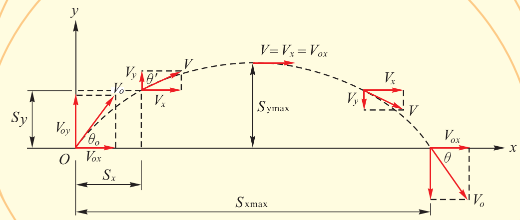


Chapter 5

曲線運動

本章綱要

學習重點

1. 角位移、角速度、角加速度之定義、關係及其公式、計算。
2. 等角加速度運動三大公式及其計算。
3. 切線與法線加速度之公式及其計算。
4. 能利用已建立之拋體運動觀念，來解決各類型之拋射體運動問題。

5-1 角位移與角速度

一、角位移 (Angular displacement)

物體作圓周運動或繞一軸旋轉時，所繞經之角位置變化量稱爲角位移。一般以符號「θ」代表之，單位爲弧度 (rad) 或角度 (Degree)。

如圖 5-1 所示，質點由 a 點轉至 b 點，其半徑爲 r，則

$$\theta = \frac{S}{r} \quad \cdots\cdots (5\text{-}1)$$

式中 θ：角位移

S：弧長 (線位移)

r：半徑

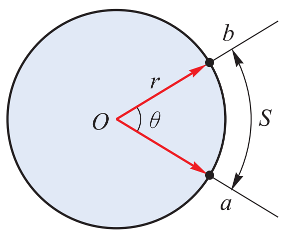


圖 5-1

二、角速度 (Angular velocity)

單位時間內角位移之變化量稱爲角速度。一般以符號「ω」代表之，單位爲弧度 / 秒 (rad/sec) 或每分鐘轉動圈數 (rpm)

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \text{ 或 } \omega = \frac{2\pi N}{60} \quad \cdots\cdots (5\text{-}2)$$

式中 ω：角速度 (rad/sec)

$\Delta\theta$：角位移 (rad)

Δt：所經過的時間 (sec)

N：物體每分鐘轉動圈數 (rpm)

(5-2) 式中將 $\Delta t \to 0$，所求之角速度爲瞬時角速度，即 $\omega = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$。

三、角速度與切線速度之關係

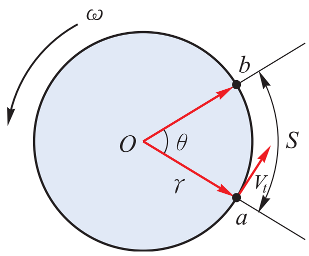
如圖 5-2 所示，若 θ 甚小，S 趨近於直線，則 $\dfrac{S}{t}$ 爲物體在 a 點之切線速度 V_t。

$$V_t = r\omega \text{ ....(5-3)}$$

V_t：切線速度 (m/sec)

r：迴轉半徑 (m)

ω：角速度 (rad/sec)



▲ 圖 5-2

例題 5-1

一飛輪半徑 0.25m，以 600rpm 迴轉 5 秒，試求 (1) 角速度爲多少 rad/sec？ (2) 角位移爲多少 rad？ (3) 其外緣之切線速度爲多少 m/sec？

解

(1) $\omega = \dfrac{600 \times 2\pi}{60} = 20\pi$ rad/sec

(2) $\omega = \dfrac{\theta}{t}$，$20\pi = \dfrac{\theta}{5}$

$\theta = 100\pi$ rad

(3) $V_t = r\omega = 0.25 \times 20\pi = 5\pi$ m/sec

隨堂練習

(　　) 1. 分針的角速度為　(A) $\frac{\pi}{30}$ rad/sec　(B) $\frac{\pi}{60}$ rad/sec　(C) $\frac{\pi}{180}$ rad/sec　(D) $\frac{\pi}{1800}$ rad/sec。

(　　) 2. 某車輛的車輪滾動有效半徑為 40 公分，當車輪轉速為 600rpm 時，則此車輛的速率為多少？　(A)40 km/hr　(B)60 km/hr　(C)90 km/hr　(D)120 km/hr。

5-2 角加速度

一、角加速度 (Angular acceleration)

單位時間角速度之變化量稱爲角加速度。一般以符號「α」代表之。單位爲弧度 / 秒 ^{2}(rad/sec^2)。

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad \text{.......(5-4)}$$

式中　α：角加速度 (rad/sec^2)

ω：角速度 (rad/sec)

t：時間 (sec)

(5-4) 式中將 $\Delta t \to 0$，所求之角加速度爲瞬時角加速度，即 $\alpha = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$。

二、等角加速度運動 (Uniform angular acceleration motion)

物體作圓周運動時，如其角加速度不變者，即 α＝定值，稱爲等角加速度運動。與等加速直線運動相同，可運用圖解法分析，亦可推導出等角加速度運動三大基本公式，其關係式如下：

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \quad \text{.......(5-5)}$$

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \quad \text{(5-6)}$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta \quad \text{(5-7)}$$

ω：角末速度

ω_0：角初速度

α：角加速度

θ：角位移

t：時間

5

例題 5-2

一砂輪機以 1800rpm 之角速度轉動，當斷電後在 12sec 內停止轉動，試求斷電至砂輪機靜止所轉之圈數？

解

$\omega_0 = \dfrac{2\pi}{60} \times 1800 = 60\pi$ rad/sec

$\omega = 0$，$t = 12$sec

$\omega = \omega_0 + \alpha t$，$0 = 60\pi + 12\alpha$

$\alpha = -5\pi$ rad/sec^2

$\theta = \omega_0 t + \dfrac{1}{2}\alpha t^2 = 60\pi \times 12 + \dfrac{1}{2} \times (-5\pi) \times 12^2 = 360\pi$ rad

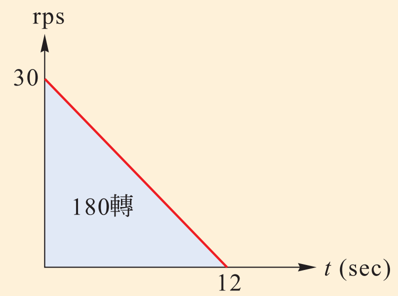
$N = \dfrac{360\pi}{2\pi} = 180$ 轉

圖解：

如右圖所示

$1800\text{rpm} = \dfrac{1800}{60} = 30\text{rps}$

$N = \dfrac{1}{2} \times 30 \times 12 = 180$ 轉



例題 5-3

引擎由靜止狀態等加速開始轉動，當轉過 588rad 之角位移後，角速度變為 168rad/sec，試求其角加速度及所需之時間。

解

$\omega_0 = 0$

$\omega = 168\text{rad/sec}$

$\theta = 588\text{rad}$

$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$

$168^2 = 0 + 2 \times \alpha \times 588$

角加速度 $\alpha = 24\text{rad/sec}^2$

$\omega = \omega_0 + \alpha t$

$168 = 0 + 24 \times t$

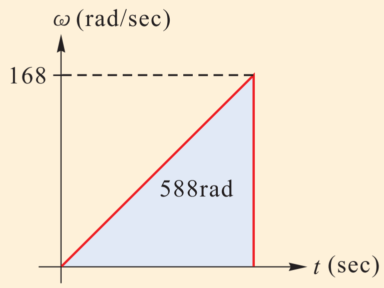
所需時間 $t = 7\text{sec}$

圖解：

如下圖所示

$588 = \dfrac{168 \times t}{2}$，$t = 7\text{sec}$

$\alpha = \dfrac{\omega - \omega_0}{t} = \dfrac{168 - 0}{7} = 24\text{rad/sec}^2$



隨堂練習

(　　) 1. 一電風扇以 1200rpm 等速迴轉，若突然斷電，使葉片在 5 秒內完全停止，則由斷電開始至葉片完全停止所轉過之圈數為　(A)50π 圈　(B)40π圈　(C)50 圈　(D)40 圈。

(　　) 2. 一飛輪由靜止開始等角加速度旋轉運動，經 40 秒其轉速為 80rpm，試問再幾秒後，其轉速可達 200rpm？　(A)60 秒　(B)50 秒　(C)40 秒　(D)30 秒。

(　　) 3. 一轉動輪以等角加速度運動，於 30 秒內從靜止加速到 1800rpm，求其角加速度為多少？　(A)6π rad/s^2　(B)2π rad/s^2　(C)10π rad/s^2　(D)π rad/s^2。

5-3 切線加速度與法線加速度

5

一、切線加速度 (Tangential acceleration)

物體作圓周運動，其內任一質點，沿圓切線方向之單位時間速度之變化量，稱為切線加速度。一般以符號「a_t」代表之。

$$a_t = \frac{V - V_0}{t} = \frac{r(\omega - \omega_0)}{t} = r\alpha$$

$$a_t = r\alpha \quad \text{......(5-8)}$$

a_t：切線加速度

V：切線方向變化後速度

V_0：切線方向之初速度

ω：變化後角速度

ω_0：角初速度

α：角加速度

r：迴轉半徑

t：時間

二、法線加速度 (Radial acceleration)

物體作圓周運動，其切線速度方向隨時在改變，因此必受一加速度作用而使其方向改變，此加速度方向與切線速度方向成垂直，亦即加速度方向指向圓心，故稱為向心加速度或法線加速度。一般以符號「a_n」代表之。其與切線速度及角速度之關係式如下：

$$a_n = r\omega^2 = \frac{V_t^2}{r} \quad \text{..........}(5\text{-}9)$$

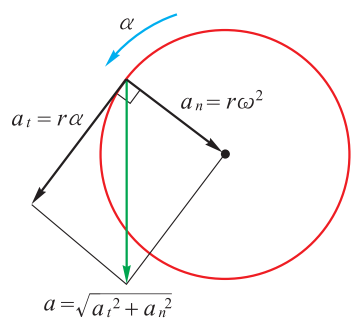
a_n：法線加速度

ω：角速度

r：迴轉半徑

t：時間

V_t：切線速度



▲ 圖 5-3

三、切線加速度與法線加速度之合成

圓周運動中，可將其切線加速度 (a_t) 與法線加速度 (a_n) 合成，求得其合加速度 (a)，即

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{(r\alpha)^2 + (r\omega^2)^2} = r\sqrt{\alpha^2 + \omega^4} \quad \text{..........}(5\text{-}10)$$

例題 5-4

一汽車在高速公路以 108km/hr 的等速率行駛，由直線進入半徑為 100m 的圓形彎道，則此時汽車加速度的大小為多少 m/s^2 ？

解

$V_t = 108\ \text{km/hr} = 30\ \text{m/sec}$

$V_t = r\omega = 100\omega = 30$

$\omega = 0.3$

$a_t = 0$

$a_n = r\omega^2 = 100 \times 0.3^2 = 9\ \text{m/sec}^2$

5

例題 5-5

在平面上一小球體，沿半徑 1m 之圓周作等角加速度圓周運動，若其角加速度為 12rad/s^2、角速度為 4rad/s，試求 (1) 切線加速度為多少 m/s^2 ？ (2) 法線加速度為多少 m/s^2 ？ (3) 合加速度為多少 m/s^2 ？

解

(1) $a_t = r\alpha = 1 \times 12 = 12\ \text{m/sec}^2$

(2) $a_n = r\omega^2 = 1 \times 4^2 = 16\ \text{m/sec}^2$

(3) $a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{12^2 + 16^2} = 20\ \text{m/sec}^2$

隨堂練習 ▸▸

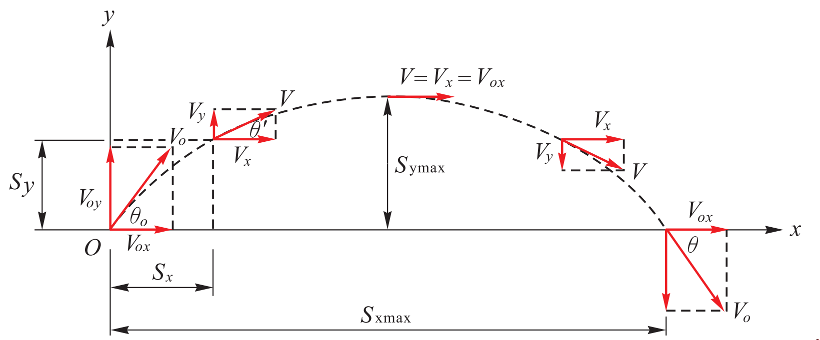
( ) 1. 一質點作圓周運動，下列敘述何者正確？ (A) 線速度大小改變會產生法線加速度，線速度方向改變會產生切線加速度 (B) 若為等速率圓周運動，則僅有法線加速度而無切線加速度 (C) 若為等速率圓周運動，因角速度為零故僅有切線加速度 (D) 線速度大小改變會產生切線加速度及法線加速度。

( ) 2. 一物體沿半徑為 100 cm 之圓周做等速圓周運動，角速率為 3 rad/sec，試求其法線加速度為多少？ (A)0 cm/sec^2 (B)300 cm/sec^2 (C)600 cm/sec^2 (D)900 cm/sec^2。

5-4 拋體運動

拋射體因受地心引力作用，在空中所行之軌跡不沿一直線前進，如不計空氣阻力，則其軌跡爲一拋物線形，此種運動稱爲拋射體運動。例如投籃球、砲彈之發射，棒球、高爾夫球被擊出等均屬拋射體運動。

如圖 5-4 所示，拋射體以初速度 V_0、仰角 θ_0，由原點 O 拋出，若不計空氣阻力，則水平方向不受力，其加速度爲零，故水平方向速度 V_x爲定值，作等速運動。在垂直方向分速度 V_y，則受重力加速度作用而隨時間變化，即垂直方向作等加速運動。其加速度爲重力加速度。



▲ 圖 5-4

由前述可得

水平初速度分量：$V_{ox}= V_0 \cos\theta_0$＝定值

垂直初速度分量：$V_{oy}= V_0 \sin\theta_0$

設以拋出點 O 為參考座標點，g 值向下故加速度為 $-g$，則經歷 t 時間後，代 $V_y= V_{oy}-gt$ 則任意位置之垂直分速度為

$$V_y= V_0 \sin\theta_0 - gt \quad\text{......(5-11)}$$

則任意位置之合成速度為

$$V= \sqrt{V_x^2+V_y^2} \quad\text{......(5-12)}$$

此時 V 與水平軸之夾角 θ' 為 $\theta'= \tan^{-1}\dfrac{V_y}{V_x}$

水平、垂直位移，代 $S_x= V_x t$，$S_y= V_{oy}-\dfrac{1}{2}gt^2$

$$S_x= (V_0\cos\theta_0)t \quad\text{......(5-13)}$$

$$S_y= (V_0\sin\theta_0)-\frac{1}{2}gt^2 \quad\text{......(5-14)}$$

拋射體所達最大高度，代 $V_y^2=V_{oy}^2-2gS_y$ 則

$V_y^2=(V_0\sin\theta_0)^2-2gS_y$

以 $V_y= 0$ 代入

$$S_{y_{max}}=\frac{(V_0\sin\theta_0)^2}{2g} \quad\text{......(5-15)}$$

拋射體達最高位置所耗時間，由 (5-11) 式 $V_y= V_0\sin\theta_0- gt$，$V_y= 0$

代入得 $t=\dfrac{V_0\sin\theta_0}{g}$

拋射體拋出後再回至原地面高度所耗時間，由 (5-14) 式，$S_y=0$ 代入

$$t_{tol}=\frac{2V_0\sin\theta_0}{g} \quad\text{.......................................}(5\text{-}16)$$

拋射體所達之最大水平位移，將上式代入 (5-13) 式，

$$S_x=(V_0\cos\theta_0)t$$

得

$$S=(V_0\cos\theta_0)\frac{2V_0\sin\theta_0}{g} \qquad \because \sin 2\theta=2\sin\theta\cos\theta$$

$$S_x=\frac{V_0^2\sin 2\theta_0}{g} \quad\text{.......................................}(5\text{-}17)$$

由 (5-17) 式知，若 V_0 為一定，當 $\sin 2\theta_0=1$ 時可得最大值，故 $\theta_0=45°$ 時，代入得

$$S_{x_{max}}=\frac{V_0^2}{g} \quad\text{.......................................}(5\text{-}18)$$

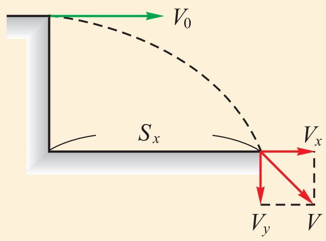
由 (5-17) 式亦可知下列結論：

1. 若 V_0 為一定，拋射角 45° 時，水平射程最遠。
2. 若 V_0 為一定，當兩次拋射仰角互為餘角 ($\theta_1+\theta_2=90°$ 但 θ_1 或 $\theta_2\neq 0$ 時)，兩水平射程相等。($\because \sin 2\theta=2\sin\theta\cos\theta$，$\therefore 2\sin\theta_1\cos\theta_1=2\sin\theta_2\cos\theta_2$)

以上各式雖可當公式使用，但不建議死記公式方法解題。拋射體運動，如欲求水平位移，以等速運動方法求解；如欲求垂直位移，以等加速運動方法求解即可。

例題 5-6

一石子以 6m/sec 之初速，水平拋出，3 秒落地，試求 (1) 投擲處距地面之高度；(2) 水平位移；(3) 落地速度。



▲ 圖 5-5

解

(1) $S_y = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 9.8 \times 3^2 = 44.1$ m (高度)

(2) $S_x = V_0 t = 6 \times 3 = 18$ (水平位移)

(3) $V_y = -gt = -9.8 \times 3 = -29.4$ m/sec (↓)

$V_x = 6$ m/sec，$V_y = -29.4$ m/sec

$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{6^2 + (-29.4)^2} \fallingdotseq 30$ m/sec

例題 5-7

已知斷橋之橋面爲水平，一汽車以 72 km/hr 之速度衝出橋面，掉到距離橋面 19.6 m 深的河床上，若不計空氣阻力，則汽車掉到河床時，距離斷橋處之水平距離爲多少 m ？ ($g = 9.8$ m/s^2)

解

72 km/hr = 20 m/sec

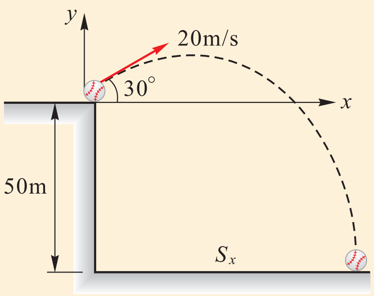
$S_y = V_{oy} + \frac{1}{2}gt^2$

$19.6 = 0 + \frac{1}{2} \times 9.8 \times t^2$，$t = 2$

$S_x = V_{ox}t = 20 \times 2 = 40$ m

例題 5-8

一球在距地面 50 m 處以仰 30°，初速 $V_0 = 20$ m/sec，斜向上拋出，試求 (1) 落地時間；(2) 落地速度；(3) 飛行最大高度；(4) 水平位移。



▲ 圖 5-6

解

(1) $S_y = V_0 \sin\theta t - \frac{1}{2}gt^2$

$-50 = 20\times\frac{1}{2}\times t - \frac{1}{2}\times 9.8\times t^2$

$4.9t^2 - 10t - 50 = 0$

$t = \dfrac{5+\sqrt{270}}{4.9} = 4.37\text{sec}$

(2) $V_x = V_0\cos\theta = 20\times\frac{\sqrt{3}}{2} = 17.32$ m/sec

$V_y = V_0\sin\theta - gt = 10 - 9.8\times 4.37 = -32.83$ m/sec

$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{1377.5} = 37.12$ m/sec

(3) $V_y = V_{oy} - gt$

$0 = 20\sin 30° - 9.8t$

$t = 1.02$

$S_y = V_{oy}t - \frac{1}{2}gt^2$

$= 10\times 1.02 - \frac{1}{2}\times 9.8\times 1.02^2$

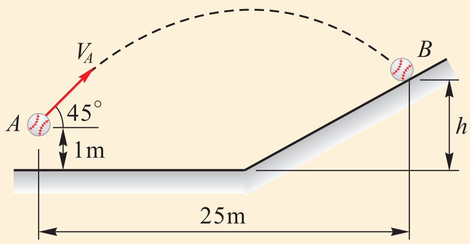
$\fallingdotseq 5.1$

$H = 5.1 + 50 = 55.1\text{m}$

(4) $S_x = V_x t = 17.32\times 4.37 = 75.69$ m

例題 5-9

如圖 5-10 所示，一人在 A 出投出一球，球速 V_A 之方向與水平成 45°，若經過 1 秒後球撞擊到斜坡之 B 點，則 B 點距離水平地面的高度 h 爲多少 m？ ($g = 9.8\ m/s^2$)



▲ 圖 5-7

解

$$S_x = V_{Ax}t$$

$$25 = V_{Ax} \times 1$$

$$V_{Ax} = V_{Ay} = 25\ (\theta = 45°)$$

$$h = 1 + V_{Ay}t + \frac{1}{2}gt^2$$

$$= 1 + 25 \times 1 + \frac{1}{2} \times (-9.8) \times 1^2$$

$$= 21.1\ m$$

例題 5-10

一飛機以 288 km/hr 之等速度，向東航向目標實施炸射練習，若飛行高度爲 1960 m，則飛機需在距目標水平距離多遠處，投彈以便炸中目標。

解

$V_0 = 288\ \text{km/hr} = 80\ \text{m/sec}$(→向東)

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

$$1960 = \frac{1}{2} \times 9.8 \times t^2$$

$$t = 20\ \text{sec}$$

$S_x = V_0 t = 80 \times 20 = 1600\ \text{m}$ (於目標西方)

隨堂練習

(　　) 1. 一球以初速度 V_0 及仰角 θ 擲出，若需最大水平射程，則 θ 應等於　(A)0°　(B)30°　(C)45°　(D)60°。

(　　) 2. 一物體若以初速度 4 m/sec 之水平方向擲出，3 秒鐘後落地，則投擲處離落地為　(A)12m　(B)14m　(C)16m　(D)18m。

(　　) 3. 在 980 m 高度，以速度 500 m/sec 水平飛行之飛機，在距目標多遠處投彈，才能擊中目標？　(A)6062m　(B)7071m　(C)8233m　(D)9800m。

重點整理

5-1

1. 角位移 (θ)：物體作圓周運動或繞一軸旋轉時，所繞經之角位置變化量。

   $\theta = \dfrac{S}{r}$

   S：線位移，r：迴轉半徑；單位為弧度 (rad) 或角度 (Degree)

2. 角速度 (ω)：單位時間內角位移之變化量。單位為弧度 / 秒 (rad/sec) 或每分鐘轉動圈數 (rpm)。

   $\omega = \dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$ 或 $\omega = \dfrac{2\pi N}{60}$

   N：每分鐘轉動圈數

3. 切線速度 (V_t)：$V_t = r\omega$

5

5-2

4. 角加速度 (α)：單位時間角速度之變化量。單位為弧度 / 秒^2 (rad/sec^2)。

   $\alpha = \dfrac{\Delta\omega}{\Delta t}$

5. 等角加速度運動：物體作圓周運動時，如其角加速度不變者，即 α ＝定值。

   等角加速度運動之三大運動公式：

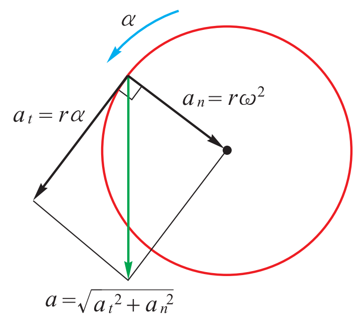
   $\omega = \omega_0 + \alpha t$

   $\theta = \omega_0 t + \dfrac{1}{2}\alpha t^2$

   $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$

   ω：角末速度，ω_0：角初速度，α：角加速度，θ：角位移，t：時間

5-3



6. 切線加速度 (a_t)：沿圓切線方向之單位時間速度之變化量。

$$a_t=\frac{V-V_0}{t}=\frac{r(\omega-\omega_0)}{t}=r\alpha$$

7. 法線加速度 (a_n)：與切線速度方向成直角，亦即加速度方向指向圓心，或稱爲向心加速度。

$$a_n=r\omega^2=\frac{V_t^2}{r}$$

a_n：法線加速度　ω：角速度　r：迴轉半徑　V_t：切線速度

8. 合加速度 (a)：切線加速度 (a_t) 與法線加速度 (a_n) 合成。

$$a=\sqrt{a_t^2+a_n^2}$$

5-4

9. 拋射體運動：水平方向分速度V_x爲定値，作等速運動；在垂直方向分速度V_y，作等加速運動，其加速度爲重力加速度。
10. 斜向拋射體運動，拋射角爲45度時，水平射程最遠。
11. 若初速度保持一定，當兩拋射仰角互爲餘角($\theta_1+\theta_2=90°$)時，兩水平射程相等。

學後評量

一、選擇題

5-1 (　　) 1. rpm 是什麼的單位？　(A) 角加速度　(B) 線加速度　(C) 角位移　(D) 角速度。

(　　) 2. 飛輪上 A、B 二點，距中心點之距離比爲 3：7，試求其旋轉時，A、B 兩點線速率之比爲多少？　(A)3：7　(B)7：3　(C)9：49　(D)49：9。

(　　) 3. 飛輪以 1800rpm 等速轉動，則其角速度爲　(A)15π rad/sec　(B)30π rad/sec　(C)45π rad/sec　(D)60π rad/sec。

(　　) 4. 飛輪以 600 rpm 迴轉，則其轉動週期爲多少秒？　(A)0.1　(B)0.2　(C)0.3　(D)0.4。

(　　) 5 曲軸的旋轉週期爲 0.2sec，則此曲軸的轉速爲　(A)0.2rpm　(B)5rpm　(C)12rpm　(D)300rpm。

(　　) 6. 一質點沿著半徑 40cm 之圓周作等速運動，若該質點之切線速度爲 40cm/sec，則其角速度爲多少？　(A)2.5rad/sec　(B)2rad/sec　(C)1.5rad/sec　(D)1rad/sec。

(　　) 7. 一質點沿半徑 1m 之圓作等速圓周運動，若其轉速爲 600rpm，則其切線速度爲　(A)20π m/sec　(B)15π m/sec　(C)10π m/sec　(D)5π m/sec。

5-2 (　　) 8. 一飛輪轉速爲 1200rpm，10 秒內減速爲 300rpm，則角加速度爲　(A)3π rad/sec^2　(B) π rad/sec^2　(C) $-\pi$ rad/sec^2　(D) -3π rad/sec^2

(　　) 9. 一圓盤之角速度由 120rpm 增加至 180rpm，共轉了 30 轉，若爲等角加速度運動，則其角加速度爲　(A) $\frac{\pi}{2}$ rad/sec^2　(B) π rad/sec^2　(C) $\frac{\pi}{6}$ rad/sec^2　(D) $\frac{\pi}{3}$ rad/sec^2。

(　　)10. 飛輪自靜止狀態加速至 3600 rpm 需時 5 秒，假設其爲等角加速度之迴轉運動，試求在該加速期間飛輪所轉之圈數爲多少？　(A)60　(B)150　(C)150π　(D)300π。

5

(　　)11. 飛輪由靜止開始以等角加速度迴轉運動，經 10 秒後其迴轉速為 100rpm，再經幾秒後其迴轉速變為 180rpm？ (A)6 秒 (B)8 秒 (C)10 秒 (D)12 秒。

(　　)12. 已知一飛輪以 1200rpm 之轉速旋轉，若施加一扭矩在該飛輪，其大小為常數，方向與飛輪旋轉方向相同，結果飛輪之轉速在 5sec 內增加至 1800rpm，則飛輪之角加速度為多少 rad/sec^2？ (A)π (B)2π (C)3π (D)4π。

5-3 (　　)13. 一質點在半徑為 r 之圓上作圓周運動，若角速度為 ω，角加速度為 α，則質點之法線加速度為多少？ (A)$r\omega$ (B) $r\omega^2$ (C) $r\alpha^2$ (D) $\dfrac{\omega^2}{r}$。

(　　)14. 物體作等速圓周運動 (A) 僅有切線加速度 (B) 法線與切線加速度均無 (C) 法線與切線加速度均有 (D) 僅有法線加速度。

(　　)15. 一質點作圓周運動，下列敘述何者正確？ (A) 若為等速圓周運動，因線速度方向改變而產生切線加速度 (B) 若為等加速圓周運動，則同時產生法線加速度與切線加速度 (C) 若為等加速圓周運動，因角加速度大小不變故僅有法線加速度 (D) 若為等加速圓周運動，因線速度大小改變而產生法線加速度。

(　　)16. 下列敘述，何者正確？ (A) 質點的速度方向永遠與其運動路徑相切 (B) 運動中的質點獲得加速度，其速率必增大 (C) 質點的速度愈大，其加速度愈大 (D) 若速度為零，加速度必等於零。

(　　)17. 一半徑為 R 之圓盤，繞其圓盤之中心作等角速度旋轉，若角速度為 ω，則下列對於在圓盤半徑 R 位置處之敘述何者不正確？ (A) 切線加速度之大小為零 (B) 合加速度之大小為 $R\omega^2$ (C) 切線速度之大小為 $R\omega$ (D) 切線速度之方向不隨時間而改變。

5-4 (　　)18. 當斜向拋射之初速一定時，若不計空氣阻力，則欲得最大水平射程之仰角為 (A)15° (B)30° (C)45° (D)60°。

(　　)19. 若初速度一定時，以 15° 及 75° 之仰角拋出二球，則何者水平射程較遠？(A)75° 仰角之水平射程為 15° 仰角之 3 倍 (B) 相等 (C)75° 仰角之水平射程較遠 (D)15° 仰角之水平射程較遠。

( )20. 將一圓球以仰角 θ、初速度 V_0 射出，試問圓球上升至最大高度時，其水平分速度 V_x 與垂直分速度 V_y 爲多少？ (A)$V_x = 0$，$V_y = V_0 \sin\theta$ (B)$V_x = V_0 \sin\theta$，$V_y = 0$ (C) $V_x = 0$，$V_y = V_0 \cos\theta$ (D)$V_x = V_0 \cos\theta$，$V_y = 0$。

( )21. 大小相同的 A、B 兩球位於同一高度，若 A球從靜止自由落下，B球以 5 m/s 水平拋出，不計空氣阻力，則下列敘述何者正確？ (A)A 球先到達水平地面 (B) 不確定何球先到達水平地面 (C)B球先到達水平地面 (D)A、B 兩球同時到達水平地面。

( )22. 以 θ仰角拋射一物，若不計空氣阻力，則加速度的水平分量大小爲 (A)0 (B)$g \cos\theta$ (C)g (D)$g \sin\theta$。

( )23. 一物體從高 25 m 的樓上水平拋射，著地時和水平成 45° 角，則水平位移爲 (A)25 m (B)50 m (C)80 m (D)100 m。

( )24. 救難機在高 490m 的地方，以 200m/sec 之速度水平飛行，飛機在離目標前多少秒須投下救濟品方能命中？ (A)1 秒 (B)5 秒 (C)10 秒 (D)15 秒。

( )25. 救難機在高 490m 的地方，以 200 m/sec 之速度水平飛行，當救濟品到達地面時，飛機離原投下位置多少 m ？ (A)500 (B)1000 (C)1500 (D)2000。

二、計算題

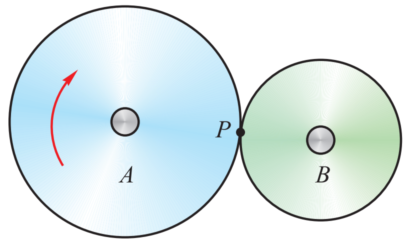
5-1 1. 某汽車引擎轉速 2400 rpm，傳動線總減速比爲 8，驅動輪半徑爲 0.25 m，試求車速爲多少？

2. 一火車車輪直徑 50 cm，以 72 km/hr 之速度行駛，試求車輪之轉速爲多少 rpm ？

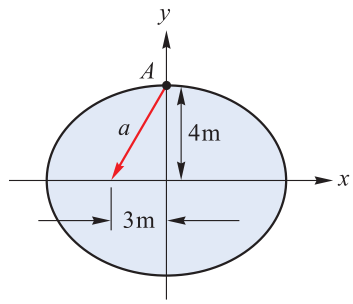
3. 一質點作半徑 100 cm 之等速圓周運動，在 5 秒鐘內迴轉 4 周，試求
(1) 角速度；(2) 所經之圓弧長。

5-2 4. 一直徑爲 200 mm 的飛輪，由靜止開始以等角加速度旋轉，若經過 30 秒後其轉速爲 1800 rpm，則此時飛輪外徑上任一點之切線加速度爲多少 m/sec^2？

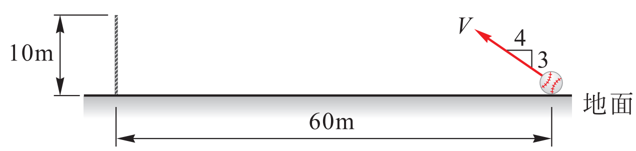
5. 直徑爲 50cm 之轉盤 A，自靜止以等角加速度 5 rad/sec^2開始轉動，並同時帶動直徑 30cm 之 B 轉盤，如右圖所示，設兩轉盤間無滑動產生，當轉盤 A 轉動 10 圈時，試求 (1) 共需多少時間？ (2) 轉盤 A 外緣上一點的加速度爲多少？ (3) 轉盤 B 外緣上點之加速度爲多少？



6. 一質點作橢圓運動，當它通過 A 點時，其合成加速度 a 大小爲 20 m/sec^2，且方向如右圖所示。當它通過 A 點時，試求 (1) 其切線加速度大小爲何？ (2) 若在 A 點處之曲率半徑爲 6.25 m，則通過 A 點時之切線速率爲何？



5-4 7. 如下圖所示，在一水平之地面上，放置一垂直鐵絲網與一發球機，該鐵絲網高度爲 10 m 且距離發球機 60 m 遠，若發球機以初速度爲 V m/sec 射出一球，其方向如圖所示，若不計空氣阻力並忽略發球機之高度，欲使球飛越過鐵絲網，求 V之最小值爲多少 m/sec ？ (註： $\sqrt{7}=2.64$，重力加速度爲 10 m/sec^2)



8. 炮彈 60 m/sec 之初速度由炮口射出，若射出的仰角爲 37°，試求 (1) 落地時間；(2) 飛行高度；(3) 射程；(4) 射出 5 秒後之速度。

9. 一轟炸機在平飛中，每隔 1 秒鐘投下一枚炸彈，連續投三枚，問投第三彈時，(1) 第一彈與第二彈；(2) 第二彈與第三彈間之垂直距離多少？

10. 如右圖所示，轟炸機以俯角 30° 向下俯衝，在 1000 m 之高空投下一炸彈，經 6 秒後炸彈落地，試求轟炸機投彈時之速度。