

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

040121

利用浮沉子測量液體的表面張力

國立嘉義高級中學

作者姓名：

高二 蕭文彥 高二 許玄昀 高二 鄭亦修
高二 林育丞

指導老師：

李文堂 林芳妃

中華民國 45 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物 理 科

組 別：高 中 組

作品名稱：利用浮沉子測量液體的表面張力

關 鍵 詞：浮沉子、表面張力

編 號：

利用浮沉子測量液體的表面張力

一、 研究動機：

從小就接觸到浮沉子玩具，在唸完高中物質科學物理篇流體力學一章後，注意到浮沉子在快要下沉的時候，表面張力現象非常顯著，引起更進一步研究的興趣。

二、 研究目的：

1. 推導出利用浮沉子測量液體表面張力的公式。
2. 利用浮沉子研究溫度對表面張力的影響。

三、 原理：

1. 一端封閉的玻璃管，外半徑 R ，內半徑 r ，質量 m ，

玻璃的體積 $= \pi(R^2 - r^2)L + \pi r^2 h$ ， h ：底部玻璃厚度。

2. 玻璃管注入適當的水，倒插入盛水的燒瓶中，

部分在空氣中。如圖二(a)所示，沒在液中空氣柱長 l_0 ，露出液面長度 l ，管內部截面積

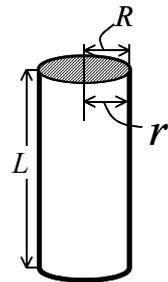
$A = \pi r^2$ ，由亞基米德原理：浮體浮力 =

浮體重 = 排開液重。

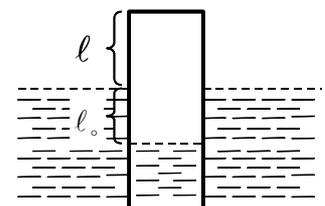
$$\therefore B = mg = l_0 A \rho g + \pi(R^2 - r^2)(L - l) \rho g \quad \cdots (1)$$

ρ ：液體密度

3. 燒瓶封閉，施加壓力至浮沉子快要沒入液中時，液體表面張力的總力達極大值，圖二(b)中的 $\alpha = 90^\circ$ 。外加壓力 P_1 ，玻璃管沒在液中的體積



圖一：玻璃管浮沉子



圖二(a)：浮沉子部分在空氣中

$= \pi(R^2 - r^2)L = V_G$ 。依帕斯卡原理，管內氣體壓力 P_1 。靜力平衡，浮力及表面張力向上，重力向下

$$\Rightarrow V_G \rho g + l_1 A \rho g + 2\pi R \gamma = mg \quad \dots (2)$$

4. 再略加大壓力，浮沉子沒入液中

，減壓使其在液面正下方時，管中

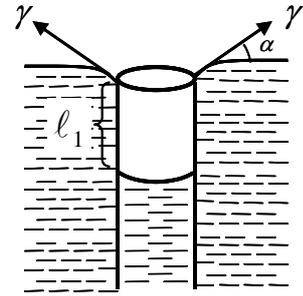
氣體壓力 P_2 ， $P_1 > P_2$ ，空氣柱長 $l_1 < l_2$ ，

浮沉子受重力向下，浮力向上而平衡

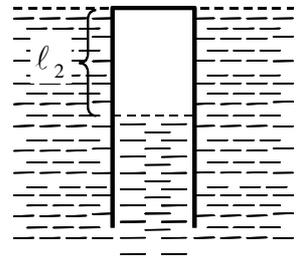
$$\Rightarrow V_G \rho g + l_2 A \rho g = mg \quad \dots (3)$$

由波以耳定律

$$\Rightarrow P_0(l + l_0)A = P_1 l_1 A = P_2 l_2 A \quad \dots (4)$$



圖二(b)：浮沉子表面張力的作用



圖二(c)：浮沉子在液面下方

5. 燒瓶內的氣體再減壓，至浮沉子恰要露出液面的瞬間，表面張力的總力

向下且最大，重力向下，浮力向上而平衡，空氣柱長 $l_3 > l_1$

$$V_G \rho g + l_3 A \rho g = mg + 2\pi R \gamma \quad \dots (5)$$

$$\text{波以耳定律 } P_3 l_3 A = P_2 l_2 A \quad \dots (6)$$

6. 由原理 3 和 4 結合公式 (2)、(3)、(4) 可求出表面張力：

$$\gamma = \frac{(P_1 - P_2)(m - V_G \rho)g}{2\pi R P_1} \quad \dots (7)$$

量浮沉子質量 m ，外半徑 R ， V_G 並由開管壓力計(及氣壓計)量得 P_1 ， P_2 ，

並求出 $P_1 - P_2$ 代入(7)可得 γ 。

7. 另由原理 4、5 結合(3)、(5)、(6) 得表面張力

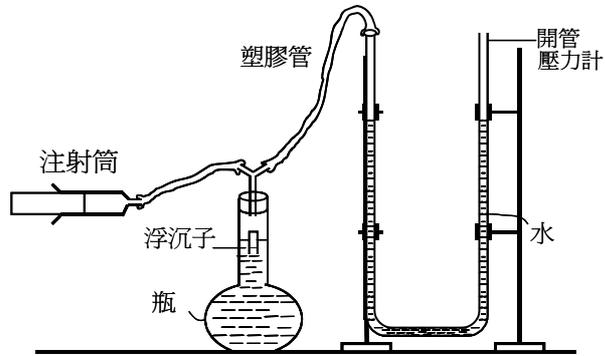
$$\gamma = \frac{(P_2 - P_3)(m - V_G \rho)g}{2\pi R P_3} \dots (8)$$

量 m 、 R 、 V_G 、 P_3 及 $P_2 - P_3$ 亦可得 γ 。

四、 裝置：

1. 底部平滑的均勻玻璃管，質量 $m = 4.58 \text{ g}$ ，外半徑 $R = 0.5 \text{ cm}$ ，內半徑 $= 0.4 \text{ cm}$ ，厚 1 mm ，長 7 cm ，做為浮沉子。
2. 燒瓶、燒杯、量筒、天平、橡皮管、三叉管、游標尺、尺、蒸餾水、溫度計。

3. 自製開管壓力計：120cm 的玻璃管兩隻，用塑膠管連接，下置透明尺及平面鏡，固定在鉛直豎立的木板上而成。管內放入水，測量時眼睛正視水面、尺的刻度、水面的鏡中像成一直線、可準確量出水面高度。



圖三：實驗裝置

五、 實驗步驟：

實驗(一)：測量玻璃管浮沉子的密度及盛水量

1. 利用游標尺量外徑 R ，內半徑 r ，長度 L ，算出玻璃管玻璃部份的體積 V_G ，用電子天平測出質量 m 。
2. 由公式 (3) $mg = l_2 A \rho g \Rightarrow l_2 = \frac{m}{A \rho} = \frac{m}{\pi r^2 \rho}$ 算出空氣柱長 l_2 ，即注入水柱 $L - l_2$ 時，浮沉子恰沒入水中，用注射筒抽掉少許的水，使空氣柱長 $> l_2$ ，則可浮在水面。

實驗(二)：利用原理 3、4，即公式 (7) 測表面張力

1. 燒杯中放入 $t^{\circ}\text{C}$ 的水，玻璃管注入適量的水，倒插在燒杯的水中，調整管中的水位，至約 1 mm 露出水面，取出玻璃管用塑膠貼紙封住管口，玻璃管用蒸餾水洗乾淨，用夾子夾著倒插入燒瓶中，用夾子撕去貼紙，即形成浮沉子。
2. 記下大氣壓力 P_0 ，開始用注射筒加壓，至浮沉子快要下沉，即最大壓力 P_1 。
3. 注射筒減壓至浮沉子觸及液面，記下 P_2 。
4. 量 P_1 、 P_2 、 R 、 m 、 V_G 代入 (7) 求出 γ 。



圖四-1 浮沈子快要下沉



圖四-2 浮沈子恰下沉

實驗(三)：利用原理 4、5 即公式 (8) 測 γ

1. 先施加壓力使浮沉子沒入水中，緩緩減壓至浮沉子頂端恰觸及液面，量得壓力 P_2 。
2. 再減壓至浮沉子恰要脫離液面，量 P_3 。
3. 由 (8) $\Rightarrow \gamma = \frac{(P_2 - P_3)(m - V_G \rho)g}{2\pi R P_3}$ 求出 γ 。

實驗(四)：探討溫度對水的表面張力的影響

1. 燒瓶內的水加熱至 80°C 左右，量 P_2 、 P_3 ，並求出 γ 。
2. 作 $\gamma - t$ 圖。

六、 實驗結果：

1. 浮沉子長 7 cm，內半徑 0.4 cm，外半徑 0.5 cm，
2. 質量 $m = 4.58\text{g}$ 的玻璃管，由此算出玻璃密度 $\rho_G = m/V = 2.26\text{g}/\text{cm}^3$ 。
3. 表一. 利用公式 (7) 求表面張力(水溫 25°C)

次數	1	2	3	4	5
$P_1(\text{cm-H}_2\text{O})$	1107.9	1105.1	1105.9	1104.3	1105.4
$P_2(\text{cm-H}_2\text{O})$	1008.9	1007.1	1007.0	1006.5	1007.1
$\gamma(\text{dy}/\text{cm})$	72.6	72.0	72.6	71.9	72.2

$$\gamma = (72.3 \pm 0.2)\text{dy}/\text{cm}$$

4. 表二. 利用公式 (8) 求表面張力 (水溫 25°C)

次數	1	2	3	4	5
$P_2(\text{cm-H}_2\text{O})$	1008.9	1007.1	1007.0	1006.5	1007.1
$P_3(\text{cm-H}_2\text{O})$	926.2	925.0	924.6	924.4	924.8
$\gamma(\text{dy}/\text{cm})$	72.5	72.0	72.3	72.1	72.2

$$\gamma = (72.2 \pm 0.2)\text{dy}/\text{cm}$$

4. 表三. 水在不同溫度下的表面張力

溫度($^{\circ}\text{C}$)	77	67	57	47	37	27	22

γ (dy/cm)	64.5	66.0	67.4	68.9	74.4	71.8	72.6
------------------	------	------	------	------	------	------	------

5. 水的表面張力公認值 25° C 時為 72.14dy/cm，我們測得 72.2dy/cm，誤差-0.08%。20 及 30° C 的公認值分別為 72.88 及 71.40dy/cm。

我們假設表面張力隨溫度的變化為

$$\gamma = A\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^B \dots (9)$$

A 為因物而異的常數，T 為

絕對溫度， T_c 為臨界溫度=

374° C，是水能以液態存在

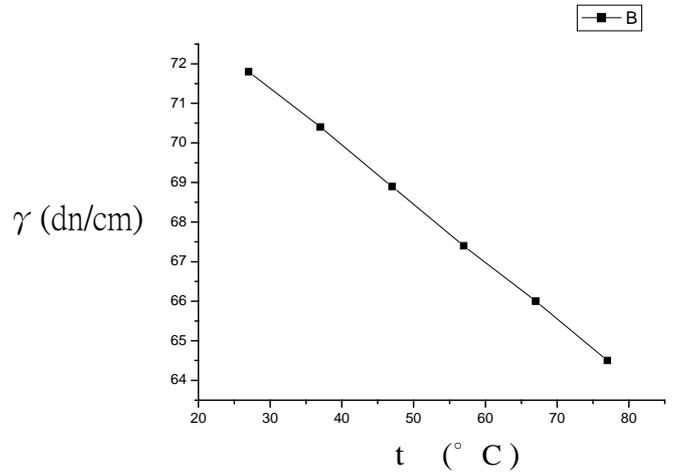
的最大極限。將 20 及 30° C

的表面張力公認值代入(9)式，解方程式得 $A=112.2$ ， $B=0.7158$ ，把 A、

B 的值代入(9)得 $\gamma = 112.2\left(1 - \frac{273+t}{273+374}\right)^{0.7158}$ 即

$$\gamma = 112.2\left(\frac{374-t}{647}\right)^{0.7158} \dots (10)$$

將表三所列的七個不同溫度代入(10)，得到數值和我們測到的表面張力相同。



圖五：水的表面張力隨溫度的變化

七、討論：

1. 測量表面張力的方法有許多種，全國科展第十八屆及第三十五屆物理科第一名的作品，都是利用毛細管為測量工具。我們利用浮沉子來測量，截面半徑比毛細管大許多，所以表面張力的現象更顯著。
2. 本實驗僅需測量浮沉子玻璃管的質量(m)，外半徑(R)，玻璃的體積以及

用開管壓力計量 P_1 、 P_2 、 P_3 以及壓力的變化 ΔP ，極顯著且易量，而且測量過程中，浮沉子均在密閉容器內，不易受外界污染，所以只要在放入浮沉子之前，將浮沉子和燒瓶洗乾淨，用夾子置入浮沉子後，外界對測量系統幾乎沒有影響。

3. 本實驗用很簡單的器材作精密的測量實驗。做完本實驗使我們對(1) 帕斯卡原理 (2) 亞基米德原理(3)波以耳定律(4)表面張力的測量能更進一步的了解。
5. 測量數據中，測量值都是三位或三位以上的有效數字，我們採用三位有效數字。
6. 利用本方法測表面張力時，要利用像玻璃管體積不受壓力改變的管子來作浮沉子，不可用像些塑膠滴管之類的易形變的管子，以防加壓後管子的容積改變。
7. 利用毛細管測量探討溫度對表面張力的影響時，流體流經毛細管後，溫度很容易改變極不易控制恆溫，本實驗用燒瓶盛裝大量液體，所以測量時很容易控制恆溫。但因高溫時，加大壓力管內空氣會有大量的水氣，此為誤差的主要來源。因此在高溫時要快速測量，且量後必須將玻璃管烘乾，才能再做實驗以免影響浮體重。
8. 水溫升高時，玻璃管體積會膨脹，所以排開水的體積變大，測得的 γ 值會變小，所以應用玻璃的膨脹係數修正玻璃管的半徑(R)。

八、結論：

1. 本實驗利用浮沉子測量表面張力，所用原理均為高中物理課本所述的：表面張力、帕斯卡原理、波以耳定律、亞基米得原理的綜合應用。
2. 本實驗測量表面張力時，事先測好玻璃管的質量，外徑，玻璃體積，進行測量時不會干擾、污染到待測液，且溫度容易控制，所以可以用來研

究表面張力隨溫度的變化。

九、誌謝：

感謝大考中心蕭次融教授對浮沉子製作技巧的指導。

十、參考資料：

一. 學生用

1. 陶雨台譯：表面物理化學。台北市：千華出版社，民國 77 年。
2. 李文堂：液體表面張力之測量及應用。第十八屆科學展覽優勝作品專輯(教師組)，民國 67 年，159~172 頁。
3. 吳岳霖等四人：毛細管測量液體表面張力的研究。第三十五屆科學展覽優勝作品專輯(高中組)，民國 84 年，1~9 頁。
4. 浮沉玩偶 設計者：蕭次融教授
<http://teacher.klsh.kl.edu.tw>

二. 指導老師用：

1. J.Guemez, " The Cartesian diver and the fold catastrophe", Am. J. Phys. **70** ,710~714(July, 2002)

利用浮沉子測量液體的表面張力

摘要

密閉容器置入待測液，放入浮沉子，施加壓力，當浮沉子恰要沒入液中瞬間，因表面張力的總力達極大值且向上，外加壓力(p_1)為極大值，浮沉子沒入液中；液面減壓，當浮沉子在液面正下方時，外加壓力 p_2 ，量 p_1 、 $(p_1 - p_2)$ ，浮沉子的質量 m ，外半徑 R ，及玻璃管的體積 V_G ，可求得液體表面張力。

液面再減壓，浮沉子恰要露出液面時，表面張力的總力達極大值且向下，外加壓力(p_3)為極小值，量 p_3 、 $(p_2 - p_3)$ ，浮沈子的質量 m ，外半徑 R 及 V_G ，亦可求得表面張力。

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

040121

利用浮沉子測量液體的表面張力

國立嘉義高級中學

評語：

1. 本實驗利用浮沉子測量液體表面張力實驗可以課堂教學參考，有其意義。
2. 本實驗可以再進一步設計，分析量測其他液體之表面張力，並互相比較，探討延伸應用性。
3. 對於溫度變化實驗，數據範圍不足說明與理論配合處，可以再予改進。