

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

■國中組 □普高組 □技高組 成果報告格式

題目名稱：水落瓶空—探討水流與空氣的關係

一、摘要

本篇研究透過倒立水瓶，研究搖晃、拍打、旋轉等不同外在條件下**水流速的變化**，並藉由**旋轉感應器**測量**水流強度變化**，透過五個實驗證實，拍打或搖晃會使氣體產生破碎現象，降低氣體與液體交換的效率，使流速下降。但透過旋轉水瓶產生水龍捲，可使水瓶中心產生空氣柱，穩定的空氣柱進入瓶內，穩定的水牆從外側流出，流速可達 269ml/s，**氣液交換效率提升 42%**。另外透過觀察發現水龍捲的排水方式應用在新型的**龍捲式馬桶沖水**及**吉博力排水設計**上，利用物理性改變水管，使其在封閉式渠道內產生水龍捲，進而提升排水速率與減少管道間體積，是未來建物的重要改革。

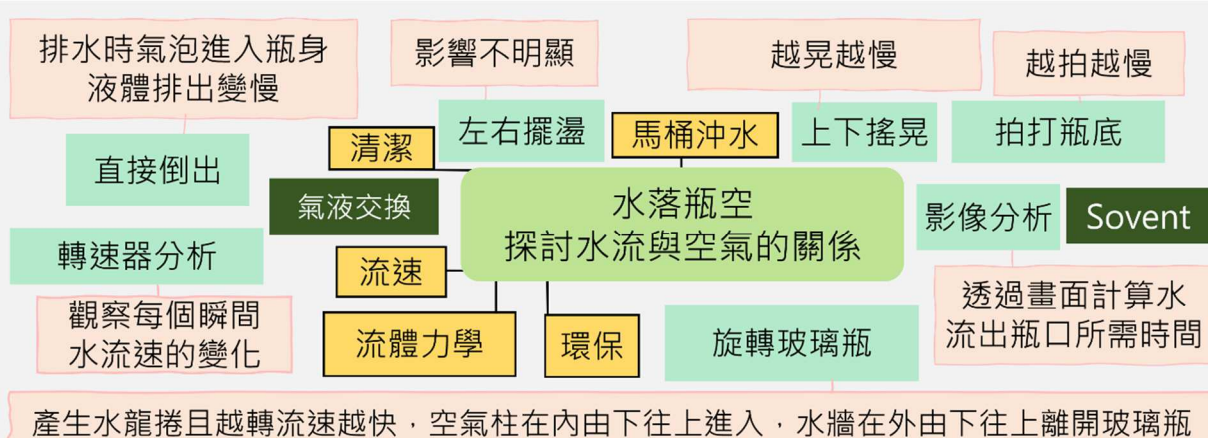
二、探究題目與動機

在廚房水槽清洗碗盤的過程中，引發我們對液體流動的興趣。我們注意到水排出水槽時，水流的形狀與從寶特瓶倒出飲料或水時有明顯的不同。這種差異讓我們不禁好奇，液體流動時受哪些因素影響。進而在網路上搜尋到水流動時影片，影片中運用各種技巧來提高流速，例如調整容器的瓶口大小、改變倒水的高度或使用不同形狀的容器等。這些資訊展示了各種倒水的方式，讓我們更加好奇，哪一種倒水方式能最省時、最快地將相同體積的水倒完，使其清潔效果最佳。



三、探究目的與假設

為了更聚焦生活中影響瓶子倒水過程中，影響流速的方式，本研究藉由**體積固定**的玻璃瓶，利用**直接流出**、**左右或上下搖晃**、**拍擊瓶底**及**旋轉瓶子**等方法對水流動方向的改變，探討不同操作條件對液體流速的影響。液體流速的控制有許多日常活動中都至關重要，例如排水、灌溉、工業過程等，影響流速的因素可能是由液體的黏性、重力以及運動方式的差異所導致。此外，實驗中除利用影片紀錄判斷水流出的時間，也透過**改良式轉速器**客觀紀錄流速的變化，也希望通過對液體流速的分析，深入物理學中流體力學的基本原理，並探索在不同情境下如何最佳地控制液體流動，提升效率與效果。



- (一).透過 1055mL 玻璃瓶倒立，觀察水流動過程中的現象或變化
- (二).改變不同擺長，觀察不同左右搖晃頻率水流出的快慢
- (三).上下搖晃玻璃瓶不同次數，觀察水流出快慢的變化
- (四).拍打玻璃瓶底不同次數，觀察水流出快慢的變化
- (五).旋轉玻璃瓶不同圈數，觀察水流出快慢的變化

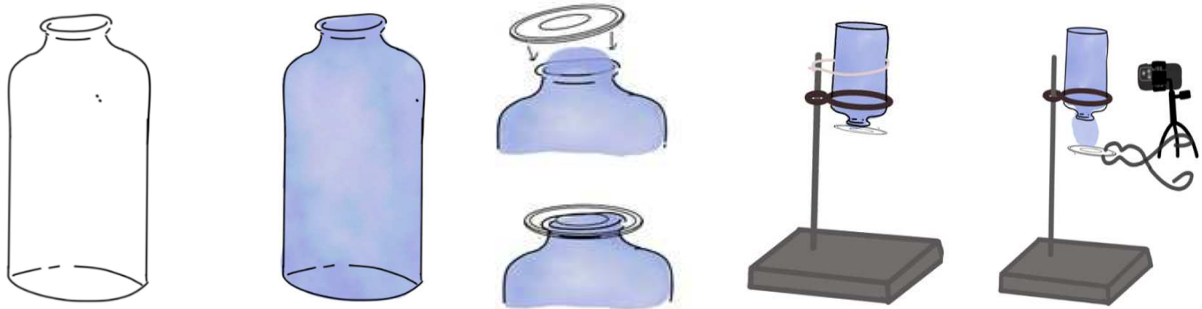


所需材料如下：玻璃瓶、塑膠杯底、刺繡繩、鐵架、三腳架、手機、電腦、乾豐 D90-5 葉 3.5 寸涵道槳、資料分析收集器(LABQUEST MINI)及威尼爾旋轉感應器(RMV-BTD)

四、探究方法與驗證步驟

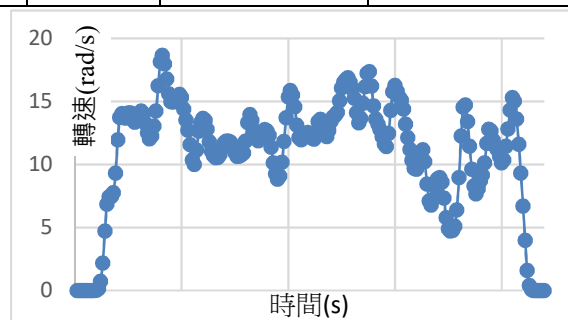
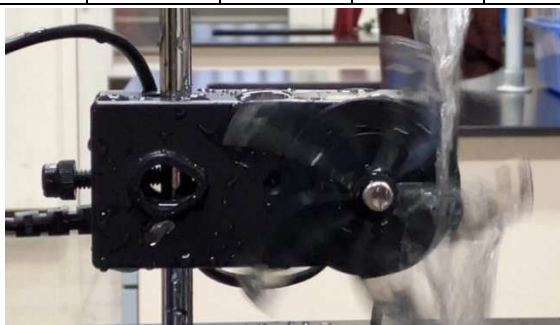
實驗一、倒立 1055mL 玻璃瓶，觀察水流動時的變化

(一) 實驗目的與流程：找出水流出玻璃瓶的影響因子。利用玻璃瓶裝滿水，為方便觀察加入藍色食用色素，剪下塑膠圓型墊片，透過大氣壓力固定倒立後的色素水，將玻璃瓶至於鐵架上，並用刺繡繩固定瓶子，最後架設手機錄影，紀錄夾走塑膠墊片後，水流出的時間，重複五次實驗，過程如圖。最後用旋轉感應器再做一次。



(二) 實驗結果：

	1 st (s)	2 nd (s)	3 rd (s)	4 th (S)	5 th (S)	平均時間(S)	平均流速(mL/s)
實驗一	5.61	5.44	5.80	5.55	5.50	5.58	189



經由實驗結果分析，水平均流出瓶子的時間為 **5.58(s)**，過程中我們發現水流出玻璃瓶時，會有**氣泡阻擋水流**，氣泡向上移動並呈現規律性，產生氣泡的體積有一大一小的規律，說明水流受空氣進出有所影響，當瓶口出現大氣泡時，周圍排出的水牆較薄，水量較少；當出現小氣泡時，周圍排出水牆較厚，水量較多。透過水衝擊 3.5 寸槳產生的轉速變化分析，也可發現此時的流速確實忽快忽慢，最快 18.6(rad/s)，最慢 7.6(rad/s)，證實我們的觀察。此觀察從水離開瓶口的



過程，也可證實康達效應，瓶口雖是圓形，但流出來的水柱並非圓柱體，而是忽瘦忽胖的曲面，主要是因水沿著玻璃瓶壁流出有了附壁現象，由於瓶口上方是一個圓錐的曲面，使水離開瓶口時也會沿著圓錐的壁方向持續前進，產生的水分子與對向的水分子撞擊，搭配表面張力所造成的**收縮震盪**，而有忽胖忽瘦的水柱。



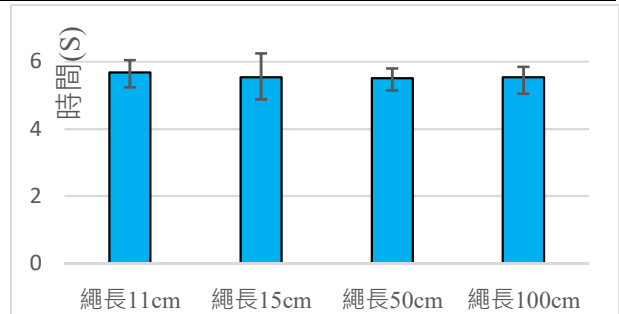
實驗二、改變不同擺長，觀察不同左右搖晃頻率水流出的快慢

(一) 實驗目的與流程：了解不同左右頻率對水流速的影響。利用**11cm、15cm、50cm、100cm**四種不同擺長綁住玻璃瓶，透過不同左右擺動頻率，觀察水流速快慢變化。重複五次實驗。

(二) 實驗結果：

實驗二	1 st (s)	2 nd (s)	3 rd (s)	4 th (S)	5 th (S)	平均時間(S)	平均流速(mL/s)
11cm	6.05	5.91	5.24	5.88	5.32	5.68	186
15cm	6.25	5.33	5.71	4.88	5.53	5.54	190
50cm	5.35	5.6	5.65	5.15	5.8	5.51	191
100cm	5.8	5.85	5.35	5.65	5.05	5.54	190

根據實驗結果，不同頻率水流出時間介於5.51(s) – 5.68(s)，流速變化不大，其結果表示不論左右擺動頻率快慢，對水流速的影響並不明顯。



實驗三、上下搖晃玻璃瓶不同次數，觀察水流出快慢的變化

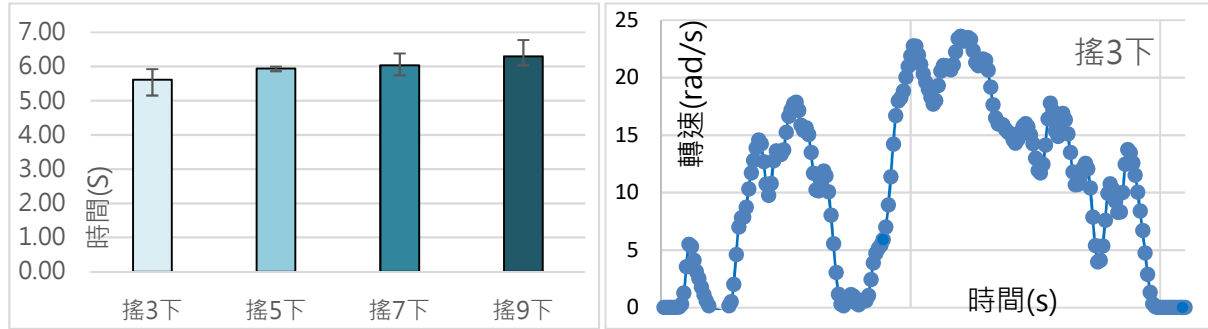
(一) 實驗目的與流程：了解玻璃瓶上下搖晃，是否對水的流速產生影響。用刺繡繩將瓶子綁好，瓶子裝滿染色水，塑膠杯底放置於瓶口，倒持瓶子並架好手機開始錄影，用夾子將塑膠杯底夾走，以相同幅度力道上下搖晃**3下、5下、7下和9下**，待水流完後看錄影回放，並紀錄實驗結果。重複五次實驗。最後用旋轉感應器再做一次。

(二) 實驗結果：

實驗三	1 st (s)	2 nd (s)	3 rd (s)	4 th (S)	5 th (S)	平均時間(S)	平均流速(mL/s)
搖3下	5.92	5.43	5.15	5.74	5.84	5.62	188
搖5下	5.92	5.86	6.00	5.94	5.98	5.94	178
搖7下	6.13	6.38	6.09	5.74	5.84	6.04	175
搖9下	6.77	6.03	6.29	6.18	6.22	6.30	168

透過長條圖可以發現，上下搖晃次數越多，水流時間越長、流速越慢，透過轉速分析也可明確發現，轉速上下落差明顯，最快可達23.49(rad/s)，最慢0.13(rad/s)，從實驗觀察中可以發現，原本水流出過程的氣液交換，氣泡是一大一小，但由於上下搖晃的頻率無法剛好吻合氣泡產生的頻率，使得搖晃過程中有時會破壞氣泡，使其從一個大氣泡變成數個小氣

泡，有時是突然出現更大的氣泡，導致周圍的水牆流出更少，讓流速接近 $0(\text{rad/s})$ 。

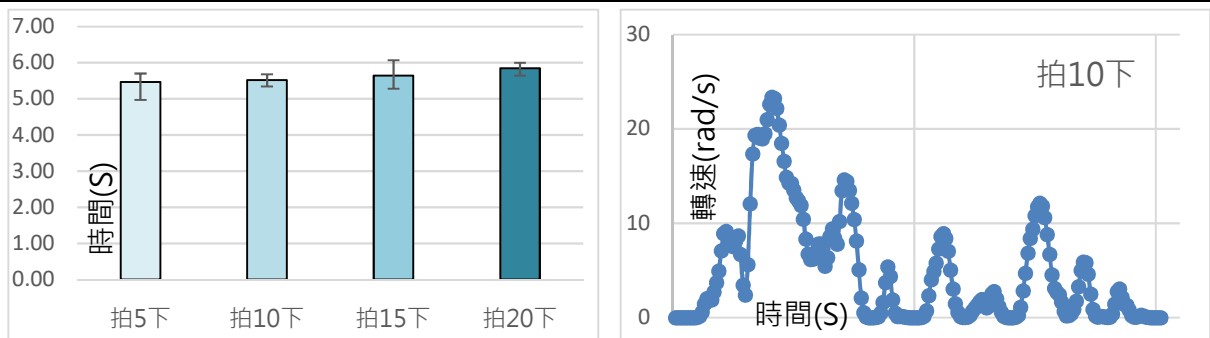


實驗四、打玻璃瓶底不同次數，觀察水流出快慢的變化

(一) 實驗目的與流程：了解拍打不同次數玻璃瓶底，是否對水的流速產生影響。用刺繡繩將瓶子綁好，瓶子裝滿染色水，塑膠杯底放置於瓶口，倒持瓶子並架好手機開始錄影，用夾子將塑膠杯底夾走，以相同力道拍打瓶底 **5 下**、**10 下**、**15 下**和 **20 下**，待水流完後看錄影回放，並紀錄實驗結果。重複五次實驗。最後用旋轉感應器再做一次。

(二) 實驗結果：

實驗四	1 st (s)	2 nd (s)	3 rd (s)	4 th (S)	5 th (S)	平均時間(S)	平均流速(mL/s)
拍 5 下	5.56	5.7	5.49	5.62	4.97	5.47	193
拍 10 下	5.65	5.68	5.5	5.34	5.41	5.52	191
拍 15 下	5.74	5.38	5.73	6.07	5.28	5.64	187
拍 20 下	6.00	5.94	5.74	5.64	5.92	5.85	180



從實驗結果可知拍打瓶底次數越多，水流時間越長，水流速度越慢，透過旋轉感應器分析也可知，拍打瓶底對於水的流速影響明顯，轉速最快 $23.2(\text{rad/s})$ ，最慢接近 $0(\text{rad/s})$ ，從波峰的數量來看，每拍一下水流速明顯變大，產生波峰，但隨之空氣須立刻補進玻璃瓶內，才可讓水進行下一次的流出，但空氣大量補充玻璃瓶，會導致水流速瞬間下降，**無法連續的水流，是讓流速變慢的主要原因。**

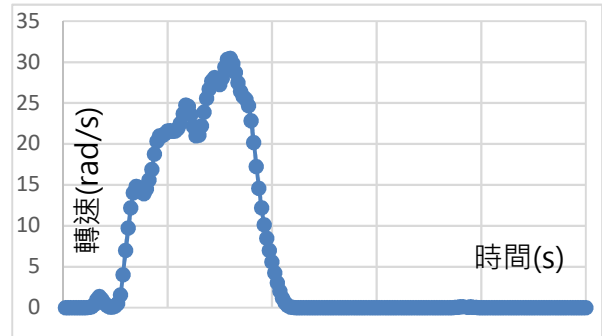
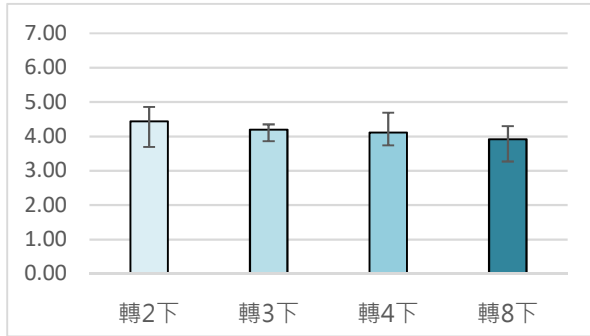
實驗五、旋轉玻璃瓶不同圈數，觀察水流出快慢的變化

(一) 實驗目的與流程：了解旋轉玻璃瓶，是否對瓶內流出時產生流速的影響。將瓶子裝滿染色水，塑膠杯底放置於瓶口，倒持瓶子並架好手機開始錄影，用夾子將塑膠杯底夾走，旋轉玻璃瓶 **2 次**、**3 次**、**4 次**和 **8 次**，待水流完後看錄影回放，並紀錄實驗結果。重複五

次實驗。最後用旋轉感應器再做一次。

(二) 實驗結果：

實驗五	1 st (s)	2 nd (s)	3 rd (s)	4 th (S)	5 th (S)	平均時間(S)	平均流速(mL/s)
轉 2 下	4.86	3.69	4.78	4.64	4.21	4.44	238
轉 3 下	4.32	3.86	4.31	4.15	4.35	4.20	251
轉 4 下	3.74	4.69	3.95	4.07	4.1	4.11	257
轉 8 下	3.27	4.08	3.88	4.3	4.07	3.92	269



在旋轉的實驗當中，我們明確可觀察到水流出的模式改變，前面四個實驗的氣液交換都是以氣泡與水在瓶口處一大一小進出的模式，但在實驗五當中**沒有產生氣泡的狀況**，取而代之的是在瓶口產生一個水龍捲，水龍捲外牆是水，中間部分則產生空氣柱，穩定的空氣柱提供穩定的氣體進入瓶內，也讓穩定的水牆連續向下排水，穩定的水與空氣交換，促使水更快速流出，從長條圖可觀察到隨著旋轉玻璃瓶次數越多，水龍捲越穩定，流速越快。旋轉的過程中，水因沒有足夠的向心力而被甩到玻璃瓶壁，使得圓心產生一個空氣通道，產生穩定的氣液交換。這個現象更是白努力效應所帶來的結果，由於產生水龍捲後水的流速越快，促使圓心通道的壓力越小，在上方玻璃瓶是圓柱體，但是水龍捲下方的空氣柱面積較小，面積小是因為周圍水的流速較快，導致氣壓變小，氣壓變小會讓外圍水牆往中間集中，考慮水的不可壓縮，使水所佔的體積變大，流出的水量更大。



五、結論與生活應用

(一) 結論

1. 水流出玻璃瓶是以氣液交換形式進行，透過水龍捲的模式可達到穩定的中心氣體進入，以及穩定的外圍水牆流出，達到最有效率的氣液交換模式。
2. 水流出玻璃瓶的型態可分瓶外與瓶內兩個部分，瓶外的水柱會因表面張力造成的收縮振盪，產生忽胖忽瘦的水柱；瓶內的水牆則依液氣交換模式，分為氣泡與水龍捲。水龍捲的型態則以白努力定律說明，因水具不可壓縮性質，越靠近瓶口水流速越快，

水流速越快則導致水龍捲中心空氣柱壓力越小，壓力越小的空氣柱面積越小，即水龍捲越細。

3. 氣泡形式的氣液交換則受氣泡是否穩定進出，影響水流的速率，若流動過程中受外力拍打或搖晃，會導致氣泡被破壞成小氣泡，產生無謂的擾動，進而讓流速變慢。

此外透過旋轉感應器分析，水流速帶動轉速對時間作圖當中，可以明顯發現氣泡型的排水在轉速上忽高忽低，當氣泡少水流量大時，轉速可達 23(rad/s)，但遇到大氣泡時水流量小，轉速接近 0(rad/s)。而在水龍捲排水方式時，不僅轉速沒有忽快忽慢的缺點，轉速最大可達 30.4(rad/s)，且排水時間最短，效率最高，清潔效果最佳。



(二) 應用

1. 馬桶沖水：馬桶清潔是居家衛生的重要指標，馬桶沖水模式分為直沖式、虹吸式及龍捲式，其中直沖式的水管管徑 48mm 較大，虹吸式則利用虹吸原理強化清潔能力，因虹吸式清潔效果較直沖式更佳，因此管徑縮小 40mm，流速更快且更省水。但近年推出的龍捲式沖水除了管徑一樣小外，透過水龍捲的沖水模式，更達到流速快、洗淨力強的優勢。

2. 排水系統：我國常見的建物封閉式渠道排水系統，都須有 4 英吋一支水管及 4 英吋一支通氣幹管進行氣液交換，因此建物中會有一定的坪數作為管道間，但在現今房價高漲的時候寸土寸金，若能用較小的



管道間配置，並達到較佳的清潔效果則會在建物上進行革命式設計，瑞士吉博力 (Geberit) 的瑞士小蝸牛 (Sovent) 搭配沛利彎頭，透過水管內構造調整，增加 V 型渠道，以物理性改變水流方向，迫使水在水管有限的空間內產生漩渦，達到穩定的液氣交換，不僅流速加快、降低水流噪音且清潔效果更佳。

參考資料

- (一) 超認真少年(2024)。同層排水 豪宅金屬水管也會塞 連水電師傅都不知道的知識 再也不用通馬桶！https://youtu.be/K6fFkjTH_NA?si=BGQRPbfULYhmXhka。
- (二) O MY 尬科學(2023)。科學魔術秀-康達效應。第四屆臺灣科學節 尬科學-科學演示
- (三) 黃興倬、陳慧娟(2015)。抄自然—力與形的生存遊戲。國立自然科學博物館。
- (四) 生活裡的科學(2018)。馬桶省水的科學-沖水虹吸大比拚。大愛電視。
- (五) 陳順德、呂昀翰(2024)。旋轉之力-漩渦在自然與科技中的應用。科學探究競賽。
- (六) 陳昕陽、林昂頡、高永銘(2010)。碰!水流不只是流動-水流噴射實驗。第 50 屆中小學科學展覽會。