

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

081532

樂透彩券的秘密

學校名稱：臺東縣關山鎮德高國民小學

作者： 小六 孫嘉徽 小六 賴育蓁 小六 余阮舜翔 小六 林孝榮	指導老師： 陳文玲 洪淑媛
----------------------------------------------	---------------------

關鍵詞：熱感應 溫度 酸鹼

作品名稱：樂透彩券的秘密

壹、摘要

熱感應紙是利用表面塗上熱感應層，透過高溫與顯影劑反應而達到文字呈現的紙張，方便且用途廣泛；然因容易褪色而不易保存，使得繳費收據、樂透彩券或高鐵車票等如遭水浸、塗染或褪色都將失去價值。

本研究主要是探討熱感應紙對溫度及酸鹼溶液的反應，並比較各種不同熱感應紙的特性；研究發現溫度對熱感應紙顯色程度有影響，因此可提高機器的溫度，使文字加深而減緩褪色速度。而熱感應紙在潮濕、陽光曝曬、光線照射、接觸空氣等環境下容易褪色，因此可置於奶粉罐、鋁箔紙、資料袋、防潮櫃內加以保存；然黏貼卡典西德、膠帶、塗膠水，反會使文字加速變淡。

熱感應紙燃燒會產生有毒氣體，不太環保，建議可加以改良，達到環保或可回收的目的。

貳、研究動機

過年期間，和家人買了我生平第一張樂透彩券，可惜最後卻沒有得獎！我把樂透彩券小心的壓在書桌下，想要永久的保存；但一段時間後，卻發現彩券上黑色的電腦字好像褪色一樣，逐漸變淡；我趕緊拿去護貝，糟糕！整張彩券居然變成黑漆漆的一片，上面的文字全都消失看不見了。

在好奇心的驅使下，我和同學拜訪彩券行及上網查證，原來樂透彩券、傳真紙、火車票...都是「熱感應紙」的一種，不只不容易保存，遇熱還會變黑。在六年級上學期自然領域課程中（《康軒版》第七冊第三單元 物質的變化），老師曾介紹地瓜、竹籤、紙張等遇到高溫會破壞物質的特性；而熱感應紙遇高溫會變黑，應該也是屬於不可復原變化的一種。

然而樂透彩券如果遭火燻、水浸、塗染或褪色，導致無法辨識就不能兌獎；先前高鐵車票也因為是用熱感應原理製成，使得許多趕搭高鐵熱的民眾，因排隊搶購但卻無法收藏，還為此抗議。為了解決這個問題，我們決定請教老師仔細研究，揭開這張樂透彩券的秘密！

參、研究探討

爲了對樂透彩券有基本的認識，我們利用上網和到圖書館蒐集資料，整理下列幾項重點：

一、熱感應紙的原理：

- (一) 感熱應紙(thermal paper)的設計是在普通紙上加塗一層黑色的油墨，同時再塗上能感應熱的白色原料，這種色料會經由加熱產生化學反應而顯色；因此，當紙張受熱時會將感熱的白色原料燒掉而形成黑色的圖像或文字。

- (二) 熱感應紙的應用是使用移動式之熱感頭，經由電路計算在加熱區域瞬間顯色而印出字體或圖案；傳真機即利用感熱紙的這種原理而達到傳真顯像的功能。
- (三) 熱感應紙目前在生活上的應用有樂透彩券、傳真紙、提款機交易明細表、信用卡簽帳單、火車票、電影票、高鐵車票等。

二、熱感應紙的特性：

- (一) 感熱應紙的感熱材質使紙張有加蠟的感覺，紙張較薄，一般原子筆不易書寫。
- (二) 感熱應紙受熱所呈現的圖像及文字會隨時間逐漸淡掉甚至消失，不容易保存。
- (三) 感熱應紙內含有類似塑膠的成分，燃燒之後會產生有毒氣體，不太環保。
- (四) 熱感應紙表面會受氧化、環境潮濕、溫度等因素，顯像的文字或圖像約經過 2-3 個月就會逐漸退色而淡化，比較好的約一年。
- (五) 樂透彩券為高密度的感熱紙，除了質料緊密、不易撕毀外，還具備資料不易褪色、難更改等防偽、防竄改的特性。
- (六) 感熱式傳真機使用一般感熱紙，是目前成本最低的紙張。

三、相關學習單元：

- (一) 自然與生活科技領域《康軒版》(第七冊)第三單元 物質的變化，活動二「不可復原的變化」是介紹地瓜、竹籤、紙張、吐司等物質，遇到高溫會破壞物質的特性，而造成這些物質不能再恢復成原來的樣子；而熱感應紙遇高溫會變黑且不能復原，所以也是屬於不可復原的變化。
- (二) 自然與生活科技領域《康軒版》(第八冊)第二單元 水溶液，活動二「水溶液的酸鹼性」當中有介紹應用物質酸鹼的不同變化，可以進行「無字天書」的遊戲；例如用毛筆沾酚酞溶液寫在紙上晾乾，再用肥皂水噴灑，文字就會浮現出來。而將酸鹼不同的水溶液塗在熱感應紙上，也會有不同的反應。

肆、研究目的

- 一、探討溫度對熱感應紙的影響
- 二、比較溫度、膠帶、護貝對不同種類熱感應紙的影響
- 三、探究酸鹼水溶液對熱感應紙的影響
- 四、探討陽光、潮濕、光線對熱感應紙的影響
- 五、尋求保存熱感應紙的最佳方法

伍、研究設備與器材

熱感應紙	傳真紙 100 cm ² 、樂透彩券、火車票、交易明細表/提款單、信用卡簽帳單
實驗設備	吹風機、300°C 溫度計、碼錶、小雞燈泡、卡典西德、鋁箔紙、奶粉罐、集郵冊、防潮罐、透明資料袋、透明玻璃罐
酸鹼溶液	糖水/0.1M、汽水、稀鹽酸/0.1M、稀氨水/2M、肥皂水、烏醋/糯米醋、小蘇打水/0.1M、工研醋/酸度 45%、藥用酒精/酒精濃度 95°、米酒/酒精濃度 19.5°

陸、研究方法與結果

一、探討溫度對熱感應紙的影響

【實驗一】探討熱感應紙能感應熱的最低溫度

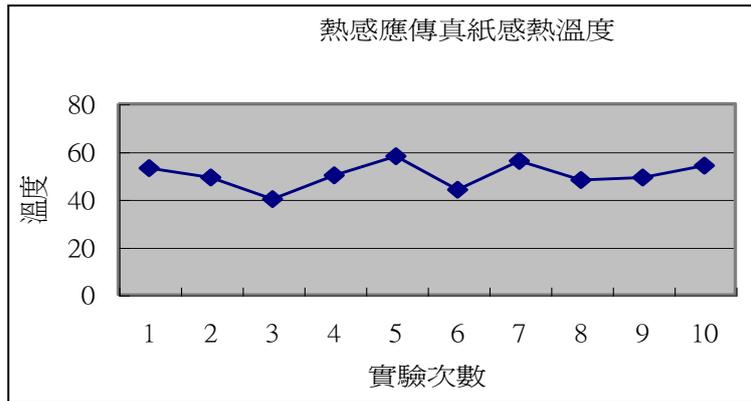
(一) 實驗方法

			
1. 將吹風機垂直擺放，固定在離桌面 4 公分高位置	2. 將熱感應紙和溫度計置於吹風機正下方，溫度控制 25°C	3. 開啓吹風機並計時，當紙張變灰則立即讀取溫度及時間	4. 重複上述實驗，並將實驗結果紀錄下來
5. 為控制變因，則統一使用最容易獲取的「傳真紙」作為熱感應紙來進行實驗。			
6. 為排除誤差，共操作 12 次，實驗結果最大及最小數據不採記，其餘 10 次求取平均值。			

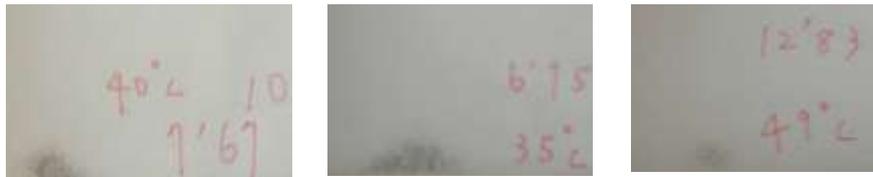
(二) 實驗結果

實驗次序	1	2	3	4	5	6
出現反應溫度	53	49	40	35	50	58
花費時間	15'34	12'83	7'67	6'75	13'30	17'76
採計與否	✓	✓	✓	×	✓	✓
實驗次序	7	8	9	10	11	12
出現反應溫度	44	56	59	48	49	54
花費時間	10'48	17'20	19'77	14'50	14'92	16'34
採計與否	✓	✓	×	✓	✓	✓

1. 從上述 10 次實驗數據求取平均值後可知，熱感應傳真紙在溫度 50.1°C 即可反應，共花費 14 秒 03 的時間。



2. 為了解熱感應傳真紙最低的反應溫度，只要紙張出現灰黑色則立即停止；因此，大多在紙張邊緣呈現淡灰色，如下圖例：



3. 雖然傳真紙在 50.1°C 就會顯色，但因為所呈現的色塊顏色比一般傳真機列印出來的字跡還要淡，因此推測傳真機需要感熱成像的溫度比 50.1°C 還要高。
4. 本實驗所花費的時間為吹風機從 25°C 加溫至傳真紙反應，因此容易受吹風機升溫的速度所影響；但是傳真紙是因加熱的瞬間而顯像，因此推測傳真紙顯像主要是受加熱的溫度所影響，受加熱的時間影響不大。

【實驗二】探討熱感應紙能感應熱的速度

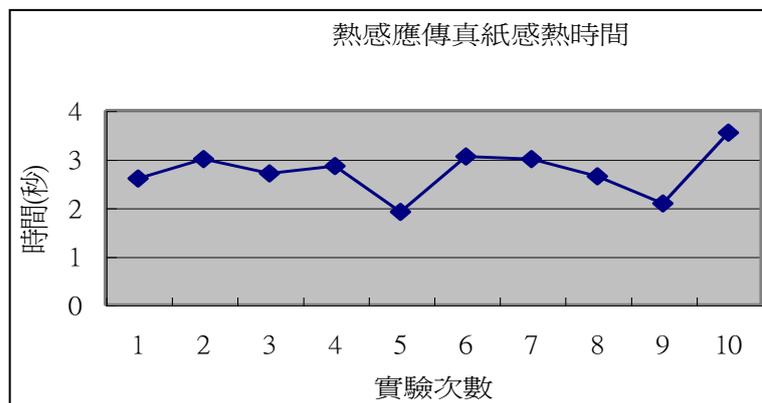
(一) 實驗方法

			
1. 將吹風機垂直擺放，固定在離桌面 4 公分高位置	2. 將溫度計置於吹風機正下方，加熱後將溫度控制在 80°C	3. 將熱感應紙置於吹風機正下方，並立即以碼表計時	4. 測量熱感應紙顯影所花費的時間，重複實驗後紀錄下來
5. 為排除誤差，共操作 12 次，實驗結果最大及最小數據不採記，其餘 10 次求取平均值。			

(二) 實驗結果

實驗次序	1	2	3	4	5	6
花費時間	2'60	3'00	2'70	2'85	3'66	1'91
採計與否	✓	✓	✓	✓	✗	✓
實驗次序	7	8	9	10	11	12
花費時間	3'05	3'00	2'64	2'08	3'54	1'25
採計與否	✓	✓	✓	✓	✓	✗

1. 從上述 10 次實驗數據求取平均值後可知，熱感應傳真紙在溫度 80°C 時花費 2 秒 74 的時間即可顯影。
2. 傳真紙在溫度 80°C 時 3 秒內即可顯影，可利用此設計傳真機傳送紙張的速度。



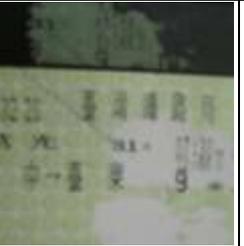
二、比較溫度、膠帶、護貝對不同種類熱感應紙的影響

【實驗一】比較不同種類熱感應紙受膠帶黏貼後影響

(一) 實驗方法

			
1. 蒐集樂透紙、傳真紙、提款單、車票、簽帳單等熱感應紙，並比較其特性	2. 用膠帶黏貼文字或圖案處，撕下後觀察紙張及膠帶表面	3. 再用 100°C 吹風機加熱剛剛被膠帶黏貼處	4. 觀察實驗結果並紀錄下來

(二) 實驗結果

種類	樂透紙	傳真紙	提款單	火車票	簽帳單
厚度	10 張總合厚 1 mm 1 張厚 0.1 mm	20 張總合厚 1 mm 1 張厚 0.05 mm	20 張總合厚 1 mm 1 張厚 0.05 mm	10 張總合厚 2 mm 1 張厚 0.2 mm	10 張總合厚 1 mm 1 張厚 0.1 mm
紙質	表面光滑 紙張柔軟	表面光滑 紙張柔軟	表面光滑 紙張柔軟	表面光滑 紙質比較硬	表面光滑 紙張柔軟
膠帶黏貼情形					
說明	紙張表面白色光滑膜被黏起（火車票為綠色光滑膜），原來文字處在膠帶上呈現鏤空狀				
種類	樂透紙	傳真紙	提款單	火車票	簽帳單
100℃ 加熱情形					
說明	被膠帶黏起光滑白膜處（火車票為綠膜）加熱後沒有呈黑色反應，其餘都變黑色				

1. 火車票紙張厚度為 0.2 mm，位居全部最厚且質地較硬；簽帳單和樂透紙厚度為 0.1 mm，占第二名，提款單和傳真紙最薄，只有 0.05 mm。
2. 五種感熱紙受膠帶黏貼撕起後，會發現紙張表面光滑的一層膜都會被黏起，而原來文字處在膠帶上會呈現鏤空狀；推測感熱紙上的文字處因為受高溫反應，原來表面的白色感熱原料被破壞，因此膠帶在文字圖案處無法黏起任何東西，而呈現鏤空狀。
3. 五種感熱紙受 100℃ 高溫加熱後，除膠帶黏貼撕起處之外，其餘地方都呈黑色；推測因膠帶把白色感熱原料黏起，因此該處經過高溫加熱不會產生作用，和一般的紙張無異。

【實驗二】測量不同種類熱感應紙能感應熱的最低溫度

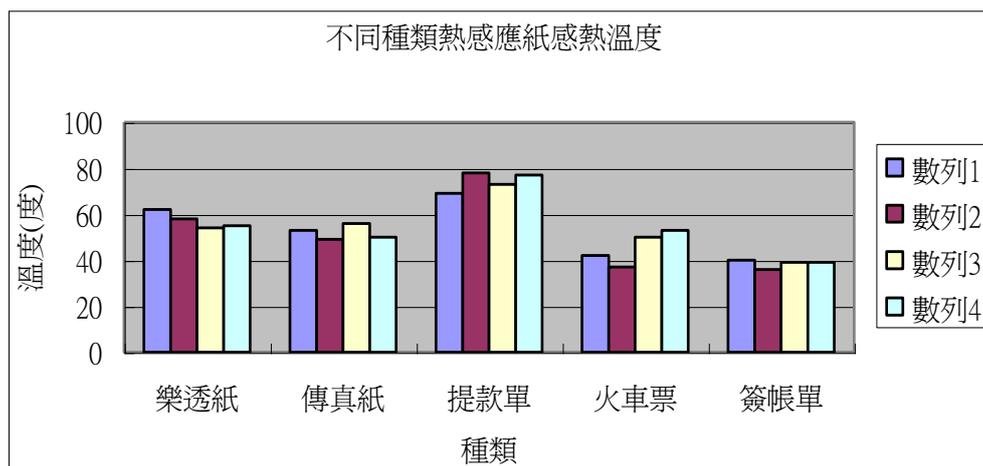
(一) 實驗方法

			
1. 將吹風機垂直擺放，固定在離桌面4公分高位置	2. 蒐集樂透紙、傳真紙、提款單、車票、簽帳單等熱感應紙	3. 將熱感應紙和 25°C 溫度計置於吹風機正下方，開啓吹風機觀察	4. 當感應紙反應則立即讀取溫度；重複實驗 4 次，並將實驗結果紀錄下來

(二) 實驗結果

種類	樂透紙	傳真紙	提款單	火車票	簽帳單
1	62°C	53°C	69°C	42°C	40°C
2	58°C	49°C	78°C	37°C	36°C
3	54°C	56°C	73°C	50°C	39°C
4	55°C	50°C	77°C	53°C	39°C
平均	57.3°C	52°C	74.3°C	45.5°C	38.5°C

- 五種熱感應紙能感熱的最低溫度以提款單所需要的溫度最高，為 74.3°C；而簽帳單最低，只要 38.5°C 即可反應。
- 雖然五種熱感應紙在 80°C 以下即可顯影，但顏色都為灰黑色且無法覆蓋文字，還可清晰看見紙張上的文字，因此推測五種熱感應紙經過機器後顯現文字的溫度，應該都高於本實驗所測出來能感應熱的最低溫度。

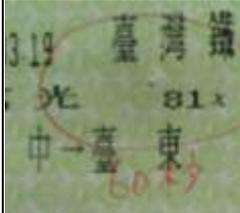
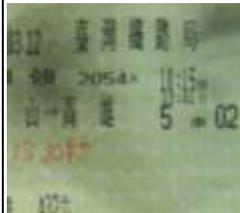


【實驗三】探討時間對不同種類熱感應紙的影響

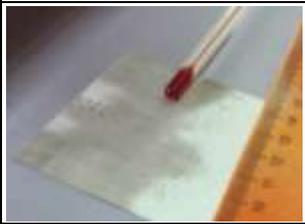
(一) 實驗方法

			
1. 將吹風機垂直擺放，固定在離桌面 4 公分高位置，將溫度控制在 80°C	2. 蒐集樂透紙、傳真紙、提款單、車票、簽帳單等熱感應紙進行實驗	3. 將熱感應紙置於吹風機正下方並以碼錶計時	4. 測量並觀察熱感應紙以 80°C 加熱 30 秒、1 分鐘和 1 分 30 秒的反應情形

(二) 實驗結果

種類	樂透紙	傳真紙	提款單	火車票	簽帳單
經過 30 秒					
說明	呈灰黑色，無法覆蓋文字	呈灰黑色，分部不均勻，無法覆蓋文字，有臭味	呈灰黑色，無法覆蓋文字，反應劇烈	呈灰白色，無法覆蓋文字，一段時間後顏色變淡	呈灰黑色，無法覆蓋文字
經過 1 分鐘					
說明	較加熱 30 秒黑，面積也較大，無法覆蓋文字	與加熱 30 秒一樣黑，面積比較大，無法覆蓋文字，臭味越重	與文字的黑色一樣重，仔細看才看得見文字，反應劇烈	與加熱 30 秒情況相同，且顏色一樣黑，但面積比較大	與加熱 30 秒情況相同，且顏色一樣黑，但面積比較大
經過 1 分 30 秒					
說明	與加熱 1 分鐘情況相同	與加熱 1 分鐘情況相同	與加熱 1 分鐘情況相同	與加熱 1 分鐘情況相同	與加熱 1 分鐘情況相同

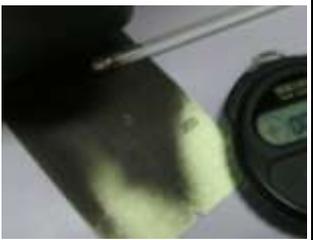
1. 傳真紙和簽帳單在溫度 80°C 下會產生像燒塑膠的臭味，且隨著時間加熱越久而越臭。
2. 五種熱感應紙在溫度 80°C 受熱狀況下所產生的灰黑色反應無法覆蓋文字，表示文字黑色比較重。
3. 傳真紙、簽帳單和提款單在吹風機下受熱會呈灰白色，但降溫時會呈灰黑色；如下圖：

提款單		簽帳單	
在吹風機下	吹風機拿開瞬間	在吹風機下	吹風機拿開瞬間
			
傳真紙		◎傳真紙、簽帳單和提款單在吹風機下受熱狀況下會呈灰白色 ◎一拿開吹風機，溫度瞬間下降同時，紙張會馬上變成灰黑色 ◎再把紙張拿到吹風機下，傳真紙、簽帳單和提款單瞬間又會呈灰白色	
在吹風機下	吹風機拿開瞬間		
			

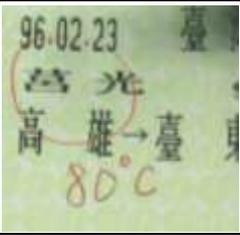
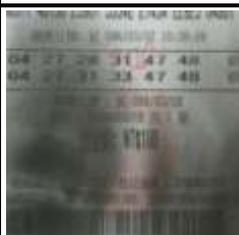
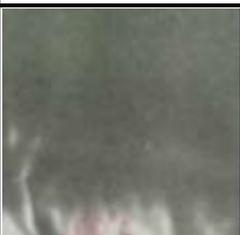
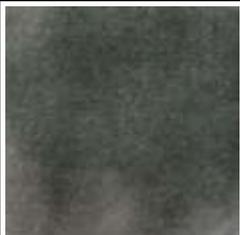
4. 火車票在 80°C 下呈現灰紫色，但放置一段時間後顏色會慢慢變淡，經過一週後原來呈現黑色區塊會消失不見，表示火車票票面上的文字須超過 80°C 才可永久保存。
5. 五種熱感應紙黑色深淺程度為：提款單 > 簽帳單 > 樂透紙 > 傳真紙 > 火車票。
6. 五種熱感應紙黑色面積大小為：提款單 > 簽帳單 > 樂透紙 > 傳真紙 > 火車票。
7. 比較每一種熱感應紙會發現，相同的溫度下，加熱時間的長短對灰黑色面積有影響，加熱時間越長，黑色面積越大；但對黑色深淺程度沒有影響。

【實驗四】探討溫度對不同種類熱感應紙的影響

(一) 實驗方法

			
1. 將吹風機垂直擺放，固定在離桌面 4 公分高位置	2. 蒐集樂透紙、傳真紙、提款單、車票、簽帳單等熱感應紙進行實驗	3. 將熱感應紙置於吹風機正下方加熱 1 分鐘	4. 測量並觀察在 80°C、100°C 和 120°C 的反應情形

(二) 實驗結果

種類	樂透紙	傳真紙	提款單	火車票	簽帳單
加熱 80 °C					
說明	呈灰黑色，無法覆蓋文字	呈灰黑色，分部不均勻，無法覆蓋文字，有臭味	呈灰黑色，無法覆蓋文字，分布均勻，有臭味	呈灰白色，無法覆蓋文字，一段時間後顏色變淡	呈灰黑色，無法覆蓋文字
加熱 100 °C					
說明	呈黑色，仔細看才看得見文字，面積也比較大	與加熱 80°C 情況一樣，但顏色比較重，部份文字消失不見	與加熱 80°C 情況一樣，但顏色比較重，有臭味	呈深黑色，看不見文字，時間久也不會變淡，與 80°C 差距大	與加熱 80°C 情況一樣，但顏色比較重，有臭味
加熱 120 °C					
說明	呈深黑色且看不見文字，面積也比較大	呈黑綠色，全部文字消失不見，比加熱 100°C 顏色黑，有惡臭	與加熱 100°C 情況相同，但顏色比較重，有臭味	與加熱 100°C 情況相同，但顏色和面積都比較大	與加熱 100°C 情況相同，但顏色比較重，有臭味

1. 傳真紙和提款單在溫度 80°C 受熱狀況下會產生像燒塑膠的臭味，且隨著溫度越高而越臭；簽帳單在溫度 100°C 狀況下也漸漸產生臭味。
2. 樂透紙、傳真紙和火車票在 120°C 的情況下，會看不見文字，表示紙張呈現與文字一樣的深黑色；因此推測這三種熱感應紙的機器是在大約 120°C 的溫度下印上文字。
3. 樂透紙在 120°C 狀況下周圍會呈現深黑色，使原來【樂透彩】的字樣顯得比較亮白。

- 火車票雖然在 45.5°C 即可感熱，但加熱到 80°C 時反應顏色都很淺，且顏色會隨時間而變淡；但是在溫度 100°C 的情況下會有劇烈反應，能瞬間變深黑色。
- 五種熱感應紙在 120°C 下黑色深淺程度：火車票 > 樂透紙 > 簽帳單 > 提款單 > 傳真紙。

紙張	火車票	樂透紙	簽帳單	提款單	傳真紙
呈色對比					

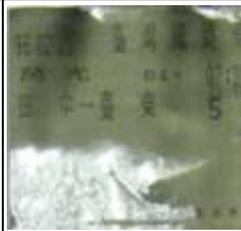
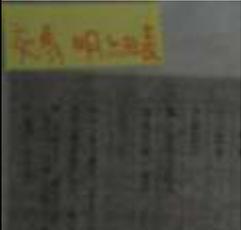
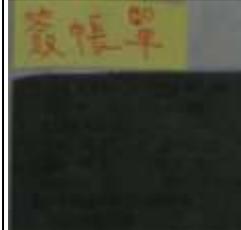
- 五種熱感應紙在 120°C 下黑色面積大小均能覆蓋全部面積。
- 比較每一種熱感應紙會發現，控制加熱 1 分鐘的時間下，溫度對灰黑色深淺程度有影響，溫度越高，黑色程度越深；因此，如果想要長期保存熱感應紙，可提高紙張經過機器的溫度，使文字顏色越深，自然也就較不易褪色。

【實驗五】探討護貝對不同種類熱感應紙的影響

(一) 實驗方法

			
1.將護貝機分別控制在 80°C、100°C 和 120°C 的溫度下且相同的傳送速度	2.蒐集樂透紙、傳真紙、提款單、車票、簽帳單等熱感應紙整齊擺放在護貝膠膜內	3.將護貝膠膜小心平穩的推進護貝機內	4.觀察實驗結果，並加以比較，最後將實驗結果紀錄下來

(二) 實驗結果

種類	樂透紙	傳真紙	提款單	火車票	簽帳單
護貝 80 °C					
說明	部份呈灰黑色，無法覆蓋文字	呈灰黑色，分布不均勻，文字消失不見	呈灰黑色，分布均勻，無法覆蓋文字	部份呈灰黑色，無法覆蓋文字	呈灰黑色，分布均勻，無法覆蓋文字
護貝 100 °C					
說明	全部呈黑色，看不見文字，與 80°C 差距大	分布均勻，顏色呈灰白色，比 80°C 顏色淡	與護貝 80°C 情況一樣，但顏色比較重	呈深黑色，完全看不見文字，分布均勻，與 80°C 差距大	與護貝 80°C 情況一樣，顏色比較深，仔細看可以看得見文字
護貝 120 °C					
說明	與護貝 100°C 情況一樣	呈全白色，較護貝 100°C 潔白	與護貝 100°C 情況一樣，但文字完全看不見	與護貝 100°C 情況一樣	與護貝 100°C 情況一樣，但文字完全看不見

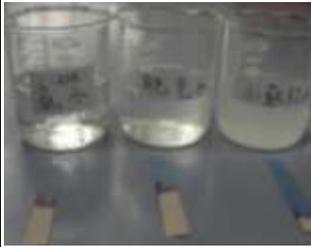
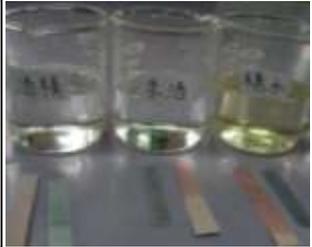
1. 樂透紙、傳真紙和火車票在護貝機 100°C 受熱狀況下文字會完全看不見（和周圍顏色一樣黑），但是提款單和簽帳單需在溫度 120°C 的狀況下文字才會看不見。
2. 五種熱感應紙在護貝機速度相同的受熱下，全部面積呈現均勻黑色，且沒有臭味。
3. 傳真紙在溫度 80°C 下紙張反呈灰白色，120°C 下呈全白色，膠膜捲縮，推測高溫使熱感應層完全破壞，而形同一張普通紙張。
4. 樂透紙和火車票在護貝機 100°C 的溫度下反應劇烈，無論顏色或面積都與 80°C 的情況

差異大，推測 100°C 是樂透紙和火車票的變化臨界溫度。

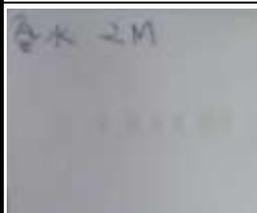
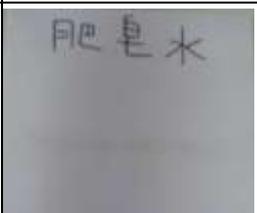
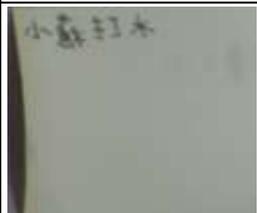
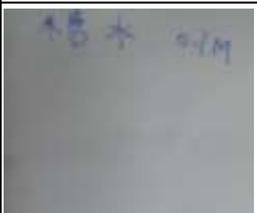
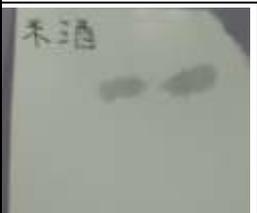
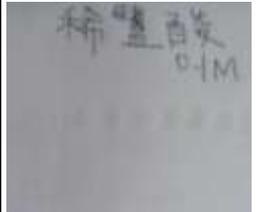
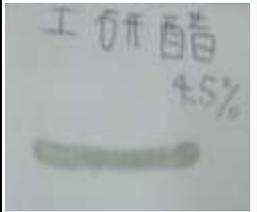
三、探究酸鹼水溶液對熱感應紙的影響

【實驗一】探討酸鹼水溶液對熱感應紙的反應

(一) 實驗方法

			
1.準備 2M 氨水、實驗用肥皂水、0.1M 小蘇打水的鹼性溶液各 50ml	2.準備 0.1M 糖水、19.5°米酒、95°酒精的中性溶液各 50ml	3.準備汽水、0.1M 稀鹽酸、烏醋、45% 工研醋的酸性溶液各 50ml	4.以棉花棒沾取酸鹼溶液塗在 10 cm ² 熱感應紙上，10 分鐘後觀察並紀錄結果
【備註】為控制變因，則統一使用最容易獲取的「傳真紙」作為熱感應紙來進行實驗。			

(二) 實驗結果

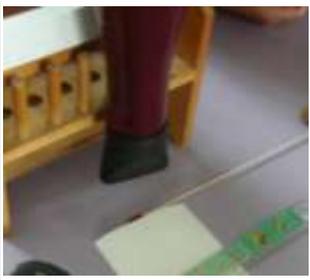
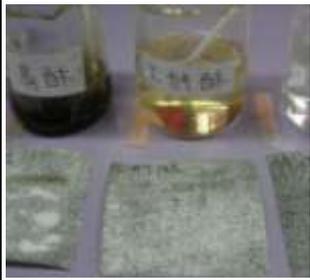
塗 2M 氨水	塗實驗用肥皂水	塗 0.1M 小蘇打水	塗 0.1M 糖水	塗 19.5°米酒
				
無反應	無反應	無反應	無反應	無反應
塗 95°酒精	塗汽水	塗 0.1M 稀鹽酸	塗烏醋	塗 45% 工研醋
				
周圍呈黑色印痕，中間呈乳白色	無反應	無反應	塗過區塊呈褐色，周圍呈淡綠印痕	塗過區域呈墨綠色

1. 氨水、肥皂水、小蘇打水等鹼性水溶液和糖水、米酒等中性水溶液塗在熱感應傳真紙上晾乾後無留下痕跡。
2. 酒精塗在傳真紙上的區塊周圍會呈黑色明顯印痕，晾乾後中間呈乳白色，原先紙張光滑的表面變得模糊，推測酒精會與白色感熱原料起反應。
3. 汽水、稀鹽酸等弱酸性水溶液塗在熱感應傳真紙上起初呈淡綠色，晾乾後無留下痕跡；烏醋、工研醋等塗在熱感應傳真紙會呈墨綠色。推測熱感應層含塑膠成分，故與酸性

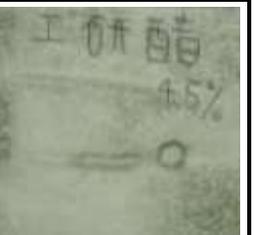
溶液產生作用。

【實驗二】探討酸鹼水溶液在熱感應紙加熱後的反應

(一) 實驗方法

			
1. 將吹風機垂直擺放，固定在離桌面 4 公分高位置	2. 將溫度計加熱到溫度 80°C	3. 將【實驗一】塗過酸鹼水溶液再晾乾後的熱感應紙置於吹風機下受熱	4. 觀察實驗結果並紀錄下來
【備註】為控制變因，則統一使用最容易獲取的「傳真紙」作為熱感應紙來進行實驗。			

(二) 實驗結果

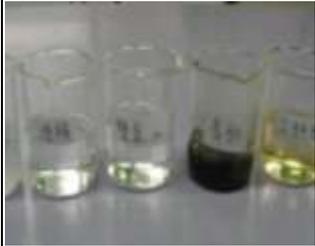
塗 2M 氨水加熱	塗肥皂水加熱	塗小蘇打水加熱	塗 0.1M 糖水加熱	塗 19.5°米酒加熱
				
全變灰黑色	全變灰黑色	全變灰黑色	全變灰黑色	全變灰黑色
塗 95°酒精加熱	塗汽水加熱	塗稀鹽酸加熱	塗烏醋加熱	塗工研醋加熱
				
塗過區塊呈乳白色，其餘全變成灰黑色	全變灰黑色	全變灰黑色	全變灰黑色 原褐色區塊保留	全變灰黑色

1. 在塗過鹼性、中性水溶液及弱酸性汽水之熱感應傳真紙，以吹風機 80°C 加熱後，除塗過酒精的傳真紙有反應外，其餘都因受熱而全變成灰黑色，與一般傳真紙無異。
2. 傳真紙上塗酒精的區塊呈現乳白色，不會因受熱而呈現灰黑色，推測可能酒精破壞了白色感熱原料，所以即使加熱後仍不會產生反應。

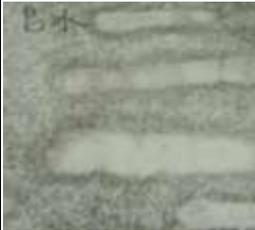
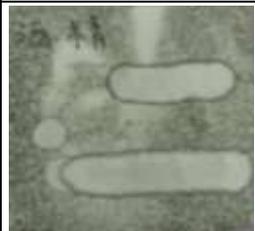
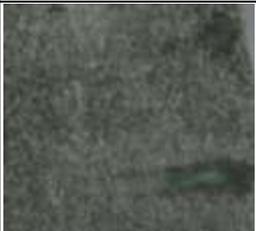
3. 塗過稀鹽酸、烏醋、工研醋等酸性溶液之傳真紙，原塗料處經加熱後呈淡綠色。

【實驗三】 探討酸鹼水溶液在感熱後呈黑色熱感應紙的反應

(一) 實驗方法

			
1. 準備【實驗一】所使用之各種酸鹼水溶液各 50ml	2. 準備數張經過 80°C 吹風機加熱反應過的熱感應紙。	3. 以棉花棒沾取酸鹼溶液塗在 10 cm ² 反應過的熱感應紙上	4. 靜置 10 分鐘晾乾後觀察結果並加以紀錄
【備註】為控制變因，則統一使用最容易獲取的「傳真紙」作為熱感應紙來進行實驗。			

(二) 實驗結果

塗 2M 氨水	塗實驗用肥皂水	塗 0.1M 小蘇打水	塗 0.1M 糖水	塗 19.5°米酒
				
塗過區塊呈灰白色	塗過區塊呈白色	塗過區塊呈灰白色	剛塗過區塊無反應，用棉花棒多塗幾次後呈灰白色	剛塗過區塊無反應，用棉花棒多塗幾次後呈灰白色
塗 95°酒精	塗汽水	塗 0.1M 稀鹽酸	塗烏醋	塗 45% 工研醋
				
塗過區塊立即呈乳白色	塗過區塊呈淡綠色	塗過區塊呈墨綠色	塗過區塊呈烏醋褐色，周圍呈綠色	塗過區塊呈綠色

1. 在 80°C 吹風機加熱反應過的熱感應紙塗上酸性溶液，例如：汽水、稀鹽酸、烏醋、工研醋等溶液，紙張上會呈現綠色；推測酸性溶液會與反應後的熱感應原料發生作用。

2. 在 80°C 吹風機加熱反應過的熱感應紙塗上鹼性溶液，例如：氨水、肥皂水、小蘇打水等，紙張上會呈現灰白色，且時間越久會呈明顯的乳白色；再利用 80°C 的吹風機加熱塗上鹼性溶液的熱感應紙，原先乳白色處無法再反應呈黑色，推測鹼性溶液會與反應後的熱感應原料發生作用而呈現白色，但不是還原成原來的性質。
3. 在 80°C 吹風機加熱反應過的熱感應紙塗上中性溶液，例如：糖水和米酒，紙張原本無明顯反應，但來回多塗幾次，區塊處會漸漸呈白色，棉花棒頭則呈黑色。
4. 在 80°C 吹風機加熱反應過的熱感應紙塗上酒精溶液，區塊處會呈現明顯的乳白色；推測酒精會與反應後的熱感應原料發生劇烈作用。
5. 再利用 80°C 的吹風機加熱塗上酒精的熱感應紙，原先乳白色處無法再反應呈黑色，因此推測酒精應是破壞熱感應原料，而無法產生還原作用。
6. 由結果 2、3 得知，熱感應紙經高溫顯影後，如果置於鹼性或中性潮濕環境，將可能使紙上之文字或影像褪色。
7. 由結果 2、6 得知，在熱感應紙上加熱後已破壞感熱原料，再塗上中性溶液、鹼性溶液或酒精，雖然看起來像恢復成原來的白色，但再用吹風機吹卻無法再反應呈黑色，表示這個實驗不是還原作用，所以不能重複回收再利用。

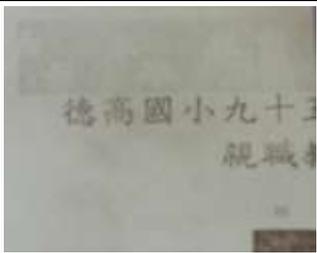
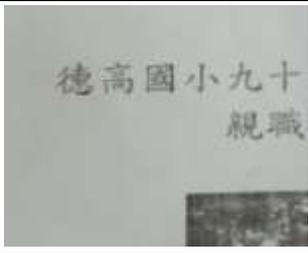
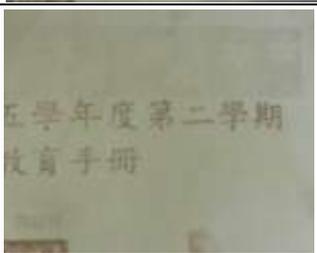
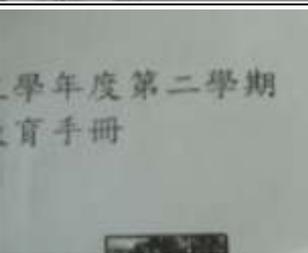
四、探討陽光、潮濕、光線對熱感應紙的影響

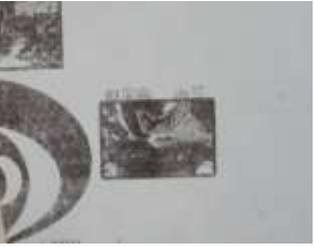
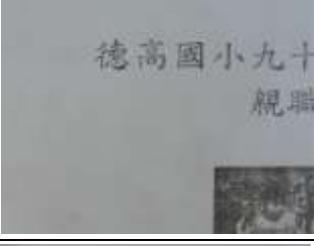
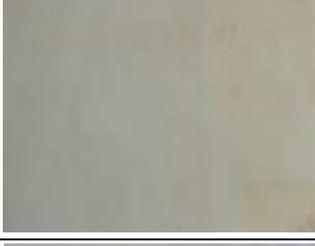
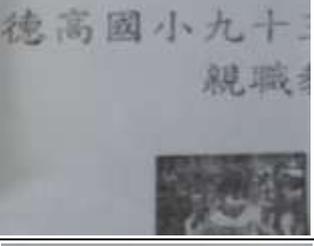
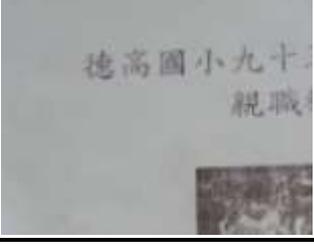
【實驗一】探討陽光對熱感應紙的影響

(一) 實驗方法

			
1. 準備具文字及影像之 25 cm ² 熱感應傳真紙 6 張，每 3 張分為一組	2. 將 3 張熱感應傳真紙置於晴天太陽下曝曬，如天氣轉陰則收回置於盒內	3. 另 3 張熱感應傳真紙置於室內作為對照組，如天氣轉陰則收回置於盒內	4. 控制兩組接觸空氣時間相同，觀察並紀錄結果

(二) 實驗結果

實驗組（室外：陽光照射）		對照組（室內：沒有陽光）	
變化情形	說明	變化情形	說明
	曝曬時間：5 小時後 平均溫度：34°C 變化情形：文字呈淡紫色，紙張呈淡黃		接觸空氣：5 小時後 平均溫度：23°C 變化情形：沒有明顯變化
	曝曬時間：10 小時後 平均溫度：36°C 變化情形：文字更淡，紙張呈紫黃色		接觸空氣：10 小時後 平均溫度：24°C 變化情形：沒有明顯變化
	曝曬時間：15 小時後 平均溫度：33°C 變化情形：文字呈咖啡色，紙張呈黃色		接觸空氣：15 小時後 平均溫度：22°C 變化情形：沒有明顯變化
	曝曬時間：20 小時後 平均溫度：41°C 變化情形：文字呈咖啡色，紙張呈橘黃色		接觸空氣：20 小時後 平均溫度：29°C 變化情形：沒有明顯變化
	曝曬時間：25 小時後 平均溫度：47°C 變化情形：文字呈橘色，紙張呈橘黃色		接觸空氣：25 小時後 平均溫度：31°C 變化情形：文字變淡
	曝曬時間：30 小時後 平均溫度：37°C 變化情形：文字呈淡橘色，影像變淡 50%，紙張呈橘黃色		接觸空氣：30 小時後 平均溫度：30°C 變化情形：文字變淡

	曝曬時間：35 小時後 平均溫度：46°C 變化情形：紙張呈橘黃色，影像變淡 60%		接觸空氣：35 小時後 平均溫度：31°C 變化情形：文字變淡，呈灰黑色
	曝曬時間：40 小時後 平均溫度：42°C 變化情形：紙張呈橘黃色，影像模糊，部份文字消失看不見		接觸空氣：40 小時後 平均溫度：29°C 變化情形：文字變淡，呈灰黑色
	曝曬時間：45 小時後 平均溫度：33°C 變化情形：紙張呈淡黃色，影像、文字變淡 90%		接觸空氣：45 小時後 平均溫度：28°C 變化情形：文字變淡，呈灰黑色
	曝曬時間：50 小時後 平均溫度：38°C 變化情形：紙張呈淡黃色，影像較淡 95%，有燒焦味		接觸空氣：50 小時後 平均溫度：30°C 變化情形：文字變淡，呈灰黑色，無味
	曝曬時間：55 小時後 平均溫度：47°C 變化情形：紙張呈淡黃色，影像較淡 99.9%，有燒焦味		接觸空氣：55 小時後 平均溫度：31°C 變化情形：文字變淡，呈灰黑色，紙張較白，無味

1. 傳真紙經陽光曝曬後，文字顏色變化由黑→灰黑→紫黑→咖啡→橘黃→淡黃，曝曬約 55 小時後文字、影像消失不見；紙張顏色由白→紫黃→橘黃→淡黃，有燒焦味。
2. 熱感應傳真紙置於室內，文字也會有些微變淡，呈灰黑色；但不如陽光下反應劇烈。

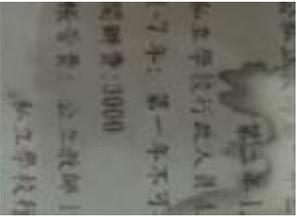
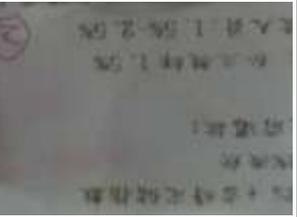
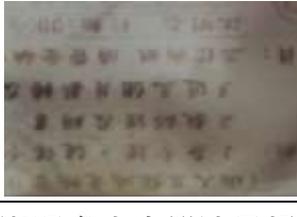
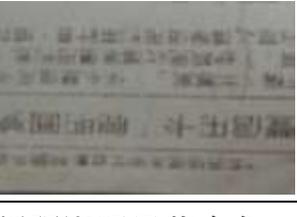
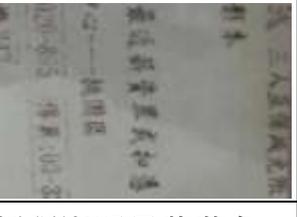
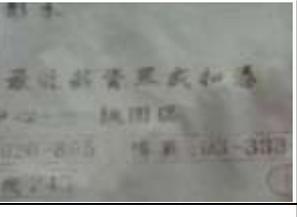
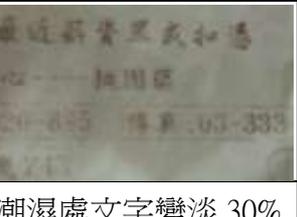
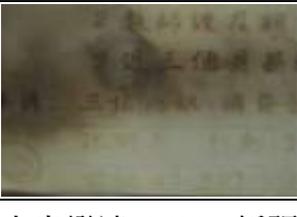
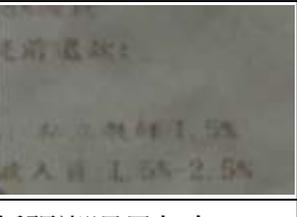
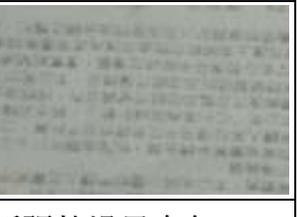
【實驗二】探討潮濕環境對熱感應紙的影響

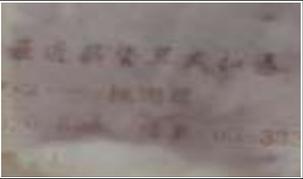
(一) 實驗方法



1.準備 50ml 氨水、稀鹽酸、純水溶液，置於 1000ml 的玻璃罐內	2.將 3 張 25 cm ² 熱感應傳真紙置入玻璃罐內，蓋上玻璃板並以膠帶黏緊	3.另準備對照組為乾燥玻璃罐，並將 4 罐玻璃罐均置於陽光下	4.製造玻璃罐內的潮濕環境，觀察並紀錄熱感應傳真紙的變化情形
5.為避免實驗結果受陽光影響，實驗組都與乾燥環境下的對照組做比較。			

(二) 實驗結果

	鹼性潮濕環境	酸性潮濕環境	中性潮濕環境	乾燥環境
5 天後				
說明	潮濕處文字呈淡紫色，紙張渲染呈灰黑	紙張潮濕，文字顏色與對照組相同	紙張潮濕，文字顏色與對照組相同	紙張乾燥，經陽光曝曬文字顏色較淡
10 天後				
說明	潮濕處文字變淡呈橘色	紙張潮濕呈紫白色，文字無明顯變化	紙張潮濕呈紫黃色，文字無變化	無明顯變化
15 天後				
說明	文字變淡 70%，紙張渲染不均勻	紙張浸水潮濕處呈墨綠色，文字顏色不變	無明顯變化	無明顯變化
20 天後				
說明	圖像渲染模糊不均	原墨綠色處呈橘黑色，文字顏色不變	潮濕處文字變淡 30%	無明顯變化
25 天後				
說明	文字變淡 80%，紙張渲染呈橘灰色	紙張呈紫黑色，潮濕處呈墨綠色	紙張潮濕呈灰色	紙張乾燥呈白色

30 天 後				
說 明	文字變淡 85%，紙張 渲染呈紫橘色	紙張呈紫灰色，原墨 綠色處文字變淡	紙張呈紫灰色，文字 較乾燥環境淡 50%	文字經陽光曝曬變淡

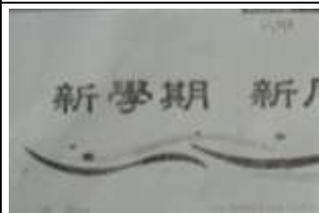
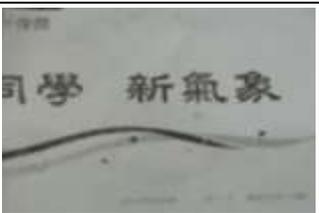
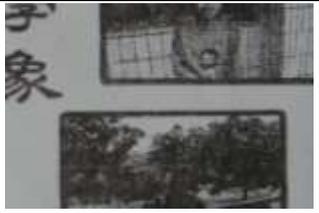
1. 熱感應傳真紙置於鹼性及中性潮濕環境下，紙張容易渲染呈灰黑色，文字有褪色現象；但鹼性潮濕環境較中性潮濕環境效果明顯。
2. 熱感應傳真紙置於酸性潮濕環境下，紙張浸水潮濕處會呈墨綠色反應，晾乾後會呈橘黑色，且該處文字容易褪色，其他地方文字顏色不易變化。

【實驗三】探討光線對熱感應紙的影響

(一) 實驗方法

			
1.將 3 張 25 cm ² 熱感 應傳真紙置入 3375 cm ³ 正立方體紙盒	2.紙盒內裝一般孵小 雞的燈泡	3.置入溫度計量測盒 內溫度，另準備對 照組為無燈泡空盒	4.觀察並紀錄熱感應 傳真紙的變化情形

(二) 實驗結果

實驗組（有光線：小雞燈照）		對照組（無光線：空盒子）	
變化情形	說明	變化情形	說明
	照射時間：10 天後 平均溫度：45°C 變化情形：文字變淡		觀察時間：10 天後 平均溫度：28°C 變化情形：沒有明顯變 化
	照射時間：20 天後 平均溫度：44°C 變化情形：文字變淡 5%，紙張呈紫黃色		觀察時間：20 天後 平均溫度：29°C 變化情形：沒有明顯變 化

	照射時間：30 天後 平均溫度：42°C 變化情形：文字呈紫黃 變淡 10%，紙張呈淡黃		觀察時間：30 天後 平均溫度：28°C 變化情形：紙張呈白 色，文字黑色清楚
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------

1. 熱感應傳真紙經光線曝曬後 30 天，文字會由黑轉紫黃色，且相較於無光照傳真紙文字較淡，紙張呈淡黃色，無味。
2. 熱感應傳真紙經小雞燈光線曝曬後，變化情形類似於陽光曝曬，但光線溫和，變化緩慢。

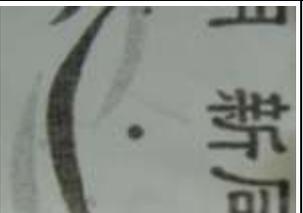
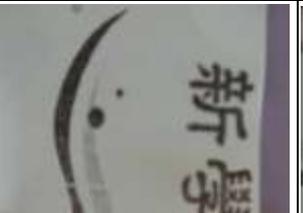
五、尋求保存熱感應紙的最佳方法

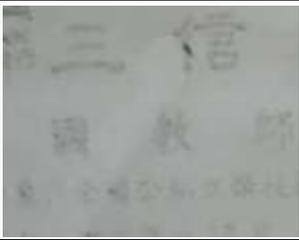
(一) 實驗方法

			
1.將 3 張 25 cm ² 熱感應傳真紙包入鋁箔紙內，並用迴紋針夾緊	2.將 3 張熱感應傳真紙均勻塗抹透明膠水，並置於室內之正常環境下	3.將 3 張熱感應傳真紙黏貼膠帶及卡典西德，並置於室內之正常環境下	4.將 3 張熱感應傳真紙放入透明資料袋內，並置於室內之正常環境下
			
5.將 3 張熱感應傳真紙置於辦公用防潮櫃內	6.將 3 張熱感應傳真紙置於 1.5kg 用奶粉罐內	7.將 3 張熱感應傳真紙置於集郵冊內，並蓋闔起來	8.將 3 張熱感應傳真紙放入 800ml 防潮罐，另準備一組置於正常環境下比較

(二) 實驗結果

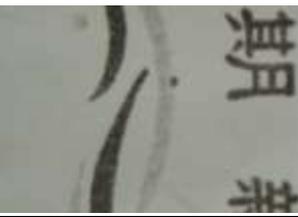
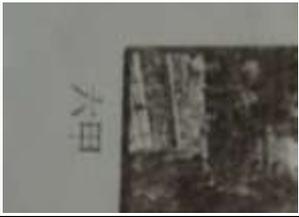
【實驗一】熱感應傳真紙黏卡典西德後，與正常環境下傳真紙比較

時間	3 小時後	6 小時後	9 小時後	12 小時後
正常環境				

黏卡典西德				
說明	文字變淡 20%	文字變淡 50%	文字變淡 80%	文字變淡 95%

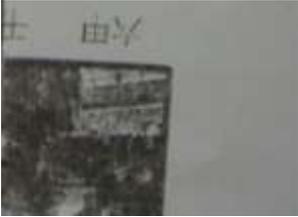
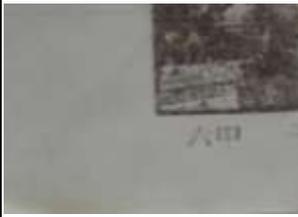
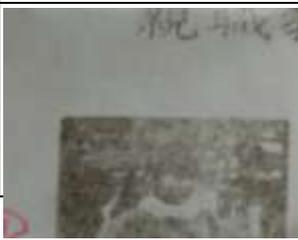
1. 熱感應傳真紙黏卡典西德經 13 小時後，文字全部消失不見，且紙張呈白色；推測卡典西德上的黏劑會與傳真紙上的顯影劑作用，而使文字消失不見。

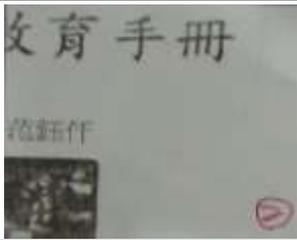
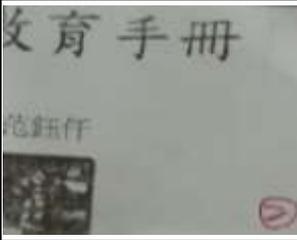
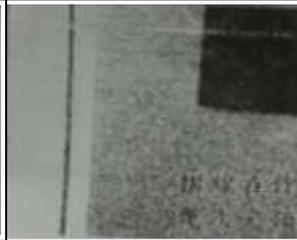
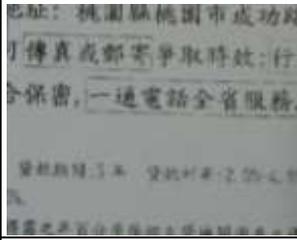
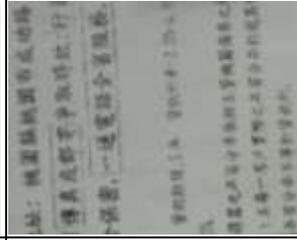
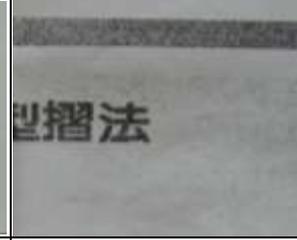
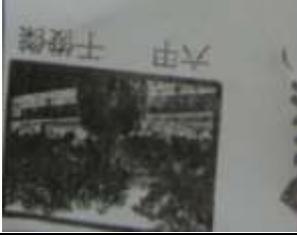
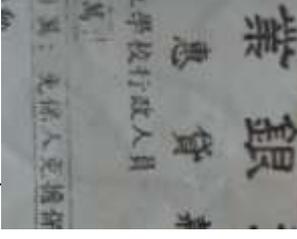
【實驗二】熱感應傳真紙黏膠帶後，與正常環境下傳真紙比較

時間	2 天後	4 天後	6 天後	8 天後
正常環境				
黏卡典西德				
說明	文字變淡 30%	文字變淡 60%	文字變淡 90%	文字變淡 99%

1. 熱感應傳真紙黏膠帶經 8 天後，文字全部消失不見，且紙張呈白色；推測膠帶上的黏劑會與傳真紙上的顯影劑作用，而使文字消失不見。

【實驗三】熱感應傳真紙經試驗其他保存方法後，與正常環境下傳真紙比較

時間	6 天後	12 天後	18 天後	24 天後
正常環境				
說明	無明顯變化	紙張呈淡黃色	紙張較黃，文字較淡	紙張較黃文字紫黑色
塗膠水				

說明	文字變淡 10%呈紫灰	文字變淡 20%紙張較白	文字變淡 30%紙張較白	文字變淡 40%呈紫灰
置於防潮櫃				
說明	紙張較白，文字較黑	紙張較白，文字較黑	紙張較白，文字黑 3%	紙張較白，文字黑 5%
置於防潮罐				
說明	無明顯變化	紙張較白文字無變化	紙張較白，文字黑 3%	紙張較白，文字黑 3%
置於集郵冊				
說明	無明顯變化	無明顯變化	紙張較白，文字黑 3%	紙張較白，文字黑 3%
透明資料袋				
說明	無明顯變化	紙張較白，文字較黑	紙張較白，文字黑 2%	紙張較白，文字黑 2%
置於奶粉罐				
說明	紙張較白，文字較黑	紙張較白，文字黑 2%	紙張較白，文字黑 5%	紙張較白，文字黑 8%
包入鋁箔				

紙				
說明	無明顯變化	紙張較白，文字較黑	紙張較白，文字黑 3%	紙張較白，文字黑 3%

1. 熱感應傳真紙塗膠水經 24 天後，文字變淡 40%，且紙張較白；推測膠水因與傳真紙上的顯影劑作用，而使文字消失不見，但因隔離與空氣接觸，故紙張呈顯較白。
2. 熱感應傳真紙置於防潮櫃、防潮罐、透明資料袋經 24 天後，文字較黑，紙張無變黃現象；推測因這些方法能避免潮濕環境且較少與空氣接觸，故能達到保存效果。
3. 熱感應傳真紙置於集郵冊、奶粉罐、鋁箔紙經 24 天後，文字較黑，紙張無變黃現象；推測因這些方法能避免潮濕環境且杜絕與光線、空氣接觸，故能達到保存效果。
4. 正常環境下的傳真紙雖置於室內，但仍會受光線、氣候潮濕、接觸空氣所影響，經 24 天後紙張會呈淡黃色，文字變淡呈紫黃色。
5. 在熱感應傳真紙上黏貼卡典西德、膠帶、塗膠水，雖然看起來似乎能達到保護表層的方法，但經實驗發現，這些黏劑或塗料實則會與熱感應層中的顯影劑發生作用，反而會加速文字變淡，最後消失不見；而使傳真紙上文字消失的速度為：卡典西德>膠帶>塗膠水。



6. 保存熱感應傳真紙的最佳方法為：奶粉罐>防潮櫃>防潮罐>集郵冊>鋁箔紙>資料袋。



7. 將熱感應紙置於奶粉罐、鋁箔紙、透明資料袋內，能達到保存效果且符合經濟實惠。

柒、研究結論

一、探討溫度對熱感應紙的影響

1. 傳真紙在溫度 50.1°C 即可反應，但呈色較淡，推測傳真機成像溫度比 50.1°C 還高。
2. 熱感應傳真紙在溫度 80°C 時花費 2 秒 74 的時間即可顯影，因此可設計傳真機傳送紙張的速度。

二、比較溫度、膠帶、護貝對不同種類熱感應紙的影響

1. 透紙、傳真紙、提款單、車票、簽帳單受膠帶黏貼撕起後，該處熱感應層膜會被黏起，原來文字處在膠帶上會呈現鏤空狀；經 100°C 加熱後，被膠帶撕起處不會感熱呈色。
2. 傳真紙、提款單和簽帳單會產生像燒塑膠的臭味，且會隨時間越久、溫度越高而越臭。
3. 熱感應紙在護貝機 120°C 均勻受熱下，全部呈現黑色且看不見文字，無臭。
4. 溫度對熱感應紙顯色深淺程度有影響，溫度越高，黑色程度越深；如想要長期保存熱感應紙，可提高紙張經過機器的溫度，使文字顏色加深，而減緩褪色速度。

三、探究酸鹼水溶液對熱感應紙的影響

1. 鹼性水溶液和中性水溶液塗在熱感應傳真紙上晾乾後無留下痕跡；酸性水溶液塗在熱感應傳真紙上會呈墨綠色。
2. 在 80°C 加熱反應過的熱感應紙塗上酸性溶液，該處會呈現綠色；塗上鹼性溶液及中性溶液，該處會呈現灰白色。
3. 在熱感應紙塗上酒精，該處周圍會呈黑色印痕，晾乾後中間呈乳白色，加熱 80°C 後該處仍不變熱；而在 80°C 加熱過的熱感應紙塗上酒精溶液，該區塊會呈現乳白色。

四、探討陽光、潮濕、光線對熱感應紙的影響

1. 傳真紙經陽光曝曬後，文字顏色由黑→灰黑→紫黑→咖啡→橘黃→淡黃，最後消失不見，紙張顏色由白→紫黃→橘黃→淡黃，有燒焦味；經小雞燈光線曝曬 30 天後，文字會由黑轉紫黃色，紙張呈淡黃，變化情形緩慢。
2. 熱感應傳真紙置於鹼性及中性潮濕環境下，紙張容易渲染呈灰黑色，文字容易褪色；置於酸性潮濕環境，紙張潮濕處會呈墨綠色，晾乾後呈橘黑色，該處文字易褪色。

五、尋求保存熱感應紙的最佳方法

1. 熱感應傳真紙置於防潮櫃、防潮罐、透明資料袋內，因能避免潮濕環境且較少與空氣

接觸，相較於正常環境下傳真紙，文字較黑，紙張無變黃現象，能達保存效果。

2. 熱感應傳真紙置於集郵冊、奶粉罐、鋁箔紙內，因能避免潮濕環境且杜絕與光線、空氣接觸，與正常環境下傳真紙比較，文字較黑，紙張無變黃，能達到保存效果。
3. 在熱感應傳真紙上黏貼卡典西德、膠帶、塗膠水，因黏劑或塗料會與熱感應層中的顯影劑發生作用，反而加速文字變淡，最後消失不見。
4. 保存熱感應傳真紙的最佳方法為：奶粉罐 > 防潮櫃 > 防潮罐 > 集郵冊 > 鋁箔紙 > 透明資料袋；而將熱感應紙置於奶粉罐、鋁箔紙、資料袋內，能達到保存效果且經濟實惠。

捌、研究討論與建議

- 一、熱感應紙在潮濕、陽光曝曬、光線照射、接觸空氣等環境下容易褪色，因此將熱感應紙置於奶粉罐、鋁箔紙、透明資料袋、防潮櫃、防潮罐、集郵冊內能達到保存的效果；而黏貼卡典西德、膠帶、塗膠水，反而會加速文字變淡。
- 二、溫度對熱感應紙顯色程度有影響，可藉由提高紙張經過機器的溫度，使文字顏色加深，而減緩褪色速度。
- 三、熱感應紙含有類似塑膠成分，燃燒後會產生有毒氣體，不太環保；本次實驗用的熱感應紙是從目前生活中相關產品運用中所取得，在有限的資源及能力下，無法分析熱感應層的化學成分，建議下次可加以改良，製造環保或可回收的熱感應紙。

玖、參考資料

- 少年兒童出版社（民 87）。十萬個為什麼？《化學篇》。台北市：國際少年村。
- 牛頓雜誌社（民 81）。小牛頓科學百科—化學。台北市：牛頓出版社。
- 百年文化編（民 81）。兒童知識圖書館—水溶液的性質。台北縣：百年文化。
- 李惠珠（民 90）。自然科學實驗室 17—神奇的光與空氣。高雄市：護幼社。
- 林怡芬（譯）（民 82）。科學實驗室—化學篇。台北市：世潮出版社。

【評語】 081532 樂透彩券的秘密

1. 團隊合作做出市售各種感熱紙變黑的各種方法與保存感熱紙之最佳方法。
2. 題目中之秘密應有再多之內容，學生探討內容似乎太少。
3. 實驗結果記錄不太正確。例： $\bar{x} \pm \Delta x$
4. 不知保存用過之感熱紙有何意義。