

就是那個力

—液面漂浮體的吸引與排斥現象

高中組物理科第二名

高雄市立左營高級中學

作者：林省文、江紹平、賈大誠、王守仁
指導教師：林明良

一、研究動機

觀察水面上的落葉，落葉時常會聚集成一團；而觀察漂浮於水面的迴紋針，發現迴紋針會互相吸引。我們拿楊桃樹葉來做實驗，卻發現漂浮水面上的樹葉某些部份會相吸，但某些部份卻會互相排斥。究竟是什麼原因影響其排斥與吸引？而這些力又是從何處來？

二、研究目的

- (一) 觀察不同漂浮體間的相吸或相斥情形，歸納漂浮體相吸或相斥的狀態。
- (二) 測定漂浮體間的作用力大小。
- (三) 探討影響漂浮體間作用力的變因。
- (四) 探究漂浮體間作用力的來源。
- (五) 以理論解釋漂浮體間作用力與各變因的關係。

三、研究設備器材

01.攝影機	02.單槍投影機	03.反射投影機	04.雷射	05.電源供應器
06.電子天平	07.手工改製電流天平	08.透明水槽	09.食鹽	10.硫酸銅
11.酒精	12.載玻片	13.膠帶	14.保溫瓶	15.鋅箔

四、研究過程

(一) 漂浮體的觀察

1.裝置：

以攝影放大觀察漂浮體邊緣的液面形狀。

2. 結果：

(1) 對某些漂浮體而言，液面會在接觸面處上升，如圖二。

(2) 而某些物體接觸面處液面會下降，如迴紋針，其比重雖大於1，但可靠液體之表面張力漂浮液面。如圖三。

(3) 若兩浮體之液面形狀同為升高或降低，則可互相吸引。若不同則排斥。

(二) 影響兩漂浮體間作用力的變因實驗

1. 實驗設計：

(1) 以電動天平測量兩漂浮體間作用力

原本設計以靈敏電動天平測量，因為必須把漂浮體間的水平作用力改為與天平間的垂直作用力，所以必需以棉線及定滑輪改變力的作用方向，結果發現：兩漂浮體間的作用力相當微弱，棉線的重量會對作用力的測量產生影響，而無法得到精密的結果。

(2) 以電流天平測量兩漂浮體作用力

電流天平是利用載有電流 I ，長度 L 的直導線，在磁場 B 中受力

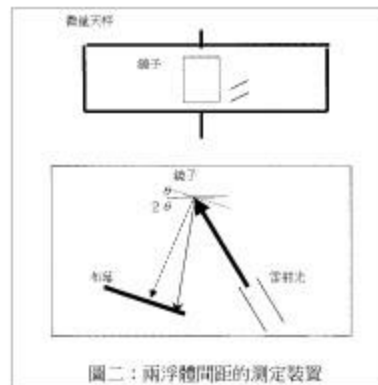
$$F = ILB$$

而磁場 B 由螺旋線圈提供。實驗裝置，如圖一。

兩塊方形的保麗龍放在透明水槽中，其中一個黏在水槽壁上，另外一個用一個極輕的硬物和電流天平相黏，由於兩個保麗龍塊屬同一性質（水面都會向上升）所以兩塊會相吸，我們要探討這之間的力的大小。將電流天平立起，使其可水平移動。改變電流大小使電流天平對保麗龍的拉力與保麗龍間的吸引力達到平衡，即可測得。



圖一：電流天平測量兩漂浮體間作用力



圖二：兩浮體間距的測定裝置

(3)兩浮體間距的測定

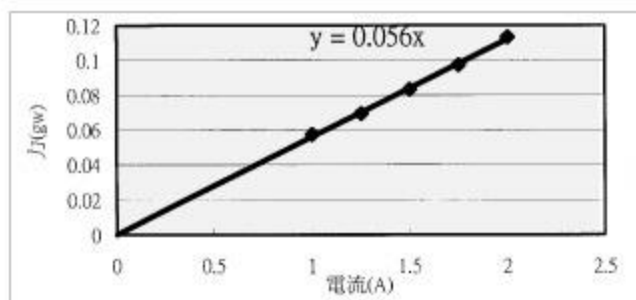
兩浮體間距甚微，不易用一般之測量長度方式測得。經過多次的嘗試，吾人運用光學方式測量。如圖二。

測量方法：先讓保麗龍吸在一起，將此時布幕上的雷射光點記錄，開啓電源，改變電流直到吸引力與電流天平拉力平衡，再記錄光點，測出光點在布幕上的移動距離與布幕至天平的直線距離。以三角函數測出 2θ 角。測出天平臂長，以正弦函數即得保麗龍的間距。

2.前置實驗：

(1)前置實驗一：電流天平電流大小與力關係

以細銅絲做砝碼，利用精密電動天平測得質量，固定螺旋線圈電流為3安培，改變電流天平電流以求得電流與力的關係。如圖三。



圖三：電流天平電流與力的關係

(2)前置實驗二：表面張力測量

在電流天平上懸掛一銅絲，放入水中。調整電流將銅絲舉起，達到力平衡。將所測得的力除以銅絲與水的接觸的長度（即銅絲長度的2倍），即得表面張力。

結果測得水的表面張力 $=0.0755\text{gw/cm}$

3.變因探討

(1)實驗一：兩物體間的距離與作用力的關係

a. 實驗結果：保麗龍間距與吸引力間的關係如圖四。

b. 分析：分析數據，發現保麗龍間的吸引力與兩保麗龍間距的平方成反比，（與平方倒數成正比）如圖五。

(2)實驗二：改變不同的介面觀察其變化（就是改變與液面的接觸角）

A. 膠帶

將兩保麗龍接觸面以膠帶各自黏起來

a. 結果：數據如圖六(a)

b. 分析：吸引力大小與保麗龍相當。數據圖中趨勢線未過原點可能為儀器歸零的誤差。

B. 玻璃

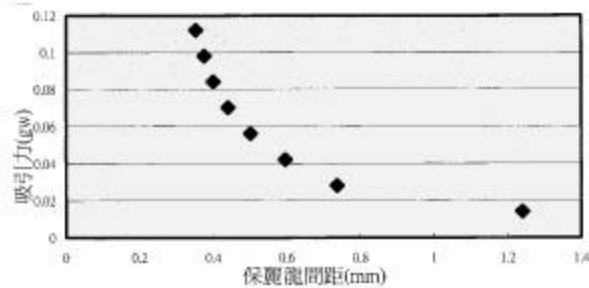
a. 數據如圖六(b)

b. 分析：玻璃與水面的接觸角較前兩者大，其間的吸引力也較前兩者大。

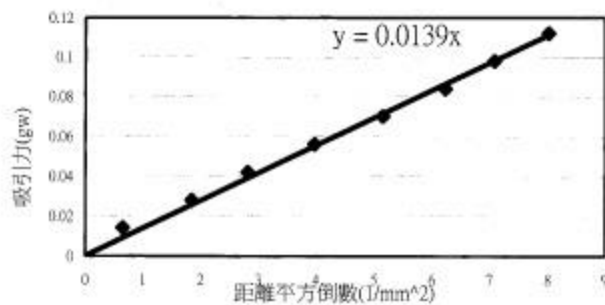
C. 鋁箔紙

a. 數據如圖六(c)

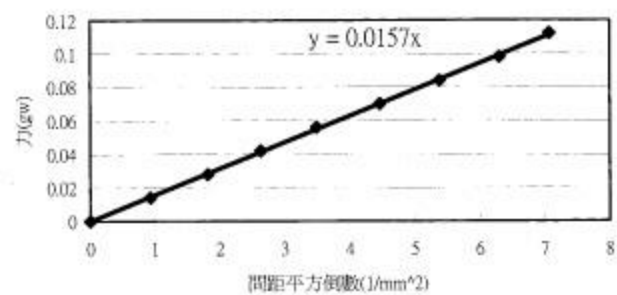
b. 分析：鋁箔紙與液體的接觸角較前三者小，其吸引力也較小。



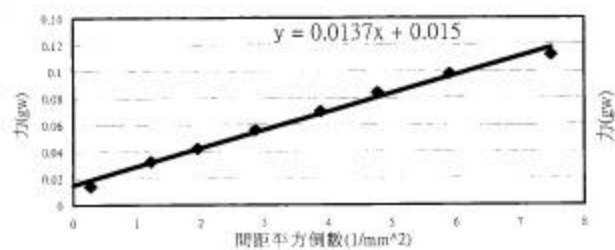
圖四：保麗龍間吸引力與距離關係圖



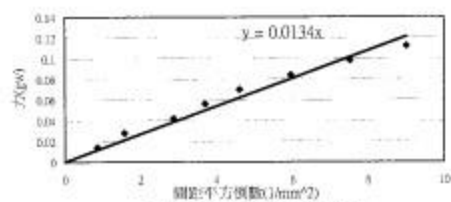
圖五：保麗龍間的吸引力與兩保麗龍間距的平方成反比



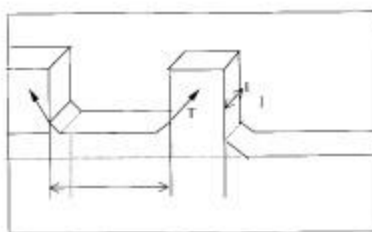
圖六a：膠帶間的吸引力



圖六b：玻璃間的吸引力



圖六c：鋁箔紙間的作用力



圖七：接觸液面上昇

(三) 理論推導

(1) 當物體接觸處的液面上昇成凹面時 (如圖七)

設表面張力為 T ，則 T 可分為兩方向—水平、鉛直。水平方向施力於物體，與另一面的水平分力抵消。鉛直張力則將水面拉起。

由於同水平面之壓力相等所以 a 、 b 兩點的壓力相等為大氣壓力 P_0 。設 c 距離 a 點 y 長，所以 c 點壓力 $P = P_0 - y \rho g$

所以壓力差為 $P - P_0 = -y \rho g$ ，而兩物體間的作用力則為 0 到 h 間壓力差累積的結果。

又因為兩物體間 a 點的壓力與物體外 b 點的壓力相等，而 a 點的壓力為大氣壓力加上水面提升高度 h 產生的壓力減去 (因表面張力向上) 表面張力造成的壓力，所以

$$P_0 = (-2T \cos \theta + h D \rho g) / D + P_0$$

$$2T \cos \theta = h D \rho g$$

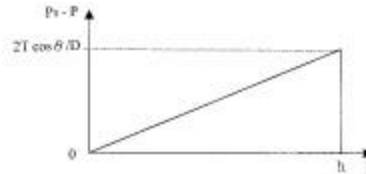
$$h = 2T \cos \theta / D \rho g$$

由上式得知 h 會隨 D 改變。

而兩物體間的壓力差與高度間的關係如右圖

所以吸引力

$$\begin{aligned} F &= (h T \cos \theta / D) l \\ &= (2T \cos \theta / D \rho g) * (T \cos \theta / D) l \\ &= (2T^2 \cos^2 \theta / D^2 \rho g) l \end{aligned}$$



(2) 與物體接觸的液面下降成凸面時

液面成凹面時，物體越接近，液面降越低。而 0 到 h 的壓力則為大氣壓力加液體深所產生的壓力，大於兩物體間的壓力 (為大氣壓力)，所以互相吸引。推導的算式則與上式相同。

(3) 一邊上升為凹面，一邊下降為凸面時，互相排斥，推論如下

兩物體間液面與外部液面差 h ，而同一水平高度壓力相同，所以

$$P_0 - T \cos \theta_1 l / D + T \cos \theta_2 l / D + h \rho g = P_0$$

$$T (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) / D = h \rho g$$

$$h = T (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) / D \rho g$$

$$P - P_0 = y \rho g$$

$$F = h^2 \rho g l / 2$$

$$= [T^2 (\cos \theta_1 + \cos \theta_2)^2 / D^2 \rho g] l / 2$$

兩物體間的壓力大於外面的壓力而產生排斥現象。

(四) 驗證理論

(1) 實驗三：液面高度與物體間距的關係

a. 實驗裝置

將投影機(DHP)垂直倒放，放大投影，觀察物體在不同間距時的液面高變化。

b. 結果：高度和距離平方成反比，與理論相符

(2) 實驗四：力與接觸面長度的關係：

由理論得知，力的大小與接觸面長度成正比。以實驗驗證結果如圖八。

五、研究結果

(1) 液面呈“凹”型的在物體靠近時，液面會抬升，而抬昇高度與兩物體間距成反比，會有吸引現象。

(2) 液面呈“凸”型的在物體靠近時，液面會下降，會有吸引現象。

(3) 液面一凸一凹的會有排斥現象

(4) 漂浮液面的兩物體間吸引力或排斥力大小和距離平方成反比。

(5) 吸引力來自壓力差，壓力差來自表面張力及液面高度差。

(6) 液面與物體的接觸角越小，力也越小。

六、討論

(一) 理論值與實驗結果比較

以理論算出兩物體間力的大小，並與實驗所得數據比較做圖（略）。

分析：

由理論得知兩物體間的力，與實驗所得的數據相符，證實理論的精確度。所以方程式中最難測得的物體與液體接觸角，就可由理論中推出。

(二) 表面張力對漂浮體的影響

1. 食鹽水：

配置0.5M、1M、2M、3M、的食鹽水溶液做力與物體間距的關係，結果如圖（略）

分析：

1. 食鹽水濃度越大，表面張力越大，漂浮體間作用力也越大。

2. 圖中數據所呈現的圖形並非為一直線，但當兩漂浮間距離較大時，其作用

力仍與距離平方成反比。

3. 但距離較小時，力的增加未如預期，檢視理論公式之後，我們認為在兩物體極接近時，可能物體與液面之接觸角變大，使得兩接觸面間的液面升高較少，因此力的增加較少。觀察前面水的實驗結果，發現也有類似情形，只是水變化較小。

(三) 漂浮體間距與接觸角的關係

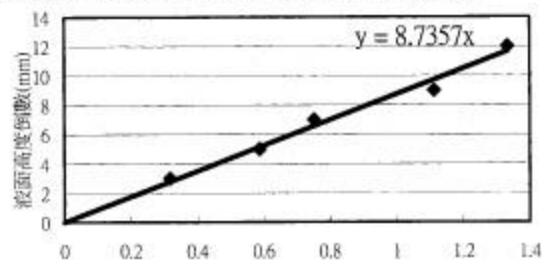
由前面的實驗得知，兩物體間距越近，接觸角會有所改變。我們以理論求得接觸角，得到的接觸角與物體間距的關係如圖九。

分析：物體間距越近，接觸角越大

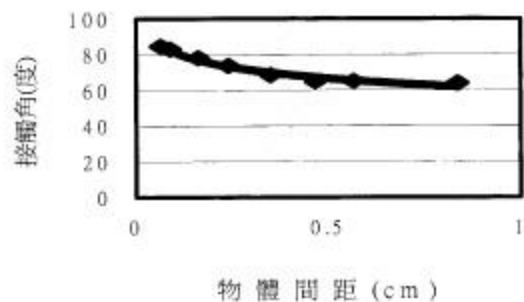
(四) 漂浮體間排斥力的探討

前面已完整討論液面漂浮物體間吸引力的關係，下面我們測量水在容器邊緣滿溢前的凸面與保麗龍的凹面而產生的排斥力，結果如圖（略）。

分析：相斥情形與相吸情形相同，力與距離平方成反比。



圖八：液面高度與間距成反比



圖九：2M食鹽水物體間距與接觸角的關係

七、結論

1.由漂浮在水面的保麗龍間的作用力與距離關係，及與物體長度關係的實驗中，實驗值與理論曲線的吻合情形得以驗證理論的可靠性，也就是兩者間的作用力來源來自兩物體液面高度的變化，使得物體兩側產生壓力差所造成。液面漂浮體間的作用力為

$$F = [T^2(\cos \theta_1 + \cos \theta_2)^2 / D^2 \rho g] l / 2$$

其中T為液體的表面張力， θ_1 、 θ_2 分別為液體與兩物體的接觸角，D為兩物體間距， ρ 為液體密度，l為物體接觸面長度。

2.後來使用食鹽水及硫酸銅重複實驗，發現：如果把接觸角當成定值，即物體與液體的接觸角不受物體間距影響，則當物體相距較遠時，實驗值與理論值吻合，但當距離越近時，理論值預測的力比實驗值大，我們檢視公式，認為是由於距離接近時，接觸角會變大的緣故。其中水與保麗龍的情形，改變較不顯著，仍與理論相符。

3.在這裡我們想提出一個「懸索線」的模型來解釋液面成凹面時，接觸角因距離變小而變大的現象。當距離越小時，兩物體間液面因與物體附著力大於內聚力，再因表面張力而上升，如果距離越近，必需上拉的液體重量較小，就像兩端懸掛的繩子，繩子重量小，則懸點處的拉力與垂直線的夾角（相當於接觸角）越大一樣。

4.在物體距離很近時，接觸角是否會如上述模型及理論預測改變，是個值得再繼續研究的課題，也是我們需要克服精密測定接觸角的困難，而繼續努力的目標。

八、參考資料

- 1.Rolf H.Sabersky(1999):Fluid Flow,Prentice Hall International.
- 2.國立台灣師範大學科學教育中心（1995）：高級中學物理第二冊，國立編譯館出版。

評語

表面張力的作用使得兩物體間互相吸引的現象是常見而有趣的現象，作者能針對看似平凡的問題，設計實驗測量引力，並以合理的方式解釋相吸、相斥的道理，實屬不易。雖然在理論分析上小有瑕疵，但就整體言是一件好作品。

