

2. 為什麼水不會流出來

「人往高處爬，水往低處留」這是師長自小常勉勵我們上進的話。但實驗中杯子裡面的水竟然不會從下方的杯口流下來，這股神奇的力量來自何處呢？

<原理> 大氣壓力、表面張力。

<實驗器材> 塑膠墊板、玻璃杯、塑膠瓶。



<實驗步驟>

1. 將塑膠瓶內灌水，愈滿愈好。
2. 用墊板將瓶口封住，再旋轉 180 度，上下顛倒。令人驚訝的事發生了，水竟然不會流出來。
3. 為了增加視覺效果，塑膠瓶內可放入一個顏色鮮豔的物品，例如：舀冰淇淋的湯匙，水仍然不會流出來。



近距離的特寫鏡頭



4. 也可以用玻璃杯做實驗，但是因為玻璃杯的開口比較小，所以要把塑膠墊板剪成小片後再使用。



近距離的特寫鏡頭



<說明>

有兩個看不見的力量在合作，讓水不會流出來。第一個是大氣壓力，塑膠墊板下方有大氣壓力的壓力差往上推。第二個是表面張力，將玻璃杯的開口邊緣與塑膠墊板接合，產生密封，使得空氣不會從外面進入杯子內。藉由這兩個力量的配合，才能完成這個有趣的實驗。

根據臺灣大學物理系王名儒老師的說明，玻璃杯內空氣的壓力，在旋轉 180 度之前，與室內的大氣壓力相同。但是在旋轉 180 度之後，因為水往下移動一點點，導致水面上方的空氣體積增加。根據計算，如果水的高度是 10 公分，只要玻璃杯內的空氣體積增加 1%，即可保持壓力平衡，讓水不會流出來。在做實驗時，也有一些小技巧，例如要選擇有彈性的塑膠墊片，比較容易產生 $\Delta V = V_2 - V_1$ 的變形。另外，在旋轉 180 度之前，可以輕輕地用手壓著塑膠墊板，使得 V_1 較小。在翻轉之後，即使空氣膨脹 1%，塑膠墊板也不會產生太多的變形。

杯子翻轉之後，空氣膨脹量的計算：

(1) 波義耳 (Robert Boyle) 定律： $P_1 V_1 = P_2 V_2$ ，其中 P_1 與 V_1 是旋轉前杯子內的空氣壓力與體積， P_2 與 V_2 是旋轉後杯子內的空氣壓力與體積，而且 $P_1 = \text{大氣壓力}$ 。

(2) 白努力 (Daniel Bernoulli) 定律： $P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{constant}$ ，其中 P 是壓力， ρ 是液體密度， v 是流速。塑膠墊板上方的壓力來自於旋轉後杯子內的空氣壓力 P_2 ，以及水的高度 (ρgh)，而塑膠墊板下方的推力則是大氣壓力 (P_1)。

$$\therefore P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \text{and} \quad P_1 = P_2 + \rho gh$$

$$\therefore \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2} \quad \text{and} \quad \frac{P_1}{P_2} = 1 + \frac{\rho gh}{P_2}$$

$$\therefore \frac{\Delta V}{V_2} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} = \frac{V_2}{V_1} - 1 = \frac{P_1}{P_2} - 1 = \frac{\rho gh}{P_2}$$

$$\text{代入 } P_1 \approx P_2 \approx 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2},$$

$$\rho = 10^3 \text{ kg m}^{-3}, h = 0.1 \text{ m}, g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$$

$$\text{得到 } \frac{\Delta V}{V_2} = \frac{(10^3)(9.8)(0.1)}{10^5} = \frac{0.98}{10^2} \cong 1\%$$