

利用密閉容器氣壓及其周邊水壓力測出大氣壓力

國中組物理科第三名

桃園縣立仁和國民中學

作者：潘家展、曹慈翰、陳金村

指導教師：施禕國、羅焜榮

一、研究動機

由理化第一冊實驗4-1空氣成分實驗中，發現廣口瓶之瓶口朝下壓入水中時，瓶內水位微升。若改用較長的管柱測試，此現象更為顯著。因此引發我們探討大氣壓力、水壓力及密閉容器內氣體壓力三者間的關係，由此得知新的測量大氣壓力的方式。

二、研究目的

利用倒置管之內外水位與管柱長度的關係來測量大氣壓力。

三、研究器材與設備

橡皮塞 三叉管 海綿墊 無液氣壓計 皮尺
玻璃管 比重計 橡皮管 自製壓克力容器 夾子

四、研究過程及方法

(一)理論推導：

1. 如圖(一)管柱進入水面之前：

$$\text{管柱內氣體壓力 } P_i = P_a = P_b = P$$

$$\text{管柱內氣體體積 } V_i = AL$$

2. 如圖(二)管柱進入水面之後：

$$\text{管柱內氣體壓力 } P_f = P_a = P_b$$

$$= P + h_z d$$

$$\text{管柱內氣體體積 } V_f = Ah_x$$

3. 由波以耳定律得知一定質量的理想氣體在定溫下，

$$PV = \text{常數}$$

$$\text{即 } P_i V_i = P_f V_f$$

$$\rightarrow P(AL) = (P + h_z d)(Ah_x)$$

$$\rightarrow P(h_x + h_y) = Ph_x + h_x h_z d$$

$$\rightarrow Ph_x + Ph_y = Ph_x + h_x h_z d$$

$$\rightarrow Ph_y = h_x h_z d$$

$$\rightarrow P = h_x h_z d / h_y$$

註：d:液體密度 L:管柱全長 A:管內底面積

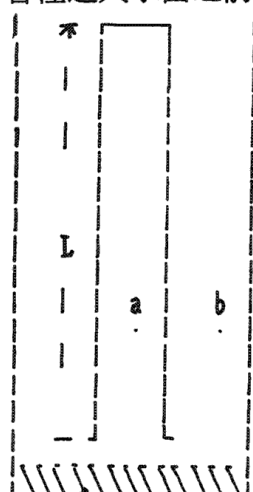
h_x :管柱內氣體高度 h_y :管柱內進水高度

h_z :管柱內外水位差 P:大氣壓力

4. 由上述推導可知，只要測得管柱內氣體高度，管柱內外水位之關係及液體密度便能求出大氣壓力

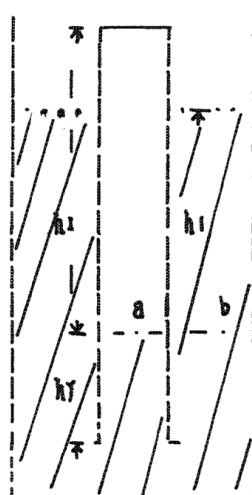
圖(一)

管柱進入水面之前



圖(二)

管柱進入水面之後



(二) 實驗過程及討論：

1. 無液氣壓計至中央大學大氣物理系校正後，作為氣壓參考值。
2. 利用長形壓克力水箱裝適量的水，並以比重計測得其密度。
3. 將長度98.5公分，口徑3.5公分的玻璃管，管柱垂直液面平緩壓入水面，從管內水面上升至0.4公分（即 $h_y = 0.4$ 公分）並測得 h_x 、 h_z 。
4. 繼續將管柱往下壓一些，再測得 h_x 、 h_y 、 h_z ，直到管柱幾乎全沒入水中為止，大約測得十九次，如此重覆測量三次。
5. 由測得之 h_x 、 h_y 、 h_z 、 d 等值，可得大氣壓力 $P = h_x h_z d / h_y$ 詳如表(一)~(三)。
6. 改用長度100公分，口徑4.5公分的玻璃管，先將管柱垂直液面平緩壓入水面，從管內水面上升至7.7公分（即 $h_y = 7.7$ 公分）並同時測得 h_x 、 h_z 。
7. 繼續將管柱往上放一些，再測得 h_x 、 h_y 、 h_z ，直到管口幾乎接近水面為止，大約測得十九次。
8. 重覆步驟5，結果如表(四)。
9. 取長度100公分，口徑6.5公分之玻璃管，重覆步驟6、步驟5，結果如表(五)。
10. 取長度100公分，口徑0.7公分之玻璃管，重覆步驟6、步驟5，結果如表(六)。

表一

內徑： 3.5 cm 參考氣壓：74.2 cm-Hg (表一)						
管長：98.5 cm 密度：1.006 (g/cm ³)						
h z (cm)	h x (cm)	d (g/cm ³)	h y (cm)	測量氣壓 gw/cm ²	參考氣壓 gw/cm ²	相對誤差 %
4.6	98.1	1.006	0.4	1134.91	1009.12	1.62
9.1	97.6	1.006	0.9	992.76	1009.12	-5.96
13.6	97.1	1.006	1.4	948.91	1009.12	-2.52
18.2	96.7	1.006	1.8	983.61	1009.12	-0.50
22.8	96.3	1.006	2.2	1004.00	1009.12	0.75
27.4	95.9	1.006	2.6	1016.70	1009.12	1.55
32.0	95.5	1.006	3.0	1024.77	1009.12	5.54
36.7	95.2	1.006	3.3	1065.09	1009.12	5.49
41.3	94.8	1.006	3.7	1064.52	1009.12	2.51
45.8	94.3	1.006	4.2	1034.48	1009.12	2.56
50.4	93.9	1.006	4.6	1034.99	1009.12	2.53
55.0	93.5	1.006	5.0	1034.67	1009.12	2.43
59.6	93.1	1.006	5.4	1033.71	1009.12	2.29
64.2	92.7	1.006	5.8	1032.24	1009.12	2.10
68.8	92.3	1.006	6.2	1030.37	1009.12	1.88
73.4	91.9	1.006	6.6	1028.17	1009.12	3.36
78.1	91.6	1.006	6.9	1043.02	1009.12	2.91
82.7	91.2	1.006	7.3	1038.52	1009.12	-6.71

表二

內徑： 3.5 cm 參考氣壓：74.2 cm-Hg (表二)						
管長：98.5 cm 密度：1.006 (g/cm ³)						
h z (cm)	h x (cm)	d (g/cm ³)	h y (cm)	測量氣壓 gw/cm ²	參考氣壓 gw/cm ²	相對誤差 %
4.6	98.1	1.006	0.4	1134.91	1009.12	12.46
9.1	97.6	1.006	0.9	992.76	1009.12	-1.62
13.7	97.2	1.006	1.3	1030.48	1009.12	2.11
18.3	96.8	1.006	1.7	1048.27	1009.12	3.88
22.8	96.3	1.006	2.2	1004.00	1009.12	-0.50
27.4	95.9	1.006	2.6	1016.70	1009.12	0.75
32.0	95.5	1.006	3.0	1024.77	1009.12	1.55
36.6	95.1	1.006	3.4	1029.86	1009.12	2.05
41.2	94.7	1.006	3.8	1032.90	1009.12	2.35
45.8	94.3	1.006	4.2	1034.48	1009.12	2.51
50.4	93.9	1.006	4.6	1034.99	1009.12	2.56
55.1	93.6	1.006	4.9	1058.83	1009.12	4.92
59.6	93.1	1.006	5.4	1033.71	1009.12	2.43
64.3	92.8	1.006	5.7	1053.13	1009.12	4.36
69.1	92.6	1.006	5.9	1091.02	1009.12	8.11
73.9	92.4	1.006	6.1	1126.11	1009.12	11.59
78.3	91.8	1.006	6.7	1079.26	1009.12	6.95
82.8	91.3	1.006	7.2	1055.37	1009.12	4.58

表三

內徑： 3.5 cm 參考氣壓：74.0 cm-Hg (表三)						
管長：98.5 cm 密度：1.006 (g/cm ³)						
h _z (cm)	h _x (cm)	d (g/cm ³)	h _y (cm)	測量氣壓 gw/cm ²	參考氣壓 gw/cm ²	相對誤差 %
4.6	98.1	1.006	0.4	1134.91	1006.40	12.77
9.1	97.6	1.006	0.9	992.76	1006.40	-1.35
13.6	97.1	1.006	1.4	948.91	1006.40	-5.71
18.1	96.6	1.006	1.9	983.61	1006.40	-8.01
22.6	96.1	1.006	2.4	1004.00	1006.40	-9.54
27.3	95.8	1.006	2.7	1016.70	1006.40	-3.17
31.7	95.2	1.006	3.3	1024.77	1006.40	-8.58
36.3	94.8	1.006	3.7	1065.09	1006.40	-7.03
41.2	94.7	1.006	3.8	1064.52	1006.40	2.63
45.8	94.3	1.006	4.2	1034.48	1006.40	2.79
50.0	93.5	1.006	5.0	1034.99	1006.40	-6.53
54.6	93.1	1.006	5.4	1034.67	1006.40	-5.90
59.2	92.7	1.006	5.8	1033.71	1006.40	-5.42
63.9	92.4	1.006	6.1	1032.24	1006.40	-3.24
68.5	92.0	1.006	6.5	1030.37	1006.40	-3.08
73.2	91.7	1.006	6.8	1028.17	1006.40	-1.32
77.8	91.3	1.006	7.2	1043.02	1006.40	-1.38
82.3	90.8	1.006	7.7	1038.52	1006.40	-3.06

表四

內徑： 4.5 cm 參考氣壓：74.3 cm-Hg (表四)						
管長：100 cm 密度：1.006 (g/cm ³)						
h _z (cm)	h _x (cm)	d (g/cm ³)	h _y (cm)	測量氣壓 gw/cm ²	參考氣壓 gw/cm ²	相對誤差 %
87.3	91.6	1.004	7.7	1042.68	1010.48	3.18
82.6	92.0	1.004	7.4	1031.02	1010.48	2.03
78.0	92.4	1.004	7.0	1033.71	1010.48	2.30
73.4	92.8	1.004	6.6	1036.17	1010.48	-2.54
68.8	93.2	1.004	6.2	1038.35	1010.48	2.75
64.2	93.6	1.004	5.8	1040.19	1010.48	2.94
59.6	94.0	1.004	5.4	1041.63	1010.48	3.08
55.0	94.4	1.004	5.0	1042.55	1010.48	3.17
50.4	94.8	1.004	4.6	1042.83	1010.48	3.20
45.8	95.2	1.004	4.2	1042.28	1010.48	3.14
41.2	95.6	1.004	3.8	1040.65	1010.48	2.98
36.6	96.0	1.004	3.4	1037.54	1010.48	2.67
32.0	96.4	1.004	3.0	1032.37	1010.48	2.16
27.4	96.8	1.004	2.6	1024.20	1010.48	1.35
22.8	97.2	1.004	2.2	1011.37	1010.48	0.08
18.2	97.6	1.004	1.8	990.79	1010.48	-1.94
13.6	98.0	1.004	1.4	955.80	1010.48	-5.41
9.0	98.4	1.004	1.0	889.14	1010.48	-12.00
5.8	98.6	1.004	0.6	950.60	1010.48	-5.92

表五

內徑： 6.5 cm 參考氣壓：74.5 cm-Hg (表五)						
管長：100 cm 密度：1.004 (g/cm ³)						
h _z (cm)	h _x (cm)	d (g/cm ³)	h _y (cm)	測量氣壓 gw/cm ²	參考氣壓 gw/cm ²	相對誤差 %
87.3	92.3	1.004	7.7	1050.65	1013.20	3.69
82.6	92.8	1.004	7.4	1039.99	1013.20	2.64
78.0	93.2	1.004	7.0	1042.66	1013.20	2.90
73.4	93.6	1.004	6.6	1045.10	1013.20	3.14
68.8	94.0	1.004	6.2	1047.26	1013.20	3.36
64.2	94.4	1.004	5.8	1049.08	1013.20	3.54
59.6	94.8	1.004	5.4	1050.49	1013.20	3.68
55.0	95.2	1.004	5.0	1051.38	1013.20	3.76
50.4	95.6	1.004	4.6	1051.63	1013.20	3.79
45.8	96.2	1.004	4.2	1053.23	1013.20	3.95
41.2	96.6	1.004	3.8	1051.53	1013.20	3.78
36.6	97.0	1.004	3.4	1048.35	1013.20	3.47
32.0	97.4	1.004	3.0	1043.08	1013.20	2.95
27.4	97.8	1.004	2.6	1034.78	1013.20	2.13
22.8	98.4	1.004	2.2	1023.86	1013.20	1.05
18.2	98.8	1.004	1.8	1002.97	1013.20	-1.00
13.6	99.2	1.004	1.4	967.51	1013.20	-4.50
9.0	99.7	1.004	1.0	897.30	1013.20	-11.43

表六

內徑： 0.7 cm 參考氣壓：74.3 cm-Hg (表六)						
管長：100 cm 密度：1.006 (g/cm ³)						
h _z (cm)	h _x (cm)	d (g/cm ³)	h _y (cm)	測量氣壓 gw/cm ²	參考氣壓 gw/cm ²	相對誤差 %
87.3	92.3	1.006	7.7	1050.65	1010.48	3.97
82.6	92.8	1.006	7.4	1039.99	1010.48	2.92
78.0	93.2	1.006	7.0	1042.66	1010.48	3.18
73.4	93.6	1.006	6.6	1045.10	1010.48	3.42
68.8	94.0	1.006	6.2	1047.26	1010.48	3.64
64.2	94.4	1.006	5.8	1049.08	1010.48	3.82
59.6	94.8	1.006	5.4	1050.49	1010.48	3.96
55.0	95.2	1.006	5.0	1051.38	1010.48	4.04
50.4	95.6	1.006	4.6	1051.63	1010.48	4.07
45.8	96.2	1.006	4.2	1053.23	1010.48	4.23
41.2	96.6	1.006	3.8	1051.53	1010.48	4.06
36.6	97.0	1.006	3.4	1048.35	1010.48	3.74
32.0	97.4	1.006	3.0	1043.08	1010.48	3.22
27.4	97.8	1.006	2.6	1034.78	1010.48	2.40
22.8	98.4	1.006	2.2	1023.86	1010.48	1.32
18.2	98.8	1.006	1.8	1002.97	1010.48	-0.74
13.6	99.2	1.006	1.4	967.51	1010.48	-4.25
9.0	99.7	1.006	1.0	897.30	1010.48	-11.20

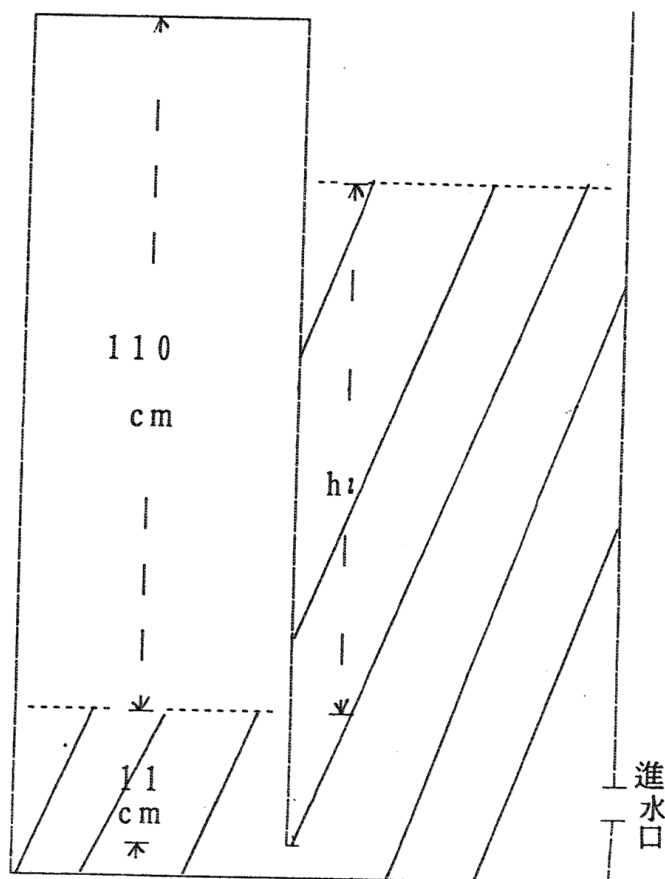
11討論：

- (1)由實驗結果知，內徑0.7公分之玻璃管測量值較不穩定，而口徑較大，其值較穩定，可能是因管內水平部份較大，易於觀察，且管內口徑不均所引起誤差也較小。
- (2)管口初沒入水中所測得值誤差較大，可能是因 $h_y h_z$ 值較小時，若有器材或人為誤差產生，對氣壓測量值影響較大。
- (3)大致來說，所得值與實際氣壓已很接近，大部份誤差在4%內，但仍不是很理想的數值。

(二)改進實驗：

- 1.為簡化測量及計算，並減少人為操作上的誤差，我們又設計了一個 $L=121$ 公分的管柱水箱來測量大氣壓力的裝置，如圖(三)及照片(一)、(二)。
- 2.由於 $h_x = h_y = L = 121$ 公分
若設 $h_y = 11$ 公分；則 $h_x = 110$ 公分
 $\rightarrow P = h_x h_z d / h_y = 10 h_z d$
所以只要測出 h_z 及 d 值，即可推算出當時大氣壓力。
(註：此設計只要是 $h_x = 10 h_y$ 關係即可，並不需有特定長度。)

圖(三) 改良式氣壓計側面圖



3. 測量結果，如表(七)

表七

底面積： $8 \times 8 \text{ cm}^2$ 參考氣壓： 74.0 cm-Hg (表七)						
管長： 121 cm 密度： $1.002 \text{ (g/cm}^3\text{)}$						
h z (cm)	h x (cm)	d (g/cm ³)	h y (cm)	測量氣壓 gw/cm ²	參考氣壓 gw/cm ²	相對誤差 %
1002	110.0	1.002	11.0	1004.00	1006.40	-0.24
1004	110.0	1.002	11.0	1006.00	1006.40	-0.04
997	110.0	1.002	11.0	998.99	1006.40	-0.77
998	110.0	1.002	11.0	999.99	1006.40	-0.64
1005	110.0	1.002	11.0	1007.01	1006.40	0.06
1004	110.0	1.002	11.0	1006.00	1006.40	-0.04
1000	110.0	1.002	11.0	1002.00	1006.40	-0.44
996	110.0	1.002	11.0	997.99	1006.40	-0.84
996	110.0	1.002	11.0	997.99	1006.40	-0.84
989	110.0	1.002	11.0	990.97	1006.40	-1.53
1000	110.0	1.002	11.0	1002.00	1006.40	-0.43
994	110.0	1.002	11.0	995.98	1006.40	-1.04
994	110.0	1.002	11.0	995.98	1006.40	-1.04
995	110.0	1.002	11.0	996.99	1006.40	-0.94
997	110.0	1.002	11.0	998.99	1006.40	-0.74
998	110.0	1.002	11.0	999.99	1006.40	-0.64
1005	110.0	1.002	11.0	1007.01	1006.40	0.06
993	110.0	1.002	11.0	994.98	1006.40	-1.14

4. 討論：

- ①初進水時水流速率要緩慢，以免過大的波動，將周邊的空氣帶進密管柱內或將管柱內的空氣擠出而增加誤差。
- ②待液面已覆蓋過密閉管口後，在不造成過大波動的情形下，可加大水流，以縮減測量時間。
- ③實驗中使用的水其密度以 1.000g/cm^3 代入，其誤差均在1%左右；若將水的密度以實際的測量值代入誤差值將會更小。
- ④在實際運用時，大氣壓力只要由mm為單位直接讀取 h_z 即可。（單位： gw/cm^2 ）。

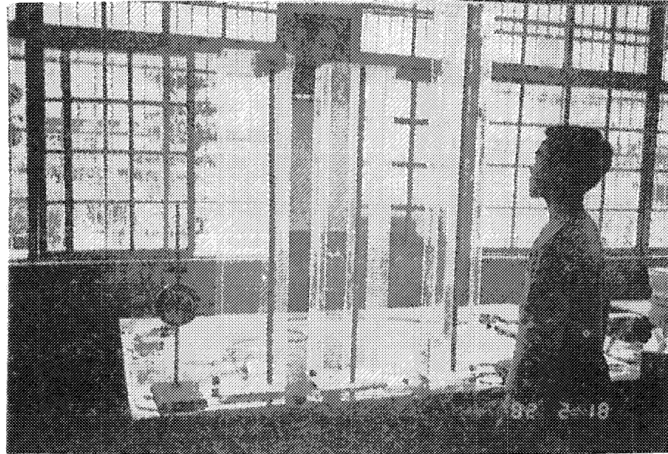
五、結論

- ①我們所設計改良後的氣壓計構造簡單，價格便宜，操作方便。
- ②無水銀污染之虞，亦不需十公尺龐大水柱裝置，全長總共123公分左右。
- ③測試結果準確度高，誤差皆在1%左右。
- ④亦可應用於各種不同密度的液體。

六、參考資料

(一)國中理化(一)。

(二)歷屆科學展覽優勝作品專輯。



照片(一)



照片(二)

評語

利用倒置管之內外水位、管柱內氣體高度及液體密度等關係來測量大氣壓力，構想有若干創意，增加了以水柱來表達大氣壓力的測量方式。唯研究發現並未有新穎之處。