

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組物理科

040117

國立新竹高級中學

指導老師姓名

陳嘉立

林芝好

作者姓名

吳鎮宇

# 選擇性擴散現象之研究

## 壹、摘要

本研究主要探討在不同莫耳濃度的溶液中水分子擴散速率。本研究中，我們設計一種簡單的容器裝置，能左右分別注入兩液體並能於其中夾入一半透膜。我們首先利用此裝置探討在水和不同莫耳濃度的葡萄糖溶液中水分子的擴散速率，我們發現葡萄糖溶液的水柱初始上升速率趨近於線性，且上升斜率隨著葡萄糖濃度的增加而增加。但時間一久，隨著大量水分子的擴散，造成兩邊溶液的濃度差趨近於零，上升斜率的幅度變小而趨近平衡狀態。我們也發現如果兩邊都是葡萄糖溶液，且莫耳濃度差為一定值，所產生的水柱上升斜率會與一邊是水，另一邊容器注入此一差值的莫耳濃度葡萄糖溶液的情況相同。另一方面，如果我們使用一種莫耳濃度的硫酸銅溶液和水兩種溶液，在硫酸銅溶液容器邊所產生的液面上升斜率和兩倍於這種莫耳濃度葡萄糖溶液與水所產生的水柱上升斜率是相同的。之後，我們以理論推導出水分子在溶液中初始狀態的擴散速率。

我們在本研究中，有三個重要創舉與貢獻：

- 一、自行設計一種便於拆裝的兩個相接容器之實驗裝置，沒有漏水現象，且具再現性的實驗結果，提高實驗精確度。
- 二、首創以「液面高度造成的壓力及水分子熱運動的碰撞」與「兩邊溶劑水分子數差異造成的擴散運動」的理論，推導出水分子在溶液中初始狀態的擴散速率。
- 三、本研究中真正擴散通過半透膜者為「溶劑水分子」，所以針對溶劑濃度討論更能貼合實際應用。

## 貳、研究動機

在科學中運用到許多擴散的例子：在化學中，利用氣體的擴散來分離同位素；在物理中，擴散被應用於半導體；在動植物體中，利用細胞膜上的許多小孔，其大小對於不同物質的通過具有選擇性，大部分能讓較小的溶劑分子通過，卻不讓體積較大的溶質分子通過，具有這種性質的薄膜稱為半透膜，又名透析膜。如果將純水與葡萄糖水溶液中間以半透膜隔開，體積較小的水分子能夠從半透膜的兩邊穿透移動，但速率不同，由純水穿透到葡萄糖水溶液的速率大於葡萄糖水溶液穿透到純水。另一方面，對兩種不同莫耳體積濃度且體積相同的葡萄糖溶液而言，高葡萄糖濃度溶液中的水分子濃度比低葡萄糖溶液中的水分子濃度來的低。因此若中間以半透膜隔開，則較多水分子的低濃度葡萄糖溶液會往較少水分子的高濃度溶液擴散，一直到達兩邊的水分子濃度達到平衡為止。由於水分子的移動，造成葡萄糖濃度高處的液面上升，產生了額外的壓力，此即為“滲透壓”。

我們在一般教科書學到有關稀薄溶液中，滲透壓 ( $\pi$ ) 與溶質莫耳數 ( $n$ ) 和絕對溫度 ( $T$ ) 成正比，與溶液體積 ( $V$ ) 成反比，此種關係與理想氣體方程式  $PV = nRT$  很相似，可以表示為： $\pi V = nRT$

式中的比例常數  $R$  也等於氣體常數 ( $0.082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$ )，由於  $\frac{n}{V}$  等於體積莫耳濃度 ( $M$ )，上式可改寫為：

$$\pi = MRT$$

此式直接取最後兩邊溶液濃度相等的平衡狀態。然而，在一般應用中，如飲用水的純化，海水淡化，醫院醫療用葡萄糖或生理食鹽水的注射，洗腎等液體的純化過程，純化液體與被純化液體均透過幫浦循環流動，兩邊濃度都不會固定且隨時間而變化，所以前段的初始狀態，應該更能貼合實際應用。然而，當這兩種溶液在透過半透膜開始進行擴散作用時，初始狀態是如何發生的？初始狀態的水分子擴散速率如何以數學式表示？又受到那些因素的影響？目前仍缺乏初始狀態的發生機制之相關資訊。

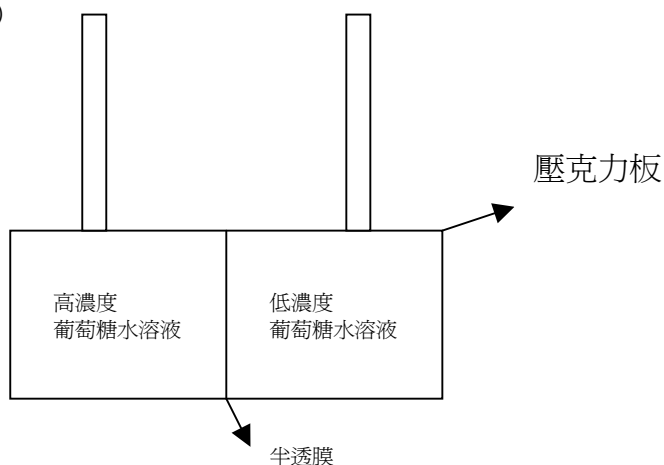
## 參、研究目的

本研究中，我們將設計一種便於拆裝的兩個相接容器，中間隔著一半透膜；在這兩個容器中藉由連接的細管子，分別盛入不同莫耳濃度的葡萄糖或硫酸銅溶液，藉由水分子的擴散作用，觀察細管子中水柱高度的升降，分析不同莫耳濃度的葡萄糖或硫酸銅溶液對水分子擴散速率的影響，了解初始狀態的發生變化，最後利用我們在物理課所學到的「流體的性質」、「氣體動力論」與「熱學」等章節，由微觀的物理機制出發，推導溶液濃度與水分子擴散速率之數學表示式，補足之前一般教科書所列出的穩態表示式。

## 肆、研究設備及器材

一、實驗裝置：自行設計一種簡單的兩個容器裝置，這相鄰的兩個容器之間能夾入一半透膜，在注入水或溶液後，此容器裝置不會有漏水現象。概要圖如圖（一）所示：

圖（一）



圖二



二、實驗器具：電子天平如（圖二）、量瓶、漏斗、燒杯等。

三、實驗耗材：半透膜、葡萄糖粉末、硫酸銅粉末等。

## 伍、研究過程及方法

一、半透膜之選擇：我們選擇超濾 (Ultrafiltration) 等級之半透膜 (Cellulose Ester Dialysis Membrane)，其主要成份為聚醯胺膜，我們在化學或生化實驗常用到它。

## 二、 容器裝置之設計與製作

本研究之實驗裝置設計與製作，花費最多時間，歷時三個月之久，經歷了四次不同設計與製作，才得以克服問題，今將其中之設計構思，遭遇之困難，及解決途徑說明如下：

(一)、因本研究需設計兩個容器貼合，貼合處又需夾入半透膜，不能有漏水現象發生。我們首先採用壓克力板以黏著劑黏接兩個長方體容器，單一容器外觀之長為 10 cm，寬為 8 cm，高為 8 cm，而壓克力板厚度為 1 cm。在這兩個長方體容器之貼合面，我們在直徑為 4 cm 的區域，挖出直徑為 4 mm 的 45 個規則排列小孔，外圍繞以直徑為 6 cm 的 O-ring 橡皮環，另一容器之貼合面在同一位置也挖同樣大小的小孔，並裝上 O-ring 橡皮環。如(圖三)所示。當實驗進行時，我們在一容器的 O-ring 上覆蓋可涵蓋小孔區域之半透膜，再將另一容器貼合面嵌住此容器，使兩邊的 O-ring 橡皮環相貼，小孔對齊，再於容器貼合面的外圍鎖住螺絲。

此外，我們在這兩個容器的正上方表面，每個容器各挖兩個有螺紋的小孔，一小孔是插入長 51 cm，外徑 1.6 cm，內徑 1.0 cm 的注水用之細壓克力管子，下方接有螺絲，鎖入容器上方的小孔；另一小孔是在注入水或溶液時，作為排氣用的，在注入水或溶液後，可用螺絲鎖住。(圖四)為此裝置完成圖。當我們開始注水，發現幾乎所有壓克力板黏接處都非常嚴重地漏水。(圖四)之紅箭頭處即為漏水處。

(二)、我們深思如何解決漏水的問題，我們想到直接用一體成型的中空壓克力圓柱體。因此，我們首先設計要夾住半透膜的壓克力板必須使用較厚的尺寸，先在此壓克力板挖出深 0.5 cm 的圓柱容器外徑，再嵌入直徑為 6.6 cm，內徑 5.0 cm，長度為 10 cm 的圓柱體容器，再用壓克力膠黏著。此外，在這兩個圓柱體容器正上方表面，仍需各挖兩個有螺紋的小孔，插上如上述的細壓克力管子於螺紋小孔上。另一小孔用螺絲鎖住。完成之裝置如(圖五)所示。當我們開始注水時，又發現在兩圓柱體容器與中央壓克力板嵌合處仍一直漏水，細壓克力管子的螺絲與壓克力板接合處，排氣用的螺絲與壓克力板接合處也在漏水，(圖五)之紅箭頭處即為漏水之處。不過，至少我們已確定兩容器間用 O-ring 橡皮環夾住半透膜，再於外圍鎖上螺絲，這部份是不會漏水的。

(三)、我們用壓克力板材料連試了兩次裝置都失敗，我們繼續尋求其他材料與方法。我們記得有一次去參觀清華大學電機系一位教授的實驗室，他們做一個中空圓柱鐵接頭，內徑中挖出一個細溝，可放入 O-ring 橡皮環，再用燒好之一體成型的石英管嵌入此中空圓柱鐵接頭內。他們利用此裝置來抽真空，甚至真空度可達  $10^{-4}$  托〔torr〕。我們利用此原則設計符合實驗所需的裝置，我們將設計好的玻璃容器圖，委託玻璃行〔工廠〕幫忙加工，完成後的玻璃容器，長 25 cm，外徑 6.0 cm，內徑為 5.0 cm；而細玻璃管子長度為 60 cm，外徑 1.0 cm，內徑為 0.8 cm。這些玻璃器具完全一體成型，沒有任何螺絲。將這些玻璃容器嵌入圓柱鐵接頭內，圓柱鐵接頭的另外一端為挖空的直徑 3.5 cm 大小〔不再挖多個小孔〕，可置入 O-ring 橡皮環及覆蓋半透膜，如(圖六)所示。兩個鐵接頭貼合處鎖以螺絲，完成之裝置如(圖七)所示。當我們注水時，剛開始很順利，沒有漏水，但當水量逐漸增多，從鐵接頭與玻璃容器之接合處又開始漏水了，(圖七)之紅箭頭處即為漏水之處。

這使我們相當氣餒，為什麼這種裝置可以抽真空，注水進去就不行？

(四)、針對上述問題，我們想了很久，突然想到是不是玻璃容器太長了，注水進去，水量增加，使玻璃容器懸空的部份〔沒有嵌入鐵接頭的部份〕重量過重，使得在鐵接頭內的玻璃容器產生傾斜，致使鐵接頭內的 O-ring 橡皮環不能有效緊密含住玻璃容器，以致漏水？針對我們的猜測，我們立即縮小玻璃的容器至長度為 9 cm，而嵌入鐵接頭部份有 6 cm，亦即只有 3 cm 長的玻璃容器露出在鐵接頭外。又為了使細玻璃管在注水中排氣的順利，我們將注水的細玻璃管由正上方深插入玻璃容器中，而另一支排氣用的細玻璃管則接在玻璃容器斜上方。此外，注水的細玻璃管注入開口，我們用比較粗的玻璃管〔外徑 1.5 cm，內徑 1.3 cm，長度 5 cm〕，銜接細玻璃管，以便可以放置注水的漏斗。完成之裝置如（圖九）所示。

當我們慢慢注水，隨著注水量逐漸增加，一直到盛滿玻璃容器，上升到細玻璃管中，都沒有漏水現象發生，我們終於成功了，那時心中的喜悅，難以形容。因此，我們終於可以進行我們的實驗了。

我們事後檢討為什麼之前的裝置都會漏水？原因是盛水的容器做得太大了，以致注水量增加，使盛水的容器重量增加之故，壓克力板黏著劑無法支撐其重量，造成傾斜而漏水。

因為製作出來的實驗裝置，沒有漏水現象，我們深信在後續的實驗進行中，所量取的水柱高度變化數據，絕對是正確值，也增加了本實驗數據精確度。

圖三



圖四



圖五



圖六



圖七



圖八

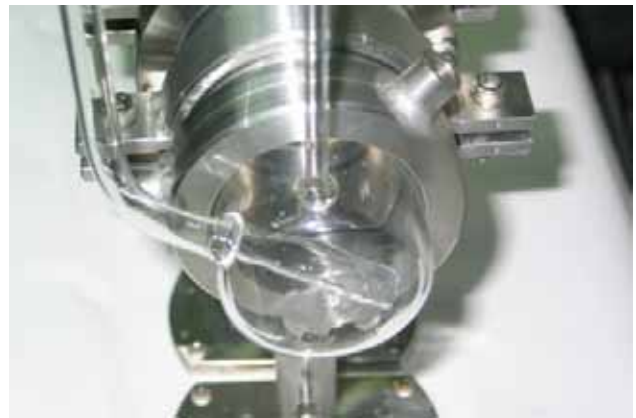


此為圖七玻璃管放大圖，左方細的管子用來排除殘餘的氣體；液面高的變化量可從右方的粗管子觀察。

圖九



圖十



此為圖九之玻璃管放大圖，圖中右方細的管子用來排除殘餘的氣體；液面高的變化量可從左方的粗管子觀察。

圖十一



此為圖七和圖九外接排除空氣和觀察液面變化的較粗和較細兩管的上方放大圖，左方的管子較粗，在它上方做成漏斗狀是爲了方便注入溶液。

### 三、 實驗過程

#### (一)、溶液之配置

1. 用電子天平秤取所需葡萄糖或硫酸銅粉末之溶質重量，
2. 以量瓶配置所需莫耳濃度的溶液 1 公升。
3. 配置濃度爲 0.2 M、0.25 M、0.3 M、0.4 M、0.5 M、0.6 M
4. 分別實驗濃度差爲
  - (1) 0.2 M，如(純水與 0.2 M 葡萄糖濃度)，(0.3 M 與 0.5 M 葡萄糖濃度)，
  - (2) 0.25 M，如(純水與 0.25 M 葡萄糖莫耳濃度)，
  - (3) 0.3 M，如(純水與 0.3 M 葡萄糖濃度)，(0.2 M 與 0.5 M 葡萄糖濃度)，
  - (4) 0.4 M，如(純水與 0.4 M 葡萄糖濃度)，(0.2 M 與 0.6 M 葡萄糖濃度)，
  - (5) 0.5 M，如(純水與 0.5 M 葡萄糖濃度)，
  - (6) 0.6 M，如(純水與 0.6 M 葡萄糖濃度)，
  - (7) 0.1 M，如(純水與 0.1 M 硫酸銅濃度)，
  - (8) 0.2 M，如(純水與 0.2 M 硫酸銅濃度)。

#### (二)、實驗裝置之組裝

1. 將半透膜安裝於兩容器中間之接頭中，如(圖十二)所示。
2. 裝上並鎖緊容器接頭及注水之玻璃管，如(圖十三)所示。

#### (三)、溶液注入

1. 兩邊同時緩慢注入溶液至等高；若管中有殘留氣泡，以鐵絲插入排氣用的細管子中擾動，驅出管中的氣泡。確定容器及細管子中都沒有氣泡存在，則於細管中水位處貼標籤標示起始高度。
2. 每隔 1 小時於細管中水位處貼上標籤，將標籤上緣對準液面且註明時間。

#### (四)、實驗裝置之拆除

1. 玻璃管之拆除或不銹鋼接頭之拆除，如（圖十四）所示，
2. 用清水沖洗玻璃管 30 秒，確保容器內無殘留溶質，
3. 取下半透膜及橡皮圈，橡皮圈泡在清水清洗後擦乾，
4. 用烘箱烘乾玻璃管和不銹鋼接頭。

#### (五)、實驗數據之記錄

1. 觀察一邊是純水，另一邊使用不同莫耳濃度的葡萄糖溶液，其水柱高度與時間之變化。
2. 觀察兩邊都是葡萄糖溶液但不同莫耳濃度的葡萄糖溶液，其水柱高度與時間之變化。
3. 觀察一邊是純水，另一邊使用不同莫耳濃度的硫酸銅溶液，其水柱高度與時間之變化。

圖十二



圖十三



圖十四



## 陸、研究結果

### 一、數據

(一) 溶質為葡萄糖，記錄時間單位為小時 (hr)，細管中水位高度單位為公分 (cm)，條件為室溫狀態，之後只標示單一濃度的就是代表另一個容器的溶液為純水。結果示於表一。

表一：



時間 \ 濃度	0.2 M	0.25 M	0.3 M	0.4 M	0.5 M	0.6 M	0.2-0.5 M	0.3-0.5 M	0.2-0.6 M
1		0.1	0.15	0.4	0.55	0.2	0.2		0.15
2	0.15		0.4	0.8	1.05		0.55	0.75	0.45
3		0.5	0.7	1.5	1.7	0.95		1.15	1.05
4	0.4		1.2	1.95	2.9	1.45	0.95		1.7
5		1.2				2.25			2.25
5.67				2.8					
6	0.85					3.05			2.75
7		1.8				3.7			3.3
8	1.35					4.6		3.1	3.85
9		2.45				5.4	2.6		
9.67				4.8					
10		2.75			6.45	6.3	2.95	3.9	
11		3				7.1	3.3		
11.67				6.05					
12		3.45			7.85			4.7	
13		3.75	4.7				4		
13.5				7.9					
14					9.1			5.5	6.95
15		4.3	5.45		9.6		4.75	6	7.5
16	3.3		5.85						8
16.5					10.6				
17	3.45					11.7			8.5
18	3.85		6.6			12.5	5.75		8.95
18.67				9.45					
19	4	5.4	7		12.2		6.15	7.35	9.55
19.83				10.2					
20	4.25		7.3		12.75				10.05
21			7.7			14.7	6.65	8.05	
22	4.7		8	11.5	13.95				10.9
23	4.85	6.5	8.4		14.45	15.85	7.35	8.7	11.4
24		6.7	8.8		14.95	16.5		9.1	
24.08				12.45					
25		7			15.4	17.2	7.9	9.4	12.25
26	5.6	7.3	9.4	13.0	15.9	17.8	8.2	9.7	12.65
27		7.5	9.7		16.55	18.55	8.5	10.1	13.05
28	5.9		10.15	13.9	17.05		8.8		13.45
29			10.45						13.8
29.5	6.35	8.3							
30			10.75			20.3			
31		8.6							
32									
32.5				15.75					
33		9.2					10	11.55	
34		9.4			19.7			11.8	
34.67				16.6					

38			12.95		21.55			13	
39			13.2						
39.5				18.2					
40	8.1		13.45		22.7		11.9		
41			13.7					13.4	
42							12.4	13.7	
43			14.2						
44			14.4				12.85	14.15	
45							13.1		
46									
47	9.20						13.50		
48	9.40								
49							13.90		
50									
51	9.60								

(二) 溶質為硫酸銅( $\text{CuSO}_4$ )，條件為室溫狀態，水柱高度對時間的變化結果示於表二。  
表二：

時間 \ 濃度	水-0.1 M	水-0.2 M
4		0.35
9		1.20
10		1.65
11	0.50	
13	1.00	
14	1.25	
15	1.50	4.10
16		4.60
18		5.60
19	2.45	
20	2.70	
21	2.85	6.95
23	3.40	
25	3.80	8.60
27	4.10	9.40
28		9.75
29	4.55	
33		11.60
35		12.25
36	5.90	
40	6.80	
41		14.45
44	7.50	15.15
45		15.50
46	7.85	
47	8.05	
48	8.15	16.30

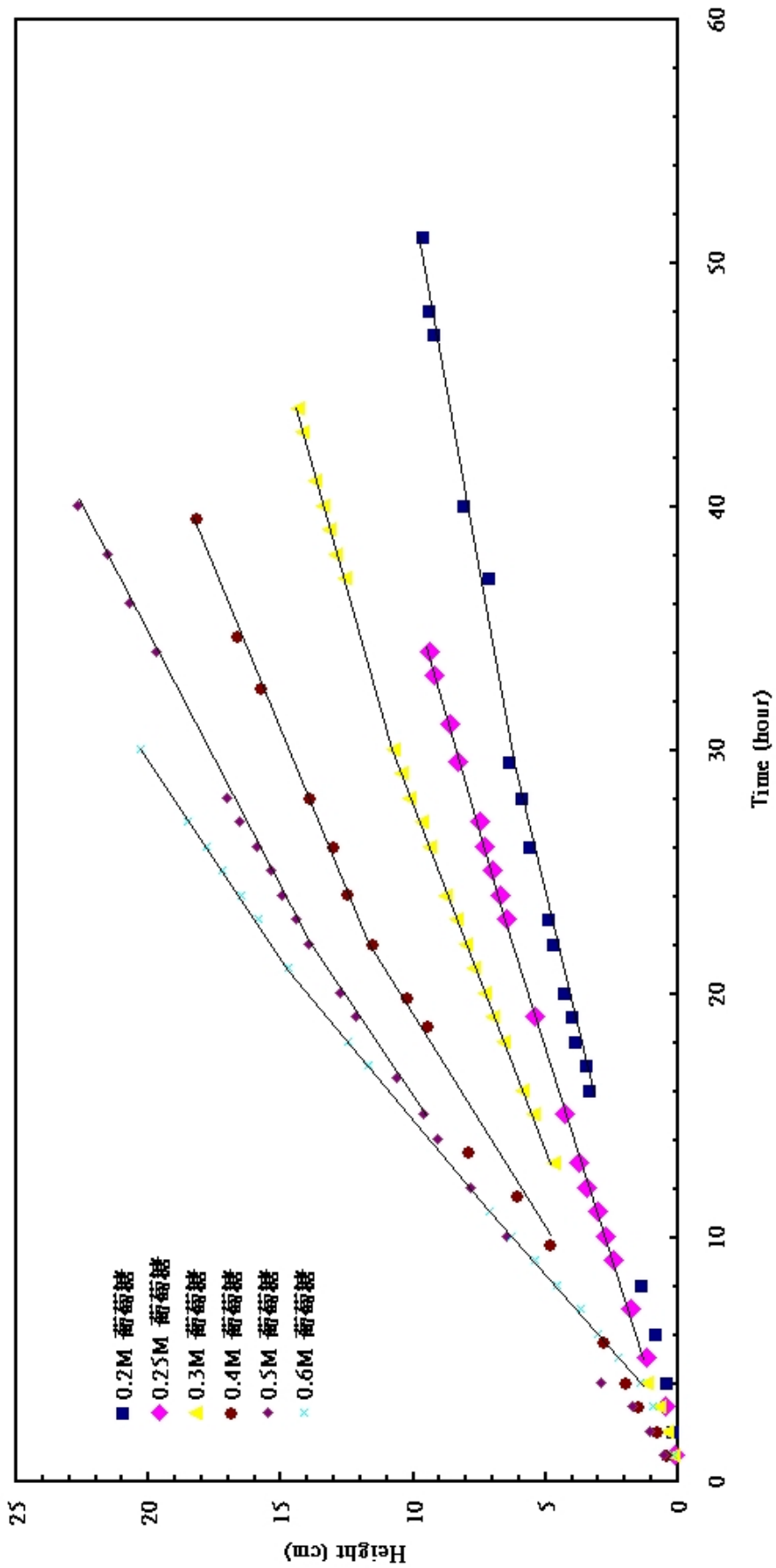
圖十五



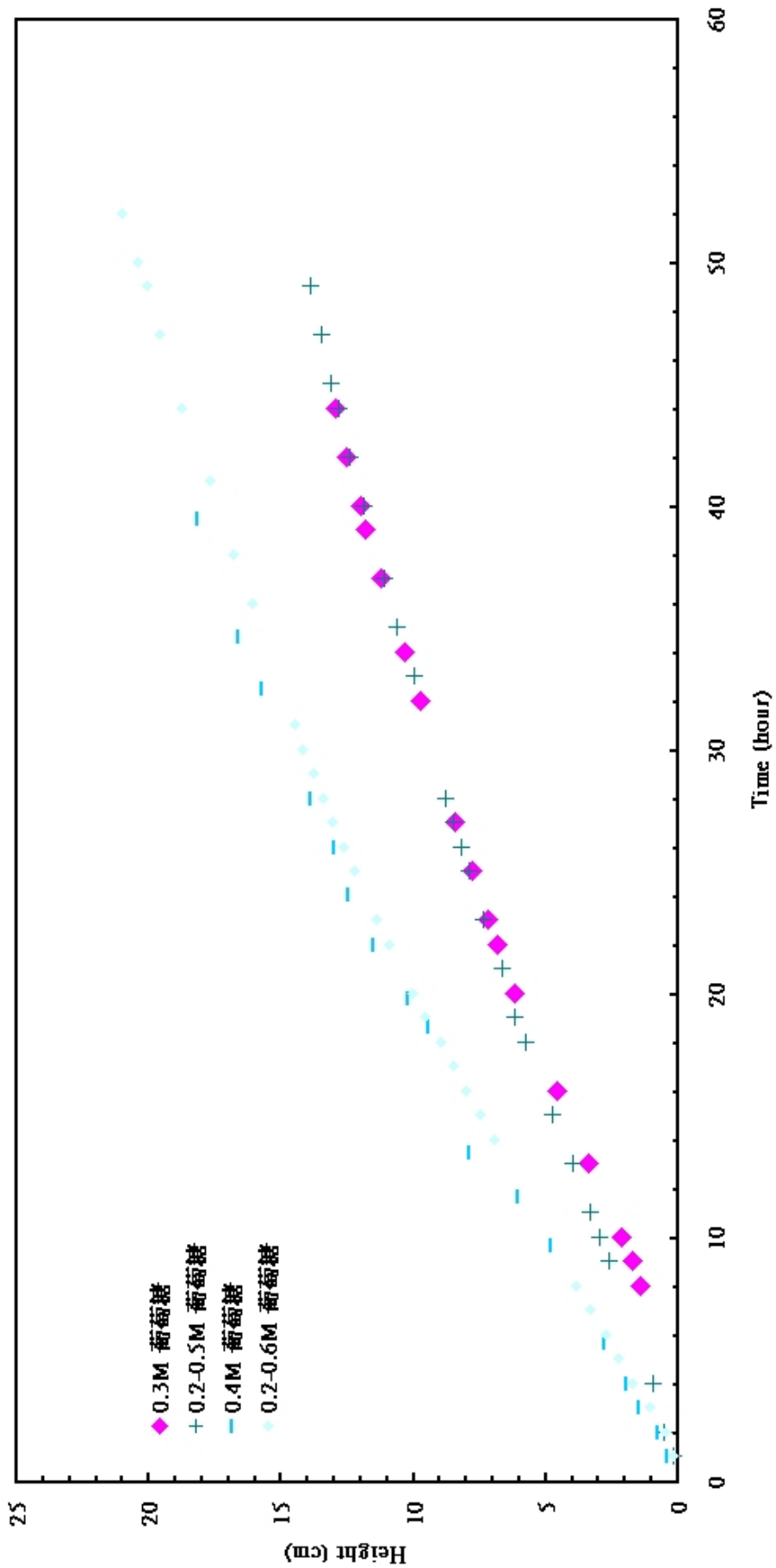
註：此圖為上表的實驗過程圖。由照片可以很明顯看出右方的玻璃管盛裝硫酸銅溶液。

## 二、 圖表

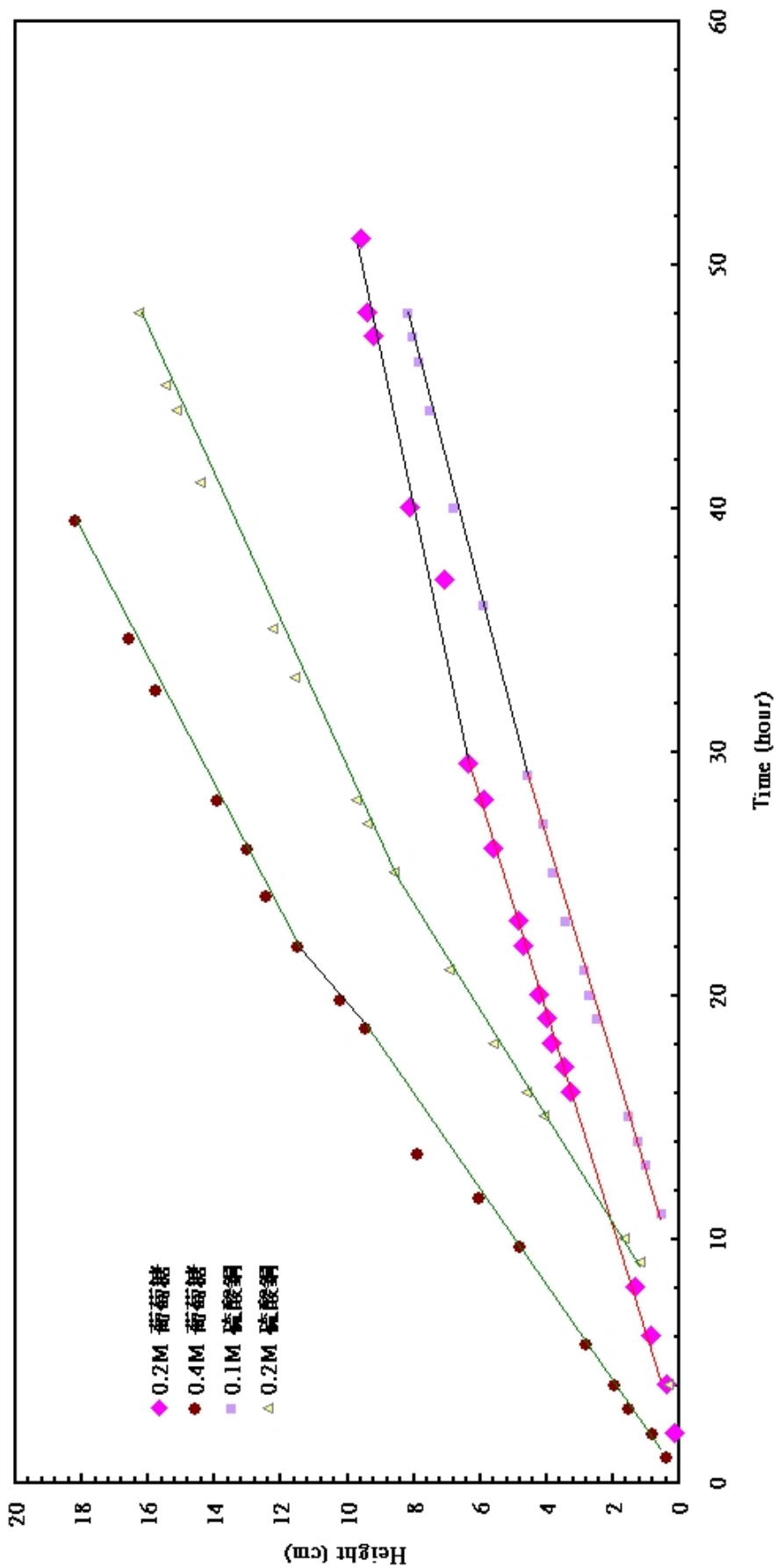
圖表一：一邊是純水，另一邊使用不同莫耳濃度的葡萄糖溶液，其水柱高度對時間之變化。



圖表二：兩邊都是葡萄糖溶液但不同莫耳濃度的葡萄糖溶液，其水柱高度對時間之變化。



圖表三：一邊是純水，另一邊為不同莫耳濃度的硫酸銅溶液，其水柱高度對時間之變化，連線顏色相同者表斜率幾乎相同。



## 柒、討論

### 一、實驗結果分析

由上圖可以看出，無論葡萄糖溶液或硫酸銅溶液的初始上升速率皆趨近於線性，且上升斜率隨著葡萄糖濃度的增加而增加。上升高度與經歷時間成正比的原因乃是水分子擴散運動的結果。我們也發現如果兩邊都是葡萄糖溶液，且濃度一定差值所產生的液面上升斜率等於一邊是水，另一邊容器注入此一差值的濃度的葡萄糖溶液。例如，分別注入 0.6M 和 0.3M 的葡萄糖溶液，和注入水和 0.3M 的葡萄糖溶液，所產生液面上升的斜率是相同的。

另一方面，我們也注意到一種濃度的硫酸銅溶液和水兩種溶液，所產生的液面上升斜率和兩倍於葡萄糖溶液濃度與水所產生的液面上升斜率是相同的。例如，分別注入 0.1M 硫酸銅溶液和水，與注入 0.2M 葡萄糖溶液和水，所產生的液面上升斜率是相同的。我們推論這是由於一個硫酸銅分子可以解離成兩個離子之故。

我們下列分析將假設初始一段時間的水分子擴散，仍不致使兩邊溶液的莫耳濃度產生變化。但時間一久，大量水分子的擴散，會造成兩邊溶液的濃度產生較小的差異，上升的斜率變小而趨近飽和，這部分的理論分析變得很複雜，不適用下列的分析。

### 二、初始狀態的理論分析

在本實驗中，我們假設造成水分子流動的因素有兩個：

- (一) 液面高度造成的壓力，
- (二) 水分子熱運動的碰撞，

以下分別討論之：

1. 液面高度造成的壓力：由白努利定理或能量守恆定理，可得

$$v = \sqrt{2gH}$$

其中  $v$  為水分子速率； $H$  為水柱高度，定義為「自半透膜中央至水柱液面的高度」。

#### 2. 分子熱運動產生的碰撞

假設右方為水分子濃度較高處，而左方為水分子濃度較低處。

$n_+$  = 右方單位體積中水分子數，即水之體積莫耳濃度，單位為分子數/cm<sup>3</sup>，

$n_-$  = 左方單位體積中水分子數，即水之體積莫耳濃度，單位為分子數/cm<sup>3</sup>，

$v$  = 水分子速率，單位為公分/秒。

由熱力學定律，溫度為  $T$  時水分子平均動能為  $\frac{3}{2}kT$ ，其中  $k$  為波茲曼常數 (Boltzmann

constant,  $k = 1.381 \times 10^{-23} \text{ j/K}$ )， $T$  為絕對溫度。

假設水分子的熱運動方向為自由隨意，則在垂直半透膜方向的水分子運動平均速率，

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{3} \times \frac{3}{2}kT = \frac{1}{2}kT$$

$$v = \sqrt{\frac{kT}{m}}$$

其中  $m$  為單一水分子的有效質量，上式中的因子  $\frac{1}{3}$  乃取水分子在垂直半透膜方向的機率。

我們在物理課程電學部份學到因電子濃度差異造成的擴散運動，其電流方程式為

$$I = qAnv$$

其中， $q$  為單一電子電荷量， $A$  為電子流流過之截面積， $n$  為淨電子濃度值， $v$  為電子運動速率。類似此擴散電流方程式，我們對於兩邊溶劑之水分子數差異造成的擴散運動，所產生的“水流”方程式也可用下式表示：

$$\begin{aligned} & \text{單位時間內水分子擴散的淨流量(分子數/秒)} \\ &= N_{\text{右} \rightarrow \text{左}} - N_{\text{左} \rightarrow \text{右}} \\ &= n_+ A v_1 - n_- A' v_2 \end{aligned}$$

其中  $N_{\text{右} \rightarrow \text{左}}$  與  $N_{\text{左} \rightarrow \text{右}}$  分別為單位時間內容器裝置從右邊流至左邊的水分子數目與從左邊流至右邊的水分子數目， $n_+$  與  $n_-$  分別為容器裝置右邊與左邊的水分子數目， $A$  與  $A'$  分別為容器裝置右邊與左邊水分子所看到半透膜的有效面積， $v_1$  與  $v_2$  分別為容器裝置右邊與左邊水分子擴散的有效速度。

在水分子濃度低 (即葡萄糖濃度高) 處，因含有的葡萄糖分子數較多，能穿過半透膜到水分子濃度高處的水分子數目必不等於另一方向穿過半透膜的水分子數目，因此假設在水分子濃度低處的半透膜面積存在一有效面積因子；若定義半透膜面積為  $A$ ，有效面積為  $A'$ ，則  $A$  與  $A'$  之關係應為

$$A' = \left( \frac{\text{水分子總體積}}{\text{溶質粒子數總體積} + \text{水分子總體積}} \right)^{\frac{2}{3}} \times A$$

上式中取  $\frac{2}{3}$  次方的意義是假設這些分子均呈正立方體，取  $\frac{1}{3}$  次方代表一邊長， $\frac{2}{3}$  次方則代表可垂直穿越半透膜方向的面積。

單位時間內由右邊擴散到左邊的分子數， $N_{\text{右} \rightarrow \text{左}}$  (單位為分子數/秒) 為

$$N_{\text{右} \rightarrow \text{左}} = n_+ \times A \times \left( \sqrt{\frac{kT}{m}} + \sqrt{2gh_1} \right)$$

單位時間內由左邊擴散到右邊的分子數， $N_{\text{左} \rightarrow \text{右}}$  (單位為分子數/秒) 為

$$N_{\text{左} \rightarrow \text{右}} = n_- \times A' \times \left( \sqrt{\frac{kT}{m}} + \sqrt{2gh_2} \right)$$

單位時間內水分子擴散的淨流量(分子數/秒)為  $D$ ，用上述兩式相減，即

$$D = N_{\text{右} \rightarrow \text{左}} - N_{\text{左} \rightarrow \text{右}} = n_+ \times A \times \left( \sqrt{\frac{kT}{m}} - \sqrt{2g(H-h)} \right) - n_- \times A' \times \left( \sqrt{\frac{kT}{m}} - \sqrt{2g(H+h)} \right) \text{ 其中 } h_1 =$$

$H-h$ ， $h_2 = H+h$ ，擴散至較低的水濃度邊的水體積  $V$  為

$$V = \frac{D}{6 \times 10^{23}} \times 18 \left( \frac{g}{mole} \right) \div 1 \left( \frac{g}{cm^3} \right) \times t$$

液面上升的高度為

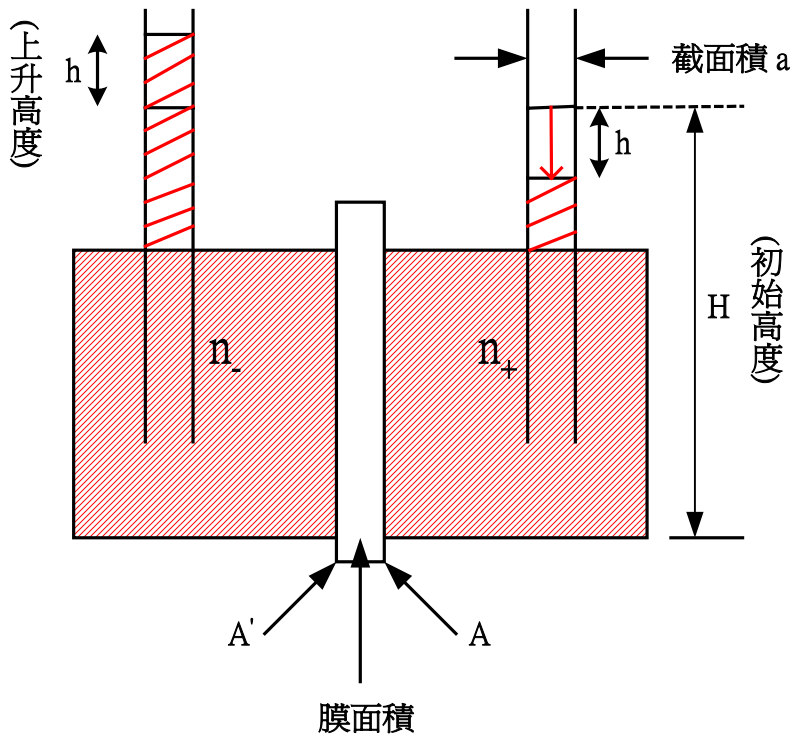
$$h = \frac{V}{a} = \frac{D \times 18 \times t}{6 \times 10^{23} \times a}$$

a為水柱玻璃管之內徑截面積，單位為 $cm^2$ ，

則液面上升的高度隨時間的變化率  $h/t$  (單位為公分/秒) 為

$$\frac{h}{t} = \frac{18D}{6 \times 10^{23} \times a} = \frac{18}{6 \times 10^{23} \times a} \left[ n_+ \times A \times \left( \sqrt{\frac{kT}{m}} + \sqrt{2g(H-h)} \right) - n_- \times A' \times \left( \sqrt{\frac{kT}{m}} + \sqrt{2g(H+h)} \right) \right] \text{ 或將}$$

上式的  $\frac{h}{t}$  值乘以 3600 即為公分/小時 的高度隨時間變化率。



## 捌、結論

我們在本研究中，設計一種能夾入半透膜的實驗裝置，在注入水或溶液後，此裝置完全沒有漏水的現象。容器裝置製作完成之後，我們首先利用此裝置探討在水和不同莫耳濃度的葡萄糖溶液中水分子的擴散速率，我們發現葡萄糖溶液的水柱上升的初始速率趨於線性，且上升斜率隨著葡萄糖濃度的增加而增加。初始的上升高度與經歷時間成正比的原因乃是水分子擴散運動的結果。但時間一久，大量水分子的擴散，會造成兩邊溶液的濃度產生微小的差異，上升的幅度變小，所以斜率變小而趨近飽和。我們也發現如果兩邊都是葡萄糖溶液，且濃度一定差值所產生的液面上升斜率等於一邊是水，另一邊容器注入此一差值的濃度的葡萄糖溶液。另一方面，如果我們使用一種莫耳濃度的硫酸銅溶液和水兩種溶液，所產生的液面上升斜率和兩倍於葡萄糖溶液這種莫耳濃度與水所產生的液面上升斜率是相同的；我們推



論這是由於一個硫酸銅分子可以解離成兩個離子之故。此外，我們更進一步利用一些物理理論推導出水分子在溶液中的初始擴散速率。

總言之，本研究兼顧實驗與理論，貢獻了三個重要創舉：

- 一、自行設計一種便於拆裝的兩個相接容器之實驗裝置，沒有漏水現象，且具再現性的實驗結果，提高實驗精確度。
- 二、首創以「液面高度造成的壓力及水分子熱運動的碰撞」與「兩邊溶劑水分子數差異造成的擴散運動」的物理理論，推導出水分子在溶液中初始狀態的擴散速率。
- 三、本研究中真正擴散通過半透膜者為「溶劑水分子」，所以針對溶劑濃度討論更能貼合實際應用。

## 玖、參考資料及其他

(一) 王耀常.黃崢瑜.廖顯文.賴俊豪著，物理（上），台北市，全華科技圖書股份有限公司，第十五章 第十九-二十一章，民國九十一年十月

(二) 陳順強著，費因曼物理學（一下），台北縣，徐氏基金會出版，第四十一章 749-767 頁、四十三章 787-802 頁，民國八十七年五月二十三日

(三) 陳順強著，費因曼物理學（二下），二版，台北縣，徐氏基金會出版，第四十-四十一章 848-885 頁，民國九十年二月

## 評語

040117 高中組物理科

### 選擇性擴散現象之研究

本作品建立不漏水的半透膜裝置，用以探討液體的擴散。作品著重於解決裝置的漏水現象，但對於液體的擴散現象，討論較缺乏應可加強，且對實驗結果所含物理現象的討論應可加強。本作品技術層面較多，但物理內涵較少。