

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

佳作

080106

翻滾吧！「毛毛蟲」

學校名稱：臺北市內湖區東湖國民小學

作者： 小五 高 言 小五 莊承峻 小五 林 謙 小五 李柏翰	指導老師： 許秀芬 葉淑惠
---	---------------------

關鍵詞：紙彈簧、重力、摩擦力

摘要

這個研究從五上自然與生活科技領域中「力與運動」的單元出發，探究最佳翻滾紙彈簧的條件，及影響翻滾的因素。

『DIY』的樂趣，是我們研究這次主題“翻滾吧！『毛毛蟲』”的動力。使用容易取得的紙張，居然能做出有趣的玩具，實在簡單又有意思！首先我們從製作可翻滾的紙彈簧中發現：紙彈簧的內/外直徑大小、圈數和黏接方式都是製作紙彈簧的要件，其次我們也了解到重力、摩擦力、力矩，是紙彈簧翻滾的原因。透過實驗發現：紙張種類、紙張厚度與重量、砂紙粗細、斜面材質、斜面角度、翻滾的位置、不同造型都會影響紙彈簧翻滾的情形，利用前面的實驗結果，可以輕鬆製作出最會翻滾的「紙彈簧」。

壹、研究動機

某個周日，我和媽媽一起去逛夜市，看到攤販販售的塑膠彈簧，分別放在左、右手的手掌，然後控制兩手上下移動，可以讓塑膠彈簧上下運動，模樣很有趣，引起我的好奇，我站在攤販旁看了很久，媽媽看我興趣盎然，不忍掃我的玩興，對我說：「你要不要試試看？」心中突然想：彈簧一定要用塑膠材質才可以移動嗎？如果改用隨手就可以取得材料---紙，也會有相同的效果嗎？什麼原因可以讓紙彈簧不斷移動？可以設計不同造型的紙彈簧嗎？於是我便找幾個同學一起探究，揭開遁走紙彈簧的奧秘。

貳、研究目的

- 一、研究製作可翻滾的紙彈簧。
- 二、探討影響紙彈簧翻滾的原因。
- 三、設計造型紙彈簧。

參、研究問題

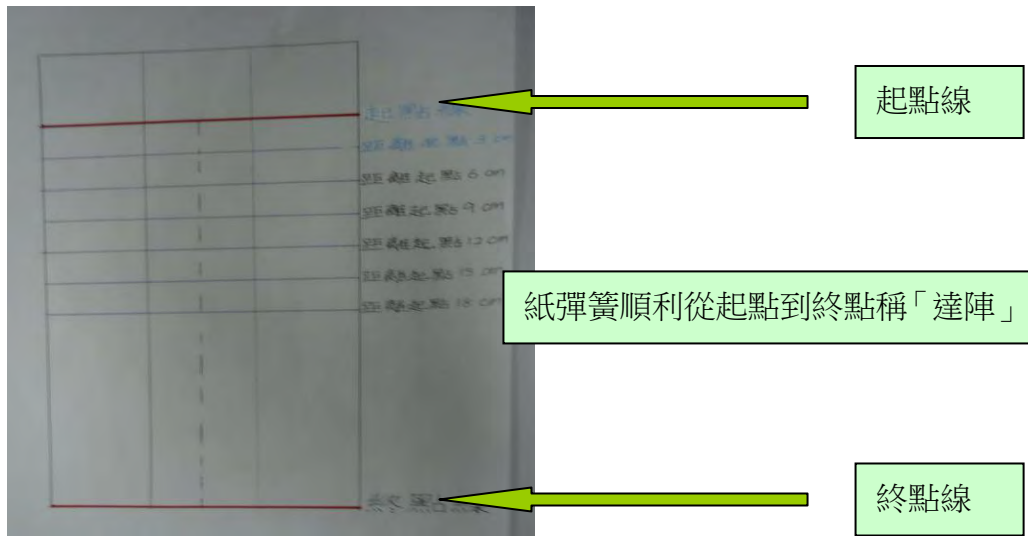
- 一、紙彈簧外徑的大小是否會影響紙彈簧翻滾的情形。
- 二、紙彈簧內徑的大小是否會影響紙彈簧翻滾的情形。
- 三、紙彈簧的圈數是否會影響紙彈簧翻滾的情形。
- 四、紙彈簧的黏接方式是否會影響紙彈簧翻滾的情形。
- 五、紙彈簧的材質是否會影響紙彈簧翻滾的情形。
- 六、紙彈簧貼上不同粗細砂紙是否會影響紙彈簧翻滾的情形。
- 七、斜面材質是否會影響紙彈簧翻滾的情形。
- 八、斜面角度是否會影響紙彈簧翻滾的情形。
- 九、紙彈簧翻滾位置是否會影響紙彈簧翻滾的情形。
- 十、紙彈簧造型是否會影響紙彈簧翻滾的情形。

肆、實驗器材與設備

- 一、材料：月曆紙、A4 影印紙、廣告紙、粉彩紙、圖畫紙、西卡紙（200 磅）、瓦楞紙、80 號砂紙、180 號砂紙、240 號砂紙、口紅膠、雙面膠、透明膠帶。
- 二、剪刀、量角器、圓規、碼表、磅秤、木板（90 cm×35 cm×1 cm）、鐵板（90 cm×35 cm×1 cm）、壓克力板（90 cm×35 cm×1 cm）、支架（高 50 cm）。

三、照相機、錄影機、威力導演軟體。

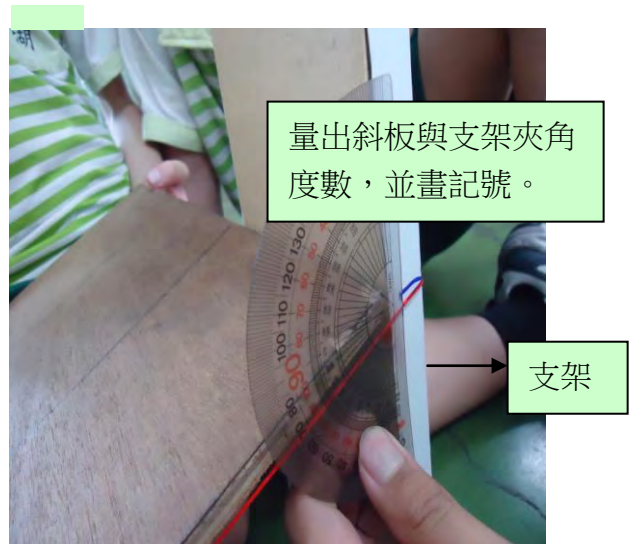
四、實驗設備說明：



斜面位置標示示意圖



利用測量太陽高度角的方式找出角度



逆推法：利用三角形內角和 180° ，計算出斜面與地面夾角度數

伍、研究方法與結果

實驗一、紙彈簧外徑的大小是否會影響紙彈簧翻滾的情形：

(一) 研究方法：


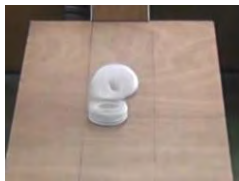





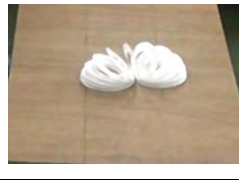
- 1、取西卡紙，畫出內/外直徑為 4 cm/5 cm、4 cm/6 cm、4 cm/7 cm、4 cm/8 cm 的同心圓各 50 張。

- 2、將同心圓剪下來，相同尺寸同心圓 50 張黏貼，做成 4 份不同外徑的紙彈簧。
- 3、將不同外徑的紙彈簧，分別放在斜板角度 25 度上，各翻滾 10 次。用碼表計時並記錄翻滾到終點所花時間。
- 4、以錄影機錄下紙彈簧在斜板上翻滾的過程，再以威力導演讀取錄製影片檔分析翻滾的變化情形。

		
不同外直徑的紙彈簧	放在斜板翻滾並觀察紀錄變化	用錄影機錄下翻滾的過程

(二) 研究結果：

不同外徑的紙彈簧翻滾情形

內/外直徑	4 cm/5 cm	4 cm/6 cm	4 cm/7 cm	4 cm/8 cm
實驗照片				
				
描述	翻滾 2 圈後紙彈簧散開發生滾動	達陣次數最多平穩前進	直接滑下到終點	直接滑下來到終點

表一--1：不同外徑紙彈簧翻滾的時間紀錄

次數 內/外直徑	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	平均時間
	4 cm/5 cm	直接從起點散開滾下來不予計時									
4 cm/6 cm	9"59	11"65	×	10"28	10"08	10"35	11"50	×	10"72	11"93	10"76
4 cm/7 cm	翻一圈後直接從起點滑下來不予計時										×
4 cm/8 cm	翻一圈後直接從起點滑下來不予計時										×

【詳細資料見實驗記錄本】

表一--2：不同外徑的紙彈簧翻滾結果比較表

內/外直徑 項目	4 cm/5 cm	4 cm/6 cm	4 cm/7 cm	4 cm/8 cm
達陣次數	0	8	0	0
平均時間 (秒)	0	10"76	0	0
平均翻滾圈數	0	9	0	0

(三) 發現：

- 1、由表一--2 知道：達陣次數最多為內徑 4 cm 外徑 6 cm 的紙彈簧，達陣次數多達 8 次，其他紙彈簧皆無法順利到達終點。
- 2、內徑 4 cm 外徑 5 cm 的紙彈簧翻滾 2 圈就會散開滾下來，因同心圓圓周很細，翻滾時很容易打結。外徑 7 cm、外徑 8 cm 的紙彈簧，無法翻滾，直接從斜面上滑下來。

(四) 討論：

由實驗結果知道內徑相同，外徑愈大的紙彈簧無法翻滾只會滑動，內徑 4 cm 外徑 6 cm 的紙彈簧，到達終點的情形較理想。為了找出翻滾情形更好的紙彈簧，我們以內徑 4 cm 外徑 6 cm 的紙彈簧為基準，改變內徑大小，試找出最佳的紙彈簧尺寸。

實驗二、紙彈簧內徑的大小是否會影響紙彈簧翻滾的情形：

(一) 研究方法：

- 1、取西卡紙，畫出內/外直徑為 2 cm/6 cm、3 cm/6 cm、4 cm/6 cm、5 cm/6 cm 的同心圓各 50 張。做成 4 份不同內徑的紙彈簧。
- 2、將不同內徑的紙彈簧，放在斜板角度 25 度上，翻滾 10 次並計時。
- 3、其他步驟實驗一。



不同內直徑的紙彈簧

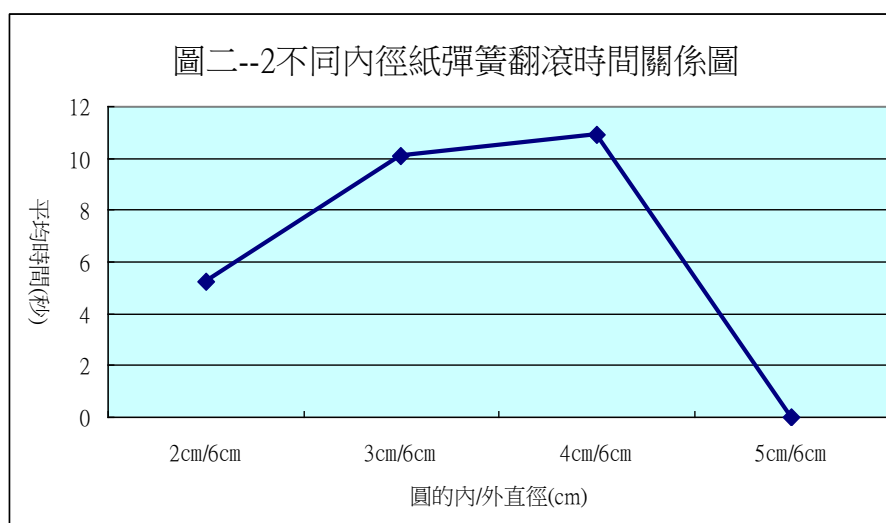
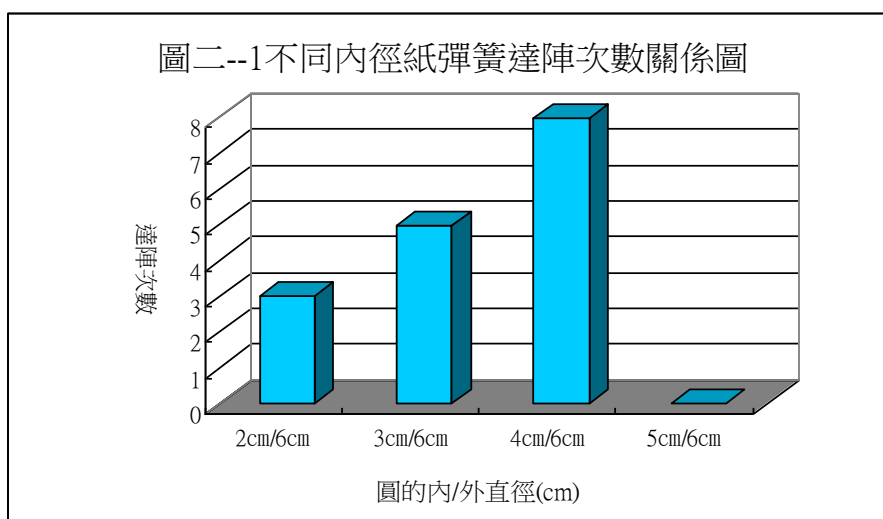
(二) 研究結果：

不同內徑的紙彈簧翻滾情形

內/外直徑	2 cm/6 cm	3 cm/6 cm	4 cm/6 cm	5 cm/6 cm
實驗 照片				
描述	先滑動接著快速翻滾到達終點	翻滾時會有滑動的現象	達陣次數最多平穩前進	紙彈簧散開來後直接滑落到終點

表二：不同內徑的紙彈簧翻滾結果比較表

內/外直徑 項目	2 cm/6 cm	3 cm/6 cm	4 cm/6 cm	5 cm/6 cm
達陣次數	3	5	8	0
平均時間 (秒)	5"21	10"11	10"90	0
平均翻滾圈數	8	11	10	0



(三) 發現：

- 1、由圖二--1 知道：達陣次數 $4\text{ cm}/6\text{ cm} > 3\text{ cm}/6\text{ cm} > 2\text{ cm}/6\text{ cm} > 5\text{ cm}/6\text{ cm}$ 。表現最好的是內徑 4 cm 外徑 6 cm 的紙彈簧，最不理想是內徑 5 cm 外徑 6 cm 的紙彈簧，達陣次數為 0。
- 2、由圖二--2 發現內徑最小的紙彈簧，翻滾所花時間最少，翻滾的圈數較少，很快到達終點，但翻滾時很容易滑動。內徑較大的紙彈簧，翻滾圈數較多，但所花的時間較多。
- 3、內徑 5 cm 外徑 6 cm 的紙彈簧，不會翻滾，直接從起點滑下來。

(四) 討論：

在實驗中，紙彈簧內直徑大小會影響翻滾的時間、圈數、達陣次數。內直徑/外直徑 4 cm/6 cm、3 cm/6 cm 翻滾時所花的平均時間、圈數差不多，但達陣的次數以內直徑/外直徑 4 cm/6 cm 較理想，所以決定以此尺寸製作紙彈簧，進行後續實驗。

實驗三、紙彈簧的圈數是否會影響紙彈簧翻滾的情形：

(一) 研究方法：

- 1、取西卡紙製作內直徑/外直徑 4 cm/6 cm 同心圓 270 個剪下。
- 2、分別黏成圈數 20 圈、30 圈、40 圈、50 圈、60 圈、70 圈六種不同圈數的紙彈簧。
- 3、其他步驟如實驗一

(二) 研究結果：

不同圈數的紙彈簧翻滾情形

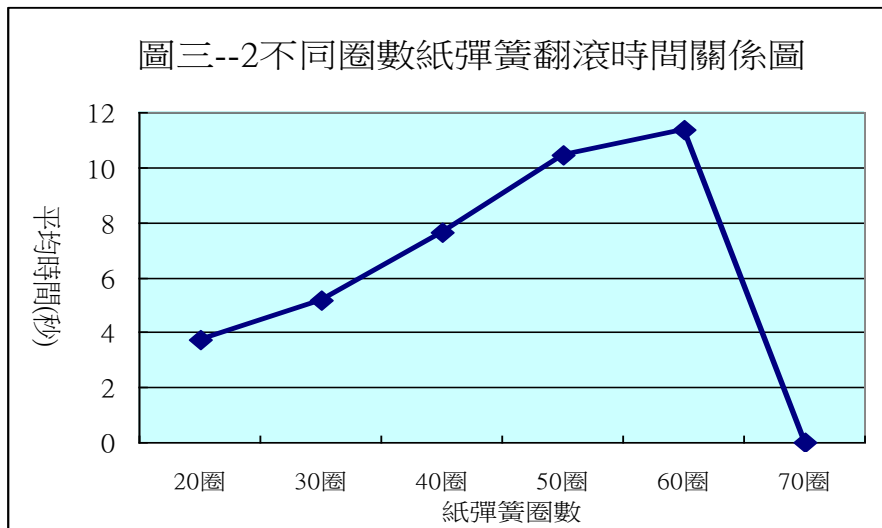
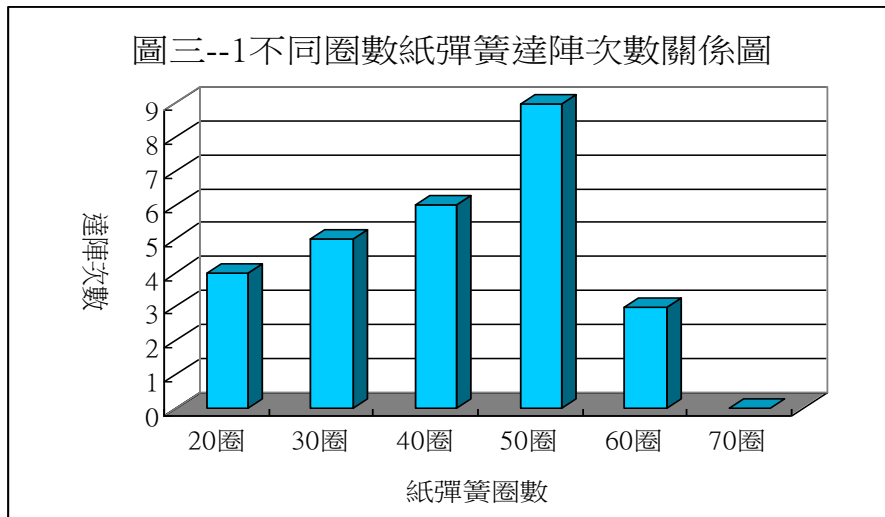
圈數	20 圈	30 圈	40 圈	50 圈	60 圈	70 圈
實驗照片						
描述	圈數最少翻滾最快/翻滾時會滑動/路徑容易歪斜/很容易在中途停止	圈數少翻滾很快/開始翻滾時很順利/但很容易在中途停止	開始翻滾很順利/翻滾時易滾出木板/也會有快到終點就停止不動的情形	到達終點次數最多/翻滾時平穩前進	圈數較多無法翻滾/會從起點滑落到終點	不會翻滾/停在起點都不動

表三--1 不同圈數的紙彈簧翻滾時間紀錄

次數 圈數	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	平均時間
20 圈	3"37	3"47	x	x	3"95	x	x	x	4"07	x	3"71
30 圈	x	x	5"75	4"15	5"34	4"75	x	5"82	x	x	5"16
40 圈	7"82	x	7"12	7"78	x	7"44	x	x	7"58	7"93	7"62
50 圈	10"18	10"44	x	9"50	10"15	10"84	11"37	11"60	9"97	10"22	10"47
60 圈	10"44	x	12"09	11"55	x	x	x	x	x	x	11"36
70 圈	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

表三--2 不同圈數的紙彈簧翻滾結果比較表

不同圈數 項目	20 圈	30 圈	40 圈	50 圈	60 圈	70 圈
達陣次數	4	5	6	9	3	0
平均時間 (秒)	3"71	5"16	7"62	10"47	11"36	0
平均翻滾圈數	9	11	10	10	7	0



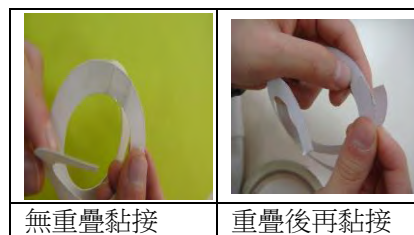
(三) 發現：

- 1、由圖三--1 發現：不同圈數對紙彈簧翻滾的達陣次數：50 圈 > 40 圈 > 30 圈 > 20 圈 > 60 圈 > 70 圈。紙彈簧黏接 50 圈翻滾到達終點情形最理想，高達 9 次；70 圈最不理想，成功次數為 0。
- 2、由圖三--2 發現：圈數少的紙彈簧，翻滾比較快，所花的時間最短，很快到達終點。圈數多的紙彈簧翻滾時所花時間較久。圈數 70 圈則無法翻滾只會滑動。
- 3、紙彈簧黏 50 圈達陣成功機會最高，翻滾的情形較理想。

實驗四、紙彈簧的黏接方式是否會影響紙彈簧翻滾的情形：

(一) 研究方法：

- 1、取西卡紙畫出內/外直徑 4 cm/6 cm 的同心圓並剪下。
- 2、將同心圓沒有重疊直接相黏做成 50 圈的紙彈簧，一份同心圓相接處重疊 1 cm 做成 50 圈紙彈簧，一份同心圓相接處重疊 2 cm 做成 50 圈紙彈簧，一份同心圓相接處重疊 3 cm 做成 50 圈紙彈簧。
- 3、其他步驟如實驗一。



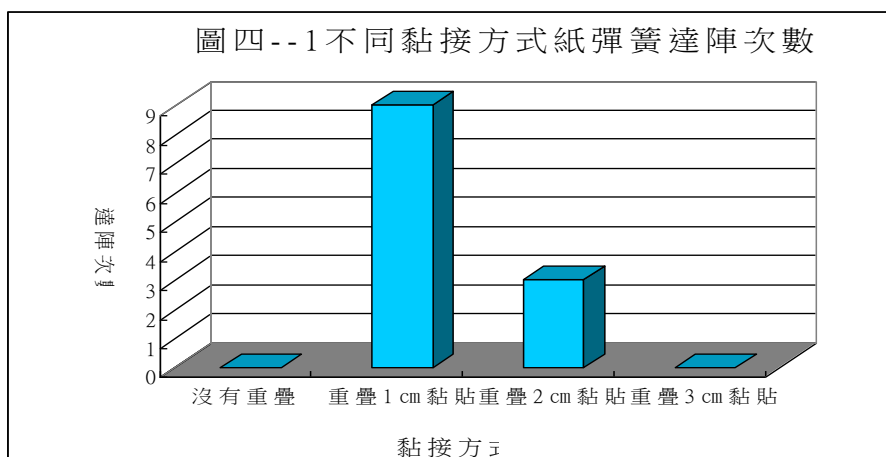
(二) 研究結果：

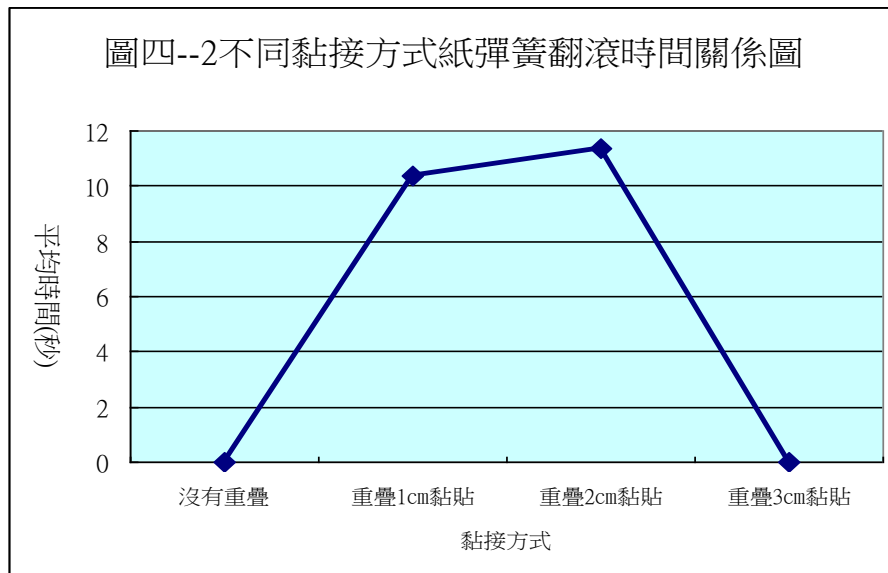
不同黏接方式的紙彈簧翻滾情形

方式	沒有重疊	重疊 1 cm 黏貼	重疊 2 cm 黏貼	重疊 3 cm 黏貼
實驗照片				
描述	翻 1-2 圈就停在原處不動	可以翻滾到終點 達陣次數最多	會翻滾/但中途常會形成滾動	直接從起點滑下來/不會翻滾

表四不同黏接方式的紙彈簧翻滾結果比較表

不同黏接方式	沒有重疊	重疊 1 cm 黏貼	重疊 2 cm 黏貼	重疊 3 cm 黏貼
項目				
達陣次數	0	9	3	0
平均時間 (秒)	0	10"34	11"37	0
平均翻滾圈數	0	10	10	0





(三) 發現：

- 1、由圖四--1 發現：不同黏接方式做成的紙彈簧會影響它在斜面上翻滾的達陣次數。以重疊 1 cm達陣情形最好，其次是重疊 2 cm。其它方式都無法翻滾到達終點。
- 2、由圖四--2 發現：黏接方式會影響紙彈簧翻滾時間。重疊 1 cm所製成的紙彈簧翻滾所花的時間比重疊 2 cm更少。
- 3、黏接方式會影響紙彈簧翻滾圈數。同心圓黏接時沒有重疊，翻滾圈數為 0，重疊 3 cm根本無法翻滾，只能滑動。重疊 1 cm所製成的紙彈簧翻滾情形最理想。

(四) 討論：由實驗結果我們得知製作大小相同的紙彈簧，如果黏接時有差異，也會產生不同的結果。必須重疊相黏 1 cm，紙彈簧才能翻滾，重疊部分太多，紙彈簧竟然從起點滑下來。根據這個結果，對於後續的實驗，更要注意變因的控制。







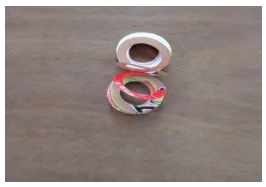

實驗五、紙彈簧的材質是否會影響紙彈簧翻滾的情形：

(一) 研究方法：

- 1、取西卡紙、圖畫紙、粉彩紙、影印紙、廣告紙、手提袋紙、月曆紙、瓦楞紙各數張，分別繪製內/外直徑為 4 cm/6 cm的同心圓 50 張。
- 2、將同種類紙張的同心圓剪下來，重疊 1 cm相黏接，做成紙彈簧。分別用電子秤秤重並紀錄。
- 3、其他步驟同實驗一。

(二) 研究結果：

不同紙張的紙彈簧翻滾情形

紙張	西卡紙	圖畫紙	影印紙	瓦楞紙
實驗照片				
描述	會翻滾/達陣次數最高	翻動後就停止不動	翻動後就停止不動	只會滾動
紙張	粉彩紙	月曆紙	手提袋紙	廣告紙
實驗照片				
描述	翻動後就停止不動	翻動後就停止不動	翻動後會形成滑動	翻動後就停止不動

表五不同紙張的紙彈簧翻滾結果比較表

紙張種類	西卡紙	圖畫紙	影印紙	瓦楞紙	粉彩紙	月曆紙	手提袋紙	廣告紙
重量 (g)	20	10	6	61.5	13.5	10.2	23.1	7
達陣次數	8	0	0	0	0	0	0	0
平均時間 (秒)	10"79	0	0	0	0	0	0	0
平均翻滾圈數	10	0	0	0	0	0	0	0

【詳細資料見實驗記錄本】

(三) 發現：

- 1、不同種類紙張做成的紙彈簧，翻滾的結果不同。由表五得知：紙彈簧的重量太輕或太重，紙彈簧無法翻滾到達終點，西卡紙做成的紙彈簧，可以翻滾，順利到達終點的次數最多，翻滾的圈數也最多。
- 2、比較各種紙張材質：紙張材質太軟如月曆紙，紙彈簧只會停在原處，無法翻滾到達終點。而光滑亮面材質的紙張如手提袋紙，紙彈簧會形成滑動，也無法翻滾。

(四) 討論：

由實驗結果知道：即使紙彈簧圈數、同心圓大小都相同，紙張材質與重量對製作紙彈簧仍有很大的影響需要一起考慮。實驗前假設因為手提袋紙、粉彩紙紙質比其他紙張硬，做成的紙彈簧應該可以翻滾，但結果與我們的假設有出入，我們想要了解是不是與摩擦力有關？後續實驗我們把紙彈簧貼上不同粗細砂紙進行比較。

實驗六、紙彈簧貼上不同粗細砂紙是否會影響紙彈簧翻滾的情形：

(一) 研究方法：

- 1、取西卡紙分別畫出內/外直徑為 4 cm/6 cm 的同心圓，黏成 50 圈的紙彈簧 4 份。
- 2、一份紙彈簧不貼砂紙；三份紙彈簧兩端分別貼上最粗砂紙 80 號、中粗砂紙 180 號、細砂紙 240 號不同砂紙。
- 3、其他步驟同實驗一。

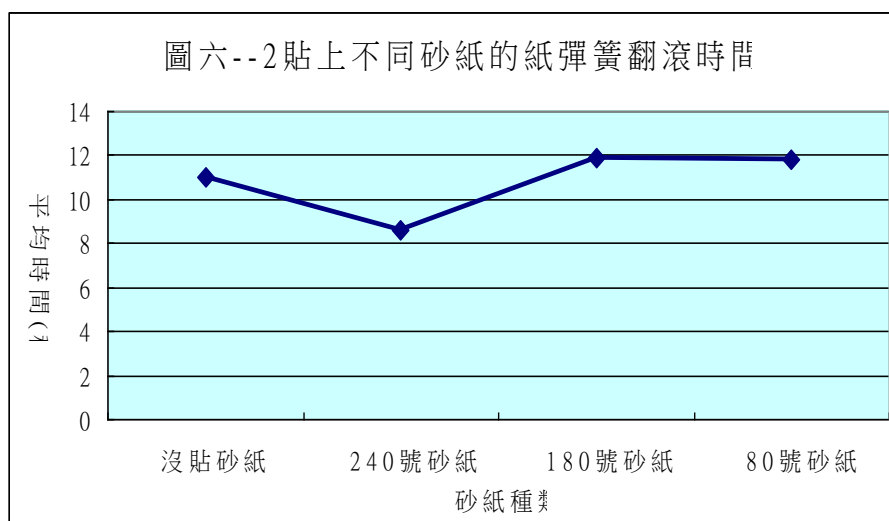
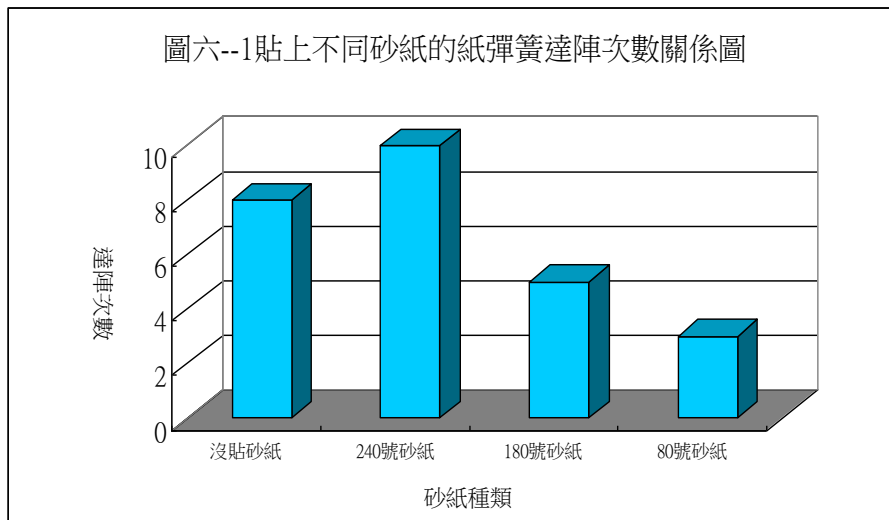
(二) 研究結果：

貼上不同砂紙對紙彈簧翻滾情形

沒貼砂紙	240 號砂紙	180 號砂紙	80 號砂紙
			
			
平緩前進	翻滾後前進速度 快/路徑筆直	翻滾後前進會 有滑動的現象	翻滾後會發生螃 蟹走路的現象很 有趣

表六貼上不同砂紙對紙彈簧翻滾結果比較表

砂紙種類 項目	沒貼砂紙	240 號砂紙	180 號砂紙	80 號砂紙
達陣次數	8	10	5	3
平均時間 (秒)	10"99	8"57	11"89	11"79
平均翻滾圈數	10	11	10	10



(三) 發現：

- 1、由圖六--1 得知：貼上 240 號砂紙達陣次數最高，高達 10 次，比沒貼砂紙的紙彈簧要理想。
- 2、貼上砂紙的紙彈簧，翻滾速度比沒有貼砂紙的紙彈簧快。
- 3、貼上 240 號顆粒較細砂紙的紙彈簧，翻滾時的路徑比較直；貼上 180 號顆粒較粗砂紙的紙彈簧，翻滾路徑比較歪斜，而且會有滑動情形；貼上 80 號顆粒最粗砂紙的紙彈簧，會發生橫向翻滾。


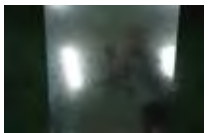
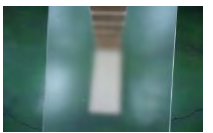

(四) 討論：

由實驗結果證明貼上 240 號細砂紙的紙彈簧，摩擦力增加，紙彈簧翻滾快且平穩，路徑筆直。但是貼上顆粒較粗的紙彈簧，摩擦力過大，翻滾的情形不甚理想，所以紙彈簧翻滾會受到摩擦力影響。接著我們也想試試紙彈簧在不同材質的斜面上翻滾會有什麼變化？

實驗七、斜面材質是否會影響紙彈簧翻滾的情形：

(一) 研究方法：

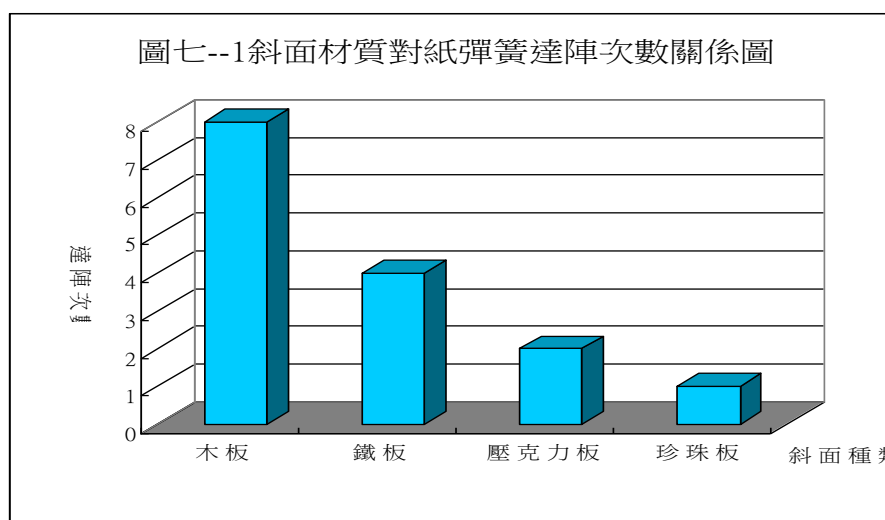
- 1、取木板、鐵板、壓克力板、珍珠板各一塊，長、寬、高皆為 90 cm×35 cm×1 cm。
- 2、將紙彈簧分別放木板、鐵板、壓克力板、珍珠板（角度 25°）各實驗 10 次。用碼表計時並記錄翻滾到終點所花時間。
- 3、其他步驟同實驗一。

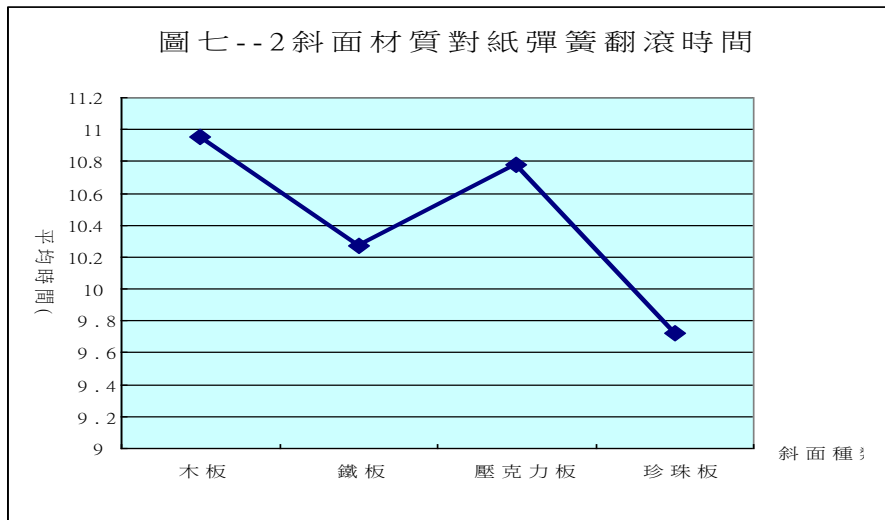
斜面材質	木板	鐵板	壓克力板	珍珠板
照片				

(二) 研究結果：

表七斜面材質對紙彈簧翻滾結果比較

斜面種類 項目	木板	鐵板	壓克力板	珍珠板
達陣次數	8	4	2	1
平均時間 (秒)	10"95	10"27	10"78	9"72
平均翻 滾圈數	10	9	10	9
描述	平穩前進	翻滾時會 出現滑動	翻滾時容 易滾出壓 克力板外	未能到達 終點就停 止





(三) 發現：

- 1、由圖七--1 發現：紙彈簧在不同斜面翻滾，達陣次數不同。木板 > 鐵板 > 壓克力板 > 珍珠板，紙彈簧在木板達陣次數最高，在鐵板翻滾時容易有滑動現象，壓克力板開始時翻滾情形很好，但很容易滾出木板，達陣情形不理想，珍珠板達陣次數最差，很容易滑下來。
- 2、由圖七--2 比較紙彈簧在不同斜面上翻滾，所花時間：木板 > 壓克力板 > 鐵板 > 珍珠板，紙彈簧在珍珠板翻滾比較快，紙彈簧在鐵板翻滾比較慢。

(四) 討論：

經過實驗後，證明紙彈簧在不同材質的斜面上翻滾，結果會有差異。根據結果以木板達陣次數最高。我們比較斜面的差異：木板有紋路，翻滾情形較理想；珍珠板太軟，容易變形，不適合當作斜面。由實驗得知有紋路的斜面，可增加紙彈簧與斜面間的摩擦力，使紙彈簧順利翻滾，我們決定選擇木板進行後續實驗。

實驗八、斜面角度是否會影響紙彈簧翻滾的情形：

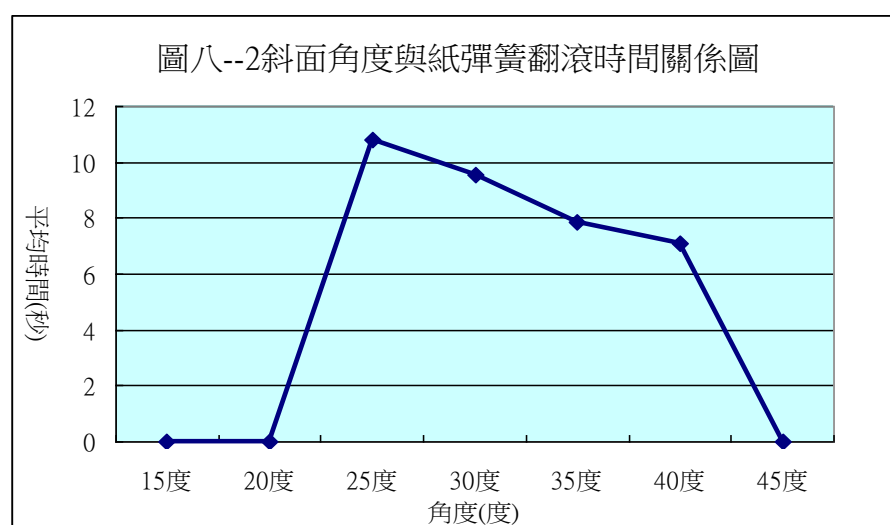
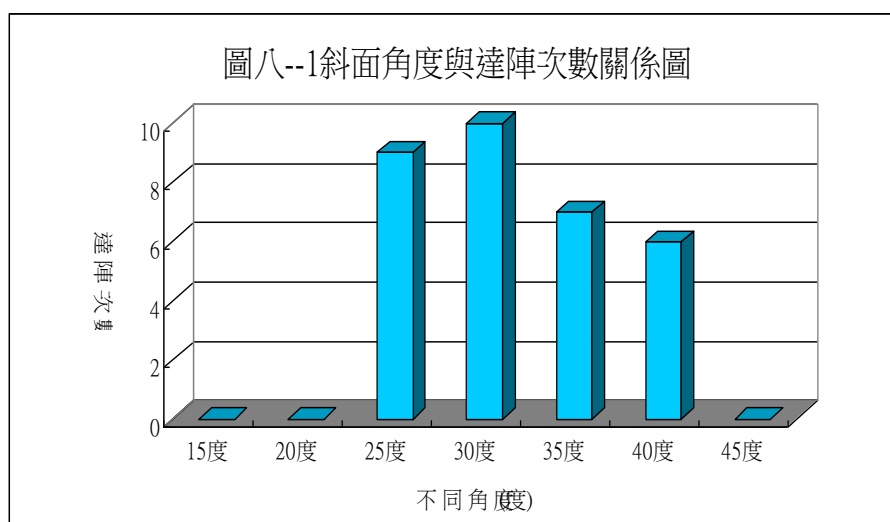
(一) 研究方法：

- 1、取西卡紙，製作內/外直徑為 4 cm/6 cm 的同心圓 50 張，製作紙彈簧。
- 2、將紙彈簧分別放在 15 度、20 度、25 度、30 度、35 度、40 度、45 度不同角度的木板斜面上，各實驗 10 次，利用碼表來計時它們翻動的時間。
- 3、其他步驟同實驗一。

(二) 研究結果：

表八斜面角度對紙彈簧翻滾結果比較

斜面角度 項目	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
達陣次數	0	0	9	10	7	6	0
平均時間(秒)	0	0	10"78	9"56	7"83	7"08	0
平均翻滾圈數	0	0	10	9	7	7	0
描述	翻動後 停止前 進	翻滾 3 圈停止 前進	平穩前 進	翻滾前 進較快/ 達陣次 數最佳	前進所 花時間 較少/會 有滑動 現象	翻滾時 幅度大/ 易有滑 動現象	翻滾 2 圈後滑 動



(三) 發現：

- 1、由圖八--1 發現木板放置的角度，會影響紙彈簧翻滾情形。達陣次數：30 度 > 25 度 > 35 度 > 40 度 > 15 度 = 20 度 = 45 度，角度 30 度到達終點的次數最多。15 度、20 度、45 度到達終點的次數為 0。
- 2、木板放置的角度愈高，紙彈簧翻滾愈快，翻滾時所花時間愈少。但在角度 35 度和 40 度時，速度較快，會有滑動現象；角度 45 度無法翻滾，從起點直接滑落下來。
- 3、在角度 25 度、30 度時，紙彈簧翻滾的圈數較多。
- 4、在角度 30 度時，紙彈簧翻滾所花時間少且平穩，達陣次數最高，是最佳的翻滾角度。

(四) 討論：

木板傾斜程度會影響紙彈簧翻滾的結果。木板傾斜角度太小，愈接近地面，紙彈簧無法翻滾；傾斜角度大，紙彈簧擺放的位置就愈高，翻滾的速度就愈快，我們發現這種情形和我們從山坡上跑下來的情形相似，坡度愈陡跑下來的速度就愈快。

實驗九、紙彈簧翻滾位置是否會影響紙彈簧翻滾的情形：

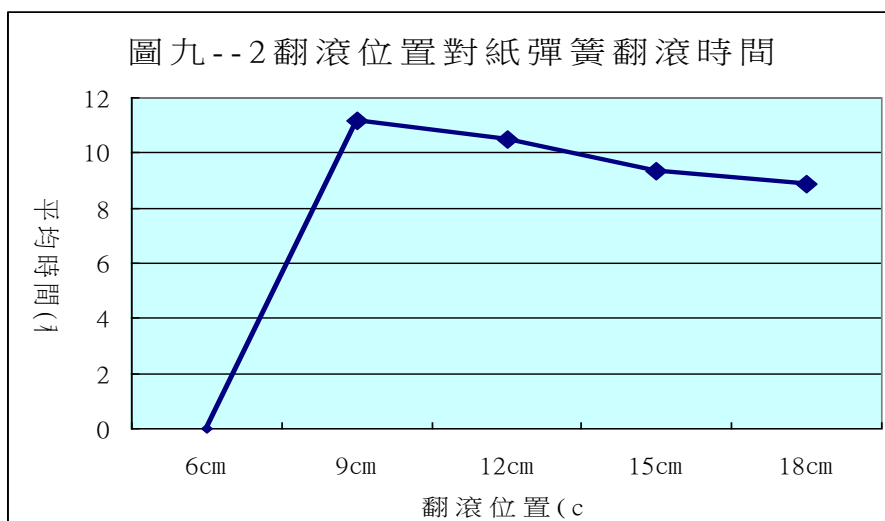
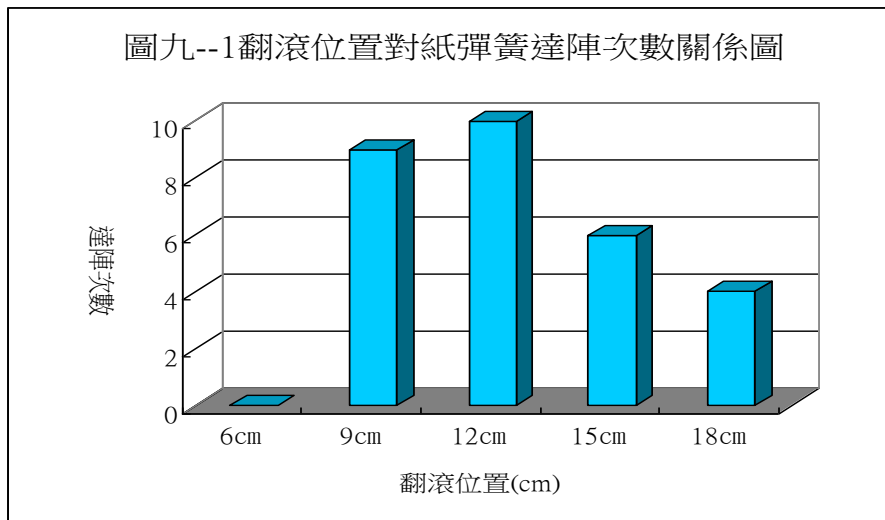
(一) 研究方法：

- 1、將紙彈簧翻滾位置分別放在距離起點 6 cm、9 cm、12 cm、15 cm、18 cm 處，各實驗 10 次，利用碼表來計時它們翻滾的時間。
- 2、其他步驟同實驗一。

(二) 研究結果：

表九翻滾位置對紙彈簧結果比較表

距離起點位置 項目	6 cm	9 cm	12 cm	15 cm	18 cm
達陣次數	0	9	10	6	4
平均時間 (秒)	0	11"14	10"51	9"36	8"85
平均翻滾圈數	0	10	10	8	8
描述	翻動 1 圈 停止前進	平穩前進	到達終點 的成功次 數最多	翻滾所花 時間少/但 容易歪斜	翻滾所花 時間最少/ 容易散開



(三) 發現：

- 1、紙彈簧開始翻滾的擺放位置，會影響紙彈簧翻滾情形：擺放在距離起點 6 cm 時，紙彈簧無法翻滾；擺放在距離起點 9 cm、12 cm、15 cm、18 cm 可以使紙彈簧翻滾後前進。
- 2、擺放距離 15 cm、18 cm 紙彈簧雖然可以前進，但達陣次數較差，前進路徑容易偏離，擺放距離 18 cm 紙彈簧容易散開變成滾動。
- 3、擺放距離 9 cm、12 cm 達陣次數較多，紙彈簧翻滾前進比較平穩，是較理想的擺放位置。

(四) 討論：

由實驗結果得知紙彈簧翻滾位置必須大於同心圓外直徑，紙彈簧才能翻滾。

實驗十、紙彈簧造型是否會影響紙彈簧翻滾的情形：


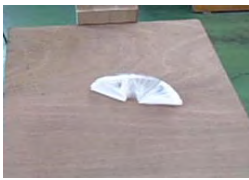




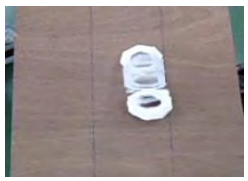

由實驗中了解製作紙彈簧的方法與翻滾的情形，大家一起來 DIY，發揮巧思，做個創意成品~好玩喔！！

(一) 研究方法：

- 1、依照上述實驗結果設計三角形、正方形、梯形、五邊形、六邊形、八邊形、橢圓形的紙彈簧。
- 2、將不同造型紙彈簧的兩端貼上 240 號較細的砂紙。
- 3、放在角度 30 度的斜面，距離起點 12 cm 處，各實驗 10 次，利用碼表來計時它們翻動的時間。
- 4、其他步驟同實驗一。

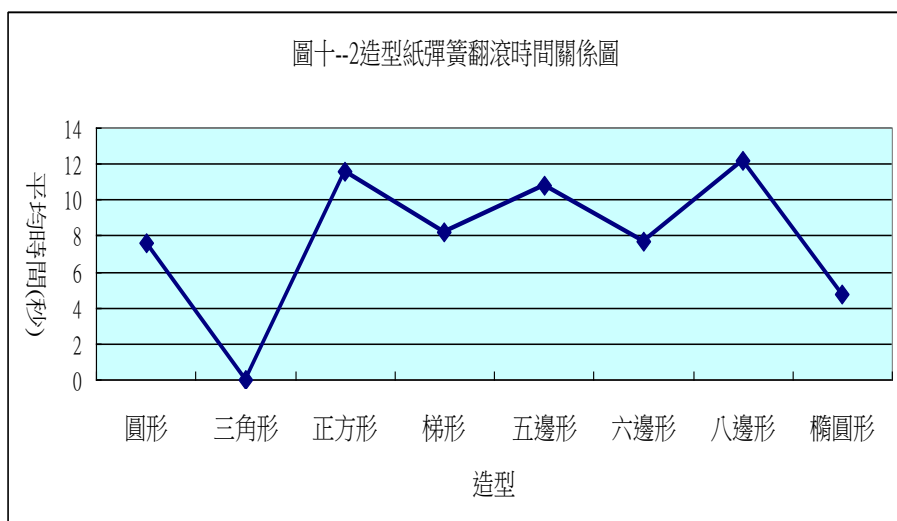
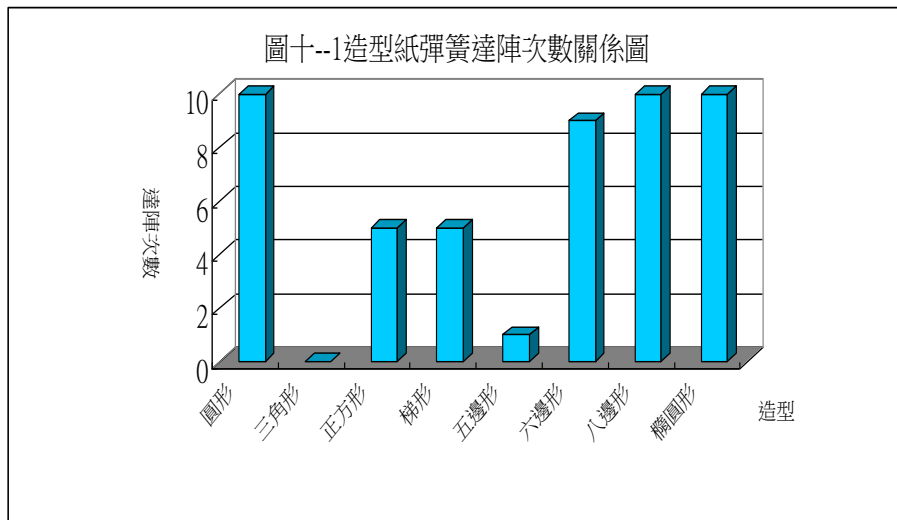
(二) 研究結果：

不同造型的紙彈簧的翻滾情形

實驗照片				
描述	各種造型紙彈簧	三角形紙彈簧滑動一小段就停止	正方形紙彈簧翻滾到中途就停止	梯形紙彈簧翻滾到中途就停止
實驗照片				
描述	五邊形紙彈簧翻滾後會散開	六邊形紙彈簧翻滾時平穩前進	八邊形紙彈簧平穩前進達陣次數滿點	橢圓形紙彈簧快速前進達陣次數滿點

表十不同造型的紙彈簧翻滾結果比較

不同造型 項目	圓形	三角形	正方形	梯形	五邊形	六邊形	八邊形	橢圓形
達陣次數	10	0	5	5	1	9	10	10
平均時間(秒)	7"60	0	11"59	8"21	10"84	7"65	12"15	4"73
平均翻滾圈數	10	0	8	8	6	8	8	9



(三) 發現：

- 1、紙彈簧的造型會影響紙彈簧翻滾的結果。由圖十--1 知道：三角形紙彈簧無法到達終點；正五邊形紙彈簧可以翻滾到達終點，但只有一次。正方形、梯形紙彈簧有五次到達終點；八邊形、橢圓形、圓形紙彈簧有 10 次到達終點，達陣次數最高。
- 2、由圖十--2 知道：不同造型的紙彈簧，以橢圓形紙彈簧翻滾所花時間最少，最快到達終點。

(四) 討論：

當斜板角度在 30 度，翻滾位置在 12 cm 處，橢圓形、圓形、八邊形紙彈簧都可以順利到達終點，所以 30 度很適合紙彈簧翻滾；但三角形、正五邊形紙彈簧到達終點的成功次數不理想，這兩種多邊形造型的邊數都是奇數，可見這類多邊形紙彈簧不是製作造型紙彈簧的最佳選擇。

陸、討論

- 一、在實驗時，發現每個人對翻滾圈數認定不同，造成了圈數的紀錄有差異，組員彼此之間因判斷而產生爭議。因為紙彈簧翻滾的情形會有翻滾和滑動的現象，但紙彈簧仍繼續移動，為解決這個問題，我們透過討論方式取得共識，有移動沒有翻滾就不予計算，希望能夠因此減少人為偏差。
- 二、進行【研究一】時，為找尋紙彈簧同心圓的實驗大小，大家討論很久，實驗尺寸也一改再改，實驗初期是以內直徑 1 公分外直徑 2 公分，但是這種尺寸要進行內直徑改變的探討很不容易。改以內直徑 2 公分外直徑 3 公分，也遇到相同問題，最後改以內直徑 4 公分外直徑 5 公分，作為延伸探討，但已耗費相當多時間。
- 三、我們從【研究一】發現：紙彈簧由斜面翻滾而下發生翻滾和滑動的現象，我們推論：
 - 1、紙彈簧翻滾過程會向下移動，因此有受到重力的影響。
 - 2、紙彈簧翻滾過程中和斜面接觸產生摩擦，紙彈簧才能一步一步向下翻滾。
 - 3、力矩能夠使物體改變其旋轉運動。實驗一開始，我們需要用手施力使紙彈簧產生翻滾現象，由此可知紙彈簧在翻滾過程中有力矩作用。

(一)「重力」的影響：地球上的物體會受到地心引力的影響，向地心移動。玩蹺蹺板時，重的那端會向下。實驗中知道重力讓紙彈簧向下翻滾，如果紙彈簧無法翻滾，表示受到阻力，那紙彈簧會有何不同變化？我們嘗試將木板「平放」與「斜放」，從起點翻動後，來觀察紙彈簧的變化。

1、結果發現：

擺放方式	翻滾圈數	翻滾時間	翻滾情形
木板平放	0	0	原地擺動
木板斜放	多	長	由上而下

- 2、木板的傾斜程度會影響紙彈簧翻滾的圈數、翻滾時間、翻滾情形。
- 3、能夠讓紙彈簧可以一直翻滾下去，表示一定有力量推動使它翻滾。

(二)「摩擦力」的影響：

由【研究六】紙彈簧貼上砂紙與沒貼上砂紙的翻滾結果：

	翻滾圈數	翻滾時間	翻滾路徑
沒貼砂紙	10	10"99	比較歪斜
240 號砂紙	11	8"57	穩定筆直

- 1、沒貼砂紙，因摩擦力不足容易有滑動的現象；貼上砂紙後，因有摩擦力使紙彈簧翻滾時能平穩快速前進。
- 2、但摩擦力過大，也會使紙彈簧前進受阻，翻滾時間會增加，甚至無法翻滾。

由【研究七】斜面材質不同，紙彈簧翻滾結果如下：

	木板	鐵板	壓克力板	珍珠板
平均時間（秒）	10"95	10"27	10"78	9"72
達陣次數	8	4	2	1

- 1、斜面材質會影響紙彈簧翻滾的時間和到達終點的次數。
- 2、斜面材質不同，當摩擦力不足時，會使紙彈簧不能穩定翻滾，容易從起點滑落。
- 3、紙彈簧的重量太重，如果摩擦力承受不了重力，紙彈簧也容易產生滑落現象。

(三)「力矩」的影響

- 1、紙彈簧的外直徑愈大，紙彈簧愈容易滑落，無法翻滾。所以同心圓的外直徑大小，會影響紙彈簧翻滾時產生的力矩。
- 2、紙彈簧翻滾的位置也會影響紙彈簧翻滾時產生的力矩。擺放在 6 cm 紙彈簧無法翻滾，擺放在 9 cm、12 cm 紙彈簧才能順利翻滾。

(四) 推論紙彈簧能量的轉移

我們發現由高處向下移動的紙彈簧它可以一直翻滾而下，表示一定有力量推動使它翻滾。所以我們推論：「依照能量守恆定律，當紙彈簧由高處往下方翻滾，原本存在的位能會轉變成翻滾的動能」。

四、在開始進行實驗時，我們一邊進行實驗，一邊錄製實驗經過，透過我們實驗錄影，再將影片一格一格播放並截圖觀察發現：紙彈簧一邊翻滾、一邊「走」斜坡的過程，好水往下流，紙彈簧就像小水珠彼此牽連著，彼此間有一股能量在傳送，上方紙圈將能量移動給下方的紙圈，如此下方紙圈才可以將上方紙圈拉過來。上方最後一片紙圈，跨過下方紙圈後往前跨一步，繼續帶動紙彈簧的紙圈。(如下圖)

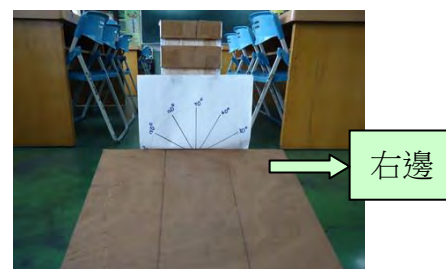
【錄影時間 4'16】

格數	0 秒 10 格	0 秒 15 格	0 秒 20 格	0 秒 25 格	0 秒 29 格	1 秒 05 格
截圖						
格數	1 秒 08 格	1 秒 10 格	1 秒 14 格	1 秒 16 格	1 秒 20 格	1 秒 25 格
截圖						
格數	1 秒 29 格	2 秒 05 格	2 秒 09 格	2 秒 14 格	2 秒 19 格	2 秒 24 格
截圖						
格數	3 秒 09 格	3 秒 17 格	3 秒 24 格	3 秒 29 格	4 秒 07 格	4 秒 15 格
截圖						

五、我們在進行實驗時經常發現紙彈簧翻滾的路徑多變。翻滾的路徑會受到起始角度的影響嗎？我們分別從不同角度實驗 10 次，結果如下：

起始角度	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	總計
達陣次數	6	8	6	8	7	8	9	52
平均時間	10"31	10"97	11"12	10"85	11"26	10"66	10"72	
路徑	偏右	2	3	4	2	2	2	17
	居中	1	2	1	3	3	2	15
	偏左	3	3	1	3	2	4	20

由實驗結果發現：總計達陣次數有 52 次，但路徑多變，比較沒有規律性。為了解釋這個現象，我們上網查詢相關資料，高師大周建和教授在「遁走紙彈簧」提到：紙彈簧最後一片紙片，會跨過下方紙片而往前跨一步，除了位能差異，最主要是還有「慣性」的作用。因為最後一片紙片往前移動時，沒有後續紙片的牽絆，因此比較能自由的運動。所以紙彈簧的路徑因最後一片紙片的自由運動，因而產生有趣的變化。



柒、結論

一、紙彈簧翻滾受到重力、摩擦力與力矩，三種因素影響。

- (一) 重力：使紙彈簧翻滾而下，將位能轉變成動能，提供紙彈簧持續翻滾的力量。
- (二) 摩擦力：能夠讓紙彈簧不斷地在斜面上一步一步向下翻滾。
- (三) 力矩：需要用手施力使紙彈簧產生翻滾。

二、紙彈簧翻滾的能量轉換。紙彈簧翻滾時，原本存在的位能會轉變成翻滾的動能

三、紙彈簧同心圓內直徑、外直徑的大小、圈數、黏接方式會影響紙彈簧翻滾的情形、達陣次數。製作最佳翻滾紙彈簧，建議：

- (一) 西卡紙的重量適中，最適合拿來做紙彈簧。
- (二) 同心圓內直徑 4 公分、外直徑 6 公分。
- (三) 同心圓黏接處要重疊 1 公分。
- (四) 紙彈簧圈數黏接 50 圈翻滾的情形最好。

四、建議紙彈簧貼上 240 號細砂紙。這樣可以增加紙彈簧與斜面摩擦力，使紙彈簧平穩前進，翻滾路徑較直，到達終點的時間最短。

五、斜面材質會影響紙彈簧翻滾，建議使用有紋路的木板作為翻滾的斜面。

六、木板放置的角度，會影響紙彈簧翻滾情形。角度小於 25 度翻滾情形最不理想，翻滾的圈數最少，無法到達終點。角度大於或等於 25 度，紙彈簧到達終點的次數愈高，所花時間愈少；但角度太高，例如 40 度、45 度，易造成滑動。以角度 30 度時紙彈簧翻滾表現最理想，達陣次數滿點。

七、紙彈簧紙圈開始翻滾的擺放位置，會影響紙彈簧翻滾情形：擺放距離小於或等於 6 cm 時，紙彈簧無法翻滾；擺放距離大於 6 cm 才可以使紙彈簧翻滾後前進。擺放距離過長，紙彈簧雖然可以前進，但達陣次數較差，前進路徑容易偏離。擺放距離 9 cm、12 cm 處達陣次數較高，平穩前進，是較理想的擺放位置。

八、紙彈簧的造型會影響翻滾結果，三角形、五邊形紙彈簧的造型，翻滾情形最不理想，圓形、八邊形、橢圓形的紙彈簧可以順利到達終點，達陣次數最高。

捌、參考資料

一、國立師範大學物理系

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=14458>

二、力學

<http://home.educities.edu.tw/listeve/Htm/physics/phys-qa-mechanic.htm>

三、遁走紙彈簧

<http://scigame.ntcu.edu.tw/paper/paper-018.html>

四、力矩

http://siro.moe.edu.tw/teach/query.php?action=read_content&p=872&d=1363234909

五、能量守恆

<http://elearning.stut.edu.tw/mechanical/Dynamics/ch18/18-5.htm>

六、位能

<https://sites.google.com/site/wuliweineng/chang-jian-wei-neng>

七、位能與動能

<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=1274>

八、中興大學物理系－普物演示廳

<http://ezphysics.nchu.edu.tw/physiweb/device/exp5.htm>

【評語】 080106

從遊戲中學習物理是相當好的研究出發點，主題不但生活化，趣味性佳，對於翻轉的原理解釋清晰，研究的過程方法也相當適切。