

第一階段 研究訓練階段

一、近二年學校獨立研究課程之規劃

本校獨立研究課程分為三年級「研究技巧訓練」與四至六年級「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，以及研究方法等；後者採混齡編組，由高年級在決定題目後招募四年級組員，研究過程中亦會根據主題搭配校外學習。

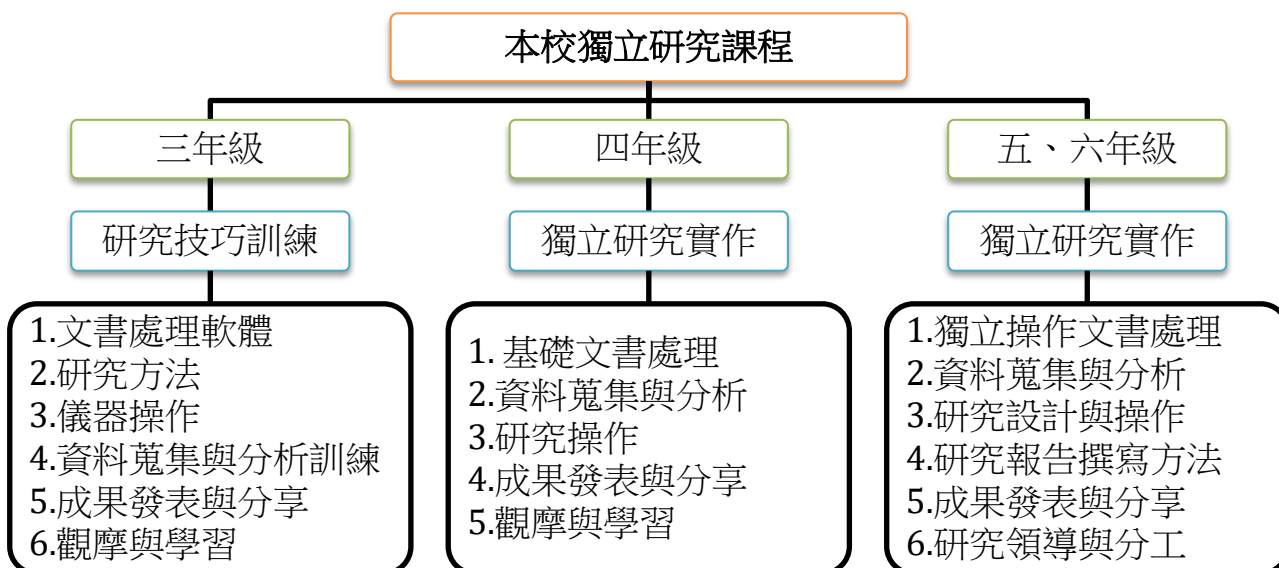
欲培養之核心素養為：

- (一) 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。
- (二) 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，並應用在日常生活中。
- (三) 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。

根據核心素養發展之課程目標如下：

- (一) 能體驗發現及解決問題的過程。
- (二) 能拓展且熟知某領域的知識，總結所得後與他人分享。
- (三) 能運用研究所需之相關技能。
- (四) 能投入研究，並以積極的態度與人分工合作。

課程大綱如下圖：



二、學校如何提供該生獨立研究訓練

本校在安排獨立研究課程時，按照學生年級區分為三年級、四年級，以及高年級三層次，說明如下：

- (一)三年級：針對三年級的資優生，會設計與學科相關的課程以拓展其知識基礎，每週安排兩節主題探索課程，主要在研究技巧的訓練方面，讓學生學習文書處理、資料蒐集與整理方法、圖書館運用、觀察與做筆記的能力、晤談方法，並在老師指導下實際進行實驗研究法。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。每年安排參訪多場展覽，讓學生能找出研究興趣與觀摩優秀作品，並隨時記錄有興趣的主題。
- (二)四年級：在學科加深加廣方面與三年級相同，但進入此階段，學生已開始針對有興趣的主題進行研究，而非單純只蒐集資料。每週兩節課的獨立研究課程，四年級資優生主要擔任研究協助者，配合學長姐的引導，協助研究觀察與記錄工作，對於了解實際研究歷程與重點事項，是很重要的訓練。
- (三)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」、「擬定工作進度與分配」、「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，教師的角色會依據學生能力，慢慢減少干預，擔任引導討論與技術指導工作，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

壹、研究動機

網路上有教授分享了一個「骨牌效應」的影片，從最小的高 0.5 公分的骨牌開始，一個個推倒比原先大 1.5 倍的骨牌，最大的骨牌甚至超過 1 公尺；另外有一位日本藝術家，用色紙也摺了很像骨牌的玩具，往前倒之後還會翻滾，稱為日本翻滾人。我們就想，若將兩個結合起來，紙骨牌是不是也可以由小到大依序推倒。所以打算找幾種不同種類的紙，來製作不同大小的紙骨牌，找出可以成功的間距，並研究翻滾速度是否不同。

貳、擬定正式計畫、研究問題及工作進度表

一、研究問題

- (1) 紙骨牌怎麼摺？
- (2) 紙骨牌為什麼會翻滾？
- (3) 間距要多大，才能讓由小到大排成一系列的紙骨牌連續翻倒？
- (4) 不同材料的紙張做成的紙骨牌以小搏大的情形如何？
- (5) 上端加重，紙骨牌以小搏大的情形如何？
- (6) 紙骨牌變重後以小搏大的情形如何？

二、工作進度表

日期	工作內容
3/30	選擇研究主題
4/6	研究試做
4/13	蒐集相關資料、原理探究
4/20	文獻探討、資料整理
4/27	認識研究報告的寫法
5/4	實驗設計與準備

5/11~5/18	影印紙骨牌試驗、抓間距
5/25	實驗準備(圖畫紙、雲彩紙)
6/1	圖畫紙骨牌實驗、實驗準備(壁報紙)
6/8	雲彩紙骨牌實驗、整理實驗資料
6/15	壁報紙骨牌實驗、實驗準備(月曆紙)
6/22	月曆紙骨牌實驗、整理實驗資料
6/29	壁報紙實驗、整理實驗資料、實驗準備
7/6	上端加重骨牌實驗
7/13、8/31	內部加重骨牌實驗
9/7~9/21	整理實驗數據、打討論、寫書面報告

三、研究架構

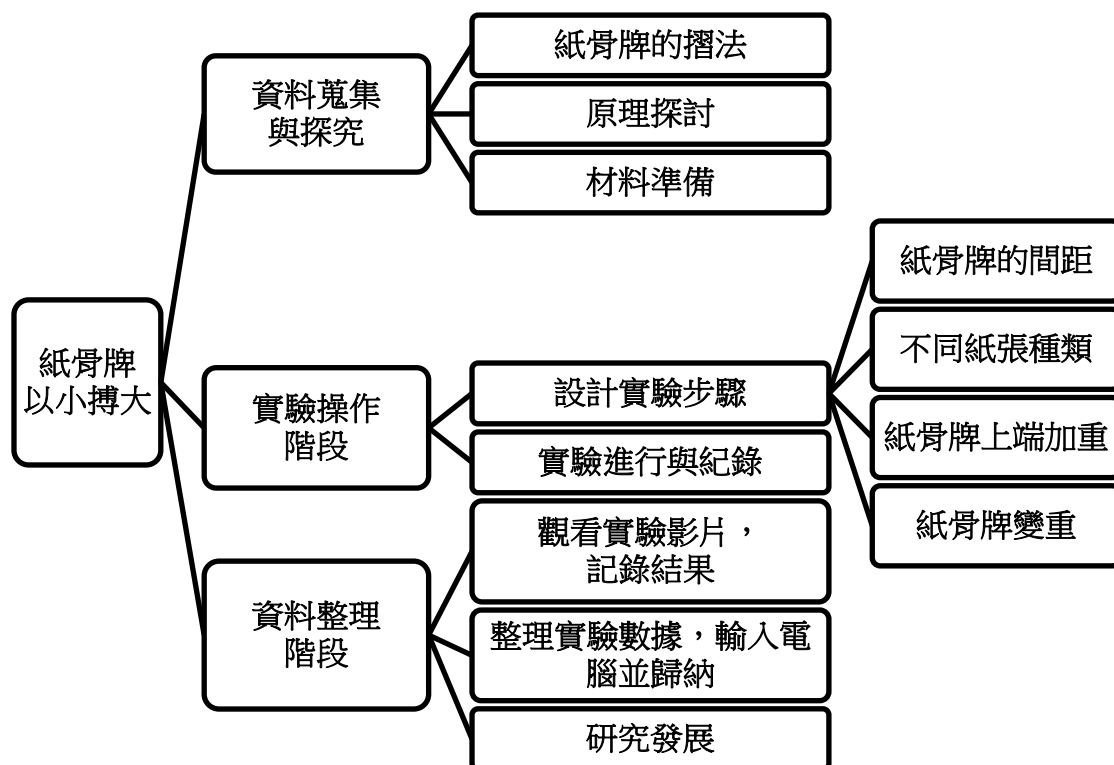


圖 2-1 研究架構圖

四、研究設備與器材

馬克筆、尺、雲彩紙、月曆紙、壁報紙、80 磅影印紙、圖畫紙、精密電子秤、華司、迴紋針、平板電腦、數位相機

五、實驗方式說明

(一)製作不同大小的紙骨牌

1. 將紙張裁成邊長 6~17 公分的正方形
2. 摺出紙骨牌。



圖 2-2 利用邊長 6-17 公分紙張摺成的紙骨牌

(二)找骨牌的間距

1. 先每一張不同大小紙骨牌各部位用尺量出長度。
2. 將紙骨牌翻滾時會碰觸地面的部位長度加起來。
3. 利用公式計算骨牌的間距，對比參照兩種計算的間距來擺放骨牌，觀察看看是否能推倒，慢慢微調。

(三)測量翻滾時間的方法

1. 把紙骨牌翻滾過程錄影起來。
2. 每個實驗都不斷實驗，直到每一組達成 3 次翻滾完全程的目標，每一次實驗都拍攝影片，之後看滾完全程的實驗影片，並且用碼錶分圈計算每一個骨牌的翻滾時間。

參、彙整相關文獻

一、紙骨牌

我們這個研究所使用的紙骨牌是由日本摺紙藝術家 Seiro Tagekawa 發明的，被稱為「日本翻滾人 (Japanese Tumbler)」。

二、紙骨牌的原理

骨牌會被推倒，主要是應用物理不穩定平衡原理。我們在摺骨牌時，上方摺疊二次，下方只摺疊一次，所以上下兩端的重量不同。擺放時如果把重的那一端放上面，重心較高，當輕輕一推時，骨牌會因重心往下運動而倒下，然後因為慣性的原因翻滾一圈，一個碰一個就形成紙骨牌的效果。

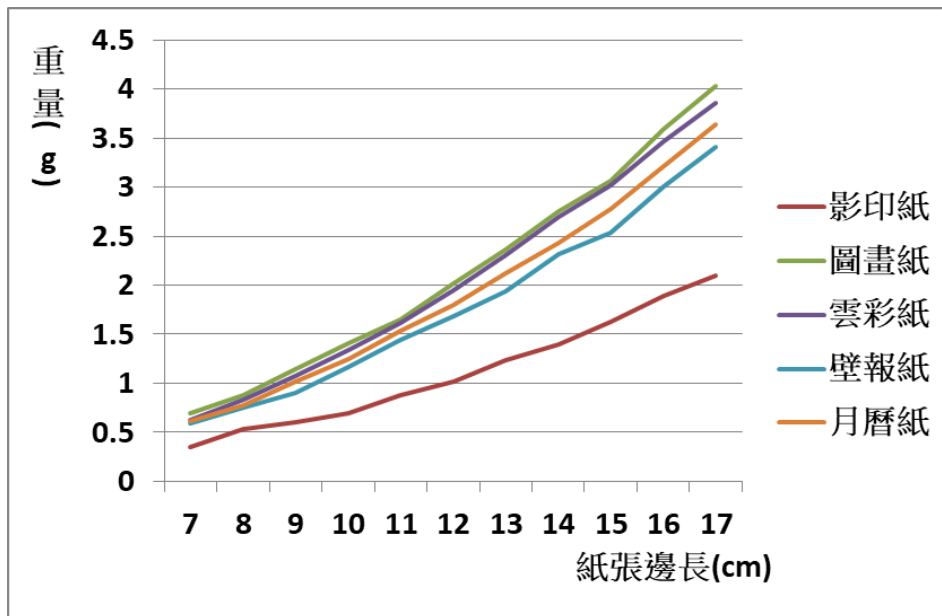
肆、資料分析

一、紙骨牌的摺法

<p>1.</p> 	<p>2.</p> 	<p>3.</p> 
<p>將紙張上、下、左、右對摺，摺出等面積的16個小正方形</p>	<p>先於兩個角落方格對折成兩個小三角形</p>	<p>將摺好三角形以方格一半長度向內對折如圖</p>
<p>4.</p> 	<p>5.</p> 	<p>6.</p> 
<p>另一側直接向內側折一格，如圖所示</p>	<p>依步驟 2.3 重複 1 次折法</p>	<p>左右兩側分別向內折入 1 格</p>
<p>7.</p> 		
<p>攤開左右兩側如圖放置即為紙骨牌</p>		

二、不同紙張的重量測量紀錄表

累積 骨牌數量 (個)	原紙邊長 (cm)	重量(g)				
		影印紙	圖畫紙	雲彩紙	壁報紙	月曆紙
1	7	0.35	0.69	0.63	0.59	0.61
2	8	0.53	0.88	0.83	0.75	0.78
3	9	0.6	1.14	1.07	0.90	1.02
4	10	0.7	1.41	1.34	1.17	1.25
5	11	0.88	1.65	1.72	1.44	1.53
6	12	1.02	2.02	1.95	1.68	1.80
7	13	1.23	2.36	2.38	1.94	2.12
8	14	1.4	2.75	2.70	2.32	2.43
9	15	1.63	3.06	3.02	2.53	2.78
10	16	1.89	3.59	3.47	3.01	3.21
11	17	2.1	4.03	3.86	3.41	3.64



小結：

- (1) 紙張重量由輕到重依序是：影印紙<壁報紙<月曆紙<雲彩紙<圖畫紙，但圖畫紙與雲彩紙的重量非常接近。
- (2) 觀察紙張表面，雲彩紙表面有紋路；影印紙薄而平滑；壁報紙與圖畫紙平滑，但表面比影印紙粗糙；月曆紙最平滑光亮。

伍、研究結果與討論

一、找出紙骨牌的間距

我們的操作方式如下：

- (1)將製作好的紙骨牌的各部位進行取名(圖 5-1)，並測量它們的長度。

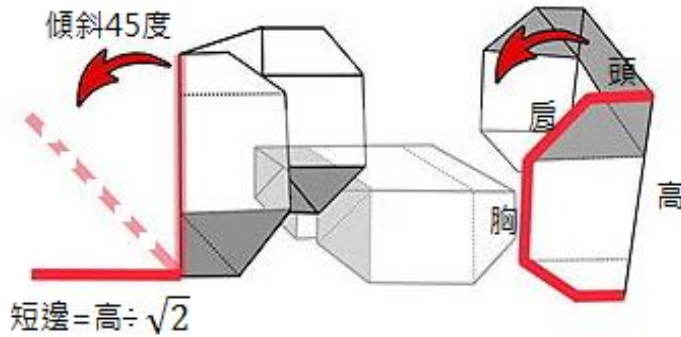


圖 5-1：
紙骨牌各部位命名

(圖片修改自台中
教育大學科學遊戲
實驗室)

- (2)理想間距計算方式

$$= \text{頭} * 2 + \text{肩} * 2 + \text{胸} * 2 + \text{高} + \text{傾斜 } 45 \text{ 度時的短邊} (= \text{高} / \sqrt{2})$$

- (3)算出理想間距再試驗，依照實驗狀況我們進行了一點微調：

骨牌數量 (個)	原紙邊長 (cm)	高 (cm)	頭 (cm)	肩 (cm)	胸 (cm)	理想間距 (cm)	實際間距 (cm)
1	7	3.5	0.8	1.2	1.7	8.2	8.2
2	8	4	1	1.4	2	9.6	9.8
3	9	4.5	1.2	1.5	2.3	10.9	11
4	10	5	1.3	1.6	2.5	11.8	12
5	11	5.5	1.4	1.9	2.6	13	13.1
6	12	6	1.5	2	3	14.2	14.4
7	13	6.5	1.6	2.2	3.2	15.4	15.7
8	14	7	1.7	2.3	3.5	16.3	16.6
9	15	7.5	1.9	2.5	3.8	17.9	18.1
10	16	8	2.1	2.8	3.9	20.5	20.5
11	17	8.5	2.2	2.9	4.2		

(備註：原紙邊長 7cm 那一欄中的間距，代表 7cm 紙骨牌和 8cm 紙鼓排的間距)

二、不同材料的紙張做成的紙骨牌以小搏大的情形

(1)實驗紀錄表

圖畫紙骨牌單個翻滾時間紀錄表

原紙邊長(cm)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	總時間
時間 1(s)			0.77	0.55	0.85	0.82	0.65	0.69	0.6	0.67	0.74	5.57
時間 2(s)			0.8	0.66	0.8	0.78	0.59	0.57	0.71	0.61	0.78	5.5
時間 3(s)			0.66	0.64	0.67	0.77	0.7	0.57	0.58	0.7	0.79	5.42
平均(s)			0.74	0.62	0.77	0.79	0.65	0.61	0.63	0.66	0.77	5.50

雲彩紙單個翻滾時間紀錄表

原紙邊長(cm)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	總時間
時間 1(s)				0.79	0.66	0.54	0.66	0.57	0.69	0.83	0.66	5.4
時間 2(s)				0.44	0.57	0.73	0.85	0.75	0.66	0.85	0.79	5.64
時間 3(s)				0.66	0.82	0.65	0.63	0.69	0.75	0.74	0.87	5.81
平均(s)				0.63	0.68	0.64	0.71	0.67	0.70	0.81	0.77	5.62

影印紙單個翻滾時間紀錄表

原紙邊長 (cm)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	總時間
時間 1(s)	0.49	0.54	0.57	0.54	0.56	0.89	0.61	0.62	0.68	1.08	0.88	0.49	5.81
時間 2(s)	0.44	0.4	0.51	0.49	0.49	0.67	0.72	0.84	0.78	1.15	0.82	0.44	5.91
時間 3(s)	0.4	0.47	0.51	0.66	0.61	0.8	0.77	0.86	0.8	1.03	0.67	0.4	5.94
平均(s)	0.44	0.47	0.53	0.56	0.55	0.79	0.70	0.77	0.75	1.09	0.79	0.44	5.89

月曆紙單個翻滾時間紀錄表

原紙邊長(cm)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	總時間
時間 1(s)	0.42	0.61	0.7	0.56	0.71	0.51	0.61	0.59	0.62	0.72	0.83	5.15
時間 2(s)	0.57	0.7	0.75	0.62	0.56	0.65	0.65	0.7	0.67	0.67	0.74	5.26
時間 3(s)	0.57	0.76	0.87	0.66	0.58	0.68	0.6	0.69	0.62	0.64	0.85	5.32
平均(s)	0.52	0.69	0.77	0.61	0.62	0.61	0.62	0.66	0.64	0.68	0.81	5.25

(2)實驗結果比較圖

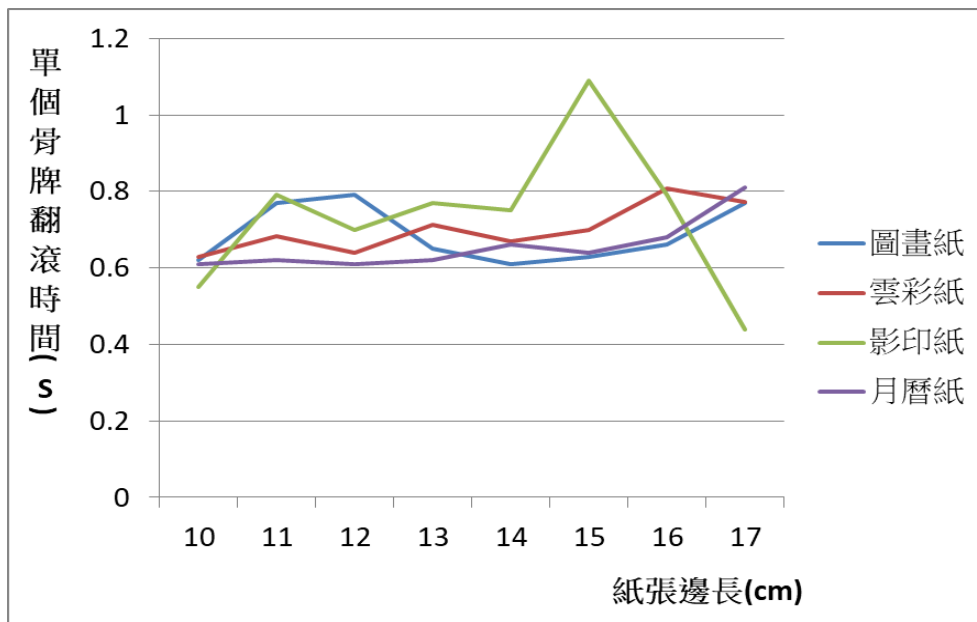


圖 5-2：不同紙骨牌單個翻滾時間折線圖

(3)小結

1. 我們選擇了五種紙來進行研究，只有四種紙有成功：圖畫紙、雲彩紙、影印紙、月曆紙。
2. 月曆紙因為 16 推不倒 17，所以我們把間距微調成 19 公分，之後就很順利，5 次就達到成功 3 次的目標。。

3. 雲彩紙試了第 40 次才成功 1 次，共試了 63 次才成功 3 次，而且小張總是容易擦身推不倒大的，可能是紙較重的緣故，所以我們後來依次拿掉 7、8、9，從 10 開始推。
4. 實驗過程中，圖畫紙骨牌 7 和 8 公分的原先設定的間距 8.2cm 太近，所以我們把間距調整為 8.5cm，我們想應該是厚度的關係，但是只有單個測試會成功，排成一系列都會失敗。和雲彩紙的情形類似，經過多次微調都無法成功，所以我們把 6-8 拿掉，從 9 開始推。但是相比之下，圖畫紙較容易成功，35 次就成功達到目標。
5. 壁報紙試了 60 多次每次都沒成功，拿掉小張的也是，所以就只能放棄。
6. 53 屆全國科展作品「骨牌玄機-骨牌倒下的原理與影響因素之探討」的結論提到：「每塊骨牌倒下時，具有的動能都比前一塊骨牌大，速度也會越來越快」。但觀察圖 5-2，以我們由小推到大的紙骨牌實驗來說，即使是不同的紙張，單個骨牌翻滾時間是差不多的，大致都在 0.6~0.8 秒之間。
7. 把每一種紙張從邊長 10 公分的骨牌開始計算它們的翻滾時間，可以發現雖然紙張種類與重量不同，但是翻滾總時間落差並不明顯，從 10 公分推到 17 公分翻滾結束，大致在 5 秒多。
8. 整體來看，如果要以小搏大，影印紙的表現最好，可以從較小張的開始，成功的機率也較高，8 次就成功達到 3 次翻滾完全程的目標。

三、上端加重，紙骨牌以小搏大的情形如何？

紙張種類：月曆紙

(1)上端加重的情形分析表

累積 骨牌數量 (個)	原紙邊長 (cm)	重量(g)				
		對照組	上端加 華司	加 1 個 迴紋針	加 2 個 迴紋針	加 3 個 迴紋針
1	7	0.61	0.74	0.98	1.35	1.61
2	8	0.78	0.91	1.15	1.52	1.78
3	9	1.02	1.15	1.39	1.76	2.02
4	10	1.25	1.38	1.62	1.99	2.25
5	11	1.53	1.66	1.9	2.27	2.53
6	12	1.8	1.93	2.17	2.54	2.8
7	13	2.12	2.25	2.49	2.86	3.12
8	14	2.43	2.56	2.8	3.17	3.43
9	15	2.78	2.91	3.15	3.52	3.78
10	16	3.21	3.34	3.58	3.95	4.21
11	17	3.64	3.77	4.01	4.38	4.64

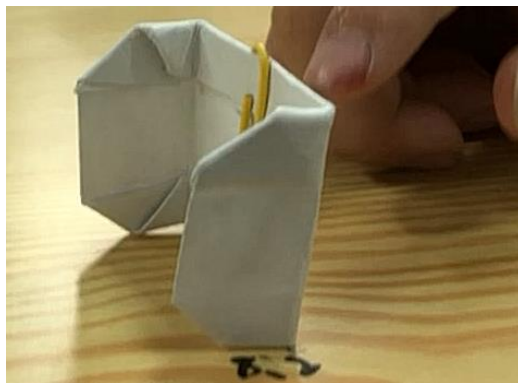


圖 5-4：上端加迴紋針或華司，皆保持在中央

(2) 實驗紀錄表

月曆紙單個翻滾時間紀錄表(對照組)

原紙邊長(cm)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	總時間
時間 1(s)	0.42	0.61	0.7	0.56	0.71	0.51	0.61	0.59	0.62	0.72	0.83	6.88
時間 2(s)	0.57	0.7	0.75	0.62	0.56	0.65	0.65	0.7	0.67	0.67	0.74	7.28
時間 3(s)	0.57	0.76	0.87	0.66	0.58	0.68	0.6	0.69	0.62	0.64	0.85	7.52
平均(s)	0.52	0.69	0.77	0.61	0.62	0.61	0.62	0.66	0.64	0.68	0.81	7.23

月曆紙骨牌上端加重單個翻滾時間紀錄表(加華司)

原紙邊長(cm)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	總時間
時間 1(s)	0.57	0.56	0.53	0.54	0.51	0.5	0.62	0.6	0.61	0.6	0.79	6.43
時間 2(s)	0.41	0.55	0.65	0.67	0.53	0.72	0.7	0.7	0.75	0.52	0.64	6.84
時間 3(s)	0.44	0.62	0.6	0.54	0.5	0.55	0.67	0.85	0.66	0.53	0.65	6.61
平均(s)	0.47	0.58	0.59	0.58	0.51	0.59	0.66	0.72	0.67	0.55	0.69	6.63

月曆紙骨牌上端加重單個翻滾時間紀錄表(加 1 個迴紋針)

原紙邊長(cm)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	總時間
時間 1(s)	0.54	0.42	0.51	0.38	0.55	0.4	0.44	0.49	0.5	0.7	0.65	5.58
時間 2(s)	0.45	0.6	0.53	0.51	0.55	0.54	0.68	0.46	0.63	0.66	0.52	6.13
時間 3(s)	0.46	0.32	0.57	0.52	0.45	0.59	0.54	0.38	0.59	0.68	0.63	5.73
平均(s)	0.48	0.45	0.54	0.47	0.52	0.51	0.55	0.44	0.57	0.68	0.60	5.81

月曆紙骨牌上端加重單個翻滾時間紀錄表(加 2 個迴紋針)

原紙邊長(cm)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	總時間
時間 1(s)	0.33	0.37	0.32	0.4	0.39	0.66	0.59	0.55	0.52	0.59	0.68	5.4
時間 2(s)	0.24	0.39	0.33	0.42	0.45	0.38	0.48	0.44	0.51	0.56	0.66	4.86
時間 3(s)	0.36	0.47	0.47	0.51	0.48	0.52	0.51	0.58	0.53	0.66	0.25	5.34
平均(s)	0.31	0.41	0.37	0.44	0.44	0.52	0.53	0.52	0.52	0.60	0.53	5.2

(2)實驗結果比較圖

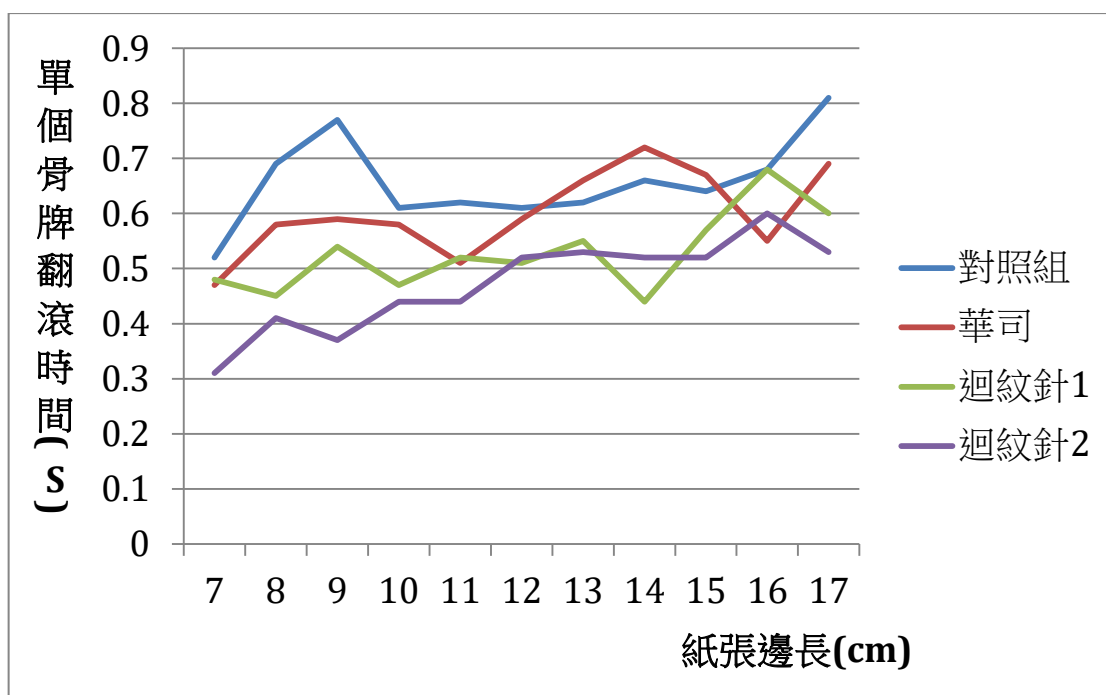


圖 5-5：紙骨牌上端加重單個翻滾時間折線圖

(3)小結

1. 上端夾三個迴紋針時很容易往後傾倒，太重無法實驗，所以我們下修上端加重的重量，在上端內側黏一個小華司，就能實驗了。
2. 觀察實驗紀錄表可以發現，當上端越重，滾動時間會越短。
3. 觀察實驗過程中沒有辦法成功跑完全程的狀況，我們發現有幾種狀況：上下端擺錯所以沒有辦法翻滾，只是向前倒；上端太重直接往後傾，但後來我們發現是因為沒有摺好，本來就有點傾斜；翻了一圈，只是站了起來但沒有接著往前倒下，所以沒碰到下一個，如圖 5-6；最後一種情形是擦到下一個紙骨牌的背部，推的紙牌自己往下滑，被推的絲毫不動，如圖 5-7。

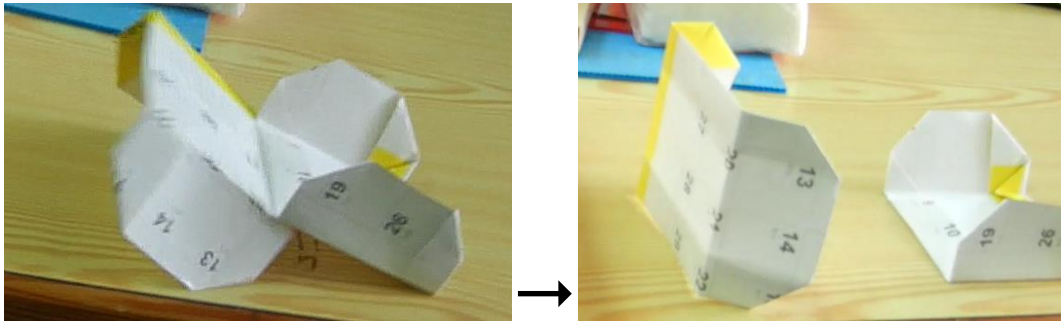


圖 5-6：紙骨牌失敗情形-翻一圈只有站起來



圖 5-7：紙骨牌失敗情形-擦背情形連續圖

四、紙骨牌變重後以小搏大的情形如何？

紙張種類：月曆紙

(1)上端加重的情形分析表

累積 骨牌數量 (個)	原紙邊長 (cm)	重量(g)		
		對照組	內側加重 1 張紙	內側加重 2 張紙
1	7	0.61	0.79	0.97
2	8	0.78	0.98	1.18
3	9	1.02	1.29	1.56
4	10	1.25	1.57	1.89
5	11	1.53	1.94	2.35
6	12	1.8	2.25	2.7
7	13	2.12	2.7	3.28
8	14	2.43	3.09	3.75
9	15	2.78	3.46	4.14
10	16	3.21	3.99	4.77
11	17	3.64	4.56	5.48

(2) 實驗紀錄表

月曆紙單個翻滾時間紀錄表(對照組)

原紙邊長(cm)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	總時間
時間 1(s)	0.42	0.61	0.7	0.56	0.71	0.51	0.61	0.59	0.62	0.72	0.83	6.88
時間 2(s)	0.57	0.7	0.75	0.62	0.56	0.65	0.65	0.7	0.67	0.67	0.74	7.28
時間 3(s)	0.57	0.76	0.87	0.66	0.58	0.68	0.6	0.69	0.62	0.64	0.85	7.52
平均(s)	0.52	0.69	0.77	0.61	0.62	0.61	0.62	0.66	0.64	0.68	0.81	7.23

月曆紙內部加重後單個翻滾時間紀錄表

原紙邊長(cm)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	總時間
時間 1(s)	0.47	0.58	0.65	0.59	0.73	0.92	0.53	0.9	0.88	0.9	0.9	8.05
時間 2(s)	0.58	0.57	0.88	0.74	0.57	0.9	0.87	0.85	0.67	0.78	0.88	8.29
時間 3(s)	0.52	0.52	0.58	0.57	0.6	0.56	0.96	0.82	1.02	0.89	0.92	7.96
平均(s)	0.52	0.56	0.70	0.63	0.63	0.79	0.79	0.86	0.86	0.86	0.90	8.10

(2) 實驗結果比較圖

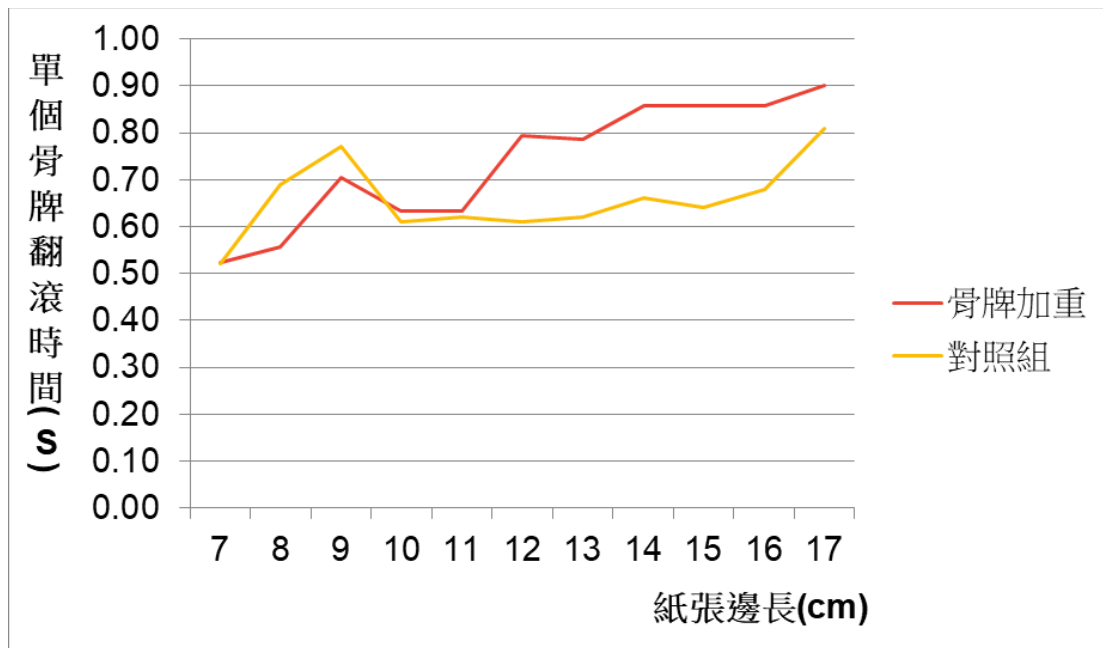


圖 5-8：紙骨牌內部加重單個翻滾時間折線圖

(3) 小結：

1. 使用內側加紙片的方式來加重紙骨牌，當我們加第二張雲彩紙進去後，雖然兩個之間互推可以，但排成一列時就沒有辦法連續推倒了。
2. 觀察圖 5-8 可以發現，紙骨牌內部加重之後，反而使翻滾速度變慢了。

結論：

- 一、使用邊長差 1cm 的紙來製作紙骨牌，以小搏大的任務會成功。
- 二、骨牌會被推倒，主要是應用物理不穩定平衡原理。指骨牌上下兩端的重量不同。擺放時如果把重的那一端放上面，重心較高，當輕輕一推時，骨牌會因重心往下運動而倒下，然後因為慣性的原因翻滾一圈，一個碰一個就形成紙骨牌的效果。
- 三、使用不同的紙張來進行以小搏大的紙骨牌任務，日曆紙最容易成功，其次是影印紙，圖畫紙和雲彩紙要實驗很多次才回成功，不過壁報紙在我們的實驗過程中沒有成功過。
- 四、當紙骨牌上端越重，滾動時間會越短。
- 五、紙骨牌內部加重之後，翻滾速度會變慢。
- 六、和一般大小相同的骨牌理論：「每塊骨牌倒下時，具有的動能都比前一塊骨牌大，速度也會越來越快」不同，在我們由小推到大的紙骨牌實驗來說，即使是不同的紙張，單個骨牌翻滾時間是差不多的，大致都在 0.6~0.8 秒之間。
- 七、實驗中會遇到幾種失敗的情形：
 1. 上下端擺錯所以沒有翻滾，只是向前倒。
 2. 翻了一圈，只是站了起來但沒有接著往前倒下，所以沒碰到下一個。
 3. 擦到下一個紙骨牌的背部，推的紙牌自己滑下去，被推的絲毫不動。
- 八、我們之後的還想研究的方向是由小到大的長方形紙骨牌，或是實驗看看原紙張邊長差 0.5 或 1.5 公分是否可以成功。也想挑戰看看讓紙骨牌爬樓梯。

陸、評鑑與檢討

(一)找題目撰寫研究動機的階段

我們因為之前學長有做過這個實驗，因此在決定題目的時候就可以參考之前學長的做法，而且試驗的時候也很快就上手了，網路上也有相關的影片，讓我們可以想出不少點子，所以在這個階段還滿順利的。

(二)擬定正式計畫、研究問題及工作進度表的階段

我們在這個階段遇到的最大問題就是教室網路時好時壞，因為我們都是習慣將資料透過雲端硬碟來存取，打報告和記錄數據都是用 google 文件和試算表，加上我們成員的打字速度比較慢，所以在這個階段浪費了不少時間。

(三)彙整相關文獻與試驗的階段

骨牌有許多相關的研究，網站上紙骨牌的科學原理也整理得很清楚，資料並不難找，但對於四年級組員來說稍微有些難，需要老師解釋我們才能整理這些資料。

此外，我們做這個實驗時是兩個組員是三年級下學期，紙骨牌經常上下放顛倒，或不小摺歪了就要重摺，浪費了時間和紙張。

(四)實驗與資料分析的階段

實驗一開始最大的難題就是無法確定大小不同的紙骨牌間距是多少，因為網路上的資料給的是大小相同的骨牌間距；我們嘗試克服難題，知道一般色紙的間距是 18 公分、長度是 15 公分，所以用此為標準，大紙骨牌拉大間距、小紙骨牌縮小間距，再加上原理說明與參考公式，雖然失敗無數次，但沒關係，不改進就無法成功，只要有耐心願意改進，加上團結合作就可以把事情做好，這個實驗讓我很有成就感。

這個實驗需要一直不斷的排骨牌，又不容易成功，我們花了不少時間在排骨牌上，不過實驗過程中偶爾會發生好玩的事，例如蒐集到的資料說要 45 度才能推倒下一個骨牌，但其實偶爾沒有 45 度

角，卻也可以推倒其他骨牌；還有在推骨牌時，會想著不知道會成功還是失敗，如果成功的話，心裡就會不自覺的開心甚至歡呼。

(五)進行研究結果與討論的階段

當我們的實驗做到這個階段時，其實時間已經剩沒多少了，再加上學弟們對電腦統計圖表的操作方式不太熟悉，所以我們這部分就能午休到資優班教室補進度。

柒、參考資料

一、翻筋斗骨牌，取自科學遊戲實驗室

<http://scigame.ntcu.edu.tw/paper/paper-029.html>

二、骨牌玄機－骨牌倒下的原理與影響因素之探討

<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/53/pdf/080105.pdf>