

可溶性固體體積的測定及其研究

高小組物理第一名

高雄縣前峰國小

作者：李世泉·尤永豐

指導老師：鄭華年

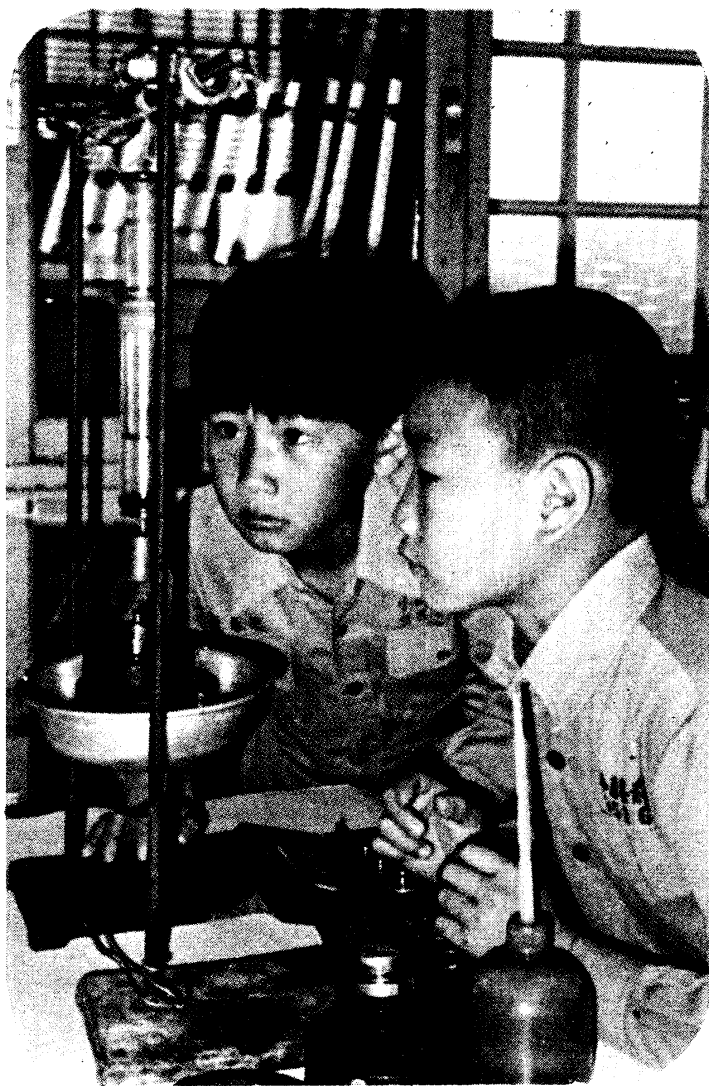
壹、動機

一、在自然課本第四冊中曾告訴我們：水的浮力大小和固體的體積有關。那麼我們是不是可以用浮力的大小去測固體的體積呢？老師說是可以的；而且事實上許多形狀不規則的固體，都是利用在水中排開的體積來測定它的體積的，也就是排水置換法。

二、我們在喝牛奶時，常因不夠甜而加糖，也

常看見糖在水中溶化了，而水溶液的體積並沒有顯著增加；可見用排水法去測量可溶性固體的體積，是不可靠的。

三、一天，我們得到一個玩具注射筒，發現若用一手指堵塞住筒孔，另一手把活塞往後拉，筒內原來空氣的體積就變大了，這時把拉活塞的手一鬆，活塞又滑回原來的位置。這是因為筒裏的壓力小，使空氣的體積變大的緣故。但固體的體積是不會因壓力小了而變大的；倘若筒內放一固體，拉動活塞，



使筒裏空氣體積變大，不就可以換算出固體的體積嗎？

貳、幻想

一、裝置的幻想—我們用醫生打針用的注射筒裝成如圖(-)的樣子，藉砝碼的拉力使筒裏的壓力變小，擴大筒內空氣的體積，如此就可測出標準的體積。

二、結果的幻想—不論注射筒內裝的空氣是多少，只要把它的體積擴大為二倍時，所需的拉力都是相等的；因為這時筒內的壓力必定是筒外的一半壓力，由於活塞面積不變，這時放在筒內固體的體積，必定等於原空氣體積的二倍減去一半大氣

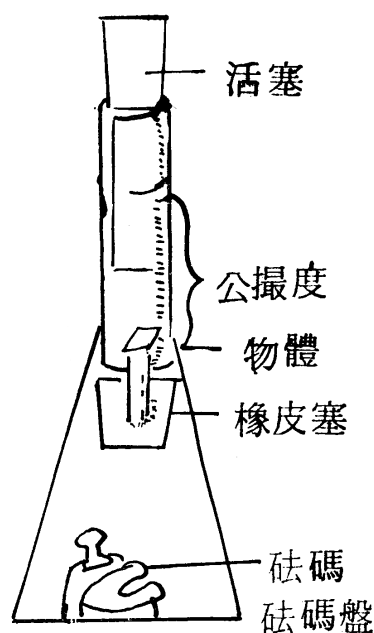


圖 (-)

測量體積的裝置

壓所能拉到的體積；這樣不論被測量的固體是否會溶於水中，它的體積都可以被測量出來了。我們同意把這方法暫時定名為「排氣法」吧！

三、老師說：「你們的推想很合理，可以做實驗了」。

參、實驗

※實驗(-)、求證一定直徑的注射筒，若把一定量的氣體體積增加為二倍時，所需的拉力是否相同？

1 設計：如圖(-)注射筒的直徑不變，改變內部空氣的體積，測量變為二倍體積時的拉力。

2 操作過程：

(1)把器材裝置如圖(-)後，分別加入一大氣壓下的空氣 10、15、20、25 公撮，測定體積變為二倍時，各所需的拉力。

(2)每一次測量完成後，把砝碼拿出來，看看活塞是否能還原？如果不能還原，就表示漏氣，應加塗潤滑油，使其不漏氣為止。

3. 實驗結果：如表(一)

未加拉力時筒內空氣的體積（公撮）	10	15	20	25
體積變為二倍時所加的拉力（克）	2580	2560	2550	2540

表(一) 把定量空氣拉成二倍體積時的砝碼重量

4. 討論：

(1)由實驗結果顯示，原來的體積愈大時，所需的拉力愈小，但都很接近，只是稍有誤差。

(2)誤差的原因和消除的方法：（老師指導後）

甲、視覺的誤差：看體積的刻度時，眼睛應該垂直筒面。並且要與注射筒活塞的下邊對齊，才能測得正確的體積。老師又用銼子把刻度分細，這樣就更準確了。

乙、器材的誤差：

⊖注射筒、橡皮塞和砝碼盤仍然是有重量的，（約178克）所以原來裝在筒內的空氣，並不是真正的一個大氣壓下的體積。

①首先我們應當確定注射筒活塞的面積：測量筒50公撮的管長為9.5公分，所以
活塞面積 = $50 \div 9.5 = 5.28$ （平方公分）
在此面積上總共接受的大氣壓力大約是：
 $5.28 \times 1033.6 = 5456$ （克）

②再說當我們壓一個皮球時，用力愈大，球的體積就愈小，可見氣體的體積和其所受的壓力成反比的。現在我們秤得注射筒和砝碼盤的重量是178克，佔總受力的 $\frac{178}{5456} = 0.033$ （克），所以影響很少，可忽略不計。

⊖注射筒活塞雖然推到「0」刻度。但是內中仍有大

約0.6公撮的殘存空氣，不信可裝水注入筒內檢查。這0.6公撮的空氣也在參加熱鬧一番，也會引起誤差，但與②所引起的誤差恰可抵消，所以不必計入。

⊖綜合以上討論，我們暫可以不必考慮器材等的誤差，所以得到下式：

$$\text{固體的體積} = \text{未拉前刻度} \times 2 - \text{拉後的刻度}$$

(所用的拉力為2550克)

丙、因摩擦力所引起的誤差。只要加上適當的潤滑油。摩擦力就很少了。

丁、大氣壓力變動也會引起誤差。但只要有一個氣壓計，就可以適當地修正計算公式了。

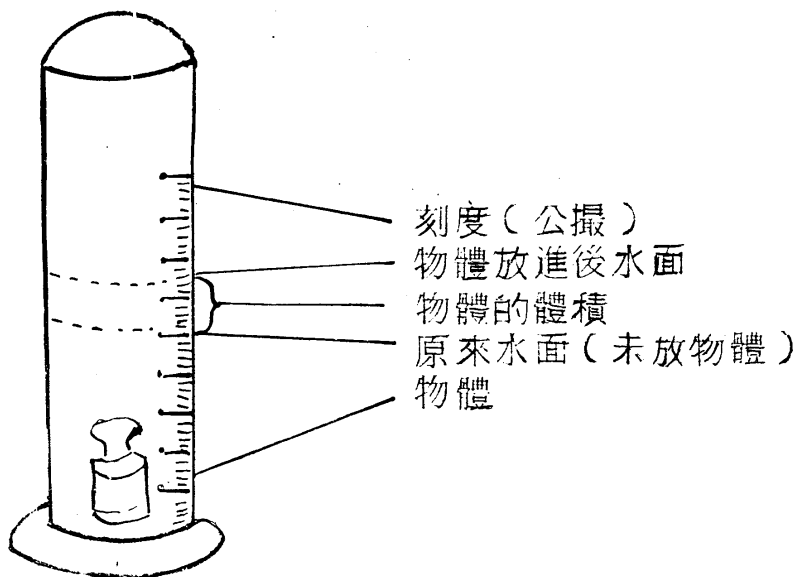
(3)根據以上所述，如果要把筒內空氣的體積拉成原來的二倍時，它的拉力(砝碼) = $5456 \div 2 - 178 = 2550$ (克)

※實驗(二)、用已知體積的固體驗證實驗(一)：

1 設計：用排水法測定砝碼的體積，作為驗證的樣品。

2 操作過程：

(1)分別把20克、50克、70克、100克同質料的砝碼投入量筒內，測定各砝碼的體積：如圖(二)



圖(二) 排水法測定體積

(2)再把砝碼放進(圖(-))的裝置中，固定未加拉力前的總體積為 25 公撮，測定各砝碼的體積。(注意：要補償砝碼的拉力)。

3 實驗結果：如表(二)

砝碼的重量(克)	20	50	70	100
用排水法測得的體積(公撮)	2.5	6.4	8.5	12
用我們的方法測得的體積(公撮)	2.4	6	8.4	11.9

表(二) 排水法與排氣法測定砝碼的體積

4. 討論

(1)由圖(三)我們知道排水法也會因為視覺上或器材本身引來誤差，以致所得實驗線並不太直。

(2)老師說：「因為砝碼內是銅，表面鍍著鎳和鉻，也會引起誤差的。而且很複雜。不過從本實驗可以證明你們的方法是成功的」。我們成功了。

※實驗(三)、把砝碼的重量固定，改變未拉前的空氣體積，再驗證實驗(-)：

1 設計：(略)

2 操作過程：用實驗(三)的方法，把 100 克的砝碼分別放在 20 公撮和 25 公撮的筒內，誤差很少。所以證明實驗(-)的方法是確實可用的。

※實驗(四)、測定砂糖的體積：

1 設計：固定筒內的原總體積為 25 公撮，分別測定 5 克、10 克、15 克、20 克的砂糖體積。

2 操作過程：

(1)用天平秤出糖每次 5 克，逐次加入筒內，(注意：如果注射筒被糖粘住了，必須清洗後，塗上潤滑油，才可再用)。

(2)把同重的砂糖投入 70 公撮的水中，以排水法測定其體積

。

(3)其他：如實驗(一)及實驗(二)。

3. 實驗結果：如表(三)

砂糖的重量(克)	5	10	15	20
用排水法測得的體積(公撮)	3.5→2.8	6.5→5.5	9.8→8.7	13→11.7
用排氣法測得的體積(公撮)	3	6	9.2	12.2

表(三) 排水法與排氣法測定砂糖的體積

4. 討論：

(1)用排水法測定砂糖的體積時，開始體積很大，並且有氣泡放出，待氣泡放出後體積漸漸降低而達到一穩定值。但排氣法測定結果很接近平滑直線，可見若用排氣法來測定體積較快且較準確。

(2)排水法在砂糖為 5 克到 10 克時，體積有顯著的降低，這就是糖分子被壓縮在水分子中而使混合液的總體積減少；但到了砂糖為 10 克、20 克時，其體積却與排氣法作等差的跟隨，主要原因這時是已達到飽和溶解度，後加入的糖根本不能全溶，所以體積不會再減少。

(3)老師說：「我們把每一次的砂糖重量除以體積，即

$$\left(\frac{5}{3} = \frac{10}{6} \div \frac{15}{9.2} \div \frac{20}{12.2} \div 1.67 \right) \text{ 都很接近 } 1.67 \text{ 克/立方公分}$$

，這是砂糖的一種物理特性，叫做密度，也就是單位體積中所含有的砂糖量。我們可以根據各種物質的密度。以及其他的特性去推知某一未知的物質。這就是我們學習自然科學的目的之一，希望你們再加努力！

※實驗(五)、測定方糖的體積：

1 設計：固定總體積為 25 公撮，分別測定一塊、二塊、三塊方糖的體積。

2 操作過程：

(1)用天平秤出 10 塊方糖的總重量，求得每塊平均重量為 5.6 克。

(2)用排氣法分別測定一塊、二塊、三塊方糖的體積。

(3)用 50 公撮的水，以排水法分別測定一塊、二塊、三塊方糖的體積。

(4)用尺測量一塊方糖的體積（量 10 塊方糖求其平均值）。

(5)其他與實驗(一)同。

3. 實驗結果如表(四)

方糖數 (塊)	重 量 (克)	排氣法體積 (公撮)	排水法體積 (公撮)	用尺量體積 (公撮)
1	5.6	2.9	3.5→2.7	5.09
2	11.2	5.9	7.1→5.2	10.18
3	16.8	9	11.3→8.3	15.27

表(四) 方糖的體積

4. 討論：

(1)排氣法所測定的體積成平滑直線關係，證明本方法是可用的。

(2)排水法時，最初有大批的氣泡上升，排水體積逐漸減少，足證糖分子與水分子又在作緊密的混合，以致體積不能成等加的發展，直到飽和後，才能歸於正常。

(3)用尺測量體積更是不可靠，因為排水法時，已有大量氣泡放出，可證糖內有空隙。

(4)按照老師的算法，砂糖的密度為 1.67 克 / 立方公分，而

方糖的密度約爲1.60克 / 立方公分，二者相差0.07，這表示糖中含有其他糖類，（糖業公司說方糖中含有葡萄糖是可信的）若用排水法是測不出來的。

(5)老師說：「從上面的實驗，我們可以證明物質都是小粒子堆成的，這些小粒子叫做分子、原子或離子，但不論它是何種粒子，若在堆積時有一定形狀，我們稱它爲晶體。不論晶體或非晶體，都有一定的密度，除非它們已經變質了。」我們聽了以後又做了下面的實驗。

※實驗(六)、測定非晶體(米)的體積：

- 1 設計：固定未拉前的筒內體積爲25公撮，分別測定5克、10克、15克、20克精白在萊米的體積。
- 2 操作過程：與實驗(四)相同。
- 3 實驗結果：如表(五)

米的重量(克)	5	10	15	20
排氣法測定(公撮)	3.3	6.5	9.7	13
排水法測定(公撮)	3.8→3.5	7.5→7	12.8→11.3	18.5→14

表(五) 精白在萊米的體積

4. 討論：

- (1)用排氣法測定米一定重量的體積，仍很接近平滑的直線，可以證明本法是可行的。
- (2)用排水法時，起初有氣泡放出，排水體積逐漸下降，至一定值時不再下降；但①若攪動之，仍有微少的氣泡放出，這是因爲附着在米上的空氣及米在吸水時所放出的。②若米在水中靜置一夜，第二天則見總體積增加了許多，這是米在發酵。

(3)米是植物的種子。外表的形狀雖然大致相同，但不是晶體，本法對於非晶體也能適用。

※其他實驗：如對食鹽、塑膠球、玻璃珠、黃豆、木炭、味精等等的實驗，也都證明本方法的可行性。但因限於篇幅，不便一一列舉，非常抱歉！

肆、結論

一、任意一定量空氣的體積與壓力成反比，但固體的體積幾乎不會因壓力小了而變大，所以裝置成如圖(一)的實驗，可以準確地測得任何固體的體積；我們叫它做「排氣法」。

二、排水法不能準確測得可溶性固體的體積，若用「排氣法」就可解決所有固體體積測定的難題。

三、本實驗一直是把原來的空氣拉成二倍，主要的目的是在便於計算；但也可以拉成別的倍數，例如要拉成原來的 $\frac{3}{2}$ 時，則物體的體積 = 未拉前的體積 $\times \frac{3}{2}$ = 拉後的體積

四、本實驗的方法對可溶性固體體積的測定，確實是一種可行的方法。若能改用更精密的儀器設備，其所測定的結果，必定比排水法更好。

五、本實驗確立了「物質是由小粒子所構成」的基本物理觀念，對於將來進一步學習自然科學有很大的幫助。

六、若能夠做到以上兩點，本實驗的確可以和阿基米德比美了。

圖(一)排氣法測定體積的裝置

