

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

第三名

031601

大珠小珠落玉盤：圓珠顯微鏡的製作與研究

學校名稱：臺北市立景興國民中學

作者： 國一 郭信佑	指導老師： 林文惠 溫麗玲
---------------	---------------------

關鍵詞：自製圓珠 放大倍率

作品名稱：大珠小珠落玉盤－圓珠顯微鏡的製作與研究

摘 要

本研究首先學習自行燒製玻璃圓珠，在研究二.中經實驗及光學理論得知，圓珠具有聚光、放大的效果。球徑等於厚度，屬於厚凸透鏡。由研究三利用測量裝置及造鏡者公式，取得焦距 f ，發現，球徑越大，焦距越大。在研究四.五中根據焦距 f 值，製作七個放大鏡頭，再組合成一台玻璃圓珠顯微鏡。依序觀察水綿標本，再列印於紙上，實際測量水綿管束放大尺寸，發現，球徑越小，放大倍率越大。並與複式顯微鏡觀察倍數互相對照，驗證了自製圓珠顯微鏡具有接近 19 倍至 208 倍的放大效果。最後連接數位攝影機及電腦，可以即時觀看微生物活潑、生動的影像，並作畫面擷取、影片儲存。

壹、研究動機

前陣子，到新竹玻璃工藝館參加燒玻璃的研習活動，在玻棒拉絲的過程中，燒製出一個小圓球，我拿它來看東西，發現有放大效果，近看成正像；遠看又縮小，成倒像。記得我在小學四年級的時候，就曾利用立可拍相機的鏡頭，製作一個顯微鏡裝置。既然玻璃圓珠有放大效果，能不能利用自燒玻璃圓珠，製作一台簡單的顯微鏡？剛好自然與生活科技課本第三冊第三章介紹光的課程，裡面有談到透鏡成像的原理，更引起我的興趣。我決定展開研究，一探其中的奧秘。

貳、研究目的

- 一、學習自行燒製玻璃圓珠。
- 二、了解圓珠屬於哪一種透鏡及其光學理論。
- 三、測量圓珠的焦距，及其與球徑的關係。
- 四、測量圓珠的放大倍率，及其與球徑的關係。
- 五、自製一台玻璃圓珠顯微鏡並與電腦連結觀察，及驗證放大倍率。

參、研究設備及器材

酒精燈	噴燈	加氧氣的瓦斯火嘴	載玻片
蓋玻片	玻棒	游標尺	禮品盒
雷射光筆	名片、名片盒	塑膠螺管	複式顯微鏡
電池	開關燈泡組	三角板	剪刀、美工刀、鑷子
生物標本	數位相機	數位攝影機	手提電腦

肆、研究過程或方法

研究一、自製玻璃圓珠。

(一) 燒玻璃圓珠的製作過程：

方法 1：把顯微鏡標本玻璃製的蓋玻片（因為厚度很薄，較易燒）裁成四分之一塊，用鑷子夾住。以酒精燈燃燒加熱，直到玻璃軟化呈熔融狀。再以細鐵絲沾取，繼續加熱，直到熔融玻璃在鐵絲前端，因表面張力而形成一個圓球。原理就像鐵絲沾水，前端會形成水珠一樣。

結果：花費二十分鐘才燒製一顆圓珠。因酒精燈燃燒的火焰溫度不夠高，以致所需時間太長，且不夠圓。

方法 2：用鑷子夾住四分之一塊的蓋玻片，改以以瓦斯噴燈加熱。

結果：花費五分鐘即可燒製一顆玻璃圓珠。但圓珠呈現黃褐色，我們所需要的圓珠是透明無色的。顯然不符要求。

方法 3：用瓦斯噴燈將直徑 6.05 mm 粗的長玻棒加熱拉絲成毛細管，再直接對毛細管加熱，毛細管前端便形成一個小圓珠。燒的越久，圓珠越大顆。

結果：燒出球徑約 1 mm~5 mm 的小圓珠。因為火焰溫度無法再提高，所以，無法燒製更大的圓珠。

方法 4：使用可加入氧氣的瓦斯火嘴，此時溫度大為提高，燃燒效率佳。將直徑 6.05 mm 粗的玻棒加熱拉絲成毛細管。再直接對毛細管加熱。

結果：可燒出球徑從小到大不等的小圓珠。將小圓珠朝燈光觀看，發現小圓珠比先前方法燒製的更為透明了。



圖 1. 玻棒加熱拉絲成毛細管



圖 2. 用瓦斯噴燈燒玻棒前端，形成圓珠

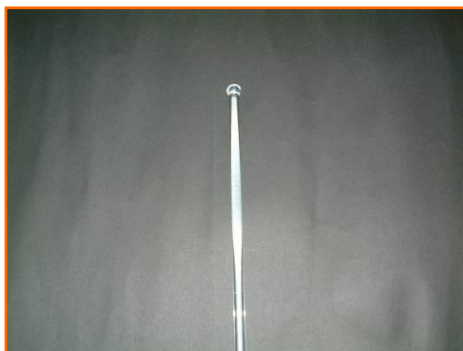


圖 3. 加入氧氣的瓦斯火嘴可燒出較大顆圓珠

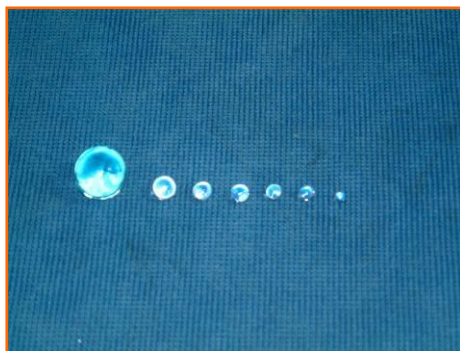


圖 4. 挑選七顆大小不等，且較清純透徹的圓珠

(二) 從一堆玻璃圓珠中，挑選七顆正圓、大小不等，且較清純透徹的圓珠，準確測量圓珠的球徑。

方法 1：以兩個三角板夾住圓珠，測量其球徑三次（裝置如圖 5-1）

結果：三角板測量小圓珠，刻度不易判讀，誤差較大。平均值如下 表 1.：

表 1.

球號	A	B	C	D	E	F	G
球徑 (mm)	1.3	2.2	3.2	5.2	7.3	9.8	17.1

方法 2：以游標尺夾住圓珠中心，測量其球徑（裝置如圖 5-2）

結果：可以測量至 mm 下二位，數據較為精確。數據如下 表 2.

表 2.

球號	A	B	C	D	E	F	G
球徑 (mm)	1.60	2.35	3.40	5.50	7.70	10.00	17.55

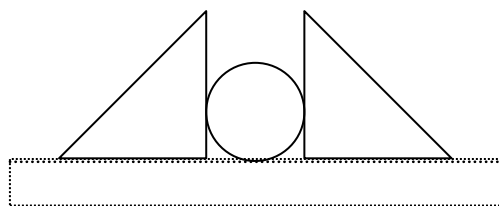


圖 5-1

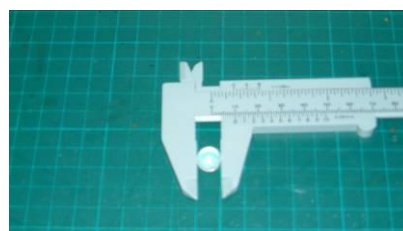


圖 5-2

研究二、了解自燒圓珠屬於哪一種透鏡及其光學理論

(一) 方法 1：拿球徑最大的圓珠觀察紙上的字，圓珠貼近時，字會放大，且方向不變；拿遠時，字會縮小，且呈現上下顛倒，左右相反。判斷它是一個凸透鏡。

(二) 方法 2：將雷射光筆、17.55 mm 圓珠與黑紙屏排成一線。雷射光束射向圓珠，



慢慢再移動黑紙屏。發現黑紙屏上顯現一個清晰的光點，此圓珠具有聚光的效果。判斷它是一個凸透鏡。

(三) 經查資料（高中物理下冊-幾何光學）：當透鏡厚度遠小於曲率半徑的時候，厚度可忽略時，稱為薄透鏡。而自燒小圓珠趨近於正圓球，厚度幾乎等於曲率半徑的 2 倍（即球徑），顯然這些圓珠屬於厚凸透鏡。

研究三、測量圓珠的焦距，及其與球徑的關係

(一) 凸透鏡的光學理論：(國二自然與生活科技課本第 3 章：光)

1. 凸透鏡使平行於主軸的入射光線匯聚於焦點，透鏡的左右兩邊的主軸上各有一個焦點，對稱中心到焦點的距離，稱為焦距，兩邊的焦距相等。(如圖 6.)
2. 凸透鏡的成像：(如圖 7.)

①平行於凸透鏡主軸的入射光線，折射後通過鏡後的焦點。②通過凸透鏡前焦點的入射光線，折射後平行於主軸。③通過鏡心的入射光線，直接通過透鏡，沒有偏移。

圖 6.

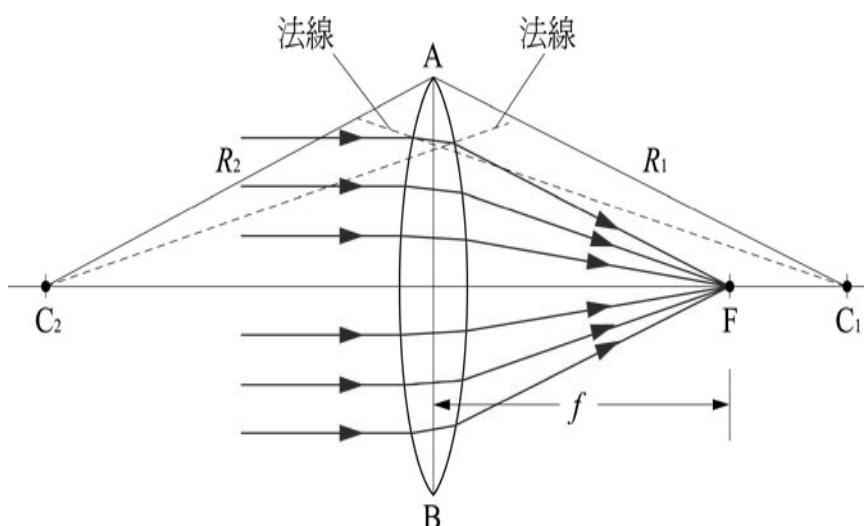
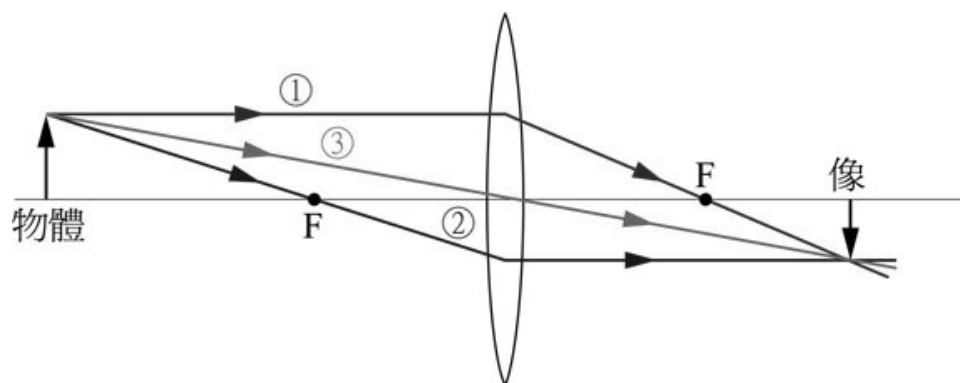


圖 7.



(二) 如何測量圓珠的焦距

方法 1.：

1. 將凸透鏡的鏡面朝向太陽，手持一白紙在鏡面的另一側平行於鏡面。
2. 上下移動白紙，使陽光聚在紙上的亮點達到最小、最亮。

3.此時亮點到透鏡的距離即為透鏡的焦距。

結果：雖然有看到亮點，但是焦距非常小，很難測量。

方法 2.：

1. 設計一個以游標尺為橫軸的裝置，下方以瞬間膠固定透鏡，以黑墨汁塗黑的蓋玻片（1.8 cm×1.8 cm平整不變形）當屏幕。將雷射光筆、圓珠與黑紙屏排成一列。雷射光射向圓珠，再慢慢移動黑屏幕。使焦點最清晰的顯現在黑屏幕上，讀取游標尺上的數字即為焦距。每一圓珠測量 3 次。裝置如圖 8.：



圖 8. 測量焦距的裝置

結果：球徑大於 3.40 mm 的圓珠，可以看到清晰的光點，並讀出數據，平均值如下表 3.，球徑小於 3.40 mm 以下的圓珠，則看到模糊的光影，無法看到清晰的光點。

表 3.

球徑 (mm)	1.60	2.35	3.40	5.50	7.70	10.00	17.55
焦距 (mm)	模糊	模糊	2.70	4.25	5.80	7.75	13.45

方法 2.的缺失：經查台灣師大物理系 物理教學示範實驗教室網站資料得知，射入光線與主軸距離與厚透鏡高度比小於某一定值，才會產生焦點（如圖 9.）；比值太大，焦點模糊，此現象稱為「球面像差」，無法測量焦距。（如圖 10.）

圖 9.

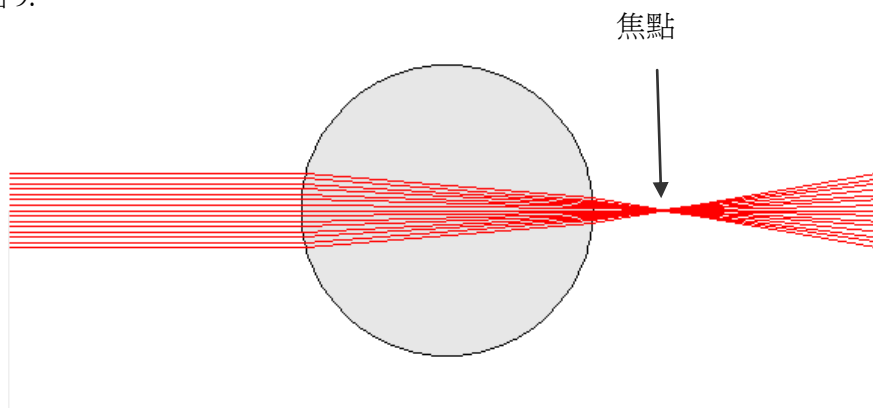
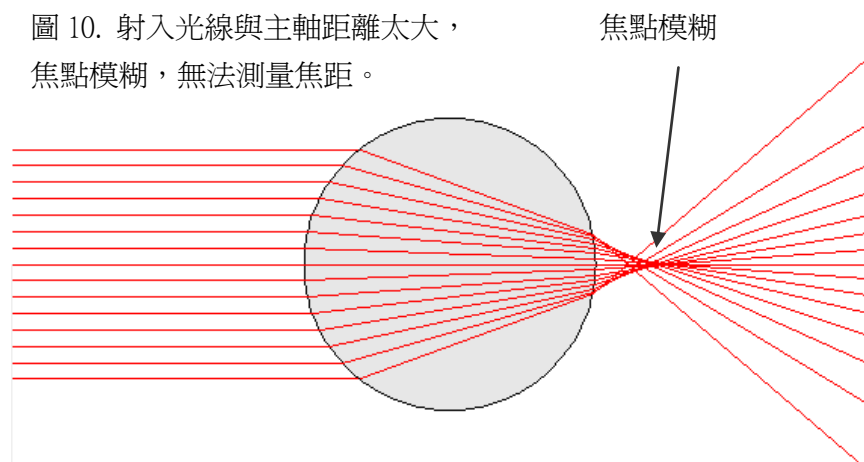


圖 10. 射入光線與主軸距離太大，
焦點模糊，無法測量焦距。



方法 2.的改善：將黑色的圓紙板中心戳一小圓洞（口徑分別小於 2.35 mm、1.60 mm）貼在雷射筆前端，使光束截面積縮小，再射入 2.35 mm、1.60 mm 小圓珠。
結果：1.黑幕上顯現出焦點，測量焦距，平均值如下表 4.：

表 4.

球徑 (mm)	1.60	2.35	3.40	5.50	7.70	10.00	17.55
焦距 (mm)	1.55	1.90	2.70	4.25	5.80	7.75	13.45

2.球徑越大，焦距越長：如關係圖 11

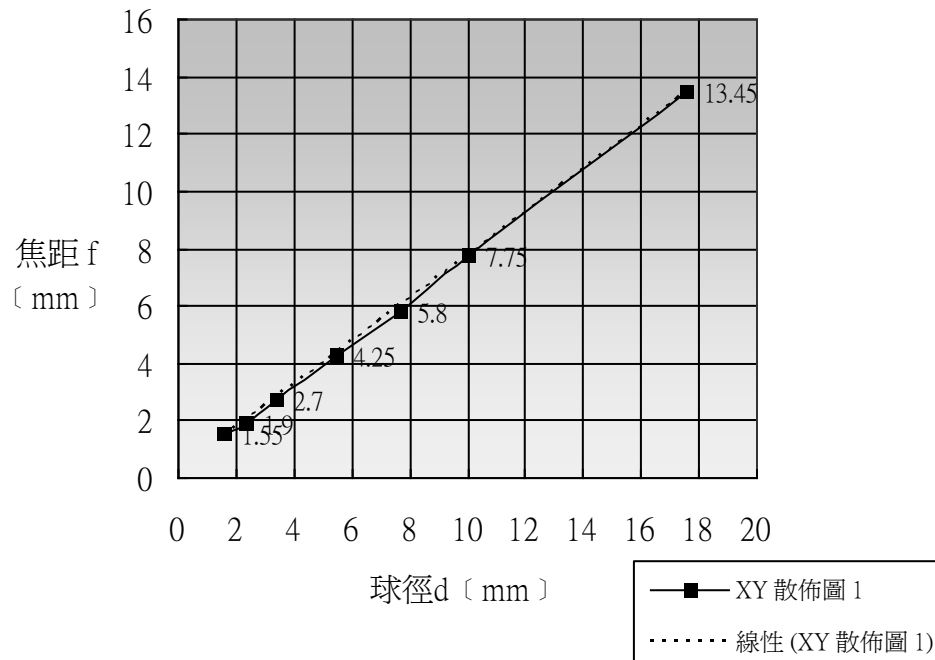
3.經由 EXCEL 分析： R^2 接近於 1，趨勢線方程式 $y=0.7538x+0.163$ 符合數值分佈。

4.故：焦距與球徑成線性關係。

圖11.：焦距 f 與球徑 d 的關係圖

$$y = 0.7538x + 0.163$$

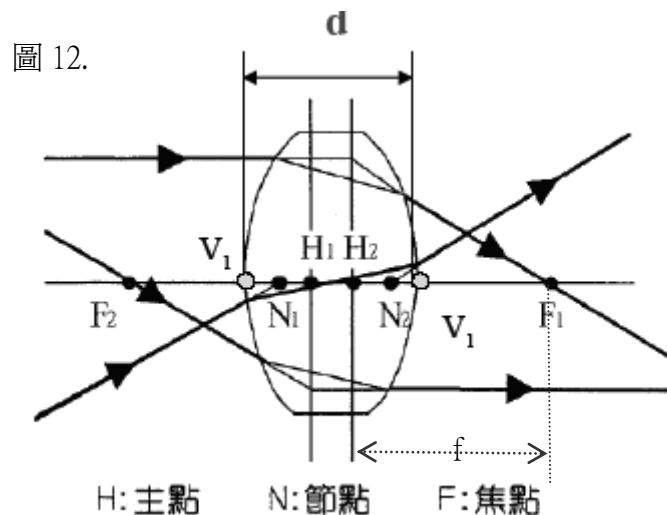
$$R^2 = 0.9993$$



方法 2.的檢討：

1. 由於小圓珠球徑非常小，焦距也更小。在測量的操作過程中，人眼的能力，及手的穩定性因素。我發現常會影響焦點位置的判斷，與焦距數據的準確度。
2. 有必要研究光學理論「造鏡者公式」中，焦距 (f) 的算法，來驗證實際測量數據的準確度。作為製作玻璃圓珠顯微鏡的參考依據。
3. 造鏡者公式之探討：如圖 12.，假設透鏡之厚度為 d 時，其焦距可表為：

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left\{ \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{n - 1}{nR_1R_2} d \right\} \quad (\text{公式 1.})$$



f 焦距 = 主平面 H 至焦點 F 的距離

n ：透鏡的折射率

R_1 、 R_2 ：左右兩邊之曲率半徑

* 由（公式 1.），當 $d=0$ 時（即厚度可忽略），則焦距：

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (\text{公式 2.})$$

此為常見的薄透鏡造鏡者公式，所以事實上薄透鏡只是厚透鏡的一種特別形式。

4. 利用造鏡者公式 $\frac{1}{f} = (n-1) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{n-1}{nR_1R_2} d \right]$

分別計算出大、小玻璃圓珠的焦距 f_1 （計算值）

其中 $n=1.5$ （玻璃折射率）

由於玻璃小圓珠趨近正圓球，所以厚度 d = 球徑，

曲率半徑 $R_1 = -R_2 = \frac{d}{2}$ （球徑的 $\frac{1}{2}$ ）

計算結果： $f = \frac{3}{4}d$ 焦距與球徑成正比線性關係，數據如表 5.

表 5.

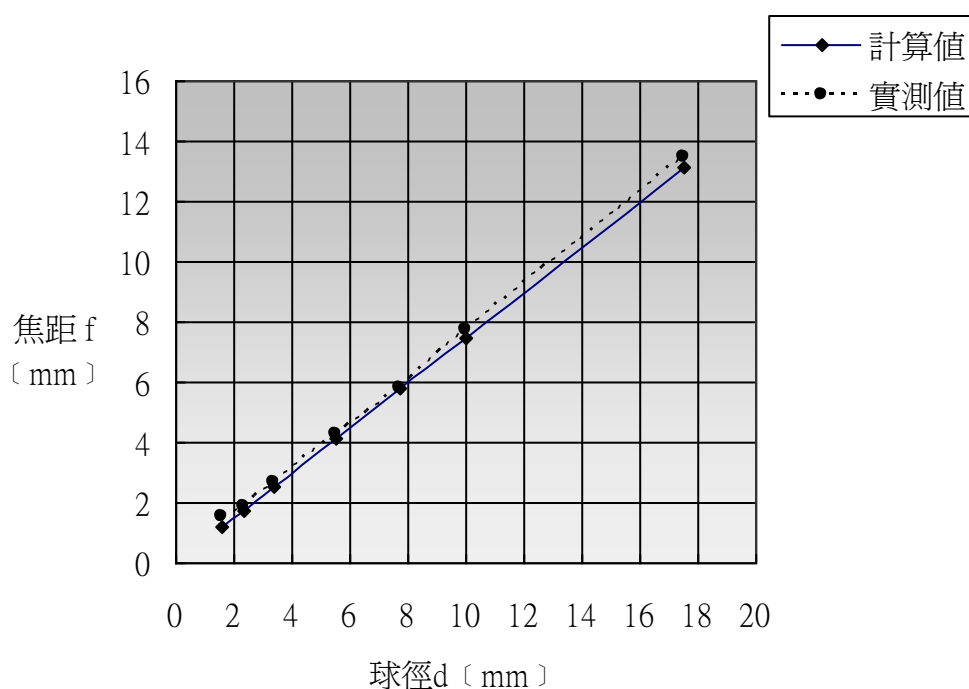
球徑 (mm)	1.60	2.35	3.40	5.50	7.70	10.00	17.55
焦距 (mm)	1.20	1.76	2.55	4.13	5.78	7.50	13.16

- 由公式 1. 計算所得焦距 f_1 （計算值）與實際測量焦距（實測值） f_2 比較，如表 6. 及圖 13.。
- 依據圖 13. 實測值及套入公式的計算值之比較：二者略有差異，尤其球徑越小時，誤差較大。但是，都顯示球徑越大，焦距越長，趨勢線成正比線性關係。
- 知道玻璃圓珠透鏡的焦距，對於接下來研究圓珠透鏡的放大倍率（ m ），及製作玻璃圓珠顯微鏡的參考很有幫助。

表 6. 焦距實測值與焦距計算值之比較：

球徑 (mm)	1.60	2.35	3.40	5.50	7.70	10.00	17.55
焦距實測值 f_2 (mm)	1.55	1.90	2.70	4.25	5.80	7.75	13.45
焦距計算值 f_1 (mm)	1.20	1.76	2.55	4.13	5.78	7.50	13.16
相對誤差 $ f_2 - f_1 / f_1$	29.1%	7.9%	5.9%	2.9%	0.3%	3.3%	2.2%

圖13. 實測焦距與計算焦距比較圖



研究四、測量圓珠的放大倍率，及其與球徑的關係

(一) 如何知道玻璃圓珠凸透鏡的放大倍率 (m)

方法 1. (1) 在白紙上畫一條 0.3 mm 的黑色直線。

(2) 將玻璃圓珠貼近黑線（距離在焦距附近），並使黑線通過圓珠的圓心，觀察黑線放大情形。

(3) 再以游標尺測量放大後黑線的粗細 3 次。

結果： 1. 靠近圓珠圓心附近黑線已放大變粗可以測量，但是靠近圓珠邊緣附近，則黑線產生嚴重變形無法測量。

2. 5.5 mm 以下圓珠球徑太小，並非人的眼睛能力可以直接觀察，測量非常困難，誤差應該很大。

3. 靠近圓心附近測量黑線的放大倍率，平均值如下表 7：

表 7.

球徑 (mm)	1.60	2.35	3.40	5.50	7.70	10.00	17.55
放大後粗細 (mm)	無法測量	無法測量	無法測量	3.30	3.50	2.80	3.10
放大倍率	X	x	x	11.00	11.67	9.33	10.33

方法 1.的檢討：1.直接以圓珠觀察放大效果，實驗裝置太草率，變數太多，人為誤差太大。數字沒有規則，無參考價值。

2.應該將這些玻璃圓珠，製成一個鏡頭，再組裝在一座顯微鏡的裝備上觀察畫面，才會準確。

方法 2：根據放大鏡光學理論：若焦距很小時，物放在焦距內很貼近焦距處，可使像形成在超過明視距離很多的遠處，此時眼睛可以在鬆弛狀態看清楚。而且像距相當於在無限遠，其放大倍率為 $-250\text{mm} \div f$ （250mm 為人類最短明視距離，「-」表示虛像）

1.在測量焦距的研究中，我們得到各個圓珠的焦距計算值 f_1 及實測值 f_2 。

2.直接套入公式 $m = -250\text{mm} \div f$ 推算放大倍率 m_1 、 m_2

結果：1.計算得到各個圓珠的放大倍率 m_1 、 m_2 ，如表 8.

2. 如圖 14.經由 EXCEL 分析： R^2 接近於 1，趨勢線方程式分別為：

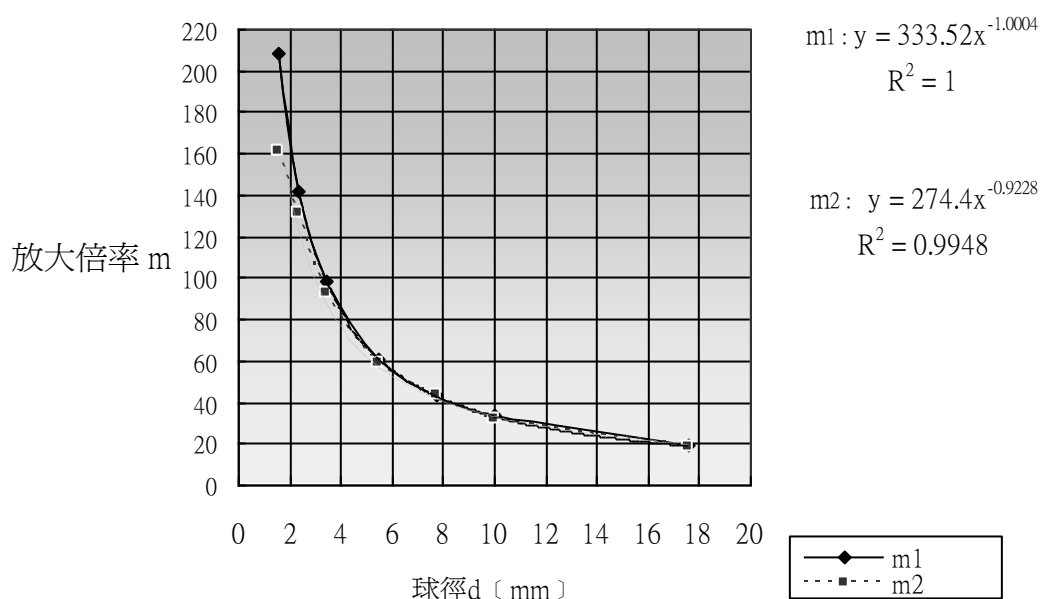
$m_1: y = 333.52x^{-1.0004}$ ， $m_2: y = 274.4x^{-0.9928}$ 符合數值分佈。

3.二者略有差異，但是，都顯示球徑越大，放大倍率越小，成反比關係。

表 8.

球徑 (mm)	1.60	2.35	3.40	5.50	7.70	10.00	17.55
計算焦距 f_1 (mm)	1.20	1.76	2.55	4.13	5.78	7.50	13.16
放大倍率 m_1	208.33	142.05	98.04	60.53	43.25	33.33	18.99
實測焦距 f_2 (mm)	1.55	1.90	2.70	4.25	5.80	7.75	13.45
放大倍率 m_2	161.29	131.58	92.59	58.82	43.10	32.26	18.59

圖14. 放大倍率m與球徑d的關係圖



研究五、根據球徑 d 及焦距 f 製作玻璃圓珠顯微鏡，並驗證放大倍率。

(一) 因為小圓珠凸透鏡球徑及焦距都很小，拿在手中，不方便觀察，所以，利用廢棄的禮品硬方盒，設計、製作一個穩固的顯微鏡觀察平台。

設計如 圖 15.：

- 1.將玻璃小圓珠鑲在空心的塑膠螺管前端，作為鏡頭（筒）。因為圓珠的焦距都不同。所以，要為每一個圓珠量身訂做一個鏡頭。尤其是塑膠螺管的長度，必須符合透鏡成像原理，加以測量。因焦距都很小，螺管的螺旋則是作為微調節焦距之用。
- 2.將 1.的鏡頭，拴在以名片盒做成的固定裝置，方便操作者移動，搜尋標本、觀察。
- 3.以禮品硬方盒做成的穩固的顯微鏡觀察平台內，裝有聚光燈泡，作為光源。並以黑色圓筆管做成光圈裝置，縮小平行光束，以避免厚透鏡的焦點模糊。
- 4.將以上各細部裝置組合 如圖 16.，便是一台玻璃圓珠顯微鏡。可以進行生物標本的觀察。

圖 15--玻璃圓珠顯微鏡設計圖

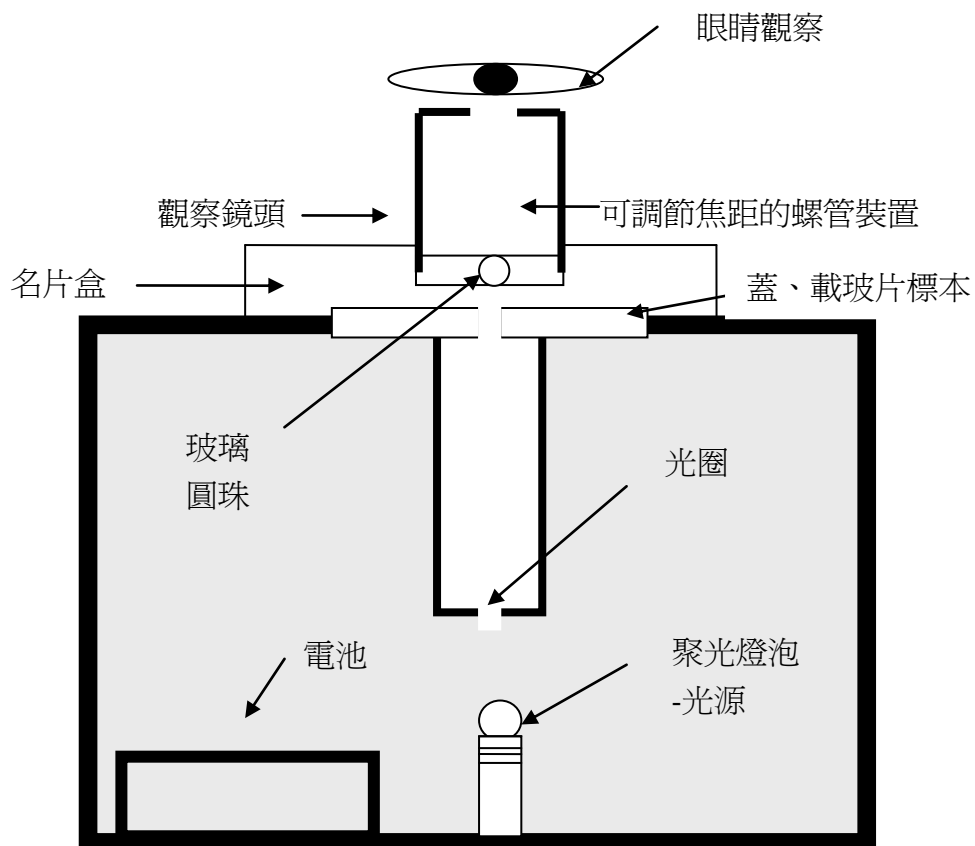
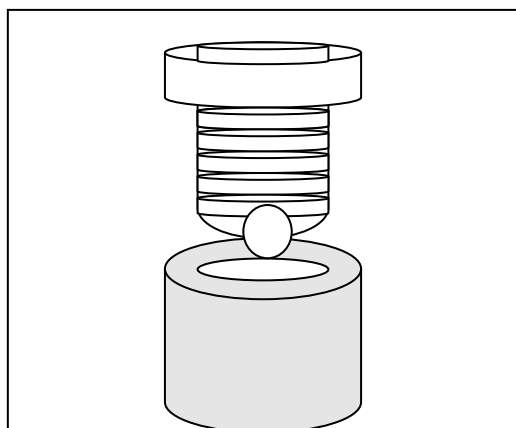
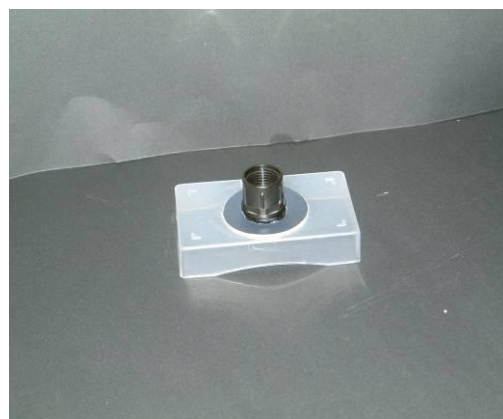


圖 16. 細部裝置分解圖：



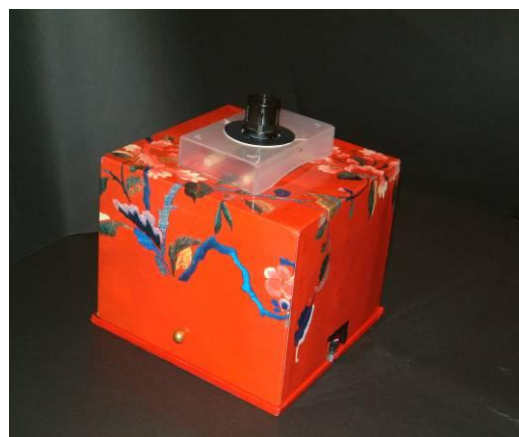
* 鏡頭裝置：螺管的螺旋則是作為微調節焦距之用。小圓珠一半鑲在空心的塑膠螺管前端。



* 名片盒做成的固定裝置，方便操作者移動，搜尋標本、及觀察。



* 顯微鏡盒內的光源裝置



* 玻璃圓珠顯微鏡實品圖



* 鏡頭盒：圓珠鑲成的鏡頭，依放大倍率排列，置於盒中，避免灰塵。

(二) 以玻璃圓珠顯微鏡觀察生物，水綿為標本，用每一圓珠鏡頭觀察結果，畫面以數位相機 (FUJI Fine Pix F601 600 萬畫素)，在相同的設定條件下，拍攝水綿標本於相同位置。各個鏡頭呈現不同的放大倍率。結果畫面如圖 17.

說明：

1. 由畫面觀察得知，的確，不同球徑的圓珠，畫面所呈現水綿管束大小不同。
2. 不同球徑的圓珠，有不同的放大倍率，球徑越小，放大倍率越大。

(三) 利用自製圓珠顯微鏡觀察所得畫面與複式顯微鏡畫面相互對照測量，來驗證圓珠顯微鏡的放大倍率。步驟如下：

1. 複式顯微鏡取 $10\times 4=40$ 倍、 $15\times 4=60$ 倍、 $10\times 10=100$ 倍、 $15\times 10=150$ 倍鏡頭組合，觀察水綿標本固定位置；自製顯微鏡取 $d=7.70\text{ mm}$ 、 5.50 mm 、 3.40 mm 、 2.35 mm 圓珠鏡頭相對照觀察。(因為複式顯微鏡的物鏡、目鏡頭組合 150 倍以上就跳到 400 倍，所以，圓珠鏡頭也只能取 4 個來對照)
2. 在相同的拍攝條件下，以照相機拍攝水綿標本相同位置。各個鏡頭呈現不同的放大倍率。結果列印畫面如圖 18.
3. 由圖 18. 水綿放大圖，取某一固定位置，以游標尺測量水綿管束的直徑大小 (如圖中紅圈所示位置)。比較二種顯微鏡使水綿管束放大，倍數對照的情形。

結果：如圖 18.、表 9.

圖 17 大小球徑的圓珠顯微鏡頭，畫面呈現水綿管束放大情形

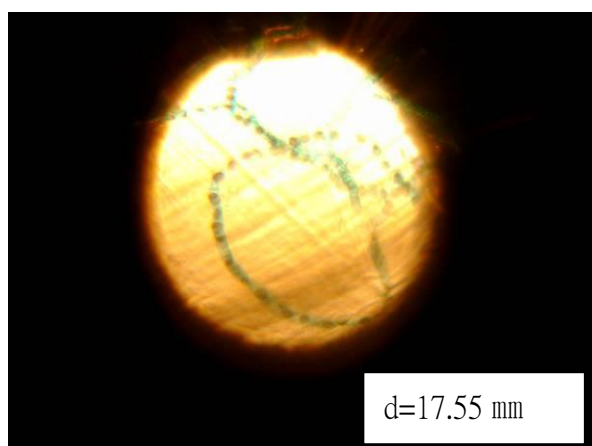
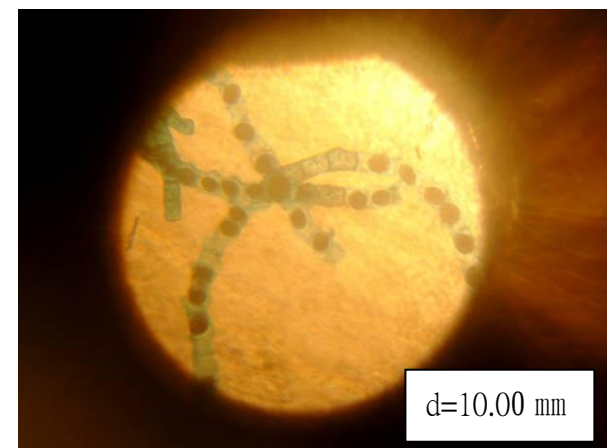
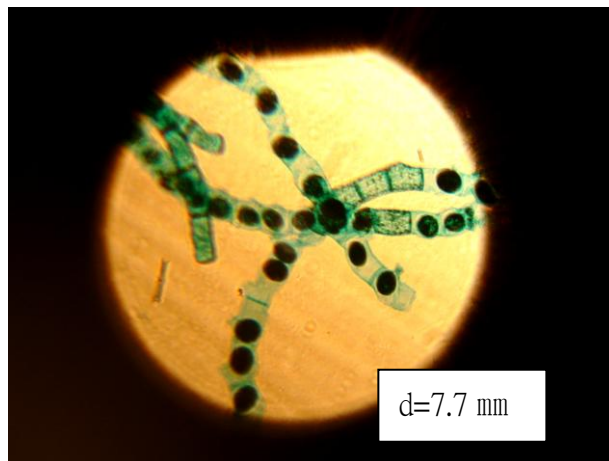
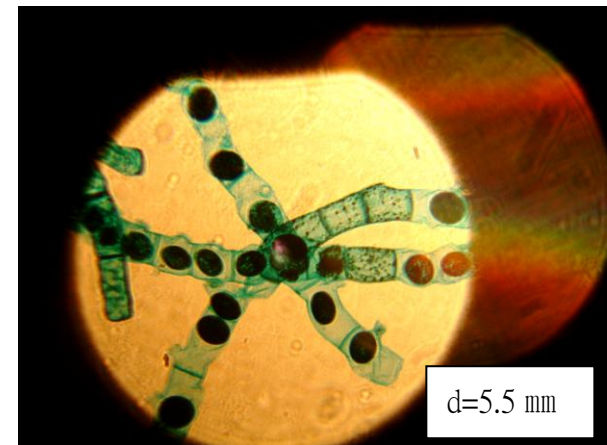
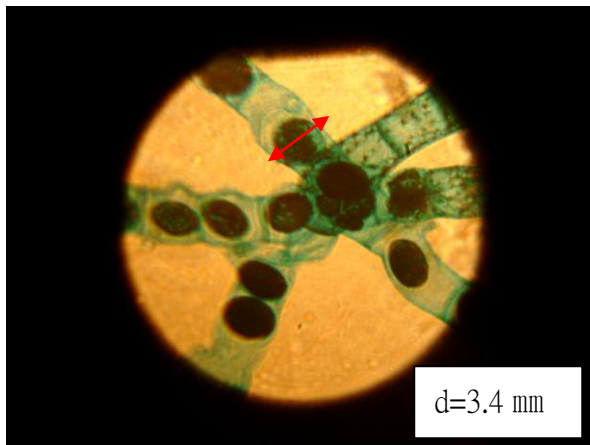
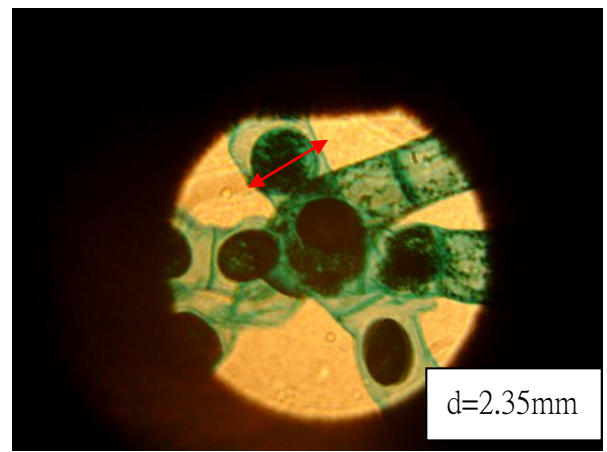
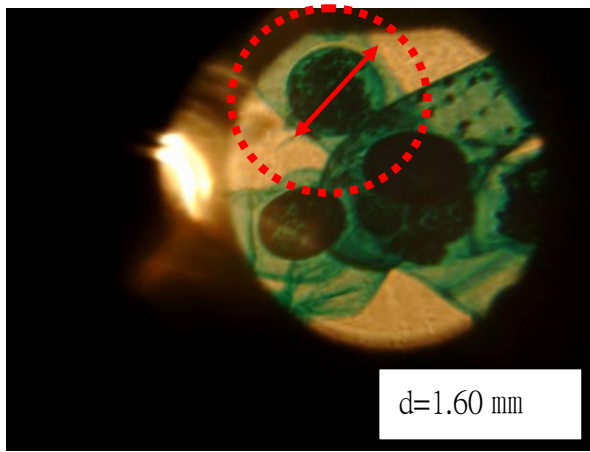


圖 18. 水綿標本 複式顯微鏡畫面（對照組）

圓珠顯微鏡畫面

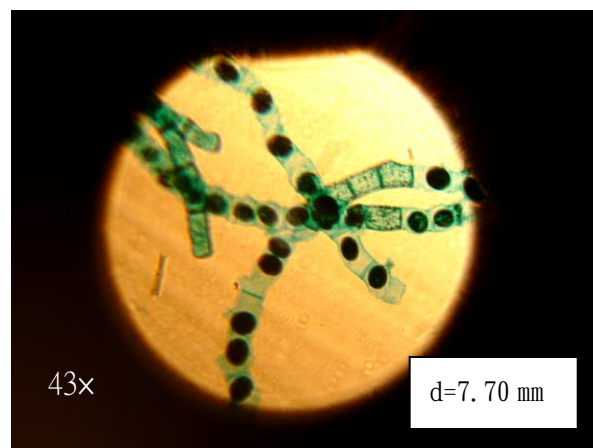
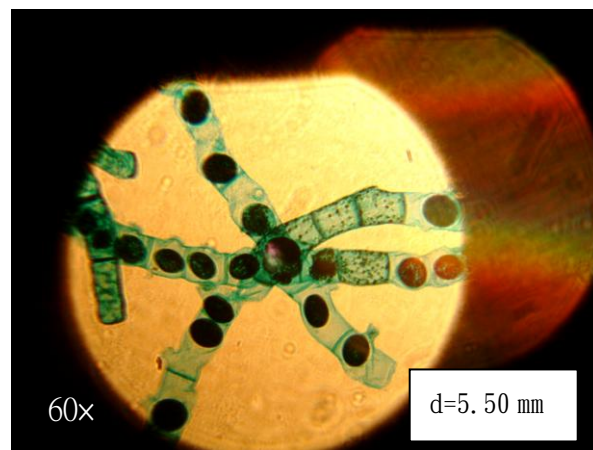
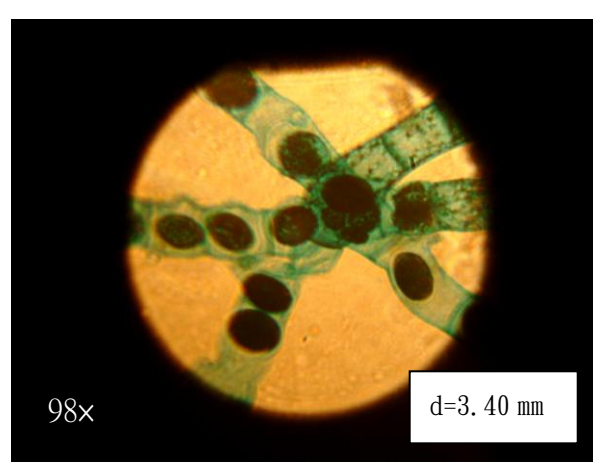
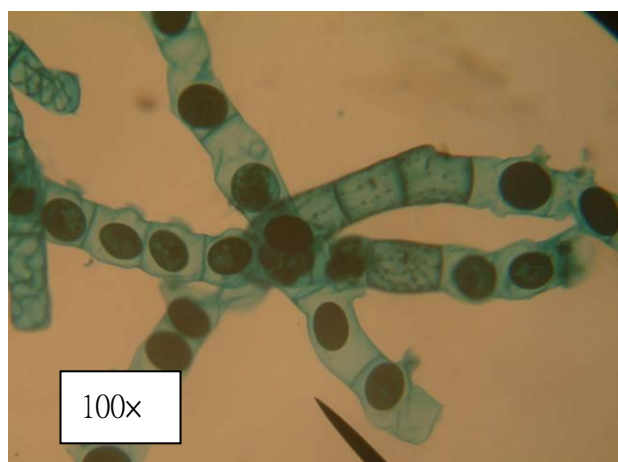
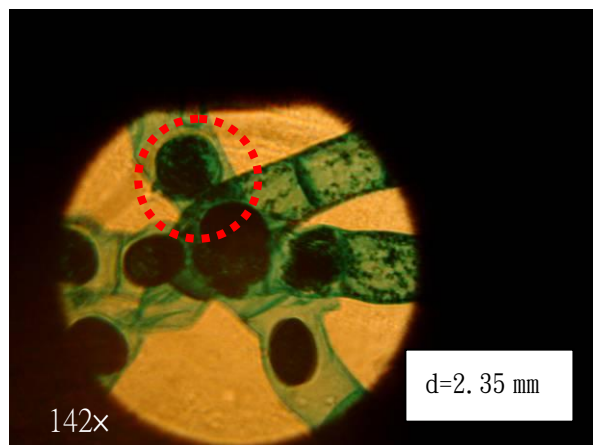


表 9.

圓珠球徑 d (mm)	2.35	3.40	5.50	7.70
圓珠顯微鏡放大倍率 m1	142x	98x	60x	43x
圓珠-水綿管束直徑 (mm)	10.35	8.00	5.40	3.65
複式顯微鏡鏡頭倍數組合	150x	100x	60x	40x
複式-水綿管束直徑 (mm)	10.50	8.10	5.50	3.50

說明：

1. 比較二種顯微鏡使水綿管束放大後，實測水綿管束直徑 (mm) 數字很接近。
2. 與複式顯微鏡倍數互相對照，可以推測、驗證圓珠顯微鏡具有接近以下的放大效果：d=2.35 mm 150 倍、d=3.40 mm 100 倍、d=5.50 mm 60 倍、d=7.70 mm 40 倍。

(五) 圓珠顯微鏡連接數位攝影機及電腦

1. 連接裝置如圖 19.，可以即時觀察微生物的生動、活潑的情形，並利用攝影機 (Panasonic PV-GS15) 連接電腦觀看、擷取畫面、儲存檔案。
2. 自行培養的微生物標本：將殘枝枯草加水置於容器中培養，約第 4-7 天水變臭，微生物活躍，最適合觀察。效果如圖 20.

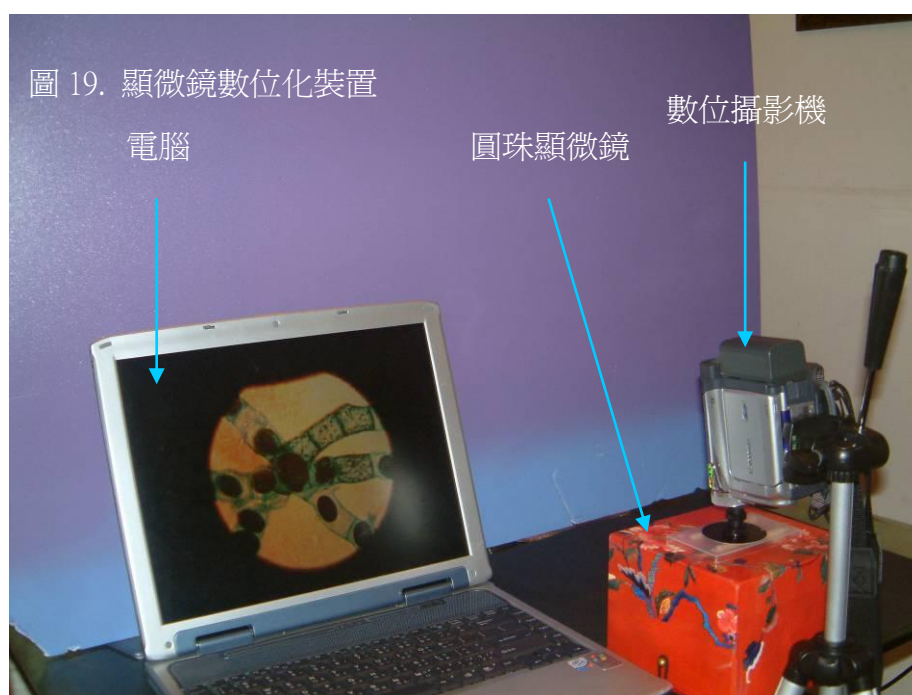


圖 20. 用顯微鏡數位化裝置看到活生生的變形蟲在玻片上游動、爬行。並以影片檔儲存、觀看

伍、研究結果：

一、在研究一.燒製玻璃圓珠的過程中，嘗試了四種方法，結果用加入了氧氣的瓦斯火嘴，燃燒效率佳。將直徑 6.05 mm 的玻棒加熱拉絲，可燒出一堆球徑從小到大不等的小圓珠，從中挑選七顆大小不等，且清純透徹的圓珠，作為透鏡。

二、在研究二.藉由光學理論的探討，得知小圓珠屬於厚凸透鏡。並且以游標尺準確的測量出它們的球徑 d 大小分別為 1.60 mm、2.35 mm、3.40 mm、5.50 mm、7.70 mm、10.00 mm、17.55 mm。

三、在研究三.測量圓珠的焦距 f ，分別以游標尺裝置實際測量及造鏡者公式計算二種方法。經 EXCEL 回歸分析，結果二者略有差異。但是，都顯示球徑越大，焦距越長，成正比線性關係。

球徑 (mm)	1.60	2.35	3.40	5.50	7.70	10.00	17.55
焦距實測值 f_2 (mm)	1.55	1.90	2.70	4.25	5.80	7.75	13.45
焦距計算值 f_1 (mm)	1.20	1.76	2.55	4.13	5.78	7.50	13.16
相對誤差 $ f_2 - f_1 / f_1$	29.1%	7.9%	5.9%	2.9%	0.3%	3.3%	2.2%

四、在研究四.推算圓珠的放大倍率 m ，我們將各個圓珠的焦距計算值 f_1 及實測值 f_2 ，直接套入公式 $m = -250 \text{ mm} \div f$ 推算放大倍率 m_1 、 m_2 。經 EXCEL 分析比對，結果都顯示球徑越大，放大倍率越小，成反比關係。

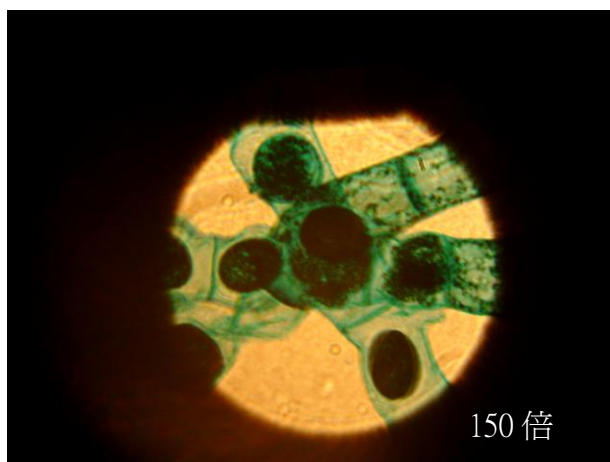
五、在研究五.利用自製圓珠顯微鏡觀察水綿畫面與複式顯微鏡畫面相互對照、測量水綿管束直徑。結果，研究四.推算圓珠的放大倍率 m 在此獲得驗證。並且呈現清晰畫面，不輸給複式顯微鏡。

圓珠球徑 d (mm)	2.35	3.40	5.50	7.70
圓珠顯微鏡放大倍率 m_1	142x	98x	60x	43x
圓珠-水綿管束直徑 (mm)	10.35	8.00	5.40	3.65
複式顯微鏡鏡頭倍數組合	150x	100x	60x	40x
複式-水綿管束直徑 (mm)	10.50	8.10	5.50	3.50

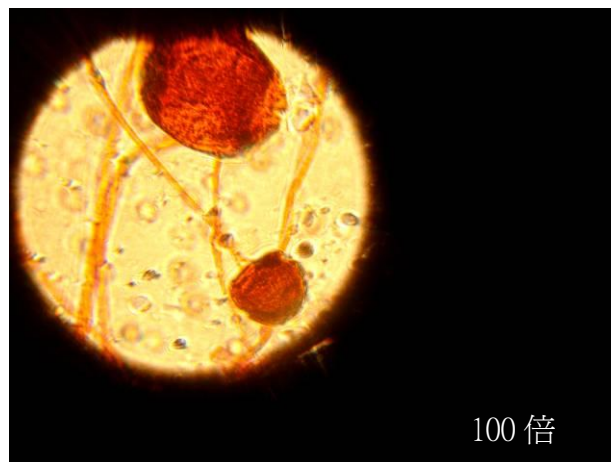
六、利用自製圓珠顯微鏡以 100~150 倍鏡頭觀察微生物標本，拍攝所得畫面以電腦列印。

如圖 21.

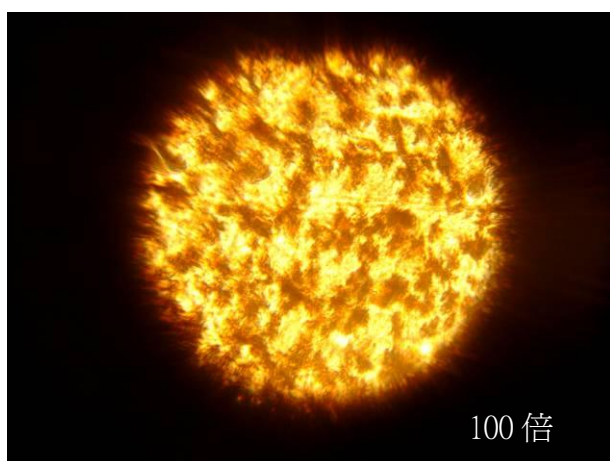
圖 21.圓珠顯微鏡觀察微生物標本拍攝畫面



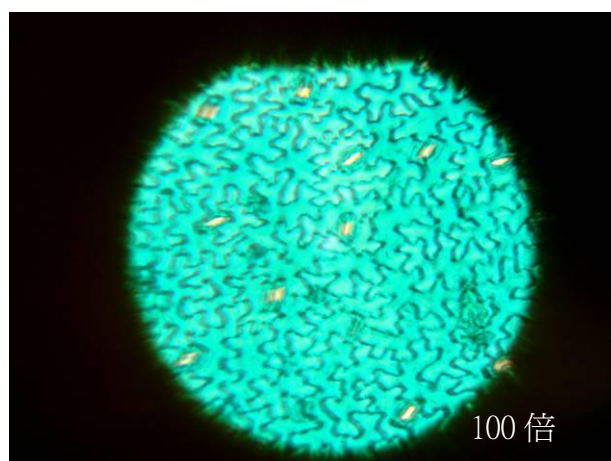
水綿



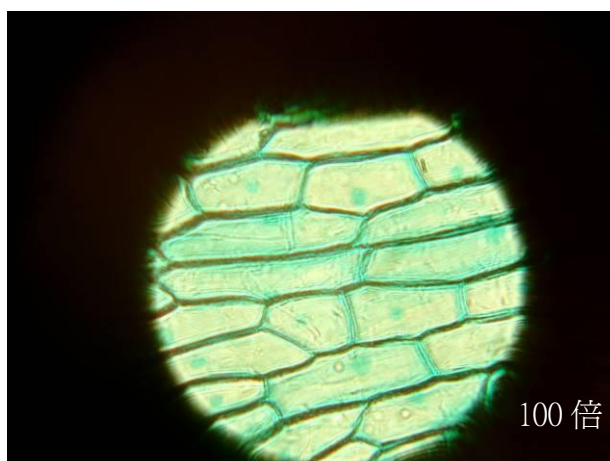
黑黴



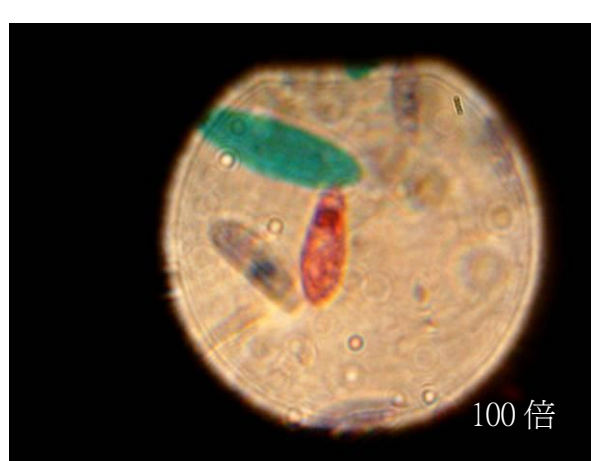
蛙皮



氣孔



洋蔥表皮細胞



草履蟲

陸、討 論：

一、在研究一.燒製玻璃圓珠的過程中，剛開始以蓋玻片作為玻璃原料，以為它很薄，應該比較好燒。但是必須用鑷子夾著燒，結果鑷子也跟著玻璃一起燒，會產生氧化鐵，玻璃珠變成黃褐色。同時，酒精燈及噴燈溫度不夠，燃燒不完全，使得玻璃珠積碳，出現雜質。後來，改以實驗室的玻棒（硼玻璃），使用可加氧氣的瓦斯火嘴加熱拉絲，再燒毛細管，就可以生成清純透徹的圓珠。剛開始技巧不純熟，燒不圓，請教玻璃工藝館的師父後，才克服許多燒玻璃所面臨的瓶頸。

二、在研究三.測量圓珠的焦距 f ，以游標尺裝置實際測量時，原本以黑紙作為屏幕，測量時發現黑紙幕會卷曲變形，影響距離的判讀。後來改以墨汁塗黑的蓋玻片（18 mm×18 mm）作為屏幕，才得以改善。因圓珠大小不一，為了將雷射光束準確的射向圓珠中心，在雷射筆底下整齊放置數張名片，來調整平行光束的高低，就準確多了。由於小圓珠球徑非常小，焦距也更小。尤其是 1.6 mm 及 2.35 mm 這兩顆，在測量的操作過程中，人眼的能力，及手的穩定性因素。我發現常會影響焦點位置的判斷，必需經多次重複操作、判讀來提高焦距數據的準確度。

三、在觀察過程中發現：複式顯微鏡畫面視野較大；圓珠顯微鏡畫面視野較小，只侷限在圓圈範圍內。那是因為複式是由物鏡、目鏡的相乘組合，且凸透鏡的曲率半徑較大，所以，視野較大。圓珠顯微鏡畫面雖視野較小，我們用名片盒的鏡頭裝置，可以平行移動，即可搜尋標本的每個角落。

四、與複式顯微鏡倍數互相對照，驗證圓珠顯微鏡具有接近以下的放大效果： $d=2.35$ mm 150 倍、 $d=3.40$ mm 100 倍、 $d=5.50$ mm 60 倍、 $d=7.70$ mm 40 倍。但是，礙於複式的透鏡倍數組合只有四種，使得 $d=1.60$ mm、 $d=10.00$ mm、 $d=17.55$ mm 三顆圓珠，無法互相對照、驗證。但是由表 8.套入公式 $m=-250 \div f$ 推算這三顆圓珠具有以下放大效果： $d=1.60$ mm 208 倍、 $d=10.00$ mm 33 倍、 $d=17.55$ mm 19 倍。放大效果歸納入下表：

球徑 (mm)	1.60	2.35	3.40	5.50	7.70	10.00	17.55
放大效果	208×	150×	100×	60×	40×	33×	19×

五、在觀察複式顯微鏡畫面時發現，與圓珠顯微鏡畫面不同，成上下顛倒、左右相反。所以，為了互相對照方便，應將玻片標本旋轉 180 度放置，方向才會一致。

六、複式顯微鏡與自製圓珠顯微鏡之比較：

	透鏡數	成像	視野	放大次數	攜帶	價格
複式顯微鏡	2	倒立 虛像	大	2	難	昂貴
圓珠顯微鏡	1	正立 虛像	小	1	易	便宜

柒、結 論：

- 一、選用適當的玻璃材質－硼玻璃，燃燒效率佳的加熱器具－可加氧氣的瓦斯火嘴，加上熟練的燒製技巧。就可以自行燒製清純透徹的玻璃圓珠厚凸透鏡。
- 二、球徑 d 越大，焦距 f 越大。成正比線性關係。
- 三、球徑 d 越大，放大倍率越小。成反比關係。
- 四、自製圓珠顯微鏡攜帶方便，具有接近放大 19 倍、33 倍、40 倍、60 倍、100 倍、150 倍、208 倍的放大效果。並且呈現清晰畫面，不輸給複式顯微鏡。再利用攝影機連接電腦觀看，或擷取畫面、儲存檔案，功能性佳。值得推廣給全國的中學生人手一台，作為觀察微生物的最佳工具。

捌、參考資料：

- 一、國中自然與生活科技教科書 康軒版 第一、三冊
- 二、台灣師大物理系 物理教學示範實驗教室網站
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/>
- 三、新竹玻璃工藝博物館網頁
http://www.hcccb.gov.tw/chinese/13museum/mus_b01.asp?station=102
- 四、游祥平 微小生物的世界 初版 台北市 圖文出版社 1986 年
- 五、盧喜瑞（譯） 最新物理手冊 二版 台北市 徐氏基金會 P341-345 1989 年
- 六、鍾國華（譯） 有趣的物理世界 2 初版 台北市 國家出版社 P75-82 1980 年
- 七、管傑雄等 高中物理（下）修正初版 台北市 三民書局 p142-145 2003 年
- 八、徐進夫（譯） 顯微鏡與微生物 3 版 台北市 幼獅文化 1987 年
- 九、王國銓（譯） 物理定律集 初版 台北市 銀河文化 P107-115 1986 年
- 十、<http://scienceworld.wolfram.com/physics/ThickLensFormula.html>

【評 語】 031601 大珠小珠落玉盤：圓珠顯微鏡的製作與研究

1. 本件作品以自製玻璃球珠，從事簡易顯微鏡之製作，學生對球珠光學成像應注意之物理現象理解，而合宜應用。
2. 學生不但習得動手自製簡便使用顯微觀測工具，對相關物理原理的學習；乃值得鼓勵之。
3. 本實驗作品可以進一步考慮增設 X-Y 平移台及複鏡等，使觀察操作及倍率等改進，另光學誤差之減少，亦應考慮之。