

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030108

臺南縣立佳里國民中學

指導老師姓名

陳俊丞

林立川

作者姓名

陳立錚

許玉鈴

李昀恆

台南縣九十三年度國民中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：國中組

組 別：物理科

作品名稱：垂“懸”欲『掉』-大氣壓力實驗之探討

關鍵詞：大氣壓力、波以耳定律

編 號：

目 錄

一、 摘要	P.3
二、 研究動機	P.3
三、 研究目的	P.3
四、 研究歷程及方法	P.4
(一) 變因探討	P.4
(二) 估算水體積在不同高度時微小的體積變化	P.6
(三) 證明微小的體積變化	P.8
五、 研究結果	P.14
(一) 滿水時各瓶口面積承受的重量實驗	P.14
(二) 不同水量時各瓶口面積的表現情形	P.15
(三) 測量微小體積的變化情形	P.18
(四) 驗算實驗結果	P.23
六、 討論建議	P.25
七、 參考文獻	P.25
八、 實驗過程及觀察記錄	P.25

一、摘要

此實驗之重點乃在於研究水多寡、蓋片材質或者是瓶口面積大小是否會影響吊重之結果，更進一步的研究因瓶蓋稍微掉落而導致的瓶內體積、壓力之變化是否為其可支撐重量之變因。

於是我們首先用 C 型夾，讓我們的容器以 C 型夾固定，減少人為因素之影響，並採用壓克力片為蓋片。用三種不同瓶口面積，但容積一樣的容器分別以不同水量來做，下面袋子裝砝碼，測量其可支撐之重量變化，實驗結果得到：瓶口面積愈大或水量愈多，可支撐的重量較重。

為了解釋瓶子內外壓力差（波以耳定律）是造成撐起水重以及壓克力片的原因，我們另外設計一個自製的壓力計來量測瓶內的壓力變化。在實驗中我們發現到內外壓力差非常微小，但是就足以撐起來整個系統的重量，以理論值來說其液面高度變化是 0.02cm，眼睛難以辨識的境界，但是用我們的裝置（S 型管壓力計）可以觀測到其變化，並和理論值有相同的趨勢。

二、研究動機

在上有關大氣壓力的課程中，老師做了一個實驗：「將杯子裝滿水後，用一片玻璃片蓋上，再整個倒置過來，而水卻不會落下！」，這個實驗令我感到十分神奇，老師說是因為水往下壓力小於往上的大氣壓力，所以才有這種現象。

似懂非懂的我於是自己拿了器材試了幾次後，發現如果裝滿水後開始漏氣的話，玻璃片就很容易掉下來，而若一開始水不要裝滿載蓋上玻璃片倒置，成功的機率卻是時好時壞，不過畢竟還是會成功，疑惑便由此產生了，因為照我們原來的想法「水裝一半時蓋上玻璃片倒置，內部的壓力為（一大氣壓+水壓+蓋子重/面積）> 外面的一大氣壓」，可是卻沒掉下來，因這個契機，我們便開始進行研究了。

三、研究目的

1. 探討會影響本次實驗的變因以找出我們欲知為何沒裝滿水時也可撐起之原因。
2. 不同水體積和空氣體積，所能承受重量的多寡，有何差別。
3. 瓶內裝的空氣與水體積比例之變化所造成的影響，這個是否為實驗崩潰的主因，抑或是內外壓力差所造成的影響，依我們所找到的原因來研究前述的假設是否成立。
4. 證明所假設的微小體積變化是造成不會掉落之原因。

四、研究歷程及方法

(一) 變因探討

一開始隨手拿幾個瓶口面積不一的玻璃杯和玻璃片、壓克力片、平滑圓形鐵片、塑膠片來進行實驗，操作過程中發現有時會成功有時失敗，又有時是因人而異，而討論可能影響實驗的變因如下：

1. 水平穩定度：

- 因為每個人拿的穩定程度不一樣，我們發現若拿的沒有很水平，便會使玻璃片因受力不均而滑掉，因此製作一個鐵架使其保持水平便很重要了。
- 剛開始使用繩子想把瓶子固定住，可是發現效果很差，又很難確定其是否水平，且操作不易、易晃動，後來使用學校既有的鐵架和鐵環來進行組裝，以及去五金行買了一個 C 型夾（要夾住的地方用貼椅子腳的軟墊黏住），並附上水平儀，使其能夠平均受力。如下圖（4-1）（4-2）（4-3）。



圖（4-1）用繩子吊住



圖（4-2）使用 C 型夾固定瓶子



圖（4-3）加上可移動水平儀

2. 蓋子的材質是否形變：

- 剛開始實驗時覺得硬塑膠墊板又輕薄、又平滑，應該是很理想的蓋子，不過後來發現，當手撐住要倒置杯子時總會不小心把墊板往裡面壓，這一壓就影響了裡面壓力變化情形了。
- 而為了減少往探討方向所有會影響的變因，所以先拿了幾種材質來測試形變所造成的影響是否很大，測試結果如下頁表（4-1）。
- 最後選擇壓克力片，因為其厚度如果夠的話不易發生形變且質量輕，又可以請店家幫我們切割需要的大小。

厚紙片	會潮濕，無法重複實驗。
玻璃片	因為較重，所以會浮浮的稍微離開瓶口且不易形變，但很容易因滑動而掉下來。
硬墊板	倒置後易凹陷，但吸的很緊。
壓克力片	浮浮的稍微離開瓶口，並無凹陷的樣子，因較玻璃片輕，所以吸附的比玻璃緊。
圓形鐵片	呈略微凹陷，

表 (4-1) 測試各種材質形變

3. 壓克力杯瓶口面積：

- a. 我們拿了數個不同截面積的杯子，對同一壓克力片測試的結果好像瓶口面積越大的，其吸附的程度越緊密，於是畫好設計圖，請切割壓克力片的店家幫我們製作了，三個體積幾乎一樣 (216、212.5、208 cm³)，但瓶口面積不同 (形狀皆為正方形) 的壓克力容器，如圖 (4-4)。
- b. 再做針對其所能承受最大重量的實驗，也就是在下面吊重物一直增加到其掉下來為止如圖 (4-5) (由固定的人作實驗，以減少人為誤差)。
- c. 一開始的線吊砝碼不夠方便，且穩定度不夠，為了能使驗結果更精確，便製作了砝碼袋。

：先將小的夾鏈袋剪半，留下下面的部分，在利用迴紋針從袋子中間穿過，另一端再穿過黏在壓克力板上的繩子。

：把墊板剪成長條狀，將其放入袋中以膠帶固定，使其撐大袋口。

：把迴紋針部分拆下，用熱熔膠將其黏於袋邊。

- d. 調整水平等裝置穩定後加入砝碼，如圖 (4-6) (4-7)



圖 (4-4) 同體積不同瓶口面積的壓克力容器



圖 (4-5) 懸吊砝碼裝置



圖 (4-6) 裝好水調整水平後準備加砝碼

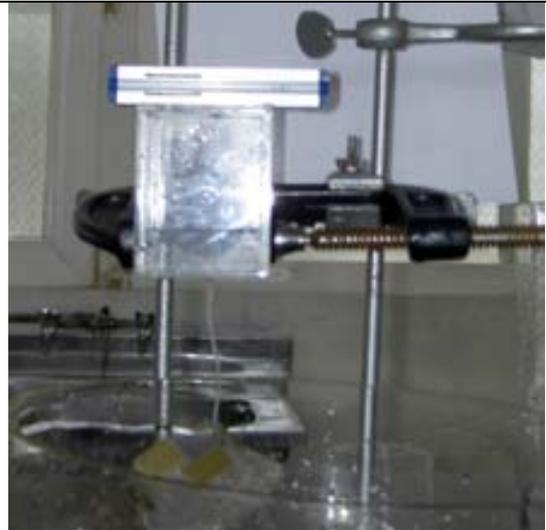


圖 (4-7) 加入砝碼

4. 不同水量時的情形：

- a. 當水量並非全滿的時候，依照原來的想法：內部的壓力為大氣壓力加上水壓，應該是大於外界的大氣壓力，所以壓克力片應該會掉落，但是並沒有掉落。這跟我們的預期不一樣，故內部的壓力應該小於外界的壓力（一大氣壓力），內外的壓力差造成可以支撐水的重量以及壓克力片的重量。
- b. 為了要求得內外壓力差到底可以支撐多少重量，故實驗設計外加砝碼來測定不同水量時其所能支撐的最大值。

I. 固定瓶口面積，改變水量（水量由 180ml 遞減至 30ml，每次減少 30ml）求所能夠承載法碼的最大量。

II. 固定水量，改變瓶口面積（4 ×4、5 ×5、6 ×6 瓶口內緣長度）求所能夠承載法碼的最大量。

（本實驗由固定一個人操作，以減少誤差產生）

（二） 估算水體積在不同高度時微小的體積變化

因為想知道不同比例的空氣與水量會有什麼的關係，因此先利用一些假設估算了一下整體體積的變化情形：

- a. 假設 h_1 為杯內空氣的高度， h_2 為杯內水的高度

內部氣體壓力變化為 $P_0 \cup P_2$

而增加的體積為壓克力片與瓶口之間水的體積

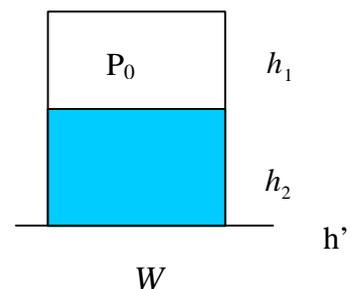
（假設為 $h' \times A$ 為增加的體積）

則由波以耳定律可得：

$$p_1 \times (h_1 \times A) = p_2 \times (h_1 + \Delta h') \times A$$

$$\text{即 } p_2 = \frac{h_1}{h_1 + \Delta h'} p_0$$

$$\Rightarrow \Delta p = p_0 \frac{\Delta h_0}{h_1 + \Delta h'}$$



b. 由力的平衡可知

$$\text{所以往下的作用力} = h_2 A + W \text{ (水重 + 玻璃片重)}$$

$$\text{往上的作用力} = \Delta p \times A$$

$$h_2 A + W = p_0 \frac{\Delta h_0}{h_1 + \Delta h'} \times A$$

c. 整理可得

$$\Delta h' = \frac{h_2 + \frac{W}{A}}{p_0 - h_2 - \frac{W}{A}} \times h_1$$

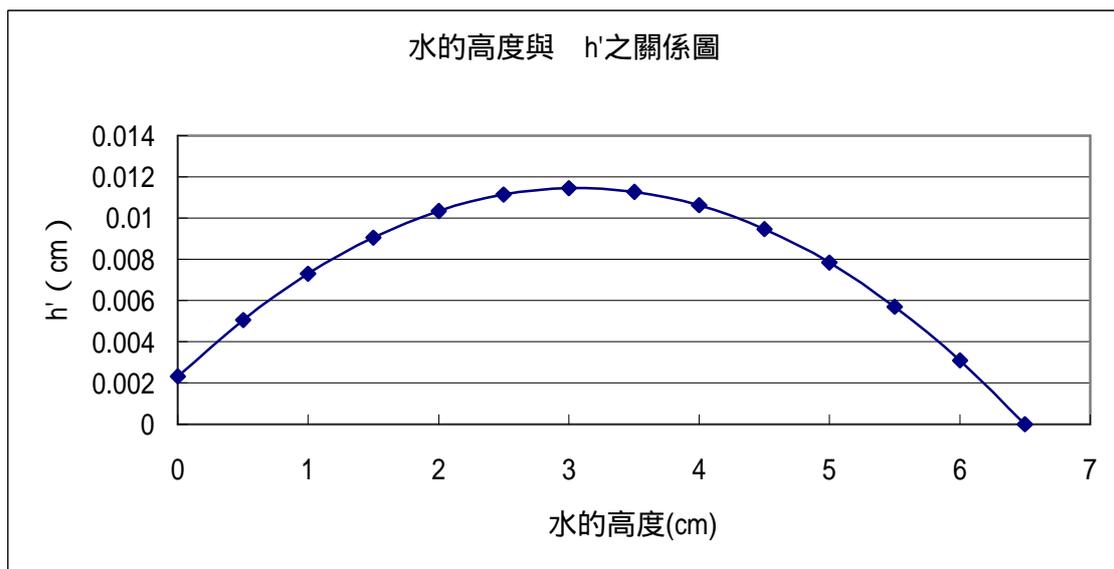
d. 今假設 $h_1 = x$ (水的高度 cm)

而 $p_0 = 1033.6 (\text{gw}/\text{cm}^3)$ 、 $W = 14 \text{ gw}$ 、 $A = 38.465 \text{ cm}^2$ 、杯子高度 = 6.5cm 為已知

$$\text{代入得: } \Delta h' = \frac{6.5 - x + \frac{14}{38.465}}{1033.6 - (6.5 - x) - \frac{14}{38.465}} \times x$$

e. 取一組模擬的數據帶入上式用 Excel 來作圖：

水的高度(cm)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5
$h' \times 10^{-2}$ (cm)	0.23	0.51	0.73	0.91	1.03	1.11	1.14	1.13	1.06	0.95	0.78	0.57	0.31	0



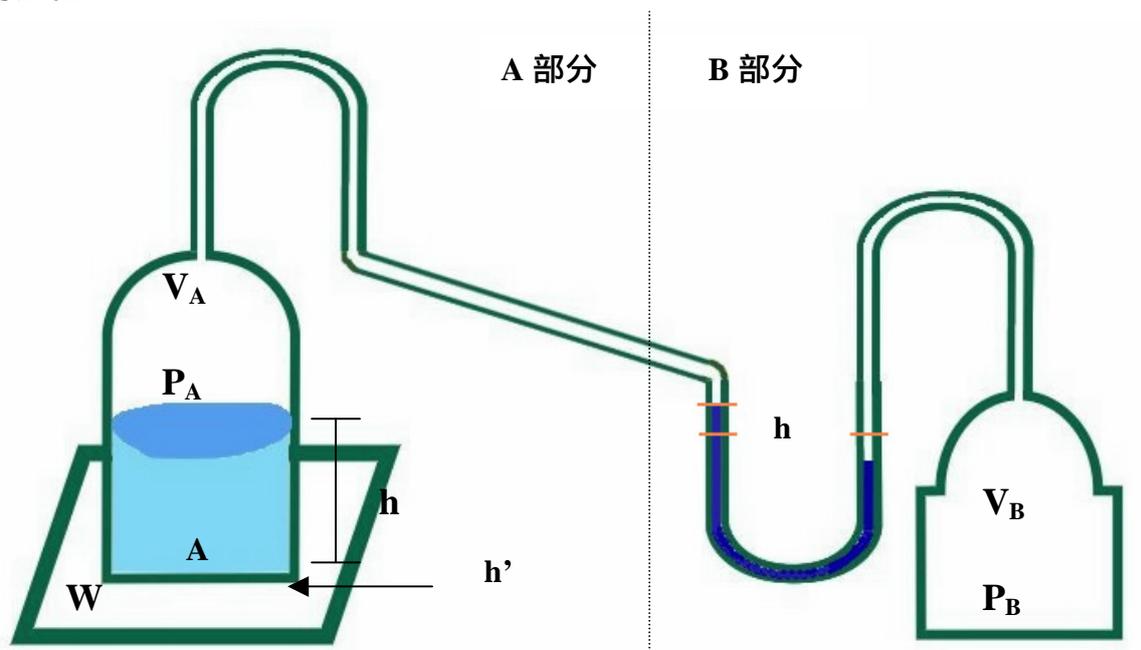
f. 可以發現在相同壓克力片下，不同的水量會造成不同程度的間隙，而且還有出乎意料之外的曲線變化情形，水的高度在約一半左右時所造成的間隙最大，但雖然此時最大可是其高度也不到 0.012 公分，因此要量測這個值實在是件難事。

(三) 證明微小的體積變化

為了證明當我們將壓克力片放開時，容器內的氣體體積有變大，造成內部壓力減少使得大氣壓力能因為此變化量，而稱起壓克力片和水重，那直接測量體積變化情形是最直接的方式了。但是我們發現事實上要測到一個肉眼無法觀測到的微小體積變化是非常難的，因此我們改變想法，那位何不接一個壓力計，可以直接來測得壓力的變化呢？於是我們設計了以下的實驗：

1. 將我們實驗用的容器再加上 B 部分，B 部分是一個簡易的壓力計，其附有 S 型管且體積為 V_B 的容器，其目的在於當我們將 A 部分下的蓋子放開時，其內部若有壓力變化時可以將其變化放大到 B 部分的 S 型管內的水柱，再進而推算出蓋子與瓶口間所增加的體積，其推導過程如下：

推導過程



- g. 假設前後變化為：A 部分壓力 $P_0 \cup P_A$ 體積 V_A (原 A 部分體積) $\cup V'_A$
 B 部分壓力 $P_0 \cup P_B$ 體積 V_B (原 B 部分體積) $\cup V'_B$

其中， P_0 為一大氣壓 = $1033.6 \left(\frac{g^w}{cm^2} \right)$

- h. A 部分力的平衡：向下的力量 = 向上的力量

$$\text{往下的力量} = W + h \times A + P_A \times A$$

$$\text{往上的力量} = P_0 \times A$$

其中， W 為壓克力片重、 A 為瓶口面積

$$\Rightarrow P_A = \frac{P_0 \times A - W - h \times A}{A} = P_0 - h - \frac{W}{A} \quad \text{---(a)}$$

- i. A、B 部分壓力的平衡

$$\Rightarrow P_B = P_A + 2\Delta h \quad \text{---(b)}$$

j. 則可求出 V'_A 和 V'_B

由 B 部分 $P_0 \times V_A = P_A \times V'_A$ (代入 a 式)

$$\Rightarrow V'_A = \frac{P_0 \times V_A}{P_A} = \frac{P_0 V_A}{P_0 - h - \frac{W}{A}} \quad \text{---(c)}$$

$V_A = \text{原瓶內總體積} - \text{水量} = V - h \times A$

$P_0 \times V_B = P_B \times V'_B$ (代入 b 式)

$$\Rightarrow V'_B = \frac{P_0 \times V_B}{P_B} = \frac{P_0 V_B}{P_A + 2\Delta h} = \frac{P_0 V_B}{P_0 - h - \frac{W}{A} + 2\Delta h} \quad \text{---(d)}$$

k. 假設水沒有漏出也不可壓縮的情況下，氣體變化後增加的體積應等於瓶口和蓋子間所增加的體積 ($\Delta h' = \text{蓋子離開瓶口的高度}$)

$$\text{即 } \Delta h' \times A = (V'_A + V'_B) - (V_A + V_B) \quad \text{---(e)}$$

1. 將(c)、(d)兩式代入(e)式可得：

$$\Delta h \times A = \left(\frac{P_0 V_A}{P_0 - h - \frac{W}{A}} + \frac{P_0 V_B}{P_0 - h - \frac{W}{A} + 2\Delta h} \right) - (V_A + V_B)$$

2. 為了符合推導過程所需要的條件，因此實驗操作過程及步驟需非常謹慎，如下：

a. 先測得一些基本的數據

A 部分瓶子體積	A 部分瓶口面積	軟管體積	A 部分的空氣體積
250.0(ml)	38.465(cm ²)	22.0(ml)	$V_A = 277(\text{cm}^3) - \text{水量}$
B 部分 S 型管體積	S 型管截面積	壓克力片重	B 部分的空氣體積
7(ml)	0.215385(cm ²)	W = 14.2、28.4gw	$V_B = \text{定值} = 75.0(\text{ml})$
操作的水量	大氣壓力		
= h×A (gw)	= 1033.6(gw/cm ³)		

b. 為了確定一開始 AB 部分內部氣體壓力皆為一大氣壓，所以先將圖 (4-8) 儀器拆成 A、B 兩部分圖 (4-9)，如圖 (4-10) 和圖 (4-1)。



圖 (4-8) 裝置全圖

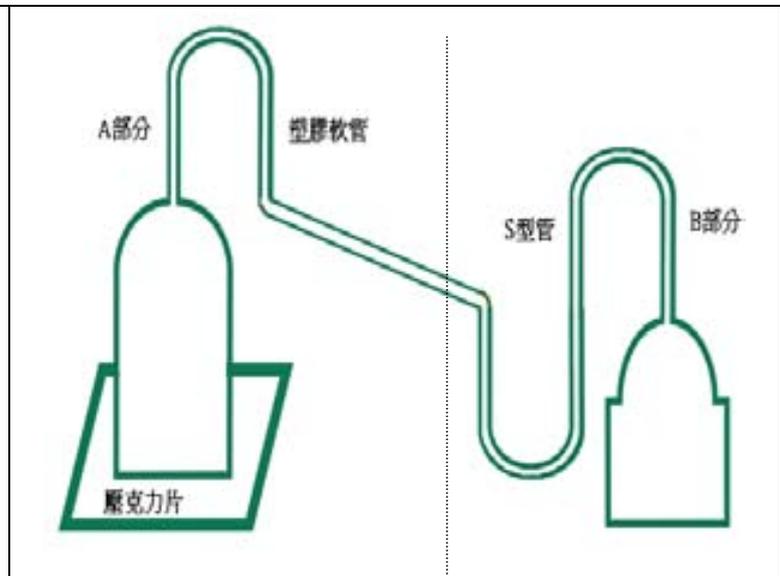


圖 (4-9) 儀器示意圖

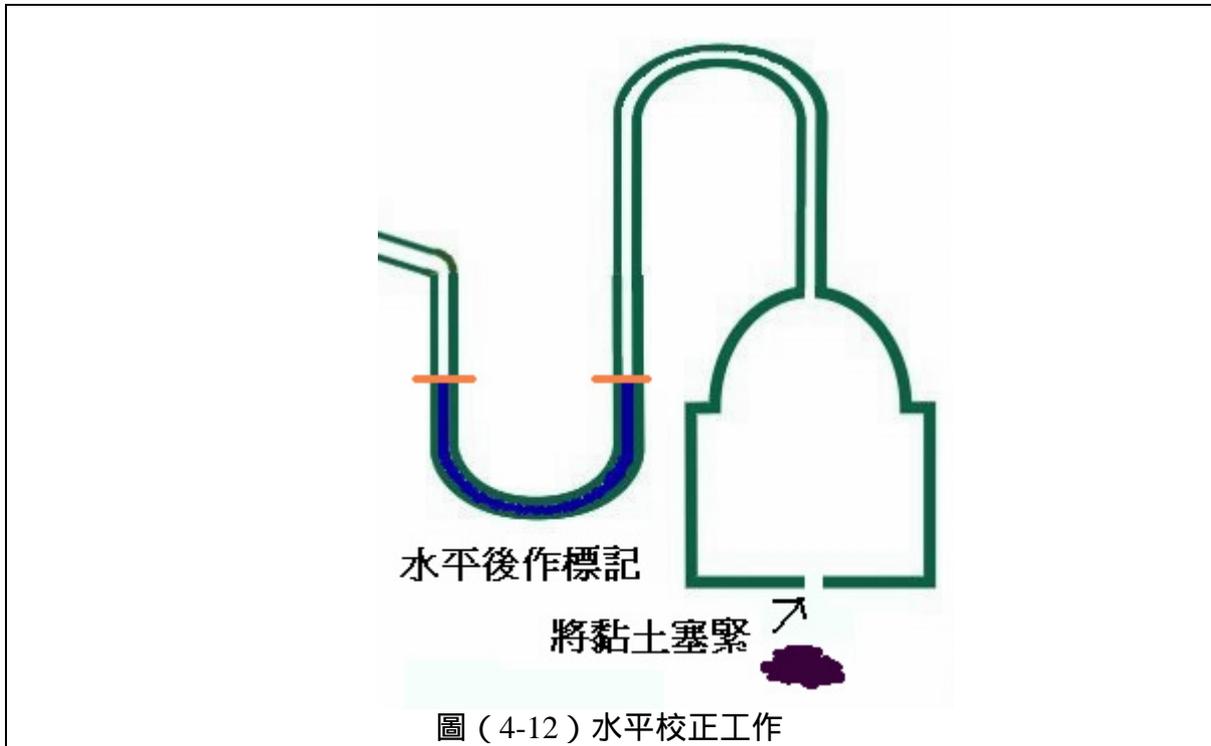


圖 (4-10) A 部分



圖 (4-11) B 部分

- c. 為確保 B 部分的 S 型管內的水柱呈現水平狀態，如圖 (4-12)，利用膠帶標記其位置，再將黏土塞緊後，以確保其內氣體不外漏（此時瓶內氣壓為一大氣壓）。



- d. 再將 A 部分浸入水中(注意管口部分勿浸入)取好大約我們需要的高度，在瓶口蓋以壓克力片(= W),手撐住後移出水面，再水平固定在架子上，如圖(4-13) (此時瓶內與外面由與管子連通的關係，所以仍為一大氣壓)。



圖 (4-13) 可取至適當高度後蓋上壓克力片拿出水面

- e. 再把 A 部分和 B 部分連接起來，支撐的手才放開 (要接起來時水會有稍微滲出 P_0 內+h > P_0 外，但注意不要讓水滴下，當手一放開時他又會被吸回去了)，如圖 (4-14) 觀察並標記 S 型管內水位的變化，使用標記用的膠帶來作記號，並量出其變化量 (= Δh)，如圖 (4-15) 並記錄之，此時可以看見杯口與壓克力片間會有一個水造成的間隔。



圖 (4-14) A、B 部分結合後，將手放開

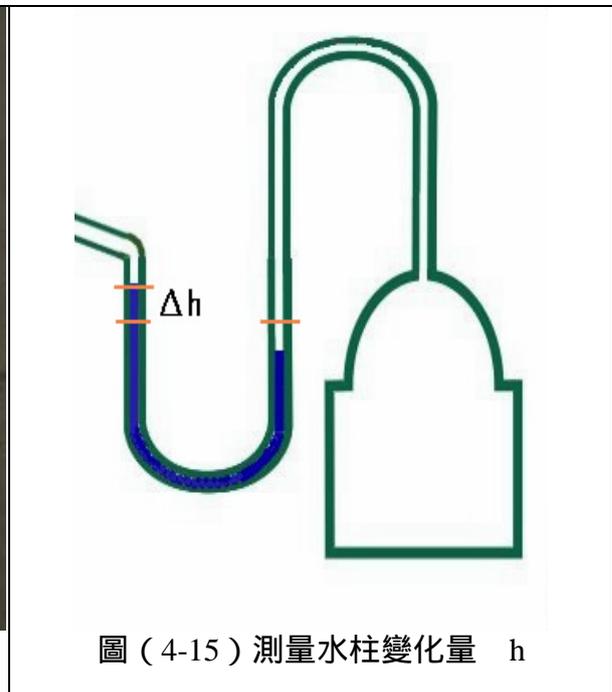


圖 (4-15) 測量水柱變化量 h

f. 最後把 A 部分的水倒入量筒內記錄其水量 $V_{水}$ ，如圖（4-16）圖（4-17）。



圖（4-16）將瓶內水到出



圖（4-17）測量水量

g. 再將其數值帶入上面所導出的式子

$$\Delta h' \times A = (V_A + V_B) - \left(\frac{P_0 V_A}{P_0 - h - \frac{W}{A}} + \frac{P_0 V_B}{P_0 - h - \frac{W}{A} + 2\Delta h} \right)$$

h. 作圖，畫出水量高度的變化與蓋子離開杯口高度關係圖，數據如研究結果。

3. 而由於在這樣的系統無法建立理論值，所以必須再固定一個變因，此變因即為固定 B 部分的壓力，將其一直固定在 P_0 的狀態下，也就是『將其與外界保持連通』則公式推導如下：

a. A 部分力的平衡

$$\text{往下的力} = W + h \times A + P_A \times A$$

$$\text{往上的力量} = P_0 \times A, \text{ 其中 } W \text{ 為壓克力片重、} A \text{ 為瓶口面積}$$

$$\Rightarrow P_A = \frac{P_0 \times A - W - h \times A}{A} = P_0 - h - \frac{W}{A} \quad \text{---(a)}$$

b. A、B 部分壓力的平衡

$$\Rightarrow P_B = P_0 = P_A + 2\Delta h$$

$$P_A = P_0 - 2\Delta h \quad \text{---(b)}$$

$$\text{由(a)和(b)兩式可得 } 2\Delta h = h + \frac{W}{A}$$

c. 則可求出 V'_A

由 A 部分 $P_0 \times V_A = P_A \times V'_A$ (代入 a 式)

$$\Rightarrow V'_A = \frac{P_0 \times V_A}{P_A} = \frac{P_0 V_A}{P_0 - h - \frac{W}{A}} \quad \text{---(c)}$$

$V_A = \text{原瓶內總體積} - \text{水量} = V - h \times A$

d. A 部分的體積變化為 $V'_A = V_A + \Delta h' \times A - a \times \Delta h$

$$\Delta h' \times A = V'_A - V_A + a \times \Delta h = \frac{P_0 V_A}{P_0 - h - \frac{W}{A}} - V_A + a \times \Delta h$$

$$= \left(\frac{P_0}{P_0 - h - \frac{W}{A}} - 1 \right) \times (V - h \times A) + a \times \frac{1}{2} \left(h + \frac{W}{A} \right)$$

e. 如此便可以來作水量高度的變化與蓋子離開杯口高度的理論值關係圖了, 其圖形如研究結果。

五、 研究結果

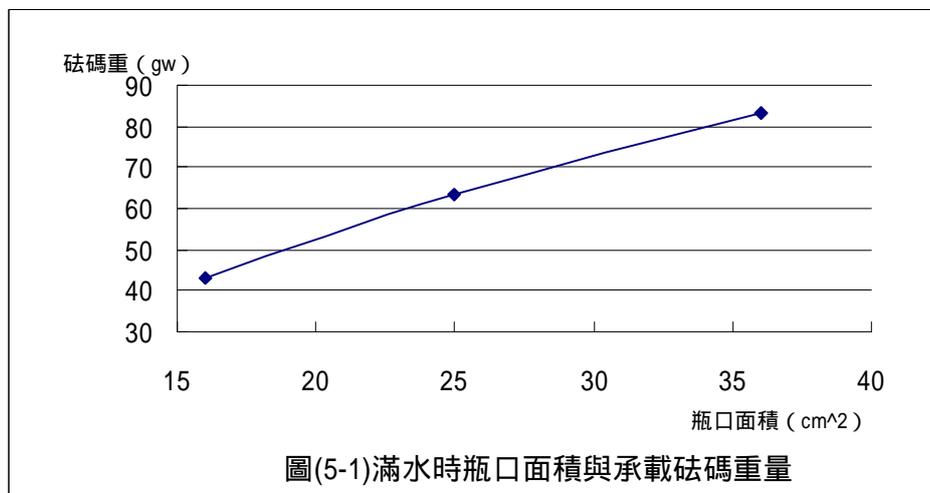
(一) 滿水時各瓶口面積承受的重量實驗

表 (5-1) 所使用三種容器的相關資料

容器	面積 (cm ²)	體積 (cm ³)	高度 (cm)	壓克力厚度 (cm)
面積大	36.0	216.0	6.0	0.47
面積中	25.0	212.5	8.5	0.47
面積小	16.0	208.0	13.0	0.47

表 (5-2) 各瓶口面積在滿水時所能承受的重量實驗結果如下

各瓶口面積 的砝碼重量	實驗次序					
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
砝碼重 (gw) 6 ×6	63.4	68.4	83.4	123.4	83.4	83.4
砝碼重 (gw) 5 ×5	67.4	58.4	63.4	58.4	63.4	63.4
砝碼重 (gw) 4 ×4	42.0	44.0	39.0	45.0	43.0	43.0



圖(5-1)滿水時瓶口面積與承載砝碼重量

結論：

- 由表 (5-2) 的數據畫成圖形，如圖 (5-1) 所示。可看出瓶口面積越大所能承受的重量有越大的趨勢，但是能撐起的原因由力的平衡觀點來推測，可能為內部重量受引力欲往下掉，而大氣壓力阻止其下掉之故，所以面積越大所得到的支撐力就會越大。
- 由理論值：(水重+壓克力片重+砝碼) $P_0 \times A$ ，水重 + 壓克力片重 + 砝碼重 = $216+33+83.4 = 332.4$ (gw)， $P_0 \times A = 1033.6 \times 36 = 37209.6$ (gw) = 37.2096 (kgw)。雖然內外壓力差足以撐起 (水重+壓克力片重+砝碼)，但並不如預期可以撐到 37 公斤重。我們推出的原因是：當物體有力產生時，必然有個抵抗的力，也就是大氣壓力，阻止物體向下掉落。但是蓋子並沒有辦法完全隔離內外的空間，所以只要有一點空氣跑進到水裡面就會破壞壓力的平衡，故不能如預期撐起 37 公斤重。

(二) 不同水量時各瓶口面積的表現情形

(A) 固定瓶口面積，不同水量時的情形

表 (5-3) 瓶口面積：36 cm²

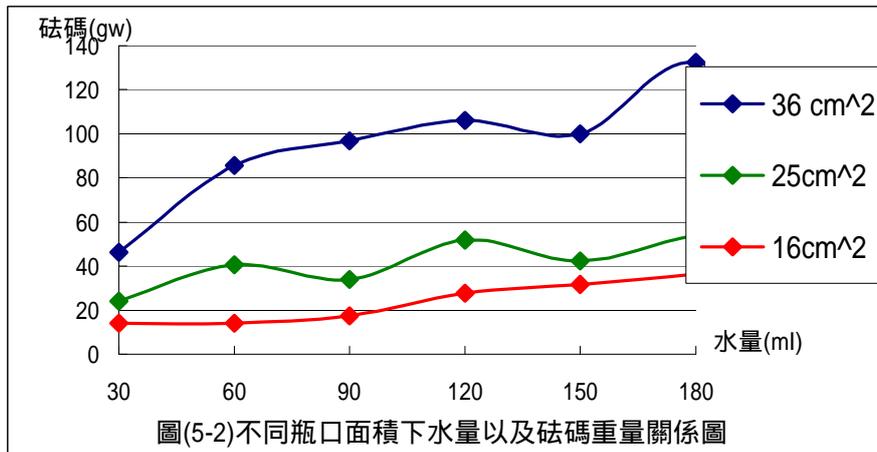
實驗次序 水量 (ml)	第一次	第二次	第三次	平均值
30	52	37	50	46.33
60	78	76	103	85.67
90	92	140	70	97
120	119	111	88	106
150	69	114	117	100
180	149	124	124	132.33
216	63.4	68.4	83.4	84.4

表 (5-4) 瓶口面積：25 cm²

實驗次序 水量 (ml)	第一次	第二次	第三次	平均值
30	33	23	18	24
60	34	44	44	40.67
90	34	34	34	34
120	42	54	59	51.67
150	59	34	34	42.33
180	64	44	54	54
212.5	67.4	58.4	63.4	62.2

表 (5-5) 瓶口面積：16 cm²

實驗次序 水量 (ml)	第一次	第二次	第三次	平均值
30	14	14	14	14
60	14	14	14	14
90	19	19	14	17.33
120	39	22	22	27.67
150	36	25	34	31.67
180	34	38	37	36.33
208	42	44	39	42.6



結論：

由 A 部分的圖 (5-2) 隨著水量的增加，所能夠承受的砝碼重量也就越重。

(B) 固定水量，不同瓶口面積時的情形

表 (5-6) 水量 30ml :

瓶口面積 (cm ²) \ 實驗次序	第一次	第二次	第三次	平均值
36	52	37	50	46.33
25	33	23	18	24.67
16	14	14	14	14

表 (5-7) 水量 60ml :

瓶口面積 (cm ²) \ 實驗次序	第一次	第二次	第三次	平均值
36	78	76	103	85.67
25	34	44	44	40.67
16	14	14	14	14

表 (5-8) 水量 90ml :

瓶口面積 (cm ²) \ 實驗次序	第一次	第二次	第三次	平均值
36	92	140	70	100.67
25	34	34	34	34
16	19	19	14	17.33

表 (5-9) 水量 120ml :

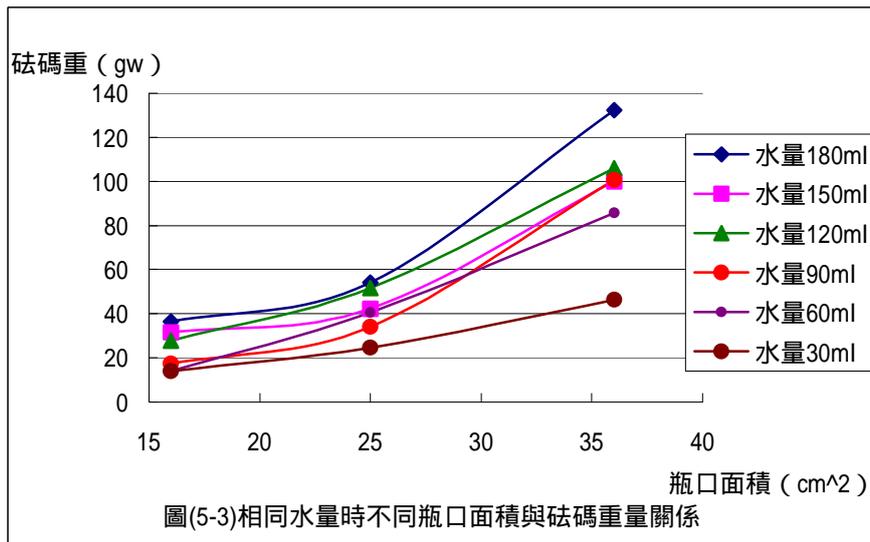
實驗次序 瓶口面積 (cm ²)	第一次	第二次	第三次	平均值
36	119	111	88	106
25	42	54	59	51.67
16	39	22	22	27.67

表 (5-10) 水量 150ml :

實驗次序 瓶口面積 (cm ²)	第一次	第二次	第三次	平均值
36	52	37	50	46.33
25	33	23	18	24.67
16	14	14	14	14

表 (5-11) 水量 180ml :

實驗次序 瓶口面積 (cm ²)	第一次	第二次	第三次	平均值
36	149	124	124	132.33
25	64	44	54	54
16	34	38	37	36.33



結論：

由表 (5-6) (5-11), 我們可做得圖 B 部分的圖 (5-3)。圖中可看出當水量在 30ml 時, 不同的瓶口面積所能承受的砝碼重量差異沒有水量 180ml 時大; 而在水量在 60~150ml 之間時也可以看出砝碼隨著瓶口面積增大而遞增的趨勢, 但是這區間的曲線混雜在一起, 為了更明確了解不同水量會有什麼樣的影響, 我們設計了第三部分的實驗來探討其中的關係。

(三) 以圖(4-9)儀器來測量微小體積變化情形

(I) 壓克力片重量 $W=14.2\text{gw}$ 、水的高度 h 以及瓶蓋離開瓶口高度 $\Delta h'$ 的情形

表(5-12)第一組

水量 (cm)	Δh (cm)	$V_a(\text{cm}^3)$	$V_b(\text{cm}^3)$	水的高度(cm)	$V_a'(\text{cm}^3)$	$V_b'(\text{cm}^3)$	$\Delta V (\text{cm}^3)$	$\Delta h'$ (cm)
41	0.35	236	75	1.065904	236.3281	75.05338	0.381499	0.009918
58	0.41	219	75	1.507864	219.3984	75.07678	0.475209	0.012354
78	0.62	199	75	2.027817	199.4626	75.08405	0.546613	0.014211
91.5	0.51	185.5	75	2.378786	185.9945	75.12559	0.620083	0.016121
112	0.90	165	75	2.911738	165.5254	75.10761	0.633031	0.016457
162	1.00	115	75	4.211621	115.5119	75.18774	0.69967	0.01819
183	1.23	94	75	4.757572	94.46857	75.194	0.662576	0.017225
209	1.32	68	75	5.433511	68.38391	75.23019	0.614105	0.015965

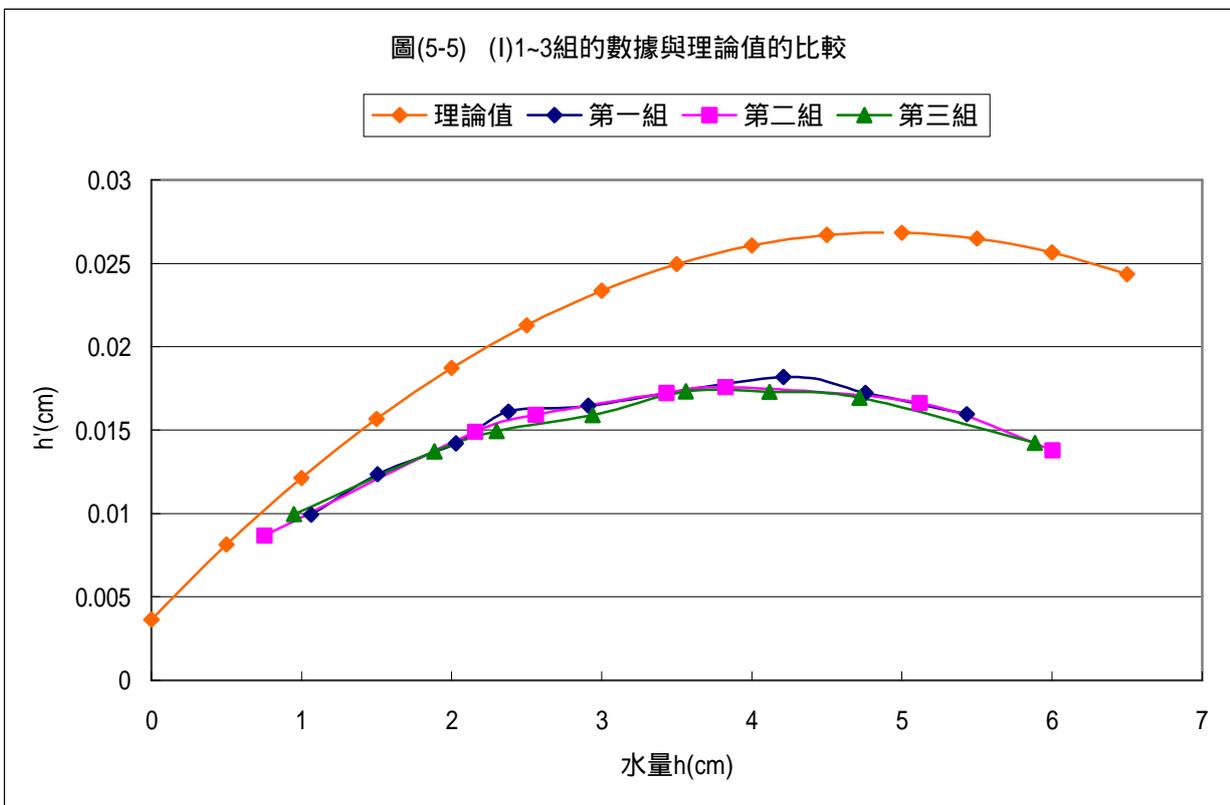
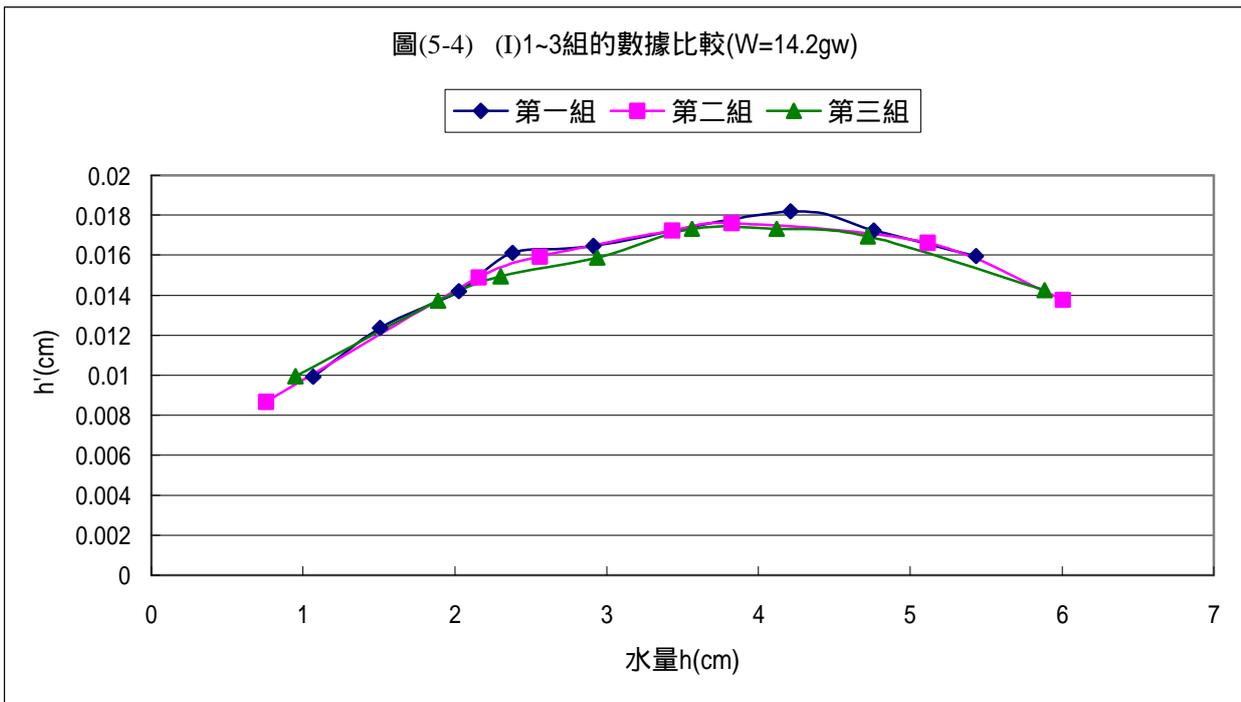
表(5-13)第二組

水量 (cm)	Δh (cm)	$V_a(\text{cm}^3)$	$V_b(\text{cm}^3)$	水的高度(cm)	$V_a'(\text{cm}^3)$	$V_b'(\text{cm}^3)$	$\Delta V (\text{cm}^3)$	$\Delta h'$ (cm)
29	0.12	248	75	0.753932	248.2698	75.06413	0.333901	0.008681
83	0.59	194	75	2.157806	194.4755	75.09787	0.573325	0.014905
98.5	0.74	178.5	75	2.56077	179.0074	75.10536	0.612789	0.015931
132	1.02	145	75	3.431691	145.5352	75.12799	0.663166	0.017241
147.1	1.08	129.9	75	3.824256	130.4292	75.14784	0.677005	0.017601
196.8	1.29	80.2	75	5.11634	80.62791	75.21142	0.639331	0.016621
230.9	1.51	46.1	75	6.00286	46.38596	75.24402	0.529985	0.013778
29	0.12	248	75	0.753932	248.2698	75.06413	0.333901	0.008681

表(5-14)第三組

水量 (cm)	Δh (cm)	$V_a(\text{cm}^3)$	$V_b(\text{cm}^3)$	水的高度(cm)	$V_a'(\text{cm}^3)$	$V_b'(\text{cm}^3)$	$\Delta V (\text{cm}^3)$	$\Delta h'$ (cm)
36.5	0.14	240.5	75	0.948915	240.8071	75.0754	0.382486	0.009944
72.6	0.57	204.4	75	1.88743	204.8472	75.08111	0.528341	0.013736
88.5	0.74	188.5	75	2.300793	188.9882	75.08645	0.574633	0.014939
113	1.07	164	75	2.937736	164.5264	75.08477	0.611155	0.015889
137	1.06	140	75	3.561679	140.5345	75.13163	0.666091	0.017317
158.4	1.22	118.6	75	4.118029	119.1171	75.14884	0.66597	0.017314
181.5	1.31	95.5	75	4.718575	95.97241	75.17949	0.651903	0.016948
226.4	1.48	50.6	75	5.88587	50.90808	75.23986	0.547939	0.014245

第一組到第三組【表 5-12~5-14】的比較圖(水的高度 h 與瓶蓋離開瓶口高度 $\Delta h'$ 的關係圖)



結論：

從(I)部分圖中可知，對於相同壓克力片所得的結果三組所畫出的趨勢線幾乎都很相近，而也的確證明了事實上，在水未裝滿時，其內的空氣體積會發生變化如數據所顯示出的微小高度變化，導致壓力改變，而體積的變化就是由壓克力片往下掉落的高度所造成，這壓力的改變也就是能支撐不掉落的主因了。

(II) 壓克力片重量 $W=28.4g$ 、水的高度 h 以及瓶蓋離開瓶口高度 $\Delta h'$ 的情形

表 (5-15) 第一組

水量 (cm)	Δh (cm)	V_a (cm ³)	V_b (cm ³)	水的高度 (cm)	$V_{a'}$ (cm ³)	$V_{b'}$ (cm ³)	ΔV (cm ³)	$\Delta h'$ (cm)
27	0.3	250	75	0.701937	250.3488	75.06102	0.40987	0.010656
65.6	0.52	211.4	75	1.705447	211.901	75.102	0.603005	0.015677
110.2	0.69	166.8	75	2.864942	167.3835	75.16167	0.745196	0.019373
120.1	0.98	156.9	75	3.122319	157.4882	75.13817	0.726412	0.018885
133	1.01	144	75	3.457689	144.587	75.15823	0.745198	0.019373
152.9	1.12	124.1	75	3.975042	124.6685	75.1799	0.748411	0.019457
187	1.28	90	75	4.861562	90.49026	75.22123	0.711495	0.018497
227.2	1.54	49.8	75	5.906668	50.12224	75.25958	0.581814	0.015126

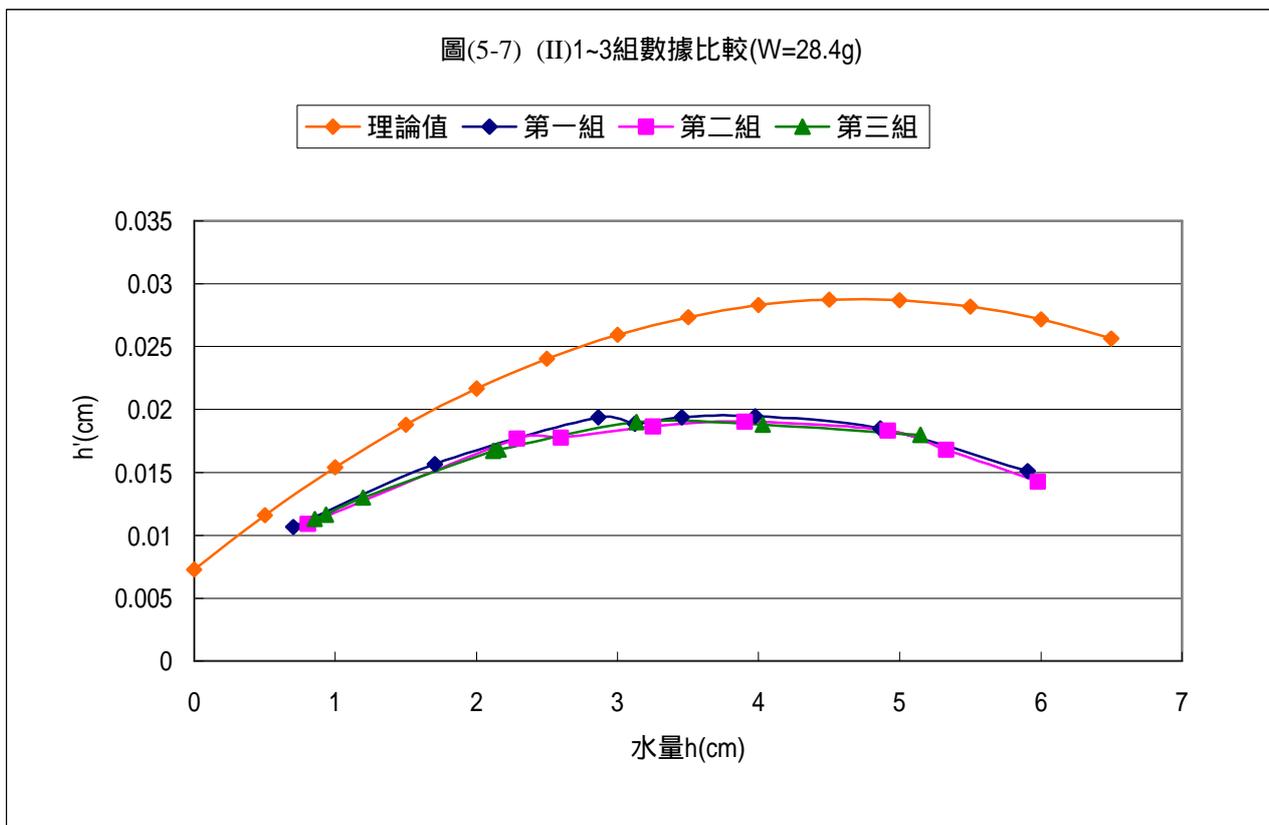
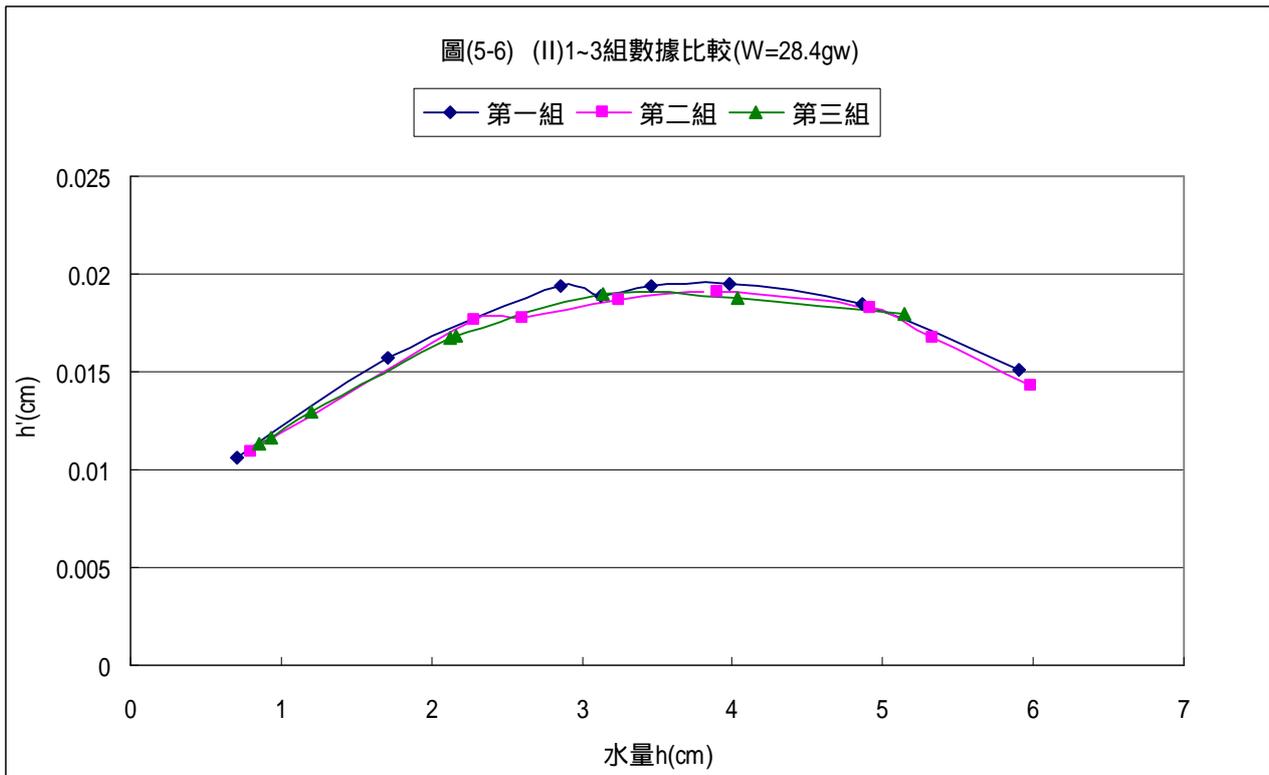
表 (5-16) 第二組

水量 (cm)	Δh (cm)	V_a (cm ³)	V_b (cm ³)	水的高度 (cm)	$V_{a'}$ (cm ³)	$V_{b'}$ (cm ³)	ΔV (cm ³)	$\Delta h'$ (cm)
31	0.41	246	75	0.805927	246.3681	75.05259	0.420679	0.010937
88	0.65	189	75	2.287794	189.555	75.12546	0.680431	0.01769
100	0.91	177	75	2.599766	177.5735	75.11032	0.683807	0.017777
125	1.10	152	75	3.249708	152.5887	75.12997	0.718717	0.018685
150	1.22	127	75	3.899649	127.5724	75.15983	0.732274	0.019037
189	1.31	88	75	4.913558	88.48384	75.22065	0.704491	0.018315
205	1.52	72	75	5.32952	72.42518	75.22035	0.645532	0.016782
230	1.70	47	75	5.979462	47.30747	75.24152	0.548992	0.014273

表 (5-17) 第三組

水量 (cm)	Δh (cm)	V_a (cm ³)	V_b (cm ³)	水的高度 (cm)	$V_{a'}$ (cm ³)	$V_{b'}$ (cm ³)	ΔV (cm ³)	$\Delta h'$ (cm)
32.8	0.39	244.2	75	0.852723	244.5765	75.0589	0.435383	0.011319
36	0.45	241	75	0.935916	241.391	75.05622	0.447234	0.011627
46	0.51	231	75	1.195892	231.4331	75.0664	0.499489	0.012986
81.5	0.73	195.5	75	2.118809	196.0419	75.10152	0.643428	0.016728
83	0.75	194	75	2.157806	194.5451	75.10144	0.646558	0.016809
120.5	0.95	156.5	75	3.132718	157.0883	75.1433	0.731626	0.019021
155	1.3	122	75	4.029637	122.5654	75.15764	0.723034	0.018797
198	1.3	79	75	5.147537	79.45244	75.23919	0.691634	0.017981

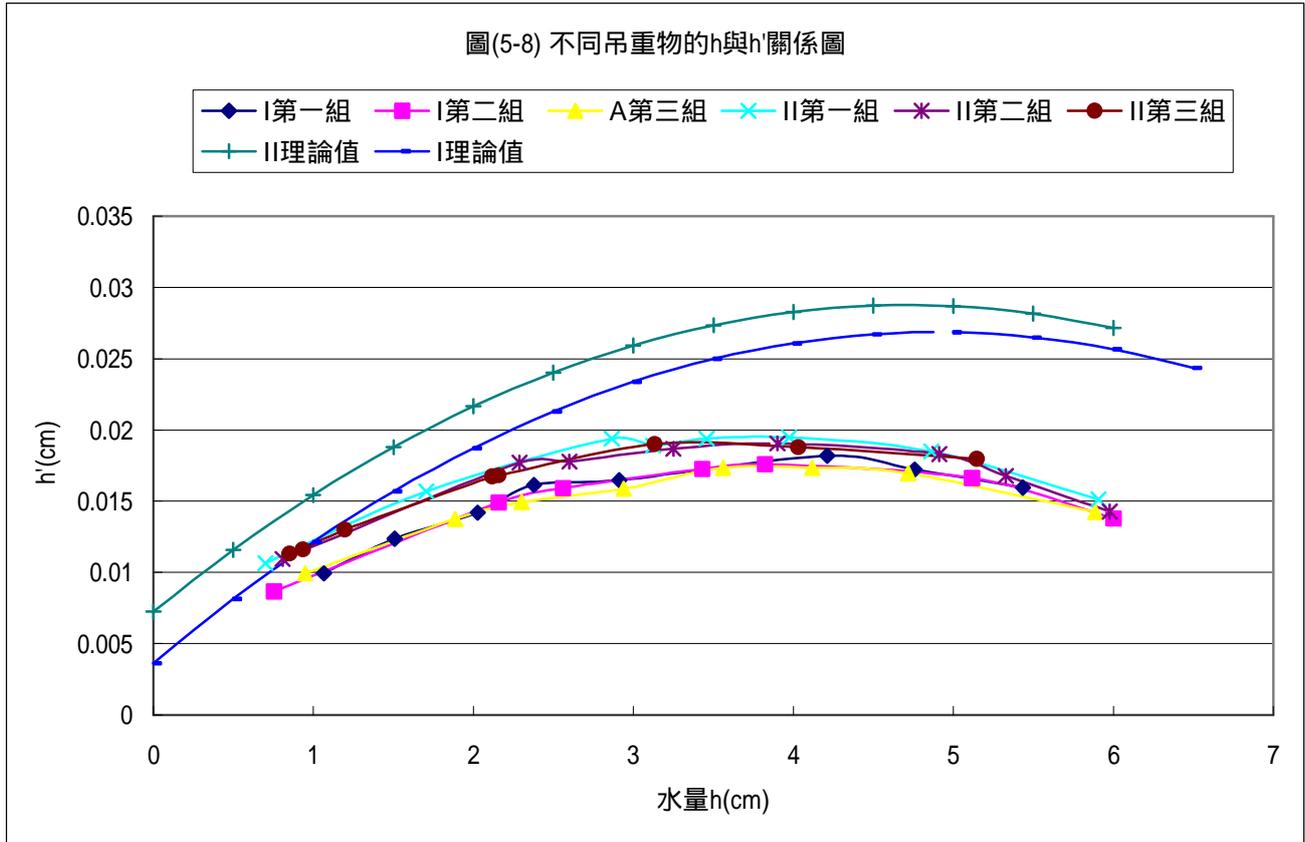
第一組到第三組【表 5-15~5-17】的比較圖(水的高度 h 與瓶蓋離開瓶口高度 $\Delta h'$ 的關係圖)



結論：

再看一下 (II) 部分的圖，我們改變了壓克力片的重量，而其實驗結果仍然是三組趨勢線都很相近，也再次證明儀器是很穩定的，而其所得到的 h' 的數值也比 A 部分來得大，由此可推測出，其可承受的重量是還可以增加的。

(I) (II) 不同吊重物之間的比較圖



結論：

所以將 A、B 兩組的圖合起來比較可以看出 B 的趨勢線是在 A 部分之上的，而理論值所看出的圖也是一樣的，因此如果再加重壓克力片的重量，其趨勢線可能還會再往上攀升，但是也非無限制的，對水而言可能 h' 的高度到某一個程度水的表面張力就無法支撐而導致水的形狀破裂，空氣變由此滲入，最後整個系統就會崩潰了。

(四) 驗證實驗結果

而我們可藉由 A 部分瓶內的體積的變化量來算出其壓力變化的值：

$$\text{b } P_0 \times V_A = P'_A \times (V_A + \Delta V) \quad \therefore P'_A = \frac{V_A}{V_A + \Delta V} \times P_0$$

$$\Rightarrow \Delta P = P_0 - P'_A = \frac{\Delta V}{V_A + \Delta V} \times P_0$$

由 $\Delta P \times A$ 即為體積變化之後所能承受的重量

由數據資料可得

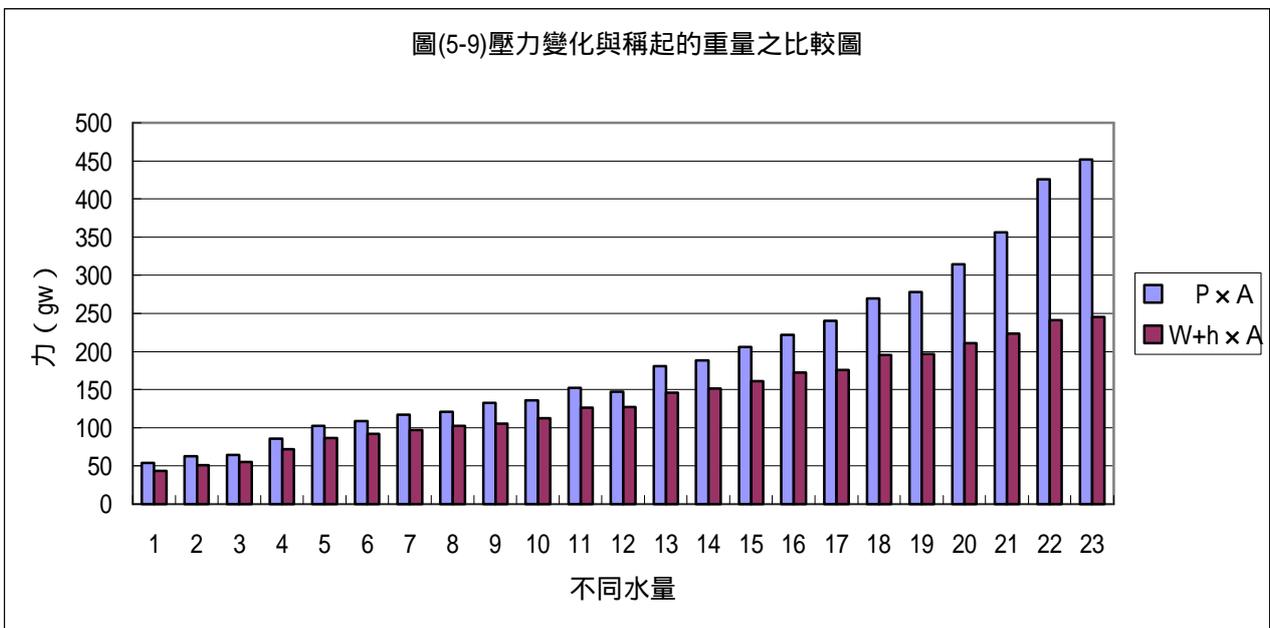
(I) 部分

面積 $A = 38.465 \text{ cm}^2$ 、 $W = 14.2 \text{ gw}$

次別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
水量(ml)	29	36.5	41	58	72.6	76	83	88.5	91.5	98.5	112	113
$\Delta P \times A$ (gw)	53.46	63.13	64.16	86.08	102.5	108.91	117.15	120.83	132.46	136.02	151.95	147.61
W+水重(gw)	43.2	50.7	55.2	72.2	86.8	92.2	97.2	102.7	105.7	112.7	126.2	127.2

次別	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
水量(ml)	132	137	147.1	158.4	162	181.5	183	196.8	209	226.4	230.9	
$\Delta P \times A$ (gw)	181.01	188.26	206.13	222	240.42	269.55	278.28	314.43	355.83	425.91	451.87	
W+水重(gw)	146.2	151.2	161.3	172.6	176.2	195.7	197.2	211	223.2	240.6	245.1	

圖(5-9)壓力變化與稱起的重量之比較圖

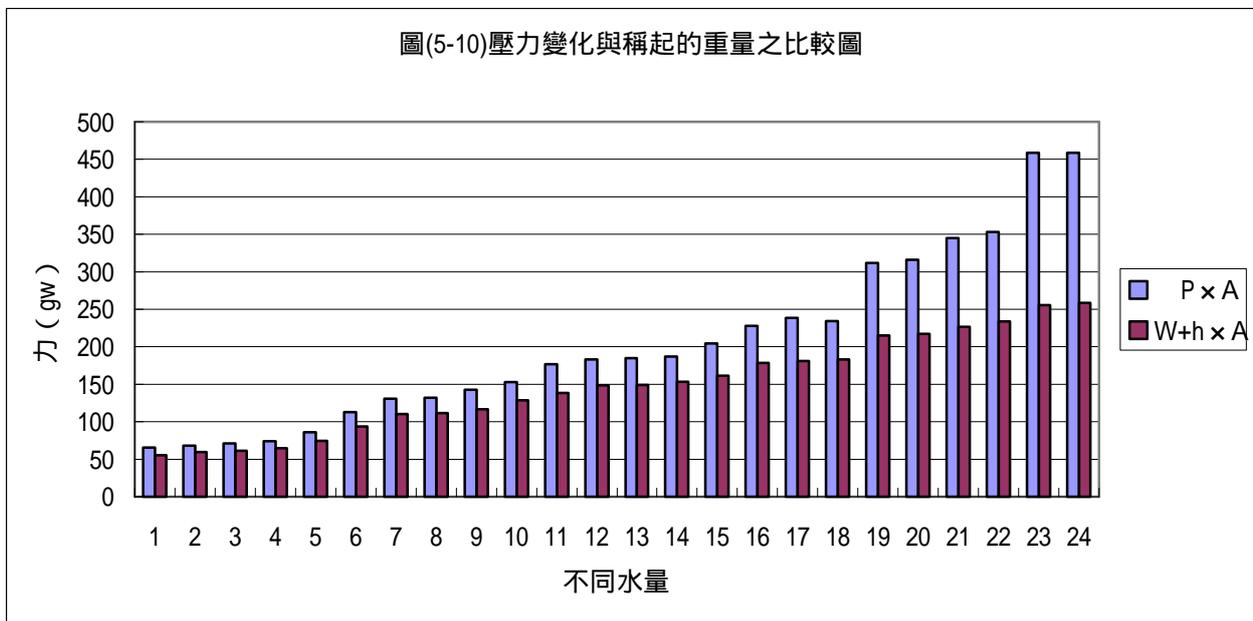


(II) 部分

面積 $A = 38.465 \text{ cm}^2$ 、 $W=28.4\text{gw}$

次別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
水量(ml)	27	31	32.8	36	46	65.6	81.5	83	88	100	110.2	120.1
$\Delta P \times A$ (gw)	65.07	67.87	70.76	73.64	85.78	113.08	130.42	132.06	142.62	153	176.83	183.2
W+水重(gw)	55.4	59.4	61.2	64.4	74.4	94	109.9	111.4	116.4	128.4	138.6	148.5

次別	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
水量(ml)	120.5	125	133	150	152.9	155	187	189	198	205	227.2	230
$\Delta P \times A$ (gw)	185	187.1	204.68	227.92	238.33	234.23	311.84	315.75	345.05	353.29	459.12	459.03
W+水重(gw)	148.9	153.4	161.4	178.4	181.3	183.4	215.4	217.4	226.4	233.4	255.6	258.4



結論：

我們再將所得的微小體積變化由波以耳定律，算出其壓力變化，便可驗證是否此壓力變化就是為了要抵抗水及壓克力片要往下掉所產生的，因此把數值算出來以及作圖的結果可發現， $P \times A$ 的值皆比（壓克力片 $W + \text{水重} \times A$ ）來的大，因此其變化的量是足以撐起不掉的，且水量越多時差距越大，猜測其原因可能是手突然放開的瞬間，一下子改變突然太大，導致已往下掉的壓克力片無法再回適當的位置，所以數值會比水量少的偏高許多。

六、討論建議

1. 對於本次實驗很可惜的是：之前研究花很多時間在想如何設計一個儀器來測出微小體積的變化，以證明體積變化導致壓力改變是稱住壓克力片及水重的主因，再加上每組實驗的操作都需很小心謹慎很費時，所以實驗的數據資料未作到其上限值，甚至可以找到水波形破碎的那個瞬間大約在高度變化多少時，壓克力片就會掉下來了。
2. 另一向未探討的變因為溫度，因為溫度的變化對氣體的體積變化非常敏感，因此有次發現手不小心一直握在 B 部分的瓶子上時，所測到的 h 值變化很大，所以如果能再做利用溫度的改變來得測得壓力的變化情形應該也滿有趣的！

七、參考文獻

- 物理基礎觀念(一)、(二) 吳友仁編 東江圖書公司印行
- 】【第二章 力平衡、第一力
- 新編光復科學圖鑑(4)自然科實驗 光復書局 【P. 42】

評語

030108 國中組物理科 最佳團隊合作獎

垂“懸”欲“掉”-大氣壓力實驗之研究

能集思廣益想出測量微小體積變化量，研究壓克力片「懸」
「掉」的問題。