

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

080108

破解反重力懸浮術-運用力的平衡對抗重力

學校名稱：桃園市桃園區快樂國民小學

作者： 小五 高滕悅 小五 胡起元 小五 陳品萱	指導老師： 邱秀蓮
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：反重力、

張拉共構體(張拉整體)Tensegrity、

懸浮術

摘要

從 YouTube 上《【Fun 科學】反重力懸浮術》引發研究動機，加上所學的知識，利用冰棒棍、縫衣細線、熱熔膠為材料，探討正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡的規律。

從實驗得知：

- (一) 裝置要達到平衡，外側平衡線的點與中心軸線延長的點連線必須形成一個面，最小的面是三角形；而與上架中心軸同側的 2 條外側平衡線，形成的三角形，裝置不會平衡。
- (二) 裝置平衡時，中心軸線延長點一定在正多邊形上架/下架的重心點。
- (三) 裝置的中心軸 L 夾角 110° 的兩邊長度不會影響裝置平衡。
- (四) 正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡時，2 條外側平衡線與中心軸線延長的點形成一個「有規律」等腰三角形的面，公式為 $360^\circ \div \text{正多邊形邊長數} = \text{等腰三角形的頂角} = \text{正多邊形重心角}$ 。

壹、研究動機

一、《【Fun 科學】反重力懸浮術(不靠超距力的誇張飄浮效果)¹》：「佑來了」在 YouTube 有一個火紅的反重力懸浮術實驗，實驗裝置簡單，看起來非常神奇，讓觀眾容易實際實驗。其所需材料為木棒、細線；實驗過程：

- (一) 利用木棒組成正三角形，一邊木棒中間黏貼 L 型木棒軸(圖 1-1-1)。
- (二) 正三角形裝置上方用 1 條細繩懸掛，使正三角形裝置平行於桌面，呈現三角形裝置平衡狀態。
- (三) 三角形裝置平衡是因為拉力在上方，重力在下方(圖 1-1-1)。
- (四) 當三角形裝置反置，變成懸掛點在下方，拉力一樣在往上拉，物體的重量往下，此時三角形裝置不能平衡。反置的三角形裝置不能平衡是因為施力點的方向不同(圖 1-1-2)。
- (五) 當用細線拉反置的三角形裝置，會發現裝置往一邊傾斜(圖 1-1-3)，在傾斜的對面端，加裝 1 條線，使產生抗力點。重複三次後，反置的三角形裝置由 3 條外側繩

¹ 【Fun 科學】反重力懸浮術(不靠超距力的誇張飄浮效果)。佑來了。2019 年 11 月 12 日。取自 <https://www.youtube.com/watch?v=xUC6a67mxLw>

子和中間 1 條繩子維持裝置平衡(圖 1-1-4)，即 3 條外側平衡線的拉力往上，中間 1 條線的拉力往上，形成裝置的靜力平衡。

(六) 影片(圖 1-1-8)最後用上架是三角形，下方是六邊形用外側繩子達到裝置平衡。「佑來了」在這裡提到繩子越多當然能夠越穩定，但是在能夠維持穩定的情況，外側繩子最少可以減少到剩下 2 條。

(七) 《佑來了》提到：這個的原理為力學的靜力與靜力矩平衡。



圖 1-1-1 三角形架可以平衡是因為拉力在上方，重力在下方



圖 1-1-2 施力點的方向不同，三角形架不能平衡。

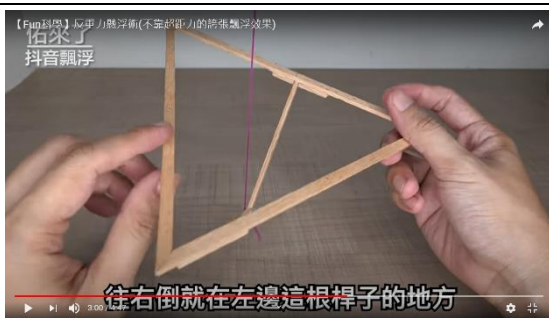


圖 1-1-3 當右倒，在對面端加裝一條線，使產生抗力點阻止向右倒

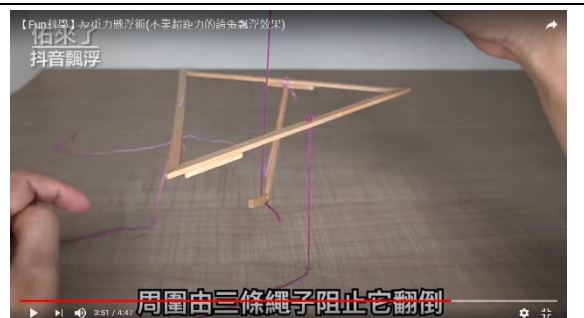


圖 1-1-4 外側平衡線主要是阻止三角形架往某一方傾倒。

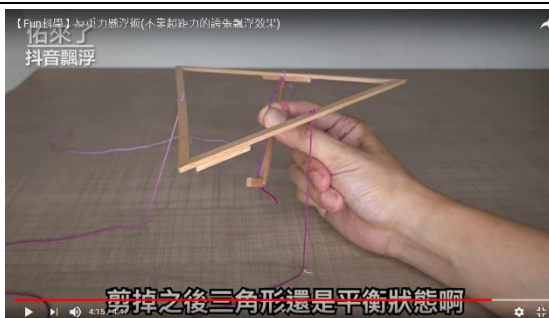


圖 1-1-5 外側平衡線的長短不影響裝置的平衡。

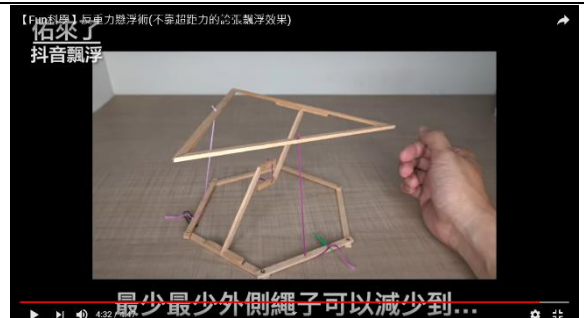


圖 1-1-6 在能夠維持穩定的情況，外側繩子最少可以減少到剩下 2 條。

二、發現與思考

- (一) 根據圖 1-1-1：中間線可以維持三角形裝置平衡，推論中間線的位置為三角形的重心位置。
- (二) 「佑來了」在影片後面提到「中間軸線的長短已經不重要了」(圖 1-1-6)，推論中間軸線的長度不會影響裝置的平衡。
- (三) 「佑來了」在影片後面提到：能夠維持穩定的情況，最少最少外側繩子可以減少到剩下 2 條。我們就在想「不同形狀的裝置外側繩子最少也是 2 條嗎？裝置平衡時，外側繩子的數量有規律嗎？」

三、用學校所學的知識理解「互」字型反重力懸浮裝置

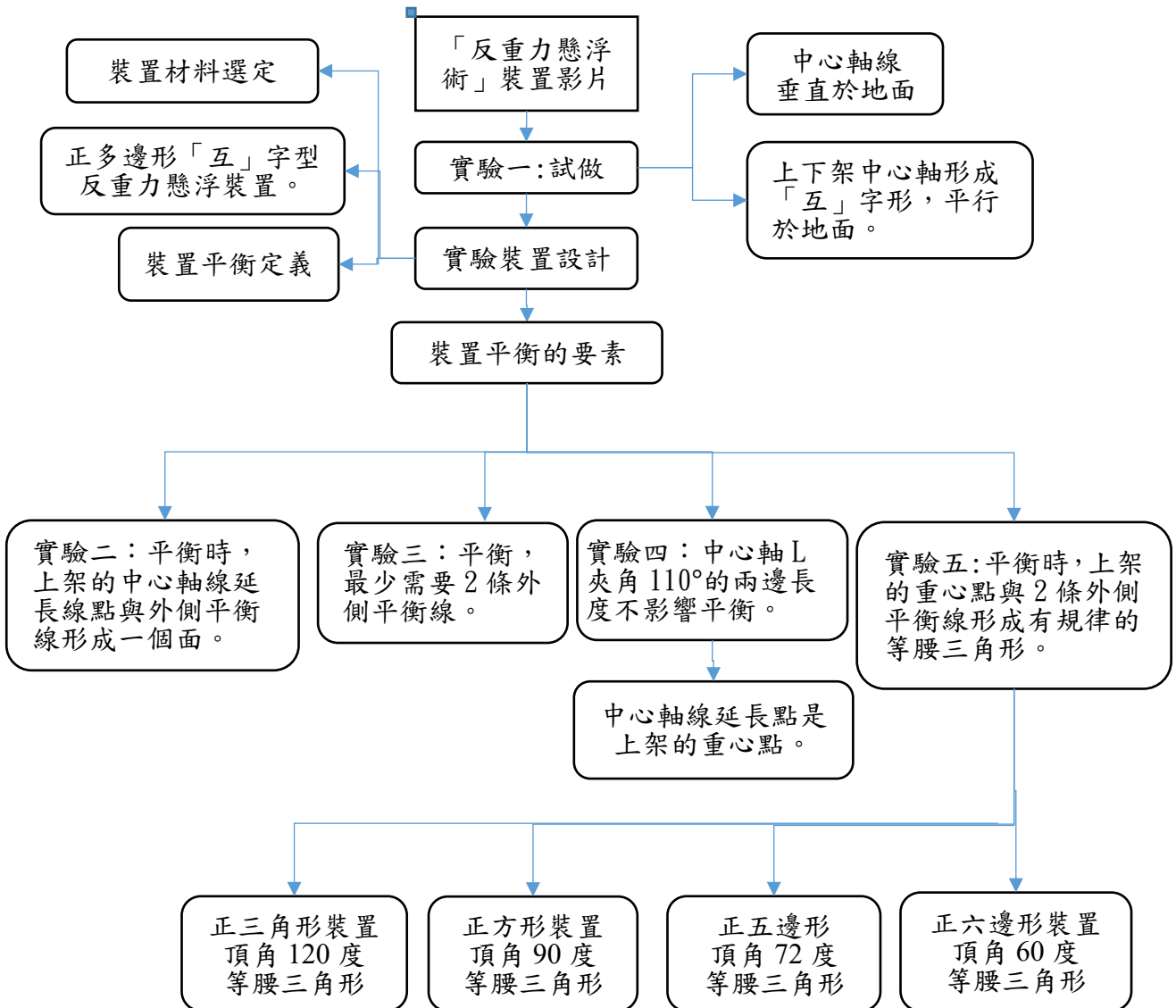
- (一) 在南一版三年級《生活中有趣的力》提到：對物體施力時，施力的大小和方向可能改變物體的形狀、物體運動的快慢或運動的方向。
- (二) 在南一版五年級《力與運動》提到
 - 1. 地球對物體的吸引力稱為重力，而重力就是使物體會向下掉落的主要原因。
 - 2. 物體受到重力與反作用力影響，物體才能靜置在桌面，也就是說物體達到力的平衡而靜止不動。
- (三) 在南一版六年級《巧妙的施力工具》提到：在認識槓桿單元，學習到力矩的基本概念。

四、嘗試做「互」字型反重力懸浮裝置

- (一) 我們在「佑來了」頻道看到點閱率超高的《【Fun 科學】反重力懸浮術(不靠超距力的誇張飄浮效果)》影片，覺得影片內容很神奇做法似乎又很簡單，因此嘗試利用 3 條外側平衡線做到三角形裝置靜止平衡。
- (二) 影片「佑來了」末尾提到，請觀眾試試看用 2 條外側平衡線達到三角型裝置平衡，激起了我們嘗試、研究探索的開始。

貳、研究目的與架構圖

- 一、找出正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡穩定的規律或方法。
 - 二、找出正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置達到平衡穩定的外側平衡線最少數量。
 - 三、找出影響正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置的因素。
- 四、研究架構圖



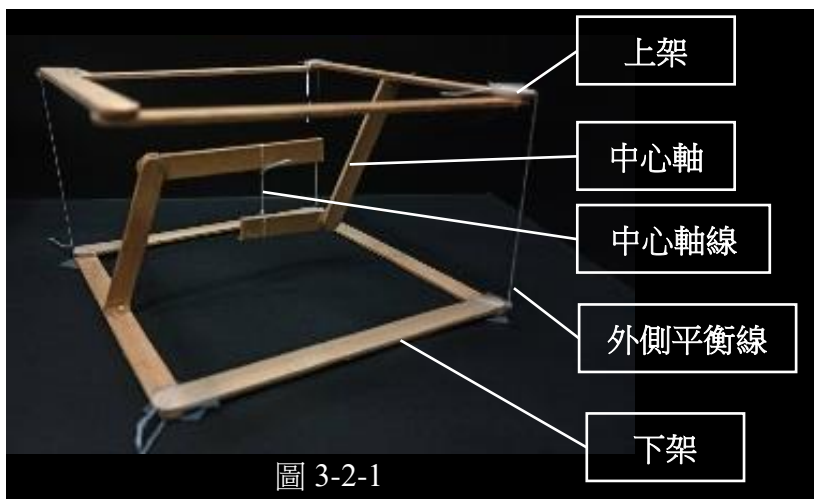
參、研究設備及器材

一、研究器材：冰棒棍(1cm*14cm)、細的縫衣線、細膠帶(寬 18mm)、熱熔膠



二、實驗裝置名詞定義：

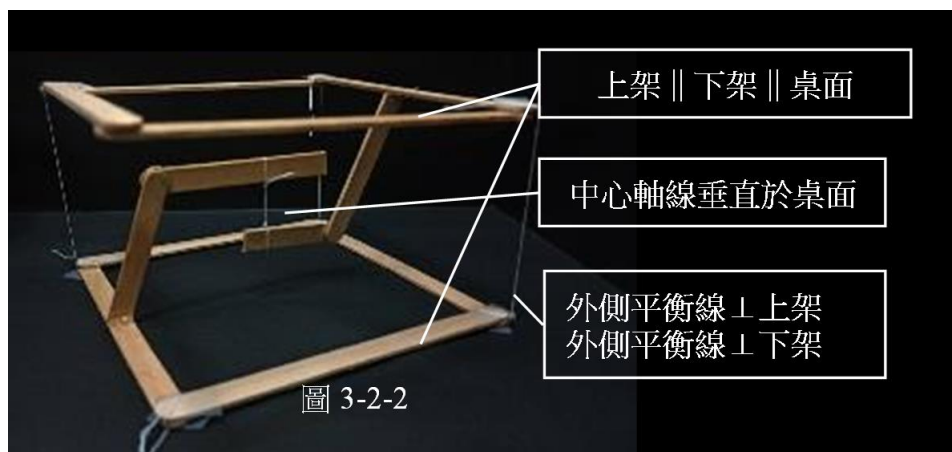
(一) 正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置各部件名稱依圖示，稱為中心軸線、中心軸、上架、下架、外側平衡線(圖 3-2-1)。



(二) 裝置達到平衡的定義：本實驗以正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置為主體，必須做到下面三條件，才稱為裝置達到平衡，亦稱本實驗裝置成功(圖 3-2-2)。

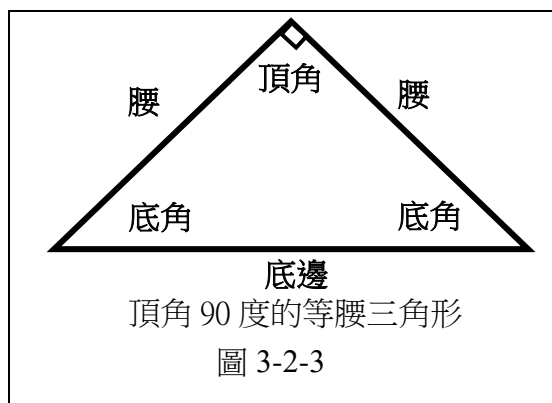
1.中心軸線垂直於桌面。

2. 上架平行於下架，且平行於桌面。

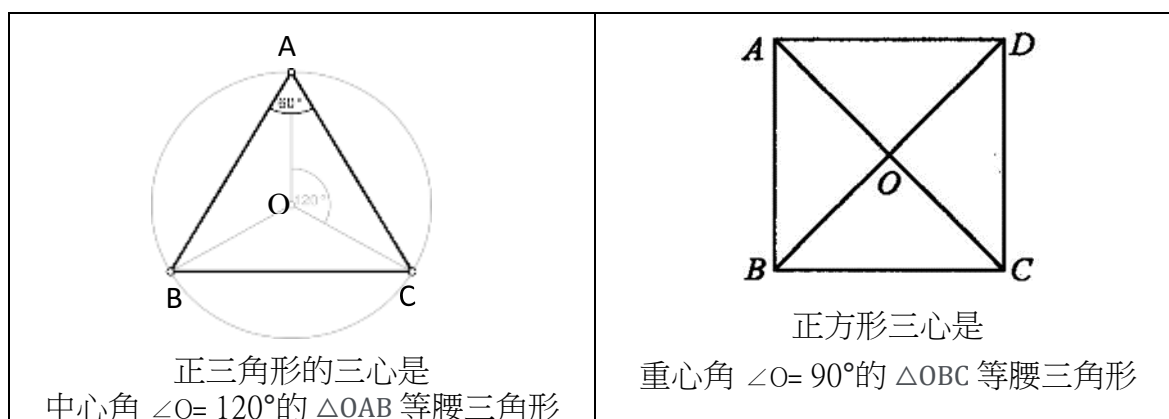


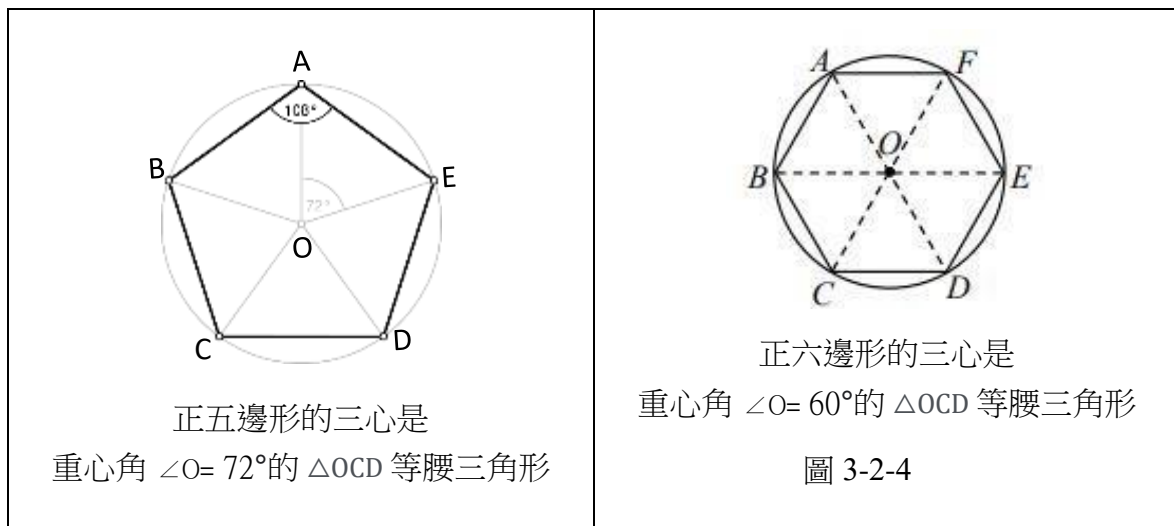
3. 外側平衡線與上架、下架互相垂直。

(三) 等腰三角形的三邊定義：等長的兩邊叫做腰，另一邊叫做底邊或底，與底邊相對的角叫做頂角，其餘的兩角都叫做底角(圖 3-2-3)。



(四) 正多邊形的外心、內心、重心在同一點(圖 3-2-4)。





三、實驗裝置規格

(一) 上架與下架

1. 正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置分為上架與下架，以冰棒棍和細縫衣線為材料、熱熔膠為黏著劑。
2. 正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置為實驗裝置，正方形「互」字型反重力懸浮裝置為主要探討方向，再延伸其他正多邊形，例如：正三角形、正五邊形、正六邊形等正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置。
3. 裝置的上架與下架的形狀一致，且上架與下架上下形狀重疊，例如:(圖 3-2-2)正方形裝置上架和下架都是正方形。

(二) 中心軸(圖 3-3-1)

1. 以冰棒棍製作中心軸，黏貼在正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置邊長的中間，即冰棒棍中間 7 公分的位置，以熱熔膠為黏著劑。
2. 中心軸呈 L 狀，中心軸 L 夾角為 110° ，中心軸與上架間的夾角為 70° 。
3. 中心軸的平邊平行於地面，且上下中心軸相互平行。

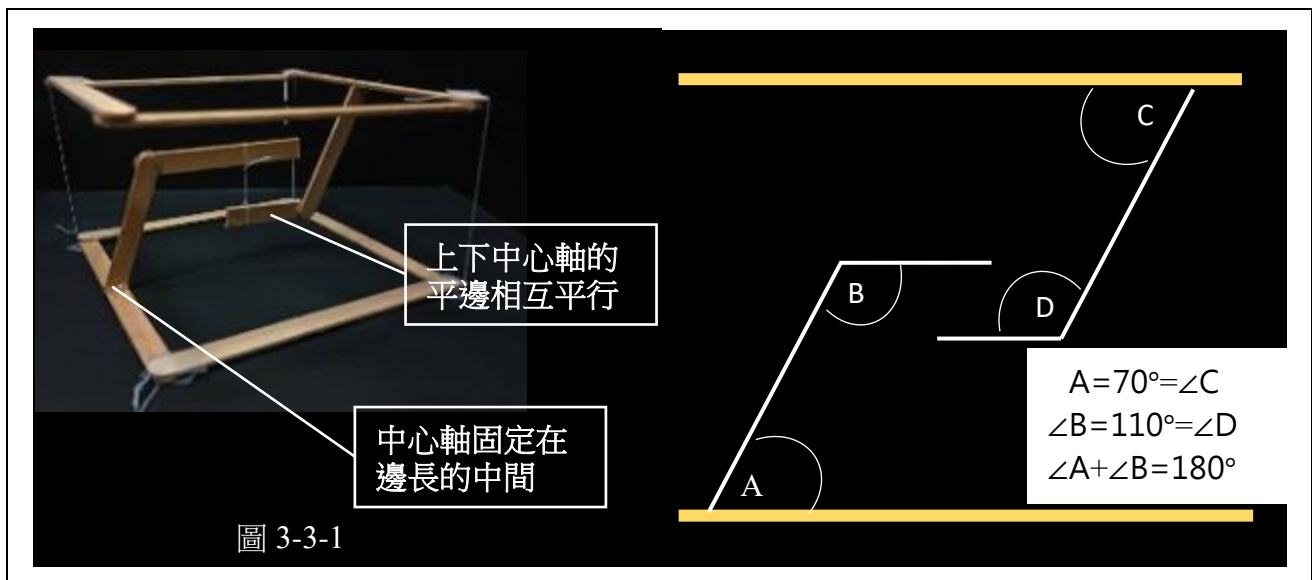


圖 3-3-1

(三) 外側平衡線用細的縫衣線，細膠帶為外側平衡線的黏著劑。

四、實驗過程集錦

<p>師生共同討論，將討論內容與想法繪製在黑板上，再拍照上傳 LINE 科展群組。</p>	<p>利用熱熔膠作為中心軸的黏著劑。</p>	<p>確定黏貼好的中心軸角度。</p>
<p>用細膠帶作為外側平衡線的黏著劑。</p>	<p>利用相同高度的物品(杯子)暫時支撐裝置，以利平衡裝置。</p>	<p>七手八腳的想要量正方形裝置上架三角形的角度。</p>



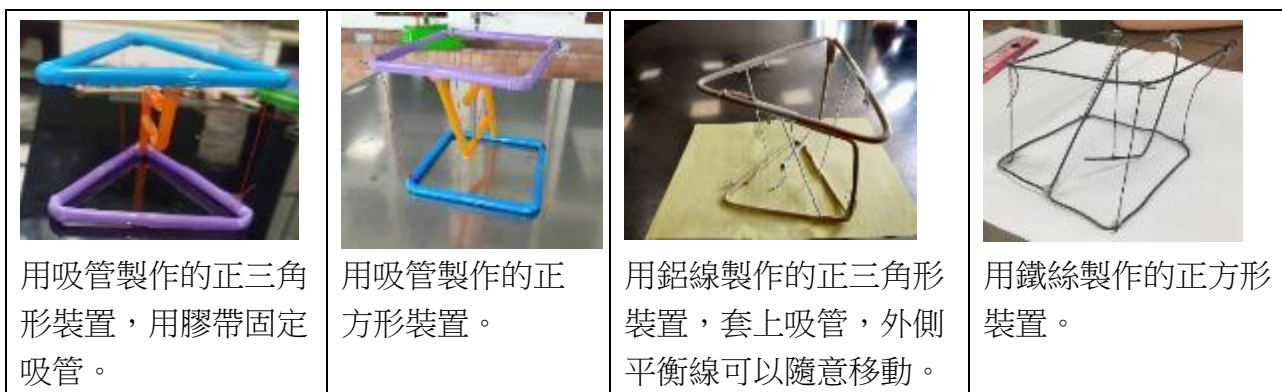
圖 3-4-1

肆、研究過程或方法

本研究以學生從網路影片去找尋有興趣的題材，提出疑問，透過學校所學的知識基礎及實際動手實驗，逐漸歸納其規則，因此本研究實驗過程以學生思路作為實驗走向，逐漸發展建立正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置的規則。

實驗一：初探-依照影片實際製作「反重力懸浮」裝置，選定實驗材料與實驗裝置規格。

說明：



(一) 學生依照影片實際製作「互」字型反重力懸浮裝置，取自生活材料當作「互」字型反重力懸浮裝置主體，例如：鐵絲、吸管、冰棒棍；以細的縫衣線作為外側平衡線；用熱熔膠、快乾、保麗龍膠為黏著劑。

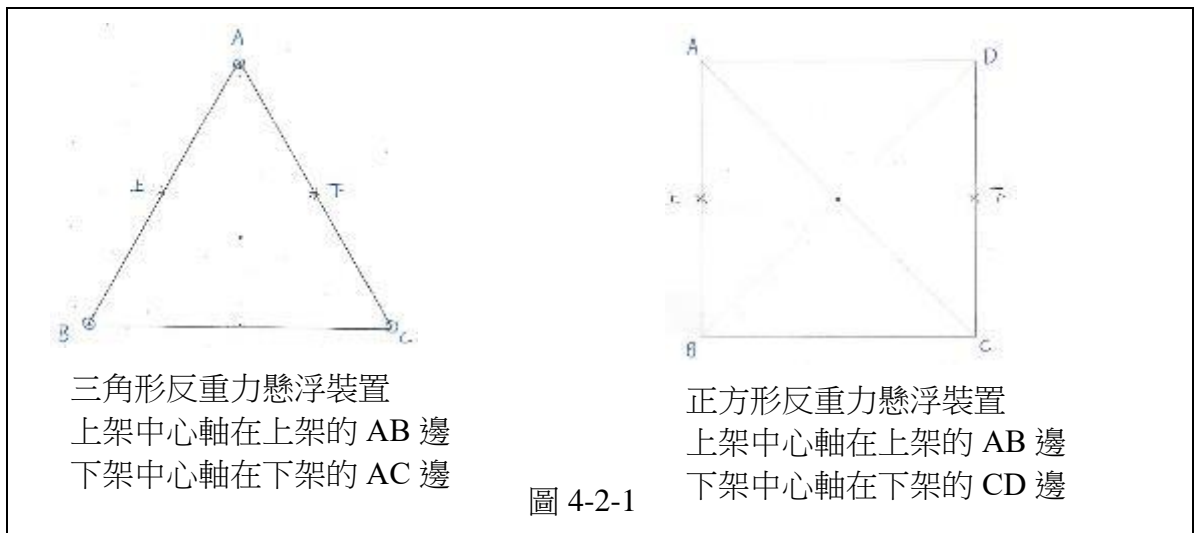
(二) 此為初次嘗試，各個三角形「互」字型反重力懸浮裝置和正方形「互」字型反重力懸浮裝置長度規格不一致，又礙於材料限制，三角形力求正三角形、四邊形力求正方形。

(三) 外側平衡線黏貼點在正多邊形的頂角。

實驗二：可以使用 1 條外側平衡線達到正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡嗎？正多邊形的「互」字型反重力懸浮裝置最少需要使用幾條外側平衡線，才可以達到平衡？

說明：

- (一) 從實驗一，可以得知三角形「互」字型反重力懸浮裝置可以用 2 條外側平衡線，達到平衡；正方形「互」字型反重力懸浮裝置可以用 3 條外側平衡線，達到平衡。
- (二) 我們想知道可以使用 1 條外側平衡線達到正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡嗎？正多邊形的「互」字型反重力懸浮裝置最少需要使用幾條外側平衡線，才可以達到平衡？
- (三) 實驗器材與規格：以冰棒棍為支架材料，以三角形和正方形為「互」字型反重力懸浮裝置形狀，中心軸為斜邊長 7 公分、平邊長 5 公分、夾角 110 度。
- (四) 三角形「互」字型反重力懸浮裝置與正方形「互」字型反重力懸浮裝置的中心軸放置位置、各點標位置（圖 4-2-1）。



實驗三：其他形狀的裝置是否也可以用 2 條外側平衡線達到裝置平衡？

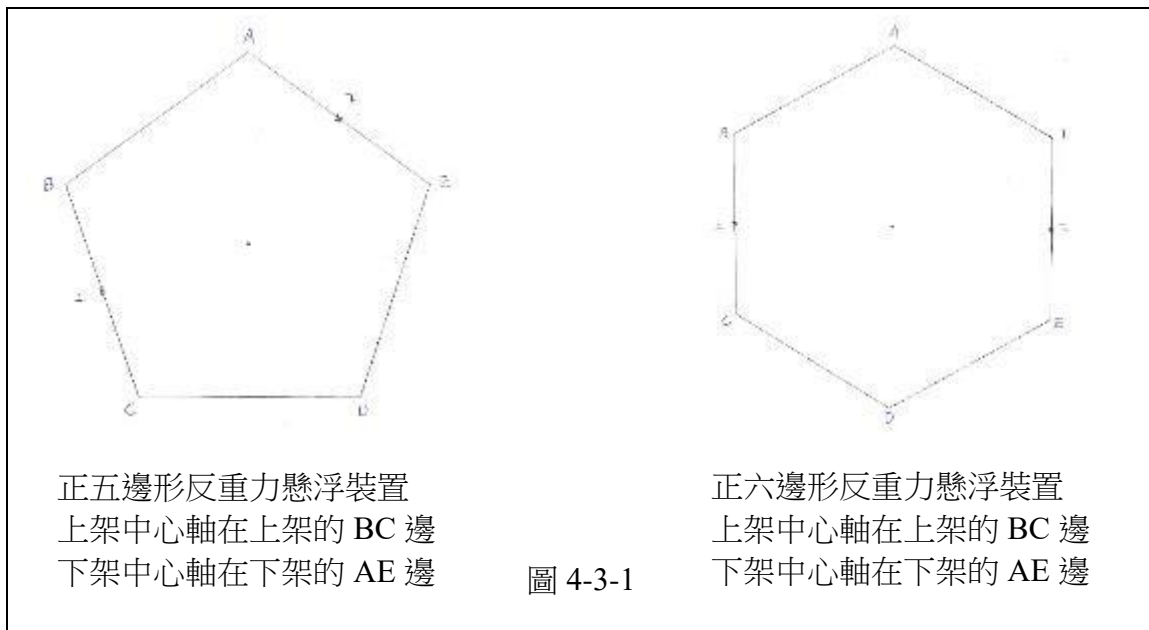
說明：

- (一) 從實驗二得知，三角形與正方形「互」字型反重力懸浮裝置最少使用 2 條外側平衡線可以達到裝置平衡。我們想知道：其他形狀的「互」字型反重力懸浮裝置是

否也是 2 條外側平線可以達到平衡？

(二) 實驗器材與規格：以冰棒棍為支架材料，以正多邊形(三角形、正方形、正五邊形、正六邊形)為「互」字型反重力懸浮裝置形狀，中心軸為斜邊長 7 公分、平邊長 5 公分、夾角 110 度。

(三) 三角形「互」字型反重力懸浮裝置與正方形「互」字型反重力懸浮裝置的中心軸放置位置、各點標位置(圖 4-2-1)。正五邊形「互」字型反重力懸浮裝置與正六邊形「互」字型反重力懸浮裝置的中心軸放置位置、各點標位置(圖 4-3-1)。



實驗四：中心軸 L 夾角 110°的兩邊長度是否會影響正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡？

說明：

(一) 已知中心軸上架和下架要平行於地面，中心軸的形狀 L 角度要一致，「互」字型反重力懸浮裝置達到平衡時，上架才會平行於桌面(圖 3-2-6)。

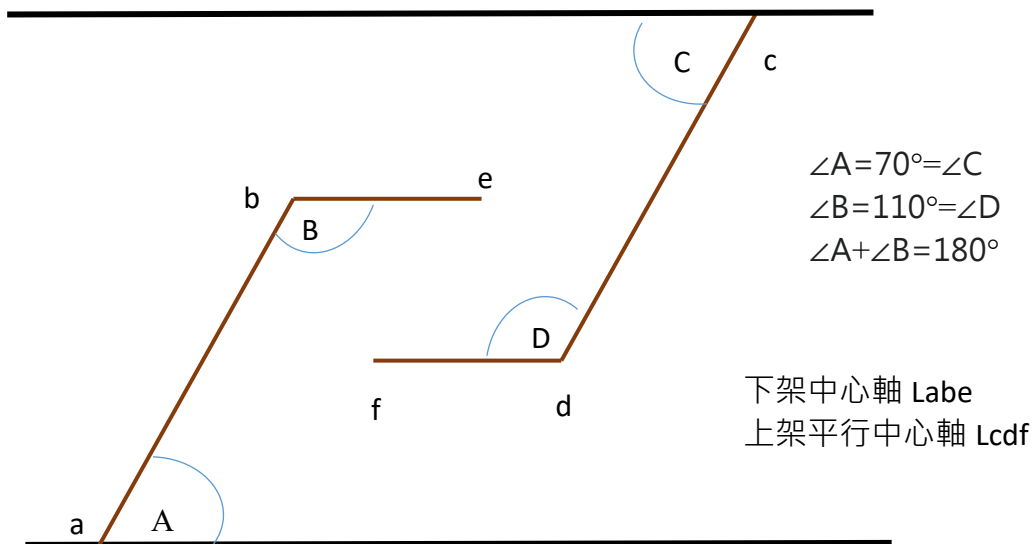


圖 3-2-6

- (二) 在實驗三得知，黏貼中心軸上架的同一邊，放置 2 條外側平衡線與中心軸延長點是無法使正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡；當正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置達到平衡時，中心軸線延長點在正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置上架的重心。
- (三) 在實驗一，實驗初探，每位同學做的中心軸長度不一，仍然可以使正三角形「互」字型反重力懸浮裝置平衡與正方形「互」字型反重力懸浮裝置平衡，我們想知道上架和下架的中心軸形狀角度相同時，中心軸 L 兩邊長度是否會影響「互」字型反重力懸浮裝置？
- (四) 利用實驗三的實驗裝置，改變正三角形「互」字型反重力懸浮裝置及正方形「互」字型反重力懸浮裝置的中心軸長度，進行實驗四。

實驗五：利用 2 條外側平衡線與中心軸線延長線點在正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置上架形成的三角形可以達到正多邊形裝置平衡，此三角形是否有固定規律？

說明：

- (一) 在實驗二得知，「互」字型反重力懸浮裝置要達到平衡，外側平衡線與中心軸線的延長在裝置的上架/下架必須形成一個面。這個面最小是一個三角形的面，即最少需要 2 條外側平衡線與中心軸線延長點形成一個面，「互」字型反重力懸浮裝置才

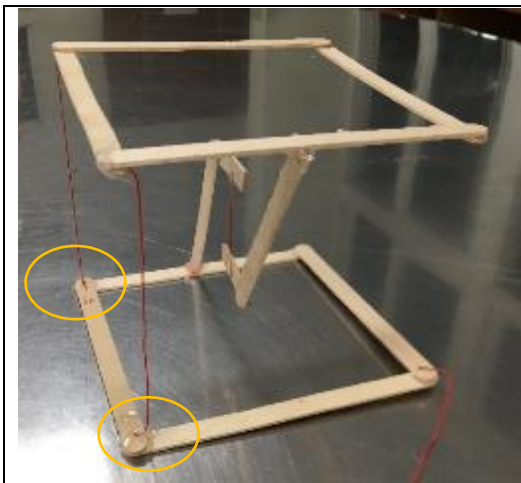
能平衡。

(二) 在實驗三得知，黏貼中心軸上架的邊，放置 2 條外側平衡線與中心軸延長點是無法使正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡，其他上架邊在正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置可以利用 2 條外側平衡線可以使正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置達到平衡。

(三) 在實驗三得知，中心軸線延長點在正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置上架正多邊形的重心。

(四) 實驗器材規格與方法：

1. 從實驗三得知，外側平衡線黏貼在冰棒棍不同點會影響正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡，因此控制變因更精確、更精準的規定黏貼位置：外側平衡線黏貼在冰棒棍的外側(圖 4-5-1)。



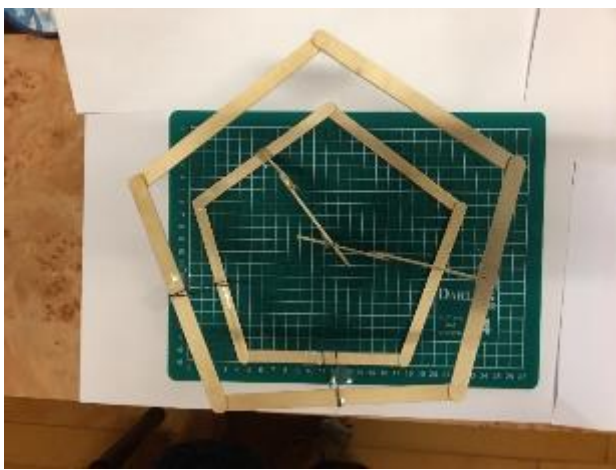
錯誤的外側平衡線黏貼在冰棒棍的點



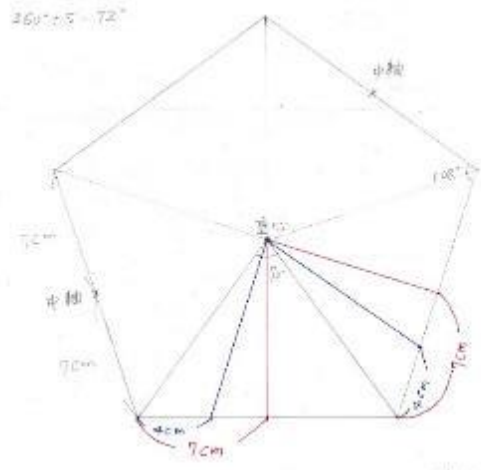
精確的控制變因：
外側平衡線黏貼在冰棒棍的外側

圖 4-5-1

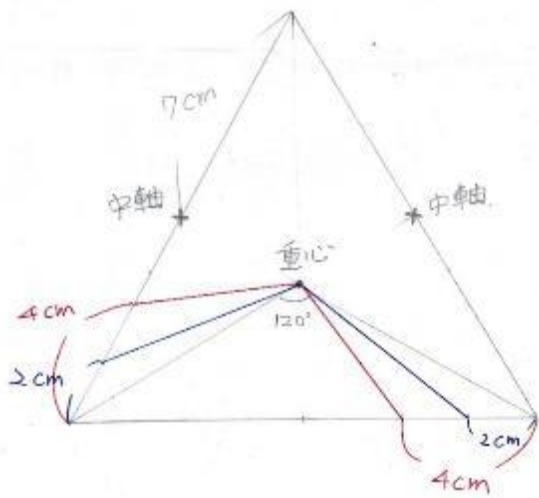
2. 利用切割版的方格可以容易找到正多邊形的重心點；繪製與冰棒棍相同的長寬圖比較容易找到重心點。



利用切割版的方格容易找到正多邊形的重心點



繪製與冰棒棍相同的長寬圖



繪製與冰棒棍相同的長寬圖 圖 4-5-2



將裝置放在圖上，用直尺找到中心點。

伍、研究結果

實驗一：初探-依照影片實際製作「反重力懸浮」裝置，選定實驗材料與實驗裝置規格。

表 5-1-1 不同實驗材料與不同形狀裝置的平衡關係

主體材料	鐵絲	鐵絲	吸管	吸管	冰棒棍
裝置形狀	正三角形	正方形	正三角形	正方形	正方形
達到平衡的外側平衡線數量	3 條	4 條	3 條	4 條	4 條
達到平衡的外側平衡線數量	2 條	3 條	2 條	3 條	3 條

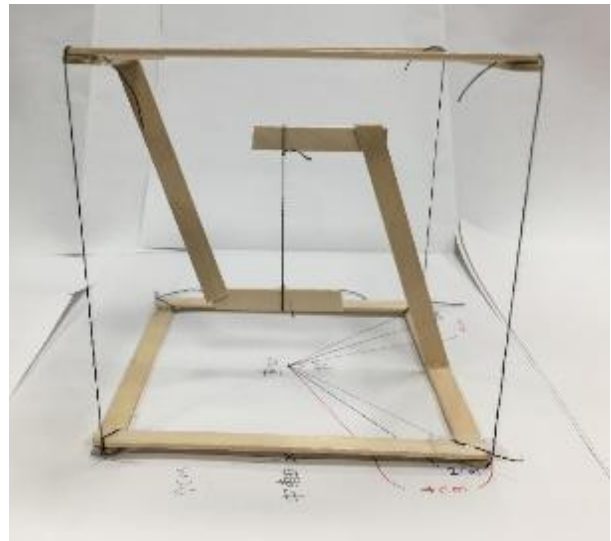
(一) 依照影片仿作，利用鐵絲和吸管為材料，做成正三角形「互」字型反重力懸浮裝置，可以利用 2、3 條外側平衡線達到平衡。冰棒棍的材料性質不利於切割製作三角形，故沒有試作。

(二) 依照影片仿作，利用鐵絲、吸管和冰棒棍為材料，做成正方形「互」字型反重力懸浮裝置，可以利用 3、4 條外側平衡線達到平衡。

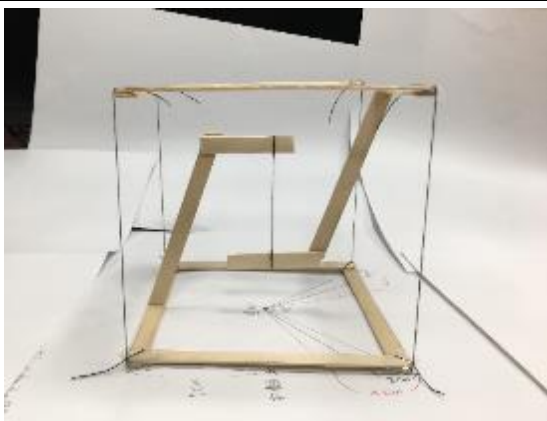
實驗二：可以使用 1 條外側平衡線達到正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡嗎？正多邊形的「互」字型反重力懸浮裝置最少需要使用幾條外側平衡線，才可以達到平衡？



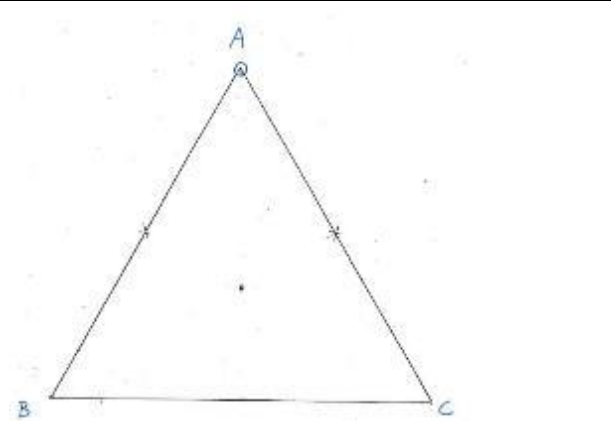
外側平衡 2 條達到正方形的「互」字型反重力懸浮裝置平衡



外側平衡 3 條達到正方形的「互」字型反重力懸浮裝置平衡



外側平衡 4 條達到正方形的「互」字型反重力懸浮裝置平衡



外側平衡 1 條達到正方形的「互」字型反重力懸浮裝置無法平衡

表 5-2-1 外側平衡線數量與三角形「互」字型反重力懸浮裝置的平衡關係

外側平衡線數量	3 條	2 條	2 條	2 條	1 條	1 條	1 條
外側平衡線的位置	點 ABC	點 AB	點 BC	點 AC	點 A	點 B	點 C
裝置是否可以平衡	可平衡	可平衡	可平衡	可平衡	否	否	否

表 5-2-2 外側平衡線數量與正方形「互」字型反重力懸浮裝置的平衡關係

外側平衡線數量	4 條	3 條	3 條	3 條
外側平衡線的位置	點 ABCD	點 ABC	點 ABD	點 BCD
裝置是否可以平衡	可平衡	可平衡	可平衡	可平衡

表 5-2-3 外側平衡線數量與正方形「互」字型反重力懸浮裝置的平衡關係

外側平衡線的數量	2 條	2 條	2 條	2 條	2 條	2 條	1 條	1 條	1 條	1 條
外側平衡線的位置	點 AB	點 BC	點 CD	點 AD	點 AC	點 BD	點 A	點 B	點 C	點 D
裝置是否可以平衡	可平衡	可平衡	可平衡	可平衡	否	否	否	否	否	否

- (一) 在三角形「互」字型反重力懸浮裝置，外側平衡線位置在點 ABC、點 AB、點 AC、點 BC，可以達到三角形裝置平衡。
- (二) 在三角形「互」字型反重力懸浮裝置，外側平衡線位置在點 A、點 B、點 C，不可以達到三角形裝置平衡
- (三) 在正方形「互」字型反重力懸浮裝置，外側平衡線位置在點 ABCD、點 ABC、點 ABD、點 BCD、點 AB、點 BC、點 CD、點 AD，可以達到正方形裝置平衡。
- (四) 在正方形「互」字型反重力懸浮裝置，外側平衡線位置在點 AC、點 BD、點 A、點 B、點 C、點 D，不可以達到正方形裝置平衡。

實驗三：其他形狀的裝置是否也可以用 2 條外側平衡線達到裝置平衡？

表 5-3-1 外側平衡線 2 條位置與正三角形「互」字型反重力懸浮裝置的平衡關係

2 條外側平衡線位置	點 AB	點 BC	點 AC
裝置是否可以平衡	可平衡	可平衡	可平衡

表 5-3-2 外側平衡線 2 條位置與正方形「互」字型反重力懸浮裝置的平衡關係

2 條外側平衡線位置	點 AB	點 BC	點 CD	點 AD
裝置是否可以平衡	否	可平衡	可平衡	可平衡

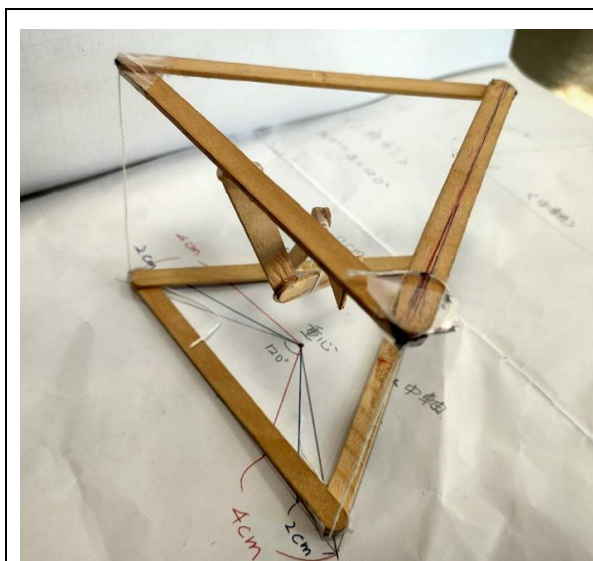
表 5-3-3 外側平衡線 2 條位置與正五邊形「互」字型反重力懸浮裝置的平衡關係

2 條外側平衡線位置	點 AB	點 BC	點 CD	點 DE	點 AE
裝置是否可以平衡	可平衡	否	可平衡	可平衡	可平衡

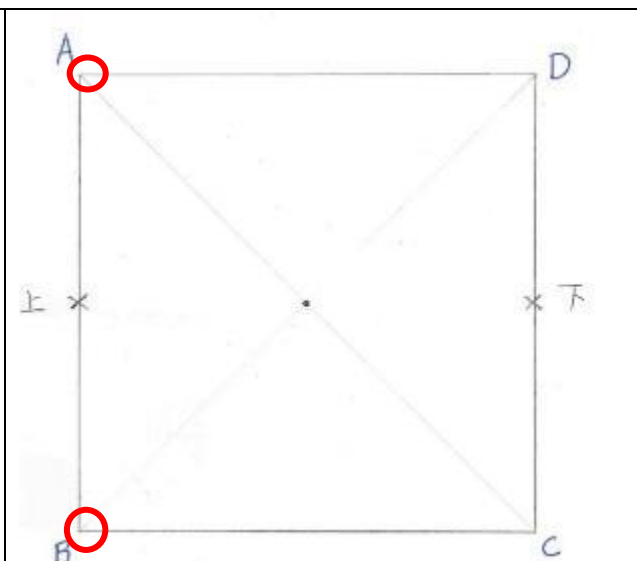
表 5-3-4 外側平衡線 2 條位置與正六邊形「互」字型反重力懸浮裝置的平衡關係

2 條外側平衡線位置	點 AB	點 BC	點 CD	點 DE	點 EF	點 AF
裝置是否可以平衡	可平衡	否	可平衡	可平衡	可平衡	可平衡

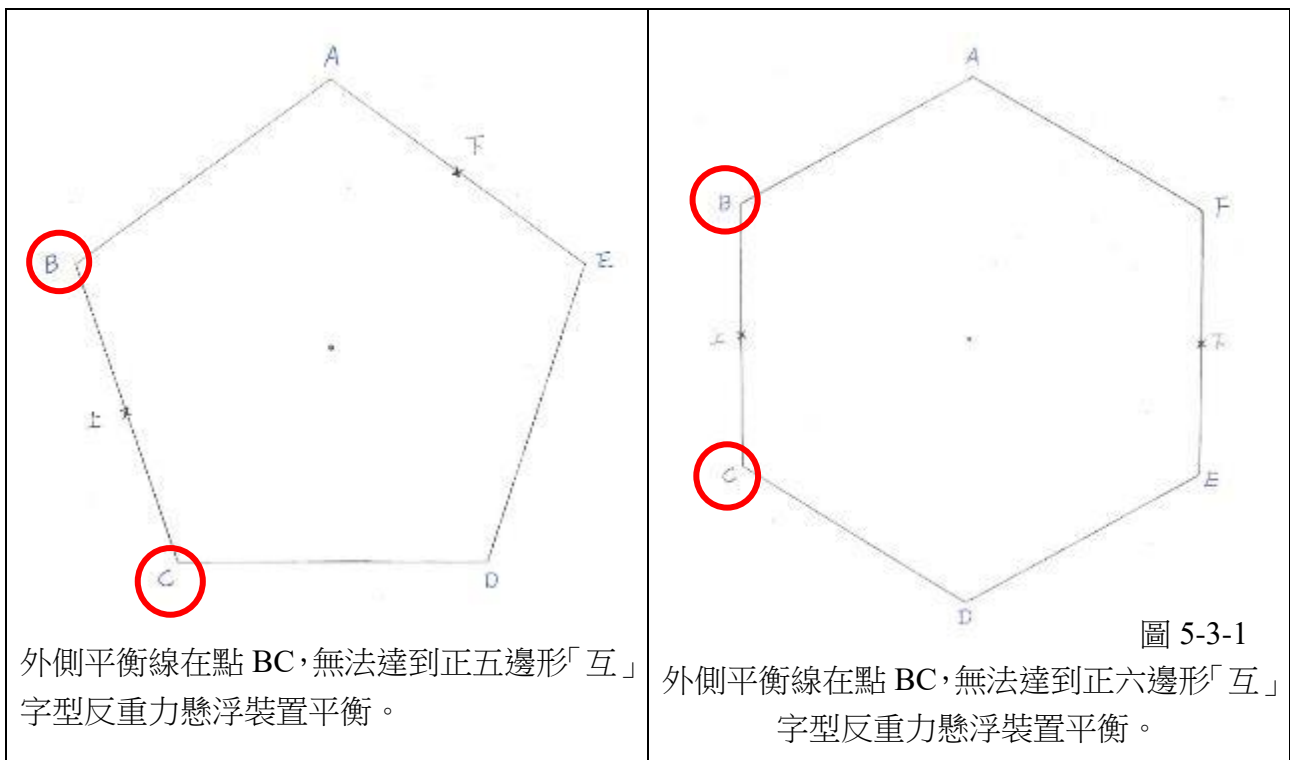
(一) 在正三角形「互」字型反重力懸浮裝置，外側平衡線在點 AC、點 AB、點 BC，可以達到正三角形「互」字型反重力懸浮裝置平衡。



外側平衡線在點 BC，可以達到正三角形「互」字型反重力懸浮裝置平衡。



外側平衡線在點 AB，無法達到正方形「互」字型反重力懸浮裝置平衡。



- (二) 在正方形「互」字型反重力懸浮裝置，外側平衡線在點 BC、點 CD、點 AD，可以達到正方形「互」字型反重力懸浮裝置平衡；外側平衡線在點 AB，無法達到正方形「互」字型反重力懸浮裝置平衡。
- (三) 在正五邊形「互」字型反重力懸浮裝置，外側平衡線在點 AB、點 CD、點 DE、點 AE，可以達到正五邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡；外側平衡線在點 BC，無法達到正五邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡。
- (四) 在正六邊形「互」字型反重力懸浮裝置，外側平衡線在點 AB、點 CD、點 DE、點 EF、點 AF，可以達到正六邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡；外側平衡線在點 BC，無法達到正六邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡。

實驗四：中心軸 L 夾角 110° 的兩邊長度是否會影響正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡？

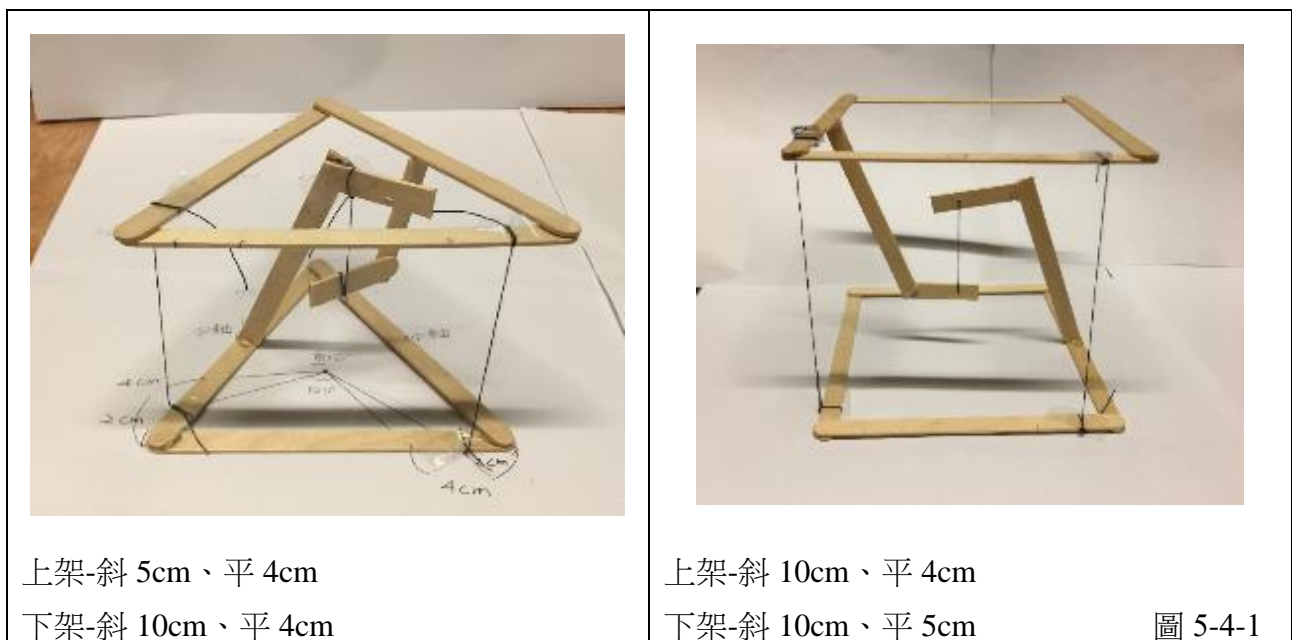
表 5-4-1 中心軸 L 夾角 110° 的兩邊長度不同時，中心軸線延長點是否在正三角形「互」字型反重力懸浮裝置上架的重心點？

中心軸	中心軸線延長點是否在正三角形「互」字型反重力懸浮裝置上架的重心點
上架-斜 5cm、平 4cm/下架-斜 10cm、平 4cm	是
上架-斜 7cm、平 4cm/下架-斜 7cm、平 4cm	是

表 5-4-2 中心軸 L 夾角 110°的兩邊長度不同時，中心軸線延長點是否在正方形「互」字型反重力懸浮裝置上架的重心點？

中心軸	中心軸線延長點是否在正方形「互」字型反重力懸浮裝置上架的重心點
上架-斜 10cm、平 4cm/下架-斜 10cm、平 5cm	是
上架-斜 7cm、平 5cm/下架-斜 7cm、平 5cm	是

- (一) 正三角形「互」字型反重力懸浮裝置的中心軸一組為上架斜邊 5cm 和平邊 4cm、下架斜邊 10cm 和平邊 4cm，另一組為上架斜邊 7cm 和平邊 4cm、下架斜邊 7cm 和平邊 4cm，當正三角形「互」字型反重力懸浮裝置達到平衡時，中心軸線延長點都在正三角形「互」字型反重力懸浮裝置上架的重心點。
- (二) 當正方形「互」字型反重力懸浮裝置的中心軸一組為上架斜邊 10cm 和平邊 4cm、下架斜邊 10cm 和平邊 5cm，另一組為上架斜邊 7cm 和平邊 5cm、下架斜邊 7cm 和平邊 5cm，當正方形「互」字型反重力懸浮裝置達到平衡時，中心軸線延長點都在正方形「互」字型反重力懸浮裝置上架的重心點。



實驗五：利用 2 條外側平衡線與中心軸線延長線點在正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置上架形成的三角形可以達到正多邊形裝置平衡，此三角形是否有固定規律？

表 5-5-1 外側平衡線 2 條與中心軸線延長線點在正三角形「互」字型反重力懸浮裝置上架形成三角形的角度

外側平衡線的位置	ΔOBC	ΔOB_1C_1	ΔOB_2C_2
達平衡的三角形形狀	頂角 120 度的等腰三角形	頂角 120 度的等腰三角形	頂角 120 度的等腰三角形

表 5-5-2 外側平衡線 2 條與中心軸線延長線點在正方形「互」字型反重力懸浮裝置上架形成三角形的角度

外側平衡線的位置	ΔOBC	ΔOB_1C_1	ΔOB_2C_2
達平衡的三角形形狀	頂角 90 度的等腰三角形	頂角 90 度的等腰三角形	頂角 90 度的等腰三角形

表 5-5-3 外側平衡線 2 條與中心軸線延長線點在正五邊形「互」字型反重力懸浮裝置上架形成三角形的角度

外側平衡線的位置	ΔOCD	ΔOC_1D_1	ΔOC_2D_2
達平衡的三角形形狀	頂角 72 度的等腰三角形	頂角 72 度的等腰三角形	頂角 72 度的等腰三角形

表 5-5-4 外側平衡線 2 條與中心軸線延長線點在正六邊形「互」字型反重力懸浮裝置上架形成三角形的角度

外側平衡線的位置	ΔODE	ΔOD_1E_1	ΔOD_2E_2
達平衡的三角形形狀	頂角 60 度的等腰三角形	頂角 60 度的等腰三角形	頂角 60 度的等腰三角形

- (一) 外側平衡線 2 條與中心軸線延長線點在正三角形「互」字型反重力懸浮裝置上架形成的三角形為頂角 120 度的等腰三角形。
- (二) 外側平衡線 2 條與中心軸線延長線點在正方形「互」字型反重力懸浮裝置上架形成的三角形為頂角 90 度的等腰三角形。
- (三) 外側平衡線 2 條與中心軸線延長線點在正五邊形「互」字型反重力懸浮裝置上架形成的三角形為頂角 72 度的等腰三角形。
- (四) 外側平衡線 2 條與中心軸線延長線點在正六邊形「互」字型反重力懸浮裝置上架

形成的三角形為頂角 60 度的等腰三角形。

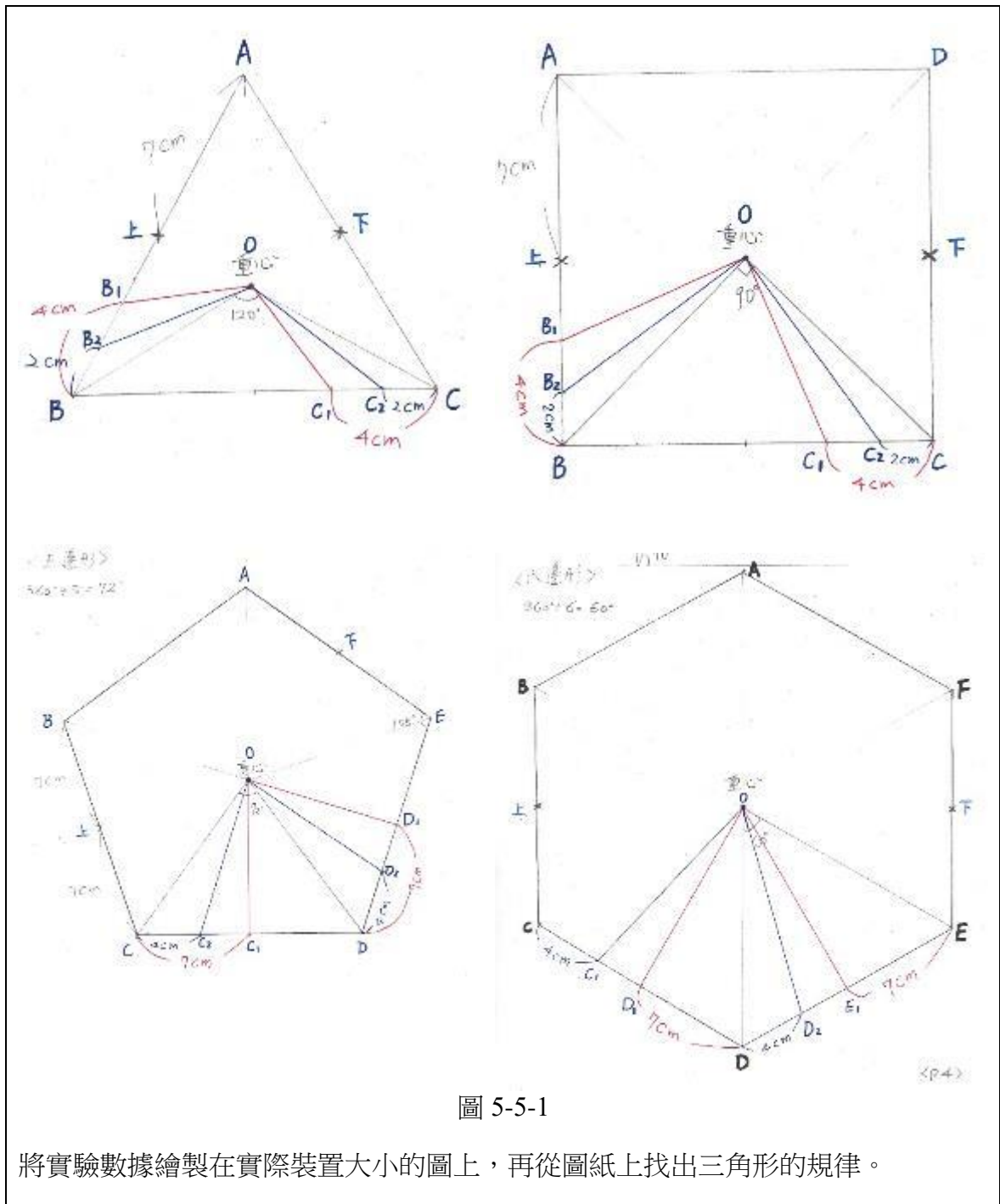


圖 5-5-1

將實驗數據繪製在實際裝置大小的圖上，再從圖紙上找出三角形的規律。

陸、討論

實驗一：初探-依照影片實際製作「反重力懸浮」裝置，選定實驗材料與實驗裝置規格。

(一) 「互」字型反重力懸浮裝置的主體架構使用日常生活容易取得的材料，例如：鐵絲、吸管和冰棒棍。此三種材料的裝置皆可以成功達到裝置平衡，但各材料裝置達到平衡，所需的條件和時間大不相同，故本研究實驗要選定在綜合條件上容易達到平衡的材料。

(二) 以冰棒棍為實驗主要材料：

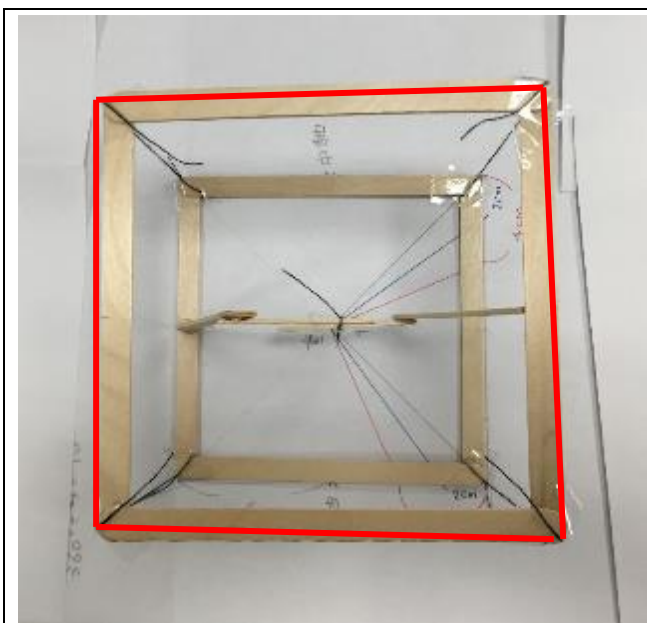
- 1.利用鐵絲、吸管和冰棒棍為材料，製作過程鐵絲彎曲後，不易拉直，鐵絲材質的裝置不適合做為控制變因。
- 2.吸管材質容易彎折，但因材質輕，容易不慎碰觸，裝置就會失敗。
- 3.冰棒棍取得容易、材料便宜，雖不易裁切，但相較之下，比鐵絲與吸管為材質佳。故後續實驗以冰棒棍作為後續裝置主要材料。

(三) 實驗裝置的規格確認

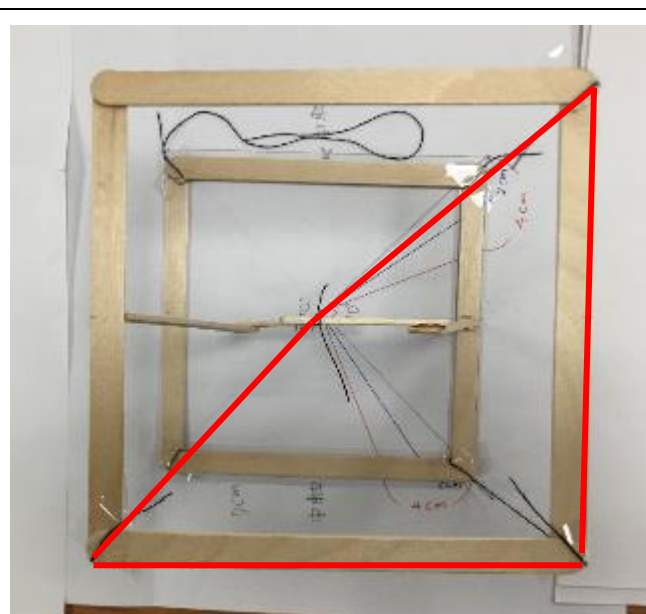
- 1.為了黏著裁切方便，以購得的實際冰棒棍長度(寬 1cm、長 14cm)為各種形狀的裝置邊長。
- 2.為了冰棒棍組合方便，後續實驗裝置以正方形為探討方向，再延伸其他正多邊形，例如：正三角形、正五邊形、正六邊形。
- 3.設定外側平衡線的粗細影響實驗裝置的平衡因素，以寬度細小的縫衣線為中心軸線及外側平衡線。

(四) 以鐵絲、吸管和冰棒棍製作正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置，使用外側平衡線的數量為正多邊形邊長數減 1，例如:正三角形可以用 2 條外側平衡線、正方形可以用 3 條外側平衡線，可以達到平衡。我們思考:：可以使用 1 條外側平衡線達到「互」字型反重力懸浮裝置平衡嗎？最少幾條外側平衡線就可以讓「互」字型反重力懸浮裝置平衡？

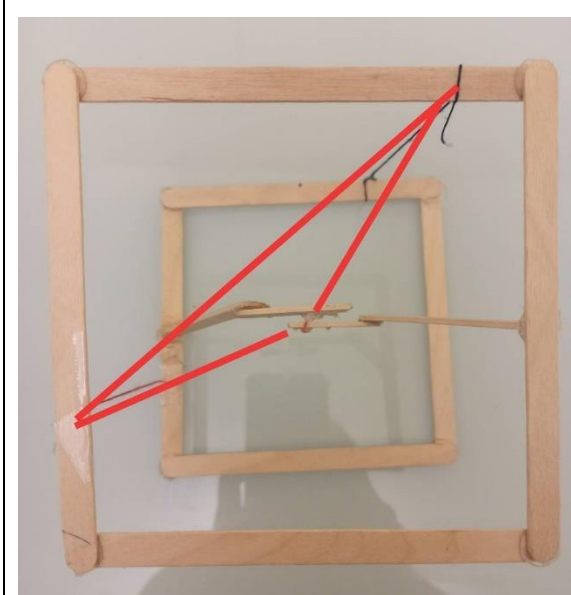
實驗二：可以使用 1 條外側平衡線達到正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡嗎？ 正多邊形的「互」字型反重力懸浮裝置最少需要使用幾條外側平衡線，才可以達到平衡？



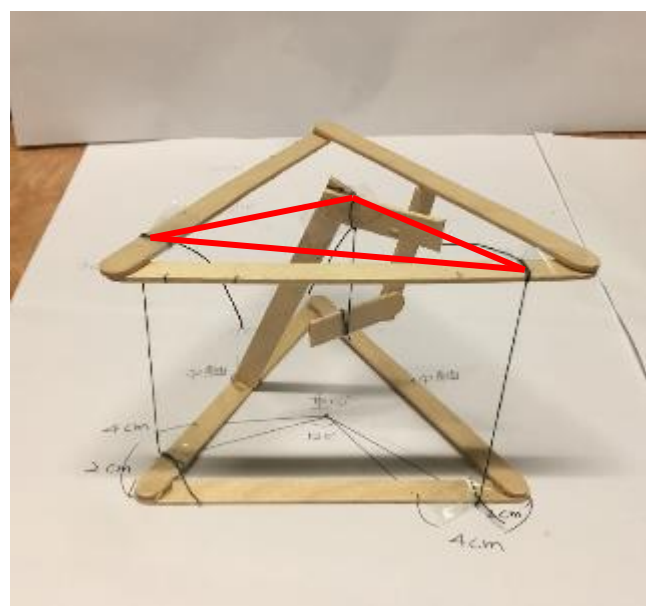
當外側平衡線與中心軸線的延長在裝置的上架形成一個面時，正方形「互」字型反重力懸浮裝置會平衡。



當外側平衡線與中心軸線的延長在裝置的上架形成一個面時，正方形「互」字型反重力懸浮裝置會平衡。



當外側平衡線與中心軸線的延長在裝置的上架形成一個面時，正方形「互」字型反重力懸浮裝置會平衡。



當外側平衡線與中心軸線的延長在裝置的上架形成一個面時，正三角形「互」字型反重力懸浮裝置會平衡。

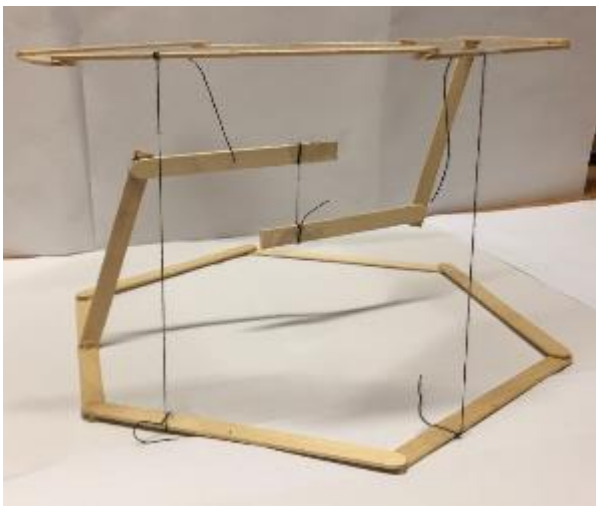
- (一) 依據實驗二結果發現，正三角形「互」字型反重力懸浮裝置及正方形「互」字型反重力懸浮裝置最少需要 2 條外側平衡線，才可以達到平衡。
- (二) 又，外側平衡線在正方形「互」字型反重力懸浮裝置的點 AC、點 BC，正方形「互」字型反重力懸浮裝置是不可以達到平衡的，即 2 條外側平衡線與中心軸線延長點

在上架/下架呈現一條直線，「互」字型反重力懸浮裝置是不可以平衡的。

(三) 根據實驗結果歸納：「互」字型反重力懸浮裝置要達到平衡，外側平衡線與中心軸線的延長在裝置的上架必須形成一個面。這個面最小是一個三角形的面，即最少需要 2 條外側平衡線與中心軸線延長點形成一個面，「互」字型反重力懸浮裝置才能平衡。

(四) 實驗發現：

1. 上架中心軸與下架中心軸必須兩兩平行於桌面，上架才會平行於桌面和下架，達到本實驗「互」字型反重力懸浮裝置平衡定義(圖 4-2-4)。
2. 若「互」字型反重力懸浮裝置呈現靜止平衡狀態，而上架不平行於下架，則不符合本實驗「互」字型反重力懸浮裝置平衡定義(圖 4-2-5)。



本實驗平衡定義：上架中心軸平行於下架中心軸，下架平行於桌面。

圖 4-2-4



上架不平行於下架，不符合本實驗平衡定義。

圖 4-2-5

3. 只要「互」字型反重力懸浮裝置呈現靜止平衡狀態，中心軸線一定會垂直於桌面(圖 4-2-5、圖 4-2-6)。



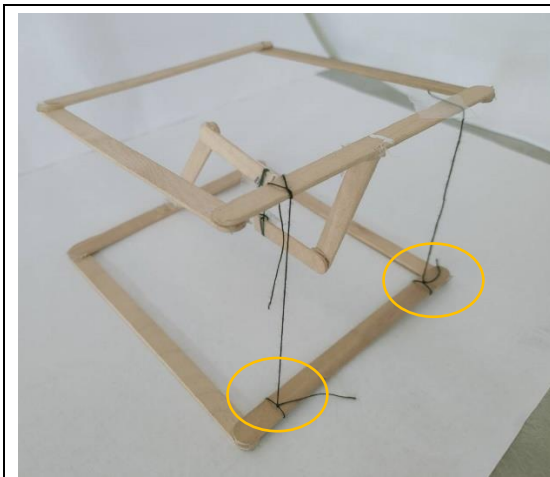
即使上架中心軸平邊與下架中心軸平邊兩邊沒有平形，中心軸線必垂直於桌面。 圖 4-2-6

(五) 我們思考

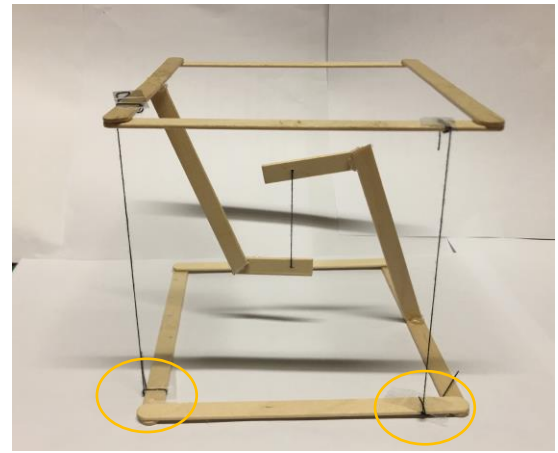
- 1.其他形狀的「互」字型反重力懸浮裝置是否也是 2 條外側平線可以達到平衡？
- 2.三角形和正方形「互」字型反重力懸浮裝置 2 條外側平線與中心軸線延長點形成的三角形是否有規律？

實驗三：其他形狀的裝置是否也可以用 2 條外側平衡線達到裝置平衡？

- (一) 從實驗結果得知，在正方形「互」字型反重力懸浮裝置，上架黏貼中心軸的邊長 AB；在正五邊形「互」字型反重力懸浮裝置，上架黏貼中心軸的邊長 BC；在正六邊形「互」字型反重力懸浮裝置，上架黏貼中心軸的邊長 BC，放置 2 條外側平衡線是無法平衡。
- (二) 綜言之，除了正三角形「互」字型反重力懸浮裝置，其他正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置，上架黏貼中心軸的邊放置 2 條外側平衡線與中心軸延長的點是無法使正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡，其他上架邊在正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置可以利用 2 條外側平線與中心軸延長的點形成的三角形可以使正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置達到平衡。
- (三) 而實驗三結果之(二) 2 條外側平衡線在正方形邊長 AB，正方形「互」字型反重力懸浮裝置不可以平衡，與實驗二結果之(三) 2 條外側平衡線在正方形邊長 AB，正方形「互」字型反重力懸浮裝置可以平衡是有衝突。



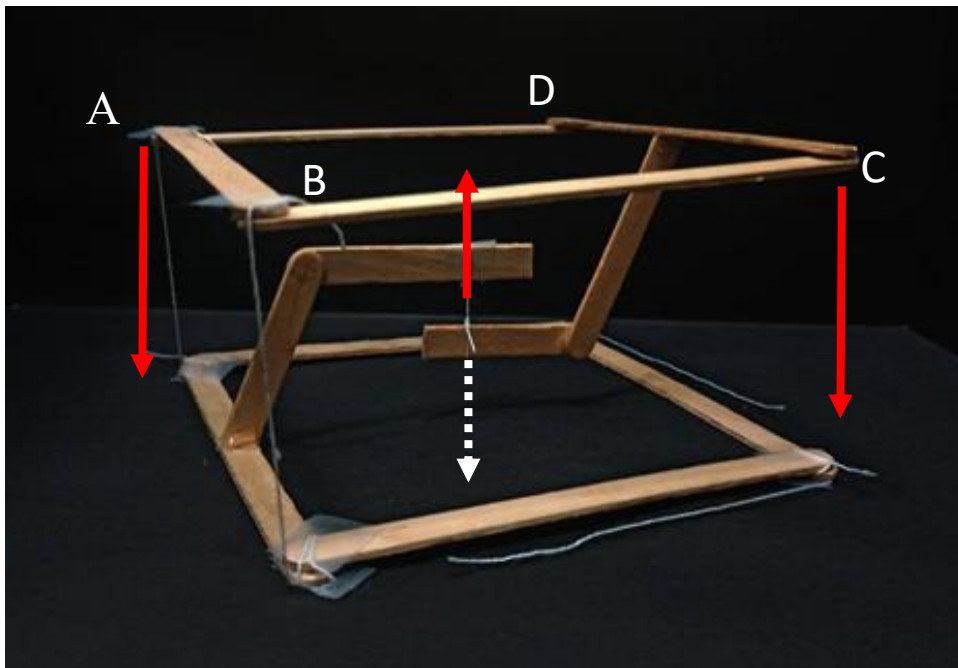
實驗二(三)2 初探：2 條外側平衡線未固定在冰棒棍的同一側。



實驗三(三)：2 條外側平衡線固定在冰棒棍的同一側。

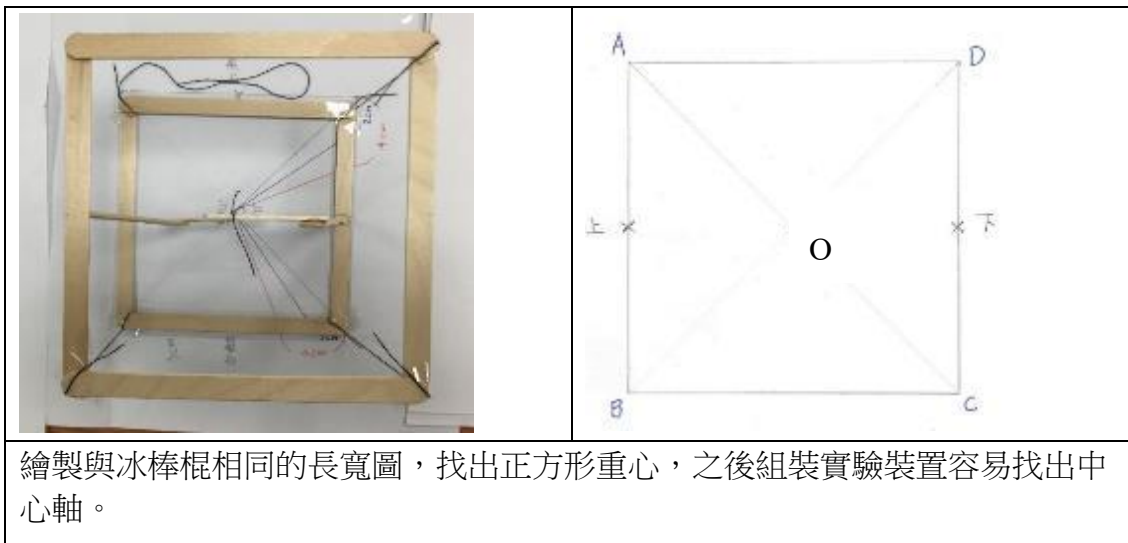
1. 探究其原因，實驗二結果之(三)2 條外側平衡線黏貼的位置並未固定在冰棒棍的同一側。
2. 實驗三嚴格規定外側平衡線黏貼位置在冰棒棍外側，則 2 條外側平衡線在正方形邊長 AB ，是無法讓裝置平衡。

(四) 實驗發現，當正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置達到平衡時，正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置的中心軸線延長點一定在正邊形上架的重心點。

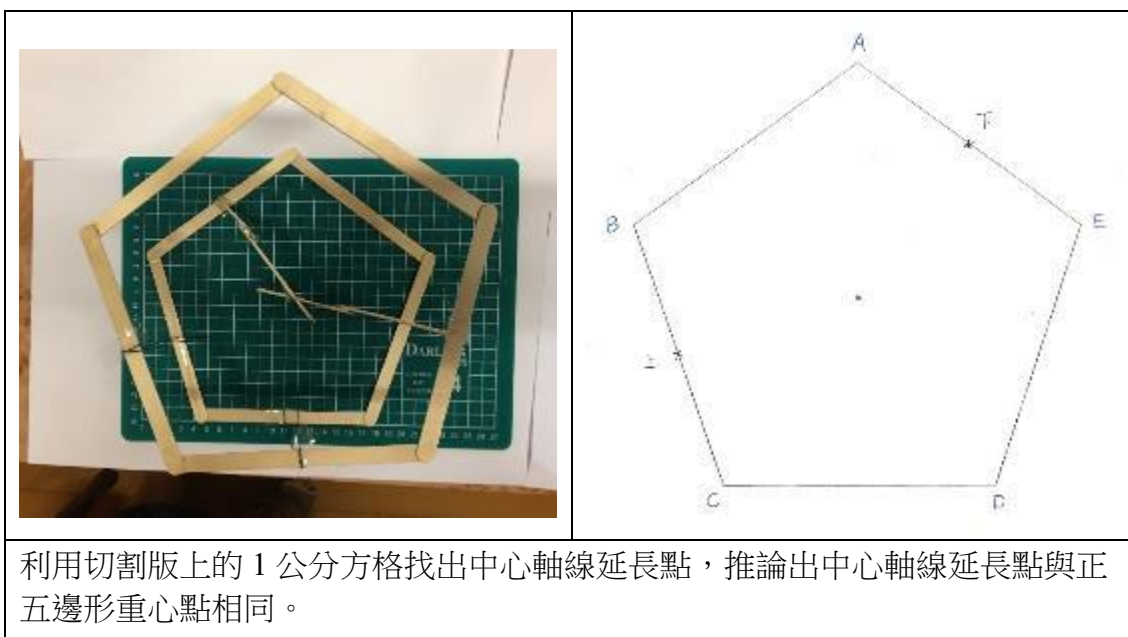


1. 當正三角形「互」字型反重力懸浮裝置達到平衡時，正三角形「互」字型反重力懸浮裝置的中心軸線延長點一定在正三角形上架的重心點。
2. 當正方形「互」字型反重力懸浮裝置達到平衡時，正方形「互」字型反重力懸浮

裝置的中心軸線延長點一定在正方形上架的重心點。



3.當正五邊形「互」字型反重力懸浮裝置達到平衡時，正五邊形「互」字型反重力懸浮裝置的中心軸線延長點一定在正五邊形上架的重心點。



4.當正六邊形「互」字型反重力懸浮裝置達到平衡時，正六邊形「互」字型反重力懸浮裝置的中心軸線延長點一定在正六邊形上架的重心點。

(五) 實驗發現裝置的中心軸裝設位置會影響裝置的平衡。

1.除了正三角形反重力平衡裝置，當 2 側平衡線的位置與裝置上架中心軸同側，2 條外側平衡線的拉力、與裝置上架的中心軸本身具有重量的重力，皆在同一側，裝置上架失去制衡的力，裝置無法達到平衡。

2.裝置下架的中心軸本身具有重量，但裝置下架是平放在桌面，沒有傾倒的狀態。

況，裝置下架本身是達到平衡的狀態，因此當 2 側平衡線的位置與裝置下架中心軸同側，2 條外側平衡線的拉力是與中心軸線相制衡，而達到裝置的平衡。

實驗四：中心軸 L 夾角 110° 的兩邊長度是否會影響正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡？

- (一) 從實驗結果得知，正三角形「互」字型反重力懸浮裝置的中心軸 L 夾角 110° 的兩邊長度不同時，不會影響正三角形「互」字型反重力懸浮裝置的平衡，中心軸線延長點都在正三角形「互」字型反重力懸浮裝置上架的重心點。
- (二) 從實驗結果得知，正方形「互」字型反重力懸浮裝置的中心軸 L 夾角 110° 的兩邊長度不同時，不會影響正方形「互」字型反重力懸浮裝置的平衡，中心軸線延長點都在正方形「互」字型反重力懸浮裝置上架的重心點。
- (三) 我們發現:黏貼中心軸與上架的熱熔膠多寡，會稍微影響中心軸線延長點都在正方形「互」字型反重力懸浮裝置上架的重心點，其誤差大約在 0.3 公分內。

實驗五：利用 2 條外側平衡線與中心軸線延長線點在上架形成的三角形可以達到正多邊形裝置平衡，此三角形是否有固定規律？

- (一) 外側平衡線 2 條與中心軸線延長線點在正三角形「互」字型反重力懸浮裝置上架形成的三角形為頂角 120° 的等腰三角形，等腰三角形的頂角=正三角形重心角
 $=120^\circ=360^\circ \div$ 三角形的 3 個邊。
- (二) 外側平衡線 2 條與中心軸線延長線點在正方形「互」字型反重力懸浮裝置上架形成的三角形為頂角 90° 的等腰三角形，等腰三角形的頂角=正方形重心角
 $=90^\circ=360^\circ \div$ 正方形的 4 個邊。
- (三) 外側平衡線 2 條與中心軸線延長線點在正五邊形「互」字型反重力懸浮裝置上架形成的三角形為頂角 72° 的等腰三角形，等腰三角形的頂角=正五邊形重心角
 $=72^\circ=360^\circ \div$ 正五邊形的 5 個邊。
- (四) 外側平衡線 2 條與中心軸線延長線點在正六邊形「互」字型反重力懸浮裝置上架形成的三角形為頂角 60° 的等腰三角形，等腰三角形的頂角=正六邊形重心角
 $=60^\circ=360^\circ \div$ 正六邊形的 6 個邊。
- (五) 綜合上述，外側平衡線 2 條與中心軸線延長線點在正多邊形「互」字型反重力懸

浮裝置上架形成等腰三角形之頂角等於正多邊形的上架的圓心角。

(六) 正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡規則：正多邊形重心角 $=360^\circ \div$ 正多邊形的上架邊長數 $=$ 等腰三角形的頂角。

柒、結論

從 YouTube「佑來了」頻道發表的《【Fun 科學】反重力懸浮術(不靠超距力的誇張飄浮效果)》的「互」字型反重力懸浮實驗裝置引發我們的研究動機，加上在課堂上所學的知識，利用冰棒棍為裝置主體、縫衣細線為外側平衡線及中心軸線、熱熔膠為黏著劑，試圖找出正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡的規律，以下是我們研究結論：

- 一、正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置要達到平衡，外側平衡線的點與中心軸線延長的點在裝置的上架/下架必須形成一個面，最小的面是一個三角形；即最少需要 2 條外側平衡線與中心軸線延長的點形成一個三角形的面；而與上架中心軸同側的 2 條外側平衡線，形成的三角形，裝置不會平衡。
- 二、裝置平衡時，中心軸線延長點一定在正多邊形上架/下架的重心。
- 三、裝置的中心軸 L 夾角 110° 的兩邊長度不會影響裝置平衡。
- 四、正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡時，2 條外側平衡線的點與中心軸線延長的點形成一個「有規律」等腰三角形的面。即，等腰三角形之頂角 $=$ 正多邊形上架/下架的圓心角，公式為 $360^\circ \div$ 正多邊形邊長數 $=$ 等腰三角形的頂角 $=$ 正多邊形重心角。

網路風行的「互」字型反重力懸浮裝置實際是一種運用在建築設計上的「張拉共構體或張拉整體(Tensegrity)」原理。透過研究者動手實驗後，更能了解與欣賞各式建築「以自然的機構基礎，運用最少的元素，形成堅固結構」的力學和美學。

捌、參考文獻資料

1. 佑來了(2019 年 11 月 12 日) •【Fun 科學】反重力懸浮術(不靠超距力的誇張飄浮效果) • YouTube • 取自 <https://www.youtube.com/watch?v=xUC6a67mxLw>
2. H.P
(109 年 6 月 18 日) • 風靡全球的物理學「TENSEGRITY SCULPTURE」張拉整體結構 • 取自 <http://blog.s2u4o.com/youtube/tensegrity-sculpture/>

【評語】 080108

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

破解反重力懸浮術

■ 運用力的平衡對抗重力

國小組
物理科

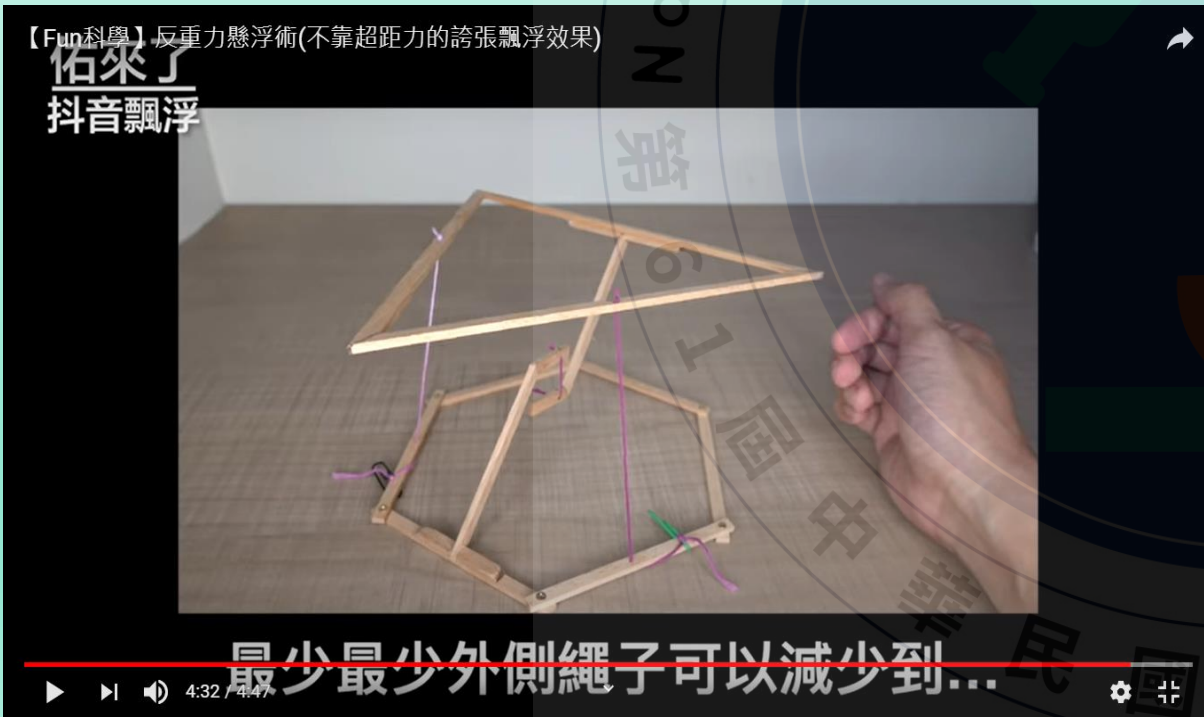
壹、研究動機

• 引發研究興趣

- 【Fun科學】反重力懸浮術(不靠超距力的誇張飄浮效果)
- 反重力懸浮裝置達到靜止平衡
 - 3條外側平衡線
 - 最少2條外側平衡線

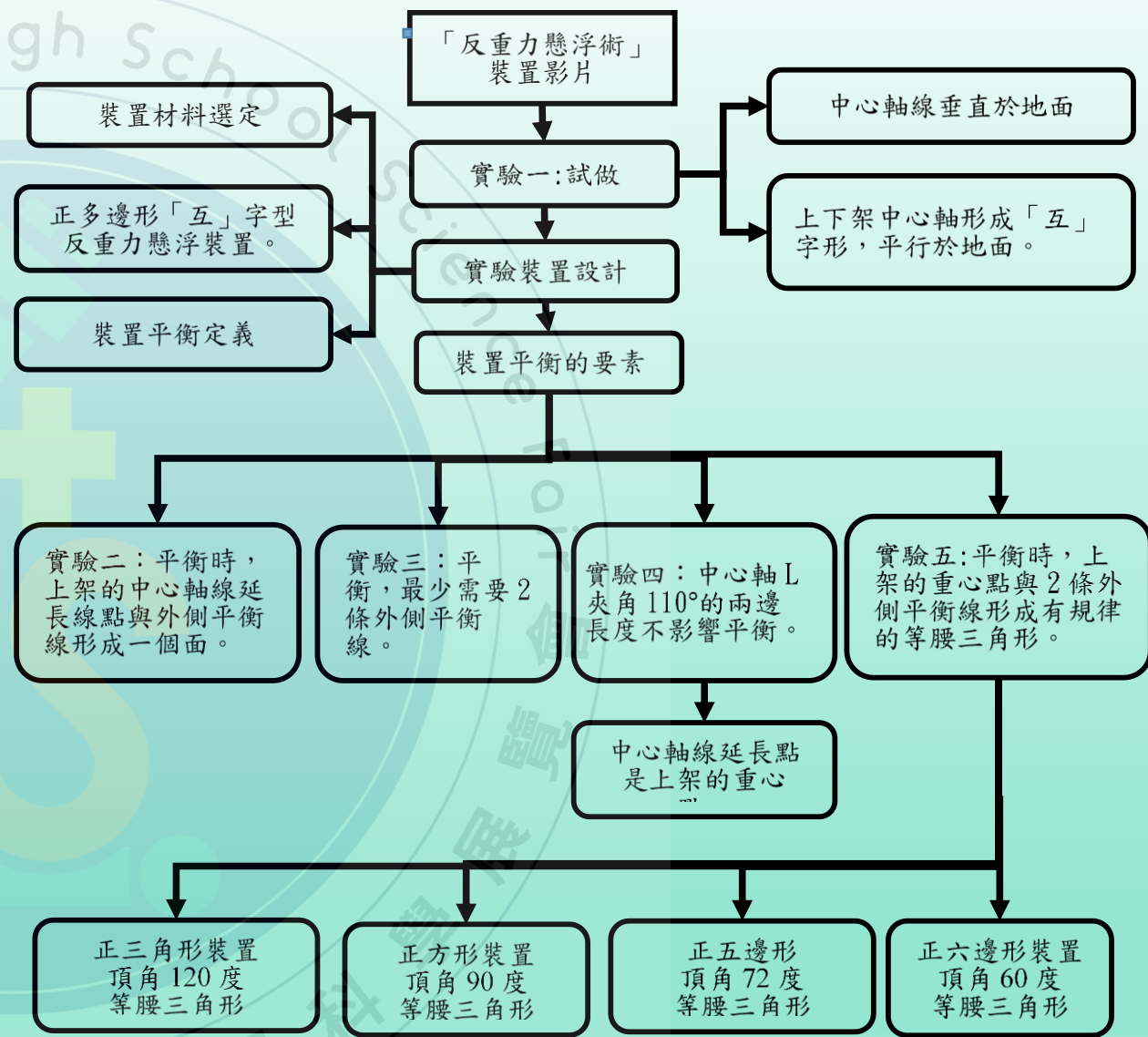
• 我們所學

- 三年級:對物體施力可能改變
 - 物體的形狀
 - 物體運動的快慢或方向
- 五年級-物體受到重力與反作用力影響
- 六年級-力矩的基本概念



貳、研究目的與架構圖

- 一. 找出正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置**平衡穩定**的規律或方法。
- 二. 找出正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置達到平衡穩定的**外側平衡線最少數量**。
- 三. 找出**影響**正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置的**因素**。



參、研究設備及器材



冰棒棍、熱熔膠、細膠帶、細的縫衣線(圖一)

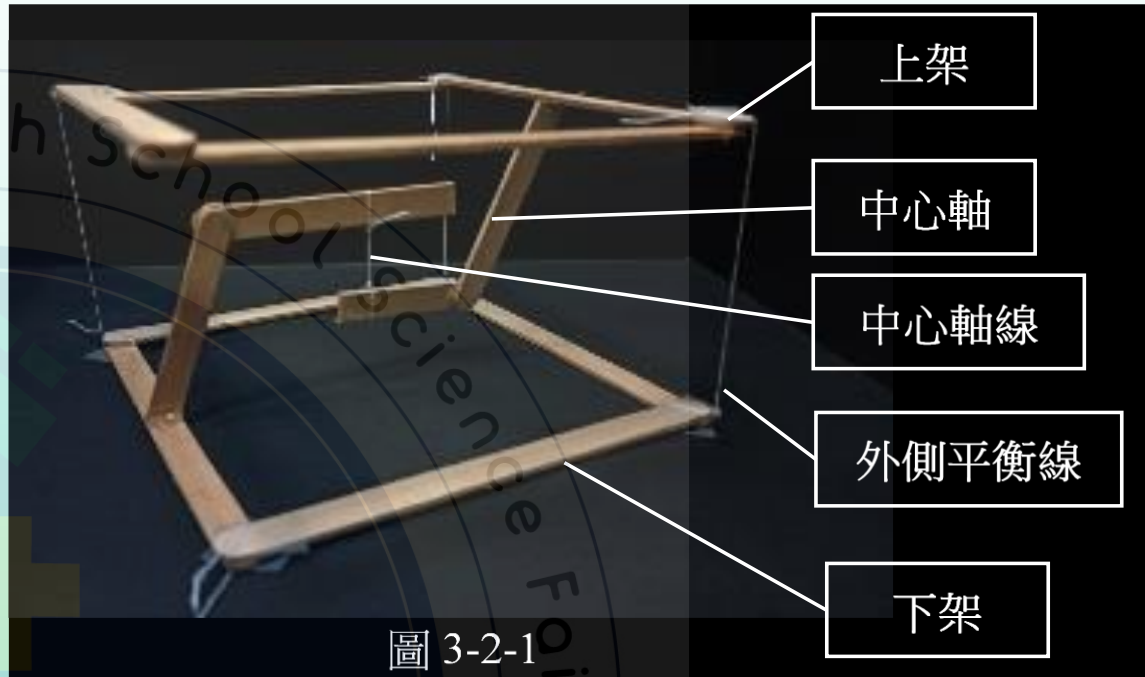


圖 3-2-1

實驗裝置名詞定義(圖二)

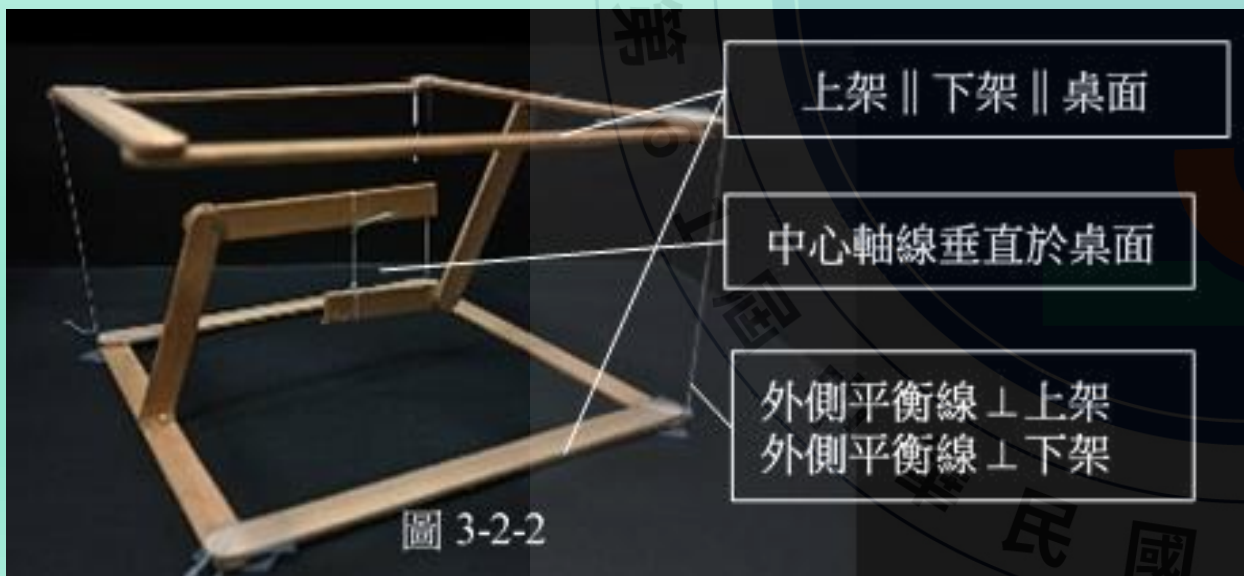


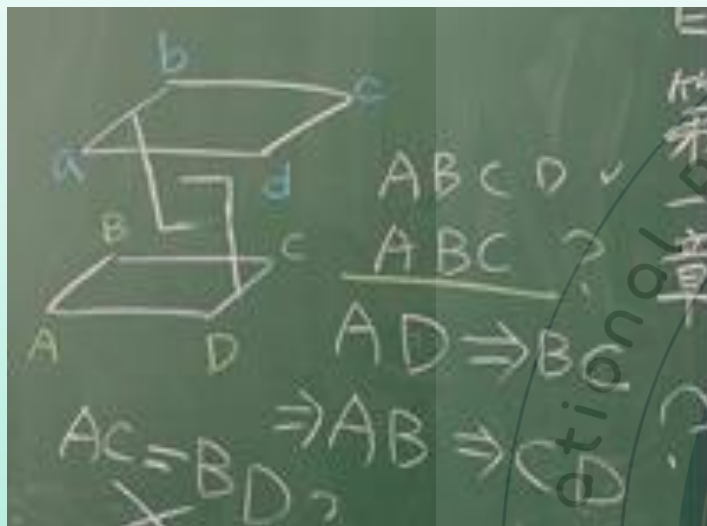
圖 3-2-2

實驗限制(圖三)



裝置靜止，不符合實驗規定(圖四)

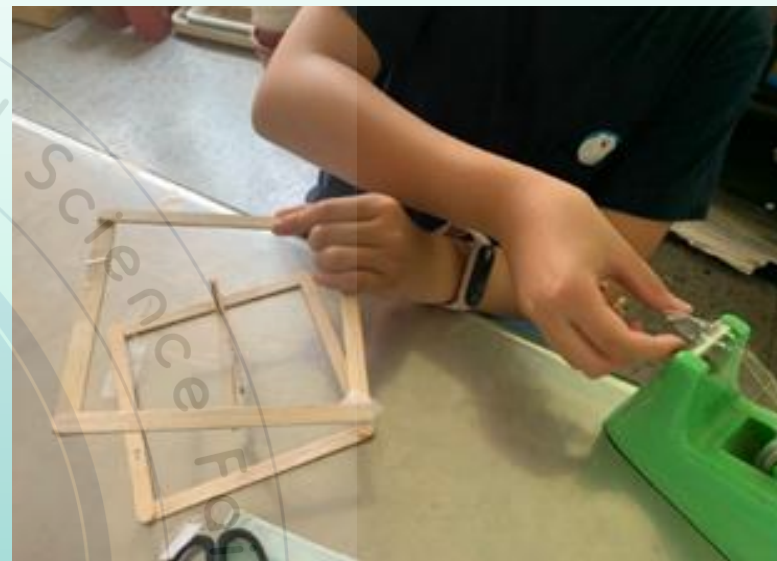
參、研究設備及器材



討論過程紀錄在黑板上並拍照上傳到群組(圖一)



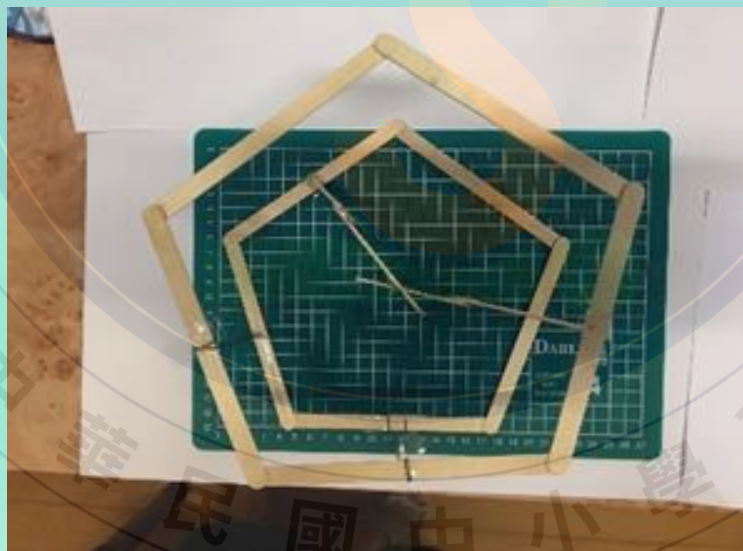
利用熱融膠黏貼冰棒棍(圖二)



用膠帶暫時黏貼外側平衡線(圖三)



數個杯子暫時把上架平衡，固定外側平衡線(圖四)



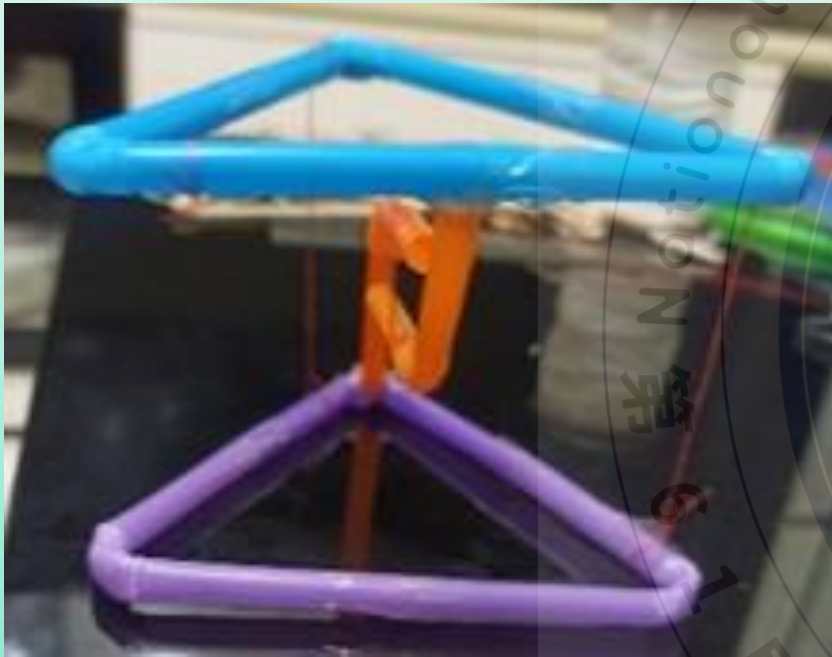
方格版固定裝置的各點位置(圖五)



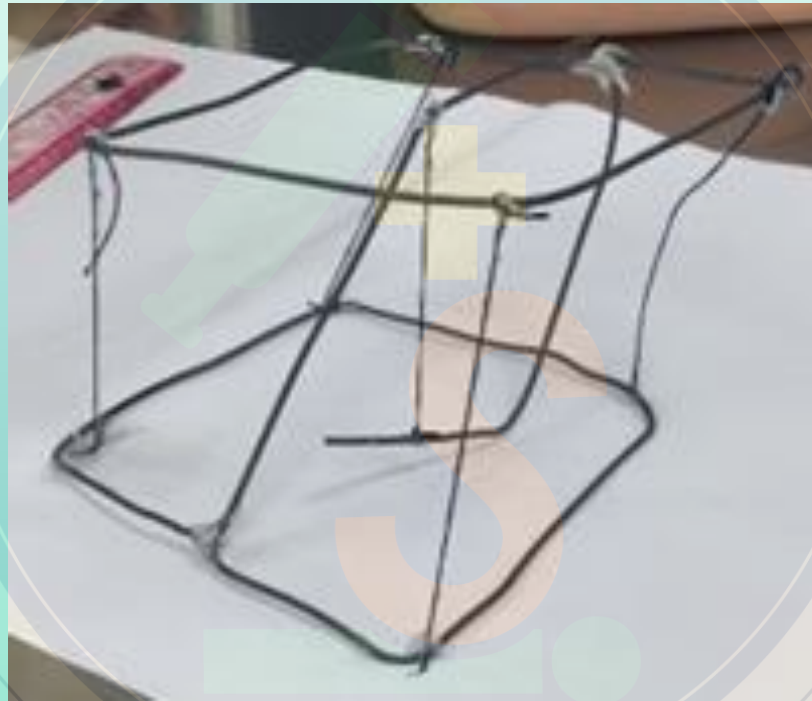
用直尺找出中心軸線的位置(圖六)

四.研究過程及實驗結論

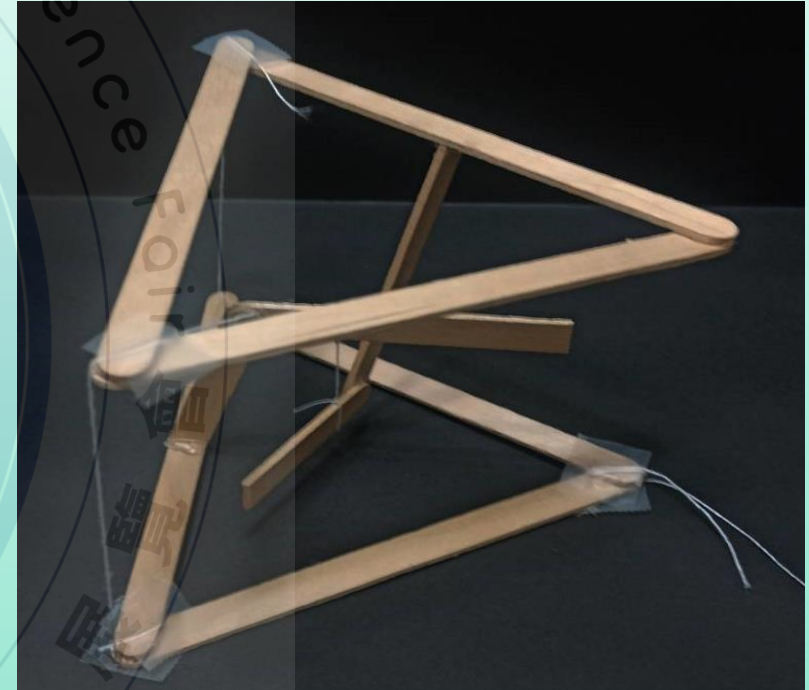
實驗初探-依照影片實際製作「反重力懸浮」裝置，**選定實驗材料**與**實驗裝置規格**。



用吸管製作的正三角形裝置，用膠帶固定吸管(圖一)



用鐵絲製作的正方形裝置(圖二)

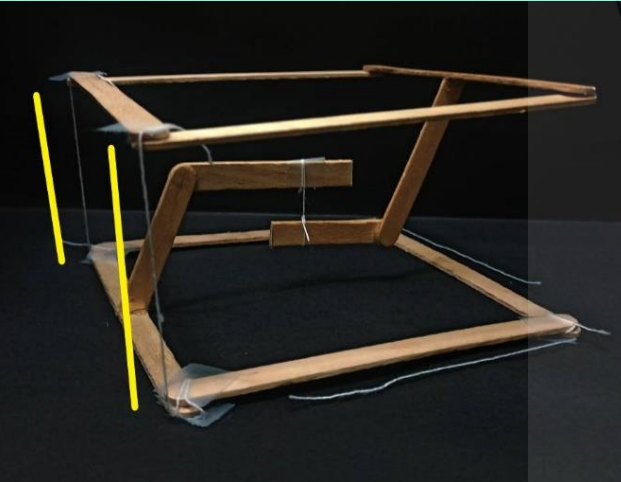
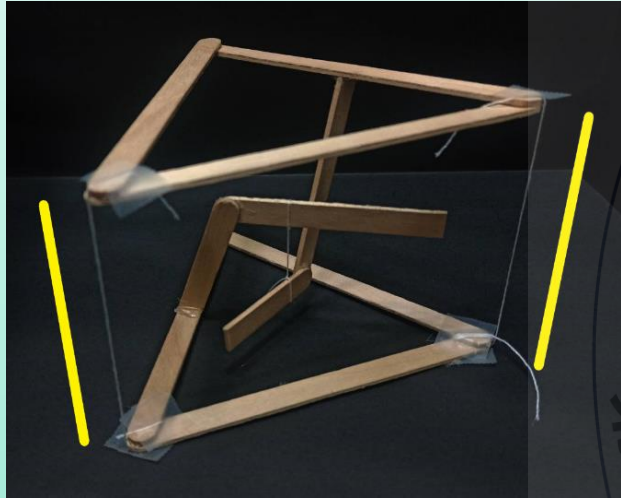


用便宜、容易切割的冰棒棍為實驗主要材料(圖三)

四.研究過程及實驗結論

實驗二-可以使用**1條外側平衡線**達到正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置**平衡嗎？**

正多邊形的「互」字型反重力懸浮裝置**最少需要使用幾條外側平衡線**，才可以**達到平衡**？



表一外側平衡線數量與三角形反裝置的平衡關係

外側平衡線數量	3條	2條	2條	2條	1條	1條	1條
外側平衡線的位置	點ABC	點AB	點BC	點AC	點A	點B	點C
裝置是否可以平衡	可平衡	可平衡	可平衡	可平衡	否	否	否

表二外側平衡線位置與正方形裝置的平衡關係

外側平衡線數量	4條	3條	3條	3條
外側平衡線的位置	點ABCD	點ABC	點ABD	點BCD
裝置是否可以平衡	可平衡	可平衡	可平衡	可平衡

表三外側平衡線數量與正方形裝置的平衡關係

外側平衡線的數量	2條	2條	2條	2條	2條	2條	1條	1條	1條	1條
外側平衡線的位置	點AB	點BC	點CD	點AD	點AC	點BD	點A	點B	點C	點D
裝置是否可以平衡	可平衡	可平衡	可平衡	可平衡	否	否	否	否	否	否

四.研究過程及實驗結論

實驗三-其他形狀的裝置是否也可以用2條外側平衡線達到裝置平衡？

表一外側平衡線2條位置與正三角形裝置的平衡關係

2條外側平衡線位置	點AB	點BC	點AC
裝置是否可以平衡	可平衡	可平衡	可平衡

表三外側平衡線2條位置與正五邊形裝置的平衡關係

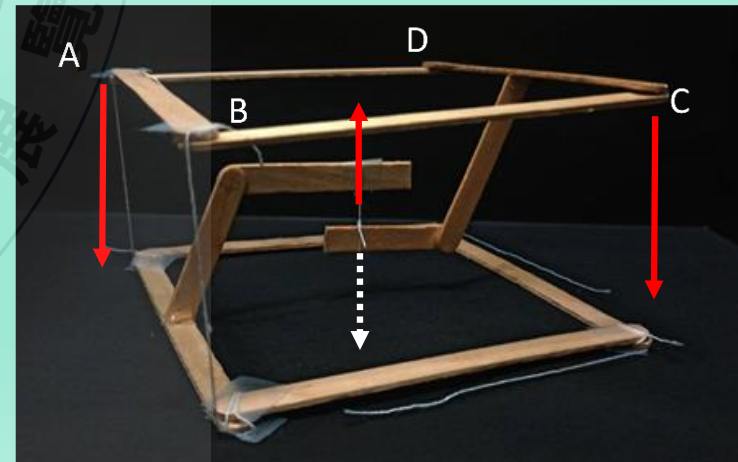
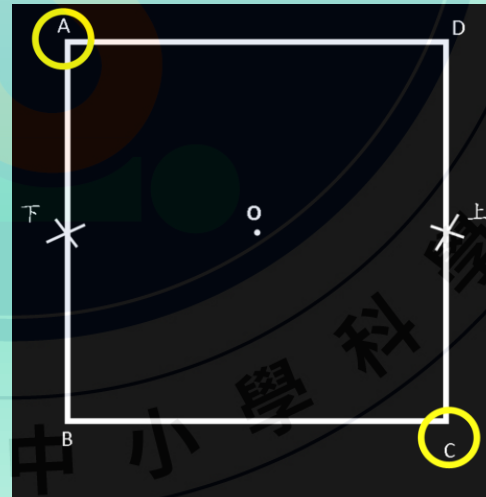
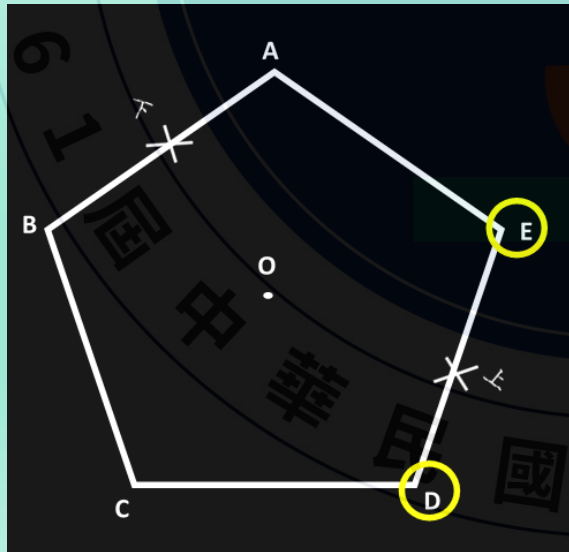
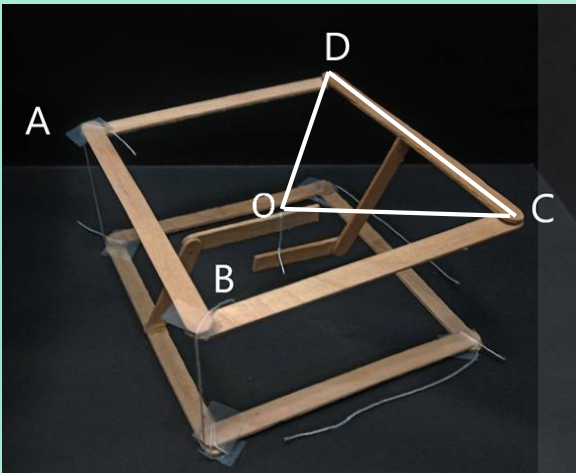
2條外側平衡線位置	點AB	點BC	點CD	點DE	點AE
裝置是否可以平衡	可平衡	否	可平衡	可平衡	可平衡

表二外側平衡線2條位置與正方形裝置的平衡關係

2條外側平衡線位置	點AB	點BC	點CD	點AD
裝置是否可以平衡	否	可平衡	可平衡	可平衡

表四外側平衡線2條位置與正六邊形裝置的平衡關係

2條外側平衡線位置	點AB	點BC	點CD	點DE	點EF	點AF
裝置是否可以平衡	可平衡	否	可平衡	可平衡	可平衡	可平衡

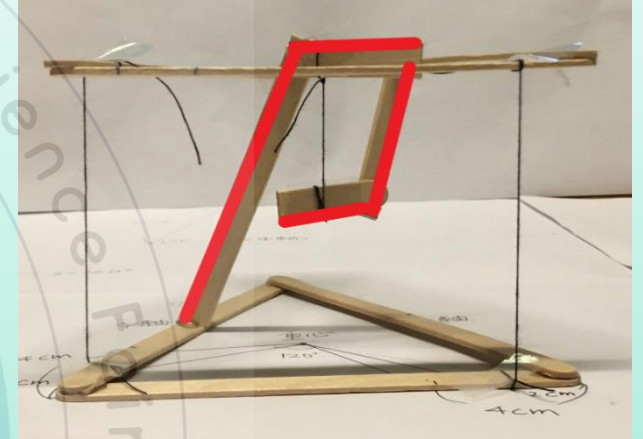


四.研究過程及實驗結論

實驗四-中心軸L夾角 110° 的兩邊長度是否會影響正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置平衡？

表一中心軸L夾角 110° 的兩邊長度不同時，
中心軸線延長點是否在正三角形裝置上架的重心點？

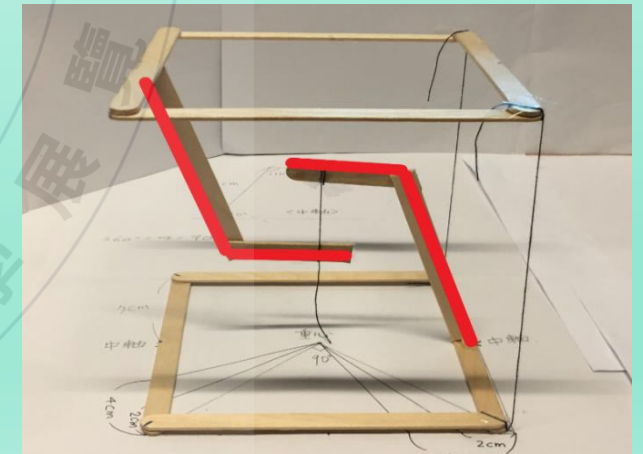
中心軸	中心軸線延長點是否在正三角形裝置上架的重心點
上架-斜5cm、平4cm 下架-斜10cm、平4cm	是
上架-斜7cm、平4cm 下架-斜7cm、平4cm	是



上架-斜5cm、平4cm
下架-斜10cm、平4cm(圖一)

表二中心軸L夾角 110° 的兩邊長度不同時，
中心軸線延長點是否在正方形裝置上架的重心點？

中心軸	中心軸線延長點是否在正三角形裝置上架的重心點
上架-斜10cm、平4cm 下架-斜10cm、平5cm	是
上架-斜7cm、平5cm 下架-斜7cm、平5cm	是



上架-斜10cm、平4cm
下架-斜10cm、平5cm(圖二)

四.研究過程及實驗結論

實驗五-利用2條外側平衡線與中心軸線延長線點在正多邊形「互」字型反重力懸浮裝置上架形成的三角形可以達到正多邊形裝置平衡，此三角形是否有固定規律？

表一 外側平衡線2條與中心軸線延長線點在正三角形裝置上架形成三角形的角度

外側平衡線的位置	ΔOBC	ΔOB_1C_1	ΔOB_2C_2
達平衡的三角形形狀	頂角120度的 等腰三角形	頂角120度的 等腰三角形	頂角120度的 等腰三角形

表二 外側平衡線2條與中心軸線延長線點在正方形裝置上架形成三角形的角度

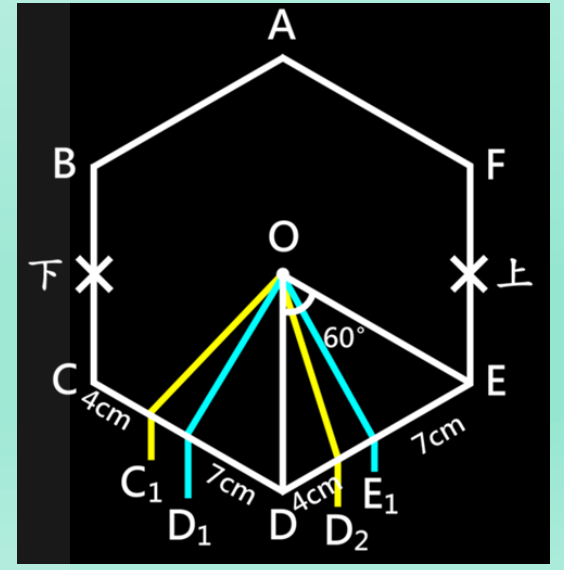
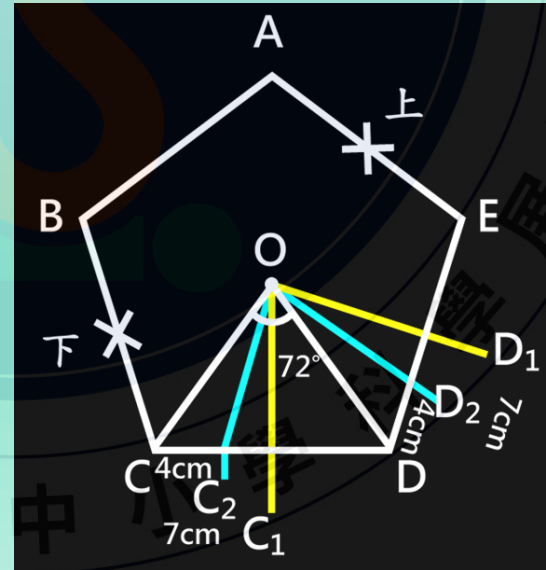
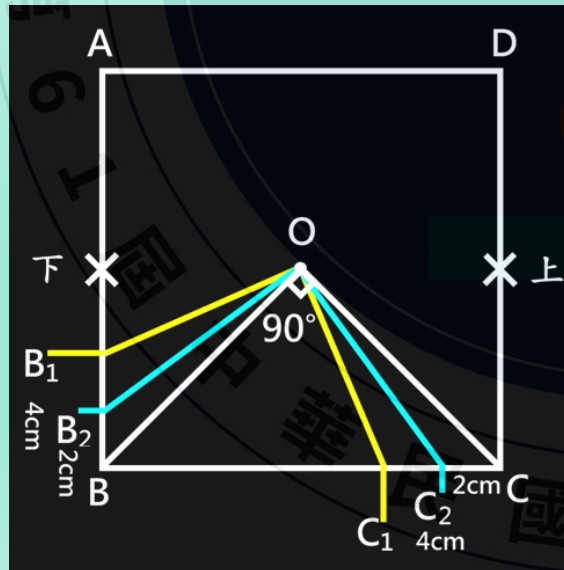
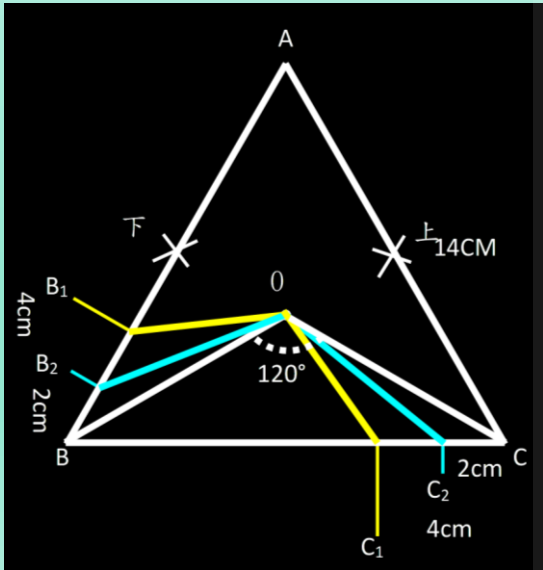
外側平衡線的位置	ΔOBC	ΔOB_1C_1	ΔOB_2C_2
達平衡的三角形形狀	頂角90度的 等腰三角形	頂角90度的 等腰三角形	頂角90度的 等腰三角形

表三 外側平衡線2條與中心軸線延長線點在正五邊形裝置上架形成三角形的角度

外側平衡線的位置	ΔOCD	ΔOC_1D_1	ΔOC_2D_2
達平衡的三角形形狀	頂角72度的 等腰三角形	頂角72度的 等腰三角形	頂角72度的 等腰三角形

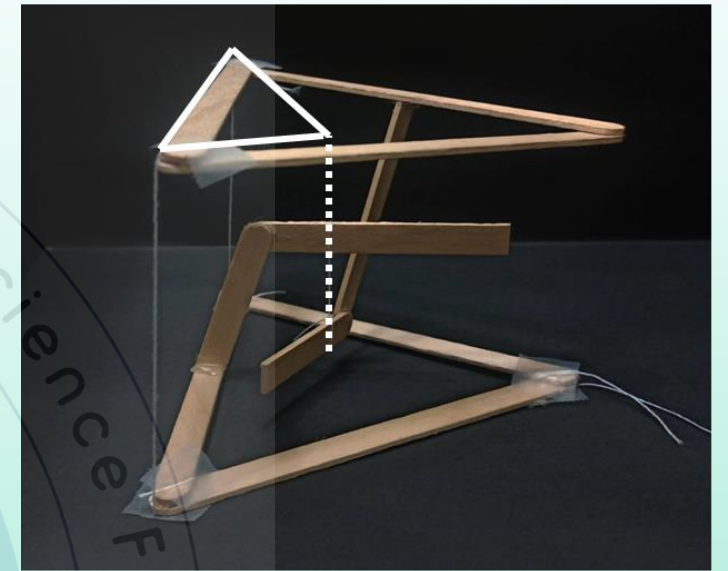
表四 外側平衡線2條與中心軸線延長線點在正六邊形裝置上架形成三角形的角度

外側平衡線的位置	ΔODE	ΔOD_1E_1	ΔOC_1D_2
達平衡的三角形形狀	頂角60度的 等腰三角形	頂角60度的 等腰三角形	頂角60度的 等腰三角形

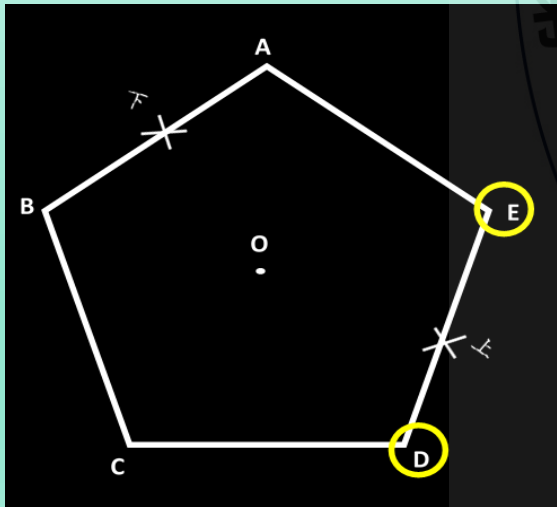


伍、結論

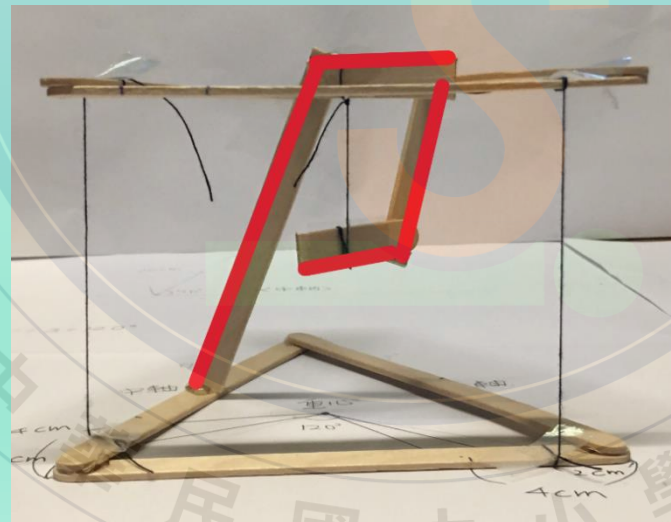
- 一. 外側平衡線的點與中心軸線延長的點在裝置的上架/下架必須形成一個面，最小的面是一個三角形(圖一)。
- 二. 最少需要2條外側平衡線與中心軸線延長的點形成一個三角形的面(圖一)
- 三. 與上架中心軸同側的2條外側平衡線形成的三角形，裝置無法平衡(圖二)
- 四. 裝置平衡時，中心軸線延長點一定在正多邊形上架/下架的重心。(圖一)
- 五. 裝置的中心軸L夾角 110° 的兩邊長度不會影響裝置平衡(圖三)
- 六. 正多邊形的裝置平衡規則：「有規律」等腰三角形的面(圖四)
 等腰三角形頂角 = $360^\circ \div$ 正多邊形邊長數 = 正多邊形圓心角。



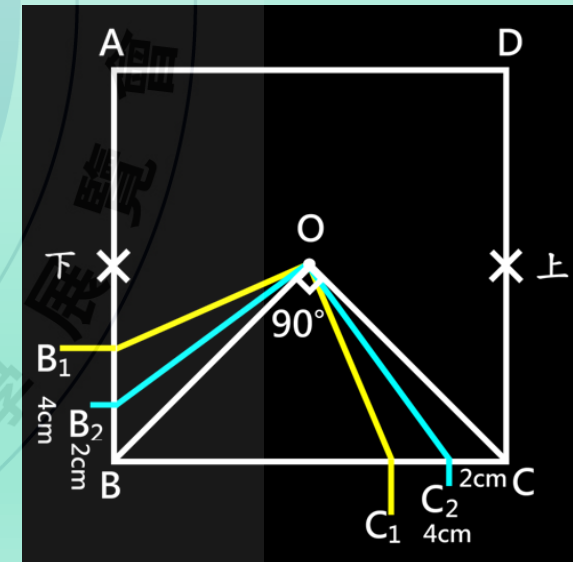
平衡時，上架要形成一個面(圖一)



外側平衡線與上架中心軸同側，無法平衡(圖二)

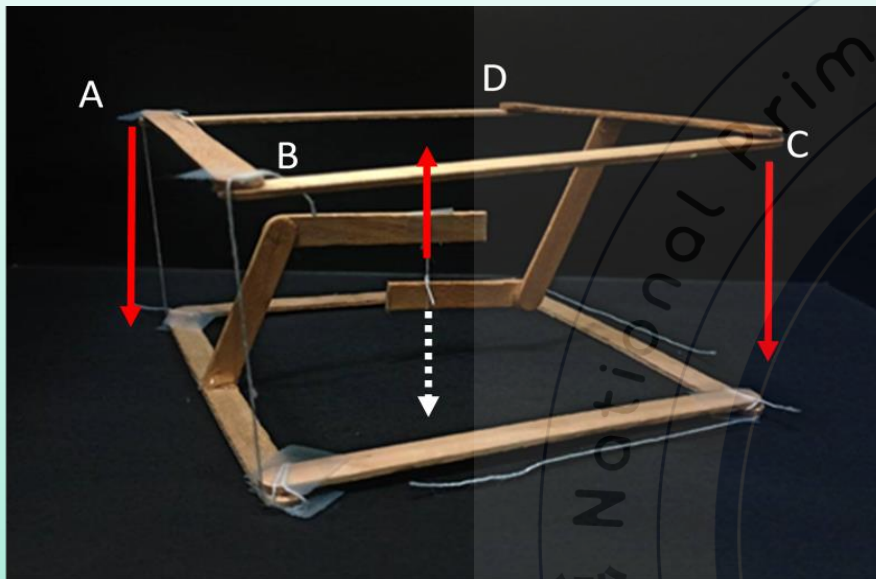


中心軸兩邊長度不會影響裝置平衡(圖三)

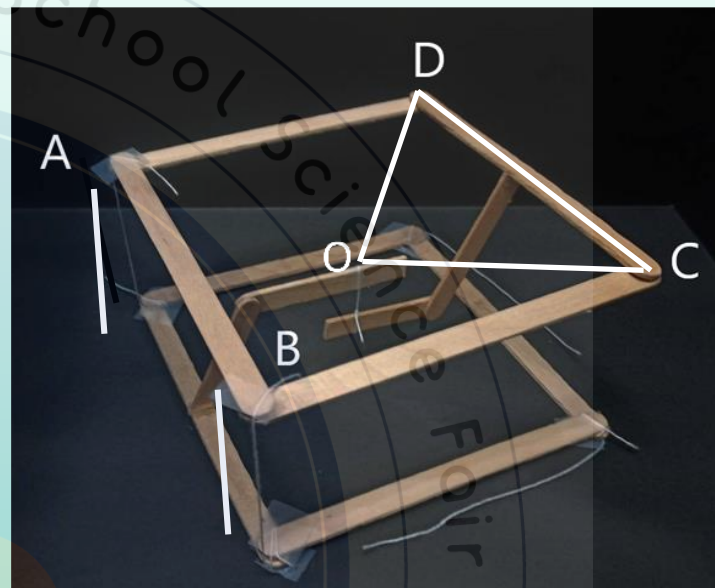


正方形裝置的等腰三角形頂角 $360^\circ \div 4 = 90^\circ =$ 正方形圓心角(圖四)

伍、結論



原理:力學的靜力與靜力矩平衡(圖一)



運用三點構成一個面的力平衡(圖二)



張拉整體(Tensegrity)/張拉共構體運用在建築設計(圖二)



張拉整體(Tensegrity)運用在橋梁建構(圖三)