

杯子裡的風暴

當小朋友把茶葉或糖放到杯中攪拌的時候，

- ① 茶葉為什麼會旋轉，然後往茶杯中央集中？
- ② 這個現象跟離心力有關嗎？若是離心力作用的話比較重的東西不是應該往外跑嗎？



Key words 次級水流 / 離心力 / 摩擦

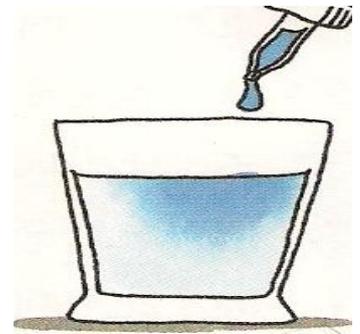


如果把一滴墨汁，滴進一杯裝滿清水的玻璃杯中，由於濺開的關係，你會看到一圈一面向外擴散、一面下沉的漩渦環，③你能解釋一下漩渦環的成因嗎？④漩渦環擴散的原因是什麼？⑤環內的水是怎麼旋轉的？⑥同一滴墨水為什麼會產生更多的環(卻較不明顯)呢？

Key words 對流 / 漩渦度

如果你在旋轉中的轉盤上裝滿清水的玻璃杯中，在稍微偏離中心軸的位置滴一滴有顏色的墨汁到杯裡，⑦墨汁有顏色的部分在杯中會壓縮成什麼樣子呢？⑧墨汁為什麼會短暫保持在一層薄膜中，不和清水混合？

Key words 壓力梯度 / 離心力 / 泰勒墨水牆



小叮嚀：

- 請動手查資料並做實驗，根據你所觀察到的現象來回答問題。實驗時請小朋友注意安全。
- 歡迎使用科學儀器及實驗證明，能用數據或圖表、繪畫呈現是最好的；使用攝影器材也很棒。
- 請勿引用、抄襲「維基百科」、「百度」、「雅虎奇摩知識」等網頁現成答案。若有其他檢索出處或參考書籍，請記得標明資料來源。

★ 截止日期：105年05月13日(星期五)下午4:00

實驗器材：

杯子、溫度計、茶葉、墨水、水



杯子有三種不同形狀：上寬下窄、上下等寬、上窄下寬，
墨水有油性、水性，水性墨水又分紅色、藍色。



①茶葉為什麼會旋轉，然後往茶杯中央集中？

實驗一：攪拌茶葉

實驗步驟：

1. 準備一杯水
2. 在水中加進茶葉
3. 使用筷子快速攪拌水及茶葉
4. 觀察水和茶葉的轉動情形

放入茶葉依照同方向慢慢轉動杯中水，觀察茶葉在水中旋轉的方式；
停止轉動，觀察茶葉旋轉方式的變化。→全部靜止後茶葉集中於杯子中央底部。



1. 觀察水和茶葉的轉動情形

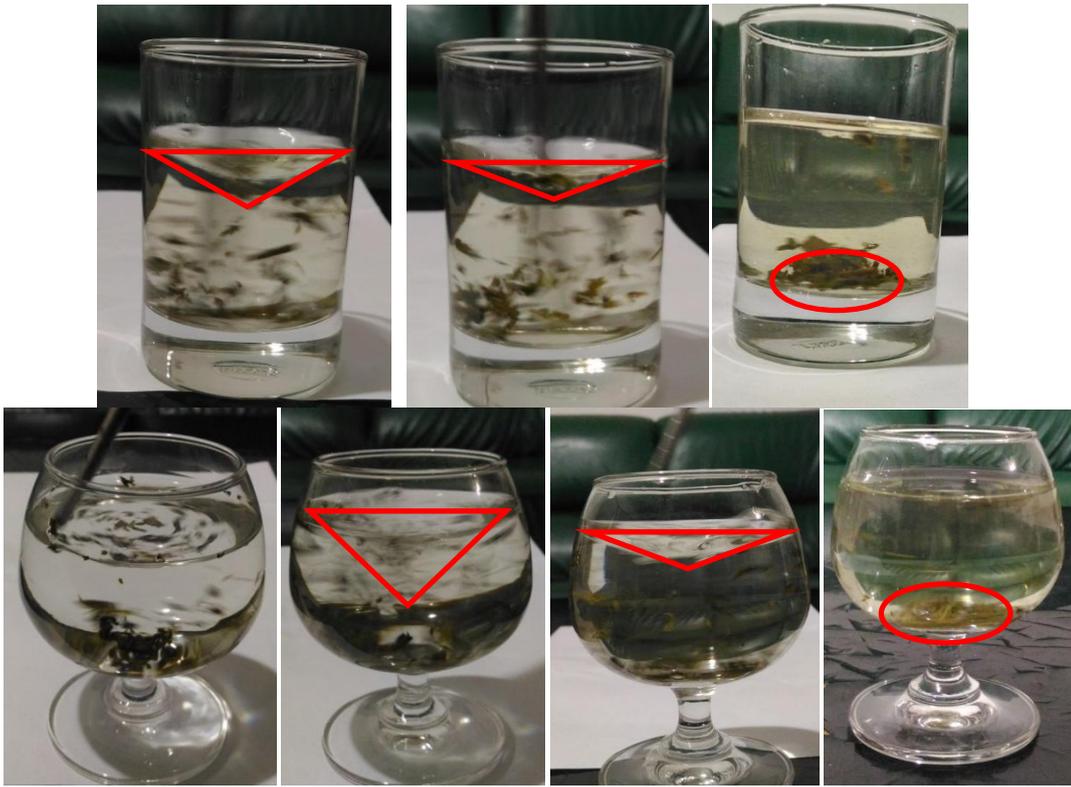
在底部加一張白紙，拍照結果顯示較清楚。

加入茶葉→轉動杯中水→茶葉隨著轉動，並沒有往外部擴散。

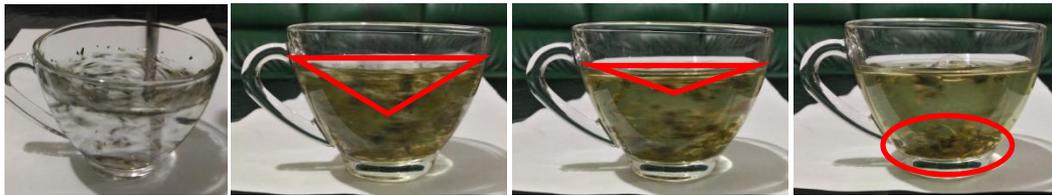


2. 觀察水和茶葉的轉動情形

當速度愈來愈快，水面呈現中間凹下的狀況愈明顯，從側面看像個倒三角形(圖片紅框)，慢慢停止後，茶葉集中底部中央。



寬口杯



原理：

當你用一根湯匙使勁的攪拌杯子中的水，杯子中的水轉動得很快時，我們會發現水面中心明顯凹陷了下去，靠近邊緣的水位則比較高，整個水面看起來就像是一個碟形天線的形狀，我們將之稱為拋物面。

會呈現拋物面狀的原因就要從水要如何去維持轉動的狀態說起。物體若要做等速圓周運動，便需要一個向心力，杯子中的一個小水塊既然是在繞著杯子的中心軸轉動，自然也需要有向心力，而向心力的來源，是由小水塊沿著徑向上的內外兩側之水壓大小不等來提供。

當底部的水往中心軸流過去時，湧進中心處的水一定要有宣洩的管道。這些水沒有別的地方可以去，只好沿著中心軸的上方被頂上去。我們把接

近底部的水這種一邊轉、一邊往中心流過去，然後還沿著中心軸被往上頂的現象稱為二次流或副流。

名詞解釋：

次級水流：

又稱二次流、副流。為主流斷面中的一種橫行旋動流。例如在突然收縮或擴張斷面，流線無法循著邊界流動而產生了流離現象。在流離區內的水流，因流離線上的小漩渦自主流區傳來的動量而流動形成漩渦，此種流動稱為次級水流。

國家教育研究院：

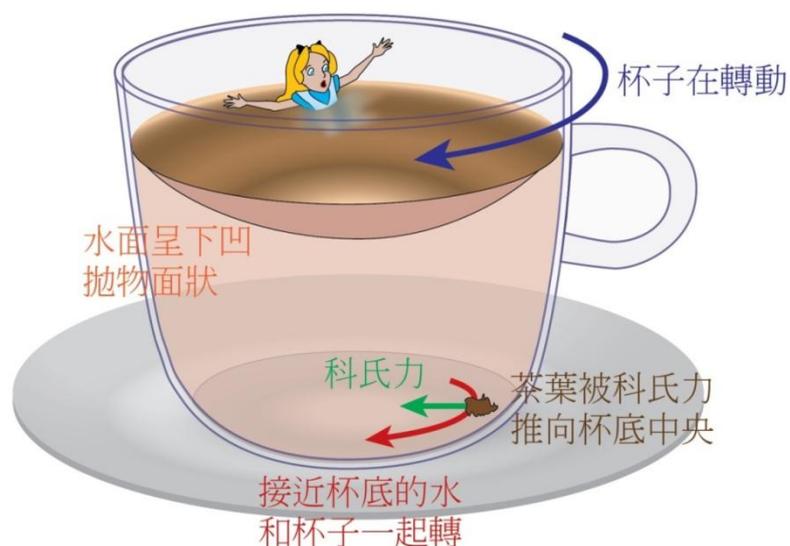
李鴻源

<http://terms.naer.edu.tw/detail/1330100/>

② 這個現象跟離心力有關嗎？若是離心力作用的話比較重的東西不是應該往外跑嗎？

原理：

水有一個圓周運動的速度。伴隨著這個速度的科氏力會指向杯子中央，於是茶葉順著水流被推向杯底中央聚集起來。此外，水面不是平的，而是呈外高內低的拋物面狀，這是因為周遭的水會感受到離心力，而將水往外拋去，結果外緣就會累積較高的水位。



名詞解釋：

離心力：

在旋轉座標系中，對觀察者來說，物體都會感受到一個沿著轉動半徑向外推出或拉出的力，這種力就稱為離心力。它是由於旋轉觀察者不斷在改變其座標軸的方向下所呈現出來的效果。

假設現在旋轉一個水桶，水桶綁上一根繩子，水桶裡面裝水，而當開始晃動水桶進而轉動的時候，此時手拉住繩子的力是向心力的來源，由於此向心力不斷改變水桶的速度方向，因此對於一位與水桶維持同步轉動的觀察者來說，水桶本身會因為自身慣性感受到向外甩出的力，此便是離心力。

科學 online：

國立臺灣大學物理所黃一玄

<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=46691>

摩擦：

流體摩擦在液體和氣體的流動變化。其原因是類似於那些負責固體表面之間的摩擦，因為它也取決於流體的化學性質和在其上的流體流動的表面的性質。液體的傾向抵抗流動，也就是說，它的粘度程度，是另一個重要因素。流體摩擦是提高速度的影響，飛機和汽車的現代流線型設計是工程師的努力，同時保持速度和保護結構，以盡量減少流體摩擦的結果。

<http://www.infoplease.com/encyclopedia/science/friction-the-nature-fluid-friction.html>



③ 你能解釋一下漩渦環的成因嗎？

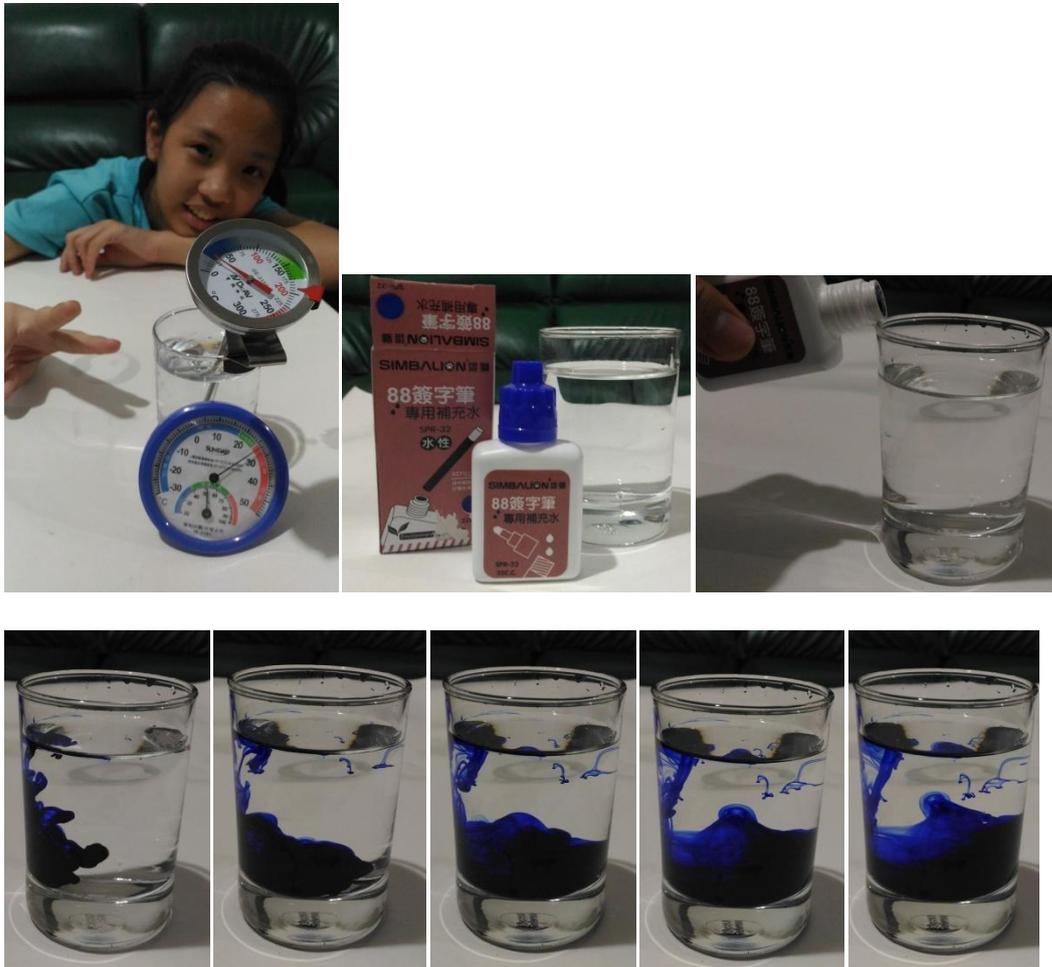
實驗二：在靜止的水中滴入墨水

實驗步驟：

1. 準備一杯水
2. 在水中滴進墨水
3. 觀察墨水入水後的情形

水溫為 26°C，室溫 26°C，濕度 55%，使用水性墨水。

墨水滴入後，會慢慢呈一直線後沉到杯底，最後剩下薄薄一片。





這次溫度不變，但我們改使用油性墨水。

滴下去後，我們才想起，油水會分離，所以全部的墨水都浮在杯子上方，我們還洗了很久才把印記洗掉呢！



熱水溫度為 75°C，室溫 26°C，濕度 70%。

我們使用熱水來做實驗，發現熱水中墨水的擴散速度明顯比冷水快很多。

我們推測是因為熱水散開的對流較快。



原理：

流場受流體黏性影響，此時流場運動所產生之流況為穩定旋轉流動，只有在環向有速度分佈，整個圓柱體環帶速度場以層狀流方式沿徑向呈線性分佈，此穩定層流可視為同軸旋轉圓柱之基礎流場。流體受到端壁科氏力及離心力產生的離心不穩定影響而產生不穩定的流場型態，流場最初從圓柱兩端開始產生變化並沿著圓柱軸方向捲動，直到形成穩定的漩渦，此即為有名的泰勒漩渦。

旋轉圓柱內的流體運動型態之探討-曾慶芳

<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2010/11/2010111509145896.pdf>

名詞解釋：

對流：

對流可藉由「液體的流動」或「較高溫粒子的集體移動到物質中較低溫區域」兩種形式發生。與傳導不同的是，熱液體的傳遞涉及較多的液體流動。而該運動發生在液體內部或液體之間，並且不可能發生在固體內部。對流以兩種形式進行：自然對流與強迫對流。

自然對流的發生，是因為熱源周圍的液體吸收熱量後體積膨脹，密度降低並上升，周遭較冷液體則產生移動以取代液體原有的位置，其後，流進來的較冷液體被加熱後，再度造成流動，該過程不斷重複。驅動自然對流的主要動力是浮力，當系統受到重力或其他力量影響產生加速度時，流體密度上的差異導致重量上的差異，進一步造成浮力。相對的，強迫對流則利用幫浦、風扇或其他機具介入，利用人工的方式推動液體，使其流動。

④ 漩渦環擴散的原因是什麼？

當墨水環接近底部時，垂直於杯底的分量互相抵銷，平行於杯底的分量則相加，因此當墨水環靠近杯底時，就會以平行於杯底的方式擴大。

(黃偉哲：生活中的物理-物理馬戲團 2-103)

⑤ 環內的水是怎麼旋轉的？

最初從圓柱兩端開始產生變化並沿著圓柱軸方向捲動，然後依序以相反方向往中間部位帶動產生一對對的漩渦。

旋轉圓柱內的流體運動型態之探討-曾慶芳

<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2010/11/2010111509145896.pdf>

⑥ 同一滴墨水為什麼會產生更多的環(卻較不明顯)呢？

若兩個環開始時的速率大約相等，則後面的環和前面的環合而為一，成為一個分不開的漩渦環。但是若後面環的起始速度比前面的環快很多，兩個環的聯合情況就會不穩定，原先落後的環會超前，而將本來前面的環拋到後面。

(黃偉哲：生活中的物理-物理馬戲團 2-74)

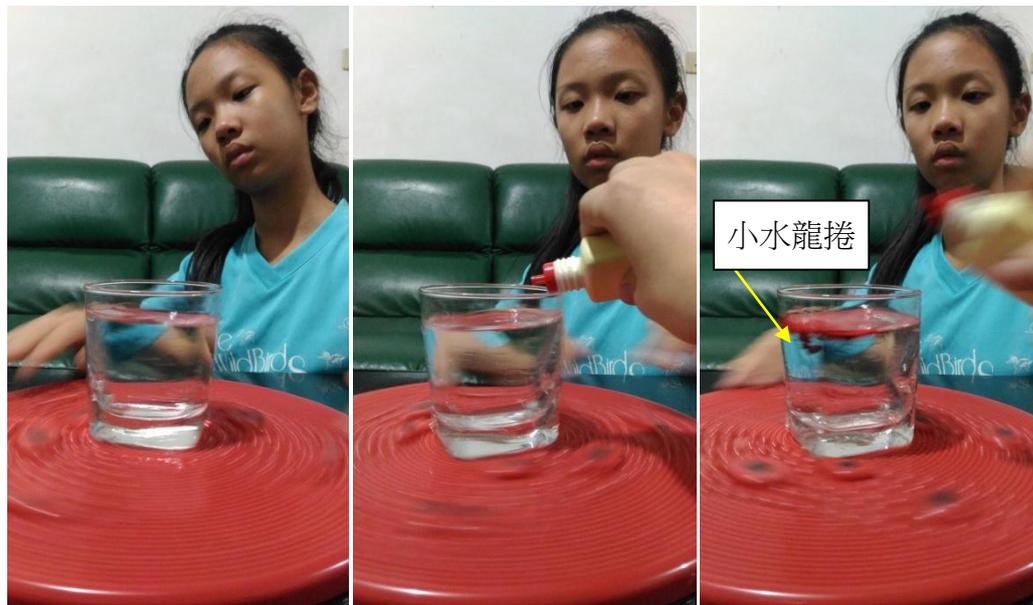
⑦墨汁有顏色的部分在杯中會壓縮成什麼樣子呢？
它不會形成漩渦，反而會保持在一層薄膜中，不和清水混和。

實驗三：轉盤上的杯水滴入墨水

實驗步驟：

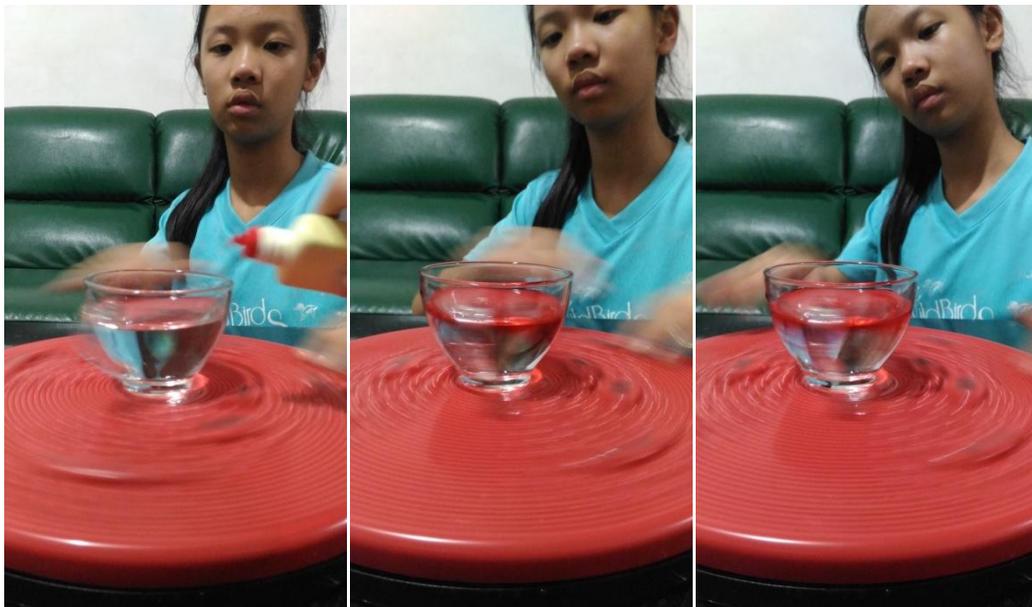
1. 準備一杯水
2. 將水放到轉盤上旋轉
3. 在旋轉中的水裡加入墨水
4. 觀察墨水入水後的轉動情形

我們一開始使用寬的杯子，效果不太好，墨水直接將清水染成紅色了。





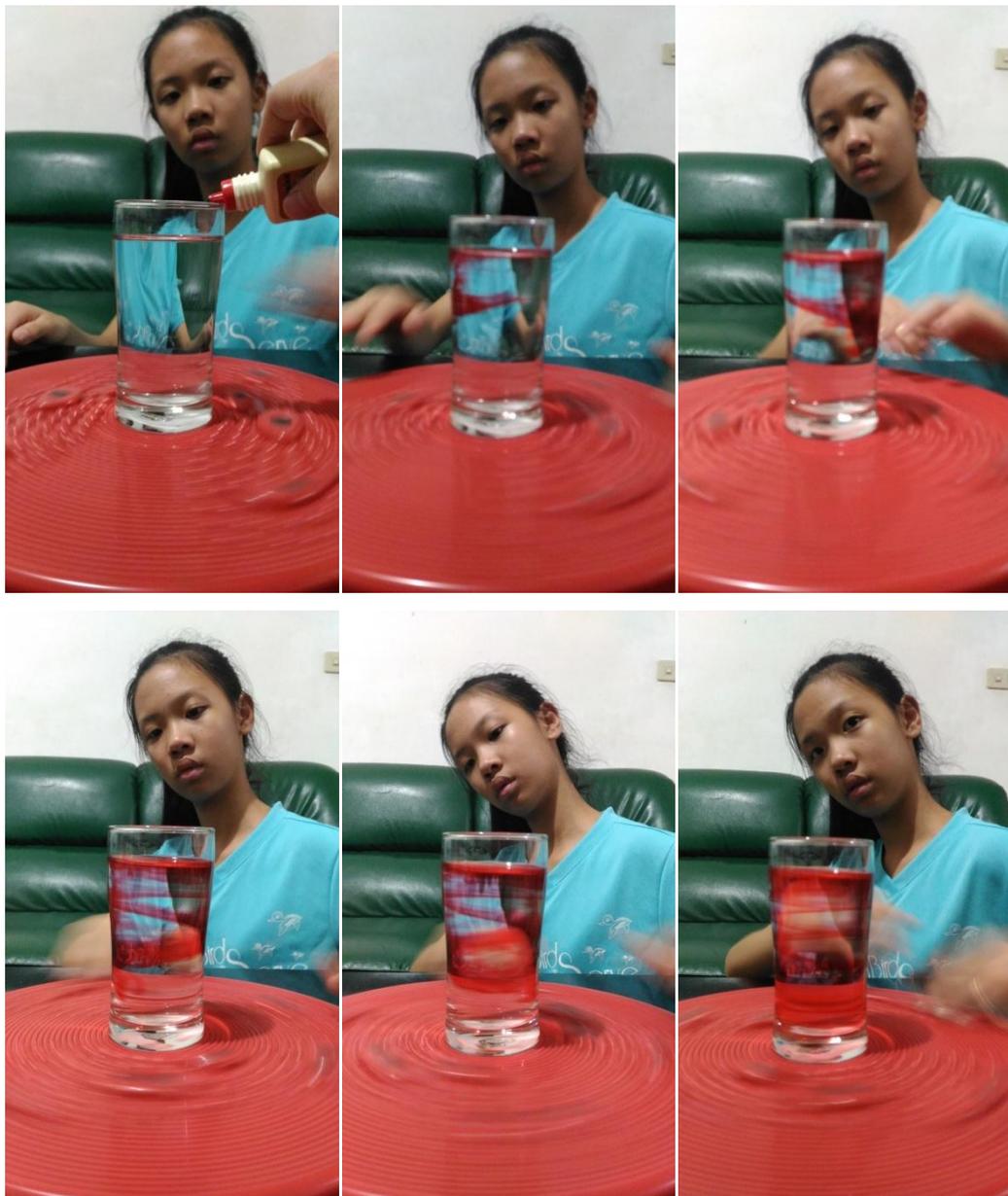
接著嘗試了倒三角形的杯子，它一開始有成功，但只有短暫的幾秒。



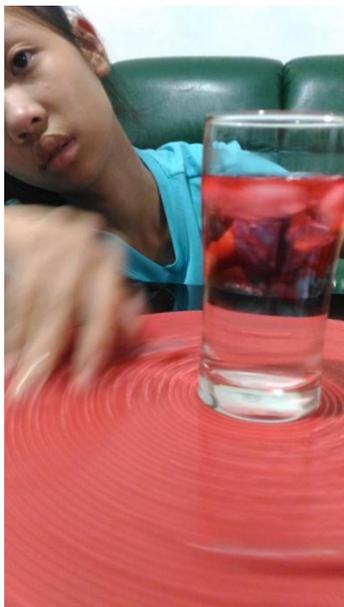
我們也嘗試了正三角形的杯子，它一樣不怎麼成功，墨水直接和水混和了。



最後，我們發現應該用長形的杯子，使用長形杯子做出來的結果非常成功。



這是我們加入冰塊，冰水溫度為 13°C ，室溫 26°C ，濕度 60%。
我們發現，墨水會自動繞過冰塊。



⑧ 墨汁為什麼會短暫保持在一層薄膜中，不和清水混合？

如果將杯子放在轉盤上，墨水入水後，會取代一些清水的位置。一部分水被壓迫向中心軸移動。但對新位置的半徑而言，這一部分水旋轉得太快了，因此有一股向外推的力量，想把它推回原來的位置。另外，被墨水向外推的水，卻發現由於向心加速而使自己承受太大的壓力，迫使他退回原來的位置。最後，墨水就被壓縮成放射狀，向下混合成薄薄一層。
(黃偉哲：生活中的物理-物理馬戲團 2-66)

名詞解釋：

壓力梯度：

壓力梯度是沿空間中某一個方向，壓力隨空間位置的變化率，在流體力學中稱為壓力梯度。在沒有其他流體效應存在之狀況下，壓力梯度是造成流體加速或減速運動之主要因素。在流體動量方程式中，壓力梯度是其中一個主要項。

趙怡欽 <http://terms.naer.edu.tw/detail/1329533/?index=6>