

實驗三 一維運動學實驗 I

實驗目的：

將滑車靜置於近無摩擦力之鋁製軌道上作等加速度運動，藉以驗證牛頓運動定律。

實驗儀器：

鋁製軌道，滑車，智能滑輪，光電閘(含連接線)，數位感應裝置，砝碼，掛鉤，水平儀，電子秤，細線

實驗原理：

牛頓第二運動定律定義運動中的物體所受到的淨力等於物體質量與加速度的乘積。其受力方程式可表示為

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

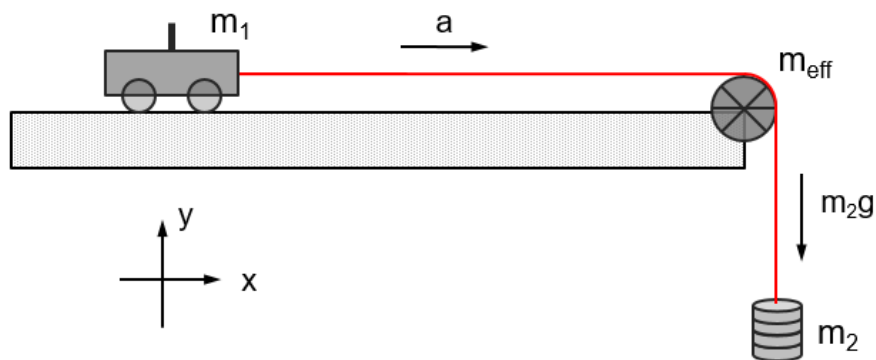
(1)式中， \vec{F}_{net} 是作用於物體上所有力的向量和，具有大小與方向性。 M 為物體的質量，只有大小沒有方向性。 \vec{a} 為物體的加速度，具有大小與方向性。

圖一為牛頓運動定律實驗裝置示意圖。 m_1 為滑車與滑車上砝碼總質量， m_2 為掛鉤與鉤上砝碼總質量，在此將滑輪、細線與軸承之間的摩擦力定義為有效質量 m_{eff} 乘上加速度 \vec{a} 。

當 m_1 受到 m_2g 作用而作等加速度運動時，公式(1)可改寫為

$$F = Ma$$

$$\Rightarrow m_2g - m_{eff}a = (m_1 + m_2)a$$



圖一 牛頓運動定律實驗裝置示意圖。

注意事項：

1. 實驗進行前務必將軌道調整為水平狀態並鎖緊螺絲。
2. 系統總質量應考慮滑輪因轉動所產生的有效質量 m_{eff} 。
3. 掛鉤與鉤上之砝碼總質量切勿過大，以免拉力過大造成細繩斷裂或滑車出軌。

實驗步驟：

➤ 實驗前校正

1. 將水平儀置於軌道上方，調整軌道下方螺絲使軌道水平。
2. 將滑車置於軌道上方，觀察滑車是否會順著軌道某側滑動。若有，請再次調整軌道水平，直到滑車靜止不動。若無，再進行下一步校正。
3. 取適當長度細線，將細線一端先繫於橡皮圈後再套於滑車上方固定柱。細線另一端繫於掛鉤扣環。
4. 將細線跨於智能滑輪，調整滑輪高低位置使細線與軌道面平行。
5. 本實驗中滑輪有效質量 $m_{\text{eff}} = 4.50 \text{ g}$ 。

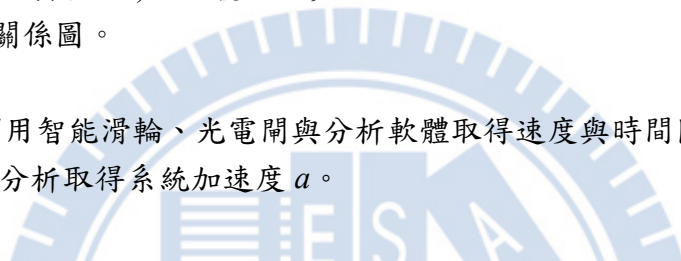
A. 固定系統作用力 F ，改變系統總質量 M ，觀察系統總質量 M 與系統加速度 a 兩者間的關係

1. 以電子秤測量掛鉤與掛鉤上砝碼總質量 m_2 。
2. 以電子秤測量滑車與滑車上砝碼總質量 m_1 。
3. 計算系統總質量 $M = m_1 + m_2 + m_{\text{eff}}$ 。
4. 依軟體操作說明書設定相關參數與關係圖。
5. 將滑車置於軌道上方並以手輕壓滑車。先啟動軟體後再自由釋放滑車，數秒後可由軟體取得系統加速度 a ，以 $a = \bar{a} \pm \sigma_a$ 表示。
6. 固定系統作用力 F (即固定掛鉤與掛鉤上砝碼總質量 m_2)，改變系統總質量 M (即改變滑車與滑車上砝碼總質量 m_1)，重覆上述步驟。
7. 作 $\frac{1}{a} - M$ 關係圖。

B. 固定系統總質量 M ，改變系統作用力 F ，觀察系統作用力 F 與系統加速度 a 兩者間的關係

1. 以電子秤測量掛鉤與掛鉤上砝碼總質量 m_2 。
2. 以電子秤測量滑車與滑車上砝碼總質量 m_1 。
3. 計算系統總質量 $M = m_1 + m_2 + m_{eff}$ 。
4. 依軟體操作說明書設定相關參數與關係圖。
5. 將滑車置於軌道上方並以手輕壓滑車。先啟動軟體後再自由釋放滑車，數秒後可由軟體取得系統加速度 a ，以 $a = \bar{a} \pm \sigma_a$ 表示。
6. 將掛鉤上砝碼或滑車上砝碼以不改變總質量 M 的原則下，任意移動（即改變掛鉤與鉤上砝碼總質量 m_2 ），重覆上述步驟。
7. 作 $a - m_2$ 關係圖。

[註] 本實驗係利用智能滑輪、光電閘與分析軟體取得速度與時間關係圖(如圖二所示)，再經由線性迴歸分析取得系統加速度 a 。



圖二 速度與時間關係圖。

實驗問題：

1. 如何以實驗的方式估算滑車與軌道面間的摩擦力？試說明之。
2. 請作圖分析「細繩與滑輪」以及「滑輪與軸承」滑輪轉動所產生的摩擦力，並敘述此摩擦力的定義與估計有效質量大小。
3. 若實驗儀器與步驟不變，分別於地球與月球上進行相同實驗，實驗結果是否相同？試說明之。