

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 物理科

030116

水中搖搖搖-探討節拍器在水面上的同步現象

學校名稱：臺中市立光榮國民中學

作者：  國二 廖苡竹  國二 張以暄	指導老師：  傅珮宜  鍾昌宏
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：節拍器、共振、同步現象

# 摘要

我們的實驗是為了瞭解我們設計的變因對於節拍器同步時間的影響。我們的變因有:節拍器的放置環境、是否放在泡棉板子上、改變節拍器的頻率、距離、水量和水深。從我們的實驗結果得知，節拍器放在桌面上比在水面上更快達成同步；在桌面上的同步所需時間:直接放在桌面上<同一泡棉板子<不同泡棉板子；在水面上的同步所需時間:同一泡棉板子<不同泡棉板子；節拍器的頻率愈高、節拍器之間的距離愈短、水量愈少、水深愈深，都愈快達成同步。

當節拍器頻率為120bpm時，我們使用不同的水盆，並改變水的深度，發現節拍器只有在紅色方形水盆中，水深為5公分時，在水面上比在桌面上更快達成同步，所以我們推測是因為駐波而產生的現象。

## 壹、研究動機

之前有看過節拍器經過一段時間後，就會同步的影片，也看了許多關於節拍器同步的資料，我們發現大多數的實驗都是在利用罐子滾動，亦即動量守恆的原理，所以我們想試試看在水面上與桌面上進行實驗。我們設計了十個實驗，想瞭解不同變因對節拍器同步時間的影響。

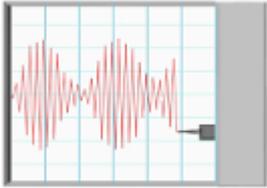
## 貳、研究目的

我們統整出了想深入探討的問題，列出以下幾項:

- 一、瞭解節拍器在不同介質對於同步時間的影響
- 二、瞭解在桌面上的節拍器直接放在桌面(沒有泡棉板子)、放在同一泡棉板子或分別放在不同泡棉板子對於同步時間的影響
- 三、瞭解在水面上的節拍器在同一泡棉板子、分別在不同泡棉板子對於同步時間的影響
- 四、瞭解節拍器在不同頻率下對於同步時間的影響
- 五、瞭解節拍器之間不同的距離對於同步時間的影響
- 六、瞭解節拍器在水面上，不同的水量對於同步時間的影響
- 七、瞭解節拍器在水面上，水的深度對於同步時間的影響
- 八、瞭解節拍器在同相位、不同相位時，同步時間的差異
- 九、改變震動體的振動頻率，觀察當振動頻率在120bpm，亦即2赫茲時，振幅是否比較大
- 十、改變水的面積、水盆形狀，觀察節拍器在120bpm時，在水面上是否比在桌面上快達成同步

## 參、研究設備及器材

一、機械式節拍器兩個	
二、Goldwave聲波分析器	
三、直尺一把	
四、量杯一個（2公升）	
五、大方形水盆兩個 (紅色水盆長56cm、寬44cm、高15cm 藍色水盆長44cm、寬30cm、高29cm)	

<p>六、圓形水盆(直徑50cm)</p>	
<p>七、泡棉板子(28cm×28cm兩個、 20cm×20cm四個)</p>	 <p>▲28cm×28cm</p>  <p>▲20cm×20cm</p>
<p>八、振動計 (此App可測量任何物體的振動。在 實驗十中，我們會觀察測量出的振 幅。)</p>	
<p>九、Sonic App (此App可發出0赫茲到25000赫茲的 振動，而在實驗十中，我們利用手 機發出 2赫茲、20赫茲、40赫茲、 60赫茲、80赫茲、100赫茲的振動， 並檢測發出2赫茲時，是否會讓水 產生較大的振動。)</p>	

## 十、喇叭兩組



## 肆、研究過程或方法

### 一、實驗設計與方法

#### 【實驗一~實驗八、實驗十】

##### (一) 實驗裝置

1. 在水面上的實驗中，我們將紅色方形水盆放在桌面上→在其中裝入水至水深五公分→放入泡棉板子→將兩組節拍器放在泡棉板子上。
2. 實驗七為瞭解不同深度的水對節拍器同步的影響，因此我們會在深度較深的藍色方形水盆和深度較淺的紅色方型水盆中裝入相同水量，並進行比較。
3. 實驗九為改變水的面積，因此使用藍色方形水盆，改變水的表面積但深度相同；改變水盆形狀，因此使用粉色圓形水盆，改變水盆形狀但深度相同。
4. 若實驗的變因是同一泡棉板子，會放入兩個28cm×28cm的泡棉板子疊加兩層，防止節拍器下沉(圖一)；若實驗的變因是不同泡棉板子，會分別放入兩個20cm×20cm的泡棉板子疊加兩層，防止節拍器下沉(圖二)。我們會在板子中央畫上4公分和8公分的線段，做實驗時，將節拍器放在線段兩邊即可(圖三)。



▲圖一



▲圖二



▲圖三

## (二) 實驗方法

實驗開始前，我們會將兩組節拍器調到正確的頻率。當實驗開始時，我們將節拍器的擺錘向右撥動，先放開右側節拍器的擺錘，同時使用Goldwave 聲波分析器開始錄音，等待兩秒後，再放開左側節拍器的擺錘。我們每一組實驗會做20次，以增加實驗的準確性。

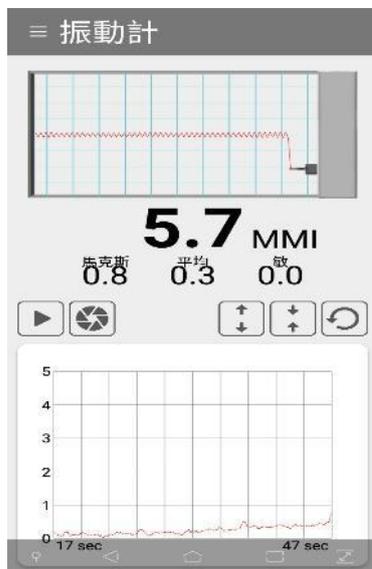
### 【實驗九】

#### (一) 實驗裝置和方法

我們從實驗一的結果中發現，在120bpm時，節拍器在水面上所需的同步時間比在桌面上短，因此我們設計出實驗九，檢測節拍器在120bpm時，是否會讓水產生較大的振動。我們將兩支手機打開Sonic App發出2赫茲的振動，一支手機連接黑色喇叭，另一支手機連接藍色喇叭，放入水深皆為5公分的紅色方形水盆、藍色方形水盆中。另一支手機放在泡棉板子上，打開振動計，按下開始，測量不同水深的振幅(圖四、圖五)。



▲圖四

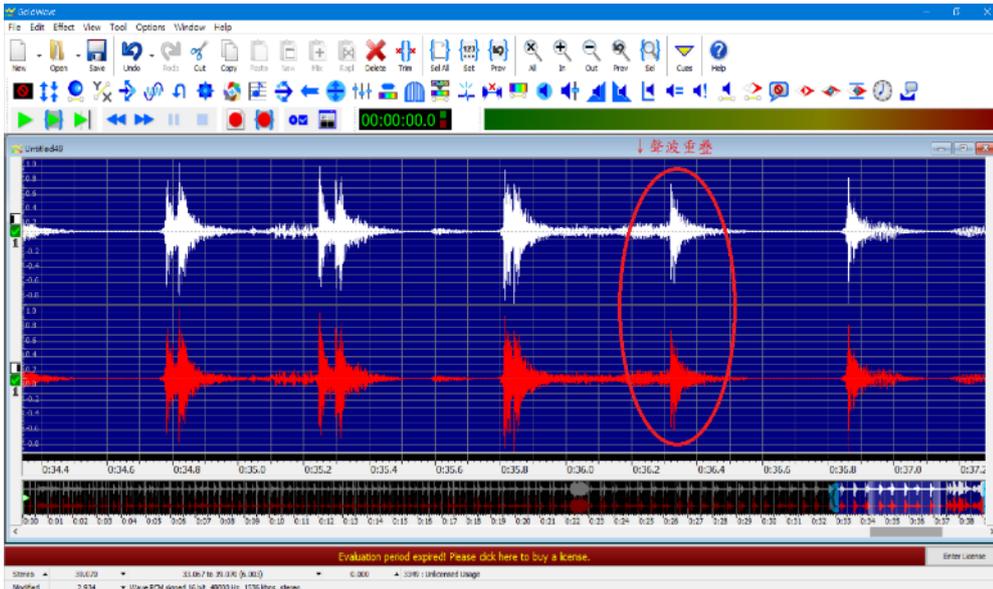


▲圖五

## 二、實驗分析

### (一) 找出同步時間

我們使用Goldwave聲波分析器找出節拍器的同步時間。我們觀察到當兩組節拍器達成同步時，分析器上的聲波會重疊，而我們找到第一個重疊的聲波，為該次實驗的同步所需時間(圖六)。



▲圖六

(二) 實驗數據分析

我們使用Excel的t檢定：成對母體平均數差異檢定對結果進行分析， $P$ 值 $>0.05$ ，則兩組數據差異較小； $P$ 值 $<0.05$ ，則兩組數據有顯著差異(圖七)。

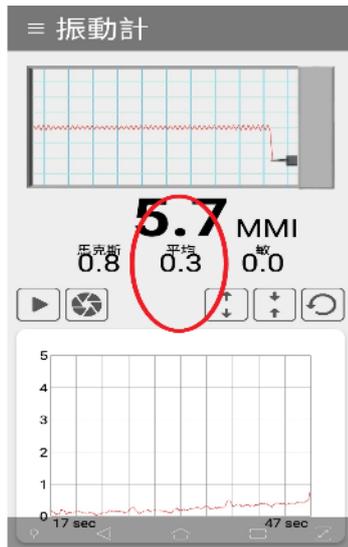
80bpm	水面	桌面
平均數	33.151	30.6085
變異數	8.152914737	6.044066053
觀察值個數	20	20
皮耳森相關係數	-0.069515016	
假設的均數差	0	
自由度	19	
t 統計	2.919047441	
P(T<=t) 單尾	0.004401088	
臨界值：單尾	1.729132812	
P(T<=t) 雙尾	0.008802175	
臨界值：雙尾	2.093024054	

$P$ 值 $<0.05$ ，兩組數據有顯著差異

▲圖七

(三) 判斷水是否產生較大的振幅

在實驗九中，我們使用App振動計觀察水面的振動，若水產生較大的振幅，則振幅的平均值較大(圖八)。



▲圖八

## 伍、研究結果

### 一、【實驗一】瞭解節拍器在不同介質對於同步時間的影響

我們分別在80 bpm、120 bpm、160 bpm三個不同頻率時，觀察節拍器在水面上或桌面上對於同步時間的影響，並比較其同步時間是否有顯著差異。我們在節拍器在同一泡棉板子、不同泡棉板子上時，分別進行水面組和桌面組的比較。

表一、

節拍器頻率 (bpm) 介質	同一泡棉板子的同步時間(s)		
	80bpm	120bpm	160bpm
水面組(n=20)	33.15±2.86	16.66±1.50	14.48±4.57
桌面組(n=20)	30.60±2.46	21.60±3.87	10.99±2.16

以excel的t檢定進行分析，發現節拍器的頻率為80bpm時，在水面上的同步所需時間比在桌面上長，且達顯著差異( $p < .05$ )；發現節拍器的頻率為120bpm時，在水面上的同步所需時間比在桌面上短，且達顯著差異( $p < .05$ )；發現節拍器的頻率為160bpm時，在水面上的同步所需時間比在桌面上長，且達顯著差異( $p < .05$ )。

綜合上述，節拍器在80bpm與160bpm時，放置於水面的同步所需時間比放置於桌面長；而120bpm組放置於水面的同步所需時間比放置於桌面短，與其它的頻率結果不同。

表二、

介質 \ 節拍器頻率 (bpm)	不同泡棉板子的同步時間(s)		
	80bpm	120bpm	160bpm
水面組(n=20)	37.97±2.92	17.61±1.26	17.09±3.23
桌面組(n=20)	35.21±2.43	24.78±4.08	14.16±2.41

以excel的t檢定進行分析，發現節拍器的頻率為80bpm時，在水面上的同步所需時間比在桌面上長，且達顯著差異( $p < .05$ )；發現節拍器的頻率為120bpm時，在水面上的同步所需時間比在桌面上短，且達顯著差異( $p < .05$ )；發現節拍器的頻率為160bpm時，在水面上的同步所需時間比在桌面上長，且達顯著差異( $p < .05$ )。

綜合上述，節拍器的頻率在80bpm與160bpm時，在水面上的同步所需時間比在桌面上長，而在120bpm時，在水面上的同步所需時間比在桌面上短。

## 二、【實驗二】瞭解節拍器在同一泡棉板子、分別在不同泡棉板子對於同步時間的影響(水面上)

我們分別在80、120、160三個不同頻率(bpm)時，觀察節拍器在水面上放置於同一泡棉板子、不同泡棉板子上對於同步時間的影響，並比較其同步時間是否有顯著差異，如表三所示。

表三、

泡棉板子 \ 節拍器頻率 (bpm)	水面上的同步時間(s)		
	80bpm	120bpm	160bpm
同一泡棉板子組(n=20)	33.15±2.86	16.66±1.50	14.48±4.57
不同泡棉板子組(n=20)	37.97±2.92	17.61±1.26	17.09±3.23

以excel的t檢定進行分析，發現節拍器的頻率為80bpm時，在不同泡棉板子的同步所需時間比在同一泡棉板子長，且達顯著差異( $p < .05$ )；發現節拍器的頻率為120bpm時，在不同泡棉板

子的同步所需時間比在同一泡棉板子長，且達顯著差異( $p < .05$ )；發現節拍器的頻率為160bpm時，在不同泡棉板子的同步所需時間比在同一泡棉板子長，且達顯著差異( $p < .05$ )。

綜合上述，[節拍器的頻率在80bpm、120bpm與160bpm時，放置於不同泡棉板子的同步所需時間比放置於同一泡棉板子長。](#)

三、【實驗三】瞭解節拍器直接放在桌面(沒有泡棉板子)、放在同一泡棉板子或分別放在不同泡棉板子對於同步時間的影響

我們分別在80、120、160三個不同頻率(bpm)時，觀察節拍器在直接放在桌面(沒有泡棉板子)、放在同一泡棉板子或分別放在不同泡棉板子上對於同步時間的影響，並比較其同步時間是否有顯著差異，如表四所示。

表四、

節拍器頻率 (bpm) 泡棉板子	桌面上同步時間(s)		
	80bpm	120bpm	160bpm
直接放在桌面組(n=20)	25.91±4.13	19.43±3.29	9.54±1.89
同一泡棉板子組(n=20)	30.60±2.46	21.60±3.87	10.99±2.16
不同泡棉板子組(n=20)	35.21±2.43	24.78±4.08	14.16±2.41

以excel的t檢定進行分析，發現節拍器的頻率為80bpm時，同步所需時間長為：直接放在桌面上 < 同一泡棉板子 < 不同泡棉板子，且達顯著差異( $p < .05$ )；發現節拍器的頻率為120bpm時，同步所需時間長為：直接放在桌面上 < 同一泡棉板子 < 不同泡棉板子，且達顯著差異( $p < .05$ )；發現節拍器的頻率為160bpm時，同步所需時間長為：直接放在桌面上 < 同一泡棉板子 < 不同泡棉板子，且達顯著差異( $p < .05$ )。

綜合上述，節拍器的頻率在80bpm、120bpm與160bpm時，節拍器的同步所需時間長為：直接放在桌面上 < 同一泡棉板子 < 不同泡棉板子，也就是說，[節拍器直接放在桌面上所需同步時間最短，在不同泡棉板子所需同步時間最長。](#)

四、【實驗四】瞭解節拍器在不同頻率對於同步時間的影響

我們分別在水面、桌面上，觀察節拍器在80bpm、120bpm、160bpm對於同步時間的影響，並比較其同步時間是否有顯著差異，如表五所示。

表五、

節拍器頻率 (bpm) 介質	同一泡棉板子的同步時間(s)		
	80bpm組(n=20)	120bpm組(n=20)	160bpm組(n=20)
水面	33.15±2.86	16.66±1.50	14.48±4.57
桌面	30.60±2.46	21.60±3.87	10.99±2.16

以excel的t檢定進行分析，發現節拍器放置在水面上時，同步所需時間長為：頻率為80bpm時 > 頻率為120bpm時 > 頻率為160bpm時，且達顯著差異( $p < .05$ )；發現節拍器放置在桌面上時，同步所需時間長為：頻率為80bpm時 > 頻率為120bpm時 > 頻率為160bpm時，且達顯著差異( $p < .05$ )。

綜合上述，節拍器放置在桌面上時，同步所需時間長為：頻率為80bpm時 > 頻率為120bpm時 > 頻率為160bpm時，[亦即振動頻率愈高，同步所需時間愈短。](#)

#### 五、【實驗五】瞭解節拍器之間不同的距離對於同步時間的影響

我們分別在80、120兩個不同頻率(bpm)時，觀察兩個節拍器之間不同的距離對於同步時間的影響，並比較其同步時間是否有顯著差異，如表六所示。

表六、

節拍器頻率 (bpm) 距離	同步時間(s)	
	80bpm	120bpm
4公分組(n=20)	30.50±3.37	14.62±2.40
8公分組(n=20)	33.15±2.86	16.66±1.50

以excel的t檢定進行分析，發現在頻率為80bpm時，節拍器之間距離8公分的同步所需時間比距離4公分長，且達顯著差異( $p < .05$ )；發現在頻率為120bpm時，節拍器之間距離8公分的同步所需時間比距離4公分長，且達顯著差異( $p < .05$ )。

綜合上述，節拍器在80bpm與120bpm時，[節拍器距離較近同步所需時間較短。](#)

## 六、【實驗六】瞭解節拍器在水面上，不同的水量對於同步時間的影響

我們分別在80、120、160三個不同頻率(bpm)時，觀察兩個節拍器之間不同的距離對於同步時間的影響，並比較其同步時間是否有顯著差異，如表七所示。

表七、

節拍器頻率 (bpm) 水量 (毫升)	同步時間(s)	
	80bpm	120bpm
12000毫升組 (n=20)	33.15±2.86	16.66±1.50
24000毫升組 (n=20)	39.56±3.71	23.46±3.13

以excel的t檢定進行分析，發現在頻率為80bpm時，水量24000毫升的同步所需時間比水量12000毫升長，且達顯著差異( $p < .05$ )；發現在頻率為120bpm時，水量24000毫升的同步所需時間比水量12000毫升長，且達顯著差異( $p < .05$ )。

綜合上述，節拍器的頻率為80bpm或120bpm時，水量24000毫升的同步所需時間比水量12000毫升長，亦即水量愈多，同步所需時間愈長。

## 七、【實驗七】瞭解節拍器在水面上，水的深度對於同步時間的影響

我們分別在120、160三個不同頻率(bpm)時，觀察兩個節拍器之間不同的距離對於同步時間的影響，並比較其同步時間是否有顯著差異，如表八所示。

表八、

節拍器頻率 (bpm) 水深(cm)	同步時間(s)	
	120bpm	160bpm
5公分組(n=20)	16.66±1.50	14.48±4.57
9公分組(n=20)	14.99±2.17	11.52±2.42

以excel的t檢定進行分析，發現在頻率為120bpm時，水深5公分的同步所需時間比水深9公分長，且達顯著差異( $p < .05$ )；發現在頻率為160bpm時，水深5公分的同步所需時間比水深9公分長，且達顯著差異( $p < .05$ )。

綜合上述，水深5公分所需的同步時間比水深9公分的同步所需時間長，[亦即水深愈深，同步所需時間愈短。](#)

#### 八、【實驗八】瞭解節拍器在同相位、不同相位時，同步時間的差異

我們使用實驗一水面組(同一泡棉板子)的數據，分別在80、120、160三個不同頻率(bpm)，取同相位和不同相位各五次實驗數據，觀察兩個節拍器在同步時的相位對於同步時間的影響，並比較其同步時間是否有顯著差異，如表九所示。

表九、

節拍器頻率 (bpm)	同步時間(s)		
	80bpm	120bpm	160bpm
同相位組(n=5)	33.51±2.72	17.20±1.06	15.44±3.35
不同相位組(n=5)	33.52±3.02	17.35±1.82	14.22±4.41

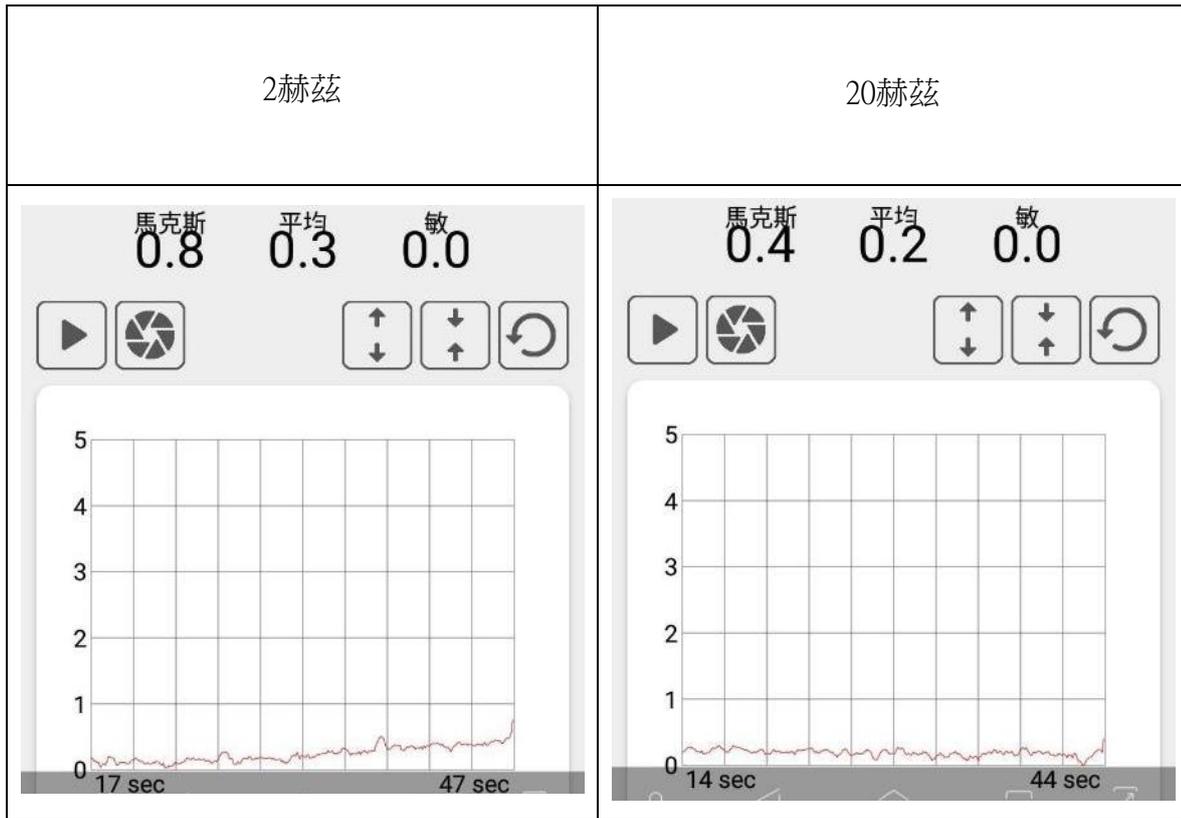
以excel的t檢定進行分析，發現節拍器的頻率為80bpm時，同相位的同步所需時間與不同相位差異不大( $p > .05$ )；發現節拍器的頻率為120bpm時，同相位的同步所需時間與不同相位差異不大( $p > .05$ )；發現節拍器的頻率為160bpm時，同相位的同步所需時間與不同相位差異不大( $p > .05$ )。

綜合上述，不論節拍器的頻率為80bpm、120bpm或160bpm，[達成同步時的相位皆對其同步所需時間沒有影響。](#)

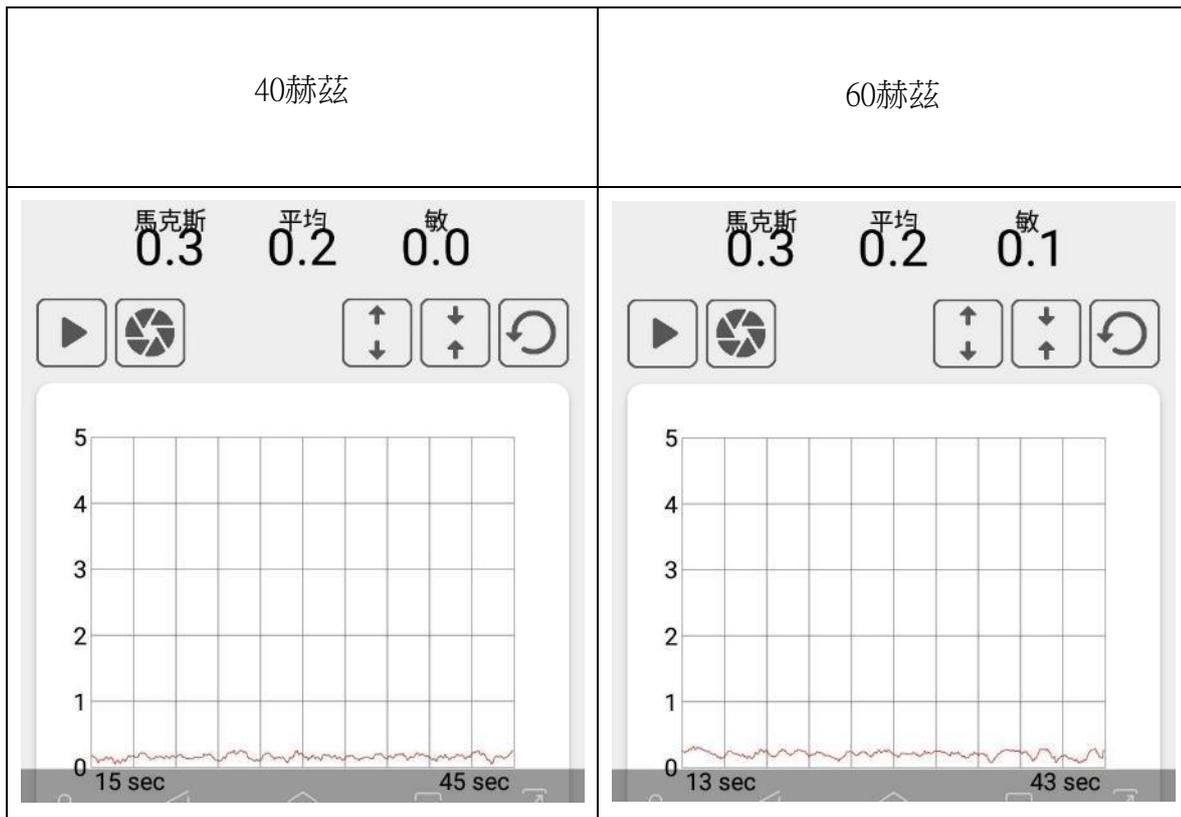
#### 九、【實驗九】改變振動體的振動頻率，觀察當振動頻率在120bpm，亦即2赫茲時，振幅是否比較大

我們測量振動體的振動頻率分別是2赫茲、20赫茲、40赫茲、60赫茲、80赫茲、100赫茲時，測量水面的振幅，並比較是否在手機發出2赫茲的振動時，水面有較大的振幅，如表十、表十一、表十二所示。

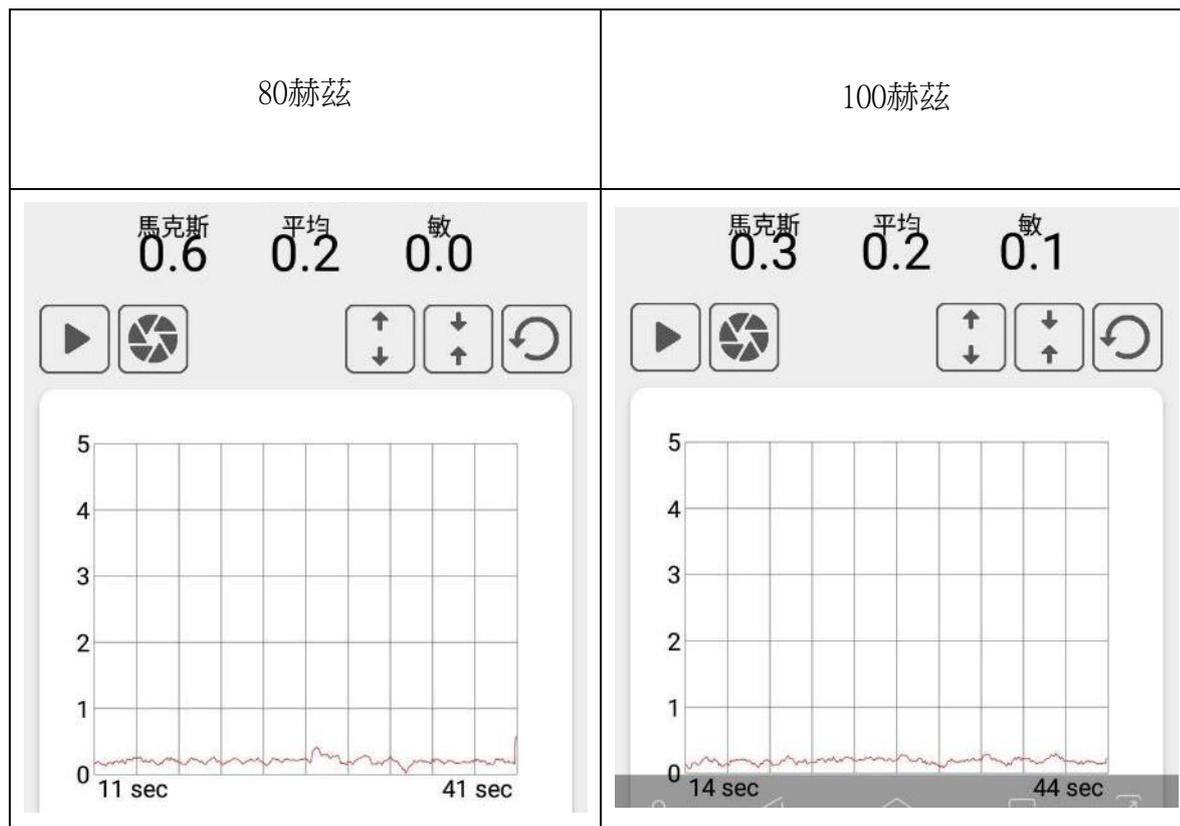
表十、



表十一、



表十二、



從實驗結果看出，振動體的振動頻率在2赫茲時，水面振幅的最大值和平均值均較振動體在其它振動頻率時大。

十、【實驗十】改變容器表面積、容器形狀，觀察節拍器在120bpm時，在水面上是否仍比在桌面上快達成同步

我們從實驗九的結果發現，當節拍器放在紅色水盆，頻率為120bpm時，在水面上比在桌面上快同步，因此我們設計實驗十，想觀察當節拍器頻率皆為120bpm、水的深度皆為5公分，但改變水盆長寬和形狀，節拍器是否在水面上比在桌面上快同步，如表十三所示。

表十三、

介質	同一板子的同步時間(s)	
	水面	桌面
面積較大的水盆 組(n=20) 長:56cm 寬:44cm	16.66±1.50	21.60±3.87
面積較小的水盆 組(n=20) 長:44cm 寬:30cm	42.63±3.51	
粉色圓形水盆組 (n=20) 直徑50cm	22.92±4.01	

從表格中看出，當節拍器頻率為120bpm，水深皆為5公分時，使用面積較大的方形水盆時，節拍器在水面上比在桌面上快達成同步；但使用面積較小的藍色方形水盆(長:44cm 寬:30cm)時，節拍器在桌面上比在水面上快達成同步；改變容器形狀，使用粉色圓形水盆時，節拍器在桌面上比在水面上快達成同步。我們發現振動頻率為120bpm的節拍器，只有在面積為56cmx44cm紅色方形水盆時，在水面上才會比在桌面上快達成同步。

## 陸、討論

一、我們在做實驗一到實驗九的時候發現，在不同板子的實驗中，因方型水盆內可讓節拍器浮動的範圍較小，所以常常產生泡棉板子相互碰撞的情況，造成我們需把實驗時，泡棉板子相互碰撞的數據刪除，並做更多次的實驗。

二、在做實驗的過程中，我們試著將節拍器放在裝水的浴缸，發現節拍器不容易達成同步。浴缸的表面積太大，節拍器傳遞的能量較容易分散出去，因此不易達成同步。

三、桌面結構較水面結構規則，以及水的阻尼較大，因此節拍器在桌面上比在水面上快達成同步；桌面結構較泡棉結構緊實，而泡棉板子沒有結合，傳遞能量的速度較慢，因此節拍器的同步所需時間:直接在桌面上<同一泡棉版子<不同泡棉板子；節拍器頻率愈高，週期愈短，愈容易耦合，因此兩組節拍器的頻率愈高，愈快達成同步。節拍器之間的距離愈短，聲音傳遞時的距離也愈短，因此節拍器之間距離愈短，愈快達成同步。水深較深，表面水波波速較快，因此水深愈深，愈快達成同步。

四、原本使用水的原因是因為利用水的振動傳遞「動量」來達成節拍器的同步，但實驗卻發現，在桌面上比在水面上快達成同步，可見達成同步是能量的傳遞，反而因水的阻尼震盪使同步時間變長。王栢村(2019)提到，阻尼是一種消耗能量的機制，一般材料本身都有

「阻尼效應」。從微觀角度來說，可以想像一個材料構件，因為結構體的變形，使得材料分子之間有摩擦，而產生磨擦的能量損失，即為「阻尼效應」。物體在水中受到的阻力會比在空氣中大，因此節拍器在桌面上更快達成同步。

五、在實驗的過程中，我們驚訝地發現在120bpm時，節拍器在水面上竟然比在桌面上快達成同步，這和我們原本預測的結果不同。在80bpm和160bpm的實驗結果均為節拍器在桌面上比在水面上快達成同步；因此我們設計實驗九，實驗中進一步發現，只有在紅色方形水盆中，水深為5公分時，手機發出2赫茲的振動，測量出的振幅平均較其他頻率都還要大。我們推想造成120bpm時節拍器在水面上比在桌面上更快達成同步可能因為2赫茲的頻率造成共振。

六、我們設計實驗十，更換水盆的面積和形狀，水深同為5公分，測量節拍器頻率為120bpm時，達成同步的時間。結果顯示，只有在紅色水盆中，在水面上比在桌面上快達成同步，因此我們推測不是共振的影響，而是在此時產生駐波，而造成節拍器在水面上比在桌面上快達成同步。國立臺灣大學普通物理實驗室提到，當彈簧兩端的距離為一定頻率振動時所產生的半波長的整數倍時，既滿足條件，就形成了穩定的駐波，可能造成能量的加強。但是駐波的產生和表面水波的速度及容器的長寬有關，所以更換容器的尺寸和形狀，就未必有相同的結果。

## 柒、結果

- 一、在振動頻率為80bpm和160bpm時，節拍器在桌面上同步所需時間比在水面上短，但在120bpm時，節拍器在水面上的同步所需時間比在桌面上短。
- 二、節拍器在桌面上的同步所需時間:直接在桌面上<同一泡棉版子<不同泡棉板子。
- 三、在水面上時，節拍器在同一泡棉板子的同步所需時間比分別在不同泡棉板子短。
- 四、兩組節拍器的頻率愈高，愈快達成同步。
- 五、在水面上時，兩組節拍器之間的距離愈短，同步所需時間也愈短。
- 六、水量愈多，同步所需時間愈長。
- 七、水的深度愈深，同步所需時間愈短。
- 八、節拍器的相位對同步所需時間沒有影響。
- 九、只有在紅色方形水盆中，水深為5公分時，手機發出2赫茲的振動，測量出的振幅平均值最大。
- 十、改變水盆的面積和形狀後，眾多實驗中，只有在紅色方形水盆中，水深為5公分時，節拍器在水面上比在桌面上快達成同步。

## 參考文獻

一、陳姿妤、蕭瑋均。神奇的殊途「同」歸—探討不同變因對於節拍器達到同步時間的影響。中華民國第56屆中小學科學展覽會。取自:

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=12699>

二、朱慶琪、杜宗勳(2016)。讓我們一起搖擺! 擺的同步現象。國立中央大學科學教育中心。  
取自:

<http://phy.tw/%E7%A7%91%E5%AD%B8%E5%AF%A6%E9%A9%97/item/136-2016-06-24-08-27-05>

三、李忠義、蔡志申(2011)。共振 (Resonance) 。科學Online。高瞻自然科學教學資源平台。  
取自:

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=19293>

四、王栢村(2019)。《振動噪音科普專欄》什麼是「阻尼」(DAMPING)?。振動噪音產學  
技術聯盟。取自:

<http://aitanh.blogspot.com/2019/07/damping.html>

五、國立台灣大學普通物理實驗室。線形彈簧駐波共振。取自:

<https://web.phys.ntu.edu.tw/gphyslab/modules/smartsection/item5926.html?itemid=31>

## 【評語】 030116

本作品探討了一對節拍器在水面上的節拍同步現象。最終找出一個特別的狀態，使得水上的同步現象較桌面(固體)來的快。並提出了共振的解釋。建議可以針對可能的物理內涵有多一點的理論估計與實際實驗現象的比對。

## 作品簡報



水中搖搖搖——

探討節拍器在水面上的同步現象

國中組、物理科

# 研究問題

- 一、瞭解節拍器在不同介質對於同步時間的影響
- 二、瞭解在桌面上的節拍器直接放在桌面、放在同一泡棉板子或分別放在不同泡棉板子對於同步時間的影響
- 三、瞭解在水面上的節拍器在同一泡棉板子、分別在不同泡棉板子對於同步時間的影響
- 四、瞭解節拍器在不同頻率下對於同步時間的影響
- 五、瞭解節拍器之間不同的距離對於同步時間的影響
- 六、瞭解節拍器在水面上，不同的水量對於同步時間的影響
- 七、瞭解節拍器在水面上，水的深度對於同步時間的影響
- 八、瞭解節拍器在同相位、不同相位時，同步時間的差異
- 九、改變震動體的振動頻率，觀察當振動頻率在120bpm，亦即2赫茲時，振幅是否比較大
- 十、改變水的面積、水盆形狀，觀察節拍器在120bpm時，在水面上是否比在桌面上快達成同步

# 實驗設計

		環境	合板/分板	操作變因	應變變因	結果
實驗一	1-1		合板	水面v.s桌面	同步時間	表一
	1-2		分板	水面v.s桌面	同步時間	表二
實驗二		水面		合板v.s分板	同步時間	表三
實驗三		桌面		無板v.s合板v.s分板	同步時間	表四
實驗四		水面		擺動頻率	同步時間	表五
實驗五		桌面		節拍器距離	同步時間	表六
實驗六		水面		水量	同步時間	表七
實驗七		水面		水深	同步時間	表八
實驗八		水面		相位	同步時間	表九
實驗九		水面		震動頻率	水面震幅	表十
實驗十		水面		容器形狀	同步時間	表十一

# 研究方法

## 一、實驗方法

### ◆ 實驗一~實驗八、實驗十

#### (一)水面上和桌面上的實驗步驟

- 1.將兩組節拍器調到正確的頻率
- 2.撥動節拍器成不同相位狀態，先撥右側節拍器的擺錘，等待兩秒後，撥動左側節拍器的擺錘
- 3.使用Goldwave聲波分析器開始錄音

#### (二)疊加板子的原因和方法

若實驗的變因是同一泡棉板子，會放入兩個28cm×28cm的泡棉板子疊加兩層，防止節拍器下沉(圖一)；若實驗的變因是不同泡棉板子，會分別放入兩個20cm×20cm的泡棉板子疊加兩層，防止節拍器下沉(圖二)。



▶ 圖一



▶ 圖二

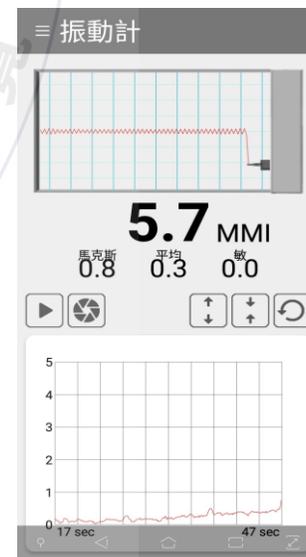
### ◆ 實驗九

#### (一)實驗步驟

- 1.我們把兩組喇叭都纏繞上保鮮膜
- 2.一支手機連接黑色喇叭，另一支手機連接藍色喇叭
- 3.兩支手機打開Sonic App發出2赫茲的振動
- 4.在板子上放上一支手機打開振動計App，按下開始，測水的振幅(圖三、圖四)。



▶ 圖三



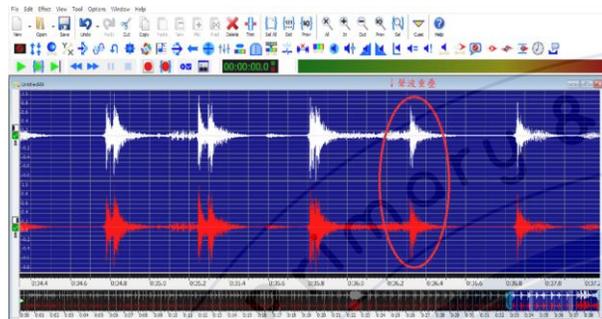
▶ 圖四

# 研究方法

## 二、實驗分析

### (一) 找出同步時間

我們使用Goldwave聲波分析器找出節拍器的同步時間。我們觀察到當兩組節拍器達成同步時，分析器上的聲波會完全重疊，而我們找到第一個重疊的聲波，為該次實驗的同步所需時間(圖五)。



►圖五

### (二) 實驗數據分析

我們使用Excel的t檢定：兩個母體平均數差的檢定對結果進行分析，若 $p > 0.05$ ，則兩組數據差異較小； $p < 0.05$ ，則兩組數據有顯著差異(圖六)。

### (三) 判斷水是否產生較大的振幅

在實驗九中，我們使用App振動計觀察水面的振動，若水產生較大的振幅，則振幅的平均值較大(圖七)。

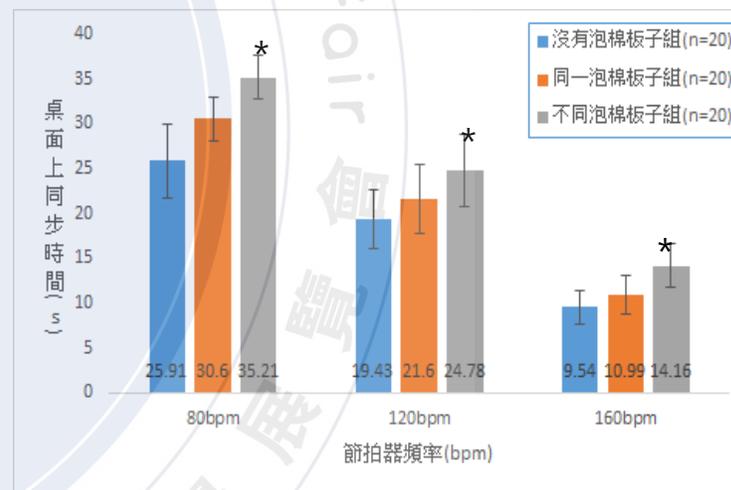
80bpm	水面	桌面
平均數	33.151	30.6085
變異數	8.152914737	6.044066053
觀察值個數	20	20
皮耳森相關係數	-0.069515016	
假設的均數差	0	
自由度	19	
t 統計	2.919047441	
P(T<=t) 單尾	0.004401088	
臨界值：單尾	1.729132812	
P(T<=t) 雙尾	0.008802175	
臨界值：雙尾	2.093024054	

►圖六

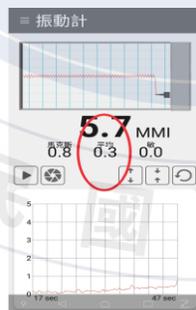
P值 < 0.05，兩組數據有顯著差異

# 研究結果

二、瞭解在桌面上的節拍器直接放在桌面(沒有泡棉板子)、放在同一泡棉板子或分別放在不同泡棉板子對於同步時間的影響



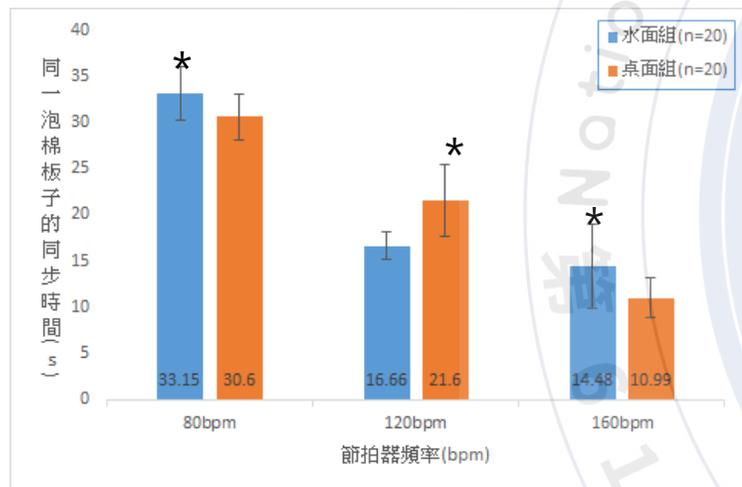
節拍器直接放在桌面上所需同步時間最短，在不同泡棉板子所需同步時間最長。



►圖七

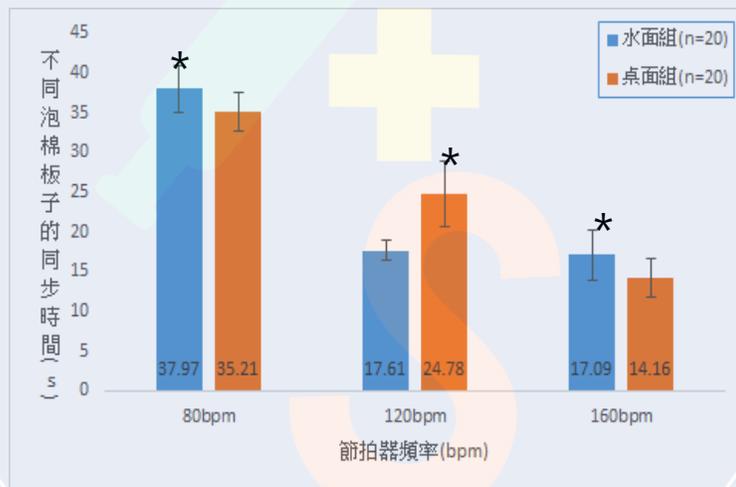
# 研究結果

一、瞭解節拍器在不同介質對於同步時間的影響(同一泡棉板子)



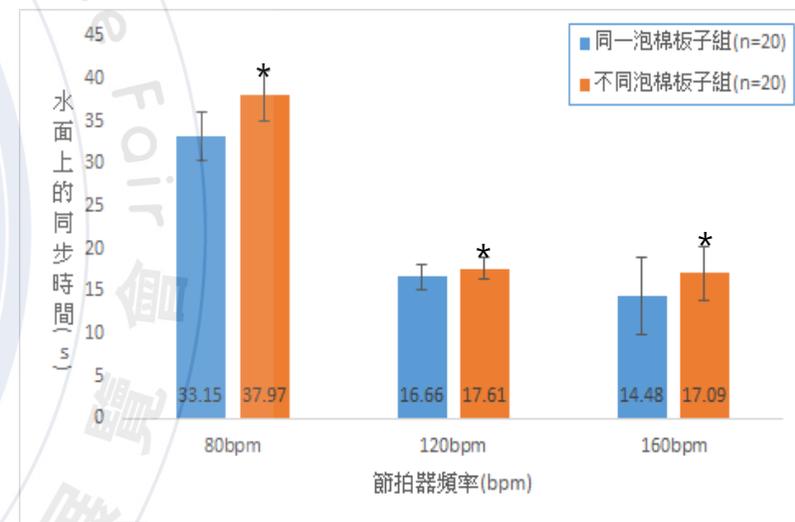
▲表一  
節拍器在80bpm與160bpm時，放置於水面的同步所需時間比放置於桌面長；而120bpm時放置於水面的同步所需時間比放置於桌面短，與其它的頻率結果不同。

二、瞭解節拍器在不同介質對於同步時間的影響(不同泡棉板子)



▲表二  
節拍器在80bpm與160bpm時，放置於水面的同步所需時間比放置於桌面長；而120bpm時放置於水面的同步所需時間比放置於桌面短，與其它的頻率結果不同。

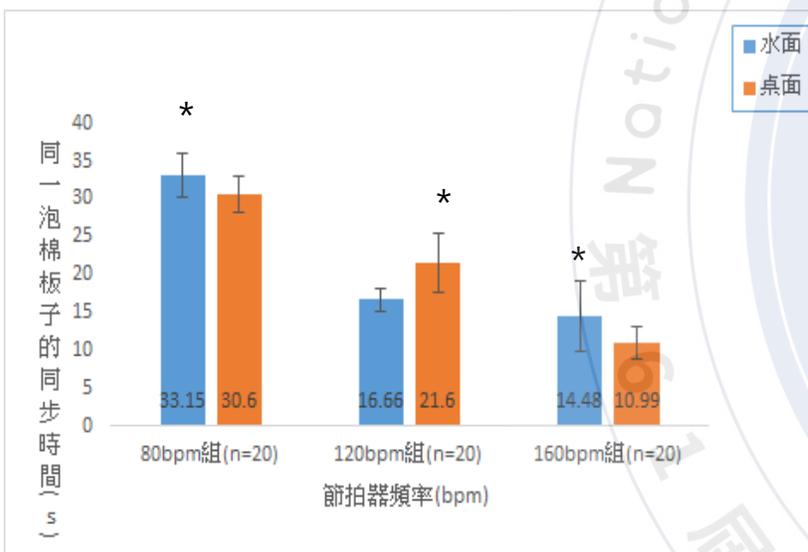
三、瞭解在水面上的節拍器在同一泡棉板子、分別在不同泡棉板子對於同步時間的影響



▲表四  
節拍器的頻率在80bpm、120bpm與160bpm時，放置於不同泡棉板子的同步所需時間比放置於同一泡棉板子長。

# 研究結果

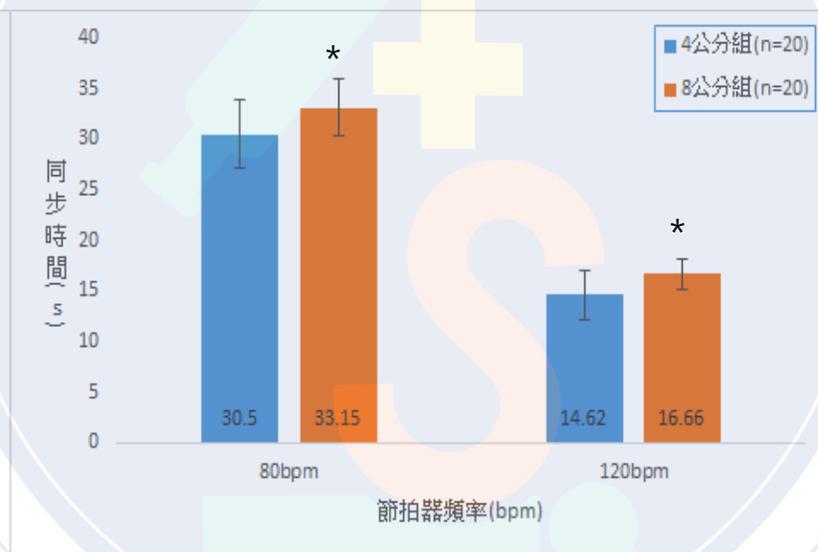
## 四、瞭解節拍器在不同頻率對於同步時間的影響



▲表五

振動頻率愈高，同步所需時間愈短。

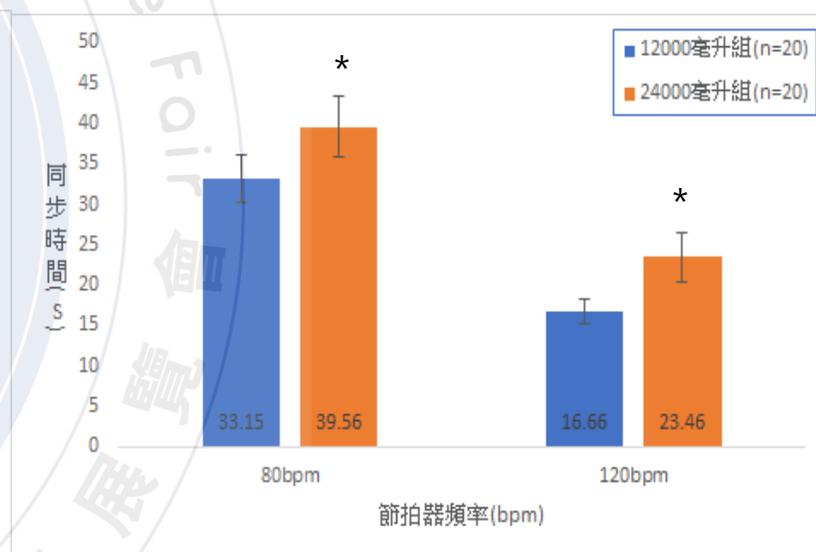
## 五、瞭解節拍器之間不同的距離對於同步時間的影響



▲表六

節拍器之間距離愈近，同步所需時間愈短。

## 六、瞭解節拍器在水面上，不同的水量對於同步時間的影響

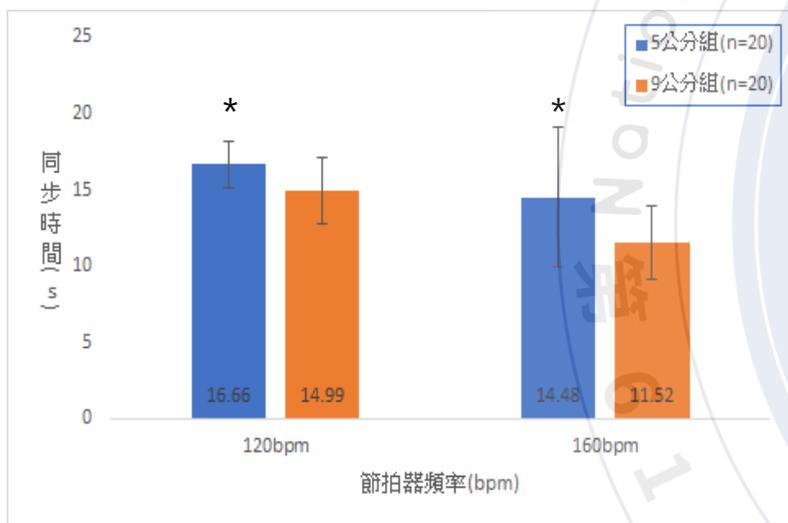


▲表七

水量愈多，同步所需時間愈長。

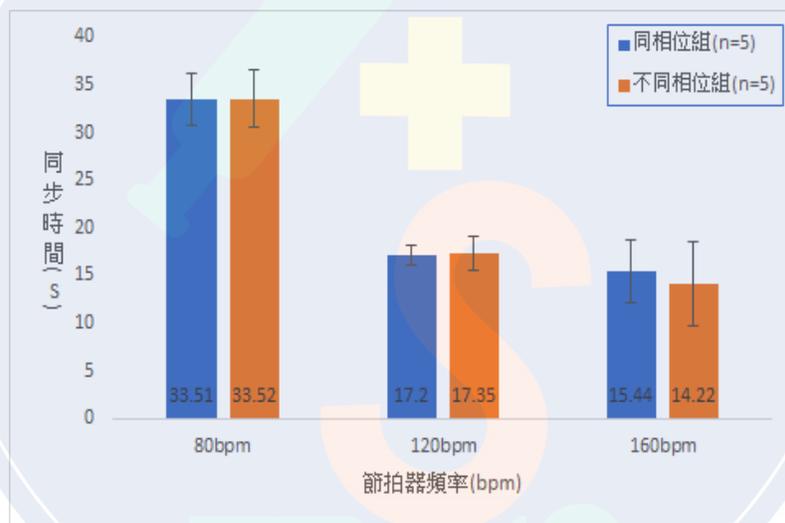
# 研究結果

七、瞭解節拍器在水面上，水的深度對於同步時間的影響



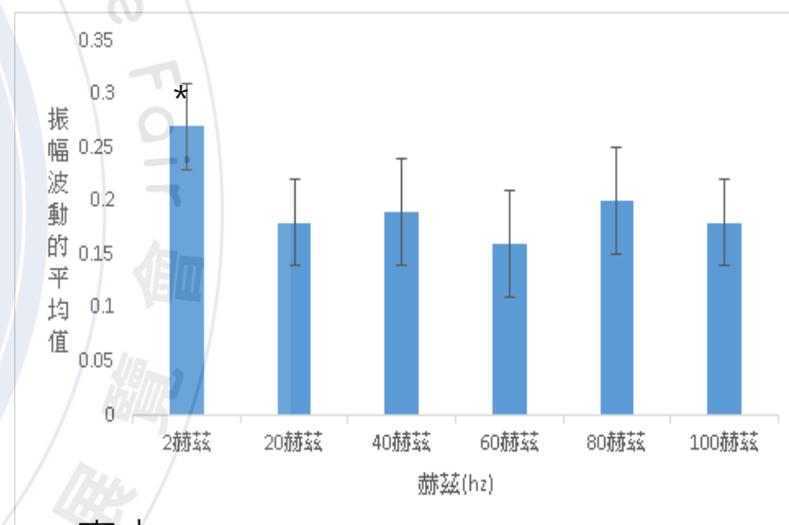
▲表八

八、瞭解節拍器在同相位、不同相位時，同步時間的差異



▲表九

九、改變振動體的振動頻率，觀察當振動頻率在120bpm，亦即2赫茲時，振幅是否比較大



▲表十

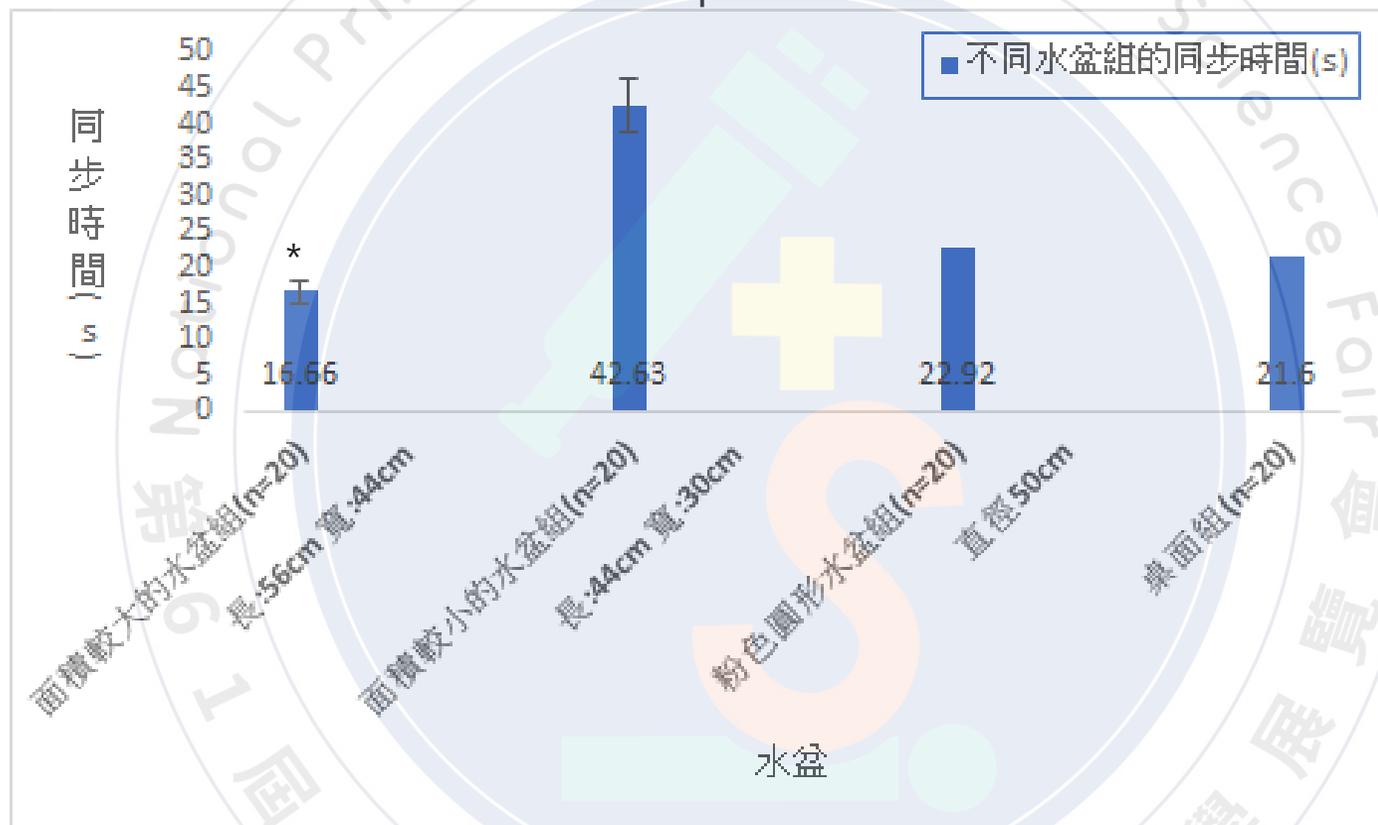
水深愈深，同步所需時間愈短。

達成同步時的相位皆對其同步所需時間沒有影響。

從實驗結果看出，振動體的振動頻率在2赫茲時，水面振幅的最大值和平均值均較振動體在其它振動頻率時大。

# 研究結果

十、改變容器表面積、容器形狀，觀察節拍器在120bpm時，在水面上是否仍比在桌面上快達成同步



► 表十一

當節拍器頻率為120bpm，水深皆為5公分時，使用面積56cm×44cm(面積較大)水盆時，節拍器在水面上比在桌面上快達成同步；但使用面積44cm×30cm(面積較小)水盆和直徑25cm的圓形水盆時，都是節拍器在桌面上比在水面上快達成同步。我們發現振動頻率為120bpm的節拍器，只有在面積為56cm×44cm水盆時，在水面上才會比在桌面上快達成同步。

# 討論

原本使用水的原因是因為利用水的振動傳遞「動量」來達成節拍器的同步，但實驗卻發現，在桌面上比在水面上快達成同步，可見達成同步是能量的傳遞，反而因水的阻尼震盪使同步時間變長。王栢村(2019)提到，阻尼是一種消耗能量的機制，一般材料本身都有「阻尼效應」。從微觀角度來說，可以想像一個材料構件，因為結構體的變形，使得材料分子之間有摩擦，而產生磨擦的能量損失，即為「阻尼效應」。[物體在水中受到的阻尼會比在空氣中大，因此節拍器在桌面上更快達成同步。](#)

我們在做實驗一到實驗九的時候發現，在不同板子的實驗中，因方型水盆內可讓節拍器浮動的範圍較小，所以常常產生泡棉板子相互碰撞的情況，造成我們需把實驗時，泡棉板子相互碰撞的數據刪除，並做更多次的實驗。在做實驗的過程中，我們試著將節拍器放在裝水的浴缸，發現節拍器不容易達成同步。[浴缸的表面積太大，節拍器傳遞的能量較容易分散出去，因此不易達成同步。](#)

[節拍器的同步所需時間:直接在桌面上 < 同一泡棉版子 < 不同泡棉板子](#)，因桌面結構較泡棉結構緊實，而泡棉板子沒有結合，傳遞能量的速度較慢。

[節拍器的頻率愈高，愈快達成同步](#)，因節拍器頻率愈高，週期愈短，所以愈容易耦合。

[節拍器之間距離愈短，愈快達成同步](#)。因節拍器之間的距離愈短，聲音傳遞時的距離也愈短。

[水深愈深，愈快達成同步](#)，因水深較深，表面水波波速較快。

# 討論

在實驗的過程中，我們驚訝地發現在120bpm時，節拍器在水面上竟然比在桌面上快達成同步，這和我們原本預測的結果不同。在80bpm和160bpm的實驗結果均為節拍器在桌面上比在水面上快達成同步；因此我們設計實驗九，實驗中進一步發現，在紅色方形水盆中，水深為5公分時，手機發出2赫茲的振動，測量出的振幅平均較其他頻率都還要大。我們推想造成120bpm時節拍器在水面上比在桌面上更快達成同步可能因為2赫茲的頻率造成共振。

我們設計實驗十，更換水盆的面積和形狀，水深同為5公分，測量節拍器頻率為120bpm時，達成同步的時間。結果顯示，只有在面積為55cm×44cm水盆中，在水面上比在桌面上快達成同步，因此我們推測不是共振的影響，而是在此時產生駐波，而造成節拍器在水面上比在桌面上快達成同步。國立臺灣大學普通物理實驗室提到，當彈簧兩端的距離為一定頻率振動時所產生的半波長的整數倍時，既滿足條件，就形成了穩定的駐波，可能造成能量的加強。但是駐波的產生和表面水波的速度及容器的長寬有關，所以更換容器的尺寸和形狀，就未必有相同的結果。

# 結論

- 一、在振動頻率為80bpm和160bpm時，節拍器在桌面上同步所需時間比在水面上短，但在120bpm時，節拍器在水面上的同步所需時間比在桌面上短。
- 二、節拍器在桌面上的同步所需時間:直接在桌面上 < 同一泡棉版子 < 不同泡棉板子。
- 三、在水面上時，節拍器放置在同一泡棉板子的同步所需時間比分別在不同泡棉板子短。
- 四、兩組節拍器的頻率愈高、距離愈短、同深度水量愈少、同水量深度愈深，愈快達成同步。
- 五、節拍器的相位對同步所需時間沒有影響。
- 六、在面積56cm×44cm的水盆中，水深為5公分時，手機發出2赫茲的振動，測量出的振幅平均值最大。而我們推測是因為產生駐波造成的結果。
- 七、改變水盆的面積和形狀後，眾多實驗中，只有在面積56cm×44cm的水盆中，水深為5公分時，節拍器在水面上比在桌面上快達成同步。

## 參考文獻

- 一、陳姿妤、蕭瑋均。神奇的殊途「同」歸—探討不同變因對於節拍器達到同步時間的影響。中華民國第56屆中小學科學展覽會。
- 二、朱慶琪、杜宗勳(2016)。讓我們一起搖擺! 擺的同步現象。國立中央大學科學教育中心。
- 三、李忠義、蔡志申(2011)。共振 ( Resonance ) 。科學Online。高瞻自然科學教學資源平台。
- 四、王栢村(2019)。《振動噪音科普專欄》什麼是「阻尼」 ( DAMPING ) ? 。振動噪音產學技術聯盟。
- 五、國立台灣大學普通物理實驗室。線形彈簧駐波共振。