

## 甚麼是「向心力」？ 甚麼是「離心力」？

### (A) 向心力 (centripetal force) 製造圓周運動

#### 牛頓運動第一定律

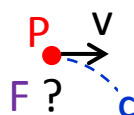
除非有外力施加，物體的運動速度不會改變。即是運動中物體總保持 **勻速直線** 運動狀態，靜止物體總保持靜止狀態。

物體所顯示出的維持運動狀態不變的這性質稱為慣性。(Wikipedia)

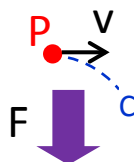
在下圖，**物體 P** 正以速度  $v$  行走。若沒有外力(重量、摩擦.... 等等) 施加，它會繼續它的直線勻速 (uniform velocity) 運動。



問：若要**用力**把 P 拉離開直線，並拉向下圖虛線 C 位置，那施加的外力 F 應該甚麼方向？

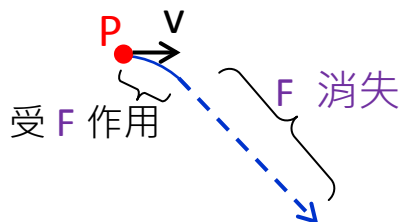


答：把 P 拉向 C 的位置，施加的外力 F 當然是向着這個方向。



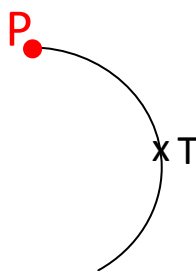
問：若這外力  $F$  維持了短時間後消失，那之後  $P$  的運動如何？

答： $P$  會以  $F$  消失前一刻的速度 (velocity) 繼續其勻速運動。

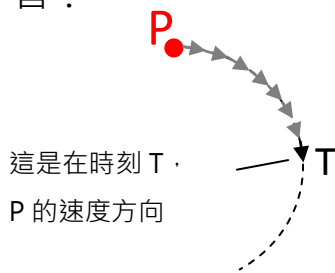


問：若要求物體  $P$  行走以下曲線，那在時刻  $T$  物體應受到甚麼方向的外力？(提示：物體的「本性」是行直線，要它靠向那方向，力就應該

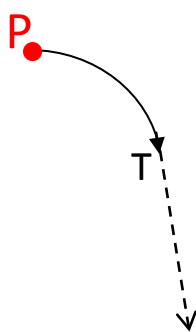
指該方向)



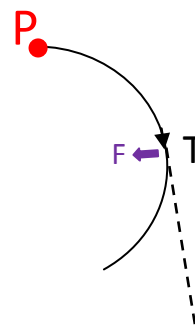
答：



這是在時刻  $T$ ， $P$  的速度方向



若在時刻  $T$ ， $P$  不受外力作用，它就會以這直線「飛出」。



要  $P$  不以直線「飛出」，而是偏向左，那施的力  $F$  必是圖中所示方向。

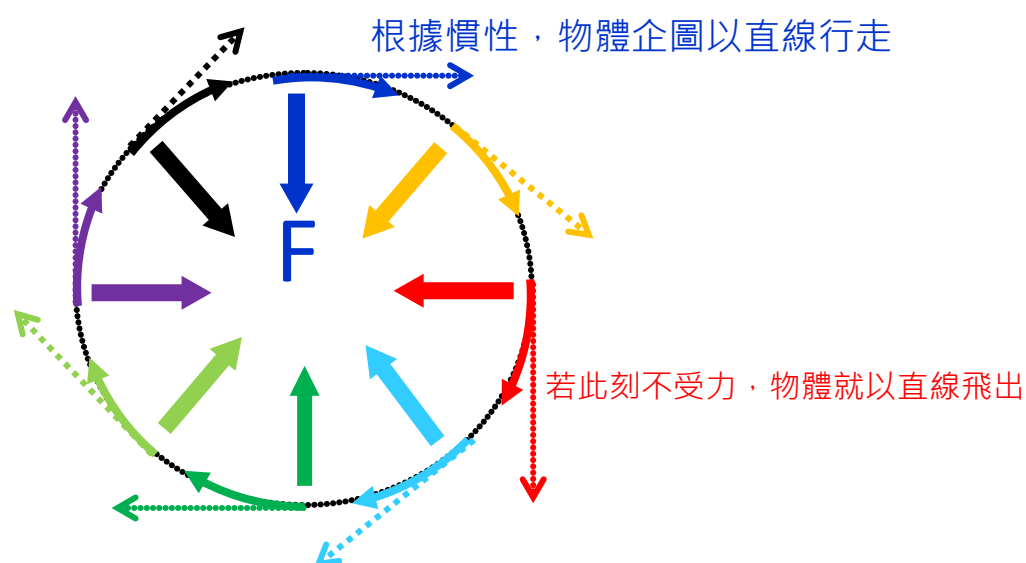
其實，物體在整條曲線上都須受外力作用。因為在任何時刻，若外力不存在，物體都會立即以直線飛出，行不到那曲線了。

問：若要求物體 P 沿一個圓的周界走，那外力的方向應為何？

答：此外力的方向要不斷改，不斷變，以阻止物體無時無刻都「企圖」

以切線的方向飛出。不要它飛出去，就要不斷用力拉它

回來。



拉回不讓物體以直線飛離去的力常常指向圓的中心，此力就是「向心力」。

「向心力」究竟是一個甚麼力？

## (B) 向心力不是一種新的力

向心力不是張力、引力、法向力(正向力)、摩擦力、電磁力等這張名單上的其中一種。

它只不過是對製造物體圓周運動的淨力(net force) 或不平衡力(unbalanced force) 的一個稱呼。

“ $F = ma$ ” 中的  $F$  是「因(cause)」，而  $a$  是「果(effect)」。  
是力製造加速，而不是加速製造力。

圓周運動本身就是一個加速運動 (因速度的方向不斷改變)，人們稱製造這加速運動所需的淨力為「向心力」。

同學不妨把「向心力」三字看成不過是「向着圓心的那個淨力」的縮寫。

那麼，這個淨力(向心力)又從那處來？

是物體在圓周運動時自己「無端端」走出來嗎？

不是！

看看物體當時是受着張力、重量、法向力、摩擦力、電磁力...等這些力之中的那一些。這些力的矢量和的向着圓心的分量就是「所需淨力」，亦

即就是「向心力」。

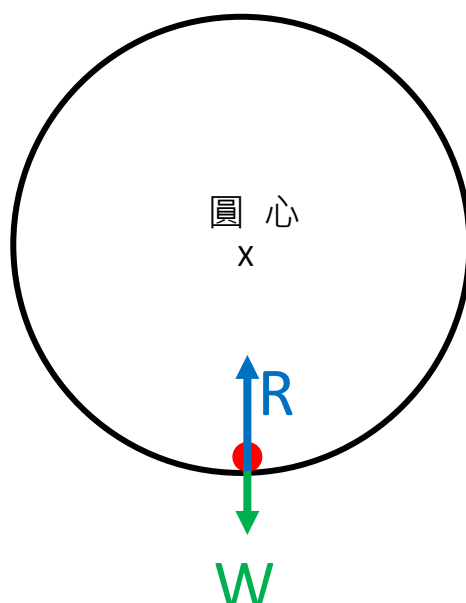
我常打趣說：

「某學生須購買一本值二百元的教科書。他的二百元，其中一百元是自己儲蓄得來，五十元是媽媽給的，另外五十元是向哥哥借的。好了，向不同渠道湊夠了二百元，可以買書了。

這二百元是用作『買書』用途，所以我可以稱這筆錢為『買書錢』。

但如果這學生說他現在擁有四百元：真金白銀的二百元，再加上二百元的『買書錢』。你聽了，有甚麼反應？」

相同情況，當圓珠在垂直的平滑圓軌內進行圓周運動 (looping the loop)，圓珠受到的外力就只有圓珠的重量 ( $W$ ) 和路軌施於它的法向反作用力 ( $R$ )。



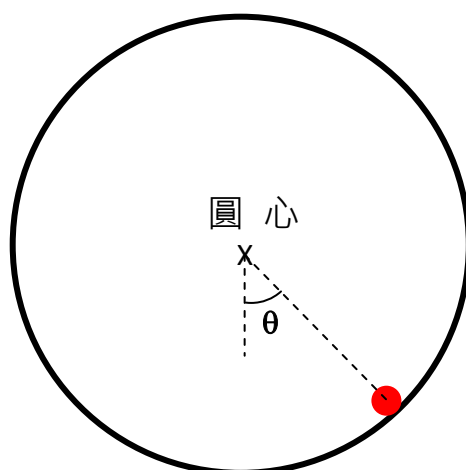
只有這兩外力，是沒有一個名為「向心力」的力施於它。

那「向心力」是甚麼？在這例，「向心力」只不過就是  $W$  和  $R$  的矢量和 (vector sum) 的指向圓心分量 (component)。此分量就是向着圓心的那個淨力(向心力)。

圓珠在圓軌上運動，是在進行加速，加速需要淨力。而淨力來自  $R$  和  $W$ 。在最低點 (上圖)，加速度  $a$  垂直向上指向圓心。所以  $R$  大於  $W$ ，它們的相差就是圓珠在那處繼續其圓周運動所需的淨力，所以在那裏，淨力是  $R - W$ ，亦即是向心力 =  $R - W$ 。

練習一：當圓珠在

- (i) 最高點，向着圓心的淨力(向心力) \_\_\_\_\_。
- (ii) 在下圖位置，向着圓心的淨力(向心力) \_\_\_\_\_。



答案在 P.26

### (C) 要求數值

經推導 (讀者很容易在網上或教科書中找到，這裏不重複)，向心力的數值是

$$F = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$$

其中  $m$  是物件的質量、 $v$  是沿周界運動的速率、 $r$  是圓的半徑和  $\omega$  是角速度 ( $\omega$  即一秒轉的弧度； $v = \omega r$ )。

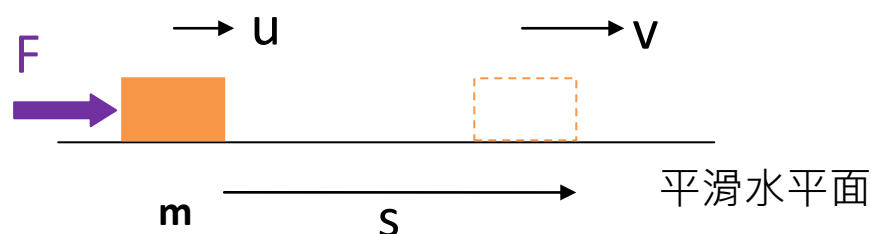
強調多一次，不是說圓周運動會產生一個名為「向心力」的力，上式只是告訴我們：

若你要求一質量  $m$  的物體，以  $v$  的速度沿一個半徑  $r$  的周界行走，你必先給它一個向着圓心的淨力才行。這個力可以是引力，可以是電磁力，可以是法向力，.....等，亦可以是這些力的合力。

這個「向着圓心的那個淨力」的量值要剛剛好，過大或過小也達不到效果，那剛好的量值是甚麼？那就是從公式  $F = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$  求得的數值。

## (D) 類 比

用大家熟悉的一維加速作進一步說明。



因



方塊  $m$  受力  $F$  作用，它可以由 初速  $u$  開始，經過位移  $s$  後，速度變成  $v$ 。

果



我們反過來問：要達到這樣的果（初速  $u$  開始，經過位移  $s$  後，速度變成  $v$ ），其因（力  $F$ ）應為何值？

根據  $v^2 = u^2 + 2as$ ，所以  $a = \frac{v^2 - u^2}{2s}$

又因為  $F = ma$ ，所以

$$F = \frac{m(v^2 - u^2)}{2s}$$



你如何解讀此式？

(1) 你斷不會這樣說：在物體加速的過程中製造了一個  $m(v^2-u^2)/2s$  的力。

(2) 其意義不過是：要方塊達到這結果 ( $u$  變  $v$ )，它必應受到淨力  $F$  作用；要完全達到這效果，此淨力的數值就必是上式運算出的結果。

" $F = \frac{mv^2}{r}$ " 和 " $F = \frac{m(v^2 - u^2)}{2s}$ " 的形式和意義相類似。前者適

合圓周運動(速度的方向不斷改變)、後者適合一維勻加速(速度的量值不斷改變)。

兩者都是 “你要得到如此這般的加速結果(公式右方)，你必先施於物體如公式運算出的數值的力才行”。

不同的是我們稱  $mv^2/r$  為「向心力」，而  $m(v^2-u^2)/2s$  則沒有特定名稱。

## (E) 衛星變軌

思考題：

一人造衛星以圓形軌道繞地球轉。若衛星變軌，把它下降至較低的圓形軌道，須把衛星的速度增加或減少？

答：減速。

人造衛星繞地球旋轉，它所需的向心力是來自它的重量（萬有引力）。在原來的軌道，衛星的重量剛好足夠這個  $m$  的衛星在這個半徑  $r$  的軌道以這個  $v$  作圓周運動。

物體的重量（萬有引力）平方反比於物體與地球中心的距離。在原來的軌道，無論衛星有甚麼速度，它的重量都是一樣。

把衛星的速度改變，就是把它 實際得到的外力（重量）與在原圓形軌道上運行時 需求的力 ( $F = \frac{mv^2}{r}$ ) 造成不相符，那衛星就作不了原來的圓周運動。

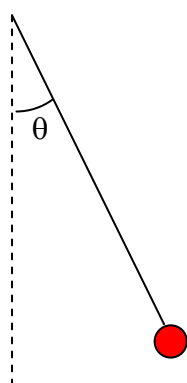
當  $v$  減少，那時衛星的重量是大於它在原來軌道以這個  $v$  運行所需的淨力。過大了的力就會轉彎轉得更彎曲，即是衛星會比原來的弧更向內彎曲（下跌一較低軌道）。

★★ 不小心會答錯本問題。經推導，衛星在軌道上的速度  $v = \sqrt{GM/r}$ 。即是衛星在越低軌度，速度就越高。所以同學容易把本問題的答案說是「加速」。不是這樣。實情是先把衛星減速，地心吸力自然會把它拉下(想像若把速度降為零，衛星會直接跌

下)。但同時當衛星下降至較低位置時，其部份**引力勢能**會轉化為**動能(引力作功)**。故此衛星在較低軌道時的速度又會增加了。

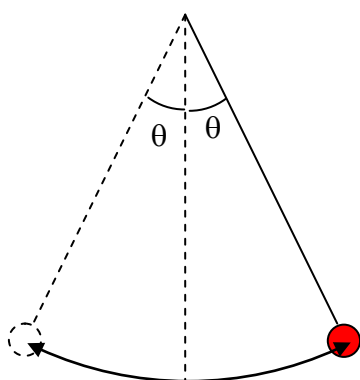
## (F) 如何分析圓周運動

在結束關於「向心力」的討論前，再以 **單擺** 和 **圓錐擺** 作例子說明。

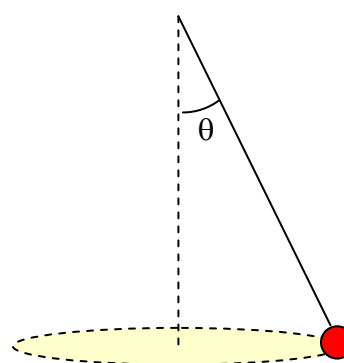


長繩上端固定，下端繫上質量  $m$ 。把繩伸直並把  $m$  移高，繩與垂直成角  $\theta$ 。

- 若把  $m$  從靜止釋放， $m$  會進行下圖(a) 的單擺運動 (simple pendulum)。
- 若給予  $m$  一適當的水平初速， $m$  會進行如下圖(b) 所顯示的圓錐擺運動(conical pendulum)



圖(a):單擺運動 (simple pendulum)



圖(b): 圓錐擺運動 (conical pendulum)

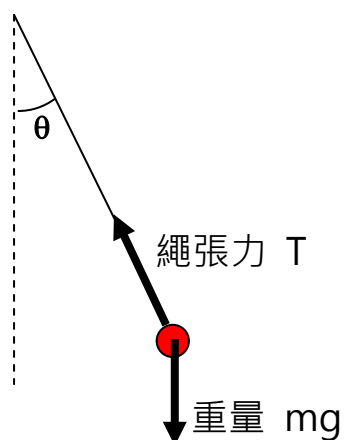
無論是單擺，或是圓錐擺運動， $m$  都是進行圓周運動，但是**很不一樣的圓周運動**。

思考圓周運動問題，只要依循以下步驟就必把問題破解：

1. 把  $m$  受的力在圖中顯示 (重量、張力、法向力、摩擦、電磁力...等。記得，這裏沒有一種力叫「向心力」)。
2. 小心辨認  $m$  進行的圓周運動的圓心在那裏。把這個圓心以「 $\times$ 」在圖中顯示。
3. 在步驟(2) 點出的圓心位置就令我們決定如何分拆在步驟(1) 畫的力(resolve components)。
4. 把作用於  $m$  的力分解：沿半徑指向圓心和垂直半徑。
  - 平行並指向圓心方向的力不會相消，這方向的淨力就是向着圓心的那份淨力 (向心力)，其值是  $mv^2/r$ 。
  - 若  $m$  進行的是勻圓周運動(uniform circular motion)，即是其速率 (speed) 不變，那垂直圓心方向的力互相抵消。

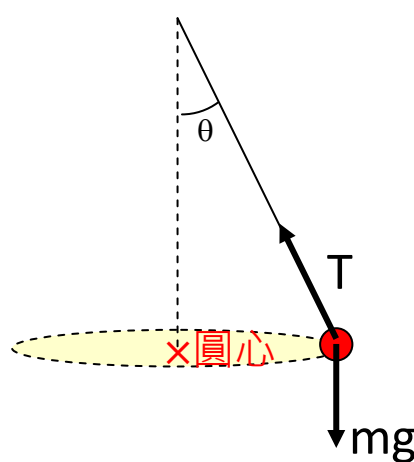
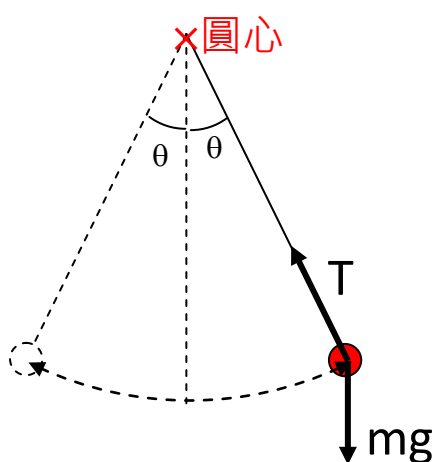
用以上各步驟分析單擺和圓錐擺。

步驟 1：m 受的力

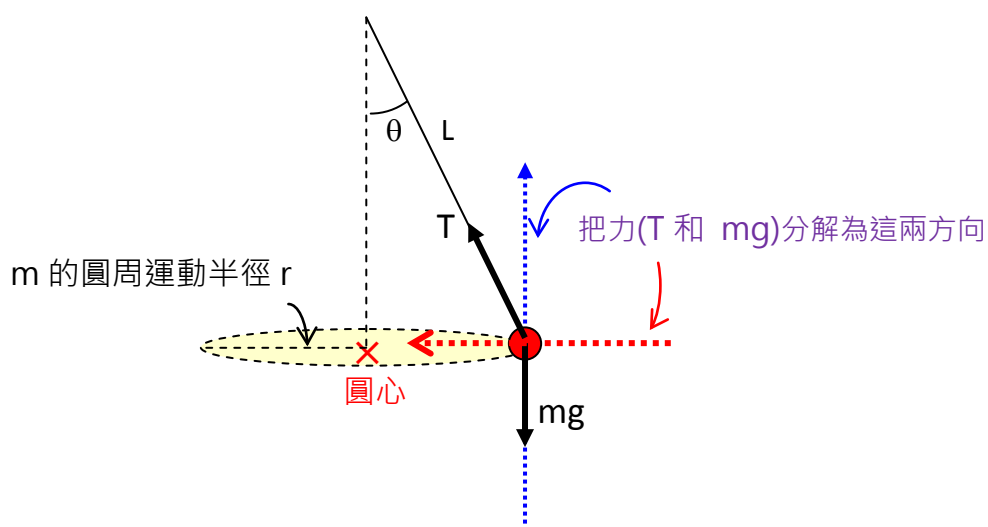
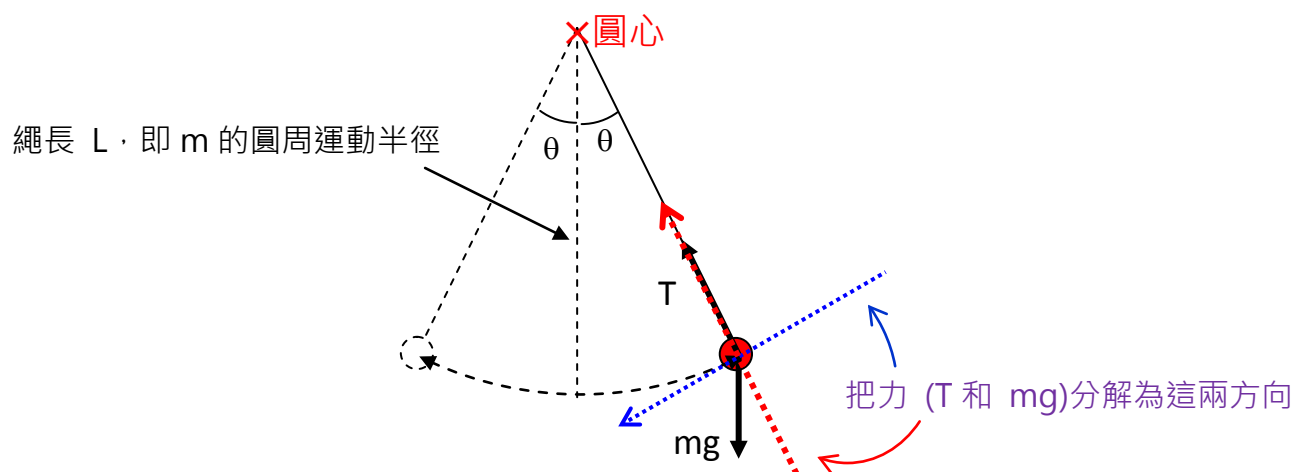


無論 m 進行甚麼運動，m 受的力就只有這兩個(忽略空氣阻力)。

步驟 2：圓心在那裏？(關鍵步驟)



步驟 3：把力分解(沿半徑指向圓心和垂直半徑)



	單擺	圓錐擺
沿半徑指向圓心方向的淨力	$T - mg\cos\theta$	$T\sin\theta$
垂直半徑方向的淨力	$mg\sin\theta$	$T\cos\theta - mg$

因為向着圓心的那個淨力(向心力) =  $mv^2/r$  ,

所以

$$\diamond \text{ 單擺: } T - mg\cos\theta = mv^2/L \quad \dots\dots\dots(i)$$

$$\diamond \text{ 圓錘擺: } T \sin\theta = mv^2/r \quad (\text{其中 } r = L\sin\theta) \quad \dots\dots\dots(ii)$$

垂直半徑的淨力如何？

圓錘擺是勻圓周運動 (uniform circular motion) , 但單擺不是。

$$\text{單擺: } T\sin\theta = m \times \text{切向加速度} \quad \dots\dots\dots(iii)$$

$$\text{圓錘擺, } T\cos\theta - mg = 0 \quad \dots\dots\dots(iv)$$

如何再運用上式求答案，就須看問題問甚麼了。

例如：問當單擺擺至最高位置時，繩的張力為何？這與圓錘擺繩的張力

相同嗎？

當單擺位於最高點， $v = 0$ ，所以式 (i) 變成  $T - mg\cos\theta = 0$ ，

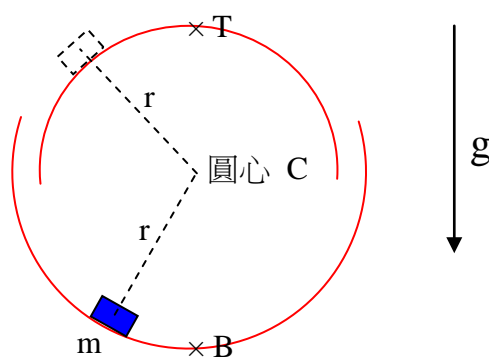
即是， $T = mg\cos\theta$ 。

圓錘擺的式 (iv)， $T\cos\theta - mg = 0$ ，所以  $T = mg/\cos\theta$ 。

一個是  $mg$  乘  $\cos\theta$ ，一個是  $mg$  除  $\cos\theta$ 。

練習二：

如圖所示，小方塊  $m$  可平滑過渡由上下兩個同心弧形組成的路面行走。  
路面平滑沒有摩擦，引力加速  $g$  垂直向下， $m$  離開圓心的距離保持為  $r$ 。  
當  $m$  在最高點  $T$  時，路面施予  $m$  的法向力 ( normal reaction force ) 為  $0.5mg$ ，問當  $m$  在路面最低點  $B$  時，法向力為多少 ( 以  $mg$  表示 ) ？



題解在 P.27，後有跟進問題

下面我們轉談談甚麼是「離心力」。

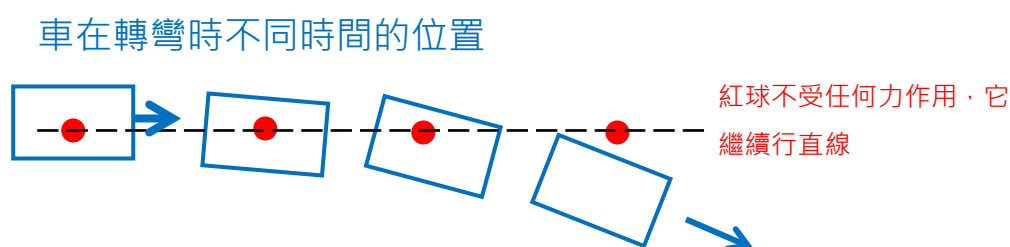


## (G) 離心力 (centrifugal force) 是一種假力

從牛頓力學而言，描述圓周運動只需「向着圓心的那個淨力 (向心力)」已經足夠，實在不需要甚麼「離心力」。

但另一方面，我們也不能否認當車轉彎時，真的像有被「拋出」的感覺。這是甚麼一回事？

(a) 路面的人會這樣解釋：



上圖顯示一輛從高空望着的車子。紅點代表在車內，放在平滑地面的一個紅球。

開始時，車子和紅球都以勻速向前走着。

車子轉彎，但車上的紅球因為慣性而繼續行直線。

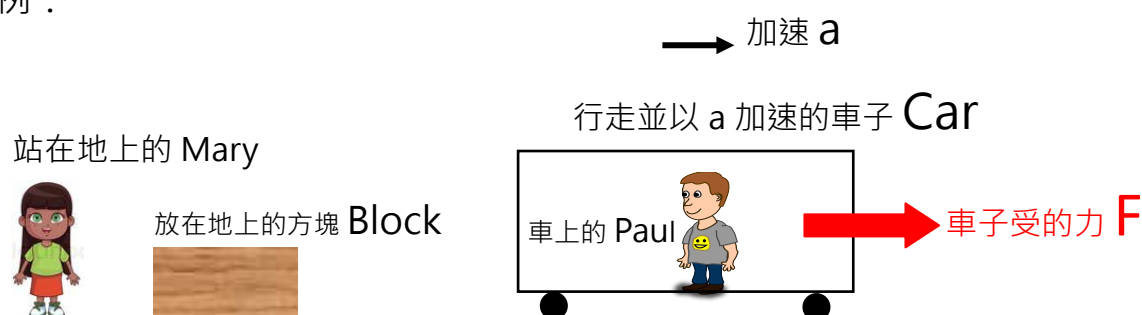
紅球行直線，車子轉了彎，紅球相對車子而言，是從車的一旁，像被一個力向外推向另一旁。這實際是慣性造成的效果，沒有甚麼所謂「離心力」。影片([https://www.youtube.com/watch?v=1\\_UBPOiNHj8](https://www.youtube.com/watch?v=1_UBPOiNHj8)) 有類似示範。

從地面描述圓周運動，不存在甚麼「離心力」。人們有被拋出的感覺實際是慣性 (inertia) 造成。

(b) 若從加速當中的車子來觀看運動，情況不一樣。物理學稱一個加速的觀察者為一個非慣性參考系統 (noninertial frame of reference)。

但牛頓第二定律不適用於非慣性系統

例：



圖中，車子 Car 受外力  $F$  作用；力製造加速  $a = F/m_{\text{car}}$ 。方塊 Block 則不受任何前後的外力作用。

✚ 站在路面上的 Mary 所看見的景象是：

車子 Car 因外力  $F$  作用，所以加速。

放在路面的方塊 Block 靜止，因它沒有受任何前後的外力作用。

✚ 在車子 Car 內的乘客 Paul 看見的則是另一番景象，他是看不到車子 Car 在移動（雖然他心知車是在行走中，但物理是講客觀的描

述); 反之, 他看見車外的東西在向後移動。Paul 會這樣說:

車子 Car 雖然受力  $F$  作用, 但它是靜止的。

放在地上的方塊 Block 雖然沒有受向後的外力作用, 但它是以  $a$  向後加速。

明顯地, Paul 看見的世界是受力的物體不加速, 不受力的物體加速。Paul 看到的世界不滿足牛頓運動第二定律。

為了牛頓力學仍然可適用於非慣性系統, 物理學引入了「假力」

(pseudo-force, fictitious force, apparent force 或 inertial force):

從一加速為  $a$  的非慣性系統來描述某物體的運動, 只要「想像」該物體多受一個  $-ma$  的力作用 ( $m$  是該物體的質量, 負是表示相反方向), 那時牛頓第二定律  $F = ma$  仍然正確。

在引入了假力後, 車上的 Paul 會這樣描述



Car 是靜止, 因為  $F$  與假力 " $m_{car}a$ " 抵消。

Block 向後加速, 因它受了這個假力 " $m_{block}a$ " 作用

用「假力」解問題既容易, 亦簡單, 是力學中常用方法。

離心力就是在轉彎的車上 (非慣性參考系統) 來描述運動時，須加入令牛頓第二定律仍然生效的假力。

轉彎的車子在加速中，所以坐在轉彎車子上的乘客就是在一個非慣性參考系統來觀察世界，他們看到的一切一切 (車上的自己、鄰座的朋友、椅子、.. 等等所有車上物體；車外的街上行人、停泊在路旁的車、從樹上飄落下的樹葉、...等等所有車外物體) 都受了一個名為「離心力」的假力作用。引入了假力，那車上的人就會用牛頓第二定律成功地描述他/她看見的世界。(除了「離心力」，「科里奧利力」(Coriolis force) 也是轉動非慣性參考系中須引入的另一種假力。)

如此，在轉彎的車上乘客說他/她 被「離心力」推向外。

(c) 乘客坐上一輛汽車。當汽車突然開動，乘客有像被推向後的感覺。

很快，當乘客身體從椅子或扶手獲得向前的法向力或摩擦，乘客也會隨汽車加速而去。這是直線加速運動。但那個

「像被推向後」對比於圓周運動的「離心力」。

「向前的法向力或摩擦」是乘客因應環境，須要加速而需要的淨力，對比圓周運動，那就是向着圓心的那個淨力。

## (H) 以「離心力」再談衛星變軌

在 P.9 的思考題。

一人造衛星以圓形軌道繞地球轉。若衛星變軌，把它下降至較低的圓形軌道，須把衛星的速度增加或減少？

在那衛星之內的太空人會這樣說：「我看見衛星是靜止的。衛星受離心力(向外)和地球的引力(向內)作用。這兩力相消，所以衛星靜止不動。若離心力可以減少；因引力不變，衛星必然不再平衡而向地心方向跌下」  
無論用「向心力」或是「離心力」，我們最後寫出來的公式沒有分別。

$$G \frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

但其背後的概念就很不一樣。

✚ 以「向心力」說，物體受到唯一的力(引力  $GMm/r^2$ ) 的值應等於  $mv^2/r$ 。 $GMm/r^2$  是  $F$ ，而  $mv^2/r$  是  $ma$ 。 $F = ma$ 。

✚ 以「離心力」說： $GMm/r^2$  和  $mv^2/r$  均是力，它們平衡抵消。  
 $GMm/r^2$  是  $F_1$  和  $mv^2/r$  是  $F_2$ 。 $a$  是零。 $F_1 - F_2 = ma$ 。

## (I) 有關「離心力」數點

- 「假力」之所以是「假」，是以牛頓力學而言。譬如，牛頓第三定

律說，凡一力存在，它的反作用力也必然存在，但假力是沒有反作用力的。**離心力是沒有反作用力的。**

- 地上觀察者不可以說他看見的慣性現象是由慣性力造成（「慣性力」即是「假力」）。**「慣性」和「慣性力」是不同觀察者使用的物理語言。**地上的人用「慣性」；車的人用「慣性力」（離心力）。

- 不可以說：「慣性製造了慣性力」。

- 在一些不嚴謹的書刊中有「離心力是向心力的反作用力」的說法，這是**完全錯誤**的。請閱讀作者的一篇相關文章

<http://ngsir.netfirms.com/Q/ME/MQ10.pdf>

- **「向心力」的「心」有別於「離心力」的「心」。**

**「向心力」的「心」是物體繞着轉的圓心；而「離心力」的「心」是轉動參考系統的座標中心。**

- 以愛因斯坦廣義相對論的「等效原理」來解釋，「假力」是一個真正的(引力)。有興趣的讀者可參考一些相關的科普書籍。

## (J) 案例分析

多謝你仍用心繼續閱讀本文。

最後，我們分析一樁案例。這是數年前香港某報章報導香港某主題公園新添置的一部名為「翻天覆地」的機動遊戲。



該主題公園的官方網頁對這部機動遊戲的介紹：「追求終極刺激的你，一定要挑戰「翻天覆地」的天旋地轉快感！這座機動遊戲超過 22 米高，其強勁的臂彎以每小時 60 公里的驚人速度在半空搖擺，加上瘋狂自轉，及突如其來的 360 度凌空迴旋，勢要你感受 3.9G 的極級重力，瞬間帶來心驚膽跳的忘我快感！」

(<https://www.oceanpark.com.hk/tc/park-experience/attractions/flash>)

那報章轉述一位「名師」的解釋：

「在任何一個圓周運動，它都有一個向心加速度，是指向圓心的。其實只有當機械把你運到最高一點時，才可能接近 3.9G，因為在最高點，它的向心加速度是向下的，而地球的向心加速度也是向下的，所以要這兩點加起來 ( $2.78G + \text{原來的 } 1G = 3.78G$ )，才接近 3.9G；但若你被機動遊戲搖到下圓周的下面一點時，你在這個圓周的加速度是向上的，所以你在低點會感到比較不那麼刺激！它只有 1 點幾 G ( $2.78G - 1G = 1.78G$ )，所以你在最高一點時，是特別驚的。」

尊貴的讀者，若果你相信自己已明白了甚麼是「向心力」和「離心力」，你要停下來想想以上的「解釋」是否正確。若不正確，問題出在何處？

- 所謂 1G, 3.9G 實應是 1g, 3.9g，是加速度。把加速度乘上質量  $m$  就是力。
- 在 P.5，我們說了一個「買書錢」的比喻。如果那位買書的同學這樣說：「你看我多『富有』：自己儲蓄了一百元，媽媽給了五十元，... 還加上『買書錢』二百元。」看似笑話，但一不小心，你犯的錯誤，就是如此「笑話」！
- 這句「向心加速度是向下的，而地球的向心加速度也是向下的，所以要這兩點加起來( 2.78G + 原來的 1G = 3.78G )，才接近 3.9G」是錯誤的，一如就是把『買書錢』視作一筆獨立的錢！
- 正確的說法是，向心加速度中已包含來自引力加速度的貢獻（一如「買書錢」部份來自自己儲蓄）。  
在最高點，向心加速是 3.9g，這 3.9g 之中的 1g 是來自地球引力加



速。餘下的  $2.9g$  是來自法向力  $R$ 。所以人在這最高點感受到的是

$2.9g$  (人肌肉感受到的力是  $R$ ，請參看 <http://ngsir.netfirms.com/Q/ME/MQ28.pdf>)

在最低點：向心加速是向上  $3.9g$ ，地球引力加速是向下  $1g$ 。即是  
地球引力加速  $1g$ (向下) +  $R$  造成的加速 = 向心加速  $3.9g$  (向上)  
所以， $R$  造成的加速 =  $4.9g$  (向上)

- 若在最高點用「加」作運算，那也可以。與引力加速相加的不是向心加速，而是「離心加速」。

在「買書錢」的比喻，那同學在一張白紙上寫 “ $-\$200$  元” 代表買書的支出。之後就可以把那白紙混入真的錢幣一起數了... 媽給的  $\$500$  + 自己儲蓄的  $\$100$  + 書錢( $-\$200$ ) + .. 。得出結果就代表買了書後那同學餘下的財富。

## (K) 結語

「向心力」是高中物理的一個小難關。課堂上老師講「向心力」，但在傳媒、日常生活裏常聽見反而是「離心力」；混淆就是源於此。同學要不斷做練習，不斷思考，才弄個真正明白。

同學，每當你對「向心力」一詞有困惑不解時，請你想起簡單的這句

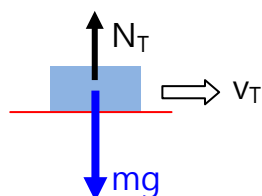
「向心力」 = 「向着圓心的那個淨力」

P.6 練習一答案：(i)  $R+W$  · (ii)  $R-W\cos\theta$

P.16 練習二題解：

設  $N$  為法向力，

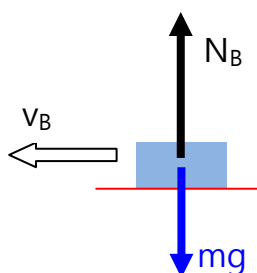
(i) 當  $m$  在最高點  $T$ ， $m$  只受到  $N_T$  和  $mg$  作用



圓心在  $m$  垂直以下位置，所以

$$mg - N_T = mv_T^2/r \quad \dots\dots\dots(1)$$

(ii) 當  $m$  在最低點  $B$ ， $m$  只受到  $N_B$  和  $mg$  作用



圓心在  $m$  垂直以下位置，所以

$$N_B - mg = mv_B^2/r \quad \dots\dots\dots(2)$$

(iii) 根據能量守恆，

$$mv_B^2/2 = mv_T^2/2 + mg(2r) \quad \dots\dots\dots(3)$$

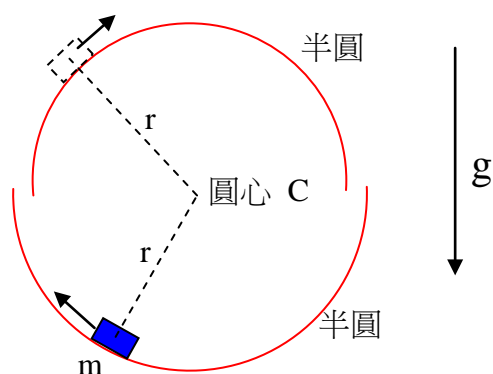
解式(1) · (2) 及 (3) · 並代入  $N_T = 0.5mg$ ，求得  $N_B = 5.5mg$

跟進問題 (較困難):

(a) 若果把路面改成如下圖般: 上下兩截是兩個半圓,  $m$  是不可能如圖所示般

沿着路面進行圓周運動。請解釋。

(b) 請提出如何改動上下兩弧形以使  $m$  真的可以進行圓周運動。



作者: 吳老師 (Chiu-King Ng)

<https://ngsir.netfirms.com>

<http://phy.hk>

電郵: [feedbackWZ@phy.hk](mailto:feedbackWZ@phy.hk) 其中 WZ 是 23 之後的質數

