

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

080101

「形」之互動，隱「力」再「線」

學校名稱：新北市三重區正義國民小學

作者：	指導老師：
小六 李冠廷	彭逸芳
小五 戴采薰	吳季芬
小五 陳宥家	
小五 楊竣喆	
小六 吳曼綸	

關鍵詞：張拉整體、承重量、懸浮

## 摘要

本研究探討懸浮裝置中心軸線、邊繩與載重的關係。透過改變中心軸線與邊繩的夾角、距離，找出影響裝置平衡載重的因素，並透過中心軸綁彈簧及使用彈性包裝繩代替棉繩，觀測載重時張力與拉力的變化，並自製搖晃振動裝置突破平衡與載重兼顧的測量困境，以破除反重力的迷思，找到增加平衡載重的方法，結果如下：一、裝置上下底層的材質會影響平衡與載重的結果，以壓克力條製做最佳。二、中心軸線的位置、邊繩與其夾角會影響裝置平衡與載重。三、裝置維持平衡最少綁 2 條邊繩，而中心軸繩與邊拉繩的數量越多，可承載重量越重。四、利用懸浮裝置與斜張橋概念研發雙臂懸浮跨河大橋、懸浮吊橋及雙臂輕軌，以達疏通交通兼顧使用、美觀之效。

## 壹、研究動機

無意間在網路上看到藝術家所建造的「反重力」雕塑，這些藝術品除了讓人嘖嘖稱奇外，也令人感覺到太不可思議，於是心中產生疑惑「反重力」可能嗎？而在查詢「反重力」相關資料時，發現有人利用不同材質製作「反重力」懸浮裝置，而這些裝置乍看之下覺得搖晃不已，沒想到竟然能撐起其他物品；於是我們試著製作「反重力」懸浮裝置，但承重量不高也無法將應用於日常，這不禁讓我們想探究其原理與如何製作能運用於生活中的裝置。這時，便萌生一個念頭：利用壓克力條、冰棒棍……等不同材質去做「反重力」懸浮裝置，同時結合了五、六年級所學「力」有關的課程知識，以及四年級「連通管水平」概念，展開了這一次的研究。

## 貳、研究目的

- 一、了解反重力懸浮裝置原理，自製懸浮裝置。
- 二、探究不同材質、形狀設計、中心軸綁繩長短、支撐桿傾斜角度不同的懸浮裝置對載重的影響。
- 三、探究中心軸綁繩位移(重心偏移)對懸浮裝置平衡載重的影響。
- 四、探究邊繩與中心軸線夾角對懸浮裝置平衡的影響。
- 五、探究邊繩與中心軸線所形成夾角對懸浮裝置平衡載重的影響。
- 六、探究邊繩與中心軸線距離對懸浮裝置平衡載重的影響。

七、探究不同邊繩數量對懸浮裝置平衡載重的影響。

八、探究懸浮裝置在載重時，中心軸線與周邊拉繩的張力變化。

九、反重力懸浮結構的創意應用。

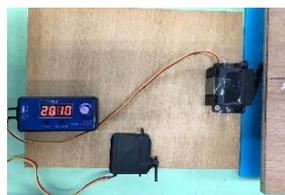
## 參、研究設備及器材



各式壓克力條



搖晃振動裝置 1



搖晃振動裝置 2



平衡測試裝置



電子秤



彈性包裝繫繩



魔帶(黑色)



水平儀



擺飾物品



雷射筆



空氣鳳梨



圓形貼紙

其他器材：各式紙吸管、冰棒棍、棉線、螺帽/砝碼、熱熔槍、各式黏膠、瞬間接著劑

## 肆、研究過程或方法

### 一、相關文獻資料與網路資訊整理

#### (一)力學概念探究：

1. 反重力：重力是由引力產生的，大小等於物體質量乘以重力加速度。而反重力系統是給物體一個與重力等大、方向相反的作用力，物體即可處於懸浮狀態。
2. 重心：物理上的重心，指作為支點時，能使各質點相對於該點的位置向量乘各質點的重力之和（合力矩）為零。幾何上的幾何中心稱為重心，三角形的重心與三頂點連線，所形成的三個三角形面積相等；正方形的重心在對應邊中點連線或對角線交點上。
3. 槓桿原理：當一個系統靜止平衡時，作用在系統上的合力矩為零。

(二)分析歷屆科展相關資料：

科展題目	部分探討內容	測量方法
力與美的平衡	1. 當物體符合 <b>槓桿定律</b> ： $\text{施力} \times \text{施力臂} = \text{抗力} \times \text{抗力臂}$ 時，會呈現平衡狀態。2. <b>重心和穩定性</b> 有關係。	利用砝碼與木棍模擬測重。
戲童玩~重心穩如泰山	1. 探討並驗證物體的 <b>重心與高度和穩度</b> 有關係。 2. 規則圖形重心如下：三角形為各中線交點、圓形為各直徑的交點、多邊形為各對角線的交點。	將紙板吊起，當靜止時，畫線交點就是重心所在。
多力拔河之力平衡點意義深入探究	探討不同的力作用於一點，當力成平衡狀態時， <b>不同力的大小與力之間的角度關係</b> ，以及施力點至力平衡點的距離總和，探究力平衡點的意義與應用。	利用錢幣、定滑輪製作模擬裝置測量角度變化。
搭橋 GO! GO! GO!	當槓桿平衡器左、右兩邊平衡時，若右邊平衡器剛好是將左邊砝碼總個數掛於一點，則那一點相當於左邊力臂的總重心位置。	利用數學演算推論進行實作。

1. 從上述資料可以加以思考的地方：

(1) 在〈力與美學〉中提到，酒瓶內水量增加整體重心向左移。

-----這部分可以運用思考懸浮裝置的載重量與裝置尺寸、材質、形狀的關係。

(2) 在〈戲童玩~重心穩如泰山〉中提到，可以將紙板吊起找到不同形狀的重心。

-----可以運用此方式尋找懸浮裝置的重心，並探討重心是否影響懸浮裝置平衡。

(3) 針對相關科展文獻的閱讀，發現尚未有懸浮裝置之研究，此研究值得探討。

(三)其他網站相關資訊：

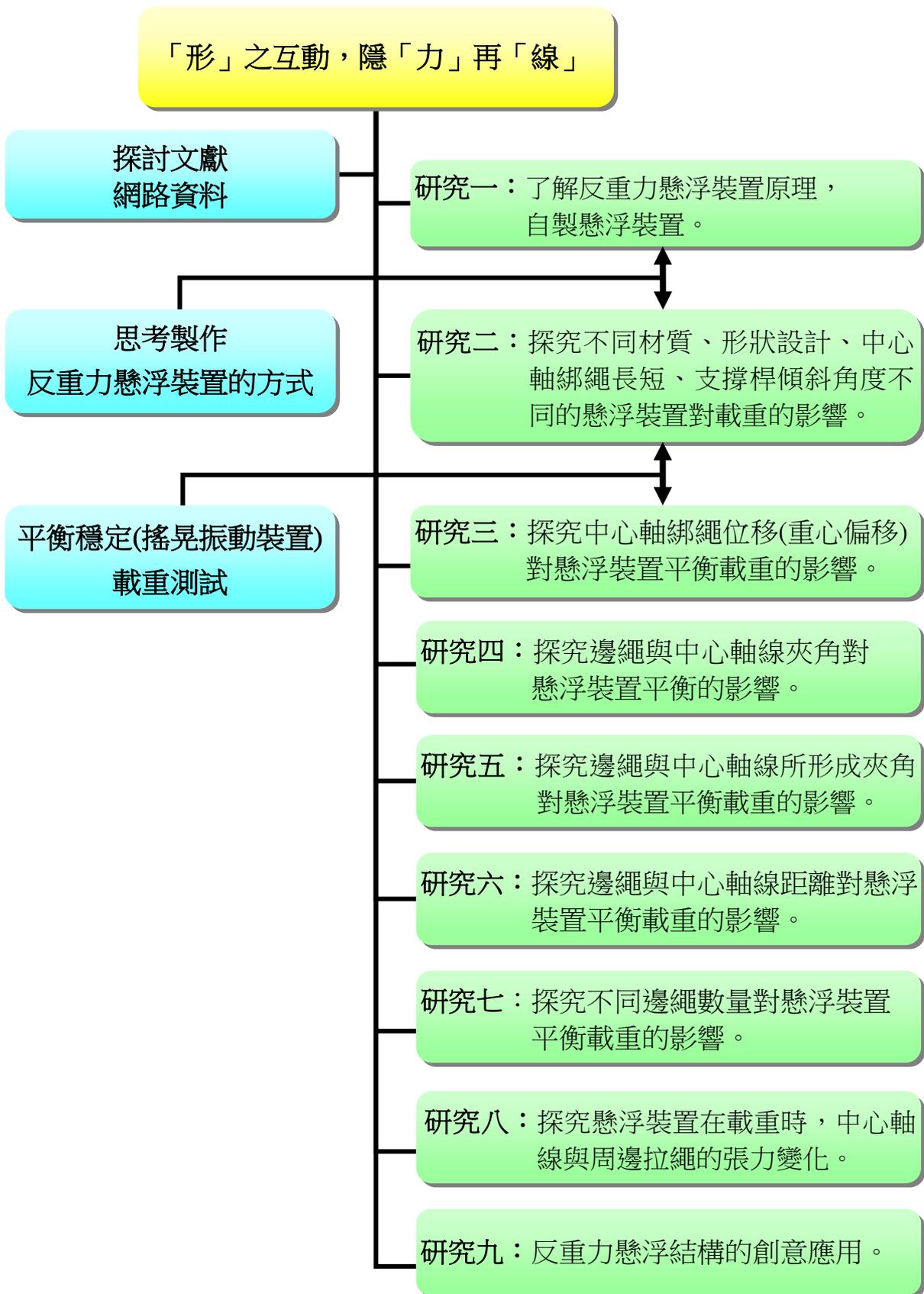
網站出處	相關資訊
跟著鄭大師玩科學/ 平衡之美 IV	1. 這個看似是違反重力的漂浮物體，關鍵在於 <b>中間那條繩子</b> (拉緊中間的繩子)。 2. 上層平台重量加上這些向下拉力的總和等於向上的拉力。 3. 向下的合力作用點(支點)恰位於中央繫繩的正上方。 4. 合力為零且合力矩為零的靜力平衡。
樂高還能懸浮在半空中？	1. 「懸浮桌」，其結構屬於 <b>tensegrity</b> ，也就是張拉整體式結構。 2. 這個結構像是一個天平，受到重力影響，讓中間的短線和後面的長線都在拉扯下變得緊繃，即可穩定平衡。

<p>基本認知：張拉整體結構/專          築網李韜，吳靜雅編</p>	<p>1. 「張拉整體結構」主要描述該結構系統的張拉整體性。          (通過具有拉力的繩索和具有剛性的構件組成)</p>
<p>神奇平衡/朱慶琪、朱浦毅          撰稿          中央大學科學教育中心</p>	<p>1. 湯匙與叉子之所以會平衡，主要是槓桿原理（力矩）及重心的應用。          2. 系統之重心在支點之下，當傾斜時會提供一恢復力矩使其回復平衡，稱為穩定平衡。</p>

1. 從上述資料可以加以思考的地方：

- (1) 這些文章提到懸浮物體裝置能成功的關鍵在中間那條繩子(拉緊中間的繩子)。  
 -----可以思考繩子的長度是否對裝置有影響？載重是否會改變？
- (2) 在上表中提到，張拉整體結構的構件與構件之間沒有直接接觸，是透過環繞的繩索布局。-----可以思考這些構件的材質有影響嗎？綁繩的位置(夾角、距離)是否會產生不同的力？
- (3) 系統之重心在支點之下，當傾斜時會提供一恢復力矩使其回復平衡，稱之為穩定平衡。  
 ----綁繩的位置(夾角、距離)是否能在裝置晃動測試時，提供一個恢復的力矩？

## 二、研究架構



圖一 研究流程圖

### 三、研究方法

#### 研究一：了解反重力懸浮裝置原理，自製懸浮裝置。

(一)進行分析前，將懸浮裝置基本架構進行命名。

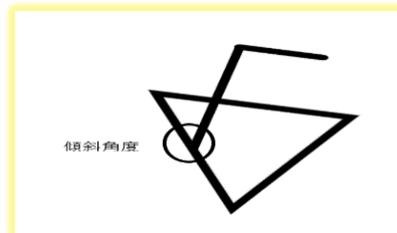
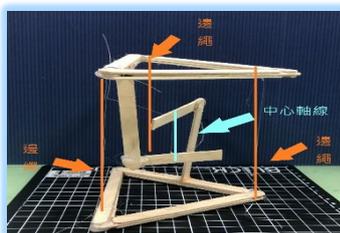
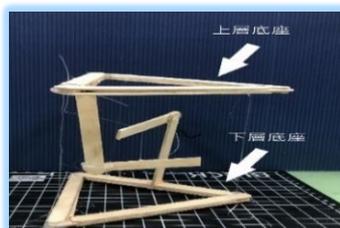
(二)觀看網路上製作「反重力」懸浮裝置的製作過程，步驟：

1. 先製作底座，再黏一個往斜上方的支撐架，此部分要做上下共2組。
2. 懸浮的部分，再用線將上下支架連接。
3. 接著在於四周拉線使裝置不會傾倒。

(三)繪出製作圖形，並進行分解與思考可能影響此裝置的因素。

1. 分析影片的步驟，思考影響裝置的原因：底座的形狀尺寸？支撐架斜角度？

(四)綜合上述資料，找出本研究「反重力」懸浮裝置的製作雛形與方法。



裝置構造命名

支撐架斜角度

傾斜角度

研究一討論的「反重力」懸浮裝置

#### 研究二：探究不同材質、形狀設計、中心軸綁繩長短、支撐桿傾斜角度不同的懸浮裝置對載重的影響。

##### ● 研究步驟與方式：

(一)探究支撐桿傾斜角度不同的懸浮裝置載重情形：

1. 試做傾斜角度分別為 $30^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $120^\circ$ 的懸浮裝置的支撐桿，並進行測試。

(二)探究中心軸綁繩長短對懸浮裝置載重影響：

1. 分別製作支撐桿與底座垂直，且中心軸線大於4公分(下底層支撐桿高於上層底座)、等於及小於4公分的懸浮裝置，比較其差異並進行載重測試。

(三)探究不同材質對懸浮裝置載重的影響。

1. 選用紙吸管、塑膠吸管、冰棒棍、壓克力條製作懸浮裝置並測量載重。

(1) 依研究一結果規劃「反重力」懸浮裝置的尺寸：邊長14cm的正三角形上下層底座，連結支撐桿傾斜角度90°。支撐桿11cm、橫桿7cm，兩者連接處呈垂直，並平行於下層底座。

(2) 吸管支撐桿與底座連接的部分，採用挖洞讓支撐桿放入管中站立。

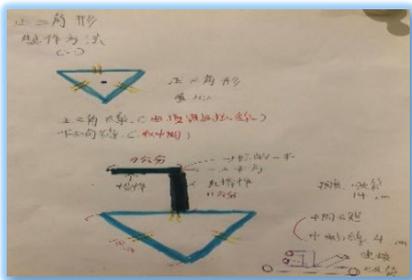
(3) 利用圓形點點貼紙標示頂點與中間綁繩的位置，並測量三條綁線與中間綁繩的距離。

2. 思索研究三～研究八懸浮裝置形狀的設計。

● 測量方式：

(一)探究中心軸繩長短對載重影響實驗，利用冰棒棍進行載重測試。

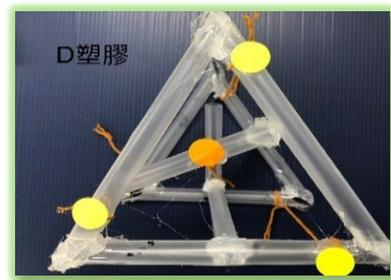
(二)探究不同材質對懸浮裝置載重的影響，利用冰棒棍與搖晃振動裝置(製作說明如研究三)進行載重測試。



規劃裝置的設計



塑膠吸管



利用圓形點點貼紙標示

研究三：探究中心軸綁繩位移(重心偏移)對懸浮裝置平衡載重的影響。

● 研究步驟與方式：

(一)懸浮裝置的製作方法：將正三角形、正方形、正五邊形的懸浮裝置組裝好。

(中心軸線 4cm、支撐桿與上下底層呈 90°)

1. 在下層底座橫桿的中心點做上記號(中心點、外移 0.5cm 及外移 1cm)。

2. 在距離中心點夾角 120°位置綁二條線，邊繩長度需一致。

(二)搖晃振動裝置的製作方法：

1. 在 22x18.5(cm)木板的四個角各放上彈簧，彈簧上再放上一塊相同大小的木板，用三秒膠固定完成搖晃平台。

2. 組裝伺服馬達與擺動葉片並連結伺服馬達控制器，再放在搖晃平台二塊木板之間。

- 測量方式：

(一)平衡測試：將懸浮裝置放至搖晃振動裝置上搖晃並計時，A 頻率為 56 次/分；B 頻率為 68 次/分；C 頻率為 80 次/分，若 3 分鐘無倒塌在記錄上打「✓」，若倒塌在記錄上打 X，並記下倒塌時秒數。

(二)載重測試：將懸浮裝置放至搖晃振動裝置上，懸浮裝置上方放置一塊珍珠板，並加入一個螺帽，計時 10 秒，若無倒塌，再加入一個螺帽，繼續測量；若倒塌，將全部螺帽，扣掉使裝置倒塌的螺帽，再用電子秤稱重。

(三)移動中心點的棉線(外移 0.5cm 及 1cm)，並依上述步驟再重新測試，比較差異。



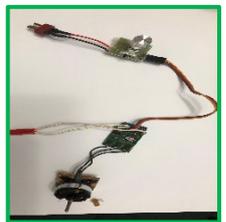
組裝懸浮裝置



搖晃平台製作方法



組裝伺服馬達控制器



#### 研究四：探究邊繩與中心軸線夾角對懸浮裝置平衡的影響。

- 研究步驟與方式：

(一)平衡架與懸浮裝置上層底座的製作

1. 懸浮裝置上層底座製作：分別製作正三角形、正方形、正五邊形的上層底座，先將中心軸線綁上彈簧，再依序綁上邊繩使其與中心軸線夾角各為  $90^\circ$ 、 $105^\circ$ 、 $120^\circ$ ，邊繩下方懸吊空瓶裝串珠進行測試。

2. 平衡架的製作：利用毛巾掛架把中心軸線對準架子再綁上去，後方放置紙板並於紙板上標示出後仰  $10^\circ$ 、水平與前傾  $10^\circ$ 三條線，再綁上連通管輔助校正水平。

- 測量方式：將珠子放進瓶子裡，慢慢加到後仰  $10^\circ$ 、水平、前傾  $10^\circ$ 時，再用電子秤進行測量。(利用直尺、量角器和連通管以及雷射筆做水平校正)

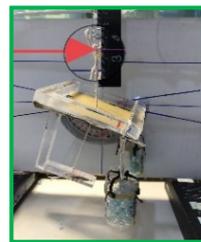
- 合力作圖分析：剪開透明片插入中心軸線處並標示綁繩處位置，再取出透明片，利用平行四邊形法繪製合力力圖進行分析討論。



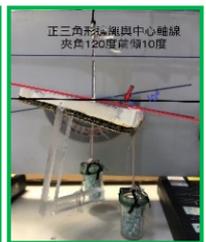
平衡架的製作



合力作圖分析



中心軸彈簧形變  
與邊繩掛重拉力測試



## 研究五：探究邊繩與中心軸線所形成夾角對懸浮裝置平衡載重的影響。

### ● 研究步驟與方式：

(一)邊繩與中心軸線夾角不同的懸浮裝置與搖晃振動裝置製作

1. 組裝正三角形、正方形與正五邊形懸浮裝置，綁好中心軸線(上下底層橫桿間距固定 4 公分)，再依與中心軸線所形成夾角  $90^\circ$ 、 $105^\circ$ 和  $120^\circ$ 的方式綁好 2 條邊繩。
2. 搖晃振動裝置製作方式如研究三說明。

### ● 測量方式：

(一)平衡測試：方法如研究三說明。

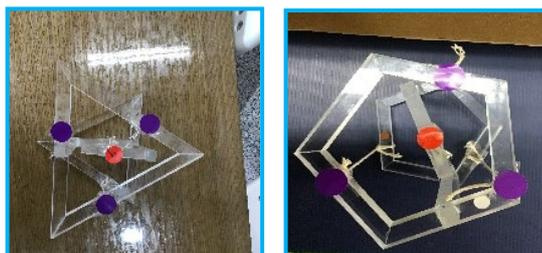
(二)載重測試：先將裝置依序放於搖晃平台，並擺放珍珠板，再慢慢增加螺帽或冰棒棍進行測試，直到裝置傾倒，扣除一根冰棒棍(或螺帽)，剩下的重量即為裝置的載重量。

## 研究六：探究邊繩與中心軸線距離對懸浮裝置平衡載重的影響。

### ● 研究步驟與方式：

(一)邊繩與中心軸線的距離異同之懸浮裝置的製作：

1. 組裝正三角形、正方形與正五邊形懸浮裝置，先綁好中心軸線(4cm)，再依 3 條邊繩與中心軸線距離異同(3 等距—3 條邊繩與中心軸線皆等距、2 等距—2 條邊繩與中心軸線等距、0 等距—3 條邊繩與中心軸線皆不等距)進行綁繩。

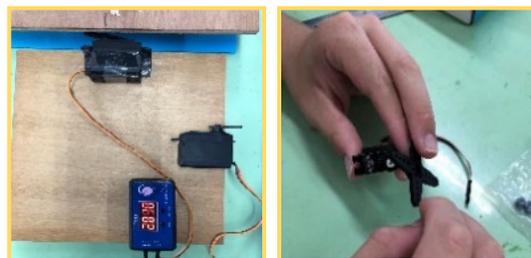


邊繩與中心軸線距離異同

(二)搖晃振動裝置製作方式如研究三說明。

1. 製作加強版的搖晃振動裝置：(因 3 條以上邊繩操作載重實驗，原有裝置強度不足)

(1) 將搖晃力較強的伺服馬達與控制器組裝，再將裝置與搖晃平台組裝完成。



製作新的搖晃振動裝置

### ● 測量方式：

(一)先將製作的懸浮裝置放於搖晃振動裝置上，接著在上方放可吊掛砝碼(降低重心)的紙板，再放置容器，並逐一增加螺帽進行測量。

(二)用加強版的搖晃振動裝置測試 10 秒後，若裝置完整傾倒或斷裂時，扣除最後放置的一顆螺帽，連同容器、砝碼、紙板和螺帽一起放到電子秤上秤重。



加強版的搖晃振動裝置測試

## 研究七：探究不同邊繩數量對懸浮裝置平衡載重的影響。

### ● 研究步驟與方式：

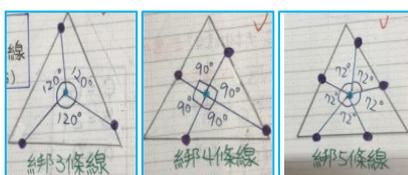
(一)依據研究四到研究六的方法製作正三角形、正方形與正五邊形懸浮裝置。

(二)改變邊繩數量用 3 條繩、4 條繩、5 條繩來綁正三角形、正方形與正五邊形懸浮裝置。

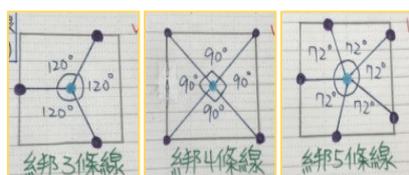
### ● 綁繩的位置說明：

(一)找出中心軸線位置中心點，再用棉線綁繩。

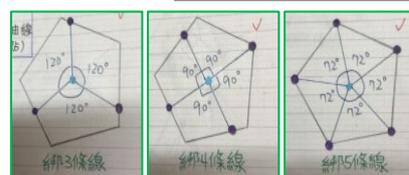
(二)將正三角形、正方形、正五邊形懸浮裝置依下圖設計進行綁繩。



正三角形綁繩位置



正方形綁繩位置



正五邊形綁繩位置

### ● 測量方式：如研究六說明。

## 研究八：探究懸浮裝置在載重時，中心軸線與周邊拉繩的張力變化。

### ● 研究步驟與方式：

(一)組裝懸浮裝置，再用彈性包裝繩依中心軸線

4cm、邊繩長 13cm 將裝置綁好。

(二)邊繩與中心軸夾角  $120^\circ$  並與中心軸等距。

### ● 測量方式：

(一)在裝置上擺放容器及螺帽，再慢慢增加螺帽個數。

(二)觀察並記錄載重重量、中心軸繩及邊繩長度變化。



## 研究九：反重力懸浮結構的創意應用。

### ● 研究步驟與方式：

(一)製作各式懸浮裝置並擺放符合懸浮裝置能承載的裝飾物品(如空氣鳳梨、仙人掌等)。

(二)試做透明釣魚線的懸浮裝置。

(三)我們的創意發想：設計雙層雙向跨河大橋，紓解車流量多交通壅塞的困境。風景區的吊橋，設計成雙層的懸浮橋，更具觀光吸引力。



## 伍、研究結果

### 研究一：了解反重力懸浮裝置原理，自製懸浮裝置。

(一)分析網路上的影片與相關研究的資料，找出可再深入探討研究的地方。

1. 懸浮裝置中央的軸繩施予它向上的拉力，四周的繩子則施予它向下的拉力，上層平台重量與邊繩向下拉力的總和等於中央軸繩向上的拉力。
2. 歸納表一資訊與相關文獻，規劃製作裝置的雛形與方法：確定上下層底座，皆以邊長14cm的正三角形為主，支撐桿11cm，橫桿7cm。

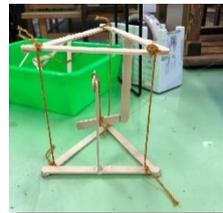
### 研究二：探究不同材質、形狀設計、中心軸綁繩長短、支撐桿傾斜角度不同的懸浮裝置對載重的影響。

(一)探究支撐桿傾斜角度不同的懸浮裝置載種情形：

1. 綁繩於不同傾斜角度找平衡點，發現傾斜角度30°時，平衡中心會落在支撐桿上，無法完成裝置。傾斜角度120°時，平衡中心會落在橫桿的最外側，而將它與傾斜角度90°的裝置比較載重量，測量結果以傾斜角度90°的裝置為佳。



找平衡中心

支撐桿傾斜情形			載重量		
傾斜角度			傾斜角度		
<b>30°</b>	<b>90°</b>	<b>120°</b>	<b>90°</b>	<b>120°</b>	<b>30°</b>
					無

(二) 探究中心軸綁繩長短對懸浮裝置載重影響

1. 中心軸線愈長(大於4cm)，上層底座會碰到桌面，則需調整支撐桿長度，下層支撐桿高於上層底座又會影響裝置的平衡與載重。
2. 中心軸線愈短(小於4cm)，整個裝置會變得很高，載重測試易因重心偏高而影響載重。
3. 測試發現中心軸線4cm的懸浮裝置，載重測試與平衡較佳。



支撐桿高於上底層



支撐桿高影響測重



中心軸線距離4cm



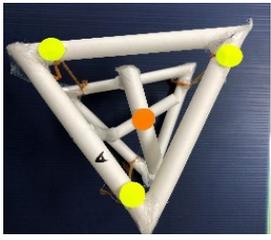
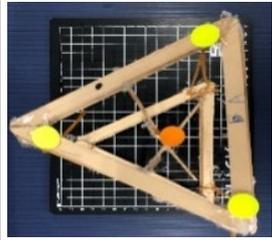
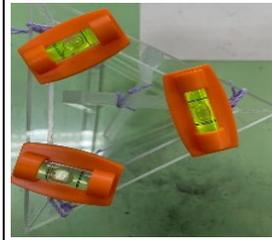
中心軸線距離4cm 載重

中心軸綁繩長短與載重測試

(三)探究不同材質對懸浮裝置載重的影響。

用紙吸管、塑膠吸管、冰棒棍與壓克力條製作「反重力」懸浮裝置並進行測量，結果如下：

不同材質的懸浮裝置載重測試，結果發現壓克力條製成懸浮裝置平均載重 412.80gw 最佳。

材質	紙吸管(14cm)	塑膠吸管(14cm)	冰棒棍(14cm)	壓克力條(14cm)
懸浮裝置				
五次平均載重	33.50gw	46.50gw	94.40gw	412.80gw

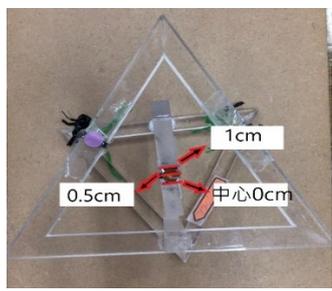
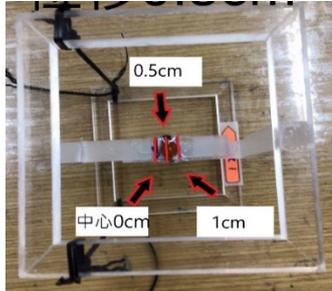
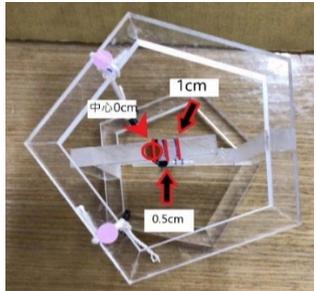
(四)思索研究三~研究八懸浮裝置形狀的設計。

根據研究二實驗結果，制定研究三~研究八的懸浮裝置製作尺寸，如下：

1. 懸浮裝置尺寸：中心軸線以棉線為主，長度固定 4cm，支撐桿與上下底層呈 90°。
2. 壓克力條尺寸：正三角形邊長 14cm，面積 84.87cm<sup>2</sup>，斜切角 30°；正方形邊長 9.2cm，面積 84.64cm<sup>2</sup>，斜切角 45°；正五邊形邊長 7cm，面積 84.30cm<sup>2</sup>，斜切角 54°。(三者的底面積大小趨近相等)。

研究三：探究中心軸綁繩位移(重心偏移)對懸浮裝置平衡載重的影響。

(一)不同正多邊形之中心軸位移的載重測試

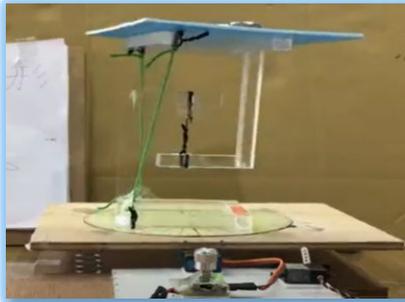
載重測量	正三角形夾角 120°			正方形夾角 120°			正五邊形夾角 120°		
	示意圖								
偏移	中心	往外 0.5	往外 1	中心	往外 0.5	往外 1	中心	往外 0.5	往外 1
測量五次平均(gw)	97.23	71.61	70.30	117.11	71.05	70.61	70.98	49.45	25.99

- 載重測試：已做統計圖，後有討論。

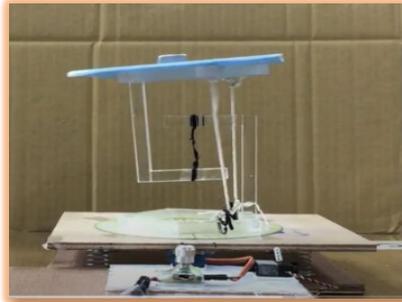
(二)不同正多邊形之中心軸位移的平衡測試 ( 正三角形、正方形、正五邊形 )

測量	正三角形夾角 120° (平衡測試)								
測量方式	搖晃頻率 A 為 56 次/分、B 為 68 次/分、C 為 80 次/分、超過 3 分鐘打「✓」								
偏移	中心			往外 0.5cm			往外 1cm		
頻率	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	✓	✓	2.77	✓	✓	1.55	✓	12.36	0
2	✓	✓	2.76	✓	✓	1.56	✓	12.34	0
3	✓	✓	2.78	✓	✓	1.54	✓	12.35	0
4	✓	✓	2.76	✓	✓	1.57	✓	12.36	0
5	✓	✓	2.78	✓	✓	1.56	✓	12.36	0
平均(秒)	180.00	180.00	2.77	180.00	180.00	1.56	180.00	12.35	0
測量	正方形夾角 120° (平衡)								
測量方式	搖晃頻率 A 為 56 次/分、B 為 68 次/分、C 為 80 次/分、超過 3 分鐘打「✓」								
偏移	中心			往外 0.5cm			往外 1cm		
頻率	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	✓	✓	5.53	✓	✓	1.23	✓	1.22	0
2	✓	✓	5.54	✓	✓	1.19	✓	1.24	0
3	✓	✓	5.45	✓	✓	1.22	✓	1.25	0
4	✓	✓	5.53	✓	✓	1.24	✓	1.21	0
5	✓	✓	5.52	✓	✓	1.24	✓	1.20	0
平均(秒)	180.00	180.00	5.51	180.00	180.00	1.22	180.00	1.22	0
測量	正五邊形夾角 120° (平衡)								
測量方式	搖晃頻率 A 為 56 次/分、B 為 68 次/分、C 為 80 次/分、超過 3 分鐘打「✓」								
偏移	中心			往外 0.5cm			往外 1cm		
頻率	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	✓	✓	1.88	✓	✓	0.78	✓	1.51	0
2	✓	✓	1.86	✓	✓	0.79	✓	1.77	0
3	✓	✓	1.85	✓	✓	0.86	✓	1.72	0
4	✓	✓	1.91	✓	✓	0.82	✓	1.74	0
5	✓	✓	1.87	✓	✓	0.77	✓	1.71	0
平均(秒)	180.00	180.00	1.87	180.00	180.00	0.80	180.00	1.69	0

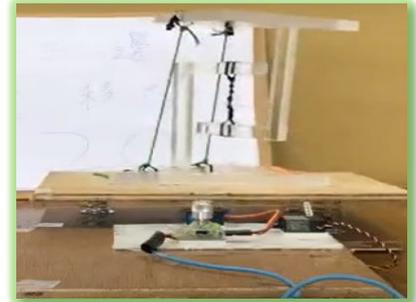
- 平衡測試：已做統計圖，後有討論



正方形中心綁繩位移 0.5cm  
載重測試

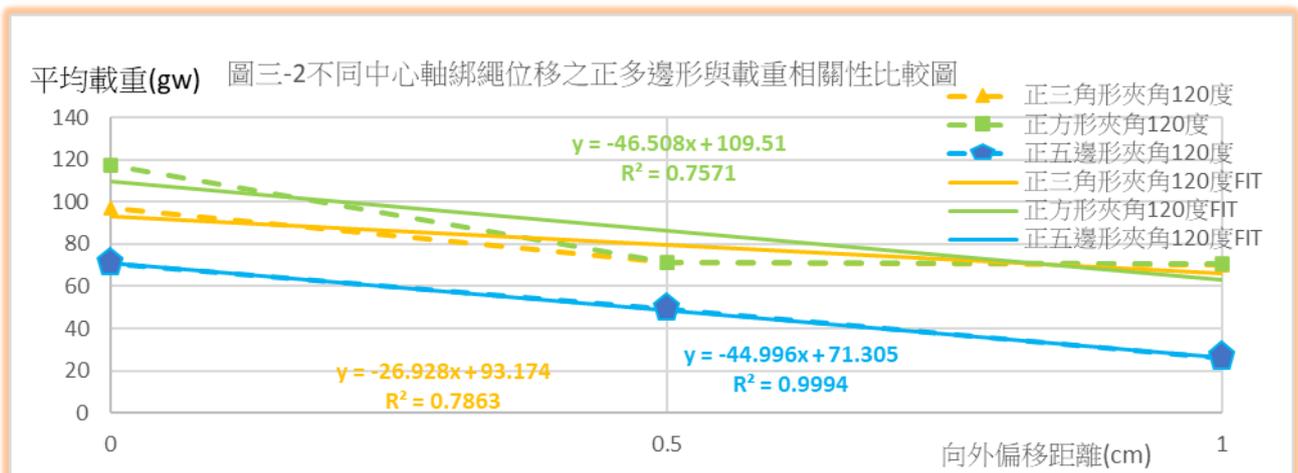
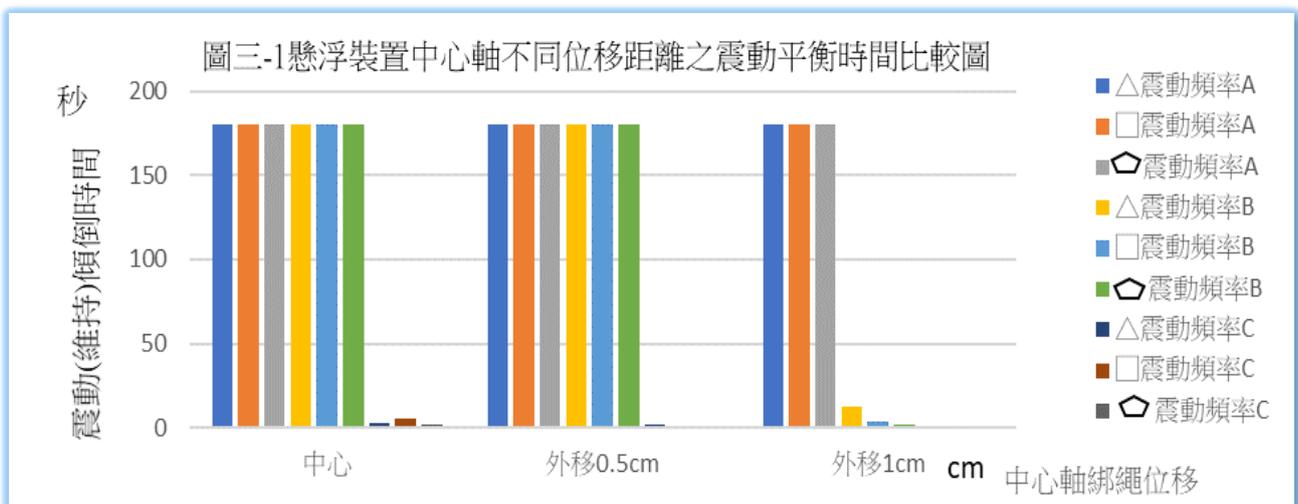


正五邊形中心綁繩位移 0.5cm  
載重測試



正三角形中心綁繩位移 0.5cm  
平衡測試

- 圖表分析說明：



**討論：**

1. **正三角形**懸浮裝置綁繩於中心位置皆能通過頻率 A、B 的搖晃振動測試，在 C 的測試平均支撐 **2.77** 秒；**正方形**懸浮裝置綁繩於中心位置皆能通過頻率 A、B 的搖晃振動測試，在 C 的測試平均支撐 **5.51** 秒；**正五邊形**懸浮裝置綁繩於中心位置皆能通過頻率 A、B 的搖晃振動測試，在 C 的測試平均支撐 **1.87** 秒。

2. 中心軸線綁繩的位置與下底層的**正中心的位置越近**，懸浮裝置在搖晃平台上的**穩定性越好**，維持平穩**不倒的時間越久**(如圖三-1)。
3. **中心軸線綁繩的位置**與整體懸浮裝置的**載重平衡相關性高**，決定係數  $R^2$  值均超過 **0.75**，而**位移趨勢**呈現**負斜率值**，亦即中心軸線綁繩**位置越往外移**懸浮裝置**載重量越低**(如圖三-2)。

#### 研究四：探究邊繩與中心軸線夾角對懸浮裝置平衡的影響。

(一)正三角形邊繩與中心軸線所形成夾角不同的懸浮裝置平衡實驗。

正三角形邊繩與中心軸線的夾角		後仰 10°	水平狀態時	前傾 10°
測量載重 5 次平均重量(gw)	90°	14.55	16.27	19.71
	105°	18.38	19.24	21.30
	120°	19.03	23.01	27.01
中心軸繩彈簧總長度(cm) (原長 3.70cm)	90°	<b>4.10</b>	<b>4.15</b>	<b>4.20</b>
	105°	<b>4.20</b>	<b>4.25</b>	<b>4.30</b>
	120°	<b>4.20</b>	<b>4.25</b>	<b>4.30</b>

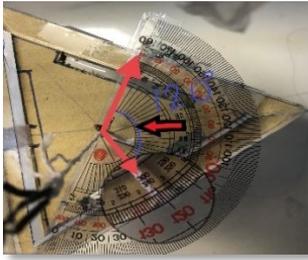
(二)正方形邊繩與中心軸線所形成夾角不同的懸浮裝置平衡實驗。

正方形邊繩與中心軸線的夾角		後仰 10°	水平狀態時	前傾 10°
測量載重 5 次平均重量(gw)	90°	11.98	13.18	14.30
	105°	12.93	14.75	17.00
	120°	13.74	18.07	19.96
中心軸繩彈簧總長度(cm) (原長 3.70cm)	90°	<b>4.10</b>	<b>4.15</b>	<b>4.20</b>
	105°	<b>4.10</b>	<b>4.20</b>	<b>4.30</b>
	120°	<b>4.20</b>	<b>4.25</b>	<b>4.30</b>

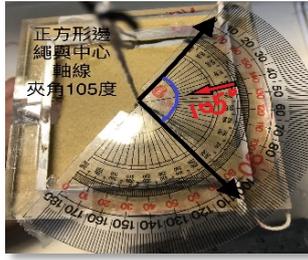
(三)正五邊形邊繩與中心軸線所形成夾角不同的懸浮裝置平衡實驗。

正五邊形邊繩與中心軸線的夾角		後仰 10°	水平狀態時	前傾 10°
測量載重 5 次平均重量(gw)	90°	14.00	16.42	18.30
	105°	15.54	20.83	22.98
	120°	16.09	23.17	24.52
中心軸繩彈簧總長度(cm) (原長 3.70cm)	90°	<b>4.00</b>	<b>4.10</b>	<b>4.15</b>
	105°	<b>4.05</b>	<b>4.10</b>	<b>4.15</b>
	120°	<b>4.05</b>	<b>4.15</b>	<b>4.20</b>

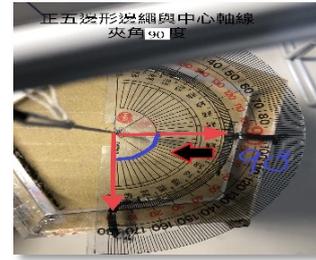
- 邊繩與中心軸線夾角( $120^\circ$ 、 $105^\circ$ 、 $90^\circ$ )、傾斜情形(後仰  $10^\circ$ 、水平、前傾  $10^\circ$ )以及中心軸綁彈簧測量說明如下：



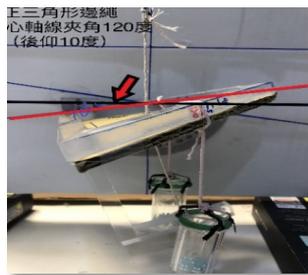
正三角形邊繩與中心軸線夾角  $120^\circ$



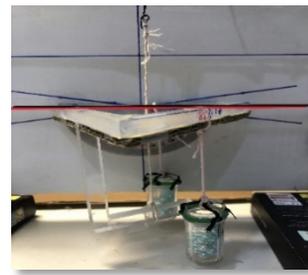
正方形邊繩與中心軸線夾角  $105^\circ$



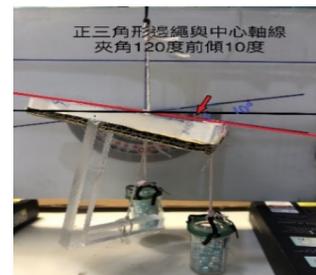
正五邊形邊繩與中心軸線夾角  $90^\circ$



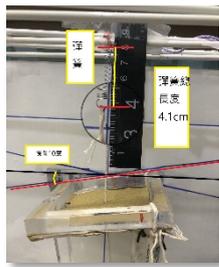
正三角形後仰  $10^\circ$  時，掛重情形



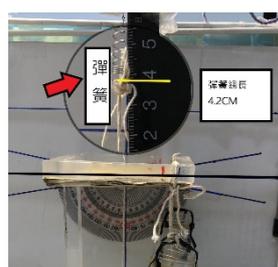
正方形水平時，掛重情形



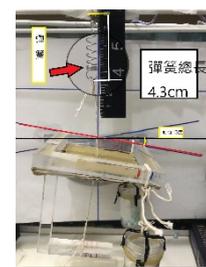
正三角形前傾  $10^\circ$  時，掛重情形



後仰  $10^\circ$  時彈簧總長度



水平時彈簧總長度



前傾  $10^\circ$  時彈簧總長度

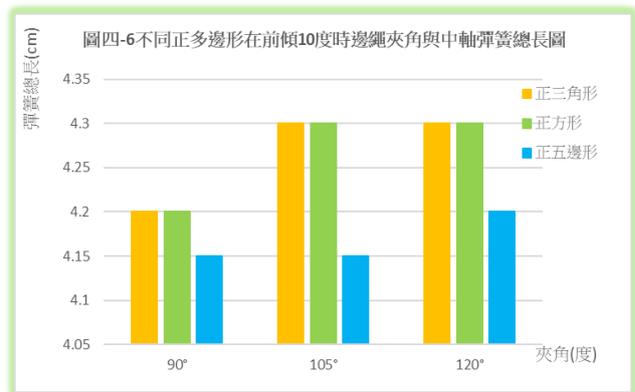
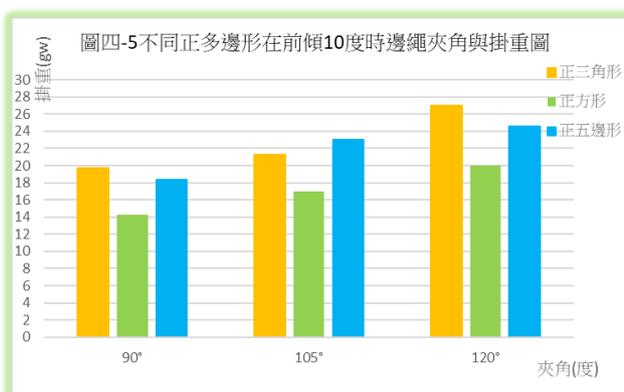
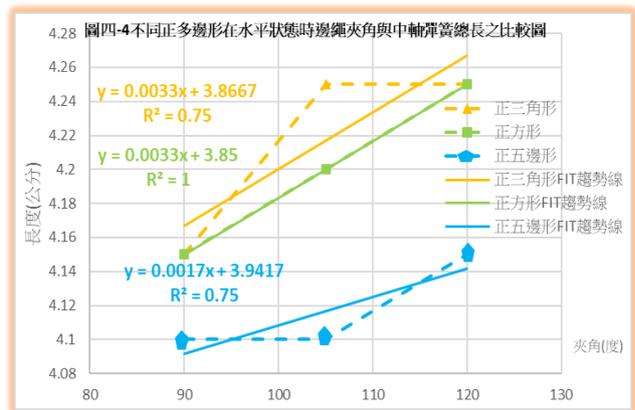
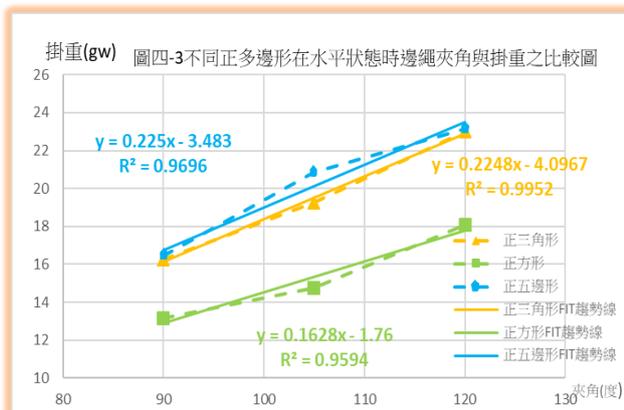
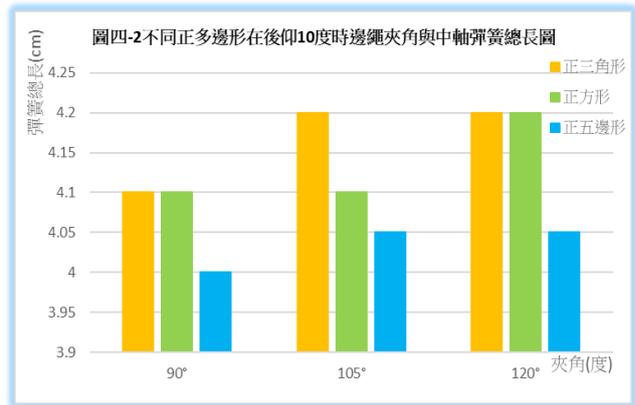
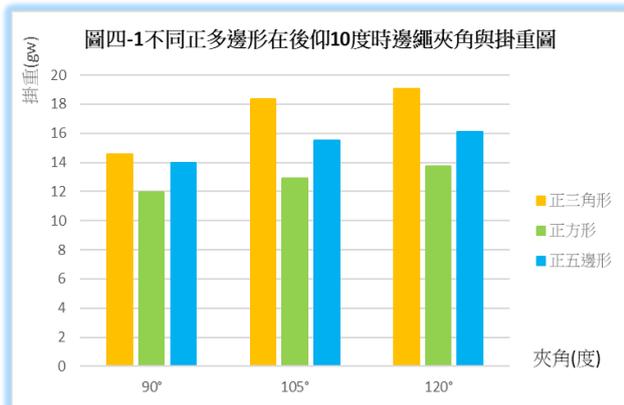
## ● 平衡實驗

1. 不同正多邊形懸浮裝置要維持後仰  $10^\circ$ 、水平、前傾  $10^\circ$ ，所需的力由大到小依序為夾角  $120^\circ > 105^\circ > 90^\circ$ 。

## ● 中心軸彈簧變化

1. 懸浮裝置由後仰  $10^\circ \rightarrow$  水平  $\rightarrow$  前傾  $10^\circ$  的狀態，邊繩懸吊空瓶內的載重也依序增加，整體裝置周邊拉繩向下的拉力漸漸加大。相反的，為維持裝置平衡不倒，中心軸彈簧伸長量依上述狀態順序漸漸拉長，顯示裝置中心軸繩向上的拉力漸增。
2. 懸浮裝置維持同一平衡狀態時，邊繩與中心軸線形成的夾角越大，中心軸彈簧伸長量越長。若以正方形懸浮裝置維持水平狀態時為例，中心軸彈簧伸長量變化以邊繩夾角  $120^\circ$  時伸長 4.25cm 最長，其次夾角  $105^\circ$  時伸長 4.20cm，最短為夾角  $90^\circ$  時伸長 4.15cm。

## ● 圖表分析



### 討論：

1. 邊繩位置與中心軸線夾角不同的懸浮裝置，無論後仰 10°、水平或前傾 10°時，夾角**越大**，掛重**越重**，彈簧總長度也**越長**。
2. 在懸浮裝置維持水平狀態時，邊繩和中心軸線所形成的**夾角與掛重相關性極高**，決定係數  $R^2$  值均超過 0.95 (如圖四-3)，即邊繩和中心軸線所形成夾角愈大的，須掛愈重才能維持水平。
3. 懸浮裝置維持水平狀態時，邊繩和中心軸線所形成的夾角與彈簧伸長量有相關，決定係數  $R^2$  值均在 0.75 以上，其中以**正方形**懸浮裝置夾角與彈簧伸長量相關性最高。(如圖四-4)

研究五：探究邊繩與中心軸線所形成夾角對懸浮裝置平衡載重的影響。

(一)正三角形之邊繩與中心軸線所形成夾角的平衡載重測試

正三角形															
角度測量	120°			105°		90°		載重測量	120°			105°		90°	
	搖晃頻率 A 為 56 次/分、B 為 68 次/分、 超過 3 分鐘打勾「✓」			120°		105°			放置搖晃平台再利用螺帽、 冰棒棍測載重			120°		105°	
夾角	120°		105°		90°		夾角	120°		105°		90°			
頻率	A	B	A	B	A	B		120°	105°	90°					
1	✓	✓	✓	110.00	✓	43.00	1	78.00	59.91	35.60					
2	✓	✓	✓	106.00	✓	45.00	2	78.20	59.75	36.23					
3	✓	✓	✓	112.00	✓	44.00	3	80.00	61.08	36.43					
4	✓	✓	✓	104.00	✓	46.00	4	80.20	62.33	38.19					
5	✓	✓	✓	105.00	✓	42.00	5	79.00	61.69	36.07					
平均(秒)	180.00	180.00	180.00	107.40	180.00	44.00	平均(gw)	79.08	60.95	36.50					

● 平衡測試

1. 正三角形邊繩與中心軸線夾角 120° 的懸浮裝置最佳，皆能通過 A、B 搖晃頻率測試；  
邊繩與中心軸線夾角 90° 的懸浮裝置最差，雖有通過 A 頻率搖晃，但 B 頻率搖晃平均支撐 44 秒。

● 載重測試

1. 正三角形以邊繩與中心軸線夾角 120° 的懸浮裝置平均載重 79.08gw 最高；邊繩與中心軸線夾角 90° 懸浮裝置平均載重 36.50gw 為最低。

(二)正方形之邊繩與中心軸線所形成夾角的平衡載重測試

正方形															
角度測量	120°			105°		90°		載重測量	120°			105°		90°	
	搖晃頻率 A 為 56 次/分、B 為 68 次/分、 超過 3 分鐘打勾「✓」			120°		105°			放置搖晃平台再利用螺帽、 冰棒棍測載重			120°		105°	

測量方式	搖晃頻率 A 為 56 次/分、B 為 68 次/分、 超過 3 分鐘打勾「✓」						測量方式	放置搖晃平台再利用螺帽、 冰棒棍測載重		
夾角	120°		105°		90°		夾角	120°	105°	90°
頻率	A	B	A	B	A	B				
1	✓	✓	✓	2.10	✓	1.01	1	71.54	62.54	42.96
2	✓	✓	✓	2.15	✓	1.05	2	73.33	62.33	45.66
3	✓	✓	✓	2.09	✓	1.01	3	72.52	63.13	44.04
4	✓	✓	✓	2.11	✓	1.03	4	72.62	63.08	45.65
5	✓	✓	✓	2.16	✓	1.05	5	71.52	62.52	42.99
平均(秒)	180.00	180.00	180.00	2.12	180.00	1.03	平均(gw)	72.31	62.72	44.26

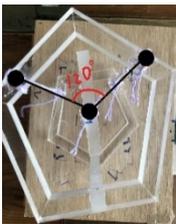
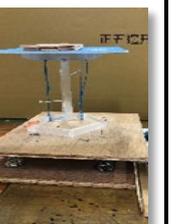
● 平衡測試

1. 正方形邊繩與中心軸線夾角 120° 的懸浮裝置最佳，皆能通過 A、B 搖晃頻率測試；邊繩與中心軸線夾角 90° 的懸浮裝置最差，雖有通過 A 頻率搖晃，但 B 頻率搖晃平均支撐 1.03 秒。

● 載重測試

1. 正方形以邊繩與中心軸線夾角 120° 的懸浮裝置平均載重 72.31gw 最高；邊繩與中心軸線夾角 90° 懸浮裝置平均載重 44.26gw 為最低。

(三)正五邊形之邊繩與中心軸線所形成夾角的平衡載重測試

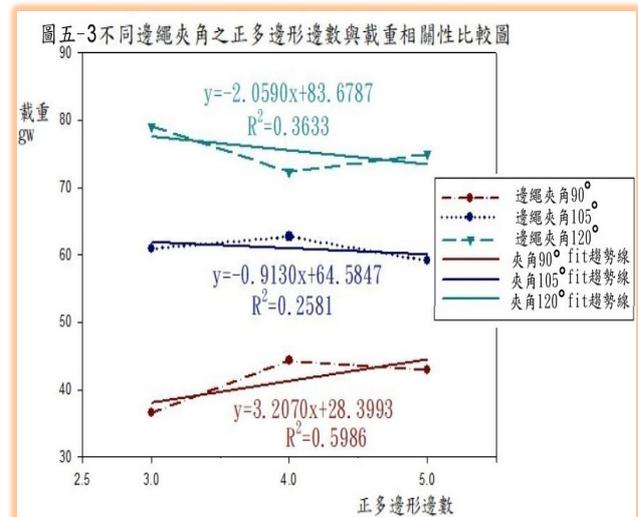
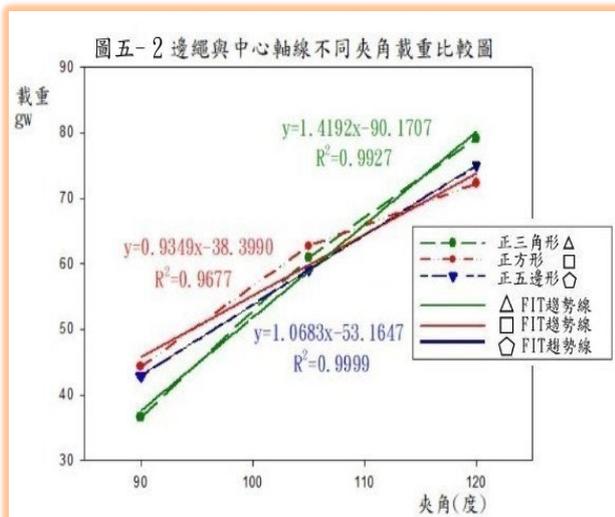
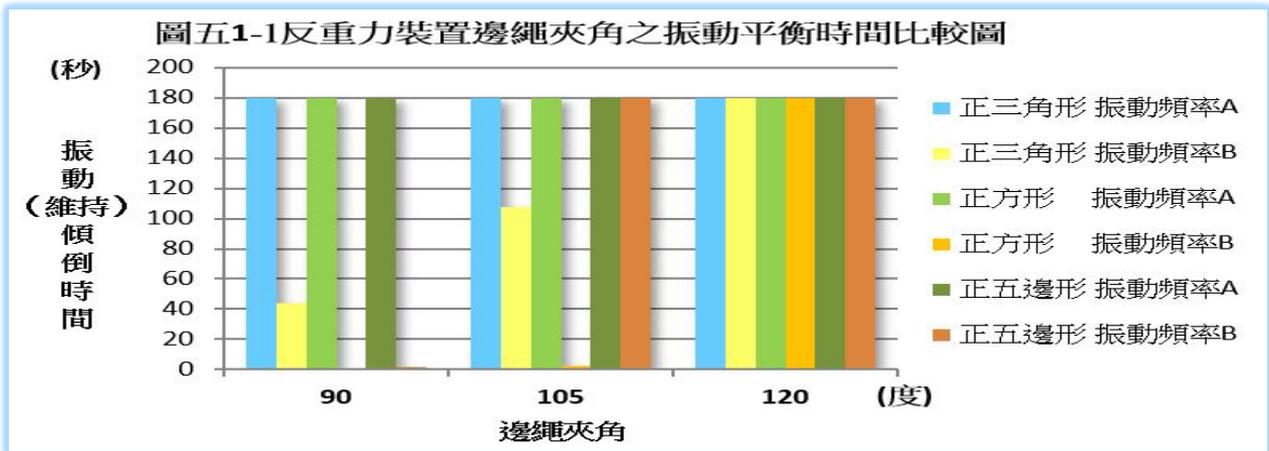
正五邊形															
角度測量	120°			105°		90°		載重測量	120°			105°		90°	
															
測量方式	搖晃頻率 A 為 56 次/分、B 為 68 次/分、 超過 3 分鐘打勾「✓」						測量方式	放置搖晃平台再利用螺帽、 冰棒棍測載重							
夾角	120°		105°		90°		夾角	120°	105°	90°	120°	105°	90°		
頻率	A	B	A	B	A	B									
1	✓	✓	✓	✓	✓	1.44	1	74.83	59.60	43.84					
2	✓	✓	✓	✓	✓	1.45	2	75.48	58.31	43.48					
3	✓	✓	✓	✓	✓	1.53	3	74.85	59.58	43.60					
4	✓	✓	✓	✓	✓	1.53	4	74.49	58.85	41.18					
5	✓	✓	✓	✓	✓	1.42	5	75.18	59.29	42.49					
平均(秒)	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	1.47	平均(gw)	74.97	59.13	42.92					

- 平衡測試

1. 正五邊形邊繩與中心軸線夾角 120°、105°的懸浮裝置最佳，皆能通過 A、B 搖晃頻率測試；邊繩與中心軸線夾角 90°的懸浮裝置最差，雖有通過 A 頻率搖晃，但 B 頻率搖晃平均支撐 1.47 秒。

- 載重測試

2. 正五邊形以邊繩與中心軸線夾角 120°的懸浮裝置平均載重 74.97gw 最高；邊繩與中心軸線夾角 90°懸浮裝置平均載重 42.92gw 為最低。

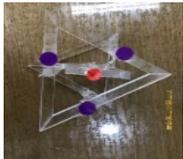


討論：

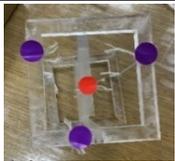
1. 邊繩位置與中心軸線夾角越大的懸浮裝置在搖晃平台上的穩定性越好，維持平穩不倒的時間越久，承載重量也越重。(邊繩與中心軸線所連成夾角  $\geq 180^\circ$ ，裝置無法達成平衡。)
2. 邊繩和中心軸線所形成的夾角與整體懸浮裝置的載重平衡相關性極高，決定係數  $R^2$  值均在 0.96 以上，其中又以正三角形的趨勢線斜率最大(1.4192 > 1.0683 > 0.9349)，邊繩夾角影響載重最為明顯(如圖五-2)。
3. 相同的邊繩夾角之正多邊形的邊數與載重平衡無明顯相關性，決定係數  $R^2$  值均未超過 0.6，趨勢線也出現差異極大相反方向的正負斜率值(如圖五-3)。

研究六：探究邊繩與中心軸線的距離對懸浮裝置平衡載重的影響。

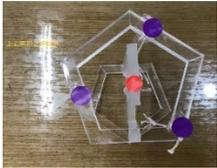
(一)正三角形設計綁繩位置(中心軸線長 4cm、邊繩數 3 條)，再擺放於搖晃平台測試，裝置傾倒或裝置毀壞時，測量懸浮裝置的載重，共測量 5 次。

正三角形			
綁繩位置	三條邊繩與中心軸線距離相等	二條邊繩與中心軸線距離相等 另外一條邊繩不相等	三條邊繩與中心軸線距離皆不相等
與中心軸線距離(cm)	5、5、5	5、5、3	4、4.5、3.5
示意圖			
測量五次平均值(gw)	870.58	749.52	644.31

(二)正方形設計綁繩位置(中心軸線長 4cm、邊繩數 3 條)，再擺放於搖晃平台測試，裝置傾倒或裝置毀時，測量懸浮裝置的載重，共測量 5 次。

正方形			
綁繩位置	三條邊繩與中心軸線距離相等	二條邊繩與中心軸線距離相等 另外一條邊繩不相等	三條邊繩與中心軸線距離皆不相等
與中心軸線距離(cm)	4.5、4.5、4.5	5.5、5.5、4.5	4.5、5、5.5
示意圖			
測量五次平均值(gw)	683.82	637.93	584.17

(三)正五邊形設計綁繩位置(中心軸線長 4cm、邊繩數 3 條)，再擺放於搖晃平台測試，裝置傾倒或裝置毀時，測量懸浮裝置的載重，共測量 5 次。

正五邊形			
綁繩位置	三條邊繩與中心軸線距離相等	二條邊繩與中心軸線距離相等 另外一條邊繩不相等	三條邊繩與中心軸線距離皆不相等
與中心軸線距離(cm)	4.5、4.5、4.5	4.5、4.5、5.5	4.5、5.5、6
示意圖			
測量五次平均值(gw)	561.68	542.92	372.88

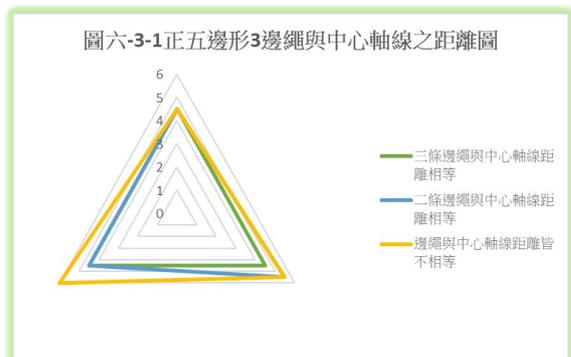
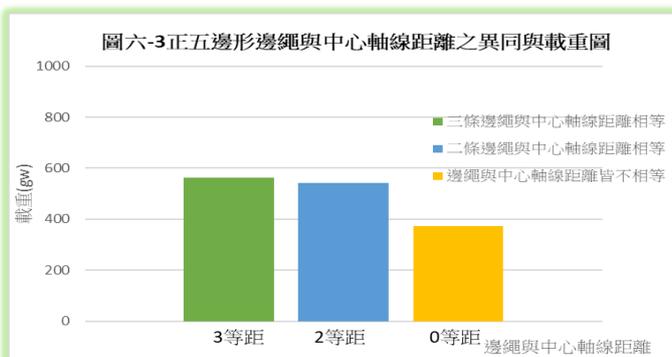
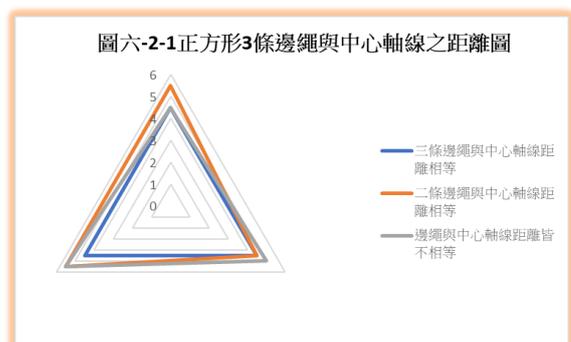
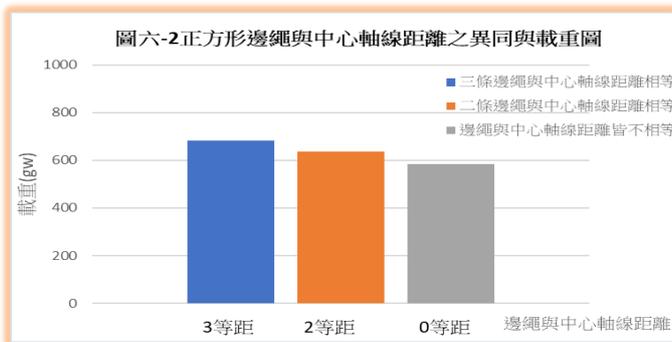
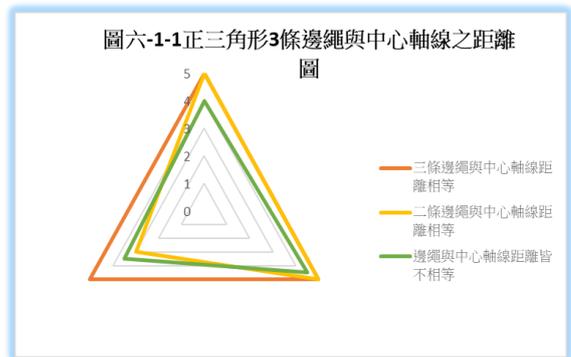
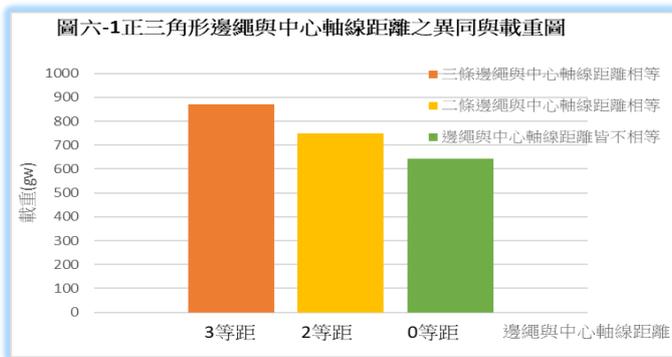
● 綁繩與中心軸線距離的載重實驗

1. 正三角形懸浮裝置綁繩三條邊繩，以邊繩與中心軸線三等距時懸浮裝置載重 870.58gw 為佳；以邊繩與中心軸線皆不等距時懸浮裝置平均載重為 644.31gw 最低。
2. 正方形懸浮裝置綁繩三條邊繩，以邊繩與中心軸線三等距時懸浮裝置載重 683.82gw 為最高；以邊繩與中心軸線皆不等距時懸浮裝置平均載重 584.17gw 最低。
3. 正五邊形懸浮裝置綁繩三條邊繩，以邊繩與中心軸線三等距時懸浮裝置載重 561.68gw 為最高；以邊繩與中心軸線皆不等距時懸浮裝置平均載重 372.88gw 最低。

● 綁繩距離

1. 不同正多邊形懸浮裝置皆以綁繩與中心軸線等距時，載重量最高；而以邊繩與中心軸線不等距時，載重不佳，其中正五邊形懸浮裝置三邊不等距分別為 4.5 cm、5.5 cm、6 cm 時，測出載重量最低。

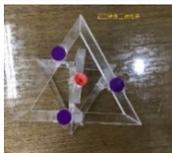
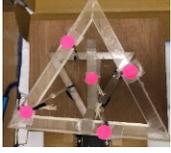
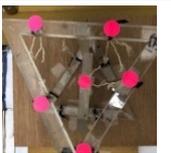
● 圖表分析



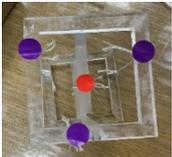
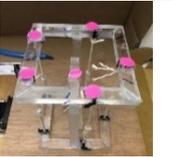
討論：如上圖表分析，不論哪種多邊形，三條邊繩位置與中心軸線距離皆相等(3條邊繩位置點的連線是正三角形)的懸浮裝置，在搖晃平台上的穩定性越好，承載重量也越重。

研究七：探究不同邊繩數量對懸浮裝置平衡載重的影響。

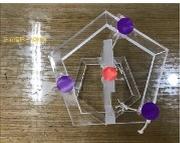
(一)正三角形懸浮裝置設計綁上不同邊繩數量(3、4、5 條)，再擺放於搖晃平台測試，裝置傾倒或裝置毀壞時，測量懸浮裝置的載重，共測量 5 次。

正三角形			
綁繩位置	綁繩 3 條 (與中心軸夾角 120°)	綁繩 4 條 (與中心軸夾角 90°)	綁繩 5 條 (與中心軸夾角 72°)
邊繩與中心軸線距離(cm)	5、5、5	3.5、4、4、6.5	3.5、4.4、4.4、6、6
示意圖			
測量五次平均值(gw)	870.58	953.27	1170.94

(二)正方形懸浮裝置設計綁上不同邊繩數量(3、4、5 條)，再擺放於搖晃平台測試，裝置傾倒或裝置毀壞時，測量懸浮裝置的載重，共測量 5 次。

正方形			
綁繩位置	綁繩 3 條 (與中心軸夾角 120°)	綁繩 4 條 (與中心軸夾角 90°)	綁繩 5 條 (與中心軸夾角 72°)
邊繩與中心軸線距離(cm)	4.5、4.5、4.5	5.5、5.5、6、6	4.5、4.5、5、4.5、4.5
示意圖			
測量五次平均值(gw)	683.81	1062.63	1238.36

(三)正五邊形懸浮裝置設計綁上不同邊繩數量(3、4、5 條)，再擺放於搖晃平台測試，裝置傾倒或裝置毀壞時，測量懸浮裝置的載重，共測量 5 次。

正五邊形			
綁繩位置	綁繩 3 條 (與中心軸夾角 120°)	綁繩 4 條 (與中心軸夾角 90°)	綁繩 5 條 (與中心軸夾角 72°)
邊繩與中心軸線距離(cm)	4、4、4	5.5、5、5、5	5、5.5、5.5、5.8、5.8
示意圖			
測量五次平均值(gw)	561.68	1186.41	1356.16

● 綁繩數量不同的載重實驗



正□4 條邊繩載重



正□載重搖晃測試



正△5 條邊繩載重



正◇4 條邊繩載重



正□5 條邊繩裝置毀壞



正□4 條邊繩裝置傾倒



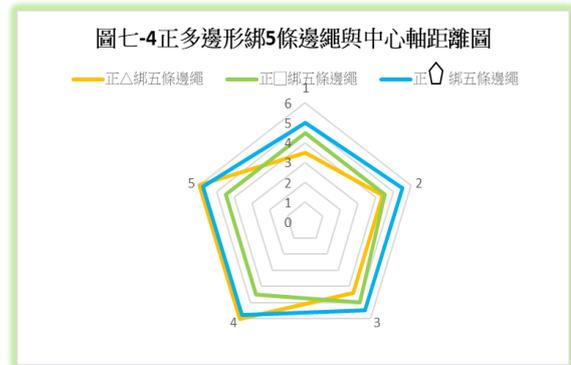
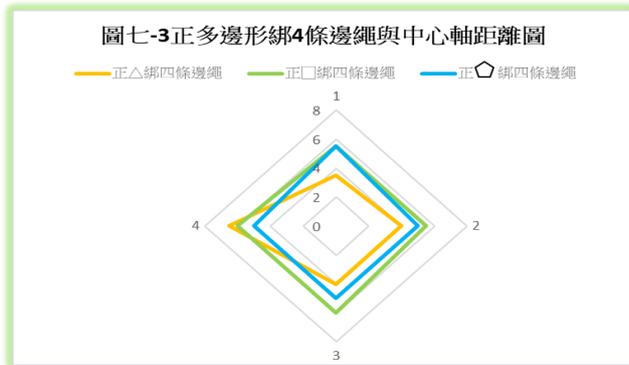
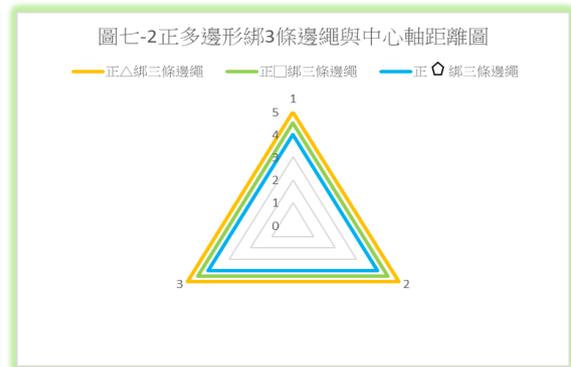
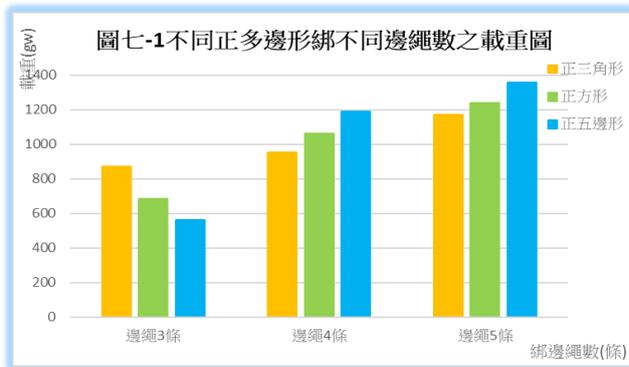
正◇4 條邊繩裝置傾倒



正△5 條邊繩裝置毀壞

綁繩數不同的載重測試

● 圖表分析



討論：

1. 相同底座的懸浮裝置，綁繩邊數愈多，在搖晃平台上的穩定性越好，可載重也越重。
2. 綁 3 條邊繩(夾角 120°)的各種底座，3 邊繩與中心軸距離最平均(3 條邊繩位置點的連線都是正三角形)，其中以正三角形底座的穩定與載重最好，因 3 位置點的連線圍成的面積最大(如圖 7-2)。
3. 綁 4 條邊繩(夾角 90°)，以正三角形底座的穩定與載重最差，4 條邊繩與中心軸距離最不公平，4 位置點的連線圍成的四邊形最歪斜(如圖 7-3)。正方形和正五邊形的 4 條邊繩與中心軸距離較平均，穩定與載重較佳。

4. 綁 **5 條邊繩**(夾角  $72^\circ$ )，以 **五邊形** 底座的穩定與載重 **最佳**，5 條邊繩與中心軸距離最平均，且 5 位置點的連線圍成的面積最大(如圖 7-4)。底座 **三角形** 的稍差一些，雖然綁繩距離不平均，5 位置點的連線圍成的五邊形也很歪斜，但因綁繩夠多，且 5 位置點的連線圍成的面積也大，仍有不錯的穩定與載重表現。

### 研究八：探究懸浮裝置在載重時，中心軸線與周邊拉繩的張力變化。

#### (一) 正三角形中心軸線與周邊拉繩的張力變化

正三角形懸浮裝置(與中心軸夾角  $120^\circ$ 、邊繩距中心軸線皆 5 公分)

載重(gw)	中心軸繩 (cm)	邊繩(cm)
0.00	4.00	13.00
46.00	5.50	12.80
69.00	6.00	12.00
92.00	6.50	11.50
205.00	7.20	11.20

#### (二) 正方形中心軸線與周邊拉繩的張力變化

正方形懸浮裝置(與中心軸夾角  $120^\circ$ 、邊繩距中心軸線皆 4.5 公分)

載重(gw)	中心軸繩 (cm)	邊繩(cm)
0.00	4.00	13.00
115.00	7.00	11.00
159.00	7.30	10.80
204.00	8.00	10.50

#### (三) 正五邊形中心軸線與周邊拉繩的張力變化

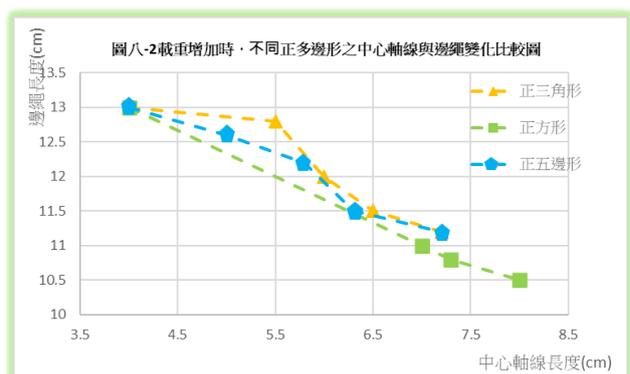
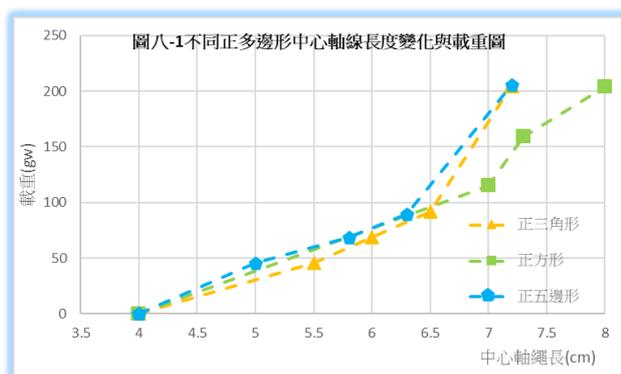
正五邊形懸浮裝置(與中心軸夾角  $120^\circ$ 、邊繩距中心軸線皆 4.5 公分)

載重(gw)	中心軸繩 (cm)	邊繩(cm)
0.00	4.00	13.00
46.00	5.00	12.60
69.00	5.80	12.20
90.00	6.30	11.50
206.00	7.20	11.20

#### ● 中心軸線與周邊拉繩的張力變化

1. 載重重量越重，中心軸繩會越長(張力)，邊繩則越短(拉力)。

#### ● 圖表分析



**討論：**

- 1.當載重愈重時，中心軸線的正上方支點受力(載重)愈重，彈性中心軸線被拉愈長(如圖八-1)。
2. 當載重增加時，彈性中心軸線的長度被拉的越長，彈性邊繩長度就愈短(邊繩的受力越輕)(如圖八-2)。

**研究九：反重力懸浮結構的創意應用。**

- (一)在懸浮裝置上擺放空氣鳳梨，除了提供植物良好生存空間，也增加了美感。
- (二)試將懸浮裝置的棉線改成釣魚線，發現懸浮裝置的載重沒有差異，這個部分可以再延伸探討。
- (三)應用懸浮裝置基本結構，製作各式雙臂懸浮裝置(同側、不同側、創意懸臂)，如：  
能解決交通流量多的雙臂懸浮橋，以及增加美觀的觀光吊橋。



擺放空氣鳳梨



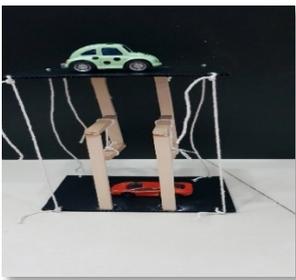
改成釣魚線



擺放機器人



擺放飾品



單邊雙臂



雙臂雙邊



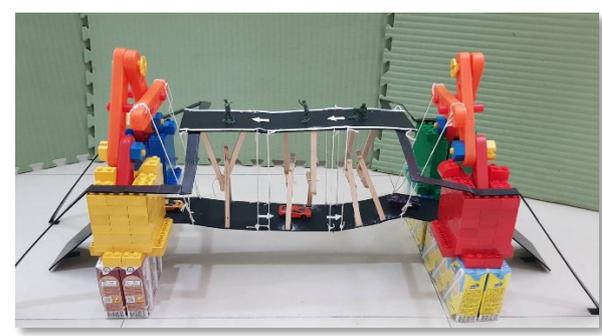
創意懸臂



雙向輕軌懸浮橋



懸浮橋(雙向車道)



多功能懸浮吊橋

**創意應用**

## 陸、討論

- 一、對於懸浮裝置上方平台而言，中央的軸繩施予它向上的拉力，四周的繩子則施予它向下的拉力，上層平台重量與邊繩向下拉力的總和等於中央軸繩向上的拉力。但是只有合力為零未必能撐起上方的平台，還必須符合「向下的合力作用點恰好位於中央軸繩的正上方」。
- 二、這個「向下的合力作用點」就是以此點(中央軸繩的正上方)當支點時，重力與四周邊繩拉力對此支點的合力矩也為零，因此必須細心調整四周各繩的拉力，才能達成完美的靜力平衡。
- 三、不同材質製成的懸浮裝置，其載重量差異很大；且支撐桿的角度與中心軸綁繩長短都會影響載重。  
懸浮裝置的剛性結構愈堅固載重愈高，如：壓克力材質較紙吸管、冰棒棍等材質較為堅固，故載重量較高。
- 四、正多邊形懸浮裝置邊繩夾角  $120^\circ$  之中心軸偏移實驗結果，以綁繩在下底層橫桿中心上的平衡載重效果最佳。正多邊形懸浮裝置要保持平衡的條件為中心軸線要綁在重心所在之處，且邊繩最少需要綁 2 條。  
偏離下底層的正中心會影響裝置的穩定性，而底層形狀的中心位置即為該形狀的重心所在(力矩平衡)。
- 五、施力的夾角大，合力相對變小，需要更大的向下拉力才能平衡(掛重較多)；施力的夾角小，合力相對較大，只要較小的向下拉力就能平衡(掛重較少)。
- 六、正多邊形之邊繩與中心軸線夾角  $120^\circ$ ，懸浮裝置在搖晃平台上的搖晃時間最久，平衡穩定性高，在搖晃平台上的載重量越高。  
邊繩的夾角大(合力小)，裝置站立時，邊繩產生向下力較大，在搖晃測試時，易維持平衡；反之邊繩的夾角小(合力大)，裝置站立時，邊繩產生向下力較小，在搖晃測試時，易失去平衡。
- 七、(一)在搖晃測試時，不同正多邊形懸浮裝置綁三條線皆呈現比綁二條邊繩線更穩定的狀態。而不同正多邊形懸浮裝置綁三條邊繩時，載重情形以邊繩與中心軸線三邊等距離時最佳。當三條邊繩位置與中心軸等距時(3 條邊繩位置點的連線越接近正三角

形)，**受力越平均**，較能保持平衡，承重量和穩定性都較好，三邊不等距則相反。

不論**哪種多邊形**，**三條邊繩位置與中心軸線距離皆相等**的懸浮裝置，在搖晃平台上的**穩定性越好**，**承載重量也越重**。

(二)直接使用容器裝螺帽放在懸浮裝置上測試，易因重心不穩而傾斜影響實驗，可將重心往下移(裝置先用砝碼掛重再用容器裝螺帽)就能解決干擾問題。

八、本研究不同正多邊形懸浮裝置皆以綁 5 條邊繩的平均載重最好，均超過 1000 公克。懸浮裝置**只需 2 條邊繩**就能維持穩定站立，中心軸綁線提供張力，邊繩提供與之抗衡的拉力，達到平衡站立。當**邊繩數越多**，**邊繩位置點的連線越接近正多邊形**，且**圍成的面積越大**，越能提供**穩定的分力平衡效果**，**載重也越佳**。

九、運用彈性繩綁在懸浮裝置上，當載重**愈重**時，**中心軸線的正上方支點受力愈大**，**彈性中心軸線被拉愈長**，**彈性邊繩長度就縮短(邊繩的受力越輕)**。

## 柒、結論

一、本研究發現反重力懸浮裝置是利用**中心軸線**產生**向上**的張力，與**四周邊繩**和**上層底座**的**重量**產生**向下**拉力達到平衡原理，符合**合力為零**（不移動）且**合力矩為零**（不轉動）的靜力平衡，整體裝置看似**反重力**的效果。

二、影響懸浮裝置穩定平衡的變因：

(一)中心軸線是否綁在下層底座的**中心位置**(重心所在)。

(二)只綁 **2 條邊繩**時，與中心軸線的**夾角越大**，維持平衡的效果**愈好**。但**夾角 $\geq 180^\circ$** ，裝置無法達成平衡。

(三)要懸浮裝置維持平衡**最少須綁 2 條邊繩**，綁到 **3 條線以上**的懸浮裝置皆能達到**極佳的平衡穩定性**。

(四)**邊繩位置與中心軸線等距**時，**邊繩位置點的連線越接近正多邊形**，施力越**平均**，**平衡穩定性越佳**。

三、影響懸浮裝置載重的因素：

(一)**材質要堅固**，中心軸線綁在下層底座的**中心位置**，使用堅韌不斷裂鋼繩更佳。

(二)**中心軸繩與邊拉繩的數量越多**，可承載重量**越重**。

(三)邊繩與中心軸線的夾角愈平均，邊繩位置點的連線越接近正多邊形，可載重量越重。

(四)邊繩與中心軸線的距離均等且愈大，邊繩位置點的連線所圍成的面積越大，懸浮裝置越穩固，可承載重量越重。

四、透過探討懸浮裝置的原理，了解如何製作載重高及穩定裝置的方法。進而創意發想運用原理製作出能「疏解交通流量」的雙懸臂跨河大橋以及「兼顧實用、美觀」的懸浮吊橋。

## 捌、參考文獻資料

1. 徐浩博、朱為麟、徐犒胤（2002）。力與美的平衡。第 42 屆全國中小學科展作品物理科。
2. 梁可嘉（2007）。戲童玩~重心穩如泰山。第 47 屆全國中小學科展作品生活與應用科學科。
3. 葉芝琦、葉芝婷（2009）。多力拔河之力平衡點意義深入探究。第 49 屆全國中小學科展作品物理科。
4. 廖加凱、吳旭礎、陳倫維、葉旭挺（2009）。搭橋 GO ! GO ! GO !。第 49 屆全國中小學科展作品物理科。
5. 朱慶琪、朱浦毅（2016）。神奇平衡。中央大學科學教育中心。取自 <http://phy.tw/%E7%A7%91%E5%AD%B8%E5%AF%A6%E9%A9%97/item/109-2016-06-19-14-49-30>
6. 吳靜雅編譯（2019）。基本認知：張拉整體結構。取自 <https://kknews.cc/news/rnpzzkx.html>
7. 鄭永銘（2020）。跟著鄭大師玩科學/平衡之美 IV。取自 <https://www.masters.tw/247804/tensegrity-sculpture>

## 【評語】 080101

本作品基本上是一個尋找物體質心的問題，網路上已經有相關本作品影片流通，屬於通俗實作項目，以往科展已有得獎作品，本屆科展也另有相同主題作品。雖然研究工作很充實詳盡，若能有好的創意就更完滿了。

## 作品簡報

# 形之互動，隱力再線

國小組物理科

編號：080101



# 一、前言

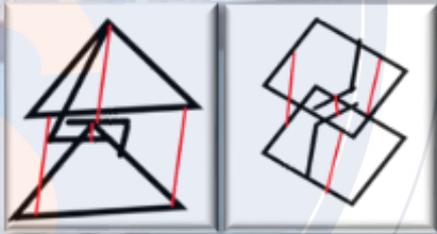
看到「反重力」雕塑，心中產生疑惑「反重力」可能嗎？而又發現網路上有人利用不同材質製作各式懸浮裝置，而這些裝置看起來搖晃不已，沒想到竟然能撐起其他物品，令人好奇這裡頭有什麼秘密呢？於是我們展開一系列研究～透過改變中心軸線與邊繩的夾角、距離，找出影響裝置平衡載重的因素，並觀測載重時張力與拉力的變化，並自製搖晃振動裝置突破平衡與載重兼顧的測量困境，以破除反重力的迷思，找到增加平衡載重的方法。

## 初探



## 原理

- 槓桿原理
- 合力分力
- 張拉整體結構



## 重新構思



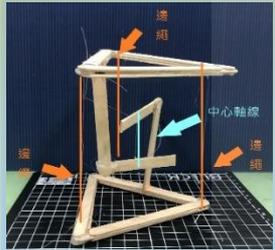
## 迷思修正



找重心

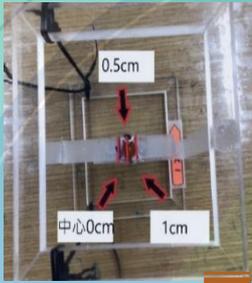
# 二、研究過程與方法

## 懸浮裝置製作規劃

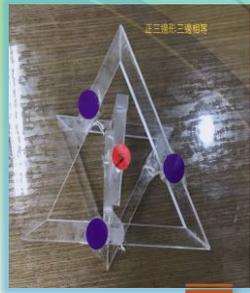


裝置命名  
傾斜角度  
中心軸線

## 研究設計

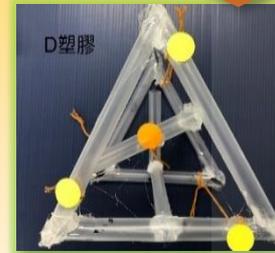


中心軸  
綁繩位移

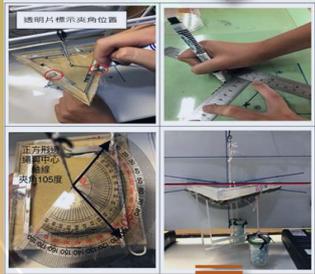


邊繩與  
中心軸線  
的距離

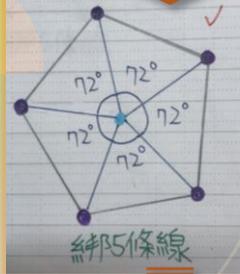
## 搖晃擺動裝置



支撐桿  
材質

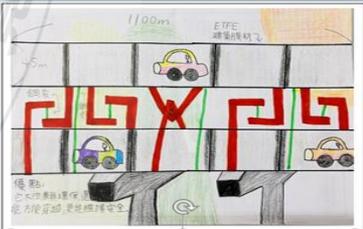


夾角  
合力  
分力



不同  
繩數

## 創意應用



## 形狀設計



## 夾角平衡載重



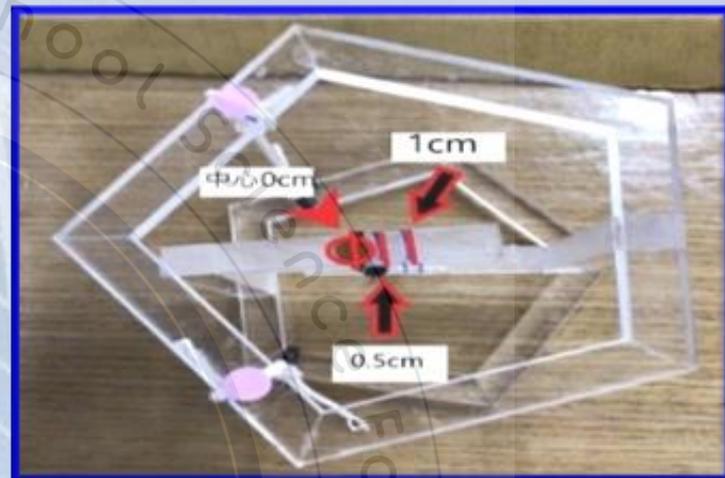
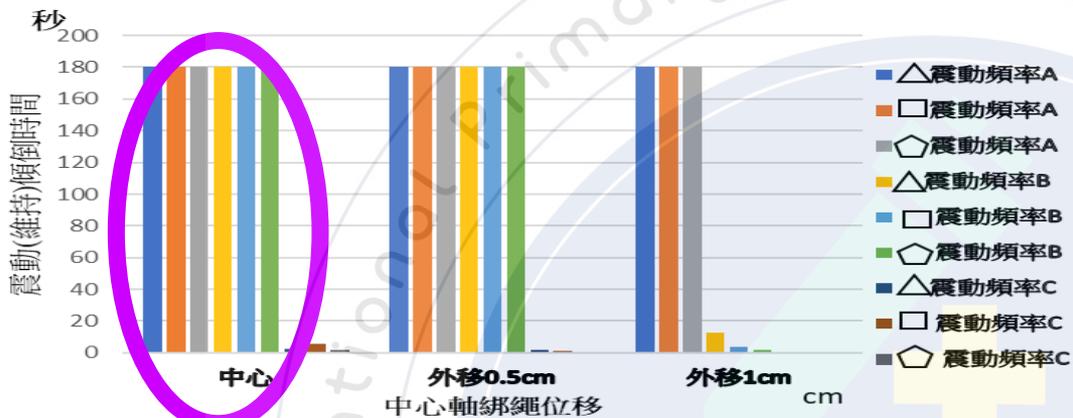
## 拉繩力變化



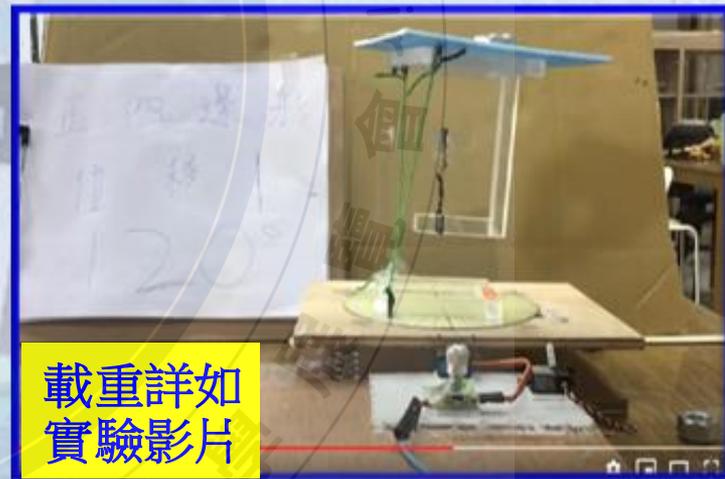
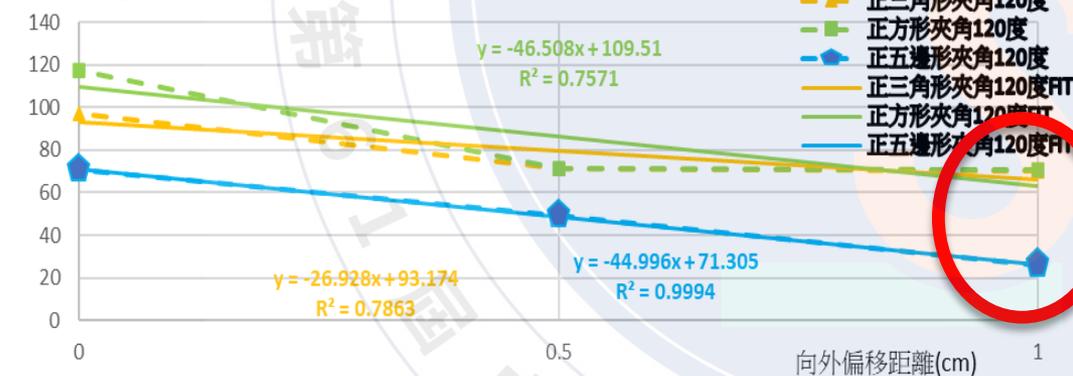
# 三、結果與討論

## (一)中心軸綁繩位移對懸浮裝置平衡載重的影響

圖三-1 懸浮裝置中心軸綁繩位移之震動平衡時間比較圖



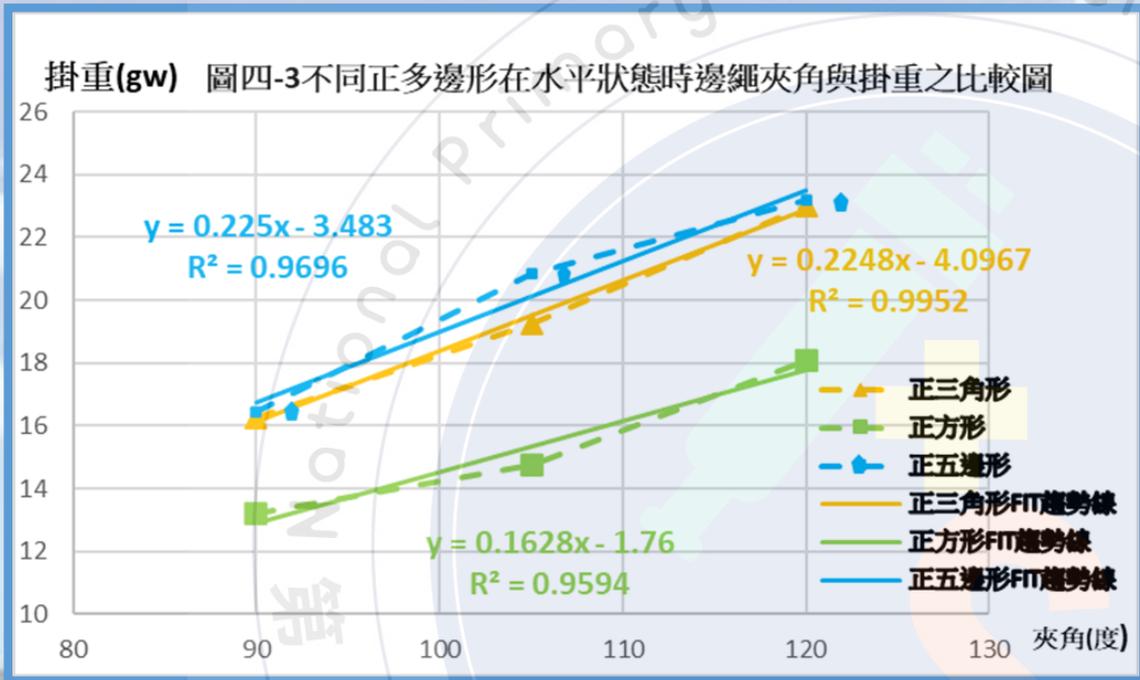
圖三-2 不同中心軸綁繩位移之正多邊形與載重相關性比較圖



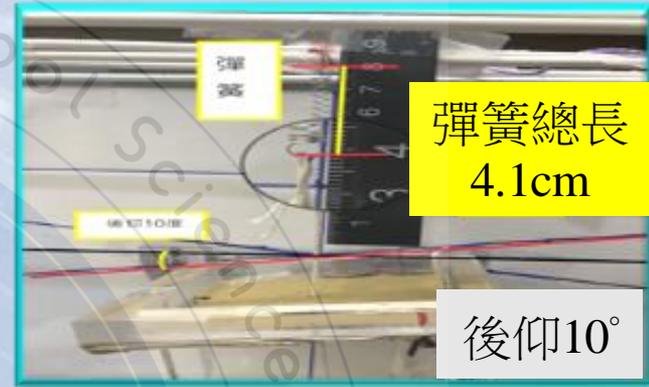
1. 中心軸線綁繩的位置與正中心的位置越近，懸浮裝置在搖晃平台上的穩定性越好，維持平穩不倒的時間越久。
2. 中心軸線綁繩位置越往外移，懸浮裝置載重量越低。

### 三、結果與討論

### (二)邊繩與中心軸線夾角對懸浮裝置平衡的影響



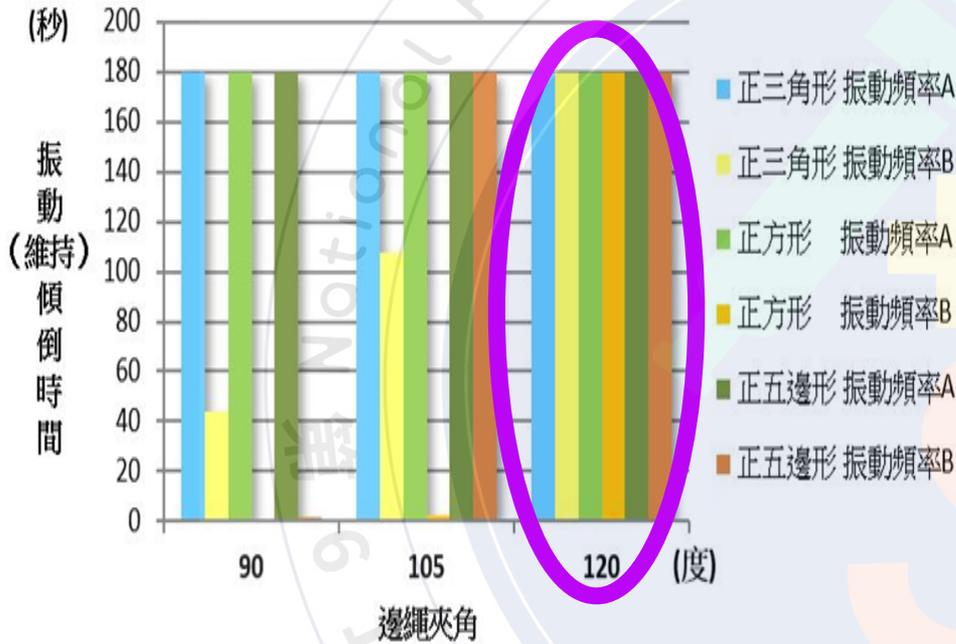
1. 邊繩和中心軸線所形成夾角愈大的，須掛愈重才能維持水平。
2. 懸浮裝置由後仰10° ➡ 水平 ➡ 前傾10°的狀態，中心軸彈簧伸長量依序漸漸拉長，顯示裝置中心軸繩向上的拉力漸增。



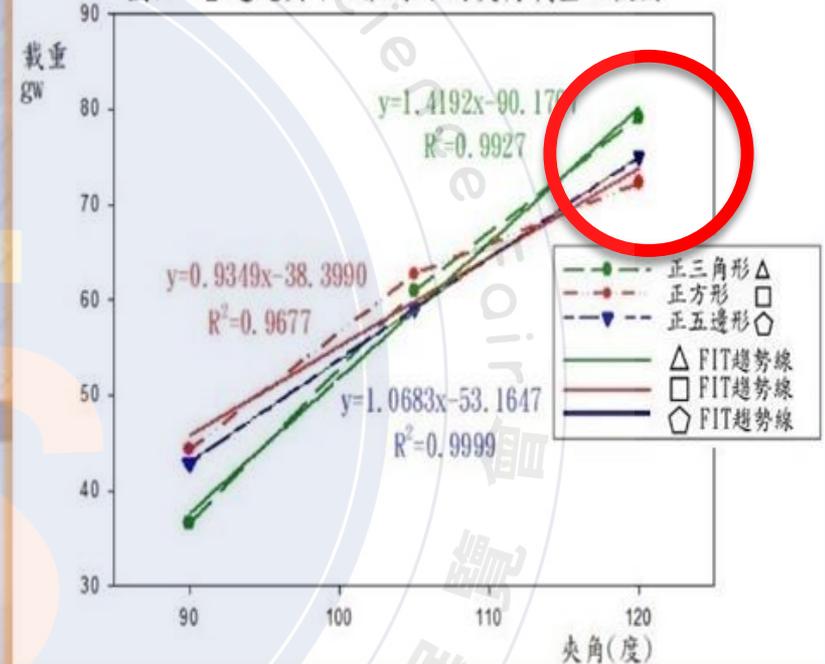
### 三、結果與討論

### (三) 邊繩與中心軸線所形成夾角對懸浮裝置平衡載重的影響

圖五-1 反重力裝置邊繩夾角之振動平衡時間比較圖



圖五-2 邊繩與中心軸線不同夾角載重比較圖

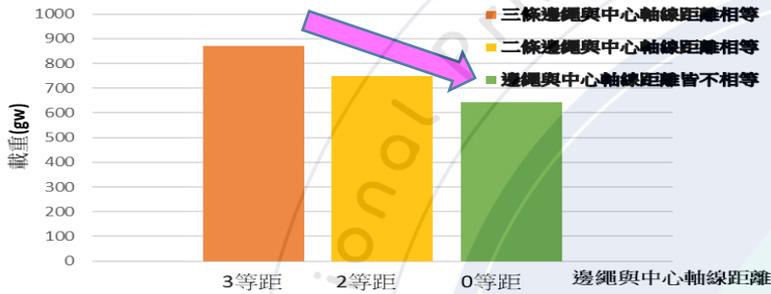


1. 邊繩位置與中心軸線夾角越大的懸浮裝置在搖晃平台上的穩定性越好，維持平穩不倒的時間越久，承載重量也越重。
2. 正三角形的趨勢線斜率最大，邊繩夾角影響載重最為明顯。

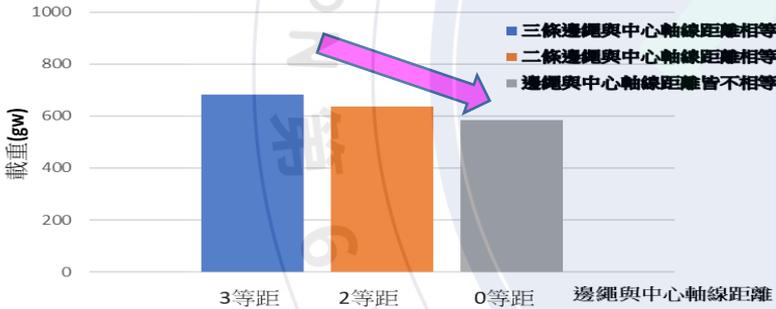
# 三、結果與討論

## (四) 邊繩與中心軸線的距離對懸浮裝置平衡載重的影響

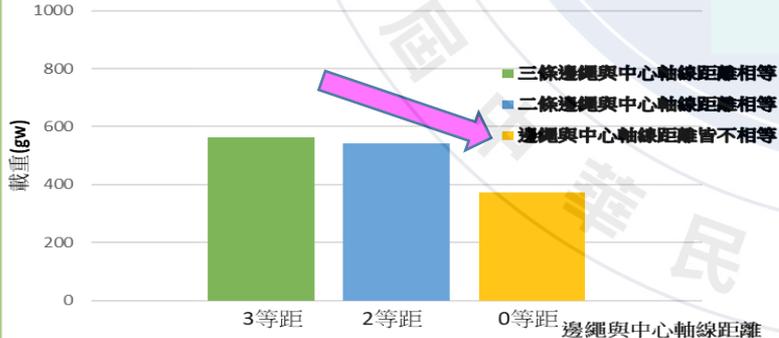
圖六-1正三角形邊繩與中心軸線距離之異同與載重圖



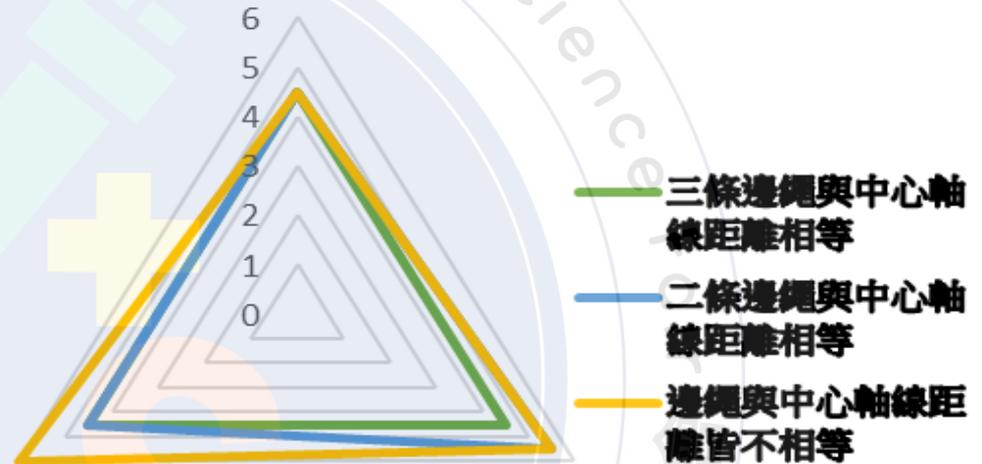
圖六-2正方形邊繩與中心軸線距離之異同與載重圖



圖六-3正五邊形邊繩與中心軸線距離之異同與載重圖



圖六-3-1正五邊形3邊繩與中心軸線之距離圖



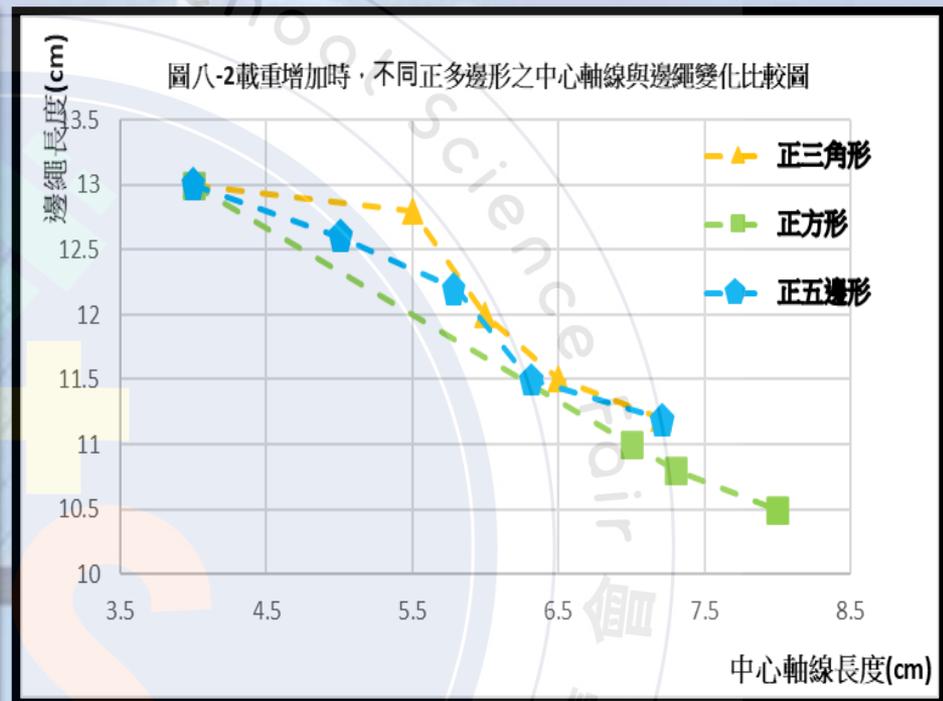
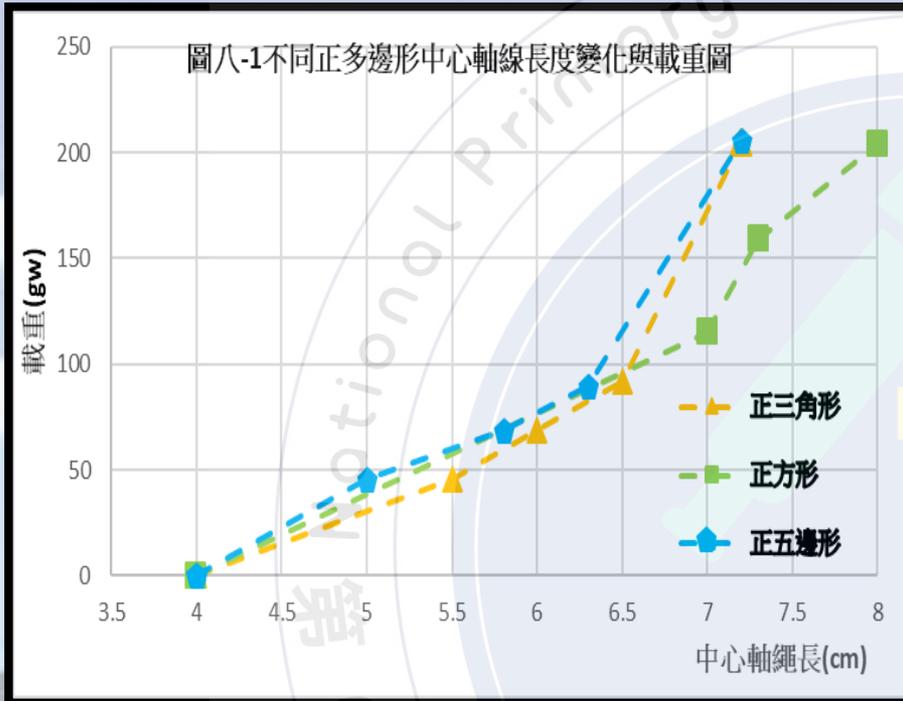
1. 不論哪種多邊形，**三條邊繩位置與中心軸線距離皆相等(3等距)**的懸浮裝置，在搖晃平台上的穩定性越好，承載重量也越重。

2. 其中以正五邊形懸浮裝置**三邊不等距(0等距)**時，測出載重量最低。

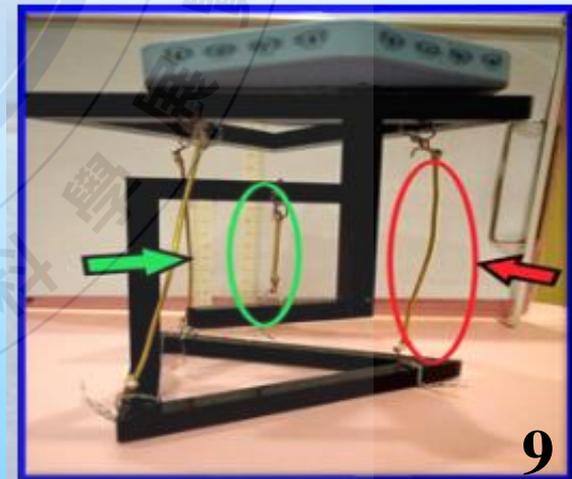


### 三、結果與討論

### (六)在載重時，中心軸線與周邊拉繩的張力變化



當**載重愈重**時，中心軸線的正上方支點**受力(載重)愈重**，**彈性中心軸線被拉愈長**，相對的，**彈性邊繩長度就愈短**(邊繩的**受力越輕**)。



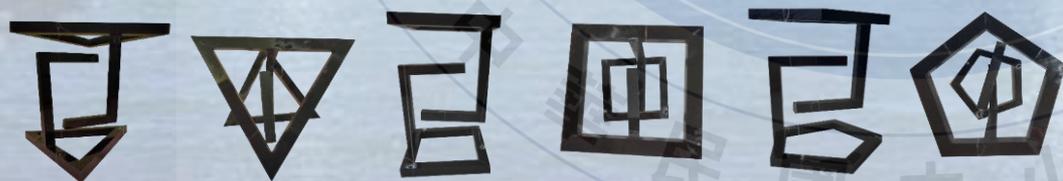
## 四、討論

- 一、對於懸浮裝置上方平台而言，只有合力為零未必能撐起上方的平台，還必須符合「向下的合力作用點恰好位於中央軸繩的正上方」，此時的合力矩為零，才能達成完美的靜力平衡。
- 二、懸浮裝置的剛性結構愈堅固載重愈高；且支撐桿的角度與中心軸綁繩長短都會影響載重。
- 三、正多邊形懸浮裝置要保持平衡的條件為中心軸線要綁在重心所在之處(力矩平衡)。
- 四、施力的夾角大，合力相對變小，需要更大的向下拉力才能平衡(掛重較多)；反之則只要較小的向下拉力就能平衡(掛重較少)。
- 五、邊繩的夾角大(合力小)，裝置站立時，邊繩產生向下力較大，在搖晃測試時，易維持平衡；反之易失去平衡。
- 六、不論哪種多邊形，三條邊繩與中心軸線距離皆相等(邊繩位置點的連線越接近正三角形)的懸浮裝置，受力平均，所以穩定性越好，承載重量越重。
- 七、當邊繩數越多，邊繩位置點的連線越接近正多邊形，且圍成的面積越大，越能提供穩定的分力平衡效果，載重也越佳。

## 五、結論

### (一) 影響懸浮裝置穩定平衡的變因

1. 中心軸線是否綁在下層底座的**中心位置**(重心所在)。
2. 只綁**2條**邊繩時，與中心軸線的**夾角越大**，維持平衡的效果**愈好**。但**夾角 $\geq 180^\circ$** ，裝置無法達成平衡。
3. 要懸浮裝置維持平衡**最少須綁2條邊繩**，綁到**3條線****以上的懸浮裝置**皆能達到**極佳的平衡穩定性**。
4. **邊繩位置與中心軸線等距**時，**邊繩位置點的連線**越接近**正多邊形**，**施力越平均**，**平衡穩定性越佳**。



## 五、結論

### (二)影響懸浮裝置載重的因素

1. **材質**：剛性結構要**堅固**，中心軸線用**堅韌不斷裂鋼繩**更佳。
2. **綁繩邊繩**：中心軸線綁在下層底座的**中心位置**。  
中心軸線與邊繩的**數量越多**，載重**越重**。
3. **夾角**：邊繩與中心軸線的**夾角愈平均**，邊繩的**連線**越接近**正多邊形**，可載重量**越重**。
4. **距離**：邊繩與中心軸線的**距離均等且愈大**，**連線圍成的面積**越大，懸浮裝置**越穩固**，可承**載重量越重**。

## 六、參考文獻資料

1. 梁可嘉（2007）。戲童玩~重心穩如泰山。第47屆全國中小學科展作品生活與應用科學科。
2. 葉芝琦、葉芝婷（2009）。多力拔河之力平衡點意義深入探究。第49屆全國中小學科展作品物理科。
3. 朱慶琪、朱浦毅（2016）。神奇平衡。中央大學科學教育中心。取自 <http://phy.tw/%E7%A7%91%E5%AD%B8%E5%AF%A6%E9%A9%97/item/109-2016-06-19-14-49-30>
4. 鄭永銘（2020）。跟著鄭大師玩科學/平衡之美IV。取自 <https://www.masters.tw/247804/tensegrity-sculpture>