

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

031605

水落石出

學校名稱：桃園縣立觀音國民中學

作者：	指導老師：
國二 劉亭侖	李孟倫
國二 葉家如	李惠民
國二 廖憶菡	
國二 李佳威	

關 鍵 詞：靜水沈物、噴嘴效應、白努利定律

壹、摘要

本實驗在探討密度大於 1 的球體，使其沉入靜水中，當以不同流速的水流下沖小球時，量測小球上浮的速度、上浮高度及上浮起動時間。我們將實驗分成三大部分，第一部分為探討水流下靜水沉物上浮的機制，藉以了解水流的流動與球體上浮之間的關係。第二部份探討容器的大小及高度對靜水沉物上浮的影響。我們發現在容器口徑大小、高度不同的情況下，小球上浮的狀況均不同。同時發現水流流速亦會影響小球上浮的快慢，因此我們設計了第三個部份的實驗。實驗過程中，我們用數位攝影的方式拍下實驗的整個過程，並利用電腦擷取記錄小球上浮的時間及上浮高度，以避免人為操作紀錄的誤差。

貳、研究動機

剛吃飽飯，正想找水果來吃，看到旁邊有一小籃蕃茄，於是就拿去洗手台用水龍頭清洗，一轉開水龍頭，沒想到水越開越大，本來沉在盤底的蕃茄竟然被水流吸起來了，是真的被吸住了嗎？還是有什麼原因讓蕃茄浮起來了呢？水流的大小是否是造成上浮的原因？水流下沖物體時不是會使物體下沉嗎？為什麼反而會浮了起來呢？心裡越想越困惑，其中必定還有原因？在上自然課的時候，老師有提到，物體的密度大於水的密度，則物體會沉於水中，為什麼番茄的密度大於水，還是會被水沖上來呢？於是找了幾位同學來討論其中的原因。

參、研究目的

- 一、模擬水流下的靜水沉物上升機制。
- 二、探討容器形狀對靜水沉物上浮快慢之影響。
 - （一）探討容器口徑寬度對靜水沉物上浮快慢之影響。
 - （二）探討容器高度對靜水沉物上浮快慢之影響。
- 三、探討水流速度對靜水沉物上浮快慢之影響。

肆、研究設備及器材

- 一、相機
- 二、相機腳架
- 三、皮尺
- 四、圓筒壓克力
- 五、流量計(20L/min)
- 六、壓克力板
- 七、抽水馬達
- 八、剪刀
- 九、水管（軟、硬）
- 十、文具（尺、筆、紙）
- 十一、油性奇異筆
- 十二、水箱
- 十三、鋸尺

- 十四、膠帶（透明）
- 十五、熱熔膠槍
- 十六、天平
- 十七、尖尾刀
- 十八、球
- 十九、吹風機
- 二十、控制水流量的開關
- 二十一、鐵尺
- 二十二、黑色小珠
- 二十三、碼錶

伍、研究過程或方法

一、 模擬水流下靜水沉物上浮機制

（一） 實驗方法

1. 取容器高度 20 cm、直徑 8 cm 的容器
2. 在杯內放入實驗用小球及一些塑膠製黑色小圓球，以方便觀察。
3. 分別調整水流流速為 14L/m、16 L/m、18 L/m 及 20 L/m，以數位相機同步攝影的方式觀察黑色的小顆粒在容器中的流動情形以了解水流的情形。

（二） 實驗結果



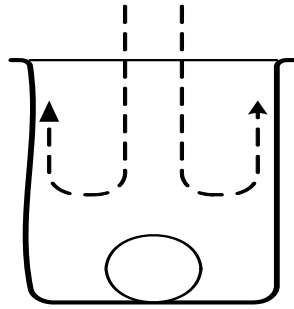
<圖 1> 水流較小時，無法帶動底部物體



<圖 2> 水流較大時，容器內水流情形

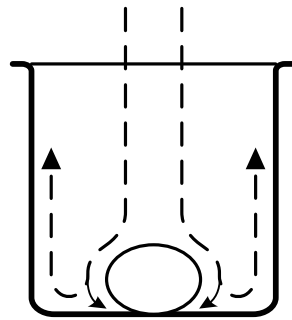
（三） 觀察與推論

1. 以較低流速的水流沖擊時，由於水流的衝力不夠，水流無法到達容器底部，如 <圖 3>所示，無法帶動球體上浮。



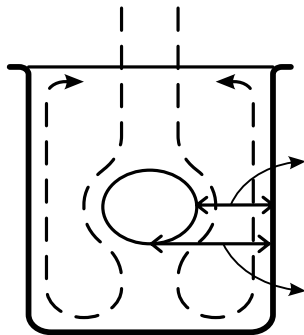
<圖 3>，水流較小時，球體無法上浮

2. 相同的情況，若選擇較高的容器，水流強度較弱時，同樣也無法到達容器底部而帶動球體上浮，容器愈高則需要愈強的水流沖擊，才能使球體上浮。
3. 若容器高度不變，改以較高流速的水流沖擊時，水流可以衝到容器較深處，可以沖擊到球體，當水流碰到球體時，會向球的兩側流過，同時會有部分的水流沿著球體表面流向球體的底部，如<圖 4>所示，這股水流將會推擠球體，形成向上的推力，將球體向上抬升。

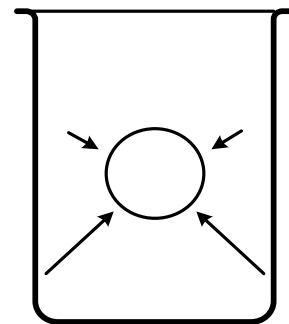


<圖 4>，水流較大時，會在球體的周圍形成不同方向的分流

4. 承 3.敘述，若流速愈大則單位時間內進入球的底部的水流就會愈多，會造成球體上浮的起動時間縮短。
5. 如<圖 5>所示，當水流由上向下流經過球體時，由於水流通過的面積由小變大，流速會由快變慢，如<圖 6>，根據白努利定律可得知，此時球體下方的向上壓力將大於球體上方的下壓力，因此球體將沿著水流向上浮升。

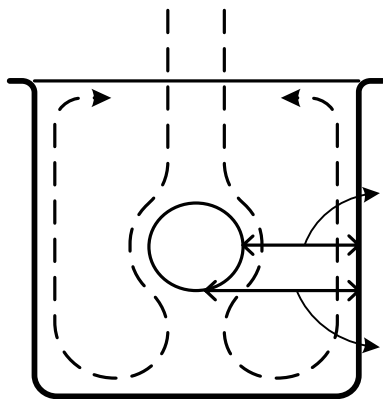


<圖 5> 水流經過球體時的流動情形



<圖 6> 球體周圍受到的壓力

6. 如<圖 5>所示，當水流由底部向外側流動，並沿著容器壁上升的過程中，由於受到中心區域向下的水流影響及水流與容器壁的撞擊，易造成外側上升水流很不穩定而造成水流流像紊亂，加上受到地球自轉的影響，外側水流有明顯沿著容器壁旋轉的現象；中心區域則相對流像較穩定。
7. 當流速過大時，在中心區域上浮的球體會在靠近水面時受到水流向下的衝擊而向下沉，並重新由底部慢慢上升。
8. 當流速恰當時則可以發現球在中心區域上升到某一個高度後，將維持在水流的正下方，此時水流向下的衝力與上浮的力量恰好相等。
9. 當容器口徑較大時，如<圖 7>所示，球體對水流形成的阻礙變小，造成水流在通過球的兩側時，由於通過面積的大小差異較小，造成對球體上推的壓力減弱，所以球體上升的速度會比較慢。



<圖 7>，容器口徑較大時，寬窄的差異較小

二、探討容器形狀對靜水沉物上浮快慢之影響

(一)研究裝置

1.容器製作

將直徑為 8 公分、7 公分、6 公分、5 公分的透明圓筒壓克力分別裁切為長度 25 公分、20 公分、15 公分及 10 公分，以作為本實驗操作之容器，並將布尺黏附於容器側邊以作為觀測高度時使用。



<圖 8>



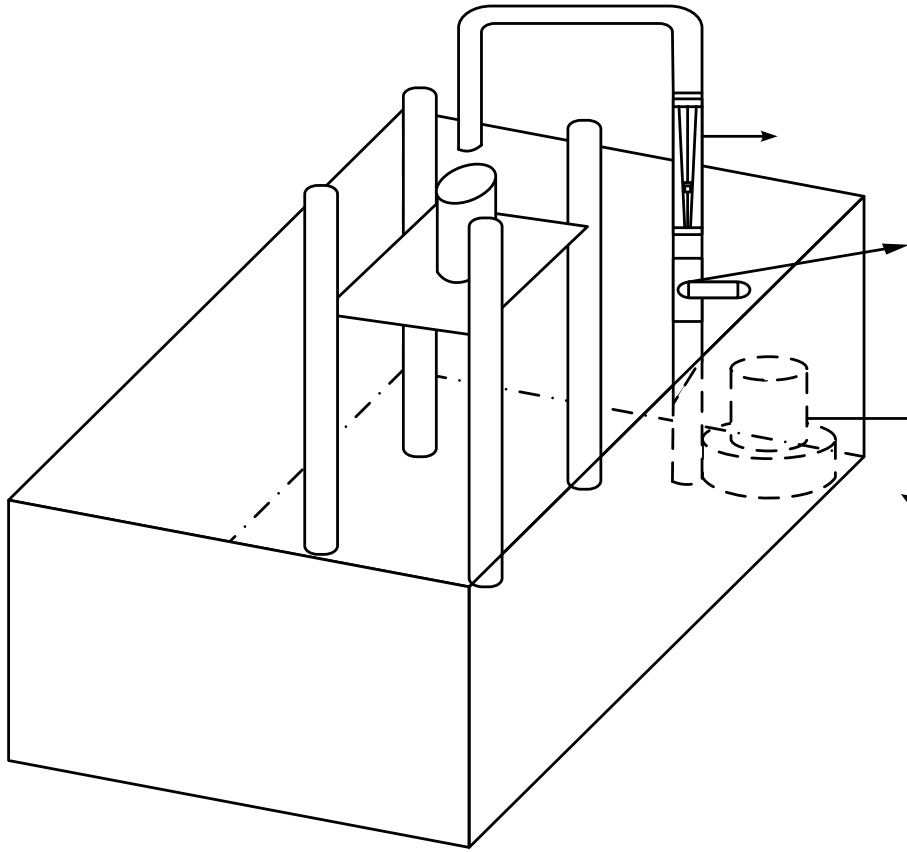
<圖 9>



<圖 10>

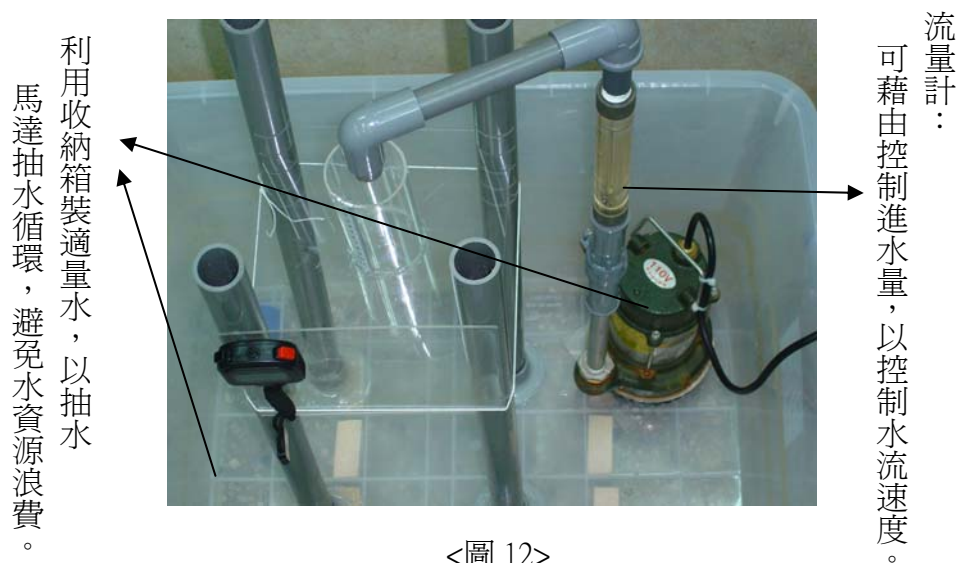
2.實驗裝置及量測方法

- (1)利用數位攝影方式並使用碼錶作同步攝影觀察，量測靜水沉物上浮起動時間、直線上浮時間及爬升高度、最大高度。



<圖 11>實驗裝置圖

- (2)本實驗裝置運用簡單且容易取得之器材進行同步攝影，可以精確拍攝整個靜水沉物上浮情形，並利用電腦擷取上浮起動時間、直線上浮時間及爬升高度、最大高度。



<圖 12>



將布尺黏貼於容器側邊，以便觀察小球上浮高度。

<圖 13>



手握碼錶計時，容易因人為因素造成誤差，故利用碼錶及數位同步攝影，利用電腦量測小球上浮時間。

攝影與馬達同步啟動進行。

<圖 14>

(二)探討容器口徑寬度對靜水沉物上浮起動時間之影響

- 1.實驗方法：分別將高度相同但口徑寬度不同(直徑為 8cm、7cm、6cm、5cm)的圓柱體當作盛水容器，並投入密度為 1.07 g/cm^3 的小球，使其於靜水中下沉至杯底。再利用流量計控制水流速度，藉由同步攝影方式量測小球上浮起動時間。

2.實驗結果

<表 1>、容器口徑大小與小球上浮起動時間的關係

水流量 (L/m) 容器種類		12		14		16		18		20	
容器直徑 (cm)	實驗 次數	實驗 數據(s)	平均 (s)	實驗 數據(s)	平均(s)	實驗 數據(s)	平均 (s)	實驗 數據(s)	平均 (s)	實驗 數據(s)	平均 (s)
8cm	1	1.00	1.092	0.52	0.58	0.69	0.7	0.48	0.508	0.32	0.274
	2	1.12		0.48		0.76		0.46		0.26	
	3	1.16		0.61		0.68		0.42		0.28	
	4	1.21		0.61		0.72		0.60		0.25	
	5	0.97		0.68		0.65		0.58		0.26	
7cm	1	0.84	0.878	0.64	0.566	0.7	0.698	0.5	0.58	0.36	0.38
	2	1.00		0.59		0.76		0.61		0.4	
	3	0.88		0.52		0.69		0.58		0.38	
	4	0.76		0.48		0.62		0.53		0.32	
	5	0.91		0.6		0.72		0.68		0.44	
6cm	1	0.71	0.738	0.57	0.550	0.45	0.504	0.32	0.34	0.35	0.31
	2	0.78		0.48		0.51		0.41		0.34	
	3	0.81		0.52		0.52		0.36		0.29	
	4	0.65		0.60		0.48		0.29		0.31	
	5	0.74		0.58		0.56		0.32		0.26	
5cm	1	均不上浮						18.3	18.86	4.3	5
	2							19.8		6.5	
	3							18.2		6.2	
	4							20.2		4.2	
	5							17.8		3.8	

3.討論

由表<1>知當水流流速相同時，口徑寬度 6 公分的容器，其內杯底的小球上浮起動時間較其他容器上浮起動時間短。

4.推論

將球置於容器內，因為球的形狀及其與器壁之間的間隙造成水流流經球體時，會遇到先窄縮後寬闊的現象，此現象(噴嘴效應)造成流經的水流流速產生變化。當水流流經窄處時，流速會加大，而通過窄處後進入寬處時水流流速則會下降。根據白努利定律：『流體的流速越快，產生的壓力越小』。窄處水流流速快，水壓力小；寬處水流流速慢，水壓力大，因此杯中小球周圍受到不對稱的水壓力作用，造成向上的水壓力大於向下的水壓力，這些壓力差使的小球在水流向沖的情況下，仍能向上浮動。若容器口徑過大，則球與器壁的間隙也越大，先窄縮後寬闊的現象也相對非常不明顯，水流流速亦無明顯變化，造成球體周圍水壓力差小，要使球體上升較

困難，故由上浮起動時間較長。若球體與容器之間的間隙過窄，水流不易沿間隙下流，所有的水量都集中於球體上方，形成一股向下壓的力量，則小球要上浮亦不容易。由實驗數據顯示，本實驗所使用的小球，要使其上浮的最佳容器口徑為 6 公分。

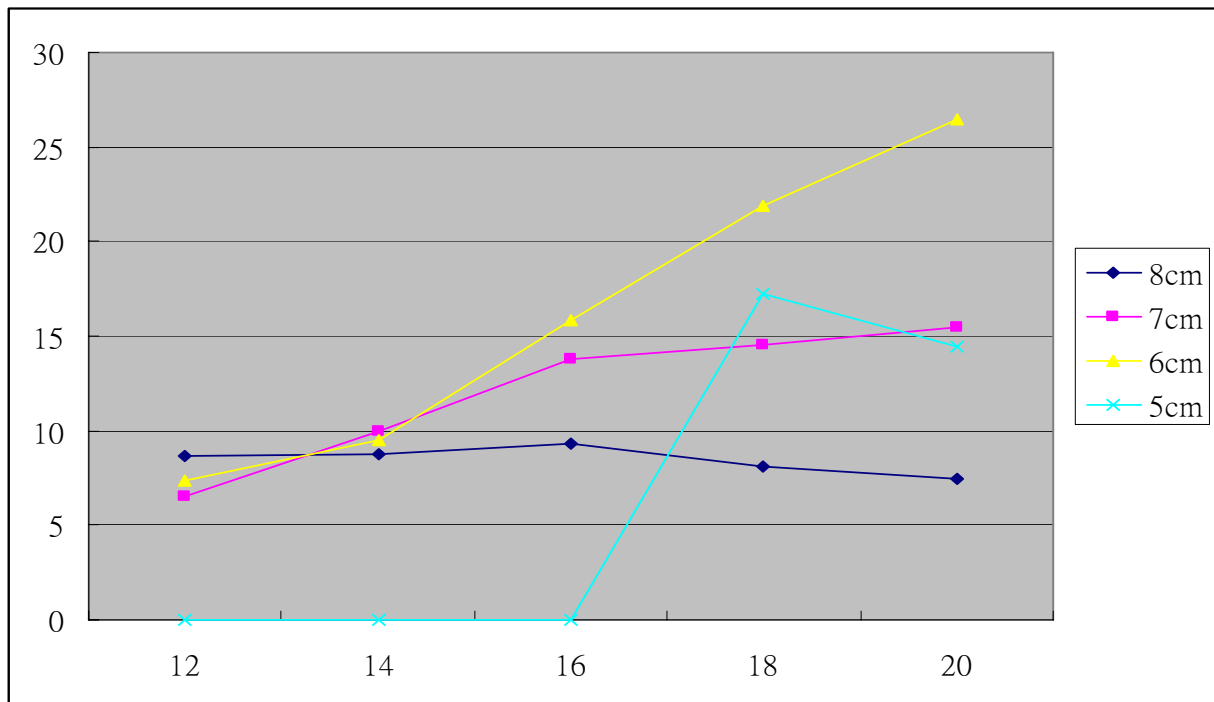
(三)探討容器口徑寬度對靜水沉物上浮速度之影響

1.實驗方法：分別將高度相同但口徑寬度不同(直徑為 8cm、7cm、6cm、5cm)的圓柱體當作盛水容器，並投入密度為 1.07 g/cm^3 的小球，使其於靜水中下沉至杯底。再利用流量計控制水流速度，藉由同步攝影方式量測小球直線上浮時間及爬升高度，並利用直線上浮時間及爬升高度推算小球上浮速度。

2.實驗結果

<表 2> 容器口徑寬度與小球上浮速度的關係

水流量 (L/m) 容器種類		12		14		16		18		20	
容器直徑 (cm)	實驗次數	實驗數據 (cm/s)	平均 (cm/s)	實驗數據 (cm/s)	平均 (cm/s)	實驗數據 (cm/s)	平均 (cm/s)	實驗數據 (cm/s)	平均 (cm/s)	實驗數據 (cm/s)	平均 (cm/s)
8cm	1	8.10	8.6348	8.16	8.7605	9.71	9.34829	7.5	8.1213	6.988	7.4737
	2	7.22		9.05		8.54		8.235		7.222	
	3	9.35		8.11		8.49		7.907		7.692	
	4	8.97		9.46		9.76		8.75		8.03	
	5	9.54		9.02		10.2		8.214		7.436	
7cm	1	5.53	6.4894	9.67	9.9898	14	13.8014	13.53	14.57	14.34	15.475
	2	6.76		11.6		13.8		15.26		17.58	
	3	6.51		9.76		14.4		15.59		16.67	
	4	7.18		9.2		13		14.18		15	
	5	6.46		9.73		13.8		14.29		13.79	
6cm	1	7.50	7.3305	10.5	9.5247	15.8	15.8742	21.08	21.857	21.05	26.466
	2	7.62		8.87		16		22.5		27.35	
	3	7.17		8.42		15.6		21.43		28.28	
	4	7.59		9.09		17.2		24		23.43	
	5	6.77		10.7		14.8		20.28		32.22	
5cm	1	均未上浮						18.18	17.234	13.16	14.413
	2							16.92		14.05	
	3							16.34		13.53	
	4							16.67		14.66	
	5							18.06		16.67	



<圖 15>

3. 討論

由圖<15>得知，容器口徑寬度與小球直徑差值越小，當小球上浮時上浮速度越快。

4. 推論

當水流流經球體與容器之間的間隙時，受到球體表面的曲面曲度影響下，根據康達效應：『流動的流體會沿著曲面流過』。下沖水流中靠近球面的水流會沿著間隙流至球體底部，又因為噴嘴效應造成向上壓力大於向下壓力，使的小球向上浮動。容器口徑寬度與小球直徑差值越小，此噴嘴效應越明顯，當一旦水流有機會流入球體與容器的間隙時，小球就會上浮且速度會明顯加快，往往也較易上浮至液面頂部。

(四)探討容器口徑寬度對靜水沉物上浮最高高度之影響

- 1.實驗方法：分別將高度相同但口徑寬度不同(直徑為 8cm、7cm、6cm、5cm)的圓柱體當作盛水容器，並投入密度為 1.07 g/cm^3 的小球，使其於靜水中下沉至杯底。再利用流量計控制水流速度，藉由同步攝影方式量測小球上浮最高高度。

2.實驗結果

<表 3> 容器口徑寬度與小球上浮最高高度的關係

水流量 (L/m) 容器種類		12		14		16		18		20	
容器直徑(cm)	實驗次數	實驗數據 (cm)	平均 (cm)	實驗數據 (cm)	平均 (cm)	實驗數據 (cm)	平均 (cm)	實驗數據 (cm)	平均 (cm)	實驗數據 (cm)	平均 (cm)
8cm	1	9.1	9.10	9.7	9.38	9.7	9.56	9.7	9.74	10.1	9.84
	2	9.1		9.5		9.5		9.3		9.8	
	3	9.1		9.2		9.6		10.1		9.8	
	4	9.1		9.3		9.5		9.8		9.7	
	5	9.1		9.2		9.5		9.8		9.8	
7cm	1	12	12	12.2	12.24	12.2	12.34	12.4	12.44	12.6	12.6
	2	12		12.3		12.5		12.5		12.6	
	3	12		12.2		12.3		12.4		12.6	
	4	12		12.2		12.4		12.4		12.6	
	5	12		12.3		12.3		12.5		12.6	
6cm	1	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
	2	12.5		12.5		12.5		12.5		12.5	
	3	12.5		12.5		12.5		12.5		12.5	
	4	12.5		12.5		12.5		12.5		12.5	
	5	12.5		12.5		12.5		12.5		12.5	
5cm	1	均未上浮						13	13	13	13
	2							13		13	
	3							13		13	
	4							13		13	
	5							13		13	

3.討論

- (1)由表<3>實驗結果可知，若容器口徑寬度越小，小球越容易上浮至液面頂部。
- (2)在同一容器的情況下，水流流速越大，小球上浮高度越高。

4.推論

- (1)小球的形狀及其與器壁間間隙，造成水流經過時有先窄縮後寬闊的噴嘴效應。當容器口徑寬度與小球直徑差值越小時，此噴嘴效應越明顯，此時小球所受的上下壓力差越大，往往也較易上浮至液面頂部。
- (2)水流下沖時會將具有動量的水流帶至杯底，當水流流經球體與容器之間的間隙時，根據康達效應及白努利定律，水流會產生壓力差，造成小球周圍上下壓力不均，致使小球上浮，且流速越大的水流具有的動量也越大，水流易流到杯底，當水流流到杯底後，無處可走，只好向兩側移動，造成水流向上旋

升，帶動小球往上升。當水流速度越大，水中旋渦所具有的動量越多，越易浮升至液面頂部。

(五)探討容器高度對靜水沉物上浮快慢之影響

1.實驗方法：分別將口徑寬度相同但高度不同(高度為 12cm、15cm、28cm、21cm)的圓柱體當作盛水容器，並投入密度為 1.07g/cm^3 的小球，使其於靜水中下沉至杯底。再利用流量計控制水流速度，藉由同步攝影方式量測小球上浮起動時間、直線上浮時間及爬升高度、最大高度，並利用直線上浮時間及爬升高度推算小球上浮速度。

2.實驗結果

<表 4> 容器高度對小球上浮的影響

容器種類		起動時間		上浮速度		最高高度	
容器高度 (cm)	實驗次數	實驗數據 (s)	平均(s)	實驗數據 (cm/s)	平均 (cm/s)	實驗數據 (cm)	平均(cm)
12cm	1	0.47	0.39	18.89	17.73793	9.70	9.7
	2	0.41		17.74		9.70	
	3	0.36		19.00		9.70	
	4	0.37		17.06		9.70	
	5	0.34		16.00		9.70	
15cm	1	0.45	0.504	15.83	15.87419	12.50	12.5
	2	0.51		16.00		12.50	
	3	0.52		15.59		12.50	
	4	0.48		17.19		12.50	
	5	0.56		14.76		12.50	
18cm	1	9.62	9.114	8.89	9.540238	12.70	12.64
	2	8.92		9.50		12.60	
	3	8.56		9.31		12.70	
	4	9.12		9.86		12.60	
	5	9.35		10.14		12.60	
21cm	1	試著以各種不同流速的水流下沖靜水沉物， 分別經過 2 分鐘攝影觀察，水中小球始終不浮動。					
	2						
	3						
	4						
	5						

3. 討論

- (1)由<表 4>可知，容器高度越低，杯中靜水沉物上浮起動時間越短。
- (2)觀察實驗數據發現，容器高度越低，杯中靜水沉物上浮的速度越快。
- (3)由數據表顯示，不管高度 12cm、15cm、18cm 的容器，其內小球均會上浮至液面。

4. 推論

- (1)容器高度越低，水流下沖時所具有的動量較能快速傳遞至杯底，故當水流被帶至杯底時，因為噴嘴效應及白努利定律使得水流流速改變，產生壓力差，致使小球上浮。
- (2)當實驗容器在相同口徑寬度及下沖水流速度相同的情況下，若此容器口徑寬度與小球直徑之間間隙足以使小球上浮至液面，則容器高度的高低對小球上浮至液面較無影響。

三．探討水流速度對靜水沉物上浮快慢之影響

- (一) 實驗方法：取口徑寬度為 6 公分，高度為 12cm 的圓柱體當作盛水容器，並投入密度為 1.07g/cm^3 的小球，使其於靜水中下沉至杯底。再利用流量計控制水流速度，使流量分別為 14 L/m、16 L/m、18 L/m 及 20 L/m。藉由同步攝影方式量測小球上浮起動時間、直線上浮時間及爬升高度、最大高度，並利用直線上浮時間及爬升高度推算小球上浮速度。

(二) 實驗結果

<表 5> 水流流量對小球上浮情形的關係

水流大小		起動時間		上浮速度		最高高度	
水流量 (L/m)	實驗次數	實驗數據 (s)	平均(s)	實驗數據 (cm/s)	平均 (cm/s)	實驗數據 (cm)	平均(s)
12	1	1	0.80	7.26	8.02	9.70	9.70
	2	0.81		7.83		9.70	
	3	0.93		7.50		9.70	
	4	0.57		10.00		9.70	
	5	0.67		7.50		9.70	
14	1	0.46	0.50	15.36	13.09	9.70	9.70
	2	0.6		10.14		9.70	
	3	0.6		14.04		9.70	
	4	0.38		13.33		9.70	
	5	0.44		12.56		9.70	
16	1	0.47	0.39	18.89	17.74	9.70	9.70
	2	0.41		17.74		9.70	
	3	0.36		19.00		9.70	
	4	0.37		17.06		9.70	
	5	0.34		16.00		9.70	
18	1	0.29	0.30	12.46	13.94	9.70	9.70
	2	0.35		17.22		9.70	
	3	0.3		15.00		9.70	
	4	0.27		13.14		9.70	
	5	0.29		11.88		9.70	
20	1	0.28	0.30	21.88	21.29	9.70	9.70
	2	0.27		20.00		9.70	
	3	0.29		22.67		9.70	
	4	0.33		20.56		9.70	
	5	0.32		21.33		9.70	

(三) 討論

1. 對於同一種容器而言，當水流流量高於 16L/m 時，杯子內的小球上浮起動時間越快。
2. 由實驗數據可知，水流流速越大，水中小球上浮的速度越快。

(四)推論

1. 根據流量計算公式：水流量= $A \times v$ ，流速越大，造成的水流量越多。同口徑大小的容器中，若水流的流速過大，產生的水流量也較多，水集中於球體上造成向下的壓力，故水流流速過大，球體不易上浮。而水流流速過小時，水流所具有的動能不易傳遞到杯底的小球，且球體周圍的噴嘴效應亦不明顯，球體周圍水壓力差變化不大，故亦不易上浮。
2. 要使小球要上浮速度變快，就必須在小球周圍產生足夠的壓力差，並使球體周圍的旋渦場流具有較高的動量旋升。當水流速度加大時，水流所具有的高動量能造成這些情況的發生，故水流流速越大，小球上浮速度越快。

陸、結論

- 一、水流流速越大，小球上浮的起動時間越快。
- 二、容器在相同口徑大小時，水流流速為 16 L/m 時球體上浮速度最快。
- 三、水流流速相同時，容器高度越高，則球體越不容易浮起來。
- 四、水流流速相同且容器高度一樣時，容器口徑越大越不容易浮起來。
- 五、容器口徑太大或太小時，起動時間都比較長。
- 六、水流流速相同時，球體在口徑較小的容器中，上浮的速度較快。

柒、未來展望

- 一、探討不同密度的球體與上浮速度的關係。
- 二、探討不同形狀的球體與上浮速度的關係。
- 三、探討不同形狀的容器與球體上浮速度的關係。
- 四、探討容器底部的形狀與球上浮速度的關係。
- 五、可利用我們實驗的結果製作出自動洗水果機，只限於小型水果（蕃茄、葡萄）。

捌、參考資料

- 一、沃克著 葉偉文譯 天下文化 物理馬戲團 I 第二章 2.22 被水拉起來的蛋
- 二、翰林出版社 國民中學自然與生活科技(四) 第六章 第五節 浮力
- 三、陳順強 徐氏文教基金會 費因曼物理學 第四十一章 濕水的流動

評語

031605 水落石出

1. 取材自日常生活中，是個具有物理深度的好題目。
2. 實驗設備的建置完備，數據的量測及分析均頗細心，唯對於其中的物理分析及闡述，不甚正確，可再做進一步的思考。如果可對其中物理做正確的探討，將會是一件很好的作品。
3. 學生態度積極，展示結果的方式生動活潑，值得鼓勵。