

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學科

第二名

030821

光知我的輕！

學校名稱：臺中市立豐東國民中學

作者：	指導老師：
國二 李盈瑱	簡金標
國二 杜祐誠	張庭郡
國一 張楷維	

關鍵詞：光槓桿、等面積質量分割法、鋁箔砝碼

光知我的「輕」

摘要

我們利用反光貼紙黏貼在紙槓桿上，以雷射光筆將入射光投射在反光紙，反光貼紙將入射光線反射至其上方的平面鏡上，平面鏡將入射光線反射至桌上的方眼紙，我們從方眼紙上光點的位移，就可以測量到極微細小物質的質量，甚至可測得 1mg 以下細微物質的質量。

壹、研究動機：

二年級上學期我們做物質質量測量時，發現學校有上皿天平，等臂天平及三梁天平，但這些天平的最小刻度單位為 100mg，即 0.1g 以下的物質質量是無法測量的，當時我們感到很疑惑，難道不能在天平上附加什麼裝置，就可以量測 100mg 以下的更小物質的質量？於是我們對這個主題很感興趣，我們翻閱很多書籍，收集相關資料並請求自然老師指導，開始探究這個主題。

貳、研究目的：

- 一、了解槓桿作用原理與光槓桿的理論探討。
- 二、探討如何利用光槓桿的反射，測量微小物體的質量。
- 三、探討如何將光點在方眼紙上的位移再加大一些。
- 四、探討如何增強第三代裝置的測量效果。
- 五、利用第三代測量裝置，探討一滴酒精在秤盤上的蒸發速率。
- 六、改裝光槓桿的測量裝置並探討細棉線的彈性限度。
- 七、探討如何利用等臂紙槓桿，測量更微細物體的質量。
- 八、探討如何將紙槓桿的測量範圍增大
- 九、再擴大紙槓桿的測量範圍。
- 十、本裝置與高精度電子天平的比較。



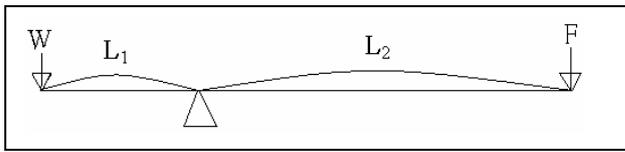
參、研究器材：

西卡紙	銀色反光膠帶	漆包線	透明壓克力方形盒	綠雷射筆
膠帶	熱熔膠	雙面膠	AB 透明膠	方眼紙
30 公分直尺	砝碼	平面鏡	厚紙板	圓木桿
螺絲	螺帽	鐵鎚	尖嘴鉗	鐵線
鋁箔紙	手珠彈性線	大紙箱	鋁箔小砝碼	酒精

肆、研究過程：

一、槓桿原理：

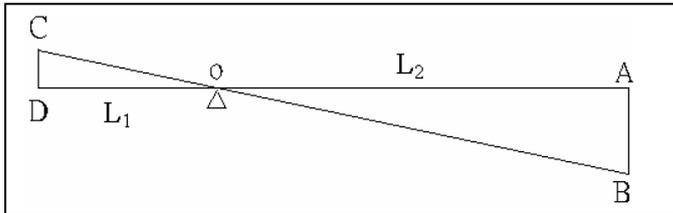
1. 支點在中間的槓桿：



W：抗力 F：施力 L_1 ：抗力臂

L_2 ：施力臂，且 $L_2 > L_1$

$$F \times L_2 = W \times L_1 \rightarrow F < W$$



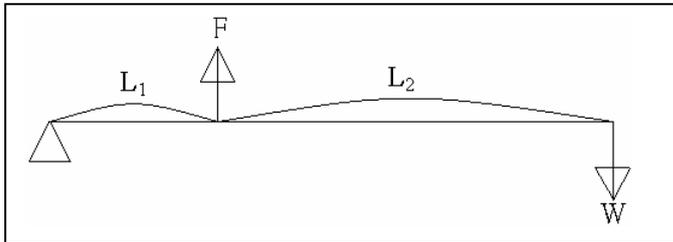
$$\triangle AOB \sim \triangle DOC$$

$$AB:CD = L_2:L_1$$

$$L_2 > L_1$$

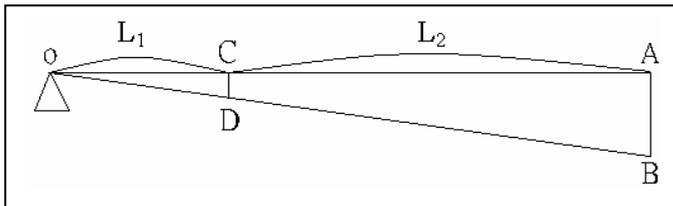
$$\therefore AB > CD$$

2. 施力點在中間的槓桿：



$$W \times (L_1 + L_2) = F \times L_1$$

$$W < F$$



$$\triangle COD \sim \triangle AOB$$

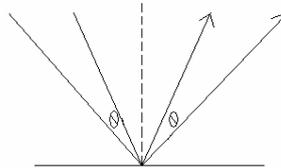
$$AB:CD = (L_1 + L_2):L_1$$

$$AB > CD$$

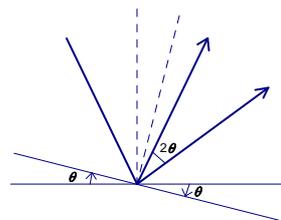
二、光槓桿的理論探討

(一) 光槓桿的反射原理：

1. 若平面鏡的方向不變，當入射線旋轉某一角度 θ 時，反射線的方向將會旋轉 θ 的角度。



2. 若入射線的方向不變，當平面鏡旋轉某一角度 θ 時，反射線的方向將會旋轉 2θ 的角度。



3. 當入射光點與平面鏡距離愈遠時，原反射線與新反射線在投影板上的投影位置差距就會愈大。
4. 經過多面平面鏡反射後；光點的投影位置差距也會更加明顯。

(二) 光的反射定律：

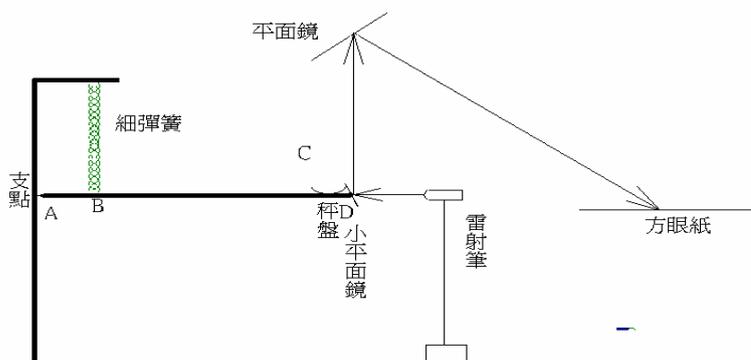
1. 入射線、反射線、法線在同一平面上，且入射線與反射線在法線的異側。
2. 入射角=反射角。

二、探討如何利用光槓桿測量微小物體的質量。

(一) 實驗方法：

1. 秤盤 C 為抗力點，B 為施力點，A 為支點。
2. 木槓桿的另一端，以 AB 膠黏貼一塊 45° 角的小平面鏡，在小平面鏡 45° 角前方以雷射筆入射光線進入小平面鏡。
3. 木槓桿的小平面鏡將入射光線，反射至其上的較大平面鏡上。
4. 上方大平面鏡又將入射的光線，反射到桌上的方眼紙上。

5. 裝置如下圖所示：



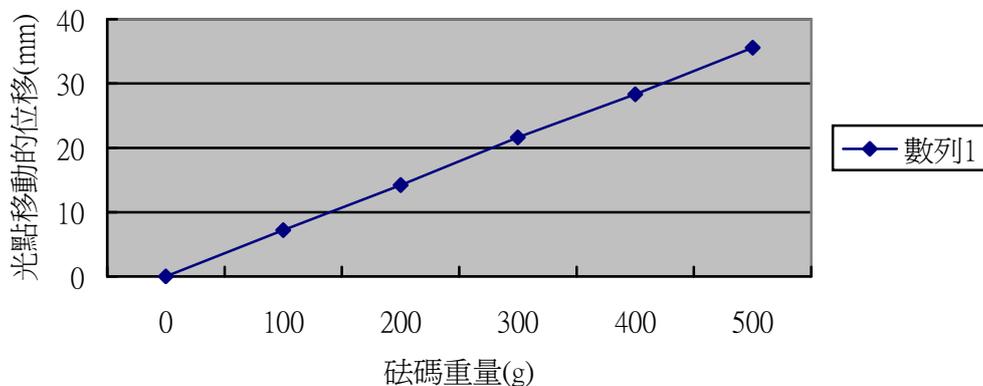
(二) 實驗步驟：

1. 在未放置砝碼前，先將木桿 ABC 調整至水平位置，並在桌面上放置方眼紙，紀錄原點的所在位置。
2. 以 100mg 的砝碼放入盤中央，在方眼紙上紀錄雷射光點移動後的位置。
3. 將 100mg 砝碼取出，檢查木槓桿 ABC 是否回到水平位置(即光點的原點位置)，如果可以回至原點，表示彈簧未超過彈性限度。
4. 再以 200mg 砝碼放置盤中央位置，並在方眼紙上紀錄光點移動後的位置。
5. 取出 200mg 砝碼，檢查光點是否回到原點。
6. 再以實驗步驟(4)、(5)的方法分別放入 300mg、400mg、500mg 的砝碼，並記錄光點在方眼紙上位置。

(三) 實驗結果：

放置以上五個不同質量的砝碼後光點移動的距離

mg mm 次數	0	100	200	300	400	500
1	0	7.4	14.5	21.6	28.2	35.5
2	0	7.0	14.2	21.4	28.5	35.2
3	0	7.2	14.0	22.0	28.6	35.8
4	0	7.5	14.2	21.8	28.4	36.0
5	0	7.3	14.3	21.2	28.0	35.6
平均	0	7.2	14.2	21.6	28.3	35.6



(四) 實驗討論：

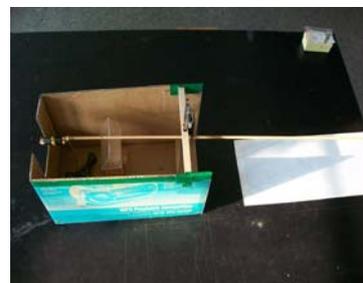
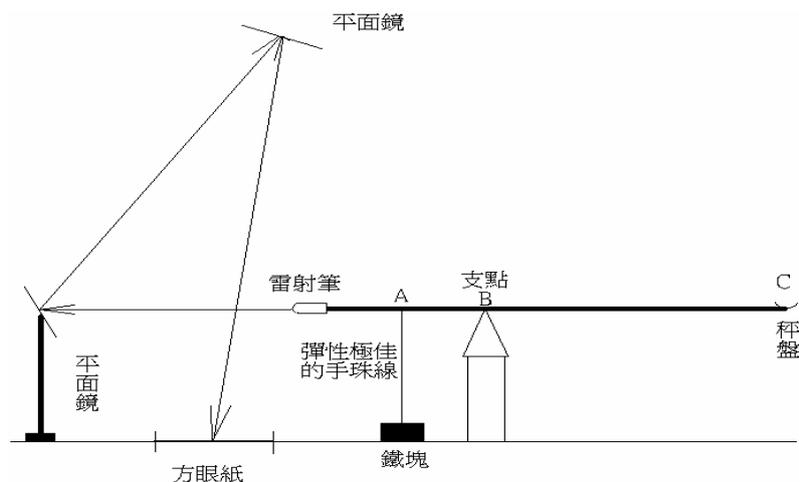
1. 放置 100mg~500mg 砝碼，彈簧未超過彈性限度。
2. 彈簧未超過彈性限度內，砝碼重量與光線移動的位移成正比關係。
3. 此裝置雖然可以測量出 500mg 以內物體的重量，但光點移動的位移和我們期望位移相差甚遠，證明我們還有很大的努力空間。
4. 將雷射光點移動的距離再加大，將是我們要討論的下一個課題。

三、探討如何將光點在方眼紙上的位移再加大？

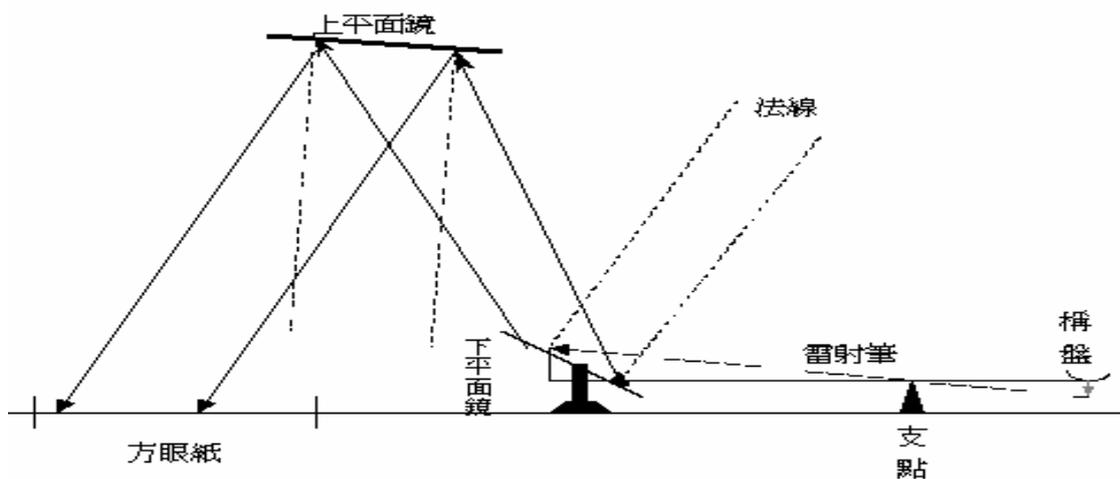
(一) 實驗方法：

1. 將細彈簧改為彈性極佳的手珠彈性線。
2. 雷射光筆與木槓桿用 AB 膠黏結在槓的一端，雷射光線是從木槓的尖端發射出去。
3. 再以桌面上的平面鏡，將入射光反射至其上方的大平面鏡。
4. 上方的平面鏡再將入射光點反射至方眼紙上。

5. 第二代裝置圖如下：



※ 第二代裝置中光射與光點移動的分析圖：



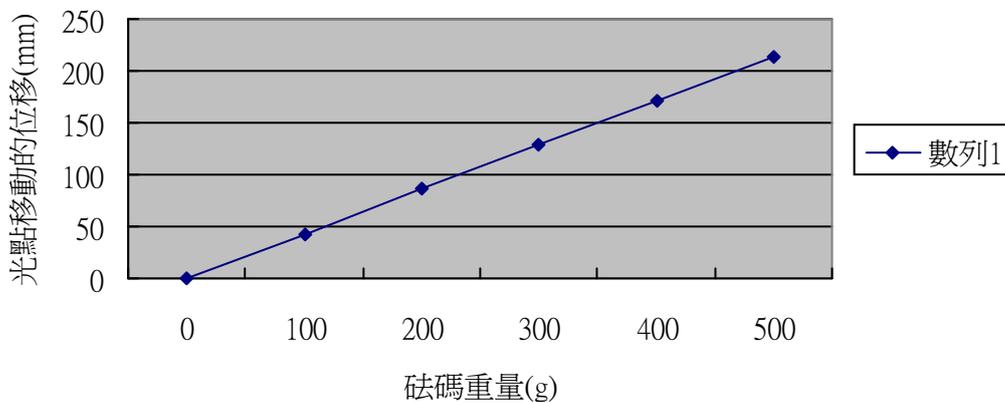
(二) 實驗步驟：

1. 在未放置砝碼前，先將木桿 ABC 調整至水平位置，並在桌面上放置方眼紙，記錄原點的所在位置。
2. 以 100mg 的砝碼放入秤盤中央，在方眼紙上記錄雷射光點移動後的位置。
3. 將 100mg 砝碼取出，檢查木槓桿 ABC 是否回到水平位置(即光點的原點位置)，如果可以回至原點，表示手珠線未超過彈性限度。
4. 再以 200mg 砝碼放置秤盤中央位置，並在方眼紙上記錄光點移動後的位置。
5. 取出 200mg 砝碼，檢查光點是否回到原點。
6. 再以實驗步驟 (4)、(5) 的方法分別放入 300mg、400mg、500mg 的砝碼，並記錄光點在方眼紙上的位置。

(二) 實驗結果：

放置 100mg~500mg 砝碼後光點移動的位移

mm 次數 \ mg	0	100	200	300	400	500
1	0	43.2	85.4	128.6	171.0	214.4
2	0	42.8	86.2	128.8	170.8	214.2
3	0	42.4	85.6	127.8	171.4	213.6
4	0	43.0	85.8	128.4	171.6	214.0
5	0	42.6	86.0	128.8	171.2	214.2
平均	0	42.8	85.8	128.5	171.2	214.1



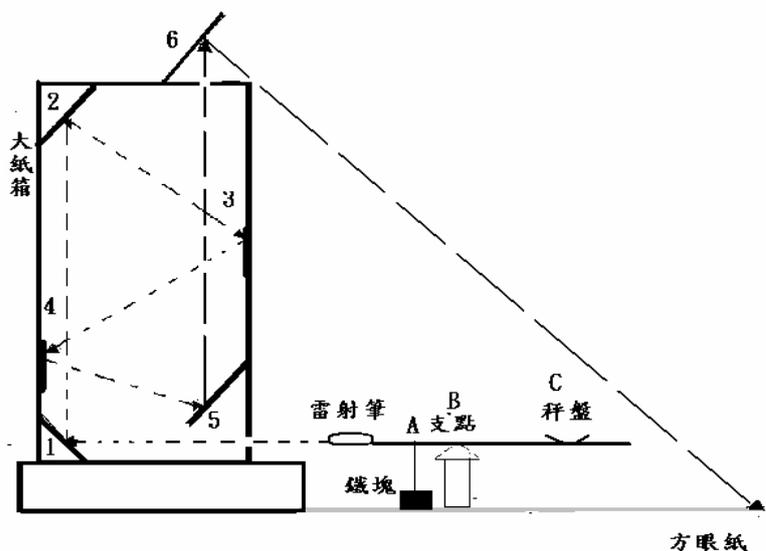
(四) 實驗討論：

1. 若木桿 ABC 移動角度為轉角 θ 角，經過兩個平面鏡反射後，最後到反射光線將會移動 4θ 角。
2. 經過兩次平面的反射，入射光線與平面鏡的距離愈長，反射光點在方眼紙上的光點差距也會愈大。
3. 光槓桿的形式改變後使光點在方眼紙上移動的距離加大許多，比較容易觀察記錄，誤差也較小。
4. 因為光點在方眼紙上的距離變大了，所以這個測量裝置變為敏感，易受風的干擾，必須要有擋風的裝置。
5. 以下是我們計算物體重量的比例公式：
設物體重量為 X mg(未知)
方眼紙上光點與原點之間的位移為 A mm(已知)
 $500 : 214.1 = X : A$ (已知)
或 $100 : 42.8 = X : A \rightarrow$ 即可得知 X 為多少 mg。
6. 我們很想知道 100mg 以下物體的重量如何才能測知？因為 100mg 以下的質量很細微所以我們必須再加大光點在方眼紙的位移，我們再繼續研製第三代測量裝置。

四、探討如何再增大第三代裝置的測量效果。

(一)實驗方法：

1. 以彈性極佳的日本手珠線作為抗力。
2. 用 AB 膠將雷射裝筆與圓槓桿固定在木桿的前端，使雷射光線可從木桿尖端筆直的射出。
3. 以六個反射平面鏡裝置在一個大紙箱的兩對邊及其上方，每個面鏡分別用雙面膠帶固定在紙箱兩邊及其上方，並將反射鏡由 1 至 6 號編號。
4. 按下雷射筆開關，使雷射光水平的從紙箱開口射入 1 號反射鏡的中央位置，再以手上、下、左、右調整反射鏡，使雷射光可由 1 號反射鏡射至 2 號反射鏡的中央位置。
5. 重複方法 4，使點能順利的從 1 號反射至 2、3、4、5、6 號反射鏡，最後由 6 號反射鏡將光點投射至方眼紙上。
6. 觀察、紀錄光點在方眼紙上的移動位移。
7. 第三代測量裝置如下圖所示：



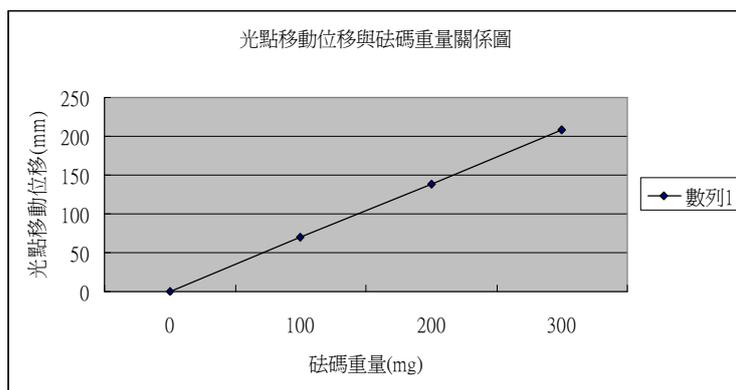
(二)實驗步驟：

1. 為放置砝碼前將木槓桿 ABC 調整至水平位置，打開雷射筆使光點水平的射至 1 號反射鏡中央，並由 1 號反射鏡射至 2、3、4、5、6 號，最後從 6 號反射鏡反射到方眼紙上，我們訂此光點為原點，步驟 1 即是第三代測量裝置的歸零過程。
2. 以 100mg 的砝碼放入秤盤中央，在方眼紙上記錄雷射光點移動後的位置。
3. 將 100mg 砝碼取出，檢查木槓桿 ABC 是否回到水平位置(即光點的原點位置)，如果可以回至原點，表示手珠線未超過彈性限度。
4. 再以 200mg 砝碼放置秤盤中央位置，並在方眼紙上記錄光點移動後的位置。
5. 取出 200mg 砝碼，檢查光點是否回到原點。
6. 再以實驗步驟 (4)、(5) 的方法分別放入 300mg、400mg、500mg 的砝碼，並記錄光點在方眼紙上的位置。

(三) 實驗結果：

放置 100mg、200mg、300mg 砝碼後光點移動的位移

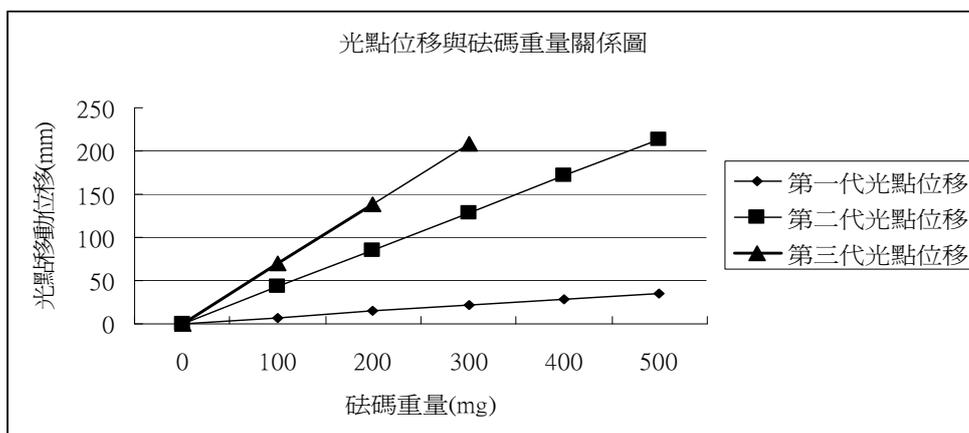
次數	mm	mg	0	100	200	300
1			0	68.2	138.4	208.4
2			0	70.2	138.8	208.8
3			0	69.6	138.2	209.2
4			0	68.5	138.6	208.2
5			0	70.4	138.2	208.9
平均			0	69.4	138.4	208.7



(四) 實驗討論：

1. 從第二代測量裝置得知，雷射光傳播的距離愈長，光點落在方眼紙上移動的位移會愈大。
2. 因為實驗空間受限，所以我們才以六個反射鏡來回反射，以達到光點位移再放大效果。
3. 經過六個面鏡反射後，光點在方眼紙上移動的位移明顯的放大了很多。
4. 因為反射鏡的面積，第三代裝置只能做到 300mg 的測量，若砝碼超過 300mg 雷射光就會跑到反射面鏡外，而無法測量。

第一、二、三代測量裝置光點移動位移比較圖：



五、利用第三代測量裝置，探討一滴酒精在秤盤上的蒸發速率。

(一) 實驗方法：

1. 以彈性極佳的日本手珠線作為抗力。
2. 用 AB 膠將雷射裝筆與圓槓桿固定在木桿的前端，使雷射光線可從木桿尖端筆直的射出。
3. 以六個反射平面鏡裝置在大紙箱的兩邊，每面鏡分別用雙面膠帶固定在大紙箱兩邊，並將反射鏡由 1 至 6 號編號。
4. 按下雷射筆開關，使雷射光水平的從紙箱開口射入 1 號反射鏡的中央位置，再以手上、下、左、右調整反射鏡，使雷射光可由 1 號反射鏡射至 2 號反射鏡的中央位置。
5. 重複方法 4，使點能順利的從 1 號反射至 2、3、4、5、6 號反射鏡，最後由 6 號反射鏡將光點投射至方眼紙上。
6. 觀察、紀錄光點在方眼紙上的移動位移。

(二) 實驗步驟：

1. 在未放置砝碼前，先將木桿 ABC 調整至水平位置，並在桌面上放置方眼紙，記錄原點的所在位置。
2. 以 100mg 的砝碼放入秤盤中央，在方眼紙上記錄雷射光點移動後的位置。
3. 將 100mg 砝碼取出，檢查木槓桿 ABC 是否回到水平位置(即光點的原點位置)，如果可以回至原點，表示手珠線未超過彈性限度。
4. 再以 200mg 砝碼放置秤盤中央位置，並在方眼紙上記錄光點移動後的位置。
5. 取出 200mg 砝碼，檢查光點是否回到原點。
6. 以滴管在木桿的秤盤上滴入一滴酒精，滴入的酒精為 99.5%乙醇，每五分鐘測量一次，並記錄光點在方眼紙上移動的位移。
7. 為了避免空氣流動干擾到酒精蒸發速率，我們以厚紙板在秤盤周圍設置遮風裝置。
8. 實驗當天的溫度為 25.4°C，相對溼度為 66%。

當秤盤上滴一滴酒精後，光點在方眼紙上移動的位移(與原點的距離)為 61.4mm。

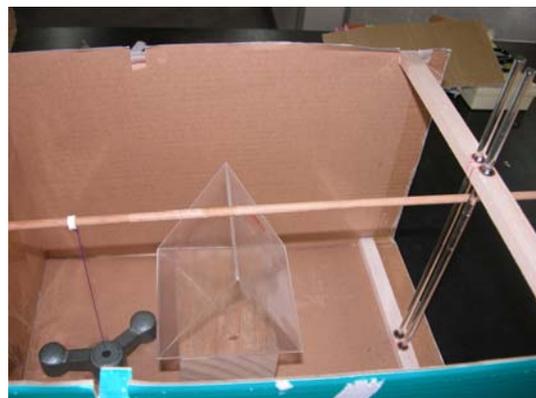
設此滴酒精的重量為 Xmg

以上表推知：

$$100 : 69.4 = X : 61.4$$
$$X = 88.5\text{mg}$$

0~5 分鐘一滴酒精滴蒸發的酒精量(Y)
可由下式得知：

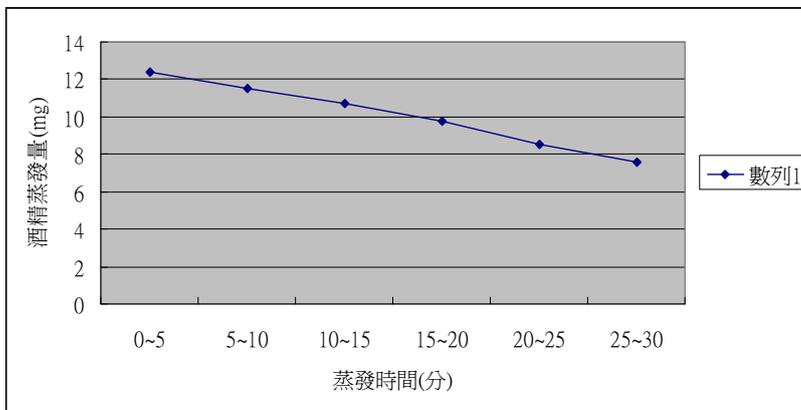
$$61.4 - 52.8 = 8.6(\text{mm})$$
$$100 : 69.4 = Y : 8.6$$
$$Y = 12.4\text{mg}$$



(三) 實驗結果：每 5 分鐘測量一次，光點在方眼紙上移動的位移(mm)

位移 時間 次數	0 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
1	61.4	53.2	44.4	37.2	30.4	24.2	19.2
2	61.4	52.6	45.0	36.8	30.0	25.0	19.6
3	61.4	53.4	45.2	37.6	31.0	24.4	20.0
4	61.4	52.2	44.8	37.8	30.2	24.8	19.2
5	61.4	52.5	44.6	37.6	30.4	25.0	19.0
平均	61.4	52.8	44.8	37.4	30.6	24.7	19.4

蒸發時間(分)	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30
光點移動的位移(mm)	8.6	8.0	7.4	6.8	5.9	5.3
酒精蒸發量(mg)	12.4	11.5	10.7	9.8	8.5	7.6

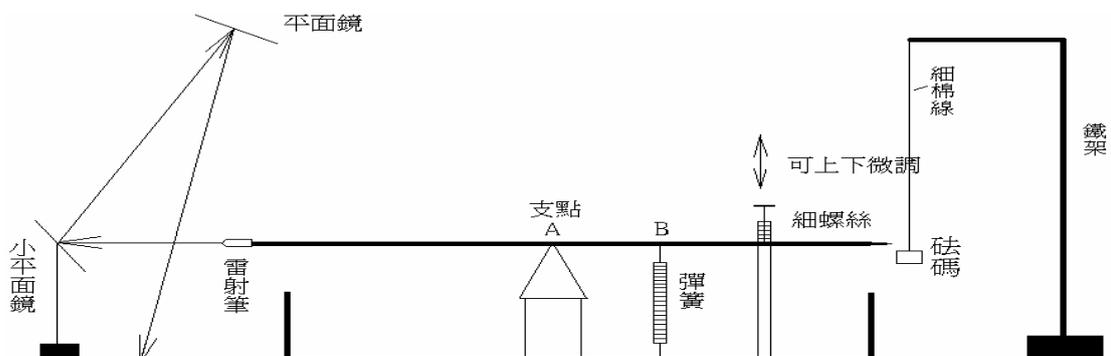


(四) 實驗討論：

1. 一滴酒精的蒸發質量會隨著蒸發時間的增加而遞減。
2. 以上現象可能和一滴酒精蒸發時與空氣的接觸面積漸小有關。
3. 因為酒精蒸發愈久與空氣接觸的總表面積會愈小，所以酒精蒸發速率就會遞減了。
4. 我們也可以利用以上裝置測量 (1) 蠟燭燃燒速率 (2) 鐵氧化時質量的變化量等微量變化的測量。

六、改裝光槓桿的測量裝置以探討細棉線的彈性限度。

※改裝光槓桿的測量裝置圖如所示：



(一) 實驗方法：

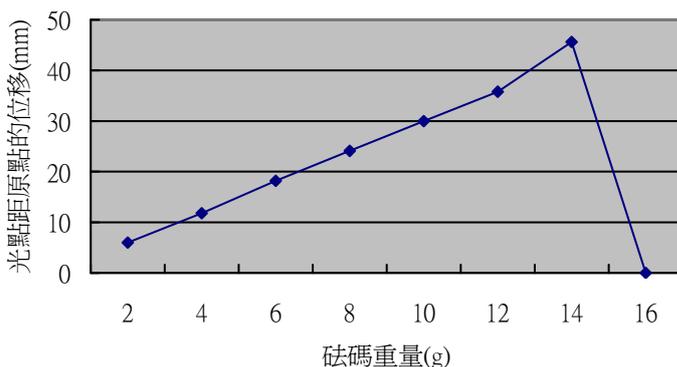
1. 以細彈簧和可微調細螺絲互相配合，我們可以精準的控制木桿尖端 D 點。
2. 在細棉線下方懸吊一個小秤盤，並在對準 D 點處，以紅筆做記號。
3. 雷射光筆與木槓桿用 AB 膠黏結在桿的另一端，雷射光線是從木桿的尖端發射出去。
4. 再以桌面上的平面鏡，將入射光反射至其上方的大平面鏡。
5. 上方的平面鏡再將入射光點反射至方眼紙上。

(二) 實驗步驟：

1. 先將木槓桿 ABCD 調整到水平位置，並在桌面上放置方眼紙記錄原點所在位置。
2. 在細棉線下端懸吊一個小秤盤，再對準 D 點處以紅筆在細線上做記號。
3. 以 2g 砝碼放入秤盤中，向下微調使木桿尖端 D 點對準紅色記號，並在方眼紙上記錄光點移動的距離。
4. 將 2g 砝碼取出後，向上微調木桿尖端 D 點使其回到水平位置(即方眼紙上原點位置)並觀察小棉線與 D 點是否對齊，是否超過小棉線的彈性限度。
5. 將 4g 砝碼放入秤盤中央，向下微調使木桿 D 點對準棉線紅色記號，並記錄方眼紙上光點的位移。
6. 以步驟 4、5 的方式分別入 6g、8g、10g、12g……的砝碼，並在方眼紙上記錄光點移動的位移差距。

(三) 實驗結果：

砝碼重量(g)	2	4	6	8	10	12	14	16
光點距原點的位移(mm)	6.0	11.8	18.2	24.1	30.0	35.8	45.6	斷落



(四) 實驗討論：

1. 小細線的彈性限度為 12g，14g 已超過彈性限度，16g 棉線斷裂。
2. 此裝置亦可測量蠶絲線、銅線、鐵線等的彈性限度。
3. 以上物體塑性較大，所以測量時伸長量很微小，唯有光點在方眼紙上的移動差距，才能觀察得到。
4. 我們也可以利用以上裝置測量小木瓜樹苗的生長速率。

七、探討如何利用等臂紙槓桿測量更微細物質的質量。

(一) 探討動機：

有一次我們將很輕的吸管放在一根竹筷子上，使吸管的重心剛好落在竹筷上，就好像是支點在竹筷上的平衡等臂天平，此時只要輕輕的對著吸管吹氣，吸管就很靈敏的輕微移動，當我們停止對吸管吹氣時，吸管又會自動的回到平衡位置，所以我們才想到要將這個極平衡槓桿原理運用到天平的測量上。

(二) 實驗方法：

1. 我們先以紙板切割成 0.5cm×9cm 空白的紙槓桿，用錘吊法找出紙槓桿重心位置，再以鉛筆在重心位置做上記號。
2. 以兩根竹筷固定在鐵塊上，並用較細的漆包線連接在兩根竹筷之間，作為紙槓桿的支點。
3. 用會反光的銀色貼紙平貼在方法 1 紙槓桿的上面，作為反射光的反射平面。
4. 以綠光雷射筆固定在鐵架上，雷射光筆的入射角度可以任意調整，我們將雷射筆的入射光對準方法 3 紙槓桿的反射平面入射光線。
5. 方法 3 紙槓桿的反射平面將雷射光線反射到其上方的平面鏡，平面鏡又將光線反射至桌上的方眼紙上。
6. 我們將方法 3 會反光紙槓桿的兩端以透明雙面膠貼上包裝藥品膠囊用的半圓型的塑膠膜做為秤盤（因其質量很輕）。
7. 因為找不到 10mg、5mg 及 1mg 的小砝碼，所以我們利用等面積質量分割法，用上皿天平最小砝碼秤取 100mg 的鋁箔紙，再將鋁箔的面積做成 10 等份，用美工刀切下，每一等分的質量即為 10mg，再將 10mg 的鋁箔等分為二，每等分為 5mg，再將 5mg 的鋁箔更微細的等分成 5 等分，每等分為 1mg，因此我們利用以上方法做成了很多 1mg、5mg、10mg 的鋁箔砝碼。
8. 構造裝置圖如下：



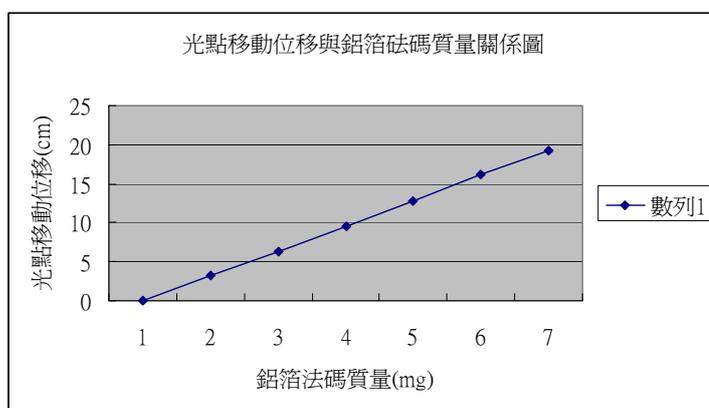
(三) 實驗步驟：

1. 在紙槓桿為空盤時，將紙槓桿的重心置於支點上使紙槓桿呈水平平衡狀態，以雷射筆入射光線到紙槓桿反射面的固定點上，紙槓桿將光線反射至其上方的平面鏡上，平面鏡再將光線反射至方眼紙上，這個光點即為原點。
2. 以 1mg 的鋁箔砝碼放入秤盤上，觀察、紀錄雷射光點移動的位移。
3. 將 1mg 砝碼取出，檢查紙槓桿的光點是否回到原點，如果可以回到原點，表示紙槓桿已經回到平衡位置。
4. 在加入 2 個 1mg 鋁箔砝碼(2mg)放入秤盤中，記錄雷射光點移動的位移。
5. 將 2 個砝碼取出，檢查光點是否回至原點上。
6. 再以步驟 4、5 的方法分別放入 3mg、4mg、5mg、6mg 的砝碼，超過 6mg 紙槓桿就會翻覆，表示這個紙槓桿最多只能測量 6mg 並紀錄光點再方眼紙上移動的位移。

(四) 實驗結果：

放置 1mg、2mg~6mg 砝碼後光點移動的距離

mg cm 次數	0	1	2	3	4	5	6
1	0	3.2	6.4	9.5	12.9	16.3	19.4
2	0	3.3	6.3	9.6	12.8	16.1	19.1
3	0	3.1	6.3	9.5	13.0	16.2	19.2
4	0	3.2	6.4	9.6	12.8	16.2	19.0
5	0	3.3	6.2	9.6	12.7	16.3	19.3
平均	0	3.22	6.32	9.56	12.84	16.22	19.20



(五)實驗討論：

1. 鋁箔小砝碼取出後，紙槓桿皆可回復到原點。
2. 漸增鋁箔砝碼質量與光點移動的位移呈正比關係
3. 假設一根頭髮質量為 $X\text{mg}$ ，將此根頭髮放入秤盤後光點移動位移為 1.40cm ，依內插法可以得知： $1:3.22=X:1.40 \rightarrow X=0.435\text{mg}$
4. 在這次的實驗裡，我們發現紙槓桿的寬度、長度以及紙槓桿在重心點上向上彎摺角度或向下彎摺角度都會影響紙槓桿的敏感度。
5. 紙槓桿越敏感測量質量的範圍越細小，精密度越高；紙槓桿較不敏感，測量質量較大，但精密度較低。
6. 因為這個紙槓桿做的太細短所以只能測量到 6mg ，我們希望可以找到測量較大質量範圍的紙槓桿，因此我們再繼續探討第二代紙槓桿的測量裝置。

八、探討如何將紙槓桿的測量範圍增大

(一)實驗方法：

1. 以紙板切割成 $2\text{cm}\times 20\text{cm}$ 的紙槓桿，並用錘吊法找出紙槓桿的重心，以鉛筆在重心位置做上記號；實驗方法 2、3……7 皆與研究過程三實驗方法相同

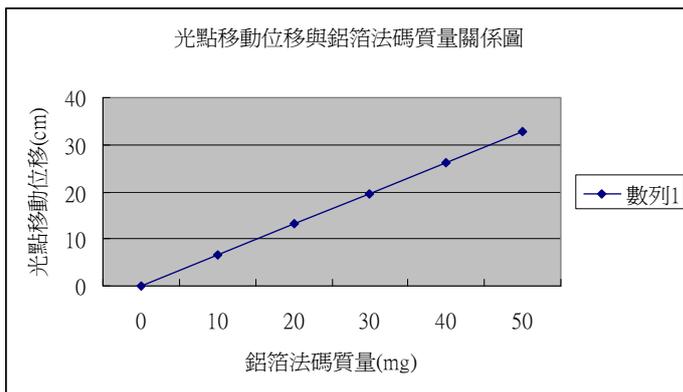
(二)實驗步驟：

1. 在紙槓桿為空盤時，將紙槓桿的重心置於支點上使紙槓桿呈水平平衡態，以雷射筆入射光線到紙槓桿反射面的固定點上，紙槓桿將光線反射至其上方的平面鏡上，平面鏡再將光線反射至方眼紙上，這個光點即為原點。
2. 以 10mg 的鋁箔砝碼放入秤盤上，觀察、紀錄雷射光點移動的位移。
3. 將 10mg 砝碼取出，檢查紙槓桿的光點是否回到原點，如果可以回到原點，表示紙槓桿已經回到平衡位置。
4. 在加入 2 個 10mg 鋁箔砝碼(20mg)放入秤盤中，記錄雷射光點移動的位移。
5. 將 20mg 砝碼取出，檢查光點是否回至原點上。
6. 在以步驟 4、5 的方法分別放入 10mg 、 20mg 、 30mg 、 50mg 的鋁箔砝碼，並紀錄光點移動的位移。

(三)實驗結果：

放置 10mg 、 $20\text{mg}\sim 50\text{mg}$ 砝碼後光點移動的距離

mg	0	10	20	30	40	50
cm 次數						
1	0	6.7	13.2	19.5	26.4	33.0
2	0	6.5	13.0	19.7	26.2	32.7
3	0	6.6	13.3	19.4	26.2	32.8
4	0	6.5	13.1	19.6	26.3	33.0
5	0	6.6	13.0	19.7	26.2	32.8
平均	0	6.58	13.12	19.58	26.24	32.86



(四)實驗討論：

1. 換成較大紙槓桿，當鋁箔砝碼取出後，紙槓桿仍可回到平衡位置。
2. 漸增鋁箔砝碼質量與光點移動位移也可成正比關係。
3. 設某待測物質量為 $Y\text{mg}$ ，若將此待測物放入秤盤後，光點移動位移為 8.54cm 依內插法得知： $10:6.58=Y:8.54 \rightarrow Y=12.98\text{mg}$
4. 紙槓桿的寬度及長度增加，的確可以增大物質質量的測量範圍。
5. 我們發現紙槓桿若在重心處向上彎摺角度越大，則紙槓桿越敏感，測量範圍較小，可是精確度較高；如果在重心處向下彎摺角度越大，則紙槓桿越不敏感，即測量範圍較大，但精密度較低，因此往後我們所做的紙槓桿都以水平紙槓桿為主。
6. $2\text{cm} \times 20\text{cm}$ 的紙槓桿，測量的範圍可以從 10mg 測到 50mg ，所以我們將在擴大紙槓桿的測量範圍。

九、再擴大紙槓桿測量的範圍。

(一)實驗方法：

1. 以紙板切割成 $2.5\text{cm} \times 20\text{cm}$ 的紙槓桿，並用錘吊法找出紙槓桿的重心，以鉛筆在重心位置做上記號；實驗方法 2、3、……7 都與研究過程三相同。

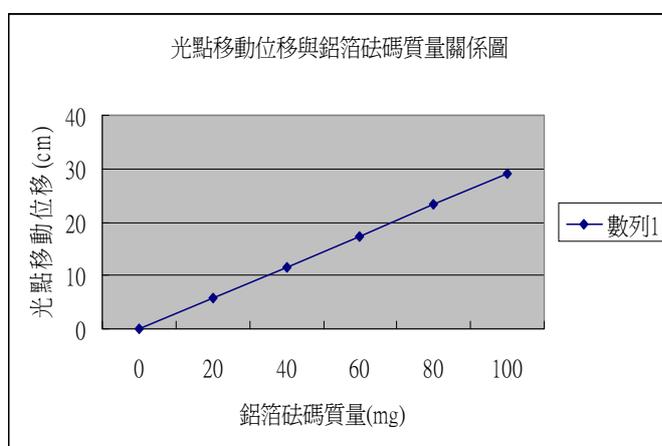
(二)實驗步驟：

1. 在紙槓桿為空盤時，將紙槓桿的重心置於支點上使紙槓桿呈水平平衡狀態，以雷射筆入射光線到紙槓桿反射面的固定點上，紙槓桿將光線反射至其上方的平面鏡上，平面鏡再將光線反射至方眼紙上這個光點即為原點。
2. 以 20mg 的鋁箔砝碼放入秤盤上，觀察、紀錄雷射光點移動的位置。
3. 將 20mg 砝碼取出，檢查紙槓桿的光點是否回到原點，如果可以回到原點，表示紙槓桿已經回到平衡位置。
4. 在加入 2 個 20mg 鋁箔砝碼放入秤盤中，記錄雷射光點移動的位移。
5. 將 2 個 20mg 砝碼取出，檢查光點是否回至原點上。
6. 以步驟 4、5 的方法分別放入 20mg 、 40mg …… 100mg 的鋁箔砝碼，並記錄光點移動的位移。

(三)實驗結果：

放置 20mg、40mg ~100mg 砝碼後光點移動的距離

mg	0	20	40	60	80	100
cm 次數						
1	0	5.8	11.7	17.2	23.4	29.2
2	0	5.6	11.5	17.4	23.1	29.0
3	0	5.9	11.7	17.2	23.2	28.9
4	0	5.7	11.6	17.4	23.5	29.0
5	0	5.8	11.5	17.4	23.2	28.6
平均	0	5.76	11.60	17.32	23.28	28.94



(四)實驗討論

1. 2.5cm×20cm 的紙槓桿當鋁箔砝碼取出後，紙槓桿也可以回到平衡位置（及光點可以回到原點）
2. 漸增砝碼質量與光點移動位移也成正比關係。
3. 2.5cm×20cm 的紙槓桿測量範圍可由 20mg 至 100mg，因為 1mg 砝碼光點位移太小，所以我們在此不作探討。
4. 因為測量範圍較大，所以精密度就會稍大一些。
5. 我們發現紙槓桿雖然精密度高，但測量質量範圍較小，無法達到質量大小都可測量的實用光敏天平，於是我們再繼續研製可測量較大質量的圓木槓桿天平。

十、圓木槓桿實用天平的探討

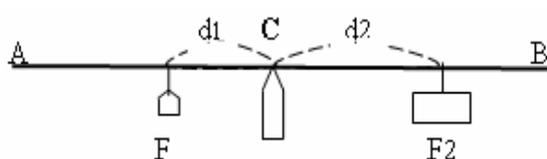
(一)作用原理：

AB 為支點在 C 點的等臂槓桿依據支點在中間(C 點)的槓桿原理得知：
順時針力矩等於逆時針力矩 即 $F_1 \times d_1 = F_2 \times d_2$

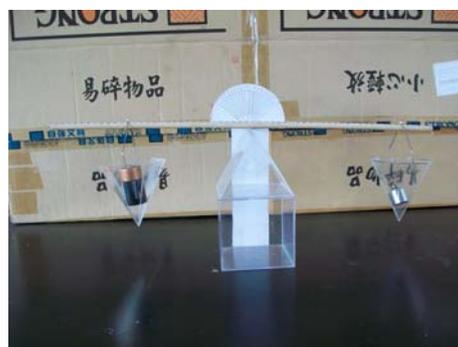
(二)製作方法：

1. 取一個圓形木槓稱為圓木槓桿，在圓木槓桿貼上 40cm 長的直尺刻度，最小刻度為 0.1cm，作為上圖 d_1 、 d_2 力臂長度的指標。
2. 我們在圓木槓桿的中央處直立 1 根指針，並在指針旁邊貼上半圓形指針刻度表，作為指針擺動歸零半圓型指標。
3. 在方法 2 圓木槓桿的兩端設置二個歸零螺絲，作為圓木槓桿歸零螺絲之用。
4. 另製作兩個相同規格的秤盤，左盤可放置待測物，右盤放置砝碼。
5. 圓木槓桿歸零步驟：
 - (1)方法 4 的左右兩秤盤為空盤。
 - (2)調整圓木槓桿的校準螺絲。
 - (3)直到圓木槓桿中點的指針指到中央刻度零的位置或左右等幅擺動，此時歸零已完成。

6. 圓木槓桿天平的構造圖如下：



$$F_1 \times d_1 = F_2 \times d_2$$



(三)實驗結果：

例 1：設待測物質為 X 公克

$$d_1 = 6\text{cm}$$

$$d_2 = 18\text{cm}$$

右盤中央砝碼為 20g

$$\text{由上式：} F_1 \times d_1 = F_2 \times d_2$$

$$\text{所以 } X \times 6 = 20 \times 18$$

$$X = 60\text{g}$$

例 2：若 $d_1 = 18\text{cm}$

$$d_2 = 6\text{cm}$$

右盤中央砝碼為 20g

$$\text{則 } X \times 18 = 20 \times 6$$

$$X = 6.67\text{g}$$

(四)實驗討論

1. 只要調整待測物與支點間力臂(d_1)和砝碼與支點間的力臂(d_2)的大小係，即可測量出質量大小不同的待測物。
2. 若待測物質量較大時，必須將 d_1 調小，但 d_2 要加大，且砝碼也應增加；若待測物質量較小時，則 d_1 須調大， d_2 須調小，砝碼也須減少。
3. 藉由調整 d_1 、 d_2 及砝碼，可以很快計算出待測物的質量。
4. 圓木槓桿雖然可以測量不同質量大小待測物，但要調整原木槓桿到水平的平衡位置不是很容易，這是我們必須克服的課題。

十一、本裝置與高精度電子天平的比較。

(一) 本裝置：

1. 本裝置可精測至 1mg (0.001g) 甚至更 小。
2. 可測量的最小質量為 1mg。
3. 本裝置的秤量最大值為 100mg。
4. 價格便宜成本不到 200 元。
5. 本裝置為小而準的光點天平，但最大測量質量只能測到 100mg，若質量過大時，會造成紙槓桿翻覆，而無法測量。



(二) 日本高精度電子天平：

1. 感量也可達到 0.001g，但可測量的最小質量為 0.01g (100mg)，即測量質量小於 100mg 的物質，電子天平的數字就會亂跳，而無法穩定顯示正確的質量數值。
2. 秤量的最大值為 220g，感量(誤差值)為 0.001g，是本裝置不足之處。
3. 高精度電子天平的價格昂貴，例如秤量為 620g 的電子天平售價為 49900 元約為本裝置的 250 倍。

(三) 討論：

1. 本裝置可以直接測量 0.01g (10mg) 以下物質的質量甚至於可以測量 0.001g (1mg) 的微小質量，但最大秤量只為 100mg。
2. 本裝置的精確度絕不亞於高精度的電子天平，也備有防風罩以減少測量的誤差。
3. 價格便宜、體積甚小、攜帶方便，可做為一般市售天平的附件，以彌補一般市售天平無法測量微小物質質量的缺失。

伍. 結論：

- 一、若入射光線的方向不變，當平面鏡旋轉 θ 角時反射光線的方向將會旋轉 2θ 的角度，而且入射光線與平面鏡距離越遠，反射光線在方眼紙上的投射位移愈大。
- 二、第一代測量裝置是利用細彈簧、槓桿及光槓桿原理，可以 100mg~500mg 的光點位移找出來，但光點移動差距很不明顯。
- 三、第二代測量裝置是將細彈簧改為彈性很好的手珠線，使光點移動更敏感，而且將雷射筆固定在木槓桿上的一端，會使入射光線變長了很多，所以光點移動的位移差距拉大很多。

- 四、第三代測量裝置是利用大紙箱內六個反射鏡來回反射，使雷射光點投射在方眼紙上的位移再次的放大，便於測量更微細(100mg 以下)的物體。
- 五、利用第三代裝置測量一滴酒精在秤盤上的蒸發速率，得知酒精的蒸發速率會隨蒸發的時間而遞減。
- 六、再次的結合槓桿與光學槓桿的作用原理，探討非彈性體（塑性體）細棉線的彈性限度。
- 七、紙槓桿越細小測量範圍較小，但精密度較高；紙槓桿越寬長測量範圍較大，但精密度較低。
- 八、利用等面積分割質量法將鋁箔等分為 1mg、5mg、10mg、20mg 等四種鋁箔砝碼。
- 九、反光紙槓桿測量裝置可用內插法測得 1 根頭髮的質量。
- 十、2cm×20cm 的紙桿可測得質量範圍為 5mg 至 50mg。
- 十一、2.5cm×20cm 的紙桿可測得質量範圍為 10mg 至 100mg。
- 十二、本裝置價格便宜、體積小，可彌補市售一般天平不足之處。

陸、參考資料

- 一、國中自然與生活科技第三冊，康軒文教事業股份有限公司出版。
- 二、大英科技自然百科全書，光復書局，1992。
- 三、實用物理公式定理辭典，商兆編輯部編。
- 四、觀念物理 IV—光學，天下文化，陳可崗譯。

【評語】 030821

1. 利用光槓桿原理測重，並探討如何提升其精度，對現成原理有進階探討。
2. 未來可以針對光的對準，光點定位與對微小重量差異的校準精度進行探討。