

附件五之一

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：（由承辦單位編列）

組別：

☒ 國小組	☐ 數學類
	☒ 自然、科技類
☐ 國中組	☐ 人文社會類

作品名稱： 迷途知「停」的紙馬

◎封面切勿出現校名、作者、校長及指導者姓名，違者不予收件。

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

第一階段 研究訓練階段（教師撰寫）

一、近二年學校獨立研究課程之規劃

本校自三年級起提供資優學生相關課程服務，主要切分為兩大部分：研究技能訓練與獨立研究實踐。

課程目標：（一）能體驗發現及解決問題的過程。

（二）能熟練某領域的知識。

（三）能學會研究所需技能。

（四）能依個人興趣拓展相關知識。

（五）能培養正確與積極的研究態度。

（六）能學會與人分工合作的正確態度。

課程大綱如下圖：



二、學校如何提供該生獨立研究訓練

學校在安排獨立研究課程時，按照學生年級切分為三年級、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。在資源教室的充實活動中，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(由學生撰寫)

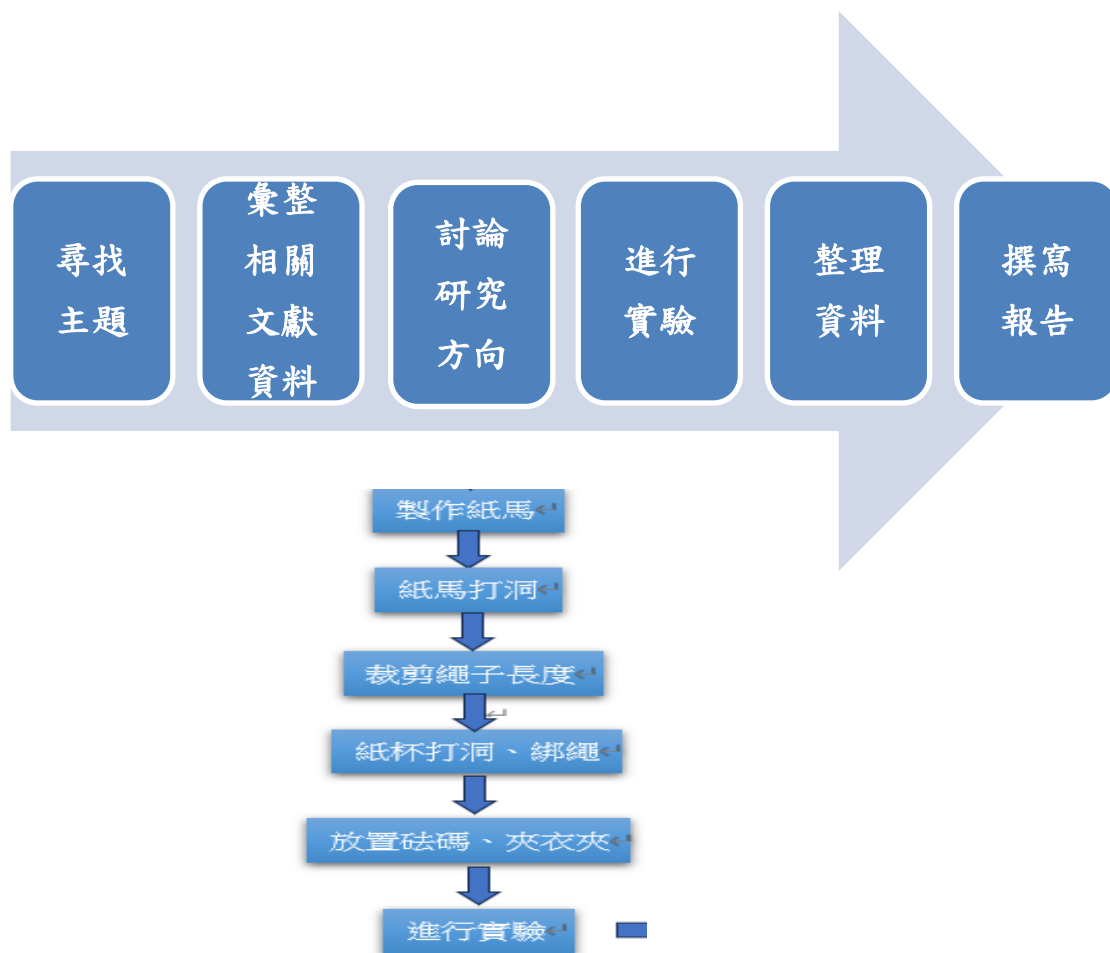
一、研究動機

A：老師要我們做獨立研究，我們就上網找資料，找了許多科學遊戲，原本想要做紙飛機，但原本想要做紙飛機，但是紙飛機做不出來，後來在書上看到「懸崖勒馬」這個遊戲，覺得很新奇和好玩，想要自己動手做做看。

B：之前老師要我們做獨立研究，可是我們不知道要做什麼，上網查詢一些資料，找了我感興趣的題材，例如：爆米花、非牛頓流體等，但是初步嘗試製作非牛頓流體並不順利，我們又重新尋找題材，從科學遊戲的書籍中，找到「懸崖勒馬」這個遊戲，我覺得比較容易製作，就想嘗試研究。

二、擬定正式計畫、研究問題及工作進度表

(一)正式計畫



(二)研究問題

1. 探討不同材質的衣夾對於紙馬移動速率的影響
2. 探討不同數量的衣夾對於紙馬移動速率的影響
3. 探討不同位置的衣夾對於紙馬移動速率的影響
4. 探討不同綁繩高度對於紙馬移動速率的影響
5. 探討不同拉力繩長對於紙馬移動速率的影響
6. 探討不同摩擦面材質對於紙馬移動速率的影響

(三)工作進度表

工作項目 \ 時間	9 月	10 月	11 月	12 月
尋找主題	✓			
彙整相關文獻資料	✓			
討論研究方向	✓			
進行實驗		✓	✓	
整理資料、撰寫報告			✓	✓

三、彙整相關文獻

(一)懸崖勒馬科學實驗介紹

「懸崖勒馬」是一個已經廣為人知的科學實驗遊戲，蘊含值得討論與探索的物理原理。紙杯可用來裝入螺帽（或鐵釘）等重物，放入紙杯的螺帽（或鐵釘）不能太多（太重），紙杯中裝有重物，會拉著紙馬往前跑，紙馬往前跑是不是會衝過桌子，掉到地上呢？結果，紙馬往前衝刺之後，一直跑到桌緣，就快掉下去的時候，居然就自動剎車了！

(二)名詞介紹：

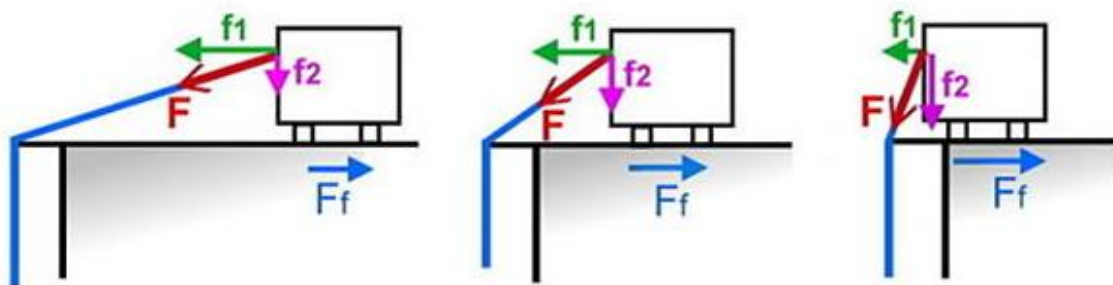
1. 摩擦力：一物體在另一個物體表面上滑動或將要滑動時，兩個物體在接觸面上會產生阻止相對運動的作用力，這種作用力稱為摩擦力。

2. 水平拉力：往水平方向施力的拉力，叫做**水平拉力**。

3. 原理說明：紙馬會懸崖勒馬的原因，主要二個原因：

(1) 紙馬的腳（曬衣夾）與桌子有摩擦力。

(2) 紙馬靠近桌緣的過程，往前的力逐漸變小。如下圖，紙馬受到重物拉力（紅色線），此拉力可分為往前的拉力（綠色線）以及往下的力（粉紅色線）。在紙馬往桌緣運動的過程中，由於重物重量不變，因此拉力不變，但是角度會逐漸往下。因此一開始，往前的力（綠色線）最大，往下的力（粉紅色線）最小。隨著紙馬往桌緣靠近，往前的力（綠色線）變小，往下的力（粉紅色線）變大。所以，紙馬受到往前牽引的力（綠色線）越來越小，而往下的力（粉紅色線）越來越大，往下的力越大，壓力越大，與桌面的摩擦力（藍色線）也就越大，紙馬自然就停下來了(NTCU 科學遊戲實驗室)。



(三) 文獻探討

作品名稱	懸崖勒馬測定法-摩擦係數	懸崖勒馬-力的探討
學校名稱	臺中市立長億高級中學	南投縣立竹山國民中學
作者	高二 陳柏廷 高二 湯瑋震 高二 戴千翔	國二 劉子源 國二 戴琦 國二 劉笛婕 國二 林霽汶
出處	中華民國第 60 屆中小學科學展覽會	中華民國第 48 屆中小學科學展覽會

研究內容	實驗在木塊最上方綁一條棉線以砝碼拉動之，而木塊啟動後可能傾倒、停不下來或停止。我們觀察木塊在不同因素下啟動後能停止的情況，並依據觀察結果推測造成其停止的因素。於實驗中的變因，包含有木塊對砝碼的重量比值、棉線綁在木塊上的高度，使用到的理論有力平衡和力矩平衡。	紙馬前進的原理是利用最大靜摩擦力，當水平施力大於最大靜摩擦力時，紙馬就會前進，但不會變成滑動，是因為馬腳受彈力位能緩衝所致。最大靜摩擦力越大，則腳的彈力就越大。彈出的幅度就會加大，因此步距就會加大。馬停止時與桌緣的距離受步距的影響，若要縮小與桌緣的距離，則拉力不能太大。
研究結果	藉由實驗觀察及理論模擬證實為移動過程中繩子與水平面的角度變化，造成拉動外力與動摩擦力變化所致。綁線在不同高度下，綁線位置越高，則啟動位置隨之增大，而停止位置亦隨之增大。木塊對砝碼重量的比值越大，則啟動位置隨之增大，而停止位置亦隨之增大。	紙馬前進的原理是利用最大靜摩擦力，當水平施力大於最大靜摩擦力時，紙馬就會前進，但不會變成滑動，是因為馬腳受彈力位能緩衝所致。若要縮小與桌緣的距離，則拉力不能太大，必須實際實驗或利用試算表來試算。製作紙馬時，馬腳短一點、厚一點、寬一點，使馬腳的彈性係數大一點，則步距較小，停止時距桌緣會較小。

四、資料分析

(一)準備材料：紙盒、白紙、著色用具、衣夾、綿線、紙杯、砝碼、剪刀、電子秤、平板。

(二)預試：我們知道使用不同材質的衣夾，會因為摩擦力的不同而影響紙馬是否奔跑，所以先進行測試，找出各種衣夾可以開始移動的瞬間拉力，經過實驗，發現不同材質衣夾的紙馬啟動的重量大概落在 15~30 公克之間。

預試實驗過程：(1)製作紙馬。

(2)紙馬打洞。

(3)裁剪繩子長度。

(4)紙杯打洞、綁繩。

(5)夾不同類型的衣夾。

(6)依序每次增加 5 公克的砝碼，從 5、10、15 公克逐漸增加測試，觀察不同材質衣夾的紙馬是否移動奔跑。

(三)實驗一、探討不同材質的衣夾對於紙馬移動速率的影響

1. 控制變因：使用相同的紙馬於固定的 3 公分綁繩高度，搭配 100 公分的尼龍線，固定於前後四個角落邊緣的 4 個衣夾，紙杯中放置 20 公克的砝碼，在同樣的桌面(桌面長度為 80 公分的塑膠升降桌)進行測試。

2. 操縱變因：使用不同材質的衣夾，分別是：圓環衣夾、U 型衣夾、三角形衣夾、魚型衣夾、鐵質衣夾。

(補充說明：因為木質衣夾在 20 公克的拉力下跑不動，所以放棄。)



3. 應變變因：(1)觀察是否懸崖勒馬。

(2)以碼表測量，記錄下紙馬奔跑的時間。

4. 實驗前的假設：因為三角形衣夾重量最輕，所以預估三角形衣夾的紙馬奔跑的速度最快，而且會懸崖勒馬。

5. 實驗過程：(1)準備紙馬和測試的桌面。

(2)在紙馬上夾不同材質的衣夾。

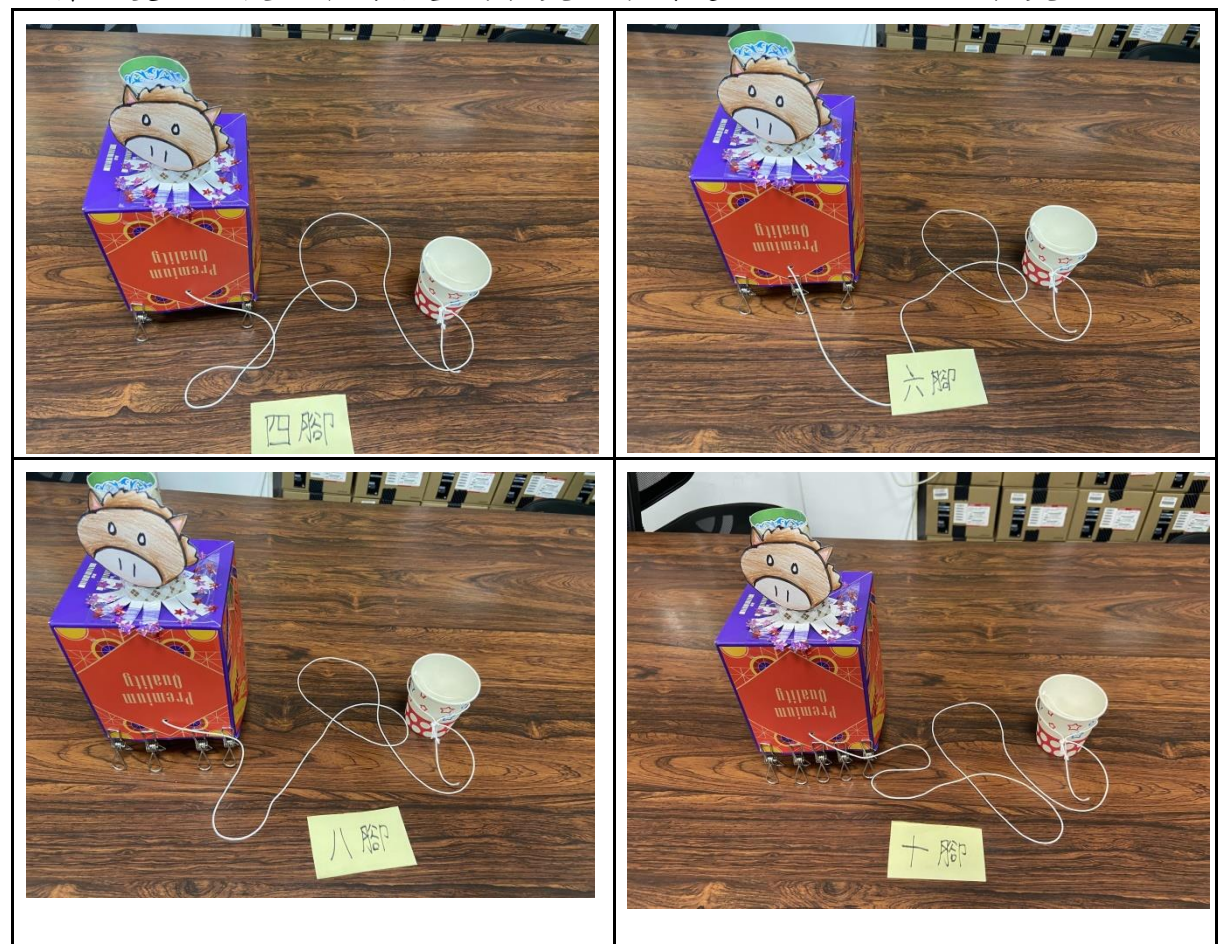
(3)在紙杯中放置 20 公克砝碼。

(4)每一種材質的衣夾分別進行五次測試。

(三)實驗二、探討不同數量的衣夾對於紙馬移動速率的影響

1. 控制變因：使用相同的紙馬於固定的 3 公分綁繩高度，搭配 100 公分的尼龍線，使用鐵質衣夾，紙杯中放置 20 公克的砝碼，在同樣的桌面(塑膠升降桌)進行測試。

2. 操縱變因：使用不同數量的衣夾，分別是 4、6、8、10 個衣夾。



3. 應變變因：(1)觀察是否懸崖勒馬。

(2)以碼表測量，記錄下紙馬奔跑的時間。

4. 實驗前的假設：因為越多腳摩擦力越大，所以我們預估 10 隻腳的馬奔跑的速度最慢，4 腳馬奔跑的速度最快，而且會懸崖勒馬。

5. 實驗過程：(1)準備紙馬和測試的桌面。

(2)在紙馬上夾不同數量的衣夾。

(3)在紙杯中放置 20 公克砝碼。

(4)每一種的衣夾數(馬腳)分別進行五次測試。

(四)實驗三、探討不同位置的衣夾對於紙馬移動速率的影響

1. 控制變因：使用相同的紙馬於固定的 3 公分綁繩高度，搭配 100 公分的尼龍線、固定使用 4 個鐵質衣夾，紙杯中放置 20 公克的砝碼，在同樣的桌面(塑膠升降桌)進行測試。

2. 操縱變因：不同位置的衣夾，分別是前後邊緣夾法、前後中間夾法、左右邊緣夾法、左右中間夾法、每邊各一夾法，共五種不同的夾法。





3. 應變變因：(1)觀察是否懸崖勒馬。

(2)以碼表測量，記錄下紙馬奔跑的時間。

4. 實驗前的假設：我們認為四邊各一的夾法有點奇怪，可能會互相干擾，導致移動速度不快，且很容易跌倒，預估這樣的紙馬奔跑速度可能最慢。

5. 實驗過程：(1)準備紙馬和測試的桌面。

(2)在紙馬上夾不同位置的衣夾。

(3)在紙杯中放置 20 公克砝碼。

(4)不同位置衣夾的紙馬分別進行五次測試。

(五)實驗四、探討不同綁繩高度對於紙馬移動速率的影響

1. 控制變因：相同的紙馬固定使用 4 個鐵質衣夾於固定四個角落邊緣位置搭配 90 公分的尼龍線，紙杯中放置 20 公克的砝碼，在同樣的桌面(塑膠升降桌)進行測試。

2. 操縱變因：不相同的綁繩高度，分別為 5、7、9、11 公分。



3. 應變變因：(1)觀察是否懸崖勒馬。

(2)以碼表測量，記錄下紙馬奔跑的時間。

4. 實驗前的假設：綁繩越高，紙馬奔跑的速度越慢，也會懸崖勒馬。

5. 實驗過程：(1)準備紙馬和測試桌面。

(2)在紙馬上調整綁繩的高度。

(3)在紙馬上夾衣夾。

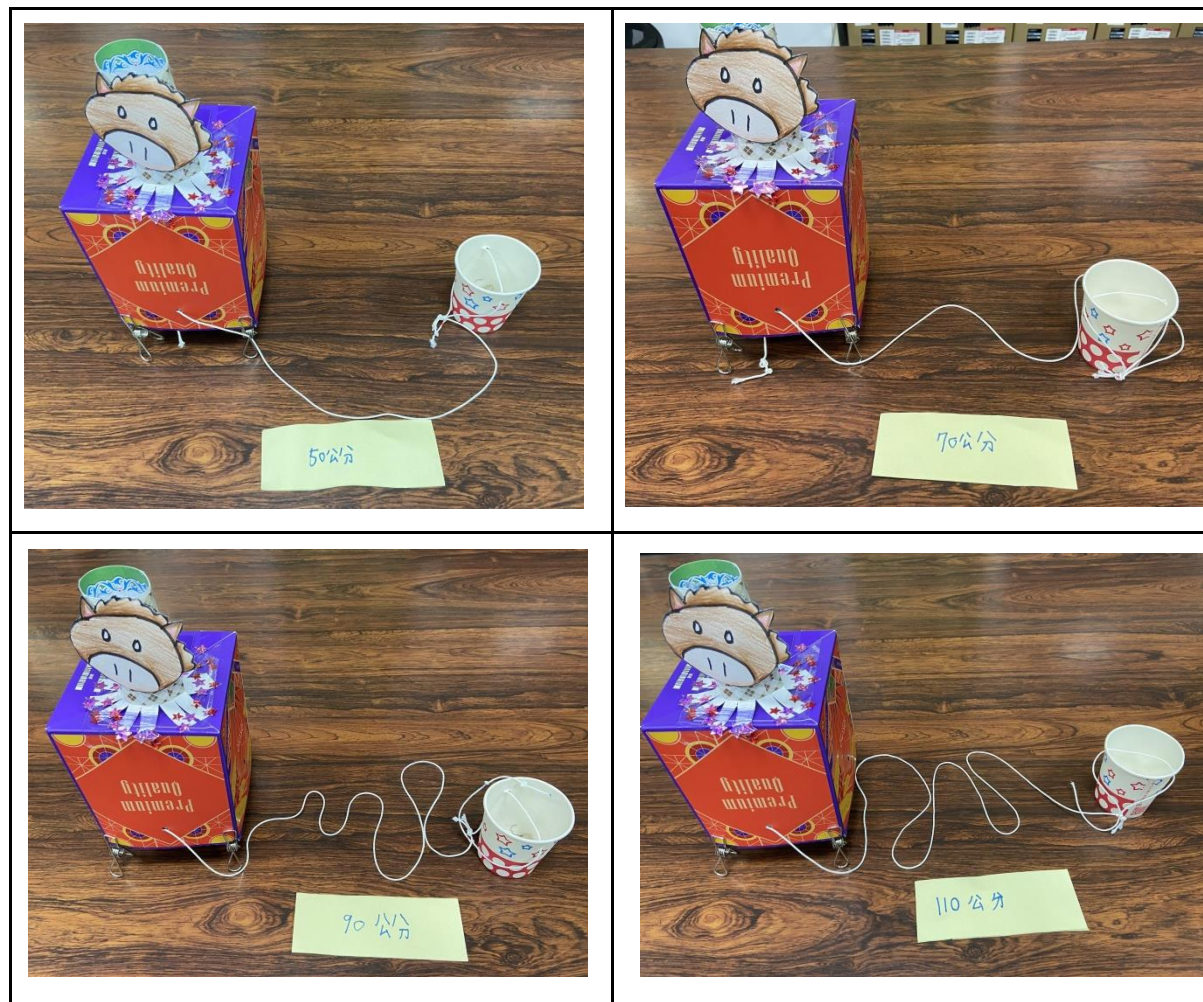
(4)在紙杯中放置 20 公克砝碼。

(5)使用不同綁繩高度的紙馬分別進行五次測試。

(六)實驗五、探討不同繩長對於紙馬移動速率的影響

1. 控制變因：相同的紙馬固定 3 公分的綁繩高度，使用 4 個鐵質衣夾於固定四個角落邊緣位置，紙杯中放置 20 公克的砝碼，在同樣的桌面(塑膠升降桌)進行測試。

2. 操縱變因：不同的拉力繩長，分別是 50、70、90、110 公分。



3. 應變變因：(1)觀察是否懸崖勒馬。

(2)以碼表測量，記錄下紙馬奔跑的時間和距離。

4. 實驗前的假設：我們認為繩子愈長，拉力愈大，所以預估繩子愈長，紙馬跑得速度愈快。

5. 實驗過程：(1)準備紙馬和測試的桌面。

(2)在紙馬和紙杯綁上不同長度的繩子。

(3)在紙馬上夾衣夾。

(4)在紙杯中放置 20 公克砝碼。

(5)用不同繩長的紙馬分別進行五次測試。

(七)實驗六、探討不同桌面對於紙馬移動速率的影響

1.控制變因：相同的紙馬固定於3公分的綁繩高度，使用4個鐵質衣夾於固定四個角落邊緣位置，紙杯中放置20公克的砝碼，開始進行測試。

2.操縱變因：使用不同的材質當作紙馬奔跑的桌面，分別是塑膠櫃子、塑膠升降桌、木質桌面、白色壁報紙、校刊銅版紙。



3.應變變因：(1)觀察是否懸崖勒馬。

(2)以碼表測量，記錄下紙馬奔跑的時間。

4.實驗前的假設：因為我們覺得校刊銅版紙摸起來最為光滑，所以我們預估紙馬在校刊銅版紙奔跑的速度最快，而且會懸崖勒馬。

5. 實驗過程：(1)準備紙馬。

(2)準備不同的測試桌面。

(3)在紙馬和紙杯綁上繩子、固定好衣夾。

(4)在紙杯中放置 20 公克砝碼。

(5)讓紙馬在不同桌面上分別進行五次測試。

五、研究結果與討論

(一)實驗一、不同材質的衣夾對於紙馬移動速率的影響

表 5-1-1：不同材質的衣夾對於紙馬移動速率的時間紀錄表

次數	衣夾材質	圓環衣夾 (3.6g)		U 型衣夾 (9g)		三角形衣夾 (3.5g)		魚型衣夾 (3.6g)		鐵質衣夾 (6g)	
		時間	速率	時間	速率	時間	速率	時間	速率	時間	速率
第一次		2.26	35.39	2.11	7.91	1.42	56.33	1.9	42.1	2.42 ✓+2	33.88
第二次		2.18	36.69	1.97	40.6	1.47	54.42	1.65	48.48	4.62 ✓-2.4	16.79
第三次		2.98	26.84	2.74	29.19	1.16	68.96	1.77	45.19	3.13 ✓0	25.55
第四次		1.46	54.79	3.05 ✓+2.4	27.01	1.36	58.82	1.4	57.14	4.52 ✓-1	17.47
第五次		2.45	32.65	5.05 ✓-3.5	15.14	1.16	68.96	1.5	53.33	2.68 ✓-1	29.47
平均時間 (秒 s)		2.29	-	2.63	-	1.39	-	1.61	-	3.44	-

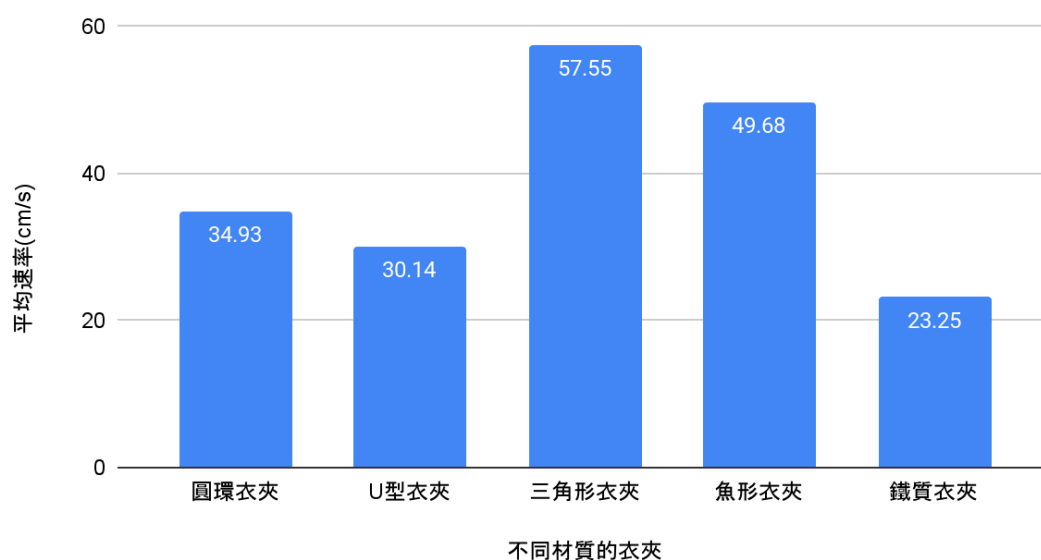
平均 速率 (cm/s)	-	34.93	-	30.14	-	57.55	-	49.68	-	23.25
--------------------	---	-------	---	-------	---	-------	---	-------	---	-------

補充說明：

1. +：代表衣夾超過桌面邊緣。
2. -：代表衣夾不足桌面邊緣的距離。
3. ：代表紙馬沒有懸崖勒馬停下來，直接掉落。
4. 時間、速率計算都取到小數點下第二位數值無條件捨去。
5. ✓：代表紙馬距離桌子邊緣 5 公分內停下。

圖 5-1-1：不同材質的衣夾對於紙馬移動平均速率長條圖

不同材質的衣夾對於紙馬移動速率的影響



觀察與發現：

1. 我們發現依序奔跑速率的快慢分別是：三角形衣夾、魚形衣夾、圓環衣夾、U型衣夾、鐵質衣夾，速率最快的是三角形衣夾，每秒可跑 57 公分；而速率最慢的是鐵質衣夾，每秒可跑 23 公分，魚形衣夾的速率大約是鐵質衣夾近 2.5 倍。

2. 我們發現圓環衣夾和 U 型衣夾每秒奔跑的速率差不多，分別每秒移動 34.93 公分和 30.14 公分。

3. 根據觀察紀錄，我們發現只有鐵質衣夾和 U 型衣夾的紙馬能夠懸崖勒馬，而其中又以鐵質衣夾的效果最佳，五次都有停下來。

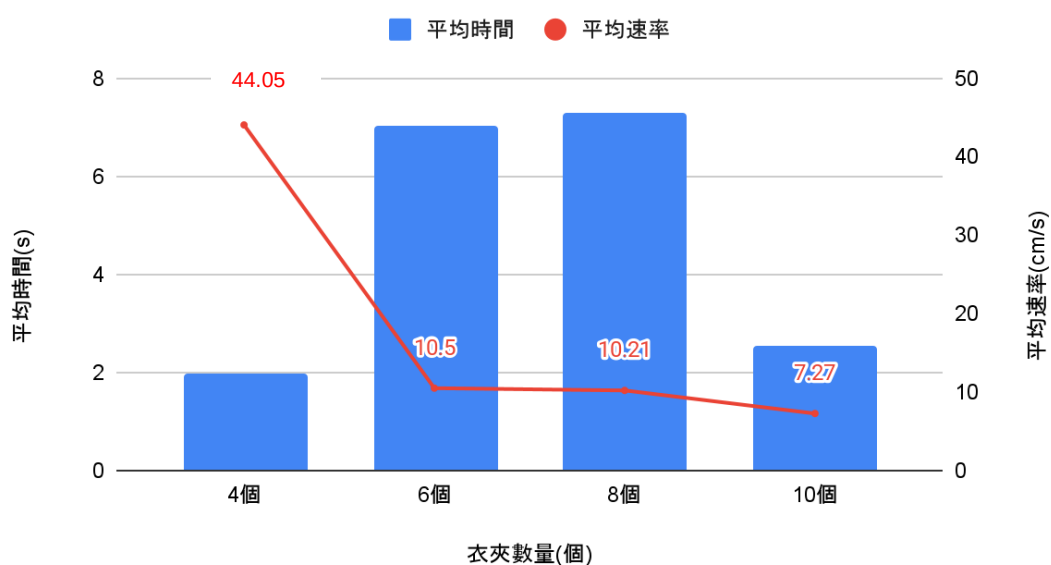
(二)實驗二、探討不同數量的衣夾對於紙馬移動速率的影響

表 5-2-1：不同數量的衣夾對於紙馬移動速率的時間紀錄表

次數	衣夾數量	4 個衣夾		6 個衣夾		8 個衣夾		10 個衣夾	
		時間	速率	時間	速率	時間	速率	時間	速率
第一次		2.21	36.19	7.31 -6.7	10.02	8.56 -14.8	7.61	0	0
第二次		1.28	62.5	7.56 -7.9	9.53	7.96 ✓-5	9.42	1.6 -73	4.37
第三次		2.41	33.19	6.58 -6.8	11.12	4.48 -6.3	16.45	3.51 -52	7.97
第四次		2.39	33.47	5.10 ✓-3.3	15.03	10.60 -11.4	6.47	1.63 -62	11.04
第五次		1.20	66.66	7.23 ✓-5	10.37	5.41 -6.3	13.62	2.58 -55.5	9.49
平均時間 (秒 S)		1.96	-	7.04	-	7.31	-	2.56	-
平均速率 (cm/s)		-	44.05	-	10.50	-	10.21	-	7.27

圖 5-2-1：不同數量的衣夾對於紙馬移動平均速率組合圖

不同數量的衣夾對於紙馬移動速率的影響



觀察與發現：

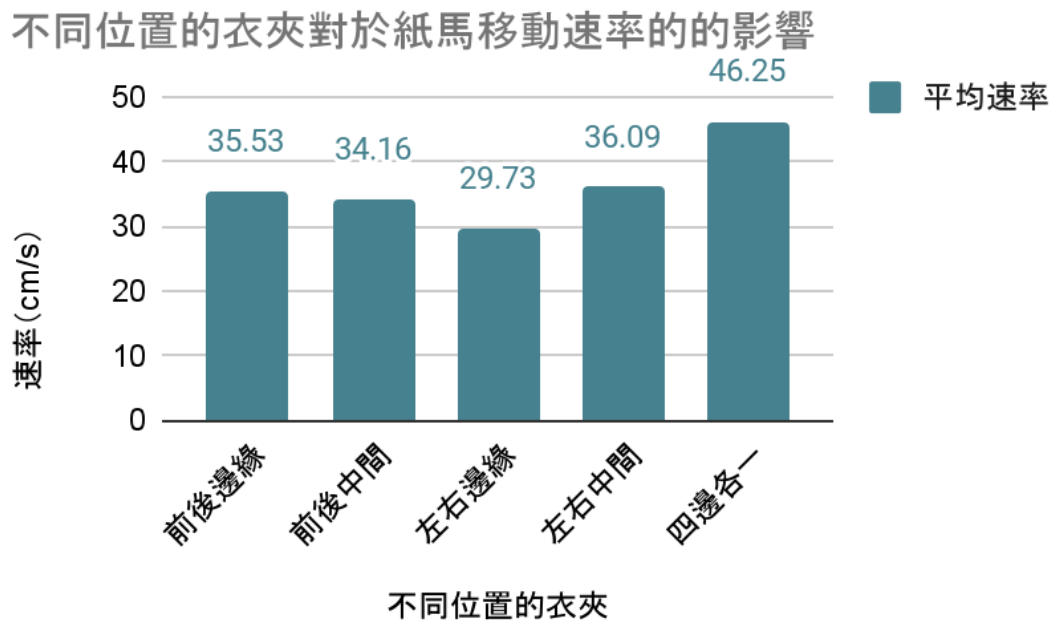
1. 我們發現夾 4 個衣夾的紙馬奔跑速率最快，每秒移動約 44 公分，6 個和 8 個衣夾的紙馬速率差不多，平均每秒都奔跑 10 公分左右，夾 10 個衣夾的紙馬跑最慢，每秒只有移動 7 公分左右。
2. 如同我們實驗前的假設，10 個衣夾的紙馬奔跑速率最慢，甚至有一次是靜止不動的。
3. 我們發現夾 4 個衣夾的紙馬都無法在桌邊停住，代表紙馬加上 4 個鐵質衣夾的摩擦力仍然小於原本的水平拉力，所以無法懸崖勒馬，而之後的 6 個和 8 個衣夾的紙馬各有兩次、一次停止的紀錄，代表紙馬加上 6 或 8 個鐵質衣夾的摩擦力有機會和原本的水平拉力剛好互相抵消，讓紙馬剛好停住。

(三)實驗三、探討不同位置的衣夾對於紙馬移動速率的影響

表 5-3-1：不同位置的衣夾對於紙馬移動速率的時間紀錄表

次數	衣夾位置	前後邊緣		前後中間		左右邊緣		左右中間		四邊各一	
		時間	速率	時間	速率	時間	速率	時間	速率	時間	速率
第一次		1.94	41.23	3.29 ✓-1.7	23.79	3.1 ✓-1.5	25.8	2.31	34.63	1.87	42.78
第二次		2.22	36.03	2.54 ✓	31.49	3.28 ✓-0.9	24.11	1.85 ✓+1	43.78	1.38	42
第三次		2.62 ✓+1	30.91	2.11 ✓+1.8	38.76	2.21	36.19	2.01 ✓+1	40.29	1.79	44.69
第四次		2.41 ✓0	33.19	2.01 ✓+1.5	40.54	2.94 ✓0	27.21	2.71 ✓+1	29.88	1.48	54.05
第五次		2.14	37.38	2.48 ✓0	32.25	2.08	38.46	2.71 ✓+0.7	29.77	1.56	51.28
平均時間 (秒 s)		2.25	-	2.37	-	2.75	-	2.34	-	1.61	-
平均速率 (cm/s)		-	35.53	-	34.16	-	29.73	-	36.09	-	46.25

圖 5-3-1：不同位置的衣夾對於紙馬移動平均速率長條圖



觀察與發現：

1. 經過實驗，我們發現四邊各一的夾法奔跑的速率最快，和我們之前的預估剛好相反；最慢的則是左右邊緣夾法的紙馬，奔跑速率每秒不到 30 公分的距離。
2. 我們發現前後邊緣、前後中間、左右中間這三種夾法的紙馬奔跑速率是差不多的，大多落在每秒 35 公分左右。
3. 經過實驗，我們發現前後中間夾法和左右中間夾法的紙馬分別能有五次和四次的懸崖勒馬，代表衣夾平均分散在中間的夾法遠勝於衣夾在邊緣的夾法有助於紙馬在桌子邊緣停住。

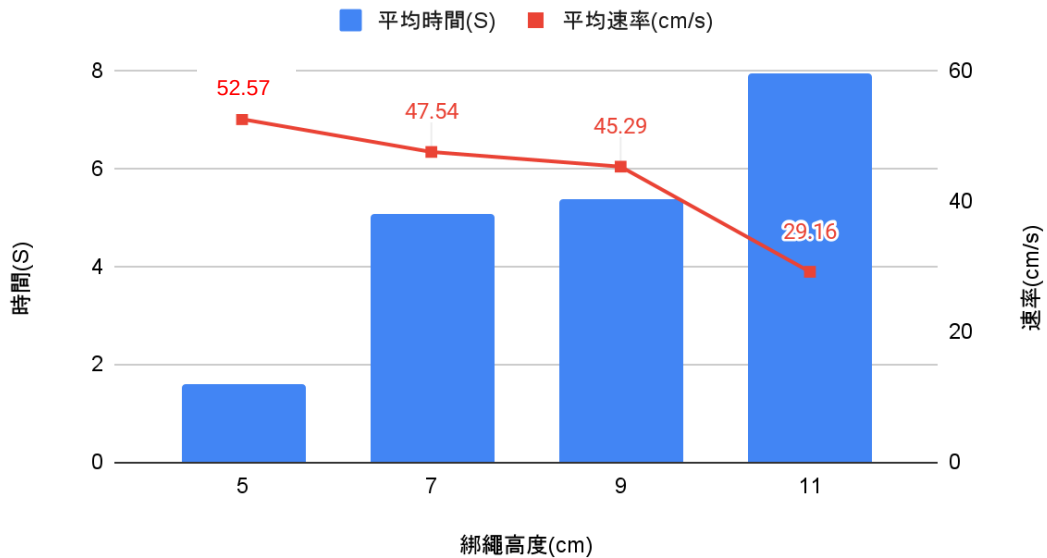
(四)實驗四、探討不同高度的綁繩對於紙馬移動速率的影響

表 5-4-1：不同高度的綁繩對於紙馬移動速率的時間紀錄表

次數	綁繩高度	5cm		7cm		9cm		11cm	
		時間	速率	時間	速率	時間	速率	時間	速率
第一次		1.16	68.96	1.51	52.98	1.35 ✓+2	60.74	2.62 ✓-0.6	30.30
第二次		1.11	72.07	1.75	45.71	1.57	50.95	2.85 ✓-4.2	26.59
第三次		1.87	42.78	1.82	43.95	2.17	36.86	2.47 ✓-4.4	30.60
第四次		2.14	37.38	2.13	37.55	1.90	42.1	2.46 ✓-1.5	31.91
第五次		1.74	45.97	1.43	55.94	1.91 ✓+1.8	42.82	3.12 -13	21.47
平均時間 (秒 s)		1.59	-	5.08	-	5.37	-	7.94	-
平均速率 (cm/s)		-	52.57	-	47.54	-	45.29	-	29.16

圖 5-4-1：不同高度的綁繩對於紙馬移動平均速率組合圖

不同高度的綁繩對於紙馬移動速率的影響



觀察與發現：

1. 根據實驗結果，我們發現綁繩最低 5 公分的紙馬奔跑速率最快，每秒可達 52.57 公分，綁繩最高 11 公分的紙馬奔跑速率最慢，每秒只有 29.16 公分，因此推論繩子綁得越低速率越快，繩子綁的越高速率越慢。
2. 我們發現綁繩高度在 7、9 公分的紙馬奔跑速率差不多，都是每秒奔跑約 46 公分左右的距離。
3. 根據我們的觀察紀錄，只有綁繩在 9、11 公分的紙馬能夠在桌子邊緣停住，其中又以綁繩 11 公分的紙馬表現最佳，有 4 次懸崖勒馬的表現。

(五)實驗五、探討不同繩長對於紙馬移動速率的影響

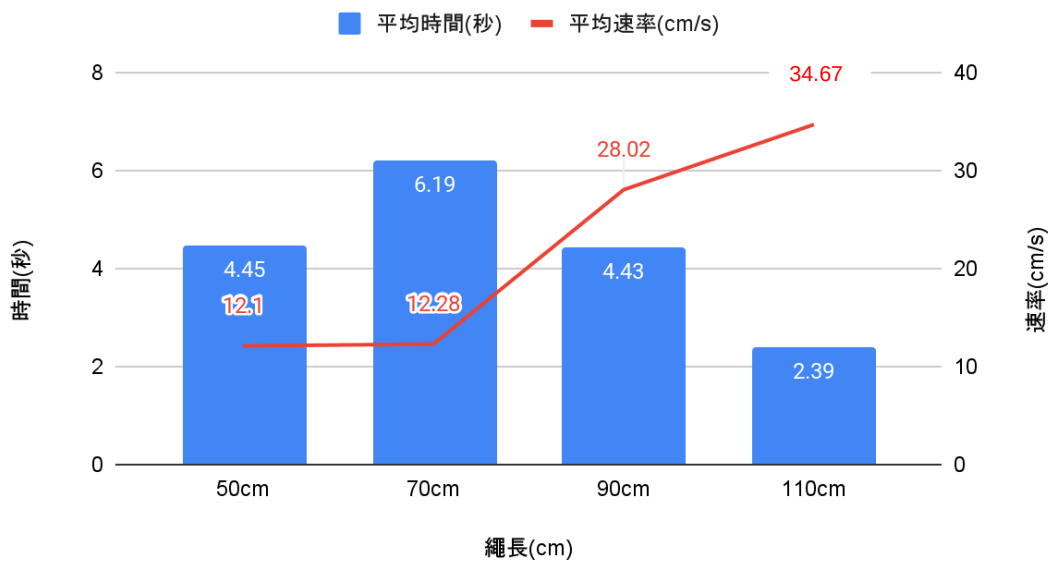
表 5-5-1：不同繩長對於紙馬移動速率的時間紀錄表

紙馬身長 11.7cm。

次數	繩子 長度	50cm		70cm		90cm		110cm	
		桌長 48.5cm		桌長 80cm					
		時間	速率	時間	速率	時間	速率	時間	速率
第一次		7.94 -6.8	5.25	8.26 -9.4	8.54	2.15	37.20	2.89	27.68
第二次		5.27 -6.3	8.00	6.03 -6.1	12.25	1.94	41.23	1.96 ✔+1.1	41.37
第三次		3.06 -5.3	14.11	5.17 ✔-5	14.50	8.14 -8.9	8.73	1.76	45.45
第四次		3.03 -5.5	14.19	6.48 -14.6	10.09	2.13	37.55	2.49 ✔	32.12
第五次		2.94 ✔-5	14.79	4.99 -6	14.82	7.7 -8.3	9.31	2.62	30.53
平均時間 (秒 s)		4.45	-	6.19	-	3.99	-	2.34	-
平均速率 (cm/s)		-	12.10	-	12.28	-	28.02	-	34.67

圖 5-5-1：不同繩長對於紙馬移動平均速率組合圖

不同繩長對於紙馬移動速率的影響



觀察與發現：

1. 我們發現繩長 50 公分和 70 公分的紙馬奔跑速率最慢且接近，大約每秒只能移動 12 公分左右；繩長 110 公分的紙馬移動速率約為每秒 35 公分左右，為繩長 50 公分和 70 公分的紙馬速率的 3 倍左右。
2. 根據實驗發現隨著繩子變長，紙馬奔跑的平均速率也愈來愈快。
3. 根據實驗，發現繩長變化對於是否有助於懸崖勒馬呈現不規律狀態，繩長 50、70 公分、110 各有一或兩次的桌子邊緣停駐狀態，而 90 公分繩長的紙馬一下子衝過頭，一下子老早停住，很不穩定。

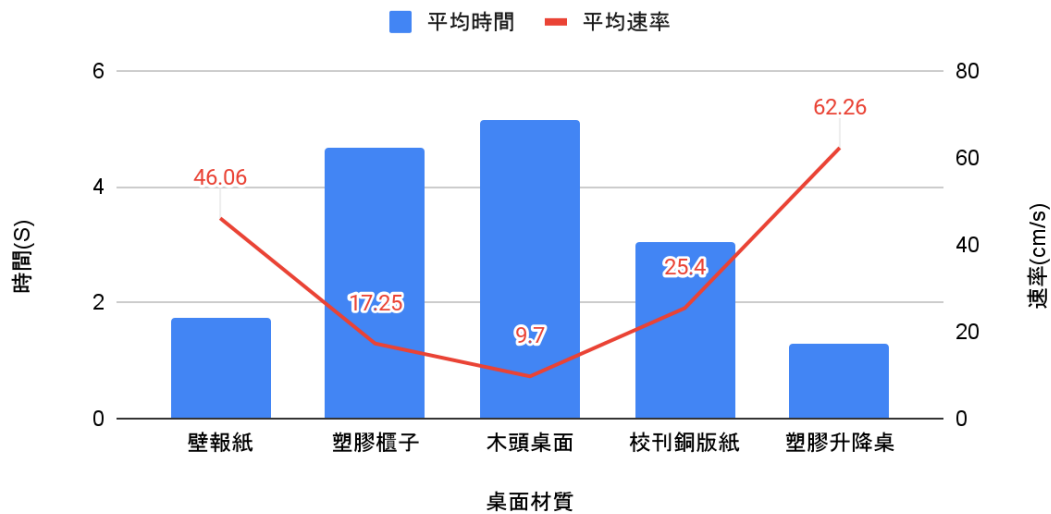
(六)實驗六、探討不同摩擦面材質對於紙馬移動速率的影響

表 5-6-1：不同桌面對於紙馬移動速率的時間紀錄表

次數	桌面材質	壁報紙		塑膠櫃子		木頭桌面		校刊銅版紙		塑膠升降桌	
		時間	速率	時間	速率	時間	速率	時間	速率	時間	速率
第一次		1.39	57.55	5.13 ✓-2	15.20	4.6 -47.2	7.13	3.18 ✓-2	24.52	1.18	67.79
第二次		1.75	45.71	5.26 ✓	15.20	3.19 -7.2	22.82	3.00 ✓-3	25.66	1.51	52.98
第三次		2.04	39.21	4.13 ✓+1.5	19.73	7.66 -13.2	8.72	2.51 ✓-1.9	31.11	1.23	65.04
第四次		1.73	46.24	3.04	26.31	5.81 -18.3	10.61	2.94 ✓-3.5	26.02	1.28 ✓	62.50
第五次		1.73	46.24	4.75 ✓	16.84	2.79 -52.7	9.78	4.18 ✓-3.7	18.25	1.35 ✓	59.25
平均時間 (秒 s)		1.74	-	4.67	-	5.15	-	3.04	-	1.28	-
平均速率 (cm/s)		-	46.06	-	17.25	-	9.7	-	25.4	-	62.26

圖 5-6-1：不同摩擦面對於紙馬移動平均速率組合圖

不同摩擦面對於紙馬移動速率的影響



觀察與發現：

1. 根據實驗結果，我們發現紙馬在不同摩擦面奔跑的速率由快到慢分別是塑膠升降桌、壁報紙、校刊銅版紙、塑膠櫃子、木頭桌面。
2. 紙馬在塑膠升降桌和壁報紙上奔跑的速率都高於每秒 45 公分以上，紙馬在校刊銅版紙上每秒只跑了 25 公分左右，最慢的是在木頭桌面，每秒只跑了低於 10 公分的距離。
3. 我們發現這五種摩擦面當中，紙馬只有在塑膠櫃子、木頭桌面、校刊銅版紙上能停下來，其中校刊銅版紙效果最好，五次都能在桌子邊緣停下來。

(七)結論

1. 衣夾材質：根據實驗，我們發現只有鐵質衣夾和 U 型衣夾的紙馬能夠懸崖勒馬，而鐵質衣夾每次都有停下來，是所有材質中最能迷途知「停」的材質，表現最佳，所以我們之後的實驗都選擇鐵質衣夾。

2. 衣夾數量：紙馬奔跑速率以四腳(衣夾)最快，六腳(衣夾)紙馬有兩次懸崖勒馬的紀錄，衣夾數量對於紙馬奔跑停止並未達到顯著影響。
3. 衣夾位置：五種夾法中有三種夾法紙馬奔跑的速率是相當接近，我們推論這代表這三種夾法對於紙馬奔跑速率影響不大，而這三種夾法中又以「前後中間夾法」的紙馬表現最佳，每次都能懸崖勒馬；三種夾法中以「前後邊緣夾法」的紙馬奔跑速率剛好是全部的中間值。
4. 綁繩高度：根據實驗結果，我們發現繩子綁得越低紙馬速率越快，繩子綁的越高速率越慢；綁繩最高的紙馬表現最佳，有4次懸崖勒馬的表現。
5. 拉力繩長：根據實驗發現隨著繩子變長，紙馬奔跑的平均速率也愈來愈快；但是繩長變化對於懸崖勒馬的表現呈現不規律狀態，推論繩長對於紙馬奔跑停住並沒有達到顯著影響。
6. 奔跑摩擦面：紙馬在不同材質的摩擦面奔跑，以塑膠升降桌奔跑速率最快，木頭桌面奔跑速率最慢；觀察紙馬懸崖勒馬的狀況則以校刊銅版紙效果最佳，五次都能迷途知「停」。

六、評鑑與檢討：(上述每一階段的省思與收穫)

(一)、尋找主題的過程中，一開始我們找到一些感興趣的主題，例如：紙飛機、爆米花、非牛頓流體...等，但是也遇到各種難題，例如：紙飛機的折法太困難，無法成功摺出；爆米花的實驗想不到研究方向，不知道如何量化等；非牛頓流體的實驗做不出來，所以不斷尋找嘗試，最後發現「懸崖勒馬」的遊戲很有趣，而且又容易入手操作，我們就開始進行研究。

(二)、蒐集文獻資料的過程中，我們先找到有圖文解說的網頁，幫助我們了解這個遊戲的科學原理，但是對於各種力的解說計算，遠遠超過我們所學，不知道如何下手，所以我們想到以觀察紙馬是否停住以及計算速率的方式進行比較。

(三)、討論研究方向時，我們以製作紙馬的材料，逐項分析討論，找出適合的、可操作的變因，我們討論了非常多的變因，再從中整理，以衣夾、繩子、摩擦面這三方面優先試驗。

(四)、進行實驗時，我們必須兩人配合，一人使用平板計時，一人操作按壓、放開紙馬，兩人如果沒有良好搭配，常常會做白工，我們反覆輪流操作之後，漸漸建立默契，越來越上手。

(五)、整理資料過程中，我們為了力求精準，關注每一次的差異性，每一次的實驗數據都要詳實紀錄計算，花費不少時間精力，覺得有點辛苦！

(六)、撰寫報告時，老師教我們如何將實驗數據以試算表整理畫成圖表，並且學習閱讀圖表，觀察思考發現比較，這部分非常困難，常常想破頭，都不知道有什麼重點，因此撰寫過程中，寫出的內容不多，但是卡關許久，覺得都快要做不完了，感覺有點緊張焦慮。

七、參考資料(未附者不予審查)

1. 國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系，科學遊戲實驗室，
<https://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-029.html>。
2. 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會作品說明書/懸崖勒馬測定法-摩擦係數 <https://reurl.cc/M6y7gv>
3. 中華民國第四十八屆中小學科學展覽會作品說明書/懸崖勒馬-力的探討 <https://reurl.cc/Y40loa>
4. 2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】/普高組成果報告表單/磨力小馬 <https://reurl.cc/L56lo3>