

第 111 學年度清華大學普通物理實驗(一)

☒預報 或 ☒結報 課程編號：1110 PHYS 101009

實驗名稱：運動軌跡與相關物理量測量

系 級：電資院學士班 26 級 組 別：20

學 號：111060013 姓 名：劉祐廷

組 員：陳彥臻

實驗日期：111 年 9 月 28 日 補作日期： 年 月 日

◎ 以下為助教記錄區

預報繳交日期	報告成績	助教簽名欄
	84	劉一璿
結報繳交日期		
報告缺失紀錄		

一、實驗目的

1. 熟悉光電計時器和光電閘測量儀器的使用技巧和如何獲得精確的測量值。
2. 學習以光電計時器和光電閘測量物體做一維運動時，各種運動物理量隨時間 t 變化的軌跡和趨勢，如運動物體的速度、加速度、位置與所受淨力之關係。
3. 學習以錄影的方式記錄物體的運動狀況。
4. 熟用數位影像位置擷取與數據分析軟體，例如：Venier 的 Logger Pro 軟體。
5. 學習以不同儀器、不同方法測量或記錄物體的運動軌跡和運動相關的物理量。
6. 觀察並比較使用各儀器的差異性、優缺點與所得之實驗數據的精確度。
7. 觀測滑車在外力作用下一維運動的情形，以驗證一維空間的牛頓第二運動定律。

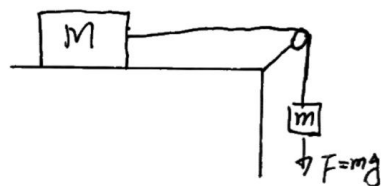
二、原理及分析方法

牛頓第二運動定律描述：物體運動時的加速度和它所受外力總和的大小成正比，但和物體質量成反比，運動方程式： $\sum \vec{F}_i = M\vec{a}$ 。式中 \vec{F}_i 為物體所受外力的向量和，又稱為總淨力，為一向量。 M 為物體質量，是純量， \vec{a} 為加速度，是向量。

本實驗利用以下兩實驗過程驗證牛頓第二運動定律：

1. 固定物體質量 M ，觀測 \vec{a} 與 \vec{F} 的關係
2. 固定受力 \vec{F} ，觀測 \vec{a} 與 M 的關係

實驗將會利用質量為 m 的懸掛物作為外力來源，透過滑輪拉動質量為 M 的物體，其中傳動線的質量很小故忽略不計



三、實驗器材

1. 光電閘式測量系統
2. 1080p 影像記錄器
3. 影像數據擷取與分析軟體
4. 一維運動軌道系統及配件

四、實驗步驟

1. 認識並熟用多功能光電計時器
2. 用影像記錄器錄製物體的運動過程
3. 利用軟體將影像中的物體運動過程轉為軌跡座標函數
4. 熟用 Logger Pro
5. 架設一維軌道並做水平校正
6. 測量滑車、砝碼與砝碼掛勾的質量，再以適當長度之細線連接滑車與掛勾，置於軌道後，要使細線平行軌道中線

五. 預習問題

1. 如何以實驗方法估記軌道與滑車間的摩擦力大小?

A: 令砝碼產生的拉力為 \vec{F} , 質量為 m , 滑車質量為 M , 與軌道摩擦力為 \vec{f} , 測量滑車加速度 \vec{a} , 用 $(\vec{F} - \vec{f}) = (m+M)\vec{a}$ 估記 f 的大小。

2. 如果實驗中, 質量改變太大或太小對實驗有何影響?

A: 質量改變太大, 則 a 改變會太大; 質量改變太小, 則 a 改變會太小, 故均會使測量數據不準確。

3. 所得之擬合曲線是否經過原點?

A: 由 $F = ma$ 可以推知, 理論上會經過原點, 但實際上常因實驗誤差而不通過。

● 運動軌跡與相關物理量測量

實驗一、測量滑車、砝碼與掛勾質量

1. 實驗記錄：

物品	質量(kg)
滑車	0.3872
掛勾	0.0202
砝碼	0.0200

實驗二、使用光電計時器(timing 2)測量滑車速度

1. 實驗記錄：

光電門	速度(m/s)
第一個光電門	0.5775
第二個光電門	0.9904

光電門距離：0.3500 m

總質量：0.4274 kg

懸掛物質量：0.0402 kg

2. 計算加速度：

A. 實驗加速度：

$$V_t^2 - V_0^2 = 2aS \quad (V_t \text{ 為末速, } V_0 \text{ 為初速, } S \text{ 為位移})$$

$$a = (0.5775^2 - 0.9904^2) / (2 * 0.3500) = 0.9248 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

B. 理論加速度：

$$F = ma$$

$$0.0402 * 9.8 = 0.4274 * a$$

$$a = 0.0402 * 9.8 / 0.4274 = 0.8334 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

3. 加速度實驗值與理論值的差異比較：

A. 計算誤差：

$$| \text{實驗值} - \text{理論值} | / \text{理論值} * 100\%$$

$$| 0.9428 - 0.8334 | / 0.8334 * 100\% = 13.13\%$$

B. 討論誤差原因

軌道微小傾斜角度、棉線與滑車非垂直連接、光電閘間距測量誤差、滑車與軌道間的摩擦力

實驗三、測量並計算空車摩擦力

1. 實驗記錄：

測量次數	加速度(m/s^2)
第 1 次測量	0.0316
第 2 次測量	0.0299
第 3 次測量	0.0301
第 4 次測量	0.0315
第 5 次測量	0.0310
平均	0.0308

滑車質量：0.3872 kg

2. 計算摩擦力：

$$f = ma \quad (f \text{ 為摩擦力})$$

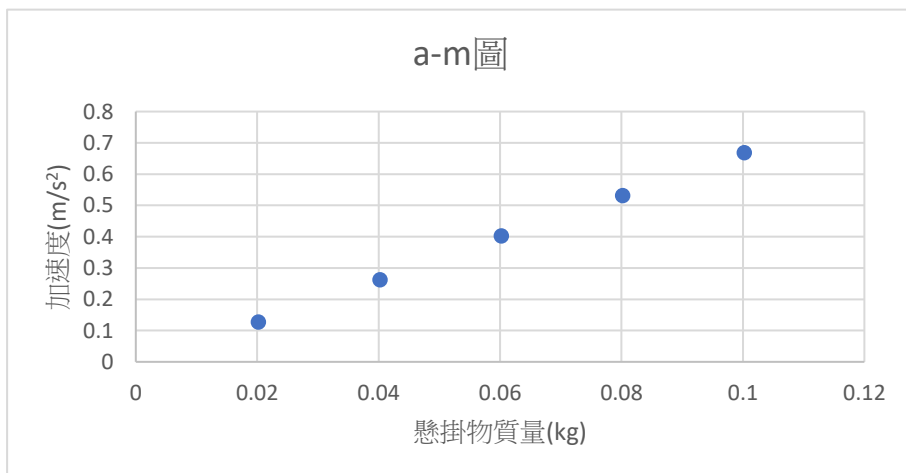
$$f = 0.3872 \times 0.0308 = 0.0119 \text{ (N)}$$

實驗四、用光電計時器(acceleration)測量滑車加速度

1. 實驗記錄：

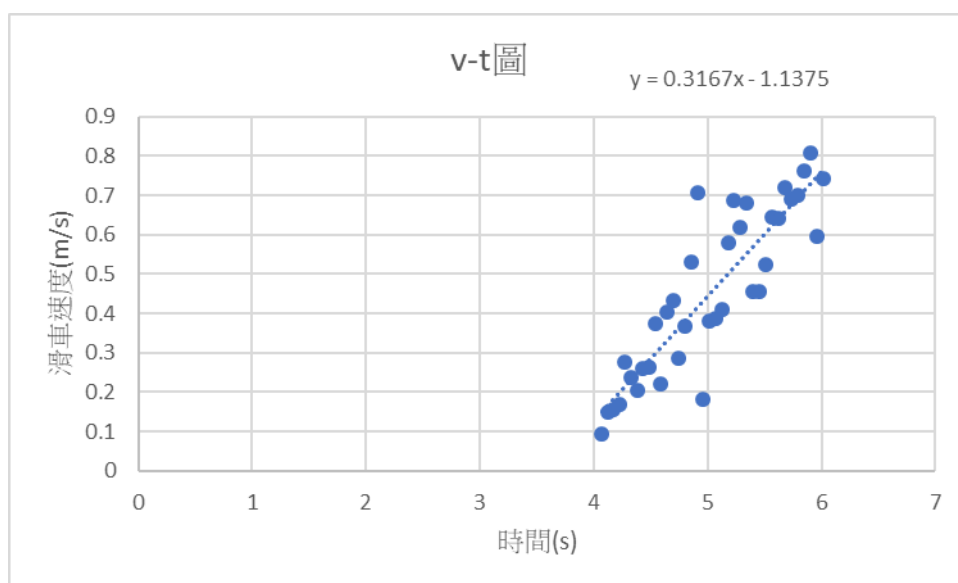
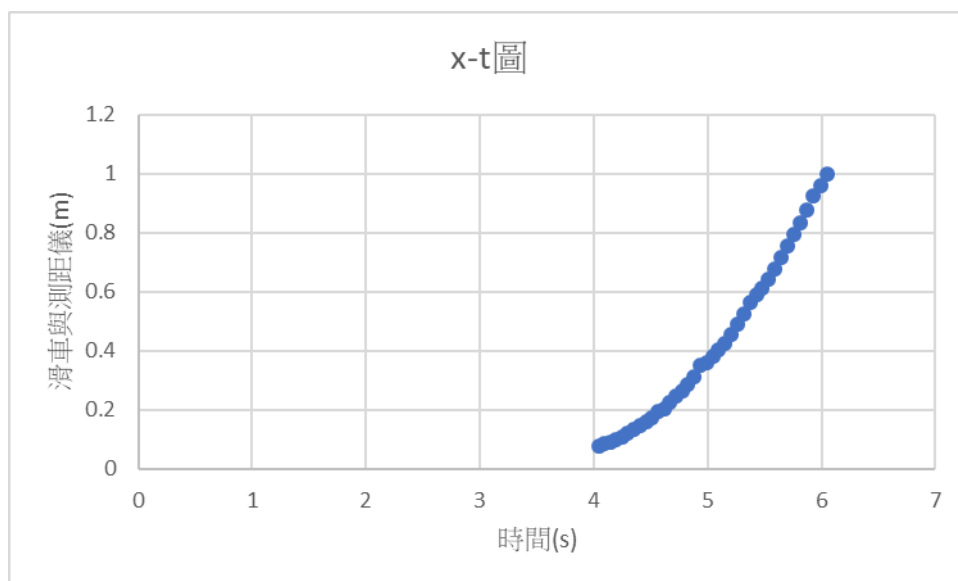
測量次數	滑車+砝碼 質量(kg)	砝碼+掛勾 質量(kg)	總質量(kg)	加速度 (m/s^2)
第 1 次測量	0.4672	0.0202	0.4874	0.1273
第 2 次測量	0.4472	0.0402	0.4874	0.2625
第 3 次測量	0.4272	0.0602	0.4874	0.4019
第 4 次測量	0.4072	0.0802	0.4874	0.5307
第 5 次測量	0.3872	0.1002	0.4874	0.6681

2. a-m 圖：



實驗五、用 Arduino 測量並繪製滑車運動 x-t 圖

1. 實驗記錄：(原始數據：[普物實驗二 Arduino 原始數據](#))



(滑車+砝碼)質量：0.4672 kg

懸掛物質量：0.0202 kg

總質量：0.4874 kg

加速度實驗值：0.3167 m/s²

2. 計算加速度理論值：

$$F = ma$$

$$0.0202 \times 9.8 = 0.4874 \times a$$

$$a = 0.4237 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

3. 加速度實驗值與理論值的差異比較：

A. 計算誤差：

$$| \text{實驗值} - \text{理論值} | / \text{理論值} * 100\%$$

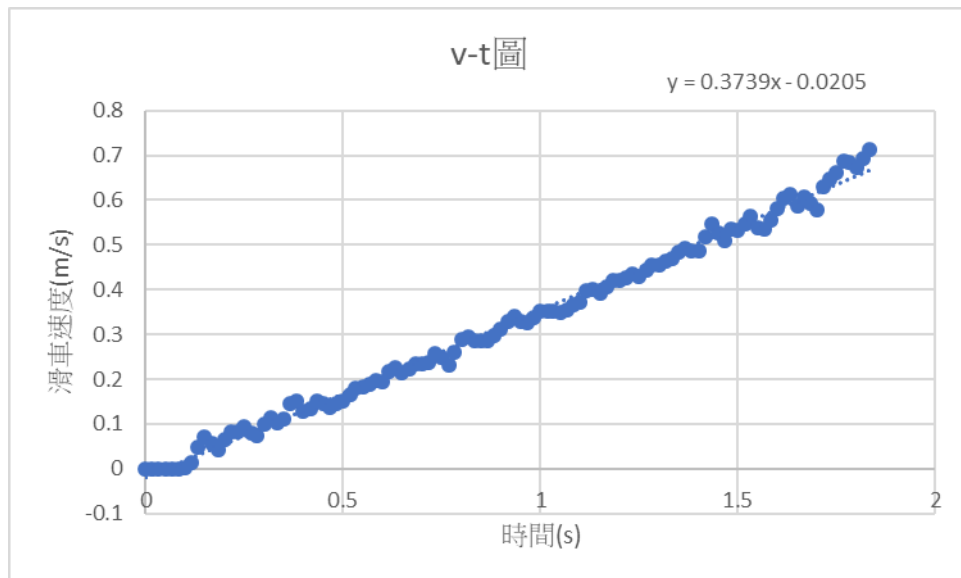
$$| 0.3167 - 0.4237 | / 0.4237 * 100\% = 25.25\%$$

B. 討論誤差原因

軌道微小傾斜角度、棉線與滑車非垂直連接、保麗龍反射板非平面造成漫反射、保麗龍板設置不與超聲波行進方向垂直

實驗六：用 Logger Pro 分析影像數據

1. 實驗記錄：(原始數據：[普物實驗二 Logger Pro 原始數據](#))



(滑車+砝碼)質量：0.4672 kg

懸掛物質量：0.0202 kg

總質量：0.4874 kg

加速度實驗值：0.3739 m/s²

2. 計算加速度理論值：

$$F = ma$$

$$0.0202 * 9.8 = 0.4874 * a$$

$$a = 0.4237 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

3. 加速度實驗值與理論值的差異比較：

A. 計算誤差：

$$\frac{|\text{實驗值}-\text{理論值}|}{\text{理論值}} \times 100\%$$

$$|0.3739-0.4237|/0.4237 \times 100\% = 13.50\%$$

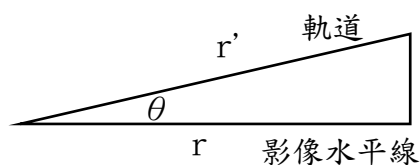
B. 討論誤差原因：

軌道微小傾斜角度、棉線與滑車非垂直連接、影像非水平拍攝、手持拍攝造成搖晃(Y 方向速度不為 0)。

Logger Pro 影像分析軟體誤差探討：

1. 錄影時是否讓軌道在影片中保持水平：

因為使用 Logger Pro 分析時，是直接使用垂直座標軸去標定分析，並忽略 y 座標數據，所以會造成一些誤差。假設軌道與影像水平線夾角為(如下圖)，則滑車實際位移應除以 $\cos \theta$ 以做修正。

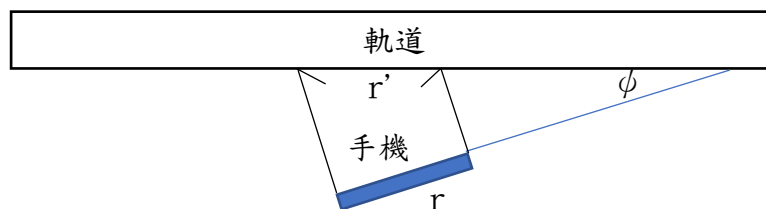


r 為分析時所採用之位移

r' 為實際移動距離

$$r' = \frac{r}{\cos \theta}$$

2. 錄影時手機是否與軌道平行：



手機若未與軌道平行(如上圖)，則 r 必須除以 $\cos \phi$ 校正得到 r' 。

3. 錄影時所採用的幀率：

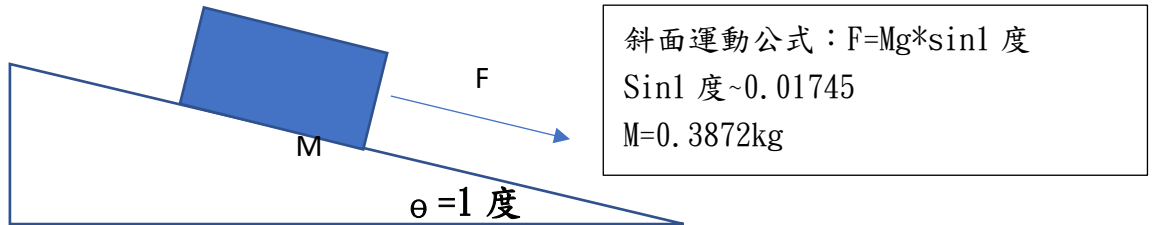
在錄影時，若幀率調的越大，則拍攝快速移動的物體時，每一幀的運動模糊程度會降低，實驗時我們是用 60fps 去紀錄的，但在分析時依然會出現畫面模糊導致難以標定的情況，進而增加實驗誤差。

(畫面清晰度之於幀率：120fps > 60fps > 30fps)

實驗問題：

Q：雖然實驗過程中我們有做水平校正，但假設滑軌實際上傾斜了一度，這對測量摩擦力的實驗是否會有巨大影響。請大約估計造成的影響並與你的空車摩擦力實驗做比較。

A：



斜面造成的力 F 約等於 0.06622 N ，約為本實驗測得的摩擦力的六倍，因此影響相當巨大。

心得：

有了上次實驗得前車之鑑，這次在預報的部分做了一些調整，並熟悉了一下 Excel 的使用方法，順利的加速實驗進程，不過這次還是不小心做錯了兩個實驗，未來在準備實驗的時候，我會更加注意實驗各種變因的要求，防止此錯誤再次發生。