

【題目】 哇！平衡了！怎麼練的呀？

【動機】

我們在自然課(南一版六下第 1 單元巧妙的施力工具)中學過力槓桿原理和力矩平衡。在自然老師也補充了平衡鳥的有趣玩具，因此想利用所學的概念來深入探究平衡鳥平衡原理，細細探討平衡之奧秘，並思考平衡玩具可能的衍生玩法。

力矩平衡的關鍵只是重量大小和力臂長短，還有別的影響因子嗎？我們想要深入探討，並且將之數據化，若經由圖表分析之後，可以得到哪些有趣的結果呢？讓我們進行一趟有趣的探索之旅吧！

【研究目的】

- 【研究一】力矩平衡的體驗與力矩平衡計算
- 【研究二】「中柱高度」對「中柱傾斜角」之影響
- 【研究三】「重物前移距離」對「中柱傾斜角」之影響
- 【研究四】「重物張開距離」對「中柱傾斜角」之影響
- 【研究五】「砝碼重量」對「中柱傾斜角」之影響
- 【研究六】「右邊砝碼數量」對「右邊力臂距離」的影響
- 【研究七】鐵絲彎曲度不同對砝碼力距的影響
- 【研究八】「上下抖動」是否能使兩邊的「力矩自動平衡」？
- 【研究九】走鋼索實驗
- 【研究十】衍生玩法---多層次平衡結構

【研究材料與設備】

材料	鐵絲、木條、螺絲釘、橡皮塞（60g）、免洗筷
設備	數位相機、槓桿實驗器、直尺、磅秤、量角器、砝碼（10g）、電子秤

【研究方法和結果】

【研究一】力矩平衡的體驗與力矩平衡計算

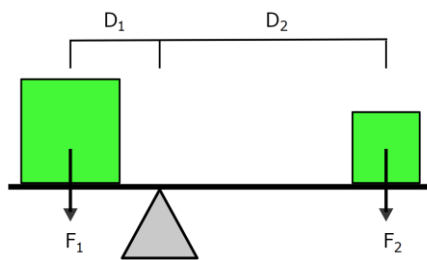
【目的】首先我們想瞭解力矩平衡，並瞭解力矩平衡之計算

【方法】使用自然科教具「力矩實驗器」。將支點左側的施力及施力臂固定，左右力矩平衡時，分析支點右側會有哪此不同力矩組合呢？

【實驗結果】

施力與抗力之間的比率，等於這兩個作用力分別與支點之間垂直距離的反比率，稱這相等式為「槓桿原理」，以方程式表達： $F_1 * D_1 = F_2 * D_2$

【圖 1】力矩平衡計算。左側較重的力臂較短，右側較輕的力臂較長。



【圖 2】以槓桿實驗器來體驗力矩平衡



【表 1】力矩平衡體驗（單一型）

左側		右側	
距離 (格)	砝碼數 (個)	距離 (格)	砝碼數 (個)
2	6	1	12
2	6	2	6
2	6	3	4
2	6	4	3
2	6	6	2

【表 2】力矩平衡體驗（組合型）。支點右側可改變成不同力矩組合。

左側		右側			
距離 (格)	砝碼數 (個)	距離 (格)	砝碼數 (個)	距離 (格)	砝碼數 (個)
2	6	2	1	2	5
2	6	1	2	5	2
2	6	3	1	3	3
2	6	4	1	2	4
2	6	6	1	3	2

[我的發現]

1. 力矩平衡計算：

(單一型) 施力*施力臂 = 抗力*抗力臂

(組合型) 施力*施力臂 = (抗力 A * 抗力臂 A) + (抗力 B * 抗力臂 B)

(組合型) 施力*施力臂 = (抗力 A * 抗力臂 A) + (抗力 B * 抗力臂 B) +
(抗力 C * 抗力臂 C)

2. 由組合型發現：力矩是可以分解而形成多種不同組合形式。

【研究二】「中柱高度」對「中柱傾斜角」之影響

[目的] 我們想要探討「中柱高度」對「中柱傾斜角」之影響

[實驗條件]

操作變因：中柱高度。

應變變因：中柱傾斜角

控制變因：物重的重量固定，鐵絲張開角度不變，重物前移距離固定。

[實驗裝置]

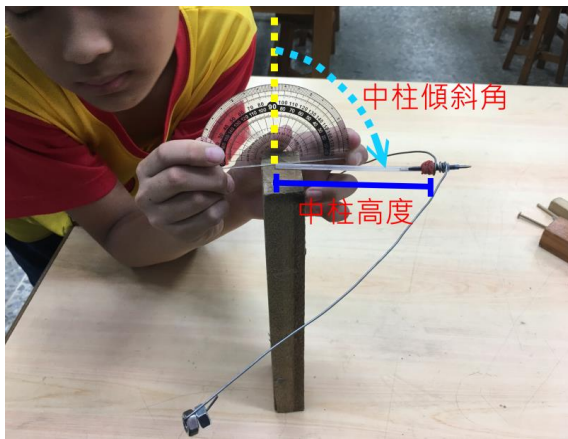
以原子筆的塑膠筆心為中柱，鐵絲兩端各綁兩個螺帽。
我們以改變橡皮筋綁鐵絲的位置的方式來改變中柱高度。

[實驗結果]

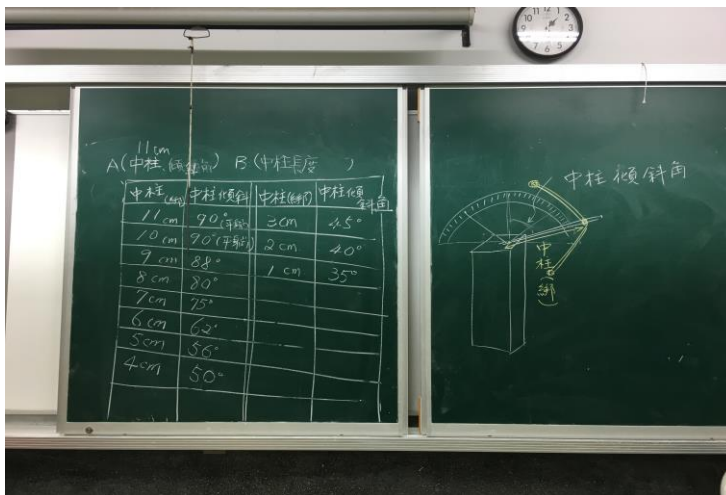
【圖 3】平衡鳥玩具平衡奧秘為何？平衡鳥也可設計成飛機或蜻蜓等不同造型。



【圖 4】「中柱高度」對「中柱傾斜角」之影響。(實驗操作)



【圖 5】「中柱高度」對「中柱傾斜角」之影響 (實驗記錄)

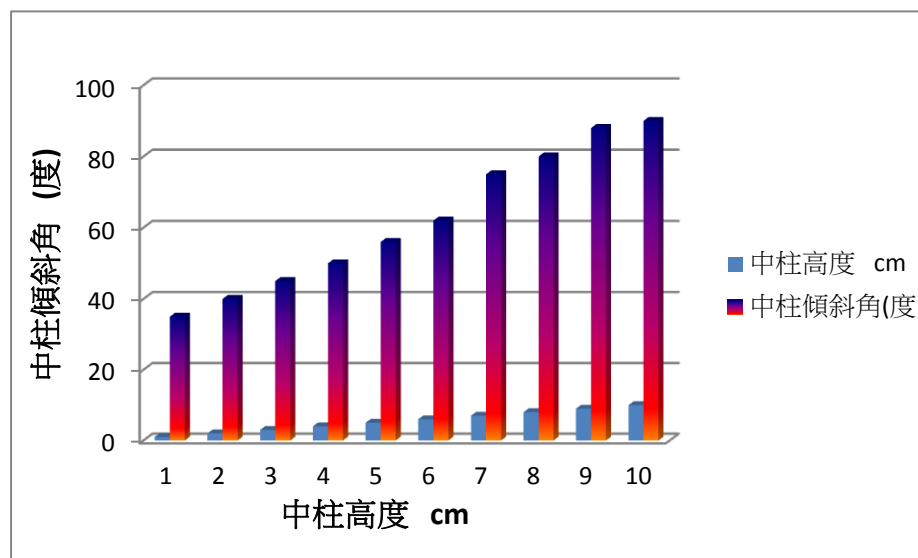


【表 3】「中柱高度」對「中柱傾斜角」之影響（實驗數據）

中柱高度 cm	中柱傾斜角 (度)
1	35
2	40
3	45
4	50
5	56
6	62
7	75
8	80
9	88
10	90（壓的越低） （幾乎壓低到水平）

Ps. 橡皮筋綁的位置來改變中柱高度。

【圖 6】「中柱高度」對「中柱傾斜角」之影響（圖表分析）



【我的發現】

1. 「中柱高度」越低，「中柱傾斜角」越小→代表重心越低，擺動越垂直，穩定度越高。
2. 「中柱傾斜角」可超過 90 度，竟可低於水平線，而呈現下垂的有趣畫面。
3. 中柱高度越大，中柱傾斜角越大（壓的越低）。代表重心越高，中柱傾斜角也會越大。

【研究三】「重物前移距離」對「中柱傾斜角」之影響

【實驗目的】

我們想研究**重物前移距離對中柱傾斜之影響**。其中的重物是指「橡皮塞」，橡皮塞往前方扳動，測量橡皮塞與中柱之間的夾角，再測量中柱傾斜的角度。

【實驗條件】

操作變因：**重物水平前移的距離（或角度）**。

應變變因：中柱傾斜角

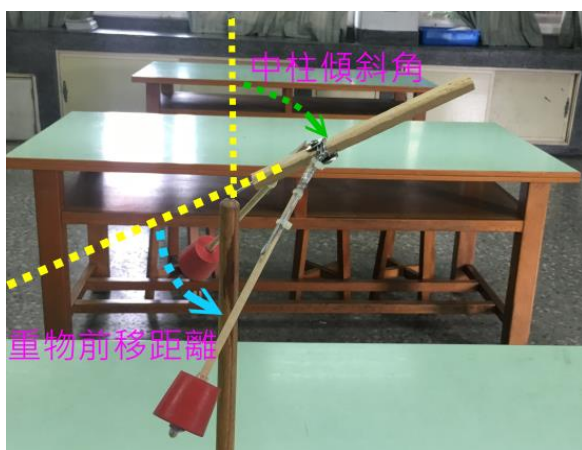
控制變因：兩側橡皮塞重量固定，兩側力臂長度固定。

【實驗結果】

【圖 7】「**重物前移距離**」對「**中柱傾斜角**」之影響（實驗操作）



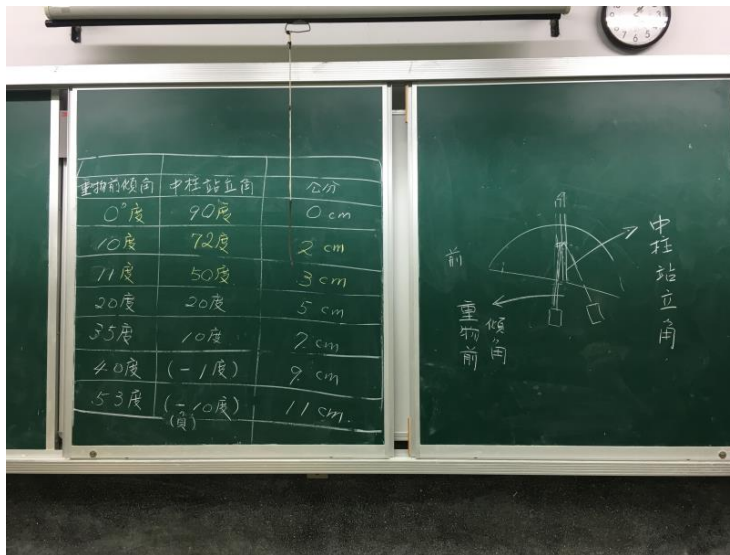
【圖 8】「**重物前移距離**」對「**中柱傾斜角**」之影響（實驗操作）



【圖9】側視圖分析：當重物前移距離越大時，左側重物距離支點也會越遠，支點右則會以「中柱躺平」方式來增加右側的力臂長度。



【圖10】「重物前移距離」對「中柱傾斜角」之影響（實驗記錄）

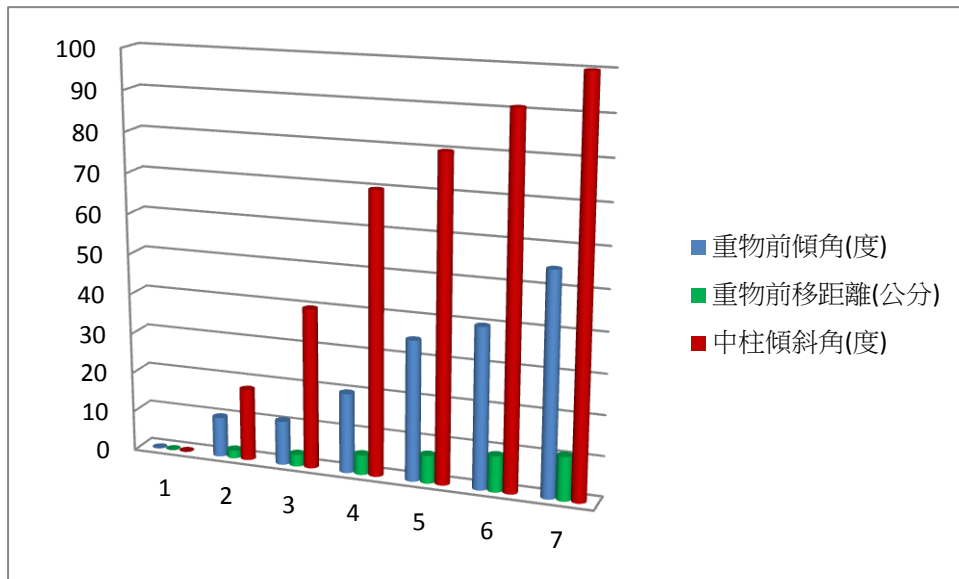


【表4】「重物前傾角」和「重物前移距離」對「中柱傾斜角」之影響（實驗數據）

重物前傾角(度)	重物前移距離(公分)	中柱傾斜角(度)
0	0	0
10	2	18
11	3	40
20	5	70
35	7	80
40	9	91
53	11	100 (壓的越低) ※超過 90 度

※補充照片：中柱傾斜低過水平的低角度照片。

【圖 11】「重物前傾角」和「重物前移距離」對「中柱傾斜角」之影響
(圖表分析)



[我的發現]

- 1.重物前移距離越大，中柱傾斜角越大，裝置會越躺平。中柱傾斜角可超過 90 度，產生中柱呈現下垂的有趣畫面。
- 2.由側視圖來看：不只考慮正面中柱左右重量平衡，還得考慮側面前後的平衡，因重物前傾越多，左側力臂變長，導致右側中柱越躺平，使的右側力臂長度增加，來取得左右平衡。
- 3.不只要考慮平面的平衡，同時也得考慮立體的平衡概念。即是由側面看，考慮另一個軸向的平衡，這是我們的自然課本槓桿單元沒有提到的，也是我們在本研究中的重要發現。

【研究四】「重物張開距離」對「中柱傾斜角」之影響

[實驗目的]我們想要探討「重物張開距離」對「中柱傾斜角」之影響。

這邊的重物是指橡皮塞。

[實驗條件]

操作變因: 重物張開距離。

應變變因: 中柱傾斜角

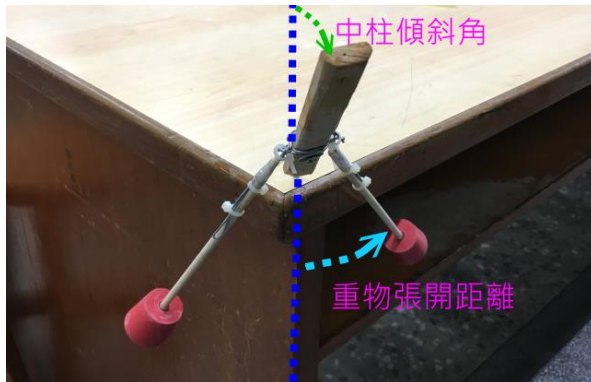
控制變因:重物前傾角(2cm, 50 度)固定。兩側橡皮塞重量固定。

[實驗結果]

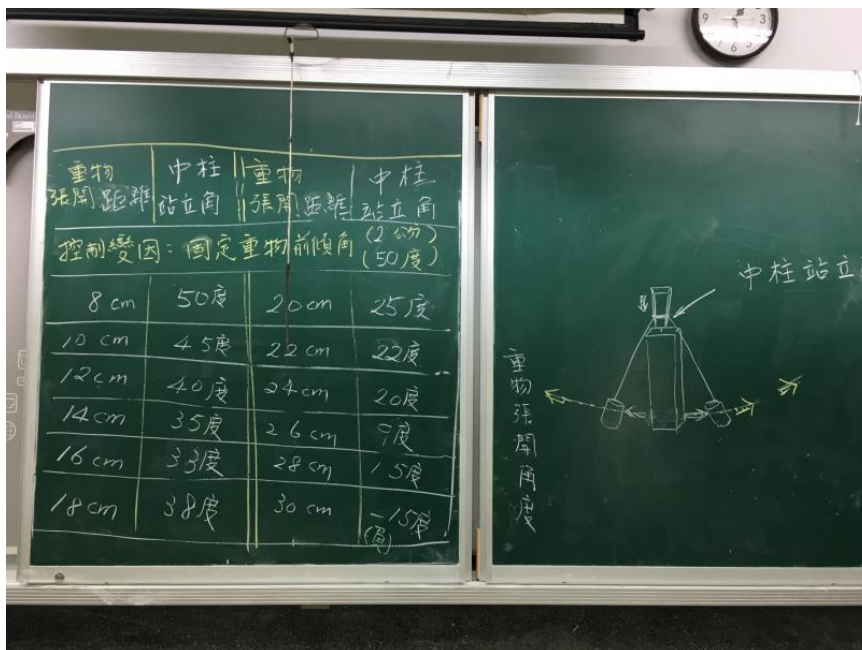
【圖 12】「重物張開距離」對「中柱傾斜角」之影響（實驗過程）



【圖 13】「重物張開距離」對「中柱傾斜角」之影響（實驗操作）



【圖 14】「重物張開距離」對「中柱傾斜角」之影響（實驗記錄）

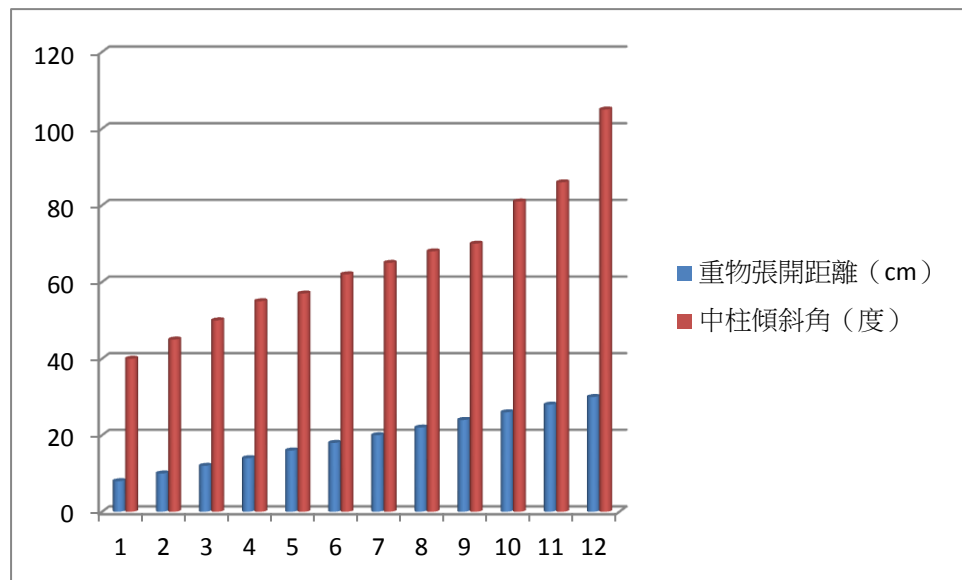


【表 5】「重物張開距離」對「中柱傾斜角」之影響（實驗數據）

重物張開距離	中柱傾斜角（度）
8 cm	40
10	45
12	50
14	55
16	57
18	62
20	65
22	68
24	70
26	81
28	86
30	105(越躺平)

【圖 15】「重物張開距離」對「中柱傾斜角」之影響（圖表分析）

由曲線趨勢判斷，當中柱傾斜角過大時，因中柱過度下垂，實驗裝置會不穩而掉落桌面。



[我的發現]

1. 中柱傾斜角可超過 90 度(105 度)，呈現下垂的有趣畫面。
2. 重物張開距離越大(8~30 cm)，中柱傾斜角越大(45~105 度)，裝置越躺平。
3. 由側視圖來看：考慮另一個軸向的平衡（側視），當重物張開距離越大，造成左側力臂變大，導致右側裝置會以越躺平以增加右側力矩，以取得左右力矩的平衡。

【研究五】「砝碼重量」對「中柱傾斜角」之影響

【實驗目的】探討「砝碼重量」對「中柱傾斜角」之影響

【實驗條件】操作變因：砝碼重量改變。

應變變因：中柱傾斜角

控制變因：固定重物前距離（2cm），固定張開角度（50度）

【實驗結果】

【圖 16】「砝碼重量」對「中柱傾斜角」之影響（實驗記錄）

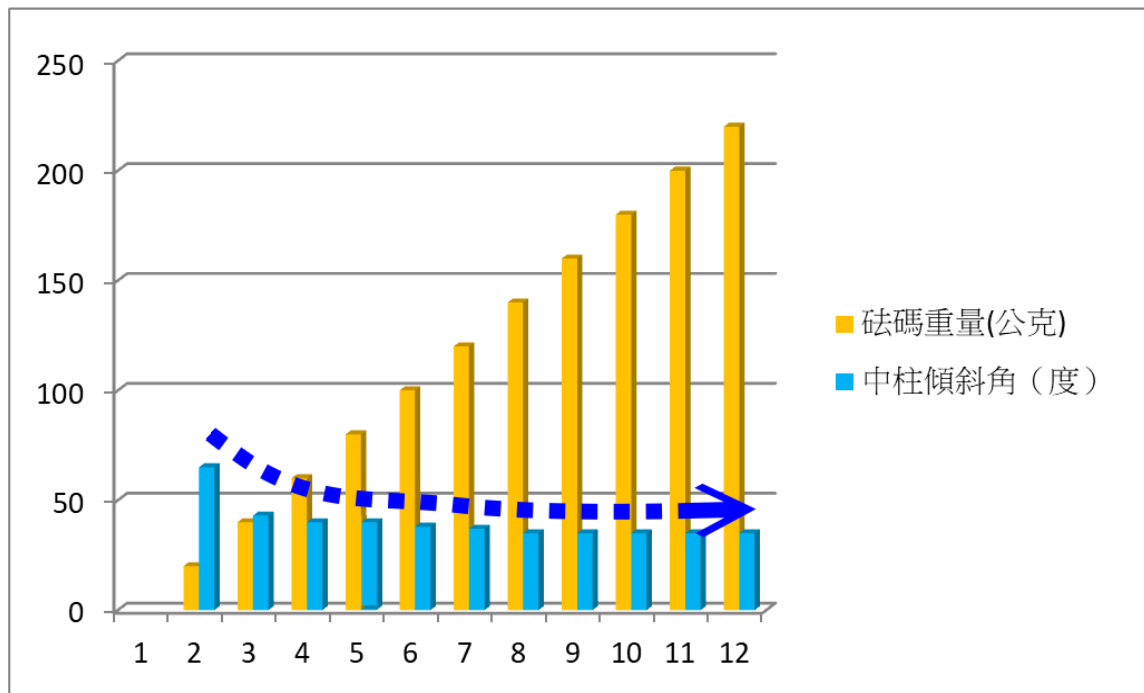


【表 6】「砝碼重量」對「中柱傾斜角」之影響（實驗數據）

砝碼重量(公克)	砝碼數	中柱傾斜角(度)
20	1	65(越躺平)
40	2	43
60	3	40
80	4	35
100	5	38
120	6	37
140	7	35
160	8	35
180	9	35
200	10	35
220	11	35(越直立)

Ps. 砝碼數是指單邊掛的數量，總數量需乘以二。

【圖 17】「砝碼重量」對「中柱傾斜角」之影響（圖表分析）
 由曲線的趨勢來看，中柱傾斜角有極小直的存在。



【圖 18】「砝碼重量」對「中柱傾斜角」之影響



【圖 19】「砝碼重量」對「中柱傾斜角」之影響



【圖 20】「砝碼重量」對「中柱傾斜角」之影響（側視圖分析）

右側所掛的砝碼數越多，右側力臂會縮小移移向支點，藉此削弱右側砝碼重量的影響力。

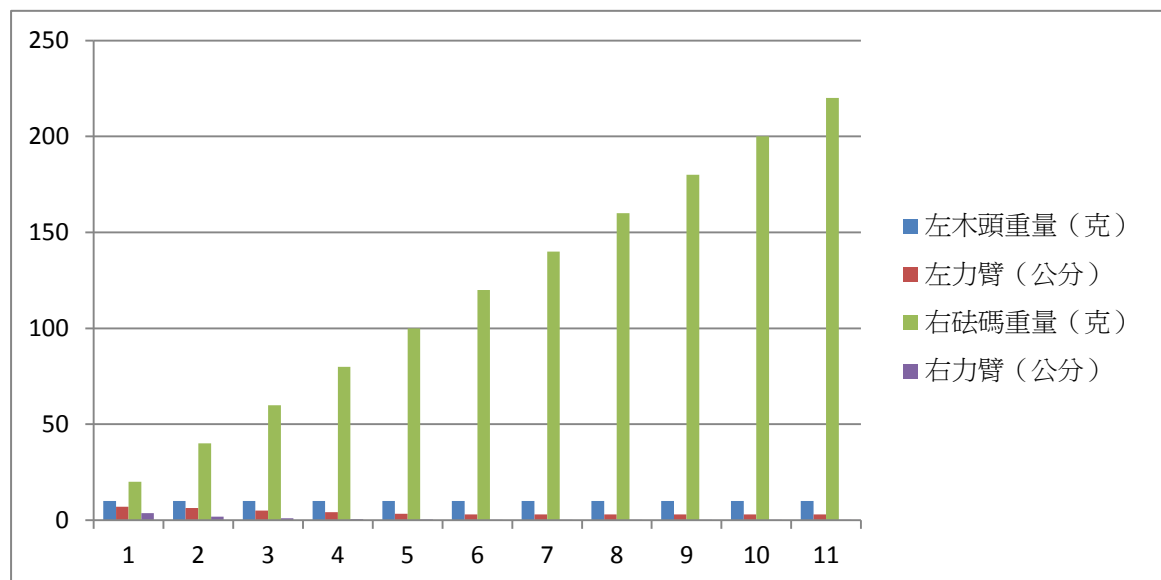


【表 7】側視圖分析：(實驗數據)

右側所掛的砝碼數越多，右側力臂會縮小移移向支點，藉此削弱右側砝碼重量的影響力。**左重量小 (固定) * 左距離小 (接近 3) = 右重量極大 * 右距離極小 (接近 0)**

左木頭重量 (克)	左力臂 (公分)	右砝碼重量 (克)	右力臂 (公分)
10	7.0	20	3.7
10	6.3	40	1.8
10	5.0	60	1.0
10	4.2	80	0.5
10	3.3	100	0.3
10	3.1	120	0.2
10	3.0	140	0.2
10	3.0	160	0.1
10	3.0	180	0.1
10	3.0	200	0.1
10	3.0	220	0.1

【圖 21】「砝碼重量」對「中柱傾斜角」之影響。側視圖數值分析



[我的發現]

1. 砝碼數量越重(1-11 顆)，中柱傾斜角越小(65~35 度)，最後會停在 35 度，不會在增加角度。

2. 砝碼越少(1 顆)，中柱傾斜角越大 (65 度)。越躺平。

砝碼越多(11 顆)，中柱傾斜角越小(35 度)。越挺直。

3. 側視圖分析(重要發現):

右側所掛的砝碼數越多，右側力臂會縮小移移向支點，藉此削弱右側砝碼重量的影響力。

可發現：

左重量小（固定）* 距離小（些微變小）= 右重量極大 * 距離極小（接近 0）

4. 本研究最重發現是具有雙力矩的平衡，包括正面力矩的平衡，以及側面的力矩平衡。關鍵在平衡鳥的側面力矩平衡，當支點左右重量差異很大時，重量大的一端的力臂會變成很短，來抵銷本身重量的影響。重量小的一端會以改變中柱傾斜角的方式來因應之。

【研究六】「右邊砝碼數量」對「右邊力臂力矩」的影響

[目的] 「右邊砝碼數量」對「右邊力矩」的影響

[實驗條件] 操作變因: 右邊砝碼數量。

應變變因: 右邊力臂距離。

控制變因: 左邊砝碼數量、左邊距離固定。同一平面。

[實驗結果]

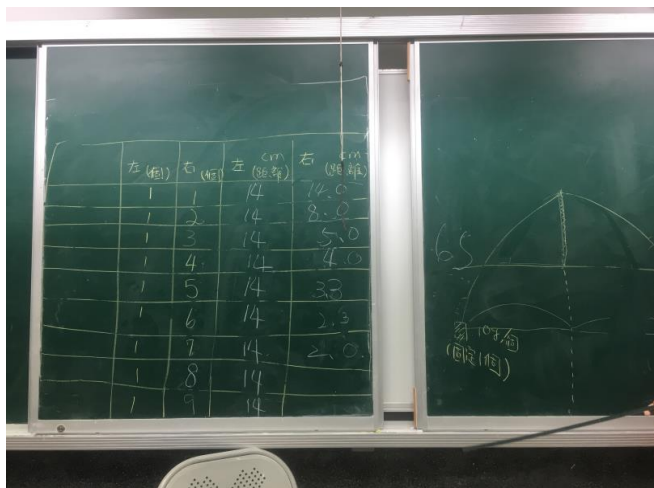
【圖 22】「右邊砝碼數量」對「右邊力矩」的影響（實驗操作）



【圖 23】「右邊砝碼數量」對「右邊力距」的影響（實驗操作）



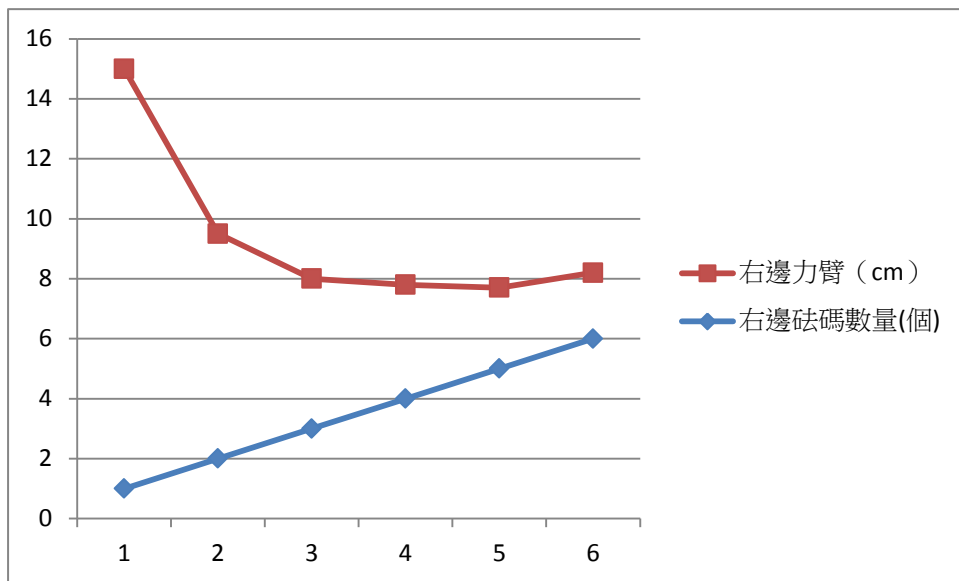
【圖 24】「右邊砝碼數量」對「右邊力距」的影響（實驗記錄）



【表 8】「右邊砝碼數量」對「右邊力距」的影響（實驗數據）

左邊砝碼數量 (個)	左邊力臂 (cm)	右邊砝碼數量 (個)	右邊力臂 (cm)
1	14	1	14
1	14	2	7.5
1	14	3	5
1	14	4	3.8
1	14	5	2.7
1	14	6	2.2

【圖 25】「右邊砝碼數量」對「右邊力距」的影響（圖表分析）



[我的發現]

1. 當右邊砝碼越重，右邊力臂長度會變愈小。
2. 符合力矩平衡公式。
3. 兩邊重物拿掉，只有支架，不易平衡。
4. 一開始以為要量鐵絲和桌面的距離，後來實驗發現要量砝碼與中線距離多少才是測量重點。(手繪畫圖)
5. (重要發現):右側鐵絲會自動下垂，自己找到平衡點。
兩邊鐵絲垂直長度不同不會影響實驗結果，
如何量砝碼與中線距離多少才是測量重點。

【研究七】「鐵絲彎曲度不同」對砝碼力距的影響

[實驗目的] 改變左右鐵絲彎曲不同，測量兩邊砝碼離中線的距離

[實驗條件]

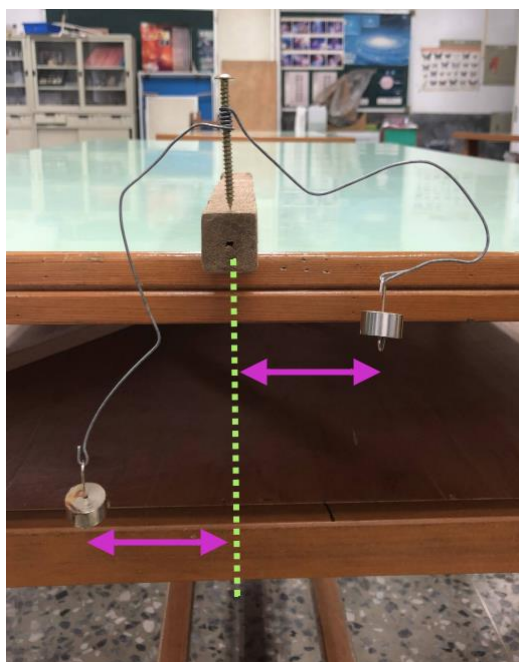
操作變因：左右鐵絲彎曲不同。

應變變因：兩邊砝碼離中線的距離

控制變因：鐵絲左右等長、左右各一顆砝碼、同一平面

[實驗結果]

【圖 26】鐵絲彎曲度不同對砝碼力距的影響



[我的發現]

1. 兩邊砝碼離中線的距離會「相同」！！而且與左右鐵絲彎曲方式無關。
2. 不是量外側彎處的距離，而是量兩邊砝碼離中線的垂直距離，這是很棒的發現。
3. 平衡與否和砝碼上下偏移距離無關。(好發現)

【研究八】 「上下抖動」是否能使兩邊的「力矩自動平衡」？

[目的]

我們想要探討用手提著平衡裝置，實驗裝置如【圖 22】，再垂直上下抖動，觀察記錄是否能使兩邊的力矩自動平衡，力臂長度是否因此自動會成一定比例？

[操作變因] 上下抖動次數改變。

[應變變因] 兩邊的力臂大小

[控制變因] 左 1 顆、右 3 顆砝碼、同一平面

[實驗結果]

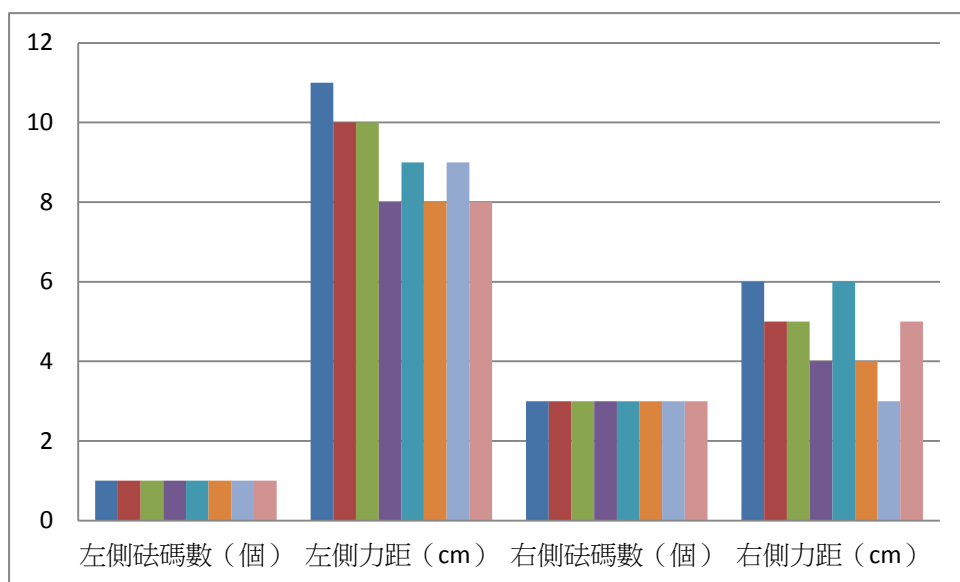
【圖 27】 上下抖動是否能使兩邊的力矩自動平衡（實驗記錄）

	原重	左		右		抖幾下
		砝碼	距離	砝碼 (3顆)	距離	
①	24	1	11	3	6	50
②	24	1	10	3	5	100
③	24	1	10	3	5	150
④	24	1	8	3	4	200
⑤	24	1	9	3	6	250
⑥	4	1	9	3	4	300
	24	1	8	3	5	350
					6	400

【表 9】上下抖動是否能使兩邊的力矩自動平衡（實驗數據）

原寬	左		右		抖動次數 (次)
	砝碼數 (個)	左力距 (cm)	砝碼數 (個)	右力距 (cm)	
24	1	11	3	6	50
24	1	10	3	5	100
24	1	10	3	5	150
24	1	8	3	4	200
24	1	9	3	6	250
24	1	8	3	4	300
24	1	9	3	3	350
24	1	8	3	5	400

【圖 28】上下抖動是否能使兩邊的力矩自動平衡（圖表分析）



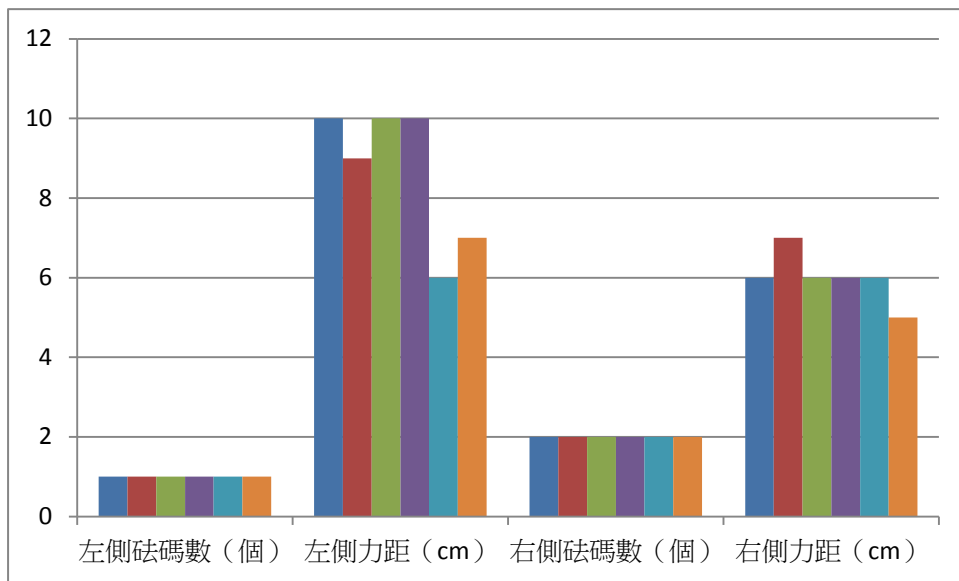
【圖 29】上下抖動是否能使兩邊的力矩自動平衡（實驗記錄）
左 1 顆、右 2 顆砝碼

原寬	左		右		抖動次數
	砝碼數	距離	砝碼數	距離	
24	1	10	2	6	50
24	1	9	2	7	100
24	1	10	2	6	150
24	1	6	2	6	200
24	1	7	2	6	250
24	1		2	5	300

【表 10】上下抖動是否能使兩邊的力矩自動平衡（實驗數據）

原寬	左		右		抖動次數 (次)
	砝碼數 (個)	左力距 (cm)	砝碼數 (個)	右力距 (cm)	
24	1	10	2	6	50
24	1	9	2	7	100
24	1	10	2	6	150
24	1	10	2	6	200
24	1	6	2	6	250
24	1	7	2	5	300

【圖 30】上下抖動是否能使兩邊的力矩自動平衡（圖表分析）



[我的發現]

- 1.想利用抖動來自動形成力矩平衡，結果顯示「**不是很準卻且誤差很大**」。但是**趨勢是正確的**。最後會呈現：左側重量輕，左力臂會較長。右側重量較重，右力臂會較短。
- 2.使用三顆砝碼，相對重量較重，鐵絲一下子就下垂，左側力臂一下子固定。左側則隨著擺動而慢慢縮短。
- 3.有力臂自動平衡的趨勢。意味著「自然界也會自動達成力矩平衡」例如樹枝的生長，或建築物損壞過程……

【研究九】走鋼索實驗

【實驗條件】

以滑輪配件模擬人在走鋼索，探討重物擺放位置（上下擺放）（左右擺放）對平衡度的影響。希望在手放開之後，滑輪能夠自動在繩索上面平衡且自動滑行。

【操作變因】1.鐵桿擺放方式 2.砝碼放置方式

【應變變因】在繩索上移動的距離

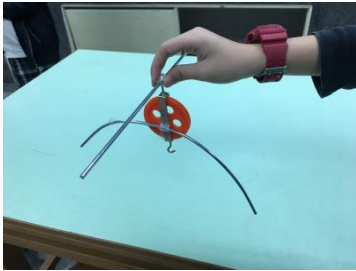
【控制變因】滑輪和鐵桿長度。

【實驗結果】

【圖 31】走鋼索實驗---平行擺放。平衡效果差。



【圖 32】走鋼索實驗---垂直擺放。平衡效果比上圖好。



【圖 33】走鋼索實驗---垂直擺放時裝置可以成功自動滑行。



【圖 34】走鋼索實驗。

砝碼放置在鐵桿的左右兩端，比砝碼集中在鐵桿中央正下方，其平衡效果會較好。



【圖 35】走鋼索實驗---砝碼置於左右兩側而且位置較低時，裝置能順利滑動，平衡效果好。如果在滑輪上裝置人形圖片就好像人類在走鋼索了。



[我的發現]

1. 利用砝碼來調整實驗裝置的重心高低，會發現重心低比重心高更容易平衡。
2. 鐵桿必須和繩索垂直擺放而非平行於棉線。
3. 砝碼放置在鐵桿的左右兩端，比砝碼集中在鐵桿中央正下方，其平衡效果會較好。

【研究十】衍生玩法---多層次平衡結構

【實驗條件】

利用自製的平衡器多個相疊來進行平衡實驗。

【實驗結果】

【圖 36】成功完成多層次平衡結構



【我的發現】

1. 多層次平衡結構的觀察：
也必須符合正面左右對秤力矩平衡
同時也必須符合側面前後秤力矩平衡
2. 中柱也可以呈現低角度平衡。
3. 可以產生不同的平衡組合，是很有趣衍生實驗。

【結論】

1. 力矩平衡計算

(單一型) 施力*施力臂 = 抗力*抗力臂

(組合型) 施力*施力臂 = (抗力 A * 抗力臂 A) + (抗力 B * 抗力臂 B) +
(抗力 C * 抗力臂 C)

力矩是可以分解成多種不同組合形式。

2. 中柱高度越大，中柱傾斜角越大（壓的越低）。代表重心越高，中柱傾斜角也會越大。「中柱傾斜角」可超過 90 度，竟可低於水平線，而呈現下垂的有趣畫面。

3 重物前移距離越大，中柱傾斜角越大，裝置會越躺平。中柱傾斜角可超過 90 度，產生中柱呈現下垂的有趣畫面。由側視圖來看：不只考慮正面中柱左右重量平衡，還得考慮側面前後的平衡，因重物前傾越多，左側力臂變長，導致右側中柱越躺平，使的右側力臂長度增加，來取得左右平衡。

4. 平衡鳥的平衡必須考慮立體的平衡。即是考慮另一個軸向的平衡，這是我們的自然課本槓桿單元沒有提到的，也是我們在本研究中的重要發現。

5. 重物張開距離越大(8~30 cm)，中柱傾斜角越大(45~105 度)，裝置越躺平。由側視圖來看：考慮另一個軸向的平衡（側視），當重物張開距離越大，造成左側力臂變大，導致右側裝置會以越躺平以增加右側力矩，以取得左右力矩的平衡。

6. 砝碼數量越重(1-11 顆)，中柱傾斜角越小(65~35 度)，最後會停在 35 度，不會在增加角度。砝碼越少，中柱傾斜角越大，會越躺平。當砝碼越多，中柱傾斜角越小。越挺直。側視圖分析：右側所掛的砝碼數越多，右側力臂會縮小移移向支點，藉此會讓右側的砝碼重量的影響力變小。

發現：

左重量小（固定）* 距離小（些微變小）= 右重量極大 * 距離極小（接近 0）

7.符合力矩平衡公式。兩邊重物拿掉，只有支架，不易平衡。一開始以為要量鐵絲和桌面的距離，後來實驗發現要量砝碼與中線距離多少才是測量重點。

8.右側鐵絲會自動下垂，自己找到平衡點。兩邊鐵絲垂直長度不同不會影響實驗結果，如何量砝碼與中線距離多少才是測量重點。想利用抖動來自動形成力矩平衡，結果顯示「**不是很準卻且誤差很大**」。但是**趨勢是正確的**。最後會呈現：左側重量輕，左力臂會較長。右側重量較重，右力臂會較短。

9.利用砝碼來調整實驗裝置的重心高低，會發現重心低比重心高更容易平衡。鐵桿必須和繩索垂直擺放而非平行於棉線。砝碼放置在鐵桿的左右兩端，比砝碼集中在鐵桿中央正下方，其平衡效果會較好。

10.多層次平衡結構：**也必須符合正面左右對稱力矩平衡，同時也必須符合側面前後秤力矩平衡**，可以產生不同的平衡組合方式，是很有趣的衍生實驗。

【總結論】

本研究最重發現是平衡鳥具有「**雙力矩的平衡**」，包括正面力矩的平衡，以及側面的力矩平衡。關鍵是平衡鳥的側面力矩平衡，當支點左右重量差異很大時，重量大的一端的力臂會變成很短，來抵銷本身重量的影響。而重量小的一端會以改變中柱傾斜角的方式來因應之。

【參考資料】

1.巧妙的施力工具。自然與生活科技六下教師手冊（2019）。