

金門地區第五十八屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：量小力微也可以！麥管天平的初探

關 鍵 詞：麥管天平 質量

編 號：

製作說明：

1. 說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
2. 編號由本縣科學展覽會承辦單位統一編列。
3. 封面編排由參展作者自行設計。

一、摘要：

利用簡單的材料製作天平，目的是能測微小的質量，並探討各種影響天平準確的度的因子，如管長、管重量大小及有無載物台的影響，作出較為精準的微量天平。

二、研究動機：

要測量很微小的長度，為了增加精確度則需要使用游標尺，而質量的測量通常使用電子磅秤或天秤，但極微小的質量，如頭髮的質量又該怎麼測量呢？我們希望可以簡單的器材組裝出天平的結構，用來測微小質量的工具。

三、研究目的：

- (一) 探討實驗室天平秤物的原理。
- (二) 探討物體質量與力矩的關係。
- (三) 利用自製麥管天平測出物體質量。
- (四) 製造不同質量的麥管天平，進而找出最靈敏的麥管天平。

四、研究器材：

塑膠管數根、小螺絲、縫衣針、火柴盒、載玻片、橡皮筋、方格紙、厚紙板與待測物

五、研究設計：

(一) 當天秤整體的重心在支點的正下方時，系統呈現穩定平衡的狀態，若將小方格紙片放在天秤的左端，則會對支點產生逆時針的力矩，但由於系統的重心也隨著桿子的轉動逆時針旋轉至支點的右方，此時重心對支點產生順時針的力矩。如此一來，兩個力矩在某個特定角度時即能達成靜力平衡。

接著依序在天秤左端放上小方格紙，每次達到穩定平衡時於厚紙板上記錄其位置，就能夠當作麥管天秤的參考刻度。最後將小方格紙換成待測物，觀察平衡時的位置，利用距離的比例關係（內插法），即可求得待測物相對於多少張小方格紙，再間接求得待測物的質量。

首先要組裝一個麥管天秤，需要一根細細長長的桿子，但這個桿子質量不能太大（越輕越靈敏），而且材質要夠堅硬，不容易變形，因此我們選擇使用氣球棍當作天秤的平衡桿子。接著要切出一個放東西的載物槽，再來將縫衣針插入桿子作為天秤的支點，而下針的位置，則是必須先找到桿子的重心位置，並下針在重心的上方。若將針下在重心的下方，屬於不穩定平衡，測量時不能平衡，而若是剛好將針下在重心的位置，看似能完成平衡，但放上待測物後會產生新的力矩而無法使天秤平衡，因此針要插在重心的上方，讓系統產生穩定平衡，當放上待測物後，重心和待測物各別產生相反方向之力矩而達轉平衡。

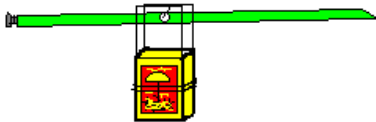
另外，由於我們待測物的質量非常小，因此需要增加麥管天秤靈敏度，除了選擇很長的桿子外，要如何以相同長度的桿子，讓力臂增加呢？答案就是在氣球棍的另一端旋上螺絲，如此重心就會偏向螺絲端，即能使待測物端的力臂增加，同時會提升測量的精準度，並能夠當作校正平衡的螺絲使用，此步驟是為了提高天秤

靈敏度，而非必要，但因鎖螺絲的步驟會使重心位置偏離，故若要鎖上螺絲，須於下針前就先鎖上，如此才能確定重心位置後再行下針步驟。最後利用火柴盒及載玻片製作一個支撐支點的載台，即完成了麥管天秤裝置。

六、研究過程與方法：

(一) 麥管天秤的探討：

實驗裝置



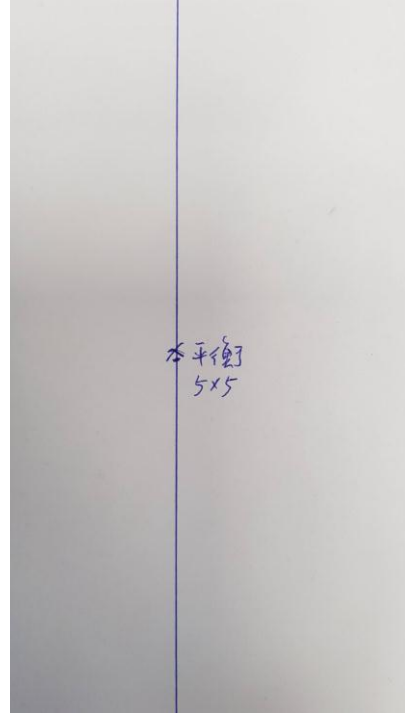
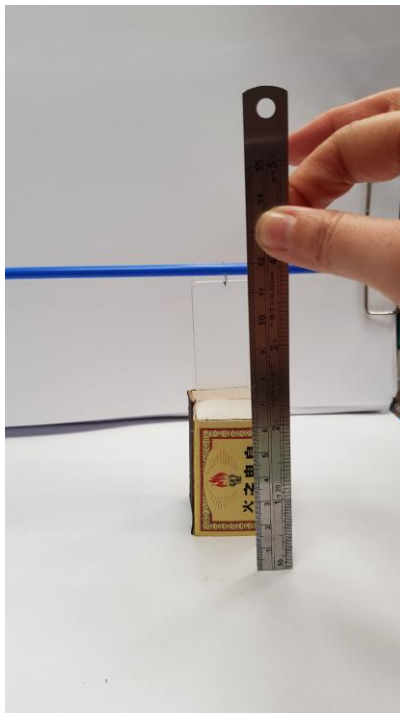
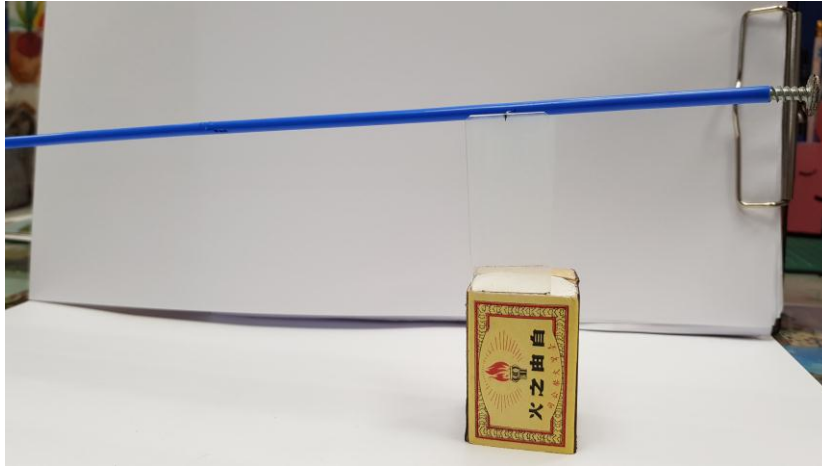
1. 將螺絲找到旋入氣球棍內，並找合體後的重心。
2. 在重心的位置（偏上方處）插入縫衣針，讓重心在針的下方。
3. 利用火材盒及載玻片製作出支撐支點的結構，組裝成一個麥管天秤裝置。
4. 取一張方格紙，裁去外邊後，內部方格面積剩下 $25\text{cm} \times 18\text{cm} = 450\text{ cm}^2 = 45000\text{ mm}^2$ ，並測量其質量，即可計算一小格方格 1mm^2 的質量。
5. 將小小格方格紙剪下後，依序放在麥管天秤上，並記錄麥管端點的位置（位移）。
6. 取一根頭髮放在麥管天秤上，記錄其位置（位移），利用內插法計算其質量
7. 重複步驟 6.，測量 5 次後計算一根頭髮質量平均值與平均標準差。
8. 取一根質量更大的塑膠管子，重複步驟 1~6



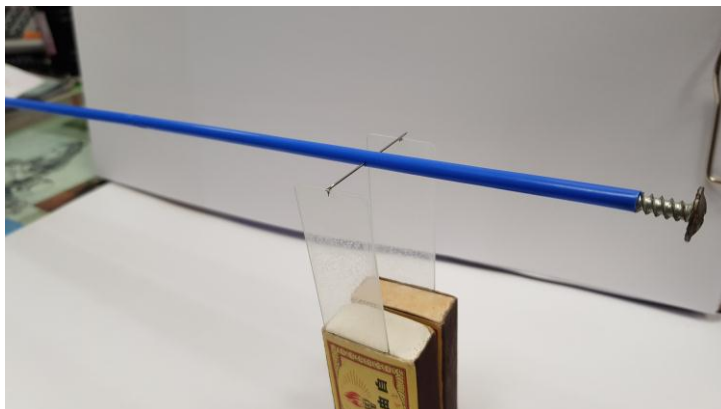
製作麥管天平需找尋重心，調整校準螺絲



插針位置需在重心上方



測出平衡位置



紀錄麥管天平的平衡位置

七、實驗結果：

(一) 麥管天平的探討：

在此簡單證明待測物移動距離與其質量成正比，假設桿子與螺絲的總質量為 W_0 ，其重心位於支點下方 s 處的位置。於支點左方 L 處，放上質量為 w 的待測物，桿子逆時針旋轉 θ 達成靜力平衡，因此待測物形成的逆時針力矩會等於桿子與螺絲系統的順時針力矩，可列等式（由於角度很小的情況下 $\tan \theta$ 約等於 $\sin \theta$ ，其中 Δy 為待測物移動的距離），得知待測物質量與其位移成正比。此外為了讓角度很小，方格紙不能剪太大格，可依照天秤的靈敏度，選擇剪成 2×2 或 3×3 的小方格， 1×1 的小方格則容易增加裁減所造成的誤差，如此每次增加小方格紙時，角度變化就不會太大！

1. 麥管的質量對測量方格紙的影響

(1) 輕量級的麥管(直徑 0.5cm)

	3x3 mm ²	4x4 mm ²	5x5mm ²	6x6mm ²	7x7mm ²
距平衡位置距離	0	0	0.2 cm	10.2cm	10.2cm

修正以後，插在重心上方的位置，比較容易平衡

	3x3 mm ²	4x4 mm ²	5x5mm ²	6x6mm ²	7x7mm ²
距平衡位置距離	0.5	1.5	2.1 cm	4.5cm	5.6cm



輕量麥管測量方格紙的質量





加上載物台的輕量麥管



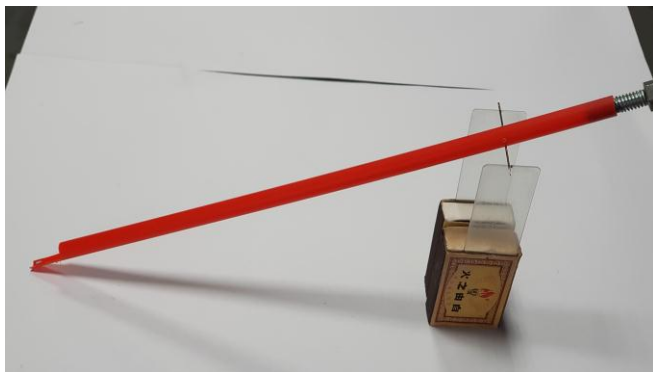
確定位置是否擺放正確

(2) 中量級的麥管(直徑 0.7cm)

	3x3 mm ²	4x4 mm ²	5x5mm ²	6x6mm ²	7x7mm ²
距平衡位 置距離	10.2cm	10.2cm	10.2 cm	10.2cm	10.2cm

根據經驗修正以後，插在中心上方的位置，比較容易平衡

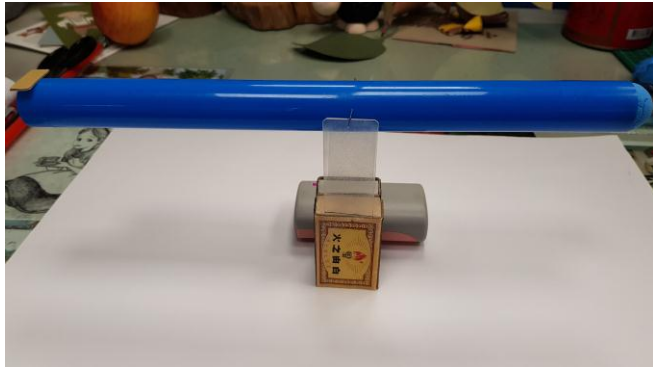
	3x3 mm ²	4x4 mm ²	5x5mm ²	6x6mm ²	7x7mm ²
距平衡位 置距離	0.8cm	1.4cm	2 cm	2.2cm	2.4cm



中量麥管比較不容易達到平衡

(3) 重量級的麥管(直徑 2.4cm)

	3x3 mm ²	4x4 mm ²	5x5mm ²	6x6mm ²	7x7mm ²
距平衡位 置距離	0.25cm	0.4cm	0.5 cm	0.6cm	0.7cm



找不到適當的螺絲，以黏土替代



加了載物台的重量麥管

根據電子天平的結果，方格小紙片的重量分別為下表：

	3x3 mm ²	4x4 mm ²	5x5mm ²	6x6mm ²	7x7mm ²	10x10mm	20x10mm ²
實際 質量	0.005g	0.1g	0.2g	10.2g	10.2cm	0.008g	0.015g

質量越重的麥管找重心時越不易平衡，偏轉角度也越大。

而實驗結果顯示，輕量級的麥管比重量級的麥管更符合內插法的結果，質量有規律地呈現。



20x20 mm²的質量



10x10 mm² 的質量

2. 裁邊之後的 45000mm² 方格紙大約 2.8 克，依此測量小方格紙的質量：

	3x3 mm ²	4x4 mm ²	5x5mm ²	6x6mm ²	7x7mm ²	10x10mm	20x10mm ²	20x20 mm ²
電子秤質量	0.005g	0.1g	0.2g	0.3g	0.3g	0.008g	0.015g	0.028g
實驗估算	0.00056	0.000996	0.00156	0.00224	0.00305	0.00622	0.0124	0.03
差值	0.00444	0.099004	0.19844	0.29776	0.29695	0.00178	0.0026	0.02

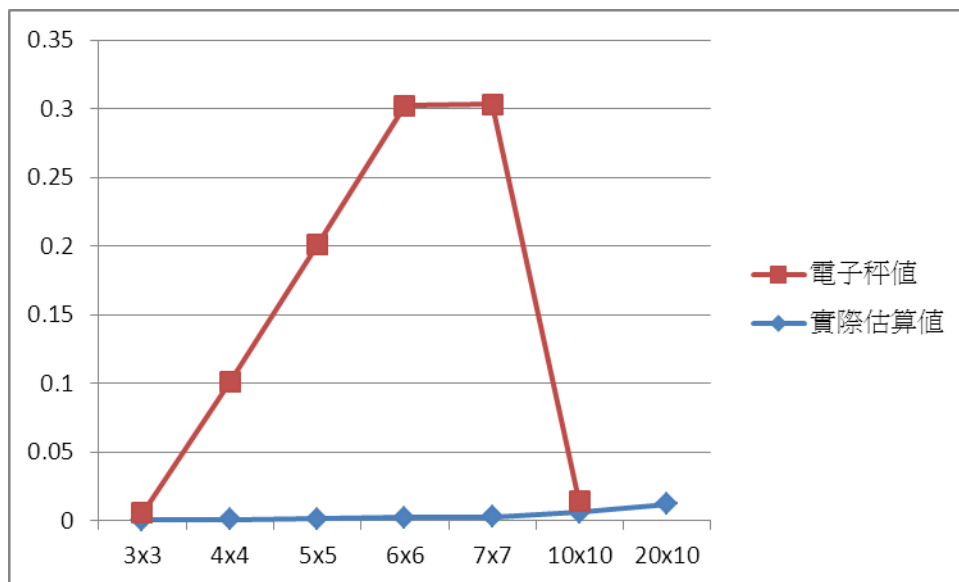
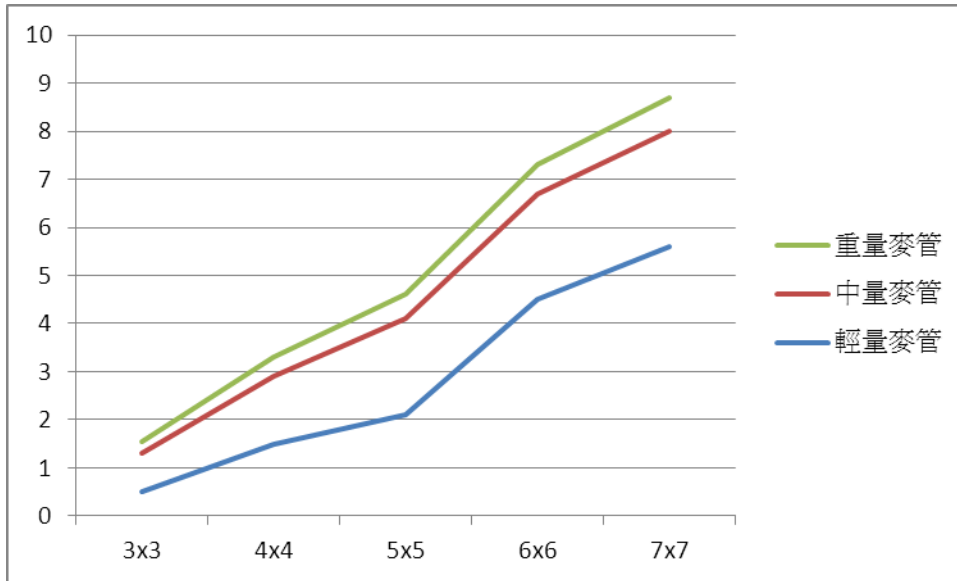


圖 電子秤質量與估算質量的差異



從上述的實驗結果顯示，誤差相當大，電子秤本身的測量似乎也是非常容易受到外界的影響。

3. 置物的位置的麥管測量的影響：

輕量級麥管	3x3 mm ²	4x4 mm ²	5x5mm ²	6x6mm ²	7x7mm ²
距離(無載物台)	0.5	1.5	2.1	4.5	5.6
距離(有載物台)	0.2	2	2.6	4.8	5.6

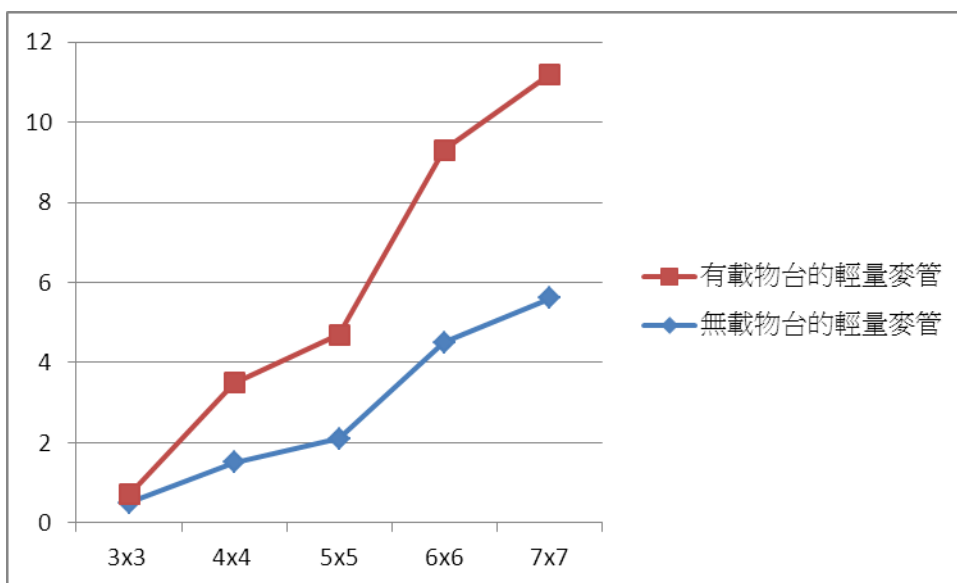


圖 有無載物台的輕量麥管秤重比較

中量級麥管	3x3 mm ²	4x4 mm ²	5x5mm ²	6x6mm ²	7x7mm ²
距離(無載物台)	0.8	1.4	2	2.2	2.4
距離(有載物台)	1	1.2	2.1	2.1	2.3

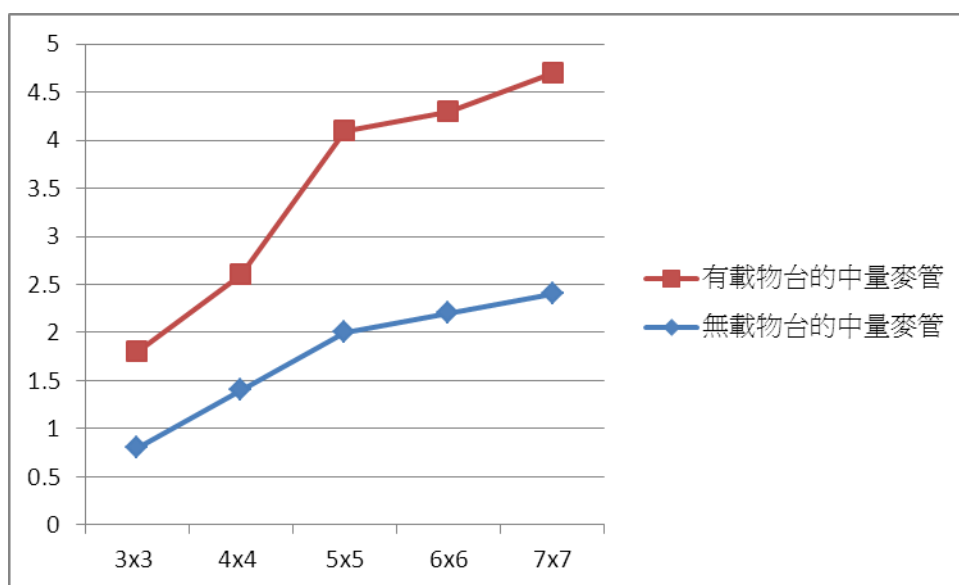


圖 有無載物台的中量麥管秤重比較

重量級麥管	3x3 mm ²	4x4 mm ²	5x5mm ²	6x6mm ²	7x7mm ²
距離(無載物台)	0.25cm	0.4cm	0.5 cm	0.6cm	0.7cm
距離(有載物台)	0.2	0.3	0.4	0.7	0.7

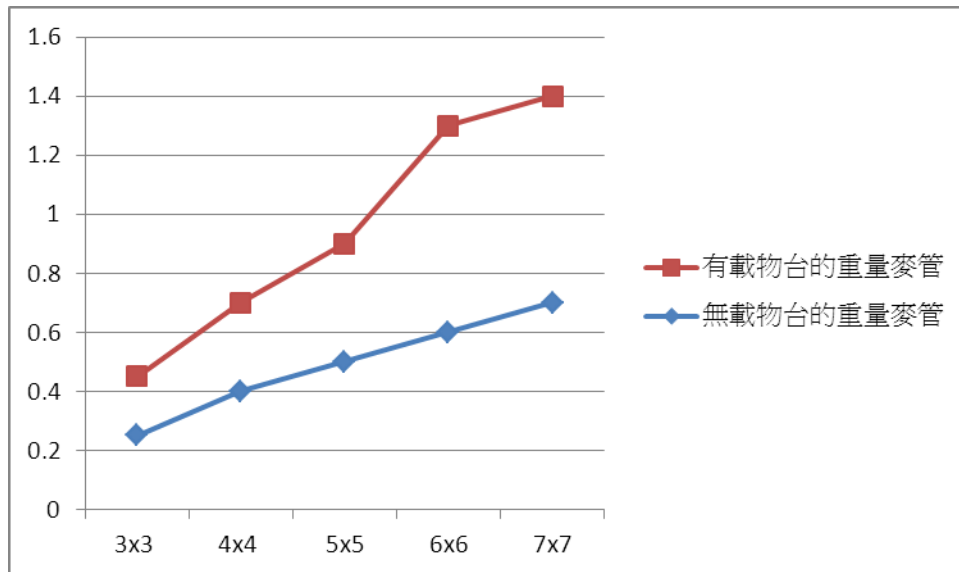


圖 有無載物台的中量麥管秤重比較

有載物台與無載物台對各種口徑的麥管都沒有明顯的差別，然而有載物台的麥管所秤得的重量都較重。

4. 砝碼的秤重

輕量麥管

質量	100mg	200mg	500mg	1000mg
距離平衡位置	9	9	9	9

中量麥管

質量	100mg	200mg	500mg	1000mg
距離平衡位置	9	9	9	9

重量麥管

質量	100mg	200mg	500mg	1000mg
距離平衡位置	9	9	9	9

顯示似乎無法明顯測得差異。

5. 以厚紙板阻絕風的吹拂影響，以改良的天秤秤頭髮的質量：

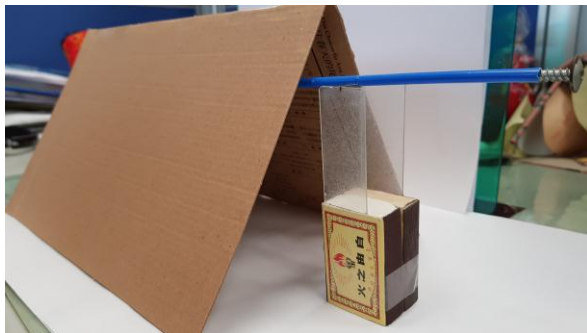
一束頭髮有多重 一根頭髮有多重

人的頭髮平均 10 萬根，總重量為 63.143，平均一根頭髮的重量為 0.00063143

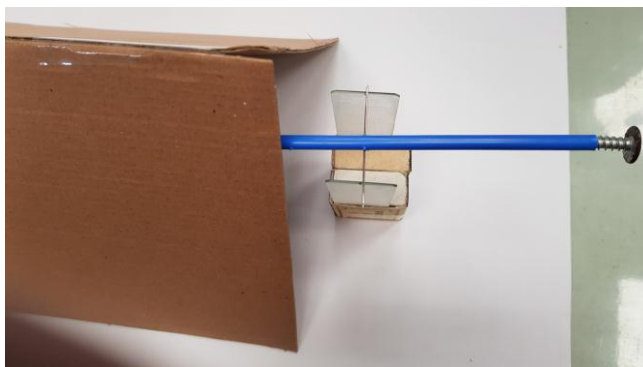
克



跟同學借來的頭髮



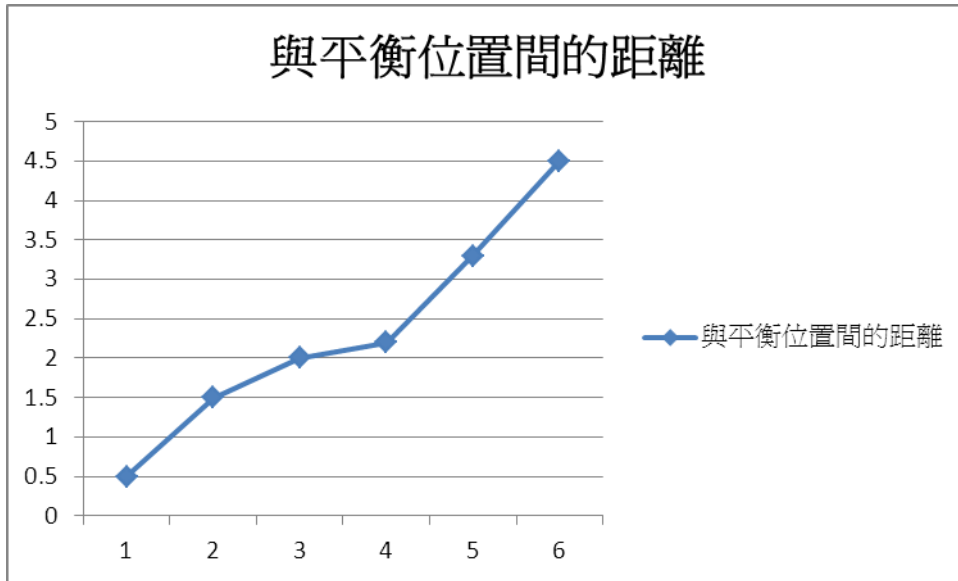
加上厚紙板阻絕風



加上厚紙般阻絕風

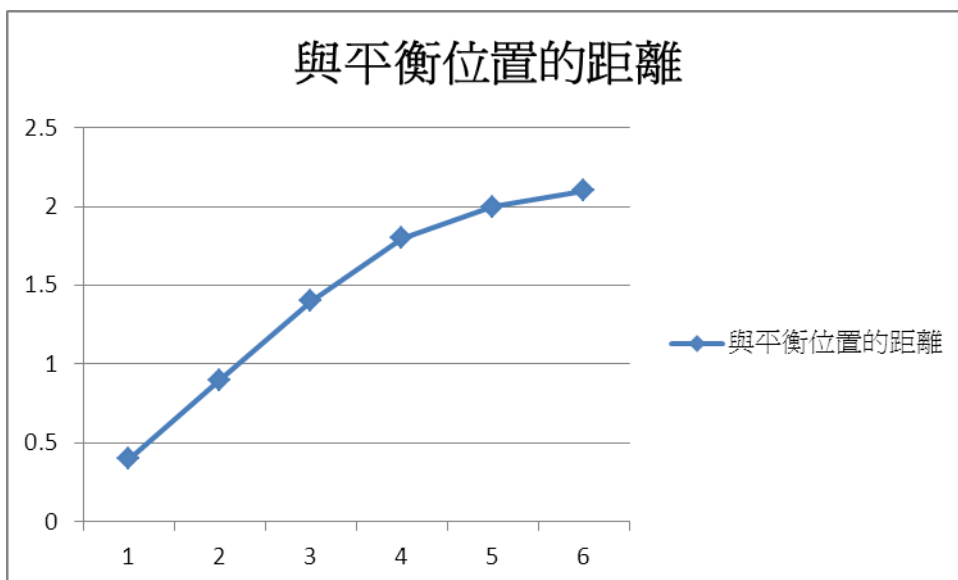
我們向同學借來長髮，以輕量麥管測量 5 公分的頭髮重量

頭髮根數	1	2	3	4	5	6
與平衡位置距離	0.5	1.5	2	2.2	3.3	4.5
內插法質量	0.0006	0.001	0.0016	0.00165	0.0019	0.0023



中量麥管測量 5 公分的頭髮重量

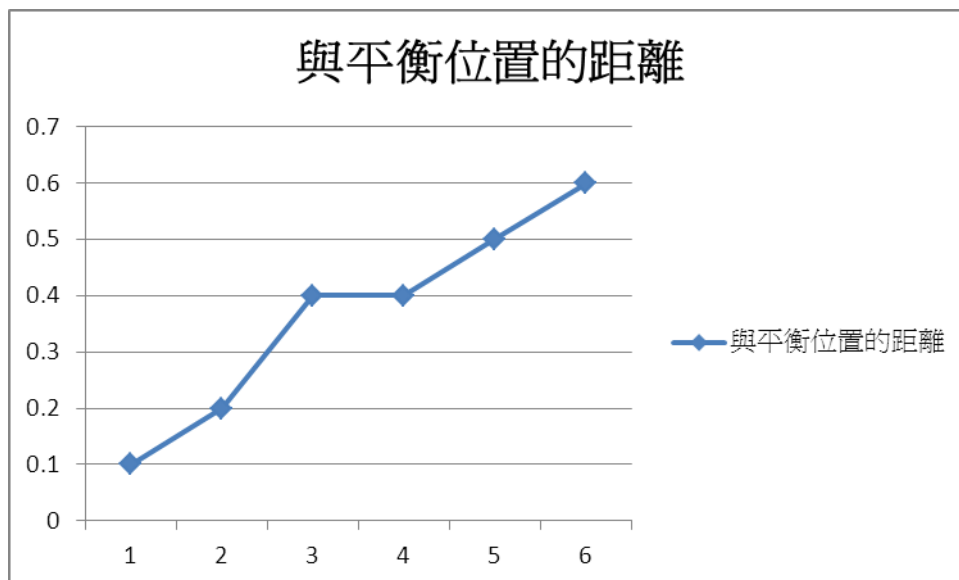
頭髮根數	1	2	3	4	5	6
與平衡位置距離	0.4	0.9	1.4	1.8	2	2.1
內插法質量	0.0003	0.00067	0.001	0.0015	0.0016	0.0021



重量麥管測量 5 公分的頭髮重量

頭髮根數	1	2	3	4	5	6
與平衡位	0.1	0.2	0.4	0.41	0.5	0.6

置距離						
內插法質量	0.00047	0.0005	0.001	0.001	0.0016	0.0023



6. 將一根頭髮(約 5 公分)放在輕量麥管天平上，記錄其位置，利用內插法計算其質量，並重複此步驟 5 次，之後，求一根頭髮的質量平均值跟標準差。

利用輕量麥管的數據來球內插法

測量次數	1	2	3	4	5	平均值
具平衡位置距離	0.4	0.5	0.5	0.3	0.4	0.42
內插法質量(克)	0.00043	0.00056	0.00056	0.0004728	0.00043	0.0004906

五次測量下來的質量標準差為 0.074833，顯示測量的結果彼此之間差異不大。

八、結果與討論：

(一) 麥管的質量對測量的影響，一開始我們發現天平非常不容易達到平衡，在調整下針位置為重心的上方，形成不穩定平衡，意為一個物體從平衡的位置運動短距離，接著無法回到原來位置而進一步運動的狀況，即若處於平衡狀態的物體在受到外力的微小擾動而偏離平衡位置時，若物體無法自動恢復到原先的狀態，這樣的平衡叫做不穩平衡，整體結果相對穩定，我們發現麥管本身的質量越輕，偏離平衡位置的距離越大，測得質量也越靈敏。質量與平衡距離的關係接近線性關係，意為質量越大，偏離的距離也越大。

(二) 以電子秤測量小方格紙的質量，發現質量越小的方格紙，麥管天平與電子秤秤德的質量誤差越小。不過實驗過程中也發現電子秤非常容易被擾動而無法得出精確數值，但整體差距小於 0.2 公克。

(三) 有無載物檯對麥管天平的影響，有載物台與無載物台對各種口徑的麥管都沒

有明顯的差別，然而有載物台的麥管所秤得的重量都較重。

(四) 以厚紙板阻絕風的吹拂影響，用來秤頭髮的質量，結果顯示輕量麥管測到的頭髮質量最接近估計值 0.0006 克，中量麥管測的質量略輕，接近 0.0004 克，而重量麥管測得的質量約為 0.00024 克，反而是最輕的。

(五) 用同樣一根頭髮測量五次，並用輕量天平來測，並加上旁邊遮蔽的紙板，測量五次的結果，得到平均為 0.0004906 克，測量標準差為 0.074833，跟先前的結果差異不大，落在 0.0004~0.0006 之間。

(六) 誤差來源：質量越輕的麥管天平越為靈敏，但是相對的，麥管天平十分容易受到攪動，例如風，或是周遭的環境，就會上下擺動，影響到實驗結果，所以控制環境的因素特別重要，盡量不要在實驗中到處走動，也必須把電風扇、冷氣都要關閉，

第二是麥管天平的位置要保持固定，針頭不要到處滑動，可以在玻片上固定標記一個位置，如此在紀錄氣球桿端點的時候，才不會平移造成實驗誤差。而 4~6 公分的頭髮測量出來大約質量大約為 0.0003~0.0004 克之間，平均一公分的頭髮質量大約在 0.0005~0.0007 克，但是也有學生頭髮比較粗，平均一公分的頭髮就有 0.0001 克。

第三是每個人的頭髮粗細都不同，這次實驗我們跟同學借來的頭髮是同一個人的，他的頭髮比較細軟，沒有跟別的同學借來對照，所以沒有考慮到每個人都會有點不同。

九、未來展望：

這次的實驗不僅讓我們實地操作天平，過程中也有碰壁的時候，需要修正實驗裝置，而此天平的穩定度不是很好，在操作時也很容易偏轉位置，所以我們下次就它的穩定性跟精準度再去改進，排除環境的條件，例如加壓克力罩，防止擾動或者是找出線性的關係來畫更準的刻度等，讓天秤更臻實用性是我們可以更努力的方向。

十、參考資料：

1. 國中自然第四冊第六章第一節力與平衡
2. 科學研習月刊第 57-1 期 P. 54~59
3. 吳文政，轉動彈性學及流體力學，一流出版社
4. 末益博智，漫畫材料力學，科學出版社
5. 新田英雄，世界第一簡單物理力學篇，世茂出版社