

實驗三 牛頓第二運動定律

一、目的：

觀察滑車在外力作用下的運動，學習分析方法，驗證牛頓第二運動定律。

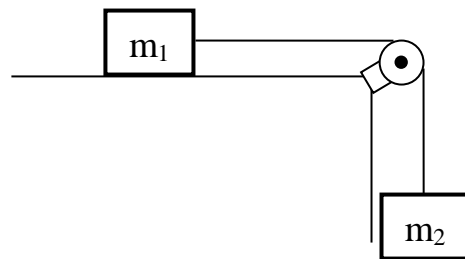
二、原理：

牛頓第二運動定律為物體的加速度 a 和它所受外力 F 成正比，和物體的質量 M 成反比，此定律以方程式可表示成：

$$\sum \vec{F} = M \vec{a} \quad (1)$$

(1) 式中， $\sum \vec{F}$ 為物體受外力的向量和， M 為物體的質量， \vec{a} 為加速度。若物體作一維的運動，則(1)式中的向量符號可以忽略。本實驗的基本設計如圖一所示。由質量 m_2 所受的重力 m_2g 為外力，使得整個系統質量 ($m_1 + m_2$) 產生加速度 a 。由(1)可得，在理想的狀況下(忽略摩擦力及軌道傾斜等因素)，加速度 a 的理論值為：

$$a = \frac{m_2}{m_1 + m_2} g$$



圖一、牛頓第二運動定律系統架構示意圖。

其中， $g \approx 9.80 \text{ m/s}^2$ 為重力加速度值。本實驗利用下列兩種實驗方法來驗證在一維運動條件下的牛頓第二運動定律：

- (1) 固定系統質量，改變施力的大小，觀察加速度與力的關係。
- (2) 固定施力的大小，改變系統的質量，觀察加速度與質量的關係。

三、儀器：

滑車(智慧型滑車)、軌道、滑輪、門型保護架、零件組 1 盒、掛鉤、砝碼數個、細線、數據擷取軟體(SPARKvue)。

四、步驟：

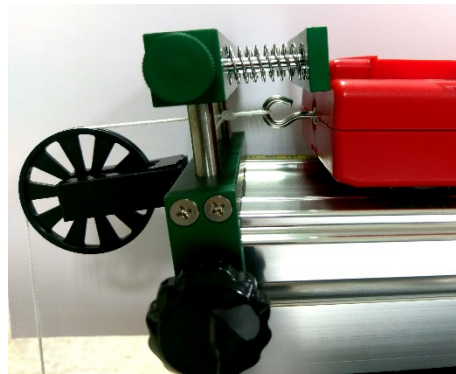
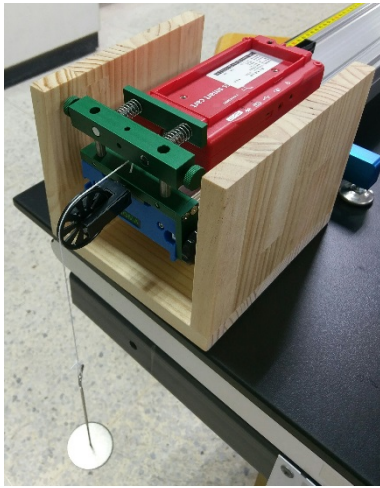
(一) 架設系統：

1. 檢查桌面上的軌道是否放置穩定及水平。兩側是否安裝好擋板及滑輪架。
2. 小心將滑車放置於軌道上。(注意: 切勿摔落滑車，以免受損。)
3. 檢查滑輪旁的門型保護架位置是否不影響滑車運行，且能防護滑車掉落。
4. 輕推滑車，檢查滑車滑行是否順暢。(注意: 切勿推太用力，不可摔落滑車。)
5. 打開智慧滑車電源，於手機或電腦 SPARKvue 數據擷取程式裡的藍芽設定處找到滑車並連線。相關操作請參考網頁上“SPARKvue 數據擷取程式操作說明”或影片(注意: 每輛滑車有不同編號，僅可選擇自己的滑車編號做連線，否則會影響其他人連線該滑車。)



圖二、智慧型滑車。

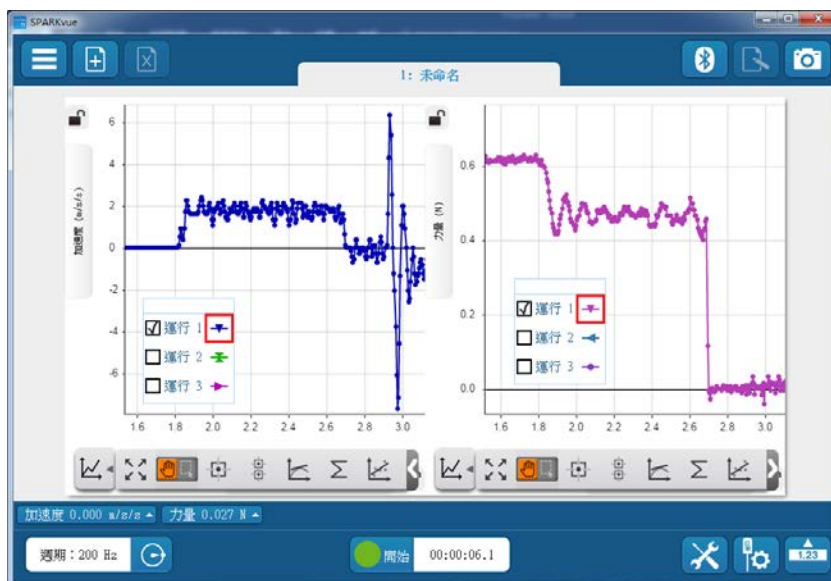
6. 測試數據擷取。於程式中設定讀取智慧滑車位置傳感器的位置。設定適當取樣率(例如 200 Hz)。按開始鍵擷取一段滑車位置隨時間的變化。註：此位置是由滑車輪子的轉動換算得到的。
7. 將細繩綁在滑車側邊掛勾，通過軌道側邊的滑輪，細繩另一端掛上掛鉤。檢查細繩是否不會摩擦到其他物體，檢查滑車撞擊位置是否能被緩衝簧片適當的緩衝，檢查滑車是否會撞擊到門型保護架。如圖三所示。
8. 讓滑車受細繩與掛鉤拉動作加速運動，以 SPARKvue 數據擷取程式觀察滑車位置隨時間的變化 $x(t)$ 以及速度隨時間的變化 $v(t)$ 。如圖四所示。
9. 同一數據中，將縱軸觀測的物理量改成力量，改觀察滑車所受之拉力 f 隨時間的變化，如圖五所示。此拉力感測器與掛勾相連，要小心不要用力撞擊掛勾，以免拉力感測器受損。



圖三、牛頓第二運動定律實驗裝置。(左) 有門型保護架及緩衝簧片防止滑車撞擊時飛離軌道。(右) 細繩繞過滑輪，注意不接觸到其他物體。緩衝簧片碰到滑車的高度要適當。



圖四、以數據擷取程式得到滑車加速過程的 $x(t)$ 圖 以及 $v(t)$ 圖。



圖五、(左) 由 $x(t)$ 推算得到的加速度 $a(t)$ 圖。(右) 滑車上的拉力感測器數據圖。

(二) 施力保持固定，加速度與滑車質量的關係：

1. 固定以大約 10-20 公克(含掛勾)重的力拉動滑車。(固定 m_2 ，記錄 m_2 的質量)
2. 於滑車上加上砝碼以改變滑車質量(即改變 m_1)，由實驗量得相對應之位置 $x(t)$ 、速度 $v(t)$ 、加速度 $a(t)$ 及拉力 $f(t)$ 的變化。
3. 至少做五個不同的滑車質量，並將所得實驗結果與理論值比較。
4. 作圖：系統質量(m_1+m_2) 為縱座標，加速度 a 為橫座標，觀察兩者的關係。
5. 作圖：系統質量(m_1+m_2) 為縱座標，加速度倒數 $1/a$ 為橫座標，觀察兩者的關係。

(三) 總質量保持固定，加速度和施力的關係：

1. 在滑車上放置 4-6 個砝碼，測量滑車、掛鉤與砝碼加總的質量。
2. 分別在掛鉤上放置 0、1、2...個砝碼，測得不同外力(m_2g) 下系統的加速度 a ，並與理論值 $a = \frac{m_2}{m_1+m_2}g$ 相比較。
3. 以施力(m_2g) 為橫座標，加速度 a 為縱座標，作加速度和施力的關係圖。

(四)(自選) 測量滑車摩擦力：

1. 在不加細繩拉滑車的情況下，往 $+x$ 方向輕推滑車。滑車移動後會緩慢減速。紀錄此過程的位置 $x(t)$ 、速度 $v(t)$ 及加速度 $a(t)$ 的變化。
2. 改往 $-x$ 方向輕推滑車。紀錄此過程的位置 $x(t)$ 、速度 $v(t)$ 及加速度 $a(t)$ 的變化。
3. 由上述數據，推測出軌道摩擦力，以及軌道是否有因傾斜造成的力。

(五) 作圖：

1. 在實驗(三)系統質量固定，加速度與施力大小的關係實驗中，以加速度 a 為縱座標，施力為橫座標，分析此圖的斜率，推算出系統質量，並與直接秤量得到的數值比較。
2. 在實驗(二)施力固定，加速度與系統質量的關係實驗中，(1) 以系統質量(m_1+m_2) 為橫座標，加速度為縱座標作圖。(2) 改以質量為橫座標，加速度之倒數為縱座標作圖。從圖中分析出外力大小，並與施力(m_2g) 比較。

五、問題(自選)：

1. 你在實驗(三)所得的加速度和施力的關係圖，是否呈線性關係？此線是否通過原點？若不是的話試解釋其原因。
2. 試從你在實驗(三)所得的加速度和施力的關係圖，求得其斜率值的倒數，並與系統質量比較。兩者間的誤差多大？
3. 試從你在實驗(二)所得的加速度倒數與系統質量的關係圖，求得其斜率值的倒數，並與施力比較。兩者間的誤差多大？
4. 試從實驗(四)的數據圖，分析出摩擦力的大小。

Revised 2019.09.27