

# 新竹市第四十三屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別：物理科

組 別：甲組

作品名稱：油水不溶\_\_\_\_物理性油水分離法探究比較

關鍵詞：離心機、超聲波機、氣泡機

編號：

# 油水不溶——物理性油水分離法探究比較

## 摘要

因海上浮油事件引發海洋環境的破壞，本實驗模擬流動水域收集浮油水為樣品，排除以吸油物品吸油的方法，減少油汙的沾附，改以物理性來分離油和水，分別採用自製離心機、自製打氣泡機、和組裝超聲波機，並比較三種分離法的油水分層高度比，和運用司乃爾定律折射角度值來量測水中殘存微量油比例，希望此實驗能拋磚引玉，鼓勵學生關注此議題，能降低對海洋生物的傷害，減少自然環境的汙染。

## 壹、研究動機

在看了一則新聞報導貨輪「鈺洲啟航」載有約 240 公噸重油，擱淺於野柳漁港附近，恐釀成重大漏油事件。為有效控制污染範圍，環保局第一時間啟動應變計畫，調派至少 20 名人員 24 小時輪班監控，並四處佈置攔油索。確保將海洋生態破壞降到最低。看完這篇新聞產生疑問為什麼漏油對於海洋生物不好，經過調查發現這些油污會沾黏、包裹海洋生物的皮膚，對於有皮毛類的生物像是海鳥等，因無法自行清理，就會影響到飛行、保暖等功能，嚴重威脅到生存。若是這些原油化學物質在海面上形成了一層薄膜，水面上油的厚度達 17mm 則會影響氣體的交換，對海洋及生物光合作用造成很大的影響，導致死亡。對於地球環境也是一場生物浩劫，因此我們才想要研究這個主題。

## 貳、實驗原理

### 一、文獻探討與比較

研究主題	研究目的	研究內容	結論
環保分離槽---「油切」~水分離模式	探討在不同條件下影響油水分離的各種因素，最後製作「環保油水分離槽」，並且改進它的缺點，讓「油切」---水分離出來。	改良環保油水分離槽，製作「顏料過濾槽」和「污水過濾槽」。過濾槽能讓溶液照度平均增加 533.44 lux；污水過濾槽沉澱物清除率為 90.84 %，能讓大量的水再循環使用	改良後的環保油水分離槽，可以有效的讓「油切」---水分離出來，減少水源的汙染，對環境保護有很大的幫助！
無所遁形—濃不濃，「光」知道！	溶解加上四年級學過光的折射一起應用，會有什麼其他的現象發生呢？	利用光的折射率，說明溶液的改變	在測量油的實驗中，發現回鍋油的折射率越來越大，根據結果(濃度越大，折射率越大)，推測溶液裡面的物質越來越多，也影響油的品質

## 二、離心機原理

離心機利用高速轉動時產生數千倍於重力的離心力，使懸浮液中的不溶性固體迅速在離心管下方緊密沉積以分離不溶性固體與溶液。離心力的大小，依轉動速度、旋轉半徑以及物質的質量而決定。離心機利用旋轉運動產生的離心力（centrifugal force）將液體或顆粒分離成不同密度的設備。依照離心機的操作原理，當樣品在離心轉子內運轉時，密度較大的成分會被推向離心管的外側，而密度較小的成分則靠近離心管的中心。本實驗的油水混合的樣品盒因圓周運動，造成不同物質在離心中沉降的速度不同，以達到油水分離的效果。

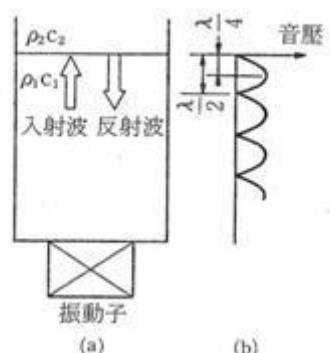
## 三、氣泡機原理

氣浮機是固-液或液-液分離的一種方法。它是設法在水中通入或產生大量的微細氣泡，使其黏附於廢水中密度與水接近的固體或液微粒上，造成整體密度小於水的狀態並依靠浮力使其上升至水面，從而獲得固-液或液-液分離的一種方法。

在水處理領域，氣浮機廣泛應用於以下幾方面：分離地面水中的細小懸浮物、藻類及微聚體；回收工業廢水中的有用的物質，特別適用於那些易於產生污泥膨脹的生化處理工藝中，分離回收含油廢水中的懸浮油和乳化油，分離回收或離子狀態的物質，如表面活性物質和金屬離子。本實驗自製打氣泡機，在水中打入氣泡，使水中殘餘小氣泡能藉氣泡浮力一起上升至液體上方，使油水分離更完全。

## 四、超聲波分層法

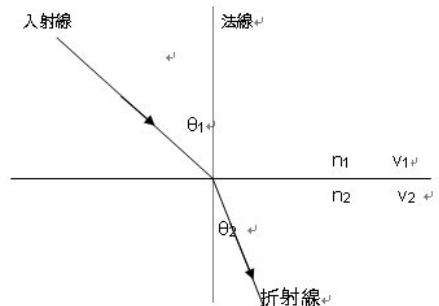
超音波振動對液體瞬間造成「增壓」及「減壓」，反覆的動作會產生幾近真實的空洞，取入溶於液體的氣體成為氣泡，稱為空洞現象。該氣泡被大力壓縮消滅時，會以強大的衝擊波直接破碎附著於被洗淨物的固體性污物。此為超音波洗淨力的根源。超音波的高頻振動作用，能夠讓油汙快速分離，提高清洗速度，功率越高的振動頻率，適合用來清洗越細微的縫隙。本實驗室利用超音波振子在水中震動時，讓水分子結構產生爆炸，一般稱為空穴效應，利用此效應進而將欲清洗的零件表面殘留異物剝落達到潔淨效果，通常包含有油漬的零件若施加熱水更能達到潔淨功效。



## 五、司乃耳定律

在物理學的光學中，司乃耳定律是描述光波，從一個介質進入另一介質(例如玻璃與水)，入射角與折射角關係的一個公式，此定律得到入射角的正弦值與折射角的正弦值的比值為一定值，而此一定值跟入射與折射介質的折射率有關。

在光學上，此定律可以計算追蹤光線入射與折射的行徑，在實驗上也可以得到介質的折射率。如果光從入射折射率小的第一介質進入折射率比較大的第二介質 ( $n_2 > n_1$ )，因為第二介質光行進的速度較慢 ( $v_2 < v_1$ )，所以折射角  $\theta_2$  會比入射角  $\theta_1$  小，光線折射後會偏向法線。



此定律以它的發現者之一荷蘭的數學家司乃耳來命名，它陳述入射角的正弦值與折射角的正弦值的比值，等於兩介質中的波的速度比值，但與兩介質折射率的比值成反比。如下公式

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

## 六、海上除油步驟：

漏油原因

1. 開採海底油田意外
2. 貨輪翻覆沉沒
3. 船隻航行機器運作

阻止油汙擴散

1. 考慮海流和風速
2. 佈放攔油索
3. 浪速小於每秒2.05公尺

分離油水

1. 燃燒法
2. 附著式吸取
3. 吸取式(堰型及抽取型)
4. 噴灑油分散劑

本實驗採用模擬吸取式進行海上浮油收集，取得油水樣品再進行3種物理性分析。

### 叁、研究目的

一、比較離心機分離不同廢機油濃度的油占比和折射率

二、比較離心機分離不同油品的油水分層效率

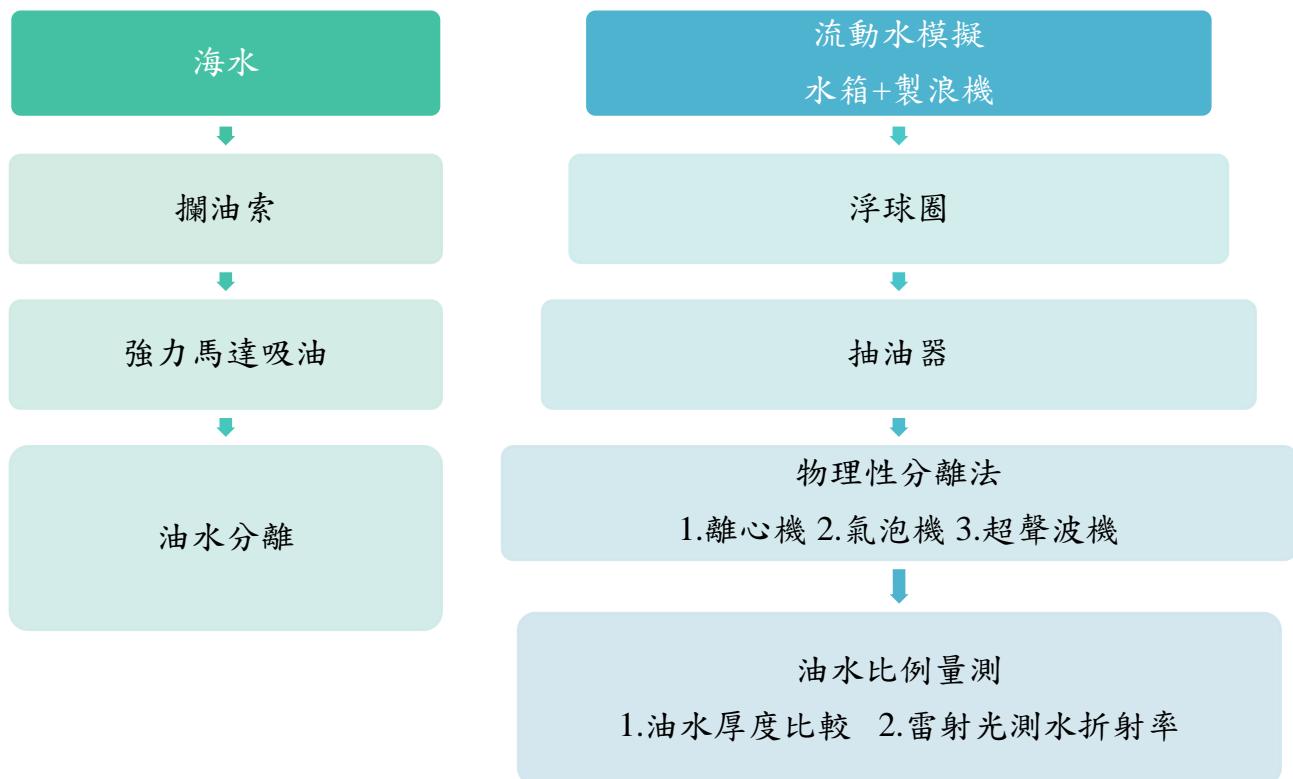
三、比較氣泡機分離不同廢機油濃度的油占比和折射率

四、比較氣泡機分離不同油品的油水分層效率

五、比較超聲波分離不同廢機油濃度的油占比和折射率

六、比較超聲波不同間隔時間的油水分層效率

### 肆、實驗架構圖



## 伍、實驗流程圖

水箱加造浪機模擬流動水

浮球圈內加廢機油模擬海上浮油

離心機、氣泡機、超聲波機分析油水分  
離比

## 陸、研究設備與器材

大水盒	鋸槍	熱熔膠槍	矽膠
大型水盒	360 度量角器	燒杯 500ml	量筒
方型塑膠盒	雷射筆紅光 650nm	雷射筆綠光 520nm	氣球
塑膠網袋	立桿底座	三秒膠	
造浪機	食用油	廢機油	雷射筆
			

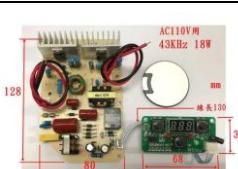
### 一、離心機材料

強扭力直流減速馬達 5~12V 200rpm	充電電池 7.2V	塑膠杯	圓形塑膠盒	布丁盒
橡皮擦	底座方盒	泡棉膠		

### 二、自製氣泡機

氣球	三秒膠	瓶蓋	鐵絲
9V 馬達	塑膠水管	6V 電池盒	熱熔膠槍

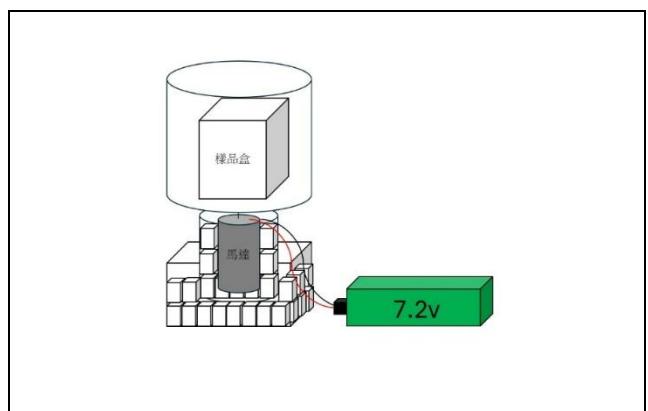
### 三、超聲波機零件

壓電片震盪器	外盒	超聲波控制組
鋸槍	鋼杯	
矽利康	塑膠盒	

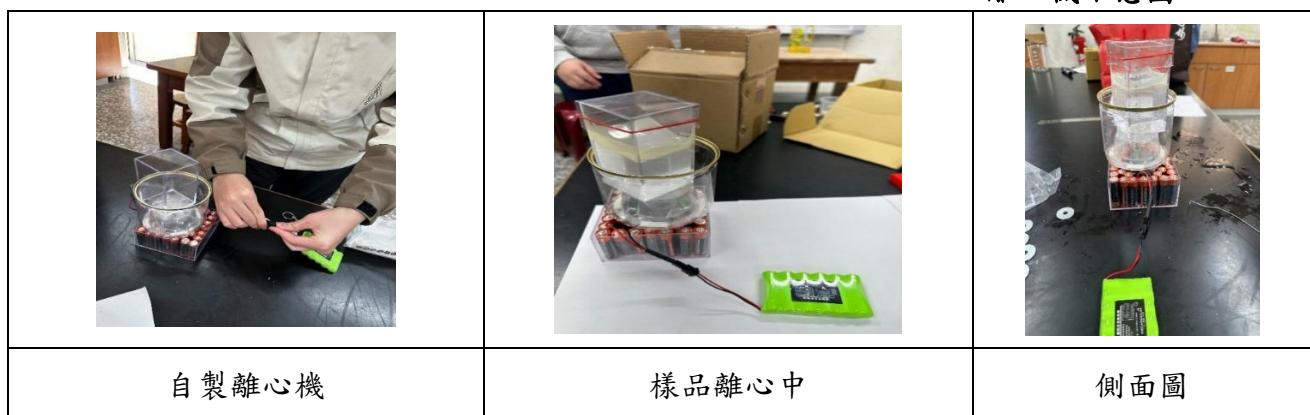
### 柒、研究過程與方法

#### 一、離心機製作

- 先將 500c.c. 的塑膠杯用焊槍戳出直徑約 7mm 的洞
- 再倒蓋放上布丁盒
- 在 500c.c. 的塑膠杯裡放入方形樣品盒
- 再將油水混合的試管分別放入 3 個 20c.c. 的塑膠杯內
- 再將裝置放上強扭力直流減速馬達
- 將強扭力減速直流馬達 200rpm 接上 7.2V 充電電池
- 離心結束後，即可得到油水分離的試管

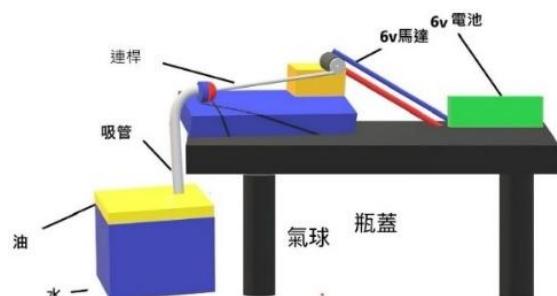


離心機示意圖

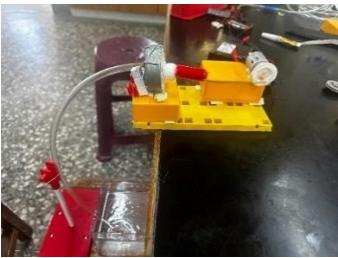


#### 二、氣泡機

- 先用剪刀把氣球剪一半
- 用電鑽把瓶蓋鑽兩個孔
- 把氣球套在瓶蓋上
- 把底座上面黏一個盒子
- 盒子上方在黏一個 12v 馬達
- 用鐵絲折成一個 7 字形狀
- 把鐵絲一端勾在齒輪上另一端固定在氣球上
- 馬達接上 6V 電池盒



打氣泡機示意圖

		
自製打氣泡機	裝置圖	氣泡機運轉中

### 三、組裝超聲波機

1. 打磨鋼杯用吹風機加熱到 50 度
2. 把 AT-3 膠混和，塗在壓電片和鋼杯上
3. 焊接連接壓電片震盪器和電線
4. 用高流動型矽利康防止氧化變色
5. 低流動型矽利康防止電線位移脫落
6. 把電線接上電路板即可完成組裝



超聲波機示意圖

		
AT-3 膠混合	組裝超聲波機(43KHz)	樣品測試中

### 四、實驗操作

1. 大水箱裝水約八分滿約 23200ml，放入乒乓球製成的浮球圈。
2. 將製浪機開啟後，浮球圈內放置所需油量，以抽油器在 90 秒內抽取流動水為樣品油水。
3. 把樣品水倒入 3 個樣品盒，分別放置於自製離心機，自製打氣泡機，和超聲波機內開始運轉並 5 分鐘量測一次，紀錄上層油的厚度，和以雷射筆入射水中，檢測水中折射角。

		
流動水裝置	抽油水樣品	實驗記錄數據

## 捌、研究結果

### 一、先量測對照組(水)的折射率

樣品塑膠盒裝水以不同角度先測紅色雷射光照射水的折射率，以 10 度、20 度、30 度、40 度、50 度、60 度量測後，在入射角 20 度時，水的折射率經司乃而公式計算後值等於 1.3 最接近標準值 1.33，故本實驗的離心機樣品和氣泡機樣品採用 20 度為入射角。

#### 實驗一 紅光雷射入射角度測試

$n_1 \times \sin\theta_1 = n_2 \times \sin\theta_2$					
射入角度	$n_1$	$\sin\theta_1$	射出角度	$\sin\theta_2$	$n_2$
10	1	0.17	9	0.16	1.06
20	1	0.34	15	0.26	1.3
30	1	0.5	26	0.44	1.14
40	1	0.64	30	0.5	1.28
50	1	0.77	40	0.64	1.17
60	1	0.88	50	0.77	1.2

#### 實驗二 綠光雷射入射角度測試

因超聲波機使油水樣品呈現混濁度，使用綠色雷射光照射水的折射率較難辨識折射角度，改以綠光雷射，以 10 度、20 度、30 度、40 度、50 度、60 度量測後，在入射角 40 度時，水的折射率經司乃而公式計算後值等於 1.3 最接近標準值 1.33，故本實驗的超聲波機樣品採用 40 度為入射角。

n1×sinθ1=n2×sinθ2					
射入角度	n <sub>1</sub>	sinθ <sub>1</sub>	射出角度	sinθ <sub>2</sub>	n <sub>2</sub>
10	1	0.17	7	0.12	1.42
20	1	0.34	18	0.31	1.1
30	1	0.5	23	0.39	1.28
40	1	0.64	29	0.48	1.33
50	1	0.77	39	0.63	1.22
60	1	0.88	51	0.78	1.13

綠光雷射筆入射水中測試	入射角量測中	紅光雷射量測中
		

## 二、比較離心機分離不同廢機油濃度的油占比和折射率

### (一) 廢機油 100ml

浮球圈內機油 100 毫升      流動水 700L/h      取樣品 175ml      3/6

175 毫升	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
油(毫米)	6	7	7	7	7	7
水(毫米)	64	63	63	63	63	63
射入角度	20	20	20	20	20	20
sinθ <sub>1</sub>	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
射出角度	11	12	13	13	14	15
sinθ <sub>2</sub>	0.19	0.21	0.22	0.22	0.24	0.26
n <sub>2</sub>	1.79	1.65	1.52	1.52	1.41	1.32

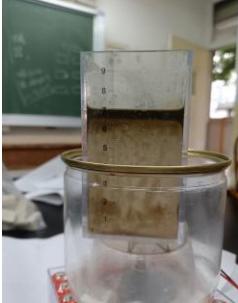
### 實驗一 機油 100 毫升

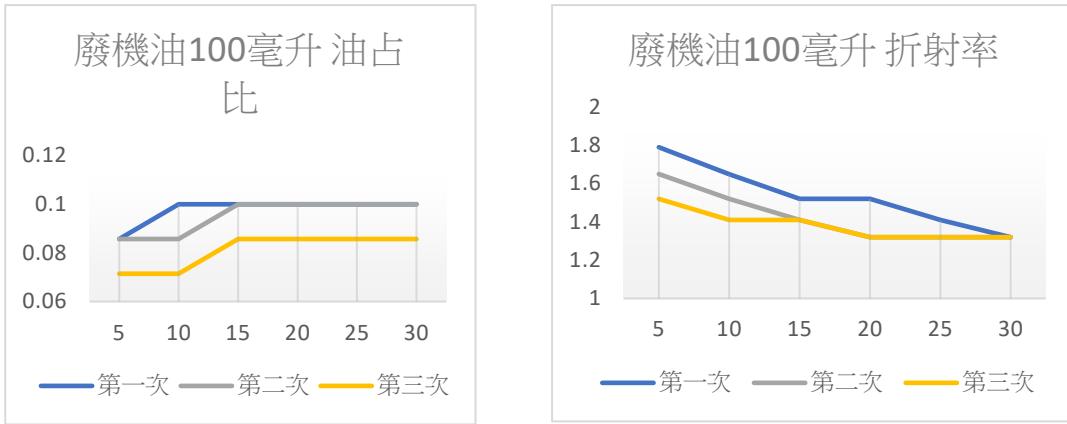
175 毫升	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
油(毫米)	6	7	7	7	7	7
水(毫米)	64	63	63	63	63	63
射入角度	20	20	20	20	20	20
$\sin\theta_1$	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
射出角度	13	14	15	15	15	15
$\sin\theta_2$	0.22	0.24	0.26	0.26	0.26	0.26
$n_2$	1.52	1.41	1.32	1.32	1.32	1.32

### 實驗二 機油 100 毫升

175 毫升	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
油(毫米)	6	6	7	7	7	7
水(毫米)	64	64	63	63	63	63
射入角度	20	20	20	20	20	20
$\sin\theta_1$	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
射出角度	12	13	14	15	15	15
$\sin\theta_2$	0.21	0.22	0.24	0.26	0.26	0.26
$n_2$	1.65	1.52	1.41	1.32	1.32	1.32

### 驗一 機油 100 毫升 離心機 油水分離照片

			
0 分鐘	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘



廢機油 100ml 的油水抽吸後樣品水，以離心機來分離油水三次實驗可發現，油層占總液體在 10~15 分鐘後都可保持定值的油厚度，以雷射光照射入水中油折射率來測水中含油量，可發現隨著時間水中含油量遞減中，15~20 分鐘時可達 1.4 左右，約在 30 分鐘左右中的折射率達 1.3，可判定水中的油含量已很稀少。

## (二) 廢機油 200ml

浮球圈內廢機油 200 毫升      流動水 700L/h      取樣品 175ml      3/13

入射角均 20 度       $\sin\theta_1 = 0.34$

	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
油(毫米)	9	10	10	10	11	11
水(毫米)	61	60	60	60	59	59
射出角度	10	11	12	12	13	13
$\sin\theta_2$	0.17	0.19	0.21	0.21	0.22	0.22
$n_2$	1.97	1.79	1.65	1.65	1.52	1.52
	35 分鐘	40 分鐘	45 分鐘	50 分鐘	55 分鐘	60 分鐘
油(毫米)	12	12	12	12	12	12
水(毫米)	58	58	58	58	58	58
射出角度	14	14	14	15	15	15
$\sin\theta_2$	0.24	0.24	0.24	0.26	0.26	0.26
$n_2$	1.41	1.41	1.41	1.32	1.32	1.32

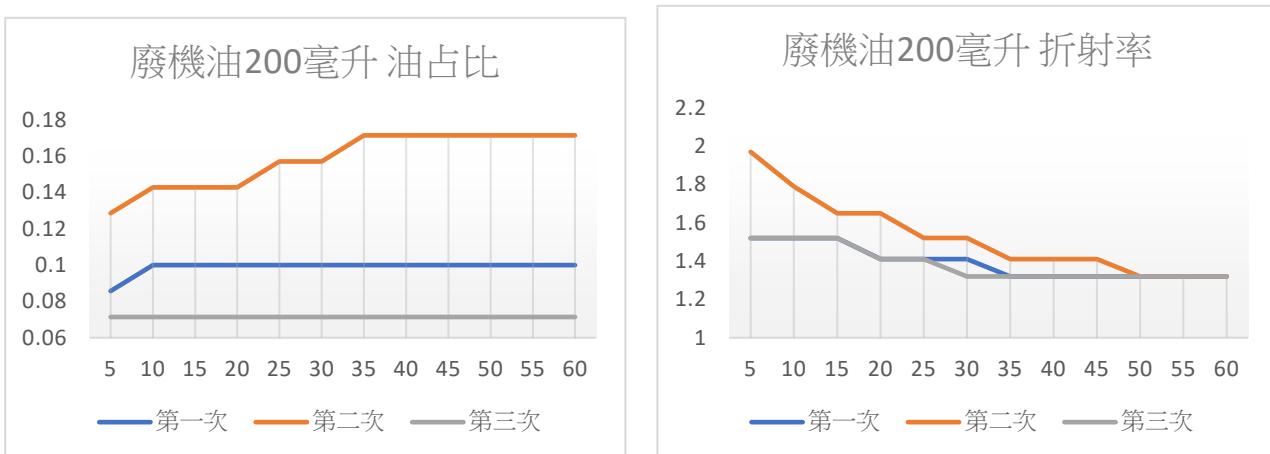
實驗一 浮球圈內廢機油 200 毫升  
入射角均 20 度  $\sin\theta_1 = 0.34$

175 毫升	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
油(毫米)	6	7	7	7	7	7
水(毫米)	64	63	63	63	63	63
射出角度	13	13	13	14	14	14
$\sin\theta_2$	0.22	0.22	0.22	0.24	0.24	0.24
$n_2$	1.52	1.52	1.52	1.41	1.41	1.41
175 毫升	35 分鐘	40 分鐘	45 分鐘	50 分鐘	55 分鐘	60 分鐘
油(毫米)	7	7	7	7	7	7
水(毫米)	63	63	63	63	63	63
射出角度	15	15	15	15	15	15
$\sin\theta_2$	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
$n_2$	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32

實驗二 浮球圈內廢機油 200 毫升  
入射角均 20 度  $\sin\theta_1 = 0.34$

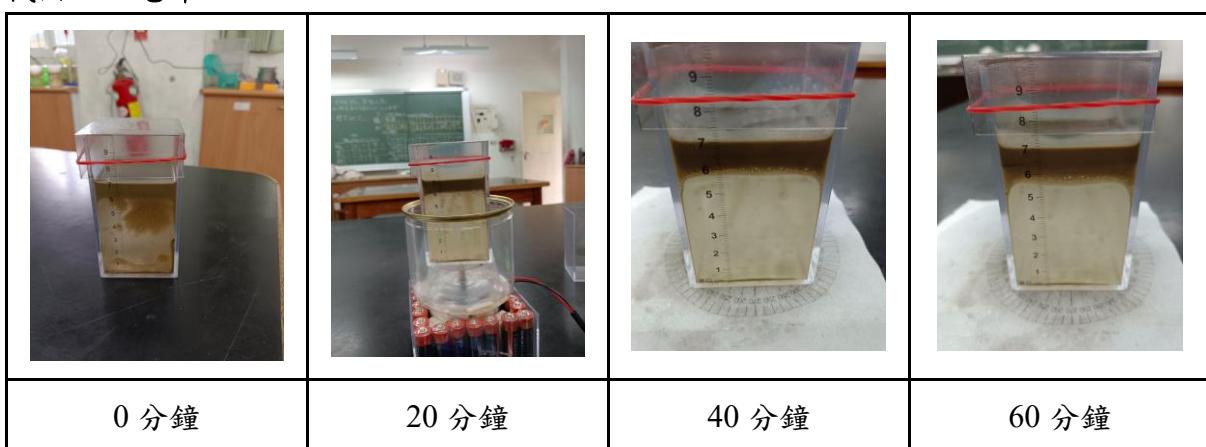
175 毫升	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
油(毫米)	5	5	5	5	5	5
水(毫米)	65	65	65	65	65	65
射出角度	13	13	13	14	14	15
$\sin\theta_2$	0.22	0.22	0.22	0.24	0.24	0.26
$n_2$	1.52	1.52	1.52	1.41	1.41	1.32
175 毫升	35 分鐘	40 分鐘	45 分鐘	50 分鐘	55 分鐘	60 分鐘
油(毫米)	5	5	5	5	5	5
水(毫米)	65	65	65	65	65	65

射出角度	15	15	15	15	15	15
$\sin\theta_2$	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
$n_2$	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32



廢機油 200ml 的油水抽吸後，以離心機來分離油水三次實驗可發現，油層占總液體在 10~35 分鐘後都可保持定值得油厚度，以雷射光照射入水中油折射率來側水中含油量，可發現隨著時間水中含油量遞減中，35 分鐘時已達 1.4，在 30~50 分鐘左右中的折射率達 1.3，可判定水中的油含量已很稀少。因為流動水域在抽水時，水中含油量無法固定，但經離心機分離較長時間後，水的折射率一樣可達接近純水的 1.33。

### 機油 200 毫升



### (三) 廢機油 300ml

實驗一 浮球圈內廢機油 300 毫升      流動水 700L/h      取樣品 175ml

入射角均 20 度       $\sin\theta_1 = 0.34$

175 毫升	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
油(毫米)	13	15	16	16	16	16
水(毫米)	57	55	54	54	54	54

射出角度	8	9	10	12	12	13
$\sin\theta_2$	0.14	0.16	0.17	0.21	0.21	0.22
$n_2$	2.46	2.19	1.97	1.65	1.65	1.52
175 毫升	35 分鐘	40 分鐘	45 分鐘	50 分鐘	55 分鐘	60 分鐘
油(毫米)	17	17	17	17	17	17
水(毫米)	53	53	53	53	53	53
射出角度	13	13	13	14	14	14
$\sin\theta_2$	0.22	0.22	0.22	0.24	0.24	0.24
$n_2$	1.52	1.52	1.52	1.41	1.41	1.41
175 毫升	65 分鐘		70 分鐘		75 分鐘	
油(毫米)	18		18		18	
水(毫米)	52		52		52	
射出角度	15		15		15	
$\sin\theta_2$	0.26		0.26		0.26	
$n_2$	1.32		1.32		1.32	

實驗二 浮球圈內廢機油 300 毫升      流動水 700L/h      取樣品 175ml      3/6  
 入射角均 20 度       $\sin\theta_1 = 0.34$

175 毫升	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
油(毫米)	10	11	12	12	12	12
水(毫米)	60	59	58	58	58	58
射出角度	11	11	11	11	12	12
$\sin\theta_2$	0.19	0.19	0.19	0.19	0.21	0.21
$n_2$	1.79	1.79	1.79	1.79	1.65	1.65
175 毫升	35 分鐘	40 分鐘	45 分鐘	50 分鐘	55 分鐘	60 分鐘

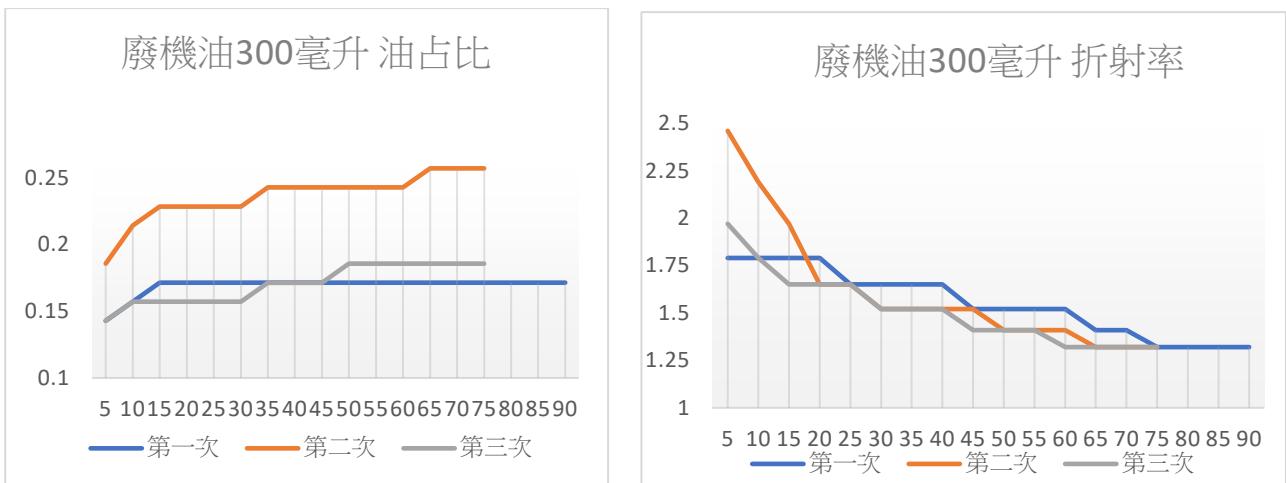
油(毫米)	12	12	12	12	12	12
水(毫米)	58	58	58	58	58	58
射出角度	12	12	13	13	13	13
$\sin\theta_2$	0.21	0.21	0.22	0.22	0.22	0.22
$n_2$	1.65	1.65	1.52	1.52	1.52	1.52
175 毫升	65 分鐘	70 分鐘	75 分鐘	80 分鐘	85 分鐘	90 分鐘
油(毫米)	12	12	12	12	12	12
水(毫米)	58	58	58	58	58	58
射出角度	14	14	15	15	15	15
$\sin\theta_2$	0.24	0.24	0.26	0.26	0.26	0.26
$n_2$	1.41	1.41	1.32	1.32	1.32	1.32

實驗一 浮球圈內廢機油 300 毫升 流動水 700L/h 取樣品 175ml 3/12

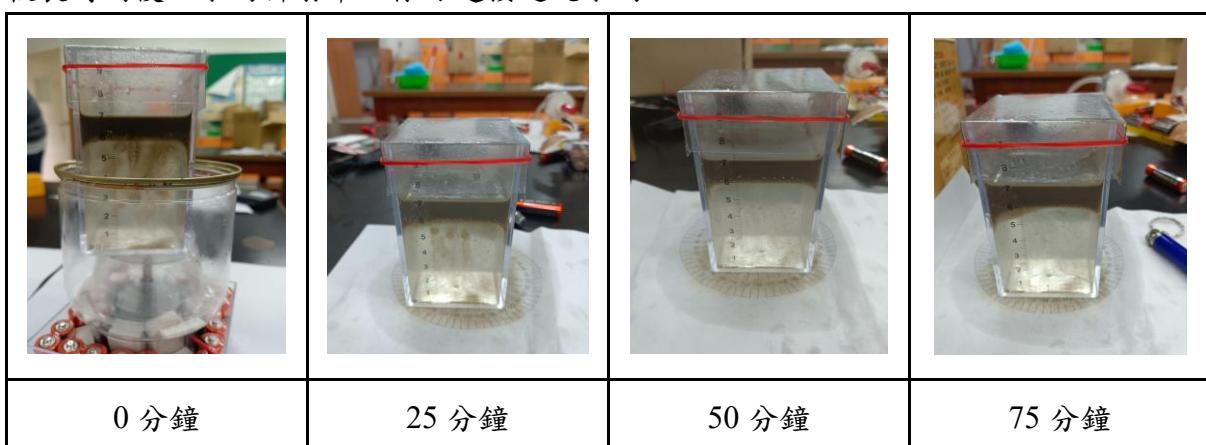
入射角均 20 度  $\sin\theta_1 = 0.34$  時間(min)

175 毫升	5	10	15	20	25	30	35	40
油(毫米)	10	11	11	11	11	11	12	12
水(毫米)	60	59	59	59	59	59	58	58
射出角度	10	11	12	12	12	13	13	13
$\sin\theta_2$	0.17	0.19	0.2	0.2	0.2	0.22	0.22	0.22
$n_2$	1.97	1.79	1.65	1.65	1.65	1.52	1.52	1.52
175 毫升	45	50	55	60	65	70	75	
油(毫米)	12	13	13	13	13	13	13	
水(毫米)	58	57	57	57	57	57	57	
射出角度	14	14	14	15	15	15	15	
$\sin\theta_2$	0.24	0.24	0.24	0.26	0.26	0.26	0.26	

n <sub>2</sub>	1.41	1.41	1.41	1.32	1.32	1.32	1.32	
----------------	------	------	------	------	------	------	------	--



廢機油 300ml 的油水抽吸後，以離心機來分離油水三次實驗可發現，油層占總液體在 15~60 分鐘後都可保持定值得油厚度，以雷射光照射入水中油折射率來側水中含油量，可發現隨著時間水中含油量遞減中，20 分鐘後已有明顯下降趨勢，約在 65~70 分鐘左右中的折射率達 1.3，可判定水中的油含量已很稀少。因為流動水域在抽水時，水中含油量無法固定，但經離心機分離較長時間後，水的折射率一樣可達接近純水的 1.33。



機油 300 毫升

### 三、比較離心機分離不同油品的油水分層效率

300ml 食用油和 300ml 廢機油的比較

2025/3/3 實驗一 浮球圈內食用油 300 毫升

流動水 700L/h

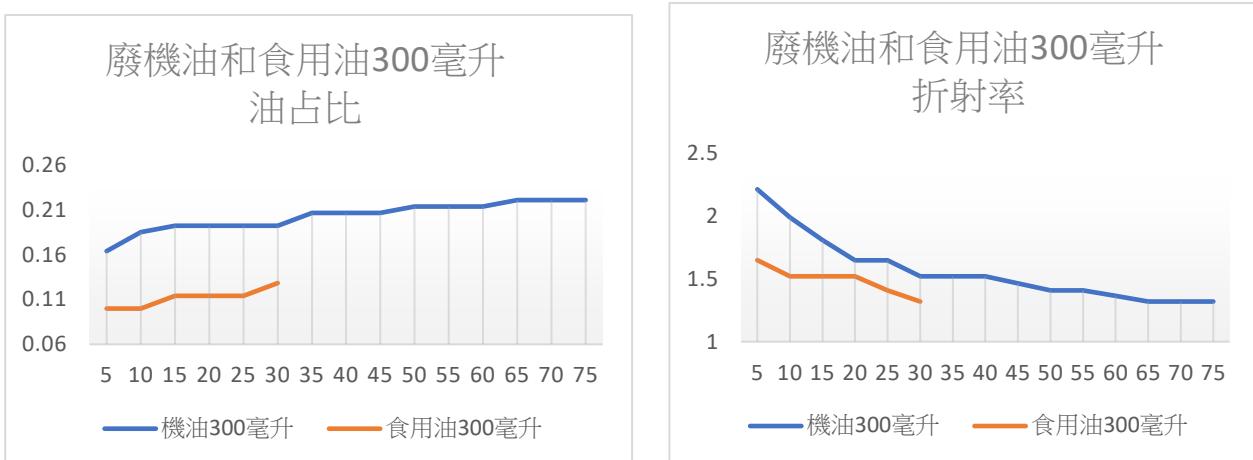
取樣品 175ml

3/3

入射角均 20 度  $\sin\theta_1 = 0.34$

175 毫升	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
油(毫米)	7	7	8	8	8	9
水(毫米)	63	63	62	62	62	61

射出角度	12	13	13	13	14	15
$\sin\theta_2$	0.21	0.22	0.22	0.22	0.24	0.26
$n_2$	1.65	1.52	1.52	1.52	1.41	1.32



以食用油 300ml 和廢機油 300ml 來比較，可發現食用油離心 30 分鐘後其油占比達定值，廢機油需 65 分鐘後達到定值，而以折射率來看，食用油 30 分鐘其水折射率達 1.3，廢機油 30 分鐘後已有明顯下降，在 65 分鐘後折射率也可達 1.3，顯示不同油品其黏稠度和黏滯性會影響離心機將油水分層的時間。

#### 四、比較氣泡機分離不同廢機油濃度的油占比和折射率

##### (一)廢機油 100ml

2025/3/6 實驗一 浮球圈內廢機油 300 毫升 流動水 700L/h 取樣品 175ml

入射角均 20 度  $\sin\theta_1 = 0.34$

175 毫升	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
油(毫米)	2	4	4	5	5	5
水(毫米)	68	66	66	65	65	65
射出角度	10	11	12	13	14	15
$\sin\theta_2$	0.17	0.19	0.2	0.22	0.24	0.26
$n_2$	1.97	1.79	1.65	1.52	1.41	1.32

2025/3/20 實驗一浮球圈內廢機油 100 毫升 流動水 700L/h 取樣品 175ml

入射角均 20 度  $\sin\theta_1 = 0.34$

175 毫升	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
--------	------	-------	-------	-------	-------	-------

油(毫米)	3	4	7	10	11	12
水(毫米)	67	66	63	60	59	58
射出角度	10	11	13	14	15	15
$\sin\theta_2$	0.17	0.19	0.22	0.24	0.26	0.26
$n_2$	1.97	1.79	1.52	1.41	1.32	1.32

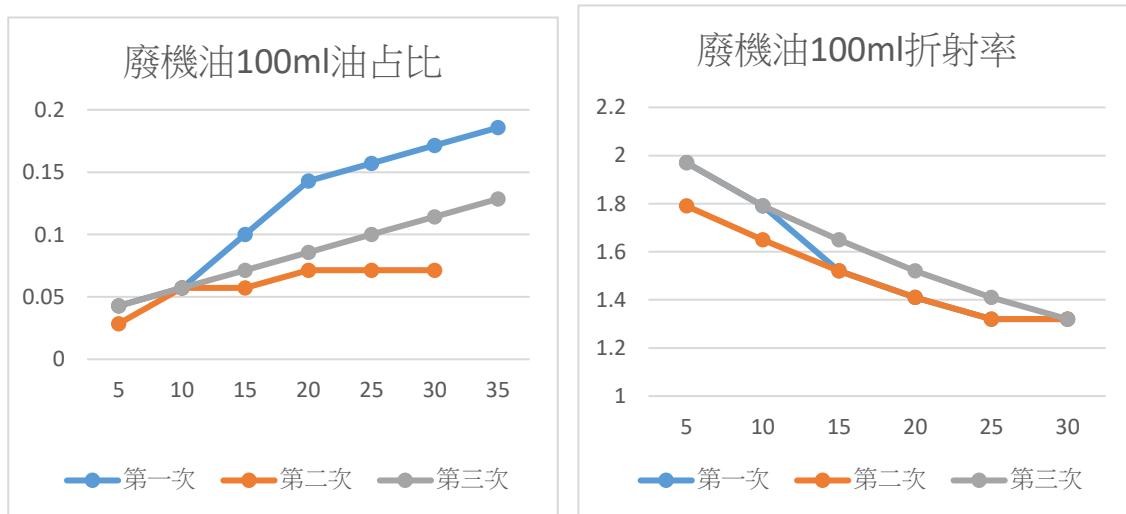
實驗二 浮球圈內廢機油 100 毫升

流動水 700L/h

取樣品 175ml

入射角均 20 度  $\sin\theta_1 = 0.34$

175 毫升	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
油(毫米)	3	4	5	6	7	8
水(毫米)	67	66	65	64	63	62
射出角度	11	12	13	14	15	15
$\sin\theta_2$	0.19	0.21	0.22	0.24	0.26	0.26
$n_2$	1.79	1.65	1.52	1.41	1.32	1.32



以氣泡機進行廢機油 100ml 分離時，隨時間增加其油占比逐漸增加，而以折射率可發現，在 25~30 分時，折射率值可達 1.3，顯示經由 30 分鐘左右，氣泡有助於把水中微量油往上浮至表面，使水中殘餘油量降至最低。

## (二)廢機油 200ml

2025/3/19 實驗一 浮球圈內廢機油 200 毫升 流動水 700L/h 取樣品 175ml

入射角均 20 度  $\sin\theta_1 = 0.34$

175 毫升	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘

油(毫米)	3	4	5	7	8	9
水(毫米)	67	66	65	63	62	61
射出角度	12	13	13	14	14	14
$\sin\theta_2$	0.21	0.22	0.22	0.24	0.24	0.24
$n_2$	1.65	1.52	1.52	1.41	1.41	1.41
175 毫升	35 分鐘	40 分鐘	45 分鐘	50 分鐘	55 分鐘	60 分鐘
油(毫米)	10	11	12	12	12	12
水(毫米)	60	59	58	58	58	58
射出角度	14	15	15	15	15	15
$\sin\theta_2$	0.24	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
$n_2$	1.41	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32

2025/3/13

實驗一 浮球圈內廢機油 200 毫升 流動水 700L/h 取樣品 175ml

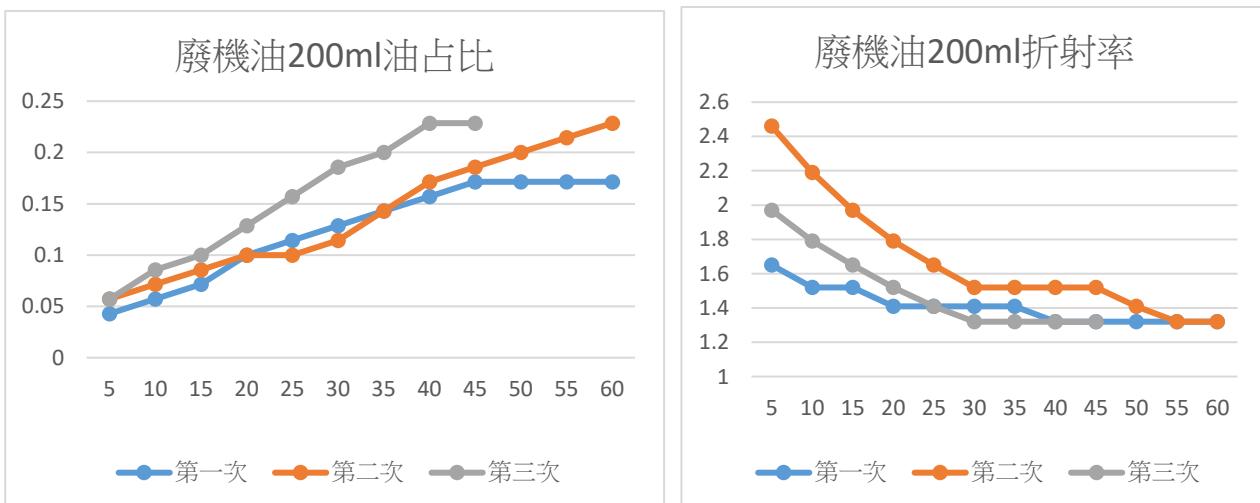
入射角均 20 度  $\sin\theta_1 = 0.34$

175 毫升	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
油(毫米)	4	5	6	7	7	8
水(毫米)	66	65	64	63	63	62
射出角度	8	9	10	11	12	13
$\sin\theta_2$	0.14	0.16	0.17	0.19	0.21	0.22
$n_2$	2.46	2.19	1.97	1.79	1.65	1.52
175 毫升	35 分鐘	40 分鐘	45 分鐘	50 分鐘	55 分鐘	60 分鐘
油(毫米)	10	12	13	14	15	16
水(毫米)	60	58	57	56	55	54
射出角度	13	13	13	14	15	15
$\sin\theta_2$	0.22	0.22	0.22	0.24	0.26	0.26

n <sub>2</sub>	1.52	1.52	1.52	1.41	1.32	1.32
----------------	------	------	------	------	------	------

實驗三浮球圈內廢機油 200 毫升      流動水 700L/h      取樣品 175ml  
入射角均 20 度       $\sin\theta_1 = 0.34$       時間間隔(min)

175 毫升	5	10	15	20	25	30	35	40	45
油(毫米)	4	6	7	9	11	13	14	16	16
水(毫米)	66	64	63	61	59	57	56	54	54
射出角度	10	11	12	13	14	15	15	15	15
$\sin\theta_2$	0.17	0.19	0.21	0.22	0.24	0.26	0.26	0.26	0.26
n <sub>2</sub>	1.97	1.79	1.65	1.52	1.41	1.32	1.32	1.32	1.32



以氣泡機進行廢機油 200ml 分離時，隨時間增加其油占比逐漸增加，40~45 分鐘時達到定值，而以折射率可發現，在 30 分時，折射率從 2.5 降到 1.5，在 30~40 分時，折射率值可達 1.3，顯示最快約 30 分鐘左右，氣泡已把水中微量油往上浮至表面，使水中殘餘油量降至最低。

### (三)廢機油 300ML

3/5 實驗三浮球圈內廢機油 300 毫升      流動水 700L/h      取樣品 175ml  
入射角均 20 度       $\sin\theta_1 = 0.34$

	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
油(毫米)	12	13	14	15	16	17
水(毫米)	58	57	56	55	54	53
射出角度	11	11	12	12	12	13
$\sin\theta_2$	0.19	0.19	0.21	0.21	0.21	0.22

n <sub>2</sub>	1.79	1.79	1.65	1.65	1.65	1.52
	35 分鐘	40 分鐘	45 分鐘	50 分鐘	55 分鐘	60 分鐘
油(毫米)	20	20	21	23	25	27
水(毫米)	50	50	49	47	45	43
射出角度	14	14	14	14	15	15
sinθ <sub>2</sub>	0.24	0.24	0.24	0.24	0.26	0.26
n <sub>2</sub>	1.41	1.41	1.41	1.41	1.32	1.32

實驗二機油 300 毫升

實驗三浮球圈內廢機油 300 毫升

流動水 700L/h

取樣品 175ml

入射角均 20 度 sinθ<sub>1</sub> = 0.34

175 毫升	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
油(毫米)	6	6	7	9	10	11
水(毫米)	64	64	63	61	60	59
射出角度	10	10	11	12	12	13
sinθ <sub>2</sub>	0.17	0.17	0.19	0.21	0.21	0.22
n <sub>2</sub>	1.97	1.97	1.79	1.65	1.65	1.52
175 毫升	35 分鐘	40 分鐘	45 分鐘	50 分鐘	55 分鐘	60 分鐘
油(毫米)	12	12	13	14	15	15
水(毫米)	58	58	57	56	55	55
射出角度	14	14	14	14	15	15
sinθ <sub>2</sub>	0.24	0.24	0.24	0.24	0.26	0.26
n <sub>2</sub>	1.41	1.41	1.41	1.41	1.32	1.32

3/20 實驗三浮球圈內廢機油 300 毫升

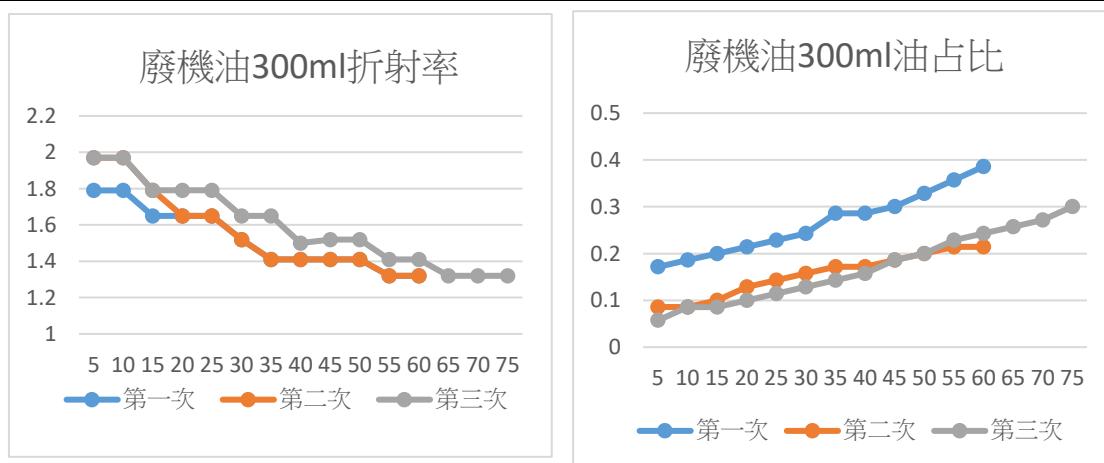
流動水 700L/h

取樣品 175ml

入射角均 20 度 sinθ<sub>1</sub> = 0.34

min	油厚(mm)	水厚(mm)	折射(度)	sinθ <sub>2</sub>	n <sub>2</sub>

5	4	66	9	0.15	1.97
10	6	64	9	0.15	1.97
15	6	64	10	0.17	1.79
20	7	63	10	0.17	1.79
25	8	62	10	0.17	1.79
30	9	61	11	0.18	1.65
35	10	60	11	0.18	1.65
40	11	59	12	0.2	1.5
45	13	57	13	0.22	1.52
50	14	56	13	0.22	1.52
55	16	54	14	0.23	1.41
60	17	53	14	0.23	1.41
65	18	52	15	0.25	1.32
70	19	51	15	0.25	1.32
75	21	49	15	0.25	1.32



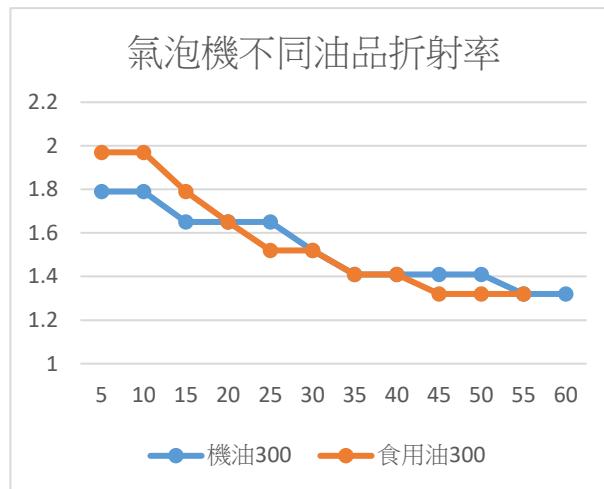
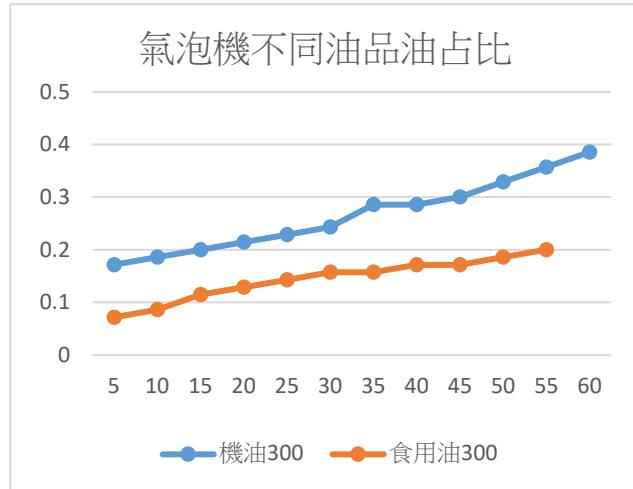
以氣泡機進行廢機油 300ml 分離時，隨時間增加其油占比逐漸增加，60~75 分鐘時達到最大值，而以折射率可發現，30 分鐘時間使折射率從 2 降到 1.4，55~60 分時，折射率值可達 1.3，顯示前半小時是很有效率的，最快共需約 60 分鐘左右，氣泡使水中殘餘油量降至最低。

#### 四、比較氣泡機分離不同油品的油水分層效率

3/20 實驗三浮球圈內食用油 300 毫升 流動水 700L/h 取樣品 175ml

入射角均 20 度  $\sin\theta_1 = 0.34$

min	油厚	水厚	折射	$\sin 2$	$n_2$
5	5	65	10	0.17	0.07143
10	6	64	10	0.17	0.08571
15	8	62	11	0.18	0.11429
20	9	61	12	0.2	0.12857
25	10	60	13	0.22	0.14286
30	11	59	13	0.22	0.15714
35	11	59	14	0.24	0.15714
40	12	58	14	0.24	0.17143
45	12	58	15	0.25	0.17143
50	13	57	15	0.25	0.18571
55	14	56	15	0.25	0.2



以食用油 300ml 和廢機油 300ml 來比較，可發現經氣泡機分離油水層，隨時間增加食用油 45 分鐘後其油占比漸達定值，廢機油需 60 分鐘後達到最大值，而以折射率來看，食用油 45 分鐘其水折射率達 1.3，廢機油 40 分鐘後已有明顯下降，在 55 分鐘後折射率也可達 1.3，顯示氣泡機對不同油品將油水分層的效率也不同，廢機油需耗時較久。

3/12 廢機油 300 氣泡機油水分層照片

0 分鐘	20 分鐘	40 分鐘	60 分鐘

##### 五、比較超聲波分離不同廢機油濃度的油占比和折射率

(一) 廢機油 300ml

2025/3/5 實驗一 浮球圈內廢機油 300 毫升 流動水 700L/h

取樣品 175ml 入射角均 40 度  $\sin\theta_1 = 0.64$  時間(min)

175 毫升	5	10	15	20	25	30	35	40
油(毫米)	3	4	5	5	5	5	5	5
水(毫米)	67	66	65	65	65	65	65	65
射出角度	25	23	24	21	20	20	20	20
$\sin\theta_2$	0.42	0.39	0.41	0.36	0.34	0.34	0.34	0.34
$n_2$	1.52	1.65	1.58	1.79	1.88	1.88	1.88	1.88
175 毫升	45	50	55	60	65	70	75	
油(毫米)	5	5	5	5	5	5	5	
水(毫米)	65	65	65	65	65	65	65	
射出角度	21	20	23	25	28	27	26	
$\sin\theta_2$	0.36	0.34	0.39	0.42	0.47	0.45	0.44	
$n_2$	1.79	1.88	1.65	1.52	1.37	1.42	1.47	

浮球圈內廢機油 300 毫升 流動水 700L/h 取樣品 175ml

入射角均 40 度  $\sin\theta_1 = 0.64$  時間(min)

175 毫升	5	10	15	20	25	30	35	40
油(毫米)	3	5	5	5	1	3	1	1
水(毫米)	67	65	65	65	69	67	69	69

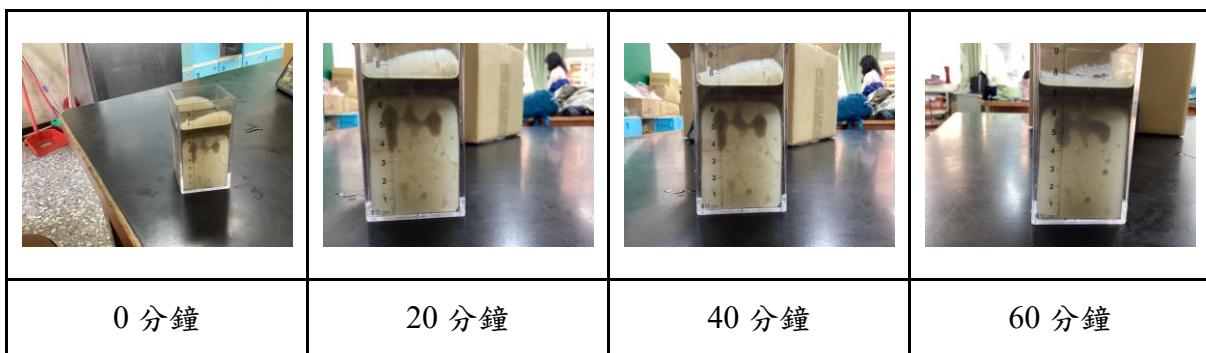
射出角度	22	24	25	26	25	24	27	28
$\sin\theta_2$	0.37	0.41	0.42	0.43	0.42	0.41	0.45	0.46
$n_2$	1.71	1.58	1.52	1.46	1.52	1.58	1.41	1.36
175 毫升	45	50	55	60	65	70	75	
油(毫米)	0	0	0	0	0	0	0	
水(毫米)	70	70	70	70	70	70	70	
射出角度	29	25	26	23	25	24	26	
$\sin\theta_2$	0.48	0.42	0.43	0.39	0.42	0.41	0.43	
$n_2$	1.32	1.52	1.46	1.64	1.52	1.58	1.46	

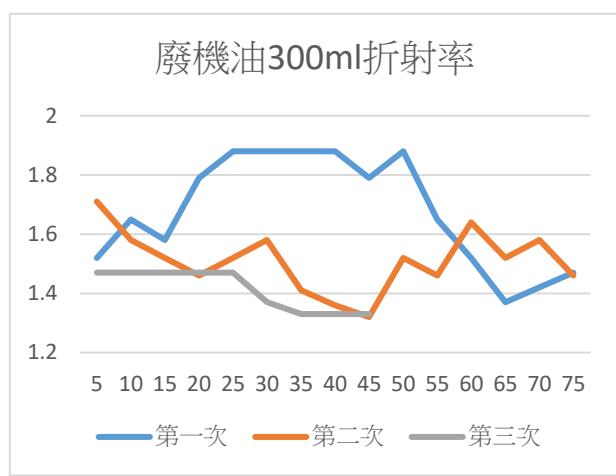
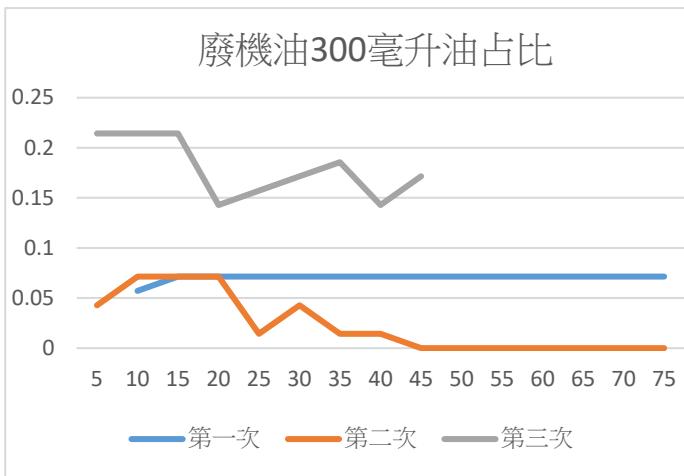
實驗二 浮球圈內廢機油 300 毫升 流動水 700L/h

取樣品 175ml 入射角均 40 度  $\sin\theta_1 = 0.64$  時間(min)

175 毫升	5	10	15	20	25	30	35	40	45
油(毫米)	15	15	15	10	11	12	13	10	12
水(毫米)	55	55	55	60	59	58	57	60	58
射出角度	26	26	26	26	27	28	29	29	29
$\sin\theta_2$	0.44	0.44	0.44	0.44	0.45	0.47	0.48	0.48	0.48
$n_2$	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.37	1.33	1.33	1.33

廢機油 300ml 超聲波機油水分離照片





以超聲波處理廢機油 300ml 時，隨時間增加其油占比呈現不規則變化，且油占比的值也越小，再從折射率來比較，三次實驗均呈現震盪變化，觀察樣品油水時，可見油水呈現類似乳化現象，因此下列實驗從原本間隔 5 分鐘改以每間隔 3 分鐘量測一次，以找出其較佳狀態。

### (一)廢機油 100ML

2025/3/20 實驗一 浮球圈內廢機油 100 毫升

流動水 700L/h 取樣品 175ml 入射角均 40 度  $\sin\theta_1 = 0.64$

175 毫升	3 分鐘	6 分鐘	9 分鐘	12 分鐘	15 分鐘	18 分鐘
油(毫米)	6	6	6	10	10	5
水(毫米)	64	64	64	60	60	65
折射角度	26	27	28	29	29	29
$\sin\theta_2$	0.44	0.45	0.47	0.48	0.48	0.48
$n_2$	1.47	1.41	1.37	1.33	1.33	1.33

廢機油 100ml 第一次

流動水 700L/h 取樣品 175ml 入射角均 40 度  $\sin\theta_1 = 0.64$

分鐘	3 分鐘	6 分鐘	9 分鐘	12 分鐘	15 分鐘	18 分鐘
水(mm)	64	64	65	62	62	64
油(mm)	6	6	5	8	8	6
折射	26	27	28	29	29	29
$\sin\theta_2$	0.44	0.45	0.46	0.48	0.48	0.48
$n_2$	1.47	1.41	1.36	1.33	1.33	1.33

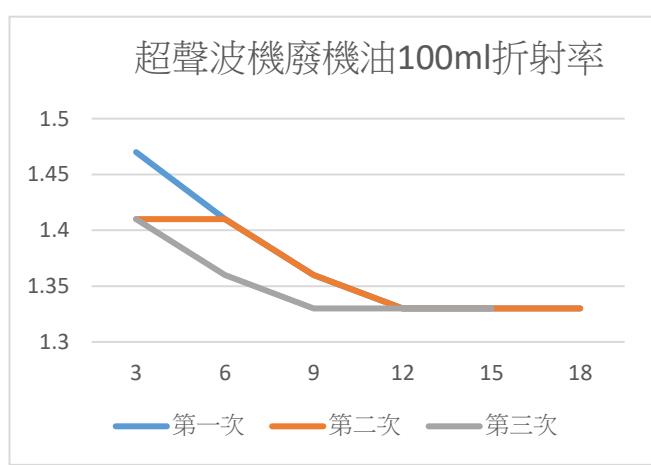
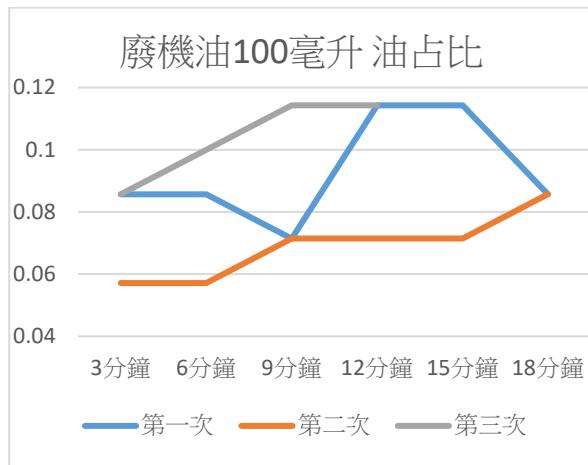
第二次

分鐘	3 分鐘	6 分鐘	9 分鐘	12 分鐘	15 分鐘	18 分鐘
水(mm)	66	66	65	65	65	64
油(mm)	4	4	5	5	5	6
折射	27	27	28	29	29	29

$\sin\theta_2$	0.45	0.45	0.46	0.48	0.48	0.48
$n_2$	1.41	1.41	1.36	1.33	1.33	1.33

第三次 100ml min3

分鐘	3分鐘	6分鐘	9分鐘	12分鐘	15分鐘
水	64	64	63	62	62
油	6	6	7	8	8
折射	27	28	29	29	29
$\sin\theta_2$	0.45	0.46	0.48	0.48	0.48
$n_2$	1.41	1.36	1.33	1.33	1.33



超聲波機分離廢機油 100ml 樣品 3 次實驗中，以每 3 分鐘量測一次發現，在 6~9 分鐘時其油占比都是增加的，但 15 分鐘後卻下降，且 9~12 分鐘左右，折射率值已接近 1.3，本實驗實驗量測到 3 次 1.3 即完成，顯示超聲波機的油水分離只需 15~18 分鐘。

## 六、比較超聲波不同間隔時間的油水分層效率

### 實驗一 浮球圈內廢機油 200 毫升

流動水 700L/h 取樣品 175ml 入射角均 40 度  $\sin\theta_1 = 0.64$

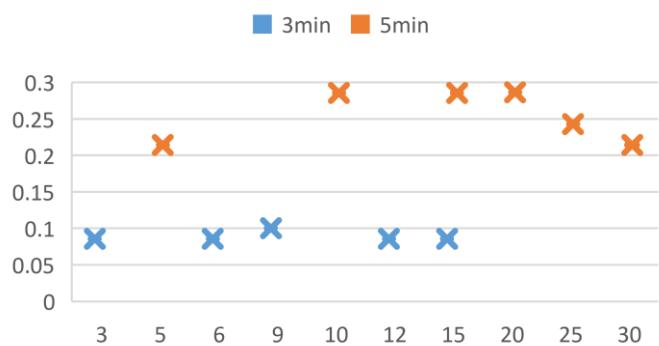
175 毫升	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
油(毫米)	15	20	20	20	17	15
水(毫米)	55	50	50	50	53	55
射出角度	27	28	29	29	29	29
$\sin\theta_2$	0.45	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48
$n_2$	1.47	1.37	1.33	1.33	1.33	1.33

3/19 實驗二 浮球圈內廢機油 200 毫升 流動水 700L/h 取樣品 175ml

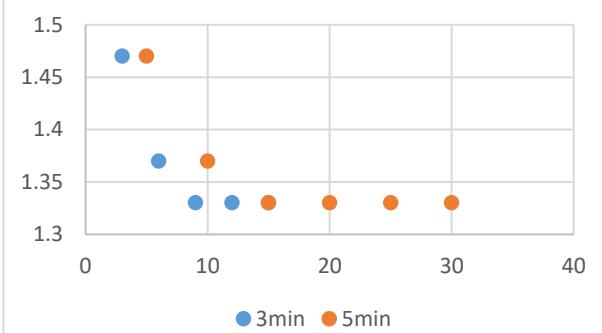
入射角均 40 度  $\sin\theta_1 = 0.34$

175 毫升	3 分鐘	6 分鐘	9 分鐘	12 分鐘	15 分鐘
油(毫米)	6	6	7	6	6
水(毫米)	64	64	63	64	64
射出角度	26	28	29	29	29
$\sin\theta_2$	0.43	0.47	0.48	0.48	0.48
$n_2$	1.47	1.37	1.33	1.33	1.33

超聲波不同時間量測油占比



超聲波不同量測時間折射率



以廢機油 200ml 以超聲波機來分離時，間隔 3 分鐘量測一次則沒有太大變化，間隔 5 分鐘量測發現，前 20 分鐘油占比持續增加，在 20 分鐘後油占比開始下降，以折射率來看，在 12~15 分鐘時折射率值已達 1.3，顯示超聲波機的油水效率快速。

## 玖、討論

1. 自製離心機的過程要考慮馬達的承重和轉速，轉軸不能重壓影響旋轉，整個機體的穩定性都要設計不斷嘗試修正，這一過程也學到很多，樣品水從試管到改成透明正方塑膠盒，已符合以雷射光量測角度。
2. 以離心機來分離油水三次實驗可發現，廢機油 100ml 的油水，油層占總液體在 10~15 分鐘後都可保持定值的油厚度，折射率 15~20 分鐘時可達 1.4 左右，約在 30 分鐘左右中的折射率達 1.3，廢機油 200ml，油占比在 10~35 分鐘後可保持定值，折射率 35 分鐘時已達 1.4，在 30~50 分鐘左右中的折射率達 1.3，廢機油 300ml 的油水抽吸後，油占比在 15~60 分鐘後都可保持定值得油厚度，折射率 20 分鐘後已有明顯下降趨勢，約在 65~70 分鐘左右中的折射率達 1.3，。因為流動水域在抽水時，水中含油量無法固定，但經離心機分離較長時間後，水的折射率一樣可達接近純水的 1.33。
3. 自製氣泡機要高轉速的馬達和連接汽球的空氣壓縮動力，閥門的大小以及水管的彎曲角度，尤其長時間運轉會有馬達過熱的問題，需要一再修復。
4. 以氣泡機進行廢機油 100ml 分離時，隨時間增加其油占比逐漸增加，而以折射率可發現，在 25~30 分時，折射率值可達 1.3，廢機油 200ml 分離時，隨時間增加其油占比逐漸增加，40~45 分鐘時達到定值，在 30 分時折射率從 2.5 降到 1.5，在 30~40 分時，折射率值可達 1.3，廢機油 300ml 分離時，隨時間增加其油占比逐漸增加，60~75 分鐘時達到最大值，折射率 30 分鐘時使

折射率從 2 降到 1.4，55~60 分時，折射率值可達 1.3，顯示前半小時是很有效率的，最快共需約 60 分鐘左右。

5.組裝超聲波機量測樣品過程中，長時間使用晶片也會有過熱的問題，因為實驗次數頻繁，壓電片震盪片後來裂開，無法再進行更多實驗。

6.以超聲波處理廢機油 300ml 時，隨時間增加其油占比呈現不規則變化，且油占比的值也越小，折射率三次實驗均呈現震盪變化，廢機油 100ml 3 次實驗中，以每 3 分鐘量測一次發現，在 6~9 分鐘時其油占比都是增加的，但 15 分鐘後卻下降，且 9~12 分鐘左右，折射率值已接近 1.3，以廢機油 200ml 前 20 分鐘油占比持續增加，在 20 分鐘後油占比開始下降，以折射率來看，在 12~15 分鐘時折射率值已達 1.3，顯示超聲波機的油水效率快速。

7.以食用油 300ml 和廢機油 300ml 來比較，可發現離心 30 分鐘後其油占比達定值，廢機油需 65 分鐘後達到定值，而以折射率來看，食用油 30 分鐘其水折射率達 1.3，廢機油 30 分鐘後已有明顯下降，在 65 分鐘後折射率也可達 1.3，顯示不同油品其黏稠度和黏滯性會影響離心機將油水分層的時間。使用氣泡機分離，隨時間增加食用油 45 分鐘後其油占比漸達定值，廢機油需 60 分鐘後達到最大值，而以折射率來看，食用油 45 分鐘其水折射率達 1.3，廢機油 40 分鐘後已有明顯下降，在 55 分鐘後折射率也可達 1.3，顯示氣泡機對不同油品將油水分層的效率也不同，廢機油需耗時較久。

## 拾、結論

1.以廢機油 100ml 來看，經離心機和氣泡機分離油水以達到折射率 1.3，均需約 30 分鐘左右，廢機油 300ml 實驗，離心機約需 65 分鐘，氣泡機約需 60 分鐘。顯示氣泡機的油水分層略優於離心機。

2.以超聲波機進行實驗來看，廢機油 100ml 需 12 分鐘左右即使折射率達 1.3，效率最佳，但若實驗時間過長，可見油水混合呈現類似乳化現象，本實驗後來採用每 3 分鐘量測，最快 9 分鐘折射率可達 1.3 即完成，顯示超聲波機的油水分離只需 9~15 分鐘。

3.由於食用油密度約 0.8~0.9 公克/毫升，如沙拉油若與自來水作比較，沙拉油黏度約高出 50 至 100 倍，廢機油密度  $0.88 \text{ g/cm}^3$ - $0.89 \text{ g/cm}^3$  左右且黏滯度高、富含積碳及重金屬的特性，以食用油和廢機油兩種不同油品 300ml 實驗，以離心機和氣泡機進行油水分離，發現食用油均 30~45 分鐘，廢機油需 55~60 分可達折射率 1.3，相差不大。

4.關於超聲波機實驗較能高效率將油水分離，未來方向計畫展開此路徑以探索優化的方式。

## 拾壹、參考文獻

- 1.【環保分離槽---「油切」~水分離模式】指導老師: 蔡宜修 作者: 蔡宜均  
第 57 屆全國中小學科展作品 生活與應用科學科
- 2.【無所遁形—濃不濃，「光」知道！】桃園市第 56 屆中小學科學展覽會 國小組 物理科
- 3.《科學人》2010 年第 104 期 10 月號 4.4.【海上除油大作戰】