

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030107

水階

學校名稱：臺中市立大雅國民中學

作者： 國一 朱向豐 國一 連彥程 國一 黃俊豪	指導老師： 鐘文生
---	------------------

關鍵詞：水階、流量、傾斜角

作品名稱：水階

摘要

此主題是探討水在傾斜表面上流動時所產生的水階現象。實驗結果，表面傾斜角度、單位時間的水流量、水的流速、表面粗糙度及表面材質等，皆會影響水階現象的產生。表面粗糙度越大，水階現象越明顯，水階是因為前方的水流流速因為摩擦力變慢，而後方水流追上前方，累積的結果就產生了水階現象。板子傾斜角度介於3度到60度之間皆會產生水階現象。傾斜角度越大時，其產生水階現象時的最大水流量值，卻顯著變小。原因是傾斜角度較大時，將造成水流速較快，若再加上水流量較大，大量的水就會相互覆蓋而無法產生水階的現象，因此角度大時反而要小的水流量才能顯現出水階現象。表面若為疏水性材質，造成水流集中而無法擴散流動，亦無法產生水階現象。

壹、前言

一、研究動機：

有一天下著小雨，我走在一個柏油馬路上的斜坡，發現馬路上的水流，居然會產生一層一層的波紋，我覺得蠻有趣的，詢問家長為何產生這樣的波紋？家長也不知道為什麼。當時剛好學校在號召做科展的學生，我將此事告知同學，同學也覺得這是一個適當的科展題目。因此，我們從此走入科展的歷程。由於水流動時的現象，看起來是一階一階的現象，我們命名為「水階」，如右圖。




二、研究目的：

- 1、找出能讓水產生水階現象的條件。
- 2、板子傾斜角度是否影響水階的產生？
- 3、單位時間的水流量是否影響水階現象的產生？
- 4、表面的粗糙度是否會影響水階產生？
- 5、水在水平面中流動時能否產生水階？
- 6、探討水流速與產生水階現象有何關係？
- 7、不同表面材質是否影響水階的產生？
- 8、不同的表面張力液體是否影響水階現象的產生？
- 9、說明產生水階現象的原因。

貳、研究設備及器材

實驗器材:

<p>木板x1</p> 	<p>一公升量杯 x1</p> 	<p>大水箱 x1</p> 	<p>十公分水管 x1</p> 
<p>二十公升水箱 x1</p> 	<p>兩公尺水管 x1</p> 	<p>砂紙 x3 (120cw.240cw.400cw)</p> 	<p>90公分木棍 x2</p> 
<p>升降平台 x1</p> 	<p>夾子 x3</p> 	<p>桌子 x1</p> 	<p>保麗龍球數顆</p>
<p>手機 x2</p> 	<p>水桶 x1</p> 	<p>實驗全圖</p> 	

參、研究過程或方法

實驗一：板子傾斜角度是否影響水階的產生？

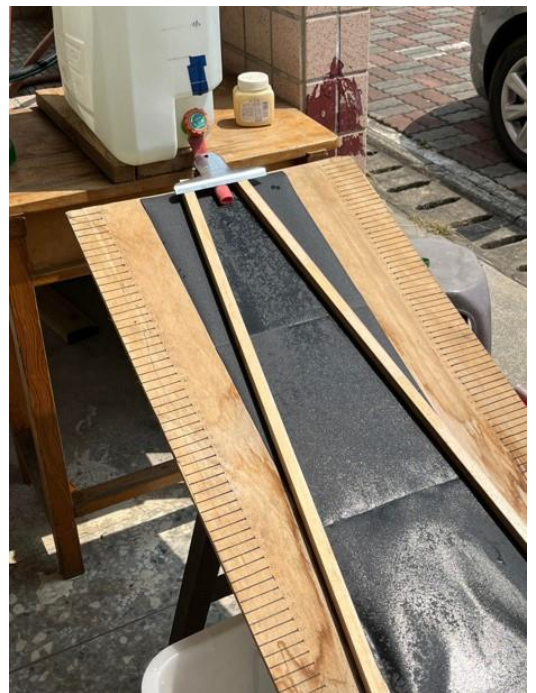
- (一)架設實驗器具
- (二)將20公升的水桶注入水
- (三)使用手機測距儀測量實驗角度
- (四)開啟開關使水流出
- (五)觀察是否有水階的產生

實驗二：單位時間的水流量是否影響水階的產生？

- (一)架設實驗器具
- (二)將20公升的水桶注入水
- (三)使用手機測距儀測量實驗角度
- (四)開啟開關使水流出，觀察是否有水階的產生
- (五)控制水流大小，從一開始有出現水階現象時，轉動開關讓水流量增加，直至沒有出現水階現象的瞬間。
- (六)接上水管使水順利流入水桶中，倒數計時1分鐘
- (七)將水桶內的水加入量杯測量此次流水量
- (八)「每分鐘最大水流量」的定義：實驗時，持續加大水流量，每分鐘水流量越來越大，觀察水階是否持續出現，直到水階現象消失時的瞬間，測量此時每分鐘的水流量，此即為產生水階現象的「每分鐘最大水流量」。

實驗三：表面的粗糙度是否會影響水階產生？

- (一)架設實驗器具
- (二)將20公升的水桶注入水
- (三)使用手機測距儀測量時木板角度
- (四)開啟開關使水流出，觀察每角度是否有水階的產生
- (五)控制水流大小，從一開始有出現水階現象時，轉動開關讓水流量增加，直至沒有出現水階現象的瞬間。
- (六)接上水管使水順利流入水桶中，倒數計時1分鐘
- (七)將水桶內的水加入量杯測量此次流水量
- (八)觀察有砂紙與沒砂紙的出水量是否相同

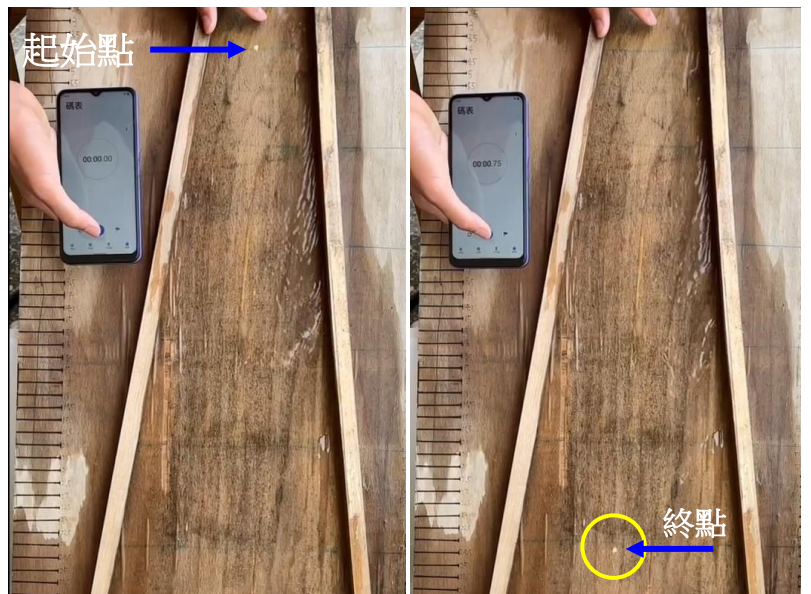


實驗四：單位時間的水流量是否影響水階現象的產生？

- (一)架設實驗器具
- (二)將20公升的水桶注入水，使用手機測距儀測量木板角度
- (三)開啟開關使水流出，觀察每角度是否有水階的產生
- (四)控制水流大小，從一開始有出現水階現象時，轉動開關讓水流量增加，直至沒有出現水階現象的瞬間。
- (五)接上水管使水順利流入水桶中，倒數計時1分鐘
- (六)將水桶內的水加入量杯測量此次流水量

實驗五：各個角度的水流速

- (一)將20公升的水桶注入水
- (二)使用手機測距儀將木板調整至10度、20度、30度…等。
- (三)開啟開關使水流出
- (四)控制水流大小，從一開始有出現水階現象時，轉動開關讓水流量增加，直至沒有出現水階現象的瞬間。
- (五)將提前準備好的小保麗龍球放置於木板上
- (六)待小保麗龍球流下後按下碼表開始計時並使用手機開始錄影。
- (七)小保麗龍通過起始點至終點的距離為50公分，只要判讀(通過終點時間-通過起始點的時間時間)即為整段發會的時間。
- (八)觀察每一個角度的流速的差異。



實驗六：水平面是否產生水階？

- (一)架設實驗器具，將20公升的水桶注入水
- (二)使用手機測距儀測量時木板角度
- (三)開啟開關使水流出，待水流至水平面處
- (四)觀察是否有水階產生

實驗七：不同表面材質是否影響水階產生？

- (一)架設實驗器具，將20公升的水桶注入水
- (二)使用手機測距儀測量時木板角度
- (三)開啟開關使水流出，轉動開關讓水流量增加，觀察是否有水階產生

肆、研究結果

一、實驗一：板子傾斜角度是否影響水階的產生

(一)兩側為開放式，沒有導引水流：

1. 實驗條件：板子表面材質為一般木材表面，兩側為開放式，沒有導引水流，水溫26度。

板子角度	是否產生水階	板子角度	是否產生水階
10度	是	35度	是
15度	是	40度	是
20度	是	45度	是
25度	是	50度	是
30度	是	55度	是

2. 實驗結果：板子傾斜角度介於10度~55度之間皆會產生水階的現象。

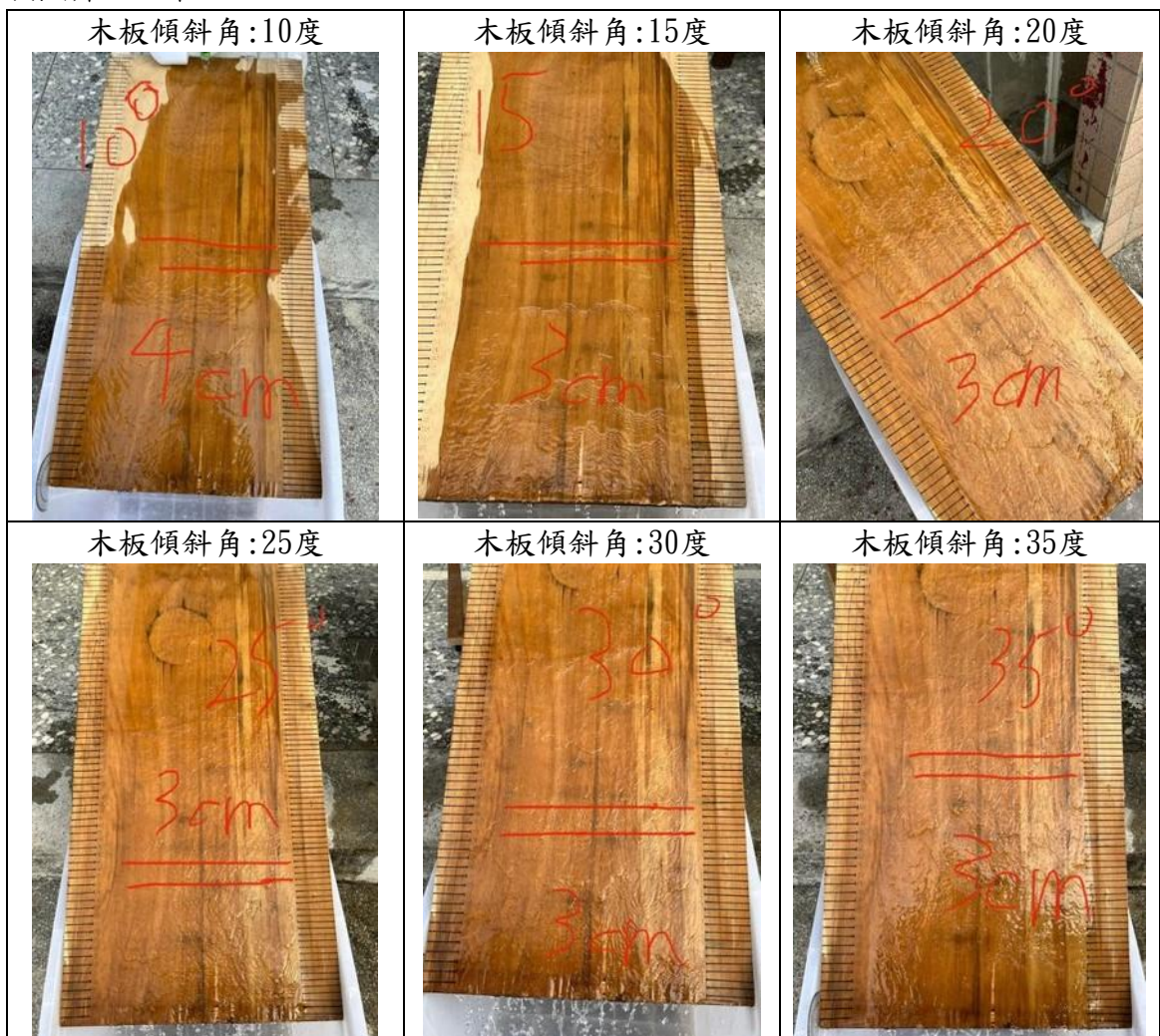
3. 思考：

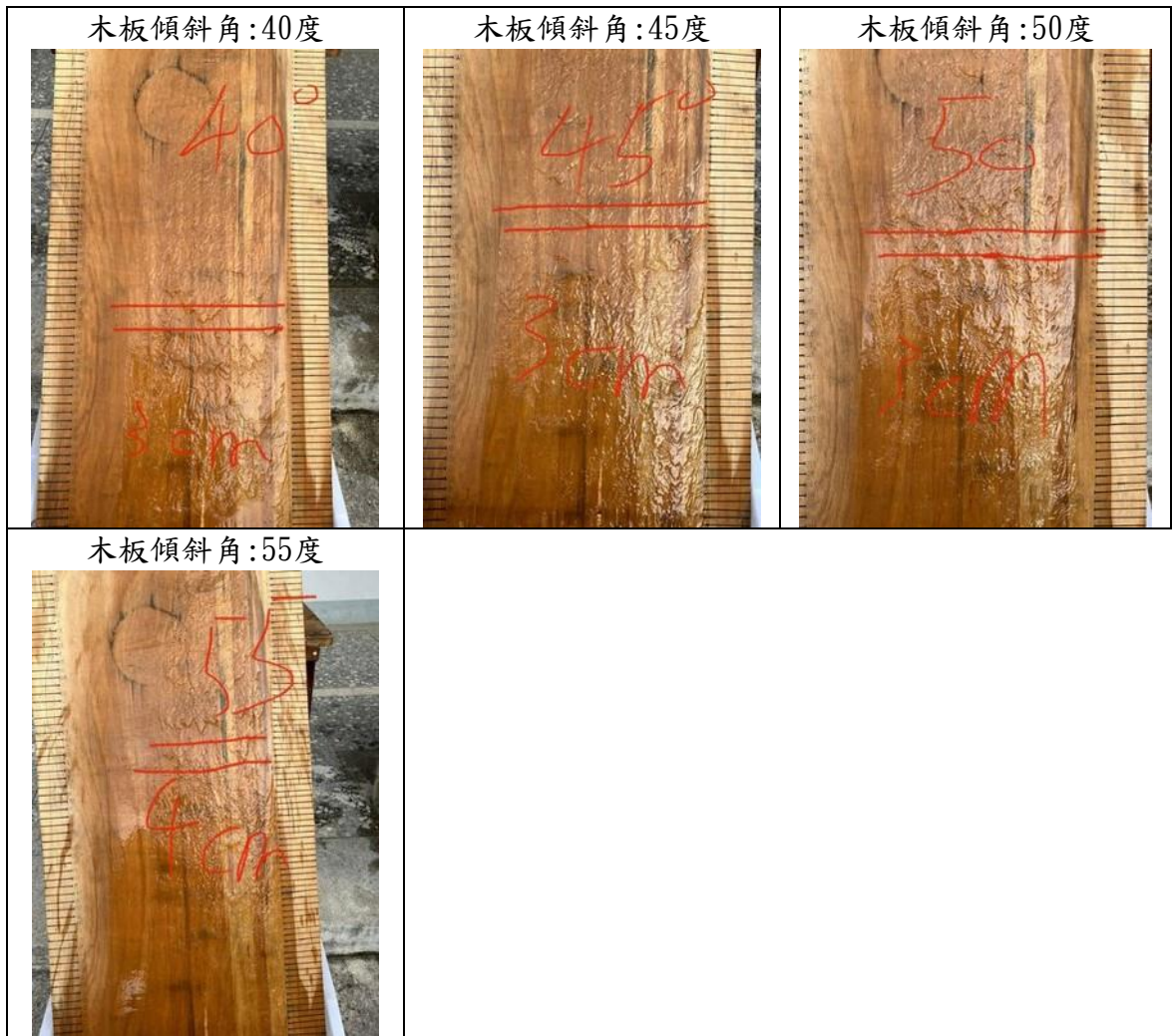
(1)如果加上木條實驗結果是否改變？(2)各個角度能產生水階的最大水流量一樣嗎？

(3)為何會產生水階？

因此，我們持續進行實驗並設計實驗二。

4. 實驗照片：如下





(二)兩側架設木條-可限縮水流，使水流更集中

1. 實驗條件：板子表面材質為一般木材表面，兩側架設木條來導引水流，木條夾10度角，水溫26度。

板子角度	是否產生水階	板子角度	是否產生水階
3度	是	35度	是
5度	是	40度	是
10度	是	45度	是
15度	是	50度	是
20度	是	55度	是
25度	是	60度	是
30度	是	65度	否

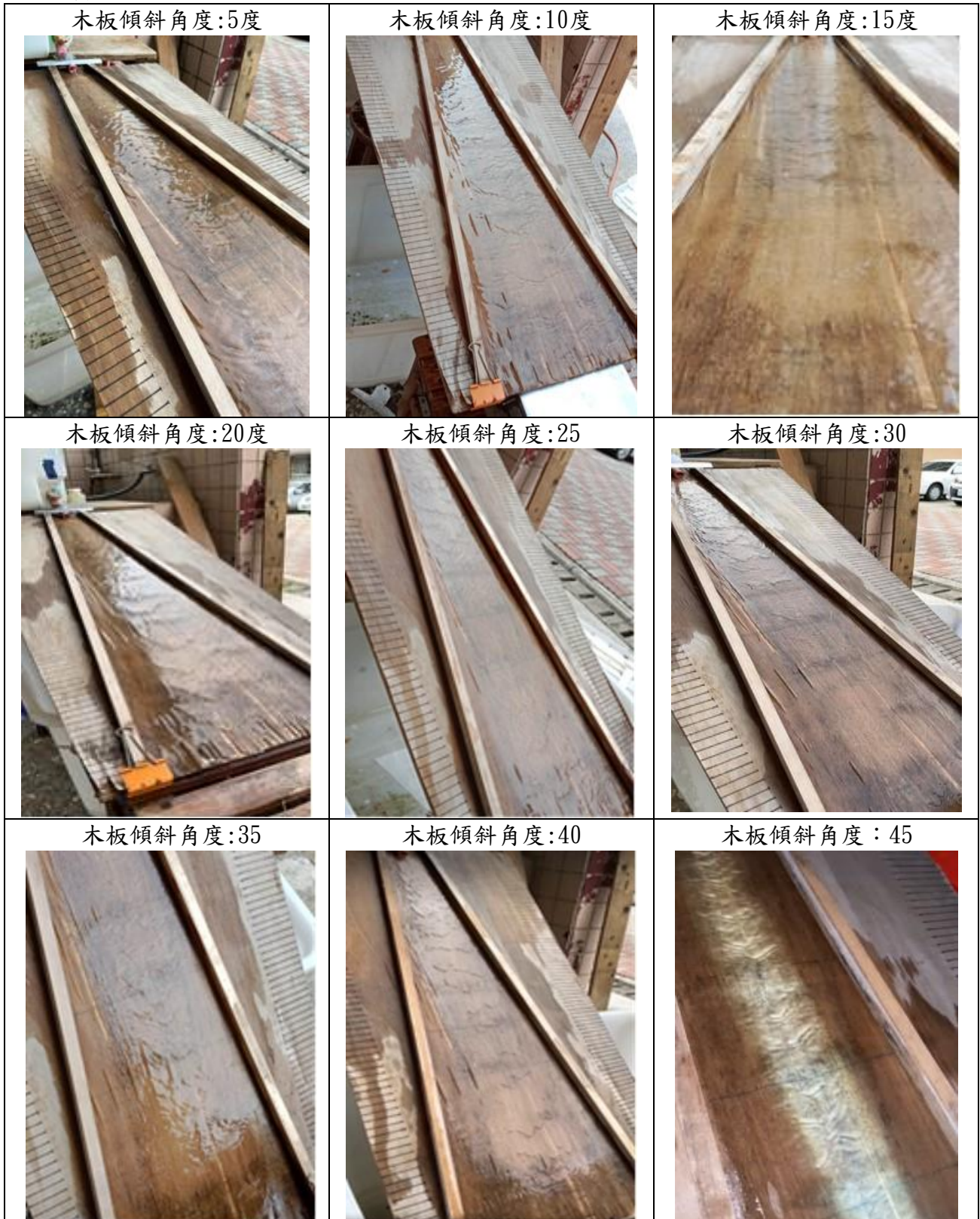
2. 實驗結果：

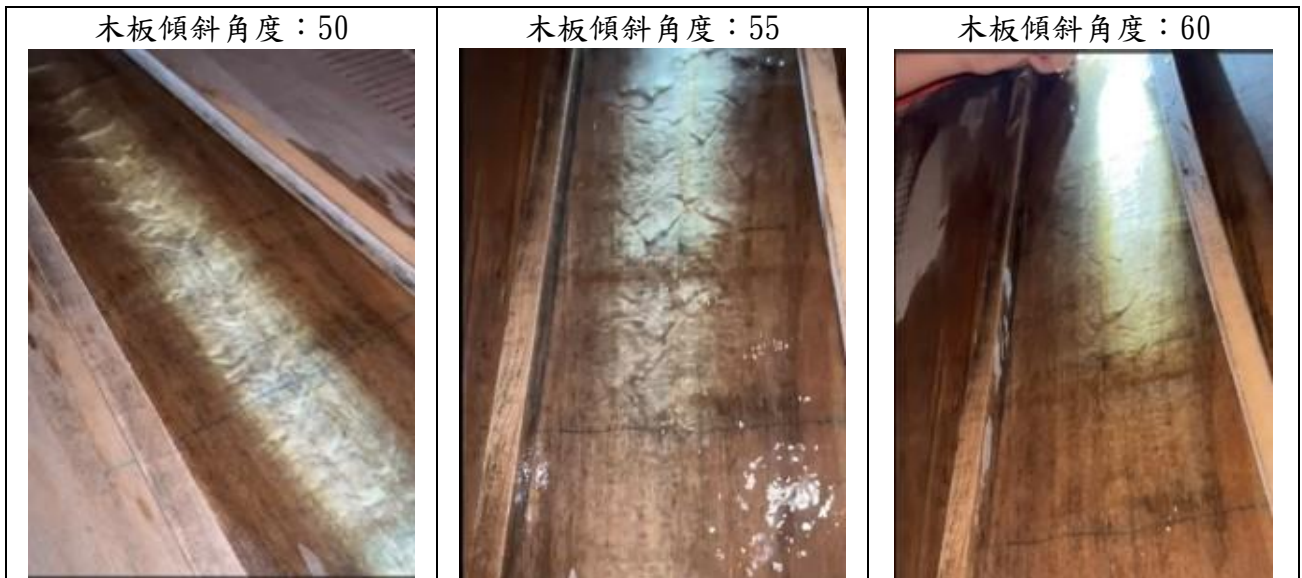
- (1)板子傾斜角度介於3度~60度之間皆會產生水階的現象。
- (2)板子傾斜角度低於3度時，水將會擠在板子上流不太動，一攤水的結果將無法產生水階現象。

(3)板子傾斜角達到65度時，角度極為陡峭，流動的水不易附著在板子上，推測水流速過大，因此無法產生水階現象。

(4)從此次實驗中，我們發現「水流量大小值」會影響水階的產生，而且水流量在某範圍內都會產生水階現象。因此，我們接著要在實驗二中探討-單位時間的水流量是否影響水階的產生？

3. 實驗照片：如下



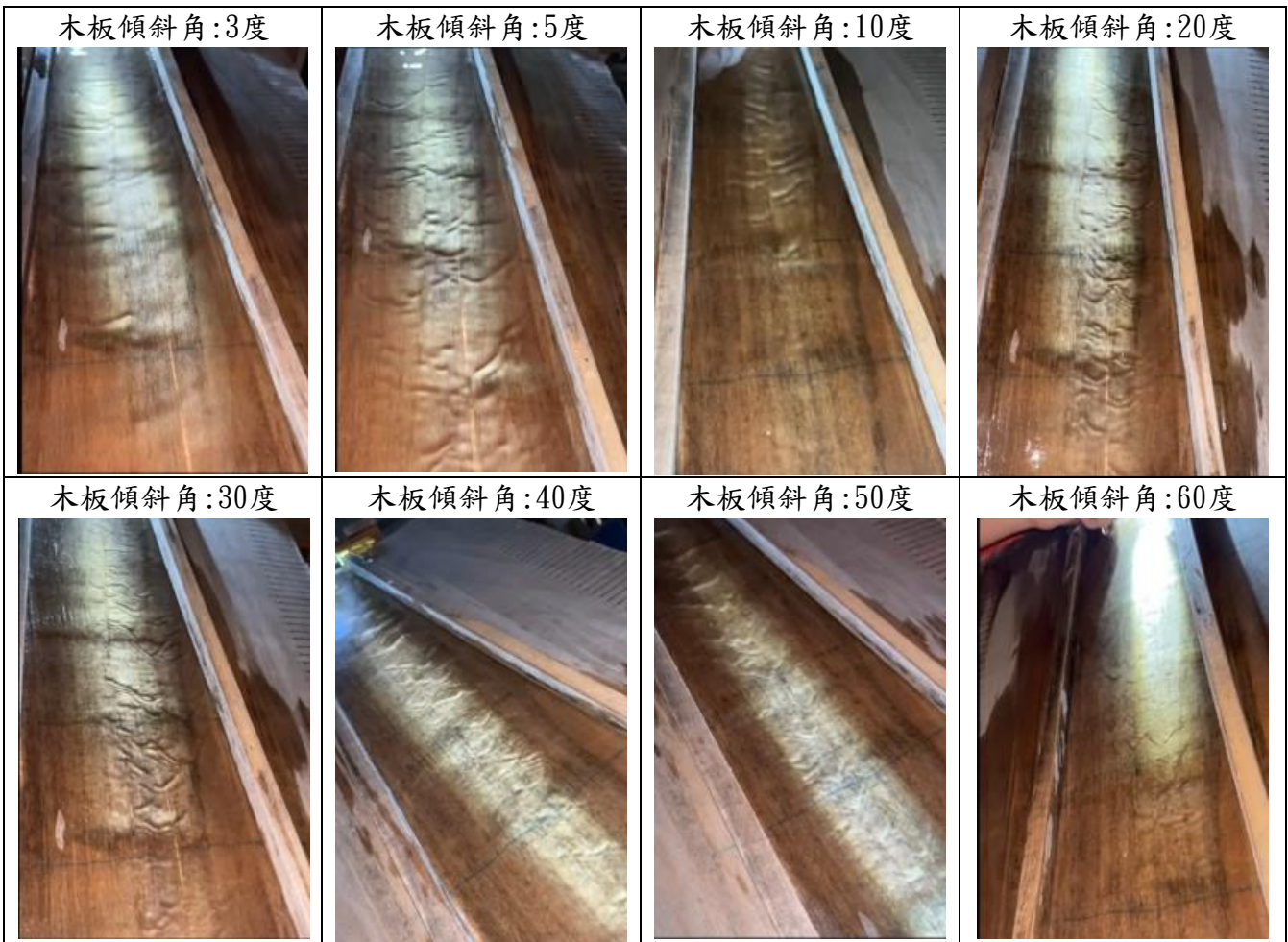
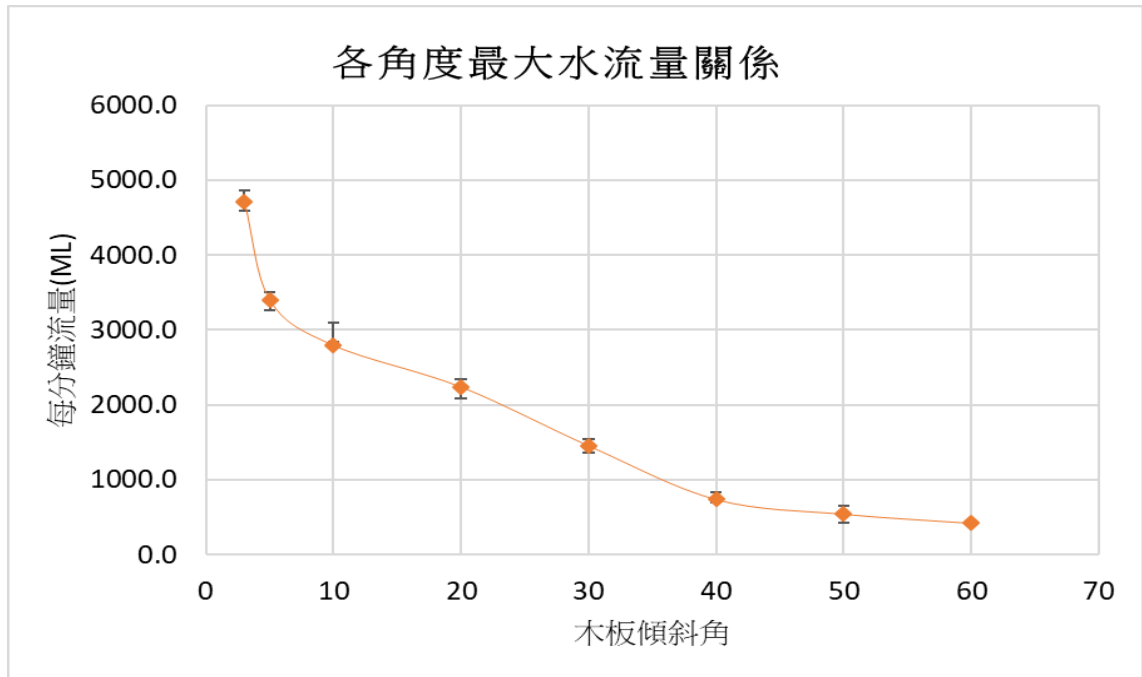


二、實驗二：單位時間的水流量是否影響水階的產生

- (一)實驗條件：兩側加木條導引水流，板子表面材質為一般木材表面，兩木條夾10度，水溫26度。
- (二)「每分鐘最大水流量」的定義：實驗時，持續加大水流量，每分鐘水流量越來越大，觀察水階是否持續出現，直到水階現象消失時的瞬間，測量此時每分鐘的水流量，此即為產生水階現象的「每分鐘最大水流量」。
- (三)實驗結果：

單位：每分鐘的最大水流量

實驗次數 板子角度	一	二	三	四	平均
2度	板子幾乎成水平，水流不動，看不到水階現象。				
3度	4650毫升	4855毫升	4595毫升	4720毫升	4705毫升
5度	3410毫升	3265毫升	3510毫升	3395毫升	3395毫升
10度	2895毫升	3090毫升	2840毫升	2950毫升	2796毫升
20度	2295毫升	2350毫升	2090毫升	2230毫升	2241毫升
30度	1500毫升	1550毫升	1355毫升	1420毫升	1456毫升
40度	720毫升	705毫升	835毫升	700毫升	740毫升
50度	600毫升	500毫升	430毫升	650毫升	545毫升
60度	420毫升	405毫升	435毫升	450毫升	428毫升
65度	觀察不到水階現象				



(四)思考：

1. 經實驗得知：角度越大，產生水階的每分鐘最大流量越小；角度越小，產生水階的每分鐘最大流量越大。
2. 板子傾斜角在低於10度角以內時，發現數據有陡升的現象。我們觀察平面呈5度及3度傾斜時，水流動的情形的狀況會有積水的狀況，以至於不易產生水階現象，所以必須由較大的出水量來推動前方的水，水產生流動時才会有水階現象的產生。
3. 板子傾斜角在高於40度角以上時，發現數據有變平緩的現象。角度較為陡峭時，尤其65度，流動的水不易附著在板子上，推測水流速過大，因此無法產生水階現象。
4. 因此，我們也想到，如果水在水平面的狀況下可以產生水階嗎？那麼，表面材質的不同，是否也會產生影響呢？

三、實驗三：表面的粗糙度是否會影響水階產生？

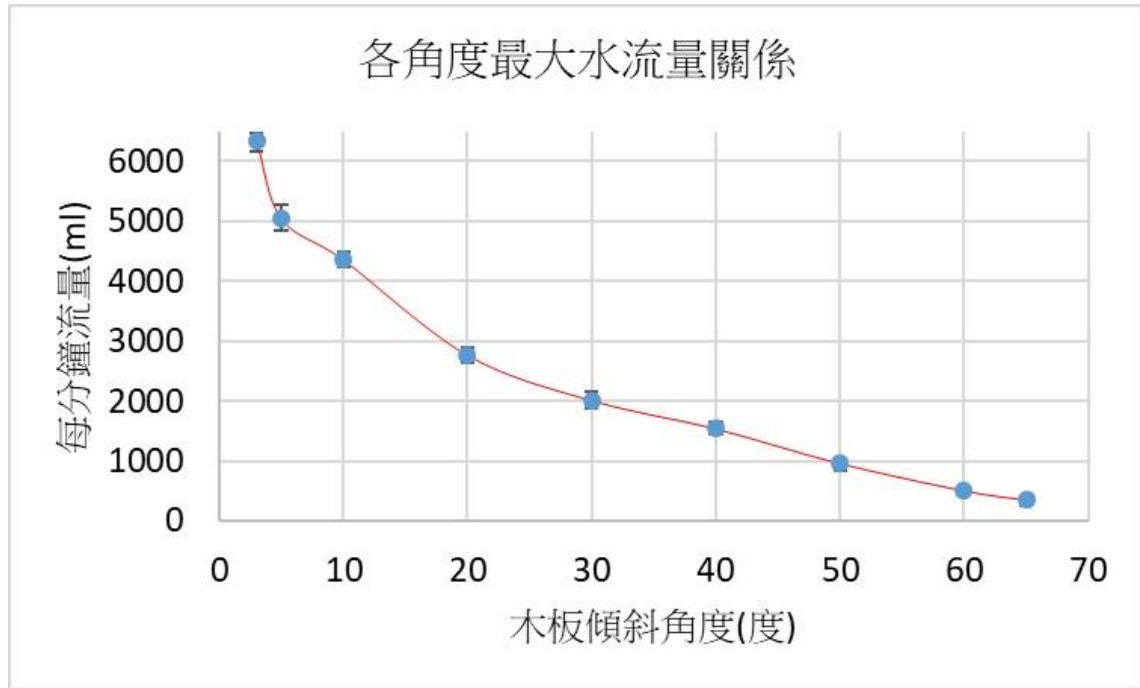
(一)實驗條件：兩側加木條導引水流，板子表面材質為砂紙表面，水溫24~27度。

(二)實驗結果：

(1)砂紙表面粗糙度：120cw

單位：每分鐘的最大水流量

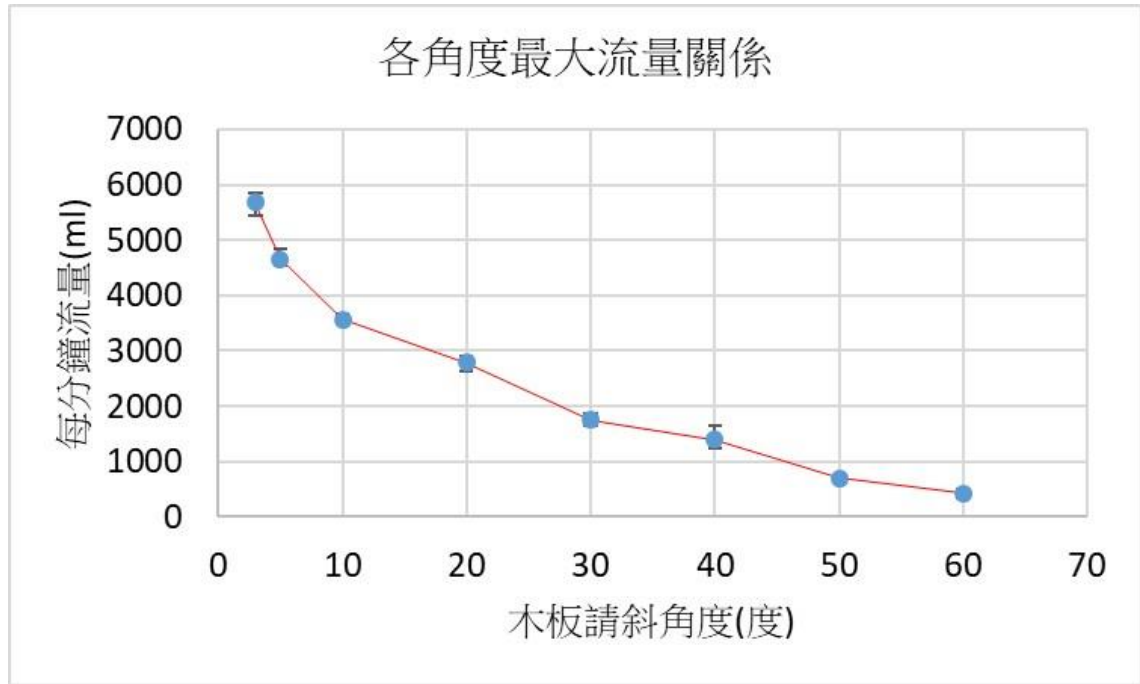
實驗次數 板子角度	一	二	三	四	平均
3度	6325毫升	6430毫升	6155毫升	6460毫升	6343毫升
5度	5100毫升	5265毫升	4850毫升	4925毫升	5035毫升
10度	4485毫升	4250毫升	4245毫升	4420毫升	4350毫升
20度	2630毫升	2900毫升	2855毫升	2657毫升	2847毫升
30度	1875毫升	2055毫升	2145毫升	1950毫升	2006毫升
40度	1500毫升	1445毫升	1550毫升	1650毫升	1536毫升
50度	990毫升	1000毫升	850毫升	995毫升	949毫升
60度	515毫升	520毫升	500毫升	486毫升	505毫升
65度	335毫升	265毫升	405毫升	382毫升	347毫升



(2)砂紙表面粗糙度：240cw

單位：每分鐘的水流量

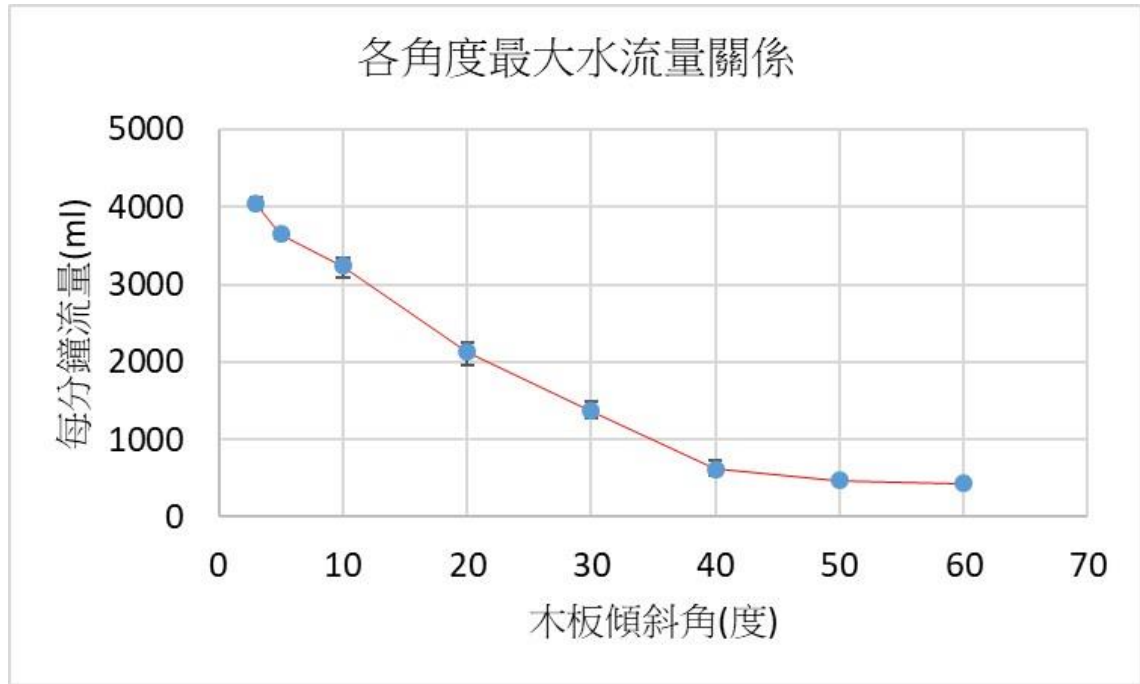
實驗次數 板子角度	一	二	三	四	平均
3度	5765毫升	5430毫升	5866毫升	5647毫升	5677毫升
5度	4830毫升	4595毫升	4685毫升	4550毫升	4665毫升
10度	3495毫升	3575毫升	3680毫升	3515毫升	3566毫升
20度	2885毫升	2900毫升	2635毫升	2750毫升	2796毫升
30度	1880毫升	1650毫升	1805毫升	1685毫升	1755毫升
40度	1385毫升	1300毫升	1250毫升	1250毫升	1393毫升
50度	730毫升	630毫升	755毫升	660毫升	694毫升
60度	475毫升	480毫升	470毫升	475毫升	475毫升
65度	觀察不到水階現象				



(3)砂紙表面粗糙度：400cw

單位：每分鐘的水流量

實驗次數 板子角度	一	二	三	四	平均
3度	4115毫升	3980毫升	4085毫升	3965毫升	4036毫升
5度	3690毫升	3590毫升	3650毫升	3685毫升	3654毫升
10度	3098毫升	3200毫升	3350毫升	3325毫升	3243毫升
20度	1950毫升	2183毫升	2258毫升	2123毫升	2129毫升
30度	1285毫升	1403毫升	1315毫升	1486毫升	1372毫升
40度	735毫升	530毫升	600毫升	610毫升	619毫升
50度	520毫升	450毫升	450毫升	465毫升	471毫升
60度	435毫升	420毫升	425毫升	445毫升	431毫升
65度	觀察不到水階現象				



(三)思考：

1. 經實驗得知，不管哪一種砂紙表面粗糙，板子傾斜角度越大，產生水階的每分鐘最大流量越小；傾斜角度越小，產生水階的每分鐘最大流量越大。
2. 板子傾斜角在低於10度角以內時，三種不同表面粗糙度的砂紙，都發現數據有陡升的現象。
3. 板子傾斜角在高於40度角以上時，三種不同表面粗糙度的砂紙，都發現數據有變平緩的現象。
4. 角度為65度時，只有砂紙120cw 會產生水階現象，其他都沒有。我們認為，板子較為陡峭時，尤其65度，流動的水不易附著在板子上，推測水流速過大，因此無法產生水階現象。
5. 根據以上實驗，我們猜測單位間的水流量將會影響水階的現象產生。因此，我們進行以下實驗。

實驗四：單位時間的水流量是否影響水階現象的產生？

(一)實驗條件：兩側加木條導引水流，木條夾10度角，板子表面材質為一般木材表面，水溫26~28度。

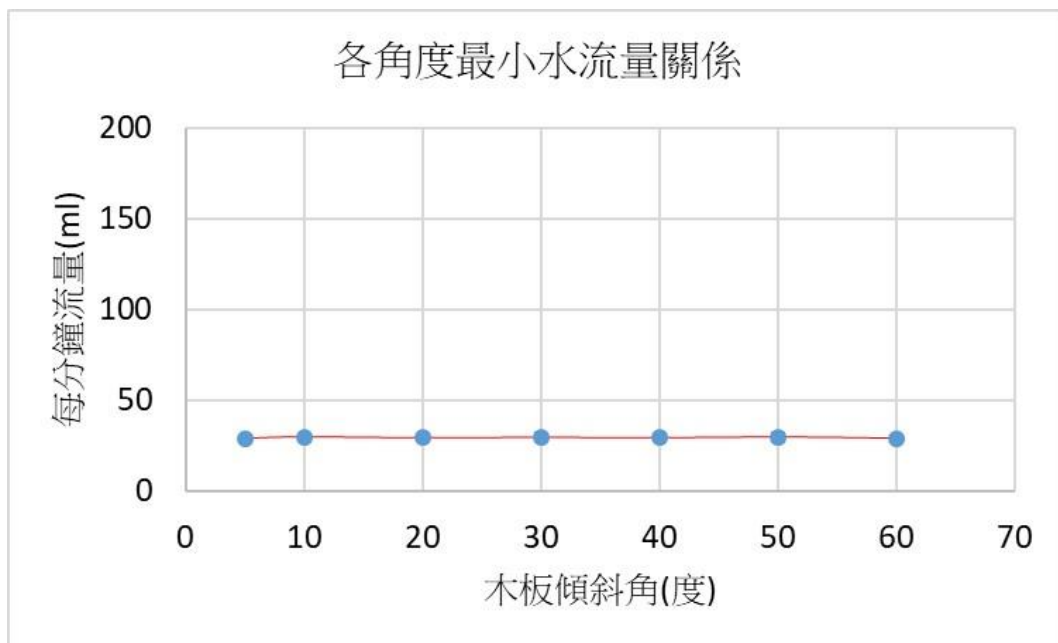
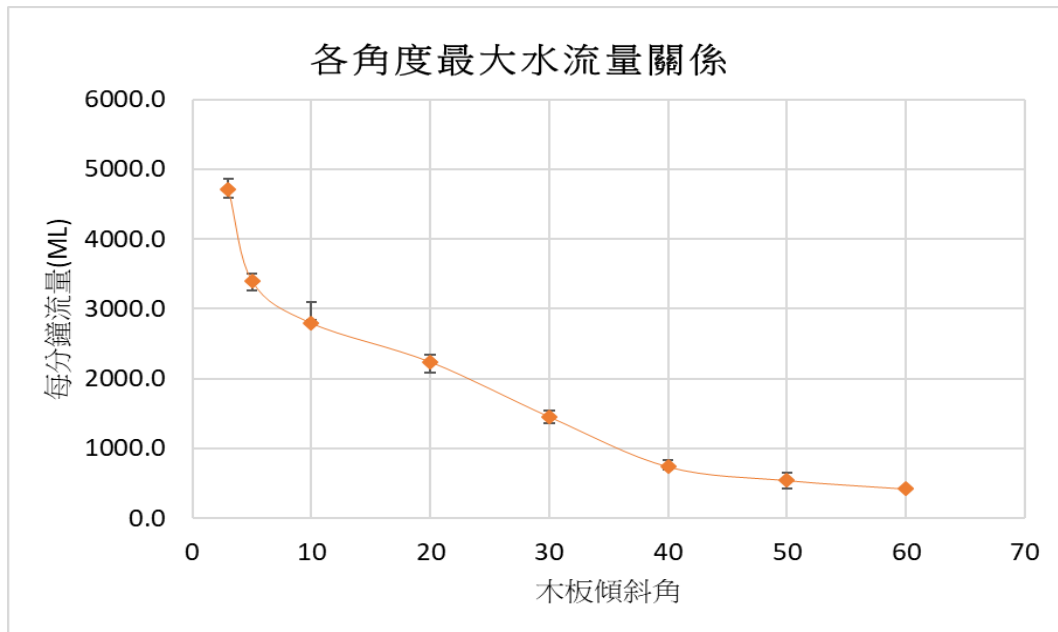
(二)①找出能產生水階現象的「每分鐘最大水流量」：持續加大水流量，觀察水階是否持續出現，直到水階現象消失時的瞬間，測量此時每分鐘的水流量，此即為產生水階現象的每分鐘最大水流量。

②找出能產生水階現象的「每分鐘最小水流量」：持續減少水流量，觀察水階是否持續出現，直到水階現象消失時的瞬間，測量此時每分鐘的水流量，此即為產生水階現象的每分鐘最小水流量。

(三)實驗結果：

單位：每分鐘的水流量

實驗次數 板子角度	一	二	三	四	平均(ml)
3度最小流量	28毫升	27毫升	29毫升	28毫升	28毫升
3度最大流量	4650毫升	4855毫升	4595毫升	4720毫升	4705毫升
5度最小流量	29毫升	30毫升	29毫升	28毫升	29毫升
5度最大流量	3410毫升	3265毫升	3510毫升	3395毫升	3395毫升
10度最小流量	29毫升	29毫升	28毫升	30毫升	29.75毫升
10度最大流量	2895毫升	2500毫升	2840毫升	2950毫升	2796毫升
20度最小流量	28毫升	29毫升	31毫升	29毫升	29.25毫升
20度最大流量	2295毫升	2350毫升	2090	2230毫升	2241毫升
30度最小流量	29毫升	32毫升	28毫升	29毫升	29.5毫升
30度最大流量	1500毫升	1550毫升	1355毫升	1420毫升	1456毫升
40度最小流量	30毫升	28毫升	31毫升	28毫升	29.25毫升
40度最大流量	720毫升	705毫升	835毫升	700毫升	740毫升
50度最小流量	28毫升	32毫升	32毫升	27毫升	29.75毫升
50度最大流量	600毫升	500毫升	430毫升	650毫升	545毫升
60度最小流量	28毫升	29毫升	29毫升	30毫升	29毫升
60度最大流量	420毫升	415毫升	410毫升	415毫升	415毫升



(四)思考：我們發現在各個角度即使只開一點點的水，也會產生水階。實驗發現，各個角度的最小水流量都會差不多，如右圖。



實驗五：探討水流速與產生水階現象有何關係？

(一)實驗條件：兩側加木條導引水流，兩木條夾10度角。板子表面材質為一般木材表面，水溫26~28度。

(二)如何計算水流速：以下是我們在座水流速實驗的過程中遇到幾個難題。

1. 找不到能成功漂在水上的東西：我們在做這個實驗的時候想了很多東西，像抹茶粉、綠茶粉、或者是樹葉等等的東西，但是總是找不到能成功浮在水上的東西，最後找到保麗龍，但是保麗龍若太大塊將影響移動，於是我們便將保麗龍切成小塊，並測試是否能浮在水上，沒想到成功了。

2. 用人的手按馬錶會導致有誤差：

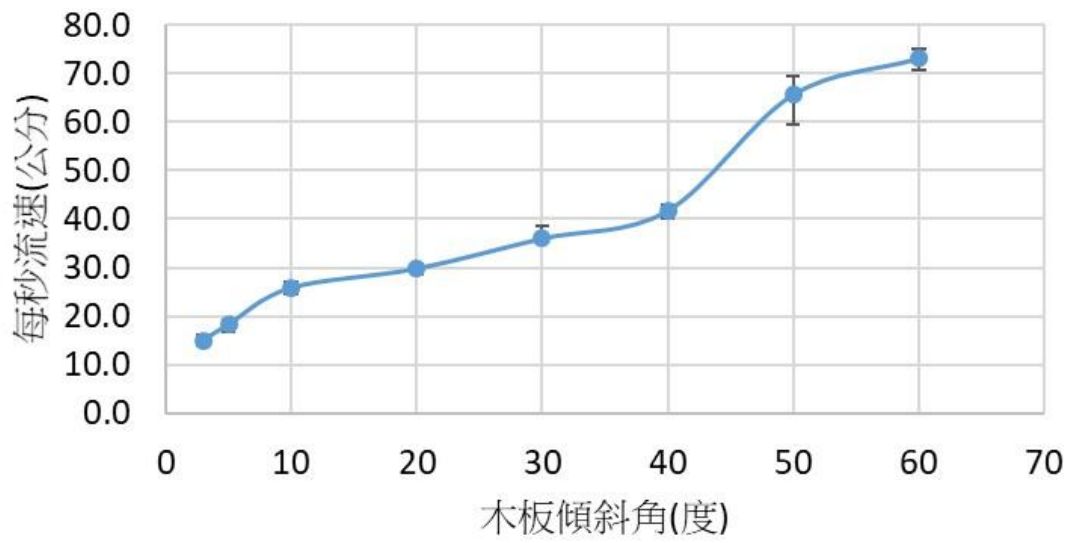
我們實驗進行到30度以後我們決定先統計一次，結果出來的結果讓我們大吃一驚，就是誤差太大了，想到可能是因為我們的馬錶是人手動按的。我們因此討論如何改進，我們想了一個方法，就是在錄影途中持續計時，並使用慢動作錄影，再用通過終點的時間去剪掉通過起點的時間才讓誤差變小。

(三)實驗結果：

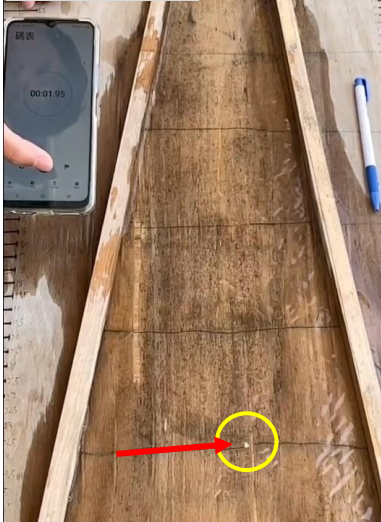
單位：公分/秒

實驗次數 板子角度	一	二	三	四	五	平均 (公分/秒)
3度	15.93	14.05	14.86	16.10	13.98	14.98
5度	18.52	17.69	16.73	19.17	18.87	18.20
10度	25.64	24.51	25.13	27.03	26.74	25.81
20度	30.80	28.74	29.41	30.67	29.07	29.76
30度	35.71	37.22	38.46	35.71	35.97	35.97
40度	43.10	40.00	40.65	43.10	42.02	41.67
50度	66.67	59.52	66.67	69.53	65.79	65.64
60度	71.25	70.69	73.97	75.11	74.67	73.14

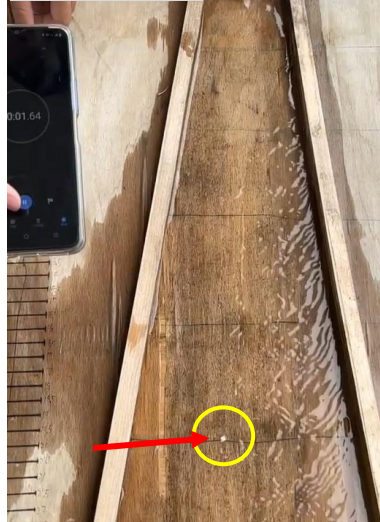
水流速與板子傾斜角的關係



板子傾斜10度



板子傾斜20度



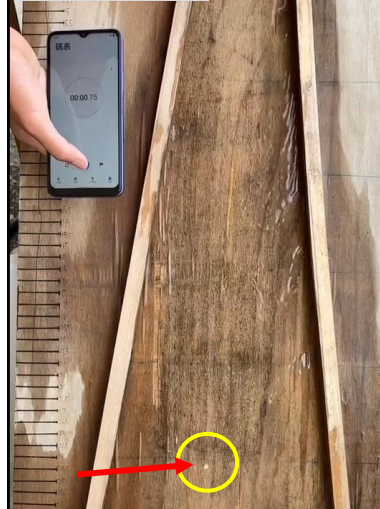
板子傾斜30度



板子傾斜40度



板子傾斜50度



板子傾斜60度



實驗六：水在水平面中流動時能否產生水階？

(一)實驗條件：

(二)實驗結果：

板子角度	是否產生水階	板子角度	是否產生水階
10度	否	40度	否
20度	否	50度	否
30度	否		

(三)思考：

1. 右圖是在木板角度為10的情況下拍攝的圖，由此圖我們可以發現水平面無法產生水階。
2. 觀察水的流動，發現水會擠壓在水平面上，前端流不動，造成一攤水，當然無法產生水階現象。



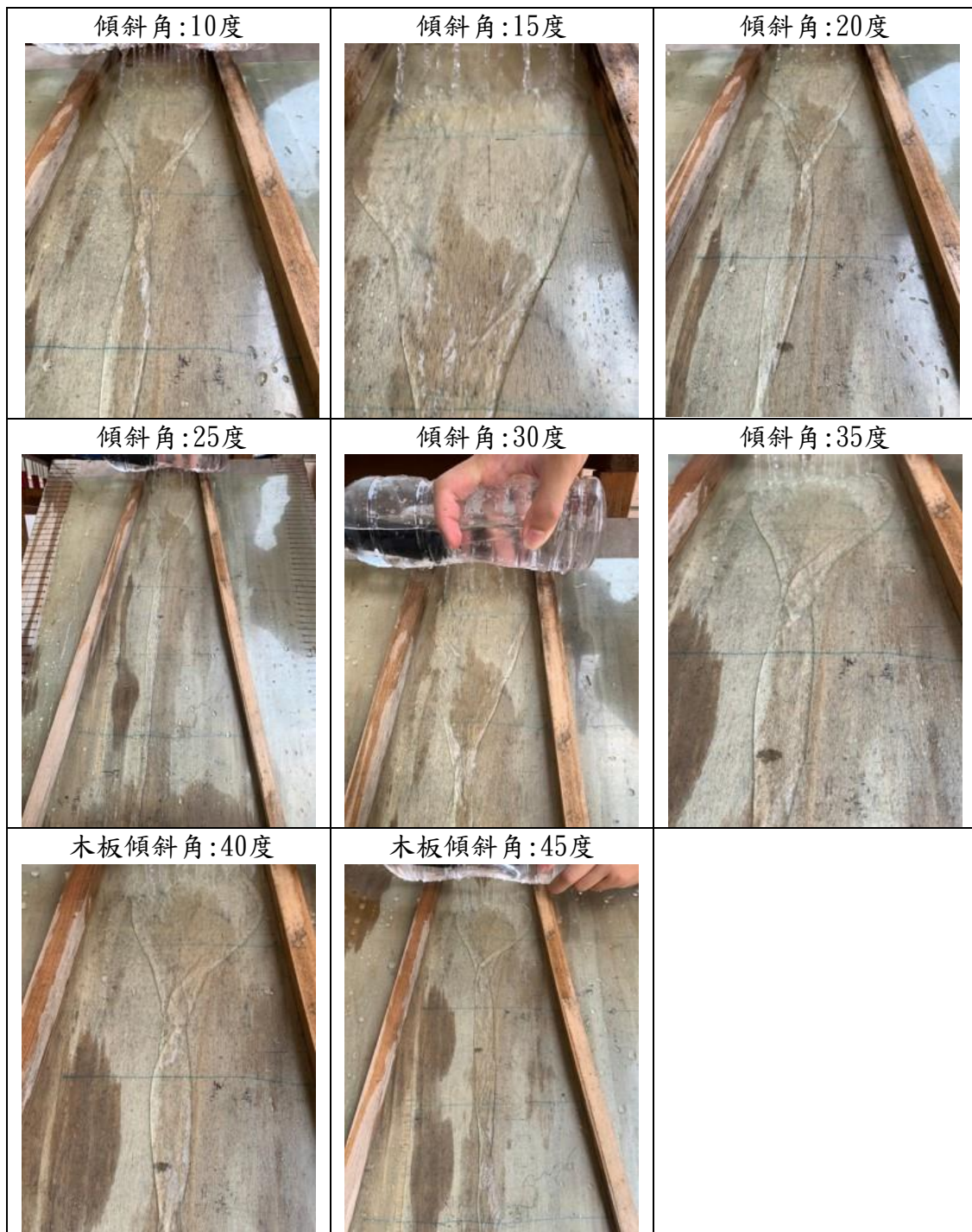
實驗七：不同表面材質是否影響水階的產生？

(一)實驗條件：兩側加木條導引水流，兩木條夾10度角。板子表面材質為塑膠、玻璃材質，水溫24~27度。

(二)實驗結果：

1. 塑膠墊板做為表面：

傾斜角度	是否產生水階	傾斜角度	是否產生水階
10度	否	35度	否
15度	否	40度	否
20度	否	45度	否
25度	否	50度	否
30度	否	55度	否



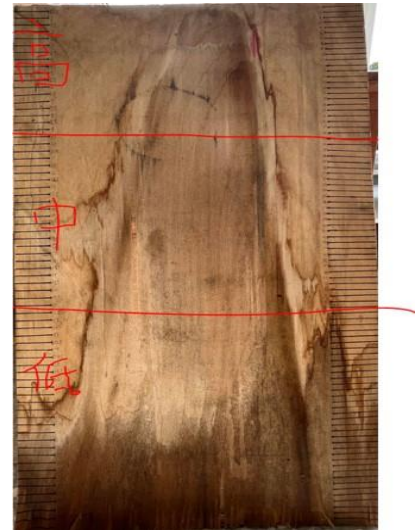
2. 玻璃做為表面：

傾斜角度	是否產生水階	傾斜角度	是否產生水階
10度	否	35度	否
15度	否	40度	否
20度	否	45度	否
25度	否	50度	否
30度	否	55度	否

伍、討論

一、水階現象的觀察位置：

我們將木板分為高、中、低三個部分，如右圖。我們發現，高的地方不容易產生水階，可能是水流過於集中且一開始流動而無法立即產生漸層。因此，我們實驗觀察的地方都是觀察中間部位。水階的產生原因主要是因為水在往下流動的過程中，前方受到摩擦力的影響而越流越慢，而後面的水追上前面的水造成重疊時，就會形成水階現象。



二、板子傾斜角度是否影響水階的產生？

從實驗一開始發現板子傾斜角3度到60度之間都會產生水階的現象，因此，我們想要探討產生水階的最大流量是否受到板子傾斜角度的影響，水階是什麼？當水沖到板子，往下流動時，會在某一範圍內，突然升起，形成一道高牆，這就叫水階。

另外，我們發現，當傾斜角達65度時，除了120cw 的砂紙之外，都不會產生水階了。實驗設施要製作65度以上的角度並不容易。我們必須將水箱抬至更高處，這聽起來很簡單，但其實一點也不容易，在抬起來的過程中，只要一不小心，就會發生危險。我們觀察水在這麼高角度的表面流動時，流速較快且水流較為集中，因此造成不易產生水階的現象。

當板子傾斜角在3度內時，我們發現板子太過於平緩，導致上方的水不易流動，造成積水的狀況且又容易逆流。因此不會產生水階的現象。

三、單位時間的水流量是否影響水階現象的產生？

何謂「每分鐘最大水流量」？實驗時，持續加大水流量，每分鐘水流量越來越大，觀察水階是否持續出現，直到水階現象消失時的瞬間，測量此時每分鐘的水流量，此即為產生水階現象的「每分鐘最大水流量」。

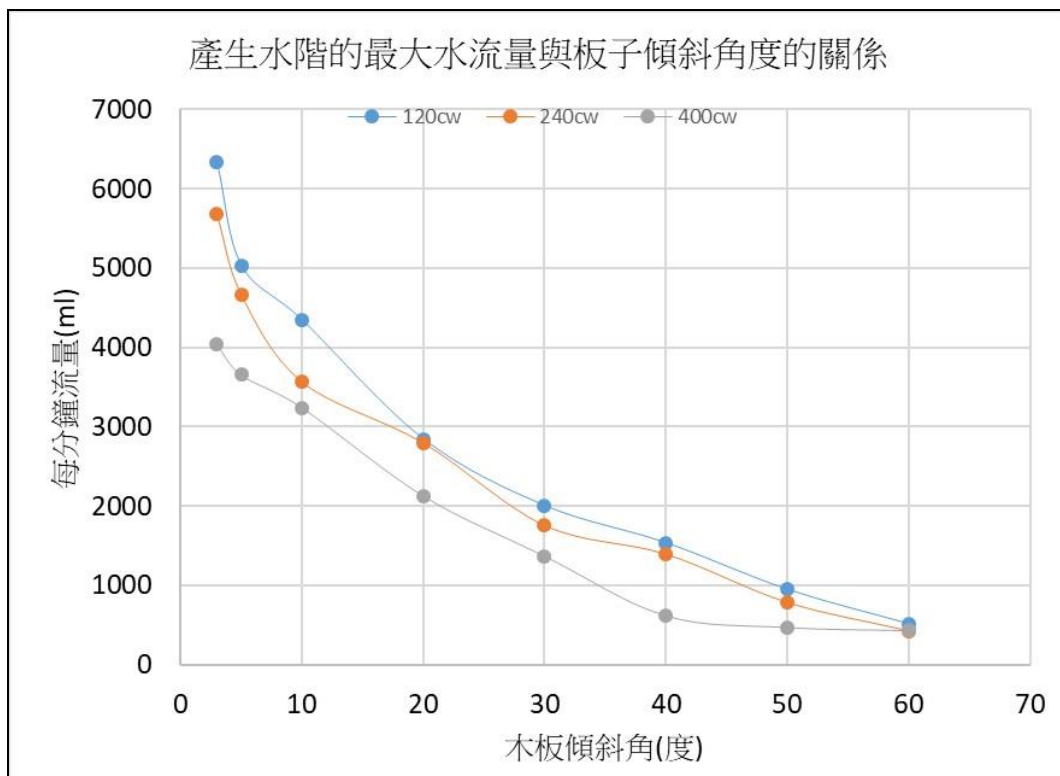
根據實驗二的實驗結果，當板子的傾斜角度越大，產生水階現象的每分鐘最大水流量越小；傾斜角度越小，產生水階現象的每分鐘最大流量越大。這是因為板子傾斜角度大，水的流速較快本就不易產生水階，此時若還加上大的水流量將造成水階現象被蓋過，當然不會產生水階現象。而當傾斜角較小時，水不易流動，因此需要較大的水流量來推動水的前進，當水可以前進時，就能產生水階現象。

四、表面的粗糙度是否會影響水階產生

從我們實驗三觀察到如果表面越粗糙(120cw 砂紙)，產生水階的每分鐘最大流量值將會越大；相反的，如果表面越光滑(400cw)，產生水階的每分鐘最大流量值就會較小，如下

圖。為什麼會這樣呢？因為表面越粗糙，最前端的水流將會變慢，其後方的水流就會追上，造成累積而形成水階現象。因此，表面若較為粗糙，就容易產生水階現象。

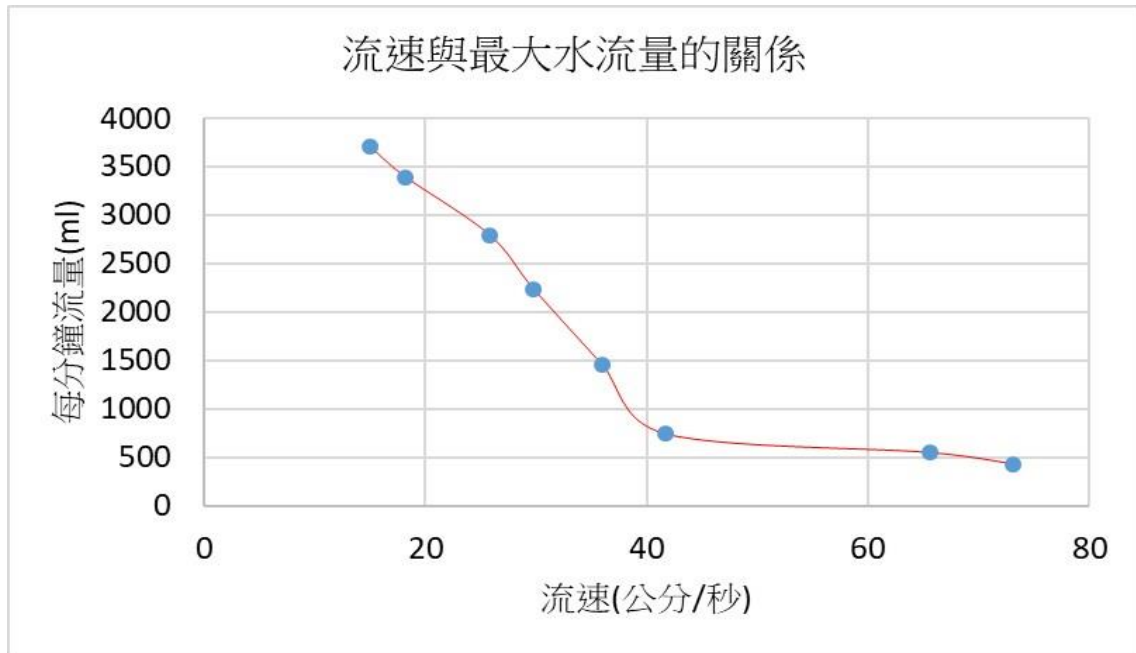
從此實驗中亦發現與實驗二的結果相同，不管哪一種砂紙表面粗糙，板子傾斜角度越大，產生水階的每分鐘最大流量越小；傾斜角度越小，產生水階的每分鐘最大流量越大。板子傾斜角在低於10度角以內時，三種不同表面粗糙度的砂紙，都發現數據有陡升的現象。板子傾斜角在高於40度角以上時，三種不同表面粗糙度的砂紙，都發現數據有變平緩的現象。當角度為65度時，只有砂紙120cw 會產生水階現象，其他都沒有。我們認為，板子較為陡峭時，尤其65度，流動的水不易附著在板子上，推測水流速過大，因此無法產生水階現象。



五、水流速與最大水流量的關係？

從實驗五中可知，板子傾斜角越大時，水的流速將越大，不過在大於50度時會呈現趨緩的現象，這是合理的，因為流速不可能一直隨角度變大，流速應該呈現趨緩(流速仍增加，只是趨緩)。而傾斜角低於10度以下時，流速將變得更慢，這是合理的，當板子為水平時，流速應該接近為零(接近卻不為零，是因為水有衝力，仍會造成水稍微流動)。

我們比較「流速」與「每分鐘最大水流量」的關係時，如下圖(下一頁)。發現水流速在約38cm/s時，會有一個明顯的轉折。流速小於38cm/s時，隨著流速變小而每分鐘最大水流量變大。而流速大於38cm/s時，隨著流速變大，每分鐘最大水流量雖變小，但變化幅度明顯小很多。目前我們仍不曉得為什麼會在流速38cm/s時產生轉折。



六、水平面是否與水階的產生有關聯？

經過我們實驗六之後，我們發現只要是水平面就不會產生水階，我們認為是因為平面上的水不易流動而積水，並且會往四面八方擴散，因此無法集中水流往前流動，以致無法產生水階現象。

七、為甚麼各角度的最小水流量都差不多？

因為我們發現在各個角度即使開到最小都會產生水階，我們使用過更小開口的吸管等物品，但都還是會產生水階。於是我們想要了解產生水階現象時的每分鐘最小流量。從實驗四中我們發現，從木板的傾斜角度3度~60度之間，減少水流量來觀察水階現象，發現每分鐘最小流量皆約相同，約略在30毫升/分鐘。

八、不同表面材質對水階產生的影響

我們發現表面若為塑膠材質及玻璃，他們是屬於不吸水的材質，且是屬於疏水性的材質，我們觀察水在這些表面流動的現象，發現水不會擴大，只會一條直線向下流。

一開始我們覺得是不是因為我們採取的是水管出口的形狀，造成水流不易擴大。因此，我們製作一個大面積出水，於是我們在寶特瓶上挖了一排的洞，讓水流呈現大面積的流出，但是我們從實驗中發現水流還是會聚集而形成一條較窄的水流，當然不會產生水階現象。從以上結果可知，集中水流並不會產生水階現象，要產生水階現象，水流必須要有較為開闊的流動面積才能產生水階現象。

陸、結論

是否產生水階現象？以下是我們整理出的結論：

一、水階的產生會受到水流量大小、摩擦力、水流速快慢、木板傾斜角度及表面材質等影響。

(一) 流速越快，越不容易產生水階，流速越慢，就越容易產生水階。

(二) 摩擦力越大，產生的水階越明顯，摩擦力越小，產生的水也就越不明顯。

(三) 水流速會受摩擦力影響，愈來愈慢，造成阻塞而堆積的結果就形成水階。水流速越快就越不容易產生水階，因為水的流速太快導致水流很快就一起追上前方水流而無法行層一層層的堆積，因此不易產生水階現象。相反的，流速較慢將較容易產生水階。

(四) 木板傾斜角度越大，較不易產生水階。因為角度越大，水流速相對的就越快，很容易導致水流很快就一起追上前方水流而無法行層一層層的堆積，終究產生水階是必須有一點點時間差才容易使水階成形。而木板角度越小，不易產生水階，因為木板過於平緩，水流將流不動而無法形成水階。

(五) 表面材質若是屬於不吸水的材質，且屬於疏水性的材質，將不會產生水階現象，例如塑膠及玻璃。

二、在水平面的狀況下無法產生水階

受到角度、摩擦力的影響，不會受到流速的影響是因為只要流速缺少另外兩項條件就不會產生水階。

三、產生水階現象的共通條件：

經過我們的實驗與觀察後，我們發現，3度到60度之間都有水階，他們的共通點就是角度小、流速慢、摩擦力大較易產生水階現象；相反的，只要角度大、流速快、摩擦力小就不容易產生水階。產生水階的綜合原因如下表：

影響因素	水階現象
摩擦力大	水階現象明顯
摩擦力小	水階現象不明顯
木板角度大	水階現象不明顯
木板角度小	水階現象明顯
水流速快	水階現象不明顯
水流速慢	水階現象明顯

柒、參考文獻資料

1. 國中自然科學第三冊第三章，聲音，康軒出版社，110年8月初版。
2. 工程流體力學(第三版)，科技圖書，朱佳仁。

【評語】 030107

水階是一個很常見的現象，對於這個現象的分析會是一個有趣的題目。本作品已經使用了砂紙研究摩擦力相關的作用，可以再進一步做更多物理的推斷與分析水階的形成因素，這樣做可以讓作品的科學性更完整。

作品海報

摘要

此主題是探討水在傾斜表面上流動時所產生的水階現象。實驗結果，表面傾斜角度、單位時間的水流量、水的流速、表面粗糙度及表面材質等，皆會影響水階現象的產生。表面粗糙度越大，水階現象越明顯，水階是因為前方的水流流速因為摩擦力變慢，而後方水流追上前方，累積的結果就產生了水階現象。板子傾斜角度介於3度到60度之間皆會產生水階現象。傾斜角度越大時，其產生水階現象時的最大水流量值，卻顯著變小。原因是傾斜角度較大時，將造成水流速較快，若再加上水流量較大，大量的水就會相互覆蓋而無法產生水階的現象，因此角度大時反而要小的水流量才能顯現出水階現象。表面若為疏水性材質，造成水流集中而無法擴散流動，亦無法產生水階現象。

壹、研究動機

有一天下著小雨，我走在一個柏油馬路上的斜坡，發現馬路上的水流，居然會產生一層一層的波紋，我覺得蠻有趣的，詢問家長為何產生這樣的波紋？家長也不知道為什麼。當時剛好學校在號召做科展的學生，我將此事告知同學，同學也覺得這是一個適當的科展題目。因此，我們從此走入科展的歷程。由於水流動時的現象，看起來是一階一階的現象，我們命名為「水階」，如右圖。



貳、研究目的

- 1、找出能讓水產生水階現象的條件。
- 2、板子傾斜角度是否影響水階的產生？
- 3、單位時間的水流量是否影響水階現象的產生？
- 4、表面的粗糙度是否會影響水階產生？
- 5、水在水平面中流動時能否產生水階？
- 6、探討水流速與產生水階現象有何關係？
- 7、不同表面材質是否影響水階的產生？
- 8、說明產生水階現象的原因。

參、研究設備及器材

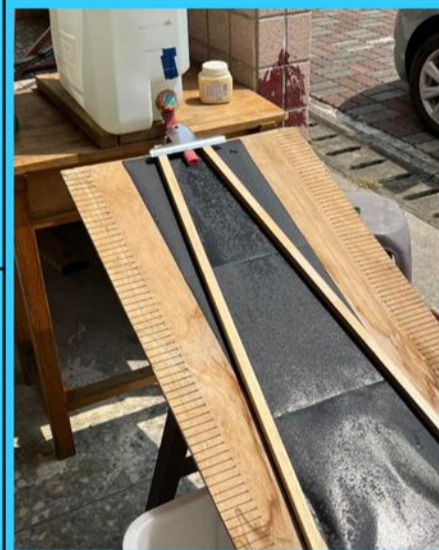
升降平台



水桶



實驗全圖



手機



砂紙



肆、研究過程與方法

實驗步驟：

- (一)架設實驗器具
- (二)將20公升的水桶注入水
- (三)使用手機測距儀測量實驗角度
- (四)開啟開關使水流出，觀察是否有水階的產生？
- (五)控制水流大小，轉動開關讓水流量增加，觀察水階現象產生，直至沒有出現水階現象的瞬間。
- (六)計時1分鐘測量水的流量。
- (七)將水桶內的水倒入量杯中測量此次流水量的體積。

實驗一：板子傾斜角度是否影響水階的產生？

步驟：使用手機測量角度APP，將木板調整角度為2、3、5、10、20、30度…等，控制水流大小，觀察水階現象。

實驗二：單位時間水流量是否影響水階產生？

步驟：(1)控制水流大小，從一開始有出現水階現象時，轉動開關讓水流量增加，直至沒有出現水階現象的瞬間。
(2)測量每分鐘最大水流量。
(3)將水桶內的水加入量杯測量此次流水量

實驗三：表面的粗糙度是否會影響水階產生？

步驟：(1)在板子表面貼上120cw、240cw、400cw等三種砂紙，改變表面的粗糙度，觀察水階現象。
(2)測量每分鐘最大水流量。
(3)觀察有砂紙與沒砂紙的出水量是否相同？

實驗四：水流量大小是否影響水階現象產生？

步驟：找出能產生水階現象的「每分鐘最大水流量」及產生水階現象的「每分鐘最小水流量」。

實驗五：各個角度的水流速

步驟：(1)轉動開關讓水流量增加，讓水階現象產生。
(2)將提前準備好的小保麗龍球放置於木板上。
(3)小保麗龍球隨水流流下的同時使用手機錄影。
(4)測量保麗龍在水流中的移動速率。

實驗六：水在水平面中流動是否產生水階？

步驟：開啟開關，水流從斜面流下，下方為一個水平的板子，待水流至水平面處，觀察水階現象。

實驗七：不同表面材質是否影響水階產生？

步驟：(1)更換表面材質為玻璃及塑膠墊。
(2)開啟開關使水流出，觀察是否有水階的產生？

伍、研究結果

一、實驗一：板子傾斜角度是否影響水階的產生

(一)兩側為開放式，沒有導引水流：

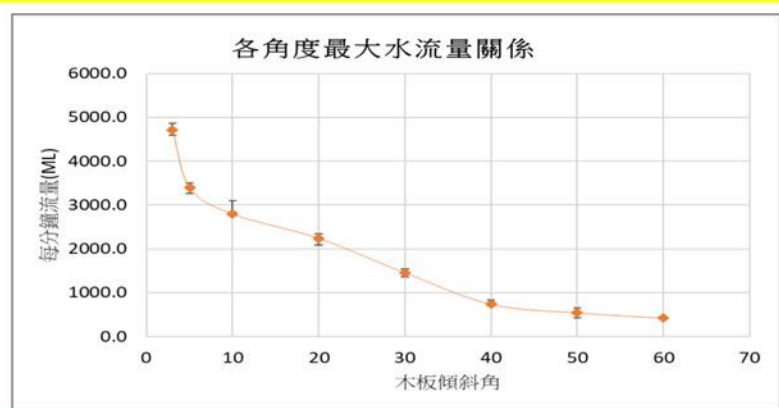
板子角度	是否產生水階	板子角度	是否產生水階
10度	是	35度	是
15度	是	40度	是
20度	是	45度	是
25度	是	50度	是
30度	是	55度	是

(二)兩側架設木條-可限縮水流，水流更集中

板子角度	是否產生水階	板子角度	是否產生水階
3度	是	35度	是
5度	是	40度	是
10度	是	45度	是
15度	是	50度	是
20度	是	55度	是
25度	是	60度	是
30度	是	65度	否

二、實驗二：單位時間的水流量是否影響水階的產生

- (一)實驗條件：兩側加木條導引水流，板子表面材質為一般木材表面，兩木條夾10度，水溫26度。
- (二)「每分鐘最大水流量」的定義：實驗時，持續加大水流量，每分鐘水流量越來越大，觀察水階是否持續出現，直到水階現象消失時的瞬間，測量此時每分鐘的水流量，此即為產生水階現象的「每分鐘最大水流量」。
- (三)實驗結果：(如右圖)



三、實驗三：表面的粗糙度是否會影響水階產生？

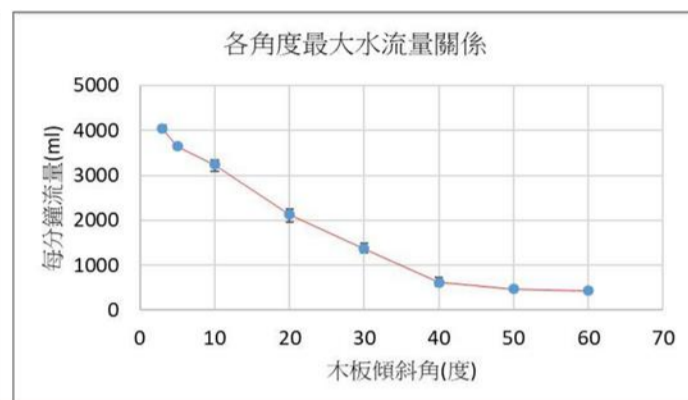
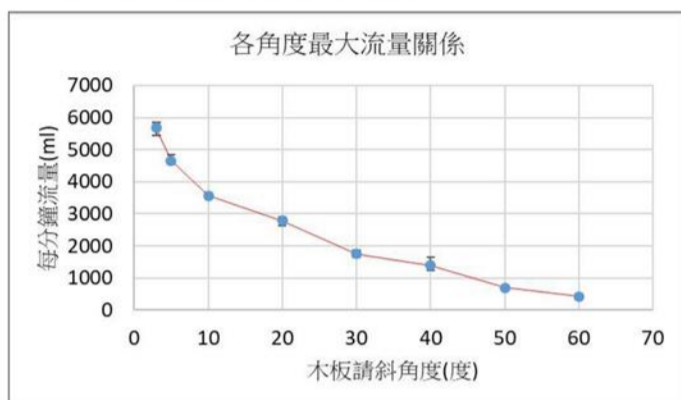
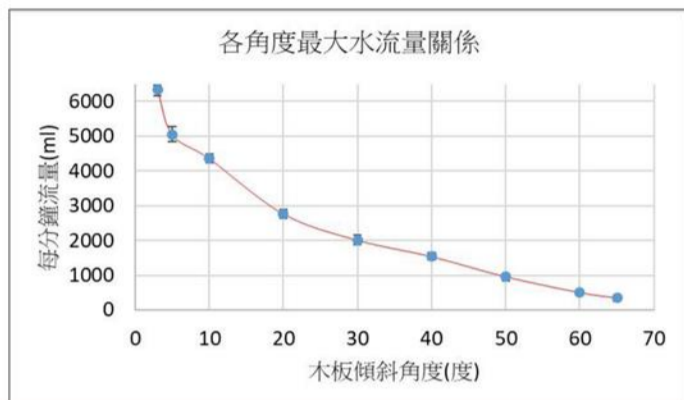
(一)實驗條件：兩側加木條導引水流，板子表面材質為砂紙表面，水溫24~27度。

(二)實驗結果：

(1)砂紙表面粗糙度：120cw

(2)砂紙表面粗糙度：240cw

(3)砂紙表面粗糙度：400cw

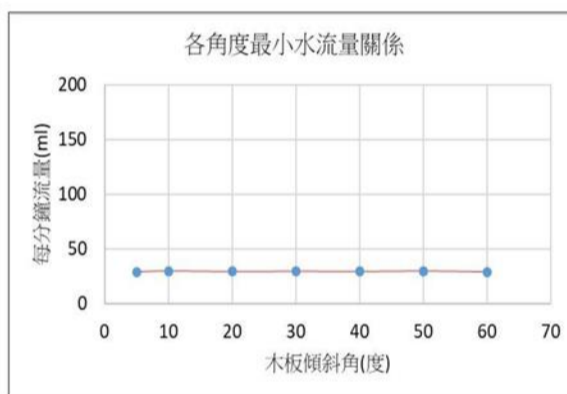
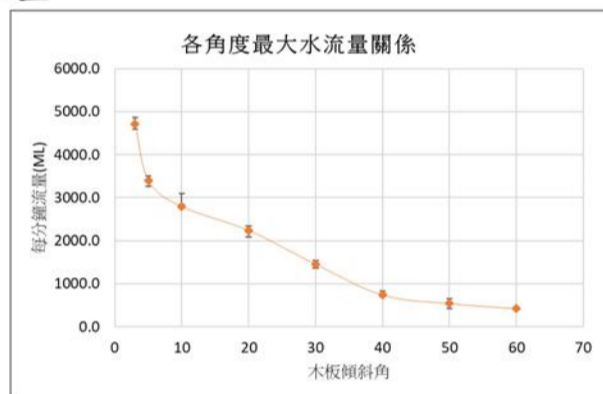


實驗四：產生水階現象時的最大水流量及最小水流量？

(一)實驗條件：兩側加木條導引水流，木條夾10度角，板子表面材質為一般木材表面，水溫26~28度。

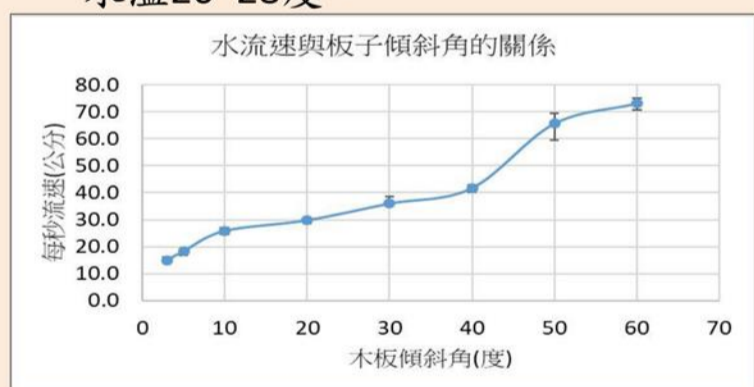
(二)何謂「每分鐘最大水流量」：持續加大水流量，觀察水階是否持續出現，直到水階現象消失時的瞬間，測量此時每分鐘的水流量。

(三)何謂「每分鐘最小水流量」：持續減少水流量，觀察水階是否持續出現，直到水階現象消失時的瞬間。



實驗五：探討水流速與產生水階現象有何關係？

(一)實驗條件：兩側加木條導引水流，兩木條夾10度角。板子表面材質為一般木材表面，水溫26~28度。

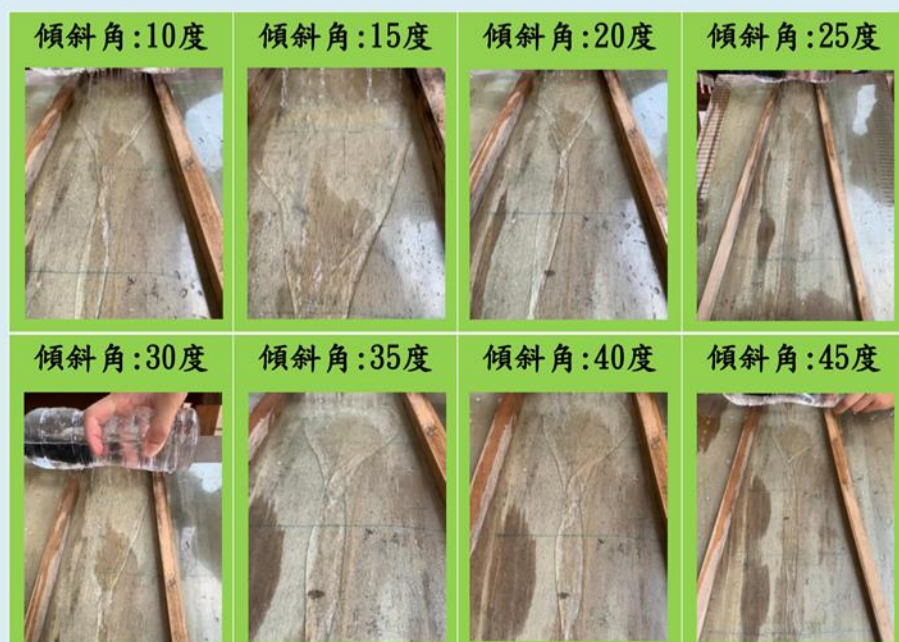


實驗七：不同表面材質是否影響水階現象的產生？

(一)實驗條件：兩側加木條導引水流，兩木條夾10度角。板子表面材質為塑膠、玻璃材質，水溫24~27度。

塑膠墊板做為表面	傾斜角度	是否產生水階	傾斜角度	是否產生水階
	10度	否	35度	否
	15度	否	40度	否
	20度	否	45度	否
	25度	否	50度	否
	30度	否	55度	否

玻璃做為表面	傾斜角度	是否產生水階	傾斜角度	是否產生水階
	10度	否	35度	否
	15度	否	40度	否
	20度	否	45度	否
	25度	否	50度	否
	30度	否	55度	否



實驗六：水在平面中流動時能否產生水階？

板子角度	是否產生水階	板子角度	是否產生水階
10度	否	40度	否
20度	否	50度	否
30度	否		

思考：觀察水的流動，發現水會擠壓在水平面上，前端流不動，造成一攤水，當然無法產生水階現象。

陸、討論

二、板子傾斜角度是否影響水階的產生？

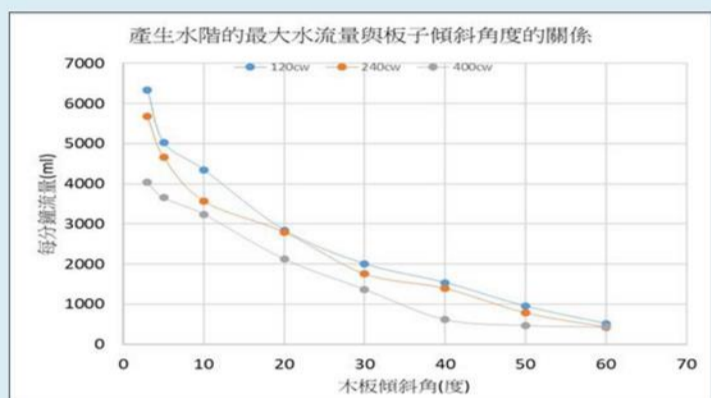
從實驗一開始發現板子傾斜角3度到60度之間都會產生水階的現象，因此，我們想要探討產生水階的最大流量是否受到板子傾斜角度的影響，水階是什麼？當水沖到板子，往下流動時，會在某一範圍內，突然升起，形成一道高牆，這就叫水階。另外，我們發現，當傾斜角達65度時，除了120cw的砂紙之外，都不會產生水階了。我們觀察水在這麼高角度的表面流動時，流速較快且水流較為集中，因此造成不易產生水階的現象。當板子傾斜角在3度內時，發現板子太過於平緩，導致上方的水不易流動，造成積水的狀況且又容易逆流。因此不會產生水階的現象。

三、單位時間的水流量是否影響水階現象的產生？

根據實驗二的實驗結果，當板子的傾斜角度越大，產生水階現象的每分鐘最大水流量越小；傾斜角度越小，產生水階現象的每分鐘最大流量越大。這是因為板子傾斜角度大，水的流速較快本就不易產生水階，此時若還加上大的水流量將造成水階現象被蓋過，當然不會產生水階現象。而當傾斜角較小時，水不易流動，因此需要較大的水流量來推動水的前進，當水可以前進時，就能產生水階現象。

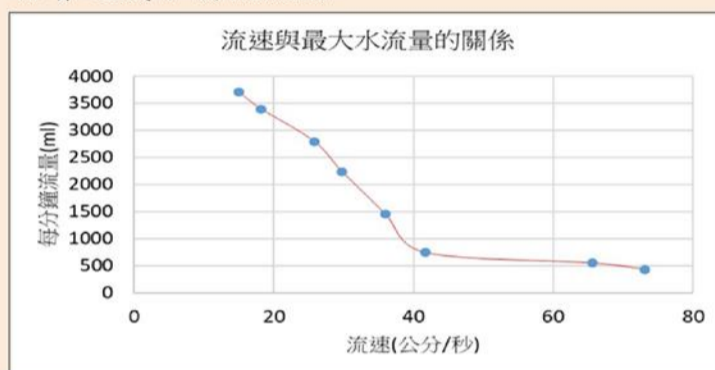
四、表面的粗糙度是否會影響水階產生？

從我們實驗三觀察到如果表面越粗糙(120cw砂紙)，產生水階的每分鐘最大流量值將會越大；因為表面越粗糙，最前端的水流將會變慢，其後方的水流就會追上，造成累積而形成水階現象。因此，表面若較為粗糙，就容易產生水階現象。



五、水流速與最大水流量的關係？

從實驗五中可知，板子傾斜角越大時，水的流速將越大，不過在大於50度時會呈現趨緩的現象，這是合理的，因為流速不可能一直隨角度變大，流速應該呈現趨緩。而傾斜角低於10度以下時，流速將變得更慢，當板子為水平時，流速應該接近為零，但不為零，是因為水有衝力，仍會造成水稍微流動。



六、水平面是否與水階的產生有關聯？

經過我們實驗六之後，我們發現只要是水平面就不會產生水階，我們認為是因為平面上的水不易流動而積水，並且會往四面八方擴散，因此無法集中水流往前流動，以致無法產生水階現象。

七、為甚麼各角度的最小水流量都差不多？

因為我們發現在各個角度即使開到最小都會產生水階，我們使用過更小開口的吸管等物品，但都還是會產生水階。於是我們想要了解產生水階現象時的每分鐘最小流量。從實驗四中我們發現，從木板的傾斜角度3度~60度之間，減少水流量來觀察水階現象，發現每分鐘最小流量皆約相同，約略在30毫升/分鐘。

八、不同表面材質對水階產生的影響？

我們發現表面若為塑膠材質及玻璃，他們是屬於不吸水的材質，且是屬於疏水性的材質，我們觀察水在這些表面流動的現象，發現水不會擴大，只會一條直線向下流。

一開始我們覺得是不是因為我們採取的是水管出口的形狀，造成水流不易擴大。因此，我們製作一個大面積出水，於是我們在寶特瓶上挖了一排的洞，讓水流呈現大面積的流出，但是我們從實驗中發現水流還是會聚集而形成一條較窄的水流，當然不會產生水階現象。從以上結果可知，集中水流並不會產生水階現象，要產生水階現象，水流必須要有較為開闊的流動面積才能產生水階現象。

柒、結論

是否產生水階現象？以下是我們整理出的結論：

一、水階的產生會受到水流量大小、摩擦力、水流速快慢、木板傾斜角度及表面材質等影響。

- (一) 流速越快，越不容易產生水階，流速越慢，就越容易產生水階。
- (二) 摩擦力越大，產生的水階越明顯，摩擦力越小，產生的水也就越不明顯。
- (三) 水流速會受摩擦力影響，愈來愈慢，造成阻塞而堆積的結果就形成水階。水流速越快就越不容易產生水階，因為水的流速太快導致水流很快就一起追上前方水流而無法行層一層層的堆積，因此不易產生水階現象。相反的，流速較慢將較容易產生水階。
- (四) 木板傾斜角度越大，較不易產生水階。因為角度越大，水流速相對的就越快，很容易導致水流很快就一起追上前方水流而無法行層一層層的堆積，終究產生水階是必須有一點點時間差才容易使水階成形。而木板角度越小，不易產生水階，因為木板過於平緩，水流將流不動而無法形成水階。
- (五) 表面材質若是屬於不吸水的材質，且屬於疏水性的材質，將不會產生水階現象，例如塑膠及玻璃。

二、在水平面的狀況下無法產生水階

受到角度、摩擦力的影響，不會受到流速的影響是因為只要流速缺少另外兩項條件就不會產生水階。

三、產生水階現象的共通條件：

經過我們的實驗與觀察後，我們發現，3度到60度之間都有水階，他們的共通點就是角度小、流速慢、摩擦力大較易產生水階現象；相反的，只要角度大、流速快、摩擦力小就不容易產生水階。產生水階的綜合原因如右表：

影響因素	水階現象
摩擦力大	水階現象明顯
摩擦力小	水階現象不明顯
木板角度大	水階現象不明顯
木板角度小	水階現象明顯
水流速快	水階現象不明顯
水流速慢	水階現象明顯

捌、參考文獻資料

1. 國中自然科學第三冊第三章，聲音，康軒出版社，110年8月初版。
2. 工程流體力學(第三版)，科技圖書，朱佳仁。