

# 中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 物理科

080115

傳熱密碼~追蹤液體中的熱軌跡

學校名稱： 新北市新店區北新國民小學

作者：  小六 吳昕澤  小六 甘詠心  小六 蔡之佑  小六 謝采璇	指導老師：  馬尚偉  郭永明
-------------------------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞： 熱傳導、熱對流、熱像儀

## 摘要

我們的實驗運用「酒精溫度計」、「電子液晶溫度計」及能以物體表面所發出的紅外線觀測物體溫度的「紅外線熱像儀」來觀察、探討，在熱源下方液體溫度到底是如何逐漸升高？經過實驗發現，這看不見、摸不得的「熱」，在容器中不僅僅只用「熱上升、冷下降」的對流作用升高液體的溫度，同時也能利用傳導、向下對流，甚至輻射等各種方式，在容器中前進傳遞，使液體逐漸變熱；我們藉由溫度計紀錄液體中垂直的、水平的、離熱源不同距離的溫度變化，以及經熱像儀、染劑和不同性質的油水等工具來觀察追蹤液體中的熱軌跡，拼湊出神奇的傳熱密碼。

## 壹、研究動機


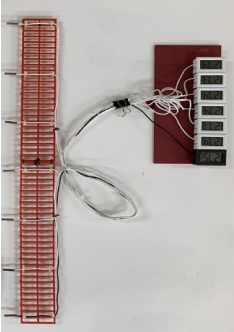


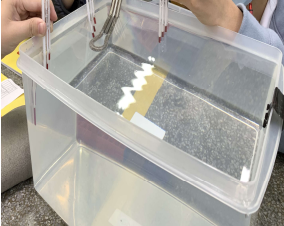
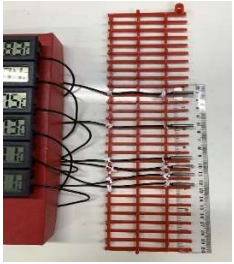

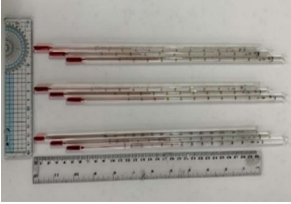

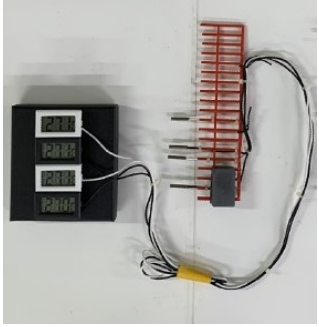

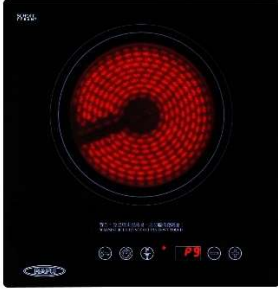
我們在六上的課程第二單元「熱的傳播」中，進行了許多有關「熱」對物質的產生影響的有趣實驗。例如：在「加熱鋁盒使蠟塊融化」的實驗，觀察到「熱」在固體中，能用「傳導」的方式，由近至遠、由高溫處往低溫處，不斷傳遞前進；在「煙粒和咖啡粉在空氣中、水中流動」等實驗，間接由煙粒和咖啡粉觀察到「熱」在液體和氣體中，能用「對流」的方式前進。

但我們也觀察到，安裝在房間上方的冷暖氣機在吹送暖風時，雖然似乎缺乏了「熱上升、冷下降」的空間條件，但最後整間房間似乎也都暖和了起來；那我們不禁猜想，若只加熱在水壺的上半部的水，下半部的水溫是否也會升高？若也會升高，上升的速度快或慢呢？而熱是以「熱對流」或是「熱傳導」、或其他方式傳遞熱量呢？為了解決這些有趣的問題，我們決定一起來找熱軌跡

## 貳、研究目的

- 一、觀察通電加熱的電湯匙下方的水，是否也會跟著升溫。
- 二、觀察在熱源上、下方不同垂直深度，溫度上升情況如何。
- 三、觀察距離熱源不同距離、不同深度，溫度上升情況如何。
- 四、觀察熱源下方 1 和 2 公分深的不同水平位置，溫度上升情況如何。
- 五、用紅外線熱像儀，由側方觀察水箱溫度上升的情況如何。
- 六、用紅外線熱像儀，由上方觀察水面溫度上升的情況如何。
- 七、以不斷釋放與水密度相近的染劑的方式，觀察熱源的上、中、下方，熱的前進和傳播現象。
- 八、觀察熱如何在不同性質分層的油、水中，前進和傳播。

## 參、研究材料與器具

研究材料	研究器具		
染劑	自製水平溫度計組	紅外線熱感應鏡頭	I-PAD mini
			
常溫自來水	自製垂直溫度計組 1	液晶溫度計	酒精溫度計
			
厚紙板	自製垂直溫度計組 2	1000W 電湯匙	電陶爐
			

## 肆、研究方法

- 一、因為我們對電湯匙下方的水能不能被加熱升溫感到好奇，於是我們運用上學期以溫度計測量熱源下水溫的方法進行**前導實驗**。將電湯匙安裝在水深 4 公分處，並在分別距離熱源 3、6、9 公分遠的地方，同時探測水下 2 公分(淺於熱源)、4 公分(和熱源等深)以及 6 公分處(深於熱源)的水溫，以確定熱源下方的水是否也會變熱，及後續的研究方向。
- 二、經過前導實驗後，我們發現電湯匙下方 2 公分處的水溫，也會隨著(一)離熱源的遠近(二)熱源的強弱，而有快、有慢的增加溫度；於是我們決定採用精度更高的液晶溫度計，繼續探討在不同垂直深度、距離熱源不同遠近的水溫度上升情形，並作為我們的**目標實驗一**。
- 三、因為前導實驗發現熱源下方兩公分內的水層溫度上升較明顯，我們將測溫點由垂直變更為在**熱源下每隔 8 公分、水平分布**的方式進行探測，探討電湯匙下方水平水層溫度的上升情形，看看熱量是否真由上往下逐漸傳導，而加溫下層的，並作為我們的**目標實驗二**。
- 四、運用能觀測紅外線的**熱像儀**，由側面和上方，由顏色變化來觀察水箱側面、水的表面溫度上升情形，並作為我們的**目標實驗三**。
- 五、為了使我們的探討研究能更完整，我們嘗試尋找和水密度相接近的**染劑**，分別在加溫熱源的上方、側邊和下方，穩定不斷的釋放，來改進我們在六上熱對流實驗中，麥片、芝麻等物質會浮於水面、沉到水底的缺點，更好的**觀察在熱源上、側、下方的熱傳播情形**，並作為我們的**目標實驗四**。
- 六、由於水能夠流動的特性，所以我們並無法在目標實驗一、目標實驗二中，確認熱源下的水溫升高過程，是否也有「熱傳導」的現象造成；所以我們在燒杯中加入油、水各半，再用電陶爐加熱。運用**油水分離、不易對流**的特性來觀察，下方的熱水如何讓上方的沙拉油加熱的情形，並由此推測，液體間可能產生的熱傳導的現象，並作為我們的**延伸實驗**。

研究動機：  
電湯匙下方的水會變熱？

前導實驗  
確認電湯匙下方的水會變熱

方法  
如何追蹤熱軌跡？

一、垂直觀察不同距離、  
深度的溫度變化

距熱源  
45公分

距熱源  
30公分

距熱源  
15公分

二、水平觀察熱源下不同  
位置的溫度變化

在熱源下  
2公分

在熱源下  
1公分

三、熱像儀觀察側方、上  
方的溫度變化

從側方觀察

從上方觀察

四、加染劑觀察熱的前進  
軌跡

熱源下方釋放

熱源側方釋放

熱源上方釋放

五、加熱分層油水觀察液  
體間熱傳導

加熱油水

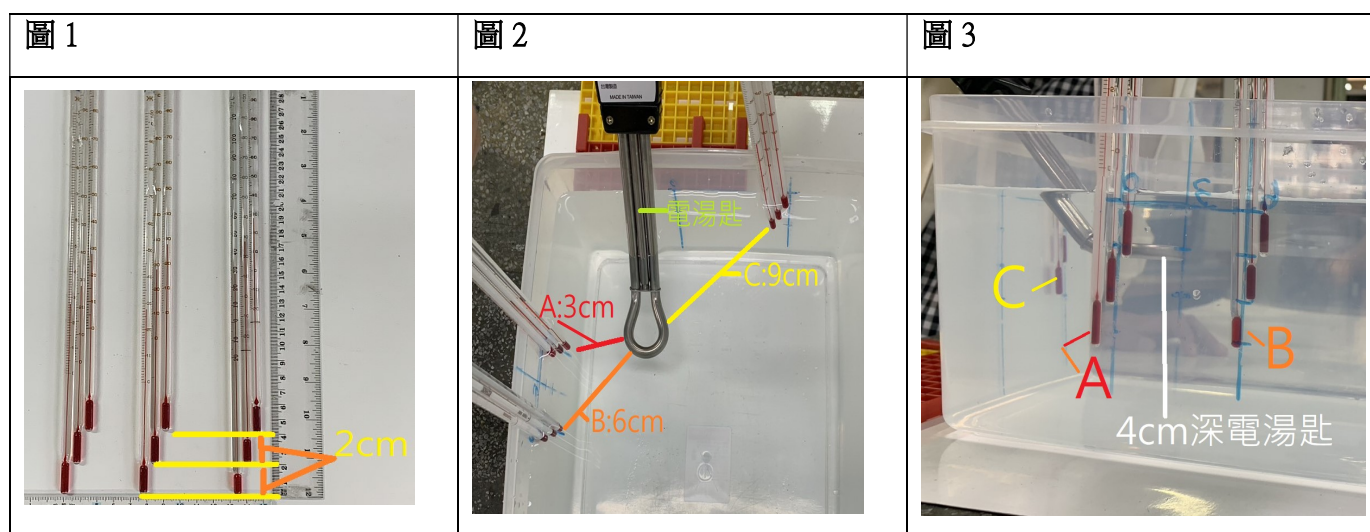
加熱油

加熱水

## 伍、研究過程和結果

### 一、【前導實驗】【觀察在熱源下方的水是否隨電湯匙通電後升溫】

- (一)實驗步驟：1. 將三根溫度計依各 2 公分高低差以膠帶固定組組合，能同時在不同位置，探測水面下深 2、4、6 公分深處的水溫，共製作三組(如圖 1)。
2. 由三位同學分別持於距電湯匙左 3 公分(測點 A)、左 6 公分(測點 B)、和右方 9 公分處(測點 C)就位(如圖 2)。
3. 固定電湯匙，最深處為水深 4 公分，各組準備好後通電加熱，每鐘報讀、紀錄三個測點的溫度(如圖 3)。。



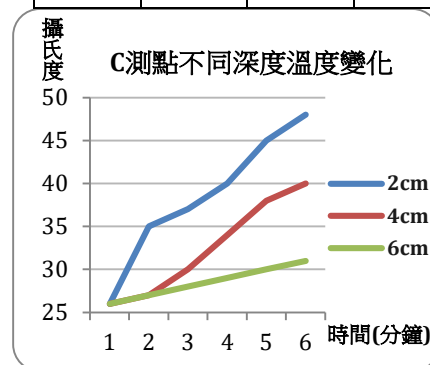
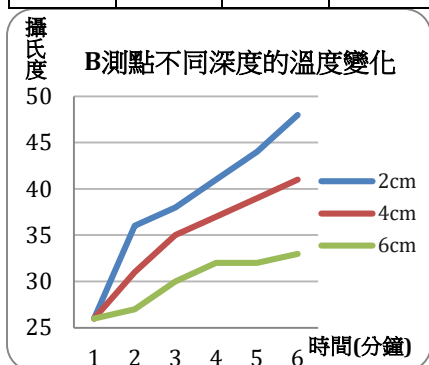
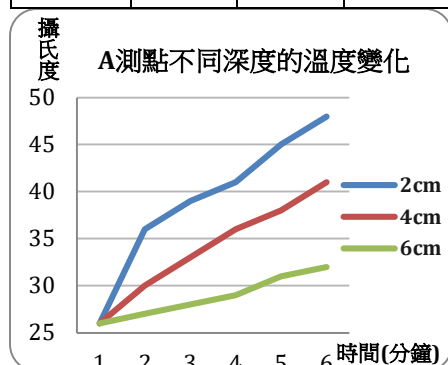
### (二)實驗結果及發現：

#### 1. 實驗數據：

時間 (分鐘)	測點 A 溫度(左 3cm)		
	2cm	4cm	6cm
0	26	26	26
1	36	30	27
2	39	33	28
3	41	36	29
4	45	38	31
5	48	41	32

時間 (分鐘)	測點 B 溫度(左 6cm)		
	2cm	4cm	6cm
0	26	26	26
1	36	31	27
2	38	35	30
3	41	37	32
4	44	39	32
5	48	41	33

時間 (分鐘)	測點 C 溫度(右 9cm)		
	2cm	4cm	6cm
0	26	26	26
1	35	27	27
2	37	30	28
3	40	34	29
4	45	38	30
5	48	40	31



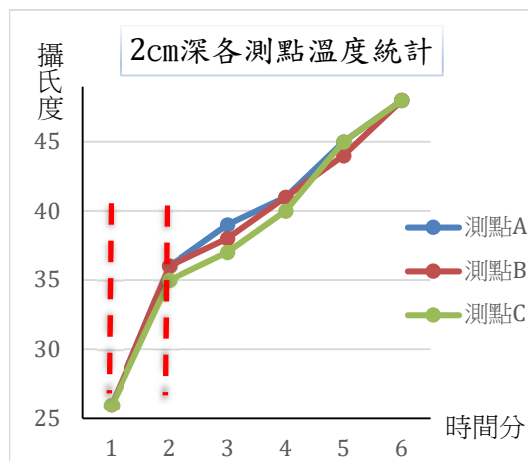
2. 發現：

(1) A、B、C 三個測點離熱源距離雖然不同，但在**水下 2 公分深度**測量，5 分鐘後溫度都上升到 48 度（如**測點溫度登記表 1**）；3 個測點上升的速度接近，且都在第一分鐘內上升最快（如**圖 1 紅色虛線區域**）；顯示在熱源 9 公分內，**熱在表層 2 公分深度內的前進速度很快**，使各測點上升的溫度和上升速度都很接近。

表 1. 測點溫度登記表

時間	2cm 深處各測點溫度統計(攝氏度)					
位置	0	1	2	3	4	5
測點 A	26	36	39	41	45	48
測點 B	26	36	38	41	44	48
測點 C	26	35	37	40	45	48

圖 1

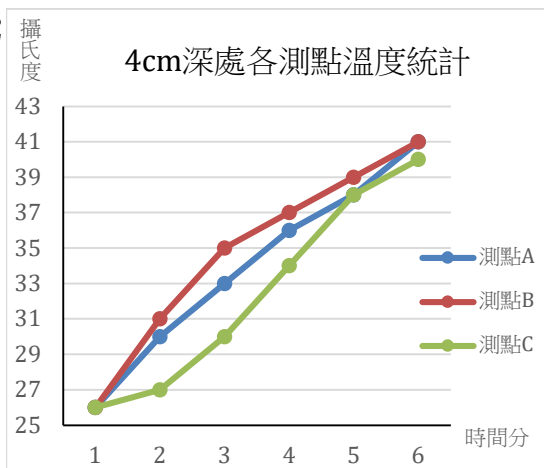


(2) 在**水下 4 公分處**(和熱源等深)測量，發現 A、B 個測點在 5 分鐘後都達到 41 度、較遠的 C 則到 40 度，表示**較遠處溫度較低**，如表 2。另外從**圖 2** 的藍色的溫度上升曲線可以看出來，在水下 4cm 處，**最近的 A 測點的曲線是直線上升**，這和較遠的 B 測點的先快後慢、**最遠的 C 測點先慢後快(溫度延遲上升)**的曲線都不一樣。

表 2

時間	4cm 深處各測點溫度統計(攝氏度)					
位置	0	1	2	3	4	5
測點 A	26	30	33	36	38	41
測點 B	26	31	35	37	39	41
測點 C	26	27	30	34	38	40

圖 2

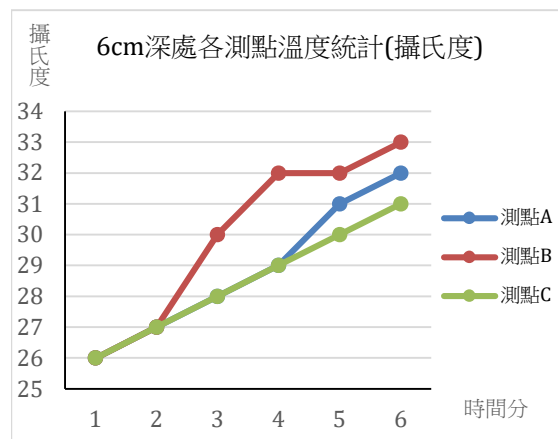


(3) 在比熱源低兩公分的水下 6 公分深處測量 5 分鐘後，A、B、C 等 3 個測點溫度分別是 32、33、31 度，明顯高於原本的水溫 26 度(如表 3)，表示熱源下的水也會被上方的熱源加溫，因此值得我們更深入的探究熱源下的水，到底是如何變得更熱的；而在 5 分鐘結束時，雖然三個測點上升的曲線都比 2cm、4cm 處平緩，但測點 B 的距離雖然比 A 遠，但溫度上升的曲線比 A 更陡峭(如圖 3 棕色曲線)，最後溫度也更高，表示熱可能不是直接由熱源向下傳導或流動的，需要進一步探討。

表 3

時間	6cm 深處各測點溫度統計(攝氏度)					
位置	0	1	2	3	4	5
測點 A	26	27	28	29	31	32
測點 B	26	27	30	32	32	33
測點 C	26	27	28	29	30	31

圖 3



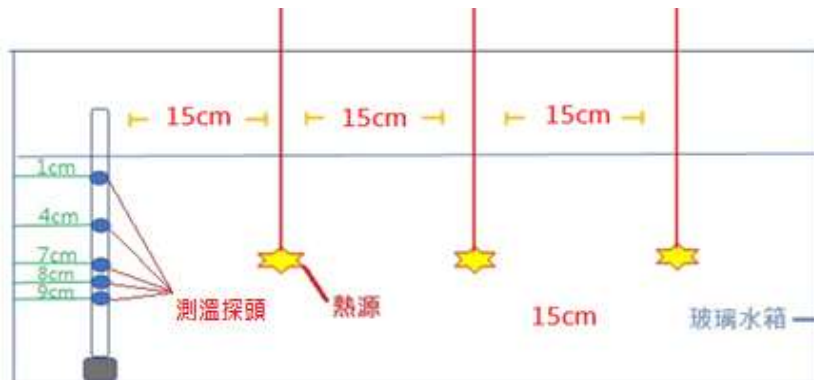
- (4) 可能因酒精溫度計人為判斷誤差較大，導致數據不夠精準，我們應找更精密的判讀溫度計。
- (5) 電湯匙無電源控制開關，應採用有個別電源插座開關、有較大電容量瓦數的延長線，以便更精確控制實驗時間
- (6) 考慮熱在水的上層前進速度快，而塑膠水盒尺寸較小，形狀較不規則，可更換更大的立方體水箱，操作進一步的實驗。



二、【目標實驗一】【在離熱源不同遠近垂直安裝液晶溫度計，觀察不同深度的水溫上升情況。】

(一)實驗步驟：

1. 將 5 個液晶溫度依序間隔 3/3/1/1 公分，並固定在架上，好用來測量水面下方深度 1/4/7/8/9 公分處的水溫。
2. 依序將熱源(電湯匙) 距離測溫點 15/30/45 公分處的 A、B、C 三個測點架設，熱源則安裝在水深 7 公分(和第三個測點等深)，分三次進行測量觀察。



(二)實驗結果及發現

1. 實驗數據：(距熱源 15cm)

(色塊出現表示測點開始升溫時間)

時間(分鐘)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫度(攝氏)											
1cm	26.4	36.4	37.6	40	42	43.6	45.5	46.6	47.9	49.3	50.8
4cm	26.4	26.4	26.6	29.7	32.7	35	36.9	39	40.8	42.4	44.1
7cm	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.5	26.6	27.1	27.8	28.7	29.8
8cm	26.4	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.6	26.6	26.8	27.1
9cm	26.4	26.4	26.5	26.4	26.4	26.4	26.5	26.5	26.5	26.5	26.6

(距熱源 30cm)

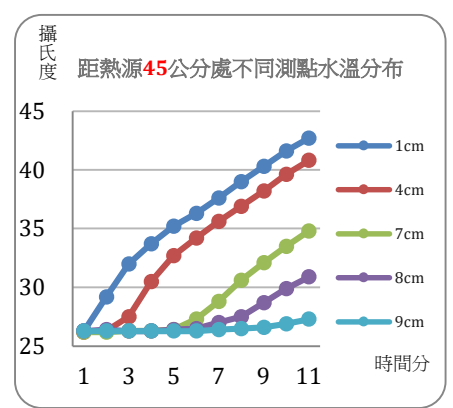
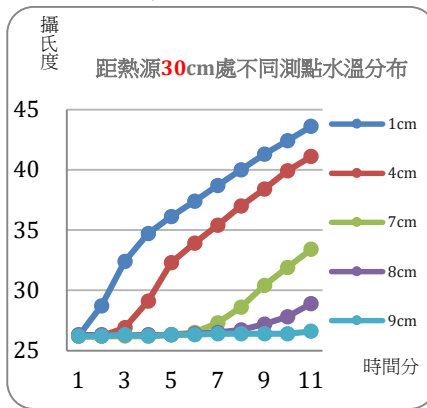
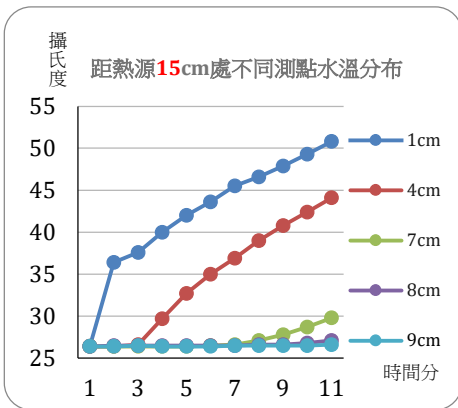
時間(分鐘)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫度(攝氏)											
1cm	26.2	28.7	32.4	34.7	36.1	37.4	38.7	40	41.3	42.4	43.6
4cm	26.2	26.2	26.9	29.1	32.3	33.9	35.4	37	38.4	39.9	41.1
7cm	26.2	26.2	26.2	26.2	26.3	26.5	27.3	28.6	30.4	31.9	33.4
8cm	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.4	26.5	26.7	27.2	27.8	28.9
9cm	26.2	26.2	26.3	26.2	26.3	26.3	26.4	26.4	26.4	26.4	26.6

(距熱源 45cm)

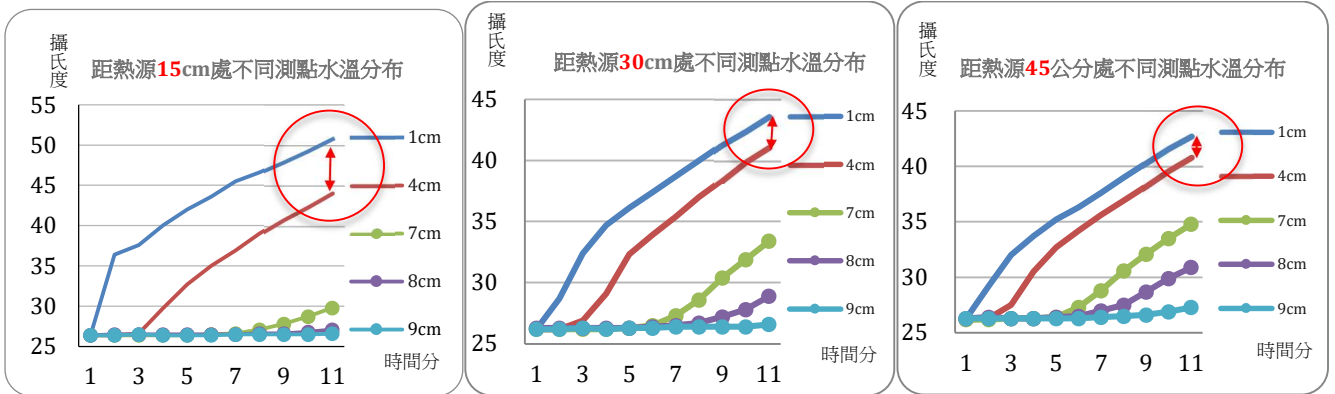
時間(分鐘)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫度(攝氏)											
1cm	26.3	29.2	32	33.7	35.2	36.3	37.6	39	40.3	41.6	42.7
4cm	26.2	26.3	27.5	30.5	32.7	34.2	35.6	36.9	38.2	39.6	40.8
7cm	26.2	26.2	26.3	26.3	26.4	27.3	28.8	30.6	32.1	33.5	34.8
8cm	26.3	26.4	26.3	26.3	26.4	26.5	27	27.5	28.7	29.9	30.9
9cm	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	26.4	26.5	26.6	26.9	27.3

2. 發現：

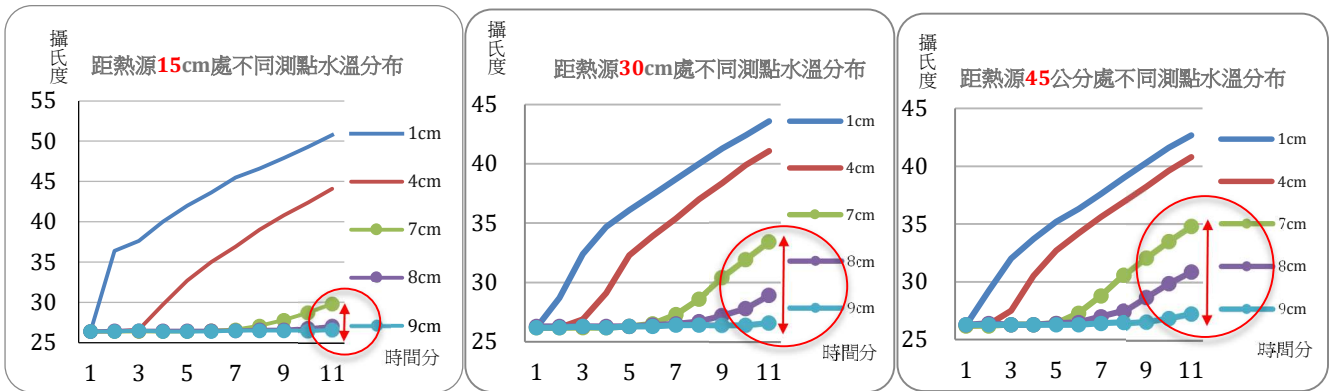
(1)當熱源分別被放置在距離測點組 15/30/45cm 的位置，並加熱 10 分鐘，我們發現無論測點組距離熱源遠近，越接近表面，測點的水溫越高，越深處越低，溫度依序都是 1cm>4cm>7cm>8cm>9cm (靛>褐>綠>紫>藍)，表示熱是由上層往下層前進。



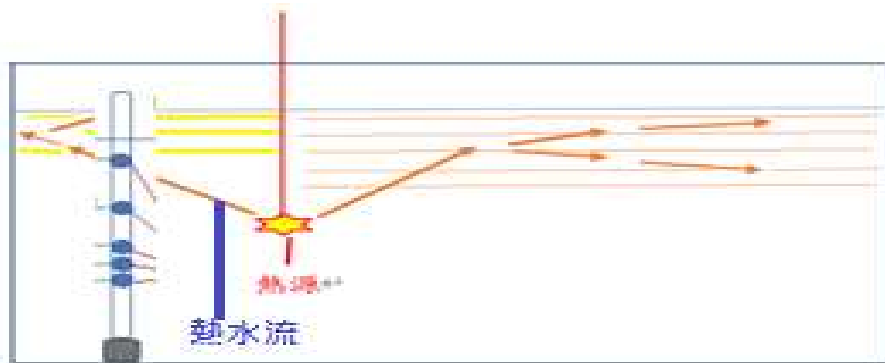
(2) 熱源距離測點組越遠，1cm 和 4cm 深的測點間溫度差異越小，而測點組離熱源越近，1cm 和 4cm 深的測點間溫度差異越大；表示熱由高溫往低溫處前進的過程中，1cm 和 4cm 公分間的水層也可能進行上下間熱的交換，造成熱前進的越遠，兩個水層間溫度差越小。



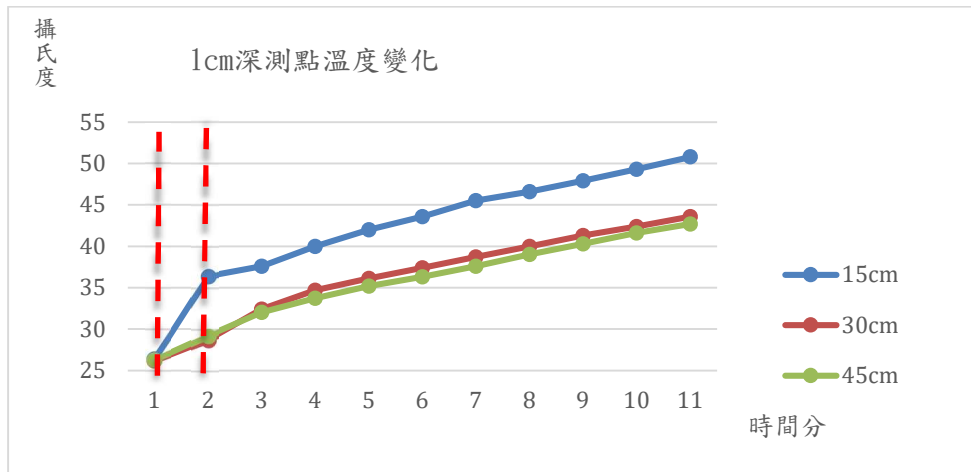
(3) 熱源距離測點組越近，7cm、8cm 和 9cm 深的測點間溫度差異會越小，溫度越低；而熱源離測點組越遠反而使深處的側點溫度較高、溫差越大(如不同測點水溫分布圖)。在低於熱源的深度，和在熱源上方的傳熱方式並不相同；我們推測可能的原因是，電熱棒形成的熱水是由水的下方開始，向前、向上的漂浮前進；所以當電熱棒和測點距離較近時，熱水流可能還來不及把前進方向從向上變成水平前，就撞到了水箱邊緣，向上、向水的表面前進，而難以到達 7/8/9cm 等較深的水層(如電湯匙熱流示意圖)。



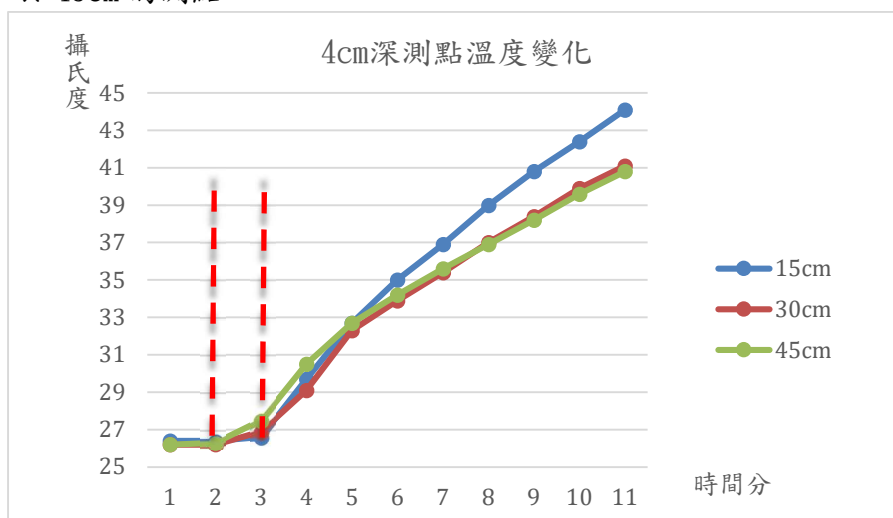
電湯匙熱流示意圖



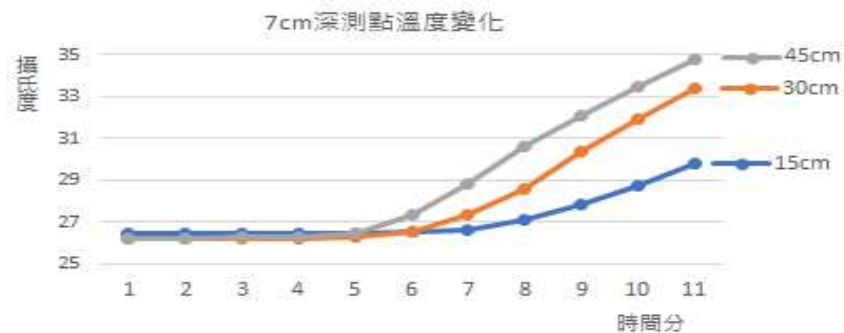
- (4) 將熱源分別從 15、30、45cm 外不同距離，加熱最淺層的 1cm 深的測溫點 10 分鐘  
發現：測溫點在第 1 分鐘溫度都明顯上升(如紅色虛線表示)；其中代表距離 15cm 的藍色線段上升最快；代表距離 30cm 的赭色線段上升坡度略高於綠色 45cm，兩者相當接近；我們認為熱除了在液體表面前進很快，1 分鐘內就能到 45cm 以上的距離外，而且在距離熱源近的地方，熱到達的「量」很多，能很快使測溫點的溫度升的很高；而熱前進到距離 30cm 的「量」只稍多於 45cm 測溫點的，可能因為受限容器大小使熱無法繼續向前傳遞，所以兩者差異不大，線段上升的坡度也很接近。



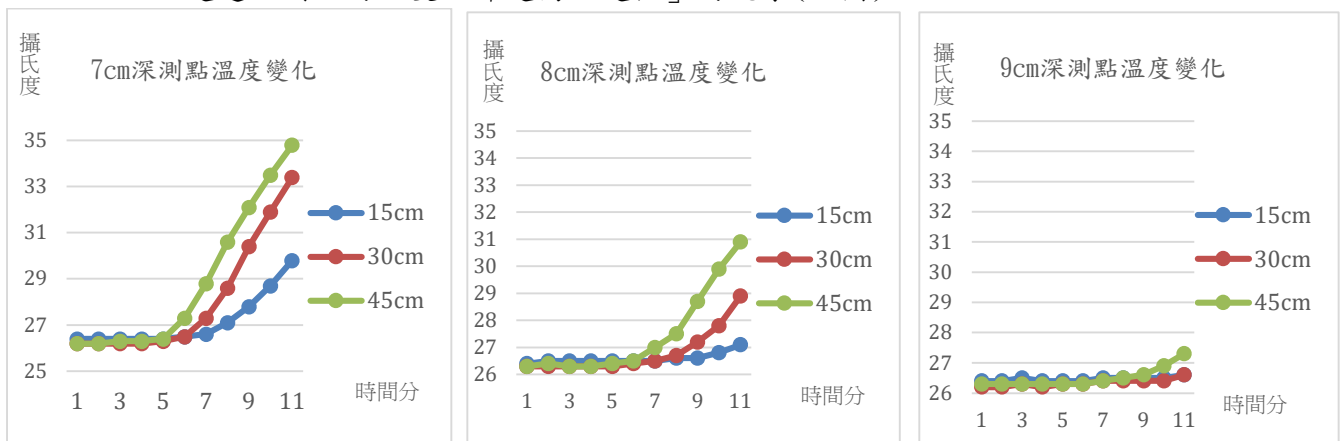
- (5) 將熱源分別從 15、30、45cm 外不同距離，加熱 4cm 深的第 2 個測溫點 10 分鐘  
發現：無論哪種距離，測溫點在第 1 分鐘內溫度都沒有改變，且都在第 2 分鐘開始明顯上升(如紅色虛線表示)；我們認為熱往下前進的速度遠遠比水平方向的前進速度慢，所以熱往下到 4cm 深的測點至少要花 1 分鐘；而當熱到了 4 公分深的位置，無論熱源距離測點 15、30 或 45cm，測點的溫度都在接近的時間開始上升；從溫度上升的曲線看，藍色的 15cm 線上升坡度仍比 30、45cm 的陡峭，表示 4cm 深處，從熱源到達距離最近的 15cm 測溫點熱的「量」仍多過 30 和 45cm，但差異比 1cm 深少，而測點距離熱源 30 和 45cm，溫度上升的線段相當接近，30cm 只微微高於 45cm 的測點。



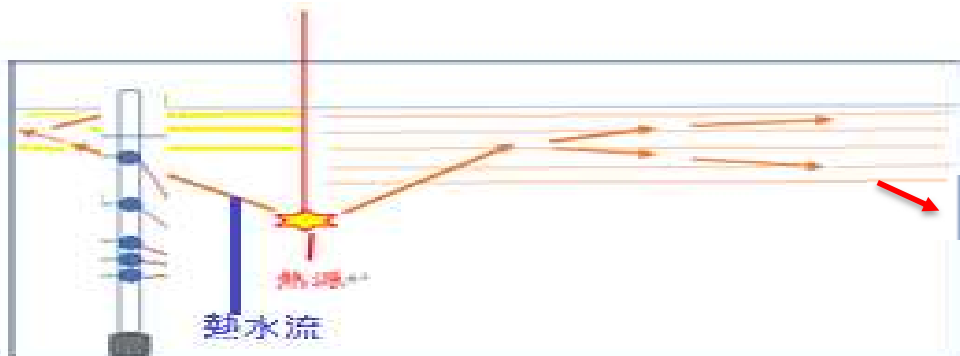
(6)當我們將熱源分別從 15、30、45cm 外的不同距離，加熱 7cm 深的 3 個測溫點 10 分鐘，我們發現在 7cm 深的測點，距離熱源 45cm 時，溫度上升最快、最高，而距離熱源 15cm，溫度上升卻最低也最慢；可以推測在 7cm 深的第三個測點，可能因為和熱源深度相同，難以產生熱向上對流的效果，而有不同於熱向上對流的傳播方式(如圖)。



而比較 8cm 和 9cm 深度的測點，也發現「在熱難以向上對流的深度，距離熱源距離越遠，測點的溫度上升越高也越快」的現象(如圖)。



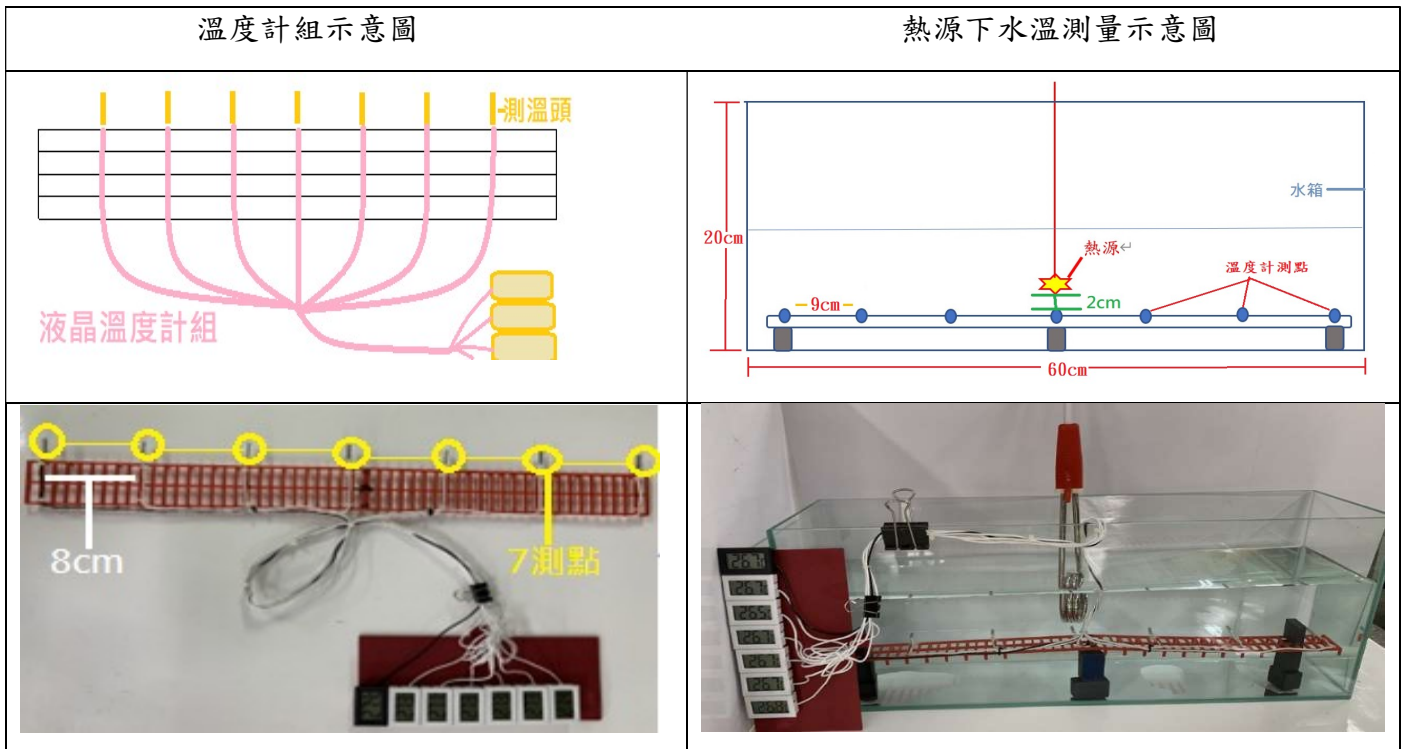
我們推測這種反常的現象，可能是因為在熱源下方的液體，溫度能升高主要依賴液體受熱體積膨脹後，向上漂浮移動，再受距離周圍容器遠近距離影響，產生各種具有速度、方向的「主動對流」，而最後由其中向下的主動對流，一層一層，向下加熱液體；而在熱源距離測點 15cm 測量時，熱源距離測點方向的水缸壁較近，空間較小，造成受熱上升到表面的熱水往反方向前進，不易加熱 A 測點下方的水；而熱源距離測點 45cm 測量時，熱源往測點方向的空間較大，熱在表面流動前進較快，比較容易產生向下平行、較快的「主動」對流，加熱深處的水溫。



三、【目標實驗二】【在熱源下方 1 及 2cm 深，水平安裝距熱源不同遠近的液晶溫度計，觀察水溫上升情況如何。】

(一)實驗步驟：

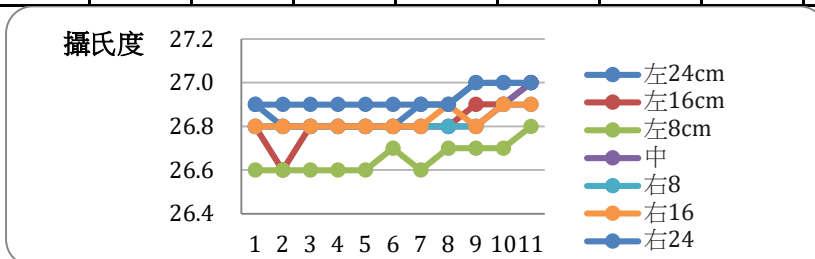
1. 將 7 個液晶溫度計間隔 8 公分，水平裝置在固定架上成為溫度計組。
2. 將溫度計組分別安裝在低於電湯匙 1 和 2 公分深的水中；通電後觀察各測點溫度變化，每分鐘登記一次。



(二)實驗結果及發現：

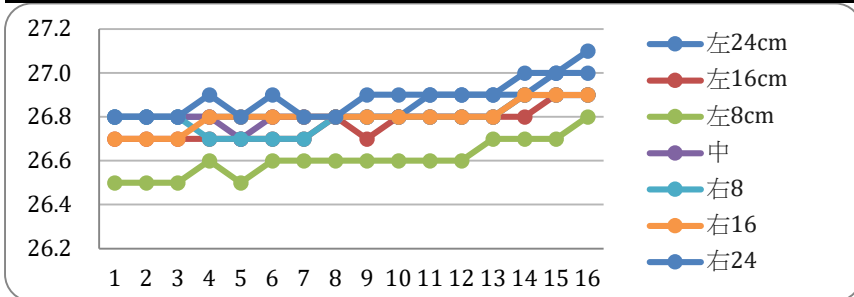
1. 實驗數據：(1)水平熱源下 1 公分：

水平下 1cm 時間(分鐘)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
左 24cm	26.9	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9	27.0	27.0	27.0
左 16cm	26.8	26.6	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9	27.0
左 8cm	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.7	26.6	26.7	26.7	26.7	26.8
中	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	27.0
右 8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9
右 16	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.8	26.9	26.9
右 24	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	27.0	27.0	27.0



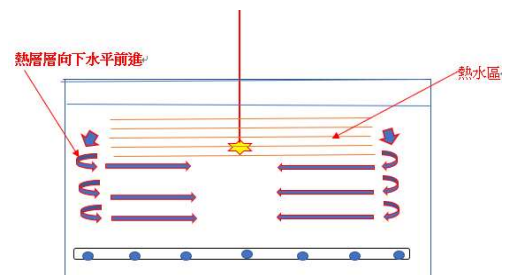
(2)水平熱源下 2 公分：

時間(分鐘)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
測點溫度(攝氏)																
左 24cm	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9	26.9	26.9	27.0	27.1
左 16cm	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.8	26.7	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9
左 8cm	26.5	26.5	26.5	26.6	26.5	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.7	26.7	26.7	26.8
中	26.8	26.8	26.8	26.8	26.7	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9	26.9
右 8	26.8	26.8	26.8	26.7	26.7	26.7	26.7	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9	26.9
右 16	26.7	26.7	26.7	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9	26.9
右 24	26.8	26.8	26.8	26.9	26.8	26.9	26.8	26.8	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	27.0	27.0	27.0



2. 發現：

- (1) 觀察低於熱源 1 公分的各個水平測點溫度變化發現，距離熱源最遠的左 24cm、左 16cm、右 24cm 及中央的測點溫度最高，表示熱源下 1 公分水平深處，兩側距熱源最遠處和熱源正下方的液體溫度較高，而位於中央和兩側中間的區域溫度較低。
- (2) 觀察低於熱源 2 公分的各個水平測點溫度變化發現，距離熱源最遠兩端的左 24cm、右 24cm 的 2 個測點溫度最高，而中央區域的測點溫度較低。
- (3) 我們推測，可能在低於熱源的水層，熱量是由遠處較熱的水將熱傳向中央；而較遠處水的熱量，則有可能是部分表面高溫的水向外向下流動後所帶來的；也就表示在低於熱源的位置，因為靠近容器內側部分熱水向下的「主動對流」，產生水平的、由外向內的熱前進流動，造成低於熱源 2 公分的各個水平測點溫度，兩端較高、熱源下方較低的情況。
- (4) 低於熱源 1 公分的正下方測點，可能因為距離熱源太近、受到熱源「熱傳導」作用的影響，發生兩端和中央的溫度都較高的情形。



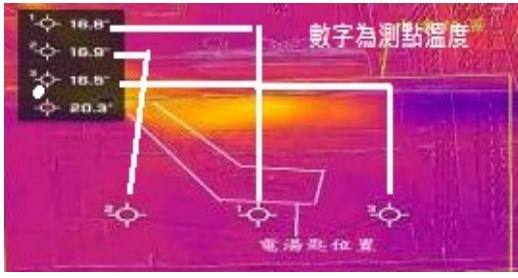
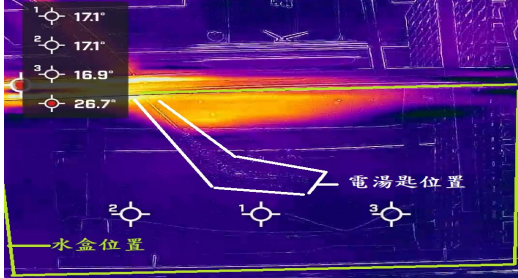
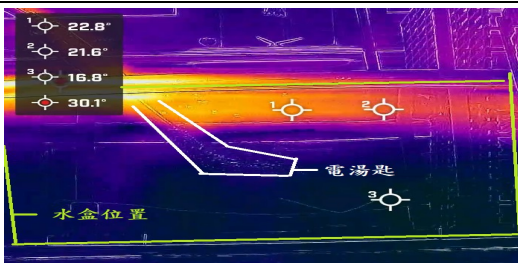
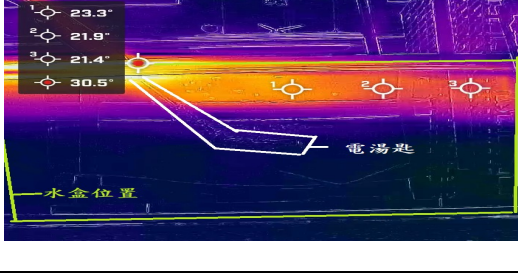
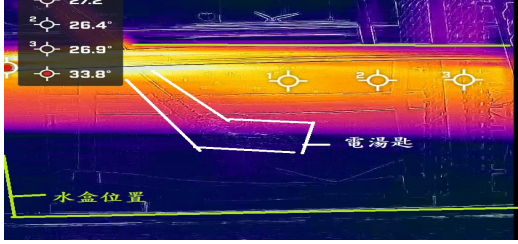
四、【目標實驗三】【運用紅外線熱像儀，觀察水面溫度上升的情況如何。】

(一)實驗步驟：

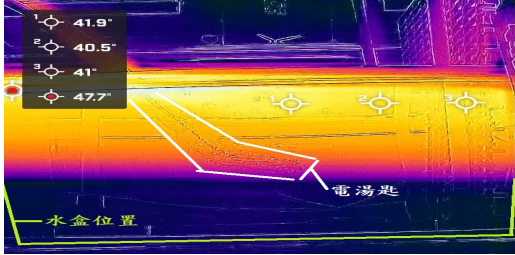
1. 加溫電湯匙
2. 將熱像儀由上方及側面分別拍攝代表性階段影像，用紅外線來觀察溫度的變化和熱軌跡。

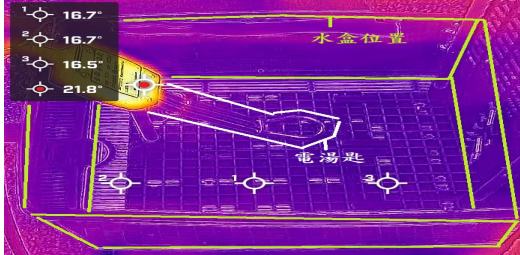
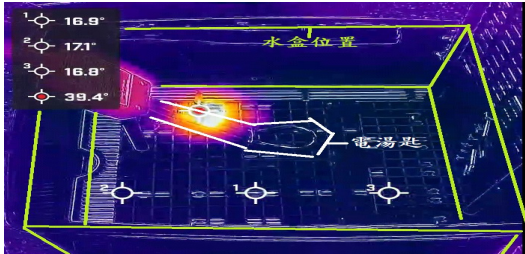
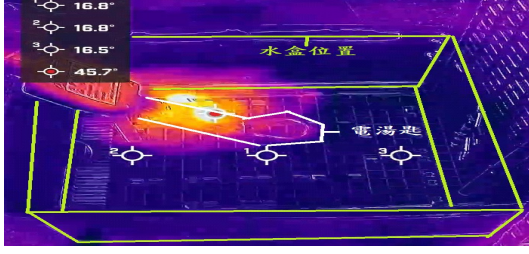
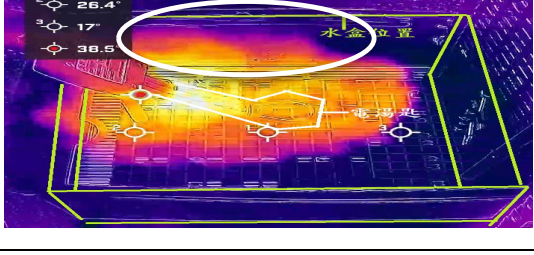
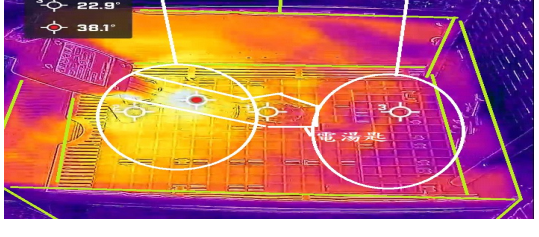
(二)實驗結果及發現：

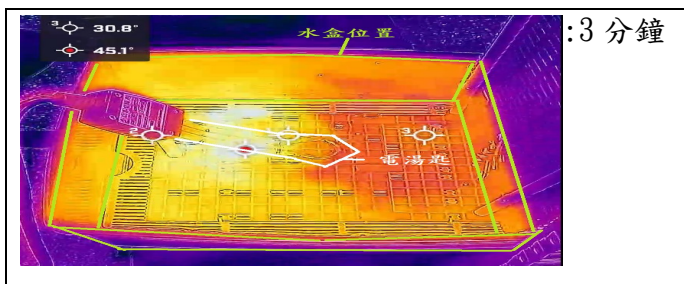
1. 實驗影像：

側面紅外線影像	觀察所見
 <p>:3 秒</p>	<p>電湯匙剛通電時，與周圍環境溫差小，環境色溫較高；電湯匙的熱使湯匙上方水漸漸升溫。</p>
 <p>:5 秒</p>	<p>電湯匙金屬棒上半部的周圍產生一個漏斗形狀的熱水區；上方熱水範圍變大，水溫繼續升高使得周圍背景色溫顯得更暗了。</p>
 <p>:10 秒</p>	<p>湯匙左側的熱水層較淺、較薄，但是顏色較亮；湯匙右側熱水層熱水範圍較大較厚，但顏色較暗。</p>
 <p>: 30 秒</p>	<p>熱水層繼續向下變厚，但電湯匙左側水層仍較薄、較亮，右側的熱水層較暗但較厚，產生熱水層底部微微向右傾斜、厚薄不一的情形。</p>
 <p>:1 分鐘</p>	<p>熱水層表層都變亮黃，熱水層也變得更厚，已到達和電湯匙一樣深的 7cm。</p>



 <p>:3 分鐘</p>	<p>熱水層表面呈現更亮的黃色；熱水層從水下 7cm 深的電湯匙底部，到達電湯匙下方約 2cm 的地方所花費的時間，比從表面到達和電湯匙一樣 7cm 深，需要花更久的時間。</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------

上方紅外線影像	觀察所見
 <p>:1 秒</p>	<p>電湯匙剛通電時，金屬棒與周圍環境溫度一致，色溫相同，只有電線基座部分顯示出相對的高溫；</p>
 <p>:3 秒</p>	<p>電湯匙的熱使湯匙上方水漸漸升溫，形成一個亮黃色的光球，周圍形狀會不規則的向外擴大。</p>
 <p>:5 秒</p>	<p>亮黃色的光球繼續慢慢不規則的向外擴大，光球外圍呈現淡紫色，速度較快的往四周不規則擴散，看起來像團會向外移動擴大的雲霧。</p>
 <p>:10 秒</p>	<p>亮黃光球和紫色雲霧不斷渲染、擴大，連水盆壁也呈現橘色和紫色。</p>
 <p>:1 分鐘</p>	<p>整個水盆表面都呈現亮黃、橘或紫色；電湯匙左側區域表面顏色較亮，右側區域顏色較暗。</p>

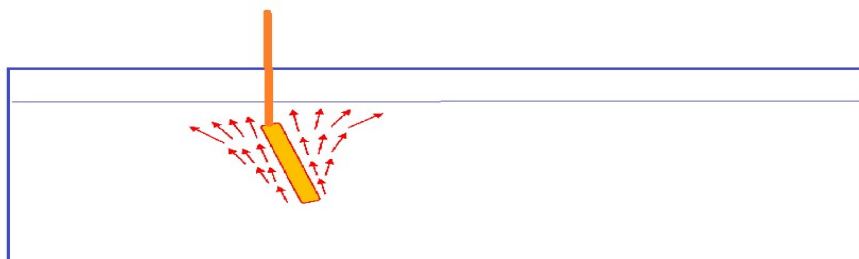


電湯匙繼續加熱後，水盆表面色溫對比變化已大致相似，而且仍然維持左半區較亮、右半區較亮的兩區情形。

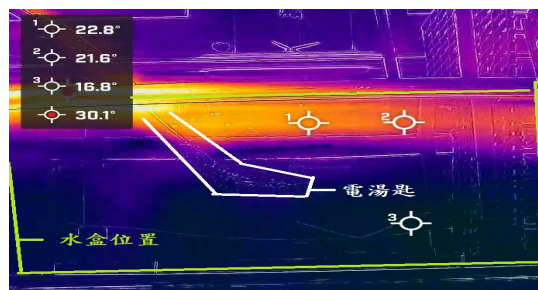
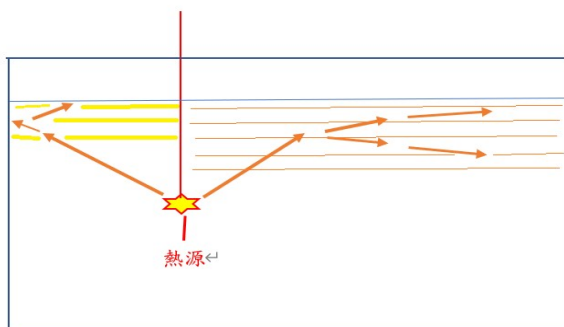
2 發現：紅外線熱像顯示顏色為相對溫差（高溫 ← 亮黃 ← 橘 → 暗紫 → 黑 → 低溫）

(1) 從側面觀察：

- ① 電湯匙金屬棒上半部的周圍產生了一個漏斗形狀的熱水區，可能是因為加熱後的金屬棒將熱用傳導的方式加溫周圍的水；水受熱後體積快速膨脹；上浮到表面的過程中不斷向上向外推擠，而大量熱水上浮推擠，在表面把熱向四周擴散傳布出去，因此形成了漏斗狀的亮黃色熱水區。



- ② 湯匙左側的熱水層較淺、較薄，顏色較亮，表示左側的水層的熱積聚在上層，溫度高、厚度薄；湯匙右側熱水層較厚、顏色較暗，表示熱可能平均分布在較厚的水層中；我們推測可能因為電湯匙離左側水盆較近，熱從漏斗底部向左上方流動以較大角度撞到水盆，產生向上反彈反射流動的現象，造成熱積聚於表面的情況；而向右上側流動的熱水，能漸漸水平向右、向下傳送熱，使右側的熱水層較厚、熱的分布也較平均，顯現比較暗的顏色；我們在目標實驗 3 中從觀察水盆側面的紅外線影像，也可以支持這樣的推測。



- ③ 熱水層從水下 7cm 到 9cm 所花的時間，遠遠多於從表面到水下 7cm 所花費的時間，我們認為是因為熱源下方的水難以用熱上升冷下降的方式升高溫度，可能是靠上層熱水推擠碰撞而產生部分向下的熱水流升高溫度，屬於一種來自外力的「主動對流」，我們可以從【目標實驗二】【在熱源下方 1 及 2cm 深，水平安裝距熱源不同遠近的液晶溫度計】實驗結果——低於熱源兩公分水平的水層，兩端測點溫度高於熱源下方測點得到佐證。

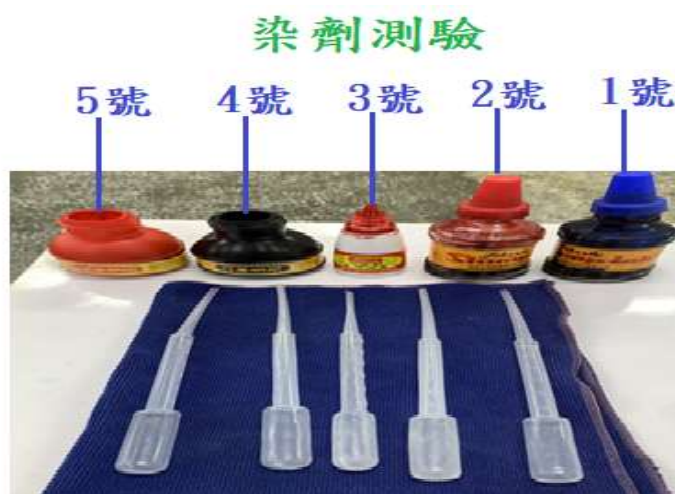
(2)從上方觀察：

- ① 電湯匙剛通電後瞬間形成光球，周圍水溫上升速度很快；我們推測周圍水溫上升如此快的原因，可能一方面因為水受電湯匙加熱後體積快速膨脹，密度變小上浮而大量積聚在表面，而向周圍快速擴散外，也可能因為液體中熱的傳播，不但有對流現象，也有傳導和輻射作用。
- ② 熱在液體表面、平面的流動，是如同影像中不規則、渲染狀的，像團部段流動的雲霧的傳送出去，而不是同心圓、直線性、規則的傳佈方式；我們認為水跟空氣一樣是流體，在被加熱後會不斷膨脹體積、彼此碰撞、遇冷縮小、遇熱膨脹、彼此碰撞……一系列不規則的變化，造成熱在水中的前進雖有大致的方向性(高溫往低溫處)，但也因這些不同的變化，熱在液體中會像雲霧、墨水一般，用渲染的、不規則的方式往低溫處前進。

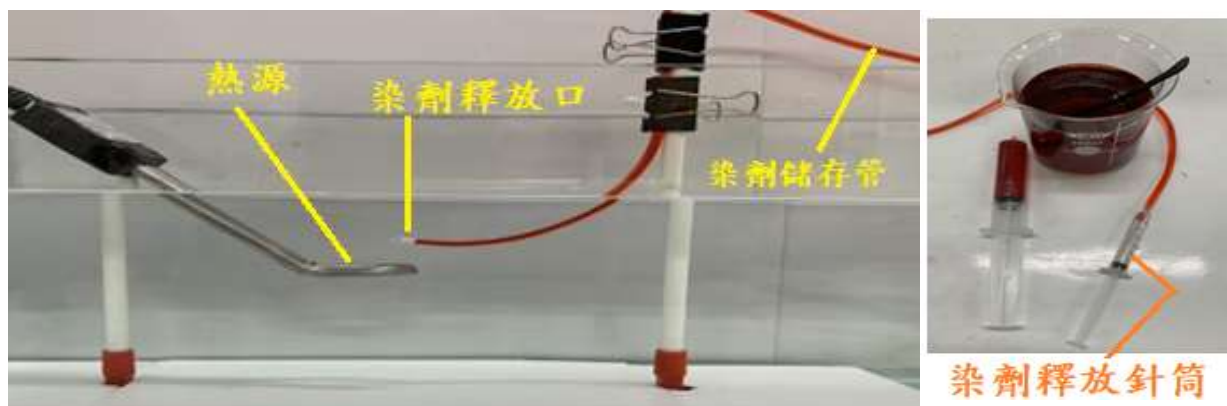
五、【目標實驗四】【運用釋放接近水的密度的染劑，來觀察熱源上、側和下方，熱的傳播情形】

(一)實驗步驟：

- (1)將五種不同顏色功能的染劑中，分別離水面一公分處、由滴管滴入水中，最後改良出密度最接近水的染劑，進行實驗。



(2) 將比重最接近水的 2 號染劑再加入水中稀釋、讓比重更接近水後，連接 3cc 小針筒和長條膠管，製成可緩慢操作的染劑釋放裝置。



(3). 開啟熱源後，緩慢釋放染劑，觀察染劑的流動情形，探討熱傳導前進的方式。

(二) 實驗結果及發現：

1. 染劑密度測試結果：3 號染劑(簽字筆補充液)密度較低，會浮於水面；4.5 號染劑(墨汁)密度較大，較快沉入水底；只有 1.2 號染劑(印章墨水)密度接近於水(略高於水)，較適合稀釋後進行觀察實驗。

2. 熱源上方染劑流動方向觀察結果及發現：

(1) 結果：

熱源上方釋放染劑		
染劑向上流動	染劑緩慢向右側流動	染劑向右流動並擴散成較大厚度、範圍

(2) 發現：

① 觀察釋放向熱源正上方的紅色染劑流動路徑，我們發現染劑很快向上、再向右側流動，表示熱源正上方的水溫度上升較快，體積膨脹，使密度變小而向上流動；這和我們上學期用麥片進行的熱對流實驗，結果相同。

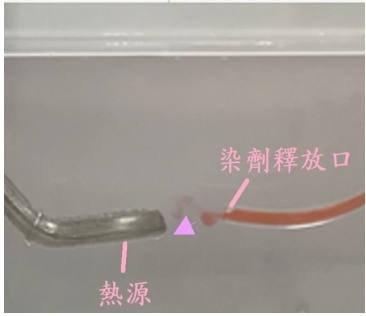

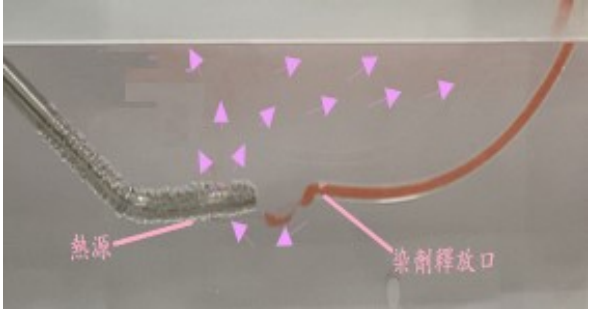
② 熱源左側可能是因為熱源棒中空的形狀，導致逆時針方向的熱對流循環較不明顯，染劑的顏色也較淡。

③觀察釋放向較接近水面的紅色染劑流動路徑，我們可以更清楚的發現，染劑釋出至接近水面的位置後，直接向水面右側方流動(圖 3)、進行順時鐘循環；漸漸形成熱源以上部分的水顏色相近，表示在熱源位置以上的水，離熱源越遠，上下層的水溫可能越相近；這與【目標實驗一】【在不同深度安裝液晶溫度計，觀察不同深度的水溫上升情況如何。】的實驗中，「熱源上方各測點的溫度上升坡度相近」的結果相符合。

④熱源上方實驗中，熱源下方的水都只有淡淡的顏色；我們認為染劑可能很難跟著熱到達熱源的下方；而淡淡的顏色，可能是由染劑自身擴散作用造成，或由極小的傳導作用所形成的。

### 3. 熱源側方染劑流動方向觀察結果及發現:

(1) 結果：

熱源側面釋放染劑		
		
染劑向左方熱源移動	染劑流入熱源下方孔洞，並加速向上流動，形成淡紅色的「漏斗」	染劑向上向外流動，高於熱源的水層漸漸被染色，水箱下半部較低的水層幾乎沒有顏色。

(2) 發現：

①觀察釋放向熱源側方的紅色染劑流動路徑，我們發現在熱源右側方的紅色染劑，雖然和熱源間隔一段距離，也會水平的向熱源流動，像被吸引一樣。

②側方染劑在靠近熱源後，結果和在熱源上方釋放的實驗結果相同，會向上、向外流動，順時鐘方向的循環對流；我們推測熱源側方的染劑，可能是去補充向上流走的熱水，結果像被吸引一般，跟著向上、向外流動，而參加了循環對流。

③在離熱源約 1 公分以外的下方染劑，則不會向熱源接近。

#### 4. 熱源下方染劑流動方向觀察結果及發現：

(1) 結果：

熱源下方釋放染劑		
熱源下 1cm 處染劑向上流動穿 出洞口	染劑快速向上、向外流動	熱源以上的水層慢慢變紅，熱 源以下的水層幾乎沒有顏色， 結果同側方釋放染劑實驗。

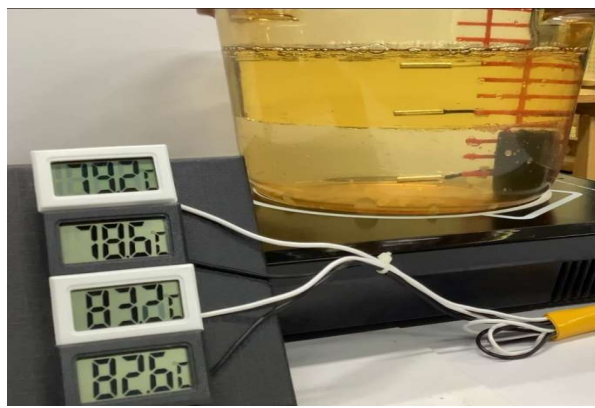
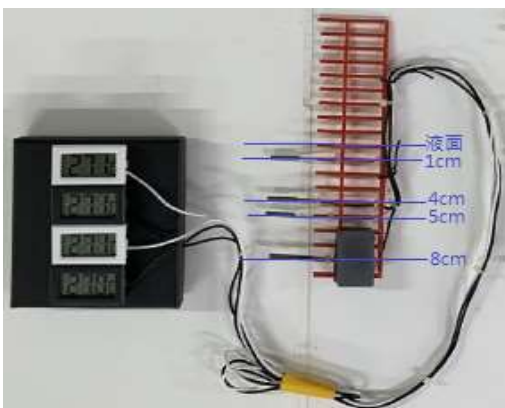
(2) 發現：

觀察在熱源下方釋放的染劑，我們發現在離熱源約 1 公分內的下方染劑，雖然位置在熱源以下，卻也會向上流動，跟著向上、向外參加循環對流！我們猜測，熱源下方的水可能一方面會因為被電湯匙傳導加熱，而體積膨脹、上升外，一方面也可能像熱源側方的水一樣，是因為補充上方向上流走的熱水位置，而參加對流；而熱源的溫度越高，熱源下方水能向上流動的深度，可能也越深。

#### 六、【延伸實驗】【加熱分層的油和水，觀察熱在不同性質液體中的前進傳遞和熱傳導現象】

(一) 實驗步驟：

- (1) 將 4 個液晶溫度計依照離液體表面 1/4/5/8 公分等 4 個不同深度，依序固定在間隔架上，以液面下 4.5cm 為基準，分別探測受熱後的油、水，上下層的溫度變化。



- (2) 以電陶爐分別加熱裝水、裝油、裝分層油水的透明康寶鍋。

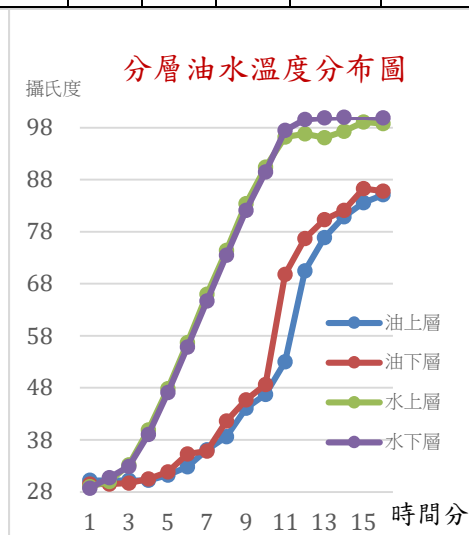
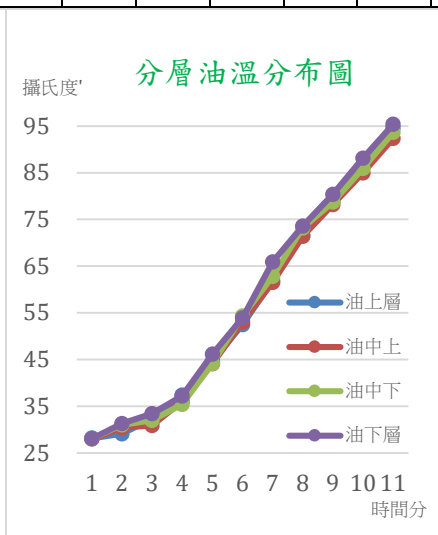
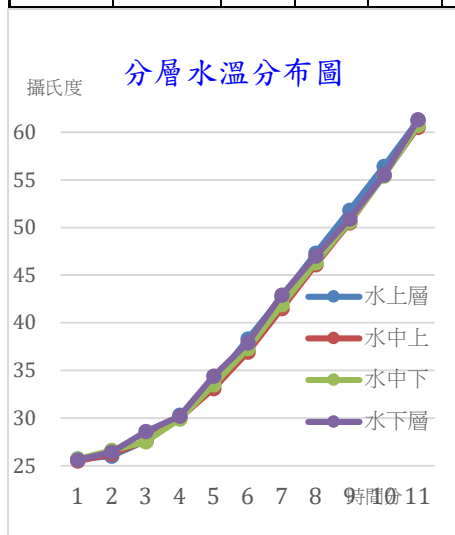
(二)實驗結果及發現：

(1) 結果：

時間(分鐘)	層次	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫度(攝氏)												
水	水上層	25.7	26.0	27.6	30.3	33.8	38.3	42.7	47.3	51.8	56.4	61.2
	水中上	25.5	26.2	27.6	30.0	33.1	36.9	41.5	46.1	50.5	55.5	60.5
	水中下	25.7	26.6	27.5	29.9	33.5	37.3	41.9	46.3	50.6	55.4	60.7
	水下層	25.6	26.4	28.6	30.2	34.4	37.9	42.9	47.0	50.9	55.5	61.3

時間(分鐘)	層次	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫度(攝氏)												
油	油上層	28.2	29.1	32.3	37.4	44.7	52.5	61.9	71.5	78.9	86.3	94.6
	油中上	28.0	30.4	30.9	36.0	44.1	53.0	61.5	71.4	78.2	85.0	92.4
	油中下	28.1	31.0	32.0	35.4	44.2	54.3	62.8	73.2	78.7	85.9	93.7
	油下層	28.1	31.3	33.4	37.2	46.2	53.9	65.9	73.6	80.4	88.1	95.4

時間(分鐘)	層次	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
溫度(攝氏)																	
油水 分層	油上層	30.2	30.2	30.2	30.2	31.2	32.8	36.1	38.6	44.1	46.7	53.0	70.5	76.9	80.9	83.6	85.1
	油下層	29.5	29.5	29.7	30.5	31.8	35.3	35.8	41.6	45.7	48.6	69.8	76.7	80.3	82.1	86.3	85.8
	水上層	29.0	30.0	33.2	39.9	47.8	56.7	66.0	74.4	83.4	90.4	96.2	96.8	96.1	97.3	99.1	98.8
	水下層	28.7	30.7	32.9	39.0	47.1	55.8	64.7	73.5	82.1	89.5	97.5	99.6	99.9	100.0	100.1	99.9



(3)發現：

時間(分鐘)	層次	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫度(攝氏)												
水	水上層	25.7	26.0	27.6	30.3	33.8	38.3	42.7	47.3	51.8	56.4	61.2
	水中上	25.5	26.2	27.6	30.0	33.1	36.9	41.5	46.1	50.5	55.5	60.5
	水中下	25.7	26.6	27.5	29.9	33.5	37.3	41.9	46.3	50.6	55.4	60.7
	水下層	25.6	26.4	28.6	30.2	34.4	37.9	42.9	47.0	50.9	55.5	61.3

①在分層水溫的加熱實驗中，各層的水溫上升坡度接近，而最高溫和次高溫，多出現在水上層和 underwater 層(如分層水溫分布表)。我們推測可能因為底層水最先接受電陶爐傳來的熱後，很快因為體積膨脹上升將熱向上傳遞在表面；又因為水的比熱較大，來不及將熱散進空氣降溫，而造成水上層和 underwater 層的水溫度較高、中間水層溫度較低的情形。

時間(分鐘)	層次	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫度(攝氏)												
油	油上層	28.2	29.1	32.3	37.4	44.7	52.5	61.9	71.5	78.9	86.3	94.6
	油中上	28.0	30.4	30.9	36.0	44.1	53.0	61.5	71.4	78.2	85.0	92.4
	油中下	28.1	31.0	32.0	35.4	44.2	54.3	62.8	73.2	78.7	85.9	93.7
	油下層	28.1	31.3	33.4	37.2	46.2	53.9	65.9	73.6	80.4	88.1	95.4

②在分層油溫的加熱實驗中，發現最高溫多出現在油下層、離熱源最近的地方；在加熱 5 分鐘後，油下層溫度最高，中下層其次，第 3 高溫是油上層，而中上層的油溫最低(如分層油溫分布表紅色框框部分)；我們從油的中下層、下層溫度較高來推測，可能因為和水相比，油的比熱小容易傳熱，和體積不易受熱膨脹而上升產生對流來看，油比水可能更多的用傳導的方式，將熱從下方的電陶爐傳上來。

時間(分鐘)	層次	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10分鐘關電源	11	12	13	14	15
油水分層	油上層	30.2	30.2	30.2	30.2	31.2	32.8	36.1	38.6	44.1	46.7	53.0	70.5	76.9	80.9	83.6	85.1
	油下層	29.5	29.5	29.7	30.5	31.8	35.3	35.8	41.6	45.7	48.6	69.8	76.7	80.3	82.1	86.3	85.8
	水上層	29.0	30.0	33.2	39.9	47.8	56.7	66.0	74.4	83.4	90.4	96.2	96.8	96.1	97.3	99.1	98.8
	水下層	28.7	30.7	32.9	39.0	47.1	55.8	64.7	73.5	82.1	89.5	97.5	99.6	99.9	100.0	100.1	99.9

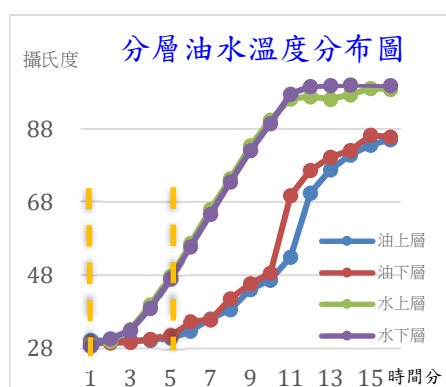


③在加熱分層油水的10分鐘過程中，發現水溫上升一直很快，水的上下層的溫度上升坡度相近；這應該是因為上層的油無法和水產生對流，也就阻止下層的水將熱傳入油或空氣中，使水快速升高水溫；除了剛開始加熱的1分鐘，水的下層水溫高於水上層，之後2~9分鐘，中上層的水溫都高過最接近熱源的水下層，表示上升的熱被封印在油水交界面；一直到9分鐘時，油水介面被向上翻騰的水蒸氣泡破壞、讓較低溫的油接觸到水上層的測溫點，水上層的溫度才低於水下層(如分層油水溫度分布中紅框框部分顯示)，這種情況和單獨加熱水、加熱油都不一樣。

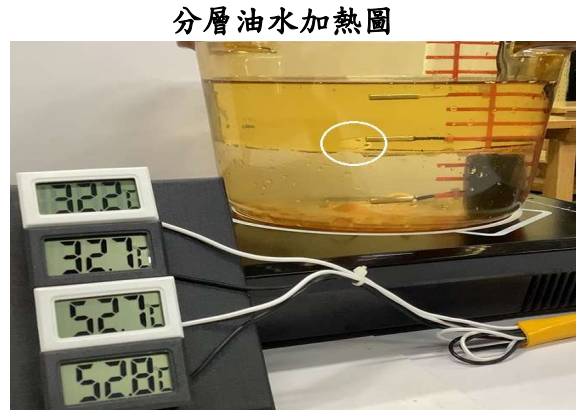
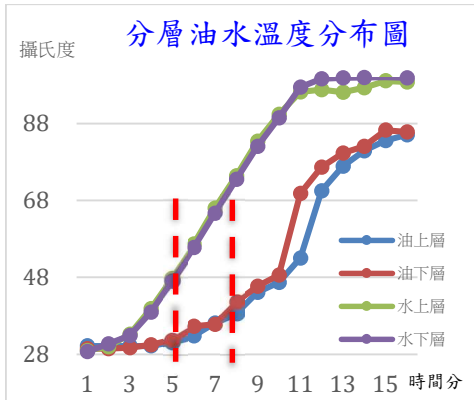
④我們看到油上層和油下層的溫度上升較慢，而且有延遲的現象；可能因為一方面油水不相容，無法進行熱對流，只能經過傳導升高溫度，再加上油水之間的溫差還很小，不像水下層能直接接觸高溫的電陶爐。油下層溫度升高有限，也難以和油上層進行彼此間的對流，所以產生油溫上升慢、又有延遲升溫的現象(延遲升溫現象請參考油水溫度分布表灰色部分欄位)。

時間(分鐘)	層次	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10分鐘關電源	11	12	13	14	15
油水分層	油上層	30.2	30.2	30.2	30.2	31.2	32.8	36.1	38.6	44.1	46.7	53.0	70.5	76.9	80.9	83.6	85.1
	油下層	29.5	29.5	29.7	30.5	31.8	35.3	35.8	41.6	45.7	48.6	69.8	76.7	80.3	82.1	86.3	85.8
	水上層	29.0	30.0	33.2	39.9	47.8	56.7	66.0	74.4	83.4	90.4	96.2	96.8	96.1	97.3	99.1	98.8
	水下層	28.7	30.7	32.9	39.0	47.1	55.8	64.7	73.5	82.1	89.5	97.5	99.6	99.9	100.0	100.1	99.9

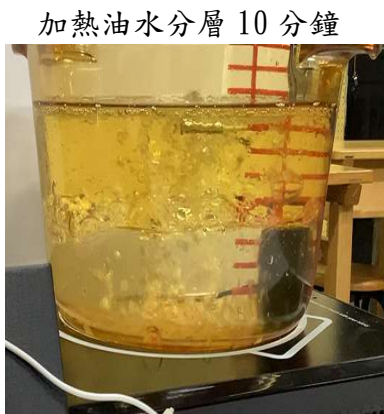
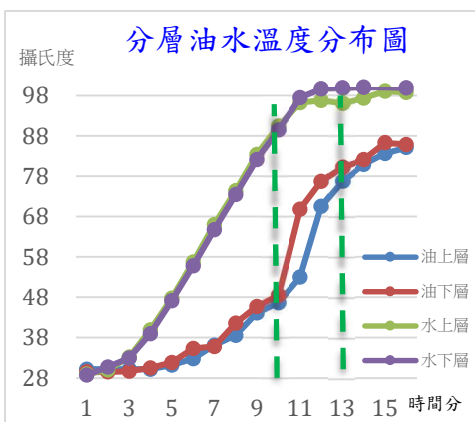
⑤從分層油水溫度分布圖金色虛線範圍內可以發現，在加熱的前4分鐘，水溫還不高，而油上層和油下層的溫度上升分別延遲了4分鐘和2分鐘才開始上升，而且上升的曲線也非常平緩；這可能是因為油和熱水的介面間，熱量不能對流，所以受熱後的水，須經過熱傳導的方式將熱往油傳遞上去；我們由此可推測，液體間也有熱的傳導作用。



⑥在 5~8 分鐘間，從分層油水溫度分布圖紅色虛線範圍內可以發現，油上、下兩層的溫度上升曲線慢慢增加；這可能是因為隨著水溫快速升高，油水間的溫差加大，增加了油水間熱傳導的效率；隨著水溫升高也陸續有小空氣泡受熱膨脹後，由底部浮到油水介面停留，有些氣泡則突破油水介面而浮出油面(如分層油水加熱圖)。



⑦8 分鐘後，隨著水溫繼續升高，水層中出現越來越多、越來越大的水蒸氣泡向上浮出；有些可以直接突破油水交界面和油面，有些水蒸氣泡則會在上浮過程中在油層遇冷，又從大氣泡縮小並下沉；在 9 分半後水層開始激烈的沸騰，大量高溫水蒸泡通過油層升高油層的溫度，使油層溫度在 10 分鐘到 13 分鐘間的綠色虛線範圍內非常快速的升高。



⑧在油水分層加熱實驗中我們發現，由於**存在油水介面**，水層的溫度上升早而快，**油層的溫度會延遲上升**；而油水介面間無法用對流的方式傳送熱，**油層開始升溫後，只能用熱傳導的方式慢慢加溫上升，曲線則較為平緩**；但也因為油水介面間形成熱對流的「斷層」，水層的熱因為就像被加了一個鍋蓋而無法順利送出，也加快了沸騰的時間，像一種壓抑性的對流。當**水層沸騰後，長時間積蓄在水中的熱，就開始隨著水蒸氣快速進入並加熱油層**，這可以被視為一種強制性、侵入性的熱對流。

## 陸、討論與結論

- 一、液體中的熱，在熱源上方可能以上下對流和平行流動、向低溫處不規則擴散的方式傳播。
- 二、熱會使液體比重變得較輕而向上、向表面、向周圍前進；除非受周圍邊際或容器限制，否則熱會不斷向四周前進無法傳到深處。
- 三、熱在周圍受限的容器中，會由高溫處往表層、往低溫處前進，由外傳到內的現象，直到撞到周圍容器邊緣，產生向下被動的對流後，下層液體的溫度才會一層層上升
- 四、熱在液體表面的流動，是以不規則、水墨渲染狀，如雲霧飄送般的方式向低溫處傳送出去。
- 五、液體中，熱也有傳導(如油水分層實驗)和輻射的前進方式(通電熱電湯匙後，熱像儀顯示湯匙周圍的水溫瞬間升高)。
- 六、在熱源上方的液體，會向上、向外流動，而從側面看，形成了順、逆時鐘方向的循環對流；各層深度的水溫，則會隨著加熱時間，在彼此保持相當小溫差的情況下，一起逐漸上升。
- 七、在容器中，無論在熱源側、下方的液體，都會因為熱源上方的熱水向上、向外流動，而向側、向上補充，產生熱的流動，造成「**低於熱源深度的水平各點間，越靠近熱源下方，溫度反而越低、離熱源越遠，溫度反而越高**」的現象；但在沒有邊際的液體中，則可能無論電湯匙加熱再久低於熱源的液體也無法升高溫度。
- 八、當熱源的位置在液體中央時，溫度越高，向上的熱對流越激烈，會造成熱源下方越深的水，也能參加熱對流。
- 九、綜合我們的實驗，我們發現在熱源下的液體溫度能夠升高的原因，第一種是由熱源上方較熱的液體流動並撞擊容器後產生向下的熱水流，再從水平的方向流向低溫區(如目標實驗二)；第二種是水平前進的熱水流也會在前進的過程產生向下、越遠越低的熱水流(如目標實驗一)；第三種是液體間彼此的傳導作用(如延伸實驗)。

## 柒、未來展望

- 一、在這次的科展探討中，我們對熱的傳播、測量方式有了更深入的了解；我們若能用更多的液晶溫度計，能理更大量數據的軟體，或許能建立一個 3D 向度的立體測溫模型，並對不同的類型的熱源進行研究，相信或許會有更多的發現。
- 二、因為空氣和水都是流體；有機會我們也可以嘗試對氣體進行熱量傳播情況的探討。
- 三、在【目標實驗四】【運用釋放接近水的密度的染劑，來觀察熱源上、側和下方，熱的傳播前進情形】中，我們發現「染劑」或許可以比熱像儀、溫度計和麥片更具體直接的觀察熱在液體中的傳播前進；不過受限於目前染劑的比重、擴散的特性，還不能非常清楚、具體的觀察熱的傳播前進；我們以後可以再努力找尋、甚至研究製作一種密度更接近水、更不易擴散的染劑，來幫助我們更進一步研究、觀察熱量在液體中傳播前進的情況。

## 捌、參考資料

- 一、康軒版自然領域六上課本、習作。
- 二、維基百科-熱像儀原理  
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%83%AD%E6%88%90%E5%83%8F%E4%BB%AA>
- 三、維基百科-對流
- 四、中華民國第 50 屆中小學科學展覽會作品「翻滾吧!水孩子」。
- 五、中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品「善變的水」。
- 六、中華民國第 55 屆中小學科學展覽會作品「熱情如火熱傳導」。

## 【評語】 080115

實驗發想很有趣與自然課程緊密結合，研究中嘗試使用不同的方式及測量工具的觀察在液體溫度的變化去理解熱的對流及傳導，但由於使用不同的測量工具下的結果，討論的方向基本上都是相同，所以如果能相互對照比較，找出去異同性，才會比較容易凸顯不同測量方式的重要性。在數據製圖上需要多注意呈現方式的一致性，對測量溫度工具的認識及工作原理了解略顯不足。

## 作品海報



# 傳熱密碼

~ 追蹤液體中的熱軌跡

# 摘要

在熱源下方液體溫度到底是如何逐漸升高的？我們藉由「電子液晶溫度計」紀錄液體中垂直的、水平的、離熱源不同距離的溫度變化，以及能用物體表面所發出的紅外線觀測物體溫度的「紅外線熱像儀」、染劑和不同性質的油水等工具來觀察**追蹤液體中的熱軌跡**，拼湊出神奇的傳熱密碼。




## 壹、研究動機

我們觀察到，安裝在房間上方的冷暖氣機在吹送暖風時，雖然缺乏了「熱上升、冷下降」的空間條件，但最後整間房間卻也都暖和了起來；我們不禁猜想，若**只加熱在水壺裡上半部的水，下半部的水溫是否也會升高？若也會升高，上升的速度快或慢呢？而熱是以什麼方式在下半部的水中傳遞熱量呢？是「熱對流」？還是「熱傳導」？或還有其他方式呢？**為了解決這些有趣的問題，我們決定一起來找熱軌跡。

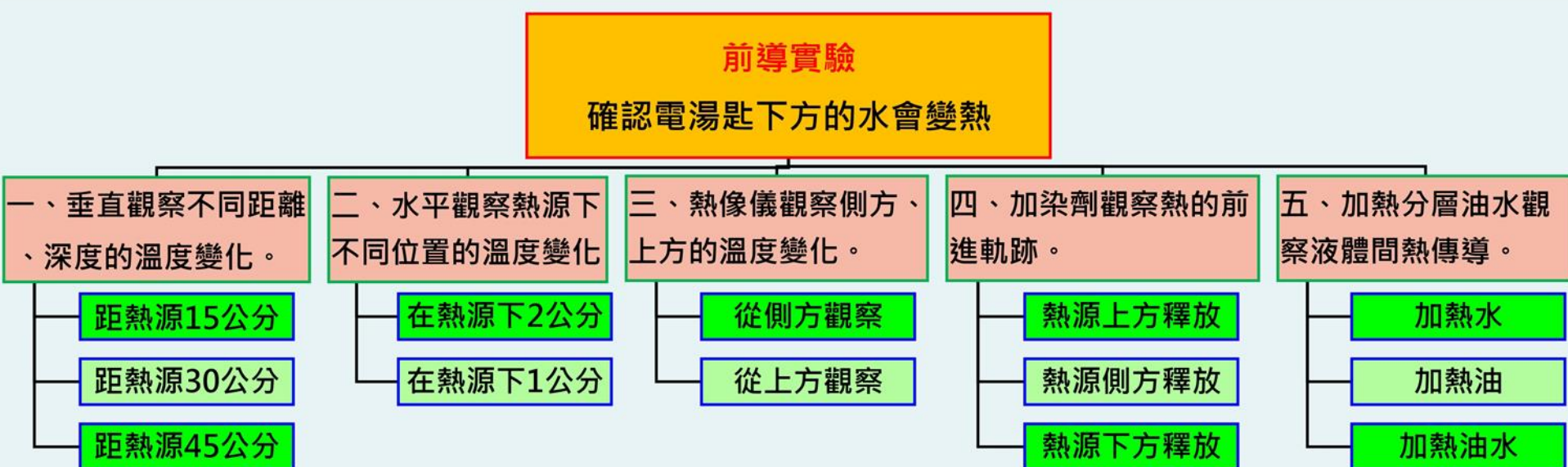
## 貳、研究目的

- 一、觀察距離熱源不同距離、不同深度，溫度上升情況如何。
- 二、觀察熱源下方不同深度的水平位置，溫度上升情況如何。
- 三、用紅外線熱像儀，由側方和上方來觀察水箱溫度上升的情況如何。
- 四、以不斷釋放與水密度相近的染劑的方式，觀察熱源的上、中、下方，熱的前進和傳播現象。
- 五、觀察熱如何在不同性質的分層油、水中，前進和傳播。

## 參、研究設備與器材

研究材料		研究器具					
染劑	厚紙板	紅外線熱像鏡頭	自製溫度計組	自製垂直水平溫度計組	平板電腦	1000W電湯匙	電陶爐
							

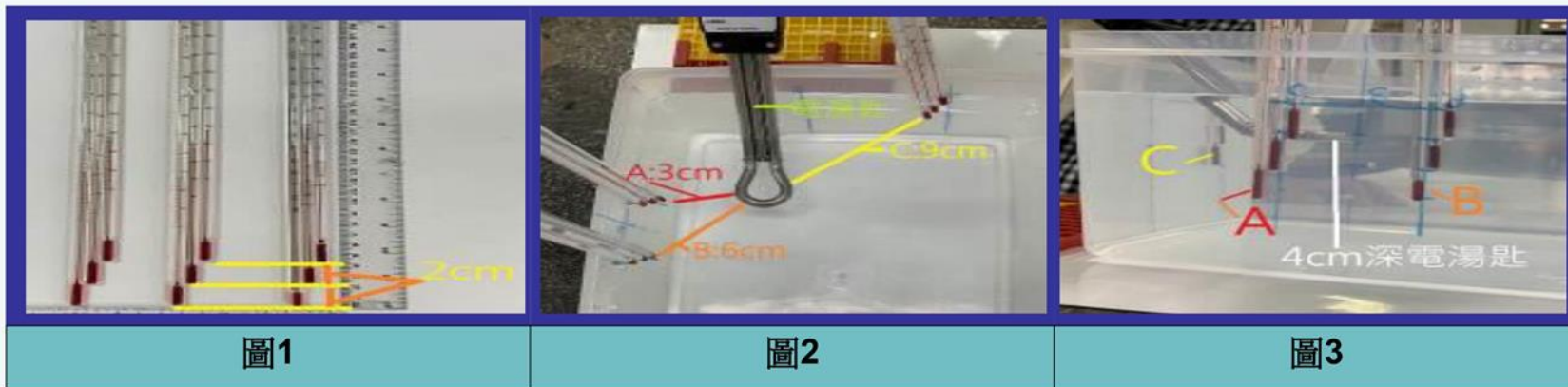
## 肆、研究方法



## 伍、研究過程和結果

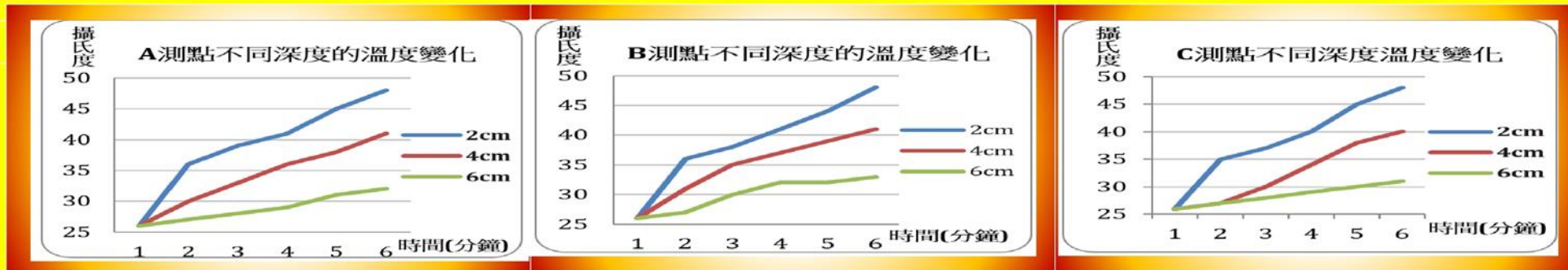
### 【前導實驗】—【觀察在熱源下方的水是否隨電湯匙通電後升溫】

(一) 實驗步驟：



(二) 實驗結果及發現：

1. 實驗數據：



2. 發現：熱源下方的水也會隨電湯匙通電後升溫

(1)	(2)	(3)																																																																																				
<p>表1. 測點溫度登記表</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>時間(分)</th> <th>0</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>測點A</td> <td>26</td> <td>36</td> <td>39</td> <td>41</td> <td>45</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>測點B</td> <td>26</td> <td>36</td> <td>38</td> <td>41</td> <td>44</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>測點C</td> <td>26</td> <td>35</td> <td>37</td> <td>40</td> <td>45</td> <td>48</td> </tr> </tbody> </table> <p>圖1: 2cm深各測點溫度統計</p>	時間(分)	0	1	2	3	4	5	測點A	26	36	39	41	45	48	測點B	26	36	38	41	44	48	測點C	26	35	37	40	45	48	<p>表2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>時間(分)</th> <th>0</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>測點A</td> <td>26</td> <td>30</td> <td>33</td> <td>36</td> <td>38</td> <td>41</td> </tr> <tr> <td>測點B</td> <td>26</td> <td>31</td> <td>35</td> <td>37</td> <td>39</td> <td>41</td> </tr> <tr> <td>測點C</td> <td>26</td> <td>27</td> <td>30</td> <td>34</td> <td>38</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table> <p>圖2: 4cm深處各測點溫度統計</p>	時間(分)	0	1	2	3	4	5	測點A	26	30	33	36	38	41	測點B	26	31	35	37	39	41	測點C	26	27	30	34	38	40	<p>表3</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>時間(分)</th> <th>0</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>測點A</td> <td>26</td> <td>27</td> <td>28</td> <td>29</td> <td>31</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>測點B</td> <td>26</td> <td>27</td> <td>30</td> <td>32</td> <td>32</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>測點C</td> <td>26</td> <td>27</td> <td>28</td> <td>29</td> <td>30</td> <td>31</td> </tr> </tbody> </table> <p>圖3: 6cm深處各測點溫度統計</p>	時間(分)	0	1	2	3	4	5	測點A	26	27	28	29	31	32	測點B	26	27	30	32	32	33	測點C	26	27	28	29	30	31
時間(分)	0	1	2	3	4	5																																																																																
測點A	26	36	39	41	45	48																																																																																
測點B	26	36	38	41	44	48																																																																																
測點C	26	35	37	40	45	48																																																																																
時間(分)	0	1	2	3	4	5																																																																																
測點A	26	30	33	36	38	41																																																																																
測點B	26	31	35	37	39	41																																																																																
測點C	26	27	30	34	38	40																																																																																
時間(分)	0	1	2	3	4	5																																																																																
測點A	26	27	28	29	31	32																																																																																
測點B	26	27	30	32	32	33																																																																																
測點C	26	27	28	29	30	31																																																																																

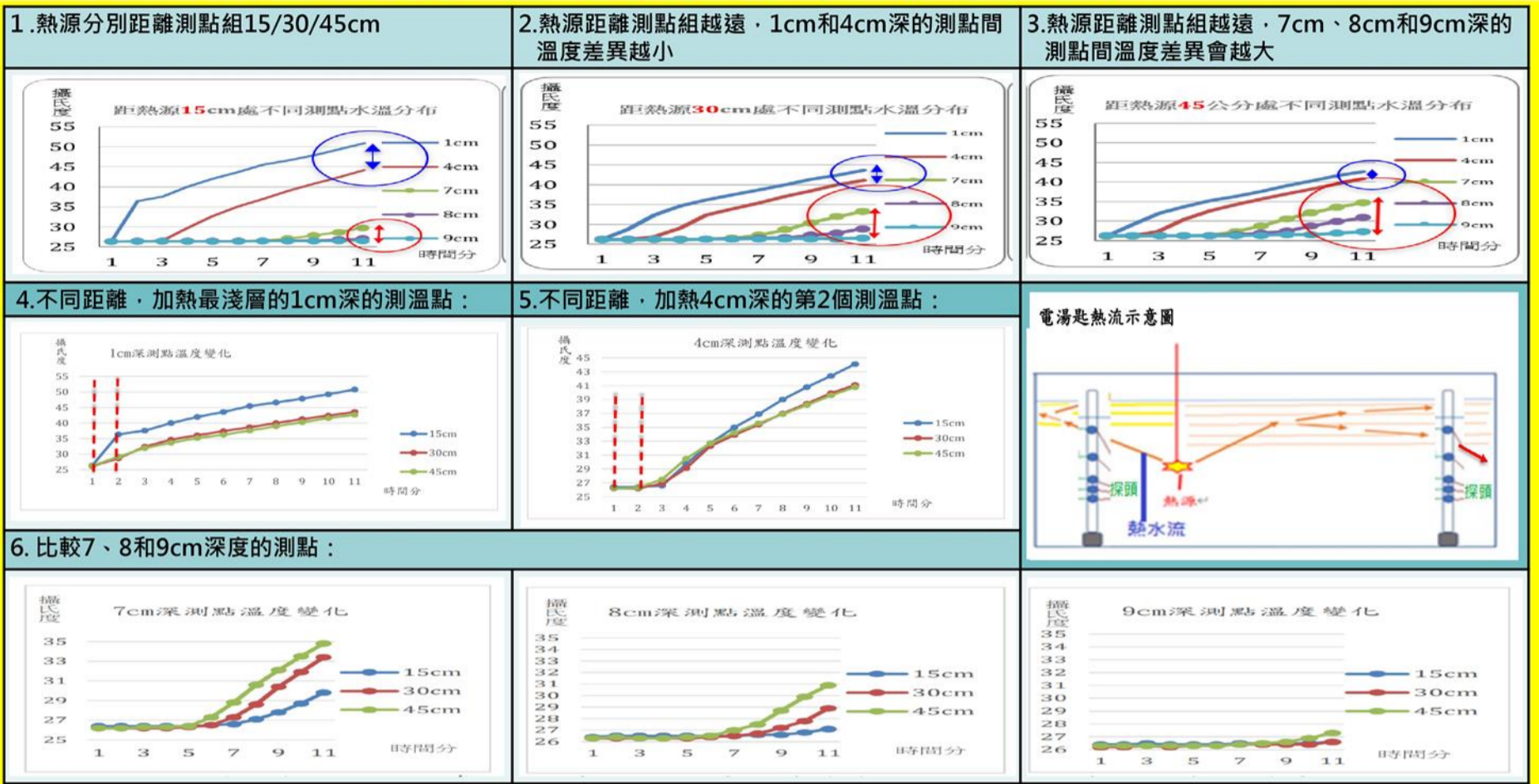


【目標實驗一】—【在離熱源不同遠近的位置垂直安裝液晶溫度計，觀察不同深度的水溫上升情況。】

(一) 實驗步驟：

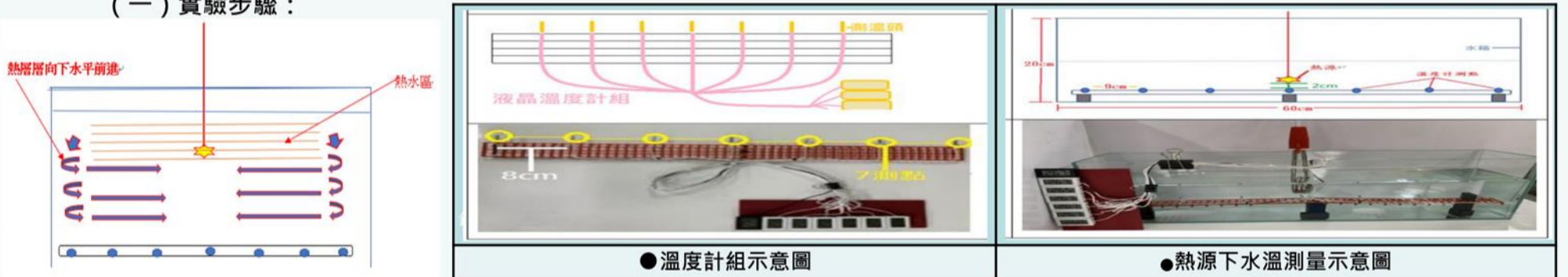


(二) 實驗結果及發現：熱源下方，距離熱源越近，溫度差異越小；距離熱源越遠，溫度差異越大。



【目標實驗二】—【在熱源下方2及1cm深，水平安裝距熱源不同遠近的液晶溫度計，觀察水溫上升情況如何。】

(一) 實驗步驟：



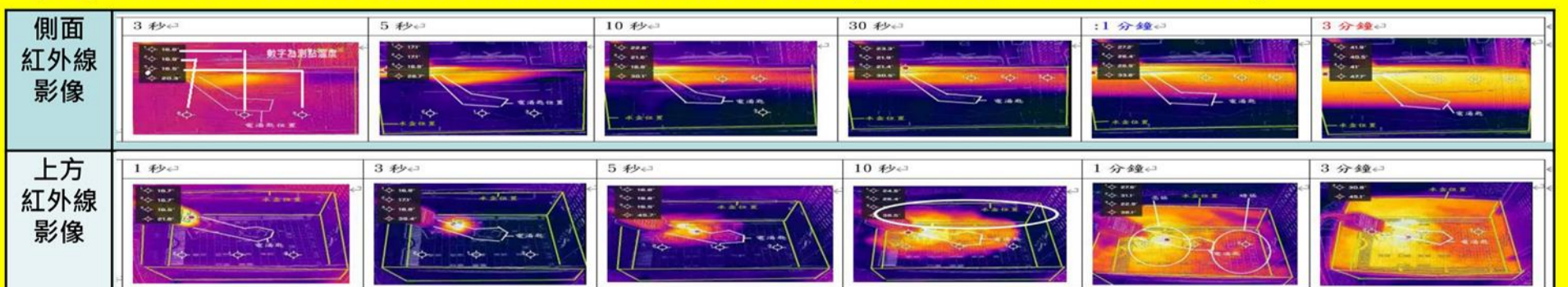
(二) 實驗結果及發現：

1. 水平熱源下2公分:																2. 水平熱源下1公分:													
水平下 2cm 時間(分鐘)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	水平下 1cm 時間(分鐘)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
左 24cm	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9	26.9	26.9	27.0	27.1	左 24cm	26.9	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9	27.0	27.0	27.0	27.0
左 16cm	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.8	26.7	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9	左 16cm	26.8	26.6	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9	27.0	27.0
左 8cm	26.5	26.5	26.5	26.6	26.5	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.7	26.7	26.7	26.8	左 8cm	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.7	26.6	26.7	26.7	26.7	26.8	
中	26.8	26.8	26.8	26.8	26.7	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9	26.9	中	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	27.0	
右 8cm	26.8	26.8	26.8	26.7	26.7	26.7	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9	26.9	右 8cm	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9	
右 16cm	26.7	26.7	26.7	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.9	26.9	右 16cm	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.8	26.9	26.9	
右 24cm	26.8	26.8	26.8	26.9	26.8	26.9	26.8	26.8	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	27.0	27.0	27.0	右 24cm	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	27.0	27.0	27.0	

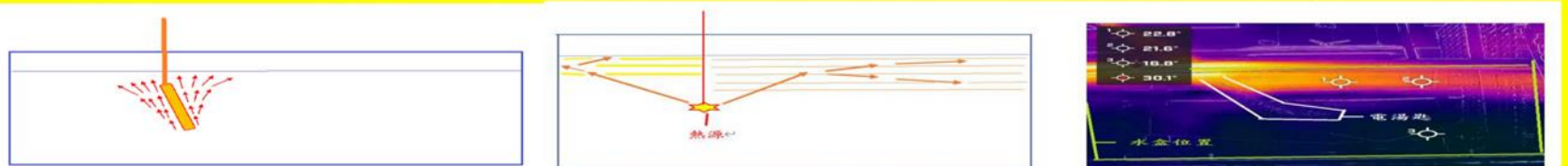
【目標實驗三】—【運用紅外線熱像儀，觀察水面溫度上升的情況如何。】

(一) 實驗步驟：1. 加溫電湯匙。2. 將熱像儀由上方及側面分別拍攝代表性階段影像，用紅外線來觀察溫度的變化和熱軌跡。

(二) 實驗結果及發現：1. 實驗影像：紅外線熱像顯示顏色為相對溫差 ( 高溫←亮黃←橘--暗紫→黑→低溫)



2. 發現：(1) 從側面觀察：① 電湯匙金屬棒上半部的周圍產生了一個漏斗形狀的熱水區。 ② 湯匙左側的熱水層較淺、較薄，顏色較亮。



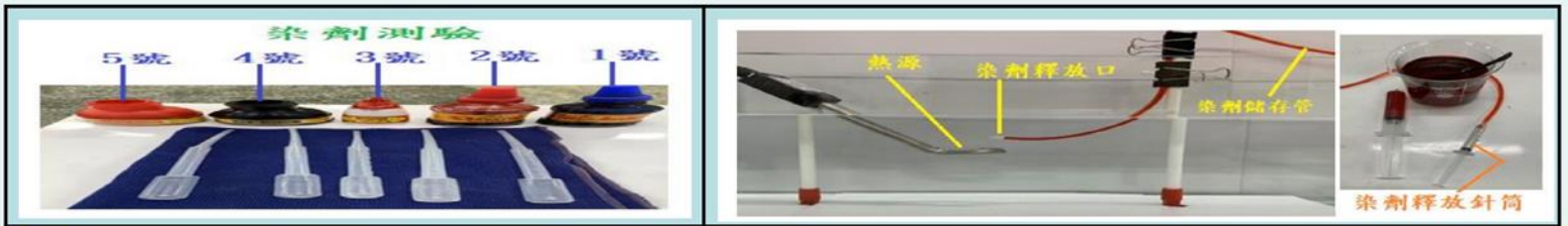
③ 熱水層從水下 7cm 到 9cm 所花的時間，遠遠多於從表面到水下 7cm 所花費的時間。

(2) 從上方觀察：① 電湯匙剛通電後瞬間形成光球(輻射)，周圍水溫上升速度很快。

② 熱在液體表面、平面的流動，是如同影像中不規則、暈染狀的，像團不斷流動的雲霧的傳送出去，而不是像同心圓或直線的。

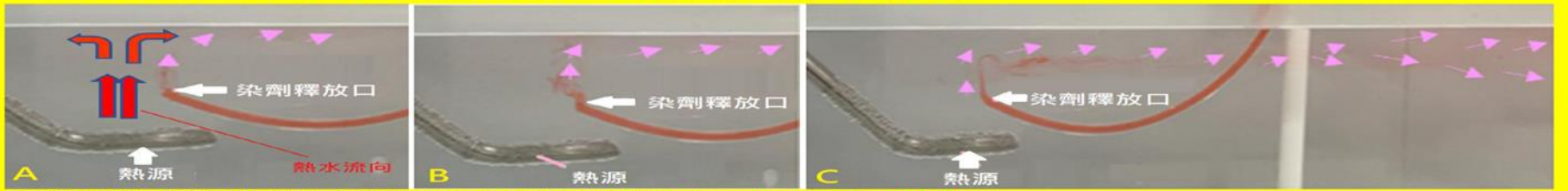
## 五 【目標實驗四】—【運用釋放接近水的密度的染劑，來觀察熱源上、側和下方，熱的傳播情形。】

(一) 實驗步驟：

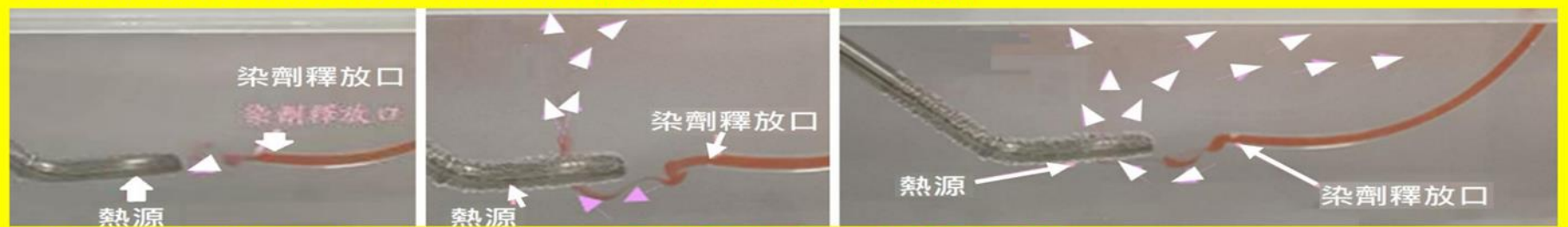


(二) 實驗結果及發現：

1. 染劑密度測試結果：1.2 號染劑(印章墨水)密度最接近於水，較適合稀釋後進行觀察實驗。
2. 熱源上方染劑流動方向觀察結果及發現：染劑向上、向外循環流動



3. 熱源側面染劑流動方向觀察結果及發現：染劑向左、向上、向外流動

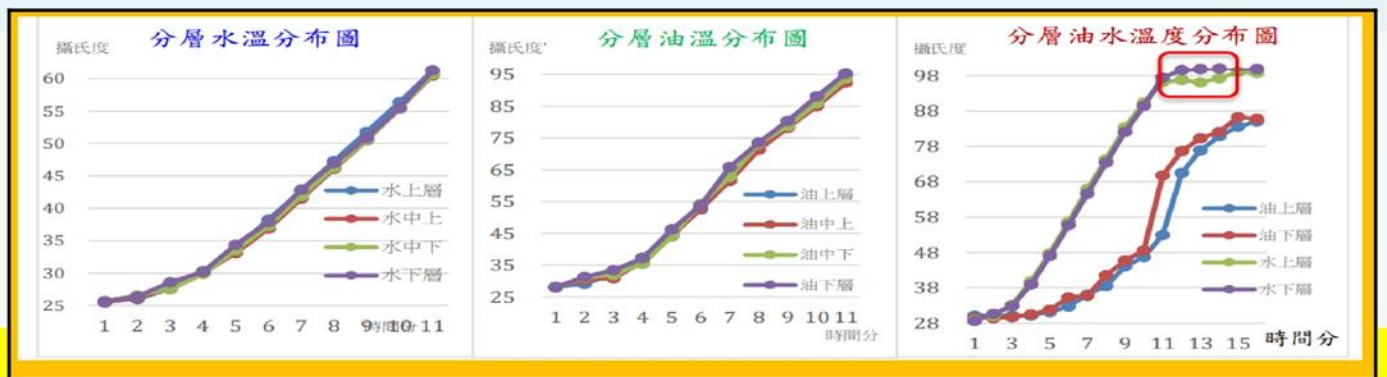


4. 熱源下方染劑流動方向觀察結果及發現：靠近熱源染劑向上、向外循環流動



## 六 【延伸實驗】—【加熱分層的油和水，觀察熱在不同性質液體中的前進傳遞和熱傳導現象】

(一) 實驗步驟：



(二) 實驗結果及發現：

1. 分別加熱水及油

分層水溫分布表(紫色:最高溫 橘色:次高溫)											分層油溫分布表(紫色:最高溫 橘色:次高溫 黃色:次低溫 藍色:最低溫)														
時間(分鐘)	層次	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	時間(分鐘)	層次	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
水	水上層	25.7	26.0	27.6	30.3	33.8	38.3	42.7	47.3	51.8	56.4	61.2	油	油上層	28.2	29.1	32.3	37.4	44.7	52.5	61.9	71.5	78.9	86.3	94.6
	水中上	25.5	26.2	27.6	30.0	33.1	36.9	41.5	46.1	50.5	55.5	60.5		油中上	28.0	30.4	30.9	36.0	44.1	53.0	61.5	71.4	78.2	85.0	92.4
	水中下	25.7	26.6	27.5	29.9	33.5	37.3	41.9	46.3	50.6	55.4	60.7		油中下	28.1	31.0	32.0	35.4	44.2	54.3	62.8	73.2	78.7	85.9	93.7
	水下層	25.6	26.4	28.6	30.2	34.4	37.9	42.9	47.0	50.9	55.5	61.3		油下層	28.1	31.3	33.4	37.2	46.2	53.9	65.9	73.6	80.4	88.1	95.4

2. 分層油水加熱實驗

(1) 高溫區比較：

分層油水溫度分布表																	
時間(分鐘)	層次	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10分鐘開電源	11	12	13	14	15
油水分層	油上層	30.2	30.2	30.2	30.2	31.2	32.8	36.1	38.6	44.1	46.7	53.0	70.5	76.9	80.9	83.6	85.1
	油下層	29.5	29.5	29.7	30.5	31.8	35.3	35.8	41.6	45.7	48.6	69.8	76.7	80.3	82.1	86.3	85.8
	水上層	29.0	30.0	33.2	39.9	47.8	56.7	66.0	74.4	83.4	90.4	96.2	96.8	96.1	97.3	99.1	98.8
	水下層	28.7	30.7	32.9	39.0	47.1	55.8	64.7	73.5	82.1	89.5	97.5	99.6	99.9	100.0	100.1	99.9

(2) 溫度變化比較：



## 陸、討論與結論

- 一、熱源上方的液體會**向上、向外流動**；而從側面看，形成順、逆時鐘方向的循環對流；各層深度的水溫會隨著加熱時間，在彼此保持較小溫差的情況下，逐漸上升(如目標實驗一的垂直溫差實驗、目標實驗三的熱像儀側面觀察實驗結果)。
- 二、熱源下液體溫度能夠升高的原因有三：第一是**水平前進的熱水流在前進的過程中產生向下、越遠越低的熱水流**(如目標實驗一)；第二是熱源上方較熱的液體流動並撞擊容器產生的向下的熱水流，再水平的流向低溫區，產生「低於熱源深度的水平各點間，越靠近熱源下方，溫度反而越低、離熱源越遠，溫度反而越高」的現象(如目標實驗二)；第三是液體間的傳導作用(如延伸實驗)。
- 三、熱使液體比重變得輕而向上、向表面、向周圍前進；若沒有容器的限制，則可能無論電湯匙加熱多久，低於熱源的液體也無法升高溫度(如目標實驗三的熱像儀側面觀察實驗結果)。
- 四、熱在液體表面是以**不規則、水墨渲染、雲霧飄送**的方式向低溫處傳送(如目標實驗三的熱像儀側面觀察實驗結果)。
- 五、液體中，**熱也有傳導**(如油水分層實驗)和**輻射的前進方式**(通電熱電湯匙後，熱像儀顯示湯匙周圍的水溫瞬間升高)。

## 柒、未來展望

- 一、用更多的液晶度計，更大量數據的軟體，建立一個**3D向度的立體測溫模型**，並對不同的類型的熱源進行研究。
- 二、因為空氣和水都是流體；我們也可以嘗試對**氣體**進行熱量傳播方式的探討。
- 三、我們可再努力找尋、研究製作一種**密度更接近水的染劑**，進一步觀察液體中有更多熱源、在更多區域中傳播前進的情況。

## 捌、參考資料

- 一、康軒版自然領域六上課本、習作。
- 二、維基百科-熱像儀原理 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%83%AD%E6%88%90%E5%83%8F%E4%BB%AA>
- 三、維基百科-對流