

## 一、【目的】

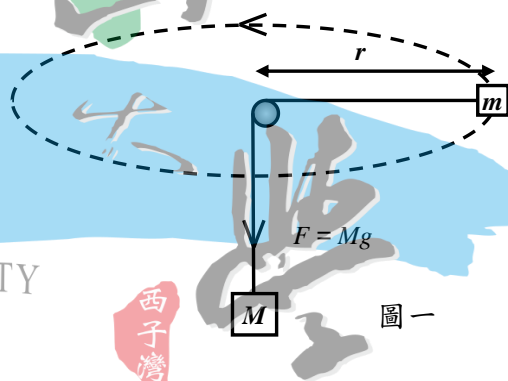
探討物體做圓周運動時，所受到的向心力與該物體的速率、質量及圓周半徑之關係。

## 二、【現象】

在宇宙中，地球繞著太陽運動的軌跡近似一個圓。根據牛頓第一運動定律，若一物體不受外力作用，則必定靜止或作等速直線運動。由此可以斷定，地球必受某一種力的影響，使其做圓周運動。研究發現，凡是做圓周運動的物體，必受一方向始終朝向圓心的力作用，稱為向心力。例如用繩子繫著小石子，使石子做圓周運動，其向心力的來源即是繩子的張力；石子轉得越快，所需的向心力就越大。從上述的現象中，不難發現，做圓周運動的物體之向心力與其速率及旋轉半徑間必有某些關係存在，這些關係是什麼呢？即是本實驗所要探討的對象。

## 三、【原理】

當一個質量為  $m$  的物體受向心力作用並做等速圓周運動時，如圖一所示。雖然物體的速率保持固定，但因速度的方向一直在改變，故此一質點實際上是在做變加速度運動，且加速度的方向恆指向圓周運動軌跡的圓心，故稱之為向心加速度  $\bar{a}$ 。此加速度大小  $a$  和速率  $v$  及圓周半徑  $r$  間的關係為：



$$a = \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

根據牛頓運動定律，當物體具有加速度時，則必有一淨力作用在此物體質點上，淨力  $\bar{F}$  的方向會與向心加速度  $\bar{a}$  的方向相同。因為此作用力恆指向圓周運動的圓心，因此被稱作為向心力。向心力  $\bar{F}$  大小與運動物體質量  $m$ 、速率  $v = r\omega$ 、圓周運動週期  $T$ 、旋轉半徑  $r$  以及角速率  $\omega$  間的關係如下：

$$F = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2 \quad (2)$$

其中，

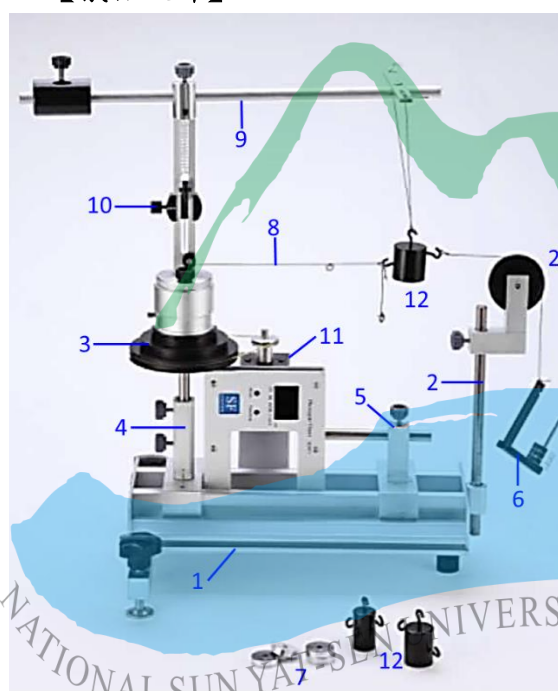
$$v = \frac{2\pi \cdot r}{T} = r \cdot \omega \quad (3)$$

藉由將式(3)帶入於式(2)中，可得作用物體的向心力  $F$  與運動週期  $T$  的關係式為：

$$F = \frac{4\pi^2 mr}{T^2} \quad (4)$$

式(4)中，向心力大小  $F$ 、圓周運動速率  $v$  及半徑  $r$  的大小都可自由調整。首先，調整不同的向心力大小  $F$ ，使質量為  $m$  的物體在相同的半徑  $r$  上做等速率圓周運動。接著將  $F$  值固定，調整不同的速率，即能觀察  $F$  為定值時， $r$  與  $v$  之間的關係。最後，還可以固定向心力大小與半徑，觀察  $m$  與  $v$  之間的關係。

#### 四、【儀器設計】



圖二

編號	儀器名稱	數量
1	鋁製實驗平台	1 個
2	桌邊定滑輪	1 組
3	轉動圓盤 (直徑 6 cm/ 8 cm/ 10 cm)	1 組
4	鋁製轉動器固定架	1 個
5	光電閘固定架	1 個
6	U 型金屬砝碼架	1 個
7	銅製砝碼(20 g)	5 個
8	細魚線(寬度 0.4 mm)	1 條
9	向心力實驗吊架	1 個
10	向心力指標器	1 組
11	直流馬達驅動器	1 個
12	向心力實驗用重物 (160 g/ 115 g/ 78 g)	1 組

#### 五、【注意事項】

1. 直流電源供應器電壓不可超過 15 伏特(V)。
2. 每次實驗完畢時，須將橡皮圈輕輕取下，才可進行校正或更換砝碼重量。
3. 懸掛實驗用重物時，注意重物兩側高低鈎環，連接彈簧細魚線與 U 型金屬砝碼架的位置，須使細魚線保持水平，如圖二所示。
4. 彈簧拉伸的最大長度不可超過標示之位置，避免產生彈性疲乏。
5. 開啟或關閉電源供應器時，務必先將電源供應器之電壓旋鈕歸零。

#### 六、【儀器安裝與實驗步驟】

##### (一) 儀器安裝

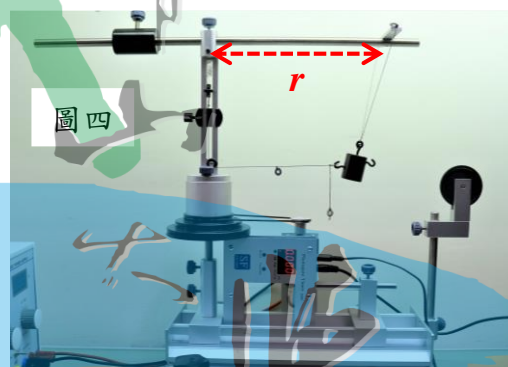
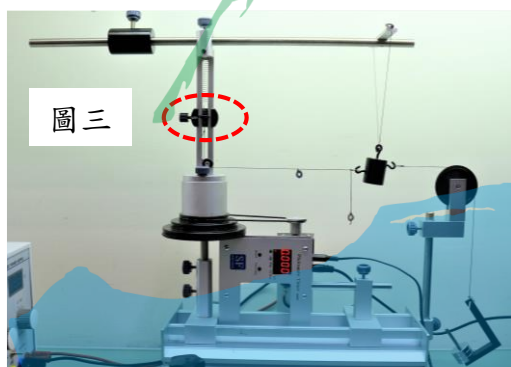
1. 將橡皮圈分別套上馬達與轉動圓盤，使馬達帶動圓盤旋轉。
2. 接上光電閘的電源。

3. 將香蕉接頭導線分別連接電源供應器與馬達，並將電源供應器調整成直流(DC)模式，此時先不要開啟電源。
4. 將砝碼固定於  $U$  型砝碼架，並以細魚線連接於實驗用重物。接著將彈簧細魚線上的銅環連接於實驗用重物之另一側。
5. 即完成設備的組裝，如圖二所示。

## (二) 實驗步驟

### (1) 觀察向心力大小 $F$ 與轉動速率 $v$ 之關係

1. 調整橫桿上的平衡質量使實驗吊架呈水平。
2. 將砝碼固定於  $U$  型砝碼架上，並量測其總重量。接著連接於實驗用重物的一側後，將向心力指標器移至彈簧下方指標所在位置，並固定之，如圖三所示。
3. 接著取下  $U$  型砝碼架，並量測橫桿懸吊處至中心轉動軸的旋轉半徑  $r$ ，如圖四所示。



4. 按下光電計時器上的「Function」鈕，調整至測量單週期模式( $\times 1$ )後，再按一次「Function」鈕，使螢幕內之紅點變成閃爍模式，此時光電計時器即可重複讀取圓盤轉動的週期  $T$ 。實驗中須確認光電計時器的紅外線感測孔在轉動圓盤半徑內。
5. 開啟電源供應器，並逐漸增加輸出電壓值，使馬達轉速提高。觀察彈簧下方指標的位置變化，當達到向心力指標器之位置時，待指標位置變化穩定後，此時紀錄光電計時器上週期  $T$ 。
6. 改變  $U$  型砝碼架上的砝碼數量(及向心力  $F$  的大小)，並重複進行實驗。

### (2) 觀察轉動半徑 $r$ 與轉動速率 $v$ 之關係

1. 實驗裝置與步驟(1)相同。
2. 固定所使用的向心力大小  $F$  與實驗用重物  $m$ 。
3. 逐漸提高馬達轉速，使彈簧下方指標與向心力指標器的位置重合並穩定後，紀錄光電計時器上週期  $T$ 。
4. 依次改變物體的旋轉半徑  $r$ ，並重複進行實驗。

### (3) 觀察轉動物體質量 $m$ 與轉動速率 $v$ 之關係

1. 實驗裝置與步驟(1)相同。
2. 固定所使用的向心力大小  $F$  與轉動半徑  $r$ 。
3. 逐漸提高馬達轉速，使彈簧下方指標與向心力指標器的位置重合並穩定後，紀錄光電計時器上週期  $T$ 。
4. 改變不同的物體質量  $m$ ，並重複進行實驗。

### 七、【數據】

(1) 求向心力  $F$  與轉動速率  $v$  之關係： $r = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}$

砝碼質量 $F(g)$					
週期 $T(\text{sec})$					
速率 $v(m/\text{sec})$					

(2) 求轉動半徑  $r$  與轉動速率  $v$  之關係： $F = \underline{\hspace{2cm}} \text{ g}$

半徑 $r(\text{cm})$					
週期 $T(\text{sec})$					
速率 $v(m/\text{sec})$					

(3) 求物體質量  $m$  與轉動速率  $v$  之關係： $r = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}$ ， $F = \underline{\hspace{2cm}} \text{ g}$

質量 $m(g)$					
週期 $T(\text{sec})$					
速率 $v(m/\text{sec})$					

### 八、【問題】

1. 試繪出  $F-v$ 、 $r-v$ 、 $m-v$  的關係圖，其關係是否為線性關係？
2. 試繪出  $\log F - \log v$ 、 $\log r - \log v$ 、 $\log m - \log v$  之關係圖，它們的關係是否為一直線？若是，試計算出直線的方程式。
3. 承(1)與(2)，對實驗數據取  $\log$  之後，再進行作圖的用意為何？
4. 綜合以上的結果，試歸納出  $v = f(F, r, m)$  關係。
5. 探討實驗結果與理論  $v^2 = (F/m)r$  之間的差異。