

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030117

隧散-電解質與非電解質之擴散界面現象探討-

學校名稱：屏東縣立明正國民中學

作者： 國二 邱翊博 國二 梁耘睿 國二 陳昱亘	指導老師： 陳盈吉 鍾梅英
---	-----------------------------

關鍵詞：擴散作用、擴散手指、擴散隧道

摘要

本實驗使用紅色雷射光觀察與分析電解質與非電解質的溶液擴散界面狀況，發現電解質的擴散較快，不容易出現閃電狀的界面；非電解質的擴散慢，且可能因為氫鍵，不容易快速擴散，閃電的界面容易出現；本實驗重要的發現在於擴散界面會出現有規律的“擴散隧道”，發現電解質的擴散隧道比較快出現，快消失，流動速度快；非電解質的擴散隧道比較慢出現，持續時間長，流動速度慢。在擴散隧道的流動速率分析中，發現電解質的擴散隧道流動速率快，非電解質之擴散隧道流動速度慢，且溫度越高，兩者之擴散隧道速率皆有提高現象，且速率突然變快的溫度臨界點電解質約位於 50-65 度、非電解質約位於 65-80 度。

壹、 研究動機

在平常買飲料的時候，看到店員將不同種類的液體，倒在同一個杯子內，卻能呈現出截然不同的色彩，但經過一段時間後，不同顏色間的分界位置也會有所不同。感到好奇的我們決定著手進行實驗，運用七年級生物所學到「擴散現象」，試著探討不同溫度、種類、時間的液體之擴散情形，並將液體間的擴散界面放大，以觀察液體的擴散流速與方向。

貳、 文獻探討與分析

一、擴散界面呈現高斯型鐘型曲線分布

劉惟中、李文堂(中華民國第49屆科展)利用右圖2-1裝置，使用寬度 a 的透明方形盒，下方盛放溶液，上方置水，雷射光照射和鉛直成 45° 的玻璃棒，再照射方形盒時，會在屏上形成鐘形曲線，向下偏 Z 的距離， r 為容器至屏的距離，測量溶液和水的原始交界面處的下偏距離，可以測得擴散係數。但是使用的溶質為硫酸鈉、甘油(丙三醇)，發現不同濃度的狀況下，不是每種濃度都會出現鐘型曲線(呈現高斯型分布)。

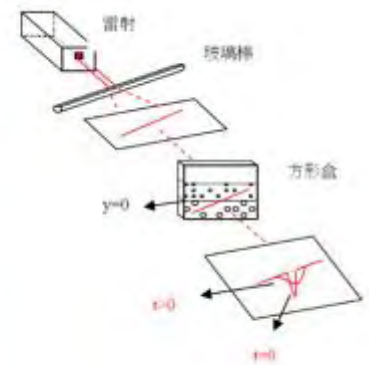


圖 2-1

二、擴散界面呈現手指頭擴散

洪崇育、鍾志輝(中華民國第47屆科展)利用同溫度的葡萄糖、水；蔗糖、水；氯化鈉、水；氫氧化鈉、水進行擴散觀察，發現上方為溶質溶液、下方為純水的狀況下會發現擴散手指，其裝置圖如右圖2-2所示。其結果發現1.鹽手指在沒有溫差時，系統中溫度對下降平均速率關係，為溫度越高下降平均速率越快；2.發現鹽手指在有溫差時，系統中溫差對下降平均速率關係，為溫度越高下降平均速率越快；3.發現鹽手指的下降平均速率與濃度四次方有關係。

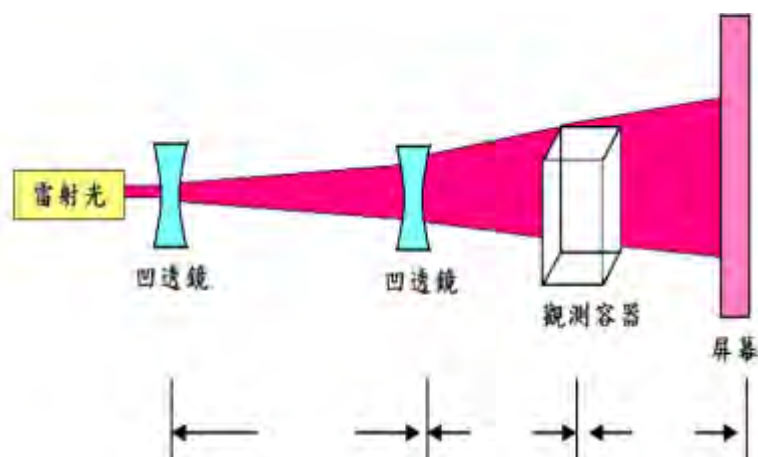


圖 2-2

三、擴散界面呈現非高斯型鐘型曲線分布

陳律綦、林孝正(中華民國第51屆科展)的實驗設計如右圖2-3所示，使用三角形量筒與滴定裝置測定擴散界面的擴散係數，發現數據呈現非高斯型分布。這樣的結果與劉惟中等人的研究不同。

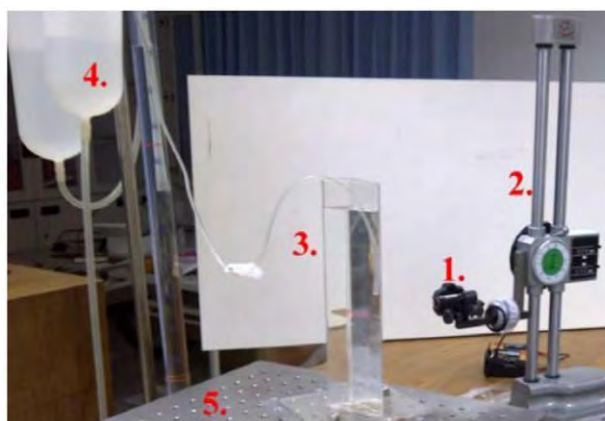


圖 2-3

四、文獻探討對於研究的啟示

- (一) 根據不同的研究裝置設計，會有不同的擴散界面狀況發生。
- (二) 擴散速率會根據溶質的種類與溶液的溫度(上層與下層)不同而有所差異。
- (三) 這些研究都使用了高深的數學公式(微分、積分、三角函數等)，實在難以親近與理解。
- (四) 若本研究更動了實驗的裝置，會不會有不同的擴散界面出現?
- (五) 若溶質我們使用電解質、非電解質的差異來作為操作變因，兩者之間是否具有差異?
- (六) 發展我們所能理解的擴散界面觀察方式與擴散速率計算方式。

參、 研究目的與問題

一、 探討擴散界面的擴散情形

- (一)如何界定擴散區間的範圍
- (二)如何界定擴散界面
- (三)如何界定穩定的擴散界面隧道

二、 探討不同種類的溶液交界面之擴散界面

- (一)高濃度果糖與水的擴散情形為何?(非電解質)
- (二)高濃度蔗糖與水的擴散情形為何?(非電解質)
- (三)飽和氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鉀與水的擴散情形為何?(電解質)

三、 探討時間對於擴散界面的影響

- (一)高濃度果糖與水的擴散發生於不同時間情形為何?
- (二)高濃度蔗糖與水的擴散發生於不同時間情形為何?
- (三)飽和氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鉀與水的擴散發生於不同時間情形為何?

四、 探討溫度對於擴散界面的影響

- (一)高濃度果糖與水的擴散發生於不同溫度情形為何?
- (二)高濃度蔗糖與水的擴散發生於不同溫度情形為何?
- (三)飽和氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鉀與水的擴散發生於不同溫度情形為何?

肆、研究設計與設備

一、 實驗器材與藥品

表 4-1 實驗器材與藥品

量筒	雷射筆	格子板
燒杯	玻璃棒	電子加熱攪拌器
電子天平	蔗糖、果糖、氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣、硫酸鋅	皮尺
紅色染料	純水	相機
溫度計	刮勺	攝影機

二、 實驗裝置

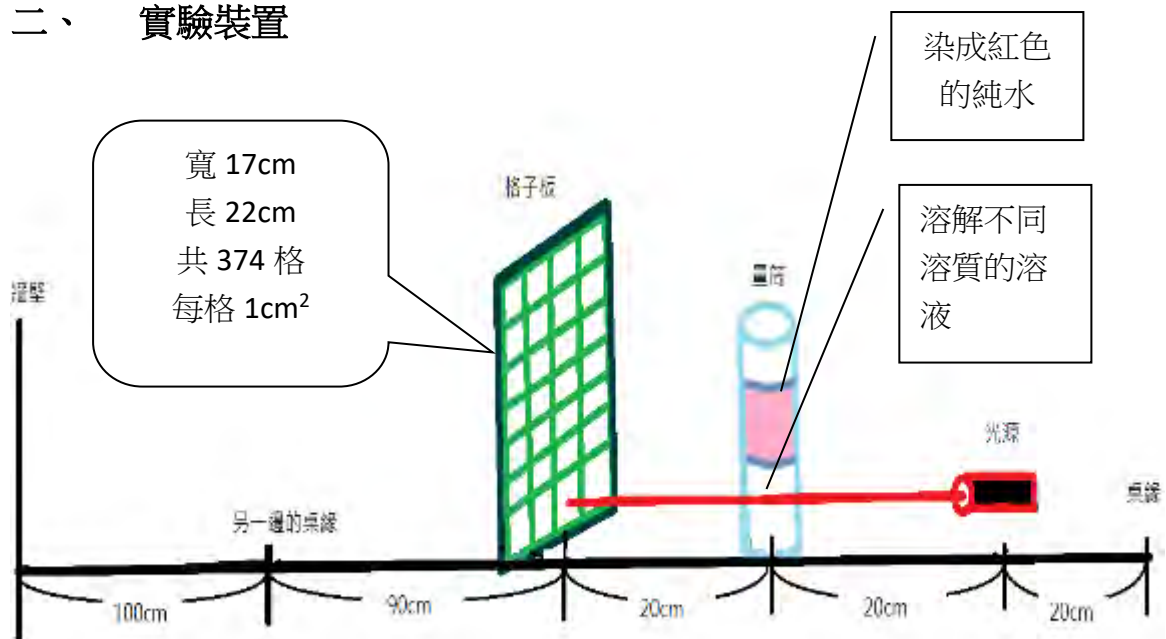


圖 4-1 實驗裝置圖

三、 實驗步驟與方法

(一) 配置不同濃度的非電解質溶液(果糖、蔗糖)

因為果糖、蔗糖的黏稠度較高，不容易發生擴散，所以我們採取以下方式配置：

1. 市售果糖→果糖:水=3:1→稀釋→呈現 75%濃度的果糖溶液。
2. 35 度水+蔗糖→完全飽和→飽和糖水:水=3:1→呈現 75%濃度的蔗糖溶液。

(二) 配置飽和電解質水溶液

1.35 度水+氯化鈉(氯化鎂、氯化鎂、氯化鈣)→完全飽和→飽和電解質溶液

(三) 架設實驗裝置觀察

1. 取 100 毫升的圓形量筒。
2. 下層放入溶液至刻度 50 毫升處。
3. 上層放入染成紅色的純水到刻度 100 毫升處。
4. 混和 30 秒之後開始觀察。
5. 由下而上水平移動雷射光，觀察白色屏幕上發生的狀況，拍照、攝影與紀錄。



圖 4-2 實驗實際裝置圖

(四) 改變溫度的實驗

1. 依序做完 35 度水+35 度果糖、35 度水+35 度蔗糖、35 度水+35 度氯化鈉、35 度水+35 度氯化鉀、35 度水+35 度氯化鎂、35 度水+35 度氯化鈣、35 度水+35 度硫酸鋅。
2. 改變溫度為 50 度、65 度、80 度。
3. 共完成四個溫度觀察與測量。

(五) 流動速率分析


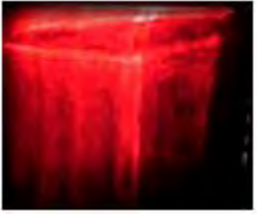
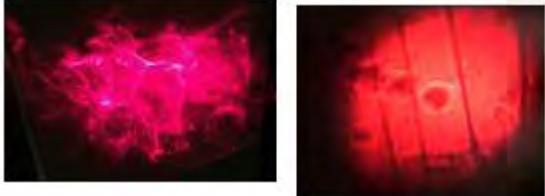


將影片放入網路免費軟體 COM，播放速度為原來速度的 1/20，測量上升流、下降流的流動速率。

伍、研究結果與討論

一、 紀錄擴散狀況—以果糖 35 度擴散作為例子分析

此段分析主要界定我們所觀察到的擴散在屏幕上發生的狀況指標，所以先使用果糖 50 度和純水 50 度的混和的時候為例，其擴散狀況如下表 5-1 所示：

表 5-1 果糖 35 度與純水 35 度混和之雷射屏幕狀況

	<p>上層水 下層會呈現均勻一條線，且看不到擴散情形發生</p>
	<p>上層擴散面 會呈現略為混亂的擴散，會微微看到擴散情形發生</p>
	<p>中間擴散面 混和 30 秒之後會出現閃電狀亂，呈現面積最大，根據不同的溶解物質，<u>約 3-10 分鐘之後會出現且會看到明顯有秩序地的擴散隧道發生。</u></p>
	<p>下層擴散面 會呈現略為混亂的擴散，會微微看到擴散情形發生</p>
	<p>下層溶液 下層會呈現均勻一條線，且看不到擴散情形發生</p>

由以上的資料中我們可以歸納出幾點發現：

(一) 雷射光通過圓形量筒之後，在均質液體中會在屏幕上呈現一條橫直線。

(二) 在接近交界面的時候會出現文獻中所提到的擴散手指。

(三) 在交界面的時候混和 30 秒時觀察，出現混亂的閃電狀況(以下皆以“閃電雲”稱之)，可是約 3-10 分之後出現有秩序的管狀流動，我們在實驗中稱為“擴散隧道”，以下以“擴散隧道”稱之。

(四) 令我們感到疑惑的地方是交界面狀況。在以往我們所學過的擴散狀況應該是隨機、不可預測、無方向性的碰撞。可是我們只有在混和的 30 秒內觀察到這樣的閃電雲狀況，約經過 3-10 分鐘之後，我們在屏幕上觀察到有秩序的管狀擴散隧道，且可以明顯觀察到上升流和下降流，這讓我們思考我們所觀察到的擴散是否以之前所學隨機、不可預測、無方向性的微觀觀點抵觸。右圖 5-1 為我們所看到的上升流、下降流圖示。

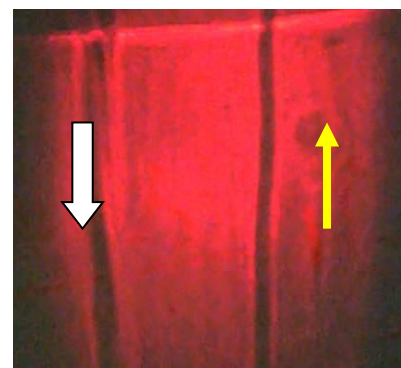



圖 5-1 果糖 50 度時 擴散界面隧道(白色箭頭為水往下流，黃色箭頭為蔗糖往上流)

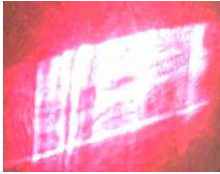
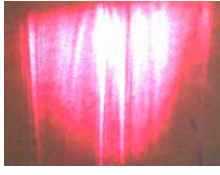


(五) 在圖 5-1 中我們發現上升流為一團物質，由下方往上方移動，推測為果糖；下降流較為清澈，推測為水流。兩者方向相反。

二、 紀錄擴散狀況—以氯化鈉 50 度擴散作為例子分析

本段分析主要是混和 30 秒(50 度氯化鈉+50 度純水)之後，在 5 分鐘之內由下層掃描到上層所紀錄到的圖像，如下表 5-2 所示：

表 5-2 氯化鈉 50 度與純水 50 度混和之擴散圖像整理

溶液	食鹽 50 度	說明
上層水		➢ 橫帶狀不明顯，仍發有有擴散手指和擴散隧道。

上層擴散面		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 橫帶狀不明顯，仍發有有擴散手指和擴散隧道，擴散隧道明顯。 ➤ 上升流明顯，下降流不明顯。
中間擴散面		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 幾乎沒有觀察到閃電雲。 ➤ 中央擴散隧道明顯，且沒有明顯的團塊。 ➤ 仍可觀察到上升流與下降流。
下層擴散面		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 橫帶狀不明顯，仍發有有擴散手指和擴散隧道，擴散隧道明顯。 ➤ 上升流明顯，下降流不明顯。
下層溶液		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 橫帶狀明顯。

由以上資料我們可以歸納出下列幾點：

- (一) 中央交界面的閃電雲幾乎沒有出現，或是出現的時間很短暫。
- (二) 最下層的飽和食鹽水呈現水平帶狀，顯示未發生擴散。
- (三) 下層食鹽水、上層食鹽水、最上層水在 5 分鐘之內已經發生擴散，皆可發現擴散手指、擴散隧道、上升流、下降流。有趣的是上升流速度優於下降流。
- (四) 我們覺得有趣的地方在於兩點。1. 交界面之閃電雲幾乎不發生。2. 上升流速度大於下降流。
- (五) 食鹽水與水混合相較於果糖與水混和，果糖組出現閃電雲，而食鹽水和水混則無出現閃電雲，推測可能與電解質與非電解質有關。
- (六) 在實驗設計中，下方為飽和食鹽水，上方為純水，上升流速率大於下降流速率。若下降流為水流，上升流為氯化鈉，則顯示氯化鈉的移動速率快於水流(如右圖 5-2 所示)。

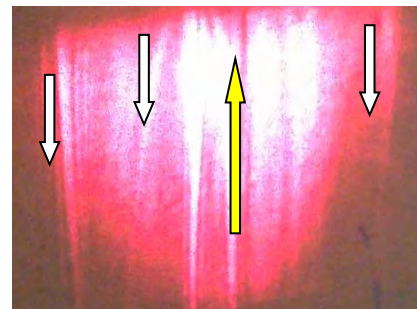


圖 5-2 氯化鈉 50 度之擴散流動圖(白色為下降流，黃色為上升流)

三、 不同溫度不同物質之擴散發生圖像紀錄

此段分析，我們分析了果糖、蔗糖、氯化鈉、硫酸鋅等四種物質在 35 度、50 度、65 度、80 度等四個溫度下所發生的擴散圖像，如下表 5-3、5-4、5-5、5-6 所示：
 ((氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣等三種電解質已經完成實驗，尚未整理相關圖像，會於國展時放入))

表 5-3 果糖、蔗糖、氯化鈉、硫酸鋅在 35 度時混和之擴散情狀整理





















溶液	氯化鈉 35 度	蔗糖 35 度	果糖 35 度	硫酸鋅 35 度
上層水				
上層擴散面				
中間擴散面				
層擴散面				
下層溶液				

表 5-4 果糖、蔗糖、氯化鈉、硫酸鋅在 50 度時混和之擴散情狀整理



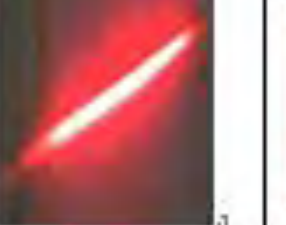



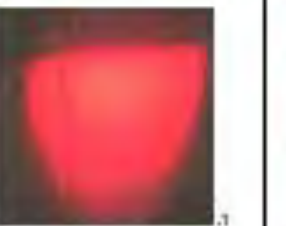
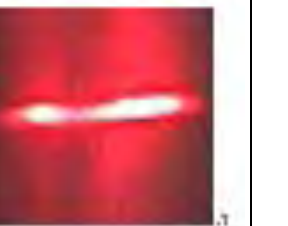












溶液	50 度	蔗糖 50 度	果糖 50 度	硫酸鋅 50 度
上層水				
上層擴散面				
中間擴散面				
下層擴散面				
下層溶液				

表 5-5 果糖、蔗糖、氯化鈉、硫酸鋅在 65 度時混和之擴散情狀整理

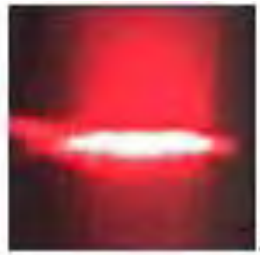























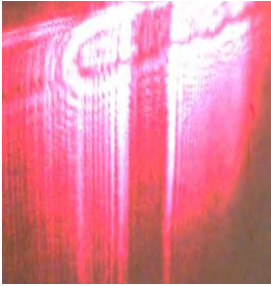

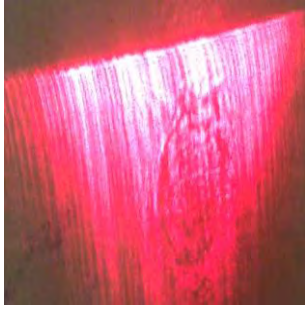

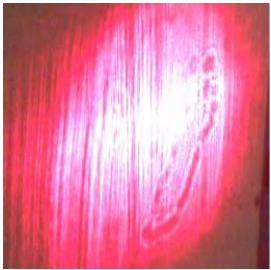
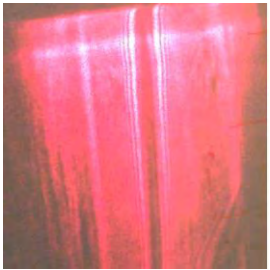
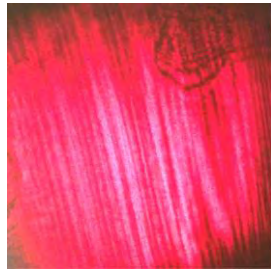

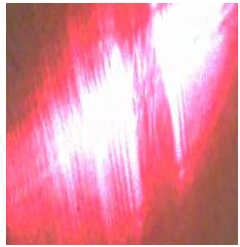
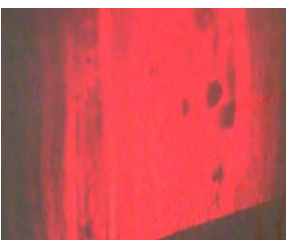
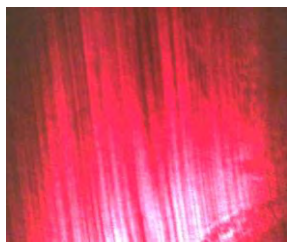

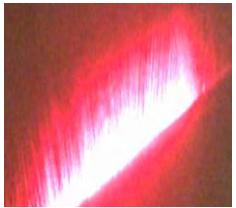



溶液	氯化鈉 65 度	蔗糖 65 度	果糖 65 度	硫酸鋅 65 度
上層水				
上層擴散面				
中間擴散面				
下層擴散面				
下層溶液				

表 5-6 果糖、蔗糖、氯化鈉、硫酸鋅在 80 度時混和之擴散情狀整理

溶液	氯化鈉 80 度	蔗糖 80 度	果糖 80 度	硫酸鋅 80 度
上層水				
上層擴散面				
中間擴散面				
下層擴散面				
下層溶液				

((氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣等三種電解質已經完成實驗，尚未整理相關圖像，會於國展時放入))

由上表 5-3~5-6，我們整理以下表 5-7 以協助我們釐清關係：

表 5-7 整理表

溶質與溫度		30 秒時 交界面閃電雲	3-5 分鐘之內 交界面出現擴散隧道	10 分鐘之後交界面之 擴散隧道存在與否
非 電 解 質	蔗糖 35 度	V	V	V
	蔗糖 50 度	V	V	V
	蔗糖 65 度	V	V	V
	蔗糖 80 度	V	V	V
	果糖 35 度	V	V	V
	果糖 50 度	V	V	V
	果糖 65 度	V	V	V
	果糖 80 度	V	V	V
電 解 質	氯化鈉 35 度	V	V	V
	氯化鈉 50 度	X	V	V
	氯化鈉 65 度	X	V	V
	氯化鈉 80 度	X	V	X
	氯化鉀 35 度	V	V	V
	氯化鉀 50 度	X	V	V
	氯化鉀 65 度	X	V	V
	氯化鉀 80 度	X	V	X
	氯化鎂 35 度	V	V	V
	氯化鎂 50 度	X	V	V
	氯化鎂 65 度	X	V	V
	氯化鎂 80 度	X	V	X
	氯化鈣 35 度	V	V	V
	氯化鈣 50 度	X	V	V
	氯化鈣 65 度	X	V	V
	氯化鈣 80 度	X	V	X
	硫酸鋅 35 度	V	V	V
	硫酸鋅 50 度	V	V	V
硫酸鋅 65 度	X	V	V	
硫酸鋅 80 度	X	V	X	

由表 5-7 之中發現非電解質(蔗糖、果糖)在分析的三個向度中都出現 V(閃電雲、擴散隧道、10 分鐘之後擴散隧道是否存在)。可是在電解質中氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣在 50 度後，硫酸鋅在 65 度之後，其閃電雲都不出現，且電解質在 80 度時十分鐘後，其擴散隧道幾乎消失，且我們用雷射光掃描整個量筒，幾乎都出現一條直線，顯示其擴散幾乎已經達到均勻的程度了。

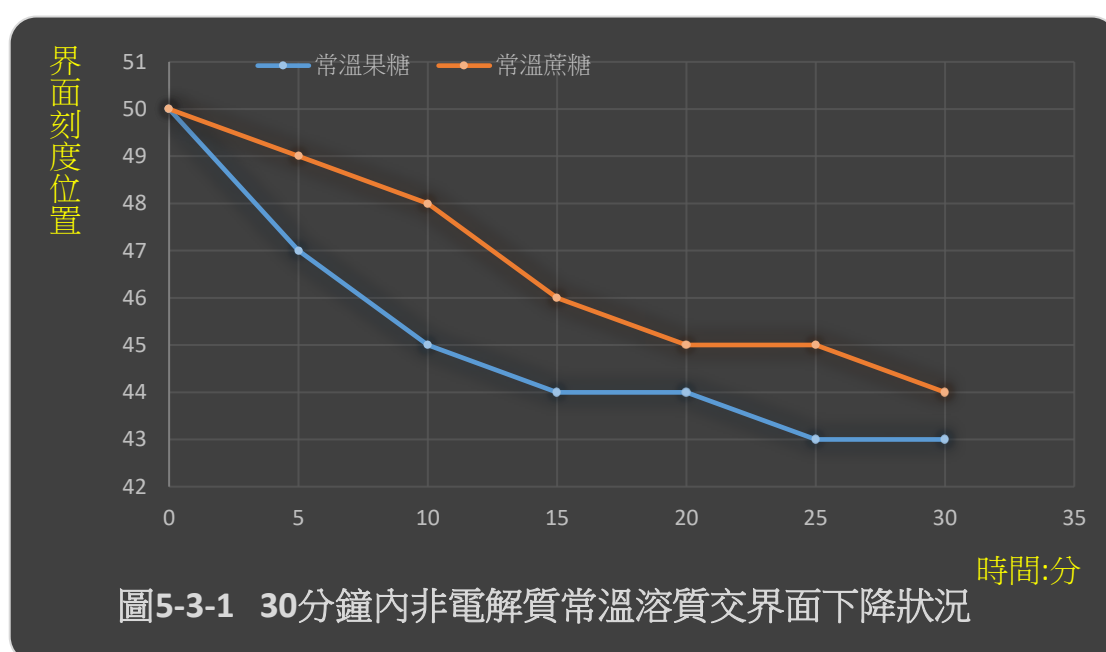
四、 常溫下之不同物質中央界面移動狀況比較

此段分析我們在一開始的時候倒入 50 毫升的溶液，在上面再加入 50 毫升的染色純水，一開始的交界面位於 50 毫升刻度。我們使用肉眼分辨紅色交界面的刻度位置，其結果於下表 5-8 和圖 5-3-1、5-4 所示。

表 5-8 交界面於常溫狀況下之變化整理表

時間 交界面	0 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘	7 天	14 天	21 天
常溫果糖	50	47	45	44	44	43	43	38	38	37
常溫蔗糖	50	49	48	46	45	45	44	40	40	40
常溫氯化鈉	50	35	25	17	10	6	4	0	0	0
常溫氯化鉀	50	38	27	19	15	8	7	0	0	0
常溫氯化鎂	50	40	37	30	23	18	11	0	0	0
常溫氯化鈣	50	40	37	31	24	19	14	0	0	0
常溫硫酸鋅	50	41	38	32	25	21	18	0	0	0

(量筒 100 毫升刻度，一開始界面位於 50 毫升刻度處，表格內數字為紅色上方水位下降的地方，及交界面)



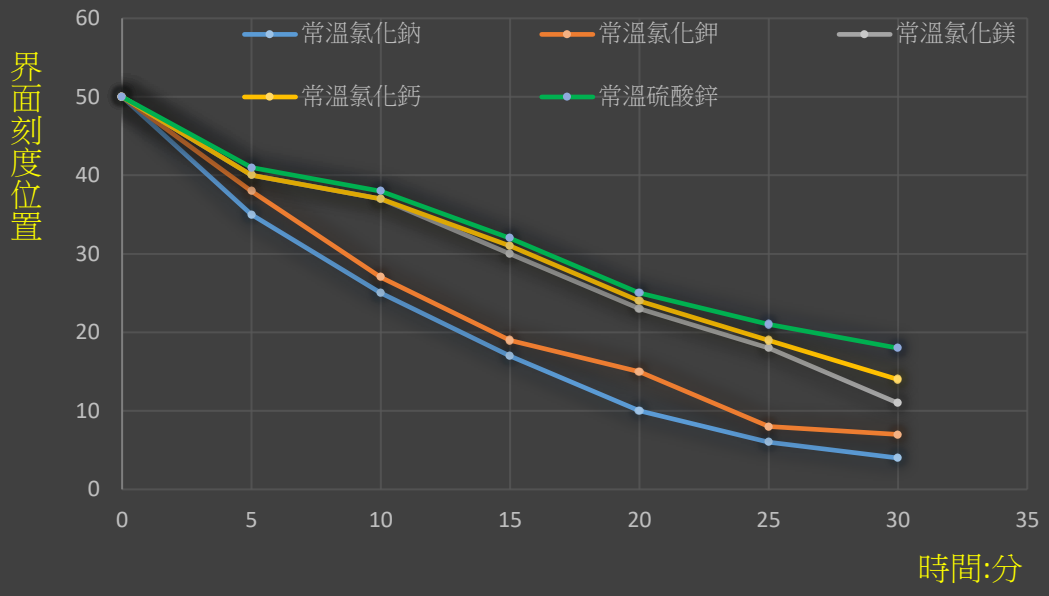


圖5-3 -2 30分鐘內電解質常溫溶質交界面下降狀況

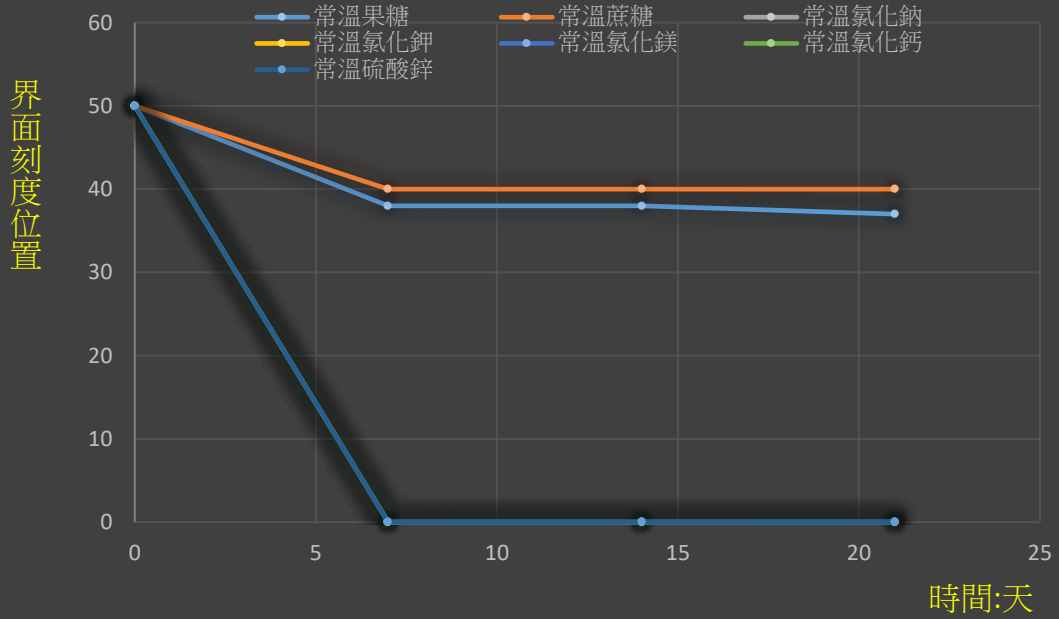


圖5-4 電解質與非電解質常溫放置0、7、14、21天之交界面刻度位置

由上面資料中，我們可以歸納與推論出以下事項：

- (一) 電解質在常溫狀況下 30 分鐘後，其交界面已經快速下降，尤其是氯化鈉已經下降到 4 毫升刻度。經過雷射光掃描，約在 4-5 毫升刻度的地方出現擴散隧道(擴散隧道仍存在)。
- (二) 非電解質(果糖、蔗糖)在常溫狀況下 30 分鐘後，其交界面下降情形不明顯，大約下降 10-13 毫升刻度左右。經過雷射光掃描，約在 9-14 毫升刻度的地方出現擴散隧道(擴散隧道仍存在)。
- (三) 若拉長時間尺度，發現七天之後觀察電解質之交界面已經下降至 0 毫升刻度，表示已經 完全完成擴散，經過雷射光掃描之後，也幾乎都呈現橫一條線。
- (四) 非電解質再經過 21 天之後，交界面幾乎停留在 37-40 刻度，下降僅約 10-13 毫升刻度位置，顯示我們選用的非電解質不易產生全面的擴散。
- (五) 電解質在 30 分鐘內，其交界面都會下降，且下降程度為氯化鈉>氯化鉀>氯化鎂>氯化鈣>硫酸鋅。
- (六) 發現這樣的狀況，我們認為跟物質的本質、分子量、解離程度有關，會於綜合討論中進行討論。

五、 不同溫度不同物質之擴散隧道中物質流動速率比較

此段分析主要是分析投影在具有 1 公分*1 公分屏幕上，拍攝上升流影片之後，放入免費網路播放軟體 GOM 中，放慢 1/20 播放速度進行分析。主要分析氯化鈉、硫酸鋅、果糖、蔗糖之向上方移動的速率，其結果如下表 55-9、圖 5-5 所示：

表 5-9 不同溫度下溶質的流動速率整理

溶質 \ 溫度°C	35°C	50°C	65°C	80°C
氯化鈉	7 cm/s	9 cm/s	28 cm/s	29 cm/s
氯化鉀	7 cm/s	9 cm/s	26 cm/s	28 cm/s
氯化鈣	7 cm/s	8 cm/s	25 cm/s	27 cm/s
氯化鎂	7 cm/s	8 cm/s	24 cm/s	26 cm/s
硫酸鋅	6 cm/s	7 cm/s	22 cm/s	24 cm/s
果糖	4 cm/s	5 cm/s	8 cm/s	12 cm/s
蔗糖	3 cm/s	4 cm/s	6 cm/s	11 cm/s

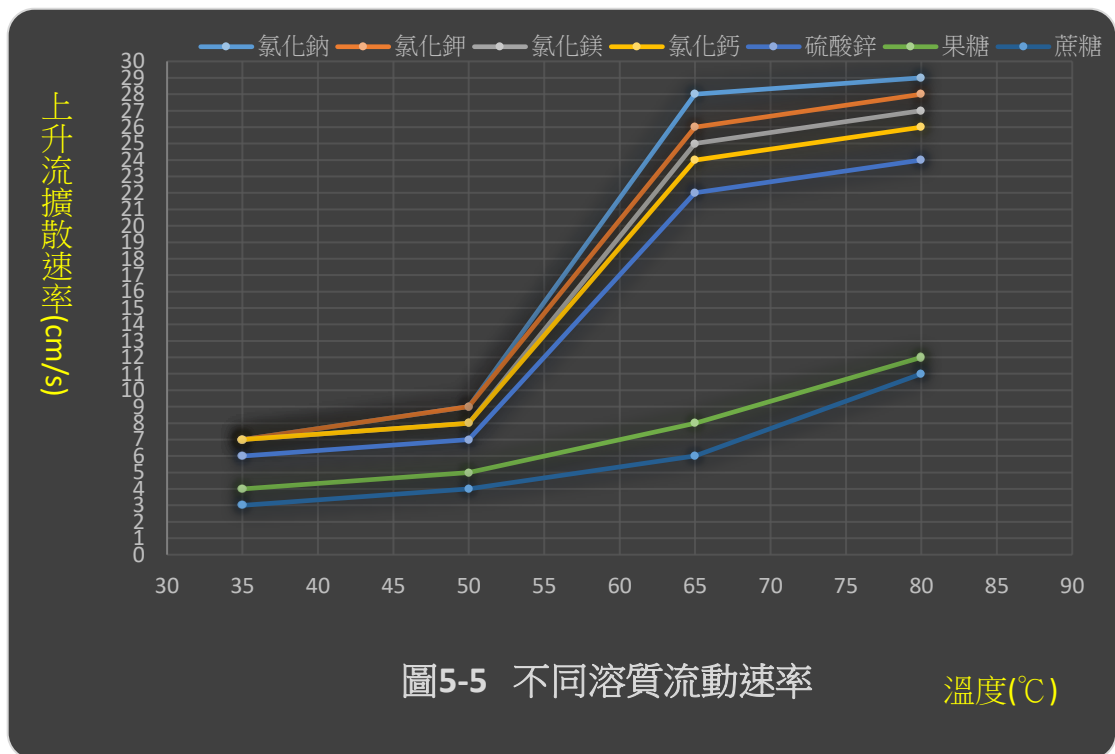


圖5-5 不同溶質流動速率

溫度(°C)

由以上分析資料中，我們可歸納與推論以下幾點：

- (一) 電解質的溫度越高，其溶質的擴散速率可能越快。有一個溫度的轉折點在 50-65°C，50°C 之後溶質擴散速率迅速增高。
- (二) 非電解質(果糖、蔗糖)的溫度越高，其溶質的擴散速率可能越快，但是仍比電解質慢許多。本實驗所使用的非電解質的速率轉折點可能位於 80°C 之後，約略也有可能落在 65°C。

陸、綜合討論

一、 如何確定本研究的量筒成像方向正確?

如右圖 6-1 所示，我們將紅光雷射和綠光雷射上下綁在一起(紅光在上，綠光向下)，光線打到元形量筒之後，有以下發現與推論：

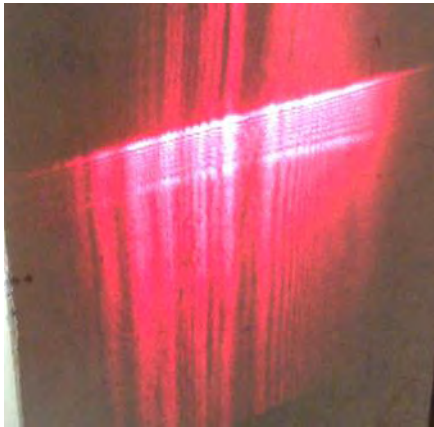

- (一) 發現屏幕上的紅光在上，綠光向下→表示影像上、下不顛倒。
- (二) 將雷射光線往右移動，發現屏幕上的光線往左移動；將雷射光線往左移動，發現屏幕上的光線往右移動→表示影像左、右顛倒。



圖 6-1 利用雷射光檢視影像成像方向

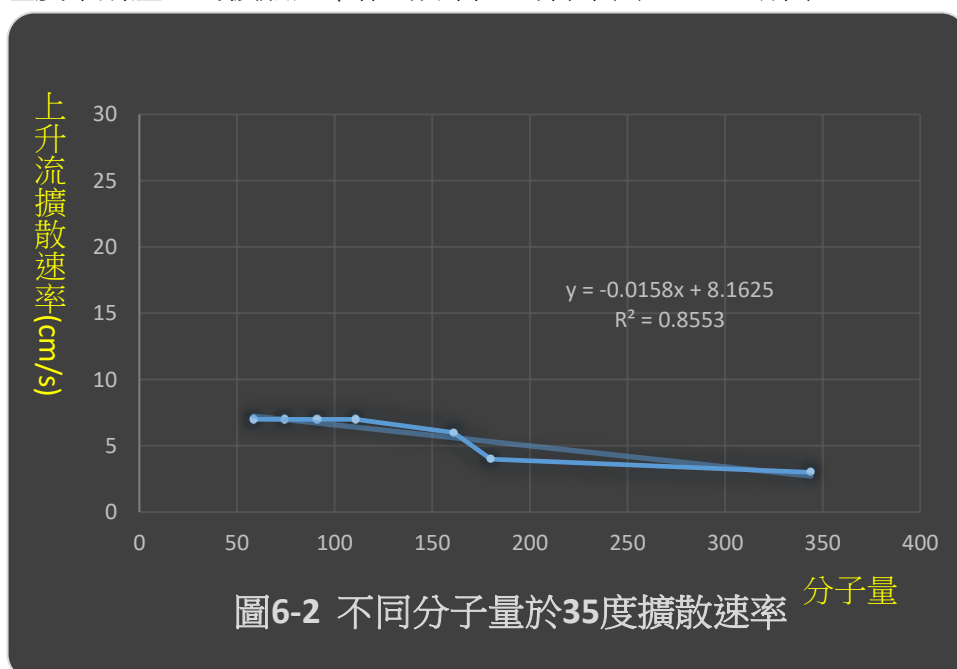
二、蔗糖、果糖和電解質(氯化鈉、硫酸鋅)在擴散界面所產生的擴散隧道，有何差異?

表 6-1 電解質與非電解質產生擴散隧道差異

電解質 (氯化鈉、硫酸鋅)	非電解質 (果糖、蔗糖)
	
無出現顆粒狀上升流	較常出現顆粒狀上升流
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 推測果糖、蔗糖容易出現顆粒狀上升流原因為其 C-H 連結較多，容易與 H₂O 之間產生氫鍵，形成水分子包裹著糖分子的構造而向上擴散。 ➤ 電解質 Na-Cl，不會和水分子之間產氫鍵，所以不會出現團塊現象。 	

三、分子量是否與擴散速率有關?

氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣、硫酸鋅、果糖、蔗糖依序的分子量為 58.5、74.5、91.1、110.9、161、180、344，若我們使用這些分子量於不同溫度下所產生的擴散速率作為分析，可得下圖 6-2~6-5 所示：



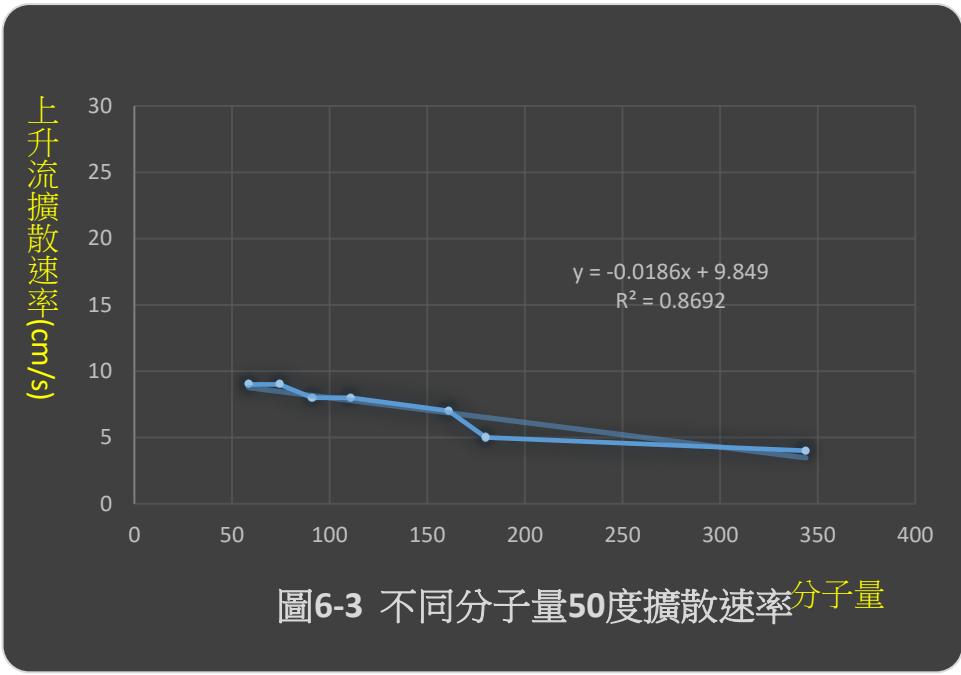


圖6-3 不同分子量50度擴散速率 分子量

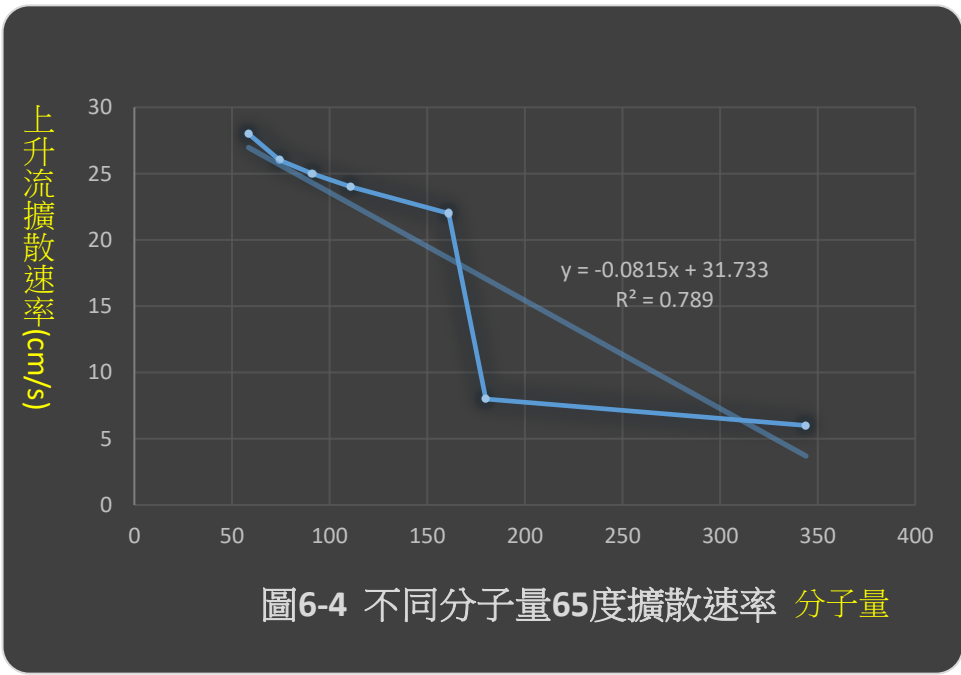


圖6-4 不同分子量65度擴散速率 分子量

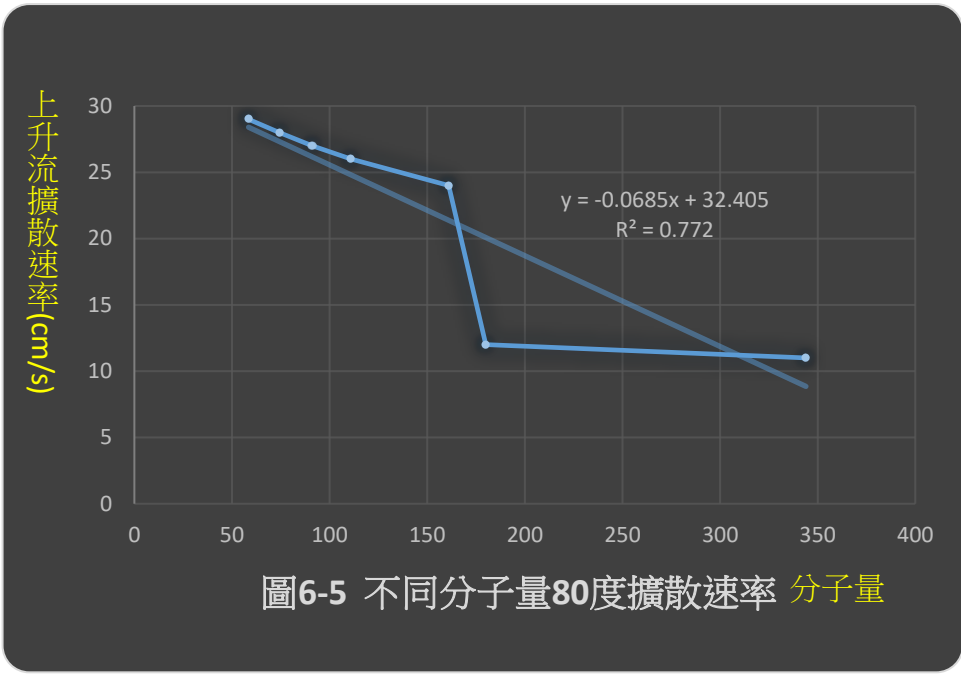


圖6-5 不同分子量80度擴散速率 分子量

以上不分電解質或是非電解質使用分子量的差異做出上升流擴散速率，得知當溫度越高的時候，其 R2 越低，雖然最低的 R2 為.772，屬於中度相關，但是我們發現在圖 6-2~6-5 中電解質的部分相當趨近於一條直線，所以以下我們把五種電解質單獨分析如下圖 6-6~6-9。

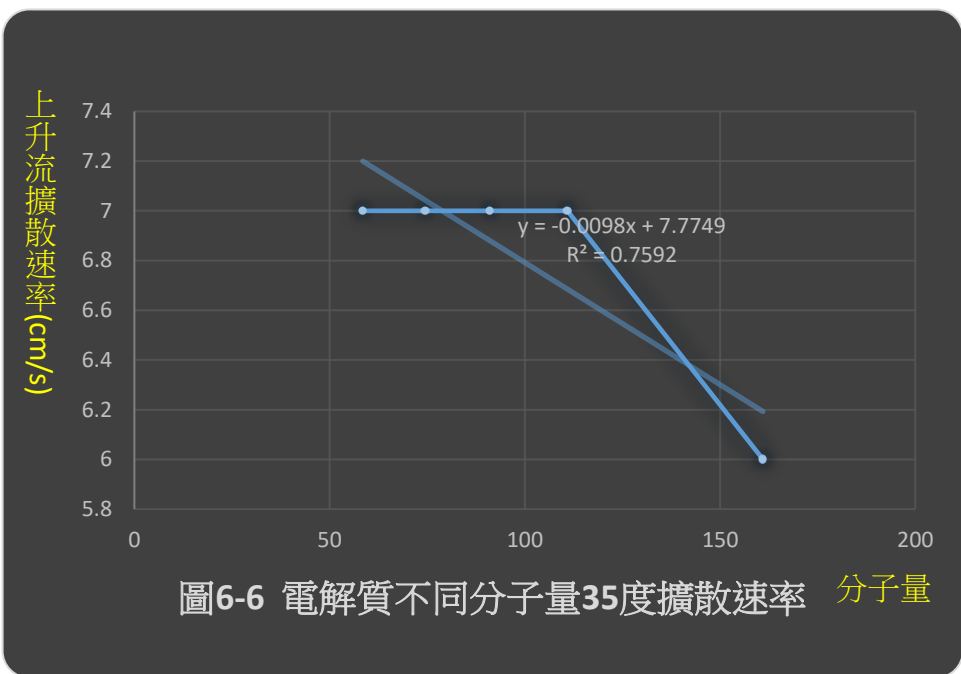
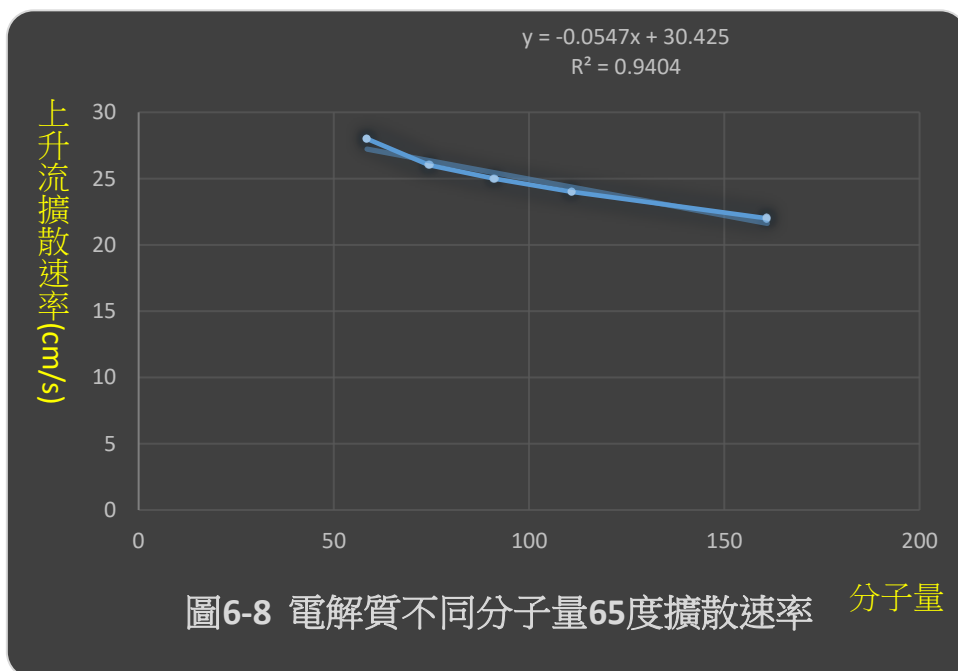
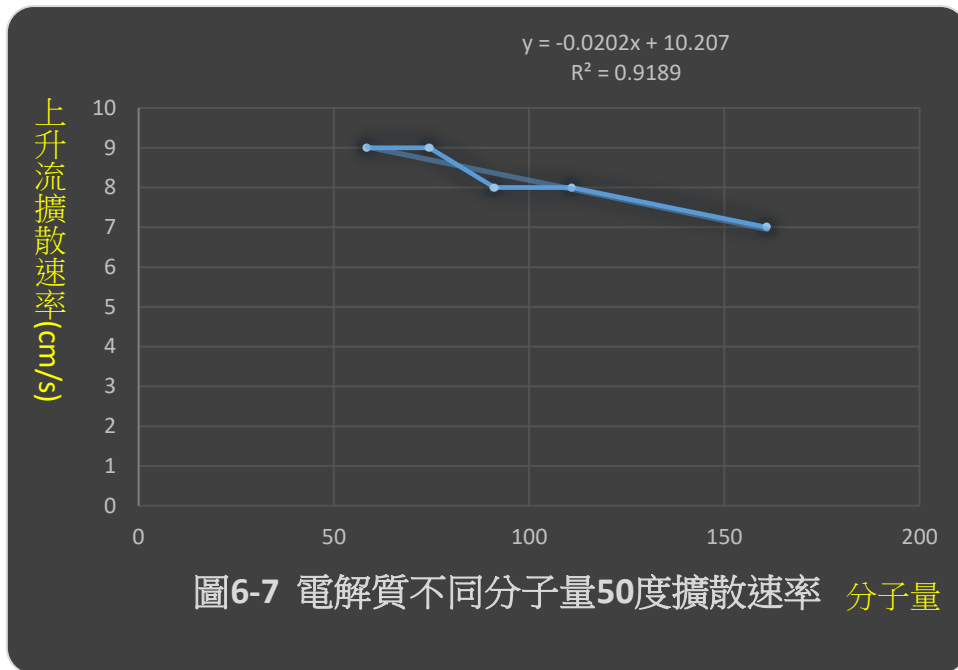
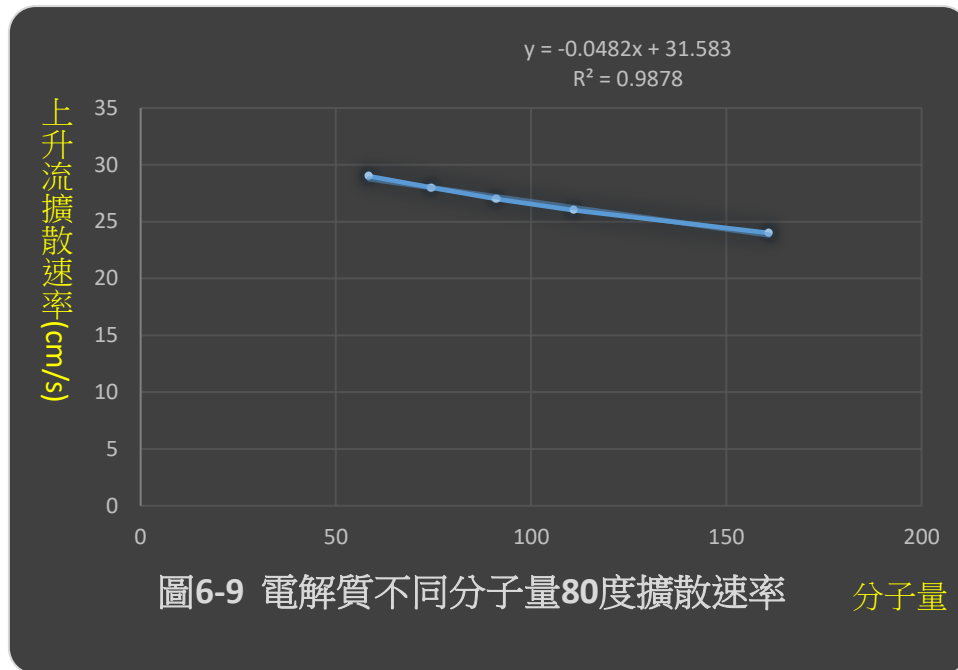


圖6-6 電解質不同分子量35度擴散速率 分子量





若僅分析電解質，則會發現溫度越高的時候，分子量與上升流速率 R_2 越高，在 80 度的時候其 R_2 為.9878，屬於高度相關，顯示在高溫的狀況下，其分子量越大，擴散速率越慢。

由上面資料，我們可以推知幾項所得：

- (一) 在不同溫度中，分子量越大，其擴散速率越慢。
- (二) 若僅看電解質，會發現在同一溫度下，分子量越大，其擴散速率越慢；且溫度越高的狀況下，以分子量為 X 軸、擴散速率為 Y 軸之斜率越大，表示兩者擴散速率相差越多。
- (三) 若僅看非電解質(後兩點)，會發現在同一溫度下，分子量越大，其擴散速率越慢；且溫度越高的狀況下，以分子量為 X 軸、擴散速率為 Y 軸之斜率越大，表示兩者擴散速率相差越多。

柒、研究結論

- 一、不同溶液的交界處，在混合的 30 秒內，使用我們的研究觀察裝置，可發現閃電雲狀況。
 - (一) 電解質之介面出現閃電雲的狀況較少、範圍較小且較短為短暫。
 - (二) 非電解質之介面出現善店雲的狀況較多、範圍較廣且維持較長時間。

二、溶液混和之後，約 3-5 分鐘會從不規則狀的閃電雲狀態轉變成為有秩序地擴散隧道。

- (一) 電解質的擴散隧道比較快出現，快消失，流動速度快。
- (二) 非電解質的擴散隧道比較慢出現，持續時間長，流動速度慢。

三、擴散隧道出現後，跟溫度有關。

- (一) 電解質的擴散隧道流動速率快，非電解質之擴散隧道流動速度慢。
- (二) 溫度越高，電解質與非電解質之擴散隧道速率皆有提高現象，且速率突然變快的溫度臨界點電解質約位於 50-65 度、非電解質約位於 65-80 度。

四、擴散速率與分子量有關。

- (一) 在不同溫度中，不論為電解質或非電解質，其分子量越大，其擴散速率越慢。
- (二) 若僅看電解質，會發現在同一溫度下，分子量越大，其擴散速率越慢；且溫度越高的狀況下，以分子量為 X 軸、擴散速率為 Y 軸之斜率越大，表示兩者擴散速率相差越多。
- (三) 若僅看非電解質，會發現在同一溫度下，分子量越大，其擴散速率越慢；且溫度越高的狀況下，以分子量為 X 軸、擴散速率為 Y 軸之斜率越大，表示兩者擴散速率相差越多。

五、本實驗所使用的非電解質(果糖、蔗糖)在形成穩定的擴散隧道之後，相較於電解質更容易形成團狀的上升流，推測可能為糖分子的 C-H 與水分子之間形成氫鍵，而形成團狀物。

捌、參考文獻

- 液體中的降雨現象，中華民國第 47 屆中小學科學展覽會，高中組物理科。
- 利用雷射光的偏折測量擴散係數，中華民國第 49 屆中小學科學展覽會，高中組物理科。
- 非高斯型擴散，中華民國第 51 屆中小學科學展覽會，高中組物理科。

【評語】 030117

1. 研究主題清楚且聚焦。對相關研究領域有進一步的發現，惟亮點不夠。可用科學方法檢驗之成果，但題材不具鄉土性及未見教材之相關性。
2. 創意、學術或實用價值部分原創性較少，有具體的研究發現，惟未能深入解釋。
3. 科學方法之適切性部分，應該考慮電解質的重量、濃度及分配位置等因素所造成的擴散現象。設計尚稱周全，因與較多定性分析有關。能有系統地收集數據及分析。結果的再現性需再確認。針對研究結果所作推論及釋義清楚。
4. 相同背景知識及研究限制須再深入了解。

壹、研究動機

在平常買飲料的時候，看到店員將不同種類的液體，倒在同一個杯子內，卻能呈現出截然不同的色彩，但經過一段時間後，不同顏色間的分界位置也會有所不同。感到好奇的我們決定著手進行實驗，運用七年級生物所學到「擴散現象」，試著探討不同溫度、種類、時間的液體之擴散情形，並將液體間的擴散界面放大，以觀察液體的擴散流速與方向。

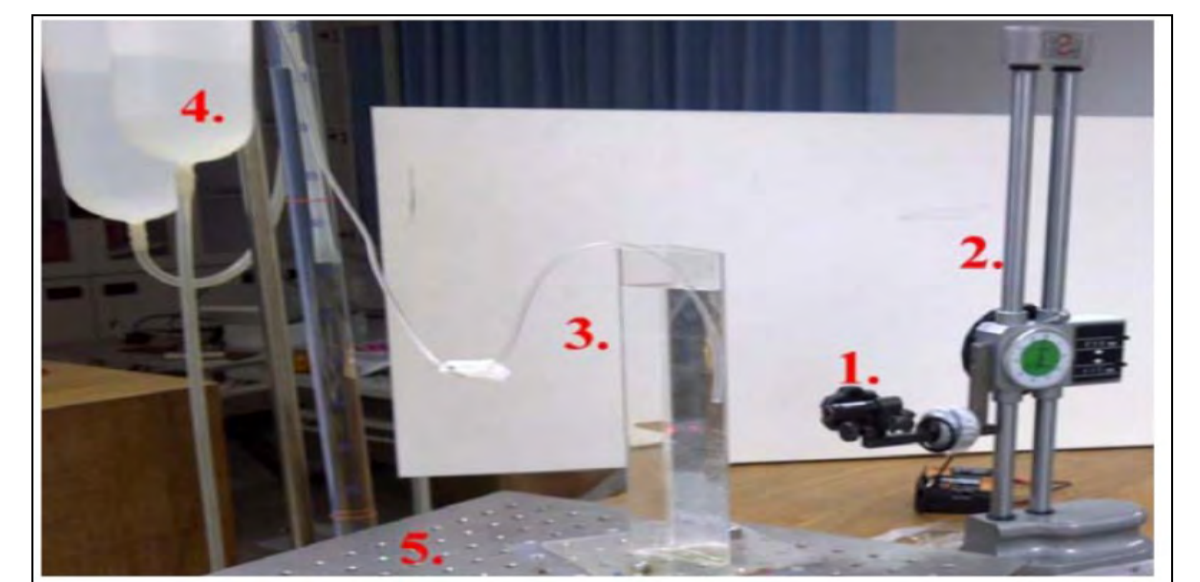
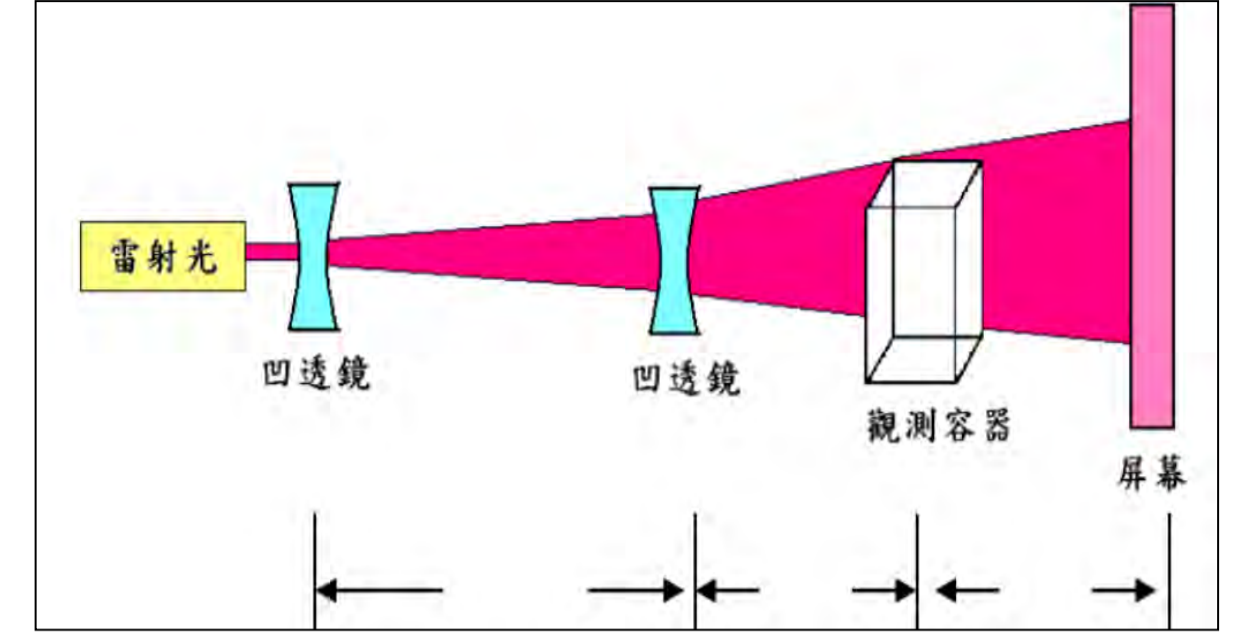
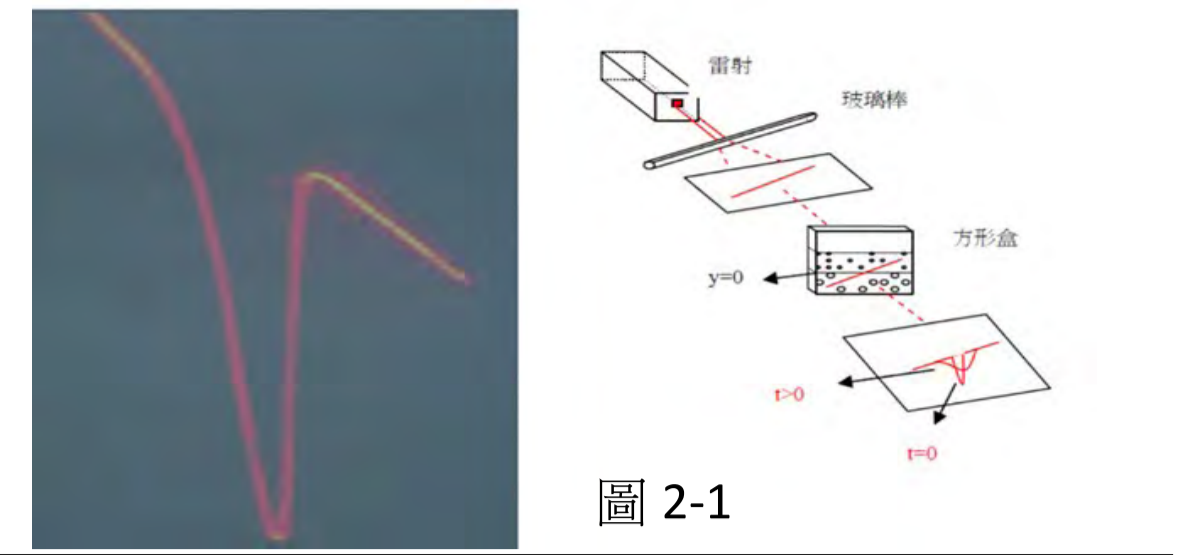
貳、文獻探討與分析

一、擴散界面呈現高斯型鐘型曲線分布

劉惟中、李文堂(中華民國第 49 屆科展)利用圖 2-1 裝置，使用寬度 a 的透明方形盒，下方盛放溶液，上方置水，雷射光照射和鉛直成 45° 的玻璃棒，再照射方形盒時，會在屏上形成鐘形曲線，向下偏 Z 的距離， r 為容器至屏的距離，測量溶液和水的原始交界面處的下偏距離，可以測得擴散係數。但是使用的溶質為硫酸鈉、甘油(丙三醇)，發現不同濃度的狀況下，不是每種濃度都會出現鐘型曲線(呈現高斯型分布)。

二、擴散界面呈現手指頭擴散

洪崇育、鍾志輝(中華民國第 47 屆科展)利用同溫度的葡萄糖、水；蔗糖、水；氯化鈉、水；氫氧化鈉、水進行擴散觀察，發現上方為溶質溶液、下方為純水的狀況下會發現擴散手指，其裝置圖如圖 2-2 所示。其結果發現 1. 鹽手指在沒有溫差時，系統中溫度對下降平均速率關係，為溫度越高下降平均速率越快； 2. 發現鹽手指在有溫差時，系統中溫差對下降平均速率關係，為溫度越高下降平均速率越快； 3. 發現鹽手指的下降平均速率與濃度四次方有關係。



三、擴散界面呈現非高斯型鐘型曲線分布

陳律蔡、林孝正(中華民國第 51 屆科展)的實驗設計如圖 2-3 所示，使用三角形量筒與滴定裝置測定擴散界面的擴散係數，發現數據呈現非高斯型分布。這樣的結果與劉惟中等人的研究有異同之處。

四、文獻探討對於研究的啟示

- (一)根據不同的研究裝置設計，會有不同的擴散界面狀況發生。
- (二)擴散速率會根據溶質的種類與溶液的溫度(上層與下層)不同而有所差異。
- (三)這些研究都使用了高深的數學公式(微分、積分、三角函數等)，實在難以親近與理解。
- (四)若本研究更動了實驗的裝置，會不會有不同的擴散界面出現?
- (五)若溶質我們使用電解質、非電解質的差異來作為操作變因，兩者之間是否具有差異?
- (六)發展我們所能理解的擴散界面觀察方式與擴散速率計算方式。

參、研究目的與問題

一、探討擴散界面的擴散情形

- (一)如何界定擴散區間的範圍?
- (二)如何界定擴散界面?
- (三)如何界定穩定的擴散界面隧道?

二、探討不同種類的溶液交界面之擴散界面

- (一)高濃度果糖與水的擴散情形為何?(非電解質)
- (二)高濃度蔗糖與水的擴散情形為何?(非電解質)
- (三)飽和氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣、硫酸鋅等溶液與水的擴散情形為何?(電解質)

三、探討時間對於擴散界面的影響

- (一)高濃度果糖與水的擴散發生於不同時間情形為何?
- (二)高濃度蔗糖與水的擴散發生於不同時間情形為何?
- (三)飽和氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣、硫酸鋅等溶液與水的擴散發生於不同時間情形為何?

四、探討溫度對於擴散界面的影響

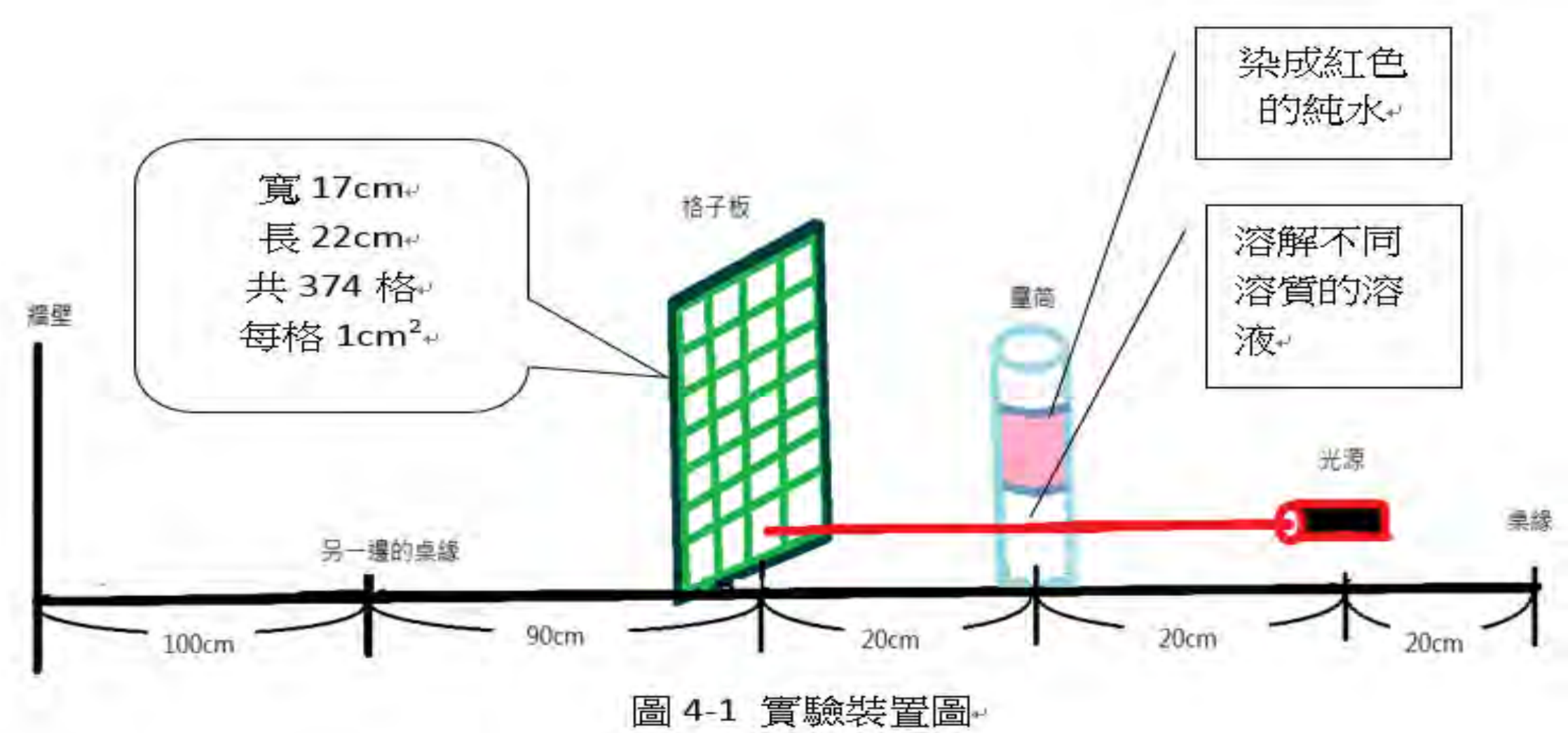
- (一)高濃度果糖與水的擴散發生於不同溫度情形為何?
- (二)高濃度蔗糖與水的擴散發生於不同溫度情形為何?
- (三)飽和氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣、硫酸鋅等溶液與水的擴散發生於不同溫度情形為何?

肆、研究設計與設備

一、研究設備與器材

量筒	雷射筆	格子板
燒杯	玻璃棒	電子加熱攪拌器
電子天平	蔗糖、果糖、氯化鈉、氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣、硫酸鋅	皮尺
紅色染料	純水	相機
溫度計	刮勺	攝影機

二、實驗裝置



三、實驗方法

(一)配置不同濃度的非電解質溶液(果糖、蔗糖)

因為果糖、蔗糖的黏稠度較高，不容易發生擴散，所以我們採取以下方式配置：

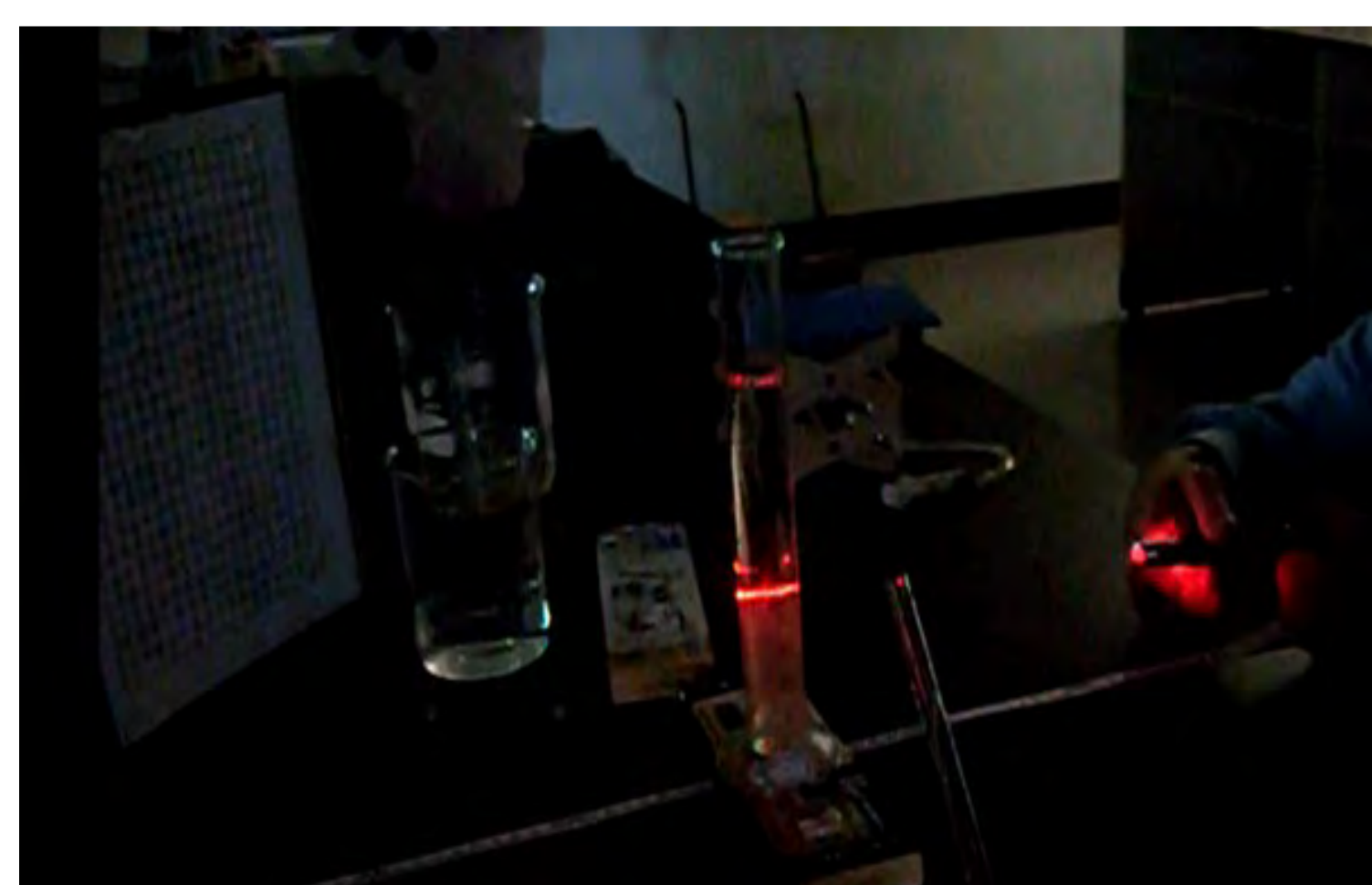
- * 市售果糖→果糖:水=3:1→稀釋→75%濃度的果糖溶液。
- * 35°C 水+蔗糖→完全飽和糖水:水=3:1→75%濃度的蔗糖溶液。

(二)配置飽和電解質水溶液

- 35°C 水+氯化鈉(氯化鉀、氯化鎂、氯化鈣、硫酸鋅)
- 完全飽和溶液
- 飽和電解質溶液

(三)架設實驗裝置觀察

1. 取 100 毫升的圓形量筒。
2. 下層放入溶液至刻度 50 毫升處。
3. 上層放入染成紅色的純水到刻度 100 毫升處。
4. 混和 30 秒之後開始觀察。
5. 由下而上水平移動雷射光，觀察白色屏幕上發生的狀況，拍照、攝影與紀錄。



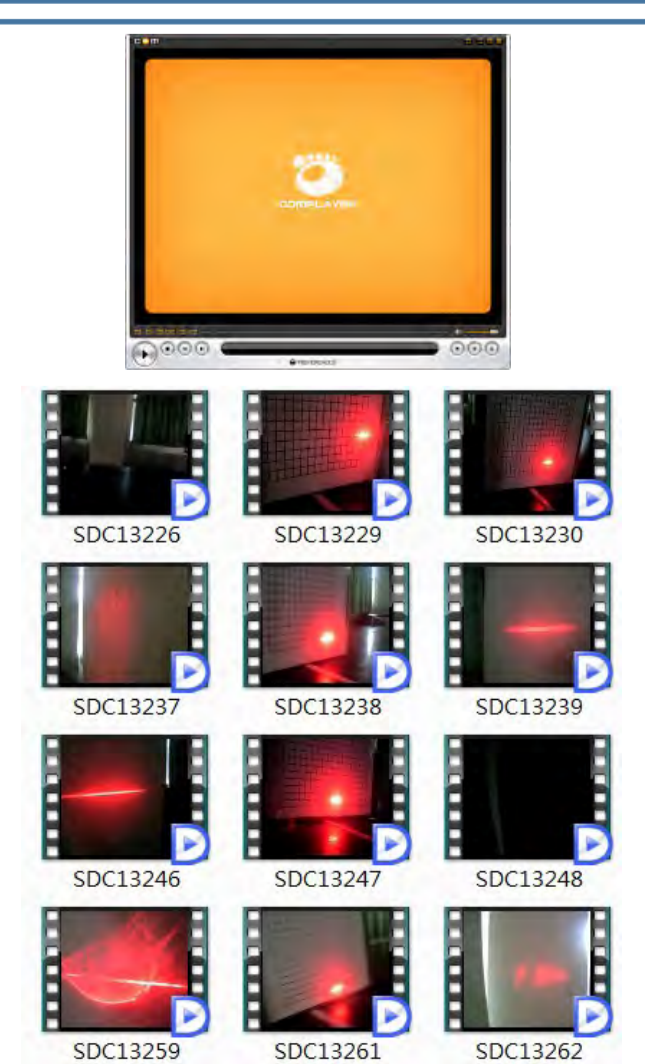
(四)改變溫度的實驗

1. 依序做完 35°C 水+35°C 果糖、35°C 水+35°C 蔗糖、35°C 水+35°C 氯化鈉、35°C 水+35°C 氯化鉀、35°C 水+35°C 氯化鎂、35°C 水+35°C 氯化鈣、35°C 水+35°C 硫酸鋅。
2. 改變溫度為 50°C、65°C、80°C。
3. 共完成四個溫度觀察與測量。

(五)流動速率分析

將影片放入網路免費軟體 GOM，播放速率為原來速率的 1/20，測量上升流、下降流的流動速率(圖 4-5)。

圖 4-5 GOM 軟體應用



伍、研究結果與討論

一、紀錄擴散狀況—以果糖 50°C 擴散作為例子分析

此段分析主要界定我們所觀察到的擴散在屏幕上發生的狀況指標，所以先使用果糖 50°C 和純水 50°C 的混和的時候為例，其擴散狀況如下表 5-1 所示：

表 5-1 果糖 35°C 與純水 35°C 混和之雷射螢幕狀況

	上層水 下層會呈現均勻一條線，且看不到擴散情形
	上層擴散面 會呈現略為混亂的擴散，會微微看到擴散情形
	中間擴散面 混和 30 秒之後會出現閃電狀，呈現面積最大，根據不同的溶解物質，約 3-10 分鐘之後會出現且會看到明顯有秩序
	下層擴散面 會呈現略為混亂的擴散，會微微看到擴散情形
	下層溶液 下層會呈現均勻一條線，且看不到擴散情形發生

圖 5-1 果糖 50°C 時 擴散界面隧道(白色箭頭為水往下流，黃色箭頭為蔗糖往上流)

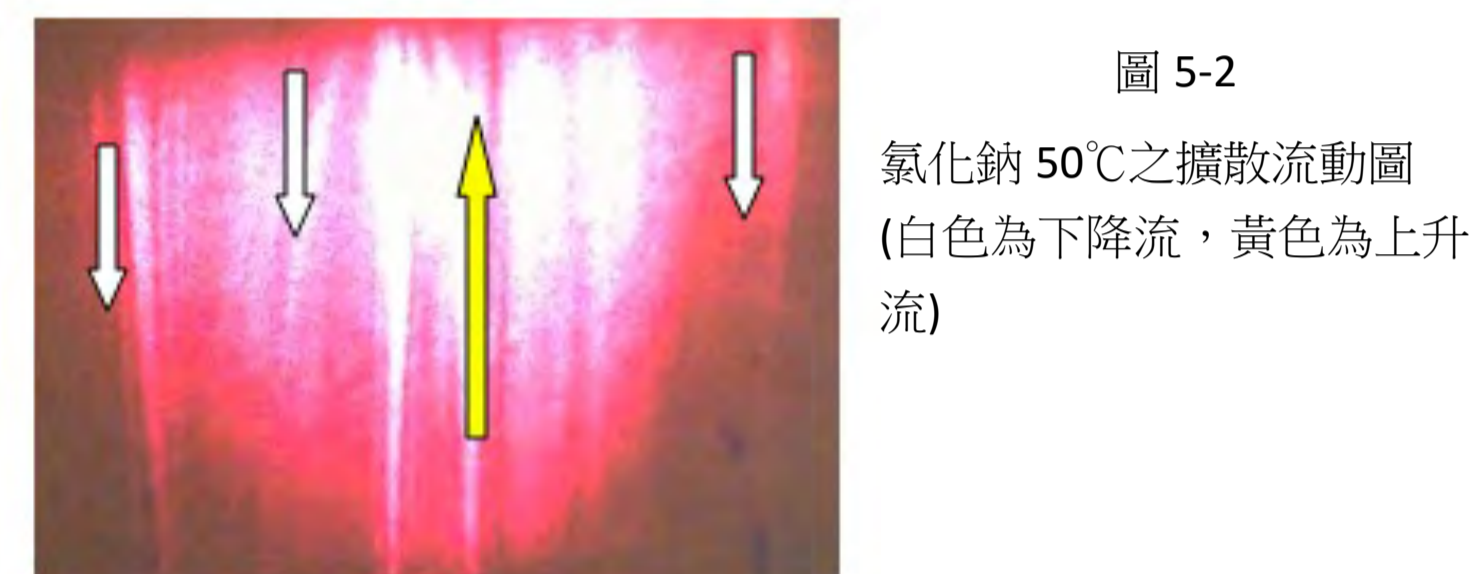
- 由以上的資料中可以歸納出幾點發現：
1. 雷射光通過圓形量筒之後，在均質液體中會在屏幕上呈現一條橫直線。
 2. 在接近交界面的時候會出現文獻中所提到的擴散手指。
 3. 在交界面的時候混和 30 秒時觀察，出現混亂的閃電狀況(以下皆以“閃電雲”稱之)，可是約 3-10 分鐘之後出現有秩序的管狀流動，我們在實驗中稱為“擴散隧道”，以下以“擴散隧道”稱之。

令我們感到疑惑的地方是交界面狀況。在以往我們所學過的擴散狀況應該是隨機、不可預測、無方向性的碰撞。可是我們只有在混和的 30 秒內觀察到這樣的閃電雲狀況，約經過 3-10 分鐘之後我們在屏幕上觀察到有秩序的管狀擴散隧道，且可以明顯觀察到上升流和下降流，這讓我們思考我們所觀察到的擴散是否以之前所學隨機、不可預測、無方向性的微觀觀點不同。左圖 5-1 為我們所看到的上升流、下降流圖示。在圖 5-1 中我們發現上升流為一團物質，由下方往上方移動，推測為果糖；下降流較為清澈，推測為水流。兩者方向相反。

二、紀錄擴散狀況—以氯化鈉 50°C 擴散作為例子分析

表 5-2 氯化鈉 50°C 與純水 50°C 混和之擴散圖像整理

溶液	食鹽 50°C	說明
上層水		● 橫帶狀不明顯，仍發有擴散手指和擴散隧道。
上層擴散面		● 橫帶狀不明顯，仍發有擴散手指和擴散隧道，擴散隧道明顯。 ● 上升流明顯，下降流不明顯。
中間擴散面		● 幾乎沒有觀察到閃電雲。 ● 中央擴散隧道明顯，且沒有明顯的團塊。 ● 仍可觀察到上升流與下降流。
下層擴散面		● 橫帶狀不明顯，仍發有擴散手指和擴散隧道，擴散隧道明顯。 ● 上升流明顯，下降流不明顯。
下層溶液		● 橫帶狀明顯。



本段分析主要是混和 30 秒(50°C 氯化鈉+50°C 純水)之後，在 5 分鐘之內由下層掃描到上層所紀錄到的圖像，如表 5-2 所示。

由以上資料可以歸納出下列幾點：

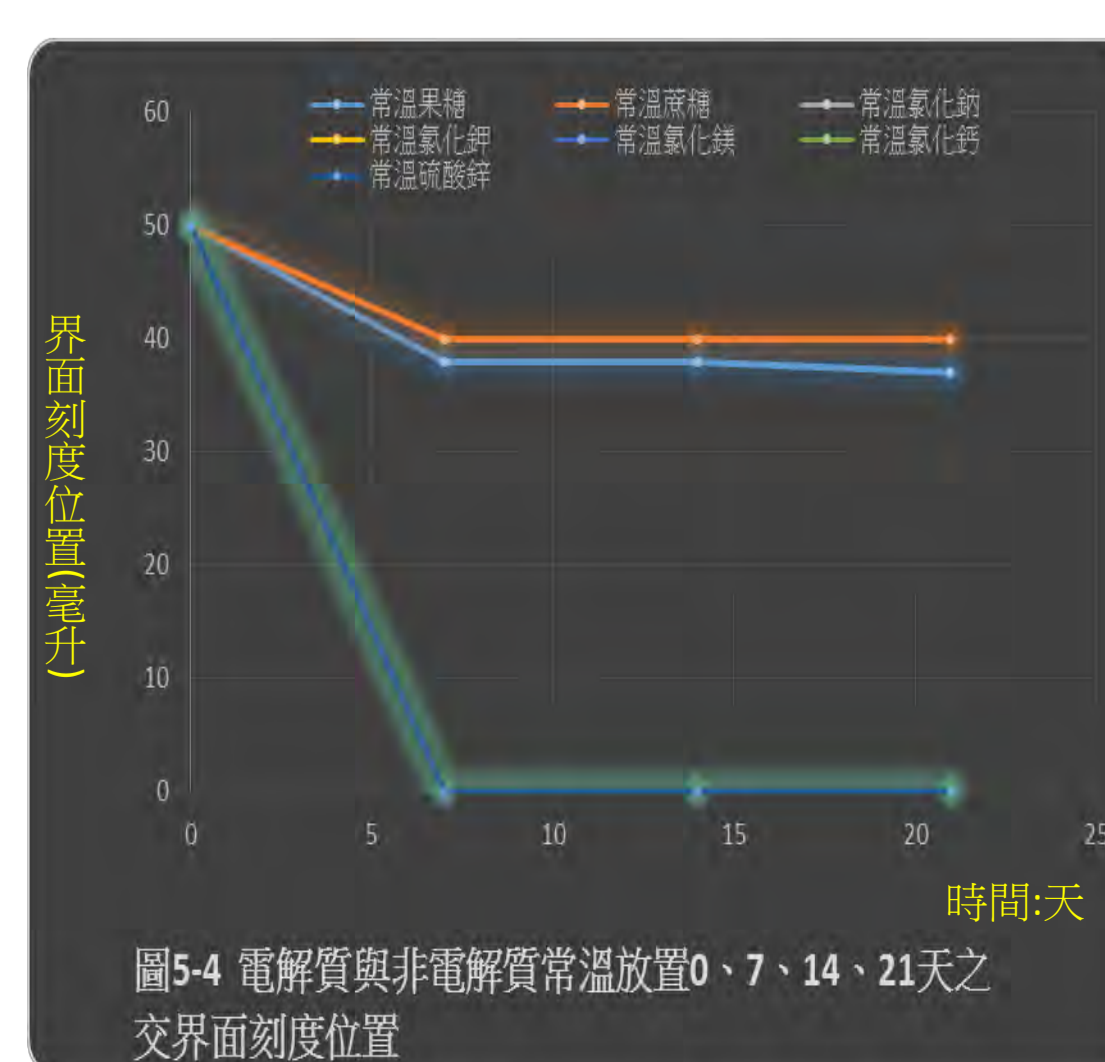
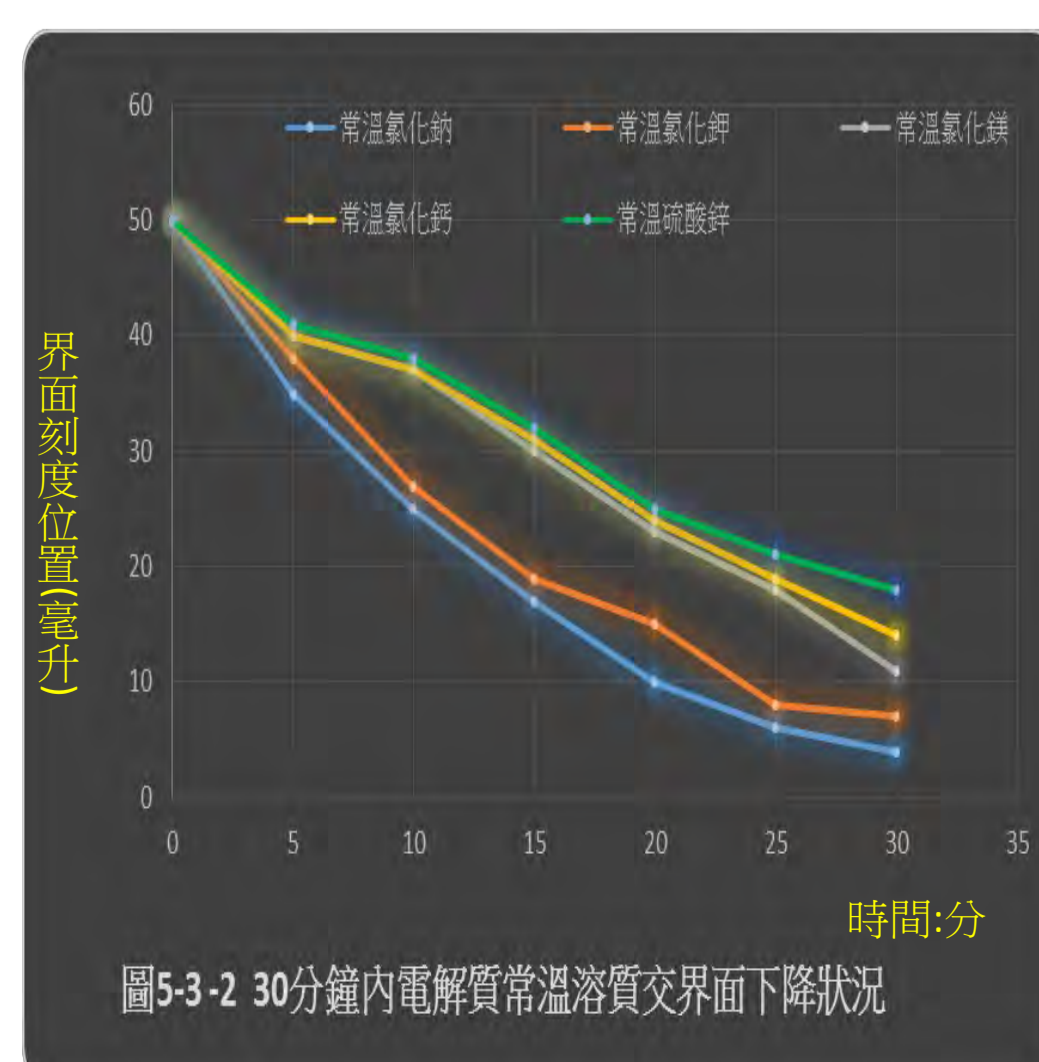
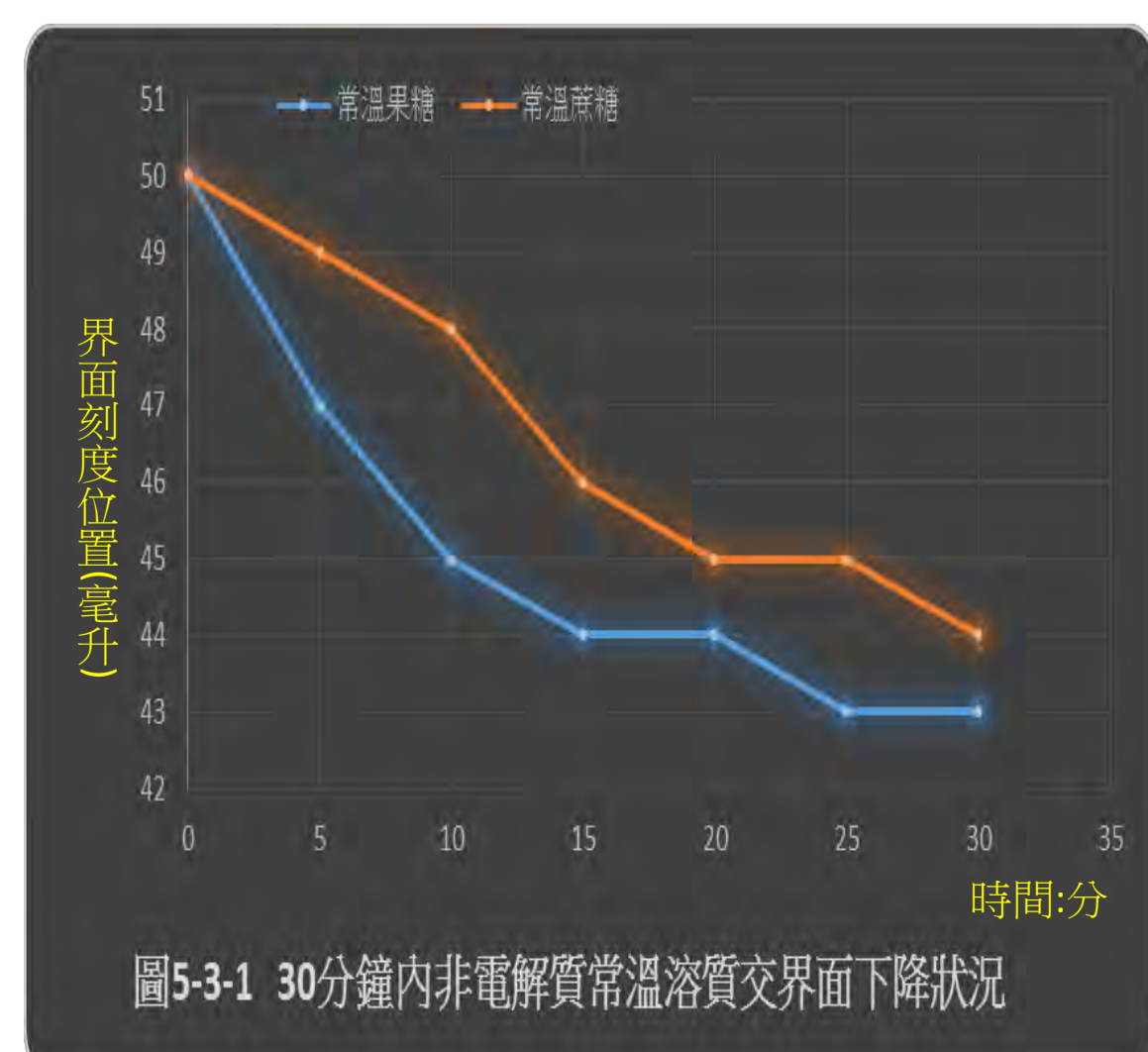
1. 中央交界面的閃電雲幾乎沒有出現，或是出現的時間很短暫。
2. 最下層的飽和食鹽水呈現水平帶狀，顯示未發生擴散。
3. 下層食鹽水、上層食鹽水、最上層水在 5 分鐘之內已經發生擴散，皆可發現擴散手指、擴散隧道、上升流、下降流。有趣的是上升流速率優於下降流。
4. 我們覺得有趣的地方在於兩點。1. 交界面之閃電雲幾乎不發生。2. 上升流速率大於下降流。
5. 食鹽水與水混合相較於果糖與水混和，果糖組出現閃電雲，而食鹽水和水混合則無出現閃電雲，推測可能與電解質與非電解質有關。
6. 在實驗設計中，下方為飽和食鹽水，上方為純水，上升流速率大於下降流速率。若下降流為水流，上升流為氯化鈉，則顯示氯化鈉的移動速率快於水流(如右圖 5-2 所示)。

三、不同溫度不同物質之擴散發生圖像紀錄

表 5-3 氯化鈉與水在不同溫度時混和之擴散情形整理					表 5-4 氯化鉀與水在不同溫度時混和之擴散情形整理					表 5-5 氯化鎂與水在不同溫度時混和之擴散情形整理					表 5-6 氯化鈣與水在不同溫度時混和之擴散情形整理				
溶液	氯化鈉 35°C	氯化鈉 50°C	氯化鈉 65°C	氯化鈉 80°C	溶液	氯化鉀 35°C	氯化鉀 50°C	氯化鉀 65°C	氯化鉀 80°C	溶液	氯化鎂 35°C	氯化鎂 50°C	氯化鎂 65°C	氯化鎂 80°C	溶液	氯化鈣 35°C	氯化鈣 50°C	氯化鈣 65°C	氯化鈣 80°C
上層水					上層水					上層水					上層水				
上層擴散面					上層擴散面					上層擴散面					上層擴散面				
中間擴散面					中間擴散面					中間擴散面					中間擴散面				
下層擴散面					下層擴散面					下層擴散面					下層擴散面				
下層溶液					下層溶液					下層溶液					下層溶液				

表 5-7 硫酸鈣與水在不同溫度時混和之擴散情形整理					表 5-8 果糖與水在不同溫度時混和之擴散情形整理					表 5-9 蔗糖與水在不同溫度時混和之擴散情形整理					表 5-10 總整理表				
溶液	硫酸鈣 35°C	硫酸鈣 50°C	硫酸鈣 65°C	硫酸鈣 80°C	溶液	果糖 35°C	果糖 50°C	果糖 65°C	果糖 80°C	溶液	蔗糖 35°C	蔗糖 50°C	蔗糖 65°C	蔗糖 80°C	溶質與溫度	30 秒時-交界面閃電雲	3-5 分鐘之內-交界面出現擴散隧道	10 分鐘之後交界面之擴散隧道存在與否	
上層水					上層水					上層水					蔗糖 35°C	√	√	√	
上層擴散面					上層擴散面					上層擴散面					蔗糖 50°C	√	√	√	
中間擴散面					中間擴散面					中間擴散面					蔗糖 65°C	√	√	√	
下層擴散面					下層擴散面					下層擴散面					蔗糖 80°C	√	√	√	
下層溶液					下層溶液					下層溶液					氯化鈉 35°C	√	√	√	

四、常溫下之不同物質中央界面移動狀況比較



- 由資料中，我們可以歸納與推論出以下事項：
1. 電解質在常溫狀況下 30 分鐘後，其交界面已經快速下降，尤其是氯化鈉已經下降到 4 毫升刻度。經過雷射光掃描，約在 4-5 毫升刻度的地方出現擴散隧道(擴散隧道仍存在)。
 2. 非電解質(果糖、蔗糖)在常溫狀況下 30 分鐘後，其交界面下降情形不明顯，大約下降 10-13 毫升刻度左右。經過雷射光掃描，約在 37-40 毫升刻度的地方出現擴散隧道(擴散隧道仍存在)。
 3. 若拉長時間尺度，發現七天之後觀察電解質之交界面已經下降至 0 毫升刻度，表示已經完全完成擴散，經過雷射光掃描之後，也幾乎都呈現橫一條線。
 4. 非電解質再經過 21 天之後，交界面幾乎停留在 37-40 刻度，下降僅約 10-13 毫升刻度位置，顯示我們選用的非電解質不易產生全面的擴散。
 5. 電解質在 30 分鐘內，其交界面都會下降，且下降程度為氯化鈉>氯化鉀>氯化鎂>氯化鈣>硫酸鈣。
 6. 發現這樣的狀況，我們認為跟物質的本質、分子量、解離程度有關，會於綜合討論中進行討論。

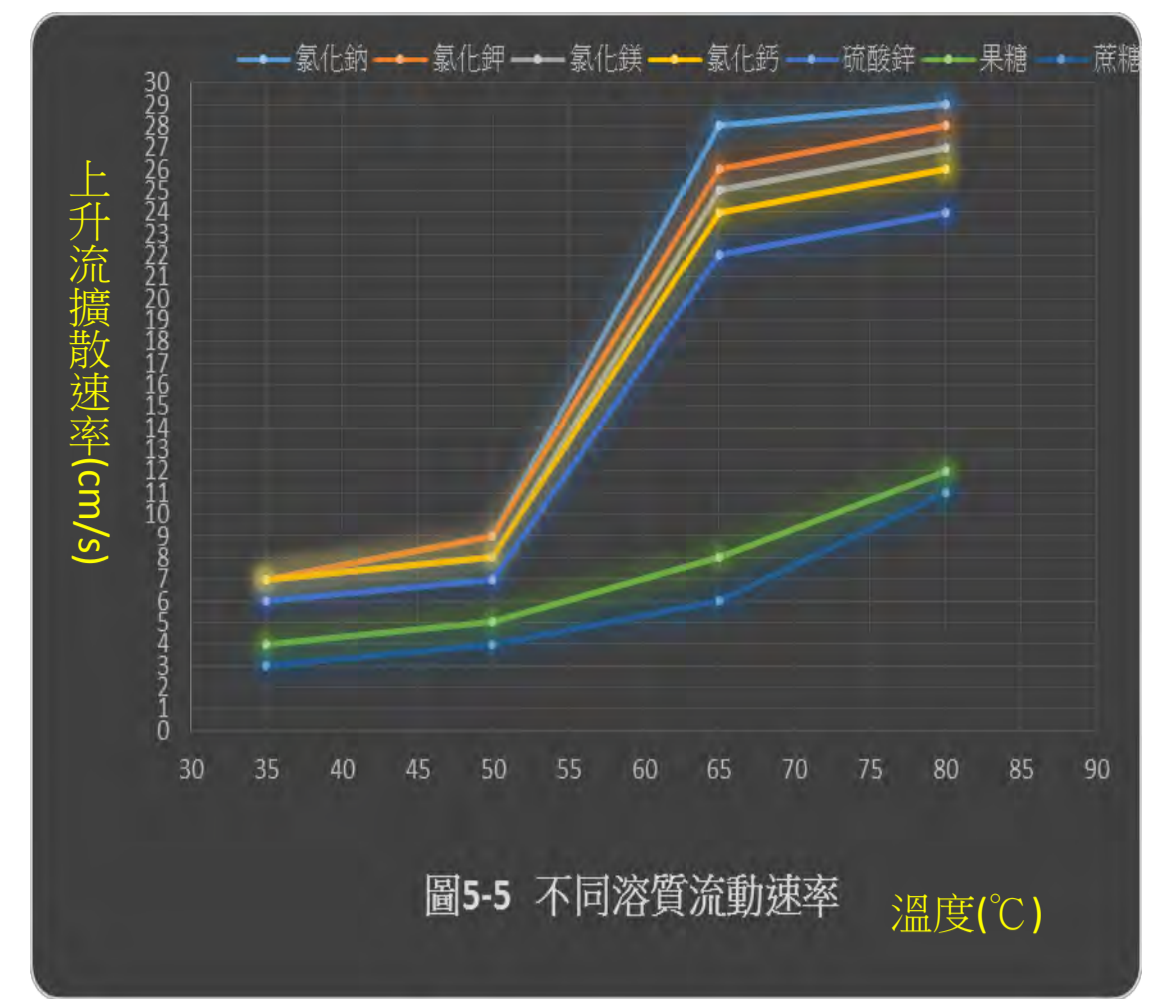
五、不同溫度不同物質之擴散隧道中物質流動速率比較

主要分析氯化鈉、硫酸鋅、果糖、蔗糖之向上方移動的速率，其結果如表 5-12、圖 5-5 所示。

1. **電解質的溫度越高，其溶質的擴散速率可能越快。** 有一個溫度的轉折點在 **50-65°C**，50°C 之後溶質擴散速率迅速增高。
2. **非電解質(果糖、蔗糖)的溫度越高，其溶質的擴散速率可能越快，但是仍比電解質慢許多。** 本實驗所使用的非電解質的速率轉折點可能位於 **80°C** 之後，約略也有可能落在 **65°C**。

表 5-12 不同溫度下溶質的流動速率整理

	35°C	50°C	65°C	80°C
氯化鈉	7 cm/s	9 cm/s	28 cm/s	29 cm/s
氯化鉀	7 cm/s	9 cm/s	26 cm/s	28 cm/s
氯化鈣	7 cm/s	8 cm/s	25 cm/s	27 cm/s
氯化鎂	7 cm/s	8 cm/s	24 cm/s	26 cm/s
硫酸鋅	6 cm/s	7 cm/s	22 cm/s	24 cm/s
果糖	4 cm/s	5 cm/s	8 cm/s	12 cm/s
蔗糖	3 cm/s	4 cm/s	6 cm/s	11 cm/s



陸、綜合討論

一、如何確定本研究的量筒成像方向正確?可能成像的原理如何?

如右圖 6-1-A 所示，我們將紅光雷射和綠光雷射上下綁在一起(紅光在上，綠光向下)，光線打到圓形量筒之後，有以下發現與推論：發現屏幕上的紅光在上，綠光向下一→表示影像上、下不顛倒。將雷射光線往右移動，發現屏幕上的光線往左移動；將雷射光線往左移動，發現屏幕上的光線往右移動一→表示影像左、右顛倒。其可能的成像原則如圖 6-1-B、6-1-C 所示。

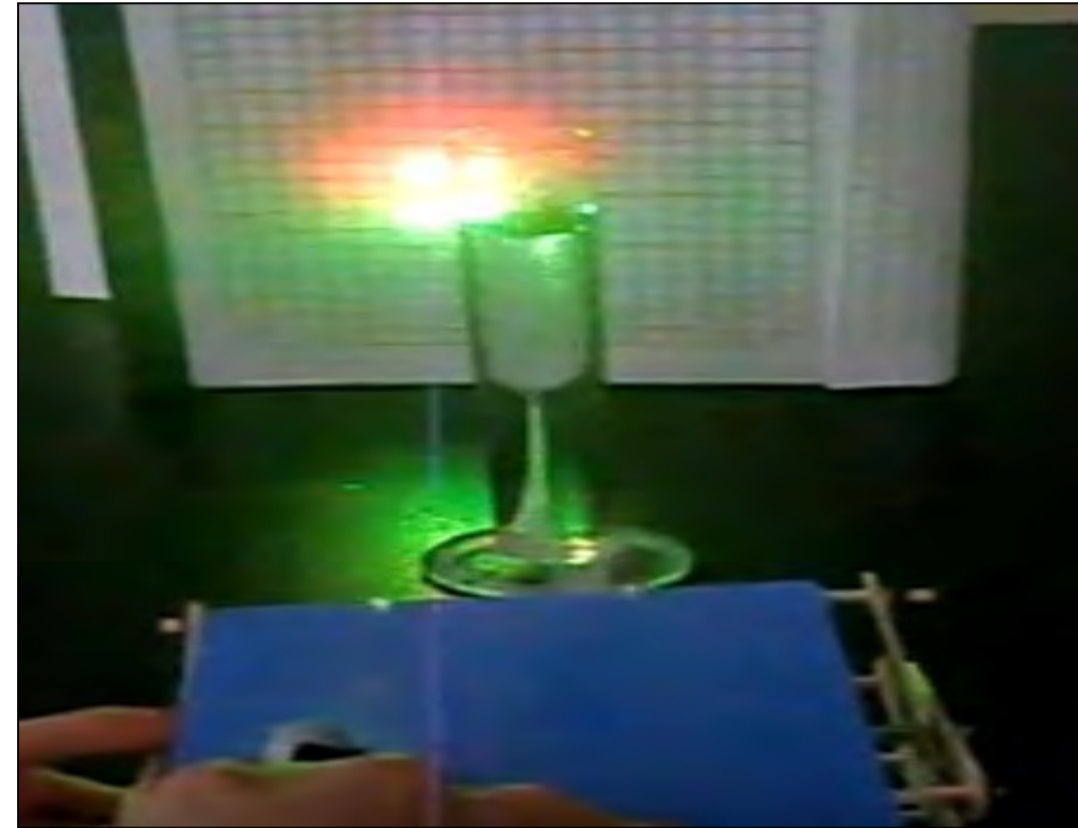


圖 6-1-A 利用雷射光檢視影像成像方向

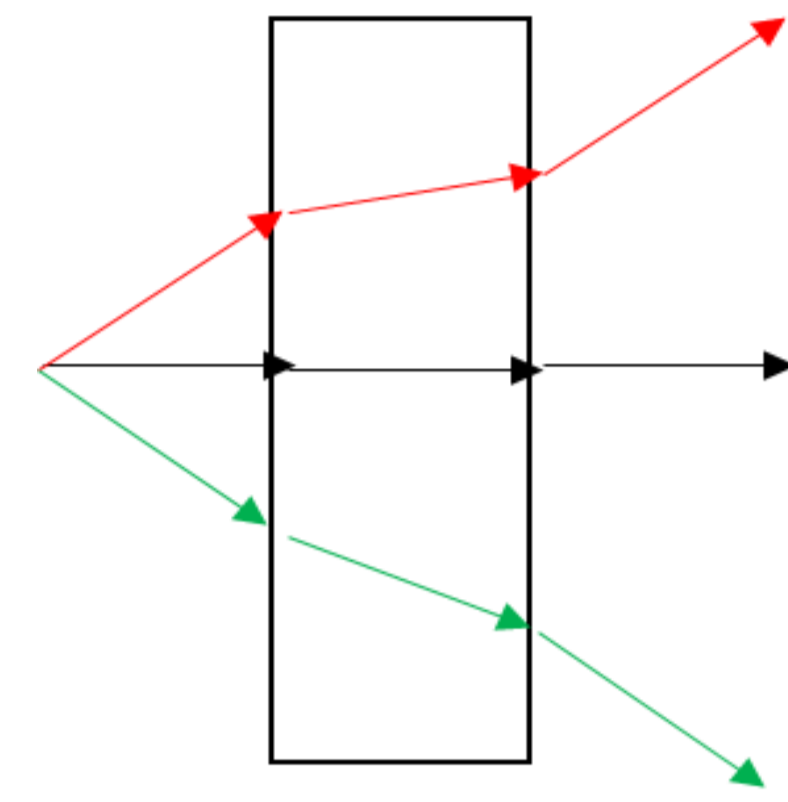


圖 6-1-B 可能成像原則側視圖

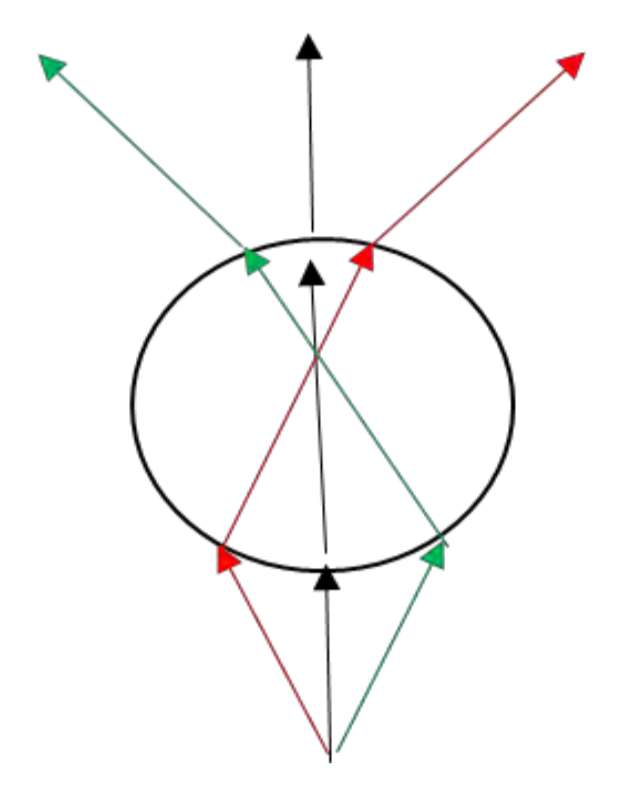
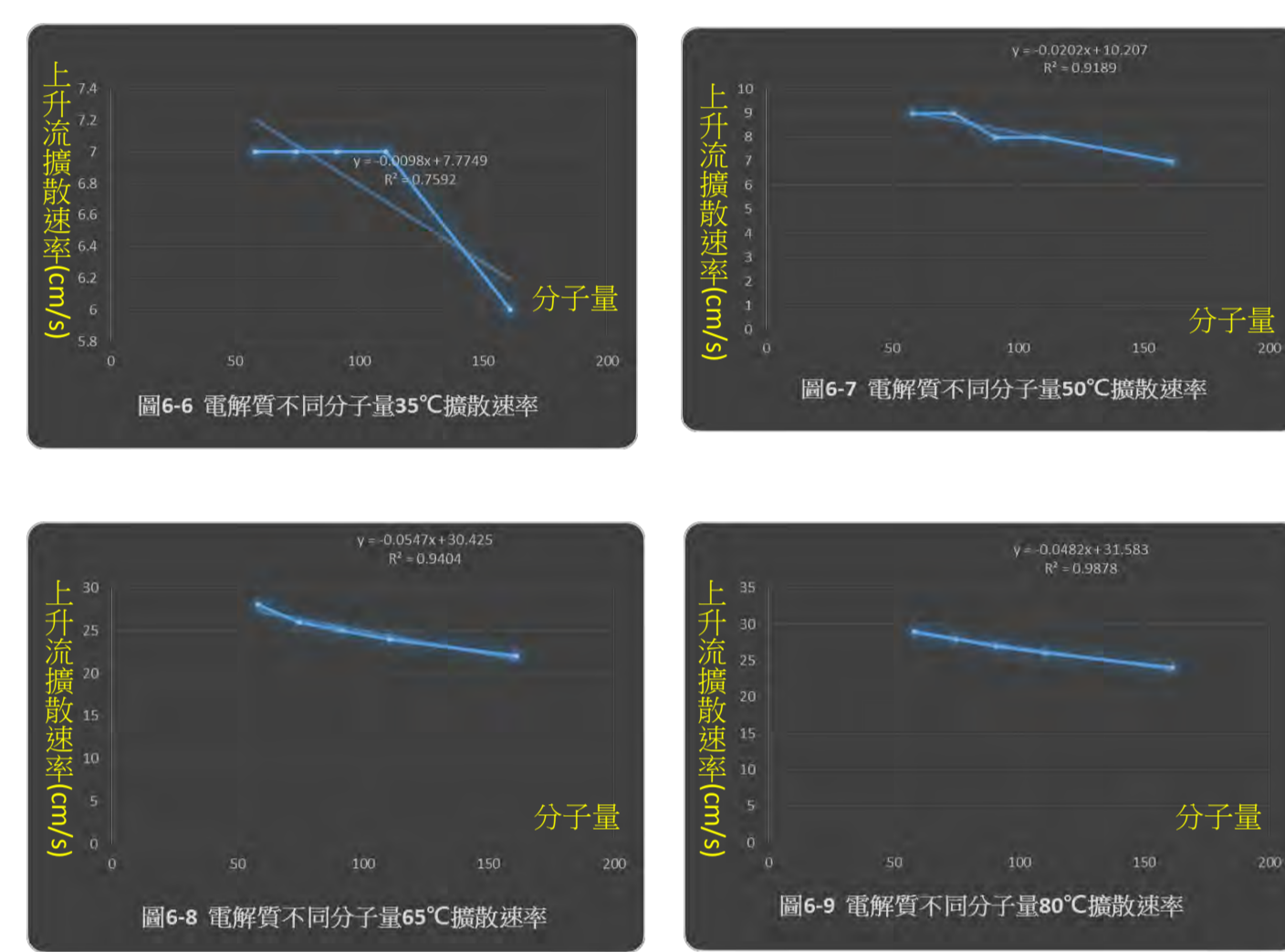


圖 6-1-C 可能成像原則俯視圖

二、蔗糖、果糖和電解質(氯化鈉、硫酸鋅)在擴散界面所產生的擴散隧道，有何差異?

電解質(氯化鈉、硫酸鋅)	非電解質(果糖、蔗糖)
無出現顆粒狀上升流	較常出現顆粒狀上升流
<ol style="list-style-type: none"> 1. 推測果糖、蔗糖容易出現顆粒狀上升流原因為其 C-H 連結較多，容易與 H₂O 之間產生氫鍵，形成水分子包裹著糖分子的構造而向上擴散。 2. 電解質 Na-Cl，不會和水分子之間產氫鍵，所以不會出現團塊現象。 	

三、電解質之分子量是否與擴散速率有關?



1. 在不同溫度中，**分子量越大，其擴散速率越慢。**
2. 若僅看電解質，會發現在同一溫度下，分子量越大，其擴散速率越慢；且**溫度越高的狀況下**，以分子量為 X 軸、擴散速率為 Y 軸斜率越大，表示兩者**擴散速率相差越多。**

四、如何確定擴散發生?

如何確定擴散正在發生，除了本研究使用到的光學測量之外，我們使用電導度來測量 100mL 量筒內飽和氯化鈉、氯化鉀、氯化鈣、氯化鎂等四種鹼系金屬化合物進行通路電流大小測定，如右圖 6-10 所示，固定電源供應器為 10V，接上檢流計(mA)和探針之後，進行測量。首先測量 RO 水，發現電流為 0mA，接著進行常溫(35°C)的 10 分鐘、30 分鐘的 10、20、30、40、50、60、70、80、90mL 位置的電流大小測試，其結果如圖 6-11~6-14 所示。

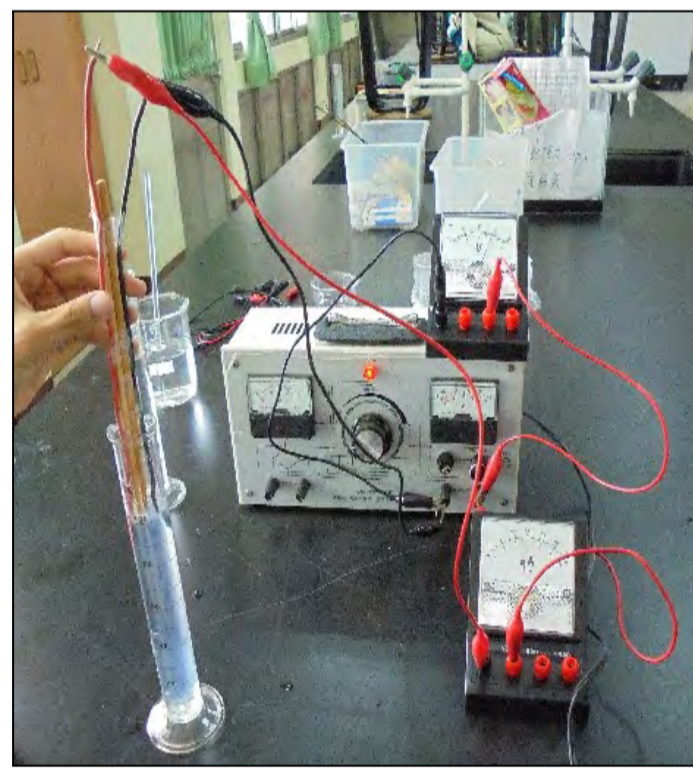
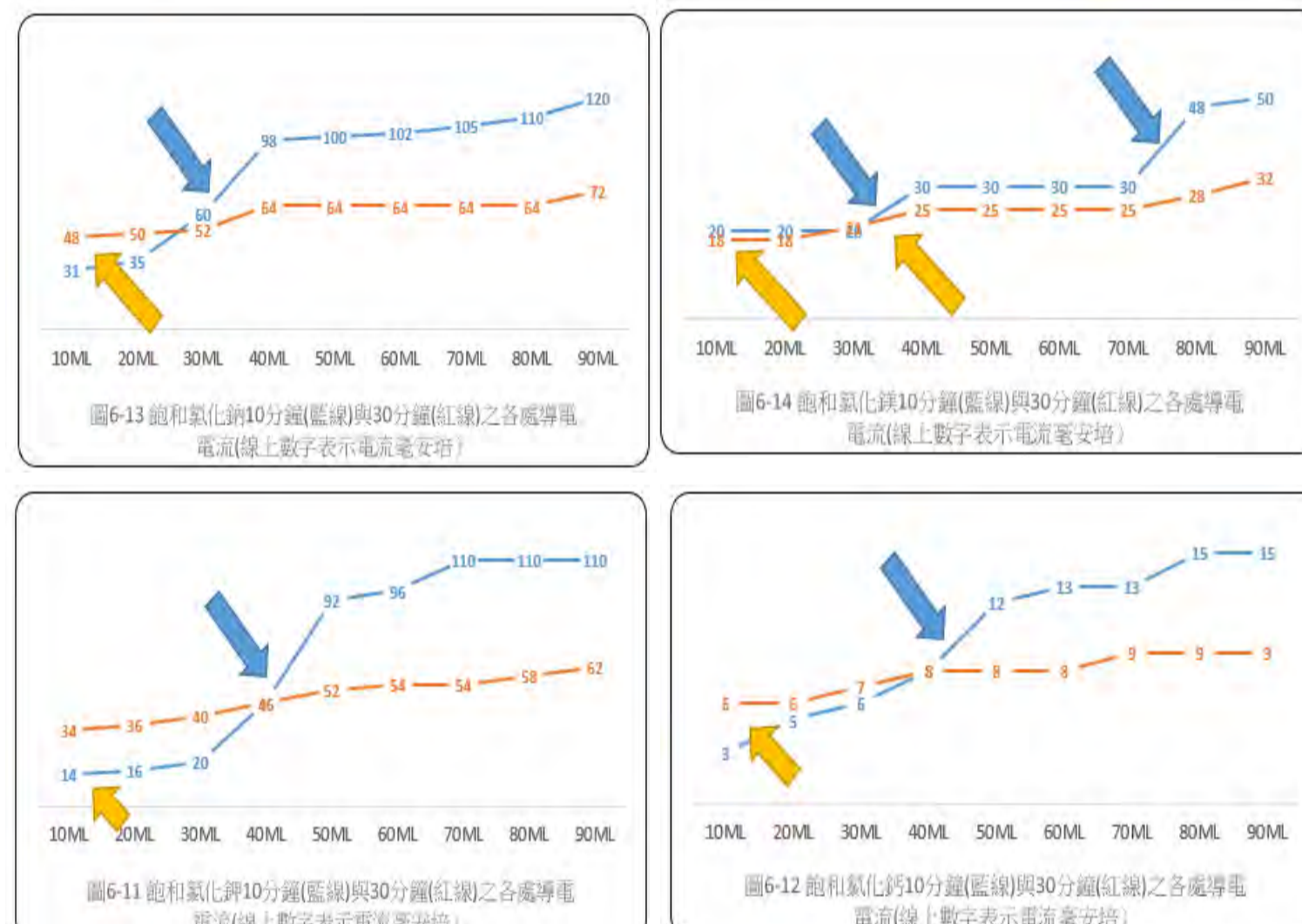


圖 6-10 電流測定

藍色粗箭頭表示 5 分鐘時的擴散隧道出現位置；橘色粗箭頭表示 30 分鐘後的擴散隧道出現的位置。



1. 五分鐘後已發生各個程度的擴散，藍色箭頭處表示出現閃電雲和擴散隧道的位置。其中飽和氯化鎂出現兩個明顯擴散面。
2. **三十分鐘後各層擴散已較為平均**，橘色箭頭處表現出現閃電雲和擴散隧道的位置。其中飽和氯化鎂出現兩個明顯的擴散面。
3. 同時比較四種電解質的藍色和橘色的各位置電流分析，發現 **30 分鐘後各位置的電流接較平均，顯示擴散作用已經進行。**

柒、研究結論

- 一、不同溶液的交界處，在混合的 30 秒內，使用我們的研究觀察裝置，可發現**閃電雲**狀況。
 - (一)**電解質之介面出現閃電雲的狀況較少、範圍較小且較短為短暫。**
 - (二)**非電解質之介面出現閃電雲的狀況較多、範圍較廣且維持較長時間。**
- 二、溶液混和之後，約 3-5 分鐘會從不規則狀的閃電雲狀態轉變成為**有秩序地擴散隧道**。
 - (一)**電解質的擴散隧道比較快出現，快消失，流動速率快。**
 - (二)**非電解質的擴散隧道比較慢出現，持續時間長，流動速率慢。**
- 三、擴散隧道出現後，跟**溫度**有關。
 - (一)**電解質的擴散隧道流動速率快，非電解質之擴散隧道流動速率慢。**
 - (二)**溫度越高，電解質與非電解質之擴散隧道速率皆有提高現象，且速率突然變快的溫度臨界點電解質約位於 50-65°C、非電解質約位於 65-80°C。**

- 四、擴散速率與**分子量**有關。
 - (一)在不同溫度中，不論為電解質或非電解質，其分子量越大，**其擴散速率越慢。**
 - (二)若僅看電解質，會發現在同一溫度下，分子量越大，其擴散速率越慢；且溫度越高的狀況下，以分子量為 X 軸、擴散速率為 Y 軸之斜率越大，表示兩者擴散速率相差越多。
 - (三)若僅看非電解質，會發現在同一溫度下，分子量越大，其擴散速率越慢；且溫度越高的狀況下，以分子量為 X 軸、擴散速率為 Y 軸之斜率越大，表示兩者擴散速率相差越多。
- 五、擴散界面的電流分析顯示電解質在 30 分鐘之後，其**各位置的電流較為平均，顯示擴散正在進行。且出現閃電雲及擴散隧道的位置與光學測定到的位置大致上吻合。**
- 六、本實驗所使用的非電解質(果糖、蔗糖)在形成穩定的擴散隧道之後，相較於電解質更容易形成團狀的上升流，推測可能為糖分子的 C-H 與水分子之間形成**氫鍵**，而形成團狀物。

捌、參考文獻

- 液體中的降雨現象，中華民國第 47 屆中小學科學展覽會，高中組物理科。
- 利用雷射光的偏折測量擴散係數，中華民國第 49 屆中小學科學展覽會，高中組物理科。
- 非高斯型擴散，中華民國第 51 屆中小學科學展覽會，高中組物理科。