

# 中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

080117

小兵立大功-探討火柴棒吊水瓶的科學原理

學校名稱： 高雄市岡山區壽天國民小學

作者：  小六 康寧恩  小六 柯程芸  小六 許華玲	指導老師：  蕭惠文  陳韻淳
---	-----------------------------

關鍵詞： 火柴棒、支點、平衡

# 小兵立大功－探討火柴棒吊水瓶的科學原理

## 摘要

您相信三支不到 1 公克的火柴棒卻能吊掛比它重上千萬倍的水嗎？

本研究先從搜尋資料與實際操作的過程中，了解火柴棒裝置能夠吊掛水瓶，是因為吊掛的水瓶重力作用在火柴棒與桌緣接觸的支點上，而且棉線與橫置的第二根火柴，以及直立斜向的第三根火柴棒形成穩定的支架。

接著分別從火柴棒及棉線兩部分來探討不同變因對火柴棒承載重量的影響；最後再試著使用其他材料代替火柴棒，看看是否能承載更重的水。

研究結果得知：火柴棒的長度，火柴棒與桌子接觸的長度、火柴棒加濕的時間、棉線的長度以及棉線的粗細等，都會增加或減少火柴棒所能承載的重量，而使用其他材料代替火柴棒，也會因其粗細或材質的不同，影響所能承載的重量。



## 壹、前言

### 一、研究動機

暑假參加學校辦理的科學實驗操作營，老師教我們如何用三根火柴棒吊起裝滿水的寶特瓶，當時雖然試了很久才成功，卻也讓我們感到非常神奇與好奇，為什麼小小的火柴棒利用這樣的結構就能撐起比它重萬倍的物體？它最大的承受重量是多少？如果以竹筷子來代替火柴棒，是否能增加承載的重量？棉線的粗細或長短會有影響嗎？為了解開我們心裡一連串的疑問，老師鼓勵我們把它當作科展研究主題，自己動手做實驗來找出問題的答案。

### 二、研究目的

- (一)探討火柴棒如何懸吊重物。
- (二)探討火柴棒長度對其承載重量的影響。
- (三)探討火柴棒接觸桌面的長度對其承載重量的影響。
- (四)探討不同長度的棉線對火柴棒承載重量的影響。
- (五)探討使用不同粗細的棉線對火柴棒承載重量的影響。
- (六)探討火柴棒加濕時間長短對其承載重量的影響。
- (七)探討使用其他材料代替火柴棒對其承載重量的影響。



### 三、文獻回顧



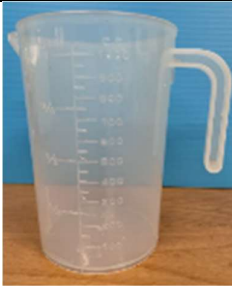



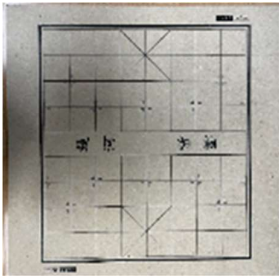

我們在台灣網路科教館，以「螞蟻吊大象」、「槓桿」及「支點」三組關鍵字搜尋歷屆作品，只查到一件相關作品，閱讀後摘錄重點如下：

**中華民國第 60 屆中小學科展國中物理組作品—螞蟻吊大象**。摘要：實驗設計包含三根木棒的粗細或長度改變、木棒接觸面的材質、載重系統的整體環境等，探討承載架運用什麼方法撐起重物，以及如何增加承載架負重能力。實驗發現改變各種變因能影響承載架的負重效果：當木棒纖維強度不足時，承載架倒塌的原因為木棒斷裂，當木棒纖維強度足夠時，會因繩子受力拉長，最終導致傾斜倒塌。

此作品內容主要是以松木棒來進行實驗，需要特殊工具裁切，而且是以國中所學的相關知識來進行變因的探討；我們想要瞭解火柴棒如何能撐起比它重好幾倍的物品，所運用的科學原理是否與我們學過的課程相關，以及有什麼因素會影響火柴棒所能承受的重量，因此以容易取得的火柴棒為主要研究對象，討論出可能影響其承載重量的變因，一一尋找相關材料並設計實驗進行探討，最後再以其他材料代替火柴棒進行比較。

### 貳、研究設備及器材

		
火柴棒(長 7.5 公分、4.3cm)	竹筷子	木條
		
輕木(3×3、4×4、6×6、10×10 mm <sup>2</sup> )	不同粗細的棉線	加濕器

			
20L 塑膠桶	電子磅秤	1000mL 量杯	6L 寶特瓶
			
50.100.200mL 針筒	漏斗+塑膠管	棋盤	S 掛勾

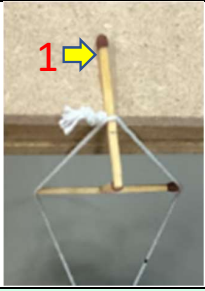
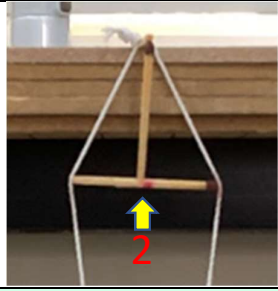
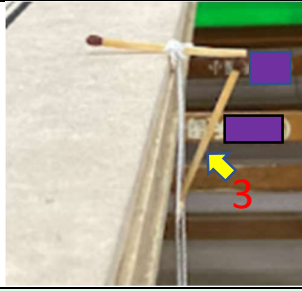

## 參、研究方法與結果

### 一、探討火柴棒如何懸吊重物


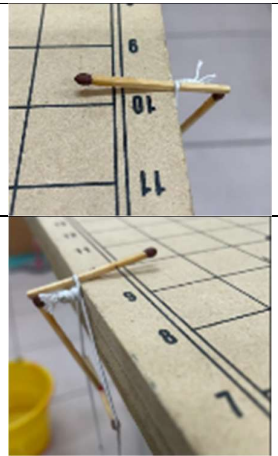
研究問題：一折就斷的火柴棒，一根大約只有 0.1 克重，卻能懸吊 1000 克以上的重物，究竟是什麼原因讓火柴棒能發揮這麼大的力量？它所能承受的重量是否有所限制？

#### (一)研究方法

- 1、將四個棋盤相疊後突出桌緣 6 公分，火柴棒放在棋盤邊緣突出 2 公分，接著用重物壓在火柴棒上，然後將裝了 500mL 水的 6L 寶特瓶綁上棉線，掛在火柴棒上，棉線須儘量緊貼在棋盤邊緣。
- 2、取第 2 根火柴棒，橫向放在第 1 根火柴棒下方，讓棉線夾緊。
- 3、取第 3 根火柴棒，直立斜向的放在第 1、2 根火柴棒之間。此步驟必須調整第 2 根與第 1 根火柴棒的距離，使第 3 根火柴棒可以剛好卡住，不會掉下去。
- 4、步驟 3 完成後，將第 1 根火柴棒上方的重物輕輕移走，觀察垂吊的裝水寶特瓶是否仍能維持原狀。
- 5、每次添加 50mL 的水於垂吊的 6L 寶特瓶中，直到寶特瓶掉落為止。
- 6、重複步驟 1~5 至少三次，記錄火柴棒承載的重量。

			
第 1 根火柴棒突出棋盤 2 公分。	第 2 根火柴棒橫向放在第 1 根火柴棒下方。	第 3 根火柴棒，直立斜向的放在第 1、2 根火柴棒之間	每次添加 50mL 的水於寶特瓶中，直到其掉落為止。

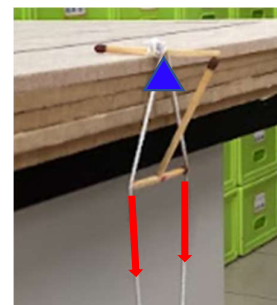
## (二)研究結果

		<p>1、一開始垂吊在火柴棒的寶特瓶不能太輕，否則第二根火柴棒很容易鬆脫而失敗。</p> <p>2、4.3 公分的火柴棒所能承載的平均重量大約為 2766 公克(瓶重+水重)。</p> <p>3、當寶特瓶加入越多的水，原本平貼於棋盤的火柴棒會翹得越高，直到火柴棒末端距離棋盤約 5mm 時，火柴棒就會承受不住重量而掉落。</p>
--	--	--

## (三)原理探討

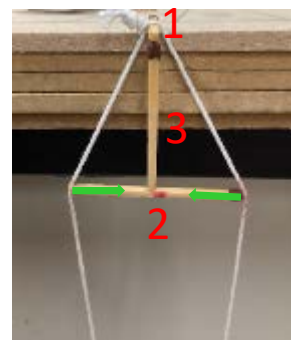
用三根火柴棒可以懸掛很重的重量，並且保持平衡，主要牽涉到兩個關鍵因素：

- 1、第一個關鍵因素是寶特瓶的作用力在支點上，使「力臂」接近於零，因此火柴棒就可以支撐重物。如右圖所示，寶特瓶重量（紅色箭頭）經由棉線施加在火柴棒的作用力，與支點（藍色三角形）幾乎為同一點，所以火柴棒不會斷裂。這也是為什麼寶特瓶掛在火柴棒時，棉線要緊貼棋盤邊緣的道理。





- 2、第二個關鍵因素是第二根火柴棒被兩邊的棉線緊緊夾住，因為寶特瓶往下的重量使棉線有夾緊第二根火柴棒的張力(如右圖綠色箭頭)，無法移動的第二根火柴棒使第三根火柴棒無法往下移動，連帶的也抵抗了第一根火柴棒往下的運動，使得三根火柴棒能保持平衡，不會掉落。



(參考資料~科學遊戲實驗室)

## 二、探討火柴棒長度對其承載重量的影響

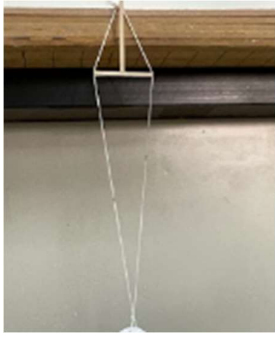
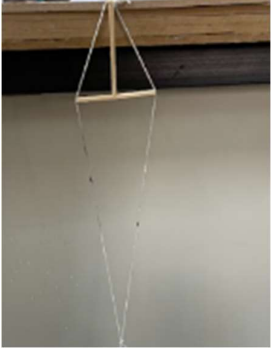


研究問題：實驗一使用 4.3 公分的火柴棒就能撐起將近 3000 克的重量，如果火柴棒的長度越長，是不是能撐起的重量也越重呢？為了驗證我們的想法，我們找到市面上販賣最長長度為 7.5 公分的火柴棒來測試，結果因為這種火柴棒頭的摩擦力比較小，第二根火柴棒很難固定在棉線上，火柴棒尾端也容易出現粗細不一的情況，因此本實驗就把火柴棒的頭、尾材裁切掉，以 6.8、6、5.2、4.4 公分的火柴棒來進行實驗操作。

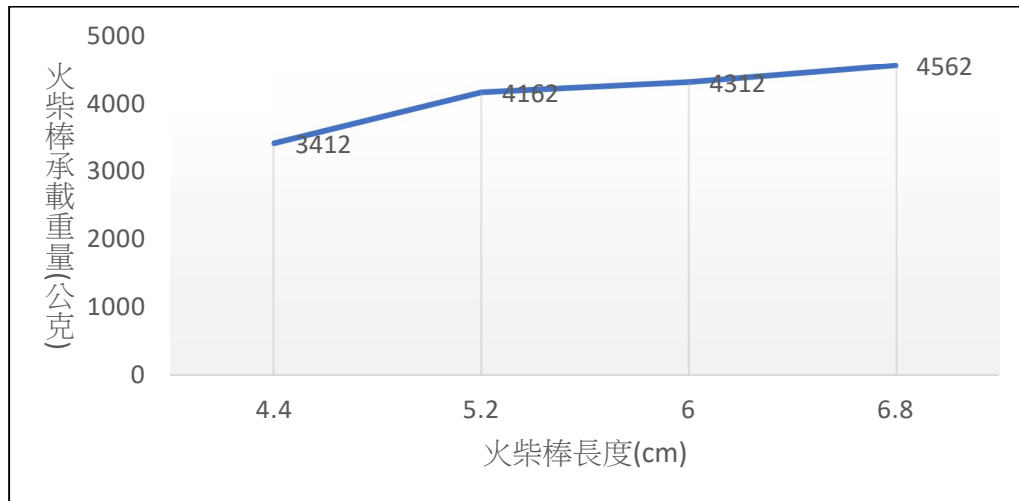
### (一)研究方法

- 1、將長 7.5 公分的火柴棒頭、尾裁切掉，做成 6.8cm、6cm、5.2cm、4.4cm 的長度各數根(如右圖)。
- 2、將四個棋盤相疊後突出桌緣 6 公分，取 6.8cm 的火柴棒放在棋盤邊緣突出 2 公分，接著用重物壓在火柴棒上，然後將裝了 1000mL 水的 6L 寶特瓶綁上棉線，再掛在火柴棒上，棉線須儘量緊貼在棋盤邊緣。
- 3、取第 2 根 6.8cm 的火柴棒，橫向放在第 1 根火柴棒下方，讓棉線夾緊。
- 4、取第 3 根 6.8cm 的火柴棒，直立斜向的放在第 1、2 根火柴棒之間。
- 5、步驟 3 完成後，將第 1 根火柴棒上方的重物輕輕移走。
- 6、每次添加 50mL 的水於垂吊的 6L 寶特瓶中，直到寶特瓶掉落為止。
- 7、重複步驟 1~5 至少三次，記錄火柴棒承載的平均重量。
- 8、將步驟 2 的火柴棒分別以 6cm、5.2cm、4.4cm 的火柴棒替代，重複步驟 2~7，比較其結果。



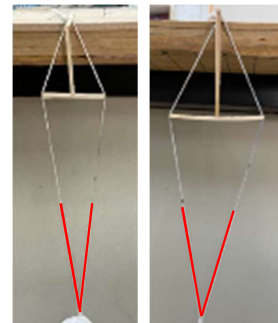
## (二)研究結果

火柴棒 4.4cm	火柴棒 5.2cm	火柴棒 6.0cm	火柴棒 6.8cm
			
平均承載重量： < 3412g	平均承載重量： < 4162g	平均承載重量： < 4312g	平均承載重量： < 4562g

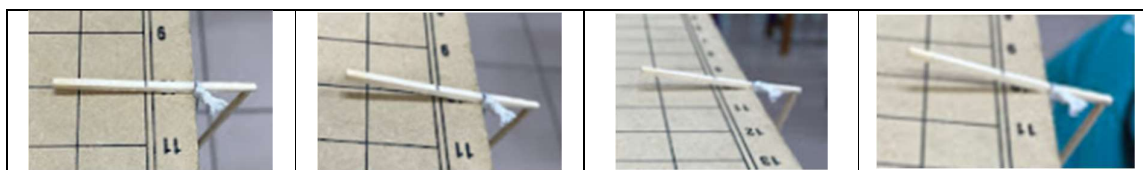


## (三)分析與討論

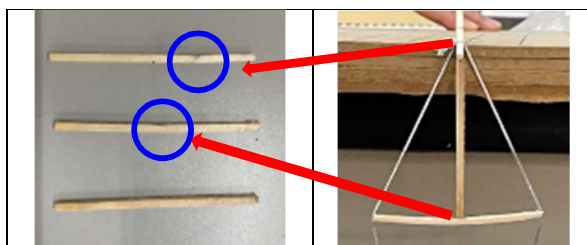
- 1、實驗結果：增加火柴棒的長度可以使火柴棒承載的重量增加。
- 2、我們觀察到當火柴棒長度增加時，會有兩個地方隨之改變，一是棉線的夾角(如右圖)，一是火柴棒接觸桌面的長度，究竟哪一個才是增加火柴棒承載重量的關鍵，我們將在後續實驗進行相關變因的探討。



- 3、當火柴棒承擔的重量越重，接觸桌面的那一端會翹得越高，這是因為火柴棒受力傾斜，讓重心能轉移到支點下方，使承擔裝置維持穩定，如果重心無法轉移到支點下方，或者火柴棒因承受不住重量而斷裂，承擔裝置便會倒塌。



- 4、實驗後的第一根和第二根火柴棒都會因為受力而產生凹陷的情形，因此每操作完一次都必須更換這兩根火柴棒，以免降低其所能承擔的重量。



### 三、探討火柴棒接觸桌面的長度對其承擔重量的影響

研究問題：由實驗一、二的操作過程中，我們觀察到第一根火柴棒承擔的重量越重時，與桌子接觸的那一端會翹得越高，因此我們就想到，如果第一根火柴棒與桌子接觸的長度長一些，是不是能承擔比較重的重量呢？

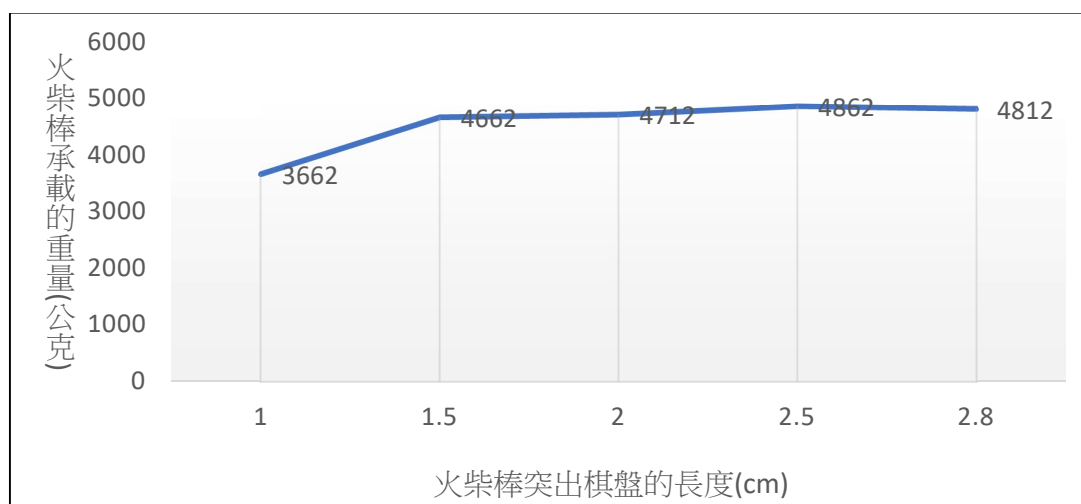
#### (一)研究方法

- 1、將四個棋盤相疊後突出桌緣 6 公分，再把 5.2 公分的火柴棒放在棋盤邊緣突出 1 公分，接著用重物壓在火柴棒上，然後將裝了 1000mL 水的 6L 寶特瓶綁上棉線，掛在火柴棒上，棉線須盡量緊貼在棋盤邊緣。
- 2、取第 2 根 5.2 公分的火柴棒，橫向放在第 1 根火柴棒下方，讓棉線夾緊。
- 3、取第 3 根 5.2 公分的火柴棒，直立斜向的放在第 1、2 根火柴棒之間。
- 4、步驟 3 完成後，將第 1 根火柴棒上方的重物輕輕移走，觀察垂吊的裝水寶特瓶是否仍能維持原狀。
- 5、每次添加 50mL 的水於垂吊的寶特瓶中，直到寶特瓶掉落為止。
- 6、重複步驟 1~5 至少三次，記錄火柴棒承擔的平均重量。
- 7、將步驟 1 的第一根火柴棒依序改為突出 1.5cm、2cm、2.5cm 和 2.8cm，重複步驟 1~6，比較其結果。



## (二)研究結果

突出 1cm	突出 1.5cm	突出 2cm	突出 2.5cm	突出 2.8cm
				
平均承載重量： < 3662g	平均承載重量： < 4662g	平均承載重量： < 4712g	平均承載重量： < 4862g	平均承載重量： < 4812g



## (三)分析與討論

- 1、實驗結果：第一根火柴棒突出桌面的長度除了 1 公分所能承載的重量比較少以外，突出長度在 1.5cm~2.8cm 所能承載的重量差異不大。
- 2、當火柴棒受力時，第一根火柴棒會傾斜使重心轉移到支點下方，以維持承載裝置穩定。本實驗在第一根火柴棒僅突出桌面 1 公分時，我們觀察到棉線容易在火柴棒傾斜時滑落(如右圖)，因而使得承載的重量減少。
- 3、操作實驗二、三時，我們發現這種火柴棒的粗細差異較大，而且表面比較滑，所以需要花費更多時間挑選及處理才能成功架好承載裝置，因此我們選擇實驗一所使用的 4.3 公分火柴棒進行後續實驗的探討。

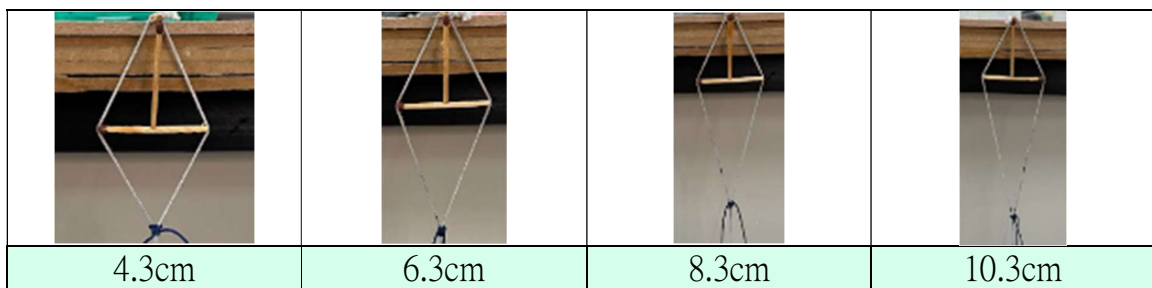


#### 四、探討不同長度的棉線對其承載重量的影響










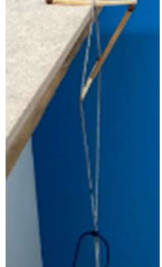


研究問題：我們在閱讀相關資料時，有提到「懸吊的棉線長度不要太長，因為比較短的棉線對於第二根火柴棒的施力比較大，更有利於夾緊。」為了理解這段話的意思，並且進一步得知綿線的長度對於火柴棒的承載重量的影響為何，於是我們在夾住第二根火柴棒的棉線端往下不同的長度將吊掛水平的棉線綁緊，比較看看火柴棒的承載重量有什麼差別？

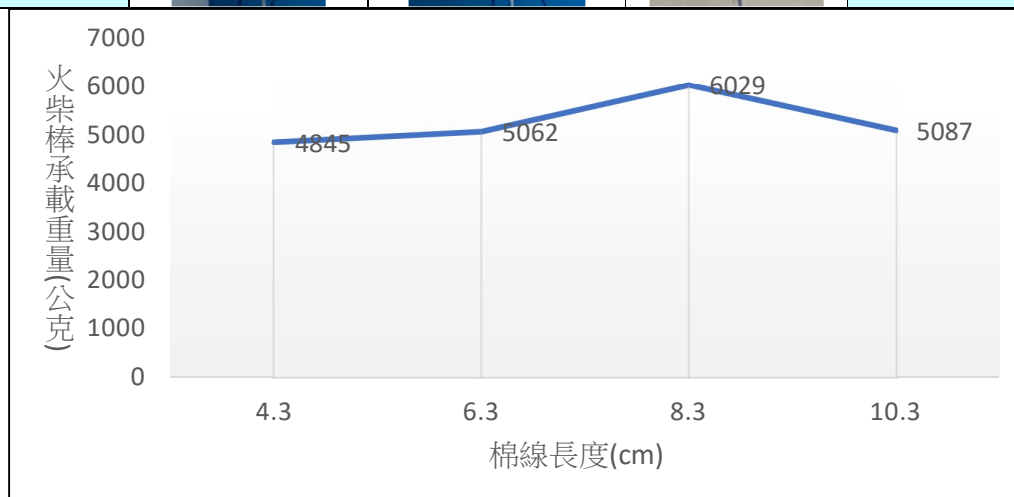
##### (一)研究方法

- 1、將四個棋盤相疊後突出桌緣 6 公分，再把 4.3 公分的火柴棒放在棋盤邊緣突出 2 公分，接著用重物壓在火柴棒上，然後將裝了 1000mL 水的 6L 寶特瓶綁上棉線，再掛在火柴棒上，棉線須儘量緊貼在棋盤邊緣。
- 2、取第 2 根 4.3 公分的火柴棒，橫向放在第 1 根火柴棒下方，讓棉線夾緊。
- 3、取第 3 根 4.3 公分的火柴棒，直立斜向的放在第 1、2 根火柴棒之間。
- 4、步驟 3 完成後，在夾住第 2 根火柴棒的棉線端往下 4.3cm 處用繩子綁緊，再將第 1 根火柴棒上方的重物移走。
- 5、每次添加 50mL 的水於垂吊的 6L 寶特瓶中，直到寶特瓶掉落為止。
- 6、重複步驟 1~5 至少三次，記錄火柴棒承載的平均重量。
- 7、將步驟 4 的綁線位置依序改為 6.3cm、8.3cm 和 10.3cm，重複步驟 1~6，比較其結果。



(二)研究結果

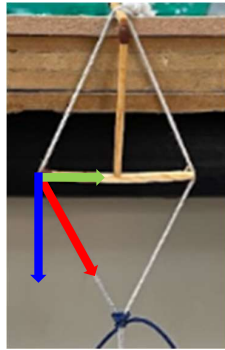
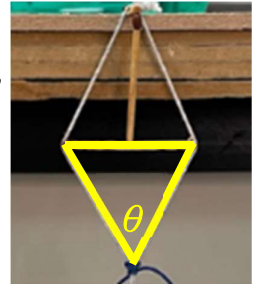
承載重量 綁棉線處	吊掛 1112g	吊掛 4112g		平均承載重量
4.3cm				< 4845g
6.3cm				< 5062g
8.3cm				< 6029g
10.3cm				< 5087g



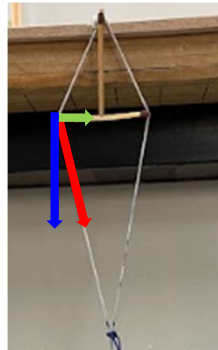
### (三)分析與討論

1、實驗結果：以 4.3 公分的火柴棒而言，當夾住第二根火柴棒的棉線長度在 4.3 公分~8.3 公分的範圍內時，棉線的長度越長，火柴棒所能承載的重量會越重；當夾住第二根火柴棒的棉線長度在超過 8.3 公分時，棉線的長度越長，火柴棒所能承載的重量會越輕。

2、本研究使用的火柴棒長度為 4.3 公分，因此我們從棉線長度 4.3 公分開始進行實驗，火柴棒與棉線剛好形成一個正三角形，此時  $\theta$  為 60 度，當棉線的長度增加， $\theta$  隨著變小，棉線夾住火柴棒的施力也會減少(如下圖一、二所示)，原本我們以為棉線的夾角越大，棉線對火柴棒的施力越大，火柴棒所能承載的重量也越重，可是實驗後卻發現當棉線綁在 4.3 公分時，承載的重量最多到 4912g，就會因為第二根火柴棒折斷而倒塌，反而棉線綁在 8.3 公分時，火柴棒最多竟然可以承載到 6112g。因此比較短的棉線雖然可以將第二根火柴棒夾得比較緊，卻不一定可以增加火柴棒承載的重量，還要考慮火柴棒所能承受的力，如果把火柴棒換成比較粗的材料，或許會有不同的結果。



圖一



圖二

在火柴棒承載相同重量的水瓶情況下，**紅色箭頭**為水瓶的施力，分為**藍色箭頭**：向下的力，以及**綠色箭頭**：夾住火柴棒的力。當棉線的夾角越大，夾住火柴棒的分力也越大。

#### 延伸實驗

四-A：使用不同粗細的輕木棒代替火柴棒，比較其承載的重量有何差異。

四-B：依四-A 的實驗結果，使用較粗的輕木棒代替第二根火柴棒，比較棉線長度對其承載的重量有何影響。




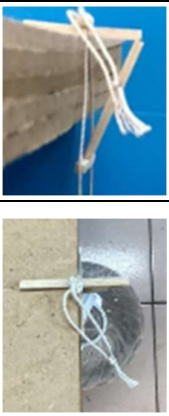




研究問題：為了驗證我們的推論是否正確，我們在書局找到方便裁切，而且有不同底面積的輕木棒(又稱飛機木)來進行實驗，先比較不同粗細的輕木棒是否會影響其所能承載的重量；接著再依前項實驗的結果，選用比火柴棒粗的輕木棒代替第二根火柴，看看是否能承受比較大的張力，使第一根火柴棒在棉線夾角較大時，承載比較大的重量。

## 實驗四-A：探討不同粗細的輕木棒對其承載重量有何影響













### (一)研究方法

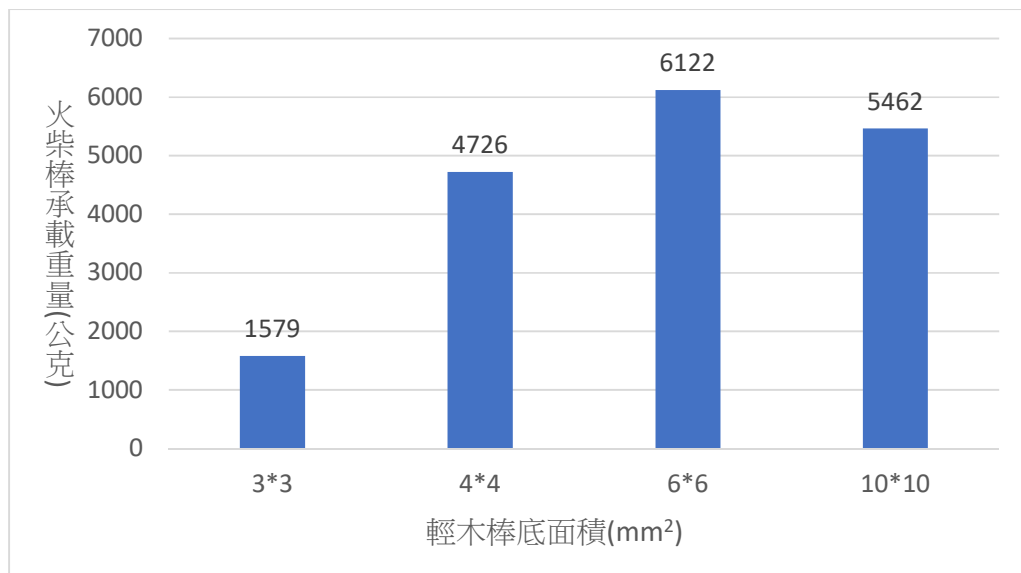
- 1、將四個棋盤相疊後突出桌緣 6 公分，再把長 4.3 公分、底面積  $3 \times 3 \text{ mm}^2$  的輕木棒放在棋盤邊緣突出 2 公分，接著用重物壓在輕木上，然後將裝了 500mL 水的 6L 寶特瓶綁上寬度 1.5mm 的棉線，再掛在輕木上，棉線須儘量緊貼在棋盤邊緣。
- 2、取第 2 根相同長短及粗細的輕木，橫向放在第 1 根輕木下方，讓棉線夾緊。
- 3、取第 3 根輕木，直立斜向的放在第 1、2 根輕木之間。
- 4、每次添加 50mL 的水於垂吊的 6L 寶特瓶中，直到寶特瓶掉落為止。
- 5、重複步驟 1~5 至少三次，記錄輕木承載的平均重量。
- 6、將步驟 1~3 的輕木依序更換為底面積  $4 \times 4$ 、 $6 \times 6$ 、 $10 \times 10 \text{ mm}^2$  的輕木，重複步驟 1~5，比較其結果。

### (二)研究結果

實驗裝置 輕木底面積	正面		側面		平均承載重量
$3 \times 3 \text{ mm}^2$					< 1579g
	612g	1112	612g	1112g	
$4 \times 4 \text{ mm}^2$					< 4726g
	2112g	4612g	2112g	4612g	



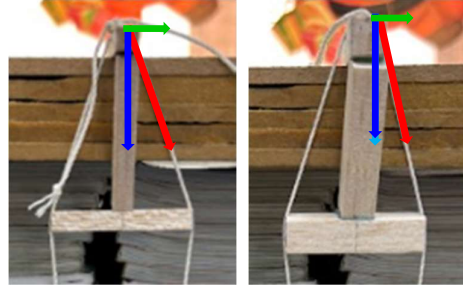
6×6 mm <sup>2</sup>					< 6122g
	3112g	6112g			
10×10 mm <sup>2</sup>					< 5462g
	3112g	5112g			



### (三)分析與討論

1、實驗結果：當輕木棒的底面積介於  $3 \times 3 \text{ mm}^2$  到  $6 \times 6 \text{ mm}^2$  之間時，輕木棒越粗，所能承載的重量越重；當輕木棒的底面積為  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  時，所能承載的重量反而減少。

2、當輕木棒底面積為  $3 \times 3 \text{ mm}^2$  時，長度裁切為 4.3cm 時，每枝的重量只有 0.029g(相同長度的火柴棒，重量為 0.12g)，因為纖維強度差，所以僅能承載 1 千多克的水。而隨著輕木棒的底面積增加，纖維強度也越



強，因此能承載的重量也越重，可是當輕木棒的底面積為  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  時，承載重量卻減少了，我們推論可能是因為棉線被拉得比較開，以至於棉線張力(紅色箭頭)對第一根輕木棒的向下分力(藍色箭頭)增大(淺藍色箭頭為增加的部分)，因而減少其所能承載的重量。

3、本實驗所使用的輕木，也叫飛機木、巴爾薩木、巴爾沙木或巴沙木，屬錦葵目錦葵科木棉亞科植物，是一種巨大，且生長快速的樹，可以生長到 30 公尺高。因為文具店所能購得的尺寸僅有  $3 \times 3$ 、 $4 \times 4$ 、 $6 \times 6$  和  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  四種，因此無法得知當輕木棒的底面積到達多大時，承載重量會開始減少。

### 實驗四-B：以底面積 $6 \times 6 \text{ mm}^2$ 的輕木棒代替第二根火柴棒，探討不同長度的棉線對其承載重量的影響




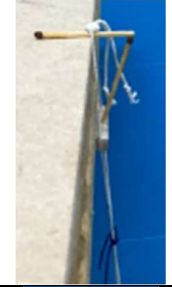








#### (一)研究方法

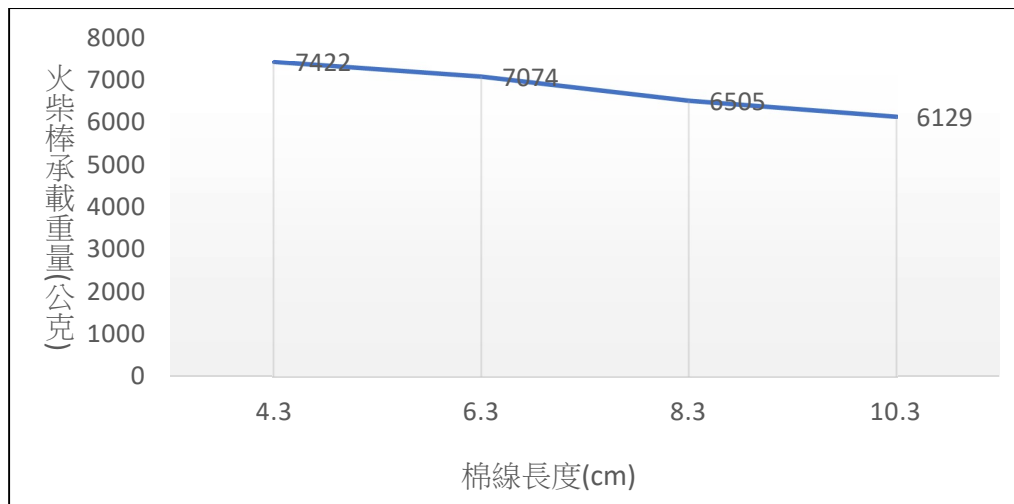
- 1、將四個棋盤相疊後突出桌緣 6 公分，再把 4.3 公分的火柴棒放在棋盤邊緣突出 2 公分，接著用重物壓在火柴棒上，然後將裝了 1000mL 水的 6L 寶特瓶綁上寬度 1.5mm 的棉線，再掛在火柴棒上，棉線須儘量緊貼在棋盤邊緣。
- 2、取長 4.3 公分、底面積  $6 \times 6 \text{ mm}^2$  的輕木棒，橫向放在第 1 根火柴棒下方，讓棉線夾緊。
- 3、取第 3 根 4.3 公分的火柴棒，直立斜向的放在第 1、2 根火柴棒之間。
- 4、步驟 3 完成後，在夾住第 2 根火柴棒的棉線端往下 4.3cm 處用繩子綁緊，再將第 1 根火柴棒上方的重物移走。
- 5、每次添加 50mL 的水於垂吊的 6L 寶特瓶中，直到寶特瓶掉落為止。

6、重複步驟 1~5 至少三次，記錄火柴棒承載的平均重量。

7、將步驟 4 的綁線位置依序改為 6.3cm、8.3cm 和 10.3cm，重複步驟 1~6，比較其結果。

(二)研究結果

承載重量 綁棉線處	吊掛 1612g	吊掛 4112g		平均承載重量
4.3cm				< 7422g
6.3cm				< 7074g
8.3cm				< 6505g
10.3cm				< 6129g



### (三)分析與討論

- 1、實驗結果：當第二根火柴棒以底面積  $6 \times 6 \text{ mm}^2$  的輕木棒代替時，夾住第二根火柴棒的棉線長度越長，火柴棒所能承載的重量會越輕。
- 2、我們以實驗一表現較佳，底面積  $6 \times 6 \text{ mm}^2$  的輕木棒代替第二根火柴棒，實驗結果果真如我們所推論，當棉線綁在 4.3 公分時，夾住火柴棒的分力最大，而且輕木棒能承受得住分力，所以火柴棒承載的重量也最重，隨著棉線越來越長，夾住火柴棒的分力也越來越小，因此火柴棒所能承載的重量也跟著減少了。
- 3、我們使用的寶特瓶最多僅能裝 6200mL 的水，因此當寶特瓶裝滿水仍未掉落時，為了保持承載裝置的狀態，我們用 S 掛勾裝上另一個寶特瓶來繼續進行實驗。



## 五、探討使用不同粗細的棉線對其承載重量的影響









研究問題：實驗四的研究結果得知棉線的長度會影響火柴棒的承載重量，於是我們就想到：如果使用較粗或較細的棉線，火柴棒所能承載的重量是否也會隨著增加或減少呢？

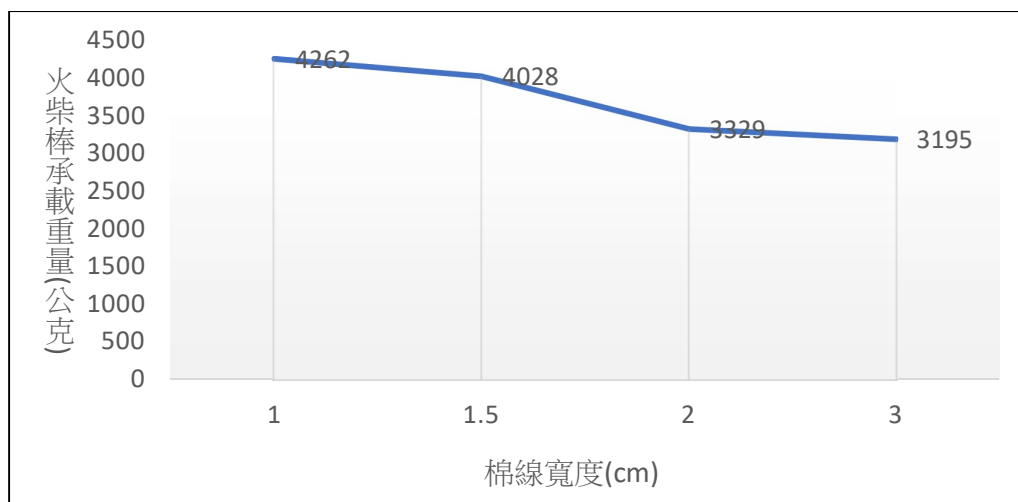
### (一)研究方法

- 1、將四個棋盤相疊後突出桌緣 6 公分，再把 4.3 公分的火柴棒放在棋盤邊緣突出 2 公分，接著用重物壓在火柴棒上，然後將裝了 1000mL 水的 6L 寶特瓶綁上寬度 1mm 的棉線，再掛在火柴棒上，棉線須儘量緊貼在棋盤邊緣。

- 2、取第 2 根 4.3 公分的火柴棒，橫向放在第 1 根火柴棒下方，讓棉線夾緊。
- 3、取第 3 根 4.3 公分的火柴棒，直立斜向的放在第 1、2 根火柴棒之間。
- 4、每次添加 50mL 的水於垂吊的 6L 寶特瓶中，直到寶特瓶掉落為止。
- 5、重複步驟 1~5 至少三次，記錄火柴棒承載的平均重量。
- 6、將步驟 1 的棉線依序更換為寬度 1.5mm、寬度 2mm、寬度 3mm 的棉線，重複步驟 1~5，比較其結果。

## (二)研究結果

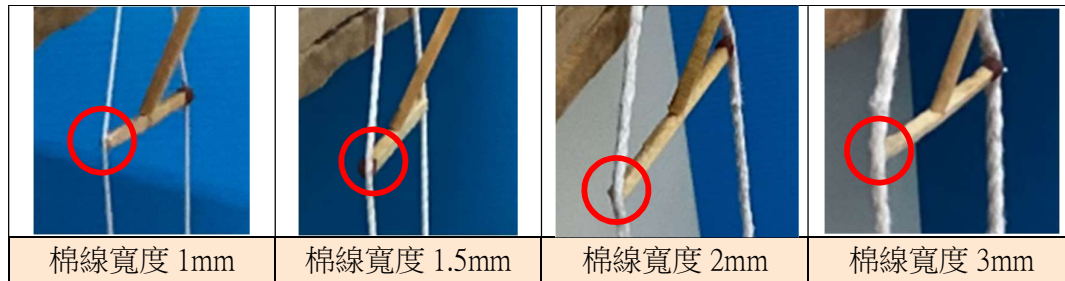
棉線寬度 1mm	棉線寬度 1.5mm	棉線寬度 2mm	棉線寬度 3mm
			
			
平均承載重量： < 4262g	平均承載重量： < 4028g	平均承載重量： < 3329g	平均承載重量： < 3195g





### (三)分析與討論

- 1、實驗結果：棉線越細，火柴棒所能承載的重量越重。
- 2、為了避免火柴棒從棉線脫落，我們會在第二根火柴棒的兩端，用美工刀刻出細的凹痕，除了更容易操作，也可以避免棉線滑掉。實驗用的火柴棒底面積為  $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ ，因此使用寬度為  $1\text{mm}$  或  $1.5\text{mm}$  的棉線時，棉線很容易卡住火柴棒，使承載的重量比較大，當棉線的寬度為  $2\text{mm}$  或  $3\text{mm}$  時，棉線無法卡進火柴棒的凹痕中，不僅在操作火柴棒支架時很容易失敗，火柴棒所能承載的重量也減少很多。



### 六、探討火柴棒加濕對其承載重量的影響


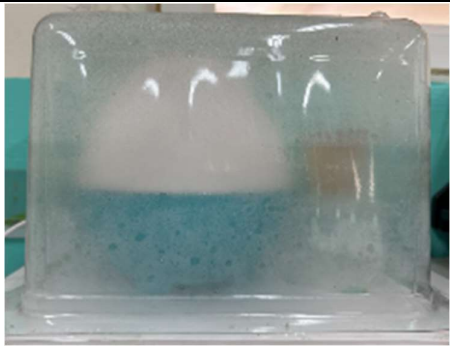
研究問題：日常生活中，常常看到木製的物品因受潮而腐朽、斷裂的情形，於是我們想到當火柴棒受潮時，是不是也會降低它所能承載的重量？為了驗證我們的想法，我們利用加濕器做一個簡易的火柴棒加濕實驗裝置，以**第一根火柴棒**不同的加濕時間來進行比較，了解火柴棒加濕後是否會影響其承載重量。

#### (一)研究方法










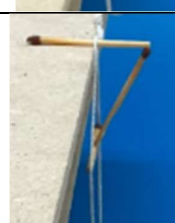

- 1、製作簡易的火柴棒加濕實驗裝置。
- 2、取數根火柴棒，放置於加濕實驗裝置 30 分鐘後取出，裝進夾鏈袋保持濕度。
- 3、將四個棋盤相疊後突出桌緣 6 公分，再把受潮的火柴棒放在棋盤邊緣突出 2 公分，接著用重物壓在火柴棒上，然後將裝了 1000mL 水的 6L 寶特瓶綁上  $1.5\text{mm}$  棉線，再掛在火柴棒上，棉線須儘量緊貼在棋盤邊緣。
- 4、取第 2 根 4.3 公分，沒有經過加濕處理的火柴棒，橫向放在第 1 根火柴棒下方，讓棉線夾緊。
- 5、取第 3 根 4.3 公分，沒有經過加濕處理的火柴棒，直立斜向的放在第 1、2 根火柴棒之間。
- 6、每次添加 50mL 的水於垂吊的 6L 寶特瓶中，直到寶特瓶掉落為止。

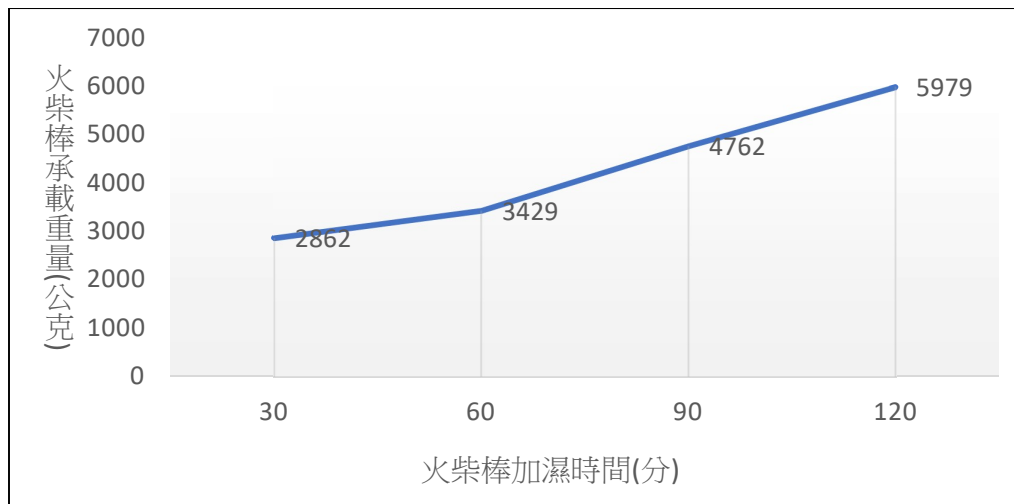
7、重複步驟 3~6 至少三次，記錄火柴棒承載的平均重量。

8、將步驟 2 的火柴棒加濕時間依序增加為 60 分鐘、90 分鐘、120 分鐘，重複步驟 3~6，比較其結果。

	
火柴棒加濕實驗裝置	將火柴棒進行不同時間的加濕處理。

## (二)研究結果

承載重量 火柴棒 加濕時間	吊掛 1112g	吊掛 2112g	吊掛 3112g	平均承載重量
30 分鐘			已坍塌	< 2862g
60 分鐘				< 3429g
90 分鐘				< 4762g
120 分鐘				< 5979g



### (三)分析與討論

- 1、實驗結果：火柴棒加濕時間在 120 分鐘以內時，加濕的時間越長，火柴棒所能承載的重量越重。
- 2、我們使用加濕器在密閉空間內將火柴棒進行加濕處理，再將加濕後的火柴棒放入 1 號夾鏈袋保存，以降低其水分蒸發。我們發現加濕的時間越久，火柴棒頭越容易軟化且脫落，但木材部分的除了外觀看起來顏色比較深，摸起來比較濕以外，幾乎沒有任何損壞。我們原本以為火柴棒加濕時間越久，木材部分會因為受潮而變得脆弱，使得所能承載的重量減少，沒想到實驗結果卻出乎我們意料之外，礙於時間的限制，我們無法進行更深入的研究與探討，未來如果有機會，或許可以再加濕更多時間，以及用浸泡火柴棒的方式進行比較。






### 七、探討使用其他材料代替火柴棒對其承載重量的影響


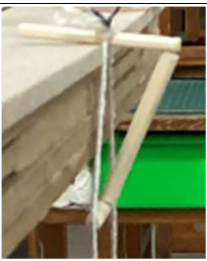
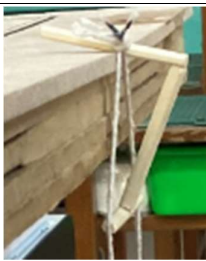



研究問題：實驗一~五我們發現火柴棒所能承載的重量有其限制，因為在實驗過程中有幾次承重超過 5000mL 時，就發生因為火柴棒斷裂而倒塌的情形，在全國科展第六十屆「螞蟻吊大象」的作品說明書也有提到**木棒纖維強度不足時，承載架倒塌的原因為木棒斷裂**，因此我們就想到如果使用其他材質的材料來替代，是不是就能增加承載的重量呢？

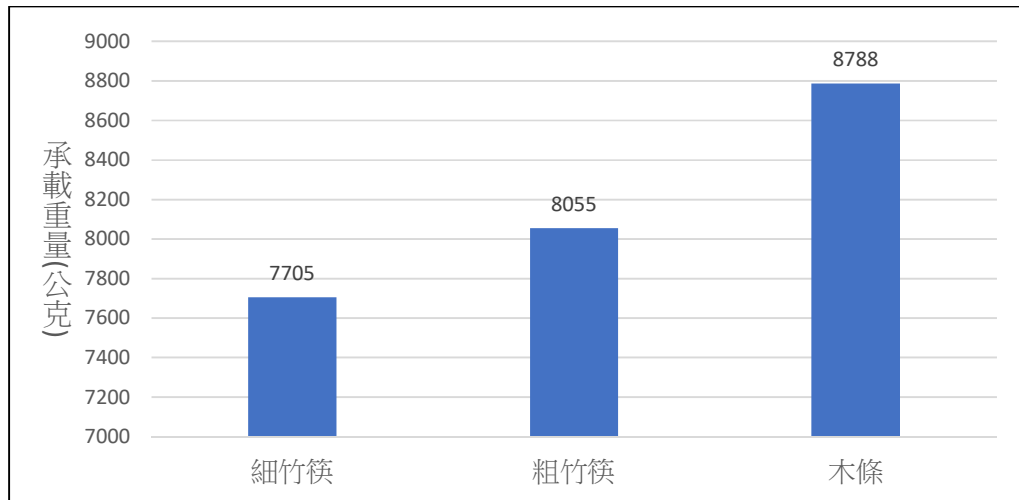
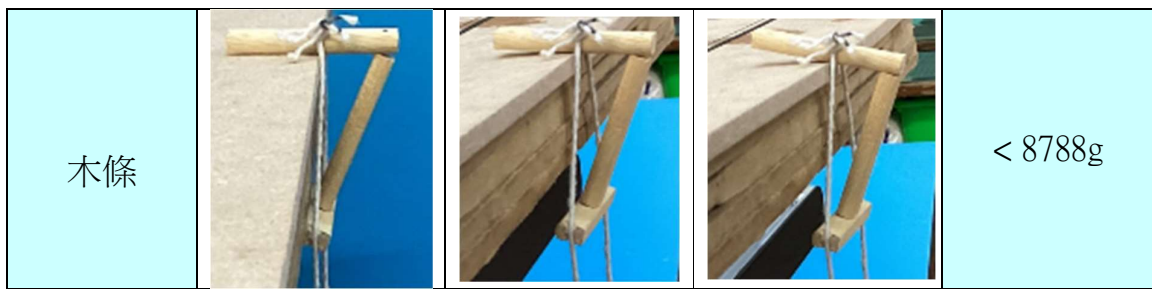
(一)研究方法

- 1、用書本將棋盤墊高 8 公分，再將四個棋盤相疊後突出桌緣 6 公分，接著把長 4.3cm、寬 3mm、高 5mm 的細竹筷放在棋盤邊緣突出 2 公分，接著用重物壓在竹筷上，然後將 20L 的塑膠空桶綁上寬度 2mm 的棉線，再掛在竹筷子上，棉線須儘量緊貼在棋盤邊緣。
- 2、取第 2 根 4.3 公分的竹筷子，橫向放在第 1 根竹筷子下方，讓棉線夾緊。
- 3、取第 3 根 4.3 公分的竹筷子，直立斜向的放在第 1、2 根竹筷子之間。
- 4、每次緩緩添加 1000mL 的水於垂吊的塑膠桶中，直到塑膠桶掉落為止。
- 5、重複步驟 1~5 至少三次，記錄細竹筷承載的平均重量。
- 6、將步驟 1 的細竹筷依序更換為不同寬度的粗竹筷和木條，重複步驟 1~5，比較其結果。

		
細竹筷 3mm×5mm×43mm	粗竹筷 4.5mm×5mm×43mm	木條 8.5mm×5mm×43mm

(二)研究結果

承載重量 綁棉線處	吊掛 705 g	吊掛 3705 g	吊掛 6705 g	平均承載重量
細竹筷				< 7705g
粗竹筷				< 8055g



### (三)分析與討論

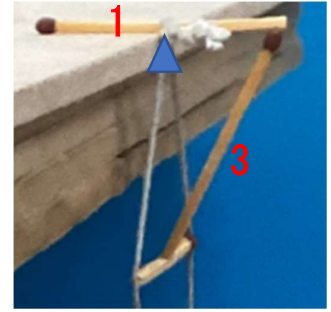
- 1、實驗結果：在長度相同的情況下，承載裝置使用的材料越粗，所能承載的重量越重。
- 2、原本我們使用的寶特瓶最多只能裝 6000mL 的水，考慮替代火柴棒的材料比較粗，承載的重量可能會超過寶特瓶所能容納的水量，所以改用 20L 的塑膠桶代替寶特瓶，並且使用寬度 2mm 的棉線，以免因棉線承受不住重量而斷裂。為了讓塑膠空桶可以懸空，於是我們又使用書本將棋盤墊高 8 公分，加水的過程要特別小心，避免塑膠桶搖晃、轉動或靠到桌子，加水的速度也不能太快，才能減少判斷承載重量的誤差。





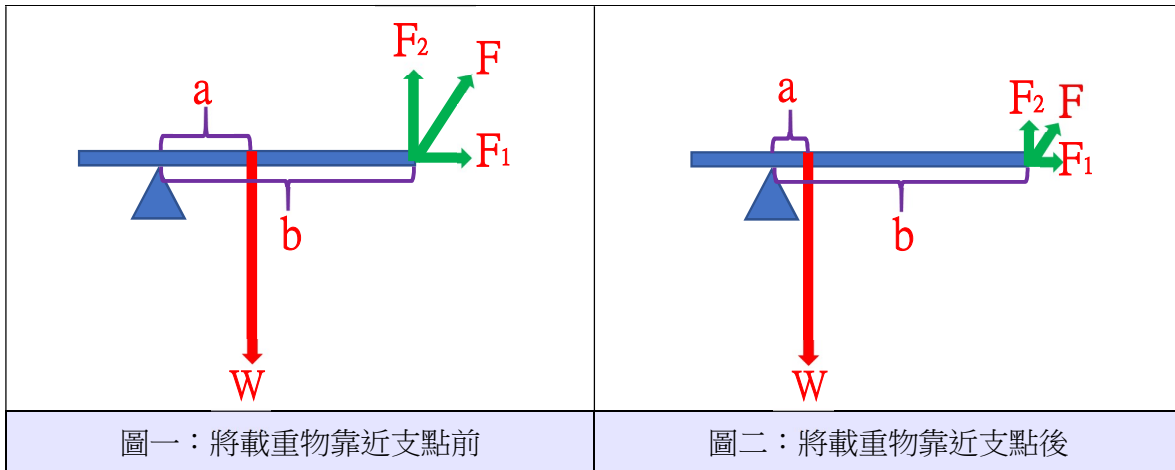
## 肆、討論

- 一、將承載裝置視為一個獨立槓桿，設第 1 根火柴棒與木板接觸點為支點，載重點為抗力點，與支點距離則為抗力臂(a)；第 3 根火柴棒的支撐點為施力點，與支點的距離為施力臂(b)，載重物經由棉線施加在火柴棒的力為 W，第 3 根火柴棒對第 1 根火柴棒施的支持力 F 形成  $F_1$ 、 $F_2$  兩個分力(如下圖一、二所示)。
- 由槓桿原理的公式 **施力×施力臂( $F_2b$ )=抗力×抗力臂( $Wa$ )**

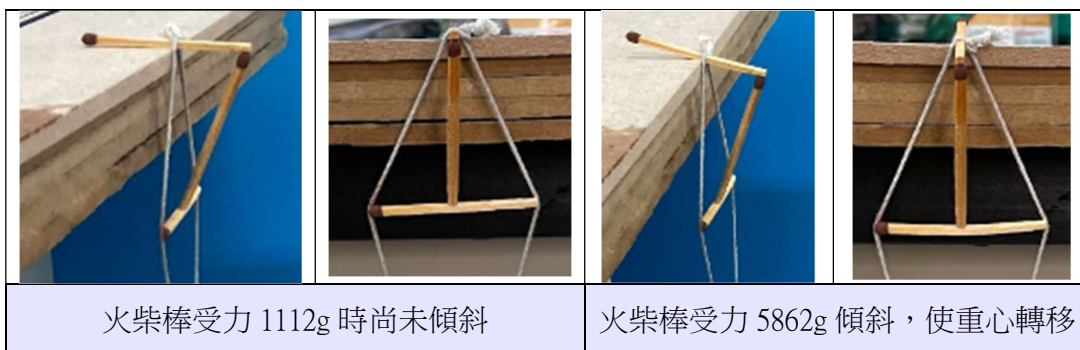


可以得知：

- 當載重物往支點靠近，a 越小，則  $F_2$  值也會跟著變小。
- 如果 a 值極小，亦即抗力點與支點幾乎為同一點，那麼第三根火柴棒對第一根火柴棒施的支持力只要提供極小的  $F_2$  值，就可以使槓桿達平衡，而且火柴棒不易斷裂。



- 二、承載裝置的重心必須在支點下方，才能使系統保持穩定，當火柴棒因受力傾斜，會使重心轉移到支點下方，維持承載裝置穩定。



三、實驗六火柴棒加濕實驗的結果出乎我們預期，於是我們上網查詢相關資料，得知以下資訊：當木材在纖維體充滿水分，但纖維空腔無水分的狀態下，稱為纖維飽和點，纖維飽和點的變化是木材性質變化的轉折點。在纖維飽和點以上，木材強度性質不變，從木材氣乾到纖維飽和點之間，所使用的木材隨著含水率的提高，其強度會下降，反之，因含水率的增加而減少，直至到達纖維飽和點為止。我們雖然將火柴棒進行不同時間的加濕處理，因為最多只有 120 分鐘，水分可能僅滲透到表面，內部纖維並未受到影響，而火柴棒在輕微受潮後，纖維間的黏合力可能略微增加，因而提高其韌性。如果增加火柴棒加濕的時間，或是將火柴棒以浸泡在水中不同的時間後進行比較，也許會有不同的結果。

四、進行實驗操作時，我們發現在相同條件下，有時候會出現承載重量前後差異很大的情形，透過錄製實驗過程的影片觀察，以及實驗材料的檢視，我們列出容易造成誤差的因素，並且在操作時盡量排除，雖然還是無法完全避免，但是也讓我們學習到如何在失敗的經驗中找到問題，然後再從問題中尋找解決的方法。

茲將本研究之實驗容易造成的誤差因素說明如下：

(一)火柴棒因粗細及火柴頭火藥含量不一，容易導致實驗誤差過大，因此在進行實驗前，必須挑選出品質相近的火柴棒，此外，實驗過的第一根及第二根火柴棒會因為受力而產生凹痕，不宜重複使用。

(二)放入第三根火柴棒時，要注意第一根火柴棒是否因卡住第三根火柴棒而往上彎，否則會在增加第一根火柴棒的載重時，因傾斜而推擠第三根火柴棒，導致載重裝置提前倒塌。



(三)火柴棒或替代材料表面的摩擦力不一，太過平滑的表面在放入第三根火柴棒時很容易滑出，本研究實驗二、三所使用的 7.5 公分火柴棒，表面就比 4.3 公分的火柴棒平滑，因此需要花費更多時間來完成實驗裝置，當實驗結果差距太大時，也必須多做幾次來進行驗證。

(四)為了讓棉線更容易卡住第二根火柴棒，我們會在火柴棒兩端的對角線用美工刀各劃一道刻痕，刻痕如果太深，火柴棒會因為受力而裂開，太淺又無法卡住棉線而容易脫落，因此我們以固定的人來劃，並且盡量以相同力道及次數來控制刻痕深度。

## 伍、結論

- 一、用三根火柴棒可以懸掛很重的重量，並且保持平衡，主要牽涉到兩個關鍵因素：第一個關鍵因素是懸掛物的作用力在支點上，使「力臂」接近於零，因此火柴棒就可以支撐重物；第二個關鍵因素是第二根火柴棒被兩邊的棉線緊緊夾住，因為懸掛物往下的重量使棉線有夾緊第二根火柴棒的張力，無法移動的第二根火柴棒使第三根火柴棒無法往下移動，連帶的也抵抗了第一根火柴棒往下的運動，使得三根火柴棒能保持平衡，不會掉落。
- 二、火柴棒的長度在 4.4cm~6.8cm 範圍時，火柴棒的長度越長，可以承載的重量也越重。
- 三、第一根火柴棒突出桌面的長度除了 1 公分所能承載的重量比較少以外，突出長度在 1.5cm~2.8cm 所能承載的重量差異不大。
- 四、以 4.3 公分的火柴棒而言，當夾住第二根火柴棒的棉線長度在 4.3 公分~8.3 公分的範圍內時，棉線的長度越長，火柴棒所能承載的重量會越重；當夾住第二根火柴棒的棉線長度在超過 8.3 公分時，棉線的長度越長，火柴棒所能承載的重量則越輕。
- 五、懸吊物品的棉線寬度在 1mm~3mm 範圍時，棉線越細，火柴棒所能承載的重量越重。
- 六、火柴棒加濕時間在 120 分鐘以內時，加濕的時間越長，火柴棒所能承載的重量越重。
- 七、本研究裁切方形竹筴粗細不同的的兩端(分別為 3mm×5mm、4.5mm×5mm)，以及木條(8.5mm×5mm)替代火柴棒進行實驗，在長度相同的情況下，承載裝置使用替代火柴棒的材料越粗，所能承載的重量越重。

## 陸、參考資料

蔡宗澤、張軒誠、李英布(2020)。螞蟻吊大象。中華民國第六十屆中小學科學展覽會國中組  
物理科作品說明書。

螞蟻吊大象(無日期)。科學遊戲實驗室。2022年9月20日，取自

<http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-055.html>

木材中的水分對木材強度影響是好還是壞?(無日期)。2023年3月20日，取自

<https://www.cwcba-wqac.org.tw/forest-tech/index.php?action=knowledge-detail&id=4>

揭祕木材兩大物理特性→含水率與木材密度!(2021/02/25)。2023年3月20日，取自

<https://ppfocus.com/0/ed4c3a9f3.html>

## 【評語】 080117

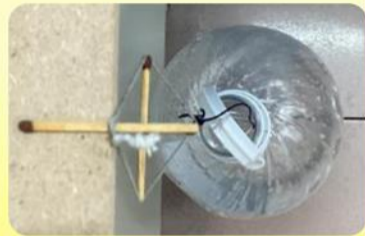
火柴棒吊水瓶的主題相當有趣，常見於科普、科博活動，或稱” 螞蟻吊大象”。此作品考量改變火柴棒長度、與桌子接觸的長度、濕度、線長、線粗細等多項變因，來探究火柴棒支架的承重。能採用隨手可得的材料進行量化，測量及物理分析方式符合國小學童的知識水平，實為可取。建議要加強前後連貫多個實驗的邏輯來論證物理。實驗日誌的紀錄略嫌不足，建議可以包括研究構想與實驗設計，無論後來是否成功採用。



## 作品海報



# 小兵立大功 —



探討火柴棒吊水瓶的科學原理



# 壹、前言

## 一、研究動機

暑假參加學校辦理的科學實驗操作營，老師教我們如何用三根火柴棒吊起裝滿水的寶特瓶，當時雖然試了很久才成功，卻也讓我們感到非常神奇與好奇，為什麼小小的火柴棒利用這樣的結構就能撐起比它重萬倍的物體？它最大的承受重量是多少？如果以竹筷子來代替火柴棒，是否能增加承載的重量？棉線的粗細或長短會有影響嗎？為了解開我們心裡一連串的疑問，於是老師鼓勵我們把它當作研究主題，動手做實驗來找出問題的解答。

## 二、研究目的

- (一) 探討火柴棒如何懸吊重物。
- (二) 探討火柴棒長度對其承載重量的影響。
- (三) 探討火柴棒接觸桌面的長度對其承載重量的影響。
- (四) 探討不同長度的棉線對火柴棒承載重量的影響。
- (五) 探討使用不同粗細的棉線對火柴棒承載重量的影響。
- (六) 探討火柴棒加濕時間長短對承載重量的影響。
- (七) 探討使用其他材料代替火柴棒對其承載重量的影響。

## 三、文獻回顧

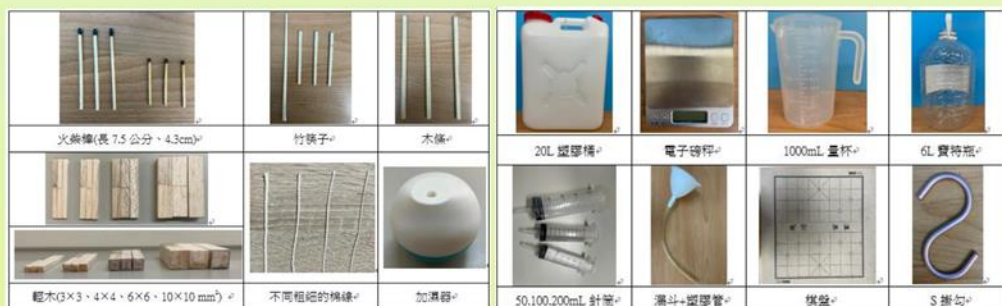
我們在台灣網路科教館，以「螞蟻吊大象」、「插桿」及「支點」三個關鍵字搜尋歷屆作品，只查到一件相關作品，閱讀後摘錄重點如下：

中華民國第60屆中小學科展國中物理組作品-螞蟻吊大象。摘要：實驗設計包含三根木棒的粗細或長度改變、木棒接觸面的材質、載重系統的整体環境等，探討承載架構用什麼方法撐起重物，以及如何增加承載架構負重能力。

此作品內容主要是以松木棒來進行實驗，而且是以國中所學的相關知識來進行變因的探討，我們想要瞭解火柴棒如何能撐起比它重好幾倍的物品，所運用的科學原理是否與我們學過的課程相關，因此以火柴棒為主要研究對象，討論出可能影響其承載重量的變因，一一尋找相關材料並設計實驗進行探討，最後再以能代替火柴棒的其他材料進行比較。



# 貳、研究設備及器材



# 參、研究方法與結果

## 一、探討火柴棒如何懸吊重物

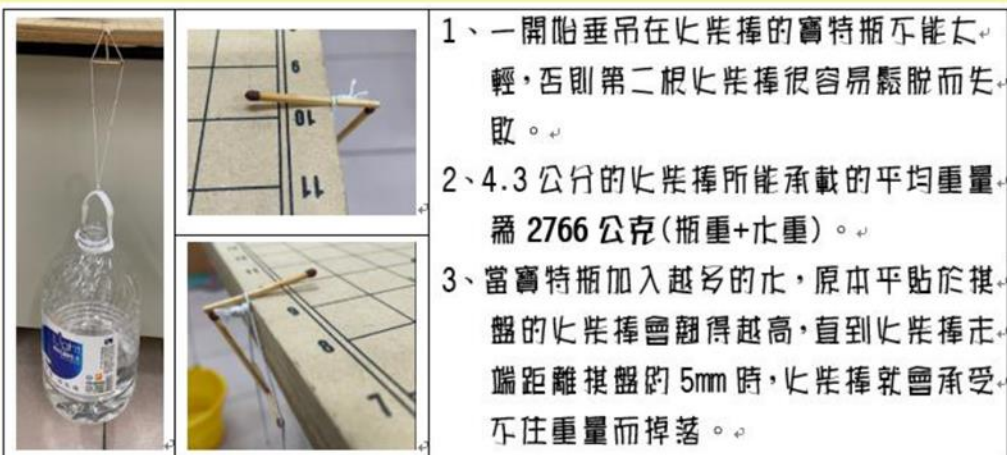
### (一) 研究方法

- 1、將四個棋盤相疊後突出桌邊6公分，火柴棒放在棋盤邊緣突出2公分，接著用重物壓在火柴棒上，然後將裝了500mL水的6L寶特瓶綁上棉線，掛在火柴棒上，棉線須儘量緊貼在棋盤邊緣。
- 2、取第2根火柴棒，橫向放在第1根火柴棒下方，讓棉線夾緊。
- 3、取第3根火柴棒，直立斜向的放在第1、2根火柴棒之間。此步驟必須調整第2根與第1根火柴棒的距離，使第3根火柴棒可以剛好卡住，不會掉下去。
- 4、步驟3完成後，將第1根火柴棒上方的重物輕輕移走，觀察垂吊的裝水寶特瓶是否仍能維持原狀。
- 5、每次添加50mL的水於垂吊的6L寶特瓶中，直到寶特瓶掉落為止。
- 6、重複步驟1~5至少三次，記錄火柴棒承載的平均重量。



第1根火柴棒突出棋盤2公分。  
第2根火柴棒橫向放在第1根火柴棒下方。  
第3根火柴棒，直立斜向的放在第1、2根火柴棒之間。  
每次添加50mL的水於寶特瓶中，直到其掉落為止。

## (二) 研究結果

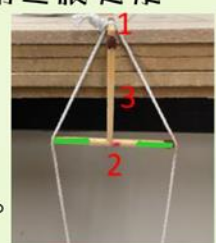
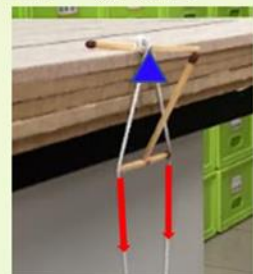


- 1、一開始垂吊在火柴棒的寶特瓶不能太輕，否則第二根火柴棒很容易鬆脫而失敗。
- 2、4.3公分的火柴棒所能承載的平均重量為2766公克(瓶重+水重)。
- 3、當寶特瓶加入越多的水，原本平貼於棋盤的火柴棒會翻得越高，直到火柴棒末端距離棋盤約5mm時，火柴棒就會承受不住重量而掉落。

## (三) 原理探討

用三根火柴棒可以懸掛很重的重量，並且保持平衡，主要牽涉到兩個關鍵

- 1、第一個關鍵因素是寶特瓶的作用力在支點上，使「力臂」接近於零，因此火柴棒就可以支撐重物。如右圖所示，寶特瓶重量（紅色箭頭）經由棉線施加在火柴棒的作用力，與支點（藍色三角形）幾乎為同一點，所以火柴棒不會斷裂。這也是為什麼寶特瓶掛在火柴棒時，棉線要緊貼棋盤邊緣的道理。
- 2、第二個關鍵因素是第二根火柴棒被兩邊的棉線緊緊夾住，因為寶特瓶往下的重量使棉線有夾緊第二根火柴棒的張力（如右圖綠色箭頭），無法移動的第二根火柴棒使第三根火柴棒無法往下移動，連帶也抵抗了第一根火柴棒往下的運動，使三根火柴棒能保持平衡，不會掉落。



## 二、探討火柴棒長度對其承載重量的影響

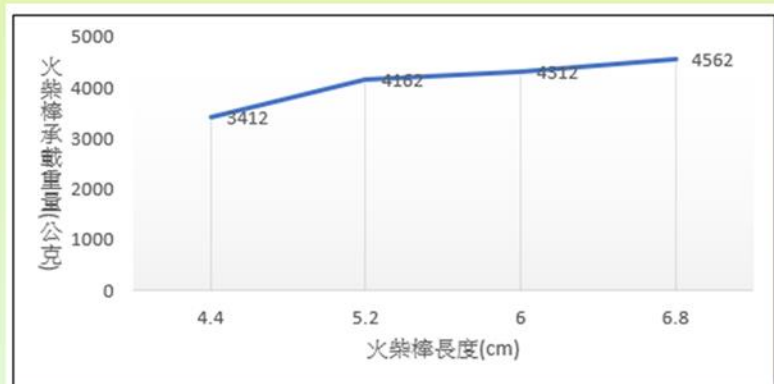
### (一) 研究方法

- 1、將長7.5公分的火柴棒頭、尾裁切掉，做成6.8cm、6cm、5.2cm、4.4cm的長度各數根（如右圖）。
- 2、取6.8cm的火柴棒，依研究一的研究方法1~6進行實驗操作。
- 3、將步驟2的火柴棒分別以6cm、5.2cm、4.4cm的火柴棒替代，比較其結果。



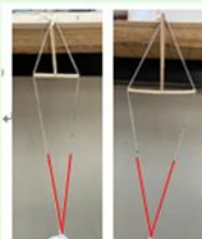
### (二) 研究結果

火柴棒 4.4cm	火柴棒 5.2cm	火柴棒 6.0cm	火柴棒 6.8cm
平均承載重量： < 3412g	平均承載重量： < 4162g	平均承載重量： < 4312g	平均承載重量： < 4562g



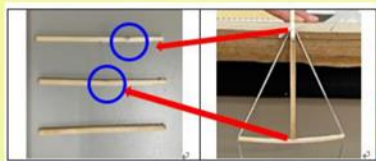
### (三) 分析與討論

- 1、實驗結果：增加火柴棒的長度可以使火柴棒承載的重量增加。
- 2、我們觀察到當火柴棒長度增加時，會有兩個地方隨之改變，一是棉線的夾角（如右圖），一是火柴棒接觸桌面的長度，究竟哪一個才是增加火柴棒承載重量的關鍵，我們將在後續實驗進行相關變因的探討。
- 3、當火柴棒承載的重量越重，接觸桌面的一端會翻得越高，這是因為火柴棒受力傾斜，讓重心能轉移到支點下方，使承載裝置維持穩定，如果重心無法轉移到支點下方，或者火柴棒因承受不住重量而斷裂，承載裝置便會倒塌。





4、實驗後的第一根和第二根火柴棒都會因為受力而產生凹陷的情形，因此每操作完一次都必須更換這兩根火柴棒，以免降低其所能承載的重量。



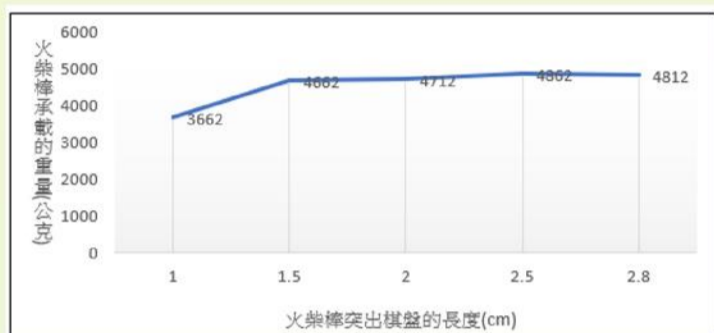
### 三、探討火柴棒接觸桌面的長度對其承載重量的影響

#### (一)研究方法

- 1、取5.2公分的火柴棒放在棋盤邊緣突出1公分，接著依研究一的研究方法1~6進行實驗操作。
- 2、將步驟1的第一根火柴棒依序改為突出1.5cm、2cm、2.5cm和2.8cm，比較其結果。

#### (二)研究結果

突出1cm <sup>o</sup>	突出1.5cm <sup>o</sup>	突出2cm <sup>o</sup>	突出2.5cm <sup>o</sup>	突出2.8cm <sup>o</sup>
平均承載重量： < 3662g <sup>o</sup>	平均承載重量： < 4662g <sup>o</sup>	平均承載重量： < 4712g <sup>o</sup>	平均承載重量： < 4862g <sup>o</sup>	平均承載重量： < 4812g <sup>o</sup>



#### (三)分析與討論

- 1、實驗結果：第一根火柴棒突出桌面的長度除了1公分所能承載的重量比較少以外，突出長度在1.5cm~2.8cm所能承載的重量差異不大。
- 2、當火柴棒受力時，第一根火柴棒會傾斜使重心轉移到支點下方，以維持承載裝置穩定。本實驗在第一根火柴棒僅突出桌面1公分時，我們觀察到棉線容易在火柴棒傾斜時滑落(如右圖)，因而使得承載的重量減少。
- 3、操作實驗二、三時，我們發現這種火柴棒的粗細差異較大，而且表面比較滑，所以需要花費更多時間挑選及處理才能成功架好承載裝置，因此我們選擇實驗一所使用的4.3公分火柴棒進行後續實驗的探討。

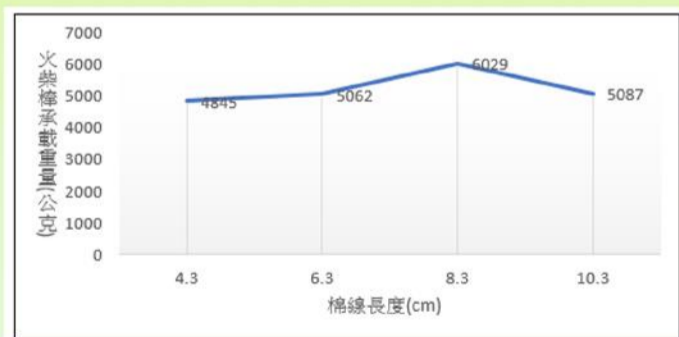


### 四、探討不同長度的棉線對其承載重量的影響

#### (一)研究方法

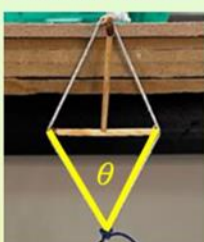
- 1、依研究一的研究方法1~3，架好火柴棒的承載裝置。
- 2、在夾住第二根火柴棒的棉線端往下4.3cm處用繩子綁緊，再將第一根火柴棒上方的重物移走。
- 3、每次添加50mL的水於垂吊的6L寶特瓶中，直到寶特瓶掉落為止。
- 4、重複步驟1~3至少三次，記錄火柴棒承載的平均重量。
- 5、將步驟4的綁線位置依序改為6.3cm、8.3cm和10.3cm，比較其結果。

#### (二)研究結果

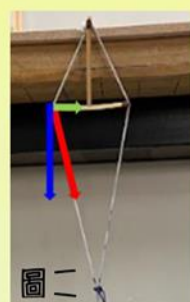
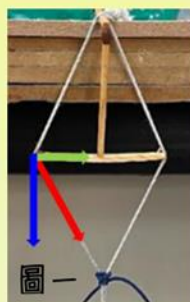


#### (三)分析與討論

- 1、實驗結果：以4.3公分的火柴棒而言，當夾住第二根火柴棒的棉線長度在4.3公分~8.3公分的範圍內時，棉線的長度越長，火柴棒所能承載的重量會越重；當夾住第二根火柴棒的棉線長度在超過8.3公分時，棉線的長度越長，火柴棒所能承載的重量會越輕。
- 2、本研究使用的火柴棒長度為4.3公分，因此我們從棉線長度4.3公分開始進行實驗，火柴棒與棉線剛好形成一個正三角形，此時 $\theta$ 為60度，當棉線的長度增加， $\theta$ 隨著變小，棉線夾住火柴棒的施力也會減少(如左圖一、二所示)，原本我們以為棉線的夾角越大，棉線對火柴棒的施力越大，火柴棒所能承載的重量也越重，可是實驗後卻發現當棉線綁在4.3公分時，承載的重量最多到4912g，就會因為第二根火柴棒折斷而倒塌，反而棉線綁在8.3公分時，火柴棒最多竟然可以承載到6112g。因此比較短的棉線雖然可以將第二根火柴棒夾得比較緊，卻不一定可以增加火柴棒承載



的重量，還得考慮火柴棒所能承受的力，如果把火柴棒換成比較粗的材料，或許會有不同的結果。



在火柴棒承載相同重量的水瓶情況下，紅色箭頭為水瓶的施力，分為藍色箭頭：向下的力，以及綠色箭頭：夾住火柴棒的力。當棉線的夾角越大，夾住火柴棒的分力也越大。

延伸實驗

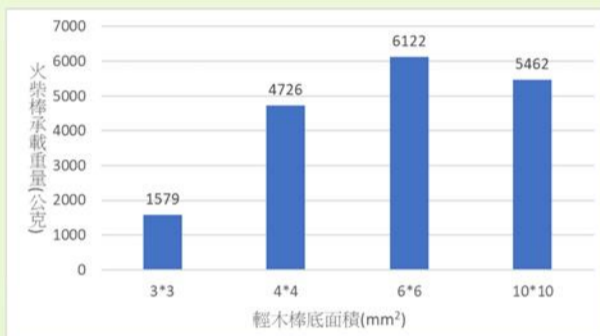
四-A：使用不同粗細的輕木棒代替火柴棒，比較其承載的重量有何差異。

四-B：依四-A的實驗結果，使用較粗的輕木棒代替第二根火柴棒，比較棉線長度對其承載的重量有何影響。

**研究問題：**為了驗證我們的推論是否正確，我們在書局找到方便裁切，而且有不同底面積的輕木棒(又稱飛機木)來進行實驗，先比較不同粗細的輕木棒是否會影響其所能承載的重量；接著再依前項實驗的結果，選用比火柴棒粗的輕木棒代替第二根火柴，看看是否能承受比較大的張力，使第一根火柴棒在棉線夾角較大時，承載比較大的重量。

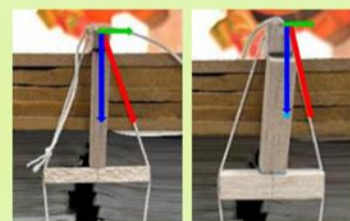
### 實驗四-A：探討不同粗細的輕木棒對其承載重量有何影響

#### (一)研究結果



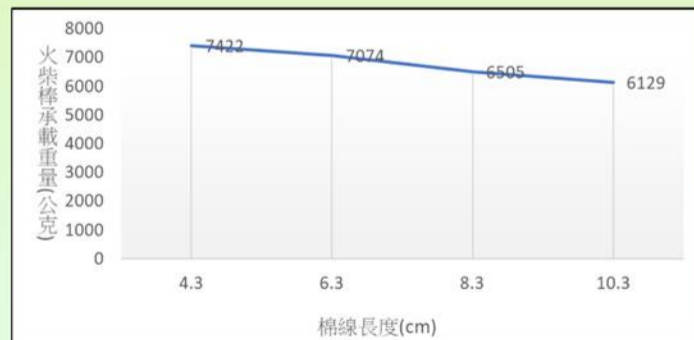
#### (二)分析與討論

- 1、實驗結果：當輕木棒的底面積介於3×3mm<sup>2</sup>到6×6mm<sup>2</sup>之間時，輕木棒越粗，所能承載的重量越重；當輕木棒的底面積為10×10mm<sup>2</sup>時，所能承載的重量反而減少。
- 2、當輕木棒底面積為3×3mm<sup>2</sup>，長度裁切為4.3cm時，每枝的重量只有0.029g(相同長度的火柴棒，重量為0.12g)，因為纖維強度差，所以僅能承載1千克的力。而隨著輕木棒的底面積增加，纖維強度也越強，因此能承載的重量也越重，可是當輕木棒的底面積為10×10mm<sup>2</sup>時，承載重量卻減少了，我們推論可能是因為棉線被拉得比較開，以至於棉線張力(紅色箭頭)對第一根輕木棒的向下分力(藍色箭頭)增大(淺藍色箭頭為增加的部分)，因而減少其所能承載的重量。



### 實驗四-B：以底面積6×6mm<sup>2</sup>的輕木棒代替第二根火柴棒，探討不同長度的棉線對其承載重量的影響

#### (一)研究結果



#### (二)分析與討論

- 1、實驗結果：當第二根火柴棒以底面積6×6mm<sup>2</sup>的輕木棒代替時，夾住第二根火柴棒的棉線長度越長，火柴棒所能承載的重量會越輕。
- 2、我們以實驗一表現較佳，底面積6×6mm<sup>2</sup>的輕木棒代替第二根火柴棒，實驗結果果真如我們所推論，當棉線綁在4.3公分時，夾住火柴棒的分力最大，而且輕木棒能承受得住分力，使得第三根火柴棒不易鬆脫，所以火柴棒承載的重量也最重；隨著棉線越來越長，夾住火柴棒的分力隨之變小，因此火柴棒所能承載的重量也跟著減少了。
- 3、我們使用的寶特瓶最多僅能裝6200mL的水，因此當寶特瓶裝滿水仍未掉落時，為了保持承載裝置的狀態，我們用S掛勾裝上另一個寶特瓶來繼續進行實驗。



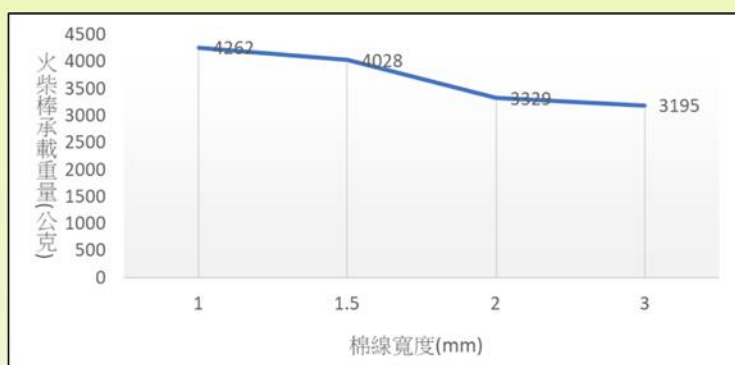


## 五、探討使用不同粗細的棉線對其承載重量的影響 (二)研究結果

### (一)研究方法

- 1、將裝了1000mL水的6L寶特瓶腳上寬度1mm的棉線，然後再依研究一的研究方法1~5，進行實驗操作。
- 2、將步驟1的棉線依序更換為寬度1.5mm、2mm、3mm的棉線，比較其結果。

### (二)研究結果



### (三)分析與討論

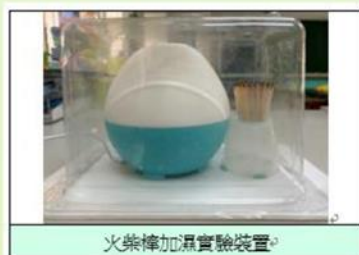
- 1、實驗結果：棉線越細，火柴棒所能承載的重量越重。
- 2、為了避免火柴棒從棉線脫落，我們會在第二根火柴棒的兩端，用美工刀刻出細的凹痕，除了更容易操作，也可以避免棉線滑掉。實驗用的火柴棒底面積為 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ ，因此使用寬度為1mm或1.5mm的棉線時，棉線很容易卡住火柴棒，使承載的重量比較大，當棉線的寬度為2mm或3mm時，棉線無法卡進火柴棒的凹痕中，不僅在操作火柴棒支架時容易失敗，火柴棒所能承載的重量也減少很多。



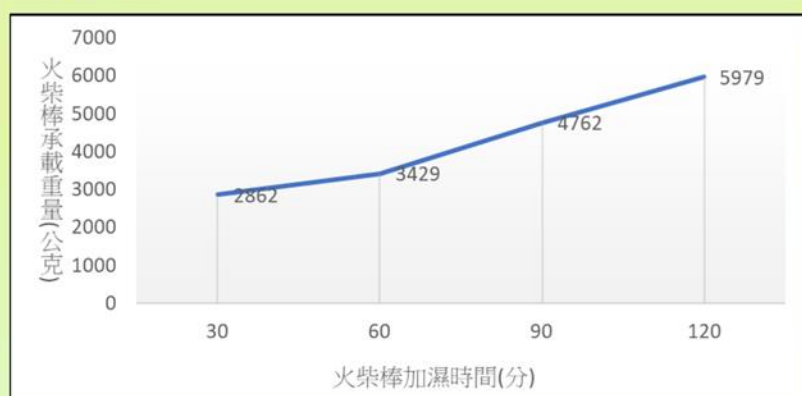
## 六、探討火柴棒加濕對其承載重量的影響

### (一)研究方法

- 1、製作簡易的火柴棒加濕實驗裝置。
- 2、取數根火柴棒，放置於加濕實驗裝置30分鐘後取出，裝進夾鏈袋保持濕度。
- 3、第一根火柴棒以加濕的火柴棒來替代，再依研究一的研究方法1~5進行實驗操作。
- 4、將步驟3的火柴棒加濕時間依序增加為60分鐘、90分鐘、120分鐘，比較其結果。



### (二)研究結果



### (三)分析與討論

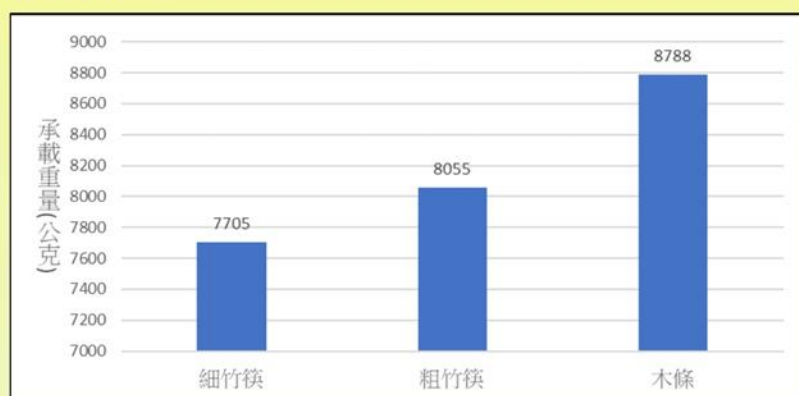
- 1、實驗結果：火柴棒加濕時間在120分鐘以內時，加濕的時間越長，火柴棒所能承載的重量越重。
- 2、我們使用加濕器在密閉空間內將火柴棒進行加濕處理，再將加濕後的火柴棒放入1號夾鏈袋保存，以降低其水分蒸發。我們發現加濕的時間越久，火柴棒頭越容易軟化且脫落，但木柄部分的除了外觀看起來顏色比較深，摸起來比較濕以外，幾乎沒有任何損壞。我們原本以為火柴棒加濕時間越久，木柄部分會因為受潮而變得脆弱，使得所能承載的重量減少，沒想到實驗結果卻出乎我們意料之外，礙於時間的限制，我們無法進行更深入的研究與探討，未來如果有機會，或許可以再加濕更多時間，以及用浸泡火柴棒的方式進行比較。



## 七、探討使用其他材料對其承載重量的影響

### (一)研究方法

- 1、以 $4.3 \times 3 \times 5\text{mm}^3$ 的細竹筴代替火柴棒，然後再依研究一的研究方法1~5，進行實驗操作。
- 2、將步驟細竹筴依序更換為不同寬度的粗竹筴和木條，比較其結果。



### (三)分析與討論

- 1、實驗結果：在長度相同的情況下，承載裝置使用的材料越粗，所能承載的重量越重。
- 2、原本我們使用的寶特瓶最多只能裝6000mL的水，考慮替代火柴棒的材料比較粗，承載的重量可能會超過寶特瓶所能容納的水量，所以改用20L的塑膠桶代替寶特瓶，並且使用寬度2mm的棉線，以免因棉線承受不住重量而斷裂。

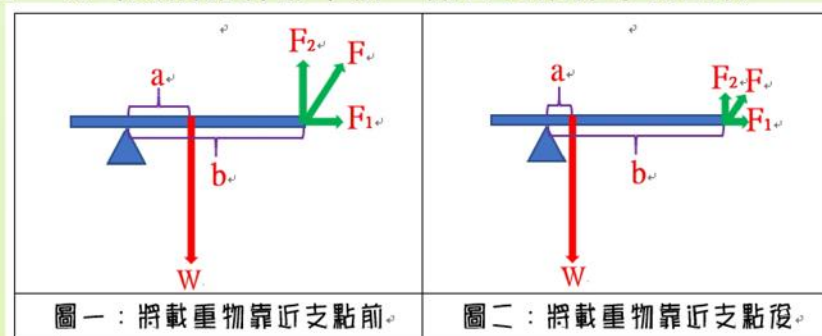


## 肆、討論

- 一、將承載裝置視為一個獨立槓桿，設第1根火柴棒與木板接觸點為支點，載重點為抗力點，與支點距離則為抗力臂(a)；第3根火柴棒的支撐點為施力點，與支點的距離為施力臂(b)，載重物經由棉線施加在火柴棒的力為W，第3根火柴棒對第1根火柴棒施的支持力F形成 $F_1$ 、 $F_2$ 兩個分力(如下圖一、二所示)。

由槓桿原理的公式：施力 $\times$ 施力臂( $F_2b$ )=抗力 $\times$ 抗力臂( $Wa$ )得知：

- 當載重物往支點靠近，a越小，則 $F_2$ 值也會跟著變小。
- 如果a值極小，亦即抗力點與支點幾乎為同一點，那麼第三根火柴棒對第一根火柴棒施的支持力只要提供極小的 $F_2$ 值，就可以使槓桿達平衡，而且火柴棒不易斷裂。



- 二、承載裝置的重物必須在支點下方，才能使系統保持穩定，當火柴棒因受力傾斜，會使重物轉移到支點下方，維持承載裝置穩定。



## 伍、結論

- 一、用三根火柴棒可以懸掛很重的重量，並且保持平衡，主要牽涉到兩個關鍵因素：第一個關鍵因素是懸掛物的作用力在支點上，使「力臂」接近於零，因此火柴棒就可以支撐重物；第二個關鍵因素是第二根火柴棒被兩邊的棉線緊緊夾住，因為懸掛物往下的重量使棉線有夾緊第二根火柴棒的張力，無法移動的第二根火柴棒使第三根火柴棒無法往下移動，連帶的也抵抗了第一根火柴棒往下的運動，使得三根火柴棒能保持平衡，不會掉落。
- 二、火柴棒的長度在4.4cm~6.8cm範圍時，火柴棒的長度越長，可以承載的重量也越重。
- 三、第一根火柴棒突出桌面的長度除了1公分所能承載的重量比較少以外，突出長度在1.5cm~2.8cm能承載的重量差異不大。
- 四、以4.3公分的火柴棒而言，當夾住第二根火柴棒的棉線長度在4.3公分~8.3公分的範圍內時，棉線的長度越長，火柴棒所能承載的重量會越重；當夾住第二根火柴棒的棉線長度在超過8.3公分時，棉線的長度越長，火柴棒所能承載的重量則越輕。當第二根火柴棒以底面積 $6 \times 6\text{mm}^2$ 的輕木棒替代時，夾住第二根火柴棒的棉線長度越長，火柴棒所能承載的重量會越輕。
- 五、懸吊物品的棉線寬度在1mm~3mm範圍時，棉線越細，火柴棒所能承載的重量越重。
- 六、火柴棒加濕時間在120分鐘以內時，加濕的時間越長，火柴棒所能承載的重量越重。
- 七、本研究裁切方形竹筴粗細不同的的兩端，以及木條替代火柴棒進行實驗，在長度相同的情況下，承載裝置使用替代火柴棒的材料越粗，所能承載的重量越重。