

圓周運動

實驗目的：

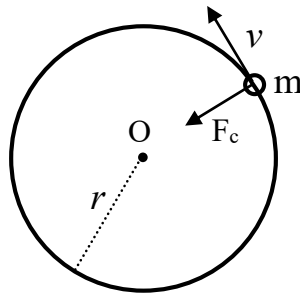
圓周運動為自然界基本的運動模式之一，舉凡原子內電子運動，車輛轉彎到星體間的運動，皆有涉及圓周運動。本實驗將驗證圓周運動中，旋轉滑塊質量、旋轉半徑、旋轉週期、旋轉角速率與向心力之間的關係。

實驗儀器：

轉動平台系統，旋轉滑塊，平衡滑塊，砝碼，水平儀，馬達，電源供應器，電子秤(公用)，含滑輪之光閘(含連接線) photogate with pulley，力感測器 force sensor，類比/數位介面盒(SW750)。電腦(含Capstone 程式軟體)。

實驗原理：

如圖一所示，當一物體以半徑 r 作水平圓周運動時，此物體所受到的向心力量值 F_c 如下所示：



圖一 物體進行圓周運動示意圖。圖中實線為物體水平軌跡， m 為物體的質量、 r 為物體旋轉的半徑、 v 為物體移動的速率、 F_c 為物體感受到的向心力量值。

$$F_c = m\omega^2 r = m \left(\frac{v}{r}\right)^2 r = m \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

(1)式中， m 為物體質量， v 為物體旋轉時的切線速率， ω 為物體旋轉時的角速率。

在圓周運動中，物體旋轉時的切線速率 v 可表示為

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

(2)式中， T 為物體旋轉週期。

把(2)式代入(1)式可知，物體感受的向心力 F_c 、旋轉角速率 ω 與旋轉週期 T 關係，表示如下

$$F_c = \frac{mv^2}{r} = \frac{m(r\omega)^2}{r} = mr\omega^2 = \frac{4\pi^2mr}{T^2}$$

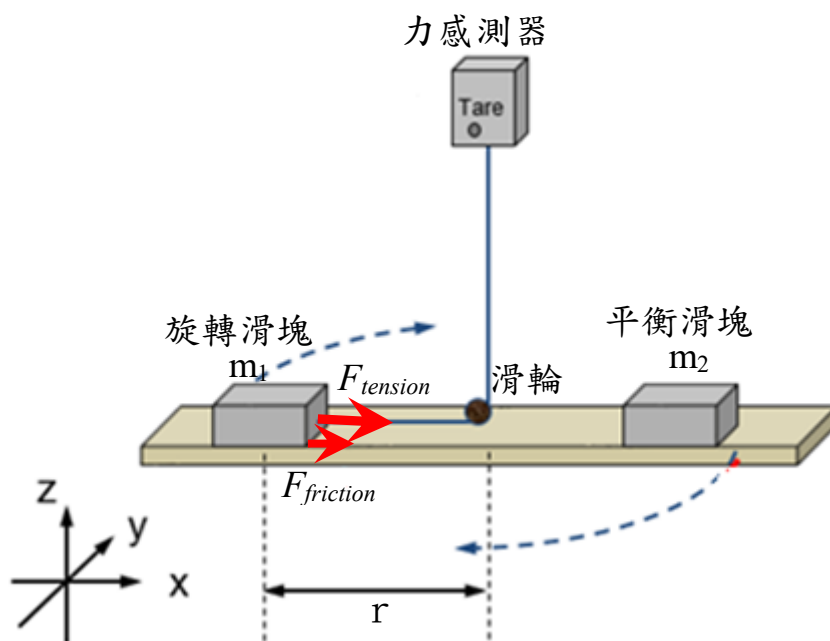
圖二為圓周運動實驗裝置示意圖。 m_1 為旋轉滑塊(含其上方砝碼)總質量、 m_2 為平衡滑塊(含其上方砝碼)總質量，纜線的一端連結旋轉滑塊，穿過掛在軌道中心的滑輪，另一端綁在力感測器上(Force sensor)。

當轉台轉速逐漸增加時，旋轉滑塊所需的向心力便會逐漸增大。此時，旋轉滑塊所受向心力 F_c ，可表示為

$$F_c = F_{tension} + F_{friction} = m_1 r \omega^2$$

$$F_{friction} = m_1 \mu g$$

其中， $F_{tension}$ 為纜線張力、 $F_{friction}$ 為旋轉滑塊與滑軌間的靜摩擦力、 μ 為旋轉滑塊與滑軌間的靜摩擦係數、 g 為重力常數。



圖二 圓周運動實驗裝置示意圖。虛線為滑塊水平圓周運動的部分軌跡， m_1 與 m_2 分別為旋轉與平衡滑塊及各自上方法碼的總質量， r 是旋轉滑塊的旋轉半徑， $F_{tension}$ 是纜線張力， $F_{friction}$ 是旋轉滑塊與滑軌間的靜摩擦力。

注意事項：

1. 轉台轉動前，確認光閘高低位置，避免因轉台轉動撞擊而造成儀器損壞。另應先確認所有螺絲已鎖緊，並確認旋轉滑塊與平衡滑塊皆置於旋轉軌道內，避免砝碼或滑塊因轉動拋出而造成傷害。
2. 不可用力推或拉力感測器(Force Sensor)，以免造成儀器損壞。
3. 力感測器所測量到的力可為正負兩種，正值代表纜線對感測器為推力；負值代表纜線對感測器為拉力。
4. 馬達由直流電源供應器驅動，馬達香蕉接頭(紅)插在電壓輸出正端(紅)、馬達香蕉接頭(黑)插在電壓輸出負端(黑)，為避免馬達損壞，提供電壓不可超過 10.0 V。
5. 電源供應器設定為定電壓(c.v.)輸出模式：使用前先確定電流電壓共四個旋鈕逆時針轉到底(即~零)，按下開關(ON)，將電流粗調鈕順時針轉至最大，再慢慢順時針轉電壓鈕至所要的電壓；關電源供應器則依前述順序反向操作。(圖示於附錄二)

實驗步驟：

➤ 實驗前校正

1. 將水平儀放置於滑軌上方，調整基座螺絲使滑軌保持水平。
2. 調整中心滑輪座位置，使其固定於滑軌中心。
3. 將纜線穿過軌道中心滑輪後，再將兩端分別繫於力感測器與旋轉滑塊。
4. 轉台下方橡皮繩應緊緊繫於轉台與馬達間。
5. 因旋轉滑塊與平衡滑塊不加砝碼前質量略有差異，故實驗前應先於待旋轉滑塊加上砝碼，使兩者質量相當。
6. 欲於旋轉滑塊上增加砝碼時，應同時於平衡滑塊上增加等重砝碼。因各砝碼略有差異，請確實記錄。
7. 藉由調整力感測器高低位置來改變旋轉半徑。
8. 藉由調整電源供應器輸出電壓來改變角速率。

A. 向心力 VS 角速度

1. 測量旋轉滑塊質量 m_1 與旋轉半徑 r 。
2. 於滑軌另一側放置平衡滑塊，其質量與半徑應與旋轉滑塊相同。
3. 確認旋轉滑塊於水平方向不受外力影響(即轉台未轉動)後，確認纜線鬆弛下再於力感測器上方按下歸零鍵 **Tare** 使其歸零。
4. 開啟電源供應器，並提供電壓使馬達帶動轉台轉動。(注意:電壓若太小，轉動緩慢，繩未緊繃，誤差可能較大)
5. 依軟體操作說明書設定相關參數與關係圖。
6. 待轉台轉速穩定後，啟動軟體開始擷取數據，觀察『角速度-時間』與『力-時間』關係曲線變化約 20-30 秒後停止擷取，再將電壓調輸出為零，停止轉動。
7. 記錄穩定狀態下，角速率 ω 與纜線張力 $F_{tension}$ 各平均值。
8. 改變角速率 ω (即改變電源供應器驅動電壓 V)，其他參數維持不變，重覆上述步驟 3-7。
9. 作 $F_{tension}$ vs. ω^2 關係圖，作線性擬合，其與 y 軸之截距為何？比較斜率和其預期值。

B. 向心力 VS 旋轉半徑

1. 測量旋轉滑塊質量 m_1 。
2. 先設定初始旋轉半徑為 r (約 15.00 cm) 。
3. 於滑軌另一側放置平衡滑塊，其質量與半徑應與旋轉滑塊相同。
4. 確認旋轉滑塊於水平方向不受外力影響(即轉台未轉動)後，確認纜線鬆弛下再於力感測器上方按下歸零鍵 **Tare** 使其歸零。
5. 依軟體操作說明書設定相關參數與關係圖。
6. 開啟電源供應器，並提供電壓使馬達帶動轉台轉動。(注意:電壓若太小，轉動緩慢，繩未緊繃，誤差可能較大)
7. 待轉台轉速穩定後，啟動軟體開始擷取數據，觀察『角速率-時間』與『力-時間』關係曲線變化約 20-30 秒後再停止擷取，電源供應器電壓輸出調為零。
8. 記錄穩定狀態下，角速率 ω 與纜線張力 $F_{tension}$ 各平均值。
9. 改變旋轉半徑為 r 的長度(即力感測器高低位置)，固定角速率 ω (可微調電源供應器驅動電壓 V)，重覆上述步驟 3-8。
10. 作 $F_{tension}$ vs. r 關係圖，作線性擬合，其與 y 軸之截距為何? 比較斜率和其預期值。

C. 向心力 VS 旋轉物的質量

1. 測量旋轉滑塊質量 m_1 與旋轉半徑 r 。
2. 於滑軌另一側放置平衡滑塊，其質量與半徑應與旋轉滑塊相同。
3. 確認旋轉滑塊於水平方向不受外力影響(即轉台未轉動)後，確認纜線鬆弛下再於力感測器上方按下歸零鍵 **Tare** 使其歸零。
4. 依軟體操作說明書設定相關參數與關係圖。
5. 開啟電源供應器，並提供電壓使馬達帶動轉台轉動。(注意:電壓若太小，轉動緩慢，繩未緊繃，誤差可能較大)
6. 待轉台轉速穩定後，啟動軟體開始擷取數據，觀察『角速率-時間』與『力-時間』關係曲線變化約 20-30 秒後停止擷取，再將電壓調輸出為零，停止轉動。
7. 分別記錄穩定狀態下，角速率 ω 與纜線張力 $F_{tension}$ 各平均值。
8. 同時改變旋轉滑塊質量 m_1 與平衡滑塊質量 m_2 ，其它參數固定(可微調電壓維持角速率 ω 固定)，重覆上述步驟 3-7。
9. 作 $F_{tension}$ vs. m_1 關係圖，作線性擬合，其與 y 軸之截距為何? 比較斜率和其預期值。

討論提示：

1. 是否可由實驗數據計算靜摩擦係數 μ ? 所得數值在不同運動狀態會相同嗎? 試說明之。
2. 若滑軌不完全水平，對實驗結果有何影響? 試說明之。