

能顯微的彈珠？！

國中組物理科第三名

台北市立百齡國民中學

作者：林佩瑩、許貴淳、陳澄如、林秉潔

指導教師：謝明輝

一、研究動機

一天，在把玩彈珠時，發現——從它往外看，彷彿置身於另一世界：近物大且成正像，遠物清晰成倒像。於是我們展開研究，好一探其中的奧秘。

二、研究目的

- (一) 球徑大小和倍率的關係為何？
- (二) 如何利用結果做出一實用的顯微鏡？

三、工作儀器設計、原理

(一) 市售彈珠（與「自燒彈珠」同材質）。

(二) 自燒彈珠原理：內聚力。將圓球與水珠聯想在一起，且查證資料後發現內聚力之拋物面並不會因材質密度不同而改變，故使用細長鐵絲製造出可讓水珠形成的環境，在蓋玻片加熱軟化後以鐵絲沾取，持續加熱，玻璃便因內聚力在鐵絲前端形成圓球。

(三) 游標尺：量球徑。

(四) 紙板：將彈珠鑲在紙板中固定以方便測量（如右圖）。

(五) 鑷子：夾彈珠或紙板上鑽孔用。

(六) 錐子：在紙板上鑽孔。

(七) 微生物、各標本微生物培養法：

1. 盛一杯清水。
2. 以竿子在富微生物所沾取數滴，滴入清水中。
3. 放入殘枝敗葉即可。



註：約三天後微生物大量繁殖，七天後死亡。

(八) 複式顯微鏡：比較用。

(九) 自製顯微鏡（利用實驗結果製出）。

(十) 各種接著劑：A B 膠、雙面膠……等。

(十一) 木板數片。

(十二) 酒精燈：燒熱錐子、鑷子，以利鑿洞。

四、實驗過程及討論

(一) 實驗一：

1. 實驗目的：彈珠有大有小，其球徑和放大倍率的關係為何？

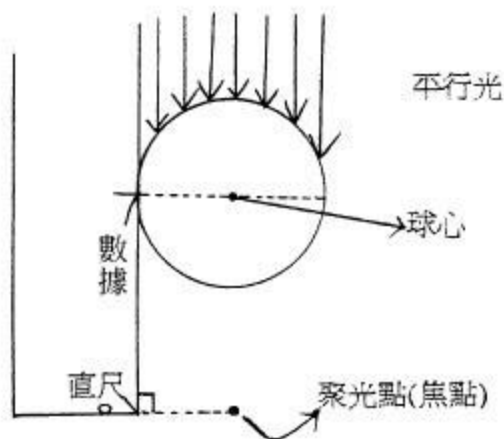
2. 假設：因已知透鏡焦距越小者，放大倍率越大，故假設彈珠球徑越小者，焦距越小，放大倍率越大。

3. 步驟(1)測量彈珠球徑，方法：以兩三角板直立，夾住彈珠且垂直於尺，在尺上測量。

數據：（表一）（僅列出平均值）

球徑(mm) 球號 次數	A	B	C	D
平均值	2.30	3.90	5.20	16.50

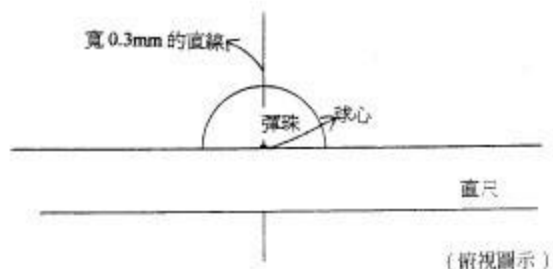
步驟(2)測量彈珠焦距，方法：以平行光照下，上下移動彈珠尋找聚光點。如圖：



數據：（表二）（僅列出平均值）

彈珠焦距(mm) 球號 次數	A	B	C	D
平均值	1.67	3.33	3.00	10.30

步驟(3)測量放大倍率，方法：以0.3mm之筆畫一直線，貼放在彈珠下，再以尺貼在彈珠上，測量且求其倍數，如圖：（側面圖示略）



數據：（表三）（僅列出平均值）

倍率 次數	球號	A	B	C	D
平均	值	2.46	2.60	1.96	1.70

討論一：

球徑方面：目測及以手控制三角板，誤差可能較大，在探討改進方法後，發現「游標尺」可做為測量球徑之儀器，其結果應較精確。

焦距方面：在彈珠材質相同的原則下，依常理判斷焦距應隨球徑有規則變化；且人為操作變數大，故可證誤差嚴重。

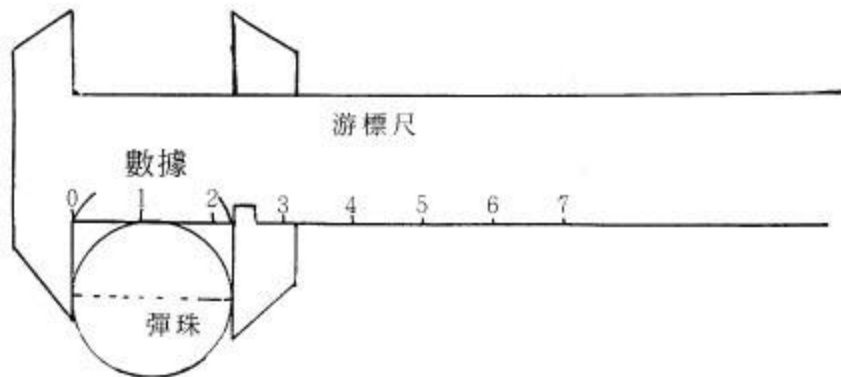
倍率方面：測量出的數據因人為疏失而無規則性，且誤差大，有的放大之像甚至充滿整個彈珠，無可靠性。

∴由以上得知，有重新實驗，以求數據更精準之必要。

實驗一之二：

1.再實驗之目的：改用各種可使數據更精確的方法，以探求球徑和放大倍率之關係。

2.步驟(1)以浮標尺測量彈珠球徑，如圖：

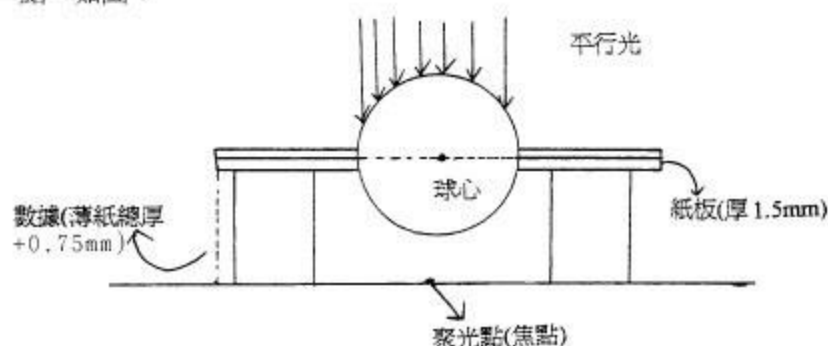


數據：(表四)

球 號	A	B	C	D
球 徑 (mm)	2.1	4.2	5.1	16.0

(由於游標尺測量結果準確，故只有一次結果。)

步驟(2)將厚紙板(厚1.5mm)剪成5×8mm長方塊，以燒熱後的錐子或鑷子在中心鑽孔，鑲入彈珠，固定。用平行光照下，以薄紙一張張黏疊上來，直至光聚合於一點，如圖：

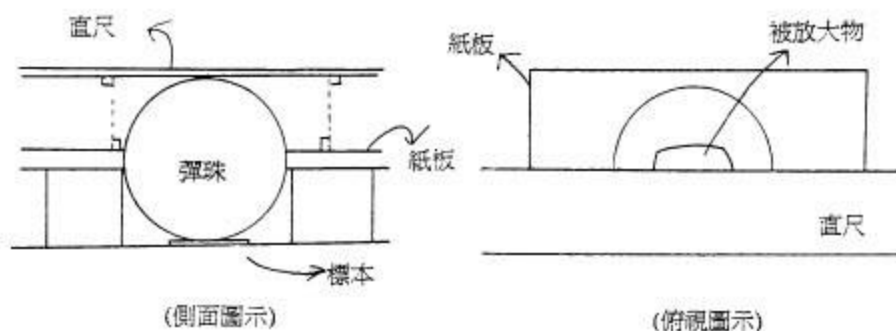


數據：(表五)(求法：薄紙總厚加0.75mm,薄紙總厚以游標尺測量)(僅列出平均值)

焦距 次數	球 號	A	B	C	D
平 均 值		1.45	1.38	2.90	9.78

P. S. 此數據的最小測量單位應為mm，但因其測量過程中含計算(加上一半紙板厚度0.75mm)，所以其數值的最小測量單位為0.1mm。

步驟(3)測量彈珠放大倍率，方法：以一邊長皆為0.2mm之物為標本，將鑲於厚紙板中的彈珠緊貼其物，如圖：



數據：(表六)(僅列出平均值)

放大倍率 次數	球 號	A	B	C	D
平 均 值		2.90	2.60	1.30	1.16

討論一之二：

球徑方面：以游標尺測量的誤差甚小。

焦距方面：在測量時發現紙有彈性，造成誤差。

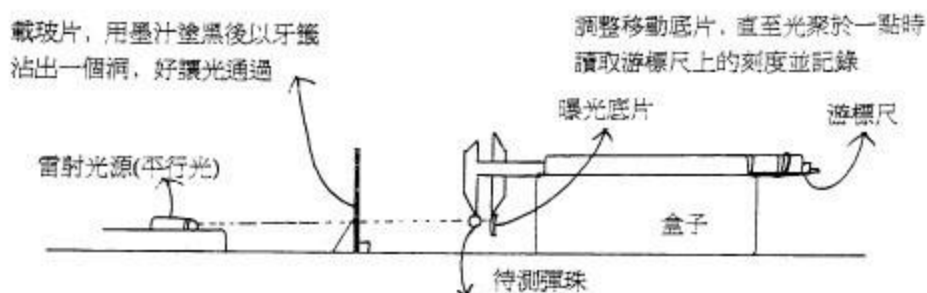
倍率方面：偶然中改以維管束標本為觀察對象，發現A、B球竟可看見細胞壁，充分顯示數據完全錯誤。

∴可知，球徑部分已可確認，但焦距及倍率的測量部分還要再檢討改進。

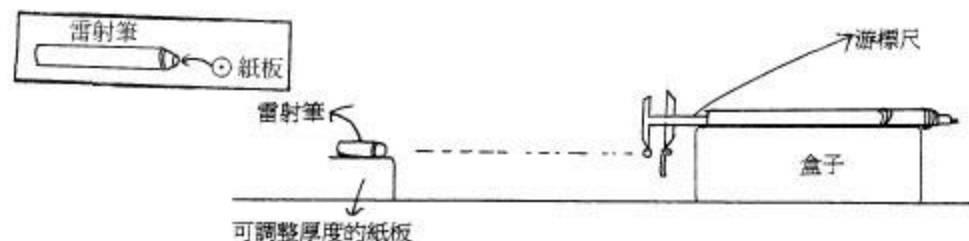
實驗一之三：

1. 再實驗之目的：針對焦距和倍率的測量方式再做改善，以求出正確的數值來做比較。

2. 步驟(1)以「游標尺為主體的裝置」測量彈珠焦距，如圖：



⊙但因實驗過程之首要條件為：雷射光束、洞、彈珠、底片須在一直線上，操作困難度高；故改進為將紙板用燒熱的錐子戳洞，固定在雷射光束筆上，將光束縮小（原光束比球徑大），通過彈珠到底片上。如圖：



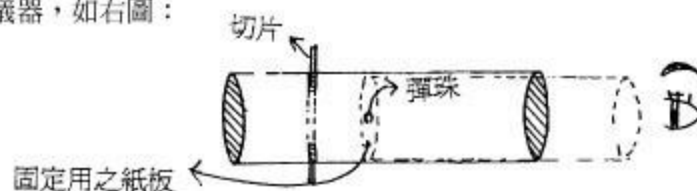
數據：（表七）（僅列出平均值）

焦距 (mm)	球號	A	B	C	D
次數					
平均值		0.80	1.93	3.00	9.50

步驟(2)用比較的方法，觀察玻片標本後再與放大倍率分別為100倍、300倍、900倍、1200倍的顯微鏡作比較、估計。

◎使用兩個相同的切片，ex：頭髮切片，互相比較，兩者皆須處於最清晰狀態。

測倍率用的彈珠儀器，如右圖：

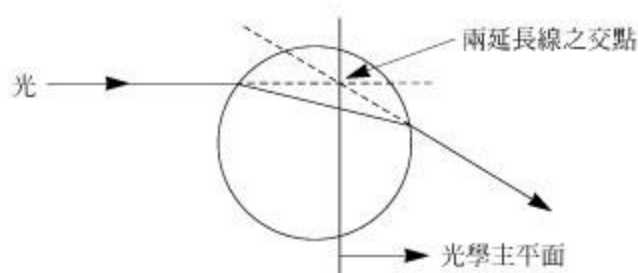


數據：（表八）

球 號	A	B	C	D
放 大 倍 率	300	200	150	30

討論一之三：

焦距方面：經查詢資料得知「厚凸透鏡的焦距並非其中心至聚光點的距離，而是由『光學主平面』至聚光點的距離」，若今將彈珠視為厚凸透鏡，如下圖：



故量出之數據仍存在誤差。人眼的能力無法正確判斷其位置，以我們的能力亦無法算出，故決定套入：

公式「 $f=250\text{mm}/\text{倍率}$ 」。

數據：（表九）

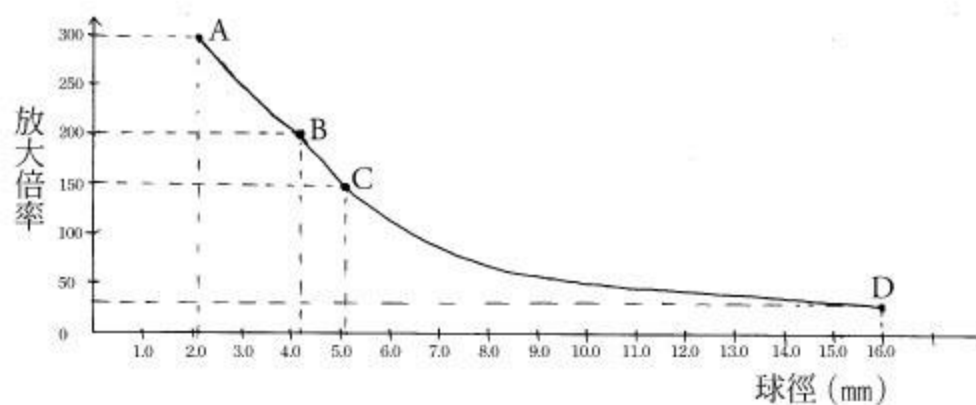
球 號	A	B	C	D
焦 距 (mm)	0.83	1.25	1.67	8.33

註：250mm為人類最短明視距離。

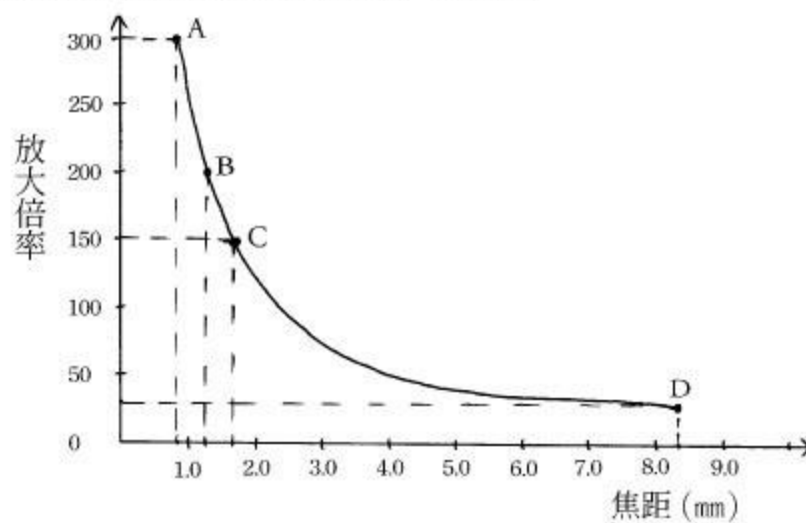
放大倍率方面：因放大倍率之數據代入公式中所得焦距數據均小於測量出的數據，符合理論，故可證其正確性。

結果：

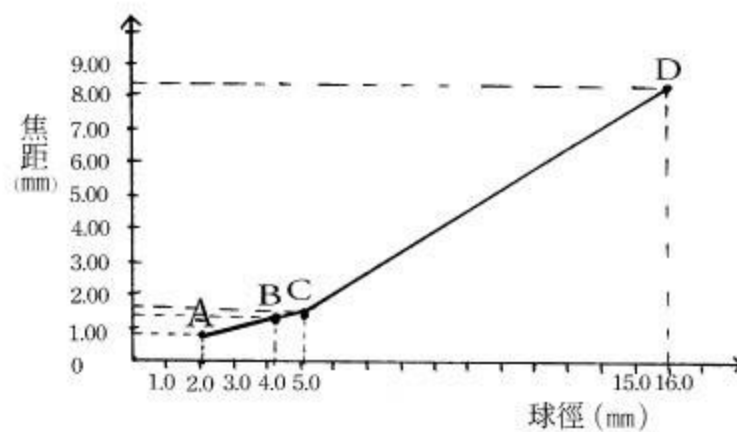
1.放大倍率和球徑的關係反比的線性，如下圖：



2. 放大倍率和焦距的關係反比的線性，如下圖：



3. 球徑和焦距呈正比的線性關係，如下圖：



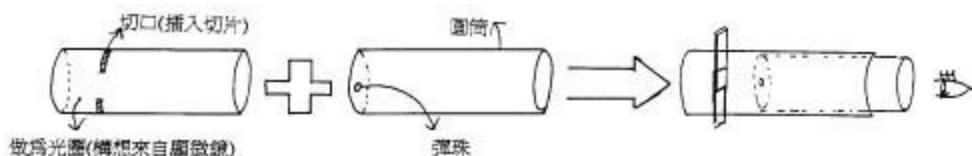
由以上可知：

1. 球徑越大，焦距越長，放大倍率越小。
2. 球徑小者球面曲度大，折射較嚴重，故放大倍率較大。

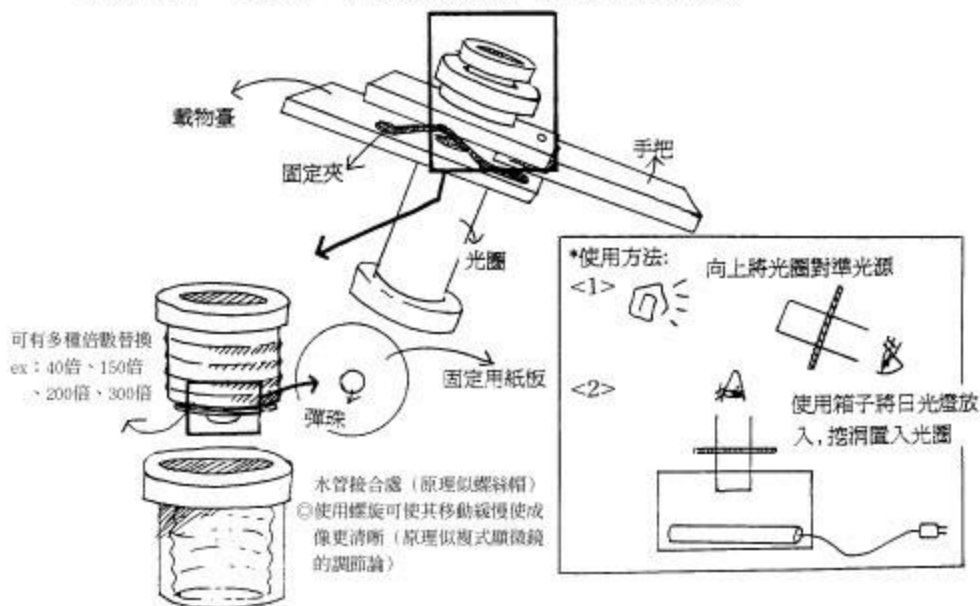
(二) 實驗二：

1. 實驗目的：利用實驗結果設計並製造「彈珠式顯微鏡」。

◎測倍率用的彈珠儀器，如圖：



◎為求精準，改進後「彈珠式顯微鏡」設計及完成圖如下：



討論二：

比較複式顯微鏡與自製彈珠式顯微鏡的異同：

1. 原理：

(1) 複式顯微鏡：(略)

(2) 自製彈珠式顯微鏡：觀察物位於彈珠焦距內，以眼睛觀察得一放大正立虛像(圖略)。

2. 光線：複式顯微鏡用反光鏡反射，彈珠式顯微鏡以圓筒導入至觀測物。

3. 觀察對象：皆須將觀察對象製成玻片標本。

4. 呈像：(略)。
5. 其他：自製彈珠式顯微鏡攜帶方便，材料易取得。

五、結論

- (一) 由實驗一可知：彈珠球徑越小，放大倍率越大(彈珠焦距和倍率成反比)，其所能觀測的有效視野越小。
- (二) 焦距和倍率的關係式： $250\text{mm}/\text{焦距}=\text{倍率}$ 。
- (三) 小至5公釐左右的可觀察到微生物，令人驚奇！
- (四) (略)。
- (五) 測量所用之尺的最小刻度為1mm，量出的數據對於球徑僅有數公釐的彈珠會造成誤差。實驗應不斷改進以尋求最正確的數值，推演出正確的理論，今後必尋求更精確的方法，使誤差降到最小。
- (六) 從此次實驗中，我們更了解透鏡成像的原理，且大開眼界，培養較正確的研究精神，頗有助益。

六、建議

- (一) (二) 1、2、3 (三) (四) (五) (六) (略)。
- (二) 4. 接物目鏡之基座與載物臺之距離須與彈珠焦距相配合(∵彈珠式顯微鏡之主要原理為虛像)。

七、參考資料

- (一) 科學圖書大庫 物理起步 安德魯·林白 著。
- (二) 網際網路[http://www.encntc.edu.tw/1~schpl26/\(surface-tens\)on.htm](http://www.encntc.edu.tw/1~schpl26/(surface-tens)on.htm)
<http://www.encntc.edu.tw/issue/issue-8/v8-4.htm>

評語

- 一、本作品利用玻璃彈珠之短焦距製作放大倍率甚高之顯微效果，儀具簡單，但也有300倍以上之顯微效果，使原來昂貴之顯微鏡設備，其結構原理一目瞭然，有加強自製儀器之自信力。
- 二、利用此自製之顯微鏡，觀察到微生物之活動現象，生動而有教育價值。
- 三、攜帶操作容易。
- 四、難得的是微顆粒彈珠，並無市售其利用氫氧焰自製成品，殊為不易。

