

揭開魔瓶之謎

國小教師組物理類第二名

台北市松山區福德國民小學

作者：徐喜美、鍾水峽

一、研究動機：

去年學校舉行校外教學和小朋友到新竹青草湖時，有許多小販在賣“魔瓶”，只要用手輕輕一握，瓶中液體就千變萬化，好玩極了，玩呀！玩呀！問題就來了，「老師，這“紅水”爲什麼會上升？」「老師，這“綠水”是什麼？」我玩了玩，想了又想，一時也說不出個道理來，只好無奈地說：「小朋友，等老師回去研究看看，是不是能找出答案。」

二、研究問題：

(一)魔瓶中的液體爲什麼會上升？

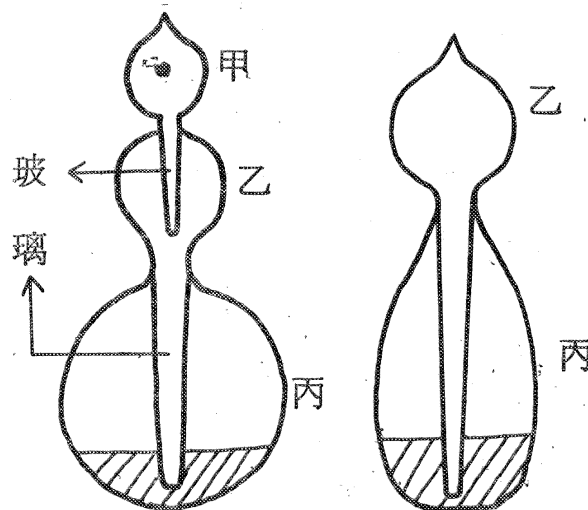
(二)魔瓶中的液體到底是什麼？

三、試驗探討的過程

問題一：魔瓶中的液體爲什麼會上升？

1 觀察

(1)魔瓶的構造如下圖：



構造有好幾種，一般以上列二種為常見，第A種分甲、乙、丙三部分，甲乙之間，乙丙之間有玻管相通且甲乙間的玻管到底乙之底端，乙丙間之玻管，到底丙之底端浸入液中。第B種只分乙、丙兩部分，乙、丙間有玻管連接。

(2)將魔瓶靜置常溫中：液體始終位於丙瓶底。

(3)一般的玩法：

(a)手握丙瓶底，彩色液即上升且沸騰，鬆手或改握頂瓶，則液體下降。

(b)手握頂瓶，則丙瓶底端玻管冒泡。

2. 液體上升原因之假設：

(1)液體上升是由於魔瓶為一密閉空間，受熱時丙瓶氣體之膨脹率比液體大得多，故丙瓶無液空間壓力增大，壓縮液體上升。

(2)丙瓶液體為一沸點低，揮發性大的物質，而魔瓶為密閉之真空之容器，致使液體極易汽化，故液體一受熱，即大量汽化，使丙瓶無液空間蒸氣壓加大壓縮液體上升。

3. 設計試驗驗證假設：

(1)控制變因觀察魔瓶的變化

(a)改變魔瓶周圍的溫度

變 因	結 底
常 溫 中	液體停於丙瓶底
冰箱冷凍室(0°C以下)	〃
淹入熱水中(30°~70°C)	〃

發現：只要魔瓶周圍溫度均勻，其中液體的位置都不變，且都位於丙瓶底。

推理：促使液體流動的原因不單是“溫度”而已。

(b)改變受溫的部位

步驟：將魔瓶分為甲、乙、丙有液部分，丙無液部分，各以手握或冰布包裹其中任何一部分，觀察液體的變化。

結果：

受溫部位	甲	乙	丙 (有液)	丙 (無液)	發 生 的 結 果
受 溫 狀 況	手 握	×	×	×	丙瓶管管底冒泡，液體停於丙瓶底。
	×	手 握	×	×	“
	×	×	手 握	×	液體快速上升至乙瓶，又迅速至甲瓶且沸騰，並有循環現象
	×	×	×	手 握	丙瓶玻管處液體微量上升
	冰布包	×	×	×	液體快速上升集中於甲瓶
	×	冰布包	×	×	液體快速上升集中於乙瓶
	×	×	冰布包	×	丙瓶玻管底有間歇性少量冒泡
	×	×	×	冰布包	丙瓶玻管底連續性多量冒泡

發現：

(1)液體對溫度十分敏感。

(2)並非只有加溫才能使液體流動，使魔瓶不同部位受冷，亦可改變液體之位置，即：只要各部位有“溫差”時，液體即往低溫處流動，且停留其間。

推理：魔瓶中各部位有“溫差”存在時，改變瓶中各部位之壓力，造成液體往低壓處流動現象。

(c)改變液體受溫面的大小

步驟：丙瓶液體部位分別以一指，二指，三指，掌心接觸，觀察液體上升的情形。

結果：

受溫面積	一指指	二 指	三 指	掌 心
上升的量	極少量	少 量	稍 多	全部上升且沸騰

註：全部上升表示玻管無法接觸到液體而已。

發現：液體受溫面積越大，越易上升。

推理：液體受溫面越大，受熱越多，改變瓶中壓力越大，造成液體上升越大。

(2)打破魔瓶的密封狀況，觀察液體的變化。

步驟：分別將魔瓶的甲瓶、乙瓶或丙瓶無液部位打洞，觀察液體的變化，再以手握之觀察液體上升的情形。

結果：

打洞部位	甲 瓶	乙 瓶	丙 瓶
液 體 現 象	丙瓶底冒泡，手握丙瓶底較難上升	同 左	不受溫即可自動上升，若洞大或置久則上升後須手握頂瓶才能下降。

發現：魔瓶不同部位打洞後，大氣進入打洞空間，可使該空間壓力增大，因而改變液體停留位置。

推理：魔瓶無液空間原為低壓狀態即真空或接近真空。

(但液體之蒸氣必然存在)

(3)倒出魔瓶原液，改裝其他液體 3 c.c. 比較它們上升的情形 (瓶中空間已有大氣進入非真空)

步驟：設法倒出魔瓶中液體，分別改裝乙醚、酒精、甲醇、水，置於各種溫度的水中，觀察其上升的速度和高度(量)。

發現：

(1) 魔瓶打洞大氣進入後，原液須較高溫度方能上升。

(2) 乙醚接受最少量的熱度即可上升。

(3) 原液則介於乙醚和酒精之間，和甲醇很接近。

推理：原液可能是甲醇。

(4) 比較原液、乙醚、酒精、水、甲醇在大氣中的揮發性。

步驟：取 5 個精密刻度 (1/10 c. c.) 的磨砂試管，各裝 4 c. c. 的原液、乙醚、酒精、水、甲醇，觀察 24 小時，48 小時以後各種液體剩下的體積。

結果：

剩下體積 時間	液體	原液	乙醚	酒精	水	甲醇
24 小時後		3.6 cc.	3.2 cc.	3.9 cc.	4 cc.	3.7 cc.
48 小時後		3.2 cc.	1.1 cc.	3.7 cc.	4 cc.	3.3 cc.

註：觀察日期之相對濕度為 75~85

發現：

(1) 乙醚的揮發性最大。

(2) 甲醇和原液的揮發性很接近。

(5) 比較原液、乙醚、酒精、水、甲醇之沸點，再查閱資料找出其他液體之沸點，以資比較。

液體名稱	沸點
原液	67° C
乙醚	34.7° C
酒精	78° C
水	100° C
甲醇	65° C

發現：原液之沸點介於乙醚和酒精之間，和甲醇較接近。

(6) 驗證：壓力低時，液體的沸點隨之降低（冰煮開水）

步驟：錐瓶盛水加熱，待沸騰後，使空間充滿水蒸氣，即蓋上瓶塞，熄火倒置錐瓶，以冰塊冷卻瓶中蒸氣，觀察瓶中水是否仍可沸騰。

結果：瓶中水溫不斷下降，水續有沸騰現象，直至水溫冷卻至 25°C 時，仍有間歇性之少量氣泡出現。

發現：瓶中蒸氣冷卻，蒸氣壓隨即降低，則於低溫中，水亦可沸騰。

推理：壓力低，液體更易汽化。

(7) 魔瓶中玻璃通管的作用試驗

步驟：將附瓶塞的玻璃管插入盛水 100cc 的錐瓶內，於錐瓶底加熱，比較玻管浸入液中與未浸入液中，水上升的情形。

結果：

試驗方法	玻管浸入液中	玻管不浸入液中
結果	水沿玻管上升	水無法上升，熱度升至高溫後瓶塞爆開

發現：液體上升，須有玻管，且必須浸入液中。

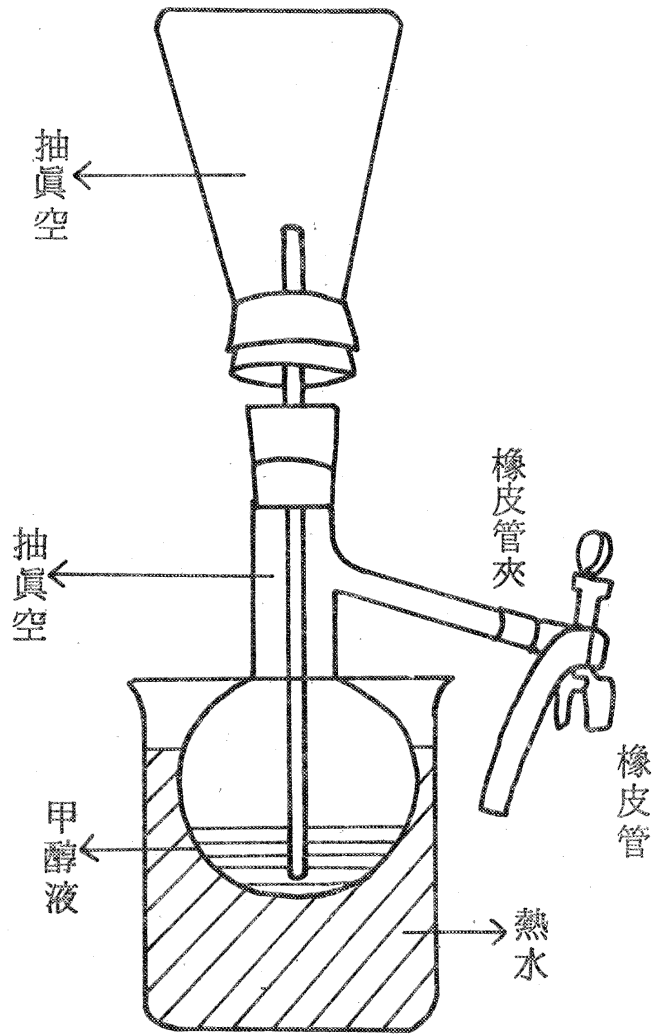
推理：魔瓶中玻管為必要構造之一，否則魔瓶中液體之千變萬化現象無法產生。

4. 根據前七項試驗之推理、設計“模擬魔瓶”構造，驗證假設。

驗證方法：

“模擬魔瓶”中分別裝水或甲醇，並比較瓶中空間抽真空與未抽真空時，液體上升時所需的溫度和上升的情形。

“模擬魔瓶”構造如下圖：



結果：

試液 30cc 試驗方法	水	甲 醇
抽真空	70° C時液體全部上升至頂瓶，且開始冒泡	36° C時液體全部上升至頂瓶，且開始冒泡
沒抽真空	88° C時液體全部上升至頂瓶，且開始冒泡	52° C時液體全部上升至頂瓶，且開始冒泡

發現：裝甲醇比裝水容易上升，抽真空比不抽真空，液體較易上升。（抽真空並不表示已完全真空，只表示氣壓已大降）

推理：瓶中裝揮發性大（低沸點）的甲醇，將瓶中空間抽真空密封，溫度加至人體溫度，液體即迅速沿玻管上升至頂瓶，且有氣泡不斷出現，與魔瓶之現象非常類似。

問題(一)：結論

1 由於丙瓶無液部分受溫只促使魔瓶中液體微量上升，可知液體上升並不是由於氣體的膨脹率大於液體使然，因此假設(1)不能成立。

2 由上面八個探討的過程我們發現魔瓶上升的原因有：構造上的因素有：

(1)魔瓶為真空或接近真空之密閉空間（由試驗(2)及“模擬魔瓶試驗可知）。

(2)魔瓶原液為低沸點，揮發性大的物質（由試驗(4)、(5)可證明）。

(3)揮發性液體容易上升（由試驗(3)可證明）。

(4)低壓時液體較易揮發及沸騰（由試驗(6)可證明）。

(5)丙瓶中有浸入液中之細玻璃管，幫助液體上升（由試驗(7)可證明）。

上升的原理：

魔瓶各部位空間產生溫差時，即失去壓力平衡狀態而導致液體位置之改變及流動現象。

由此可知，魔瓶液體上升之原因與假設(2)相當接近，唯一須加以修正的是：魔瓶液體不一定是因為受熱汽化使丙瓶無液空間壓力增大才會上升，事實上只要魔瓶各部位空間有了溫差時使之壓力失去平衡即可造成液體之流動及位置改變現象。

問題(二)：魔瓶中的液體到底是什麼？

1 探討它的物理性質

(1)色層分析——濾紙上呈現二圈，內圈紅色，外圈透

明，此透明部分迅速揮發掉，只留下紅色部分。

(2)蒸餾——得透明液體及色素。

(3)測定透明液體之沸點——得 67°C (甲醇 65°C)

(4)測量密度

試管 + 試管塞 + 燒杯 = 59.79 g

試管 + 試管塞 + 燒杯 + 9.1 cc 透明液體 = 66.91 g

$$D = \frac{66.91 - 59.79}{9.1} = \frac{7.12}{9.1} = 0.79 \text{ g/cc}$$

(甲醇 0.79 g/cc)

(5)溶解性的探討

溶 劑	水	甲 醇	乙 醇
溶 解 性	易 溶	完 全 溶	易 溶

註：△易溶表示兩種液體混合在一起，看起來很透明，但仔細觀察，却有些許的油滴。

△完全溶表示兩種液體混合在一起，看起來沒有任何油滴，像只有一種液體而已。

發現：根據上面五個物理性質研判的結果，魔瓶原液可能是甲醇。

四、心得：

此次我們進行魔瓶之揭謎工作曾面臨許多困難，經歷了這些解決的過程，我們所獲得的除了知謝的探求以外，在許多觀念的突破上，也深具意義，今列舉於後：

1. 困難：

(1)魔瓶購買不易——“魔瓶”這種玩具不普遍，當我們決定要研究它時，手邊只有五個，而瓶中的液體量又極少，要蒸餾、測沸點、測量揮發性、儀器測定等都要大量的魔瓶液，去年我們在新竹買魔瓶時既無包裝紙盒，一時又打聽不到製作魔瓶的工廠請教或購買原料。在台北一般玩具店也買不到，

爲了進行試驗，非得專程跑新竹青草湖不可。

(2)由於魔瓶的構造特殊，欲取出或換裝液體都不容易，經我們嘗試的結果發現：裝入液體可用打針筒，取出就沒那麼長的針可用了，一定要設法（如泡熱水）使它上升至頂瓶，再急速倒出。

(3)魔瓶是玻璃做的，要把它打個洞又不傷到整個魔瓶也困擾我們許久，用「敲」會使它破得離譜，若用金屬加高溫穿孔，除了工具不好找之外，又怕那火紅的打洞物引燃瓶中甲醇，造成爆破，用金屬銼刀硬度不夠，最後利用由「剛玉」製成的心形藥瓶銼刀，慢慢銼，才把它銼出一個小裂縫，讓大氣進入瓶中，用以驗證瓶中是否抽真空。

(4)測定沸點時，我們採間接加熱法，由於使用的液體量只用5 cc結果未達沸點，液體已全部汽化殆盡，無法得知沸點，第二次我們利用蒸餾魔瓶原液的同時，觀察溫度的變化得知原液沸點爲67°C。

2. 一個小學老師平日所接觸的東西太淺顯，要研判一種不明物體所應具備的知能及工作環境所能提供的設備非常有限，甚至我們所須使用的玻璃器材請購時都無法寫出正確的名稱，但經過了這次的「揭謎工作」，我們深切體認出來的感想是：

(1)對日常生活中相當陌生的事、物也可以嘗試去研究，只要肯去鑽研、請教、查資料……就可以藉機教育自己、鞭策自己、激勵自己，進而體驗到探求答案的過程和求知的樂趣。

(2)科學知識和儀器的進展日新月異這個事實透過這次的研究工作，才深切體驗到，而身擔科學教育工作的我們，若對所授的課程不加進修研究的話，那麼「不進則退」勢必不多久，就要成爲教育界的「蒙古大夫」了。

3. 粗淺的印象及直覺的判斷，使我們的工作一開始就產生偏差，走入歧途，使我們越做越迷糊。例如：一般人均認爲「魔瓶」液體之上升是「熱脹冷縮」的原理，但它真正的含義是什麼，我們的認識非常粗淺，當我們進行控制變因觀察魔瓶時，發現

許多無法解釋的現象，綜合許多，觀察試驗後才使我們漸漸深入了解，此外，我們對魔瓶液體上升的動力，一開始就直覺地認定只有「加溫」能促使液體流動，事實上用冰布使之局部「受冷」也可造成液體位置之改變，因而修正了原先的假設，由此可知我們的教學態度如果遇到兒童提出疑問時也直覺地把粗淺的印象或直覺的判斷結果告訴兒童，那麼我們所戕害兒童的不只是一個，不正確的答案而已，無形中影響兒童求知的態度真可說是「差之毫厘，失之千里」了。

4. 學理與實際的驗證，有好一段距離，這次的研究工作我們就有幾次這種經驗：

(1) 我們爲了驗證低壓狀態，沸點隨之降低的事實。

將錐瓶盛水 100cc 抽真空後，將橡皮管夾住，保持瓶中低壓狀態，在錐瓶底加熱，觀察溫度計以測知沸點，不料溫度計溫度已升至九十幾度，瓶中水仍無沸騰跡象，我們唯恐瓶子爆破，便熄火，打開橡皮管夾，誰知才一打開橡皮管夾，瓶中蒸氣外溢，水即時劇烈沸騰，這才使我們頓悟：瓶中空氣雖已抽真空，但水加熱後汽化之蒸氣壓不斷增高，如何能使水沸騰？因此我們才改爲在加熱過程中繼續不斷抽氣手續，終使我們得以親眼見到五十幾度的水在“沸騰”。

5. 尚存的疑問：

(一) 當我們進行蒸餾裝置時，魔瓶原液爲揮發性大的物質，未加熱已自動揮發至蒸餾瓶口，奇怪的是：它揮發時爲何連帶色素一同揮發至瓶口？

(二) 魔瓶原液既然爲一揮發性大的物質，爲何魔瓶打洞後，其中液體經數日後不見減少，反而有增加之現象？將其增加後之液體加以沸點測定，發現其沸點竟超過 90°C ，又發現經蒸餾手續後的蒸餾瓶中原只殘留少量之原液及色素，經放置數日後，反見瓶中液體量變多，難道魔瓶中色素具吸附水汽之作用？有待驗證。

評語：①就新奇現象予以研究，取材極佳對研究方法及步驟，考慮週

詳嚴謹。

- ②實驗內容豐富，分析有條理，表達生動，富教學效果。
- ③實驗結果，另以高深方法驗證益增其正確性。