

屏東縣第66屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：流光飛視～頻閃效應下的水滴逆流現象

關 鍵 詞：頻閃效應、視覺暫留、水滴逆流

編號：A2025

目 錄

摘要.....	1
壹、研究動機.....	2
貳、研究目的.....	2
參、研究架構.....	3
肆、研究設備及材料.....	4
伍、研究過程、結果與討論.....	5
【研究目的一：探討水滴逆流的 科學原理 】	5
【研究目的二：研發水滴逆流 實驗裝置 】	7
【研究目的三：比較 不同光的閃爍頻率與水流速度 對水滴逆流現象的影響】	10
陸、研究結論.....	25
柒、參考文獻.....	26
捌、附錄.....	27

流光飛視～頻閃效應下的水滴逆流現象

摘 要

本研究探討頻閃效應下的水滴逆流現象，首先了解水滴逆流與頻閃效應及視覺暫留的關係，接著利用頻閃燈與蠕動泵設計並組裝水滴逆流實驗裝置。實驗前先測量頻閃燈的閃爍頻率與水流速度，再比較不同條件下水滴流動情形。研究結果如下：

- (一)當光的閃爍頻率為 2Hz、14Hz、26Hz 時，不論水流速度為 5~20ml/s，皆未出現水滴逆流現象。
- (二)當光的閃爍頻率提高至 40Hz 與 60Hz 時，在水流速度 10~20ml/s 的情況下，可觀察到水滴逆流的現象。
- (三)當水流速度過慢(5ml/s)，即使閃爍頻率提高，難以形成明顯的水滴逆流效果。
- (四)水滴逆流的視覺現象與光的閃爍頻率及水流速度的配合有關。

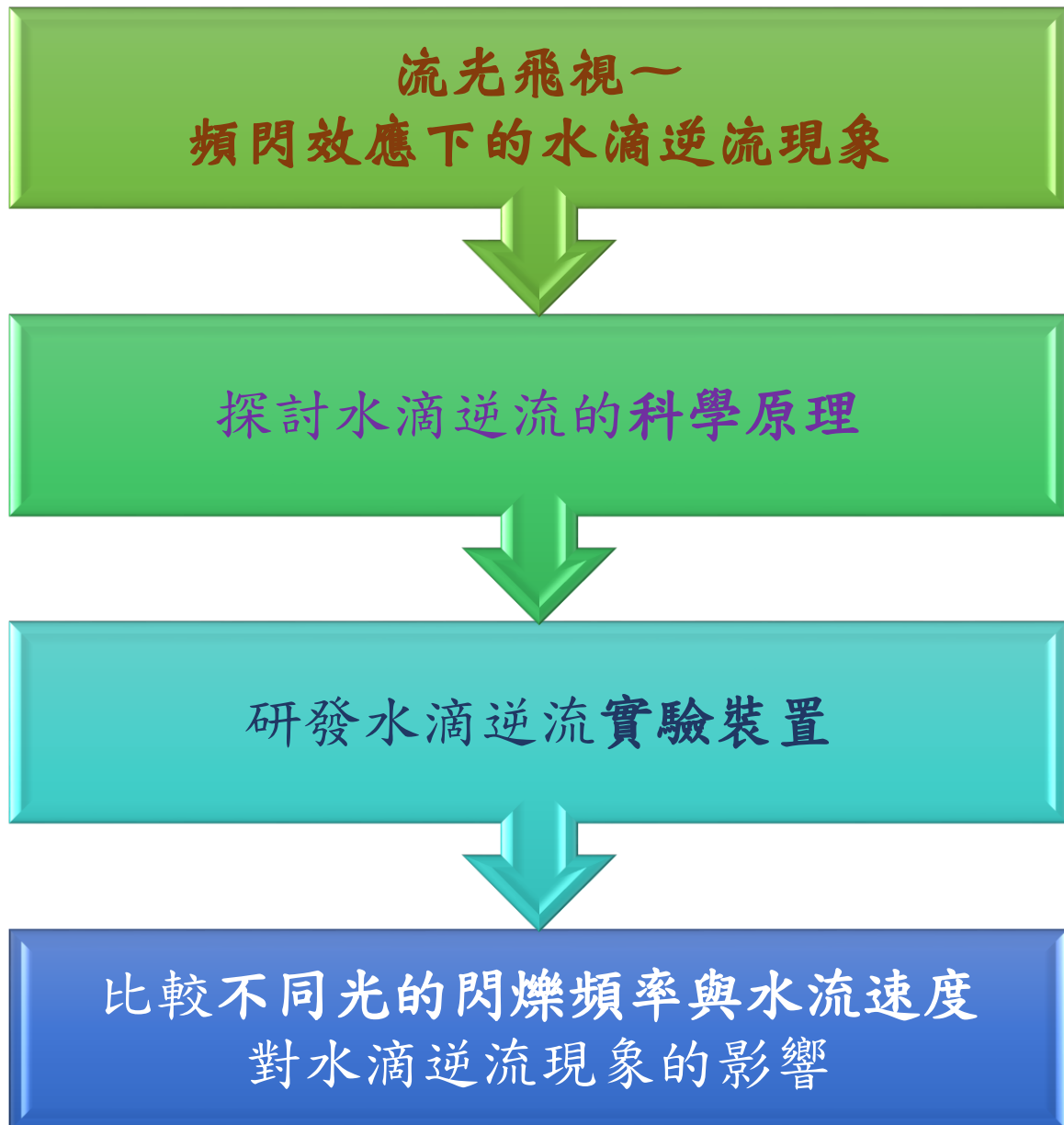
壹、研究動機

畢業旅行到台灣科教館參觀時，我們無意間發現一個有趣又神奇的裝置。裝置中的水滴竟然會違背地心力引力，慢慢地往上移動，看起來就像在空中飄浮一樣！這不可思議的景象立刻吸引了我們的目光，大家既驚訝又好奇。看著水滴反方向移動，我們心中冒出許多疑問：水滴為什麼不會掉下來？那個一閃一閃的燈光有什麼作用呢？為了了解其中的原理，我們決定以這個現象作為探討的主題，透過查詢相關資料並親自製作實驗裝置，嘗試模擬出這個奇妙的視覺效果。

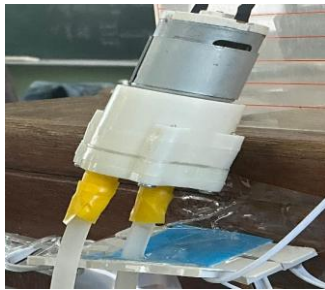
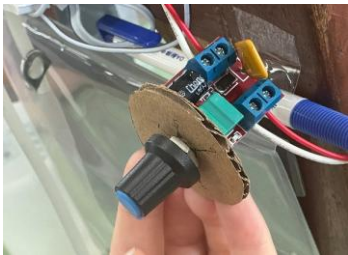
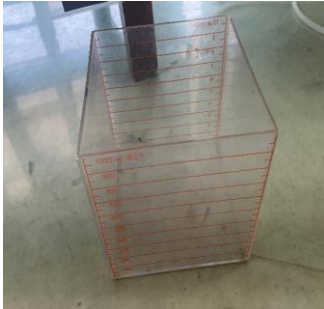
貳、研究目的

- 一、探討水滴逆流的**科學原理**
- 二、研發水滴逆流**實驗裝置**
- 三、比較**不同光的閃爍頻率與水流速度**對水滴逆流現象的影響

參、研究架構圖



肆、研究設備

名稱	頻閃燈	頻閃燈調速器	蠕動泵
用途	製造快速閃燈	調整頻閃燈的速度	製造水流
照片			
名稱	蠕動泵調速器	資料夾、黑紙	原子筆
用途	調整水流速度	當作水流的背景板	固定頻閃燈
照片			
名稱	椅子	10*10*10 塑膠方盒	1000ml 量杯
用途	支撐頻閃燈及蠕動泵	接住蠕動泵流出的水流	裝讓蠕動泵需要的水
照片			

(以上照片皆為組員拍攝)

伍、研究過程與結果討論

【研究目的一：探究水滴逆流的科學原理】

我們透過網路搜尋與影片觀察，發現水滴逆流是一種非常神奇的視覺現象。在特定的裝置中，水滴看起來就像是違抗了地心引力，靜止懸浮在空中，甚至緩緩地「由下往上」移動，但那並不是水滴真的改變了運動方向。在「欺騙眼睛的頻閃效應，閃光燈照射下落的水滴，有趣的現象發生了」影片中，作者在裝置下方放置一個杯子，這個杯子可以正常接住水(圖1-1)，證明水滴實際上始終是規律地向下掉落。

「Reverse Water Fountain」這段影片中說明，這種讓人嘖嘖稱奇的現象，主要是利用了「頻閃效應」所產生的視覺錯覺。人的眼睛只能捕捉到物體在被照亮那一瞬間的畫面，而當閃光燈閃爍的頻率與物體運動（如水滴下落）的頻率產生特定比例時，大腦就會將這些片段的畫面串聯起來，形成物體靜止或反向運動的錯覺。這個現象與人類視覺系統的「視覺暫留」密切相關。

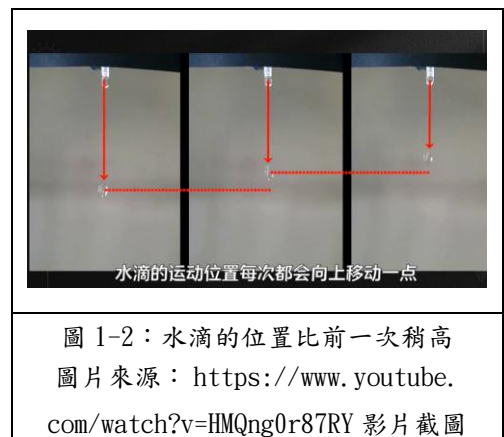
以下分別說明「頻閃效應」及「視覺暫留」的原理。

一、頻閃效應

頻閃效應是指在固定頻率閃爍的光源下，觀察循環運動的物體時，產生靜止或反向運動的錯覺。就像電影畫面的採樣頻率（每秒幾張照片）與物體動作不匹配時，會看到馬車輪逆著轉的現象。在水滴逆流實驗中，若閃光頻率略低於水滴下落的頻率，每次閃光捕捉到的水滴位置都會比前一次「稍高」一點(圖1-2)；大腦將這些連續靜態畫面連結後，便形成水滴「向上逆流」的假象。

二、視覺暫留

視覺暫留指的是當影像光刺激消失後，影像仍然會短暫停留在視網膜上，而與下一張影像「重疊」的現象。這種現象使我們能夠將一系列靜態畫面視為連續運動，而不是單獨的圖片。因此當影像的光刺激消失後，影像仍會短暫停留在視網膜上（約1/16秒），這種現象能將前後兩張不連續的靜態畫面在腦中產生「重疊」，讓我們把斷斷續續的閃光畫面，串聯成流暢且連續的動態過程，進而深信水滴正在「逆流」。



水滴逆流其實並不是違反地心引力的現象，而是由「頻閃效應」和「視覺暫留」共同造成的視覺錯覺。透過調整燈光的閃爍頻率與水滴下落的速度，就可以讓水滴看起來像是靜止、向下移動，甚至逆流。

【研究目的二：研發水滴逆流實驗裝置】

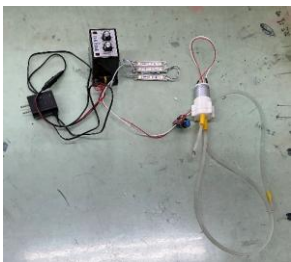
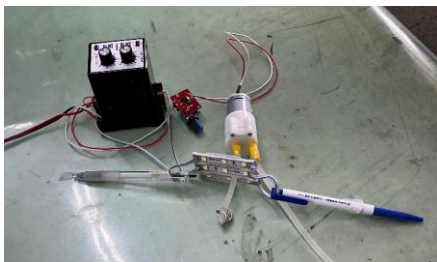
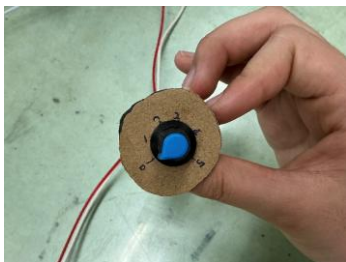
一、實驗器材準備

為了成功模擬水滴逆流，我們查詢資料發現閃光頻率必須達到每秒60次（60Hz），且水流必須呈現穩定的連續狀態，才能產生水滴逆流現象。我們在電子專賣店老闆的專業建議下，閃光的部分使用能產生有效規律閃爍的「頻閃燈」，水流部分則使用能調節流量的「蠕動泵」，並將兩個裝置完成電路組裝(圖2-1)。

二、實驗裝置設計、組裝

觀察影片發現，水流必須位於光源中心，水滴逆流的觀察效果會最好。頻閃燈是由一個控制頻率的主機和三個燈組成，因此我們先取下一個燈，將蠕動泵的出水管固定在另外兩個燈的前方，再把取下的燈裝回去，讓蠕動泵出水管剛好位於三個燈的中央。為了讓燈具保持穩定，我們在燈的兩側黏上兩枝原子筆固定，避免頻閃燈傾斜。(圖2-2)

因蠕動泵調速器的旋鈕，沒有呈現刻度，無法確定每一次開啟的水流量，所以我們在蠕動泵調速器的旋鈕下方自製紙板刻度(圖2-3)，用來確保每次實驗都能將旋鈕調至固定的位置，使水流量相同，讓實驗條件保持一致。

		
圖 2-1： 頻閃燈與蠕動泵	圖 2-2： 頻閃燈與蠕動泵的出水管	圖 2-3： 蠕動泵調速器自製紙板刻度

(以上照片皆為組員拍攝)

想要觀察水滴逆流，水流從上到下需要有一段高度差，因此必須將頻閃燈和蠕動泵出水管架設在較高的位置，首先，我們把一張椅子放在桌子上，並在椅面上放一個邊長10公分的正方形盒子，當作蠕動泵的支架。因為頻閃燈連接蠕動泵的電線太短，我們在頻閃燈調速器下方放置三個正方形盒子以及一個長方形盒子，讓頻閃燈與蠕動泵的高度比較接近。

我們發現蠕動泵的出水管太長，如果讓水管直接垂直向下，水流觀察的空間會變得很小，也不方便操作，因此我們把出水管剪短到約15公分，並在水管前端加上一個易拉環，讓水管的位置能夠固定，這樣也能讓水流保持穩定。

由於椅子的支架會干擾水流觀察視線，我們把兩張白紙黏在一起，遮住椅子的桿子，讓水流的觀察能更明顯。以上完成第一版實驗裝置設計與組裝。(如下頁圖2-4)

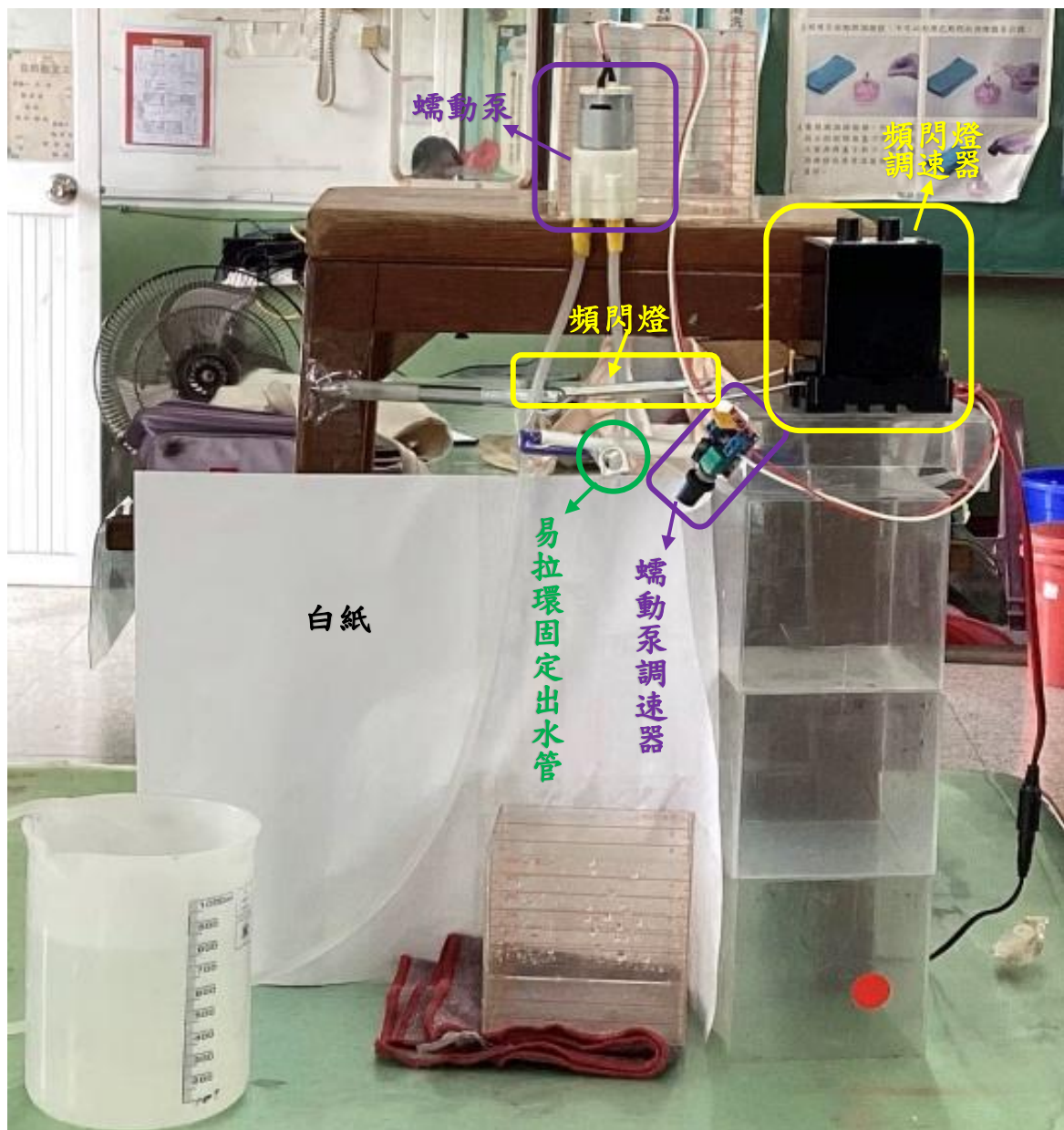


圖2-4：第一版實驗裝置(照片為組員拍攝)

三、實驗裝置調整與改良

第一版實驗裝置完成後，我們發現裝置上使用了太多的膠帶黏貼，影響整體視覺效果，因此決定重新調整設備位置，並減少膠帶的黏貼痕跡。我們把頻閃燈調速器直接放到椅面上，靠近蠕動泵的位置，並把原本用來墊高的正方形盒子和長方形盒子全部移開。

幾次實驗測試之後，後方當作背景的白紙，很容易被水噴濕，而且水流的狀況看得不是很清楚，因此我們改用黑色紙張當作背景，並用透明資料夾固定，解決紙張會被水淋濕的困擾，也讓水流看起來更加明顯。

在測試過程中，我們發現兩個資料夾夾住黑紙時，中間會出現一條接縫線，這條線會影響觀察水流的觀察，因此我們把兩個資料夾稍微重疊一部分，讓接縫線移到水流旁邊，避免影響實驗觀察。至此完成第二版實驗裝置改良。(圖2-5)

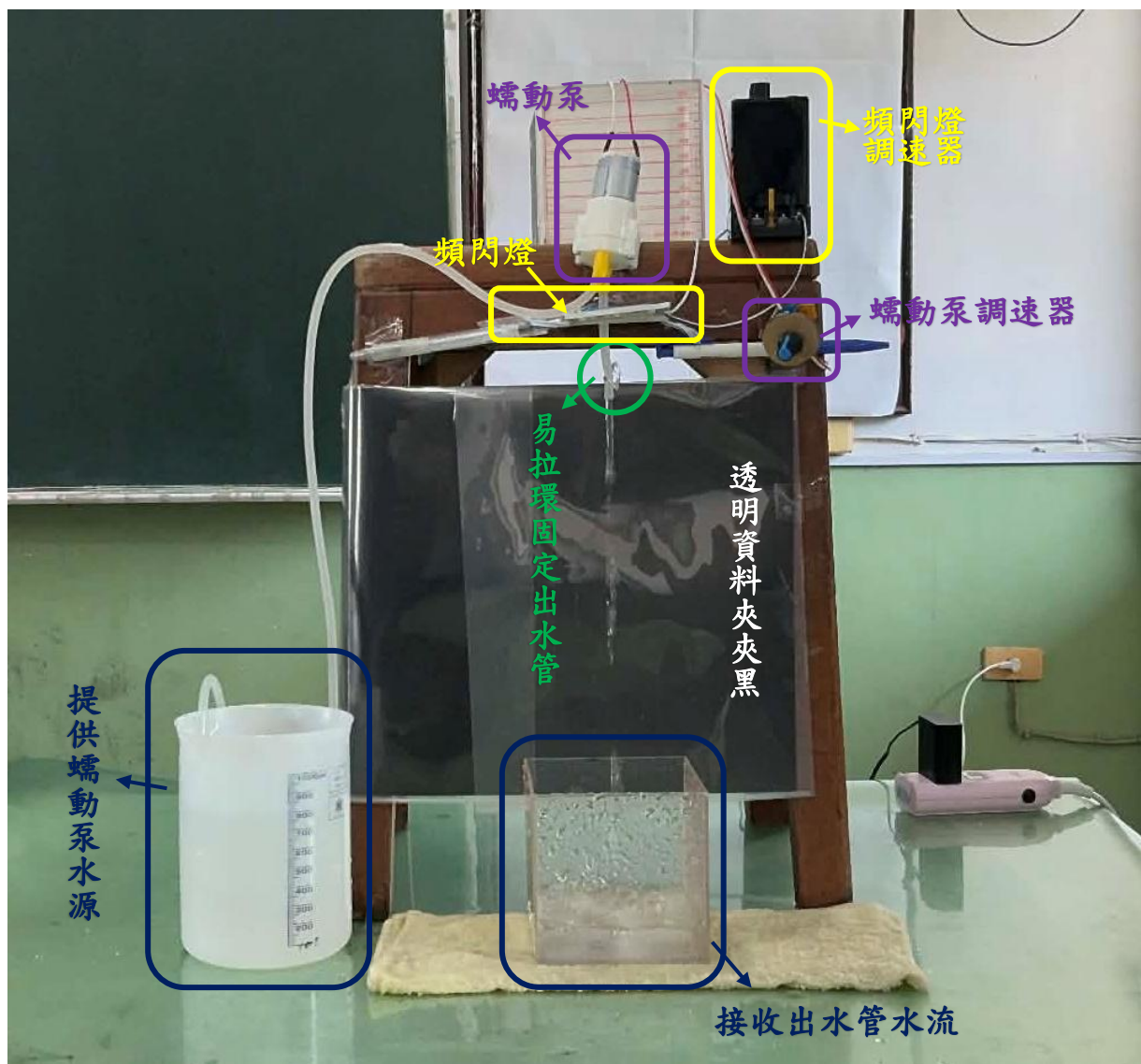


圖2-5：第二版實驗裝置(照片為組員拍攝)

【研究目的三：比較不同光的閃爍頻率與水流速度對水滴逆流現象的影響】

一、研究說明

在本研究中，我們想了解水滴為什麼會看起來像「向上逆流」。因此，在正式實驗前，我們先計算兩個重要的條件：頻閃燈每秒閃爍的次數（閃爍頻率），以及蠕動泵水流的速度。接著，再調整不同的閃爍頻率與水流速度，觀察水滴在何種條件下會達到視覺上的逆流。

二、頻閃燈閃爍頻率計算

（一）閃爍頻率計算過程

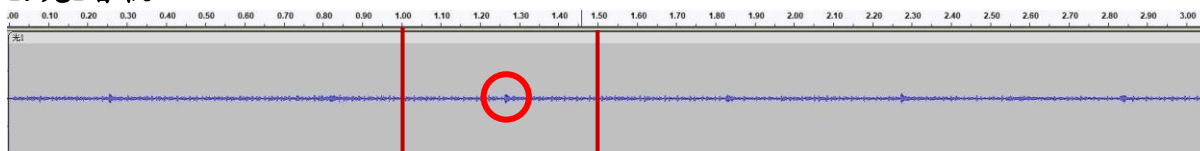
我們發現頻閃燈在閃爍時會發出規律的聲響，因此決定以「聲音」的方式來測量頻率。

1. **鬧鐘聽音計時法**：我們用平板的鬧鐘計時功能，試著在1秒內用耳朵判斷聲音出現了幾次。但當頻閃燈頻率調快後，聲音會連成一片，耳朵根本無法分辨次數，容易產生誤差。
2. **節拍器對位法**：利用音樂課常用的節拍器來比對聲音的節奏，藉此找出閃爍的頻率，實際測試後，發現測得的數據落差很大，結果不太穩定，決定改用其他方法。
3. **語音備忘錄觀察法**：使用平板的「語音備忘錄」將聲音錄製下來，希望能透過觀察聲音波形的「突起點」來計數。但語音備忘錄的波形圖太過簡略，精細度不足以讓我們準確計算，因此我們又嘗試新的方法。
4. **專業音軌分析法**：我們上網搜尋到一款聲音編輯軟體 Audacity ，將音檔匯入軟體後，音軌能夠清晰地呈現。我們設定了五個不同的頻閃燈閃爍頻率，用平板分別錄製10秒鐘的機器運轉聲音，再把錄音檔匯入聲音編輯軟體，藉由計算固定時間內音軌凸起的次數，推算出頻閃燈在幾秒內閃爍了幾次，進而計算出它的閃爍頻率。

（二）閃爍頻率計算結果

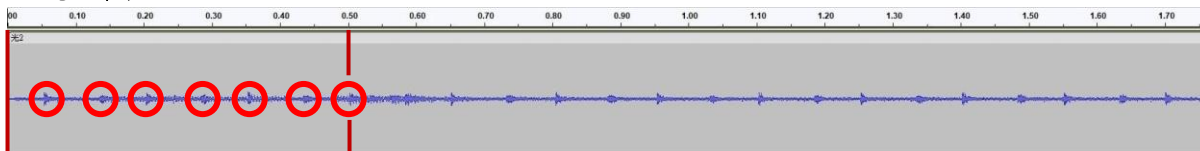
為了方便在實驗過程中進行記錄與說明，我們依照頻閃燈閃爍速度由慢到快，將不同的閃爍頻率分別命名為光1、光2、光3、光4、光5。這樣在進行實驗與討論結果時，可以更清楚地區分不同的閃爍條件，也能讓實驗紀錄更加簡單明瞭。

1. 光1音軌



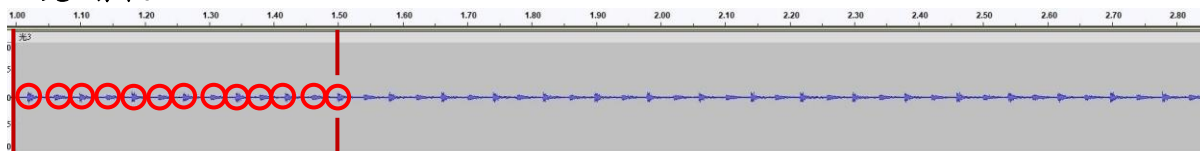
計算說明：1秒到1.5秒共有1個凸起音軌， $1 \times 2 = 2$ ，所以每秒2下

2. 光2音軌



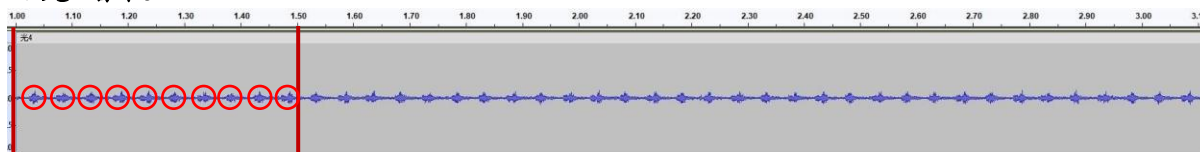
計算說明：0秒到0.5秒共有7個凸起的音軌， $7 \times 2 = 14$ ，所以每秒14下

3. 光3音軌



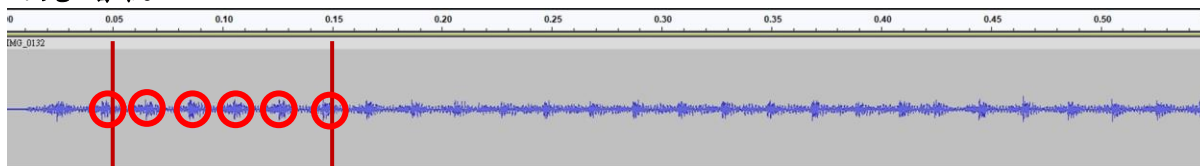
計算說明：1秒到1.5秒共有13個凸起的音軌， $13 \times 2 = 26$ ，所以每秒26下

4. 光4音軌



計算說明：1秒到1.5共有20個凸起的音軌， $20 \times 2 = 40$ ，所以每秒40下

5. 光5音軌



計算說明：0.05秒到0.15秒共有6個凸起的音軌， $6 \times 10 = 60$ ，所以每秒60下

本實驗所設定的頻閃燈閃爍頻率整理如下表：

光速代號	光 1	光 2	光 3	光 4	光 5
頻率 (Hz)	2	14	26	40	60

(以上圖片皆為組員以螢幕截圖方式取得)

三、蠕動泵水流速度計算

為了能精確控制水流速度，我們對蠕動泵調速器進行了「刻度改造」，並透過排水法計算出每一級的流速。

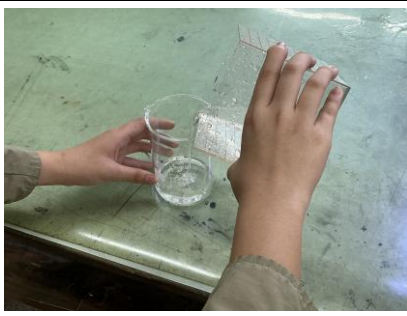
(一)自製水量調速盤

我們利用紙箱剪出一個圓形紙板，在中央挖出適合調速器的孔洞後，拆下旋鈕套入紙板再重新組裝。我們在紙板上以圓的角度為基準，平均畫出「刻度1」到「刻度5」。轉旋鈕開關啟動前會有「咖」的一聲，這個位置我們將它設定為刻度1，然而這個刻度並不會使蠕動泵流出水來，因此是從「刻度2」作為實驗起點。為了方便記錄，我們將「刻度2」重新定義為實驗中的「水1」，依此類推。

(二)排水法測量流速

為了克服手動轉旋鈕與按計時器的時間差，我們設計了一個「預跑機制」：

1. 先讓水流出100毫升。
2. 當水流剛好到達100毫升的瞬間，按下計時器並計時10秒。
3. 時間到後讀取總水量，扣除原本的100毫升，就是10秒的精確出水量。

		
先讓水流出 100 毫升	按下計時器並計時 10 秒	測量總水量

(以上照片皆為組員拍攝)

(三)蠕動泵水流速度計算結果

經過反覆測試，我們發現出水量呈現穩定的變化，每往上一個刻度，10秒的出水量大約會增加50毫升。

本實驗所設定的水流速度整理如下表：

水速代號	水 1	水 2	水 3	水 4
流速 (ml/s)	5	10	15	20

四、實驗步驟

- (一)將頻閃燈調速器旋扭轉至對應的實驗頻率。
- (二)調節蠕動泵調速器至對應的水速。
- (三)動態攝影10秒鐘並觀察記錄水滴流動情形，再進行連拍記錄。

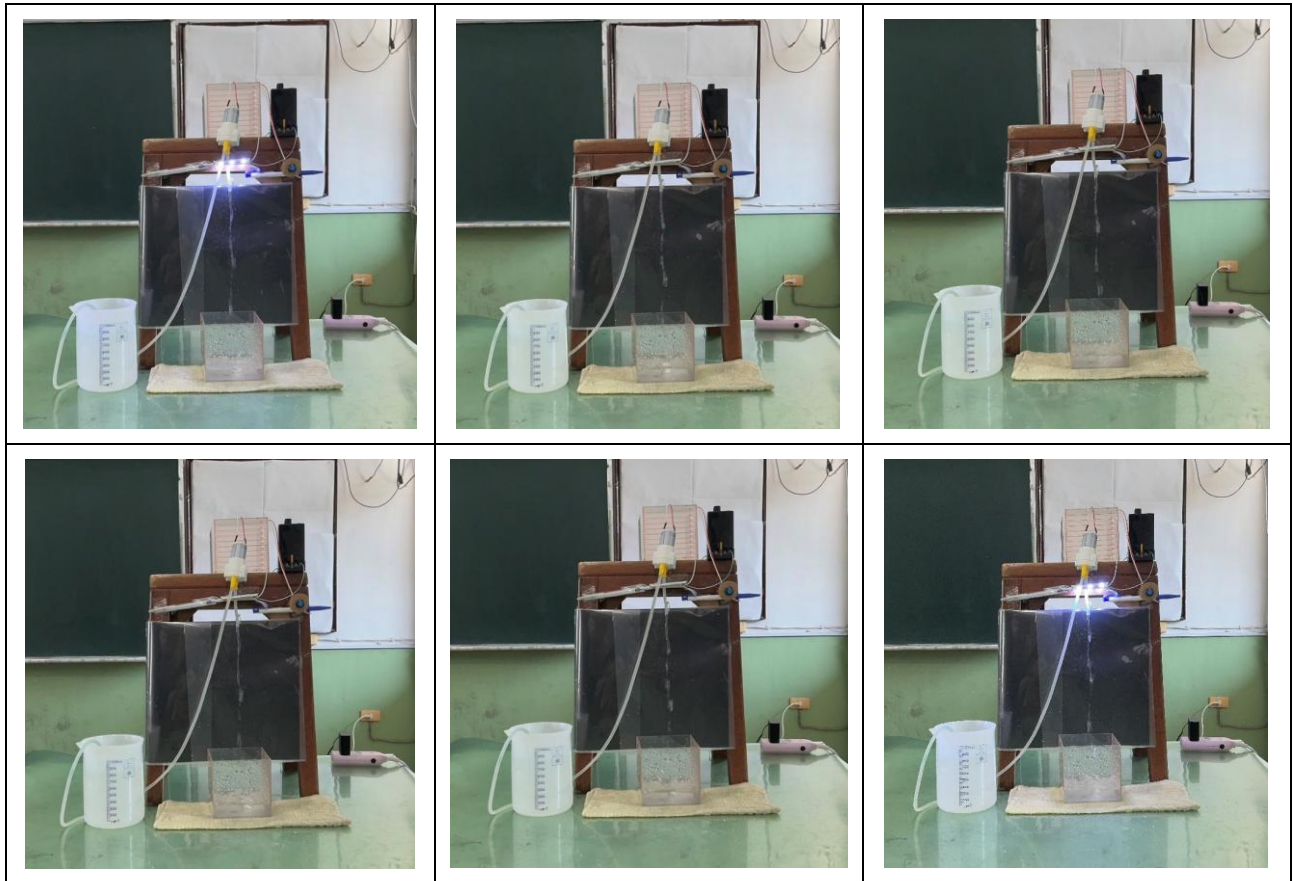
從頻閃燈光1的頻率開始，分別配合4種不同水速(水1～水4)進行實驗。完成後將頻閃燈調整至光2，繼續進行實驗，依此類推。



組員分工合作進行實驗與記錄

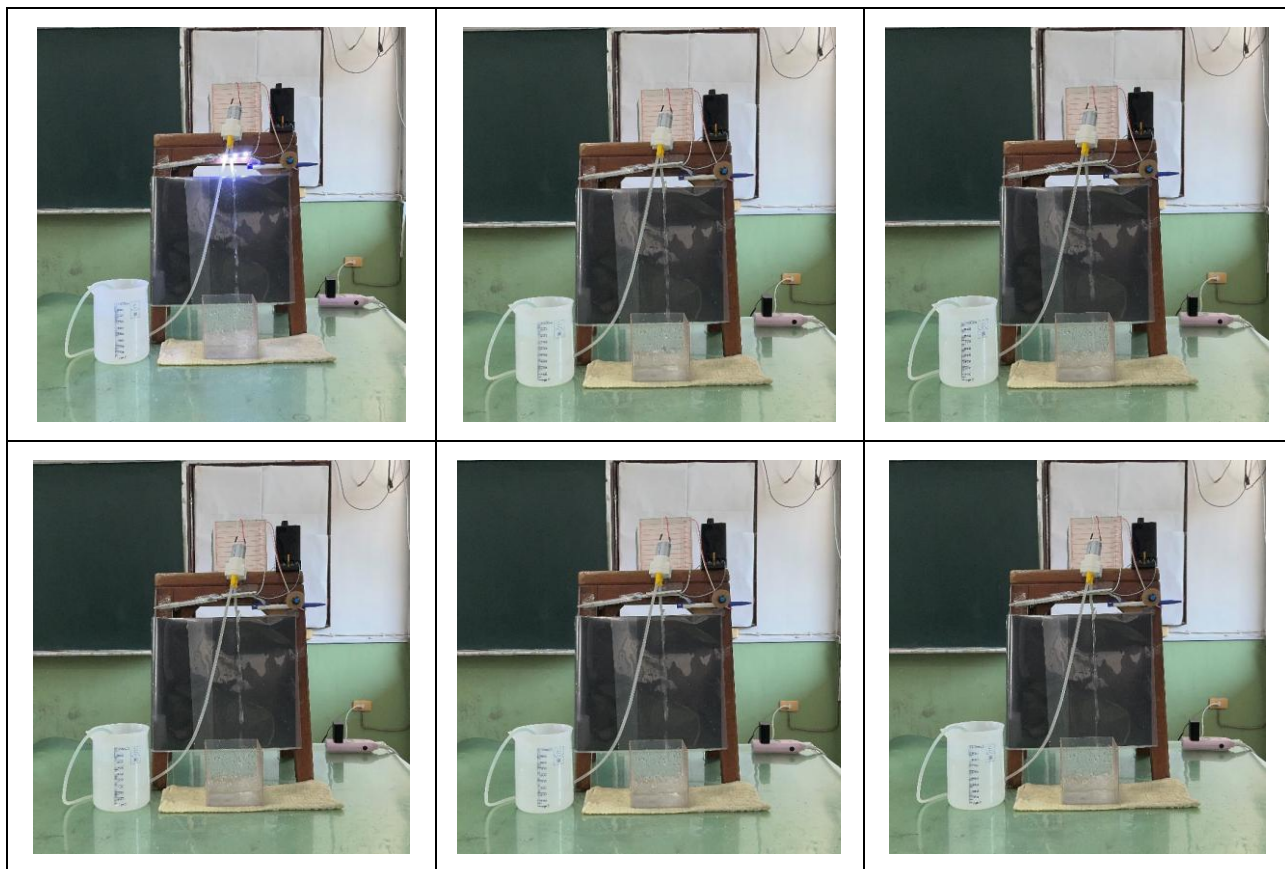
五、實驗結果

- (一)光1水1水滴連拍照片

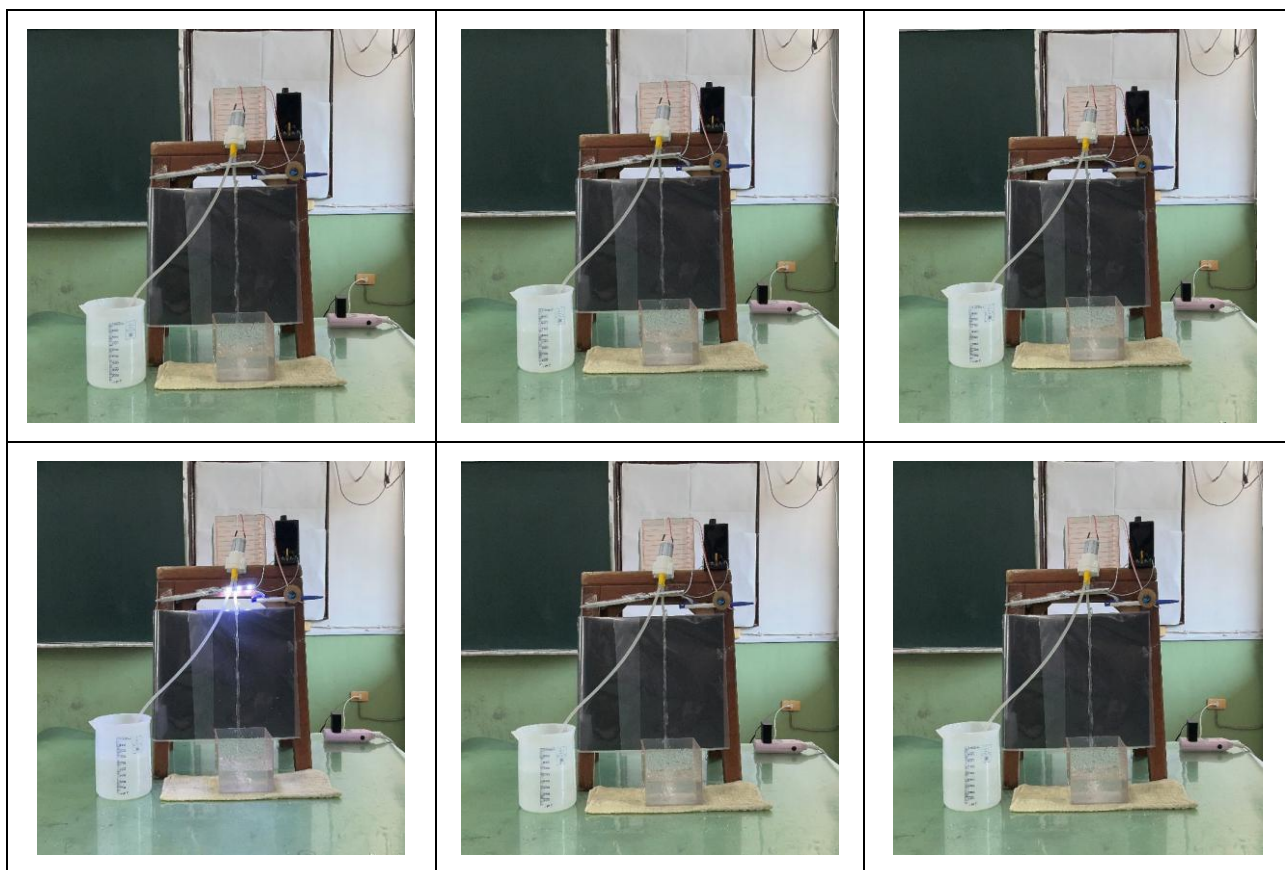


(以上照片皆為組員拍攝)

(二)光1水2水滴連拍照片

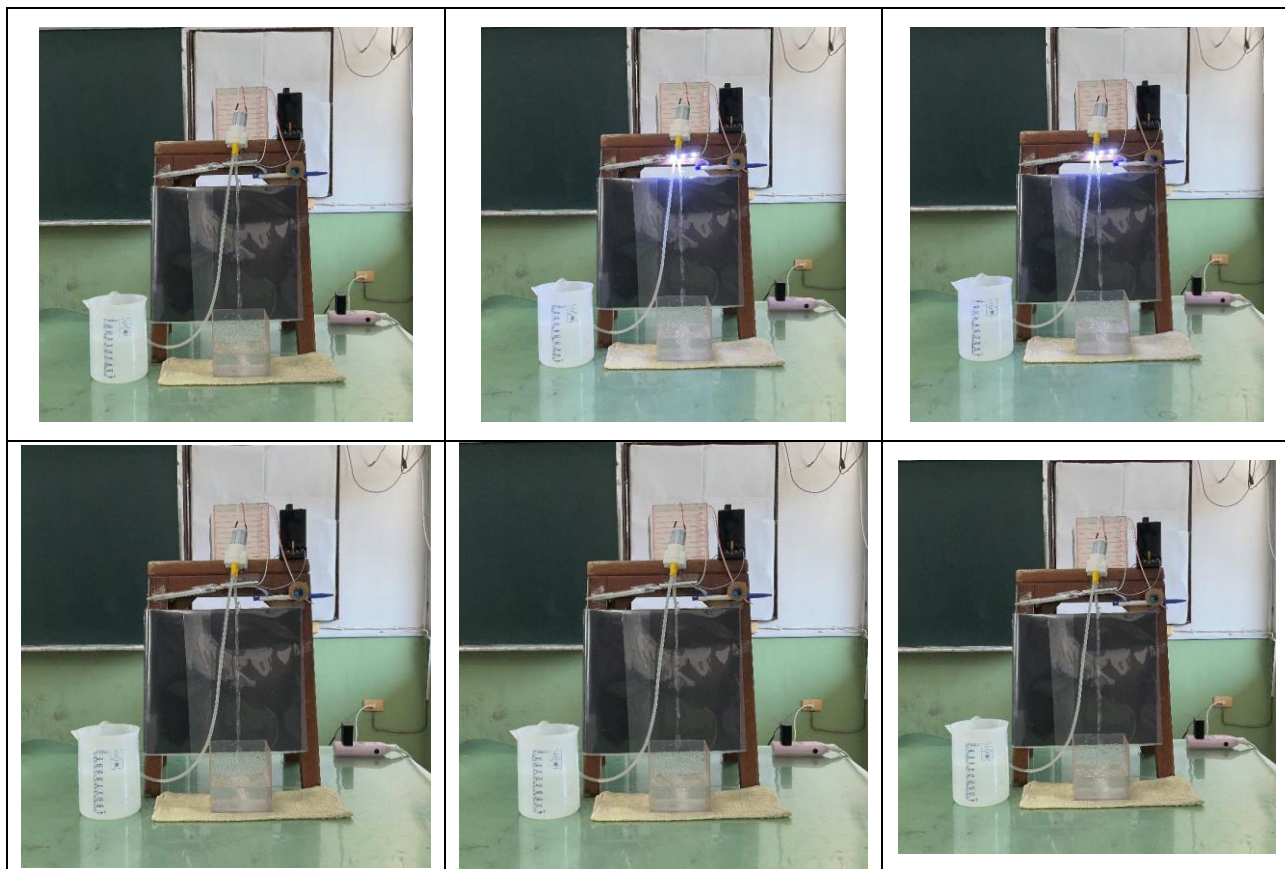


(三)光1水3水滴連拍照片

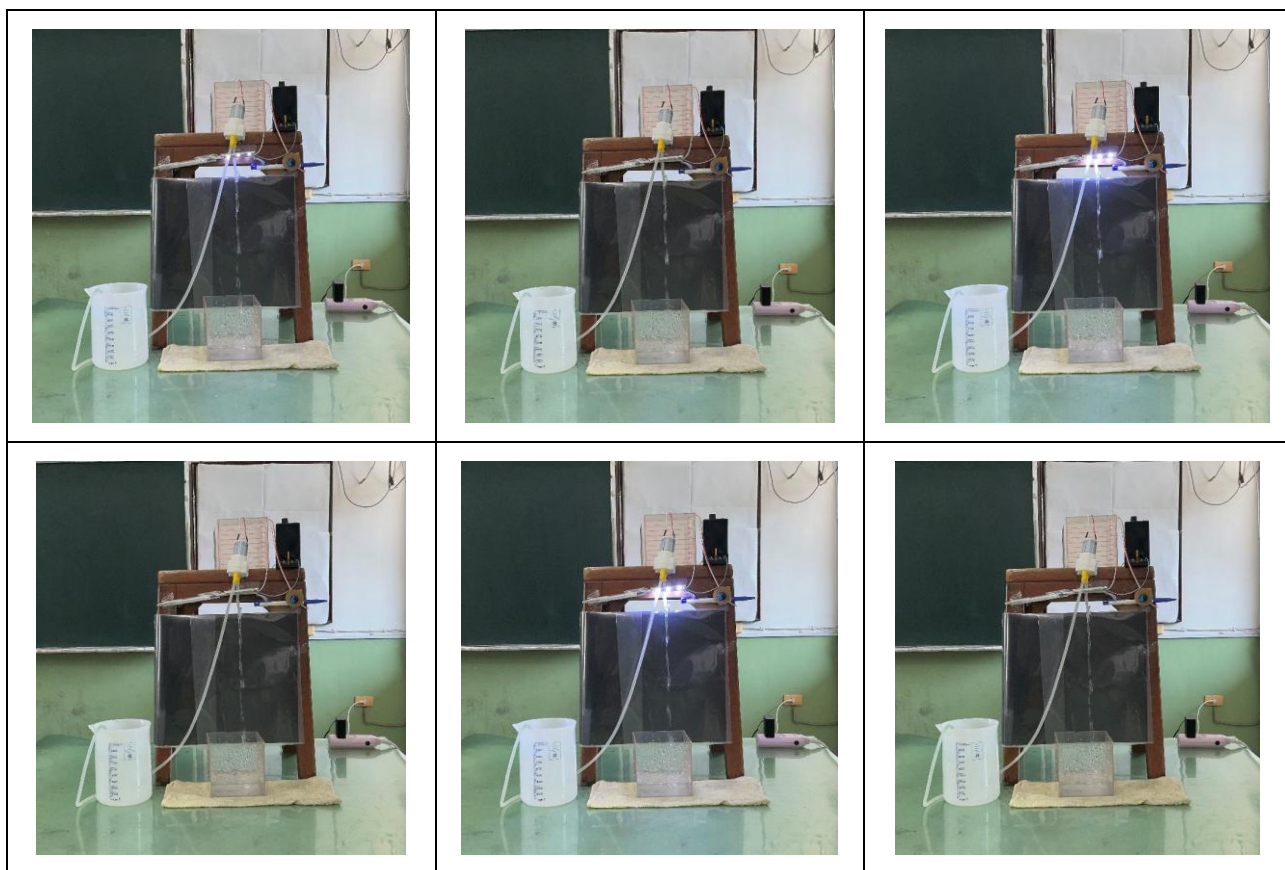


(以上照片皆為組員拍攝)

(四) 光1水4水滴連拍照片

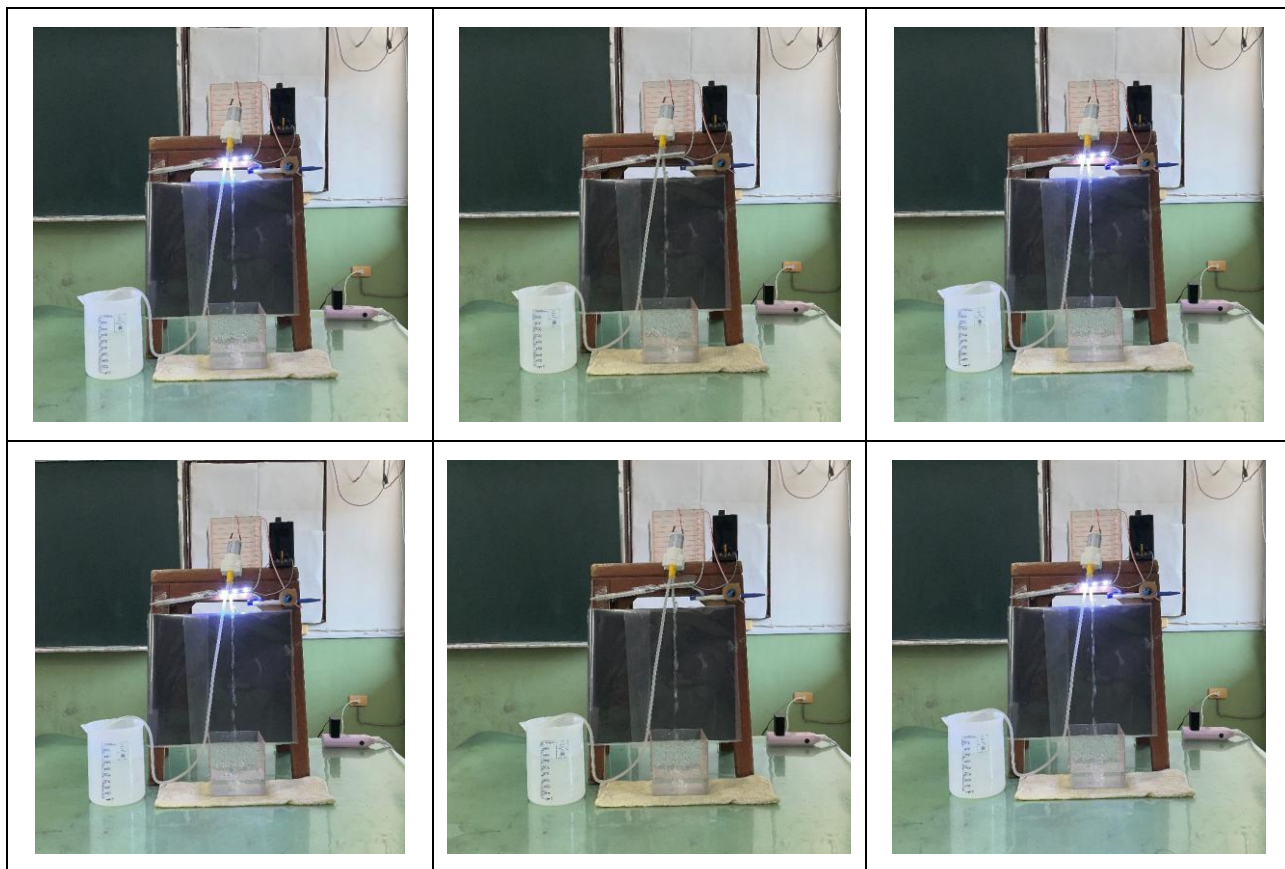


(五) 光2水1水滴連拍照片

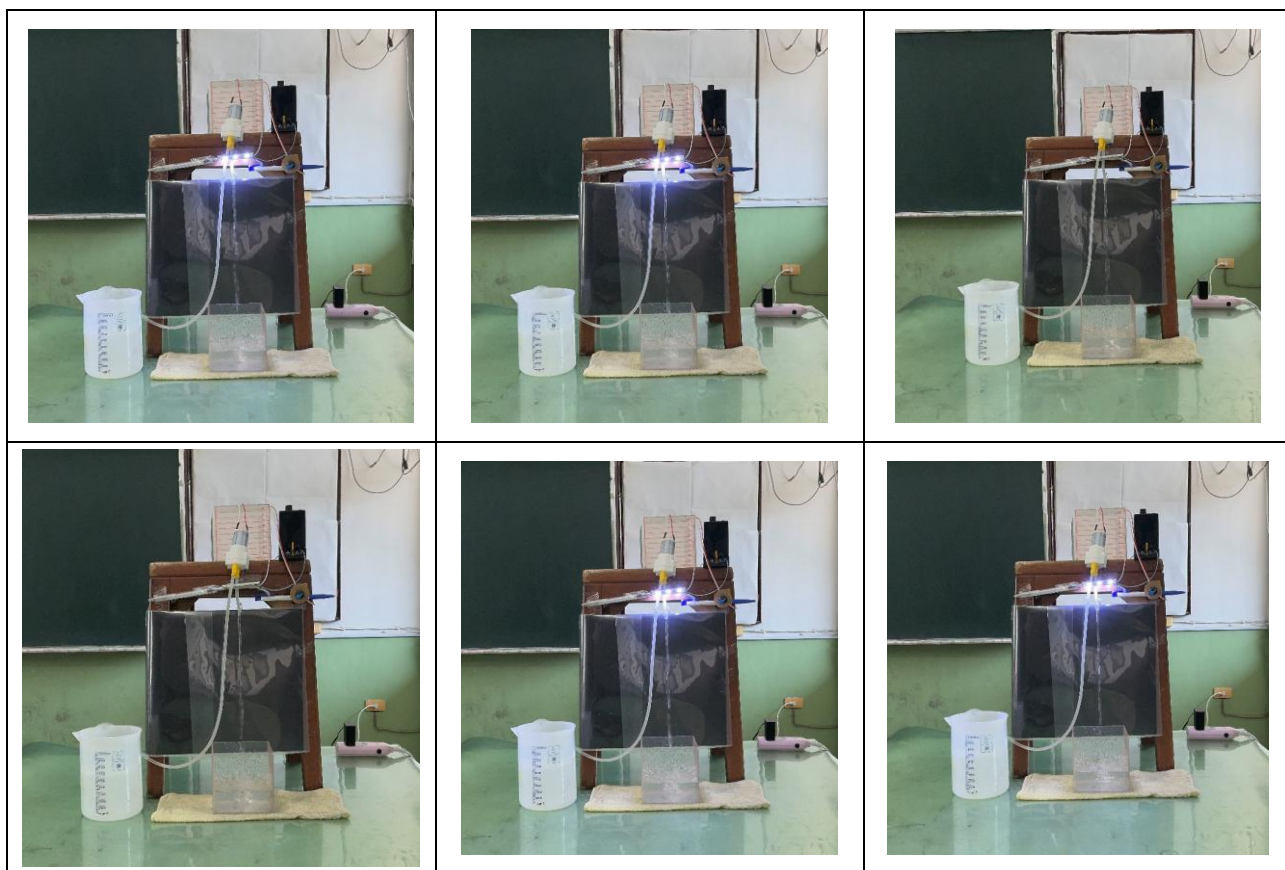


(以上照片皆為組員拍攝)

(六) 光2水2水滴連拍照片

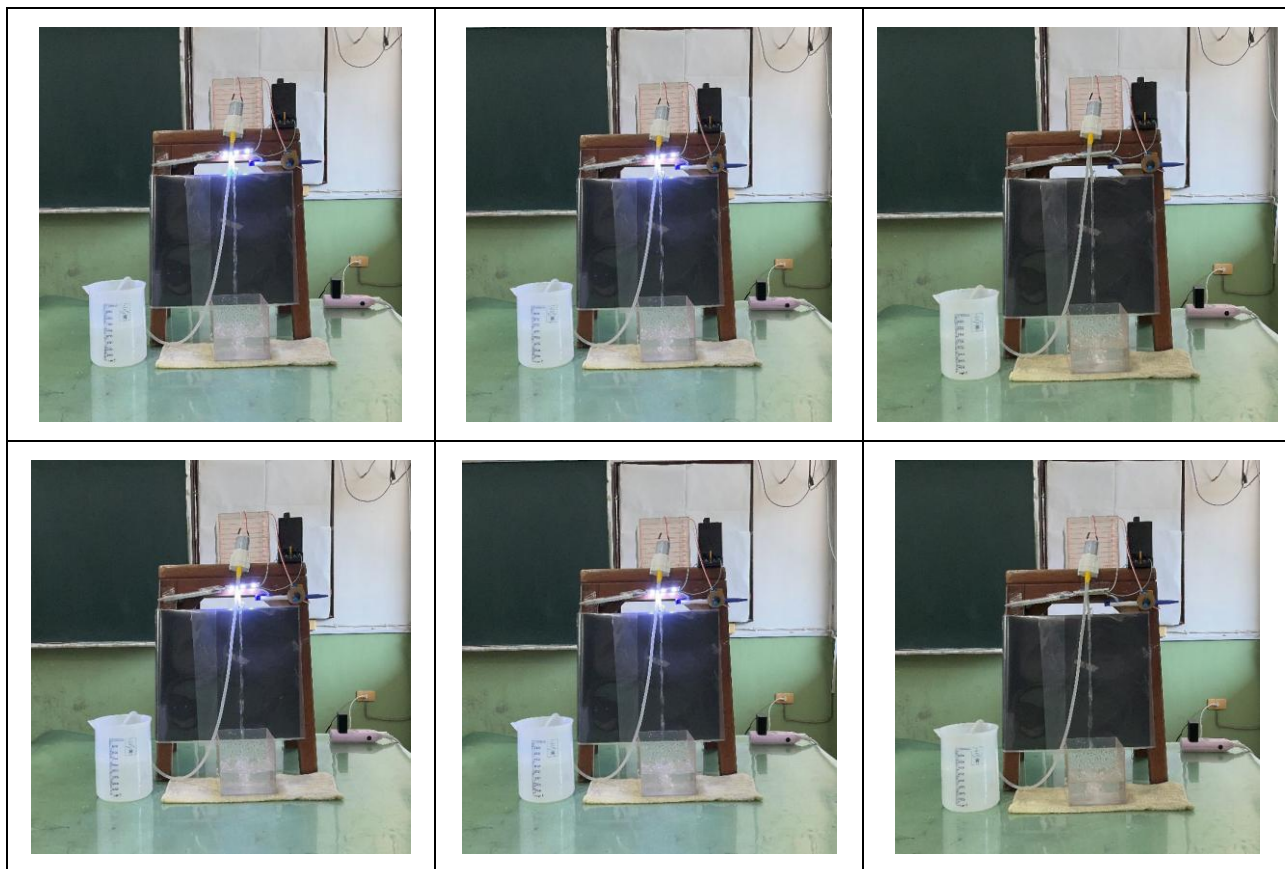


(七) 光2水3水滴連拍照片

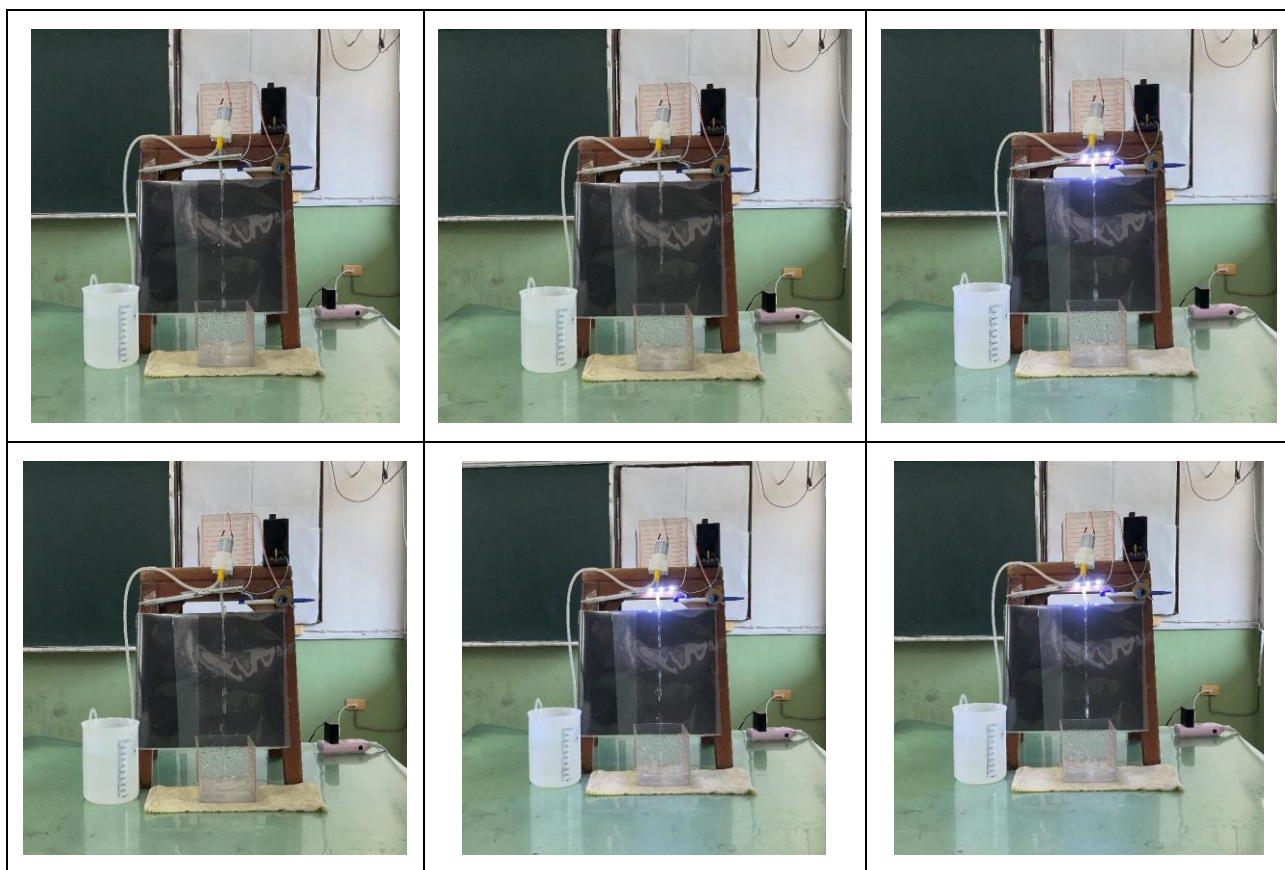


(以上照片皆為組員拍攝)

(八) 光2水4水滴連拍照片

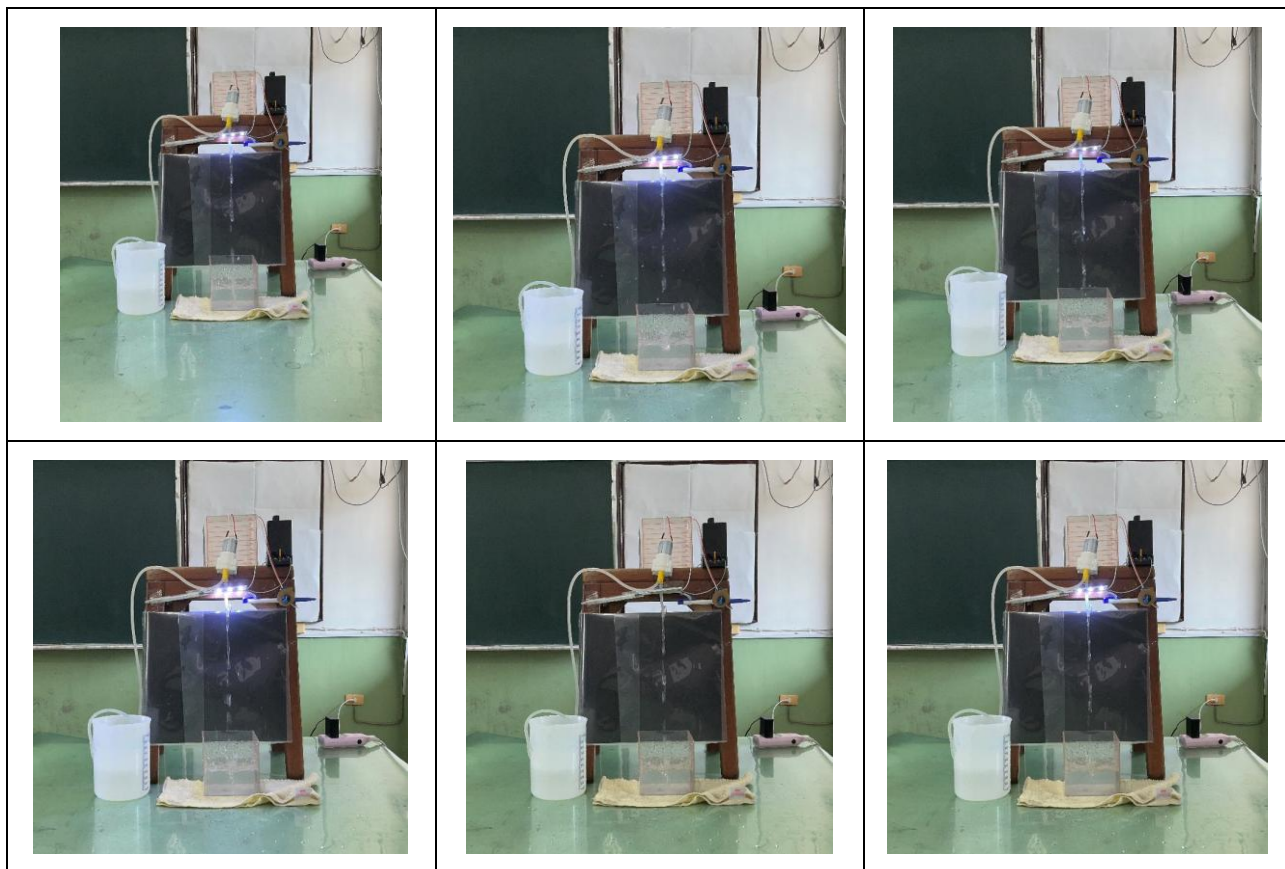


(九) 光3水1水滴連拍照片

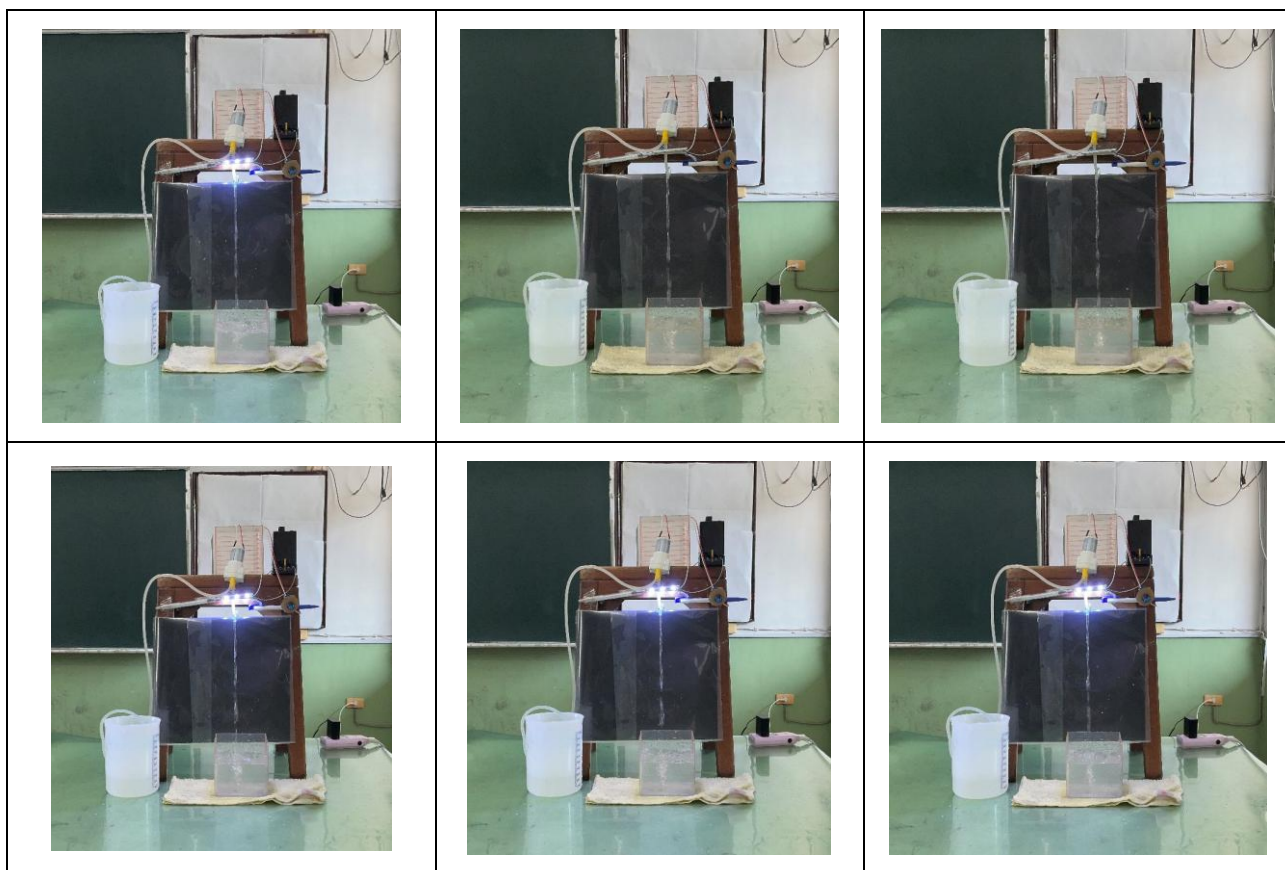


(以上照片皆為組員拍攝)

(十) 光3水2水滴連拍照片

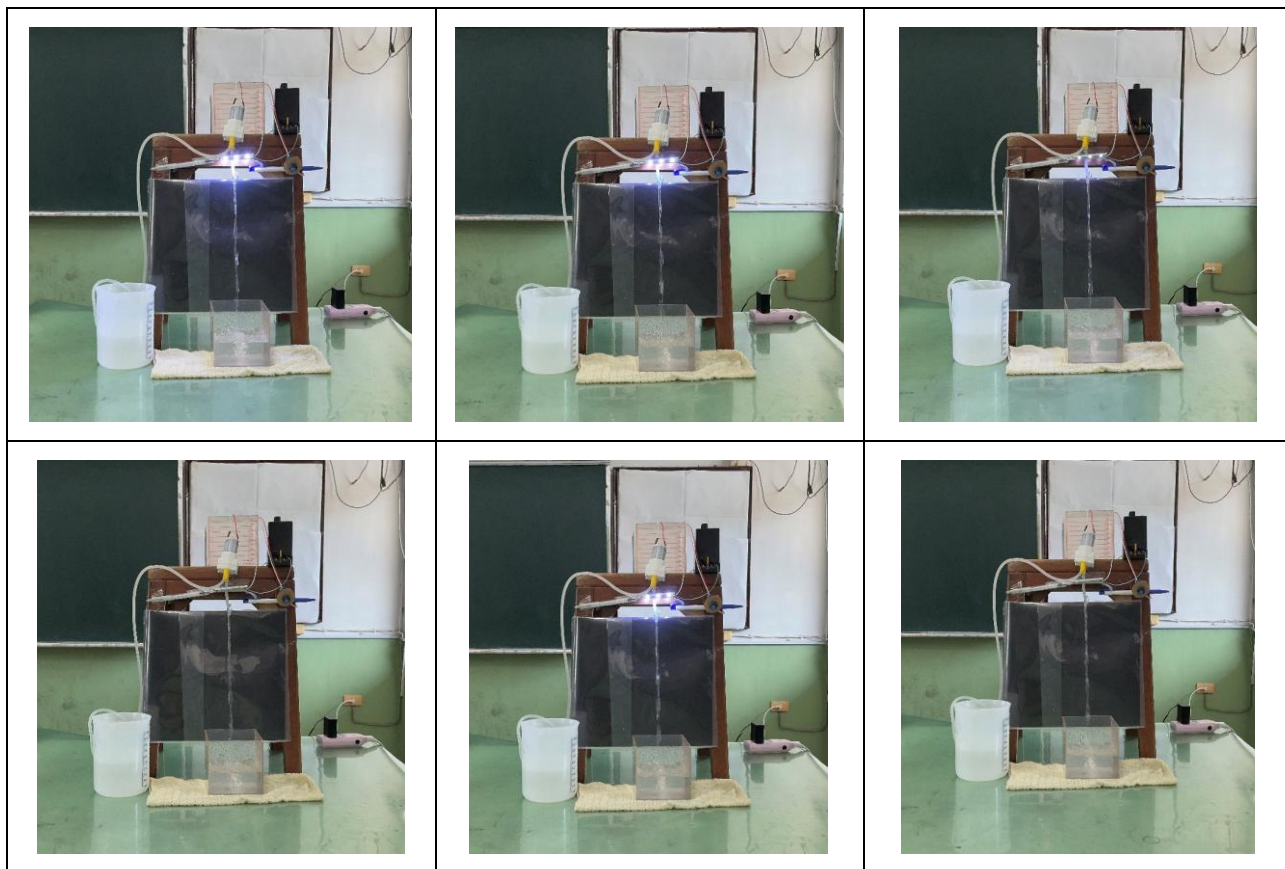


(十一) 光3水3水滴連拍照片

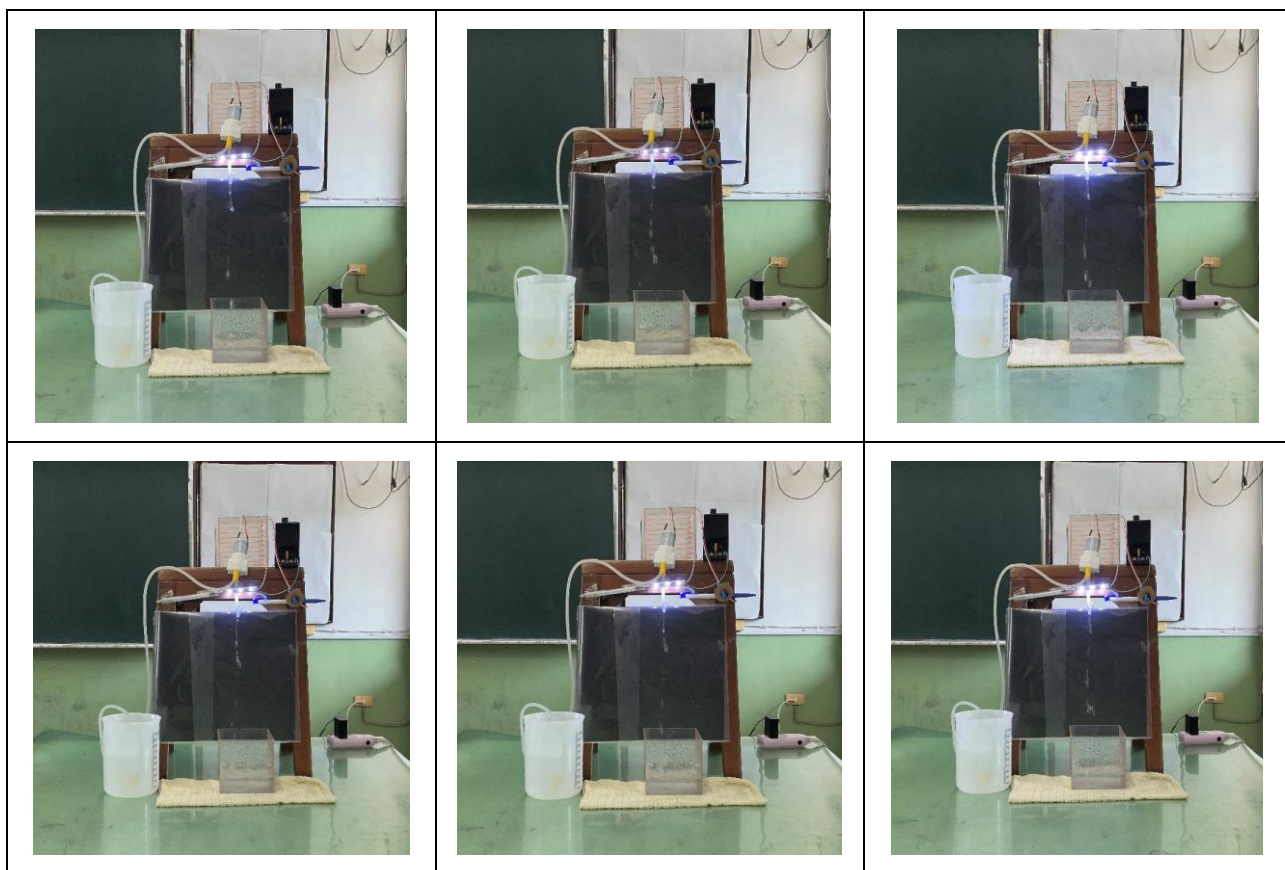


(以上照片皆為組員拍攝)

(十二)光3水4水滴連拍照片

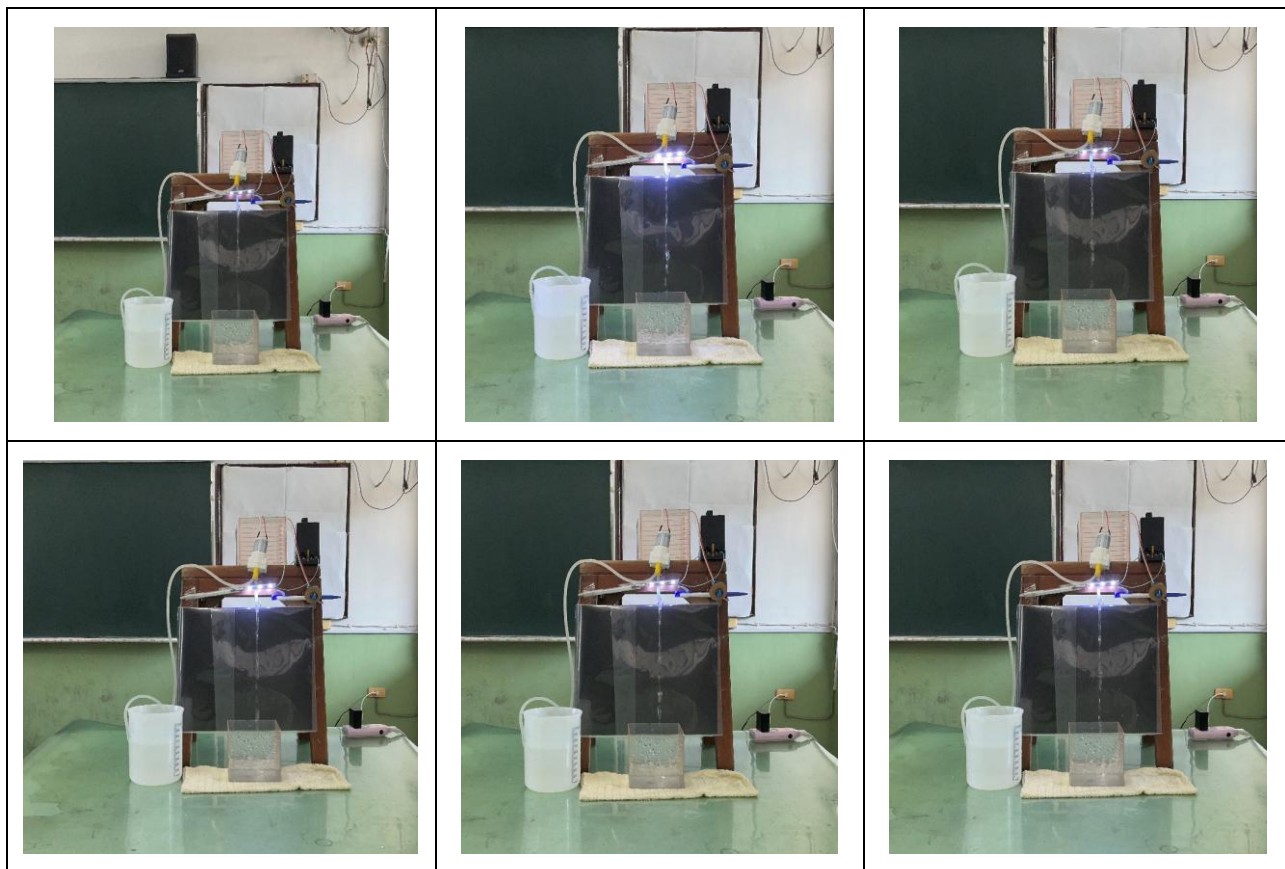


(十三)光4水1水滴連拍照片

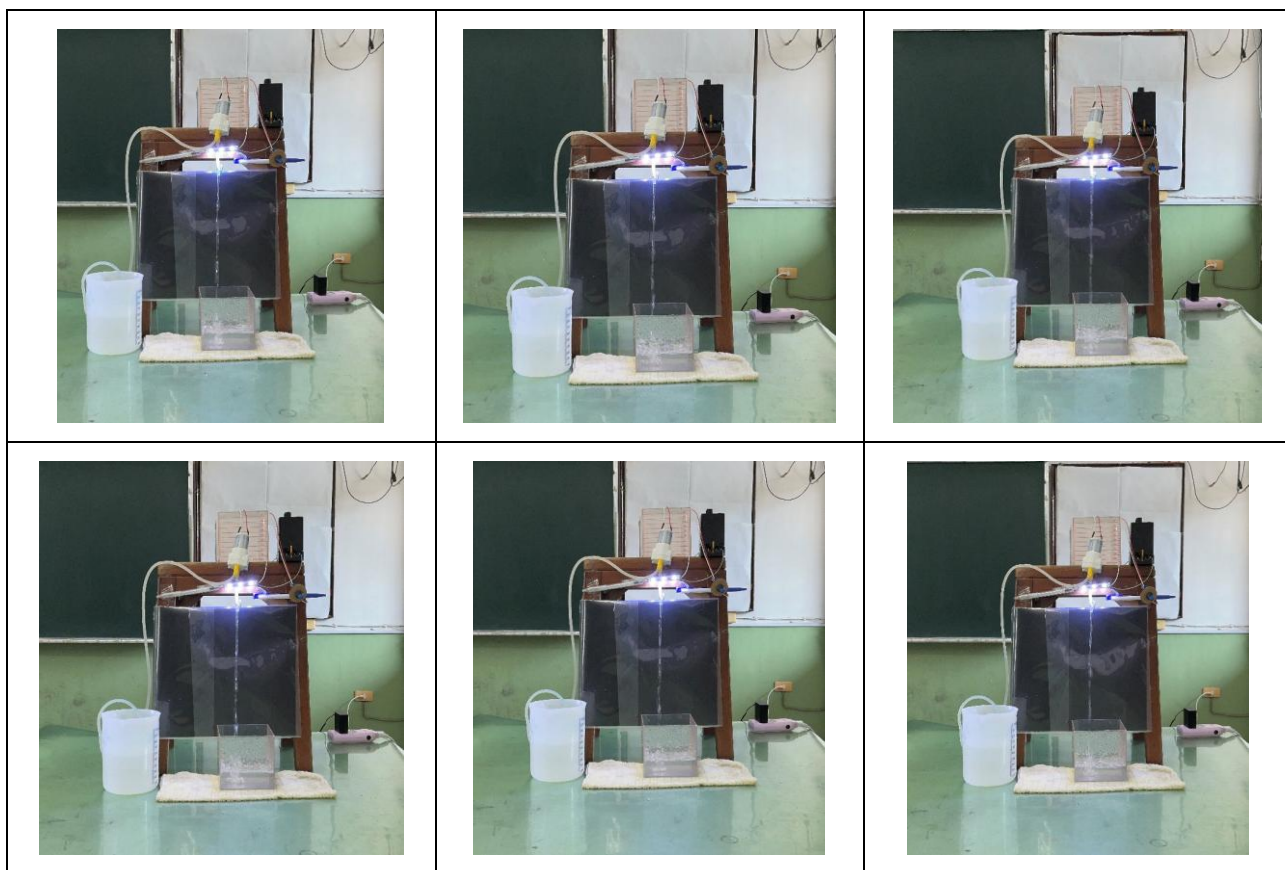


(以上照片皆為組員拍攝)

(十四) 光4水2水滴連拍照片

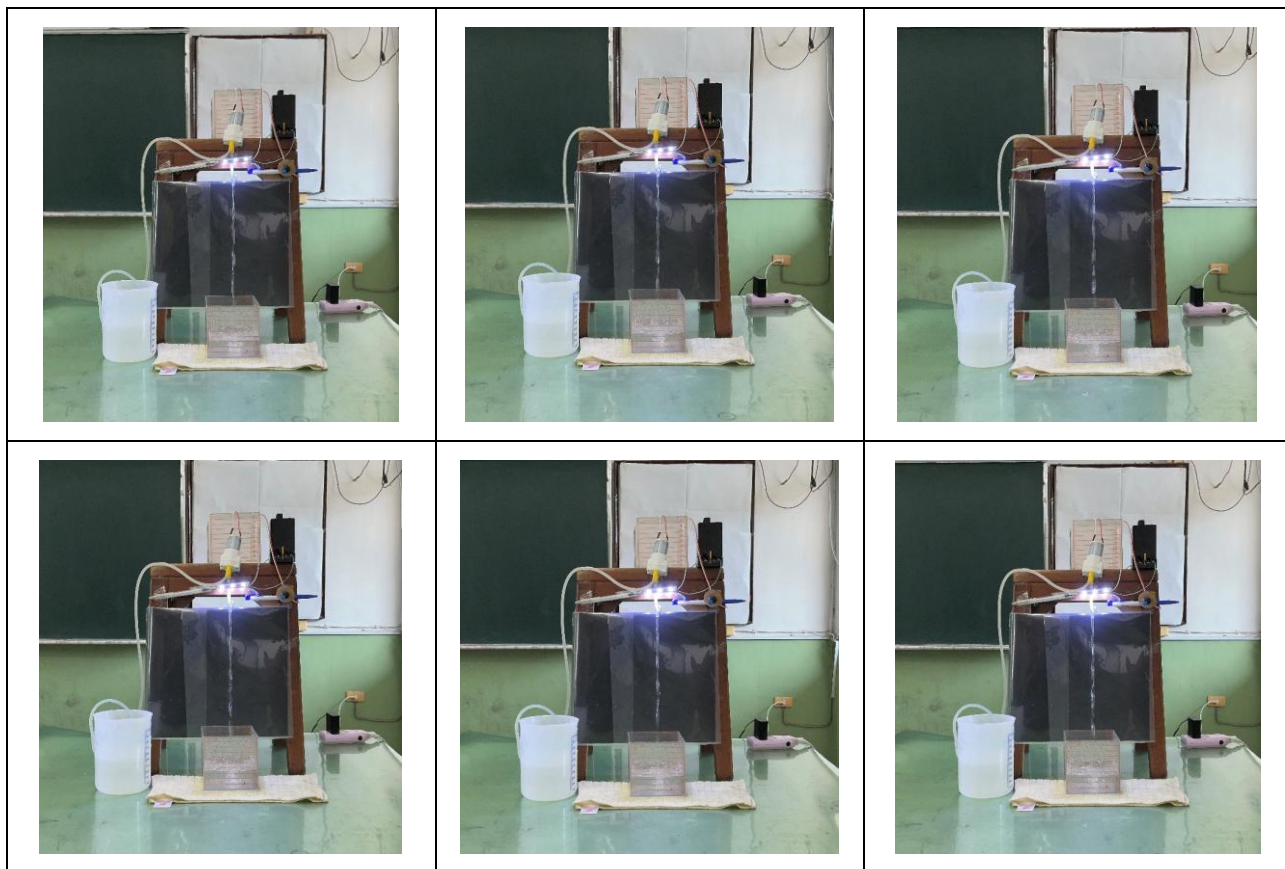


(十五) 光4水3水滴連拍照片

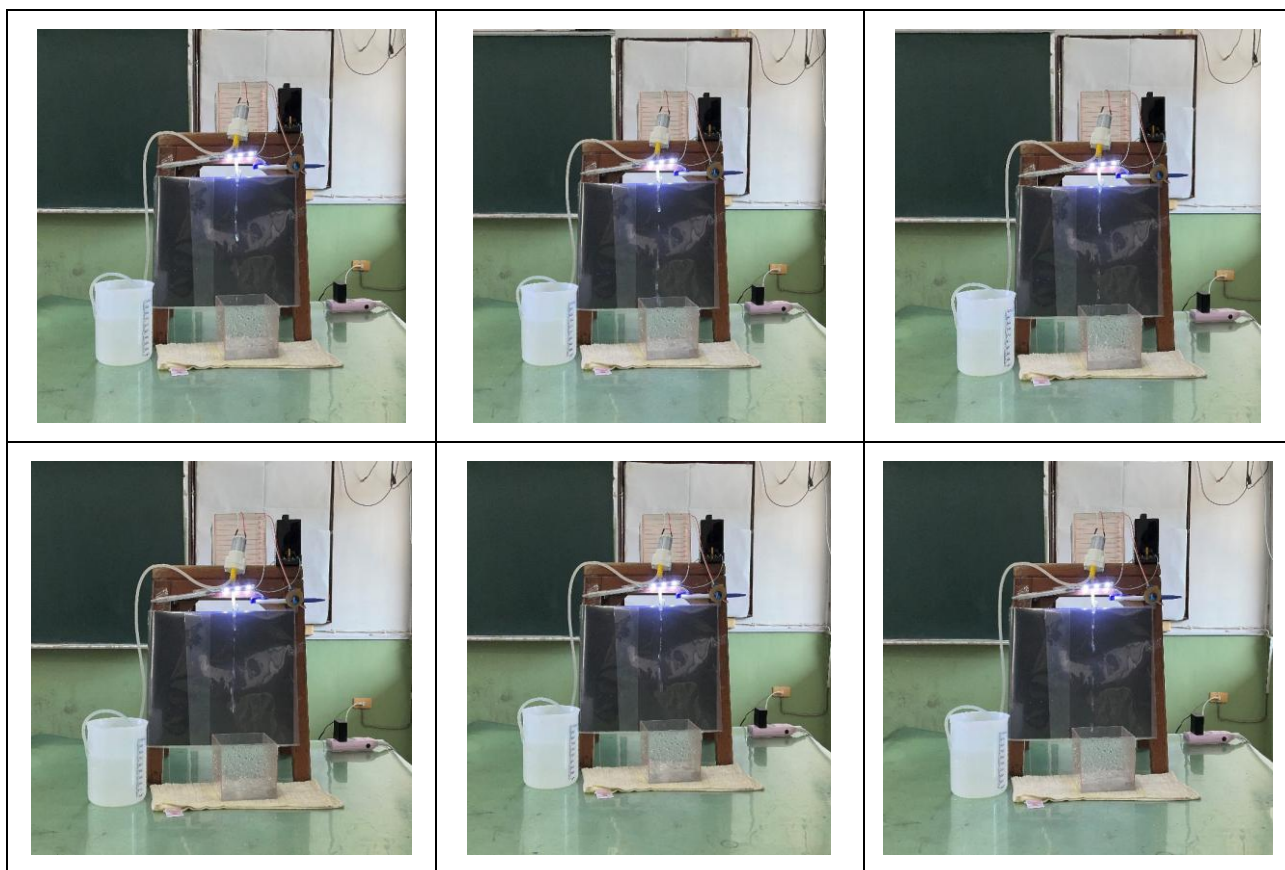


(以上照片皆為組員拍攝)

(十六) 光4水4水滴連拍照片

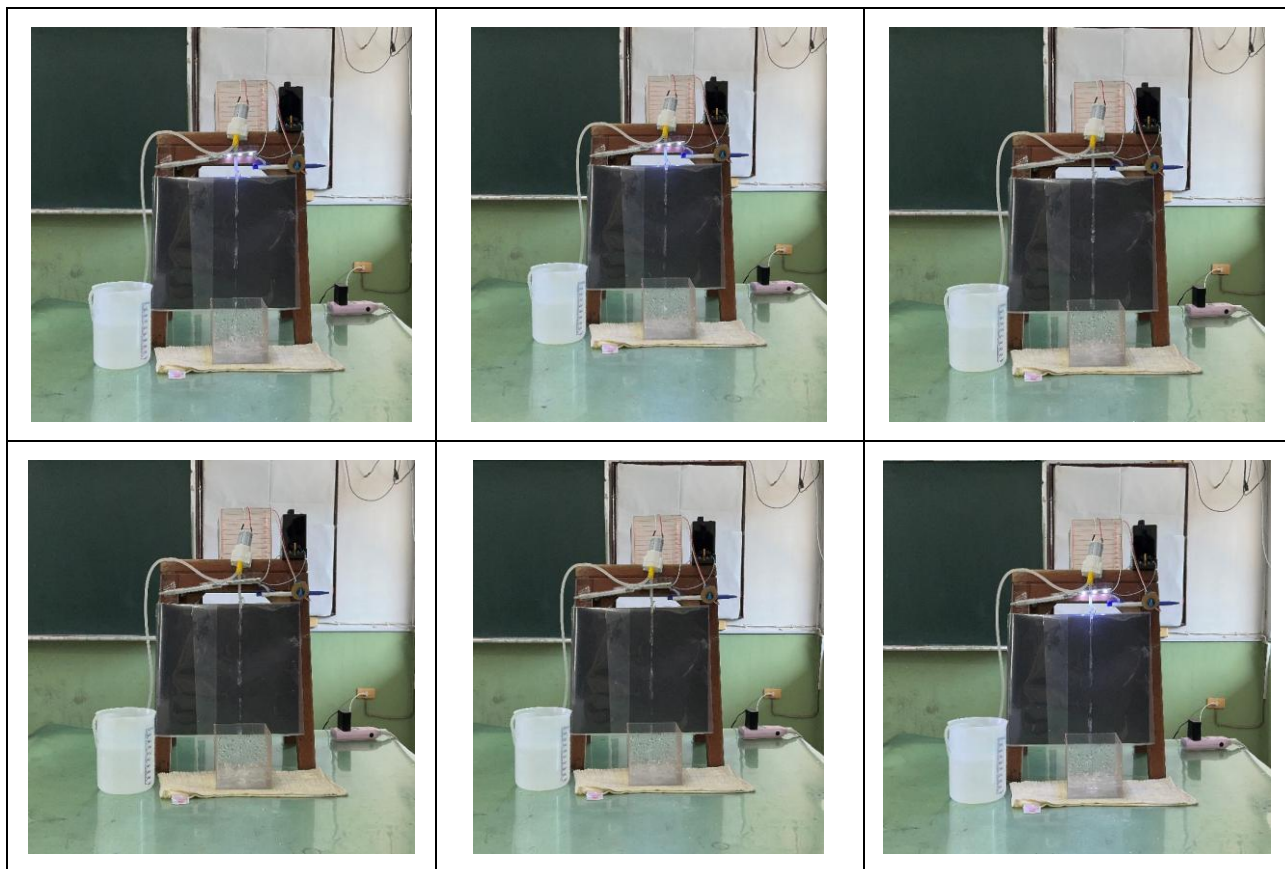


(十七) 光5水1水滴連拍照片

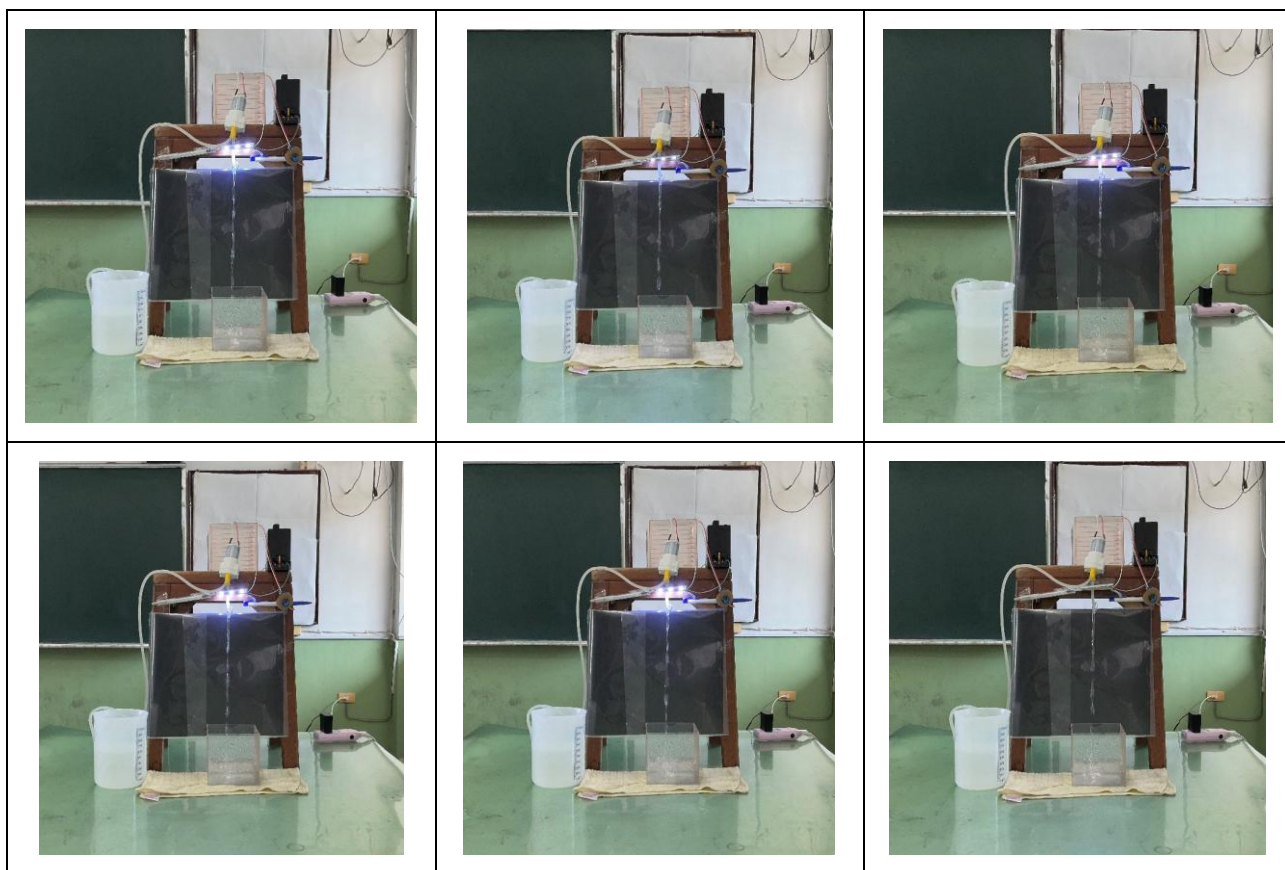


(以上照片皆為組員拍攝)

(十八) 光5水2水滴連拍照片

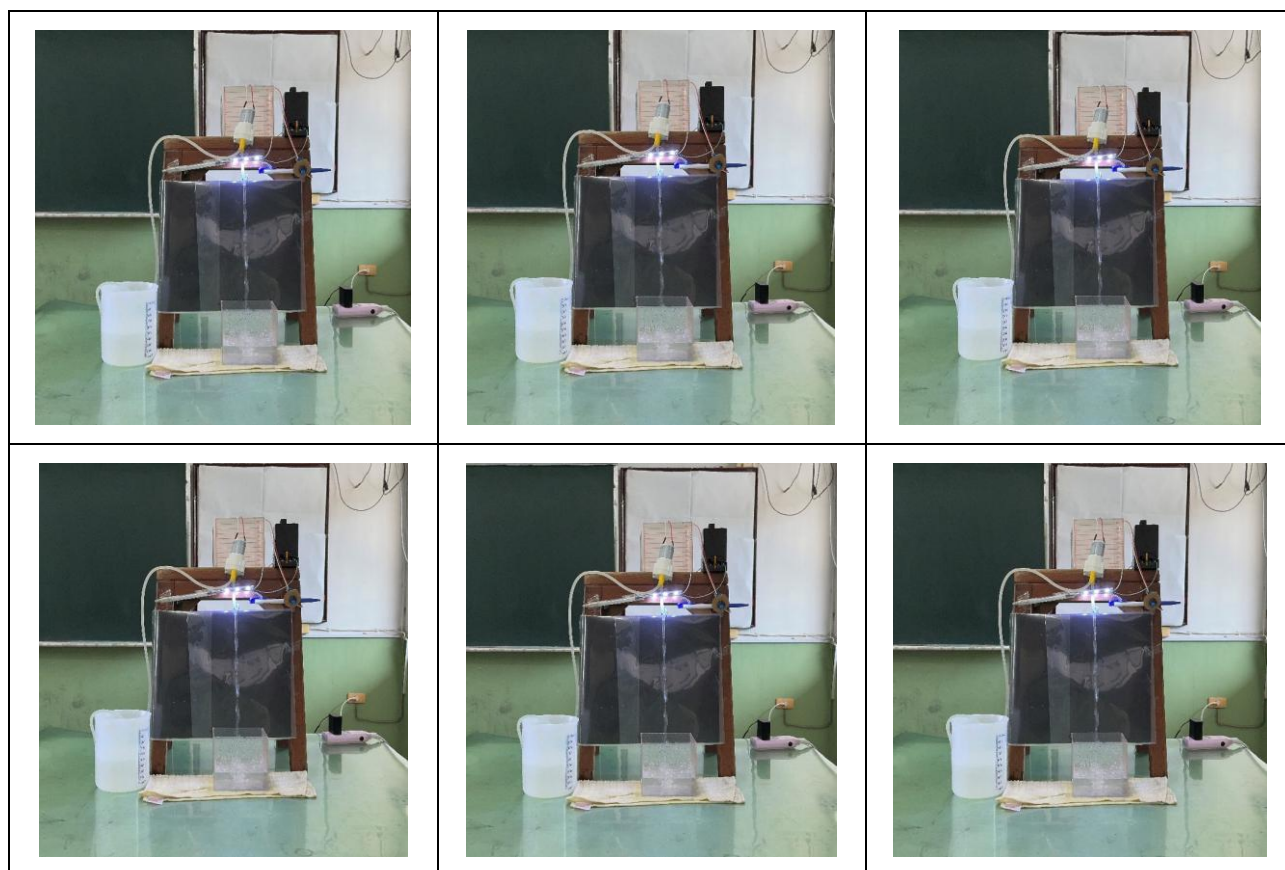


(十九) 光5水3水滴連拍照片



(以上照片皆為組員拍攝)

(二十)光5水4水滴連拍照片



(以上照片皆為組員拍攝)

(二十一)水滴是否逆流結果總表

	光 1(2Hz)	光 2(14Hz)	光 3(26Hz)	光 4(40Hz)	光 5(60Hz)
水 1 (5ml/s)	✗	✗	✗	✗	✗
水 2 (10ml/s)	✗	✗	✗	✓	✓
水 3 (15ml/s)	✗	✗	✗	✓	✓
水 4 (20ml/s)	✗	✗	✗	✓	✓

六、結果與討論

- (一)從實驗結果總表中可以發現，當**光的閃爍頻率較低**（光1：2Hz、光2：14Hz、光3：26Hz）時，不論水流速度是每秒5毫升、10毫升、15毫升或20毫升，都**沒有出現水滴逆流**的現象，此時我們看到的水流看起來仍然是正常往下流動。
- (二)光的閃爍頻率提高到光4（40Hz）與光5（60Hz）時，情況就出現變化。當水流速度為水2（10ml/s）、水3（15ml/s）與水4（20ml/s）時，我們都觀察到水滴看起來像是往上逆流的現象。這表示當**光的閃爍頻率與水滴形成的節奏接近**時，就**容易產生水滴逆流**的視覺效果。
- (三)當**水流速度太慢**（例如水1：5ml/s）時，即使光的閃爍頻率提高到40Hz或60Hz，仍然**不容易形成明顯的逆流效果**。我們推測可能是因為水滴形成的間距較大，與光閃爍的時間沒有對應上，所以看不出水滴往上移動的現象。
- (四)水滴是否出現逆流的視覺效果，與**光的閃爍頻率**以及**水流速度**都有關係。當兩者的節奏較接近時，人的眼睛在頻閃燈的照射下，就可能看到水滴像是往上流動(逆流)的特殊現象。

陸、研究結論

一、探討水滴逆流的科學原理

- (一)水滴看起來往上流動，其實並不是水真的違抗地心引力往上移動，而是因為頻閃燈快速閃爍所產生的視覺錯覺。
- (二)當光的閃爍頻率與水滴往下移動的節奏接近時，人眼在每次閃光時看到的水滴位置會產生變化，大腦將這些影像連接起來後，就會感覺水滴像是往上移動或停在空中。
- (三)水滴逆流的現象與頻閃效應及視覺暫留有關。

二、研發水滴逆流實驗裝置

- (一)透過多次測試與調整，例如調整燈的位置、水管長度、控制水量的刻度以及背景顏色等，讓水流能夠在燈光中間清楚呈現，並成功觀察到水滴逆流的視覺效果。
- (二)我們成功利用頻閃燈、蠕動泵設計並組裝出一套水滴逆流的實驗裝置，可以穩定地模擬出水滴逆流的現象，達成本研究的實驗目的。

三、比較不同光的閃爍頻率與水流速度對水滴逆流現象的影響

- (一)實驗結果發現，當光的閃爍頻率較低（2Hz、14Hz、26Hz）時，不論水流速度快或慢，都無法觀察到水滴逆流的現象，水看起來仍然是正常往下流動。
- (二)當光的閃爍頻率提高到40Hz 與60Hz 時，在水流速度為10ml/s、15ml/s 與20ml/s 的情況下，可以觀察到水滴逆流的視覺效果。
- (三)當水流速度太慢（5ml/s）時，即使光的閃爍頻率提高，也較難形成水滴逆流的現象，表示水流速度也會影響實驗結果。
- (四)實驗結果顯示，水滴逆流的現象與光的閃爍頻率及水流速度有關。當光閃爍的節奏與水滴形成的節奏接近時，人的眼睛在頻閃燈照射下，就可能看到水滴看似往上流動的特殊現象。

柒、參考文獻

一、水滴往上飄！閃光效果造視覺假象。取自：<https://blog.udn.com/webman/5458150>

二、欺騙眼睛的頻閃效應，閃光灯照射下落的水滴，有趣的現象發生了。取自：

<https://www.youtube.com/watch?v=HMQng0r87RY>

三、22. 水往高處流？（水往上流）。取自：

<https://www.youtube.com/watch?v=qGMxrv60Ahk>

四、Reverse Water Fountain。取自：

<https://www.facebook.com/artandmaterials/videos/reverse-water-fountain/283920598946701/>

捌、附錄

※不同光的閃爍頻率與水流速度實驗影片連結 QR-Code

	光 1	光 2	光 3	光 4	光 5
水 1					
水 2					
水 3					
水 4					