

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080116

繩奇摩力步步升

學校名稱：桃園市桃園區青溪國民小學

作者：	指導老師：
小五 曾楷惟	王詩博
小五 呂丞育	高開玲
小五 陳禹霏	
小五 陳思妤	

關鍵詞：摩擦力、花費秒數、砝碼重量

摘要：

自然老師在力與運動的課堂上進行科學展示，在繩子上裝紙片拉一拉就往上跑，到底是什麼原因？充滿好奇的我，呼朋引伴進行實驗討論，我們改變拉繩的距離、拉繩的頻率、不同的爬繩長度、不同材質的繩子、紙盒重量不同、吸管角度不同、吸管長度不同和紙盒裝上不同粗細吸管，實驗結果都會影響繩子與吸管之間產生的摩擦力。但相同材質不同粗細的棉繩在實驗結果上沒有明顯差異性，是一種意外的發現。

原來當一位科學家不難，只要把生活中的細節都當作探索，是可以累積很特別的學習經驗，並應用在生活中就是加分，這次實驗如果可應用在疫情下往高處輸送糧食、補給品，又可以幫助更多的人。也是使我們進步的動力來源，科學始終來自於人性。

壹、前言

一、研究動機

五年級上學期的自然課程中，力的單元討論到生活中有許多的摩擦力現象，像是鞋子的紋路、瓶蓋的刻紋…有增加也有減少的，對生活都具有方便性。但令我印象深刻的是自然老師在講台上像施魔法似的在繩子裝上紙片，拉一拉就會往上跑？手的位置和繩子方向調整一下，又可以從高處滑降到低處，怎麼會這樣？因為外表看起來都是同設備卻可以上升和下降，難道有什麼神奇的祕密嗎？

在好奇心的驅動下，找尋了一些資料並想想與生活中的緩降機或警察訓練的垂降器材是不是有異曲同工之妙，不過前面敘述的是由上往下的移動。那要往上該怎麼做？所以利用了下課時間去詢問自然老師這麼特別的科學實作，是什麼樣的科學原理造成的！老師希望我可以找一些同學一起進行討論，發表自己認為的想法，並透過動手實作方式實踐來解決疑問，才會知道答案的。感覺自己像成了科學家一般，科學素養精神瞬間爆表，等不及要快一點跟自然老師繼續探索這個有趣的世界。

二、研究目的

- (一) 體驗繩子的裝置，如何使紙片爬繩，並思考哪些因素可能會有影響？
- (二) 討論手拉繩的距離對紙盒上升秒數的影響？
- (三) 討論手拉繩的頻率對紙盒上升秒數的影響？
- (四) 討論拉繩的材質不同時，對紙盒摩擦力的影響？
- (五) 討論相同材質的繩子，在不同的爬繩總長度下，對時間測量法的影響？

- (六) 討論拉繩前，繩子兩端裝設砝碼，對紙盒摩擦力的影響？
- (七) 討論時間測量法和砝碼重量法，在繩子運作於不同接觸面時，對紙盒摩擦力的影響呈現效果好？
- (八) 討論拉繩上紙盒內的載重不同時，對紙盒摩擦力的影響？
- (九) 討論紙盒上的吸管角度不同時，對紙盒摩擦力的影響？
- (十) 討論紙盒上的吸管長度不同時，對紙盒摩擦力的影響？
- (十一) 討論紙盒上的吸管粗細不同時，對紙盒摩擦力的影響？
- (十二) 討論相同材質的繩子但不同粗細寬度時，對紙盒摩擦力的影響？

三、文獻回顧

(一) 紙片上升原理

參考國立台中教育大學的科學遊戲實驗室，爬升扭蛋，可以知道繩子與吸管之間有摩擦力，當呈現八字型，右手用力拉動但左手不用力時，右邊的繩子因有作用力而滑動，此時左邊的繩子因摩擦力固定。所以，扭蛋上方的繩子會變短，帶動扭蛋移動。(參考圖1-1)

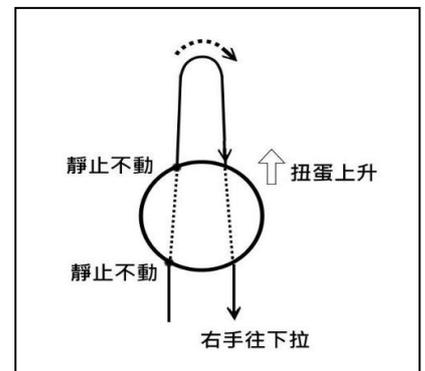


圖1-1 爬升扭蛋示意圖 (源自國立台中教育大學科學遊戲實驗室)

進行團體討論時，就想對操作中可能影響的因素進一步討論摩擦力對紙片上升速度的影響，如：吸管的粗細、吸管的長度、吸管的角、甚至是懸掛繩子的材質…等。

(二) 摩擦力原理

1、摩擦力：可解釋為由於物體表面與接觸面是粗糙或光滑時，都使得物體在接觸面上移動時，受到阻礙而不容易移動。此阻礙力就是摩擦力。

2、摩擦力影響的因素：接觸面的性質，接觸面越粗糙，摩擦力越大。物體的垂直接觸面正向力越大，摩擦力越大。

3、摩擦力有分為靜摩擦力、動摩擦力。通常動摩擦力會小於最大靜摩擦力。(參考圖1-2)

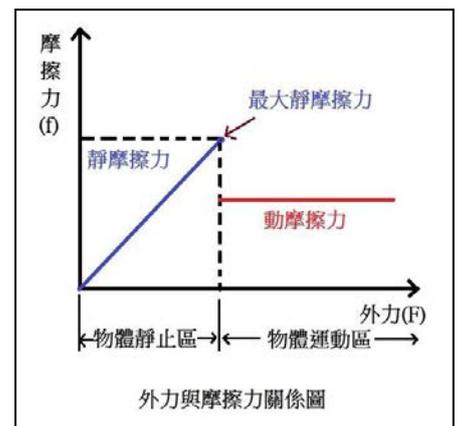


圖1-2 外力與摩擦力關係圖

在團體討論時，對於砝碼重量的測量是要採取靜摩擦力還是動摩擦力，其實有一點困擾，最後考慮組員們能眼睛清楚辨識的情況下，使用動摩擦力的測量，多少重量的砝碼可以拉動繩子5公分為紀錄值。也是因為在時間測量法，選定拉繩距離為5公分來回，作為呼應。

(三) 歷屆科展作品

1、全國中小學科展第47屆理化科作品：爬樹猴之爬升研究

內容中討論到使用鐵絲彎成不同兩股斜度的梯形，討論拉繩的負重力對梯形步幅大小的影響。對於我們應用在自身紙盒爬升的設計上，可以使用的部分在實驗紀錄判斷摩擦力大小，如：紙盒步幅越小，相同距離下，要多一點的移動次數才會到達終點，是不是表示摩擦力比較大，每次距離移動的小。

2、屏東縣第60屆國中小科展物理科作品：一飛沖天的摩擦力

內容中討論到雙手角度的改變和手拉繩子的移動距離都對於火箭紙片上升有所影響，並用秒數測量的方式呈現實驗紀錄，也是一種可以表示摩擦力的方式，秒數越少，表示摩擦力越小，火箭紙片越容易移動。

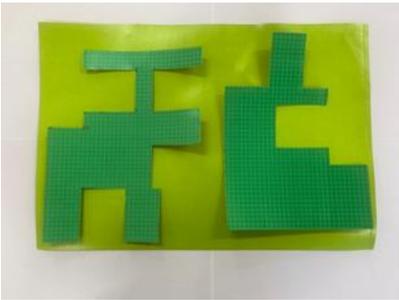
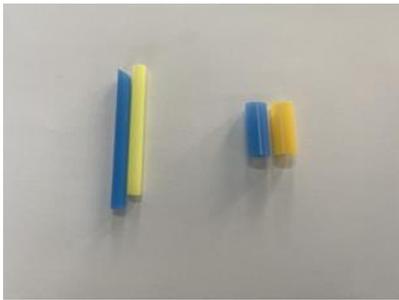
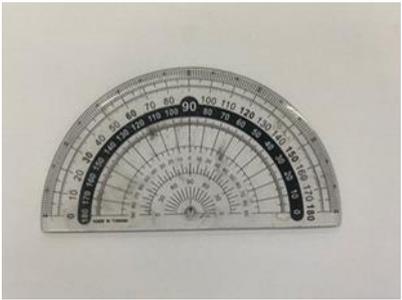
綜合所述，從歷屆作品中找到了一些實驗紀錄的方式來呈現摩擦力的大小，納入預試的考慮範圍，不過屏東縣的作品，要將雙手角度的改變，在操作上的要一方面拉繩一方面固定上難度太高，就不放入預試內容裡。

貳、研究設備及器材

一、 器材類：碼錶、砝碼、直尺、奇異筆、剪刀、量角器、膠帶、棍子

二、 物品類：不同材質的線（棉線、毛線、中國結繩、塑膠繩、麻繩）、西卡紙、粗細吸管、迴紋針數個

		
碼錶	20 克、10 克、2 克的砝碼	直尺
		
奇異筆、簽字筆	剪刀	迴紋針數個

		
<p>不同材質的繩子（棉繩、毛線、塑膠繩、中國結繩、麻繩）</p>	<p>西卡紙</p>	<p>粗、細吸管</p>
		
<p>量角器</p>	<p>膠帶</p>	<p>固定繩子的拖把棍</p>

參、研究過程或方法

一、研究流程圖

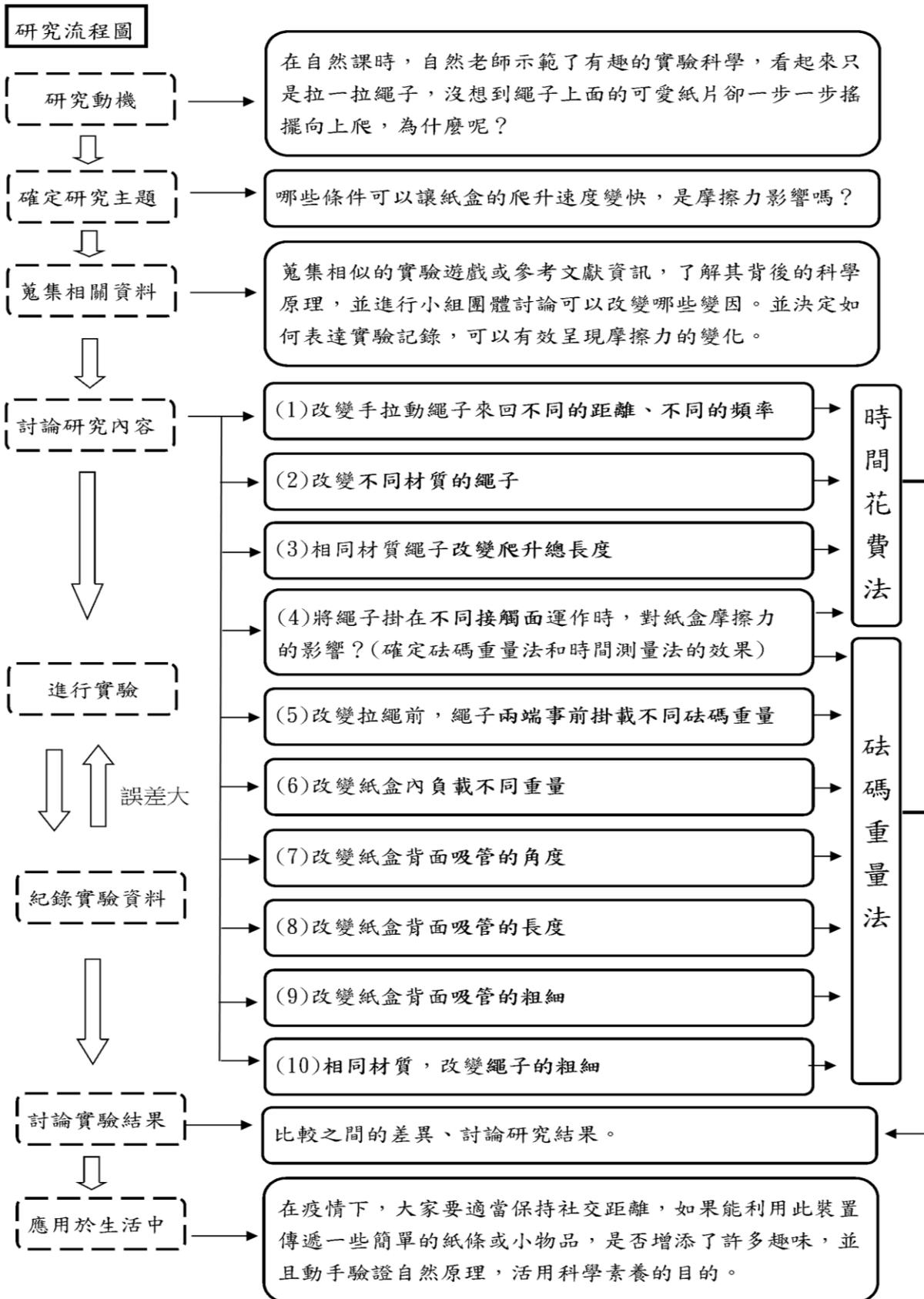


圖3-1 研究流程圖 (作者自行整理)

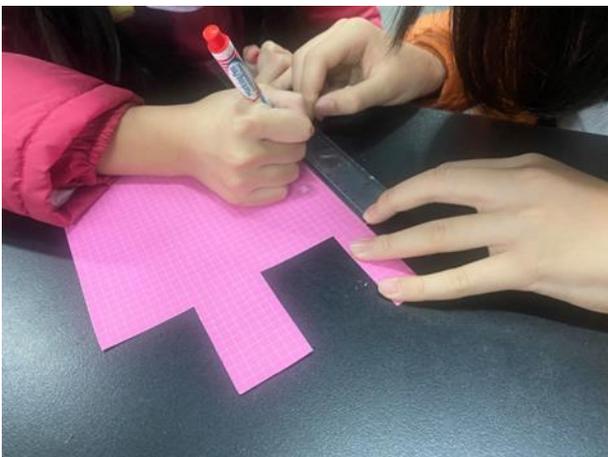
二、製作紙片爬繩裝置



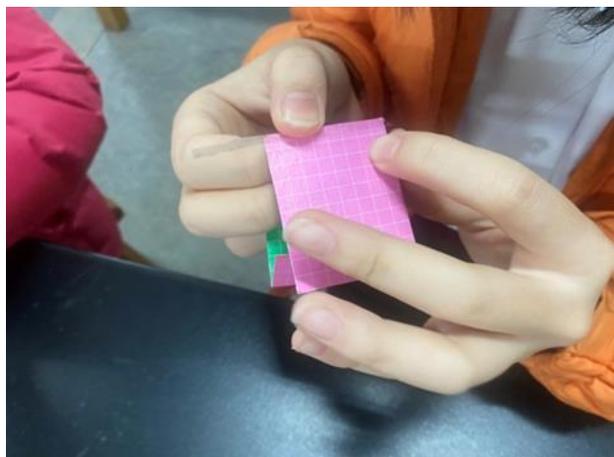
(1) 量取 220 公分的繩子長度，剪下繩子。



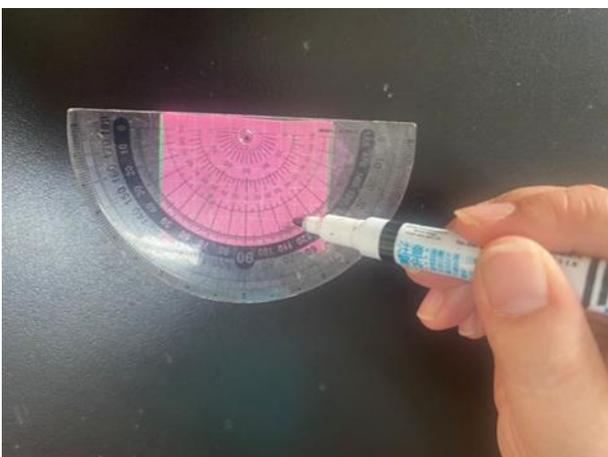
(2) 將繩子對折，並於末端劃記 5 公分、10 公分、15 公分、20 公分的位置記號。



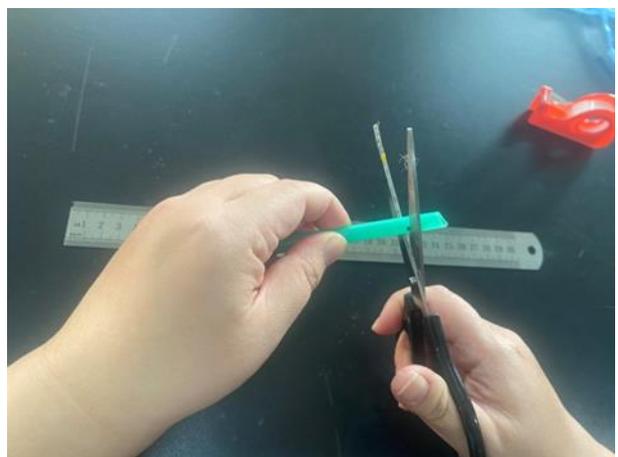
(3) 製作紙盒，在西卡紙上，畫下紙盒大小的平面圖。
(長 5 公分、寬 2 公分、高 4 公分)



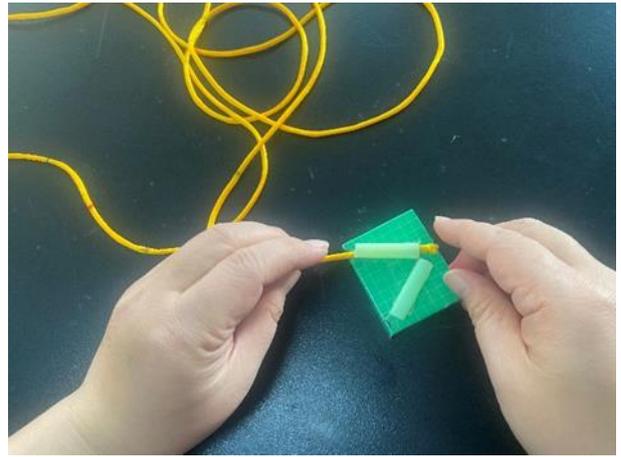
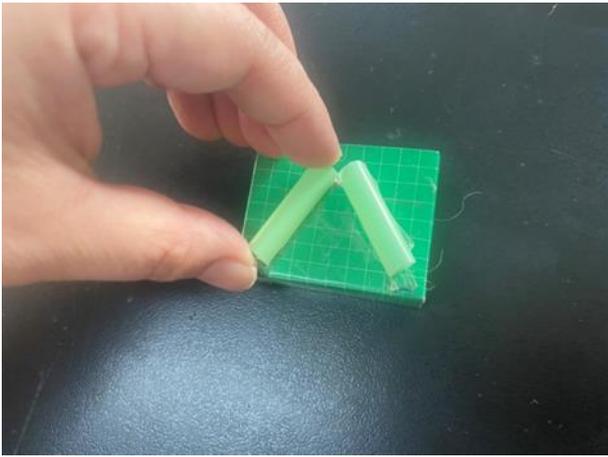
(4) 使用膠帶將其組合成無蓋紙盒。



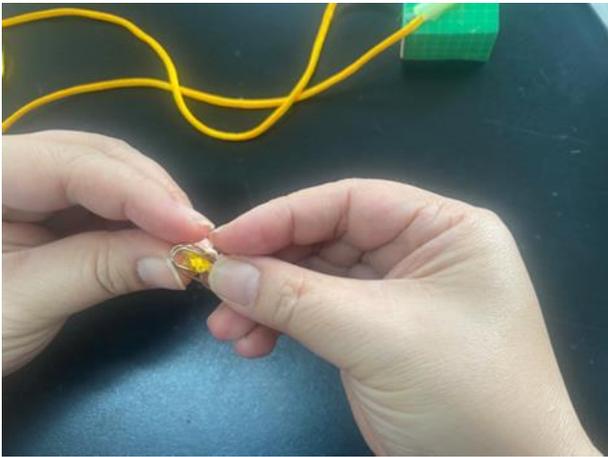
(5) 在紙盒上，使用量角器測量，分別 60 度、120 度，畫上記號準備黏貼吸管。



(6) 拿出粗細吸管，量測 3 公分、6 公分，進行裁剪。



(7) 依照原先劃記的角度貼上 3 公分的吸管，並穿過前方步驟 2 的繩子。使得紙片爬繩的裝置接近完成。



(8) 並在繩子兩末端，綁上迴紋針 2 個，使拉繩時，能在相同位置上施力。

(9) 最後找到一個可固定繩子的位置，至少能垂降 1 公尺的繩子，即完成裝置。

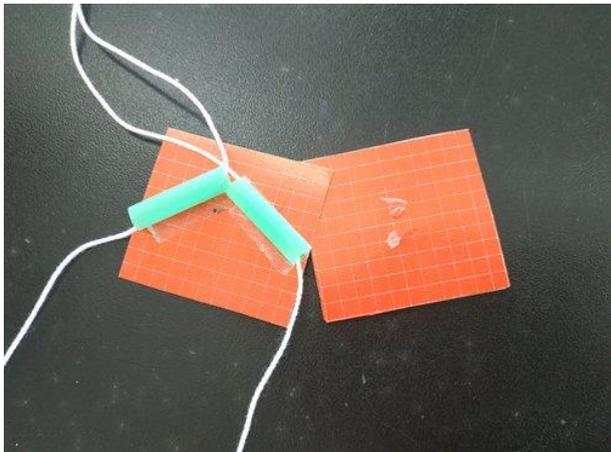
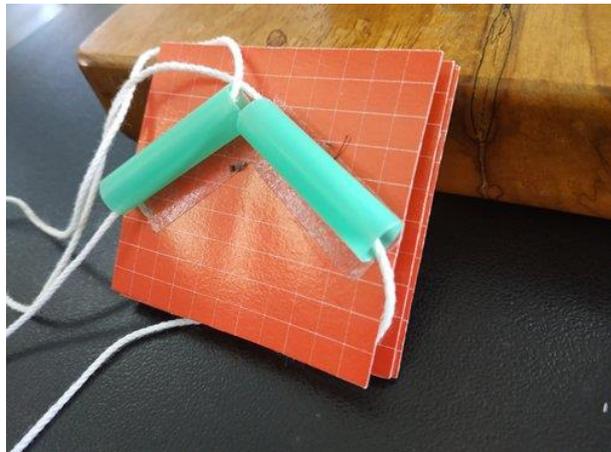
三、預試，我們如何拉繩使紙片上升，並觀察表達看到的問題

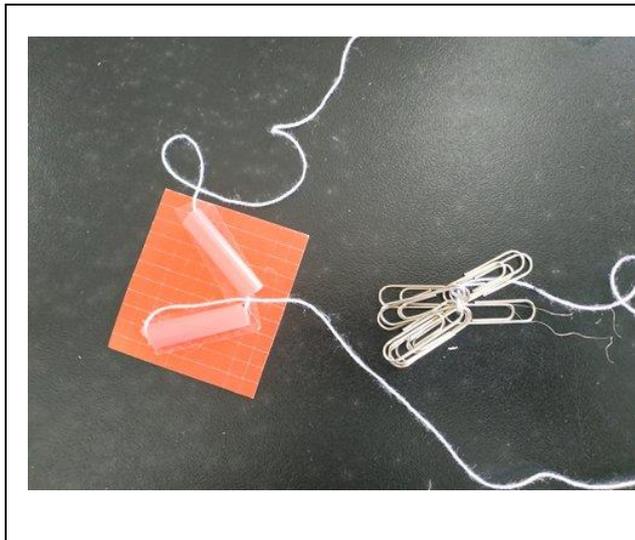
○ 整理預試結果表格

項目	大家的想法和問題
拉繩力量 問題	(1)拉繩大力一點，紙片上升的速度好像會加快。
	(2)在不同材質的繩子，手要出力的大小不一樣。
	(3)疑問：我每次拉的力量都一樣嗎？
修正	我們想到讓一位同學，從頭到尾擔任固定操作者，來降低力量的影響。 如果還是會出現力量的控制是否一樣的大小的問題？我們會經過固定的聚會討論，並由組員提出解決方法，如：使用課堂上的工具：彈簧秤、砝碼，來試看看是否能解決問題。
拉繩距離	(4)在歷屆作品中，有討論到拉繩距離會有影響速度上的問題，那到底要拉多

問題	少才是適合的距離？
修正	考慮一開始繩子的長度要固定，並要組員們能順手操作的位置，所以會採取 5 公分、10 公分、15 公分，預先測試的方式來決定。
拉繩快慢問題	(5)觀察到組員們在雙手拉繩來回交錯的速度不同時，紙片上升的速度不一樣。是否要考慮一致的頻率？
修正	讓組員們在固定頻率下，快節奏和慢節奏，哪一種情境下穩定性更高來決定。採用音樂速度常使用的度量單位 BPM，每分鐘多少拍（次數），BPM 的數值越大代表越快的速度。
拉繩討論變因發現問題	(6)某些材質的繩子，容易出現空轉的現象，即為拉繩紙片卻不會移動的情況，要避免發生，不然會花費時間會有很大的出入。 (7)具有彈性的繩子，在拉繩技巧上，要注意繩子的緊繃程度，也可能會影響紙片爬升的速度。 (8)增加繩子上的紙片數量，想要增加重量，卻發現紙片相疊的情況下，增加的重量很有限。
修正	對於(6)、(7)繩子的選用，為在日常生活中容易收集的為主，如果出現空轉，也可以整理起來討論，在什麼條件下會這樣，延伸到應用的地方，不要選用這樣的繩子材質，效果打折。 (8)為了把重量差距拉大，所以將原先採用的紙片，變成紙盒的形式，可以在紙盒中放入砝碼載重，來達到與繩子間的摩擦力是否會有影響。

◎實驗照片

	
<p>實驗中有很多的改變和學習，從一開始的標題紙片變紙盒，就是因為想更進入討論增加載重是否會改變摩擦力。</p>	<p>多貼了10張相同的紙片，重量只多了約5公克，連帶實驗數據無明顯變化，當時陷入了烏雲慘霧中。</p>



也想過對照組為一至二個迴紋針，那變成十個會怎樣（對應實驗四），沒想到也沒有明顯差異，因為重量增加不夠。

在紙盒中放入許多的砝碼，是可行的，但是操作會出現紙盒向後躺的狀況，變成繩子無法將紙盒拉上去，決定使用放入3個砝碼的差別性。

四、研究方法

（一）**時間花費法**：測量紙盒上升所需要花費時間為多少，來表示摩擦力的大小。在相同距離下，花費的時間越多，表示爬升的速度慢，摩擦力大。

*實驗步驟

1. 對照組：對摺後一公尺的棉繩，掛在金屬處，細吸管角度60度，長度3公分，無載重（紙盒中無東西）。
2. 將繩子掛在測量的固定高度位置上，並先雙手試試是否能讓紙盒順利上升。
3. 一位組員手持碼錶擔任計時員，需統一口令「預備-開始」，判斷紙盒是否到達終點，並將花費秒數告知紀錄員。
4. 一位組員雙手拉著繩子兩端迴紋針，聽到口令後，進行拉繩來回對齊5公分處記號。

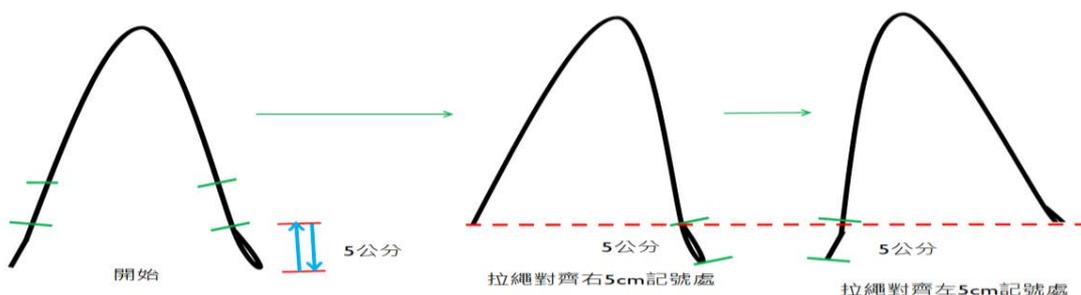


圖3-2 拉繩固定距離示意圖（作者自行繪製）

5. 因拉扯的繩子，容易因人為施力操作損壞，而造成數據上的誤差性，故一次進行五次實驗後，便直接淘汰該繩子，重新製作繩子。如此重複操作八次並

將實驗中出現的極端數值刪除，保留五次紀錄於表格中，取平均值。

6. 會進一步討論各項變因，對紙盒摩擦力的影響情況差異性。

(二) 砝碼重量法：利用砝碼重量拉動繩子5公分的方式，模擬手拉動的力量大小，判斷摩擦力大小。當拉動繩子所需砝碼越多，表示摩擦力越大。

*實驗步驟

1. 對照組：對摺後一公尺的棉繩，掛在金屬處，細吸管角度60度，長度3公分，無載重（紙盒中無東西）。
2. 將繩子掛在測量的固定高度位置上，整理繩子兩端迴紋針高度要相同。
3. 一位組員先從左邊掛上砝碼，如果繩子不移動時，繼續加重砝碼直到繩子移動到5公分的記號處，模擬手拉動的力量，紀錄砝碼的重量。
4. 每一次掛上不同重量的砝碼時，需要將兩端迴紋針再回到相同高度，進行觀察。下次從另一邊掛上砝碼，如此重複操作八次並將實驗中出現的極端數值刪除，保留五次紀錄於表格中作為平均值。
5. 會進一步討論各項變因，對紙盒摩擦力的影響情況差異性。

綜合以上兩種實驗方法都是為了測試實驗中變因對摩擦力的影響，在以下實驗中，會直接說明使用什麼方法進行實驗，重點描述討論改變條件處，相同的步驟將不再贅述，並以「時間花費法」和「砝碼重量法」表示。

五、實驗一：手拉繩來回不同距離下，對紙盒爬繩花費秒數的影響？

(一) 一開始先採用歷屆作品中，以繩子為固定長度一公尺的距離，測量紙盒上升所需要花費時間為多少，來表示摩擦力的大小。

(二) 但事前操作時，我們發現手拉距離影響紙盒爬繩花費的時間可能性很大，故使用「時間花費法」先測試「手拉繩的距離」是否會影響花費時間？

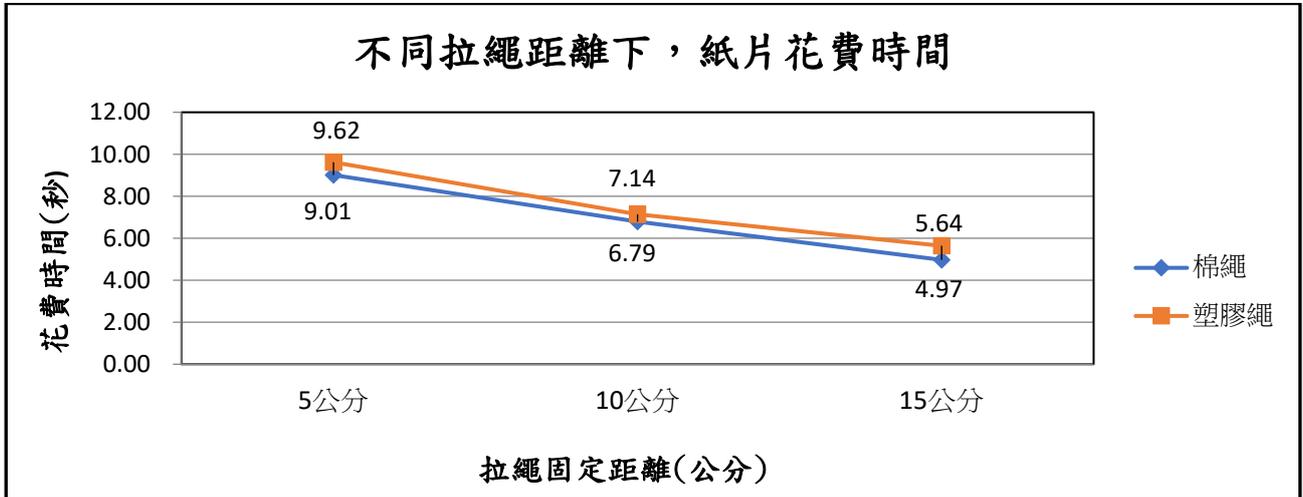
(三) 進行棉繩和塑膠繩的手拉繩來回距離5公分、10公分、15公分的實驗比較。

◎棉繩、塑膠繩在不同拉繩距離下，花費的時間 數據紀錄表 (表3-1)

拉繩距離	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (秒)
棉繩	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	
來回5公分	8.50	9.56	9.41	8.97	8.61	9.01
來回10公分	7.00	7.46	6.50	6.35	6.65	6.79
來回15公分	5.18	5.06	4.81	4.66	5.13	4.97
塑膠繩	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	平均

來回5公分	9.44	9.37	8.94	10.28	10.09	9.62
來回10公分	7.56	6.88	7.10	7.12	7.06	7.14
來回15公分	5.84	5.54	5.91	5.41	5.50	5.64

◎不同拉繩距離下，紙盒上升花費時間 數據折線圖 (圖3-3)



(四) 實驗結果：

- 1.根據實驗數據表格中發現，當我們改變拉繩的來回距離時，會影響紙盒上升所花費時間，由快到慢是拉繩15公分→拉繩10公分→拉繩5公分。
- 2.不管是在棉繩還是塑膠繩，都可以觀察到拉的距離越大，花費的時間越少；拉的距離越小，花費的時間越多。
- 3.雖秒數差距不大（繩子的長度受限），但仍符合棉繩與塑膠繩的摩擦力大小，棉繩秒數少，摩擦力較小；塑膠繩秒數多，摩擦力較大。
- 4.在以下改變實驗條件時，我們必須將拉繩的距離進行固定，避免影響實驗結果，考慮組員對記號距離的方便性，最後採取拉繩 5公分的距離，故後面的實驗進行時，將不再考慮拉繩長度的改變。

六、實驗二：手拉繩來回不同頻率下，紙盒爬繩對花費秒數的影響？

(一) 依照實驗一決議固定拉繩來回距離5公分下，繩子為固定長度一公尺的距離，測量紙片上升所需要花費時間為多少，來表示摩擦力的大小。

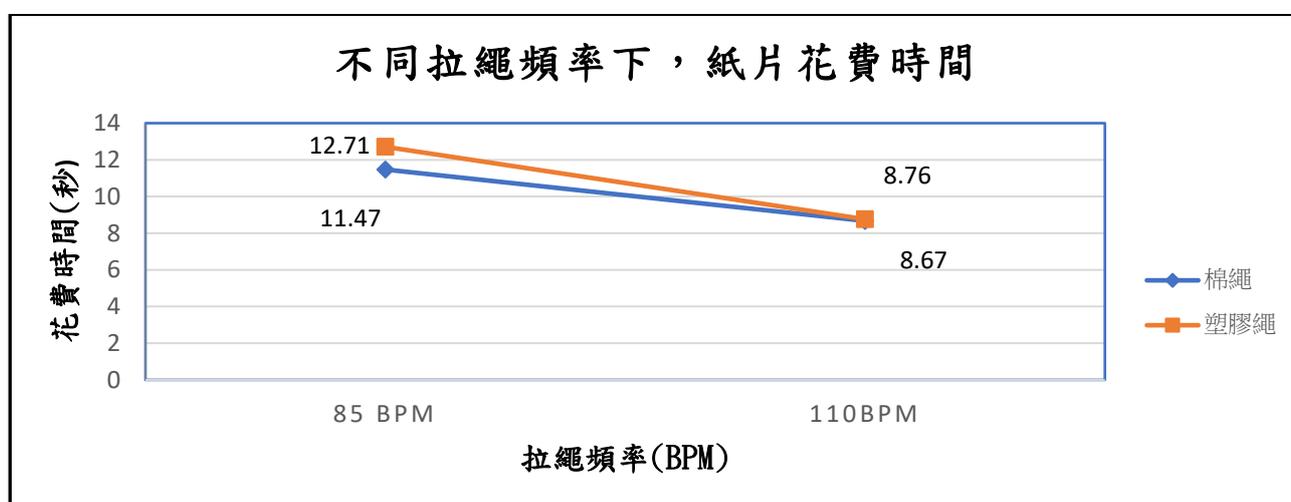
(二) 但事前操作時，我們發現手拉來回速度快慢，影響紙盒爬繩花費的時間可能性很大，故使用「時間花費法」先測試「手拉繩的頻率」是否會影響花費時間？

(三) 進行手拉繩來回時需在音樂速度節奏拍子上，為慢節奏85BPM 和快節奏110BPM 的實驗比較。

◎棉繩、塑膠繩在不同拉繩頻率下，花費的時間 數據紀錄表 (表3-2)

拉繩頻率	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (秒)
棉繩	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	
85 BPM	11.47	11.68	11.34	10.97	11.87	11.47
110 BPM	8.44	8.90	8.81	8.75	8.47	8.67
塑膠繩	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	平均
85 BPM	12.88	12.07	13.09	12.81	12.69	12.71
110 BPM	8.69	8.90	8.97	8.75	8.50	8.76

◎不同拉繩頻率下，紙片上升花費時間 數據折線圖 (圖3-4)



(四) 實驗結果：

- 1.根據實驗數據表格中發現，當我們固定拉繩的來回距離，但拉繩頻率的快慢會影響紙盒上升所花費時間。
- 2.不管是在棉繩還是塑膠繩，都可以觀察到拉繩頻率越快，花費的時間越少；拉繩頻率越慢，花費的時間越多。
- 3.也注意到在快節奏下，不管材質的摩擦力影響下，所測量花費秒數數值已經幾乎無差距性。
- 4.在以下改變實驗條件時，我們必須將拉繩的頻率進行固定，避免影響實驗結果，因考慮拉繩組員一部分需要專心來回5公分的位置，又要拉在節拍上，所以太快節奏會產生較大的誤差性，故選定慢節奏85BPM 為測量的依據。

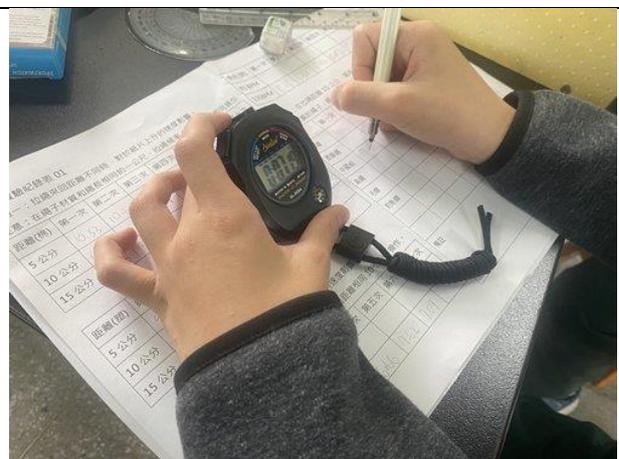
◎實驗照片



兩兩一組，一人負責口令和按碼錶，另一人拉繩固定距離，拉繩位置要準確，充分展現合作精神。



利用手機播放音樂節拍器，使拉繩員操作時能有規律性的節奏拉動繩子。



要確實將每次實驗記錄寫下來，再進行篩選。

七、實驗三：不同材質的繩子下，對紙盒爬繩摩擦力的影響。(繩長100公分)

(一) 討論「**不同材質的繩子**」對紙盒爬繩的摩擦力影響，固定繩長長度一公尺的距離，測量紙盒上升所需要花費時間為多少，來表示摩擦力的大小。

(二) 依照實驗一、二後，拉繩時要注意拉繩固定距離來回5公分，並在拉繩頻率85BPM節拍上。操作上使用「時間花費法」測試「**不同材質的繩子**」是否會影響花費時間？

(三) 進行棉繩、塑膠繩、麻繩、中國結繩、毛線的時間花費實驗比較。

◎選用此五種繩子的原因、觸摸感受和粗細

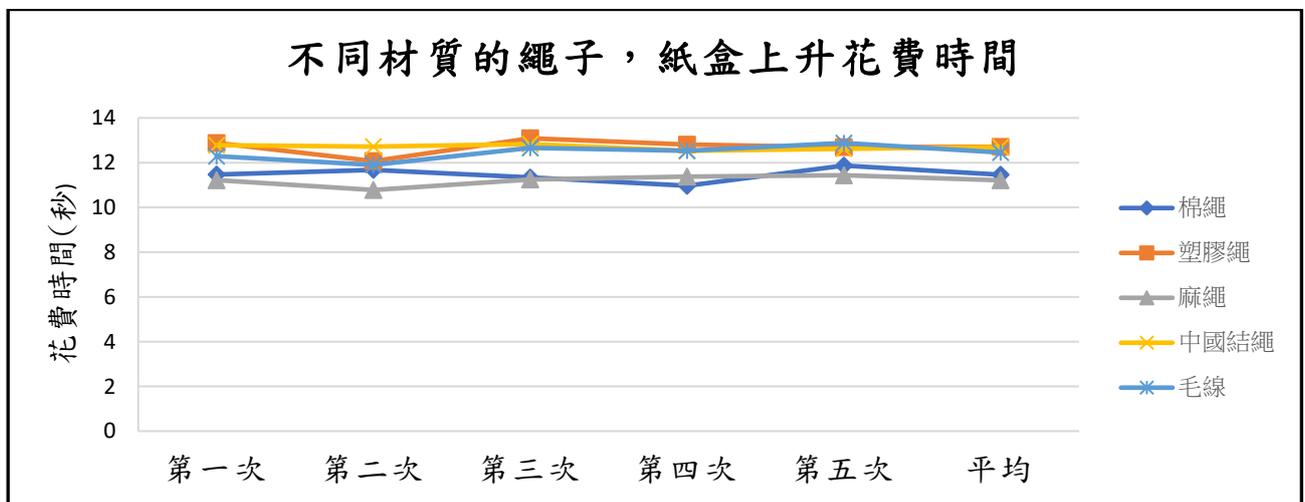
繩子材質	原因	基本觸摸感受	繩的粗細
棉繩	在生活中最常見，也是自然實驗課中常使用到的材料，如：時間的單擺實驗。	摸起來有光滑感，容易在線末端分開，為三股編織成。	1mm
塑膠繩	在期末書本回收時，會選用的包裝繩。	看起來扁平，為一片摺疊繩寬度不整齊。摸起來非光滑	8~10mm

		感。	
麻繩	在書局中，採購可裝飾個美工繩子，且摸起來的感觸很特別。	摸起來有粗糙感，線緣有很多鬚鬚的感覺，組成為單股編織成。	2mm
中國結繩	在美勞課，學生有體驗，中國結繩和毛線的編織，直接想到可以拿來應用的部分。	摸起來有膨鬆感，外觀看起來是有多細繩編織出來的	4mm
毛線		摸起來很軟、可拉扯伸縮，繩子會看起來變細變長。	3mm

◎在總長100公分，不同材質的繩子下，花費的時間 數據紀錄表 (表3-3)

次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (秒)
不同材質	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	
棉繩	11.47	11.68	11.34	10.97	11.87	11.47
塑膠繩	12.88	12.07	13.09	12.81	12.69	12.71
麻繩	11.22	10.78	11.25	11.38	11.44	11.21
中國結繩	12.78	12.72	12.83	12.53	12.62	12.70
毛線	12.29	11.90	12.66	12.53	12.88	12.45

◎不同材質的繩子，紙片上升花費時間 數據折線圖 (圖3-5)

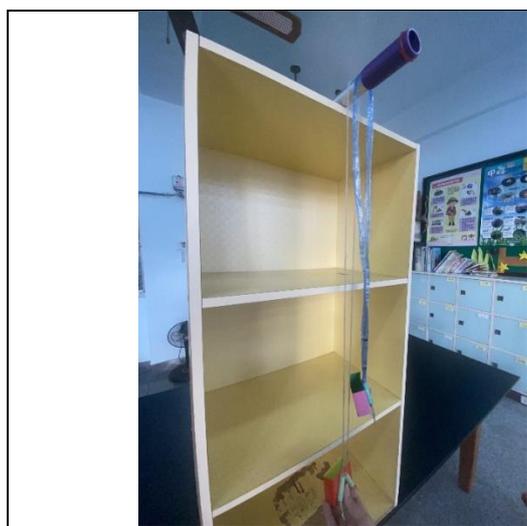


(四) 實驗結果：

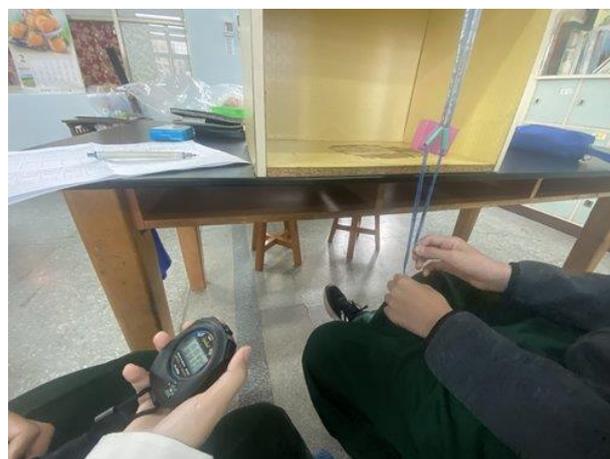
- 1.根據實驗數據表格中發現，當我們改變不同材質的繩子，對紙盒上升時間有影響但不顯著，秒數差距不大。可以發現棉繩和麻繩所花秒數較少，平均在11秒多，屬於摩擦力比較小；而塑膠繩、中國結繩、毛線平均值都在12秒多，屬於摩擦力比較大。

- 2.可是也讓我們思考到麻繩的摩擦力真的比較小嗎？好像跟我們認知上的結果不一樣，不少組員反應它摸起來的感覺是粗糙的。而且塑膠繩的摩擦力與其他材質秒數相比也是相近，並沒有突出的表現，不禁重新思考摩擦力大小的展現方式。
- 3.還是讓紙盒爬升的距離長度不足，造成想要呈現出來的結果沒有太大的差異性呢？經過團體討論在可行操作下，將爬升距離改為2公尺，效果會不會有明顯的不同。

◎實驗照片



在拉不同材質的繩子時，線材特質大不同，如：(1)毛線具有彈性和伸縮性，裁剪與大家相同長度，但在拉繩時，則需要拉緊繃狀態下，才會順利移動。但紙片移動的距離好像多了一些(2)麻繩則會在拉繩中，毛屑掉滿地並且每隔一段時間，就會具結再一起。



拉繩的過程中，最煎熬的是不斷的綁迴紋針，因為鬆掉了或和紙盒分離了，一切就重新來過。

訪問拉繩者，拉棉繩與塑膠繩有差異性嗎？塑膠繩需要更大的力量的感覺，但花費秒數上卻不明顯。

八、修正實驗三之一：繩長200公分，不同材質的繩子下，對紙盒爬繩摩擦力的影響。

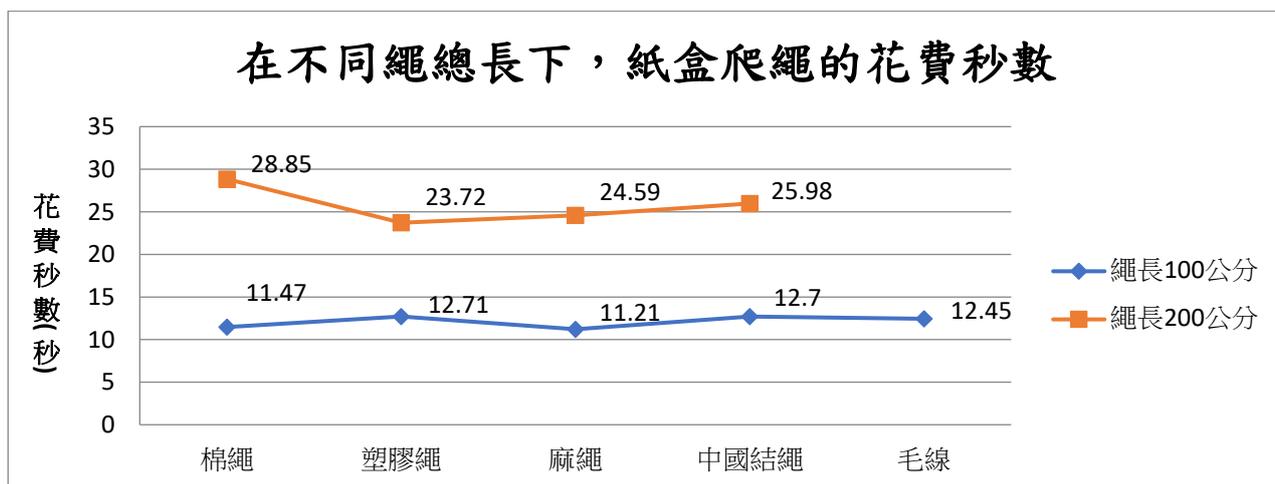
(一) 為了確定是否因為繩子長度距離的關係，使得秒數差距性被消失掉，所以測量繩子對摺總長為200公分的情況下，與100公分的比較。

(二) 步驟都與實驗三一致，在拉繩來回5公分，慢節奏85BPM下，拉繩爬升總長200公分，所花費的時間，紀錄下來。

◎在對摺後總長200公分，不同材質的繩子下，花費的時間 數據紀錄表 (表3-4)

次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (秒)
不同材質	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	
棉繩	28.68	28.56	29.31	28.03	29.66	28.85
塑膠繩	23.63	23.84	23.31	23.97	23.84	23.72
麻繩	25.72	24.41	24.34	23.71	24.75	24.59
中國結繩	26.59	25.68	26.13	25.63	25.88	25.98
毛線	紙盒無法爬升，只在拉繩者前面上下滑動。					

◎在不同繩總長，不同材質的繩子下，花費的時間 折線圖(圖3-6)



(三) 實驗結果：

- 1.根據實驗數據表格中發現，當我們改變爬繩總長為200公分時，不同材質的繩子，除了棉線比其他材質花費更多的秒數外，其他的材質的差距仍很微小。甚至毛線出現了無法爬升的狀態。
- 2.而且出現矛盾的狀態，在100公分的情況下是棉繩跟麻繩，秒數較少，摩擦力小；塑膠繩、中國結繩和毛線秒數多，摩擦力大。但在200公分的情況下，反而塑膠繩是花費秒數少，摩擦力最小；棉線是花費秒數最多的，表示摩擦力大嗎？
- 3.我們認為摩擦力，不會受到繩子的長度的改變，但是秒數卻呈現了不同的結果，也使我们大感意外，所以時間花費法真的可以表現摩擦力嗎？再次，出現疑問。
- 4.訪問拉繩者的感受描述是在拉塑膠繩會有摩擦力卡住紙盒的感覺；但在棉繩時，就會覺得不用力的當下紙盒好像會往下滑，這樣來回拉扯就會增加時間。

九、修正實驗三之二：在不同材質的繩子下，對紙盒爬繩摩擦力的影響。(砝碼重量法)

(一) 為更真實的呈現繩子對吸管爬升時產生摩擦力的改變，我們利用砝碼重量拉動繩子5公分的方式，進行摩擦力大小的紀錄。數值越大，表示材質對吸管產生較大的摩擦力。

(二) 討論「不同材質的繩子」對紙盒爬繩的摩擦力影響，測量拉動繩子的砝碼重量，來表示摩擦力的大小。操作上使用「砝碼重量法」測試「不同材質的繩子」是否會影響吸管摩擦力？

(三) 進行棉繩、塑膠繩、麻繩、中國結繩、毛線的砝碼重量的實驗比較。

◎在不同材質的繩子下，拉繩 5 公分需要的砝碼重量 數據紀錄表 (表3-5)

次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (公克)
不同材質	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	
棉繩	12	10	12	10	12	11.2
塑膠繩	12	14	14	12	12	12.8
麻繩	12	10	12	10	12	11.2
中國結繩	10	8	10	8	10	9.2
毛線	6	6	6	6	6	6.0

(四) 實驗結果：

- 1.根據實驗數據表格中發現，當我們改變不同材質的繩子，需要不同的砝碼重量去拉動繩子，依序是砝碼重量是塑膠繩→棉繩、麻繩→中國結繩→毛線。
- 2.砝碼重量越重，表示摩擦力越大。所以五種材質中，塑膠繩摩擦力最大，毛線最小。
- 3.實驗操作的過程中，會出現迴紋針不小心卡在吸管中的現象，影響實驗結果，所以在團體討論中，決定實驗前將兩端各掛上一個砝碼，增加繩子的重量，一方面穩定繩子，一方面不要讓迴紋針卡住，這也使我們想進一步討論兩端砝碼掛的數量不同時，摩擦力會有影響嗎？

十、實驗四：事前在繩子兩端掛上等重砝碼，對紙盒爬繩摩擦力的影響

(一) 為了呈現繩子對吸管爬升時產生摩擦力的改變，我們事前先在繩子兩端掛上相同的砝碼，再利用砝碼重量拉動繩子5公分的方式，進行摩擦力大小的紀錄。

(二) 討論「事前在繩子兩端掛上等重砝碼」對紙盒爬繩的摩擦力影響，測量拉動繩子的砝碼重量，來表示摩擦力的大小。操作上使用「砝碼測量法」測試「事前掛上不同的砝碼(兩側一樣)」是否會影響吸管摩擦力？

(三) 進行棉繩、塑膠繩、麻繩、中國結繩、毛線的「事前掛上不同的砝碼(兩側一樣)」有0個、1個、2個、3個砝碼實驗比較。

◎在棉繩，事前掛不同數量的砝碼摩擦力 數據紀錄表(表3-6)

棉繩	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (公克)
事前兩端載重	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	
沒有砝碼	12	10	12	10	12	11.2
一個砝碼	16	14	16	14	14	14.8
二個砝碼	24	22	22	24	24	23.2
三個砝碼	34	32	32	30	30	31.6

◎在塑膠繩，事前掛不同數量的砝碼摩擦力 數據紀錄表(表3-7)

塑膠繩	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (公克)
事前兩端載重	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	
沒有砝碼	12	14	14	12	12	12.8
一個砝碼	44	46	40	46	44	44.0
二個砝碼	66	62	62	68	66	64.8
三個砝碼	80	78	84	84	82	81.6

◎在麻繩，事前掛不同數量的砝碼摩擦力 數據紀錄表(表3-8)

麻繩	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (公克)
事前兩端載重	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	
沒有砝碼	12	10	12	10	12	11.2
一個砝碼	20	18	18	20	18	18.8
二個砝碼	30	30	34	32	32	31.6
三個砝碼	40	42	42	44	40	41.6

◎在中國結繩，事前掛不同數量的砝碼摩擦力 數據紀錄表(表3-9)

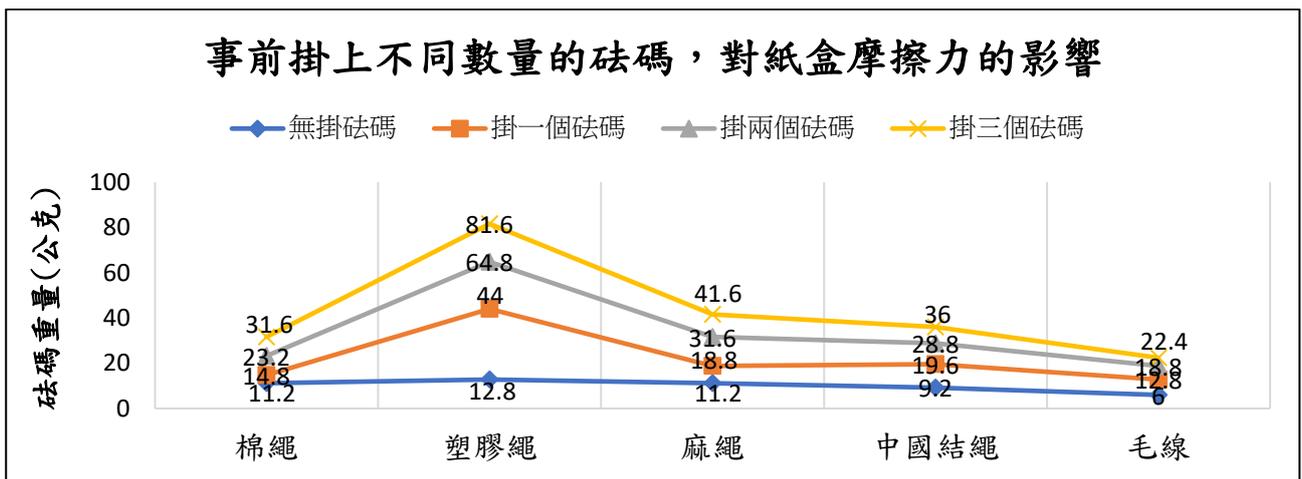
中國結繩	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (公克)
事前兩端載重	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	
沒有砝碼	10	8	10	8	10	9.2

一個砝碼	20	20	20	20	18	19.6
二個砝碼	28	30	30	26	30	28.8
三個砝碼	38	36	34	38	34	36.0

◎在毛線，事前掛不同數量的砝碼摩擦力 數據紀錄表 (表3-10)

毛線	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (公克)
事前兩端載重	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	
沒有砝碼	6	6	6	6	6	6.0
一個砝碼	12	12	12	14	14	12.8
二個砝碼	18	18	20	18	20	18.8
三個砝碼	22	22	22	22	24	22.4

◎不同材質的繩子，事前掛上不同數量砝碼摩擦力 數據折線圖 (圖3-7)



(四) 實驗結果：

- 1.根據實驗數據圖表中發現，當我們改變事前在繩子兩端掛上砝碼是會影響摩擦力的，掛的數量越多，所測量到的摩擦力越大。在所測量的五種繩子皆成立，依序是掛三個砝碼→掛兩個砝碼→掛一個砝碼→無掛砝碼。
- 2.當事前掛上砝碼，可以更清楚分辨各繩子的摩擦力大小比較，摩擦力由大到小依序為塑膠繩→麻繩→中國結繩→棉繩→毛線。就不會出現修正實驗三的情況，數值小到認為大家摩擦力相近。
- 3.我們認為會有這樣的實驗結果是加掛砝碼時，繩子的重量加重、張力變大對接觸的棍子和吸管產生更大的摩擦力。
- 4.所以之後討論改變條件變因時，我們會事前在繩子兩端掛上3個砝碼，在繩子材質的選擇上保留塑膠繩和棉繩繼續實驗。

◎實驗照片

	
<p>每次操作掛上的砝碼時，都必須要恢復到原來對齊平衡的狀態，來決定是否有將繩子移動5公分。</p>	<p>事前兩端掛上砝碼，可以使繩子更緊貼在各個接觸面上，觀察到摩擦力增加。</p>
	
<p>掛砝碼也是一種技巧，常常出現掛不好的連鎖效應，砝碼灑落一地。</p>	<p>或是一瞬間力量太大，變成拉繩版的失速列車，一邊直接衝上最上面，一邊自由落體。</p>

十一、實驗五：繩子掛放在不同的材質處，對紙盒爬繩摩擦力的影響。

(一) 為了呈現繩子對吸管爬升時產生摩擦力的改變，採用兩項紀錄方式，一個為紙盒上升到終點，所花費時間，稱作「時間花費法」；另一個是測量模擬手拉的力量要克服的摩擦力，稱作「砝碼測量法」，來決定哪一種呈現的效果更好。

(二) 使用我們已經知道的接觸材質不同情境的理論結果，進行檢驗和討論「繩子掛上在拖把金屬處、防滑處」對紙盒爬繩的摩擦力影響。操作上同時使用「砝碼測量法」和「時間花費法」進行比較。

(三)「砝碼測量法」已在實驗四決議在實驗前繩子兩端將各掛三個砝碼，讓摩擦力的效果呈現更好。

(四) 進行棉繩、塑膠繩的「繩子掛上在拖把金屬處、防滑處」的實驗比較。

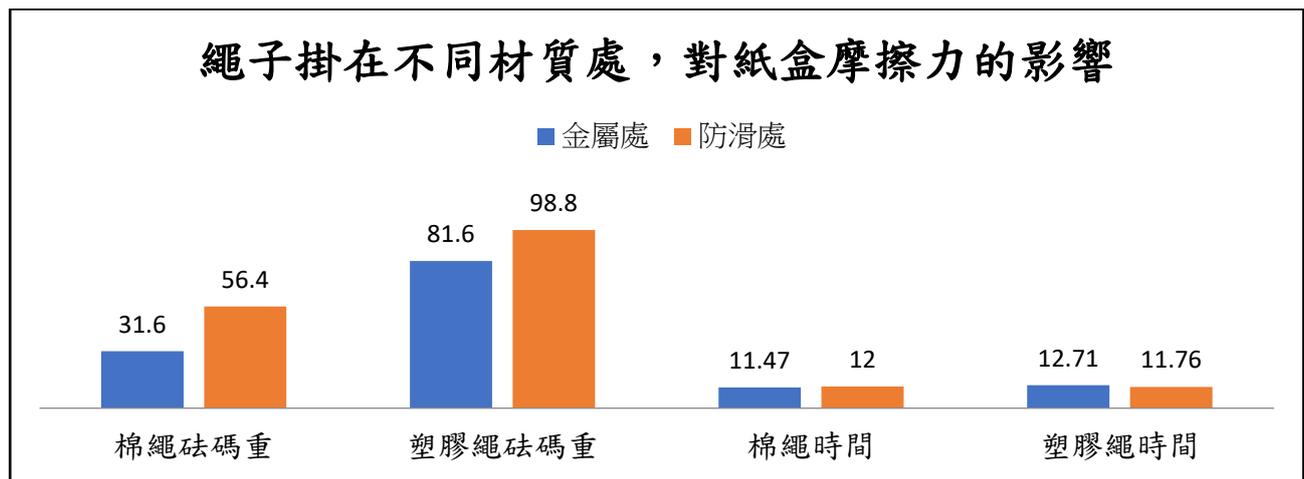
◎棉繩、塑膠繩掛在不同材質固定處的摩擦力 數據紀錄表 (表3-11)

掛繩材質	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (公克)
棉繩	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	
金屬處	34	32	32	30	30	31.6
防滑處	54	58	58	54	58	56.4
塑膠繩	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	平均
金屬處	80	78	84	84	82	81.6
防滑處	96	96	100	100	102	98.8

◎棉繩、塑膠繩掛在不同材質固定處下花費時間 數據紀錄表 (表3-12)

掛繩材質	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (秒)
棉繩	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	
金屬處	11.47	11.68	11.34	10.97	11.87	11.47
防滑處	11.94	12.09	12.12	11.91	11.96	12.00
塑膠繩	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	花費秒數	平均
金屬處	12.88	12.07	13.09	12.81	12.69	12.71
防滑處	11.41	11.53	12.03	11.81	12.06	11.76

◎繩子掛在不同材質處，對摩擦力的影響 數據長條圖 (圖3-8)



(五) 實驗結果：

- 1.根據實驗數據圖表中發現，當我們改變繩子掛在不同材質處，越防滑的，所測量到砝碼數量越大，也表示摩擦力越大。在棉繩與塑膠繩都成立。
- 2.因為越防滑的材質，摩擦係數越大，所以摩擦力越大，需要較多砝碼才能拉動。
- 3.在測量花費時間，**塑膠繩**卻出現了防滑材質快於金屬材質的情況，讓人不禁再次

對於使用花費時間法推測摩擦力的方法是否合適。再者是時間的差距非常小，前面實驗也做過將繩子總長加長後，實驗結果完全不同的情況。

4.我們認為是雙手的拉力真的很難每次都控制一樣。故之後進行的實驗都不再討論花費時間的情境下，只討論「砝碼測量法」。

◎實驗照片



在進行防滑處實驗時，因怕繩子掉落，在前方裝設橡皮筋達到緩衝效果。

會不自覺的伸手，就怕砝碼又掉到地板上了



每次最開心看到這一刻，一步一步往上爬，終於到達終點了。

每次要對準5公分記號區，其實眼睛很容易失神，只好依靠多多操作的次數來彌補。

十一、實驗六：在紙盒內負載不同砝碼重量，對紙盒爬繩摩擦力的影響

(一) 討論「在紙盒內放入不同砝碼重量」對紙盒爬繩的摩擦力影響，採用測量模擬手拉的力量要克服的摩擦力，稱作「砝碼測量法」。

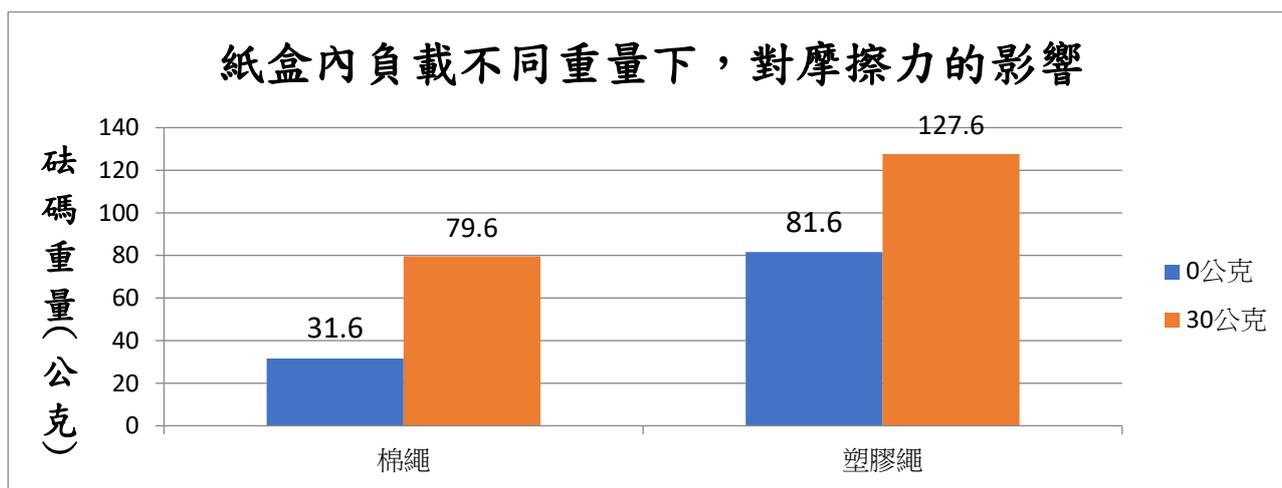
(二)「砝碼測量法」已在實驗四決議在實驗前繩子兩端將各掛三個砝碼，讓摩擦力的效果呈現更好。

(三) 進行棉繩、塑膠繩的「在紙盒內不放砝碼與放入30公克砝碼」的實驗比較。

◎棉繩、塑膠繩在紙盒內載重不同重量下摩擦力 數據紀錄表 (表3-13)

紙盒載重	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (公克)
棉繩	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	
0公克	34	32	32	30	30	31.6
30公克	82	80	80	78	78	79.6
塑膠繩	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	平均
0公克	80	78	84	84	82	81.6
30公克	128	128	126	128	128	127.6

◎紙盒內載重不同重量下，對摩擦力的影響 數據長條圖 (圖3-9)



(四) 實驗結果：

- 1.根據實驗數據圖表中發現，在紙盒中增加額外的重量會使摩擦力增加，在棉繩與塑膠繩都能看到相同的結果。
- 2.我們認為是因為摩擦力會受到接觸物的正向力的影響，所以當砝碼重量放置在紙盒中，吸管與繩子之間的摩擦力也會增加。

十二、實驗七：紙盒上不同的吸管角度，對紙盒爬繩摩擦力的影響

(一) 討論「在紙盒上不同的吸管角度」對紙盒爬繩的摩擦力影響，採用測量模擬手拉的力量要克服的摩擦力，稱作「砝碼測量法」。

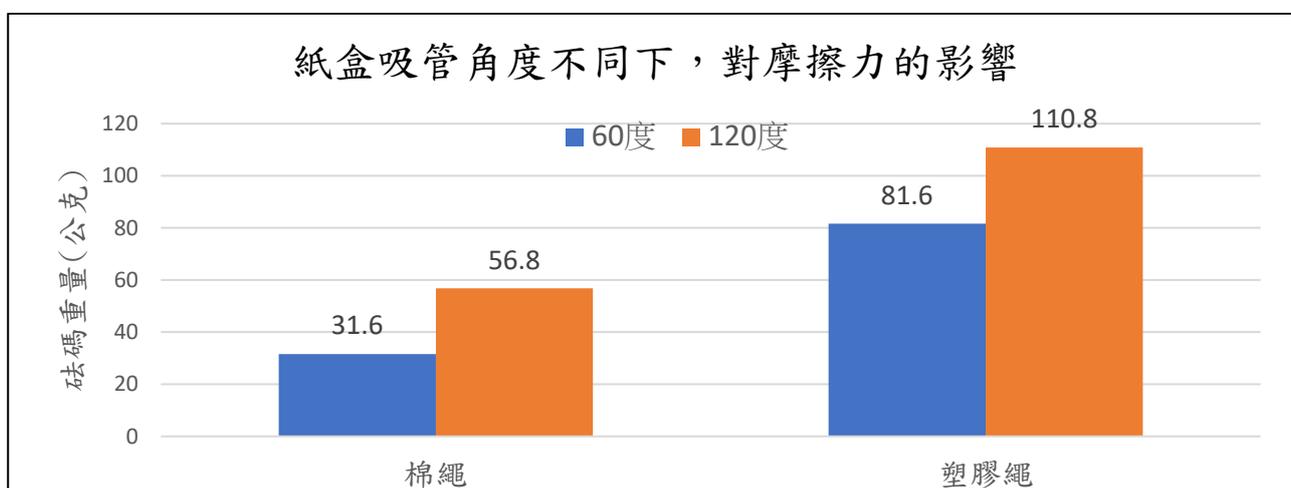
(二)「砝碼測量法」已在實驗四決議在實驗前繩子兩端將各掛三個砝碼，讓摩擦力的效果呈現更好。

(三) 進行棉繩、塑膠繩的「紙盒背後的細吸管角度為60度與120度」的實驗比較。

◎棉繩、塑膠繩在紙盒吸管角度不同下摩擦力 數據紀錄表 (表3-14)

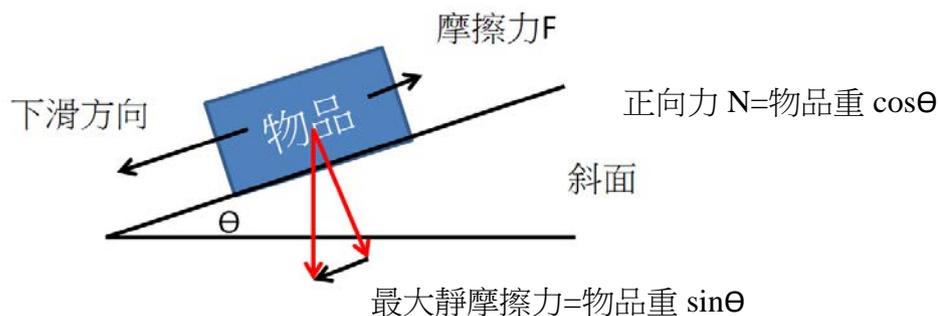
吸管角度	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (公克)
棉繩	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	
60度	34	32	32	30	30	31.6
120度	54	58	58	54	60	56.8
塑膠繩	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	平均
60度	80	78	84	84	82	81.6
120度	110	112	110	114	108	110.8

◎紙盒吸管角度不同下，對摩擦力的影響 數據長條圖 (圖3-10)



(四) 實驗結果：

- 1.根據實驗數據圖表中發現，當紙盒所黏貼的吸管角度越大時，摩擦力也會增加，在棉繩與塑膠繩都能看到相同的結果。
- 2.我們認為當物品平放置斜面時，斜面會使物體下滑，此時滑動的相反方向就是摩擦力，所以摩擦力的大小來自物品重量的分量。而我們是讓繩子拉動5公分的動摩擦力，故當角度越大，物品正向力分量也越大，表示摩擦力越大。



◎實驗照片

	
<p>紙盒和背面貼上不同角度的吸管，討論角度是否會改變摩擦力。</p>	<p>事前需要掛好的各三個砝碼，和對齊記號線，是每次在實驗操作下都一定要注意的部分。</p>

十三、實驗八：紙盒上不同長度的吸管，對紙盒爬繩摩擦力的影響。

(一) 討論「不同長度的吸管」對紙片爬繩的摩擦力影響，採用測量模擬手拉的力量要克服的摩擦力，稱作「砝碼測量法」。

(二)「砝碼測量法」已在實驗四決議在實驗前繩子兩端將各掛三個砝碼，讓摩擦力的效果呈現更好。

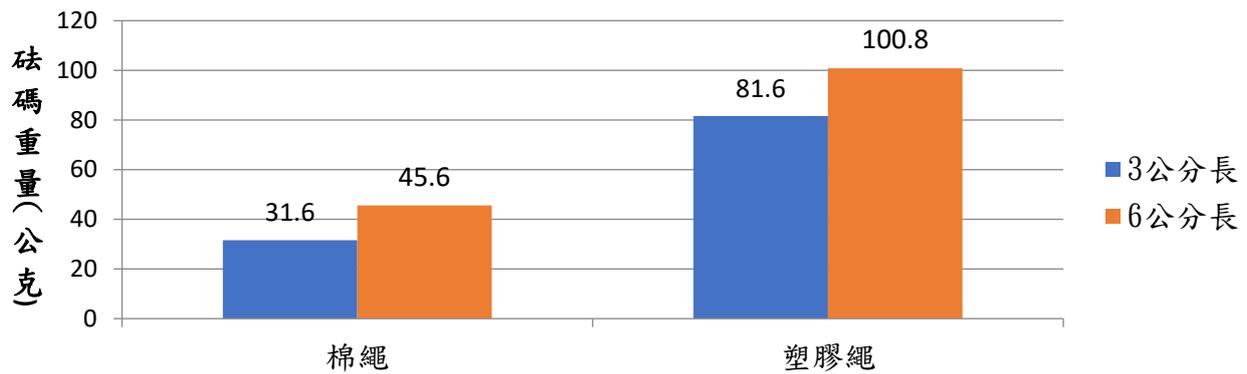
(三) 進行棉繩、塑膠繩的「紙盒背後的細吸管長度為3公分與6公分」的實驗比較。

◎棉繩、塑膠繩在紙盒吸管角度相同、長度不同下摩擦力 數據紀錄表 (表3-15)

吸管長度	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (公克)
棉繩	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	
3公分長	34	32	32	30	30	31.6
6公分長	46	44	46	46	46	45.6
塑膠繩	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	平均
3公分長	80	78	84	84	82	81.6
6公分長	100	102	100	102	100	100.8

◎紙盒吸管長度不同下，對摩擦力的影響 數據長條圖 (圖3-11)

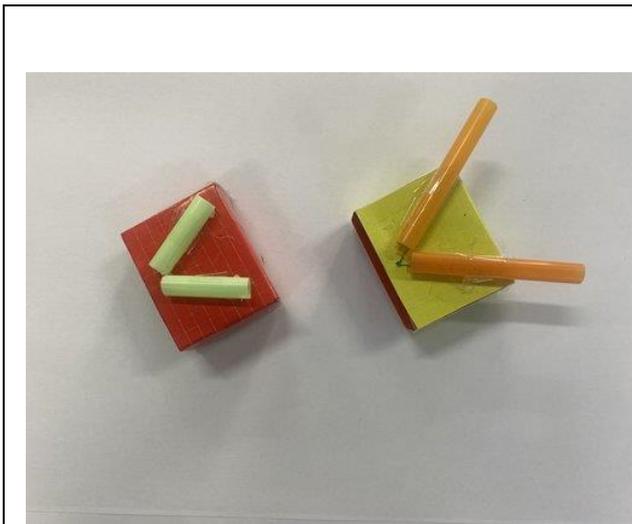
紙盒不同吸管長度，對摩擦力的影響



(四) 實驗結果：

- 1.根據實驗數據圖表中發現，當紙盒所黏貼的吸管角度相同但長度多一倍時，摩擦力也會增加，在棉繩與塑膠繩都能看到相同的結果。
- 2.根據實驗六我們知道當物品平放置斜面時，斜面下滑力就是摩擦力，所以吸管的長度會影響摩擦力，但是在此實驗吸管角度是一樣的。那是什麼原因使吸管長度變長後，卻也能得到較大的摩擦力。
- 3.我們認為是繩子在吸管內的接觸面積變大所影響的，雖然我們知道計算摩擦力的算式中都說摩擦力與接觸面積是無關的。但是也有資料從「微觀」角度切入，實際的接觸面積是不一樣，更能有效解釋我們看到實驗八的結果，如：書本交疊摩擦力實驗，只交疊三、四面與重頭到尾一面一面交疊，所呈現的摩擦力會不同。

◎實驗照片



紙盒和背面貼上不同長度的吸管，討論吸管長度是否會改變摩擦力。



雖然吸管6公分長會遠遠超過紙盒，但是紙盒越大可能又是另一個會影響的要素。

十四、實驗九：紙盒上不同粗細的吸管，對紙盒爬繩摩擦力的影響

(一) 討論「不同粗細的吸管」對紙盒爬繩的摩擦力影響，採用測量模擬手拉的力量要克服的摩擦力，稱作「砝碼測量法」。

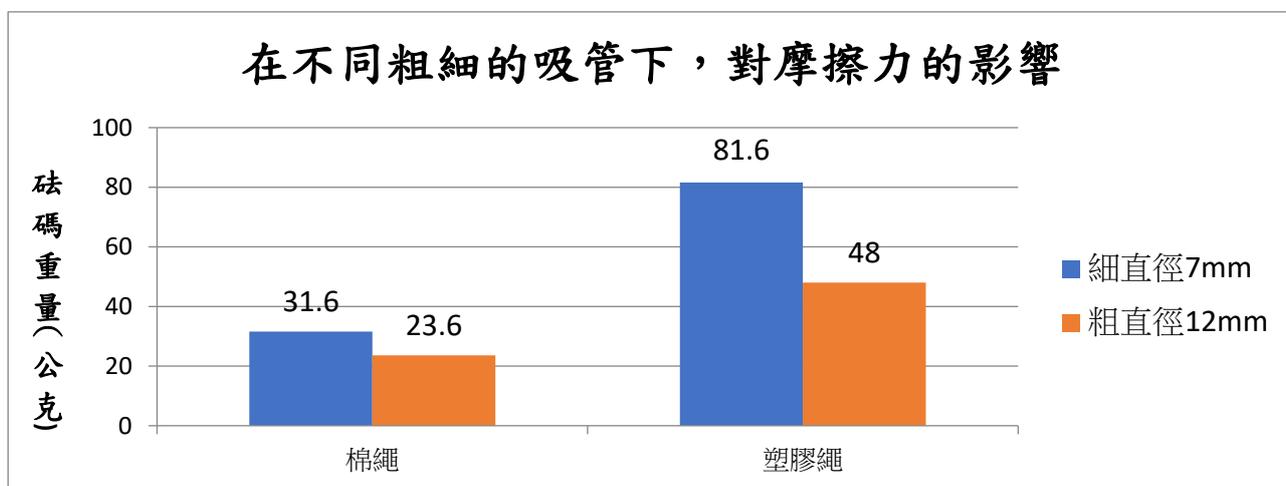
(二)「砝碼測量法」已在實驗四決議在實驗前繩子兩端將各掛三個砝碼，讓摩擦力的效果呈現更好。

(三) 進行棉繩、塑膠繩的「紙盒後的細吸管直徑為7mm 與粗吸管12mm」的實驗比較。

◎棉繩、塑膠繩在不同粗細的吸管下摩擦力 數據紀錄表 (表3-16)

吸管粗細	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (公克)
棉繩	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	
細直徑7mm	34	32	32	30	30	31.6
粗直徑12mm	24	22	24	24	24	23.6
塑膠繩	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	平均
細直徑7mm	80	78	84	84	82	81.6
粗直徑12mm	46	50	50	48	46	48.0

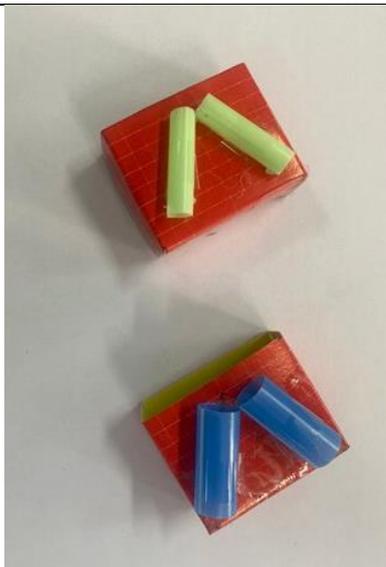
◎棉繩、塑膠繩在不同粗細的吸管下，對摩擦力的影響 數據長條圖(圖3-12)



(四) 實驗結果：

- 1.根據實驗數據圖表中發現，當紙盒所黏貼的吸管粗細不同時，摩擦力會改變，在細吸管的摩擦力會大於在粗吸管，我們觀察到棉繩與塑膠繩都能看到相同的結果。
- 2.我們認為當繩子增加砝碼的過程中，通過吸管要滑動時，會將吸管原先的角度轉成直的，順利拉動繩子5公分的長度。所以當吸管越粗，繩子越不容易被卡住，自然摩擦力較小。尤其在塑膠繩特別明顯。

◎實驗照片



改變吸管不同粗細，礙於紙盒一開始的設計大小，只能是短短的3公分長。

在放砝碼時，當繩子要被拉動5公分時，最後會呈現直線通過的情況，所以粗吸管會比較容易使繩子通過，所以摩擦力較小。

十五、實驗十：改變不同粗細的棉繩，對紙盒爬繩摩擦力的影響

(一) 討論相同材質「**不同粗細的棉繩**」對紙盒爬繩的摩擦力影響，採用測量模擬手拉的力量要克服的摩擦力，稱作「砝碼測量法」。

(二) 「砝碼測量法」已在實驗四決議在實驗前繩子兩端將各掛三個砝碼，讓摩擦力的效果呈現更好。

(三) 進行棉繩的「**縫衣線寬度<1mm，對照組棉繩寬度1mm 與粽子繩寬度2mm**」的實驗比較。

◎在不同粗細的棉繩下摩擦力 數據紀錄表 (表3-17)

棉繩的粗細	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (公克)
	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	
縫衣線<1mm	32	30	32	30	32	31.2
棉繩 1mm (對照)	34	32	32	30	30	31.6
粽子繩 2mm	30	32	32	34	32	32.0

(四) 實驗結果：

- 1.根據實驗數據圖表中發現，當將換成粗細不同的棉線時，摩擦力並不會有改變，這是我們做到最後最驚奇的發現。
- 2.我們認為雖然棉繩的粗細不同，但是整體與接觸面的材質係數，並無改變，也因為這些棉繩也都比起吸管的寬度，都能順利通過，不像塑膠繩易受影響。

3. 是否是因為棉繩的粗細差距不明顯的情況造成的，盼下次有機會可以在找更好的粗細棉繩進行實驗。

肆、討論

一、為什麼選擇在置物櫃上設定繩子的固定點？

答：考慮可攜帶性和組員們操作高度的舒服度，因為實驗要不斷的重複，所以為了舒服和避免影響實驗結果，甚至準備了一個小椅凳。最後決定的原因還有拖把剛好有防滑設計，可以進行摩擦力差異性比較，也剛好幫我們釐清了哪一個實驗方法較好。

二、此次用了兩個實驗方法，為什麼會想要使用「砝碼測量法」？

答：經過文獻討論後，本來是要用步伐次數和花費秒數的呈現方式，但是在試作時，先發現了步伐次數不管換成什麼材質繩子都沒有明顯差異，後來才知道固定拉繩距離的情況下，上升的距離就會固定。而花費秒數就如實驗中遇到的困擾一樣，一是秒數差距不大，一是出現與拉繩者感受發言不同的結果。所以進一步思考有沒有辦法像模擬人拉力的方式呈現，就出現了「砝碼測量法」。

三、在實驗四中，將五種不同材質的繩子進行篩選後，只留下塑膠繩、棉繩的原因？

答：塑膠繩是因為摩擦力大，在變化上可以比較清楚觀察到變因是否有影響；棉繩是因為毛線具有彈性、穩定性太低，加上如果相對摩擦力小在變因下有影響，就可以得到雙重認證。

四、彈簧秤能取代「砝碼測量法」或「時間花費法」？

答：一開始的想法是使用彈簧秤掛置繩子兩端拉固定重量，模擬人力施力，但是卻出現施力難以固定或拉不到預設的數值，甚至另一端一下子被拉走，完全不可行，所以就放棄了這個想法，另謀出路。

五、「砝碼測量法」的摩擦力選擇，為何是動摩擦力？

答：與前方實驗條件相關，可以模擬人的施力，也因為我們的砝碼基本單位為20克、10克、2克，如果要使用最大靜摩擦力，那精準度會不會受到影響，加上掛上砝碼的瞬間可能就有移動，要怎麼定義難度很高，最後就選擇拉動繩子5公分的砝碼重量。

六、「時間花費法」將拉繩的總長度改變後，有看到預想中的結果嗎？

答：說真的沒有，因為距離越長，負責拉繩者，能否從頭到尾都用一致的力量拉繩是一個重點，再來我們實驗的結果也大感意外，根據對拉繩者的訪問，摩擦力大的繩子在總長度拉長時，繩子跟吸管能明顯產生卡住的效果，棉繩卻會在不用力下或空檔中，慢慢下滑，這也可能是為什麼時間花費法無法有效呈現摩擦力實際的結果，被淘汰的原因。

伍、結論

- 一、對於實驗方法「時間花費法」事前進行手拉繩距離和手拉繩頻率是會影響紙片爬升花費的時間。由快到慢：拉繩15公分→拉繩10公分→拉繩 5公分。快節奏110BPM→慢節奏85BPM。
- 二、對於實驗方法「砝碼測量法」事前進行兩端掛載相同砝碼，可以將各種繩子的摩擦力相較大小呈現更加明顯差異。(事前掛三個砝碼→掛兩個砝碼→掛一個砝碼→無掛砝碼。)
- 三、選用五種繩子經「砝碼測量法」，各材質繩子的摩擦力由大到小：塑膠繩→麻繩→中國結繩→棉繩→毛線。
- 四、改變「掛繩子接觸面材質」會對摩擦力產生影響，由大到小：防滑處>金屬處。
- 五、改變「紙盒載重」會對摩擦力產生影響，由大到小：載重30公克>無載重。
- 六、改變「吸管角度」會對摩擦力產生影響，由大到小：吸管120度>吸管60度。
- 七、改變「吸管長度」會對摩擦力產生影響，由大到小：吸管6公分>吸管3公分。
- 八、改變「吸管粗細」會對摩擦力產生影響，由大到小：細吸管(直徑7mm)>粗吸管(直徑12mm)
- 九、改變相同材質之「繩子粗細」會對摩擦力沒有影響。

陸、參考文獻資料

- 一、康軒出版事業股份有限公司(2019)，國民小學第七冊自然與生活科技課本第四單元「力與運動」。
- 二、許良榮(2015)。玩出創意3：77個奇趣科學遊戲。台北市：五南。
- 三、吳黃敬等人(2007)。爬猴樹之爬升研究。中華民國第四十七屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、屏東縣第六十屆中小學科學展覽會(2020)。一飛沖天的摩擦力。取自 http://sci.ptc.edu.tw/Upfile/Works/1583329718_833475_47.pdf

【評語】 080116

本作品研究紙片爬繩的原因，探討改變拉繩的距離、拉繩的頻率、爬繩長度、不同材質的繩子、紙盒重量、吸管角度、吸管長度和紙盒裝上不同粗細吸管等變因如何影響繩子與吸管之間的摩擦力。為了減少手動所產生的人為誤差，同學亦發展出「砝碼測量法」，很有做實驗的探究精神。本作品亦在控制變因及應變變因上做了討論的詳細，唯實驗結果大多是可以預期的，因此在特出亮眼之處稍有不足。

作品簡報

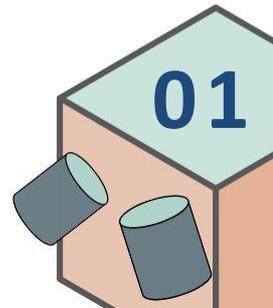
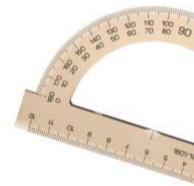
繩奇摩力步步升



科別：物理科



組別：國小組



摘要

靈感來源

自然課，力與運動的科學小展示裝置



收穫和期待

人人都是科學家，期待對疫情生活中的小應用，就是動力



文獻探討

砝碼重量法(爬樹猴)

影響爬樹猴的步幅



時間花費法(一飛沖天)

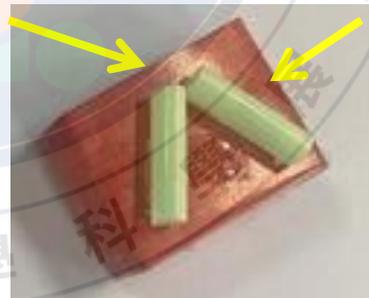
影響爬升秒數

1. 拉繩距離 → 保留
2. 拉繩角度 → 刪除

研究目的

變項對摩擦力的影響

1. 摩擦力測量法的決定
2. 繩子 → 總長. 材質. 接觸面. 粗細
3. 吸管 → 載重. 長度. 角度. 粗細



研究裝置製作



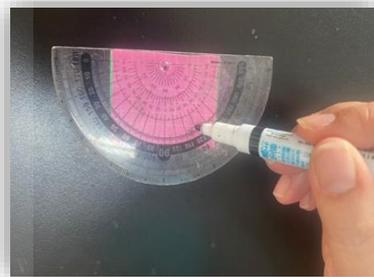
步驟一 丈量繩長



步驟二 畫下拉繩記號

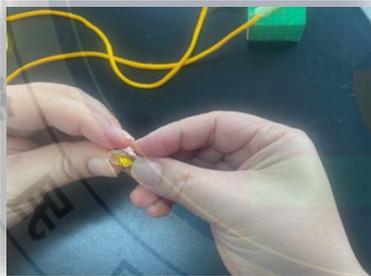


步驟三 製作紙盒

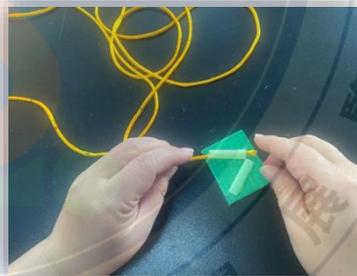


步驟四 測量吸管角度

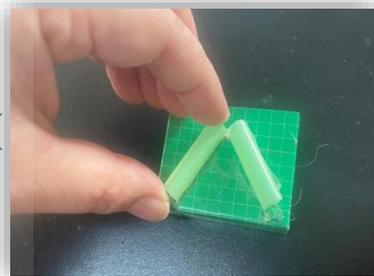
成品



步驟七 繩末端綁上迴紋針



步驟六 穿繩吸管，成<形



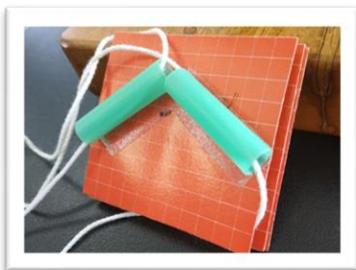
步驟五 黏貼3cm吸管



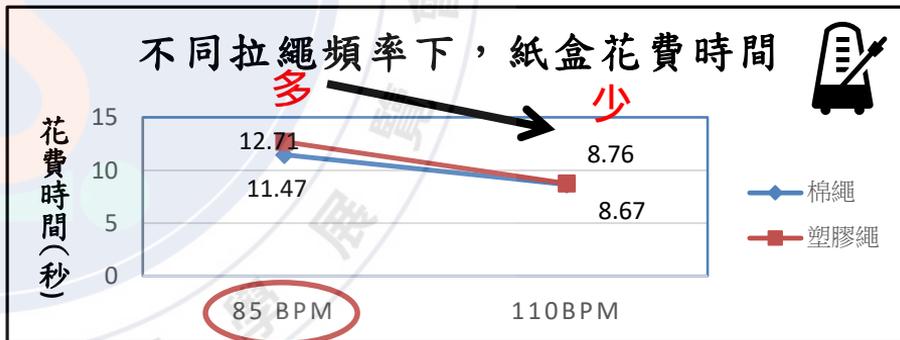
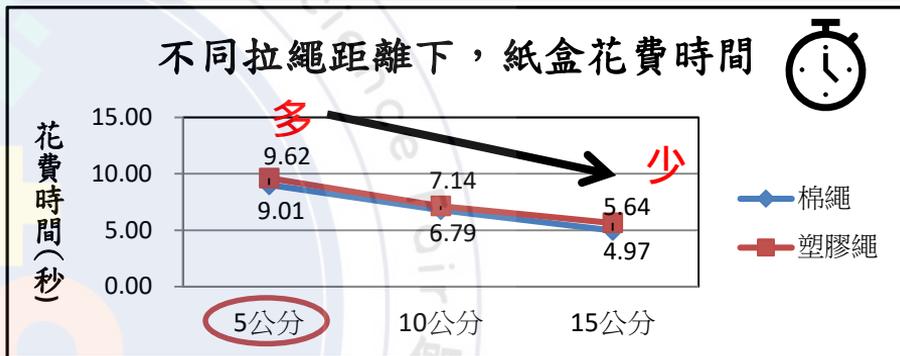
研究過程與方法

一、探究和預試實驗裝置

問題	修正
1.拉繩力量	同一人.彈簧秤或砝碼
2.拉繩距離	如有影響，需固定距離
3.拉繩速度	如有影響，需固定速度
4.其他發現 如：空轉.彈性.增重	(1)不同材質的繩子，進行摩擦力影響的討論 (2)紙片換紙盒



實驗一：拉繩距離和頻率



◆ 結果：拉繩距離越長和拉繩頻率越快，紙盒花費時間少。

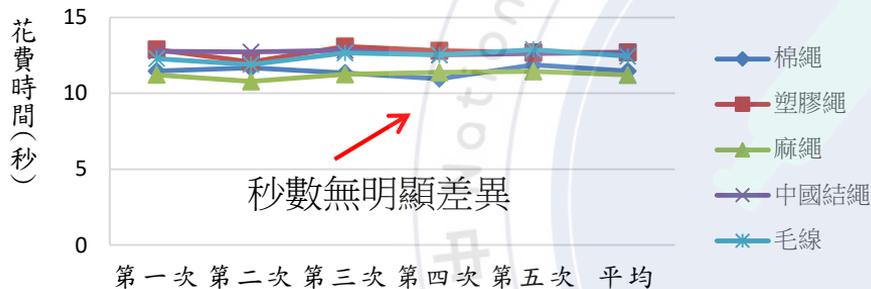
研究過程與方法

實驗二：不同材質繩子-時間花費法



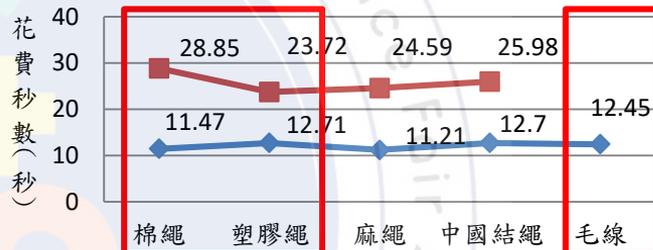
實驗二之一：不同材質繩子爬繩2公尺

不同材質的繩子，紙盒上升花費時間



◆ 結果：不同材質的繩子，紙盒爬繩秒數幾乎無差異。(不到一秒)

在不同繩總長下，紙盒爬繩的花費秒數



◆ 結果：對比爬繩100公分，不同材質的繩子，花費秒數的差異性拉大。

發想

- 1.不同材質的繩子，真實的摩擦力無差異?
- 2.紙盒爬升總長距離不足(100公分)，展現不出摩擦力的影響→嘗試總長200公分
- 3.拉繩感受→塑膠繩要花費力氣大

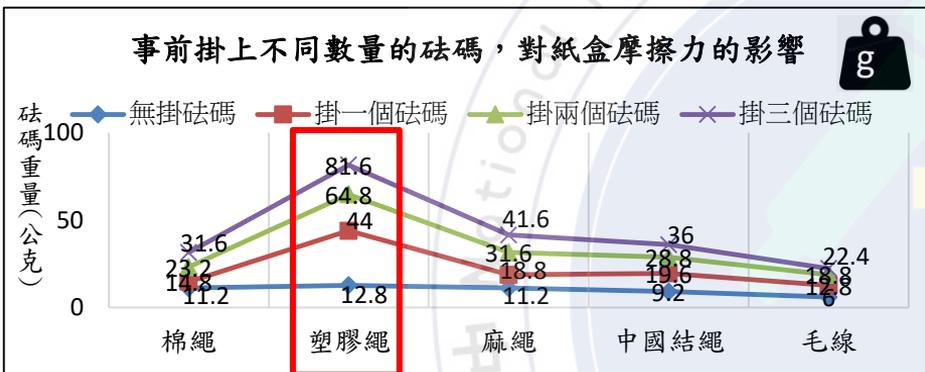
發想

- 1.時間花費法，不適合呈現摩擦力的變化。
- 2.利用課堂所學，我們使用砝碼呈現摩擦力。



研究過程與方法

實驗二之二：不同材質繩子，砝碼法

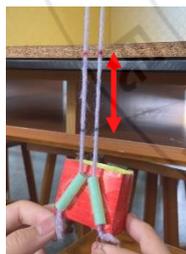


- ◆ 結果：塑膠繩摩擦力最大，且在兩端繩子先放上砝碼時，能更凸顯出差異性。

材質淘汰



麻繩，會出現碎屑



毛線，會有彈性，繩拉長緊繃才會爬

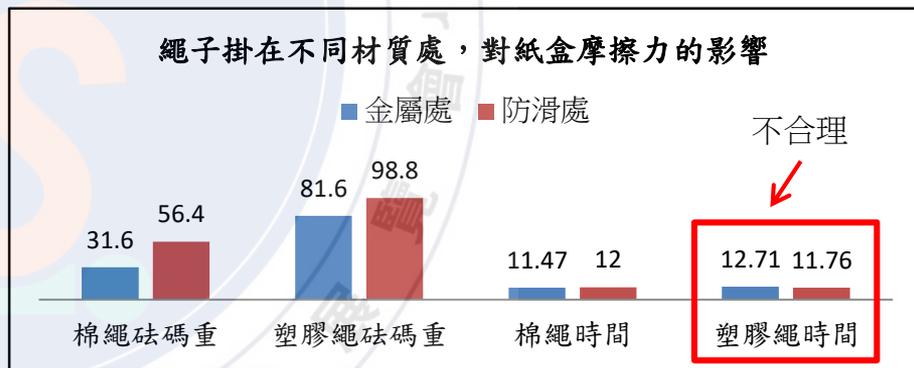


實驗前

實驗時

實驗三：驗證摩擦力測量法效果

- ◆ 假設：時間花費法和砝碼重量法，都是能真實呈現，紙盒爬升的摩擦力。
- ◆ 接觸面粗糙(防滑)→秒數多、重量大
- ◆ 接觸面光滑(金屬)→秒數少、重量小



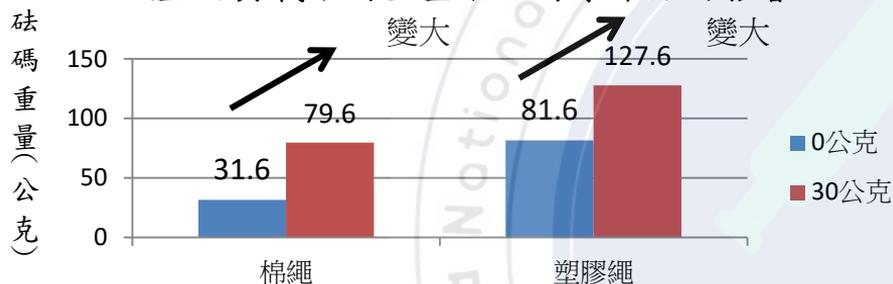
- ◆ 結果：塑膠繩出現與我們預想不同的結果，為什麼？
- ◆ 淘汰使用時間花費法

研究過程與方法

實驗四：紙盒內放不同重量



紙盒內負載不同重量下，對摩擦力的影響



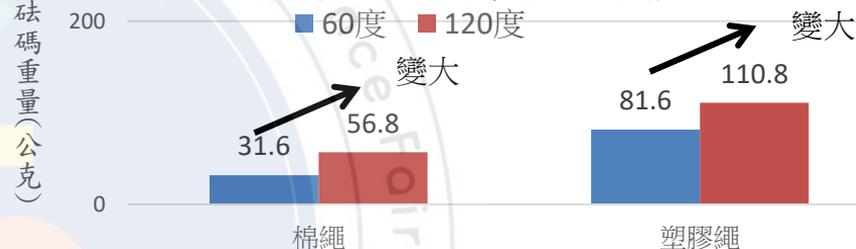
- ◆ 結果：1.在紙盒內增加重量，摩擦力變大
- 2.加入太多砝碼是紙盒無法拉上去。

解釋

- 1.砝碼越多對吸管與繩子間的摩擦力是變大的，因為正向力變大。
- 2.但當重量超過摩擦力能支撐的情況，就會直接受重力影響下滑。

實驗五：紙盒吸管角度不同

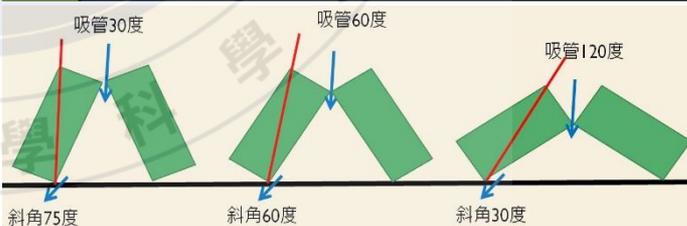
紙盒吸管角度不同下，對摩擦力的影響



- ◆ 結果：1.當吸管角度變大，摩擦力變大。
- 2.測量30度的吸管紙盒無法拉上去。

解釋

- 1.當吸管角度變大時，繩子較容易因為摩擦力卡住，角度過小，易通過。
- 2.也可以用正向力說明摩擦力。

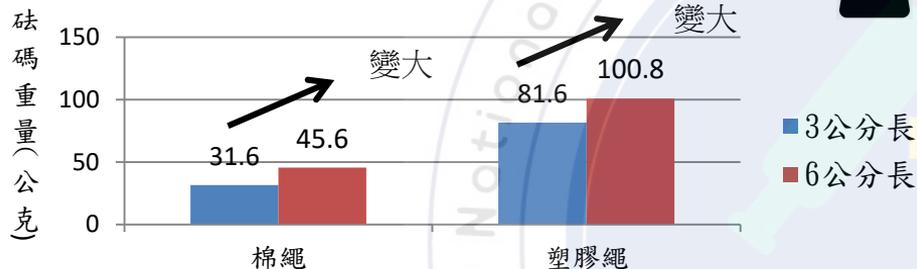


吸管角度大，繩子卡住的角斜不易因拉力移動

研究過程與方法

實驗六：紙盒吸管長度不同

紙盒吸管長度不同，對摩擦力的影響



◆ 結果：當吸管長度變長，摩擦力變大

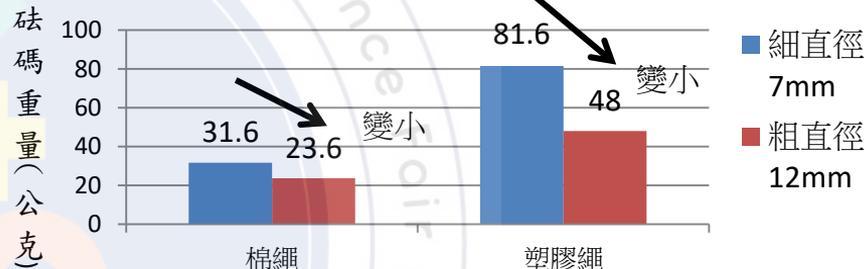
解釋

1. 當吸管變長時，繩子對於吸管的正向力會變大，所以會使摩擦力變大。



實驗七：紙盒吸管粗細不同

在不同粗細的吸管下，對摩擦力的影響



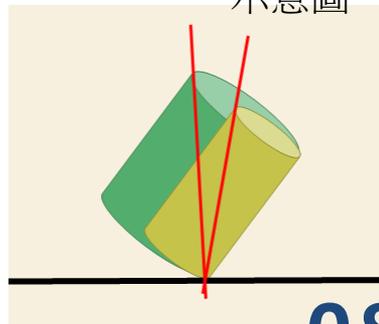
◆ 結果：當吸管變粗(寬)，摩擦力減小

解釋

1. 當吸管越寬，易使繩子通過吸管，所以摩擦力會變小

黃細吸管：繩子較易卡住
綠粗吸管：繩子易因拉力移動

示意圖



研究過程與方法

實驗八：不同粗細的棉繩



◆ 結果：在選用的三條不同粗細的棉繩，發現摩擦力沒有差異性。

棉繩的粗細	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均 (公克)
	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	砝碼重量	
縫衣線<1mm	32	30	32	30	32	31.2
棉繩 1mm (對照)	34	32	32	30	30	31.6
粽子繩 2mm	30	32	32	34	32	32.0

發
想

- 1.是因為材質的摩擦係數沒有差異性，所以沒有影響。
- 2.是否因棉繩的粗細差異不大，所以沒有影響。

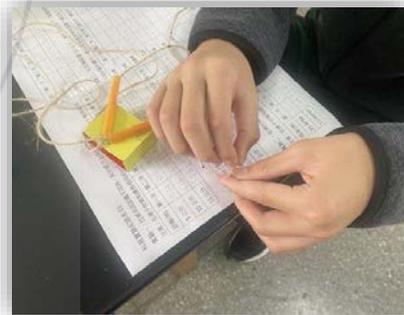
收穫



團隊合作重要



精準的測量是重要的科學態度



迴紋針不斷脫落，有沒有解決的方法

研究結論與建議

研究發現	嘗試		呈現最佳效果/研究結論
1. 展現摩擦力的好方法	步幅 時間花費法 彈簧秤 砝碼重量法	× × × ○	◆ 砝碼重量法 因為前面幾種的方式，受限於要人的拉力固定影響，而有難以呈現的結果或矛盾。
2. 繩子變因 對紙盒摩擦力的影響	爬繩總長 不同材質 接觸面 不同粗細的棉繩	? ○ ○ 無	① 總長100cm/200cm摩擦力的結果，不一樣 ② 塑膠繩 > 麻繩 > 中國結 > 棉繩 > 毛線 ③ 實驗驗證，找出盲點 ④ 實驗結果無明顯影響，挑戰更粗的棉繩
3. 紙盒變因 對紙盒摩擦力的影響	紙盒載重 吸管角度 吸管長度 吸管粗細	增加 增加 增加 減少	經過多個變項討論下，我們發現摩擦力增加會使拉繩時，吸管與繩子之間更容易爬升。
4. 待解的疑惑	① 爬繩總長的疑問，如果繼續加高為3公尺，也會是塑膠繩最快嗎？ ② 是受到繩子張力無法持續嗎？③ 該找出各變項的極限值，會更好？ ④ 改變吸管材質是不是結果會不一樣？		

展望與參考資料

展望應用

在疫情下，大家都保持社交距離，如果有更多的樂趣那該有多好，所以把它好好應用，在教室裡拿來傳遞紙條、小物品(水平傳遞)，甚至為了不能出門的居隔人們設置食材和外送傳遞裝置，是不是會更有幫助的貢獻。

參考資料

- 一、康軒出版事業股份有限公司 (2019)，國民小學第七冊自然與生活科技課本第四單元「力與運動」。
- 二、許良榮(2015)。玩出創意3：77個奇趣科學遊戲。台北市：五南。
- 三、吳黃敬等人(2007)。爬猴樹之爬升研究。中華民國第四十七屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、屏東縣第六十屆中小學科學展覽會(2020)。一飛沖天的摩擦力。取自 http://sci.ptc.edu.tw/Upfile/Works/1583329718_833475_47.pdf