

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 地球科學科

**第二名**

080510

**大地的心跳-水平式地震儀製作**

學校名稱：桃園市龜山區長庚國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳蔚凡	馬士茵
小六 陳柏睿	陳興國
小六 藍廷郁	
小六 曾彥翔	
小六 陳彥安	

關鍵詞：地震、地震儀

## 摘要

因為六上第三單元「大地的奧秘」以及參觀地震博物館的關係，對於地震儀產生濃厚的興趣。我們利用自然科教具、樂高機器人組(Lego Mindstorms EV3)及日常生活中的用品製作自動化地震儀，分別設計重量實驗(3 台兩重量最佳)、力道(嚴重力道振幅 2.69cm、中等力道 1.35cm、輕微力道 0.325cm)、距離實驗(距離 45 公分振幅 2.02cm、距離 90 公分振幅 1.7cm、距離 135 公分振幅 1.58cm)、以及頻率實驗(5 級震度下的地震平均振幅 0.321667 公分、6 級震度下的地震平均振幅 0.724583 公分、7 級震度下的地震平均振幅 1.430811 公分)等實驗檢驗準確性，並分析各組振幅對應地震學原理，發現我們的地震儀可以應用在檢驗地震強度、地震距離、規律震動等情形下，是一臺檢測精密、紀錄數據客觀的地震儀。

### 壹、 研究動機

我們想要做這款地震儀的原因是因為，台灣位於環太平洋地震帶，每年都會發生大大小小的地震，印象中常常看見新聞報導地震後的可怕災害，像民國 88 年的 921 大地震和最近 0206 的南台大震等都造成許多人間悲劇。剛好有機會參觀地震博物館後，館內介紹了一些地震儀器讓我們對地震儀有了初步瞭解。而在六上自然課本第三單元「大地的奧秘」中介紹了許多地震相關知識原理，我們想可不可以自行用各種日常生活中的器材製作出一臺地震儀並讓它畫出各種美麗的地震波，也可以利用地震波驗證我們課堂所學各種地震相關理論呢！

### 貳、 研究目的

- 一、利用慣性定律製作地震儀。
- 二、探究不同重量紀錄筆對地震儀紀錄軌跡的影響。
- 三、測試地震儀在不同力道下的振幅大小。
- 四、探討阻尼器對於地震儀穩定性的影響。
- 五、探討不同水平距離震源遠近對地震儀紀錄軌跡的影響。
- 六、探討地震儀在不同頻率下對照加速度的紀錄軌跡。

## 參、 研究設備及器材

### 一、 研究器材



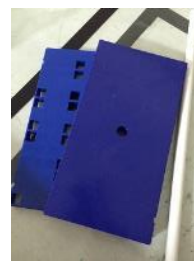
Lego Mindstorms EV3

【圖 1-1】



底座(竿影實驗器材)

【圖 1-2】



支架(槓桿實驗器材)

【圖 1-3】



窗簾組

【圖 1-4】



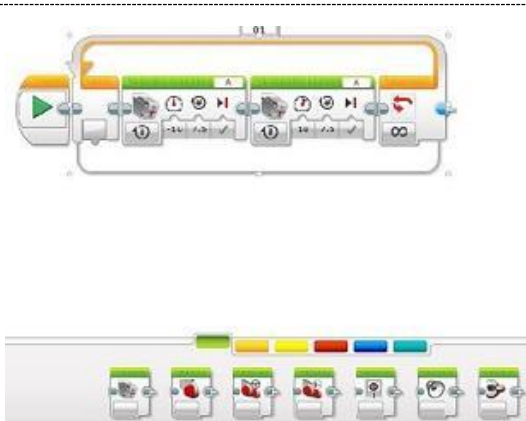
震盪台及訊號產生器【圖 1-5】



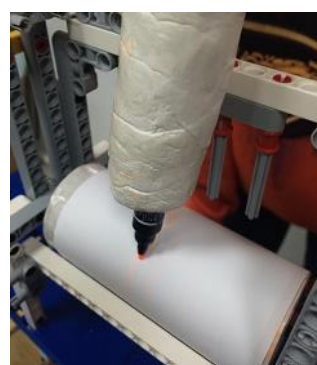
加速度規【圖 1-6】

### 二、 地震幅度紀錄方式

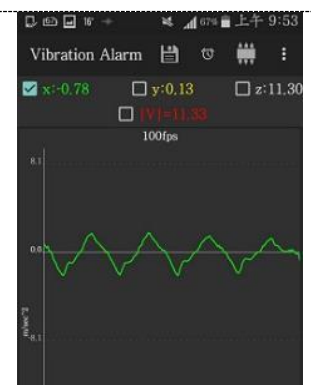
1. 我們先在電腦寫好轉動程式【如圖 1-9】，轉速是正轉速度 2 單位、負轉速度-2 單位，控制紙卷轉出、轉入。



【圖 1-9】



記錄系統【圖 1-10】



App-Vibration Alarm

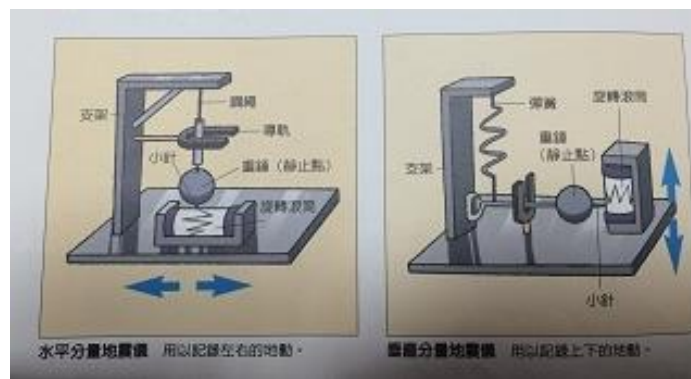
【圖 1-11】

2. 製造地震，螢光筆就會隨著震動而記錄在紙上【如圖 1-10】。
3. 我們也使用手機 App-Vibration Alarm【如圖 1-11】來幫助控制力道大小。

## 肆、 研究過程、方法和結果

### 一、 文獻探討

- (一) 地震儀是一種可以接收地面震動，並將其以某種方式記錄下來的裝置。牛頓第一運動定律中，物體不受外力的情況下，會保持「靜者恆靜，動者恆作等速運動」的慣性。地震儀就是利用了靜者恆靜的慣性原理。藉由黏土質量變大的重錘由於受到靜止慣性的影響，即便支架在晃動的狀況下，也依然能夠維持在原來的位置，並且隨著支架的晃動，進而在白紙上畫出一條曲線。相同的原理，儘管因地震的發生造成地震儀所有部位產生震動，重錘則依然能夠藉由慣性保持靜止狀態，進而以地動方向的仿方向記錄地動。如果澆水平分量地震儀的原理應用於彈簧，就能夠製造出記錄垂直方向地動的重質分量地震儀。
- (二) 地震儀一般由拾震器，放大器(換能器)及紀錄系統三個部分組成。常見的地震儀(如圖 2-1)是，將紙繞一周黏在一個均勻、低速轉動的滾筒上，紀錄筆在滾筒轉動過程中沿滾筒的軸，向一側勻速緩慢轉動。平時，隨著滾筒的轉動，紀錄筆在紙上畫下的是一道直線。地面震動時，拾震器接收到的信號經放大後傳輸給固定有紀錄比的一組彈簧電磁線圈，使記錄筆向兩側來回擺動，擺動的幅度與拾取的信號大小事成正比的。滾筒的勻速轉動及記錄筆隨拾取的信號大小及正負向兩側有規則的來回擺動，在紀錄紙上就可以留下清晰地地震紀錄圖。
- (三) 地震儀無法記錄與直線同方向的波動。但是多個不同方向的裝置就完全可以彌補這些不足。地震時地面同時在三個方向上運動:上下、東西和南北。為了研究完整的地面運動，一定要將這三個分量都記錄下來。



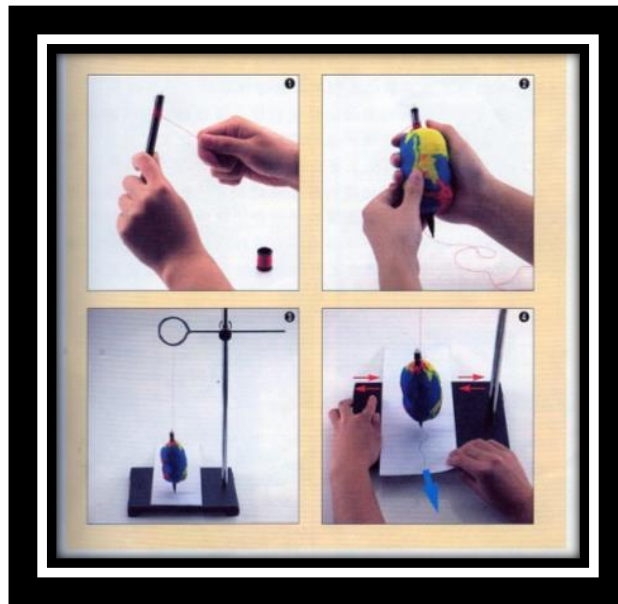
常見的現代地震儀【圖 2-1】

(四) **阻尼器**：因為我們想要多瞭解一些地震儀的構造，又剛好有機會能去氣象局參觀，而在參觀時我們發現有些地震儀是有「**阻尼器**」的！在我們詢問氣象局的專家後，知道了**阻尼器的功用是：能使地震儀更精準紀錄地震始末時間，減少因慣性作用而產生的後續搖晃**。這樣我們不僅能瞭解地震強弱，也能更精準的推算出地震持續時間。所以我們參考了中華民國第 55 屆中小學科學展覽會的作品『**震不震「阻」了就知道**』，瞭解到阻尼器的種類及製作方式。

(五) 根據文獻，**現代的地震儀大多使用精密、昂貴現代科技材料難以應用在國小校園中，所以我們決定利用身邊現有的材料製作出既不需要高昂價格的材料又可以觀測地震的地震儀。**

## 二、利用慣性定律製作地震儀。

- 在看過各種的地震儀相關文獻後，我們決定先改良「科學實驗王 15—地震與火山」一書中介紹的簡易地震儀(如圖 2-2)。



科學實驗王 15—地震與火山的地震儀實驗【圖 2-2】

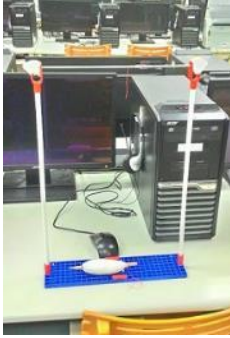
- 但在製作完成後發現這種簡易地震儀畫出來的波形非常地不穩定，容易受到外在因素干擾難以找出規律，所以我們分析之後發現下列三大問題，分別是**固定筆的方式**、**捲紙器結構**以及**儀器的穩定性**，以下分別就這三大問題一一提出改進。



(一) 不同結構對地震儀的穩定性影響。

➤ 研究過程、方法

1. 我們自然科教材「槓桿實驗組」、「太陽竿影實驗組」改裝成簡易地震儀，把竿影實驗組當作底座、槓桿實驗組作為支架及移動工作檯。



地震儀演進 1【圖 3-1】



地震儀演進 2【圖 3-2】



地震儀演進 3【圖 3-3】

2. 我們利用黏土增加重量使慣性更加明顯，但卻產生紀錄筆過重地震儀過輕的問題，所以實驗時地震儀也會跟著搖晃劇烈干擾觀測。因此我們在兩旁的白色支架底端及上方加重物增加地震儀重量，提升地震儀穩定性。
3. 我們分別實驗過用黏土【如圖 3-4、3-5】、熱溶膠、竹筷【如圖 3-6】、石頭增加底座穩定性，最後發現石頭固定的效果最佳。



下方支架加上黏土增重【圖 3-4】



上、下方支架加上黏土增重【圖 3-5】



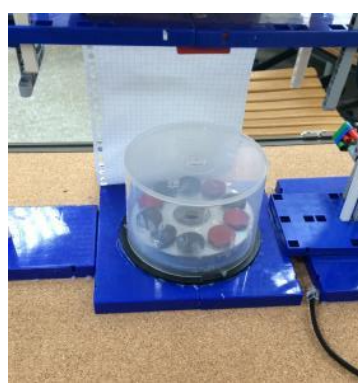
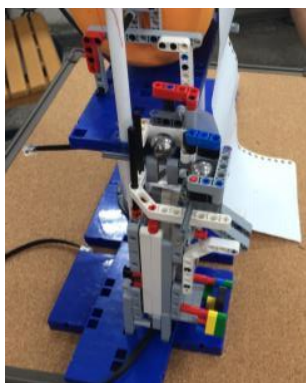
底座下方加入竹筷增加接觸面積下方  
支架加上黏土增重【圖 3-6】



以石頭增加重量【圖 3-7】

## ➤ 第二代地震儀

1. 因為第一次製作的地震儀整體不是很穩定，並且使用石頭和紙板的方式較無法長久使用，所以我們設計並改良了地震儀**結構**及**底座**，而產生了第二代地震儀。
2. 設計方式：
  - (1) 底座改成槓桿實驗組材料，藍色底座比舊版底座重量更重。
  - (2) 文具行買的布告欄當底座。
  - (3) 中間放入**阻尼器**當底座。



自動感應的結構設計【圖 3-8】

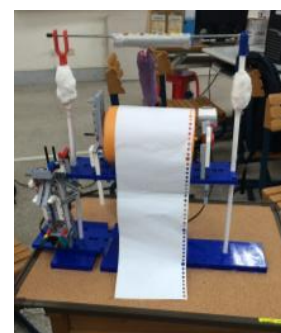
放入阻尼器的第二代地震儀【圖 3-9】

## ➤ 研究結果

1. 以太陽竿影實驗組作為地震儀底座增加整體穩定性。
2. 槓桿實驗組作為支架及橫桿，方便調整卷紙器高度。
3. 雖然第二代地震儀整體重量沒有比舊版地震儀重量更重，搖晃程度沒有更小，但因為**紙捲轉速變慢**所以畫出的紀錄很穩定，此外新版地震儀的材料都具有**耐久性不易壞**。



第一代版本的地震儀【圖 3-10】

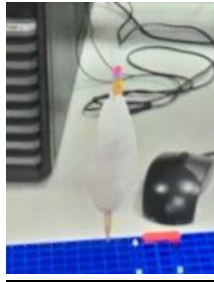


第二代地震儀【圖 3-11】

(二)不同的方式固定紀錄筆對畫振幅效果影響。

➤ 研究過程、方法

1. 使用鉛筆、簽字筆、水性原子筆進行實驗，發現字跡不清楚、波形不連續等問題。我們查到第四十四屆科展「地震，房子倒不倒有關係」已實驗出螢光筆最適合做為檢測地震的工具，所以改使用螢光筆作為紀錄筆。



鉛筆【圖 4-1】

筆跡很輕看不清楚



簽字筆【圖 4-2】

筆跡會有不連續問題



螢光筆【圖 4-3】

筆跡連續、清楚

2. 分別實驗棉線、細鐵絲、銅線三種材質及細鐵絲銅線混用的線固定紀錄筆，發現不管是棉線、細鐵絲、銅線還是混合線都只能繪製出不連續波形。



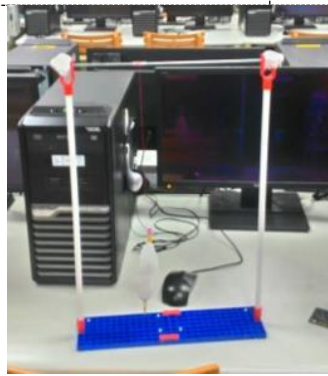
不連續的波形 1【圖 4-4】



不連續的波形 2【圖 4-5】



不連續的波形 3【圖 4-6】



棉線固定紀錄筆【圖 4-7】



細鐵線固定紀錄筆【圖 4-8】





銅線固定紀錄筆【圖 4-9】

銅線太硬畫出波形呈現直線



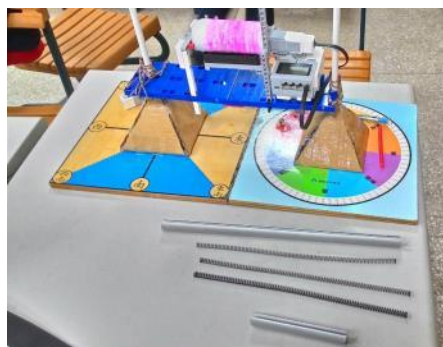
細鐵線和銅線固定紀錄筆【圖 4-10】

混合線的波形不穩定

3. 經歷前幾次實驗的失敗，我們認為應該是使用線固定紀錄筆的方式本身就  
容易使紀錄筆在繪製的過程中產生搖晃，容易干擾地震波繪製。所以我們  
討論出應該使紀錄筆完全固定在一段範圍中，當地震來臨時紀錄筆只能在  
受限的範圍中來回移動，因此我們決定使用「窗簾桿組合」來固定紀錄筆  
進行實驗。為了放大地震波我們在窗簾桿內放入彈簧做為我們的放大器，  
 終於我們的地震儀畫出圓滑、連續的地震波了！



連續的地震波【圖 4-11】



測試各種彈簧效果最佳【圖 4-12】



配合紙捲長度裁切 5.5 公分窗簾桿

【圖 4-13】

## ➤ 第二代地震儀

1. 實驗結果發現，舊版窗簾桿內部中空難以固定在橫桿上，容易搖晃干擾紀錄。
2. 設計方式：
  - (1) 在窗簾桿上方塞入海棉，增加與上方橫桿的接觸面積，並用**三秒膠固定**(舊版是用黏土穩定性不夠)。
  - (2) 用三秒膠固定窗簾滑輪與紀錄筆連接處，確保紀錄筆**只能左右移動**(舊版是熱熔膠+黏土，穩定性不夠易搖晃須勤保養)。

## ➤ 研究結果

1. 棉線、細鐵線、銅線、細鐵線和銅線組合等以上四種固定紀錄筆方式都無法繪製出連續波形。
2. 推測失敗原因是因為綑綁筆的方式，會使紀錄筆在實驗的途中受到慣性以外的力影響，所以紀錄筆在受到各種外力影響的狀況下無法繪製出連續的波形。
3. 窗簾桿組合因為是一組的組合，除了有效的限制紀錄的移動範圍外，在移動上也十分流暢不會受到太多摩擦力影響，可以輕易繪製連續的地震波波形。
4. 為放大地震波訊號，在窗簾桿內加入彈簧做為放大器方便研究觀測。
5. 第二代地震儀使用海棉及三秒膠，修正舊版紀錄時易搖晃干擾紀錄的問題。

### (三) 不同結構對紙捲轉動器的影響。

#### ➤ 研究過程、方法

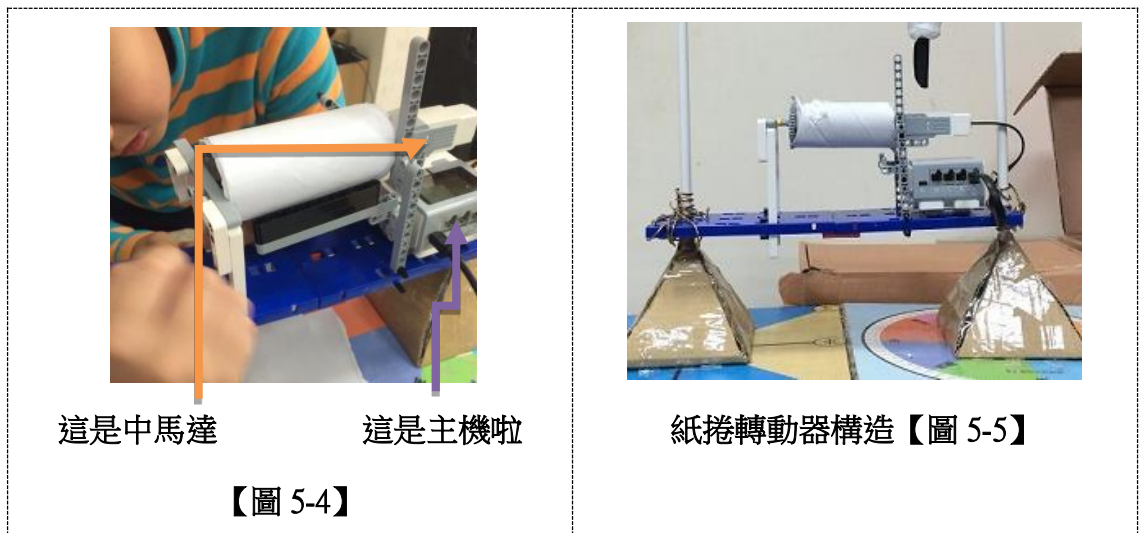
##### 1. 紀錄紙的發展過程

- (1) 以衛生紙筒作為捲紙器，但衛生紙質料容易破裂，我們改將列印用 A4 紙剪裁成段相互連接並黏接在衛生紙紙筒上，卻發現捲出時常有卡住的問題，推測是膠帶黏接觸捲出時容易與紙捲卡住以及紙質過硬的問題。
- (2) 分別實驗防水牛皮紙、格拉辛紙、50P 白膜造紙，但發現防水牛皮紙有紙質過硬捲出不易、格拉辛紙紙色透明紀錄觀測不清楚，只有 50P 白膜造紙可以順利捲出、觀測容易，因此決定以「**50P 白膜造紙**」為地震觀測紀錄紙。

		
<p>由左而右防水牛皮紙、格拉辛紙、50P 白膜造紙</p> <p>【圖 5-1】</p>	<p>防水牛皮紙測試【圖 5-2】</p> <p>紙質太硬捲出不易，紀錄紙有卡住、高卷問題。</p>	<p>紀錄紙卡住【圖 5-3】</p> <p>紀錄紙會向上高卷而不是自然垂墜。</p>

## 2. 紙捲轉動器的發展過程

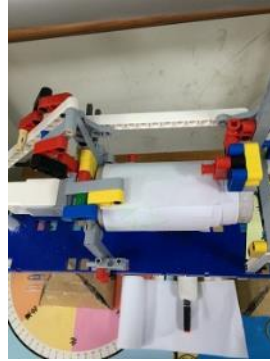
- (1) 本校自 2005 年引進樂高機器人社團後，歷經十年樂高機器人社團以成為我們學校最大的社團之一，所以當我們決定要做一個自動捲紙器時，我們第一個想到的就是要運用樂高組合，因此我們使用的是 LEGO MINDSTORM EV3#45544 零件組來組裝成一台自動捲紙器。
- (2) 我們用中馬達連接十字軸，用大齒輪卡進紙筒裡的，利用齒輪帶動紙筒捲，旁邊再用幾個連接臂固定。



- (3) 測試紙筒捲出時，發現有紀錄紙不會順利垂落以及搖晃程度太大紀錄筆會偏離紀錄區兩大問題，我們嘗試利用樂高零件改變紙捲轉動器結構。



第一代樂高高牆【圖 5-6】



第二代樂高高牆【圖 5-7】



第三代樂高高牆【圖 5-8】

紀錄紙有高卷問題，且力道太大時記錄筆常跑離紀錄區。

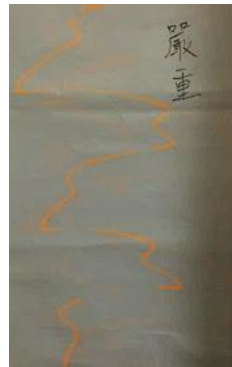
利用積木零件緊壓紀錄紙，但積木壓太緊，紀錄紙有空轉問題。

加高高牆限制紀錄筆移動區域，防止紀錄筆跑離紀錄區。



改良前的實驗波形

【圖 5-9】



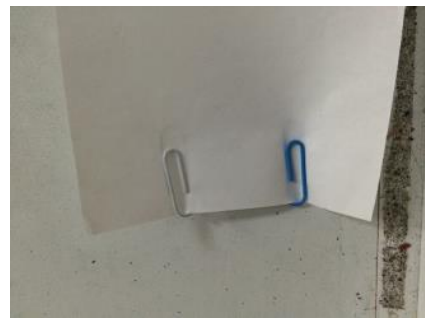
改良後的實驗波形

【圖 5-10】

(4)我們查閱文獻發現有的紙捲轉動器會在紀錄紙末端加上重物增加重力使紀錄紙可以自然垂落，於是我們在紀錄紙末端夾上兩個迴紋針，終於紀錄紙每次都可以順利的捲出了！



第一版紙捲轉動器構造【圖 5-11】



利用迴紋針增加重力【圖 5-12】



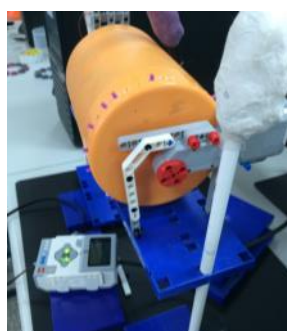
## ➤ 第二代地震儀：

1. 舊版地震儀地震震度過大時紀錄筆會**偏離紀錄區**，故加大紙捲並改用較耐用塑膠製的捲筒。
2. 紀錄紙由 50P 白模造紙改成**活頁方格紙(一格 0.5cm)**方便紀錄**時間軸**。
3. 效仿中央氣象局的地震儀，捲筒旁邊有細**小齒輪**卡住紀錄紙。
4. 將轉速變慢使紙**捲轉一圈需 16 秒**、**四秒鐘記錄 19 格方格紙(19\*0.5=9.5 公分)**。



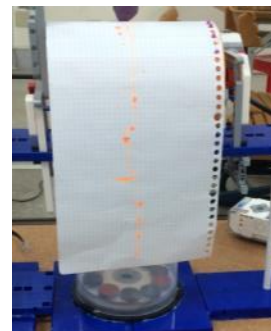
第二代地震儀捲筒(1)

【圖 5-13】



第二代地震儀捲筒(2)

【圖 5-14】



使用方格紙紀錄

【圖 5-15】

## ➤ 研究結果

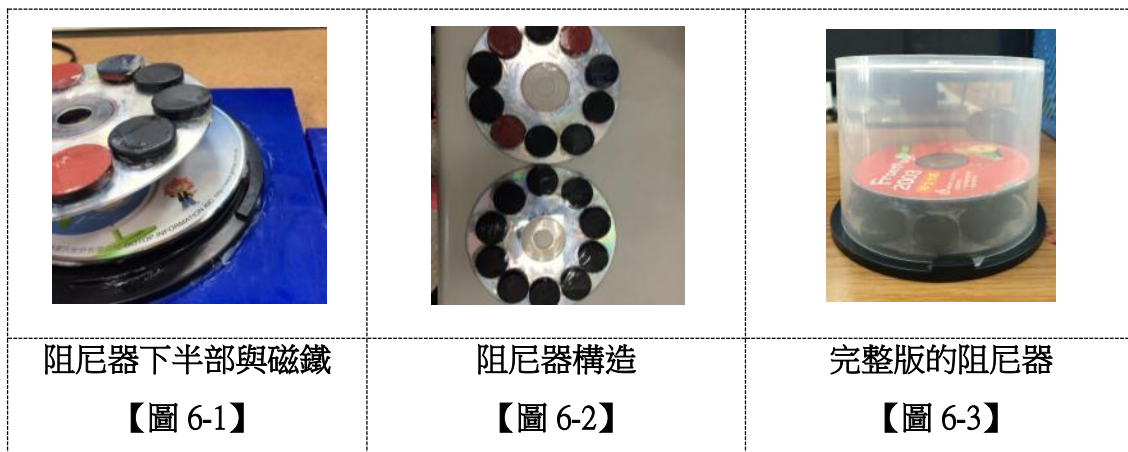
1. 紙捲轉動器的發展過程。
  - (1)為使紙捲筒可以自動轉出我們使用 LEGO 來組裝成自動捲紙器。
  - (2)為使紀錄紙可以順利捲出，我們改變樂高零件結構，使樂高零件可以適度的貼合紀錄紙捲防止紀錄紙高捲問題，並在紀錄紙末端夾上迴紋針增加重力幫助捲出。
2. 舊版地震儀問題：紀錄紙無法固定在同一位子，所以**無法有基準線、無法紀錄時間軸、震度過大**紀錄筆會偏移。所以我們設計了第二代地震儀改善這些問題。

### (四) 阻尼器的選擇與製作。

#### ➤ 研究過程、方法

磁力阻尼器的設計概念是**磁浮原理**製作，利用**同極相斥**的原理使光碟浮在空中。當地震發生時，阻尼器會因搖晃而使兩片光碟接觸，又因磁鐵同極相斥，光碟及磁鐵有重量，會將**傾斜**的光碟**壓下去**而達到減少晃動的效果。

## ➤ 磁力阻尼器



## ➤ 研究結果

1. 根據實驗，我們發現實際安裝阻尼器的地震儀，所畫出的波形更連續且完整。
2. 雖然地震儀不會因阻尼器而減少振幅，但加裝阻尼器之後，所畫出的波可以更加穩定和漂亮。
3. 阻尼器最大的功效，就是能成功降低因搖晃而產生的慣性作用，所以我們可以藉由所畫出的波形，更精確的瞭解震動持續的時間。

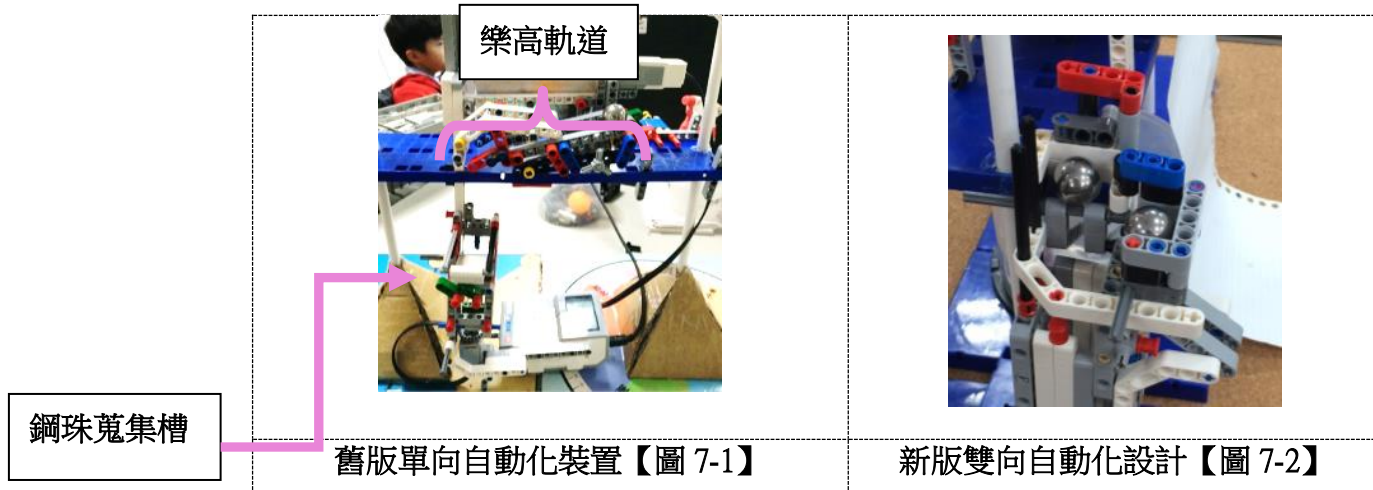
### (五) 自動感應器製作。

## ➤ 研究過程、方法

我們利用鋼珠設計了一個自動化的感應裝置，當地震發生時，鋼珠會掉落並啟動樂高機器人，讓地震儀開始運作，便可以記錄地震的時間、強度和方位。

## ➤ 自動化裝置

1. 當裝置感應到搖晃時，鋼珠會順著軌道滑動，並落入鋼珠蒐集槽處撞擊感應器。
2. 碰撞感應器被鋼珠撞擊後，捲紙器開始轉動、記錄筆隨著裝置搖晃紀錄軌跡。



## ➤ 研究結果

1. 新版自動化感應裝置設計**東西向、南北向**兩種方向感應器，確保地震來臨何種方向地震都能感應，我們也可知道地震方位。
2. 舊版感應器因軌道過長，落下平均時間需要**0.8 秒**，而新版感應器僅需**0.2 秒**，這樣更能縮小與地震實際發生的時間差距。

### 三、探究不同重量紀錄筆對地震儀紀錄軌跡的影響。

## ➤ 研究過程、方法

紀錄筆上必須裹上黏土增加重量，才能產生較佳的慣性效果，但卻沒有明說要增加多少重量，於是我們決定試驗出最佳的紀錄筆重量。

◇ 名詞解釋：振幅是在波動或振動中距離平衡位置或靜止位置的最大位移。

### (一) 實驗方法

- 1.將黏土擰平附著於紀錄筆及窗簾滾輪交界處固定。
- 2.將黏土慢慢向下緊貼筆身，直至 0.5 臺兩。
- 3.將紀錄筆掛回地震儀窗簾桿組上，並將地震儀放置於易搖晃的學生桌上。
- 4.由同一學生以同一力道搖晃(以 Vibration Alarm 為基準)。
- 5.重複步驟 2，且每重複一次就增加 0.5 臺兩的黏土，直到 3.5 台兩。
- 6.在同一實驗組紀錄軌跡中任意尋找 5 個波量測振幅大小



練習搖晃學生桌【圖 8-1】



Vibration Alarm 顯示的搖晃  
力道【圖 8-2】

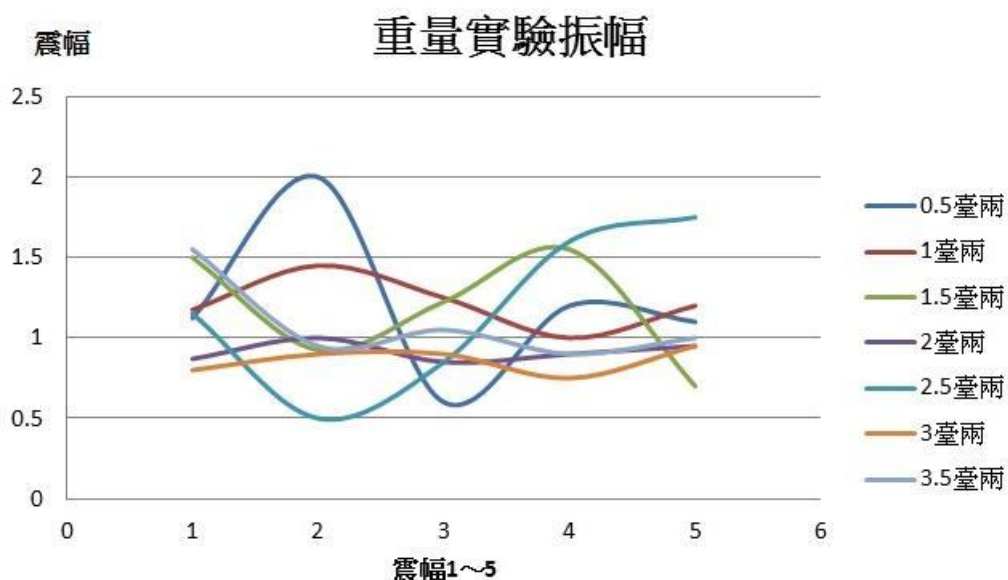


測量振幅【圖 8-3】

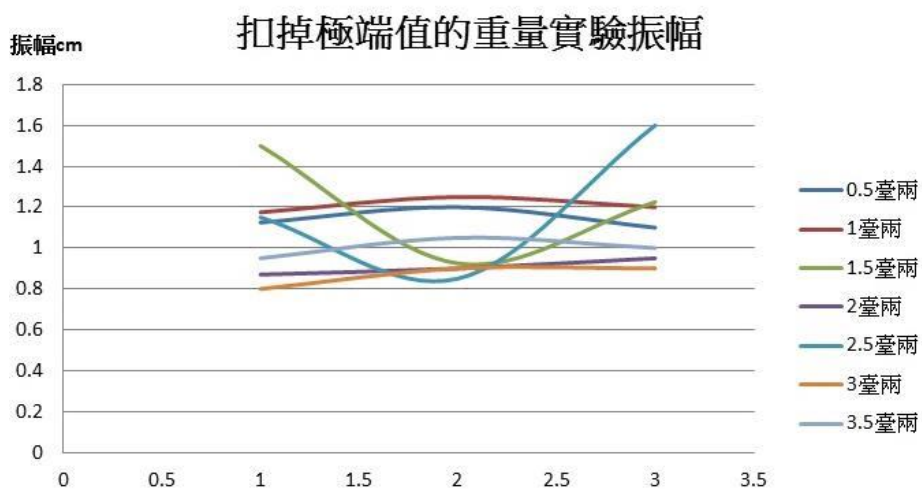
## (二) 實驗結果

重量 振幅(cm)	0.5 台兩	1 台兩	1.5 台兩	2 台兩	2.5 台兩	3 台兩	3.5 台兩
振幅 1	1.125	1.175	1.5	0.87	1.15	0.8	<del>1.55</del>
振幅 2	<del>2</del>	<del>1.45</del>	0.925	<del>1</del>	<del>0.5</del>	0.9	0.95
振幅 3	<del>0.6</del>	1.25	1.225	<del>0.85</del>	0.85	0.9	1.05
振幅 4	1.2	<del>1</del>	<del>1.55</del>	0.9	1.6	<del>0.75</del>	<del>0.9</del>
振幅 5	1.1	1.2	<del>0.7</del>	0.95	<del>1.75</del>	<del>0.95</del>	1
3次平均	1.138	1.28	1.22	0.9	1.2	0.86	1

【表一】重量實驗的振幅數據

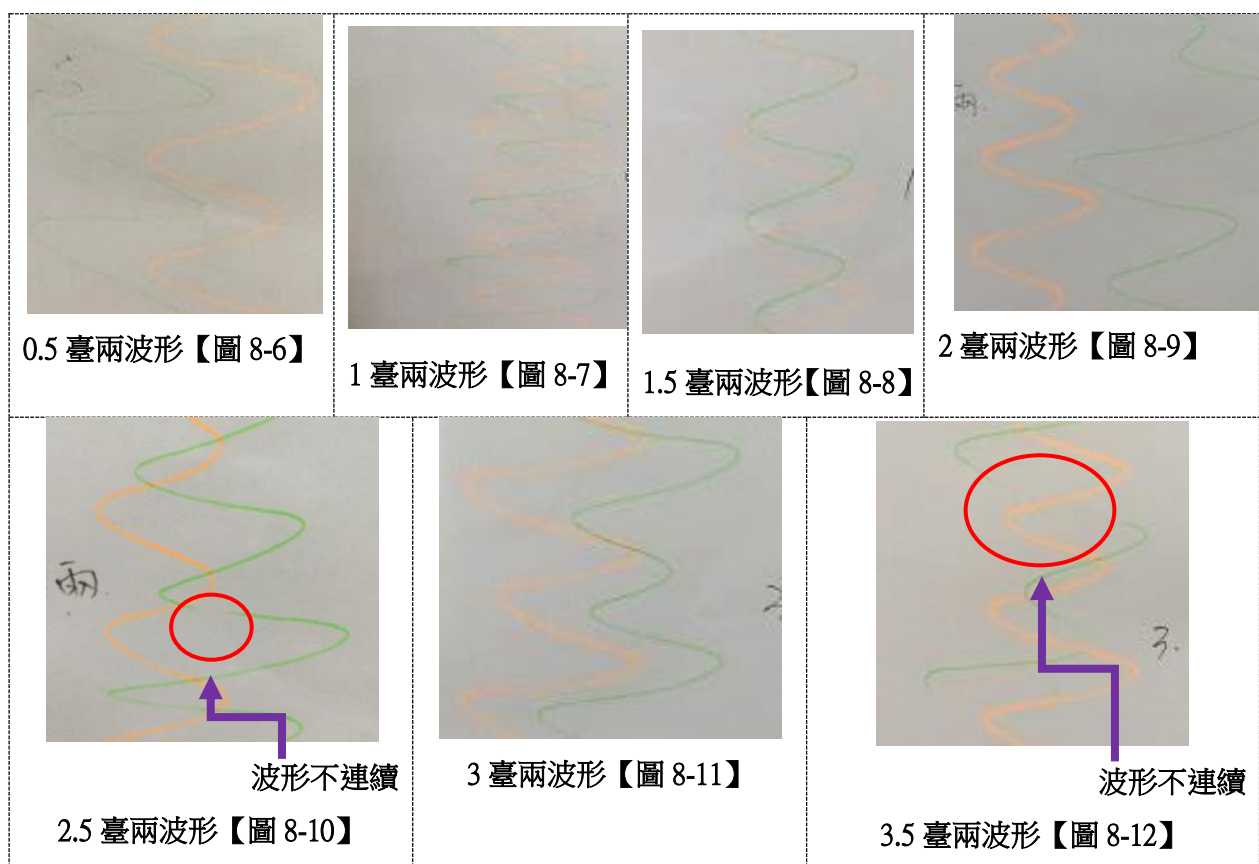


未扣極端值的重量實驗振幅【圖 8-4】



扣去極端值的重量實驗振幅【圖 8-5】





#### ➤ 研究結果

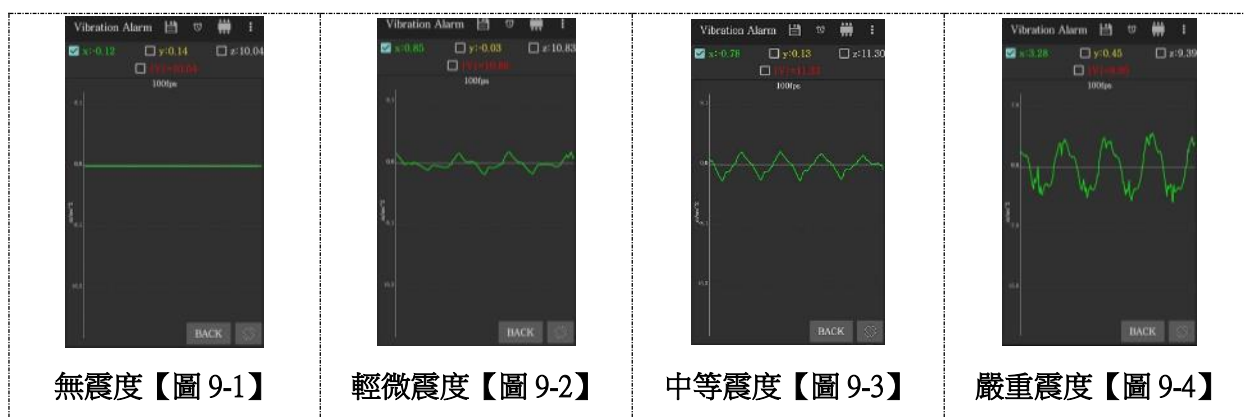
5. 本實驗所做實驗力道大小相同【如圖 8-2】，其相同重量紀錄筆的記錄振幅也應相同。而我們任意量測同一組重量紀錄筆 5 個波的振幅，其振幅大小應維持在相同的數值，以此為根據我們利用實驗數據繪製統計圖希望找出 5 個波振幅皆維持在相同數值的重量。
6. 由圖 6-4 未扣去極端值的振幅統計圖發現 3 臺兩以及 3.5 臺兩 5 次振幅曲線幾乎趨於直線，整體數值趨向平均值最適合作為紀錄筆的最佳重量。
7. 以圖 6-5 扣去極端值的振幅統計發現，1.5 臺兩以及 2.5 臺兩即使在扣去極端值後其振幅軌跡仍有偏離平均值的現象產生，只有 0.5 臺兩、1 臺兩、2 臺兩、3 臺兩、3.5 臺兩的重量最接近直線，因此適合做為紀錄筆的最佳重量。
8. 觀察波形發現 2 臺兩以下的波形顏色淺難以觀測，因此 2 臺兩重量以上的紀錄筆較佳。
9. 以波形連續性來分析，發現只有 3 臺兩的波形最連續，其它組的波形有不連續現象產生，因此 3 臺兩重量的紀錄筆最為適合。
10. 綜合以上四點發現 3 臺兩重量的紀錄筆最適合作為進行實驗。

#### 四、測試地震儀在不同力道下的振幅大小。

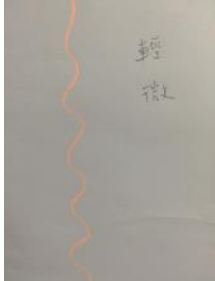


##### ➤ 研究過程、方法

##### (一) 實驗方法

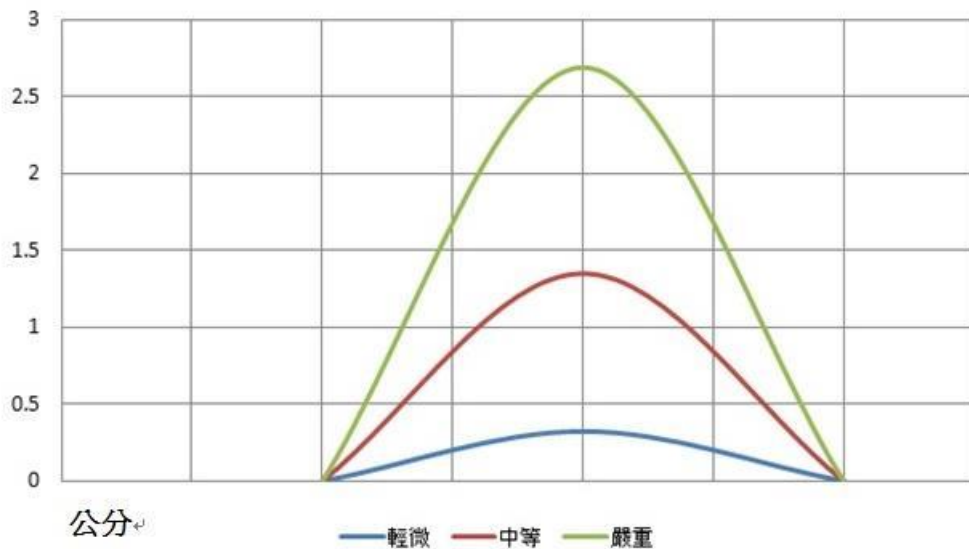
1. 開啟 APP 應用程式 vibration alarm 練習搖晃學生桌及實驗力道，以確認我們實驗力道相同。
2. 分別施以**輕微**、**中等**、**嚴重**三種力道進行實驗。
3. 在紀錄軌跡中任意尋找 5 個波量測振幅大小，扣除極端值振幅並計算分析。



##### (二) 實驗結果

力道	輕微	中等	嚴重
振幅(cm)			
振幅 1	0.25	1.65	1.75
振幅 2	0.3	1.25	3.2
振幅 3	0.35	2.2	2.375
振幅 4	0.325	1.15	2.5
振幅 5	0.525	1.1	2.8
3 次平均	0.325	1.35	2.69

【表二】 力道實驗的振幅數據



力道實驗的平均振幅【圖 9-5】

### ➤ 研究結果

- 1.如表二所示嚴重力道的平均振幅(2.69cm)>中等力道的平均振幅(1.35cm)>輕微力道的平均振幅(0.325cm)。
- 2.根據地震理論，震度越大地表搖動程度越大，地震儀顯示的振幅也越大。而我們的地震儀實驗結果符合地震理論，推論我們的地震儀可以應用在地震強度觀測。


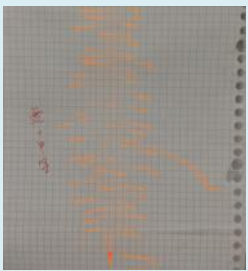
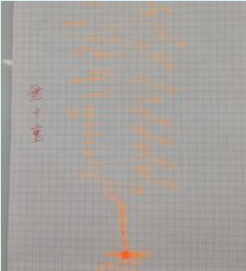
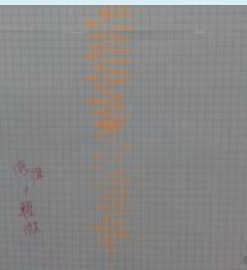
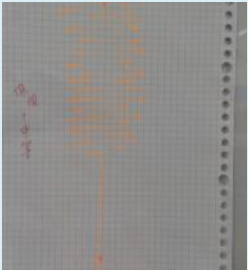

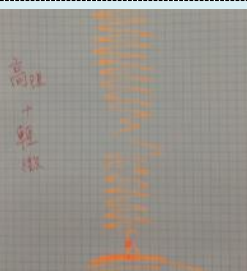


## 五、探討阻尼器對於地震儀穩定性的影響

### ➤ 研究過程、方法

#### (一)實驗方法

1. 根據文獻製作出磁阻尼器，上、下兩片光碟分別黏貼 10 個磁鐵，共 20 個。
2. 製作出高、低兩種阻尼器，並將磁阻尼器裝置在地震儀上。
3. 設計實驗：
  - (1)觀察**不使用阻尼器**在輕微、中等和嚴重搖晃程度對地震儀記錄的影響。
  - (2)觀察**高阻尼器**在輕微、中等和嚴重搖晃程度對地震儀記錄的影響。
  - (3)觀察**低阻尼器**在輕微、中等和嚴重搖晃程度對地震儀記錄的影響。

## (二) 實驗結果

	輕微搖晃	中等搖晃	嚴重搖晃
無 阻 尼 器			
密集度	28 次/38 格	26 次/38 格	25 次/38 格
低 阻 尼 器			
密集度	25 次/38 格	25 次/38 格	25 次/38 格
高 阻 尼 器			
密集度	25 次/38 格	21 次/38 格	24 次/38 格

【表三】 阻尼器實驗的振幅數據

	無阻尼器	低阻尼器	高阻尼器
波形連續性	不連續	連續	連續
基準線	偏離	不偏離基準線	不偏離基準線
波形密集度	較不平均	相當平均	較不平均

【表四】 阻尼器實驗比較圖

### ➤ 研究結果

1. 根據實驗結果，可由【表四】看出波形連續性：低阻尼器、高阻尼器較連續。



2. 根據實驗結果，可由【表四】看出**基準線**：**低阻尼器**、**高阻尼器**較不偏離。
3. 根據實驗計算，**低阻尼器**在強、中、弱的晃動，都是**25次/38格**，最為平均。

六、不同**水平距離**的遠近對地震儀紀錄軌跡的影響。

➤ 研究過程、方法

(一)實驗方法

1. 以木板邊緣(0公分)為基準，分別量出木板 45 公分、90 公分、135 公分。
2. 使用 vibration alarm 練習搖晃學生桌及實驗力道，以確認我們實驗力道相同。
3. 分別把地震儀移動到 45 公分、90 公分、135 公分的記號上進行實驗。
4. 在紀錄軌跡中任意尋找 5 個波量測振幅大小，扣除極端值並分析各組數據。


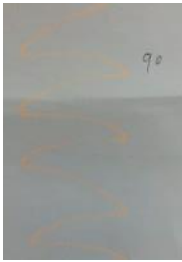



測量木板長度【圖 10-1】



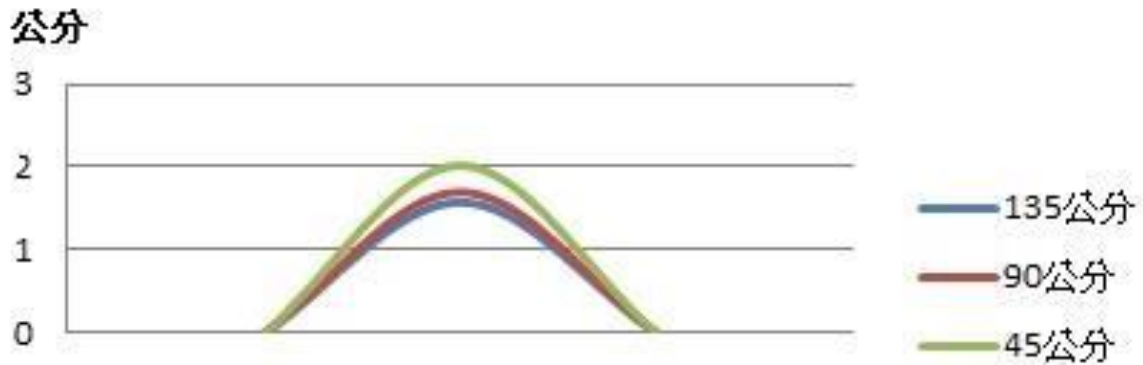
遠近實驗操作【圖 10-2】

(二)實驗結果

距離	135cm	90cm	45cm
振幅(cm)			
振幅 1	1.75	1.51	2.35
振幅 2	1.45	2.35	1.7
振幅 3	1.25	1.75	2.25
振幅 4	1.6	1.85	2.3

振幅 5	1.7	<del>1.2</del>	<del>1.35</del>
3 次平均	1.58	1.7	2.02

【表五】 遠近實驗的振幅數據



遠近實驗的平均振幅【圖 10-3】

### ➤ 研究結果

1. 如表三所示距離 45 公分的平均振幅(2.02cm)>距離 90 公分的平均振幅(1.7cm)>距離 135 公分的平均振幅(1.58cm)。
2. 根據地震理論，距離震源越近的地方因為地震波最早到達振動最為強烈，所以地震儀顯示的振幅也越大。而我們自製的地震儀實驗結果符合地震理論，推論我們的地震儀可以應用在探討地震的遠近觀測。
3. 距離震源 45、90、135 公分的遠近實驗數據雖符合地震原理，但三組實驗的數據並沒有明顯差異，推測是三組距離差異不大的原因，如將 137 公分的木板改為更長的木板進行實驗應該會有所改善。

## 七、探討地震儀在不同頻率下的紀錄軌跡影響。

### ➤ 研究過程、方法

地震搖晃的頻率一般落在 0.8~25 赫茲之間，而常見的地震頻率則是落在 1~5 赫茲之間。為了觀察地震儀在不同地震頻率的影響，我們前往中央研究院地球科學所 林慶仁博士的地震儀研究室商借器材。

#### (一)實驗方法

1. 將地震儀放置在震盪台(shaking)上。

- 將訊號產生器調至 1 赫茲的頻率大小。
- 以 100mvpp 為基準調控電壓進行實驗，直至地震強度無法使紀錄筆畫出規律振幅。
- 調整頻率大小重複步驟 3，依序進行 2 赫茲、3 赫茲...等頻率直至 5 赫茲。
- 使用三用電表及加速度規，將交流電電壓單位(mvpp)換算成直流電電壓單位(voit)，並透過三用電表發現 1 重力加速度(g)可測得 10 伏特的電壓，利用電壓值計算各電壓所對應的加速度值，計算方式如下：

$$\frac{\text{電壓值(volt)}}{10} \times 980 = \text{gal 值}$$

- 將實驗數據製成表格進行分析

## (二)實驗結果

### 1 赫茲實驗數據

	1Hz				
	volts	gal	地震震度	波長	振幅
400mVPP					
500mVPP	1.34	131.32	5	2.35	0.18
600mVPP	1.62	158.76	5	2.25	0.2
700mVPP	1.86	182.28	5	2.7	0.25
800mVPP	2.1	205.8	5	2.6	0.4
900mVPP	2.4	235.2	5	2.3	0.8
1000mVPP	2.72	266.56	6	2.45	1.2
1100mVPP	3	294	6	2.5	1.9
1200mVPP	3.22	315.56	6	3	3
1300mVPP	3.38	331.24	6	2.9	3.15
1400mVPP	3.72	364.56	6	2.4	4.25
1500mVPP	3.96	388.08	6	2.9	4.8

### 2 赫茲實驗數據

	2Hz				
	volts	gal	地震震度	波長	振幅
400mVPP					
500mVPP	2.46	241.08	5	1.6	0.1
600mVPP	2.94	288.12	6	1.65	0.2
700mVPP	3.48	341.04	6	1.5	0.35
800mVPP	3.96	388.08	6	1.45	0.75
900mVPP	4.4	431.2	7	1.3	1.35
1000mVPP	4.96	486.08	7	1.25	2.25
1100mVPP	5.48	537.04	7	1.25	3.4
1200mVPP	6	588	7	1.15	4
1300mVPP	6.44	631.12	7	1.15	4.2
1400mVPP	7	686	7	1.15	4.45
1500mVPP	7.52	736.96	7	1.1	4.6
1600mVPP	8	784	7		

### 3 赫茲實驗數據

	3Hz				
	volts	gal	地震震度	波長	振幅
400mVPP	2.48	243.04	5	0.8	0.15
500mVPP	3.14	307.72	6	1	0.195
600mVPP	4	392	6	0.7	0.25
700mVPP	4.48	439.04	7	0.75	0.325

### 4 赫茲實驗數據

	4Hz				
	volts	gal	地震震度	波長	振幅
400mVPP					
500mVPP	3.44	337.12	6	0.8	0.2
600mVPP	4	392	6	0.6	0.25

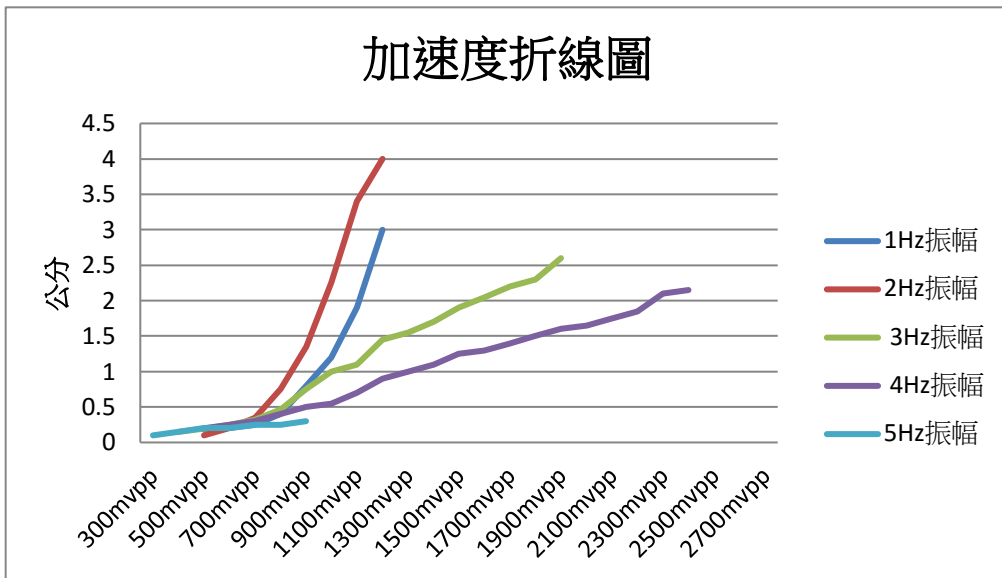
800mVPP	4.96	486.08	7	0.5	0.465	700mVPP	4.8	470.4	7	0.65	0.3
900mVPP	5.64	552.72	7	1	0.75	800mVPP	5.44	533.12	7	0.7	0.4
1000mVPP	6.12	599.76	7	1	1	900mVPP	6.16	603.68	7	0.6	0.5
1100mVPP	7.12	697.76	7	0.9	1.1	1000mVPP	6.64	650.72	7	0.7	0.55
1200mVPP	7.52	736.96	7	0.9	1.45	1100mVPP	7.6	744.8	7	0.7	0.7
1300mVPP	8.08	791.84	7	1	1.55	1200mVPP	8.08	791.84	7	0.7	0.9
1400mVPP	8.88	820.24	7	0.8	1.7	1300mVPP	8.8	862.4	7	0.7	1
1500mVPP	9.44	925.12	7	0.85	1.9	1400mVPP	9.52	932.96	7	0.64	1.1
1600mVPP	10.1	980	7	0.8	2.05	1500mVPP	10.1	989.6	7	0.8	1.25
1700mVPP	10.7	1048.6	7	0.75	2.2	1600mVPP	10.6	1038.8	7	0.55	1.3
1800mVPP	11.2	1097.6	7	0.75	2.3	1700mVPP	11.4	1117.2	7	0.5	1.4
1900mVPP	11.8	1156.4	7	0.75	2.6	1800mVPP	11.9	1166.2	7	0.52	1.5
2000mVPP	12.4	1215.2	7	0.7	2.65	1900mVPP	12.6	1234.8	7	0.61	1.6
2100mVPP	13.2	1293.6	7	0.6	2.9	2000mVPP	13.1	1283.8	7	0.47	1.65
2200mVPP	13.6	1332.8	7	0.8	3.75	2100mVPP	13.8	1352.4	7	0.5	1.75
						2200mVPP	14.3	1401.4	7	0.49	1.85
						2300mVPP	15.8	1548.4	7	0.48	2.1
						2400mVPP	16.2	1587.6	7	0.5	2.15
						2500mVPP	16.6	1626.8	7	0.52	2.2
						2600mVPP	17.6	1724.8	7	0.47	2.45
						2700mVPP	18.2	1783.6	7	0.32	1.75

### 5 赫茲實驗數據

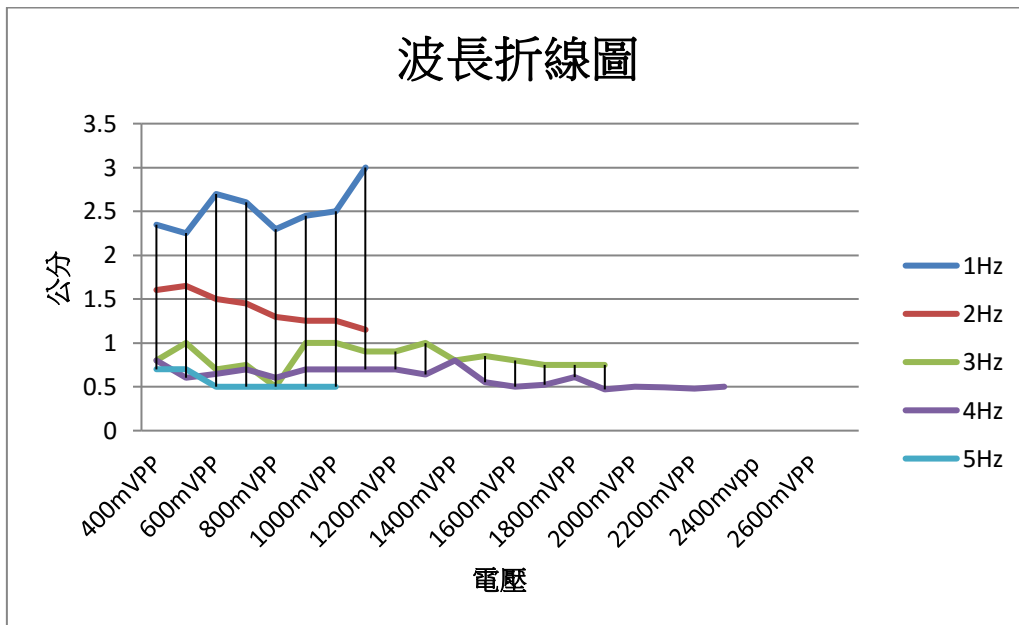
5Hz					
	volts	gal	地震震度	波長	振幅
300mVPP	2.04	199.92	5	0.7	0.1
400mVPP	2.68	262.64	6	0.7	0.15
500mVPP	3.32	325.36	6	0.5	0.2
600mVPP	4.04	395.92	6	0.5	0.2
700mVPP	4.68	458.64	7	0.5	0.25
800mVPP	5.48	537.04	7	0.5	0.25
900mVPP	6.414	599.76	7	0.5	0.3
1000mVPP	6.42	658.56	7	0.62	0.5
1100mVPP	7.36	721.28	7	0.57	0.6
1200mVPP	8.08	791.84	7	0.66	0.425

【表六】頻率實驗的實驗數據





【圖 11-1】加速度對應振幅折線圖



【圖 11-2】波長對應頻率折線圖

5 級震度		
振幅	範圍	平均
0.18	0.1-0.8	0.321667
0.2		
0.25		
0.4		
0.8		
0.1		
0.8		
0.8		

6 級震度		
振幅	範圍	平均
1.2	0.195-1.9	0.724583
1.9		
3		
3.15		
4.25		
4.8		
0.2		
0.2		

7 級震度		
振幅	範圍	平均
1.35	0.25-4	1.430811
2.25		
3.4		
4		
4.2		
4.45		
4.6		
4.6		

0.1		
-----	--	--

0.35		
0.75		
0.195		
0.25		
0.2		
0.25		
0.15		
0.2		
0.2		

0.325		
0.465		
0.75		
1		
1.1		
1.45		
1.55		
1.7		
1.9		
2.05		
2.2		
2.3		
2.6		
2.65		
2.9		
3.75		
0.3		
0.4		
0.5		
0.55		
0.7		
0.9		
1		
1.1		
1.25		
1.3		
1.4		
1.5		
1.6		
1.65		
1.75		
1.85		
2.1		
2.15		
2.2		
2.45		
1.75		
0.25		
0.25		

【表七】頻率實驗對應加速度求其平均

0.3		
0.5		
0.6		
0.425		

## ➤ 研究結果

1. 分析五種 5 種頻率實驗，發現每種頻率實驗在最後 3 種電壓的條件下其振幅表現都呈現極端現象，推測可能電壓過大超過我們地震儀所能負荷的程度，故這幾項數據不列入分析數據之中。
2. 一臺穩定的地震儀在不同頻率下其加速度及振幅曲線應該隨著加速度越來越大振幅也跟著增長的線性關係，而地震儀在 5 種頻率下其曲線雖然略有些不穩定但然在誤差範圍內，故以加速度及振幅表現這部分來判斷，地震儀在 1Hz~5Hz 這五種頻率下皆可以進行地震檢測。
3. 根據理論頻率相同波長也理應相同，而數據顯示地震儀在五種頻率下都波長曲線都有下墜的情形，和林博士討論後猜測原因可能是地震儀的主機是由乾電池提供電壓，而乾電池提供的電壓會隨著時間有些微下降的狀況。
4. 分析五種頻率狀況發現 1Hz 的頻率下波長並沒有維持在穩定的數值上，而其他頻率下的波長雖然曲線不穩定的狀況，但仍在誤差範圍內，因此以波長判斷我們的地震儀較適用於 2Hz~5Hz 狀況下的地震檢測。
5. 將各實驗的加速度對應到地震震度表，並將各震度的振幅表現加總求其平均發現，地震儀在 5 級震度下的地震平均振幅為 0.321667 公分、6 級震度下的地震平均振幅為 0.724583 公分、7 級震度下的地震平均振幅 1.430811 公分。

## 伍、 討論

### 一、 改良歷程記錄

	舊版地震儀	第二代地震儀
結構	太陽觀測器、石頭和紙板	1.槓桿實驗組材料，底座比舊版更重 2.中間放入 <b>阻尼器</b> 當底座
紀錄筆	窗簾桿內部中空難以固定在橫桿上，紀錄時容易搖晃干擾紀錄	使用海棉及三秒膠，修正舊版紀錄時易搖晃干擾紀錄的問題
紙捲轉動器	1.地震過大時紀錄筆會偏離紀錄區 2.紀錄紙使用 50P 白模造紙 3.紀錄紙無法固定在同一位子 4.無法有基準線、無法紀錄時間軸	1.加大紙捲並改用較耐用塑膠製的捲筒 2.用 <b>活頁方格紙</b> (每格 0.5cm)紀錄時間軸 3.捲筒旁邊有細小齒輪卡住紀錄紙 4.紙捲轉一圈需 16 秒、 <b>四秒鐘記錄 19 格方格紙</b> ( $19 \times 0.5 = 9.5$ 公分)
阻尼器	無阻尼器，所以紀錄筆會因慣性作用持續晃動，無法準確紀錄地震停止時間	能 <b>降低因搖晃而產生的慣性</b> ，所以我們可以藉由所畫出的波形， <b>更精確的瞭解震動持續的時間</b>
自動感應器	1.只有 <b>東西向</b> 的鋼珠感應裝置 2.落下平均時間需要 <b>0.8 秒</b>	1. <b>東西向、南北向</b> 的鋼珠感應裝置 2.落下平均時間需要 <b>0.2 秒</b>

### 二、 研究反省

(一)地震儀的紀錄筆受限於結構問題，當力道過大及頻率過快時紀錄筆會有偏移紀錄區的情形。中央氣象局的水平式地震儀其紀錄方式都是固定紀錄筆並讓捲筒移動，而我們的紀錄方式則是讓紀錄筆移動、固定捲筒的裝置，整體設計和中央氣象局的儀器相反，故以後若要改良地震儀可以朝這方面做改進。

(二)水平式地震儀設計因受限於裝置摩擦力過大，太過輕微的地震皆無法使地震儀產生反應，故水平式的地震儀大多屬於強震儀，僅能顯示 5 級以上的地震，所以現代的地震儀接改用感應電流的電子式感應設計，其感應方式更加敏感且數據分析更為精密。而根據數據顯示我們的地震儀也受限於水平式地震儀的裝置缺點僅能對 5 級以上地震產生反應屬於強震儀的地震儀。

(三)地震儀應該要 24 小時啟動，當有地震來臨紀錄系統會記錄其振幅數值來判斷地震的規模強度、持續時間及發生時間。我們的地震儀設計是當地震發生感應系統中的鋼珠會掉落並撞擊感應器啟動整個裝置，並非是 24 小時監測地震，因此嚴格來說我們的地震儀並非是一種地震儀而是地震感應顯示器。

### 三、未來展望

水平式地震儀的設計裝置受限於摩擦力過大，整體感應系統並不十分敏銳，因此現代化的地震儀接改以感應電流為原理的地震儀，我們在中央氣象局有參觀到簡易版的現代地震儀，未來如果有機會希望可以製作以感應電流為原理的地震儀。

### 陸、結論

- (一) 3 臺兩重量的紀錄筆因為筆跡清晰、波形連續、5 組振幅都接近平均值，最適合進行實驗。
- (二) 震度越大地表搖動程度越大，地震儀顯示的振幅也越大。而我們的地震儀實驗結果符合地震理論(嚴重力道 2.69cm、中等力道 1.35cm、輕微力道的振幅 0.325cm)。
- (三) 距離震源越近的地方因為地震波最早到達振動最為強烈，所以地震儀顯示的振幅也越大。而我們自製的地震儀實驗結果符合地震理論(距離 45 公分振幅 2.02cm、距離 90 公分振幅 1.7cm、距離 135 公分振幅 1.58cm)，推論我們的地震儀可以應用在探討地震遠近觀測。
- (四) 依據加速度及波長判斷我們的地震儀較適用於 2Hz~5Hz 狀況下的地震檢測。
- (五) 地震儀在 5 級震度下的地震平均振幅為 0.321667 公分、6 級震度下的地震平均振幅為 0.724583 公分、7 級震度下的地震平均振幅 1.430811 公分，因此當有地震產生時我們可以算出平均地震的振幅判斷地震震度。

### 柒、參考資料及其他

- (一) 中華民國第五十三屆中小學科學展覽會。國小組地球科學科。030507 「"城市殺手"直下型地震」。



- (二) 中華民國第四十四屆中小學科學展覽會。國小組地球科學科。080509「921地震，房子倒不倒有關係」。
- (三) 趙克常(2013)·地震概論·台北市：五南。
- (四) 王美芬(2015)·國小自然與生活科技·新北市：康軒。
- (五) Gomdori co.(2011)·科學實驗王·台北市：三采文化。
- (六) 地震震度分級表

交通部中央氣象局地震震度分級表(2000年8月1日公告)

震度分級	地動加速度 (cm/s <sup>2</sup> ,gal)	人的感受	屋內情形	屋外情形
0  無感	0.8 以下	人無感覺		
1  微震	0.8~2.5	人靜止時可感覺微小搖晃		
2  輕震	2.5~8.0	大多數的人可感到搖晃，睡眠中的人有部分會醒來	電燈等懸掛物有小搖晃	靜止的汽車輕輕搖晃，類似卡車經過，但歷時很短
3  弱震	8~25	幾乎所有的人都感覺搖晃，有的人會有恐懼感	房屋震動，碗盤門窗發出聲音，懸掛物搖擺	靜止的汽車明顯搖動，電線略有搖晃
4  中震	25~80	有相當程度的恐懼感，部分的人會尋求躲避的地方，睡眠中的人幾乎都會驚醒	房屋搖動甚烈，底座不穩物品傾倒，較重傢俱移動，可能有輕微災害	汽車駕駛人略微有感，電線明顯搖晃，步行中的人也感到搖晃
5  強震	80~250	大多數人會感到驚嚇恐慌	部分牆壁產生裂痕，重傢俱可能翻倒	汽車駕駛人明顯感覺地震，有些牌坊煙囪傾倒
6  烈震	250~400	搖晃劇烈以致站立困難	部分建築物受損，重傢俱翻倒，門窗扭曲變形	汽車駕駛人開車困難，出現噴沙噴泥現象
7  劇震	400 以上	搖晃劇烈以致無法依意志行動	部分建築物受損嚴重或倒塌，幾乎所有傢俱都大幅移位或摔落地面	山崩地裂，鐵軌彎曲，地下管線破壞

## 【評語】 080510

1. 主題研究動機單純且生動，目的具體明確，與「大地奧秘」教材相關，說明書用紅字標示其關聯性。
2. 研究方法及過程循序漸進且按部就班來解決問題，有系統測試及改良問題，整體具邏輯性。