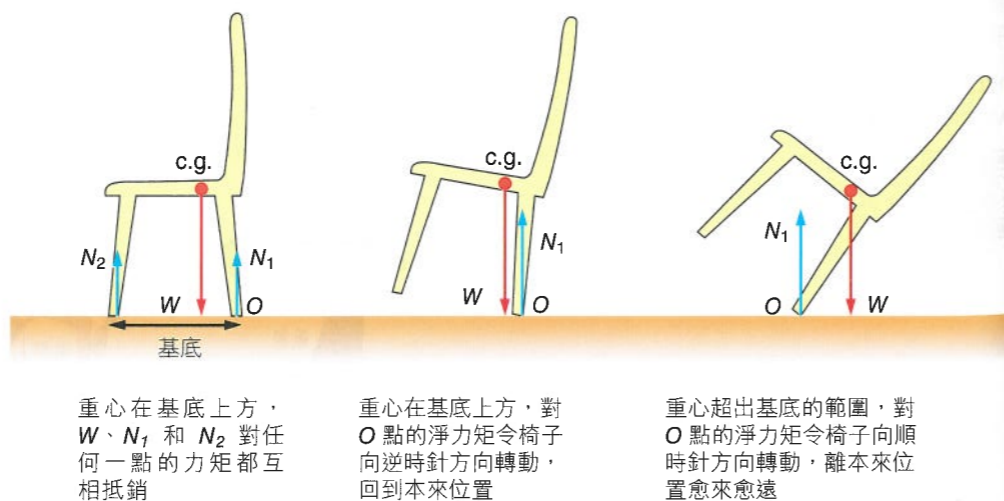


圖 5.2d 重心與基底

物理 DIY

找出重心

可用以下方法，找出長形物體的重心：



用兩隻手指水平托着物體(例如直尺)，然後兩指慢慢移向中間。物體重心就在兩指相遇之處的正上方。



牛津物理網

物理 DIY

重心小把戲

你見過圖 a 所示的玩具嗎？這玩具重心的位置比支撐點低，令它能夠保持平衡。我們可以用兩隻叉和一支牙籤(圖 b)或一把鋼尺和一個鐵鎚(圖 c)，輕易製作出類似的玩具。

起點中的不倒筆原理相同。

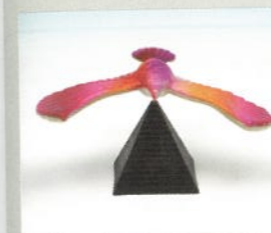


圖 a



圖 b



圖 c

以下是另一把戲：用對摺的鈔票托着硬幣，然後慢慢拉開鈔票，鈔票拉直後，硬幣會停留在鈔票上(圖 d)。



圖 d

牛津物理網

例題 5 支撐點和重心

雜技表演令人嘆為觀止(圖 a)。



圖 a



圖 b

單車手載着乘客時較易在鋼索上保持平衡，還是沒有載客時較易平衡？試扼要解釋。

(圖 b 顯示單車手自己的重心，以及他和乘客共同的重心。)

題解

單車手獨自表演時，重心位於鋼索之上。只要身體稍為傾側，他的重量便會產生力矩，令他更加偏離平衡位置(圖 c)，所以他必須把重心保持在鋼索正上方才能平衡，這是很困難的。



圖 c

單車手載着乘客時，兩人共同的重心位於鋼索之下。如果他們稍為傾側，兩人的重量便會產生力矩，使他們返回平衡位置(圖 d)，回復平衡。因此，單車手載着乘客時較易保持平衡。



圖 d

習題與思考 5.2 Q7 (p.198)

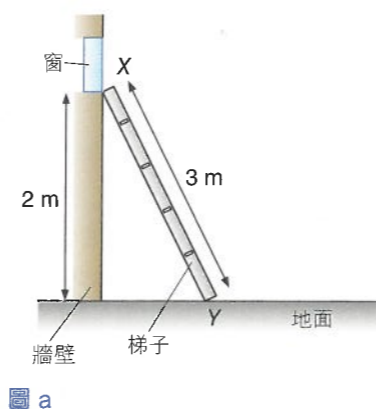
物體受重力作用時，重心會移到較低的地方。老師可讓學生觀看以下影片，然後請他們解釋看到的現象。

<http://www.youtube.com/watch?v=zkt1eScOCEI>



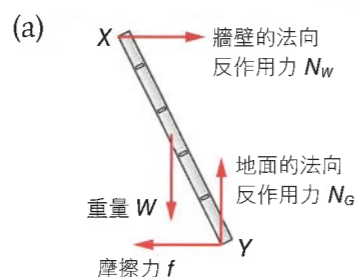
例題 6 作用於梯子的力

梯子 XY 長 3 m，質量為 5 kg，斜倚牆上靜止不動，X 點貼着離地 2 m 的窗戶 (圖 a)。假設梯子是均勻的物體，且牆壁與梯子之間的摩擦力可略去不計。



- (a) 繪畫梯子的隔離體圖。
- (b) 考慮地面作用於梯子的合力 R，求 R 的量值和方向。

題解



- (b) 沒有淨力或淨力矩作用於梯子。

沿垂直方向，

$$N_G = W = mg = 5 \times 9.81 = 49.1 \text{ N}$$

對 Y 點計算力矩 (圖 c)。

順時針力矩 = 逆時針力矩

$$N_W \times XZ = W \times \frac{YZ}{2}$$

$$N_W \times 2 = 5 \times 9.81 \times \frac{\sqrt{3^2 - 2^2}}{2}$$

$$N_W = 27.4 \text{ N}$$

沿水平方向，

$$f = N_W = 27.4 \text{ N}$$

$$R \text{ 的量值} = \sqrt{27.4^2 + 49.1^2} = 56.2 \text{ N}$$

$$\tan \theta = \frac{N_G}{f} = \frac{49.1}{27.4}$$

$$\theta = 60.8^\circ$$

R 的量值是 56.2 N，指向左上方，與水平的夾角是 60.8°。

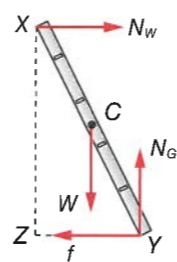


圖 c

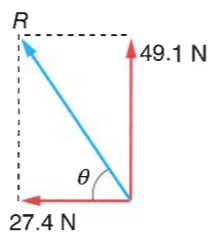


圖 d

▶ 複習 Q10 (p.201)

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

選擇參考點

只要物體處於平衡，便可以對它的任何一點計算力矩，運算時通常會選未知的力所作用的位置，這樣可以消去這力產生的力矩 (因為矩臂是零)，簡化運算。

例題 7 平衡的樹幹

重 300 N 的猴子在倒下的樹幹上走動。在 X 點和 Y 點有兩塊石頭承托着樹幹，令它保持水平 (圖 a)。樹幹重 240 N，重心距離 X 點 0.4 m。猴子想採摘香蕉，在保持樹幹不翻側的情況下，牠最多可以從 X 點向左走多遠？

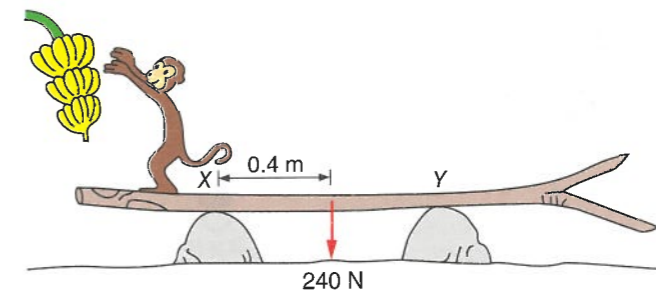


圖 a

題解

設猴子與 X 點之間的最遠距離為 d。

樹幹即將翻側前，Y 點的石頭作用於樹幹的法向反作用力是零。

對 X 點計算力矩。

順時針合力矩 = 逆時針合力矩

$$240 \times 0.4 = 300d$$

$$d = 0.32 \text{ m}$$

猴子最多可走到離 X 點 0.32 m 的位置。

▶ 複習 Q18 (p.203)

進度評估 4

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.187)。

(第 1 至 2 題) 工人站在靜止不動的高空工作台中央 (圖 a)，工作台寬 3 m，質量是 500 kg，重心位於中央。工人的質量是 70 kg。

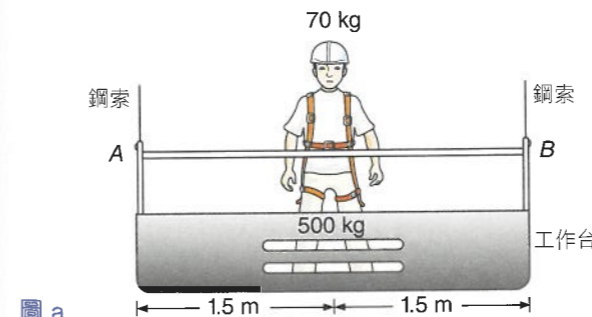


圖 a

1, 2 1 工作台由兩根鋼索吊着，求每根鋼索的張力。
[提示：這情況是對稱的。] 2800 N $(500+70) \times 9.81$

1, 2 2 工人隨後向 B 走了 1 m，求每根鋼索的張力。
[提示：對 A 點或 B 點計算力矩。] $T_A = 2570 \text{ N}$
 $T_B = 3020 \text{ N}$

2 3 把卡紙剪成甚麼形狀，可以令它的重心位於卡紙以外的位置？試畫出一個例子。例如「C」形

1, 2 4 是非題：如果作用於物體的力只有它的重量和一道向上的力，當這向上的力與物體的重心位於同一直線，物體便必定處於平衡狀態。(對/錯)

5 力矩

例題 8 作用於直棒的力矩

志潔做實驗研究作用於直棒的力矩(圖 a)。一支 40 cm 長的均勻直棒由繩在 X 點懸起，棒的一端懸着一個 10 N 砝碼。志潔用彈簧秤鉤着棒向下拉，令棒保持水平。

他改變彈簧秤與 X 點的距離 d ，並記下相應的彈簧秤讀數 F 。表 a 顯示他的實驗結果。

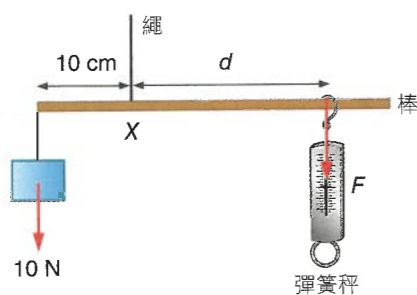


圖 a

d / cm	F / N
25	3.1
20	3.7
15	5.0
10	7.4
5	14.9

表 a

- 繩子懸着直棒，它的張力在實驗過程中是否保持不變？試解釋答案。
- 標繪一幅連繫 F 和 d 的直線線圖。
- 求 (b) 部線圖的斜率。這斜率有甚麼物理意義？
- F 對 X 點的力矩，量值總是小於 10 N 砝碼對 X 點的力矩。試扼要解釋，並寫出一個改良實驗的方法，令這兩個力矩量值相等。

題解

- (a) 張力會改變。由於棒處於平衡狀態，作用於它的淨力是零，即

$$\text{張力 } T = 10 + F + \text{棒的重量 } W$$

因為 W 是常數，所以當 F 改變， T 便會改變。

d / m	F / N	$\frac{1}{d} / \text{m}^{-1}$
0.25	3.1	4.0
0.20	3.7	5.0
0.15	5.0	6.4
0.10	7.4	10
0.05	14.9	20

對 X 點計算力矩時， F 的力矩 (τ_F) 與直棒重量的力矩 (τ_W) 之和，等於砝碼的力矩 (τ_R)。

$$\begin{aligned} \therefore \tau_F + \tau_R &= \tau_W \\ \Rightarrow \tau_F &= \tau_W - \tau_R \\ \Rightarrow Fd &= \tau_W - \tau_R \\ \Rightarrow F &= \frac{\tau_W - \tau_R}{d} \propto \frac{1}{d} \end{aligned}$$

圖 b 顯示 F 對 $\frac{1}{d}$ 的線圖。

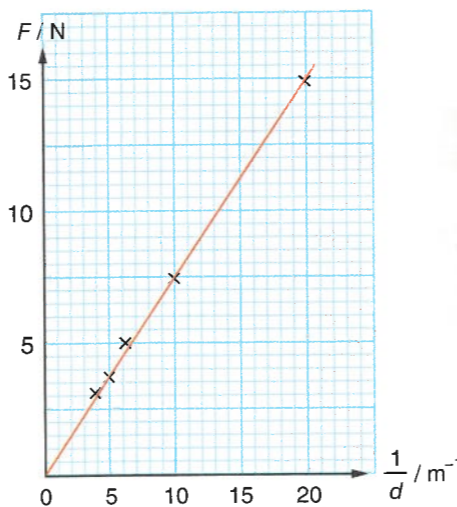


圖 b

(c) 斜率 = $\frac{15 - 0}{20 - 0} = 0.75 \text{ N m}$

這是 F 對 X 點的力矩量值。

- (d) 棒的重量也會對 X 點產生力矩。

要改良實驗，可把繩子移到直棒重心的位置。

複習 Q24 (p.205)

預試訓練 1 作用於模型橋的力矩 ☆ 香港高級程度會考 2012 年卷一 Q2

錦文造了一道模型橋(圖 a)，AO 是塊均勻紙板，長 40 cm，質量為 0.5 kg，可沿 O 點自由轉動。一根繩子連接着 A、B 兩點。垂直柱子 BC 固定在地上，質量可略去不計。質量為 0.2 kg 的玩具車放在 X 點，距離 O 點 10 cm。AO 處於平衡狀態。

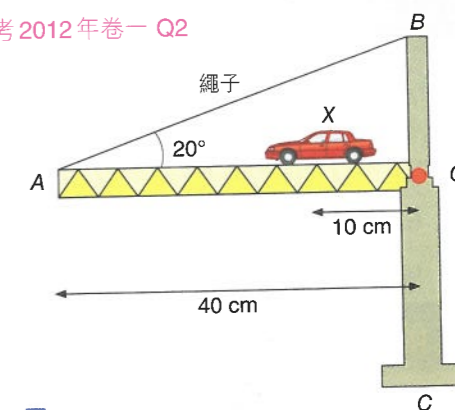


圖 a

- (a) 錦文和他的朋友各自畫了一幅紙板 AO 的隔離體圖(圖 b 和 c)，圖中 R 是 BC 在 O 點施於紙板的力， T 是繩子的張力， W_{AO} 是紙板的重量， W_X 是玩具車施於紙板的力。

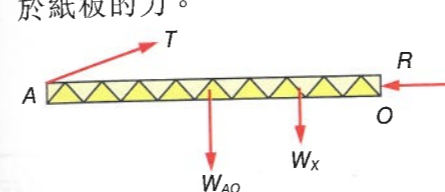


圖 b

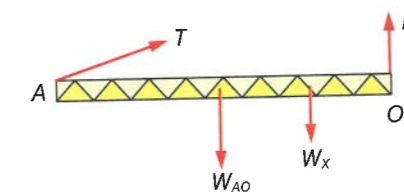


圖 c

- 在兩幅圖中， R 的方向都不正確。試扼要解釋。(4 分)
 - 草繪 R 的方向。(1 分)
- (b) 求繩子的張力。(2 分)

題解

- (a) (i) 考慮圖 b。對 A 點計算力矩時，有淨力矩沿順時針方向作用於紙板。

所以紙板不能保持平衡。

$\therefore R$ 的方向不正確。

考慮圖 c。沿水平方向，有淨力 (T 的水平分量) 作用於紙板。

所以紙板不能保持平衡。

$\therefore R$ 的方向不正確。

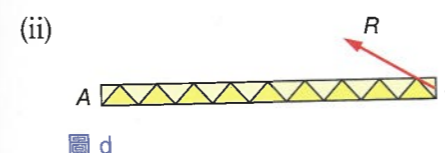


圖 d

- (b) 對 O 點計算力矩。在平衡狀態，
順時針合力矩 = 逆時針合力矩

$$T \times 0.4 \sin 20^\circ = 0.5 \times 9.81 \times 0.2 + 0.2 \times 9.81 \times 0.1$$

$$T = 8.60 \text{ N}$$

繩子的張力是 8.60 N。

1A
1A
這違反了 AO 處於平衡狀態的條件。

1A
1A

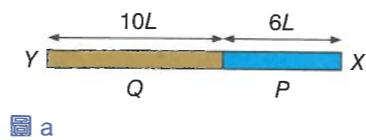
1A
找出 T 的值後，考慮沿垂直和水平方向作用於 AO 的合力，可計算出 R 的量值和方向。

1M
1A
常見錯誤
學生或誤用質量而非重量來計算力矩。

複習 Q23 (p.204)

預試訓練 2 重心在哪裏? ☆ 香港中學文憑考試 2014 年卷一甲部 Q3

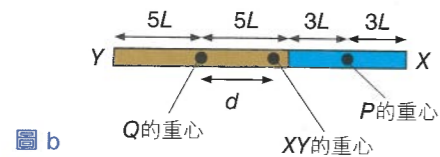
棒 XY 由兩根均勻的棒 P 和 Q 組成 (圖 a)，P 的長度為 6L，質量為 3M；Q 的長度為 10L，質量為 M。XY 的重心距離 Y 點多遠？



- A 6.25L
- B 9L
- C 9.75L
- D 11L

題解

設 XY 的重心與 Q 的重心相距 d (圖 b)。



如果把楔子放在 XY 的重心下方，XY 會處於平衡。

對 XY 的重心計算力矩。

順時針力矩 = 逆時針力矩

$$3Mg(5L + 3L - d) = Mg(d)$$

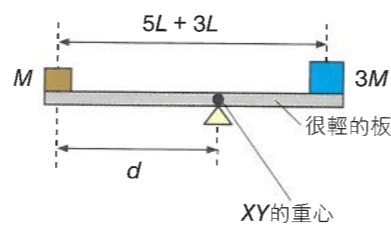
$$24L - 3d = d$$

$$d = 6L$$

∴ XY 的重心與 Y 點的距離 = $6L + 5L = 11L$

∴ 答案是 D。

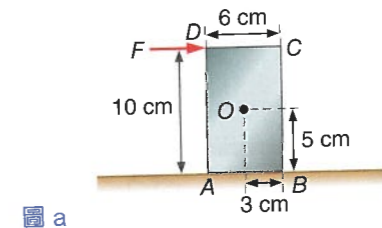
P 和 Q 是均勻的，所以重心都在各自的正中央。因此，這情況就好像：



▶ 複習 Q12 (p.201)

進度評估 5 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.187)。

- 1, 2 方塊 ABCD 置於粗糙水平面 (圖 a)，重量是 20 N，重心位於 O 點。一道力 F 作用於方塊的 D 點。要令方塊沿 B 點翻倒，F 的量值最小是多少？假設方塊不會沿平面滑動。 6 N



[提示：方塊翻倒時，B 點是方塊與水平面之間唯一的接觸點。]

- 2 是非題：如果把物體在重心的位置切成兩半，這兩半的質量必定相同。(對 錯)

生活中的物理 保持平衡的方法

高的物體較易翻倒。常見避免翻倒的方法有：加闊基底、降低重心，以及利用平衡錘。



外伸腳架可增闊基底



全球最高建築物哈里發塔，基底寬闊，重心低矮



平衡錘的力矩抵銷負載的力矩



平衡錘既降低籃球架的重心，它的力矩又可抵銷籃板的力矩

生活中的物理

雙層巴士

在本港，每一款巴士都要通過傾斜測試，才可在路面行走。如果雙層巴士上層滿載，下層幾乎全空 (只有等於司機的負載) 時，打側傾斜 28° 也不翻倒，便算通過測試。



冰山

你睡覺時會翻身，原來冰山也一樣。冰山融化時，重心的位置可能會改變，令它「翻身」。



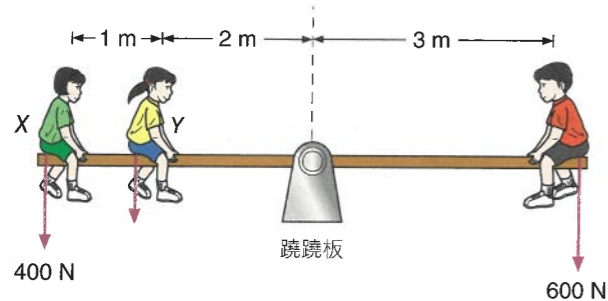
以下是冰山「翻身」的影片。

<http://www.youtube.com/watch?v=Sh271FAVZ0o>



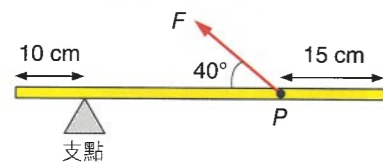
習題與思考 5.2

- 1 1 跷跷板的一邊坐了兩個女孩 X 和 Y，另一邊則坐了一個男孩（圖 a）。如果跷跷板不轉動，女孩 Y 的重量是多少？



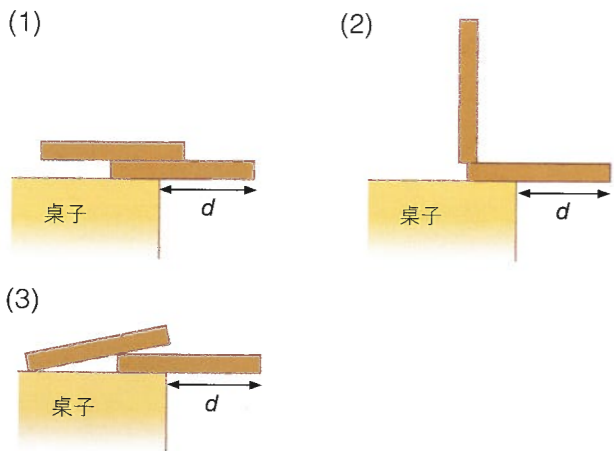
- 1.2
- A 200 N B 300 N
C 400 N D 600 N

- 2 均一的木棒放在一個支點上（圖 b），棒長 50 cm，重量是 20 N。一道與棒成 40° 夾角的力 F 作用於 P 點，令棒保持平衡。求 F。



- A 8.57 N B 12 N
C 15.7 N D 18.7 N

- 3 兩個相同的木塊置於桌子邊沿而沒有翻倒。在以下哪個情況中，d 的值最大？

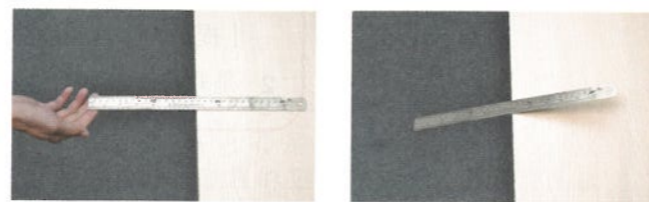


- A 只有 (2) B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2) D (1)、(2) 和 (3)

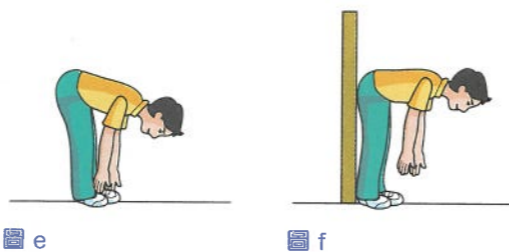
- 4 作用於物體的淨力是零。下列哪項敘述必定正確？
- (1) 對物體任何一點，淨力矩都是零。
(2) 物體處於平衡狀態。
(3) 物體不會移動到另一個地方。

- A 只有 (3) B 只有 (2) 和 (3)
C (1)、(2) 和 (3) D 以上皆不是

- 5 潔雯扶着放在桌子邊沿的直尺（圖 c），放手後直尺便掉下（圖 d）。試扼要解釋直尺為甚麼會掉下來。



- 6 富榮身體柔軟，可彎身用手觸摸腳尖（圖 e）。如果他貼牆而立（圖 f），還能夠做出相同的動作嗎？試扼要解釋。不能



- 7 不倒翁的重心很低，底部是圓形的，被推倒後可以自動豎立起來（圖 g）。試畫圖顯示不倒翁傾側時它與地面的接觸點以及它的重心，並解釋為甚麼它可以自動豎立起來。



- 8 考慮作用於物體的力矩，解釋以下現象。
- (a) 雙層巴士的上層禁止站立。
(b) 把物體吊起來，它靜止的時候，重心位於懸掛點的正下方。

總結 5

Q22 考試報告：表現不錯。在 (a) 部，考生多能正確地畫出力 L 和 W，然而 R 則多繪成豎直或水平，或許因為未充分考慮平衡的條件所致。(b) 部答得不錯，很多考生能求得張力和壓縮力的水平分量，但極少能指出壓縮力遠大於身體重量。

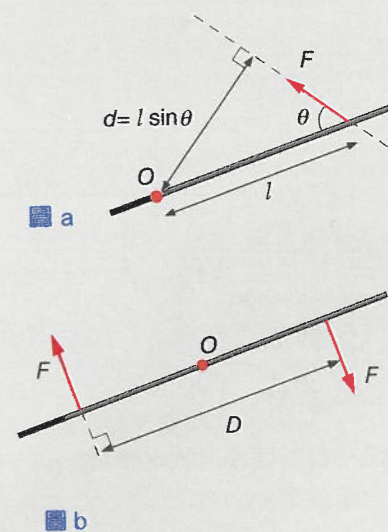
詞彙

1 剛體 rigid body	p.178	5 支點 pivot	p.180
2 力矩 moment of force	p.179	6 力偶 couple	p.183
3 轉矩 torque	p.179	7 平衡 equilibrium	p.187
4 矩臂 moment arm	p.180	8 重心 centre of gravity	p.189

課文摘要

5.1 力的轉動效應

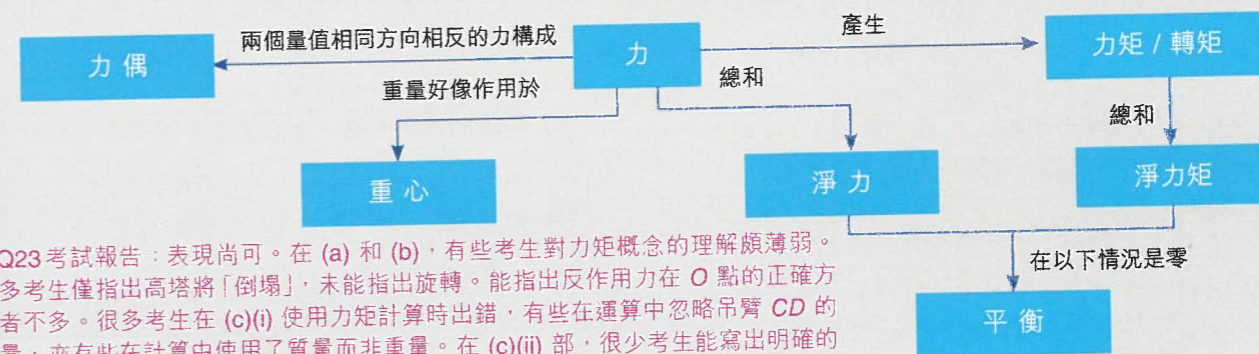
- 力對於某一點的轉動效應由力矩或轉矩來量度。
- 如果力 F 以夾角 θ 作用於物體（圖 a），對 O 點計算力矩時，矩臂 d 是 $l \sin \theta$ ，F 的力矩是 $\tau = Fd = Fl \sin \theta$ 。
- 淨力矩 = 順時針合力矩 - 逆時針合力矩
- 兩個量值相等但方向相反的平行力，同時施於同一物體，但又不是沿同一直線作用時，便構成一對力偶（圖 b）。力偶的力矩 = 力 × 兩道力之間的垂直距離
- 力偶的合力是零，合力矩則不是零。



5.2 剛體的平衡

- 剛體靜止不動時，它就處於平衡狀態，既不移動也不轉動。
- 要令物體平衡，必須符合兩個條件：
 - 沒有淨力：作用於物體的力互相平衡。
 - 沒有淨力矩：作用於物體的力對任何一點的力矩總和都是零。
- 物體重量好像作用於它的重心。

概念圖



Q23 考試報告：表現尚可。在 (a) 和 (b)，有些考生對力矩概念的理解頗薄弱。很多考生僅指出高塔將「倒塌」，未能指出旋轉。能指出反作用力在 O 點的正确方向者不多。很多考生在 (c)(i) 使用力矩計算時出錯，有些在運算中忽略吊臂 CD 的重量，亦有些在計算中使用了質量而非重量。在 (c)(ii) 部，很少考生能寫出明確的解釋，更有考生誤認為需要較大的質量以保持吊臂平衡。

複習 5

Q1 力偶的合力是零，但可令物體轉動。

概念重溫

(第 1 至 2 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

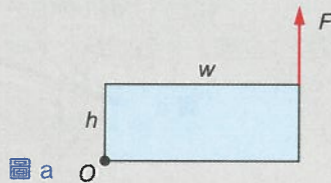
☆ 香港中學會考 2002 年卷二 Q11

5.2 1 一個原本靜止的剛體受兩個量值相等方向相反的力作用時，必定會維持靜止。 F

5.1 2 力矩是矢量。 T

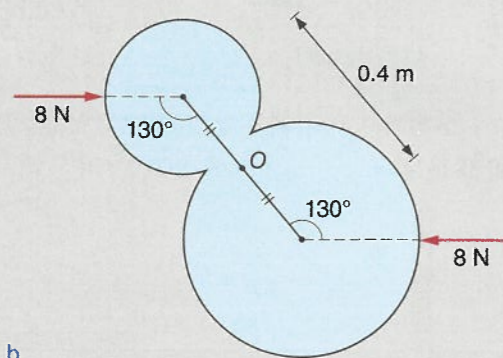
多項選擇題

5.1 3 圖 a 顯示力 F 作用於一個長方形的物體。 F 對 O 點的力矩是多少？



- A Fw B Fh
 C $F\sqrt{w^2 + h^2}$ D $\frac{Fw}{h}$

5.1 4 一對力偶作用於剛體 (圖 b)。這力偶對 O 點的力矩量值是多少？

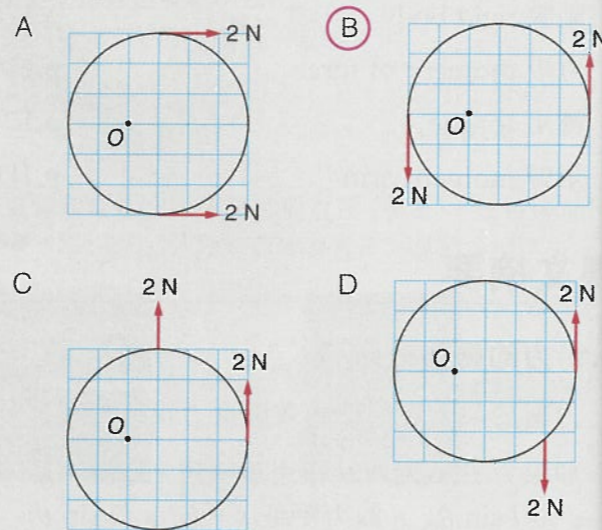


- A 2.06 N m B 2.45 N m
 C 3.20 N m D 4.90 N m

5.2 5 長 1 m 的均勻棒平放地上。最小要用 20 N 的力，才能把棒的一端抬起。這棒的重量是多少？

- A 20 N
 B 30 N
 C 40 N
 D 50 N

5.1 6 下列各圖顯示作用於某剛體的力。哪一幅圖中對 O 點的力矩量值最大？

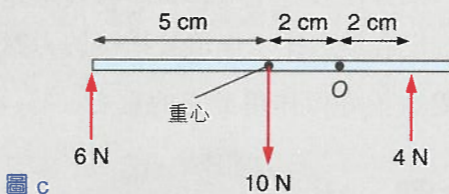


5.2 7 某物體沒有轉動。下列哪項敘述必定正確？

- (1) 這物體處於平衡狀態。
 (2) 對這物體上任何一點，淨力矩都是零。
 (3) 作用於這物體的淨力是零。

- A 只有 (2) B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3) D 以上皆不是

5.2 8 一支均勻的棒可沿 O 點自由轉動，它長 10 cm，重量是 10 N，重心距離 O 點 2 cm。有兩道量值為 6 N 和 4 N 的力作用於棒 (圖 c)。



下列哪項敘述是正確的？

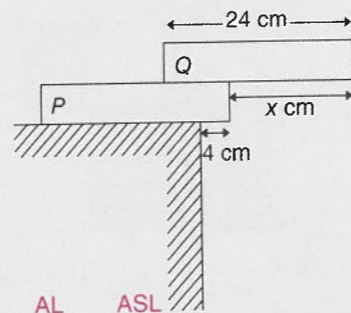
- (1) 作用於棒的淨力是零。
 (2) 棒向順時針方向轉動。
 (3) 對棒的任何一點，淨力矩都是相同的。

- A 只有 (1)
 B 只有 (2)
 C 只有 (1) 和 (2)
 D (1)、(2) 和 (3)

參看預試訓練 1 (p.195)

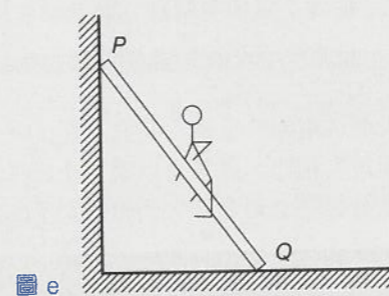
2 9 香港高級程度會考 2008 年卷二 Q1

把每塊長度為 24 cm 的相同磚塊 P 和 Q 黏在一起，如圖所示置於桌邊。 P 露出桌邊 4 cm， Q 露出 P 的邊 x cm。 x 的最大值可為多少而系統仍能處於平衡？



- A 4 (5%) (6%)
 B 8 (33%) (33%)
 C 12 (39%) (35%)
 D 16 (23%) (26%)

2 10 香港高級程度會考 2009 年卷二 Q2



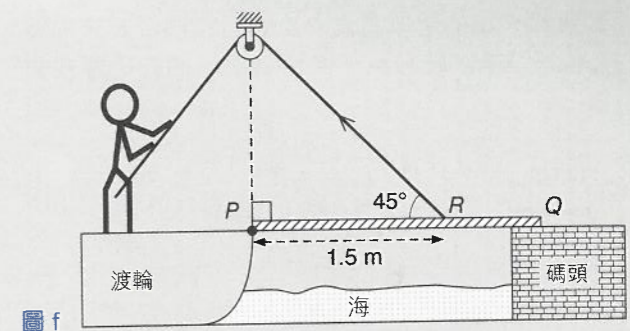
圖示梯子 PQ 斜靠着光滑的牆並靜止在粗糙的地面上。當一個人由 Q 至 P 穩定地爬上梯子，以下哪些物理量會增加？

- (1) 在 P 處的法向反作用力。
 (2) 在 Q 處的法向反作用力。
 (3) 在 Q 處的摩擦力。

- A 只有 (1)
 B 只有 (2)
 C 只有 (1) 和 (3) (57%)
 D 只有 (2) 和 (3)

5.2 11 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q6

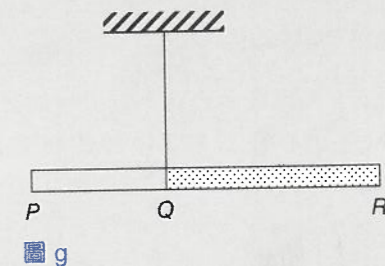
一塊均勻的渡輪跳板 PQ 順滑鉸接於 P 點，跳板質量為 M 而長度為 2 m，開始時水平地置於碼頭上。如圖所示，渡輪上的人以一條通過無摩擦固定輕滑輪的輕繩拉起跳板，繩另一端與跳板上的 R 點連接， R 與跳板 P 端相距 1.5 m。下列哪一項正確描述穩定地拉起跳板所需的力？



當跳板水平放置時，最初拉起跳板所需的力

- | | 當跳板水平放置時，最初拉起跳板所需的力 | 隨後拉起跳板所需的力 |
|------------------------------------|---------------------|-----------------|
| <input type="radio"/> A | 0.67Mg | 大於 0.67Mg |
| <input type="radio"/> B | 0.67Mg | 小於 0.67Mg |
| <input type="radio"/> C | 0.94Mg | 大於 0.94Mg |
| <input checked="" type="radio"/> D | 0.94Mg | 小於 0.94Mg (41%) |

5.2 12 香港中學文憑考試 2014 年卷一甲部 Q3

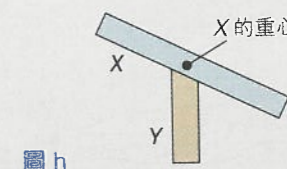


勻截面的棒 PQR 是由兩段密度皆為均勻的不同材料 PQ 和 QR 複合而成。 PQ 段跟 QR 段長度的比率為 2 : 3。當棒自 Q 點懸掛着時，它可如圖示保持水平。 PQ 段跟 QR 段質量的比率為多少？

- A 2 : 3
 B 1 : 1
 C 3 : 2 (75%)
 D 沒法求得答案，因兩段的密度比率未有提供。

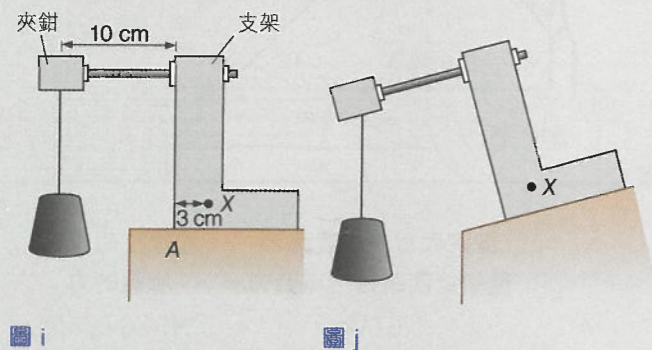
問答題

5.2 13 如圖 h 所示，物體 X 置於物體 Y 上，靜止不動。



- (a) 繪畫 X 的隔離體圖。 (2 分)
 (b) 如果 X 的重心不是位於 Y 正上方， X 可以保持靜止嗎？試扼要解釋。不可以 (3 分)

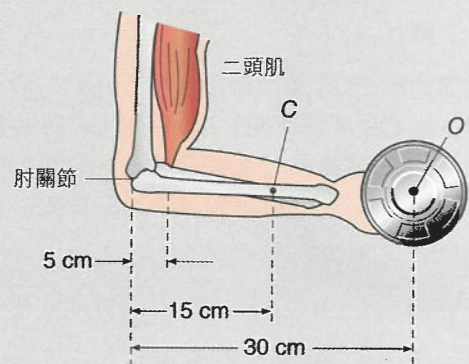
- ★ 14 5.2 支架和夾鉗的總質量是 2.4 kg，它們合起來的重心位於 X 點（圖 i）。一條輕繩把一個砝碼懸在夾鉗上。



- (a) 求系統可以承受的最大質量。 **0.72 kg** (2分)
 (b) 提出兩個方法防止支架沿 A 點翻轉。 (2分)
 (c) 如果這系統置於斜面上（圖 j），(a) 部的答案會怎樣改變？試扼要解釋。 **減少** (3分)

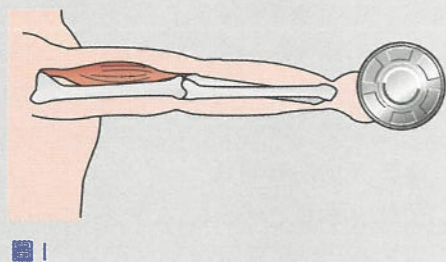
- ★ 15 5.2 運動員舉啞鈴鍛練肌肉。

- (a) 他如圖 k 所示拿着啞鈴不動。他前臂的質量是 1.5 kg，重心在 C 點，啞鈴的質量是 5 kg，重心在 O 點。

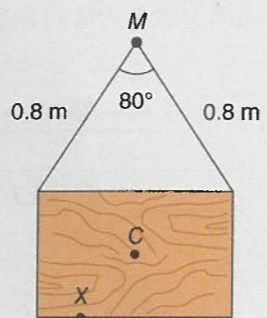


- (i) 求二頭肌施於前臂的力。 **338 N** (2分)
 (ii) 題 (i) 的答案等於前臂和啞鈴的總重量嗎？試扼要解釋。 **不等於** (2分)

- (b) 然後他把啞鈴舉至齊肩（圖 l）。試解釋為甚麼他這樣舉着啞鈴會較吃力。 (2分)



- ★ 16 5.2 少蘭用兩根繩掛起一塊重量為 10 N 的木板（圖 m），兩根繩的長度都是 0.8 m。木板的重心在它的中央 C 點。



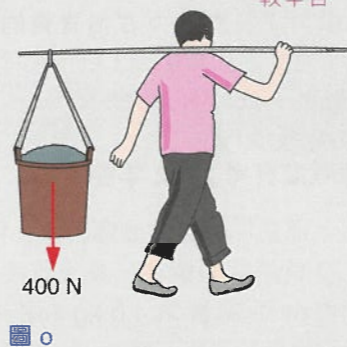
- (a) 繪畫木板的隔離體圖。 (2分)
 (b) 每根繩的張力是多少？ **6.53 N** (2分)
 (c) 少蘭把一件重物掛上木板上的 X 點，掛着木板的一根繩子便斷了，重物跟着掉到地上，而木板只靠剩下那根繩吊着。
 (i) 如果這兩根繩的堅韌程度相同，斷的是哪根繩？試扼要解釋。 **左面那根** (3分)
 (ii) 繪畫剩下那根繩怎樣懸着木板。 (1分)

- ★ 17 5.1 有些人運送重物時會使用扁擔（圖 n），扁擔本身的質量與重物相比，通常可以略去不計。假設兩件重物的重量都是 200 N，它們與這女子的距離相等。

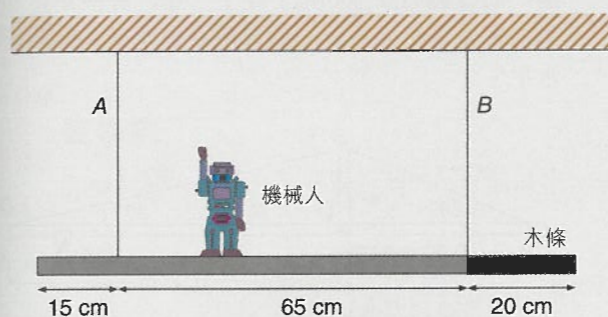


- (a) 兩件重物施於扁擔的力是力偶嗎？試扼要解釋。 **不是** (2分)
 (b) 假設這女子的手沒有對重物施任何垂直的力，求扁擔作用於女子肩膀的力。 **400 N** (1分)
 (c) 如果這女子把兩件重物移到較接近自己的位置，她會覺得較輕鬆還是較辛苦？ **沒分別** (1分)
 (d) 如果兩件重物的質量不同，她應該怎樣安排重物的位置？ (1分)

- (e) 如果如圖 o 所示，把兩件重物放在一起，她會覺得較輕鬆還是較辛苦？試扼要解釋。 (3分)

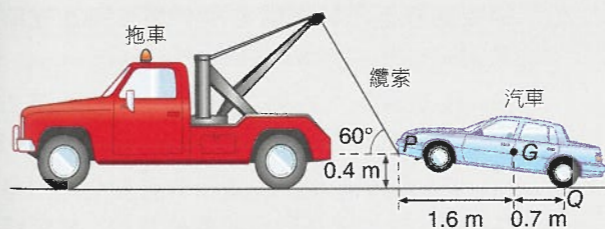


- ★ 18 5.2 重量為 50 N 的玩具機械人置於均勻的木條上，木條以兩根不可延伸的輕繩 A 和 B 懸掛起來（圖 p）。木條的重量是 150 N，繩 A 的張力是 110 N。



- (a) 求繩 B 的張力。 **90 N** (1分)
 (b) 機械人距離繩 A 多遠？ **12 cm** (2分)
 (c) 如果張力超過 115 N，繩 A 便會斷。
 (i) 在繩 A 不會斷的情況下，機械人與繩 A 的最短距離是多少？ **5.5 cm** (2分)
 (ii) 機械人可置於繩 A 的左面而又不會令繩 A 斷掉嗎？試扼要解釋。 **不可以** (2分)

- ★ 19 5.2 汽車由拖車拖着（圖 q）。汽車的重量是 9000 N，重心在 G 點。



- (a) 兩車停在交通燈前。求纜索的張力和地面作用於汽車的法向反作用力。 **3160 N、6260 N** (4分)

- (b) 拖車帶着汽車沿直路由靜止開始加速，然後以恆速度行駛。汽車在以下情況中是否處於平衡狀態？

- (i) 正在加速時 **不是** (1分)
 (ii) 以恆速行駛時 **是** (1分)

- ★ 20 5.1 有些店舖仍會使用圖 r 所示的秤。店員把要秤的物體放進秤盤裏，然後沿着秤桿移動砝碼，令秤桿水平。桿上的刻度顯示物體的質量。



- 假設秤上的砝碼質量為 500 g，秤盤的質量為 300 g，懸着秤盤的繩距離支點 6 cm。秤桿的質量可略去不計。

- (a) 店員把某個物體放上秤盤，然後把 500 g 砝碼移到距離支點 12 cm 的位置，令秤桿水平。這物體的質量是多少？ **700 g** (2分)
 (b) 如果店員在一部正向上加速的升降機內量度那物體的質量，得出的結果會有甚麼不同？試扼要解釋。 **不變** (2分)
 (c) 另一個物體稍為超重，不能用圖 q 的裝置方式來量度它的質量。試舉出兩個方法，令店員可以用這桿秤來量度這物體的質量。 (2分)

- ★★ 21 5.2 (a) 寫出「重心」的物理意義。 (1分)

- (b) 寫出物體須符合甚麼條件，才是處於平衡狀態。 (2分)

- (c) 一支旗杆在颱風過後搖搖欲墜，一個人用繩縛住杆身，作為臨時措施（圖 s，見 p.204）。這根繩與水平的夾角為 20°。X 是旗杆與地面的接觸點，旗杆的重量是 400 N，重心與 X 點相距 0.9 m。旗杆處於平衡狀態。假設旗杆可沿 X 點自由轉動。

EX

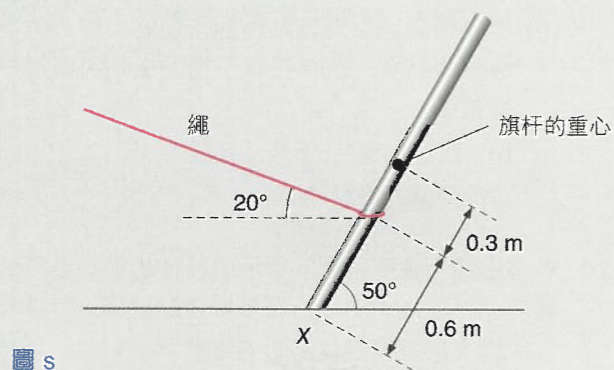


圖 s

- (i) 求繩張力的量值。 **410 N** (2分)
- (ii) 地面作用於旗杆的力量值是多少？指向甚麼方向？ **465 N (向右，水平線以上 33.9°)** (4分)

參看預試訓練 1 (p.195)

考試報告見第 199 頁。

5.2 22 香港高級程度會考 2009 年卷一 Q2(a)

圖 t 所示為一個滑雪選手彎腰俯拾一對滑雪板。

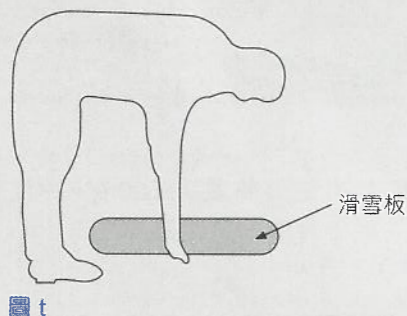


圖 t

圖 u 所示長度為 0.54 m 的水平輕剛棒 OP 代表該選手的脊骨，而支點在脊骨底部 O。在達致平衡時共有四個力作用於脊骨上：

- W: 選手上半身的重量為 520 N，作用於脊骨上的 G 點；
- L: 一對滑雪板的負荷合共 40 N，作用於脊骨前端 P；
- T: 背肌的張力作用於距離 O 點 0.33 m 的一點，並跟脊骨成 12° 角，如圖 u 所示；
- R: 脊骨上的壓縮力，作用於脊骨底部 O。

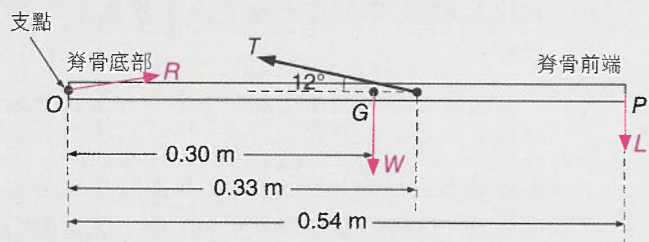


圖 u

- (a) 在圖 u 繪畫並標示作用於該選手脊骨上的力 W、L 和 R。 (2分)
- (b) 計算張力 T 及壓縮力 R 沿脊骨的分量。試據此說明為甚麼如果像圖 t 所示那樣抬起負荷會影響健康。 **2589 N、2532 N** (5分)

考試報告見第 199 頁。

5.2 23 香港高級程度會考 2012 年卷一 Q2 略去原題 (c)(ii)

圖 v 顯示吊運物件的起重吊臂模型。它的高塔 AB 和吊臂 CD 是兩條勻鋼棒，順滑鉸接於 O。吊臂 CD 長 1.40 m 而質量為 4.0 kg。兩條獨立鋼索 1 和 2 分別從塔頂連接吊臂的 C、D 兩端，並與吊臂成 29° 和 17° 角。一個 50 kg 的混凝土平衡錘吊於臂的 C 端。吊臂上有一個掛鉤可於 O 和 D 之間順滑移動。高塔連接著 0.2 m × 0.2 m 的方形底盤，而底盤穩固地固定於地上。在計算中鋼索和掛鉤的質量可略去不計。假設吊臂為剛硬並大致保持水平。

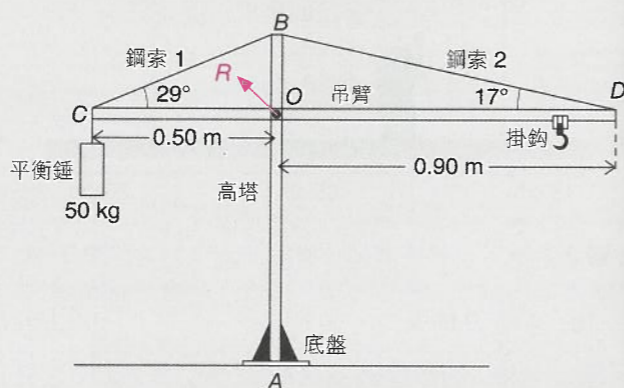


圖 v

- (a) 倘起重吊臂的底盤沒有固定在地上，描述會有甚麼事發生。試加以說明。 (2分)
- (b) 當掛鉤沒有負荷時，如果只有其中一條鋼索是張緊的，解釋哪一條鋼索是張緊的。並在圖 v 標示作用在吊臂上 O 點的反作用力 R 的方向。 **鋼索 1** (3分)
- (c) 將掛鉤移至吊臂末端 D 並懸着 33 kg 負荷於其上。
 - (i) 已知鋼索 1 的張力為 40 N，求鋼索 2 相應的張力 T。 **246 N** (3分)
 - (ii) 將掛鉤移向 O，起重吊臂可安全地吊運較重、較輕還是同等質量的負荷？試解釋。 **較重** (2分)

實驗題

- ★ 24 你有一把均勻的直尺、一個量角器、一個砝碼、一捆繩子和一個彈簧秤 (圖 w)。試描述一個實驗，以驗證力 F 作用於直尺上固定的一點，且產生的力矩保持不變時，F 與 sin θ 會成反比，其中 θ 是 F 與直尺之間的夾角。 (5分)



圖 w

物理文章分析

- ★ 25 閱讀下列一段有關寵物碗的文章，然後回答隨後的問題。 5.2

寵物碗

養寵物的人通常會用一種特別的碗來盛載寵物的食糧 (圖 x)。



圖 x

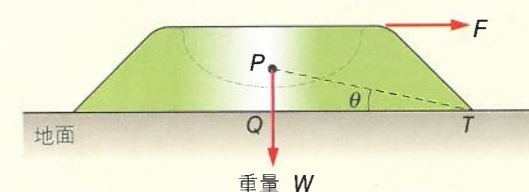


圖 y

這種碗的重心很低，碗底的直徑比碗的高度大得多；另外，碗邊不是垂直而是傾斜的，這些特點令碗不易翻轉。下文證明單單增加碗底的直徑，已可令碗更牢穩。

在圖 y 中，P 點是碗的重心，Q 點是地面的一點，處於 P 點正下方，W 是碗的重量。假設力 F 作用於碗，令碗可能繞 T 點順時針翻轉。考慮 W 對 T 點的力矩：

$$\tau = W \times QT$$

W 對 T 點產生逆時針的力矩，與 F 的力矩方向相反。顯而易見，增加 QT (碗底的半徑) 可令碗較牢穩。

- (a) 小狗吃完碗內的食物後舐碗的 S 點 (圖 z)，對碗施加一道 3 N 沿斜面向上的力。碗高 5 cm，底部的半徑是 9 cm，斜面與地面的夾角是 45°。
 - (i) 求這 3 N 力對 T 點的力矩。 **0.382 N m** (2分)
 - (ii) 證明在這情況下，斜面的傾角愈小，碗就愈牢穩，但增加碗底的半徑卻不能達到這效果。 (2分)
- (b) 小狗不小心以 10 N 的水平力踢到碗的 S 點。求這力對 T 點的力矩。 **零** (1分)

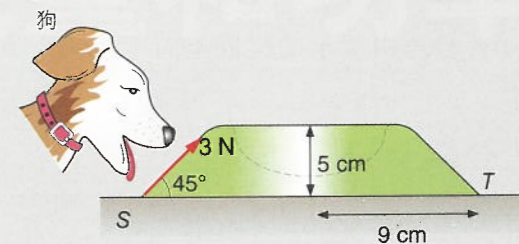


圖 z

自我評核 5

🕒 時間：15 分鐘 📊 總分：10 分

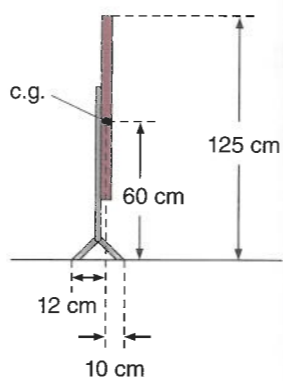
答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄 (p.411) 附有常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

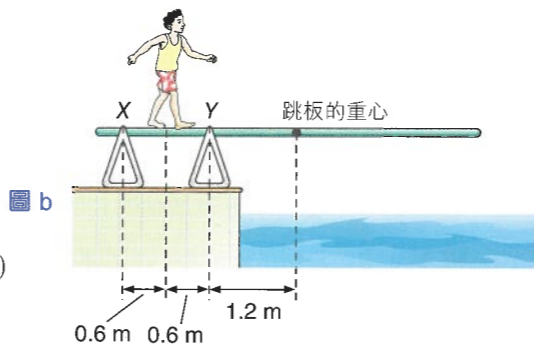
- 5.1 1 物體受兩道量值相等的力作用。下列哪項敘述必定正確？
- 這兩道力構成一對力偶。
 - 如果這兩道力指向相反方向，淨力矩便是零。
 - 如果這兩道力指向相反方向，淨力便是零。
- A 只有 (3) B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (1) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3) **A**

- 5.2 2 圖 a 是折疊桌的側視圖。桌子的重量是 150 N，要把它推倒，推力最小是多少？
- A 10 N
 B 12 N
 C 14.4 N
 D 72 N **B**



乙部

- 5.2 3 重量為 500 N 的昌勇站在跳板上 (圖 b)，在 X 點和 Y 點有兩個支架固定着跳板，它們作用於跳板的力為 F_x 和 F_y 。跳板的重量是 200 N，重心距離 Y 點 1.2 m。假設跳板保持筆直。



(a) 求 F_x 和 F_y 。

(4 分)

50 N (向上)、650 N (向上)

(b) 昌勇由圖示的位置走向 Y 點， F_x 和 F_y 有甚麼變化？

(4 分)

(題解見 p.408)



6 功、能量和功率

我們在这一課會學到

- 物理學上功的定義
- 動能與勢能
- 封閉系統中的能量守恆定律
- 功率的定義

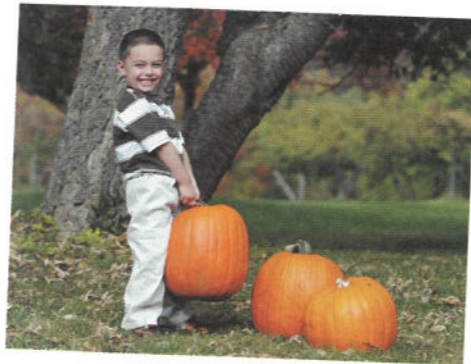
6.1

功與能量轉移

起點 提着大南瓜

提着大南瓜靜止不動，能量會從身體轉移至南瓜嗎？

參看第210頁。



✓ 本節重點

- 1 功與能量轉移
- 2 應用 $W = Fs \cos \theta$
- 3 總功

1 功：能量轉移的方法

動能和勢能統稱為機械能。

▶ 能量有多種不同的形式，例如光能、聲能、化學能、內能、**動能**和**勢能**（圖 6.1a）。能量可以由一種形式轉換為另一種形式，也可以由一個物體轉移到另一個物體。

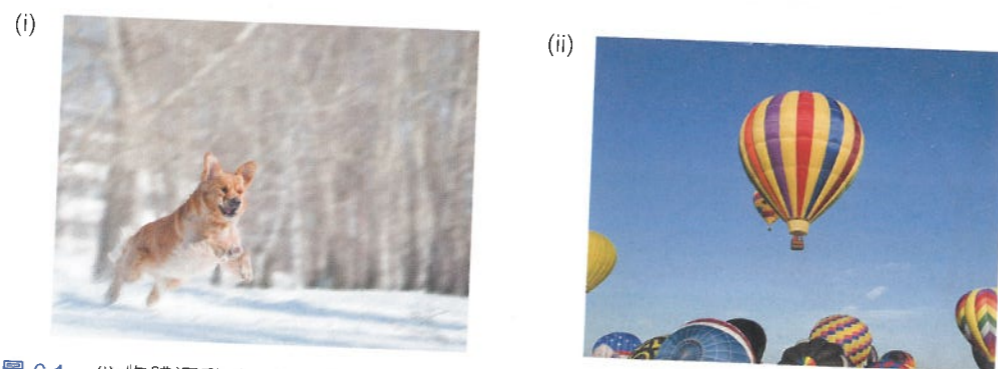


圖 6.1a (i) 物體運動時具有動能 (ii) 物體上升時會獲得勢能

第 1 冊提到，當物體與周圍環境出現溫差，就會有能量轉移，以這種方法轉移的能量稱為**熱**。

強調只要作了功，就必定有能量從一種形式轉換為另一種形式。

能量轉移 (由溫差導致) \Rightarrow 熱

能量轉移也可以由作用力導致，在這情況所轉移的能量稱為**機械功**，或簡稱**功**。

能量轉移 (由作用力導致) \Rightarrow 功

功和「熱」一樣，都不是物體內在的特性，我們不可以說某物體獲得了功。

圖 6.1b 中的人都在做功。

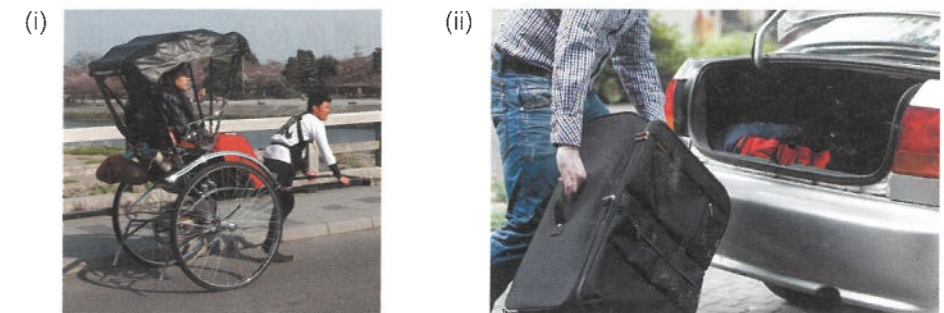


圖 6.1b 功的例子：(i) 拉車 (ii) 提起行李箱

a 力與位移平行

s 是力 F_{\parallel} 作用點的位移，假如 F_{\parallel} 消失後，物體繼續移動了位移 s' ，則 F_{\parallel} 所作的功不可把 s' 包括在內。

▶ 物體受力 F_{\parallel} 作用時，沿着平行 F_{\parallel} 的方向移動了位移 s ，這道力便做了功 W (圖 6.1c)。

功 = 平行位移的力 \times 位移

$$W = F_{\parallel} s$$

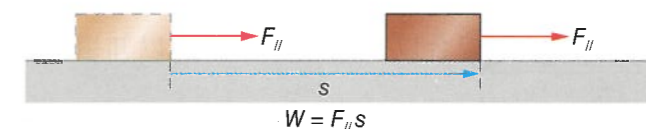


圖 6.1c 作用力與位移平行

向量相加會得出向量，但向量 (例如 F 和 s) 相乘或會得出標量 (例如功)。

▶ 能量和功都是標量，沒有方向，單位是**焦耳 (J)**。焦耳也是內能和熱的單位，已在第 1 冊介紹過。

1 J 即是 1 N m。

▶ 當物體受 1 N 的力作用，並沿力的方向移動了 1 m，力對物體所作的功便是 1 J。

力矩的單位也是 N m，當中 m 來自矩臂。應避免以 N m 為單位表示功，以免混淆功與力矩這兩個不同的物理量。

b 功和能量變化

假設一道力 F 作用於物體上。如果 F 與物體的位移 s 方向相同，物體便會加快移動 (圖 6.1d)。在這情況下，物體動能**增加**，即能量轉移到物體上。我們說， F 對物體**作功**。

相反，如果 F 與物體的位移 s 方向相反，物體便會減慢移動 (圖 6.1e)。在這情況下，物體動能**減少**，即能量轉從物體轉移到其他地方。我們說，物體為**克服 F 而作功**。

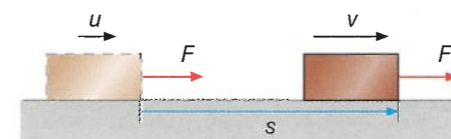


圖 6.1d F 與 s 方向相同

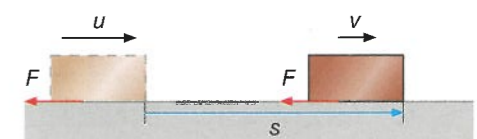


圖 6.1e F 與 s 方向相反

焦耳 (J) joule

6 功、能量和功率

如果 F 與 s 方向相同，

$$W = Fs \cos 0^\circ = Fs > 0$$

如果 F 與 s 方向相反，

$$W = Fs \cos 180^\circ = -Fs < 0$$

由此可見， $W > 0$ 時，物體會獲得能量（力對物體作功）； $W < 0$ 時，物體會失去能量（物體為克服力而作功）。

以數式表示，

$$\theta < 90^\circ \Rightarrow \cos \theta > 0$$

$$\Rightarrow W > 0$$

$$\theta > 90^\circ \Rightarrow \cos \theta < 0$$

$$\Rightarrow W < 0$$

c 力與位移不平行

如果力 F 不是與物體的位移 s 平行，則力只有沿位移方向的分量 F_{\parallel} 才會對物體作功。設力與位移之間的夾角為 θ （圖 6.1f），

$$W = F_{\parallel}s = (F \cos \theta)s = Fs \cos \theta$$

$$W = Fs \cos \theta$$

要知道斜向的力對物體作功後，物體獲得還是失去能量，只要依前述方法，看看 F_{\parallel} 和 s 的方向便可分曉。

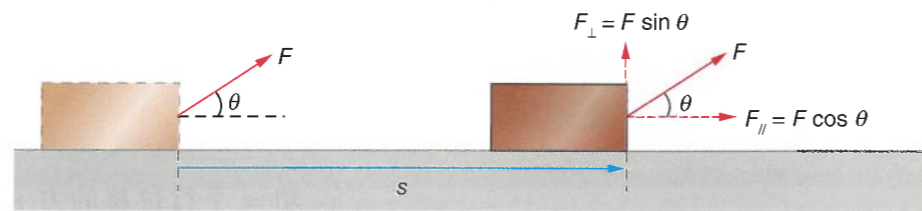


圖 6.1f 作用於物體的力並非與位移平行

綜合以上討論，我們可以知道以下各情況都沒有作功（表 6.1a）。

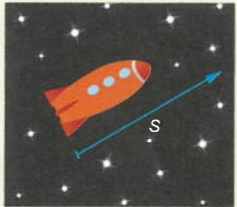
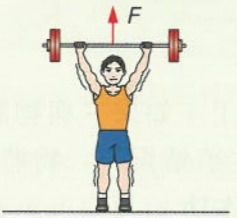
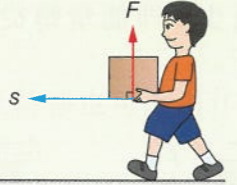
沒有作功的情況	原因
	太空船在外太空以恆速度飛行時，沒有力對它作功。 $F = 0$
	舉重選手舉着槓鈴靜止不動時，沒有對槓鈴作功。 $s = 0$ 他從地面舉起槓鈴至頭頂時會對槓鈴作功。
	男孩提着箱子以恆速度行走時，沒有對箱子作功。 $\theta = 90^\circ$ ($\cos \theta = 0$)

表 6.1a 沒有作功的情況

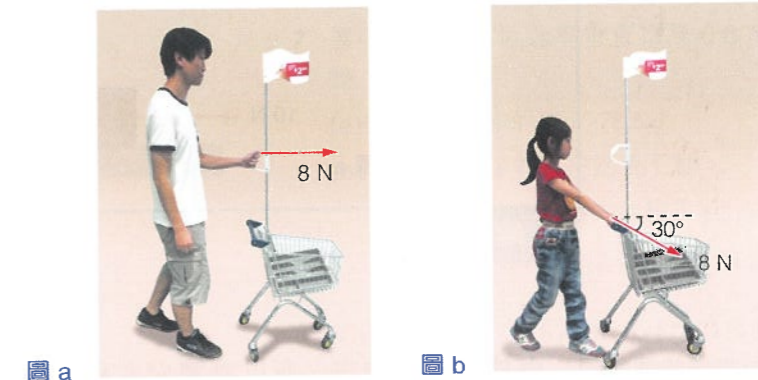
可用另一例子說明這概念：汽車撞上牆壁後停下。雖然牆壁對汽車施加非常大的力，但因為施力點沒有位移，所以這道力沒有做功。汽車由極大量粒子組成，當汽車在撞擊中變形，粒子之間的力會作功，令汽車的動能轉換為內能。

同一道理，起點的男孩提着大南瓜靜止不動，所以沒有把能量轉移給南瓜。

他舉着槓鈴不動時，體內各個肌肉纖維會重複收縮，過程中會作功。所以即使他靜止不動，也會感到疲倦。

例題 1 對手推車作功

圖 a 的男人以 8 N 的水平力推購物車，圖 b 的女孩同樣以 8 N 的力推購物車，但力的方向與水平成 30° 。假設兩人的購物車都前進了 5 m，求男人和女孩對購物車所作的功。



男人和女孩都作了功，他們的化學能轉換為自身和手推車的動能。

題解

$$\text{男人所作的功} = Fs = 8 \times 5 = 40 \text{ J}$$

$$\text{女孩所作的功} = Fs \cos \theta = 8 \times 5 \cos 30^\circ = 34.6 \text{ J}$$

習題與思考 6.1 Q8 (p.213)

2 總功

物體可能同時受多道力作用，要知道這些力對物體的總效應，就要找出力所作的總功（即物體能量的總變化）。這些力有的會把能量轉移到物體上，有的則把能量從物體轉移到其他地方。總功等於上述兩種能量轉移的差，亦等於淨力所作的功。

例如在圖 6.1g 中，力 F_1 、 F_2 、 F_3 作用於方塊，期間方塊的位移是 2 m。 F_1 和 F_2 把能量轉移到方塊， F_3 則把方塊的能量轉移到其他地方，因此，

$$\text{總功 } W = 10 \times 2 + 5 \times 2 - 3 \times 2 = 24 \text{ J}$$

另一方面，取向右為正，

$$\text{作用於方塊的淨力 } F = 10 + 5 - 3 = 12 \text{ N}$$

$$F \text{ 所作的功} = 12 \times 2 = 24 \text{ J}$$

這個結果等於總功 W 。

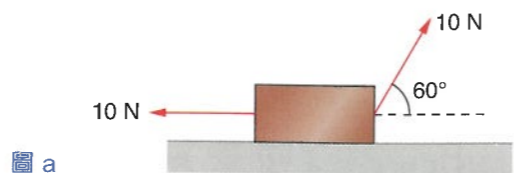


圖 6.1g 多道力對方塊作功

加熱和作功都會轉移能量。本冊書只考慮作功導致的能量轉移。

例題 2 物體獲得的能量

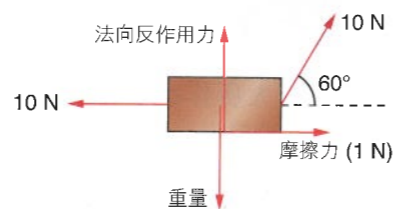
如圖 a 所示，物體受兩道 10 N 的力作用，由靜止開始沿粗糙水平面移動。作用於物體的摩擦力是 1 N。對物體所作的總功是 8 J 時，物體的位移是多少？



題解

取向左為正。

由於淨力指向左，所以物體向左移動，作用於物體的摩擦力則指向右（圖 b）。



沿水平的淨力 $F_{\parallel} = 10 - 10 \cos 60^\circ - 1 = 4 \text{ N}$ (指向左)

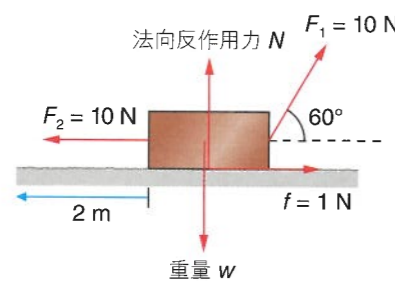
$$\begin{aligned} \text{總功} &= F_{\parallel} s \\ 8 &= 4s \\ s &= 2 \text{ m} \end{aligned}$$

物體的位移是 2 m (向左)。

▶ 進度評估 1 Q1 (p.212)

進度評估 1 ✓ 題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.208)。

3 1 參考例題 2 中的物體 (圖 a)。它向左移動了 2 m。



完成下表。

功	大小	物體獲得還是失去能量？
由 F_1 導致	10 J	- 失去能量
由 F_2 導致	20 J	+ 獲得能量
由 f 導致	2 J	- 失去能量
由 N 導致	0	○ 能量不變
由 w 導致	0	○ 能量不變
總功	8 J	+ 獲得能量

習題與思考 6.1 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.208)。

取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ 。

- 以下哪一道力 **沒有** 作功？
 - A 在粗糙地面拉動袋子的力
 - B 纜索向上拉動升降機的張力
 - C** 晾衣繩子的張力
 - D 雪橇從斜坡滑下時所受的摩擦力
- 下列哪一項 **不是** 功的單位？
 - A J
 - B** J s^{-1}
 - C N m
 - D $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$
- 下列哪項有關功的敘述是正確的？
 - (1) 功是標量。
 - (2) 功是由力所導致的能量轉移。
 - (3) 如果物體移動時受力作用，這力必定會作功。
 - A 只有 (2)
 - B** 只有 (1) 和 (2)
 - C 只有 (1) 和 (3)
 - D (1)、(2) 和 (3)
- 一道向上的力量值為 1.2 N，作用於氦氣球上，令它沿傾斜的天花板移動 (圖 a)。

- 井內有一桶水，質量為 9 kg，村民以恆速度把它垂直拉起。如果拉力作了 500 J 的功，該桶水的移動距離是多少？ **5.66 m**
- 展明把箱子以恆速率垂直抬高 0.8 m，箱子的質量是 10 kg。
 - (a) 求展明所作的功。 **78.5 J**
 - (b) 隨後，他捧着箱子站着不動。
 - (i) 求他在 2 分鐘內對箱子所作的功。 **零**
 - (ii) 如果他長時間捧着箱子，會感到疲倦嗎？ **會**
- 如圖 c 所示，志輝拉着 10 kg 的雪橇走了 1.6 m，期間施於雪橇的力量值為 15 N，方向與水平成 50° 角。他對雪橇作了多少功？ **15.4 J**



圖 c

- 玉嬋推着質量為 15 kg 的嬰兒車，以恆速度沿平路走了 5 m (圖 d)。她施於嬰兒車的力量值為 12 N，方向與水平成 40° 角。

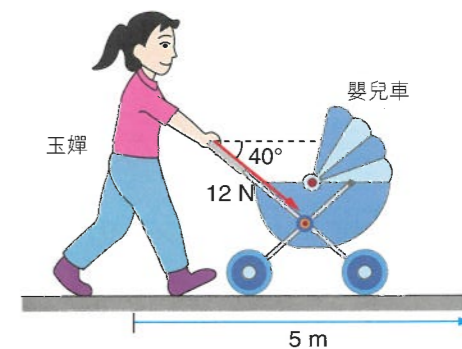


圖 d

當氣球沿天花板移動了 0.5 m，這道力作了多少功？

- A** 0.386 J
- B 0.460 J
- C 0.600 J
- D 0.715 J

- 木塊置於粗糙的水平面上，受 8 N 的力 F 作用，並移動了 3 m。作用於木塊的摩擦力 f 為 4 N。所有作用於木塊的力，共作了多少功？ **12 J**

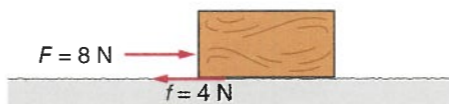


圖 b

- 繪畫嬰兒車的隔離體圖。
- 求作用於嬰兒車的摩擦力。 **9.19 N**
- 對嬰兒車作的總功是多少？ **零**
- 嬰兒車獲得了多少能量？ **零**

6.2

動能與勢能

✓ 本節重點

- 1 動能
- 2 勢能

起點 誰獲得較多勢能



錦明與浩基質量相等，他們以不同方法從地面爬上滑梯，到達滑梯頂部時，誰獲得較多勢能？[▶ 參看第217頁。](#)

模擬程式 6.1

→ **模擬程式 6.1** 讓學生向玩具車施力，令玩具車在無摩擦力的軌道上移動，並找出對玩具車所作的功與玩具車動能變化的關係。

1 動能

移動的物體具有動能。物體移動得愈快，動能愈大。

在圖 6.2a 中，恆力 F 作用於光滑水平面上的箱子，在淨力 ($= F$) 作用下，箱子從靜止勻加速至速度 v ，過程中箱子的位移為 s 。

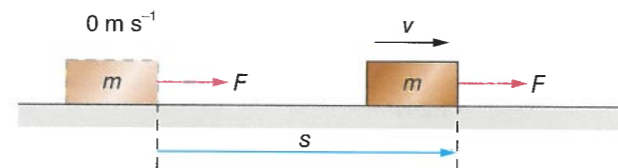


圖 6.2a 力 F 使物體移動 s 的位移

淨力移動箱子並對箱子作功，因此有能量轉移到箱子。淨力所作的功 W 成為箱子獲得的動能。

$$\begin{aligned} W &= Fs \\ &= (ma) \left(\frac{v^2}{2a} \right) \\ &= \frac{1}{2} mv^2 \end{aligned}$$

對於勻加速運動，
 $v^2 = u^2 + 2as$
 $u = 0 \Rightarrow s = \frac{v^2}{2a}$

動能的變化不等於 $\frac{1}{2}m(v-u)^2$ 。

技巧分析

草繪 KE 對 v 的關係線圖因為 $KE \propto v^2$ ，所以 KE 對 v 的關係線圖是一條向上彎的曲線。

下表可以幫助我們草繪線圖。

v	KE
v_0	K
$2v_0$	$4K$
$3v_0$	$9K$

以平滑曲線連起這些點，就可以得到圖 6.2b 的線圖。

▶ 「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

方程的右面是物體獲得的動能。據此，我們定義質量為 m 的物體以速度 v 移動時，它的動能 (KE) 是

$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$

當物體的速度由 u 變為 v ，

$$\text{動能的變化} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2 = \frac{1}{2}m(v^2 - u^2)$$

注意：

- 1 物體的動能與質量 (m) 和速度的平方 (v^2) 成正比，質量增至兩倍時，動能也增至兩倍；但速度增至兩倍時，動能則增至四倍 (圖 6.2b)。
- 2 動能與速度的方向無關。

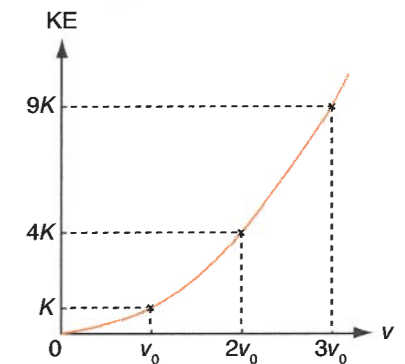


圖 6.2b KE 對 v 的關係線圖 (m 不變)

例題 3 不同物體的動能

求以下物體的動能。

- (a) 質量為 1 kg 的皮球以 10 m s^{-1} 移動
- (b) 質量為 4 g 的子彈以 1080 km h^{-1} 射出 (圖 a)
- (c) 質量為 $3.35 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 的氫分子以 1930 m s^{-1} 移動



圖 a

題解

- (a) 皮球的動能 $= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 10^2 = 50 \text{ J}$
- (b) 子彈的動能 $= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times (4 \times 10^{-3}) \times \left(\frac{1080}{3.6} \right)^2 = 180 \text{ J}$
- (c) 氫分子的動能 $= \frac{1}{2}mv^2$
 $= \frac{1}{2} \times (3.35 \times 10^{-27}) \times 1930^2$
 $= 6.24 \times 10^{-21} \text{ J}$

▶ 進度評估 2 Q1 (p.216)

移動得快的物體不一定比移動得慢的物體具有較高動能，物體的動能也受質量影響。

例題 4 動能變化與淨力

汽車沿水平直路勻加速，速率由 30 km h^{-1} 增加至 50 km h^{-1} ，所經過的距離是 15 m 。已知汽車的質量是 1600 kg ，求它加速時所受的淨力。

題解

淨力所作的功 = 動能的變化

$$Fs = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2$$

$$\Rightarrow F = \frac{1}{2s}m(v^2 - u^2) = \frac{1}{2 \times 15} \times 1600 \left[\left(\frac{50}{3.6}\right)^2 - \left(\frac{30}{3.6}\right)^2 \right] = 6580 \text{ N}$$

汽車所受的淨力是 6580 N 。

▶ 進度評估 2 Q2 (p.216)

進度評估 2 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.214)。

- 1 電子的動能是 $2.17 \times 10^{-18} \text{ J}$ ，質量是 $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 。它的速率是多少？
 $2.18 \times 10^6 \text{ m s}^{-1}$
- 2 男孩推了一下，玩具車便在水平的地面上沿直線移動。玩具車的質量為 500 g ，初速率為 80 cm s^{-1} ，所受的摩擦力為 0.4 N 。玩具車移動了 30 cm 後，速率是多少？
 0.4 m s^{-1}

2 勢能

勢能有不同種類，以下會介紹兩種：**彈性勢能 (EPE)** 和 **重力勢能 (GPE)**。

a 彈性勢能

拉長、擠壓或扭曲物體時，它所具有的能量稱為**彈性勢能** (圖 6.2c)。



圖 6.2c (i) 拉長的橡筋、(ii) 壓扁的足球、(iii) 彎曲的長桿都具有彈性勢能

舉例來說，把橡筋拉長，橡筋便獲得**彈性勢能**，拉得愈長，儲存的能量便愈多。橡筋回復原來的長度時，**彈性勢能**會轉化為其他形式的能量。

彈性勢能隨彈性物體拉長、擠壓或扭曲的幅度而增加。

→ 模擬程式 6.2 讓學生將物體垂直提起，並找出對物體所作的功與物體重力勢能變化的關係。

模擬程式 6.2

如果提起物體的力與物體的重量互抵銷，作用於物體的淨力便是零，因此，物體不會加速，動能也不會改變。

重力勢能常簡稱為**勢能**或 **PE**。

▶ 課文假設物體以恆速度從地面開始上升，學生或會對此感到困惑。老師可在黑板上畫兩條水平線，取下方的線作參考高度，然後從兩線以下開始，以恆速度提起書本，並着學生集中觀察書本在兩線之間的運動。

b 重力勢能

重力勢能是物體在重力作用下所具有的能量，大小隨物體的位置而改變。當物體移到較高的位置，它的重力勢能便會增加 (圖 6.2d)。

▶ 假設質量為 m 的物體受力 $F (= mg)$ 作用，以恆速度從地面上升至高度 h (圖 6.2e)， F 對物體作功，轉移到物體的能量成為它獲得的**勢能 (PE)**。

$$W = Fs = mg \times h = mgh$$



圖 6.2d 重物上升時會獲得勢能

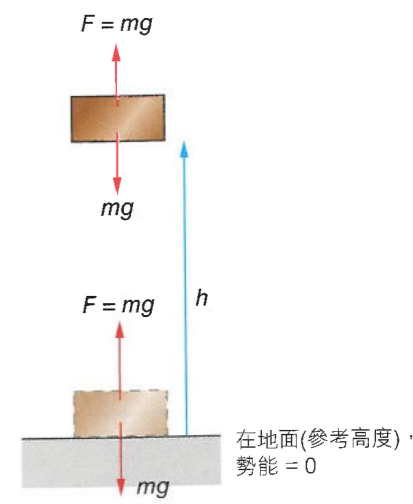


圖 6.2e 物體上升至高度 h

若以地面為參考高度，即取物體在地面的勢能為零，則物體在高度 h 的勢能就是：

$$PE = mgh$$

注意：

- 1 可任意選取參考高度。對於任何參考高度，公式 $PE = mgh$ 都適用 (見第 218 頁例題 5)。
- 2 物體勢能的變化與參考高度無關。
- 3 物體的勢能取決於它克服重力而上升的高度，而非實際的移動距離。

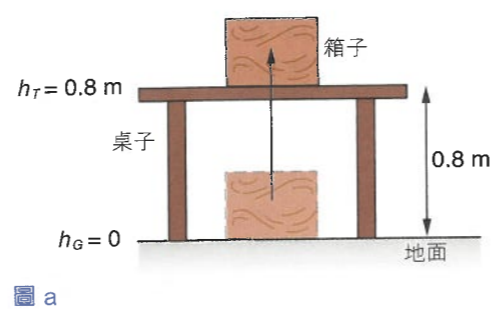
物體的勢能會隨參考高度改變，所以不太重要，重要的是勢能的變化，即有多少能量轉換了形式。

▶ 因此，起點中的兩個男孩獲得相同的勢能。勢能的變化與移動的路徑無關。

例題 5 箱子的勢能

永康把質量為 2 kg 的箱子由地面提上桌面，桌面離地 0.8 m (圖 a)。取箱子在地面的勢能為零。

- 求箱子在 (i) 地面、(ii) 桌面時的勢能。
- 箱子由地面上升至桌面時，獲得多少勢能？
- 現在取箱子在桌面的勢能為零，(a)、(b) 部的答案會有甚麼變化？



題解

- (i) 箱子在地面的勢能 = $mgh_G = 2 \times 9.81 \times 0 = 0$
 (ii) 箱子在桌面的勢能 = $mgh_T = 2 \times 9.81 \times 0.8 = 15.7 \text{ J}$
- 獲得的勢能 = $mgh_T - mgh_G = mg(h_T - h_G) = 2 \times 9.81 \times 0.8 = 15.7 \text{ J}$
- 地面現處於參考高度以下 0.8 m，即 $h_G = -0.8 \text{ m}$ 。
 箱子在地面的勢能 = $mgh_G = 2 \times 9.81 \times (-0.8) = -15.7 \text{ J}$
 箱子在桌面的勢能 = $mgh_T = 2 \times 9.81 \times 0 = 0$
 (a) 部的答案變得較小。
 獲得的勢能 = $mgh_T - mgh_G = mg(h_T - h_G) = 2 \times 9.81 \times 0.8 = 15.7 \text{ J}$
 (b) 部的答案維持不變。

▶ 進度評估 3 Q2 (p.218)

進度評估 3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.214)。

- 2 1 詠芝和曉林分別乘搭巴士和山頂纜車到山頂 (圖 a)。如果二人的質量相等，誰獲得較多勢能？
相同



圖 a

- 2 2 如圖 b 所示，寶儀滑下滑梯。若她的質量為 20 kg，她損失了多少勢能？ 392 J
 [提示：損失的勢能 = $mgh = ?$]

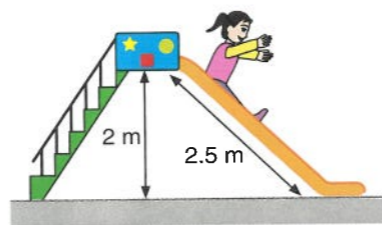


圖 b

習題與思考 6.2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.214)。

- 2 1 惠芳去遠足，走了 5 km 的路程後，所處的位置比起點高 150 m。若她的質量為 50 kg，她的重力勢能增加了多少？
 A 7500 J
 B 73 600 J
 C $2.5 \times 10^5 \text{ J}$
 D $2.45 \times 10^6 \text{ J}$

- 1★ 2 警察正在追捕賊人。賊人的質量是警察的 2 倍，但兩者的動能相等。求警察與賊人的速率比。

- A $1:\sqrt{2}$ B 1:2
 C $\sqrt{2}:1$ D 2:1

- 1★ 3 下列哪項有關動能的敘述是正確的？

- 物體的動能可以是負數。
- 較快的物體總比較慢的物體具有較高動能。
- 物體若靜止不動，動能就必定等於零。

- A 只有 (3)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

- 2★ 4 下列哪項有關勢能的敘述是正確的？

- 可以任意選取物體勢能為零的參考高度。
- 當物體從一處移動到另一處，它的勢能變化與移動的路徑無關。
- 位置較高的物體必定比位置較低的物體具有較多勢能。

- A 只有 (2)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

- 2 5 一道力把彈簧拉長 (圖 a)，所作的功會儲存到彈簧內，成為彈簧的彈性勢能。若以平均為 12 N 的力把彈簧拉長 8 cm，會有多少能量儲存到彈簧內？

0.96 J



圖 a

- 1 6 蒼蠅的動能是 $5 \times 10^{-4} \text{ J}$ ，質量是 80 mg，求牠的飛行速率。 3.54 m s⁻¹

- 1★ 7 一道 20 N 的力作用於粗糙水平面上的箱子，這道力與水平的夾角為 30° (圖 b)。箱子與平面之間的摩擦力為 10 N。這道力把箱子拉動 4 m 後，箱子的動能增加了多少？ 29.3 J

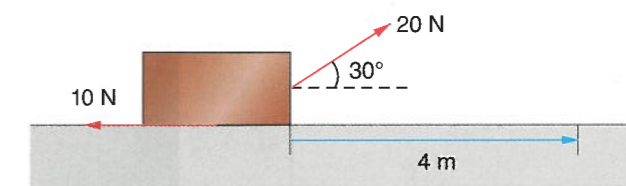


圖 b

- 2★ 8 志毅的質量是 75 kg。他從懸崖頂部跳進海裏 (圖 c)。取他在水面的勢能為零。



圖 c

志毅站在懸崖頂部時，勢能為 15 kJ。他跳進水裏後，最低到達水面以下 4 m 的深度。

- 求懸崖的高度。 20.4 m
- 求志毅降至水面以下最低點時的勢能。 -2940 J
- 求志毅在跳水過程中勢能的最大變化。 -17 900 J
- 假如取志毅在懸崖頂部的勢能為零，(c) 部的答案會有甚麼改變？ 不變

- 2★ 9 一物體從靜止垂直下墜。

- 草繪線圖，顯示物體的勢能 (PE) 怎樣隨移動的距離 (d) 變化。
- (i) 草繪 PE 對時間 t 的關係線圖。
 (ii) 在同一幅圖上，草繪當物體的質量減半，PE 對 t 的關係線圖。

6.3

能量轉換與能量守恆

起點 過山車

你坐過過山車嗎？為甚麼過山車不需要發動機，卻能沿路軌上落，更能垂直繞圈？ 參看第 229 頁。



✓ 本節重點

- 1 能量守恆 (機械能守恆)
- 2 能量守恆 (機械能不守恆)

模擬程式 6.3

→ 模擬程式 6.3 讓學生利用彈簧將小球彈上半空，並找出小球上升和下降時的能量轉變。

1 能量守恆

第 1 冊討論過「混合」過程中的能量守恆，例如熱茶和冰塊混合時 (圖 6.3a)，各自的內能會改變，但它們的總內能卻保持不變 (假設它們跟周圍環境沒有能量轉移)。冰塊獲得的能量相等於熱茶損失的能量。



圖 6.3a 熱茶與冰塊混合

在其他能量轉移的過程中，能量也守恆嗎？試考慮圖 6.3b (見 p.221) 中女孩跳彈牀時的動能與勢能。

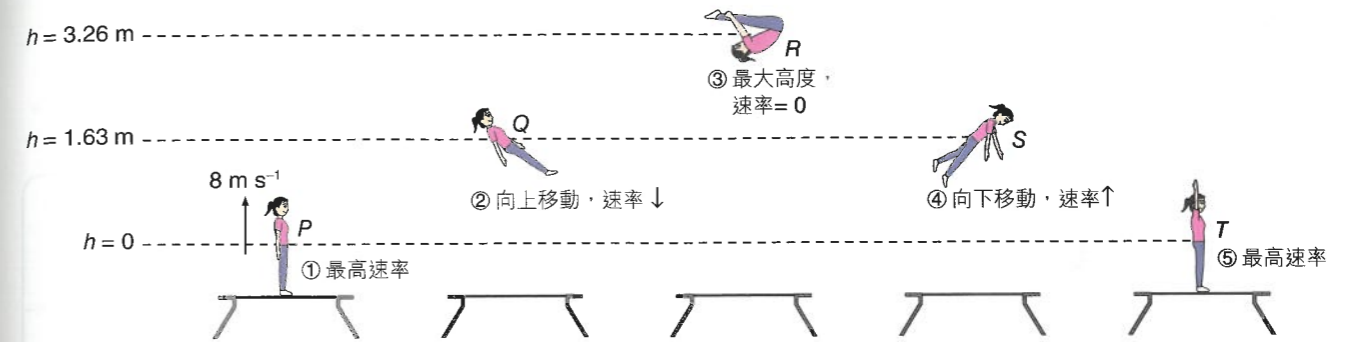


圖 6.3b 跳彈牀時的速率變化

高度 h 從 P 點開始量度， 取向上為正。在 P 點 ($h = 0$)，女孩以 $+8 \text{ m s}^{-1}$ 的速度離開彈牀。假設空氣阻力可略去不計，利用運動方程，可找出女孩在不同高度的速率，從而比較她在不同位置的動能和勢能 (表 6.3a)。

位置	h / m	$v / \text{m s}^{-1}$	KE / J	PE / J	KE + PE / J
P	0	+8	1440	0	1440
Q	1.63	+5.66	720	720	1440
R	3.26	0	0	1440	1440
S	1.63	-5.66	720	720	1440
T	0	-8	1440	0	1440

表 6.3a 女孩能量的變化 (女孩的質量為 45 kg)

在空中的不同位置，女孩動能與勢能的總和都保持不變 (圖 6.3c)。

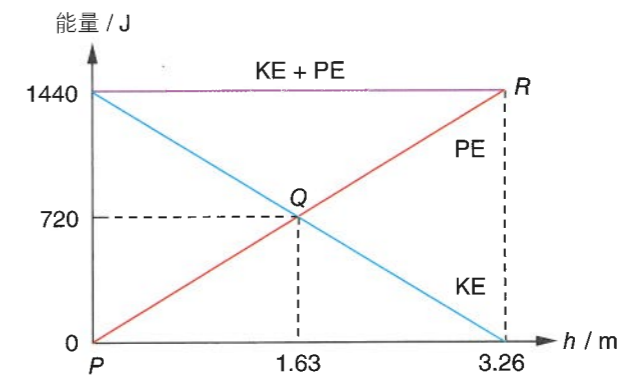


圖 6.3c KE 和 PE 對 h 的關係線圖 (由 P 至 R)

以上是**能量守恆定律**的例子，這定律指出：

能量可以從一種形式轉換為另一種形式，但能量既不可能創造出來，也不可能被毀滅。

運用能量守恆定律，可找出不同過程的能量變化，有助了解這些過程。

可以使用以下方法，草繪圖 6.3c。

$$PE = mgh \propto h$$

\therefore PE 對 h 的圖線是一條穿過原點的直線。

總機械能 $E (= KE + PE)$ 保持不變。

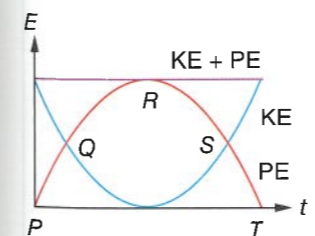
\therefore E 對 h 的圖線是一條水平線。

$$KE = E - PE = E - mgh$$

\therefore KE 與 h 是線性關係， $h = 0$ 時，KE 為最大值 E 。

留意圖中的 x 軸是 h ，不是 t 。

她的 $E-t$ 關係線圖如下：



這線圖根據以下方程繪出。

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(u - gt)^2$$

$$PE = E - KE$$

錄像片段 6.1

→ 錄像片段 6.1 展示能量守恆的另一例子：魔術罐。

技巧分析

能量守恆與運動方程

前面的章節應用運動方程解題，其實，只要題目不涉及時間，應用能量守恆定律也可求得答案。因為能量是標量，所以應用能量守恆定律時不必考慮方向。此外，即使物體的加速度並非恆定，能量守恆定律也適用。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

2 例子：動能與勢能的總和恆定不變

在很多情況中（例如跳彈牀），系統的能量只會在動能與勢能之間轉換。

例題 6 垂直上拋的木圈

藝術體操運動員以 7 m s^{-1} 的速率垂直拋起木圈，然後再把它接回（圖 a）。假設空氣阻力可略去不計。



圖 a

- (a) 木圈離開運動員的手後，上升了多高？
 (b) 木圈在以下時刻的速率是多少？
 (i) 從最高點下跌了 1 m
 (ii) 回到運動員拋出它的位置

題解

- (a) 從拋出的位置到最高點（圖 b）：

$$\begin{aligned} \text{損失的動能} &= \text{獲得的勢能} \\ \frac{1}{2}mv^2 &= mgh \\ \Rightarrow h &= \frac{v^2}{2g} = \frac{7^2}{2(9.81)} = 2.50 \text{ m} \end{aligned}$$

木圈上升了 2.50 m。

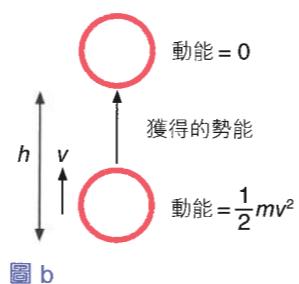


圖 b

- (b) (i) 從最高點下跌 1 m（圖 c）：
 獲得的動能 = 損失的勢能

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mv^2 &= mgh \\ \Rightarrow v &= \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.81 \times 1} = 4.43 \text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

木圈的速率是 4.43 m s^{-1} 。

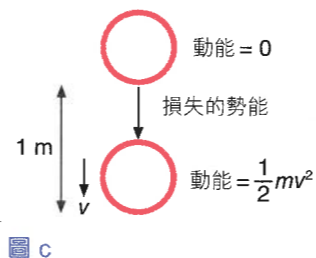


圖 c

- (ii) 根據能量守恆定律，木圈回到原來的高度時，末動能等於初動能，所以速率是 7 m s^{-1} 。

▶ 進度評估 4 Q2 (p.227)

a 單擺

物體的加速度並非恆定時，動能與勢能有甚麼關係？我們可用單擺來找出答案。

將單擺的重物拉到一旁然後放手，重物便會來回擺動。重物並不是均勻地擺動的，它到達最低點時速率最高，到達兩旁的最高點時則是瞬時靜止。

→ 錄像片段 6.2 示範實驗 6a。

錄像片段 6.2

實驗 6a 單擺的能量轉換

- 1 如圖 a 所示裝置實驗儀器。確保重物到達最低點時會通過光閘。
- 2 將重物拉到一旁，量度它距離最低點的高度 h （圖 b）。



圖 a

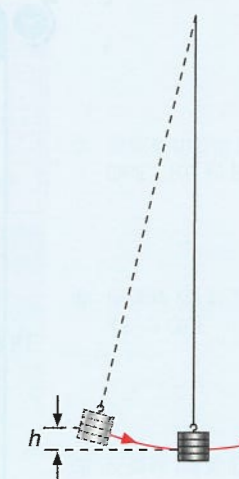


圖 b

- 3 開始記錄數據，然後放開重物。
- 4 記錄重物通過光閘所需的時間 t 。
- 5 量度重物的直徑 d 和質量 m 。重物經過最低點時的速率 v 等於 $\frac{d}{t}$ 。
- 6 計算重物在最低點的動能。
- 7 計算重物由最高點移動到最低點時，損失了多少勢能。

討論

- 1 重物損失的勢能是否等於它獲得的動能？是
- 2 試舉出兩個誤差來源。空氣阻力 / 量度 h 和 d 時的誤差 / 重物並非垂直通過光閘
- 3 如果改用較輕的重物，對實驗結果會有甚麼影響？
空氣阻力對重物運動的影響會較大，實驗所量得的 v 因而較小。

重物來回擺動時，它的勢能與動能不斷互相轉換（圖 6.3d，見 p.224）。若沒有空氣阻力作用，動能與勢能的總和會一直保持不變。

模擬程式 6.4

→ 模擬程式 6.4 顯示單擺運動時的能量轉變，學生可控制重物的初始位置。

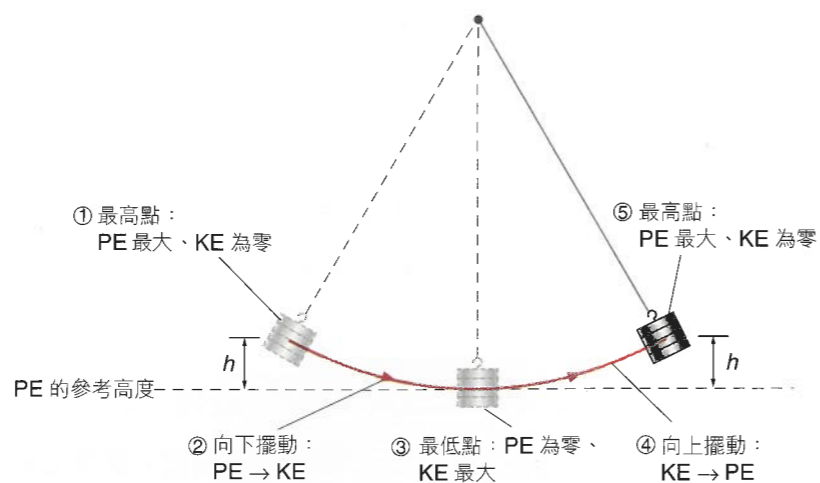
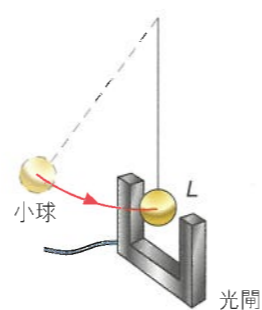


圖 6.3d 單擺的能量轉換

例題 7 擺球的速率

振豪用繩懸起直徑為 2 cm 的小球，製成單擺，並以光閘量度小球經過最低點 L 時的速率（圖 a）。他把小球拉向左，直至它比 L 點高 3 cm 便放手。小球通過光閘所需的時間為 0.024 s。



- 估算小球經過 L 點時的速率 v 。
- 利用 (a) 部的答案，估算小球到達的最大高度。
- 小球的初位置低於 (b) 部的答案，試寫出一個原因。

題解

(a) $v = \frac{0.02}{0.024} = 0.833 \text{ m s}^{-1}$

(b) 當小球從最低點移動至最高點，

獲得的勢能 = 損失的動能

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\Rightarrow \text{最大高度} = \frac{v^2}{2g} = \frac{0.833^2}{2 \times 9.81} = 0.0354 \text{ m}$$

(c) 小球經過 L 點時，中心點未必會經過光閘射出的光束，所以小球遮擋光束的部分可能比直徑短，導至光閘量得的時間較短， v 的值較大，(b) 部的答案因而比實際高度大。

▶ 複習 Q39 (p.248)

以下的計算正確嗎？

$$v^2 = u^2 + 2as$$

$$0 = 0.833^2 + 2(-9.81)h$$

$$h = 0.0354 \text{ m}$$

不正確！為甚麼？

擺球移動時，加速度會改變，所以不可以應用運動方程。

空氣阻力只會導致計算結果比實際數值小，因此並非本題的答案。

b 「笨豬跳」

以下是一段笨豬跳的影片。笨豬跳是一項非常刺激的活動。參加者只在身上綁一條具彈性的繩索，便從極高的地方跳下（圖 6.3e）。

<http://www.youtube.com/watch?v=9mbf7M5xiuY>



彈性繩索會阻止參加者一直下墜。隨着繩索拉長，它所儲存的彈性勢能 (EPE) 變得愈來愈多。圖 6.3f 顯示過程中的能量轉換。取起跳點的重力勢能 (GPE) 為零。

如果各種阻力（例如空氣阻力）都可略去不計，則

$$GPE + KE + EPE = \text{常數}$$

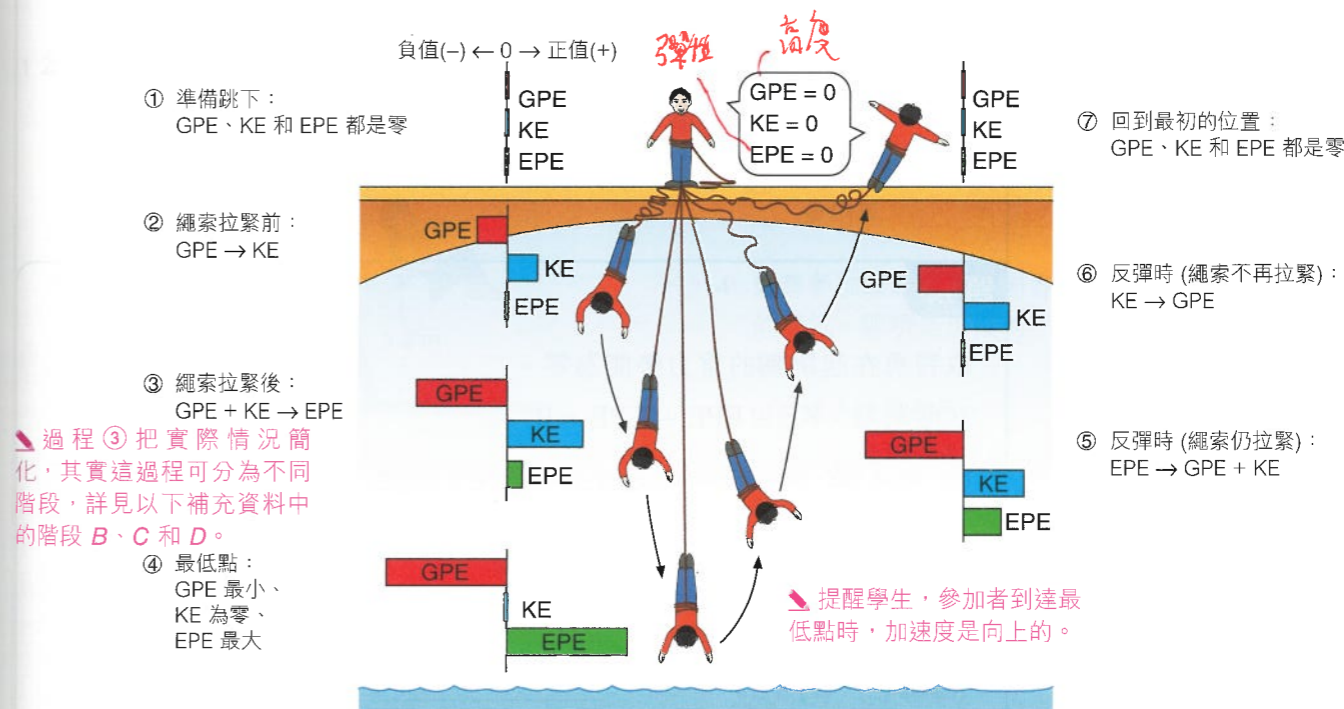


圖 6.3f 在笨豬跳時 GPE、KE 和 EPE 的轉換



圖 6.3e 笨豬跳

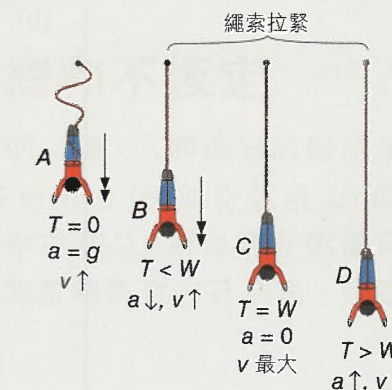
補充資料 笨豬跳中的運動

在 A 點，繩索尚未拉緊，所以 $T = 0$ ，參加者因本身的重量 W 而以 g 向下加速。

繩索在 B 點開始拉緊，延伸的幅度愈大，張力 T 愈大。延伸的幅度不大時， $T < W$ ，淨力 ($W - T$) 指向下，參加者的速率持續上升。他繼續下跌時， T 會愈來愈大，他的加速度量值便愈來愈小。

在 C 點， $T = W$ ，他的加速度變為零，速率達到最大值，他因慣性而繼續下跌。

在 D 點， $T > W$ ，淨力指向上，所以他會減慢（向上加速），直至到達最低點。在那處，他暫時靜止，且 T 達到最大值。



例題 8 笨豬跳

智勇在澳門旅遊塔頂層玩笨豬跳(圖 a)。起跳前，他站在離地 233 m 的平台上(圖 b)，身上綁着一條具彈性的繩索。他的質量為 70 kg，繩索拉緊前的長度為 50 m。假設跳躍期間動能和勢能的總和保持不變。

- (a) X 點在起跳點以下 50 m。求智勇到達 X 點時的速率。
- (b) 智勇到達離地面 33 m 的 Y 點時，速率是 9.95 m s^{-1} 。在這一刻繩索儲存了多少能量？



題解

取智勇在起跳點的重力勢能為零。
在起跳點， $KE + EPE + GPE = 0$

- (a) 在 X 點， $h = -50 \text{ m}$

$$KE + EPE + GPE = 0$$

$$\frac{1}{2}mv^2 + 0 + mgh = 0$$

$$v = \sqrt{-2gh}$$

$$= \sqrt{-2 \times 9.81 \times (-50)}$$

$$= 31.3 \text{ m s}^{-1}$$

智勇的速率是 31.3 m s^{-1} 。

- (b) 在 Y 點， $h = -(233 - 33) = -200 \text{ m}$

$$\frac{1}{2}mv^2 + EPE + mgh = 0$$

$$EPE = -mgh - \frac{1}{2}mv^2$$

$$= -70 \times 9.81 \times (-200) - \frac{1}{2} \times 70 \times 9.95^2$$

$$= 134\,000 \text{ J}$$

繩索儲存了 134 000 J 能量。

▶ 複習 Q33 (p.247)

因為動能和勢能的總和保持不變，所以無論在任何位置，

$$KE + EPE + GPE = 0$$

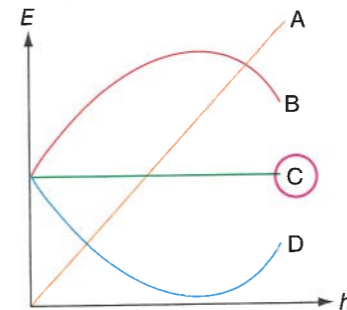
在 X 點，繩索還未拉緊，所以 $EPE = 0$ 。

提醒學生使用這方法時，必須分清楚 GPE 的正負值。學生也可用以下方法解題：
損失的 GPE = 獲得的 KE + 獲得的 EPE

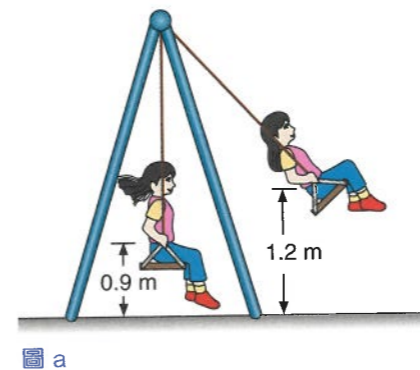
進度評估 4

各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.220)。

- 1 1 世平把籃球垂直向上拋出。假設空氣阻力可略去不計。下列哪一條圖線正確顯示籃球動能和勢能的總和 (E) 隨所處高度 (h) 的變化？



- 1 2 圖 a 顯示女孩盪鞦韆時所到達的最低點與最高點。



過程中，女孩的最高速率是多少？

A $\sqrt{2 \times 9.81 \times 1.2} \text{ m s}^{-1}$

B $\sqrt{2 \times 9.81 \times 0.9} \text{ m s}^{-1}$

C $\sqrt{2 \times 9.81 \times (1.2 - 0.9)} \text{ m s}^{-1}$

D 無法確定，因為女孩的質量為未知數。

PE → KE
 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$
 $v = \sqrt{2gh}$

- 1 3 如圖 b 所示，小球 X 和 Y 從靜止沿光滑斜面滑下。兩個斜面的高度相同。

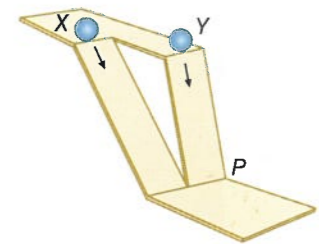


圖 b

下列哪點項敘述是正確的？

- A 在 P 點，X 的速率比 Y 高。
- B 在 P 點，Y 的速率比 X 高。
- C 兩個小球的質量相等，在 P 點的速率才會相等。
- D 即使兩個小球的質量不同，在 P 點的速率也會相等。

$v = ut + at$
 $v^2 = u^2 + 2as$
 $s = ut + \frac{1}{2}at^2$

全部都沒有 m

- 1 4 建泰參加笨豬跳。下列各項描述他到達最低點時的情況，哪項是正確的？假設他只沿垂直方向運動。

- (1) 繩子拉得最長。
- (2) 繩子儲存的彈性勢能最多。
- (3) 建泰的動能為零。

- A 只有 (1) 和 (2)
- B 只有 (1) 和 (3)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

3 例子：動能與勢能的總和不恆定

在實際情況，玩笨豬跳時並不會無止境的反彈，人和繩索的總能量似乎並不守恆。出現這個現象，是因為各種阻力(例如空氣阻力)的效應顯著，不可略去不計。克服阻力須要作功 (W_f)，所以部分能量會轉換為繩子、空氣和人的內能。若把這種能量轉換也計算在內，總能量 ($GPE + KE + EPE + W_f$) 便會守恆。

以下例子都要考慮為克服阻力而作的功。

第 1 冊第 2 課提到，加熱或作功都可以增加物體的內能。在這裏，物體的內能因作功而增加。

a 剎車

汽車剎停時，會為克服摩擦力而作功（圖 6.3g），制動器、輪胎和路面因部分動能或會轉換為聲而變熱。過程中，汽車的動能轉換為這些物件的內能。類似的能量轉換也會在飛機降落時發生。



圖 6.3g 汽車緊急剎停時，輪胎的橡膠變熱，在路面留下剎車痕

例題 9 飛機緊急降落時的能量轉換

飛機因輪胎卡住而要緊急降落。它在跑道上滑行 305 m，從 46 m s^{-1} 的速率減速至停下（圖 a）。假設飛機的質量是 60 000 kg。

- 飛機最初的動能是多少？
- 一道摩擦力作用於飛機並使它停下。估算這道力的量值。
- 描述飛機緊急降落時的能量轉換。



圖 a

題解

$$\begin{aligned} \text{(a) 飛機最初的動能} &= \frac{1}{2} mv^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 60\,000 \times 46^2 \\ &= 6.35 \times 10^7 \text{ J} \end{aligned}$$

- (b) 克服摩擦力所作的功 = 飛機損失的動能

$$\begin{aligned} fs &= 6.35 \times 10^7 \\ f \times 305 &= 6.35 \times 10^7 \\ f &= 2.08 \times 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

摩擦力的量值是 $2.08 \times 10^5 \text{ N}$ 。

- (c) 飛機的動能轉換為跑道與飛機的內能，以及聲能和光能。

也可用以下方法解答 (b) 部：

總能量 = KE + W_f = 常數

最初 · KE + W_f = $6.35 \times 10^7 + 0 = 6.35 \times 10^7 \text{ J}$

最後 · KE + W_f = $0 + fs = 305f$

$\therefore 6.35 \times 10^7 = 305f$

$f = 2.08 \times 10^5 \text{ N}$

▶ 進度評估 5 Q1 (p.232)

b 過山車

這解答了起點的問題。▶ 過山車要靠發動機來驅動嗎？既需要又不需要。一般過山車要靠發動機攀登第一個頂峯，但從頂峯沿軌道滑下後，靠勢能與動能互相轉換，便能完成餘下的路程（圖 6.3h）。

→ 模擬程式 6.5 展示木塊沿斜面滑下時的能量轉變。學生可改變斜面的高度及摩擦力。



圖 6.3h 美國 Nitro 過山車。第一個頂峯是整個軌道的最高點

過山車須作功，以克服它與路軌之間的摩擦力。部分能量會轉換為過山車與路軌的內能，以及聲能。

例題 10 過山車的能量轉換

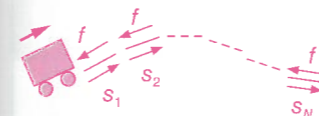
過山車由靜止開始，從第一個頂峯滑下一段 103 m 長的軌道。它的高度下降了 63 m，速度則增至 42.5 m s^{-1} 。

- 過山車的質量是 3000 kg。試估算它從第一個頂峯滑下時的平均摩擦力。
- 隨後，過山車沿着軌道前進，過程中並沒有獲得能量。它能夠到達與第一個頂峯相同的高度嗎？



圖 a

假設物體沿長度為 s 的彎曲路徑移動，克服摩擦力所作的功為 W 。我們可以把路徑分為很多個直線小段，物體行經每個小段時都會為克服摩擦力而作功，這些功的總和便大約等於 W 。



$$\begin{aligned} \text{如果平均摩擦力是 } f, \\ W &= fs_1 + fs_2 + \dots + fs_N \\ &= f(s_1 + s_2 + \dots + s_N) \\ &= fs \end{aligned}$$

物理 DIY

設計過山車

你懂得運用能量守恆的原理設計過山車嗎？它有多安全呢？詳情可瀏覽以下網頁。

<http://www.learner.org/interactives/parkphysics/coaster/>



題解

- (a) 設 f 為作用於過山車的平均摩擦力。

損失的勢能 = 獲得的動能 + 克服摩擦力所作的功

$$mgh = \frac{1}{2} mv^2 + fs$$

$$3000 \times 9.81 \times 93 = \frac{1}{2} \times 3000 \times 42.5^2 + f \times 103$$

$$f = 268 \text{ N}$$

作用於過山車的平均摩擦力是 268 N。

- (b) 不能。過山車為克服摩擦力而作功，部分能量轉換為內能。它行駛的路程愈遠，能夠到達的高度便愈低。

▶ 複習 Q25 (p.245)

6 功、能量和功率

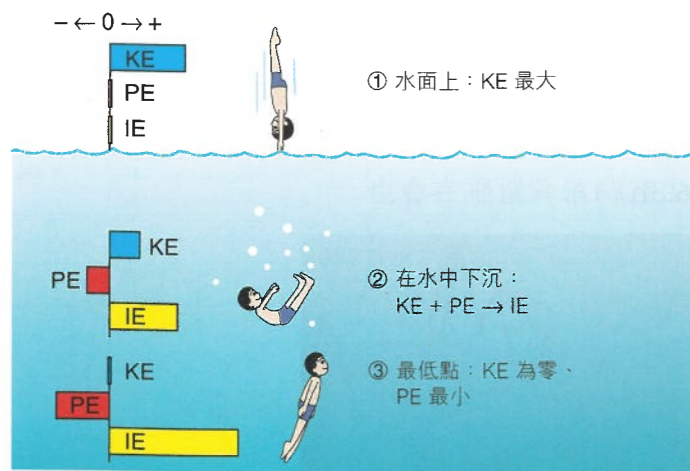


圖 6.3i 跳水時，動能(KE)、重力勢能(PE)和內能(IE)的轉換

c 跳水

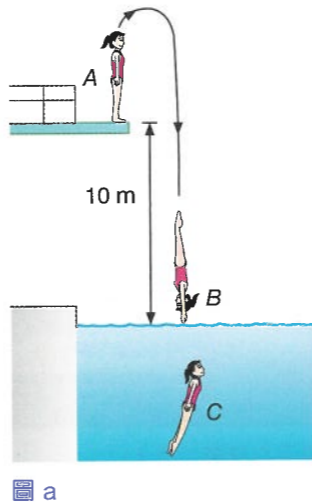
如圖 6.3i 所示，當跳水選手以某初速率進入水中，便會發生一連串能量轉換。

跳水選手在水中下沉時，會為克服水的阻力而作功，他的動能和勢能就會轉換為他和水的內能。

本書不會考慮浮力引致的勢能。

例題 11 高台跳水

質量為 65 kg 的跳水選手站在跳台上的 A 點，與水面的距離為 10 m (圖 a)。隨後，她以初速率 2.5 m s⁻¹ 向上跳起，在 B 點進入水中，然後到達最低點 C。假設空氣阻力可略去不計。



- (a) 若水作用於她的平均阻力 f 為 2800 N，那麼 C 點距離水面多遠？
- (b) 若她從跳台上由靜止開始下墜，到達的最低點會較 C 點深還是淺？試簡單解釋。

題解

(a) 設 s 為 C 點與水面的距離。

由 A 點至 C 點的總位移 = 10 + s

損失的勢能 + 損失的動能 = 克服 f 所作的功

$$mgh + \frac{1}{2}mv^2 = fs$$

$$65(9.81)(10 + s) + \frac{1}{2}(65)(2.5)^2 = 2800s$$

$$s = 3.04 \text{ m}$$

C 點距離水面 3.04 m。

(b) 由於跳水選手在 A 點的能量較低，所以到達的最低點較 C 點淺。

習題與思考 6.3 Q9 (p.233)

水作用於她的向上力由兩道力組成，一道是浮力(量值恆定)，另一道是流體阻力(量值隨速率增加)。

學生或忽略了選手由 B 移動至 C 時所損失的勢能，也可能忽略了選手的初動能。可着學生用運動方程和牛頓定律來解答本題，有些學生可能不知道在水底作用於選手的淨力是 $2800 - mg$ 。

預試訓練 1 兩個物體的運動 ☆ 香港中學會考 2011 年卷一 Q11

學生用不可延伸的輕繩繞過光滑的滑輪，連接粗糙水平面上的木塊 X，以及光滑斜面上的小車 Y，斜面與水平的夾角是 40° (圖 a)。X 的質量是 1.2 kg，Y 的質量是 0.8 kg。學生在時間 t_1 放開手，Y 便從靜止開始滑下斜面，並在時間 t_2 到達斜面的盡頭，期間下降了 50 cm。圖 b 是 X 的 $v-t$ 線圖。

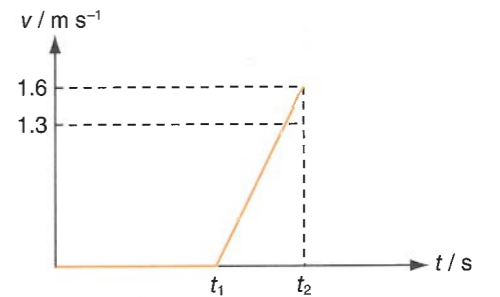
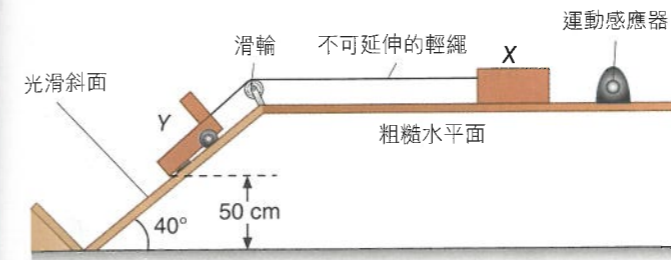


圖 a

圖 b

- (a) Y 在 t_2 的速率是多少？ (1 分)
- (b) 由 t_1 至 t_2 ，X 和 Y 的移動距離是多少？ (1 分)
- (c) 求 X 與水平面之間的摩擦力。 (3 分)
- (d) 描述並解釋 X 在 t_2 之後的運動。 (2 分)

題解

(a) 1.6 m s⁻¹

1A X 和 Y 以不可延伸的輕繩連接，所以速率相同。

(b) 設 Y 由 t_1 至 t_2 的移動距離為 s 。

$$s \sin 40^\circ = 0.5$$

$$s = 0.778 \text{ m}$$

X 和 Y 的移動距離都是 0.778 m。

1A 常見錯誤 學生或未用 $s \sin \theta$ 去計算 s 的值。

(c) 考慮在 t_1 至 t_2 之間的運動。

Y 損失的勢能 = X 和 Y 獲得的動能 + 克服摩擦力所作的功

$$m_Y gh = \frac{1}{2}(m_X + m_Y)v^2 + fs$$

$$0.8 \times 9.81 \times 0.5 = \frac{1}{2}(1.2 + 0.8)1.6^2 + f \times 0.778$$

$$f = 1.75 \text{ N}$$

X 與水平面之間的摩擦力是 1.75 N。

1M + 1M 常見錯誤 學生可能會忘記考慮 Y 的動能，誤以為 Y 損失的勢能等於 X 的動能與克服摩擦力所作的功的總和。學生或嘗試利用牛頓第二定律解題。然而，他們可能誤以為輕繩的張力是 $m_Y g \sin \theta$ 。

(d) 在 t_2 之後，摩擦力是作用於 X 的淨力，

所以 X 會減慢。

1A

1A

複習 Q36 (p.248)

進度評估 5

各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.220)。

21 汽車以 60 km h^{-1} 的恆速率在水平路面上行駛。汽車的質量是 1500 kg 。

(a) 汽車的動能是多少? **208 000 J**

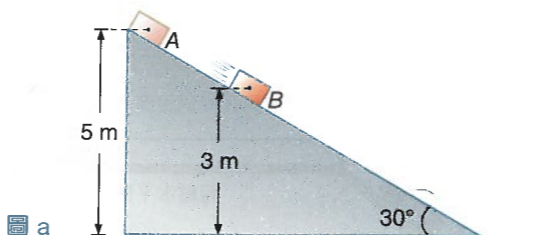
[提示: $60 \text{ km h}^{-1} = ? \text{ m s}^{-1}$

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = ?]$$

(b) 司機發現前方有障礙物,於是立刻剎車,汽車再行駛了 20 m 才停下。求作用於汽車的平均摩擦力。 **10 400 N**

[提示: 損失的動能 = 克服摩擦力所作的功]

22 質量為 1.2 kg 的物體從 A 點由靜止開始滑下斜面(圖 a)。物體與斜面之間的摩擦力是 1.5 N 。求物體在 B 點時的動能。 **17.5 J**



[提示: 損失的勢能 = 獲得的動能 + 克服摩擦力所作的功]

習題與思考 6.3

11 跳彈牀時會涉及下列哪種形式的能量?



圖 a

- (1) 動能
- (2) 重力勢能
- (3) 彈性勢能

- A 只有 (1) 和 (2)
- B 只有 (1) 和 (3)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)**

22 質量為 1500 kg 的汽車在轉彎前由 72 km h^{-1} 減速至 36 km h^{-1} 。若作用於汽車的平均摩擦力是 9000 N , 汽車在減速時的行駛距離是多少?

- A 3 m
- B 25 m**
- C 108 m
- D 324 m

$u = 20 \text{ m s}^{-1}$

$$\Delta KE = W$$

$$\frac{1}{2} \times 1500 \times 20^2 - \frac{1}{2} \times 1500 \times 10^2 = 9000 \cdot s$$

$$s = 25 \text{ m}$$

13 永仁從橋上垂直向下跳入河中(圖 b)。

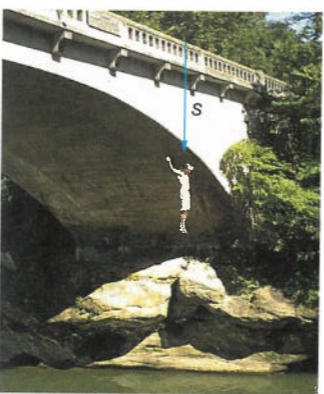
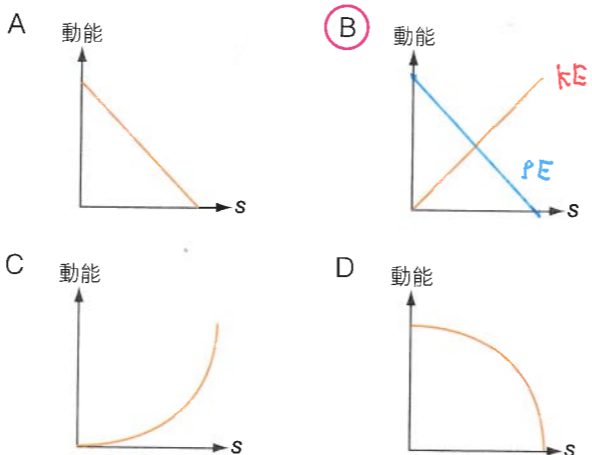


圖 b

s 是他從橋上計起的位移。下列哪一幅線圖正確顯示他的動能隨 s 的變化? 假設空氣阻力可略去不計。



$$mgh = mc\Delta T$$

$$9.81 \times 100 = 4200(T - 12)$$

$$T = 12.2^\circ\text{C}$$

24 瀑布高 100 m 。在瀑布頂部, 水的溫度是 12.0°C 。假設水到達瀑布底部時, 所有動能都轉換為它的內能, 且過程中沒有能量散失到周圍環境。在瀑布底部, 水的溫度是多少? 水的比熱容量是 $4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 。

- A 0.234°C
- B 12.0°C
- C 12.2°C**
- D 14.8°C

15 女子撐竿跳的世界紀錄為 5.06 m , 紀錄保持者是伊辛巴耶娃(圖 c)。她的質量是 65 kg , 跳起前重心的高度是 0.9 m 。



圖 c

- (a) 在創下世界紀錄的那一跳, 伊辛巴耶娃最多增加了多少重力勢能? **2650 J** $PE = 65 \times 9.81 \times (5.06 - 0.9) = 2650 \text{ J}$
- (b) 寫出撐竿跳涉及的能量。 **KE \rightarrow PE**

16 大衛準備射箭(圖 d)。箭的質量是 1.5 kg 。拉弓時, 弓弦儲存了 300 J 能量。假設箭射出後, 弓弦儲存的所有能量都會轉換為箭的動能, 且空氣阻力可略去不計。

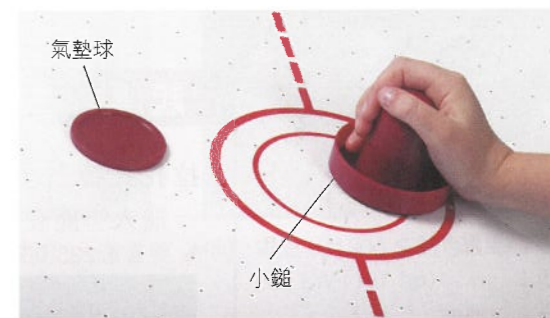


圖 d

- (a) 箭離開弓弦時的速率是多少? **20 m s^{-1}** $300 = \frac{1}{2} \times 1.5 \times v^2 \Rightarrow v = 20 \text{ m s}^{-1}$
- (b) 若大衛朝正上方射箭, 箭到達的最大高度是多少? **20.4 m** $300 = 1.5 \times 9.81 h \Rightarrow h = 20.4 \text{ m}$

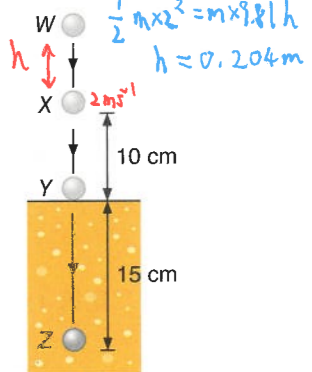
27 小孩從 X 點把石塊以初速率 v 垂直向上拋起。假設空氣阻力不可略去。當石塊回到 X 點, 它的速率會高於、等於還是低於 v ? 試簡單解釋。 **低於 v**

8 靜止的氣墊球被小錘擊中後(圖 e)加速至 5 m s^{-1} 。氣墊球的質量是 100 g , 作用於它的摩擦力可以略去。



- 圖 e** $W = \Delta KE = \frac{1}{2} \times 0.1 \times 5^2 = 1.25 \text{ J}$
- (a) 小錘對氣墊球作了多少功? **1.25 J** $5 = 0 + a(5 \times 10^{-3})$
- (b) 假設小錘與氣墊球的接觸維持了 5 ms , 期間氣墊球以勻加速運動。 $5^2 = 0 + 2 \times 1000 s$ 0.0125 m
- (i) 氣墊球在這段時間內的移動距離是多少?
- (ii) 小錘施於氣墊球的平均力是多少? **100 N** $F = 0.1 \times 1000 = 100 \text{ N}$

29 如圖 f 所示, 質量為 50 g 的滾珠在 W 點從靜止下墜, 進入油中。滾珠到達油面以上 10 cm 的 X 點時, 速率為 2 m s^{-1} 。它到達油面以下 15 cm 的 Z 點時, 速率為 0.5 m s^{-1} 。



- (a) 求 W 點距離油面的高度。 **30.4 cm** $0.05 \times 9.81 \times (0.304 + 0.15) = f \times 0.15 + \frac{1}{2} \times 0.05 \times 0.5^2$ $f = 1.44 \text{ N}$
- (b) 估算滾珠從 Y 點下墜至 Z 點時, 油作用於它的平均阻力。



圖 g

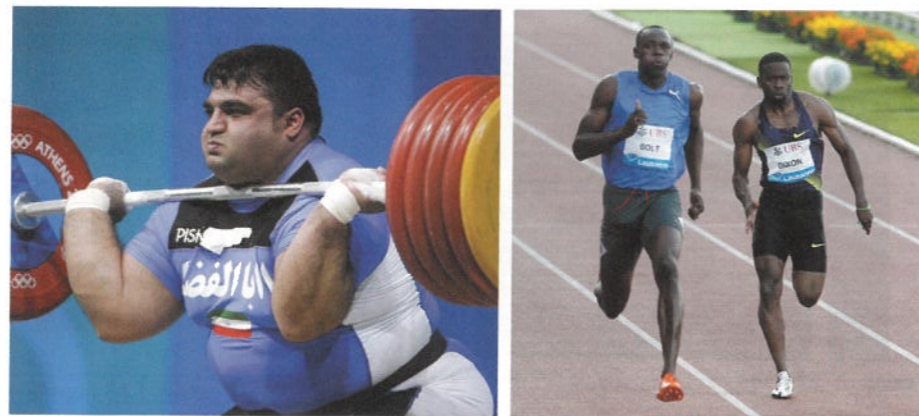
6.4

功率

起點 誰較強？

拉扎扎德為全球首席力士，可舉起 263.5 kg 的槓鈴；保特是世界第一飛人，能在 4.64 s 從靜止加速至 11.4 m s⁻¹。二人之中，誰較強？

參看第 235 頁例題 12。



✓ 本節重點

- 1 功率
- 2 功率與速度

拉扎扎德於 2004 年奧運會創下這紀錄，保特則在 2009 年世界田徑錦標賽創下這紀錄。

1 功率的定義

見第 1 冊第 2 課。▶ 第 1 冊介紹過**功率**是能量的轉移率（透過熱來轉移）。如果能量透過作功來轉移，則功率也可用類似形式定義。

功率是作功造成的能量轉移率。

$$\text{功率} = \frac{\text{轉移的能量}}{\text{所用的時間}}$$

$$\text{功率} = \frac{\text{所作的功}}{\text{所用的時間}} \left(P = \frac{W}{t} \right)$$

在國際單位制中，功率的單位是**瓦特**，符號為 **W** (1 W = 1 J s⁻¹)。較大的功率以千瓦 (kW) 或兆瓦 (MW) 為單位。

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

$$1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$$

除瓦特之外，馬力 (hp) 也是功率的單位，這個單位源自用蒸汽機代替馬匹產生動力的時期。時至今日，馬力仍常用於量度汽車發動機和冷氣機的功率。1 匹馬力約等於 746 瓦特。

不同物件的輸出功率各有不同，圖 6.4a 列出一些常見例子。



(i) 馬匹：746 W (1 hp)



(ii) 冷氣機：1200 W (1.5 hp)



(iii) 寶馬 K 1200 S 的發動機：125 kW (167 hp)

圖 6.4a 不同物件的輸出功率

例題 12 拉扎扎德與保特的平均功率

考慮起點提及的兩個人。假設拉扎扎德以恆速度把槓鈴從地面提高 1.5 m，需時 3 s，而保特的質量是 94 kg。試估算他們的平均功率。

題解

$$\begin{aligned} &\text{拉扎扎德舉起槓鈴時所作的功} \\ &= mgh = 263.5 \times 9.81 \times 1.5 = 3880 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{拉扎扎德的平均功率} \\ &= \frac{\text{所作的功}}{\text{所用的時間}} = \frac{3880}{3} = 1290 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{保特從靜止加速至 } 11.4 \text{ m s}^{-1} \text{ 所作的功} \\ &= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 94 \times 11.4^2 = 6110 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{保特的平均功率} \\ &= \frac{\text{所作的功}}{\text{所用的時間}} = \frac{6110}{4.64} = 1320 \text{ W} \end{aligned}$$

就平均功率而言，二人不相伯仲。

▶ 進度評估 6 Q2 (p.238)

2 功率與速度

功率可以用另一種形式來表示。

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \times s}{t} = F \times \frac{s}{t} = Fv$$

$$\text{功率} = \text{力} \times \text{速度} (P = Fv)$$

在一般情況下，Fv 是力 F 對瞬時速度為 v 的物體產生的瞬時功率。▶ 對於以恆速度移動的物體，F 就是用來抵銷阻力而施的力。

例題 13 汽車的功率

汽車以 108 km h^{-1} 的恆速度在水平路面上行駛 (圖 a)。如果作用於汽車的空氣阻力和摩擦力的總和是 800 N ，汽車發動機的輸出功率是多少？



圖 a

題解

汽車以恆速度行駛時，作用於汽車的合力是零。因此，汽車發動機所提供的推進力是 800 N 。

輸出功率 = 力 \times 速度

$$= 800 \times \frac{108}{3.6}$$

$$= 24\,000 \text{ W} (= 24 \text{ kW})$$

▶ 進度評估 6 Q3 (p.238)

例題 14 動能—時間關係線圖

一艘太空船在外太空飛行。圖 a 顯示太空船的動能 KE 隨時間 t 的變化。

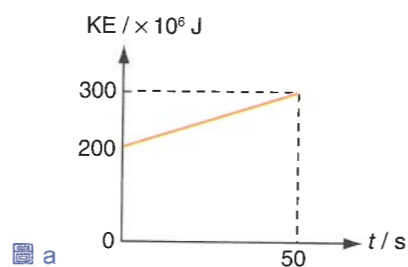


圖 a

在 $t = 25 \text{ s}$ ，太空船的輸出功率是多少？假設太空船發動機提供的所有能量都轉換為太空船的動能。

題解

發動機提供的能量 = 獲得的動能

$$Pt = \Delta KE$$

$$\therefore P = \frac{\Delta KE}{t} = \text{線圖的斜率} = \frac{(300 - 200) \times 10^6}{50} = 2 \times 10^6 \text{ W}$$

在 $t = 25 \text{ s}$ ，太空船的輸出功率是 $2 \times 10^6 \text{ W}$ 。

▶ 習題與思考 6.4 Q3 (p.239)

例題 15 功率與能量守恆

質量為 1000 kg 的快艇沿直線水平行駛 (圖 a)，並以 2 m s^{-2} 的勻加速度加快。在 $t = 0$ ，快艇的速率是 6 m s^{-1} 。在 $t = 0$ 至 $t = 3 \text{ s}$ 之間，快艇發動機的平均輸出功率是 20 kW 。假設作用於快艇的摩擦力不變。

(a) 求作用於快艇的摩擦力。

(b) 求快艇在 $t = 3 \text{ s}$ 的瞬時輸出功率。



圖 a

題解

(a) 在 $t = 3 \text{ s}$ ，

$$\begin{aligned} \text{快艇的速率} &= u + at \\ &= 6 + 2 \times 3 \\ &= 12 \text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

在 $t = 0$ 至 $t = 3 \text{ s}$ 之間，

$$\text{快艇行駛的距離} = \frac{1}{2}(u + v)t = \frac{1}{2}(6 + 12) \times 3 = 27 \text{ m}$$

發動機提供的能量 = 獲得的動能 + 克服摩擦力所作的功

$$Pt = \frac{1}{2}m(v^2 - u^2) + fs$$

$$20\,000 \times 3 = \frac{1}{2} \times 1000 \times (12^2 - 6^2) + f \times 27$$

$$f = 222 \text{ N}$$

作用於快艇的摩擦力是 222 N 。

(b) 設 F 為發動機對快艇提供的推進力。

作用於快艇的淨力 = $F - f = ma$

$$\Rightarrow F = ma + f = 1000 \times 2 + 222 = 2222 \text{ N}$$

在 $t = 3 \text{ s}$ ，

$$\text{瞬時輸出功率} = Fv = 2222 \times 12 = 26.7 \text{ kW}$$

▶ 複習 Q29 (p.246)

預試訓練 2

直升機的功率 ☆ 香港中學會考 2007 年卷二 Q31

質量為 3000 kg 的直升機以 10 m s^{-1} 的恆速度垂直上升。作用於直升機的空氣阻力是 1000 N。直升機的平均功率是多少？

- A 5 kW
- B 10 kW
- C 294 kW
- D 304 kW



圖 a

題解

設 F 為直升機提供的向上力， f 為作用於直升機的空氣阻力。

作用於直升機的淨力為

$$\begin{aligned} F - mg - f &= ma \\ &= 0 \\ F &= mg + f \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= Fv \\ &= (mg + f)v \\ &= (3000 \times 9.81 + 1000) \times 10 \\ &= 304 \text{ kW} \end{aligned}$$

∴ 答案是 D。

常見錯誤

學生或會忘記考慮直升機的重量，因而誤選 B 作答案。

複習 Q16 (p.243)

進度評估 6

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.234)。

1.1 下列哪項可以是功率的單位？

- (1) W ✓
- (2) J s^{-1}
- (3) N m s^{-1}

- A 只有 (1)
- B 只有 (2)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

$$\begin{aligned} E/t &= P \\ \frac{F \cdot s}{t} &= \frac{W}{t} = P \end{aligned}$$

1.2 若發動機的輸出功率是 500 W，它在 20 s 內作了多少功？

$$P = \frac{E}{t}, 500 = \frac{E}{20}, E = 500 \times 20 = 10000 \text{ J}$$

1.3 起重機以 20 cm s^{-1} 的恆速率將 1200 kg 的重物提高 10 m。求起重機的輸出功率。

$$\begin{aligned} p &= F \cdot v \\ &= 1200 \times 9.81 = 11772 \text{ W} \end{aligned}$$

1.4 在《傑克與魔豆》的故事中，傑克爬上高 2000 m 的巨型豆莖，到了雲端上的陸地 (圖 a)。假設傑克的質量是 45 kg，平均功率是 20 W。求他攀爬所用的時間。

$$p = \frac{E}{t} = \frac{mgh}{t}$$

$$20 = \frac{45 \times 9.81 \times 2000}{t}$$

$$t = 44100 \text{ s}$$



圖 a

習題與思考 6.4

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.234)。

2.1 電動機在粗糙水平面上拉動箱子，箱子以 2 m s^{-1} 的恆速度移動，這時，電動機的功率是 1 kW。箱子與地面的摩擦力是多少？

- A 133 N
- B 278 N
- C 360 N
- D 500 N

2.2 國輝攀石時 (圖 a)，肌肉的平均功率是 30 W。國輝的質量是 65 kg。他向上攀爬的平均速率是多少？

- A 0.0470 m s^{-1}
- B 0.0912 m s^{-1}
- C 0.462 m s^{-1}
- D 0.961 m s^{-1}

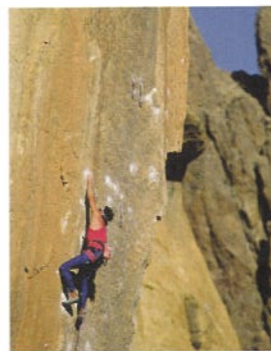
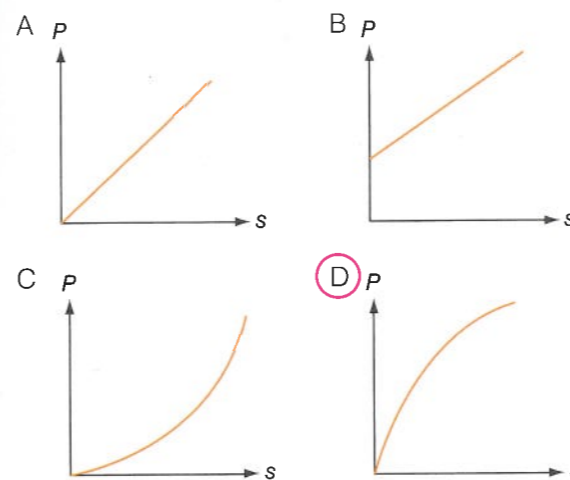


圖 a

2.3 汽車在水平路面上從靜止勻加速。行駛時，作用於汽車的總阻力不變。下列哪一幅圖最能顯示加速時汽車的輸出功率 P 隨位移 s 的變化？



2.4 跑車 (圖 b) 的質量為 1350 kg，可以在 5 s 內從靜止加速至 100 km h^{-1} 。獵豹 (圖 c) 的質量是 70 kg，可以在 3 s 內從靜止加速至 100 km h^{-1} 。兩者之中，哪一個的平均功率較大？



圖 b



圖 c

1.5 升降機可以在 20 s 內將 8 個乘客從地面運載到 20 樓，即距離地面 60 m 的高度。升降機與乘客的總質量為 700 kg。

- (a) 假設升降機由電動機直接拉動。試估算電動機的平均輸出功率。 **20.6 kW**
- (b) 假設鋼纜繞過曳引輪，連接升降機與平衡錘 (圖 d)。當電動機把升降機向上拉，平衡錘便會下降。平衡錘損失的勢能會轉換為升降機獲得的勢能。

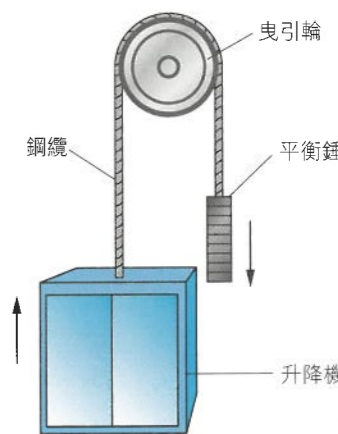


圖 d

若平衡錘的質量是 500 kg，電動機的平均輸出功率是多少？ **5.89 kW**

1.6 圖 e 顯示一座水力發電站。水從水庫經管道向下流，推動渦輪機，與渦輪機連接的發電機便會產生電力。已知渦輪機在水庫以下 500 m。

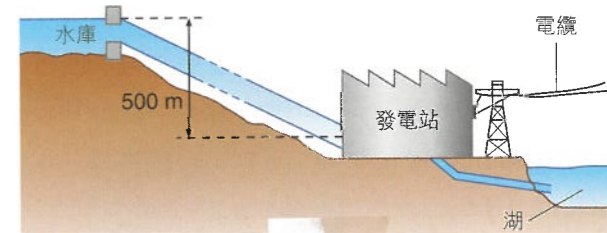


圖 e

- (a) 平均每秒有大約 4000 kg 的水流經發電站。試估算這些水從水庫流到渦輪機時所損失的勢能。 **$1.96 \times 10^7 \text{ J}$**
- (b) 若所有能量都轉換為電能，發電機的輸出功率是多少？ **$1.96 \times 10^7 \text{ W}$**
- (c) 實際上，發電機的輸出功率是 $5 \times 10^6 \text{ W}$ 。試解釋為甚麼水的勢能沒有全部轉換為電能。

總結 6

詞彙

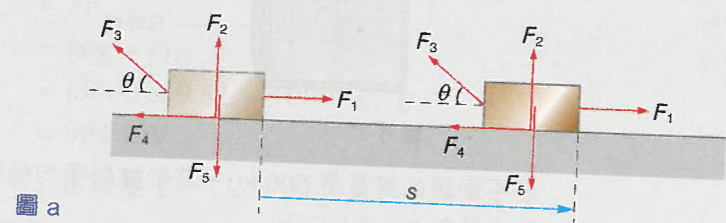
1 動能 kinetic energy	p.208	7 重力勢能	p.216
2 勢能 potential energy	p.208	gravitational potential energy	
3 機械功 mechanical work	p.208	8 能量守恆定律	p.221
4 功 work	p.208	law of conservation of energy	
5 焦耳 (J) joule	p.209	9 功率 power	p.234
6 彈性勢能 elastic potential energy	p.216	10 瓦特 (W) watt	p.234

課文摘要

6.1 功與能量轉移

1 功是指物體受力作用且出現位移時，轉移到物體或從物體轉移開去的能量。

2 功 = $Fs \cos \theta$



F_1 所作的功 = $W_1 = F_1 s$

F_2 所作的功 = $W_2 = F_2 s \cos 90^\circ = 0$

克服 F_3 所作的功 = $W_3 = F_3 s \cos \theta$

克服 F_4 所作的功 = $W_4 = F_4 s$

F_5 所作的功 = $W_5 = F_5 s \cos 90^\circ = 0$

對物體所作的總功 = $W_1 + W_2 - W_3 - W_4 + W_5 = (F_1 - F_3 \cos \theta - F_4)s$

3 能量和功的單位是焦耳 (J)。當物體受 1 N 的力作用並沿施力的方向移動了 1 m，力對物體所作的功為 1 J。

6.2 動能與勢能

4 動能 (KE)：移動的物體所擁有的能量

$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$

5 勢能

a 彈性勢能 (EPE) 是具彈性的物體給拉長、擠壓或扭曲時所具有的能量，這能量會隨物體拉長、擠壓或扭曲的幅度而增加。

b 重力勢能 (GPE/PE) 是物體在重力作用下依所在位置而定的能量。

$$PE = mgh$$

6.3 能量轉換與能量守恆

6 能量守恆定律：

能量可以從一種形式轉換為另一種形式，但能量既不可能創造出來，也不可能被毀滅。

6.4 功率

7 功率是作功造成的能量轉移率。

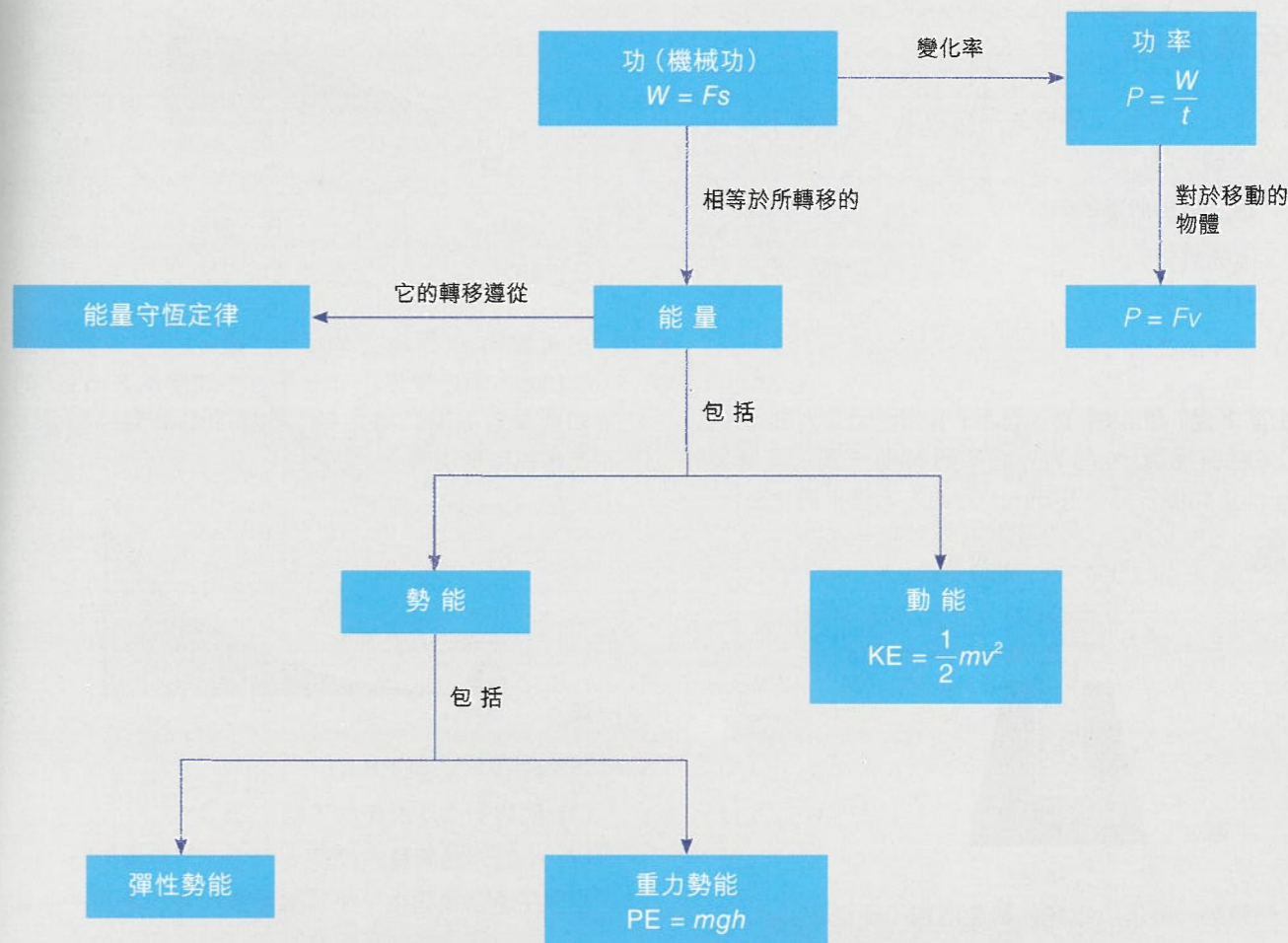
$$\text{功率} = \frac{\text{轉移的能量}}{\text{所用的時間}} \quad \text{或} \quad \text{功率} = \frac{\text{所作的功}}{\text{所用的時間}}, \text{ 即 } P = \frac{W}{t}$$

8 功率的單位：W (瓦特) 或 $J s^{-1}$

9 對於移動的物體，

$$\text{功率} = \text{力} \times \text{速度}, \text{ 即 } P = Fv$$

概念圖



6 功、能量和功率 **Q1** 如果力與位移互相垂直，這道力便沒有作功。

複習 6

取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ 。

概念重溫

(第 1 至 4 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

☆ 香港中學會考 1987 年卷一 Q2(a)

6.1 1 物體移動時，作用於它的力必然會對它作功。 **F**

☆ 香港中學會考 1994 年卷一 Q1(d)

6.2 2 把木塊拉上光滑斜面所需的能量，與把木塊垂直升高相同垂直位移所需的能量相等。 **T**

☆ 香港中學會考 2007 年卷二 Q32

6.3 3 當物體從較高位置移動至較低位置，它的勢能必然減少，動能必然增加。 **F**

☆ 香港中學會考 2010 年卷一 Q1(a)

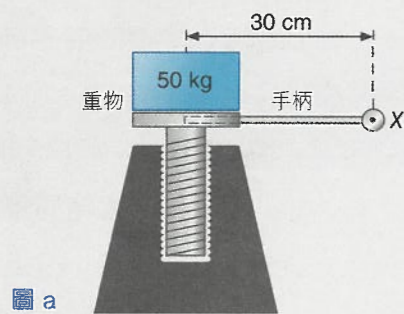
6.1 4 摩擦力所作的功必然令物體的總能量減少。 **F**

多項選擇題

6.4 5 蕙蘭想估算她跑上樓梯的平均功率，運算時不必包括以下哪一項？

- A 跑上樓梯所需的時間
- B 她的重量
- C 樓梯的高度
- D 樓梯的長度**

(第 6 至 7 題) 圖 a 顯示一個「千斤頂」。工人在手柄上的 X 點施加 20 N 的力，把手柄轉動一圈，質量為 50 kg 的重物便升高了 5 mm。力的方向與手柄垂直。



6.2 6 手柄轉動一圈後，重物的勢能增加了多少？

- A 0.1 J
- B 2.45 J**
- C 37.7 J
- D 925 J

Q3 考慮汽車以恆速度駛下斜路，它的勢能減少，但動能維持不變。
Q4 考慮一個放在火車地板上的物體，當火車向前加速，作用於物體的摩擦力指向前方，所作的功變為物體的動能。

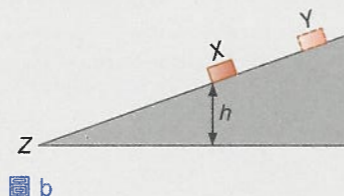
6.1 7 過程中，工人施於手柄的力作了多少功？

- A 0.1 J
- B 2.45 J
- C 37.7 J**
- D 925 J

8 下列哪一項敘述是正確的？

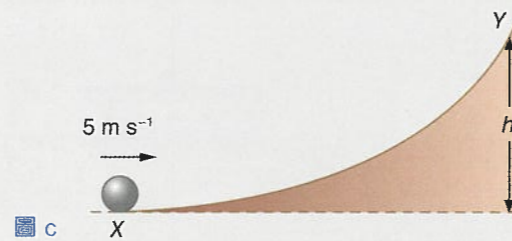
- A 汽車以恆定功率運作時，速度必然維持不變。
- B 汽車以恆定功率運作時，加速度必然維持不變。
- C 沒有淨力作用於汽車時，它的動能必然維持不變。**
- D 沒有淨力作用於汽車時，它的勢能必然維持不變。

6.3 9 木塊從不同位置由靜止開始滑下光滑斜面(圖 b)。若在 X 點開始滑下，它到達 Z 點時的速度為 v ；若在 Y 點開始滑下，它到達 Z 點時的速度為 $2v$ 。若 X 和 Z 的垂直距離是 h ，Y 和 Z 的垂直距離是多少？



- A $\sqrt{2}h$
- B $2h$
- C $4h$**
- D $8h$

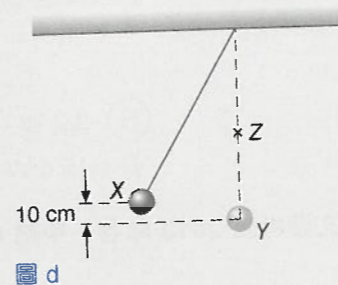
10 在 X 點有一個靜止的小球(圖 c)，它的質量是 0.1 kg。明忠推了小球一下，小球便以 5 m s^{-1} 的初速率沿光滑軌道移動，到達 Y 點時瞬時靜止，然後再回到 X 點。



下列哪項敘述是正確的？

- (1) 明忠對小球所作的功是 1.25 J。
 - (2) 小球到達的最大高度 h 與小球的質量無關。
 - (3) 在運動過程中，小球重量所作的功總是把能量從小球轉移到其他地方。
- A 只有 (1)
 - B 只有 (1) 和 (2)**
 - C 只有 (2) 和 (3)
 - D (1)、(2) 和 (3)

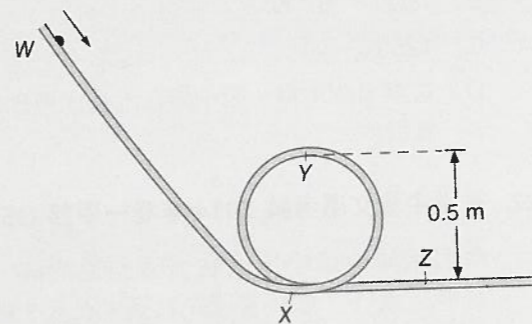
11 國明將單擺中質量為 0.5 kg 的擺球拉到一旁，使它的高度上升了 10 cm(圖 d)，然後放手。下列哪項敘述是正確的？假設空氣阻力可略去不計。



- (1) 在整個運動過程中，擺球動能與勢能的總和一直都是 0.491 J。
- (2) 擺球的質量愈大，它到達 Y 點時的速率愈高。
- (3) 若把釘子固定在 Z 點，擺球便不會再上升至與 X 點相同的高度。

- A 只有 (1)**
- B 只有 (3)
- C 只有 (1) 和 (2)
- D (1)、(2) 和 (3)

12 小球由靜止開始從 W 點沿光滑軌道滑下，繞圈時沒有離開軌道(圖 e)。小球經過 X 點時的速率是 4 m s^{-1} 。下列哪項敘述是正確的？

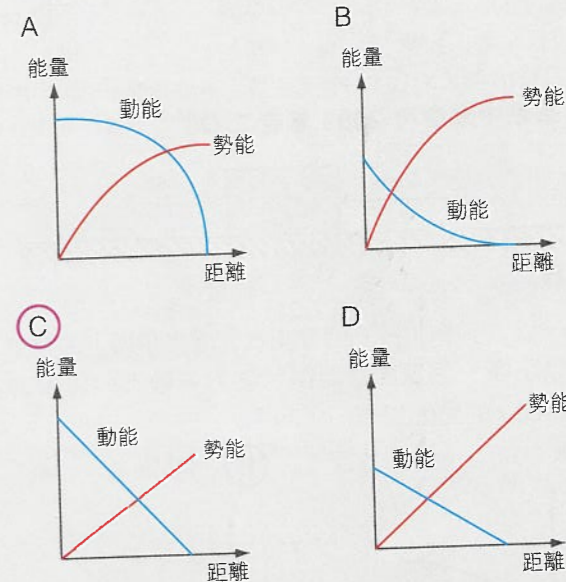


- (1) W 點在 X 點以上 0.815 m。
 - (2) 小球經過 Y 點時的速率是 0.868 m s^{-1} 。
 - (3) 小球在 Z 點時的速率比在 X 點時低。
- A 只有 (1)**
 - B 只有 (3)
 - C 只有 (1) 和 (2)
 - D (1)、(2) 和 (3)

13 若汽車以 40 km h^{-1} 行駛，剎車時須經過距離 d_1 才停下。若汽車以 80 km h^{-1} 在同一路面上行駛，並以相同制動力剎車，就須經過距離 d_2 才停下。距離 d_1 和 d_2 的比是多少？

- A 1:4**
- B 1:2
- C 2:1
- D 4:1

14 小孩推了玩具車一下，玩具車便沿粗糙斜面向上移動。作用於玩具車的摩擦力不變。下列哪一幅圖最能顯示玩具車上斜時不同能量隨玩具車移動距離的變化？



參看 p.221, 228

15 女孩向上跳起時，施於地面的力為 F 。地面作用於女孩的法向反作用力是 R 。女孩的質量是 m ，跳起後到達的最大高度是 h 。求 R 對女孩所作的功。

- A 0**
- B Rh
- C $(R - F)h$
- D $(R - mg)h$

參看 p.209

16 香港中學會考 2007 年卷二 Q31

質量為 m 的電動玩具車以速率 v 爬上一傾角為 30° 的斜面。作用在車的摩擦力為車重量的一半。該車的平均功率是多少？ **Q16 考試報告：一些考生未能確認情境中車重量的因素。**

- A $\frac{1}{2}mgv$ (39%)
- B mgv (32%)**
- C $\frac{3}{2}mgv$ (20%)
- D $2mgv$ (9%)

17 香港中學會考 2008 年卷二 Q28
綜合題

當一名跳傘員在沒有淨力下穩定地下墜，以下哪一個有關他的重力勢能、動能及克服空氣阻力功率的描述是正確的？

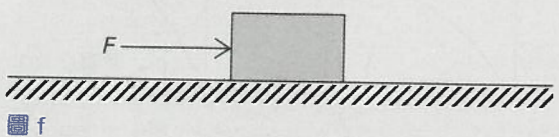
6 功、能量和功率

Q17 考試報告：超過 50% 的考生誤認為當沒有淨力作用於跳傘員時，動能會增加。

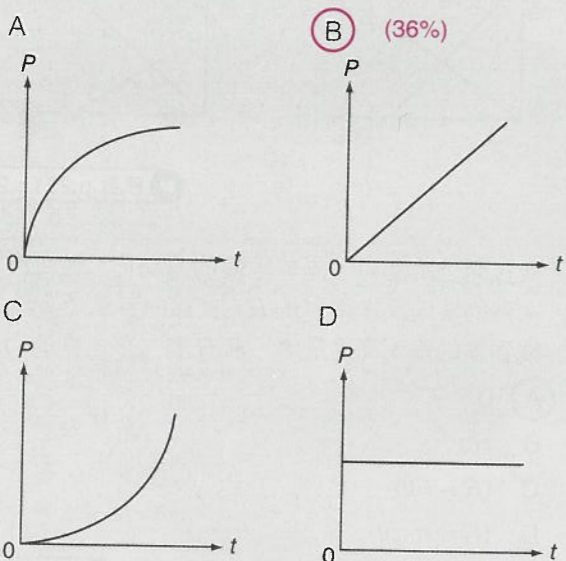
	重力勢能	動能	克服空氣阻力的功率
A	減少	增加	增加
B	減少	增加	不變
C	減少	不變	不變 (40%)
D	不變	增加	增加

Q18 考試報告：許多考生誤認為隨時間 t ，功率 P 是恆值

6.4 18 香港中學會考 2009 年卷二 Q6 或會作非線性增長。



一恆力 F 作用於初始靜止在光滑水平面上的物體。以下哪一個線圖最能顯示該力 F 輸出的功率 P 對時間 t 的變化？



6.3 19 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一甲部 Q11



圖 g

一位足球員踢向一個在地面的球。該球以速率 v 離開地面，並以 17 m s^{-1} 的速率擊中門楣 X 的位置。 X 離地面高 2 m 。忽略空氣阻力， v 的值是多少？

- A 15.8 m s^{-1}
- B 18.1 m s^{-1}**
- C 19.0 m s^{-1}
- D 23.3 m s^{-1}

6.4 20 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q9

一質量為 0.5 kg 的物體以電動機從地面豎直向上提升，物體在 1.5 s 內勻速上升了 2.5 m 。估算電動機的輸出功率。空氣阻力可略去不計。 $(g = 9.81 \text{ m s}^{-2})$

- A 5.5 W
- B 8.2 W (84%)**
- C 11.0 W
- D 16.4 W

6.3 21 香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q12

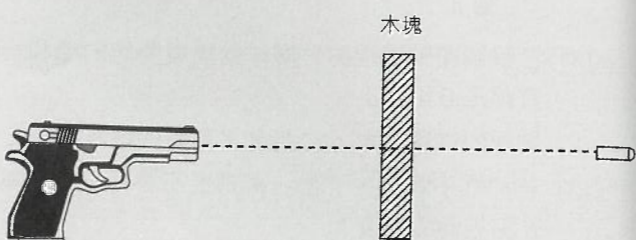


圖 h

如圖所示，一顆質量為 50 g 的子彈以速率 400 m s^{-1} 從手槍射出，並穿透一塊厚 6 cm 的固定木塊。如果子彈穿出木塊的速率為 250 m s^{-1} ，求木塊作用於子彈的平均阻力。空氣阻力以及重力的影響可略去不計。

- A $4.06 \times 10^4 \text{ N}$ (52%)**
- B $1.02 \times 10^4 \text{ N}$
- C 125 N
- D 答案未能求得，因子彈在木塊內運動的時間沒有提供。

6.3 22 香港中學文憑考試 2014 年卷一甲部 Q6

兩個相同的細小方塊在光滑斜面於同一高度 H 從靜止滑下，如下面圖 i 和圖 j 所示。兩方塊到達斜面底部的速率分別為 v_1 和 v_2 ，所需時間分別為 t_1 和 t_2 。以下哪一項是正確的？空氣阻力可略去不計。

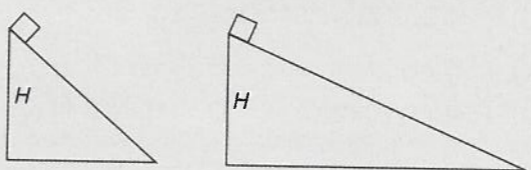


圖 i

圖 j

- A $v_1 > v_2$ 及 $t_1 = t_2$ (12%)
- B $v_1 > v_2$ 及 $t_1 < t_2$ (33%)
- C $v_1 = v_2$ 及 $t_1 = t_2$ (10%)
- D $v_1 = v_2$ 及 $t_1 < t_2$ (45%)**

Q22 考試報告：近半數考生誤以為物體從高度相同而較陡峭的斜面下滑至底部會得到較高速率。

問答題

6.3 23 某網球選手的發球速率是 220 km h^{-1} 。網球的質量是 57 g 。

- (a) 發球時，網球的動能是多少？ **106 J** (2分)
- (b) 假設發球時，球拍沿網球的移動方向施力，施力時球移動了 10 cm 。計算球拍作用於網球的平均力。假設作用於網球的重力可以略去不計。 **1060 N** (2分)

6.1 24 沛聰捧着箱子站着(圖 k)。箱子的質量是 5 kg 。



圖 k

- (a) 繪畫箱子的隔離體圖。(2分)
- (b) 他開始向前行，經過 0.8 m 的距離後，速率由 0 增加至 1.2 m s^{-1} 。
 - (i) 求他的加速度。 **0.9 m s^{-2}** (2分)
 - (ii) 求他對箱子所作的功。 **3.6 J** (2分)
 - (iii) 寫出對箱子作功的力，並計算它的量值。
摩擦力、 4.5 N (3分)

6.3 25 過山車被拉上最高點 A(圖 l)，離海平面的高度為 100 m 。隨後，它從靜止滑下軌道。過山車與乘客的總質量是 300 kg 。過山車到達 B 點時的速率是 25 m s^{-1} 。

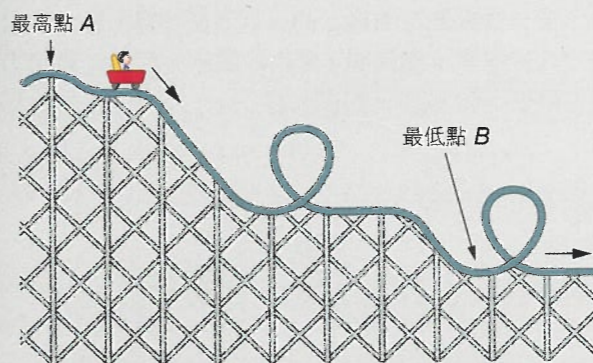


圖 l

- (a) 估算 B 點離海平面的高度。假設摩擦力可以略去不計。 **68.1 m** (2分)
- (b) B 點離海平面的實際高度是 36 m ，而從 A 至 B 的軌道全長 500 m 。試估算作用於過山車的平均摩擦力。 **189 N** (3分)
- (c) 寫出過山車在軌道上行駛時涉及的能量。(3分)

6.3 26 圖 m 顯示遊樂場內一項遊戲。男孩用鐵槌擊打木板，金屬柱便向上彈起。如果金屬柱能把鐘敲響，男孩就勝出這個遊戲。金屬柱的質量是 1 kg ，它與刻度板之間的摩擦力是 5 N 。

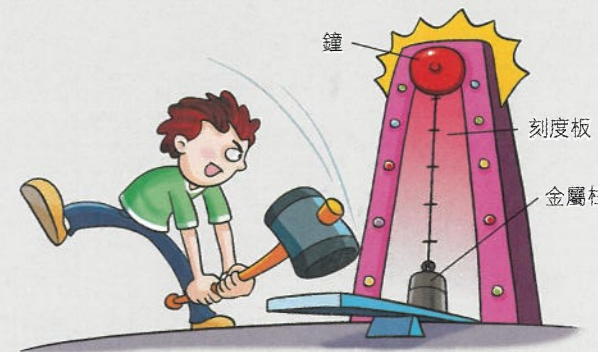


圖 m

- (a) 男孩擊打木板後，金屬柱以 4 m s^{-1} 的速率離開木板。
 - (i) 計算金屬柱的初動能。 **8 J** (2分)
 - (ii) 金屬柱可到達的高度是多少？ **0.540 m** (3分)
- (b) 鐘在金屬柱上方 3 m 。要勝出這個遊戲，金屬柱的初速率最少是多少？ (1分)
- (c) 試舉出兩個方法令參加者更難勝出這個遊戲。
 9.43 m s^{-1} (2分)

6.3 27 工人正在把貨物搬上貨車。如圖 n 所示，他把一個 30 kg 的箱子以恆速率推上斜面，斜面全長 3 m ，與水平線之間的角度是 20° 。箱子與斜面之間的摩擦力是 80 N 。

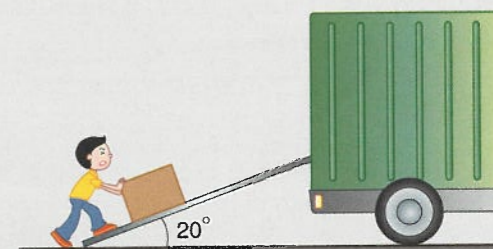


圖 n

- (a) 箱子到達斜面的盡頭時，工人對箱子所作的功是多少？ **542 J** (2分)
- (b) 過程中，箱子的動能和勢能共增加了多少？ **302 J** (2分)
- (c) 題 (a) 與題 (b) 的答案相同嗎？試簡單解釋。
不相同 (2分)
- (d) 為甚麼工人要把箱子推上斜面，而不把它垂直抬起？ (1分)

- ★ 28 圖 o 顯示一個遊戲。參加者需於區域 X 內的軌道上任意一點放開小球。小球沿軌道滾下，假如在距離地面 1 m 的 A 點停下，參加者便勝出。取小球在地面的勢能為零。

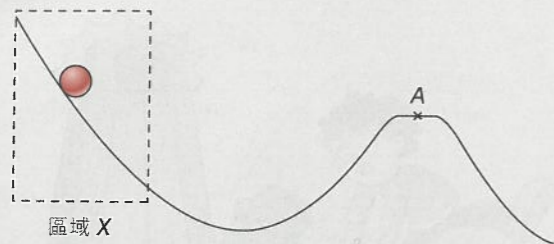


圖 o

離地 1 m

- (a) 假設軌道是光滑的。要令小球在 A 點停下，參加者應在甚麼高度從靜止放開小球？(1 分)
- (b) 實際上，軌道並非完全光滑。假設小球為克服摩擦力而作功，令原本的能量減少了 10%。
- (i) 在這情況下，參加者應在甚麼高度從靜止放開小球？離地 1.11 m (2 分)
- (ii) 小球為克服摩擦力而損失的能量會轉換為甚麼？(1 分)
- (c) 麗萍把小球放在 (b)(i) 部求得的位置，然後大力推了小球一下。她會勝出遊戲嗎？試簡單解釋。不會 (2 分)

- ★ 29 電單車的質量為 300 kg。

綜合題

- (a) 電單車在水平路面上沿直線前進，在 2 s 內由 10 m s^{-1} 勻加速至 25 m s^{-1} 。作用於電單車的阻力包括摩擦力和空氣阻力，假設它們的總和維持 900 N。
- (i) 在加速期間，電單車行駛的距離是多少？35 m (2 分)
- (ii) 在加速期間，電單車的輸出功率是多少？55.1 kW (2 分)
- (iii) 在加速期間，電單車的輸出功率是否維持不變？試簡單解釋。不是 (3 分)
- (b) 隨後，電單車駛上斜坡，斜坡與水平線之間的角度是 5° (圖 p)。若它的最大輸出功率是 90 kW，它在斜坡上行駛的最高速率是多少？假設以最高速率行駛時，作用於電單車的阻力是 1600 N。48.5 m s^{-1} (2 分)



圖 p

- ★ 30 保加拿在離地 39 km 的高度作高空跳傘 (圖 q)。他從靜止開始自由下落，並達到 1358 km h^{-1} 的終端速率。到了離地 1500 m 的高度，他便打開降落傘，然後安全著陸。假設在整個過程中， $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ 。



圖 q

- (a) (i) 假設空氣阻力可以略去不計。估算保加拿的速率達到 1358 km h^{-1} 前所移動的距離。7250 m (2 分)
- (ii) 實際上，空氣阻力的影響不可以略去不計。如果考慮空氣阻力的作用，(i) 部的答案會有甚麼不同？試以能量守恆來解釋答案。較大 (2 分)
- (b) 假設保加拿的質量是 100 kg，而他打開降落傘時的速率是 1358 km h^{-1} 。他從開始下墜至打開降落傘的過程中，為克服空氣阻力所作的總功是多少？ $2.97 \times 10^7 \text{ J}$ (2 分)

- ★ 31 直升機在大海的上空靜止不動。它垂下一條繩子，把一個質量為 70 kg 的人從海面拉起。圖 r 顯示那人的速率 v 隨時間 t 變化的關係。假設空氣阻力可略去不計。

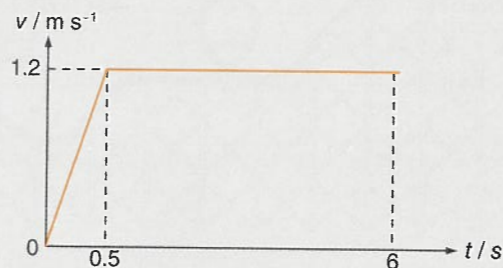


圖 r

855 N

- (a) 在 $t = 0.3 \text{ s}$ ，繩子張力的量值是多少？(3 分)
- (b) 在 $t = 0.5 \text{ s}$ 至 $t = 6 \text{ s}$ 之間，繩子張力對那人所作的功是多少？4530 J (4 分)
- (c) 草繪線圖，以顯示繩子張力所產生的功率在 $t = 0$ 至 $t = 6 \text{ s}$ 之間的變化。線圖下方的面積有甚麼物理意義？張力作的功 (4 分)

- ★★ 32 綜合題

偉成以 95 N 的力把 16 kg 的重物從靜止拉上斜坡 (圖 s)。斜坡全長 9 m，傾斜角是 30° 。作用於重物的摩擦力是 12 N。

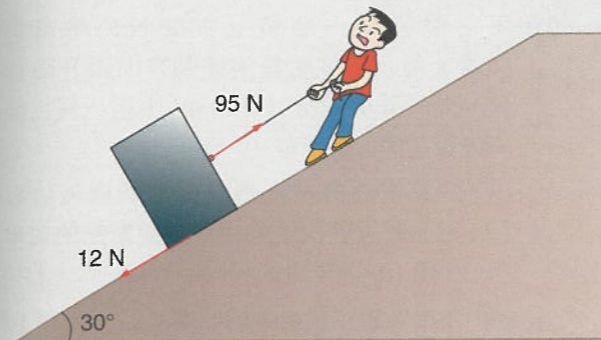


圖 s

- (a) 偉成把重物拉到斜坡頂部需要多少時間？7.98 s (4 分)
- (b) 求偉成的平均功率。107 W (3 分)
- (c) 求重物到達斜坡頂部時的動能。40.7 J (2 分)
- (d) 草繪線圖，以顯示重物的動能怎樣隨時間變化。(2 分)

▶ 參看例題 10 (p.229)

- ★★ 33 少芬在一座距離河面 20 m 的橋上玩笨豬跳。她的腳踝綁上一條具彈性的繩子，繩子另一端緊綁在橋上。她從靜止下墜，到達橋下方 8 m 的 A 點時，繩子便開始拉緊。少芬的質量是 50 kg。假設空氣阻力可略去不計。

6.3

- (a) 她從橋上下墜至 A 點，損失了多少勢能？3920 J (2 分)
- (b) 她到達最低點 B 時瞬時靜止，然後向上彈起。B 點在 A 點下方 12 m。
- (i) 她從 A 點下墜至 B 點時，繩子作用於她的平均力是多少？818 N (2 分)
- (ii) 「在 B 點時，作用於少芬的淨力是零。」試評論這句子。不正確 (2 分)
- (iii) 假設動能與勢能的總和保持不變。求繩子所儲存的最大能量。9810 J (1 分)
- (c) 描述少芬由起跳至第一次到達 B 點的能量轉換。(3 分)
- (d) 在現實中，少芬上下彈跳數次後就停了下來。能量到了哪裏去？(1 分)

▶ 參看例題 8 (p.226)

□ 考試報告見第 252 頁。

6.3 34 香港中學會考 2009 年卷一 Q2

某大廈發生火警。該大廈內一名質量為 60 kg 的男子在 15 m 高處從靜止豎直落下。一個厚 3.5 m 的氣墊救了該男子 (見圖 t)。忽略該男子的體型大小。

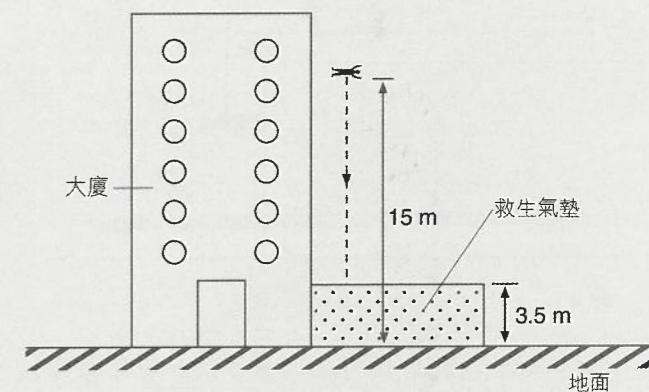


圖 t

- (a) 求該男子剛到達氣墊前的動能。6900 J (2 分)
- (b) 氣墊在該男子離地 0.5 m 時，截停了他。求氣墊作用於該男子的平均阻力。2900 N (3 分)
- (c) 若使用較厚的氣墊，而該男子同樣在離地 0.5 m 時被截停。解釋為何以該較厚的氣墊來拯救該男子會更佳。(4 分)

□ 考試報告見第 252 頁。

6.3 35 OCR GCE Jun 2009 Q10(b)

在倫敦地下鐵路系統中，很多車站的位置都高於車站前後的路軌 (圖 u)。

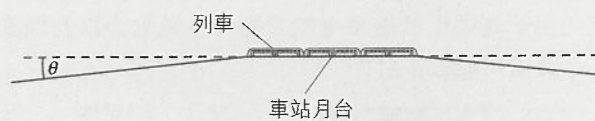


圖 u

- (a) 車站前後的路軌與水平線之間的角度是 1° 。證明當列車進入或離開車站時，它的重量沿路軌方向的分量大約等於重量的五十分之一。你可以繪畫矢量圖來幫助解答。(2 分)
- (b) 描述這力對列車進入與離開車站時的運動有甚麼影響。(2 分)
- (c) 在每一個車站，列車都須停下，然後再開動。與把車站建於完全水平的路軌上相比，為甚麼圖 u 的設計會浪費較少能量？(2 分)

6 功、能量和功率

□ 考試報告見第 252 頁。

36 綜合題 香港中學會考 2011 年卷一 Q11

圖 v 顯示一實驗裝置，利用該裝置求一方塊和桌子之間的摩擦力。以一條不可伸展的輕繩通過無摩擦的滑輪把一砝碼和方塊連接起來。砝碼和方塊的質量分別為 0.02 kg 和 1 kg。砝碼和方塊初始靜止。

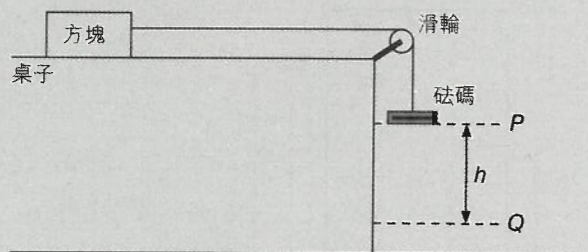


圖 v

把砝碼在 P 釋放，它以勻加速下降。量度砝碼下降一段距離 h (由 P 至 Q) 所需的時間。

當 $h = 0.7 \text{ m}$ 時，所需時間為 2.95 s。忽略空氣阻力。

- (a) 求砝碼的加速度。 161 m s^{-2} (2 分)
- (b) 求砝碼於 Q 時的速率。 0.475 m s^{-1} (2 分)
- (c) 利用能量守恆定律，或以其他方法，求作用於方塊的摩擦力。 0.0359 N (4 分)

□ 考試報告見第 252 頁。

37 綜合題 香港中學文憑考試 2013 年卷一乙部 Q3

一部重量為 8000 N 的升降機以恆定速率 2 m s^{-1} 上行，如圖 w 所示。繞於鼓軸上的鋼索為上行的升降機提供向上的力，而鼓軸則以電動機驅動。鋼索另一端固定於鼓軸上的 P 點。空氣阻力以及鋼索的質量可略去不計。

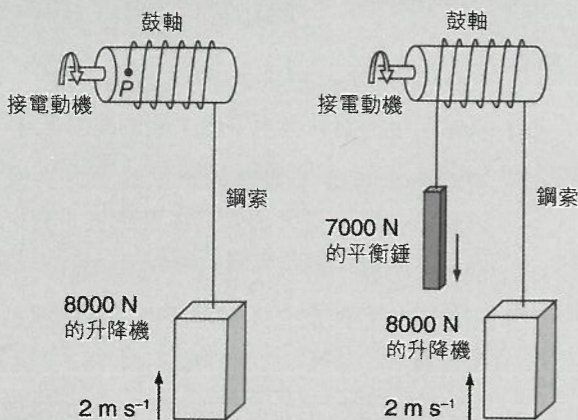


圖 w

圖 x

- (a) (i) 計算電動機對上行升降機所輸出的機械功率。 16 kW (2 分)

- (ii) 電動機的總機械功率輸出為 20 kW。對抗活動組件之間摩擦的功率損失是多少？ 4 kW (1 分)

(b) 現於鋼索另一端裝上 7000 N 的平衡錘，如圖 x 所示。平衡錘的移動方向跟升降機相反，而升降機同樣以 2 m s^{-1} 上行。假設鋼索與鼓軸之間並無滑移。

- (i) 計算電動機在此情況下的總機械功率輸出。假設對抗活動組件之間摩擦的功率損失跟 (a) 部求得的相同。 6 kW (2 分)
- (ii) 指出裝設了平衡錘的好處。 (1 分)
- (iii) 有一說法認為由於摩擦引致功率損失，用一個表面無摩擦的鼓軸可進一步減低對電動機的功率需求。試評論該說法。 **不正確** (2 分)

實驗題

38 你有一個足球，以及連接數據記錄器和電腦的運動感應器。以繪圖輔助，描述如何利用這些儀器來探究能量守恆定律。 (5 分)

□ 考試報告見第 252 頁。

39 綜合題 香港中學會考 2010 年卷一 Q2

圖 y 顯示一實驗裝置，利用該裝置求重力加速度。

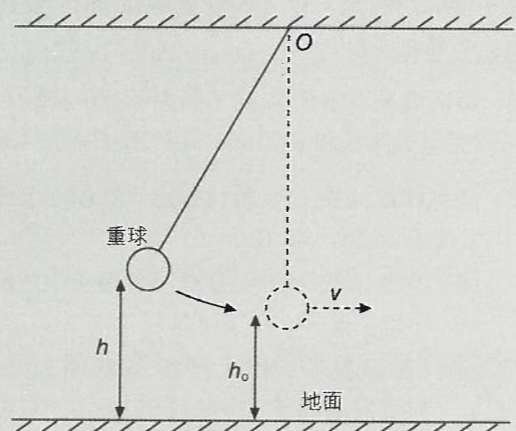


圖 y

一重球以一條長且不可伸展的輕繩懸掛於一固定點 O 上。它由離地面高 h 的位置從靜止釋放 (見圖 y)。當重球經過最低位置時量度其速率 v，重球的最低位置離地面高 h_0 。以不同 h 數值重複實驗，表 a 顯示所獲得的結果。

高度 (h / m)	速率 ($v / \text{m s}^{-1}$)
0.1	0.949
0.3	2.214
0.5	2.966
0.7	3.578

表 a

- (a) 繪出 v^2 對 h 的關係線圖。用 1 cm 表示 $1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ 和 0.1 m。 (4 分)
- (b) (i) 根據能量守恆定律，證明 $v^2 = 2g(h - h_0)$ 。 (1 分)
- (ii) 利用 (a) 所繪線圖的斜率，求重力加速度的值。 9.85 m s^{-2} (2 分)
- (c) 指出一個原因解釋為何使用的球應是重的。 (1 分)

物理文章分析

63 41 閱讀以下有關滑輪的文章，並回答以下問題。

滑輪

滑輪系統常用於提起重物。這些系統可根據滑輪的數目和排列方式，分為不同類別。

最簡單的一類是單一滑輪 (圖 aa)。只要在繩子的一端施力，便可提起繫於繩子另一端的重物。向下施力通常比向上容易，滑輪可直接把向下的力轉化為向上的力 (假設沒有摩擦力)，方便提起重物。

另一類滑輪系統是單一動滑輪 (圖 ab)。在這系統中，繩子的張力與施力相等。重物 (和滑輪) 由兩段繩子的張力一同提起，因此施力大約只是負重的一半。然而，重物每升高 1 m，兩段繩子便各要收減 1 m，也就是說，要把繩子拉過 2 m 長的距離，重物才會升高 1 m。

增加滑輪的數目，便可用更小的施力來提起重物，但代價是施力的距離須加長。

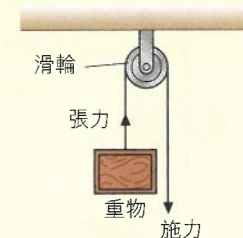


圖 aa

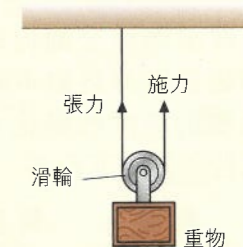


圖 ab

展明利用單一動滑輪來將 10 kg 的重物以恆速度升高 1 m。假設滑輪沒有摩擦力，且滑輪與繩子的質量可略不計。

- (a) 求重物增加的勢能。 98.1 J (2 分)
- (b) 求展明為升起重物所作的功。 98.1 J (1 分)
- (c) 求把重物升起所需的力。 49.1 N (3 分)
- (d) 假設滑輪的質量不可略去。重物升高 1 m 時，它所增加的勢能與展明所作的功會有甚麼改變？ (2 分)

不變、增加

□ 考試報告見第 252 頁。

6.3 40 香港中學文憑考試 2013 年卷一乙部 Q5

傾斜的光滑路軌 ABC 穩固地固定於豎直面，而路軌的水平部分 BC 則承於實驗檯面上，如圖 z 所示。現提供一個滑行玩具、一把米尺以及一條粗糙的長紙帶，紙帶底的一面附有膠紙。

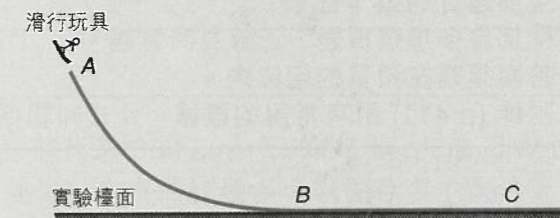


圖 z

利用所提供的儀器，描述一實驗以探究滑行玩具的制動距離跟其釋放高度的關係。你的描述須包括所量度的物理量以及預期的結果。 (5 分)

自我評核 6

時間：20分鐘 總分：14分

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄 (p.411) 附有常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

6.3 1



圖 a

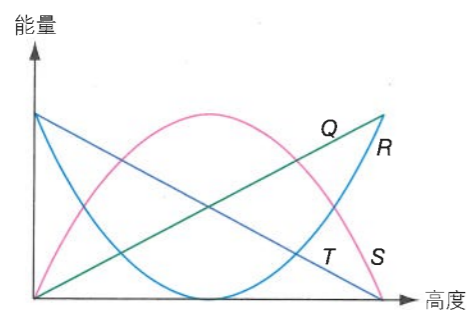


圖 b

圖 a 顯示海洋公園內的海盜船。在圖 b 中，各圖線顯示海盜船不同形式的能量與它距離最低點的高度的變化。若它的動能與勢能總和保持不變，下列哪一項配對是正確的？

	動能	勢能
A	T	Q
B	Q	T
C	S	R
D	S	T

A

6.3 2 木塊 X 和 Y 的質量都是 2 kg。力 F_X 把 X 以恆速率 v 拉上斜面，直至 X 的垂直位移是 1 m。斜面的傾斜角是 30° ，X 與斜面之間的摩擦力是 2 N。力 F_Y 以相同速率 v 把 Y 垂直提升 1 m。

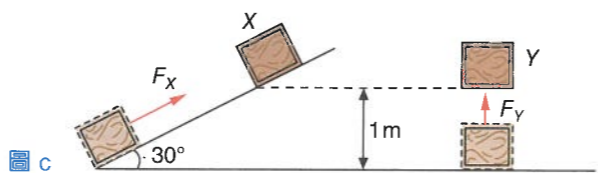


圖 c

下列哪些敘述是正確的？

- F_X 比 F_Y 小。
- F_X 與 F_Y 所作的功相等。
- X 獲得的能量比 Y 少。

- A 只有 (1) B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

A

3 圖 d 顯示物體的動能 (KE) 隨所移動距離 (d) 的變化。如果物體的質量是 2 kg，它的加速度是多少？

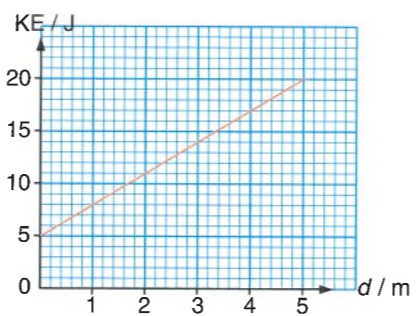


圖 d

- A 1.5 m s^{-2} B 2 m s^{-2}
C 3 m s^{-2} D 6 m s^{-2}

A

乙部

4 汽車以恆速率在水平路面上行駛。作用於汽車的摩擦力是 800 N。

綜合題

(a) 若汽車的功率是 16 kW，它的速率是多少？ (2分)

20 m s⁻¹

(b) 汽車的油缸注滿汽油後，能夠以 (a) 部求得的速率行駛 300 km。已知每 kg 汽油可以供應 46 MJ 的能量，其中約 20% 會轉換為汽車的輸出能量。汽車油缸最多可以儲存多少汽油？ (2分)

26.1 kg

(c) 若汽車的輸出功率不變，它上斜時比在水平路面上行駛時需要較長時間來加速至同一速率。試簡單解釋。 (1分)

6.3 5 嘉文將單擺的擺球拉到一旁然後放手 (圖 e)，量度到擺球在最低點的速率為 1.4 m s^{-1} 。

(a) A 點處於最低點以上 5 cm 的高度。求擺球到達 A 點時的速率。寫出在計算過程中所作的假設。 (3分)

0.989 m s⁻¹

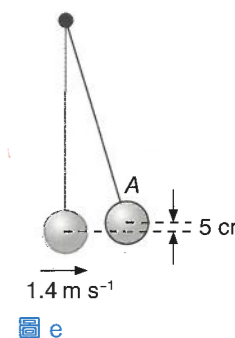


圖 e

(b) 隨後，嘉文在單擺繩子的中心點旁加上一條固定的水平棒子，並再將擺球拉到一旁 (圖 f)。這時，繩子與垂直線之間的角度是 40° 。

(i) 找出擺球在另一側所到達的最大高度 (由最低點計起)。 (1分)

3.51 cm

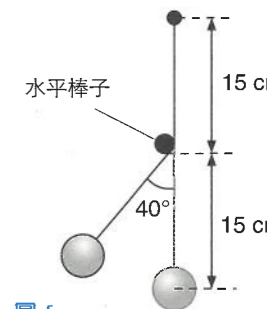
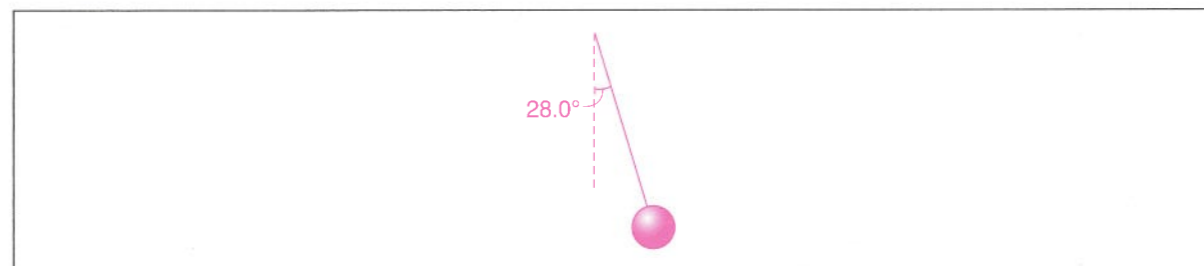


圖 f

(ii) 草繪擺球到達另一側的最高點時的位置，並清楚標示繩子與垂直線之間的角度。 (2分)



(題解見 p.408)

□ Q34 考試報告：考生表現尚算良好。

- (a) 部分能力較弱的考生忽略了氣墊的厚度，並把大廈的高度倍以 mg 而得出錯誤的答案。還有不少考生錯誤計算該男子的速度而非他的動能。
- (b) 很多考生在計算時忽略了該男子碰到氣墊後的下降距離，因而得到錯誤的平均阻力（方法：失去的勢能 = 克服阻力所作的功）。
- (c) 使用作功與能量關係方法的考生中，只有能力較高者能指出該男子同樣在離地 0.5 m 時被截停，所以他所失去的勢能相同。而使用力與動量關係方法的考生中，亦只有能力較高者能利用 $F = (mv - mu) / t$ 原理指出該男子剛到達氣墊前的速度 / 動量會較少和碰撞時間 t 會較長。

□ Q35 考試報告：在 (a) 部，只有數學較佳的考生能證明重量沿路軌的分量為 $W \sin(1^\circ) \approx W/50$ 。在 (b) 部，考生多能指出斜路令列車進入車站時減速，離開車站時加速，但能在 (c) 部有條理地討論列車能量的考生甚為罕見。

□ Q36 考試報告：考生整體表現尚可。

- (a) 很多考生答案並非以三位有效數字表示。
- (c) 考生於本部表現欠佳。在應用能量守恆時，很多考生忽略了下墜中砝碼的動能和克服摩擦力的作功。他們誤以為砝碼損耗的勢能等於方塊增加的動能。而應用牛頓第二定律時，很多考生誤以為砝碼的重量等於繩子的張力。

□ Q37 考試報告：考生表現令人滿意。(a) 部答得不錯。在 (b)(i) 部，只有能力較強的考生能正確計算出總機械功率輸出。考生多未能清楚解釋為何 (b)(iii) 部的說法不正確，有些更誤以為即使鼓軸表面無摩擦升降機仍可上升。

□ Q39 考試報告：考生表現令人滿意。

- (a) 能力較弱的考生錯誤標示軸線。有考生錯誤繪畫直線穿過原點，而非最佳直線。
- (b) (ii) 只有能力較高的考生明白線圖的斜率和重力加速度量值的關係。有考生嘗試以題目提供的 h 和 v 運算，而非按要求以線圖的斜率求 g 。
- (c) 不少考生錯誤認為重的球能夠減少空氣阻力。（考生混淆了「空氣阻力」和「空氣阻力的影響」）

□ Q40 考試報告：考生表現令人失望。只有能力較強的考生清楚寫出所需的步驟，包括需要量度的物理量及根據功—能理論所得的預期結果。大多數考生只說出制動距離會隨着釋放高度增加，而沒有任何圖解或數學闡述。部分考生不僅使用題目所提供粗糙的長紙帶及米尺來進行實驗。



7 動量

我們在这一課會學到

- 動量的意義
- 不同類型的碰撞
- 動量守恆定律
- 物體動量變化與淨力的關係

7.1

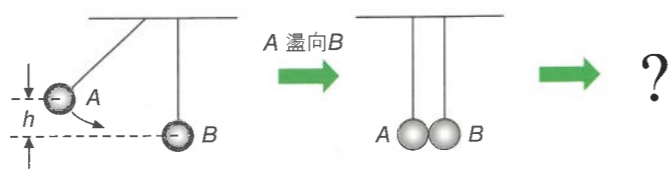
動量守恆

✓ 本節重點

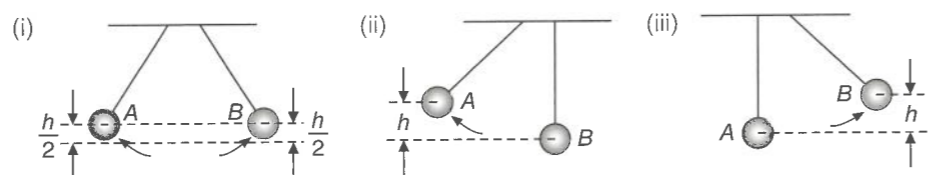
- 1 動量
- 2 碰撞的種類
- 3 動量守恆定律
- 4 動量守恆的例子

起點 哪個物理量是守恆的？

銘浩想用能量守恆定律去預測兩個相同小球 A 和 B 碰撞後會怎樣運動：



他想到三個符合能量守恆定律的結果。



他做過實驗後，發現只有 (iii) 的情況會出現，不禁猜想是否還有其他物理量會像能量一樣守恆。

十七世紀的科學家也在找尋這個物理量。哪個物理量在碰撞中是守恆的呢？ ▶ 參看第 260 頁。



笛卡兒 (1596-1650)

質量 × 速率在宇宙中是守恆的。



惠更斯 (1629-1695)

根據實驗結果，質量 × 速度以及質量 × (速度)² 在碰撞中都是守恆的。



牛頓 (1642-1727)

根據我的運動定律，質量 × 速度是守恆的。



萊布尼茲 (1646-1716)

等等！我認為質量 × (速度)² 更有意義。

→ 模擬程式 7.1 示範實驗 7a 的步驟。

→ 錄像片段 7.1 示範實驗 7a。

1 速度、質量和碰撞

我們先做以下實驗，看看兩個物體在碰撞中的表現。

▶ 我們先做完全非彈性碰撞的實驗，因為碰撞後只有一個速度，學生較易處理。

模擬程式 7.1
錄像片段 7.1

實驗 7a 小車碰撞實驗 (碰撞後黏在一起)

- 1 如圖 a 所示裝置實驗器材。
- 2 開始記錄數據，推動小車 A 一下，使它撞向靜止的小車 B (圖 b)。碰撞後，魔術貼令兩車黏在一起。
- 3 記錄小車在碰撞前後的的速度。
- 4 改變小車 A 的質量，然後重複實驗。



圖 a

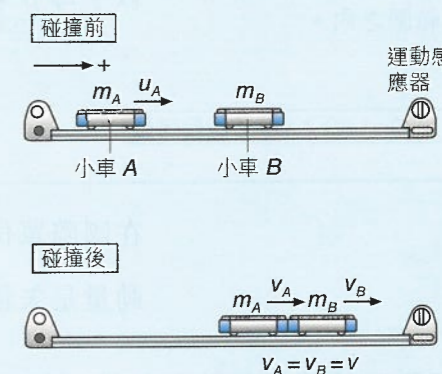


圖 b

注意事項 ▶ 這些注意事項旨在減少外力。

給小車的車輪上潤滑油，以減低摩擦力。跑道要水平放置。

結果與討論

圖 c 和表 a 顯示實驗的結果。▶ 學生閱讀 v-t 線圖時，應取碰撞前一刻和剛碰撞後的速度。

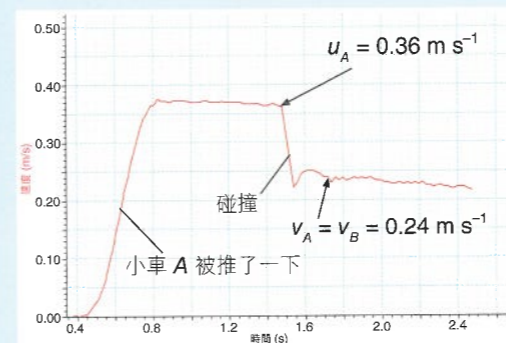


圖 c v-t 線圖的例子 ($m_A = 1 \text{ kg}$, $m_B = 0.5 \text{ kg}$)

	m_A / kg	m_B / kg	碰撞前	碰撞後
			($u_B = 0$) $u_A / \text{m s}^{-1}$	($v_A = v_B = v$) $v / \text{m s}^{-1}$
1	0.50	0.50	0.12	0.05
2	1.00	0.50	0.36	0.24
3	1.50	0.50	0.40	0.29

表 a 實驗結果

計算在碰撞前後，兩輛小車的 (a) 質量 × 速度 (即 mv) 的和，以及 (b) 動能 (即 $\frac{1}{2}mv^2$) 的和。你有甚麼發現？

在碰撞前後， mv 的和守恆，動能的和不守恆。

表 7.1a 顯示實驗 7a 結果的分析。

碰撞前 mv 的和
 $= m_A u_A + m_B u_B$
 $= m_A u_A$
 碰撞後 mv 的和
 $= m_A v + m_B v$

	mv 的和 / kg m s^{-1}		動能的和 / J	
	碰撞前	碰撞後	碰撞前	碰撞後
1	0.06	0.05	3.6×10^{-3}	1.3×10^{-3}
2	0.36	0.36	0.06	0.04
3	0.60	0.58	0.12	0.08

表 7.1a 實驗 7a 結果的分析

從表 7.1a 可見，在由兩輛小車組成的系統中，當我們把各車的質量 m 和速度 v 相乘，再把兩車的結果相加，所得的總和在碰撞前後是相同（即守恆）的。「質量 × 速度」這個量稱為**動量**，對研究碰撞非常重要，通常以字母 p 來表示。

這些數值並非完全相同，但差異在實驗誤差的可接受範圍之內。

$$\text{動量} = \text{質量} \times \text{速度}$$

$$p = mv$$

在國際單位制中，動量的單位是公斤米 / 秒 (kg m s^{-1})。

動量是矢量，方向與物體的速度相同（圖 7.1a）。



圖 7.1a 物體的速度和動量方向相同

如果多於一個物體在移動，這些物體的總動量就是每個物體的動量之和（圖 7.1b）。

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots$$

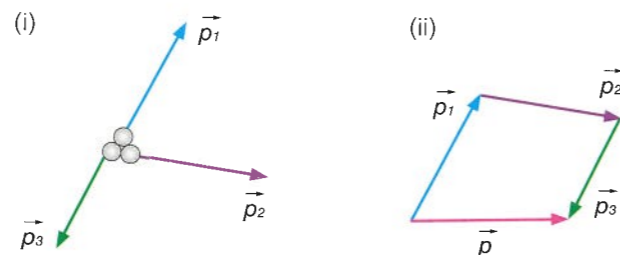


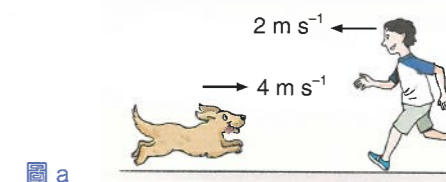
圖 7.1b (i) 不同動量的物體 (ii) 物體的總動量

正如其他矢量一樣，要是各物體的動量互相平行，它們的方向便可以用正號及負號來表示。

留意在實驗 7a 中，兩車動能的總和在碰撞前後並不相同，這代表小車在碰撞後黏在一起的話，總動能並不守恆。

例題 1 計算動量

浩英的質量是 50 kg ，以 2 m s^{-1} 跑向左；小狗的質量是 20 kg ，以 4 m s^{-1} 跑向右（圖 a）。求兩者各自的動量和總動量。



題解

取向左為正。

$$\text{浩英的動量} = mv = 50 \times 2 = 100 \text{ kg m s}^{-1}$$

$$\text{小狗的動量} = mv = 20 \times (-4) = -80 \text{ kg m s}^{-1}$$

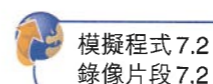
$$\text{總動量} = 100 + (-80) = 20 \text{ kg m s}^{-1}$$

「-」表示小狗的動量指向右。

習題與思考 7.1 Q6 (p.269)

→ 模擬程式 7.2 示範實驗 7b 的步驟。

→ 錄像片段 7.2 示範實驗 7b。



模擬程式 7.2
錄像片段 7.2

2 動量守恆定律

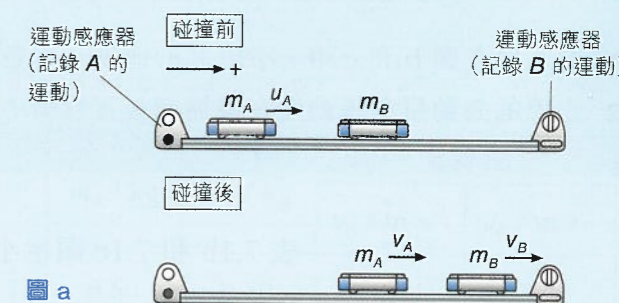
前述實驗顯示，小車碰撞後黏在一起的話，小車系統的總動量守恆而總動能不守恆。在其他情況中，系統的總動量和總動能會守恆嗎？

實驗 7b

小車碰撞實驗（其他碰撞）

甲部

- 1 用膠紙封住小車的魔術貼，並如圖 a 裝置實驗器材。
- 2 開始記錄數據，把小車 A 推向靜止的小車 B。
- 3 記錄小車在碰撞前後的速度。
- 4 改變小車 B 的質量，然後重複實驗。



乙部

- 1 在小車上安裝磁鐵，令它們移近時會互相排斥。
- 2 重複甲部的步驟 2 和 3，然後改變小車 A 的質量，並保持小車 B 質量不變，再重複實驗。

注意事項

給小車的車輪上潤滑油，以減低摩擦力。跑道要水平放置。

續下頁

結果與討論 在彈性碰撞中，如果 $m_A = m_B$ ，小車 A 撞上靜止的小車 B 後會立即停下。可是，兩輛小車的質量可能有微細的差異，或跑道並非完全水平，令實驗做不到上述結果。

圖 b 和表 a 顯示甲部的結果，圖 c 和表 b 則顯示乙部的結果。

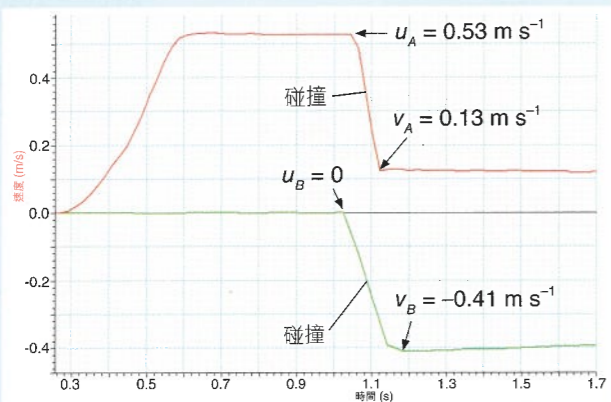


圖 b 甲部某次碰撞的結果 ($m_A = m_B = 0.5 \text{ kg}$)

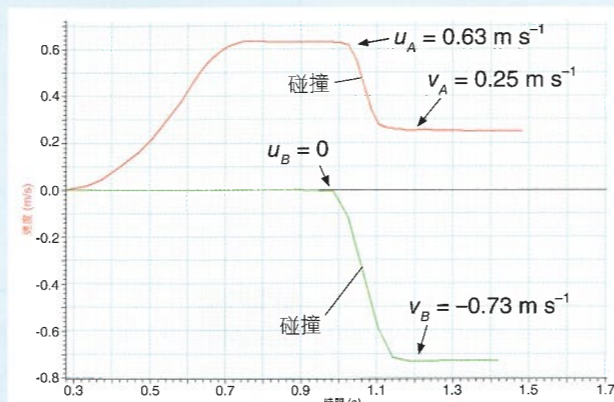


圖 c 乙部某次碰撞的結果 ($m_A = 1 \text{ kg}$, $m_B = 0.5 \text{ kg}$)

	m_A / kg	m_B / kg	碰撞前		碰撞後	
			$u_A / \text{m s}^{-1}$	$u_B / \text{m s}^{-1}$	$u_A / \text{m s}^{-1}$	$u_B / \text{m s}^{-1}$
1	0.50	0.50	0.53	0	0.13	0.41
2	0.50	1.00	0.64	0	0.10	0.27
3	0.50	1.50	0.72	0	-0.06	0.25

表 a 甲部的結果 (向右為正)

	m_A / kg	m_B / kg	碰撞前		碰撞後	
			$u_A / \text{m s}^{-1}$	$u_B / \text{m s}^{-1}$	$u_A / \text{m s}^{-1}$	$u_B / \text{m s}^{-1}$
1	0.50	0.50	0.29	0	0	0.29
2	1.00	0.50	0.63	0	0.25	0.73
3	1.50	0.50	0.53	0	0.30	0.67

表 b 乙部的結果 (向右為正)

- 為甚麼在圖 b 和 c 中，小車 B 的速度是負數？
小車 B 向着右面的運動感應器移動，所以這感應器測得的速度為負數。
- 小車的總動量和總動能在碰撞前後守恆嗎？
總動量在各情況下都守恆，但總動能只在部分情況守恆。

表 7.1b 和 7.1c 顯示小車在碰撞前後的總動量和總動能。

	總動量 / kg m s^{-1}		總動能 / J	
	碰撞前	碰撞後	碰撞前	碰撞後
1	0.27	0.27	0.07	0.05
2	0.32	0.32	0.10	0.04
3	0.36	0.35	0.13	0.05

表 7.1b 在甲部中小車的總動量 (向右為正) 和總動能

	總動量 / kg m s^{-1}		總動能 / J	
	碰撞前	碰撞後	碰撞前	碰撞後
1	0.15	0.15	0.02	0.02
2	0.63	0.62	0.20	0.16
3	0.80	0.79	0.21	0.18

表 7.1c 在乙部中小車的總動量 (向右為正) 和總動能

部分能量轉換為內能和聲能。

在甲部中，小車的能量往哪裏去了？

考慮實驗誤差後，小車的總動量在實驗 7b 的甲部和乙部都守恆，可是總動能只在乙部守恆，在甲部則不守恆。

「系統」指所有參與碰撞的物體。

若整個系統的總動能在碰撞前後守恆，這種碰撞就稱為**彈性碰撞**，否則就是**非彈性碰撞**。若物體碰撞後連在一起移動，那就是**完全非彈性碰撞**。

現實生活中，碰撞大多是**非彈性的**。

皮球跌到地面後反彈回原來的高度，這種就是**彈性碰撞**；雞蛋跌到地面後破裂而不反彈，這種就是**完全非彈性碰撞**。

實驗 7c 「爆炸」

→ 模擬程式 7.3 示範實驗 7c 的步驟。

→ 錄像片段 7.3 示範實驗 7c。

模擬程式 7.3
錄像片段 7.3

- 如圖 a 所示裝置實驗器材。
- 開始記錄數據。鬆開壓縮彈簧柱塞，讓兩車彈開 (即「爆炸」)，並沿相反方向移動 (圖 b)。
- 記錄小車的速度。
- 改變小車 A 的質量，重複實驗。



圖 a

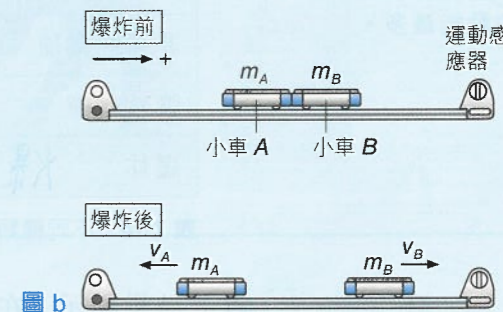


圖 b

注意事項

給小車的車輪上潤滑油，以減低摩擦力。跑道要水平放置。

結果與討論

圖 c 和表 a 顯示實驗結果。兩輛小車最初都是靜止的 (即 $u_A = u_B = 0$)。

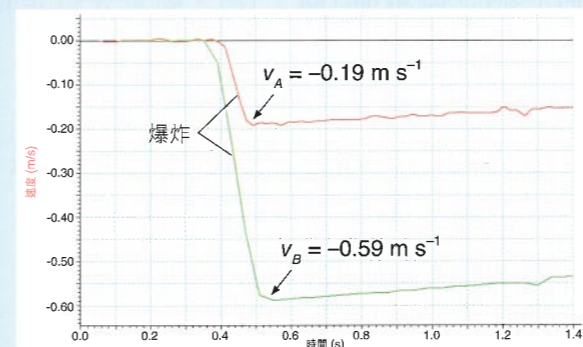


圖 c v-t 線圖的例子 ($m_A = 1.5 \text{ kg}$, $m_B = 0.5 \text{ kg}$)

	m_A / kg	m_B / kg	爆炸後	
			$v_A / \text{m s}^{-1}$	$v_B / \text{m s}^{-1}$
1	0.50	0.50	-0.54	0.58
2	1.00	0.50	-0.30	0.63
3	1.50	0.50	-0.19	0.59

表 a 實驗結果 (向右為正)

在爆炸中，小車的總動量和總動能守恆嗎？
總動量守恆，總動能不守恆。

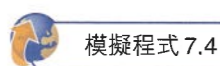
彈性碰撞 elastic collision 非彈性碰撞 inelastic collision
完全非彈性碰撞 completely / perfectly inelastic collision

表 7.1d 顯示爆炸前後小車的總動量和總動能。

	總動量 / kg m s ⁻¹		總動能 / J	
	爆炸前	爆炸後	爆炸前	爆炸後
1	0	0.02	0	0.16
2	0	0.02	0	0.14
3	0	0.01	0	0.11

表 7.1d 爆炸前後小車的總動量 (向右為正) 和總動能

→ 模擬程式 7.4 讓學生隨意探索兩部小車之間不同的相互作用。



模擬程式 7.4

考慮實驗誤差後，在爆炸中，系統的總動量守恆 (即保持為零)，總動能則增加了，這是因為儲存在彈簧中的彈性勢能轉化成小車的動能。

表 7.1e 總結不同種類的相互作用中，系統的總動量和總動能是否守恆。

	總動量守恆?	總動能守恆?
完全非彈性碰撞 <i>合體</i>	✓	✗
非彈性碰撞	✓	✗
彈性碰撞	✓	✓
爆炸 <i>爆發</i>	✓	✗

表 7.1e 不同種類的相互作用中，系統的總動量和總動能

碰撞是完全非彈性時，系統損失的動能最多。

這解答了起點提出的問題。你現在能夠解釋銘浩的實驗結果嗎？

只有在 (iii) 所示的情況中，兩個球的總動量才守恆。

若沒有淨外力作用在系統上，系統的總動量守恆。

正向碰撞又稱對正碰撞，即兩個物體在碰撞前後都沿同一直線移動。

如果系統由兩個物體組成，而它們正向相撞 (圖 7.1c)，動量守恆定律可用數學方程表示：

$$m_A u_A + m_B u_B = m_A v_A + m_B v_B$$

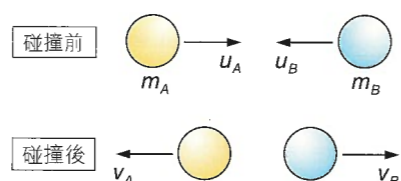


圖 7.1c 兩個物體正向碰撞

應用動量守恆定律時應留意以下各點。

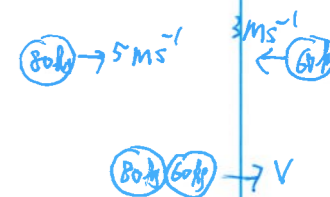
- 1 外力是指由系統以外的物體所施加的力。例如，兩輛小車相撞時，跑道的摩擦力便是施於這個小車系統的外力。
- 2 系統中各物體互相施於對方的力是內力。實驗 7c 中，壓縮彈簧柱塞是小車的一部分，鬆開柱塞時，兩輛車同時向對方施加內力。
- 3 只有系統的總動量才會守恆，系統內個別物體的動量並不守恆。

例題 2 冰上曲棍球選手的完全非彈性碰撞

在冰上曲棍球比賽中，X 的質量是 80 kg，速度是向右 5 m s⁻¹，Y 的質量是 60 kg，速度是向左 3 m s⁻¹。二人碰撞後扭成一團 (圖 a)。他們碰撞後的共同速度是多少？冰面作用於他們的摩擦力可略去不計。



圖 a



題解

取向右為正。設他們在碰撞後的速度為 v 。

根據動量守恆定律，

$$m_X u_X + m_Y u_Y = (m_X + m_Y)v$$

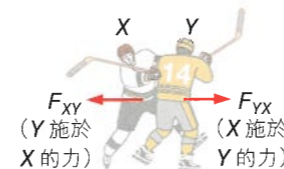
$$80 \times 5 + 60 \times (-3) = (80 + 60)v$$

$$v = 1.57 \text{ m s}^{-1}$$

碰撞後的共同速度是向右 1.57 m s⁻¹。

▶ 進度評估 1 Q6 (p.262)

冰面作用於球員的摩擦力可略去不計，球員的重量與來自冰面的法向力互相抵銷。兩個球員都向對方施力 (F_{XY} 和 F_{YX})，但這些都是內力。由於沒有淨外力作用於系統，因此可以應用動量守恆定律。



技巧分析

應用動量守恆定律

- ① 選取正方向。
- ② 檢查作用於系統的外力。要是淨外力是零，動量守恆便成立。寫出動量守恆的方程式。
- ③ 把物體的質量和速度代入方程式，注意速度的正負號。

例題 3 在冰上互推

民生和珍珍站在冰上(圖 a)，兩人的質量分別是 75 kg 和 55 kg。開始時，民生輕推珍珍，她便以 0.8 m s^{-1} 向右滑行。假設冰面作用於他們的摩擦力可略去不計。民生推開珍珍後，他的速度是多少？



題解

取向右為正。

根據動量守恒定律，

$$m_M u_M + m_J u_J = m_M v_M + m_J v_J$$

$$0 = 75v_M + 55 \times 0.8$$

$$v_M = -0.587 \text{ m s}^{-1}$$

民生的速度是向左 0.587 m s^{-1} 。

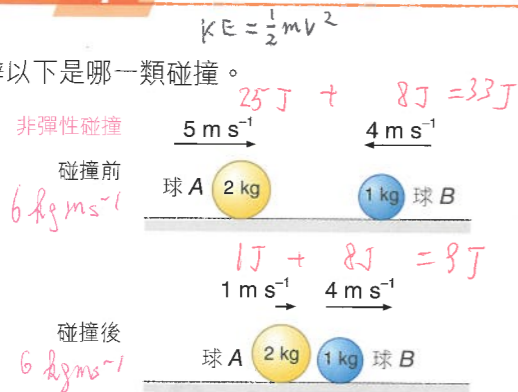
▶ 習題與思考 7.1 Q10 (p.269)

進度評估 1

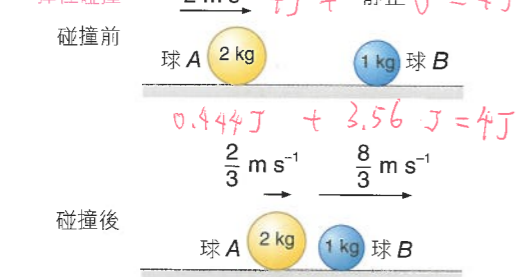
✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.254)。

21 分辨以下是哪一類碰撞。

(a) 非彈性碰撞



(b) 彈性碰撞



32 是非題：一個系統的總動量必定守恒。(對/錯)

在沒有外力之下

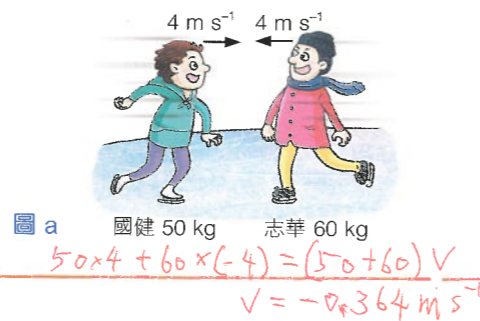
23 是非題：在彈性碰撞中，系統的總動能必定守恒。(對/錯)

24 是非題：在非彈性碰撞中，總能量不守恒。(對/錯)

35 是非題：假如物體 X 與物體 Y 碰撞，X 的動量便不守恒。(對/錯)

36 國健和志華溜冰時相撞(圖 a)。他們碰撞後若「黏」在一起，碰撞後的速度是多少？冰面作用於他們的摩擦力可略去不計。 0.4 m s^{-1} (向左)

[提示： $m_A u_A + m_B u_B = (m_A + m_B)v$]

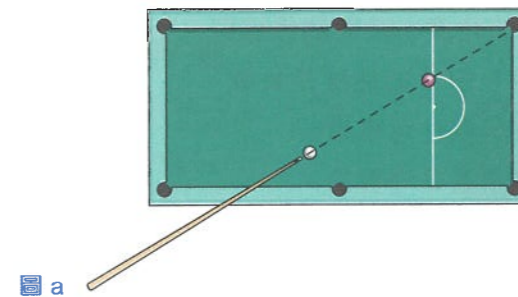


錄像片段 7.4

→ 錄像片段 7.4 示範定桿。

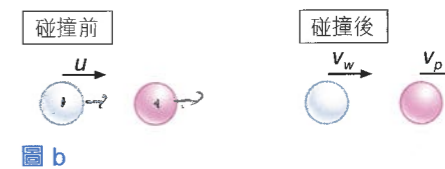
例題 4 彈性碰撞

在桌球比賽中，白色球、粉紅色球和尾袋處於同一直線上(圖 a)。兩個球的質量相同。試證明球手可用「定桿」(即白色球在碰撞後立即停下)把粉紅色球撞進袋中。假設球的旋轉和作用於球的摩擦力可略去不計，且兩個球的碰撞是彈性的。



題解

設每個球的質量均為 m ，白色球的初速度為 u 、末速度為 v_w ，粉紅色球的末速度為 v_p (圖 b)。



根據動量守恒定律，

$$mu + 0 = mv_w + mv_p$$

$$u = v_w + v_p \dots\dots\dots (1)$$

在彈性碰撞中，系統的總動能守恒，因此

$$\frac{1}{2} mu^2 + 0 = \frac{1}{2} mv_w^2 + \frac{1}{2} mv_p^2$$

$$u^2 = v_w^2 + v_p^2 \dots\dots\dots (2)$$

把 (1) 代入 (2)，

$$(v_w + v_p)^2 = v_w^2 + v_p^2$$

$$v_w^2 + 2v_w v_p + v_p^2 = v_w^2 + v_p^2$$

$$2v_w v_p = 0$$

$$v_p = 0 \text{ 或 } v_w = 0$$

情況 1：

如果 $v_p = 0$ ，(1) 得出 $v_w = u$ 。這代表沒有碰撞發生，所以應捨去這答案。

情況 2：

如果 $v_w = 0$ ，(1) 得出 $v_p = u$ 。這代表白色球在碰撞後停止，粉紅色球則以白色球本來的速度移動。

因此，球手可用「定桿」把粉紅色球撞進尾袋。

▶ 習題與思考 7.1 Q8 (p.269)

在光滑的水平面上，如果物體 X 以速度 u 正向撞擊靜止的物體 Y，而 X 和 Y 質量相同，且碰撞是彈性的，在碰撞後 X 必定會停下，Y 則以速度 u 移動。

例題 5 研究碰撞的實驗

偉明做實驗以驗證動量守恆定律。他推了小車 A 一下，令它撞向靜止的小車 B。跑道兩端的運動感應器記錄小車的運動（圖 a）。A 的質量是 0.5 kg，B 的質量是 1.5 kg。

圖 b 顯示 A 和 B 的速度—時間關係線圖。

- 解釋為甚麼圖 b 中 B 的速度是負數。
- 指出這實驗的一個注意事項。
- 證明小車的總動量是守恆的。

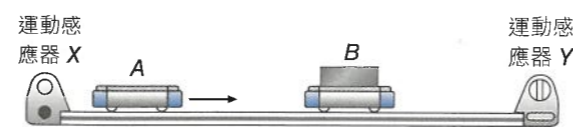


圖 a

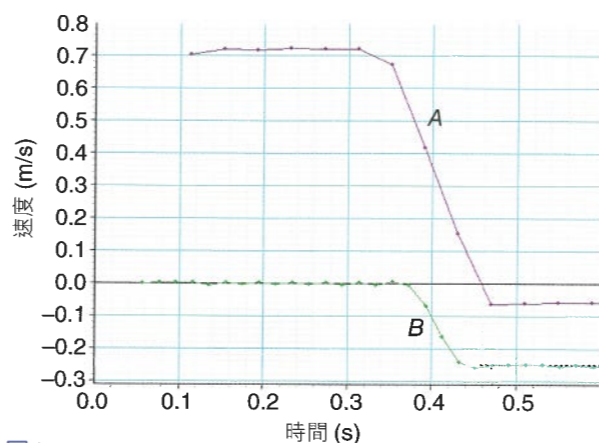


圖 b

題解

- 運動感應器通常取移離它的方向為正。B 在碰撞後移向運動感應器 Y，所以 Y 記錄到 B 的速度是負數。
- 下列任何一項：
給小車的車輪上潤滑油。
水平放置跑道。
- 取向右為正。

	碰撞前	碰撞後
A 的速度 / m s^{-1}	0.72	-0.06
B 的速度 / m s^{-1}	0	0.25

$$\begin{aligned} \text{碰撞前的總動量} &= m_A u_A + m_B u_B \\ &= (0.5)(0.72) + 0 \\ &= 0.36 \text{ kg m s}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{碰撞後的總動量} &= m_A v_A + m_B v_B \\ &= (0.5)(-0.06) + (1.5)(0.25) \\ &= 0.345 \text{ kg m s}^{-1} \end{aligned}$$

小車的總動量在碰撞前後相若，所以（在實驗誤差範圍之內）總動量是守恆的。

▶ 複習 Q43 (p.292)

→ 模擬程式 7.5 模擬牛頓擺。學生可隨意將不同數量的鋼珠從一邊或兩邊拉起並釋放，從而研究彈性和非彈性碰撞。

→ 錄像片段 7.5 示範實驗 7d。



模擬程式 7.5
錄像片段 7.5

▶ 在每次碰撞中，鋼珠都會失去少許能量，所以最後鋼珠會停下。

根據能量守恆，兩顆鋼珠上升至相同高度，表示它們在最低點的速率相同。注意，系統的總動量只在碰撞前後的一刻守恆，在鋼珠上升或下落時，有淨外力（重力）作用於鋼珠，所以系統的總動量會改變。

3 動量守恆的例子

a 牛頓擺

牛頓擺這玩意由數顆質量相同的鋼珠緊貼排列而組成，可用於示範動量守恆定律。

實驗 7d 牛頓擺

- 把最外的鋼珠拉向一旁然後放手（圖 a），觀察它撞上其他鋼珠時的情況。
- 改為拉起二、三、四顆鋼珠，重複實驗。

討論

- 鋼珠的總動量在碰撞前後的一刻是否守恆？是
- 鋼珠上升或下落時，總動量是否守恆？不守恆

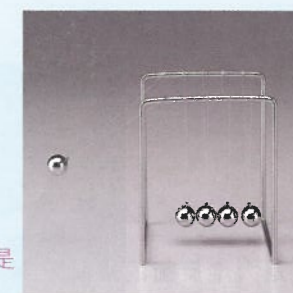


圖 a

▶ 拉起一至四顆鋼珠然後放手，在碰撞後，相同數量的鋼珠會向另一邊上升至相同高度，這顯示系統的總動量在碰撞前後的一刻守恆。

例題 6 牛頓擺

亮華把牛頓擺的鋼珠 P 拉向一旁然後放手（圖 a），P 以速率 v 撞上其他鋼珠後停下。試證明如果碰撞是彈性的，碰撞後兩顆鋼珠 X 和 Y 必定不會以相同速度移動。

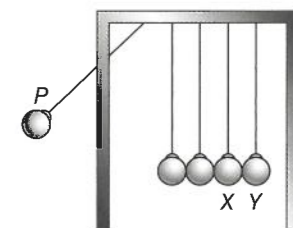


圖 a

題解

假設 X 和 Y 一起以速度 V 移動。

根據動量守恆，

$$mv = 2mV$$

$$V = \frac{v}{2}$$

$$\text{X 和 Y 的總動能} = \frac{1}{2} (2m) \left(\frac{v}{2} \right)^2 = \frac{1}{4} mv^2 < P \text{ 在碰撞前的動能}$$

這違反了彈性碰撞的條件。

∴ X 和 Y 在碰撞後不會以相同速度移動。

▶ 複習 Q30 (p.288)

b 手槍和大炮的反衝

以下是手槍反衝的片段：
<http://www.youtube.com/watch?v=4c69Bd5ntPE>



► 由於動量守恆，子彈向前發射時，手槍會反衝（向後移動），手槍和子彈的總動量保持為零（圖7.1d）。所以槍手要用力握緊槍，避免它向後移動。



圖 7.1d 發射子彈時手槍會反衝

以下是大炮反衝的片段：
<http://www.youtube.com/watch?v=EL13quhcUMw>



► 大炮發射炮彈的情況大致相同。炮彈發射時，大炮會反衝。大炮的基座質量龐大，可減低反衝速度（圖 7.1e）。



圖 7.1e 大炮的基座質量很大



模擬程式 7.6, 7.7
 錄像片段 7.6

→ 模擬程式 7.6 容許學生在小車運動時把物體放到小車上，以研究動量是否守恆。

→ 模擬程式 7.7 容許學生在小車運動時把車上的物體推離小車，以研究動量是否守恆。

→ 錄像片段 7.6 示範動量守恆。

例題 7 手槍的反衝速度

手槍以 400 m s^{-1} 射出一顆質量為 8 g 的子彈，手槍的質量是 1.1 kg 。求手槍的反衝速度。

題解

取子彈的移動方向為正。

根據動量守恆，

$$\begin{aligned} m_g u_g + m_b u_b &= m_g v_g + m_b v_b \\ 0 &= 1.1 v_g + 0.008 \times 400 \\ v_g &= -2.91 \text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

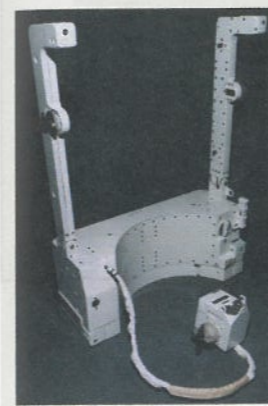
手槍的反衝速度是 2.91 m s^{-1} ，方向與子彈的速度相反。

► 習題與思考 7.1 Q1 (p.268)

生活中的物理

艙外活動簡便救援器

這裝置有 24 個安裝於不同位置的噴射推進器，以氮氣作推進劑。太空人可以利用操縱桿來控制移動方向。



c 太空船

根據動量守恆定律，太空船在太空中向後噴出熱氣時，會向前移動，氣體和太空船的總動量因而保持不變。

太空人在太空漫步時，須用栓繩把自己縛在太空站或太空船上，並背上艙外活動簡便救援器，以策安全（圖 7.1f）。這裝置的原理與太空船類似，可向不同方向噴射氣體。萬一栓繩鬆脫，太空人也可以利用救援器返回太空站或太空船。

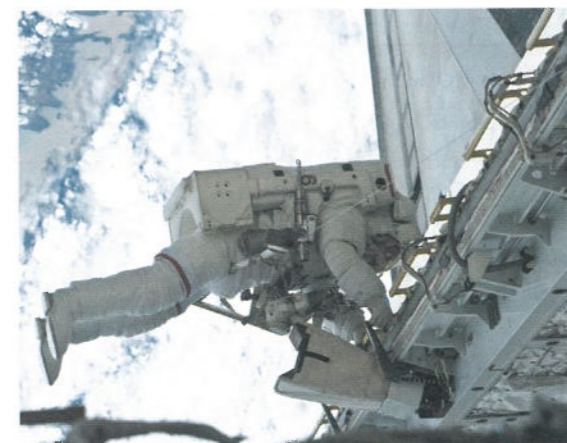


圖 7.1f 太空人背着艙外活動簡便救援器

4 動量不守恆？

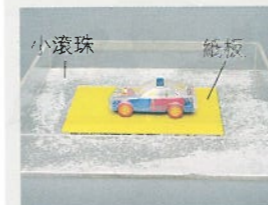
我們開步往前走時，動量會增加，但地球卻似乎保持靜止不動，我們和地球的總動量看來並不守恆。為甚麼會這樣呢？其實地球的動量確有增加，但是因為地球的質量非常巨大（約 $6 \times 10^{24} \text{ kg}$ ），所以我們根本不能察覺它的速度變化。如果改為在小船上向前走，小船便會向後移動（圖 7.1g）。

小球撞上桌子會彈開（圖 7.1h），但桌子卻紋絲不動，或只稍稍移動一下，這是由於地板與桌子之間有摩擦力（外力），系統的總動量因而變得不守恆。不過，要是把地球也包括在系統之內，整個系統的總動量便守恆，只是地球的運動小得無法察覺。

物理 DIY

動量守恆嗎？

如圖所示，把開動了的玩具車放上紙板，會有甚麼事情發生？試試看吧！



牛津物理網

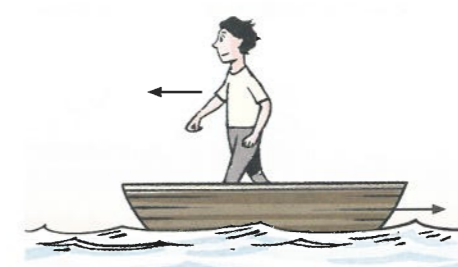


圖 7.1g 向前走時，小船向後移動

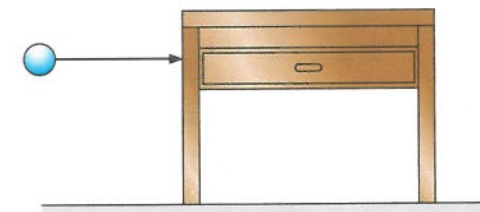


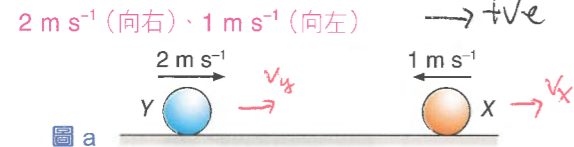
圖 7.1h 小球撞上桌子，桌子紋絲不動

進度評估 2

各題號旁的數字對應本節重點(參看p.254)。

3.1 球 X 和 Y 在光滑的水平面正向相撞(圖 a)。碰撞前, X 以 1 m s^{-1} 向左移動, Y 以 2 m s^{-1} 向右移動。兩個球的質量都是 1 kg 。如果這碰撞是彈性的, X 和 Y 在碰撞後的速度是多少?

[提示: 總動量和總動能都守恆]



動量: $1 \times 2 + 1 \times (-1) = 1 \times v_y + 1 \times v_x$
 $1 = v_y + v_x$ (1)

能量: $\frac{1}{2} \times 1 \times 2^2 + \frac{1}{2} \times 1 \times 1^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times v_y^2 + \frac{1}{2} \times 1 \times v_x^2$
 $5 = v_y^2 + v_x^2$ (2)

3.2 質量為 m 的火箭以恆速度 v 在外太空前進, 在某個時刻把部件 X 彈射向後(圖 b)。



圖 b
X 和 Y 剛分離時, 它們的總動量

- A 小於 mv 。
- B 等於 mv 。**
- C 大於 mv 。

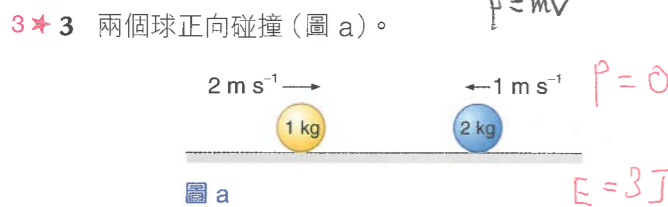
習題與思考 7.1

3.4.1 質量為 8000 kg 的大炮向水平方向發炮, 炮彈的質量是 5 kg 。如果大炮發炮後以 0.08 m s^{-1} 反衝, 求炮彈的發射速率。

- A $5 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$
 - B 0.4 m s^{-1}
 - C 128 m s^{-1}**
 - D 640 m s^{-1}
- $0 = 8000 \times (-0.08) + 5V$
 $V = 128 \text{ m s}^{-1}$

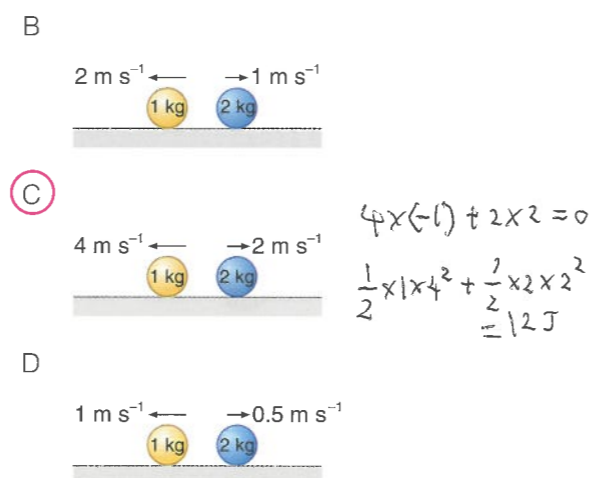
3.4.2 兩個相同的球 X 和 Y 正向碰撞, X 的初速率是 v_x , Y 的初速率是 v_y 。若碰撞是彈性的, 下列哪一項並不正確?

- A 碰撞後, 兩個球向相反方向彈開。
- B 碰撞後, 球 X 以 v_y 移動, 球 Y 則以 v_x 移動。
- C 碰撞時會發出聲音。 Energy loss**
- D 碰撞期間, 有淨力作用於球 X。

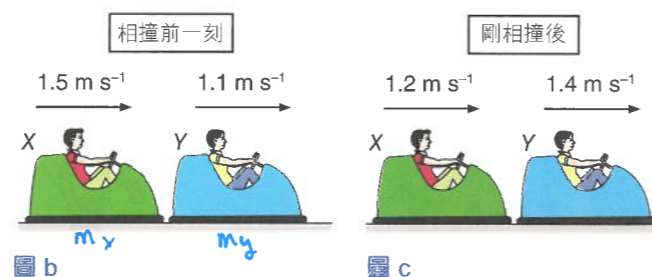


以下哪一項不可能是碰撞的結果?

- A



3.4.4 碰碰車 X 和 Y 往右行駛(圖 b), 兩車相撞時, X 以 1.5 m s^{-1} 前進, Y 則以 1.1 m s^{-1} 前進。剛相撞後, X 的速度是向右 1.2 m s^{-1} , Y 的速度是向右 1.4 m s^{-1} (圖 c)。X 和 Y 的質量比例是多少? 假設作用於小車的淨外力可略去不計。



- A 1:0.8
 - B **1:1**
 - C 1:1.17
 - D 1:1.4
- $m_x \times 1.5 + m_y \times 1.1 = m_x \times 1.2 + m_y \times 1.4$
 $0.3 m_x = 0.3 m_y$

3.4.5 質量為 4 kg 的南瓜在光滑的水平面上靜止不動, 一顆質量為 5 g 的子彈以水平速度 300 m s^{-1} 射向南瓜, 穿過南瓜後以 200 m s^{-1} 沿水平方向離開(圖 d)。求南瓜在子彈離開後的速率。假設南瓜噴出果肉的影響可略去不計。



圖 d

- A 0.063 m s^{-1}
- B 0.125 m s^{-1}**
- C 0.25 m s^{-1}
- D 0.375 m s^{-1}

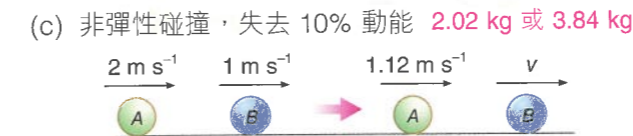
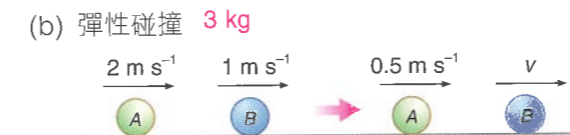
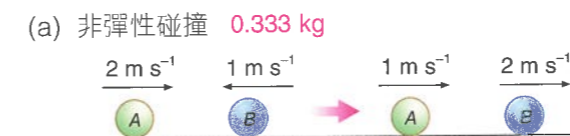
1.6 明慧在跑步, 她動量的量值是 p , 動能是 E 。

- (a) 如果美玲跑得跟明慧一樣快, 但質量是她的兩倍, 美玲動量的量值和動能是多少? $2p, 2E$
- (b) 如果思敏的質量與明慧相同, 但速率是她的兩倍, 思敏動量的量值和動能是多少? $2p, 4E$

3.7 一個球掉到地面後反彈。

- (a) 球的動量不守恆。這違反動量守恆定律嗎? 試作解釋。 沒違反
- (b) 怎樣在這情況下應用動量守恆定律?

3.4.8 質量為 1 kg 的球 A 與質量為 m_B 的球 B 相撞。求 m_B 在以下情況的數值。



3.4.9 圖 e 所示的裝置可以量度氣槍子彈的速率。小車原本在光滑水平跑道上靜止不動, 車上有一堆泥膠, 車和泥膠的總質量是 200 g 。質量為 0.4 g 的子彈水平地射出, 並嵌入泥膠中。子彈嵌入泥膠後, 小車移動 1 m 需時 5 s 。計算子彈在碰撞前的速率。

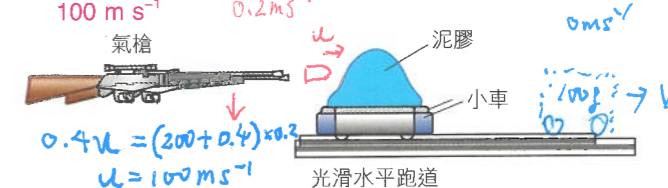


圖 e

3.4.10 蘭詩拿着皮球以恆速 2 m s^{-1} 在冰上向東滑行, 她的質量為 50 kg , 皮球的質量為 2 kg 。她把皮球以 10 m s^{-1} 向東拋出後, 自身的速度變為多少? 冰面施於蘭詩的摩擦力可略去不計。 1.68 m s^{-1} (向東)

3.4.11 相同的小車 A 和 B 裝有磁鐵, 靠近時會互相排斥。在光滑的水平跑道上, 小車 A 被推了一下, 撞向靜止的小車 B。跑道兩端的運動感應器記錄了兩輛小車的速度(圖 f)。

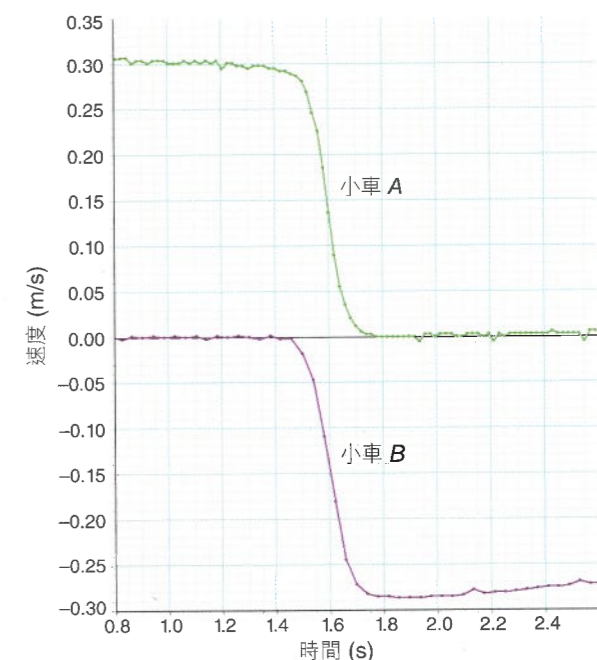


圖 f

- (a) 小車 A 和 B 在哪一刻開始「碰撞」(即磁鐵之間的排斥力開始生效)? $t = 1.45 \text{ s}$
- (b) 在碰撞前一刻和剛碰撞後, 小車 A 和 B 的速度是多少? A: 0.29 m s^{-1} , B: $0, 0.285 \text{ m s}^{-1}$
- (c) 在這碰撞中, 兩輛小車的總動量和總動能守恆嗎? 守恆

7.2

動量變化

起點 高空護蛋

試設計一個盛載雞蛋的容器，即使把它從高處（例如三樓）擲到地面，雞蛋也不會破裂。你能夠解釋容器保護雞蛋的原理嗎？



參看第276頁生活中的物理。

✓ 本節重點

- 1 動量變化
- 2 撞擊

$F = ma$ 後減前 time

1 牛頓第二定律與動量變化

根據動量的定義 ($p = mv$)，物體的動量與速度成正比，所以作用於物體的淨力既會改變物體的速度，也會改變物體的動量。假設質量為 m 的物體受恆定淨力 F 作用。物體沿直線移動，速度於時間 t 內由 u 變為 v (圖 7.2a)。

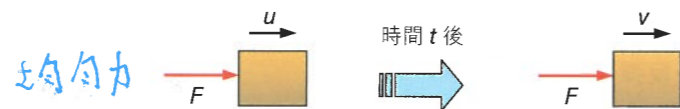


圖 7.2a 淨力 F 作用於物體，持續了時間 t

根據牛頓運動第二定律，

$F = ma = m \times \frac{(v - u)}{t} = \frac{mv - mu}{t}$

在這方程式裏， mu 是物體的初動量， mv 是末動量，所以 $mv - mu$ 就是動量的變化。

$F = ma$

淨力 = $\frac{\text{動量變化}}{\text{時間}}$

$F = \frac{mv - mu}{t}$

$F \cdot t = mv - mu$

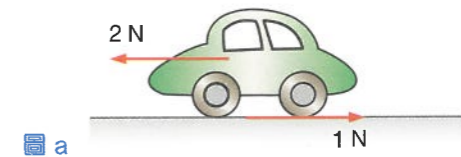
F 的方向與動量改變的方向相同。

因此，牛頓運動第二定律可寫成：

作用於物體的淨力等於物體動量的變化率。

例題 8 動量變化

景明以 2 N 的水平力推動靜止的玩具車 (圖 a)，作用於小車的摩擦力是 1 N。求小車在 0.5 s 後的動量。



題解

沿垂直方向，小車的重量和來自地面的法向反作用力互相抵銷。

考慮水平方向，取向左為正。

根據 $F = \frac{mv - mu}{t}$

0.5 s 後的動量 = $mv = Ft + mu = (2 - 1)0.5 + 0 = 0.5 \text{ kg m s}^{-1}$

進度評估 3 Q1 (p.272)

把 A 和 B 看作一個系統時， F_{AB} 和 F_{BA} 都是內力，所以系統的總動量守恆。分開考慮 A 和 B 時， F_{AB} 和 F_{BA} 就會變為作用於 A 和 B 的外力，所以每個球各自的動量都不守恆。

碰撞所維持的時間稱為撞擊時間，詳見 p.274。

2 牛頓運動第三定律與動量守恆

動量守恆定律與牛頓運動第三定律關係密切。考慮兩個物體在光滑水平面上正向相撞 (圖 7.2b)，碰撞維持了時間 t 。圖 7.2c 顯示碰撞時作用於物體的水平力。



圖 7.2b 正向碰撞

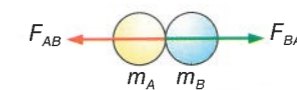


圖 7.2c 碰撞時作用於物體的水平力

物體的重量和支撐着它的法向反作用力互相抵銷，所以我們只須考慮水平力。

F_{AB} 和 F_{BA} 是作用力—反作用力對，根據牛頓運動第三定律，

負號表示 F_{AB} 跟 F_{BA} 方向相反。

$F_{AB} = -F_{BA}$

如果沒有淨外力作用於物體，

方程可改寫為：

$m_A v_A - m_A u_A = -(m_B v_B - m_B u_B)$
 $\Delta p_A = -\Delta p_B$

A 和 B 的撞擊時間 t 必定相同。

$\frac{m_A(v_A - u_A)}{t} = -\frac{m_B(v_B - u_B)}{t}$

$\Rightarrow m_A u_A + m_B u_B = m_A v_A + m_B v_B$

這顯示如果系統由兩個物體組成，這兩個物體的動量變化 (Δp) 量值相同，但方向相反。

於是，我們就從牛頓運動定律得出了動量守恆定律。

七一碰撞時間

例題 9 作用於火箭車的力

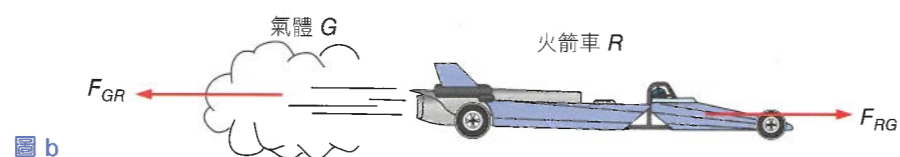
火箭車往後噴出熾熱的氣體，從而向前行駛(圖 a)。它從靜止開始加速，在一秒鐘內噴出 100 kg 氣體，氣體的速率為 500 m s⁻¹。作用於火箭車的向前推力是多少？
 $\frac{\Delta m}{t} = 100 \text{ kg s}^{-1}$



圖 a

題解

取火箭車的前進方向為正。圖 b 顯示作用於火箭車和氣體的水平力。



在 1 s 內，100 kg 氣體的速度由 0 變成 -500 m s⁻¹。

$$F_{GR} = \frac{mv - mu}{t} = \frac{m}{t}(v - u) = 100(-500 - 0) = -50\,000 \text{ N}$$

$$= \frac{100 \times (-500) - 0}{1} = -50\,000 \text{ N}$$

根據牛頓運動第三定律，

氣體施於火箭車的力 $F_{RG} = -F_{GR} = 50\,000 \text{ N}$

作用於火箭車的向前推力是 50 000 N。

▶ 進度評估 3 Q2 (p.272)

進度評估 3 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.270)。

11 石塊自由下落，它的向下動量於 2 s 內增加了 9.81 kg m s⁻¹。作用於它的淨力是多少？ 4.91 N (向下)

提示： $F = \frac{mv - mu}{t} = ?$

$$F = \frac{9.81}{2} = 4.91 \text{ N}$$

12 太空船於外太空沿直線移動，並往後噴出熱氣體。要是施於太空船的往前推力是 90 000 N，熱氣體動量的改變率是多少？

[提示： $F_{SG} = -F_{GS}$] 90 000 kg m s⁻² (向後)

kg m s⁻¹/s

3 撞擊

a 撞擊力

Handwritten notes:

$$\Delta mV = mV - mu = m(v - u)$$

$$\Delta mv = m(-30 - 20) = m(-60)$$

Labels: +ve ← +30ms⁻¹, -30ms⁻¹

球遭受到撞擊的一瞬間，受一道巨大的力作用，因而變形(圖 7.2d)。我們會在實驗 7e 研究撞擊力。

在實驗 7e 中，力感應器宜使用較高的取樣率。否則感應器不能檢測到撞擊力的最大值，F-t 線圖下的面積亦可能不等於動量差。運動感應器的取樣率遠低於力感應器，不能準確記錄撞擊時間(只有大約 0.015 s)，所以 v-t 線圖和 F-t 線圖的撞擊時間有別。

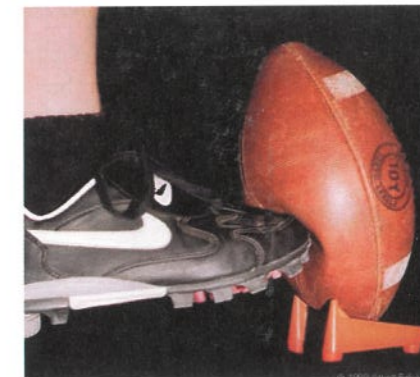
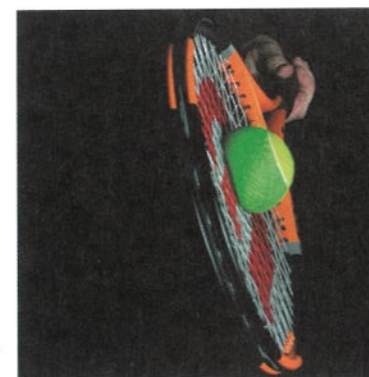


圖 7.2d 高速攝影照片顯示球受到撞擊時的情形

錄像片段 7.7 → 錄像片段 7.7 示範實驗 7e。

實驗 7e 研究撞擊力

- 1 如圖 a 裝置實驗器材。
- 2 開始記錄數據，輕推小車，使它沿水平跑道撞向力感應器。留意電腦屏幕顯示的速度—時間關係線圖和力—時間關係線圖。

結果與討論

圖 b 顯示小車的速度—時間關係線圖，圖 c 顯示力—時間關係線圖。小車的質量是 0.5 kg。



圖 a

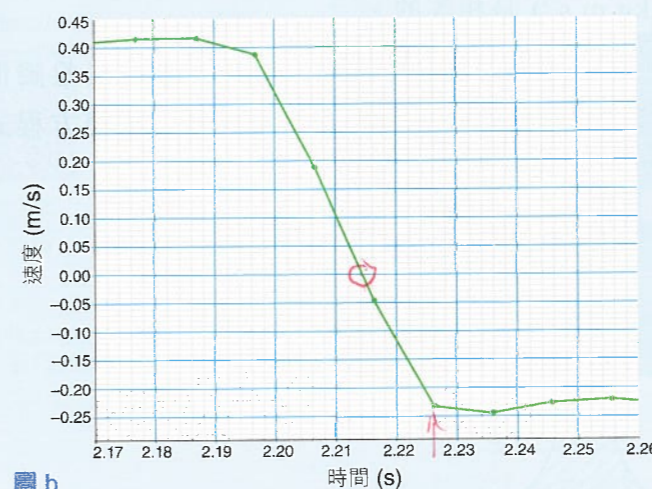


圖 b

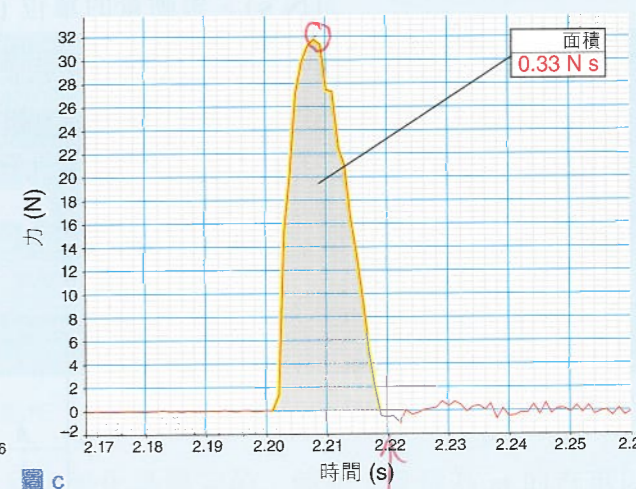


圖 c

試比較力—時間關係線圖下的面積與小車動量的變化。這面積有甚麼物理意義？ 小車動量變化的量值

以下片段以極慢動作顯示高爾夫球撞上不銹鋼板並變形。

<http://www.youtube.com/watch?v=0012uXDxbaE>



如實驗 7e 所示，撞擊時作用於力感應器的力隨時間而改變。根據牛頓運動第三定律，作用於小車的力也同樣隨時間而改變，不過這兩道力方向相反。

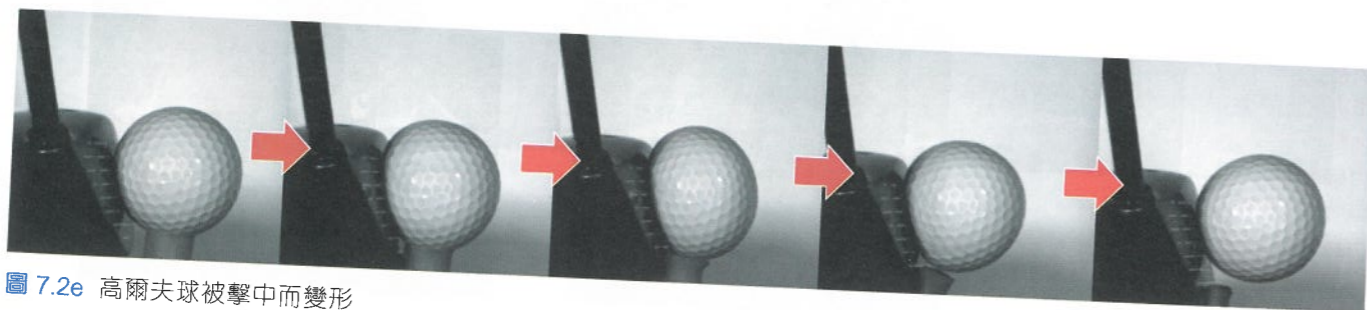


圖 7.2e 高爾夫球被擊中而變形

b 動量的改變

淨力 F 與撞擊力未必相同，詳情參看第 279 頁預試訓練 2。

撞擊時間指淨力作用的時間。

從第 270 頁的方程式，可以推導出另一條方程式：

$$Ft = mv - mu$$

淨力 F 與撞擊時間 t 的乘積等於動量的變化 ($mv - mu$)，在 $F-t$ 線圖中， Ft 就是線圖下的面積，所以

$F-t$ 線圖下的面積 = 動量變化

這個關係就好像：

位移 $s = v-t$ 線圖下的面積 (見 p.47)

即使 F 不是恆定，這關係仍然成立。 $F-t$ 線圖以下面積的單位是牛頓秒 (N s)，與動量的單位 (kg m s^{-1}) 是相等的。

在大多數情況中，我們都無法像實驗 7e 一樣，監測物體在撞擊瞬間的受力變化。但是，如果知道動量的變化以及撞擊時間，根據方程式 $Ft = mv - mu$ ，便可計算出淨力的平均值 \bar{F} (圖 7.2f)。

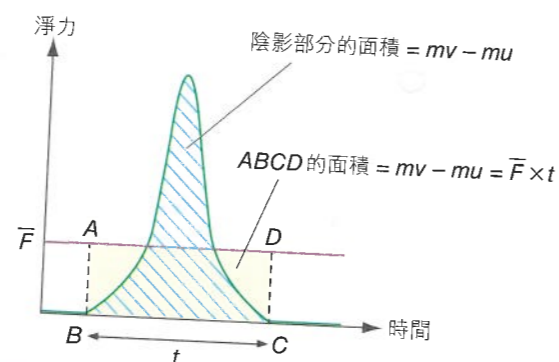


圖 7.2f 估算淨力的平均值 \bar{F}

例題 10 撞擊的 $F-t$ 線圖

小車在光滑水平面行走，撞上力感應器後反彈。圖 a 顯示得出的 $F-t$ 線圖，數據記錄程式顯示線圖下的面積為 0.46 N s 。

- (a) 撞擊過程中，作用於力感應器的力最大是多少？
 (b) 估算撞擊過程中，作用於小車的平均淨力的量值。

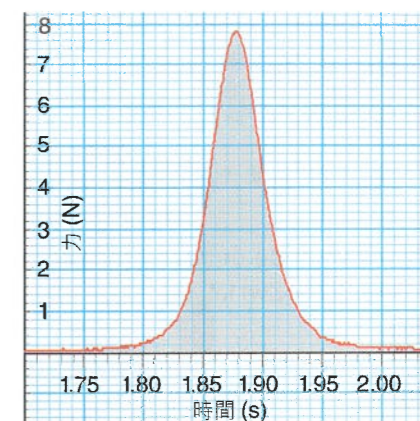


圖 a

題解

(a) 力的最大值 = 7.8 N

(b) 動量變化 = $F-t$ 線圖下的面積 = 0.46 N s

$$\text{撞擊時間} = 2.00 - 1.75 = 0.25 \text{ s}$$

$$\text{平均淨力} = \frac{0.46}{0.25} = 1.84 \text{ N}$$

▶ 進度評估 4 Q1 (p.280)

撞擊時間為鐘形線圖底部的闊度。

平均淨力比淨力的最大值小得多。

c 淨力及撞擊時間

從 $Ft = mv - mu$ 可知，較大的淨力或較長的撞擊時間都能產生較大的動量變化。以打網球為例，球拍擊中球後，球手會順勢完成整個揮拍動作 (圖 7.2g)，以延長球拍與球的撞擊時間，球便能以較高速率離開球拍。

以下短片以超慢動作顯示網球撞擊地面的情況。撞擊時間只有數 ms ，因此，撞擊力遠大於網球本身的重量。

<https://www.youtube.com/watch?v=0KfD-v23isA>



當淨外力遠小於撞擊力，系統的總動量便可視作守恆。例如在 p.277 物理 DIY 中，網球和籃球在半空碰撞，在碰撞前後的一刻，它們的總動量可視作守恆。



圖 7.2g 網球手完成整個揮拍動作

在某些情況下，物體的動量變化是固定的，例如，質量為 m 的汽車以速度 v 撞上牆壁後停下。車子的動量變化總是 $-mv$ ，不受作用於它的淨力或撞擊時間影響。



模擬程式 7.8

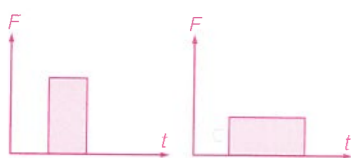
→ 模擬程式 7.8 模擬小車沿斜面滑下，撞向力感應器的情況。學生可改變斜面的高度，並觀察不同撞擊所產生的 $F-t$ 線圖。

提以下是汽車撞擊測試的短片。

<http://www.youtube.com/watch?v=u8iYhcZwt1Y>



以下線圖可清楚展示動量差相同時，撞擊時間愈短，撞擊力就愈大。



如果動量變化固定不變，則撞擊時間愈短，淨力就愈大。撞擊時間視乎物體的硬度而定，物體愈堅硬，撞擊時間愈短。

汽車和路面有各種設計（圖 7.2h），儘量延長撞車時的撞擊時間，以降低撞擊力，減少司機與乘客嚴重受傷的風險。



(i) 汽車頭尾兩部分（變形區域）都可摺疊變形，以延長撞車時的撞擊時間



(ii) 如果汽車撞上風琴式防撞欄，防撞欄會變形，延長撞擊時間

圖 7.2h 減低交通意外撞擊力的方法

head-on collision

例題 11 接籃球

籃球員要接穩隊友快速傳來的籃球，通常會屈曲並收起雙臂（圖 a）。解釋這個動作怎樣有助球員接球。



圖 a

題解

接球時屈曲並收起雙臂，可延長撞擊時間。如果動量變化固定，撞擊時間愈長，作用於球的力便愈小，所以球較不易從手中彈走。

此外，根據牛頓運動第三定律，作用於球員的力也會比較小，所以球員受傷的風險也較低。

習題與思考 7.2 Q8 (p.281)

生活中的物理

減低撞擊力

為減低撞擊力而設計的用品隨處可見，常見例子包括氣泡墊（俗稱咩咩紙）、發泡膠，以及汽車的安全氣囊和安全帶，它們可延長撞擊時間，從而減低撞擊力。

起點提及的護蛋比賽中，容器的功能就是要減低撞擊力，方法可以是減低雞蛋的速率（例如使用降落傘）或延長撞擊時間（例如使用可以變形的容器）。

物理 DIY

球疊球



把網球放在籃球上，然後放手讓它們同時跌下，球撞上地面後，網球會反彈得非常高。這現象可用動量守恆定律來解釋。

以下影片顯示兩球從一樓跌下的情況。

<https://www.youtube.com/watch?v=2W3bq16f1Cw>



牛津物理網

作用於 X 的力比作用於 Y 的力大一倍。

Y 變形的幅度比 X 更大。注意 (b) 部的答案大於實際的數值，這是因為汽車的動能並不是全都轉化為擠壓車身的能量。以下影片可助你找到原因。

<https://www.youtube.com/watch?v=ByAU36jSzHo>



例題 12 汽車變形

汽車 X 和 Y 的質量都是 1500 kg。在撞擊測試中（圖 a），兩車都以 120 km h^{-1} 正向撞牆，並在撞擊後停下。X 的撞擊時間為 0.05 s，Y 的撞擊時間為 0.1 s。假設路面施於汽車的摩擦力可略去不計。



圖 a

- (a) 求作用於 X 和 Y 的平均撞擊力。
 (b) 在 (a) 部求得的撞擊力令汽車變形，試估算 X 和 Y 的長度縮短了多少。

題解

(a) 取汽車的前進方向為正。應用 $F = \frac{mv - mu}{t}$ 。

$$\text{作用於 X 的平均撞擊力} = \frac{0 - 1500 \times \frac{120}{3.6}}{0.05} = -10^6 \text{ N}$$

$$\text{作用於 Y 的平均撞擊力} = \frac{0 - 1500 \times \frac{120}{3.6}}{0.1} = -5 \times 10^5 \text{ N}$$

(b) 根據能量守恆，

克服撞擊力所作的功 = 損失的動能

$$Fs = \frac{1}{2}mv^2$$

$$s = \frac{mv^2}{2F}$$

$$\text{考慮 X, } s = \frac{1500 \times \left(\frac{120}{3.6}\right)^2}{2(10^6)} = 0.833 \text{ m}$$

X 的長度縮短了 0.833 m。

$$\text{考慮 Y, } s = \frac{1500 \times \left(\frac{120}{3.6}\right)^2}{2(5 \times 10^5)} = 1.67 \text{ m}$$

Y 的長度縮短了 1.67 m。

複習 Q34 (p.289)

預試訓練 1

溜冰的總動量 ☆ 香港中學會考 2007 年卷二 Q29

女孩 X、Y、Z 在溜冰 (圖 a)，最初三人排成直線靜止不動，然後 X 突然把 Y 推向 Z (圖 b)，Y 與 Z 相撞後，兩人一同以恆速率 0.6 m s^{-1} 移動。假設三人的質量相同，且冰面施於她們的摩擦力可略去不計。



圖 a



圖 b

下列哪項敘述是正確的？

- (1) 在上述過程中，有淨外力作用於 X、Y、Z 組成的系統。
 (2) X 的末速率是 1.2 m s^{-1} 。
 (3) Y 和 Z 之間的碰撞，撞擊時間無限長。
- A 只有 (1) B 只有 (2)
 C 只有 (1) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

題解

X、Y、Z 之間的力是系統的內力。每個人的重量和來自冰面的法向力互相抵銷，且冰面施於她們的摩擦力可略去不計。

∴ (1) 不正確。

三人最初的總動量是零。

根據動量守恆，她們最終的總動量同樣是零。取 Y 和 Z 的最終移動方向為正。

$$mv_x + (m + m)v = 0$$

$$v_x = -2v = -2(0.6) = -1.2 \text{ m s}^{-1}$$

∴ (2) 正確。

撞擊時間指有淨力作用於相撞物體的時段，期間物體的速度會改變。

當 Y 和 Z 以恆速率移動，便再沒有淨力作用於她們，撞擊時間亦完結。

∴ (3) 不正確。

∴ 答案是 B。

無須計算 Y 與 Z 相撞前的速度。

撞擊時間取決於淨力作用了多久，而不是物體接觸了多久。

▶ 複習 Q18 (p.285)

預試訓練 2

雞蛋下跌時的動量 ☆ 香港中學會考 2011 年卷一 Q9

在「湯匙運雞蛋」比賽中，參賽者要一邊用湯匙盛着雞蛋，一邊賽跑 (圖 a)。妙玲的雞蛋從離地 0.8 m 的地方掉下，落在草地後靜止不動，但沒有破裂。

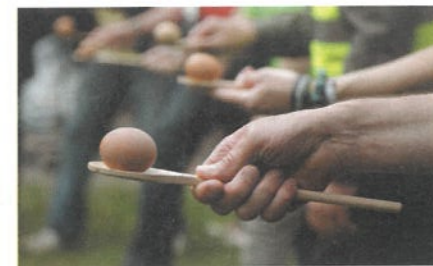


圖 a

- (a) 雞蛋的動量在碰撞前後是不是守恆的？試扼要解釋。 (2 分)
 (b) 求雞蛋撞擊草地前一刻的速率。 (2 分)
 (c) 假設雞蛋的質量是 50 g ，它與草地的撞擊時間是 0.04 s 。求雞蛋在碰撞時施於草地的平均力。 (3 分)
 (d) 阿瑟的雞蛋從相同高度掉下，但卻撞到石頭破裂。試解釋為甚麼阿瑟的雞蛋破裂但妙玲的卻完好無缺。 (2 分)

題解

- (a) 因為雞蛋受到外力作用，所以動量不守恆。

1A

雞蛋與地球的總動量是守恆的，但單單雞蛋的動量不守恆。

1A

- (b) 根據 $v^2 = u^2 + 2as$,

1M

$$\text{速率} = \sqrt{u^2 + 2as} = \sqrt{0^2 + 2 \times 9.81 \times 0.8}$$

$$= 3.96 \text{ m s}^{-1}$$

1A

- (c) 圖 b 是雞蛋的隔離體圖。

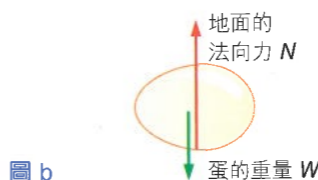


圖 b

N 是作用於雞蛋的撞擊力。

取向上為正。

淨力 = 動量的改變率

$$N - W = \frac{mv - mu}{t}$$

1M

常見錯誤

學生可能會忘了 W。

$$N = \frac{mv - mu}{t} + W$$

$$= \frac{0 - 0.05(-3.96)}{0.04} + 0.05 \times 9.81$$

$$= 5.44 \text{ N}$$

1A

根據牛頓運動第三定律，雞蛋施於草地的平均力是向下 5.44 N 。

1A

在「淨力 = $N - W$ 」這個寫法中，「-」號已處理了方向，W 只是雞蛋重量的量值，因此，把數值代入「 $W = mg$ 」時，g 是 9.81 而不是 -9.81 。這一點要多加注意。

另外，如果雞蛋在撞擊後反彈 (即 $mv > 0$)，N 的值會較大。

- (d) 因為石頭遠比草地堅硬，撞擊時間短得多，

1A

所以石頭施於雞蛋的力遠大於草地施於雞蛋的力。

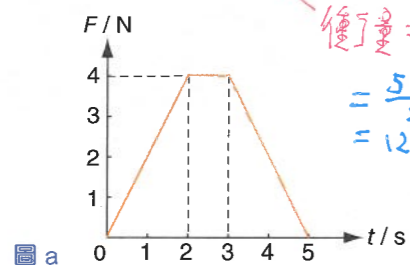
1A

▶ 複習 Q40 (p.291)

進度評估 4

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.270)。

2.1 圖 a 顯示作用於球的淨力 F 隨時間 t 的變化。由 $t=0$ 至 $t=5$ s 期間，球的動量變化是多少？作用於球的平均淨力又是多少？

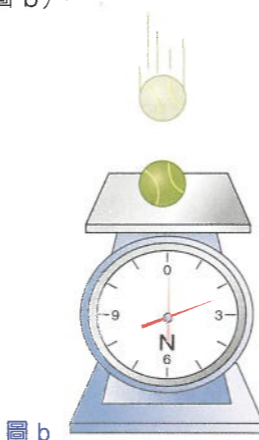


後量 = $F \cdot t = \Delta mv$
 $= \frac{5+1}{2} \times 4$
 $= 12 \text{ kgms}^{-1}$

$F = \frac{\Delta mv}{t}$
 $= \frac{12}{5}$
 $= 2.4 \text{ N}$

2.2 網球從高處跌到秤盤上 (圖 b)。磅在撞擊中量度到的是

- A 球的重量。
- B 球作用於秤盤的力。**
- C 作用於球的淨力。
- D 球的動量變化。



習題與思考 7.2

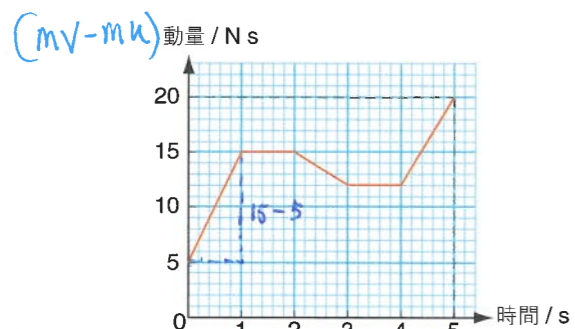
1.1 質量為 0.5 kg 的球以 8 m s^{-1} 撞向地面，然後以 6 m s^{-1} 反彈。球的動量改變了多少？

- A 1 kg m s^{-1}
- B 3 kg m s^{-1}
- C 4 kg m s^{-1}
- D 7 kg m s^{-1}**

1.2 諾文以 800 N 的水平力推汽車，令汽車在水平路面上行走，作用於汽車的摩擦力是 500 N。諾文推了 4 s 後，汽車的動量增加了多少？

- A 75 kg m s^{-1}
- B 300 kg m s^{-1}
- C 1200 kg m s^{-1}**
- D 3200 kg m s^{-1}

1.3 圖 a 顯示物體的動量怎樣隨時間變化。



$F = \frac{\Delta mv}{t} = \frac{15-5}{1} = 10 \text{ N}$

作用於物體的淨力最大是多少？

- A 3 N
- B 5 N
- C 8 N
- D 10 N**

1.4 物體 X 向右水平移動，撞上物體 Y，它們在碰撞前後都沿同一直線移動。以下哪一個情況中，Y 的速度變化最大？

- A X 和 Y 在碰撞後黏在一起。
- B X 在碰撞後移往右。
- C X 在碰撞後移往左。**
- D X 在碰撞後停止不動。

1.5 火箭推進器水平地固定在地面，以測試它產生的推力 (圖 b)。



圖 b

測試量得火箭以 700 m s^{-1} 噴發熱氣體，產生的推力是 1500 kN。它每秒噴發多少氣體？

- A 327 kg
- B 2140 kg**
- C 3210 kg
- D 1 050 000 kg

$F = \frac{mv - mu}{t} = \frac{m}{t}(v - u)$
 $1500 \times 1000 = \frac{m}{1} (700 - 0)$
 $\frac{m}{1} = 2142 \text{ N}$

2.6 兩個物體相撞，作用於其中一個物體的撞擊力是 F ，撞擊時間是 t 。下列哪項敘述是正確的？

- (1) 如果 t 減少， F 必定增大。
 - (2) F 和 t 的乘積等於物體的動量變化。
 - (3) 如果兩個物體的總動量在碰撞中守恆， F 便是零。
- A 只有 (1)
 - B 只有 (2)**
 - C 只有 (1) 和 (3)
 - D 只有 (2) 和 (3)

2.7 某木板能抵受 10 N 的撞擊力而不破裂。國榮把足球踢向木板，這碰撞的平均撞擊力只有 8 N，但一撞之下，木板立即裂開。為甚麼？

2.8 (a) 圖 c 顯示一顆放在軟墊上的花生，砝碼從高處跌在花生上。試解釋為甚麼花生沒有碎裂。

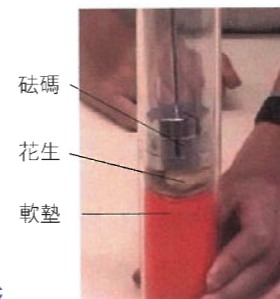


圖 c

(b) 試解釋以加了墊的信封 (圖 d) 來運送易碎物品的原因。



圖 d

2.9 汽車以 20 m s^{-1} 沿水平道路行駛，撞上牆壁後停下。

- (a) 若質量為 80 kg 的司機佩戴了安全帶，並在 1.5 s 內停下來，作用於他的力是多少？ **1070 N**
- (b) 若司機沒有佩戴安全帶，會有甚麼事情發生？
- (c) 指出汽車一項可延長撞擊時間的設計。

2.10 一枚質量為 0.02 kg 的電池從 10 m 高處由靜止開始跌到地上，撞擊時間是 4 ms。略去空氣阻力和電池撞地面後反彈的速率。

- (a) 求電池落到地面時的速率。 **14.0 m s^{-1}**
- (b) 求電池撞擊地面時作用於它的平均淨力。 **70.0 N (向上)**
- (c) 求電池作用於地面的平均力。 **70.2 N (向下)**

2.11 猴子捉着長 5 m 的藤從位置 X 盪下，盪至藤垂直時猴子撞上樹幹 (圖 e)。另一頭質量相同的猴子從 5 m 高的樹上跳下，然後撞向地面 (圖 f)。假設兩個情況中的撞擊時間相同，比較兩個情況中的撞擊力。

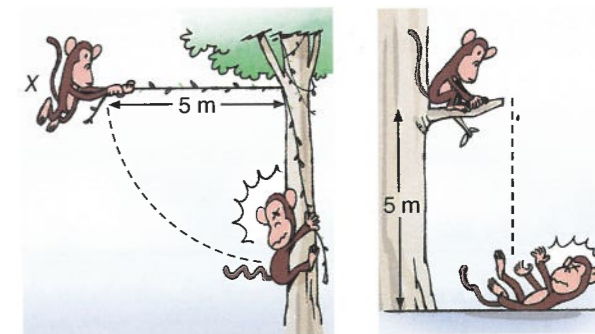


圖 e

圖 f

2.12

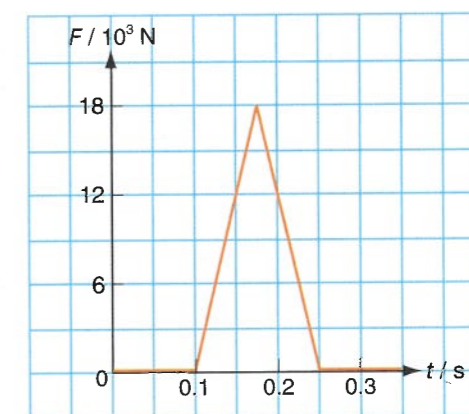


圖 g

球棒擊中棒球，圖 g 顯示球棒作用於球的力 F 隨時間 t 的變化。棒球的質量是 145 g。

- (a) 估算球的動量改變。 **1350 kg m s^{-1}**
- (b) 球棒作用於球的平均力量值是多少？ **9000 N**

2.13 物體 X 和 Y 在光滑水平面上相撞，它們在相撞前後都沿同一直線運動。

- (a) 證明 X 和 Y 的動量改變量值相同，但方向相反。
- (b) 假設 X 的質量比 Y 大。證明在碰撞的過程中，Y 的加速度量值比 X 大。
- (c) 假設 Y 的質量是 2 kg，碰撞前的速度是向左 3 m s^{-1} 。在碰撞中，撞擊時間是 0.05 s，作用於 X 的平均撞擊力是向左 50 N。求 Y 在碰撞後的速度。 **1.75 m s^{-1} (向左)**

總結 7

詞彙

- | | | | |
|-----------------------------|-------|--|-------|
| 1 碰撞 collision | p.255 | 5 完全非彈性碰撞 | p.259 |
| 2 動量 momentum | p.256 | completely / perfectly inelastic collision | |
| 3 彈性碰撞 elastic collision | p.259 | 6 動量守恆定律 | p.260 |
| 4 非彈性碰撞 inelastic collision | p.259 | law of conservation of momentum | |

課文摘要

7.1 動量守恆

1 動量 = 質量 × 速度 ($p = mv$)
動量是矢量，單位是 kg m s^{-1} 。

2 動量守恆定律：

若沒有淨外力作用在系統上，系統的總動量守恆。
如果系統由兩個在同一直線上運動的物體組成，

$$m_A u_A + m_B u_B = m_A v_A + m_B v_B$$

	總動量守恆?	總動能守恆?
完全非彈性碰撞	✓	✗
非彈性碰撞	✓	✗
彈性碰撞	✓	✓
爆炸	✓	✗

7.2 動量變化

4 作用於物體的淨力，等於物體的動量變化率。

5 從牛頓運動定律，可推導出動量守恆定律。

6 淨力 F 撞擊時間 t

$$Ft = \frac{mv - mu}{t}$$

動量變化

7 作用於物體的淨力 F 對時間 t 的關係線圖中，

$$F-t \text{ 線圖下的面積} = \text{動量變化}$$

8 較大的撞擊力，或較長的撞擊時間，都能產生較大的動量變化。

9 如果動量變化固定不變，撞擊時間愈長，撞擊力就愈小。

Q38 考試報告：

- (a) 相當數目的考生錯誤寫出動量和力的單位，能力較弱的考生在運算時亦出現轉換錯誤的 SI 單位如 1 ms 和 40 g 。
(b) 有些能力較弱的考生錯誤以碰撞時間和牛頓第二定律來解釋。有考生誤以為兩個碰撞中的物體有不同的碰撞時間而導致它們受到不同的碰撞力。

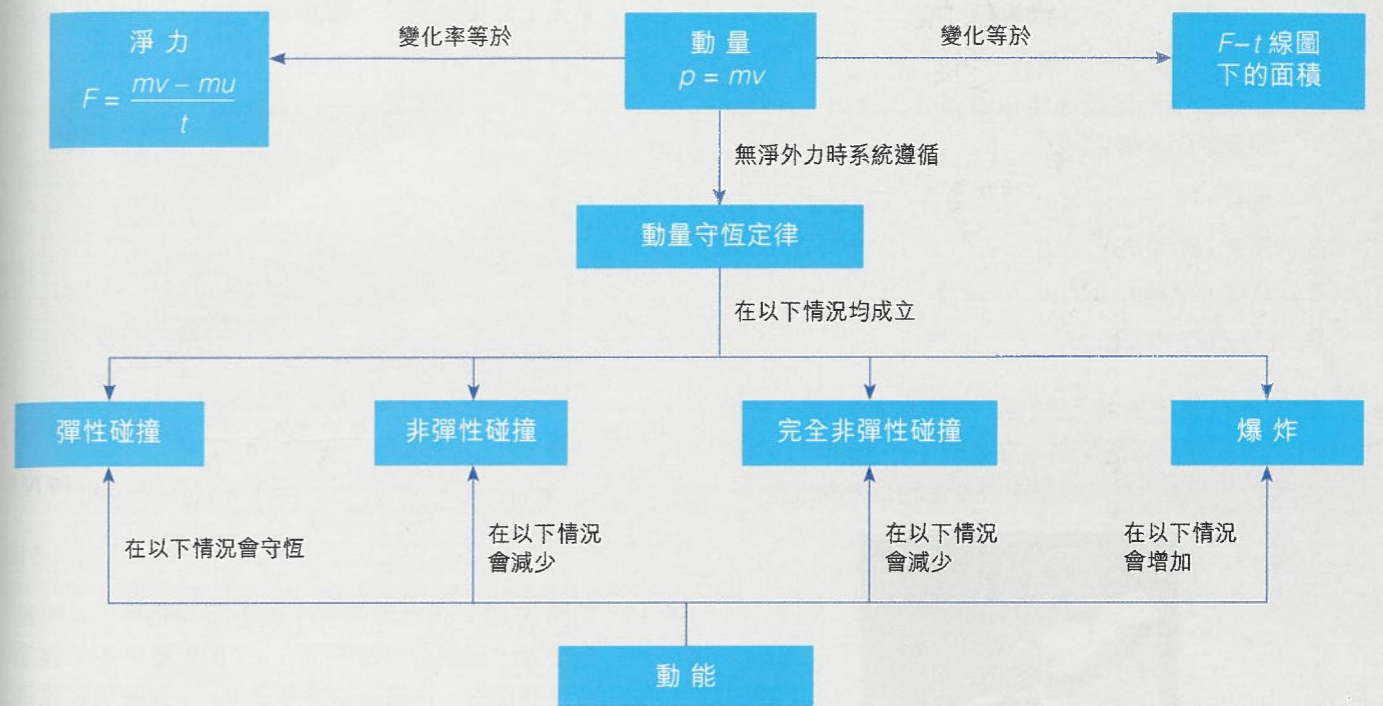
Q39 考試報告：大部分考生處理本題遇到困難，普遍表現欠佳。

(b) 不少考生忽略把最大豎直距離的單位由厘米轉換成米。

(d) 大部分考生忽略了子彈在離開氣槍後、撞擊小車前獲得位能。

(e) 只有能力較高的考生能夠比較兩次碰撞中子彈的動量 / 速度改變，然後應用動量守恆定律以比較小車於剛碰撞後的初速。很多考生考慮撞擊力和撞擊時間，作出錯誤的解釋。部分考生錯誤認為本部分描述的碰撞是彈性碰撞，錯誤以能量守恆的方向分析。

概念圖



複習 7

- Q1 沒有淨外力作用於系統時，系統的總動量必定守恆，這與碰撞是否彈性無關。
Q2 物體受淨力（本身的重量）作用，所以動量不守恆。

概念重溫

(第 1 至 3 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

☆ 香港中學會考 1994 年卷一 Q2(d)

7.1 在非彈性碰撞中，系統的動能會減少，所以總動量不守恆。F

☆ 香港中學會考 1995 年卷二考試報告第 1 點及 Q3

7.1 2 物體被拋向上時，它的動量在整個運動過程中都是守恆的。F

☆ 香港中學會考 2005 年卷二 Q45

7.2 3 重的物體與輕的物體正向碰撞時，它們的動量變化量值相同。T

多項選擇題

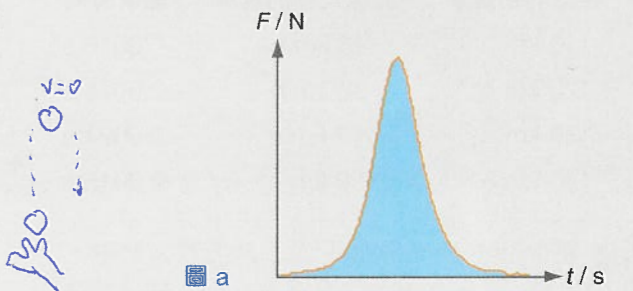
7.1 4 足球和網球的動量量值相等，足球的質量是 400 g ，網球的質量是 57 g 。如果網球的速率是 60 m s^{-1} ，足球的速率是多少？

- A 0.217 m s^{-1}
- B 1.52 m s^{-1}
- C 8.55 m s^{-1}
- D 26.7 m s^{-1}

$$0.057 \times 60 = 0.4v$$

$$v = 8.55 \text{ m s}^{-1}$$

7.2 5 圖 a 顯示球拍擊中網球時，作用於網球的力隨時間的變化。線圖下的面積代表甚麼？



- A 碰撞期間球拍所作的功
- B 球的動量變化率
- C 球的動量變化
- D 球的加速度

7.2 6 淨力 F 作用於物體，並維持了時間 t 。下列哪項敘述必定正確？

- (1) 物體的末動量與 F 方向相同。✗
 - (2) 物體的動量不守恆。因為有外力
 - (3) 物體的末動量是 $Ft = \Delta mv$
- A 只有 (2)
 - B 只有 (1) 和 (2)
 - C 只有 (1) 和 (3)
 - D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 7 下列哪項敘述是正確的? $\Delta p = p - mv$
- 7.2 (1) 如果兩個物體的動量變化相同，它們的速度變化也相同。
 (2) 物體的動量變化是矢量。
 (3) 如果兩個物體碰撞時沒有淨外力作用，它們的動量變化量值相同。
- A 只有 (1)
 B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 8 棒球在練習擊球(圖 b)，不停把投向他的球擊出。以下哪一個情況中，在撞擊中作用於球的平均力最大? 假設所有球被擊中後都沿相反方向飛走。

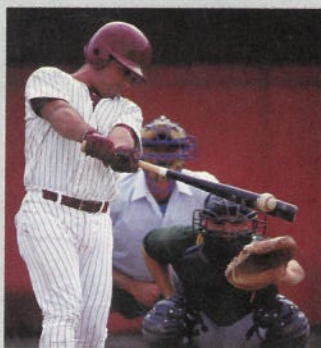


圖 b

	棒球的初速率	棒球反彈的速率	撞擊時間
A	110 km h ⁻¹	96 km h ⁻¹	0.0013 s
B	120 km h ⁻¹	98 km h ⁻¹	0.0018 s
C	130 km h ⁻¹	112 km h ⁻¹	0.0021 s
D	140 km h ⁻¹	109 km h ⁻¹	0.0015 s

- ★ 9 兩個物體 X 和 Y 於光滑水平面上向着對方移動，並正向碰撞(圖 c)。Y 的質量是 0.5 kg，初速度是往左 2 m s⁻¹。要是 X 在碰撞中的動量變化是往左 2 kg m s⁻¹，Y 在碰撞後的速度是多少?

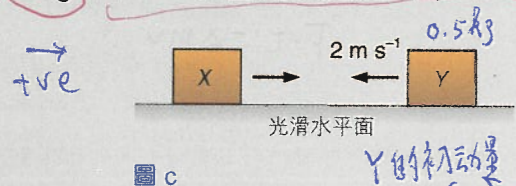


圖 c

- A 2 m s⁻¹ (向右)
 B 6 m s⁻¹ (向右)
 C 2 m s⁻¹ (向左)
 D 6 m s⁻¹ (向左)

- ★ 10 雪炮可以人工製雪，布置滑雪斜坡(圖 d)。某雪炮每分鐘噴出 60 kg 雪，假設雪以 10 m s⁻¹ 水平撞大樹後停下，雪施於大樹的平均力量值是多少?



圖 d

- A 6 N
 B 10 N
 C 36 N
 D 600 N

- ★ 11 物體 X 和 Y 在光滑的水平面上正向相撞。X 的質量是 m，碰撞前的速率是 u；Y 的質量是 M，碰撞前是靜止的，碰撞後的速率是 v。下列哪項敘述是正確的?

- (1) Mv 可以比 mu 大。
 (2) v 可以比 u 大。
 (3) Mv² 可以比 mu² 大。
- A 只有 (2)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 12 水缸置於小車上(圖 e)，被推了一下之後，沿直線在光滑水平面移動。雨點垂直地以 100 g min⁻¹ 的率落入水缸中。在時間 t = 0，水缸和小車的總質量是 500 g，速率是 2 m s⁻¹。在 t = 90 s，水缸的速率是多少?

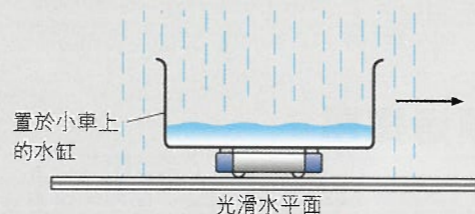
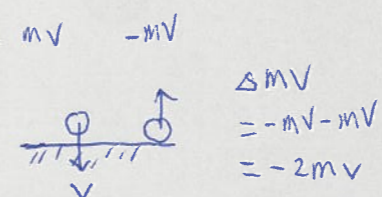


圖 e

- A 1.54 m s⁻¹
 B 1.67 m s⁻¹
 C 2 m s⁻¹
 D 6.67 m s⁻¹

- ★ 13 質量為 m 的球從某個高度掉下，以速度 v 撞擊地面，然後反彈回原本的高度。取向下為正。地球因這碰撞而產生的動量變化是多少?

- A -mv
 B 0
 C mv
 D 2mv



- ★ 14 物體 X 和 Y 的動能相同，並向相同方向移動。X 的質量是 Y 的 2 倍。如果 X 的動量是 p，Y 的動量是多少?

- A $\frac{p}{2}$
 B $\frac{p}{\sqrt{2}}$
 C $\sqrt{2}p$
 D 2p

- ★ 15 小車 X 和 Y 的質量都是 0.5 kg，它們沿光滑的水平直線軌道往相同方向移動。起初，X 的速率是 2 m s⁻¹，Y 的速率是 1 m s⁻¹(圖 f)，隨後，X 與 Y 碰撞，而碰撞是彈性的。X 對 Y 作了多少功?



圖 f

- A 0.25 J
 B 0.5 J
 C 0.75 J
 D 1 J

- ★ 16 物體 X 和 Y 在光滑水平面上向着對方移動(圖 g)，相撞後同時停下。X 的質量大於 Y。下列有關這次碰撞的敘述，哪項是正確?

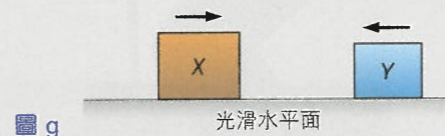


圖 g

- (1) 作用於 X 的平均淨力，量值比作用於 Y 的小。
 (2) X 的平均加速度，量值比 Y 的小。
 (3) 對 X 作的功小於對 Y 作的功。
- A 只有 (1)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

參看 p.214 · 271

- ★★ 17 質量為 7000 kg 的火箭垂直向下以 120 kg s⁻¹ 的率噴發熱氣體，熱氣體的速率是 600 m s⁻¹。火箭最初是靜止的，在 t = 0 開始噴發熱氣體，它在 t = 0.5 s 的速率是多少? 火箭的質量變化可略去不計。

- A 0.238 m s⁻¹
 B 1.79 m s⁻¹
 C 5.14 m s⁻¹
 D 10.3 m s⁻¹

參看例題 9 (p.272)，預試訓練 2 (p.279)

香港中學會考 2007 年卷二 Q29

德明和啟華分別站在質量可忽略不計的小車上。他們起初都是靜止的，德明手上拿着一個 3 kg 的球。德明向啟華拋出球後，自己則以 1 m s⁻¹ 的速率向後運動。啟華接球後的速率是多少?

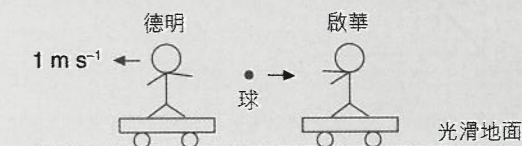


圖 h

- A 0.90 m s⁻¹
 B 1.00 m s⁻¹ (56%)
 C 1.11 m s⁻¹
 D 1.22 m s⁻¹

7.1 19 香港中學會考 2011 年卷二 Q32

如下圖所示，在一水平光滑軌道上，P 和 Q 兩小車被握著，並保持靜止。小車之間有一壓縮了的輕彈簧。P 和 Q 的質量分別為 m 和 2m。

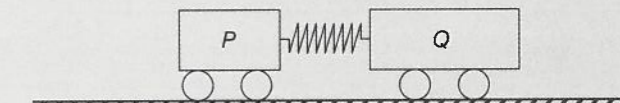


圖 i

把小車釋放，兩車分離。小車 Q 以速率 v 向右而行。以下哪些敘述是正確的?

- (1) 分離後，兩小車的總動量為 4mv。
 (2) 分離後，小車 P 的動能是小車 Q 的兩倍。
 (3) 初始時，儲存在該壓縮彈簧內的能量不少於 3mv²。
- A 只有 (1) 和 (2)
 B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3) (51%)
 D (1)、(2) 和 (3)

$$\frac{m}{t} = \frac{60 \text{ kg}}{60 \text{ s}} = 1 \text{ kg s}^{-1}$$

$$F = \frac{mv - mu}{t} = \frac{M}{t}(v - u) = 1 \times (0 - 10) = -10 \text{ N}$$

$$F = \frac{\Delta p}{t} = \frac{m(-109 - 140)}{0.0015}$$

-ve

Y 的初動量 $0.5 \times (-2) + 2 = mv$
 $v = 2 \text{ m s}^{-1}$

0.5 kg
 2 m s⁻¹
 90s 後
 0.65 kg
 $0.5 \times 2 = 0.65 v$
 $v = 1.54 \text{ m s}^{-1}$

20 香港高級程度會考 2011 年卷二 Q4
綜合題

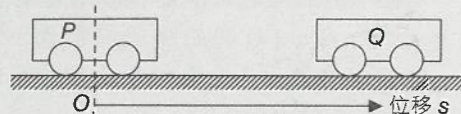
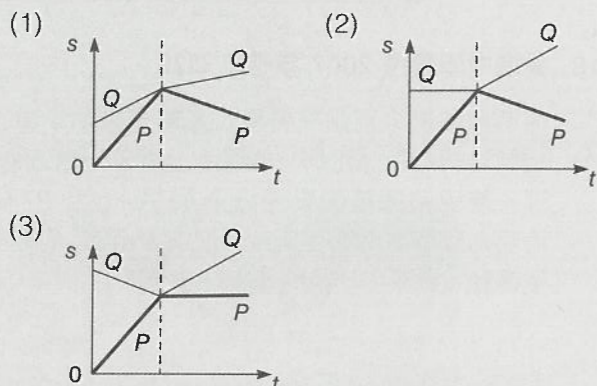


圖 j

如圖所示，小車 P 和 Q 於筆直跑道上作對正碰撞。下列各圖顯示碰撞前後，對應於兩車跟地上一固定點 O 的位移 s 與時間 t 的變化。哪個圖線是可能的？(短促的碰撞時間可忽略。)



- A 只有 (1) B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2) **D 只有 (2) 和 (3)**

(47%)

7.2 21 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一甲部 Q13

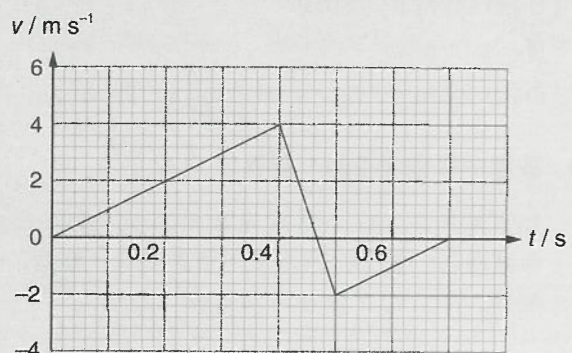


圖 k

把一個質量 0.2 kg 的小球從靜止釋放，小球撞擊地面然後反彈。小球的速度—時間關係線圖如上圖所示。以下哪些敘述是正確的？

- (1) 碰撞期間小球動量改變的量值為 1.2 kg m s^{-1} 。
(2) 碰撞期間地面作用於小球平均力的量值為 12 N。
(3) 碰撞期間有機械能損耗。
- A 只有 (1) 和 (2) **B 只有 (1) 和 (3)**
C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

7.1 22 香港中學文憑考試 2014 年卷一甲部 Q7

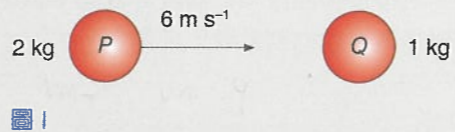


圖 l

質量為 2 kg 的球 P 對正碰撞另一初始時靜止的球 Q，Q 的質量為 1 kg。P 剛碰撞前的速率為 6 m s^{-1} 。如果碰撞後兩球沿相同方向運動，下列哪項可能為 Q 剛碰撞後的速率？

- (1) 2 m s^{-1}
(2) 4 m s^{-1}
(3) 6 m s^{-1}
- A 只有 (1) (6%) **Q22 考試報告：近半數**
B 只有 (1) 和 (2) (36%) **考生誤以為物體從高度相**
C **只有 (2) 和 (3) (26%)** **同而較陡峭的斜面下滑至**
D (1)、(2) 和 (3) (32%) **底部會得到較高速率。**

問答題

- 23 (a) 寫出動量守恆定律。 (1 分)
綜合題 (b) 試從牛頓運動定律推導出動量守恆定律。 (3 分)

- 24 質量為 70 kg 的永昌從地上跳起，回到地面時的速率是 4 m s^{-1} 。他到達地面時屈曲雙膝(圖 m)，0.6 s 後才完全靜止。

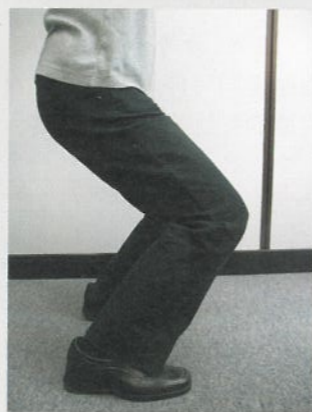


圖 m

- (a) 繪畫永昌到達地面時的隔離體圖。 (2 分)
(b) 求在撞擊中地面作用於永昌的平均力。 1150 N (2 分)
(c) 為甚麼永昌要屈曲雙膝？ (2 分)
(d) 動量守恆定律適用於這過程嗎？試扼要解釋。 (2 分)

- 25 花園灑水器噴水時會旋轉(圖 n)。每個噴嘴每分鐘噴 1 kg 水，而水以 2 m s^{-1} 離開噴嘴。

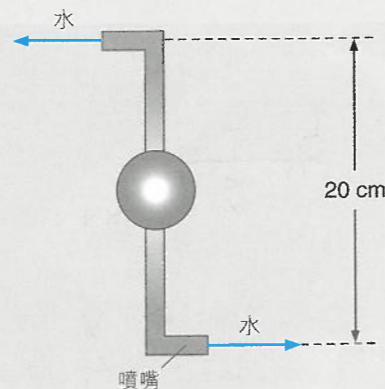


圖 n

順時針

- (a) 灑水器向哪個方向旋轉？試扼要解釋。(3 分)
(b) 水施於每個噴嘴的力量值是多少？ 0.0333 N (2 分)
(c) 求作用於灑水器的力矩。 $6.67 \times 10^{-3} \text{ N m}$ (2 分)

- 26 在光滑水平面跑道上，前端裝有彈簧的小車 X 與小車 Y 正向相撞(圖 o)。碰撞前，X 以 0.9 m s^{-1} 移動，Y 以 0.6 m s^{-1} 往相反方向移動。X 的質量是 0.5 kg，Y 的質量是 1.0 kg。碰撞是彈性的。

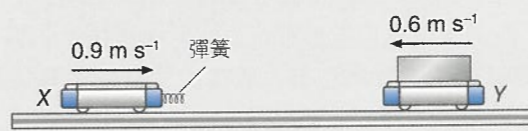


圖 o

- (a) 彈簧在碰撞時受擠壓，彈簧壓縮至最短時，兩輛小車以相同速度移動。
(i) 求小車的共同速度。 0.1 m s^{-1} (向左) (2 分)
(ii) 彈簧最多儲存了多少彈性势能？ 0.375 J (2 分)
(b) 求兩輛小車的末速度。 1.1 m s^{-1} (向左) (4 分)
 0.4 m s^{-1} (向右)

- 27 匪徒用機關槍攻擊超人，機關槍每分鐘射出 90 發子彈，每枚子彈的質量是 5 g。子彈以 400 m s^{-1} 擊中超人後便停下。每枚子彈的撞擊時間是 10 ms。

- (a) 每枚子彈作用於超人的平均力量值是多少？ 200 N (2 分)
(b) 如果子彈擊中超人後不是停下而是反彈，(a) 部的答案會怎樣改變？試扼要解釋。(2 分)
(c) 在 10 s 內，子彈作用於超人的平均力量值是多少？ 3 N (2 分)
(d) 為甚麼 (a) 部和 (c) 部的答案不同？ (2 分)

- 28 木塊 A 和木塊 B 在光滑的水平面上移動並正向碰撞(圖 p)。A 的質量是 0.2 kg，B 的質量是 0.8 kg。

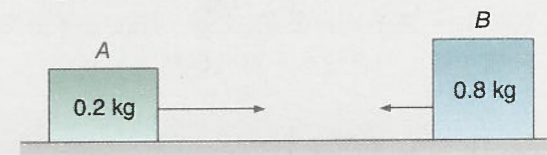


圖 p

圖 q 是 B 在碰撞前後的速度—時間關係線圖。

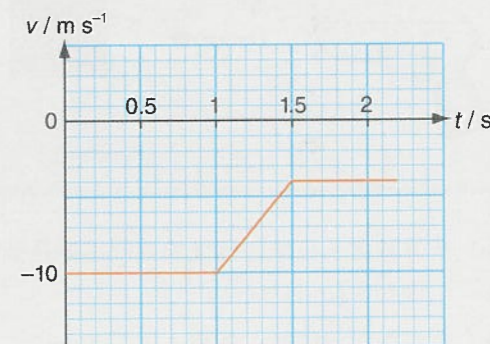


圖 q

- (a) 求 A 在碰撞中的動量改變。 -5.2 kg m s^{-1} (3 分)
(b) 求碰撞中作用於 A 的平均淨力。 -10.4 N (2 分)
(c) 這是非彈性碰撞。過程中牽涉到哪幾種能量？ (2 分)
(d) 由 $t=0$ 至 $t=2 \text{ s}$ 期間，A 的 $v-t$ 關係線圖可能是怎樣的？試草繪一幅可能的線圖。 (3 分)

- 29 球 X 與靜止的球 Y 在光滑水平面碰撞。X 的質量是 m ，Y 的質量是 M 。X 在碰撞前的速度是 u ，碰撞後的速度是 v ，Y 在碰撞後的速度是 V 。兩球在碰撞前後均沿同一直線移動。碰撞是彈性的。

- (a) 以 u 、 m 和 M 來表示 V 。 $\frac{2mu}{M+m}$ (3 分)
(b) 以 u 、 m 和 M 來表示 v 。 $\frac{u(m-M)}{M+m}$ (1 分)
(c) 以 u 來表示以下各個情況的 v 和 V ，描述球的運動。
(i) X 是乒乓球，Y 是保齡球 ($m \ll M$)。 $-u$ 、 0 (2 分)
(ii) X 和 Y 是相同的 ($m = M$)。 0 、 u (2 分)
(iii) X 是保齡球，Y 是乒乓球 ($m \gg M$)。 u 、 $2u$ (2 分)

7 動量

- ★ 30 綜合題 氣槍把質量為 0.2 g 的子彈射往以繩子懸着的盒子(圖 r)。子彈在碰撞後嵌在盒子內。盒子盪向右邊，抵達的最高位置比原來位置高出 0.07 m。盒子的質量是 20 g。假設子彈由氣槍飛向盒子時，一直沿水平路徑移動。

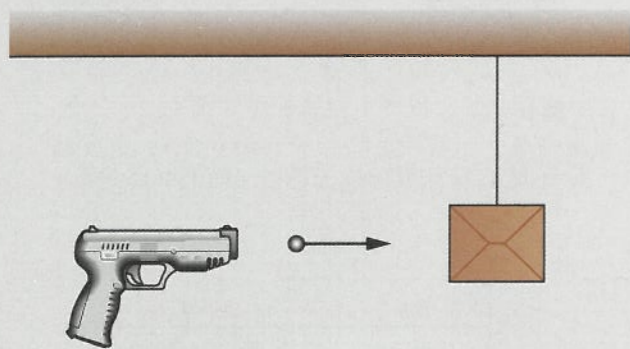


圖 r

- (a) 子彈和盒子在剛碰撞後的共同速率是多少?
1.17 m s⁻¹ (2分)
- (b) 求子彈在碰撞前一刻的速率。118 m s⁻¹ (2分)
- (c) 香港法例規定氣槍子彈的能量不能多於 2 J。這氣槍符合法例要求嗎? 符合 (2分)
- (d) 子彈和盒子的總動量在整個過程中守恆嗎? 試扼要解釋。不守恆 (2分)

- ★ 31 7.2 發生車禍時，司機若未扣上安全帶，可能會被拋向前，並撞到擋風玻璃。圖 s 粗略顯示擋風玻璃作用於司機的力。

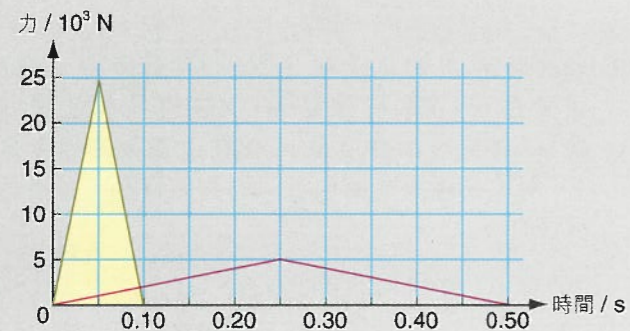


圖 s

- (a) 求線圖下的面積。1250 N s (1分)
- (b) 題(a)的面積有甚麼物理意義? (1分)
司機的動量變化
- (c) 司機撞到擋風玻璃時，作用於他的平均淨力是多少? 12 500 N (2分)

- (d) 假設司機扣上安全帶後(圖 t)，發生車禍時作用於他的平均淨力會減小 $\frac{4}{5}$ 。



圖 t

- 2500 N
- (i) 作用於司機的平均力是多少? (1分)
- (ii) 求撞擊時間。0.5 s (2分)
- (iii) 跟圖 s 一樣，以等腰三角形模擬線圖的形狀，草繪新的力—時間關係線圖。在圖中標示 F 的最大值。 (2分)
- (e) 試解釋安全帶怎樣降低作用於司機的力。 (2分)

- ★ 32 7.1 光滑水平面上有多部完全相同的小車排成一列(圖 u)。位於車隊最右端的小車 X 被推了一下，於是它以速度 u 向左移，並撞上旁邊的小車。兩輛小車黏在一起，然後再與旁邊的小車碰撞。這過程持續，而每次碰撞都是完全非彈性的。

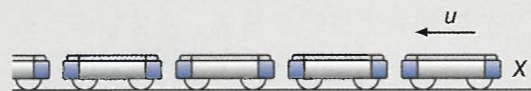


圖 u

- (a) 求在第一次碰撞後 X 的速度。 (2分)
- (b) 於某個時刻，X 以 $\frac{u}{10}$ 移向左。 $\frac{u}{2}$
- (i) 在這一刻，有多少輛小車黏在一起? 10 (2分)
- (ii) 求碰撞後小車總動能減少的百分比。 90% (2分)
- (c) 現假設所有碰撞都是彈性的，第 11 部小車被右邊的小車碰撞後，速度是多少? u (1分)
[提示：見例題 4 (p.263)]

- ★ 33 綜合題 7.2 質量為 0.5 kg 的小車 A 和質量為 1.5 kg 的小車 B 互相緊貼，放在光滑的水平面上。小車的壓縮彈簧柱塞鬆開後，兩輛小車向相反方向移動。儲存在彈簧柱塞中的彈性勢能是 5 J。假設在這「爆炸」中，彈性勢能全都轉化為小車的動能。

- (a) 寫出小車的壓縮彈簧柱塞鬆開時的能量轉換。 (2分)
- (b) 小車 A 和小車 B 在爆炸後的速度是多少?
3.87 m s⁻¹、-1.29 m s⁻¹ (4分)
- (c) 證明一個原本靜止的物體爆開作兩部分時，較輕的部分動能必定較大。 (3分)
- (d) 實際上，並非所有彈性勢能都會在爆炸中轉化為小車的動能。這些能量到哪裡去了?
彈簧的內能、聲能 (1分)

- ★ 34 7.2 救生氣墊充氣後高 3 m(圖 v)。假設一個質量為 50 kg 的人從 20 m 高處墮入氣墊，並在碰到氣墊的 0.25 s 後停下。空氣阻力可略去不計。



圖 v

- (a) 這個人抵達氣墊的表面時，速度是多少?
18.3 m s⁻¹(向下) (2分)
- (b) 他由撞上氣墊至停下，動量改變是多少?
913 kg m s⁻¹(向上) (2分)
- (c) 在撞擊中，作用於他的平均淨力量值是多少?
3650 N(向上) (2分)
- (d) 他被氣墊截停時，距離地面多遠?
0.717 m (2分)
- (e) 要是這個人直接跌到地上，撞擊時間會短得多。估算如果撞擊時間是 0.05 s，作用於這個人的平均淨力量值是多少。19 800 N (1分)

- ★ 35 7.2 小車 A 的質量是 0.69 kg，小車 B 的質量是 1.38 kg，兩車在光滑的水平跑道上向對方移動並正向相撞(圖 w)，跑道兩端的運動感應器記錄小車的運動，圖 x 顯示錄得的 v-t 線圖。

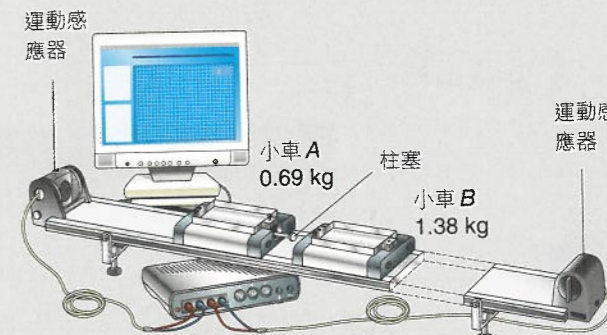


圖 w

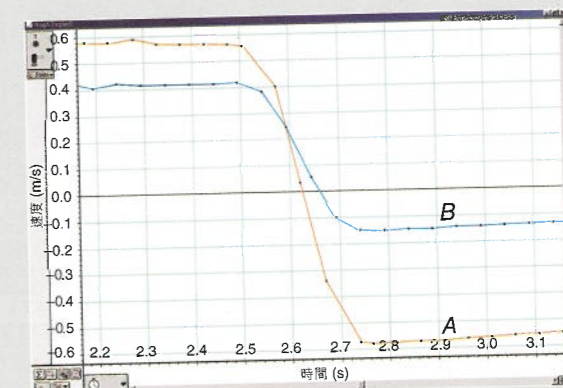


圖 x

- (a) 描述小車 B 於碰撞前、碰撞時及碰撞後的運動。3.15 N(向右) (4分)
- (b) 估算碰撞時作用於小車 B 的平均淨力。 (2分)
- (c) 實驗結果是否符合牛頓運動第三定律? 試扼要解釋。符合 (3分)

- ★★ 36 7.1 在光滑水平面上，物體 X 以速度 u 正向撞擊靜止的物體 Y(圖 y)。X 和 Y 質量相同，碰撞過程中沒有爆炸，X 也沒有穿過 Y。

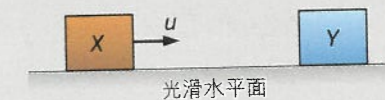


圖 y

- (a) 證明碰撞後 X 必定不會向相反方向移動。 (3分)
- (b) 證明如果 X 和 Y 在碰撞後黏在一起，Y 的速度是最低的。 (3分)

▶ 參看例題 2 (p.261)，例題 4 (p.263)

- ★★ 37 質量為 5 g 的子彈水平射往桌上的木塊 (圖 z)，子彈在碰撞後嵌在木塊內，撞擊時間是 4 ms。在剛碰撞後，子彈和木塊一同以 2 m s^{-1} 移動。假設撞擊力是恆定的。木塊的質量是 1 kg。

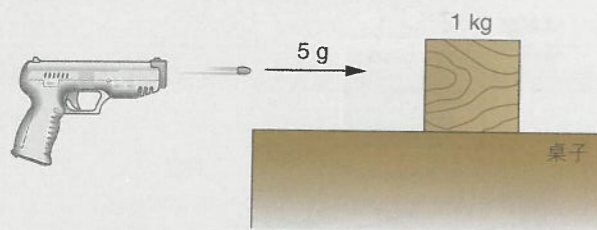


圖 z

- (a) 估算子彈在撞擊木塊前一刻的速率。 402 m s^{-1} (2分)
 (b) 估算子彈施於木塊的撞擊力。 500 N (向右) (2分)
 (c) 木塊在碰撞 3 s 後停下。求作用於它的摩擦力。 0.667 N (向左) (2分)
 (d) 估算木塊在撞擊期間移動的距離。 4 mm (3分)
 (e) 估算木塊對子彈所作的功。 404 J (2分)
 (f) 估算子彈穿透木塊的深度。 0.804 m (2分)

▶ 參看 p.228, 271

□ 考試報告見第 282 頁。

7.2 38 香港中學會考 2007 年卷一 Q9

利用球桿將質量為 40 g 的高爾夫球從靜止擊出 (圖 aa)，該球離開球桿的速率為 44 m s^{-1} 。假設空氣阻力可忽略不計。



圖 aa

- (a) (i) 計算該高爾夫球被擊出前後的動量改變。 1.76 N s (2分)
 (ii) 擊球時，球桿與該球的碰撞時間為 1 ms。求碰撞時作用於該球的平均力。 1760 N (2分)

- (b) 啟朗發現該球桿比高爾夫球硬。他聲稱在擊球時，球桿所受的力比高爾夫球所受的為小。試解釋這說法是否正確。 **不正確** (2分)

- (c) 高爾夫球離球洞 2.5 m 時，從靜止沿水平方向被輕擊一下，令其剛好到達球洞 (圖 ab)。如該球所受的平均阻力為 0.03 N ，估算該球的初速率。 1.94 m s^{-1} (3分)

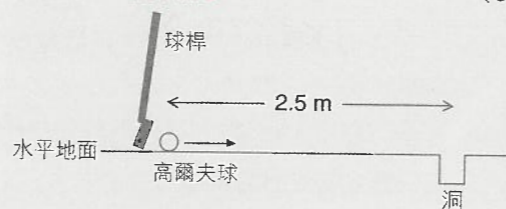


圖 ab

□ 考試報告見第 282 頁。

39 香港中學會考 2010 年卷一 Q10

綜合題

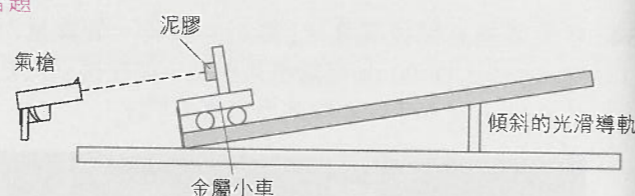


圖 ac

一輛附有泥膠的金屬小車總質量為 40 g。該小車原先停留在一傾斜的光滑導軌上 (見圖 ac)。一顆質量為 0.43 g 的子彈由一氣槍射向小車。撞擊後子彈陷入泥膠中，而小車沿導軌移動並最多上升了 5 cm 的豎直距離。忽略空氣阻力。

(完全) 非彈性碰撞

- (a) 指出子彈與小車之間是哪種碰撞。 (1分)
 (b) 求剛碰撞後小車的速率。 1 m s^{-1} (2分)
 (c) 求剛碰撞前小車的速率。 94.0 m s^{-1} (2分)
 (d) 舉出兩個原因，解釋為何小車連同陷入的子彈所獲勢能的最大值小於子彈剛離開氣槍時的動能。 (2分)
 (e) 經過第一次嘗試，景生以同樣的裝置重複這項實驗。他瞄準失誤 (見圖 ad)，使子彈射中小車的金屬部分 (而非泥膠) 並向後反彈。描述及解釋這如何影響小車所到達的最大豎直距離。 (4分)

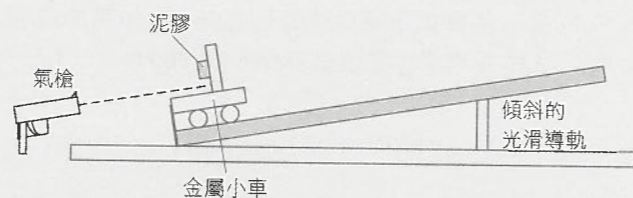


圖 ad

□ 考試報告見第 293 頁。

40 香港中學會考 2011 年卷一 Q9

綜合題

現時建築工人在地盤內必須配帶安全帽。如圖 ae 所示，一頂安全帽有堅硬的膠殼，並以彈性帶子置於工人的頭上。



圖 ae

如圖 af 所示，在進行安全測試時，將安全帽放置在支柱上，把一質量為 5 kg 的細小物體在帽上方 1 m 處從靜止釋放。測試得出該物體和膠殼之間的碰撞時間是 0.03 s。假設在碰撞完結一刻物體靜止不動。



圖 af

- (a) 圖 ag 顯示碰撞時作用於該物體的力。

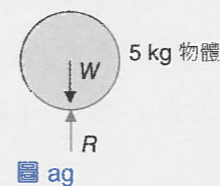


圖 ag

- R (來自帽的反作用力) 和 W (物體的重力) 是否一對作用力與反作用力？試解釋。 **不是** (2分)
 (b) (i) 求該物體剛碰撞前的速率。 4.47 m s^{-1} (1分)
 (ii) 由此，求碰撞時該物體作用於膠殼上的平均力的量值。 795 N (4分)

- (c) 如圖 ah 所示，把彈性帶子除去，重複該安全測試。發現碰撞時該物體作用於膠殼上的力變得很大。由此，解釋彈性帶子的功用。 (2分)



圖 ah

□ 考試報告見第 292 頁。

41 香港中學文憑考試 2012 年卷一乙部 Q4

綜合題

火車頭 A 開始時以速率 60 m s^{-1} 沿水平筆直的鐵路行駛，另一輛相同的火車頭 B 在 A 的前方，於同一鐵路上同向而行。B 因機械故障只以 20 m s^{-1} 行駛 (圖 ai)。

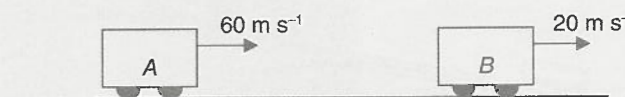


圖 ai

在時間 $t = 0$ ，A 與 B 相距 $x \text{ m}$ ，A 車的車長收到停車訊號後立即以 4 m s^{-2} 減速，而 B 車則續以 20 m s^{-1} 行駛，於 5 s 後 A 車最終與 B 車相撞。空氣阻力可略去不計。

- (a) (i) 求 A 在剛碰撞前的速率。 40 m s^{-1} (2分)
 (ii) 下面線圖顯示 B 的速率在這 5 s 內如何隨時間變化。在同一圖上草繪出 A 的速率在該時段內的變化。 (1分)

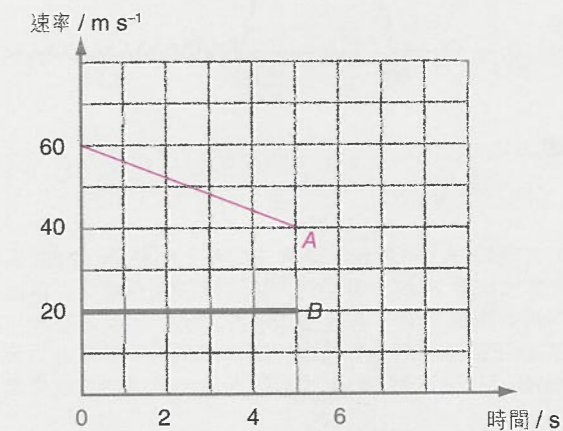


圖 aj

- (iii) 根據以上資料推斷在 $t = 0$ 時兩車間距 x 。 150 m (3分)

- (b) A 與 B 碰撞後鎖在一起。
- 求兩車剛碰撞後的速率。 30 m s^{-1} (2分)
 - 如果兩火車頭的碰撞時間為 0.2 s ，而每一火車頭的質量為 5000 kg ，求於碰撞期間作用於 A 的平均撞擊力的量值及方向。
 $250\,000 \text{ N}$ (向左) (3分)

實驗題

- ★ 42 7.2 光滑的軌道與水平面的夾角為 10° ，質量為 0.5 kg 的小車沿軌道由靜止開始滑下 (圖 ak)，然後撞上軌道下端的力感應器。圖 al 顯示力感應器錄得的 $F-t$ 線圖。小車的速度由軌道上端的運動感應器記錄，圖 am 顯示記錄所得的 $v-t$ 線圖。

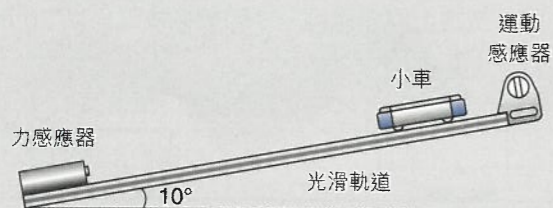


圖 ak

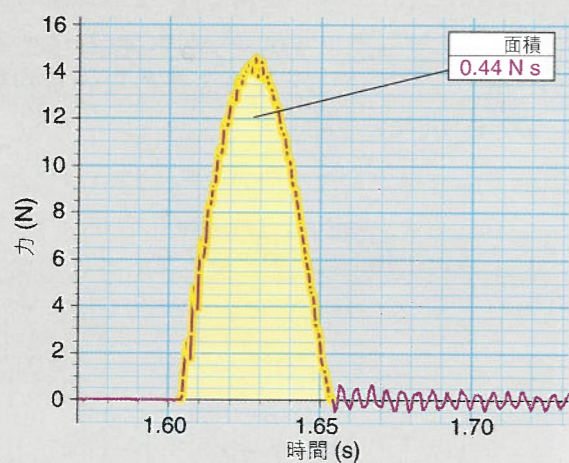


圖 al

□ Q41 考試報告：表現令人滿意。有些考生在 (a)(ii)(iii) 未能正確繪畫出火車 A 的速率變化，以致無法利用線圖下的面積確定兩輛火車的距離。考生在 (b) 的表現平平，很多考生在 (b)(i) 沒有正確應用動量守恆定律於有關情況，只是能力較高者在 (b)(ii) 可以辨別火車 A 的真正速度，再得到其動量變化率。



圖 am

- 繪畫小車在碰撞時的隔離體圖。
 0.39 kg m s^{-1} (沿軌道向上) (2分)
- 從圖 am 估算小車的動量變化。(2分)
- 題 (b) 的答案與圖 al 線圖下的面積相同嗎？為甚麼？不相同 (3分)

- ★ 43 7.1 學生利用以下裝置研究碰撞 (圖 an)。每輛小車上都有一張長 10 cm 的卡紙。小車經過光閘下方時，卡紙會阻擋光閘的光線。小車 A 的質量是 1.5 kg ，小車 B 的質量是 0.5 kg 。

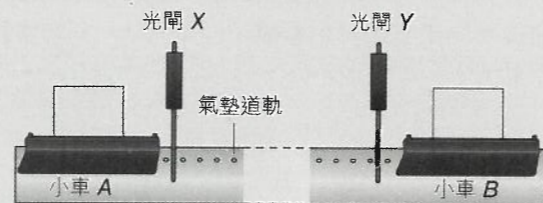


圖 an

學生推一推兩輛小車，兩者互相靠近。光閘 X 只記錄到一個讀數，數值是 0.202 s 。光閘 Y 記錄到三個讀數，第一個是 0.251 s ，第二個是 0.204 s ，第三個是 0.493 s 。

- 計算各小車在碰撞前後的速度。(4分)
- 利用以上數據驗證動量守恆定律。(2分)
- 學生想研究彈性碰撞。建議一個修改裝置的方法。(1分)

(a) $u_x = 0.495 \text{ m s}^{-1}$ (向左) · $u_y = 0.398 \text{ m s}^{-1}$ (向右) ·
 $v_x = 0.203 \text{ m s}^{-1}$ (向右) · $v_y = 0.490 \text{ m s}^{-1}$ (向右)

物理文章分析

- ★ 44 7.1 閱讀下列一段有關小型車的文章，然後回答隨後的問題。

大型車與小型車

小型車在本港頗受歡迎，這種車售價較便宜、節省燃料、泊車較易，而且排放較少廢氣。可是，選小型車或許要犧牲司機和乘客的安全。

高速公路安全保險協會 (IIHS) 的研究顯示，小型車司機的交通意外死亡率是大型汽車司機的兩倍以上，當中原因不難了解。大型車的前端和後端有較大的變形區域，發生意外時會變形 (圖 ao)，能有效延長撞擊時間，因而降低撞擊力。此外，小型車的質量較小，與其他物體碰撞時很可能會反彈，因而又再撞向其他車輛。



圖 ao

要是大型車與小型車碰撞，小型車的加速度會較大。單是這個加速度便已經足以對乘客造成多種傷害，例如視網膜脫落及失去知覺。

假設質量 4000 kg 的大型車與質量 1000 kg 的小型車正向碰撞。兩車的司機質量相同。

- 哪部車的動量變化量值較大？作用於哪部車的力量值較大？試扼要解釋。(3分)
- 計算小型車與大型車加速度的量值比例。4:1 (3分)
- 作用於小型車司機與大型車司機的力，兩者量值的比例是多少？4:1 (2分)

□ Q40 考試報告：考生表現尚可。

- 考生於本部表現尚可。部分考生只指出 W 源自地球而 R 為安全帽的反作用力，而未進一步解釋。部分考生誤以為 W 和 R 是一對作用力與反作用力。
- (ii) 考生於本部表現尚可。只有小部分考生把物體的重量包括在計算內。
- 很多考生明瞭較長的碰撞時間會減少作用在安全帽的力，惟他們未能解釋彈性帶子的伸長會增加碰撞時間。

自我評核 7

時間：20分鐘 總分：14分

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄 (p.411) 附有常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

7.21 跳高比賽中，選手跳起，然後掉在墊子上 (圖 a)。



圖 a

下列哪項是墊子能保護選手的原因？

- 墊子減少選手着地時的動量變化。
- 墊子減少着地時施於選手的力。
- 墊子降低選手着地時的撞擊時間。

- A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

B

7.22 質量為 80 g 的球於離地 0.5 m 的高度從靜止掉下，碰撞後球反彈至離地 0.4 m 的高度。球與地面的撞擊時間是 6 ms。碰撞時，球施於地面的平均力量值是多少？

- A 4.41 N
B 5.19 N
C 79.1 N
D 79.9 N

D

3 質量為 6 g 的子彈射向停在光滑水平面上的木塊 (圖 b)，木塊的質量為 100 g。子彈撞擊木塊前以 350 m s^{-1} 水平移動，穿過木塊後以 150 m s^{-1} 沿水平方向離開。計算子彈及木塊在碰撞中共損失了多少動能。

綜合題

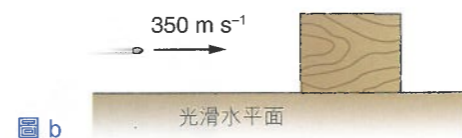


圖 b

- A 67.5 J B 120 J
C 293 J D 300 J

C

7.14 連結太空人 Y 和太空站的拴繩斷開後，太空人 Y 便以 0.2 m s^{-1} 往右飄走。太空人 X 立即以 0.4 m s^{-1} 追着 Y (圖 c)，兩人最終能捉緊對方並一起移動。之後 X 使用艙外活動簡便救援器把氣體以 50 m s^{-1} 噴出，每秒噴出力 20 g 氣體。太空人 X 的質量是 180 kg，太空人 Y 的質量是 160 kg。太空人 X 要向哪個方向噴發氣體，以及要噴發氣體多長時間才能停下？

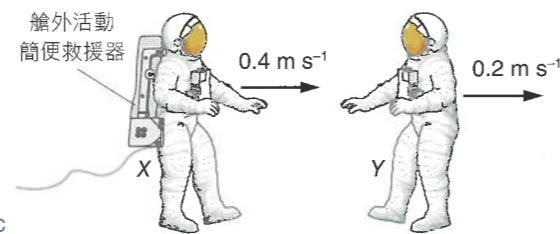


圖 c

- A 40 s (向左) B 104 s (向左)
C 40 s (向右) D 104 s (向右)

D

乙部

7.25 學生在力感應器和小車上安裝磁鐵，兩者的磁鐵同極相向。他把力感應器固定在跑道上，然後沿跑道推了小車一下，小車接近力感應器時，兩者互相排斥。一個運動感應器記錄下小車的運動。

圖 d 顯示運動感應器錄得的速度—時間關係線圖和力感應器錄得的力—時間關係線圖。力—時間關係線圖中陰影的面積為 0.47 N s 。

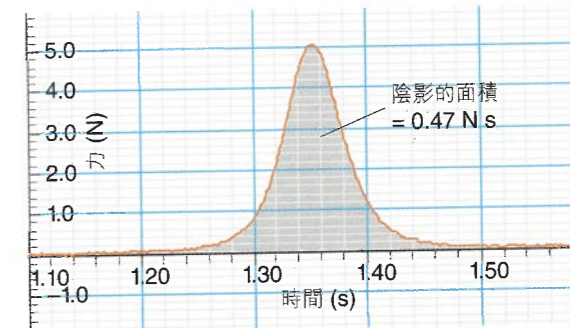
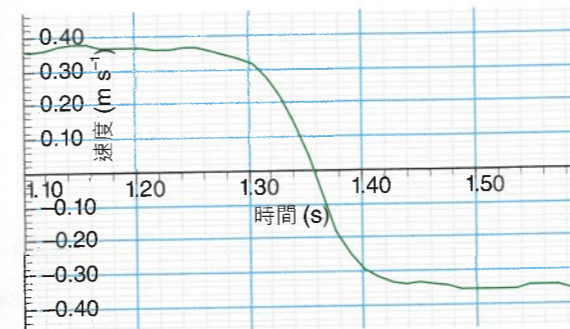


圖 d

(a) 估算撞擊時間，以及在碰撞中作用於力感應器的平均力量值。 (3分)

1.57 N

(b) 估算小車的質量。 (2分)

0.662 kg

6 水火箭的總質量是 2 kg，它在發射的第一秒內以 10 m s^{-1} 噴出 0.5 kg 水。

綜合題

(a) 火箭放在光滑水平面，發射時水會噴向何方。

(i) 火箭發射的第一秒內，作用於它的平均淨力是多少？ (2分)

5 N

(ii) 在發射後的 1 s，火箭的速度是多少？ (2分)

3.33 m s⁻¹

(b) 火箭垂直放置時卻不能升空。試扼要解釋。 (1分)

(題解見 p.408)

物理快拍



以下有關足球的問題，足球員也未必懂得回答。你知道答案嗎？



1 球撞上網後停下，在這碰撞中，球和網的總動量守恆嗎？

不守恆，網連着門柱，所以在碰撞中有外力作用於網。



2 兩個球員搶球時撞成一團，一個嚴重受傷。這種撞擊可能是彈性碰撞嗎？

部分動能轉換為令球員受傷的能量（內能），因此碰撞不可能是彈性的。

3 接得好！守門員和球的碰撞屬於哪一類型？碰撞時，兩者的總動量和總動能有甚麼變化？

這是完全非彈性碰撞。兩者的總動量守恆，但總動能不守恆。

4 哎喲！用頭槌攻門真痛！作用於頭的力跟作用於球的力，哪個較大？

根據牛頓第三定律，作用於兩者的力量值相同。



5 是不是跑得較快動量必定較大？

不是，動量還會受質量影響。



Ext

8 拋體運動

我們在这一課會學到

- 物體以水平投擲時的運動
- 物體以斜角投擲時的運動
- 拋體運動的軌道
- 拋體運動的能量轉換

8.1

平拋運動

起點 物體在空中的運動

物體沿垂直方向飛出後，會沿直線在空中運動。不過，滑雪運動員從大石上水平飛出後，卻會沿彎曲的路線運動。為甚麼會這樣？[參看第 301 頁。](#)



✓ 本節重點

- 1 垂直運動與水平運動互相獨立
- 2 平拋運動

「自由移動」指物體投出後只受地心吸力牽引。物體擲出並在半空自由移動時，會作**拋體運動**，這物體稱為**拋體**。在本單元，我們會先研究物體沿水平投出時的運動（即平拋運動）。

→ 模擬程式 8.1 示範實驗 8a。

錄像片段 8.1

1 垂直運動與水平運動

實驗 8a 「猴子和獵人」實驗

- 1 如圖 a 和 b 所示，組裝「猴子和獵人」實驗器材。

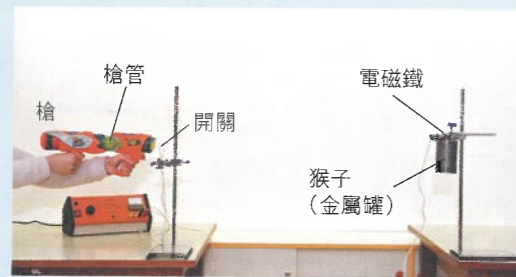


圖 a

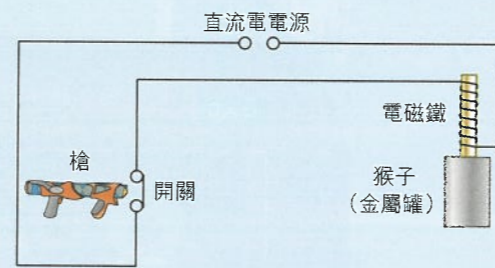


圖 b

- 2 調整猴子與槍的位置，兩者須相距 1 m，槍管保持水平並對準猴子。
- 3 發射子彈，猴子會在同一刻掉下。留意猴子和子彈的情況。
- 4 改變猴子與槍之間的距離，重複步驟 1 至 3。

結果及討論

每次子彈都能擊中猴子，這說明猴子和子彈的垂直下墜距離有甚麼關係？[兩者垂直下墜的距離相同。](#)

模擬程式 8.1
錄像片段 8.2

→ 模擬程式 8.1 讓學生控制上方軌道的高度和兩個球的水平速率。

→ 錄像片段 8.2 示範實驗 8b。

實驗 8b 從水平平台飛出的球

- 1 如圖 a 裝置實驗器材，把兩條完全相同的傾斜軌道安裝在不同的 height。
- 2 在兩條軌道的末端同時釋放金屬球，球 A 離開平台前，兩球的速度一直相同。它們會相撞嗎？
- 3 改變上方軌道的高度，然後重複步驟 2。

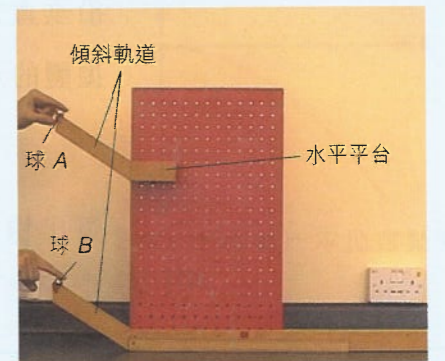


圖 a

結果及討論

兩個球每次都相撞，這說明它們的水平移動距離有甚麼關係？[兩者移動的水平距離相同。](#)

實驗 8a 顯示，子彈和猴子的垂直運動是相同的，兩者都在重力下加速。圖 8.1a 是一幅多重曝光照片，顯示一個球從靜止下墜，另一個球在同一時間沿水平方向射出。我們可以清楚見兩個球的垂直運動是相同的。

在實驗 8b，球 A 離開平台後作平拋運動，球 B 則作勻速水平運動。無論上方軌道的位置有多高，兩球總會相撞，這說明它們的水平運動是相同的（圖 8.1b）。這就是說，物體作平拋運動時，它沿水平方向的運動速度保持不變。

相鄰影像之間相隔的時距是一樣的。

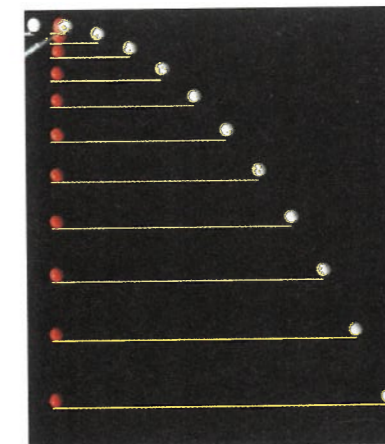


圖 8.1a 紅球從靜止下墜，白球在同一時間沿水平方向射出

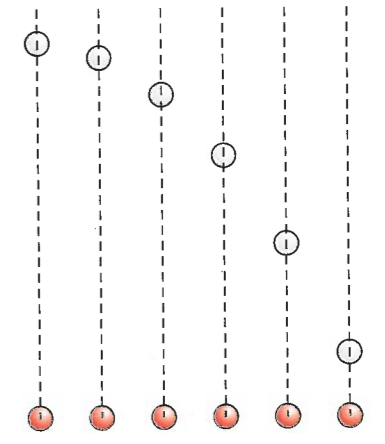


圖 8.1b 紅球以勻速水平運動，白球以相同的水平速度射出

實驗 8a 和 8b 的結果顯示

當空氣阻力可略去不計，拋體沿水平方向作勻速運動，並在重力作用下沿垂直方向作勻加速運動。兩個方向的運動是各自獨立的。

要解釋上述現象，可考慮作用於拋體的力(圖 8.1c)。拋體只受單一的力作用，就是垂直向下的重力，因此，根據牛頓運動第二定律，拋體會沿垂直方向以 g 向下加速，沿水平方向則作勻速運動。

拋體的水平與垂直運動各自獨立，這特性是由伽利略最先提出的。

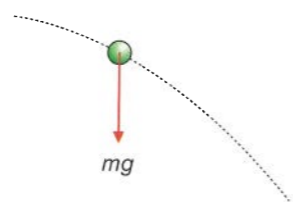


圖 8.1c 拋體只受重力作用

2 分析平拋運動

拋體移動的路徑稱為軌道。要找出平拋物體的軌道，可一併分析它的水平勻速運動和垂直勻加速運動(圖 8.1d)。

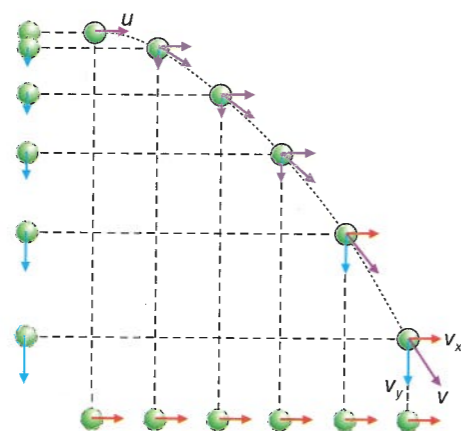


圖 8.1d 拋體的軌道

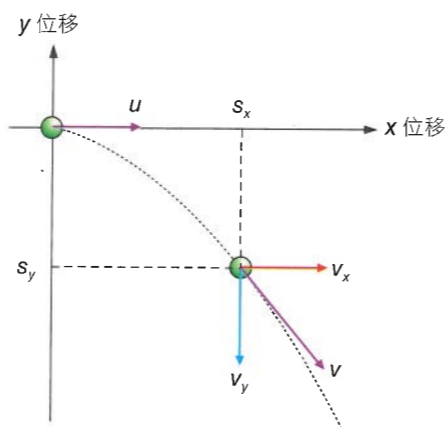


圖 8.1e 物體水平射出後的位移和速度

水平和垂直運動各自獨立，可以分開考慮。假設物體在 $t = 0$ 以速率 u 向右水平射出(圖 8.1e)，取向上和向右為正。

重溫勻加速運動的方程：▶ 首先考慮水平運動 ($u_x = u, a_x = 0$)。

$$v = u + at$$

$$s = \frac{1}{2}(u + v)t$$

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$v^2 = u^2 + 2as$$

在時間 t ，

$$v_x = u_x = u \dots\dots\dots (1)$$

$$s_x = u_x t = ut \dots\dots\dots (2)$$

然後考慮垂直運動 ($u_y = 0, a_y = -g$)。

在時間 t ，

$$v_y = u_y + a_y t = 0 - gt = -gt \dots\dots\dots (3)$$

$$s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2 = 0 + \frac{1}{2} (-g)t^2 = -\frac{1}{2} gt^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$v_y^2 = u_y^2 + 2a_y s_y = 0 + 2(-g)s_y = -2gs_y \dots\dots\dots (5)$$

拋體的軌道可用一條方程來表示。

根據 (2), $t = \frac{s_x}{u}$

把這結果代入 (4),

$$s_y = -\frac{1}{2}g \left(\frac{s_x}{u}\right)^2 = -\frac{g}{2u^2} s_x^2$$

以上方程描述物體以速率 u 水平向右射出後的軌道(圖 8.1f)，這軌道是拋物線的一部分。

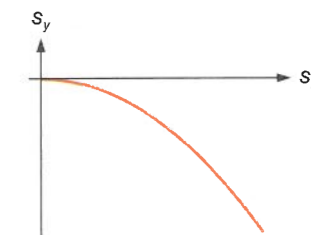


圖 8.1f 物體作平拋運動時的軌道

這解答了起點提出的問題。

例題 1 石頭的軌道

石頭在 $t = 0$ 以 3 m s^{-1} 沿水平方向射出。繪畫由 $t = 0$ 至 $t = 0.8 \text{ s}$ 期間石頭的軌道，取向上和石頭最初的移動方向為正，並取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ 。空氣阻力可略去不計。

題解

水平位移 $s_x = ut = 3t$

$$\text{垂直位移 } s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2 = 0 + \frac{1}{2} (-g)t^2 = -\frac{1}{2} gt^2$$

表 a 顯示 s_x 和 s_y 在不同時刻的數值。

t / s	0	0.2	0.4	0.6	0.8
s_x / m	0	0.6	1.2	1.8	2.4
s_y / m	0	-0.2	-0.8	-1.8	-3.1

表 a

以平滑的曲線串聯起這些點，便得出石頭的軌道(圖 a)。

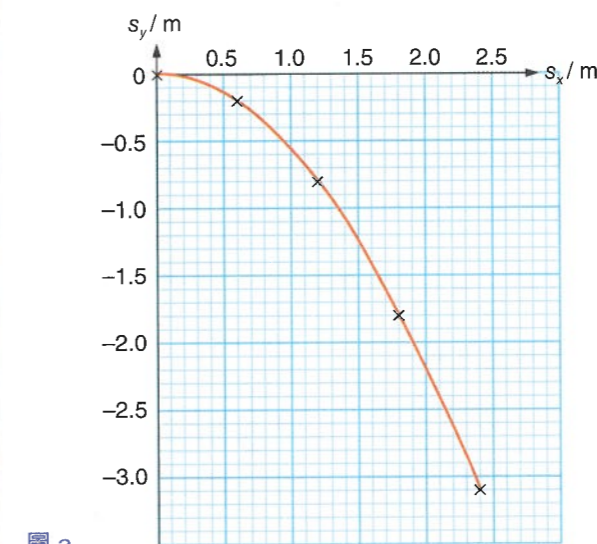


圖 a

▶ 進度評估 1 Q3 (p.302)

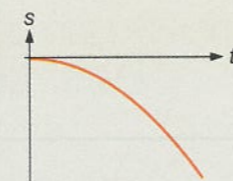
補充資料

拋物線

當 $y \propto x^2$, y 對 x 的線圖便會呈拋物線。我們在之前就已經見過類似的線圖。

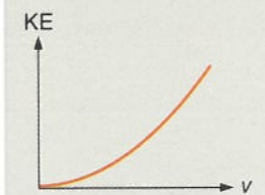
① 物體從靜止開始自由下落時，位移 s 對時間 t 的線圖(取向上為正)

$$s = -\frac{1}{2}gt^2$$



② 物體動能 KE 對速率 v 的線圖

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$



因為比例常數 $\left(\frac{1}{2}m\right)$ 是正數，所以圖線向上彎曲。

進度評估 1

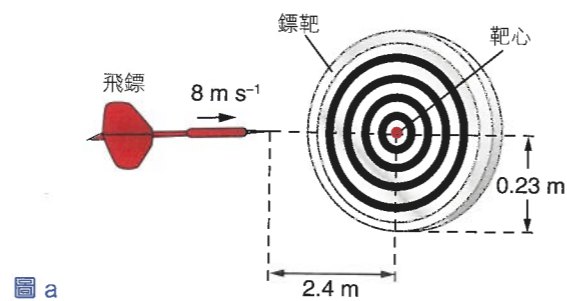
✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.298)。

(第 1 至 3 題) 學生提起兩個相同的硬幣 P 和 Q 至同一高度。在同一時間，學生釋放 P 讓它垂直下落，並沿水平方向擲出 Q 。假設空氣阻力可略去不計。

- 21 判斷以下敘述是否正確。
- P 和 Q 同時到達地面。 T
 - P 和 Q 到達地面時，垂直速度相同。 T
 - P 和 Q 到達地面時，水平速度相同。 F
 - P 和 Q 到達地面時速率相同。 F
- 22 如果 P 較 Q 重，第 1 題的答案會怎樣改變？不變
- 23 Q 本來離地 1 m，擲出時的水平速度為 1.5 m s^{-1} 。試草繪 Q 的軌道。

例題 2 擲飛鏢

志山把飛鏢扔向鏢靶。鏢靶掛在距離志山 2.4 m 的牆上，半徑為 0.23 m (圖 a)。飛鏢扔出時，以 8 m s^{-1} 的速率沿水平方向移動，並與靶心處於同一高度。飛鏢能擊中鏢靶嗎？無須考慮空氣阻力。



「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

處理拋體運動

拋體的垂直和水平運動的確各自獨立，但不表示兩者之間完全沒有關連。在數學上，兩者由時間 t 連繫。只要知道時間，便可用第 300 頁的方程 (1) 至 (5) 找出 s_x 、 s_y 、 v_x 和 v_y 。

飛鏢水平移動 2.4 m 後，處於靶心以下 0.441 m 的位置。

題解

取向下和指向鏢靶的方向為正。

設飛鏢由扔出至到達鏢靶 (或牆壁) 的時間為 t 。

考慮水平方向。

$$t = \frac{s_x}{u_x} = \frac{2.4}{8} = 0.3 \text{ s}$$

考慮垂直方向。

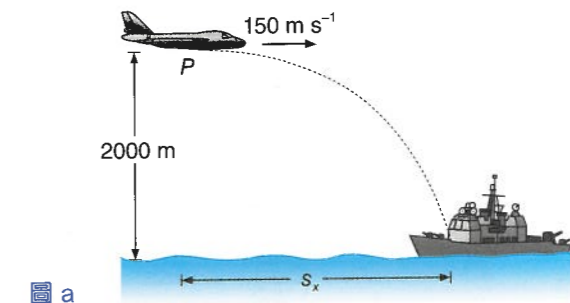
$$s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2 = 0 + \frac{1}{2} \times 9.81 \times 0.3^2 = 0.441 \text{ m} > 0.23 \text{ m}$$

飛鏢不能擊中鏢靶。

▶ 習題與思考 8.1 Q6 (p.305)

例題 3 投擲炸彈

轟炸機在海平面上空 2000 m，以 150 m s^{-1} 的速率沿水平方向飛行。到達 P 點時，投下一個炸彈，擊中一艘靜止的敵艦 (圖 a)。設空氣阻力可略去不計。



- (a) 敵艦與 P 點的水平距離 s_x 是多少？
- (b) 炸彈擊中敵艦時，速度是多少？

題解

取向下和轟炸機的飛行方向為正。

- (a) 考慮垂直方向。

$$s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2$$

$$2000 = 0 + \frac{1}{2} \times 9.81 t^2$$

$$t = 20.2 \text{ s}$$

考慮水平方向。基於慣性，炸彈的水平速度與轟炸機相等，即

$$u_x = 150 \text{ m s}^{-1}$$

$$s_x = u_x t = 150 \times 20.2 = 3030 \text{ m}$$

- (b) $v_y^2 = u_y^2 + 2a_y s_y$

$$= 0 + 2 \times 9.81 \times 2000$$

$$= 39\,200 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$$

$$\text{炸彈的速率} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$= \sqrt{150^2 + 39\,200}$$

$$= 248 \text{ m s}^{-1}$$

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x}$$

$$= \frac{\sqrt{39\,200}}{150}$$

$$\theta = 52.9^\circ$$

炸彈的速度是 248 m s^{-1} ，指向右下方，與水平的夾角是 52.9° 。

根據畢氏定理，
 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$

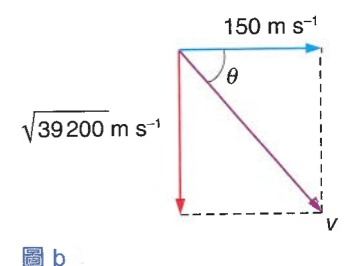


圖 b

▶ 進度評估 2 Q1-4 (p.304)

8 拋體運動

EX

設轟炸機以恆速度沿水平方向飛行，沿途把炸彈逐一投下(圖 8.1g)。炸彈會作平拋運動，水平速度與轟炸機相同，因此所經過的水平距離也相同。正因如此，炸彈會一直處於轟炸機的下方。圖 8.1h 說明炸彈與轟炸機並列移動的原因。

以下是轟炸機投擲炸彈的影片。
<http://www.youtube.com/watch?v=lfPymtbbWXs>



圖 8.1g 轟炸機以恆速度飛行時投擲炸彈

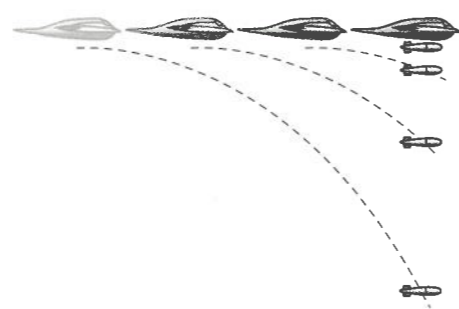


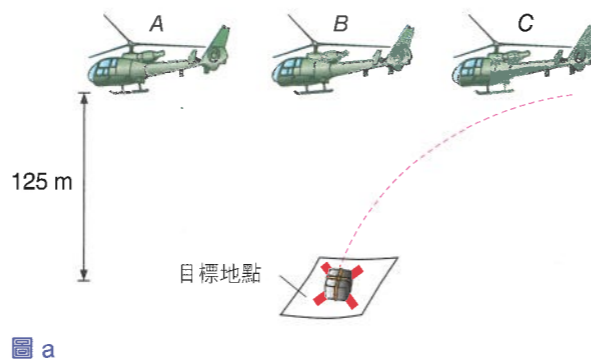
圖 8.1h 每個炸彈都作拋體運動，水平速度與轟炸機相同

進度評估 2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.298)。

(第 1 至 4 題) 直升機以恆速率 360 km h^{-1} 在離地 125 m 的高度水平飛行，並準備把包裹投到地面上的目標地點(圖 a)。假設空氣阻力可略去不計。

- 2 1 包裹到達目標地點時，直升機在哪裏？ **B**
- 2 2 包裹需時多久才到達地面？ **5.05 s**
- 2 3 直升機投下包裹的一刻，與目標地點的水平距離是多少？ **505 m**
- 2 4 草繪從地面所見包裹的軌道。



習題與思考 8.1

如有需要，取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ ，除特別指明外，空氣阻力可略去不計。

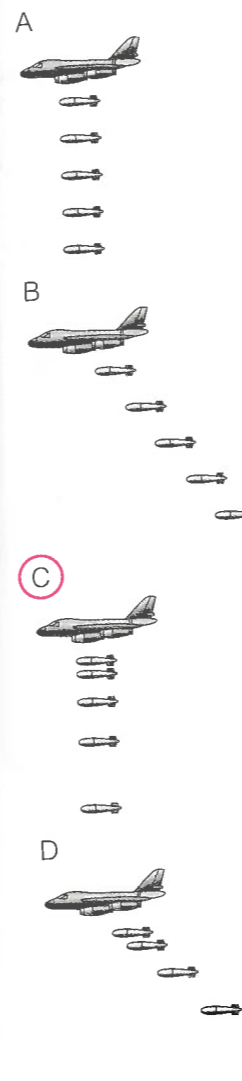
- 2 1 石頭從懸崖往水平方向擲出，然後掉進海裏。下列哪項會影響石頭掉進海裏的位置？
 - (1) 石頭的質量
 - (2) 石頭的水平速率
 - (3) 懸崖的高度
 A 只有 (1) 和 (2)
 B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)



圖 a

- A 1.5 m s^{-1}
- B 1.88 m s^{-1}
- C 3.96 m s^{-1}
- D 5.23 m s^{-1}

- 2 3 轟炸機以恆速度水平飛行，每隔一秒投下一個炸彈，前後共投擲了 5 個。以下哪一幅圖正確顯示轟炸機和 5 個炸彈在某時刻的位置？



- 2 4 魚尾獅是星加坡的標誌。在圖 b 中，水沿水平方向從魚尾獅像噴水，並經過 X 點。水離開雕像時，速率是多少？ **12.6 m s^{-1}**



圖 b

- 2 5 飛機以 720 km h^{-1} 水平飛行，每隔 1 s 投下一個包裹。包裹由飛機跌到地面需時 15 s 。
 - (a) 寫出第一個包裹着地時，飛機相對這包裹的位置。 **包裹正上方 1100 m**
 - (b) 兩個連續投下的包裹，着地的位置相距多遠？ **200 m**

- 2 6 射箭比賽中，箭靶離選手 30 m ，直徑是 1.2 m (圖 c)。要射中箭靶，箭離開弓的速率最低是多少？假設選手把箭水平射出，而箭射出時與箭靶中心處於同一高度。 **85.8 m s^{-1}**

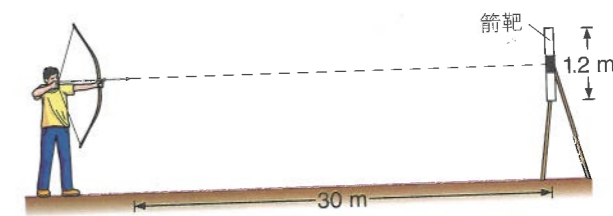


圖 c

- 2 7 意庭以 10 m s^{-1} 把球沿水平方向拋出，隊友偉洋在距離 3 m 的地方接應，接球的位置離地 1.2 m (圖 d)。取向下和向左為正。

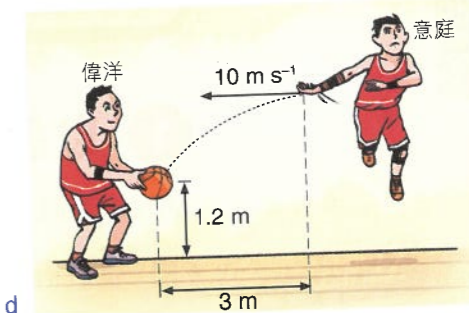


圖 d

- (a) 意庭傳球時，球離地多高？ **1.64 m**
- (b) 草繪線圖，顯示球從意庭飛向偉洋期間，水平速度隨時間的變化。
- (c) 草繪線圖，顯示球從意庭飛向偉洋期間，垂直速度隨時間的變化。

- 2 8 物體在離地 H 的位置以速率 u 水平飛出，着地的位置與投射位置之間的水平距離是 R (圖 e)。試證明

$$R = u\sqrt{\frac{2H}{g}}$$

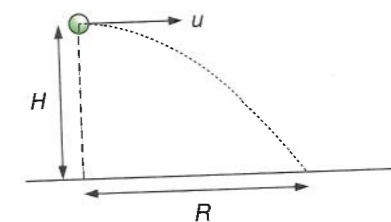


圖 e

8.2

general 一般拋體運動

✓ 本節重點

- 1 以斜角投擲的拋體
- 2 拋體的能量轉換
- 3 拋體在空氣阻力下的運動

以下是麥迪遜飛越運河的影片：

http://www.redbull.com/cs/Satellite/en_INT/Video/Maddo-makes-history-021242831048923



起點 飛越運河



麥迪遜駕駛電單車飛越希臘科林斯運河。工作人員必須在運河對岸的正確位置建造斜台，供麥迪遜安全著陸。他們怎能預計到麥迪遜的著陸位置？

▶ 參考第310頁例題5。

1 以斜角投擲的拋體

單元 8.1 討論了平拋運動，以下將集中研究物體以斜角射出時的情況 (圖 8.2a)。

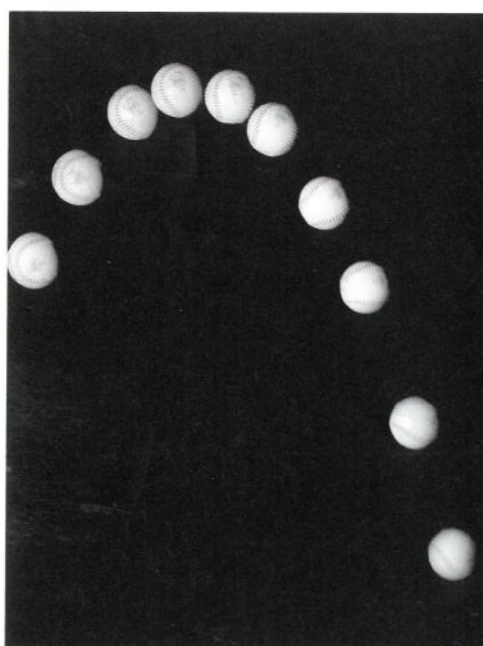


圖 8.2a 以斜角拋球

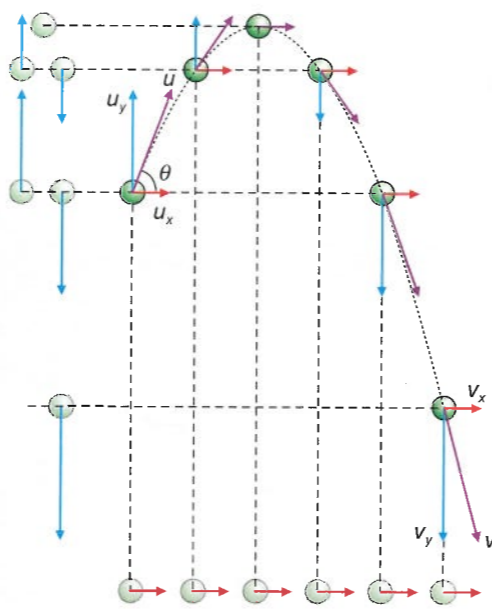


圖 8.2b 物體以初速率 u 和角度 θ 射出

▶ 相鄰影像之間相隔的時距是一樣的。

麥迪遜 Robbie Maddison

假設物體以速度 u 射出，移動方向與水平的夾角為 θ (圖 8.2b，見 p.306)。角度 θ 稱為**投射角**。

初速度的水平分量是

$$u_x = u \cos \theta$$

初速度的垂直分量是

$$u_y = u \sin \theta$$

假設空氣阻力可略去不計，這拋體沿水平方向以勻速移動，沿垂直方向則在重力作用下勻加速，不過這次 u_y 不是零。

拋體的軌道是一條拋物線。

取向上和 u_x 的方向為正。

考慮水平方向。在時間 t ，

$$a_x = 0 \quad \blacktriangleright \quad v_x = u_x = u \cos \theta \dots\dots\dots (6)$$

$$s_x = u_x t = (u \cos \theta)t \dots\dots\dots (7)$$

考慮垂直方向。在時間 t ，

$$a_y = -g \quad \blacktriangleright \quad v_y = u_y + a_y t = u \sin \theta - gt \dots\dots\dots (8)$$

$$s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2 = (u \sin \theta)t - \frac{1}{2} g t^2 \dots\dots\dots (9)$$

$$v_y^2 = u_y^2 + 2a_y s_y = (u \sin \theta)^2 - 2g s_y \dots\dots\dots (10)$$

解答有關拋體運動的題目時，方程式 (6) 至 (10) 非常有用。

研究拋體運動時，經常要找出以下物理量 (圖 8.2c)。

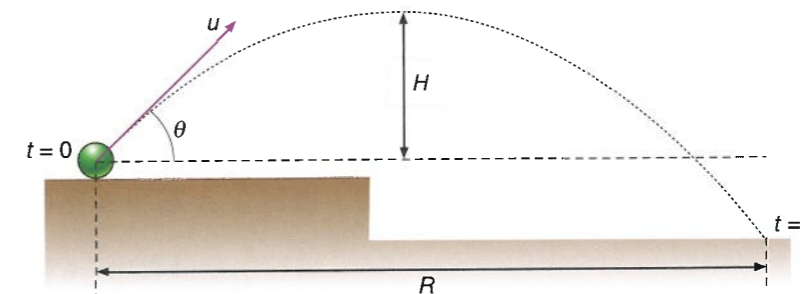


圖 8.2c 拋體的特性

- 1 **飛行時間** (T): 拋體在空中移動的時間
- 2 **最大高度** (H): 拋體到達的最高點 (通常由拋體的投射位置開始量度)
- 3 **射程** (R): 拋體在空中移動的水平距離

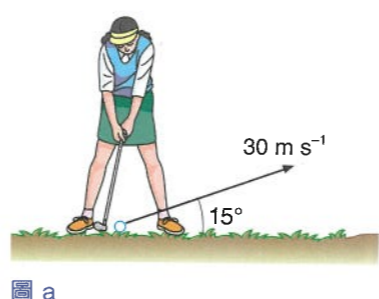
須要注意的是，拋體到達最高點時，速度的垂直分量是零。

投射角 angle of projection 飛行時間 time of flight 最大高度 maximum height
射程 range

例題 4 高爾夫球的拋體運動

子欣揮棒擊出高爾夫球，球的投射角是 15° ，初速度是 30 m s^{-1} 。

- 求初速度的水平和垂直分量。
- 球在甚麼時間到達最高點？



題解

取向上和向右為正。

- 水平分量 $u_x = u \cos \theta = 30 \cos 15^\circ = 29.0 \text{ m s}^{-1}$
垂直分量 $u_y = u \sin \theta = 30 \sin 15^\circ = 7.76 \text{ m s}^{-1}$

- 球到達最高點時， $v_y = 0$ 。

$$v_y = u_y + a_y t$$

$$t = \frac{v_y - u_y}{a_y} = \frac{0 - 7.76}{-9.81} = 0.791 \text{ s}$$

球在擊出後的 0.791 s 到達最高點。

進度評估 3 Q1 (p.311)

2 拋體運動的特例

考慮一個特例：拋體射出和着陸的位置高度相同，而空氣阻力可略去不計（圖 8.2d）。這個拋體的運動有以下特點：

- 軌道對稱**，對稱軸是穿過軌道最高點的垂直線 LL' 。
- 在同一高度的向上和向下運動，拋體的**速率相同**（但速度並不相同）。在圖 8.2d 中，拋體在 A 點和 B 點的速率相同。

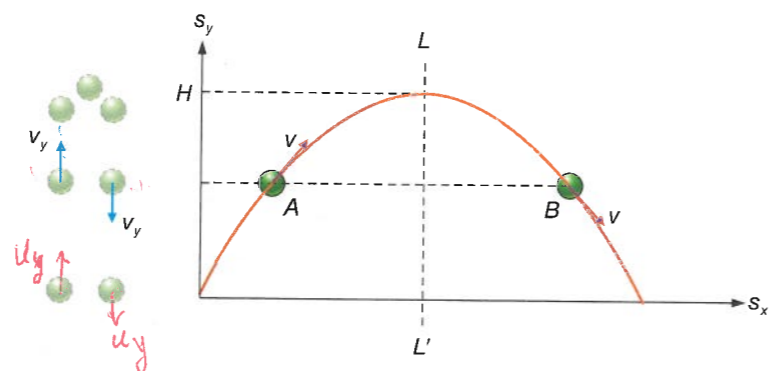


圖 8.2d 拋體在 A 點和 B 點的速率相同

可與物體垂直往上拋的情況（圖 2.3b，見 p.75）相比較。

投射角 θ 和 $(90^\circ - \theta)$ 對應同一射程。

提醒學生如果拋體射出和着陸的位置高度並不相同， θ 等於 45° 時射程未必是最遠的。

- 向上和向下的飛行時間相同。
- 拋體以固定速率 u 發射時，射程 R 會隨投射角 θ 變化（圖 8.2e）。 θ 由 0° 增大至 45° 時，射程會愈來愈遠； θ 由 45° 增大至 90° 時，射程卻會愈來愈近； θ 等於 45° 時射程最遠。此外，除了 45° 外，總會有兩個投射角對應同一射程。實驗 8c 可驗證這一點。

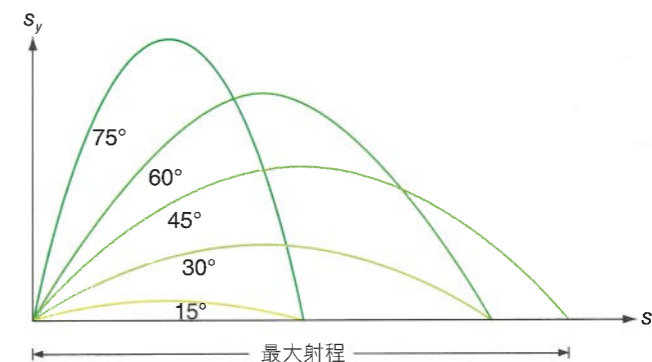


圖 8.2e 拋體的射程與投射角



模擬程式 8.2
錄像片段 8.3

→ 模擬程式 8.2 讓學生自由選擇炮彈的初速率和投射角，以觀察對射程的影響。

→ 錄像片段 8.3 示範實驗 8c。



實驗 8c 射程與投射角

- 根據圖 a 設置實驗器材。確保量角器的中心點及直尺的零刻度置於水離開喉管的位置。附在喉管上的指示棒顯示投射角 θ 。

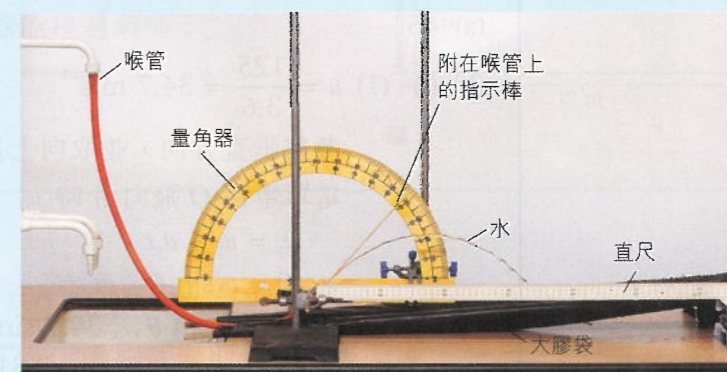


圖 a

- 把 θ 設為 15° ，然後慢慢打開水龍頭。記錄水的射程。
- 改變 θ ，記錄相應的射程。

注意事項

在整個實驗過程中，水的流量應保持不變。

結果及討論

- 當 $\theta = 30^\circ$ 和 60° ，射程是否一樣？ 是
- 射程最大時， θ 是多少？ 45°

補充資料

特例中的方程

如果拋體射出和着陸的位置高度相同， T 、 H 和 R 可用以下方程求得：

$$T = \frac{2u \sin \theta}{g}$$

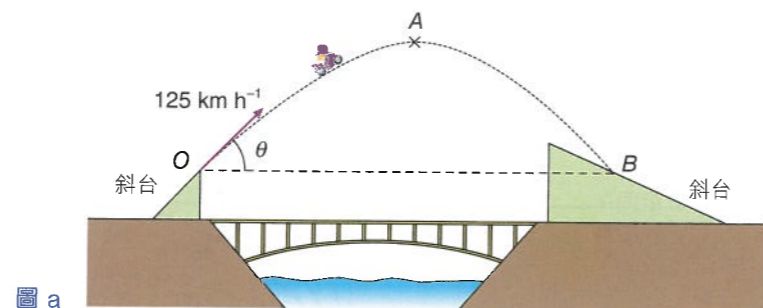
$$H = \frac{u^2 \sin^2 \theta}{2g}$$

$$R = \frac{u^2 \sin 2\theta}{g}$$

$$R_{\max} = \frac{u^2}{g}$$

例題 5 電單車飛越運河

起點提到電單車飛越運河。如圖 a 所示，電單車駛上斜台，在 O 點以投射角 θ 和初速率 125 km h^{-1} 衝上半空。電單車到達的最高點是 A ，着陸的位置是 B 。假設 O 和 B 在同一高度，且空氣阻力可略去不計。



- (a) 投射角 θ 是多少，電單車飛越的距離才會最長？
 (b) 假設電單車以題 (a) 的角度衝出斜台。
 (i) 電單車 (1) 由 O 到 A ；(2) 由 O 到 B 的飛行時間是多少？
 (ii) 求電單車飛越的距離。
 (c) 為甚麼電單車要在斜台而不是平地着陸？

題解

(a) 45°

(b) (i) (1) $u = \frac{125}{3.6} = 34.7 \text{ m s}^{-1}$

考慮垂直方向，並取向上為正。

電單車由 O 飛向 A 時，

$$v_y = u_y + a_y t$$

$$0 = u \sin \theta - gt$$

$$t = \frac{u \sin \theta}{g} = \frac{34.7 \sin 45^\circ}{9.81} = 2.50 \text{ s}$$

電單車由 O 到 A 的飛行時間是 2.50 s 。

(2) 因為向上的飛行時間 = 向下的飛行時間，所以由 O 到 B 的飛行時間

$$= 2 \times \text{由 } O \text{ 到 } A \text{ 的飛行時間} = 2 \times 2.50 = 5.00 \text{ s}$$

(ii) 飛越的距離 $= u_x t = (u \cos \theta) T = (34.7 \cos 45^\circ) \times 5.00 = 123 \text{ m}$

(c) 電單車在斜台着陸後，向下的速度並不是零。如果它在平地着陸，向下的速度便會在極短時間內下降至零，作用於車手的撞擊力比在斜台着陸時大得多，車手很可能會受傷。

▶ 進度評估 3 Q2 (p.311)

另解：

$$s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2$$

$$0 = (u \sin \theta) t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$0 = (34.7 \sin 45^\circ) t - \frac{1}{2} (9.81) t^2$$

$$\Rightarrow t = 5.00 \text{ s 或 } 0 \text{ (捨去)} \quad \blacktriangleright$$

答案比真實的距離長，
這是因為我們沒有考慮
空氣阻力。

進度評估 3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.306)。

(第 1 至 2 題) 跳遠選手起跳的角度為水平以上 40° ，速度為 8 m s^{-1} (圖 a)。假設跳遠選手的大小和空氣阻力都可略去不計。

11 求他到達的最大高度。 1.35 m

12 求他跳遠的距離。 6.42 m



圖 a

著名遊戲「憤怒鳥」中，小鳥作的正是拋體運動。



iOS Android

3 各種拋體運動

▶ 現在我們可以應用方程式 (6) 至 (10) 去分析更複雜的拋體運動。

例題 6 發球

志強在網球比賽中發球。他與網相距 12 m ，並在離地 2.5 m 的高度把球擊出 (圖 a)。球向着水平以下 5° 的方向飛出，初速度為 180 km h^{-1} 。網的高度為 1 m 。球能越過網嗎？

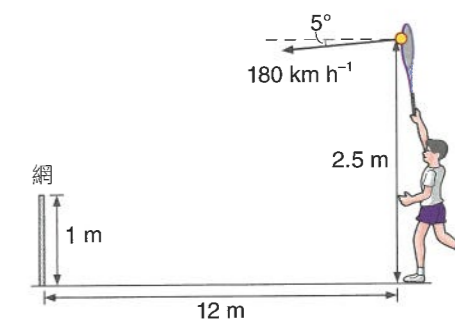


圖 a

題解

考慮水平方向，取向左為正。

假設球以時間 t 到達網的位置。

$$t = \frac{s_x}{u_x} = \frac{12}{\frac{180}{3.6} \times \cos 5^\circ} = 0.241 \text{ s}$$

考慮垂直方向，取向下為正。

$$s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2 = \left(\frac{180}{3.6} \times \sin 5^\circ \right) \times 0.241 + \frac{1}{2} \times 9.81 \times (0.241)^2 = 1.33 \text{ m}$$

球到達網時，下跌了 1.33 m 。

\therefore 球當時離地面的高度 $= 2.5 - 1.33 = 1.17 \text{ m} > 1 \text{ m}$

\therefore 球可以越過網。

▶ 複習 Q18 (p.324)

$$180 \text{ km h}^{-1} = \frac{180}{3.6} \text{ m s}^{-1} \quad \blacktriangleright$$

歷史點滴

飛機攪

飛機攪由郭鑾基在本港首創，是數十年前一種頗受歡迎的零食。它的售賣方法獨特，顧客只要從居住的大廈向街上的小販喊一聲，並將錢投下，小販便會把飛機攪拋進顧客家中。小販必須有熟練的技術，準確拿捏投射速率和投射角，才可把飛機攪送到目的地。



郭鑾基正在投擲飛機攪

以下是小販售賣飛機攪的短片：

<http://www.youtube.com/watch?v=jpzY6lZikr0>



另解：

子彈「因重力而下落」的距離

$$= H - s_y$$

$$= uT \sin \theta - (uT \sin \theta - \frac{1}{2}gT^2)$$

$$= \frac{1}{2}gT^2$$

= 罐子下跌的距離

留意子彈和罐子下跌的距離都不受 u 和 θ 影響。

只要槍瞄準罐子，無論 u 和 θ 是多少，子彈都必定命中罐子。

例題 7 「猴子和獵人」實驗

學生做實驗，把槍瞄準 X 點上的靜止罐子，槍管與水平線的夾角為 θ (圖 a)。在 $t=0$ ，子彈以速率 u 離開槍管，同時罐子開始沿垂直線 XY 下落。子彈在時間 T 到達 XY 。無須考慮空氣阻力，並假設子彈在着地前到達 XY 。

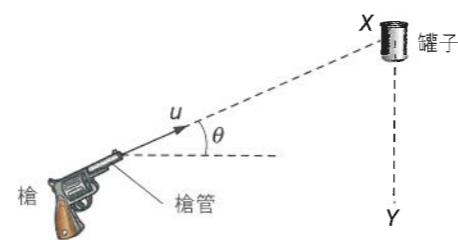


圖 a

- (a) 求子彈在時間 T 的垂直位移 s_y 。
- (b) 求 $t=0$ 時罐子相對於槍的高度 H 。
- (c) 證明子彈會擊中罐子。

題解

考慮垂直方向，取向上為正。

$$(a) s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2 = (u \sin \theta)T - \frac{1}{2}gT^2 = uT \sin \theta - \frac{1}{2}gT^2$$

- (b) 假如沒有重力作用，子彈會沿直線運動，並在時間 T 到達 X 點 (圖 b)。

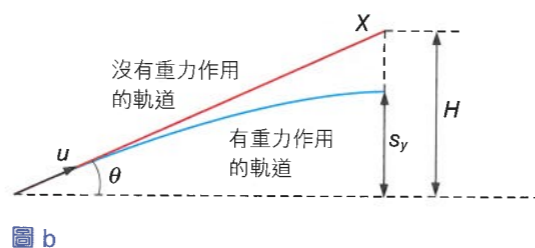


圖 b

$$H = u_y t = (u \sin \theta)T = uT \sin \theta$$

- (c) 考慮罐子的運動。在時間 T ，

$$\text{罐子的位移 } s_T = ut + \frac{1}{2}at^2 = 0 - \frac{1}{2}gT^2 = -\frac{1}{2}gT^2$$

$$\text{罐子相對於槍的高度} = H - s_T = uT \sin \theta - \frac{1}{2}gT^2 = s_y$$

子彈到達 XY 時與罐子的高度相同，所以會擊中罐子。

▶ 複習 Q25 (p.326)

預試訓練 1 擊中哪個箱子？ ☆ 香港高級程度會考 2004 年卷二 Q3

圖 a 中，四個相同的箱子 P 、 Q 、 R 和 S 疊在一起，每個高 1 m 。思恩對準 P 的中心擲球，球從離地 1.8 m 的 X 點以 8 m s^{-1} 飛出。 P 的中心與 X 點相距 4 m 。球會擊中哪一個箱子？無須考慮空氣阻力。

- A P
- B Q
- C R
- D S

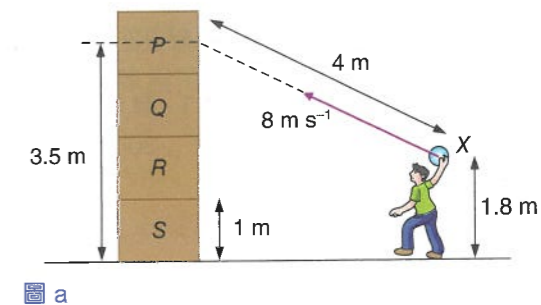


圖 a

題解

取向上和向左為正。

設投射角為 θ (圖 b)。

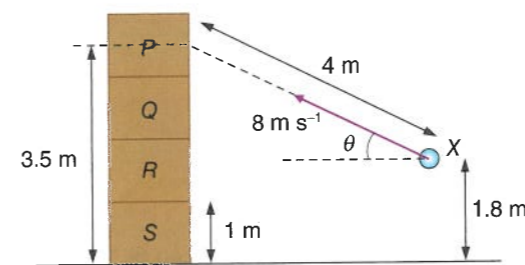


圖 b

X 點與箱子的水平距離 = $4 \cos \theta$

球的水平速度 = $8 \cos \theta$

球從 X 點飛到箱子所需的時間

$$= \frac{4 \cos \theta}{8 \cos \theta} = 0.5\text{ s}$$

考慮球擊中箱子的一刻。

球與箱子 P 中心之間的距離

$$= \frac{1}{2}gt^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 9.81 \times 0.5^2$$

$$= 1.23\text{ m}$$

球與地面之間的距離 = $3.5 - 1.23 = 2.27\text{ m}$

\therefore 球擊中箱子 Q 。

\therefore 答案是 B 。

常見錯誤

題目沒有指明投射角的大小，學生可能因而不懂得怎樣計算球的飛行時間。

見例題 7 (p.312)。

另解：

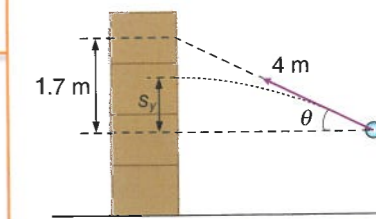
球擊中箱子時，它與 X 點的垂直距離

$$s_y = (u \sin \theta)t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$= \left(8 \times \frac{1.7}{4}\right)0.5 - \frac{1}{2}(9.81)(0.5)^2$$

$$= 0.474\text{ m}$$

\therefore 球與地面之間的距離 = $0.474 + 1.8 = 2.27\text{ m}$



▶ 複習 Q12 (p.323)

進度評估 4 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.306)。

假設空氣阻力可略去不計。

1 擊球手打中球，球便向着水平之上 60° 的方向飛出(圖 a)，初速率為 30 m s^{-1} 。球會飛到觀眾席嗎？



圖 a

1 2 是非題：如果拋體以斜角向上飛出，它向上和向下的飛行時間總是相等的。
(對/錯)

4 拋體的能量轉換

如果空氣阻力可略去不計，拋體飛行時動能與勢能的總和會保持不變。隨着拋體上升，部分動能會轉換成勢能，它到達最高點時動能減至最小，

但仍會沿水平方向移動，所以動能等於 $\frac{1}{2} mu_x^2$ 而不是零。
這與物體垂直往上拋的情況有甚麼不同？試參閱第 6 課。

假設物體以角度 θ 和初速度 u 射出，圖 8.2f 顯示它的能量怎樣隨時間變化。在物體射出的高度，取勢能為零。

動能最小時，勢能最大。

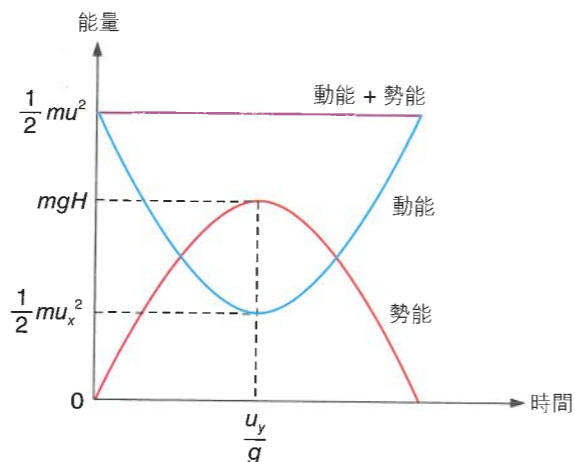


圖 8.2f 拋體的能量

有時候，我們可以根據拋體的能量轉換來分析它的運動。以下例題示範了這方法。

例題 8 排球的速率

排球手在離地 1.8 m 的高度擊球，球以 20 m s^{-1} 向水平以上 13° 的方向飛出，掉落在球場另一端的地面(圖 a)。無須考慮空氣阻力。

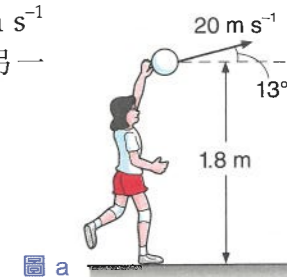


圖 a

- (a) 球所到達的最大高度離地多高？
- (b) 球着地時的速率 v 是多少？

題解

(a) 失去的動能 = 獲得的勢能

$$\frac{1}{2} m(u^2 - v^2) = mgh$$

$$\frac{1}{2} [20^2 - (20 \cos 13^\circ)^2] = 9.81H$$

$$H = 1.03 \text{ m}$$

$$\text{最大高度} = 1.8 + 1.03 = 2.83 \text{ m}$$

(b) 獲得的動能 = 失去的勢能

$$\frac{1}{2} m(v^2 - u^2) = mgh$$

$$\frac{1}{2} (v^2 - 20^2) = (9.81)(1.8)$$

$$v = 20.9 \text{ m s}^{-1}$$

習題與思考 8.2 Q4(a) (p.318)

要計算球飛到最高點時失去了多少動能，還可以用以下方法。

$$\begin{aligned} KE &= \frac{1}{2} mu^2 \\ &= \frac{1}{2} m(u_x^2 + u_y^2) \\ &= \frac{1}{2} mu_x^2 + \frac{1}{2} mu_y^2 \end{aligned}$$

在最高點的動能是 $\frac{1}{2} mu_x^2$ 。

$$\therefore \text{失去的動能} = \frac{1}{2} mu_y^2$$

有一點要注意，我們不會把動能分解為分量。緊記動能是標量，不可以分解。

$$v = u_x = 20 \cos 13^\circ$$

可着學生以前面所授的方法重做本例題，然後與他們討論哪個方法較佳。

空氣阻力的水平分量令拋體的水平速度不斷下降。

另外，拋體上升時，作用於它的向下力 $(mg + f \sin \theta)$ 較大，所以它的最大高度會較低。

拋體下墜時，作用於它的向下力 $(mg - f \sin \theta)$ 較小，所以在相同高度，它下墜的速率比上升的速率低。

5 拋體在空氣阻力下的運動

在現實中，拋體大都受空氣阻力影響。空氣阻力的方向總是跟拋體的運動方向相反(圖 8.2g)，而拋體的速率愈高，空氣阻力就愈大。

在空氣阻力下，拋體的運動有以下特性：

- 軌道不對稱
- 最大高度和射程都會下降(圖 8.2h)

可投擲羽毛球和網球，顯示在空氣阻力的效應強大和微弱的情況下，拋體的軌道有甚麼分別。

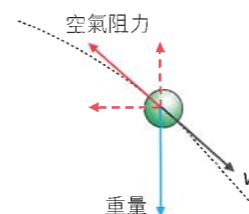


圖 8.2g 有空氣阻力時，作用於拋體的力

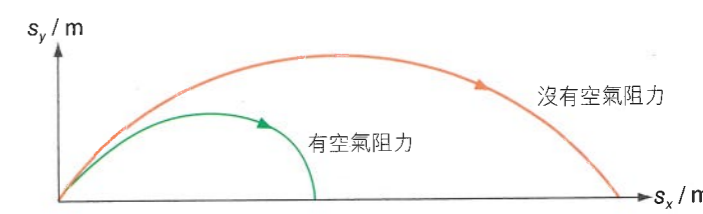


圖 8.2h 有空氣阻力和沒有空氣阻力的軌道

實驗技巧應用

例題 9 球的高度和射程

伽利略曾用類似圖 a 的裝置研究拋體運動。斜台上有一個小球，從高於桌面 h 的位置滾下斜台，在 X 點沿水平方向飛出桌子，飛過射程 R 之後着地。桌子的高度為 H 。

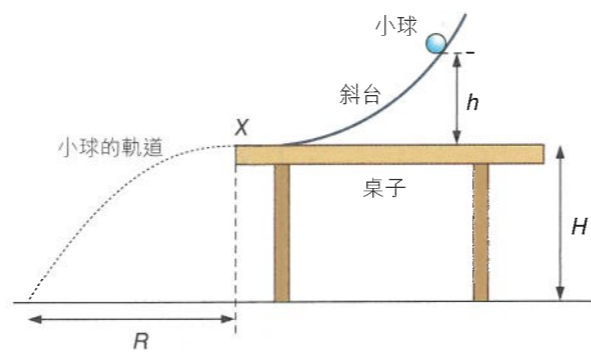


圖 a

h / cm	10	15	20	25	30
R / cm	53	64	72	82	89

表 a

- (a) 找出小球從 X 點離開桌子時的速率 u ，答案以 h 和重力加速度 g 表示。
- (b) 證明 $R^2 \propto h$ 。
- (c) 以不同的 h 值重複實驗後，可得表 a 的結果。試根據這些實驗結果，標繪線圖以驗證 (b) 的關係式。
- (d) 舉出這實驗的一個誤差來源。這誤差會怎樣影響 (c) 部的線圖？

題解

- (a) 考慮球滾下斜台時的運動。
失去的勢能 = 獲得的動能

$$mgh = \frac{1}{2} mu^2$$

$$u = \sqrt{2gh}$$

- (b) 考慮小球離開桌子後的運動。取向上和向左為正。

考慮垂直運動。根據 $s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2$,

$$H = 0 - \frac{1}{2} gT^2 \Rightarrow T = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

考慮水平運動。根據 $s_x = u_x t$,

$$R = uT = \sqrt{2gh} \times \sqrt{\frac{2H}{g}} = 2\sqrt{Hh}$$

$$R^2 = 4Hh \propto h$$

h / cm	10	15	20	25	30
R^2 / cm^2	2809	4096	5184	6724	7921

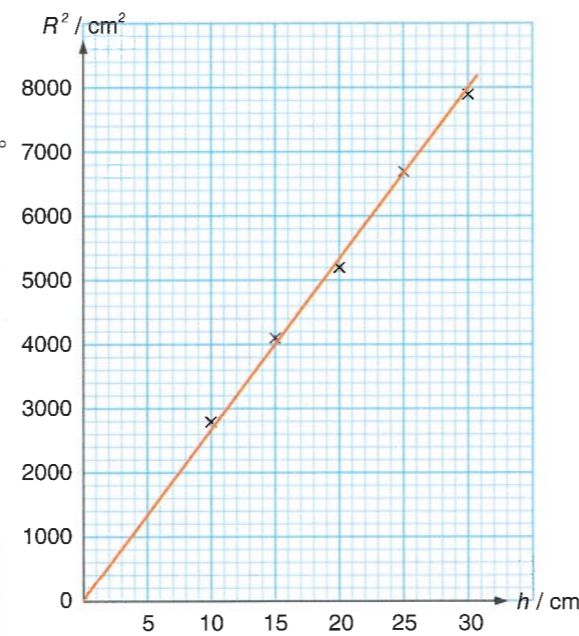


圖 b

標繪 R^2 對 h 的線圖 (圖 b)，得出一條穿過原點的直線，這顯示 $R^2 \propto h$ 。

- (d) 小球與斜台之間有摩擦力，速率 u 因而低於 $\sqrt{2gh}$ ，所以 R 會短於 $2\sqrt{Hh}$ ，(c) 部圖線的斜率會較小。

空氣阻力是另一個誤差來源，同樣會令圖線的斜率較小。

複習 Q26 (p.327)

預試訓練 2 足球的軌道 ☆ 香港高級程度會考 2011 年卷一 Q1

佩思在 P 點把足球踢向地面 (圖 a)。球在 Q 點着地後反彈，最後沿水平方向擊中門楣 R。Q 點離球門 6 m，R 離地 2.54 m。球與地面的碰撞是彈性的，空氣阻力和球的大小可略去不計。

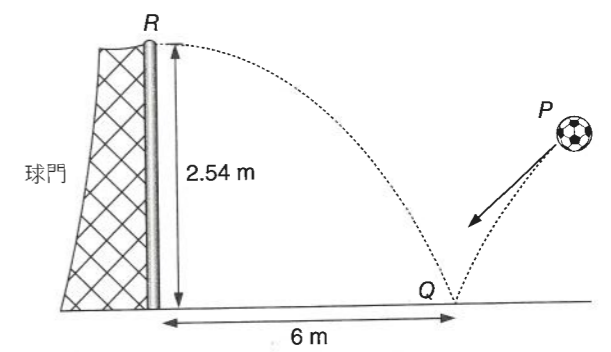


圖 a

- (a) 球在 Q 點反彈時的垂直速度是多少？ (2 分)
- (b) 球的水平速度是多少？ (2 分)
- (c) 假設球與地面的碰撞是非彈性的，球的軌道會變成怎樣？在圖 a 中草繪球的新軌道。 (2 分)

題解

取向上和向左為正。

- (a) 考慮球從 Q 點飛向 R 時的垂直運動。

$$v_y^2 = u_y^2 + 2a_y s_y$$

$$0 = u_y^2 + 2(-9.81)(2.54)$$

$$u_y = 7.06 \text{ m s}^{-1} \text{ 或 } -7.06 \text{ m s}^{-1} \text{ (捨去)}$$

球在 Q 點反彈時的垂直速度是向上 7.06 m s^{-1} 。

1M

1A

因為球沿水平方向擊中門楣的 R 點，所以球在這位置的垂直速度是零，亦即是說 R 是球的軌道最高點。

- (b) 考慮球從 Q 點飛向 R 時的垂直運動。

$$v_y = u_y + a_y t$$

$$0 = 7.06 + (-9.81)t$$

$$t = 0.7197 \text{ s}$$

$$\text{水平速度 } v_x = \frac{s_x}{t}$$

$$= \frac{6}{0.7197}$$

$$= 8.34 \text{ m s}^{-1}$$

1M

1A

捨去的答案代表球從 R 跌回地面時的速度。

- (c)

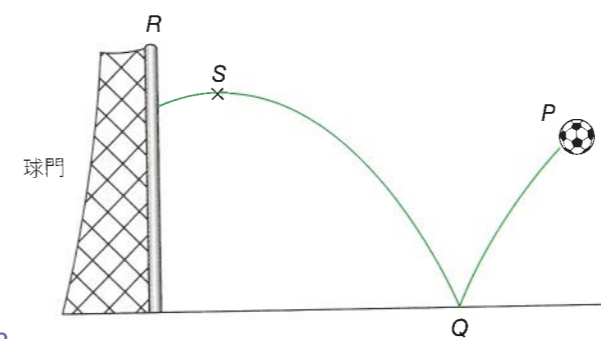


圖 b

- (最大高度較低)
- (經過最高點後才到達球門)

1A

1A

非彈性碰撞
 ⇒ 球在碰撞後的垂直速度較低
 ⇒ 最大高度 (S 點) 較低及到達 S 點所需的時間較短
 ⇒ 經過 S 點後才到達球門

常見錯誤

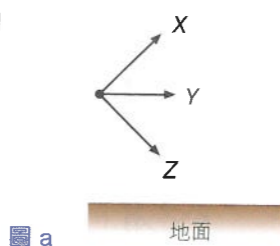
學生可能沒注意到球飛到最高點之後才到達球門。

複習 Q23 (p.326)

進度評估 5

✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看p.306)。

(第1至3題)物體X、Y和Z置於同一位置，三者以同一速率向不同方向射出(圖a)，並在空中自由移動，然後撞上地面。



- 11 哪個物體首先撞上地面? Z
- 22 如果空氣阻力可略去不計，哪個物體撞上地面時的速率最高? 相同
- 33 如果空氣阻力不可以略去，哪個物體撞上地面時的速率最高? Z

習題與思考 8.2

如有需要，取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ ，除特別指明外，空氣阻力可略去不計。

- 31 一個物體向斜上方射出，它著陸與發射的位置高度相同。比較有空氣阻力和沒有空氣阻力的情況，下列哪項敘述是正確的?

- (1) 有空氣阻力時，軌道並不對稱。
 (2) 沒有空氣阻力時，最大高度會較高。
 (3) 沒有空氣阻力時，射程會較遠。

- A 只有(1)和(2)
 B 只有(1)和(3)
 C 只有(2)和(3)
 D (1)、(2)和(3)

- 1★2 兩個物體X和Y從平地向上以斜角射出，它們的初速率相同，而X的投射角比Y大。以下哪項敘述必定正確?

- (1) X比Y飛得更高。
 (2) X的飛行時間比Y長。
 (3) X的射程比Y遠。

- A 只有(1)
 B (1)和(2)
 C 只有(2)和(3)
 D (1)、(2)和(3)

- 1★3 一個物體從地面以斜角向上射出，著陸的位置與射出的位置處於同一高度。如果物體的初速率是 v ，射程便是 R 。如果初速率變為 $2v$ ，而投射角不變，射程會是多少?

- A $1.4R$ B $2R$
 C $2.8R$ D $4R$

- 14 狗跳過一道欄杆，牠的初速度是 5 m s^{-1} ，起跳時與水平的夾角為 60° (圖b)。狗的大小可略去不計。



圖 a

- (a) 求這隻狗所到達的最大高度。 0.956 m
 (b) 這隻狗需要多長時間才到達最大高度? 0.441 s
 (c) 求這隻狗的飛行時間。 0.883 s

- 1★5 一個物體向下以斜角射出。試草繪線圖，顯示它的垂直速度、水平速度及势能隨時間的變化。

- 1★6 炮彈飛人表演中，特技人沿拋物線在空中飛行(圖b)。他從發射到降落到安全網上歷時 5 s ，經過的水平距離是 45 m 。假設安全網與炮台處於同一高度。



圖 b

- (a) 求他的初速度。 26.1 m s^{-1} (水平線以上 69.8°)
 (b) 他所到達的最高點比炮台高多少? 30.7 m

總結 8

Q23 考試報告：良好。(b)(i) 部答得很好，但少數考生卻混淆了碰撞前與碰撞後的速度。不少考生在 (b)(ii) 部誤以合速度而不是垂直分量來計算作用於網球的力，很多考生在計算中遺漏了球的重量。有些考生在 (d) 部並不知摩擦力是不會影響速度的豎直分量，因此錯誤斷定球無法達到先前一樣的高度，甚少考生能清楚利用圖中的特徵來解釋。

詞彙

1 拋體運動 projectile motion	p.298	5 投射角 angle of projection	p.307
2 拋體 projectile	p.298	6 飛行時間 time of flight	p.307
3 軌道 trajectory	p.300	7 最大高度 maximum height	p.307
4 拋物線 parabola	p.301	8 射程 range	p.307

課文摘要

8.1 平拋運動

- 物體飛出後在半空自由移動，會作拋體運動，這物體稱為拋體。
- 拋體的水平和垂直運動各自獨立。拋體沿水平方向作勻速運動，沿垂直方向則在重力下作勻加速運動。

8.2 一般拋體運動

- 3 如果空氣阻力可略去不計，

- 拋體的軌道是一條拋物線(圖a)；

- 沿水平方向(取 u_x 的方向為正)，

$$v_x = u_x = u \cos \theta$$

$$s_x = u_x t = (u \cos \theta)t$$

- 沿垂直方向(取向上為正)，

$$v_y = u_y + a_y t = u \sin \theta - gt$$

$$s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2 = (u \sin \theta)t - \frac{1}{2} gt^2$$

$$v_y^2 = u_y^2 + 2a_y s_y = (u \sin \theta)^2 - 2gs_y$$

- 4 飛行時間 T 是拋體在空中移動的時間。

- 5 最大高度 H 是拋體軌道最高點與某一參考高度之間的垂直距離。

- 6 射程 R 是拋體在空中移動的水平距離

- 7 如果拋體射出和著陸的位置高度相同，而空氣阻力可略去不計，

- 它的軌道對稱，對稱軸是穿過軌道最高點的垂直線；
- 在同一高度的向上和向下運動，拋體的速率相同(但速度並不相同)；
- 向上和向下的飛行時間相同；

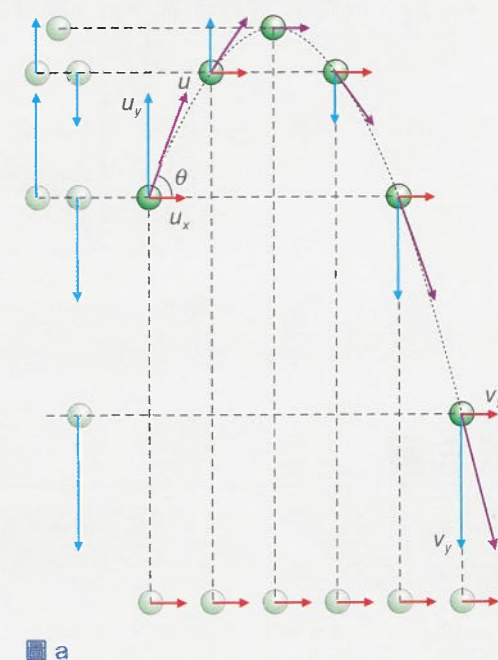


圖 a

- 投射角 θ 等於 45° 時射程是最遠的；
- 除了 45° 外，總會有兩個投射角令拋體有相同的射程（圖 b）。

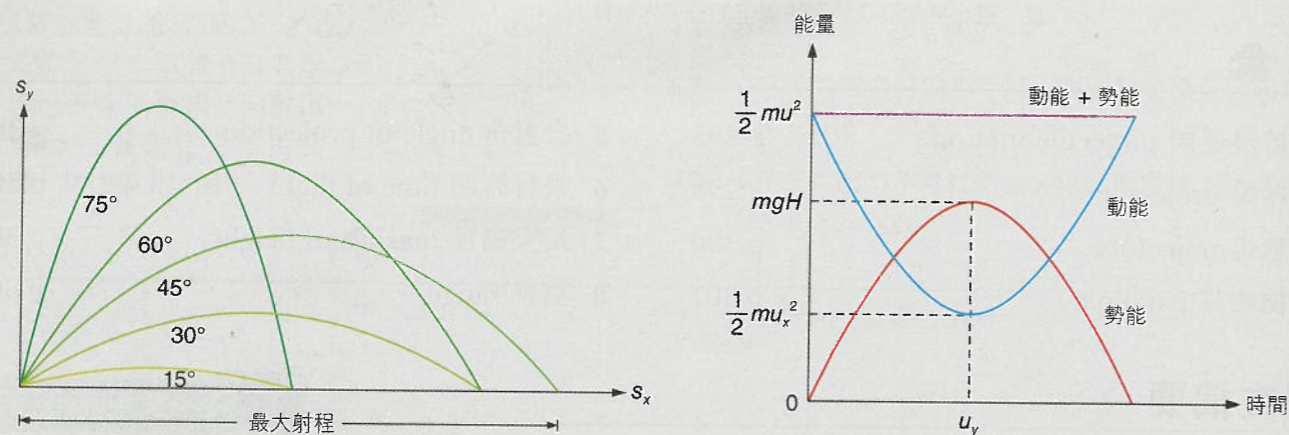


圖 b

圖 c

8 如果空氣阻力可以略去，拋體飛行時動能與勢能的總和保持不變。假設物體以角度 θ 和初速度 u 射出，圖 c 顯示它的能量怎樣隨時間變化。在物體射出的高度，取勢能為零。

9 在空氣阻力下，拋體的運動有以下特性：

- 軌道不對稱
- 最大高度和射程大幅下降（圖 d）

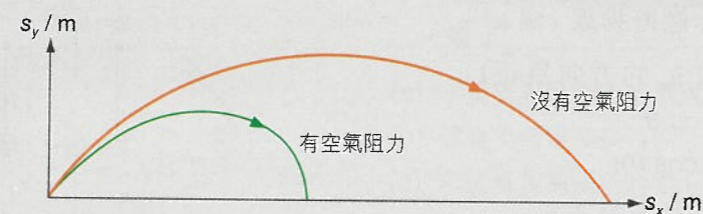
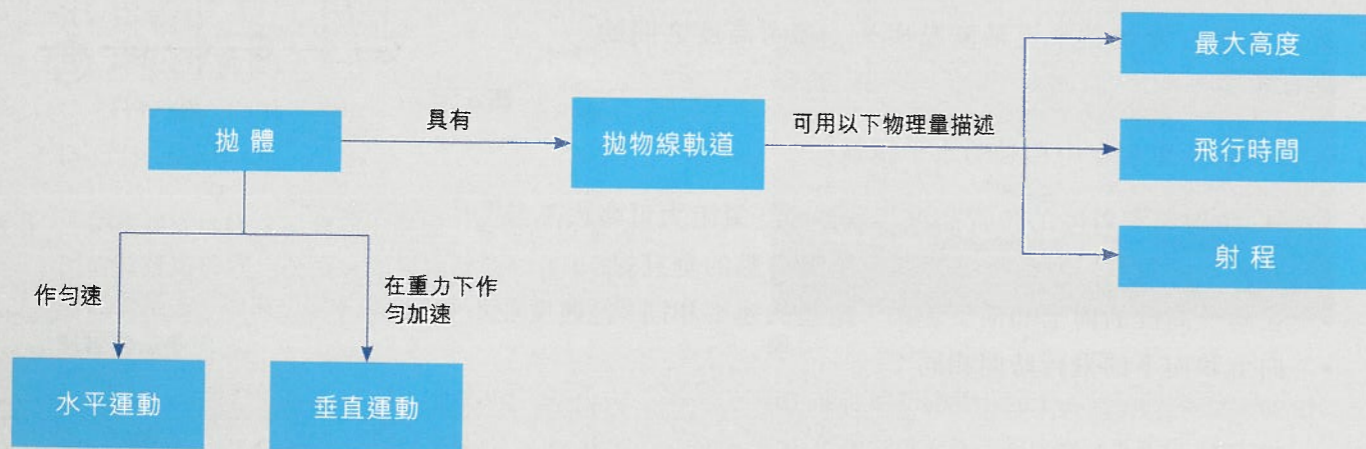


圖 d

概念圖



復習 8

如有需要，取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ ，除特別指明外，空氣阻力可略去不計。

概念重溫

（第 1 至 2 題）判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

☆ 香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q13

8.2.1 以斜角向上射出的物體，到達最高點的一刻是瞬間靜止的。F

8.2.2 如果兩個物體從同一位置以同一初速度射出，即使射程相同，飛行時間也可能不同。T

Q1 物體到達最高點時沿水平方向運動。

多項選擇題

8.1.3 在特技場面中，特技人駕車從一道橋飛往另一道較低的橋（圖 a）。兩橋之間的垂直距離為 10 m，水平距離為 20 m。車子飛離較高那道橋的速率最低是多少？車子的大小可略去不計。

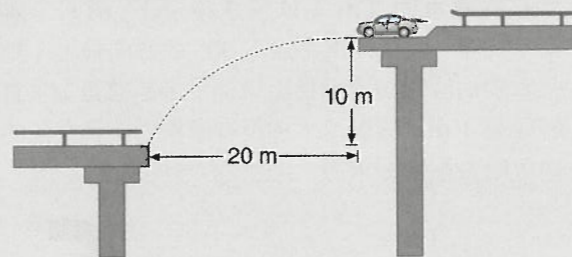


圖 a

- A 14.0 m s^{-1}
- B 19.6 m s^{-1}
- C 28.3 m s^{-1}
- D 40.0 m s^{-1}

8.2.4 小車在光滑的平地上以恆速度移動，車上有一支垂直指向上的彈簧槍（圖 b）。在某一刻，彈簧槍把小球射上半空。

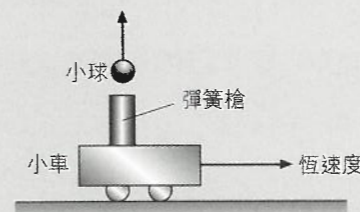


圖 b

下列哪項敘述是正確的？

- (1) 小球會跌回小車上。
- (2) 小車移動的速度愈高，小球的飛行時間愈長。
- (3) 小球的射程與它的發射速率無關。

- A 只有 (1)
- B 只有 (3)
- C 只有 (1) 和 (2)
- D 只有 (2) 和 (3)

8.2.5 物體 P 和 Q 在同一地點同時射出，P 以 30 m s^{-1} 的速率垂直向上發射，Q 以 60 m s^{-1} 的速率與垂直線成 60° 角發射（圖 c）。它們着地的位置高度相同。

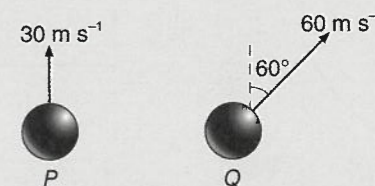


圖 c

下列哪項敘述是正確的？

- (1) P 和 Q 能抵達同一高度。
- (2) 在空中飛行時，P 和 Q 的加速度是相同的。
- (3) P 和 Q 在同一時間着陸。

- A 只有 (1) 和 (2)
- B 只有 (1) 和 (3)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

8.2.6 拉茶（圖 d）常見於印度、馬來西亞和星加坡等地。假設茶從上方的壺以 0.5 m s^{-1} 水平流出，要把茶倒進下方的茶壺，兩個茶壺之間的水平距離 s_x 和垂直距離 s_y 可能是多少？茶壺的大小可略去不計。



圖 d

	s_x / m	s_y / m
A	0.10	0.39
B	0.20	0.39
C	0.10	0.78
D	0.20	0.78

8 拋體運動

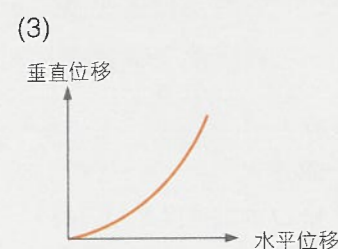
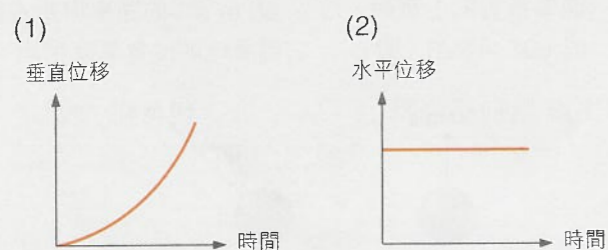
EXP

★ 7 8.2 兩個球 X 和 Y 同時從相同的高度射出。X 垂直向上射出，Y 則以斜角向上射出。兩個球到達相同的最大高度。下列哪項敘述是正確的？

- (1) 兩個球同時到達最大高度。
- (2) 兩個球以相同的初速率射出。
- (3) 兩個球到達最高點時都是瞬間靜止的。

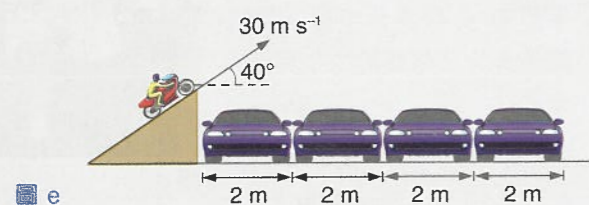
- A 只有 (1)
- B 只有 (2)
- C 只有 (1) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

★ 8 8.1 物體水平射出後在空中自由移動，下列哪幅圖正確描述它的運動？



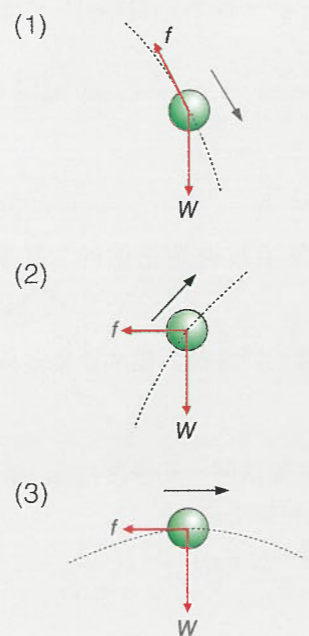
- A 只有 (1)
- B 只有 (1) 和 (3)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

★ 9 8.2 特技人打算駕電單車飛越一排停在地上的汽車，每輛車闊 2 m (圖 e)。如果特技人以 30 m s^{-1} 衝出斜台，而投射角為 40° ，他可飛越多少輛汽車？假設他著陸的位置與衝出斜台的位置高度相同，且電單車的大小可略去不計。



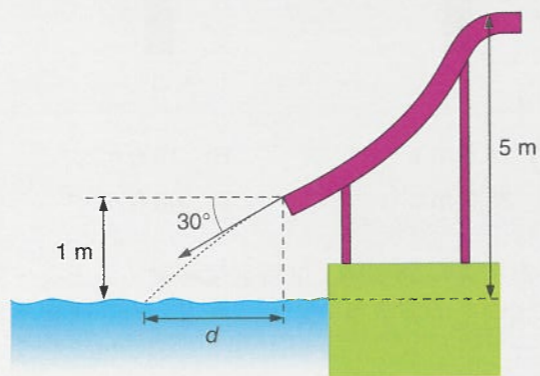
- A 22
- B 45
- C 67
- D 90

★ 10 8.2 如果空氣阻力不可以略去，下列哪幅圖正確顯示作用於拋體的空氣阻力 f 和重量 W ？圖中的虛線代表拋體的軌道。



- A 只有 (1)
- B 只有 (1) 和 (3)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

★★ 11 8.2 女孩從離水面 5 m 高的滑水梯滑下 (圖 f)。離開滑水梯時，女孩向水平以下 30° 的方向飛出。她進入水中的位置與滑水梯出口的水平距離是 d ，垂直距離是 1 m。假設滑水梯沒有摩擦力，且女孩的大小可略去不計。求 d 。



- A 1.43 m
- B 2.00 m
- C 2.68 m
- D 4.00 m

▶ 參看例題 9 (p.316)

8.2 12 香港高級程度會考 2004 年卷二 Q3

圖 g 顯示一支手槍的鎗管正瞄準距管口 40 m 的一點 P。鎗管和豎直線成 θ 角。

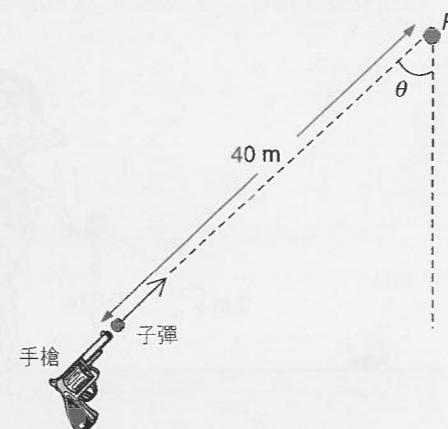


圖 g

如果子彈從管口射出時的速率為 50 m s^{-1} ，計算當子彈到達 P 點豎直下方時，子彈與 P 點的距離。(空氣阻力可略去不計。)

- A 3.2 m (24%)
- B 4.8 m (20%)
- C 7.8 m (16%)
- D 因 θ 的值未知，不能確定。(40%)

13 香港高級程度會考 2012 年卷二 Q7 綜合題

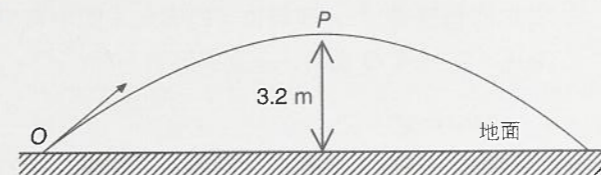


圖 h

圖示質量為 0.5 kg 的小球以某初速從地面上的 O 點拋射。球到達最高點 P 的高度為 3.2 m 。求小球從 O 至 P 動量改變的量值，以 kg m s^{-1} 為單位。空氣阻力可忽略。

- A 4 (52%)
- B 8
- C 16
- D 未能求得，因不知拋射角。

8.2 14 香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q13

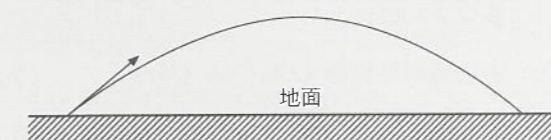
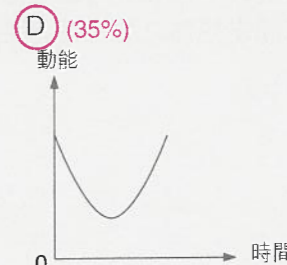
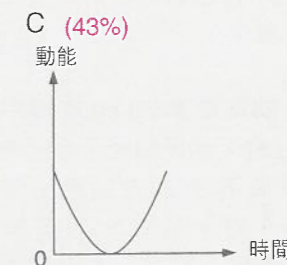
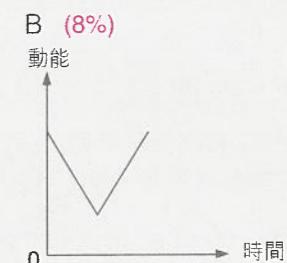
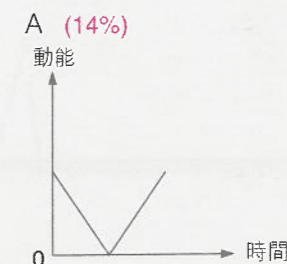


圖 i

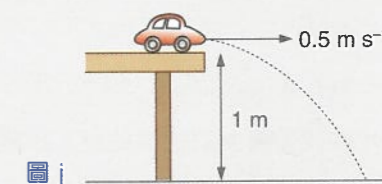
一顆粒子在時間 $t = 0$ 被拋射往空中，並於著陸前沿拋物線運動，如圖所示。哪一個線圖顯示粒子著陸前的動能與時間變化關係？空氣阻力可略去不計。



□ Q14 考試報告：過半數考生不知道當粒子在最高點水平飛行時仍有動能。

問答題

8.1 15 男孩推了玩具車一下，令玩具車從桌子掉下 (圖 j)。桌子高 1 m，玩具車以水平速度 0.5 m s^{-1} 離開桌子。



- (a) 玩具車從桌子掉到地上需時多久？ 0.452 s (2 分)
- (b) 玩具車着地的位置距離桌子多遠？ 0.226 m (2 分)
- (c) 如果玩具車以較大的水平速度離開桌子，題 (a) 和 (b) 的答案會有甚麼改變？ (2 分)
不變、增大

8 拋體運動

★ 16 在奧運會射箭比賽中，箭靶與選手相距 70 m (圖 k)。假設選手 A 在靶心的高度以 80 m s^{-1} 把箭射出。

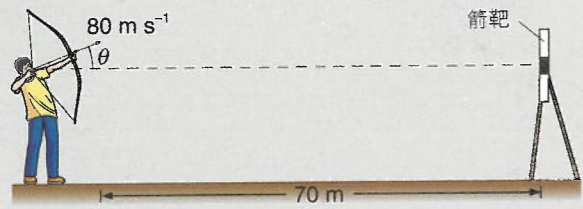


圖 k

- (a) 若要射中靶心，選手 A 把箭射出的投射角 θ ($\theta \leq 45^\circ$) 是多少？ **3.08°**
已知： $2 \sin \theta \cos \theta = \sin 2\theta$ (3分)
- (b) 選手 A 改用另一把弓以較高速率發箭。(a) 部的答案會怎樣改變？試解釋答案。**減少** (2分)
- (c) 選手 B 在較高的位置以 80 m s^{-1} 的速率發箭。與 (a) 部的答案相比，B 發箭的投射角應怎樣改變？試解釋答案。**減少** (3分)

★ 17 在滑雪跳遠比賽中，一個質量為 70 kg 的選手以初速度 1.5 m s^{-1} 從斜台的 X 點開始滑下，然後在 Y 點以 22 m s^{-1} 向水平以下 8° 的方向飛出斜台 (圖 l)。他在山坡着地，與 Y 點的水平距離為 200 m。這選手從 X 點滑到 Y 點時，克服摩擦力所做的功是 5000 J，X 和 Y 兩點之間的垂直距離是 h 。

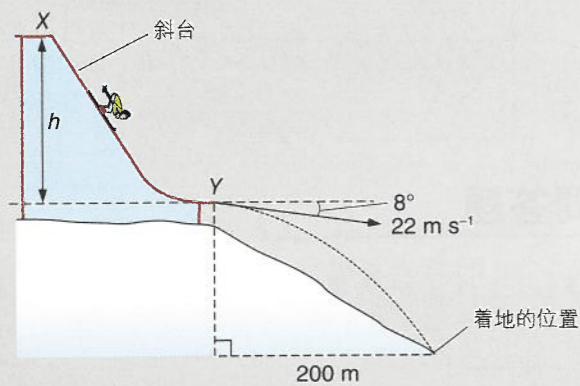


圖 l

- (a) 求 h 。 **31.8 m** (2分)
- (b) 他着地的位置與 Y 點之間的垂直距離是多少？ **441 m** (3分)
- (c) 為甚麼他從這麼高的地方跳下也不會受傷？ (2分)

★ 18 麗娟看見一隻蟑螂，想也不想便把手上拿着的東西擲過去 (圖 m)。她從離地 0.8 m 的位置把這東西向水平以下 30° 的方向擲出，這東西離開麗娟的手時，初速度是 3 m s^{-1} ，與蟑螂的水平距離是 2 m。

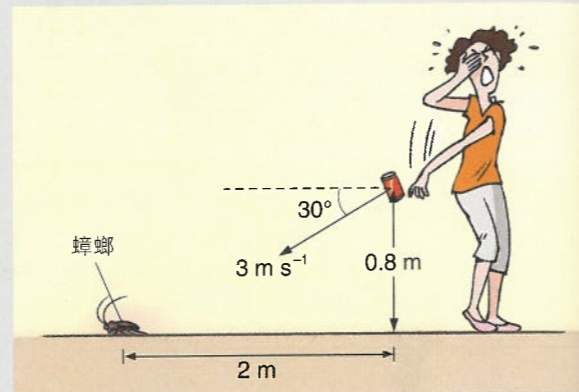


圖 m

- (a) 這東西的飛行時間是多少？ **0.279 s** (2分)
- (b) 證明如果蟑螂靜止不動，這東西不會擊中牠。 (2分)
- (c) 然後蟑螂以 0.3 m s^{-1} 走向麗娟，麗娟把另一件東西從離地 1.2 m 的位置沿水平方向擲向牠。這東西的初速率是多少，才會擊中蟑螂？ **3.74 m s^{-1}** (2分)

★ 19 一個物體從 P 點射出，方向與水平成 60° ，圖 n 顯示它的垂直速度 v_y 隨時間 t 的變化，圖中取向上為正。它到達 Q 點時，垂直速度為 -7 m s^{-1} 。

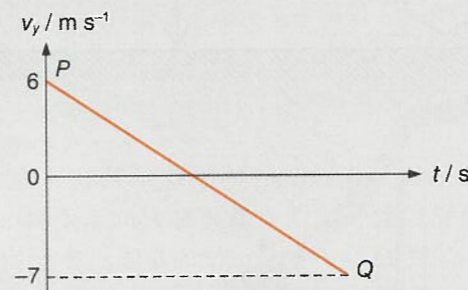


圖 n

- (a) 這物體向上還是向下射出？試扼要解釋。**向上** (2分)
- (b) 這物體何時到達最高點？ **$t = 0.612 \text{ s}$** (2分)
- (c) 這物體到達的最高點與 P 點之間的垂直距離是多少？ **1.83 m** (2分)
- (d) 這物體何時到達 Q 點？ **$t = 1.33 \text{ s}$** (2分)
- (e) PQ 兩點相距多遠？ **4.64 m** (3分)

★ 20 8.2

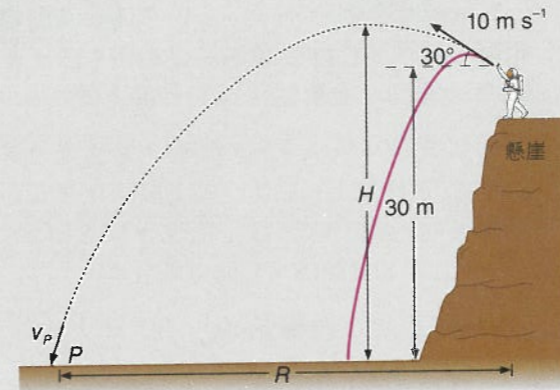


圖 o

如圖 o 所示，太空人在月球的一個懸崖上，以初速度 10 m s^{-1} 和投射角 30° 向上拋出石頭，石頭最初的位置離地 30 m。經過時間 T 後，石頭在 P 點着地。月球上的重力加速度是 1.62 m s^{-2} 。

- (a) 求時間 T 。 **9.91 s** (2分)
- (b) 求太空人與 P 點之間的水平距離 R 。 **85.8 m** (2分)
- (c) 求石頭在 P 點着地前一刻的速度 v_p 。 **14.0 m s^{-1} (水平線以下 51.9°)** (4分)
- (d) 求石頭離地面的最大高度 H 。 (2分)
- (e) 如果這懸崖是在地球而不是月球，且石頭的初速度和投射角不變，試在圖 o 草繪石頭在這情況下的軌道。 **37.7 m** (1分)

★ 21 8.2 嘉華在籃球比賽中射球，球在離地 2 m 的位置離開嘉華的手 (圖 p)，初速度為 5.5 m s^{-1} 。球經過 A 和 B 兩點，然後在 C 點進籃。B 點是球的軌道最高點，A 點和 C 點處於同一高度。球在 A 點的速率是 3.11 m s^{-1} ，在 B 點的速率是 1.88 m s^{-1} 。

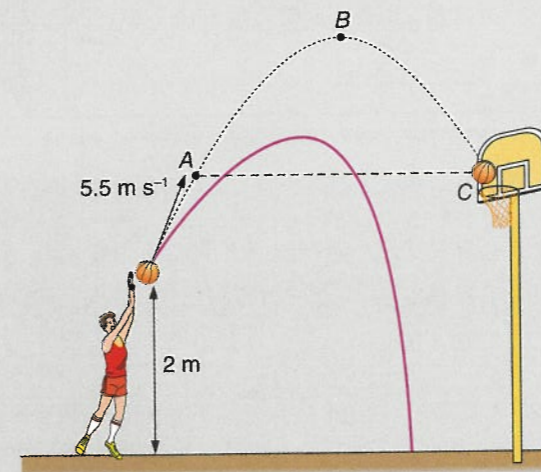


圖 p

- (a) 球在 C 點的速率是多少？ (1分)
 3.11 m s^{-1}

- (b) B 點離地多高？ **3.36 m** (2分)
- (c) 球的投射角是多少？ **70.0°** (2分)
- (d) 球從嘉華的手飛到球籃需時多久？ **0.779 s** (3分)
- (e) 在同一幅線圖中，草繪球從嘉華的手飛向球籃期間，動能 KE 和勢能 PE 隨水平位移 s_x 的變化。在圖中標示 A、B 和 C 三點。 (4分)
- (f) 如果空氣阻力不可以略去，而球以相同初速率和投射角射出，試在圖 p 中草繪球的軌道。 (1分)

★★ 22 8.2 在一場網球比賽中，球手 A 在 P 點擊球，球手 B 在 Q 點把球打回去 (圖 q)。圖 r 顯示球從 P 點飛向 Q 點期間速率隨時間的變化。

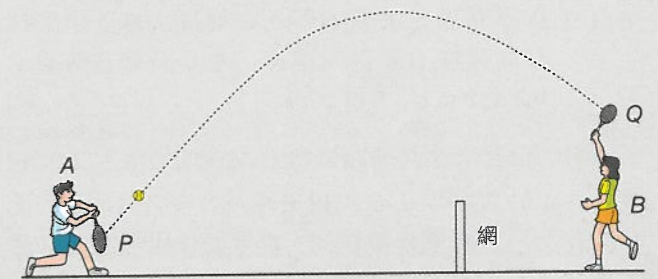


圖 q

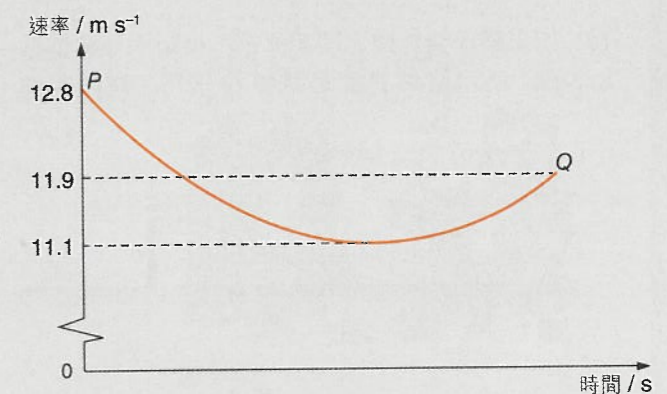


圖 r

- (a) 球抵達的最高點與 P 點之間的垂直距離是多少？ **2.07 m** (2分)
- (b) 球在 P 點飛出時的投射角是多少？ **29.9°** (2分)
- (c) P 和 Q 兩點之間的垂直距離是多少？ **1.13 m** (2分)
- (d) P 和 Q 兩點之間的水平距離是多少？ **12.1 m** (3分)
- (e) 草繪線圖，顯示球的勢能怎樣隨時間變化。 (2分)

▶ 參看 p.314-315

□ 考試報告見第 319 頁。

23 香港高級程度會考 2011 年卷一 Q1

一個質量為 0.06 kg 的網球，於距地面 1.25 m 高的 A 點被球拍沿水平方向擊出，如圖 s 所示。網球於 B 點撞擊地面，在反彈後於其徑跡最高點 C 剛好越過障礙物。網球與地面撞擊時其速度的豎直分量減少了 20%。(假設地面光滑及空氣阻力可略。)

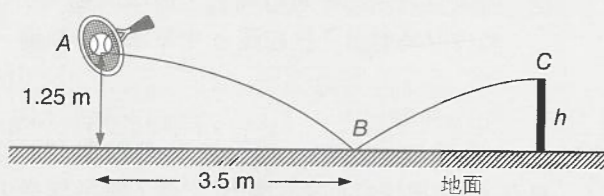


圖 s

- (a) 計算網球從 A 至 B 飛行的時間。據此求網球在剛碰撞 B 點前其速度的水平及豎直分量。
0.5 s, 7 m s^{-1} , 5 m s^{-1} (4 分)
- (b) (i) 計算網球在剛碰撞 B 點後的速率。
 8.06 m s^{-1} (2 分)
- (ii) 當網球在 B 點碰撞時，如果它與地面的接觸時間為 0.04 s，求地面作用在網球之平均力的量值。
14.1 N (3 分)
- (c) 估算障礙物的高度 h。
0.8 m (2 分)
- (d) 如果網球與地面之間有摩擦，推斷網球會依循圖 t 所示路線 P 還是路線 Q 飛行。試說明你的答案。
Q (2 分)

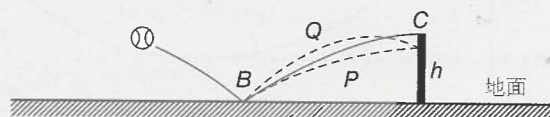


圖 t

□ 考試報告見第 327 頁。

24 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一乙部 Q3

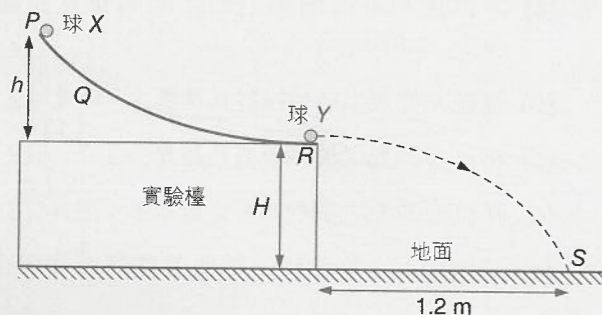


圖 u

一光滑彎曲導軌 PQR 固定在一張水平實驗檯上，如圖 u 所示。P 距檯面的高度為 h。把一質量為 0.03 kg 的細小金屬球 X 於 P 從靜止釋放。

球 X 到達 R 時以水平方向運動，並與另一質量為 0.04 kg 在導軌上初始靜止的金屬球 Y 對正碰撞。碰撞後的一刻，球 X 靜止而球 Y 以 3 m s^{-1} 的速率水平地離開實驗檯。忽略空氣阻力。

- (a) 球 X 和球 Y 碰撞前的一刻，球 X 的速率是多少？
 4 m s^{-1} (1 分)
- (b) 求 h 的值。
0.815 m (2 分)
- (c) 球 Y 於位置 S 着地。S 與實驗檯的水平距離為 1.2 m。求實驗檯的高度 H。
0.785 m (3 分)
- (d) 球 X 現於 Q 釋放，使球 Y 於碰撞後以較小的速率水平地離開實驗檯。球 Y 的飛行時間會否改變？試簡單解釋。
不會 (2 分)

8.2 25 香港中學文憑考試 2012 年卷一乙部 Q5(b)

如圖 v 所示，獵人站於距離樹木約 60 m 處以弓放箭，射向樹上猴子拿着的椰子(猴子沒有繪在圖中)，椰子與地面相距 25 m。他瞄準椰子發箭，而箭矢離開弓時的速率為 45 m s^{-1} 並跟水平成 20° 角。當獵人發箭時猴子立時棄下椰子，而椰子由靜止豎直跌下。空氣阻力及箭矢的大小可略。
($g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$)

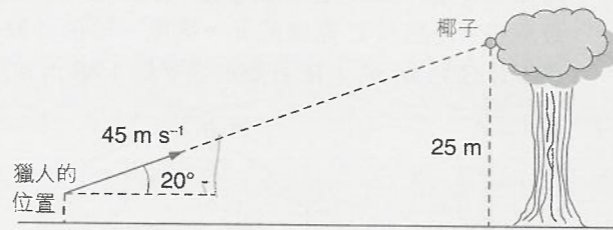


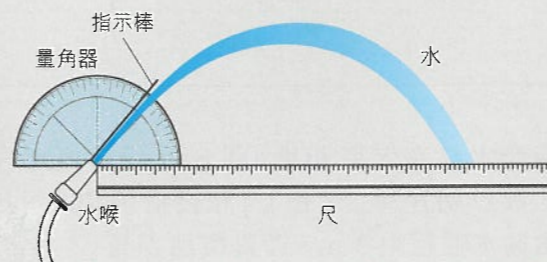
圖 v

- (a) 求箭矢擊中椰子所需的時間。
1.42 s (2 分)
- (b) 於箭矢擊中椰子的一刻，求椰子離地的高度。
15.1 m (2 分)

□ Q25 考試報告：在 (b) 部，只有能力較高者明瞭欲尋找椰子被箭矢射中時與地面高度，必須考慮椰子的垂直運動，大多數考生只懂考慮箭矢的運動，並計算出相對於箭矢離開弓的位置，箭矢射中椰子時的高度。

實驗題

- ★ 26 老師告訴綺麗，如果拋體投射和著陸的位置處於同一高度，它的射程 R 便是 $R = \frac{u^2 \sin 2\theta}{g}$ ，其中 u 是拋體的初速率， θ 是拋體的投射角。綺麗用圖 w 所示的裝置去驗證這方程。



□ Q24 考試報告：在 (a) 部，有些考生嘗試用量守恆來計算球 X 的速率。在 (c) 部，有些考生誤把球 Y 的水平速率當作垂直運動的初速率。在 (d) 部，不少考生未能解釋為何球 Y 的飛行時間不變。

物理文章分析

- ★ 27 閱讀以下一段有關向天鳴槍的文章，然後回答隨後的問題。

向天鳴槍

看電視劇時，有沒有見過警察向天鳴槍的場面(圖 x)? 原來，在現實生活中這樣做是十分危險的。澳門一次示威中，一名警員向天開了數槍，意圖驅散人羣。雖然他並沒有瞄準任何人，但一個路過的電單車司機卻懷疑遭警員的流彈擊中，須送院治理。司機的 X 光影像顯示，一顆類似子彈的金屬物體嵌在他的頸項近脊椎附近。

子彈射上天空後最終會掉落到地面，雖然它的速率會因空氣阻力而減慢，但也足以傷人。



圖 x

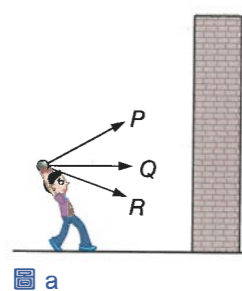
- (a) 證明如果空氣阻力可略去不計，向天射出的子彈返回發射的高度時，速率與剛發射時相同。
(2 分)
- (b) 假設上文中的警員向水平以上 70° 的方向開槍，而電單車司機中槍時距離這警員 300 m。估算子彈離開手槍時的初速率。無須考慮空氣阻力。
 67.7 m s^{-1} (3 分)
- (c) 子彈實際的初速率比 (b) 部的答案大還是小？
大 (1 分)
- (d) 草繪空氣阻力不能略去時子彈的軌道。
(1 分)

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄 (p.411) 附有常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

8.2.1 圖 a 中，男孩應把球向哪個方向擲出，球到達牆壁時的速率才會最大？假設球以相同的初速率擲出，而且到達地面前已擊中牆壁。



- A P
B Q
C R
D 在這三個情況中，球的速率都相同。

C

8.2.2 兩條水柱在 X 點相遇 (圖 b)。設每條水柱的水都以初速率 5.8 m s^{-1} 和投射角 70° 射出，兩個水喉相距 3 m 。X 點離地多高？

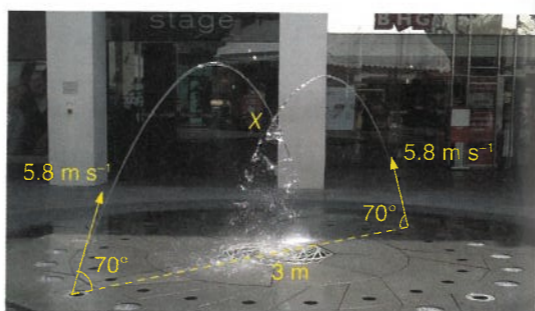


圖 b

- A 0.49 m
B 1.32 m
C 1.58 m
D 1.69 m

B

乙部

8.2.3 推鉛球選手從離地 1.8 m 的位置把鉛球以投射角 40° 推出 (圖 c)，所得成績是 12.0 m 。球的質量是 7 kg 。空氣阻力可略去不計。

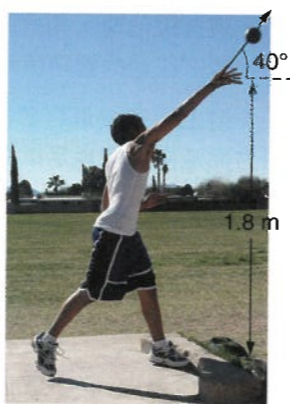
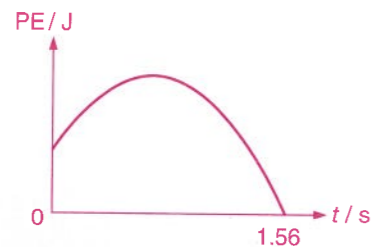


圖 c

(a) 鉛球的初速率和飛行時間是多少？ (4 分)

$10.1 \text{ m s}^{-1}, 1.56 \text{ s}$

(b) 在以下空白位置草繪鉛球飛行時勢能 (PE) 隨時間的變化。 (3 分)



(題解見 p.408)



F-X Ext

9 勻速圓周運動

我們在这一課會學到

- 勻速圓周運動
- 向心加速度
- 向心力和它的日常例子

9.1

圓周運動的簡介

起點 旋轉木馬

當旋轉木馬穩定地轉動，木馬上各人轉動一圈所需的時間是否相等？他們是否以相同速率移動？他們正在加速嗎？[參看第 333–334 頁。](#)



✓ 本節重點

- 1 描述圓週運動
- 2 向心加速度

1 描述圓周運動

a 角位移和角速度

這一課將討論物體以勻速率在圓形路徑上的運動，即**勻速圓周運動**。圓周運動很常見，例如摩天輪的乘客和餐桌轉盤上的食物等，這些物體的轉動就是圓周運動（圖 9.1a）。

描述圓周運動時，常常會用到以下兩個物理量：**角位移**和**角速度**。



(i) 摩天輪



(ii) 餐桌轉盤

圖 9.1a 圓周運動的日常例子

勻速圓周運動 uniform circular motion 角位移 angular displacement 角速度 angular velocity

考慮物體沿半徑為 r 的圓形路徑移動（圖 9.1b）。

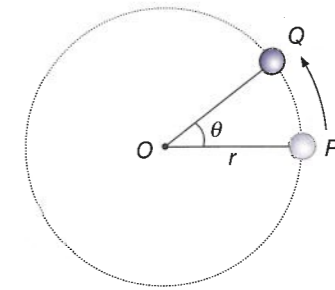


圖 9.1b 物體作圓周運動

當物體從 P 移動至 Q ，連接物體和圓心的半徑所掃出的角度為 θ ，這角度就是物體角位移的量值，以**弧度 (rad)** 為單位。弧度與度 ($^\circ$) 的關係如下：

當角度以 π 來表示，單位 rad 通常會略去。

[弧度的詳細資料見第 332 頁補充資料。](#)

$$360^\circ = 2\pi$$

$$1 \text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57.3^\circ$$

角速度 ω 定義為**每單位時間的角位移**。在勻速圓周運動中， ω 的量值是：

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

它的單位是**弧度 / 秒 (rad s^{-1})**。

角位移和角速度都是**矢量**，不過本書只集中討論它們的量值，所以為簡單起見，以下部分將會略去它們的方向。在勻速圓周運動中，角速度的量值就是**角速率**。

補充資料 角位移和角速度的方向

角位移 θ 和角速度 ω 方向相同，都垂直於旋轉平面。要判定 θ 和 ω 的方向，只要把右手拇指以外的四隻手指順着物體旋轉的方向彎曲，拇指所向便是這兩個矢量的方向（圖 a）。圖 b 顯示兩個例子。這個判定方向的法則稱為**右手握拳定則**。



旋轉方向

圖 a

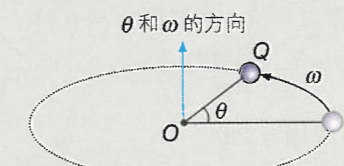
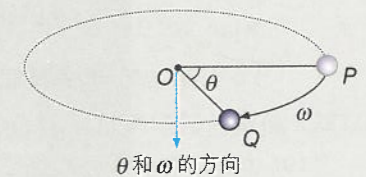


圖 b



θ和ω的方向

弧度 (rad) radian 角速率 angular speed

b 線速率和角速率

考慮物體沿半徑為 r 的圓形路徑以勻速率 v 移動 (圖 9.1c)。以下討論中，我們或會稱速率 v 為線速率，以將它與角速率 ω 分辨出來。

如果弧 PQ 的長度是 s ，物體的線速率 v 就是：

$$\text{當 } \theta \text{ 以弧度為單位，} \quad v = \frac{s}{t} = \frac{r\theta}{t} = r \frac{\theta}{t}$$

$s = r\theta$ 。

$$\text{根據定義，} \theta = \frac{s}{r}$$

因此，

$$v = r\omega$$

此外，物體的運動方向總是與連接圓心和物體的線垂直。

c 週期

勻速圓周運動的週期 T 是物體運轉一周所需的時間。物體在時間 T 內所移動的距離相等於圓形路徑的圓周，即 $2\pi r$ 。

$$v = \frac{\text{移動的距離}}{\text{所需時間}} = \frac{2\pi r}{T}$$

此外，物體在時間 T 內的角位移大小是 2π 。

$$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{2\pi}{T}$$

從上述兩條方程，

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$\text{頻率 } f = \frac{1}{T}$$

頻率在圓週運動中並不常用。

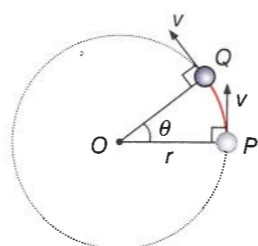


圖 9.1c 物體以速率 v 作勻速圓周運動

例題 1 旋轉木馬

參照起點的情景。假設旋轉木馬每分鐘轉動 2 圈，婉玲和奕希與旋轉木馬中心點 O 的距離分別是 3 m 和 2 m (圖 a)。

- 求她們的週期。
- 求她們的角速率。
- 她們轉動 15 s 後，角位移的量值是多少？試以弧度和度為單位表示答案。
- 求她們的線速率。

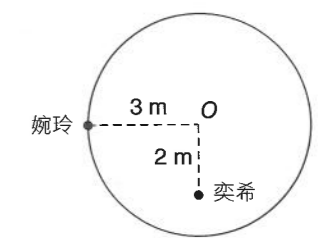


圖 a

題解

這解答了起點的第一個問題。

- 她們與旋轉木馬一起轉動，所以週期相等。

由於她們在 1 分鐘內轉動 2 圈，

$$\text{週期 } T = \frac{60}{2} = 30 \text{ s}$$

- 她們的角速率 ω 相等。

$$\text{角速率 } \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{30} = 0.2094 \text{ rad s}^{-1} \approx 0.209 \text{ rad s}^{-1}$$

- 角位移的量值

$$= \omega t = 0.2094 \times 15 = 3.14 \text{ rad} = 3.14 \times \frac{360^\circ}{2\pi} = 180^\circ$$

- 婉玲的線速率 $= r\omega = 3 \times 0.2094 = 0.628 \text{ m s}^{-1}$

$$\text{奕希的線速率} = r\omega = 2 \times 0.2094 = 0.419 \text{ m s}^{-1}$$

進度評估 1 Q1, 2 (p.333)

另解：

$$15 \text{ s} = \frac{30 \text{ s}}{2} = \frac{T}{2}$$

她們在 15 s 內轉動了半個圈。

$$\therefore \text{角位移} = \pi = 180^\circ$$

她們的角速率相同，但線速率則不同。這解答了起點的第二個問題。

進度評估 1

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.330)。

- 11 時鐘的秒針、分針和時針都以恆角速率移動。

- 求每支針的角速率。 0.105 rad s^{-1}

$$\left[\text{提示：} \omega = \frac{2\pi}{T} = ? \right] \quad \begin{matrix} 1.75 \times 10^{-3} \text{ rad s}^{-1} \\ 1.45 \times 10^{-4} \text{ rad s}^{-1} \end{matrix}$$

- 求分針在 20 分鐘內角位移的量值，試以弧度和度為單位表示答案。 $2.09 \text{ rad}, 120^\circ$

$$\left[\text{提示：} 2\pi = 360^\circ \right]$$

- 12 汽車以 40 km h^{-1} 的速率，在半徑為 50 m 的圓形路徑上行駛。

- 求汽車的角速率。 0.222 rad s^{-1}

$$\left[\text{提示：根據 } v = r\omega, \omega = ? \right]$$

- 求汽車在 15 s 內角位移的量值，試以弧度和度為單位表示答案。 $3.33 \text{ rad}, 191^\circ$

$$\left[\text{提示：根據 } \omega = \frac{\theta}{t}, \theta = ? \right]$$

補充資料 弧度

弧度是角的標準量度單位，描述圓心角 θ 時，

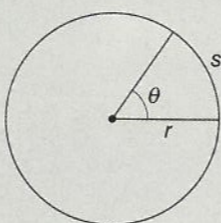
$$\theta \text{ (以弧度為單位)} = \frac{\text{弧長}}{\text{半徑}} = \frac{s}{r}$$

考慮整個圓， $s = \text{圓周} = 2\pi r$ 。

$$\theta \text{ (以弧度為單位)} = \frac{s}{r} = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi$$

據此， $360^\circ = 2\pi$

如果以弧度取代度 ($^\circ$) 作為角的單位，圓周運動的數學運算會簡單得多。



這解答了起點的第三個問題。

補充資料

切線

若一條直線剛好碰觸到曲線上的一點，這條直線就是曲線在該點的切線。



圓形上任何一點的切線，與畫向該點的半徑互相垂直。

2 向心加速度

物體沿半徑為 r 的圓形路徑作勻速圓周運動時，任何時刻的運動方向都與圓的切線方向相同，所以運動方向不斷改變。物體速度的量值恆定不變，但方向不斷改變，這表示物體有加速度。

用數學的方法可以證明這加速度總是指向圓心，因此它稱為**向心加速度**（圖 9.1d）。它總是垂直於物體的線速度，量值則恆定不變。它的量值為：

$$a = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$$

提醒學生向心加速度的方向不斷改變。

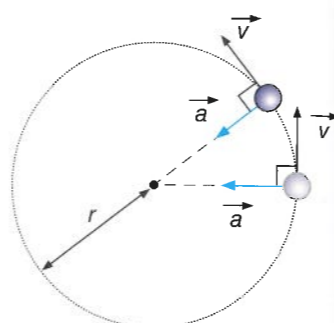
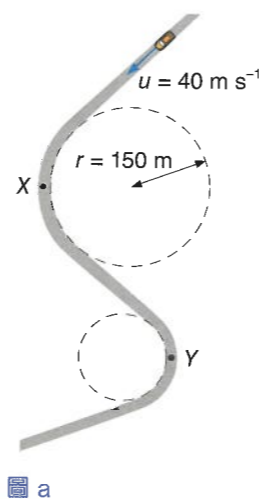


圖 9.1d 物體作勻速圓周運動時的向心加速度

例題 2 賽道

如圖 a 所示，一輛跑車以 40 m s^{-1} 的恆速率在賽道上行駛。賽道上兩段圓形彎道各有不同的半徑。

- 計算跑車在 X 點時的向心加速度。
- 世民認為，根據公式 $a = r\omega^2$ ，由於 Y 點所在的彎道半徑較小，跑車在 Y 點時加速度會較小。試評論世民的說法。



題解

(a) 向心加速度 $= \frac{v^2}{r} = \frac{40^2}{150} = 10.7 \text{ m s}^{-2}$

- (b) 世民的說法是錯誤的。因為在整段路程中，跑車的線速率 v 保持不變，但角速度 ω 卻會改變。

因此，應使用公式 $a = \frac{v^2}{r}$ ，而不是 $a = r\omega^2$ 。 v 不變時， a 會隨着 r 減少而增大，所以跑車在 Y 點時加速度會較大。

進度評估 2 Q1 (p.335)

我們應判斷 v 和 ω 中哪個恆定不變。在這例題中，因為 $\omega = \frac{v}{r}$ ，而 v 恆定不變，所以跑車在 Y 點時 ω 較大。

預試訓練 1 秒針的運動 ☆ 香港高級程度會考 2011 年卷二 Q6

時鐘垂直掛在牆上，它的秒針以恆角速率移動，每分鐘完成一圈。秒針的末端有一個小圓盤（圖 a）。下列哪項有關小圓盤的物理量一直保持不變？

- 動量
 - 加速度
 - 動能
 - 動能和勢能的總和
- A 只有 (3) B 只有 (2) 和 (4)
C 只有 (3) 和 (4) D (1)、(2)、(3) 和 (4)



圖 a

題解

小圓盤在圓形路徑上移動，速度的方向不斷改變，動量也因而不斷改變。

∴ (1) 不正確。

小圓盤有向心加速度，這加速度的方向不斷改變。

∴ (2) 不正確。

小圓盤的線速率 $= r\omega = \text{常數}$

⇒ 小圓盤的動能恆定不變。

∴ (3) 正確。

小圓盤在垂直的圓形路徑上移動，勢能因而不斷改變，因此，動能和勢能的總和也不斷改變。

∴ (4) 不正確。

∴ 答案是 A。

常見錯誤

學生或會把速度與速率混淆，誤以為 (1) 是正確的。

常見錯誤

學生或忽略了小圓盤的勢能變化。

複習 Q13 (p.357)

進度評估 2 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.330）。

- 1 妙麗坐在「氹氹轉」上，在 10 s 內轉了 2 個圈。
1, 2 她與氹氹轉中心的距離是 30 cm。求妙麗的角速率和向心加速度。 1.26 rad s^{-1} 、 0.474 m s^{-2}

$$\left[\begin{array}{l} \text{提示：} \omega = \frac{\theta}{t} = ? \\ a = r\omega^2 = ? \end{array} \right]$$

- 2 金星繞行太陽的運動非常近似勻速圓周運動。
1, 2 它的線速率是 35.0 km s^{-1} ，運行路線的半徑是 $1.08 \times 10^8 \text{ km}$ 。

- (a) 估算金星在 365 日內所移動的距離。

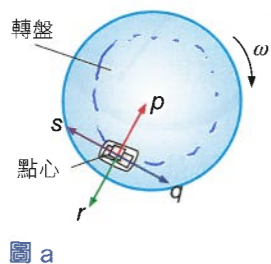
[提示： $s = vt = ?$] $1.10 \times 10^9 \text{ km}$

- (b) 估算金星的向心加速度。 0.0113 m s^{-2}

[提示： $a = \frac{v^2}{r} = ?$]

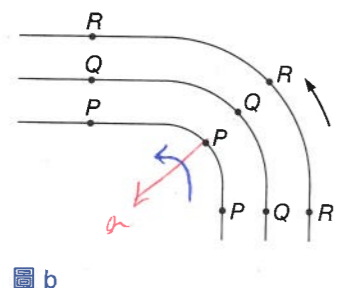
習題與思考 9.1 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.330)。

- 1 點心隨着轉盤以恆角速率 ω 轉動 (圖 a)，圖中哪個
1, 2 箭號代表它的線速度 v 和加速度 a 的方向？



	v	a
A	q	r
B	q	p
C	s	p
D	s	s

- 1 ★ 2 每次步操，士兵都必須保持完美整齊的隊形前進。
P、Q 和 R 是在同一橫排的三名士兵，他們即使在
轉彎的時候仍須並排前進 (圖 b)。



轉彎時，

- (1) R 的線速率是三人之中最高的。
- (2) R 的角速率是三人之中最高的。
- (3) R 的角位移是三人之中最大的。

- A** 只有 (1) B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2) D 只有 (2) 和 (3)

- 1, 2 ★ 3 兩個物體 X 和 Y 作勻速圓周運動。如果它們的週期
相等，下列哪項物理量也必然相等？

- (1) 物體的角速率 $\omega = \frac{2\pi}{T}$
- (2) 物體的線速率 $v = \omega r$
- (3) 物體的向心加速度

- A** 只有 (1) B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

- 1 ★ 4 汽車以勻速率行駛，從 X 點經圓形彎道到達 Y 點需
時 20 s (圖 c)。彎道的半徑是 28 m，求汽車的角
速率。

Handwritten calculations for Question 4:

$$v = \frac{d}{t} = \frac{\frac{3}{4} \times 2\pi \times 28}{20} = 6.597 \text{ m s}^{-1}$$

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{6.597}{28} = 0.236 \text{ rad s}^{-1}$$

Diagram 9.1c shows a car entering a circular bend of radius 28 m at point X and exiting at point Y. The car travels 3/4 of the circle.

- A** 0.236 rad s⁻¹
B 0.314 rad s⁻¹
C 0.413 rad s⁻¹
D 0.632 rad s⁻¹

- 1, 2 5 嫦娥一號是中國首枚繞月人造衛星。為探測月球表面，嫦娥一號在月面上空 200 km 的高度作勻速圓周運動。它的線速率是 1600 m s⁻¹。月球的半徑是 1740 km。

- (a) 計算嫦娥一號的角速率。 $\omega = \frac{v}{r} = \frac{1600}{(1740+200) \times 1000} = 8.25 \times 10^{-4} \text{ rad s}^{-1}$
(b) 計算嫦娥一號的週期。 $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{8.25 \times 10^{-4}} = 7620 \text{ s}$
(c) 計算嫦娥一號的向心加速度。 $a = \omega^2 r = (8.25 \times 10^{-4})^2 \times (1740+200) \times 10^3 = 1.32 \text{ m s}^{-2}$

- 1, 2 ★ 6 圓形的旋轉餐廳 (圖 d) 轉動 40° 需時 400 s，餐廳的半徑是 25 m。國華坐在玻璃窗旁。



1, 2 **d** $1.75 \times 10^{-3} \text{ rad s}^{-1}$ 、 $4.36 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$

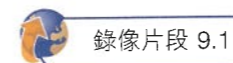
- 求國華的角速率 (以 rad s⁻¹ 為單位) 和線速率。
- 求餐廳轉動一圈所需的時間。 **3600 s**
- 美思坐在餐廳內的另一位置，她的線速率是 3 cm s⁻¹。求她與玻璃窗的距離。 **7.81 m**
- 求國華和美思向心加速度的量值。
 $7.62 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-2}$ 、 $5.24 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-2}$

9.2

向心力

起點 十字形木鎖

你見過下圖所示的十字形木鎖嗎？利用一個巧妙的方法，就能把兩塊木條分開。你知道怎樣做嗎？參看第 352 頁生活中的物理。



錄像片段 9.1

→ 錄像片段 9.1 展示這十字形木鎖。



✓ 本節重點

- 1 向心力
- 2 勻速圓周運動的日常例子

1 向心力

根據牛頓運動第二定律，物體加速時，必有一淨力作用於物體，且淨力與加速度方向相同。在勻速圓周運動中，淨力的方向與物體的加速度一樣，總是向內指着圓心。因此，這淨力稱為**向心力**。

物體作勻速圓周運動時，加速度量值 $(= \frac{v^2}{r} \text{ 或 } r\omega^2)$ 恆定不變 (圖 9.2a)。

根據 $F = ma$ ，向心力的量值為

$$F = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2$$

用繩子旋轉物體，就會感受到向心力指向圓心的本質 (圖 9.2b)。旋轉物體時，手指須把繩子拉向內，否則繩子會從指間滑走，物體便會移離圓心。

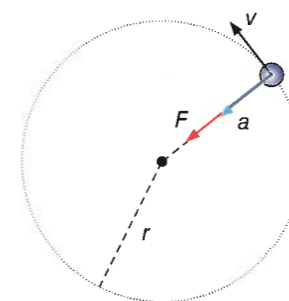


圖 9.2a 向心加速度與向心力

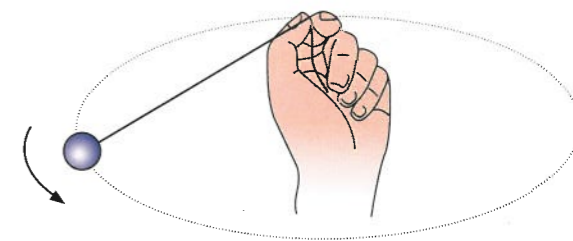


圖 9.2b 用繩子旋轉物體

在任何時刻，物體在極短時間內的位移 s ，方向與瞬時速度 v 相同。

功 $W = Fs \cos \theta$
 當 $\theta = 90^\circ$ ， $W = 0$

勻速圓周運動的向心力有以下特點：

1 向心力並不是一種新的力。物體作勻速圓周運動時，若有多道力作用於物體，它們的合力必然指向圓心，這合力就是向心力。

舉例來說，當一碟食物在餐桌轉盤上作勻速圓周運動（圖 9.2c），作用在這碟食物上所有力（餐碟連食物的重量、法向反作用力和摩擦力）的合力就是向心力。

2 向心力總是指向圓心，與物體的運動互相垂直（ $\vec{F} \perp \vec{s}$ ）（圖 9.2d）。因此，向心力不會對物體作功。

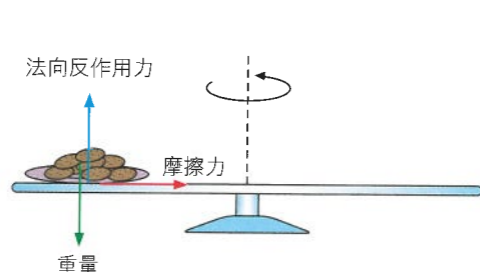


圖 9.2c 一碟食物在餐桌轉盤上作勻速圓周運動

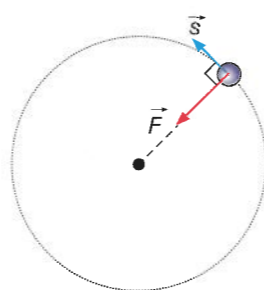
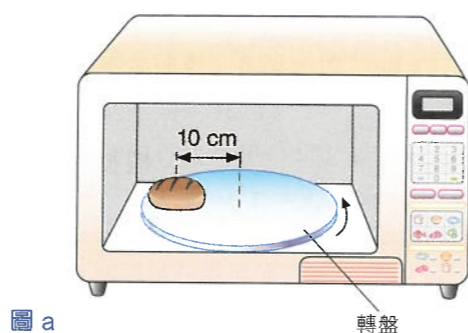


圖 9.2d 向心力與物體的運動互相垂直

例題 3 向心力

在圖 a 中，質量為 0.2 kg 的麪包置於微波爐內。微波爐啟動後，轉盤轉動，麪包在沒有滑動的情況下，在 4 s 內隨轉盤轉動了 80° 。麪包與轉盤中心的距離是 10 cm。



- 求麪包的角速率。
- 求麪包所需的向心力。
- 向心力來自哪裏？

題解

(a) 角 $\theta = 80^\circ = 80 \times \frac{2\pi}{360} \text{ rad} = 1.396 \text{ rad}$

角速率 $\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{1.396}{4} = 0.349 \text{ rad s}^{-1}$

(b) 向心力 $= m r \omega^2 = 0.2(0.1)(0.349)^2 = 2.44 \times 10^{-3} \text{ N}$

(c) 向心力來自麪包與轉盤之間的摩擦力。

進度評估 3 Q1, 2 (p.339)

進度評估 3

各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.337）。

11 如圖 a 所示，小球以一根繩子與固定點 O 連接，在水平的光滑桌面上作勻速圓周運動。如果小球的質量是 200 g，繩子長 15 cm，張力是 5 N，小球的線速率是多少？ **1.94 m s⁻¹**

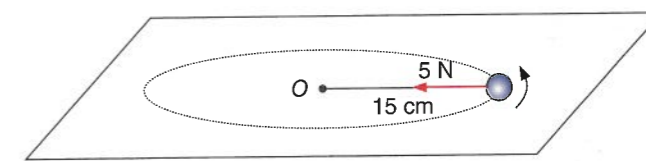


圖 a

12 在例題 1 (p.333) 中，如果婉玲的質量是 50 kg，她所需的向心力是多少？ **6.58 N**

2 驗證向心力方程

想像用繩子綁住一個物體。擺動繩子，令物體作水平圓周運動。由於物體具有重量，繩子不會維持水平，結果繩子與物體合起來形成一個錐擺。

在圖 9.2e 的錐擺中，質量為 m 的物體以角速率 ω 沿半徑為 r 的圓形轉動，物體受兩道力作用，一是它的重量 mg ，一是繩子的張力 T （圖 9.2f）。顯而易見，物體所需的向心力來自 T 的水平分量。

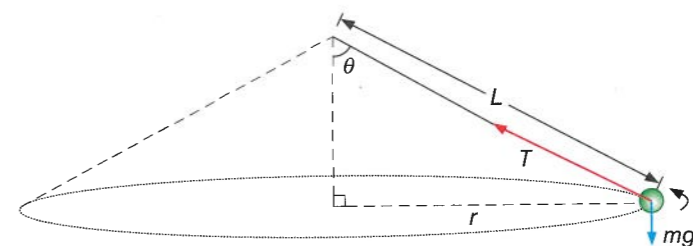


圖 9.2e 物體作勻速圓周運動的錐擺

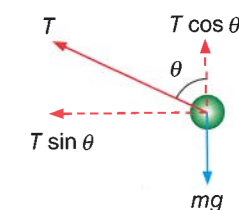


圖 9.2f 作用於物體的力

因此，

$$T \sin \theta = m r \omega^2$$

$$T \left(\frac{r}{L} \right) = m r \omega^2$$

$$T = m \omega^2 L \dots\dots\dots (*)$$

另一方面， T 的垂直分量抵銷物體的重量。

$$T \cos \theta = mg$$

我們會在第 340 頁的實驗 9a 驗證方程 (*)，這等同驗證向心力方程。 ω 和 L 都不難量度，而實驗所用的特製器材則可令 T 保持不變。

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \frac{mg}{T} \\ &= \frac{mg}{m \omega^2 L} \\ &= \frac{g}{\omega^2 L} \end{aligned}$$

L 不變時，
 $\omega \uparrow \Rightarrow \cos \theta \downarrow \Rightarrow \theta \uparrow$
 這表示物體轉動得愈快，繩子便愈接近水平。

實驗 9a 驗證向心力方程

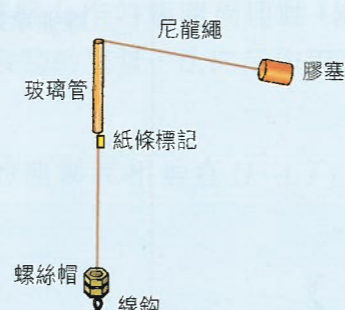
1 如圖 a 所示製作研究向心力的儀器。量度膠塞和螺絲帽的質量，設定膠塞和玻璃管之間的尼龍繩長度為 L ，並把紙條貼在玻璃管下端的尼龍繩上，以標記這個長度。



圖 a



圖 b



- 2 旋轉膠塞，使紙條標記緊貼玻璃管下端（圖 b）。
- 3 量度角速率 ω 。
- 4 用不同長度 L 重複步驟 2 和 3。

→ 模擬程式 9.1 讓學生控制錐擺的角速率，並找出它怎樣影響錐擺的角度。

→ 錄像片段 9.2 示範實驗 9a。

討論

- 1 旋轉膠塞時，尼龍繩的張力是多少？螺絲帽的重量
- 2 對於所有 L ， $T = m\omega^2 L$ 是否都成立？是

模擬程式 9.1
錄像片段 9.2

錄像片段 9.3

→ 錄像片段 9.3 顯示球離開半圓形軌道後的路徑。

3 向心力與牛頓運動第一定律

假設一個小球綁上繩子，在無摩擦力的桌面上作勻速圓周運動（圖 9.2g）。如果繩子突然斷開，向心力便會消失。根據牛頓運動第一定律，小球會以原來的速率，循繩子斷開前一刻的運動方向，沿直線路徑繼續移動。因此，它會循切線方向離開原先的圓形路徑。

圖 9.2h 展示這個現象。在一層薄薄的塑膠珠上，金屬球沿半圓形的金屬軌道運動。從軌道而來的法向反作用力提供球所需的向心力，使球維持在圓形路徑上移動。球離開軌道後，法向反作用力消失，球便沿直線路徑繼續移動。

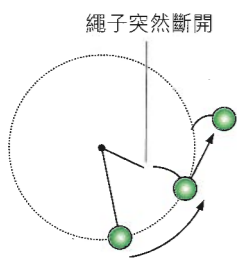
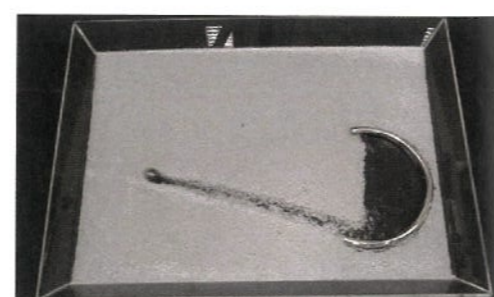


圖 9.2g 向心力消失後，小球沿直線路徑移動



圖 9.2h 金屬球離開軌道後沿直線路徑移動



螺絲帽靜止不動，所以淨力 $(T - Mg)$ 為零。

這不表示加快旋轉膠塞時 L 會縮短。在這裝置中，張力 T 是恆定的。當 L 縮短， ω 便要增加才能保持膠塞的圓週運動，否則向心力會小於 T ，膠塞會被拉向玻璃管。假設膠塞作勻速圓週運動，然後加快旋轉的速率，這時膠塞需要的向心力會大於 T ，於是膠塞不能維持圓週運動並飛走。

以下因素也會影響實驗的準確度：
 膠塞的轉動速率不恆定。
 玻璃管未能保持垂直。
 膠塞轉動不恆定 $\Rightarrow L$ 不恆定
 玻璃管未能保持垂直
 \Rightarrow 圓周運動的中心點不固定

例題 4 驗證向心力方程

參照實驗 9a 的情景。膠塞的質量 m 是 20 g，螺絲帽的總質量 M 是 1 kg。膠塞和玻璃管之間的尼龍繩長度是 L ，而這段繩與垂直線之間的角度是 θ （圖 a）。

- 繩的張力是多少？
- 如果縮短 L ，角 θ 和膠塞的角速率 ω 會有甚麼改變？試簡單解釋。
- 膠塞轉動一圈所需的時間少於 1 s。怎樣才可以準確量度 ω ？
- 學生改變長度 L ，然後量度 ω ，並打算用所得的幾組數據標繪直線圖，以驗證方程 $T = m\omega^2 L$ 。他應選哪些物理量作為線圖的兩軸？
- 指出實驗的一個誤差來源。

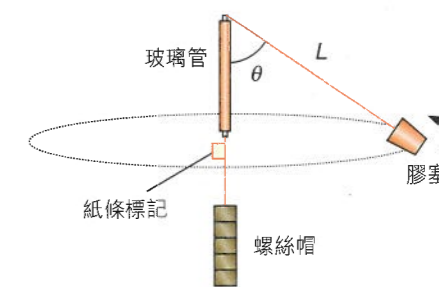


圖 a

題解

(a) 張力 = 螺絲帽的重量 = $Mg = 1 \times 9.81 = 9.81 \text{ N}$

(b) 圖 b 顯示膠塞的隔離體圖。

T 的垂直分量抵銷重量。

$$T \cos \theta = mg$$

$$\cos \theta = \frac{mg}{T} = \text{常數}$$

\therefore 如果縮短 L ， θ 會保持不變。

T 的水平分量提供向心力。

$$T \sin \theta = m r \omega^2$$

$$T \left(\frac{r}{L} \right) = m r \omega^2$$

$$\omega^2 = \frac{T}{mL}$$

\therefore 如果縮短 L ， ω 會增加。

(c) 量度膠塞轉動多圈（例如 50 圈）的時間，而不是只量度它轉動 1 圈的時間，這樣做能減低量度結果的百分誤差。如果膠塞轉動 n 圈所用的時間是 t ， $\omega = \frac{n(2\pi)}{t}$ 。

(d) ω^2 和 $\frac{1}{L}$

(e) 尼龍繩和玻璃管之間有摩擦力。

其他誤差包括：

尼龍繩並非不可延伸的；膠塞並非沿水平面轉動。

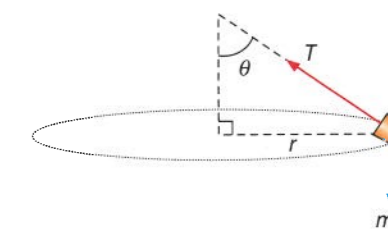


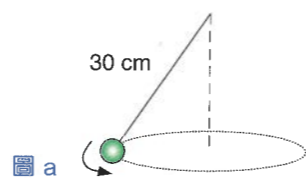
圖 b

複習 Q32 (p.362)

進度評估 4 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.337)。

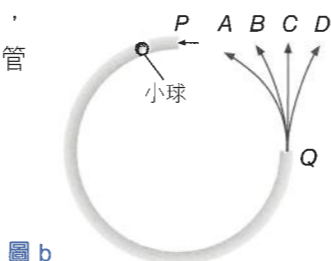
11 繫在繩子上的小球在水平的圓形路徑上以恆速率移動(圖 a)。小球的質量是 50 g，繩子的長度是 30 cm。如果小球在 2 s 內轉了 5 圈，繩子的張力是多少? **3.70 N**

[提示: $T = m\omega^2 L$]



12 一條無摩擦力的弧形管道固定在水平桌面上，小球從 P 點進入管道(圖 b)。小球在 Q 點離開管道後，會沿哪一條路徑移動? **C**

▶ **A、B**: 學生不明白向心力由管道的法向力提供。球離開管道後，向心力就立即消失，球便會沿直線路徑移動。



4 勻速圓周運動的日常例子

錄像片段 9.4

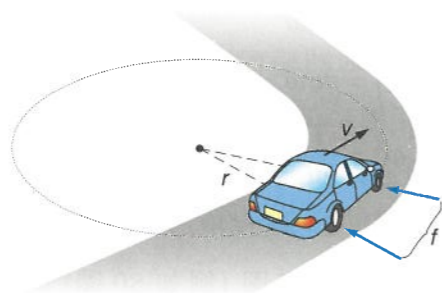
→ 錄像片段 9.4 顯示汽車轉急彎時滑出路面。

a 汽車在平路轉彎

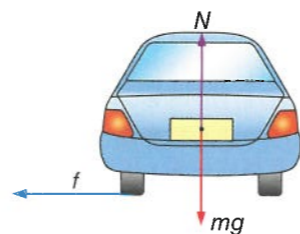
汽車轉彎時會作圓周運動(圖 9.2i)，所需的向心力取決於彎角的曲率半徑 r 、本身的質量 m 和線速率 v 。在水平的路面，汽車所需的向心力來自路面和輪胎之間的摩擦力 f 。

$$f = \frac{mv^2}{r}$$

▶ 汽車作勻速圓週運動時，發動機提供的向前推力和阻礙汽車前進的總阻力互相抵銷。圖 9.2i 沒有把這些力畫出來。



(i) 摩擦力為汽車在水平路面轉彎時提供向心力



(ii) 作用於汽車的力(從後觀看)

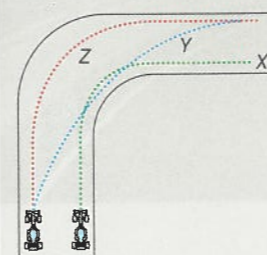
圖 9.2i 汽車轉彎時作圓周運動

當汽車以相同線速率轉另一個較急的彎角(即彎角的 r 較小)，它就需要較大的向心力，因此摩擦力必須增加(圖 9.2j，見 p.343)。然而，摩擦力的大小不能超過上限 f_{\max} 。如果汽車所需的向心力超過 f_{\max} ，它就不能繼續作圓周運動，結果會滑出彎道(即打滑)。

生活中的物理

轉彎的最快路線

賽車時，車手會選下圖中哪一條路線? 2010 至 2013 年度一級方程式賽車冠軍維迪爾必然會選路線 Y。這路線並非距離最短，而是半徑最大。選這條路線，跑車就能以高速轉彎，並以最高速率離開彎道。



以上討論也適用於汽車以較高速率(即 v 較大)轉彎的情況。

▶ 第 352 頁生活中的物理會講解學生對於汽車轉彎的錯誤觀念。

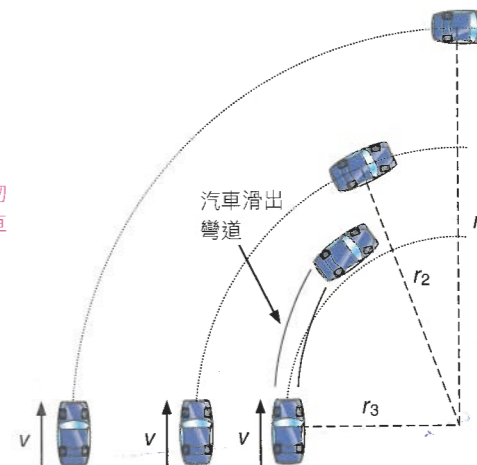


圖 9.2j 汽車以相同速率轉彎，三個彎角的曲率半徑不同

兩個接觸面之間的最大摩擦力 f_{\max} 視乎接觸面的本質(例如乾爽程度及粗糙程度)，以及兩個接觸面之間的法向反作用力。如果表面很潮濕或很光滑， f_{\max} 就很小。因此，胎紋磨平了的汽車在濕滑的路面上轉彎會很容易打滑。

例題 5 在乾爽及濕滑路面轉彎的極限車速

質量為 800 kg 的汽車轉入半徑為 20 m 的彎角。路面乾爽時，車輪與路面的最大摩擦力是 7000 N。

- (a) 求極限車速，即汽車不致打滑的最高速率。
- (b) 路面濕滑時，最大摩擦力會減半。計算在濕滑路面轉彎的極限車速。
- (c) 如果汽車以 50 km h⁻¹ 轉入這彎角，它會打滑嗎?

題解

(a) 根據 $f = \frac{mv^2}{r}$ ，
 極限車速 $v = \sqrt{\frac{f_{\max} r}{m}} = \sqrt{\frac{7000 \times 20}{800}} = 13.2 \text{ m s}^{-1} (47.6 \text{ km h}^{-1})$

(b) 路面濕滑時，最大摩擦力 $f_{\max} = \frac{7000}{2} = 3500 \text{ N}$

極限車速 $v = \sqrt{\frac{f_{\max} r}{m}} = \sqrt{\frac{3500 \times 20}{800}} = 9.35 \text{ m s}^{-1} (33.7 \text{ km h}^{-1})$

(c) 即使在路面乾爽的時候，50 km h⁻¹ 仍大於極限車速。因此，汽車會打滑。

▶ 進度評估 5 Q1 (p.352)

EX-EXP

模擬程式 9.2

→ 模擬程式 9.2 顯示汽車在傾斜路面轉彎。

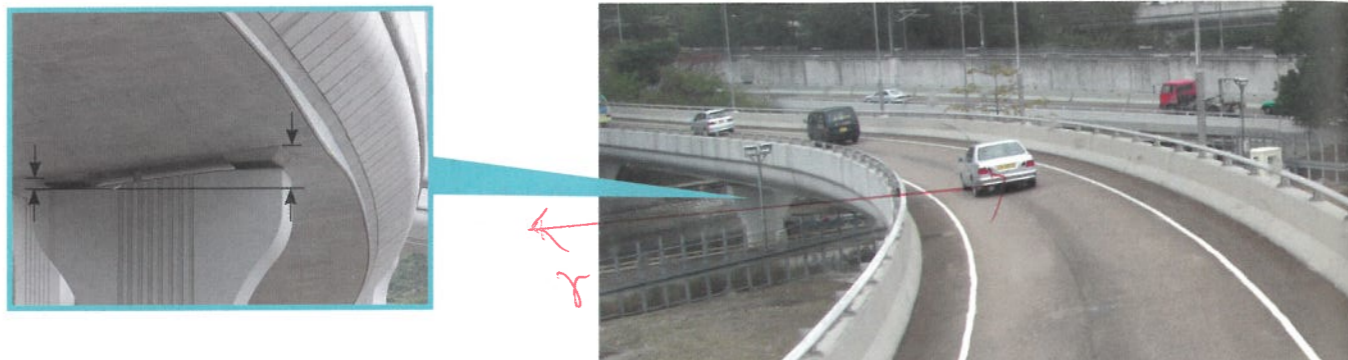


圖 9.2k 傾斜的路面可大大提高轉彎時的極限車速，有助汽車安全轉彎

b 在傾斜路面轉彎

有沒有留意到，有些道路的路面是傾斜的（圖 9.2k）？汽車在這種路面上轉彎時，作用於汽車的法向反作用力的水平分量也能提供部分向心力，從而減少依賴路面和輪胎之間的摩擦力，有助汽車安全轉彎。

在理想情況下，法向反作用力的水平分量能提供汽車所需的全部向心力。轉彎時，汽車沒有沿傾斜路面上移或下移的傾向，因此也沒有垂直於移動方向的摩擦力。

圖 9.2l 顯示一輛汽車在這種理想傾斜路面轉彎的情況，路面的傾斜角度為 θ ，曲率半徑為 r 。

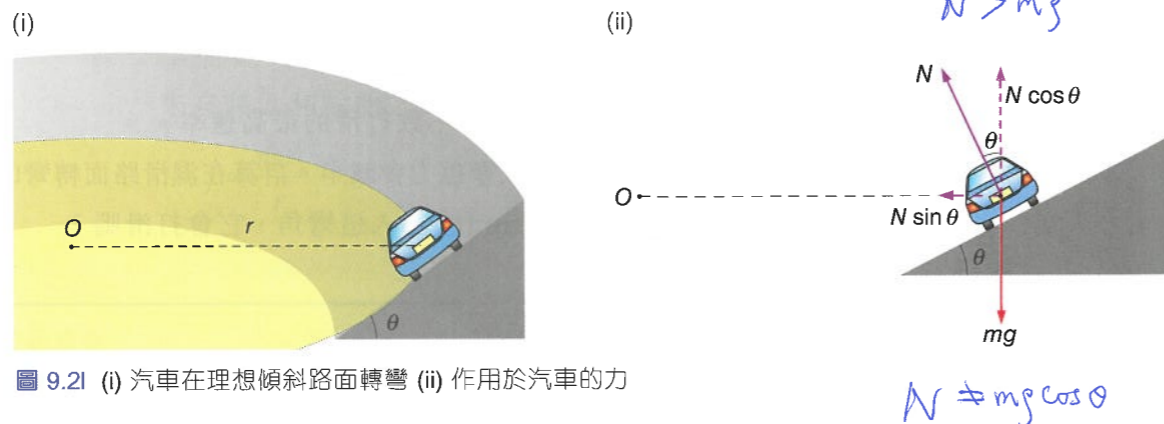


圖 9.2l (i) 汽車在理想傾斜路面轉彎 (ii) 作用於汽車的力

N 的水平分量提供向心力：

$$N \sin \theta = \frac{mv^2}{r} \dots\dots\dots (1)$$

汽車不會沿垂直方向移動。因此，

$$N \cos \theta = mg \dots\dots\dots (2)$$

將 (1) 除以 (2)，便得到計算理想傾斜角度的關係式：

$$\tan \theta = \frac{v^2}{gr}$$

理想傾斜角度 θ 與汽車的質量無關。

路面的傾斜角度通常根據車速的平均值及上述關係來決定。

例題 6 理想傾斜角度

某公路上有一段曲率半徑為 575 m 的彎道，車速的平均值是 80 km h^{-1} 。

- (a) 求彎道的理想傾斜角度。
- (b) 質量為 1500 kg 的汽車以 80 km h^{-1} 沿這彎道行駛。如果彎道以 (a) 部所求得的角度傾斜，路面作用於汽車的法向反作用力是多少？

題解

$$\begin{aligned} \text{(a) } \tan \theta &= \frac{v^2}{gr} \\ &= \frac{\left(\frac{80}{3.6}\right)^2}{9.81 \times 575} \\ \theta &= 5.00^\circ \end{aligned}$$

理想傾斜角度是 5.00° 。

$$\begin{aligned} \text{(b) 由於 } N \cos \theta &= mg, \\ \text{法向反作用力} &= \frac{mg}{\cos \theta} \\ &= \frac{1500 \times 9.81}{\cos 5.00^\circ} \\ &= 14\,800 \text{ N} \end{aligned}$$

▶ 進度評估 5 Q2 (p.352)

汽車在傾斜路面轉彎時，如果車速比平均值高，所需的向心力就會大於理想情況。因此，汽車有滑出圓形路徑中心的傾向。這時，路面會向汽車施以向內（或向下）的摩擦力 f （圖 9.2m），汽車因而免於打滑。

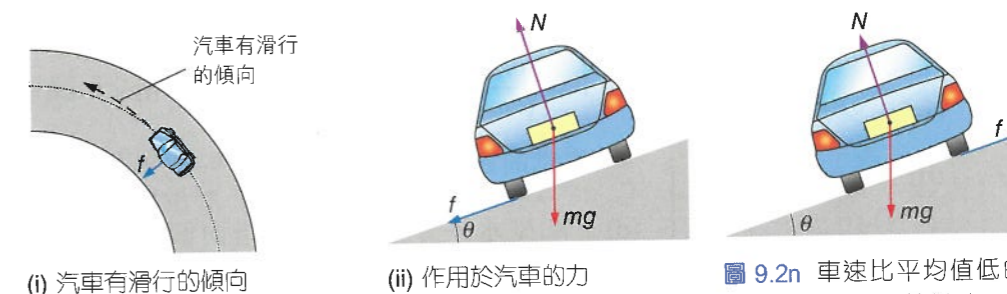


圖 9.2m 車速比平均值高的汽車在傾斜路面轉彎

圖 9.2n 車速比平均值低的汽車在傾斜路面轉彎時，作用於汽車的力

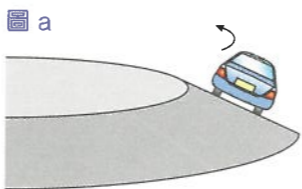
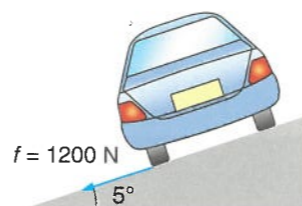
▶ 當汽車的速率低於平均值， N 的水平分量便會大於轉彎所需的向心力，所以汽車會有向內滑的傾向，路面因而對汽車施以向外的摩擦力。

只要 f 和 N 水平分量的合力夠大，能提供汽車所需的向心力，汽車就能安全轉彎，不會打滑。汽車車速比平均值低時，我們也可以用類似的方法解釋摩擦力的方向（圖 9.2n）。

例題 7 在傾斜路面轉彎

參閱例題 6。質量為 1500 kg 的汽車再次駛過那彎道，彎道的曲率半徑為 575 m，路面的傾斜角度為 5°。這次，一道橫向的摩擦力作用於汽車，使它免於打滑（圖 a）。這摩擦力指向內，量值為 1200 N。

- (a) 求路面作用於汽車的法向反作用力。
- (b) 求汽車所需的向心力。
- (c) 求汽車的線速率。這速率比平均值高還是低？
- (d) 如果路面如圖 b 所示般傾斜，會出現甚麼情況？



題解

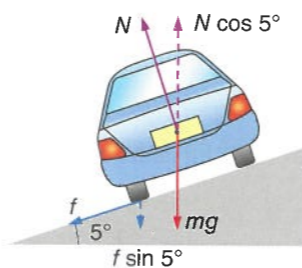
- (a) 考慮作用於汽車的力的垂直分量（圖 c）。

$$N \cos 5^\circ = mg + f \sin 5^\circ$$

$$N = \frac{mg + f \sin 5^\circ}{\cos 5^\circ}$$

$$= \frac{1500 \times 9.81 + 1200 \sin 5^\circ}{\cos 5^\circ}$$

$$= 14\,900 \text{ N}$$



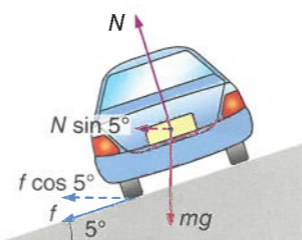
法向反作用力是 14 900 N。

- (b) 考慮作用於汽車的力的水平分量（圖 d）。

$$\text{向心力} = N \sin 5^\circ + f \cos 5^\circ$$

$$= 14\,900 \sin 5^\circ + 1200 \cos 5^\circ$$

$$= 2490 \text{ N}$$

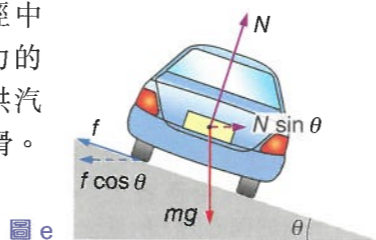


- (c) 根據 $F = \frac{mv^2}{r}$,

$$v = \sqrt{\frac{Fr}{m}} = \sqrt{\frac{2490 \times 575}{1500}} = 30.9 \text{ m s}^{-1} = 111 \text{ km h}^{-1}$$

汽車的線速率是 111 km h⁻¹，比平均值高。

- (d) f 和 N 水平分量的合力（指向圓形路徑中心）相等於 $f \cos \theta - N \sin \theta$ ，比摩擦力的水平分量更小（圖 e）。這或許未能提供汽車所需的向心力。因此，汽車可能會打滑。



複習 Q25 (p.360)

因為 f 的緣故，N 的值比例題 6 (b) 部的大，這顯示汽車轉彎時，N 會隨車速改變。

類似的運算亦能求得鐵路彎位的路軌（圖 9.2o），以及場地單車賽賽道（圖 9.2p）的理想傾斜角度。



圖 9.2o 列車轉彎



圖 9.2p 場地單車賽的賽道

錄像片段 9.5

錄像片段 9.5 顯示傾斜的模型飛機怎樣飛行。

c 飛機轉彎

以圖 9.2q 所示的傾斜角度擲出模型飛機，飛機會隨即右轉。這示範了飛機轉彎的方式（圖 9.2r）。



圖 9.2q 以傾斜角度擲出模型飛機

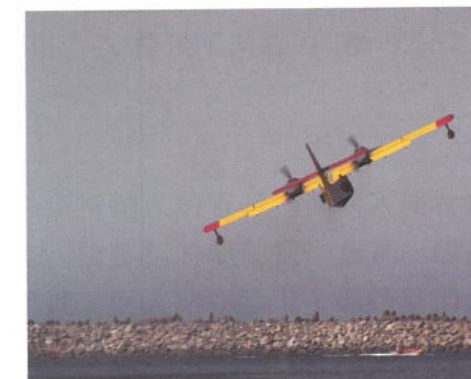
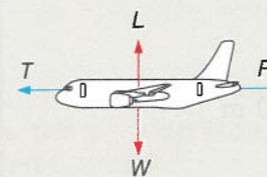


圖 9.2r 飛機轉彎的情況

補充資料

作用於飛機的力

下圖顯示飛機飛行時，作用於飛機的力。



發動機把空氣以極高速率推向飛機後方，為飛機提供推力 T，飛機以恆速率飛行時，推力與空氣阻力 R 互相抵銷。

空氣流經機翼上、下方時，會產生升力 L。升力大致與機翼互相垂直。

飛機飛行時，作用於飛機的升力 L 與機翼互相垂直。若要轉彎，機身就須傾斜（圖 9.2s）。

將 L 分解為水平和垂直方向的分量。如果飛機沿水平路線轉彎：

$$L \cos \theta = mg \dots\dots\dots (3)$$

$$L \sin \theta = \frac{mv^2}{r} \dots\dots\dots (4)$$

將 (4) 除以 (3)，可得：

$$\tan \theta = \frac{v^2}{gr}$$

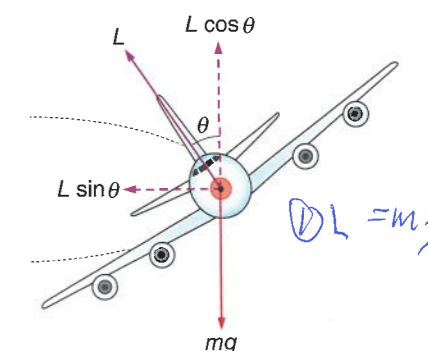


圖 9.2s 升力的水平分量提供向心力

推力和空氣阻力互相抵銷。本圖沒有顯示這兩道力。

若有機會乘搭飛機，嘗試坐在窗口旁，並在降落前數分鐘特別留意飛機的傾斜度。此時飛機大多會傾斜，在降落到跑道前轉一個大彎。

例題 8 飛機轉彎

質量為 $4.00 \times 10^6 \text{ kg}$ 的飛機沿水平路線轉彎。作用於飛機的升力 L 與垂直線的夾角為 15° (圖 a)。

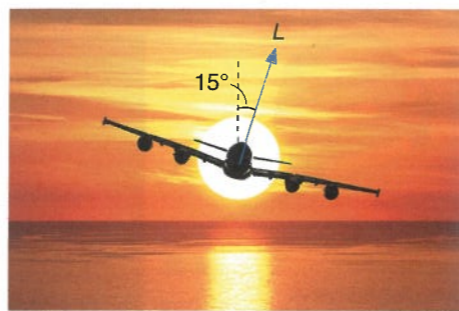


圖 a

- (a) 如果飛機以 300 km h^{-1} 飛行，試估算
- L 的量值，
 - 飛機轉彎所需的向心力，
 - 飛機轉彎路線的曲率半徑。

- (b) 在飛行速率與升力不變下，如果傾斜的角度減少，飛機轉彎路線的曲率半徑會變得大於、等於，還是小於 (a)(iii) 部的答案？

題解

- (a) (i) 由於飛機沿水平路線飛行，沿垂直方向的淨力為零 (圖 b)。

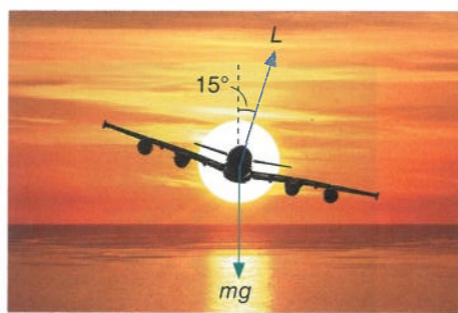


圖 b

$$L \cos 15^\circ = mg$$

$$L = \frac{mg}{\cos 15^\circ} = \frac{4.00 \times 10^6 \times 9.81}{\cos 15^\circ} = 4.06 \times 10^7 \text{ N}$$

- (ii) 向心力 $= L \sin 15^\circ = 4.06 \times 10^7 \sin 15^\circ = 1.05 \times 10^7 \text{ N}$

- (iii) 根據 $F = \frac{mv^2}{r}$ ，

$$\text{曲率半徑} = \frac{mv^2}{F} = \frac{(4.00 \times 10^6) \left(\frac{300}{3.6}\right)^2}{1.05 \times 10^7} = 2640 \text{ m}$$

(b) $\tan \theta = \frac{v^2}{gr}$

$$r = \frac{v^2}{g \tan \theta}$$

$$\theta \downarrow \Rightarrow \tan \theta \downarrow \Rightarrow r \uparrow$$

因此，飛機轉彎路線的曲率半徑會變得大於 (a)(iii) 部的答案。

▶ 進度評估 5 Q3 (p.352)

另解：

$$\tan \theta = \frac{v^2}{gr}$$

$$r = \frac{v^2}{g \tan \theta}$$

$$= \frac{\left(\frac{300}{3.6}\right)^2}{9.81 \tan 15^\circ}$$

$$= 2640 \text{ m}$$

d 遊樂場的「旋轉箱」

一些遊樂場設有「旋轉箱」這種機動遊戲。它是一個垂直的圓桶，能夠以高速轉動。設施啟動前，參加者先進入旋轉箱內部，緊靠牆壁站着。然後，旋轉箱就會從靜止逐漸增加轉動速率。達到全速後，地板下降，但人卻能「黏」住牆壁，就如站在半空 (圖 9.2t)！

以下短片顯示旋轉箱內各人的情況：

<http://www.youtube.com/watch?v=PLaXTa0DXcA>



圖 9.2t 人黏在旋轉箱的牆壁上

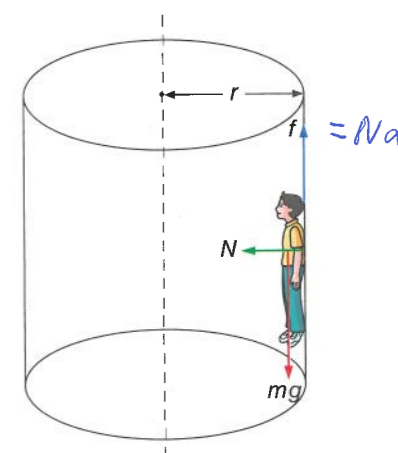


圖 9.2u 旋轉箱作用於人的力

在水平方向，牆壁作用於人的法向反作用力 N 提供了向心力 (圖 9.2u)。

$$N = \frac{mv^2}{r}$$

在垂直方向，人與牆壁之間的摩擦力必須抵銷人的重量，否則人便會掉下來。最大摩擦力隨法向反作用力增加，旋轉箱的轉動速率愈高，法向反作用力愈大，最大摩擦力也愈大。因此，要人黏在牆上，旋轉箱的轉動速率有一個最低值。

生活中的物理 洗衣機的乾衣原理

洗衣機啟動乾衣程序時，滾筒會以高速轉動。來自滾筒內壁的法向力提供衣服所需的向心力。內壁上有大量排水孔 (圖 a)，這些孔不會對衣服內的水分施力，所以水不會作圓周運動，而會經排水孔沿切線方向離開滾筒 (圖 b)。

▶ 滾筒並非令水離開衣服，而是令衣服離開水。



圖 a

圖 b

例題 9 乘搭旋轉箱

旋轉箱的半徑是 2 m。它轉動時，質量為 60 kg 的人黏在牆上，沒有掉下。人與牆壁之間的最大摩擦力 f_{\max} 視乎牆壁施於他的法向反作用力 N ，兩者的關係為 $f_{\max} = 0.5N$ 。

- 求人與旋轉箱牆壁之間的摩擦力。
- 假設旋轉箱的轉速僅可令這入免於掉下。
 - 求他所需的向心力。
 - 求旋轉箱的角速率。
 - 求旋轉箱的週期。
 - 假如出現以下情況，會有甚麼事情發生？
 - 旋轉箱的角速率上升。
 - 旋轉箱的角速率下降。
 - 假設旋轉箱內有另一質量較大的人，他會黏在牆上嗎？試解釋答案。

題解

- 摩擦力 $f = mg = 60 \times 9.81 = 588.6 \text{ N} \approx 589 \text{ N}$
 - 向心力 $F = N = \frac{f}{0.5} = \frac{588.6}{0.5} = 1177 \text{ N} \approx 1180 \text{ N}$
 - 根據 $F = mr\omega^2$ ，
角速率 $\omega = \sqrt{\frac{F}{mr}} = \sqrt{\frac{1177}{60 \times 2}} = 3.132 \text{ rad s}^{-1} \approx 3.13 \text{ rad s}^{-1}$
 - 週期 $= \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{3.132} = 2.01 \text{ s}$
 - 人仍然會黏在牆上。
 - N 會減少， f_{\max} 會變得小於 mg 。因此，人會掉下。
 - 考慮一個質量為 m 的人，他剛好可以黏在牆上。
作用於他的最大摩擦力 $f_{\max} = 0.5N = 0.5mr\omega^2$
最大摩擦力 f_{\max} 抵銷他的重量。
$$f_{\max} = mg$$
$$0.5mr\omega^2 = mg$$
$$\omega = \sqrt{\frac{g}{0.5r}}$$

 \therefore 能令人免於掉下的角速率不受他的質量影響。
 \therefore 這位質量較大的人也會黏在牆上。

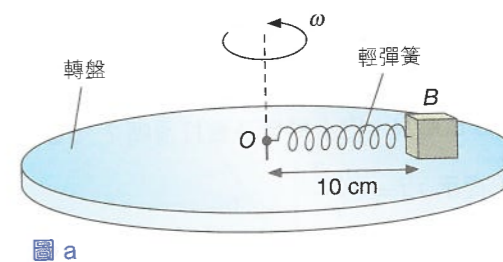
▶ 複習 Q26 (p.360)

作用於人的摩擦力僅可避免他掉下，即
 $f = f_{\max} = 0.5N$

$\omega \uparrow \Rightarrow N \uparrow \Rightarrow f_{\max} \uparrow$
雖然 f_{\max} 增加，作用於人的摩擦力仍等於 mg ，小於 f_{\max} 。

預試訓練 2 轉盤上的木塊 ☆ 香港高級程度會考 2003 年卷一-Q1

如圖 a 所示，木塊 B 的質量為 0.5 kg，以輕彈簧連接水平轉盤的中心點 O。當轉盤沿 O 點以角速率 ω 轉動，OB 為 10 cm，彈簧施於木塊的拉力 T 為 3 N。木塊與轉盤之間的最大摩擦力是 2 N。



- 在 OB 保持 10 cm 的情況下，轉盤以最低角速率 ω_{\min} 轉動。
 - 繪畫木塊的隔離體圖。 (2 分)
 - 求 ω_{\min} 。 (2 分)
 - 如果彈簧突然斷裂，會出現甚麼情況？試簡單解釋。 (2 分)
- 在 OB 保持 10 cm 的情況下，轉盤以最高角速率 ω_{\max} 轉動。
 - 求 ω_{\max} 。 (1 分)
 - 如果彈簧突然斷裂，會出現甚麼情況？試簡單解釋。 (2 分)

題解

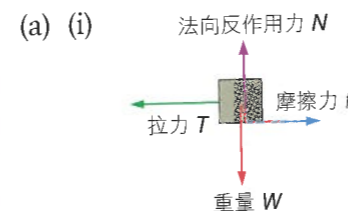


圖 b

- (1 道力及其名稱正確) 1A
(所有力正確) 1A
 - $$\text{向心力} = \text{淨力}$$
$$mr\omega^2 = T - f$$
$$0.5 \times 0.1 \omega_{\min}^2 = 3 - 2$$
$$\omega_{\min} = 4.47 \text{ rad s}^{-1}$$
 1A
 - 由於所需的向心力 (1 N) 小於最大摩擦力，木塊會與轉盤一起轉動，不會滑移。 1A
- 圖 c 是木塊的隔離體圖。
 - $$\text{向心力} = \text{淨力}$$
$$mr\omega^2 = T + f$$
$$0.5 \times 0.1 \omega_{\max}^2 = 3 + 2$$
$$\omega_{\max} = 10 \text{ rad s}^{-1}$$
 1A
 - 由於所需的向心力 (5 N) 大於最大摩擦力，木塊會滑移，不會作圓周運動。 1A

常見錯誤

學生可能未能辨別摩擦力的方向，或錯誤地在隔離體圖中標示出「向心力」。

常見錯誤

學生可能不知道 f 與 T 的方向相同。
 ω 為最大值時，木塊有滑移及沿較大半徑路線移動的傾向。因此， f 指向內，即與 T 的方向相同。

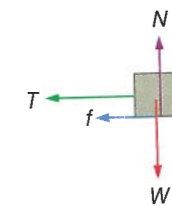


圖 c

▶ 複習 Q28 (p.361)

9 勻速圓周運動

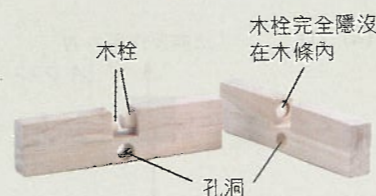
進度評估 5 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.337)。

- 21 巴士在水平路面上以 50 km h^{-1} 的速率轉彎。巴士的質量是 $15\,000 \text{ kg}$ ，彎角的曲率半徑是 50 m 。如果巴士輪胎與路面之間的最大摩擦力是 $60\,000 \text{ N}$ ，巴士轉彎時會打滑嗎？**不會**
- [提示： $f = \frac{mv^2}{r}$]
- 22 某公路上有一曲率半徑為 200 m 的彎道，這路段車速的平均值是 75 km h^{-1} 。求彎道的理想傾斜角度。 **12.5°**
- [提示： $N \cos \theta = mg$ ， $N \sin \theta = \frac{mv^2}{r}$]
- 23 戰鬥機以 250 m s^{-1} 沿半徑為 1.5 km 的水平圓形路線轉彎。求機翼與水平線之間的角度。 **76.8°**
- [提示： $L \cos \theta = mg$ ， $L \sin \theta = \frac{mv^2}{r}$]
- 24 質量為 m 的男孩乘搭旋轉箱。要避免男孩掉下，旋轉箱角速率的最低值是 ω 。要避免一個質量為 $2m$ 的成人掉下，旋轉箱角速率的最低值是多少？ **ω**

→ 錄像片段 9.6 顯示怎樣解開木鎖。

生活中的物理 十字形木鎖

起點提及的木鎖由兩塊相同的木條組成，每塊都有一個孔洞和兩條木栓，木栓可自由滑動，能夠完全隱沒在木條之內。兩塊木條組合起來時，如果木栓穿過另一木條的孔洞，木鎖便會扣住。只要在水平的表面轉動木鎖，扣便會解開，這是因為木鎖轉動時，木栓得不到所需的向心力，因而滑出中心點，離開孔洞。(木栓的運動類似汽車打滑的情況。)



錄像片段 9.6

生活中的物理 因慣性造成的反向錯覺

汽車轉彎時，車上的乘客有往外拋的感覺 (圖 a)，因而認為他們受「離心力」作用。

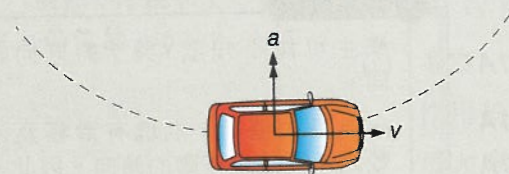


圖 a 感受到向外加速，但實際上是向內加速

事實上，如果從地面觀察，就會發現這種離心力並不存在。根據牛頓運動第一定律，除非受外力作用，否則乘客會維持靜止狀態，或維持方向和速率固定不變的運動。因為汽車椅子通常頗滑溜，不能提供足夠的摩擦力，以致汽車轉彎時乘客未能隨着汽車移動，結果乘客便會因慣性而向外滑移 (圖 b)。

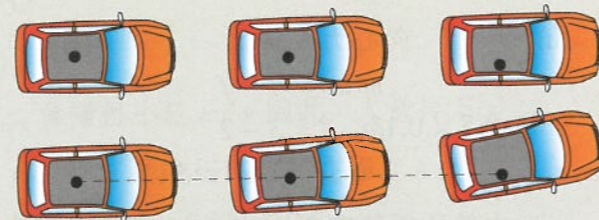


圖 b 乘客在車內有往外拋的感覺 (上圖)，但事實上他們保持直線運動 (下圖)

乘客會繼續向外滑移，直至有一足夠大的力提供他們所需的向心力。通常乘客要挨到車的一側，車身的法向反作用力提供足夠向心力時，才會停止滑移。這與汽車向前行駛時突然停下來的情況差不多，乘客同樣都會感覺到相反方向的加速度 (圖 c)。



圖 c 感受到向前加速，但實際上是向後加速

習題與思考 9.2 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.337)。

(第 1 至 3 題) 飛機以 200 m s^{-1} 的恆速率飛行時，沿水平圓形路線轉彎。圓形路線的半徑是 10 km 。

- 21 飛機乘客所需的向心力來自
- A 乘客的重量。
 B 座位對乘客所施的力。
 C 作用於飛機的升力。
 D 空氣阻力。
- 2★2 飛機所需向心力與飛機重量之比是多少？
- A 2.45×10^{-3} B 0.408
 C 2.45 D 40.8
- 2★3 飛機的機翼與水平線之間的角度是多少？
- A 11.5° B 22.2°
 C 67.8° D 76.0°

- 2★4 路面乾爽時，某彎角的最高安全車速是 30 m s^{-1} 。如果路面變得濕滑，車輪與路面之間的最大摩擦力會減半，這時彎角的最高安全車速是多少？
- A 7.07 m s^{-1}
 B 14.1 m s^{-1}
 C 15.0 m s^{-1}
 D 21.2 m s^{-1}

- 2★5 2013 年 7 月 24 日，西班牙一列火車在轉彎時出軌，造成 79 人死亡 (圖 a)。發生意外的彎位車速限制是 80 km h^{-1} ，但火車出軌前卻以 153 km h^{-1} 行駛。



圖 a

假設當火車以 80 km h^{-1} 駛過該彎位，所需的向心力是 F 。如果火車以 153 km h^{-1} 駛過該彎位，所需的向心力是多少？

- A $1.38F$ B $1.91F$
 C $3.66F$ D $42.5F$

- 16 質量為 0.8 kg 的小球繫在長度為 1.5 m 的繩子上，沿水平圓形路徑旋轉。繩子與垂直線之間的角度是 20° (圖 b)。

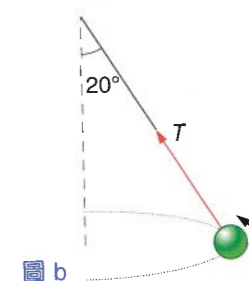


圖 b

- (a) 求繩子的張力。 **8.35 N**
 (b) 求小球所需的向心力。 **2.86 N**
 (c) 求小球的線速率。 **1.35 m s^{-1}**

- 1★7 餐桌轉盤上有兩碟質量同為 1 kg 的腸粉 X 和 Y。X 和 Y 與轉盤中心點的距離分別是 30 cm 和 40 cm (圖 c)。每隻碟與轉盤之間的最大摩擦力相等。

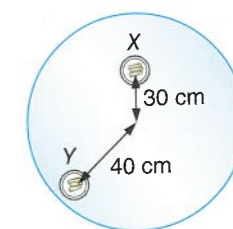


圖 c

- (a) 假設轉盤恆定地轉動，週期為 8 s ，而 X 和 Y 隨轉盤轉動，沒有滑移。求作用於 X 和 Y 的摩擦力的量值。 **0.185 N 、 0.247 N**
 (b) 當轉盤愈轉愈快，哪一碟腸粉會先滑移？試簡單解釋。**Y**

- 2★8 一名太空人正接受高重力加速度訓練，目的是避免他執行太空任務時，因極高加速度而失去知覺。太空人坐在 20 倍重力離心機 (圖 d) 的一端，然後離心機便水平地高速轉動。太空人與轉軸的距離是 8.84 m 。



圖 d

 4.71 rad s^{-1} 、 41.6 m s^{-1}

- (a) 如果作用於太空人的淨力達到其重量的 20 倍，太空人的角速率和線速率分別是多少？
 (b) 如果太空人與轉軸的距離減半，而離心機的角速率與 (a) 的答案相同，作用於他的淨力會有甚麼改變？試簡單解釋。**減半**

總結 9

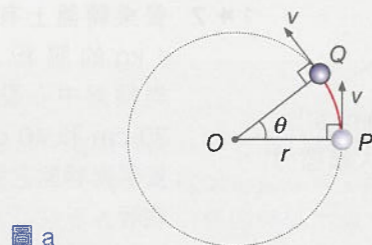
詞彙

1 勻速圓周運動 uniform circular motion p.330	5 角速率 angular speed p.331
2 角位移 angular displacement p.330	6 週期 period p.332
3 角速度 angular velocity p.330	7 向心加速度 centripetal acceleration p.334
4 弧度 (rad) radian p.331	8 向心力 centripetal force p.337

課文摘要

9.1 圓周運動的簡介

1 當物體在半徑為 r 的圓形路徑上以恆速率 v 移動，即物體作勻速圓周運動時 (圖 a)：



- 物體的角位移 θ 是連接物體和圓心的半徑所掃出的角度，以弧度 (rad) 為單位。
- 物體的角速度是它在每單位時間內的角位移。

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

角速度的單位是 rad s^{-1} 。

- 物體的線速率 v 和角速率 ω 的關係可表示為

$$v = r\omega$$

- 物體的週期 T 可表示為

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$$

- 物體總是向圓形路徑的中心點加速。這加速度稱為向心加速度，它的量值是

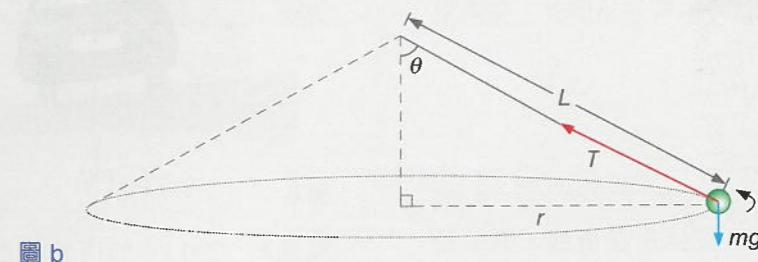
$$a = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$$

9.2 向心力

2 物體作勻速圓周運動時，引致向心加速度的淨力稱為向心力。向心力不會對物體作功，它的量值是

$$F = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2$$

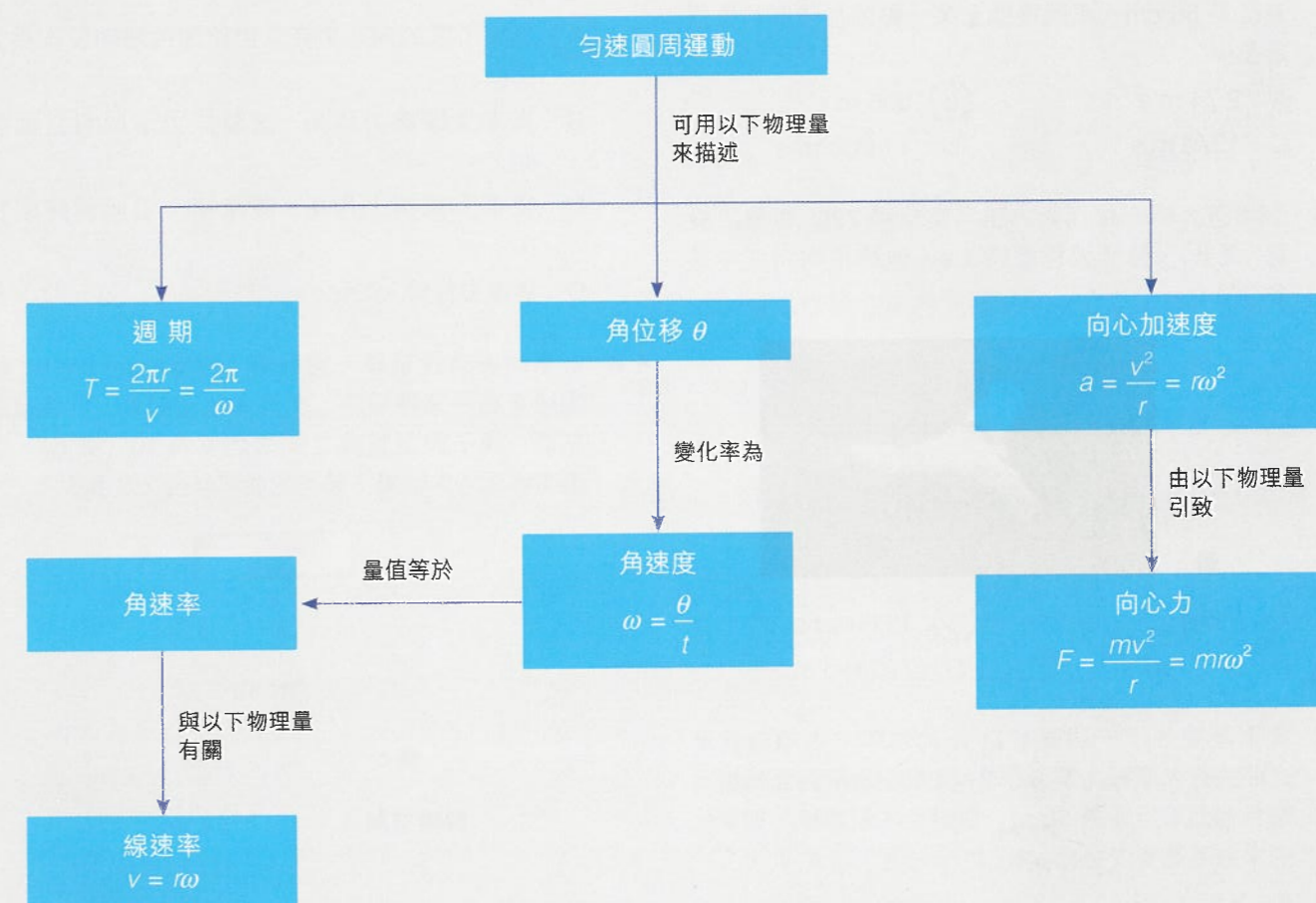
3 當繫在繩子上的物體在水平面上作勻速圓周運動，即錐擺運動，繩子張力的水平分量提供向心力，張力的垂直分量則抵銷物體的重量 (圖 b)。



4 勻速圓周運動的日常例子：

- 汽車在平路或傾斜路面轉彎
- 飛機水平地轉彎
- 遊樂場的「旋轉箱」

概念圖



複習 9

如有需要，取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ 。除特別指明外，空氣阻力可略去不計。

概念重溫

(第 1 至 2 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

- ☆ 香港高級程度會考 2011 年卷二甲部 Q6
- 9.1 1 物體作勻速圓周運動時，加速度不斷改變。 T
- ☆ 香港高級程度會考 2008 年卷二乙部 Q1 (a) (ii)
- 9.2 2 汽車在傾斜路面沿水平的圓形路徑轉彎時，作用於汽車的淨力指向水平方向。 T

多項選擇題

- 9.1 3 一輛汽車正進行測試。技工把汽車架起，令車輪離地。一個車輪穩定地每分鐘轉動 500 次。車輪的直徑是 50 cm。車輪邊緣上某一點的加速度的量值是多少？
 - A 2.74 m s^{-2}
 - B 685 m s^{-2}**
 - C 1370 m s^{-2}
 - D $11\,000 \text{ m s}^{-2}$
- 9.1 4 跆拳道大師一躍而起，在半空旋轉 720° 後使出旋踢(圖 b)，整個過程歷時 1 s。他的平均角速率是多少？



圖 a

- A 2 rad s^{-1}**
- B 12.6 rad s^{-1}**
- C 57.3 rad s^{-1}
- D 720 rad s^{-1}

- 9.2 5 貨車上擺放了一個重量為 W 的木箱。木箱與貨車之間的最大摩擦力是 $0.3W$ 。貨車在水平路面轉彎，彎角的曲率半徑為 50 m。要避免木箱滑移，貨車的速率最高是多少？

- A 3.87 m s^{-1}
- B 12.1 m s^{-1}**
- C 15.0 m s^{-1}
- D 無法確定

9.2 6

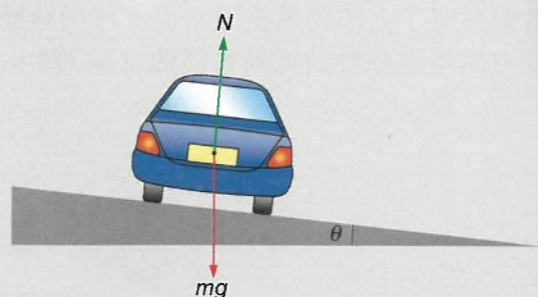


圖 b

質量為 1000 kg 的汽車以 60 km h^{-1} 的恆速率在傾斜路面行駛，沿半徑為 70 m 的水平圓形路徑轉彎(圖 b)。如果汽車所需的向心力完全由路面的法向反作用力 N 提供，那麼 N 是多少？

- A $3.97 \times 10^3 \text{ N}$
- B $9.81 \times 10^3 \text{ N}$
- C $1.06 \times 10^4 \text{ N}$**
- D $1.38 \times 10^4 \text{ N}$

- 9.2 7 質量為 m 的汽車在傾斜路面以恆速率轉彎。過程中，汽車在同一水平面上移動，所需的向心力完全由路面的法向反作用力提供。如果質量為 $2m$ 的貨車以相同速率在同一位置轉彎，下列哪一項敘述是正確的？

- A 貨車所需的向心力完全由路面的法向反作用力提供。**
- B 貨車受摩擦力作用，該摩擦力沿傾斜路面指向上。
- C 貨車受摩擦力作用，該摩擦力沿傾斜路面指向下。
- D 貨車會打滑。

- 9.2 8 汽車的後視鏡掛着一個玩偶。汽車以 50 km h^{-1} 的恆速率在平路轉彎時，從汽車後座觀看，玩偶擺到左面，繩子與垂直線之間的角度為 10° (圖 c)。汽車向哪個方向轉彎？轉角的曲率半徑 r 是多少？

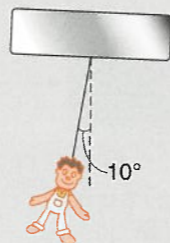


圖 c

	轉彎方向	r / m
A	右	112
B	右	1450
C	左	112
D	左	1450

- 9.2 9 玩具車 X 以不可延伸的繩子連接 O 點，在水平面上移動(圖 d)。繩子的長度是 L 。當 X 以速率 v 圍繞 O 點作勻速圓周運動，繩子的張力是 T 。然後，以玩具車 Y 代替 X。Y 的速率是 $2v$ ，也以不可伸延的繩子連接 O 點，繩子的長度為 $2L$ 。兩輛玩具車的質量相同。Y 圍繞 O 點作勻速圓周運動時，繩子的張力是多少？假設作用於玩具車的摩擦力可略去不計。

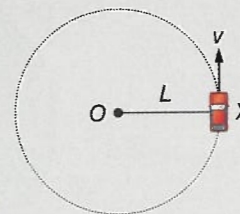


圖 d

- A $\frac{T}{2}$
- B T
- C $2T$**
- D $4T$

- 10 綜合題 如圖 e 所示，物體 X 以不可延伸的繩子連接固定點 O，在水平的光滑桌面上圍繞 O 點作勻速圓周運動。這時，繩子的張力是 T 。然後，物體 X 與靜止的物體 Y 相撞，並黏在一起。物體 X 和 Y 的質量相同。物體相撞後，繩子的張力是多少？

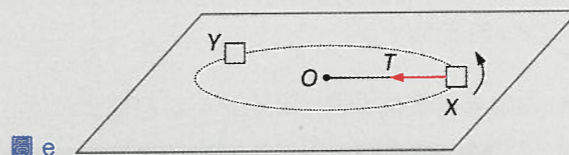


圖 e

- A $\frac{T}{2}$**
- B T
- C $2T$
- D $4T$

▶ 參看 p.261, 337

9.2 11

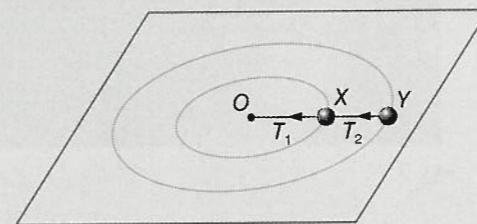


圖 f

兩個完全相同的物體 X 和 Y 如圖 f 所示，以不可延伸的繩子連接 O 點，在水平光滑桌面上移動。它們圍繞 O 點穩定地以同一角速率轉動。繩子 OX 與 XY 的長度相等，張力分別是 T_1 和 T_2 。 $T_1 : T_2$ 是多少？

- A 1 : 2
- B 2 : 3
- C 1 : 1
- D 3 : 2**

▶ 參看預試訓練 2 (p.351)

12 香港高級程度會考 2007 年卷二 Q4

9.2 一架飛機在半徑為 10 km 的水平圓形路徑上以恆定速率飛行。如果傾斜的機翼跟水平成 21.8° 角，求飛機的速率。

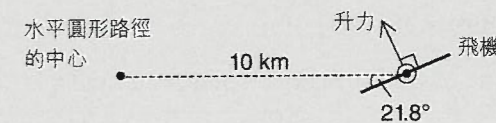


圖 g

- A 280 m s^{-1}
- B 200 m s^{-1} (84%)**
- C 140 m s^{-1}
- D 100 m s^{-1}

13 香港高級程度會考 2011 年卷二 Q6

9.2 綜合題 一粒子繞一固定點作勻速圓周運動。以下有關該粒子的物理量，哪些會保持不變？

- (1) 線動量
- (2) 加速度
- (3) 動能
- A 只有 (1)
- B 只有 (3) (41%)**
- C 只有 (1) 和 (2)
- D 只有 (2) 和 (3)

14 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一甲部 Q15

9.2

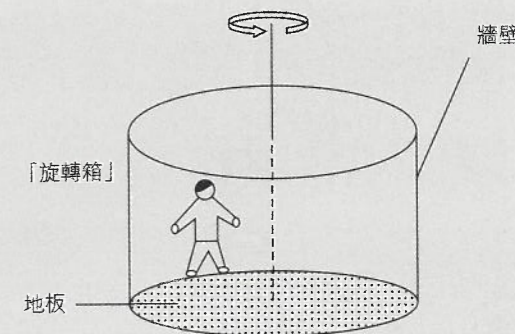


圖 h

一男子在一圓柱形的「旋轉箱」內以恆速率轉動，他與牆壁保持緊貼。「旋轉箱」的地板是光滑的。以下哪個力提供該男子的向心力？

- A 該男子的重量
- B 來自牆壁的摩擦力
- C 來自牆壁的法向反作用力**
- D 來自地板的承托力

問答題

9.2.15 地球沿近乎圓形的路徑穩定地圍繞太陽運行，週期約 365.26 日。地球與太陽的距離是 $1.50 \times 10^{11} \text{ m}$ ，地球的質量是 $5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$ ，太陽的質量是 $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ 。

- (a) 求地球的角速率。 $1.99 \times 10^{-7} \text{ rad s}^{-1}$ (2分)
- (b) 求地球的線速率。 $2.99 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$ (2分)
- (c) 地球要維持圓周運動，所需向心力的量值是多少？ $3.56 \times 10^{22} \text{ N}$ (2分)

9.2.16 遊樂場的摩天輪穩定地以 $5 \times 10^{-3} \text{ rad s}^{-1}$ 的角速率轉動。摩天輪上每個車箱都與摩天輪的中心點相距 10 m。

- (a) 求車箱的週期。 1260 s (2分)
- (b) 求車箱向心加速度的量值。 $2.5 \times 10^{-4} \text{ m s}^{-2}$ (2分)
- (c) 作用於車箱的合力是否恆定不變？試簡單解釋。 不是 (2分)

9.2.17 司機駕車沿直路以速率 v_0 行駛。突然，他發現汽車快將到達 T 字路口，而汽車與前方河流的距離是 r (圖 i)。如果他以最大制動力剎車，汽車剛好可在河岸前停下，並且不會出現滑行，但車頭部分就會凌空。假設剎車時汽車的加速度恆定。

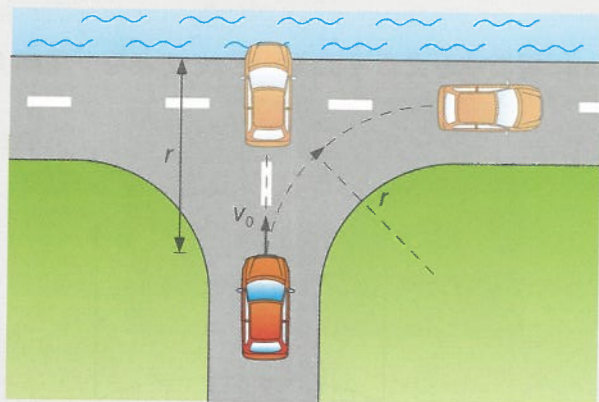


圖 i $\frac{v_0^2}{2r}$ (向後)

- (a) 求剎車時汽車的加速度，答案以 v_0 和 r 表示。 (2分)
- (b) 假設為汽車提供向心力的最大摩擦力相等於剎車時的最大制動力。司機應否以速率 v_0 沿曲率半徑為 r 的路徑轉彎？試簡單解釋。 (3分) 不應

9.1.18 健文、立德和思雅分別站在赤道上、北緯 60° 的位置及北極 (圖 j)。假設地球是一個半徑為 6370 km 的球體，沿穿過南北兩極的軸轉動。地球自轉一圈需要 24 小時。

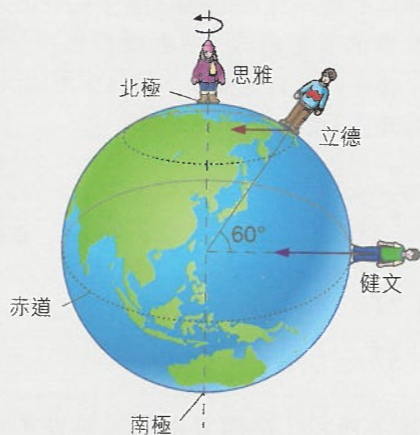


圖 j $7.27 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$ 、 463 m s^{-1} 、 232 m s^{-1} 、0

- (a) 估算每個人的角速率和線速率。 (5分)
- (b) 估算每個人的向心加速度的量值。 (3分) 0.0337 m s^{-2} 、 0.0168 m s^{-2} 、0
- (c) 在圖 j 繪畫箭號，以顯示每個人的向心加速度的方向。 (2分)

9.2.19 過山車如圖 k 所示轉彎。



圖 k

- (a) 在過山車轉彎的地方，路軌是傾斜的。試指出這種設計的一個優點。 (1分)
- (b) 這個彎道是水平的，曲率半徑是 50 m。轉彎時，過山車以 100 km h^{-1} 的恆速率移動。過山車上有一名質量為 65 kg 的乘客。
 - (i) 求該乘客所需向心力的量值。 1000 N (2分)
 - (ii) 求過山車作用於乘客的力的量值。 (2分) 1190 N
- (c) 稍後，過山車以同一速率在另一位置轉彎。在這一次轉彎，乘客所需的向心力增加至 2 倍。這個彎道的曲率半徑是多少？ (2分) 25 m

9.2.20 戰機以 680 m s^{-1} 的恆速率沿水平路線轉彎。機師可承受的最大加速度是 $6g$ 。

- (a) 轉彎路線的最小半徑是多少？ 7860 m (2分)
- (b) 轉彎時，機翼與水平線之間的角度是多少？ 80.5° (2分)
- (c) 轉彎時，座椅作用於機師的法向反作用力是多少？假設機師的質量是 65 kg。 3880 N (2分)

9.2.21 伊斯坦布爾賽車場的第 8 彎道很有名 (圖 l)，一級方程式賽車能夠在 7 s 內以 275 km h^{-1} 的平均速率駛過這條彎道，過程中車手感受到 $5g$ 的平均加速度。



圖 l

- (a) 繪畫跑車在轉彎時的隔離體圖。 (2分)
- (b) 估算彎道的半徑。 119 m (2分)
- (c) 跑車駛過這條彎道時，角位移的量值是多少？ 4.49 rad (3分)
- (d) 車手的頭連頭盔的質量是 6 kg。跑車轉彎時，車手頸部作用於頭的力量值是多少？ (3分) 300 N

9.2.22 三名運動員 A、B 和 C 在兩條圓形跑道上穩定地向逆時針方向跑步 (圖 m)。A 和 B 的位置總是與跑道的圓心 O 成一直線，B 和 C 的線速率相同。

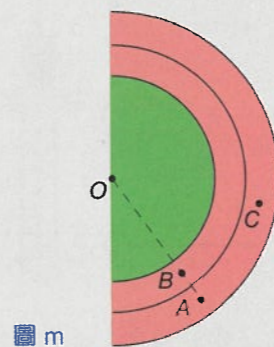


圖 m

- (a) A 和 C 之間的距離會否縮短？試作簡單解釋。 會 (2分)
- (b) 在 A、B 和 C 中，誰的加速度最大？誰的最小？試作簡單解釋。 A 最大、C 最小 (4分)
- (c) 作用於運動員的向心力來自哪裏？ (1分) 摩擦力

9.2.23 繫在繩子上的小球如圖 n 所示作水平勻速圓周運動。繩子與垂直線之間的角度是 θ 。

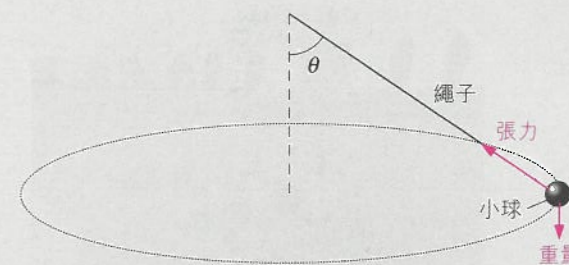


圖 n

- (a) 在圖 n 繪畫出作用於小球的力。 (2分)
- (b) 小球的質量是 700 g，繩子的長度是 50 cm，角 θ 是 60° 。
 - (i) 求繩子的張力。 13.7 N (2分)
 - (ii) 求小球所需的向心力。 11.9 N (2分)
 - (iii) 求小球的角速率。 6.26 rad s^{-1} (2分)
 - (iv) 小球轉動一圈，繩子的張力對小球所作的功是多少？ 零 (1分)
 - (v) 如果小球以較高角速率轉動，繩子的張力和角 θ 會有甚麼改變？ 增大 (3分)

9.2.24 如圖 o 所示，質量為 50 g 的小球在光滑的圓錐體內，穩定地以 1.2 m s^{-1} 沿水平圓形路徑移動。

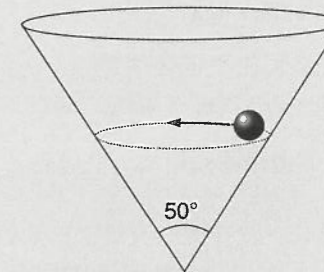


圖 o

- (a) 繪畫小球的隔離體圖。 (2分)
- (b) 找出作用於小球的所有力的量值。 $W = 0.491 \text{ N}$ 、 $N = 1.16 \text{ N}$ (3分)
- (c) 求小球移動路徑的半徑。 6.84 cm (2分)
- (d) 假設小球以較高線速率在圓錐體內沿水平圓形路徑移動，(b) 部和 (c) 部的答案會有甚麼改變？ W 和 N 不變、半徑增大 (3分)
- (e) 如果圓錐體並不光滑，小球的運動會出現甚麼情況？ (1分)

9 勻速圓周運動

EX EX

- ★ 25 某賽車跑道的彎道為半圓形，曲率半徑是 100 m，跑道與水平線之間的角度是 30° (圖 p)。



圖 p

一輛質量為 700 kg 的跑車沿水平路徑駛過彎道。沿跑車移動方向，路面與跑車之間的摩擦力可略去不計。

- (a) 如果作用於跑車的法向反作用力的分量完全提供跑車所需的向心力，跑車的速率是多少？
23.8 m s⁻¹ (2分)
- (b) 假設跑車駛過彎道時的速率是 (a) 部答案的兩倍。
(i) 繪畫跑車的隔離體圖。 10 300 N (2分)
(ii) 求作用於跑車的摩擦力 f 的值。 (3分)
- (c) 如果跑車與路面之間的最大摩擦力是 15 000 N，要避免打滑，跑車駛過彎道的速率最高是多少？ 55.1 m s⁻¹ (2分)
- (d) 如果路面在雨後變得濕滑，(c) 部的答案會有甚麼改變？試簡單解釋。 減少 (2分)
- (e) 寫出彎道路面傾斜的一個優點。 (1分)

- ★★ 26 在乾衣模式，洗衣機的滾筒會以高速轉動。如圖 q 所示，半徑為 17 cm 的滾筒轉動時，一隻襪子「固定」在滾筒的內壁上。滾筒與襪子之間的最大摩擦力是滾筒作用於襪子的法向力的 0.6 倍。

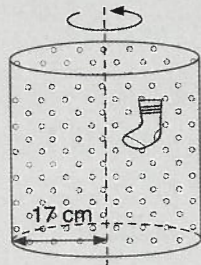


圖 q

- (a) 要避免襪子掉下，滾筒的週期最短是多少？
0.641 s (3分)

- (b) 要把一條質量為襪子兩倍的毛巾固定在滾筒的內壁上，滾筒的週期最短是多少？滾筒與毛巾之間的最大摩擦力也是滾筒作用於毛巾的法向力的 0.6 倍。 0.641 s (1分)
- (c) 滾筒每分鐘轉動 1000 圈。求襪子加速度的量值。 1860 m s⁻² (2分)
- (d) 滾筒上有一些排水孔。滾筒轉動時，水會經排水孔離開。圖 r 顯示滾筒的俯視圖。試在圖中繪畫水從 X 點離開滾筒時的運動方向。(1分)

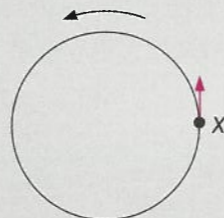


圖 r

參看例題 9 (p.350)

- ★★ 27 德州的「高空尖叫者」是全世界最高的旋轉鞦韆 (圖 s)，高度約為 120 m。



圖 s

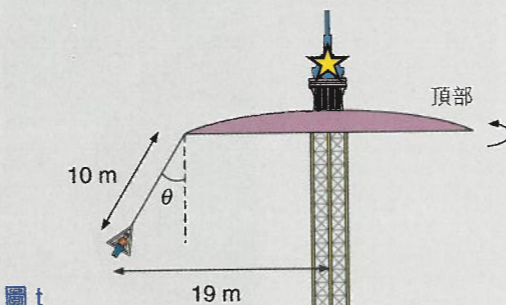


圖 t

座椅以金屬鏈繫於頂部。遊戲開始時，機器會轉動，帶動座椅和乘客作圓周運動。座椅和乘客的質量分別是 10 kg 和 60 kg，金屬鏈的長度是 10 m (圖 t)。當機器以最高速率轉動，乘客會在半徑為 19 m 的水平圓形路徑上以恆速率移動，轉 1 圈需時 7.6 s。

- (a) 分別繪畫座椅和乘客的隔離體圖。 (4分)
- (b) 求金屬鏈與垂直線之間的角度。 52.9° (3分)
- (c) 求金屬鏈的張力。 1140 N (1分)
- (d) 求座椅作用於乘客的法向力。 977 N (2分)
- (e) 一張座椅是空置的。試解釋連繫空椅的金屬鏈與垂直線之間的角度會否較小。 不會 (2分)

參看 p.339

- 28 香港高級程度會考 2003 年卷一 Q1 略去 (c) 部。
綜合題

一質量為 m 的細小方塊，放置在一水平轉盤上距中心點 10 cm 的位置。方塊連接不可伸延的輕繩的一端。繩子跨過裝置在轉盤中心的細小順滑的定滑輪，繼而穿過轉盤中心的孔，繩的另一端連接質量為 $2m$ 的砝碼，如圖 u 所示。方塊和轉盤之間的最大摩擦力為 $0.6mg$ 。(註：轉盤軸承沒有在圖中顯示。)

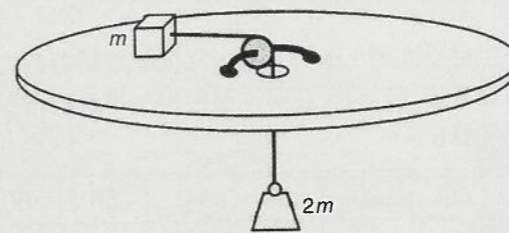


圖 u

- (a) 如果轉盤靜止不動，繪圖顯示所有作用在方塊上的力。計算使方塊維持靜止不動的最小外力，以 m 表達。 1.4mg (4分)
- (b) (i) 如果轉盤以某一角速率繞穿過其中心的豎直軸轉動，試計算轉盤最小和最大的角速率，分別為 ω_{\min} 和 ω_{\max} ，使方塊可保持於原來位置而並無滑移。 11.8 rad s⁻¹、16.1 rad s⁻¹ (4分)
(ii) 轉盤的角速率逐漸從 ω_{\min} 增加至 ω_{\max} 而方塊並無滑移。試說出繩子上的張力有何改變。 不變 (1分)

- 29 香港高級程度會考 2008 年卷一 Q5
綜合題

在圖 v 中，一個玩具置於光滑水平面上。玩具上裝有以電池組驅動的風扇，當風扇啟動後，玩具向右運動並最終達到恆速。

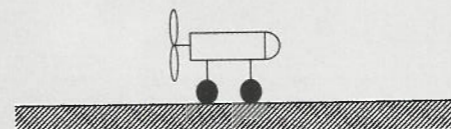


圖 v

- (a) 輔以速率—時間線圖，說明在風扇啟動後玩具的運動。 (4分)
- (b) 現以一條不可伸長而長度為 L 的輕繩，將總質量為 m 的玩具與天花板上的固定點相連。玩具作勻速水平圓周運動，如圖 w 所示，當玩具的速率為 v 時，繩與豎直方向成 θ 角。

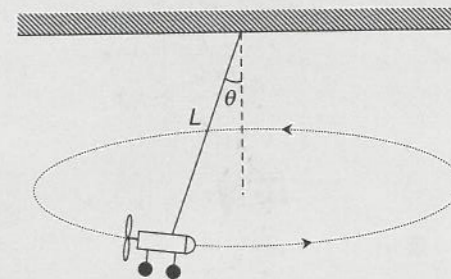


圖 w

- (i) 在圖 w 中繪出並標示所有作用於玩具的力。 (3分)
- (ii) 寫出兩條有關玩具的運動方程，據此證明當 $m = 0.1$ kg、 $L = 0.8$ m 及 $v = 2$ m s⁻¹ 時，角 θ 符合方程 $2 \cos^2 \theta + \cos \theta - 2 = 0$ ，並計算出角 θ 與張力 T 的值。 38.7°、1.28 N (5分)
- (iii) 如果玩具內電池組的輸出電壓略為下降，試就 v 、 θ 及 T 的變化，描述並說明玩具隨後的運動。 (3分)

- 30 香港中學文憑考試 2012 年卷一乙部 Q3
綜合題

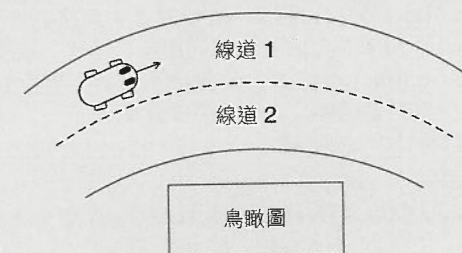


圖 x

圖 x 的鳥瞰圖顯示有兩條圓形線道的水平道路。一輛質量為 1200 kg 的汽車，以恆速率沿半徑為 45 m 的線道 1 行駛。

- (a) (i) 指出甚麼力為這輛汽車提供向心力。如該力的最大值為 8000 N，計算該車可在線道 1 上行駛的最高速率。 摩擦力、17.3 m s⁻¹ (3分)
(ii) 倘若汽車改為沿線道 2 而非線道 1 行駛，為這輛汽車提供向心力的最大值仍為 8000 N，汽車在線道 2 行駛的最高速率會小於、大於還是等於 (a)(i) 所得的值？試解釋。 小於 (2分)
- (b) 如果圖 x 的路面上有油漬，解釋為何滑行的機會增加。 (2分)

31 香港高級程度會考 2012 年卷二乙部 Q1(b)

綜合題

玩具具有內置的電池組提供動力，使其作勻速水平圓周運動而成錐擺。

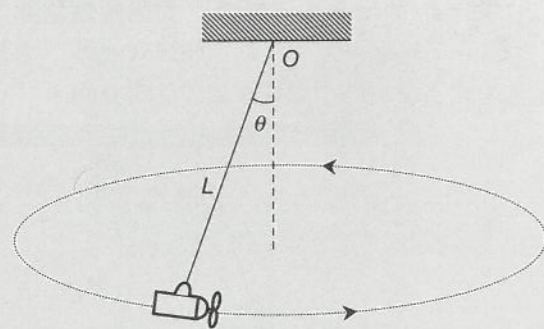


圖 y

- 考慮作用於玩具的各個力，解釋為何它可保持勻速水平圓周運動而不作任何豎直運動。
- 分別討論繩子的張力、由推進器產生的推動力以及空氣造成的阻力對玩具有否作功。據此，解釋在這過程中玩具的機械能怎樣能保持不變。
- 證明玩具的運動週期為 $T = k\sqrt{\cos\theta}$ ，並求常數 k 的表達式。倘玩具以較低的速率進行勻速水平圓周運動，討論週期 T 或有的變化。計算中不需考慮玩具的大小。(8分)

□ Q28 考試報告：表現平平。過半數考生懂得繪畫 (a) 部的自由體圖。在計算最大角速率時，頗多考生不知向心力由張力連同摩擦力組成。有些考生不知在 (b)(ii) 部的張力是保持不變的。考生並不熟悉涉及轉動運動公式的應用和運算。

□ Q29 考試報告：表現令人滿意。在 (a) 部，考生多能繪出圖線，然而大都未能指出空氣阻力隨速率增加，因此加速度逐漸減少。有些考生在 (b)(i) 部的受力圖中既繪出張力，亦同時標示向心力，這說明了他們對向心力的理解不當。頗多考生在 (b)(ii) 的數值計算全對。在 (b)(iii) 部，考生大多能指出 v 、 θ 和 T 怎樣變化，但沒有給出正確解釋。

□ Q30 考試報告：大多數考生能正確回答 (a) 部，不少人在 (a)(ii) 部作出適當選擇，而個別能從確切解說而得到結論， $v^2 \propto r$ 。很多考生在 (b) 誤解當摩擦力減少時向心力保持不變，只有少數考生可以指出摩擦力減少，便不能提供足夠的向心力使車輛繼續在圓形線道上移動。

實驗題

- ★ 32 學生利用以下裝置研究勻速圓周運動 (圖 z)。他將力感應器固定在水平平台上方，平台能夠沿穿過力感應器的垂直軸轉動。一根不可延伸的繩子繞過光滑的滑輪連接力感應器與小車。小車與轉軸的距離是 r 。平台底部的標記通過光閘，由此可量度平台的轉動週期。

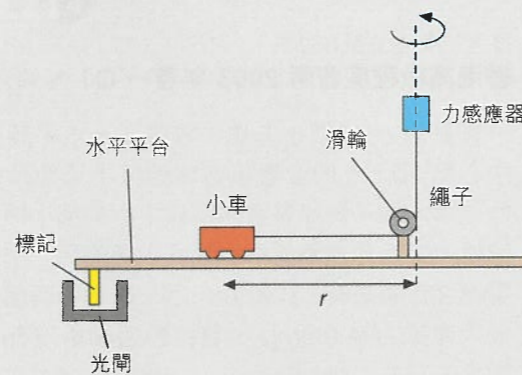


圖 z

學生用不同的 r 進行實驗，然後記錄所得的力感應器讀數 F (表 a)。在每次量度中，平台的轉動週期都是 0.8 s 。

r / cm	20	30	40	50	60
F / N	4.2	7.2	10.4	13.5	16.5

- 連接小車與力感應器的繩子必須是不可延伸的。試解釋原因。(1分)
- 寫出改變 r 值的方法。(1分)
- 選擇適當的 x 軸和 y 軸，以標繪出一幅直線線圖。(3分)
- 估算小車的質量。 0.43 kg (3分)
- 指出實驗的一個誤差來源。(1分)

□ Q31 考試報告：(a) 答得不錯，惟多數考生沒有提及推動力和空氣阻力的關係。有些考生在 (b) 誤以為因推動力與其平衡，故此空氣阻力沒有作功。有些考生則認為因其垂直分量被重力平衡，張力沒有作功，卻沒有提及及其垂直位移為零。雖然考生在 (c) 多能獲得 T 的關係式，其代數運算卻未如人意。此外有些考生不知道 θ 會隨 v 下降而減少。多數考生未能根據所得結果，推導週期隨 θ 變化的改變。

物理文章分析

- ★ 33 閱讀以下有關火車車輪的文章，並回答以下問題。
綜合題

火車車輪

汽車車輪呈圓柱形，但火車的車輪卻並非如此。圖 aa 是火車車輪的示意圖。每個車輪就像一個尖細的紙杯。這種設計有助火車沿路軌轉彎。

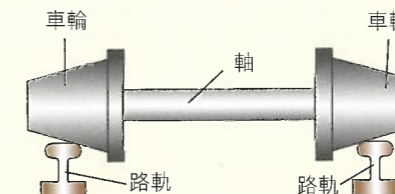


圖 aa 火車車輪的示意圖

當路軌向右彎曲，車輪 P 與路軌的接觸點會向右遷移，在接觸點處橫切面的半徑因而增加 (圖 ab)。同一時間，車輪 Q 與路軌的接觸點也會向右遷移，但橫切面的半徑減少。這兩個相連的車輪會以相同的角速率轉動，換句話說，車輪 P 前進的線速率會高於車輪 Q。因此，火車會沿路軌右轉。與汽車在公路上轉彎不同，火車能轉彎有賴車輪的幾何設計。如果火車依靠凸緣維持在路軌上，凸緣就很容易磨損，減低火車行駛時的穩定性 (圖 ac)。

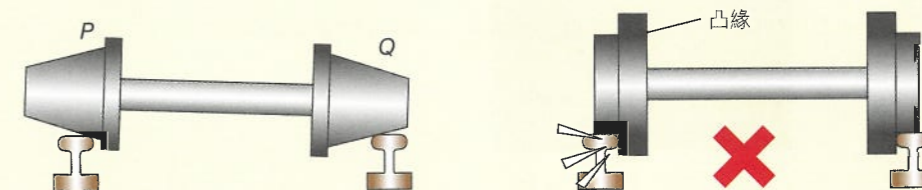
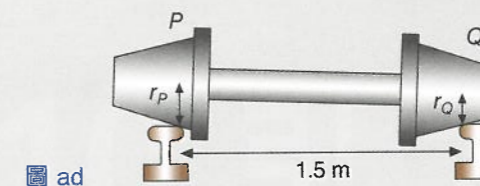


圖 ab 火車右轉時車輪的狀況 (從後觀看)

圖 ac 如果火車依靠凸緣維持在路軌上，凸緣就很容易磨損

假設一列火車正在右轉。在某一刻，車輪 P 和 Q 在與路軌的接觸點處，橫切面的半徑分別是 r_P 和 r_Q ，而 $r_P - r_Q = 5\text{ mm}$ (圖 ad)。兩個車輪都以 100 rad s^{-1} 轉動。兩條軌相距 1.5 m 。



- 求車輪 P 和 Q 的速率差。 0.5 m s^{-1} (3分)
- 由於 r_P 大於 r_Q ，火車並不是水平的。求火車的傾斜角度。 0.191° (2分)
- 假設火車的速率維持 15 m s^{-1} ，彎位的曲率半徑是 100 m 。試估算火車的加速度。 2.25 m s^{-2} (2分)

自我評核 9

🕒 時間：15 分鐘 ✅ 總分：10 分

答題須知

- 1 全部題目均須作答。
- 2 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 3 答案須寫在預留的空位內。
- 4 附錄 (p.411) 附有常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

9.1.1 假設在熱帶氣旋內，空氣圍繞風眼作勻速圓周運動（圖 a）。在距離風眼 2 km 的位置，風速為 180 km h^{-1} 。試估算空氣在該位置的向心加速度。

- A 0.09 m s^{-2}
- B 1.25 m s^{-2}
- C 8.1 m s^{-2}
- D 16.2 m s^{-2}

B

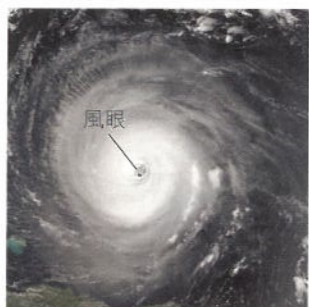


圖 a

9.2.2 錐擺由一根長 2 m 的繩子和一個質量為 0.4 kg 的小球組成。小球沿水平路徑每秒轉動 0.5 圈（圖 b）。小球所需向心力的量值是多少？

- A 0.2 N
- B 6.85 N
- C 7.90 N
- D 9.21 N

B

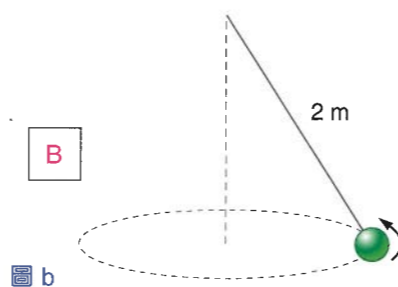


圖 b

乙部

3 男孩坐在氚氚轉的邊緣（圖 c）。氚氚轉的半徑為 1.5 m，並以 2 s 的週期轉動。男孩經過 X 點時，從距離地面 1 m 的高度垂直向上拋起一塊石子。石子到達最高點時，與地面的距離為 3 m。

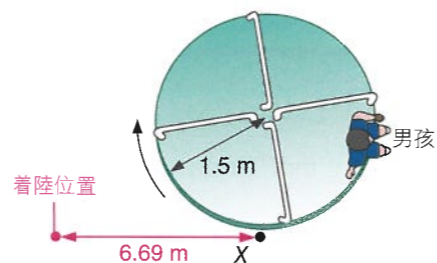


圖 c

(a) 男孩的線速率是多少？ (2 分)

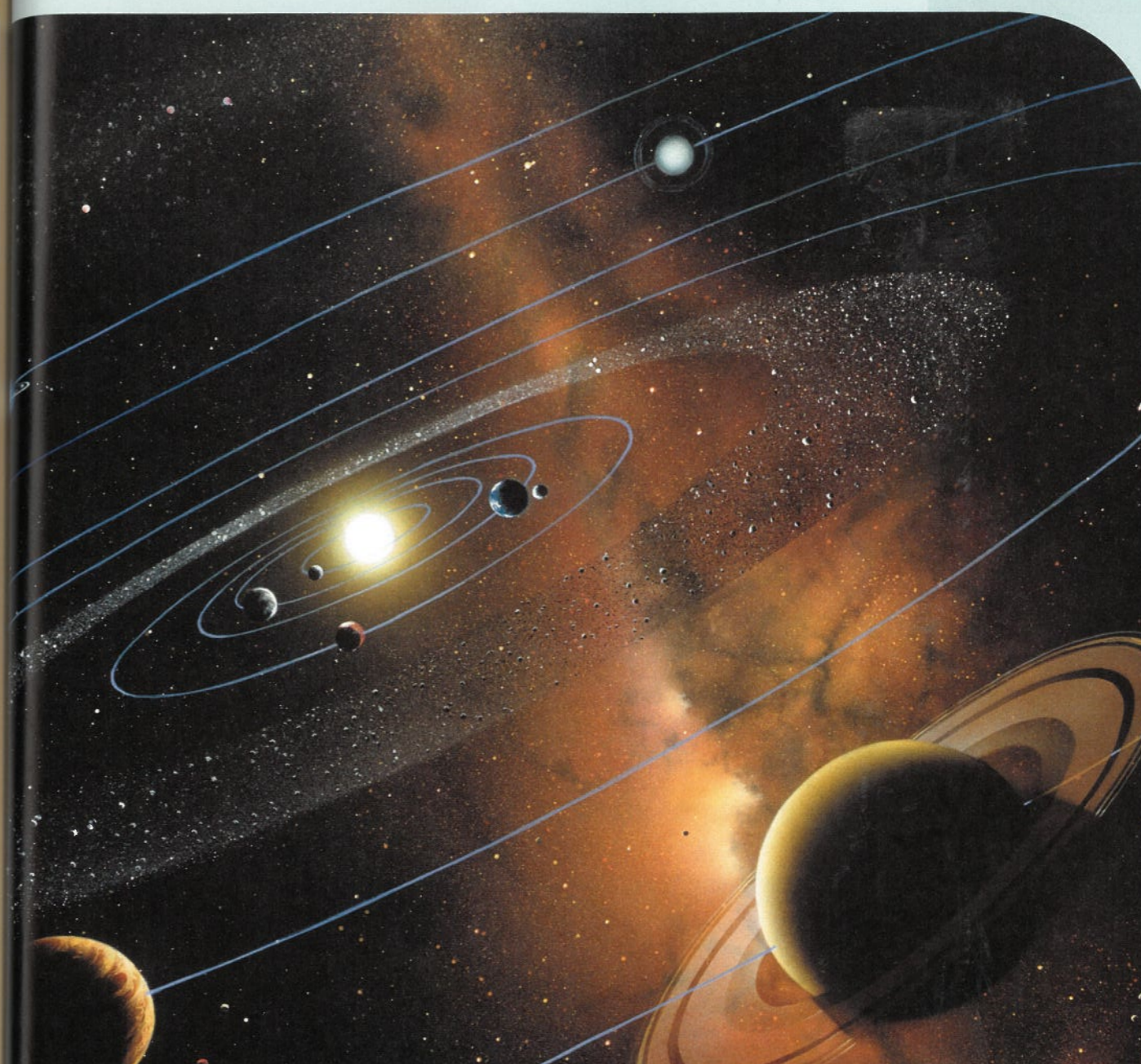
4.71 m s^{-1}

(b) 石子的垂直初速率和飛行時間是多少？ (4 分)

$6.26 \text{ m s}^{-1}, 1.42 \text{ s}$

(c) 在圖 c 繪畫石子的著陸位置，並寫出這位置距離 X 點多遠。 (2 分)

(題解見 p.408)



F-X Ext

10 引力

我們在这一課會學到

- 牛頓萬有引力定律
- 怎樣計算引力場強度
- 天體的圓周軌道運動

10.1

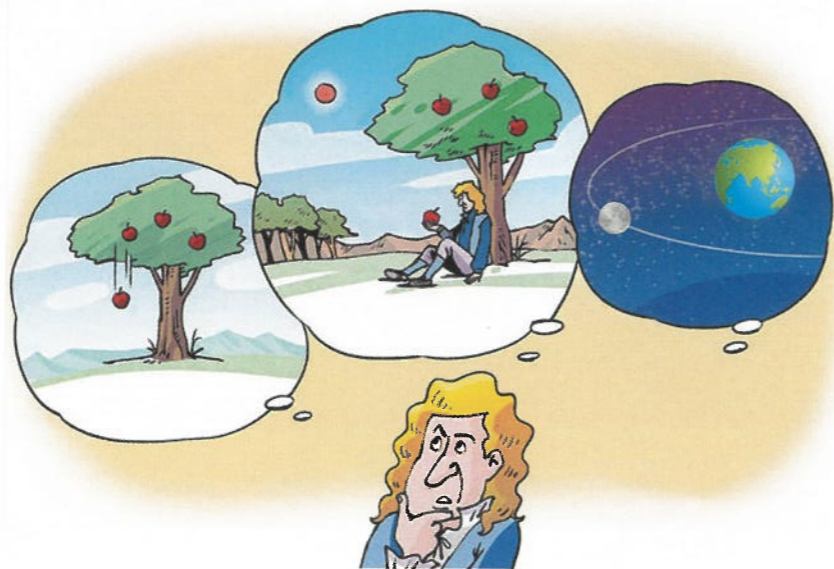
牛頓萬有引力定律

✓ 本節重點

- 1 牛頓萬有引力定律
- 2 質量、重量與重力加速度
- 3 引力場

起點 牛頓與萬有引力

牛頓是第一個提出這理論的人：蘋果從樹上掉下來，月球沿軌道圍繞地球運行，導致這兩個現象的力是同一種力，稱為引力。他甚至推論出引力來自宇宙間所有物體。



參看第 369 頁例題 2。

既然引力來自所有物體，為甚麼我們不會互相「黏」在一起？

歷史點滴

牛頓與萬有引力



據說約於 1666 年，牛頓看見蘋果從樹上掉下，靈機一觸，想出了引力定律的公式，以實驗數據驗證後，卻發現這定律是錯的！1682 年，他得知當年驗證引力定律時，所採用的地球半徑數值不確，改用正確數值後，結果與觀測便完全吻合。他在 1687 年完成《原理》一書，並把這定律收錄在內。

1 牛頓萬有引力定律

根據牛頓的說法，宇宙中每個粒子都與其他粒子互相吸引，這吸力稱為**引力**。在兩個粒子之間，引力沿連接兩者的直線作用，兩者施於對方的引力量值相等但方向相反，構成一對作用力和反作用力（圖 10.1a）。

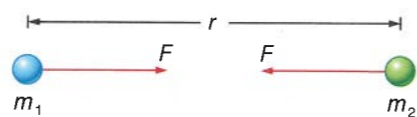


圖 10.1a 兩個粒子之間的引力構成一對作用力和反作用力

兩個粒子施於對方的引力，大小與粒子質量的乘積成正比，又與粒子距離的平方成反比。這就是**牛頓萬有引力定律**。

模擬程式 10.1

→ 模擬程式 10.1 讓學生改變 M 和 m ，並觀察 F 怎樣隨 r 改變。

G 的單位
 $= \frac{(F \times r \times r)}{(m_1 \times m_2)}$ 的單位
 $= \frac{\text{N} \times \text{m} \times \text{m}}{\text{kg} \times \text{kg}}$
 $= \text{N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

草繪 F 對 r 的關係線圖

對於 $F \propto \frac{1}{r^2}$ ，當 r 增加， F 便減少。此外，當 r 愈來愈大， F 便愈來愈接近零（但永遠不會小於零）。

下表可以幫助我們草繪線圖。

r	F
r_0	F_0
$2r_0$	$\frac{F_0}{4}$
$3r_0$	$\frac{F_0}{9}$
$4r_0$	$\frac{F_0}{16}$

以平滑曲線把這些點連起來，就可以得到圖 10.1b 的線圖。

假設兩個粒子的質量分別為 m_1 和 m_2 ，粒子之間的距離為 r （圖 10.1a），兩者都向對方施加引力，引力的量值 F 為

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

其中 G 是**萬有引力常數**，標準值是 $6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ 。

留意兩個粒子的質量都不變時， $F \propto \frac{1}{r^2}$ 。這就是平方反比定律的例子（圖 10.1b）。

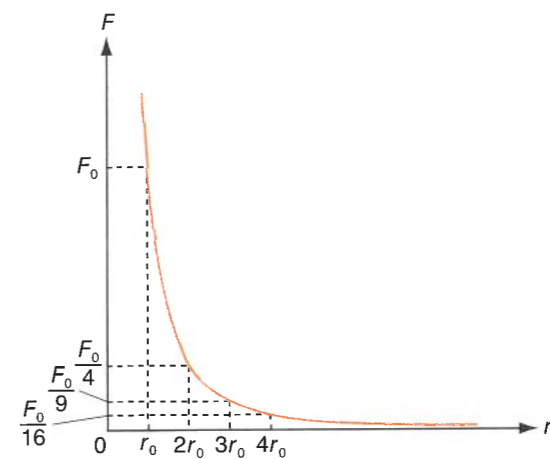


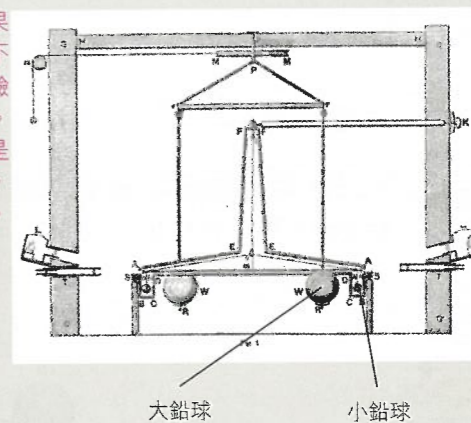
圖 10.1b F 對 r 的線圖顯示平方反比關係

補充資料 G 的值

利用類似下圖所示的裝置做實驗，可以找出 G 的值。實驗的原理是量度兩個大鉛球作用於兩個小鉛球的微小引力，從而計算 G 的大小。

卡文狄什 (1731–1810) 是世上第一個測量出 G 值的人，實驗結果在 1798 年發表，比牛頓的時期遲得多。

卡文狄什把實驗結果以地球的密度表示，而不是 G 的值。他稱這實驗為「量度世界的重量」。根據他的數據， G 是 $6.74 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ ，與現今的標準值相比，誤差只有 1%。



以下影片詳細介紹這個實驗。

<http://www.youtube.com/watch?v=4JGgYjHGE>



例題 1 兩個粒子之間的引力

兩個粒子 X 和 Y 相距 2 m，質量分別是 1.5 kg 和 3.0 kg。

- 求 Y 作用於 X 的引力 F_1 。
- 求 X 作用於 Y 的引力 F_2 。
- 如果出現下列改變， F_1 的值會有甚麼變化？
 - X 的質量增加至原來的兩倍
 - 兩個粒子之間的距離增加至原來的兩倍

題解

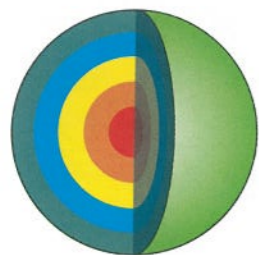
$$\begin{aligned} \text{(a) } F_1 &= \frac{Gm_X m_Y}{r^2} \\ &= \frac{(6.67 \times 10^{-11})(1.5)(3.0)}{2^2} \\ &= 7.50 \times 10^{-11} \text{ N (指向 } Y) \end{aligned}$$

(b) 由於 F_1 和 F_2 形成作用力—反作用力對，
 $F_2 = 7.50 \times 10^{-11} \text{ N (指向 } X)$

- (c) (i) 由於 $F_1 \propto m_X$ ，
 m_X 增加至原來的兩倍
 $\Rightarrow F_1$ 增加至原來的兩倍
- (ii) 由於 $F_1 \propto \frac{1}{r^2}$ ，
 r 增加至原來的兩倍
 $\Rightarrow F_1$ 減少至原來的四分之一

▶ 進度評估 1 Q1 (p.370)

球對稱物體可視為具有多層的球形殼，而每層殼的密度均勻。



均勻球體是球對稱物體的特例。

$$F = \frac{GMm}{r^2}$$

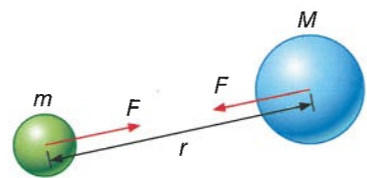


圖 10.1c 兩個球對稱物體之間的引力

地球、月球和太陽可視為球對稱物體。接下來，除特別指明外，所有物體都假設為球對稱。

例題 2 作用於小孩的引力

- 婉珊與嘉華相距 2 m (圖 a)，質量分別是 50 kg 和 70 kg。試估算他們之間引力的量值。
- 婉珊站在地球表面。試找出地球作用於婉珊的引力。
- 太陽的質量比地球大得多，為甚麼婉珊感受不到太陽的引力？

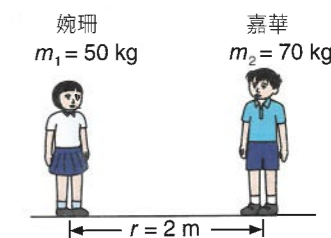


圖 a

已知： $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
 地球的質量 $M_E = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$
 地球的半徑 $R_E = 6370 \text{ km}$

題解

- (a) 估算時，把婉珊和嘉華視為兩個相距 2 m 的粒子。

$$F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2} = \frac{(6.67 \times 10^{-11})(50)(70)}{2^2} = 5.84 \times 10^{-8} \text{ N}$$

- (b) $F = \frac{Gm_1 M_E}{r^2}$
 $= \frac{(6.67 \times 10^{-11})(50)(5.97 \times 10^{24})}{(6.37 \times 10^6)^2}$
 $= 491 \text{ N}$

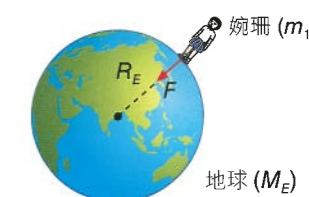


圖 b

地球作用於婉珊的引力是 491 N，
 指向地球中心。

- (c) 與地球相比，太陽雖然質量龐大，但離婉珊極遠。由於相距極遠，太陽作用於婉珊的引力便比地球的小得多。

▶ 進度評估 1 Q2 (p.370)

這道力極細小，難以察覺。在兩個物體之間，最少要有一個物體具龐大質量(例如地球)，引力才會顯著。這解答了起點的問題。

這個其實是婉珊在地球表面的重量。

$$\begin{aligned} W &= mg \\ &= 50 \times 9.81 \\ &= 491 \text{ N} \end{aligned}$$

技巧分析

數量級

在例題 2 中，可以利用各數值的數量級，去檢查 (b) 部的答案。

$$F = \frac{(6.67 \times 10^{-11})(5 \times 10^1)(5.97 \times 10^{24})}{(6.37 \times 10^6)^2} \sim 10^{-11+1+24-(6 \times 2)} = 10^2 \text{ N}$$

另外，在 (c) 部，太陽質量 $\sim 10^{30} \text{ kg}$ ，太陽與地球的距離 $\sim 10^{11} \text{ m}$ 。

$$\text{根據 } F = \frac{Gm_1 M_S}{r^2}$$

$$\text{太陽施於婉珊的引力} \sim \frac{10^{-11} \times 10^1 \times 10^{30}}{(10^{11})^2} = 10^{-11+1+30-(11 \times 2)} = 10^{-2} \text{ N}$$

這結果與 (c) 部的答案相呼應。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

進度評估 1 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.366)。

取 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ 。

1 兩個粒子相距 r 時，它們之間的引力為 F 。兩者相距 $\frac{r}{2}$ 時，引力是多少？

- A $\frac{F}{4}$
- B $\frac{F}{2}$
- C $2F$
- D $4F$

1 2 求太陽作用於地球的引力。已知太陽與地球之間的距離是 $1.50 \times 10^{11} \text{ m}$ ，太陽的質量是 $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ ，地球的質量是 $5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$ 。

[提示： $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} = ?$] $3.52 \times 10^{22} \text{ N}$

1 3 是非題：一個粒子施於地球的引力，小於地球施於該粒子的引力。 (對/錯)

模擬程式 10.2

→ 模擬程式 10.2 顯示太空人在不同行星跳起時，他的運動有甚麼分別。

2 質量、重量與重力加速度

考慮在地球上自由下落的物體。物體自身的重量使它加速，這個加速度稱為重力加速度 g (圖 10.1d(i))。

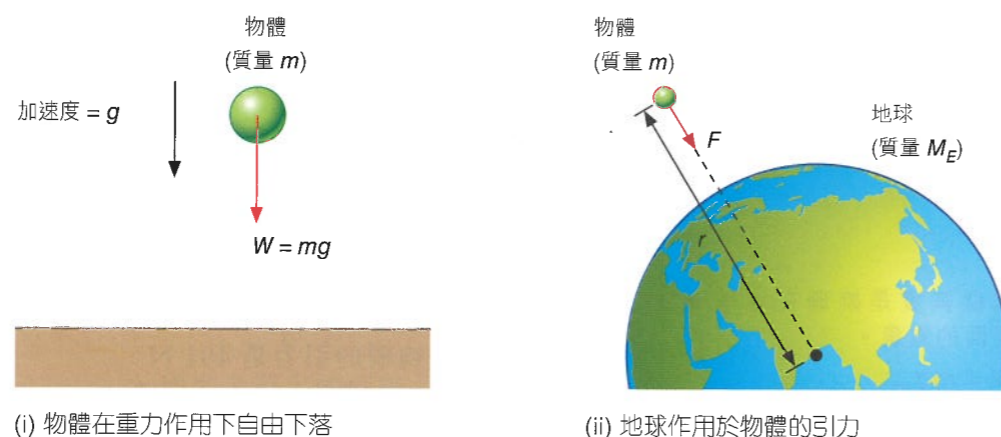


圖 10.1d 物體的重量就是地球作用於物體的引力 ($W = F$)

根據牛頓第二定律，

$$W = mg$$

另一方面，根據牛頓萬有引力定律，地球作用於物體的引力 (圖 10.1d(ii)) 為

$$F = \frac{GM_E m}{r^2}$$

由於物體的重量是地球作用於物體的引力，即 $W = F$ ，由此可得

$$mg = \frac{GM_E m}{r^2}$$

$$g = \frac{GM_E}{r^2} \dots\dots\dots (*)$$

珠穆朗瑪峰的頂部是地球上最高的地方 (8800 m 高)，在那處， g 的值是 9.79 m s^{-2} ，只比 g_0 小 0.2%。

在地球表面的重力加速度 g_0 是：

$$g_0 = \frac{GM_E}{R_E^2} = \frac{(6.67 \times 10^{-11})(5.97 \times 10^{24})}{(6.37 \times 10^6)^2} = 9.81 \text{ m s}^{-2}$$

其中 M_E 和 R_E 分別是地球的質量和半徑。以上計算所得的值，與單元 2.3 (p.72) 介紹的重力加速度相同。

然而， g 的值取決於 r 的大小，那麼為甚麼前面的單元總是取 g 的值為 9.81 m s^{-2} 呢？原因是在以往所討論的情況中，物體的高度與地球的半徑相比總是非常小。不過，在這一課的討論中，所涉及的距離會大得多，因此不能再取 g 的值為常數。

根據方程 (*), 與地球中心相距 r 的位置，重力加速度 g 可用 g_0 表示：

$$g = \frac{GM_E}{r^2} = \frac{GM_E}{R_E^2} \times \frac{R_E^2}{r^2} = g_0 \frac{R_E^2}{r^2}$$

在該位置的物體，重量 W 可由 $W = mg$ 求得。

- 物體在地球上的重量是地球作用於物體的引力。
- 這引力令自由落體以重力加速度 g 加速。

$$g = \frac{GM_E}{r^2} = g_0 \frac{R_E^2}{r^2}$$

其中 $g_0 = \frac{GM_E}{R_E^2} = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ (在地球表面)

潮汐的漲退幅度每天變化。在新月或滿月，太陽、地球和月球連成一直線，這時的潮差最大，稱為朔望潮/大潮。當月球在上弦或下弦，潮差最小，稱為弦潮/小潮。

生活中的物理 潮汐

牛頓也利用萬有引力定律解釋了為甚麼每天會有兩次潮漲 (圖 a)。潮汐的形成主要是由於月球作用於地球兩側的引力有差異。如圖 b 所示，月球作用於 X 點的引力比作用於 Y 點的引力大，造成兩個位置的加速度有所不同，海洋因而拉長了。地球也會向月球加速。地球和月球的共同質心位於地球之內，地球就是環繞着這一點轉動。

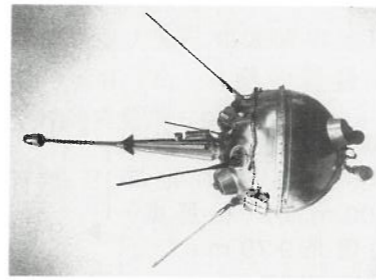


雖然太陽作用於地球的引力是月球作用於地球的 180 倍，但對地球兩側造成的引力差異，月球卻是太陽的兩倍。我們可以利用以下數字證明這個說法。

太陽的質量 = $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ ，月球的質量 = $7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$ ，太陽與地球的距離 = $1.50 \times 10^{11} \text{ m}$ ，月球與地球的距離 = $3.84 \times 10^8 \text{ m}$ ，地球的半徑 = 6370 km


例題 3 在不同位置的重量

月球二號是首個在月球表面著陸的探測器(圖 a)，質量為 390 kg。地球的質量 M_E 和半徑 R_E 分別是 5.97×10^{24} kg 和 6370 km。



(a) 找出在下列情況中，月球二號的重量。

- 月球二號在地球表面
- 月球二號在距離地球表面 $2R_E$ 的位置

(b) 月球的質量 M_M 和半徑 R_M 分別是 7.35×10^{22} kg 和 1740 km。 

- 求月球表面的重力加速度。
- 求月球二號在月球表面的重量。

題解

(a) (i) 重量 = $mg_0 = 390 \times 9.81 = 3830$ N

(ii) 重量 = 作用於月球二號的引力

$$\begin{aligned} &= \frac{GM_E m}{r^2} \\ &= \frac{(6.67 \times 10^{-11})(5.97 \times 10^{24})(390)}{(3 \times 6.37 \times 10^6)^2} \\ &= 425 \text{ N} \end{aligned}$$

另解：

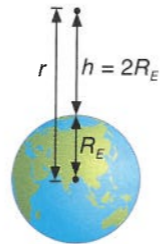
$$\text{重量} = mg = mg_0 \frac{R_E^2}{r^2} = mg_0 \frac{R_E^2}{(3R_E)^2} = 390 \times 9.81 \times \frac{1}{9} = 425 \text{ N}$$

(b) (i) 月球表面的重力加速度

$$= \frac{GM_M}{R_M^2} = \frac{(6.67 \times 10^{-11})(7.35 \times 10^{22})}{(1.74 \times 10^6)^2} = 1.619 \text{ m s}^{-2} \approx 1.62 \text{ m s}^{-2}$$

(ii) 重量 = $mg = 390 \times 1.619 = 631$ N

留意 r 是兩個物體中心的距離，而不是物體表面的距離。一般來說， $r = R_E + h$ ，其中 h 是物體距離地球表面的高度。因此，在這情況中， $r = R_E + 2R_E = 3R_E$ 。



▶ 進度評估 2 Q1, 2 (p.372)

進度評估 2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.366)。

取 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ 。

2.1 嫦娥二號圍繞月球運行，它的質量是 2500 kg。它在距離月球表面 50 km 的高度時，由月球造成的重量是多少？ **3830 N**

已知：月球的質量 = 7.35×10^{22} kg

月球的半徑 = 1.74×10^6 m

[提示： $W = \frac{GMm}{r^2} = ?$]

2.2 岩石在月球表面的重量是 35.2 N，是在地球表面時的六分之一。月球的半徑是 R_M 。完成下表，找出該岩石在不同位置的質量 m 和重量 W 。

	m	W
在地球表面	21.5 kg	211 N
在月球表面	21.5 kg	35.2 N
在距離月球表面 R_M 的高度	21.5 kg	8.8 N

3 引力場

投籃時手會對籃球施力，但籃球一離開手，這道力便立即消失。相反，籃球即使在半空中，沒有接觸地面，仍會受地球的引力作用(圖 10.1e)。你知道個中原因嗎？

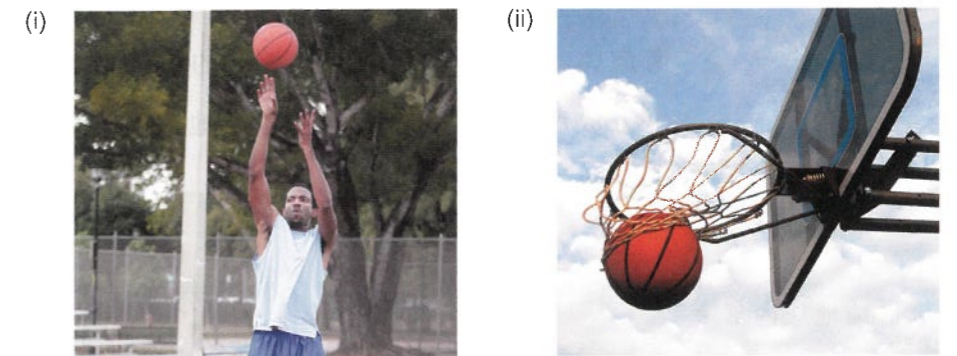


圖 10.1e (i) 手作用於籃球的力，在籃球離開手後立即消失 (ii) 地球無須接觸籃球，就能對籃球施加引力

場的概念有助於了解其他非接觸力。第 4 冊討論電力和磁力時，會再運用場的概念。

重力加速度和引力場強度都以符號 g 代表。第 375 頁會詳細討論 g 這兩個意義。

▶ 要了解引力這種非接觸力，可以運用場的概念。一個物體的質量為 M ，它會在周圍建立**引力場**，在引力場內的其他物體會受引力 F 作用。

F 的大小取決於引力場的強弱。假設引力場內有一個細小的檢驗質量 m_0 ，在它的位置，**引力場強度** g 定義為(圖 10.1f)：

$$\begin{aligned} \text{引力場強度} &= \frac{\text{引力}}{\text{質量}} \\ g &= \frac{F}{m_0} \end{aligned}$$

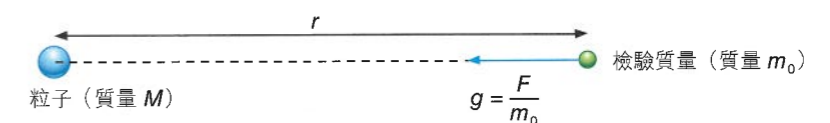


圖 10.1f 引力場強度的定義

引力場強度是矢量，方向與檢驗質量所受引力的方向相同，單位是 N kg^{-1} 。

因為作用於檢驗質量的引力是 $F = \frac{GMm_0}{r^2}$ ，所以引力場強度為

$$g = \frac{F}{m_0} = \frac{GMm_0}{r^2} \times \frac{1}{m_0} = \frac{GM}{r^2}$$

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

生活中的物理

各行星表面的引力

下表列出太陽系中各行星表面的引力場強度。

行星	$g / \text{N kg}^{-1}$
水星	3.70
金星	8.87
地球	9.81
火星	3.71
木星	24.8
土星	10.4
天王星	8.87
海王星	11.2

前述方程可應用於粒子，也可應用於球對稱物體（例如地球）。

質量為 m 的粒子處於引力場中任何位置，所受的引力 F 都可用以下方程求得：

$$F = mg$$

其中 g 是該點的引力場強度。

考慮與物體相距 r 的一點，該處的引力場強度 g 與引力一樣，都跟 r 的平方成反比，即 $g \propto \frac{1}{r^2}$ 。若考慮地球建立的引力場， g 對 r 的關係線圖就如圖 10.1g 所示。

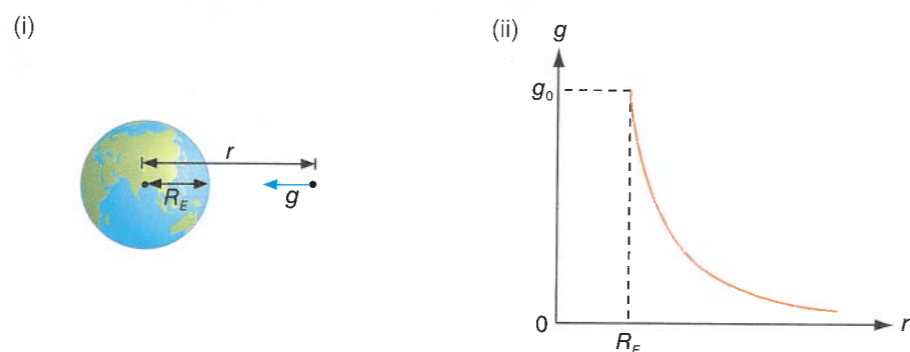


圖 10.1g (i) 與地球中心相距 r 時的引力場強度 g (ii) g 對 r 的關係線圖

本書不會討論地球內部的引力場強度。

引力是非接觸力。科學家曾把引力當作是兩個物體之間直接相互作用，即超距作用。這種想法可表示為：

質量 \leftrightarrow 質量

根據這理論，當一個物體移動，它產生的影響會立即傳遞至另一物體，這違反了狹義相對論。狹義相對論指出任何訊息的傳遞速率都不可以高於光速。

因此，科學家改為用場的概念來描述引力。根據場的概念，物體會改變周圍空間的特性，建立引力場。該引力場會影響其他物體，對它們施加引力。因此，場在過程中扮演了中間角色，即：

質量 \leftrightarrow 場 \leftrightarrow 質量

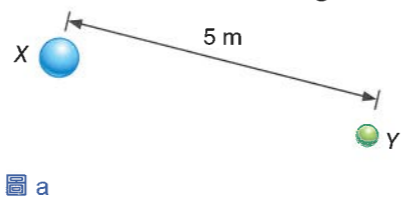
不要弄錯 X 和 Y 的質量。

另解：

$$\begin{aligned} F &= m_Y g_X \\ &= 1 \times 5.34 \times 10^{-11} \\ &= 5.34 \times 10^{-11} \text{ N} \end{aligned}$$

例題 4 引力場強度

物體 X 的質量是 20 kg，物體 Y 的質量是 1 kg，兩者相距 5 m (圖 a)。



- 在 Y 的位置， X 產生的引力場強度 g_X 是多少？
- 在 X 的位置， Y 產生的引力場強度 g_Y 是多少？
- 兩個物體之間的引力，量值是多少？

已知： $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

題解

$$(a) g_X = \frac{Gm_X}{r^2} = \frac{(6.67 \times 10^{-11})(20)}{5^2} = 5.34 \times 10^{-11} \text{ N kg}^{-1} \text{ (指向 } X)$$

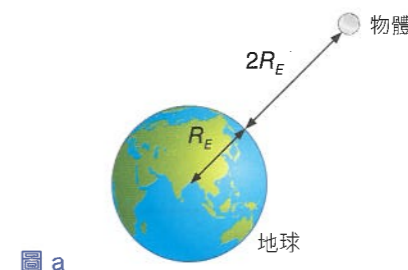
$$(b) g_Y = \frac{Gm_Y}{r^2} = \frac{(6.67 \times 10^{-11})(1)}{5^2} = 2.67 \times 10^{-12} \text{ N kg}^{-1} \text{ (指向 } Y)$$

$$(c) \text{ 引力} = m_X g_Y = 20 \times 2.67 \times 10^{-12} = 5.34 \times 10^{-11} \text{ N}$$

▶ 進度評估 3 Q1 (p.376)

例題 5 地球上空的引力場強度

地球的半徑為 R_E ，表面的引力場強度為 9.81 N kg^{-1} 。一個質量為 4 kg 的物體與地球表面的距離為 $2R_E$ (圖 a)。



- 在物體的位置，地球產生的引力場強度量值是多少？
- 地球施於物體的引力，量值是多少？

題解

$$(a) g = \frac{GM}{r^2} \propto \frac{1}{r^2}$$

$$\therefore \frac{g}{g_0} = \frac{\frac{1}{r^2}}{\frac{1}{r_0^2}} = \frac{r_0^2}{r^2}$$

$$\text{引力場強度 } g = \frac{r_0^2}{r^2} \times g_0$$

$$= \frac{R_E^2}{(3R_E)^2} \times 9.81$$

$$= 1.09 \text{ N kg}^{-1}$$

$$(b) \text{ 引力} = mg = 4 \times 1.09 = 4.36 \text{ N}$$

▶ 習題與思考 10.1 Q5 (p.376)

4 引力場強度與重力加速度

重力加速度 (p.370) 與引力場強度 (p.373) 的表達式相同 $\left(g = \frac{GM}{r^2}\right)$ ，

因此，符號 g 有兩個關係非常密切的意義：

- 物體在重力作用下自由下落時，於某一點的加速度；
- 在該點的引力場強度。

引力場強度 g_g 與重力加速度 g_i 相等，全因引力質量 m_g 與慣性質量 m_i 相等。

$$F = m_g g_g = m_i g_i$$

$$\Rightarrow g_g = \frac{m_i}{m_g} g_i$$

留意 N kg^{-1} 和 m s^{-2} 這兩個單位是相等的，因為：
 $\text{N kg}^{-1} = (\text{kg m s}^{-2}) \text{ kg}^{-1} = \text{m s}^{-2}$

▶ 舉例來說，在接近地球表面的一點， g 可以是 9.81 m s^{-2} ，表示自由下落的物體經過該點時的加速度為 9.81 m s^{-2} 。此外， g 也可以是 9.81 N kg^{-1} ，表示質量為 1 kg 的物體會在該點受到 9.81 N 的引力作用。

進度評估 3

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.366)。

3.1 中子星很細小，質量卻很大。某中子星的半徑為 12 km，質量是太陽的 3 倍。求該中子星表面的引力場強度。太陽的質量是 $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ 。
 $2.77 \times 10^{12} \text{ N kg}^{-1}$

3.2 月球的半徑是 $1.74 \times 10^6 \text{ m}$ ，月球表面的引力場強度是地球表面的 $\frac{1}{6}$ 。試根據以上資料，估算月球的質量。
 $7.42 \times 10^{22} \text{ kg}$

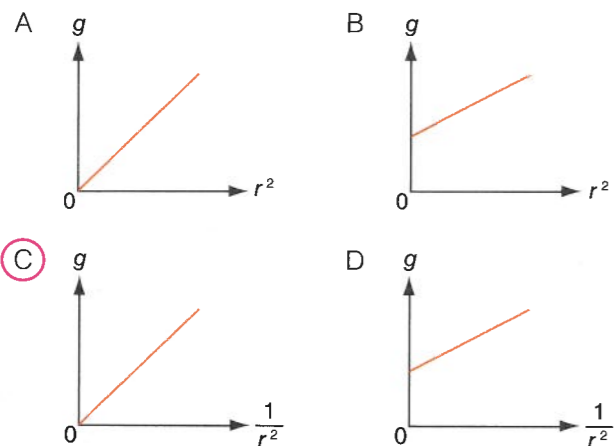
習題與思考 10.1

取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ (接近地球)，
 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ 。

- 2.1 下列哪一項有關重力加速度 g 和萬有引力常數 G 的敘述是正確的？
A 不同位置的 g 值相同。
B 不同位置的 G 值相同。
C g 和 G 的單位相同。
D g 和 G 都是矢量。

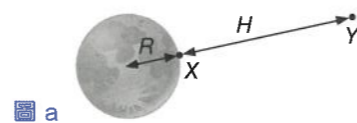
- 3.2 物體 X 和 Y 相距 r 。X 的質量是 m_1 ，Y 的質量是 m_2 。在 X 的位置，Y 產生的引力場強度是多少？
A $\frac{Gm_1}{r^2}$
B $\frac{Gm_2}{r^2}$
C $\frac{Gm_1m_2}{r^2}$
D $\frac{Gm_1m_2}{r}$

- 3.3 在距離某行星表面 r 的位置，引力場強度為 g 。下列哪一幅圖正確顯示 g 與 r 的關係？



- 1.4 下列哪項有關引力的敘述是正確的？
(1) 引力只存在於球對稱物體之間。
(2) 引力總是令物體互相吸引。
(3) 引力的量值與物體的距離成反比。
A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

- 3.5 月球的半徑是 R 。X 點位於月球表面，Y 點則在 X 點上方距離 H 的位置 (圖 a)。X 點的引力場強度是 Y 點的 4 倍，求 H 。



- A R
B $2R$
C $3R$
D $4R$

- 3.6 下列哪項有關行星引力場強度的敘述是正確的？

- (1) 引力場強度總是指向行星的中心。
(2) 在距離行星表面 r 的位置，引力場強度與 r 的平方成反比。
(3) 如果行星的引力場內有一個物體，這物體的質量愈大，行星在這位置的引力場強度量值便愈大。
A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- 2.7 月球表面的重力加速度是地球表面的 $\frac{1}{6}$ ，月球的質量則約為地球的 $\frac{1}{81}$ ，於是月球半徑與地球半徑的比約為

- A 1:4
B 1:14
C 1:18
D 1:22

- 2.8 保加拿從離地 39 km 的高度作高空跳傘。他剛跳下時，加速度是多少？已知地球表面的重力加速度是 9.81 m s^{-2} ，地球的半徑是 6370 km。

- A 9.69 m s^{-2}
B 9.75 m s^{-2}
C 9.81 m s^{-2}
D 9.93 m s^{-2}

- 1.9 SOHO (圖 b) 是一艘用來研究太陽的太空船。它與太陽中心相距 $1.48 \times 10^8 \text{ km}$ 時，太陽作用於它的引力是 11.2 N。太陽的質量是 $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ 。試估算 SOHO 的質量。
 1850 kg



圖 b

- 1.10 兩個完全相同的保齡球放在一起，互相緊貼。每個保齡球的質量是 7 kg，直徑是 21.8 cm。
(a) 估算兩個保齡球施於對方引力的量值。計算時，你作出了甚麼假設？
 $6.88 \times 10^{-9} \text{ N}$
(b) 找出地球作用於任何一個保齡球的引力。
 68.7 N
(c) 找出任何一個保齡球作用於地球的引力。
 68.7 N

- 3.11 太陽的質量是 $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ ，距離地球 $1.50 \times 10^{11} \text{ m}$ 。地球的質量是 $5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$ 。
(a) 在地球所處位置，太陽產生的引力場強度是多少？
 $5.90 \times 10^{-3} \text{ N kg}^{-1}$
(b) 試比較 (a) 部的答案與地球在地球表面產生的引力場強度。

- 2.12 前面的單元總是取 g 的值為 9.81 m s^{-2} 。解釋為甚麼在涉及天體的問題中，不應用這個數值。
1.13 兩個物體之間的距離為 r 。圖 c 顯示物體之間的引力 F 怎樣隨 r 變化。若一個物體的質量減半， F 隨 r 變化的關係線圖會有甚麼不同？試在圖 c 草繪新的線圖。

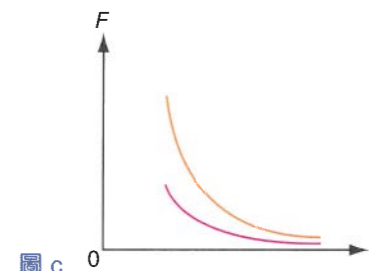


圖 c

- 1.14 航行者一號 (圖 d) 的主要目的是研究外太陽系。它在地球表面的重量是 7080 N。地球的半徑是 6370 km。假設其他天體作用於航行者一號的引力可以略去。

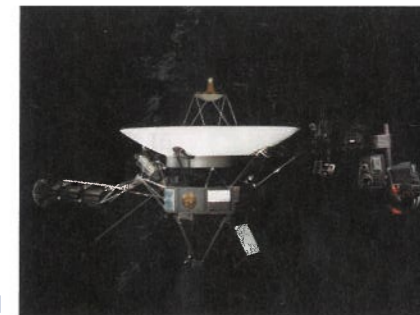


圖 d

- (a) 它在哪個位置的重量等於 3540 N？
離地球中心 9010 km
(b) 它在哪個位置時，所受的地球引力是零？
無限遠
(c) 草繪線圖，以顯示它的重量怎樣隨它與地球表面的距離而改變。

- 3.15 新視野號 (圖 e) 在 2006 年發射升空，預計會在 2015 年經過冥王星。冥王星的半徑是 1150 km，表面的引力場強度是 0.658 N kg^{-1} 。當新視野號與冥王星的中心相距 10 000 km，它所在位置的引力場強度是多少？假設其他天體的引力場可略去。
 $8.70 \times 10^{-3} \text{ N kg}^{-1}$



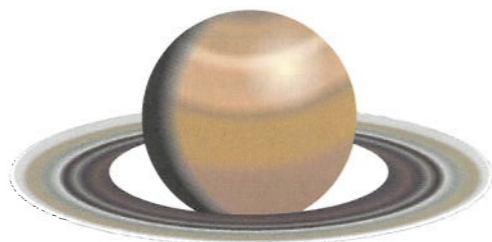
圖 e

10.2

引力作用下的圓周運動

起點 錯在哪裏？

伯強畫了一個有環的行星，克明看了一眼，便告訴伯強世上不可能有這樣的行星。這幅畫有甚麼地方畫錯了？ 參看第 380 頁。



✓ 本節重點

1 引力作用下的圓周運動

第 9 課說明，要令物體維持勻速圓周運動，便要施加向心力。在太空中，兩個物體之間的引力可提供所需的向心力。很多在引力作用下的運動都可視作勻速圓周運動。圖 10.2a 顯示兩個例子。

事實上，它們的軌道是橢圓形的，不過即使當作圓形，誤差也非常小。



(i) 國際太空站圍繞地球運行



(ii) 地球圍繞太陽運行

圖 10.2a 引力作用下的圓周運動

假設它們都是球對稱物體。假設物體 X 以恆速率 v 圍繞物體 Y 轉動，X 的質量為 m ，Y 的質量為 M ，比 m 大得多。X 的軌道是圓形的，半徑為 r (圖 10.2b)。

$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$$

由此可得，

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad \text{及} \quad \omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$$

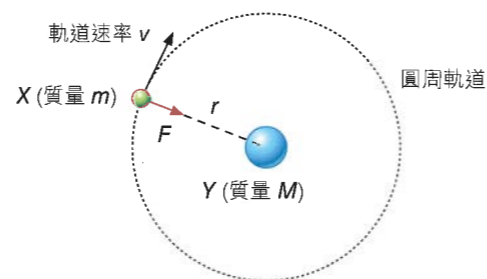


圖 10.2b 引力提供所需的向心力

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

草繪 v 對 r 的關係線圖

$v \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$ 的 $v-r$ 線圖與 $F \propto \frac{1}{r^2}$ 的 $F-r$ 線圖相似，但 $v-r$ 線圖的斜率減少得較慢。

下表可以幫助我們草繪線圖。

r	v
R_E	v_0
$4R_E$	$\frac{v_0}{2}$
$9R_E$	$\frac{v_0}{3}$
$16R_E$	$\frac{v_0}{4}$

以平滑曲線連起這些點，就可以得到圖 10.2c 的線圖。

例題 6 天宮一號的軌道速率

天宮一號是中國首個太空實驗室。它在距離地球表面約 360 km 的高度，以圓周軌道圍繞地球運行。地球的質量和半徑分別是 5.97×10^{24} kg 和 6370 km。

- 估算天宮一號的軌道速率。
- 估算天宮一號的軌道週期。

題解

(a) 根據 $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$,

$$\text{軌道速率} = \sqrt{\frac{GM_E}{r}} = \sqrt{\frac{(6.67 \times 10^{-11})(5.97 \times 10^{24})}{6.37 \times 10^6 + 3.60 \times 10^5}} = 7690 \text{ m s}^{-1}$$

(b) 軌道週期 = $\frac{2\pi r}{v}$

$$= \frac{2\pi(6.37 \times 10^6 + 3.60 \times 10^5)}{7690}$$

$$= 5500 \text{ s}$$

$$\approx 91.6 \text{ min}$$

進度評估 4 Q1 (p.384)

以下各項以圍繞地球作圓周運動的物體為例，說明引力作用下的圓周運動有哪些特點：

- 物體在軌道運行的速率取決於地球的質量，與自身的質量無關。在同一軌道運行的所有物體，無論質量是多少，它們的速率都相同。
- 物體距離地球愈遠，速率愈低 (圖 10.2c)，圍繞地球一周所需的時間便愈長。

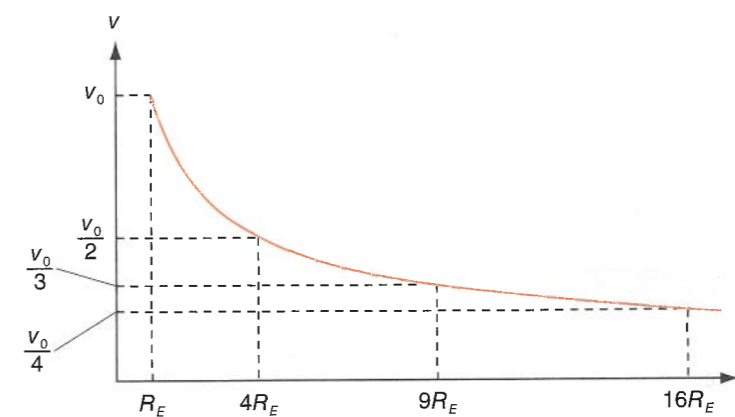


圖 10.2c 線圖顯示軌道速率 v 怎樣隨物體與地球中心的距離 r 而改變

行星的環由數目繁多的細小物體集合而成，每個物體都圍繞行星運行。起點的圖畫中，環的中心並非位於行星中心，這是不可能的。

在 (ii) 的圖中，引力 F 會把物體吸向地球中心，令它偏離圖中的軌道。

- 3 軌道的中心必定是地球的中心，因為作用於物體的淨力必定指向地球的中心。圖 10.2d 顯示一些可能及不可能出現的軌道。

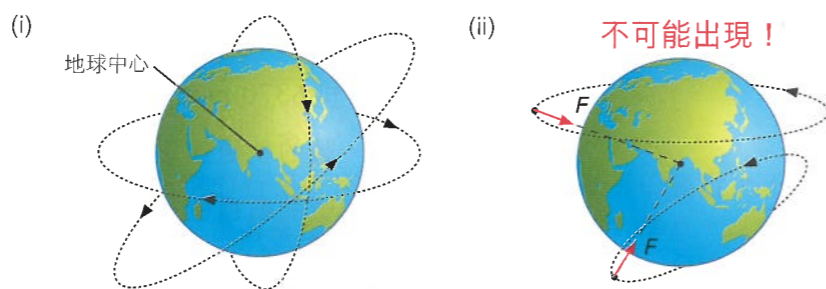


圖 10.2d (i) 可能及 (ii) 不可能出現的圓周軌道

E1 冊第 3 課會詳細討論引力作用下的軌道運動。

- 4 引力作用下的圓周運動可視作一種特別的拋體運動。圖 10.2e 中，假設物體從高處以速度 u 水平射出，飛行一段距離後着地 (路徑 ①)。當 u 增大，飛行的距離亦會增大 (路徑 ②)。如果 u 足夠大 ($=\sqrt{\frac{GM_E}{r}}$)，物體便不會着地，而會以圓形軌道圍繞地球運行 (路徑 ③)。

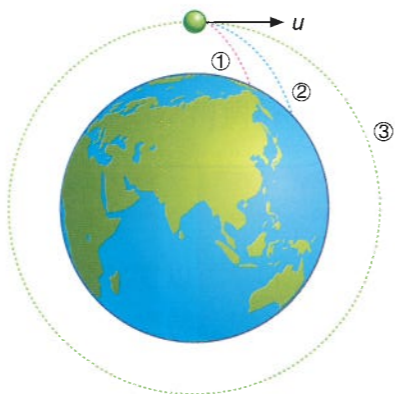


圖 10.2e 引力作用下的圓周運動可視為一種特殊的拋體運動

F 所作的功 $= Fs \cos 90^\circ = 0$

- 5 引力 F 沒有對在圓周軌道上運行的物體作功，這是由於引力的方向總是與物體的移動方向垂直 (圖 10.2f)。

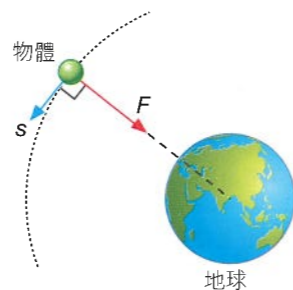


圖 10.2f 引力沒有對在圓周軌道上運行的物體作功

因此，地球與物體之間沒有能量轉移，物體於是一直以固定的動能 (即恆速率) 移動。

例題 7 估算太陽的質量

假設地球以恆速率 $2.98 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$ 沿着圓周軌道圍繞太陽運行，軌道週期是 365 日。

- (a) 計算地球軌道的半徑 r 。
(b) 估算太陽的質量 M_S 。

題解

(a) 根據 $v = \frac{2\pi r}{T}$,

$$r = \frac{vT}{2\pi} = \frac{2.98 \times 10^4 \times 365 \times 24 \times 3600}{2\pi} = 1.496 \times 10^{11} \text{ m} \approx 1.50 \times 10^{11} \text{ m}$$

(b) 根據 $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$,

$$M_S = \frac{rv^2}{G} = \frac{(1.496 \times 10^{11})(2.98 \times 10^4)^2}{6.67 \times 10^{-11}} = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$$

► 習題與思考 10.2 Q6 (p.385)

只要量度行星圍繞恆星運行的軌道週期和速率，便可推算出恆星的質量。

例題 8 軌道週期與軌道半徑的關係

衛星沿圓周軌道圍繞行星運行，衛星和行星的質量分別是 m 和 M 。軌道的半徑是 r ，週期是 T 。證明 $T^2 \propto r^3$ 。

題解

引力提供了所需的向心力。由此可得，

$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r} = \frac{m}{r} \left(\frac{2\pi r}{T} \right)^2 = \frac{m}{r} \times \frac{4\pi^2 r^2}{T^2}$$

$$\Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{GM}$$

$$\therefore T^2 \propto r^3$$

► 複習 Q13 (p.389)

衛星距離行星愈遠，圍繞行星運行一周所需的時間便愈長。

歷史點滴 發現海王星

1840 年代，科學家已發現天王星偏離牛頓定律預測的軌道。那時，天王星是眾多已發現的行星中，距離太陽最遠的一顆。兩名天文學家勒維耶和阿當斯利用牛頓萬有引力定律，不約而同預測到天王星附近應有一顆不知名的行星，那顆行星對天王星施加引力，干擾它的軌道。根據這個預測，科學家終於在 1846 年發現海王星，當時是牛頓發表引力定律後 159 年。



例題 9 太空人在太空的重量

國際太空站距離地面 410 km，沿圓周軌道圍繞地球運行（圖 a）。地球的半徑是 6370 km，表面的重力加速度是 9.81 m s^{-2} 。

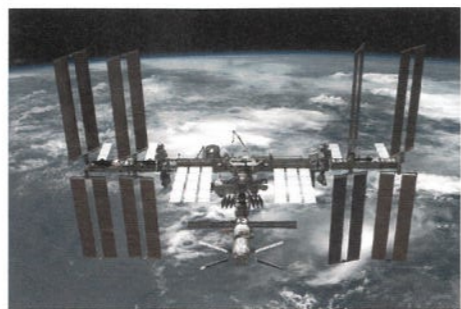


圖 a

- (a) 求國際太空站的軌道週期。
- (b) 質量為 70 kg 的太空人在國際太空站內工作。試比較他在太空站內與在地球表面的重量。

題解

(a) 國際太空站的重量提供了它所需的向心力。

$$\begin{aligned}
 m\omega^2 &= mg \\
 &= mg_0 \times \frac{R_E^2}{r^2} \\
 \omega &= \sqrt{g_0 \times \frac{R_E^2}{r^3}} \\
 \text{週期} &= \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{g_0 \times \frac{R_E^2}{r^3}}} = \frac{2\pi}{\sqrt{9.81 \times \frac{(6.37 \times 10^6)^2}{(6.37 \times 10^6 + 4.10 \times 10^5)^3}}} = 5560 \text{ s}
 \end{aligned}$$

(b) 太空人在太空站內的重量 = mg

$$\begin{aligned}
 &= mg_0 \times \frac{R_E^2}{r^2} \\
 &= 70 \times 9.81 \times \frac{(6.37 \times 10^6)^2}{(6.37 \times 10^6 + 4.10 \times 10^5)^2} \\
 &= 606 \text{ N}
 \end{aligned}$$

太空人在地球表面的重量 = mg_0

$$\begin{aligned}
 &= 70 \times 9.81 \\
 &= 687 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\frac{\text{在太空站內的重量}}{\text{在地球表面的重量}} \times 100\% = \frac{606}{687} \times 100\% = 88.2\%$$

太空人在太空站內的重量是在地球表面的 88.2%。

▶ 進度評估 4 Q2 (p.384)

→ 錄像片段 10.1 顯示國際太空站上太空人處於失重狀態。

錄像片段 10.1

生活中的物理

無重狀態

在圍繞地球運行的太空船內，太空人可以浮在半空。這時，他們會感受到失重。但從例題 9 可見，他們的重量並不等於零。就像升降機自由下落時，乘客與升降機會以相同加速度下跌一樣，太空人與太空船也會以相同的率向地球加速，太空船地板作用於他們的反作用力是零，所以他們感到失重。要知道更多，可參看 E1 冊第 3 課。



牛津物理網

預試訓練 1 木星的衛星 ☆ 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一乙部 Q4

木衛三（又名蓋尼米德）和木衛四（又名卡利斯多）是木星的衛星，分別沿半徑 $1.07 \times 10^9 \text{ m}$ 和 $1.88 \times 10^9 \text{ m}$ 的圓周軌道圍繞木星運行。在木衛四的軌道上，木星的引力場強度是 0.0357 N kg^{-1} 。

- (a) 求木衛三的軌道速率。
- (b) 一塊質量為 100 kg 的岩石沿木衛三的軌道圍繞木星運行。求木星作用於岩石的引力。
- (c) 在圖 a 繪畫一條直線，以表示木衛四的軌道所在的平面。

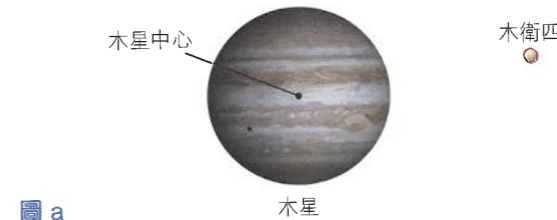


圖 a

題解

(a) 在木衛四的軌道上，

$$g_4 = \frac{GM_J}{r_4^2} = 0.0357 \text{ N kg}^{-1} \quad 1M$$

考慮木衛三的軌道運動。

$$\frac{GM_J M_3}{r_3^2} = \frac{M_3 v^2}{r_3} \quad 1M$$

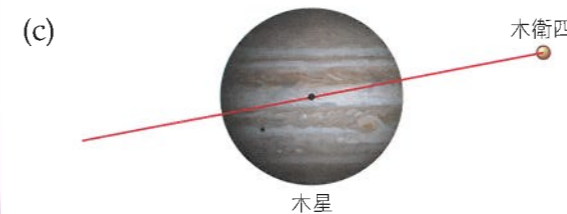
$$\frac{GM_J}{r_4^2} \times \frac{r_4^2}{r_3} = v^2$$

$$\begin{aligned}
 v &= \sqrt{g_4 \times \frac{r_4^2}{r_3}} \\
 &= \sqrt{0.0357 \times \frac{(1.88 \times 10^9)^2}{1.07 \times 10^9}} \\
 &= 10\,860 \text{ m s}^{-1} \approx 10\,900 \text{ m s}^{-1} \quad 1A
 \end{aligned}$$

木衛三的軌道速率是 $10\,900 \text{ m s}^{-1}$ 。

(b) $F = mg_3$

$$\begin{aligned}
 &= mg_4 \times \frac{r_4^2}{r_3^2} \\
 &= 100 \times 0.0357 \times \frac{(1.88 \times 10^9)^2}{(1.07 \times 10^9)^2} \\
 &= 11.0 \text{ N} \quad 1A
 \end{aligned}$$



木星

(軌道平面穿過木星中心)

1A

常見錯誤

學生或未能用 g_4 來表示 GM_J 。這裏所用的技巧與繞地運動中以 g 來表示 GM_E 的技巧相同。

另解：

$$\begin{aligned}
 \text{引力} &= \text{向心力} \\
 &= \frac{mv^2}{r} \\
 &= \frac{100 \times 10\,860^2}{1.07 \times 10^9} \\
 &= 11.0 \text{ N}
 \end{aligned}$$

常見錯誤

學生或誤取 g_3 為 0.0357 N kg^{-1} 。

▶ 複習 Q35 (p.394)

預試訓練 2 衛星的角速率與線速率 ☆ 香港高級程度會考 2009 年卷二 Q5

一顆衛星以圓周軌道圍繞地球運行，角速率是 $7.29 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$ ，線速率是 3.07 km s^{-1} 。考慮另一顆以圓周軌道圍繞地球運行的衛星，下列哪一項最有可能是該衛星的角速率 ω 和線速率 v ？

	$\omega / \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$	$v / \text{ km s}^{-1}$
A	1.46	1.80
B	1.46	3.11
C	5.83	1.80
D	5.83	3.11

題解

對於所有圍繞地球運行的衛星，

$$\frac{GM_E m}{r^2} = m r \omega^2$$

$$r^3 \omega^2 = GM_E$$

$$\left(\frac{v}{\omega}\right)^3 \omega^2 = GM_E$$

$$\frac{v^3}{\omega} = GM_E = \text{常數}$$

$$v = r\omega \Rightarrow r = \frac{v}{\omega}$$

從正確選項所計算出 $\frac{v^3}{\omega}$ 的值應與題目所提供的衛星相同。

衛星	$\frac{v^3}{\omega}$ 的值 (略去數量級)
題目提供	3.97
A	3.99
B	20.6
C	1.00
D	5.16

∴ 答案是 A。

所有選項的角速率都有相同的數量級，線速率也是一樣。運算時，可略去它們的數量級，因為我們只須比較不同選項所計算出的 $\frac{v^3}{\omega}$ 值。留意當題目要求計算 $\frac{v^3}{\omega}$ 的準確值時，數量級便不可略去。

▶ 複習 Q15 (p.389)

進度評估 4 ☆ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.378)。

- 1 1 一顆衛星圍繞地球運行，軌道的半徑為 $3.5 \times 10^7 \text{ m}$ ，軌道週期是 18 小時。試根據以上資料，估算地球的質量。 $6.04 \times 10^{24} \text{ kg}$
- 1 2 物體在地球表面重 50 N，如果它以 3000 m s^{-1} 沿着圓周軌道圍繞地球運行，重量會是多少？取地球的質量 = $5.79 \times 10^{24} \text{ kg}$ ， $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ 。 1.04 N

習題與思考 10.2 ☆ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.378)。

取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ (接近地球)， $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ 。

- 1 1 兩顆質量相同的衛星以不同半徑的圓周軌道圍繞地球運行。對於軌道半徑較小的衛星，下列哪一項敘述是正確的？
A 它的線速率較低。
B 它的週期較短。
C 它向地球中心的加速度較小。
D 以上皆不是。
- 1 2 兩顆質量不同的衛星以相同半徑的圓周軌道圍繞地球運行。對於質量較小的衛星，下列哪一項敘述是正確的？
A 它的線速率較低。
B 它的週期較短。
C 它向地球中心的加速度較小。
D 以上皆不是。
- 1 3 火星有兩顆衛星：福波斯 (圖 a) 和戴摩斯 (圖 b)。福波斯的軌道速率是 v_P ，戴摩斯的軌道速率則是 v_D 。如果福波斯的軌道半徑是 R ，戴摩斯的軌道半徑是多少？



圖 a



圖 b

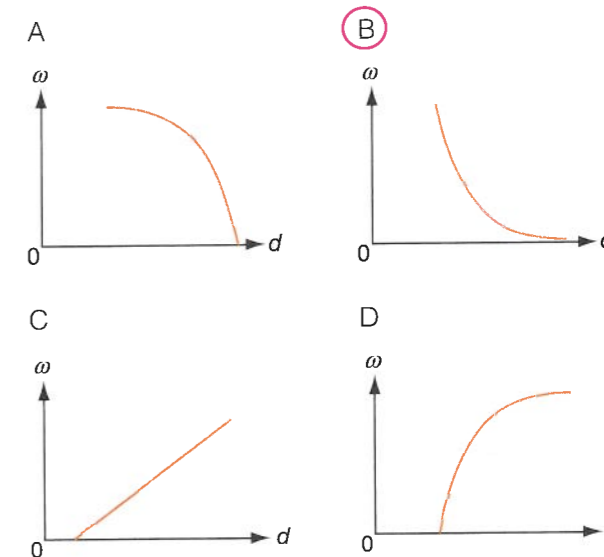
- A $\frac{R v_P^2}{v_D^2}$ B $\frac{R v_D^2}{v_P^2}$
C $R \sqrt{\frac{v_P}{v_D}}$ D $R \sqrt{\frac{v_D}{v_P}}$

- 1 4 一顆行星沿半徑 r 的圓周軌道圍繞質量為 M 的恆星運行。萬有引力常數是 G 。行星的軌道週期是多少？

- A $2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$
B $\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$

- C $\sqrt{\frac{GM}{r}}$
D $2\pi \sqrt{\frac{r}{GM}}$

- 1 5 土星有很多衛星。設 ω 是衛星的角速率， d 是衛星中心與土星中心之間的距離。下列哪一幅圖最能顯示 ω 與 d 的關係？



- 1 6 太空船在距離地球表面 1600 km 的軌道上。試計算它的線速率。地球的半徑和質量分別是 6370 km 和 $5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$ 。 7070 m s^{-1}
- 1 7 太陽的質量是 $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ 。假設木星以圓周軌道圍繞太陽運行，週期是 11.9 年。
(a) 估算木星的角速率。 $1.67 \times 10^{-8} \text{ rad s}^{-1}$
(b) 估算木星與太陽之間的距離。 $7.79 \times 10^{11} \text{ m}$

- 1 8 嫦娥一號在距離月球表面 200 km 的圓周軌道上圍繞月球運行，軌道週期是 127 分鐘。嫦娥一號的質量是 2350 kg。月球的半徑是 1740 km。
(a) 求嫦娥一號的角速率。 $8.25 \times 10^{-4} \text{ rad s}^{-1}$
(b) 求嫦娥一號圍繞月球運行時的重量。 3100 N

- 1 9 衛星在距離地球表面 900 km 的圓周軌道上圍繞地球運行。地球的半徑是 6370 km。 7.53 N kg^{-1}

- (a) 在衛星的軌道，地球的引力場強度是多少？
(b) 估算衛星的角速率和週期。 $1.02 \times 10^{-3} \text{ rad s}^{-1}$ 、 6170 s
(c) 隨後，衛星轉移到另一距離地球表面較遠的圓周軌道上。它的角速率和週期會有甚麼改變？
減少、增加

總結 10

詞彙

1 引力 gravitational force	p.366	4 引力場 gravitational field	p.373
2 牛頓萬有引力定律 Newton's law of universal gravitation	p.366	5 引力場強度 gravitational field strength	p.373
3 萬有引力常數 universal gravitational constant	p.367		

課文摘要

10.1 牛頓萬有引力定律

1 牛頓萬有引力定律：

宇宙中每個粒子都與其他粒子互相吸引，這吸力稱為引力。引力的*大小*與兩個粒子質量的乘積成正比，又與兩個粒子之間距離的平方成反比。引力沿着連接兩個粒子的直線作用。

2 假設兩個粒子的質量分別為 m_1 和 m_2 ，粒子之間的距離為 r 。兩者施於對方的引力，量值 F 為

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

其中 G 是萬有引力常數，標準值是 $6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ 。

3 方程式 $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ 可應用於球對稱物體。這時， r 就是兩個球對稱物體中心的距離。

4 物體在地球上的重量是地球作用於物體的引力。

5 在與地球相距 r 的位置，重力加速度 g 可表示為：

$$g = \frac{GM_E}{r^2} = \frac{GM_E}{R_E^2} \times \frac{R_E^2}{r^2} = g_0 \frac{R_E^2}{r^2}$$

其中 M_E 是地球的質量， R_E 是地球的半徑， $g_0 = \frac{GM_E}{R_E^2} = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ 是接近地球表面的重力加速度。

6 根據場的概念，每個物體都會在它的周圍建立引力場，在引力場內的其他物體會受引力作用。

7 引力場強度 = $\frac{\text{引力}}{\text{質量}}$

$$\Rightarrow g = \frac{F}{m_0} = \frac{GM}{r^2}$$

8 引力場強度是矢量，方向與位於所考慮位置的檢驗質量所受引力的方向相同。它的單位是 N kg^{-1} 。

9 符號 g 有兩個意義：

- 物體在重力作用下自由下落時，於某一點的加速度；
- 在該點的引力場強度。

10.2 引力作用下的圓周運動

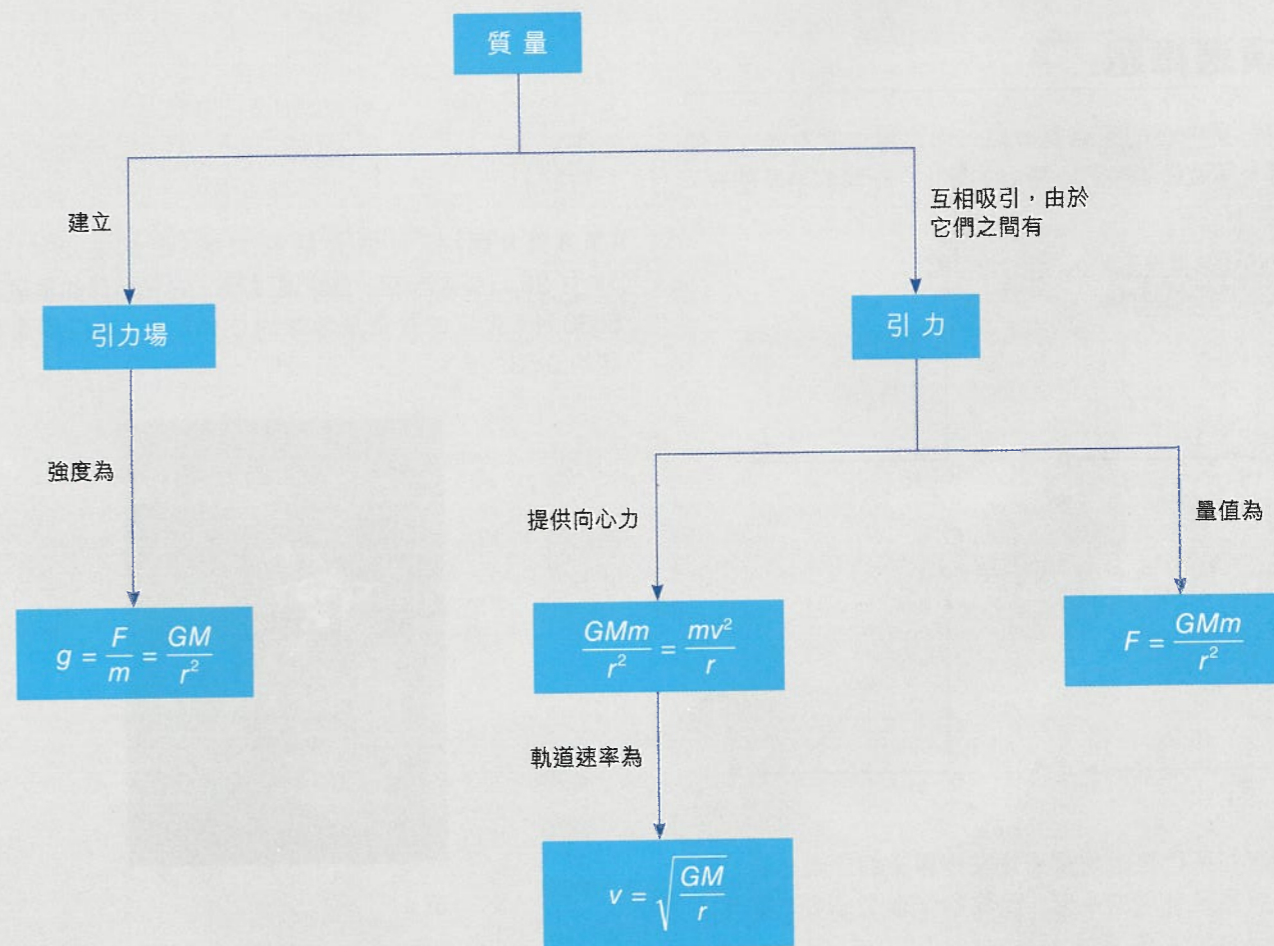
10 對於引力作用下的圓周運動，引力提供了所需的向心力。

$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2$$

物體在圓周軌道運行的線速率和角速率可表示為

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad \text{及} \quad \omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$$

概念圖



複習 10

Q1 離地球愈遠，重力加速度愈小。只有在地球表面重力加速度才等於 9.81 m s^{-2} 。
Q2 以圓形軌道環繞地球的衛星能量保持不變。由於引力垂直於衛星的位移，所以沒有對衛星作功。

取 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ (接近地球)，
 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ 。

概念重溫

(第 1 至 3 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

☆ 香港高級程度會考 2002 年卷一 Q6(a)

10.2 1 衛星圍繞地球運行時，重力加速度是 9.81 m s^{-2} 。 F

☆ Edexcel GCSE Higher Tier June 2010 P2 1H Q5(c)

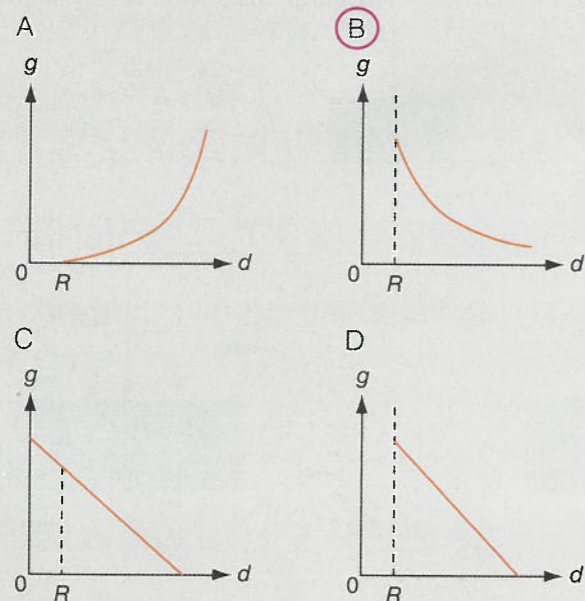
10.2 2 衛星以圓周軌道圍繞地球運行所需的能量，是由引力提供的。 F

☆ Edexcel GCSE Higher Tier November 2008 P2 1H Q3(b)

10.2 3 衛星以圓周軌道圍繞地球運行時，會不斷加速。 T

多項選擇題

10.1 4 與行星中心的距離為 d 時，引力場強度為 g 。下列哪一幅圖最能顯示 g 隨 d 的變化？行星的半徑是 R 。



10.1 5 物體在某行星上的重量是在地球上的一半。若行星的質量是地球的兩倍，行星的半徑是多少？答案以地球的半徑 R_E 表示。

- A $\frac{1}{4}R_E$
- B $\frac{1}{2}R_E$
- C $2R_E$**
- D $4R_E$

10.2 6 兩顆相同的衛星 X 和 Y 以圓周軌道圍繞地球運行。X 的軌道半徑比 Y 小。下列哪項有關這兩顆衛星的敘述是正確的？

- (1) X 的軌道週期比 Y 長。
- (2) X 的角速率比 Y 高。
- (3) X 的動能比 Y 高。

- A 只有 (1)
- B 只有 (1) 和 (3)
- C 只有 (2) 和 (3)**
- D (1)、(2) 和 (3)

10.2 7 衛星 X 和 Y 以圓周軌道圍繞地球運行。X 的軌道半徑是 Y 的兩倍。如果 X 的線速率是 v ，Y 的線速率是多少？

- A $\frac{v}{\sqrt{8}}$
- B $\frac{v}{\sqrt{2}}$
- C $\sqrt{2}v$**
- D $\sqrt{8}v$

(第 8 至 9 題) 好奇號火星探測車 (圖 a) 在 2011 年 11 月 26 日發射升空，往火星進發。它在地球的重量是 8830 N。火星的質量是地球的 0.107 倍，半徑則是地球的 0.532 倍。



圖 a

10.1 8 好奇號在火星表面的重量是多少？

- A 503 N
- B 1780 N
- C 3340 N**
- D 23 400 N

10.1 9 火星表面的重力加速度是多少？

- A 1.97 m s^{-2}
- B 3.71 m s^{-2}**
- C 5.58 m s^{-2}
- D 25.9 m s^{-2}

10.2 10 兩個物體以圓周軌道圍繞一行星運行。下列哪項有關這兩個物體的敘述是正確的？

- (1) 若它們的軌道半徑相同，它們所需的向心力就必然相同。
- (2) 若它們的軌道半徑相同，它們的軌道週期就必然相同。
- (3) 它們的軌道必然處於同一平面。

- A 只有 (2)**
- B 只有 (1) 和 (2)
- C 只有 (1) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

10.2 11 衛星以圓周軌道圍繞地球運行。下列哪項有關衛星所受引力的敘述是正確的？

- (1) 引力並非恆定不變。
- (2) 引力與衛星的向心力互相抵銷。
- (3) 引力與衛星的質量無關。

- A 只有 (1)**
- B 只有 (1) 和 (2)
- C 只有 (1) 和 (3)
- D 只有 (2) 和 (3)

10.1 12 考慮在某行星表面的數個物體。圖 b 顯示物體的質量與重量的關係。

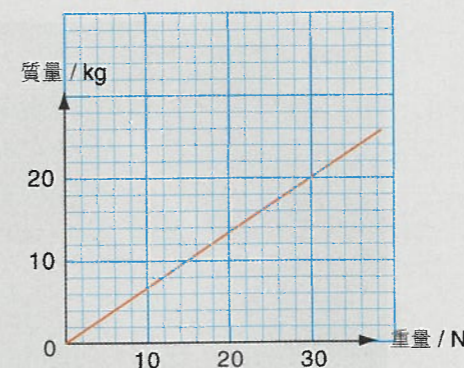


圖 b

行星表面的重力加速度是多少？

- A 0.67 m s^{-2}
- B 1.0 m s^{-2}
- C 1.5 m s^{-2}**
- D 9.8 m s^{-2}

10.2 13 兩個衛星 X 和 Y 以圓周軌道圍繞一行星運行。X 的週期是 Y 的一半。若 X 的線速率是 v ，Y 的線速率是多少？

- A $0.5v$
- B $0.79v$
- C $1.26v$**
- D $2v$

參看 p.381

10.2 14 金星 (圖 c) 的半徑和平均密度分別是 6050 km 和 5.24 g cm^{-3} 。在金星表面上方 1000 km 的位置，引力場強度是多少？



圖 c

- A 1.56 N kg^{-1}
- B 3.86 N kg^{-1}
- C 6.52 N kg^{-1}**
- D 7.12 N kg^{-1}

參看 p.371, 374

10.2 15 香港高級程度會考 2009 年卷二 Q5

月球繞地球運動的週期為 27.3 日，而它的速率為 1.0 km s^{-1} 。以下哪一個週期和速率組合可能是屬於一個繞地球運動的人造衛星的？假設所有軌道皆為圓形。

- (1) 週期 = 12 小時
- (2) 週期 = 24 小時
- (3) 速率 = 3.8 km s^{-1}
- (4) 速率 = 7.6 km s^{-1}

- A (1) 和 (3) (29%)**
- B (1) 和 (4)
- C (2) 和 (3)
- D (2) 和 (4)

10.2 16 香港高級程度會考 2010 年卷二 Q12

木星其中一個衛星名為「木衛三」。「木衛三」繞着木星運動的軌道半徑，約為月球繞着地球的軌道半徑的 3 倍。若木星的質量為地球的 318 倍，而月球繞着地球轉動的週期為 27.3 日，估算「木衛三」繞着木星轉動的週期。

- A 2.7 日
- B **8.0 日 (59%)**
- C 91 日
- D 273 日

17 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q14

10.2 兩個人造衛星以半徑同為 R 的圓形軌道繞地球 (質量 M) 運行。如圖 d 所示, 其軌道處於兩個不同平面 P 和 Q , 平面 P 與地球的赤道重合而平面 Q 與赤道成夾角 θ 。下列哪一項敘述不正確?

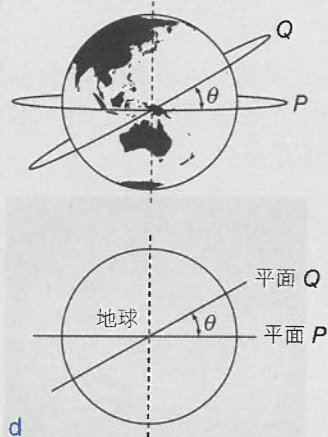


圖 d

- A 人造衛星 P 的速率是 $\sqrt{\frac{GM}{R}}$ 。(8%)
- B 作用於人造衛星 Q 的向心力的指向處於平面 Q 。(16%)
- C 兩個人造衛星加速度的量值相同。(18%)
- D** 人造衛星 Q 的週期比人造衛星 P 長。(58%)

18 香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q15

10.1 已知火星的質量約為地球質量的 $\frac{1}{10}$, 而其半徑約為地球半徑的 $\frac{1}{2}$ 。以地球表面重力加速度 g 表達, 在火星表面的重力加速度約為

- A $0.2g$ 。
- B** $0.4g$ 。(66%)
- C $2.5g$ 。
- D $4g$ 。

19 香港中學文憑考試 2014 年卷一甲部 Q11

10.2 在環繞地球的圓形軌道運動的太空船內, 太空人好像失重是由於

- A 太空人離地球太遠, 因而感受不到地球的引力。(25%)
- B** 太空人和太空船兩者以向着地球的同一直線運動。(29%)
- C 地球對太空人的引力被太空船地板的反作用力平衡。(9%)
- D 地球對太空人的引力被向心力平衡。(37%)

Q19 考試報告: 超過三分之一的考生誤以為太空人的失重是由於地球的引力與向心力平衡。

問答題

20 圖 e 顯示地球與月球。



圖 e

- (a) 物體在哪一點時, 地球與月球施於它的引力會互相抵銷? 在圖 e 中草繪這點的位置。(1分)
- (b) 這點較接近地球還是月球? 試扼要解釋。月球 (3分)
- (c) 如果把物體置於地球和月球的中間, 然後讓它從靜止開始自由移動, 會有甚麼事情發生? 保持靜止 (1分)

21 火星與太陽之間的距離約為 2.28×10^8 km。太陽的質量是 1.99×10^{30} kg。

- (a) 在火星所處的位置, 太陽的引力場強度是多少? $2.55 \times 10^{-3} \text{ N kg}^{-1}$ (2分)
- (b) 估算火星的軌道速率。 $2.41 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$ (2分)
- (c) 估算火星圍繞太陽運行一周所需的時間, 答案以日表示。 687 日 (2分)

22 科學家相信在大多數星系的中心都有超重黑洞。假設一恆星沿半徑為 2.0×10^{13} m (相等於地球與太陽之間距離的 130 倍) 的圓周軌道圍繞銀河系 (圖 f) 中心的黑洞運行, 並在 70 日內完成了整個軌道的四分之一。假設其他天體作用於該恆星的引力可略去不計。



圖 f

- (a) 估算該恆星的軌道週期。 280 日 (1分)
- (b) 估算該恆星的軌道速率。 $5.19 \times 10^6 \text{ m s}^{-1}$ (2分)
- (c) 估算該黑洞的質量。 $8.09 \times 10^{36} \text{ kg}$ (2分)

23 在執行阿波羅 15 號任務時, 太空人史考特於月球表面同時釋放鐵鎚和羽毛 (圖 g)。月球的質量和半徑分別是 7.35×10^{22} kg 和 1740 km。



圖 g

- (a) 證明重力加速度與物體的質量無關。(3分)
- (b) 求月球表面的重力加速度。 1.62 m s^{-2} (2分)
- (c) 假設鐵鎚和羽毛是從距離月球表面 1.2 m 的高度開始下跌。求它們掉落地面所需的時間。 1.22 s (2分)

24 綜合題 寫出兩個影響行星表面引力場強度的因素。 質量、半徑 (2分)

- (b) 當人造衛星以圓周軌道圍繞行星運行, 行星對它所作的功是零。試簡單解釋。(1分)
- (c) 物體圍繞行星作圓周運動, 軌道速率是 v , 與行星中心的距離是 r 。圖 h 顯示 v 與 r 的關係。

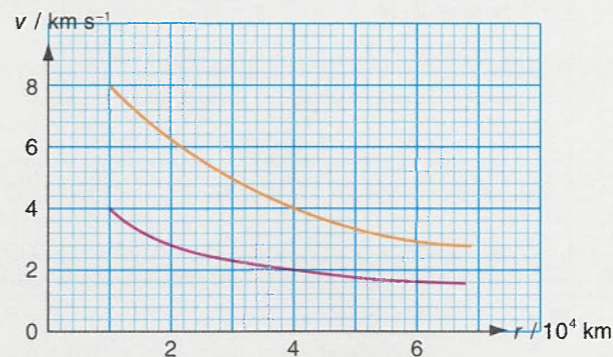


圖 h

- (i) 根據線圖, 估算行星的質量。 $9.60 \times 10^{24} \text{ kg}$ (3分)
- (ii) 如果行星的質量變為原來的四分之一, 試在圖 h 中草繪線圖顯示 v 與 r 的關係。(1分)

25 一個質量為 1000 kg 的衛星以圓周軌道圍繞地球運行 (圖 i)。

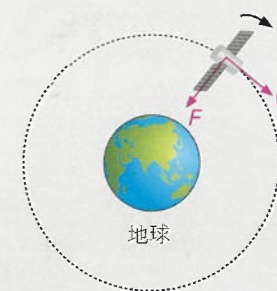


圖 i

- (a) (i) 在圖 i 繪畫箭號, 以顯示衛星的速度指向哪個方向。(1分)
- (ii) 在圖 i 繪畫箭號, 以顯示衛星所受的淨力指向哪個方向。(1分)
- (b) 衛星的軌道距離地球表面 7000 km。地球的半徑是 6370 km。
 - (i) 求衛星的線速率。 5460 m s^{-1} (3分)
 - (ii) 求衛星的重量。 2230 N (2分)

26 火星的質量約為地球的 $\frac{1}{10}$, 半徑則約為地球的 $\frac{1}{2}$ 。

- (a) 寫出引力場強度的定義。(1分)
- (b) 估算火星表面的引力場強度, 答案以地球表面的引力場強度 g 表示。 $0.4g$ (2分)
- (c) 機會號火星探測車 (圖 j) 在地球表面的重量是 1810 N。它在火星表面的重量是多少? (2分)

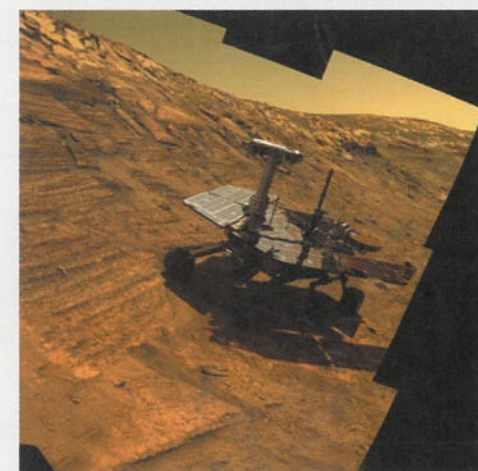


圖 j

- (d) 假設機會號在火星著陸時, 於時間 $t = 0$ 至 $t = t_1$ 期間以恆速率下降, 並在 $t = t_1$ 時到達地面。草繪線圖, 以顯示在 $t = 0$ 至 $t = t_1$ 期間火星作用於機會號的引力變化。(3分)

EX 10.2

★ 27 引力作用下的圓周運動可視為自由下落。假設物體從某個接近地球表面的位置水平發射出去(圖 k)。地球的半徑 R_E 是 6370 km。接近地球表面的重力加速度是 9.81 m s^{-2} 。

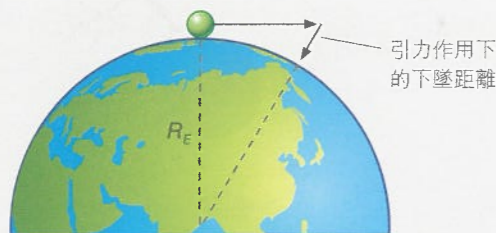


圖 k

- (a) 求物體在 1 秒內受引力作用而下墜的距離。
4.91 m (2 分)
- (b) 在不使用牛頓萬有引力定律下，證明若物體進行勻速圓周運動，它的發射速率就是 7910 m s^{-1} 。(2 分)
- (c) 比較 (b) 部的答案與利用牛頓萬有引力定律求得的軌道速率。(2 分)

★ 28 物體在行星表面的重量是 200 N。當它上升至距離行星表面 h 的高度，它的重量變為 100 N。行星的半徑是 3400 km。

- (a) 求 h 。**1410 km** (2 分)
- (b) 若從行星表面以初速率 3 m s^{-1} 向上拋起物體，物體到達的最大高度是 0.9 m。
(i) 試解釋為甚麼我們可以將物體向上運動時的加速度視為常數。(2 分)
(ii) 利用能量守恆定律來計算物體的質量。**40 kg** (3 分)
- (c) 求行星的質量。 **$8.67 \times 10^{23} \text{ kg}$** (2 分)

★ 29 已知：地球的質量 = $5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$
地球的半徑 = 6370 km

- (a) 假設一顆衛星在接近地球表面的圓形軌道上圍繞地球運行。試估算它的週期。假設空氣阻力可略去不計。**5060 s** (3 分)
- (b) 地球自轉時，站在赤道上的人會以圓周軌道移動。那人的週期是多少？**86 400 s** (1 分)
- (c) 在 (a) 部和 (b) 部中，衛星與人沿半徑相同的圓周軌道運行，但週期卻不同。試解釋這現象。(2 分)

★ 30 兩個人 X 和 Y 如圖 l 所示站在地球上不同的位置。他們的質量相同，都是 60 kg。當地球沿自轉軸轉動，他們便進行勻速圓周運動。地球的半徑是 6370 km。

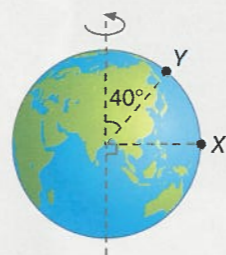


圖 l

- (a) 求他們的軌道週期。**86 400 s** (1 分)
- (b) 求他們各自所需的向心力。 **2.02 N 、 1.30 N** (4 分)
- (c) 若 X 站在以 N 為單位的磅上，磅的讀數是多少？**587 N** (2 分)
- (d) 假設一個衛星在接近地球表面的圓形軌道上圍繞地球運行，並經過 Y 的正上方。試在圖 l 草繪衛星的軌道平面。(1 分)

★★ 31 表 a 列出了木星四個最大衛星(圖 m)的軌道週期 T 和軌道半徑 r 。

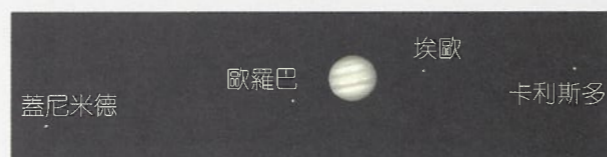


圖 m

木星的衛星	$T / \text{日}$	r / km
埃歐	1.79	422 000
歐羅巴	3.55	671 000
蓋尼米德	7.16	1 070 000
卡利斯多	16.7	1 880 000

表 a

- (a) 選擇適當的 x 軸和 y 軸，標繪出一幅連繫 T 和 r 的直線線圖。(4 分)
- (b) 利用 (a) 部的線圖估算木星的質量。 **$1.86 \times 10^{27} \text{ kg}$** (2 分)
- (c) 墨提斯是最接近木星的衛星。它的軌道半徑是 128 000 km。試估算它的軌道速率。 **$3.11 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$** (3 分)

▶ 參看預試訓練 1 (p.383)

略去 (b)(iii)。
32 香港高級程度會考 2005 年卷一 Q6
綜合題

- (a) 一艘載人太空船利用火箭升空。火箭連太空船於發射時的總初始質量是 $4.80 \times 10^5 \text{ kg}$ 。火箭引擎以相對火箭 2600 m s^{-1} 的勻速率向後噴出熱氣體。設在最初 1 秒內噴出 $2.30 \times 10^3 \text{ kg}$ 的氣體。(空氣阻力可略去不計。)

□ Q32 考試報告：表現尚可。大部分考生在 (a)(i) 部不懂以動量改變率來推算平均推力，並誤以 2600 m s^{-2} 作為噴出氣體的加速度。在 (a)(ii) 部計算火箭的加速度時，很多考生遺漏了火箭的重量。在 (b)(i) 部，近半數考生不知近軌道的重力場強度較地球表面上的為少，或未能利用地面的重力場強度推算出軌道上的值。很少考生知道為何飛機不能在太空飛行的原因，實令人詫異。



圖 n

- (i) 計算在最初 1 秒內所噴的熱氣體作用於火箭的平均上推力。 **$5.98 \times 10^6 \text{ N}$** (2 分)
- (ii) 設在最初 1 秒內火箭的質量變化可以略去 2.46 m s^{-2} 不計。試估算火箭的加速度。(2 分)
- (iii) 如果在最初 20 秒內火箭維持相同的噴氣率，解釋火箭的加速會怎樣改變。(2 分)
- (b) 質量為 $7.80 \times 10^3 \text{ kg}$ 的太空船現進入離地球表面 $3.43 \times 10^5 \text{ m}$ 高的圓形軌道繞地球運行。(地球半徑為 $6.37 \times 10^6 \text{ m}$ 。) **7780 m s^{-1}**
- (i) 計算太空船在軌道上的速率。(4 分)
- (ii) 太空船繞地球 14 週需時多久？**21.1 h** (2 分)
- (c) 寫出兩點理由以說明為甚麼飛機不能像火箭一般在太空飛行。(2 分)

33 WJEC GCE Summer 2007 Q6
綜合題

- (a) 指出速率與速度的分別。(2 分)
- (b) 美國太空總署的探月車可用來找出月球上重力加速度的準確數值。車子經遙控和定位後，停在水平的地面上。然後，探月車垂直向上發射拋體，拋體到達 3.6 m 的最大高度後掉回車上，總飛行時間為 4.26 s。已知月球上沒有大氣。

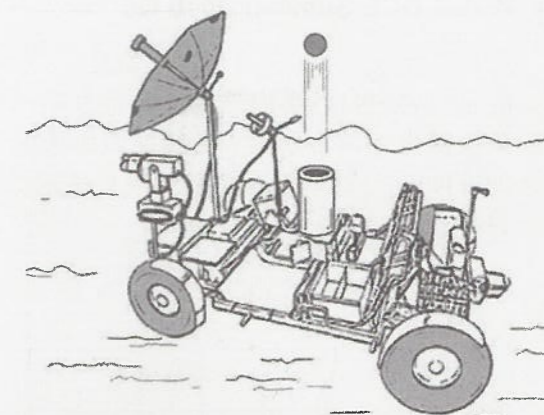


圖 o

- (i) 證明拋體最初的垂直速度是 3.4 m s^{-1} 。(3 分)
- (ii) 據此(或以其他方法)找出月球上的重力加速度。 **1.6 m s^{-2}** (3 分)
- (iii) 拋體到達 2.4 m 的高度需時 0.90 s。寫出拋體位於同樣高度的另一個時刻。**3.36 s** (2 分)
- (iv) 考慮拋體位於探月車上方 2.4 m 的兩個時刻，以及到達最大高度 3.6 m 的一刻。在圖 p 繪畫三幅隔離體圖，標示出在這些時刻作用於拋體的力。(3 分)



圖 p

- (v) 這方法可以用來找出地球上的重力加速度嗎？試解釋原因。**不可以** (2 分)
- (c) 隨後，探月車在水平地面上以 2.0 m s^{-1} 的恆速率沿直線前進，並以 3.4 m s^{-1} 的垂直速率發射拋體。 **3.94 m s^{-1} (水平線以上 59.5°)**
- (i) 計算拋體的合初速度。(3 分)
- (ii) 拋體會落在探月車後方、前方，還是會落在探月車上？試根據作用於拋體的力來解釋答案。**在車上** (2 分)

EXX EXT

34 WJEC GCE Summer 2010 Q6

綜合題

沿着連接地球中心與月球中心的直線，地球產生的引力場（粗線）與月球產生的引力場（幼線）的量值變化如圖 q 所示。由於線圖的標度上限為 0.05 N kg^{-1} ，大於此值的引力場量值未能在圖中顯示。

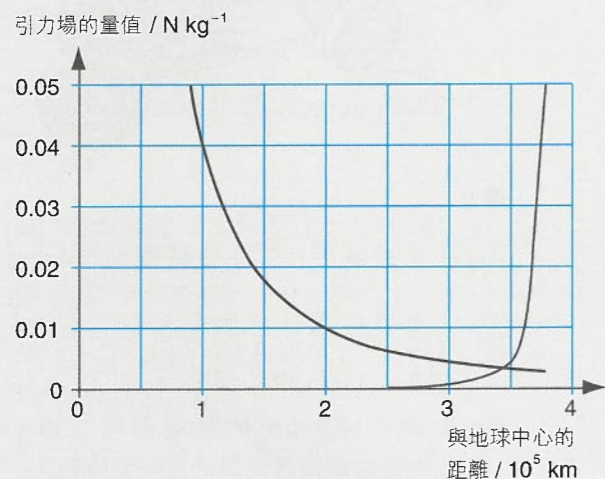


圖 q

- (a) 以運算證明地球在距離 $1.0 \times 10^5 \text{ km}$ 的位置產生的引力場與線圖的描述一致。
(地球的質量 = $6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$) (3分)
- (b) 解釋為甚麼月球在地球附近產生的引力場比地球在月球附近產生的引力場弱得多。 (1分)
- (c) 估算兩條圖線的相交點所表示的位置與地球中心的距離。解釋這位置的意義。 (2分)
- (d) 太空船從月球的赤道發射升空，沿直線飛向地球。討論太空船在旅程中所受的引力如何改變（只須描述引力的相對大小）。 (3分)
- (e) 第二艘太空船從月球背向地球的一側發射升空，沿直線遠離地球。比起第一艘太空船，它需要較多還是較少能量來逃離月球？試簡單解釋。較多 (2分)

35 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一乙部 Q4

10.2

一通訊衛星繞着地球以圓形軌道運行，其週期為 24 小時。而這衛星保持在赤道上空的某一位置。

已知：地球的半徑 $r_E = 6400 \text{ km}$

- (a) (i) 求該通訊衛星的軌道半徑。 $4.24 \times 10^7 \text{ m}$ (3分)
- (ii) 求該通訊衛星的軌道速率。 3080 m s^{-1} (2分)

Q35 考試報告：能在 (a)(i) 部以 r_E 表達 GM 的考生不多。在 (b)(i) 及其他部分，考生應記着用間尺繪畫直線。不少考生沒有作答本部分。

(b) 圖 r 顯示於太空中的一點 X，O 為地球的中心。

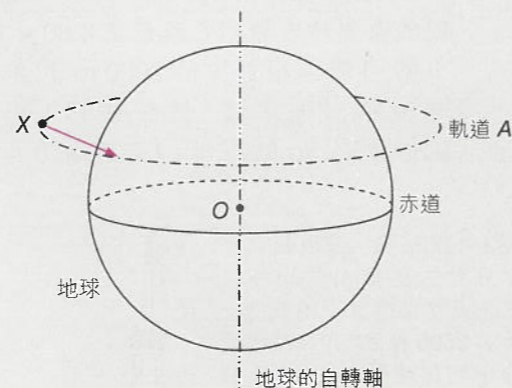


圖 r

- (i) 一衛星位於 X，在圖 r 中繪出由地球作用於該衛星的引力。 (1分)
- (ii) 試簡單解釋為甚麼若只受地球引力的影響，該衛星不可能在圖 r 所示的圓形軌道 A 上運行。 (1分)

實驗題

★ 36 志豪做卡文狄什實驗，以測量萬有引力常數 G 的值。圖 s 和 t 展示實驗裝置的構造。

10.1

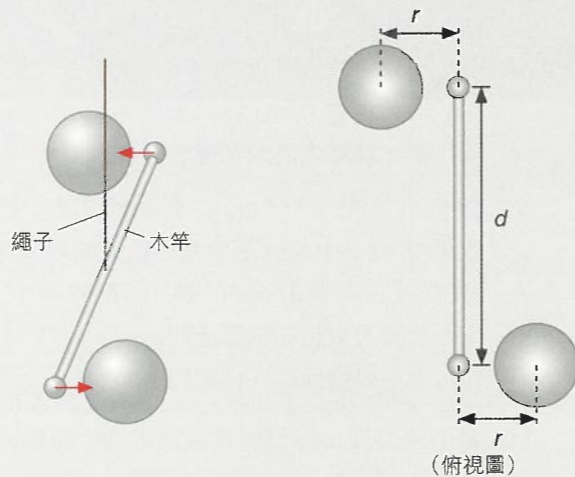


圖 s

圖 t

他把兩個小金屬球以木竿連接，再用繩子把木竿吊起，然後在每個小金屬球旁邊放置一個大金屬球。大金屬球和小金屬球之間的引力會令木竿轉動。根據木竿的轉動角度，便可計算出作用於木竿的力矩，再以此計算 G 的值。

以下是志豪的測量結果：

- 小金屬球的距離 (d) = 10 cm
- 每個小金屬球的質量 (m) = 50 g
- 每個大金屬球的質量 (M) = 1500 g
- 大金屬球與小金屬球的距離 (r) = 4.5 cm
- 作用於木竿的力矩 (τ) = $2.1 \times 10^{-10} \text{ N m}$

- (a) 根據以上數據，計算 G 的值。 $5.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ (3分)
- (b) G 的標準值是 $6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ 。計算 (a) 部答案的百分誤差。 15.0% (1分)
- (c) 除了量度時造成的誤差，這個實驗還有哪些誤差來源？試舉出一個。 (1分)

物理文章分析

★ 37 閱讀以下有關同步衛星的文章，並回答以下問題。

10.2

同步衛星

同步衛星沿一條特殊的圓周軌道圍繞地球運行，對身處地面的人而言，衛星就好像在天空中一個固定的位置靜止不動。同步衛星的週期與地球的自轉週期一樣；它們都只能沿同一條軌道運行，這個軌道位於地球赤道的正上方。同步衛星與地面的通訊很便捷，地面的衛星天線不必移動，只要指向固定的方向即可。

人類使用的首個同步通訊衛星是 Syncom 3 (圖 v)，由美國在 1964 年發射升空。

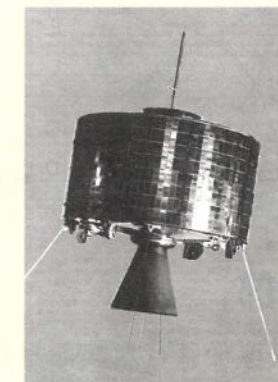


圖 v

已知：地球的半徑 = 6370 km

- (a) 同步衛星的週期是多少？ 86 400 s (1分)
- (b) 求同步衛星離地球表面的高度。 $3.59 \times 10^7 \text{ m}$ (3分)
- (c) 解釋同步衛星的一個優點。 (2分)

生活中的物理 人造衛星

現時約有 3000 個人造衛星圍繞地球運行，各有不同用途。通訊衛星用來傳送兩地間的電視或話音訊號，這類衛星都在赤道上空的固定位置（同步衛星）。氣象衛星則用來記錄雲層影像作天氣預測，這類衛星一般會每天圍繞地球運行數次。

以下影片在地面拍攝，可以見到人造衛星劃過天際。這些衛星並非固定在天上，顯然不是同步衛星。

<http://www.youtube.com/watch?v=QKVrdUijxyw>



可問學生有沒有見過移動得比背景恆星快的星。這些移動較快的「星」可能是人造衛星，它們可以向任何方向移動，不一定像恆星般東升西落。

自我評核 10

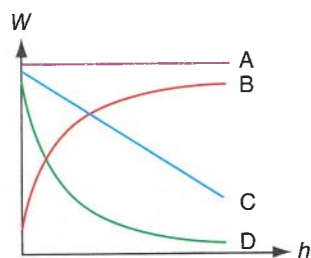
時間：15 分鐘 總分：9 分

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄 (p.411) 附有常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

- 10.1 1 太空船從地球表面發射到太空。在太空船內，當太空人身處距離地球表面 h 的高度，重量是 W 。下列哪一幅圖最能顯示 W 隨 h 的變化？



- 10.2 2 兩顆衛星以相同角速率在圓周軌道上圍繞地球運行。下列哪些敘述必然正確？
- 兩個衛星在同一軌道上運行。
 - 兩個衛星的線速率相同。
 - 兩個衛星的質量相同。

- A 只有 (2)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

D

A

乙部

- 3 石塊從某行星表面垂直向上發射，初速率是 3 m s^{-1} 。1.6 s 後，石塊掉回地面。已知行星上沒有大氣。行星的半徑是 2300 km。

- (a) 求行星表面的重力加速度。 (2 分)

3.75 m s^{-2}

- (b) 衛星沿半徑 10 200 km 的圓周軌道圍繞這行星運行。
 (i) 求衛星的線速率。 (3 分)

1390 m s^{-1}

- (ii) 求行星的質量。 (2 分)

$2.97 \times 10^{23} \text{ kg}$

(題解見 p.408)

答案

1 運動 I

進度評估 1 (p.7)

- 1 C 2 C

習題與思考 1.1 (p.7)

- 1 B 2 B 3 C
 4 (a) 1.834 m
 (b) $357\,500\,000 \text{ m} / 3.575 \times 10^8 \text{ m}$
 (c) $0.000\,000\,032\,0 \text{ m} / 3.20 \times 10^{-8} \text{ m}$
 5 (a) 86 400 s
 (b) $31\,536\,000 \text{ s} / 3.1536 \times 10^7 \text{ s}$
 (c) 12 904 s
 6 (a) 5.5 cm、0.909% (b) 23.38 s、0.0214%
 7 (a) 2.49%

進度評估 2 (p.11)

- 1 1260 m 2 800 m (向西)

習題與思考 1.2 (p.12)

- 1 C 2 D 3 C
 4 (a) $B > A$ (b) 相同
 5 (b) 21.3 km (S41.2°E)
 6 (a) 38 km (b) 13.4 km (S63.4°E)

進度評估 3 (p.16)

1		將軍澳線	西鐵線	迪士尼線
	長度 / km	12.4	35.7	3.5
	行駛時間 / s	1200	2220	210
	平均速率 / m s^{-1}	10.3	16.1	16.7

進度評估 4 (p.19)

- 1 0.105 m s^{-1} 、 0.0667 m s^{-1} (N32°E)
 2 對

進度評估 5 (p.20)

- 1 錯
 2 2.5 m s^{-2}

習題與思考 1.3 (p.20)

- 1 D 2 B 3 A 4 C
 5 D 6 C

- 7 (a) 10.4 m s^{-1} 、 10.4 m s^{-1}
 (b) 100 m：是、200 m：不是
 8 (a) 45 km h^{-1} (b) 無法確定
 9 (a) 72 s (b) 0.556 m s^{-2}
 10 0.937 m s^{-1} (N72.0°E)
 11 1.12 m s^{-1}

進度評估 6 (p.23)

- 1 (a) 1800 km (向右)、 578 km h^{-1} (向右)
 (b) 300 km (向右)、 54.5 km h^{-1} (向右)
 (c) 700 km (向左)、 169 km h^{-1} (向左)

進度評估 7 (p.28)

- 1 (a) (1) 1.75 m s^{-2} (2) -1.2 m s^{-2}
 (3) -2.5 m s^{-2} (4) 1.5 m s^{-2}
 (5) -9.81 m s^{-2}
 (b) 會

習題與思考 1.4 (p.28)

- 1 B 2 C 3 A 4 D
 5 B 6 B 7 A

8	時間 / s	0	2	4	6	8
	速率 / m s^{-1}	2	7	12	17	22

- 2.5 m s^{-2}
 9 5 m s^{-1} (向下)
 10 11.1 m s^{-2}
 11 (a) -200 m (b) 500 m
 (c) 1.17 m s^{-1} (d) 0.189 m s^{-1}
 12 (b) 5.4 m s^{-1}

複習 1

概念重溫 (p.32)

- 1 F 2 F 3 T

多項選擇題 (p.32)

- 4 C 5 D 6 C 7 A
 8 B 9 C 10 B 11 C
 12 A 13 A 14 C 15 C
 16 C 17 A 18 C

問答題 (p.34)

- 19 (a) 27.3%
 20 (a) 7.47 m s^{-1} (向左)
 (b) (i) 向右 (ii) 1.47 m s^{-1} (向左)
 21 (a) 6 min (b) 63 km h^{-1}

答案

- 22 (a) 120 m (向下) (b) 24 m s⁻¹ (向下)
 (c) 24 m s⁻¹
- 23 (a) 6.97 m s⁻¹ (b) 踏單車
 (c) 可以
- 24 (a) 96 m (b) 61.1 m
 (c) 0.509 m s⁻¹
- 25 (a) 86.4 km h⁻¹ (b) 57.6 km h⁻¹
 (c) 2.67 m s⁻²
- 26 (a) 10 m、15.7 m (b) 不正確
- 27 (a) 225 km h⁻¹
 (c) (i) 0.527 m s⁻²
 (ii) 102 m s⁻¹ / 366 km h⁻¹
- 28 (a) 170 km (b) 130 km (N37.4°E)
 (c) 45.9 km h⁻¹ / 12.7 m s⁻¹ (N37.4°E)
- 29 (a) 1.08 m s⁻¹ (b) 567 m
- 30 (a) t = 10 s
 (b) (i) t = 34 s
 (ii) 大雄: 0、靜宜: 0.588 m s⁻¹ (向左)
 (iii) 大雄: 1.08 m s⁻¹、靜宜: 0.75 m s⁻¹

物理文章分析 (p.37)

- 32 (b) 平衡位置 (c) 2.4 m s⁻² (向上)

2 運動 II

進度評估 1 (p.45)

1	時段 / s	位移變化 / m	速度 / m s ⁻¹
	0-100	100	1
	100-200	0	0
	200-300	50	0.5
	300-400	-100	-1

進度評估 2 (p.49)

- 1 A 2 B 3 X

進度評估 3 (p.53)

- 1 A 2 C
 3 B、C、D 4 A、B

進度評估 4 (p.56)

- 1 C

習題與思考 2.1 (p.57)

- 1 A 2 A 3 B 4 D
 5 C

- 9 (b) (i) 20 m (ii) 5 m
 (iii) 0 (iv) -17 m
- (c) (i) 3.33 m s⁻¹ (ii) 0.833 m s⁻¹
 (iii) 0 (iv) -2.83 m s⁻¹
- 10 (b) (i) 30 m (ii) 12.5 m
 (iii) 0 (iv) -6 m
- (c) (i) 5 m s⁻¹ (ii) 2.08 m s⁻¹
 (iii) 0 (iv) -1 m s⁻¹
- 11 (a) t = 10 s
 (b) 0.5 m s⁻¹、0.5 m s⁻¹
 (c) 在 t = 5 s, X: 0.5 m s⁻¹、Y: -1 m s⁻¹
 在 t = 15 s, X: 0.5 m s⁻¹、Y: 2 m s⁻¹
- 14 (a) 1700 m (b) t = 90 s
 (c) 15.5 m s⁻¹

進度評估 5 (p.63)

- 1 0.452 s
 2 36.7 m

進度評估 6 (p.68)

- 1 D

習題與思考 2.2 (p.68)

- 1 C 2 B 3 B 4 C
 5 C 6 B
- 7 (a) 0.625 m s⁻² (向左)
 (b) 24 s
- 8 (a) 2.83 m s⁻¹ (b) 5.66 s
 (c) 57 m (b) 33 m
- 9 (a) 24 m (b) 1.5 m s⁻²
 (c) 57 m
- 10 (a) 10 s (b) 1.5 m s⁻²
 (c) 2 × 加速度
- 11 (b) 45 m
- 12 (a) 10 m s⁻¹ (b) 140 s

進度評估 7 (p.73)

- 1 B 2 F 3 C

進度評估 8 (p.77)

- 1 X: s + v + a -; Y: s + v - a -;
 Z: s - v - a -
- 2 C
- 3 能夠
- 4 在 t = 1 s: 9.81 m s⁻¹、4.91 m
 在 t = 2 s: 19.6 m s⁻¹、19.6 m
 在 t = 3 s: 29.4 m s⁻¹、44.1 m

習題與思考 2.3 (p.78)

- 1 D 2 C 3 A 4 C
 5 B 6 B
- 7 0.584 s 後
- 8 (a) 7.67 m s⁻¹ (向上) (b) 0.782 s
- 9 (a) 62.6 m s⁻¹ (b) 6.39 s
- 10 (a) 1.77 m (b) 0.950 m
- 11 (a) 0.903 s (b) 8.86 m s⁻¹
 (d) 是
- 12 (a) 0.785 m (b) 3.92 m s⁻¹
- 13 (a) 5.19 s (b) 50.9 m s⁻¹

複習 2

概念重溫 (p.82)

- 1 F 2 F

多項選擇題 (p.82)

- 3 D 4 B 5 D 6 C
 7 A 8 D 9 C 10 C
 11 B 12 C 13 B 14 B
 15 B 16 B 17 A 18 A
 19 C 20 D 21 B 22 B

問答題 (p.85)

- 23 (a) 0.6 s
 (b) 4 m s⁻² (與移動方向相反)
 (c) 能夠
- 24 (b) 27 m (c) 9 m s⁻¹
- 25 (b) t = 2.33 s (c) 小巴
- 26 (a) 8.89 m s⁻²
 (b) (i) 7.51 m s⁻²
 (ii) 獵豹: 6.22 m / 0.264 s
- 27 (a) 0.2 m s⁻²
- 28 (a) 向左 (b) -40 m
 (c) -0.667 m s⁻¹
- 29 (b) 0.469 m s⁻² (沿跑道向下)
- 30 (a) 14.5 m s⁻¹ (c) 262 m
 (d) 0.518 m s⁻² (與移動方向相反)
- 31 (a) 10 s (b) 8.1 s
- 32 (a) 0.1 m (b) 0.8 m
 (c) 2.2 m s⁻¹
 (d) 4.18 m s⁻² (沿跑道向下)
- 33 (a) 3.92 m s⁻¹ (b) 1.28 s
 (c) 8.62 m s⁻¹
- 34 (b) -17.5 m (c) 會

- 35 (a) X: 8.17 m s⁻²、Y: 6.04 m s⁻²
 (b) 11.1 m、63.9 m
 (c) Y 比 X 多行駛的距離
 (d) 不會 (e) 沒有
 (f) 8 m
- 36 (a) 14.7 m (b) t = 8.26 s
 (c) t = 9.48 s、10.7 s
- 37 (b) 6.25 m s⁻¹
- 38 (b) 9 m
- 39 (b) (ii) 2500 m
- 40 (b) (i) B、2 m s⁻²
 (c) (i) 125 m (ii) t = 45 s

實驗題 (p.90)

- 41 (a) 8.21 m s⁻²
 42 (b) 0.800 m s⁻²

物理文章分析 (p.91)

- 43 (a) (i) 0.68 m s⁻¹、0.87 m s⁻¹
 (ii) 0.95 m s⁻²

3 力與運動 (I)

進度評估 1 (p.99)

- 2 15 N (向下)

習題與思考 3.1 (p.99)

- 1 C 2 A
 3 (b) 是 4 22 N

進度評估 2 (p.106)

- 1 A

習題與思考 3.2 (p.107)

- 1 C 2 D 3 C
 4 保齡球 6 不會 8 方法 2

進度評估 3 (p.111)

- 1 4500 N 2 700 N

進度評估 4 (p.113)

- 1 F - T₁ 2 T₂

習題與思考 3.3 (p.114)

- 1 C 2 A 3 C 4 A
 5 A 6 A

- 7 (a) 5 m s^{-2} (向後) (b) 5000 N (向後)
 9 (a) 4.5 m s^{-2} (向右) (b) 56.3 m (向右)

進度評估 5 (p.121)

- 1 C 2 D 3 C 4 A

進度評估 6 (p.126)

- 1 X
 2 0.0491 N (向上)
 3 (a) 10 N (b) 20 N
 (c) 25 N (d) 25 N

習題與思考 3.4 (p.126)

- 1 C 2 C 3 D 4 D
 5 A
 7 (a) A: 重量、B: 空氣阻力
 8 (b) 3 N (c) 1 kg
 9 (a) 相同 (b) 相同
 (c) 天平不能正常運作。
 10 (b) 4 m s^{-2} (向下) (c) 0.688 kg
 11 (a) 11.8 N (b) 9.97 N
 (c) 11.8 N (d) 12.4 N
 12 (d) 4000 m

進度評估 7 (p.133)

- 2 X 施於 Y 的力和 Y 施於 X 的力

習題與思考 3.5 (p.133)

- 1 D 2 C 3 C 4 A
 6 向後
 7 不是
 8 (a) 3 N (向右) (b) 3 N (向左)
 (c) 0.7 m s^{-1} (向右)
 9 2760 N

複習 3

概念重溫 (p.137)

- 1 F 2 F 3 T 4 T

多項選擇題 (p.137)

- 5 B 6 B 7 C 8 A
 9 B 10 C 11 B 12 A
 13 C 14 C 15 A 16 C
 17 B 18 B 19 A 20 D
 21 C 22 A

問答題 (p.140)

- 24 (b) 1 N (向上)
 (c) 支架施於地球儀的磁力和地球儀施於支架的
 磁力
 25 (a) 3.27 m s^{-2}
 26 (b) 10 N (c) 零
 27 (a) 不正確
 (b) (i) 5 m s^{-1} (向後) (ii) 15 m s^{-1} (向前)
 28 (b) (i) 566 N (ii) 491 N
 (iii) 431 N
 (c) 不違反
 29 (a) 1.25 m s^{-2} (向右)
 (c) 37.5 N (d) 12.5 N (向右)
 (e) 不正確
 30 (a) T
 31 (c) 4.91 N
 32 (a) 不同意 (c) 剛開始下墮時
 33 (b) (i) 6.4 N
 (ii) 4 N (向左)、4 N (向右)
 34 (a) 1.40 m s^{-2} (向上) (b) 不變
 (c) 7.80 s
 35 (a) 0.625 m s^{-2}
 36 (a) 零
 (b) (ii) 2 N (向左) (ii) 2 N (向右)
 37 (b) 4 N (c) 0.622 kg
 38 (c) 不是
 40 (a) 3.75 m s^{-2}
 41 (c) 18 N (d) 5940 m

實驗題 (p.144)

- 42 (a) 0.244 kg
 (b) (i) 1.93 N (ii) 1.24 m s^{-2}

物理文章分析 (p.145)

- 43 (b) 138 m (c) 8800 N

4 力與運動 (II)

進度評估 1 (p.152)

- 1 2.23 N 2 B

進度評估 2 (p.154)

- 1 8.66 N 2 12.3 N

進度評估 3 (p.156)

- 1 6.36 N (向右, x 軸以上 87.6°)

- 2 120° 3 2 N (沿斜面向下)

習題與思考 4.1 (p.157)

- 1 B 2 A 3 D 4 A
 6 (a) 67.7 N (12.8°) (b) 64.8 N (19.1°)
 (c) 60.8 N (25.3°) (d) 50 N (36.9°)

進度評估 4 (p.160)

- 1 17.0 N

進度評估 5 (p.166)

- 1 0.2 m s^{-2} (向右)
 2 8.81 N (沿斜面向上)

習題與思考 4.2 (p.166)

- 1 C 2 A 3 A 4 A
 5 B
 6 1440 N
 7 (b) 向右
 8 (a) $3.58 \times 10^{-3} \text{ N}$ (與垂直線成 73.9°)
 (b) 8.95 m s^{-2} (與垂直線成 73.9°)
 9 (a) 176 000 N (向上)
 (b) 3.59 m s^{-2} (向左, 水平線以上 0.906°)
 10 1.58 m s^{-2} (向右, 水平線以上 59.1°)
 11 (a) 3.41 N (沿斜面向上)
 (b) 不是
 (c) 3.20 m s^{-2} (沿斜面向下)

複習 4

概念重溫 (p.169)

- 1 F 2 F

多項選擇題 (p.169)

- 3 D 4 D 5 B 6 C
 7 B 8 B 9 D 10 C
 11 A 12 B 13 C 14 A
 15 A

問答題 (p.169)

- 16 (a) 1 N (向下) (b) 5 N (向右)
 (c) 5.10 N (向右, 水平線以下 11.3°)
 (d) 2.04 m s^{-2} (向右, 水平線以下 11.3°)
 17 (b) (i) 沿滑梯向下 (ii) 沒有淨力
 (iii) 沒有淨力
 (c) 0.848 m s^{-2} (沿滑梯向下)
 18 (b) 零 (c) 20 N、17.3 N

- 19 (b) 791 N (c) 791 N
 20 (a) 42.9 N (b) $S40.0^\circ E$
 (c) 3.5 m s^{-2} ($N40.0^\circ W$)

- 21 (a) (ii) 0.25 m s^{-2} (沿斜面向下)
 (iii) 3.11 N (沿斜面向上)
 (b) 不正確
 22 (a) 2.5 m s^{-2} (沿斜面向下)
 (b) 0.319 N (沿斜面向下)
 (c) (i) 2.41 m s^{-1}
 23 (a) (i) 零 (ii) 720 N
 (b) 750 N (c) 較長
 24 (a) $N = 649 \text{ N}$ 、 $f = 30.5 \text{ N}$ (向右)
 (b) $N = 638 \text{ N}$ 、 $f = 0$
 (c) $N = 620 \text{ N}$ 、 $f = 48.9 \text{ N}$ (向左)
 25 (a) (ii) 2.45 N
 (b) (i) 2.54 m s^{-2} (沿斜面向下)
 (ii) 4.74 N (向左, 水平線以下 75°)
 26 (a) 6000 N (向下)
 (c) (ii) 20 m

實驗題 (p.174)

- 27 (a) (ii) $1.57 \text{ s}^2 \text{ m}^{-1}$ (iii) 1.27 m s^{-2}
 (c) 0.526 N

物理文章分析 (p.175)

- 28 (b) 1 N、 1.96 m s^{-2} (c) 橫向顯示

5 力矩

進度評估 1 (p.181)

- 1 C 2 不可以

進度評估 2 (p.185)

- 1 B
 2 (a) 2 N m (順時針) (b) 1.53 N m (順時針)

習題與思考 5.1 (p.185)

- 1 A 2 D 3 A 4 D
 5 D
 6 三道力的力矩相同
 7 (a) 1.02 N m (逆時針) (b) 62.8 N m (逆時針)
 8 (d) $\frac{m}{2}$

進度評估 3 (p.189)

- 1 支點右方 0.3 m
 2 667 N (向上)

進度評估 4 (p.193)

- 1 2800 N
2 $T_A = 2570 \text{ N}$ 、 $T_B = 3020 \text{ N}$
4 錯

進度評估 5 (p.197)

- 1 6 N 2 錯

習題與思考 5.2 (p.198)

- 1 B 2 D 3 C 4 A
6 不能

複習 5

概念重溫 (p.200)

- 1 F 2 T

多項選擇題 (p.200)

- 3 A 4 B 5 C 6 B
7 D 8 B 9 D 10 C
11 D 12 C

問答題 (p.201)

- 13 (b) 不可以
14 (a) 0.72 kg
(b) 減少
15 (a) (i) 338 N (ii) 不等於
16 (b) 6.53 N
(c) (i) 左面那根
17 (a) 不是 (b) 400 N
(c) 沒分別 (e) 較辛苦
18 (a) 90 N (b) 12 cm
(c) (i) 5.5 cm (ii) 不可以
19 (a) 3160 N、6260 N
(b) (i) 不是 (ii) 是
20 (a) 700 g
(b) 不變
21 (c) (i) 410 N
(ii) 465 N (向右, 水平線以上 33.9°)
22 (b) 2589 N、2532 N
23 (b) 鋼索 1
(c) (i) 246 N (ii) 較重

物理文章分析 (p.205)

- 25 (a) (i) 0.382 N m
(b) 零

6 功、能量和功率

進度評估 1 (p.212)

功	大小	物體獲得還是失去能量
由 F_1 導致	10 J	失去能量
由 F_2 導致	20 J	獲得能量
由 f 導致	2 J	失去能量
由 N 導致	0	能量不變
由 w 導致	0	能量不變
總功	8 J	獲得能量

習題與思考 6.1 (p.213)

- 1 C 2 B 3 B 4 A
5 12 J 6 5.66 m
7 (a) 78.5 J
(b) (i) 零 (ii) 會
8 15.4 J
9 (b) 9.19 N (b) 零
(c) 零

進度評估 2 (p.216)

- 1 $2.18 \times 10^6 \text{ m s}^{-1}$ 2 0.4 m s^{-1}

進度評估 3 (p.218)

- 1 相同 2 392 J

習題與思考 6.2 (p.219)

- 1 B 2 C 3 A 4 B
5 0.96 J 6 3.54 m s^{-1}
7 29.3 J
8 (a) 20.4 m (b) -2940 J
(c) -17 900 J (d) 不變

進度評估 4 (p.227)

- 1 C 2 C 3 D 4 D

進度評估 5 (p.232)

- 1 (a) 208 000 J (b) 10 400 N
2 17.5 J

習題與思考 6.3 (p.232)

- 1 D 2 B 3 B 4 C
5 (a) 2650 J
6 (a) 20 m s^{-1} (b) 20.4 m

- 7 低於 v
8 (a) 1.25 J
(b) (i) 0.0125 m (ii) 100 N
9 (a) 30.4 cm (b) 1.44 N

進度評估 6 (p.238)

- 1 D 2 10 000 J
3 23.5 W 4 44 100 s (12.3 h)

習題與思考 6.4 (p.239)

- 1 D 2 A 3 D
4 跑車
5 (a) 20.6 kW (b) 5.89 kW
6 (a) $1.96 \times 10^7 \text{ J}$ (b) $1.96 \times 10^7 \text{ W}$

複習 6

概念重溫 (p.242)

- 1 F 2 T 3 F 4 F

多項選擇題 (p.242)

- 5 D 6 B 7 C 8 C
9 C 10 B 11 A 12 A
13 A 14 C 15 A 16 B
17 C 18 B 19 B 20 B
21 A 22 D

問答題 (p.245)

- 23 (a) 106 J (b) 1060 N
24 (a) 0.9 m s^{-2} (b) 3.6 J
(c) 摩擦力、4.5 N
25 (a) 68.1 m (b) 189 N
26 (a) (i) 8 J (ii) 0.540 m
(iii) 9.43 m s^{-1}
27 (a) 542 J (b) 302 J
(c) 不相同
28 (a) 離地 1 m
(b) (i) 離地 1.11 m (c) 不會
29 (a) (i) 35 m (ii) 55.1 kW
(iii) 不是
(b) 48.5 m s^{-1}
30 (a) (i) 7250 m (ii) 較大
(b) $2.97 \times 10^7 \text{ J}$
31 (a) 855 N (b) 4530 J
(c) 張力作的功
32 (a) 7.98 s (b) 107 W
(c) 40.7 J

- 33 (a) 3920 J
(b) (i) 818 N (ii) 不正確
(iii) 9810 J
34 (a) 6900 J (b) 2900 N
36 (a) 1.61 m s^{-2} (b) 0.475 m s^{-1}
(c) 0.0359 N
37 (a) (i) 16 kW (ii) 4 kW
(b) (i) 6 kW (iii) 不正確

實驗題 (p.248)

- 39 (b) (ii) 9.85 m s^{-2}

物理文章分析 (p.249)

- 41 (a) 98.1 J (b) 98.1 J
(c) 49.1 N (d) 不變、增加

7 動量

進度評估 1 (p.262)

- 1 (a) 非彈性碰撞 (b) 彈性碰撞
2 F 3 T 4 F 5 T
6 0.4 m s^{-1} (向左)

進度評估 2 (p.268)

- 1 2 m s^{-1} (向右)、 1 m s^{-1} (向左)
2 B

習題與思考 7.1 (p.268)

- 1 C 2 C 3 C 4 B
5 B
6 (a) $2p$ 、 $2E$ (b) $2p$ 、 $4E$
7 (a) 沒違反
8 (a) 0.333 kg (b) 3 kg
(c) 2.02 kg 或 3.84 kg
9 100 m s^{-1}
10 1.68 m s^{-1} (向東)
11 (a) $t = 1.45 \text{ s}$
(b) $A: 0.29 \text{ m s}^{-1}$ 、0 ; $B: 0, 0.285 \text{ m s}^{-1}$
(c) 守恆

進度評估 3 (p.272)

- 1 4.91 N (向下)
2 $90 000 \text{ kg m s}^{-2}$ (向後)

進度評估 4 (p.280)

- 1 12 kg m s^{-1} 、2.4 N 2 B

答案

習題與思考 7.2 (p.280)

- 1 D 2 C 3 D 4 C
 5 B 6 B
 9 (a) 1070 N
 10 (a) 14.0 m s⁻¹ (b) 70.0 N (向上)
 (b) 70.2 N (向下)
 12 (a) 1350 kg m s⁻¹ (b) 9000 N
 13 (c) 1.75 m s⁻¹ (向左)

複習 7

概念重溫 (p.283)

- 1 F 2 F 3 T

多項選擇題 (p.283)

- 4 C 5 C 6 A 7 C
 8 D 9 A 10 B 11 B
 12 A 13 D 14 C 15 C
 16 C 17 A 18 B 19 C
 20 D 21 B 22 C

問答題 (p.286)

- 24 (b) 1150 N
 25 (a) 順時針 (b) 0.0333 N
 (c) 6.67 × 10⁻³ N m
 26 (a) (i) 0.1 m s⁻¹ (向左) (ii) 0.375 J
 (b) 1.1 m s⁻¹ (向左)、0.4 m s⁻¹ (向右)
 27 (a) 200 N (b) 增大
 (c) 3 N
 28 (a) -5.2 kg m s⁻¹ (b) -10.4 N
 29 (a) $\frac{2mu}{M+m}$ (b) $\frac{u(m-M)}{M+m}$
 (c) (i) -u、0 (ii) 0、u
 (iii) u、2u
 30 (a) 1.17 m s⁻¹ (b) 118 m s⁻¹
 (c) 符合 (d) 不守恆
 31 (a) 1250 N (b) 司機的動量變化
 (c) 12 500 N
 (d) (i) 2500 N (ii) 0.5 s
 32 (a) $\frac{u}{2}$
 (b) (i) 10 (ii) 90%
 (c) u
 33 (b) 3.87 m s⁻¹, -1.29 m s⁻¹
 (d) 彈簧的內能、聲能
 34 (a) 18.3 m s⁻¹ (向下) (b) 913 kg m s⁻¹ (向上)
 (c) 3650 N (向上) (d) 0.717 m

- (e) 19 800 N
 35 (b) 3.15 N (向右) (c) 符合
 37 (a) 402 m s⁻¹ (b) 500 N (向右)
 (c) 0.667 N (向左) (d) 4 mm
 (e) 404 J (e) 0.804 m
 38 (a) (i) 1.76 N s (ii) 1760 N
 (b) 不正確 (c) 1.94 m s⁻¹
 39 (a) (完全) 非彈性碰撞 (b) 1 m s⁻¹
 (c) 94.0 m s⁻¹
 40 (a) 不是
 (b) (i) 4.47 m s⁻¹ (ii) 795 N
 41 (a) (i) 40 m s⁻¹ (iii) 150 m
 (b) (i) 30 m s⁻¹ (ii) 250 000 N (向左)

實驗題 (p.292)

- 42 (b) 0.39 kg m s⁻¹ (沿軌道向上)
 (c) 不相同
 43 (a) u_x: 0.495 m s⁻¹ (向右)
 u_y: 0.398 m s⁻¹ (向左)
 v_x: 0.203 m s⁻¹ (向右)
 v_y: 0.490 m s⁻¹ (向右)

物理文章分析 (p.293)

- 44 (a) 相同、相同 (b) 4 : 1
 (c) 4 : 1

8 拋體運動

進度評估 1 (p.302)

- 1 (a) T (b) T
 (c) F (d) F
 2 不變

進度評估 2 (p.304)

- 1 B 2 5.05 s
 3 505 m

習題與思考 8.1 (p.304)

- 1 C 2 D 3 C
 4 12.6 m s⁻¹
 5 (a) 包裹正上方 1100 m (b) 200 m
 6 85.8 m s⁻¹
 7 (a) 1.64 m

進度評估 3 (p.311)

- 1 1.35 m 2 6.42 m

進度評估 4 (p.314)

- 1 會 2 錯

進度評估 5 (p.318)

- 1 Z 2 相同 3 Z

題與思考 8.2 (p.318)

- 1 D 2 B 3 D
 4 (a) 0.956 m (b) 0.441 s
 (c) 0.883 s
 6 (a) 26.1 m s⁻¹ (水平線以上 69.8°)
 (b) 30.7 m

複習 8

概念重溫 (p.321)

- 1 F 2 T

多項選擇題 (p.321)

- 3 A 4 A 5 D 6 D
 7 A 8 B 9 B 10 B
 11 A 12 A 13 A 14 D

問答題 (p.323)

- 15 (a) 0.452 s (b) 0.226 m
 (c) 不變、增大
 16 (a) 3.08° (b) 減少
 (c) 減少
 17 (a) 31.8 m (b) 441 m
 18 (a) 0.279 s (c) 3.74 m s⁻¹
 19 (a) 向上 (b) t = 0.612 s
 (c) 1.83 m (d) t = 1.33 s
 (e) 4.64 m
 20 (a) 9.91 s (b) 85.8 m
 (c) 14.0 m s⁻¹ (水平線以下 51.9°)
 (d) 37.7 m
 21 (a) 3.11 m s⁻¹ (b) 3.36 m
 (c) 70.0° (d) 0.779 s
 22 (a) 2.07 m (b) 29.9°
 (c) 1.13 m (d) 12.1 m
 23 (a) 0.5 s、7 m s⁻¹、5 m s⁻¹
 (b) (i) 8.06 m s⁻¹ (ii) 14.1 N
 (c) 0.8 m (d) Q
 24 (a) 4 m s⁻¹ (b) 0.815 m
 (c) 0.785 m (d) 不會
 25 (a) 1.42 s (b) 15.1 m

實驗題 (p.327)

- 26 (a) R = 2h (b) 支持

物理文章分析 (p.327)

- 27 (b) 67.7 m s⁻¹ (c) 大

9 勻速圓周運動

進度評估 1 (p.333)

- 1 (a) 0.105 rad s⁻¹、1.75 × 10⁻³ rad s⁻¹、
 1.45 × 10⁻⁴ rad s⁻¹
 (b) 2.09 rad、120°
 2 (a) 0.222 rad s⁻¹ (b) 3.33 rad、191°

進度評估 2 (p.335)

- 1 1.26 rad s⁻¹、0.474 m s⁻²
 2 (a) 1.10 × 10⁹ km (b) 0.0113 m s⁻²

習題與思考 9.1 (p.336)

- 1 C 2 A 3 A 4 A
 5 (a) 8.25 × 10⁻⁴ rad s⁻¹ (b) 7620 s
 (c) 1.32 m s⁻²
 6 (a) 1.75 × 10⁻³ rad s⁻¹、4.36 × 10⁻² m s⁻¹
 (b) 3600 s (c) 7.81 m
 (d) 7.62 × 10⁻⁵ m s⁻²、5.24 × 10⁻⁵ m s⁻²

進度評估 3 (p.339)

- 1 1.94 m s⁻¹
 2 6.58 N

進度評估 4 (p.342)

- 1 3.70 N 2 C

進度評估 5 (p.352)

- 1 不會 2 12.5°
 3 76.8° 4 ω

習題與思考 9.2 (p.353)

- 1 B 2 B 3 B 4 D
 5 C
 6 (a) 8.35 N (b) 2.86 N
 (c) 1.35 m s⁻¹
 7 (a) 0.185 N、0.247 N (b) Y
 8 (a) 4.71 rad s⁻¹、41.6 m s⁻¹
 (b) 減半

複習 9

概念重溫 (p.356)

- 1 T 2 T

多項選擇題 (p.356)

- 3 B 4 B 5 B 6 C
7 A 8 A 9 C 10 A
11 D 12 B 13 B 14 C

問答題 (p.358)

- 15 (a) $1.99 \times 10^{-7} \text{ rad s}^{-1}$ (b) $2.99 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$
(c) $3.56 \times 10^{22} \text{ N}$
- 16 (a) 1260 s (b) $2.5 \times 10^{-4} \text{ m s}^{-2}$
(c) 不是
- 17 (a) $\frac{v_0^2}{2r}$ (向後) (b) 不應
- 18 (a) $7.27 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$ 、 463 m s^{-1} 、 232 m s^{-1} 、0
(b) 0.0337 m s^{-2} 、 0.0168 m s^{-2} 、0
- 19 (b) (i) 1000 N (ii) 1190 N
(c) 25 m
- 20 (a) 7860 m (b) 80.5°
(c) 3880 N
- 21 (b) 119 m (c) 4.49 rad
(d) 300 N
- 22 (a) 會 (b) A 最大、C 最小
(c) 摩擦力
- 23 (b) (i) 13.7 N (ii) 11.9 N
(iii) 6.26 rad s^{-1} (iv) 零
(v) 增大
- 24 (b) $W = 0.491 \text{ N}$ 、 $N = 1.16 \text{ N}$
(c) 6.84 cm
(d) W 和 N 不變、半徑增大
- 25 (a) 23.8 m s^{-1}
(b) (ii) 10 300 N
(c) 55.1 m s^{-1} (d) 減少
- 26 (a) 0.641 s (b) 0.641 s
(c) 1860 m s^{-2}
- 27 (b) 52.9° (c) 1140 N
(d) 977 N (e) 不會
- 28 (a) $1.4mg$
(b) (i) 11.8 rad s^{-1} 、 16.1 rad s^{-1}
(ii) 不變
- 29 (b) (ii) 38.7° 、1.28 N
- 30 (a) (i) 摩擦力、 17.3 m s^{-1}
(ii) 小於

實驗題 (p.362)

- 32 (d) 0.43 kg

物理文章分析 (p.363)

- 33 (a) 0.5 m s^{-1} (b) 0.191°
(c) 2.25 m s^{-2}

10 引力

進度評估 1 (p.370)

- 1 D 2 $3.52 \times 10^{22} \text{ N}$
3 錯

進度評估 2 (p.372)

- 1 3830 N

2		<i>m</i>	<i>W</i>
	在地球表面	21.5 kg	211 N
	在月球表面	21.5 kg	35.2 N
	在距離月球表面 R_M 的高度	21.5 kg	8.8 N

進度評估 3 (p.376)

- 1 $2.77 \times 10^{12} \text{ N kg}^{-1}$ 2 $7.42 \times 10^{22} \text{ kg}$

習題與思考 10.1 (p.376)

- 1 B 2 B 3 C 4 B
5 A 6 A 7 A 8 A
- 9 1850 kg
- 10 (a) $6.88 \times 10^{-8} \text{ N}$ (b) 68.7 N
(c) 68.7 N
- 11 (a) $5.90 \times 10^{-3} \text{ N kg}^{-1}$
- 14 (a) 離地球中心 9010 km
(b) 無限遠
- 15 $8.70 \times 10^{-3} \text{ N kg}^{-1}$

進度評估 4 (p.384)

- 1 $6.04 \times 10^{22} \text{ kg}$ 2 1.04 N

習題與思考 10.2 (p.385)

- 1 B 2 D 3 A 4 A
5 B
6 7070 m s^{-1}
7 (a) $1.67 \times 10^{-8} \text{ rad s}^{-1}$ (b) $7.79 \times 10^{11} \text{ m}$
8 (a) $8.25 \times 10^{-4} \text{ rad s}^{-1}$ (b) 3100 N
9 (a) 7.53 N kg^{-1}

- (b) $1.02 \times 10^{-3} \text{ rad s}^{-1}$ 、6170 s

- (c) 減少、增加

複習 10

概念重溫 (p.388)

- 1 F 2 F 3 T

多項選擇題 (p.388)

- 4 B 5 C 6 C 7 C
8 C 9 B 10 A 11 A
12 C 13 C 14 C 15 A
16 B 17 D 18 B 19 B
- 20 (b) 月球 (c) 保持靜止
- 21 (a) $2.55 \times 10^{-3} \text{ N kg}^{-1}$ (b) $2.41 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$
(c) 687 日
- 22 (a) 280 日 (b) $5.19 \times 10^6 \text{ m s}^{-1}$
(c) $8.09 \times 10^{36} \text{ kg}$
- 23 (b) 1.62 m s^{-2} (c) 1.22 s
- 24 (a) 質量、半徑
(c) (i) $9.60 \times 10^{24} \text{ kg}$
- 25 (b) (i) 5460 m s^{-1} (ii) 2230 N
- 26 (b) 0.4g (c) 724 N
- 27 (a) 4.91 m
- 28 (a) 1410 km
(b) (ii) 40 kg
(c) $8.67 \times 10^{23} \text{ kg}$
- 29 (a) 5060 s (b) 86 400 s
- 30 (a) 86 400 s (b) 2.02 N、1.30 N
(c) 587 N
- 31 (b) $1.86 \times 10^{27} \text{ kg}$ (c) $3.11 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$
- 32 (a) (i) $5.98 \times 10^6 \text{ N}$ (ii) 2.46 m s^{-2}
(b) (i) 7780 m s^{-1} (ii) 21.1 h
- 33 (b) (ii) 1.6 m s^{-2} (iii) 3.36 s
(v) 不可以
(c) (i) 3.94 m s^{-1} (水平線以上 59.5°)
(ii) 在車上
- 34 (c) $3.45 \times 10^5 \text{ km}$ (e) 較多
- 35 (a) (i) $4.24 \times 10^7 \text{ m}$ (ii) 3080 m s^{-1}

實驗題 (p.394)

- 36 (a) $5.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
(b) 15.0%
(d) (i) 不正確 (ii) 不能

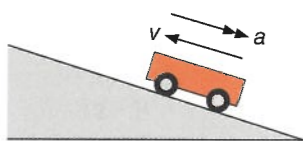
物理文章分析 (p.395)

- 37 (a) 86 400 s (b) $3.59 \times 10^7 \text{ m}$

自我評核題解

自我評核 1

- 1 C 2 A
3 (a)



(每個正確方向) 2 × 1A

(b)

時間 / s	0	1	2	3
速度 / m s ⁻¹	3	1.5	0	-1.5

(每個正確答案) 2 × 0.5A

- (c) $t = 0$ 至 $t = 2$ s, 小車沿斜面向上愈走愈慢。 1A
 在 $t = 2$ s, 小車瞬時靜止。 1A
 $t = 2$ s 至 $t = 3$ s, 小車沿斜面向下愈走愈快。 1A

自我評核 2

- 1 B 2 C
3 取向上為正。

- (a) 設 X 的位移為 s_X , Y 的位移為 s_Y 。
 根據 $s = ut + \frac{1}{2}at^2$, 1M
 $s_X = 0 + \frac{1}{2}(-9.81)t^2 = -4.905t^2$
 X 移動的距離是 $4.905t^2$ 。
 $s_Y = 12t + \frac{1}{2}(-9.81)t^2 = 12t - 4.905t^2$
 Y 移動的距離是 $12t - 4.905t^2$ 。
 由於兩個球的總移動距離是 10 m,
 $4.905t^2 + 12t - 4.905t^2 = 10$ 1M
 $\Rightarrow t = \frac{10}{12} \text{ s} = 0.833 \text{ s}$ 1A

- 兩個球在 0.833 s 後相遇。
 (b) 當 Y 到達最高點,
 根據 $v^2 = u^2 + 2as$,
 $0 = 6^2 + 2(-9.81)H$
 $H = 1.83 \text{ m}$ 1A
 當 Y 跌回地面, 根據 $s = ut + \frac{1}{2}at^2$,
 $0 = 6t + \frac{1}{2}(-9.81)t^2$
 $t = 1.22 \text{ s}$ 1A

X 在 1.22 s 時的位移
 $= ut + \frac{1}{2}at^2 = 0 + \frac{1}{2}(-9.81)(1.22)^2 = -7.34 \text{ m}$
 X 在 1.22 s 時所處的高度
 $= 10 - 7.34 = 2.66 \text{ m} > 1.83 \text{ m}$ 1A
 \therefore 在 Y 掉到地面前, 兩個球不會相遇。 1A

自我評核 3

- 1 A 2 B 3 B 4 A
5 (a)



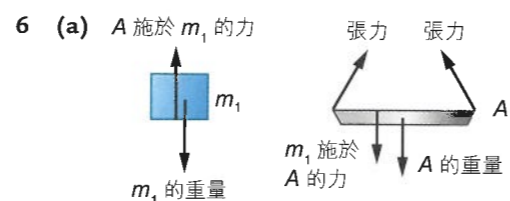
- (每道正確的力) 2 × 1A
 (b) 張力 = mg 1M
 $= 70 \times 9.81 = 687 \text{ N}$ 1A
 (c) (i) 他覺得重量比平時大。 1A
 (ii) 取向上為正。
 根據 $F = ma$, 1M

$$T - (m + M)g = (m + M)a$$

$$T = (m + M)(a + g)$$

$$= (70 + 65)(0.2 + 9.81)$$

$$= 1350 \text{ N} \quad 1A$$



- (每道正確的力) 6 × 0.5A
 (b) A 施於 m_1 的力與 m_1 施於 A 的力 (或其他合理答案) 1A
 (c) 盤子和砝碼以恆速率移動 或保持靜止。 1A
 (d) 它的重量保持不變, 但 A 施於它的力則變為零。 1A

自我評核 4

- 1 A 2 C
3 (a) 設繩索的張力是 T , 盒子的加速度是 a 。
 考慮砝碼。它的加速度量值與盒子相同。
 根據 $F = ma$,
 $0.5g - T = 0.5a$ 1M
 $a = g - 2T$ (1)

考慮盒子。取向左為正。根據 $F = ma$,
 $T \cos 30^\circ - 3.5 = 0.8a$ (2) 1M
 把 (1) 代入 (2),
 $T \cos 30^\circ - 3.5 = 0.8(g - 2T)$ 1A
 $T = 4.60 \text{ N}$
 繩的張力是 4.60 N。
 根據 (1),
 $a = 9.81 - 2(4.60) = 0.607 \text{ m s}^{-2}$ 1A
 盒子的加速度是 0.607 m s^{-2} (向左)。
 (b) 在這一時刻, 系統的加速度是零。
 考慮砝碼。
 $T = mg = 0.5 \times 9.81 = 4.905 \text{ N}$ 1M
 考慮盒子。
 $T \cos \theta = 3.5$ 1M
 $\theta = 44.5^\circ$ 1A
 繩子與水平的夾角是 44.5° 。

自我評核 5

- 1 A 2 B
3 (a) 對 X 點計算力矩。
 順時針合力矩 = 逆時針合力矩
 $500 \times 0.6 + 200(0.6 + 0.6 + 1.2)$
 $= F_Y(0.6 + 0.6)$ 1M
 $F_Y = 650 \text{ N}$
 F_Y 是向上 650 N。
 考慮垂直方向。
 $F_X + F_Y = 500 + 200$ 1M
 $F_X = 50 \text{ N}$
 F_X 是向上 50 N。
 (b) F_X 量值減少, 1A
 最後變為指向下。 1A
 F_Y 量值增加, 1A
 保持指向上。 1A

自我評核 6

- 1 A 2 A 3 A
4 (a) 根據 $P = Fv$, 1M
 $v = \frac{P}{F} = \frac{16 \times 10^3}{800} = 20 \text{ m s}^{-1}$ 1A
 (b) 汽車輸出的能量 = 克服摩擦力所作的功
 $M \times 46 \times 10^6 \times 20\% = 800 \times 300 \times 10^3$ 1M
 $M = 26.1 \text{ kg}$ 1A
 油缸最多可以儲存 26.1 kg 汽油。
 (c) 汽車上斜時, 部分能量會轉換為汽車的重力
 势能。 1A

- 5 (a) 假設空氣阻力可略去不計。 1A
 失去的動能 = 獲得的勢能
 $\frac{1}{2} m(u^2 - v^2) = mgh$ 1M
 $\frac{1}{2} (1.4^2 - v^2) = 9.81 \times 0.05$
 $v = 0.989 \text{ m s}^{-1}$ 1A
 (b) (i) 擺球在另一側到達的高度
 = 擺球最初被釋放時的高度
 $= 15 - 15 \cos 40^\circ$
 $= 3.51 \text{ cm}$ 1A
 (ii) $30 - 30 \cos \theta = 3.51$
 $\theta = 28.0^\circ$

 (角度正確) 1A
 (繩子保持筆直) 1A

自我評核 7

- 1 B 2 D 3 C 4 D
5 (a) 撞擊時間 = $1.50 - 1.20 = 0.3 \text{ s}$ 1A
 $\bar{F}t =$ 線圖下的面積 1M
 $\bar{F} = \frac{0.47}{0.3} = 1.57 \text{ N}$ 1A
 (b) 動量變化 Δp
 $= mv - mu = m(-0.35 - 0.36) = -0.71m$
 線圖下的面積 = Δp 的量值
 $0.47 = 0.71m$ 1M
 $m = 0.662 \text{ kg}$ 1A
 6 (a) (i) 作用於水的平均力 1M
 $= \frac{mv - mu}{t}$
 $= \frac{0.5 \times 10 - 0}{1}$
 $= 5 \text{ N}$
 根據牛頓運動第三定律, 作用於火箭的平均力
 量值也是 5 N。 1A
 (ii) 取火箭的移動方向為正。根據動量守恆,
 $m_W u_W + m_R u_R = m_W v_W + m_R v_R$ 1M
 $0 = 0.5(-10) + (2 - 0.5)v_R$
 $v_R = 3.33 \text{ m s}^{-1}$ 1A
 (b) 因為水作用於火箭的向上力比火箭自身的重量
 小, 所以火箭不能升空。 1A

自我評核 8

1 C 2 B

3 (a) 考慮水平方向。

$$(u \cos \theta)t = 12 \quad 1M$$

$$u = \frac{12}{t \cos 40^\circ} \dots\dots\dots (1)$$

考慮垂直方向。取向下為正。

$$s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2 \quad 1M$$

$$1.8 = (-u \sin 40^\circ)t + \frac{1}{2} g t^2 \dots\dots\dots (2)$$

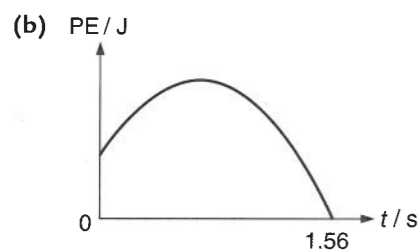
把 (1) 代入 (2)，

$$1.8 = \left(-\frac{12}{t \cos 40^\circ} \times \sin 40^\circ\right)t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$= -12 \tan 40^\circ + \frac{1}{2} g t^2$$

$$t = 1.56 \text{ s} \quad 1A$$

$$\text{根據 (1), } u = \frac{12}{1.56 \cos 40^\circ} = 10.1 \text{ m s}^{-1} \quad 1A$$



(曲線為拋物線) 1A
 (先增加然後減少) 1A
 (末 PE < 初 PE) 1A

自我評核 9

1 B 2 B

3 (a) $v = \frac{2\pi r}{t} \quad 1M$

$$= \frac{2\pi \times 1.5}{2} = 4.71 \text{ m s}^{-1} \quad 1A$$

(b) 取向上為正。

根據 $v_y^2 = u_y^2 + 2a_y s_y$, 1M

$$0 = u_y^2 + 2(-9.81)(3 - 1)$$

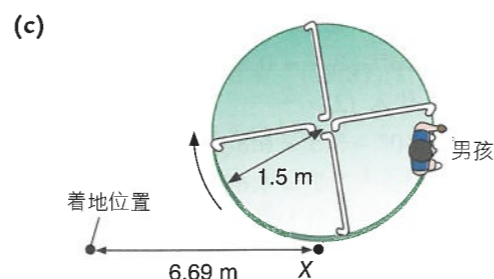
$$u_y = 6.26 \text{ m s}^{-1} \quad 1A$$

根據 $s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2$, 1M

$$-1 = 6.26t + \frac{1}{2} (-9.81)t^2$$

$$4.905t^2 - 6.26t - 1 = 0$$

$$t = 1.42 \text{ s 或 } -0.144 \text{ s (捨去)} \quad 1A$$



(方向正確) 1A
 (距離正確) 1A

自我評核 10

1 D 2 A

3 (a) 取向上為正。

根據 $s = ut + \frac{1}{2} at^2$, 1M

$$0 = 3(1.6) + \frac{1}{2} g_p (1.6)^2$$

$$g_p = -3.75 \text{ m s}^{-2} \quad 1A$$

行星表面的重力加速度是 3.75 m s^{-2} 。

(b) (i) $\frac{mv^2}{r_M} = \frac{GMm}{r_M^2} \quad 1M$

$$\Rightarrow \frac{v^2}{r_M} = \frac{GM}{r_P^2} \times \frac{r_P^2}{r_M^2} = g_p \times \frac{r_P^2}{r_M^2} \quad 1M$$

$$\Rightarrow v = g_p \times \frac{r_P}{r_M}$$

$$= 3.75 \times \frac{2300}{10\,200}$$

$$= 1390 \text{ m s}^{-1} \quad 1A$$

(ii) $\frac{GM}{r_P^2} = g_p \quad 1M$

$$M = \frac{g_p r_P^2}{G}$$

$$= \frac{3.75 \times (2300 \times 10^3)^2}{6.67 \times 10^{-11}}$$

$$= 2.97 \times 10^{23} \text{ kg} \quad 1A$$

附錄

物理量及單位

物理量	單位	物理量	單位
加速度	(a) — (m s ⁻²)	動量	(p) — (kg m s ⁻¹)
重力加速度	(g) — (m s ⁻²)	週期	(T) 秒 (s)
角位移	(θ) 弧度 (rad)	勢能	(PE) 焦耳 (J)
角速度	(ω) — (rad s ⁻¹)	功率	(P) 瓦特 (W)
位移	(s) 米 (m)	張力	(T) 牛頓 (N)
力	(F) 牛頓 (N)	時間	(t) 秒 (s)
動能	(KE) 焦耳 (J)	速度	(v)/(u) — (m s ⁻¹)
質量	(m) 千克 (kg)	重量	(W) 牛頓 (N)
力矩 / 轉矩	(τ) — (N m)	功	(W) 焦耳 (J)

物理定律、公式及規則

1 勻加速運動的方程：

- $v = u + at$
- $s = \frac{1}{2}(u + v)t$
- $s = ut + \frac{1}{2}at^2$
- $v^2 = u^2 + 2as$

2 牛頓定律：

牛頓運動第一定律：除非受到淨力或不平衡力的作用，否則所有物體都會保持靜止狀態或勻速直線運動狀態。

牛頓運動第二定律：物體的加速度與作用於物體的淨力成正比，與物體的質量成反比（即 $F = ma$ ）；加速度的方向與淨力的方向相同。

牛頓運動第三定律：當一道作用力出現，同時會有另一道量值相等、方向相反的反作用力出現。兩道力會作用於不同的物體。

3 重量 $W = mg$

FX 4 力矩（轉矩） $\tau = Fd$

5 功 = $Fs \cos \theta$

6 動能 KE = $\frac{1}{2}mv^2$

7 勢能 PE = mgh

8 能量守恆定律：

能量可以從一種形式轉變為另一種形式，但能量既不可能創造出來，也不可能被毀滅。

9 功率 $P = \frac{W}{t}$

對於移動中的物體，功率 $P = Fv$

10 動量 $p = mv$

11 $F-t$ 關係線圖下的面積 = 動量的改變 ($Ft = mv - mu$)

12 動量守恆定律：

若沒有淨外力作用在系統上，系統的總動量守恆（即 $m_Au_A + m_Bu_B = m_Av_A + m_Bv_B$ ）。

Ext 13 拋體的水平和垂直運動各自獨立。拋體沿水平方向作勻速運動，沿垂直方向則在重力下作勻加速運動。

F-X **Ext** 14 對於勻速圓周運動，週期 $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$

F-X **Ext** 15 角位移 $\theta = \frac{s}{r}$

F-X **Ext** 16 角速度 $\omega = \frac{\theta}{t}$

F-X **Ext** 17 線速率 $v = r\omega$

F-X **Ext** 18 向心加速度 $a = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$

F-X **Ext** 19 向心力 $F = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2$

F-X **Ext** 20 引力 $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$

F-X **Ext** 21 引力場強度 $g = \frac{F}{m} = \frac{GM}{r^2}$

數據及常數

1 在地球表面的重力加速度 = $9.81 \text{ m s}^{-2} \approx 10 \text{ m s}^{-2}$

2 $3.6 \text{ km h}^{-1} = 1 \text{ m s}^{-1}$

3 萬有引力常數 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

SI 制

前綴	倍數	前綴	倍數
吉 (G)	10^9	毫 (m)	10^{-3}
兆 (M)	10^6	微 (μ)	10^{-6}
千 (k)	10^3	納 (n)	10^{-9}

例如， $1 \text{ kJ} = 10^3 \text{ J} = 1000 \text{ J}$ ，而 $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ 。