

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國中-物理科

科 別：物 理 科

組 別：國 中 組

作品名稱：透鏡白皮書（透鏡焦距測量與其成像關係）

關 鍵 詞：透鏡、焦距、眼鏡

編 號：030101

學校名稱：

苗栗縣立大倫國民中學

作者姓名：

胡仲萱、胡旨明、黃羽萱、趙婉芝

指導老師：

傅淑卿



透鏡焦距測量與其成像關係

壹、摘要：

擬定實驗部分

- 一、量凸透鏡與凹透鏡的焦距。
- 二、測量物距與像距的關係。
- 三、鏡片焦距與近視度數的關係。

貳、研究動機：

在二年級理化課程第四章中，提到光線的傳播是以直線形式，但是遇到不同介質時會有折射的現象。其中，凸透鏡與凹透鏡的聚光與散光方式，令人感到好奇。

實驗 4-1 透鏡的成像實驗中，以太陽光或是以遠方建築為實驗器材資源，用最簡單的方式找出了透鏡的焦距。是否有其他方式可以測量出焦距？哪一種比較正確呢？

凹透鏡的焦距是否也可以正確簡單的測量，有哪些特殊的方式？練習題中，說明的物距與像距的關係，真正關係為何？是否可用簡單的方式測量得到？

透鏡在日常生活中最常用在近視眼鏡或遠視老花眼鏡中，鏡片焦距與近視度數有何特殊的關係？

參、研究目的：

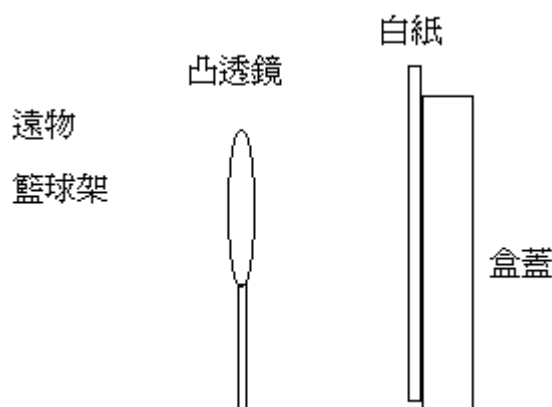
- 一、了解透鏡聚光與散光的情況。
- 二、利用簡單方法測量透鏡焦距。
- 三、觀察並了解透鏡成像的關係。
- 四、透鏡的用途：近視與眼鏡鏡片焦距的關係。

肆、研究設備及器材：

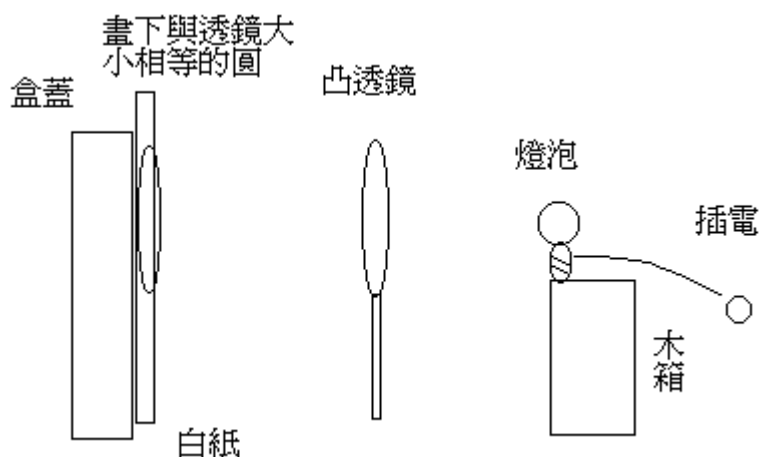
- 一、使用儀器名稱：
 - (一) 凸透鏡 & 凹透鏡
 - (二) 近視受測者二十人 & 近視眼鏡二十支
 - (三) 直尺、皮尺
 - (四) 燈泡、電源線
 - (五) 硬紙板一張、支架
 - (六) 白紙數張
 - (七) 紀錄登記紙數張

二、儀器裝置簡圖：

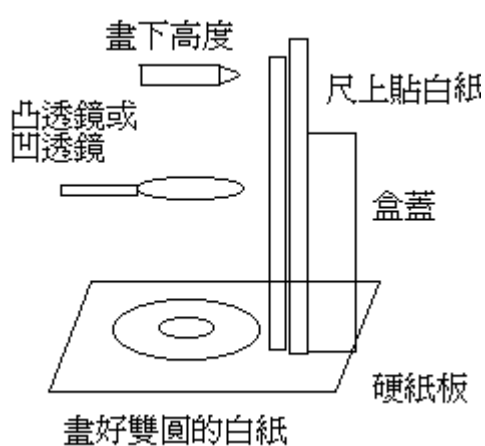
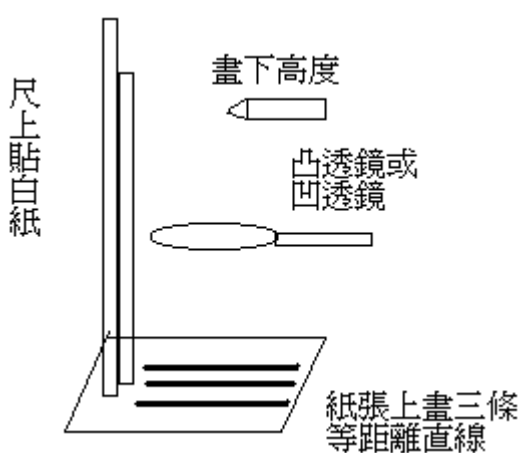
(一) 凸透鏡方法二----利用窗外建築物



(二) 凸透鏡方法三----焦點發出的光線，成為平行光



(三) 凸透鏡方法五----焦點內的像為放大虛像



(四) 凸透鏡方法一----利用太陽光測量焦點

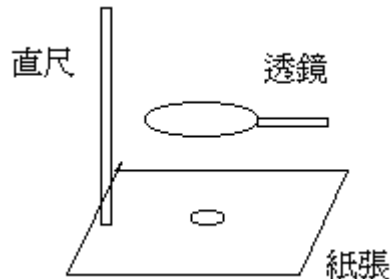
凹透鏡方法一----凹透鏡為散光透鏡

伍、研究過程與方法：

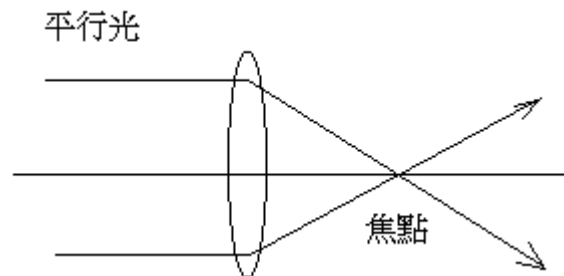
一、測量凸透鏡與凹透鏡的焦距

(一) 凸透鏡的焦距測量

1. 利用平行太陽光，經凸透鏡聚焦【方法一】



(1) 透鏡上下移動至紙張量點最小，紀錄下距離，此距離即為焦距 F 。



(2) 畫出光線圖。

(3) 紀錄所得結果。(同一透鏡不同人員測量，每人測量三次)

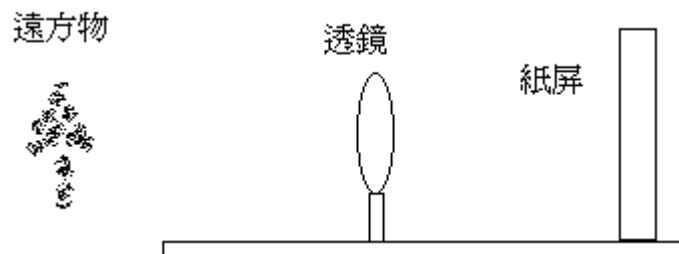
(4) 數據處理：求出平均值。

(5) 問題：此平均值是否代表距離？每人所得數據不同，誤差來源為何？

請討論如何改進？

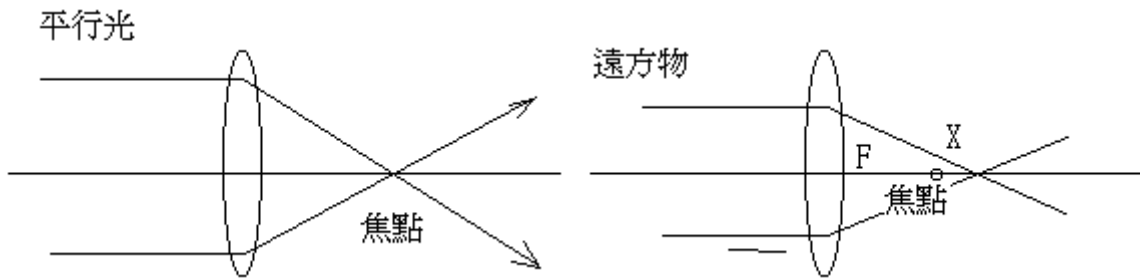
* 注意：不可直視光點過久，以免傷及視力。

2. 利用窗外遠方建築物測量焦距【方法二】



(1) 左右移動紙屏至成像為最清楚，此時約為透鏡焦距。

(2) 畫出光線行進簡圖，以知物向右移動，像即向右運動。



(3) 討論誤差：由前人已知公式：

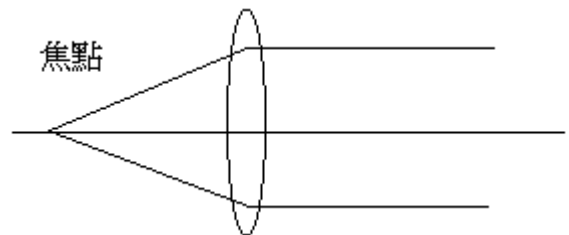
$$1/\text{焦距} = 1/\text{物距} + 1/\text{像距}$$

$1/F = 1/O + 1/(F+x)$ 求出 x 即為本部分實驗的誤差。

設 O 為 1000 公分 則 $x = F^2/(1000-F)$

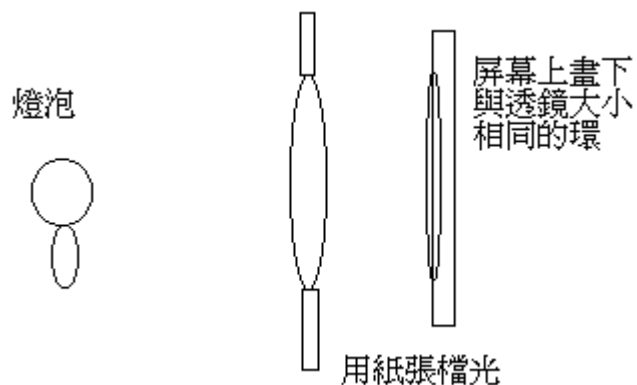
F 約為 30 公分代入算式，得 $x=0.928$ 公分 與 F 比較甚小可以忽略
故此方法可以測量焦點、焦距。

3. 焦點發出的光線，會成為平行光【方法三】



(1) 畫出光線簡示圖：

(2) 實驗裝置簡圖。燈泡放在主軸上，在屏幕上畫上與透鏡大小相同的圓，移動燈泡並檢查透鏡之後的光線不會散開，燈泡的位置即為透鏡的焦點。

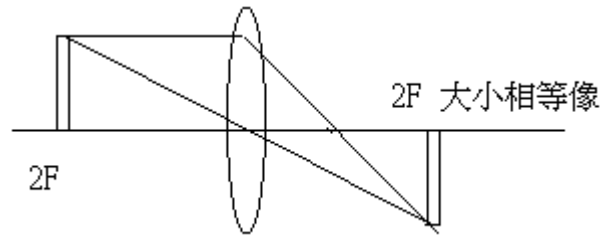


(3) 討論此方法與【方法一】的差別與相同處。

(4) 問題：將燈泡視為一點光源是否合理？

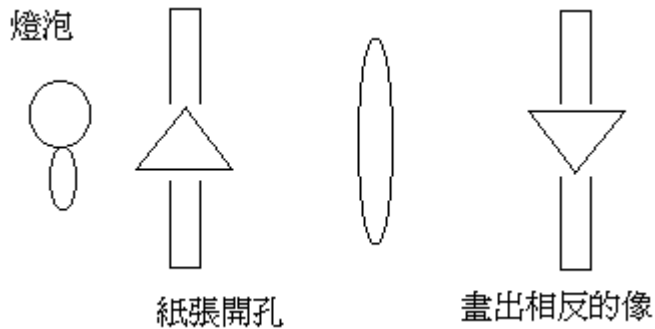
運用紙張將透鏡邊緣貼起，有何特殊功用？

4. 兩倍焦距上的物與像有相同的大小【方法四】



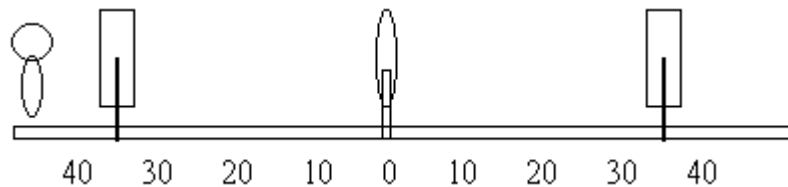
(1) 畫出光線簡示圖。

(2) 實驗裝置簡圖。

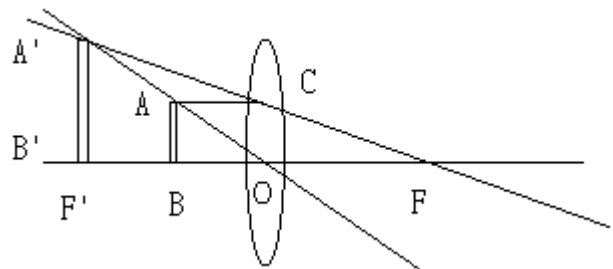


(3) 實驗步驟方式：紙張開孔不需要太大，開孔即為物的位置與大小，在屏幕上畫出與物相同大小但方向相反的圖。等距離移動紙張與屏幕的距離，是成像最清楚且大小相同。此時，像與物距離 $4F$ ，可求得透鏡焦距 F 。

* 等距離移動不容易，要小步驟慢慢移動，細心觀察。在桌面上放上皮尺，可以更方便讀出數據。



5. 焦距內的成像為放大虛像【方法五】

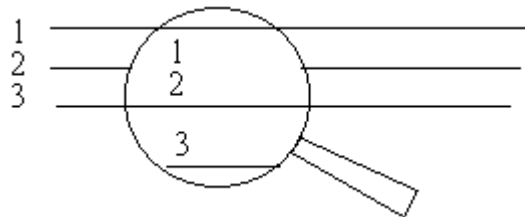


(1) 光線簡圖與原理：

由上圖所示可知 OAB 與 $OA'B'$ 為相似三角形，所以 $AB/A'B' = OB/O'B'$
 設 $OB = F/2$ 上， $AB = 2A'B'$ ，則 $O'B' = F$ 即為焦距（由作圖可知其相對關係）

另外思考： $AB = CO$ ，若 $A'B' = 2CO$

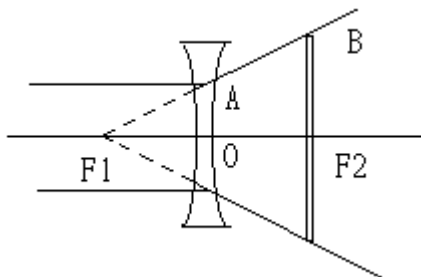
相似三角形 FCD 與 FA'B' 可知 $FD = FB'/2$ 所以, $DB' = F$ (得到焦距)
 相似三角形 OAB 與 OA'B' 可知 $A'B' = 2AB$ 所以, $OB' = 2OB$ $OB = F/2$
 (得到 1/2 焦距)



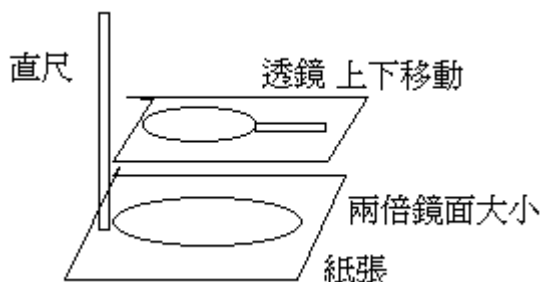
- (2) 實驗裝置：上下移動放大鏡，見透鏡中的橫線間隔為原來的兩倍，紀錄透鏡高度，極為焦距的一半。
- (3) 在凸透鏡焦距內的光源成放大虛像，無法呈現在紙屏之上，故只能使用視差法觀察成像的位置，成像位置不易以是差法求得，故改用成像大小的觀察來代替位置的觀測誤差。可以有更好更正確的實驗結果。
- (4) 此結果所的數據與其他方法比較有何不同？討論其誤差來源。

(二) 凹透鏡的焦距測量

1. 凹透鏡為散光透鏡，平行光進入由虛焦點散開。【方法一】



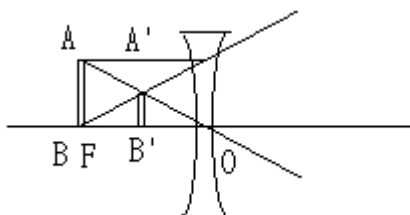
- (1) 畫出光線簡圖：相似三角形 $F_1BF_2 = F_1AO$ $F_1O/F_1F_2 = AO/BF_2$
 若 $AO : BF_2 = 1 : 2$ 則 $F_1O : F_1F_2 = 1 : 2$ $OF_2 = OF_1$



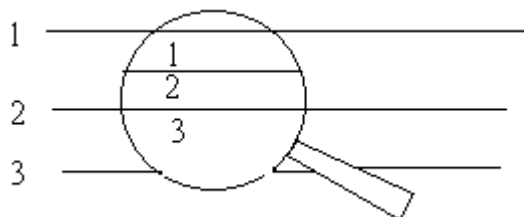
- (2) 實驗裝置：上下移動透鏡，至光圈大小達透鏡鏡面兩倍，此時透鏡與屏幕距離即為焦距。
- (3) 討論：說明紙張的用途。
2. 凹透鏡成像為縮小虛像。【方法二】

- (1) 畫出光線簡圖：相似三角形 $A'B'B = A'B'O$

所以 $BB' = B'O$ 則 $B'O = BO/2 = F/2$ (1/2 焦距)



(2) 實驗裝置：上下移動凹透鏡，見一號線不變而三號線的成像與二號線的像互相重合。此時透鏡高度即為焦距。

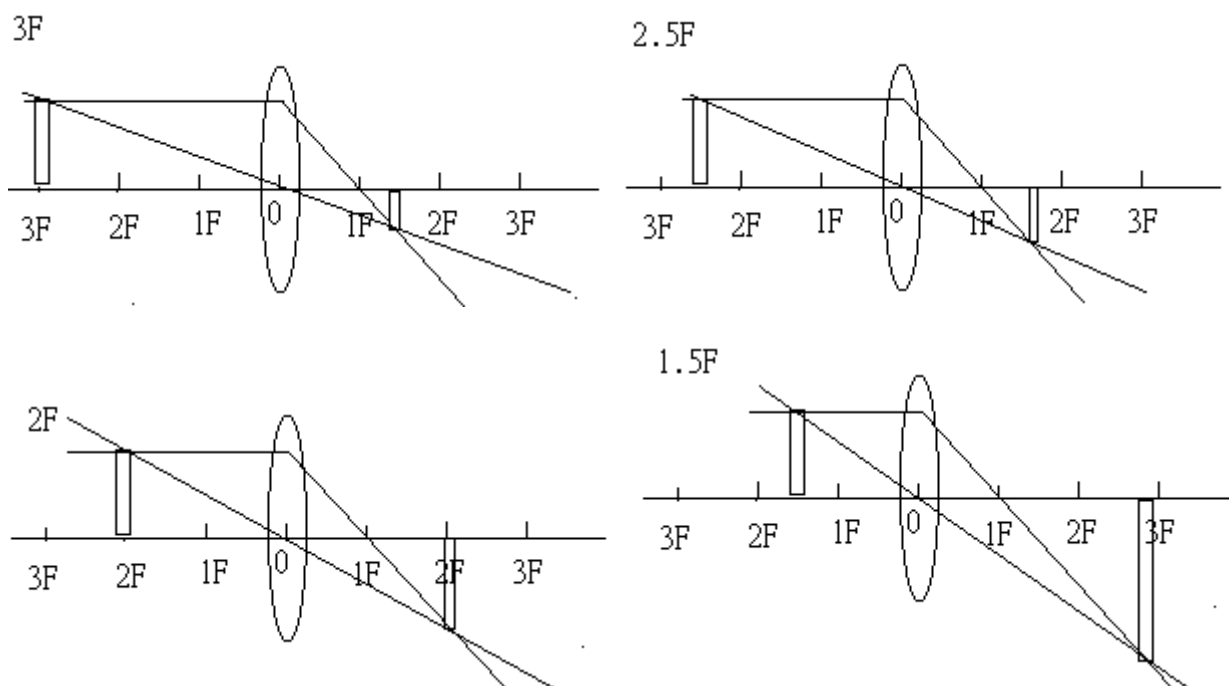


(3) 討論：此實驗的誤差來源。

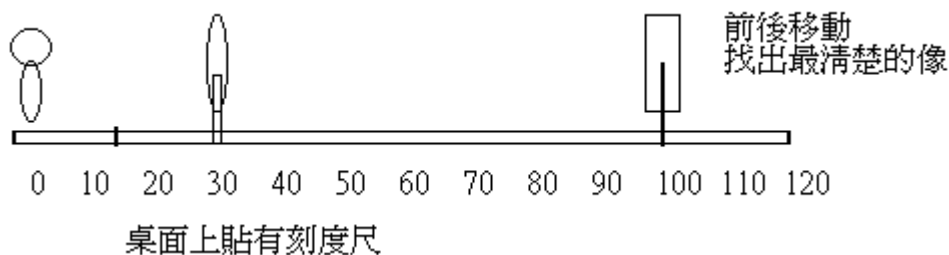
二、測量物距與像距的關係

(一) 凸透鏡的成像觀察

1. 觀察並記錄凸透鏡成像關係，並加以整理，統計在前一階段實驗中，利用不同的五個方式找透鏡的焦距。其中，方法一與方法二、三的所得數值相近，故以此為參考值，又因方法一為透鏡焦距的定義方式，我們以此方式所得的焦距值為第二部分的標準值。 $F = 27.75$ 公分



2. 利用 3 利用 3F、2.5F、2F、1.5F 所得實像來探討物與成像的關係。(利用方格紙作圖，可以更精確畫出成像位置)



3. 實驗裝置：透鏡位置：1.5F、2F、2.5F、3F

- (1) 由四位同學輪流測量，每人測量兩次求其平均值。
- (2) 因燈泡的亮度不高，若在夜晚且關上室內光線，可使觀察更容易，成像更清楚可見。
- (3) 凸透鏡在焦點內成像為虛像，不能以此方式測得，若使用視差法，誤差過大無法得到完整結果，此部份仍需要克服。
- (4) 參考資料：曾經在書籍上提到像與物有簡單的關係。

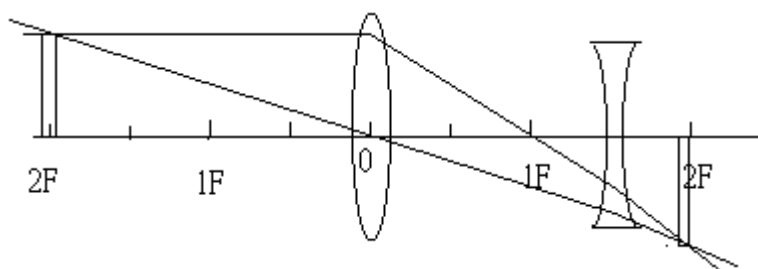
$$1/P + 1/Q = 1/F$$

P：物與鏡心的距離 Q：像與鏡心的距離 F：透鏡的焦距

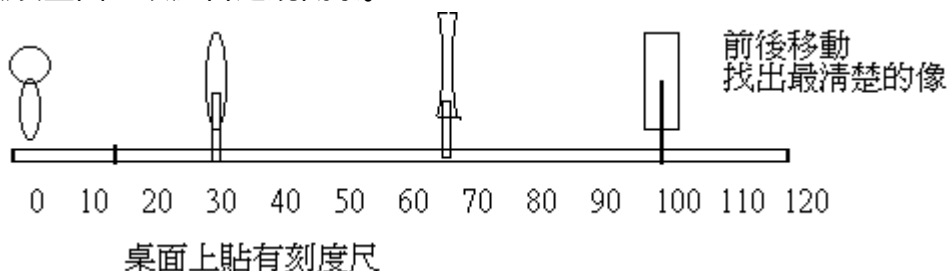
- (5) 問題：此關係是否與我們實驗所得透鏡成像關係相同？是否每一透鏡均可運用此公式。

(三) 凹透鏡成像觀察

1. 凹透鏡的成像為虛像，若使用視差法，不易得到正確的成像位置，若以組合透鏡的方式，可以將虛像轉換成實像，以利於觀察。



2. 畫出光線圖。
3. 觀察成像位置與物體的關係：利用凸透鏡所成實像為虛光源（位置在 0.5F、0.25F），測量實像的位置。
4. 實驗裝置圖：以組合透鏡觀察。



* 組合透鏡中，光線行進方向及成像位置關係-----成像位置在原位置的後方。

三、生活實例推廣：鏡片焦距與近視度數的關係

(一) 研究動機：沒有近視時，可利用平面透鏡裝飾；近視時，我們配帶凸凹透鏡校正視力，且近視度數深，所配帶眼鏡焦距愈小。在實際日常生活中，是否有這種關係？可否將其數量化？

(二) 近視度數的測定：

1. 拿一張紙張，文字大約 12 號文字。
2. 前後移動紙張的距離，至明視距離，測量並記錄當時紙張與眼睛的距離。
3. 換算成近視度數：

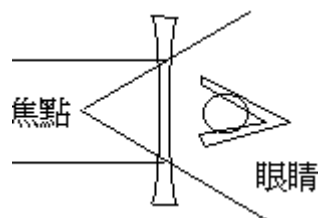
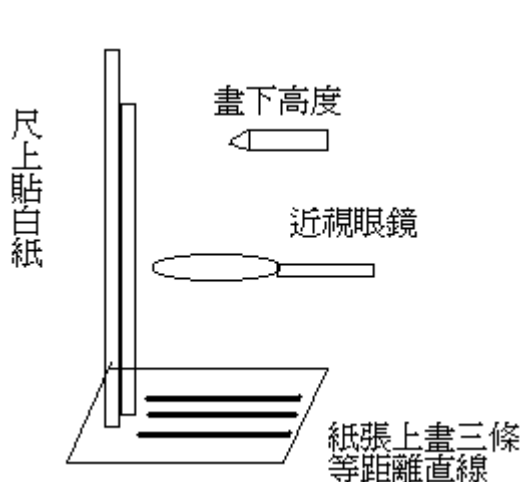
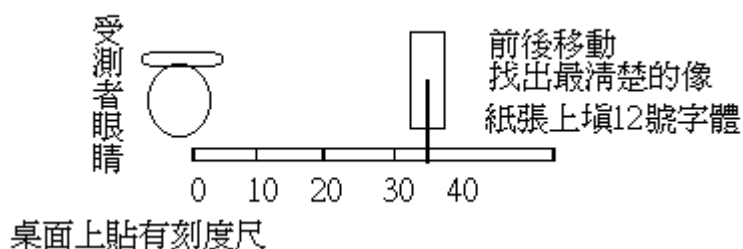
如：明視距離為 40 公分 = 0.4 公尺

度數為： $100/0.4 = 250$ 度

4. 每組找十位有配帶眼鏡的同學，測量並記錄。

(三) 測量眼鏡的焦距：

1. 畫等距離三條線，前後移動眼鏡。當鏡中像為原來 1/2 時，像與眼鏡的距離即為焦距。
2. 每兩人為一組測量焦距，每一眼鏡測量 2 次。



(四) 繪圖說明：

平行光進入透鏡後，由虛焦點散開，眼睛從另一方向觀測，像的位置在焦點上。（將遠方的物，因光線折射成近焦點位置）近視眼睛的明視距離即與此焦點位置的此焦距大約相等。我們以此作關係圖分析。

陸、研究結果：

一. 測量凸透鏡與凹透鏡的焦距

(一) 凸透鏡焦距測量 數值紀錄

實驗地點: 會議室

1. 方法一: 利用平行太陽光聚焦

實驗日期: 2002.3.2

次數	1	2	3	4	5	平均
1 操作者一	28.20	27.63	27.50	28.19	27.70	27.84
2 操作者二	27.71	27.33	28.34	27.82	28.60	27.96
3 操作者三	26.61	27.81	28.22	27.32	27.31	27.45

總平均 27.753

2. 方法二: 利用窗外遠方建築物

次數	1	2	3	4	5	平均
1 操作者一	27.69	27.12	27.53	27.60	27.48	27.48
2 操作者二	27.79	27.78	26.90	27.69	27.80	27.59
3 操作者三	26.90	27.13	27.14	27.02	27.01	27.04

總平均 27.372

3. 方法三: 焦點發出的光線, 成爲平行光

次數	1	2	3	4	5	平均
1 操作者一	26.75	26.50	26.39	26.20	26.00	26.37
2 操作者二	26.21	25.31	26.41	26.80	26.96	26.34
3 操作者三	27.00	27.92	27.10	27.30	27.65	27.39

總平均 26.700

4. 方法五: 焦距內的像爲放大虛像

次數	1	2	3	4	5	平均
1 操作者一	20.90	19.30	18.39	18.68	18.92	19.24
2 操作者二	20.89	19.05	20.20	20.30	17.05	19.50
3 操作者三	22.13	18.95	19.93	20.95	20.51	20.49

總平均 19.743

(二) 凹透鏡焦距測量 數值紀錄

1. 方法一: 平行光進入由虛焦點散開

次數	1	2	3	4	5	平均
1 操作者一	22.15	23.30	23.53	24.68	25.11	23.75
2 操作者二	22.30	22.05	22.20	22.50	22.40	22.29
3 操作者三	24.10	23.71	23.30	23.57	23.12	23.56

總平均 23.201

2. 方法二: 凹透鏡成像爲縮小虛像

次數	1	2	3	4	5	平均
1 操作者一	24.21	25.97	26.90	25.51	24.25	25.37
2 操作者二	26.10	28.29	29.00	26.60	27.43	27.48
3 操作者三	25.60	26.82	27.81	26.86	27.81	26.98

總平均 26.611

二. 測量物距與像距的關係。

實驗地點:教室

實驗日期:2002.3.14

(一)凸透鏡成像關係紀錄表

凸透鏡焦距=27.75 cm

燈泡位置		3F = 83.25cm		2.5F = 69.38cm		2F = 55.50cm		1.5F = 41.63cm	
		成像位置	成像距離	成像位置	成像距離	成像位置	成像距離	成像位置	成像距離
操作者一	1	125.10	41.85	117.00	47.62	114.10	58.60	128.00	86.37
	2	125.30	42.05	116.50	47.12	114.10	58.60	129.51	87.88
操作者二	1	125.50	42.25	116.61	47.23	113.70	58.20	132.90	91.27
	2	125.60	42.35	116.79	47.41	113.49	57.99	133.60	91.97
操作者三	1	125.50	42.25	117.10	47.72	114.00	58.50	132.00	90.37
	2	125.51	42.26	117.10	47.72	114.10	58.60	131.67	90.04
操作者四	1	125.32	42.07	116.62	47.24	113.40	57.90	132.10	90.47
	2	125.30	42.05	116.58	47.20	113.83	58.33	132.65	91.02
平均		<u>42.14</u>		<u>47.41</u>		<u>58.34</u>		<u>89.92</u>	
		約在 3/2F 處		約在 5/3F 處		約在 2F 處		約在 3F 處	
誤差		3/2F =41.63 cm		5/3F =46.25cm		2F =55.50cm		3F =83.25cm	
		<u>1.23%</u>		<u>2.50%</u>		<u>5.12%</u>		<u>8.02%</u>	

(二)凹透鏡成像關係紀錄表

凹透鏡焦距=23.20 cm

虛物位置		0.5F = 11.60cm 99.40cm		0.25F = 5.80cm 105.2cm	
		成像位置	成像距離	成像位置	成像距離
操作者一	1	146.11	46.71	118.51	13.31
	2	147.41	48.01	118.21	13.01
操作者二	1	147.71	48.31	117.47	12.27
	2	145.88	46.48	118.20	13.00
操作者三	1	145.00	45.60	117.62	12.42
	2	144.00	44.60	117.31	12.11
操作者四	1	147.11	47.71	118.00	12.80
	2	146.50	47.10	117.70	12.50
平均		<u>46.82</u>		<u>12.68</u>	
		約在 2F 處		約在 1/2F 處	
誤差		2F =46.40 cm		1/2F =11.60cm	
		<u>0.89%</u>		<u>9.29%</u>	

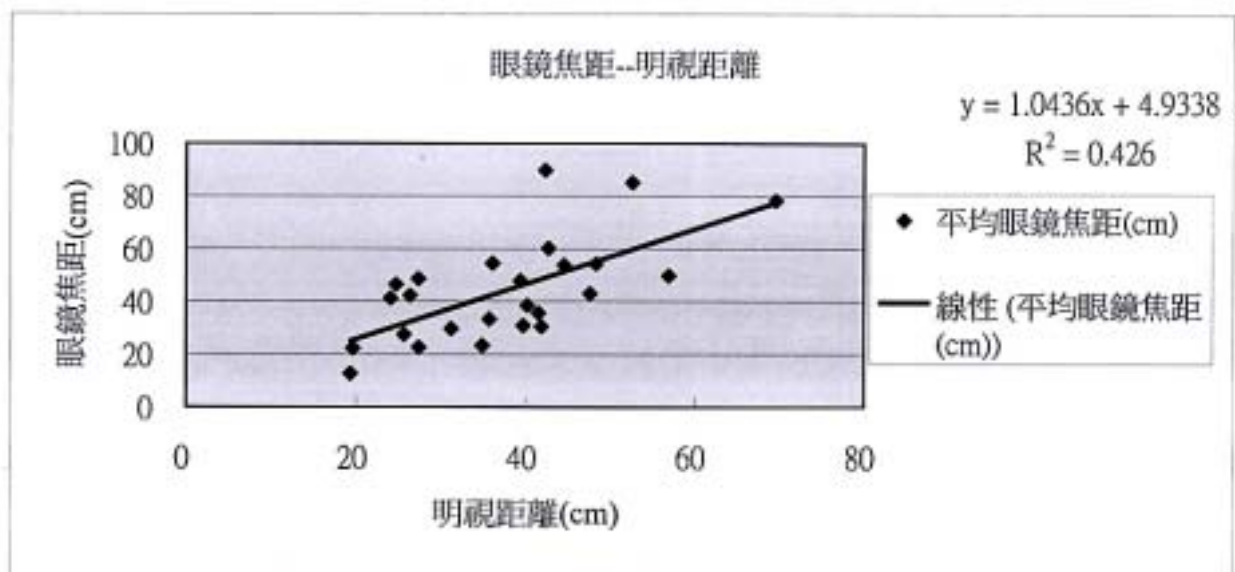
三、鏡片焦距與近視度數的關係。 實驗時間: 2002.4.4 2002.4.11

實驗地點: 理化實驗室

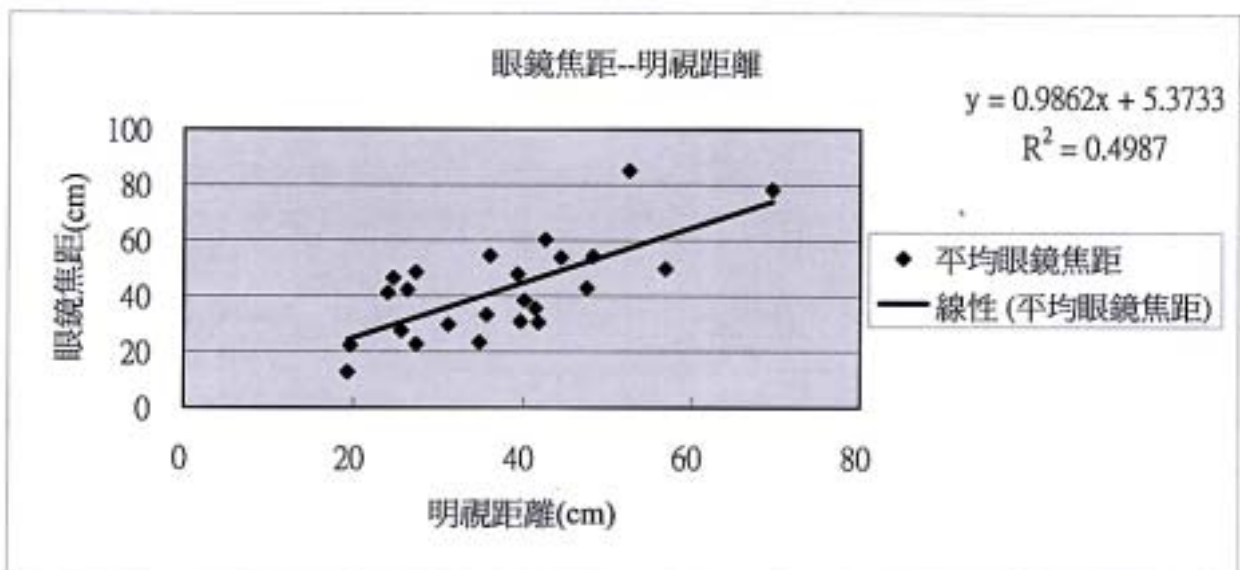
	明視距離(cm)	度數換算	眼鏡焦距(cm)	平均明視距離(cm)	平均度數	平均眼鏡焦距(cm)																																																																																																																																																																																																				
受測者1	28.12	356	24.62	27.33	366	22.68																																																																																																																																																																																																				
	26.53	377	20.74				受測者2	40.94	244	38.20	41.48	241	35.64	42.01	238	33.08	受測者3	40.30	248	39.31	40.14	249	38.50	39.97	250	37.68	受測者4	37.30	268	27.51	39.66	252	30.86	42.02	238	34.20	受測者5	47.62	210	41.57	47.58	210	43.00	47.53	210	44.42	受測者6	41.59	240	28.47	41.81	239	30.49	42.02	238	32.51	受測者7	33.94	295	24.90	34.82	287	23.39	35.70	280	21.88	受測者8	33.04	303	33.14	35.64	281	33.34	38.24	262	33.53	受測者9	19.93	502	23.52	19.59	510	22.25	19.25	519	20.98	受測者10	51.77	193	79.07	52.60	190	85.24	53.42	187	91.40	受測者11	71.10	141	76.92	69.59	144	78.30	68.08	147	79.68	受測者12	43.52	230	81.06	42.26	237	89.89	41.00	244	98.72	受測者13	54.74	183	45.59	56.91	176	49.81	59.08	169	54.02	受測者14	27.06	370	28.96	31.13	321	29.73	35.20	284	30.50	受測者15	38.13	262	43.55	39.33	254	47.84	40.52	247	52.13	受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52	36.60	273	54.60	受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417
受測者2	40.94	244	38.20	41.48	241	35.64																																																																																																																																																																																																				
	42.01	238	33.08				受測者3	40.30	248	39.31	40.14	249	38.50	39.97	250	37.68	受測者4	37.30	268	27.51	39.66	252	30.86	42.02	238	34.20	受測者5	47.62	210	41.57	47.58	210	43.00	47.53	210	44.42	受測者6	41.59	240	28.47	41.81	239	30.49	42.02	238	32.51	受測者7	33.94	295	24.90	34.82	287	23.39	35.70	280	21.88	受測者8	33.04	303	33.14	35.64	281	33.34	38.24	262	33.53	受測者9	19.93	502	23.52	19.59	510	22.25	19.25	519	20.98	受測者10	51.77	193	79.07	52.60	190	85.24	53.42	187	91.40	受測者11	71.10	141	76.92	69.59	144	78.30	68.08	147	79.68	受測者12	43.52	230	81.06	42.26	237	89.89	41.00	244	98.72	受測者13	54.74	183	45.59	56.91	176	49.81	59.08	169	54.02	受測者14	27.06	370	28.96	31.13	321	29.73	35.20	284	30.50	受測者15	38.13	262	43.55	39.33	254	47.84	40.52	247	52.13	受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52	36.60	273	54.60	受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40						
受測者3	40.30	248	39.31	40.14	249	38.50																																																																																																																																																																																																				
	39.97	250	37.68				受測者4	37.30	268	27.51	39.66	252	30.86	42.02	238	34.20	受測者5	47.62	210	41.57	47.58	210	43.00	47.53	210	44.42	受測者6	41.59	240	28.47	41.81	239	30.49	42.02	238	32.51	受測者7	33.94	295	24.90	34.82	287	23.39	35.70	280	21.88	受測者8	33.04	303	33.14	35.64	281	33.34	38.24	262	33.53	受測者9	19.93	502	23.52	19.59	510	22.25	19.25	519	20.98	受測者10	51.77	193	79.07	52.60	190	85.24	53.42	187	91.40	受測者11	71.10	141	76.92	69.59	144	78.30	68.08	147	79.68	受測者12	43.52	230	81.06	42.26	237	89.89	41.00	244	98.72	受測者13	54.74	183	45.59	56.91	176	49.81	59.08	169	54.02	受測者14	27.06	370	28.96	31.13	321	29.73	35.20	284	30.50	受測者15	38.13	262	43.55	39.33	254	47.84	40.52	247	52.13	受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52	36.60	273	54.60	受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																
受測者4	37.30	268	27.51	39.66	252	30.86																																																																																																																																																																																																				
	42.02	238	34.20				受測者5	47.62	210	41.57	47.58	210	43.00	47.53	210	44.42	受測者6	41.59	240	28.47	41.81	239	30.49	42.02	238	32.51	受測者7	33.94	295	24.90	34.82	287	23.39	35.70	280	21.88	受測者8	33.04	303	33.14	35.64	281	33.34	38.24	262	33.53	受測者9	19.93	502	23.52	19.59	510	22.25	19.25	519	20.98	受測者10	51.77	193	79.07	52.60	190	85.24	53.42	187	91.40	受測者11	71.10	141	76.92	69.59	144	78.30	68.08	147	79.68	受測者12	43.52	230	81.06	42.26	237	89.89	41.00	244	98.72	受測者13	54.74	183	45.59	56.91	176	49.81	59.08	169	54.02	受測者14	27.06	370	28.96	31.13	321	29.73	35.20	284	30.50	受測者15	38.13	262	43.55	39.33	254	47.84	40.52	247	52.13	受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52	36.60	273	54.60	受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																										
受測者5	47.62	210	41.57	47.58	210	43.00																																																																																																																																																																																																				
	47.53	210	44.42				受測者6	41.59	240	28.47	41.81	239	30.49	42.02	238	32.51	受測者7	33.94	295	24.90	34.82	287	23.39	35.70	280	21.88	受測者8	33.04	303	33.14	35.64	281	33.34	38.24	262	33.53	受測者9	19.93	502	23.52	19.59	510	22.25	19.25	519	20.98	受測者10	51.77	193	79.07	52.60	190	85.24	53.42	187	91.40	受測者11	71.10	141	76.92	69.59	144	78.30	68.08	147	79.68	受測者12	43.52	230	81.06	42.26	237	89.89	41.00	244	98.72	受測者13	54.74	183	45.59	56.91	176	49.81	59.08	169	54.02	受測者14	27.06	370	28.96	31.13	321	29.73	35.20	284	30.50	受測者15	38.13	262	43.55	39.33	254	47.84	40.52	247	52.13	受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52	36.60	273	54.60	受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																				
受測者6	41.59	240	28.47	41.81	239	30.49																																																																																																																																																																																																				
	42.02	238	32.51				受測者7	33.94	295	24.90	34.82	287	23.39	35.70	280	21.88	受測者8	33.04	303	33.14	35.64	281	33.34	38.24	262	33.53	受測者9	19.93	502	23.52	19.59	510	22.25	19.25	519	20.98	受測者10	51.77	193	79.07	52.60	190	85.24	53.42	187	91.40	受測者11	71.10	141	76.92	69.59	144	78.30	68.08	147	79.68	受測者12	43.52	230	81.06	42.26	237	89.89	41.00	244	98.72	受測者13	54.74	183	45.59	56.91	176	49.81	59.08	169	54.02	受測者14	27.06	370	28.96	31.13	321	29.73	35.20	284	30.50	受測者15	38.13	262	43.55	39.33	254	47.84	40.52	247	52.13	受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52	36.60	273	54.60	受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																														
受測者7	33.94	295	24.90	34.82	287	23.39																																																																																																																																																																																																				
	35.70	280	21.88				受測者8	33.04	303	33.14	35.64	281	33.34	38.24	262	33.53	受測者9	19.93	502	23.52	19.59	510	22.25	19.25	519	20.98	受測者10	51.77	193	79.07	52.60	190	85.24	53.42	187	91.40	受測者11	71.10	141	76.92	69.59	144	78.30	68.08	147	79.68	受測者12	43.52	230	81.06	42.26	237	89.89	41.00	244	98.72	受測者13	54.74	183	45.59	56.91	176	49.81	59.08	169	54.02	受測者14	27.06	370	28.96	31.13	321	29.73	35.20	284	30.50	受測者15	38.13	262	43.55	39.33	254	47.84	40.52	247	52.13	受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52	36.60	273	54.60	受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																																								
受測者8	33.04	303	33.14	35.64	281	33.34																																																																																																																																																																																																				
	38.24	262	33.53				受測者9	19.93	502	23.52	19.59	510	22.25	19.25	519	20.98	受測者10	51.77	193	79.07	52.60	190	85.24	53.42	187	91.40	受測者11	71.10	141	76.92	69.59	144	78.30	68.08	147	79.68	受測者12	43.52	230	81.06	42.26	237	89.89	41.00	244	98.72	受測者13	54.74	183	45.59	56.91	176	49.81	59.08	169	54.02	受測者14	27.06	370	28.96	31.13	321	29.73	35.20	284	30.50	受測者15	38.13	262	43.55	39.33	254	47.84	40.52	247	52.13	受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52	36.60	273	54.60	受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																																																		
受測者9	19.93	502	23.52	19.59	510	22.25																																																																																																																																																																																																				
	19.25	519	20.98				受測者10	51.77	193	79.07	52.60	190	85.24	53.42	187	91.40	受測者11	71.10	141	76.92	69.59	144	78.30	68.08	147	79.68	受測者12	43.52	230	81.06	42.26	237	89.89	41.00	244	98.72	受測者13	54.74	183	45.59	56.91	176	49.81	59.08	169	54.02	受測者14	27.06	370	28.96	31.13	321	29.73	35.20	284	30.50	受測者15	38.13	262	43.55	39.33	254	47.84	40.52	247	52.13	受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52	36.60	273	54.60	受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																																																												
受測者10	51.77	193	79.07	52.60	190	85.24																																																																																																																																																																																																				
	53.42	187	91.40				受測者11	71.10	141	76.92	69.59	144	78.30	68.08	147	79.68	受測者12	43.52	230	81.06	42.26	237	89.89	41.00	244	98.72	受測者13	54.74	183	45.59	56.91	176	49.81	59.08	169	54.02	受測者14	27.06	370	28.96	31.13	321	29.73	35.20	284	30.50	受測者15	38.13	262	43.55	39.33	254	47.84	40.52	247	52.13	受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52	36.60	273	54.60	受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																																																																						
受測者11	71.10	141	76.92	69.59	144	78.30																																																																																																																																																																																																				
	68.08	147	79.68				受測者12	43.52	230	81.06	42.26	237	89.89	41.00	244	98.72	受測者13	54.74	183	45.59	56.91	176	49.81	59.08	169	54.02	受測者14	27.06	370	28.96	31.13	321	29.73	35.20	284	30.50	受測者15	38.13	262	43.55	39.33	254	47.84	40.52	247	52.13	受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52	36.60	273	54.60	受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																																																																																
受測者12	43.52	230	81.06	42.26	237	89.89																																																																																																																																																																																																				
	41.00	244	98.72				受測者13	54.74	183	45.59	56.91	176	49.81	59.08	169	54.02	受測者14	27.06	370	28.96	31.13	321	29.73	35.20	284	30.50	受測者15	38.13	262	43.55	39.33	254	47.84	40.52	247	52.13	受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52	36.60	273	54.60	受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																																																																																										
受測者13	54.74	183	45.59	56.91	176	49.81																																																																																																																																																																																																				
	59.08	169	54.02				受測者14	27.06	370	28.96	31.13	321	29.73	35.20	284	30.50	受測者15	38.13	262	43.55	39.33	254	47.84	40.52	247	52.13	受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52	36.60	273	54.60	受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																																																																																																				
受測者14	27.06	370	28.96	31.13	321	29.73																																																																																																																																																																																																				
	35.20	284	30.50				受測者15	38.13	262	43.55	39.33	254	47.84	40.52	247	52.13	受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52	36.60	273	54.60	受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																																																																																																														
受測者15	38.13	262	43.55	39.33	254	47.84																																																																																																																																																																																																				
	40.52	247	52.13				受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52	36.60	273	54.60	受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																																																																																																																								
受測者16	35.47	282	54.43	36.04	278	54.52																																																																																																																																																																																																				
	36.60	273	54.60				受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32	48.91	204	53.42	受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																																																																																																																																		
受測者17	47.67	210	55.22	48.29	207	54.32																																																																																																																																																																																																				
	48.91	204	53.42				受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27	27.10	369	43.11	受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																																																																																																																																												
受測者18	25.53	392	41.42	26.32	380	42.27																																																																																																																																																																																																				
	27.10	369	43.11				受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26	44.02	227	61.03	受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																																																																																																																																																						
受測者19	41.28	242	59.48	42.65	234	60.26																																																																																																																																																																																																				
	44.02	227	61.03				受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54	26.66	375	26.57	受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																																																																																																																																																																
受測者20	24.51	408	28.50	25.59	391	27.54																																																																																																																																																																																																				
	26.66	375	26.57				受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20	24.71	405	37.40																																																																																																																																																																																										
受測者21	23.25	430	45.00	23.98	417	41.20																																																																																																																																																																																																				
	24.71	405	37.40																																																																																																																																																																																																							

受測者22	19.52	512	10.52			
	19.06	525	15.00	19.29	518	12.76
受測者23	23.22	431	47.70			
	26.04	384	45.10	24.63	406	46.40
受測者24	43.65	229	55.52			
	45.32	221	52.17	44.49	225	53.85
受測者25	25.47	393	52.50			
	29.12	343	44.69	27.30	366	48.60

實驗數據作圖



扣除受測者12數據點所得結果



柒、討論：

一、凸透鏡的焦距測量

(一)【方法一】利用平行太陽光，經凸透鏡聚焦。

問題：此平均值是否代表距離？每人所得數據不同，誤差來源為何？請討論如何改進？

討論解答：

1. 此平均值約可代表此透鏡之焦距。
2. 誤差可能來自於：
 - (1) 因人而異，每個人對於光點大小的認知不同。
 - (2) 在確認焦距時，可能有時實驗者拿透鏡不穩，而測焦距者也是取大約距離，精準度難免有所影響。
 - (3) 測量時時間處於先後狀態，地球自轉或多或少帶來影響。
3. 改進方法：
 - (1) 實驗器材須固定
 - (2) 測距離時以鏡心之刻度為準，可用兩木板垂直光點所在板面，並輔助透鏡上下移動以增加精準度。
 - (3) 測量時要同一段時間，測量者相隔時間愈短，愈精準。

(二)【方法三】焦點發出的光線，會成為平行光。

問題：討論與【方法一】之差別與相同處： 討論解答：

1. 差別：【方法一】的影像過透鏡只是一種縮放的效果，輪廓還在，但【方法三】的透鏡右方影像是一種均勻淡光的色彩，和實物差很多。
2. 相同：他們都依照相同的原理，等於說循同一路徑成像，但方向相反，如此便是光的可逆現象之運用。

(三)【方法三】焦點發出的光線，會成為平行光。

問題：將燈泡視為點光源是否合理？運用紙張將透鏡邊緣貼起，有何特殊功用？

討論結果：

1. 合理，因有一定光源，才可測量。
2. 功用在於防止燈泡之光線超過透鏡圓面積範圍，而影響準確度；另一方面，如此可解決因為背景的光太亮影響視察和實驗結果的弊病。

(四)【方法五】焦距內的成像為放大虛像。討論此實驗的誤差來源：

1. 各人認知不同。
2. 透鏡有無平行紙張。
3. 眼睛無完全正視，且眼鏡與眼睛的距離影響結果。
4. 測量時尺和紙張有無垂直和精準。
5. 結論：此所得到的結果，較別方法之結果相差甚大是因在用透鏡觀察時，透鏡移動速率比放大（縮小）之速率快很多，以致於用目測之一點誤差實質上在透鏡上下移動的高度上已差很多，所以此法較難測定。

二、凹透鏡的焦距測量

(一)【方法一】凹透鏡為散光透鏡，平行光進入由虛焦點散開

問題：討論紙張的用途：

討論結果：

於透鏡的紙張是用來確定平行光的，當紙張的影像為矩形時，表示光線平行進入透鏡，且可減少背景光線，使實驗更易進行。

在實驗中，儀器與人為因素是誤差的最大原因，為了求得更正確的結果，我們多次測量數據取其平均值將人為實驗誤差降到最低，觀察次數較多，取其平均數，可以得到較精確的實驗結果。

捌、結論：

- 一、 第一部份測量透鏡的焦距測量，我們利用不同的方式測量同一透鏡的焦距，理論上應為相同的數據，但是在凸透鏡測量【方法四】與【方法五】的測量結果與其他三種方法差異甚大，方法一與方法二的結果最接近實際值。凹透鏡的兩種測量方式都相當接近，是一個不錯的測量方式，在第三部份測量眼鏡的鏡片焦距可以此方式當成參考值，也有很好的實驗結果相關性。
- 二、 第二部分透鏡的成像關係的觀測中，我們利用晚上的時間作實驗，目的是為了讓實驗的成像更加清晰，以減少實驗誤差。作實驗之前，我們先利用方格紙畫出成像的關係，大約知道了物與像的成像位置關係，以此當成參考標準，我們實驗所得數據與預測非常接近。我們也可以使用參考書籍內的已知公式計算成像位置，此結果與畫圖結果非常接近，所以我們可以利用公式來估計成像位置。
- 三、 第三部份眼鏡焦距與明視距離的關係中利用作圖與思考，眼鏡的焦距應與明視距離相同，實驗結果也有此關係。但是部分的數據點與我們作圖直線偏離甚遠，尤其部分眼鏡焦距較眼睛明視焦距大得多，此原因討論如下：

1. 個人對明視距離的判斷有誤差，應該為距離最遠且見清楚的像為止。
2. 測量眼鏡焦距時，也因測量者的視差與判斷誤差。
3. 設測者的眼鏡度數與眼睛度數不符合的現象，即眼鏡度數不足或是度數過剩的現象。

在實驗數據處理時，因為實驗數據點誤差太大，所以我們移除一個數據，在作一次關係圖，此結果所得的方程式係數更接近 1，更接近實驗前的推論。

四、 延伸問題：

1. 顯微鏡是否有用到透鏡？
2. 三菱鏡的原理？
3. 用凸透鏡去看凹透鏡的現象？
4. 玻璃能反映出事物的影像，為何？

玖、參考資料：

- 一、王靜瑜 小小馬蓋先街頭科學家 第一版 康軒文教事業 P115-P118 91年
- 二、陳忠志 高級中學物理 第一版 台南市 翰林出版事業股份有限公司 P117-P124 90年8月
- 三、陳偉民 明輝 創意教學理化篇 第一版 幼獅事業股份有限公司 p48-p58 89年10月