

# 是誰捲起千堆雪—水旋轉的奇妙現象

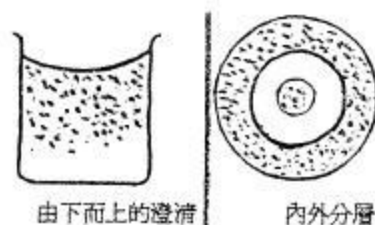
國中組物理科第一名

台中縣大雅國中

作者：張如因、黃文宣、吳素慧、張玲嘉  
指導教師：詹錫欽

## 一、研究動機

泡鹽水時用括勺攪拌，停止攪拌後發現整杯「霧茫茫的鹽水由下而上漸澄清，由上方看，鹽水會分三層，最外層為一白霧狀、中間澄清，而最內層又為白色（如右圖），究竟攪拌有何魔力，使鹽水有這樣的現象呢？



## 二、研究目的

了解鹽水分層之因與水旋轉的相關現象。

## 三、研究過程

第一部分：對鹽水分層現象的探討

實驗A

前言：這部分我們先針對水旋轉後產生的上下分層作探討。我們假設分層是由鹽巴的小顆粒造成的，那如果用不同色的顆粒，是否可造成不同色的分層呢？以下實驗中，我們找了幾種物質分別磨碎，觀察在水中攪拌後，是否可分層？

目的：在水中放入不同物質，觀察攪拌後是否分層？

步驟：取磨碎的二鉻酸鉀、硫酸銅、鹽、糖、樟腦丸各20克，將它們分別放入250ml的水中攪拌，觀察是否由下而上澄清。

結果：

項目	二鉻酸鉀	硫酸銅	鹽	糖	樟腦丸
結果	無 水變橘色	無 水變藍色	上下澄清 及內外分層	無	浮在水中 不分層

討論：我們推測二鉻酸鉀&硫酸銅因水溶液有顏色，影響觀察，無法看出分層。而樟腦丸為浮體，所以無法產生由下而上澄清的分層現象，但糖與鹽要如何解釋呢？

#### 實驗B

目的：觀察幾種密度>水的白色物質，在水中產生分層的情形。

步驟：取20克的碳酸氫鈉，碳酸鈉、鹽、硝酸鈉、白沙各別放入250ml的水中攪拌，比較各杯內分層情形。

結果：

項目	NaHCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaCl	NaNO <sub>3</sub>	白沙
現象	由上而下 澄清	由上而下澄清 及內外分層	由上而下澄清 及內外分層	無分層	無白茫茫 及分層現象

討論：我們發現分層現象明顯的燒杯靜置後，杯壁有較多氣泡，會不會是氣泡造成鹽水分層呢？但並非有產生氣泡的燒杯都會分層，究竟是什麼使鹽水分層？真令人摸不著頭緒。

#### 實驗C

前言：我們發現物質溶解時會產生氣泡，雖不一定有產生氣泡的就會分層，但或許受限於氣泡量的多寡啊！所以我們針對我們的假設做了以下實驗。

目的：觀察鹽在可產生或不可產生氣泡的環境下，分層的現象。

步驟：取三杯250ml的水、飽和鹽水、酒精，皆放入20克鹽，觀察何者易分層。

結果：

項目	甲（水）	乙（飽和鹽水）	丙（酒精）
現象	由下而上澄清 及內外分層	霧茫茫現象 及由上而下分層 底部鹽巴有開合現象	霧茫茫現象 及由上而下分層

討論：

1.飽和鹽水和酒精不溶鹽，所以我們推測乙，丙的霧茫茫現象&由上而下澄清是因鹽的小顆粒剛開始旋轉時，受攪動而分布在整杯水中，當水旋轉的力量變小，因鹽密度>水，受地心引力作用向下，產生由上而下澄清。

2. 甲可溶鹽而析出氣泡，故分層現象在初期應由鹽巴顆粒造成，但當水旋轉之力量漸小時，可能是氣泡由下往上浮出，而產生由下而上澄清。

#### 實驗D

目的：利用煮沸的冷開水使水中含氣量減少，觀察是否分層。

步驟：將2份20克的鹽分別放入甲杯（250ml水）及乙杯（250ml飽和鹽水），然後攪拌。

結果：甲沒有由下而上澄清及內外分層；乙兩者皆有。

討論：由結果我們應可證明上下分層的原因和氣泡有關。因為煮沸的冷水含空氣量少，雖有鹽溶入但無法產生大量氣泡及分層現象。

#### 實驗E

前言：我們推測是氣泡造成分層。但並非每一種可溶水之物皆可分層，這可能是溶入水中的量不夠多，所以無法產生足夠的氣泡而造成由下而上澄清。

目的：溶鹽量多寡對溶液產生分層現象的影響。

步驟：準備六個燒杯內裝250ml水，分別放入5、10、20、30、40、80克鹽，觀察攪拌後是否分層。

結果：

質量	5克	10克	20克	30克	40克	80克
現象	溶得太快 無分層	由下而上澄清 及內外分層， 但不明顯	由下而上澄清 由外分層	同 20克	由下而上澄清 無內外分層	同 40克
白霧程度	低 —————					高

討論：

1. 發現加入鹽越多，白霧越明顯，可再一次證明鹽水產生分層是因氣泡。當加入鹽巴量多時，因溶解的鹽較多，所以可析出較多溶於水中的空氣，產生明顯的白霧現象。

2. 氣泡為什麼造成白霧呢？我們推測因氣泡的產生而讓光線漫射，使人看起來，便覺得是白色了（如同整塊澄清的冰刈成刈冰時，看起來卻是白色）。在下層因壓力較大，氣泡體積小，不易為人眼察覺，當氣泡往上，體積變大，光線不易透過，整杯水便看起來由下而上澄清了。

3. 知道分層的原因氣泡，便可解釋實驗B中，有些可溶入水中的物質，但無產生分層之因，碳酸氫鈉因溶解度小（8.28%）所以不易溶解，不能析出足量之氣泡產生分層，硝酸鈉溶解度大（47.9%）所以只有溶20克的硝酸鈉，並無法析

出足量的氣泡產生分層。

4.實驗結果中，20~30克的溶鹽量最易分層，我們利用鹽在溶解度中所佔的比例來估計大約要多少硝酸鈉才可產生分層，實驗證明250ml水裝入約65克的硝酸鈉可分層。

## 第二部分：水旋轉的各種現象

### 實驗F

前言：第一部分實驗中，我們發現鹽水產生分層需經攪拌，我們觀察水攪拌時的情形，以了解水的流動。

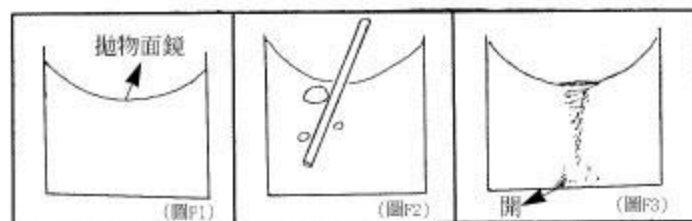
目的：水攪拌後各種現象的探討。

步驟：裝一杯1000ml的水及些許沙子，由玻棒攪拌，觀察沙子的運動情形。

結果：

1.開始攪拌時，兩側液面會高於原本水面，當我們把玻棒抽出可看到狀似拋物面鏡的液面，且沙子最後停止在杯底中央（圖F1）。

2.水旋轉過程中，玻棒周圍產生氣泡，但在深處的氣泡不明顯，且漩渦中心會出現似龍捲風之空氣柱，在水中上下移動，底層的沙子則會出現一開一合現象（圖F2、3）。



討論：

1.兩邊液面高起可能是水攪拌，旋轉後受離心力作用，往兩側移動，使外側水面高於內側。

2.攪拌棒仍在水中攪拌或移動時可發現棒子液面的周圍有氣泡析出，可能是棒子移動時，造成瞬間真空，使氣體析出，水龍捲的產生是否與此有關？

### 實驗G

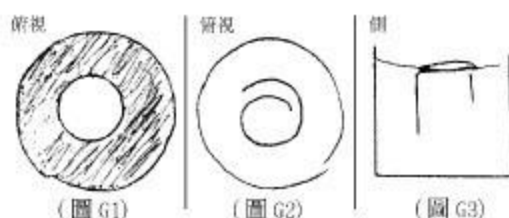
前言：為了解攪拌經過的變化，我們試用顏料觀察水流路徑變化，針對離心力及內外分層的關係作探討。

目的：利用顏料觀察水的流動現象。

步驟：將顏料滴在旋轉水的上、下、內、外等不同位置。

結果：經過多次觀察，我們發現了幾個規律的現象：

1. 顏料滴在外圍時，顏料會產生中空現象（圖G1），此現象與鹽水外圍的分層極為相似，且在上層滴時，顏料維持中空的時間較久。



2. 若把顏料滴在內外的分界上，則顏料會成一圓柱（圖G2、3），一層一層向內捲入。

3. 若將顏料滴在中心，顏料會在中心上下移動（圖G4）。

4. 在結果1.中，我們還能看到顏料逐漸下降，被水流捲進水中心再慢慢上升，向外擴散（圖G5）。

討論：

1. 由結果1. 我們可知顏料受水流影響作圓周運動時，會產生離心力使顏料向外甩出形成中空現象。



同理，鹽水的最外層也是因為氣泡受離心力影響而向外。

2. 至於顏料產生圓柱的現象，我們推測水旋轉時，有一向內力，使顏料不致旋轉向外。

3. 從顏料的路徑我們可以推測攪拌後水流情形（圖G6）。

4. 為什麼在外圍的上層和下層滴時的中空現象，在時間上會有差別呢？我們可以從水流的路徑推論，顏料滴在上層時，當水流變慢，顏料漸往下，再往內集中並上升，破壞中空現象，而滴在下層易向內集中並上升，中空易消失。

#### 實驗H

前言：實驗G 顏料為何會上下移動呢？記得一次上課時老師曾教到，當我們將漏斗中的乒乓球往上吹時，乒乓球不會被吹出。這會不會和顏料上下有關呢？

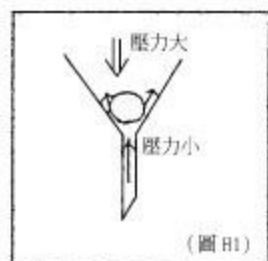
目的：了解顏料上下振動與空氣柱成因。

步驟：將乒乓球置漏斗中，向上吹氣。

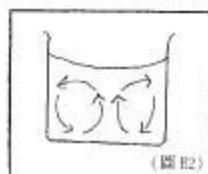
結果：乒乓球應輕易被吹出才是，但事實上乒乓球並不會被吹出。

討論：

1. 乒乓球不被吹出是因吹氣時，球下緣空氣速度快，壓力小，以致大氣壓力向下壓的緣故（圖H1）。



2.由水流路徑(圖H2),知道當水由下往上至某位置時,會往兩側移動,似乒乓球模式,即大氣壓力在水流上升時,會進入水中,與上升力抗爭。



#### 實驗 I

前言:為了更確定水流路徑是否如前所示,設計了龍捲風裝置。

目的:了解並驗證水旋轉時路徑變化。

步驟:將裝水八分滿的寶特瓶加入少許洗碗精及沙子,握住上緣旋轉(圖I1、2)。



結果:瓶內出現似龍捲風的空氣柱一上一下運動,可持續一段時間。瓶底沙子有一開一合現象。

討論:

1.水旋轉後產生凹陷,使中心壓力較小,因此水會往內移動並往上,而外界空氣也會進入水中,此二力抗爭,造成空氣柱上下移動。

2.本裝置簡單有趣可驗證水旋轉時除心力外,另外會產生向下及向內的力。這兩力如何產生呢?則在下一部分探討。

#### 第三部分:力的來源

#### 實驗 J

前言:第二部分中,得知外圍旋轉的顏料降至杯底,隨後集中至中央,並形成一上升水流;顏料上升至中上層時,受到一向下力的阻擋而上下移動。水旋轉時壓力是如何促使水流變化的呢?

目的:用機器帶動水穩定旋轉,觀察向內力造成之現象。

步驟:在轉動的舊唱機上放一裝適量水之燒杯,滴入顏料。

結果:顏料形成一明顯的中空圓柱(圖J1),在滴入處穩定地做圓周運動。



討論:顏料能做圓周運動並形成圓柱,必有一力提供它向心力,將它關在裡面。這力是如何形成的呢?

#### 實驗 K

目的:了解水旋轉時的壓力模式。

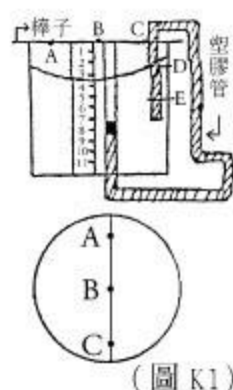
步驟:

1.連接橡管與短玻璃管,在管子的一端相隔5cm畫上刻度,並在裡面裝滿水。

2. 尺黏在裝水容器外，以便觀察玻璃管內水位差異。
3. 將作三個等距記號的棒子橫跨在容器上方，固定測水底的位置，並輪流對準 D、E（圖 K1）。

結果：

棒子刻度 塑膠管刻度	A	B	C
D	3.2	3.5	3.1
E	3.6	4	3.7



(圖 K1)

討論：

1. 由數據可知，水旋轉時外圍壓力 > 中心。經由老師提供一分資料，得知其等壓線圖為（圖 K2）。



(圖 K2)

2. 因外圍壓力 > 中心，所以水會漸由外向內流，並在中心形成一上升水流；又因中心壓力低，大氣壓力也會在漩渦中心形成一向下壓的力。且因水向內流，便可提供杯內旋轉物體向心力，造成沙子向內集中，且不只杯底有向心力，壓力差也會提供上層向心力，我們可由實驗 J 的圓柱得到驗證。




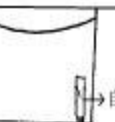
3. 鹽溶出的大量氣泡因離心力而中空；而最中間的那團白霧，其實就是實驗 F 中，外界空氣入侵形成之空氣柱。

#### 實驗 L

目的：驟證水旋轉時，等壓線的曲線分布。

步驟：取一底部塞 0.5cm 黏土的 6cm 長之吸管，放入大燒杯攪拌。



結果：

			
被水流往上帶且裝黏土的那一端被甩出。	吸管慢慢降下	吸管傾斜著，產生自轉現象，再轉出。	碰到壁後吸管會搖晃，漸漸直立。

討論：

1. 吸管受壓力差影響，在杯底傾斜旋轉（圖 L1）。

2. 水流速變慢，壓力差越來

水靜止時	水旋轉時
	
a 點和 b 點的壓力一樣。	a 點和 b 點的壓力相等。（圖 L1）

越小，向內力漸減，吸管被甩到外圍直立（圖L2）。

3. 吸管傾斜便可驗證水旋轉之壓力模式。

#### 實驗M

目的：用磁攪拌器（圖M1）加速中間水流，觀察較強之向下力。

步驟：盛適當水放在磁攪拌器上旋轉，觀察水面變化。

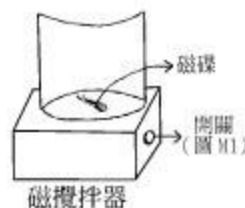
結果：水面出現一小凹陷，並向下延伸到杯底（圖M2）。

討論：

1. 用磁攪拌器加速中間水流，便能明顯觀察到由外界空氣向下擠壓所形成之空氣柱。

2. 實驗H中顏料向中心集中形成的上升水流即因受此向下力之抵抗，所以在中心的顏料會上下不定。

3. 同理也可證明攪拌鹽水時中間白霧狀是由外界進入水中的空氣所造成的。



（圖M2）

#### 四、結論

1. 第一部分實驗澄清了一般人錯誤的觀念，認為鹽水攪拌後造成霧茫茫的現象是因鹽的小顆粒，由實驗知道飽和食鹽水及煮沸的冷開水不易產生分層現象。並印證鹽水白霧現象的產生最主要原因是鹽溶於水將氣泡析出，氣泡造成光線漫射，使得人眼看起來為霧茫茫的現象。

2. 鹽水的白霧由氣泡形成，造成由下而上澄清的現象，那為什麼會內外分層呢？外圍的氣泡因水旋轉產生的離心力而在外圍，而中心的氣泡成因有二，一為旋轉後造成中心水位較低，導致中心有將氣泡向內吸的趨勢；二為水旋轉時，外圍因受摩擦力影響，中心的速度相對之下顯得較快，壓力小，也會將氣泡向內吸。

3. 玻棒攪拌水時，水作圓周運動，外圍壓力 $>$ 中央，水流會邊旋轉邊下降到杯底，後向中央集中，形成一上升水流，當水向上時，外界空氣也有一股向下的力，形成空氣柱。經由自製的水龍捲裝置，我們可以觀察到向下力與向上力抗衡時的現象。總歸來說，水攪拌時有離心力、向內力、向下力這三種力在交互作用，形成許多奇妙現象。



## 五、未來的展望

實驗L中的吸管在水中旋轉時，除了傾斜，還有在固定區域內自轉現象。初步判斷：吸管在杯底會受到上升水流的影響，且我們可看出在杯底集中而上升的顏料，是以螺旋的方式上升，所以會產生切線力，形成力矩。

當水變慢，吸管會漸向外偏，最後停在邊緣，與沙子停在中間不同，有那些因素會造成物體在水停止旋轉後，出現在內或在外的差異值得進一步探討？

## 六、參考文獻

1. 薛舒雄，考考你406題（趣味物理），文師出版社。
2. 方聲恆，物理實驗大全—力學，徐氏基金會。
3. 黃丕陵譯，流體力學（流體動力學），曉園出版社。
4. 凹面？拋物面？！—液體旋轉所形曲面之探討，31屆科展專輯。

## 評語

本作品是探討一些無機鹽溶解時旋轉之溶液會形成上下分層的現象與流體中的力量方向。發現因溶解率大時會形成氣泡，而氣泡之大小與其深度相關（愈深者壓力大體積即小），所以會有底部之溶液清澈，上面溶液為混濁的分層現象（底部部分氣泡太小散射較小）。而且又能從旋轉液體之液面為曲面而推想液體中的離心力向內力與向下力的合力形成一壓力梯度，而能用一“站立”旋底部的吸管的傾斜運動證明推理之正確。思慮慎密，觀察深入，推理合理合乎科學方法。

