

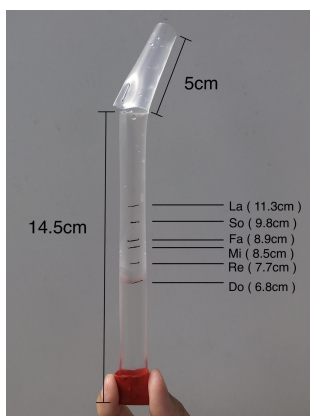
2022年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中(職)組 成果報告表單

| |
|---|
| 題目名稱：水笛 |
| 一、摘要 |
| 不同的樂器都有其不同的發聲原理，弦樂器是透過弦的相互摩擦，打擊樂器則是透過敲打樂器本體進行發聲，而管樂是將氣體注入管中使其震動發聲，此次主題我們藉由水笛探討管樂的發聲原理，旨在以水笛探討水位和頻率間的相關性，按壓位置為操作變因使得水位不同，造成空氣柱長短的變化，然後以Spectroid和Goldwave兩種軟體分析頻率及波型，最後吹奏出音調為Do~La的樂曲。此外，也另外以2種不同黏稠度的液體，探討不同分子濃度是否會影響音調、波型等，作為延伸實驗。經由此實驗我們發現，當水位愈高時，頻率愈大，然而更換不同濃稠度的溶液時，頻率並沒有明顯的變動。 |
| 二、探究題目與動機 |
| 在物理探究實作中，我們從水杯音樂的實驗觀察到當敲擊不同水位高度的玻璃杯時會產生不同音調，發現是由於玻璃杯中的水振動所導致而成的，因此引發了我們的好奇與聯想，若改以吹奏的方式會有何差別？發聲原理是否一樣？不同溶液會有所不同？經過我們蒐集資料、小組討論，分析與篩選，決定透過隨處可見的物品，製作出能發出美妙樂音的樂器，以水笛作為我們本次的主題並探討其關聯。 |
| 三、探究目的與假設 |
| 目的(一)利用Spectroid、Goldwave兩種軟體去探討水位高低與頻率間的關係 目的(二)更換不同黏稠度的溶液，觀察濃稠度與頻率之間的關係 目的(三)以自製樂器吹奏出完整的樂曲 假設(一)水位越低，頻率越低，隨著水位越高，頻率越高 假設(二)愈濃稠(雜質多)的液體頻率愈低，而稀薄(雜質少)的液體頻率愈高 |
| 四、探究方法與驗證步驟 |
| (一) 研究步驟 1.將一支粗吸管裁剪成吹嘴(5cm)、管身(14.5cm)，製成水笛如圖(一)。 2.每單位增加水量並使用調音器找到音高，以Spectroid軟體測量各音高的頻率，再利用Google試算表製成圖表分析關係。 3.改以Goldwave軟體觀察波形與波長，由周期換算頻率。 4.將溶液改成優酪乳、番茄醬，以Spectroid軟體測量其頻率，再用Google試算表製成圖表分 |

析。

5.演奏出完整樂曲並錄製。



圖一：水笛

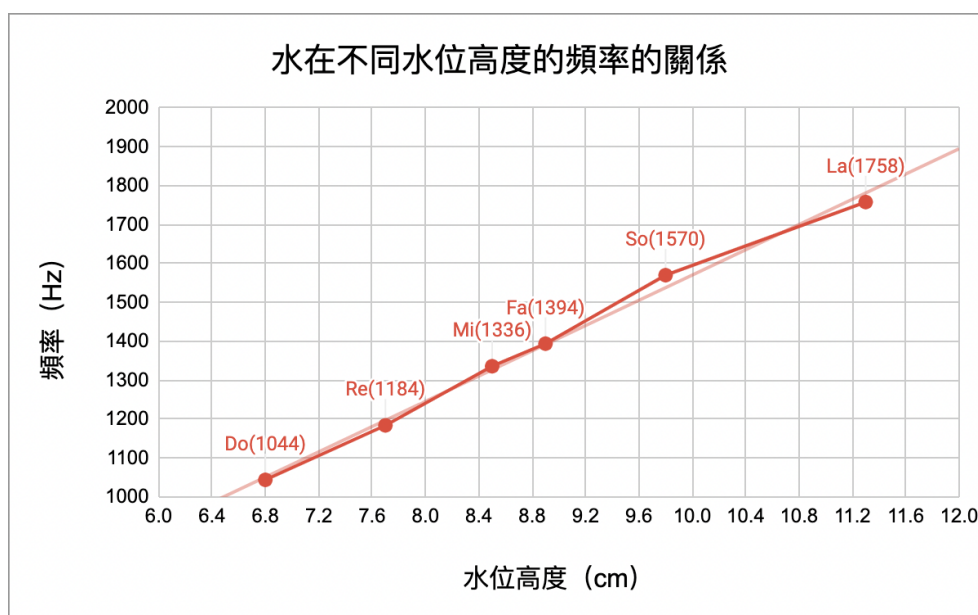
(二)實驗數據

1.實驗一：探討不同水位高度與頻率間的關係

(1)使用Spectroid軟體測量：

a.水

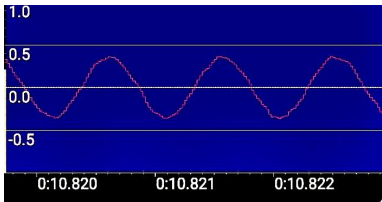
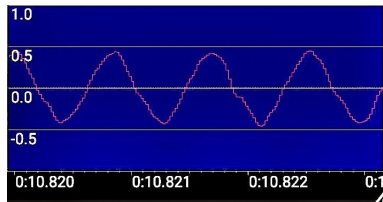
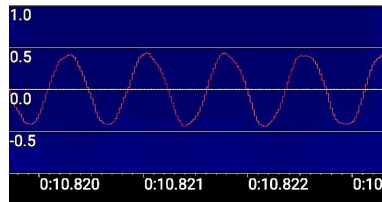
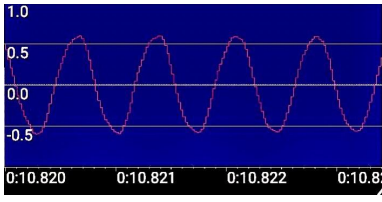
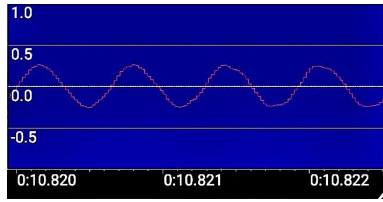
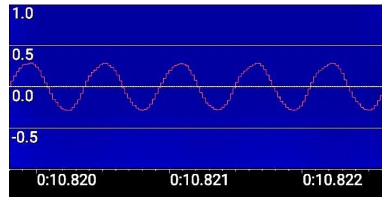
| | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| 水位高度(cm) | 6.8 | 7.7 | 8.5 | 8.9 | 9.8 | 11.3 |
| 音調 | Do | Re | Mi | Fa | So | La |
| 頻率(Hz) | 1044 | 1184 | 1336 | 1394 | 1570 | 1758 |



圖二：水不同音高的頻率與水位高度關係數據圖

當吹奏時，隨著吸管內的水位越高（空氣柱越短），頻率也隨之變高，發現與先前做過的敲擊不同水位高度的實驗結果相反（水位越低 頻率越高）。

(2)Goldwave軟體進行驗證：

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Do : $1 \div (10.8218 - 10.82086)$ $\doteq 1064(\text{Hz})$ | Re : $1 \div (10.82189 - 10.82104)$ $\doteq 1176(\text{Hz})$ | Mi : $1 \div (10.822 - 10.82124)$ $\doteq 1316(\text{Hz})$ |
|  |  |  |
| Fa : $1 \div (10.8219 - 10.82118)$ $\doteq 1389(\text{Hz})$ | So : $1 \div (10.82192 - 10.82128)$ $\doteq 1563(\text{Hz})$ | La : $1 \div (10.82207 - 10.8215)$ $\doteq 1754(\text{Hz})$ |

上表6張圖可觀察到由Goldwave軟體所製成水的Do~La的波型，呈現波浪狀有規律性。並且算出的頻率與Spectroid軟體作比較略有差異。由圖中橫軸的週期倒數可換算成頻率(1/週期=頻率)。將空氣溫度代入聲速理論值 $V=331+0.6T$ 可導出空氣中的聲速，再由已知頻率、聲速帶入公式： $V=f \times \lambda$ 即可得出該音調之波長。

※實驗環境溫度:26°C 聲速: $331+0.6 \times 26=347\text{m/s}$

| 音階 | n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|----|------|-----------------|------|-----------------|------|------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|
| | | Do | Do [#] | Re | Re [#] | Mi | Fa | Fa [#] | So | So [#] | La | La [#] | Si |
| 低音 | 頻率 | 262 | 277 | 294 | 311 | 330 | 349 | 370 | 392 | 415 | 440 | 464 | 494 |
| | 簡譜 | 1̇ | | 2̇ | | 3̇ | 4̇ | | 5̇ | | 6̇ | | 7̇ |
| 中音 | 頻率 | 523 | 554 | 587 | 622 | 659 | 698 | 740 | 784 | 831 | 880 | 932 | 988 |
| | 簡譜 | 1 | | 2 | | 3 | 4 | | 5 | | 6 | | 7 |
| 高音 | 頻率 | 1046 | 1109 | 1175 | 1245 | 1318 | 1397 | 1480 | 1568 | 1661 | 1760 | 1865 | 1976 |
| | 簡譜 | i̇ | | 2̇ | | 3̇ | 4̇ | | 5̇ | | 6̇ | | 7̇ |

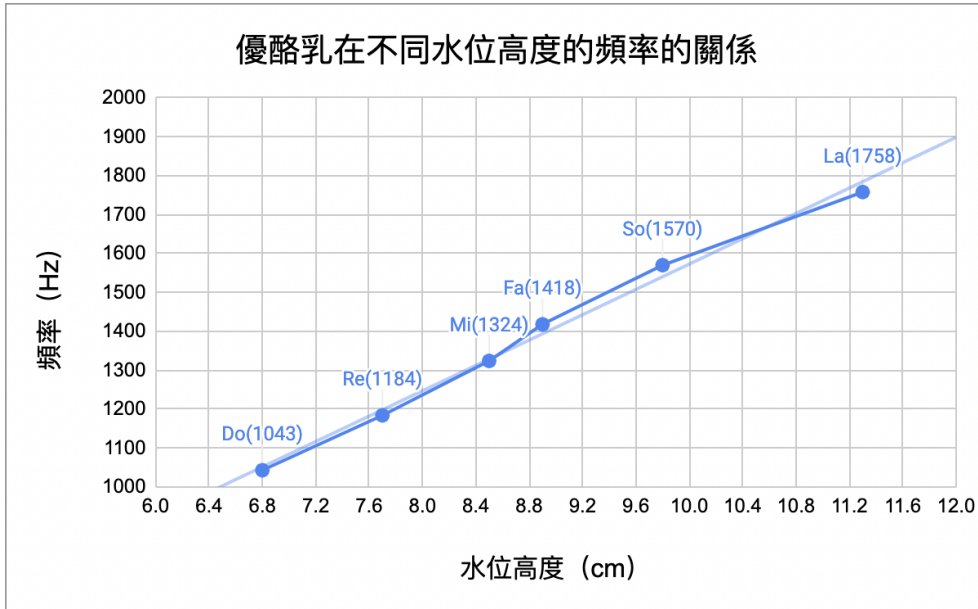
圖三:C調音階 頻率對照表

從實驗數據中所測得的水笛頻率，對應到鋼琴的頻率近似為C調高音音階

2. 實驗二：更換不同溶液，探討溶液與發聲頻率的關係(使用Spectroid軟體測量)

(1) 優酪乳

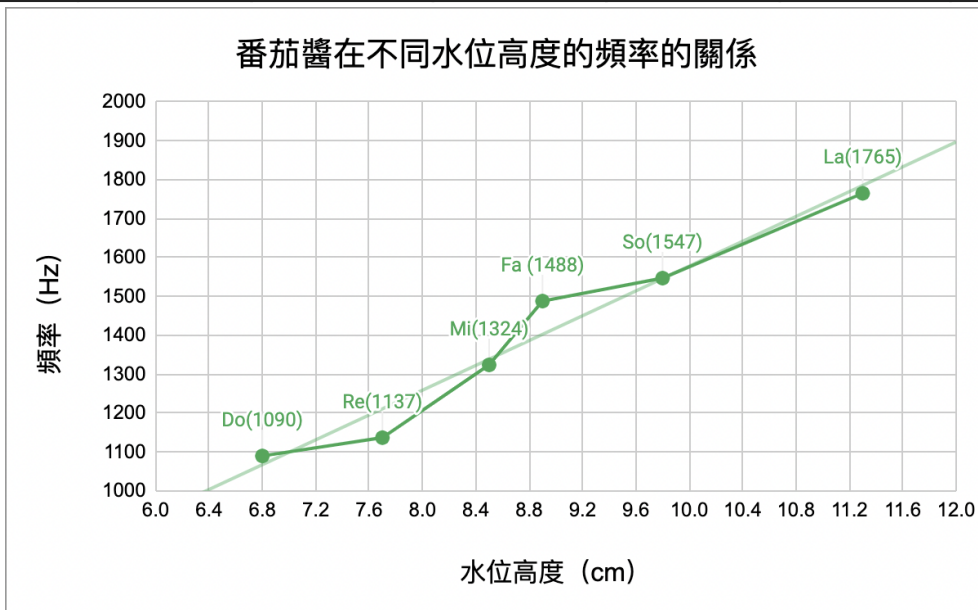
| | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| 水位高度(cm) | 6.8 | 7.7 | 8.5 | 8.9 | 9.8 | 11.3 |
| 音調 | Do | Re | Mi | Fa | So | La |
| 頻率(Hz) | 1043 | 1184 | 1324 | 1418 | 1570 | 1758 |



圖四：優酪乳不同音高的頻率與水位高度關係數據圖

(2) 番茄醬

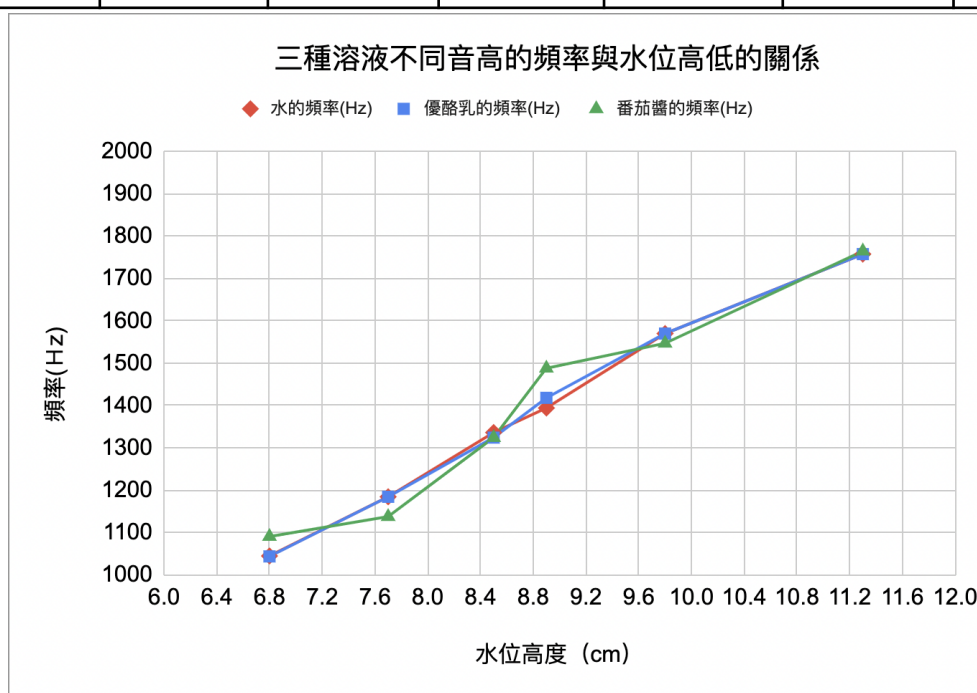
| | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| 水位高度(cm) | 6.8 | 7.7 | 8.5 | 8.9 | 9.8 | 11.3 |
| 音調 | Do | Re | Mi | Fa | So | La |
| 頻率(Hz) | 1090 | 1137 | 1324 | 1488 | 1547 | 1765 |



圖五：番茄醬不同音高的頻率與水位高度關係數據圖

(3)三種不同溶液

| | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| 水位高度(cm) | 6.8 | 7.7 | 8.5 | 8.9 | 9.8 | 11.3 |
| 音調 | Do | Re | Mi | Fa | So | La |
| 水的頻率(Hz) | 1044 | 1184 | 1336 | 1394 | 1570 | 1758 |
| 優酪乳頻率(Hz) | 1043 | 1184 | 1324 | 1418 | 1570 | 1758 |
| 番茄醬頻率(Hz) | 1090 | 1137 | 1324 | 1488 | 1547 | 1765 |



圖六：三種溶液不同音高的頻率與水位高度關係數據圖

從上面三個折線圖都可以發現，頻率會隨著液體位置增高而有所上升，且按壓不同溶液相同位置時，所測得的頻率幾乎相同，推測頻率的高低與溶液濃稠度並無直接關係，只與液體高度、空氣柱的長短有關，故與原先預測的假設有落差，可能是使用的App軟體解析度不夠，也許未來透過更精密的儀器，如較靈敏地的感測器與土波器，將可顯示其差異，證實我們的推測。

(四)實驗分析

- 1.由實驗數據發現，當按壓力道越大，水位上升愈高，管內震動的空氣柱愈短，產生駐波的波長較短，因此聲音的頻率越高；反之聲音的頻率越低。
- 2.以Spectroid、Goldwave兩種軟體，測量不同水位與聲音頻率的關係，發現兩種軟體測出的數據，雖然略有差異(相差數個Hz)，但兩者所得到的結論確是一致，即水位愈高，得到頻率愈高的趨勢，相信未來精密儀器也可證實我們的推論。

3.透過折線圖發現水位越高，頻率隨之越高，更換不同溶液後，頻率並無明顯變化。

4.由圖六可知，番茄醬所測得Re和Fa的頻率與另外兩種有些微落差，推測是因為溶液的分子引力不同所造成。

五、結論與生活應用

透過實驗發現，水位越高(空氣柱越短)，頻率越高。而在延伸實驗中我們更換不同溶液，並測量相同位置的頻率，發現頻率並無明顯差別，故推測溶液濃稠度與頻率並無直接關聯，只與空氣柱長短有關，所以延伸實驗與一開始的假設不同。

其實大部分的管樂器，都是透過空氣柱長短變化改變音調，不過樂器是由較專門的材料製成，所以音色比較好，但是生活中許多看似平凡的物品，經過稍微的組裝或裁剪，都有可能製成簡易樂器，只要發揮創造力就可以不花半毛錢，製成既有趣又隱藏許多科學原理的樂器！

參考資料

1. 國立科學工藝博物館水笛製作科學學習中心水笛製作影片：
<https://www.youtube.com/watch?v=5TsNtnx86zo>
2. 空氣柱共鳴實驗：
<https://www.youtube.com/watch?v=5TsNtnx86zo>
3. 音樂之頻率與音符對照表：
<https://mcusoft.files.wordpress.com/2015/04/x.png>