

新北市107學年度中小學科學展覽會
作品說明書

科別:物理科

國中組:國中組

作品名稱:「玻」光粼「璃」-探討自製光學玻璃之研究方法

關鍵詞:隔熱、多層玻璃、 P_{cond}

編號:

壹、摘要

為了研究出能夠自己製造的隔熱光學玻璃，我們測量了貼上鏡面、非鏡面隔熱紙、隔熱漆的單片玻璃，並改變其正、反面，單、雙面等變因，以太陽能光測量儀、熱傳導測量儀、太陽能膜測量儀及太陽能功率表，找出最好的隔熱結果「非鏡面反面隔熱紙」後，用其製作雙片玻璃(單層介質)進行「填充物對於隔熱效果優劣影響」之實驗。接著，根據普物的多層板熱傳導公式，製造三片玻璃(雙層介質)之介質層等間距與不等距模組，在測量數據後，計算出「單位時間通過的熱量」(P_{cond})，再將數據套回公式，得出實驗誤差值。最後，我們比較數據對於隔熱效果的影響，探討出製作隔熱效果極佳的自製雙片及三片隔熱玻璃之方法。

貳、動機

有次搭飛機時，發現機艙窗玻璃共有三層，隔熱效果極佳。我們很好奇三片玻璃中間如果填入了不同材質，會不會對隔熱效果有影響?於是在一起討論後，決定著手研究這個主題。

參、研究流程圖



肆、研究目的

- 一、測量隔熱紙和隔熱漆對單、雙(單層介質)、三片玻璃(雙層介質)的影響
- 二、探討各種填充內容物之物理性質的影響
- 三、探討如何製造屬於自己的雙、三片隔熱玻璃
- 四、探討與公式理論值的誤差及其影響

伍、實驗裝置

- 一、實驗器材：鏡面隔熱紙、非鏡面隔熱紙、隔熱漆、水、太白粉、玻璃片。
- 二、實驗裝置：太陽能光測量儀、熱傳導測量儀、太陽能功率表、太陽能膜測量儀。

陸、實驗設計與名詞解釋

一、實驗設計

(一) 單片玻璃實驗

1. 將貼/塗上隔熱紙或隔熱漆的單片玻璃分別垂直放上太陽能光測量儀、熱傳導測量儀及太陽能膜測量儀。
2. 讀寫數據，再加以改進實驗。

(二) 雙片玻璃(單層介質)實驗

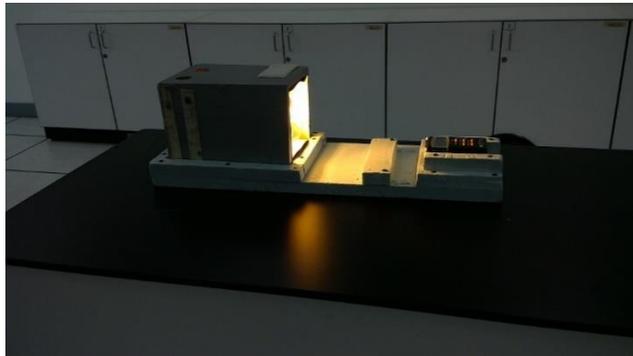
1. 以測量出最佳的單片玻璃製造可填充物體的雙片玻璃。
2. 在雙片玻璃中填充各種物體，測量隔熱效果的優劣。
3. 讀寫數據並改進實驗。

(三) 三片玻璃(雙層介質)實驗

1. 以測量出最佳的單片玻璃製造可填充物體的三片玻璃。
2. 在三片玻璃中填充各種物體，測量隔熱效果的優劣。
3. 測量熱傳導測量儀使用前後，玻璃面光面和背光面的溫度。
4. 讀寫數據並改進實驗。
5. 誤差值計算與公式推導。

二、名詞解釋

(一) 太陽能光測量儀:此儀器可以模擬接近太陽光的光源。



太陽能

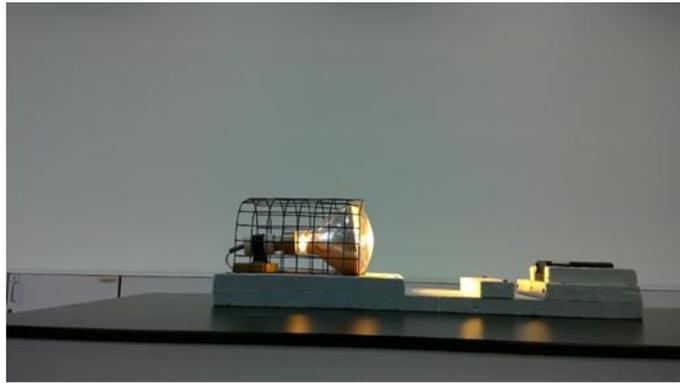


玻璃



太陽能功率表

(二) 熱傳導測量儀: 此儀器可以產生極高的熱能，模擬受熱情況。



熱源

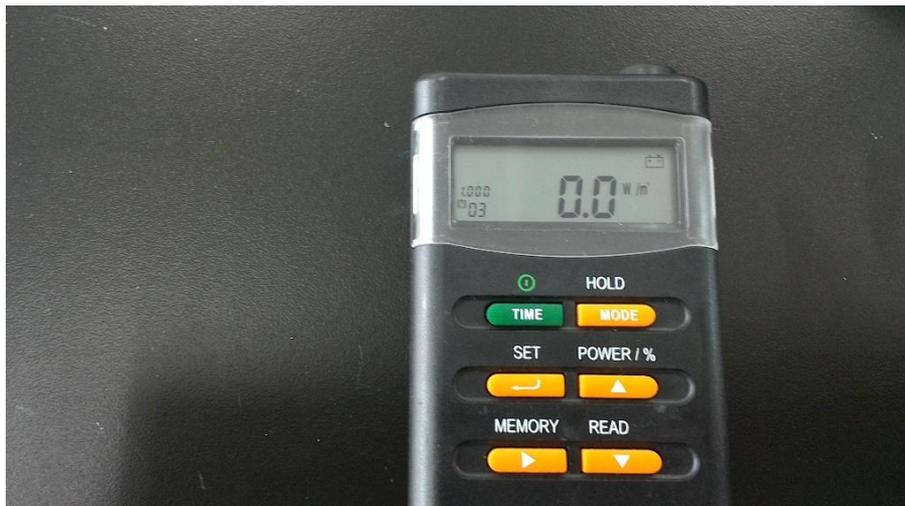


玻璃



太陽能功率表

(三) 太陽能功率表: 測量光、熱的儀器，單位為 W/m^2 平方。

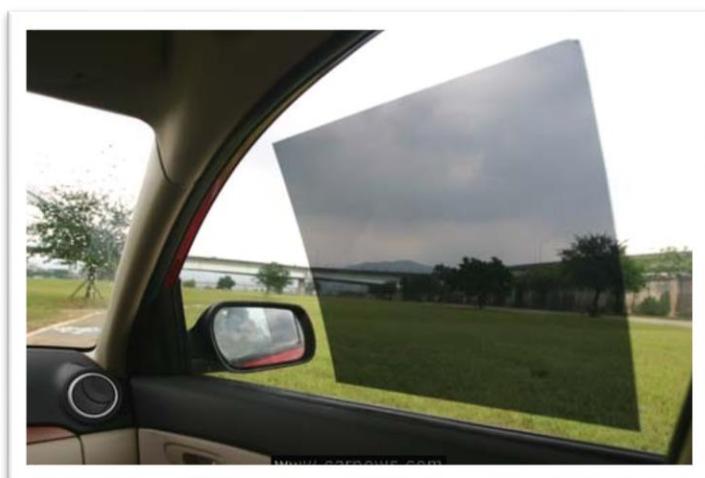


(四) 太陽能膜測量儀:此儀器可以測量出紫外線、紅外線、透光率、太陽能總透射比 (SHGC)。

- 由上到下:
- (1) 紫外線
 - (2) 紅外線
 - (3) 透光率
 - (4) 太陽能總透射比



(五) 隔熱紙:鏡面隔熱紙和非鏡面隔熱紙的差別在於前者添加了金屬成分，後者則沒有。



非鏡面隔熱紙，並不會反射光線



鏡面隔熱紙，貼在玻璃會反射光線

圖片來源見 參考資料 5



裁切並黏貼鏡面、非鏡面隔熱紙

(六) 隔熱漆:全名為水性隔熱塗料SR-013，因為本身並不透光，所以我們將它調和較透明的隔熱漆比水=2:1、5:1水溶液，將原濃度和調和而成的液體塗於玻璃片上。



塗上5:1隔熱漆水溶液的玻璃片

(七) 三片玻璃(雙層介質)之公式:

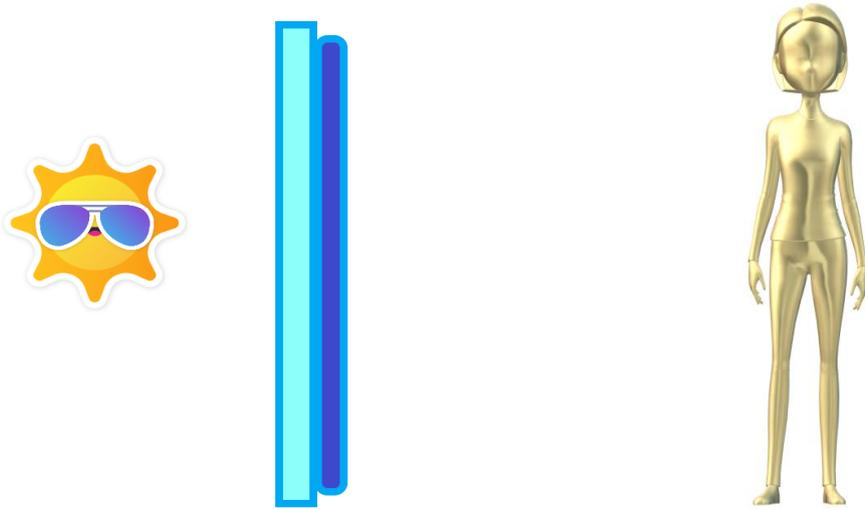
1. $T_H(T_{HOT})$:以熱傳導測量儀照射20秒後，玻璃面光面的溫度
2. $T_C(T_{COLD})$:以熱傳導測量儀照射20秒後，玻璃背光面的溫度
3. L_1 :玻璃背光層間距
4. L_2 :玻璃面光層間距
5. K :熱導率， K_1 為 L_1 間距夾層的熱導率， K_2 為 L_2 間距夾層的熱導率
6. P_{cond} :單位時間傳遞的熱量

柒、實驗步驟與研究結果

一、測量單片玻璃實驗數據

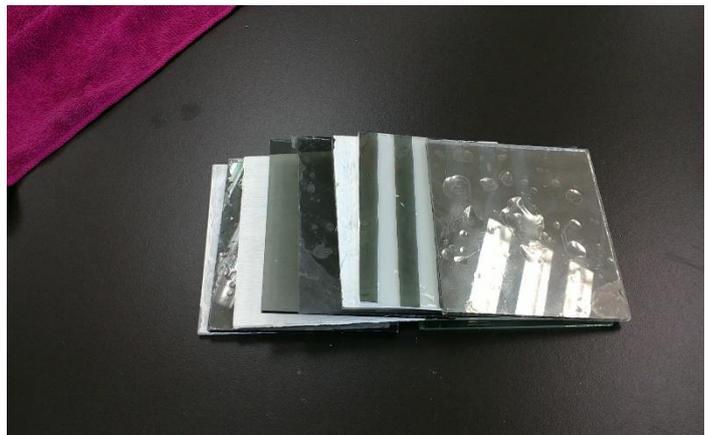
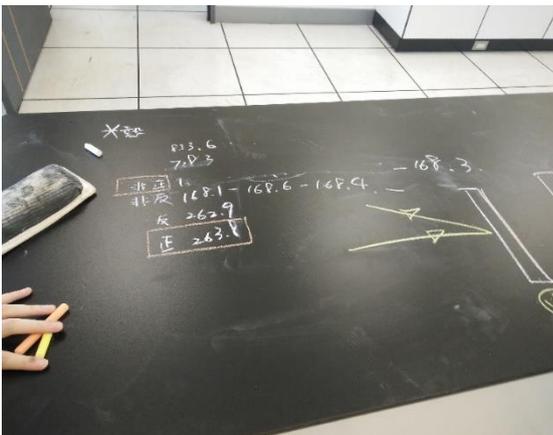
(一) 架設與步驟

1. 將實驗室玻璃(單片)，分別貼上鏡面/非鏡面隔熱紙/隔熱漆。
2. 將玻璃分別沿著儀器邊緣垂直擺放，將太陽能光測量儀、熱傳導測量儀、太陽能功率表及太陽能膜測量儀架設在固定位置後開始測量。



3. 讀寫數據並改進實驗。

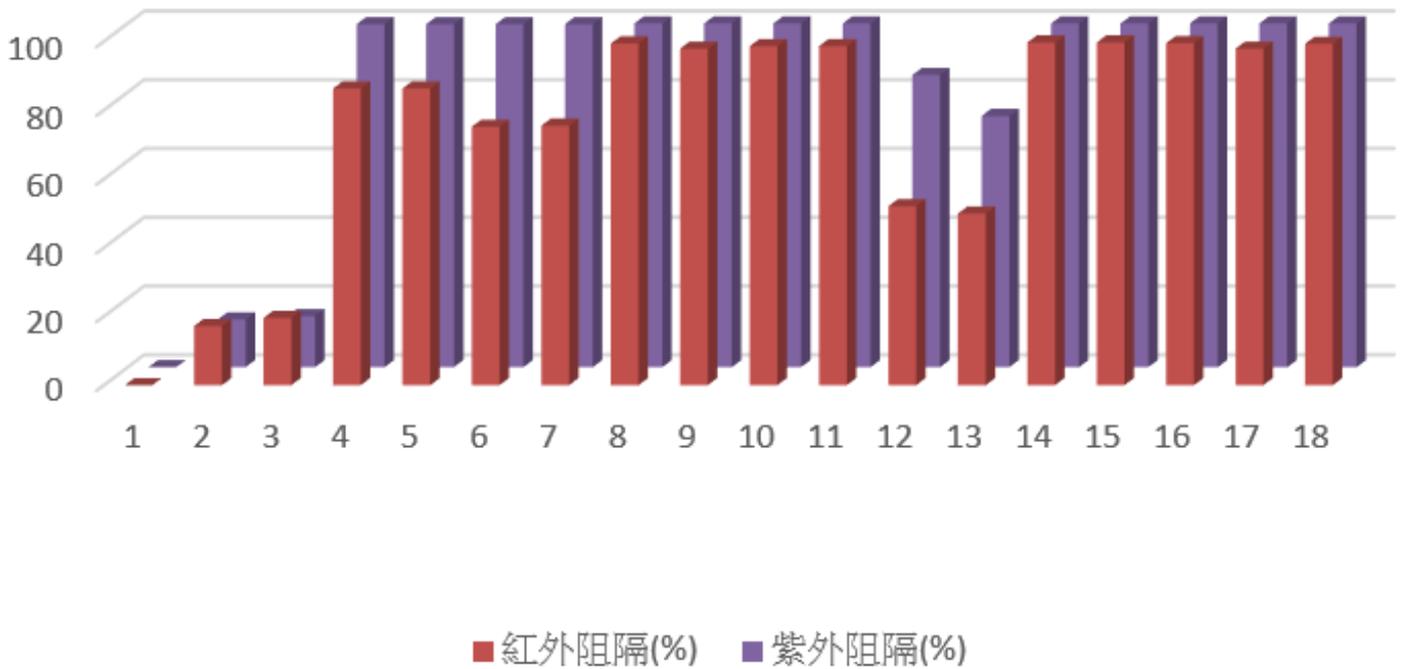
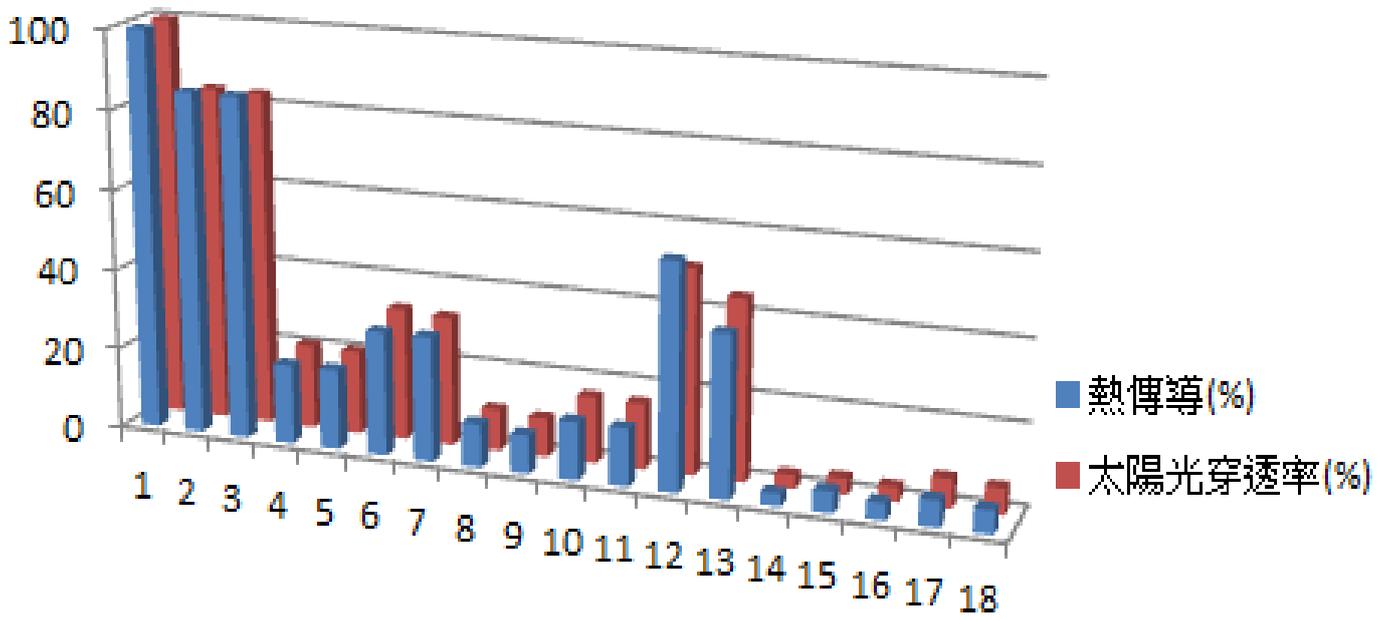
#註:反面為隔熱紙/漆 貼/塗在接觸熱源的另一側



(二) 實驗與分析

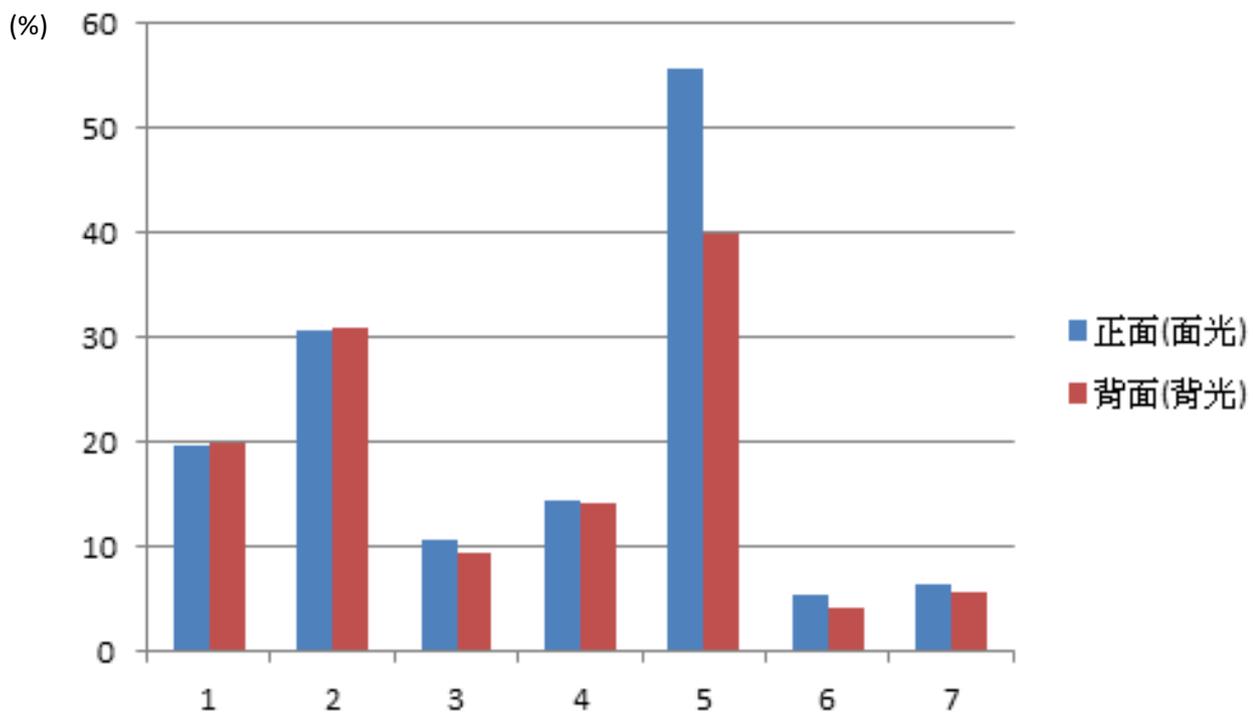
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	無	玻璃	膠帶	非鏡正	非鏡反	鏡正	鏡反	單片塗料正	單片塗料反
熱傳導(W/m^2)	853.6	728.3	728.1	168.3	170.1	262.9	263.8	91.8	80.8
太陽光(W/m^2)	2152.2	1798.1	1797.7	524.3	519.7	823.1	803.9	259.8	240.5
紫外線阻隔比(%)	0.0	13.9	14.7	99.8	99.8	99.8	99.8	100.0	100.0
紅外線阻隔比(%)	0.0	17.2	17.4	86.3	75.2	75.5	99.4	97.9	98.6
透光率(%)	100.0	89.7	89.3	31.3	30.0	15.8	16.7	0.1	0.1
太陽能總透射比(%)	1.000	0.869	0.857	0.234	0.227	0.186	0.193	0.007	0.007

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	塗料 2:1 正	塗料 2:1 反	塗料 5:1 正	塗料 5:1 反	雙面塗料	黏貼非鏡面正	黏貼非鏡面反	黏貼鏡面正	黏貼鏡面反
熱傳導(W/m^2)	122.3	121.8	476.5	341.3	26.4	45.2	35.0	55.0	49.1
太陽光(W/m^2)	411.9	407.4	1275.0	1122.0	81.2	102.3	89.6	181.2	163.5
紫外線阻隔比(%)	100.0	100.0	85.6	73.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
紅外線阻隔比(%)	98.6	98.6	52.1	49.9	99.7	99.7	99.5	97.9	99.3
透光率(%)	0.1	0.2	9.1	18.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
太陽能總透射比(%)	0.005	0.005	0.230	0.305	0.00	0.000	0.001	0.001	0.002



(三) 研究結果

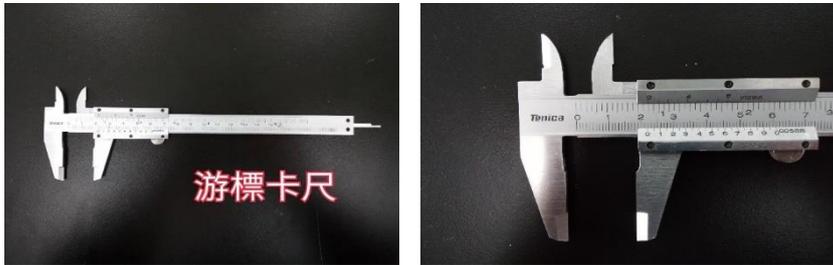
1. 在此實驗中，**熱傳導和太陽光穿透值**越小，代表此玻璃隔熱越好。
2. 在隔熱紙的比較中，含金屬的鏡面隔熱紙比不含金屬的非鏡面隔熱效率差。
3. 隔熱紙不論貼在正面還是反面，在紫外線和紅外線阻隔比幾乎沒有影響，對透光率及太陽能總透射比的影響比較大，不論是哪種隔熱紙效果都是**反>正**。
4. 隔熱漆幾乎可以擋掉全部的熱能，但是因為它並不透明，就算稀釋過效果也不如隔熱紙，所以如果未來研發出透明的隔熱漆，可以應用在生活上，否則在實驗中只能採用隔熱紙。
5. 除隔熱漆外效果最好的是**反面(背光)的非鏡面隔熱紙**，所以在雙片玻璃(單層介質)實驗中一律採用此玻璃。
6. 由實驗可得知，膠帶對數據的影響微小，可忽略不計。



二、測量雙片玻璃(單層介質)實驗數據

(一) 實驗步驟

1. 將玻璃片貼上隔熱紙(非鏡面，反面)並以固定間距3.1575cm。



2. 將兩片玻璃間的空隙以膠帶封起，製造出空氣層。
3. 將膠帶戳開一個小洞，把要灌入實驗物質後再封起，以太陽能光測量儀、熱傳導測量儀、太陽能功率表及太陽能膜測量儀進行實驗。物質種類有：

- (1) 空氣層
- (2) 水
- (3) 太白粉50g+水50g之膠體(太白粉比水=1:1水溶液)
- (4) 太白粉50g+水100g之膠體(太白粉比水=2:1水溶液)
- (5) 太白粉50g+水150g之膠體(太白粉比水=3:1水溶液)
- (6) 太白粉50g+水200g之膠體(太白粉比水=4:1水溶液)
- (7) 太白粉50g+水250g之膠體(太白粉比水=5:1水溶液)

其中，太白粉水溶液按比例調配完成後，以加熱盤用攝氏三百度加熱二十分鐘，並時時攪拌，製成膠體。

4. 讀寫數據。





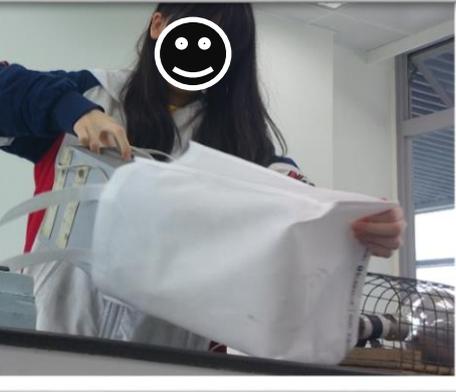
在膠帶處戳洞



以熱熔膠稍加固定雙片玻璃底座處，
不影響實驗結果



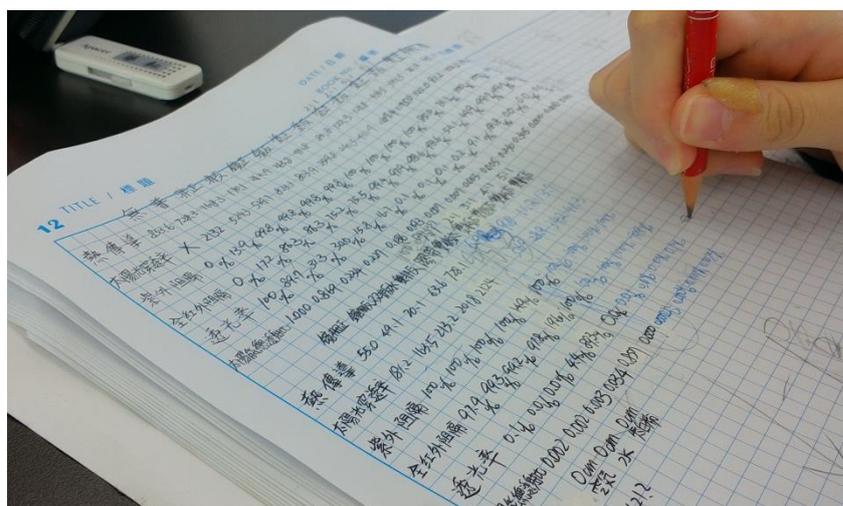
準備實驗。



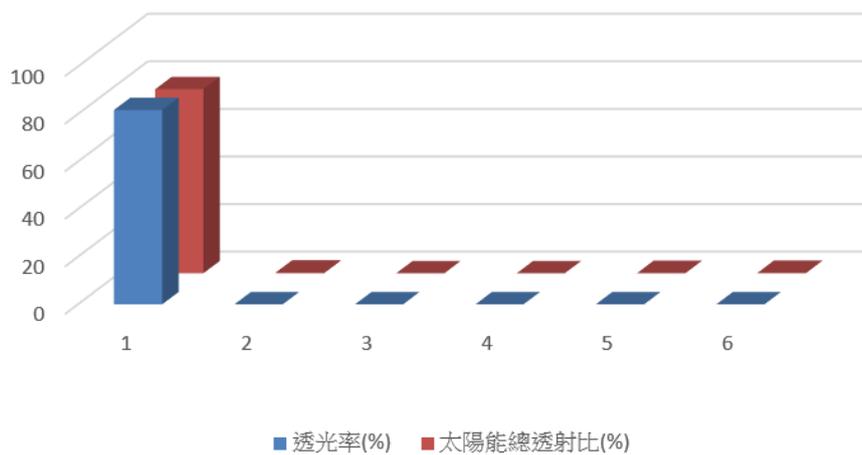
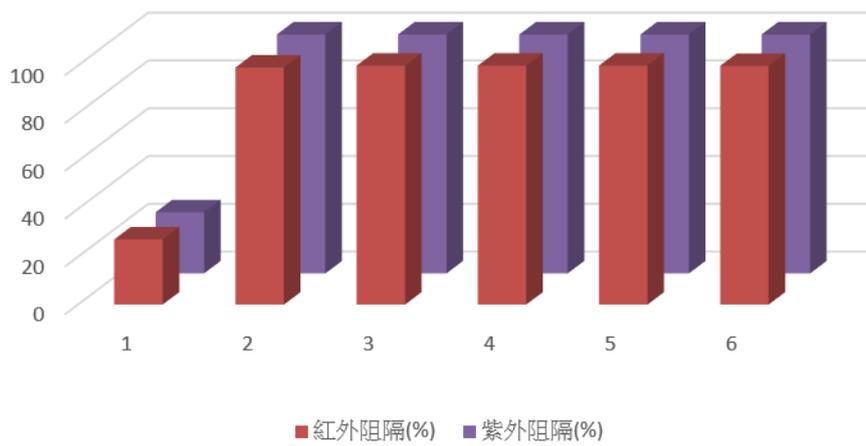
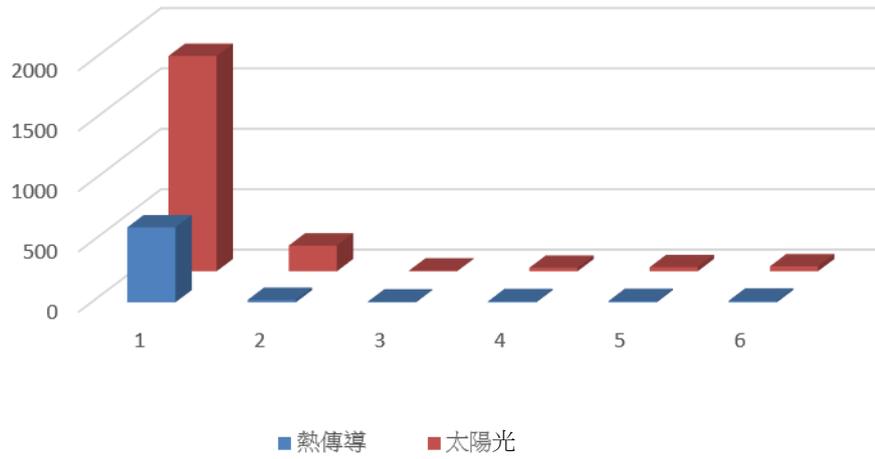
按比例調製膠體

(二) 實驗記錄與分析

	1	2	3	4	5	6
	空氣層	水	太白粉液 2:1	太白粉液 3:1	太白粉液 4:1	太白粉液 5:1
熱傳導(W/m^2)	621.2	20.1	6.9	9.8	11.2	13.7
太陽光(W/m^2)	1782.0	213.2	5.69	28.9	34.2	41.3
紫外線阻隔比	25.6	100	100	100	100	100
紅外線阻隔比	27.3	99.2	100	100	100	99.9
透光率	81.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
太陽能總透射比	0.747	0.003	0.000	0.000	0.000	0.002

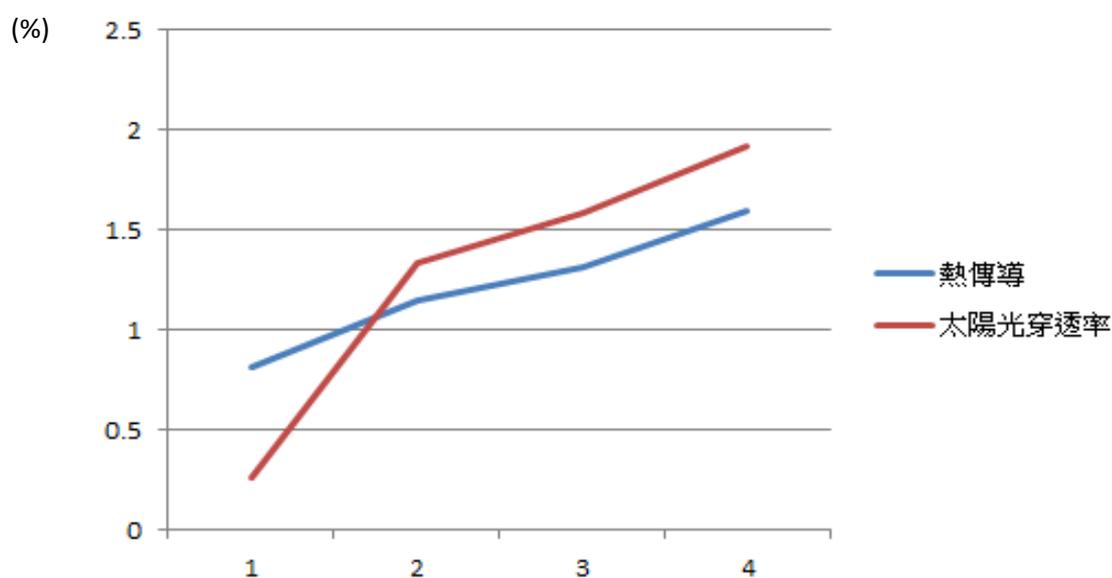


記錄數據過程



(三) 研究結果

1. 煮熟的太白粉成凝膠態，傳熱極慢，因此是生活中很好的隔熱材料。
2. 填充物的隔熱效果是太白粉膠體>水>空氣層。其中，太白粉膠體的填充，**水的比例愈高，隔熱效果愈差。**
3. 根據實驗，**凝膠態物質**有極佳的阻熱效果，且水的比例越少，阻熱效果越好，可以善加應用。



三、測量三片玻璃(雙層介質)實驗數據

(一) 實驗步驟

1. 將三片玻璃分別固定間距後組合

- (1) (L_2 [面光]/ L_1 [背光])
- (2) (3.1575cm/3.1575cm)
- (3) (1.945cm/3.1575cm)
- (4) (3.1575cm/1.945cm)

2. 填入不同介質

- (1) 空氣
- (2) 水
- (3) 水比太白粉=3:1膠體
- (4) 表格為:



氣/氣	氣/水	水/氣	水/水	氣/膠	膠/氣	水/膠	膠/水	膠/膠
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

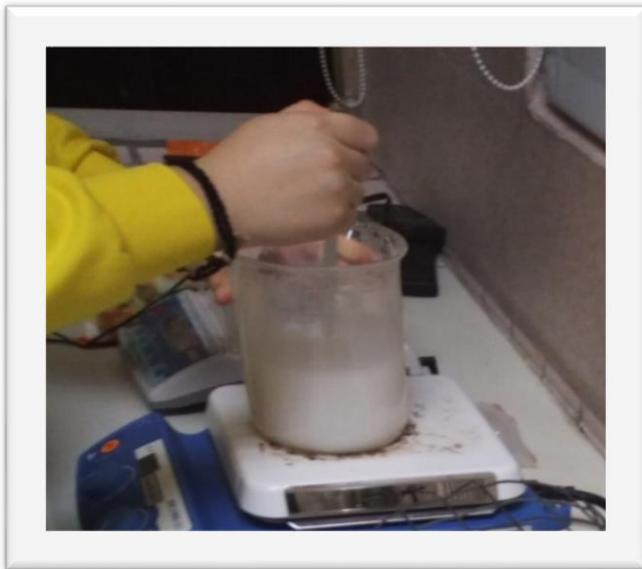
3. 以太陽能光測量儀、熱傳導測量儀及太陽能功率表進行實驗。使用熱傳導測量儀後，測量玻璃面光面與背光面的溫度(T_H 、 T_C)。

(實驗見下頁 圖3-1~3-5)

4. 讀寫數據，並將其套入普物的公式，比較誤差值。

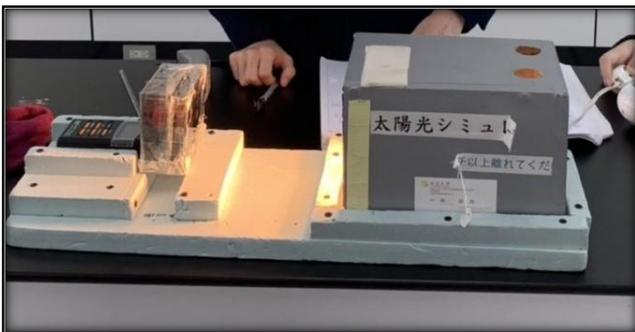


不等距的三片玻璃



(圖3-1)調製水比太白粉3:1膠體

原本，我們想在介質層內加入雙層玻璃實驗中測得隔熱效果最好的水比太白粉2:1膠體，但因水分少而造成膠體太過有黏性，難以填入玻璃之中，於是改採效果次佳的水比太白粉3:1膠體。



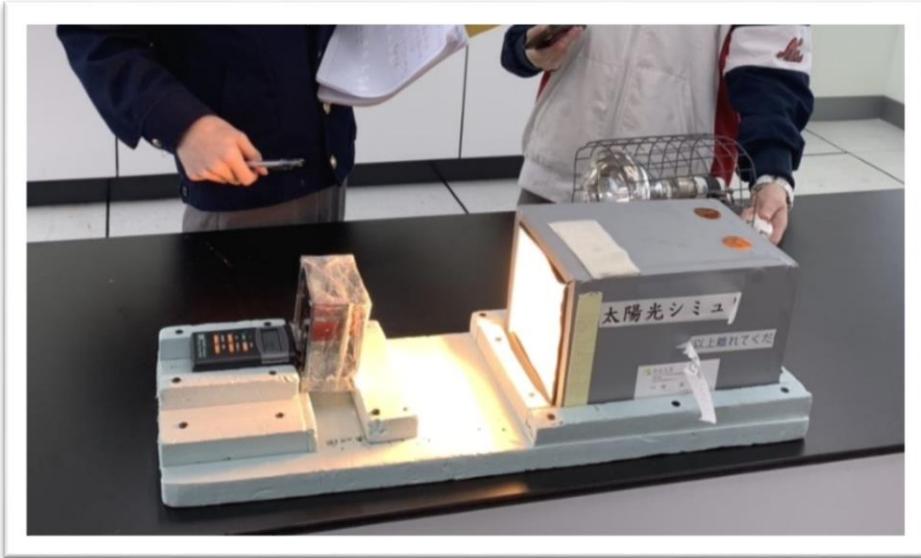
(圖3-2)進行實驗

以太陽能光測量儀、熱傳導測量儀、太陽能功率表進行實驗。因三片玻璃厚度太厚，無法以太陽能膜測量儀測量，故無紫外線、紅外線、透光率及太陽能總透射比之數據。



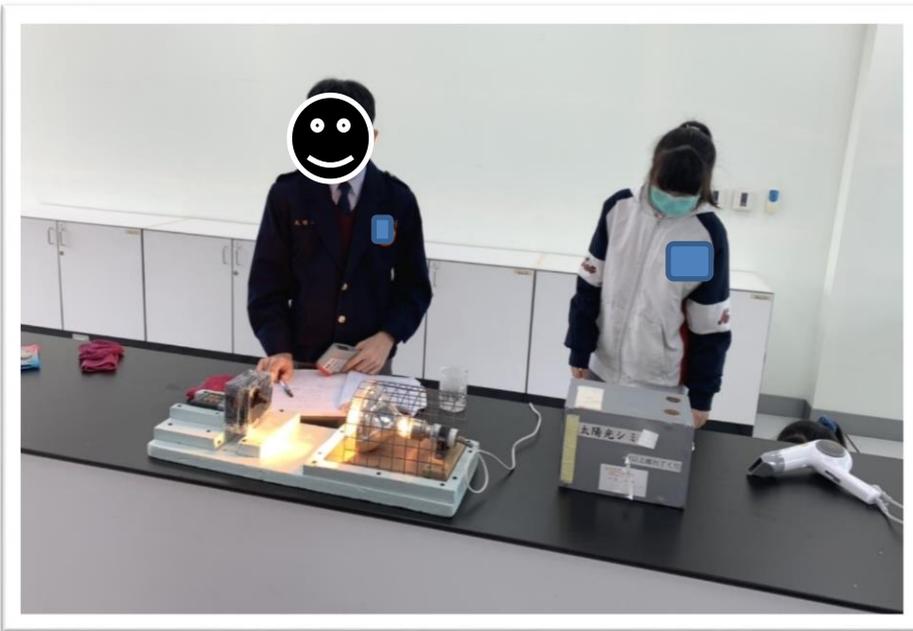
(圖3-3)測量溫度

在開啟熱傳導測量儀20秒後，測量玻璃面光面與背光面的溫度(T_H 、 T_C)。



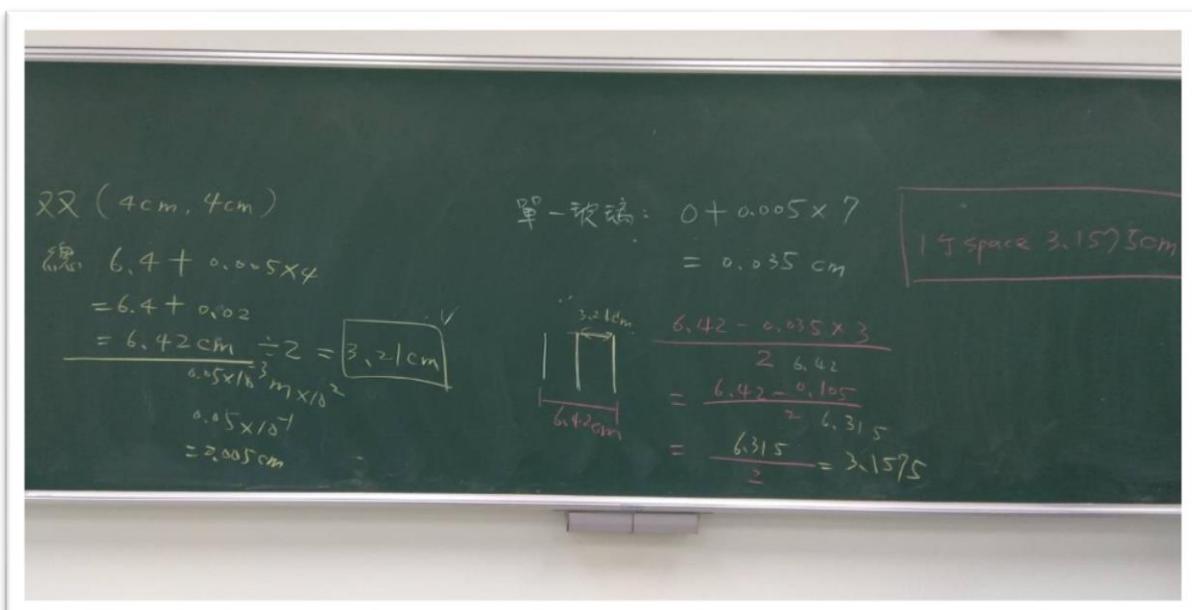
(圖3-4)熱導係數K

因為網路上並沒有太白粉膠體的熱導係數K，因此在此無法進行 P_{cond} 值計算。



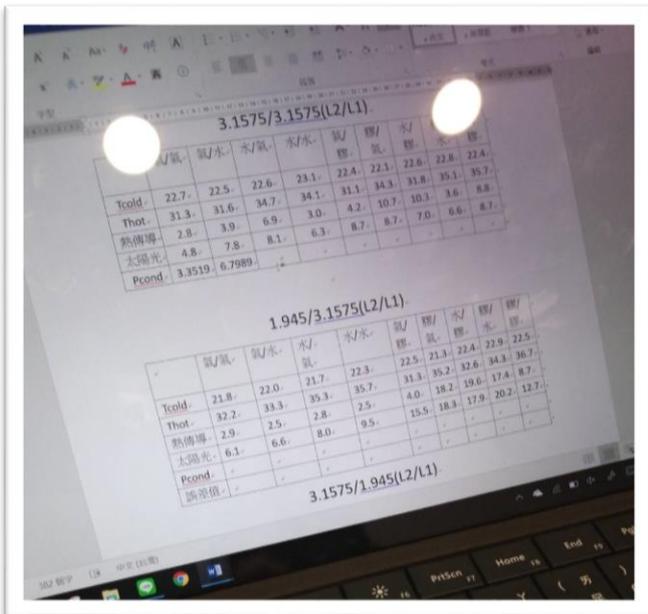
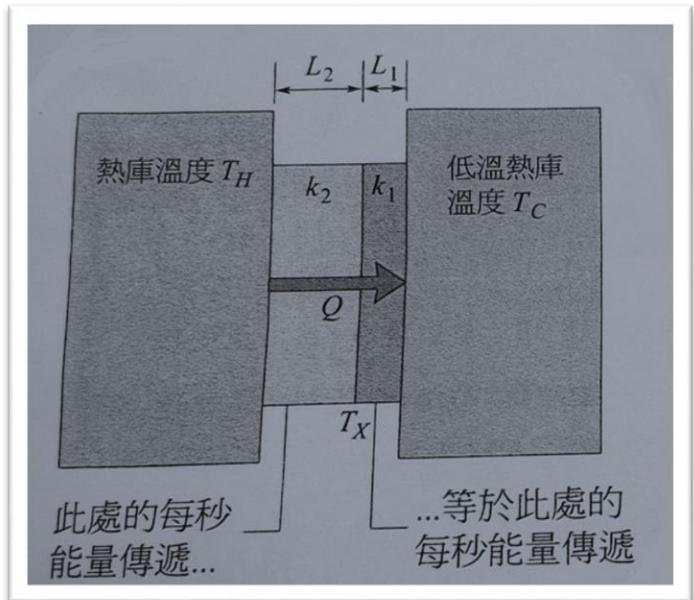
(圖3-5)計算誤差

得出 P_{cond} 值之後，套回公式，並算出誤差值。



(二) 實驗記錄與分析

物質	熱導係數 K
空氣	0.026
水	0.6

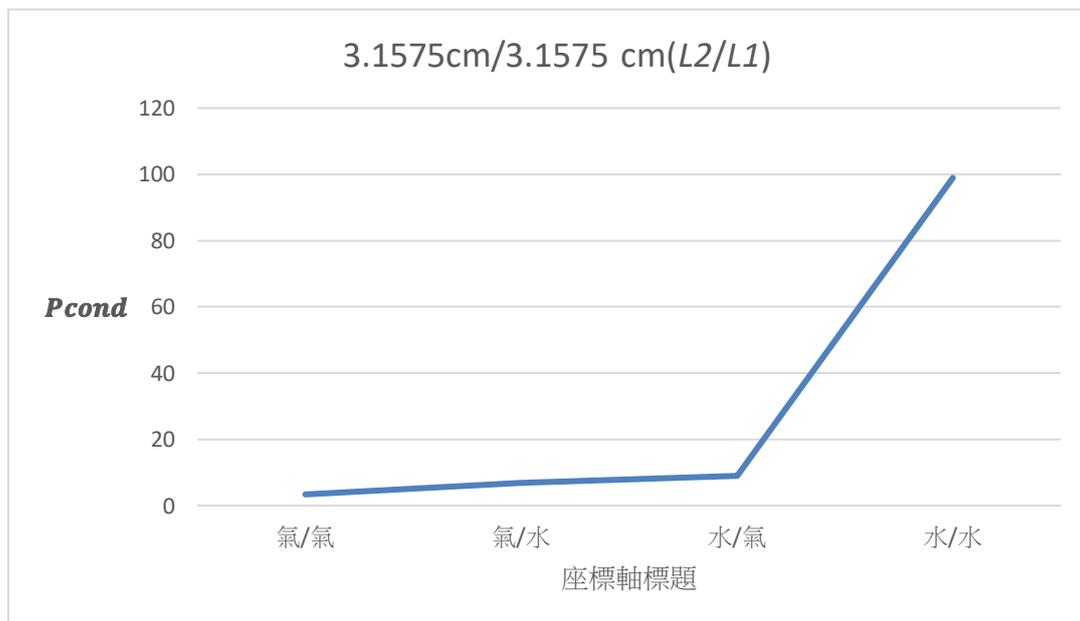


計算 P_{cond} 和誤差值，並記錄數據。

1. 3.1575cm/3.1575cm(L_2/L_1)

前後項目	氣/氣	氣/水	水/氣	水/水	氣/膠	膠/氣	水/膠	膠/水	膠/膠
T_{COLD}	22.7	22.5	22.6	23.1	22.4	22.1	22.6	22.8	22.4
T_{HOT}	31.3	31.6	34.7	34.1	31.1	34.3	31.8	35.1	35.7
熱傳導	2.8	3.9	6.9	3.0	4.2	10.7	10.3	3.6	8.8
太陽光	4.8	7.8	8.1	6.3	8.7	8.7	7.0	6.6	8.7
P_{cond}	3.3519	6.7989	9.0403	98.9380					

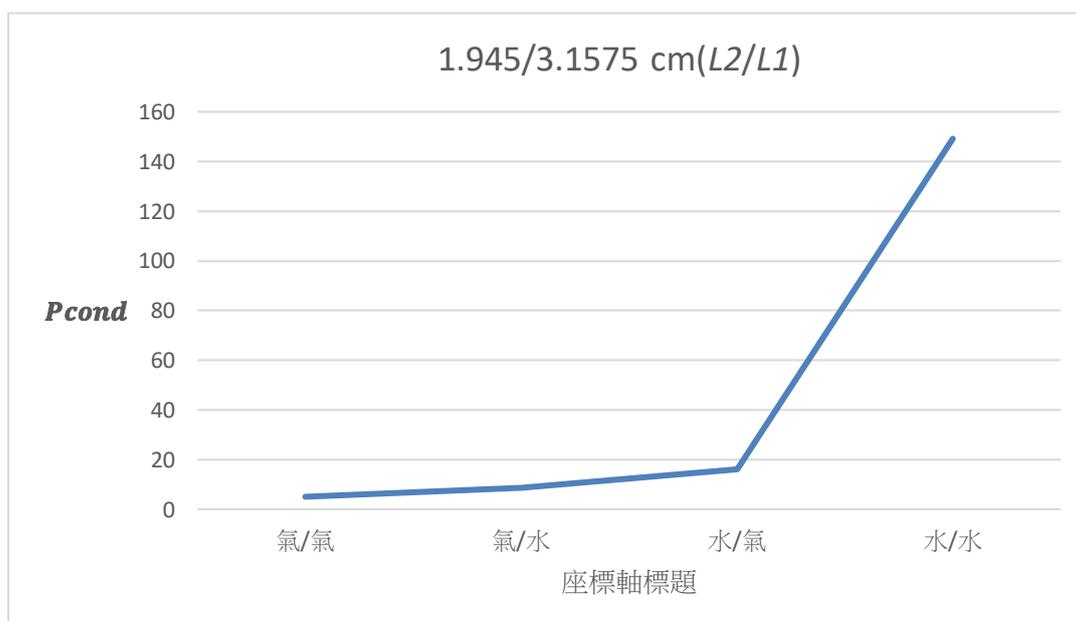
在間距固定的情況下，氣/氣模組的熱傳導及太陽光實驗數據皆最小， P_{cond} 值最低，代表單位時間通過的熱量最小，也就是隔熱效果最佳。



2. 1.945cm/3.1575cm(L_2/L_1)

前/後 項目	氣/氣	氣/水	水/氣	水/水	氣/膠	膠/氣	水/膠	膠/水	膠/膠
T_{COLD}	21.8	22.0	21.7	22.3	22.5	21.3	22.4	22.9	22.5
T_{HOT}	32.2	33.3	35.3	35.7	31.3	35.2	32.6	34.3	36.7
熱傳導	2.5	2.7	2.8	2.5	4.0	18.2	19.6	17.4	8.7
太陽光	6.1	6.6	8.0	9.5	15.5	18.3	17.9	20.2	12.7
P_{cond}	5.0167	8.5795	16.0791	149.1645					
誤差值	49.6674	26.1895	77.8602	50.7656					

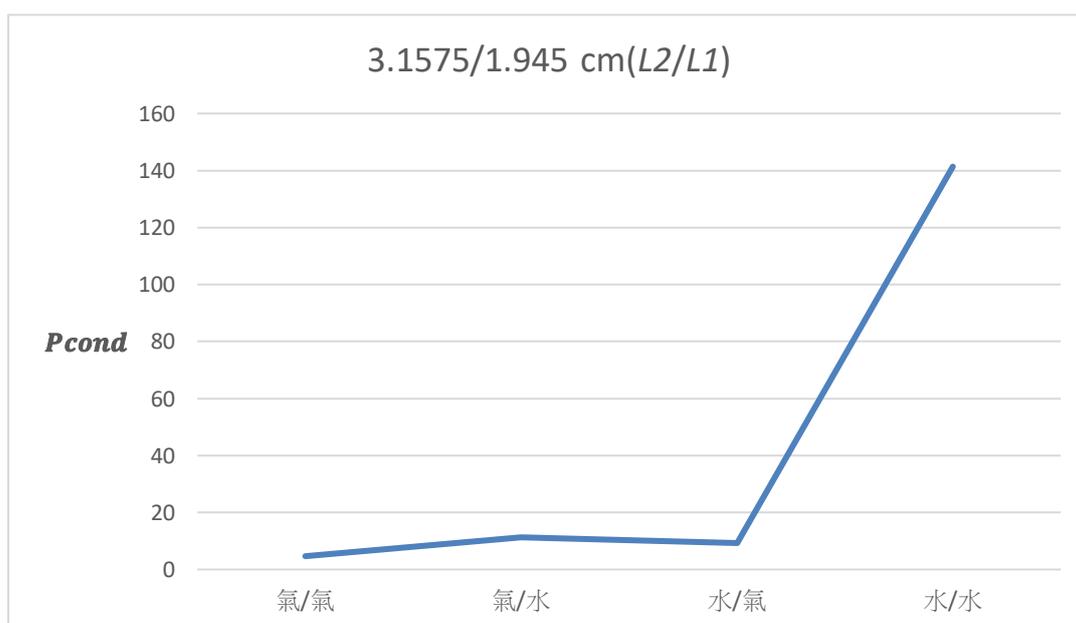
在不等距且間距前短後長的情況下，**氣/氣模組**的熱傳導及太陽光實驗數據皆最小， P_{cond} 值最低，代表單位時間通過的熱量最小，也就是隔熱效果最佳；誤差值最大的是水/氣模組。在此實驗中，誤差值較小的是氣/水模組，系統受熱較均勻、穩定。



3. 3.1575cm/1.945cm(L_2/L_1)

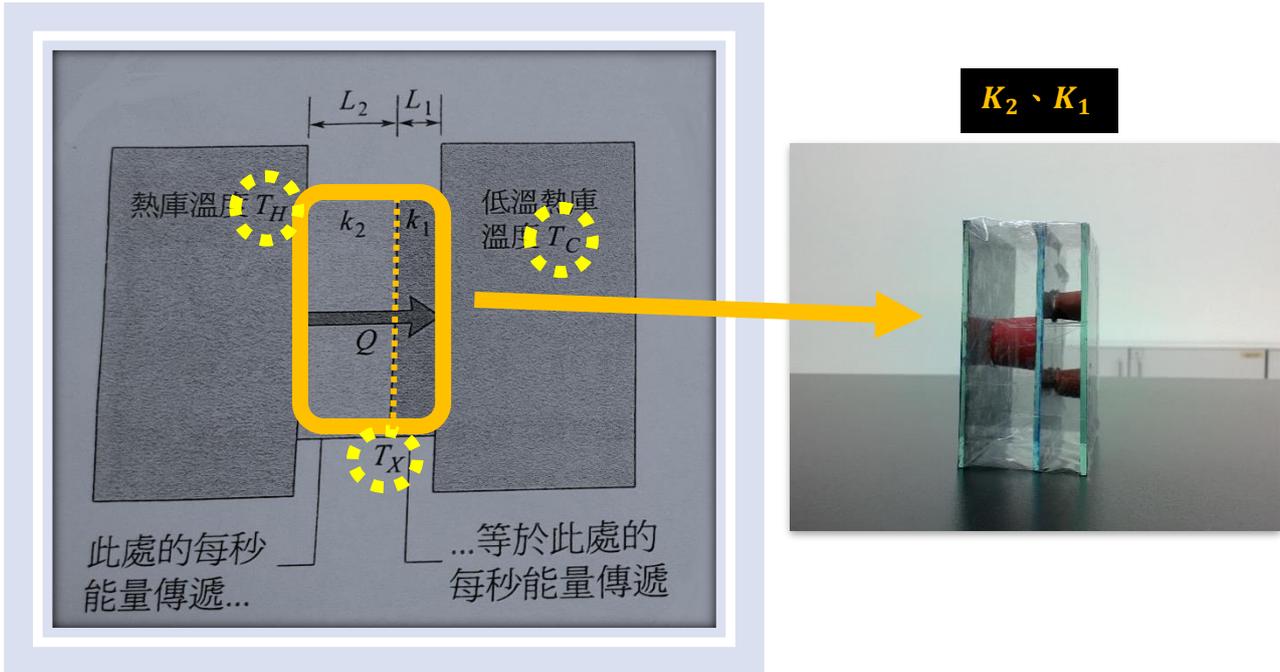
前後 項目	氣/氣	氣/水	水/氣	水/水	氣/膠	膠/氣	水/膠	膠/水	膠/膠
T_{COLD}	22.6	21.8	22.3	22.5	22.3	21.9	21.5	22.6	22.5
T_{HOT}	32.3	31.0	34.4	35.2	33.9	35.1	34.3	39.1	34.0
熱傳導	2.9	8.7	6.2	7.8	1.4	3.6	2.4	1.4	1.2
太陽光	6.1	6.5	9.0	10.1	1.8	5.5	3.0	1.8	1.8
P_{cond}	4.6790	11.2317	9.1869	141.3723					
誤差值	39.5925	65.1988	1.6216	42.8898					

在不等距且間距前長後短的情況下，**氣/氣模組**的熱傳導及太陽光實驗數據皆最小， P_{cond} 值最低，代表單位時間通過的熱量最小，也就是隔熱效果最佳。在此實驗中，誤差值最小的是水/氣模組，與其他有極顯著的差別，代表此系統極穩定、受熱非常均勻；誤差值最大的是氣/水模組；同時，此模組之熱傳導、太陽光實驗數據和 P_{cond} 皆低，也是可利用的模組。



(三) 熱絕緣原理

兩面的溫度分別保持在 T_H 、 T_C 兩面的面積均為 A 。現在我們要導出在穩態過程中，雙層板的熱傳導率。所謂穩態，就是在任何時刻，板子裡面各點的溫度以及熱傳導率均不隨時間改變。在穩態之下，雙層板中個點的熱傳導率必相同。這相當於這麼說，在一段時間內傳過一物質之能量，必等於同一段時間內傳過另一物質之能量。否則，雙層板中的溫度即不可能保持穩定。令兩不同質料平板界面之溫度為 T_X ，則可得到公式。



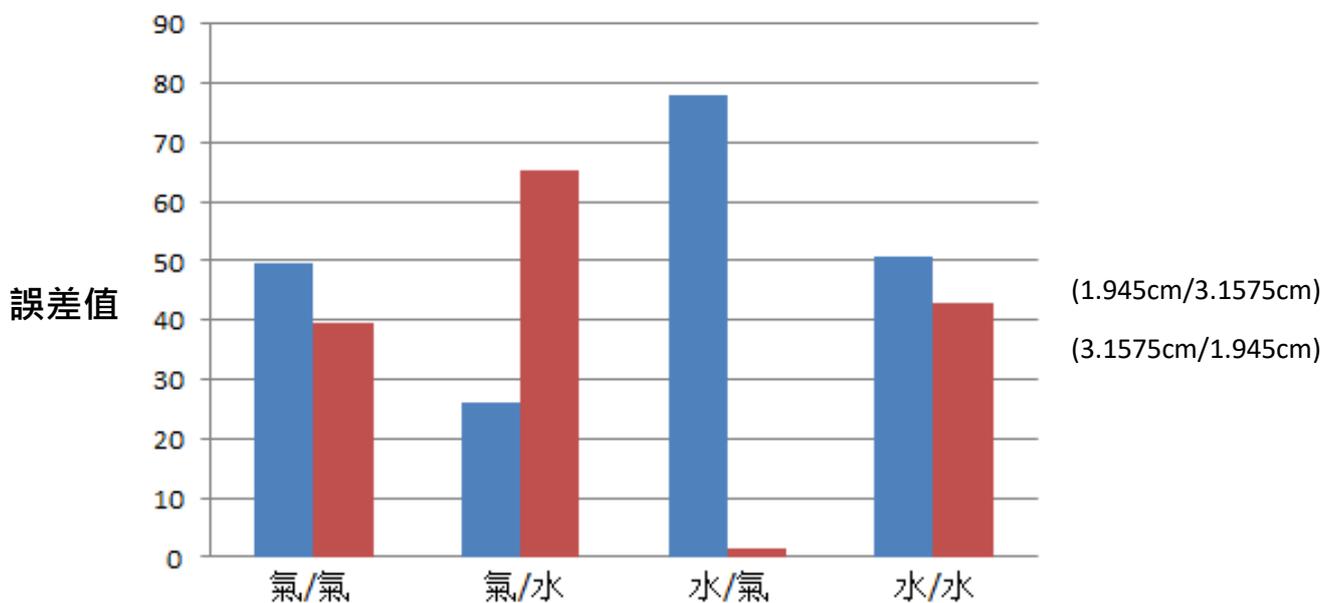
$$(1) P_{cond} = \frac{k_2 A (T_H - T_X)}{L_2} = \frac{k_1 A (T_H - T_C)}{L_1}$$

$$(2) T_X = \frac{k_1 L_2 T_C + k_2 L_1 T_H}{k_1 L_2 + k_2 L_1}$$

$$(3) P_{cond} = \frac{Q}{t} = KA \frac{T_H - T_C}{L}$$

(四) 研究結果

1. 由 P_{cond} ，熱傳導和太陽能實驗可得知，不論距離長短，氣/氣的隔熱效果皆最佳。
2. 三片玻璃和雙片玻璃實驗之最佳結果相反，前者在空氣的效果最好，後者則是最差，我們推測原因是介質層數越多，導致內部受熱不均勻，影響隔熱效能。
3. 由誤差值可得知，改變 L_1 、 L_2 有極大的影響，而等距(3.1575cm/3.1575cm)，效果最好。
4. 實驗中誤差值最小者，(1.945cm/3.1575cm)模組為氣/水，(3.1575cm/1.945cm)模組為水/氣，未來可測量其相關物理性質，必有很大的收穫。
5. 實驗中誤差值最大者，1.945cm/3.1575cm模組為水/氣，3.1575cm/1.945cm模組為氣/水，未來可測量其相關物理性質，必有很大的收穫。
6. 希望未來能找出膠體的熱導係數 K ，計算膠體的誤差值。
7. 誤差值越大者，系統受熱越不均，較不適合製造隔熱玻璃。反之，誤差小代表系統穩定，較適合用於生活。

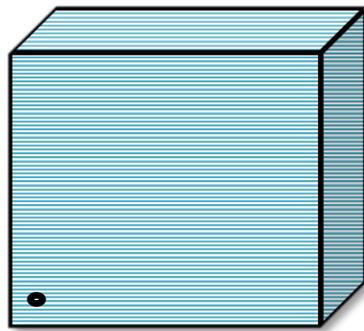


捌、結論

- 一、在隔熱紙的比較中，**含金屬的鏡面隔熱紙**明顯比**不含金屬的隔熱紙**效率差。
- 二、隔熱紙不論貼在正面還是反面，在紫外和紅外線阻隔幾乎沒有影響，對透光率及太陽能總透射比的影響比較大，不論是**哪種隔熱紙效果都是反>正**。
- 三、隔熱漆幾乎可以擋掉全部的熱能，但是因為它並不透明，所以如果在未來研發出透明的隔熱漆，便可以應用在生活上。
- 四、**雙片玻璃**(單層介質)的實驗中，隔熱效果是**太白粉膠體>水>空氣層**。其中，太白粉膠體的填充，水的比例愈高，隔熱效果愈差。
- 五、**三片玻璃**(雙層介質)的實驗中，兩層皆**空氣的模組**是隔熱效果最佳的，跟雙片玻璃(單層介質)的實驗結果相反，我們推測原因是**介質層數越多，導致受熱不均勻的緣故**。
- 六、因為網路上並沒有太白粉膠體的熱導係數 K ，因此無法推算誤差值，若成功測量出此數據，便可計算膠體的 P_{cond} 與誤差值。
- 七、三片玻璃實驗中，計算結果誤差值較大者，不適合製造隔熱玻璃。反之，**誤差小者系統較穩定**，可多多利用。

玖、未來展望

- 一、我們可以嘗試挖洞，因為理化課時，學過熱對流的概念，因此有這個想法，不過因技術問題無法進行。
- 二、我們想要在雙片玻璃、三片玻璃中填充氬氣(惰性氣體)、氧氣、聚合泡沫、玻璃纖維、液晶、保冷劑等隔熱佳之素材或抽真空。



挖洞示意圖

- 三、隔熱漆幾乎可以擋掉全部的熱能，如果以後研發出了透明的版本，就可以應用。
- 四、希望可以找到膠體的K值並測量其 P_{cond} ，完成實驗。
- 五、未來將量測誤差值最大之實驗模組的物理性質，進行實驗。
- 六、我們想嘗試將玻璃的熱導係數K也算進數據中。
- 七、希望可以更加精算 P_{cond} 值，以改善計算誤差的精準度。
- 八、因為先前測量雙片單層玻璃時不知有 P_{cond} 公式，所以未測量其 T_{COLD} 、 T_{HOT} ，未來將再測量並與三片雙層玻璃之 P_{cond} 值進行比較

壹拾、 參考資料

一、隔熱玻璃

1. <http://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?Unit=easylearn&id=1636>
2. <https://www.courcasa.com/p/0QRm>
3. <https://www.businessweekly.com.tw/article.aspx?id=9210&type=Blog>

二、隔熱紙、漆

4. <https://carnews.com/article/info/da2361ea-4b09-11e8-8ee2-42010af00004/>
5. <http://sum168nt168.pixnet.net/blog/post/99784-%E6%B1%BD%E8%BB%8A%E8%BF%8E%E5%A4%8F-%E6%95%99%E6%88%B0%E5%AE%88%E5%89%87%E7%AC%AC%E4%B8%89%E7%AB%A0-%E7%8E%BB%E7%92%83%E9%9A%94%E7%86%B1%E6%8E%AA%E6%96%BD>

三、熱導係數K

6. <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%86%B1%E5%B0%8E%E7%8E%87>
7. <https://baike.baidu.com/item/%E5%AF%BC%E7%83%AD%E7%B3%BB%E6%95%B0>