

2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱：孤對漩渦觀察實驗

一、摘要

本研究探討水中半渦環的性質以及各因素對半渦環運行軌跡與型態的影響。我們設計實驗裝置，量化施加水面的力並產生渦環；其次調整實驗裝置，深入探究各因素對於渦環的影響，錄下水面情形並以軟體 Tracker 進行分析。我們觀察到巨觀下兩個漩渦大致以等速度前行，而在微觀下，水面上的漩渦出現週期性振盪運動的現象。另外，在觀察漩渦運行時，發現兩組渦環靠近時有重新組合排列，並以另一方向移動的現象。

二、探究題目與動機

曾看到一個影片，影片中人員用盤子在游泳池水面上滑過，水面便出現兩個圓圈向前運動。其原理為盤子在水面上移動時，將水推開並形成了一股向外的力，使水形成了渦環，水面上兩個圓圈為此渦環的二端。然而對於此現象的研究資料仍十分缺乏，因此我們欲透過研究更好地理解渦環產生的現象，並探究這個神奇現象的未解之謎。

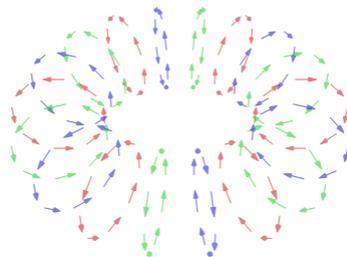
三、探究目的與假設

- (一) 由實驗探討渦環性質。
- (二) 架設能夠產生渦環裝置，且能量化施加於水面的力度。
- (三) 探討施予不同大小力度對半渦環運行的影響。
- (四) 探討兩組漩渦靠近後對於運動軌跡與型態的影響。

四、探究方法與驗證步驟

(一) 渦環

渦環是流體中的圓環狀渦流，在垂直於環平面的方向上移動，常見於液體和氣體的湍流中。典型渦環流體粒子圍繞一個垂直於路徑的假想核心，以圓形的路徑移動。靠近核心的部分流體速度較其它部分流體速度快，且大部分的渦度以及能量耗散都會集中在核心附近。(如圖(一))

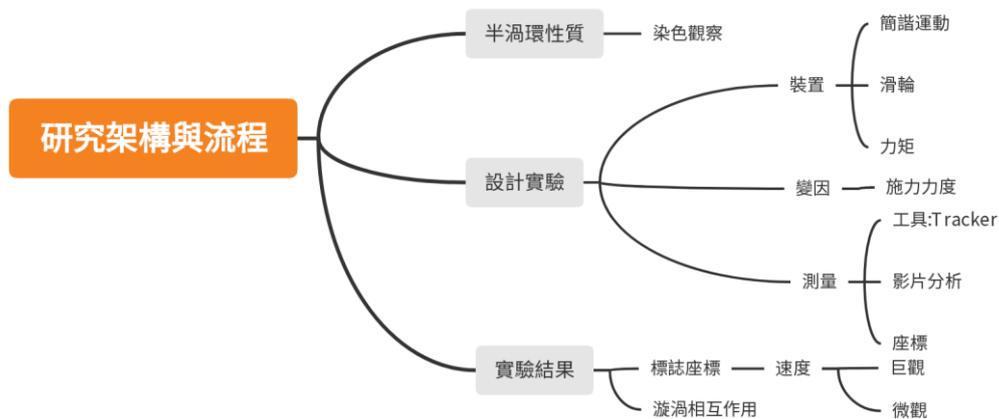


圖(一) 理想渦旋運行極向圖(資料來源:Wikipedia)

快速移動的流體被排放到靜止流體中時，兩種流體之間的界面處會施加剪切力，使快速移動的流體的外層減慢，流動被迫以渦流片形式捲曲，使靜止流體運動並形成渦環(Wikipedia, n.d.)。

使用盤子在游泳池水面上滑過時，水面產生中心水流加快，而水中阻力使中間水流產生剪切力並轉向後運行。因水高度位能關係，水流由後向前流動，使水流旋轉並產生渦環。因不同水速區域間摩擦力，使其渦環向前運行。渦環在兩介質間時將以水面為分界，於水下產生半渦環。

(二) 研究架構



圖(二) 研究架構與流程

(三) 驗證渦流性質

透過在水池上用光碟片撥動水面，形成兩個渦旋，將色素滴於水面上的二個渦旋上，觀察色素暈染情形。

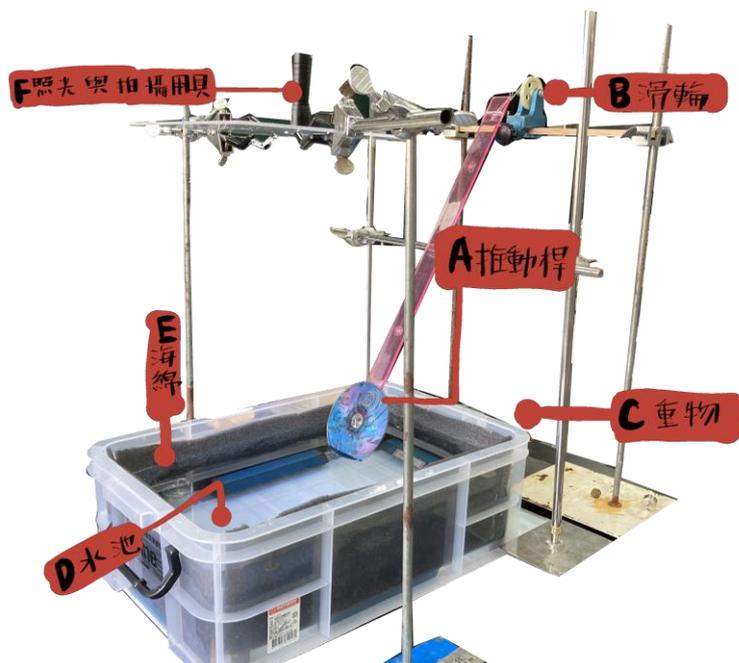


圖(三) 水中色素暈染情形

圖(三)為漩渦染色後，我們觀察到水中色素暈染成半圓狀、圓弧朝水底的通道。可推知透過外力撥動可產生一個半圓的渦環，二個渦旋為渦環的兩端，色素能透過渦流線傳遞至另一端。

(四) 設計實驗

1. 裝置架設



圖(四) 實驗裝置架設圖

如圖(四)，我們落下重物(C)，由滑輪(B)對推動桿(A)產生力矩，使浸入水池(D)水面的光碟片撥動水面，形成渦環。以提高實驗準確與信賴性，在水池(D)周圍使用海綿(E)以吸收漩渦運行時產生的反射波。以下為各裝置詳細敘述：

- (1)水池(D)與海綿(E)：水深 13 cm，方格紙墊於水池下以方便觀察，水池周圍使用了海綿(E)並以重物固定。
- (2)照光與攝影用具(F)：水池左右各放一支架，高 58 公分處架設壓克力放置手機與手電筒。
- (3)推動桿(A)：兩邊支架於 43 公分高處架設橫桿，將棉線、吸管和光碟片分別貼於排尺的前中後端，將橫桿放入吸管後歸位。
- (4)推動裝置(B)(C)：推動桿支架後方 18.6 cm 處放兩支架，59 公分高處架設橫桿並架設滑輪，將棉線繞過滑輪，棉線尾端放置砝碼，底下放置海棉緩衝。

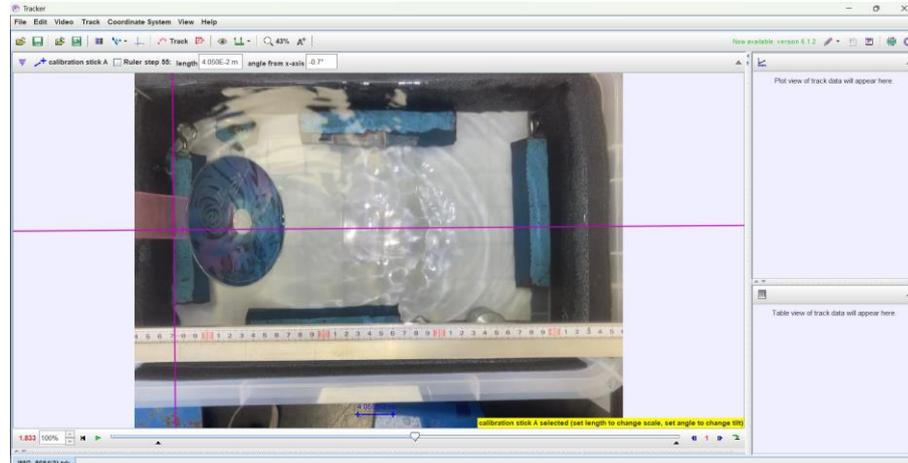
2. 實驗操作

- (1)調整光碟深度以及砝碼重量，將排尺壓於起點裝置歸零。
- (2)將重物懸空，以手持著。

- (3)鬆開握著重物的手，使推動桿滑動產生渦環。
- (4)觀察水中渦環運行並以影片紀錄下來。

3. 影片分析

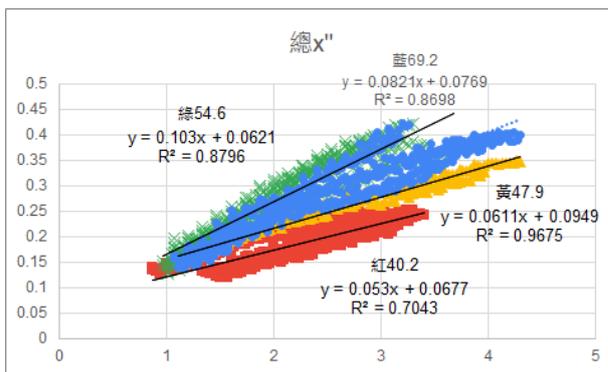
如圖(五)·透過軟體 Tracker·對於各個漩渦標記每幀所在位置與座標·並且透過資料分析探討結果。



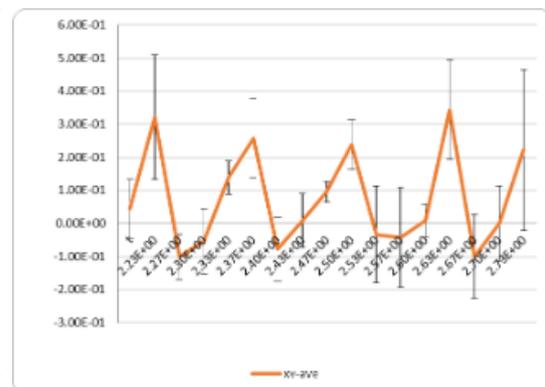
圖(五) Tracker 影片分析軟體使用圖

(五) 探討施加力度對半渦環運行的影響

表(一) 實驗組別圖				
編號	A	B	C	D
重物質質量(g)	40.2	47.9	54.6	69.2



圖(六) 各組位移對時間趨勢圖



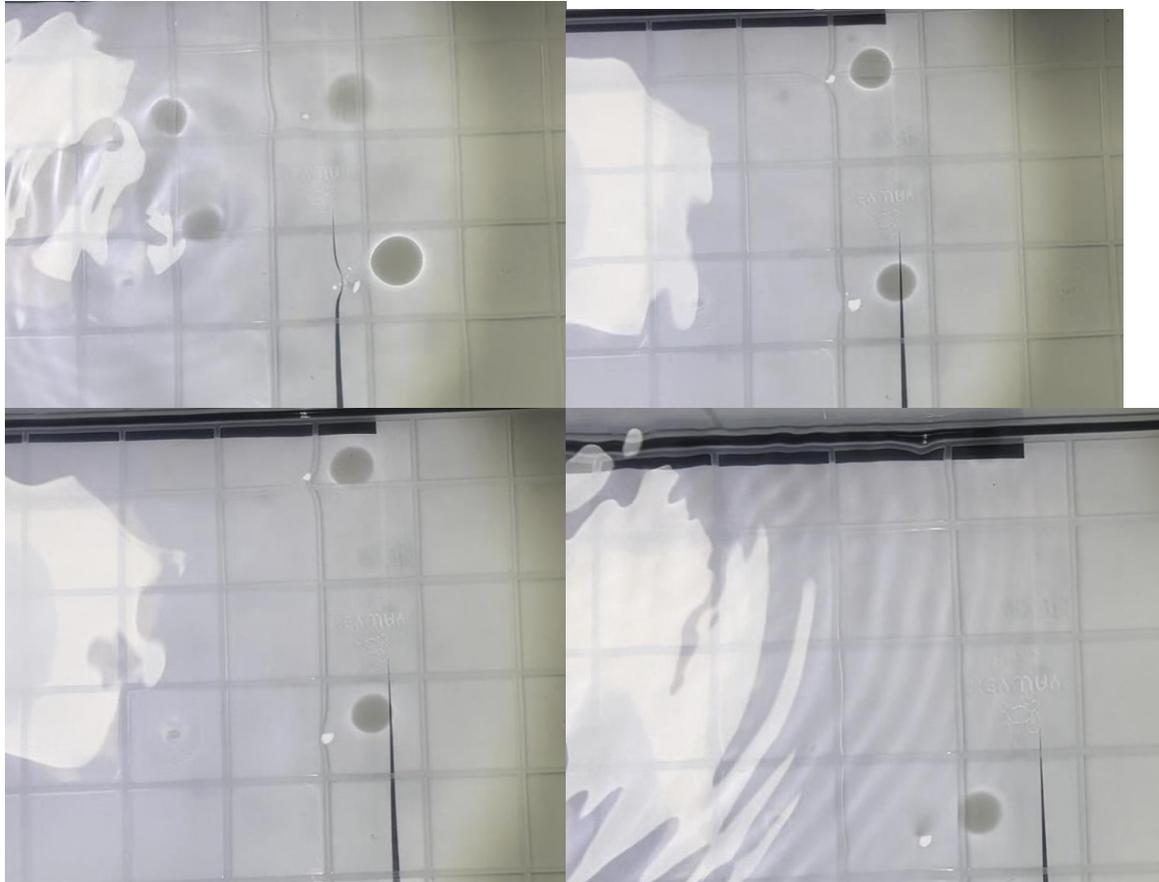
圖(七) 各組??速率對時間變化趨勢圖

如表(一)·依照這些砝碼重量的改變影響施予水面的力度·使用軟體紀錄漩渦位置·結合每組數據·計算其位移·如圖(六)所示。另外依照計算速率·如圖(七)。

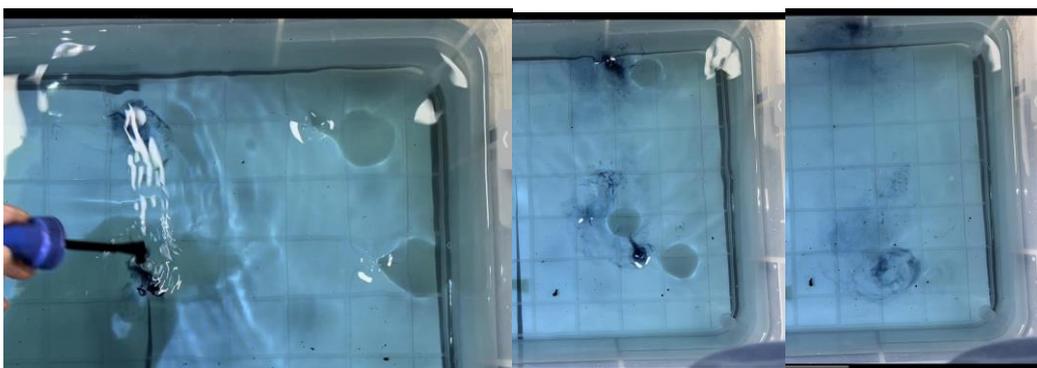
如圖(六)，我們發現位移趨勢每組大致為線性上升，以 R^2 值高證明此線性關係具有信賴與參考價值。

如圖(七)，我們發現其速率呈現鋸齒狀趨勢。

(六) 兩組漩渦靠近後對於運動軌跡與型態的影響



圖(八) 渦環相撞情勢圖(1)



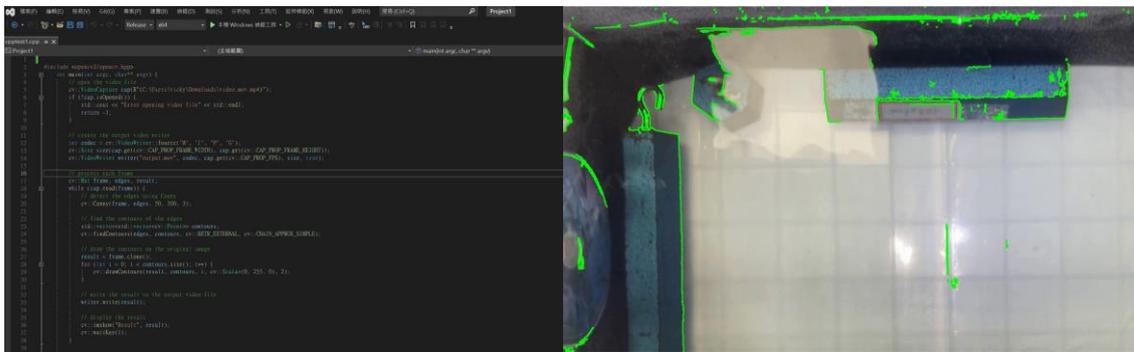
圖(九) 渦環相撞情勢圖(2)

如圖(八)與圖(九)為二組實驗，由水池兩邊撥動，形成二個渦環並以方向相對移動，觀察其渦環型態影響。從二圖中，我們觀察到兩個渦環相撞時，渦環兩端與另一渦環的鄰近端合併，並改為原軌跡的垂直方向，向外擴散移動。

五、結論與生活應用

我們對於實驗結果的解釋為渦環於巨觀下以等速度前行，微觀下游渦速度有振盪(鋸齒狀趨勢)的現象。由施力強度對渦流行進速度影響的實驗中，我們的研究結果顯示重量雖增加漩渦前進速度的趨勢，然而部分組別不符合此現象。從兩漩渦干涉觀察結果顯示，當二個渦環相撞時，彼此將重新組合並以垂直方向分離。

針對未來研究方面，以更有效率地偵測並標示紀錄渦環位置，可以使用機器深度學習渦環的偵測並製作演算法模型，利用電腦程式，如模組 OpenCV(如圖(十))，偵測影片中漩渦位置並追蹤軌跡。



圖(十) OpenCV 與 CPP 程式操作偵測示意圖

參考資料

Vortex Ring. (n.d.). Wikipedia. https://en.m.wikipedia.org/wiki/Vortex_ring

Bubble Ring. (n.d.). Wikipedia. https://en.m.wikipedia.org/wiki/Bubble_ring

Glezer, A., & Coles, Donald. (1990). An Experimental Study of a Turbulent Vortex Ring. *Journal of Fluid Mechanics*, 360, 243 – 283. <https://doi.org/10.1017/S0022112097008410>

Physics girl. (2014, November 23). Crazy Pool Vortex. Youtube.

https://www.youtube.com/watch?v=pnbJEg9r1o8&ab_channel=PhysicsGirl

Morteza gharib, Edmond rambood, & Karim shariff. (1998). A Universal Time Scale for Vortex Ring Formation. *Journal of Fluid Mechanics*, 360, 121 – 140.

<https://doi.org/10.1017/S0022112097008410>

S. kida, Masanori takaoka, & Fazle hussain. (1991). Collision of Two Vortex Rings. *Journal of Fluid Mechanics*, 230(-1):583-646. <https://doi.org/10.1017/S0022112091000903>