

牛頓第二運動定律  
滑車實驗

班級：高二二  
座號：6  
姓名：李俊翰

## 摘要

本實驗中，我們透過滑車實驗，針對施力與質量兩變因，探討其對於加速度的影響。將數據圖表化後，可由其中看出施力與加速度的正比關係（ $a \propto F$ ），以及質量與加速度反比關係（ $a \propto \frac{1}{m}$ ），並推出  $F \propto ma$  的關係式，符合牛頓第二運動定律。

### 壹、研究動機

牛頓第二運動定律（ $F = ma$ ）在日常生活中無所不在，同時也是基礎力學的根本。於是，我們希望透過滑車實驗，對此定律有更深入的了解並親自驗證與分析此定律。

### 貳、研究目的

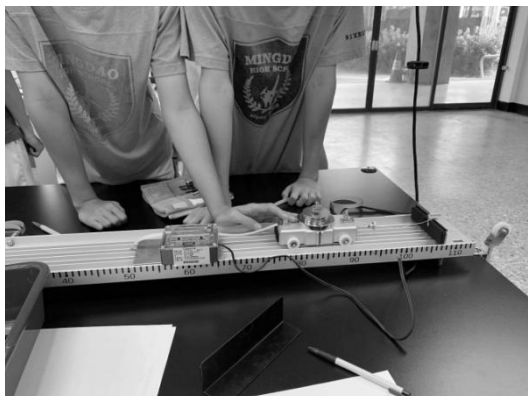
- 一、研究施力與加速度之間的關連性。
- 二、研究質量與加速度之間的關連性。

### 參、研究原理

牛頓第二運動定律（ $F = ma$ ）。

### 肆、研究器材

器材名稱	重量(g)	數量
滑車	485.5	1 臺
砝碼（大）	258.9	1 個
砝碼（中）	102.7	2 個
---	102.4	1 個
砝碼（小）	51.9	1 個
螺帽	15.9	2 個
螺絲	16.5	1 個
棉線	---	1 捆
滑軌	---	1 組
滑輪	---	1 個
紙帶	---	27 條



## 伍、研究過程及結果

### 一、力與加速度的關係實驗

#### （一）實驗原理

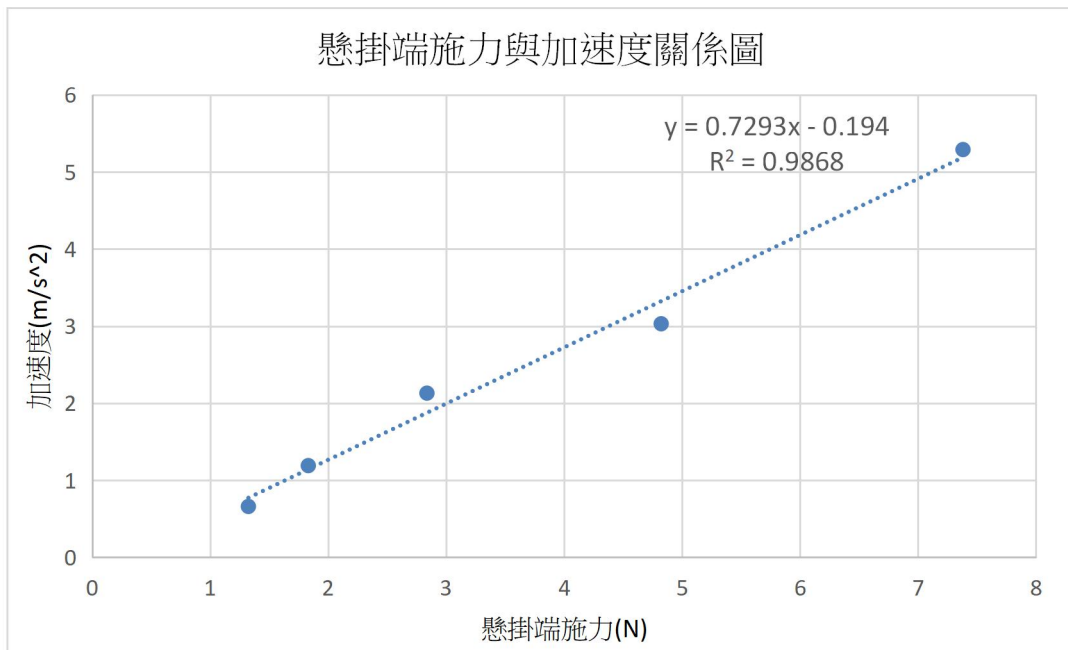
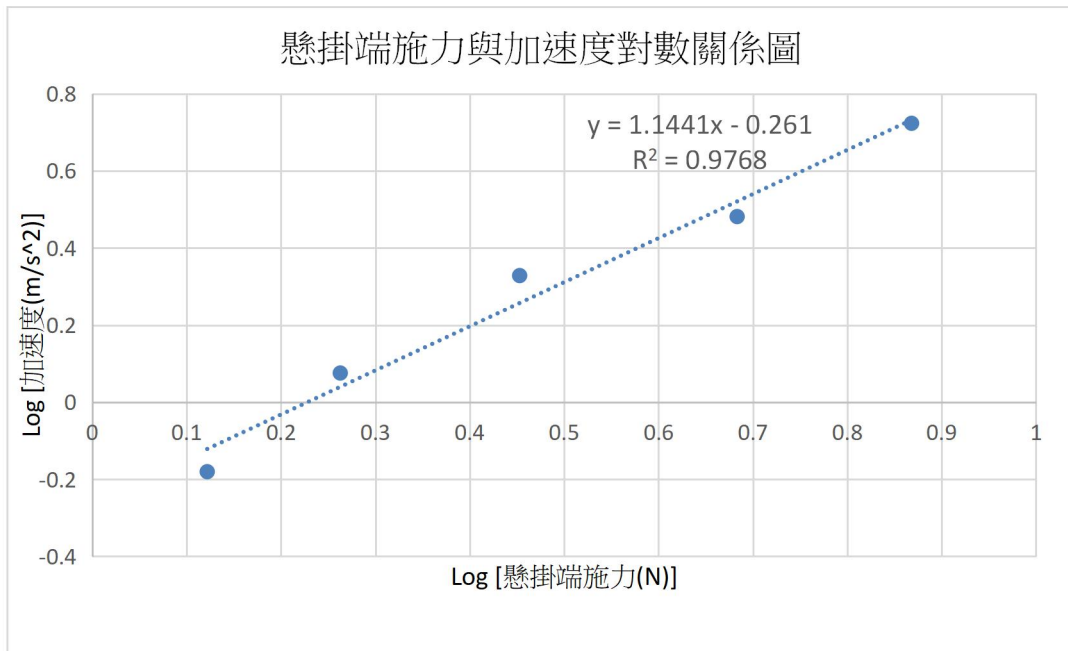
由牛頓第二運動定律（ $F = ma$ ）， $m$  固定則  $a \propto F$ 。透過將砝碼移動到懸掛端，改變力的大小同時不影響質量。

#### （二）實驗步驟

- 1、架設滑車的軌道使尾端切齊桌緣，並將滑輪固定在桌緣並對齊軌道中央。
- 2、將打點計時器放置在距尾端於 30 公分處。
- 3、剪一段稍長過紙帶的棉線一端固定在滑車末端，另一端繞過滑輪接在螺絲上。
- 4、在懸掛螺絲上套上砝碼（小）並栓上螺帽。
- 5、將砝碼（大）跟兩個砝碼（中）依重量由大到小依序套入滑車的中柱並栓上螺帽。
- 6、將紙帶一頭接在滑車前端，然後將滑車移動至接觸到打點計時器的位置，再把紙帶的另一頭穿過打點計時器。
- 7、開啟打點計時器並放開手讓滑車下滑。
- 8、重複 6、7 步驟三次。
- 9、將滑車上的砝碼移至懸掛螺絲上再次施放（一共重複四次）。

#### （三）實驗數據

懸掛端總重 ( kg )	0.1351	0.1869	0.2895	0.4921	0.7513
總質量 ( kg )	1.1524				
加速度 ( $m/s^2$ )	0.66	1.19	2.13	3.03	5.29
A 類不確定度	0.273	0.416	0.043	0.035	0.037
B 類不確定度	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029
組合不確定度	0.275	0.417	0.051	0.045	0.047
測量結果	$0.66 \pm 0.275$	$1.19 \pm 0.42$	$2.13 \pm 0.05$	$3.03 \pm 0.05$	$5.29 \pm 0.05$



#### (四) 實驗結果

對數關係圖中，由斜率可知加速度與施力約呈一次方正比，並依此做加速度與施力的線性趨勢線。圖表結果顯示加速度（ $a$ ）與施力（ $F$ ）呈高度正相關，兩者為正比關係，由此可推，加速度正比於施力（ $a \propto F$ ）。

## 二、質量與加速度的關係實驗

#### (一) 實驗原理

由牛頓第二定律（ $F = ma$ ）， $F$  固定則  $a \propto \frac{1}{m}$ 。將砝碼一個個加入至滑車

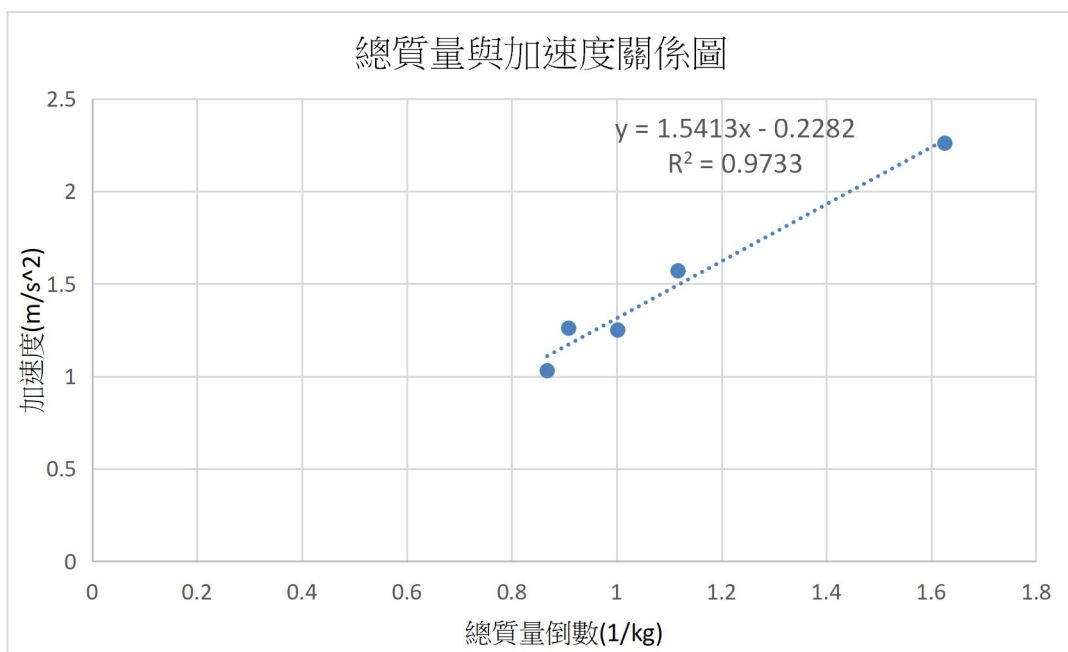
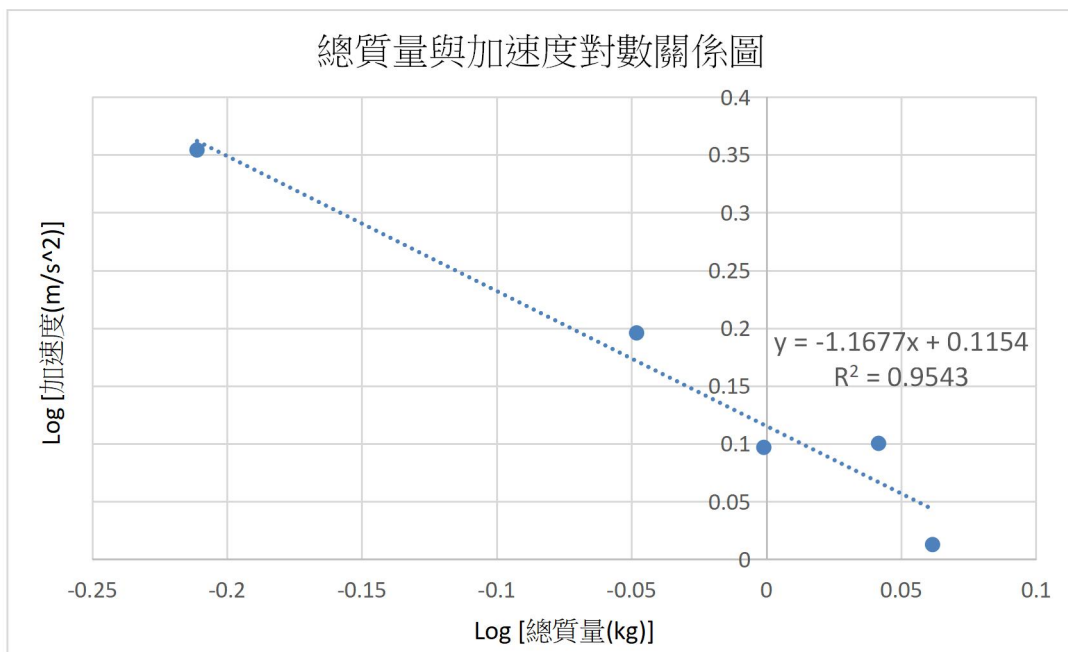
上，改變質量並保持力固定。

## (二) 實驗步驟

- 1、架設滑車的軌道使尾端切齊桌緣，並將滑輪固定在桌緣並對齊軌道中央。
- 2、將打點計時器放置在距尾端於 30 公分處。
- 3、剪一段稍長過紙帶的棉線一端固定在滑車末端，另一端繞過滑輪接在螺絲上。
- 4、在懸掛螺絲上套上砝碼（小）並栓上螺帽。
- 5、將砝碼（大）跟兩個砝碼（中）依重量由大到小依序套入滑車的中柱並栓上螺帽。
- 6、將紙帶一頭接在滑車前端，然後將滑車移動至接觸到打點計時器的位置，再把紙帶的另一頭穿過打點計時器。
- 7、開啟打點計時器並放開手讓滑車下滑。
- 8、重複 6、7 步驟三次。
- 9、逐漸減少滑車上的砝碼數量再次施放（一共重複四次）。

## (三) 實驗數據

懸掛端總重 ( $kg$ )	0.1348				
總質量 ( $kg$ )	1.1524	1.1005	0.9978	0.8951	0.6150
加速度 ( $m/s^2$ )	1.03	1.26	1.25	1.57	2.26
A 類不確定度	0.273	0.183	0.205	0.197	0.131
B 類不確定度	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029
組合不確定度	0.274	0.185	0.207	0.199	0.134
測量結果	$1.03 \pm 0.27$	$1.26 \pm 0.19$	$1.25 \pm 0.21$	$1.57 \pm 0.20$	$2.26 \pm 0.13$



#### (四) 實驗結果

對數關係圖中，由斜率可知加速度與施力約呈一次方反比，並依此做加速度與總質量倒數的線性趨勢線。圖表結果顯示加速度（ $a$ ）與總質量倒數（ $\frac{1}{m}$ ）呈高度正相關，兩者為正比關係，而加速度與質量成反比（ $a \propto \frac{1}{m}$ ）。

#### 陸、討論

##### 一、打點計時器的頻率

對於加速度較大的紙帶上，我們可以觀察到標記點的數量最少僅有三點，導致

一紙帶只有一組加速度數據，也可從實驗結果中看見其不確定度較小（數據數量較少所導致），應該在加速度較大的個案中，將打點計時器的頻率從原先的 10 Hz 調整為 60 Hz，以避免數據量過少的問題。

## 二、滑車軌道傾斜角度

實驗進行前，我們將滑軌傾斜一特定角度，令滑車大約以等速前進，以抵銷其他外力（摩擦力、風阻）對於實驗的影響。

## 三、滑輪的阻力

為了避免棉繩脫軌的情況發生，實驗過程中（以調整完軌道傾斜角度）我們將棉繩多繞滑輪一圈，然而，此舉可能會增加額外的阻力，為數據帶來誤差。

## 四、懸掛物碰撞桌子側面

實驗執行時，偶爾會發生懸掛物碰撞桌子側面而未注意，為導致數據失去精確度的可能原因之一。

## 柒、結論

經過實驗後，我們總結出兩大結論。一、加速度正比於施力（ $a \propto F$ ）。二、加速度與總質量成反比（ $a \propto \frac{1}{m}$ ）。綜上兩點，我們可以導出  $F \propto ma$ ，與牛頓第二運動定律相印證。

## 捌、省思

本次實驗中，我們有許多疏失必須改進，還有一些細節需要多加小心，更不能忘記在實驗前規劃完整的流程，以提升實驗的效率與精準度。雖然如此，我在這次實驗也學到了許多實驗觀念，懂得在實驗過程中，迅速針對當下的錯誤做出改進，而非不斷的盲目進行實驗。此外，這個實驗也讓我驗證生活中無所不在的定律——牛頓第二運動定律，看見數據化的資料讓我更堅信此定律的正確，更激發我對科學探究的興趣。