

推動搖籃的手～瓶蓋反轉之謎～

國中組物理科第一名

台中縣立大雅國民中學

作者：張玲嘉、張如因、郭永富、許家偉
指導教師：詹錫欽

一、研究動機

在科學園遊會上，看到人個名為「灌籃高手」的攤位，放了十來種的瓶蓋，玩法是看誰能將瓶蓋準確投入水中的圈內。我們不由自主地被這種遊戲吸引住了，也試著丟丟看。這時，奇特的事情發生了：有些瓶蓋會沉，有些會浮，有些到中途會搖晃，最感到驚訝的，莫過於是一個原來會順轉的瓶蓋到底部卻逆轉。驚奇的心情下，促使我們對瓶蓋反轉的原因展開研究。

二、研究目的

了解葉片形瓶蓋在水中降落時，由順轉變為逆轉的原因。

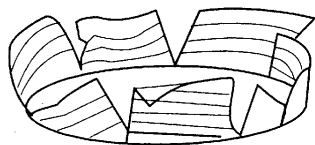
三、研究過程

(一) 偏轉角度對於旋轉方向的影響。

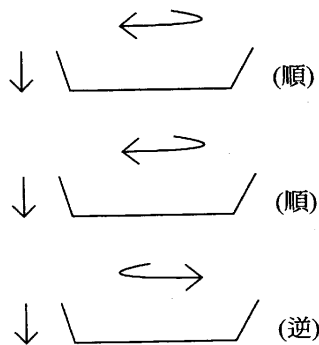
實驗A

目的：觀察會旋轉的葉片形瓶蓋在水中下降的情形。

步驟：①將瓶蓋立邊等分剪成六片蓋片，以手指扭曲立邊，使遠端向內，近端向外。見(圖A-1)



(圖A-1)

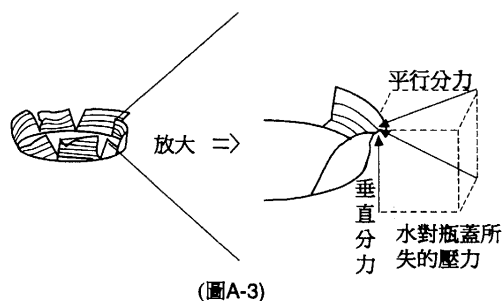


(圖A-2)

②將葉片形瓶蓋放入水中，觀察下降時的旋轉方式。

結果：剛入水時，瓶蓋順轉→中途轉速減慢→逆轉。（圖A-2）

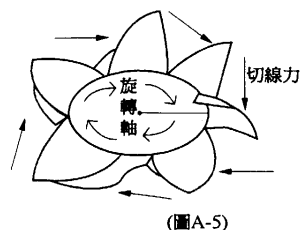
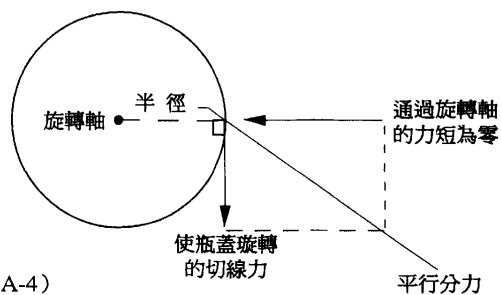
討論：1.瓶蓋入水會旋轉，是因水對瓶蓋造成阻力，而液體對接觸面旋垂直方向的力。此力量分為垂直與水平兩分力（圖A-3）



2.水平分力分為兩種（圖A-4）

A-4) ①切線力，產生順時針力矩的力，使瓶蓋順轉。（圖A-5）

②通過旋轉軸的力，矩為零，不產生作用。



實驗B

前言：我們加入許多變因，藉以幫助我們對瓶蓋進一步了解。

(B-1) 目的：操縱重量變因，觀察重量對瓶蓋旋轉方向的影響。

步驟：在一葉片形瓶蓋中逐一加入金屬片，觀察在水中下降情形。

結果：

片數	0金屬片	1金屬片	2金屬片	3金屬片
順轉情形	弱 強 →			
逆轉情形	轉數 快 → 慢 (旋轉圈數差不多)			

討論：1.較重的瓶蓋下降速度較快，阻力大，易順轉。

2.我們不清楚瓶蓋反轉之因，決定先找出原因後，再作討論。

(B-2) 目的：操縱葉片大小，觀察瓶蓋旋轉情形。

步驟：1.取四個六片葉片扭曲度相同的瓶蓋，剪短葉片，分別剪成1.25、

1、0.4、0.2公分高。

2.觀察此四個瓶蓋在水中的下降情形。

結果：

高度	1.25cm	1cm	0.4cm	0.2cm
現象	順轉 → 停止旋轉 → 逆轉	順轉 → 停止旋轉 → 逆轉	停止旋轉 → 逆轉	停止旋轉 → 逆轉

討論：1.葉片較高的瓶蓋，受推力面積大，因而順轉較明顯。

2.逆轉情形同（B-1），暫時先不作討論。

（B-3）目的：觀察瓶蓋扭曲角度對旋轉的影響。

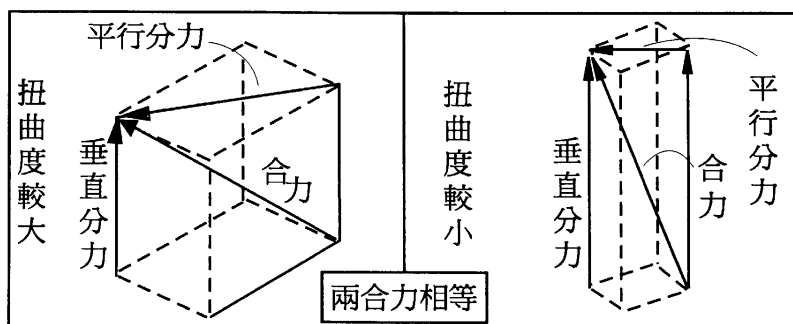
步驟：1.準備兩個六片葉片的瓶蓋，兩者扭曲方向相同，但扭曲角度不同。

2.觀察兩瓶蓋在水中下降的情形。

結果：

扭曲度 現象比較	較小	較大
順轉情形	弱	強
逆轉情形	弱	強
速度比較	慢	快

討論：1.扭曲角度較大的瓶蓋，垂直於葉片的合力所分出來的水平分力較大，垂直分力較小，推動瓶蓋順轉的切線力相對變大，順轉較明顯。



2.扭曲度較小的瓶蓋，水平分力較小，垂直分力較大，因而順轉較不明顯。

（二）逆轉現象的觀察

實驗C

目的：由上向下施力，使瓶蓋逆轉。

步驟：擦乾瓶蓋底部，放在乾燥桌面，由上向下吹氣（圖略），觀察旋轉情形。

結果：原先在水中下降時順轉的瓶蓋，吹氣後逆轉。

- 討論：1. 實驗證明，促使瓶蓋反轉的條件是一由上向下的力。
 2. 吹氣時，若距瓶蓋太近，則為順轉或不轉，這是否與距離有關？我們決定再作一次實驗。

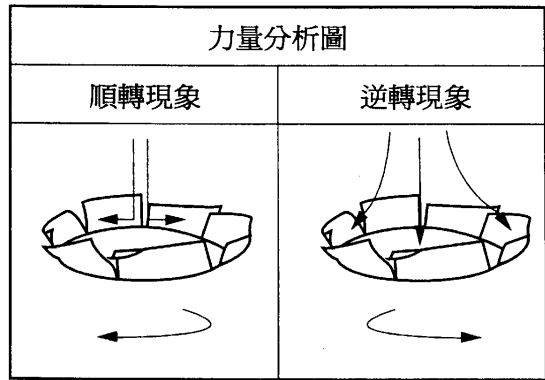
實驗D

- 目的：觀察施力處與瓶蓋距離不同時，瓶蓋旋轉的情形。
 步驟：把瓶蓋放入裝水的無孔錐形瓶中，以滴管吸水，距瓶蓋不同高度之處，射出水柱，觀察瓶蓋的旋轉情形。
 結果：1. 在距10.6公分高時，瓶蓋逆轉；2.6~4.6之間，則為順轉。
 2. 4.6~10.6之間，旋轉方向不穩定且不明確。
 討論：施力處距瓶蓋高度不同時，會影響旋轉方向。

實驗E

- 目的：利用光的折射率不同，觀察滴管在距瓶蓋不同高度時，射出鹽水柱，其水紋變化。
 步驟：在滴管內裝入飽合食鹽水，其它步驟同實驗D之步驟。
 結果：在10.6公分高時，瓶蓋逆轉，水柱先散開而後才碰撞葉片；4.6公分高時，瓶蓋順轉，水柱直接碰撞瓶蓋底部。（圖略）

- 討論：1. 此兩種情形因受力處不同，力的作用方式不同，造成旋轉方向相反。
 2. 順轉情形是因力量先到達底部，才碰撞葉片，水由瓶蓋中心向立邊散開，形成順時針力矩。
 3. 逆轉情形是力量在未到達瓶蓋之前已散開，形成逆時針力矩，使瓶蓋逆轉。與上述情形比較，因兩者對葉片接觸面不同，所以雖然葉片扭曲度相同，但仍以不同的方向旋轉。
 4. 由第二部分實驗得知瓶蓋反轉的因素為一由上向下的發散性力量。



(三)“力”從那裡來？

實驗F

- 目的：觀察物體在水中旋轉時，水流動的情形。
 步驟：在一小型風扇葉片中央加螺帽，以手拉住葉片，使它停止於水槽內的水面上，並在外圍滴一圈顏料，放開手，觀察葉片下降時，顏料變化

的情形。

結果：葉片下降時，看見顏料被吸往中央，且形成一凹陷的洞。

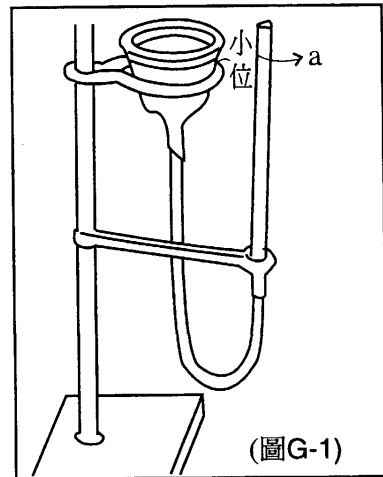
實驗G

目的：尋找力的來源。

步驟：1.在鐵架子上套入一鐵環及一個鐵夾子。鐵環上架一漏斗。

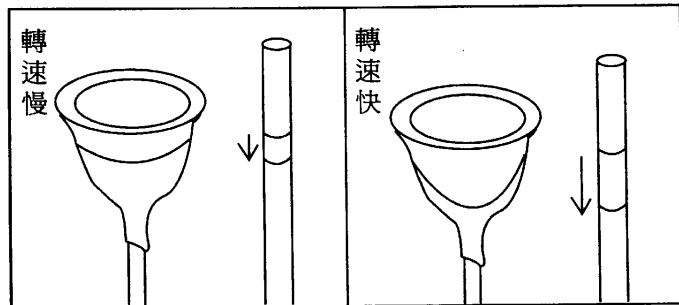
2.將玻璃管夾於鐵夾子上固定，並在漏斗下接橡皮管連通至玻璃管。漏斗中加水至a處（圖G-1）。

3.馬達加裝一可變電阻，接好電池後，其旋轉軸另接一原子筆管，筆管前端用黏土接一瓶蓋（圖G-2略）。



4.瓶蓋入水後開電源，比較不同轉速的瓶蓋在水中旋轉時，水位變化的情形。

5.關閉電源，瓶蓋不轉，往下壓，觀察水位變化。



結果：1.瓶蓋旋轉時，產生漩渦，漏斗中的水位周邊高，中間低，且轉速愈快，中間水位下降愈多（圖G-3）。

2.瓶蓋不轉，下壓時，水位微微上升。

討論：1.瓶蓋在水中旋轉時，因離心力導致漏斗中的水位下降，玻璃管內的水壓大於左側，便往左側移動，水位降低。

2.轉速愈快，漏斗內的水壓與玻璃管之間相差愈大，玻璃管內的水位下降更多。

3.瓶蓋在水中旋轉下降時，旋轉中心壓力低，使四周水往內移動，且因瓶蓋邊旋轉邊下降，使往內的水也跟著往下，因而產生向下的力。

實驗H

目的：利用鹽水觀察瓶蓋下降時，水紋變化的情形。

步驟：完整瓶蓋裡裝飽和鹽水，放入裝滿水的長桶子內，觀察下降過程中水紋的變化。

結果：瓶蓋下降過程中，出現渦流（圖略）。

實驗

目的：利用燭火偏移方向觀察接觸面形態與渦流之間的關係。

步驟：1.立起一紙板，在紙板後放一根蠟燭，並點燃。

2.向紙板吹氣，觀察燭火變化。

3.用鐵罐代替紙板，參照上述步驟再做一次。

結果：向鐵罐吹氣時，燭火會順著吹氣的方向跑；向紙板吹氣時，燭火則會朝反方向跑。

討論：氣流在前進的過程中，若遭流線形接觸面阻擋，則順著接觸面滑過，繼續向前進；反之，若為非流線形，則會改變方向，使燭火向反方向偏移。（圖略）

實驗J

目的：為清楚地觀察渦流流動的情形。

步驟：1.燒杯內裝清水，利用滴管吸取加入食鹽水的顏料。

2.將滴管拿近水面，垂直滴下一滴顏料。

結果：原先為水滴狀的顏料，在水中變成一環狀墨水環，此墨水環一面劇烈向內翻滾，一面下降，且逐漸變大，最後到達燒杯底部，或甚至尚未到達就快速散開了（圖略）。

討論：1.顏料外圈因受水黏滯性影響，阻力較中間大，而中間速度快，壓力小，吸引顏料往內。因為顏料變為扁平狀，產生渦流，所以看見劇烈的翻滾現象。但卻也因速度快，阻力相對變大，顏料被擠出，變為中空狀。

2.墨水一直向內擠，而越往下降，阻力越大，往內擠的墨水因而逐漸增多，且速度加快，將墨水環撐大，導致環狀愈來愈大，最後整個散開於杯底。

3.實驗中的板子與扁平狀的顏料就如同瓶蓋底部，皆為非流線形，因而產生渦流。

4.得知了使瓶蓋反轉原因後，我們就能夠探討實驗B中許多疑點。瓶蓋下降時，水阻力與下壓的力一直在抵抗，在加重的實驗中，瓶蓋突然停止，因此向下力相對變大，使得瓶反轉加速。

5.當瓶蓋葉片被剪短後，受水阻力推擠的面積減少，不易順轉，向下力也減弱，因此逆轉較不明顯。

6.葉片扭曲度愈大，順轉愈快，有如馬達在水中旋轉加速，向下力變大，瓶蓋也就因此而更易逆轉。

(四) 阻擋向下力，觀察瓶蓋反轉情形。

實驗K

前言：為了進一步探討瓶蓋反轉與向下力之間的關係，我們在瓶蓋上加一塊金屬板擋住向下力，希望能使瓶蓋不再反轉。

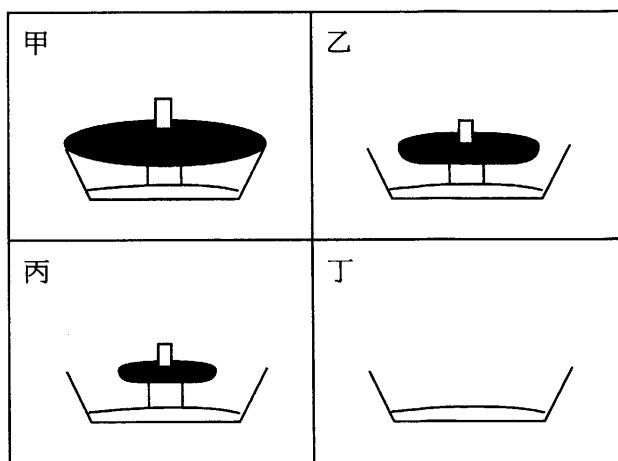
步驟：1.取四個葉片形瓶蓋，在底部加上等量的黏土。

2.製作三個大小不同的金屬片，中央皆打洞。

3.削好三段相同長度的短竹筷，一端尖銳，套入金屬板後，插入黏土。

4.分別將甲、乙、丙、丁四個模型放入水中，觀察它們是否反轉。

結果：此模型依舊順轉下降，但其逆轉情形皆各有差異。甲到水槽底不反轉；乙有反轉，但不明顯；丙與丁皆會反轉。



討論：1.在瓶蓋上方加一塊板子，擋住了推動瓶蓋反轉的向下力，便不反轉，正如模型甲。

2.其餘三者因板子太小或無板子，無法擋住所有的向下力，所以依舊反轉。

3.本實驗以金屬板將導致瓶蓋反轉的向下發散性力擋住，瓶蓋便不再反轉，與我們的推測不謀合，更加深了本報告的可信度。

四、結論

1.從實驗A中了解到瓶蓋下降時，水阻力垂直壓向立邊，此垂直於立邊的合力分為垂直與水平兩種分力，而水平分力以兩種方向壓向瓶蓋，一是通過軸心，但此力無法推動瓶蓋旋轉；另一則是切線力，它推動著瓶蓋反

轉。

2. 實驗B中，葉片的大小、重量、扭曲度皆會影響水阻力。當向上的水阻力較小時，較不易順轉，也促使瓶蓋提早逆轉。
3. 實驗C中，明顯地指出：若有一力量自上而下，即可推動瓶蓋反轉。在實驗D、E，更進一步得知影響瓶蓋反轉的向下力，定要為發散性，若是直條性的向下力，則因直接碰觸到瓶蓋底部，影響葉片的地方有所不同，反而會造成順轉。
4. 實驗F中，明顯地看出旋轉體在水中旋轉時，中央會形成一凹陷的洞；而後在實驗G，利用連通管原理製成的裝置，成功地觀察到漩渦中心與四周水位的變化，繼而得知促使瓶蓋反轉之向下力，來自於四周水壓較高處，向漩渦中心的低壓推擠的結果。
5. 在實驗I、J中，蠟燭前的板子擋住了氣流的前進，迫使氣流散開。而水中的墨水圈同時受到中心低壓的吸引及水阻力影響，造成渦流。就好比瓶蓋扁平部底擋住了水前進，產生渦流一般。
6. 實驗K中，雖然加了金屬板的瓶蓋依舊順轉，但到底的逆轉卻消失或減弱。由反面來證明向下發散力與反轉間的關係。
7. 總之，葉片在下降過程中受向上阻力，使其順轉，後來瓶蓋因旋轉下降造成中心低壓，使水往內流動，並向下。且瓶蓋底部為非流線形，易形成渦流。瓶蓋落至盆底瞬間，瓶蓋突然停止，而向下力不變，促使瓶蓋反轉。我們終於發現：推動瓶蓋反轉的力，原來就是那種向下發散性的力量。

五、參考文獻

1. “墨水環”－趣味物理，P.142，文帥出版社
2. 流體的科學－牛頓科學研習（物理篇）。P.44

評語

本作品分析葉片狀瓶蓋在液體中下降時的旋轉方向與抵達底面時的旋轉方向相反的現象。再從葉片的偏轉角對瓶蓋轉速與逆轉的強弱，流體經過瓶蓋時的流向等各種現象的實驗觀測而清楚的解釋了前述現象。選題新穎，實驗觀測生動詳實，思考慎密，符合科學精神，而使作品具有完整性。作者之表達能力亦佳。若能使作品量化則會是很完美的作品。