

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

佳作

040113

垂涎”欲”滴-看黏滯性與表面張力

國立新竹女子高級中學

作者姓名：

高二 蔡孟真 高二 曾之寧

指導老師：

林智遠 陳沛慈

題目：垂涎欲滴—看黏滯性與表面張力

壹、摘要

由觀察“垂涎欲滴”的日常現象，探討垂涎液柱長和溫度、濃度、放流管長的關係。利用簡易點滴瓶及點滴軟管的巧妙組合，進行小流量及小管流的各項實驗檢測。探討液柱長度隨溶液種類、溶液溫度、放流管長、流量等變因具規律變化。從流量與液柱長之規律變化出發，進而探討液體黏滯性與表面張力的關係。視管內水流及管外流為穩定流體，以連續方程式及白努力定律計算黏滯性與表面張力。

貳、研究動機

尚在牙牙學語的小孩子，嘴角邊經常懸著一道長長的口水，但那絕對沒辦法無限制的「牽絲」下去；倒茶時自壺嘴流出的那道優美水線也不可能無限延長，最後必定會斷為滴滴水珠；滂沱大雨在屋簷邊匯成一道水流落地，而那水柱也不一定能一洩到底；平日隨手開關的水龍頭，水流時大時小，時而涓涓滴滴，時而強壓灌頂，其中又是誰能掙扎支撐住較長的水柱？令我們困惑的是：水，為什麼牽連不斷？

參、研究目的

一、在放流管長度固定下探討：

- (一) 流量 ($\Delta V/\Delta t$) 對液柱長度的關係。
- (二) 液體溫度不同對液柱長度的關係。
- (三) 液體濃度不同對液柱長度的關係。

二、探討不同放流管長度，在不同流量 ($\Delta V/\Delta t$) 下對液柱長度的關係。

三、在固定流量下探討：

- (一) 液體溫度不同對液柱長度的關係。
- (二) 液體濃度不同對液柱長度的關係。
- (三) 放流管長度不同對液柱長度的關係。

四、探討不同管徑下液體流速對液柱長度的關係。

五、研究不同放流管長度對黏滯性的影響。

六、研究液體表面張力對液柱長度的影響。

肆、實驗原理

一、觀念〈I〉

小管流在低體積速率下，放流管長及滴落液柱長可視為穩定流體，

$$\text{依流入口之流體質量} \frac{\Delta m_1}{\Delta t}$$

$$\text{等於流出口之流體質量} \frac{\Delta m_2}{\Delta t}$$

知 $\frac{\Delta m_1}{\Delta t} = \frac{\Delta m_2}{\Delta t}$

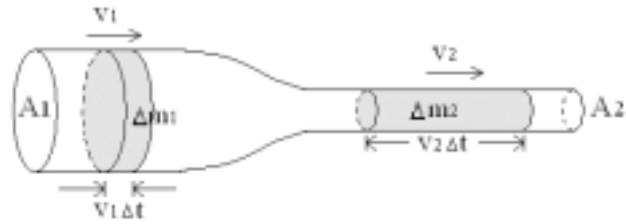
得 $\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$

視液體為不可壓縮性

$\rho_1 = \rho_2$

故 $A_1 V_1 = A_2 V_2$

稱為連續方程式



二、觀念〈II〉

流體在空間運動時，其壓力、速率和所在的高度之間，

若不計管外流及空氣阻力之影響，

運用功能原理，

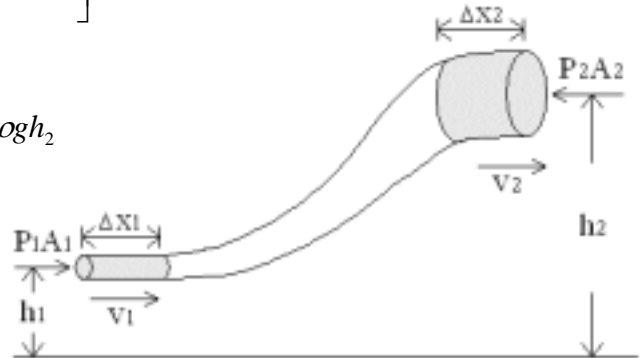
即 $(P_2 - P_1) \frac{\Delta m}{\rho} = \left[\frac{1}{2} (\Delta m) v_2^2 - \frac{1}{2} (\Delta m) v_1^2 \right] + [(\Delta m) g h_2 - (\Delta m) g h_1]$

已知 $\Delta m = \rho A_1 \Delta x_1 = \rho A_2 \Delta x_2$

得 $P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$

或 $P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{定值}$

此即白努力方程式



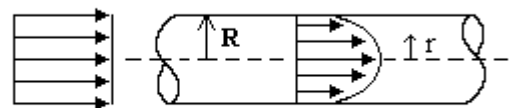
三、觀念〈III〉

均勻流速



(a)非黏性流動

均勻流速



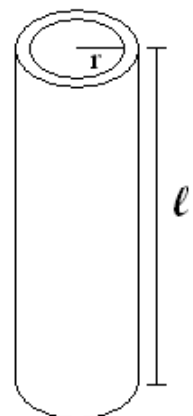
(b)具黏性之流動

當流體受剪力作用而運動時，流體的應變率 $\frac{d\theta}{dt}$ 與一稱之為黏滯係數 μ 的流體性質成反比關係。

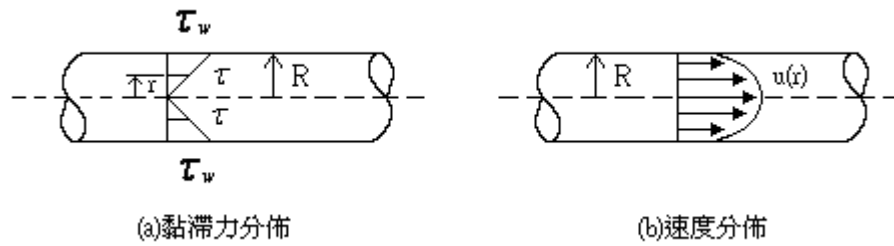
放流管壁對流體施剪應力作用在常見的線性流體時與接觸面積 A 、

速度梯度 $\frac{du}{dr}$ 成正比，而此比例常數即為黏滯係數 μ ，若為管中流

體，則黏滯力： $\tau = \mu A \frac{du}{dr} = \mu 2\pi r l \frac{du}{dr}$



四、觀念〈IV〉



τ 為距管中央 r 處之黏滯力， τ_w 為 $r=R$ 之管壁黏滯力
依圖(a)得：

$$\frac{\tau}{\tau_w} = \frac{r}{R}$$

在 $r=0$ 之圓管中央位置可得最大流速 u_{\max} 為：

$$u_{\max} = \frac{R^2}{4\mu} \left(-\frac{dp}{dx}\right)$$

$$V = \frac{u_{\max}}{2}$$

又速度分佈方程式 $u(r)$ 亦可用 u_{\max} 表示為：

$$u(r) = u_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$$

或以 V 表示為：

$$u(r) = (2V) \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$$

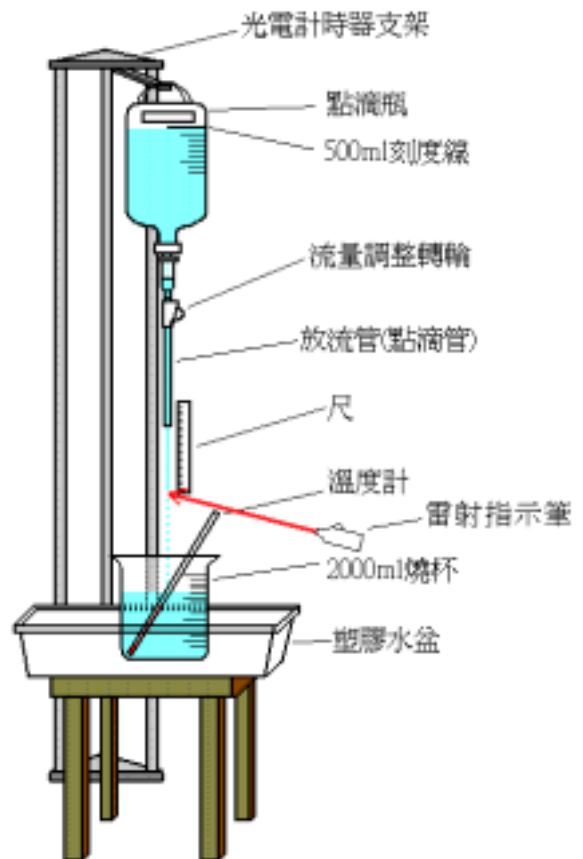
伍、實驗裝置及器材

一、實驗裝置：

如右圖所示。

二、研究器材：

- (一) 支架
- (二) 點滴瓶及點滴管
- (三) 碼表
- (四) 10ml 量筒
- (五) 2000 ml 燒杯、塑膠水盆
- (六) 尺 (最小刻度 1mm)
- (七) 溫度計
- (八) 屏幕
- (九) 絕緣膠帶、玻棒



〈十〉雷射指示筆

(十一) 液體

1. H₂O

- (1) 20°C
- (2) 40°C
- (3) 60°C

2. NaCl 水溶液

- (1) 1M
- (2) 2M
- (3) 3M

陸、實驗設計與步驟

一、實驗設計：

(一) 設計概念

為探討垂涎欲滴，利用最簡易的點滴瓶及放流管長度的控制，進行小流量及小管流的各項實驗檢測。

(二) 名詞定義

1. 放流管長 l ：即點滴管長度。
2. 液柱長 h ：由放流管開口算起至液柱散開成水珠為止的長度。
3. 破壞點：實驗中，液柱長隨流量增大而增大，但大過某一流速後液柱長會突然大幅降低，我們稱此一流速為其破壞點。

(三) 數據讀取方式

以雷射指示比鑑別液柱斷開處，由配置之刻度尺讀取不同流量下的液柱長 h 。

(四) 基本操作

1. 將放流管剪至所需之放流管長 l 。
2. 如裝置圖所示掛上點滴瓶及放流管，加入熱水使放流管軟化後拉直，再注入冷水定型。
3. 裝上流量控制轉輪於放流管最上方，將放流管下端與玻棒纏在一起，以固定使其保持與地面垂直，下方放置 2000ml 燒杯及塑膠水盆以回收液體重複使用。
4. 以碼表及量筒測量放流管流出 10ml 水所需時間，調整轉輪至所需時間符合欲量測的流量（流量控制由 1.25ml/s 依次增加 0.25ml/s 至 5.25ml/s），並保持點滴瓶水量在 500ml 刻度處以維持水壓。
5. 於點滴瓶內加入液體後，讀取由放流管開口算起至液柱散開成水珠為止的長度（即液柱長 h ）。
6. 每次實驗後鬆開流量調整轉輪，避免裝設轉輪處的放流管因擠壓過久而變形
7. 放流管口內徑：2.8mm
8. 液體滴落液柱長之下端的截面直徑：1.75mm

二、實驗步驟：

- (一) 放流管長 l 固定下探討流量 ($\Delta V/\Delta t$)、液體溫度不同、液體濃度不同對液柱長 h 的關係。
1. 改變流量自 1.25ml/s~5.25ml/s，讀取不同流量下的液柱長 h 五次，求取平均並記錄，如表(一)-A。
 2. 改變三種液體溫度分別為 20°C、40°C、60°C，讀取液柱長 h 五次，求取平均並記錄，如表(一)-B、(一)-C、(一)-D、(一)-E。
 3. 改變五種水溶液濃度分別為 1M、2M、3M、4M、5M 之 NaCl 溶液，讀取液柱長 h 五次，求取平均並記錄，如表(一)-F。
- (二) 探討不同放流管長度，在不同流量 ($\Delta V/\Delta t$) 下對液柱長度的關係。
1. 改變放流管長 l 以 2.5 公分為間隔自 15 公分~60 公分，讀取液柱長 h 五次，求取平均並記錄，如表(二)-A。
- (三) 固定流量下探討液體溫度不同、液體濃度不同、放流管長 l 不同對液柱長度的關係。
1. 在固定流量下改變三種液體溫度分別為 20°C、40°C、60°C，讀取液柱長 h 並記錄，如表(三)-A。
 2. 在固定流量下改變五種水溶液濃度分別為 1M、2M、3M、4M、5M 之 NaCl 溶液，讀取液柱長 h 並記錄，如表(三)-B。
 3. 在固定流量下改變放流管長 l 以 5 公分為間隔自 15 公分~60 公分，讀取液柱長 h 五次，求取平均並記錄，如表(三)-C。
- (四) 探討不同管徑下液體流速對液柱長度的關係。
1. 取前面實驗使用的放流管 (管徑 2.8mm) 及另一支管徑較小的放流管 (管徑 2.0mm) 做為大小管徑的兩支放流管。
 2. 因小管徑放流管的流量無法操作調整到和大管徑放流管的流量一致，故利用大管徑放流管的截面積算出每個流量刻度所對應的流速，再算出同流速下小管徑放流管的流量做為實驗操作時的依據。
 3. 控制放流管長、液體溫度、濃度為固定，改變流速自 28.41cm/s~60.88cm/s，每 4.06cm/s 為一刻度，分別讀取不同流速下兩支放流管的液柱長 h 五次，求取平均並記錄，如表(四)-A。
(因流速的刻度由流量換算而來，無法控制到每個間隔皆一致，誤差範圍為小數點下第二位。)

柒、數據與分析

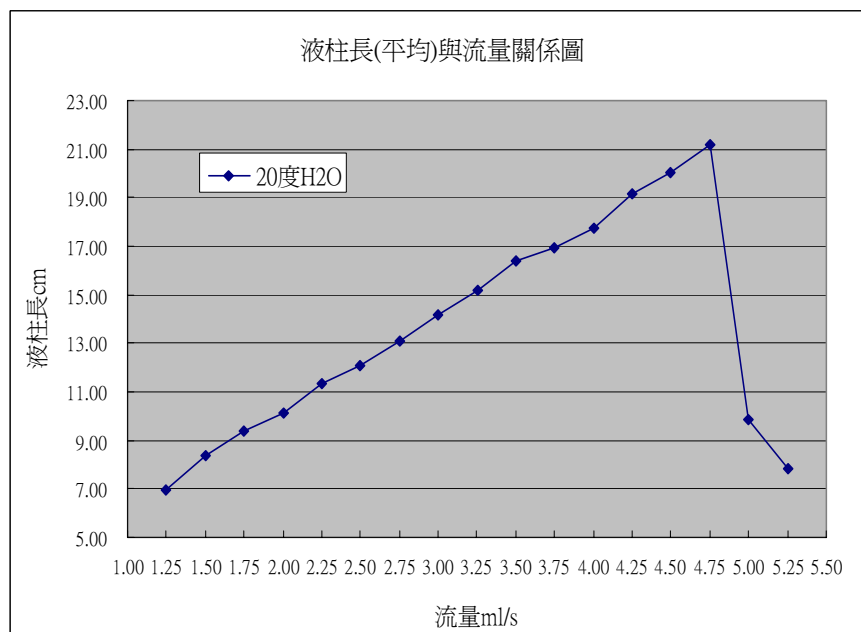
一、放流管長固定下：

(一) 流量 $\Delta V/\Delta t$ 對液柱長度的關係

數據表(一)-A：放流管長 25cm，20°C H₂O

ml/s	h 1st	h 2nd	h 3rd	h 4th	h 5th	h(cm) 平均(cm)
1.25	6.95	6.95	6.90	6.95	7.10	6.97
1.50	8.20	8.30	8.70	8.20	8.50	8.38
1.75	9.40	9.50	9.55	9.30	9.25	9.40
2.00	10.00	10.00	10.20	10.20	10.20	10.12
2.25	11.40	11.35	11.40	11.45	11.20	11.36
2.50	12.10	12.15	12.00	12.00	12.10	12.07
2.75	13.00	13.00	13.40	13.05	13.00	13.09
3.00	14.10	14.30	14.30	14.20	13.95	14.17
3.25	14.90	14.90	15.10	15.55	15.45	15.18
3.50	16.60	16.60	16.80	16.00	16.00	16.40
3.75	16.90	16.90	16.90	17.20	16.90	16.96
4.00	17.50	17.80	17.90	17.60	17.90	17.74
4.25	19.40	19.40	19.00	19.00	19.00	19.16
4.50	19.90	20.00	19.90	20.40	20.10	20.06
4.75	21.40	21.00	21.30	21.40	20.90	21.20
5.00	10.20	9.40	9.50	9.40	10.80	9.86
5.25	7.80	7.90	7.75	7.85	7.70	7.80

數據分析(一)-A



(二) 液體溫度不同對液柱長度的關係

數據表(一)-B-1：放流管長 45cm，H₂O

流量 ml/s	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
h 1st	6.60	7.30	7.80	9.80	10.50	11.55	12.40	13.50	14.80	15.00	16.70	17.60
h 2nd	6.60	7.50	7.90	9.70	10.55	11.60	12.55	13.80	14.70	15.30	16.50	17.60
h 3rd	6.65	7.60	8.00	9.65	10.50	11.40	12.70	13.90	14.90	15.40	16.20	17.40
h 4th	6.30	7.45	7.85	9.75	10.75	11.65	12.70	13.90	14.95	15.10	16.65	17.50
h 5th	6.75	7.50	8.20	9.80	10.40	11.60	12.70	13.60	14.80	15.50	16.40	17.60
平均(cm)	6.58	7.47	7.95	9.74	10.54	11.56	12.61	13.74	14.83	15.26	16.49	17.54

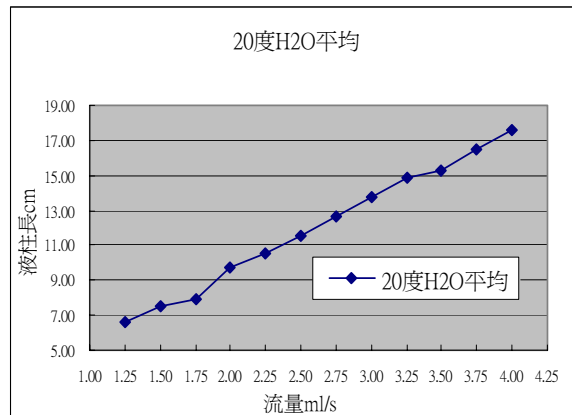
流量 ml/s	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
h 1st	6.10	7.20	8.10	8.30	9.70	10.60	11.60	12.30	12.90	6.50	5.60	5.20
h 2nd	6.20	7.30	7.70	8.60	9.70	10.30	11.70	12.30	12.80	6.60	6.40	5.60
h 3th	6.30	7.20	7.90	8.50	9.50	10.50	11.70	12.35	13.10	6.80	5.70	4.80
h 4th	6.70	7.20	7.80	8.80	9.70	10.55	11.30	12.50	12.90	6.30	5.50	4.90
h 5th	6.70	7.00	7.90	8.60	9.45	10.20	11.30	12.35	12.90	6.40	5.90	5.40
平均(cm)	6.40	7.18	7.88	8.56	9.61	10.43	11.52	12.36	12.92	6.52	5.82	5.18

流量 ml/s	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
h 1st	5.80	6.50	7.30	8.10	8.90	5.30	4.50	4.90	4.50	4.60	4.60	4.70
h 2nd	5.90	6.40	7.20	8.20	8.80	5.20	4.60	4.60	4.70	4.50	4.60	4.80
h 3rd	5.80	6.50	7.45	7.95	8.60	5.00	4.80	4.80	4.85	4.75	4.65	4.55
h 4th	5.75	6.55	7.30	8.00	8.65	4.90	4.40	4.65	4.40	4.50	4.70	4.55
h 5th	5.60	6.40	7.35	7.80	8.75	5.40	4.50	4.60	4.60	4.65	4.60	4.60
平均(cm)	5.77	6.47	7.32	8.01	8.74	5.16	4.56	4.71	4.61	4.60	4.63	4.64

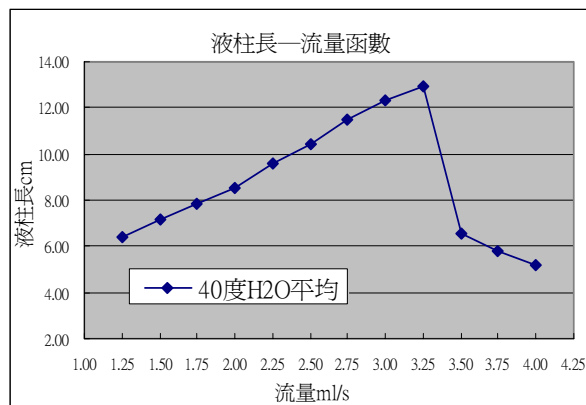
數據表(一)-B-2：不同水溫，不同流量下 h 平均值

流量ml/s	20°C 平均	40°C 平均	60°C 平均
1.25	6.58	6.40	5.77
1.50	7.47	7.18	6.47
1.75	7.95	7.88	7.32
2.00	9.74	8.56	8.01
2.25	10.54	9.61	8.74
2.50	11.56	10.43	5.16
2.75	12.61	11.52	4.56
3.00	13.74	12.36	4.71
3.25	14.83	12.92	4.61
3.50	15.26	6.52	4.60
3.75	16.49	5.82	4.63

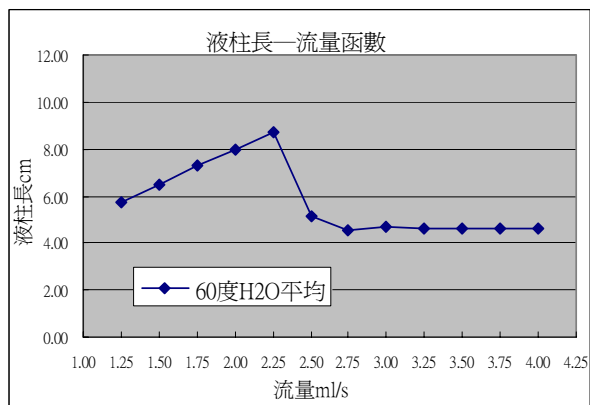
<數據分析>(一)-B-1



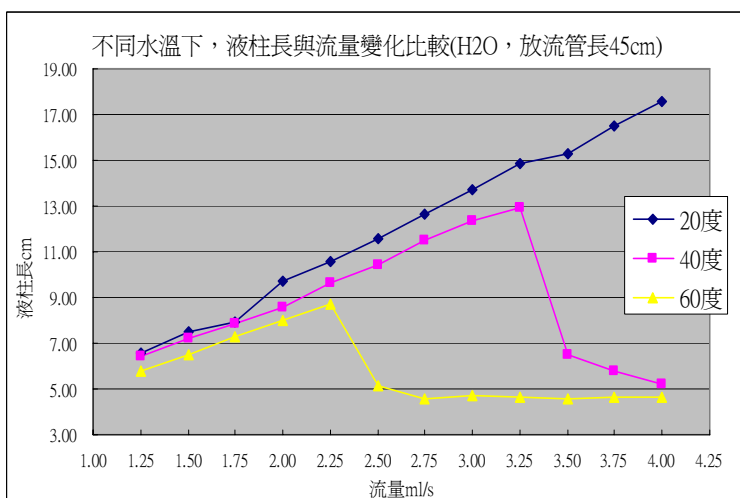
<數據分析>(一)-B-1



<數據分析>(一)-B-1



<數據分析>(一)-B-2



數據表(一)-C-1：放流管長 45cm，1M NaCl

	20°C h(cm)											
流量 ml/s	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
h 1st	6.90	7.80	8.70	9.90	10.70	12.40	13.60	14.20	15.20	15.90	16.60	17.60
h 2nd	7.10	7.90	8.80	9.70	10.65	12.55	13.70	14.30	14.90	15.70	16.70	18.20
h 3rd	6.90	8.00	8.90	9.80	10.70	12.40	13.45	14.15	15.40	15.70	16.55	18.35
h 4th	7.10	7.80	9.20	9.60	10.65	12.75	13.50	14.25	14.70	15.80	16.70	17.80
h 5th	7.15	8.00	9.25	9.40	10.75	12.55	13.55	13.90	14.75	15.80	16.40	17.80
平均(cm)	7.03	7.90	8.97	9.68	10.69	12.53	13.56	14.16	14.99	15.78	16.59	17.95

	40°C h(cm)											
流量 ml/s	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
h 1st	6.60	7.40	8.10	8.90	10.30	10.85	11.50	12.70	13.30	14.50	15.40	6.00
h 2nd	6.50	7.50	8.30	9.00	10.30	10.90	11.60	12.50	13.40	14.60	15.50	5.90
h 3rd	6.35	7.60	8.40	8.90	10.35	10.75	11.45	12.45	13.50	14.80	15.30	5.90
h 4th	6.50	7.45	8.20	9.15	10.10	10.90	11.65	12.40	13.40	14.30	15.20	5.95
h 5th	6.55	7.55	8.20	8.85	10.10	10.65	11.40	12.30	13.40	14.30	15.35	6.30
平均(cm)	6.50	7.50	8.24	8.96	10.23	10.81	11.52	12.47	13.40	14.50	15.35	6.01

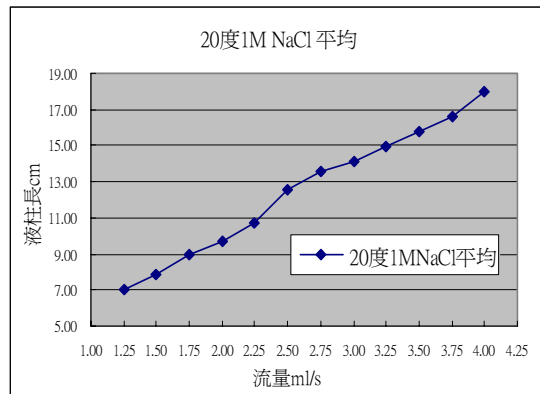
	60°C h(cm)											
流量 ml/s	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
h 1st	6.20	6.80	7.30	8.10	9.00	9.40	9.80	10.10	5.50	5.40	5.30	5.30
h 2nd	6.40	6.70	7.20	8.00	8.70	9.35	9.60	9.90	5.70	5.05	5.05	5.10
h 3rd	6.30	6.65	7.15	8.35	8.90	9.10	9.50	10.15	5.35	5.30	5.40	5.30
h 4th	6.10	6.60	7.10	8.20	9.00	9.15	9.70	9.70	5.60	5.50	5.20	5.05
h 5th	6.15	6.70	7.40	8.40	8.65	9.25	9.80	9.75	5.30	5.30	5.30	5.20
平均(cm)	6.23	6.69	7.23	8.21	8.85	9.25	9.68	9.92	5.49	5.31	5.25	5.19

數據表(一)-C-2：不同溫度 1MNaCl，不同流量下之 h 平均值

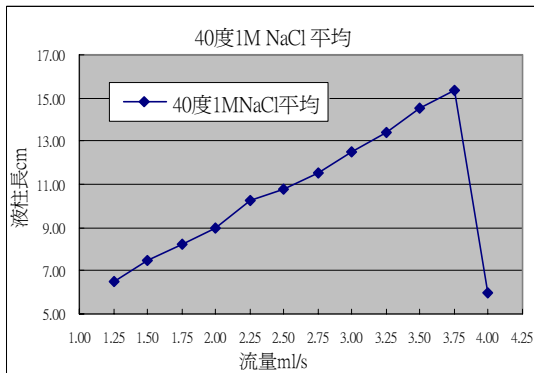
單位cm

流量ml/s	20°C 平均	40°C 平均	60°C 平均
1.25	7.03	6.50	6.23
1.50	7.90	7.50	6.69
1.75	8.97	8.24	7.23
2.00	9.68	8.96	8.21
2.25	10.69	10.23	8.85
2.50	12.53	10.81	9.25
2.75	13.56	11.52	9.68
3.00	14.16	12.47	9.92
3.25	14.99	13.40	5.49
3.50	15.78	14.50	5.31
3.75	16.59	15.35	5.25
4.00	17.95	6.01	5.19

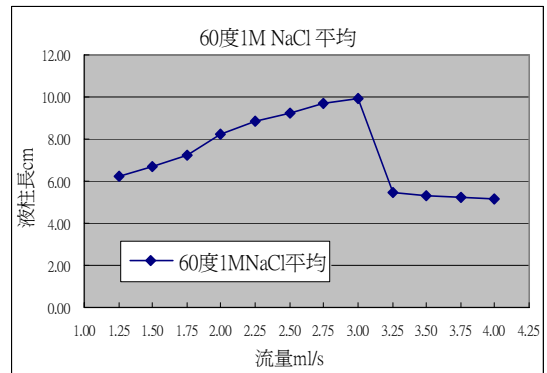
<數據分析>(一)-C-1



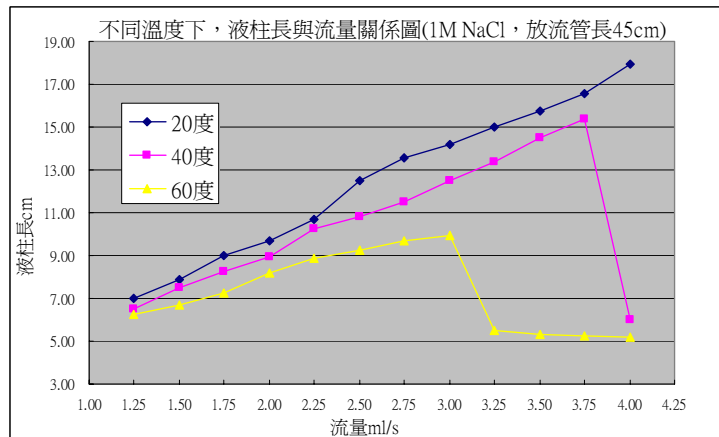
<數據分析>(一)-C-1



<數據分析>(一)-C-1



<數據分析>(一)-C-2



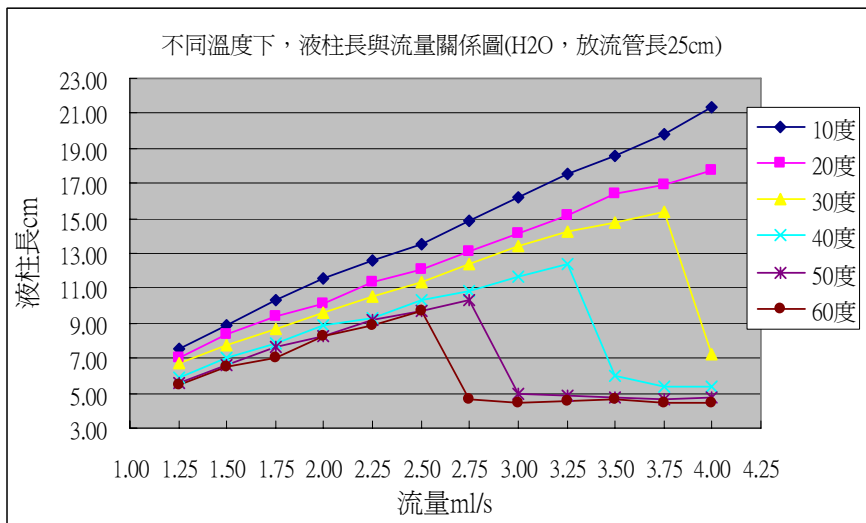
數據表(一)-D：放流管長 25cm，H₂O

不同溫度，不同流量下之 h 平均值

單位cm

流量ml/s	10°C 平均	20°C 平均	30°C 平均	40°C 平均	50°C 平均	60°C 平均
1.25	7.51	6.97	6.73	5.93	5.60	5.49
1.50	8.87	8.38	7.74	7.03	6.58	6.51
1.75	10.28	9.40	8.71	7.80	7.63	6.97
2.00	11.54	10.12	9.60	8.87	8.29	8.21
2.25	12.60	11.36	10.50	9.29	9.19	8.90
2.50	13.56	12.07	11.36	10.30	9.74	9.75
2.75	14.90	13.09	12.36	10.86	10.32	4.64
3.00	16.20	14.17	13.44	11.68	4.95	4.47
3.25	17.52	15.18	14.24	12.38	4.82	4.52
3.50	18.58	16.40	14.80	5.94	4.73	4.60
3.75	19.84	16.96	15.32	5.42	4.68	4.42
4.00	21.38	17.74	7.18	5.32	4.73	4.42

數據分析(一)-D



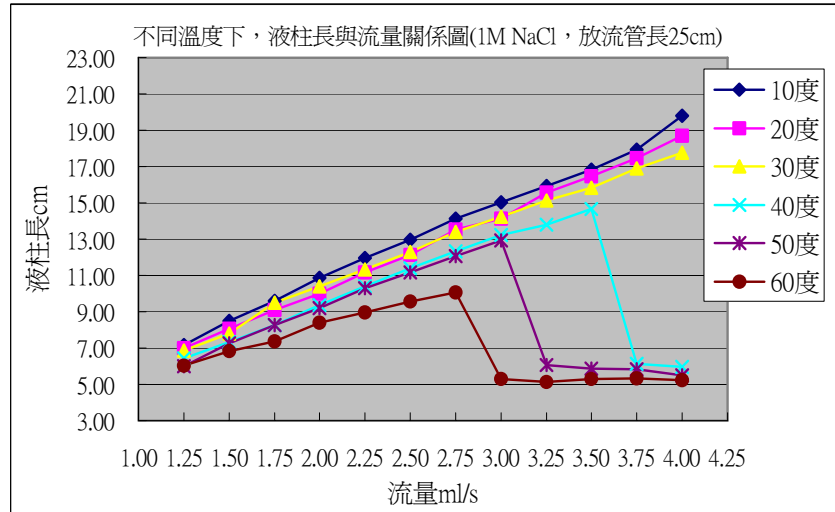
數據表(一)-E：放流管長 25cm，1M NaCl

不同溫度，不同流量下之 h 平均值

單位cm

流量ml/s	10°C 平均	20°C 平均	30°C 平均	40°C 平均	50°C 平均	60°C 平均
1.25	7.16	7.01	6.88	6.45	6.00	6.04
1.50	8.51	8.07	7.81	7.33	7.26	6.82
1.75	9.59	9.11	9.49	8.28	8.27	7.38
2.00	10.87	10.00	10.39	9.38	9.19	8.40
2.25	11.96	11.16	11.32	10.39	10.30	8.97
2.50	12.97	12.15	12.29	11.39	11.18	9.57
2.75	14.13	13.52	13.40	12.33	12.08	10.08
3.00	15.02	14.15	14.23	13.23	12.95	5.31
3.25	15.92	15.56	15.14	13.81	6.06	5.14
3.50	16.83	16.48	15.84	14.67	5.86	5.29
3.75	17.92	17.48	16.90	6.14	5.84	5.34
4.00	19.80	18.69	17.78	5.97	5.51	5.22

數據分析(一)-E



(三) 液體濃度不同對液柱長度的關係

用純水與 1M、2M、3M、4M、5M NaCl 溶液的液柱長度進行比較

數據表(一)-F-1：放流管長 25cm，20°C

	H2O											h(cm)	
流量 ml/s	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	
h 1st	6.60	7.70	9.00	10.10	10.80	11.75	12.40	13.70	14.30	15.10	16.10	#####	
h 2nd	7.10	7.50	8.80	10.00	10.80	12.05	12.50	13.50	14.45	15.20	16.20	#####	
h 3rd	7.20	7.75	8.85	9.90	11.30	11.90	12.40	13.45	14.35	15.25	15.70	#####	
h 4th	6.80	8.00	8.65	10.30	11.40	11.60	12.90	13.30	14.05	15.25	15.40	#####	
h 5th	7.00	7.75	8.80	10.05	11.30	11.70	12.85	13.55	14.15	15.15	15.55	#####	
平均	6.94	7.74	8.82	10.07	11.12	11.80	12.61	13.50	14.26	15.19	15.79	16.57	

	1M NaCl											h(cm)	
流量 ml/s	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	
h 1st	7.60	8.40	9.40	9.90	10.60	11.80	13.30	14.30	15.90	16.40	17.70	18.00	
h 2nd	7.70	8.20	9.50	10.20	10.65	12.10	13.45	14.20	15.65	16.60	17.80	17.90	
h 3rd	7.70	8.00	9.55	10.25	11.20	11.90	13.70	14.30	15.80	16.80	17.20	18.50	
h 4th	7.45	8.00	9.55	10.15	11.00	11.75	12.90	14.05	15.80	16.40	16.80	18.00	
h 5th	7.90	8.10	9.60	9.90	10.80	12.20	13.00	14.15	15.70	16.30	17.70	19.10	
平均(cm)	7.67	8.14	9.52	10.08	10.85	11.95	13.27	14.20	15.77	16.50	17.44	18.30	

	2M NaCl											h(cm)	
流量 ml/s	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	
h 1st	7.70	9.90	10.30	11.30	12.20	13.80	15.30	16.60	17.60	18.00	19.70	20.20	
h 2nd	7.50	9.80	10.45	11.35	12.40	13.70	15.00	16.40	17.30	18.10	19.80	20.30	
h 3rd	7.30	9.95	10.45	11.30	12.00	13.40	15.05	16.00	17.20	17.90	19.70	20.80	
h 4th	7.70	10.00	10.10	11.25	11.80	13.80	15.10	16.40	17.00	18.20	19.30	20.70	
h 5th	7.50	9.70	10.15	11.25	12.50	13.80	15.00	16.10	17.50	17.80	19.80	20.90	
平均(cm)	7.54	9.87	10.29	11.29	12.18	13.70	15.09	16.30	17.32	18.00	19.66	20.58	

3M NaCl											h(cm)	
流量 ml/s	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
h 1st	7.90	8.90	10.30	11.65	12.40	14.50	15.40	16.60	17.60	19.35	20.10	####
h 2nd	7.90	8.80	10.60	11.60	12.40	14.60	15.30	16.00	17.80	19.00	20.00	####
h 3rd	7.75	9.00	10.55	11.90	12.80	14.30	15.80	16.30	17.50	19.20	20.20	####
h 4th	7.65	9.15	10.40	11.35	12.80	14.30	15.10	17.00	17.35	19.00	20.10	####
h 5th	8.05	9.05	10.30	11.80	12.60	14.70	15.50	16.40	18.10	19.60	20.40	####
平均(cm)	7.85	8.98	10.43	11.66	12.60	14.48	15.42	16.46	17.67	19.23	20.16	21.14

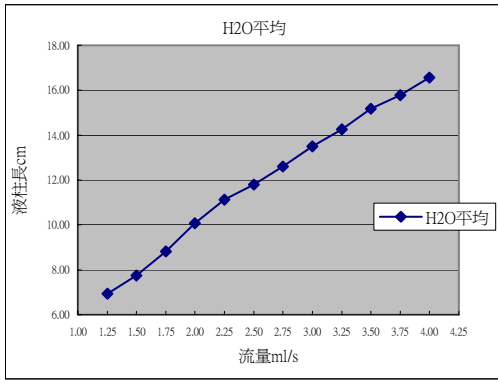
4M NaCl											h(cm)	
流量 ml/s	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
h 1st	7.30	8.60	9.50	11.10	12.50	13.30	14.20	15.30	16.80	17.60	18.60	19.80
h 2nd	7.50	8.60	9.50	11.10	12.50	13.30	14.20	15.30	16.80	17.60	18.30	19.80
h 3rd	7.20	8.70	9.55	11.20	12.60	13.40	14.45	15.15	16.60	17.30	18.30	19.70
h 4th	7.70	8.70	9.60	11.20	12.30	13.30	14.60	15.40	16.30	17.30	18.80	19.75
h 5th	7.60	8.75	9.55	11.20	12.60	13.55	14.20	15.70	16.35	17.40	18.50	19.60
平均(cm)	7.46	8.67	9.54	11.16	12.50	13.37	14.33	15.37	16.57	17.44	18.50	19.73

5M NaCl											h(cm)	
流量 ml/s	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00
h 1st	7.30	8.60	9.40	10.25	11.30	12.75	13.90	15.00	16.00	17.20	17.50	19.30
h 2nd	7.20	8.40	9.50	10.30	11.30	12.70	13.80	15.00	16.00	17.20	17.50	19.30
h 3rd	7.25	8.40	9.50	10.30	11.40	12.70	13.70	14.80	15.90	16.90	17.60	19.00
h 4th	7.20	8.55	9.55	10.40	11.60	12.60	13.60	14.70	15.40	17.00	17.70	18.70
h 5th	7.30	8.60	9.60	10.20	11.45	12.60	14.00	14.70	15.50	16.50	17.60	19.00
平均(cm)	7.25	8.51	9.51	10.29	11.41	12.67	13.80	14.84	15.76	16.96	17.58	19.06

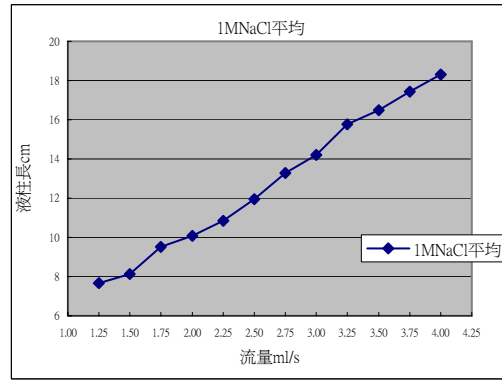
表(一)-F-2：固定 $l=25\text{cm}$ ， $T=20^\circ\text{C}$ ，不同流量下之 h 平均值

單位cm						
ml/s	H ₂ O	1MNaCl	2MNaCl	3MNaCl	4MNaCl	5MNaCl
1.25	6.94	7.67	7.54	7.85	7.46	7.25
1.50	7.74	8.14	9.87	8.98	8.67	8.51
1.75	8.82	9.52	10.29	10.43	9.54	9.51
2.00	10.07	10.08	11.29	11.66	11.16	10.29
2.25	11.12	10.85	12.18	12.6	12.50	11.41
2.50	11.80	11.95	13.7	14.48	13.37	12.67
2.75	12.61	13.27	15.09	15.42	14.33	13.8
3.00	13.50	14.20	16.3	16.46	15.37	14.84
3.25	14.26	15.77	17.32	17.67	16.57	15.76
3.50	15.19	16.5	18	19.23	17.44	16.96
3.75	15.79	17.44	19.66	20.16	18.50	17.58
4.00	16.57	18.3	20.58	21.14	19.73	19.06

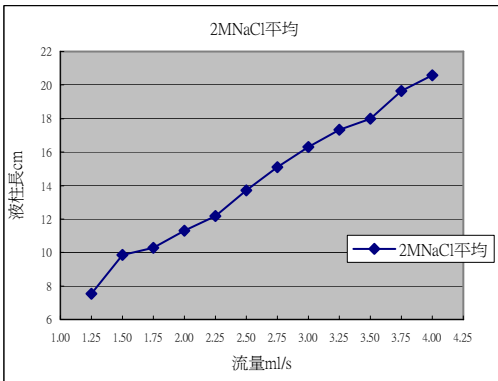
<數據分析>(一)-F-1



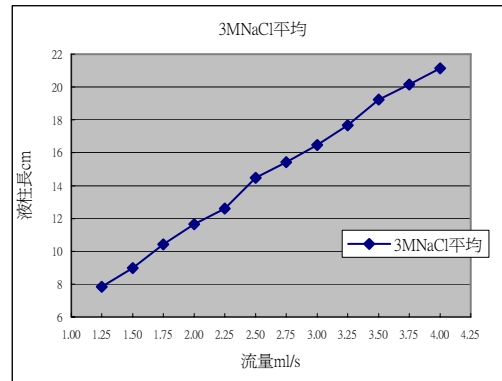
<數據分析>(一)-F-1



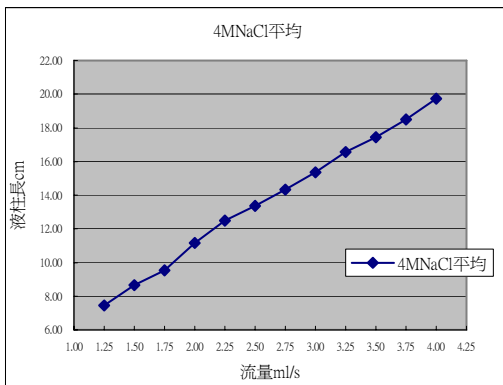
<數據分析>(一)-F-1



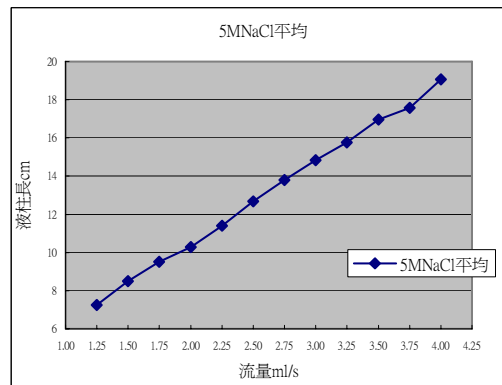
<數據分析>(一)-F-1



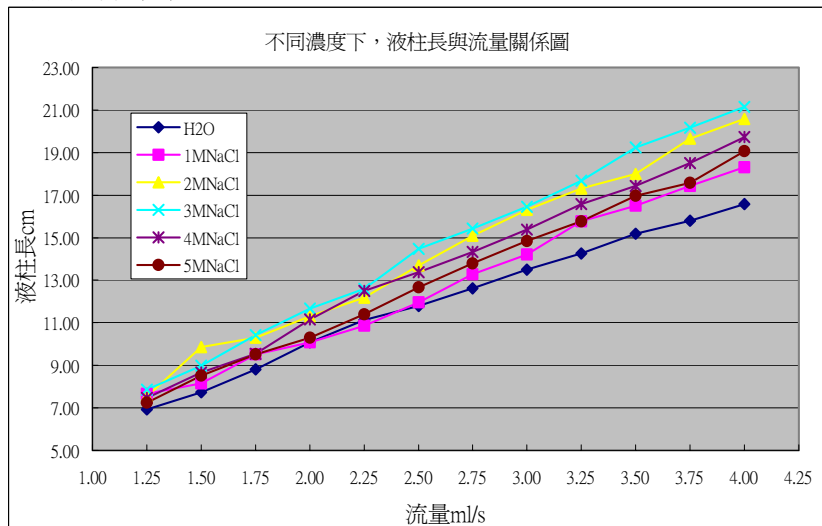
<數據分析>(一)-F-1



<數據分析>(一)-F-1



<數據分析>(一)-F-2



二、不同放流管長度，在不同流量（ $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ ）下對液柱長度的關係

數據表(二)-A-1：20°C，H2O 改變放流管長，不同流量下之 h 平均值

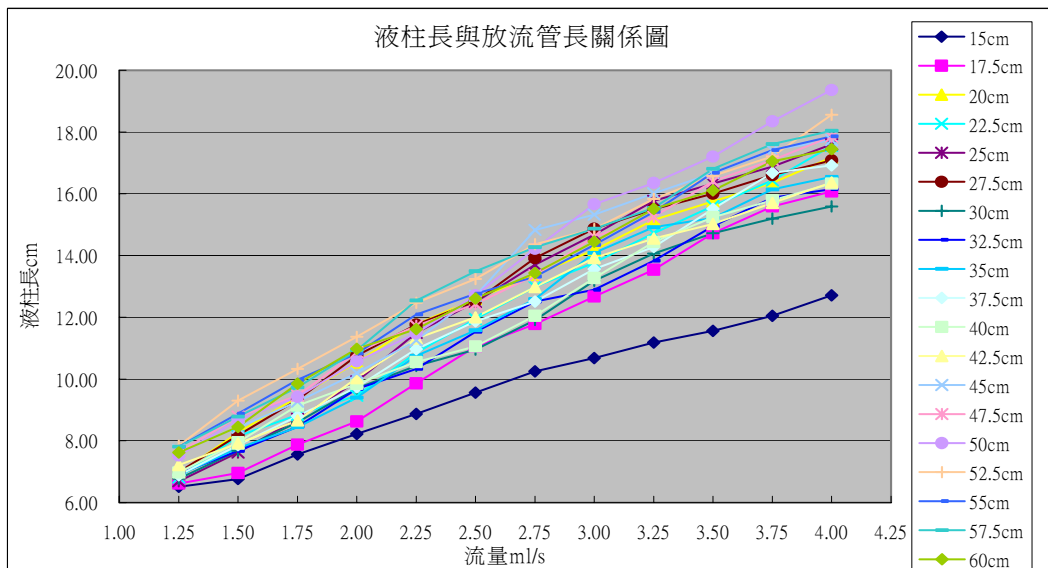
單位 cm

ml/s	15cm	17.5cm	20cm	22.5cm	25cm	27.5cm	30cm	32.5cm	35cm	37.5cm
1.25	6.51	6.62	6.95	6.81	6.69	6.99	6.77	6.93	6.89	6.88
1.50	6.76	6.96	8.26	8.15	7.62	8.17	7.68	7.67	7.76	7.86
1.75	7.56	7.87	9.41	8.84	8.71	9.32	8.60	8.46	8.44	8.80
2.00	8.22	8.63	10.54	9.46	9.92	10.76	9.70	9.68	9.40	9.74
2.25	8.87	9.86	11.77	10.85	11.50	11.76	10.43	10.33	10.75	10.97
2.50	9.56	11.05	12.59	11.94	12.49	12.52	10.95	11.53	11.58	11.87
2.75	10.25	11.78	13.38	12.99	13.70	13.92	11.91	12.51	12.59	12.51
3.00	10.68	12.67	14.18	13.77	14.67	14.87	13.18	12.89	14.08	13.56
3.25	11.18	13.54	15.15	14.72	15.77	15.50	14.07	13.83	14.92	14.28
3.50	11.56	14.72	15.75	15.61	16.33	16.00	14.72	14.95	15.22	15.51
3.75	12.05	15.59	16.35	16.43	16.88	16.60	15.19	15.87	16.14	16.68
4.00	12.71	16.08	17.18	17.55	17.60	17.08	15.59	16.15	16.55	16.92

單位 cm

ml/s	40cm	42.5cm	45cm	47.5cm	50cm	52.5cm	55cm	57.5cm	60cm
1.25	6.97	7.22	7.70	7.62	7.52	7.84	7.81	7.81	7.62
1.50	7.95	7.91	8.42	8.78	8.67	9.30	8.88	8.78	8.45
1.75	9.14	8.66	9.27	9.46	9.42	10.33	9.97	9.73	9.85
2.00	9.84	10.03	10.19	10.87	10.57	11.37	10.82	10.93	10.98
2.25	10.55	11.31	11.25	11.72	11.48	12.47	12.09	12.54	11.62
2.50	11.06	12.00	12.70	12.43	12.71	13.24	12.76	13.49	12.61
2.75	12.05	12.98	14.83	13.36	14.22	14.37	13.31	14.27	13.43
3.00	13.27	13.92	15.32	14.61	15.66	14.86	14.34	14.87	14.45
3.25	14.44	14.55	16.01	15.26	16.35	15.83	15.41	15.54	15.51
3.50	15.24	15.02	16.67	16.40	17.20	16.58	16.68	16.81	16.11
3.75	15.79	15.70	17.41	17.09	18.35	17.21	17.41	17.61	17.05
4.00	16.33	16.37	17.74	17.85	19.36	18.56	17.86	18.04	17.45

<數據分析>(二)-A-2



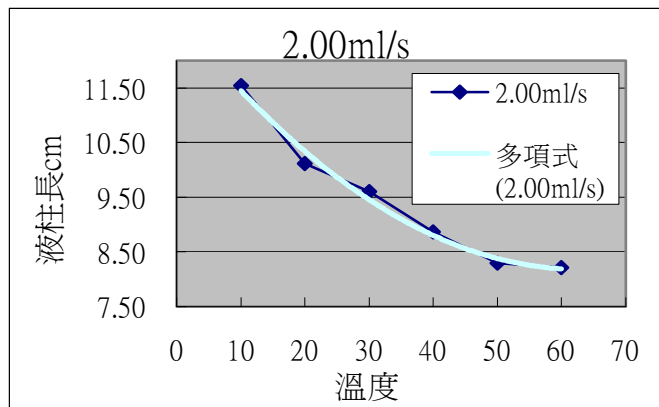
三、流量固定下

(一) 液體溫度不同對液柱長度的關係

數據表(三)-A-1：流量為 2.20ml/s 之 H₂O，放流管長 25cm 下 h 平均值

	h(cm)					
溫度	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
h 1st	11.55	10.00	9.65	8.90	8.30	8.30
h 2nd	11.40	10.00	9.75	8.90	8.30	8.20
h 3rd	11.50	10.20	9.70	8.80	8.40	8.20
h 4th	11.70	10.20	9.50	8.85	8.30	8.15
h 5th	11.55	10.20	9.40	8.90	8.15	8.20
平均(cm)	11.54	10.12	9.60	8.87	8.29	8.21

<數據分析>(三)-A-1

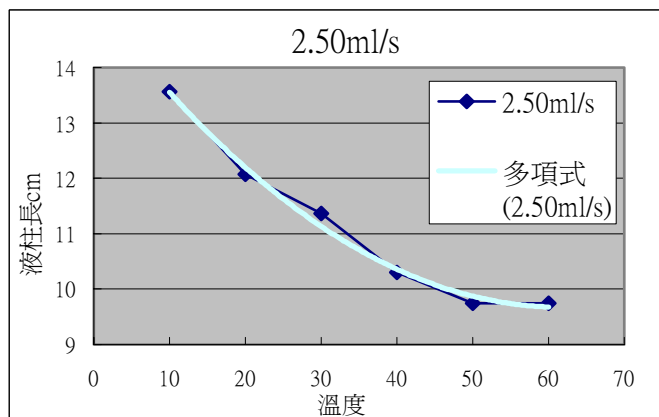


$$y = 0.0012x^2 - 0.1461x + 0.12802$$

數據表(三)-A-2：流量為 2.50ml/s 之 H₂O，放流管長 25cm 下 h 平均值

	h(cm)					
溫度	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
h 1st	13.5	12.10	11.2	10.20	9.6	9.80
h 2nd	13.6	12.15	11.4	10.30	9.6	9.80
h 3rd	13.5	12.00	11.4	10.20	10	9.80
h 4th	13.6	12.00	11.2	10.40	9.6	9.65
h 5th	13.6	12.10	11.6	10.40	9.9	9.70
平均(cm)	13.56	12.07	11.36	10.30	9.74	9.75

<數據分析>(三)-A-2



$$y = 0.0014x^2 - 0.1787x + 15.19$$

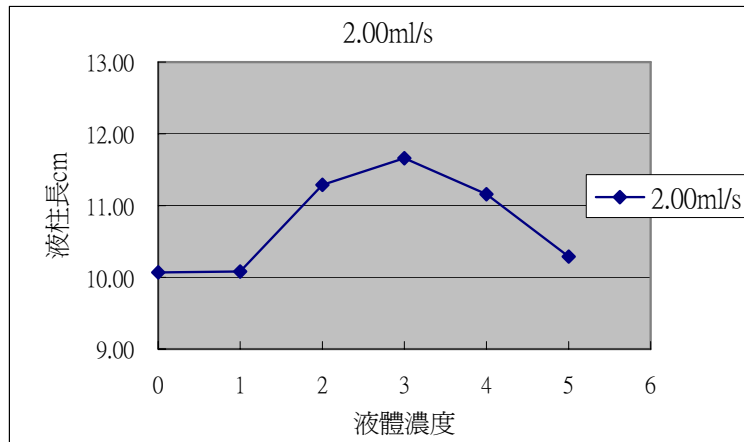
(二) 液體濃度不同對液柱長度的關係

純水與 1M、2M、3M、4M、5M NaCl 溶液的液柱長度比較

數據表(三)-B-1：固定放流管長 25cm，流量 2.00ml/s，T=20°C 下不同溶液之 h

NaCl濃度	0M(H ₂ O)	1M	2M	3M	4M	5M
h 1st	10.10	9.90	11.30	11.65	11.10	10.25
h 2nd	10.00	10.20	11.35	11.60	11.10	10.30
h 3rd	9.90	10.25	11.30	11.90	11.20	10.30
h 4th	10.30	10.15	11.25	11.35	11.20	10.40
h 5th	10.05	9.90	11.25	11.80	11.20	10.20
平均(cm)	10.07	10.08	11.29	11.66	11.16	10.29

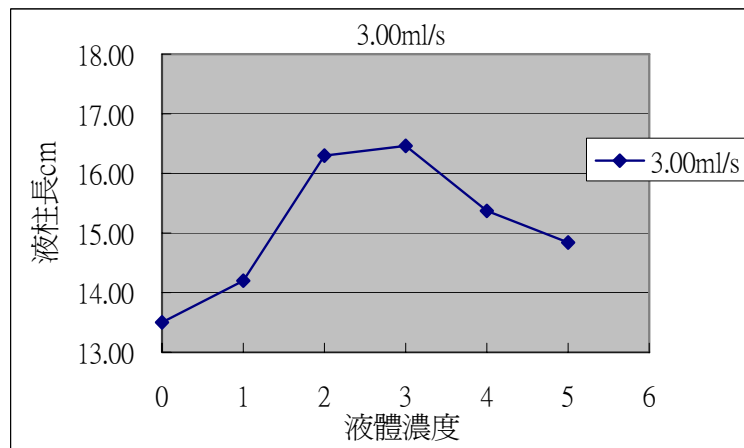
<數據分析>(三)-B-1



表(三)-B-2：固定放流管長 25cm，流量 3.00ml/s，T=20°C 下不同溶液之 h

NaCl濃度	0M(H ₂ O)	1M	2M	3M	4M	5M
h 1st	13.70	14.30	16.60	16.60	15.30	15.00
h 2nd	13.50	14.20	16.40	16.00	15.30	15.00
h 3rd	13.45	14.30	16.00	16.30	15.15	14.80
h 4th	13.30	14.05	16.40	17.00	15.40	14.70
h 5th	13.55	14.15	16.10	16.40	15.70	14.70
平均(cm)	13.50	14.20	16.30	16.46	15.37	14.84

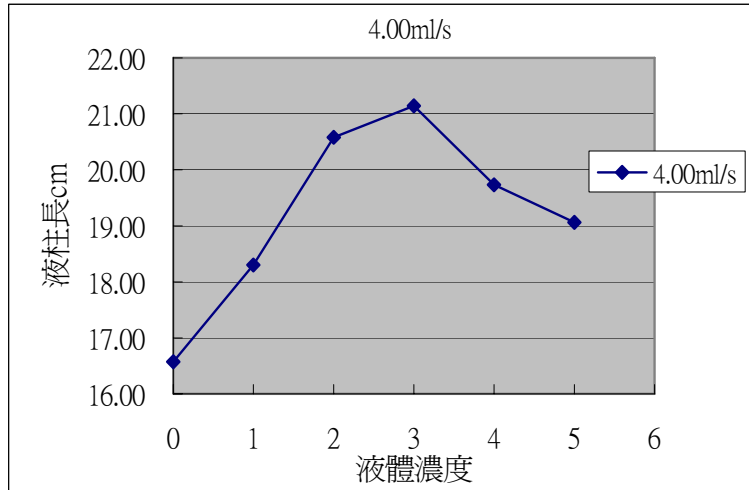
<數據分析>(三)-B-2



表(三)-B-3：固定放流管長 25cm，流量 4.00ml/s，T=20°C 下不同溶液之 h

NaCl濃度	0M(H ₂ O)	1M	2M	3M	4M	5M
h 1st	16.40	18.00	20.20	21.20	19.80	19.30
h 2nd	16.60	17.90	20.30	21.30	19.80	19.30
h 3rd	16.70	18.50	20.80	20.80	19.70	19.00
h 4th	16.55	18.00	20.70	21.00	19.75	18.70
h 5th	16.60	19.10	20.90	21.40	19.60	19.00
平均(cm)	16.57	18.30	20.58	21.14	19.73	19.06

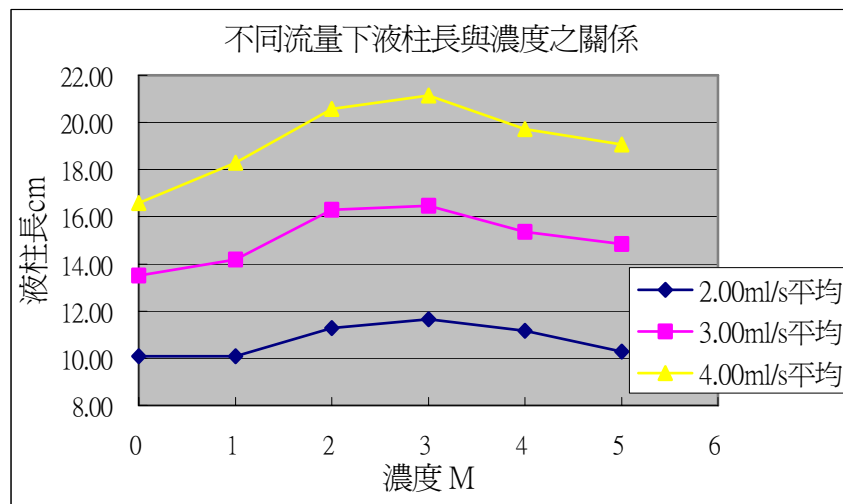
<數據分析>(三)-B-3



表(三)-B-4：不同液體濃度，不同流量下之 h 平均值

NaCl濃度	0M(H ₂ O)	1M	2M	3M	4M	5M
2.00ml/s平均	10.07	10.08	11.29	11.66	11.16	10.29
3.00ml/s平均	13.50	14.20	16.30	16.46	15.37	14.84
4.00ml/s平均	16.57	18.30	20.58	21.14	19.73	19.06

<數據分析(一)-B-4>



(三) 放流管長度不同對液柱長度的關係

數據表(三)-C-1 : T=20°C , H₂O

		1.50ml/s h(cm)								
放流管長	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm	55cm	60cm
h 1st	6.60	8.45	7.50	7.65	7.80	7.95	8.80	8.60	9.1	8.35
h 2nd	6.90	8.10	7.65	7.35	7.85	7.85	8.45	8.75	8.9	8.6
h 3rd	6.65	8.00	7.60	7.95	7.80	8.00	8.20	8.85	8.95	8.4
h 4th	6.70	8.30	7.60	7.70	7.65	8.20	8.20	8.50	8.75	8.35
h 5th	6.95	8.45	7.75	7.75	7.70	7.75	8.45	8.65	8.7	8.55
平均(cm)	6.76	8.26	7.62	7.68	7.76	7.95	8.42	8.67	8.88	8.45

		2.00ml/s h(cm)								
放流管長	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm	55cm	60cm
h 1st	8.00	10.80	9.90	9.60	9.50	9.90	9.90	10.65	11.00	10.60
h 2nd	8.30	10.55	9.90	9.60	9.45	9.75	10.10	10.60	10.75	10.80
h 3rd	8.05	10.40	9.75	9.65	9.40	9.50	10.30	10.55	10.80	11.00
h 4th	8.40	10.45	9.95	9.95	9.30	10.15	10.35	10.35	10.80	11.10
h 5th	8.35	10.50	10.10	9.70	9.35	9.90	10.30	10.70	10.75	11.40
平均(cm)	8.22	10.54	9.92	9.70	9.40	9.84	10.19	10.57	10.82	10.98

		2.50ml/s h(cm)								
放流管長	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm	55cm	60cm
h 1st	9.70	12.60	12.10	10.80	11.50	10.90	12.50	12.80	12.90	12.20
h 2nd	9.50	12.65	12.25	11.05	11.55	11.00	12.60	12.80	12.60	12.90
h 3rd	9.55	12.55	12.80	10.85	11.50	11.15	12.90	12.70	13.00	12.50
h 4th	9.30	12.80	12.50	10.95	11.55	11.30	12.90	12.80	12.70	12.60
h 5th	9.75	12.35	12.80	11.10	11.80	10.95	12.60	12.45	12.60	12.85
平均(cm)	9.56	12.59	12.49	10.95	11.58	11.06	12.70	12.71	12.76	12.61

		3.00ml/s h(cm)								
放流管長	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm	55cm	60cm
h 1st	10.85	14.20	14.70	13.10	13.90	13.45	14.90	15.70	14.20	14.10
h 2nd	10.45	14.30	14.80	13.20	14.10	13.40	15.60	15.70	14.25	14.80
h 3rd	10.90	13.95	14.20	13.30	14.10	13.10	15.50	15.50	14.30	14.25
h 4th	10.70	14.30	15.00	13.05	13.90	13.20	15.20	15.55	14.50	14.60
h 5th	10.50	14.15	14.65	13.25	14.40	13.20	15.40	15.85	14.45	14.50
平均(cm)	10.68	14.18	14.67	13.18	14.08	13.27	15.32	15.66	14.34	14.45

3.50ml/s h(cm)

放流管長	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm	55cm	60cm
h 1st	11.40	15.70	15.90	14.50	14.90	15.30	16.90	17.40	17.00	15.90
h 2nd	11.60	15.60	16.60	14.80	15.00	15.20	17.10	16.60	16.40	16.00
h 3rd	11.55	15.90	16.40	14.85	15.40	15.35	16.20	16.90	16.80	16.00
h 4th	11.50	15.75	16.40	14.90	15.70	14.95	16.45	17.50	16.65	16.40
h 5th	11.75	15.80	16.35	14.55	15.10	15.40	16.70	17.60	16.55	16.25
平均(cm)	11.56	15.75	16.33	14.72	15.22	15.24	16.67	17.20	16.68	16.11

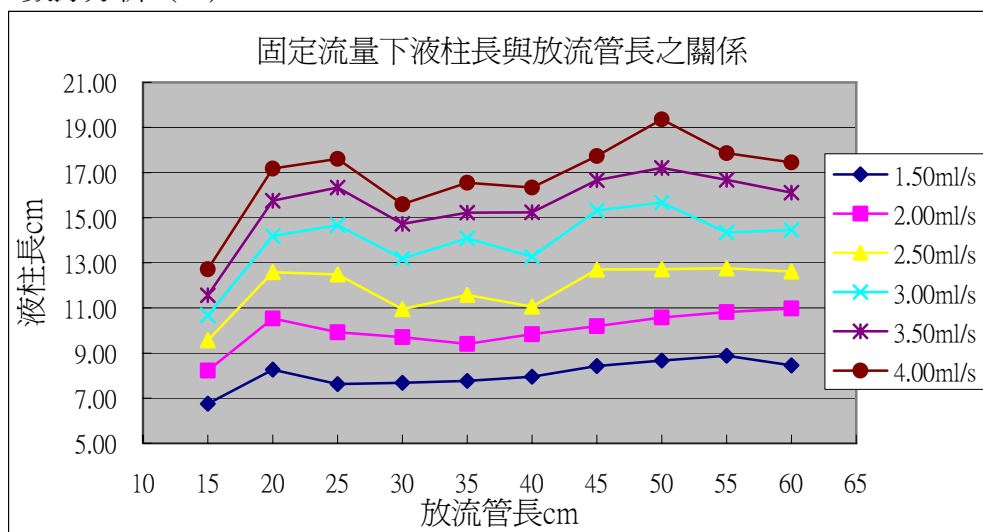
4.00ml/s h(cm)

放流管長	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm	55cm	60cm
h 1st	12.90	17.00	17.60	15.65	16.40	16.30	18.00	19.70	18.50	17.90
h 2nd	12.70	16.50	17.80	15.60	16.40	16.50	18.40	19.50	17.90	17.00
h 3rd	12.65	17.45	17.50	15.60	16.80	16.65	17.80	19.65	17.40	17.10
h 4th	12.80	17.35	17.85	15.40	16.65	15.95	17.20	19.20	18.30	17.80
h 5th	12.50	17.60	17.25	15.70	16.50	16.25	17.30	18.75	17.20	17.45
平均(cm)	12.71	17.18	17.60	15.59	16.55	16.33	17.74	19.36	17.86	17.45

數據表(三)-C-2：流量固定下改變放流管長之 h 平均值

ml/s	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm	55cm	60cm
1.50	6.76	8.26	7.62	7.68	7.76	7.95	8.42	8.67	8.88	8.45
2.00	8.22	10.54	9.92	9.70	9.40	9.84	10.19	10.57	10.82	10.98
2.50	9.56	12.59	12.49	10.95	11.58	11.06	12.70	12.71	12.76	12.61
3.00	10.68	14.18	14.67	13.18	14.08	13.27	15.32	15.66	14.34	14.45
3.50	11.56	15.75	16.33	14.72	15.22	15.24	16.67	17.20	16.68	16.11
4.00	12.71	17.18	17.60	15.59	16.55	16.33	17.74	19.36	17.86	17.45

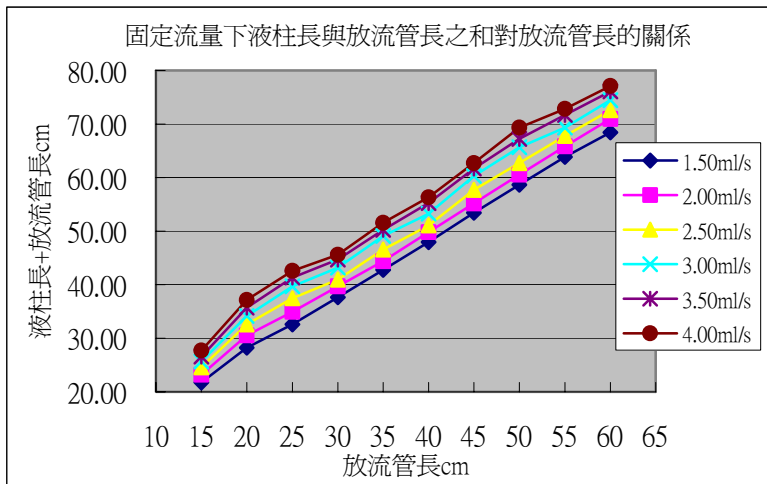
<數據分析>(三)-C-2



表(三)-C-3：液柱長平均值+放流管長

ml/s	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm	55cm	60cm
1.50	21.76	28.26	32.62	37.68	42.76	47.95	53.42	58.67	63.88	68.45
2.00	23.22	30.54	34.92	39.70	44.40	49.84	55.19	60.57	65.82	70.98
2.50	24.56	32.59	37.49	40.95	46.58	51.06	57.70	62.71	67.76	72.61
3.00	25.68	34.18	39.67	43.18	49.08	53.27	60.32	65.66	69.34	74.45
3.50	26.56	35.75	41.33	44.72	50.22	55.24	61.67	67.20	71.68	76.11
4.00	27.71	37.18	42.60	45.59	51.55	56.33	62.74	69.36	72.86	77.11

<數據分析>(三)-C-3



1.50ml/s : $y = 1.033x + 6.8082$
 2.00ml/s : $y = 1.0387x + 8.5653$
 2.50ml/s : $y = 1.0410x + 12.926$
 3.00ml/s : $y = 1.0553x + 11.91$
 3.50ml/s : $y = 1.0699x + 12.926$
 4.00ml/s : $y = 1.072x + 14.103$

四、不同管徑下液體流速對液柱長度的關係

數據表(四)-A-1：放流管長 25cm，20°C H₂O

流速cm/s	管徑2.8mm							
	h(cm)							
28.41	32.47	36.53	40.58	44.64	48.70	52.76	56.82	
h 1st	9.40	10.00	11.40	12.10	13.00	14.10	14.90	16.60
h 2nd	9.50	10.00	11.35	12.15	13.00	14.30	14.90	16.60
h 3rd	9.55	10.20	11.40	12.00	13.40	14.30	15.10	16.80
h 4th	9.30	10.20	11.45	12.00	13.05	14.20	15.55	16.00
h 5th	9.25	10.20	11.20	12.10	13.00	13.95	15.45	16.00
平均(cm)	9.40	10.12	11.36	12.07	13.09	14.17	15.18	16.40

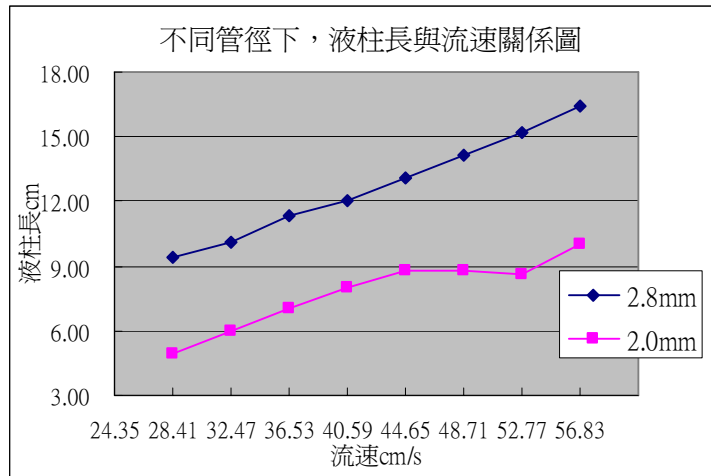
流速cm/s	管徑2.0mm							
	h(cm)							
28.41	32.47	36.53	40.58	44.64	48.70	52.76	56.82	
h 1st	4.90	6.05	7.00	7.95	8.80	8.90	8.60	10.00
h 2nd	4.90	6.00	7.10	7.95	8.70	8.90	8.50	9.90
h 3rd	5.00	6.00	7.05	7.80	8.85	8.80	8.90	10.00
h 4th	4.85	6.10	7.00	8.00	8.90	8.60	8.60	9.95
h 5th	4.90	5.90	6.90	8.10	8.80	8.80	8.65	10.05
平均(cm)	4.91	6.01	7.01	7.96	8.81	8.80	8.65	9.98

數據表(四)-A-2：

不同管徑，不同流速下之h平均值

流速cm/s	2.8mm平均	2.0mm平均
28.41	9.40	4.91
32.47	10.12	6.01
36.53	11.36	7.01
40.58	12.07	7.96
44.64	13.09	8.81
48.70	14.17	8.80
52.76	15.18	8.65
56.82	16.40	9.98

<數據分析>(四)-A-1



捌、實驗討論

一、在放流管長度固定下：

(一) 流量 ($\Delta V/\Delta t$) 對液柱長度的關係

1. 在一定範圍內放流管長度固定下，液柱長隨流量增加而增加，見數據分析表(一)-A，其函數圖形呈良好線性關係，但流量達 4.75ml/s 後出現“破壞點”。

(二) 液體溫度不同對液柱長度的關係

1. 流量和液柱長的線性關係存在一個流量“破壞點”，超過此一流量後，液柱長度大幅降落至趨近一個固定值，即使流量增大，液柱長幾乎不變，表示慣性力重力效應超過黏滯性及表面張力。
2. 液體的表面張力隨液體溫度增加而減小，故流量之“破壞點”隨液體溫度增加而提早出現。(見數據分析表(一)-B-1,2) 但液體黏度提高，如提高食鹽水容易濃度，“破壞點”越晚出現。(比較數據分析表(一)-B-1,2、(一)-C-1,2、(一)-D、(一)-E)
3. 液體溫度越高，流量與液柱長所呈直線之斜率越小。且溫度變化對液柱長影響很大，僅 0.5°C 的溫度改變，在流量不大時，液柱長度的誤差在 0.2 公分以下，但隨著流量增加，雖然溫度改變相同，液柱長的變化漸趨明顯，可達 0.5 公分以上。

(三) 液體濃度不同對液柱長度的關係

1. 在放流管長度固定下，不同濃度的 NaCl 水溶液 (一定範圍內，實驗採用溶液為 H₂O、1M~5M NaCl 溶液)，其流量與液柱長由表(一)-F-1,2 可知呈線性關係。

二、不同放流管長度，在不同流量 ($\Delta V/\Delta t$) 下對液柱長度的關係：

- (一) 改變放流管長 l ，(H₂O) 流量及液柱長關係呈斜率不同的斜直線，放流管長 $l=15\sim 25$ 公分，斜率隨管長增長而增大， $l=25\sim 35$ 公分，斜率隨管長增長而減

小， $l=35\sim 50$ 公分，斜率隨管長增長而增大， $l=50\sim 60$ 公分，斜率隨管長增長而減小，似乎成週期性增減。（見數據分析表(二)-A-2）

- (二) 在實驗流量範圍內，流量小的時候，不同放流管長，液柱長度越接近，再降低流量至某一程度，不論放流管長為多少，其液柱長應為一固定長度。（見數據分析表(二)-A-2）

三、在固定流量下：

- (一) 液體溫度不同對液柱長度的關係

1. 液體溫度在實驗濃度範圍內與液柱長度隨溫度升高而遞次減小，成二次函數關係，當流量為 2ml/s 時，其關係式為 $y=0.012x^2$ ，當流量為 2.5ml/s 時，其關係式為 $y=0.0014x^2$ 。（見數據分析表(三)-A-1,2）

- (二) 液體濃度不同對液柱長度的關係（見數據分析表(三)-B）

1. NaCl 水溶液濃度在 $1\text{M}\sim 3\text{M}$ 間，液柱長度隨濃度增大而增加，而 $3\text{M}\sim 5\text{M}$ 間液柱長隨濃度增大而減小。
2. 所固定的流量越大，從純水到 3M 食鹽水間的液柱長變化量顯著，但 $3\text{M}\sim 5\text{M}$ 液柱長的變化量較小。

- (三) 放流管長度不同對液柱長度的關係

1. 實驗中，放流管長度改變與液柱長關係圖呈現一“M”型波浪式函數改變，兩高點分別在管長為 25 公分、 50 公分，中間低點在管長為 35 公分（見數據分析表(三)-C-1）；固定的流量越小的情況下，液柱長度受放流管長影響越小；放流管長越短，放流管長對液柱長影響較明顯。
2. 固定流量下，液柱長隨放流管長增長而增長，但流量增大時，單位放流管長下液柱長的增加率隨流量增加而增加。（見數據分析表(三)-C-2）

四、不同管徑下液體流速對液柱長度的關係（見數據分析表(三)-D-1）

- (一) 用管徑為 2.0mm 的放流管，仍有液柱長 h 隨流量增大而增長的現象。
- (二) 大小兩種管徑實驗結果相比較，相同流速下，管徑較小者其液柱長 h 較小。

五、雷諾數（Reynolds number）討論：

$$\text{依雷諾數 } Re = \frac{VD}{\nu} \quad (\nu = \mu / \rho)$$

一般對管流而言，在雷諾數 $Re < 2300$ 時可確定其流動型式為層流，而本實驗之 Re 最大為 $1103.05 < 2300$ ，故本實驗為層流現象。

六、黏滯性的數據計算分析與探討：

20°C H₂O

出管流量	管徑A	出管流速	放流管長l	入管流量	入管流速	理論流速	$v'\Delta v = v' - v$	$v'^2 - v^2$	$(v'^2 - v^2)/l$
ml/s	cm ²	cm/s	cm ²	ml/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm ² /s ²	cm / s ²
1.50	0.0616	24.35	25.00	0.93	15.10	221.50	197.15	48469.33	1938.77
2.00	0.0616	32.47	25.00	1.32	21.42	222.20	189.73	48318.54	1932.74
2.50	0.0616	40.58	25.00	1.61	26.14	222.90	182.32	48037.67	1921.51
3.00	0.0616	48.70	25.00	2.25	36.53	224.30	175.60	47938.80	1917.55
3.50	0.0616	56.82	25.00	2.38	38.64	224.70	167.88	47261.58	1890.44
4.00	0.0616	64.94	25.00	2.54	41.23	225.10	160.16	46452.81	1858.11

出管流量	管徑A	出管流速	放流管長l	入管流量	入管流速	理論流速	$v'\Delta v = v' - v$	$v'^2 - v^2$	$(v'^2 - v^2)/l$
ml/s	cm ²	cm/s	cm ²	ml/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm ² /s ²	cm / s ²
2.00	0.0616	32.47	25.00	1.32	21.42	222.20	189.73	48318.54	1932.74
2.00	0.0616	32.47	35.00	1.17	18.99	262.70	230.23	67956.99	1941.63
2.00	0.0616	32.47	45.00	1.07	17.37	297.50	265.03	87451.95	1943.38

20°C 1M NaCl

出管流量	管徑A	出管流速	放流管長l	入管流量	入管流速	理論流速	$v'\Delta v = v' - v$	$v'^2 - v^2$	$(v'^2 - v^2)/l$
ml/s	cm ²	cm/s	cm ²	ml/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm ² /s ²	cm / s ²
1.50	0.0616	24.35	25.00	0.96	15.58	221.91	197.56	48651.13	1946.05
2.00	0.0616	32.47	25.00	1.20	19.48	222.21	189.74	48322.98	1932.92
2.50	0.0616	40.58	25.00	1.69	27.43	223.05	182.47	48104.57	1924.18
3.00	0.0616	48.70	25.00	2.01	32.63	223.75	175.05	47692.37	1907.69
3.50	0.0616	56.82	25.00	2.52	40.91	225.11	168.29	47446.00	1897.84
4.00	0.0616	64.94	25.00	2.93	47.56	226.41	161.47	47044.28	1881.77

出管流量	管徑A	出管流速	放流管長l	入管流量	入管流速	理論流速	$v'\Delta v = v' - v$	$v'^2 - v^2$	$(v'^2 - v^2)/l$
ml/s	cm ²	cm/s	cm ²	ml/s	cm/s	cm/s	cm/s	cm ² /s ²	cm / s ²
2.50	0.0616	40.58	25.00	1.69	27.43	223.05	182.47	48104.57	1924.18
2.50	0.0616	40.58	35.00	1.46	23.70	262.99	222.41	67517.00	1929.06
2.50	0.0616	40.58	45.00	1.33	21.59	297.77	257.19	87020.24	1933.78

(一) 入管流量越小，理論流速 v' 與實驗流速 v 之差 Δv 越顯著；放流管長越長， v' 與 v 之差 Δv 越明顯。

(二) 由力學能守恆及總能量守恆知：

$$\frac{1}{2}mv'^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh \quad \text{----- (1)}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh - \tau_w l \quad \text{----- (2)}$$

(1) - (2) 得：

$$\frac{1}{2}m(v'^2 - v^2) = \tau_w \ell$$

設 m 為單位質量之下：

$$\frac{v'^2 - v^2}{\ell} \text{ 為一定值}$$

表示黏滯力 τ_w 在此實驗中為穩定值

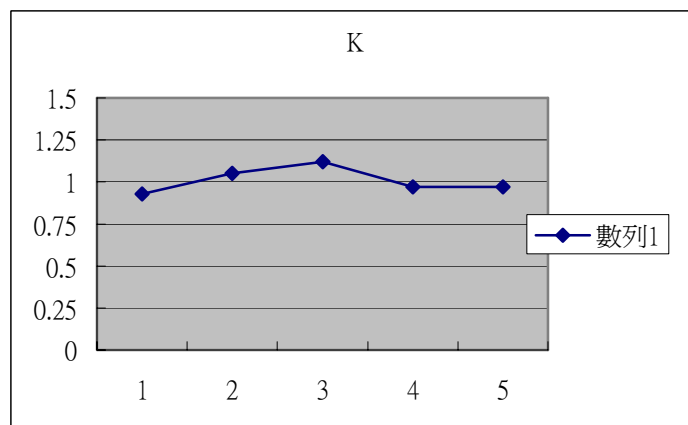
根據實驗結果，相同流量下，黏滯力為定值。

七、表面張力與液柱長截斷處口徑分析

動力黏度 $\nu = 1.002 \times 10^{-3} \text{ (nt/m}^2\text{)}$

20°C H₂O 表面張力 = $7.28 \times 10^{-2} \text{ (nt/m)}$

斷流口徑D(mm)	斷流截面積A(mm ²)	斷流水滴重W(nt)	W/A $\nu = K$
1.8	2.545	2.24×E-4	0.93
1.8	2.545	2.54×E-4	1.05
1.7	2.270	2.70×E-4	1.12
1.7	2.270	2.34×E-4	0.97
1.75	2.404	2.34×E-4	0.97
	1.75 (平均)	2.407 (平均)	2.432×E-4 (平均)



玖、實驗結論

- 一、由實驗一之(一)、(二)得知，放流管長度固定下，垂落液柱長會隨流量增加而增加，圖形為良好線性關係；在不同溫度下的 H₂O 及水溶液，流量大到某一程度時，液柱長與流量函數圖中皆出現“破壞點”，當溫度越高，“破壞點”出現越早，以水為例，最早出現“破壞點”者為 60°C H₂O，原因是在流量越大時，水分子積聚越多能量，加之溫度升高，水分子帶有過多熱量必須散發，故流量雖可支持更長的液柱，但為爭取更大的散熱表面積，造成水柱不得不提早斷裂。
- 二、由實驗一之(三)得知，H₂O 及不同濃度水溶液中，流量大到某一程度時，液柱長與流量函數圖中皆出現“破壞點”，而濃度越高“破壞點”越晚出現，以食鹽為例，“破壞點”最晚出現者為 3M 食鹽水溶液，原因是液體黏滯力越大，可以支撐的液柱長度即越長。
- 三、由實驗二之(二)得，因為流量一旦降到某一程度下(近似靜流體之現象)，水與放流管

間的黏滯力及表面張力會大於慣性力，而無法形成一條可測得長度的水柱，如此現象猶如毛細管下液滴(參考右圖)；表面張力 $T \times 2 \pi r = W$ 此時液柱截斷成液滴緩緩下拉而落下。

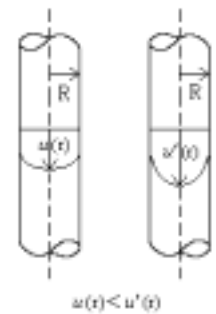


四、由實驗三之(一)得，不同種類液體，其液柱長度隨溫度升高而減小，呈二次遞減關係($y=kx^2$)。

五、由實驗三之(二)得，液體濃度高達某一程度以上，液柱長度仍隨流量增加而增加，但變化量隨之減小，推測是液體濃度在一定範圍內受黏度影響較受表面張力大，而濃度達到某一程度以上，液柱長則受表面張力影響較受黏度影響大，以食鹽水為例，此轉折點為 3M。。

六、由數據分析(三)-C-3 分析結果，液體流經放流管的流量不同時，放流管長+液柱長($l + h$)隨放流管長度遞增而規律增大，且 $l + h$ 增加率隨流量增加而增大，當流量由 1.5ml/s 增大到 4.0ml/s，其變化率由 0.033 增大到 0.072。

七、經計算分析，入放流管內流速增大時，管流與管壁摩擦而消耗的能量固定，但流量較大時，損失能量為遞減的情況，如圖所示，原因參考觀念 IV。(見討論五數據分析表($v'^2 - v^2$)/l 欄)



八、實驗中管流皆為穩流，當溫度固定時，液柱截斷處之口徑為一定值(以水為例是 1.75mm)，不會受放流管長及流量改變影響，是因為同一溫度下其表面張力與動力黏度為定值所致；顯見實驗中液柱長為黏滯性所影響，而液柱截斷處之口徑是表面張力的因素所致。

九、這次實驗以點滴瓶的流量控制加上放流管長之長短改變衍生出豐富的研究變因，使得「垂涎欲滴」的小問題發展到黏滯力與表面張力的探討，也得到良好的實驗結果，可見巧妙的實驗設計可以成功解開大自然的奧秘。

壹拾、感想與展望

感想：

從實驗之初開始，為掌握實驗的要領，改進再改進，突破再突破。實驗設計一次又一次更加巧妙，實驗測量的方法精確再精確。由這次實驗的體驗，我們發現科學須自身嘗試與討論改進，它可以很有趣，也可以很美妙，雖然是一個很小的問題，但深入探討後才發現，越深入一步可研究的空間越大，真的見識到了大自然深處的奧秘！

展望：

實驗中與水不同的溶液只採用了食鹽水一種，不知其他溶質的水溶液是否會有相同的結論，若採用分子較大的溶質(例如：蔗糖、蜂蜜)，是否會因水溶液不均勻狀態而有不同的結果？有待他日再敘。 $\frac{v'^2 - v^2}{\ell}$ 為穩定值，也會因接觸管壁性質而異，可進一步探討。

壹拾壹、參考資料及其他

- 一、吳友仁編 物理基礎觀念第 2 冊 東江圖書公司印行
- 二、林明瑞編 物質科學物理篇(下冊) 南一書局
- 三、褚德三編 物質科學物理篇(下) 龍騰文化事業公司編印
- 四、蔡豐欽編著 流體力學概論第四版 新文京開發出版有限公司
- 五、毛壽彭編著 流體力學 五南圖書出版公司印行
- 六、Young Munson Okishi 原著 杜鳳棋譯 流體力學—精華本 高立圖書有限公司
- 七、Frank M. White 著 莊書豪 姜太倫譯 流體力學 美商麥格羅·希爾國際股份有限公司

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

高中組 物理科

佳作

040113

垂涎”欲”滴-看黏滯性與表面張力

國立新竹女子高級中學

評語：

1. 流速高時出現液柱長之破壞點十分有趣
2. 溫度升高破壞點提前現象十分明顯，解釋亦合理。
3. 數據處理詳細，唯未報告數字之離散度為其缺點。