

物理科

科別：物理科

組別：高中組

作品名稱：微物視觀－實用的顯微投影機

關鍵詞：顯微鏡、薄透鏡公式、顯微投影機

編號：040112

學校名稱：

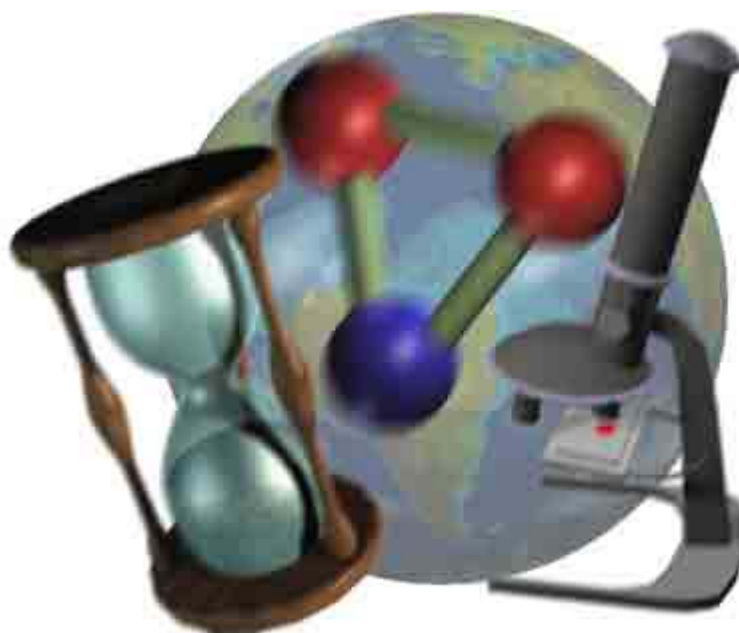
國立斗六高級中學

作者姓名：

周昭鴻、劉坤穎、李宛儒、劉議仁

指導老師：

許志逸



摘要

浩浩蒼蒼的大千世界中，除了人眼所及的巨觀事物外，存在微小尺度底下的世界，更令人嘆為觀止。而顯微鏡的發明，正可滿足人類對微小事物的好奇心。然而，顯微鏡只能受限單人操作及觀察，本研究小組製作一台輔助顯微鏡的投影機，以彌補上述之缺點。整個研究目的是製作一台顯微投影機，並藉由顯微鏡上不同倍率的物鏡及不同焦距之投射透鏡的互相搭配，以達到不同的放大效果。此外，更可利用透鏡的整體放大倍率，以及光屏上的影像大小，反推實際物體的大小。研究過程主要是測量物鏡的物距及像距 $\langle p_1, q_1 \rangle$ ，以及投射透鏡之物距和像距 $\langle p_2, q_2 \rangle$ ，且測量光屏上的影像大小，再依據薄透鏡公式及放大倍率公式求出欲得的物理量。

研究結果的確能從光屏上見到顯微投影機投射出的清楚影像，且能精準量出影像之大小反求出實際物體大小。

討論中對整個實驗中人為和儀器造成的誤差，以及實驗過程中其餘因素產生的誤差作一番探討。最後結論是針對顯微投影機未來的期許及本研究小組的實驗心得。

壹、研究動機

微觀世界的事物充滿了新奇，隨著科技的日新月異，現今已有各式功能的顯微鏡，可以揭開其神祕面紗；然而，如此的精密儀器大多只能由單人操作及觀察，職此希望利用簡單的薄透鏡成像原理，製作一台顯微投影機，將顯微鏡下的影像，投射出人眼可觀察的大小，如此一來，實驗課時就可以利用顯微投影機的功能，讓每位同學都能大飽眼福，此外，對於微小物體而言，在投影大小為人眼可觀察之情況下，可量測物體影像的大小，再利用薄透鏡成像原理反推得物體實際大小，將顯微投影機之角色擴展為量測微小物體大小的工具。

本研究小組製作之第一代顯微投影機(如圖三)於全國區域性科展競賽時，獲得評審教授們多方面的建議，於是，針對第一代顯微投影機的缺點並結合此些建議，本研究小組將顯微投影機再稍加修整成為第二代顯微投影機(如圖四)，使得儀器在實驗過程中更易操作，亦相對提昇實驗數據的精準度。

總而言之，顯微投影機除能改進一般顯微鏡只能由單人操作，觀察的缺點外，亦能作為量測微小物體大小之工具，故對設備經費拮据與缺乏顯微觀測儀器的學校而言，能提供另類顯微觀測設備的選擇。

貳、研究目的

- 一、製作一部『顯微投影機』。
- 二、藉由顯微鏡上不同的物鏡，與顯微投影機投射盒內之不同焦距之透鏡的互相搭配，達到放大的效果，並推算各組搭配的放大倍率。
- 三、由光屏上投影的大小及上述所推得之放大倍率反推載物台上物體的實際大小。
- 四、製作出顯微測量器上放大倍率的刻度尺，經由放大倍率刻度尺能迅速反推載物台

上物體的實際大小

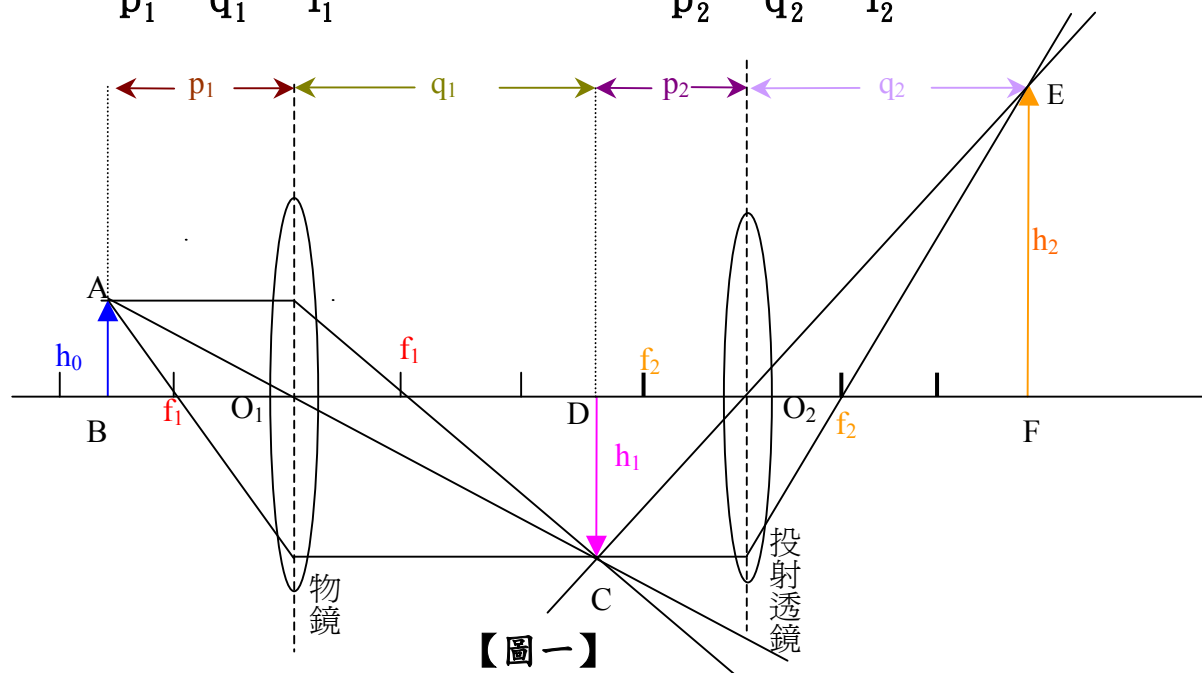
參、原理推論

一、依薄透鏡公式(thin lens formula)

設物鏡焦距 f_1 、投射盒內透鏡焦距 f_2 ，如下圖一，則：

$$\frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_1} = \frac{1}{f_1} \quad \dots \text{肆}-①$$

$$\frac{1}{p_2} + \frac{1}{q_2} = \frac{1}{f_2} \quad \dots \text{肆}-②$$



二、設物鏡及投射盒內透鏡的放大倍率分別為 M_1 及 M_2 ，則由上圖一可推知：

$$\triangle ABO_1 \sim \triangle CDO_1$$

$$\triangle CDO_2 \sim \triangle EFO_2$$

$$\Rightarrow \frac{q_1}{p_1} = \frac{h_1}{h_0} = M_1$$

$$\Rightarrow \frac{q_2}{p_2} = \frac{h_2}{h_1} = M_2$$

$$\therefore M = M_1 \times M_2 = \frac{q_1 q_2}{p_1 p_2} \quad \dots \text{肆}-③$$

由式肆-③可知，只須測量出 p_1 、 q_1 、 p_2 、 q_2 值代入該式，即可求得影像之放大倍率。

三、10x 物鏡焦距(1.15cm)的推導：

根據《光學儀器叢書》(王大庚、曹培熙，1972)所述，顯微鏡放大倍率的推算法：

鏡筒長(mm)-目鏡焦距(mm)-物鏡焦距(mm)=視筒長(mm)

視筒長(mm)/物鏡焦距(mm)=物鏡放大倍率

從上式可知，當目鏡焦距和物鏡放大倍率已知時(物鏡上有標示)，即可反推得物鏡焦距。然而，本組在使用顯微投影機時，已無使用目鏡，故不適用此公式以反求物鏡焦距。職是之故，本組利用第一代顯微投影機量測雙狹縫放大倍率時所測得之數據，如表一，經測得之 q_2 及已知投射透鏡之焦距(f_2)，依據薄透鏡公式：

$$\frac{1}{p_2} + \frac{1}{q_2} = \frac{1}{f_2}$$

反推得 p_2 及 q_1 ，再由已知之 p_1 求出 10x 物鏡之 f_1

【表一】

(單位：cm)

量測項目	q_2	r	p_2	q_1	p_1	f_1
投射透鏡						
15cm 焦距	41.19	13.15	23.59	12.3	1.27	1.15
	41.45	13.39	23.51	12.62	1.27	1.15
	41.95	13.19	23.35	12.58	1.27	1.15
	41.15	12.45	23.6	11.59	1.27	1.14
	41.12	13.54	23.61	12.67	1.27	1.15
20cm 焦距	30.27	3.81	14.93	11.62	1.27	1.14
	30.45	3.82	14.89	11.67	1.27	1.15
	30.92	3.26	14.78	11.22	1.27	1.14
	30.62	4.13	14.85	12.02	1.27	1.15
	30.79	4.25	14.81	12.18	1.27	1.15
					平均	1.15

由上表一，各次測量數據推得 10x 物鏡之焦距(f_1)，求其平均值得 $f_1=1.15\text{cm}$ ，本研究小組即以此值定為標準，作為爾後放大倍率尺的推導之用。此部份實驗數據之詳細紀錄請見：研究結果之表四。

四、放大倍率尺之推論：

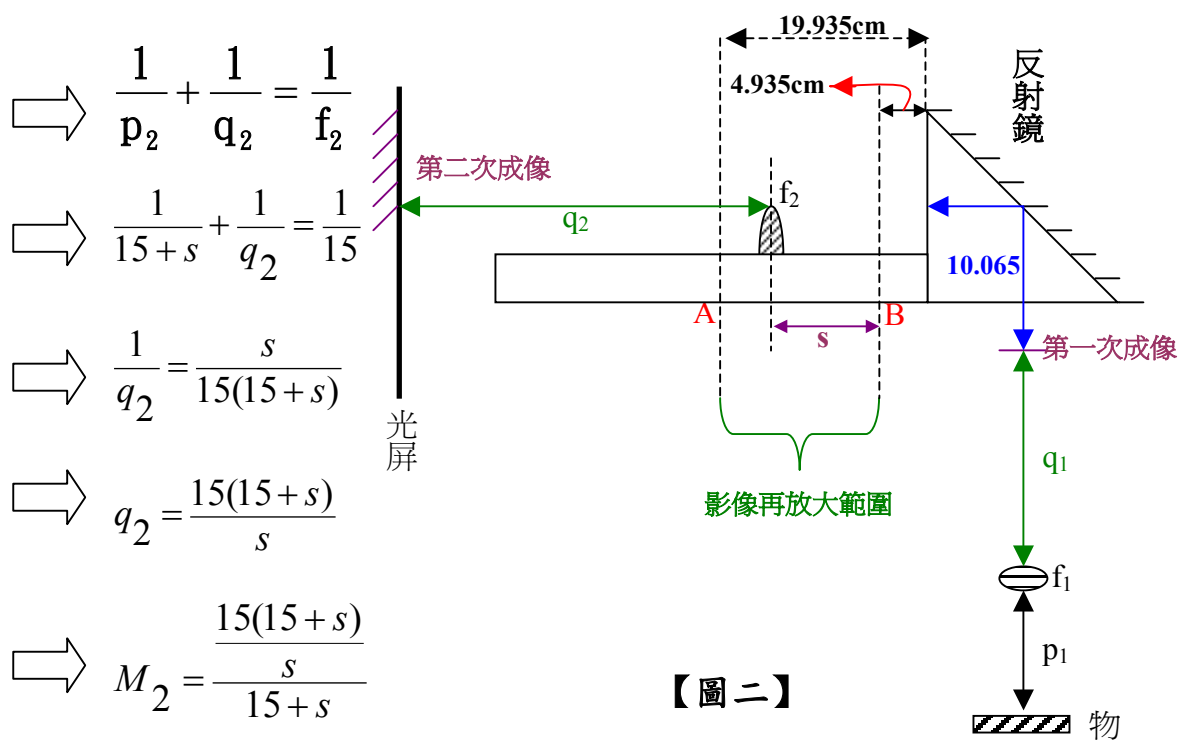
使用物鏡 10x($f_1=1.15\text{cm}$)、投射透鏡($f_2=15\text{cm}$)，裝置如圖二，依薄透鏡公式，及已測得之 p_1 (詳見研究結果之固定距離的測量)：

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{1.275} + \frac{1}{q_1} = \frac{1}{1.15}$$

$$\Rightarrow q_1 = 11.73 \therefore M_1 = \frac{q_1}{p_1} = \frac{11.73}{1.275} = 9.2$$

此即為 10X 物鏡之放大倍率。

因為投射鏡($f_2=15\text{cm}$)，又第一次成像的位置距離投射盒滑行道 d =鏡筒長(16.685)+反射鏡支撐架內光之路徑(5.11)- q_1 (11.730)=10.065，所以投射鏡的起點須位於距滑行道邊 $15-10.065=4.935$ 和 $15+4.935=19.935$ 之間，如圖二所示，如此第二次成像才會再放大，而影像於其間等分成 15 個整數刻度並定義 s 為投射鏡距 B 之長度，則 $p_2=15+s$ ，依薄透鏡公式



$$\therefore M = M_1 \times M_2 = 9.2 \times \frac{15}{s} = \frac{138}{s} \quad \dots \text{肆}-④$$

在上式中，變數只有 s ，所以 1 個 s 值即對應一個 M 值，如表二，故本研究小組自製一把刻度尺，每個 s 值旁刻上所對應的 M 值，未來只要投射鏡移至放大倍率 M 值處，再測出清晰的物像大小，兩數相除即可立即得物體真實大小。

五、清晰投影像的定義：因影像的清晰判定個人的主觀影響因素很大，為求客觀及提高實驗精準度，本研究小組共同討論並對清晰影像作出以下兩項定義：

- (一) 影像的邊緣可清楚辨別。
- (二) 研究小組成員皆對光屏稍微調整，直至皆認定為清楚影像為止。

【表二】

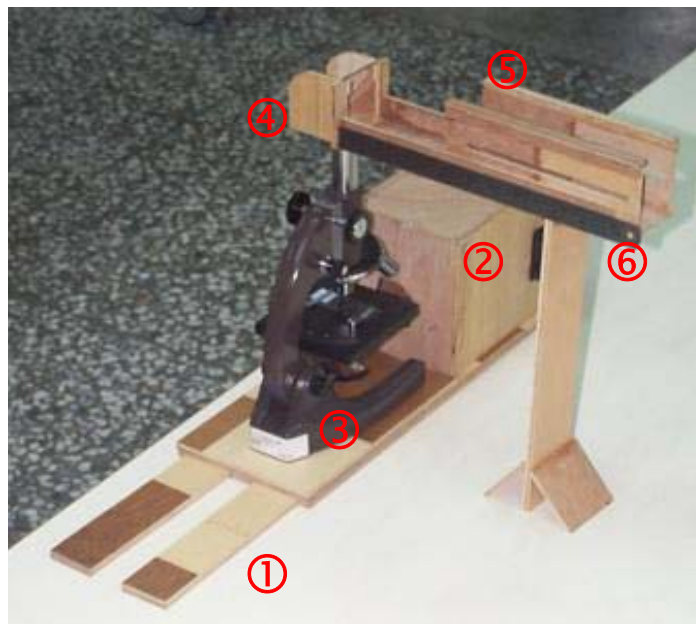
s(cm)	q ₂ (cm)	M ₂	M ₁	M	r(cm)
1	240.00	15.00	9.2	138.00	5.94
2	127.50	7.50	9.2	69.00	6.94
3	90.00	5.00	9.2	46.00	7.94
4	71.25	3.75	9.2	34.50	8.94
5	60.00	3.00	9.2	27.60	9.94
6	52.50	2.50	9.2	23.00	10.94
7	47.14	2.14	9.2	19.71	11.94
8	43.13	1.88	9.2	17.25	12.94
9	40.00	1.67	9.2	15.33	13.94
10	37.50	1.50	9.2	13.80	14.94
11	35.45	1.36	9.2	12.55	15.94
12	33.75	1.25	9.2	11.50	16.94
13	32.31	1.15	9.2	10.62	17.94
14	31.07	1.07	9.2	9.86	18.94
15	30.00	1.00	9.2	9.20	19.94
16	29.06	0.94	9.2	8.63	20.94
17	28.24	0.88	9.2	8.12	21.94
18	27.50	0.83	9.2	7.67	22.94
19	26.84	0.79	9.2	7.26	23.94
20	26.25	0.75	9.2	6.90	24.94
21	25.71	0.71	9.2	6.57	25.94
22	25.23	0.68	9.2	6.27	26.94
23	24.78	0.65	9.2	6.00	27.94
24	24.38	0.63	9.2	5.75	28.94
25	24.00	0.60	9.2	5.52	29.94
26	23.65	0.58	9.2	5.31	30.94

影像再放大範圍

肆、研究設備及器材

一、第一代顯微投影機(如圖三)：

- (一)顯微投影機基座：顯微鏡、光源盒置放基座，可調整兩者相對位置，如圖三—①。
- (二)光源盒：提供光源，使像能投射至遠處，以獲清晰影像，如圖三—②。
- (三)顯微鏡(含物鏡 4X、10X)，如圖三—③。
- (四)反射鏡支撐架：內置與水平成 45° 之平面鏡，以改變影像投射方向，如圖三—④。
- (五)投射盒：內置投射凸透鏡，可調整透鏡位置及更換不同焦距之透鏡，如圖三—⑤。
- (六)投射盒滑行道：穩定投射盒及其位置之軌道，側邊具刻度尺可測透鏡與反射鏡支撐架間的距離，如圖三—⑥。
- (七)其他儀器：
 - 1.凸透鏡(焦距 10cm、15cm)。
 - 2.測量尺(30cm 鐵尺、魯班尺、游標尺)。
 - 3.棉線、水平儀、雷射筆。
 - 4.光屏、光屏架。
 - 5.雙狹縫(間距：0.05cm)、水蚤、蓋斑鬥魚之幼魚。



【圖三】

二、第二代顯微投影機(如圖四)：

承第一代投影機的基本配備外，將光屏改良為可於軌道上移動之光屏，並為減少光源盒散逸出之餘光再製作遮光罩。

- (一)光屏:鐵製，讓物像投影其上。並可置磁性游標尺以測像大小。，如圖四—①。
- (二)光屏滑行道：穩定光屏且可使其滑動的軌道，方便找尋清晰的像，滑行道上標有刻度。，如圖四—②。
- (三)遮光罩：罩於顯微鏡底座上，減少投射光源所產生的光害。，如圖四—③。

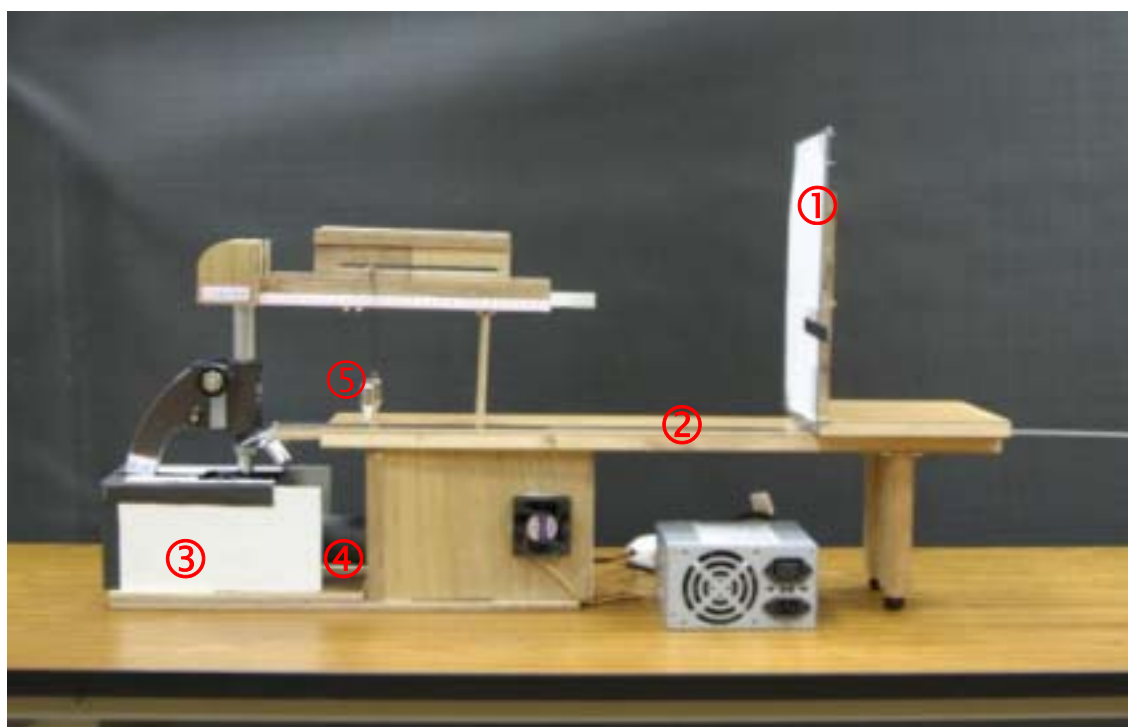
(四)光導筒：套在光源盒上，能使光源集中投射至顯微鏡的反光鏡上，並可降低光害的程度。如圖四－④。

(五)其他儀器：

- 1.定位鉛垂：方便投射盒滑行道側邊刻度及光屏滑行道上刻度的讀取。如圖四-⑤
- 2.磁性游標尺：能吸附在鐵製的光屏上，有利物像的測量。
- 3.測量尺(1m 鐵尺、300cm 皮尺)。
- 4.生物用顯微測微器。
- 5.雙狹縫

(六)生物標本：

- 1.浮游生物。
- 2.水螅。
- 3.年輪。
- 4.鼠腎臟切片。
- 5.向日葵莖。



【圖四】

伍、研究過程

一、固定間距的測量(如圖五)：

第一代及第二代顯微投影機所須測量之實驗數據是相同的；此外，有些為固定的距離須先測出以便使用薄透鏡公式的運算。為減少本實驗變因，實驗過程中將鏡筒之粗、細調節輪調至最低，不再更動。因此將有一些固定不變的間距須先測出。詳細測量步驟如下，所測得之數據如研究結果之一。

(一)物鏡與載物玻片的間距(p_1):

- 1.使用一段自動鉛筆筆芯緊靠 4X 物鏡邊緣，並使其底部頂住載物玻片。

- 2.以目測方法沿物鏡底面於筆芯上刻畫記號，再於記號上將其切斷。
- 3.以游標尺測切斷部分筆芯之長度。
- 4.將物鏡改為 10X，重複上述(1)~(3)步驟。

(二)鏡筒長(L_1):

使用游標尺於顯微鏡目鏡口處，向下測量目鏡口至物鏡間的距離，即為鏡筒長。

(三)反射鏡支撐架內光之路徑長(L_2):

因反光鏡與水平夾角 45° ，所以光的行進方向將旋轉 90° ，測量入射長度 d_1 ，反射長度 d_2 ，故 $L_2 = d_1 + d_2$ 。

二、測量放大倍率：

(一)第一代顯微投影機

以雙狹縫為觀測物體，其兩狹縫中央之間距(s_0)為 0.05cm，測量 4X 物鏡與焦距 15cm 投射透鏡組合之放大倍率。

- 1.將雙狹縫置於載物台上後，移動 15cm 焦距之投射鏡的位置，直至最清晰的物像投射至光屏上，測量狹縫影像間距(s_1)，再求實際放大倍率($s_1/0.05$)。
- 2.測量投射鏡至物像的距離(q_2)，以及投射鏡至反光鏡支撐架之距離(r)，如圖五。
- 3.利用式(肆-②)求 p_2 。
- 4.承上，求第一次物像距 $q_1 = (r + L_1 + L_2) - p_2$
- 5.利用式(參肆-③)，求理論放大倍率 M 。
- 6.重複上述 1~5 步驟，共取 5 次數據，如表三。
- 7.將投射透鏡換為焦距 10cm 之透鏡，再重複 1~6 步驟，如表三。
- 8.更換物鏡為 10X，再重複 1~7 步驟，如表四。

(二)第二代顯微投影機(如圖六)

以雙狹縫為觀測物體，其間距(s_0)為 0.05cm，測量 4X 物鏡與焦距 15cm 投射透鏡組合之放大倍率。

- 1.將雙狹縫置於載物台上後，調整光屏及 15cm 焦距之投射鏡的位置，直至最清晰的物像投射至光屏上(如圖七)，利用磁性游標尺測量雙狹縫影像間距(s_1)，再求實際放大倍率($s_1/0.05$)。
- 2.當清晰影像找出後，投射鏡側上之定位鉛垂，標定於光屏滑行道上之刻度為 N_1 ，以及其垂線對準投射盒軌道側之刻度為 r 。
- 3.再測光屏座所在滑行軌道所對之刻度為 N_2 ，如圖六。
- 4.由 2、3 即可得 $q_2 = N_2 - N_1$ 。
- 5.利用式肆-② 求 p_2 ，再求第一次物像距 $q_1 = (r + L_1 + L_2 - p_2)$ 。
- 6.利用式(肆-③)，求理論放大倍率 M 。
- 7.將投射鏡換為焦距 10cm 之透鏡，再重複上述 1~6 步驟，共取 5 次數據，如表五。
- 8.更換 10x 物鏡重複 1~7 步驟，如表六。

三、測量實物大小：

第一代顯微投影機是利用實驗中所測得之 p_1 、 p_2 、 q_1 、 q_2 ，推出理論放大倍率，再測出光屏上清晰影像大小，即可求得實物大小。

第二代的顯微投影機更進一步地將理論放大倍率值製成刻度尺，如此一來，只要將投射鏡移至特定放大倍率刻度的位置，再移動光屏至影像清晰為

止，量測影像大小，就可迅速得知實物大小。在此之前，本研究小組先經由生物用顯微測微器測出實物大小，再與由第二代顯微投影機推求的實物大小互相驗證，以確認第二代儀器的實用性與精準度。

(一)第一代顯微投影機

測量水蚤、蓋斑鬥魚幼魚實際大小。使用 4X 物鏡、焦距 10cm 投射透鏡。

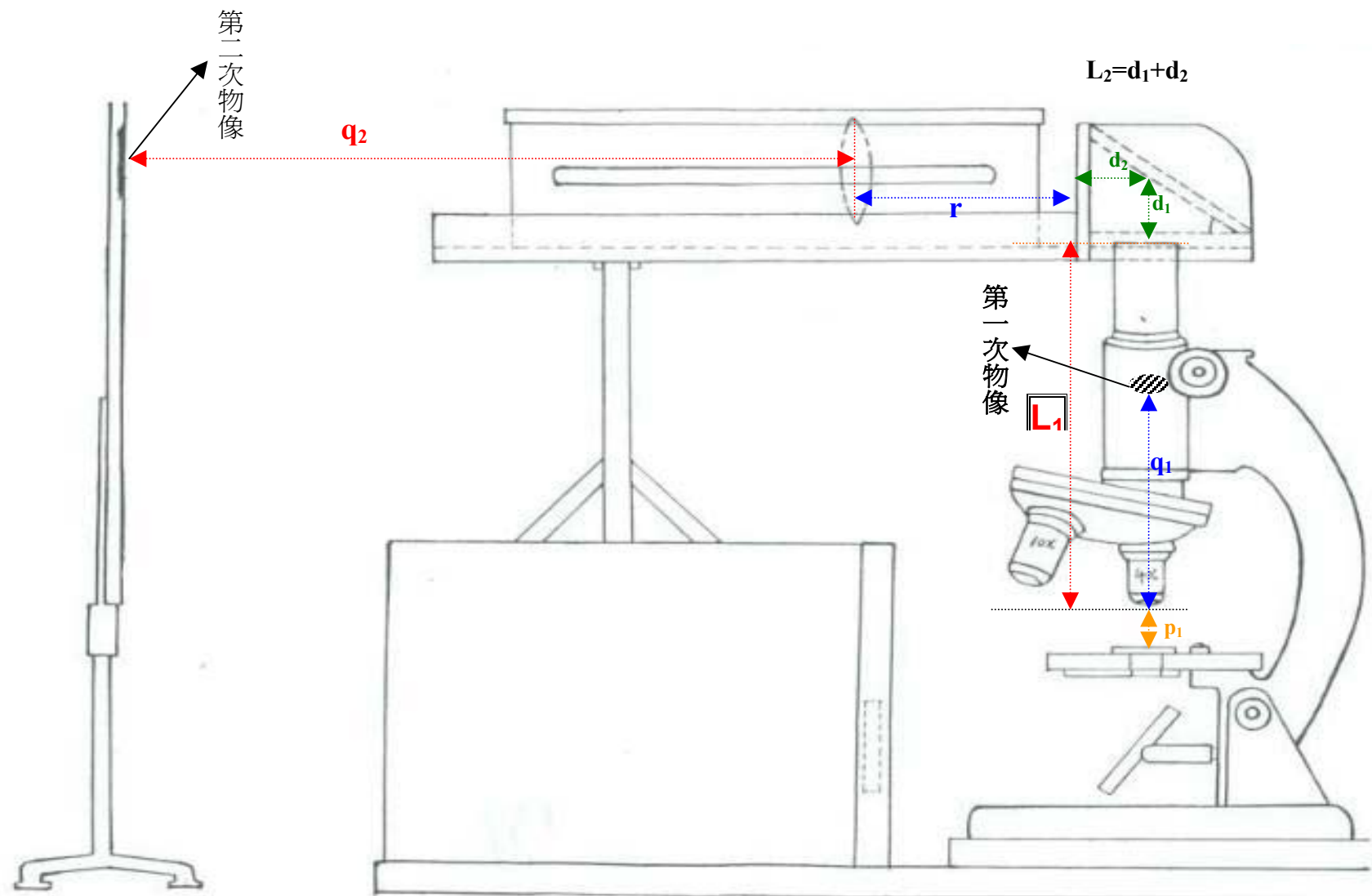
- 1.將水蚤置於載物台上後，移動 10cm 焦距之投射鏡的位置，直至最清晰的物像投射至光屏上如圖八，測量水蚤影像身長(c_1)。
- 2.測量投射鏡至影像的距離(q_2)，以及投射鏡至反光鏡支撐架之距離(r)，如圖五。
- 3.利用式(肆-②)求 p_2 。
- 4.承上，求像距 $q_1=(r+L_1+L_2)-p_2$
- 5.利用式(肆-③)，求理論放大倍率 M 。
- 6.水蚤影像身長(c_1)除以理論放大倍率(M)得水蚤實際身長大小
- 7.重複上述 1~6 步驟，共取 5 次數據，如圖九及表七。
- 8.更換實物為蓋斑鬥魚幼魚再重複 1~7 步驟，如圖八及表九。

(二)第二代顯微投影機

使用 10x 物鏡、 $f_2=15\text{cm}$ 利用放大倍率尺(表二)，推求浮游生物實際大小。

- 1.將自製放大倍率尺貼於投射盒滑行道旁，移動投射盒至 $s=4(M=34.5)$ 上。
- 2.移動光屏至清晰像投射至光屏上，如圖十。
- 3.利用磁性游標尺測量影像腹寬大小為 h_i 。
- 4.此時浮游生物影像腹寬(h_i)除以放大倍率(M)即得浮游生物實際腹寬大小(h_0)。
- 5.移至 $s=5、6、\dots$ ，重複上述 2~4 步驟，共取 10 次數據如表九。

第一代顯微投影機側面說明圖



【圖五】

Diagram illustrating the formation of a second-order image in a microscope system. The diagram shows a specimen, a microscope, and a viewing screen. Key parameters labeled are:

- $L_2 = d_1 + d_2$
- $q_2 = N_2 - N_1$
- q_2 (blue dotted line)
- r (green dotted line)
- d_1 (green arrow)
- N_2 (green arrow)
- L_1 (red dotted line)
- q_1 (blue dotted line)
- r (red arrow)

The diagram also includes the labels "第一次物像" (First-order image) and "第二次物像" (Second-order image).

陸、研究結果

一、固定距離的測量數據(單位 cm)：

(一)物鏡與載物玻片的間距(p_1)(已修正) $\Rightarrow$ 4X：3.475、10X：1.275

(二)鏡筒長(L_1)(已修正) $\Rightarrow$ 4X：15.375、10X：16.685

(三)反射鏡支撐架內光之路徑長(L_2)：5.11

二、雙狹縫(如圖七)放大倍率的測量數據：

(一)第一代顯微投影機

1. 4X 物鏡

表三

量測項目 投射透鏡	q_2 (cm)	r (cm)	p_2 (cm)	q_1 (cm)	p_1 (cm)	物像大小 s_1 (cm)	實際 放大倍率	理論 放大倍率
15cm 焦距	37.00	15.25	25.23	10.55	3.47	0.28	5.60	4.45
	41.91	13.63	23.36	10.80	3.47	0.32	6.40	5.57
	42.15	13.53	23.29	10.77	3.47	0.36	7.20	5.61
	41.42	14.51	23.52	11.52	3.47	0.36	7.20	5.84
	40.49	14.82	23.83	11.52	3.47	0.32	6.40	5.63
10cm 焦距	40.51	3.81	13.28	11.06	3.47	0.62	12.40	9.71
	44.92	3.82	12.86	11.49	3.47	0.77	15.40	11.54
	46.60	3.26	12.73	11.06	3.47	0.66	13.20	11.65
	48.12	4.13	12.62	12.04	3.47	0.72	14.40	13.20
	44.75	4.25	12.88	11.90	3.47	0.67	13.40	11.90

2. 10X 物鏡

表四

量測項目 投射透鏡	$q_2(\text{cm})$	$r(\text{cm})$	$p_2(\text{cm})$	$q_1(\text{cm})$	$p_1(\text{cm})$	物像大小 $s_1(\text{cm})$	實際 放大倍率	理論 放大倍率
15cm 焦距	41.19	13.15	23.59	12.30	1.27	0.83	16.50	16.91
	41.45	13.39	23.51	12.62	1.27	0.89	17.80	17.53
	41.95	13.19	23.35	12.58	1.27	0.91	18.10	17.80
	41.15	12.45	23.60	11.59	1.27	0.86	17.20	15.90
	41.12	13.54	23.61	12.67	1.27	0.89	17.80	17.37
10cm 焦距	30.27	3.81	14.93	11.62	1.27	0.92	18.40	18.54
	30.45	3.82	14.89	11.67	1.27	0.93	18.60	18.79
	30.92	3.26	14.78	11.22	1.27	0.97	19.30	18.48
	30.62	4.13	14.85	12.02	1.27	0.96	19.20	19.52
	30.79	4.25	14.81	12.18	1.27	0.96	19.20	19.94

(二)第二代顯微投影機

1. 4X 物鏡

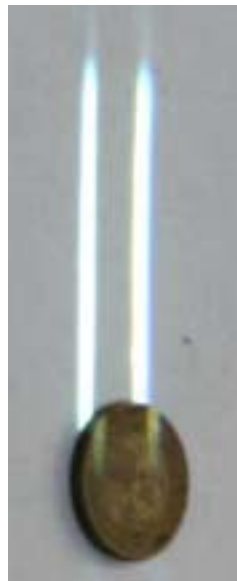
表五

量測項目 投射透鏡	$q_2(\text{cm})$	$r(\text{cm})$	$p_2(\text{cm})$	$q_1(\text{cm})$	$p_1(\text{cm})$	物像大小 $s_1(\text{cm})$	實際 放大倍率	理論 放大倍率
15cm 焦距	47.05	12.86	22.02	11.37	1.27	0.99	19.8	19.14
	44.18	14.02	22.71	11.84	1.27	0.90	18.0	18.14
	36.03	16.38	25.70	11.22	1.27	0.61	12.2	12.38
	32.23	17.96	28.06	10.44	1.27	0.46	9.2	9.44
	39.49	15.52	24.19	11.87	1.27	0.76	15.2	15.26
10cm 焦距	30.00	4.94	15.00	11.74	1.27	0.89	17.8	18.48
	26.67	5.94	16.00	11.74	1.27	0.78	15.6	15.40
	28.43	5.21	15.43	11.58	1.27	0.81	16.2	16.80
	32.74	3.80	14.40	11.20	1.27	1.01	20.2	20.05
	29.67	4.50	15.08	11.21	1.27	0.87	17.4	17.36

2.10x 物鏡

表六

量測項目 投射透鏡	$q_2(\text{cm})$	$r(\text{cm})$	$p_2(\text{cm})$	$q_1(\text{cm})$	$p_1(\text{cm})$	物像大小 $s_1(\text{cm})$	實際 放大倍率	理論 放大倍率
15cm 焦距	51.26	12.34	21.21	11.67	3.47	0.45	9.0	8.13
	37.80	15.71	24.87	11.38	3.47	0.25	5.0	4.98
	51.59	12.73	21.15	12.12	3.47	0.41	8.2	8.52
	44.26	14.15	22.69	12.00	3.47	0.37	7.4	6.74
	51.88	13.65	21.10	13.08	3.47	0.46	9.2	9.27
10cm 焦距	52.13	3.90	12.37	13.32	3.47	0.81	16.2	16.17
	30.64	8.11	14.84	15.06	3.47	0.46	9.2	8.96
	44.88	5.72	12.87	14.65	3.47	0.76	15.2	14.72
	44.35	6.39	12.91	15.27	3.47	0.77	15.4	15.12
	35.40	6.65	13.94	14.51	3.47	0.51	10.2	10.62



【圖七】

三、實物大小測量數據：

(一)第一代顯微投影機

1.水蚤：

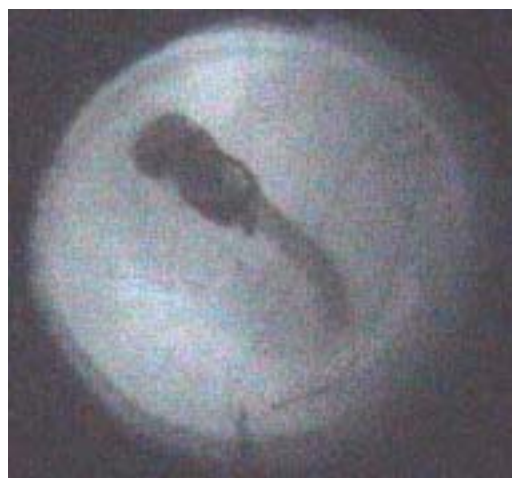
表七

測量項目 實驗項次	$q_2(\text{cm})$	$R(\text{cm})$	$p_2(\text{cm})$	$q_1(\text{cm})$	$p_1(\text{cm})$	物像大小 $c_1(\text{cm})$	理論放 大倍率	物體 真實大小
1	38.62	4.62	13.49	11.66	3.48	2.69	9.60	0.28
2	39.18	4.95	13.43	12.05	3.48	2.62	10.12	0.26
3	38.74	5.45	13.48	12.50	3.48	2.68	10.34	0.26
4	38.64	5.20	13.49	12.24	3.48	2.68	10.09	0.27
5	38.98	5.18	13.45	12.26	3.48	2.64	10.22	0.26

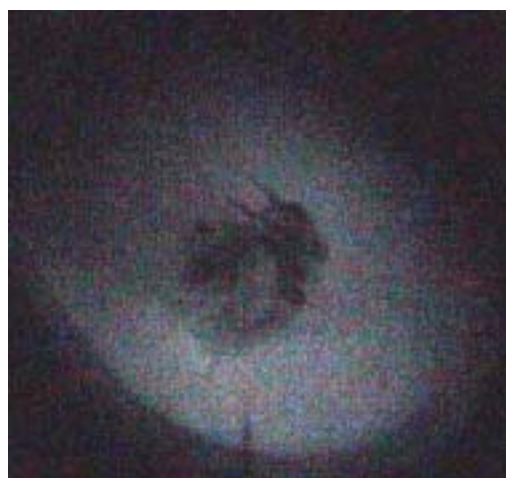
2.蓋斑鬥魚幼魚：

表八

測量項目 實驗項次	$q_2(\text{cm})$	$R(\text{cm})$	$p_2(\text{cm})$	$q_1(\text{cm})$	$p_1(\text{cm})$	物像大小 $c_1(\text{cm})$	理論放 大倍率	物體 真實大小
1	43.52	6.58	12.98	14.13	3.48	5.61	13.63	0.41
2	42.44	6.12	13.08	13.57	3.48	5.41	12.67	0.43
3	45.12	6.72	12.85	14.40	3.48	5.68	14.56	0.39
4	45.52	6.71	12.82	14.42	3.48	5.66	14.74	0.38
5	47.32	5.52	12.68	13.37	3.48	6.01	14.36	0.42



【圖八 蓋斑鬥魚幼魚】



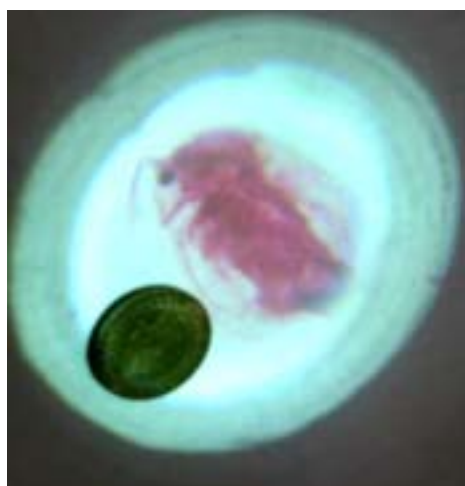
【圖九 水蚤】

(二)第二代顯微投影機

1.浮游生物

表九

s(cm)	q_2 (cm)	M_2	M	h_i (cm)	h_o (cm)
4	71.25	3.75	34.50	1.70	0.04928
5	60.00	3.00	27.60	1.43	0.05181
6	52.50	2.50	23.00	1.10	0.04783
7	47.14	2.14	19.71	0.96	0.04870
8	43.13	1.88	17.25	0.81	0.04696
9	40.00	1.67	15.33	0.75	0.04891
10	37.50	1.50	13.80	0.64	0.04638
11	35.45	1.36	12.55	0.61	0.04862
12	33.75	1.25	11.50	0.56	0.04870
13	32.31	1.15	10.62	0.52	0.04899
				平均	0.04862



【圖十 浮游生物】

柒、討論

一、第一代顯微投影機實際與理論放大倍率的誤差修正：

本研究之初始從第一代顯微投影機的實驗數據中發現，雙狹縫的實際放大倍率與理論放大倍率有些許誤差。究其原因，可能為實驗測量數據與理論公式內的定義有所不同所致，於薄透鏡公式中(如式肆-①)物距 p 與像距 q 的定義皆是從鏡心量起；而本實驗於測量物鏡與載玻片間距(p_i)時乃從物鏡表面量起，卻忽略透鏡本身之厚度，反推 q_i 時亦忽略此因素，因此造成實際與理論放大倍率產生誤差。職是之故，測量 p_i 及反推 q_i 時須加上透鏡厚度一半之修正量 ΔL ，經利用游標尺測得 4X、10X 物鏡整體外殼高度再減去其內鏡片深度後，得其物

鏡厚度：4X：0.35 cm 10X：0.98 cm
修正量 ΔL ：

$$\Delta L_{4X} = \frac{0.35}{2} = 0.175\text{cm} \quad \Delta L_{10X} = \frac{0.98}{2} = 0.495\text{cm}$$

修正後物鏡的物距 p_1 及像距 q_1 ：

4X：

$$p_1 = p_1(\text{測量值}) + \Delta L_{4X} = 3.30 + 0.175 = 4.475$$

$$q_1 = q_1(\text{計算值}) + \Delta L_{4X} = (r + L_1 + L_2 - p_2) + \Delta L_{4X}$$

同理，

10X：

$$p_1 = p_1(\text{測量值}) + \Delta L_{10X} = 0.78 + 0.495 = 1.275$$

$$q_1 = q_1(\text{計算值}) + \Delta L_{10X} = (r + L_1 + L_2 - p_2) + \Delta L_{10X}$$

因此，本實驗中第一代及第二代顯微投影機的實驗數據已採用修正後的 p_1 、 q_1 值，詳細數據資料請見：陸、研究結果之各表數據。

二、第二代顯微投影機使用倍率放大尺推得實物大小的數據分析：

(一)先使用生物用的顯微測微器以測得實物大小，操作過程如下：

取用一片刻有精密量尺的載玻片，量尺長度為 1mm 等分 100 個刻度，置其於載物台上，另取一片圓形玻片，亦刻有微小刻度，放置在目鏡內。選用一固定物鏡，從目鏡中觀測圓形玻片的一個刻度所對應載玻片上的量尺刻度數後，即可求得目鏡觀測玻片上一個刻度之實際長度。在此之後，拿取置有浮游生物的載玻片，觀察其腹寬對應幾格圓形玻片上的刻度，如此即可得知真實浮游生物之腹寬大小，測量 7 次，再求平均值以此值定為標準值，如下表十：

表十〈單位：cm〉

項次	腹寬
1	0.04875
2	0.05000
3	0.05000
4	0.04750
5	0.04750
6	0.04875
7	0.04875
平均值	0.04875

(二)由迴歸分析圖中的線性函數可知：

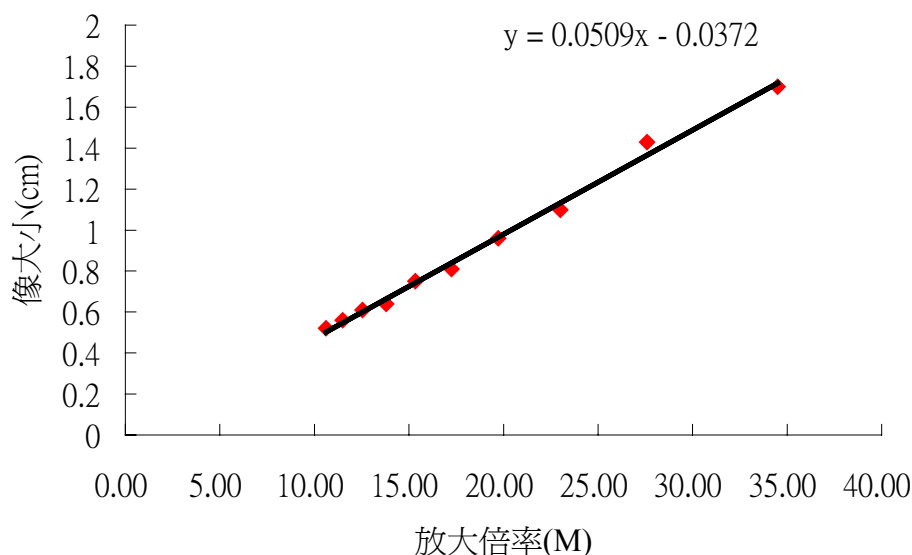
將表九中所測得之物像大小(h_i)及其相對應之放大倍率值(M)畫作迴歸分析圖，如圖十一。

$$\text{實物大小} = \frac{\text{像大小}}{\text{放大倍率}} = \text{直線斜率}$$

由求得之迴歸分析公式 $y=0.0509x-0.0372$ ，可知回歸分析的實物大小 $A'' = 0.0509(\text{cm})$

圖十一

(單位：cm)



實物大小 $A=0.04875(\text{cm})$ (由生物用顯微測微器測得)

實驗求得實物大小的平均值 $A' = 0.04862(\text{cm})$ ，見表九

相對誤差：
$$e = \frac{A' - A}{A}$$

$$e_{\text{實驗求得}} = \frac{0.04862 - 0.04875}{0.04875} = -0.002667$$

$$e_{\text{迴歸分析}} = \frac{0.0509 - 0.04875}{0.04875} = 0.0441$$

$$E = 1 - |e|$$

$$E_{\text{實驗求得}} = 1 - |-0.002667| = 0.997333$$

$$E_{\text{迴歸分析}} = 1 - |0.0441| = 0.9559$$

由 $E_{\text{實驗求得}}$ ，可知，由實驗推求出的實物大小與真實大小之相對誤差很小，所以，第二代顯微投影機轉換為顯微測量器的效果很好，精準度頗高。

三、第二代顯微投影機，增加放大倍率尺上放大倍率的作法：

由前述原理推論部分中，可延伸推得

$$M = M_1 \times M_2 = 9.2 \times \frac{f}{s} = \frac{9.2f}{s}$$

由上式可知：爲定 $M_1 = 9.2$ 值， $M_2 = \frac{f}{s}$

當 s 固定時， f 的增加可增大 M_2 值， M 值也隨之變大，而 f 的增加，也可擴分 s 的整數刻度(例如 $f=20$ 則 s 可等分成 20 格)，如此一來，放大倍率尺的可用範圍可更爲增廣。表十一即爲投射鏡 f 爲 15cm 及 20cm 的比較。由表十一之比較可看出，相同 s 值時， f 越大 M 值越大，然而物距會更大，故本實驗儀器欲增加放大倍率可更換較大焦距之投射鏡。

表十一

f ₁ =10X	s(cm)	q ₂ (cm)	M ₂	M	f ₁ =10X	s(cm)	q ₂ (cm)	M ₂	M
f ₂ =15cm	1	240.00	15.00	138.00	f ₂ =20cm	1	420.00	20.00	184.00
	2	127.50	7.50	69.00		2	220.00	10.00	92.00
	3	90.00	5.00	46.00		3	153.33	6.67	61.33
	4	71.25	3.75	34.50		4	120.00	5.00	46.00
	5	60.00	3.00	27.60		5	100.00	4.00	36.80
	6	52.50	2.50	23.00		6	86.67	3.33	30.67
	7	47.14	2.14	19.71		7	77.14	2.86	26.29
	8	43.13	1.88	17.25		8	70.00	2.50	23.00
	9	40.00	1.67	15.33		9	64.44	2.22	20.44
	10	37.50	1.50	13.80		10	60.00	2.00	18.40
	11	35.45	1.36	12.55		11	56.36	1.82	16.73
	12	33.75	1.25	11.50		12	53.33	1.67	15.33
	13	32.31	1.15	10.62		13	50.77	1.54	14.15
	14	31.07	1.07	9.86		14	48.57	1.43	13.14
	15	30.00	1.00	9.20		15	46.67	1.33	12.27
	16	29.06	0.94	8.63		16	45.00	1.25	11.50
	17	28.24	0.88	8.12		17	43.53	1.18	10.82
	18	27.50	0.83	7.67		18	42.22	1.11	10.22
	19	26.84	0.79	7.26		19	41.05	1.05	9.68
	20	26.25	0.75	6.90		20	40.00	1.00	9.20
	21	25.71	0.71	6.57		21	39.05	0.95	8.76
	22	25.23	0.68	6.27		22	38.18	0.91	8.36
	23	24.78	0.65	6.00		23	37.39	0.87	8.00
	24	24.38	0.63	5.75		24	36.67	0.83	7.67
	25	24.00	0.60	5.52		25	36.00	0.80	7.36
	26	23.65	0.58	5.31		26	35.38	0.77	7.08
	27	23.33	0.56	5.11		27	34.81	0.74	6.81
	28	23.04	0.54	4.93		28	34.29	0.71	6.57
	29	22.76	0.52	4.76		29	33.79	0.69	6.34
	30	22.50	0.50	4.60		30	33.33	0.67	6.13

四、誤差的可能原因：

(一)第一代顯微投影機：

1.顯微投影機組裝無密合

顯微投影機之機構組裝、切割都經人工測量大小再以人工方式切割，因而於機構接合處產生些許細縫，故於實驗過程中將有少許部分光線由細縫中漏出，影響測量影像大小和清晰度的判斷，進而產生測量誤差。

2.間距測量的人為誤差

鏡筒長度(L_1)、物鏡與載玻片間距(p_1)、投射鏡與物像距離(q_2)等長度為使用游標尺、棉繩、雷射光定位等方式測出。例如於測量距離 q_2 時，實驗中將雷射筆口對齊通過投射鏡中心之鉛直面，利用光的直線性將一段棉繩之一端對準筆口，沿雷射光線拉直線段再於另一端對準雷射光點，兩端點作上記號後再測其長度即為 q_2 。此測量方式可能會於實驗過程中因人為觀察、定位、標記等步驟上產生誤差，影響實驗數據的精確性。

3.針對以上第一代顯微投影機可能誤差之來源，本研究小組採取以下減少誤差之作爲，將裝置修整為第二代顯微投影機：

(1) 器材方面:

因為光源盒散發出的餘光會產生光害干擾影像清晰度，因此製造光導筒和遮光罩來減少光害，而光導筒亦能集中光源，提高光強度。

(2)測量方面:

製作光屏滑行道，其上放置刻度尺，以利光屏滑動時，能迅速測量出 q_2 ，且提高數值精準度，定位鉛垂的配置亦能提高 r 值及 q_2 測量的方便性及精準度。磁性游標尺的製作，便於吸附光屏上，以利影像大小的測量，和增加測量的精準度。

(二)第二代顯微投影機：

1.雙狹縫間距的測量：

本實驗將兩狹縫中央間距視為雙狹縫間距，然而光屏上雙狹縫影像，其狹縫中間位置不易判斷，因此影響測量間距的數值，進而產生實際放大倍率與理論放大倍率的誤差。

2.影像大小量測誤差之影響：本研究小組使用倍率放大尺反求實物大小時，選用 f 為 15cm 的凸透鏡作為投射鏡，當 $S=1\text{cm}$ 時 $M=138$ 而 $q_2=240\text{cm}$ ，此距離已超出光屏滑座的長度且該處光強度將減少許多，因此選取 S 的範圍只有從第 4cm 至第 13cm 時，成像位置才能於光屏滑座可移動之範圍內，而 M 值的範圍為 34.5 至 10.62。當 M 值愈大時，容許磁性游標尺測量影像大小誤差之範圍可相對性忽略；但是， M 值愈小時，些許的誤差即無法忽視。

例如：當 $M=140$ ，影像測量誤差為 0.1cm 時，反求的實物誤差為 $0.1 \div 140 \div 0.00071\text{cm}$ ，因游標尺測量之精準值位於 0.005 cm，故此誤差可忽略。當 $M=20$ ，影像測量誤差為 0.1cm 時，反求的實物誤差為 $0.1 \div 20=0.005\text{cm}$ ，此誤差即不可忽略。

因使用之 M 值越小，影像測量之準確度須相對提高，否則將產生不少之誤差。

捌、結論

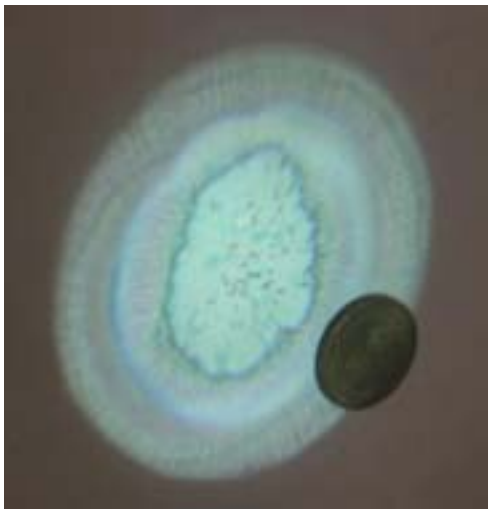
一、對未來顯微投影機改進之建議：

顯微投影機的一大優點在於操作簡易，零件組裝費用不貴，人人都能自己製作，未來的展望在於能讓顯微投影機攜帶性高；投射鏡的配製更為穩固，置換不同焦距的凸透鏡也能更為便利；光屏滑座能方便伸縮，改變滑行距離；光源盒內的光源能調整亮度，增加影像清晰度。

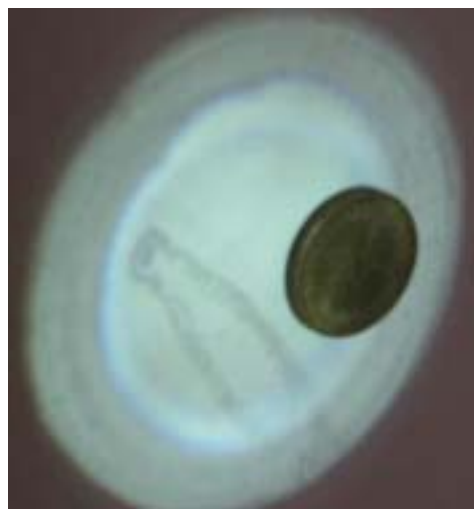
二、研究心得：

自 43 屆區域科學展覽活動以來，本研究小組從顯微投影機的構想、製作到改進，是結合小組成員及指導老師的心血結晶，顯微投影機能順利誕生，實令人雀躍不已。

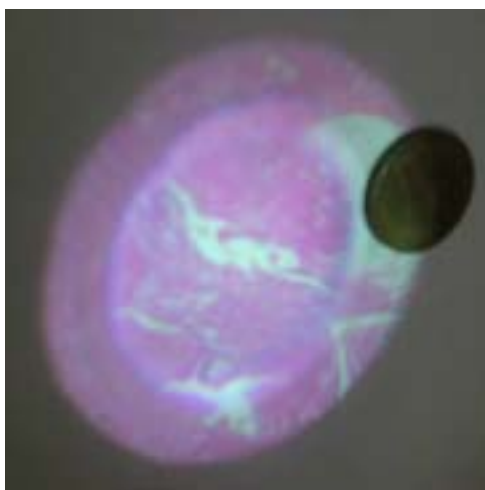
整個實驗過程中，距離以及影像測量實為本研究小組的一大挑戰;然而，隨著儀器的改進及人員操作技巧的增進，逐漸減少人為誤差，提昇實驗數據的精確度，第二代顯微投影機的精確度及投射影像品質更勝第一代，如以水螅、年輪為標本投射出之影像第二代較第一代更清晰，如圖十一至圖十四。整體而言，本研究小組從顯微投影機之製作和實驗的過程中，實獲取許多技術上與學術上的寶貴經驗。



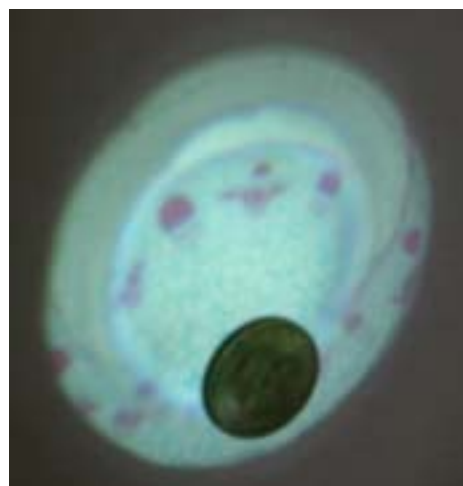
【圖十一 年輪】



【圖十二 水螅】



【圖十三 鼠腎臟】



【圖十四 向日葵莖】

玖、參考書籍

林明瑞、張仁昌等：高級中學物理上冊。修訂版，台南：南一書局。p.80-93(2001)。

林明瑞、張仁昌等：高級中學物理上冊研究實驗手冊。修訂版，
台南：南一書局。p.55-63(2001)。

王大庚、曹培熙：光學儀器叢書。第三版。台北：徐氏基金會。
p.13-15(1972)。

潘家寅 譯：什麼是光。初版，台北：徐氏基金會。(1970)

評語

作者改裝顯微鏡讓影像投射在屏幕上，並設法改進其效率增進其便，值得鼓勵。不過在理論推導中將物鏡視為薄透鏡宜再研究，此外可以再探討不同的物距可能的影響。