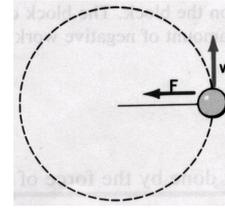


圓周運動實驗

目的：

- (一) 觀測圓周運動向心力與速率的關係。
- (二) 觀測圓周運動向心力與質量的關係。
- (三) 觀測圓周運動向心力與半徑的關係。



圖(1)

原理：

當一質量 m 的物體進行圓周運動時，如圖(1)所示，必須具備一個向心力 F ，才能維繫其圓周運動，此向心力大小如下：

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

其中 v 為瞬間切線速度， r 表圓周運動半徑。

依據牛頓第二運動定律形式，其向心加速度 $a = v^2 / r$ ，其方向與 F 同向，即沿徑方向朝向圓心，但由於向心力作用方向恆與物體運動方向垂直(即 $\vec{F} \perp \vec{v}$)，故其僅能改變物體運動方向而不影響物體運動速率。今若僅考慮向心力而無其它切線方向作用力，則圓周運動將維持等速率，其速率大小可由平均速率來表示，即 $v = \frac{\text{圓周長}}{\text{週期}} = \frac{2\pi r}{T} = r\omega$ ，其中 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 為角速度或角頻率。若將 v 代入(1)式，則向心力可改寫成下式：

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

在本實驗中，將一砝碼與繩子一端相連，而繩子另一端則連接至力感測器，當砝碼進行圓周運動時，向心力 F 則由繩子張力所提供，其可藉由力感測器(因其與繩子相連)加以量測出。於是，當砝碼圓周運動速率 v 愈大時，將發現監測的向心力 F 也隨之增大，其應符合(1)式的關係。另外，本實驗亦將進一步檢視向心力 F 與砝碼質量 m 的關係，以及向心力 F 與圓周運動半徑 r 的關係。

儀器：

力感測器、光電門、纜線、滑軌轉台、底座與支架、S型夾、滑輪座、待測砝碼座、平衡砝碼座、長條形水平儀、砝碼。

注意事項：

- (1) 旋轉轉台前，務必確認所有固定螺絲已鎖緊。並應與轉台保持至少 30 公分距離，且切勿平視轉台，以避免砝碼或滑塊旋轉拋出造成可能的傷害。
- (2) 切勿用力拉扯力感測器，以免損壞儀器。
- (3) 實驗過程中，待測砝碼座與平衡砝碼座(或加於其上的砝碼)需儘量維持等質量、等半徑以平衡轉台。並應確認轉台能 360 度自由轉動，不受任何物體影響。
- (4) 若增加待測砝碼座與平衡砝碼座的砝碼，必須以鎖螺將砝碼鎖於砝碼座上，不可直接置放於

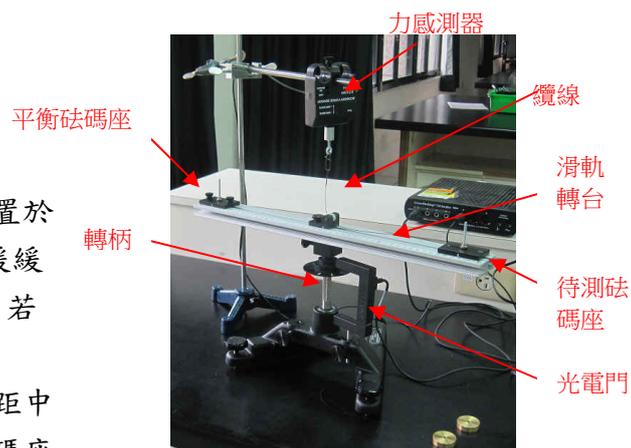
砝碼座上，否則，轉動時砝碼易飛出造成意外受傷。

- (5)轉動滑軌轉台請勿太大力，砝碼座產生的離心力導致纜線張力增大，容易拉動力感測器支架發生傾倒，故請在實驗過程中務必壓住支架底座，以免發生傾倒危險。
- (6)由於量測待測砝碼座質量，需要拆解或組裝纜線，相當不容易且易破壞儀器，故請直接將待測砝碼座質量視為 51.5g 就可以。
- (7)每次使用力感測器量測數據前，請務必先做歸零動作(即按下 Tare 鍵)，否則易產生誤差。
- (8)進行步驟(C)向心力 F 與半徑 r 的關係量測時，須注意更改監測程式的半徑 r 值，更改完記得點選”接受”，數據才會被接受，請參閱附錄 A。另外，改變半徑請勿任意纏繞纜線，僅需將支架上的力感測器調升即可達到半徑的改變，因為經常纏繞纜線，易造成纜線扭曲變形而影響實驗結果。

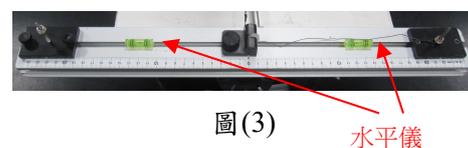
步驟：

(A)向心力 F 與圓周運動速率 v 的關係：

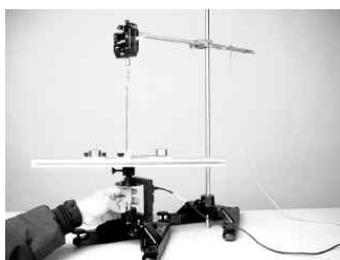
- (1)儀器裝置如圖(2)所示，將兩個長條形水平儀分別置於滑軌轉台左右兩側凹槽，如圖(3)所示，然後，緩緩轉動滑軌轉台，觀察水平儀水泡是否位於中央，若否，則調整儀器基座支腳直至水泡位於中央。
- (2)將滑輪座固定於滑軌轉台中心，待測砝碼座置於距中心 22 公分處(相當於轉動半徑 $r=22$ cm)，平衡砝碼座則固定於另一側對稱處以平衡滑軌轉台。並將力感測器置於滑輪座正上方，纜線穿過滑輪座連接力感測器與待測滑塊，並注意纜線儘量維持鉛垂方向。
- (3)請確定光電門的接頭連接至科學工作站(SW750)的 Channel 1 接孔，力感測器的接頭則連接至 Channel A 接孔。
- (4)先將科學工作站(SW750)的電源打開後，再將電腦電源打開，由視窗桌面選取”圓周運動實驗”檔案，然後，將監測程式開啟執行監測，並按一下力感測器的歸零鍵 [Tare]，此時滑軌轉台未轉動，力感測器讀出數值應為零。歸零後，先停止監測。
- (5)如圖(4)以手握住軸柄轉動滑軌轉台，並注意懸掛力感測器的支架亦須以手固定(避免支架傾倒)，轉至高速後，即鬆手讓滑軌轉台自行轉動，再開啟監測程式，記錄滑軌轉台由高速至低速的向心力 F 與速率 v 變化，但為了讓監測的圖表單位能自動調整至實際數據大小，使數據變化比較明顯，請以滑鼠點選監測程式第一個功能 icon，如圖(5)。
- (6)當滑軌轉台接近靜止(約 0.5 m/s)時，即可停止監測。然後，執行「理論計算程式」(cir.exe) 僅需輸入實驗數據的速率範圍，即能得到一理論數據檔(即 v-F.dat)，再將其匯入監測程式中，拖拉至向心力與速率關係圖內，即可得到實驗值與理論值的數據比較圖形，再列印此圖作為步驟(A)的實驗數據。



圖(2)



圖(3)



圖(4)



圖(5)

(B)向心力 F 與質量 m 的關係：(※注意：不需列印數據圖形，完成表(1)數據記錄即可!)

- (1)裝置與操作方式如步驟(A)，但注意力感測器仍要進行歸零動作(即按 Tare 鍵)，然後，由監測程式記錄圖中，自行選取一固定速率 v (※注意：選取的 v 數值不可小於 1.0m/s)，讀取其對應的向心力 F 大小(可使用滑鼠點選監測程式的 XY 座標讀取功能，如圖(6)所示)，填入表(1)。



- (2)增加砝碼座質量，分別於待測砝碼與平衡砝碼座鎖上 50g 砝碼，其中砝碼質量可不必再用電子天平量測，直接以標示質量為其實際質量。重覆步驟 B-(1)，但注意讀取向心力 F 的速率 v 須維持固定，將結果填入表(1)。
- (3)再增加砝碼座質量，分別於待測砝碼與平衡砝碼座再鎖上 50g 砝碼，重覆步驟 B-(1)，將結果填入表(1)。

(C)向心力 F 與半徑 r 的關係：(※注意：不需列印數據圖形，完成表(2)數據記錄即可!)

- (1)裝置如步驟(A)，但改變待測砝碼座與中心的距離半徑 r (※注意：平衡砝碼座的距離也要同時改變)，而每次改變的半徑數值差距不可小於 3cm。
- (2)操作方式如步驟(A)，其中除了要注意力感測器歸零之外，也要記得更改監測程式所設定的半徑(r)大小 (※注意：數據更改後，需點選”接受”，數據才會輸入，請參閱附錄 A)。然後，再由監測程式記錄圖中，自行選取一固定速率 v (※注意：選取的 v 數值不可小於 1.0m/s)讀出其向心力 F 大小(可利用 XY 座標讀取功能)，填入表(2)。
- (3)繼續改變不同的半徑 r ，重覆上述步驟，但注意讀取向心力 F 的速率 v 需維持固定，將結果填入表(2)。(※注意：改變半徑請勿任意纏繞纜線，僅需將支架上的力感測器調高，即可達到半徑的改變，請參考注意事項(7)的說明！)

(D)虛擬實驗設計：(※此步驟列為選擇性，可不用進行！)

- (1)請利用虛擬設計軟體(Crocodile_Physics)模擬圓周運動實驗，請參考附錄 B。

記錄與問題：

- 步驟(A)的實驗數據可直接黏貼電腦監測分析的向心力 F 與速率 v 關係圖。
- 步驟(B)向心力 F 與質量 m 變化的實驗數據

表(1) 半徑 $r = \underline{0.22}$ m ; 速率 $v = \underline{\quad}$ m/s

| 圓周運動物體 | 質量 m (kg) | 向心力 F (N) |
|---------------|-------------|-------------|
| 待測砝碼座 | 0.0515 | |
| 待測砝碼座+50g 砝碼 | 0.1015 | |
| 待測砝碼座+100g 砝碼 | 0.1515 | |

• 步驟(C)向心力 F 與半徑 r 變化的實驗數據

表(2) 質量 $m = 0.1515 \text{ kg}$; 速率 $v = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}$

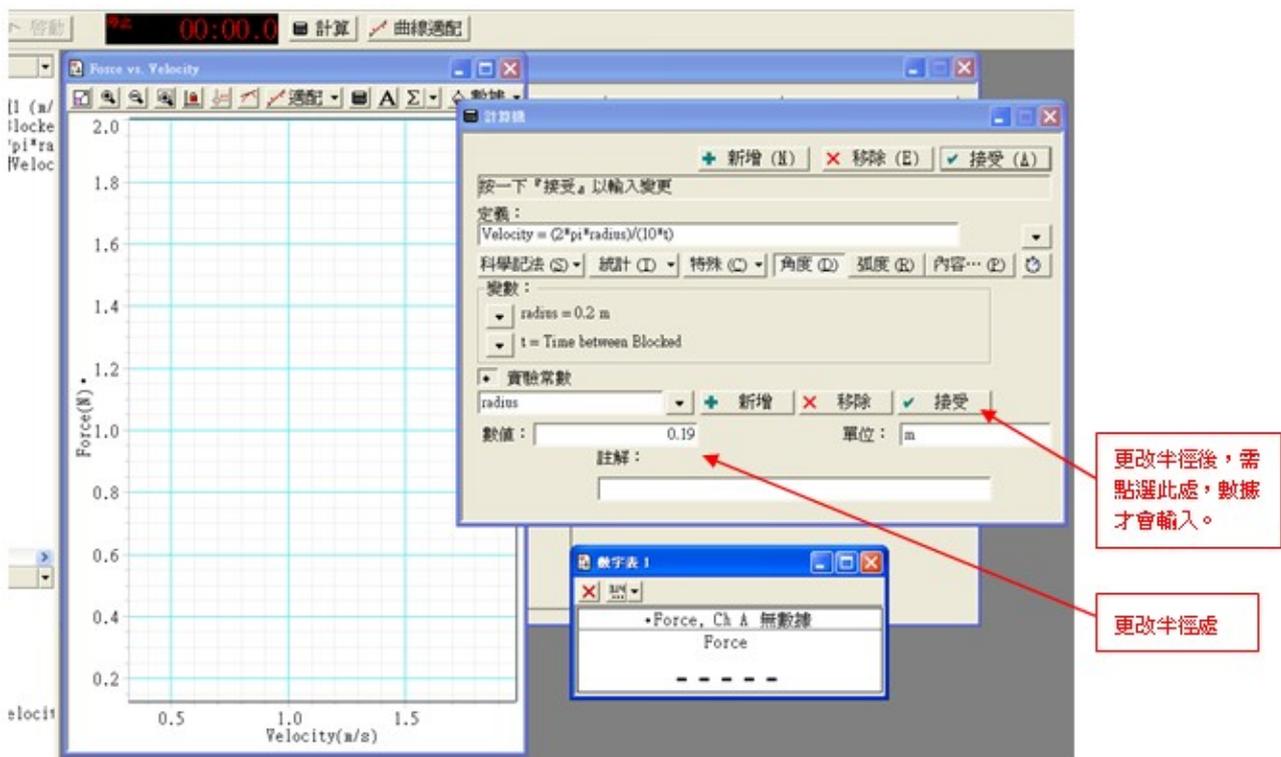
| 半徑 $r(\text{m})$ | 向心力 $F(\text{N})$ |
|------------------|-------------------|
| 0.22 | |
| 0.19 | |
| 0.16 | |
| | |

(註:0.22 可參照表(1)數據)

- (1)以方格紙或電腦作出表(1)數據關係圖(即 $m-F$ 圖), 估測其關係直線的斜率(即比例常數)。另外, 再利用原理式(1)估算該斜率的理論值, 並與估測值進行比較討論。
- (2)根據步驟(A)、(B)、(C)的實驗結果, 說明 F 、 m 、 r 、 v 之關係, 並探討其關係是否符合原理式(1)或其發生誤差的原因。
- (3)待測砝碼座與平衡砝碼座為何須維持等質量及等半徑? 若非如此, 則可能會發生什麼問題?
- (4)請分析比較步驟(A)記錄圖實驗值與理論值的擬合情形, 並說明其中的誤差可能原因?
- (5)請推導圓周運動的向心力 $F = \frac{mv^2}{r}$ 或向心加速度 $a = \frac{v^2}{r}$ 。(選擇作答)

討論：

附錄 A：



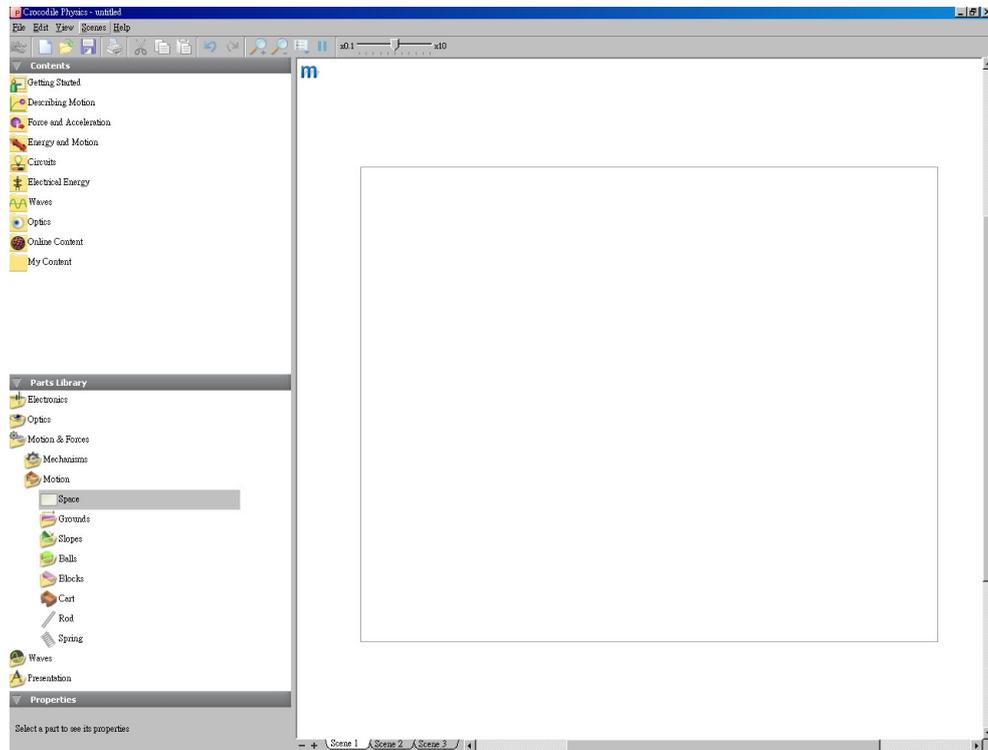
附錄 B：

圓周運動虛擬實驗設計示範

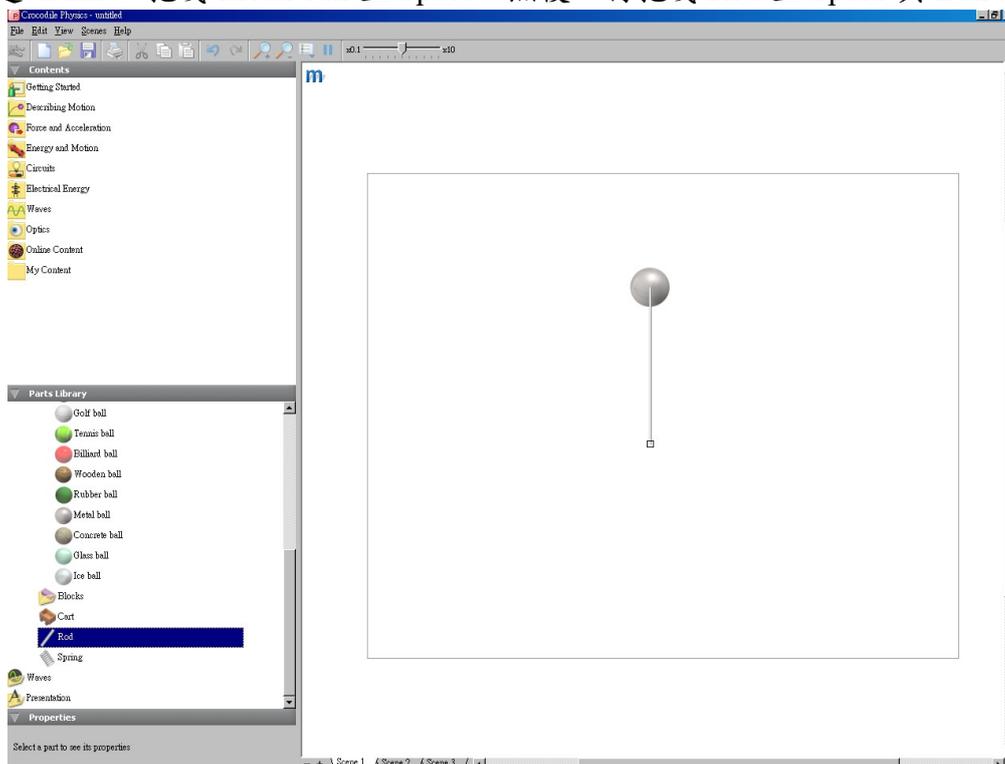
操作示範

步驟：

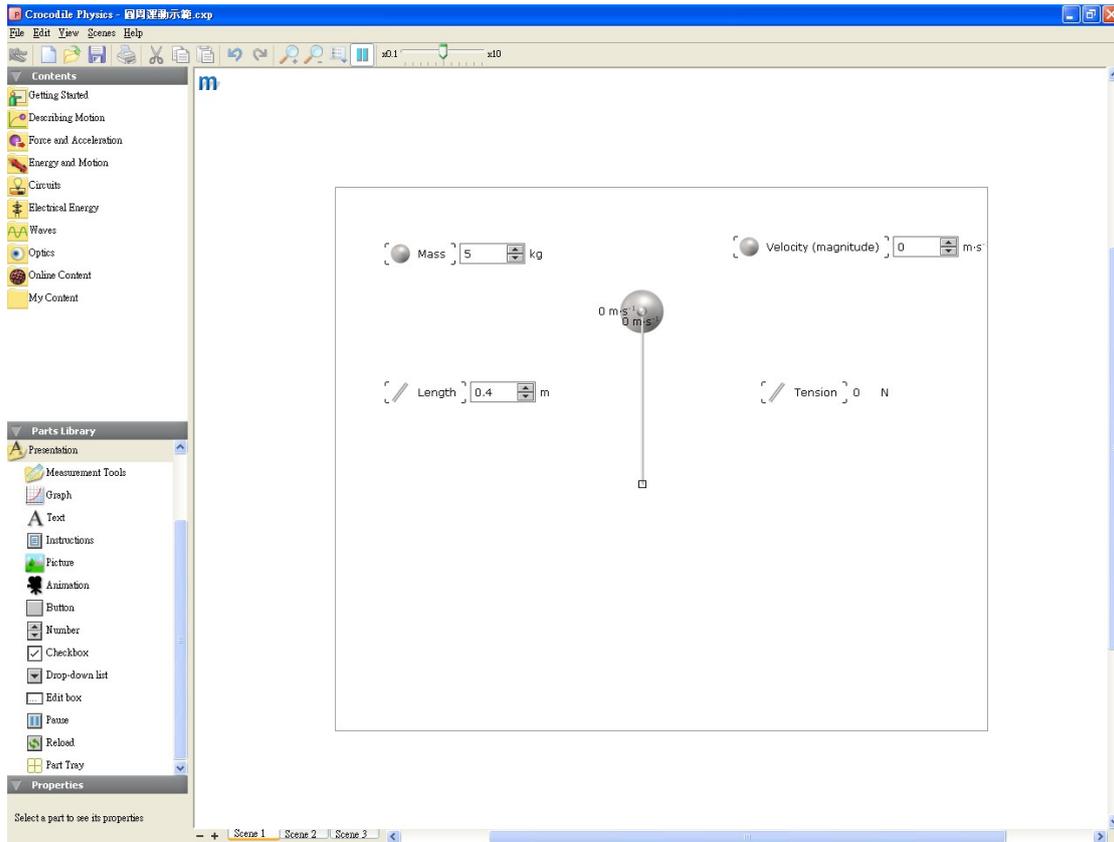
點選元件庫(Parts Library) → 點選 Motion & Forces → 點選 Motion → 點選Space(實驗空間)
→ 拖曳至右邊欄位並調整大小至適當範圍。



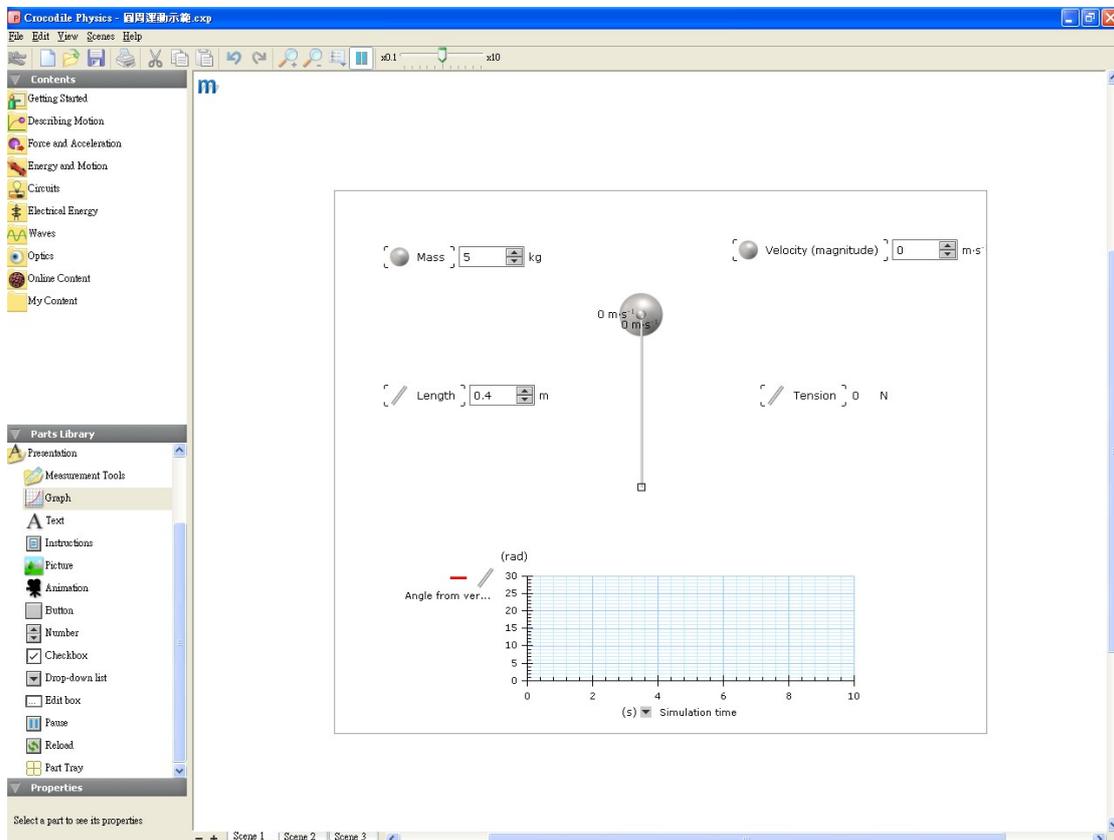
點選 Balls → 拖曳 Metal ball 至 Space，然後，再拖曳 Rod 至 Space 與 Ball 連結



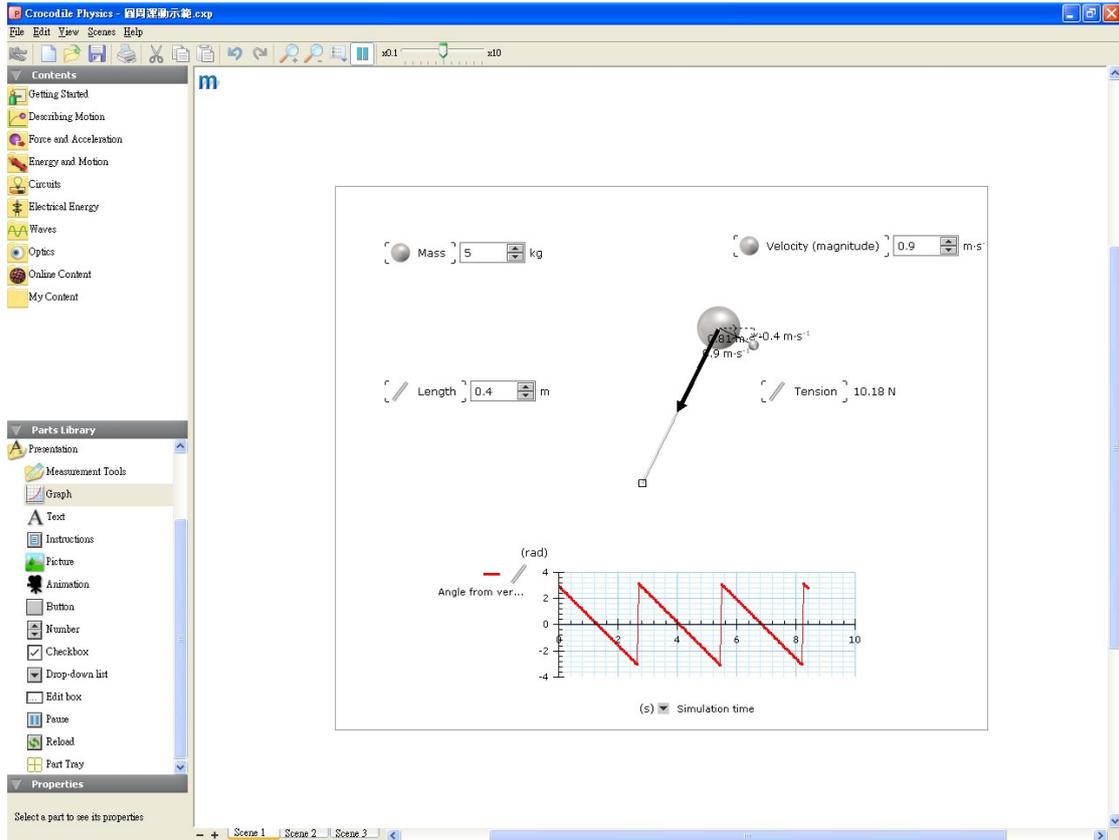
點選 Presentation→拖曳四個 Number 至 Space→並分別設定質量(Mass)、Rod 長度(length)、速度(velocity)及張力(Tension)等數值顯示



拖曳 Graph 至 Space→設定量測角度與時間的變化→估測週期 T



利用滑鼠按住球心往外拖拉，即可給予張力(Tension)，球即開始進行圓周運動



(I)根據質量(Mass)、棒長(Rod)及速度(velocity)等數值，即可驗證原理第(1)式，即：

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

，其中張力為向心力 F。

(II)根據質量(Mass)、棒長(Rod)及週期 T 等數值，即可驗證原理第(2)式，即：

$$F = \frac{4\pi^2 rm}{T^2}$$

，其中張力為向心力 F。

參考文獻：

- 1.國立雲林科技大學物理教學組編譯，虛擬軟體中文操作說明，2006。
- 2.PASCO,LEYBOLD,群冠等儀器公司，實驗操作說明書，1990-1992。
- 3.徐子民，普物實驗，中大理學院物理系編印，1987年10月。
- 4.冉長壽，普物實驗，成大物理系編印，1990-91年。