

## 牛頓第一運動定律

### 壹、運動學與動力學

- 一、運動學：描述物體的運動狀態及其變化，但不討論其造成變化原因之學問。
  
- 二、討論造成物體在空間中運動與受力後狀態變化原因之學問。

### 貳、各種不同的力的畫法

#### 一、力的效果

1. 運動狀態改變
2. 形變

#### 二、力的合成與分解

1. 力的合成

2. 力的分解

#### 三、力的類別

1. 超距力：
  
2. 接觸力：

3. 四種基本作用力：

4. 內力與外力

(1) 內力：系統內各物體間彼此的交互作用力。

(2) 外力：來自系統外對此系統之作用力。

5. 保守力與非保守力

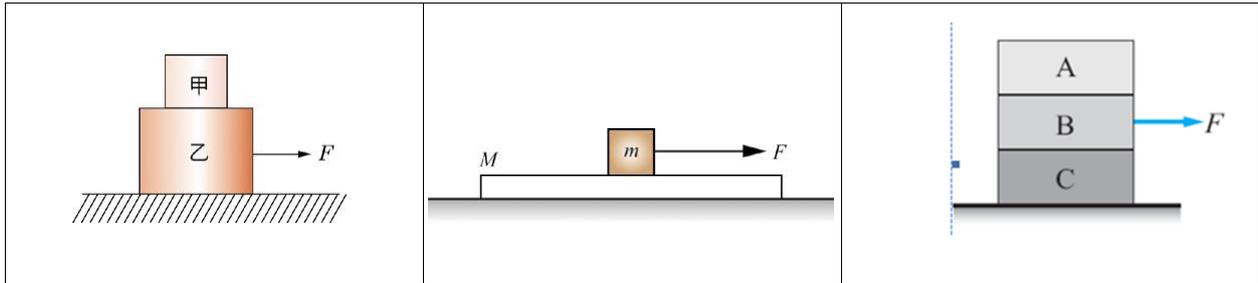
(1) 保守力：滿足力學能守恆者，其作用力為狀態的函數（與所經的路徑無關）。

(2) 非保守力：不滿足力學能守恆者，其作用力不為狀態的函數（與所經的路徑有關）。



## 六、摩擦力(f)

1. 阻止兩物體接觸面間\_\_\_\_\_的力，此力會\_\_\_\_\_兩物體接觸面。
2. 當接觸面間沒有相對運動時，物體間的摩擦力稱為\_\_\_\_\_。
3. 當接觸面間有相對運動時，物體間的摩擦力稱為\_\_\_\_\_。
4. 摩擦力的量值和接觸面積\_\_\_\_\_。
5. 根據作用與反作用力，摩擦力會成對存在，但是對象不同。
6. 摩擦力的方向範例



## 7. 摩擦力的量值

(1) 靜摩擦力

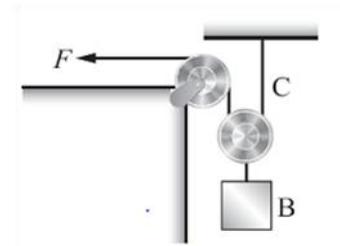
(2) 最大靜摩擦力

(3) 動摩擦力

## 七、繩張力(T)

1. 繩子被拉直後，拉動其他物體的力，此力沿繩子\_\_\_\_\_。
2. 畫張力的方式：選定系統後，繩子只能\_\_\_\_\_系統，且繩子長度視為不變。
3. 繩子個各位置的張力量值：
  - (1) 考量繩子的質量時，則在某些狀況下，繩子上各處的張力量值\_\_\_\_\_。

- (2) 不考慮繩子質量時，繩子上張力處處\_\_\_\_\_。



八、萬有引力( $F_g$ )

1. 兩個質點間具有的吸引力量，此力和兩質點的質量乘積成\_\_\_\_\_，距離平方成\_\_\_\_\_。

九、重力( $W$ ，物體重量)

1. 物體受到星球萬有引力吸引的力量

十、靜電力( $F_E$ )

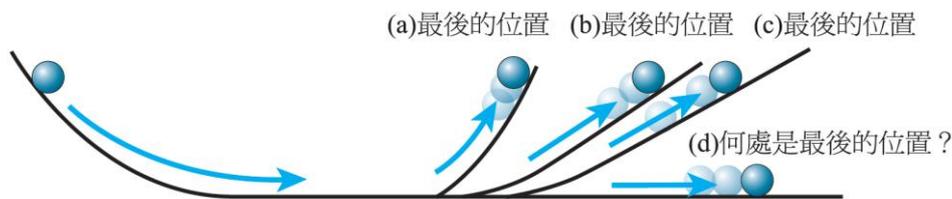
十一、 磁力( $F_M$ )

## 參、有關力與運動的研究

一、亞里斯多德：要維持物體的運動，必須對物體施力；如果沒有力的作用，物體將會停下來。但此觀念是錯的，因為當時還沒有摩擦力的概念。

二、伽利略：

1. 力是改變物體運動狀態的原因。
2. 運動中物體持續運動的特性，稱為\_\_\_\_\_。
3. 下圖為一個思考實驗，小球將會一直到達等高處才會停止運動，亦即小球將永恆不斷的運動下去（因為永遠到達不了等高處）



4. 在水平面上運動的物體，並不需要對物體施力，物體就會永遠維持等速運動。

## 肆、慣性

一、物體不受外力作用時，仍然保持原來的運動狀態的特性，稱為物體的慣性。

二、慣性大的東西，不容易改變其運動狀態，慣性小的東西，很容易改變其運動狀態。

## 三、生活中常見的慣性現象：

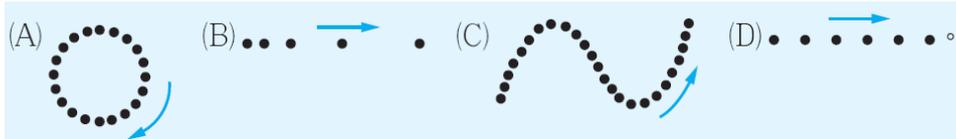
1. 玻璃杯口上覆蓋一卡片，卡片上放一枚硬幣，將卡片彈開，硬幣會掉入杯內。
2. 鐵鎚與木柄鬆脫了，將木柄在地上敲一敲即可將鐵鎚卡緊
3. 車子突然開動，車內的人會向後仰；突然煞車，人身體會向前傾
4. 搖動樹幹，成熟的蘋果會掉落
5. 揮動筆驟停，即可灑去筆上墨水
6. 賽跑的人到達終點，不能立即停止
7. 從急行的車上跳下，常易跌倒
8. 雨天車輪泥水，沿車輪切線方向離去

## 伍、牛頓第一運動定律

一、物體所受淨外力為\_\_\_\_\_時，靜止者恆\_\_\_\_\_、運動者恆保持\_\_\_\_\_運動。

## 範例

下列各圖都是利用每十分之一秒閃光一次的照相裝置所拍攝物體運動的情況，試問哪一個物體所受的合力為零？（箭頭表示方向）【基隆中山高中】



## 範例

下列哪些選項中的物體所受合力為零？

- (A)沿直線軌道等速運動的火車
- (B)以等速度沿水平直線飛行的飛機
- (C)等速鉛直上升的直升機
- (D)繞地球作等速率運動的人造衛星
- (E)作水平拋射運動的物體。

## 範例

下述物理現象中，哪些可以用慣性來解釋？

- (A)賽跑者跑到終點無法立即停止而會向前跑幾步
- (B)雨天小狗旋轉身體甩乾毛髮
- (C)一玻璃杯置於長條紙上，用手急拉紙條，杯子穩然不動
- (D)汽車突然開動，乘容易向後仰
- (E)捷運煞車時，車廂上的手拉環向前擺。

範例

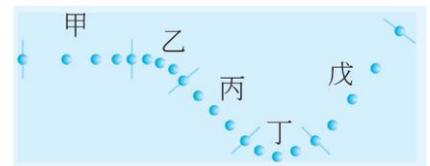
設有四個力  $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 、 $\vec{F}_3$ 、 $\vec{F}_4$  同時作用於同一物體上， $\vec{F}_1$  為向北 2 牛頓， $\vec{F}_2$  為向北 1 牛頓， $\vec{F}_3$  為

向西 6 牛頓， $\vec{F}_4$  為向東 2 牛頓，則其合力的量值為多少牛頓？

(A)3 (B)4 (C)5 (D)17

範例

一小球在水平面上移動，每隔 0.02 秒小球的位置如圖所示。每一段運動過程分別以甲、乙、丙、丁和戊標示。試問在哪一段，小球所受的合力為零？ (A)甲 (B)乙 (C)丙 (D)丁 (E)戊



## 陸、靜力平衡

一、力平衡：物體所受合力為零時達成\_\_\_\_\_，此時物體的運動遵守慣性定律，其可能靜止，也可能處於等速直線運動狀態。

二、靜力平衡：當力平衡且物體處於\_\_\_\_\_狀態時，稱為\_\_\_\_\_平衡。

## 三、靜力平衡的例子

1. 兩力平衡

2. 三力平衡：

## 範例

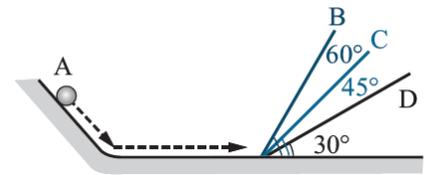
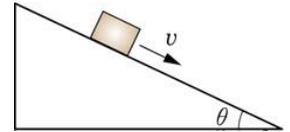
若一物體受  $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 、 $\vec{F}_3$  三力作用而處於靜力平衡狀態，則下列敘述哪些正確？

- (A) 此物體可能靜止
- (B) 此物體可能作等速度運動
- (C) 其中任兩力的合力必與第三個力量值相等、方向相反
- (D)  $|\vec{F}_1| + |\vec{F}_2| \geq |\vec{F}_3|$
- (E) 若  $|\vec{F}_1| > |\vec{F}_2|$ ，則  $|\vec{F}_1| - |\vec{F}_2| \leq |\vec{F}_3|$

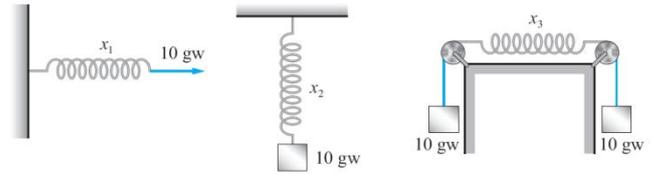
## 課後練習

## 單選題

- ( ) 1. 「慣性」這個名詞是由何人所提出的？  
(A)牛頓 (B)墨子 (C)亞里斯多德 (D)伽利略 (E)愛因斯坦
- ( ) 2. 亞里斯多德根據直覺的觀察，認為若要使物體維持運動，不論是等速運動或是變速度運動，都必須持續對物體施力；如果沒有力的作用，物體就要停下來。這個論點可能是忽略了下列何力的存在？  
(A)摩擦力 (B)大氣壓力 (C)重力 (D)電磁力 (E)浮力
- ( ) 3. 如右圖所示，若一質量為  $m$  的物體以等速度  $v$ ，沿一斜角為  $\theta$  的斜面上滑下，設  $g$  為重力加速度，則物體重量垂直於斜面的分力為何？  
(A)  $mg \sin\theta$  (B)  $mg \cos\theta$  (C)  $mg \tan\theta$  (D)  $mg$  (E) 0
- ( ) 4. 下列哪一現象不屬於慣性定律的現象？  
(A)輕抖衣服可抖去灰塵 (B)緊急煞車時，車上乘客向前傾 (C)刀柄鬆脫，將柄在地上一擊，刀就嵌緊 (D)用刷子刷去衣服上的灰塵 (E)等速前進的車廂，鉛直上拋一球，球仍掉回拋者手中
- ( ) 5. 物體在水平面上向右運動，受到向右的水平推力  $F=20\text{ N}$  的作用，已知平面與物體間的動摩擦力  $f=10\text{ N}$ ，則物體所受合力為：  
(A) 0 (B) 10 N，水平向右 (C) 10 N，水平向左 (D) 30 N，水平向右 (E) 30 N，水平向左
- ( ) 6. 質量 10 公斤之靜止物體，同時受到向北 10 牛頓及向東 10 牛頓之兩力作用，則物體所受合力量值約為多少牛頓？  
(A) 10 (B) 15 (C) 20 (D)  $10\sqrt{2}$  (E) 30
- ( ) 7. 如右圖所示，小球由左邊斜面上的 A 點自由滑下，經水平平面然後爬上斜角分為  $60^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $30^\circ$  的 B、C、D 三斜面，則小球在 B、C、D 三斜面上爬行的高度，以下列何者敘述正確？（設接觸面均為光滑平面）  
(A)以斜面 B 最高 (B)以斜面 C 最高 (C)以斜面 D 最高 (D)三者相等。
- ( ) 8. 奧運比賽的舉重項目中，一運動員想將 130 公斤的重物舉起，但此運動員向上施力時，重物仍停留於地面，則下列敘述何者正確？  
(A)重物所受的合力向下  
(B)重物共受三個力作用，此三個力的合力為零  
(C)地面給重物的支持力小於人的施力  
(D)地面給重物的支持力與重物和地球之間的萬有引力，互為作用力與反作用力。

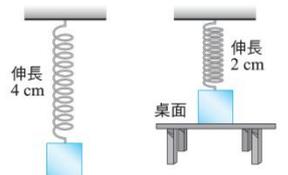


- ( )9. 彈性常數相同的理想彈簧，做如下圖的操作時，伸長量分別為  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ ，則伸長量的關係何者正確？



- (A)  $x_1 = x_2 = x_3$  (B)  $x_3 > x_2 = x_1$  (C)  $x_3 = x_2 > x_1$  (D)  $x_3 > x_2 > x_1$ 。

- ( )10. 將質量 100 公克的物體掛在彈簧下端，可使彈簧伸長 4 公分，如左邊圖示；若使此物體接觸到桌面伸長面，則彈簧僅伸長 2 公分，如右邊圖示；請問桌面施於物體的支撐力為多少公克重？(A)100 (B)75



- (C)50 (D)25 (E)0。

- ( )11. 質量為 10 公斤的物體在空中等速下降時，所受的空氣阻力為多少牛頓？（1 公斤 = 9.8 牛頓）(A)49 (B)490 (C)98 (D)0。

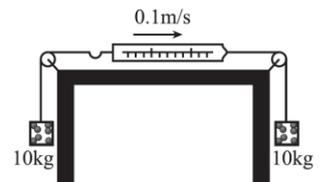
- ( )12. 下列有關兩力平衡的說法，何者正確？

- (A)兩力的量值相等、方向相反，而且在同一直線上的兩個力就是一對平衡力  
 (B)物體受一對平衡力作用時，一定靜止  
 (C)物體受一對平衡力作用時，一定會作等速度運動  
 (D)彼此平衡的兩個力，一定作用在同一物體上  
 (E)電力與重力不可能是一對平衡力

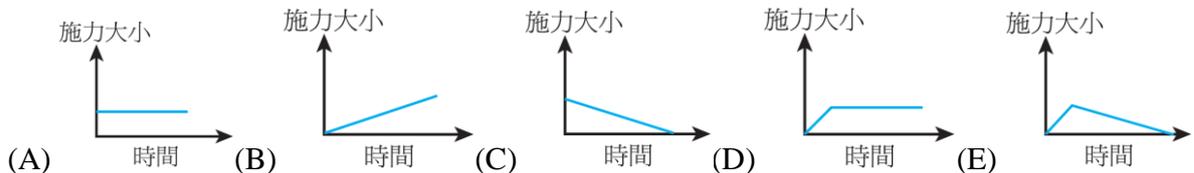
- ( )13. 要判斷物體所受的合力為零，依下列哪一項來判斷才是正確的？ (A)物體的質心以等速運動或保持靜止不動 (B)物體的質心運動需要力，故若所受的合力為零，必靜止 (C)物體的質心以等速率運動 (D)物體的質心以等加速運動。

- ( )14. 牛頓談到他自己的理論時，曾這樣說：「如果我比別人看得更遠，那是因為我站在巨人的肩上。」下列何人可能是他所說的「巨人」？ (A)庫倫 (B)法拉第 (C)伽利略 (D)馬克士威。

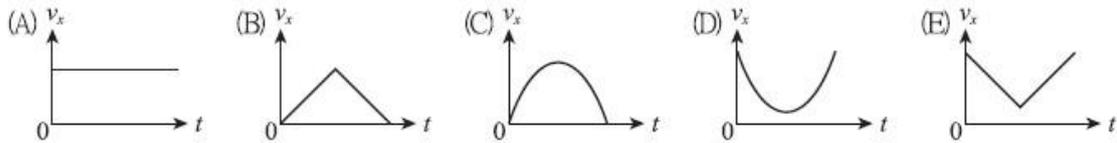
- ( )15. 設右圖中之彈簧秤及質量系統一齊作等速運動，其速率為 0.1 公尺/秒，則彈簧秤上指標所顯示之值應為 (A)196 (B)98 (C)20 (D)10 牛頓。



- ( )16. 一段筆直的火車軌道，沿一平面斜坡而上。在整列火車以等速度上坡期間，若空氣阻力可以忽略，則在平行於斜坡面的方向，軌道對火車的施力為下列何者？



- ( ) 17. 棒球比賽中，打擊者用力向斜上方揮棒，擊出高飛全壘打。若不考慮空氣阻力，因此棒球在空中飛行時水平方向不受外力作用，則下列圖形何者可以代表棒球的水平方向速度  $v_x$  與其落地前飛行時間  $t$  的關係？(A)



## 多選題

- ( ) 18. 在日常生活的狀況中，下列關於慣性的敘述，何者正確？（多選） (A)物體的運動速度愈大，則慣性愈大 (B)物體的質量愈大，慣性愈大 (C)物體的運動狀態改變時，物體一定受外力作用 (D)牛頓第一運動定律說明外力可以改變物體的慣性大小 (E)同一物體在靜止狀態與運動中的慣性大小不同。
- ( ) 19. 下列敘述何者正確？（多選） (A)物體所受合力為零時，靜者恆靜，動者恆沿原來運動方向作等速運動 (B)作圓周運動的物體在向心力消失瞬間，會沿切線方向飛出去 (C)質量愈大的物體，其慣性愈大 (D)作等速率圓周運動的物體所受合力為零 (E)兩物體碰撞過程，慣性大者所受撞擊之力較小，因此加速度較小。
- ( ) 20. 下列各項敘述，何者正確？（應選 2 項）  
(A)物體運動速度愈大，愈不容易停下來，表示物體的速度愈大，物體的慣性愈大 (B)物體的質量愈大，慣性也愈大 (C)小球被鉛直往上拋，它之所以可以繼續上升，是因為小球受到向上的推力作用 (D)世人尊稱牛頓為實驗物理學之父 (E)亞里斯多德認為，由同一高度自由下落的物體，較重者會先著地
- ( ) 21. 下列有關力的敘述，何者正確？（應選 3 項）  
(A)力可以使物體改變形狀 (B)力可以改變物體的運動狀態 (C)力只能讓物體產生移動而無法讓物體產生轉動 (D)力是物體間的相互作用 (E)物體受力形變後是無法恢復原狀的
- ( ) 22. 數力同時作用於物體，其合力等於零時，此物體：（應選 3 項）  
(A)可能靜止不動 (B)必等速率移動 (C)可能等加速運動 (D)可能在原處轉動 (E)可能一邊移動，一邊轉動
- ( ) 23. 關於合力與其兩個分力之間的關係，下列說法中正確的是：（應選 3 項）  
(A)合力的作用效果與兩個分力的作用效果和相同 (B)合力的量值一定等於兩個分力的代數和 (C)合力的量值不可能等於某一分力的量值 (D)合力的量值可能大於某一分力的量值 (E)合力的量值可能小於某一分力的量值
- ( ) 24. 下列敘述，哪些錯誤？（應選兩項）  
(A)物體的質量愈大，慣性也愈大 (B)慣性愈大的物體，在地球上的重量愈重  
(C)物體不受外力時，則不具有慣性 (D)物體的質量愈大，速度愈不容易改變

- (E)慣性的大小會隨地點的不同而改變
- ( )25. 三作用力作用在同一點而達成平衡時，已知其中兩作用力的量值分別為 6 公斤重與 10 公斤重，則第三作用力的量值可能為多少公斤重？（應選三項）(A)2 (B)4 (C)6 (D)12 (E)17。
- ( )26. 若一物體受三力作用且合力等於零，則下列敘述哪些正確？（應選兩項）
- (A)若三力作用於物體上同一點，則物體必為靜止
- (B)若三力作用於物體上不同點，則物體可能轉動
- (C)若此三力分別為  $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 、 $\vec{C}$ ，則  $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$
- (D)若此三力達成平衡，則三力可能互相平行
- (E)此三力的作用線必交於一點
- ( )27. 當物體所受合力為零時，下列選項所描述的物體運動或狀態，哪些是**不可能**的？（多選）
- (A)靜止 (B)等速運動 (C)等加速運動 (D)軌跡為拋物線的運動 (E)地表附近的自由落體運動。

答案	1.D	2.A	3.B	4.D	5.A	6.D	7.D	8.B	9.A	10.C	11.C	12.D	13.A	14.C	15.B
	16.A	17.A	18.BC	19.ABC	20.BE	21.ABD	22.ADE	23.ADE	24.CE	25.BCD	26.BD	27.BDE			

## 牛頓第二運動定律

壹、牛頓第二運動定律：

一、內容：當物體受到淨力作用時，必在力的方向上產生相應的加速度，其量值與所受的淨力量值成正比，而與物體的質量成反比。

二、數學形式：

三、相關物理量方向：

四、常用單位：

## 貳、解題步驟

一、圈出受力物體，並畫出其受力圖。依照超距力和接觸力這個順序作圖。

二、判斷物體運動狀態，列出其加速度方向

1. 直線運動的加速度需要注意正負號
2. 斜拋或平拋則加速度為  $g$
3. 等速圓周運動的加速度指向軌跡圓心，故必須先畫出軌跡的圓。
4. 曲線運動的加速度分成切線和法線加速度，法線加速度垂直運動軌跡，切線加速度為軌跡切線方向。
5. 簡諧運動的加速度其方向和位移方向相反

三、將所有的力分解

- 1.
- 2.

四、列出方程式

1. 若某方向為等速或靜止，則該方向的合力為零
2. 若某方向有加速度，則該方向的方程式為：

五、幾何關係：問題中的物理量必然會受到題目要求的幾何形狀限制，因此未知數太多而方程式不夠多時，需要從題目給定的圖形當中，找到物理量的幾何關係方程式。

六、由 4 和 5 得到的方程式便可以解方程式

1. 未知數和方程式數量一樣多時，可以解出所有未知物理量。
2. 未知數必方程式多 1 個的時候，僅能找到未知數間的比例關係。

## 參、質量與重量

## 一、質量

1. 質量的定義：物體受到外力作用時，運動狀態的改變程度與物體的質量有關，依據牛頓第二運動定律，質量可寫成  $m = \frac{F}{a}$ 。
2. 質量的意義：物體的質量具有對抗外力而維持原運動狀態的特性；質量愈大愈難改變其運動狀態，也就是\_\_\_\_\_愈大。
3. 在有重力的地方，物體的質量才可由\_\_\_\_\_測出。
4. SI 的單位為\_\_\_\_\_。

## 二、重量(物體所受的重力)

1. 定義：重量就是重力的量值，由牛頓第二運動定律可知，重量  
\_\_\_\_\_。
2. 量值：地表附近的重力加速度約為定值，物體的重量也約為定值。
3. 單位：

## 三、比較：

1. 一個物體的重量與其所處環境的重力加速度有關，然而它的質量卻不會改變。
2. 地表附近，因重力作用而產生的重力加速度： $g=9.8 \text{ m/s}^2$ ，故質量 1 \_\_\_\_\_的物體，重量為 1 \_\_\_\_\_，相當於 9.8 \_\_\_\_\_。由  $W=mg \Rightarrow$  \_\_\_\_\_  $= 1 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 =$  \_\_\_\_\_。

## 範例

地上有一枚重錘，小明施力  $80 \text{ kgw}$  恰將其提起，小華施  $60 \text{ kgw}$  之力接手，因為上提之力不足，結果重錘下墜，此時小華依然持續施  $60 \text{ kgw}$  向上之力拉著重錘，若重力加速度為  $10 \text{ m/s}^2$ ，則重錘下墜的加速度量值為多少  $\text{m/s}^2$ ？

## 範例

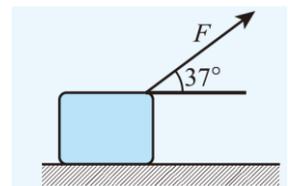
一架飛機從水平跑道一端，自靜止以  $4 \times 10^4$  牛頓的固定推進力開始作等加速運動，第 5 秒末時，飛機瞬時速率為 10 公尺/秒。若飛機質量為  $10^4$  公斤，則飛機在前 5 秒的加速過程所受之平均阻力為多少牛頓？ (A)  $4 \times 10^5$  (B)  $2 \times 10^5$  (C)  $4 \times 10^4$  (D)  $2 \times 10^4$  (E)  $4 \times 10^3$ 。

## 範例

小明以 250 牛頓的力拉動一個質量為 50 公斤的皮箱，使其在光滑的水平地面上運動，拉力與水平地面夾角為  $37^\circ$  仰角 ( $g = 10 \text{ 公尺/秒}^2$ )，則

(1) 皮箱的加速度為\_\_\_\_\_公尺/秒<sup>2</sup>。

(2) 水平地面施予皮箱的正向力為\_\_\_\_\_牛頓。



### 範例

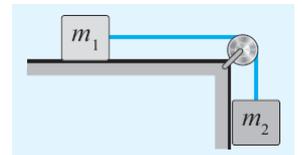
- (1)若施一定力於質量為 3 公斤的物體上，使其在不折返的直線上向東運動，並於 3 秒內速度由 2 公尺／秒變成 4 公尺／秒，則此力為多少牛頓？
- (2)若改以另一一定力作用於同一物體上，而此物體在 6 秒內速度由 2 公尺／秒向西變成 4 公尺／秒向東，則此兩力量值的比為何？

### 範例

如右圖所示，質量  $m_1 = 10$  公斤的木塊置於光滑的水平桌面上， $m_1$  右端繫上一細繩，而此細繩繞過滑輪，另一端懸掛一質量  $m_2 = 5$  公斤的木塊；設滑輪既無質量也無摩擦作用，其功用只是改變細繩上張力的方向，

試求  $m_1$  的加速度量值為多少公尺／秒<sup>2</sup>？

細繩的張力量值為多少牛頓？



## 範例

右圖所示為甲、乙兩車所受外力與所產生加速度的關係圖，試回答下列各題：

(1) 甲、乙兩車的質量何者較大？

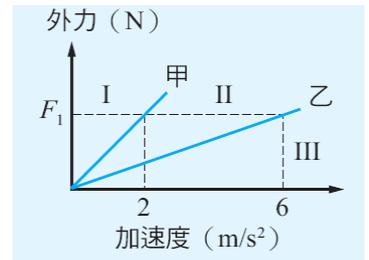
(A) 甲車 (B) 乙車 (C) 兩車的質量相同 (D) 無法比較。

(2) 若甲車的質量為 45 公斤，則乙車質量為多少公斤？

(A) 10 (B) 15 (C) 30 (D) 135 (E) 180。

(3) 若將甲、乙兩車綁在一起，則所得外力與加速度的關係圖應落在哪一區？

(A) I 區 (B) II 區 (C) III 區 (D) 任一區皆有可能。



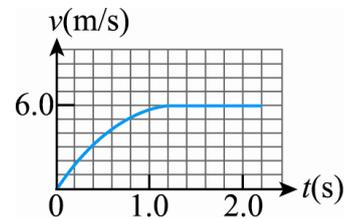
## 範例

物體自高處落下時，除了受到重力之外，還有空氣阻力。某同學觀測一小物體自高處落下，其速度  $v$  與時間  $t$  的關係如右圖。

(1) 右圖的數據中，小物體從  $t = 0$  秒至  $t = 2.0$  秒的位移與下列何值（單位為公尺）最為接近？ (A) 4 (B) 6 (C) 9 (D) 12 (E) 14。

下列有關小物體運動的敘述，何者正確？ (A) 小物體的加速度量值愈來愈大

(B) 在  $t = 1.4$  秒時，小物體所受空氣阻力的量值為零 (C) 在落下的全程中，小物體所受空氣阻力的量值為一定值 (D) 小物體所受空氣阻力的量值隨速率增快而變大 (E) 在  $t = 2.0$  秒時，小物體所受重力量值為零。



範例

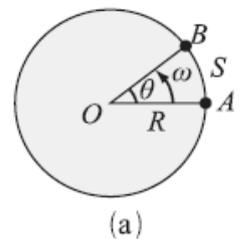
電梯中有一彈簧秤，在秤中有一顆質量 2.0 公斤的蘋果，如圖所示，忽略秤盤重量，且令重力加速度為  $10 \text{ 公尺/秒}^2$ ，則

- (1) 電梯等速上升時，彈簧秤的讀數為\_\_\_\_\_公斤重或\_\_\_\_\_牛頓。
- (2) 電梯以  $1.0 \text{ 公尺/秒}^2$  的向上加速度上升時，彈簧秤的讀數為\_\_\_\_\_牛頓。
- (3) 電梯以  $1.0 \text{ 公尺/秒}^2$  的向下加速度下降時，彈簧秤的讀數為\_\_\_\_\_牛頓。

肆、圓周運動與向心力

一、等速圓周運動

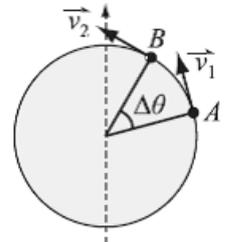
1. 意義：質點在圓周上以等速率運動，稱為等速率圓周運動。
2. 週期：質點轉動一圈所經歷的時間（通常以  $T$  表示）。
3. 頻率：質點在單位時間（每秒）內所旋轉的圈數（通常以  $f$  表示）。  
(週期和頻率有倒數關係)
4. 角位移：圖(a)中  $A$  到  $B$  點所轉的角度，單位為弧度(rad)  
※1 圈 = \_\_\_\_\_。
5. 角速度：描述轉動的快慢，為單位時間對圓心所轉動的角度（通常以  $\omega$  表示）  
⇒ \_\_\_\_\_，單位為\_\_\_\_\_



6. 速率：\_\_\_\_\_

7. 速度：

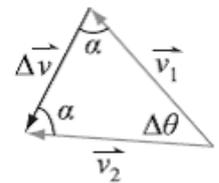
如右圖(b)所示，做等速率圓周運動的質點，速度\_\_\_\_\_保持不變，但速度\_\_\_\_\_則隨時間而不斷改變（速度方向為其切線方向），故為\_\_\_\_\_但\_\_\_\_\_運動。



(b)

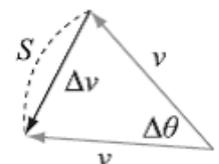
8. 加速度：

如右圖(b)，當質點由 A 移至 B 點時，對圓心所轉過的角度為  $\Delta\theta$ ，經歷的時間為  $\Delta t$  則速度變化量  $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ ，其中  $|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = v$ ，所以  $\vec{v}_1$ 、 $\vec{v}_2$ 、 $\Delta\vec{v}$  構成一等腰三角形，且  $\vec{v}_1$ 、 $\vec{v}_2$  夾角為  $\Delta\theta$ ，如右圖(c)所示。



(c)

(1) 加速度大小： $a_c = v\omega$



(d)

(2) 加速度方向恆指向圓心，稱為向心加速度（或法線加速度）。

(3) 向心加速度的連鎖公式：

(4) 向心加速度只能改變速度的\_\_\_\_\_，不能改變速度的\_\_\_\_\_。向心加速度的方向恆沿半徑指向\_\_\_\_\_，隨時間而改變方向，故等速率圓周運動為\_\_\_\_\_運動。

## 二、向心力

1. 物體作等速率圓周運動時，必定有一指向圓心的\_\_\_\_\_作用在物體上，此力稱為向心力。
2. 向心力並不像是摩擦力、繩張力或彈力一樣，是特定的力量，而是所有的力量總合起來造成的力。Ex：

3. 向心力的量值：  
利用牛頓第二運動定律可以得知。

範例

假設時鐘秒針的運動視為等速圓周運動，已知秒針長為 10 公分，秒針繞一圈需時 60 秒，試計算秒針針尖的：

- (1) 速率為何？
- (2) 通過 6 點鐘位置時的向心加速度為何？

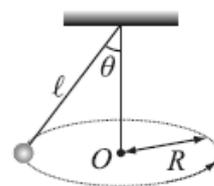
範例

一物作等速圓周運動，半徑為 1 公尺，4 秒內轉 20 圈，則向心加速度為多少公尺/秒<sup>2</sup>：

- (A)  $200\pi^2$  (B)  $100\pi^2$  (C)  $80\pi$  (D)  $50\pi$  (E)  $40\pi$

## 範例

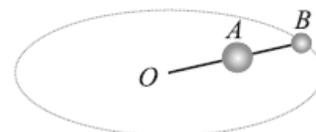
右圖的裝置稱為圓錐擺或錐動擺。若擺長為  $l$ 、擺錘質量為  $m$ ，當擺錘在水平面上做等速率圓周運動時，細線與懸掛點的中垂線保持一固定的角度  $\theta$ ，求



- (1) 圓周運動的半徑 = ?
- (2) 擺線張力 = ? 向心力 = ?
- (3) 向心加速度 = ?
- (4) 迴轉速率 = ?
- (5) 擺動的週期 = ?

## 範例

質量為  $2m$  與  $m$  的  $A$ 、 $B$  兩質點，以細繩連接繞  $O$  點做等速率圓周運動， $\overline{OA} = \overline{AB}$ ，則  $A$ 、 $B$  兩質點的向心加速度比為 (A) 1:2 (B) 2:1 (C) 4:1 (D) 1:4 (E) 1:1。



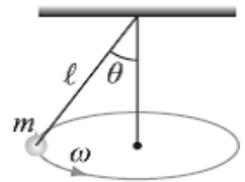
## 範例

力常數為  $k$  的理想輕彈簧，其長度為  $\ell$ ，置於光滑水平桌面上，其一端固定，另一端則繫質量  $m$  的物體，使物體以  $\omega$  的角速度做等速圓周運動，則彈簧的伸長量為

- (A)  $\frac{k\ell}{m\omega^2}$  (B)  $\frac{k\ell}{(k - m\omega^2)}$  (C)  $\frac{m\omega^2\ell}{(k - m\omega^2)}$  (D)  $\frac{k\ell}{(k + m\omega^2)}$  (E)  $\frac{mkl}{(k + m\omega^2)}$

範例

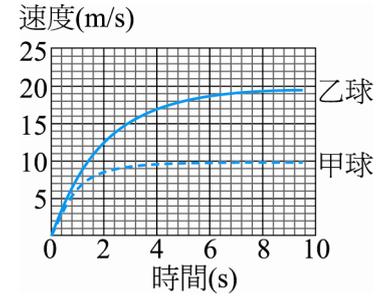
單擺長  $\ell$ ，擺錘質量  $m$ 。當擺錘在一水平面上以等角速度  $\omega$  繞鉛垂線旋轉時（如右圖），若擺線與鉛垂線的夾角為  $\theta$ ，則  $\cos\theta =$



## 課後練習

## 單選題

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

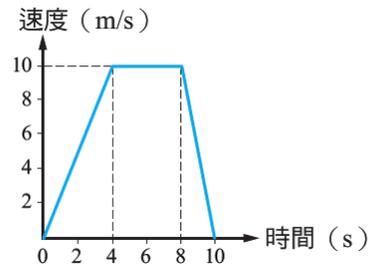


- ( ) 1. 若甲球與乙球的質量分別為  $m_1$  與  $m_2$ ，則下列敘述何者正確？  
 (A)  $m_1 = m_2$ ，且兩球同時抵達地面 (B)  $m_2 > m_1$ ，且乙球先抵達地面  
 (C)  $m_2 < m_1$ ，且乙球先抵達地面 (D)  $m_2 < m_1$ ，且兩球同時抵達地面  
 (E)  $m_2 > m_1$ ，且甲球先抵達地面。
- ( ) 2. 若已知甲球質量為 0.2 公斤，落下過程中重力加速度恆為 10 公尺/秒<sup>2</sup>，則比例常數  $k$  值約為多少公斤/秒？ (A)0.1 (B)0.2 (C)4 (D)10 (E)40。
- ( ) 3. 如右圖所示，已知桌面無摩擦力作用，將質量為  $m$  的木塊掛於桌外而不接觸桌邊，此時繩子的張力為  $T$ ；若將  $M$  與  $m$  互換後，繩子的張力變為  $T'$ ，則  $\frac{T}{T'}$  的值為何？  
 (A)  $\frac{M}{m}$  (B)  $\frac{m}{M}$  (C)  $\frac{M+m}{M}$  (D)  $\frac{M+m}{m}$  (E)1。
- 
- ( ) 4. 一氣球載有 3 包沙包時，以加速度  $A$  上升；載有 6 包沙包時，以加速度  $A$  下降，若不計氣球本身重量及沙包的浮力，則欲其不升不降時，應載沙包多少包？  
 (A)1 (B)2 (C)3 (D)4 (E)5。
- ( ) 5. 小麗站在電梯內，重量為 1000 牛頓，若電梯以 4.9 公尺/秒<sup>2</sup> 的加速度上升，則電梯地板作用於小麗的力為多少牛頓？（設重力加速度  $g = 9.8$  公尺/秒<sup>2</sup>）  
 (A)500 (B)1000 (C)1500 (D)2000。
- ( ) 6. 在光滑平地上，一質量為 10 公斤的靜止物體受到一水平定力作用，若此物體在受力作用 10 秒內的位移量值為 100 公尺，則此物體所受定力的量值為多少牛頓？  
 (A)5 (B)10 (C)15 (D)20 (E)40。
- ( ) 7. 一輛質量為 1000 公斤的車子，以 20 公尺/秒的速度行駛，若車子受到 4000 牛頓的煞車阻力，則煞車幾秒後車子可以停下來？  
 (A) (B) (C)4 (D)5。
- ( ) 8. 一輛貨車的質量為 4000 公斤，當其煞車時瞬間可產生 105 牛頓的固定阻力，若此貨車在路上以 20 公尺/秒的速率行駛，想要在不超過 2 秒鐘的時間內煞停，此貨車最多可載貨多少公斤？  
 (A)4000 (B)6000 (C)8000 (D)10000。

- ( ) 9. 施 10 牛頓的力於光滑桌面上一質量為 2 公斤的靜止物體，作用了 4 秒後，將此力移去，則再經過 3 秒後，物體共運動了幾公尺？  
 (A)80 (B)100 (C)120 (D)150 (E)200
- ( ) 10. 一質量為 5 公斤的質點，受外力  $F$  作用 0.1 秒後，速度由 4 公尺／秒向右變為 8 公尺／秒向左，則外力  $F$  的量值為多少牛頓？  
 (A)600 (B)200 (C)120 (D)40

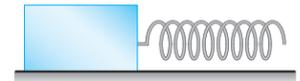
11~12 題 一質量為 2 公斤的物體在直線上運動，其在開始運動後 10 秒內的速度變化如右圖所示，則

- ( ) 11. 第 4 秒至第 8 秒之間，物體所受的作用力為多少牛頓？  
 (A)0 (B)5 (C)10 (D)15 (E)20
- ( ) 12. 第 8 秒至第 10 秒間，物體所受的作用力為多少牛頓？  
 (A)0 (B)5 (C)10 (D)15 (E)20。



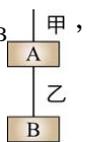
- ( ) 13. 質量為 50 公克的子彈離開槍管時的速率為 200 公尺／秒，若槍管長度為 0.8 公尺，則子彈在槍管內所受的平均力為多少牛頓？  
 (A)1000 (B)1250 (C)1600 (D)4000 (E)5000

- ( ) 14. 如右圖所示，將一物體置於光滑水平面上，物體右端繫一自然長度為 10 公分的彈簧，今施力拉彈簧使物體作等加速運動，當物體加速度為 2 公尺／秒<sup>2</sup>時，彈簧的總長度為 13 公分，設彈簧仍在彈性限度內，則當物體加速度為 5 公尺／秒<sup>2</sup>時，彈簧的總長度為多少公分？  
 (A)7.5 (B)10 (C)17.5 (D)20

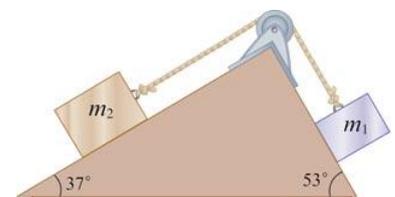


- ( ) 15. 飛機從水平跑道一端，自靜止開始計時，以  $6 \times 10^4$  牛頓的固定推進力開始作「等加速運動」， $t=3$  秒時，瞬時速率為 12 公尺／秒。若飛機的質量為 104 公斤，則飛機在  $t=0.3$  秒所受的平均阻力為多少牛頓？  
 (A) $4 \times 10^5$  (B) $2 \times 10^5$  (C) $4 \times 10^4$  (D) $2 \times 10^4$  (E) $4 \times 10^3$

- ( ) 16. 甲、乙兩繩（質量不計）繫有 A、B 兩物（如右圖）且手執甲上端，若  $m_A=2m$ ， $m_B$  若 A 與 B 等速上升，則甲繩張力為：  
 (A)  $3mg$  (B)  $mg$  (C)  $2mg$  (D)  $mg$  (E)  $mg$

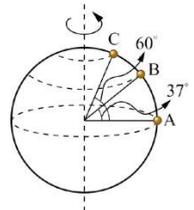


- ( ) 17. 如右圖， $m_1$ 、 $m_2$  置於和水平成  $53^\circ$ 、 $37^\circ$  角之固定光滑斜面上，保持平衡，若將  $m_1$ 、 $m_2$  位置交換，則  $m_1$  之加速度量值為：



- (A)  $\frac{1}{3}g$  (B)  $\frac{1}{4}g$  (C)  $\frac{1}{5}g$  (D)  $\frac{1}{6}g$  (E)  $\frac{1}{7}g$

- ( )18. 一定力  $F$  作用於 A 質點產生加速度  $2.0$  公尺/秒<sup>2</sup>，若作用於 B 質點，則產生  $3.0$  公尺/秒<sup>2</sup> 之加速度，現將 A 與 B 兩質點結合在一起，仍以此力  $F$  作用之，則可產生的加速度為多少公尺/秒<sup>2</sup>？  
 (A) 2.5 (B)  $\sqrt{5}$  (C) 1.2 (D) 0.5 (E) 2.4
- ( )19. 若一質量為  $200$  g 的網球，自  $1.6$  m 的高度落至地面，反彈至  $0.9$  m 的高度，若球與地面的接觸時間為  $0.02$  s，則在接觸時網球所受的平均淨力為多少 N？（ $g=9.8$  m/s<sup>2</sup>）  
 (A) 14 (B) 28 (C) 56 (D) 98 (E) 196
- ( )20. 質量  $m_1$  的物體受一定量值的力  $F$  作用，得一加速度為  $2$  m/s<sup>2</sup>，另一質量  $m_2$  之物體，施以  $2F$  力作用，可得  $3$  m/s<sup>2</sup> 之加速度，若將兩物縛結一體，施以  $3F$  之力量，則其加速度量值為多少 m/s<sup>2</sup>？  
 (A)  $\frac{5}{2}$  (B)  $\frac{7}{4}$  (C)  $\frac{19}{20}$  (D)  $\frac{16}{5}$  (E)  $\frac{18}{7}$
- ( )21. 一物體的質量為  $2$  kg，由靜止開始受一定力作用，使其在光滑的水平面上運動；若  $7$  秒後之速度為  $21$  m/s，則作用在物體上的淨力為多少牛頓？  
 (A) 6 (B) 10.5 (C) 42 (D) 7 (E) 20
- ( )22. 有一定力作用於質量為  $4$  公斤的靜止物體，在  $10$  秒內此物體移動  $250$  公尺，則此作用力的量值為多少牛頓？  
 (A) 12 (B) 10 (C) 16 (D) 20 (E) 1
- ( )23. 若地球是正圓球形，則赤道上之 A 點、北緯  $37^\circ$  之 B 點、北緯  $60^\circ$  之 C 點（如右圖所示）三點之向心加速度大小之比為：  
 (A) 1 : 1 : 1 (B) 5 : 4 : 3 (C) 10 : 6 : 5 (D) 10 : 8 : 5 (E) 100 : 36 : 25



## 多選題

- ( )24. 關於牛頓第二運動定律，下列說法中正確的有哪幾項？（應選三項）  
 (A) 在國際單位制中，力的單位用牛頓，質量的單位用公斤，加速度的單位用公尺/秒<sup>2</sup>，才能將牛頓第二運動定律的公式寫成  $F=ma$   
 (B) 每一瞬時的力只決定這一瞬時的加速度，而與這一瞬時之前或之後的力無關， $F$  一旦消失， $a$  也立即消失  
 (C) 在公式  $F=ma$  中， $a$  實際上是作用於該物體上的每一個力所產生的加速度之合向量  
 (D) 物體的運動方向一定與物體所受的合外力方向一致  
 (E)  $1$  牛頓的力，能使質量為  $1$  公斤的物體，產生  $9.8$  公尺/秒<sup>2</sup> 的加速度
- ( )25. 利用天平來度量物體的質量時，下列敘述中，不正確的是：（應選 2 項）  
 (A) 利用物體呈靜力平衡時，力矩的總和為零的原理 (B) 所測得的質量與重力無關，故在無重力的太空中，也能測得 (C) 在地球上與月球上所得結果相同 (D) 在一等加速度上升的電梯上所測得的物體質量比電梯靜止時者為大 (E) 承(D)，應為相同

- ( )26. 下列有關牛頓運動定律的敘述何者正確？（應選 2 項）  
(A)牛頓第一運動定律乃是牛頓第二運動定律的特殊情形 (B)物體靜止或作等速運動時，才具有慣性 (C)要保持物體的運動狀態，必須施加外力作用 (D)物體的加速度方向，無論在任何時刻總是與合外力方向相同 (E)當作用在物體的合外力不為零時，物體的速度一定會改變
- ( )27. 以定力 100 牛頓水平作用於一物體，此物體靜止置放於光滑桌面上，經 5 秒行 250 公尺，則下列敘述何者正確？（應選 2 項）  
(A)物體的質量為 5 公斤 (B)物體的質量為 10 公斤 (C)5 秒末時之速度大小為 100 公尺/秒 (D)5 秒末時之速度大小為 50 公尺/秒 (E)作用 5 秒後，力即撤去，再經 5 秒物體共行 500 公尺
- ( )28. 有關等速圓周運動，下列敘述哪些正確？  
(A)是一種變速度運動 (B)是一種變加速度運動 (C)是一種簡諧運動 (D)同時具有切線加速度及法線加速度 (E)任一半圈的平均速度均相同
- ( )29. 假定雨傘之傘面完全水平，旋轉時其上水滴會產生運動，選出下列正確的敘述：  
(A)留在傘面上之水滴受一向心力 (B)邊緣水滴較中央水滴所受向心力為大 (C)水滴離開傘緣之一剎那方向沿切線方向 (D)水滴離開後軌跡為一拋物線 (E)雨傘轉的愈快，水滴落地所需時間愈長
- ( )30. 車子在具摩擦力的水平路面上轉彎，則：  
(A)摩擦係數愈大的路面，車子安全速率愈高 (B)車子迴轉半徑愈小，車子安全速率越高 (C)車子質量愈大，則安全速率愈大 (D)若將路面作成傾斜有助於安全速率的提高 (E)水平光滑路面安全速率為零

答案 1.B 2.B 3.E 4.D 5.D 6.D 7.D 8.B 9.B 10.A 11.A 12.C 13.B 14.C  
15.D 16.A 17.C 18.C 19.D 20.C 21.A 22.D 23.D 24.ABC 25.BD 26.DE 27.AC  
28.AB 29.AB 30.ADE

## 牛頓第三運動定律

## 摩擦力

### 壹、摩擦力的內涵

- 一、原理
- 二、摩擦力的類別
- 三、摩擦力的方向
- 四、摩擦力的量值
- 五、摩擦力與加速度
- 六、摩擦力與等速圓周運動