

彰化縣 113 學年度國民中小學學生獨立研究作品徵選
作品說明書（封面）

作品編號：

	☐ 數學類
☒ 國小組	
組別：	☒ 自然、科技類
☐ 國中組	
	☐ 人文社會類

作品名稱：失速彈簧—探討影響紙彈簧落下時間的因素

第一階段 研究訓練階段（由教師撰寫）

一、近二年學校獨立研究課程之規劃

獨立研究課程分為中年級「研究技巧訓練」與高年級「獨立研究實作」兩大部分，前者訓練研究技巧，如資訊運用、資料蒐集與整理，以及認識研究方法；後者的實作部份由師生共同討論，以決定研究主題與方向。

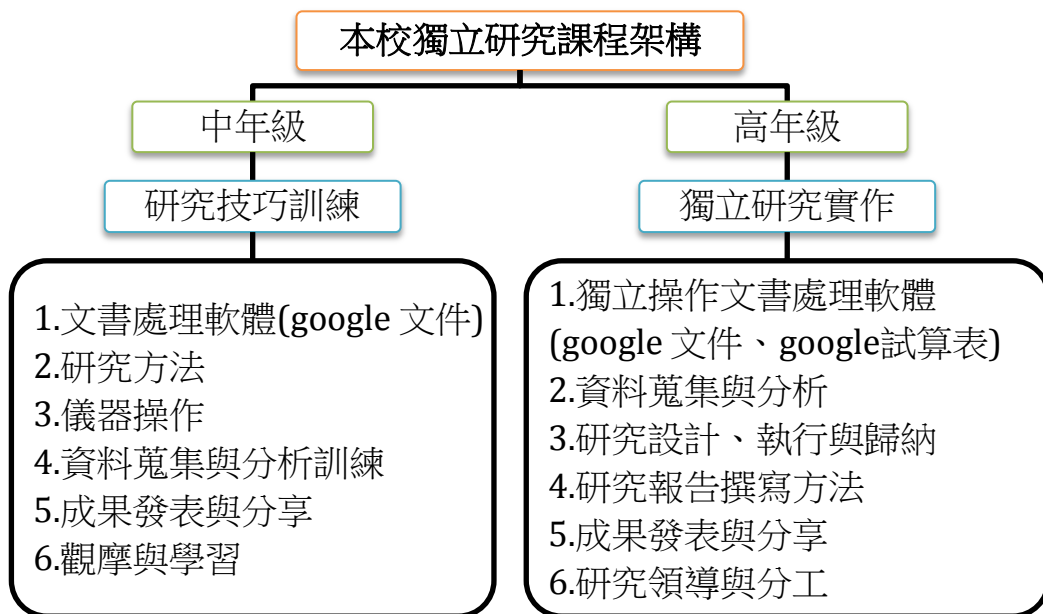
獨立研究課程欲培養之核心素養為：

1. 系統思考與解決問題：具備問題理解、思辨分析、推理批判的系統思考與後設思考素養，並能行動與反思，以有效解決生活問題。
2. 符號運用與溝通表達：具備理解及使用語言、文字、數理等各種符號進行表達與互動，並應用在日常生活上。
3. 人際關係與團隊合作：能與他人建立良好的互動關係，並發展與人溝通協調、包容異己等素養。

根據核心素養，期許學生建立之學習表現包括：

1. 認識研究工具的種類及用途，並依據研究主題選擇適合的研究工具。
2. 承接問題，考量相關因素，規劃問題解決的步驟，並嘗試解決，獲得成果。
3. 根據研究問題、資源，規劃研究計畫並依進度執行。
4. 科學實驗研究方面，能了解自變項、應變項並預測改變時可能的影響和進行適當次數測試的意義。
5. 能利用簡單形式的口語、文字、影像（例如：攝影、錄影）、繪圖或實物、科學名詞、數學公式、模型等，表達探究之過程、發現或成果。
6. 從得到的資訊或數據，提出研究結果與發現。
7. 透過教師引導或檢核表，對研究過程及結果進行自我評鑑。

二、學校如何提供該生獨立研究訓練



- (一) 中年級：設計與學科相關的課程以拓展其知識基礎，每週安排一節研究技巧訓練，指導學生學習文書處理、資料蒐集與整理方法、圖書館運用、觀察與做筆記等；在老師指導下實際認識各種研究方法，並進行簡單的小實作。在充實活動中，提供一般探索機會，搭配如數位相機、顯微鏡、簡單科學實驗技術等的操作練習。安排展覽參訪，讓學生能找出研究興趣並觀摩優秀作品。
- (二) 高年級：每週進行兩節課的獨立研究課程，實際進行研究，在教師協助下，完成「訂定主題」、「擬定工作進度」、「擬定研究問題」、「蒐集資料與整理」、「尋求資源」、「實際研究與記錄」、「研究討論與發現」、「撰寫書面報告與分享」之流程。在此階段，教師會依據學生能力，逐漸減少介入，引導討論與技術指導，掌握學生計畫安排與實際進度是否得宜，並在學生完成報告時協助修改。

第二階段 獨立研究階段（由學生撰寫）

壹、研究動機

一般的塑膠彈簧下樓梯，速度很快很有趣，可是買彈簧需要花錢，所以我就想著：彈簧可以用紙做嗎？它也能下樓梯嗎？查詢資料後，發現有多種做法，和塑膠彈簧一樣具有延展性，但比較脆弱，因為沒有使用黏膠，拉太大力就會鬆脫。我想知道紙彈簧的大小和材質等會不會影響它下樓梯的時間，因此我就開始做這個研究。

貳、擬定正式計畫、研究問題及工作進度表

一、研究問題

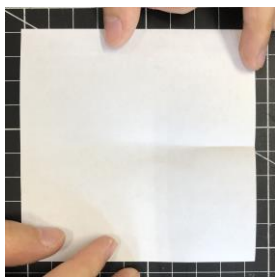
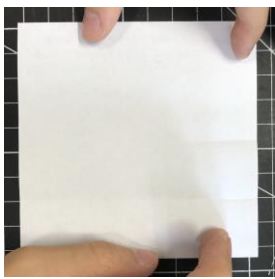
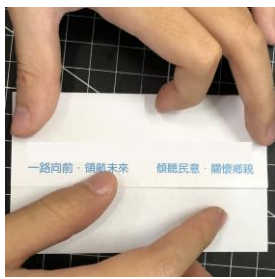
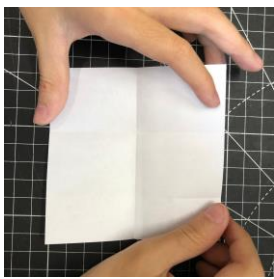
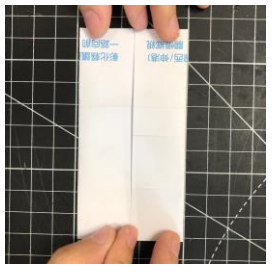
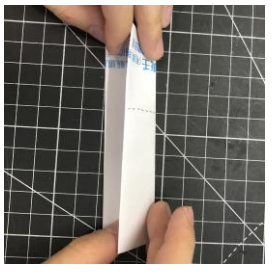
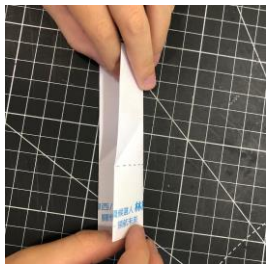
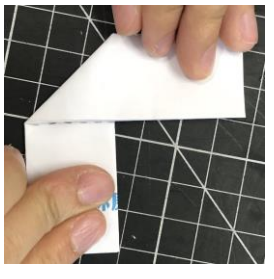
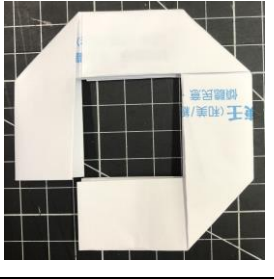
1. 樓梯每一階的高度是否會影響紙彈簧的下樓梯的時間？
2. 紙彈簧大小是否會影響紙彈簧的下樓梯的時間？
3. 紙彈簧的材質是否會影響紙彈簧的下樓梯的時間？
4. 紙彈簧的圈數是否會影響紙彈簧的下樓梯的時間？
5. 有無砂紙是否會影響紙彈簧的下樓梯的時間？

二、研究進度表

月份 工作內容	10	11	12	1	2	3	4	5	6
決定主題	✓								
準備實驗材料	✓	✓							
做紙彈簧	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
組裝樓梯		✓							
進行實驗			✓	✓	✓	✓	✓		
分析數據				✓	✓		✓	✓	
整理結果								✓	
撰寫報告		✓				✓	✓	✓	✓

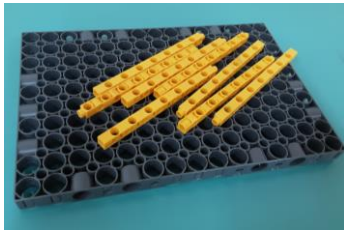
參、彙整相關文獻

實驗中紙彈簧的製作方式：常見製作紙彈簧的方式有四種，我選擇了做完之後是八邊形的環狀紙彈簧，它是製作多個相同的部件，然後再結合起來的方式，製作方式如下：

			
將正方形紙上下對摺後打開	下面的邊往中間的摺痕摺，再打開	上面的邊往最下面的摺線摺，再打開	左右對摺再打開
			
左右兩邊的邊往中間摺痕摺	對摺	左上方的邊往虛線位置摺，再打開	合起來
			
打開後，會看到 Y 字形的摺痕，讓它們凸起來，再壓平	摺很多個同樣的小部件	把其中一個有 M 字型的那邊與另一個 V 字型的組合起來	組完後壓平，並連續組裝，每一圈會有 4 個部件

肆、資料分析

一、研究設備與器材

		
10 平方公分便條紙	15 平方公分色紙	智高積木
		
800Cw 砂紙	日曆紙	平板電腦
		
150g 西卡紙	廣告紙	70g 影印紙

二、紙彈簧大小的訂定方法

摺完紙彈簧後，看紙彈簧的「上下平行邊」來定義紙彈簧的大小，如右圖 4-1，上下平行邊距離 8.5 公分，就定義它是 8.5 公分的紙彈簧。

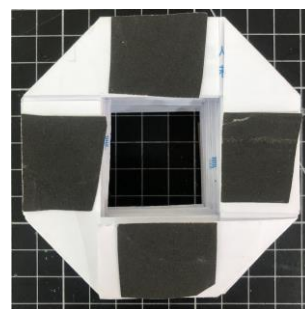


圖 4-1：8.5 公分紙彈簧

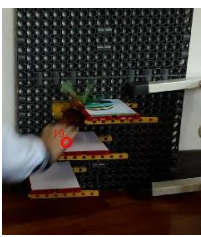
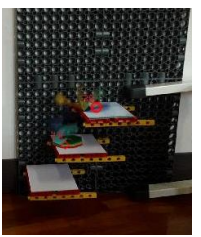
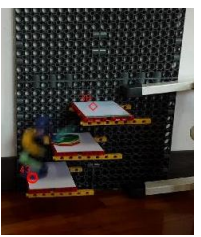
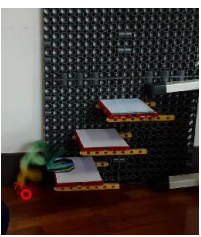
三、實驗場地

如右圖 4-2，實驗場地是智高做成的樓梯，高度及『深度』都可調整，含地板總共四階；平板架設在可以把整個畫面拍進去的位置。



圖 4-2：實驗的場地規劃

四、分析數據的方式

				
時間 1：開始－用手把紙彈簧拉長碰到第二階	時間 2：紙彈簧離開第一階的瞬間	時間 3：紙彈簧碰到第三階的瞬間	時間 4：紙彈簧的前端碰到地板的瞬間	時間 5：結束－紙彈簧尾端打到地板的瞬間

五、實驗設計

實驗一：不同階梯距離時紙彈簧落下的時間

操作變因：階梯距離(14 公分、16 公分、18 公分)

控制變因：紙彈簧材質(便條紙)、紙彈簧大小(8.5 公分)、
紙彈簧圈數(12 圈)

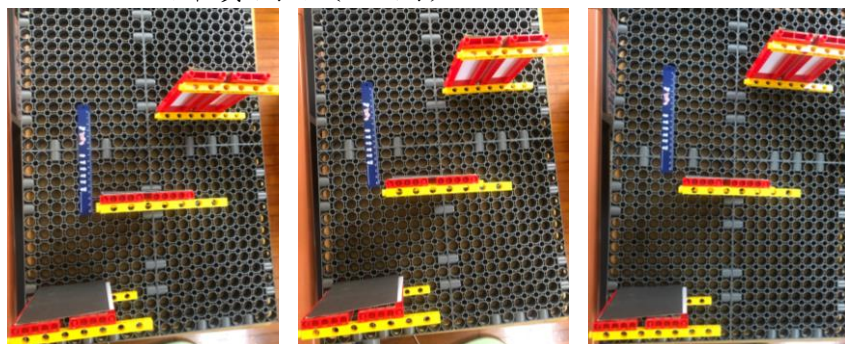


圖 4-3：不同的階梯距離

實驗二：不同大小紙彈簧落下的時間

操作變因：紙彈簧大小(3.5 公分、4.5 公分、6.5 公分)

控制變因：階梯距離(16 公分)、紙彈簧材質(色紙)、
紙彈簧圈數(10 圈)

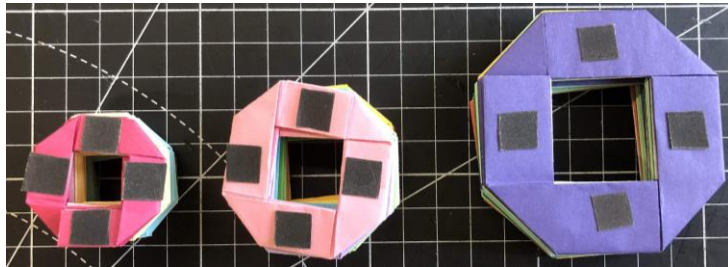


圖 4-4：不同大小紙彈簧

實驗三：不同材質紙彈簧落下的時間

操作變因：紙彈簧材質(色紙、日曆紙、廣告亮面紙、
70g 影印紙)

控制變因：階梯距離(16 公分)、紙彈簧大小(6.5 公分)、
紙彈簧圈數(10 圈)

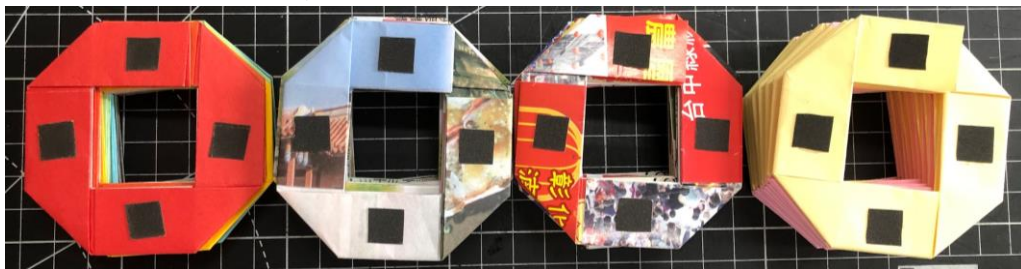


圖 4-5：四種不同紙張種類製作的紙彈簧

實驗四：不同長度紙彈簧落下的時間

操作變因：紙彈簧圈數(8 圈、10 圈、12 圈、14 圈)

控制變因：紙彈簧材質(日曆紙)、階梯距離(16 公分)、
紙彈簧大小(6.5 公分)



圖 4-6：不同圈數的紙彈簧

實驗五：摩擦力大小不同時紙彈簧落下的時間

操作變因：有無砂紙(階梯彈簧皆有、階梯有，彈簧無、
階梯無，彈簧有、階梯彈簧皆無)

控制變因：紙彈簧材質(日曆紙)、階梯距離(16 公分)、
紙彈簧大小(6.5 公分)

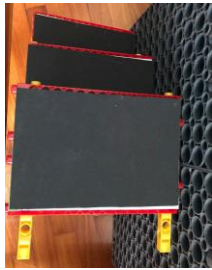


圖 4-7：貼砂紙的階梯



圖 4-8：無砂紙紙彈簧(左)，
有砂紙紙彈簧(右)

伍、研究結果與討論

實驗一：不同階梯距離時紙彈簧落下的時間

(1) 實驗紀錄表

表 5-1：不同階梯距離時紙彈簧落下的時間紀錄表

落下時間(s) 階距(cm)		1~2	2~3	3~4	4~5	總時間 (s)	成功率 (%)
14	1	0.799	0.667	1.632	1.567	4.665	15
	2	0.767	0.633	1.732	1.033	4.165	
	3	0.666	0.667	1.766	1.999	5.098	
	平均	0.744	0.656	1.710	1.533	4.643	
16	1	0.700	0.533	1.566	1.233	4.032	37.5
	2	0.633	0.433	2.299	1.300	4.665	
	3	0.600	2.066	1.332	0.867	4.865	
	平均	0.644	1.011	1.732	1.133	4.521	
18	1	0.666	0.400	1.699	0.833	3.598	27
	2	0.600	0.533	1.333	1.500	3.966	
	3	0.633	0.434	1.199	0.666	2.932	
	平均	0.633	0.456	1.410	1.000	3.499	

(2)統計圖

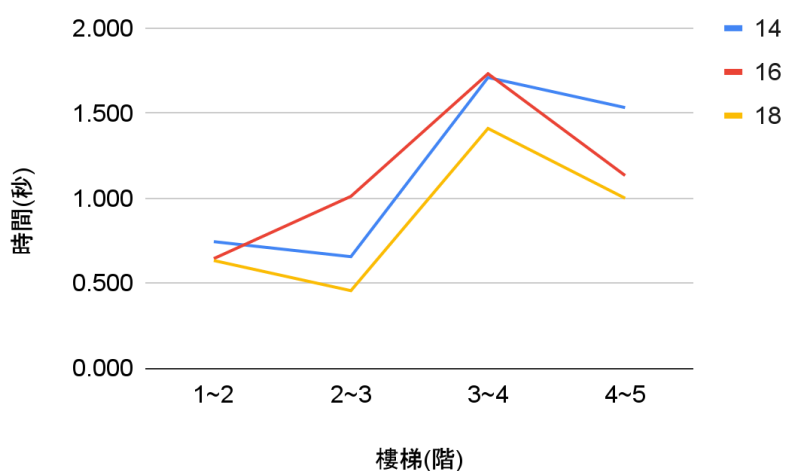


圖 5-1：不同階梯距離時紙彈簧落下的時間的折線圖

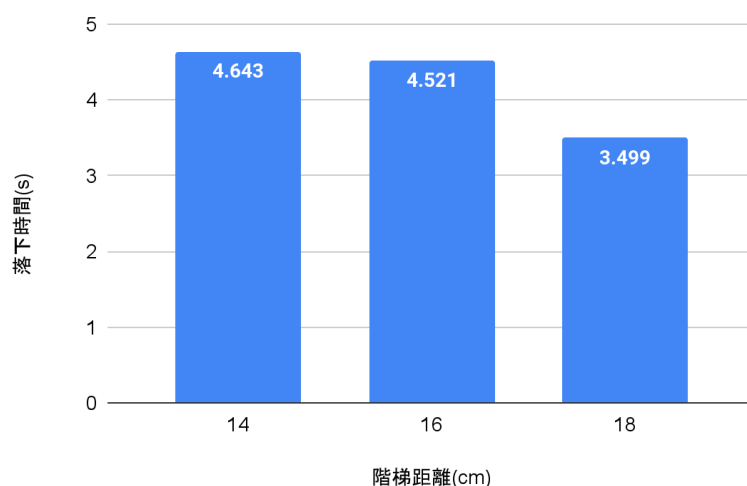


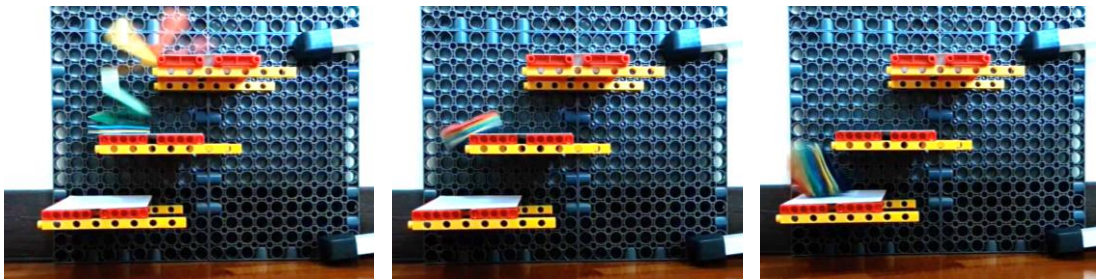
圖 5-2：不同階梯距離時紙彈簧落下的總花費時間長條圖

(3)討論

1. 一開始製作的樓梯深度不夠，只有 5 公分，甚至比用邊長 10 公分紙摺出來的彈簧還小，總是接不住紙彈簧，讓它直接摔落，所以加深為 10 公分。
2. 如表 5-1，階梯距離是 14cm 時，成功率只有 15%；高度是 16cm，成功率有 37.5%，所以當紙彈簧原紙是 10 公分，階距是 16 公分時，成功率最高，但是還是不夠高，所以我將它改成不同材質的紙，希望能提高成功率。
3. 根據圖 5-2，當階梯高度越高，紙彈簧落下的總時間越短，表示速度越快。

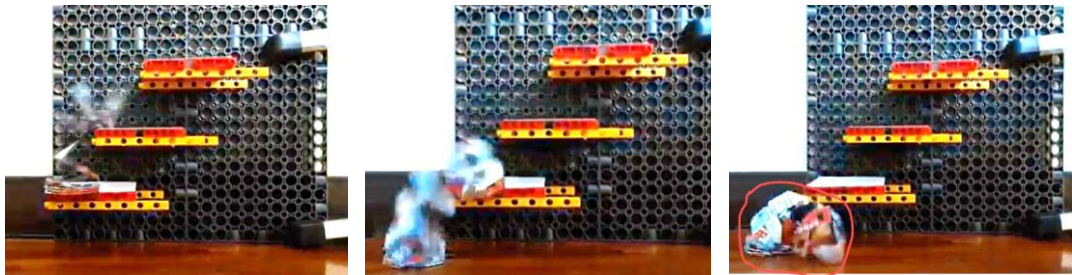
4. 觀察紙彈簧往下翻滾的過程中，白紙和白紙摩擦力沒有那麼足夠，總是會從樓梯上滑落，所以加裝砂紙在紙彈簧最外圈上，這部分之後也會再實驗。
5. 原紙張邊長 10 公分，圈數 9 圈以下的紙彈簧，無論階梯高度怎麼調整，都很難讓它持續向下翻滾，所以紙彈簧需有一定長度才能連續翻滾。
6. 紙彈簧落下的過程中，有幾種失敗的幾種情形，我將它進行分析並說明解決方法：

A. 直接從樓梯滑下去



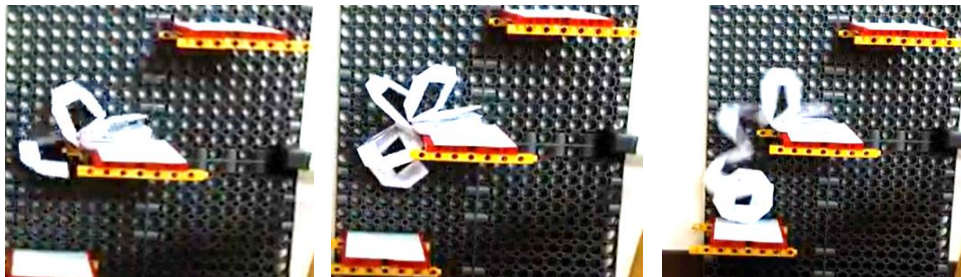
解決方式：從頂層往下拉時紙彈簧要保持垂直，才不會因為重心往前移，越跑越出去。

B. 往旁邊倒



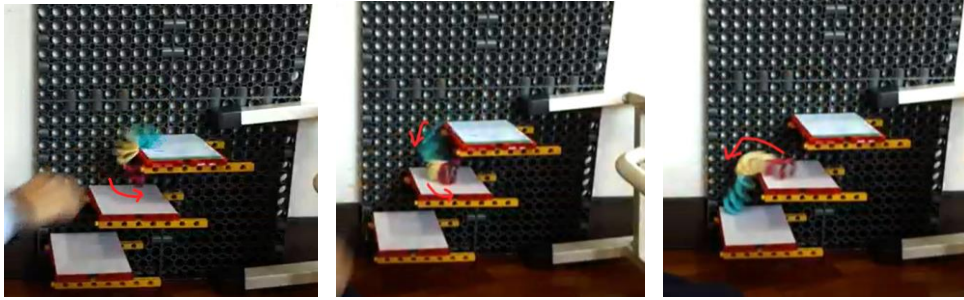
解決方式：放的時候避免靠近外側。

C. 卡到積木



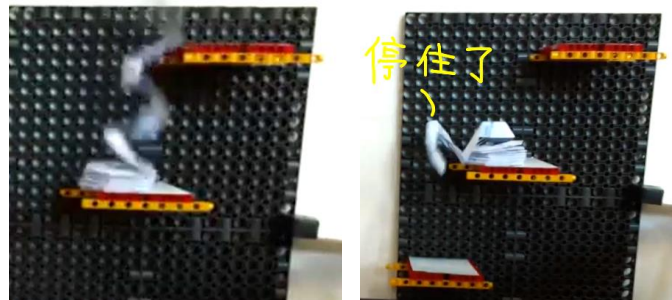
解決方式：將黃色橫桿往後畫面右側移動，不要凸出來。

D. 往內捲



解決方式：擺的時候要對準樓梯前邊。

E. 只走一層就停下來了



解決方式：調整階梯距離

實驗二：不同大小紙彈簧落下的時間

(1)實驗紀錄表

表 5-2：不同大小紙彈簧落下的時間紀錄表

落下時間(s) 大小(cm)		1~2	2~3	3~4	4~5	總時間 (s)	成功率 (%)
2.5	1	0.034	0.266	0.367	0.133	0.800	33
	2	0.067	0.300	0.266	0.134	0.767	
	3	0.033	0.334	0.299	0.034	0.700	
	平均	0.045	0.300	0.311	0.100	0.756	
5	1	0.033	0.367	0.300	0.000	0.700	60
	2	0.067	0.300	0.366	0.267	1.000	
	3	0.066	0.367	0.366	0.334	1.133	
	平均	0.055	0.345	0.344	0.200	0.944	
7.5	1	0.366	0.400	0.933	0.833	2.532	50
	2	0.367	0.433	0.933	0.400	2.133	
	3	0.367	0.433	0.966	0.500	2.266	
	平均	0.367	0.422	0.944	0.578	2.310	

(2)統計圖

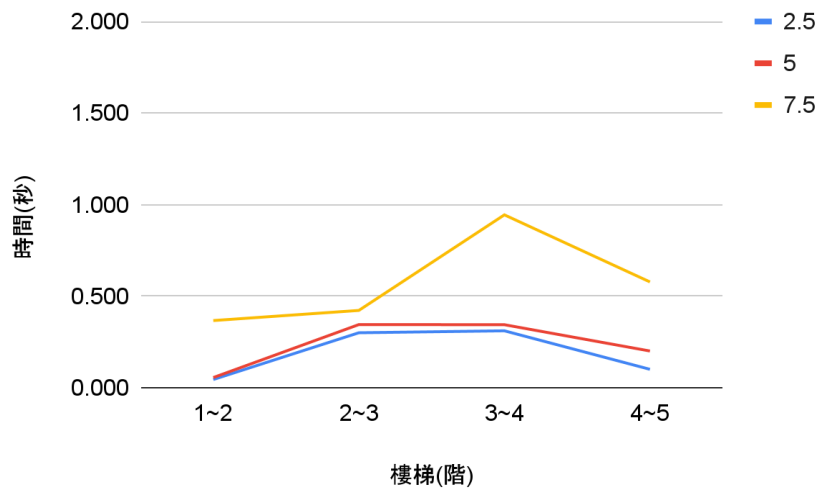


圖 5-3：不同大小紙彈簧落下的時間的折線圖

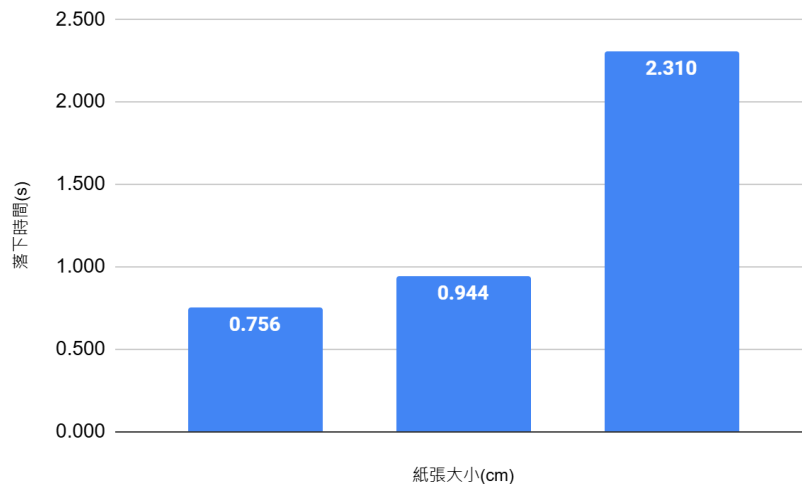


圖 5-4：不同大小紙彈簧落下的總花費時間長條圖

(3)討論

1. 實驗一使用的紙彈簧是邊長 10 公分的便條紙做成的，而且有 12 圈，所以階梯距離需要 14~18 公分之間的高度，它才有辦法往下走，但是實驗二開始用的是用邊長 7.5 公分的紙摺成的，而且主要是用色紙摺成的，經過測試後，發現階梯距離平均只能 10 公分。
2. 開口的方向會影響成敗，如果紙彈簧開口在側邊，失敗率會很高。

3. 不同大小的彈簧都會有一些問題：
 - 2.5cm 的問題：頭還沒碰到下一層階梯，尾就下來了。
 - 5cm 的問題：放太前面，下一階樓梯時它就會踩空。
 - 7.5cm 的問題：穩定性高，但偶爾會出現踩空的狀況。
4. 如表 5-2，紙彈簧大小是 2.5cm 時，成功率只有 33%；大小是 5cm 時，成功率有 60%。
5. 根據圖 5-2，紙彈簧越大，花的時間越久。

實驗三：不同材質紙彈簧落下的時間

(1)實驗紀錄表

表 5-3：不同材質紙彈簧落下的時間紀錄表

紙張材質	落下時間(s)	1~2	2~3	3~4	4~5	總時間 (s)	成功率 (%)
色紙	1	0.433	0.3	0.967	0.599	2.299	27
	2	0.366	0.334	1.132	0.567	2.399	
	3	0.466	0.567	0.866	0.6	2.499	
	平均	0.422	0.400	0.988	0.589	2.399	
日曆紙	1	0.433	0.334	0.933	0.566	2.266	60
	2	0.333	0.367	1.099	0.567	2.366	
	3	0.4	0.567	0.866	0.566	2.399	
	平均	0.389	0.423	0.966	0.566	2.344	
廣告 亮面紙	1	0.367	0.466	0.967	0.633	2.433	33
	2	0.233	0.4	0.766	0.233	1.632	
	3	0.4	0.433	0.9	0.433	2.166	
	平均	0.333	0.433	0.878	0.433	2.077	
70g 影印紙	1	0.099	0.234	0.599	0.234	1.166	50
	2	0.133	0.3	0.467	0.333	1.233	
	3	0.199	0.3	0.467	0.133	1.099	
	平均	0.144	0.278	0.511	0.233	1.166	

(2)統計圖

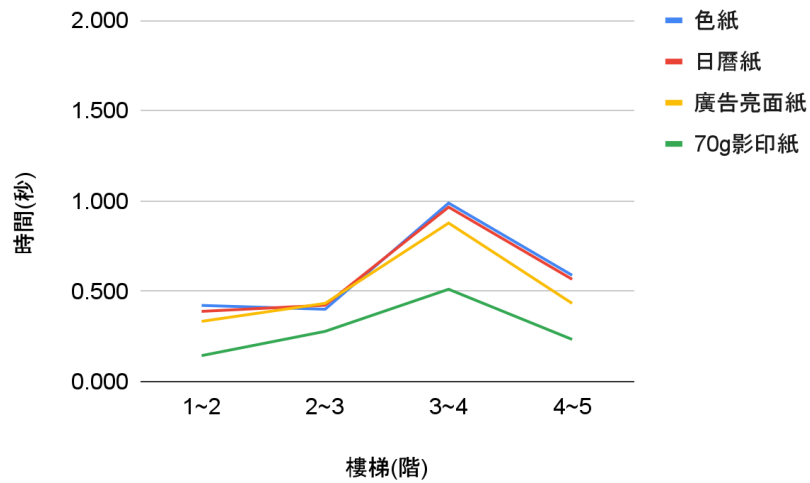


圖 5-5：不同材質紙彈簧落下的時間的折線圖

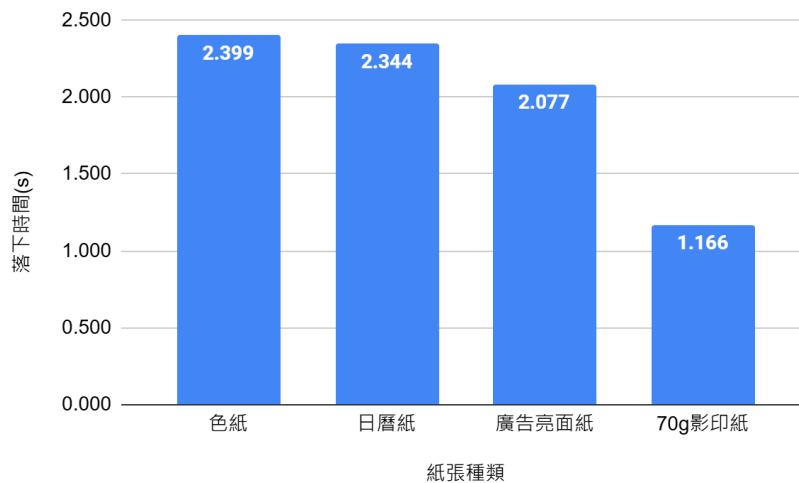
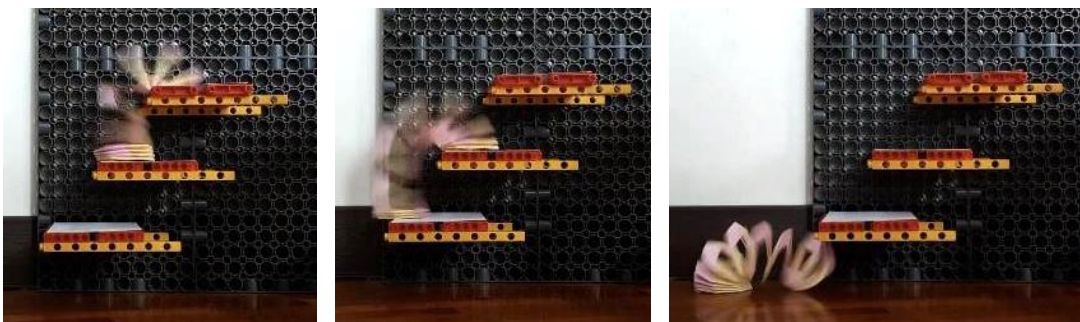


圖 5-6：不同大小材質紙彈簧落下的總花費時間長條圖

(3)討論：

1. 因為一開始放太前面，所以紙彈簧一邊往下翻又同時往前移，導致最後掉出去，因此階梯除了間距，深度也要考慮。



2. 如表 5-3，日曆紙彈簧成功率最高，有 60%。
3. 雖然色紙掉地後會有彈起的現象，非常有趣，但我只算它第一次碰到地板的那一瞬間，其餘都不算。
4. 如右圖，我們將容易被拉長的紙彈簧排序，由左至右分別是日曆紙、色紙、廣告紙和 70g 影印紙製作而成。比較圖 5-6，越不容易被拉長的紙彈簧，花的時間越短，落下速度越快。



實驗四：不同圈數紙彈簧落下的時間

(1)實驗紀錄表

表 5-4：不同圈數紙彈簧落下的時間紀錄表

圈數(圈)	落下時間(s)					總時間 (s)	成功率 (%)
		1~2	2~3	3~4	4~5		
8	1	0.433	0.400	0.466	0.200	1.499	21
	2	0.167	0.566	0.566	0.334	1.633	
	3	0.367	0.366	0.500	0.366	1.599	
	平均	0.322	0.444	0.511	0.300	1.577	
10	1	0.466	0.500	0.733	0.533	2.232	75
	2	0.399	0.367	0.566	0.600	1.932	
	3	0.300	0.467	0.800	0.499	2.066	
	平均	0.388	0.445	0.700	0.544	2.077	
12	1	0.333	0.433	0.933	0.567	2.266	37.5
	2	0.433	0.334	1.033	0.733	2.533	
	3	0.466	0.733	0.733	0.767	2.699	
	平均	0.411	0.500	0.900	0.689	2.499	
14	1	0.533	0.467	1.066	1.066	3.132	50
	2	0.367	0.399	1.067	0.699	2.532	
	3	0.500	0.300	1.100	0.733	2.633	
	平均	0.467	0.389	1.078	0.833	2.766	

(2)統計圖

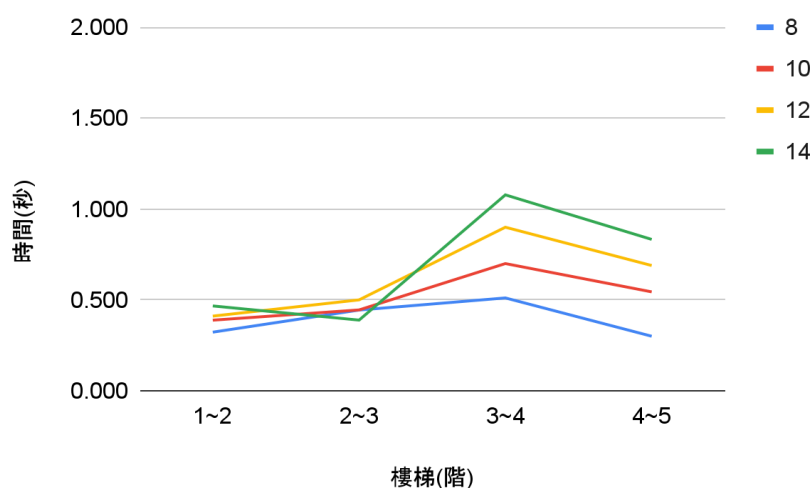


圖 5-7：不同圈數紙彈簧落下的時間折線圖

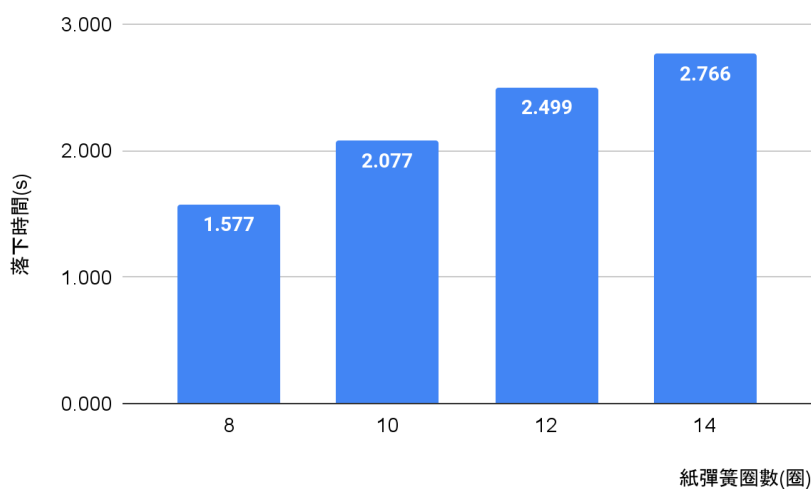


圖 5-8：不同圈數紙彈簧落下的時間長條圖

(3)討論

1. 如表 5-4，只有 8 圈時，成功率只有 21%；有 10 圈時，成功率有 75%。
2. 如圖 5-7，紙彈簧一開始掉落時，圈數越多時間越久，但是差不明顯；到後半段時，也是圈數越多所花時間越久，但各組的落差越來越大。
3. 如圖 5-8 可發現，圈數越多，下樓梯所花的時間越久。

實驗五：黏貼砂紙與否的紙彈簧落下的時間

(1)實驗紀錄表

表 5-5：紙彈簧在黏貼砂紙與否的情況下落下的時間紀錄表

落下時間(s)		1~2	2~3	3~4	4~5	總時間	成功率
表面狀態						(s)	(%)
場地和 彈簧都 有砂紙	1	0.233	0.333	0.833	0.500	1.899	37.5
	2	0.234	0.366	0.766	0.434	1.800	
	3	0.234	0.366	0.700	0.500	1.800	
	平均	0.234	0.355	0.766	0.478	1.833	
場地有 砂紙， 彈簧無 砂紙	1	0.267	0.366	0.733	0.333	1.699	60
	2	0.200	0.499	0.800	0.400	1.899	
	3	0.334	0.533	0.666	0.400	1.933	
	平均	0.267	0.466	0.733	0.378	1.844	
場地無 砂紙， 彈簧有 砂紙	1	0.167	0.300	0.799	0.433	1.699	100
	2	0.400	0.333	0.533	0.533	1.799	
	3	0.400	0.499	0.700	0.400	1.999	
	平均	0.322	0.377	0.677	0.455	1.832	
場地和 彈簧都 無砂紙	1	0.300	0.433	0.633	0.400	1.766	60
	2	0.334	0.299	0.800	0.367	1.800	
	3	0.366	0.367	0.800	0.399	1.932	
	平均	0.333	0.366	0.744	0.389	1.833	

(2)統計圖

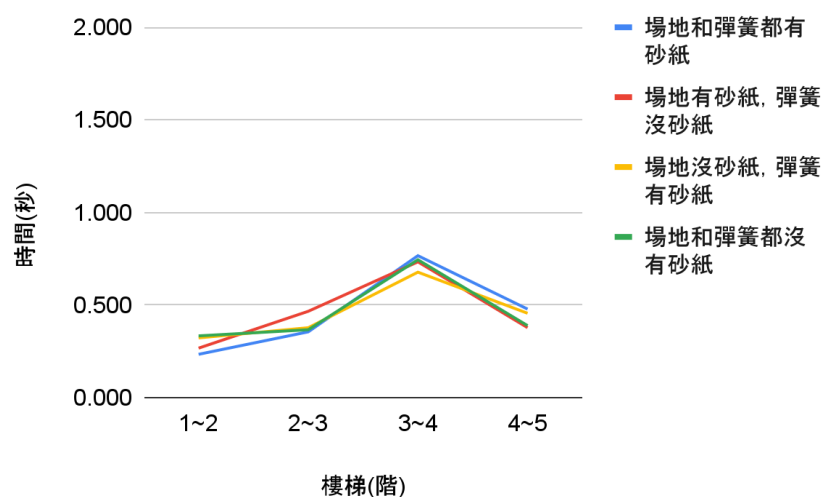


圖 5-9：紙彈簧在黏貼砂紙與否的情況下落下的時間

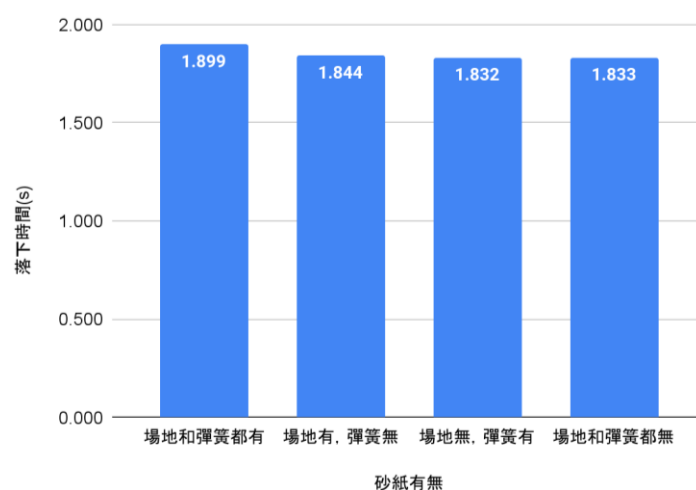


圖 5-10：紙彈簧在黏貼砂紙與否的情況下落下的時間長條圖

(3)討論

1. 如圖 5-10，紙彈簧和場地砂紙有無砂紙，對紙彈簧下樓梯的時間影響不明顯，但能稍微看出砂紙越多，花的時間越久。
2. 如表 5-5，當場地無彈簧有砂紙時，成功率 100%。場地有彈簧無時，成功率 60%，雖然兩者時間相近，但成功率不同，原因是因為場地整片都黏砂紙，紙彈簧卻只有四個點黏砂紙(如右圖)，除了接觸面不同，也增加了些許重量。
3. 當場地與紙彈簧都有黏砂紙，摩擦力太大會導致紙彈簧卡住，無法順利下樓梯，成功率只有 37.5%。



陸、結論：

- 一、樓梯的間距會影響紙彈簧下樓梯的時間，當間距越大，花的時間越短；但若是間距小於 14 公分或大於 18 公分，紙彈簧用邊長 10 公分的紙做時，只走一階就會停住。
- 二、紙彈簧大小會影響它下樓梯的時間，紙彈簧越大，花的時間越久；當階距是 16 公分時，5 公分的紙彈簧成功率最高。
- 三、材質會影響紙彈簧下樓梯的時間，使用較厚的紙做出來的紙彈簧彈性越弱，花的時間越短。當材質是日曆紙時，成功率最高。
- 四、紙彈簧的圈數會影響紙彈簧下樓梯的時間，圈數越多，花的時間越久。當階距是 16 公分，紙彈簧是 10 圈時，成功率最高。
- 五、紙彈簧和場地砂紙有無砂紙，對紙彈簧下樓梯的時間影響不明顯。當場地與紙彈簧都有黏砂紙，成功率很低；當場地沒砂紙，彈簧有砂紙時，成功率 100%。

柒、評鑑與檢討：上述每一階段的省思與收穫

在決定主題的期間，老師撥放了「塑膠彈簧下樓梯」和「紙彈簧下斜坡」的影片，我決定結合兩個特徵，探究「紙彈簧下樓梯」。

在實驗設計階段，我決定設計成五個實驗，分別是比較階梯距離、紙彈簧大小、紙彈簧材質、不同圈數的紙彈簧以及是否黏貼砂紙。而紙彈簧的製作方式我決定用「滾妹這一家」的做法，因為它製作方便，且不須用膠就能卡得很穩固，拉開時也不會旋轉。

在做實驗時，我把紙彈簧下樓梯的過程用平板錄下，以便觀察它落下時的秒數，我經常遇到紙彈簧刮到底板、卡到連結柱、內捲、只走一層就停下來的狀況，我把它遇到問題時的狀況拍下來，以便觀察什麼狀況是屬於哪一種的問題。

整理數據時，需要將紙彈簧落下的時間記錄下來，所以我用了「Tracker」來輔助觀看，並且將落下時做了5個基準點，分別是紙彈簧的頭碰到第二階樓梯時、紙彈簧的尾離開第一階樓梯時、紙彈簧的頭碰到第三階樓梯時、紙彈簧的頭碰到地板時和紙彈簧的尾碰到地板這五個時間，再用 excel 算出總時間和平均，並做出紙彈簧落下時間的折線圖，來比較紙彈簧間的差異。

書寫報告時，我發現在實驗二的「2.5 公分紙彈簧」的實驗中，發現數據出現了負數，主要原因就是因為它內捲，紙彈簧的頭還沒碰到第二階樓梯時，尾就先下來了，所以才會出現負數，我針對這個實驗再做一次 2.5 公分紙彈簧的實驗，老師建議我分析幾種失敗的情形，所以就提出了「內捲」這個名詞，且說明它的狀況。

實驗過程中發現，紙彈簧下樓梯不太容易，且我是一個人研究，需要克服時間與人力的問題；紙彈簧本身大小、材質以及樓梯的高度，甚至還有摩擦力，這些因素必須互相配合，若改變其中的一個因素，就可能無法成功，真的很有挑戰性。

捌、參考資料

一、色紙做彩虹彈簧圈。取自，滾妹・這一家

<https://www.youtube.com/watch?v=y-Lhi4iWEM0>