

實驗六 向心力實驗

實驗目的：

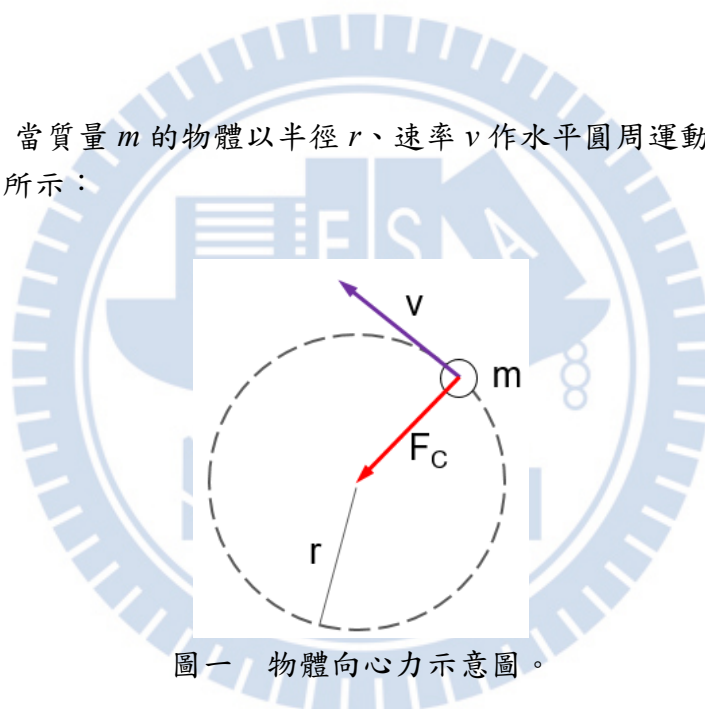
圓周運動為自然界基本的運動模式之一，舉凡原子內電子運動，車輛轉彎到星體間的運動，皆有涉及圓周運動。本實驗將驗證圓周運動中，轉體質量、旋轉半徑、旋轉週期、旋轉角速度與向心力之間的關係。

實驗儀器：

向心力實驗裝置，旋轉滑塊，平衡滑塊，砝碼，光電閘(含連接線)，力感應器，數位感應裝置，類比感應裝置，電源供應器，水平儀，電子秤

實驗原理：

如圖一所示，當質量 m 的物體以半徑 r 、速率 v 作水平圓周運動時，此物體所受到的向心力 F_c 如下所示：



圖一 物體向心力示意圖。

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad (1)$$

(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度。

在圓周運動中，物體旋轉時的切線速率 v 可表示為

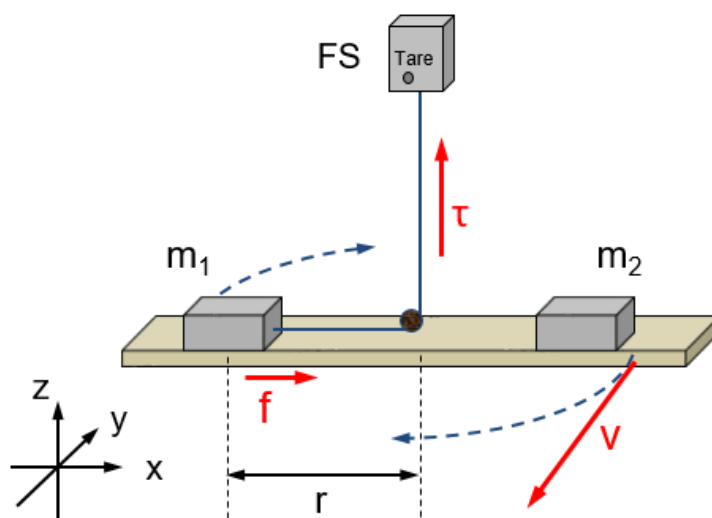
$$v = r\omega = \frac{2\pi r}{T} \quad (2)$$

(2)式中， T 為物體旋轉週期。

把(2)式代入(1)式可知，物體向心力 F_C 、旋轉角速度 ω 與旋轉週期 T 關係，表示如下

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

圖二為向心力實驗裝置示意圖， m_1 為旋轉滑塊(含上方砝碼)總質量、 m_2 為平衡滑塊(含上方砝碼)總質量與 FS 為力感應器(Force Sensor)。



圖二 向心力實驗裝置示意圖。

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

$$F_C = \tau + f = m_1 r \omega^2$$

$$f = m_1 \mu g$$

其中， τ 為纜線張力、 f 為滑塊與滑軌間的摩擦力、 μ 為滑塊與滑軌間的摩擦係數。 g 為重力常數。

注意事項：

1. 轉台轉動前，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. 不可用力推或拉力量感應器(FS)，以免造成儀器損壞。
3. 力量感應器所感應到的力有分正負兩種，正值代表纜線對感應器為推力；負值代表纜線對感應器為拉力。
4. 為避免馬達損壞，電源供應器所輸出電壓不可超過 10.0 V。
5. 確認光電閘高低位置，避免因轉台轉動撞擊而造成儀器損壞。

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，再分別於兩端繫上力量感應器與旋轉滑塊。
4. 滑軌下方橡皮繩應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. 藉由調整力量感應器高低位置來改變旋轉半徑。
7. 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。因實驗室所提供的砝碼略有差異，請確實記錄。

A. 固定旋轉滑塊質量 m_1 與旋轉半徑 r ，改變角速度 ω ，觀察角速度 ω 與向心力 F 兩者間的關係

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，再於力量感應器上方按下歸零鍵 **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 6.0 V 電壓使馬達帶動轉台轉動。
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 秒後再停止擷取。
7. 記錄穩定狀態下，角速度 ω 與纜線張力 τ 平均值。
8. 固定旋轉滑塊質量 m_1 、平衡滑塊質量 m_2 與旋轉半徑 r ，改變角速度 ω (即改變電源供應器輸出電壓 V)，重覆上述步驟。
9. 作 $F_c(\tau) - \omega^2$ 關係圖。

B. 固定旋轉滑塊質量 m_1 與角速度 ω ，改變旋轉半徑 r ，觀察旋轉半徑 r 與向心力 F 兩者間的關係

1. 測量旋轉滑塊質量 m_1 與角速度 ω 。(即固定電源供應器輸出電壓 V)
2. 固定旋轉滑塊其旋轉半徑為 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，再於力量感應器上方按下歸零鍵 **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 6.0 V 電壓使馬達帶動轉台轉動。
7. 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 秒後再停止擷取。
8. 記錄穩定狀態下，角速度 ω 與纜線張力 τ 平均值。
9. 固定旋轉滑塊質量 m_1 、平衡滑塊質量 m_2 與角速度 ω ，改變旋轉半徑為 r (即力感應器高低位置)，重覆上述步驟。
10. 作 $F_c(\tau)-r$ 關係圖。

C. 固定旋轉半徑 r 與角速度 ω ，改變旋轉滑塊質量 m_1 ，觀察旋轉滑塊質量 m_1 與向心力 F 兩者間的關係

1. 測量旋轉滑塊質量 m_1 、角速度 ω 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，再於力量感應器上方按下歸零鍵 **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 6.0 V 電壓使馬達帶動轉台轉動。
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 秒後再停止擷取。
7. 記錄於穩定狀態下，角速度 ω 與纜線張力 τ 平均值。
8. 固定旋轉半徑為 r 與角速度 ω ，同時改變旋轉滑塊質量 m_1 與平衡滑塊質量 m_2 ，重覆上述步驟。
9. 作 $F_c(\tau)-m_1$ 關係圖。

實驗問題：

1. 是否可由實驗數據計算摩擦係數 μ ？所得數值會相同嗎？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。