

「酶完」酶了——酵素活性探究⁹⁽⁴⁾

◎李紫嫻、林詩軒 撰

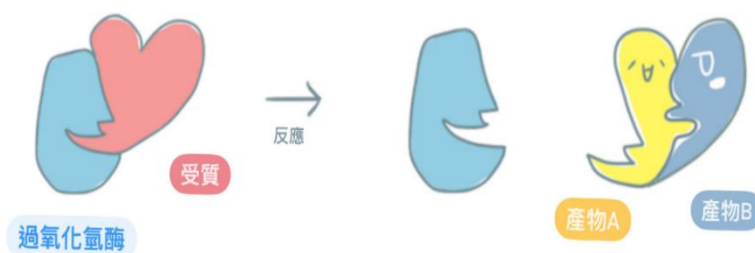
指導老師：顏映帆老師



2020.6.6 任務啟航

任務如附件一

酶會因各種因素（酸鹼、溫度、重金屬）而影響功能。這次的任務就是使用表中各種溶液來測試對酶的殘害有多嚴重。



減少

增加

增加

我們從化學式知道此酶的功能是把過氧化氫分解成水和氧氣，理論上單位時間內總液體體積變化量、氧氣增加皆可作為計算反應速率以界定活性的標準。氣體飛走不易測量，且表中沒有排水集氣的工具，所以採用液體變化量作為測量對象！

再來是糾結最久的問題，反應速率應計算同樣時間內的液體變化量還是減少一定量所耗費的時間？沒有動手經驗下，很難預估會發生什麼事……考量每組溶液總體積都一樣，我們大膽猜測各組間減少的液體量差不了多少，很難用刻度分出勝負，姑且定量計時。

大功告成！整畢後如附件二，等不及讓老師感動落淚了

2020.6.11 慘遭打臉

拿回本以為是曠世巨作的實驗設計，卻迎來慘痛的反擊。

附件三

本來就很有疑慮的問題果然被抓個正著。

當時對於這個實驗尚沒有概念，在「定時計量」與「定量計時」間躊躇許久，以定量計時作為基準。然而，在不知道量的情況下（尤其我們還想對過氧化氫酶下毒手呢！）不保證它們都能到達我們訂定的量。看來定時是較好的選項！

另外一個是計算液體減少量的部分。

老師提出質疑，3%的過氧化氫會產生多少水？過氧化氫減少和水產生之間的體積差足夠觀察到嗎？經過精密（至少我們這樣認為）的計算，得到極小的數字！由此得證，應該行不通……



純
 $H_2O_2 \quad \rho = 1.46$

重量百分濃度 3% 的密度為 $\frac{100}{3+1.46 \times 97} \approx 1.01$

$20\text{ml} \times 1.01 \times 3\% \div 34 \approx 0.018$

$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$ $O_2 \rightarrow 0.009 \times 24.5 \times 1000 = 220.5\text{ml}$

0.018	+0.018	+0.009	
-0.018	0.018	0.009	液體體積差
0			

$20 \times 1.01 - \left\{ 20 \times 1.01 - \left[\frac{3}{100} \times 20 \times 1.01 \div 34 \times \frac{1}{2} \times 32 \right] \right\} \approx 0.29\text{g} = 0.2\text{ml}$

液體支數
 H_2O_2 支數
 H_2O mole
 O_2 mole
 O_2 支數

較明顯! (●▽●)
↑
 $H_2O \quad \rho = 1$
量太小, 不易觀察 OAR

接著是微妙的問題：我們所提出的操縱變因們，究竟是改變反應環境或處理酵素呢？所謂「環境」應該是指實驗當下酵素們處在的情況，所以直接被加入試管中的各 pH 值溶液和重金屬溶液，應該屬於「環境」；而溫度變因在本次實驗是事先煮過酵素，而非在實驗過程中讓酵素泡溫泉，所以是「處理酵素」。

噢，還有一個壞消息，本來 12 支的量筒，因為數量不足只剩 6 支！

修正收錄在 附件四

2020.6.12 擱淺

若說實驗設計慘痛，今天的實驗僅能以悲劇形容。

全班的實驗藥品統一放在材料桌，盛裝容器又不夠的情況下只好來回穿梭、匆忙分裝運回的材料。一時間只見「觥籌交錯，起坐而喧嘩者，眾賓慌也」。光此環節，便出現幾個問題。

取到量杯中的溶液量堪稱精準，卻沒考慮分裝過程中必會殘留的部分，反而造成誤差。滴管太短搆不著底部，只好倒進量杯再吸出，無疑讓殘留境況雪上加霜。


雖然碰上少許挫折，我們沒造成什麼重大失誤，直到……

「修但幾咧！」「蛤？」七手八腳果然出錯了。量筒內含兩組用的酶量，還沒分裝完便被倒入重金屬，完全是不可逆的失誤。怎麼辦？現在唯一的辦法是多拿材料再用比例推測本來的結果，可老師說過配給量是剛好的，一旦多拿便是其他組的匱乏。看著近在咫尺的解藥再看其他組都已拿好材料，難不成其實有多？天人交戰後還是偷偷拿了一點酶跟重金屬。（良心對不起）

科學探究裡，實作前沒人知道對不對。因此通常在正式實驗前，以微量材料模擬以確認測定方式可行，是為「前測」。然而實驗的材料量讓我們不敢這樣揮霍而略過前測，算是不夠嚴謹。倘若測定方式藏有重大瑕疵，不前測可能導致更多損耗。

實驗也並非一無所獲。

令人驚喜地，反應產生的氧氣沒有馬上逸散，反而集結成白色泡沫，甚至可以直接測量泡沫高度。另外，量筒刻度有限，泡沫極易超出可測量的範圍，訂定測量基準時間必須謹慎。鑒於反應時間很短，我們錄下每一組的完整反應過程取代前測，方便後續反覆比較各組情形再決定計算反應速率的基準時間，這明智決定簡直是統計數據的救贖。

現象比較	豬肝	馬鈴薯
生成速度	快	慢
泡沫單顆大小	較大	較小
泡沫質地	排列疏鬆、高於量筒口便滿溢流出	結構緻密，可堆疊高於量筒口許多
泡沫持久度	甫生成便迅速破裂，消逝極快	泡沫持久，可維持一段時間。
圖例		

2020.6.14 痛定思痛

統整實驗結果，又是場硬仗！

困境在於，做了這麼多種變因後，老師要求我們用「一張」圖表顯示結果，除此之外沒有任何提示。翻閱了 **excel** 的攻略書，我選擇長條圖以同時表示多種變因的結果。每組結果用三個數據表示：測量秒數 (s)、上升體積 (ml)、反應速率 (ml/s)，前兩者是實際數據，反應速率是經計算的結果，最後成品如附件 **五**

還有另一個匪夷所思的問題——這實驗能否說明動物細胞和植物細胞的酵素活性差異呢？

直觀地看，豬肝組的泡泡可用噴發形容！不到五秒便溢出量筒；反觀馬鈴薯，細水長流，等好一陣子才有和豬肝相同的量。但有個致命問題——我們無法得知它們分別的酵素量！若豬肝派了十萬精兵，而馬鈴薯只派遣小小部隊，這樣的比較就沒有意義了！

由於想探討這問題，我們決定再次執行實驗以歸納更準確的結果。

2020.10.27 再次揚帆

重整旗鼓，踏上第二次遠征！

這次我們借足量筒和燒杯，降低混亂中倒錯的可能。且少了分裝流程便能減少管壁殘留的誤差。這也意味備料得自己來（在此特別向備料者致敬！豬肝味真銷魂）溫度部分以直接烹煮酶來操縱，而重金屬及酸鹼則分別加入硝酸鉛及緩衝液與酶混合，營造特定反應環境。最後滴加過氧化氫檢視結果。

出於好奇，我們取同克數的豬肝及馬鈴薯，看兩方陣營是否兵力懸殊。此次實驗十分順利～經驗充足下，避免許多失誤。兩組表現較上次相差更遠。豬肝活躍難以望其項背，馬鈴薯則和上次差異不大，證明同克數下，豬肝含有的酶大幅超過馬鈴薯。

另外，根據自己訂的操作型定義，我們將可以表達出本次實驗操作的速率 (ml/s)，作為實驗各組結果比較圖的最終版本。[附件六](#)



▲實驗過程影片

壹、「影響酵素活性的因子」實驗設計

一、實驗藥品與器材

10ml 量筒	12 個	3% H ₂ O ₂	25ml	pH5 緩衝液	2ml
50ml 燒杯	5 個	生馬鈴薯液	5ml	pH7 緩衝液	2ml
滴管	5 支	熟馬鈴薯液	5ml	pH9 緩衝液	2ml
玻棒	2 支	生豬肝液	5ml	1%Pb(NO ₃) ₂	2ml
		熟馬鈴薯液	5ml	蒸餾水	10ml

二、酵素材料：豬肝、馬鈴薯 (內含過氧化氫酶)

1.細胞內的過氧化氫酶通常分布於何處?

2.請寫出過氧化氫酶的反應式：

3.為何使用馬鈴薯液/豬肝液，而非馬鈴薯塊/豬肝塊?

三、如何測量此實驗的應變變因(酵素活性的操作型定義) Hint:為何使用量筒而非試管?

四、從上方實驗藥品與器材表格可推知實驗的操縱變因有:

五、(承四)哪些控制變因可被控制?如何處理?

六、寫出各變因的 (實驗)-(對照) 組

壹、「影響酵素活性的因子」實驗設計

一、實驗藥品與器材

10ml 量筒	12 個	3% H ₂ O ₂	25ml	pH5 緩衝液	2ml
50ml 燒杯	5 個	生馬鈴薯液	5ml	pH7 緩衝液	2ml
滴管	5 支	熟馬鈴薯液	5ml	pH9 緩衝液	2ml
玻棒	2 支	生豬肝液	5ml	1%Pb(NO ₃) ₂	2ml
		熟馬鈴薯液	5ml	蒸餾水	10ml

二、酵素材料：豬肝、馬鈴薯 (內含過氧化氫酶)

1. 細胞內的過氧化氫酶通常分布於何處? 過氧化体
2. 請寫出過氧化氫酶的反應式: $2H_2O_2 \xrightarrow{\text{過氧化氫酶}} 2H_2O + 1O_2$ (放熱)
3. 為何使用馬鈴薯液/豬肝液, 而非馬鈴薯塊/豬肝塊?
增加接觸面積, 促進反應效率

三、如何測量此實驗的應變變因(酵素活性的操作型定義) Hint:為何使用量筒而非試管?

方便測量反應中的液体減少量, 並藉其看出酵素在不同環境下的活性大小.

四、從上方實驗藥品與器材表格可推知實驗的操縱變因有:

- pH值的濃度大小
- Pb(NO₃)₂ 添加的有無(重金屬)
- 馬鈴薯液, 豬肝液有無煮熟(溫度差異)

五、(承四)哪些控制變因可被控制?如何處理?

操縱變因	控制變因	控制方式
酸鹼度	3% H ₂ O ₂ 的量, 總體積, 溫度, 重金屬	3% H ₂ O ₂ 量: 每試管均加入 2ml.
重金屬有無	3% H ₂ O ₂ 的量, 總體積, pH值, 溫度	總體積: 控制在相同量(4ml), 除操縱變因另加液体外, 不足4ml部分以蒸餾水補足.
溫度高低	3% H ₂ O ₂ 的量, 總體積, pH值, 溫度	pH值: 皆不加緩衝液, 加蒸餾水.
		重金屬: 皆不加 Pb(NO ₃) ₂
		溫度: 皆使用生酵素液

六、寫出各變因的 (實驗)-(對照) 組

溫度變因 potato (12)-(7) liver (6)-(1)

pH值變因 (8.10)-(9) (2.4)-(3)

重金屬變因 (11)-(7) (5)-(1)

過氧化氫酶活性實驗

壹、「影響酵素活性的因子」實驗設計

一、實驗藥品與器材

10ml 量筒	12 個	3% H ₂ O ₂	25ml	pH5 緩衝液	2ml
50ml 燒杯	5 個	生馬鈴薯液	5ml	pH7 緩衝液	2ml
滴管	5 支	熟馬鈴薯液	5ml	pH9 緩衝液	2ml
玻棒	2 支	生豬肝液	5ml	1%Pb(NO ₃) ₂	2ml
		熟馬鈴薯液	5ml	蒸餾水	10ml

二、酵素材料：豬肝、馬鈴薯 (內含過氧化氫酶)

1. 細胞內的過氧化氫酶通常分布於何處? 過氧化体
2. 請寫出過氧化氫酶的反應式 $2H_2O_2 \xrightarrow{\text{過氧化氫酶}} 2H_2O + 1O_2$ (放熱)
3. 為何使用馬鈴薯液/豬肝液，而非馬鈴薯塊/豬肝塊?
增加接觸面積，促進反應效率 why 要增加表面積 切塊不能增加表面積嗎?

三、如何測量此實驗的應變變因(酵素活性的操作型定義) Hint:為何使用量筒而非試管?

方便測量反應中的液體減少量，並藉其看出酵素在不同環境下的活性大小。
 依化學計算 3% H₂O₂ 2ml 內含多少 mole H₂O₂?
 反應前後有多少 mole 的 H₂O₂ 伴隨著的?
 H₂O₂ 和 H₂O 都是液體，反應前後 mole 為 1:1，怎麼看出液體減少量?

四、從上方實驗藥品與器材表格可推知實驗的操縱變因有:

pH值的濃度大小
 Pb(NO₃)₂ 添加的有無(重金屬)
 馬鈴薯液、豬肝液有無者熟(溫度差異)

這些因子是處理
 因素 or 影響
 反應環境條件?

五、(承四)哪些控制變因可被控制?如何處理?

操縱變因	控制變因	控制方式
酸鹼度	3% H ₂ O ₂ 的量, 總體積, 溫度, 重金屬	3% H ₂ O ₂ 量: 每試管均加入 2ml. why 要控制條件? 總體積: 控制在相同量(4ml), 除操縱變因另加液體外, 不足 4ml 部分以蒸餾水補足.
重金屬有無	3% H ₂ O ₂ 的量, 總體積, pH值, 溫度	pH值: 皆不加緩衝液, 加蒸餾水.
溫度高低	3% H ₂ O ₂ 的量, 總體積, pH值, 溫度	重金屬: 皆不加 Pb(NO ₃) ₂ 溫度: 皆使用生酵素液

六、寫出各變因的 (實驗)-(對照) 組

溫度變因 ^{potato}(12)-(7) ^{liver}(6)-(1) why 皆百年陳酒 是熱穩定

pH值變因 (8.10)-(9) (2.4)-(3) 為何得知 pH 7 是對照?
 是 pH 5.9 對照?

重金屬變因 (11)-(7) (5)-(1)

壹、「影響酵素活性的因子」實驗設計

一、實驗藥品與器材

10ml 量筒	12 個	3% H ₂ O ₂	25ml	pH5 緩衝液	2ml
50ml 燒杯	5 個	生馬鈴薯液	5ml	pH7 緩衝液	2ml
滴管	5 支	熟馬鈴薯液	5ml	pH9 緩衝液	2ml
玻棒	2 支	生豬肝液	5ml	1%Pb(NO ₃) ₂	2ml
		熟馬鈴薯液	5ml	蒸餾水	10ml

二、酵素材料：豬肝、馬鈴薯 (內含過氧化氫酶)

1. 細胞內的過氧化氫酶通常分布於何處? 過氧化體

2. 請寫出過氧化氫酶的反應式: $2H_2O_2 \xrightarrow{\text{過氧化氫酶}} 2H_2O + 1O_2$ (放熱)

3. 為何使用馬鈴薯液/豬肝液, 而非馬鈴薯塊/豬肝塊?

增加接觸面積, 促進反應效率 why 要增加表面積切塊不能增加表面積嗎?
為控制, 反應表面積, 讓各組誤差降到最低

打成汁, 使之為「勻向反應」

三、如何測量此實驗的應變變因(酵素活性的操作型定義) Hint: 為何使用量筒而非試管? 純 H₂O₂ D=1.46

方便測量反應中的 液体減少量, 並藉其看出 酵素在不同環境下的 活性大小.

依化學計算 3% H₂O₂ 2ml 內含多少 mole H₂O₂? 重量百分濃度 3% 的密度為 $\frac{100}{3+1.46 \times 9} \approx 1.01$

反應後有多少 mole 的 O₂ 伴隨著? $20ml \times 1.01 \times 3\% \div 34 = 0.018$

H₂O₂ 和 H₂O 都是液体, 反應前後 mole 為 1:1 密度 $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$ $O_2 \rightarrow 0.009 \times 24.5 \times 1000 = 220.5ml$

液体減少量?

0.018	+0.018	+0.009	液体體積差
-0.018			
0	0.018	0.009	

較明顯! (O₂ ↑)

四、從上方實驗藥品與器材表格可推知實驗的操縱變因有:

- ① pH 值的濃度大小
 - ② Pb(NO₃)₂ 添加的有無(重金屬)
 - ③ 馬鈴薯液 豬肝液有無者熟(溫度差異)
- 這些因子是處理 酵素 or 影響 反應 環境條件?
- ① 是加入酵素進行反應的環境(量筒中)為影響反應環境條件, ② 是直接煮沸酵素是處理酵素本身
- 量太小, 不易觀察 O₂

五、(承四) 哪些控制變因可被控制? 如何處理?

操縱變因	控制變因	控制方式
酸鹼度	3% H ₂ O ₂ 的量, 總體積, 溫度, 重金屬	3% H ₂ O ₂ 量: 每試管均加入 2ml.
重金屬有無	3% H ₂ O ₂ 的量, 總體積, pH 值, 溫度	總體積: 控制在相同量(4ml), 除操縱變因另加液体外, 不足 4ml 部分以蒸餾水補足.
溫度高低	3% H ₂ O ₂ 的量, 總體積, pH 值, 溫度	pH 值: 皆不加緩衝液, 加蒸餾水. 重金屬: 皆不加 Pb(NO ₃) ₂ 溫度: 皆使用生酵素液

why 要控制 條件呢? 其將影響受質濃度.

六、寫出各變因的 (實驗)-(對照) 組

溫度變因 (12)-(7) (6)-(1) why 皆用生酵素是控制性
在正常溫度下的豬肝及馬鈴薯皆可順利分解 H₂O₂, 可確定其過氧化氫酶在常溫下具功能, 6,12 則是「測試」, 其

pH 值變因 (8,10)-(9) (2,4)-(3) why 得知 pH 7 是控制 在不同溫度下是否受影響, 是為「實驗組」

重金屬變因 (11)-(7) (5)-(1) 實驗旨在測試 過氧化氫酶在不同情況下的狀態, 因此只要不和自然狀況下的樣本, 皆應視為實驗組 (一般動物體內 pH 值為 7.4, 非 7)

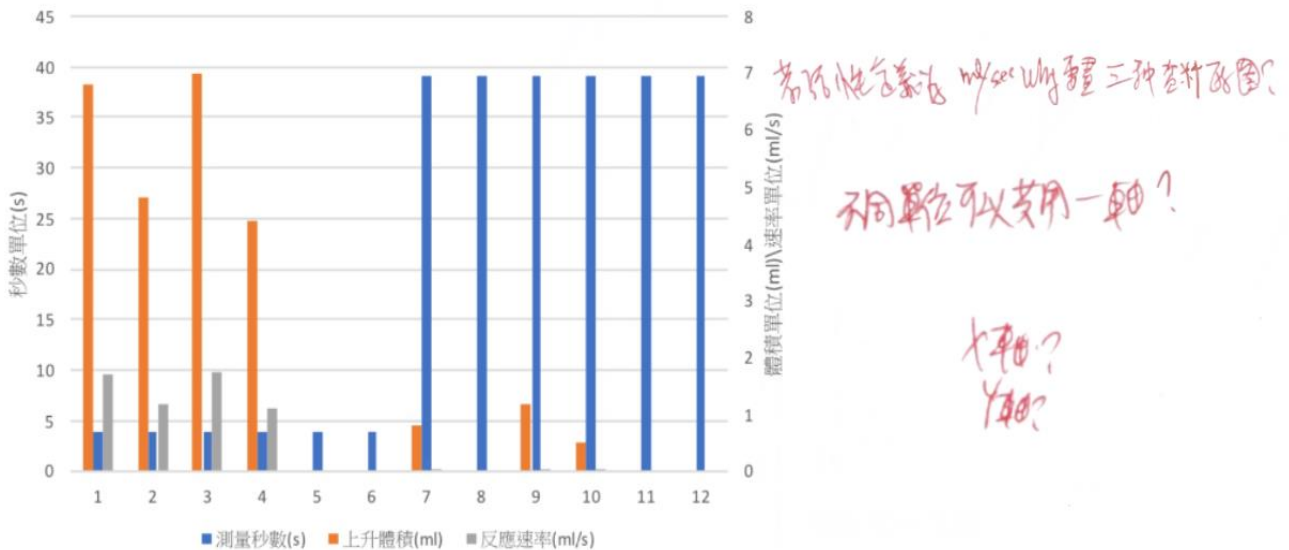
貳、「影響酵素活性的因子」實驗結果

一、實驗結果紀錄表:請自行設計表格並紀錄實驗結果

	豬肝組						馬鈴薯組					
編號	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
時間(秒)	4	4	4	4	4	4	39	39	39	39	39	39
上升高度(毫升)	6.8	4.8	7	4.4	0	0	0.8	0	1.2	0.5	0	0
速率(毫升/秒)	1.70	1.20	1.75	1.10	0	0	0.02	0	0.03	0.01	0	0

1. 測量方式為平視泡沫到達刻度,再將其值扣掉液面高度(4ml)
2. 由於豬肝組和馬鈴薯組反應時間差距過大,因此以不同時間計量.
3. 採計至小數點後兩位,四捨五入.

二、實驗結果之科學圖表:選擇合適的圖表類型,將實驗結果繪製成一張圖



參、「影響酵素活性的因子」實驗討論

一、本實驗結果能否說明植物細胞、動物細胞內過氧化氫酶的酵素活性差異?理由為何?

在動、植物內的酶皆為同種物質,在相同反應條件下應有相同表現,然本組實驗結果並不相符,雖然豬肝比起馬鈴薯速率明顯較快,但並不表示其酶活性差異,使然畢竟吾人不知兩酵素液內的過氧化氫酶含量是否相同,因此推論本實驗無法比較動植物內過氧化氫酶之活性差異.

下次實驗將取相同克數配製液體,更進一步探討相同質量中酶的含量差異.

二、與最初的實驗步驟相較,修正了哪些內容?原因為何?

併入下次實驗討論

貳、「影響酵素活性的因子」實驗結果

一、實驗結果紀錄表:請自行設計表格並紀錄實驗結果

豬肝組

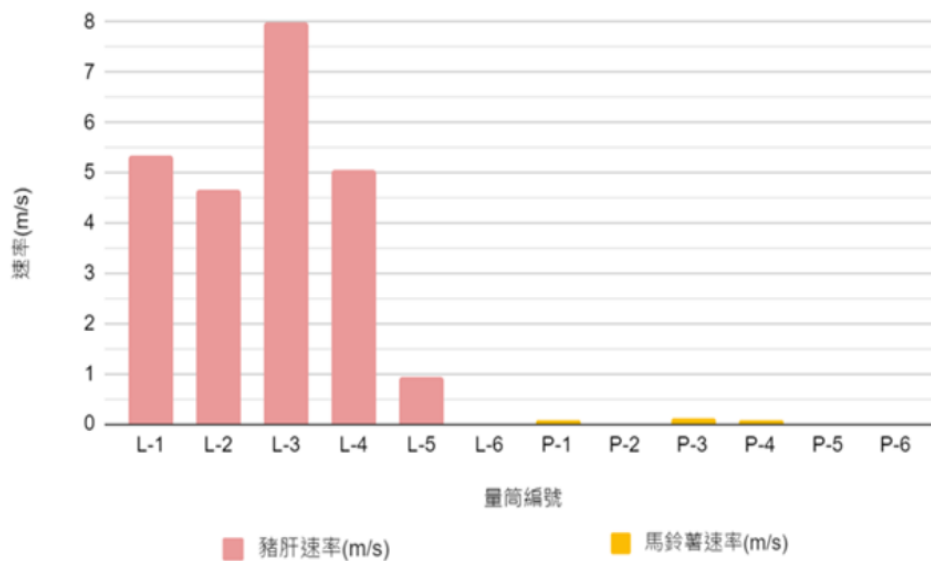
編號	1	2	3	4	5	6
時間(秒)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
上升高度(毫升)	4	3.5	6	3.8	0.7	0
速率(毫升/秒)	5.33	4.67	8.00	5.07	0.93	0

馬鈴薯組

編號	1	2	3	4	5	6
時間(秒)	40	40	40	40	40	40
上升高度(毫升)	3.5	0.7	4	2.5	0	0
速率(毫升/秒)	0.09	0.02	0.10	0.06	0	0

二、實驗結果之科學圖表:選擇合適的圖表類型,將實驗結果繪製成一張圖

過氧化氫酶活性比較表



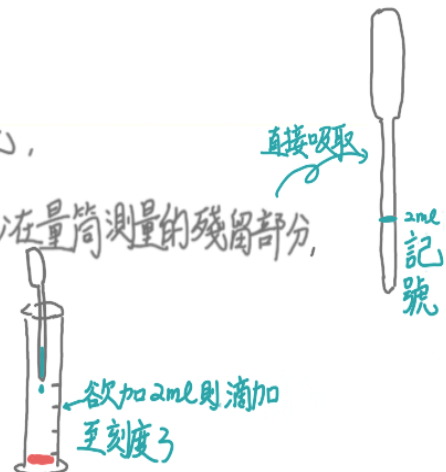
參、「影響酵素活性的因子」實驗討論

一、本實驗結果能否說明植物細胞、動物細胞內過氧化氫酶的酵素活性差異?理由為何?

我們並不知道含酶量有多少,因此本實驗並不能比較在動植物細胞內之活性差異,不過從第二次實驗可以得知同樣質量中的豬肝含酶量大於馬鈴薯。

二、實驗過程中的誤差因素有哪些?如何避免?

- 管壁殘留:配藥量可稍多一點以因應分裝過程損耗,
- 取樣時則可事先丈量預取量在滴管上的刻度做計數,少在量筒測量的殘留部分, (此步分適用於 H₂O₂)
- 其他溶液、酶等直接在加入時留意量筒刻度即可滴加時沿玻璃棒滴入,防止其殘留壁上。



王均鈴 游星閱 黃亞媛 葉欣綠 劉又甄 經典之作
鄭凱鐘老師 指導

WATT ON EARTH



what on earth ?



角色介紹

探究主角：

扯鈴：

本名均鈴，可謂上知天文下知地理，從星星和月亮到地球物理都難不倒她。喜歡討論數學問題，在冷靜沉著的外表下，也常有鬼靈精的點子，因而得到扯鈴的綽號。

鏗鏘綠：

本名欣綠，是位對科學抱有極大熱忱的少女，對物理和數學都十分有興趣，時常提出新奇的點子和有趣的發現，是帶給小組滿滿靈感的好點子燈泡 :D

新月：

本名星閱，對數學一向情有獨鍾，尤其排組更是其摯愛。有著嚴謹數學腦的新月不僅是位邏輯大師，更是位幽默大師，常常在討論中冷不防冒出令人噗哧一笑的梗圖。

圓圓：

本名亞媛，喜愛世界上所有圓圓的東西，包含各式幾何圖形、化學結構式和燈泡。閒暇時喜歡鑽研數學，而繪圖軟體 GeoGebra 更是其研究好夥伴。

左真：本名又甄，其實內心住著小小數電右真和小小物電左真。而在本文中以小小物電左真的形式出現，充分利用強大物理電場讓所有燈泡折服！

火登特派員：



火登一包



火登二包



火登三包

數學狂熱者，每當進入數學思考模式時便能看見它火熱的鎢絲燒得通紅。然而因永遠搞不懂物理複雜的公式而討厭物理，故經常和二包起口角。

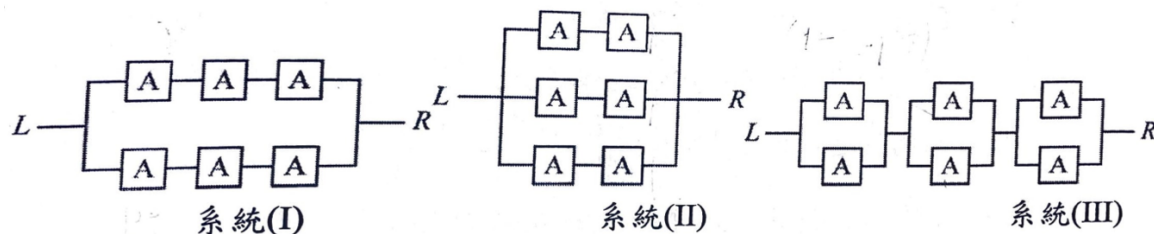
熱愛物理的燈泡一枚，對自己身為學校物理課程的必備角色而引以為傲。但因長期罹患數學恐懼症，每每和一包對於數學和物理哪個比較好而爭論不休。

個性溫和，愛好科學。時常扮演三兄弟間的協調者。每當兩火登起口角時，總是苦言相勸：「俗話說，一加二大於三，你們若能團結合作，一定能發揮更大的效用，照亮世界上更多的人！」

序章·一切的開端

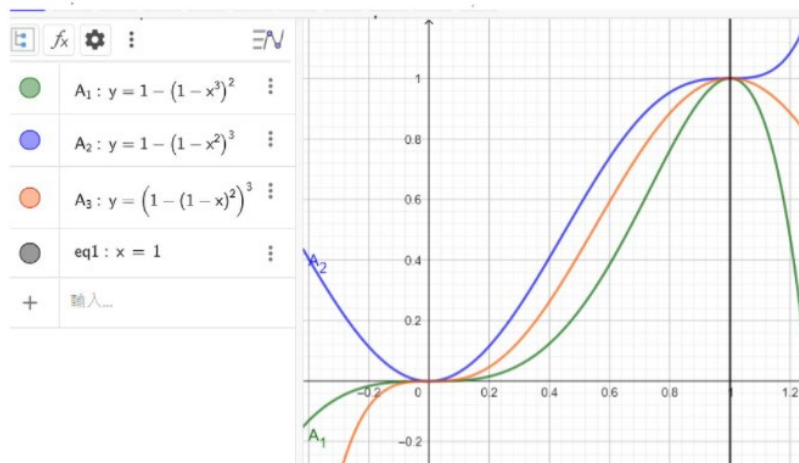
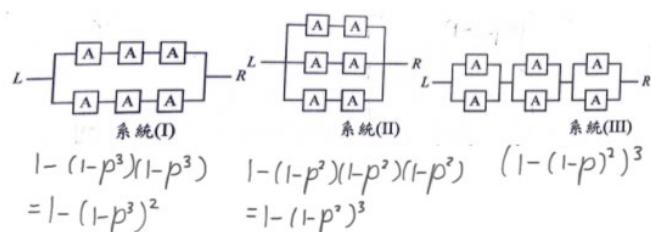
很久很久以前，在確切時間已經不可考的某一天，對數學有著無限熱忱的新月正在寫機率單元的數學題目。在眾多的題目當中，其中一道特別吸引她的目光：

「下圖有三種以不同方式串、並聯的開關。假設每個開關通電的機率皆為 p 且互相獨立，試問在 $p=0.8$ 時，哪一種系統結構會使得電路可以正常運作（即可以通電）的機率最大？」



題目不算難，所以新月解出來了。但是，新月忽然想到，在 $p = 0.8$ 時通電機率最大的開關，在 p 為其他值的時候通電機率也會最大嗎？

於是新月利用 Geogebra 畫出了三個電路圖通電機率的函數圖形。令她訝異的是，只要 $0 \leq p \leq 1$ ，三個電路圖通電機率的函數圖形都不會有任何交點！



當時新月只是覺得十分有趣，萬萬沒有想到很久以後，這道題目會變成五個志同道合的夥伴共同努力研究的主題...

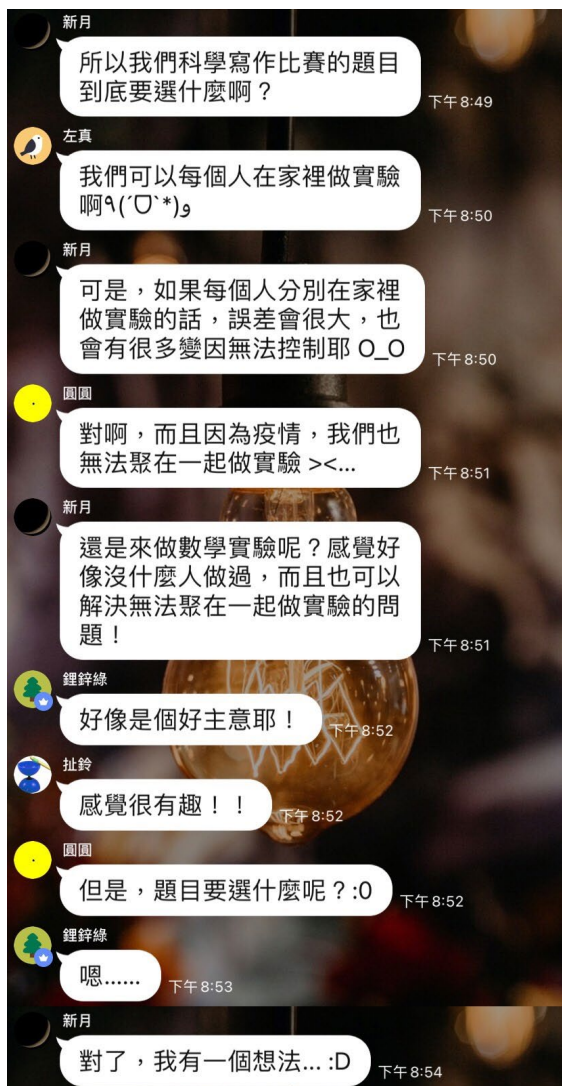
第一章·啟程

這是一個關於 5 個熱愛科學、志同道合的朋友們的故事，她們分別是扯鈴、新月、圓圓、鋰鋅綠和左真。在偶然的機緣下一起組隊參加一個科學寫作比賽。

這是一個關於科學的故事。從一道簡單的機率題目以及由其而生的發想，延伸出一個奇幻世界，在這個世界中，一切都那麼簡單又那麼複雜，讓人摸不著頭腦，又在豁然開朗後讚嘆科學的美妙。

這是一個值得回味的故事，在其中有歡笑也有悲傷，有失敗也有成功。在無數次的跌倒後，她們學會站起來，拍拍身上的沙土，然後繼續前進；在難得可貴的成功後，她們也學會品嚐成功甜美的滋味，再以此為動力繼續前進。

那一天，在 Line 群組裡，她們正式踏上冒險的旅程...



第二章·終極目標是什麼？

放下手機，扯鈴開始回想剛剛討論的內容。她們方才決定的探究題目是...

Q: 有許多開關, 每一個開關通電的機率都是 p ,

$(0 < p < 1)$

→ 為何不加等號??

同樣以 n 個開關, 但不同串·並聯方式組合起來的
系統結構, 能夠通電的機率會是多少?

是也可以啦 ><

只是沒什麼討論的必要(?)

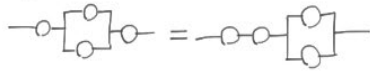
畢竟 $p=0$ 時一定不通

$p=1$ 時必全通

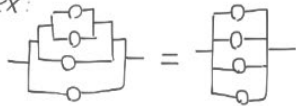
不同系統結構的組成方式, 跟通電的機率
大小間有什麼規律?

※有些連接方式會算成同一種!!!

ex:



ex:



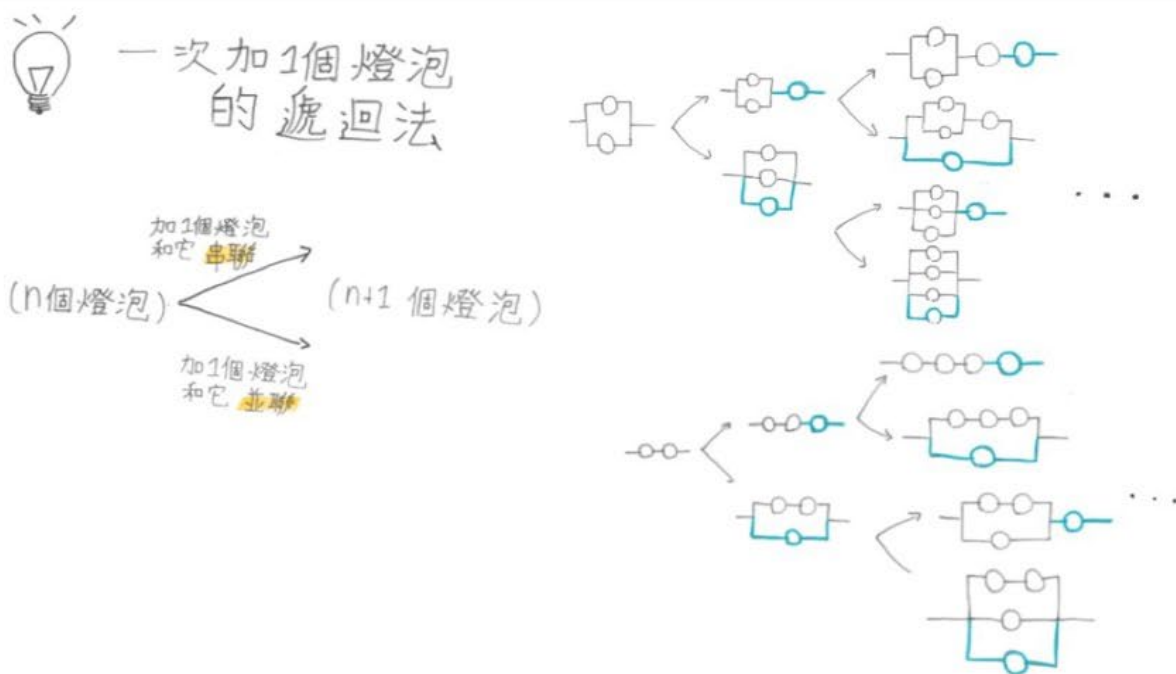
感覺是一個十分困難的題目呢。但是，她猜某兩位數學狂熱者現在大概已經在熱烈的討論當中了...

新月
我想到了！有 n 個燈泡時，燈泡系統結構總組合數的算法！
上午10:02

已讀1
上午10:02
是「開關」不是「燈泡」啦... ><

新月
隨便啦 QAQ
上午10:02

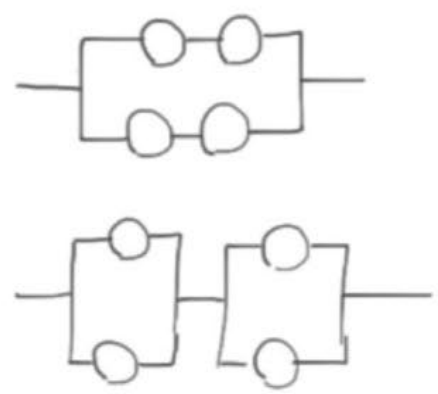
已讀1
上午10:02
總之，你想到的算法是什麼？:O



已讀1
上午10:03
感覺很合理耶！

已讀1
上午10:03
等等，但是如果是這種圖的話，就沒辦法被數到了耶 ><..

無法被包在遞迴裡的例外：(





新月

對耶，果然沒辦法被數到...QQ

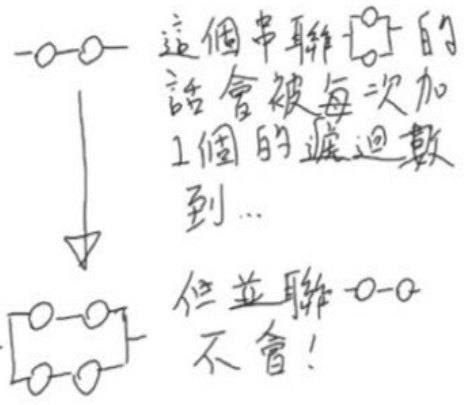
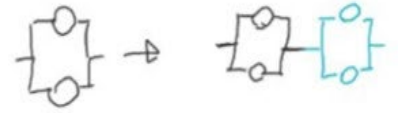
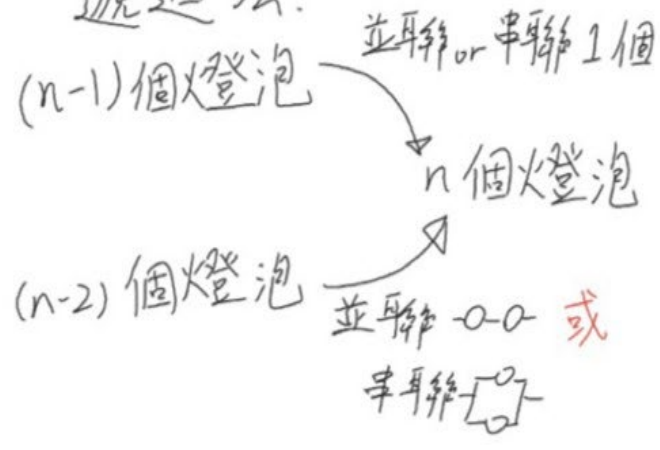
上午10:03

那麼，如果把這種例外也考慮在遞迴裡面呢?:D

上午10:03

💡 把前述例外也考慮進去的

遞迴法!

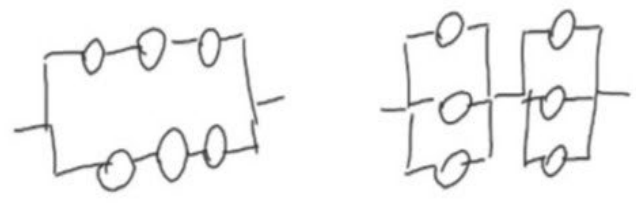


下午12:57

這樣還是會有一些情況沒有數到.....?'

還是沒辦法被算到的
例外們:

(僅列舉一小部分)



受到挫折的新月跟圓圓，決定嘗試找出其他數燈泡組合數的方式。因為若能找到可以與燈泡組合數一一對應，且比較容易整理的系統結構表示法，就更有機會算出燈泡的組合數了！然而即使新月與圓圓屢出奇招、多次轉換思考角度，仍舊無法找到理想中的表示法。

☺ 清楚明瞭!

畫圖法：直接以畫圖的方式表示 ☹ 占空間·溝通不易...

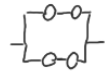
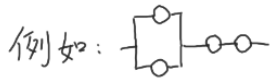
· AB()表示法

A → 串聯

B → 並聯

() → 先後順序

BAA (並 → 串 → 串)

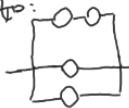


(A)B(A)
(兩兩串後再並)

☹ 如何判斷並排除所有重覆的算法??

☺ 較簡化·省空間!

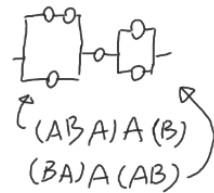
例如：



← ABB

↖ (A)B(B)

↙ (B)B(A)

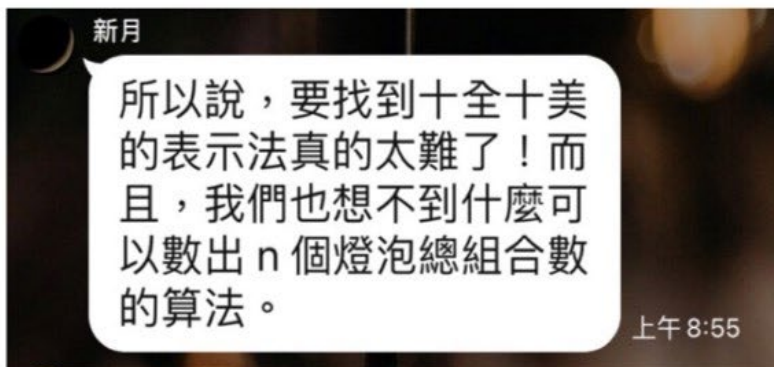


(ABA)A(B)
(BA)A(AB)

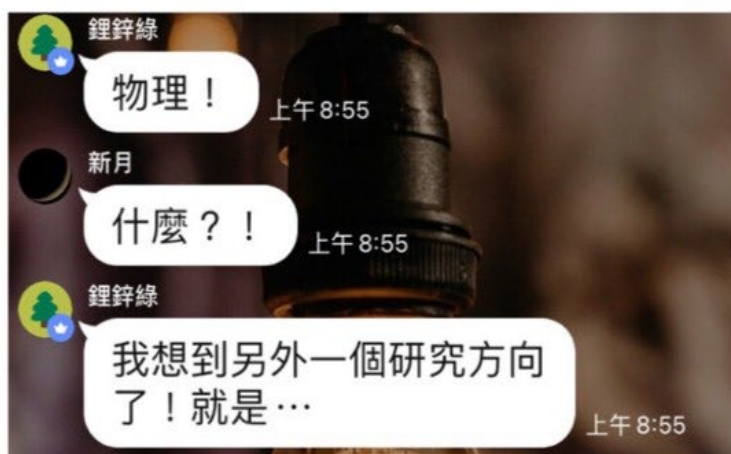
☹ 不易懂...

(AB)A(AAB)

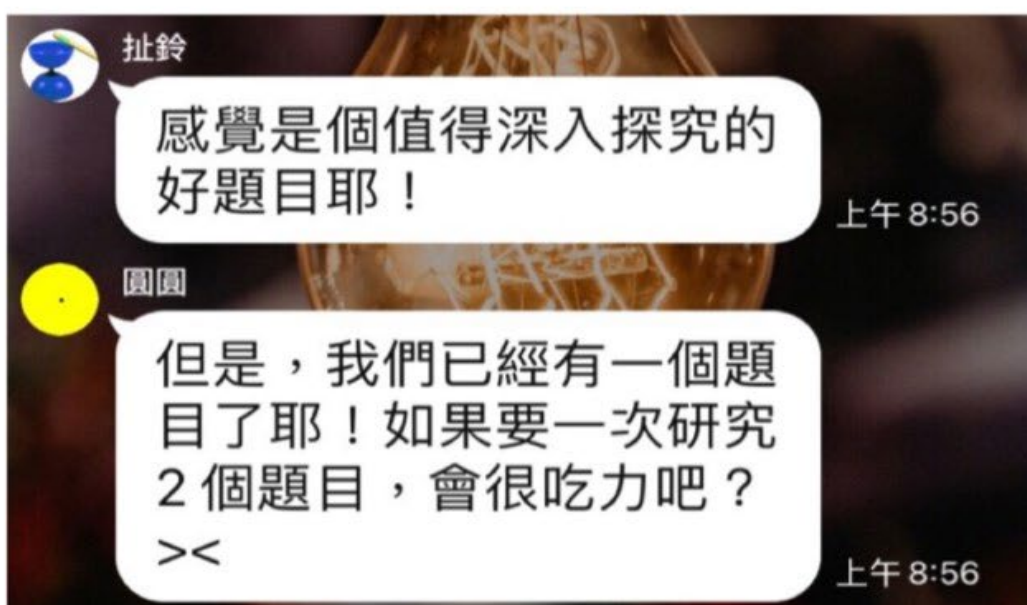
☹?!



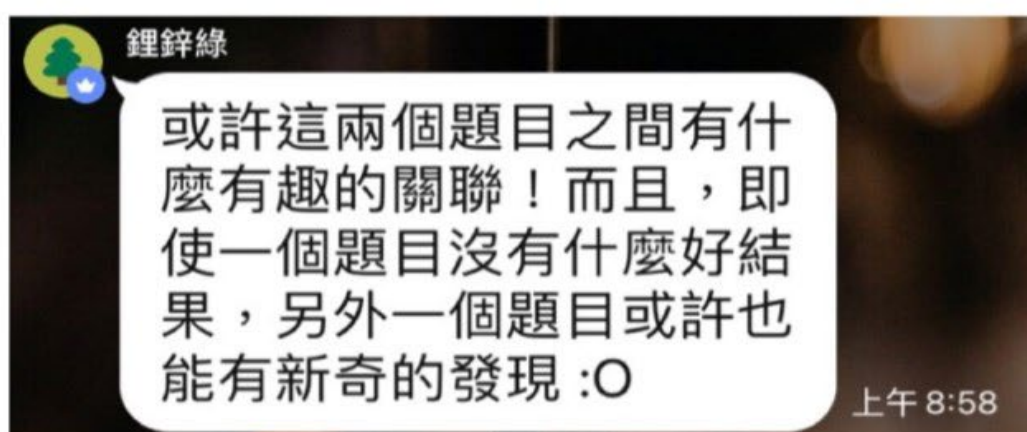
在 Line 群組裡，大家再次陷入沉默。難道這個研究註定只能做出「沒有結果」這個結果嗎？
這個時候，鏗鏘綠的心中的點子燈泡忽然亮起。或許，這個研究不一定只能侷限在數學的領域，也可以有點...



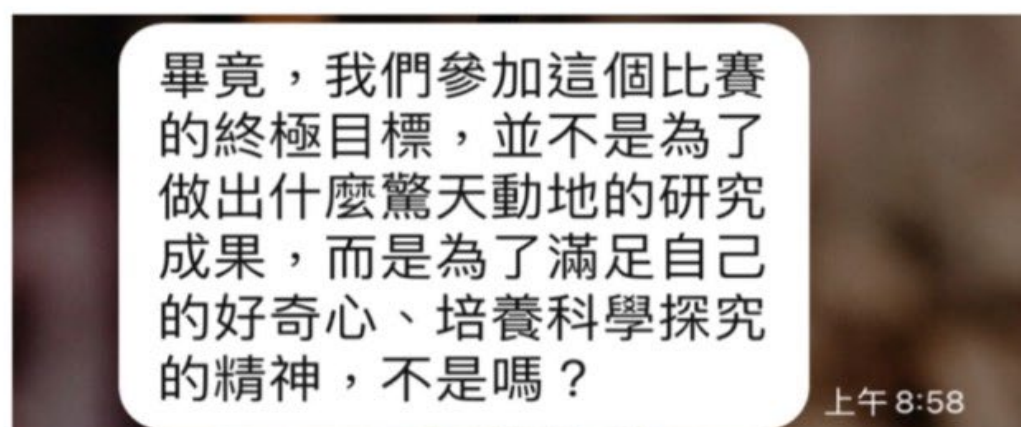
✧ 最終目標 ✧
讓燈泡的發光效率最佳化



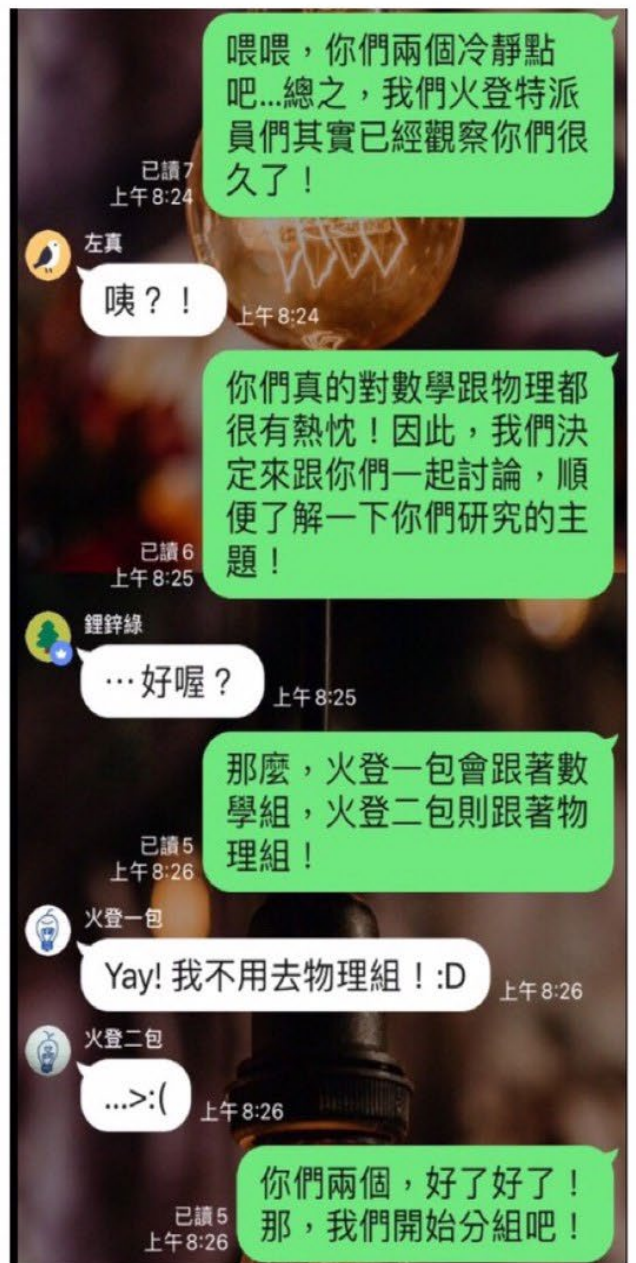
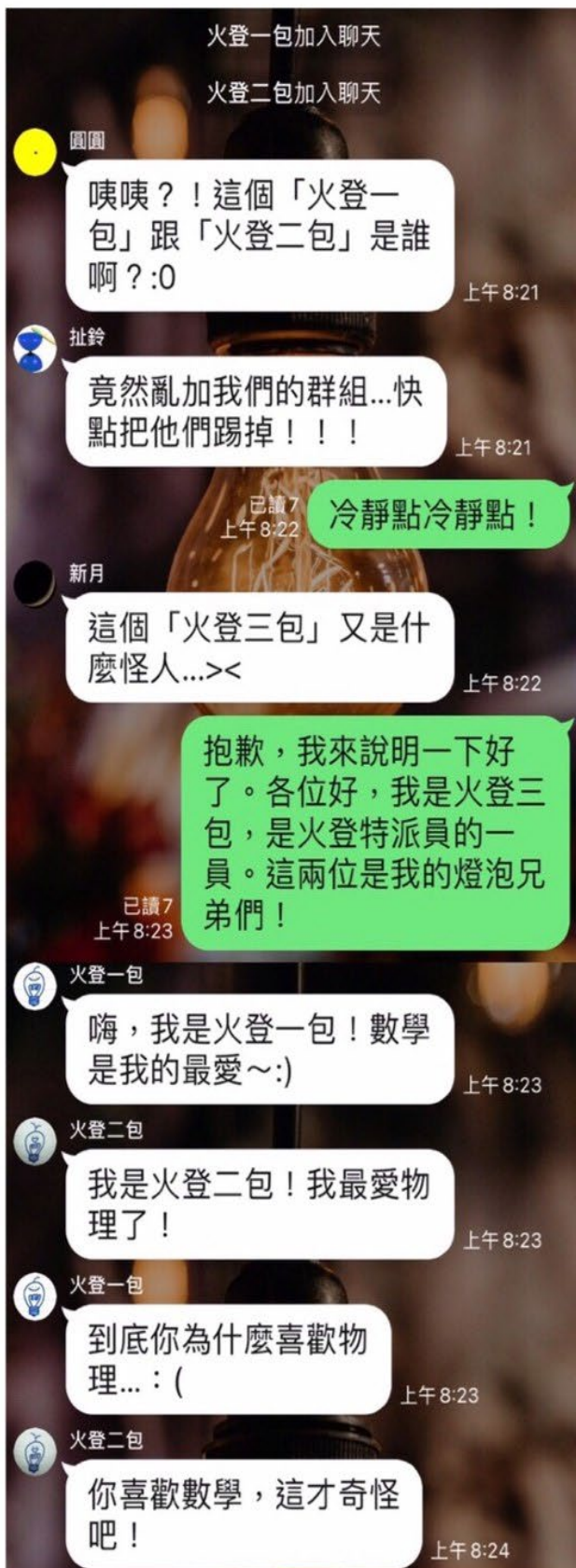
圓圓的一句話點出了所有人內心的不安。



大家彷彿看到鋰鋅綠心中的燈泡正發出耀眼的光芒。



聽到這番話，大家的臉上都露出了笑容。最後大家的決議，也就可想而知了。



於是，決定從數學、物理對這個題目進行雙面夾攻的夥伴們和天外飛來的特派員們分成了2組。數學組的成員有新月跟圓圓，物理組則有扯鈴、鏗鏘綠與左真。終於釐清了「終極目標」的五人，重振旗鼓出發了。

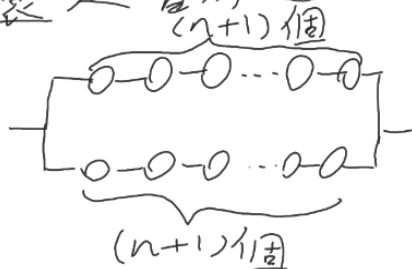
第三章·數學組的危機與轉機

決定繼續與所愛的數學相處的數學組出發了！新月仍然堅持只要能夠找到一個好的遞迴，所有的問題都會迎刃而解，於是繼續思考遞迴法，沒想到最後沒有迎來好的結果，只有悲劇...

遞迴法的悲劇...

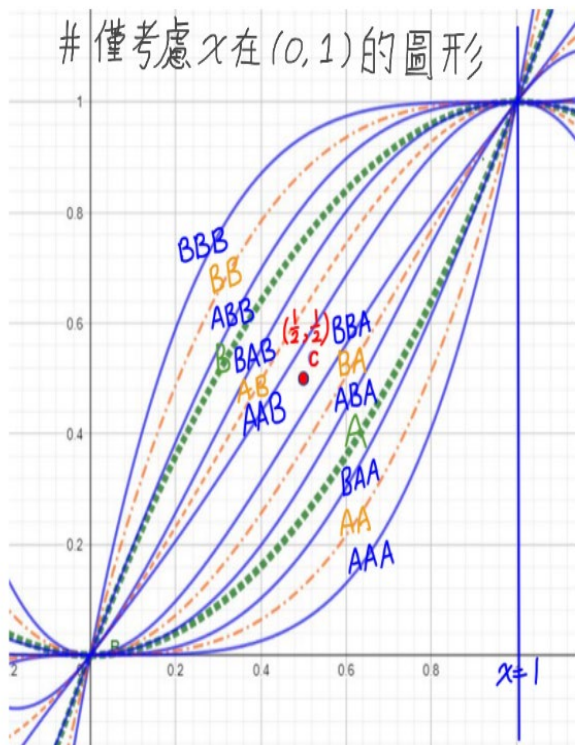
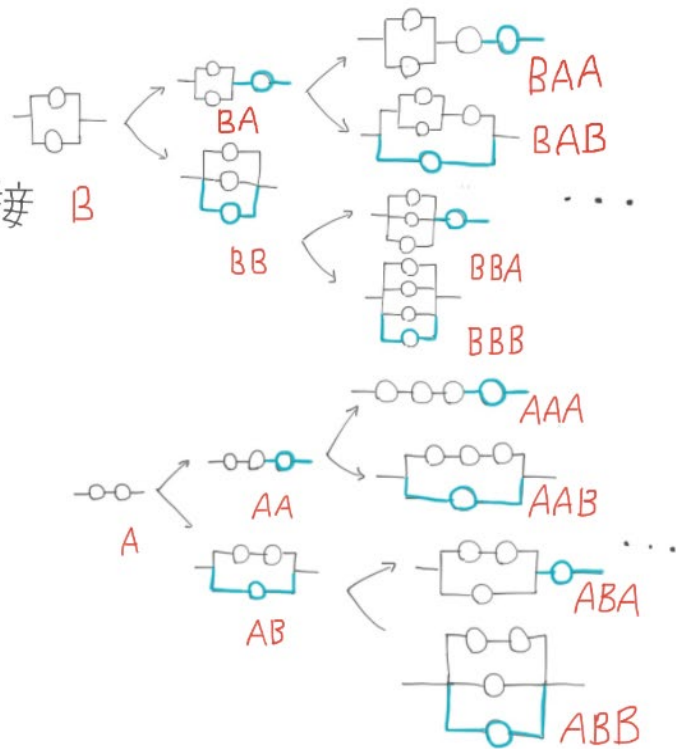
即使把所有包含 n 個燈泡
的例外情形都納入考量...

還是會有包含不到的部分！



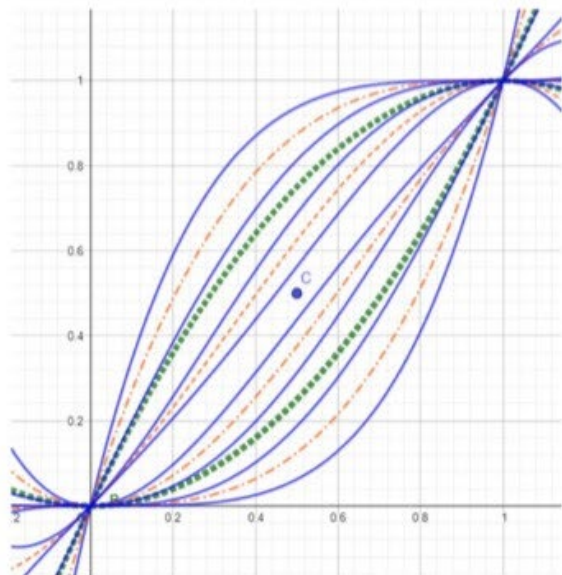
新月正深陷挫折的泥淖中，圓圓忽然提出了一個新的看法：「或許重點不是 n 個燈泡的組合數有幾種，而是如果有兩種不同的組合方式，要如何比較其通電機率的大小。」於是，為了尋找這種方法，圓圓決定先利用 GGB 把有 n 顆燈泡時，所有不同連接方式的通電機率函數圖畫出來。 $(1 \leq n \leq 4)$

採用 AB 編號法
將遞迴內的連接
方式分類。



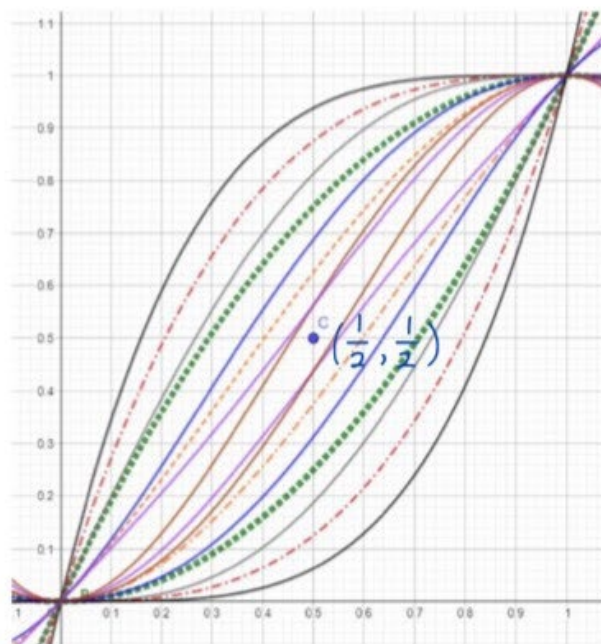
① 任意兩個函數圖形在 $(0, 1)$ 區間內不會相交

⇒ 屬於此遞迴法的燈泡組合方式, 其通電機率必定其中一個恆大於另一個!



② 編號互補的機率函數圖在 $(0, 1)$ 區間內, 恰兩兩對 $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ 點對稱!

順帶一提, $n=4$ 的兩種例外情形也對 $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ 點對稱!

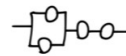


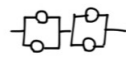
雖然發現了一些有趣的東西，但還是沒有達成最重要的目標的數學組，決定拿這個問題去請教數學老師鐘哥。身為專業數學老師的鐘哥，稍加研究這個問題之後，就給了數學組一個想法：

「加乘表示法」

可以使用 1 代表燈泡，“+”代表並聯，“×”代表串聯
將圖形表為一串式子。

ex:

 可表為 $(1+1) \times 1 \times 1$

 可表為 $(1+1) \times (1+1)$

數學組一致認為這個方法十分絕妙：

😊 沒有畫圖法占空間、表述不易的問題

😊 比 AB 括號法易懂

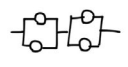
😞 沒有跟燈泡組合數一一對應
(一種圖可能有多種表示法)

這時，新月忽然靈光一閃：

如果使用加乘表示法，那麼
每一種燈泡組合方式都至少
對應到一個式子。

⇒或許式子算出來的值和
通電機率間是有關連的 ><?!

 可表為 $(1+1) \times 1 \times 1 = 2$

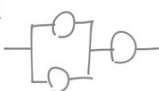
 可表為 $(1+1) \times (1+1) = 4$

圓圓決定深入探究這個想法，經過不懈的努力後，果然得到了成果！

✦ 首先，假設 X, Y 為兩種 n 個燈泡的組合方式
 $P(X)$ 代表 X 通電的機率函數， $P(Y)$ 則為 Y 通電的機率函數，且 X, Y 皆屬於每次加 1 個燈泡能數到的遞迴中。

接下來假設兩個函數：

- ① 設燈泡為 2，“ \times ”為並聯，“ $+$ ”為串聯時，所得之值為 $f(x)$
- ② 設燈泡為 1，“ $+$ ”為並聯，“ \times ”為串聯時，所得之值為 $g(x)$

ex:  $\begin{cases} f(x) = 2 \times 2 + 2 = 6 \\ g(x) = (1+1) \times 1 = 2 \end{cases}$



☹️ 接著列舉 $n \leq 4$ 時所有連接情況的函數值
 並進行歸納, 可以發現 其中貌似隱藏著某種
 規律!

窮舉 & 大小比較:

B : $1+1=2$ $2*2=4$ ↓

A : $1*1=1$ $2+2=4$ ←

B > A ←

BB : $1+1+1=3$ $2*2*2=8$ ↓

AA : $1*1*1=1$ $2+2+2=6$ ↓

AB : $1*1+1=2$ $(2+2)*2=8$ ↓

BA : $(1+1)*1=2$ $2*2+2=6$ ←

BB > AB > BA > AA ←

BBB : $1+1+1+1=4$ $2*2*2*2=16$ ↓

AAA : $1*1*1*1=1$ $2+2+2+2=8$ ↓

ABB : $(1*1+1)+1=3$ $((2+2)*2)*2=16$ ↓

BAA : $(1+1+1)*1=3$ $2*2+2+2=8$ ↓

BAB : $(1+1)*1+1=3$ $(2*2+2)*2=12$ ↓

ABA : $(1*1+1)*1=2$ $(2+2)*2+2=10$ ↓

BBA : $(1+1+1)*1=3$ $2*2*2+2=10$ ↓

AAB : $1*1*1+1=2$ $(2+2+2)*2=12$ ←

BBB > ABB > BAB > AAB > BBA > ABA > BAA > AAA ←

歸納出的神祕結果:

- if $f(x) > f(y) \Rightarrow P(x) > P(y)$
- if $f(x) < f(y) \Rightarrow P(x) < P(y)$
- if $f(x) = f(y)$, 則進一步比較 $g(x)$ 和 $g(y)$
 - if $g(x) > g(y) \Rightarrow P(x) > P(y)$
 - if $g(x) < g(y) \Rightarrow P(x) < P(y)$

#順帶一提, 這種方法對 $n=4$ 的例外情形
 也十分符合!

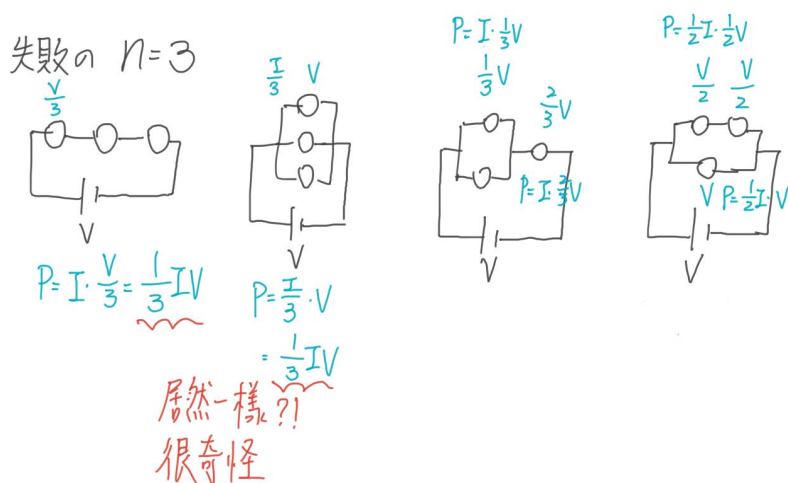
☺️ 似乎是個可行的判斷方式!

☹️ 此方法僅能比較燈泡數相同的情況

☹️ 例外情形和非例外情形無法相比

第四章·此時此刻，物理組

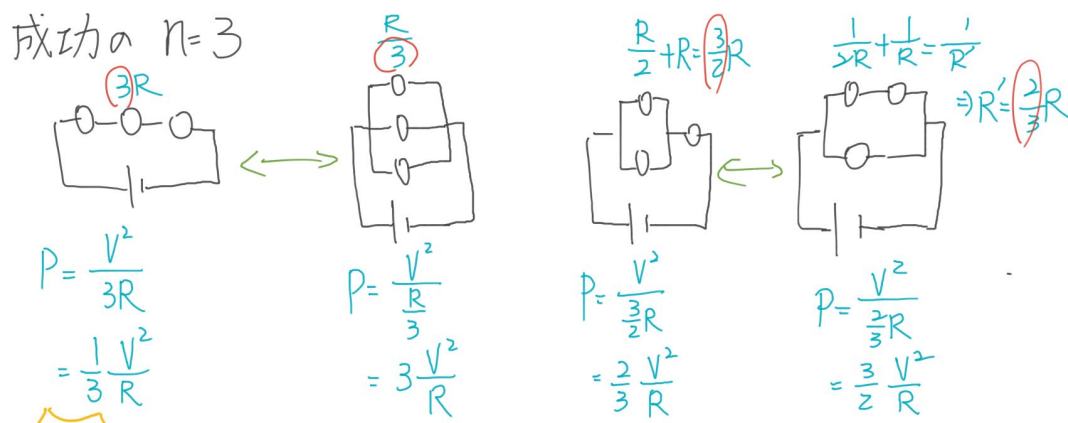
在一陣激烈的討論後，物理組也開始了他們的旅程。他們用一些前提假設讓實驗更完整，固定燈泡數、使用相同燈泡。左真提議說能用燈泡得到的伏特數來看燈泡發光的程度，因為功率 $P = \frac{V^2}{R}$ ，然後每顆燈泡的電阻相同，就能知道發光程度的大小。此時鋰鋅綠疑惑地說：「可是如果用 $P = I \times V$ 算的答案會不一樣！」左真百思不得其解，全部串聯和全部並聯的燈泡功率怎麼會一樣呢？



這樣根本無法繼續做下去啊！徬徨無助的她們苦惱了一番後，想到了菌哥的存在，於是孤注一擲把所有目前遇到困難都告訴他。身為專業物理老師的菌哥，如旅程中的明燈，點亮一切希望。不久，菌哥不負眾望的點出了一大錯誤：「功率並不一樣，不同串並聯方法擁有不同的總電阻，進而產生不同的電流」，解開了所有疑惑。於是乎，感謝菌哥之際，他們重新振作了起來。固定總電壓，計算每種燈泡連接方法的電阻，

又因 $P = \frac{V^2}{R}$ ，電阻與功率成反比，便開始探討電阻的變化，嘗試從中發現酷炫規律。

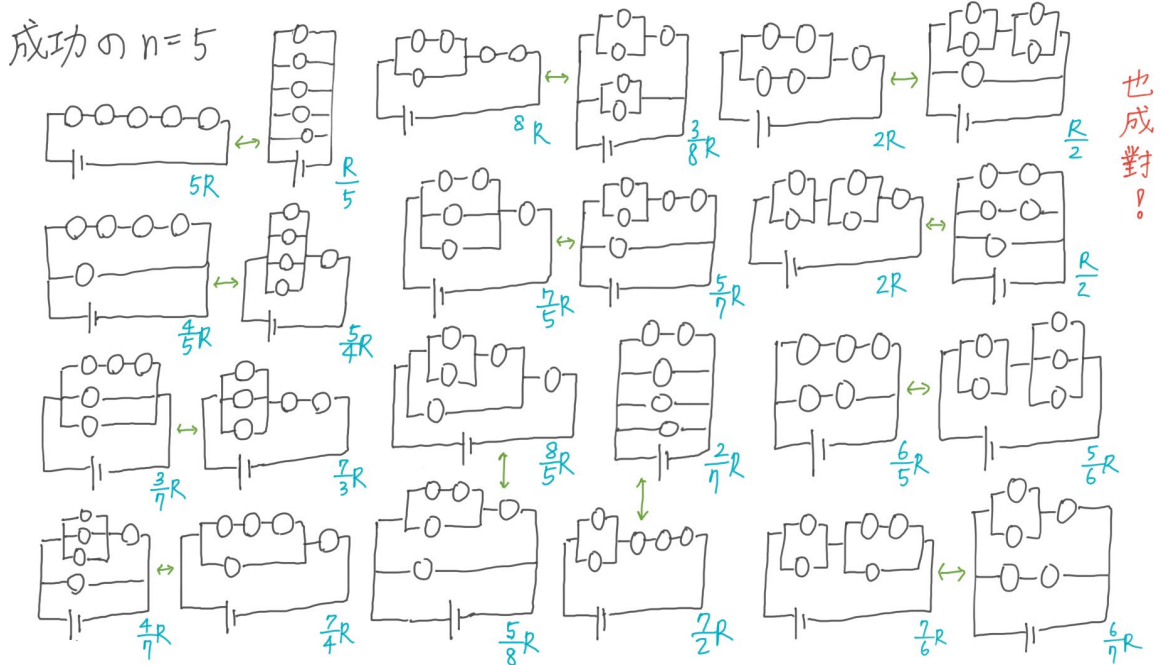
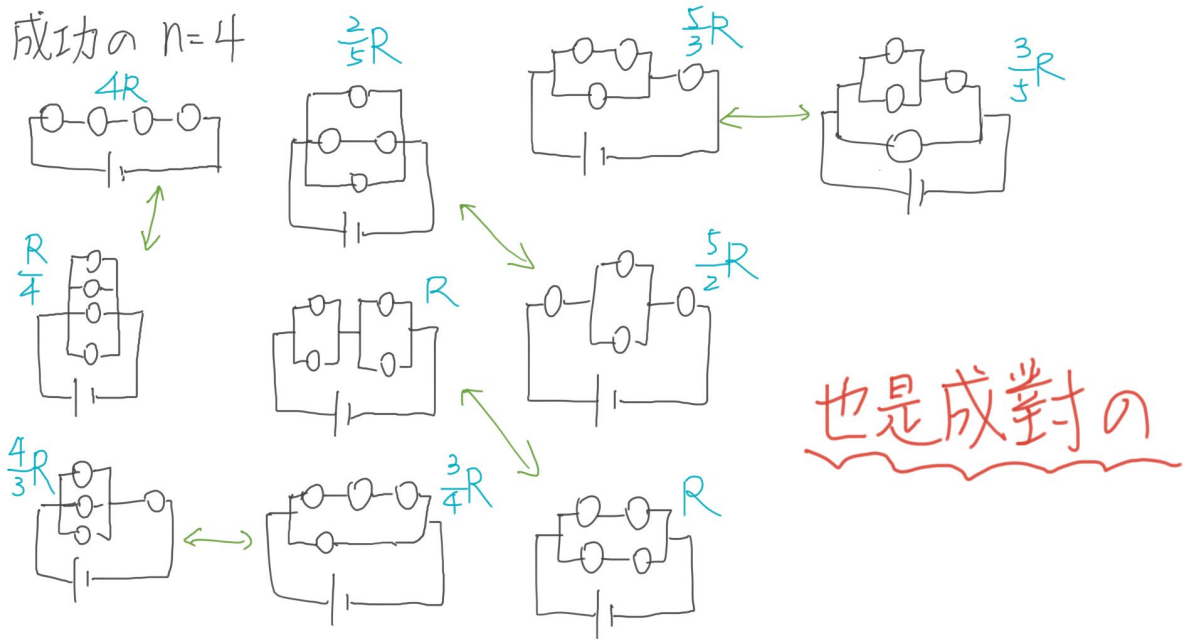
經過菌哥的醍醐灌頂後，重新算了一遍。



不到 30 秒鋸鋅線就有了大發現：

發現 電阻好像有倒數的成對 \Rightarrow 看 $n=4$ 是否有此現象

於是繼續畫四和五顆燈泡來驗證。

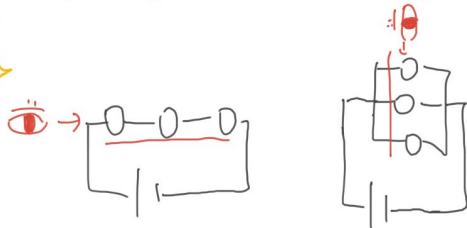


都是對的！

過了不久左真又有了新發現：

如何找到互為倒數係數電阻的连接方式？

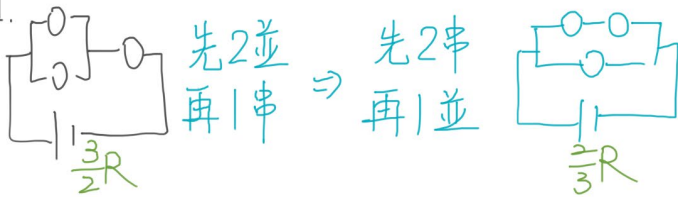
特徵



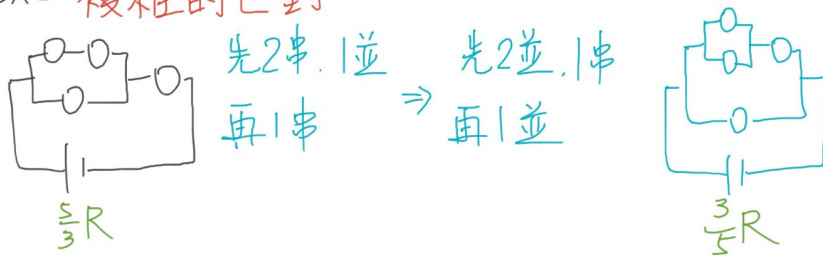
① 視角改變其實是相同的连接方式

② 串 → 並 / 並 → 串

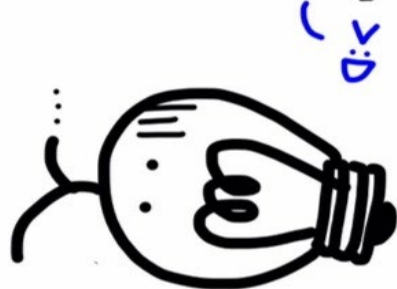
EX 1.



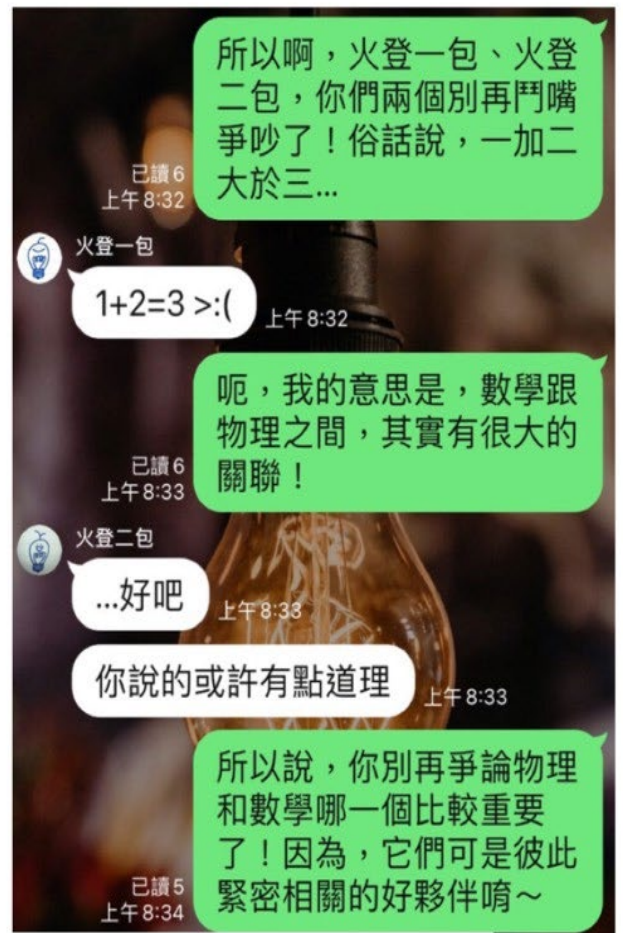
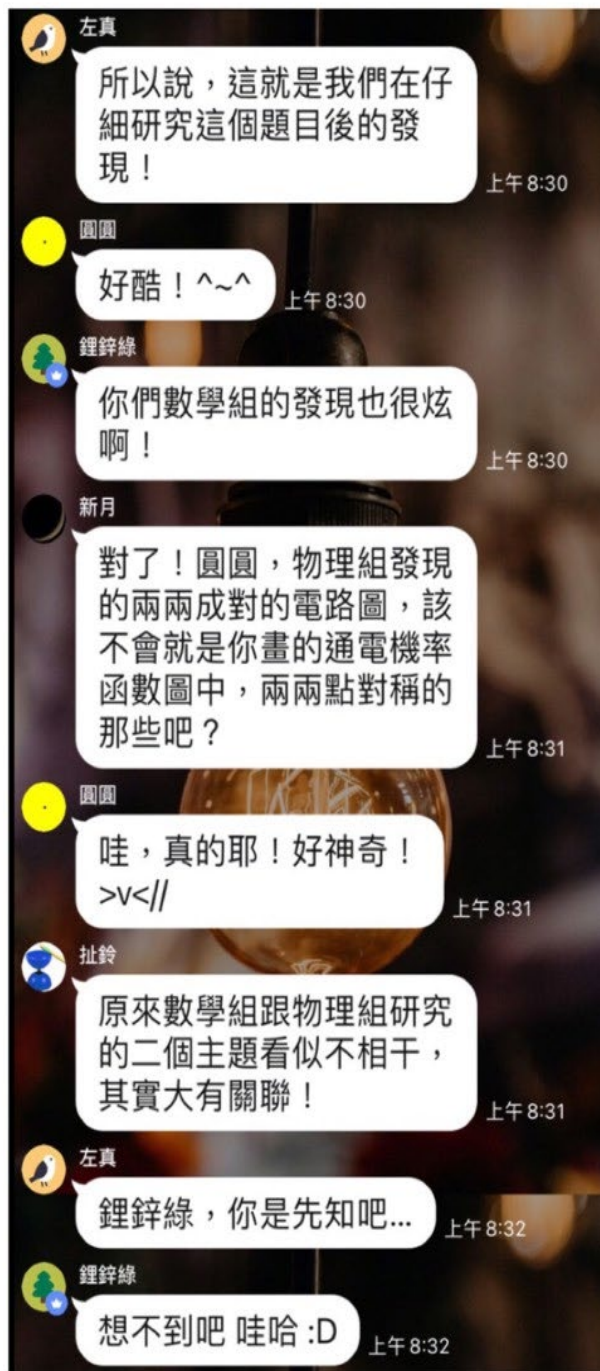
EX 2: 複雜的也對



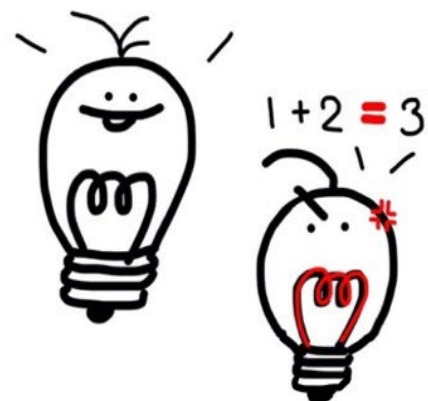
$$\begin{bmatrix} \cos 90^\circ & -\sin 90^\circ \\ \sin 90^\circ & \cos 90^\circ \end{bmatrix}$$



第五章 · 當數學遇上物理



俗話說，
一加二大於三.....



終章·真正的結束...嗎？

在大家的熱烈討論中，故事邁向了尾聲。

神祕的火登特派員們在大家的討論完結後，就消失無蹤了。但是，大家都記得火登三包的最後一句話：數學跟物理是緊密相關的好夥伴。在未來學習的路上，這句話大概也會再被印證好幾次。

而日後，想必大家會經常回想起這個故事，這如夢似幻卻十分真實的故事——

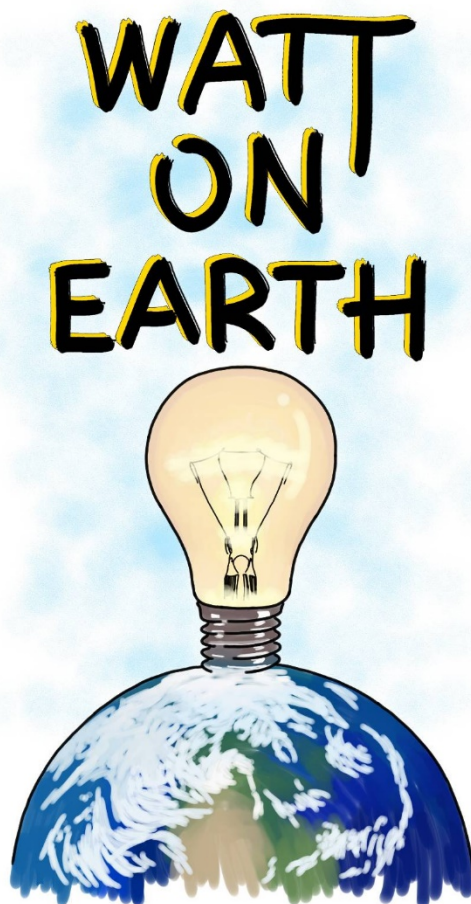
這是一個關於 5 個熱愛科學、志同道合的朋友們的故事。她們在一起參加一個科學寫作比賽後，除了增強了團隊合作的能力外，也對科學探究產生更多的興趣。

這是一個關於科學的故事。從一道簡單的機率題目與由其而生的發想，延伸出一個奇幻世界，使她們窺見科學的美妙。

這是一個值得回味的故事，其中有歡笑也有悲傷，有失敗也有成功。但無論如何，都不會影響到她們的好奇心與求知慾，以及對科學的熱忱。

這場旅程，看似結束了，其實永遠不會結束。

(全文終)



石全食

班長 育旻



總務股長
宥沅

美

康樂股長
梓恩



自然小老師
志騰



有鑑於去年園遊會辦女僕咖啡廳失敗，畢業旅行基金因而虧損，今年聖誕園遊會是最後的機會，收入將決定畢業旅行是去澎湖，還是去海邊撿垃圾做慈善。在班長育旻主持下，同學們想到用國中特色課程學到的原住民石頭火鍋為主打賣點（「石煮法」的石頭火鍋，是用石頭加熱湯與食材，又快又環保，還很省成本，才能提高獲利，這是總務股長宥泫堅持的）。

康樂股長梓恩提案：「大家穿原住民傳統服飾吧？這樣可以說我們有文化創意產業的潛力。」

宥泫深思：「這樣要增加成本耶，我們資金快見底了。」

梓恩回：「有文化性才有顧客，生意更好就可以住高級旅館！我是舞蹈社社長，可以找老師來編舞，大家覺得呢？」

全班熱烈鼓掌，只是大家都想穿原住民服飾跳舞，火鍋的事就丟給了班長育旻、總務股長宥泫（控制成本），跟自然小老師志騰（他當總召）三人去籌備，班長宣布：「明天大家一人撿五顆石頭來，不准撿磚頭或水泥」後，其他人一哄而散。



園遊會前一天晚上，事情幾乎沒什麼進展。育旻說：「我們先煮一鍋當消夜吧，正好餓了。」另兩人也覺得這樣不錯，於是有人準備食材、有人加熱石頭。

宥法說：「用微波爐很快啊！」

「微波爐加熱石頭？你笨蛋呀！」志騰吐槽道。

材料準備差不多時，志騰把石頭放在烤網上加熱。不久，石頭傳出「噼啪」的聲響。

「會不會有問題？」

「正常的吧？」

「先關火觀察看看？」

討論時，石頭「啪」的一聲爆裂，碎片向四周飛去，大家驚慌失措，眼疾手快的志騰立馬關掉瓦斯，大家都嚇了一跳，好在沒人因此受傷。



慘了，明天八點要開張，得在之前完成，畢竟服裝都租了，不能虧錢啊。

爐台上尚有幾顆未爆的石頭，也有爆開的石頭碎屑。他們發現以下幾點：

- 1、有些石頭爆裂後，夾雜一些碎屑，有些則是直接裂成兩半，但沒有碎石爆出。
- 2、爆裂的石頭多為片狀結構的頁岩，此外許多不同顏色(成分)所組成的石頭也容易碎裂。

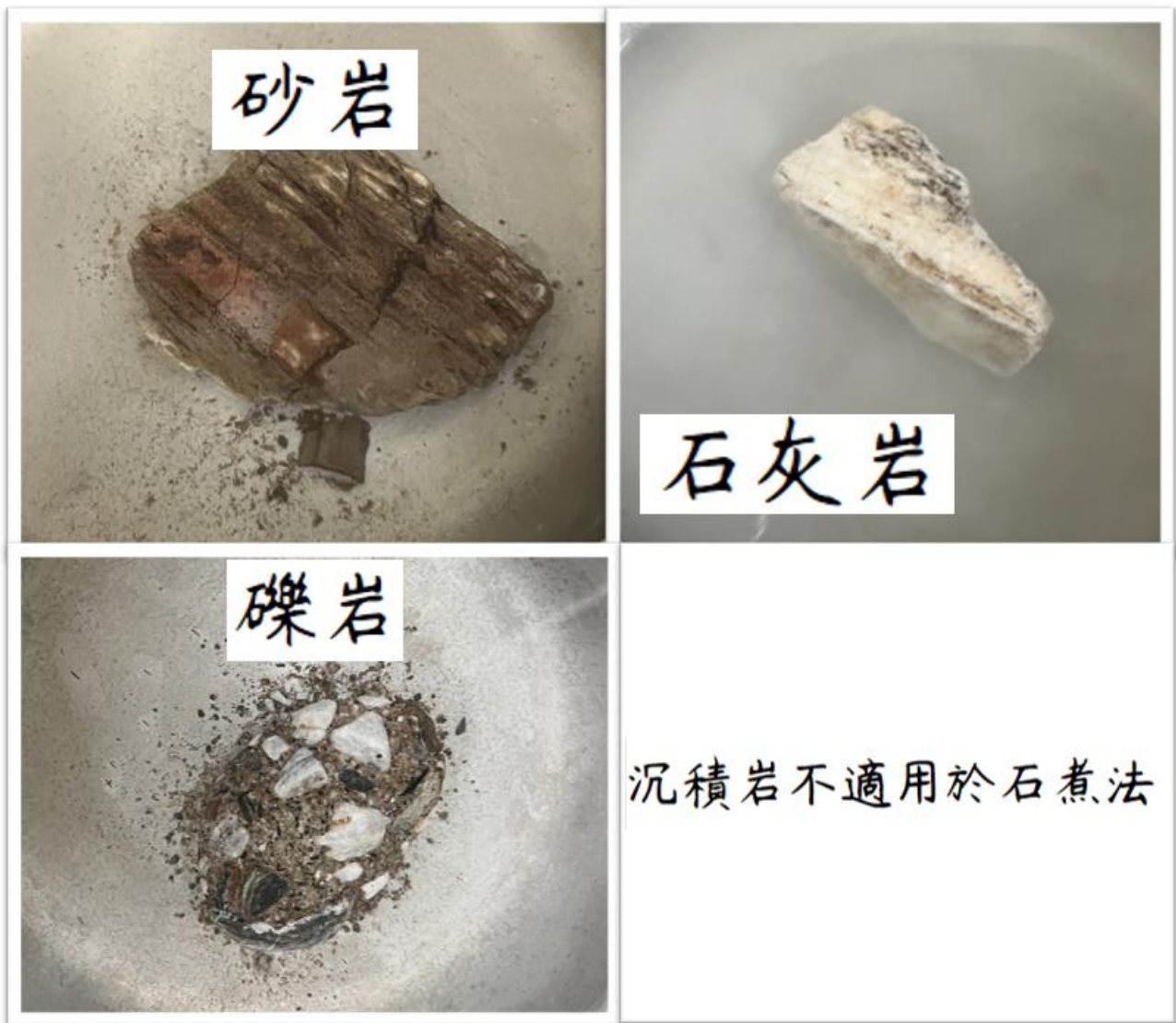
三人開始統整分析資料。

「會爆裂的石頭顏色較複雜，可能是不同材質受熱膨脹的量不同，那我們選擇頁岩之外的單一顏色石頭。」「老師有教，水變水蒸氣會膨脹超過一千倍，如果石頭有小空隙讓水進入，加熱後內部會有巨大壓力，所以該選質地緊密而沒有空隙的石頭。」「既然如此，洗過的石頭要曝曬一陣子，讓水份不會殘留。」

經過上述「標準」挑選出石頭並經過圖鑑比對，有玄武岩、花崗岩、蛇紋岩、砂岩、礫岩與石灰岩。將這些石頭加熱十分鐘，果然沒有發生爆裂。趁石頭還未降溫，宥沅用夾子夾石頭放進事先準備的水裡，石頭上方數以萬計的氣泡隨水沸騰攪動著。

正以為成功時，卻發現加熱後的湯出現混濁。有剛剛處理問題經驗，大家就先試著觀察混濁的原因，發現湯在靜置數分鐘後會有微小的細沙沈澱在湯底，觀察石頭的改變，感覺不出什麼太大的變化，於是設計了小實驗，來了解是哪一環節出問題。

志騰將石頭分別放入不同鍋裡，每鍋先後沸騰，有三鍋出現混濁，其它則保持原本的清澈。三人認定這就是罪魁禍首，用夾子夾起來放涼後，更細緻的觀察它。第一個、第二個應該屬於沉積岩中的砂岩與礫岩，加熱時會裂開釋放細砂，第三個是沉積岩中的石灰岩，志騰說：「石灰岩中含有鈣離子與碳酸鹽等化學成份，溶出鈣離子與碳酸根容易與食物的離子(如草酸根)產生沉澱，造成水色混濁」。



再度測試，這次石頭沒有爆裂，亦無混濁。便把食材放入水中，有肉片、蝦子、蔬菜等，石頭加熱後放入湯中，湯的香味撲鼻而來，蝦子也被煮的通紅。大家開心的享用這期待已久的「消夜」，然在熱湯入口那刻卻發現。

「嗯？」

「味道……好像不太對。」

「味道跟平常不一樣。」

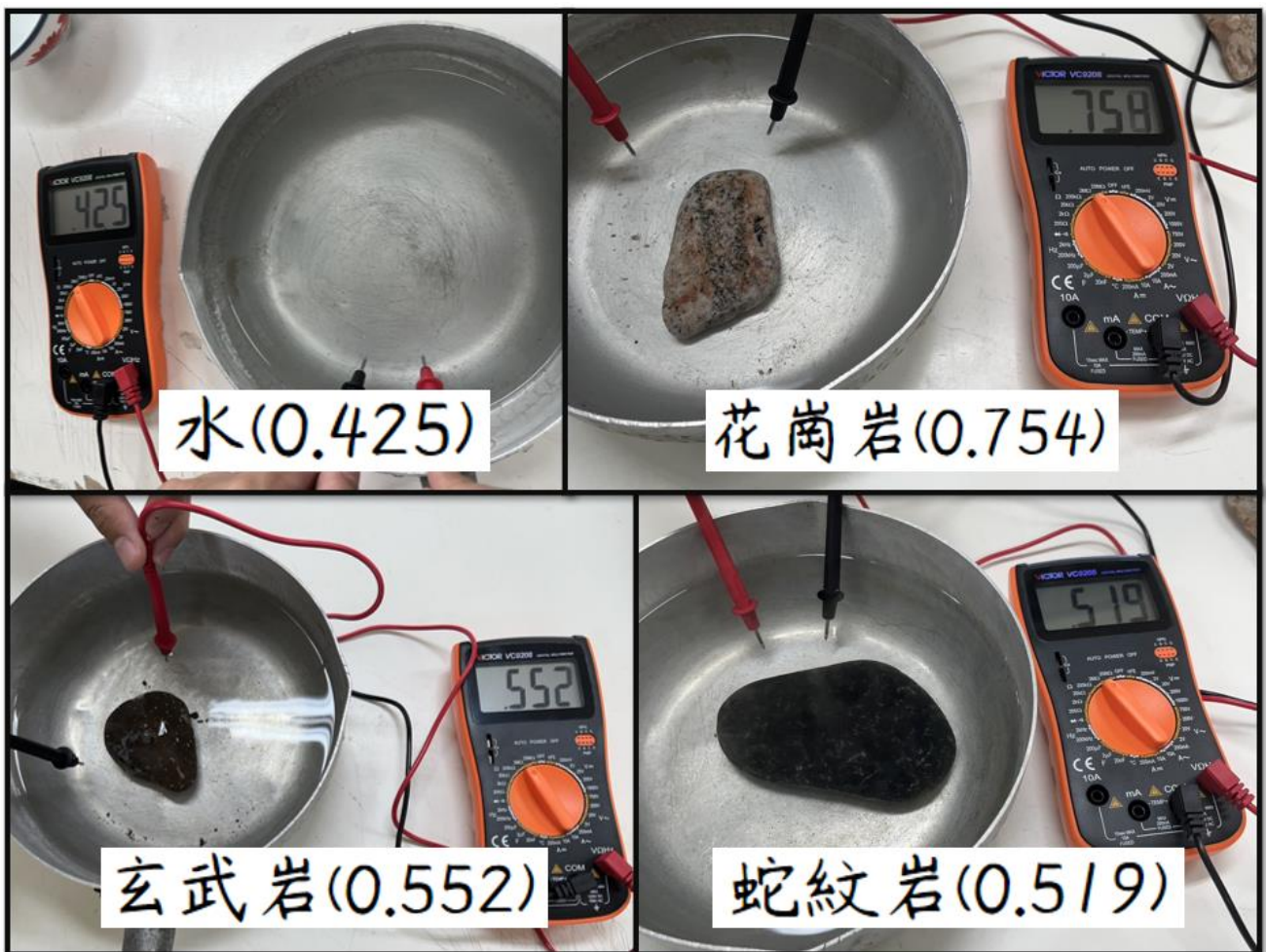
「我們真的要賣這個嗎……」

「我們失敗了嗎？」宥法覺得很挫敗。

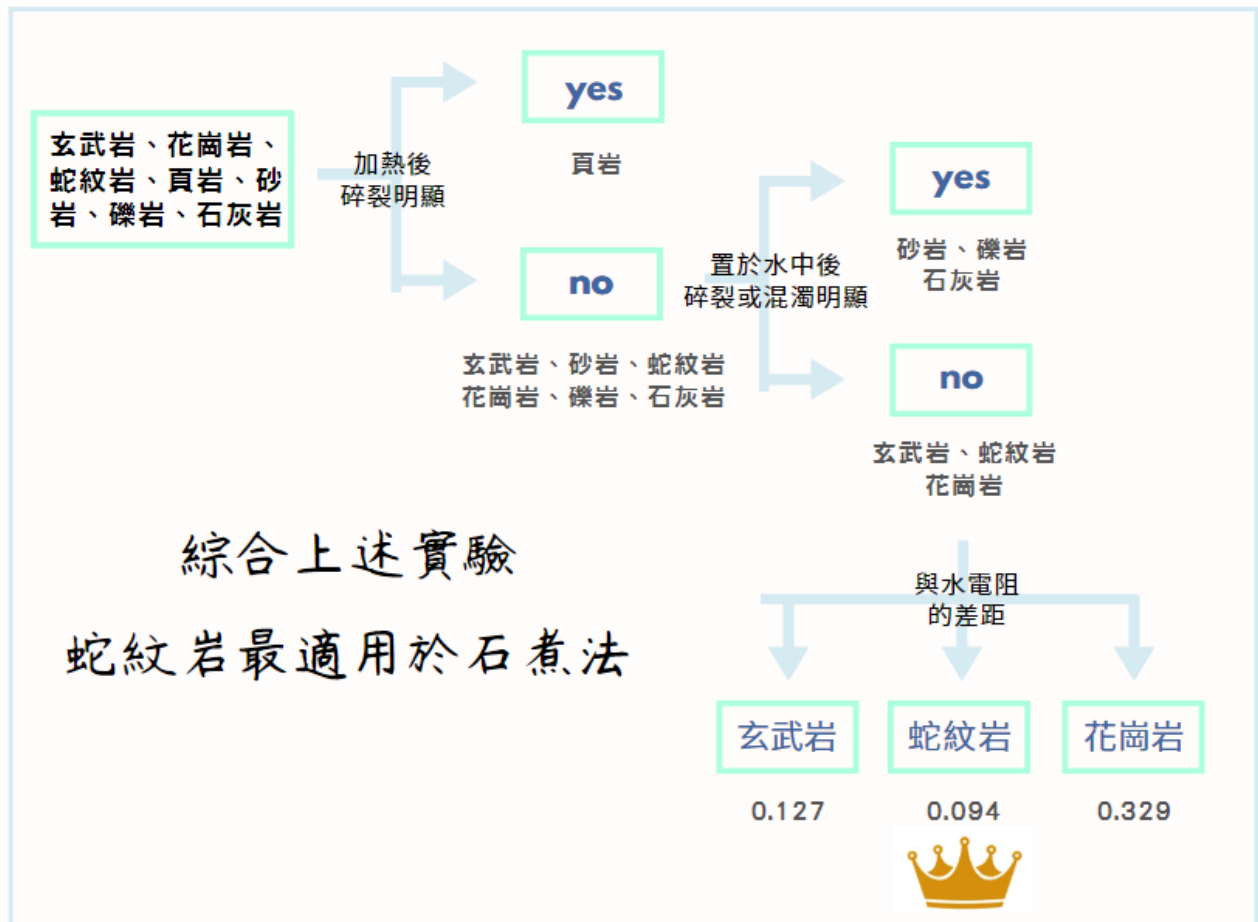
「難道大家要放棄了嗎？大家不想去澎湖了嗎？我們沒有退路了，五星級飯店就在前方！」班長激勵著大家，接著說：「味道不同，可能是石頭裡面有物質溶進湯裡。」

志騰說：「我們用三用電錶測測看水中的電阻，和水的電阻值離得越遠，表示溶出的物質越多。」

三人將燒好的石頭丟入水中後測量電阻，了解是否有物質溶出。果然，有些鍋中的水在石頭加熱過後數值明顯變化了！



結合之前的實驗結果，疲憊的三人終於找到最適合用來煮火鍋的石頭，加熱時不爆裂、無碎屑、湯色清澈、口感美味，符合這四種要求的完美石頭，就是班上同學撿來的蛇紋岩。



實驗完成後，三人幾乎虛脫，但求知的愉悅讓他們欣喜非常。

志騰說：「我餓了，你們呢？」

育旻回：「我們用石煮法來煮早餐吧？宥法，公費可以嗎？」

宥法搖頭：「照理說不行，但我們已經幫班上省很多錢了，該吃豐盛點，然後好好睡一覺。」

育旻：「對極了，我們任務完成了。」

三人開鍋煮肉，正要享受時，梓恩跟同學們穿原住民服裝進來了。



梓恩：「好貼心喔，幫我們煮了早餐嗎？」

三人一愣，同學們就很自動的拿碗開心的把火鍋吃光，讚不絕口：「味道果然好，你們一定吃得很過癮吧？」

三人已經無力辯解，癱軟欲倒。但梓恩卻丟來原住民服裝：「別偷懶，吃完一起彩排喔，加油！」在大家的振奮聲中，三人在微笑中站著睡著了。

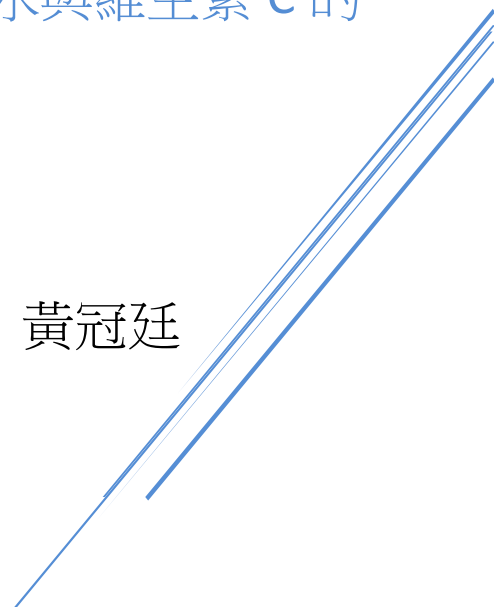
參考資料：「食·石」-石煮火鍋石材選用之探討。

八碘檔之澱到你酸

---碘、澱粉、雙氧水與維生素 C 的
氧化還原反應

學生:許紫瑩、張琬愉、黃冠廷

指導老師:黃淑芬

A decorative graphic consisting of several parallel blue lines of varying thicknesses, slanted diagonally from the bottom left towards the top right, positioned on the right side of the page.

「導演，有這些廠商（糯米粉、優碘、飲料）要贊助播出，趕快跟編劇講，明天 8 點的戲，這些都要出現…」工作人員急忙的通知導演。

編劇（搔腦抓頭中）「天啊！這些怎麼放進去」明天是小時候的友志跟大風在學校較量的戲…「呀！我想到了，就這麼辦！」頓時，編劇靈光一閃。

「來！三秒後開拍，3、2、1 action 1!」導演大聲吆喝著。

「各位同學，期末快到了，我們要舉辦一場才藝表演秀，希望大家可以拿出自己的拿手絕活喔。」老師一說完，友志立馬站起來調侃大風：「哼！大家看看，大風他們家窮得跟甚麼似的，他又能夠給大家表演些什麼？」一旁的大風可說是氣得牙癢癢，心想：「我一定可以表演出轟天震地的才藝，你給我等著！」

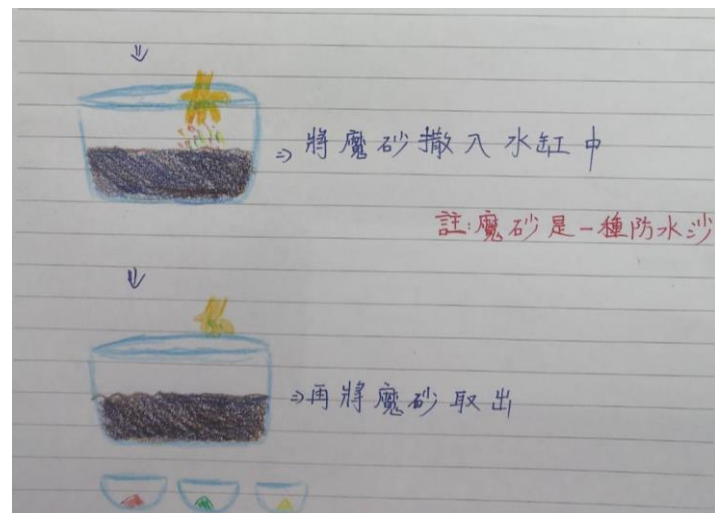
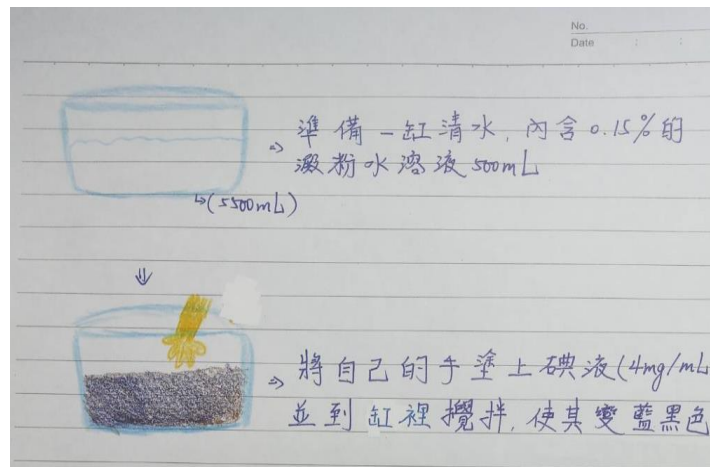
放學後，友志的爸爸開車來接他回家，一路上，友志向爸爸提起才藝表演的事：「爸，幫我找個魔術師，我想要在發表會上表演。」爸爸一聽到寶貝兒子要在眾人前大展身手，毫不猶豫地答應下來「當然沒問題，我認識一位化學專長的魔術師，我馬上打給他…」

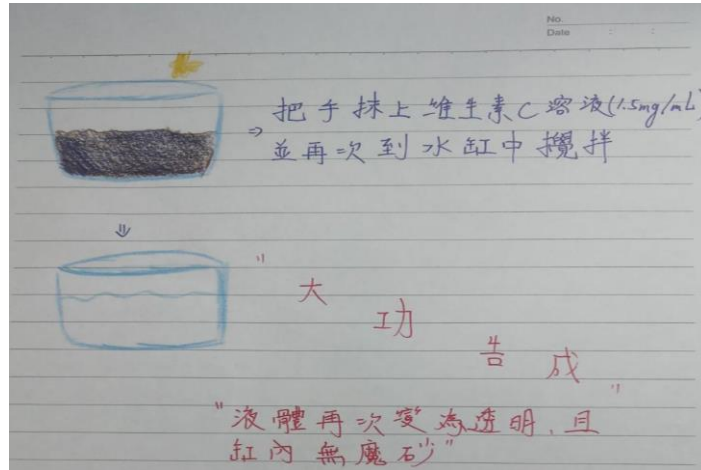
鏡頭轉到大風，他揹著書包，跑到媽媽夜市攤。媽媽正為了晚上的夜市準備著。攤位上擺上 A 牌糯米粉，B 牌米，攤車下面擺著 C 牌醫藥箱。大風媽：

「放學啦！先去幫媽媽洗米！洗米水要回收利用放旁邊桶子。」大風媽拿起 B 牌米對向鏡頭，交給大風。大風拿 B 牌米洗米。邊洗米邊跟媽媽聊天。大風：「媽，這 B 牌米煮出來的飯，客人都超愛，再加上媽媽的特製滷肉醬，超好吃。」洗米時，他想著才藝表演的事，所以有點分心。將洗米水收集好後，大叫一聲。媽媽慌張跑過來。大風：「啊！我被旁邊的菜刀刮傷了。」大風媽：「哎！這麼不小心，我去拿醫藥箱。」大風媽拿出 C 牌醫藥箱，拿出裡面的優碘對準鏡頭。大風媽：「還好我平常都有備著 C 牌醫藥箱。裡面就有消毒用的優碘、雙氧水與 OK 蹦。」大風媽拿出優碘，滴在大風手上。就在媽媽滴在他

手上時，過多的優碘滴到洗米水，媽媽不小心碰到桌上的 D 牌氣泡水，又倒進去了洗米水。大風大叫並露出驚訝的表情。大風：「媽~這優碘...這氣泡水...」大風媽：「男子漢大丈夫，這麼點小傷口叫成這樣。」

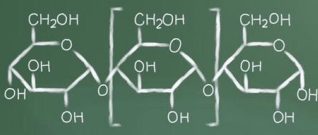
鏡頭拉回友志家，魔術師正在為友志講解這驚奇的魔術：「首先...」





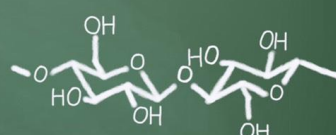
「哇！真是太酷了！一定沒有人的表演能比我精彩。」友志驚嘆著，卻有點疑惑，接著，魔術師就在黑板上講解著原理。

直鏈澱粉



結構：螺旋狀

支鏈澱粉



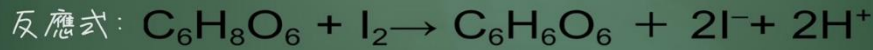
結構：樹枝狀

加入碘後會卡在結構上，因折射波長不相同，顏色也不相同

波長：短————長

藍黑色
>
>
>
>
>
>
紅棕色

氧化還原



維生素C + 碘分子 → 去氫維他命C + 碘離子 + 氫離子

當碘遇到維他命C時
因還原作用使得褐色碘分子還原成無色碘離子。

小知識—優碘、碘酒都是碘哦！只是他的成分和用途不太一樣
優碘是碘的化合物，碘酒是碘加酒精。碘酒有含酒精，
比較不適合塗在有傷口的地方，通常使用在手術前的消毒；
優碘塗在傷口上形成一個薄膜，在傷口外層釋出碘成分，
藉此達到消毒、殺菌效果。

「卡！大家休息一下，表現不錯喔！」導演開心的說：「不過這戲的檔期快到了，我們得抓緊拍，所以，第二幕預備 3、2、1 action 2！」導演馬不停蹄的催促演員們。

跟媽媽擺完夜市的大風回到家，拿了剛剛夜市的洗米水、優碘，也將媽媽夜市攤位上的 A 牌糯米粉、D 牌氣泡水對向鏡頭。大風妹正玩著外面書店賣的魔砂。大風媽：「你拿這些東西要做什麼？」大風：「媽，我要才藝表演，正在煩惱要怎麼辦？我們又沒有錢去學。但就在剛剛，優碘滴在我手上，我觀察到變色耶！！然後，D 牌氣泡水又噴濺進去，又變色一次喔！」大風媽：「你的觀察力一向很好，然後呢？」大風：「我要用這個表演。」大風妹聽到便說：「我也要幫忙。」一家三人開始在廚房翻找物品。大風：「媽，洗米水有點透明中帶白，優碘是褐色的，滴下去居然變成藍黑色耶！還有沒其他東西滴到優碘也會變的？」媽媽：「既然都是澱粉，要不要試試麵粉和糯米粉？」大風和妹妹在紙上畫表格記錄著。此時，大風想到在上探究實作時，為了更準確描述物品顏色，老師便介紹了色碼的 APP，大風便打開 APP 來輔助。

水溶液	洗米水	糯米粉水	麵粉水	純水
加碘後顏色	藍黑色	紅紫色	藍黑	褐色
色碼	R: 155 G: 178 B: 186	R: 95 G: 67 B: 63	R: 33 G: 27 B: 33	R: 124 G: 40 B: 6

大風：「媽，那還有沒有其他東西可以讓變色的洗米水再變回來？除了 D 牌氣泡水。」媽媽：「除了氣泡水...不知道維他命 C 發泡錠或雙氧水可不可以，試試看？」

大風媽：「想不到買給你們增加抵抗力的維他命 C 發泡錠、藥箱中的雙氧水，效果這麼好。」大風妹：「哥，我買的魔砂，你可以在洗米水加優碘變色後，抓幾把不同顏色的，放入水裡，然後一把一把抓出來，再加入維他命 C 發泡錠，水再變澄清，這樣實在太神奇了。」

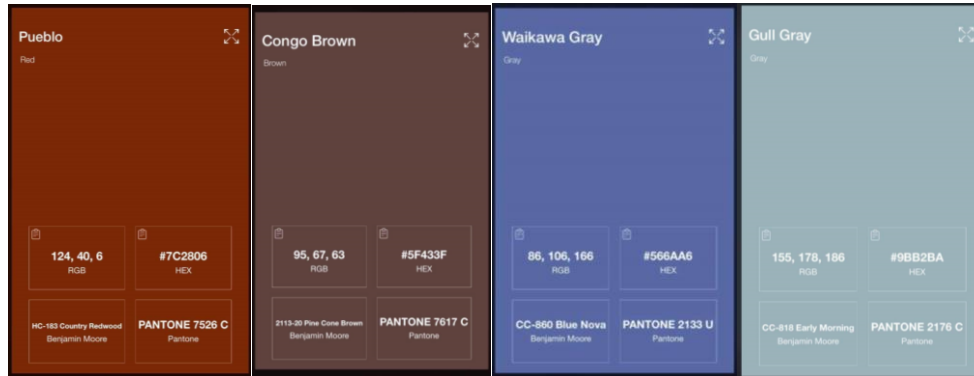
幾個星期後，才藝表演會的日子到了，誰也沒想到，友志跟大風竟然表演相同的節目，唯一不一樣的是，大風與家人一起不斷嘗試，且使用家中舊有的物品一步一步地完成實驗；而友志卻直接拿現成數據...

《感謝各贊助商冠名贊助播出》

小編後記：起初我們想探究有關澱粉的實驗，但看到網上研究都很正經，在偶然搜尋資料的情況下，發現這個魔術，原以為很簡單，嘗試後才發現：眼見不為憑，用看的用想的都無法真正的身歷其境。直到進入實驗室去配製那些溶液，光 0.15% 的澱粉液、4ppm 的碘液都不那麼好配，溶解度很差，還要加熱。也因為疫情停課，我們無法進到實驗室，反而得以好好去觀察生活周遭的物品，才發現家裡就有很好的替代品，透過線上 meet 共同做實驗探究；廚房的糯米粉，醫藥箱的優碘、雙氧水，還有媽媽要我每天吃的維他命 C，居然都可派上用場，生活就是科學，科學也就是我們的生活，不是嗎？Chemistry is a Science and an art.

參考資料: <https://www.youtube.com/watch?v=112yO4qqNME>

實驗圖片:



碘

糯米粉加碘

洗米水加碘

洗米水

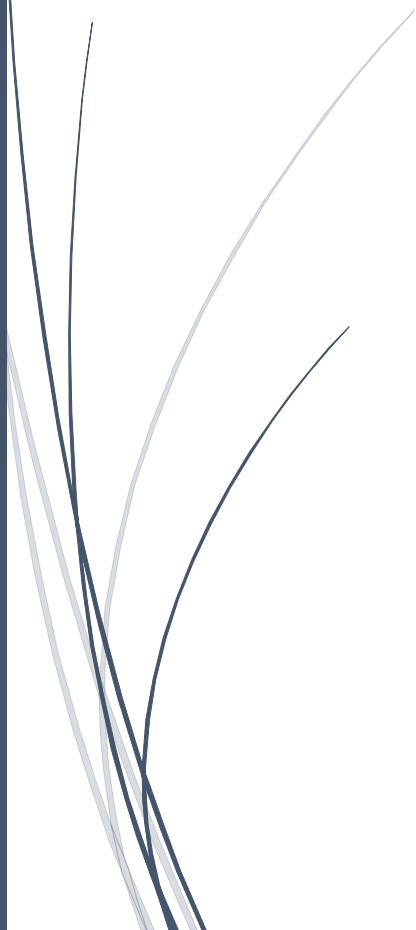
斗笠的妙用

學生:王韻婷。

台北市私立大同高級中學。

普通科一年正班

指導老師:周佳芳 老師



一、研究動機:

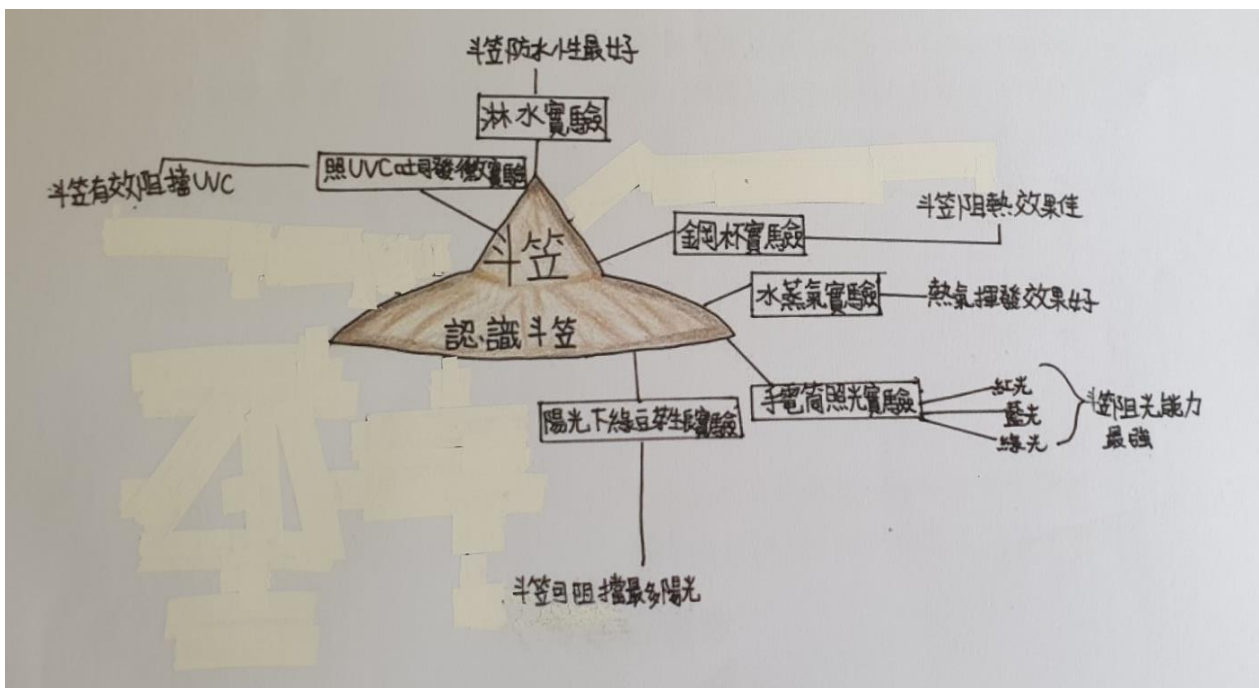
當初我和同組成員在討論主題時，有人說今天實在是好熱，這帽子怎麼越戴越熱?我用促狹的語氣叫他去買頂斗笠，畢竟斗笠是古代人的智慧，應該挺適用的。於是我們就開始討論斗笠的功效，而後我們就以斗笠為科學探究對象

斗笠四十歲以上的族群尚能耳熟能詳的配件，而現在在台灣的南部還能看到有人在使用，所以斗笠的遮陽效果一定是非凡的，常常有農民說沒有帽子能比得過我們斗笠。因此我一直很好奇斗笠真的有這麼棒嗎？之前有傳出一位老農民下田因戴錯帽子而中暑身亡，這讓我更加驚嘆不已，我希望透過實驗來證明斗笠的功效，不讓它只是以傳說的方式存在。

我們開始實驗時，遇到很多問題，挫折重重，後來我們意識到這樣下去不行，於是調整好心情，重新開始，現在想想真是一路坎坷，因為我們中學生，常會自作聰明錯誤解決問題或是缺少修正問題的耐心。



二、研究流程圖



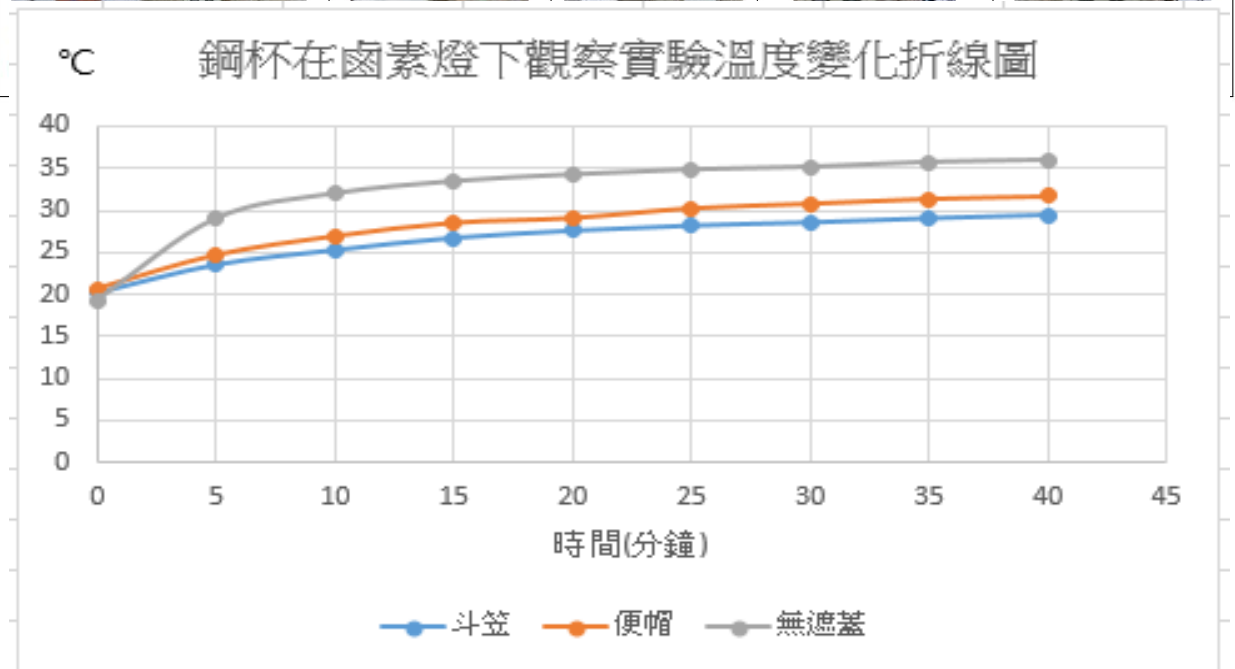
三、實驗過程

實驗一：

以鋼杯在鹵素燈下觀察溫度的變化實驗---我們想模擬在太陽下的斗笠遮陽性是否優於便帽？

1. 實驗材料和過程: 我們自製一個以水管架撐起大到三個人可以一起進去的大箱子，裡面懸掛一盞鹵素燈，準備四個大小相同的鋼杯放在地上，鋼杯上個子貼好一台溫度計，以便帽、斗笠蓋在上方，每五分鐘記錄一次溫度變化情形，收集四十分鐘，四十分鐘結束後散熱二十分鐘，再交換蓋上，就這樣重複四次。因天氣變化難預測故以鹵素燈代替太陽照射鋼杯。
2. 實驗結果: 以鹵素燈代替太陽照射鋼杯，經過 40 分鐘後，斗笠組比無遮蓋組少了整整 6.5 度，比便帽少 4 度，證實斗笠上升最少




實驗擺設方式	第一輪	第二輪	第三輪	第四輪
				
紀錄的情形	第一輪 (斗笠位置 1)	第二輪 (斗笠位置 2)	第三輪 (斗笠位置 3)	第四輪 (斗笠位置 4)
				



實驗二

以水蒸氣測試斗笠的透水性

1. 實驗材料與過程: 斗笠、便帽、保鮮膜、露營用瓦斯爐、鋼杯、溫度計。先將斗笠和便帽用保鮮膜裹好，接著用露營瓦斯爐將鋼杯內的水燒製沸騰，溫度都達一百度，將斗笠和便帽分別朝下擺上，十分鐘後觀察斗笠與帽子上的溫度，將斗笠與帽子放置桌上等溫度下降後拆除保鮮膜。
2. 實驗結果: 斗笠外部有結水滴，內部則是乾的，便帽則是內外都很濕。斗笠透水性佳是因為斗笠有孔隙有助於熱氣揮發，在揮汗如雨的高溫下，汗水容易被蒸發。

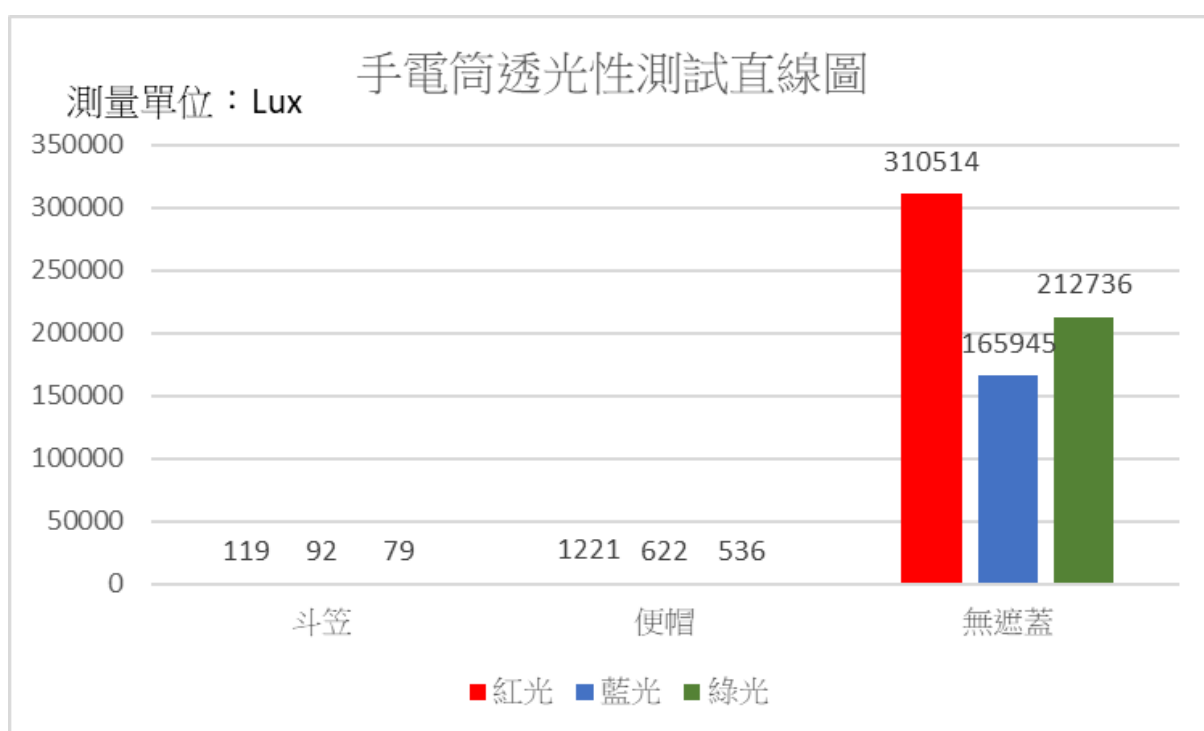
斗笠實驗情形	便帽實驗情形
	
實驗後斗笠外部	實驗後便帽外部
	
實驗後斗笠內部	實驗後便帽內部
	

實驗三:

透光性測試---看看斗笠是否能遮光?

1. 實驗材料與過程: 斗笠、便帽，手電筒、紅.綠.藍玻璃紙，將手電筒包上玻璃紙使其產生多種顏色，隔絕實驗室外的燈光使實驗室保持伸手不見五指，打開有包上玻璃紙的手電筒蓋上斗笠和便帽看看遮光性是否良好。我們使用的是手機內建的照度計算程式。

2. 實驗結果 透光性:便帽最大，斗笠最小。





實驗四:

自然光下綠豆生長實驗---從實驗三得知斗笠遮光效果強，所以我們想試試斗笠是否能長時間保持遮光效果。讓豆芽菜有著又高又白，不苦的特性。

1. 實驗材料及過程: 斗笠、便帽、綠豆、保鮮盒、木將布。先將綠豆泡水一夜，取三個保鮮盒放入綠豆，每組約一百顆綠豆平撒入其上，蓋上木將布，澆水 100ml，以斗笠和便帽蓋上，對照組不蓋，於走廊不會淋到雨又可照到太陽處，每日取三根綠豆芽觀察。
2. 實驗結果: 對照組長得很高但整根呈深綠色，斗笠內的則最白最高。
3. 小插曲:我們的實驗做到一半又重做了，因學校有雇用一個喜憨兒當工友。當時是星期五，我們把實驗物品放在學校，結果星期六來時，斗笠就不翼而飛了，大家都很傻眼，這時喜憨兒工友剛好在澆花，他頭上戴著我們做過記號的斗笠!我們立刻去找他，他說他

從那張實驗桌上拿的，因為很熱，他就拿起來帶了。他的不小心害我們又重做了…

擺放方式	由左至右:便帽、斗笠與無遮蓋
	

每日觀察綠豆芽生長與記錄:斗笠遮蓋的綠豆芽長得最快，便帽則居於中間。

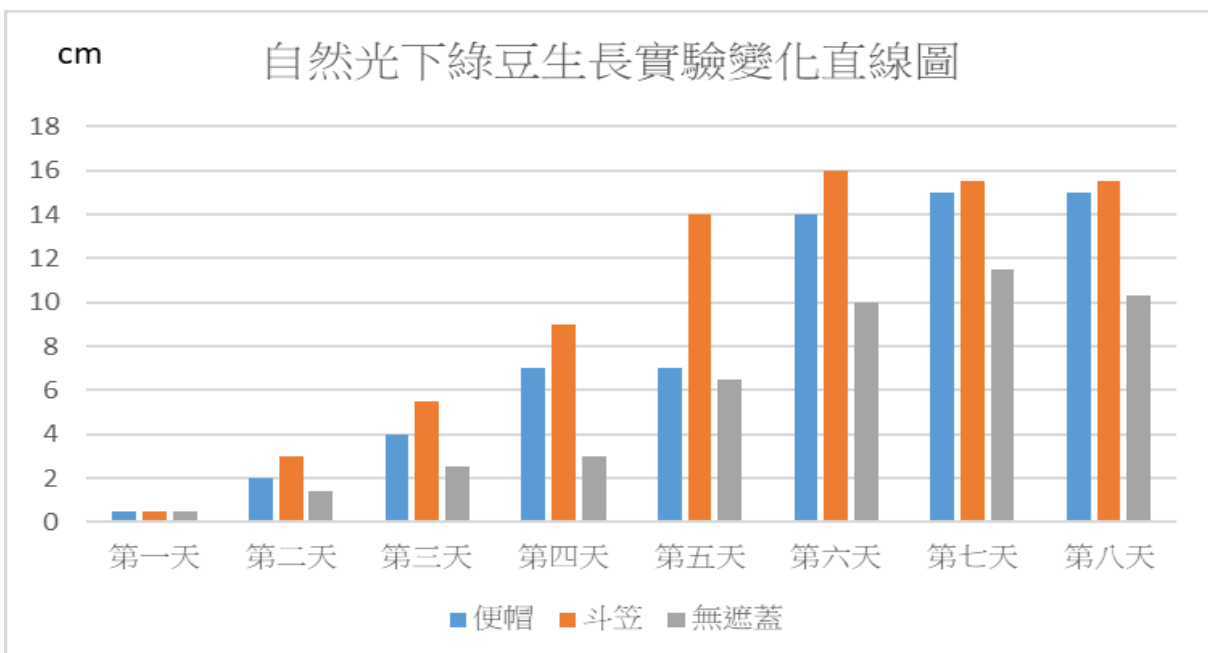


第八天觀察記錄：



左而右分別是便帽、斗笠與無遮蓋

左而右分別是無遮蓋、便帽與斗笠








實驗五:

















以吐司發霉現象，觀察斗笠是否可擋住紫外線--吐司通常在一般情況下會發黴，我們想測試斗笠是否可有效遮擋紫外線抑菌功能，使吐司發黴？

1. 實驗材料和過程: 斗笠、便帽、穿好線的透明蛋糕盒四個、吐司、維 X 露 P 汽水、噴槍、大箱子、自動開關的紫外線燈管。將吐司用裝有維 X 露 P 汽水的噴槍噴二十下，放入蛋糕盒內，並把蛋糕盒掛在箱子的鐵架上以紫外線燈照射，我們設定紫外線燈每天照六小時，因為吐司會變乾燥，所以每日會用滴管加兩滴清水增加濕度。

容器打洞、穿線	放厚片吐司	測量繩子長度	厚片吐司噴 20 下維 X 露 P
			

吐司懸吊實驗方式

便帽	斗笠	無遮蓋	以保鮮膜覆蓋
			
			





便帽	斗笠	無遮蓋	以保鮮膜覆蓋
第二天觀察記錄：			
			
各組均無變化			
第三天觀察記錄：			
			
無變化	上方開始發黴(多)	無變化	下方開始發黴
第四天觀察記錄：			
			
上方開始發黴	發黴多	無變化	上方腐爛、發黴
第七天觀察記錄：			
			
發黴少	發黴多	無變化	腐爛發臭


2. 實驗結果::紫外線燈有效抑制黴菌生長，阻止吐司發黴，上方蓋著的斗笠有阻擋紫外線燈，導致吐司在三天內立刻發黴，甚至腐爛，而便帽的黴菌則不多。

實驗六:

防水性測試，以澆水器淋水測試斗笠的防水性

- 實驗材料和過程: 斗笠、便帽、交通三角錐、衛生紙與氯化亞鈷試紙。於交通三角錐架上，錐頂放置衛生紙再放上氯化亞鈷試紙，再蓋上斗笠和帽子，澆水器從等高處澆下，觀察斗笠和帽子與衛生紙淋濕的程度及氯化亞鈷試紙顏色的變化。
- 實驗結果: 斗笠內的氯化亞鈷試紙完全沒有變色，而便帽整頂濕透，且試紙變色，證明斗笠的防水性優於便帽。

步驟一	步驟二	步驟三	步驟四
			

實驗物品名稱	淋水前照片	淋水中照片	淋水後照片	(三) 實驗結果	
斗笠					斗笠內部完全沒有濕，僅有些微濕氣，衛生紙仍是乾燥，氯化亞鈷試紙顏色沒有變化，還是藍色。
便帽					便帽整頂濕掉，衛生紙也全濕，氯化亞鈷試紙變成粉紅色甚至潮濕褪色。

結論:由以上實驗證明斗笠的防熱，透氣，遮光，遮陽、抗 UV、防水能力都優於現在帽子。

結語:

過程雖然困難重重，但我覺得我學到的東西卻非常多，不只獲得科學上的知識，更是耐心與抗壓力的訓練，我很感謝有這一段美好的經驗，可以培養人生需要的服從、耐心、抗壓力、團隊合作。

水武傳

成德高中 鄭蘊妍 撰



第一章-三水辨真

西元 5020 年，江湖上已不再僅是刀劍的較量，而是以聰明才智與科學探究為武功的競技世界。

塵霧籠罩著水界大陸，宗門長老站在比試台前的檀木台上，五杯水整齊排列，蒸氣氤氳，台下的挑戰者們不禁竊竊私語，卻看不出個所以然。

「《武水功秘典》，今日誰能讀懂其精髓，靈根便能升級，水之至高功法可得手中！」長老大聲宣布。

眾人不禁興奮起來，鑼鼓齊鳴，長老聲音洪亮。

「共三關。第一關：這裡有蒸餾水、鹽水及糖水，不啜飲即分辨這三杯水為勝！」

彼時，人群中發出陣陣狐疑聲，僅一名紅髮女孩觸碰自己的三杯水低語

「火候要均勻，心手要合一...。」，她的一舉一動靜中藏勁。

紅髮女孩將三杯水編號(A、B、C)，先使用了導電度儀測量導電度...



數據 A:0016 $\mu\text{s/cm}$; B:0012 $\mu\text{s/cm}$; C:2026 $\mu\text{s/cm}$

「嗯...，C 是鹽水，A、B 尚未知...。」

紅髮女孩掏出的導電度儀引起了周遭競爭者的驚呼。

「這法寶究竟是如何判斷出來的？」

「透過導電度儀測試，我們能夠有效地將樣品區分為導電與不導電類別。**鹽水**因含有 Na 與 Cl 離子，在溶液中傳導電流，因此導電度高；而純水與糖水則缺乏離子，導電度極低，容易辨識。」

語畢，紅髮女孩將 A、B 燒杯分別到入蒸發皿中並開始加熱...

一段時間後.....

「成了!」紅髮女孩驚喜的大叫。

「這烏鴉鴉的鐵定是糖水!」

「長老!A 燒杯是蒸餾水，B 燒杯是糖水，C 燒杯是糖水。」

女孩自信的回答答案等待長老確認。



(左圖)蒸發水分後狀態；(右圖)蒸發皿與加熱板

「很好，請問妳判斷 A、B 溶液的依據是甚麼?」

「把糖水、純水加熱，其中糖水加熱後，水分蒸發掉，糖會留下來，形成**焦糖化現象**，顏色會變黃、變棕，甚至變黑。我就是這樣判斷的」

樣品編號	導電度($\mu\text{S}/\text{cm}$)	蒸發後觀察結果	初步判別
A	12	極少量雜質	純水
B	16	深棕色黏稠狀殘留	糖水
C	2060	-	食鹽水

實驗紀錄表

「好!允許你進入下一關卡!」

「謝謝長老!」

第二章-鹽濤奇法

鑼鼓響起，第一關通過的受試者也都來到了第二關，檀木台上出現了兩杯水，長老隨之宣布題目。

「第二關，鹽濤奇法，測定食鹽含量，一炷香的時間，只要數值正確了就不用再進行第三關測試，用甚麼方法都行。」

語畢，眾人面前都出現了兩杯食鹽水，紅髮女孩開始構思著

「要用導電度儀還是蒸發法呢?」

女孩一想到時間很少就選擇使用導電度儀。

她準備了 5%、10%、15%、20%的鹽水（重量百分濃度配製）和標記 A、B 兩杯水，又心血來潮自己另配了一杯鹽水 C 來確保機器的準確度，再個別用導電度計測量，並紀錄數值。最後使用 excel(chatGPT 協助) 計算出未知鹽水的濃度...。

「校正公式用四杯鹽水先建立測量線，應該是 $(S/cm) = 14,000 \times (X\%) + 4,000$ ，再來進行帶入。」

「完蛋了，為甚麼測出來的數據怪怪的.....」

一段時間後.....

光陰似箭，歲月如梭，一炷香盡，鑼鼓響。長老開始驗證各組數據。

「妳這實驗結果不對，尤其是組 B，誤差值甚至高達 37.10%，妳是怎麼做實驗的，等等我回來聽妳的錯誤分析，再決定是否讓你去第三關復活。」

	實驗結果	正確濃度	準確度 (誤差百分比)
A	12.05%	13%	約7.31%
B	13.21%	21%	約37.10%
C	10.8%	6%	約80.00%

實驗紀錄表

女孩開始思考到底是哪裡出了錯。

「在實驗中，我先用四杯鹽水建立檢量線。但測量讀值不合理，導電度並未如預期隨濃度增加而增加。是不是因為我溶液配製錯誤啊?」

「啊!我想起來了，我在配置重量百分濃度 5%、10%、15%、20%的鹽水時，我搞錯了定義，每一杯加的水都是 100g，分母就會變成 5g 的鹽加 100g 的水，這樣算出來是 4.76%，而不是準確的 5%。」

	原本算的	正確的
5%	$\frac{5}{100+5} \Rightarrow \text{約 } 4.76\%$	$\frac{5}{95+5} \Rightarrow 5\%$
10%	$\frac{10}{100+10} \Rightarrow \text{約 } 9.09\%$	$\frac{10}{90+10} \Rightarrow 10\%$
15%	$\frac{15}{100+15} \Rightarrow \text{約 } 13.04\%$	$\frac{15}{85+15} \Rightarrow 15\%$
20%	$\frac{20}{100+20} \Rightarrow \text{約 } 16.66\%$	$\frac{20}{80+20} \Rightarrow 20\%$

「就是因為這個地方算錯所以我的數據才會差得如此之大!」

←修改後(重量百分比濃度)

不久，長老回來了。

「想好了嗎?」

「試驗中我遇到的困難點，應是在測量的部分我發現到導電度計有不準的問題，我有做 5%、10%、15%、20%的實驗水測出來的導電度數據卻多次相同，實驗偏離正確數據可能是因為配製溶液時弄錯定義，所以導致實驗結果不準確。如果要讓實驗變準確，應要在這兩個點上去做改變。」

「如果使用加蒸蒸乾稱重法定量的方式應該也得到不錯的準確度。所以如果有更多的時間我還能再多做這個方法。」

「分析得很好!願妳下一關能成功吧!」

第三章-水密大法

鑼鼓聲響!來到了敗部復活戰，檀木比試台上，長老袖袍一揮，憑空出現了一大鋼的蒸餾水與眾多色素。

「第三關，水密大法。不管用甚麼方式，誰要是能把不同顏色的水疊在量筒裡成塔，我不僅讓他過關且靈根升級，還收他為徒!開始試煉!」

眾人一片譁然。這不僅需要技巧，更需要冷靜與心法。紅髮女孩也知道這是她最後提升自己的機會了。思考如何分層的同時，她習慣性地摸了摸口袋，發現自己包袱中還有尚一輪剩下的食鹽。

「鹽...水密...密度...啊!利用食鹽水濃度不同來分層，密度不同就能分層了!」

女孩開始調配不同濃度的食鹽水。

A. 製作不同濃度的彩色鹽水

- 將 7 個杯子依序貼上標籤 (A ~ G)。
- 依下表分別加入不同量的食鹽與對應量的水 (溶液總重 100g)，充分攪拌至完全溶解。
- 於每杯加入不同顏色的水彩顏料 (鹽水濃度高至低：紅、淺藍、黃、深綠、橙、深藍、淺綠)，攪拌均勻。

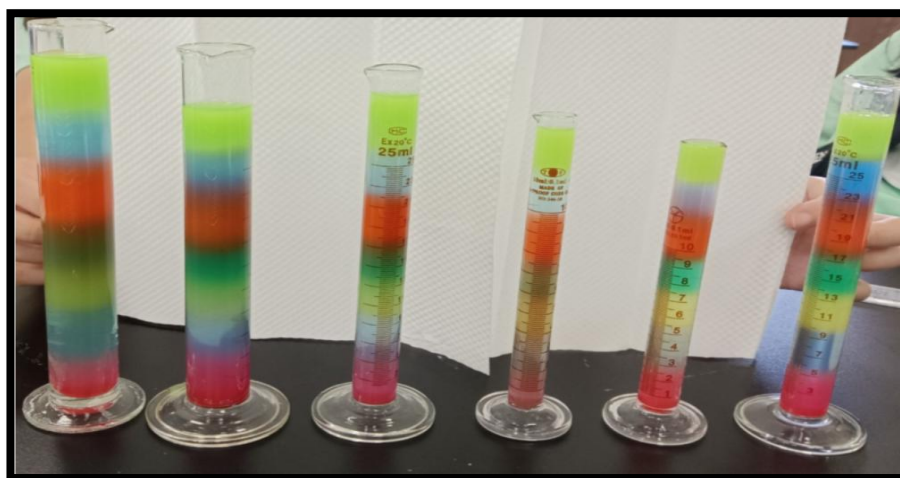
杯號	A	B	C	D	E	F	G
食鹽添加量	35g	30g	25g	20g	15g	10g	5g

B. 製作密度彩虹塔

- 將最濃 (最重) 的紅色溶液 A 小心倒入透明量筒的底部。
- 使用滴管，緩慢使用攪拌棒沿著杯壁依序加入濃度較低的溶液 (B→C→D→E→F→G)，避免混合。
- 完成後靜置觀察是否出現明顯的分層彩色塔狀結構。

製作方法步驟圖

經過耐心的製作，女孩第一個成功做出彩虹塔



彩虹塔成品

長老隨之問她:

「妳是怎麼想到用食鹽的?」

「當食鹽濃度增加，密度也會提升，使高濃度溶液沉於底部，濃度較低者浮於上層。由於密度差異可穩定支撐上方液體，只要倒入過程緩慢穩定，就能分層。如果倒入速度過快，會造成液體混合失敗，且若有殘鹽未完全溶解，或氣溫高造成密度誤差，也可能影響結果的穩定性，因此操作與控制變因皆需謹慎。」

長老十分的滿意，連連點頭。

「好!妳是個好苗子，傳《武水功秘典》。自此靈根精進，水之大道更上一層樓!」

參考資料

- 1.教育及青年發展局-神奇彩虹杯
<https://mirror1.dsedj.gov.mo/science/proj/pridiy2021/pdf/sch05.pdf>
- 2.公開授課系統
<https://www.openclass.chc.edu.tw/years/110/plans/30456/reviews/%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E8%B3%87%E6%96%99.pdf>
- 3.翰林出版 互動式教學講義 高中化學 (全)

銅畫故事

乙巳年



作者：陳彥輔、張峻瑋、林承漢
指導老師：黃淑芬老師



相逢

古今時空交錯

一抹斜陽染紅了長安的城郭，子言和子若落寞的倚在店中的一隅。

子言：「子若，咱們一同去看看師傅剛做好的燒箔屏風，學習一下製作燒箔的技巧，免得明早上工時再惹人挨罵。」

子若點了點頭，一同偷偷摸摸地步往貯存作品的倉庫……



看見師傅燒出的銅箔色彩鮮豔，沒有皺褶，子言與子若不禁對自己的作品感到汗顏。





忽然，兩人跌入一個未曾見過的洞穴。

一陣天旋地轉後，兩人的眼睛一睜，驚覺這是一個從未見過的地方，眼前坐著一位五官清秀的少年，心無旁騖的研讀著桌上的書籍。

子言上前搭話，「敢問何方仁兄，正要上京趕考？」

紹偉被突如其來的聲音打斷思緒，狐疑地望著眼前身著古裝的兩人。在紹偉的目光注視下，子若猛然瞥見一旁的日曆……

「2025年？今朝並非開元8年？」

雙方一陣交談後，兩名唐人意識到自己竟到了一千多年後的未來……



相遇

古今想法交流

子言看見了紹偉化學課本上波光粼粼的圖案後，不禁問紹偉：

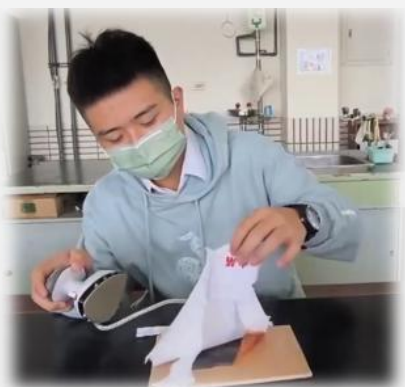
「難道閣下亦在學習製作燒箔的工藝嗎？」

紹偉：「這是一個**銅與硫的氧化還原實驗**，銅進行氧化反應的活性雖然不大，但覆蓋硫磺布後，經由加熱，固態硫可以非常直接且快速地與銅反應形成**硫化銅**或**硫化亞銅**，因反應條件，產物比例有所不同，也進一步造成顏色變化不同。若有興趣不如我們一同來製作吧！」

紹偉帶著滿懷期待的二人步入現代化學實驗室，拿出電熨斗、銅箔、硫磺布……



在銅箔上覆蓋硫磺布
使用電熨斗加熱



可以控制加熱的溫度與時間

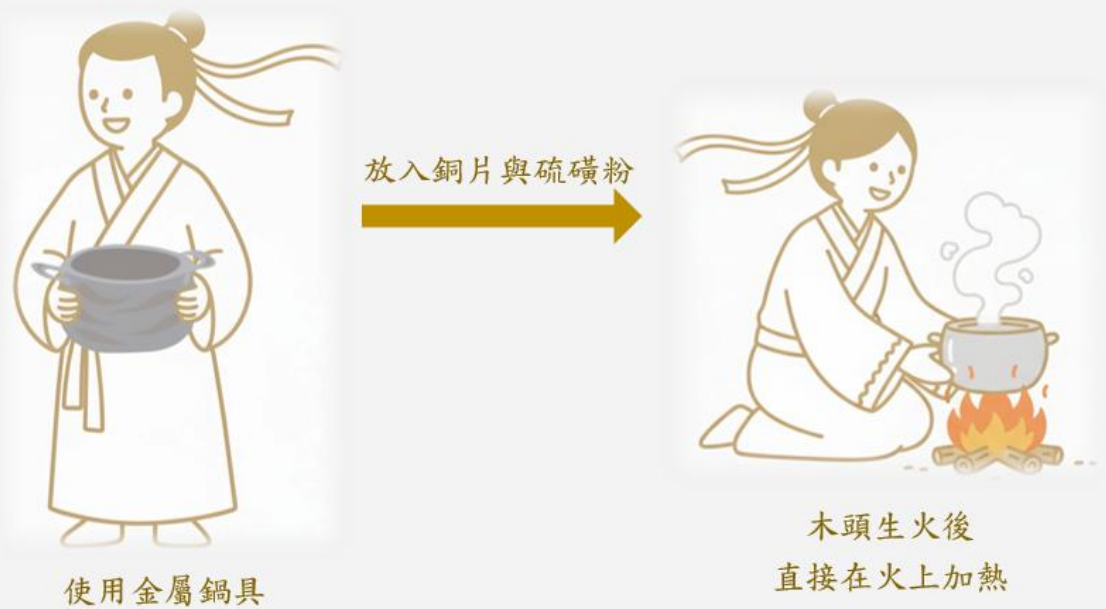


顏色非常炫麗的銅箔



遵守實驗室安全
穿著實驗衣 戴上護目鏡

子言看到這些未見過的裝置不禁滿頭問號，非常驚訝現代製作燒箔的快速與便利，接著也展示出古代製作燒箔的方法。



子若想著自己和其他學徒們，明明總是跟著師傅口傳的步驟製作燒箔，但成品總沒辦法像師傅那般厲害，於是向紹偉提出了問題。

我們在製作燒箔時，總是無法得到炫麗的圖案，只出現黑灰色的銅箔。

我來教你們利用現代科學『定量』和『定性』的方法，一起揭開燒箔神秘的面紗。

如何定量與定性的製作燒箔呢？

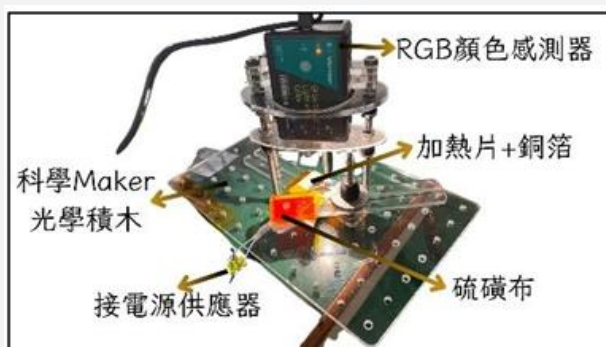
科學方法的定量與定性

	定量	定性
形式	數字、統計	文字、敘述
資料收集方式	問卷、實驗、測量	訪談、觀察、文件分析
分析方法	統計分析	內容分析、主題分析
特性	可量化、可重複	深入、多層次但主觀

紹偉開始介紹以時間為操作變因的實驗流程：

「首先，固定溫度(約 150°C)，接著分別加熱 25 平方公分的銅箔 10 秒、20 秒，並觀察其顏色分布。」

為了可以隨著時間監測顏色的變化，我們自己利用光學積木拚出了一個裝置，可以方便加熱與用 RGB 顏色觀測器紀錄燒箔的顏色。



哇！真的太先進



紹偉從口袋中拿出手機，說：「現在人手一機，下載像是『Color Grab』應用程式，就可直接讀取色塊的 RGB 數值，並以數據方式記錄色彩分布，這就是我們說的『定量分析』。而你們憑肉眼分辨顏色的方式，就屬於『定性觀察』。」

加熱不同時間下，挑選燒箔主要三種顏色的色塊，並用方格法計算占比。

加熱 10 秒時，三種主要顏色分別為紅棕色、紫色、黃橘色，燒箔顏色以 R 值偏高的暖色系為主，占比約 32.7%，色塊集中。

10 秒		RGB	(183, 55, 37)	(139, 102, 148)	(232, 162, 57)
		色塊			
		占比	32.7%	25.3%	18.3%
20 秒		RGB	(65, 95, 110)	(170, 153, 142)	(212, 116, 169)
		色塊			
		占比	33.3%	27.3%	20.6%

加熱 20 秒時，三種主要顏色分別為青藍色、褐灰色、桃紅色，可以看到 B 值的提升，出現以藍色較多的冷中性色系，占比約 33.3%，色塊分布平均。



這些顏色的主要成分為何？

顏色的組成大概整理成這個表格

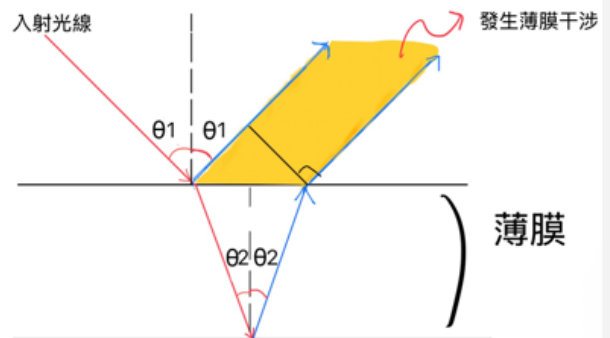
顏色	成分
紅棕色	Cu_2S
深棕色	$\text{Cu}_2\text{S}+\text{CuS}$
深藍色	CuS

紹偉補充：「但這些多呈現連續色序，不是純粹化合物混合所致，其與所形成的物質已經在金屬表面形成薄膜化，因薄膜厚度不均造成光的干涉所致。」

當兩束光相遇時會產生疊加現象，彼此加強或抵消，稱為光的干涉。藉由銅箔表面的細微孔洞，光線發生了『干涉現象』，進而呈現出絢爛多姿的各種顏色。

什麼是光的干涉？

就像這張說明圖，但似乎不太容易理解。兒時我曾看見過一隻飛禽羽毛或者蝴蝶翅膀亦有不同的顏色，也是因為觀察角度不同所致嗎？



子言感嘆道：「我們過去總靠經驗與師傅口傳手教，現在竟能這麼精準地控制實驗並且進一步分析顏色，實在不可思議！」

紹偉：「我們也是參考了很多前人一路流傳下來的紀錄，尤其發表成國際學術論文，不分國界，只要有心，都有機會拜讀後跟著做，減少走冤枉路的次數呀！所以我都很仔細記錄自己的實驗數據喔！」

相知

古今教學相長

經過一連串現代化學的洗禮後，紹偉便帶著子言和子若二人進行了「相同時間內不同溫度的燒箔變化」，利用可控電壓改變溫度的加熱器，調整出 108°C、124°C、148°C，加熱硫磺布和銅箔，並在相同時間偵測顏色變化，記錄下數據。

為了幫助子言與子若理解色彩變化的趨勢，紹偉請他們協助將樣品拍照，再用手機 APP 讀取主要顏色的 RGB 值與分布比例。



「你們現在就像真正的研究者，透過量化的方式，比較不同時間與溫度下的顏色變化，就能找出最佳的燒箔條件。」紹偉說。

將色彩整理成表格後，紹偉指著 148°C 這列色塊，對兩人解釋到：「或許你們失敗的原因是加熱溫度不夠，調整一下火候的大小，就有機會創造出令人賞心悅目的作品。」

時間(s) 電壓(溫度)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
5V (108°C)	[Dark brown/black color swatches]											
6V (124°C)	[Dark brown/black color swatches]											
7V (148°C)	[Yellow]	[Green]	[Teal]	[Purple]	[Dark Purple]	[Dark Blue-Gray]	[Dark Blue]	[Dark Blue-Black]	[Black]	[Black]	[Black]	[Black]

子言：「反應溫度 108°C 與 124°C，色彩變化非常微弱是什麼因素造成的呢？」

紹偉：「應該是氧化層生成速率極慢，色澤變化不明顯。推測原因，可能溫度不足以推動氧化層快速增厚，所生成的干涉色仍在紅外段或極暗色域，肉眼難以辨識。」

子若模仿紹偉試著整理出實驗結果說到：「反應溫度 148°C，顏色變化快速且劇烈，從黃金色 → 深藍綠 → 藕紫 → 靛紫 → 深藍灰 → 深藍黑。」

紹偉再度同意的點了點頭……

相惜

古今互相傳承

經過一系列的實驗後，子言與子若對燒箔已有更進一步的了解。

子言：「原來過往失敗的作品都其來有自，只要將溫度調整高一些、加熱的時間縮短，便能做出絢麗的燒箔！」

忽然一陣強風襲來，兩人再次睜眼已是繁華的長安街道。



子若：「師傅師傅，我們製作燒箔的火候控制要更穩定些，周圍可能要防風，或者可以考慮用燒烤後的石板來加熱。」

子言：「師傅師傅不藏私，製作燒箔的所有過程，不管用繪畫的或者文字，我都要詳加記錄，才可以透過文字傳承久遠而不失傳的。」

這次他們不再是過去懵懂無知的學徒，而是學會利用科學方法做出一次又一次獨一無二的燒箔。

朝暾緩緩升起，這是個屬於他們截然不同的早晨……

後記



感謝有文字有書籍，才可以將傳統的技藝文化傳承下來。即使是照著書籍，看著影片去製作，會發現還是存在著很多變因。對於科學，態度依舊要很嚴謹，才能享受這化學藝術之美。



製作燒箔不僅是門藝術，也是一個充滿故事的化學實驗，每個步驟經過文字的呈現後，變得唾手可得，但是製作過程中不僅需要重視溫度、時間、記錄方式，更重要的是一顆兼具美感和理性分析的心，才能仔細實驗，用心欣賞，造就這知性和感性的奇妙相遇。



製作燒箔的過程中，我們曾經為了完美紀錄下顏色變化的過程，將手機靠近拍攝，結果卻聞到一股塑膠手機殼稍稍融壞的刺鼻味，除了驚嚇外，也讓大家莞爾一笑。過程各式甘苦談，並非隻字片語即可說完，每次的失敗和成功深刻而雋永的記憶將被我們永銘於心……



這次為了畫插畫，重拾起了小學美術班時的畫筆，不同的是改用電子化，再製或者變化真的方便許多，也可以讓自己大膽去修正或畫出想要的效果。



此作品改寫自：

張峻璋、陳彥輔、鄭浩哲、黃浩睿 <熱硫新生_燒箔之美> 2025科學探究競賽