

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

佳作

030107

隔空取物－利用超音波懸浮控制物體的移動

學校名稱：新竹市立光武國民中學

作者： 國二 莊筑聿 國二 陳薇文 國二 黃俊智	指導老師： 林春秀 劉曉華
---	-----------------------------

關鍵詞：超音波懸浮、共振、駐波

摘要

隔空取物可能嗎?使用3D列印製作超音波懸浮裝置可使保麗龍球穩定懸浮，透過肯特管內共振波形與聲壓標準差的比較，聲壓的節點位置為肯特管波的位移腹點。在一個超音波懸浮裝置形成的駐波中，聲壓節點以外的聲輻射力使得物體被推往節點，因重力影響靜止懸浮在聲壓節點處下方。透過超音波的電壓調整改變共振波振幅，使得共振波節點位置會因為電壓造成的聲壓節點隨時間移動而改變物體位置，但此方式較難穩定控制物體移動方向。最後，我們透過共振波相位差控制改變共振波節點位置可讓保麗龍球穩定懸浮及移動，有效達到控制物體移動的目的。自製可同時改變兩個發射器間的角度及距離的裝置，搭配改變相位或電壓的程式，方便進行聲懸浮的實驗觀察及記錄。

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

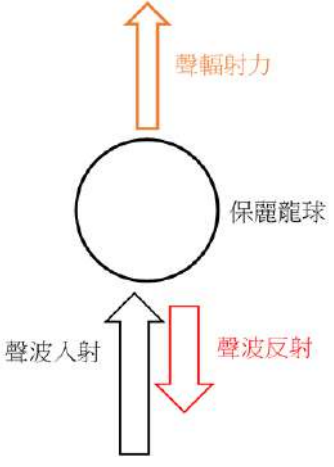
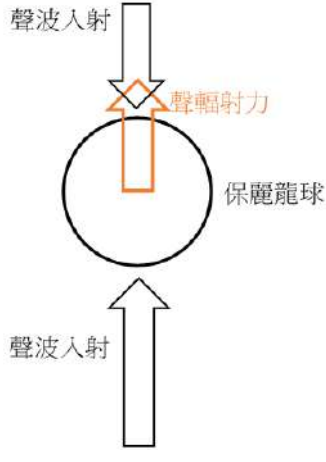
- (一)肯特管實驗主要是呈現聲波在管子內形成駐波，從中得到駐波的頻率、管子長度以及聲速之間的關係。
- (二)兩個同速率、同頻率、同振幅、同相位、行進方向相反的波，互相交疊後就會形成駐波，特徵是空氣介質會進行週期性的震盪，形成固定的節點。
- (三)駐波上的每一個質點皆作簡諧運動。
- (四)駐波波形無法前進，在半波長處產生節點，節點為兩波形交會處最穩定的地方。
- (五)管內駐波節點的位置是聲波震幅最小的位置，理論上量到的音量最小。
- (六)聲速計算公式： $331+0.6t(\text{m/s})$ ， t 為當時的攝氏溫度，例：溫度 25°C ，則聲速為： $331+0.6*25=346(\text{m/s})$ 。

二、超音波懸浮

- (一)聲波在傳遞時會讓空氣分子運動形成壓力的變化，稱為聲壓，聲音強度的差異會產生聲輻射力。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聲壓

節點，是壓力變化最小處，聲壓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聲壓節點，使得物體被推往節點，進而在聲壓節點處靜止懸浮。


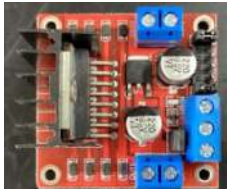









(二)聲輻射力產生機制

圖示		
說明	<ol style="list-style-type: none"> 1. 聲波具有聲波強度，作用在保麗龍球上會形成作用力。 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。 3. 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。 	<ol style="list-style-type: none"> 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。 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。

參、研究目的

- 一、製作超音波懸浮裝置
- 二、探討聲懸浮節點位置的特性
 - 二-1、探討肯特管內共振波的壓力變化
 - 二-2、聲懸浮的各點壓力變化
- 三、探討電壓對聲懸浮移動物體的影響
- 四、探討相位對聲懸浮移動物體的影響
- 五、聲懸浮移動物體的應用

肆、研究設備及器材

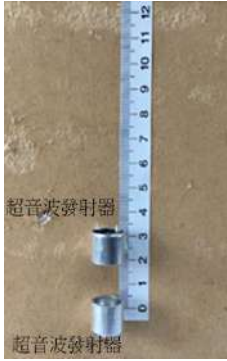
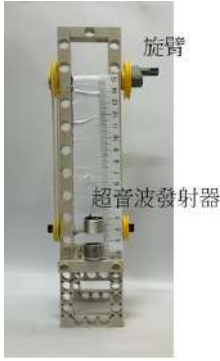

		
超音波發射器HC-SR04(解 焊)	供電與超音波發射器驅動 (L298n)	BOSCH BMP180氣壓感測器
		
小保麗龍球(重約:0.00003g)	大保麗龍球(重量約:0.06g)	Arduino UNO板
		
Arduino MEGA板	訊號產生器	電源供應器
		
喇叭	訊號擴大器	示波器

伍、研究過程或方法

實驗概念圖：


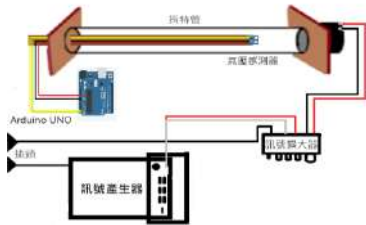


實驗一、製作超音波懸浮裝置

改良過程	第一代	第二代	第三代
圖示			
設計構思	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。	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。	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。
優缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不易改變兩超音波發射器之間的距離。 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。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 超音波發射器不易對準，保麗龍球的懸浮不是很穩定。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可以方便改變兩超音波發射器之間的距離。 2. 超音波發射器可以準確對齊，可使保麗龍球穩定懸浮。

實驗二-1-1、測試並找出最適合實驗的取樣率

(一)實驗裝置

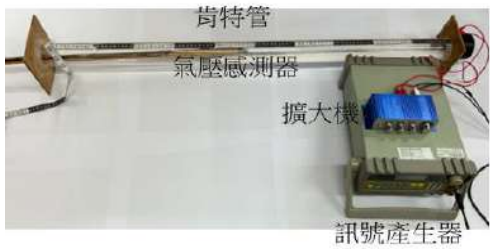
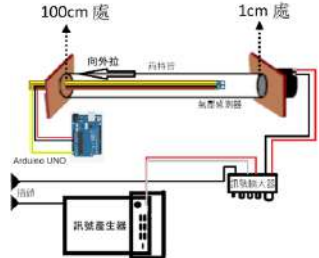
	
圖二-1-1-1裝置圖	圖二-1-1-2氣壓感測器接線示意圖

(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

實驗二-1-2、用氣壓感測器測量肯特管內每隔1公分處的壓力標準差值

(一)實驗裝置

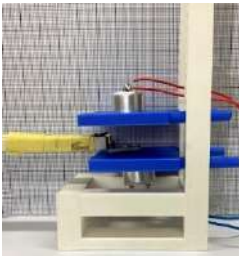
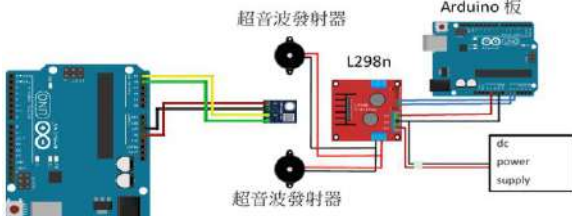
	
圖二-1-2-1裝置圖	圖二-2-2-2氣壓感測器接線示意圖

(二)實驗步驟

- 1.使用訊號產生器產生435Hz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0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後的標準差作圖
- 6.探討整個肯特管內各點壓力變化情況

實驗二-2、聲懸浮的各點壓力變化

(一)實驗裝置

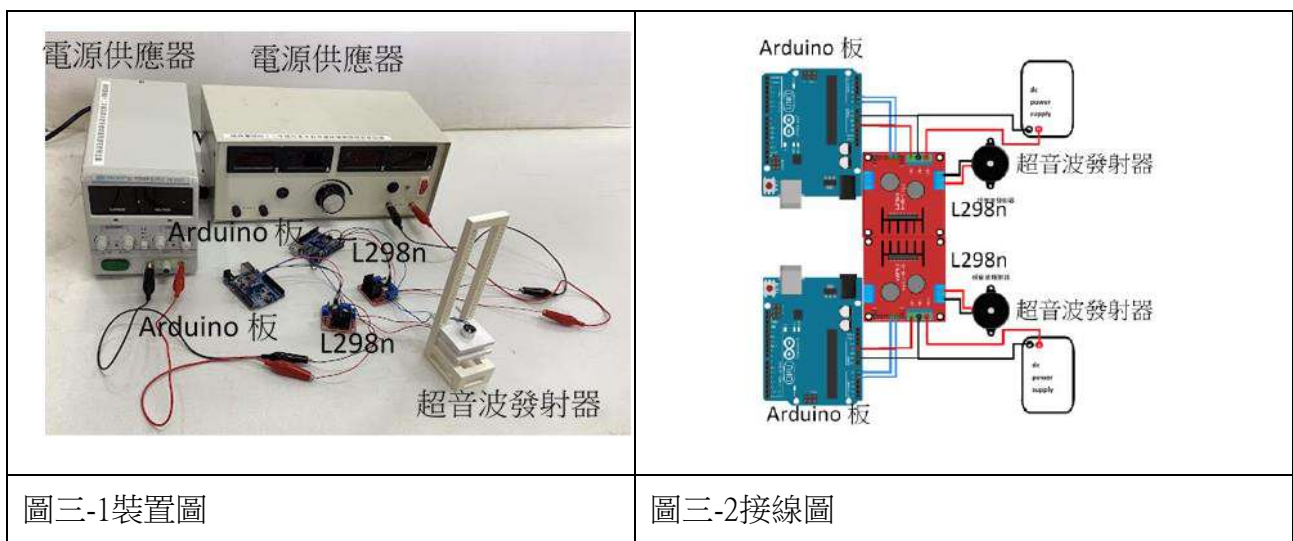
	
圖二-2-1裝置圖	圖二-2-2接線圖

(二)實驗步驟

- 1.利用超音波發射器發出40kHz的聲波
- 2.在超音波懸浮裝置內放入氣壓感測器
- 3.用氣壓感測器測量超音波懸浮裝置各點壓力
- 4.將測得的壓力用標準差作圖
- 5.探討超音波懸浮裝置內各點壓力變化情況

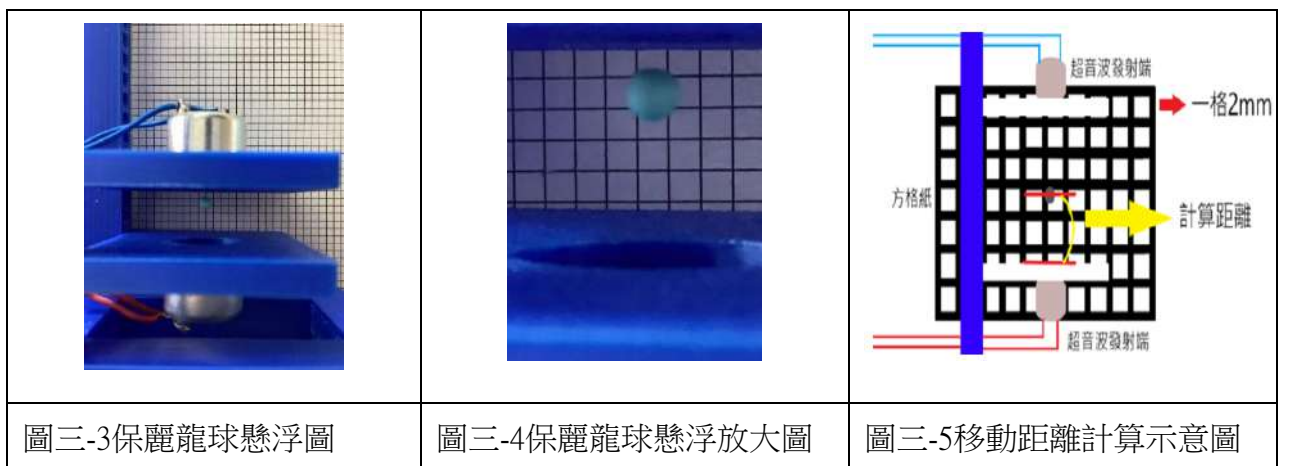
實驗三、探討電壓對聲懸浮移動物體的影響

(一)實驗裝置


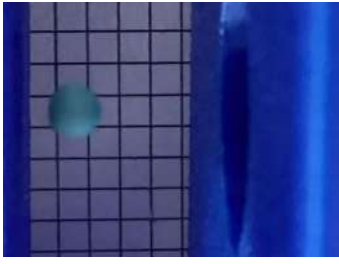
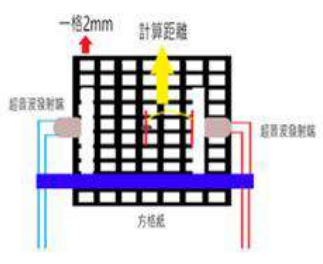


(二)名詞定義

- 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

		
<p>圖三-6保麗龍球懸浮圖</p>	<p>圖三-7保麗龍球懸浮放大圖</p>	<p>圖三-8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

(三) 計算保麗龍球移動距離的方法

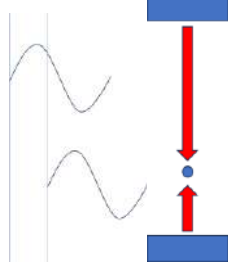
1. 錄影保麗龍球的移動過程
2. 截取移動前後的照片
3. 利用小畫家畫出0cm、0.2cm(方格紙一格0.2cm)、球心
4. 利用比例算出懸浮高度(高度為發射器到球的距離)及移動距離

實驗四、探討相位對聲懸浮移動物體的影響

(一) 實驗說明

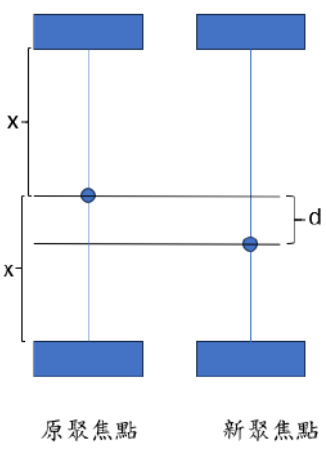
1. 上下移動採用切換焦點方法

上下移動需要改變聚焦位置，相當於使上下兩顆超音波發射器發射的超音波同時到新的聚焦點，例如：

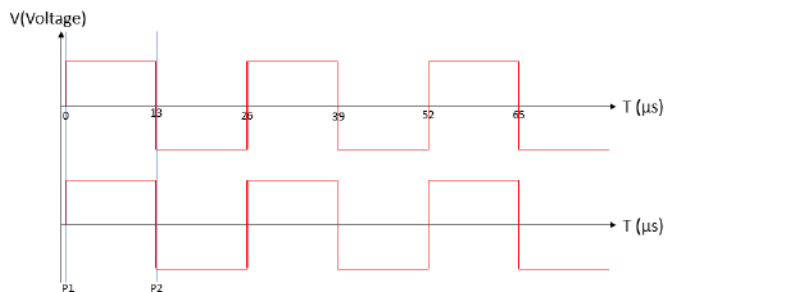
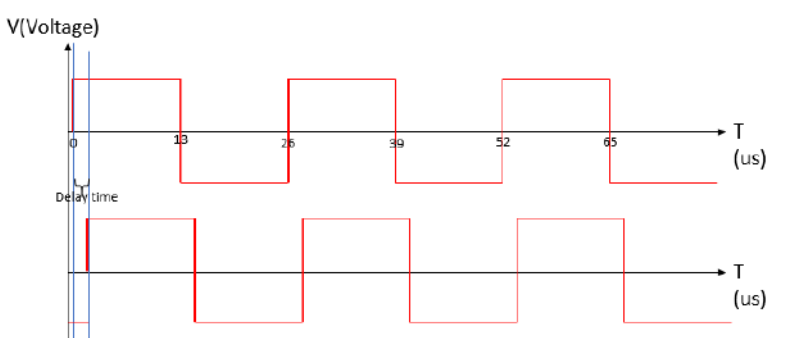
	
<p>兩顆超音波發射器到焦點距離相同，所以同時發射</p>	<p>兩顆超音波發射器到焦點有時間差，所以上方超音波發射器提早發射</p>

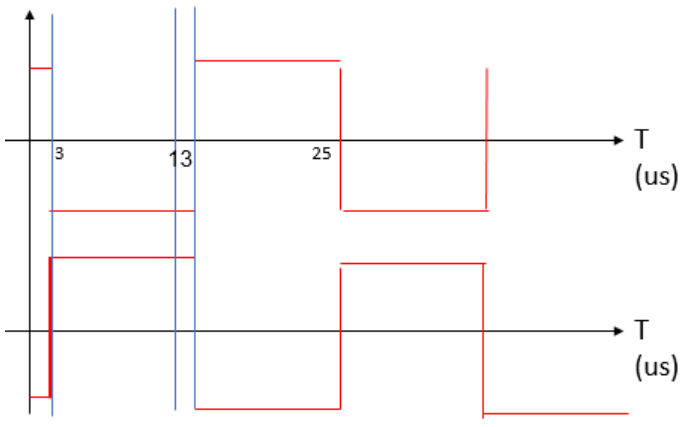
我們利用L298n驅動板輸出方波訊號給超音波發射器產生超音波，對於40kHz的方波訊號來說，每個半波長應為 $12.5 \mu s$ 。

2.計算過程

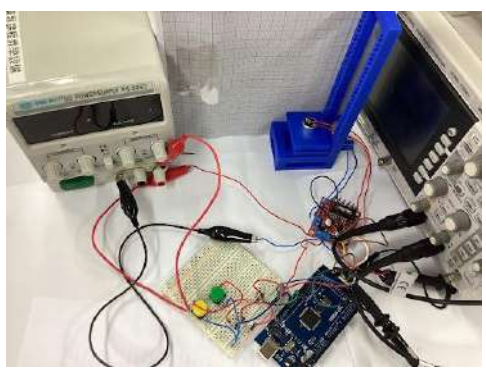
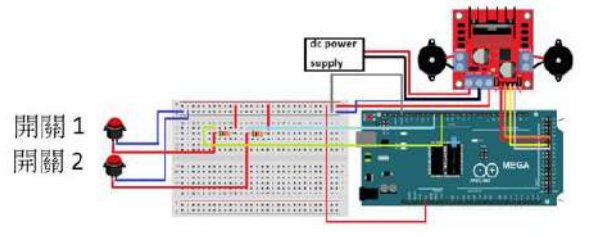
	<p>上方移動距離：$x + d$</p> <p>下方移動距離：$x - d$</p> <p>距離差：$2d$</p> <p>如果 距離差(d) = 1 mm，聲速(V_s) = 340 m/s</p> <p>Delay time = $2d / V_s = 2(\text{mm}) / 340000(\text{mm/s}) = 5.88 (\mu s)$</p> <p>反之，可從delay time最小單位$1 \mu s$推算上下移動的最小距離</p>
---	--

3.delay time說明

情況	示意圖	說明
1	<p>delay=0</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. PORTC前4個pin控制2個超音波發射器。 2. 由前2個pin控制上方發射器與後2個pin控制下方發射器組成。 3. 因為delay=0，所以重複兩種pattern就好。 4. 10是方波的正半週，01是方波的負半週。
2	<p>Delay=1</p> 	<pre> PORTC = 0b10010000; delayMicroseconds(3); PORTC = 0b10100000; delayMicroseconds(11); PORTC = 0b01100000; delayMicroseconds(3); PORTC = 0b01010000; delayMicroseconds(8); </pre>

3	<p>Delay=-1</p> 	<pre> PORTC = 0b10010000; delayMicroseconds(3); PORTC = 0b01100000; delayMicroseconds(11); PORTC = 0b01010000; delayMicroseconds(3); PORTC = 0b10100000; delayMicroseconds(8); </pre>
---	---	--

(二)實驗裝置

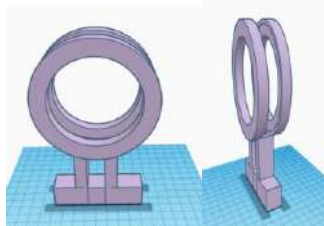
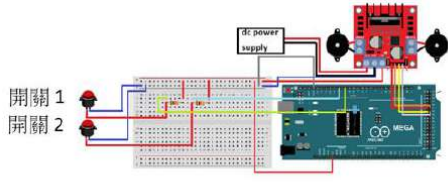
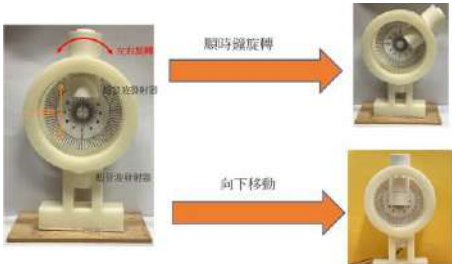
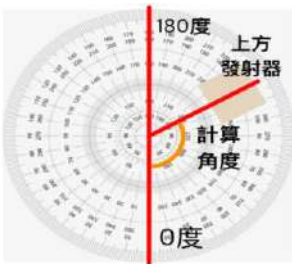
	
圖四-1裝置圖	圖四-2接線圖

(三)實驗步驟

1. 超音波懸浮實驗裝置如圖四-1
2. 利用程式及開關1、開關2，調整兩端超音波相位差，開關按下時，控制delay數值的腳位(7, 8號)會變成low(GND)，沒按下時會維持high(5V)；開關沒有按下時，Arduino監控數值顯示為0，開關1按下時，Arduino監控數值顯示為1，開關2按下時，Arduino監控數值顯示為-1，分別代表不同的delay time
3. 拍攝保麗龍球移動的影片
4. 計算移動距離
5. 利用示波器測量不同相位的波形
6. 重複步驟2~5

五、聲懸浮移動物體的應用

(一)實驗裝置

	
<p>圖五-1 裝置圖</p>	<p>圖五-2 接線圖</p>
	
<p>圖五-3 可旋轉式裝置示意圖</p>	<p>圖五-4 角度計算方法示意圖</p>

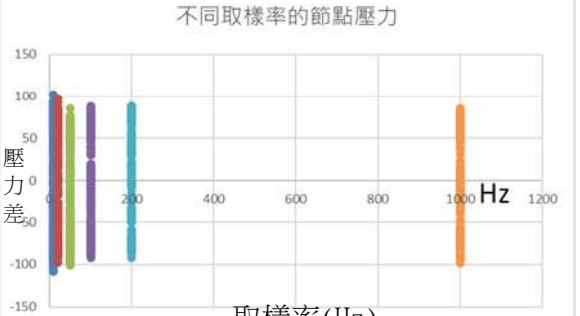
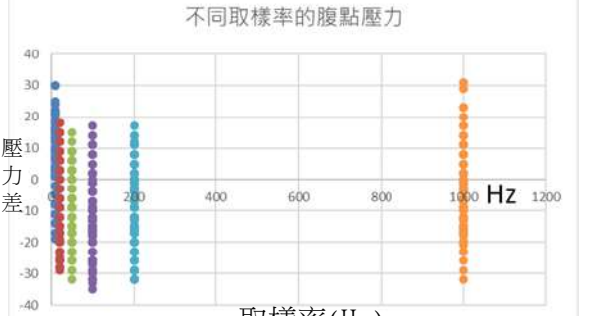
(二)實驗步驟

1. 利用3D列印製作出半徑為50.34公分的兩個圓，並排形成可讓超音波發射器滑動的軌道，可以改變兩超音波發射器角度及距離的裝置，如圖五-1
2. 調整兩端發射器之間的夾角並計算發射器間夾角，如圖五-4
3. 改變兩發射器距離以及相位
4. 拍攝保麗龍球移動的照片
5. 重複步驟2~4

陸、研究結果

實驗二-1-1、測試並找出最適合實驗的取樣率

(一)實驗數據

 <p>不同取樣率的節點壓力</p>	 <p>不同取樣率的腹點壓力</p>
<p>圖二-1-1-1不同取樣率的節點壓力變化</p>	<p>圖二-1-1-2不同取樣率的腹點壓力變化</p>

(二)結果說明

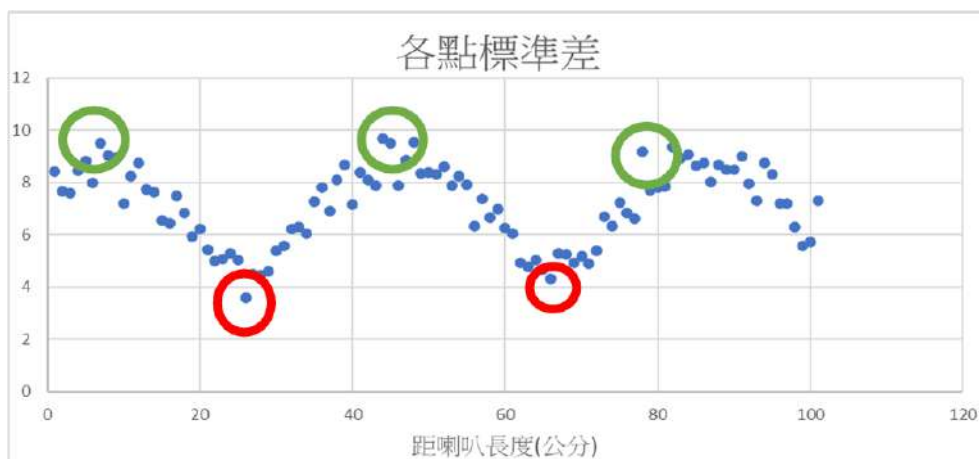
1. 肯特管內保麗龍球振動節點的壓力變化範圍在100~(-100)之間，腹點的壓力變化範圍落在30~(-30)之間，可看出保麗龍球振動節點壓力變化比腹點壓力變化大。
2. 不同頻率的取樣率都能顯現出節點與腹點的壓力變化差異，不需使用到高頻取樣率就能達到很好的效果，為了減少電腦負荷量，讓之後的實驗操作較為方便，我們選用低頻的取樣率，但由於10Hz的取樣速度沒有20Hz來的快，因此我們使用20Hz的取樣率來進行之後的實驗。

實驗二-1-2、用氣壓感測器測量兩端開口的肯特管內每隔1公分處的壓力標準差值

(一)實驗數據

頻率：435(Hz)、管長L：103(cm)、氣溫:26°C

聲速=331+0.6t=331+0.6×26=346.6(m/s)



圖二-1-2-1肯特管內每隔1公分處的壓力值標準差變化

(二)結果說明

1. 理論值計算過程

(1)兩端開口共振波波長與共振管長度L的關係

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

(2)實驗共振波波長:

$$v = f * \lambda \quad 346.6(\text{m/sec}) = 435(\text{Hz}) * \lambda \quad \lambda = 79.7\text{cm}$$

2. 圖二-1-2-1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，得出壓力腹點(綠色圓圈)壓力變化最大，大約在距管 7、47、90公分處；壓力節點(紅色圓圈)壓力變化最小，大約於25、65公分處，相鄰氣壓節點距離或相鄰兩腹點距離約40cm為1/2 共振聲波波長，實驗結果與聲波理論值相近。

3. 我們推測肯特管內共振波形如圖1-2-2，共振波長約80cm，圖上第一個共振節點距離喇叭約10cm，與肯特管內共振波氣壓結果比較，聲壓腹點與共振波位移節點結果相近。

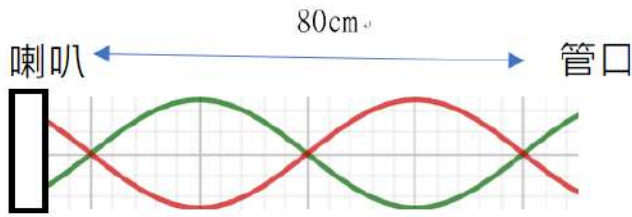
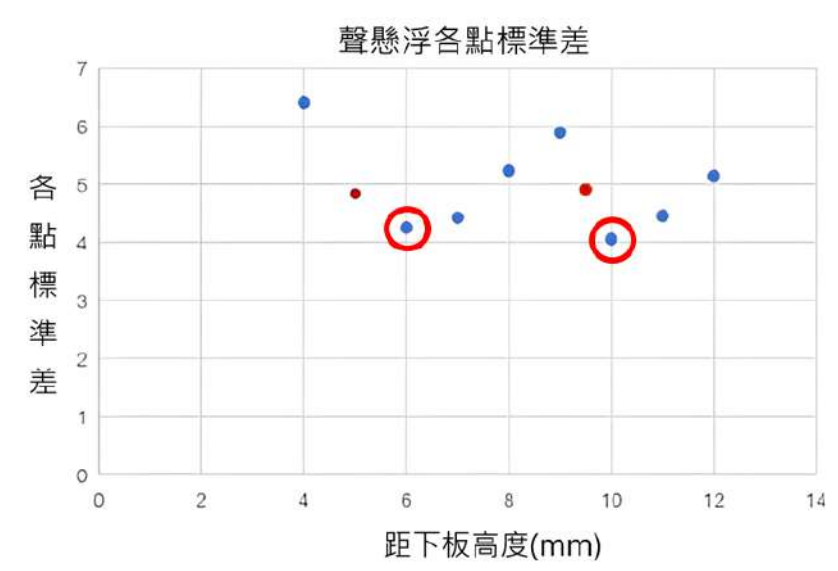


圖 1-2-2 肯特管內共振波形

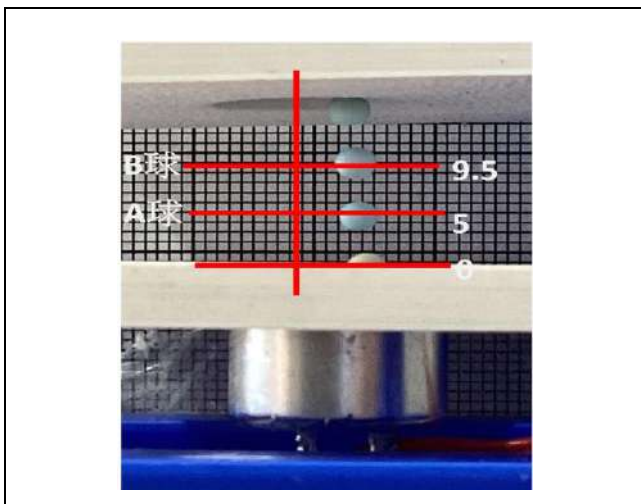
4. 比較肯特管內共振波形(圖1-2-2)與管內共振波聲壓標準差(圖1-2-1)，聲壓的節點位置為肯特管波的位移腹點位置。

實驗二-2、聲懸浮的各點壓力變化

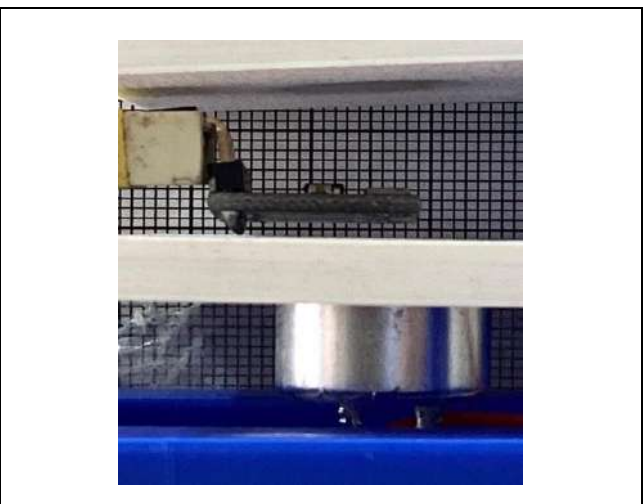
(一)實驗數據



圖二-2-1聲懸浮各點壓力值標準差



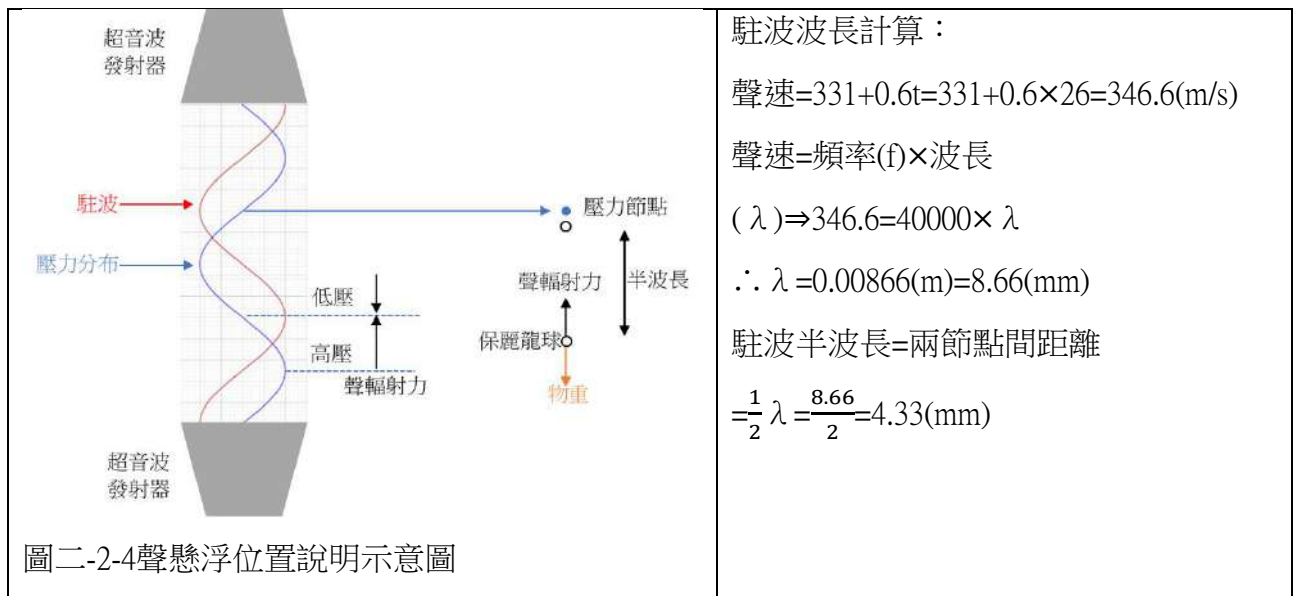
圖二-2-2 聲懸浮球懸浮位置及結果



圖二-2-3 聲懸浮氣壓測量裝置

(二)結果說明

1. 圖二-2-1聲懸浮各點壓力值標準差結果發現聲壓的節點位置應於圖上氣壓標準差最低點，位置於距下板高度6mm及10mm(塗上紅色圈位置)，比對圖二-2-2聲懸浮球懸浮位置及結果，求懸浮位置為圖上紅色點紀錄(5mm及9.5mm)。
2. 保麗龍球懸浮位置如圖二-2-3聲懸浮位置說明示意圖，聲波在傳遞時會讓空氣分子運動形成壓力的變化，聲音強度的差異會產生聲輻射力。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聲壓節點，是壓力變化最小處，聲壓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聲壓節點，使得物體被推向節點，進而在聲壓節點處靜止懸浮。我們推測球懸浮位置非位於聲壓節點原因是因重力影響，懸浮點的位置皆在各點標準差最小值(節點)的前一格(下方)。
- 3.



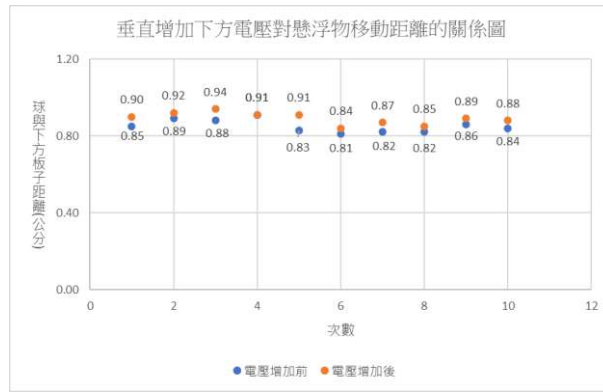
實驗三、探討電壓對聲懸浮移動物體的影響

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

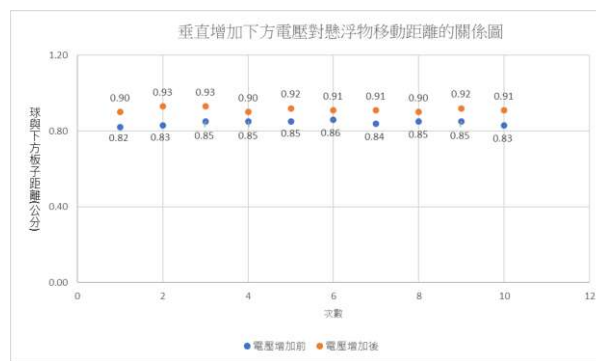


圖三-1垂直增加下方電壓對聲懸浮移動物體距離的關係

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19伏特

(二)實驗數據

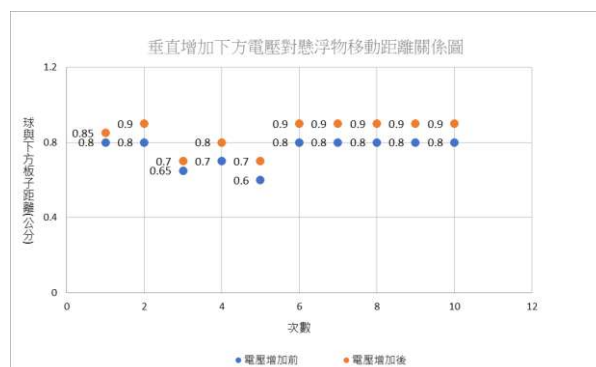


圖三-2垂直增加下方電壓對聲懸浮移動物體距離的關係

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：1.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

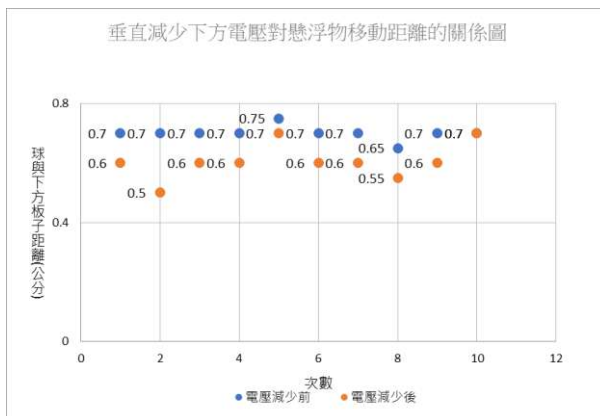


圖三-3垂直增加下方電壓對聲懸浮移動物體距離的關係

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：1.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



圖三-4垂直減少下方電壓對聲懸浮移動物體距離的關係

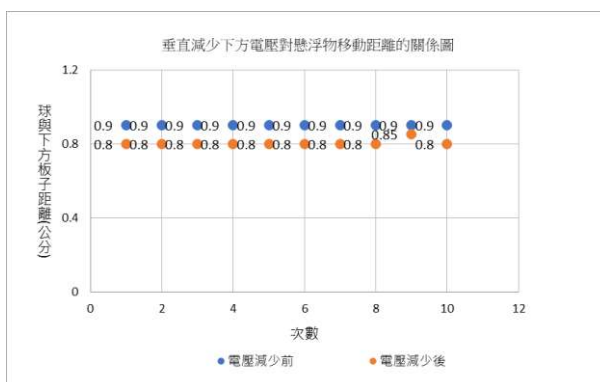
(三)結果說明

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：1.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

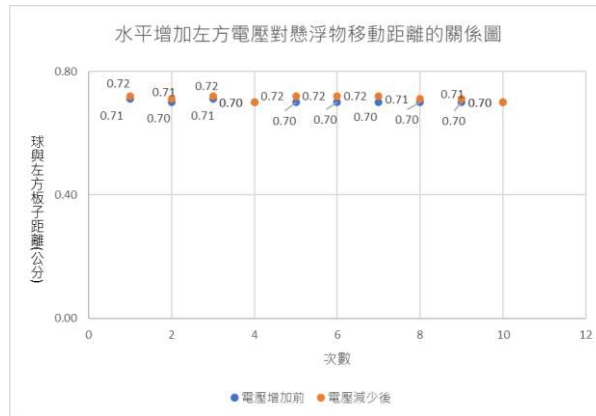


圖三-5垂直減少下方電壓對聲懸浮移動物體距離的關係

實驗三-6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：1.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

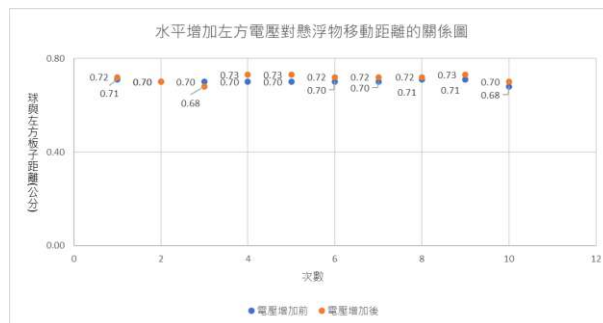


圖三-6水平增加左方電壓對聲懸浮移動物體距離的關係

實驗三-7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：1.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

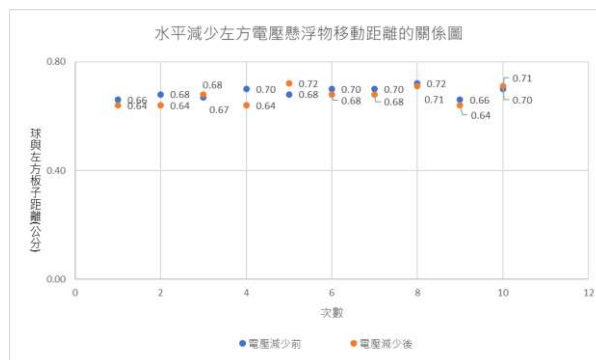


圖三-7水平增加左方電壓對聲懸浮移動物體距離的關係

實驗三-8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15伏特

(二)實驗數據

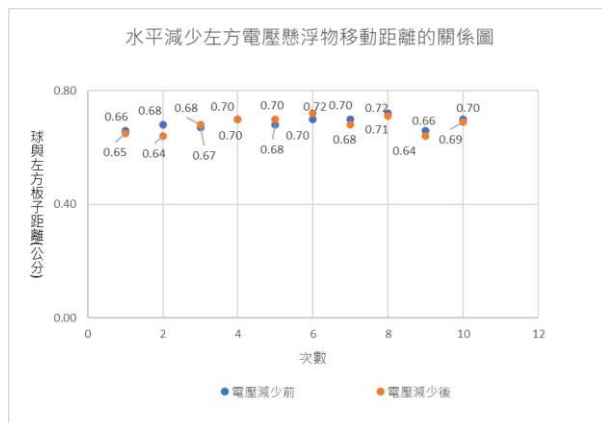


圖三-8水平減少左方電壓對聲懸浮移動物體距離的關係

實驗三-9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



圖三-9水平減少左方電壓對聲懸浮移動物體距離的關係

(二)結果說明

1.垂直放置兩超音波發射器

<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>

表三-1 垂直放置兩超音波發射器改變電壓對保麗龍球的影響

2.水平放置兩超音波發射器

<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>

表三-2 水平放置兩超音波發射器改變電壓對保麗龍球的影響


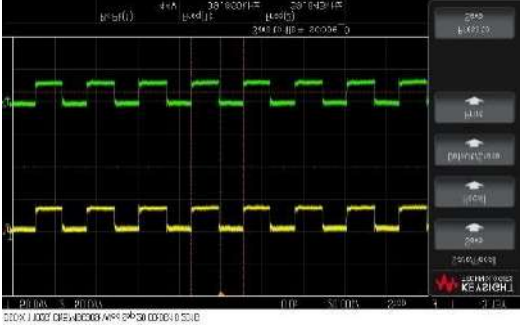

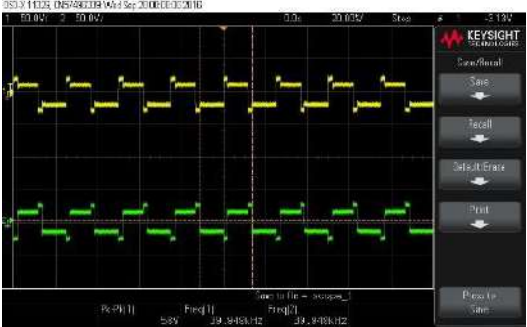
實驗四、探討相位對聲懸浮移動物體的影響

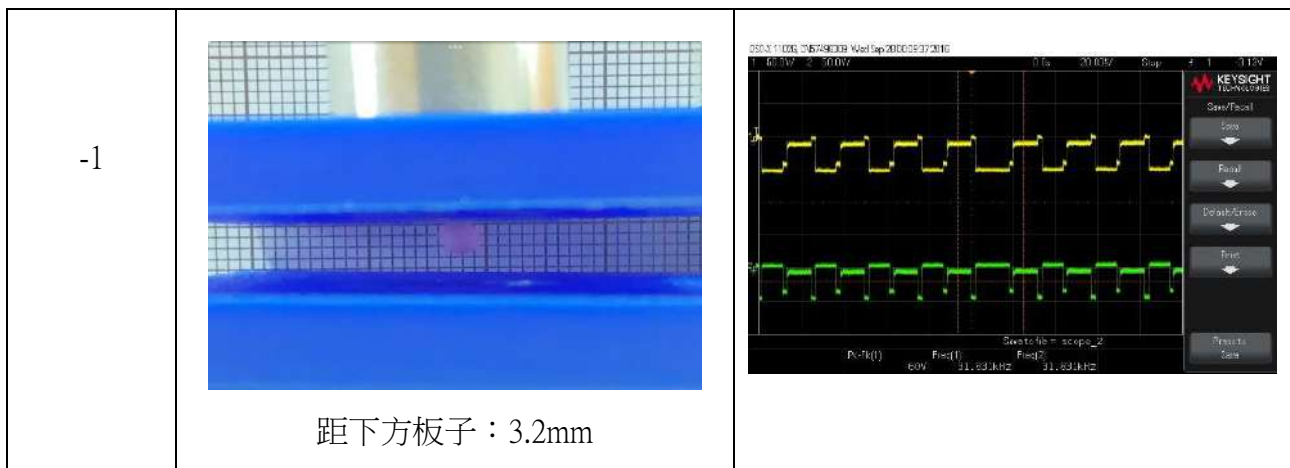
(一)實驗數據

1.超音波發射器間距：2.1公分

2.利用程式參數delaymicroseconds(3)、(11)、(3)、(8)及開關改變相位

<pre> else if(Ddelay ==1){ PORTC = 0b10010000;//前緣10>1 01>0 後黃10>0 01>1 delayMicroseconds(3); PORTC = 0b10100000; delayMicroseconds(11); PORTC = 0b01100000; delayMicroseconds(3); PORTC = 0b01010000; delayMicroseconds(8); } else{ PORTC = 0b10010000;//前緣10>1 01>0 後黃10>0 01>1 delayMicroseconds(3); PORTC = 0b01100000; delayMicroseconds(11); PORTC = 0b01010000; delayMicroseconds(3); PORTC = 0b10100000; delayMicroseconds(8); } </pre>	<pre> if(digitalRead(7) == LOW && Ddelay != 1){ Ddelay ++; Serial.print(Ddelay); } else if(digitalRead(8) == LOW && Ddelay != -1){ Ddelay --; Serial.print(Ddelay); } else{ Serial.print(Ddelay); } </pre>
<p>圖四-1 delay程式</p>	<p>圖四-2監控數值程式</p>

Arduino 監控數值	保麗龍球懸浮位置	示波器波形
0	 <p>距下方板子：2.8mm</p>	
1	 <p>距下方板子：2.5mm</p>	



表四-3-1 改變相位差讓保麗龍球移動結果及示波器波形

Arduino監控數值變化	移動距離	方向
0→1	0.3mm	向下
0→(-1)	0.4mm	向上

表四-3-2 改變相位差讓保麗龍球移動結果




(二)結果說明

- 1.透過改變程式參數(delaymicroseconds)可以控制保麗龍球上下移動的位移大小。
- 2.程式參數delaymicroseconds的數值設定若讓波形相位變化太大，則無法懸浮。
- 3.利用相位差可讓保麗龍球穩定懸浮及移動。
- 4.利用示波器可以得知輸入波形的形式及修正程式參數delaymicroseconds的數值。

實驗五、聲懸浮移動物體的應用

(一)實驗結果

1.上方超音波發射器角度20度，兩發射器間距39mm


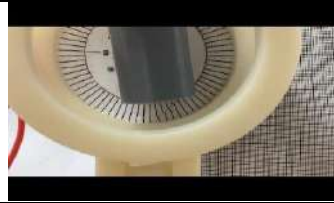
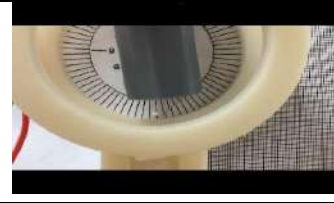
Arduino 監控數值	1	0	-1
實驗結果			

表五-1-1 自製裝置測量結果(發射器角度20度、間距39mm)

Arduino監控數值變化	移動距離	方向
1→0	0.5mm	向左
0→1	0.5mm	向右

表五-1-2 自製裝置移動距離測量結果(發射器角度20度、間距39mm)

2.上方超音波發射器角度40度，兩發射器間距41mm




Arduino 監控數值	1	0	-1
實驗結果			

表五-2-1 自製裝置測量結果(發射器角度40度、間距41mm)

Arduino監控數值變化	移動距離	方向
1→0	0.4mm	向左
0→1	1mm	向右

表五-2-2 自製裝置移動距離測量結果(發射器角度40度、間距41mm)

3.上方超音波發射器角度20度，兩發射器間距37mm

Arduino 監控數值	1	0	-1
實驗結果			

表五-3-1 自製裝置測量結果(發射器角度20度、間距37mm)

Arduino監控數值變化	移動距離	方向
1→0	1.5mm	向左
0→1	1.8mm	向右

表五-3-2 自製裝置移動距離測量結果(發射器角度20度、間距37mm)

(二)結果說明

1. 利用自製的3D列印裝置，可以改變兩個超音波發射器間的角度及距離，保麗龍球可懸浮在3D列印裝置中的任意位置，方便進行聲懸浮的實驗觀察及記錄。
2. 可改變懸浮保麗龍球的相位或是電壓，使保麗龍球移動。

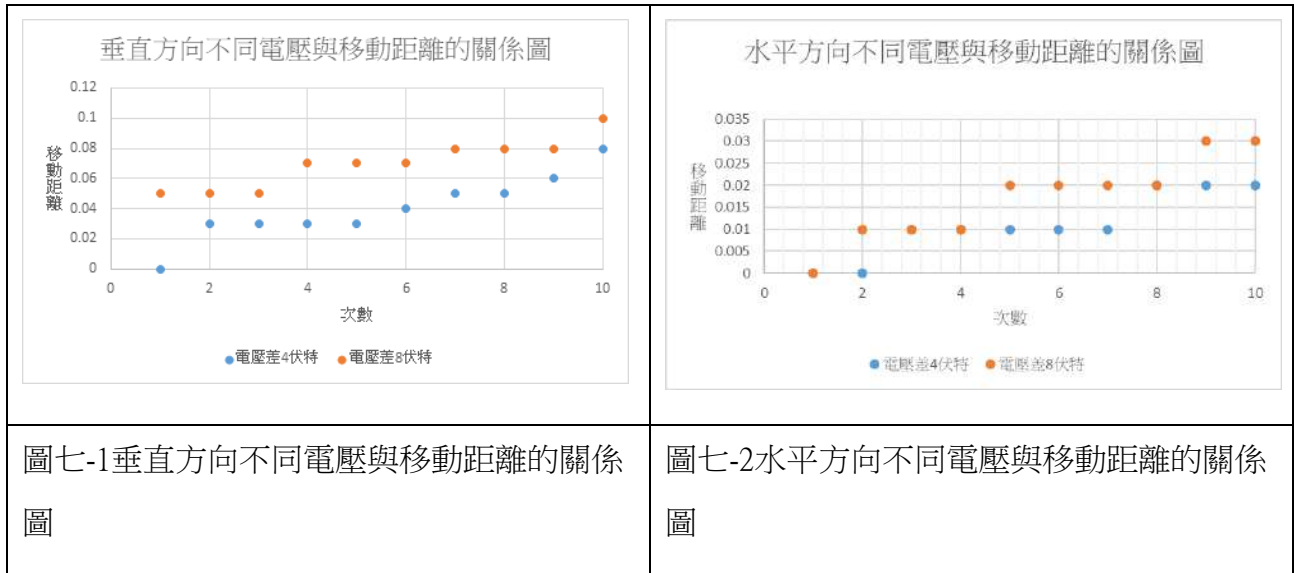
柒、討論

- 一、透過氣壓感測器測量肯特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

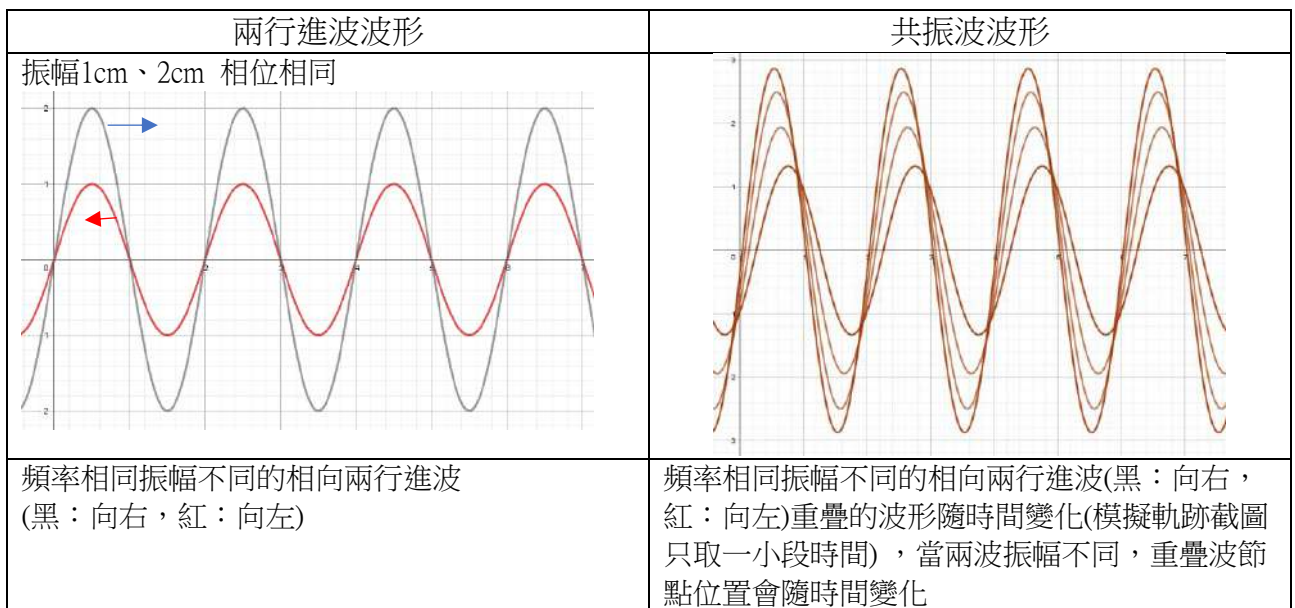
最大的電壓控制在20V以內。

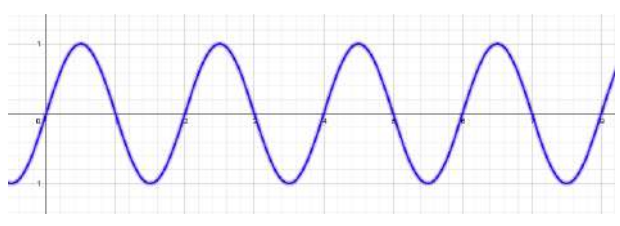
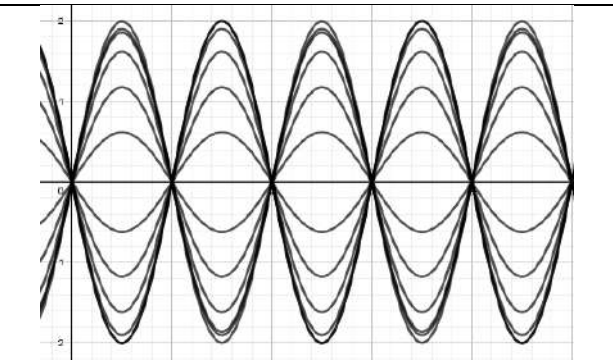
三、兩超音波發射器各自接Arduino板及L298n，可個別調整輸入的電壓，進而改變超音波發射器產生的超音波強度。

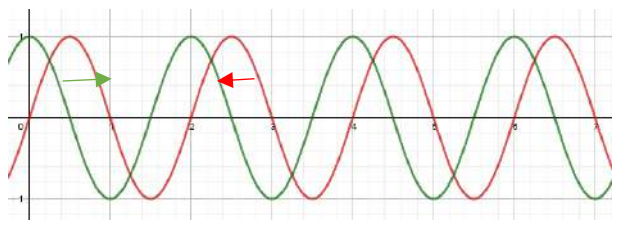
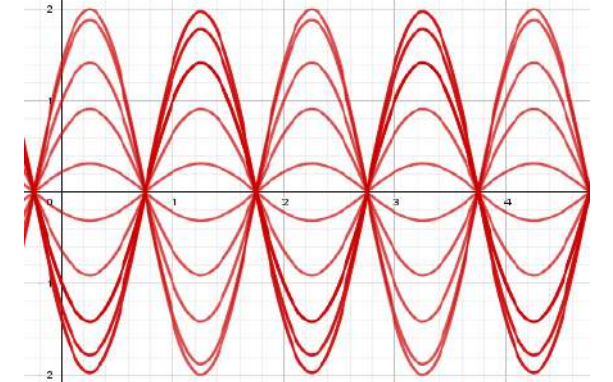
四、兩超音波發射器垂直放置時，電壓差由4V增加到8V，移動距離明顯增加，如圖七-1所示，而當兩超音波發射器水平放置時，電壓差也由4V增加到8V，移動距離亦增加，如圖七-2。

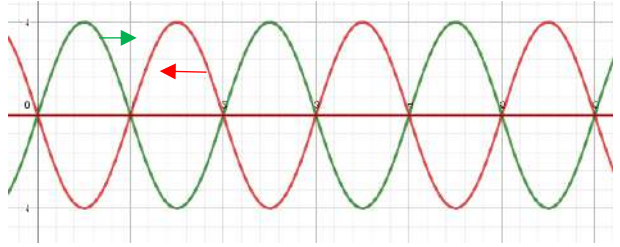
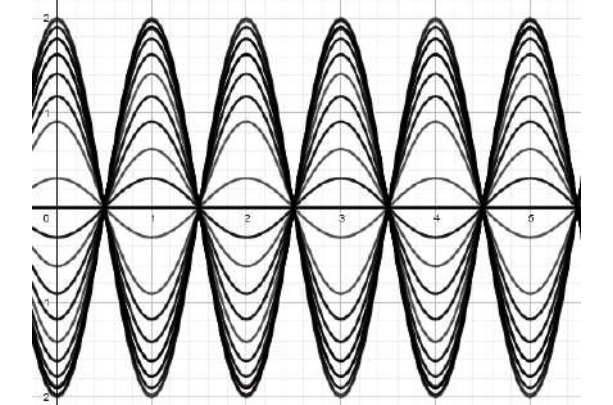


五、我們嘗試利用ggb模擬兩行進波在不同振幅下(聲音強度不同)及不同相位的情況，共振波的波形會如何變化，以驗證實驗結果。保麗龍球懸浮的位置會在聲壓節點，對應到共振波腹點的位置。



<p>兩行進波波形</p>	<p>共振波波形</p>
<p>週期1sec、波長2cm、相位相同</p> 	
<p>兩相向行進波 週期1sec、波長2cm、相位相同</p>	<p>重疊的波形隨時間變化如上圖，重疊波節點位置會隨時間固定</p>

<p>兩行進波波形</p>	<p>共振波波形</p>
<p>週期1、波長2、相位差$\frac{\pi}{2}$</p> 	
<p>兩相向行進波 週期1sec、波長2cm、相位差$\frac{\pi}{2}$</p>	<p>重疊的波形隨時間變化如上圖，重疊波節點位置會隨時間固定，但共振波節點位置因相位差的關係，節點位置改變</p>

<p>兩行進波波形</p>	<p>共振波波形</p>
<p>週期1、波長2、相位差π</p> 	
<p>兩相向行進波 週期1sec、波長2cm、相位差π</p>	<p>重疊的波形隨時間變化如上圖，重疊波節點位置會隨時間固定，但共振波節點位置因相位差的關係節點位置改變，控制兩行進波相位差，可有效改變節點位置</p>

六、利用電壓移動物體時，因為電壓造成的聲壓節點移動太大，以至於物體不太容易穩定，容易彈開，由GGB的波模擬顯示頻率相同、振幅不同的相向兩行進波重疊的波形隨時間

變化，當兩波振幅不同，重疊波節點位置會因為電壓造成的聲壓節點隨時間移動，導致物體移動但此方式較難穩定控制物體移動方向。

七、實驗四利用相位差可讓保麗龍球穩定懸浮及移動。而討論五GGB的相位差的模擬結果顯示透過兩個有相位差的共振波可改變共振波節點位置，透過共振波節點位置改變能有效達到控制物體移動的目的。

捌、結論

- 一、聲壓的節點位置為肯特管波的位移腹點位置。
- 二、保麗龍球受重力影響，而懸浮在聲壓節點下方的位置。
- 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，而電壓越小超音波的強度則越弱。
- 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、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。
- 六、利用相位差可讓保麗龍球穩定懸浮及移動。
- 七、自製的3D列印裝置，可以改變兩個超音波發射器間的角度及距離，搭配改變相位或電壓的程式，方便進行聲懸浮的實驗觀察及記錄。

玖、參考資料

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-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. Retrieved June 4, 2023, from <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=437398.0>

鄭永銘 (2019年7月28日)。聲波懸浮-跟著鄭大師玩科學。2024年5月18日取自：<https://www.masters.tw/233374/acoustic-levitation>

【作品內圖表照片說明】

本作品**【隔空取物－利用超音波懸浮控制物體的移動】**內所有照片、圖片、圖表皆由作者自行拍攝、繪製。

拾、附錄

```
//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 (:
}
```

聲懸浮Arduino程式

```
#define IN1 30
#define IN2 31
#define IN3 32
#define IN4 33

int interval = 1000; // interval in milliseconds at which trigPin turns on

unsigned long previousMillis = 0; //microsecond at which the pin was last written

int Ddelay;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Ddelay = 0;
  DDRC = 0b11111111;
  PORTC = 0b00000000;

  pinMode(7, INPUT);
  digitalWrite(7, HIGH);
  pinMode(8, INPUT);
  digitalWrite(8, HIGH);
}
```

```

void loop() {

    unsigned long currentMillis = millis(); //time in milliseconds from which the code was started
    if (currentMillis-previousMillis >= interval) {
        previousMillis = currentMillis;
        if(digitalRead(7) == LOW && Ddelay != 1){
            Ddelay ++;
            Serial.print(Ddelay);
        }
        else if(digitalRead(8) == LOW && Ddelay != -1){
            Ddelay --;
            Serial.print(Ddelay);
        }
        else{
            Serial.print(Ddelay);
        }
    }
    if(Ddelay ==0){
        PORTC = 0b10100000;
        delayMicroseconds(13);
        PORTC = 0b01010000;
        delayMicroseconds(10);
    }
    else if(Ddelay ==1){
        PORTC = 0b10010000;//前綠10>1 01>0 後黃10>0 01>1
        delayMicroseconds(3);
        PORTC = 0b10100000;
        delayMicroseconds(11);
        PORTC = 0b01100000;
        delayMicroseconds(3);
        PORTC = 0b01010000;
        delayMicroseconds(8);
    }
    else{
        PORTC = 0b10010000;//前綠10>1 01>0 後黃10>0 01>1
        delayMicroseconds(3);
        PORTC = 0b01100000;
        delayMicroseconds(11);
        PORTC = 0b01010000;
        delayMicroseconds(3);
        PORTC = 0b10100000;
        delayMicroseconds(8);
    }
}
}

```

聲懸浮相位差Arduino程式

【評語】 030107

本作品探討利用超音波懸浮技術實現物體的懸浮和移動，並使用 3D 列印和 Arduino 調控共振波相位差以控制節點位置，使保麗龍球穩定懸浮或移動。研究過程中設計了許多實驗變數，驗證了課內所學的波動知識，具體展示了科學實驗的操作與收穫。建議進一步系統化分析各項物理變因，並探討其實際應用可能，以提升作品的創新性和實用價值。

作品簡報



隔空取物—

利用超音波懸浮控制物體的移動



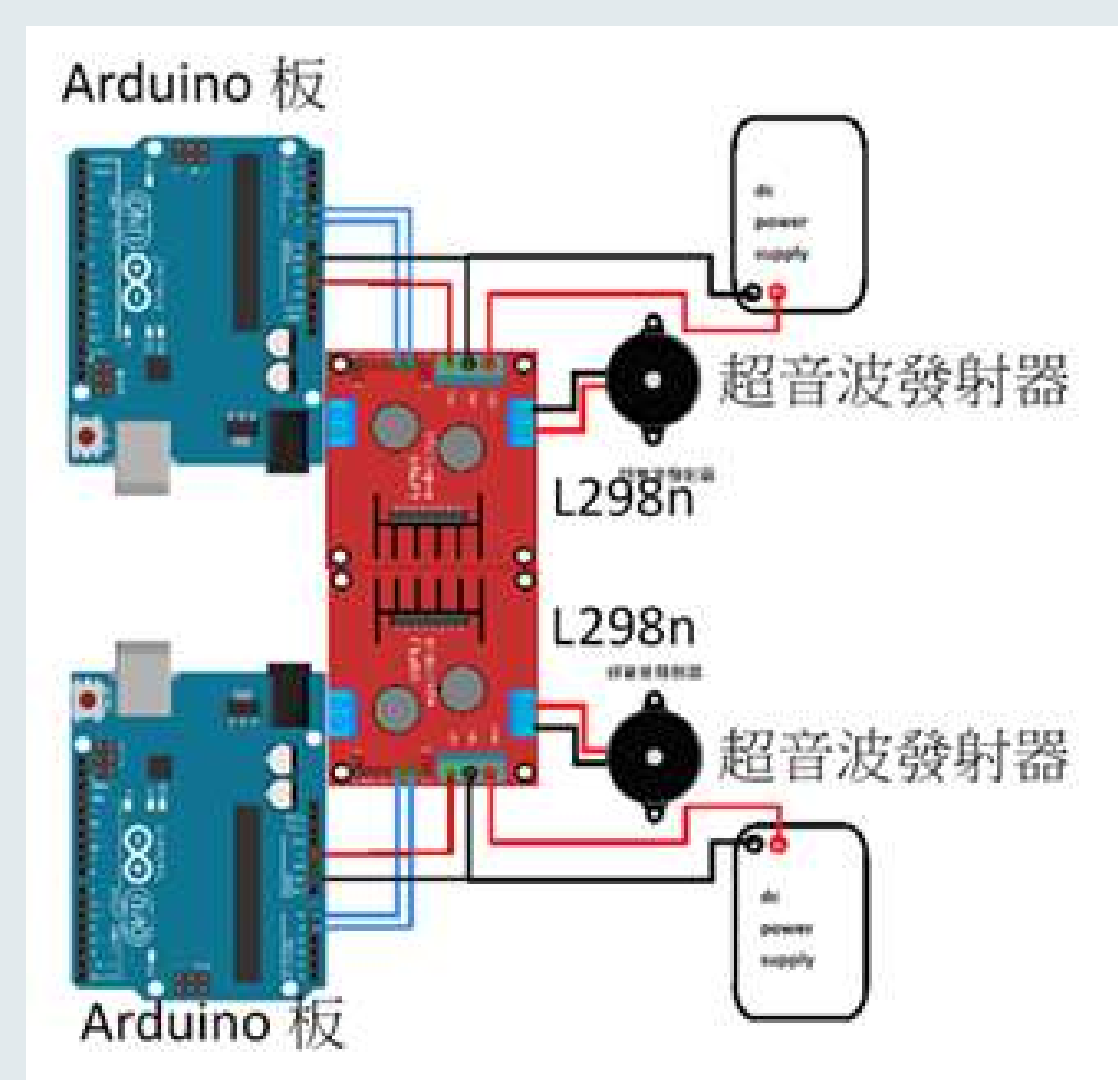
摘要

隔空取物可能嗎?使用3D列印製作超音波懸浮裝置可使保麗龍球穩定懸浮，透過肯特管內共振波形與聲壓標準差的比較，聲壓的節點位置為肯特管波的位移腹點。在一個超音波懸浮裝置形成的駐波中，聲壓節點以外的聲輻射力使得物體被推向節點，因重力影響靜止懸浮在聲壓節點處下方。透過超音波的電壓調整改變共振波振幅，使得共振波節點位置會因為電壓造成的聲壓節點隨時間移動而改變物體位置，但此方式較難穩定控制物體移動方向。最後，我們透過共振波相位差控制改變共振波節點位置可讓保麗龍球穩定懸浮及移動，有效達到控制物體移動的目的。自製可同時改變兩個發射器間的角度及距離的裝置，搭配改變相位或電壓的程式，方便進行聲懸浮的實驗觀察及記錄。

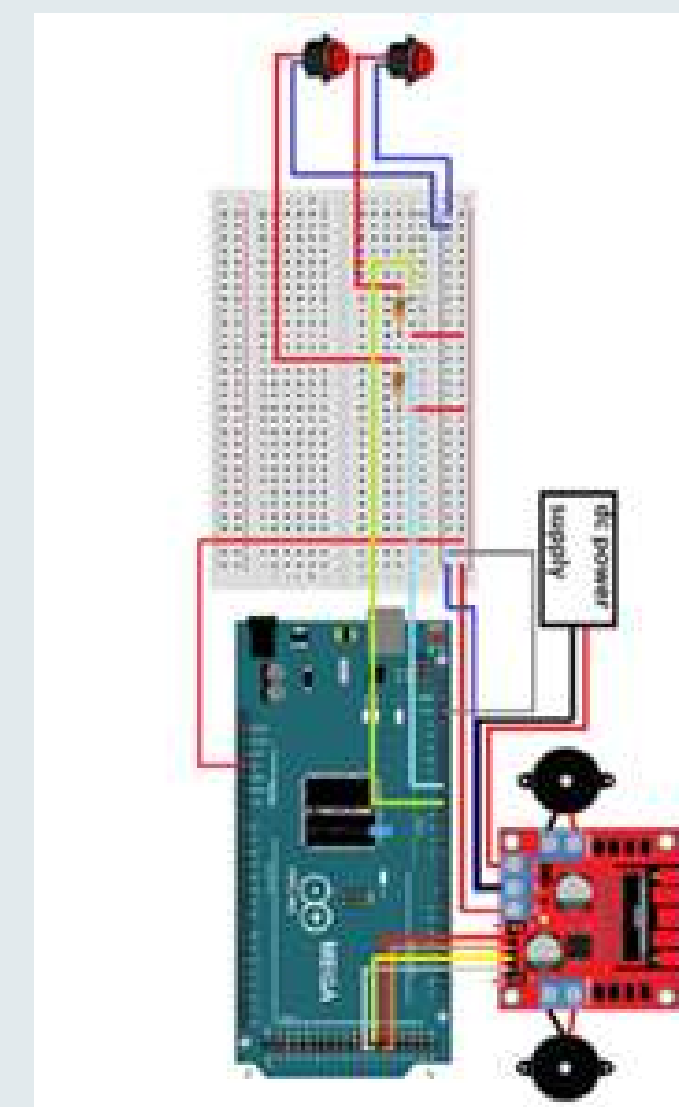
研究目的

研究方法

- 一、製作超音波懸浮裝置
- 二、探討聲懸浮節點位置的特性
 - 二-1、探討肯特管內共振波的壓力變化
 - 二-2、聲懸浮的各點壓力變化
- 三、探討電壓對聲懸浮移動物體的影響
- 四、探討相位對聲懸浮移動物體的影響
- 五、聲懸浮移動物體的應用



改變兩端電壓移動物體



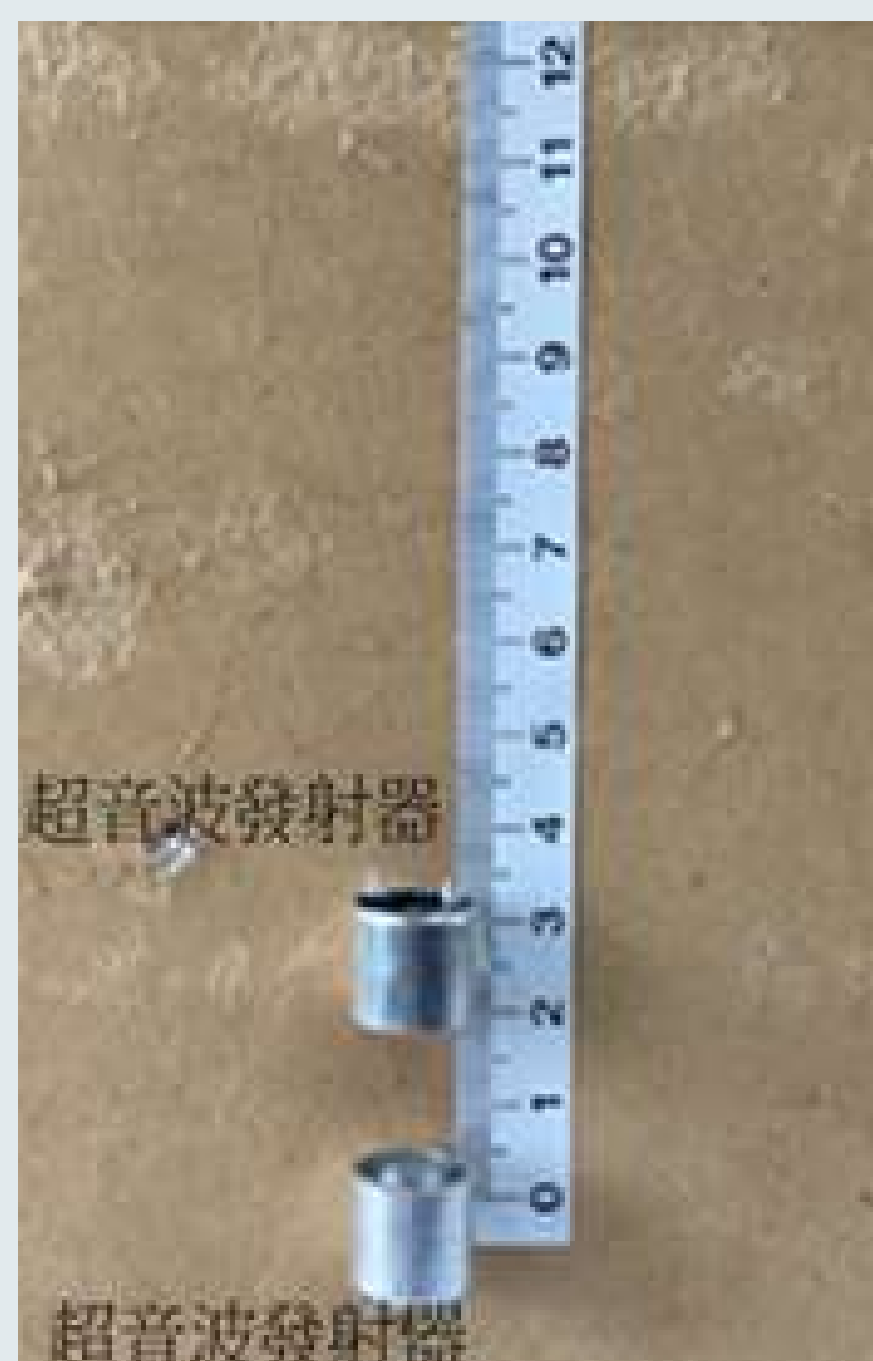
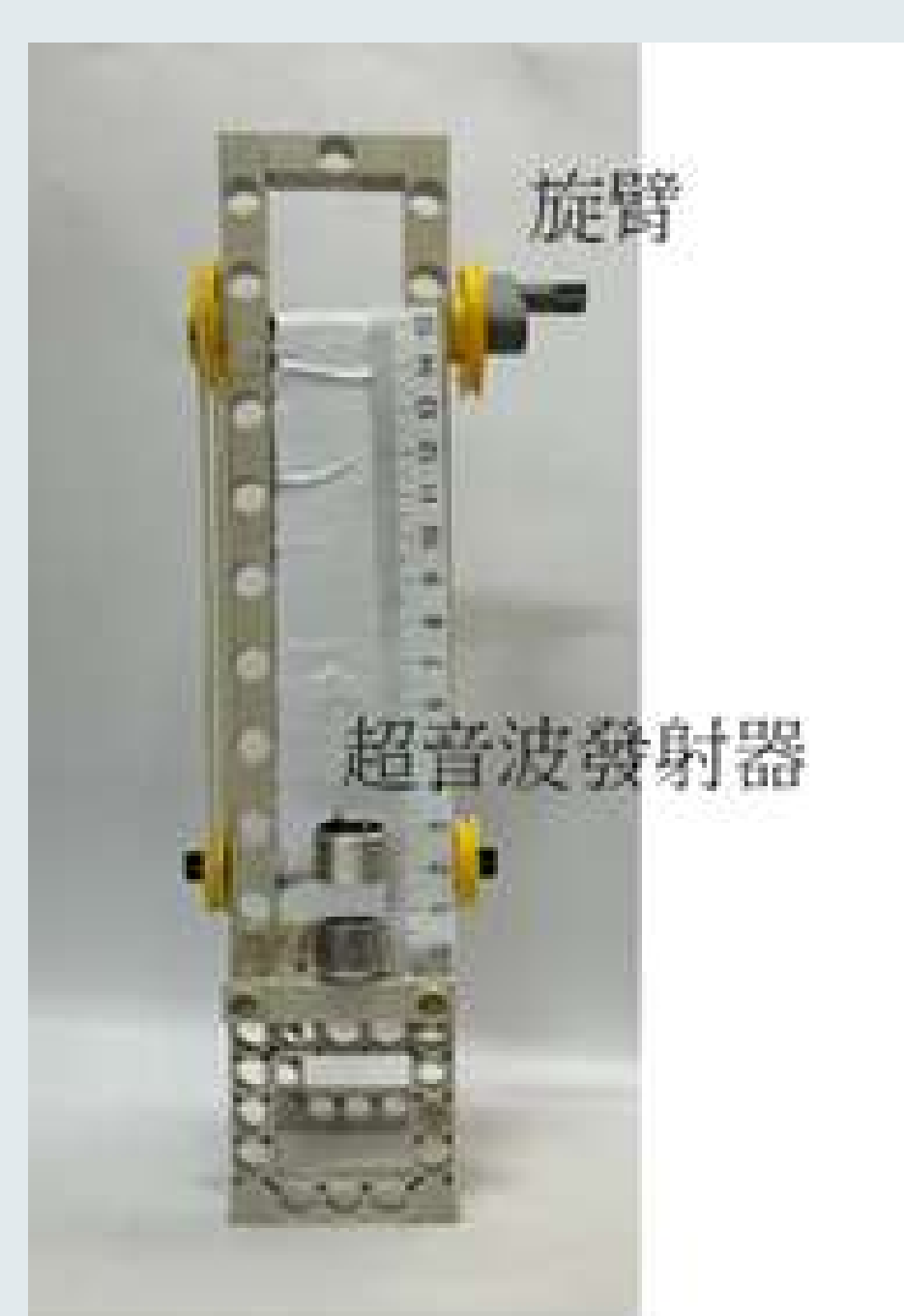

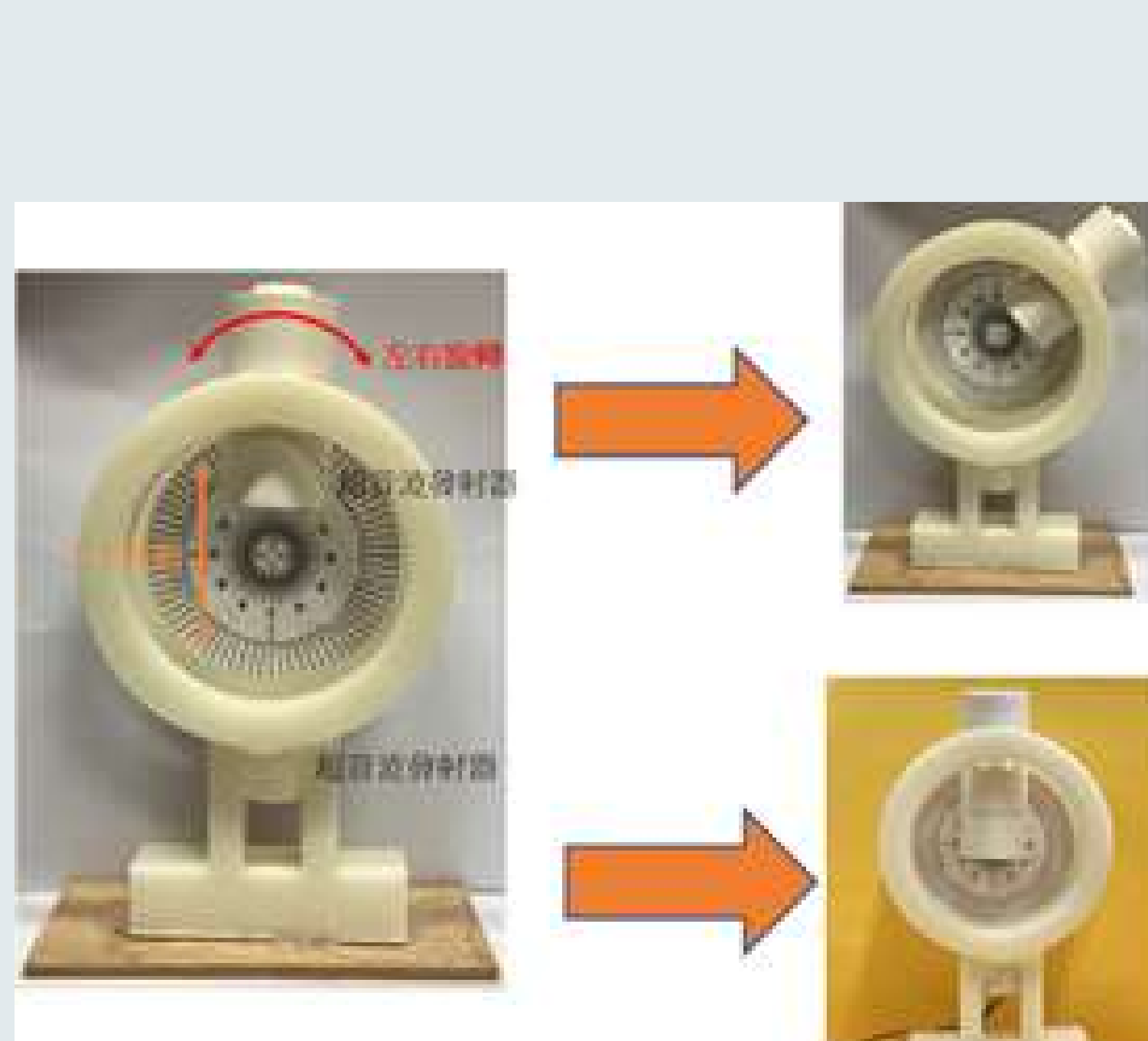
改變兩端相位移動物體

研究過程



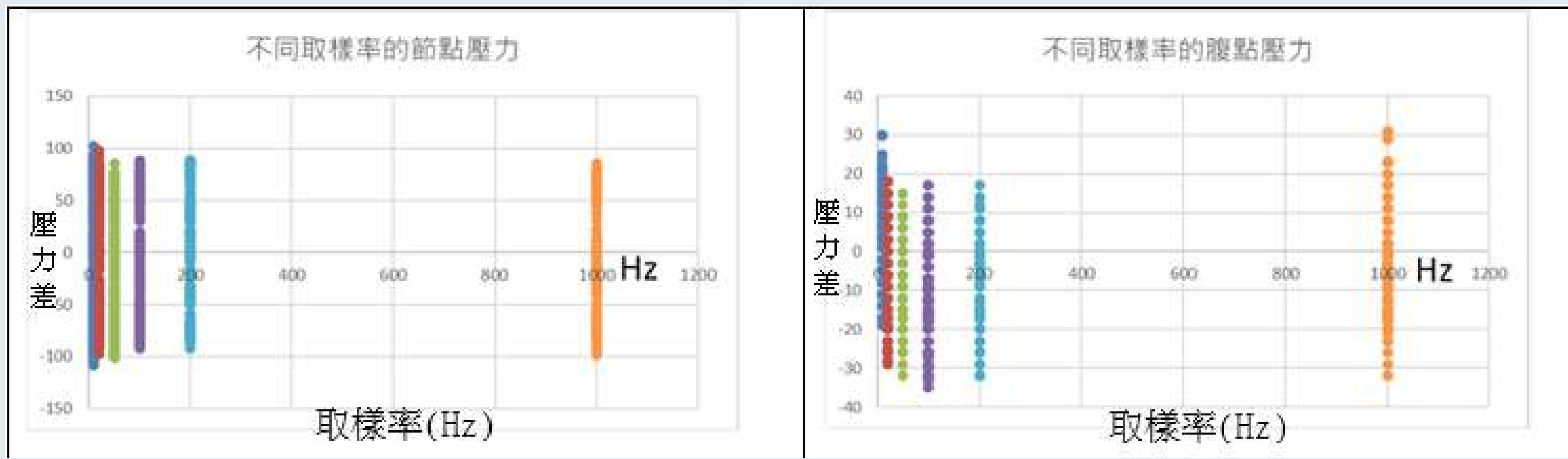
研究結果

一、超音波懸浮裝置設計過程

			
在木板黏上尺，將超音波發射器固定，可測量出超音波發射器的距離。 缺點: 1.不易改變兩超音波發射器的距離。 2.發射器不易對準。	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。 缺點: 1.發射器不易對準，懸浮不穩定。	使用 3D 列印製作超音波懸浮裝置，利用連續排列的孔洞可以很方便移動超音波發射器，且可準確對齊，使保麗龍球穩定懸浮。	使用 3D 列印製作超音波懸浮裝置，利用兩個圓環可以方便改變兩發射器之間的夾角，透過改變裝置固定器的長度可以改變兩發射器之間的距離。

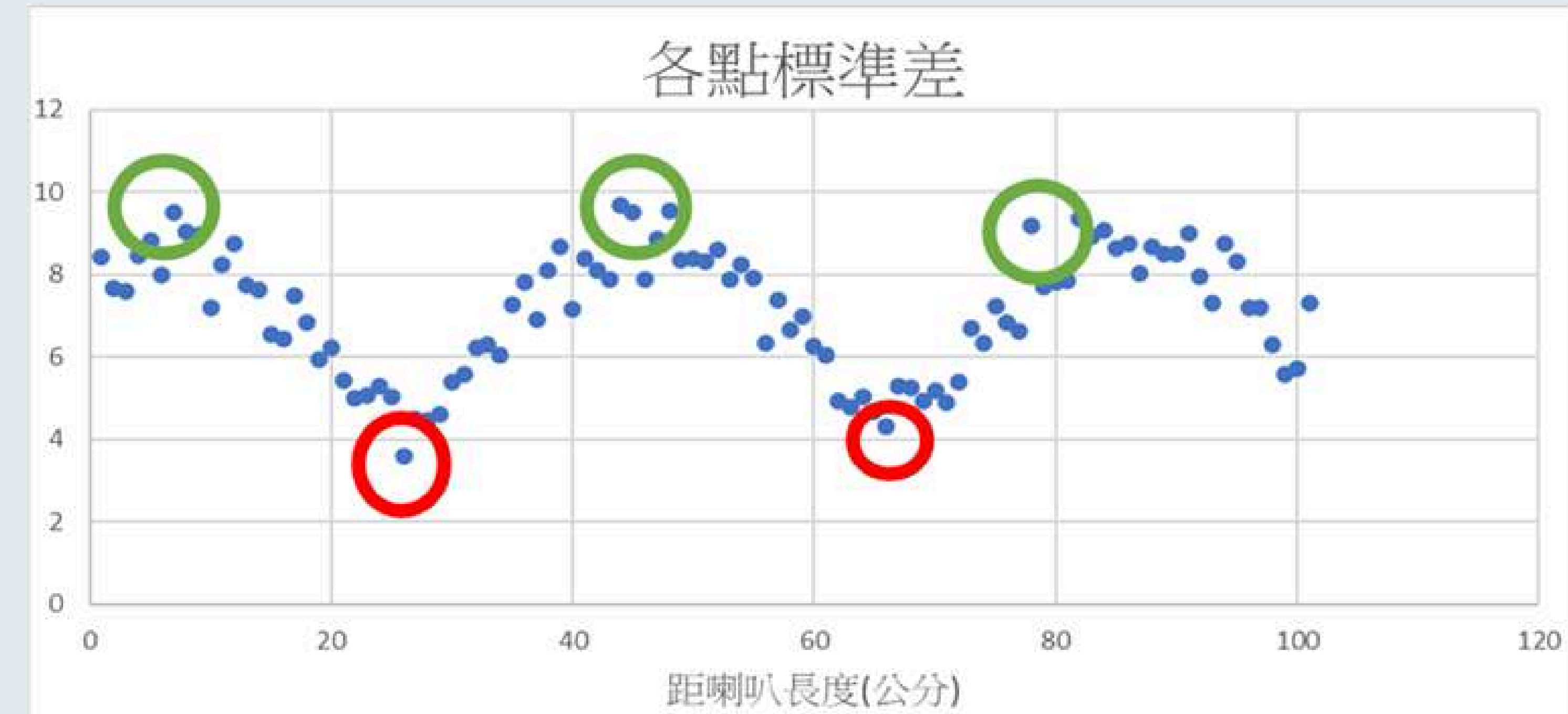
二、探討聲懸浮節點位置的特性

實驗二-1-1、測試並找出最適合實驗的取樣率



- 肯特管節點壓力變化(±100)比腹點壓力變化(±30)大。
- 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，為了之後的實驗操作較為方便，因此我們使用20Hz的取樣率來進行之後的實驗。

實驗二-1-2、用氣壓感測器測量兩端開口的肯特管內每隔1公分處的壓力標準差



• 理論值計算過程

(1) 兩端開口共振波波長與共振管長度L的關係

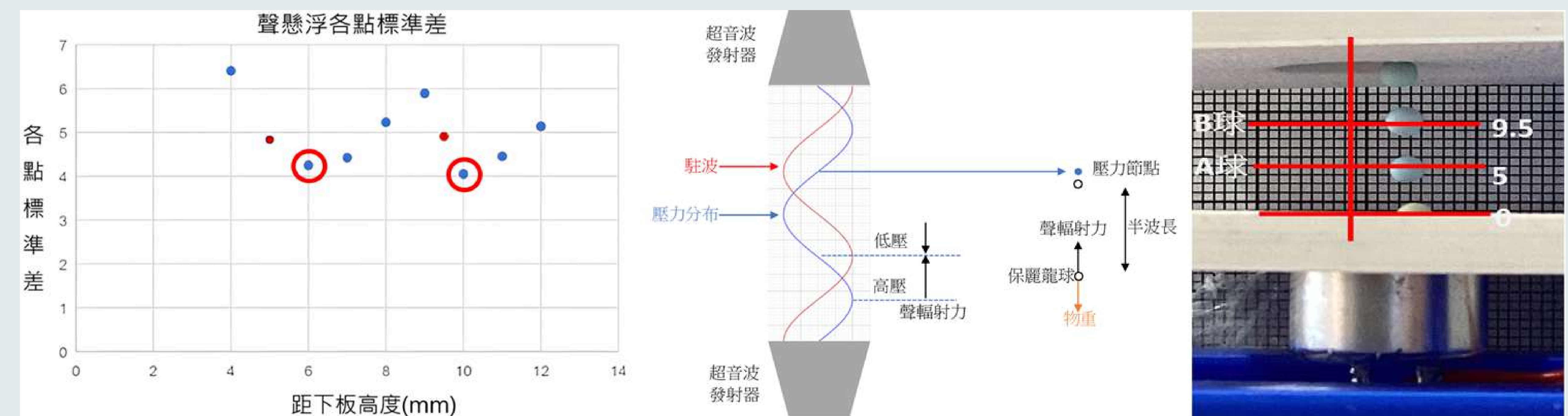
$$L = n \cdot \lambda / 2 \Rightarrow \lambda = 2L / n, n = 1, 2, 3, \dots$$

(2) 實驗共振波波長:

$$v = f \cdot \lambda \Rightarrow 346.6 \text{ (m/sec)} = 435 \text{ (Hz)} \cdot \lambda \Rightarrow \lambda = 79.7 \text{ cm}$$

- 壓力腹點(綠色圓圈)壓力變化最大，壓力節點(紅色圓圈)壓力變化最小，相鄰氣壓節點距離或相鄰兩腹點距離約40cm為1/2 共振聲波波長，實驗結果與理論值相近。

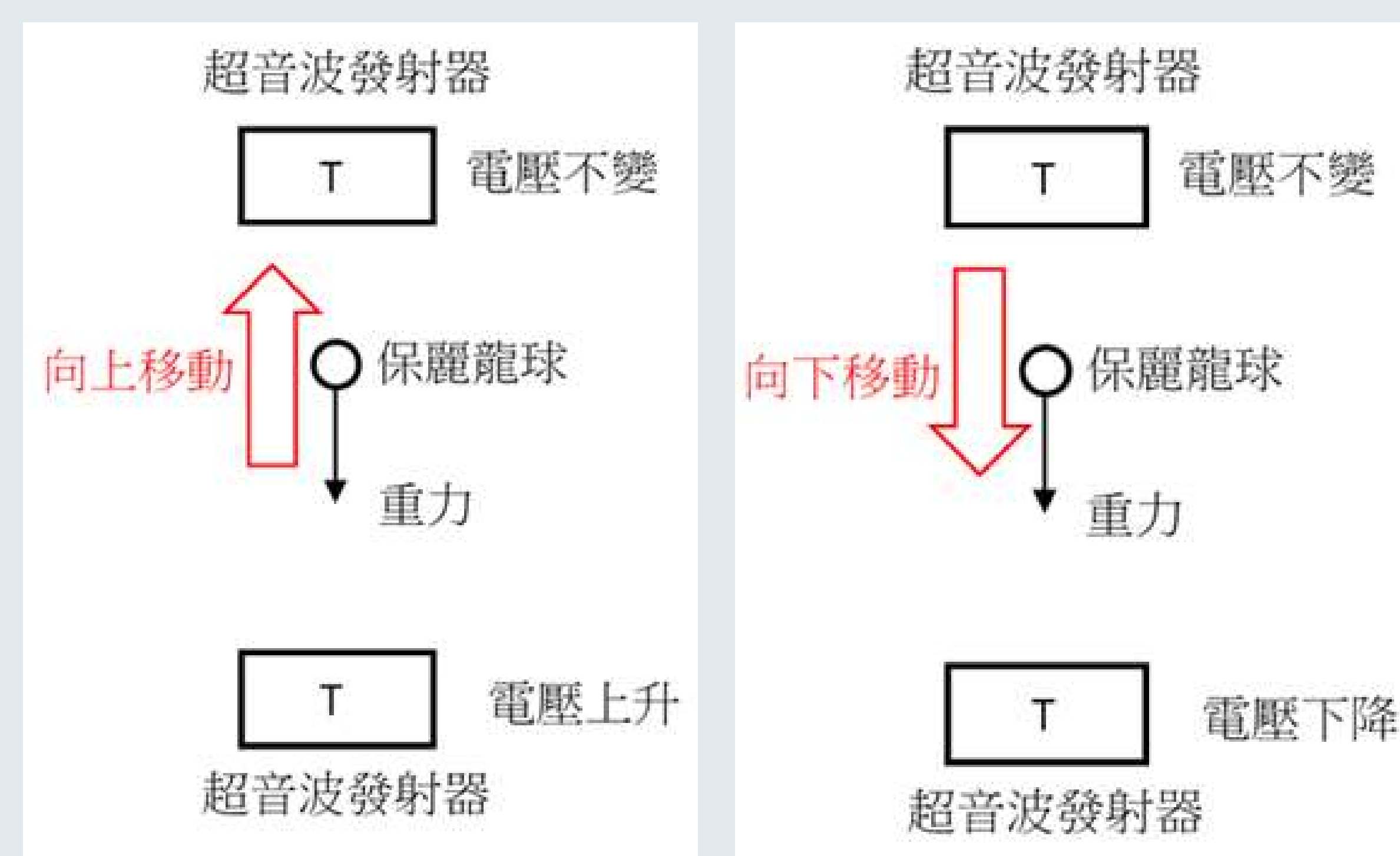
實驗二-2、聲懸浮的各點壓力變化



- 聲壓的節點位置在標準差最低點，位置於距下板高度6mm及10mm(紅色圓圈)，比對聲懸浮位置及結果，懸浮位置為圖上紅色點(5mm及9.5mm)
- 駐波在距聲源半波長倍數處形成聲壓節點。聲壓節點外的聲輻射力指向最近的節點，推動物體懸浮於節點。然而，由於重力影響，懸浮位置位於節點下方。

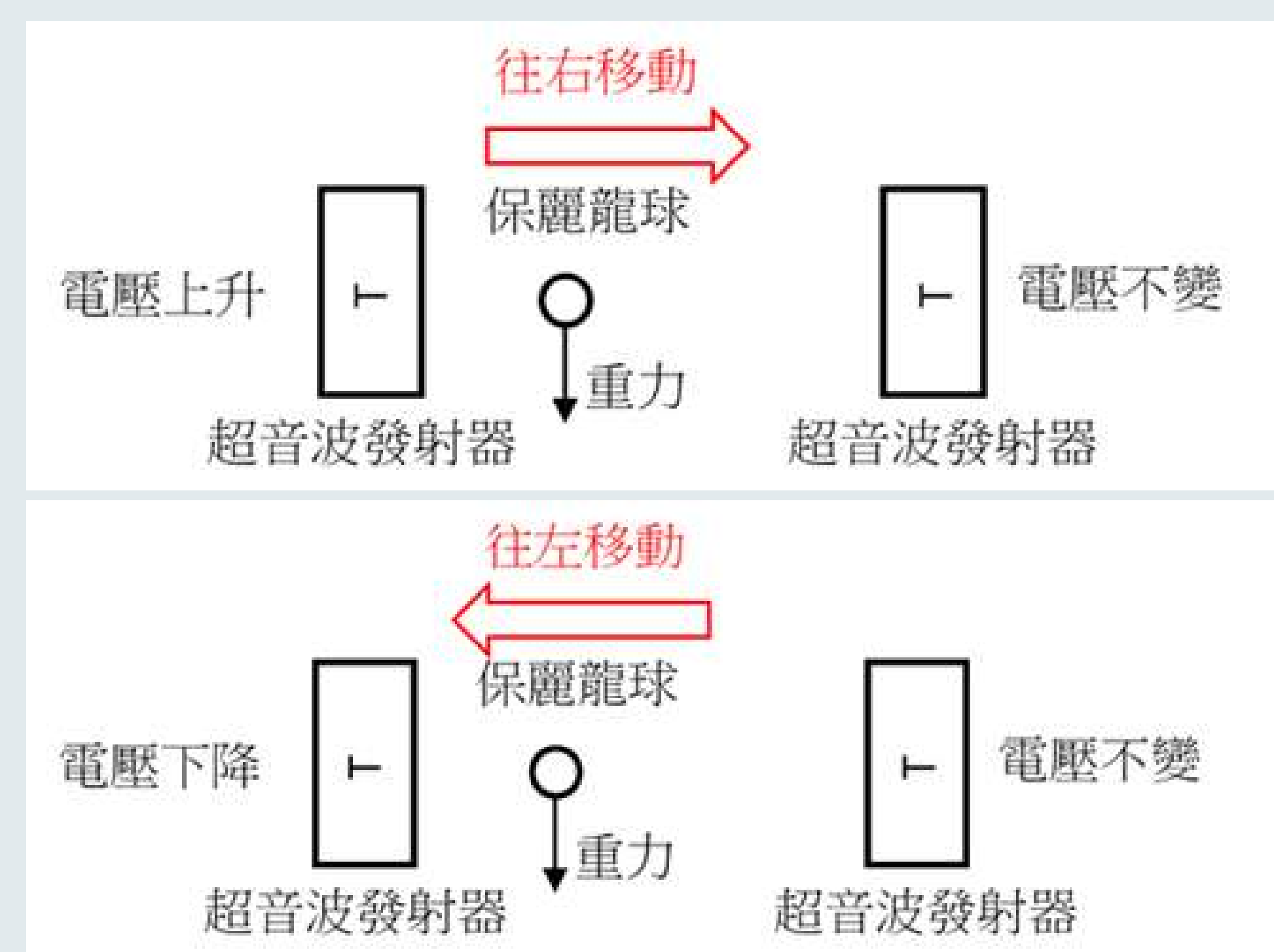
三、探討電壓對聲懸浮移動物體的影響

1. 垂直放置兩超音波發射器

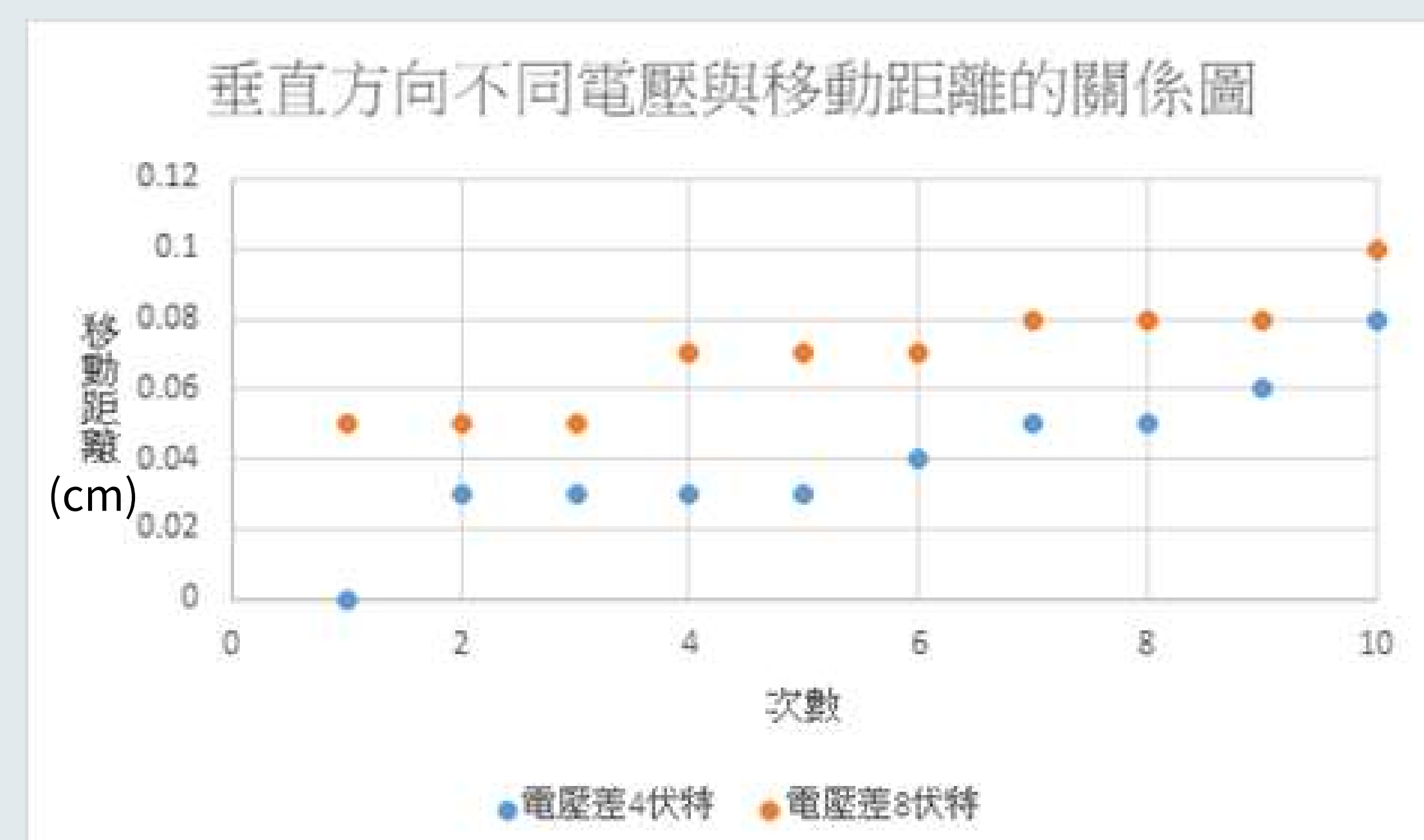


下方超音波發射器電壓上升，超音波強度也上升，保麗龍球往上移動，反之，則往下方移動。

2. 水平放置兩超音波發射器



左方超音波發射器電壓上升，超音波強度也上升，保麗龍球往右移動，反之，則往左方移動。



透過改變電壓，改變振幅。

(1) 當相向行進波振幅相同時，節點固定

(2) 當相向行進波振幅不同時，節點會移動，使測量不穩定。

圖中可看出電壓差越大，移動距離越大，但移動不穩定。

改變電壓移動物體不穩定=>改用相位控制物體移動

四、探討相位對聲懸浮移動物體的影響

情況	Arduino 監控數值	示意圖	示波器波形	懸浮實際圖
1	0			
2	1			
3	-1			

Arduino監控數值變化	移動距離	方向
0→1	0.3mm	向下
0→(-1)	0.4mm	向上

結果說明

1. 透過改變程式參數(delaymicroseconds)可以控制保麗龍球上下移動的位移大小。
2. 程式參數delaymicroseconds的數值設定若讓波形相位變化太大，則無法懸浮。
3. 利用相位差可讓保麗龍球穩定懸浮及移動。
4. 利用示波器可以得知輸入波形的形式及修正程式參數delaymicroseconds的數值。

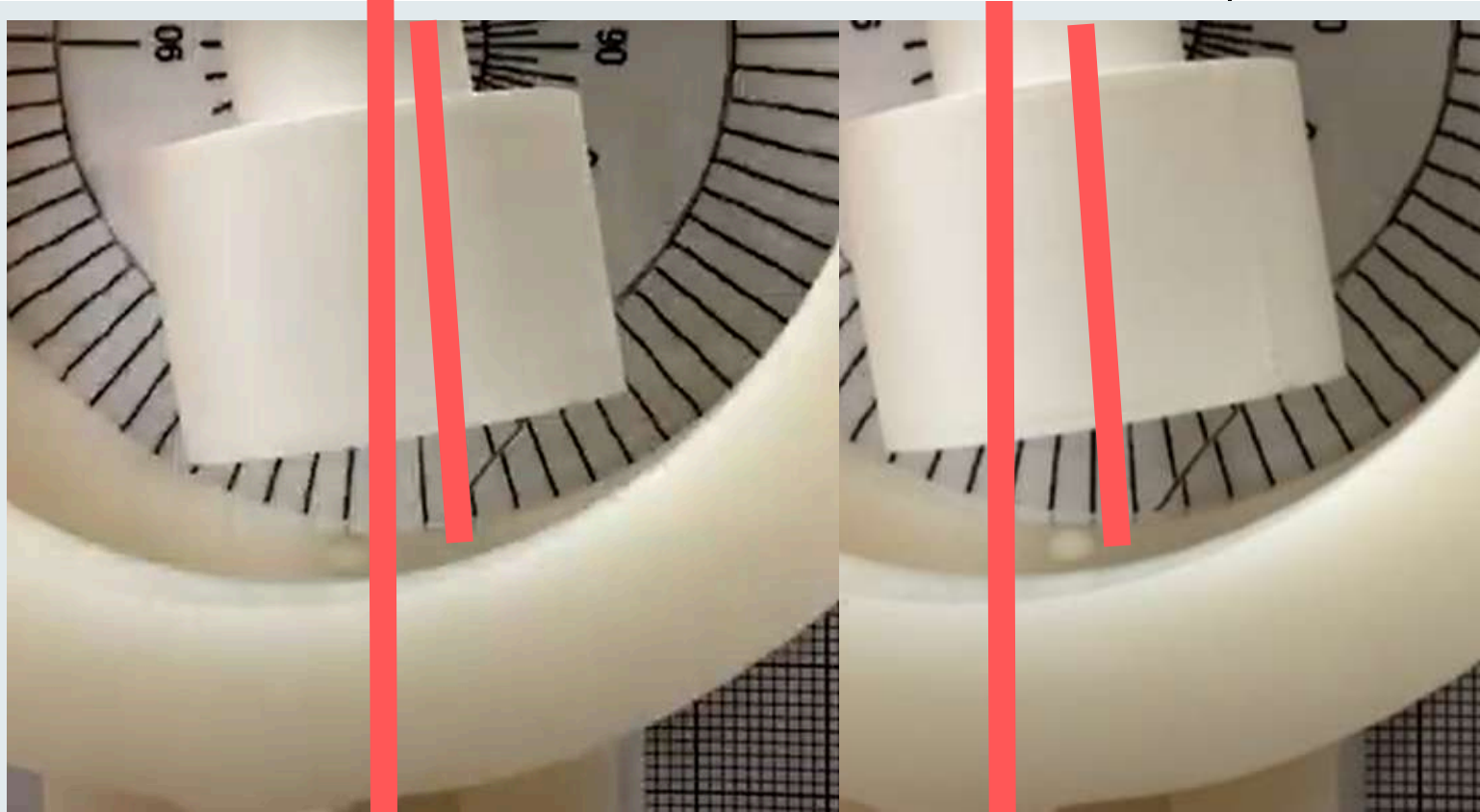
五、聲懸浮移動物體的應用

1. 上方超音波發射器角度20度，兩發射器間距39mm

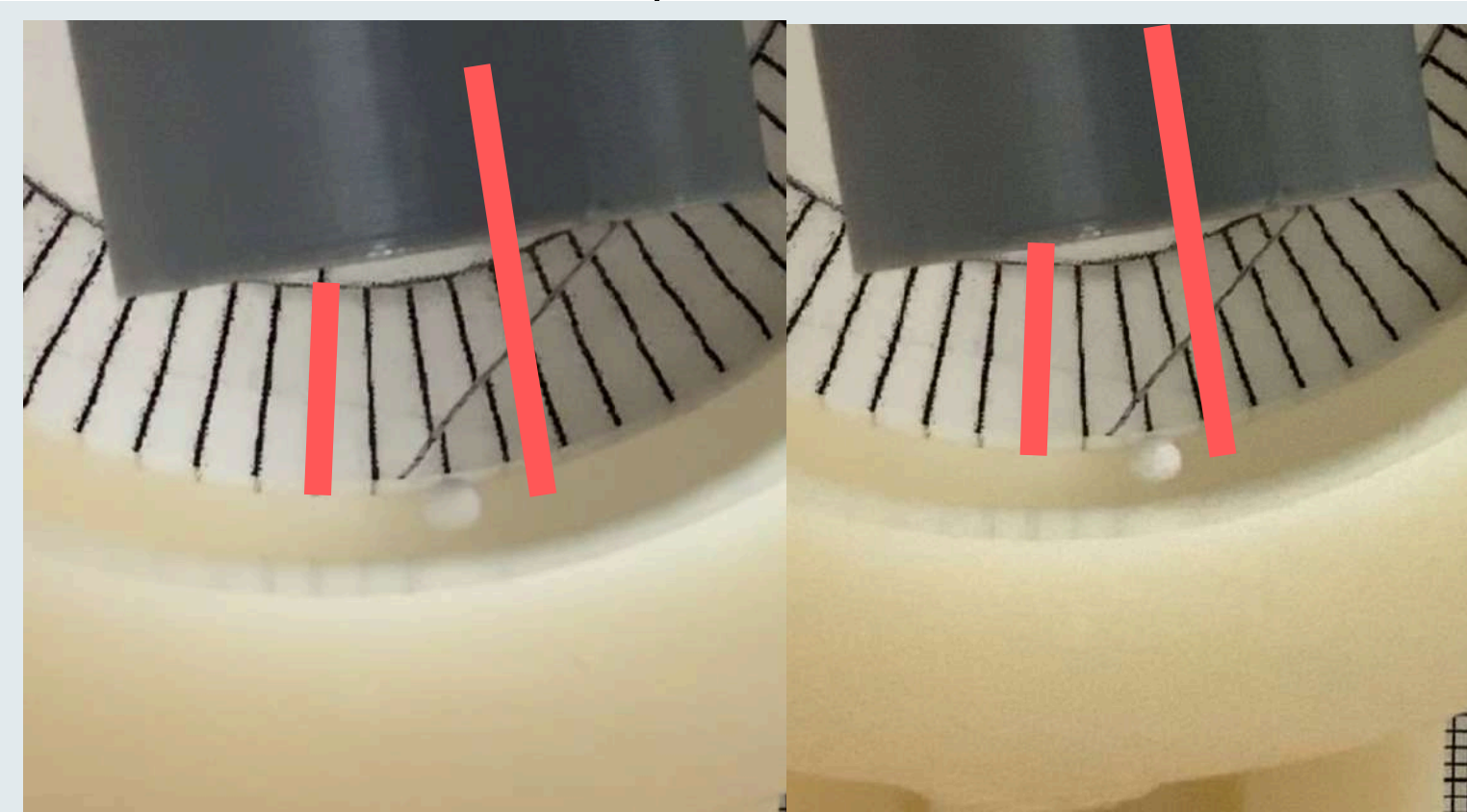
Arduino監控數值變化	移動距離	方向
1→0	0.5mm	向左

2. 上方超音波發射器角度40度，兩發射器間距41mm

Arduino監控數值變化	移動距離	方向
1→0	0.4mm	向左



20度 1 → 0



40度 1 → 0

結果說明

1. 利用自製的3D列印裝置，可以改變兩個超音波發射器間的角度及距離，保麗龍球可懸浮在3D列印裝置中的任意位置，方便進行聲懸浮的實驗觀察及記錄。
2. 可改變懸浮保麗龍球的相位或是電壓，使保麗龍球移動。

結論

- 一、聲壓的節點位置為肯特管波的位移腹點位置。
- 二、保麗龍球受重力影響，而懸浮在聲壓節點下方的位置。
- 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，而電壓越小超音波的強度則越弱。
- 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、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。
- 六、利用相位差可讓保麗龍球穩定懸浮及移動。
- 七、自製的3D列印裝置，可以改變兩個超音波發射器間的角度及距離，搭配改變相位或電壓的程式，方便進行聲懸浮的實驗觀察及記錄。