

新竹市第四十二屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中甲組

作品名稱：隔空取物－利用超音波懸浮控制物體的移動

關 鍵 詞：超音波懸浮、共振、駐波

編號：

摘要

利用自製肯特管及氣壓感測器得知駐波節點的位置壓力變化最大，聲懸浮使物體懸浮在節點，受到許多因素的影響，其中之一就是聲音強度；我們利用改變輸入超音波發射器的電壓，可以調整聲音強度的大小，使保麗龍球移動。下方超音波發射器電壓上升，保麗龍球往上移動；下方電壓下降，則往下方移動。左邊電壓上升，保麗龍球往右邊移動；左邊電壓下降，則往左邊移動。另外聲懸浮的節點性質會受到兩發射器間距及頻率影響，發揮聲懸浮的優點，成功懸浮水或是油包覆的保麗龍球。

壹、研究動機

不接觸物體卻能使物體移動是很困難的事，除了常見的磁懸浮之外還有什麼可以使物體懸浮呢？我們剛好看到一位 YouTuber 做了一部有關超音波懸浮的影片，就很好奇波超音波為什麼可以讓物體懸浮，剛好在理化課學到共振與駐波的觀念，沒想到駐波也能有這樣的應用，因此我們想更深入探討懸浮的原因及可能的應用。

貳、文獻探討

一、肯特管與駐波

(一)肯特管實驗主要是呈現聲波在管子內形成駐波，從中得到駐波的頻率、管子長度以及聲速之間的關係。

(二)兩個同速率、同頻率、同振幅、同相位、行進方向相反的波，互相交疊後就會形成駐波，特徵是空氣介質會進行週期性的震盪，形成固定的節點。

(三)駐波上的每一個質點皆作簡諧運動。

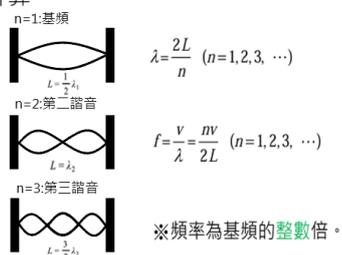
(四)駐波波形無法前進，在半波長處產生節點，節點為兩波形交會處最穩定的地方。

(五)管內駐波節點的位置是聲波震幅最小的位置，理論上量到的音量最小。

(六)聲速計算公式： $331+0.6t$ (m/s)， t 為當時的攝氏溫度，例：溫度 25°C ，則聲速為： $331+0.6*25=346$ (m/s)。

(七)兩端固定之駐波節點計算公式： $\lambda = \frac{2L}{n}$ ($n=1, 2, 3, \dots$)； λ ：波長、 L ：管長。

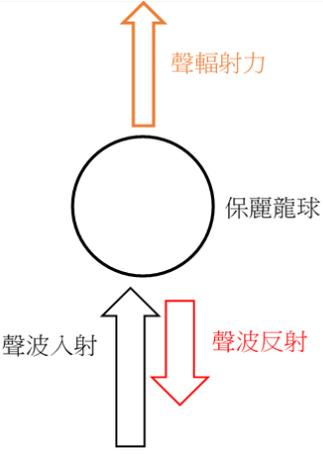
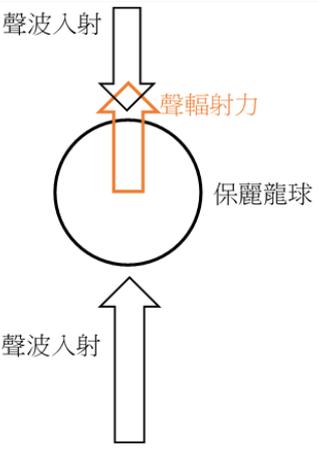
兩端閉管之節點計算



二、超音波懸浮

(一)在一個超音波懸浮裝置形成的駐波中，距離聲源半波長倍數的地方會出現節點，節點以外的地方的聲輻射力的方向會指向距離自己最近的節點，使得物體不停地被推向節點，進而在節點處靜止懸浮。

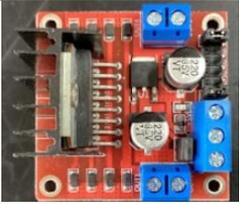
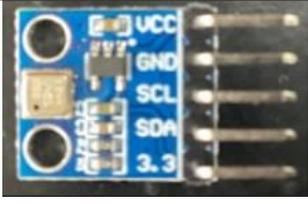
(二)聲輻射力產生機制

圖示	 <p>Diagram illustrating the mechanism of acoustic radiation force. A ball (保麗龍球) is shown. Sound waves (声波入射) enter from the bottom and reflect off the top (声波反射). An upward-pointing arrow indicates the resulting acoustic radiation force (聲輻射力).</p>	 <p>Diagram illustrating the mechanism of acoustic radiation force. A ball (保麗龍球) is shown. Sound waves (声波入射) enter from both the top and bottom. A downward-pointing arrow indicates the resulting acoustic radiation force (聲輻射力).</p>
說明	<p>1. 聲波具有聲波強度，作用在保麗龍球上會形成作用力。</p> <p>2. 當聲波入射遇到保麗龍球會反射，反射的過程中，會也有力作用在保麗龍球上，作用在保麗龍球上的力，稱為聲輻射力。</p> <p>2. 若聲輻射力的大小等於保麗龍球重量，則有機會使保麗龍球靜止懸浮。</p>	<p>1. 在保麗龍球上下都有聲波入射，若下方聲波的聲音強度大於上方聲波的聲音強度，則會產生合力向上的聲輻射力。</p> <p>2. 若只有一聲波入射，當聲輻射力的大小大於保麗龍球重量，則有機會使保麗龍球向上移動，但保麗龍球容易向外彈開，所以我們設計在保麗龍球上下都有聲波入射，以期讓保麗龍球能穩定移動。</p>

參、研究目的

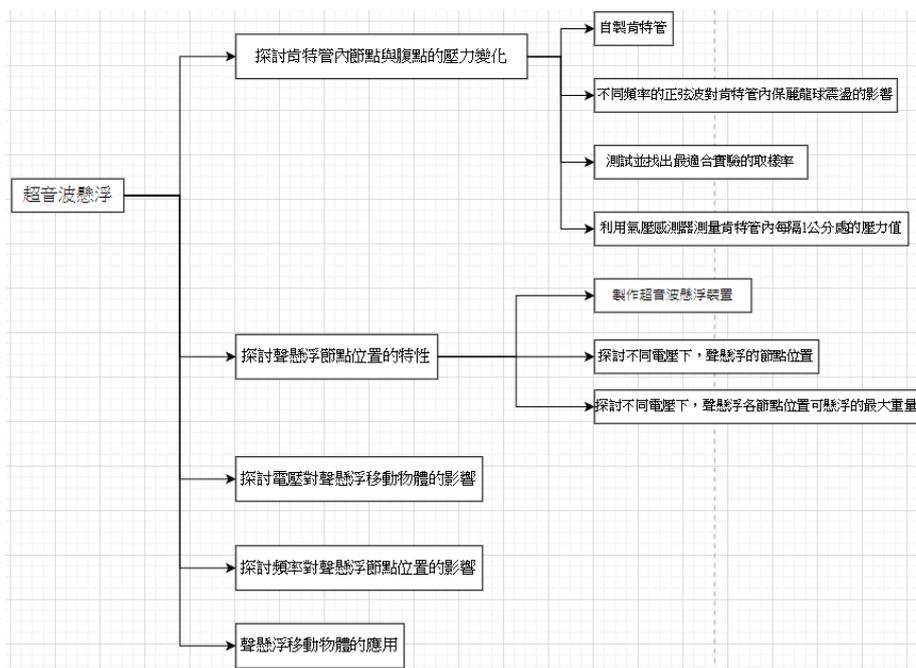
- 一、探討肯特管內節點與腹點的壓力變化
- 二、探討聲懸浮節點位置的特性
 - 二-1、製作超音波懸浮裝置
 - 二-2、探討不同電壓下，聲懸浮的節點位置
 - 二-3、探討不同電壓下，聲懸浮各節點位置可懸浮的最大重量
- 三、探討電壓對聲懸浮移動物體的影響
- 四、探討頻率對聲懸浮節點位置的影響
- 五、聲懸浮移動物體的應用

肆、研究設備及器材

		
超音波發射器 HC-SR04(解焊)	供電與超音波發射器驅動(L298n)	BOSCH BMP180 氣壓感測器
		
小保麗龍球(重約:0.00003g)	大保麗龍球(重量約:0.06g)	Arduino UNO 板
		
3D 列印懸浮裝置	訊號產生器	電源供應器
		
喇叭	訊號擴大器	18650 電池

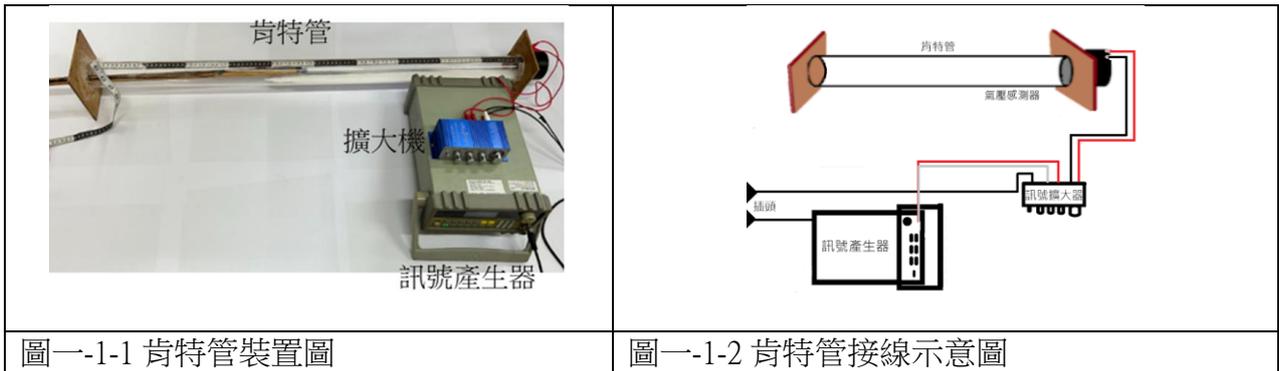
伍、研究過程或方法

實驗概念圖



實驗一-1、觀察不同頻率的正弦波對肯特管內保麗龍球震盪的影響

(一)實驗裝置

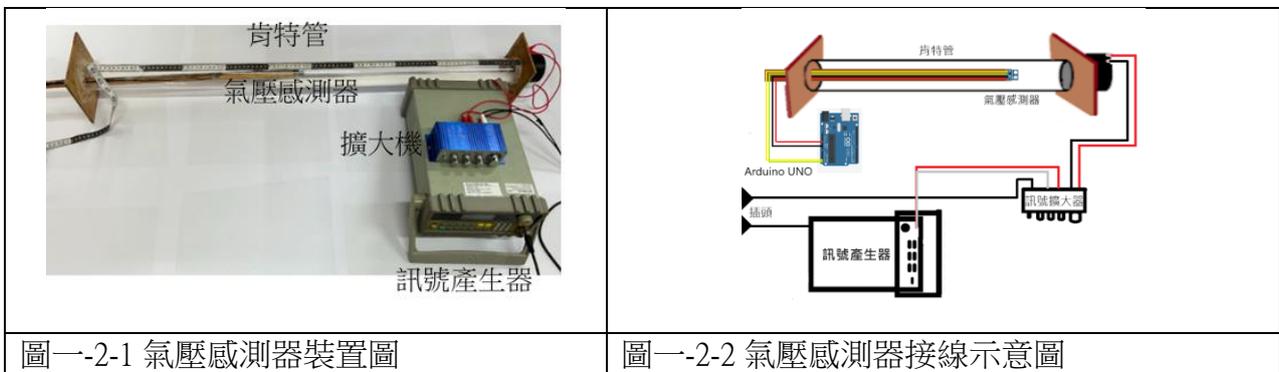


(二)實驗步驟

- 1.使用壓克力管、木板及喇叭組成肯特管
- 2.將喇叭連接上訊號產生器及訊號擴大器如圖一-1-1
- 3.調整訊號產生器輸出的頻率，觀察保麗龍球震動情形，並紀錄保麗龍球震盪最小(節點)及震盪最激烈(腹點)的位置

實驗一-2、測試並找出最適合實驗的取樣率

(一)實驗裝置

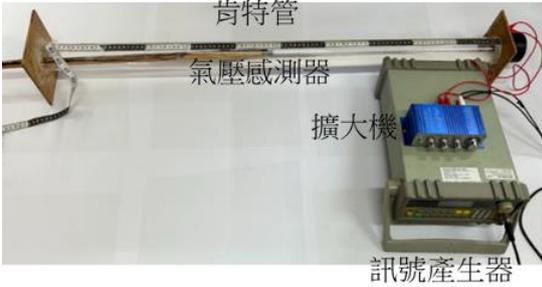
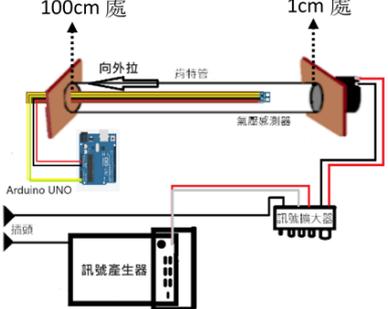


(二)實驗步驟

- 1.使用訊號產生器，產生頻率為 120Hz 的正弦波
- 2.在自製肯特管內放入氣壓感測器
- 3.調整程式中取數據的頻率，分別為 10Hz、20Hz、50Hz、100Hz、200Hz 及 1000Hz
- 4.測量管外空氣壓力 100 個數值並取平均
- 5.將測得的管內壓力與管外空氣壓力平均值相減並作圖
- 6.選用最合適之取樣率進行後續的實驗

實驗一-3、利用氣壓感測器測量肯特管內每隔 1 公分處的壓力值

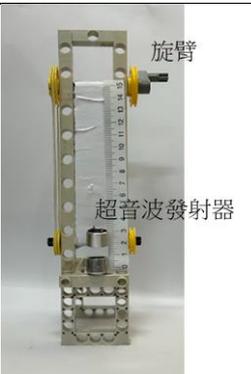
(一)實驗裝置

	
<p>圖一-3-1 氣壓感測器裝置圖</p>	<p>圖一-3-2 氣壓感測器接線示意圖</p>

(二)實驗步驟

- 1.使用訊號產生器產生 370Hz 的聲波
- 2.在自製肯特管內放入氣壓感測器
- 3.用氣壓感測器測量肯特管內 1 公分(靠進喇叭處)至 100 公分(管內另一端)的壓力值
- 4.測量管外壓力 100 個數據並取平均
- 5.將測得的管內壓力與管外空氣壓力平均值相減作圖
- 6.探討整個肯特管內各點壓力變化情況

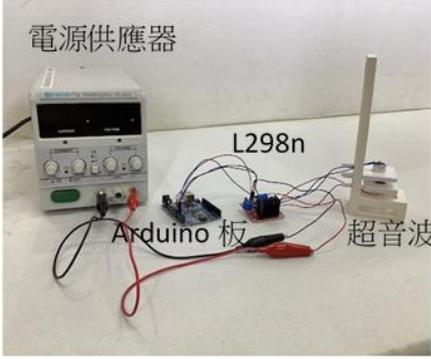
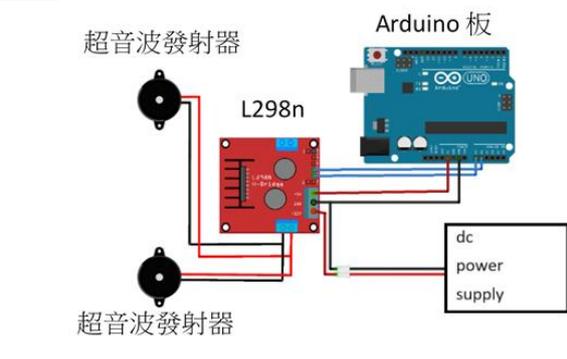
實驗二-1、製作超音波懸浮裝置

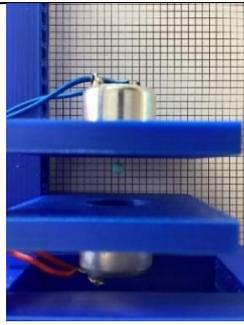
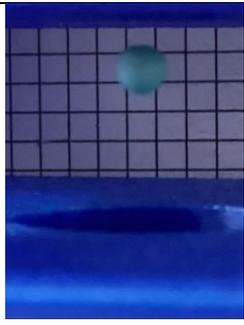
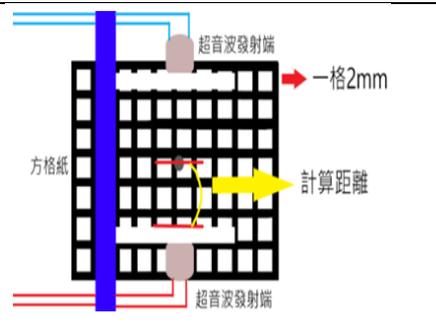
改良過程	第一代	第二代	第三代
圖示			
設計構思	<p>在木板上黏上刻度尺，將超音波發射器固定在選定的位置，可以測量出超音波發射器的距離，也方便進行實驗操作。</p>	<p>轉動旋臂帶動履帶，可以讓超音波發射器上下移動，可以改變超音波發射器之間的距離。</p>	<p>使用 3D 列印製作超音波懸浮裝置，將超音波發射器鑲嵌在鑽洞的平面上，連續排列的孔洞可以很方便移動超音波發射器。</p>
優缺點	<p>1.不易改變兩超音波發射</p>	<p>1.超音波發射器不易對</p>	<p>1.可以方便改變兩超音波</p>

	器之間的距離。 2. 超音波發射器不易對準，所以保麗龍球的懸浮不是很穩定。	準，保麗龍球的懸浮不是很穩定。	發射器之間的距離。 2. 超音波發射器可以準確對齊，可使保麗龍球穩定懸浮。
--	--	-----------------	--

實驗二-2、探討不同電壓下，聲懸浮的節點位置

(一)實驗裝置

 <p>圖二-2-1 超音波懸浮裝置圖</p>	 <p>圖二-2-2 超音波懸浮接線圖</p>
--	---

 <p>圖二-2-3 保麗龍球懸浮圖</p>	 <p>圖二-2-4 保麗龍球懸浮放大圖</p>	 <p>圖二-2-5 移動距離計算示意圖</p>
---	---	--

(二)實驗步驟

1. 超音波懸浮實驗裝置如圖二-2-1
2. 調整電源供應器輸出到 L298n 的電壓分別為 9V、12V、16V
3. 觀察不同電壓下，節點的位置並作記錄

(三)計算保麗龍球移動距離的方法

- (1) 錄影保麗龍球的移動過程
- (2) 截取移動前後的照片
- (3) 利用小畫家畫出 0cm、0.2cm(方格紙一格 0.2cm)、球心
- (4) 利用比例算出懸浮高度(高度為發射器到球的距離)及移動距離

//made by milespeterson101

```

//published on 6/17/2022
//heres the code (:

byte TP = 0b10101010; // Every other port receives the inverted signal
void setup() {
  DDRC = 0b11111111; // Set all analog ports to be outputs

  // Initialize Timer1
  noInterrupts(); // Disable interrupts

  TCCR1A = 0;
  TCCR1B = 0;
  TCNT1 = 0;
  OCR1A = 200; // Set compare register (16MHz / 200 = 80kHz square wave -> 40kHz
full wave)

  TCCR1B |= (1 << WGM12); // CTC mode
  TCCR1B |= (1 << CS10); // Set prescaler to 1 ==> no prescaling
  TIMSK1 |= (1 << OCIE1A); // Enable compare timer interrupt

  interrupts(); // Enable interrupts
}
ISR(TIMER1_COMPA_vect) {
  PORTC = TP; // Send the value of TP to the outputs
  TP = ~TP; // Invert TP for the next run
}
void loop() {
  // Code ends here (:
}

```

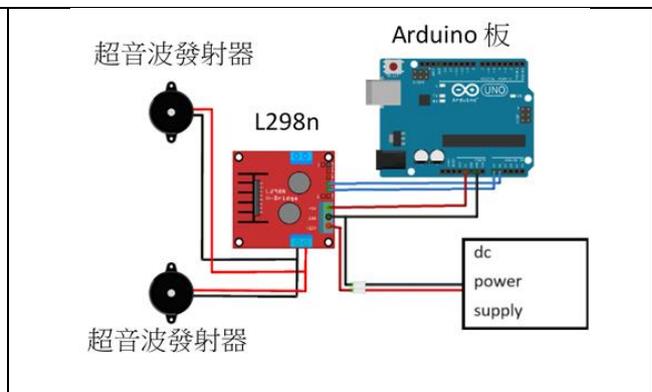
表二-2-1 聲懸浮 Arduino 程式

實驗二-3、探討不同電壓下，聲懸浮各節點位置可懸浮的最大重量

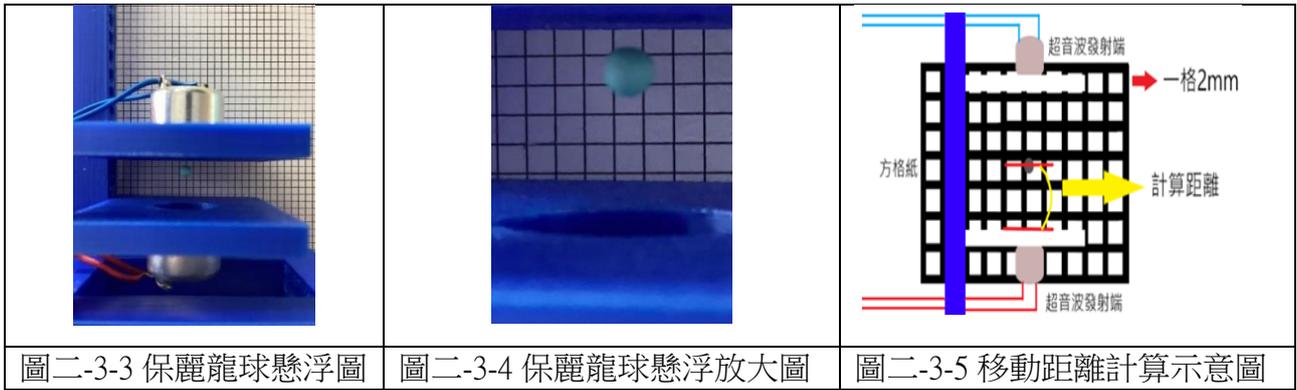
(一)實驗裝置



圖二-3-1 超音波懸浮裝置圖



圖二-3-2 超音波懸浮接線圖

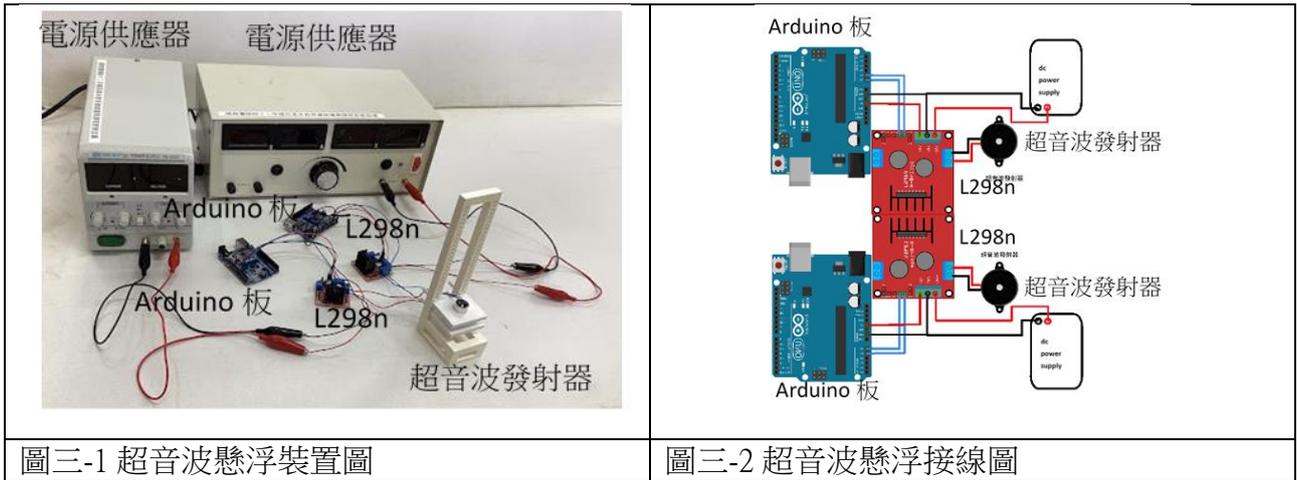


(二)實驗步驟

1. 超音波懸浮實驗裝置如圖二-3-1
2. 將保麗龍球懸浮在不同節點位置，並持續增加球的數量，直到保麗龍球彈開
3. 記錄在相同距離、不同電壓下，各節點懸浮乘載最大量

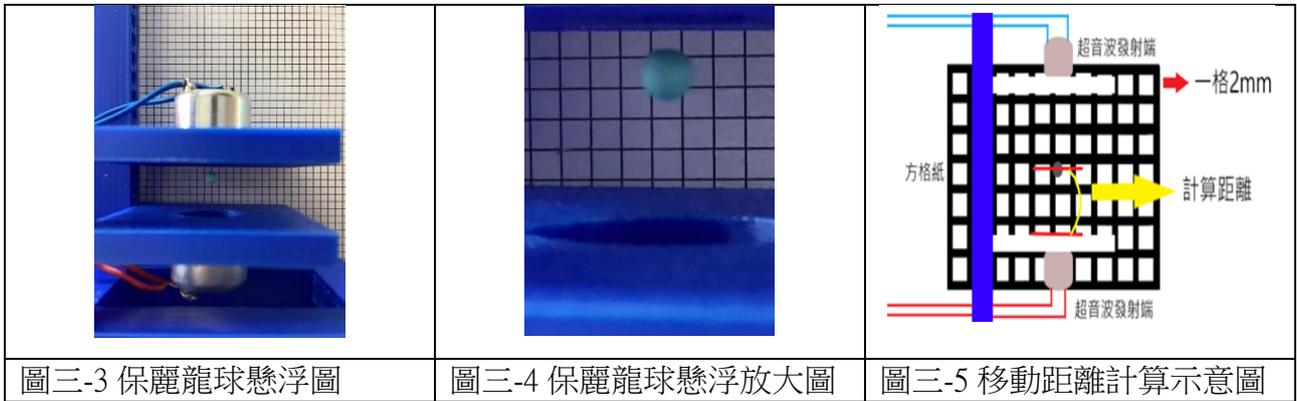
實驗三、探討電壓對聲懸浮移動物體的影響

(一)實驗裝置

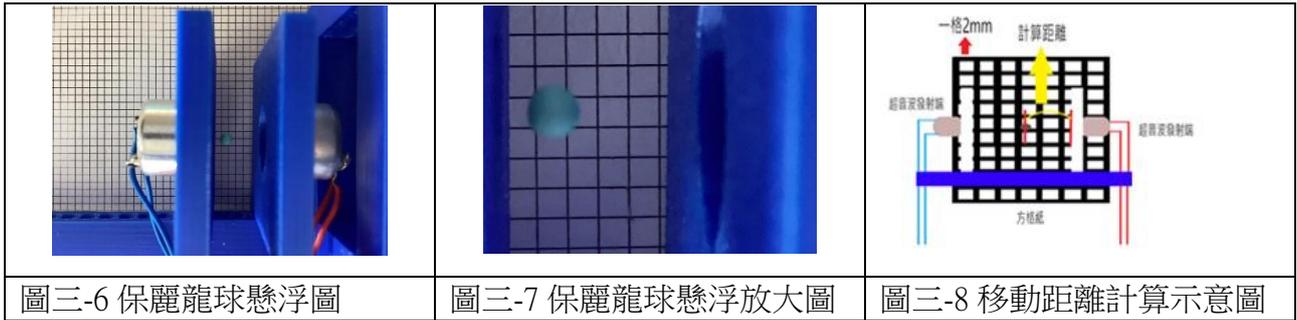


(二)名詞定義

1. 超音波發射器垂直放置，如圖三-3



2. 超音波發射器水平放置，如圖三-6

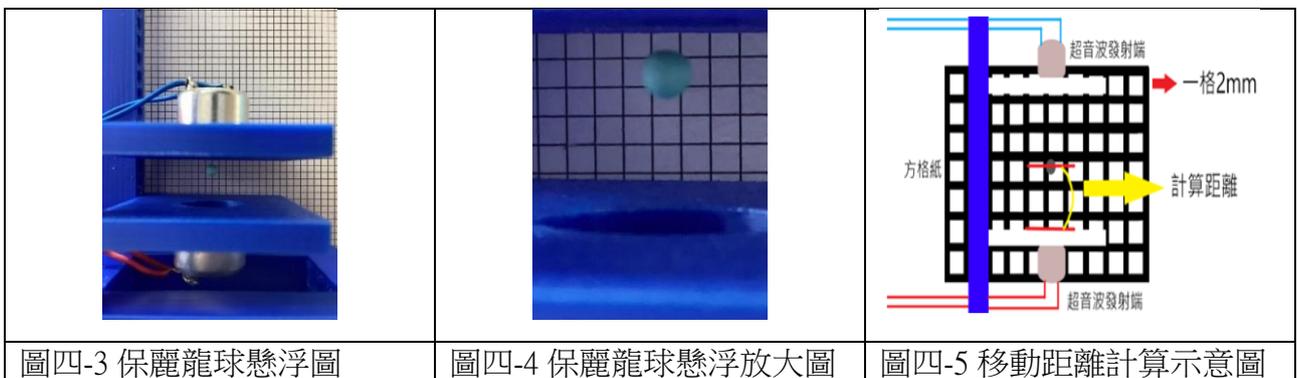
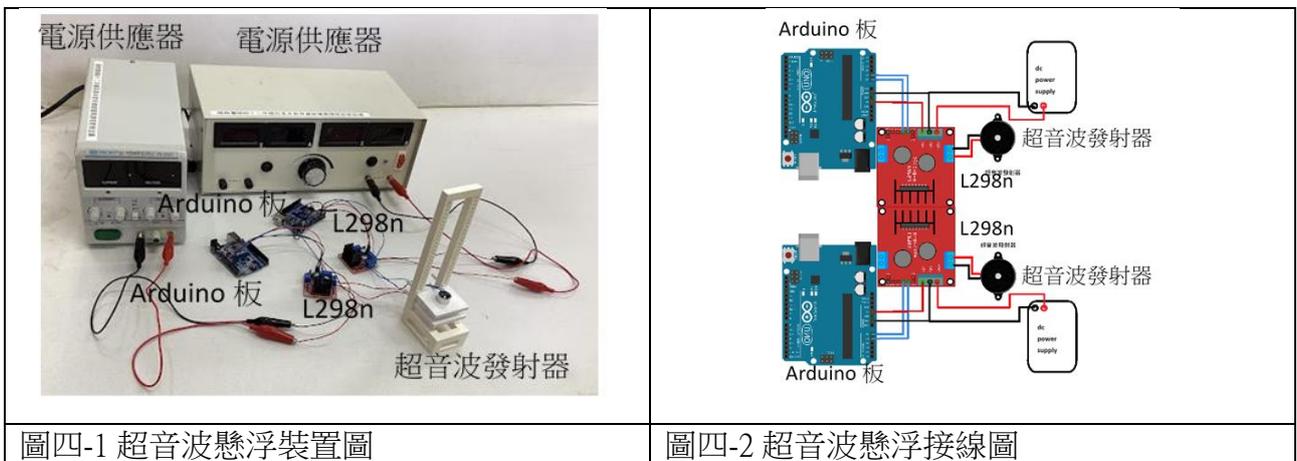


(二) 實驗步驟

1. 超音波懸浮實驗裝置如圖三-1
2. 調整輸入兩端超音波發射器的電壓
3. 拍攝保麗龍球移動的影片
4. 計算移動距離如圖三-5
5. 重複步驟 2~4

實驗四、探討頻率對聲懸浮節點位置的影響

(一) 實驗裝置

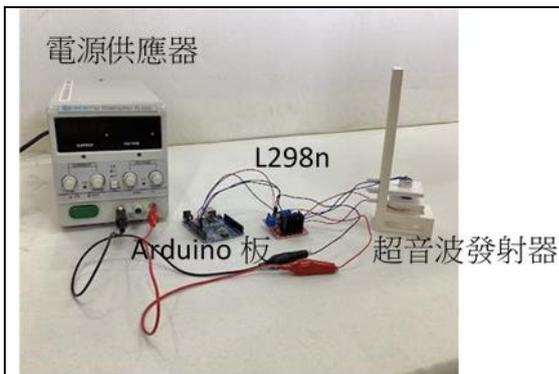


(二)實驗步驟

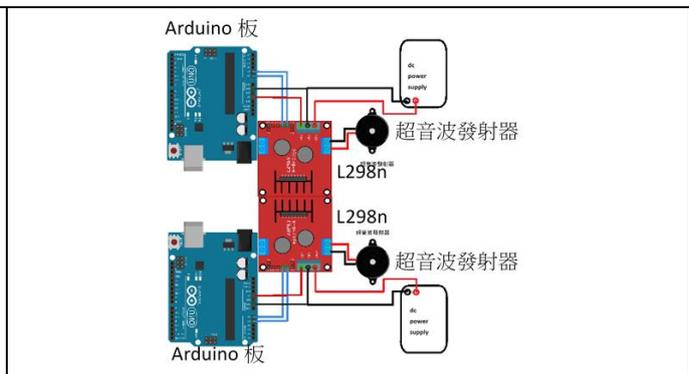
1. 超音波懸浮實驗裝置如圖四-1
2. 透過 Arduino 程式改變兩發射器發出的聲波頻率
3. 記錄保麗龍球懸浮的位置
4. 重複步驟 2~3

五、聲懸浮移動物體的應用

(一)實驗裝置



圖五-1 超音波懸浮裝置圖



圖五-2 超音波懸浮接線圖



圖五-3 保麗龍球懸浮圖



圖五-4 保麗龍球懸浮放大圖



圖五-5 不同黏性的液體

(二)實驗步驟

1. 實驗裝置組裝如圖五-1、圖五-3，超音波發射器水平放置
2. 用微量滴管將不同液體滴入節點位置
3. 拍攝液體滴入過程
4. 將保麗龍球浸泡在水中，讓水包覆在保麗龍球表面
5. 將被水包覆的保麗龍球放入節點位置
6. 記錄懸浮情況
7. 將保麗龍球浸泡在不同液體中，重複步驟 5~6

陸、研究結果

實驗一-1、觀察不同頻率的正弦波對肯特管內保麗龍球震盪的影響

(一)實驗數據



圖一-1-1 頻率 174Hz 的正弦波產生的保麗龍球震盪結果



圖一-1-2 頻率 340Hz 的正弦波產生的保麗龍球震盪結果

管長 L : 103(cm)、溫度 : 30(°C)、聲速 : 349(m/s)

訊號產生器輸入頻率(Hz)	保麗龍球震盪位置(cm)
174	16~90
340	10~44、60~96

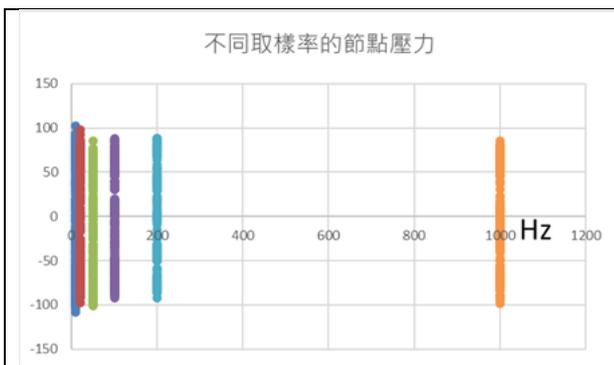
表一-1-1 輸入頻率與保麗龍球震盪位置的關係

(二)結果說明

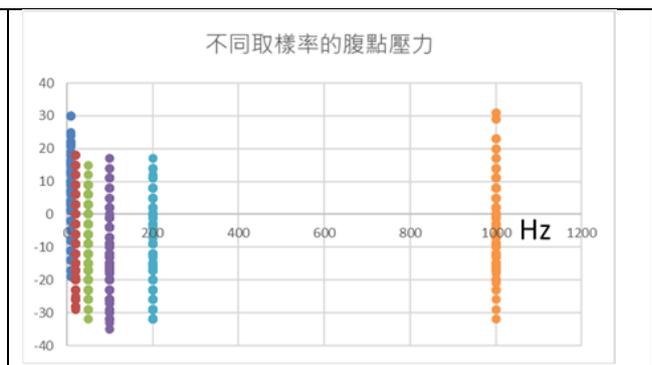
1.可觀察到保麗龍球形成波峰及波谷的形狀和位置。

實驗一-2、測試並找出最適合實驗的取樣率

(一)實驗數據



圖一-2-3 不同取樣率的節點壓力變化



圖一-2-4 不同取樣率的腹點壓力變化

(二)結果說明

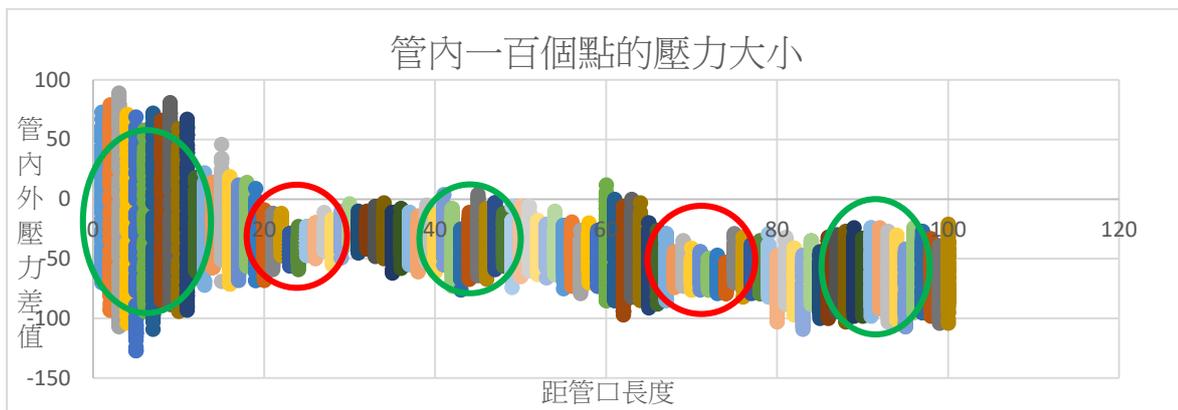
1.節點的壓力變化範圍在 100~(-100)之間，腹點的壓力變化範圍落在 30~(-30)之間，可看出節點壓力變化比腹點壓力變化大。

2.不同頻率的取樣率都能顯現出節點與腹點的壓力變化差異，不需使用到高頻取樣率就能達到很好的效果，為了減少電腦負荷量，讓之後的實驗操作較為方便，我們選用低頻的取樣率，但由於 10Hz 的取樣速度沒有 20Hz 來的快，因此我們使用 20Hz 的取樣率來進行之後的實驗。

實驗一-3、用氣壓感測器測量肯特管內每隔 1 公分處的壓力值

(一)實驗數據

頻率：370(Hz)、管長 L：103(cm)、聲速：346(m/s)



圖一-3-3 肯特管內每隔 1 公分處的壓力值變化

(二)結果說明

1. 理論值計算過程

$$L = \frac{n}{2} \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{2L}{n}, n=1、2、3 \dots$$

管長(cm)	節點(cm)	腹點(cm)
103	0	25.75
	51.5	77.25
	103	

表一-3-1 節點與腹點的理論值

1. 圖一-3-3 中，每一直行為肯特管內距管口 1 公分至 100 公分處，管內外壓力差值，每公分一百筆數值，得出節點(綠色圓圈)壓力變化最大，大約在距管口 0、48、96 公分處；腹點(紅色圓圈)(壓力變化最小，大約於 24、72 公分處，與節點、腹點的理論值位置近似。

2. 由圖一-3-3 可看出，節點壓力變化較大，腹點壓力變化較小。

實驗二-2、探討不同電壓下，聲懸浮的節點位置

(一)實驗數據

兩超音波發射器間距：2.6(cm)

電壓 (伏特)	與下方超 音波發射 器距離 (cm)	兩節點間 距離(cm)	電壓 (伏特)	與下方超 音波發射 器距離 (cm)	兩節點間 距離(cm)	電壓 (伏特)	與下方超 音波發射 器距離 (cm)	兩節點間 距離(cm)
9	0.8	×	12	0.8	×	16	0.6	×
	1.12	0.32		1.12	0.32		1.0	0.4
	1.62	0.5		1.62	0.5		1.6	0.6
	2.02	0.4		1.94	0.32		2	0.4

兩超音波發射器間距：3.1(cm)

電壓 (伏特)	與下方超 音波發射 器距離 (cm)	兩節點間 距離(cm)	電壓 (伏特)	與下方超 音波發射 器距離 (cm)	兩節點間 距離(cm)	電壓 (伏特)	與下方超 音波發射 器距離 (cm)	兩節點間 距離(cm)
9	0.45	×	12	0.63	×	16	0.46	×
	0.95	0.5		1.23	0.6		0.93	0.47
	1.55	0.6		1.82	0.6		1.4	0.47
	2.15	0.6		2.38	0.56		1.87	0.47
	2.65	0.5		2.73	0.35		2.34	0.47
							2.74	0.4

兩超音波發射器間距：3.6(cm)

電壓(伏特)	與下方超音 波發射器距 離(cm)	兩節點間距 離(cm)	電壓(伏特)	與下方超音 波發射器距 離(cm)	兩節點間距 離(cm)
12	0.8	×	16	0.5	×
	1.25	0.45		1.1	0.6
	1.7	0.45		1.7	0.6
	2.15	0.45		2.2	0.5
	2.6	0.45		2.8	0.6
			3.2	0.4	

兩超音波發射器間距：4.1(cm)

電壓(伏特)	與下方超音波發射器距離(cm)	兩節點間距離(cm)	電壓(伏特)	與下方超音波發射器距離(cm)	兩節點間距離(cm)
9	0.5	×	12	0.5	×
	1.0	0.5		1.1	0.6
	1.5	0.5		1.7	0.6
	2.0	0.5		2.2	0.5
	2.5	0.5		2.8	0.6
	3	0.5		3.2	0.4
	3.5	0.5			
	3.8	0.5			

(二)結果說明

1.兩超音波發射器距離會影響節點數量，距離越大，節點數量越多。

2.駐波波長計算：

$$\text{聲速} = 331 + 0.6t = 331 + 0.6 \times 25 = 346(\text{m/s})$$

$$\text{聲速} = \text{頻率}(f) \times \text{波長}(\lambda) \Rightarrow 346 = 40000 \times \lambda$$

$$\therefore \lambda = 0.00865(\text{m}) = 8.65(\text{mm})$$

$$\text{駐波半波長} = \text{兩節點間距離} = \frac{1}{2} \lambda = \frac{8.65}{2} = 4.325(\text{mm})$$

我們測量出的兩節點間距離也就是半波長的長度，近似於理論數值。

實驗二-3、探討不同電壓下，聲懸浮各節點位置可懸浮的最大重量

兩超音波發射器距離(cm)	電壓(伏特)	懸浮球位置(個)	最大乘載數量(顆)(上到下)
2.6	6	0	×
	9	4	1、3、3、1
	12	4	1、4、5、1
	16	4	1、6、6、3

兩超音波發射器距離(cm)	電壓(伏特)	懸浮球位置(個)	最大乘載數量(顆)(上到下)
3.1	6	0	×
	9	4	1、3、2、1

	12	4	1、8、7、6
	16	5	1、4、5、4、1

兩超音波發射器距離(cm)	電壓(伏特)	懸浮球位置(個)	最大乘載數量(顆)(上到下)
3.6	6	0	×
	9	0	×
	12	5	1、7、5、3、1
	16	6	3、3、3、5、5、1

(二)結果說明

- 1.電壓的大小會影響超音波的強度，電壓越大超音波的強度越強，可以懸浮的保麗龍球數目越多，而電壓越小超音波的強度則越弱，可以懸浮的保麗龍球數目越少。
- 2.電壓為 6 伏特時，聲波強度太小，以致於無法懸浮。
- 3.當兩超音波發射器距離變大時，使保利龍球懸浮的最小電壓也要增加。
- 4.在有些位置，電壓 12 伏特的最大乘載數量大於電壓 16 伏特的最大乘載量，有些位置則相反，原因是電壓 16 伏特時，保利龍球比較容易彈開。
- 5.中間位置的節點可以懸浮的最大乘載數量較其他位置多，兩端的節點大多都只能懸浮一顆，支撐力比較弱；因此在實驗三中的保麗龍球放置位置都選擇偏中間位置的節點。

實驗三、探討電壓對聲懸浮移動物體的影響

實驗三-1 垂直增加下方超音波發射器電壓對聲懸浮移動物體的影響(上方超音波發射器電壓維持 20 伏特)

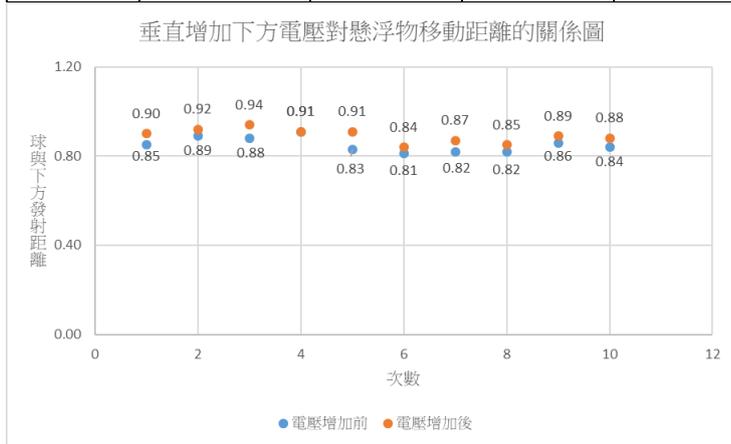
(一)實驗說明

- 1.改變下方超音波發射器電壓，由 11 伏特增加到 15 伏特
- 2.電壓差=末電壓-初始電壓，移動距離=移動後與下方距離-移動前與下方距離

(二)實驗數據

次數	初始電壓 (伏特)	末電壓 (伏特)	電壓差 (伏特)	移動前與下方 距離(cm)	移動後與下方 距離(cm)	移動距離(cm) 與移動方向	
1	11	15	4	0.85	0.90	0.05	↑
2	11	15	4	0.89	0.92	0.03	↑
3	11	15	4	0.88	0.94	0.06	↑

4	11	15	4	0.91	0.91	0.00	↑
5	11	15	4	0.83	0.91	0.08	↑
6	11	15	4	0.81	0.84	0.03	↑
7	11	15	4	0.82	0.87	0.05	↑
8	11	15	4	0.82	0.85	0.03	↑
9	11	15	4	0.86	0.89	0.03	↑
10	11	15	4	0.84	0.88	0.04	↑

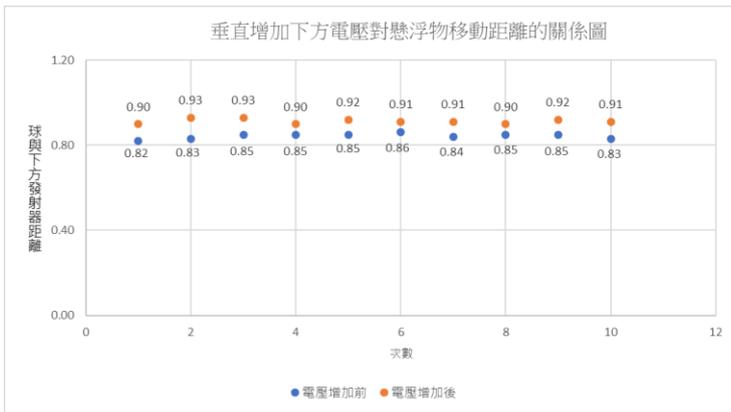


實驗三-2 垂直增加下方超音波發射器電壓對聲懸浮移動物體的影響(上方超音波發射器電壓維 20 伏特)

(一)實驗說明：改變下方超音波發射器電壓，由 11 伏特增加到 19 伏特

(二)實驗數據

次數	初始電壓 (伏特)	末電壓 (伏特)	電壓差 (伏特)	移動前與下方 距離(cm)	移動後與下方 距離(cm)	移動距離(cm) 與移動方向
1	11	19	8	0.82	0.90	0.08 ↑
2	11	19	8	0.83	0.93	0.10 ↑
3	11	19	8	0.85	0.93	0.08 ↑
4	11	19	8	0.85	0.90	0.05 ↑
5	11	19	8	0.85	0.92	0.07 ↑
6	11	19	8	0.86	0.91	0.05 ↑
7	11	19	8	0.84	0.91	0.07 ↑
8	11	19	8	0.85	0.90	0.05 ↑
9	11	19	8	0.85	0.92	0.07 ↑
10	11	19	8	0.83	0.91	0.08 ↑

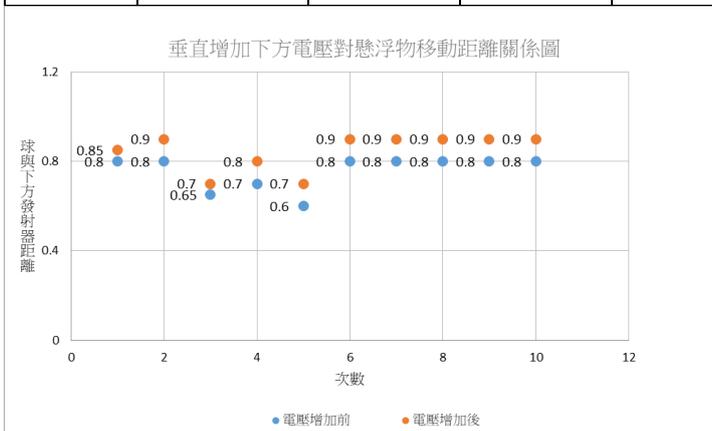


實驗三-3 垂直增加下方超音波發射器電壓對聲懸浮移動物體的影響(上方超音波發射器電壓維持 12 伏特)

(一)實驗說明：改變下方超音波發射器電壓，由 12 伏特增加到 20 伏特

(二)實驗數據

次數	初始電壓 (伏特)	末電壓 (伏特)	電壓差 (伏特)	移動前與下方 距離(cm)	移動後與下方 距離(cm)	移動距離(cm) 與移動方向	
						距離	方向
1	12	20.2	8.2	0.8	0.85	0.05	↑
2	12	19.9	7.9	0.8	0.9	0.1	↑
3	12	20	8	0.65	0.7	0.05	↑
4	12	20	8	0.7	0.8	0.1	↑
5	12	20	8	0.6	0.7	0.1	↑
6	12	20	8	0.8	0.9	0.1	↑
7	12	20.1	8.1	0.8	0.9	0.1	↑
8	12	20.1	8.1	0.8	0.9	0.1	↑
9	12	20.1	8.1	0.8	0.9	0.1	↑
10	12	20	8	0.8	0.9	0.1	↑



實驗三-4 垂直減少下方超音波發射器電壓對聲懸浮移動物體的影響(上方超音波發射器電壓維持 20 伏特)

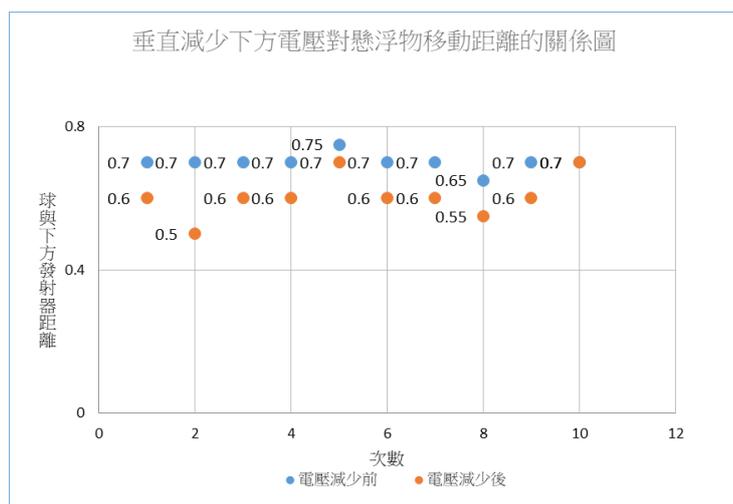
(一)實驗說明：改變下方超音波發射器電壓，由 20 伏特遞減到 12 伏特

(二)實驗數據

次數	初始電壓 (伏特)	末電壓 (伏特)	電壓差 (伏特)	移動前與下方 距離(cm)	移動後與下方 距離(cm)	移動距離(cm) 與移動方向	
1	20	12.2	-7.8	0.7	0.6	-0.1	↓
2	20	12	-8	0.7	0.5	-0.2	↓
3	20	11.9	-8.1	0.7	0.6	-0.1	↓
4	20	11.6	-8.4	0.7	0.6	-0.1	↓
5	20	12.8	-7.2	0.75	0.7	-0.05	↓
6	20	13.6	-6.4	0.7	0.6	-0.1	↓
7	20	13.7	-6.3	0.7	0.6	-0.1	↓
8	20	14.9	-5.1	0.65	0.55	-0.1	↓
9	20	12	-8	0.7	0.6	-0.1	↓
10	20	11.8	-8.2	0.7	0.7	0	×

(三)結果說明

在實驗次數 6、7、8，電壓尚未降到 12 伏特，保麗龍球就彈開，記錄當時的電壓值。

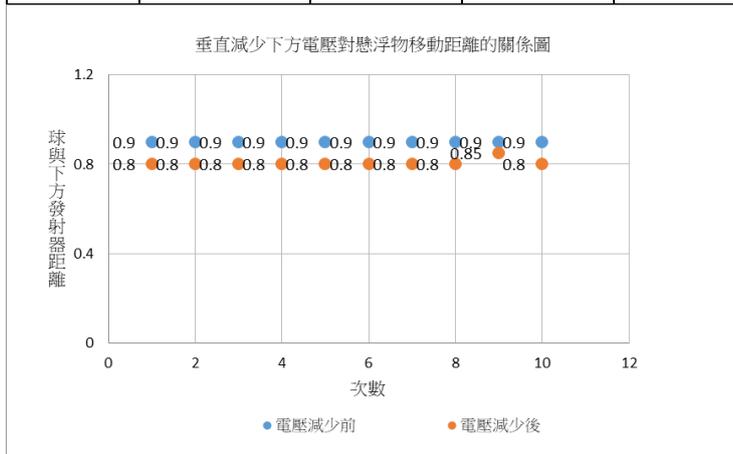


實驗三-5 垂直減少下方超音波發射器電壓對聲懸浮移動物體的影響(上方超音波發射器電壓維持 12 伏特)

(一) 實驗說明：改變下方超音波發射器電壓，由 20 伏特減少到 12 伏特

(二)實驗數據

次數	初始電壓 (伏特)	末電壓 (伏特)	電壓差 (伏特)	移動前與下方 距離(cm)	移動後與下方 距離(cm)	移動距離(cm) 與移動方向	
1	20	12	-8.0	0.9	0.8	-0.1	↓
2	20	12	-8.0	0.9	0.8	-0.1	↓
3	20	12	-8.0	0.9	0.8	-0.1	↓
4	20	12	-8.0	0.9	0.8	-0.1	↓
5	20	12	-8.0	0.9	0.8	-0.1	↓
6	20	12	-8.0	0.9	0.8	-0.1	↓
7	20	12	-8.0	0.9	0.8	-0.1	↓
8	20	12	-8.0	0.9	0.8	-0.1	↓
9	20	12	-8.0	0.9	0.85	-0.05	↓
10	20	12	-8.0	0.9	0.8	-0.1	↓



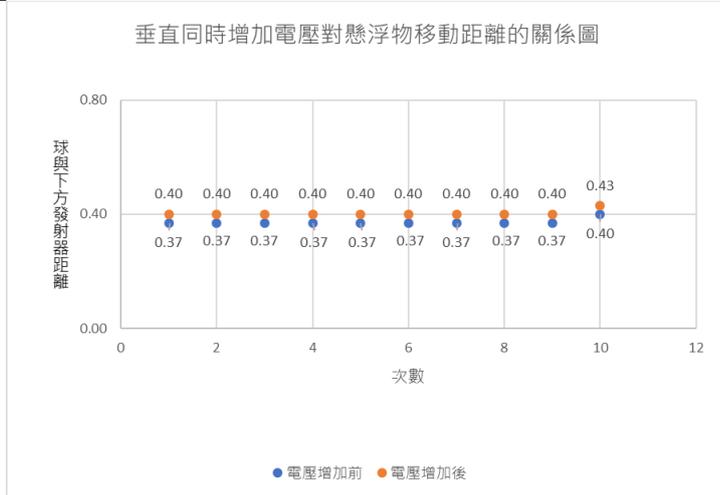
實驗三-6 垂直同時增加兩超音波發射器電壓對聲懸浮移動物體的影響

(一)實驗說明：同時改變兩超音波發射器電壓，由 12 伏特增加到 20 伏特

(二)實驗數據

次數	初始電壓 (伏特)	末電壓 (伏特)	電壓差 (伏特)	移動前與下方 距離(cm)	移動後與下方 距離(cm)	移動距離(cm) 與移動方向	
1	12	20	8	0.37	0.40	0.03	↑
2	12	20	8	0.37	0.40	0.03	↑
3	12	20	8	0.37	0.40	0.03	↑
4	12	20	8	0.37	0.40	0.03	↑
5	12	20	8	0.37	0.40	0.03	↑

6	12	20	8	0.37	0.40	0.03	↑
7	12	20	8	0.37	0.40	0.03	↑
8	12	20	8	0.37	0.40	0.03	↑
9	12	20	8	0.37	0.40	0.03	↑
10	12	20	8	0.40	0.43	0.03	↑

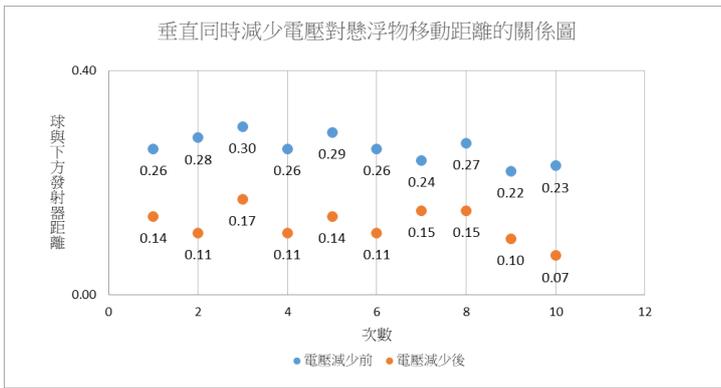


實驗三-7 垂直同時減少兩超音波發射器電壓對聲懸浮移動物體的影響

(一)實驗說明：同時改變兩超音波發射器電壓，由 20 伏特減少到 12 伏特

(二)實驗數據

次數	初始電壓 (伏特)	末電壓 (伏特)	電壓差 (伏特)	移動前與下方 距離(cm)	移動後與下方 距離(cm)	移動距離(cm) 與移動方向	
1	20	5.5	-14.5	0.26	0.14	-0.12	↓
2	20	5.4	-14.6	0.28	0.11	-0.17	↓
3	20	5.7	-14.3	0.30	0.17	-0.13	↓
4	20	5.8	-14.2	0.26	0.11	-0.15	↓
5	20	5.7	-14.3	0.29	0.14	-0.15	↓
6	20	5.7	-14.3	0.26	0.11	-0.15	↓
7	20	5.4	-14.6	0.24	0.15	-0.09	↓
8	20	5.7	-14.3	0.27	0.15	-0.12	↓
9	20	5.7	-14.3	0.22	0.10	-0.12	↓
10	20	5.6	-14.4	0.23	0.07	-0.16	↓

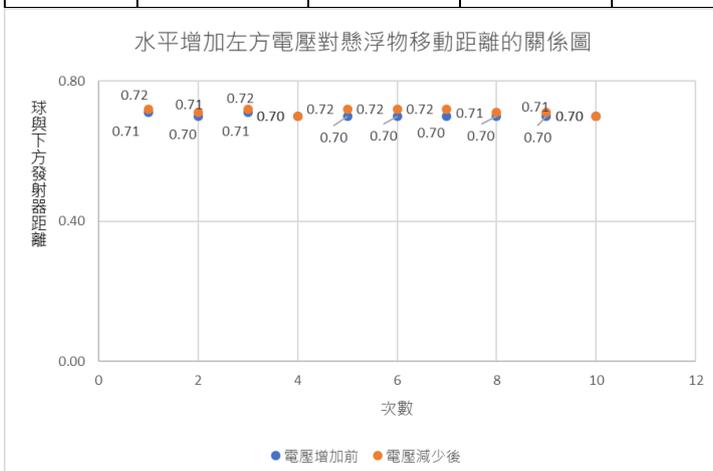


實驗三-8 水平增加左方超音波發射器電壓對聲懸浮移動物體的影響(右方超音波發射器電壓維持 19 伏特)

(一)實驗說明：改變左方超音波發射器電壓，由 11 伏特增加到 15 伏特

(二)實驗數據

次數	初始電壓 (伏特)	末電壓 (伏特)	電壓差 (伏特)	移動前與左方 距離(cm)	移動後與左方 距離(cm)	移動距離(cm) 與移動方向	
1	11	15	4	0.71	0.72	0.01	→
2	11	15	4	0.70	0.71	0.01	→
3	11	15	4	0.71	0.72	0.01	→
4	11	15	4	0.70	0.70	0.00	×
5	11	15	4	0.70	0.72	0.02	→
6	11	15	4	0.70	0.72	0.02	→
7	11	15	4	0.70	0.72	0.02	→
8	11	15	4	0.70	0.71	0.01	→
9	11	15	4	0.70	0.71	0.01	→
10	11	15	4	0.70	0.70	0.00	×

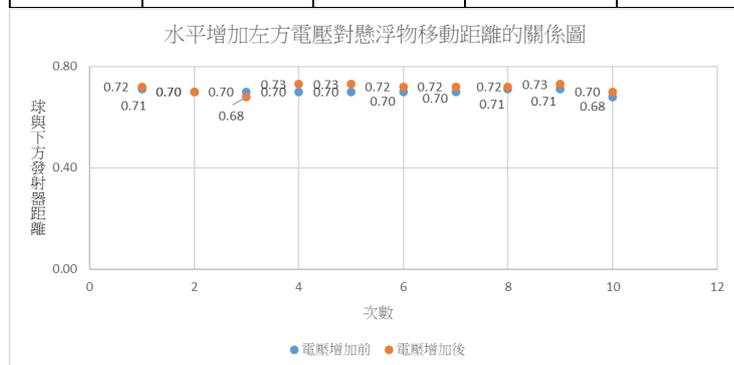


實驗三-9 水平增加左方超音波發射器電壓對聲懸浮移動物體的影響(右方超音波發射器電壓維持 19 伏特)

(一)實驗說明：改變左方超音波發射器電壓，由 11 伏特增加到 19 伏特

(二)實驗數據

次數	初始電壓 (伏特)	末電壓 (伏特)	電壓差 (伏特)	移動前與左方 距離(cm)	移動後與左方 距離(cm)	移動距離(cm) 與移動方向	
1	11	19	8	0.71	0.72	0.01	→
2	11	19	8	0.70	0.70	0.00	×
3	11	19	8	0.70	0.71	0.01	→
4	11	19	8	0.70	0.73	0.03	→
5	11	19	8	0.70	0.73	0.03	→
6	11	19	8	0.70	0.72	0.02	→
7	11	19	8	0.70	0.72	0.02	→
8	11	19	8	0.71	0.72	0.01	→
9	11	19	8	0.71	0.73	0.02	→
10	11	19	8	0.68	0.70	0.02	→



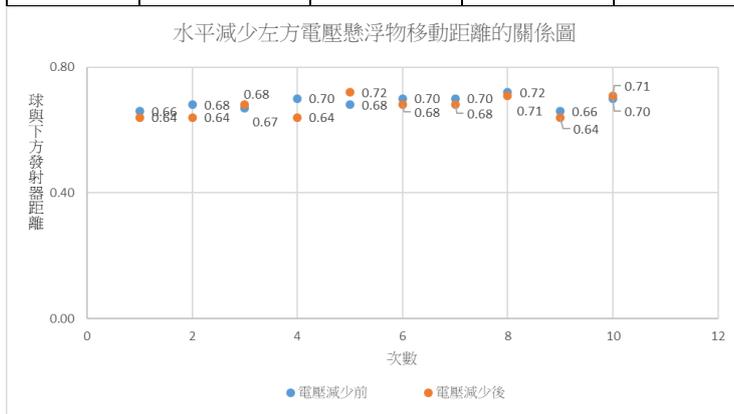
實驗三-10 水平減少左方超音波發射器電壓對聲懸浮移動物體的影響(右方超音波發射器電壓維持 19 伏特)

(一)實驗說明：改變左方超音波發射器電壓，由 19 伏特減少到 15 伏特

(二)實驗數據

次數	初始電壓 (伏特)	末電壓 (伏特)	電壓差 (伏特)	移動前與左方 距離(cm)	移動後與左方 距離(cm)	移動距離(cm) 與移動方向	
1	19	15	-4	0.66	0.64	-0.02	←
2	19	15	-4	0.68	0.64	-0.04	←

3	19	15	-4	0.67	0.68	0.01	→
4	19	15	-4	0.70	0.64	-0.06	←
5	19	15	-4	0.68	0.72	0.04	→
6	19	15	-4	0.70	0.68	-0.02	←
7	19	15	-4	0.70	0.68	-0.02	←
8	19	15	-4	0.72	0.71	-0.01	←
9	19	15	-4	0.66	0.64	-0.02	←
10	19	15	-4	0.70	0.71	0.01	→



實驗三-11 水平減少左方超音波發射器電壓對聲懸浮移動物體的影響(右方超音波發射器電壓維持 19 伏特)

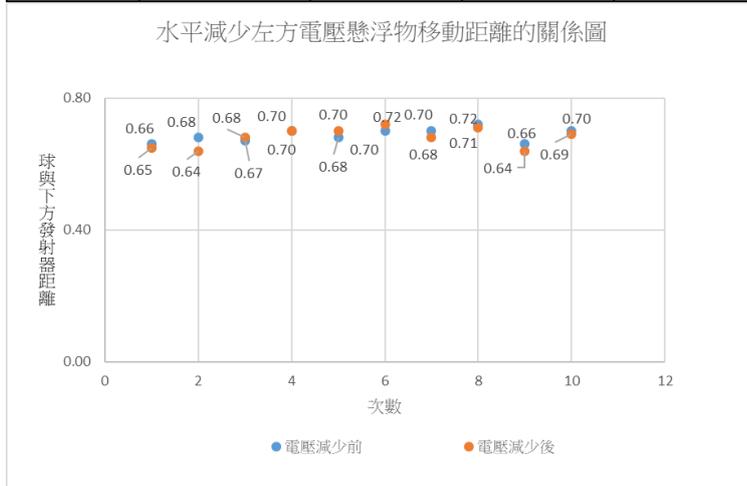
(一)實驗說明

1.改變左方超音波發射器電壓，由 19 伏特減少到 11 伏特

(二)實驗數據

次數	初始電壓 (伏特)	末電壓 (伏特)	電壓差 (伏特)	移動前與左方 距離(cm)	移動後與左方 距離(cm)	移動距離(cm) 與移動方向	
1	19	11	-8	0.66	0.65	-0.01	←
2	19	11	-8	0.68	0.64	-0.04	←
3	19	11	-8	0.67	0.68	0.01	→
4	19	11	-8	0.70	0.70	0.00	×
5	19	11	-8	0.68	0.70	0.02	→
6	19	11	-8	0.70	0.72	0.02	→
7	19	11	-8	0.70	0.68	-0.02	←
8	19	11	-8	0.72	0.71	-0.01	←

9	19	11	-8	0.66	0.64	-0.02	←
10	19	11	-8	0.70	0.69	-0.01	←



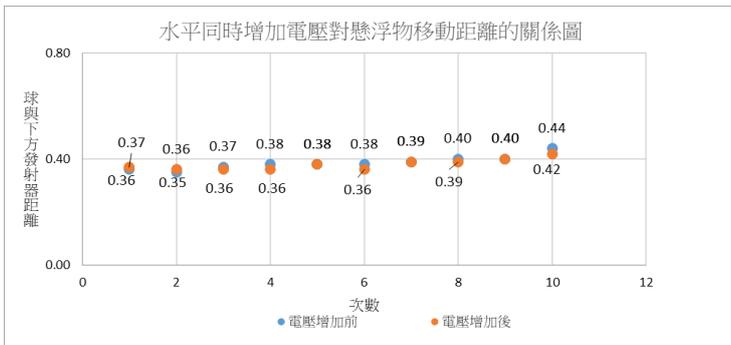
實驗三-12 水平同時增加兩超音波發射器電壓對聲懸浮移動物體的影響

(一)實驗說明

1.同時改變兩超音波發射器電壓，由 12 伏特增加到 20 伏特

(二)實驗數據

次數	初始電壓 (伏特)	末電壓 (伏特)	電壓差 (伏特)	移動前與左方 距離(cm)	移動後與左方 距離(cm)	移動距離(cm) 與移動方向
1	12	20	8	0.36	0.37	0.01 →
2	12	20	8	0.35	0.36	0.01 →
3	12	20	8	0.37	0.36	-0.01 ←
4	12	20	8	0.38	0.36	-0.02 ←
5	12	20	8	0.38	0.38	0.00 ×
6	12	20	8	0.38	0.36	-0.02 ←
7	12	20	8	0.39	0.39	0.00 ×
8	12	20	8	0.40	0.39	-0.01 ←
9	12	20	8	0.40	0.40	0.00 ×
10	12	20	8	0.44	0.42	-0.02 ←



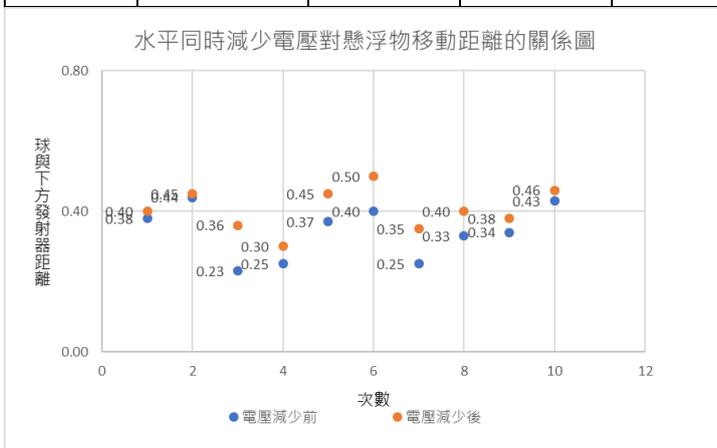
實驗三-13 水平同時減少兩超音波發射器電壓對聲懸浮移動物體的影響

(一)實驗說明

1.同時改變兩超音波發射器電壓，由 20 伏特遞減到保麗龍球彈開

(二)實驗數據

次數	初始電壓 (伏特)	末電壓 (伏特)	電壓差 (伏特)	移動前與左方 距離(cm)	移動後與左方 距離(cm)	移動距離(cm) 與移動方向	
1	20	11	-9	0.38	0.40	-0.02	←
2	20	11	-9	0.44	0.45	-0.01	←
3	20	9	-11	0.23	0.36	-0.13	←
4	20	9.5	-10.5	0.25	0.30	-0.05	←
5	20	9.5	-10.5	0.37	0.45	-0.08	←
6	20	10.5	-9.5	0.40	0.50	-0.10	←
7	20	11	-9	0.25	0.35	-0.10	←
8	20	11	-9	0.33	0.40	-0.07	←
9	20	11	-9	0.34	0.38	-0.04	←
10	20	11	-9	0.43	0.46	-0.03	←



(二)結果說明

1.垂直放置兩超音波發射器

(1)單一一個超音波發射器改變電壓

<p>上方超音波發射器 電壓不變</p> <p>向上移動</p> <p>保麗龍球</p> <p>重力</p> <p>下方超音波發射器 電壓上升</p>	<p>上方超音波發射器 電壓不變</p> <p>向下移動</p> <p>保麗龍球</p> <p>重力</p> <p>下方超音波發射器 電壓下降</p>
<p>下方超音波發射器電壓上升，超音波強度也上升，保麗龍球往上移動。</p>	<p>下方超音波發射器電壓下降，超音波強度也下降，保麗龍球往下方移動。</p>

(2)兩個超音波發射器同時改變電壓

<p>上方超音波發射器 電壓上升</p> <p>向上移動</p> <p>保麗龍球</p> <p>重力</p> <p>下方超音波發射器 電壓上升</p>	<p>上方超音波發射器 電壓下降</p> <p>向下移動</p> <p>保麗龍球</p> <p>重力</p> <p>下方超音波發射器 電壓下降</p>
<p>同時等量增加上下兩個超音波發射器的電壓，保麗龍球往上移動。</p>	<p>同時等量減少上下兩個超音波發射器的電壓，保麗龍球往下移動。</p>

2.水平放置兩超音波發射器

(1)單一一個超音波發射器改變電壓

<p>電壓上升</p> <p>往右移動</p> <p>保麗龍球</p> <p>重力</p> <p>電壓不變</p> <p>超音波發射器</p> <p>超音波發射器</p>	<p>電壓下降</p> <p>往左移動</p> <p>保麗龍球</p> <p>重力</p> <p>電壓不變</p> <p>超音波發射器</p> <p>超音波發射器</p>
<p>左邊超音波發射器電壓上升，超音波強度也上升，保麗龍球往右邊移動。</p>	<p>左邊超音波發射器電壓下降，超音波強度也下降，保麗龍球往左邊移動。</p>

(2)兩個超音波發射器同時改變電壓

<p>同時等量增加左右兩個超音波發射器的電壓，保麗龍球往右移動。</p>	<p>同時等量減少左右兩個超音波發射器的電壓，保麗龍球往左移動。</p>

實驗四、探討頻率對聲懸浮節點位置的影響

(一)實驗數據

兩超音波發射器間距：2.6(cm)

超音波發射器輸出頻率(kHz)	4000	40	5	2.5
保麗龍球與下方發射器距離(cm)	0.46	0.45	0.44	0.43

表四-1 不同頻率的節點位置

(二)結果說明

1.藉由修改 Arduino 程式中的一列來改變超音波發射器輸出的頻率；`OCR1A = 200; // Set compare register (16MHz / 200 = 80kHz square wave -> 40kHz full wave)`，當 `OCR1A = 200` 時，超音波發射器輸出的頻率是 40kHz，可以推算出下表

OCR1A	6400	3200	1600	200	2
f(kHz)	1.25	2.5	5	40	4000

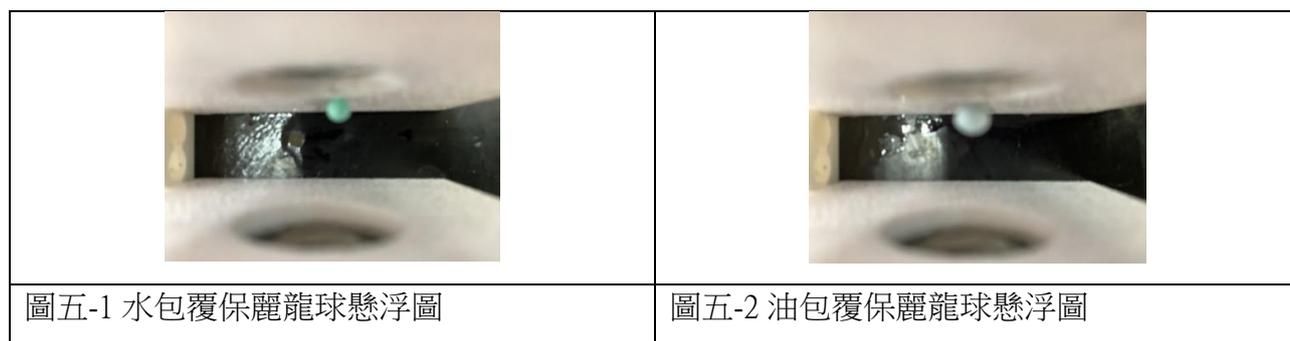
表四-2 OCR1A 數值與輸出頻率的關係

2.隨著超音波發射器輸出的頻率上升，節點的位置也上升，但幅度不大。

實驗五、聲懸浮移動物體的應用

(一)實驗結果

液體名稱	懸浮情況	液滴受超音波影響的情況	包覆保麗龍球是否懸浮	液體名稱	懸浮情況	液滴被超音波影響的情況	包覆保麗龍球是否懸浮
水	破裂		是	牛奶	破裂		×
豆漿	破裂		×	油	破裂		是
果糖	破裂		×	洗潔精	破裂		×
膠水	破裂		×				



(二)結果說明

- 1.將黏度不同的液體，用微量滴管滴入水平放置超音波發射器的節點位置，液滴會由規則的球形破裂而掉落，無法懸浮在節點位置。
- 2.用水或是油包覆保麗龍球再放入節點位置，可成功懸浮。

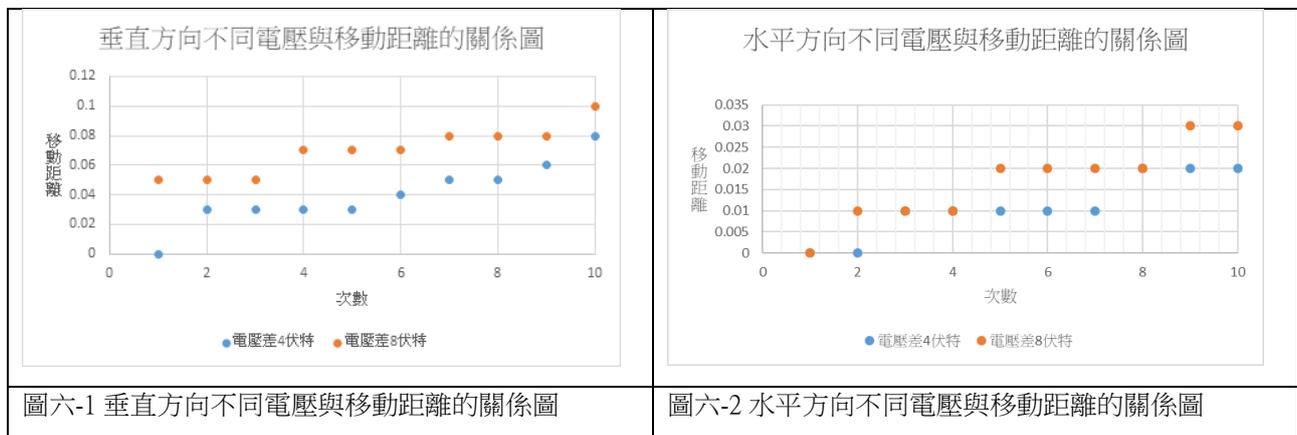
柒、討論

一、透過肯特管測量管內各點壓力的結果，可以讓我們了解到節點與腹點的壓力變化情況，節點的性質為空氣分子振動位移最小，壓力變化較大，腹點空氣分子振動位移最大，壓力變化較小；提供我們了解聲懸浮時保麗龍球在節點的受力情況。

二、輸入超音波發射器電壓為 6 伏特時，聲波強度太小，以致於無法懸浮；懸浮較穩定的電壓是 12V 以上。Arduino 板最大輸入電壓為 20V，L298n 最大輸入電壓為 35V，所以實驗中最大的電壓控制在 20V 以內。

三、兩超音波發射器各自接 Arduino 板及 L298n，可個別調整輸入的電壓，進而改變超音波發射器產生的超音波強度。

四、兩超音波發射器垂直放置時，電壓差由 4V 增加到 8V，移動距離明顯增加，如圖六-1 所示，而當兩超音波發射器水平放置時，電壓差也由 4V 增加到 8V，移動距離亦增加，如圖六-2。



五、液滴不容易懸浮，容易破裂而掉落，所以我們考慮懸浮液體包覆的保麗龍球，這可看出聲懸浮的優點，可以懸浮或移動容易因為接觸而被破壞構造的物體，我們成功懸浮水或是油包覆的保麗龍球，而其他種類的液體，因為黏性過大，不易進行實驗操作，但相較於水和油，包覆性更好，我們推測也是可以懸浮的。只有上下兩個超音波發射器不易支撐起液體，可考慮使用多個超音波發射器組合，以便達到使液體平衡或是移動的目的。

捌、結論

一、節點壓力變化比腹點壓力變化大。

二、兩超音波發射器距離會影響節點數量，距離越大，節點數量越多。

三、電壓的大小會影響超音波的強度，電壓越大超音波的強度越強，可以懸浮的保麗龍球數目越多，而電壓越小超音波的強度則越弱，可以懸浮的保麗龍球數目越少。

四、下方超音波發射器電壓上升，保麗龍球往上移動；下方超音波發射器電壓下降，保麗龍球往下方移動。

五、同時等量增加上下兩個超音波發射器的電壓，保麗龍球往上移動；同時等量減少上下兩個超音波發射器的電壓，保麗龍球往下移動。

六、左邊超音波發射器電壓上升，保麗龍球往右邊移動；左邊超音波發射器電壓下降，保麗龍球往左邊移動。

七、同時等量增加左右兩個超音波發射器的電壓，保麗龍球往右移動；同時等量減少左右兩個超音波發射器的電壓，保麗龍球往左移動。

八、隨著超音波發射器輸出的頻率上升，節點的位置也上升，但幅度不大。

九、可懸浮水或是油包覆的保麗龍球。

玖、參考資料及其他

Ulrich Schmerold. (2018, September 6). Project from make: magazine Micro Ultrasonic Levitator.

Retrieved April 6, 2023, from <https://makezine.com/projects/micro-ultrasonic-levitator/>

懸「移」浮現—聲懸浮變因對懸浮效果之研究 第 61 屆中小學科學展覽會國小組物理第三名

2023 年 3 月 23 日取自: [https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/61/pdf/NPHSF2021-](https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/61/pdf/NPHSF2021-080114.pdf?0.4325369047957077)

[080114.pdf?0.4325369047957077](https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/61/pdf/NPHSF2021-080114.pdf?0.4325369047957077)

Milespeterson101. (2022, June 17). Ultrasonic Levitation Acoustic / Levitation Experiment. Retrieved

November 13, 2023, from [https://projecthub.arduino.cc/milespeterson101/ultrasonic-levitation-acoustic-](https://projecthub.arduino.cc/milespeterson101/ultrasonic-levitation-acoustic-levitation-experiment-22df22)

[levitation-experiment-22df22](https://projecthub.arduino.cc/milespeterson101/ultrasonic-levitation-acoustic-levitation-experiment-22df22)

物理教育學刊 2020, 第二十一卷第二期, 13-21 (2020 年 12 月 10 日)。2023 年 11 月 4 日取自:

<http://phys5.ncue.edu.tw/physedu/article/21-2/2.pdf>

jjpong (2017 年 12 月 21 日)。PLX-DAQ 二代!!!讓 Excel 直接抓取 Arduino 數據 (2023 年 5 月 27

日)。取自: <http://jjpaid.blogspot.com/2017/12/plx-daq-excelarduino.html>

NetDevil. (2016, November 24). PLX-DAQ version 2. June 4, 2023, from

<http://forum.arduino.cc/index.php?topic=437398.0>