2011 年臺灣國際科學展覽會

優勝作品專輯

編號：030018

作品名稱

醣的真「本氏」—自製儀器探討還原醣與本氏液的反應過程

得獎獎項

三等獎

作者姓名：吳妍萱、宋紹瑜

就讀學校：高雄市立高雄女子高級中學

指導教師：蕭米珍、謝宜和

關鍵字：還原醣、本氏液、光敏電阻

作者簡介



我們是來自高雄女中的吳妍萱（左）、宋紹瑜（右），我們都熱愛科學研究。也常常參與不同領域的活動。當初四處尋找夥伴，最後因緣際會下遇見彼此，幸運地發現彼此個性相似、默契極佳，在這條驚奇卻又辛苦的道路上發揮「1＋1＞2」的效果，再加上優秀的指導老師，他們帶領我們一同探索未知的科學世界，讓我們對化學這個領域有更深的認識。

燦爛的科學需要美好的理想，美好的理想需要行動來實現，與大家共勉之。

摘要

利用光敏電阻，設計儀器，來量測本氏液與醣類反應過程的電阻變化，將觀察到的溶液現象與 R-time 圖結合，提出“氧化亞銅顆粒”模型說明實驗的現象。剛開始為真溶液，電阻值低且變化少，當 Cu_2O 的量變多，粒徑變大，電阻上升，出現廷得耳效應，顆粒大到接近光波長附近，產生繞射，電阻值呈水平，繼續變大變多後，電阻又上升，最後大顆粒產生不規則散射，使電阻值有「棉絮化」現象。溫度與濃度提升時，反應加速，R-time 圖中的「水平部份」皆提早出現。延續顆粒模型觀點推導出反應速率式，將此式應用於檢測葡萄糖的濃度，溫度只需 55℃，過程約需 10 分鐘，所用試劑量少。

Abstract

We designed an equipment by LDR(light dependent resistor) to measure the change of the electric resistance in the Benedict's solution and carbohydrates' reaction process. Combining the reaction solution color and R-time chart, we came up with a "cuprousoxide particle" model demonstrating the result of our experiment.

In the beginning, it's a real solution, and the electric resistance is low and there are few changes. When the amount of Cu_2O particle increases and the size of Cu_2O particle becomes bigger, the electric resistance rises, which causes Tyndall Effect . When the radius of particle is almost as long as the wavelength of light, diffraction happens, and then the electric resistance remains stable. With the particle's size growing bigger and the amount increasing, electric resistance rises. Finally, as the electric resistance rises again, irregular scattering happens to larger particles. When the temperature and concentration rise, the reaction speeds up and the "horizontal part" of the R-time chart shows early.

From the particle model concept, we got the reaction speed function and it is applied to the examination of the concentration of the glucose. In this case, only a small dose of reagent and a temperature of 55℃ are required. Besides, the whole process only takes 10 minutes to finish.

壹、前言

研究動機

上化學課時觀察本氏液與醣類反應，都只把重點放在顏色的變化，由藍→綠→黃→橙→紅來說明還原醣和本氏液會有反應及含量的多寡。但整個過程的變化，到底是如何?不同溫度、濃度變化有什麼不同？想進一步瞭解本氏液與醣類反應的過程，我們便先使用單醣來測試，並以數位錄影機記錄，結果發現半乳糖、葡萄糖反應時間有所不同，而果糖則反應不明顯，於是我們便開始進行更深入研究。

研究目的

一、設計組裝觀測還原醣與本氏液反應的儀器並改良儀器

二、記錄本氏液與醣類反應的顏色變化

三、R-time 圖與顏色變化的關係

四、推想氧化亞銅顆粒大小影響圖形

五、探討不同溫度、濃度、色光的 R-time 圖

六、建立解釋此反應現象的模型

七、建立反應速率與溫度、濃度定量關係

貳、研究方法或過程

研究器材及藥品

器材：恆溫槽、溫水幫浦、數位錄影機、顯微照相攝影、電子天平、類似PASCOPOWERLINK 與DATASTUDIO資訊設備、顯微鏡、雷射光(紅、綠)、光敏電阻及相關的器材等



顯微照相攝影

藥品：葡萄糖、半乳糖、果糖、本氏液等。

理論探討

(一)本氏液的反應原理：

本氏液與醛基反應會產生氧化亞銅(Cu_2O)的紅色沉澱，葡萄糖、半乳糖是醛醣，而果糖雖是酮醣，但其酮基之相鄰 C 上有 OH 基，可轉變成醛基，也會反應。

$$RCHO + 2Cu^{2+} + 5OH^- \rightarrow RCOO^- + Cu_2O + 3H_2O$$

還原醣 $\xrightarrow{\text{氧化}}$ 有機酸 ； $Cu^{2+} \xrightarrow{\text{還原}} Cu^+$ (紅色的氧化亞銅 Cu_2O)

(二)實驗儀器原理：

1.利用與一固定電阻串聯形成一簡單電路。

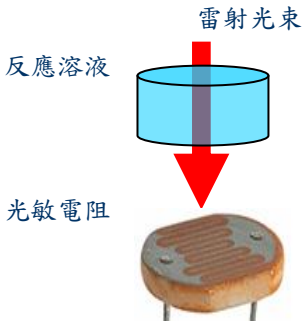
2.溶液顏色變深

→雷射光束被吸收，通過光束的強度變弱

→ 電阻變大(光敏電阻)

→ 兩側電壓($V_{測}$)變大

→再利用下列公式轉換成電阻值(R)



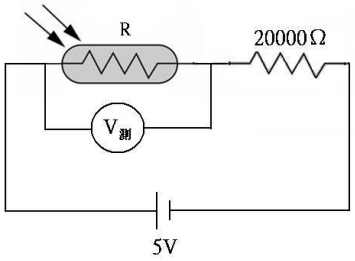
3.公式推導：

$$V_{測} = 5 \times \frac{R}{20k + R}$$

$$20k \times V_{測} + RV_{測} = 5R$$

$$20k \times V_{測} = R(5 - V_{測})$$

$$\frac{20k \times V_{測}}{5 - V_{測}} = R \text{（求出電阻的公式）}$$



4.設定間隔時間讀取電壓值一次，求得電壓與時間的資料，繪出電壓與時間(V-time)圖 或 電阻與時間(R-time) 圖。

實驗構思

1.一般運用光敏電阻時是把反應容器及感應器(光敏電阻)放置在同一個暗室內測量，但如此一來，整個反應過程中重要的變色過程就無法看見，僅能事後由感應器的數值來關聯。因此，想自製一組儀器，反應容器可在**開放的空間中**反應，不影響感應器的數值，又要能恆溫加熱。其優點是可錄影又可做延伸性的實驗來驗證我們所推論假設。

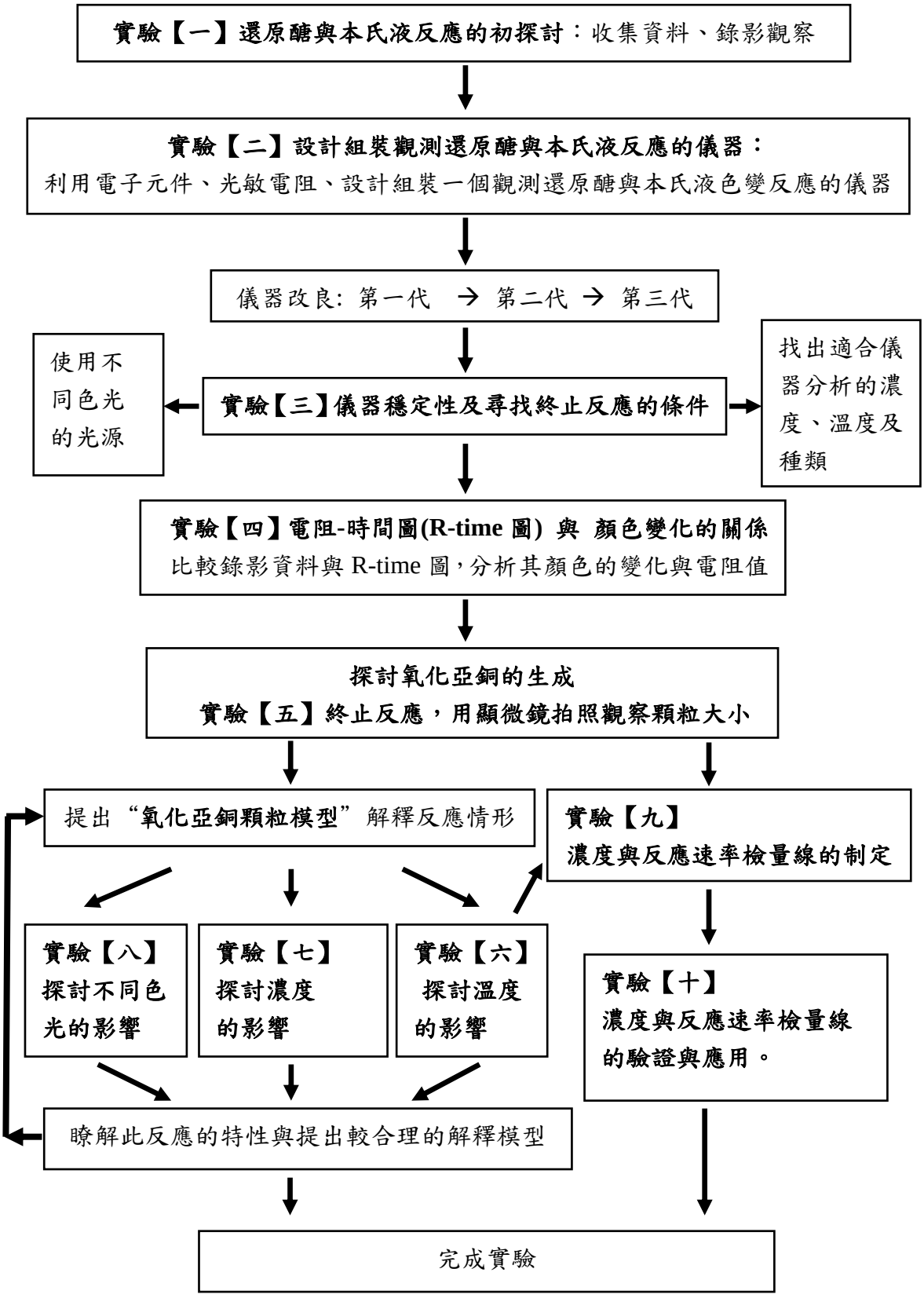
2.採用雷射光源(使光源強度至感應器的距離是無關的，減少其他方向的反射光源)、恆溫槽及幫浦循環加熱、並將光敏電阻包覆在垃圾袋的紙筒中，為我們

設計自製儀器的主要元件。再加上錄影的影片資料及感應器獲得的資料，進而對此反應的變色過程做一探討，並分別在不同的色光、溫度、濃度下進行實驗，再嘗試提出合理的反應模型來解釋實驗的結果。

3.利用此反應的特性之一 (反應延遲時間與濃度的線性關係)作為檢測葡萄糖濃度定量分析的方法。延遲時間：當還原糖與本氏液在可反應的溫度下混合，藍色溶液會有一段時間無光束出現。這段期間我們將其定義為延遲時間(Induction Time,簡記為 Ti)；即出現廷得耳效應的之前時間。

4.實驗設計成使用少量的試劑(每次溶液 12ml 約一個試管量)，欲將環境污染減至最小。

流程圖


實驗【一】還原醣與本氏液反應的初探討：收集資料、錄影觀察
實驗【二】設計組裝觀測還原醣與本氏液反應的儀器：
利用電子元件、光敏電阻、設計組裝一個觀測還原醣與本氏液色變反應的儀器
儀器改良: 第一代 → 第二代 → 第三代
使用不同色光的光源
實驗【三】儀器穩定性及尋找終止反應的條件
找出適合儀器分析的濃度、溫度及種類
實驗【四】電阻-時間圖(R-time 圖) 與 顏色變化的關係
比較錄影資料與 R-time 圖，分析其顏色的變化與電阻值
探討氧化亞銅的生成
實驗【五】終止反應，用顯微鏡拍照觀察顆粒大小
提出“氧化亞銅顆粒模型”解釋反應情形
實驗【九】
濃度與反應速率檢量線的制定
實驗【八】
探討不同色光的影響
實驗【七】
探討濃度的影響
實驗【六】
探討溫度的影響
實驗【十】
濃度與反應速率檢量線的驗證與應用。
瞭解此反應的特性與提出較合理的解釋模型
完成實驗

參、研究結果與討論

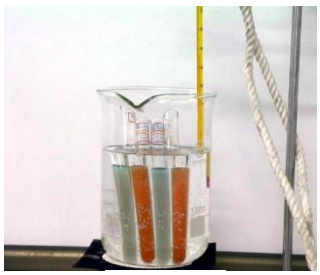
實驗【一】還原醣與本氏液反應的初探討

[實驗步驟]

1.控制變因：醣濃度:0.1M、0.3M，10ml，本氏液 2ml，紅光雷射

2.操縱變因：葡萄糖、半乳糖、果糖與蔗糖

3.隔水加熱法加熱使之反應，將整個過程錄影。



色變

[結果]

1.過程的色變：藍→綠→黃→橙→紅。

2.

	葡萄糖	半乳糖	果糖	蔗糖
0.3M	反應明顯	反應明顯且最快	反應不明顯	不反應
0.1M	反應明顯	反應明顯且較快	反應不明顯	不反應

[討論]

1.第一段影片是測試不同濃度葡萄糖溶液的變化。與預期相同，不同濃度的試管變色的時間點不一樣，最後都變成很深的紅色。

2.第二段影片我們用葡萄糖和果糖和蔗糖來觀察不同溶液的變化，葡萄糖反應明顯，果糖很不明顯，蔗糖不反應。

3.第三段影片我們嘗試用果糖和半乳糖來做，我們提高濃度到 0.3M，發現半乳糖變化明顯，但果糖過了很久變化還是不明顯。

4.第四段影片是將同濃度的半乳糖和葡萄糖同時加熱，我們發現半乳糖的變化較快，快了約 30 秒。

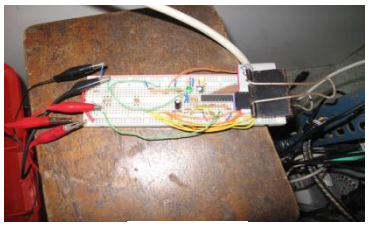
5.為了瞭解此反應變色的過程，選擇葡萄糖先行探討。並把耗時較多的果糖排除在外。

實驗【二】設計組裝觀測還原醣與本氏液色變反應的儀器

[實驗步驟]

1.利用光敏電阻、電子元件組裝電路板、

2.利用紙筒、雷射光、幫浦及恆溫槽設計組裝觀測的儀器



電路板

[第一代]

1.利用光敏電阻的特性，觀察反應的過程。查資料發現以往大部分都使用 LED 作為光源，但我們認為，利用雷射「直進」的特性，較不容易被光源與待測溶液或與光敏電阻的距離影響。

2.因為反應物會沉澱，所以雷射光由上往下通過溶液，射中光敏電阻後再接三用電表，測得反應過程的電阻變化。

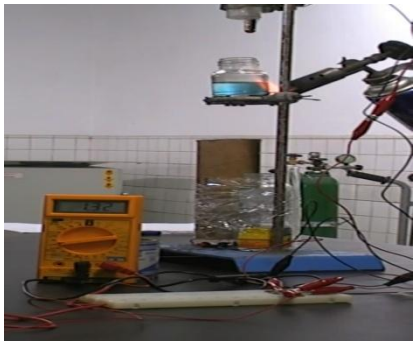
[第二代]

1.實驗後發現電阻變動大，便設計電路改為電壓，後又發現電壓變化不明顯，便改接電阻較大的固定電阻。

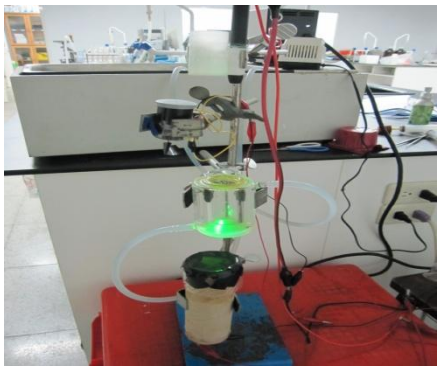
2.原先是用噴燈瓦斯加熱，但此熱源不好控制，不能準確控制溫度，且加熱時要很小心的繞著反應器，才不會因為溫度過高或加熱不均使反應器破裂，而且加熱到顏色較深時，光敏電阻接收到的光大多是噴燈瓦斯的火光，造成實驗數據因噴燈瓦斯擺放的位置不同而有明顯的不同，所以設計了一個反應裝置，以恆溫槽做為熱源，利用幫浦及水管讓反應容器外圍的水形成循環，以維持恆溫。

[第三代]

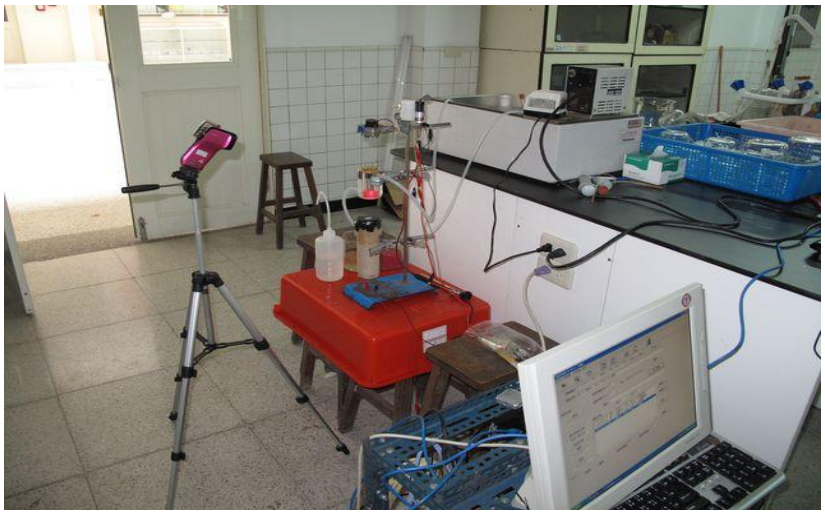
實驗數據多而煩雜，用肉眼取點不精準，便利用電腦來處理數據，採用一套類似 data studio 的資訊裝備來讀取數據，繪圖分析。



［第一代］



［第二代］



［第三代］

[結果]

於電腦設定好實驗目的與參數→配好需要的濃度，待取用→藥品蓋上蓋子(以免加熱蒸發影響濃度)→放到恆溫槽中預熱→在電腦程式點選「執行實驗」，隨即將→試管中的溶液倒入反應器，電腦即可讀取數據。

[討論]

1.量測器:由三用電表→電腦讀取數據處理，並可匯出，以 excel 處理分析。

2.加熱裝置:由噴燈瓦斯→恆溫水流。

3.反應容器: 由大體積廣口瓶→小體積試管，以達減量化學藥劑。

4.因為外在光線會影響光敏電阻的感應,所以把實驗桌正上方的日光燈管拆除，再加一個中間有小孔的黑蓋。

5.因為溶液會折射雷射光，會造成射偏至光敏電阻外，使每次的初電阻差異太大，所以將光敏電阻改成面積較大者，終於可利用此一經過改良的儀器來進行實驗。

實驗【三】儀器穩定性及尋找終止反應的條件

[實驗步驟]

甲: 1. A: 紅色 Laser 光源直接到光敏電阻

B: 紅色 Laser 光源，經空的反應器，外圍無恆溫的溫水流動，再到光敏電阻

C: 同上,但外圍有恆溫的溫水流動

D: 紅色 Laser 光源，反應器內有 12ml 水，外圍溫水流動，再到光敏電阻

E: 同 D，但反應器內有 10ml 水，2ml 本氏液

F: 同 D，但反應器內有 6ml 水，6ml 本氏液

G: 同上，但反應器內有 6ml 水，0.05M 葡萄糖 6ml

2. 再以綠色 Laser 為光源,重複 A 至 G 步驟 (每一步驟皆測試 10 分鐘)

乙: 在室溫下，反應器內有 6ml 0.3M 葡萄糖+ 6ml 本氏液，紅光測 30 分

[結果]

甲: 紅色 Laser :各組圖形幾近是水平線

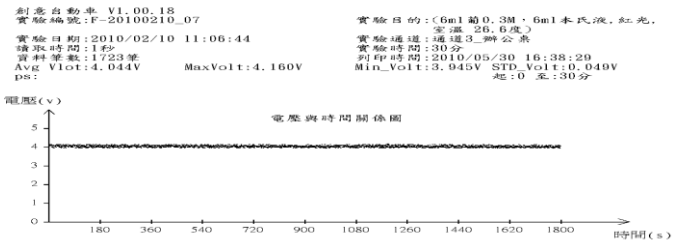
實驗編號	A	B	C	D	E	F	G
電壓平均值(volt)	0.712	0.538	0.538	0.486	1.124	3.575	0.518
電壓標準差(volt)	0.013	0.010	0.010	0.016	0.026	0.102	0.010

綠色 Laser

實驗編號	A	B	C	D	E	F	G
電壓平均值(volt)	0.519	0.428	0.425	0.360	0.391	0.471	0.312
電壓標準差(volt)	0.026	0.025	0.025	0.026	0.023	0.029	0.016

乙: 圖形幾近是水平線(如圖

電壓平均值=4.044V，標準差=0.049V



室溫下反應的 v-time 圖

[討論]

1.因 AD/DC 電路中，所使用的 IC 最小電壓單位為 0.02V，故以電壓為穩定性的衡量標準。而電阻值是經 p3 中公式轉換求的得的，依光敏電阻的設計電阻值與光的強弱有正相關。

2.我們是以時間 10 分、V-time 圖的外觀是一條水平線，且標準偏差在最小電壓單位正負 5 格內，來說明我們的儀器訊號是穩定的 (0.02V×5/5V=2%)。

3.不管是紅或綠光雷射大部份的實驗步驟中所獲得的標準偏差，都小於或接近最小電壓刻度(0.02V)。這表示雷射光源、反應容器的固定、溫水的流動、

溶液液面振動、溶液的種類都是很穩定的；但當雷射光穿透率低時，即雷射光亮度變弱時，無論是紅或綠光的標準偏差會變大，不穩定性會增加；亮度弱時，綠光的穩定性比紅光較佳。

4.當光源直接照射皆會比通過反應容器或比反應容器內裝水來得電阻高。這是因雷射光經玻璃與水層時被折射，使落在光敏電阻上的光點散得較開，而導致電阻下降的緣故。

5.從數據上，得知在相同的條件中，使用綠光雷射的電壓值較低。

6.室溫時,乙實驗的圖形是一條水平線,因此醣類與本氏液在 30 分內可說是被終止反應。

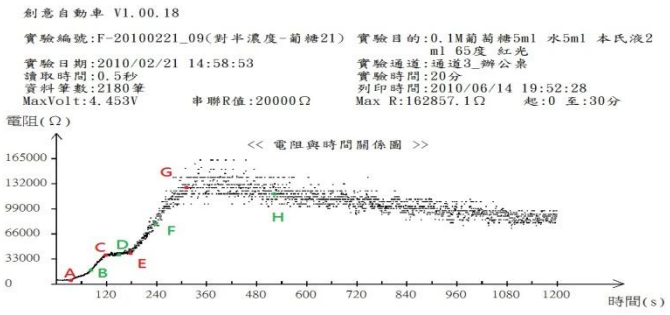
實驗【四】電阻-時間圖(R-time 圖）與 顏色變化的關係.

[實驗步驟]

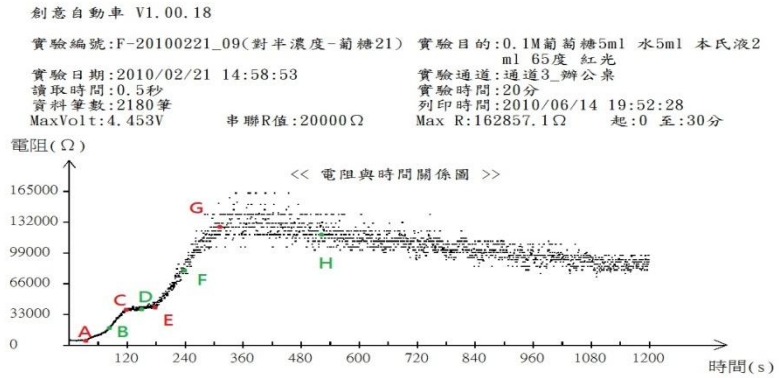
1. 0.1M 葡萄糖 5ml，水 5ml，本氏液 2ml ，65℃跑 R-Time 圖，在電阻圖上取如右圖，A、C、E、G為明顯的折點，B為AC，D為CE，F為EG的時間中點，H則為完全反應後任取一點，共八點。

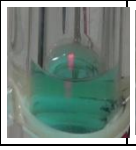
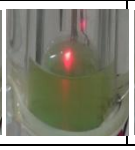
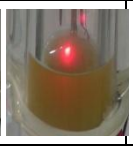
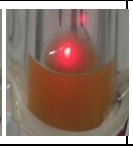
2.實驗過程中先用D8錄影。

3.將各時間點對應的影片截圖，製成表格。



[結果]



0221_09	A	B	C	D	E	F	G	H
顏色	藍	綠	綠轉黃	黃	黃轉橙	橙	橙轉紅	紅
圖片								

[討論]

1.顏色由藍→綠→黃→橙→紅,推想造成顏色變深可能是 Cu_2O 的量愈來愈多,顏色愈來愈深,愈近紅色,Cu_2O 的量愈來愈多,造成溶液的透光率愈來愈差,其所產生電阻值愈來愈大,但為何 R-time 圖中(C～E)會有一段水平帶,電阻值不變?

2.若濃度不同或溫度不同上述水平時間數據就不同,由此實驗可觀察顏色變化過程與紅光的 R-time 關係。

3.在控制變因的操作中,有一點是與生物課中檢驗是否有葡萄糖是有所不同的,生物課本是將樣品與本氏液放入試管中以水浴法加熱至沸騰;而我們是控制在恆溫下(65℃),不煮沸。本實驗的環境是以 65℃ 為主,是以上述的反應條件做為探索此反應現象的基點。

4.在儀器方面,將諸多相關參數微調至良好值,以便日後的測量與討論。

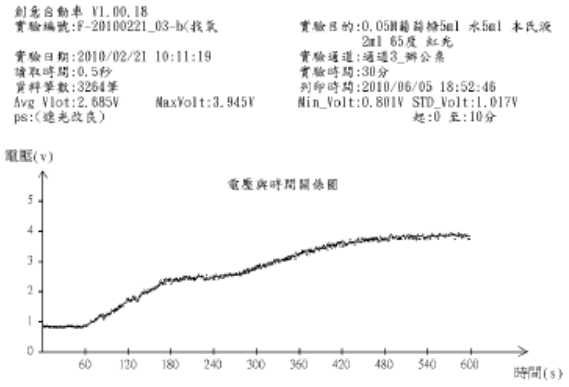
實驗【五】終止反應， 用顯微鏡拍照觀察顆粒大小

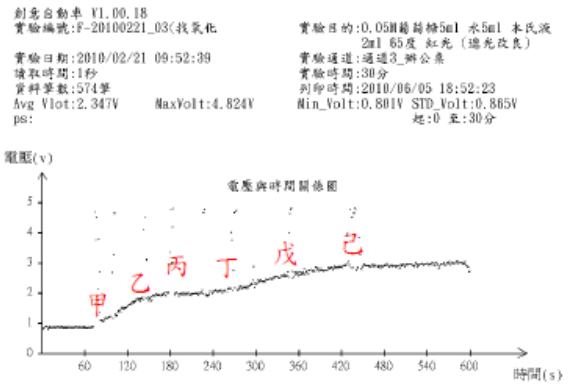
[實驗步驟]

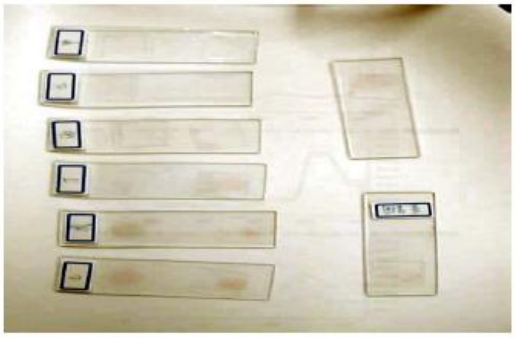
1. 0.05M 葡萄糖 5ml 水 5ml 本氏液 2ml 65℃ 重複三至五次。(證明有再現性)

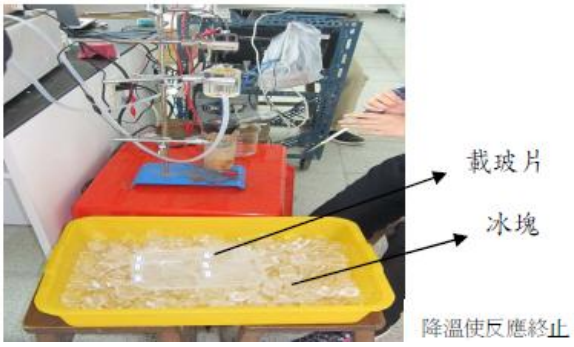
2.將時間切成數點(甲-100，乙-143，丙-227，丁-266，戊-346，己-429)，吸取 0.1ml 反應器中正進行反應的溶液，滴到載玻片，放到冰塊上(降溫使反應終止)

3.將各個玻片編號，放到顯微鏡底下觀察並拍照。

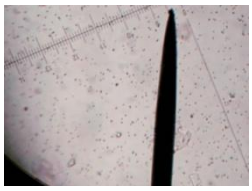
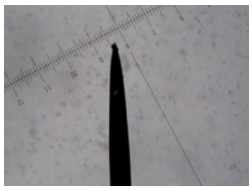
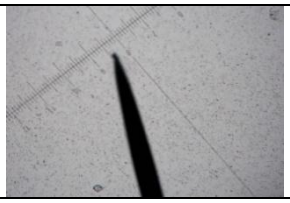
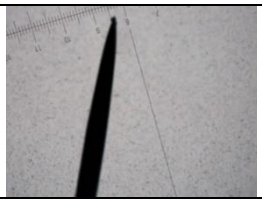
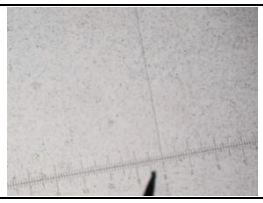
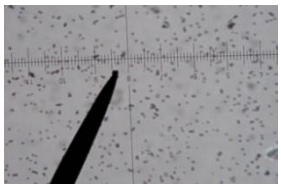


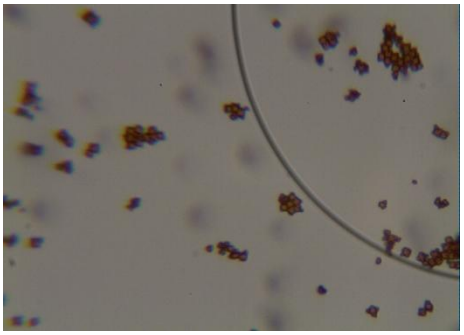




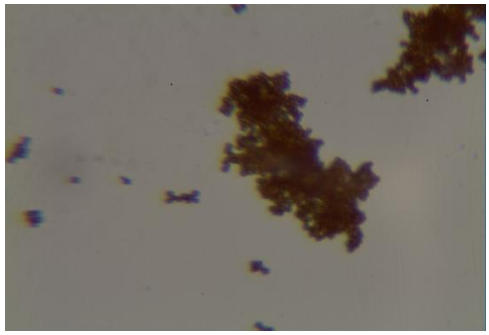


[結果]

	甲(100s)	乙(143s)	丙(227s)
敘述	此為 40x10，數顆紅黑的顆粒散佈在其中	此為 40x10，同甲，大小差不多	此為 10x10，顆粒有變大了，而且好像有較密集(表示量變多)
圖片			
	丁(266s)	戊(346s)	己(429s)
敘述	此為 10x10 大小變化不明顯	此為 10x10 大小變化不明顯	此為 10x10 顆粒明顯的變大許多
圖片			



丙



己

[討論]

1.實驗觀察到氧化亞銅顆粒一開始(甲點)就存在了，而我們所看到的顏色變化應該是顆粒不斷的變大和變多所造成的。

2.從載玻片的排列照中，可清楚看見顆粒變大變明顯。

3.在甲及乙兩點使用 100 倍率，極為不清楚。故使用 400 倍率進行觀察與拍照。

4 在此用 V-time 圖來表達吸取氧化亞銅顆粒的時間。因當吸管進入溶液吸取

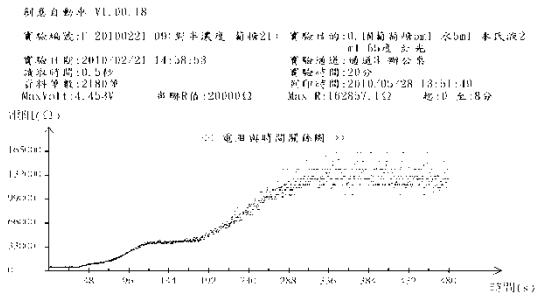
時會碰觸到雷射光，此時的電壓值會突然上升至約 5 伏特，即可查兌時間。

5.由顯微鏡拍照圖可看出 Cu_2O 有聚在一起現象，受限於倍率，圖中每一小顆的圓點，裡面可能早已包含多個 Cu_2O 粒子，而已階段有更多量粒子聚合在一起。

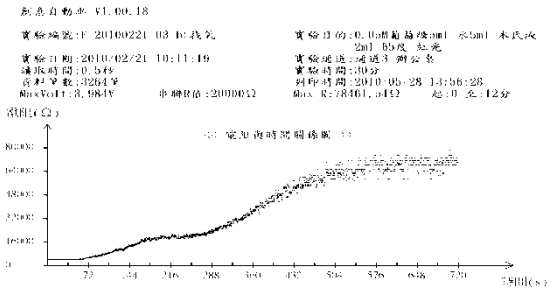
6.在分段的時間點，越是後面的時間點顆粒越大越多，但無法用顯微鏡比較氧化亞銅的真正大小。

提出“氧化亞銅顆粒”模型，解釋 R-time 圖與反應情形

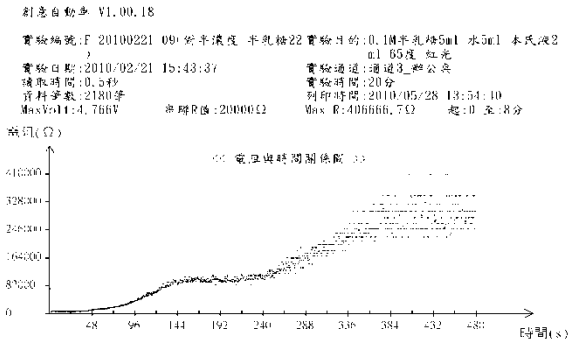
在不同種類的還原醣、濃度與色光之下，R-time 圖皆有水平部份出現。



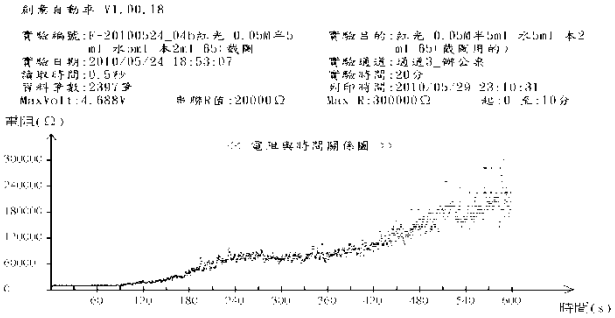
(0.05M 葡萄糖,紅光)



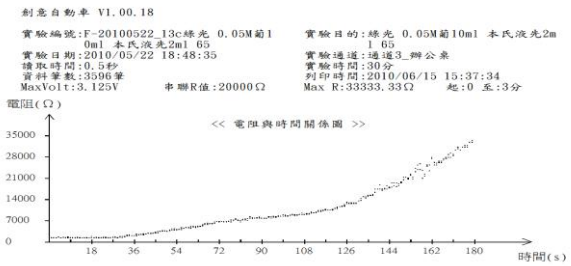
(0.025M 葡萄糖,紅光)



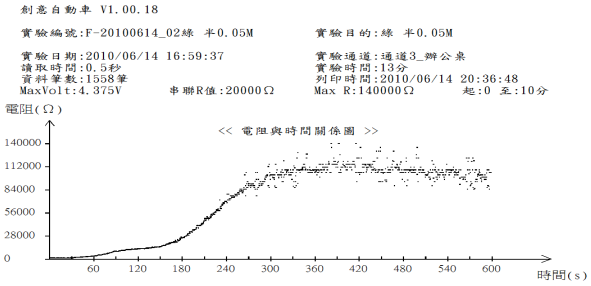
(0.05M 半乳糖,紅光)



(0.025M 半乳糖,紅光)



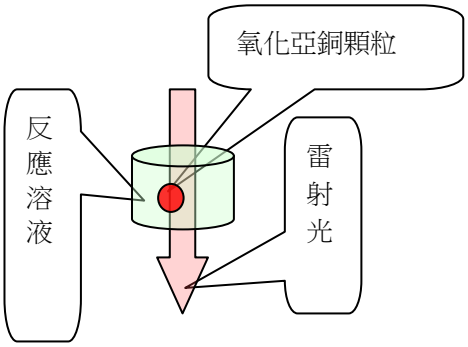
(0.05M 葡萄糖,綠光)

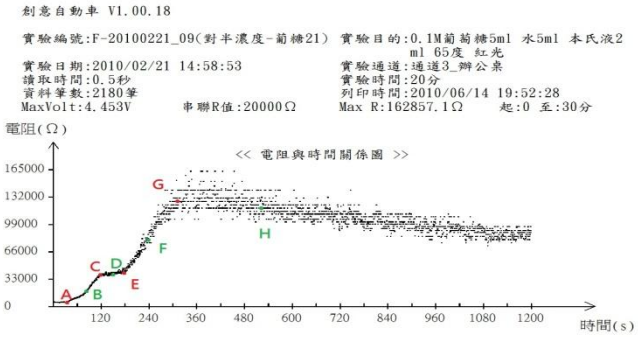


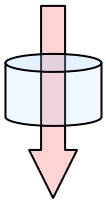
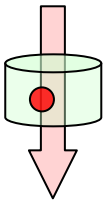
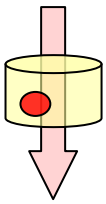
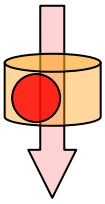
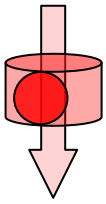
(0.05M 半乳糖,綠光)

因此，上述折線圖形有一般性存在。

1.提出“氧化亞銅顆粒”模型，解釋 R-time 圖與反應情形



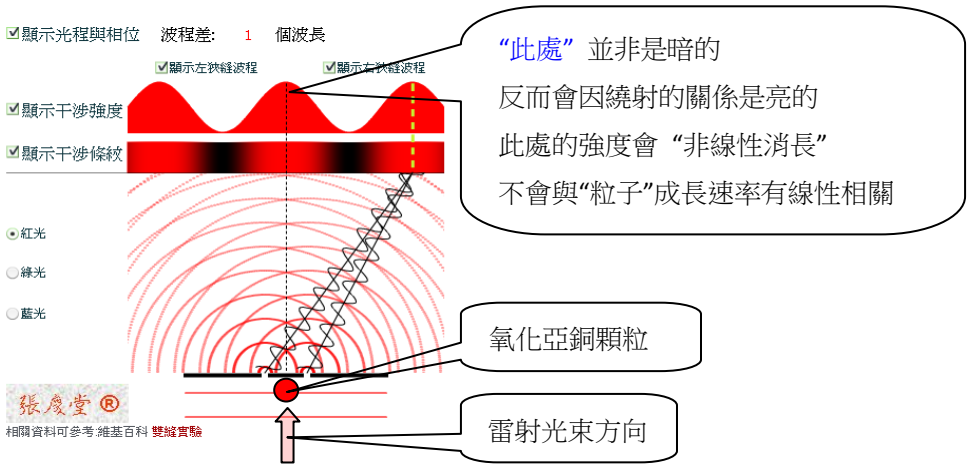


圖示					
溶液狀態	真溶液	膠體溶液	懸浮溶液	懸浮溶液	懸浮溶液
顆粒大小	約在 10^{-10} 公尺左右	介於真溶液與懸浮溶液之間	10^{-7}公尺以上 600nm 左右	10^{-7}公尺以上(更大)	
溶液顏色(變化)	藍	藍轉綠	綠轉黃 及 黃轉橙	橙	紅
散射	無	有 (光柱) 廷得耳效應	有(光柱) 廷得耳效應	有	有 肉眼可見顆粒
繞射	無	無	明顯(**繞射效應**)	無	無
電阻值變化	不變	升高	近似不變	升高	下降(不明顯)
標定點	A 點之前	A→C	C→E	E→G	H 點之後

綠光雷射波長:532nm，紅光雷射波長:630-680nm

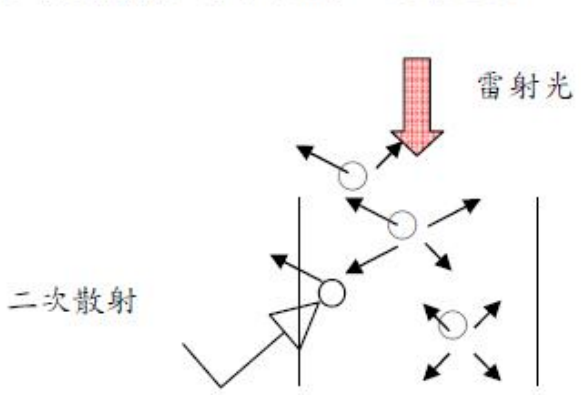
2 繞射效應：(本研究提出)

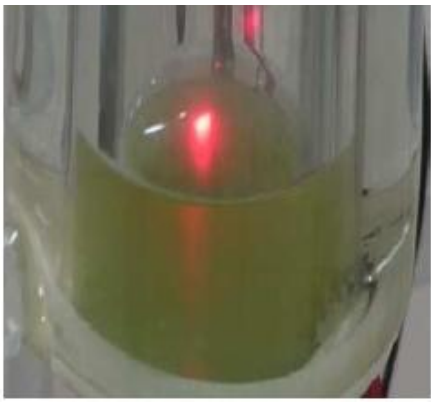
溶液粒子的大小與雷射光波長相接近時；當雷射光通過溶液粒子時，宛如雙狹縫干涉一般，通過粒子後的光強度較不受顆粒逐漸變大而減少。此時(水平線)雖然反應仍在進行，但光敏電阻接收到的光強度不減弱，所以電阻值不上升呈滯留。Cu_2O 的顆粒要大到某種程度，繞射效應消失，才會擋住光，電阻值又變大。



3.實驗過程看到有光束(如圖)，很像課本上所說的廷得耳效應，而廷得耳效應的產生與粒徑大小有關，當粒子大到足以散射光線，便會顯出一條明顯的光帶。

實驗時觀察到，光束愈近底部愈暗，因為光徑較長，光束外圍因為粒子產生二次散射，可看出光漸漸有勻開的現象，見示意圖:





4.光束會慢慢消失，而整個溶液呈現紅色，因 Cu_2O 的量愈來愈多，故顏色愈來愈紅。而顆粒愈來愈大，繞射效應消失，水平也隨之消失而電阻值恢復上升，且因大顆粒造成雷射光亂散射，導致最後的 R-time 圖有棉絮化散開的現象。

5.光敏電阻的特性與光的接收有關，光的通過與否與粒子大小、數量有關，故實驗所呈現出來的電阻值數據與 Cu_2O 的數量、顆粒大小有關。

溫度、濃度→影響反應速率→影響 Cu_2O 的數量、顆粒大小→影響透光率→影響電阻值

實驗【六】探討溫度的影響(紅光)

[實驗步驟]

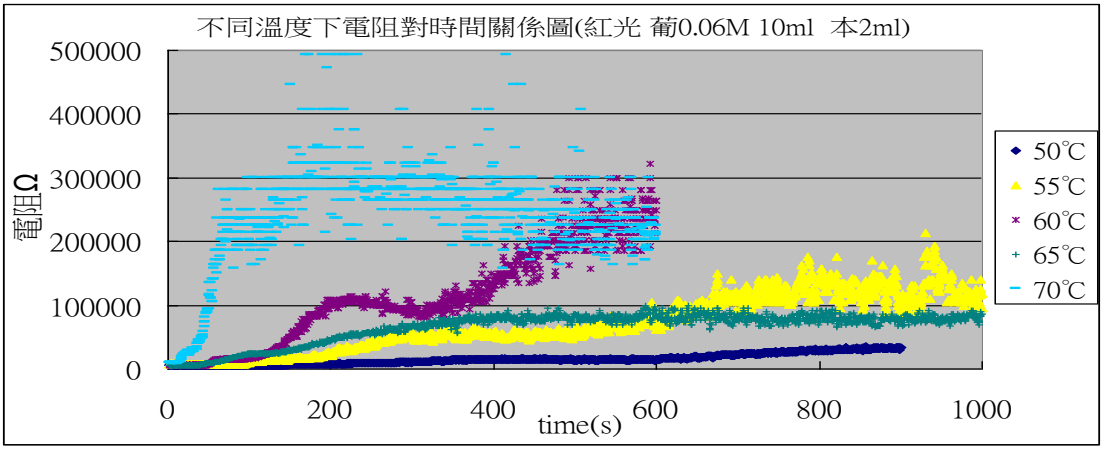
1.控制變因：葡萄糖 0.06M 10ml，本氏液 2ml，紅光

2.操縱變因：溫度:50、55、60、65、70℃

3.各組實驗重複三~五次(確定再現性後，取其中一個圖分析)

4.將數據匯出，以 excel 繪圖分析。

[結果]



[討論]

1.反應開始後電阻值上升，溶液透光率變差，表示溶液中有物質影響雷射光的路徑。Cu_2O 產生時是達飽和，必須考慮到溫度高，反應速率快，但同時溫度高，溶解度也變大，兩因素互相衝突，實驗結果顯示，反應速率效應大過溶解度。溫度愈高，電阻值變化速率愈大，表示 Cu_2O 產量變化愈多，即反應速率愈快，但其曲線變化並未與溫度成比例。

2.不同溫度的 R-Time 圖基本變化類似，其電阻值的變化與 Cu_2O 顆粒有關，推想水平滯留是因繞射引起，溫度高，反應速率快，粒徑較快達到接近光波長，因此達水平滯留時間，70℃>65℃>60℃>55℃>50℃，70℃約 60sec 左右，65℃約 100sec 左右，60℃約 200sec 左右，55℃約 300sec 左右，50℃約 400sec 左右。

3.溫度高，Cu_2O 顆粒變大速率快，水平滯留時間長短，70℃<65℃<60℃<55℃<50℃。

4.過了水平滯留狀態，Cu_2O 顆粒更大遮光，電阻值又上升，隨著溫度愈高，反應速率愈快，曲線斜率陡度也愈大。

5.最後呈現散開現象，是因為 Cu_2O 顆粒大，會亂散射光線，光敏電阻接收到的光線亂跳，所以圖形成棉絮化，而溫度高，分子平均動能變大，一則反應速率快，較快達此現象，再者，溫度高，造成溶液易擾動，顆粒亂跳動，光敏電阻接收到的光不穩定，故散開現象更亂。溫度低時，明顯看出，散開現象不明顯。

實驗【七】探討濃度的影響(紅光)

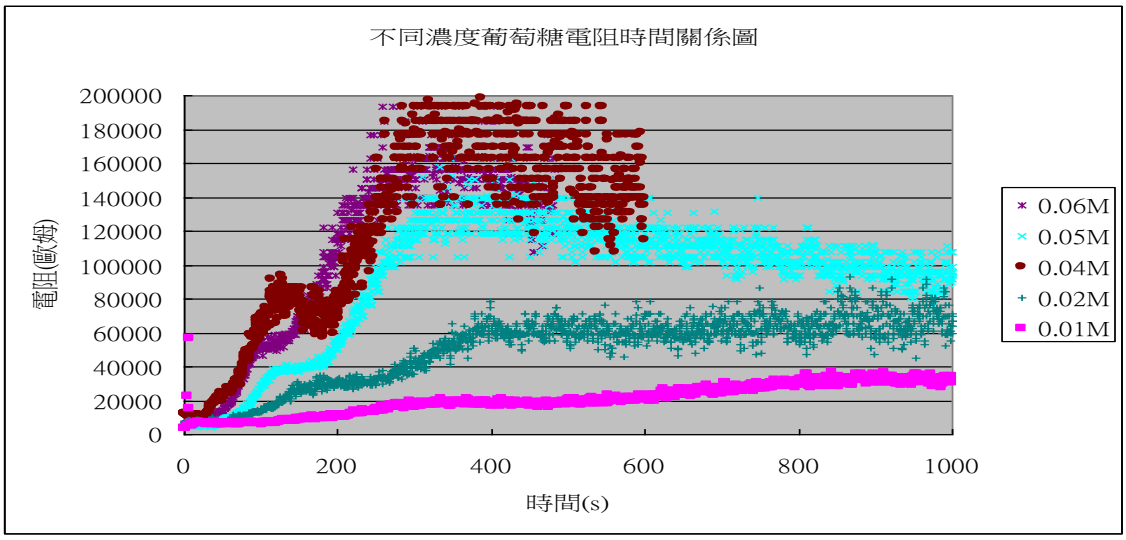
[實驗步驟]

1.控制變因：溫度 65 度，紅光，本氏液 2ml，醣類 10ml

2.操縱變因：濃度: 葡萄糖濃度 0.06M～0.01M。

3.各組實驗重複三~五次(確定再現性後，取其中一個圖分析)

[結果]



[討論]

1.反應開始後電阻值上升，溶液透光率變差，表示溶液中有物質影響雷射光的路徑。

2.此濃度範圍內的水平部分有隨濃度上升而提早的現象，0.02M 約在 165 秒出現水平，0.03M 約 150 秒，0.04M 約 120 秒，0.05M 約在 110 秒左右，0.06M 則不到 100 秒，若以雷射光繞射的模型來說，濃度越大，氧化亞銅的生成越快，顆粒大小達到紅光波長(630-680nm)附近的時間越早，而異常水平部分也越早達到。

3.水平部分亦有隨著濃度上升而縮短的現象，0.02M 持續 100 秒左右，0.03M 約 95 秒，0.04M、 0.05M 約 60 秒左右，0.06M 則持續約 30 秒。因濃度越大，氧化亞銅顆粒生成越快，顆粒大小在紅光波長左右持續的時間便會越短，而異常水平現象也隨著濃度上升而縮短。

實驗【八】探討不同的色光的影響

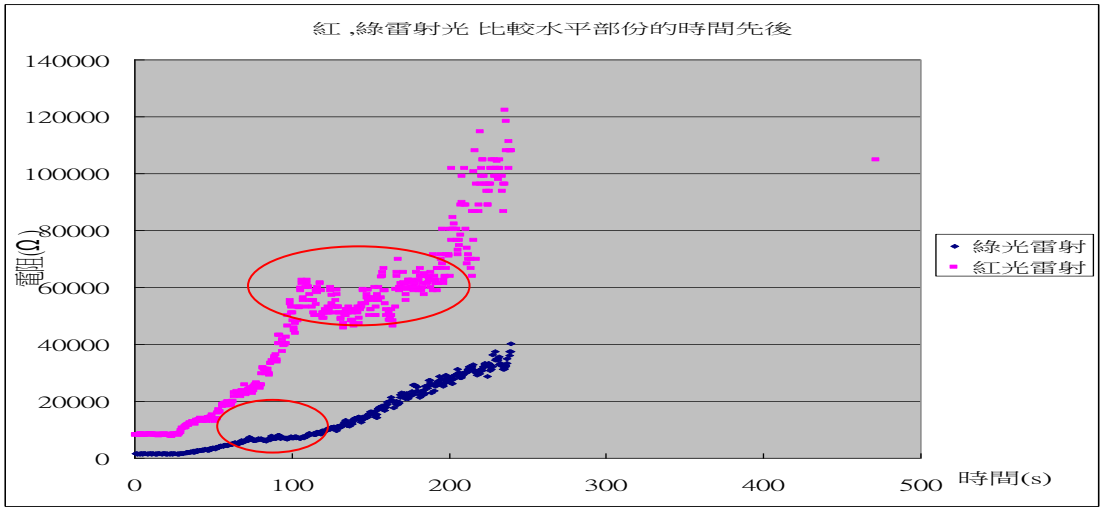
[實驗步驟]

1.控制變因：65℃，0.02M～0.06M 葡萄糖 10ml ，本氏液 2ml

2.操縱變因：紅光、綠光雷射

3.各組實驗重複三~五次(確定再現性後，取其中一個圖分析)，將數據匯出，繪圖分析。

[結果]



[討論]

(0.06M~0.02M 葡萄糖)

	0.06M	0.05M	0.04M	0.03M	0.02M
紅光異常水平出現時間	95	110	120	150	165
綠光異常水平出現時間	60	80	85	找不到水平	找不到水平
紅光異常水平持續時間	30	60	60	95	100
綠光異常水平持續時間	20	30	40	找不到水平	找不到水平
資料來源	0531_01 紅	0221_09 紅	0524_02c 紅	0614_02b 紅	0524_03 紅
	0523_01b 綠	0522_13b 綠	0309_02b 綠	0614_01 綠	0523_03b 綠

1.實驗結果發現，在相同濃度下，綠光呈現水平時間較快，推想是綠光波長較短 (532nm)紅光波長較長(630-680nm)，Cu_2O 顆粒較易早達到產生繞射現象的粒徑(在光波長附近)，故綠光雷射比紅光雷射早到達水平線。

2.在相同濃度條件下，綠光持續的時間較比紅光短，我們推論是因為我們所使用的綠光波長為單一波長，而紅光則是一個範圍內的波長，所以綠光時，顆粒在其波長附近的時間會較短，而在紅光時較長。

3.因為紅色的氧化亞銅顆粒會吸收綠光，反射紅光；再著，由我們所查的資料得知，繞射現象在波長越小的時候會越不明顯，所以綠光的異常水平線段較不明顯。

定量分析法的推導與驗証

實驗【九】濃度與反應速率檢量線的制定

(一)、[溫度的構思]

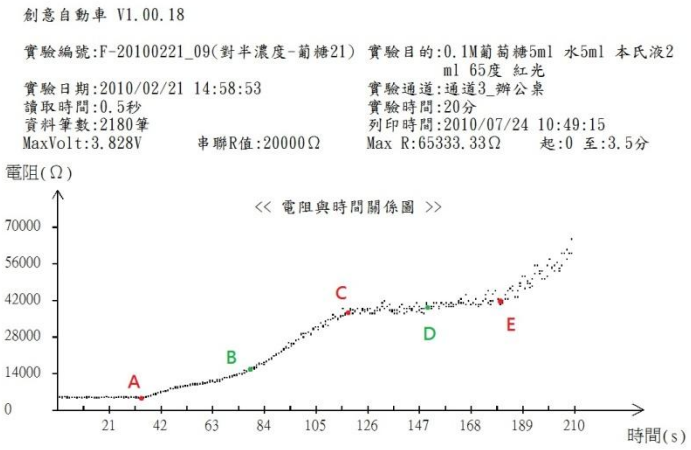
一開始我們由繞射模型推想，是否可以用水平的出現時間和時間長短來做定量分析，經過分析後我們發現，雖然水平的出現時間和時間長短有隨濃度、溫度升高而有縮短的趨勢，但線性關係不明顯。

接著我們由硫代硫酸鈉沉澱的十字實驗發想，欲利用我們得到的 R-time 圖訂出一個「十字」，也就是說，我們想在圖上找一個點，可以表達一個定量的銅離子消耗量(氧化亞銅生成量)，於是我們最先想到最高折點，再嘗試使用最高折點做分析，發現有趨勢但線性關係不夠準確，於是我們再嘗試找其他的時間點分析。

最後我們參考了 2002 年國際科展作品「界面活性劑對硫奈米微粒形成機制的影響」所用到的延遲時間概念，想到開始出現廷得耳效應時，就是氧化

亞銅顆粒生成到奈米級大小，氧化亞銅生成的量相同，此時電阻值也開始拉高(A 點)。

(註)延遲時間：當還原糖與本氏液在可反應的溫度下混合，藍色溶液會有一段時間無光束出現。這段期間我們將其定義為延遲時間(Induction Time,簡記為 Ti)；即出現廷得耳效應的之前時間。



以反應速率的觀點來說：反應逐漸進行顆粒隨之長大，每次顆粒與雷射光相互作用，開始出現廷得耳效應時的顆粒大小是相同的。因此反應速率為：

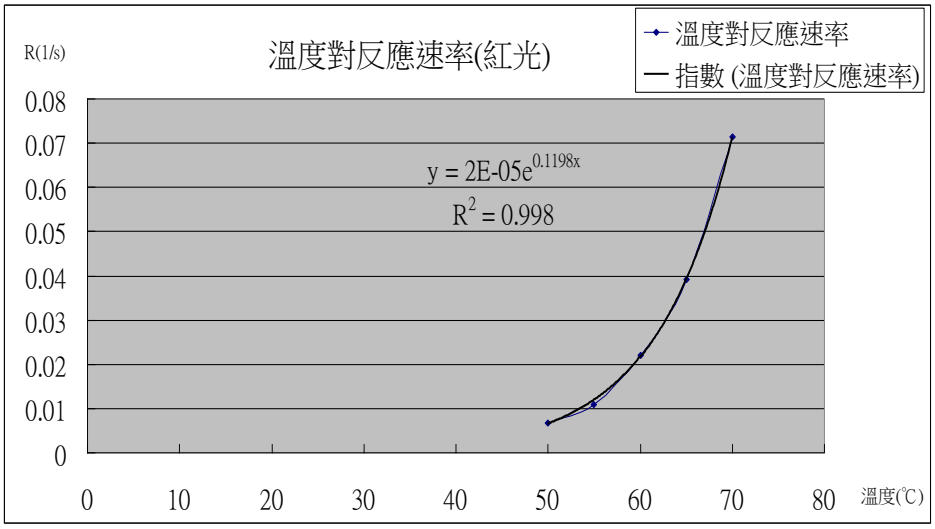
$$\text{Rate} = \frac{\triangle[\text{顆粒大小}]}{\triangle \text{time}} \xrightarrow{\text{顆粒大小的變化是相同}} \text{即} \quad \text{Rate} = \frac{1}{\triangle \text{time}}$$

△time：為實驗開始至 R-time 圖中 A 點的時間，即 $T_{o\text{-}A}$。

[數據分析(實驗六數據)]

控制變因： 紅光　0.06M 葡萄糖 10ml 本 2ml　(單位:秒)　$R=1/T_{o-A}$

溫度	50℃	55℃	60℃	65℃	70℃
T_{o-A} 實驗 1	150	90	48	25	12
T_{o-A} 實驗 2	145	92	43	26	16
T_{o-A} 平均	148	91	45	25.5	14
Rate=$1/T_{o-A}$	1/148=0.0068	1/91=0.011	1/45=0.022	1/25.5=0.039	1/14=0.071



[討論]

1.隨著溫度上升，反應速率變快，延遲時間縮短。

2.緊接著將在綠光雷射下，所探討的溫度變因之實驗數據也依上述假設與數據處理程序。亦獲得此種關係。每上升 10℃，Rate 增加約 3 倍 (50℃→60℃，60℃→70℃)。

3.發現相同條件下，所獲得的數據結果再現性佳。

(二)、[濃度的構思]

原先 65℃的實驗，因反應速率較快，檢量線的定量關係不理想，所以我

們將溫度降低至 55℃，效果不錯，接著我們再把濃度範圍拉大至 0.2M，即可找出反應速率與濃度的線性關係。

1.由於此反應的特性，同一個濃度的延遲時間範圍大約相差±3 秒內左右，而我們發現，若將 0.1M 等分為五等份，數值在高濃度時非常相近(0522_16)，±3 秒這樣的範圍，使數據的趨勢和準確度較不穩定，若將反應的溫度降低，使反應速率變慢，不僅節省能源、提高安全性，更可以較輕易看出整體趨勢。

2.但是溫度降低會使反應速率變慢，於是我們將濃度範圍調高至 0.2M，可以使反應速率變快且擴大檢量線的範圍。

[實驗步驟]

1.控制變因：葡萄糖 10ml，本氏液 2ml，紅光/綠光，55℃

2.操縱變因：濃度：0.02、0.04、0.08、0.12、0.20M

3.各組實驗重複三~五次，確定再現性

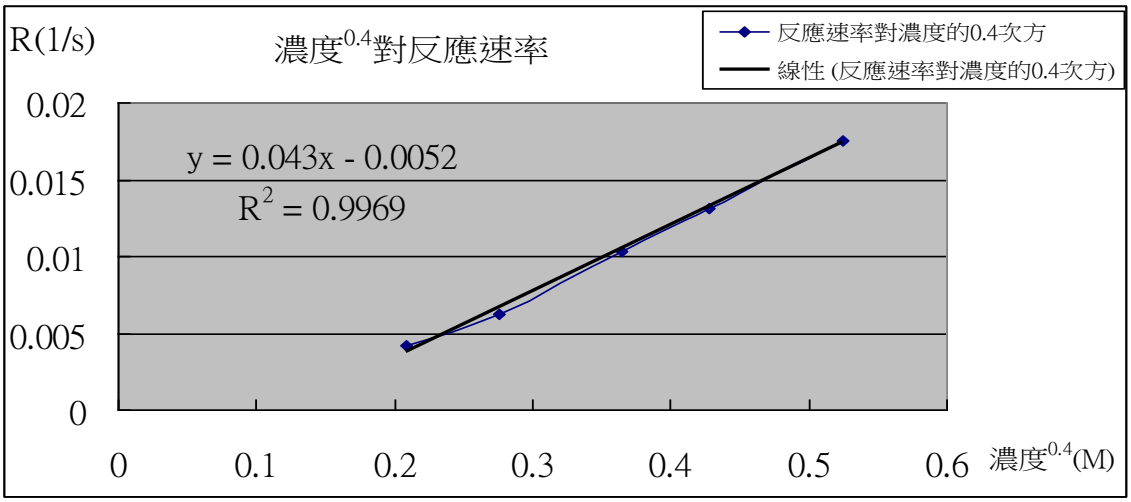
4.將數據匯出，以 excel 繪圖分析，取各圖延遲時間平均值

5.作圖：濃度：取濃度的 0.4 次方和時間倒數呈線性關係

[數據分析]

55℃ 紅光 葡萄糖 10ml 本氏液 2ml (單位:秒)

濃度	0.02M	0.04M	0.08M	0.12M	0.2M
T_{o-A} 實驗 1	240	160	98	77	58
T_{o-A} 實驗 2	240	161	96	76	57
T_{o-A} 平均	240	160	97	76	57
Rate=1/T_{o-A}	1/240=0.004	1/160=0.006	1/97=0.010	1/76=0.013	1/57=0.018
濃度 $^{0.4}$	0.209128	0.275946	0.364113	0.428225	0.525306



[討論]

1.由反應速率定律式 R=k[葡萄糖]^{m}[本氏液]^{n}(本氏液的量固定)， m＝0.4。

2.將濃度範圍拉到 0.2M 來等分五點，平均來說應該是 0.04、0.08、0.12、0.16、0.20M 這五點，但經過初步實驗後發現 0.16M 與 0.20M 時間的差距很接近，推測是濃度越高反應速率會越快，造成越高濃度的點對應的時間過於接近，而造成在數據分析上會較困難；相反的，濃度低時就算取很近的濃度，時間差還是可以明顯的呈現出來。所以就取了 0.02M 的溶液來做實驗，果然得到了很好的線性關係。

3.實驗分析結果，線性關係的 R^2 為 0.9969，線性關係很好。

4.分析紅光和綠光後，發現綠光的條件下，濃度 $^{0.4}$ 和反應速率也呈線性關係，皆可以做出定量分析，因紅光較綠光安全、便宜、容易取得，於是之後的未知濃度使用紅光測定。

5.使用建立的檢量線測定未知濃度，檢量線：R＝0.043×C(M)$^{0.4}$-0.052，R＝1/t。

6.如何運用此定量方法檢測未知葡萄糖濃度：

準備待測溶液 10ml(若測量不在檢測時間範圍內則稀釋或濃縮濃度)，本氏液

2ml 先分別加熱到 55℃→倒入反應器，待其反應約 3 分鐘(時間依濃度而定)→由數據找到延遲時間，代入檢量線來求出葡萄糖濃度。

實驗【十】濃度與反應速率檢量線的驗證與應用

[實驗目的]

製作出檢量線後，試著利用醫療上常用，且市面上也買得到的人體注射液(點滴)來做驗證，並自行配製同濃度(0.278M)的葡萄糖液來做比較。

[實驗步驟]

1.購買葡萄糖注射液(濃度：C_0)，和額外自己配置與注射液相同濃度(C_3)的葡萄糖。

2.溶液：$C_0 = C_3$

葡萄糖注射液	C_1：注射液 5ml 水 5ml(1/2 C_0)
	C_2：注射液 2.5ml 水 7.5ml(1/4 C_0)
自行配製的葡萄糖液	C_4：溶液 2.5ml 水 7.5ml(1/4 C_3)

3.反應各溶液取其延遲時間(Ti)結束的時間再對照檢量線得到濃度，查對與瓶身標示的濃度是否吻合。

[結果與分析]

葡萄糖注射液

濃度(M)	時間(秒)	平均
C_1	63	63
	63	
C_2	105	103
	101	
	103	

自行配製的葡萄糖液

濃度(M)	時間(秒)	平均
C_4	104	104
	104	

濃度(M)	時間(s)	檢量線對照的濃度	實際濃度	差值/實際濃度(誤差率) (%)
C_1	63	0.167M	0.139M	21.1
C_2	103	0.074M	0.069M	1.9
C_4	104	0.073M	0.069M	0.3

[討論]

1.由此一實驗可以知道，當濃度約為 0.07M 左右的時候，誤差率約 1.9%，此一誤差是可以接受的，所以我們判斷此檢測方法是可行的。

2.從數據計算發現，葡萄糖注射液在低濃度較高濃度的誤差小很多，這表示此檢量線較適合檢驗低濃度的葡萄糖。

3.自行配製的同濃度葡萄糖誤差率只有 0.3%，可說是相當準確的，而葡萄糖注射液則稍大，我們推測是因為：由於葡萄糖注射液是用來注射入人體的溶液，可能會添加一些物質來與人體成等張溶液，而這些物質可能就是影響準確度的原因;相較於自行配製的溶液則是純葡萄糖液,所以就更準確。

4.從目前的實驗數據看來，此檢測儀器應該有其更準確測量濃度的範圍，須進一步做驗證。另外，我們推測，添加物可能會影響濃度預測的準確度，但仍需經更多的實驗來確認其影響的程度。

肆、結論與應用

有關儀器的改良

1. 反應器的清洗改成吸取式，避免光源、反應器與光敏電阻偏離原本一直線位置。

2. 將光敏電阻改成面積較大者。因為倒入的反應溶液會折射雷射光的現象，會造成射偏至光敏電阻外圍，每次實驗的初電阻差異太大。

3. 我們以 IC0804 來數位化類比電壓讀取電壓值(2^8=256 -> 255 格)。我們測量儀器電壓的最小單位為 0.0196V。

(類比轉成數位時是以 5V / 255 格≒ 0.02V [0.0196V])

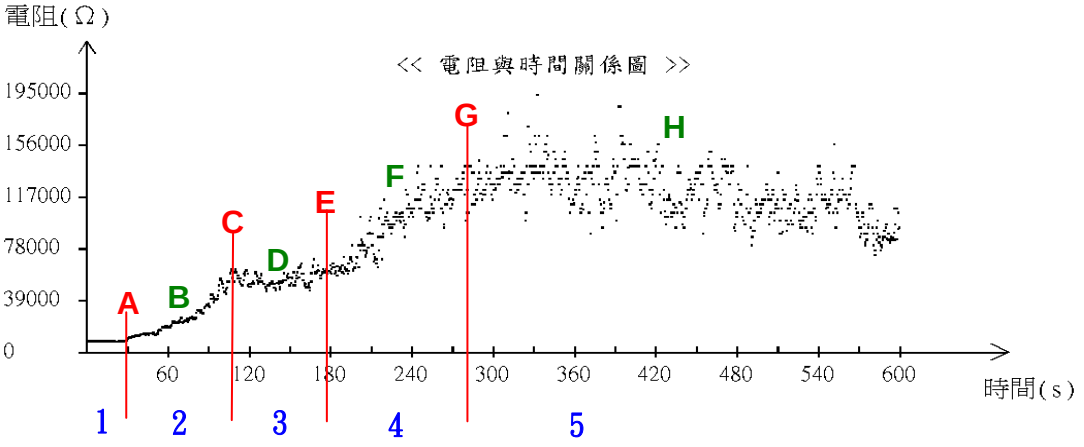
4.實驗時設定時間 10 分,每 1 秒取一次電壓, 理論上應取 600 個數據,但實際上只有 572 個(如附圖 id 欄)；那是因我們取用是軟體上的簡易計時器,故是以 timer 欄為計時的判讀。<電腦的計時單位非整數秒格> (討論後將實驗參數(時間間隔)調為 0.5 秒,實驗討論時最小時間距就可以為 1 秒)。

	id	timer	volt
566	565	592	0.527344
567	566	593	0.507813
568	567	594	0.527344
569	568	595	0.511719
570	569	596	0.507813
571	570	597	0.507813
572	571	598	0.507813
573	572	600	0.507813

圖 id 欄

提出“氧化亞銅顆粒”模型，解釋 R-time 圖與反應情形

1. 亞銅是一離子化合物，密度約為 6 g/cm^3，其形成的沉澱物是較大顆粒狀，又此一反應是牽涉到有機醛基之斷鍵型反應，其速率會較慢些。在又大又慢的雙重條件下，才有利於對顆粒逐漸長大做一觀察分析。一般對此反應是以顏色變化來描述反應過程，但我們是藉由自製儀器以“顆粒大小”的觀點來描述此反應過程--「雷射光束與氧化亞銅顆粒的大小作用的物理現象」。下圖是實驗後所獲得電阻-時間的關係圖(R-time 圖) 的一般圖形，分成五階段(1-5)討論如下：



ps: A 至 H 是根據實驗【四】的圖形與顏色特性來標定的。

階段 1：在此階段中，溶液顏色為藍色。無廷得耳效應存在，故是屬於真溶液。粒徑在 10^{-9}m 以下。電阻值最低且變化少。

階段 2：在此階段中，溶液顏色為藍綠色。有廷得耳效應存在，故是屬於膠體溶液。粒徑在 10^{-9}~10^{-7}m 左右。電阻值升高。

階段 3：在此階段中，溶液顏色為綠轉黃。有廷得耳效應存在，屬於膠體溶液。粒徑約在雷射光波長附近，應會產生繞射現象。電阻值略水平。

階段 4：在此階段中，溶液顏色為黃轉橙。雷射光束被嚴重散射，光束狀漸消失。反應容器底部已有少量紅色沉澱物。溶液中的粒子有向下移動的趨勢。電阻值上升且跳動較大。由於此階段的沉澱物較稀疏，因此氧化亞銅顆粒下降，會填補底部可以透光的空隙，形成氧化亞銅不透光層，造成電阻值上升。

階段 5：在此階段中，溶液顏色為紅色。雷射光束被嚴重散射，光束狀已不存在。反應容器底部有較多的紅色沉澱物。溶液中的上層有透明層出現。電阻值略下降。我們認為是因為底部已有一層氧化亞銅，因此再加上更多的氧化亞銅沉澱影響不大，反而是懸浮於上方溶液中的氧化亞銅明顯變少，造成電阻值下降。

2.當溫度與濃度提升時，促使整個反應加速；然 R-time 圖中的水平部份 (電阻值出現異常的低值)亦會提早出現且並未消失(有時不易判斷)。

3.使用綠光雷射為光源時，原本沒有發現 R-time 圖中的水平部份。但再次更改醣類濃度範圍時，卻發現在相同的反應條件，使用綠光的 R-time 圖中的水平部份比紅光為光源會提早且縮短。

利用顆粒模型推導出檢量線的定量關係及其應用

1.延續顆粒模型觀點：每次顆粒與雷射光相互作用，開始出現廷得耳效應時的顆粒大小是相同的。因此反應速率為：

$$\text{Rate} = \frac{\triangle[\text{顆粒大小}]}{\triangle\text{time}} \xrightarrow{\text{顆粒大小的變化是相同}} \text{即 Rate} = \frac{1}{\triangle\text{time}}$$

△time：為實驗開始至 R-time 圖中 A 點的時間，即 $T_{o\text{-}A}$。

2.溫度上升，反應速率變快，延遲時間縮短，每上升 10℃，Rate 增加約 3 倍(50℃→60℃，60℃→70℃)，此一趨勢也符合綠光雷射實驗。相同反應條件下，所獲得的數據結果再現性佳。

3.實驗結果:$R=k[\text{葡萄糖}]^{0.4}[\text{本氏液}]^{n}$，利用此當檢量線：$R=0.043\times C(M)^{0.4}-0.052$，可測葡萄糖的濃度，此檢量線較適合檢驗低濃度的葡萄糖。

4.分析方法的改進過程：

國中時所學的本氏液與糖類的化學實驗： 只有用變色過程來判斷是否有葡萄糖存在，只能定性觀察
WHO 文獻：利用糖類與本氏液色變過程來定量 方法簡述如下：準備 5ml 的本氏液於試管中，加 8 滴尿液並混合均勻，接著加熱使其沸騰二到三分鐘，最後等待冷卻並觀察溶液的顏色變化。 此方法的缺點：溶液的定量是經由觀察顏色變化而來，根據文獻的定義：從無顏色變化→淡綠色→雲綠(cloudy green)→黃到橘→橘到紅→磚紅色分別有其對應的濃度，很明顯的，顏色的判定有其難度，容易受人為主觀因素影響。(參考資料七)
自製儀器的定量分析法：利用反應速率與濃度的線性關係檢測濃度，溫度只需要 55℃，且利用確切的時間數據對照檢量線，只需判斷延遲時間何時結束。

5.以自製儀器檢驗葡萄糖濃度的特點

(1)整個檢驗過程約需 10 分鐘。

(2)原理簡單，以從開始反應到出現廷得耳效應的時間(延遲時間)為依據。

(3)需加熱至 55℃，反應過程須恆溫。

(4)一次實驗過程需使用 2ml 本氏液,加上 10ml 的檢測溶液,本氏液用量少。

伍、參考文獻.

一、李祐慈，界面活性劑對硫奈米微粒形成機制的影響，台灣二 OO 二年國際科學展覽會，化學科。

二、沈冠宇、彭裕文等，自製濃度觀測工具及其在高中化學實驗的應用,第四十六屆,，高中組 化學科。

二、鄭年芳 張庭瑜，We Are BZ-振盪反應的探究,第四十七屆,高中組 化學科。

三、吸光度。(2010/3/8)。

http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%90%B8%E5%85%89%E5%BA%A6

四、本氏液的配方與反應原理:高中化學 翰林版

五、光感測器與控制實驗系統(2010/3/9)。

http://www.me.lhu.edu.tw/~sdchen/SensorLab/G13.pdf page:2-3

六、繞射，(2010/6/12)。http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%A1%8D%E5%B0%84

七、Blood Safety and Clinical Technology (2010/3/8)。

http://www.searo.who.int/EN/Section10/Section17/Section53/Section481_1772.htm

八、Douglas A.Skoog Donald M.West，Fundamentals of analytical chemistry，p126～129 。

評語

本計劃以光敏電阻量測探討本氏液與醣類反應生成 CU2O 的顆粒成長過程。實驗完整詳細，結果顯示成長為兩階段模式；然而對兩段式成長所作的解釋可作更有效的驗證。參展學生對研究內容充分掌握，報告完整。