中華民國第四十三屆中小學科學展覽會參展作品專輯
高中組

物理科

科別：物理科

組別：高中組

作品名稱：My God!　水也有吸星大法!?

關鍵詞：臨界流速、淨力

編號：040114

學校名稱：

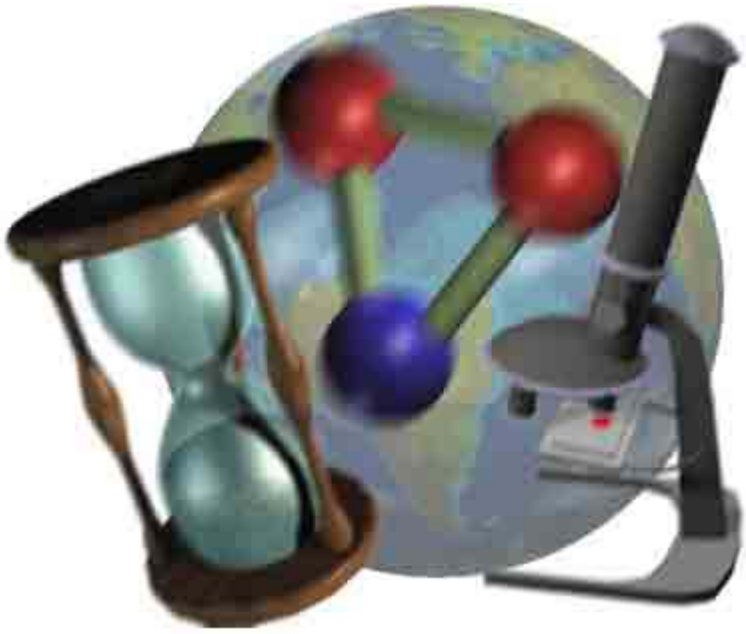
台北市立第一女子高級中學

作者姓名：

許芷瑋、蔡淳宇、林珍岑、劉以旋

指導老師：

陳文盛、黃光照



摘要

置蛋於杯中，水龍頭下沖，流速過啓動，蛋向水面衝

「將蛋放入一盛滿水的杯子，並拿到水龍頭下沖，當水開得夠大時，蛋會上浮出水面，就像被水柱吸起來似的……」我們由「物理馬戲團 1」書中得知此現象後，深感興趣，將其命名曰「水的吸星大法」，並就啓動流速之變因，運動過程之力的消長，及產生此運動之原因做深入研究及探討；欲知詳情如何，請待下文分解……

壹、研究動機

在翻閱「物理馬戲團 1」時，看到了一個這個非常有趣且令人驚奇的小實驗，我百思不解：蛋上方有水柱往下壓的力量，怎麼蛋反而會被「吸」上去呢？起身到廚房，開冰箱拿顆蛋來玩玩看。先是用很小的水沖，再開大一點、再大一點…真的起得來嗎？猛一將水轉大，忽然、忽然蛋就從杯底隨水泡搖搖擺擺地竄了上來，它在水面下掙扎地翻了一滾，然後迎著水柱露出它白白的臉蛋兒！Cool！真的被吸起來了耶！

於是我們四人，便就此和「水的吸星大法」展開一場又一場的鏖戰！

貳、研究目的

一、不同尺寸杯子的使蛋上升的最小流速各不相同。將探討在此最小流速下，杯內流場及蛋的受力情形。

二、不同尺寸的杯子、不同的流速使蛋上升的加速度皆不同，將探討使蛋上升的未知力 $F_{淨力}$ 及運動過程蛋的上下壓力差因杯高及流速如何改變？

三、探討使蛋上升的原因。

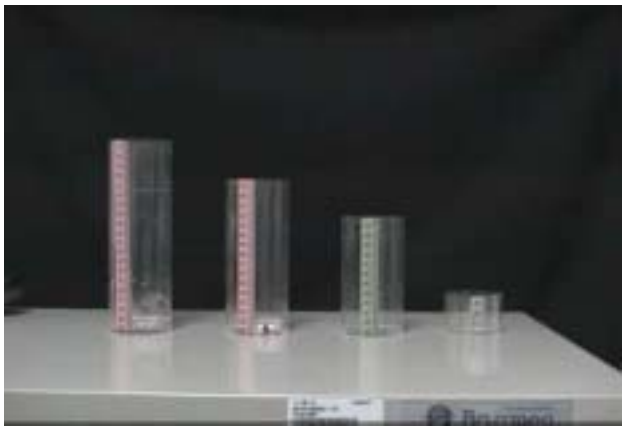
參、研究設備器材

一、透明壓克力長筒杯

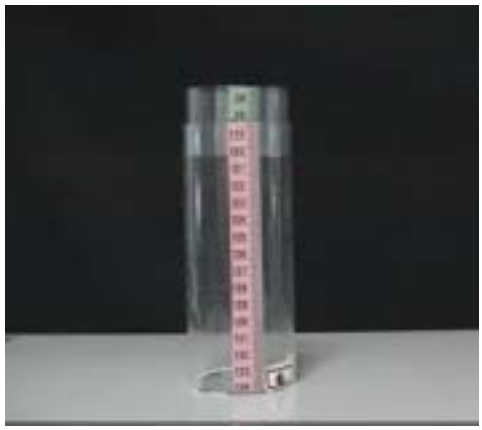
(一)一組直徑同爲 6cm，長度分別爲 12、16、20cm 的杯子

(二)一個增加高度用的投影片圈(2cm)。

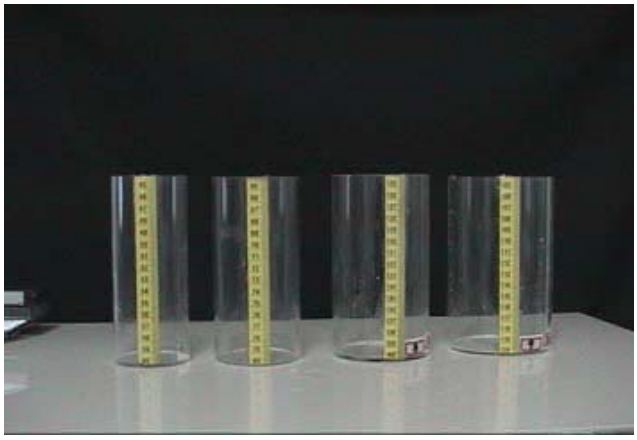
(三)一組同高度爲 20cm，直徑分別 6、7、8、9、10cm 的杯子。



不同高度杯組以及投影片圈



使用投影片圈以增加杯高



不同寬度的杯組

二、流速測量

(一)電子流量計

(二)2L 量杯(校正用)

三、自動化實驗系統(自製)

(一)小型抽水馬達(30L/min)

(二)水管

(三)調節伐(調節馬達進水量)　一個

四、流場觀測

(一)雷射槍

(二)CCD

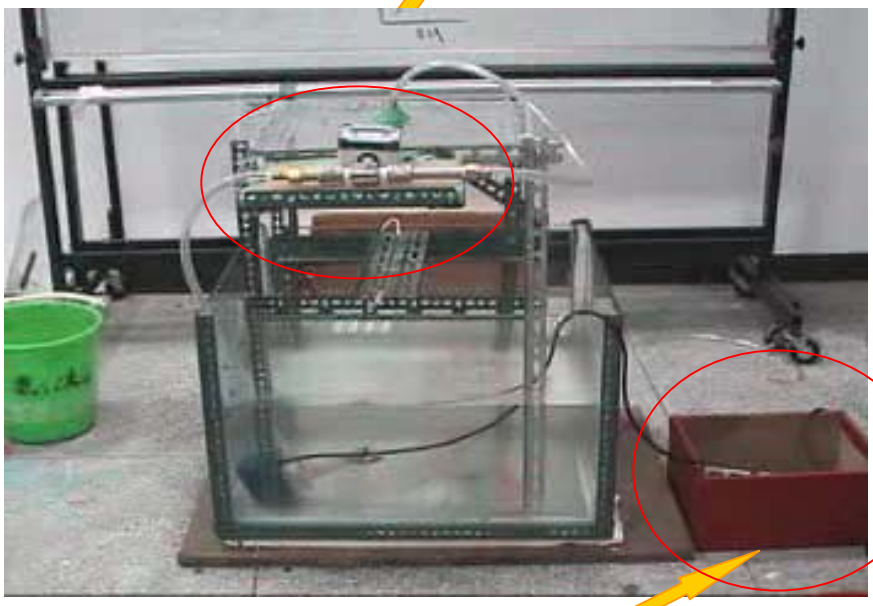
五、電子設備

(一)DV　　拍攝實驗過程加以分析

(二)軟體 VideoStudio(會聲會影)　擷取圖片

自動化實驗系統(自製)：

電子流量計：單位 L/min
(公升/每分)
接在系統上，與出水口維持等高度，避免誤差。



開關：啓動電源，整個系統就能自己啓動。

肆、研究過程或方法

實驗一：探討流速與使蛋上浮的力之關係

固定杯子尺寸，在不同流速下進行實驗，用 DV(每秒３０張)拍下整個蛋上升的過程。

實驗二：探討杯子高度與使蛋上浮的力之關係

以一組直徑同爲 6cm，不同高度的杯子，在相同流速下實驗，拍下整個蛋上升的過程。

數據處理：

一、慢速撥放 vcd，以微小秒數爲間隔，擷取各單位距離變化，換算成各點的平均加速度，求得各點的平均力。

杯中各點力ΔF 的變化：

每兩點的距離代入 X-X0/t，算出平均速度，再把各點求出的 V 代入 V-V0/t，算出各點的平均 a，將各點所求出的 a，再代入 F＝ma 公式(已知蛋質量 m＝0.053Kg)，F=各點的平均力。

二、測出蛋從底部上升至杯頂的過程中所需的秒數，換算成平均淨力。

以蛋上升過程的平均加速度代入 S=Vot+1/2at2

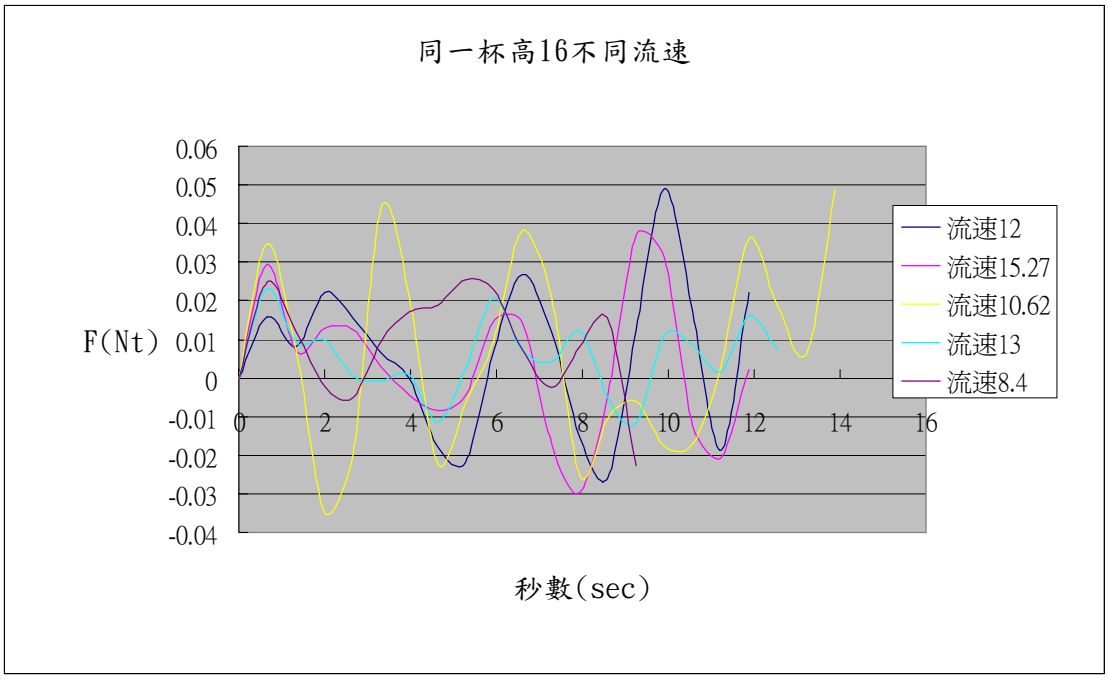
(距離 s ＝杯高 h　Vo 爲 0　t 爲蛋從杯底上浮出水面的時間)

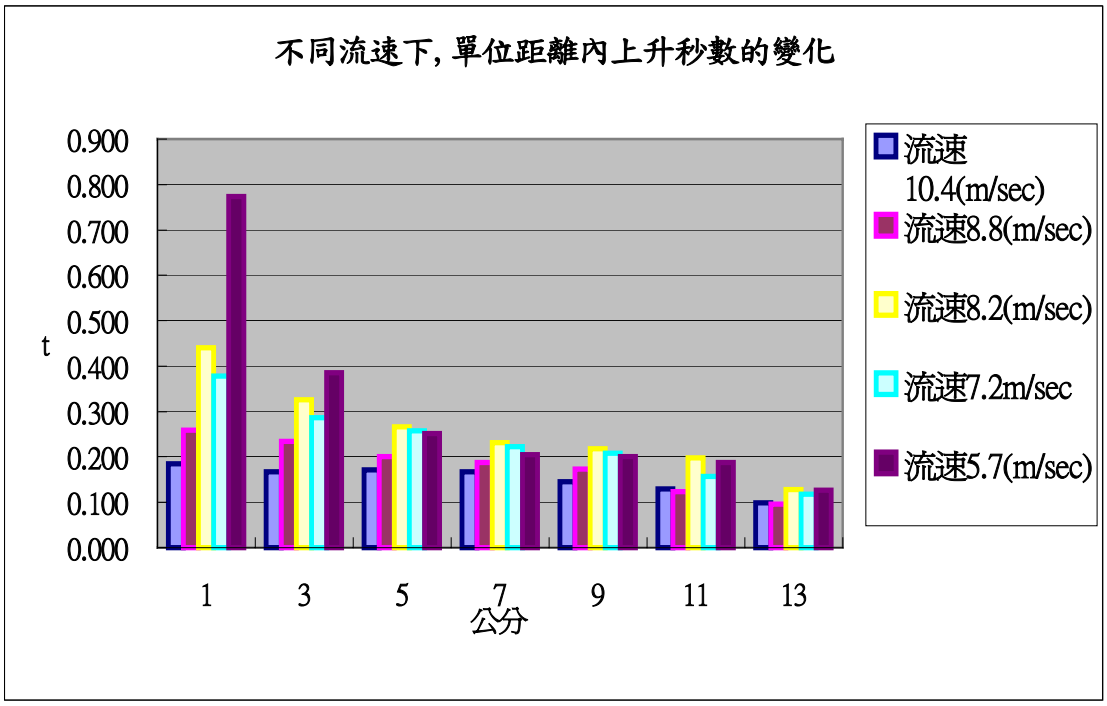
實驗三：流場觀察

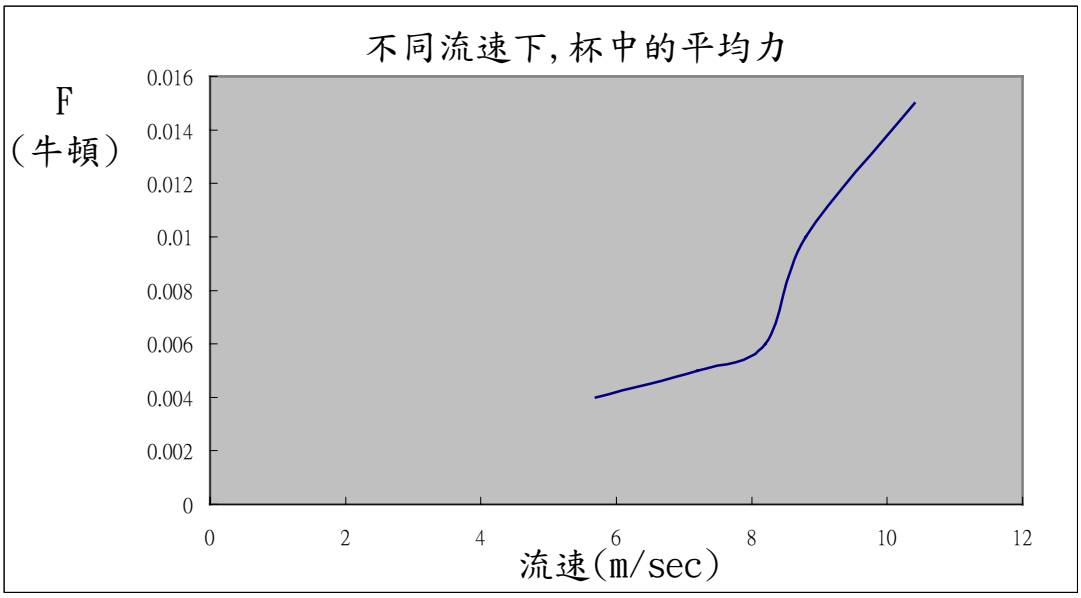
以不同直徑、高度杯子，打雷射，用 CCD 拍攝觀察流場。

伍、研究結果

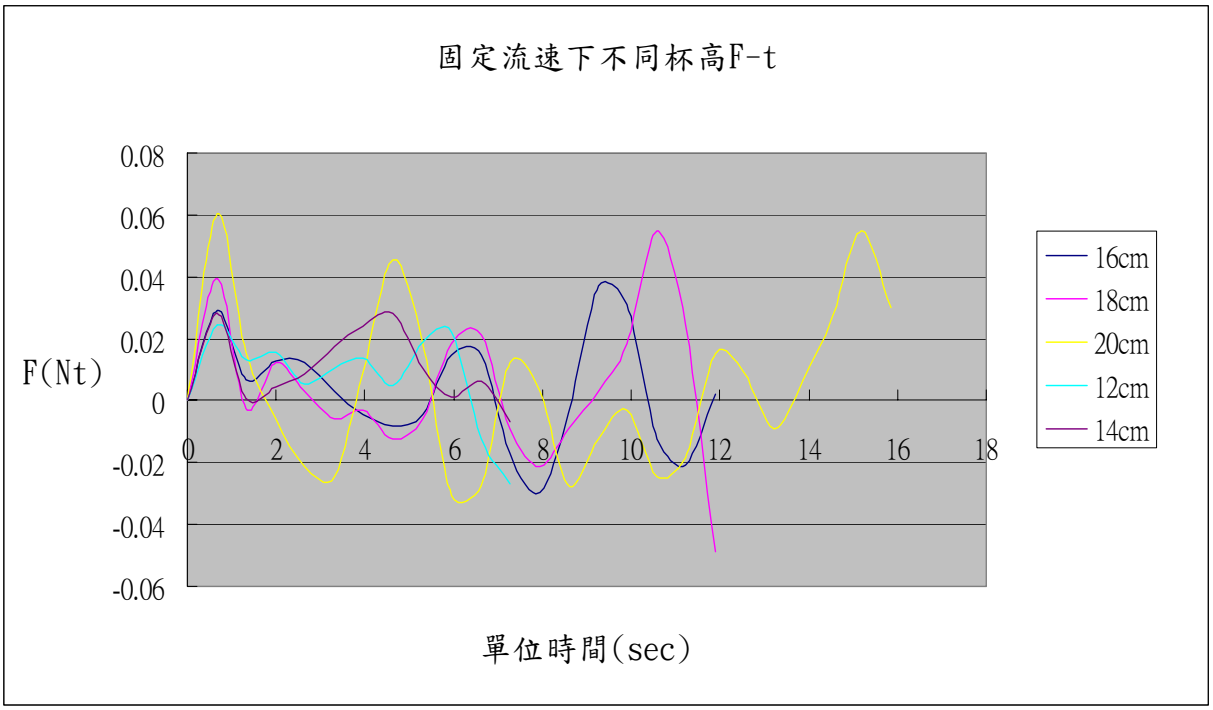
實驗一：探討流速與使蛋上浮的 F 之關係（同一杯子高 16cm 直徑 6cm）

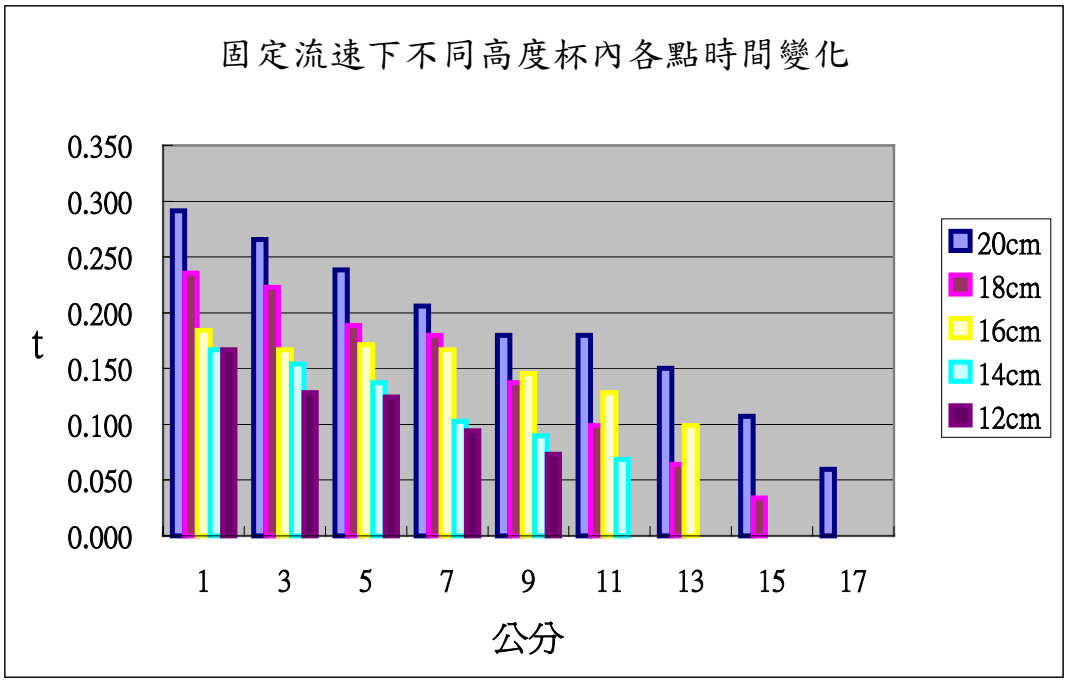


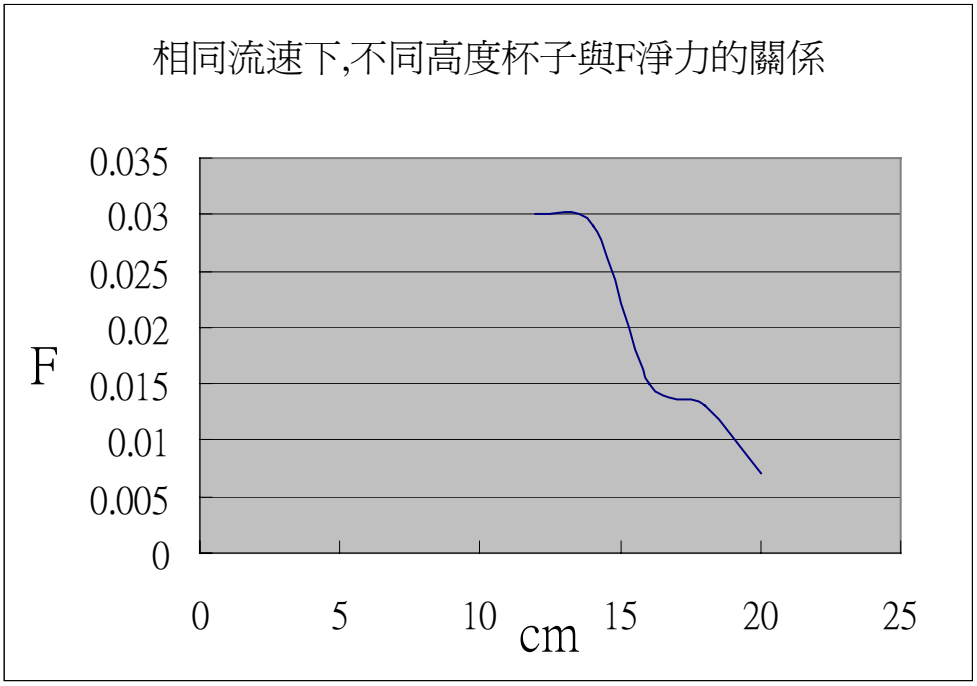




實驗二：探討杯子高度與使蛋上浮的 F 之關係

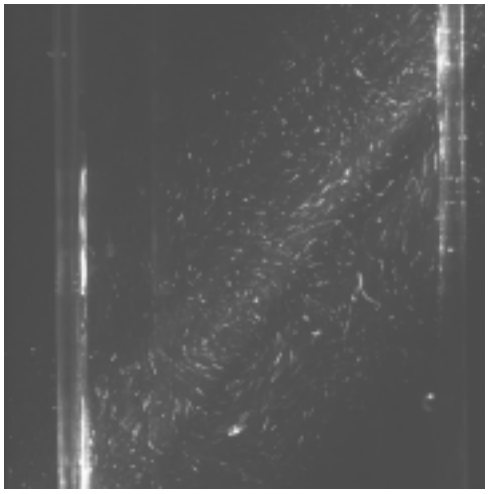



固定流速下不同高度杯內各點時間變化
0.350
0.300
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
t
1
3
5
7
9
11
13
15
17
公分
20cm
18cm
16cm
14cm
12cm


相同流速下,不同高度杯子與F淨力的關係
0.035
0.03
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
F
0
5
10
15
20
25
cm

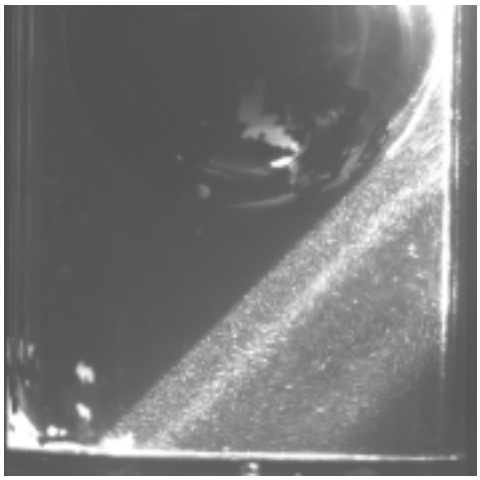
實驗三：流場

一、杯中無蛋的情況

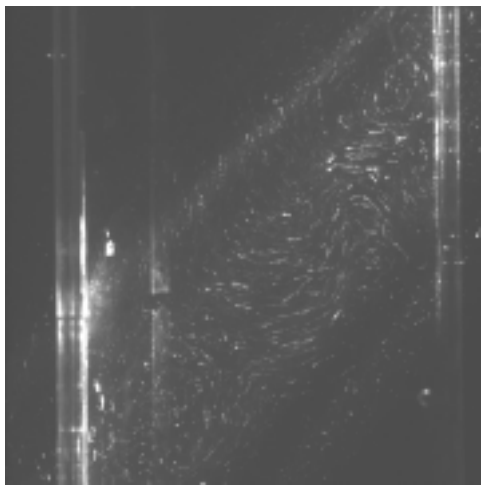


觀測：流場非常混亂，有許多不穩定的渦

二、蛋在杯中所造成的流場(以球代替)



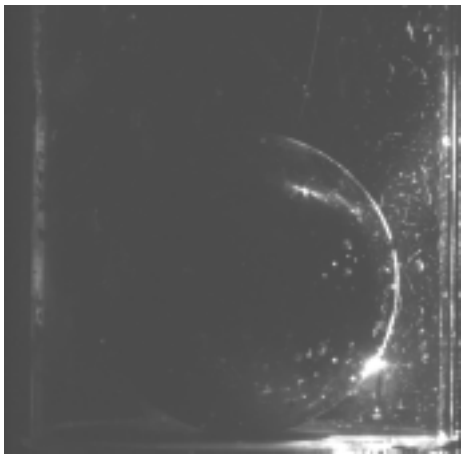
蛋在杯子中間



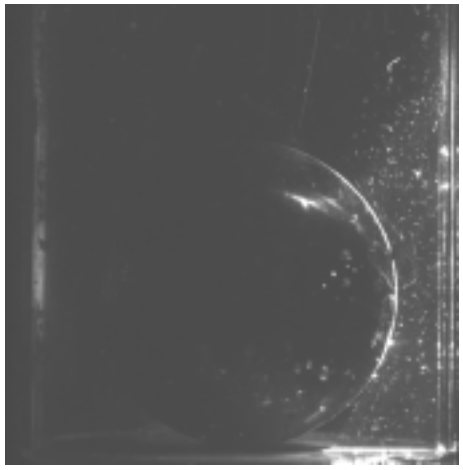
蛋在杯頂

觀測：但在杯中不同位置，所產生的流場皆不一樣，所以整個蛋的上升過程，流場時時刻刻在改變。直到蛋浮升到杯子最頂端，此時流場才爲一穩定狀態。

三、蛋置於不同截面積杯中



直徑 6cm

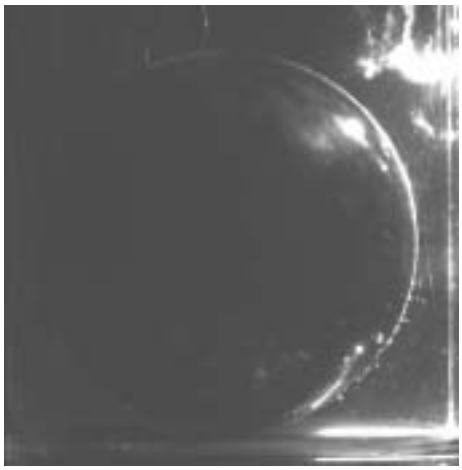


直徑 7cm

觀測：圖片中的運動軌跡是每 33m/sec.所走長度，軌跡愈長，流速愈快。
由圖可看出直徑 6cm 裡的運動軌跡較長。

四、不同杯高在啓動流速(能使蛋上升所沖的最小流速)下的流場

杯高 16cm



杯高 20cm

觀測：發現在最窄間隙時，軌跡長短差不多，代表速度差不多。可知要使蛋上升，較窄間隙的速度爲一定值。此爲臨界流速。

陸、討論

一、力的現象之探討：實驗證實，流速愈快、杯子高度愈低，蛋上浮出水面所需的秒數愈少，使蛋上浮的平均淨力愈大且運動過程中蛋的上下壓力差愈大。而這些壓力差使蛋在杯中的運動速度呈現不穩定變化，此爲蛋上升過程杯中持續變化的流場所造成。

二、不同位置所產生的流場：蛋在杯中不同位置所產生的流場都不一樣，其中蛋下方流場固定是兩個對稱且由中間向外旋的渦。這兩個渦帶動蛋往上浮升，同時又產生一連串流場的變化，直到蛋浮升出杯頂達到平衡時流場穩定下來。

三、蛋上升的原理：由於水流是從蛋跟杯壁的間隙穿過流入底部，又因蛋的弧形與杯壁形成先漸縮、後漸闊的間隙。根據實驗結果配合連續方程式[1]，水在此一流向杯底的過程中，因截面積的縮小，使水流加速後具有較高動量，又因蛋的表面爲一曲面，根據康達效應[2]，這些具有較高動量的水容易被帶置杯底，同時因流速變慢，動能漸減，釋放出壓力能[3]，水流也因無路可走而往上旋升，造就了水的吸星大法。

四、截面積與噴嘴效應：根據對不同截面積杯子做的流場觀察，我們也發現當截面積愈大，蛋與杯子的間隙也愈大，相對的先漸縮、後漸闊的現象也愈不明顯。在累積動能不足的情況下，蛋無法浮升處水面。也因爲蛋四周所形成的壓力極不對稱，使蛋在杯中沈浮翻滾。

五、臨界流速：水要能把蛋往上帶，就必須產生足夠的壓力能，這些壓力能的產生來源又跟向上旋升水的動能有密切關係。水的動能來自於噴嘴效應，由實驗也看出來某一間隙速度對

---

[1] $A_1V_1=A_2V_2$

[2] 流動的流體會貼著曲面移動

[3] $PV+1/2mv^2+mgy$=定值

蛋殼表面產生的壓力能剛好足以支持蛋往上升起。在蛋的質量、體積、密度皆固定的情況下，不論截面積、流速、杯高，此一間隙速度爲一定值，也就是傳說中的 Vc。

柒、結論

蛋會上升，是因爲杯中流場賦予蛋的上壓力大於下壓力。杯中流場的強弱，又會受水的流速，杯子高度，杯子截面積影響，在這些不同條件的交互作用下產生的間隙加速度，還有水流到達杯底時動能壓力能的轉換，爲蛋受上壓力大於下壓力的主要來源，是產生水的吸星大法的原因。

評語

本作品探討的對象是沉水的蛋，在下冲水柱作用下會往上浮的現象，題目選擇頗爲有趣。惜與教材的相關性相去稍遠，分析現象的推論合理，但欠深入。整個團隊的現場表達生動而合作無間。