

2024年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

探討玻璃管柱液體性質對管柱的發聲關係

一、摘要

「不同水柱高度會影響敲擊玻璃管的聲音頻率」是大家眾所皆知的科學現象，不過到底有蛇麼物理機制造成此現象的發生，卻很少有人討論其內容，再者若加入液體可以造成玻璃管聲音出現變化，那是否我們能透過加入不同液體製造出不同的聲音頻率，並找出頻率與液體種類的關係呢？為了瞭解其中的物理機制，我們利用改變敲擊位置、力道、水柱體積、鹽水密度與糖水密度進行實驗，了解甚麼變因會影響聲音頻率，最終我們發現僅有水柱高低影響聲音頻率，敲擊位置、敲擊力道與液體密度在本次實驗中影響不顯著。

二、探究題目與動機

在小學的自然課中，我們有學到把水加到玻璃瓶後敲擊會發出不同的音高，但是當時老師並沒有非常詳細的解說原因，這令我們非常好奇敲出來的聲音到底是哪裡發出來的？又為甚麼水位高低會影響聲音頻率？有沒有其他性質會影響聲音頻率？若液體會影響聲音頻率，那是否可以用聲音反推液體的組成呢？在跟老師一番討論過後，我們決定討論水位高低、敲擊位置與力道、液體密度與種類如何影響音頻，希望能找出其中關係。

三、探究目的與假設

(一) 探討敲擊試管力道與聲音頻率之間的關係

假設:敲擊力道僅影響聲音振幅，因此力道變大時，聲音的頻率會維持一定。

(二) 探討敲擊試管位置與聲音頻率之影響

假設:敲擊越低的位置音頻會越低。

(三) 探討水柱體積與聲音頻率之影響

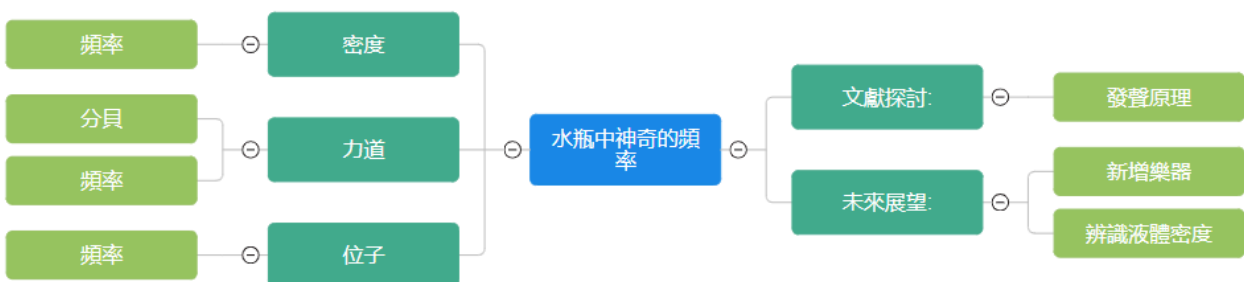
假設:水量越多，聲音頻率越低。

(四) 探討鹽水與糖水液體密度與聲音頻率之間的關係

假設:液體密度越高，聲音頻率越低

四、探究方法與驗證步驟

(一) 研究架構



圖一

(二)實驗原理

1. 聲波

物體會發出聲音是由於物體經由外力導致震盪產生，其震盪形式多為簡諧震盪，並會因為其震盪方式不同導致不同的聲音形貌，譬如震動的波型形成不同的音色、頻率導致不同音高、震幅造成不同的聲音大小.....等。在本次實驗中，我們重現國小實驗中的不同水高敲擊聲音的實驗，不同網站裡有兩派對於該實驗的解釋：玻璃管有水影響震盪與水本身發出聲音兩種，而由於在本實驗中僅改變了水位高低，因此我們認為是水改變了玻璃管的震動情形，導致音頻產生變化。

2. 阻尼震盪

在玻璃管中加入不同水高會導致玻璃管的震動受到阻礙，其原本的簡諧震盪模式會變成阻尼震盪，其中水即為震盪運動的阻尼。阻尼震盪的簡單形式可以表示為下式一。

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \lambda \left(\frac{dx}{dt} \right) + \omega_0^2 x = 0 \quad \text{式一}$$

其中k為彈性係數，x為震幅，λ為阻尼係數，ω為角頻率。由於本次實驗的震盪形式為次阻尼震盪，因此其方程式解為以下式二，而在本式中會影響聲音頻率的項次為以下式三。

$$x(t) = x_0 e^{-\frac{\lambda t}{2}} \cos(\omega_a t + \delta) \quad \text{式二}$$

$$\omega_a = \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{\lambda}{2m} \right)^2} \quad \text{式三}$$

在式三中可以發現ω會控制聲音頻率大小，因此當阻尼係數λ變大時，會導致音頻降低，所以若在實驗中增加水量即會導致阻尼的程度增加，近而造成水量越多音頻越低的現象，而若有其他變因導致聲音頻率變化，皆可能是改變了溶液的阻尼係數，導致結果的變化。

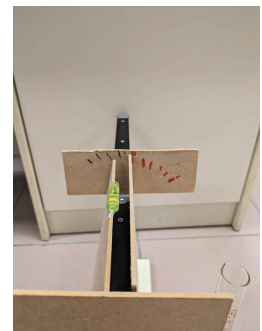
(三)研究步驟

1. 探討敲擊力道與敲擊位置對音頻的影響

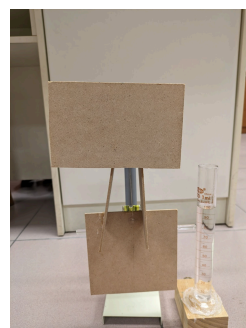
- (1)清洗玻璃量筒，注入100ml的液體，如圖二所示
- (2)在敲擊器旁放置量筒後，確保兩個水平儀都水平，玻璃棒對準量筒80ml的水位刻度，如圖三與圖四
- (3)將側邊木板上繪製每十度一個線做為角度依據後，將板子與玻璃棒向後拉至30度位置，如圖五所示
- (4)放手並讓玻璃棒敲到量筒
- (5)使用Phyphox內的Audio Spectrum紀錄聲音頻率
- (6)重複步驟2~5，並改變敲擊位置60、70、80、90、100ml的刻度位置
- (7)重複步驟2~5，並改變敲擊角度10、20、30、40、50度，以改變敲擊力道



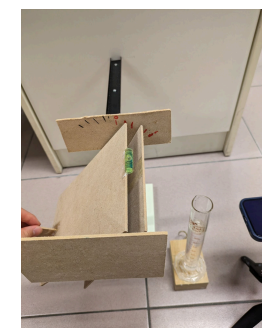
圖二



圖三



圖四



圖五

2. 探討水柱體積對音頻的影響

- (1) 重複實驗一步驟1~5
- (2) 改變水的容量90ml, 80ml, 70ml, 60ml，以改變水柱體積

3. 探討鹽水密度對音頻的影響:

- (1) 在量筒內裝100ml 的水
- (2) 放入鹽水密度計
- (3) 觀察水平面指到鹽度計的刻度，如圖六所示
- (4) 使用刮勺加入鹽巴，使其混合均勻，並使鹽度調整至鹽度2%、4%、6%、8%、10%、12%、14%、16%、18%、20%與22%
- (5) 利用鹽度密度轉換表(圖八)，將所得鹽度轉換成鹽水密度
- (6) 將配置好之鹽水取80ml，並重複實驗一步驟2~5

4. 探討糖水密度對音頻的影響

- (1) 調配出重量百分濃度為10%、20%、30%、40%、50% 糖水各100ml
- (2) 取各濃度糖水80ml後，測量糖水質量並換算成糖水密度
- (3) 重複實驗一步驟2~5



圖六



圖七

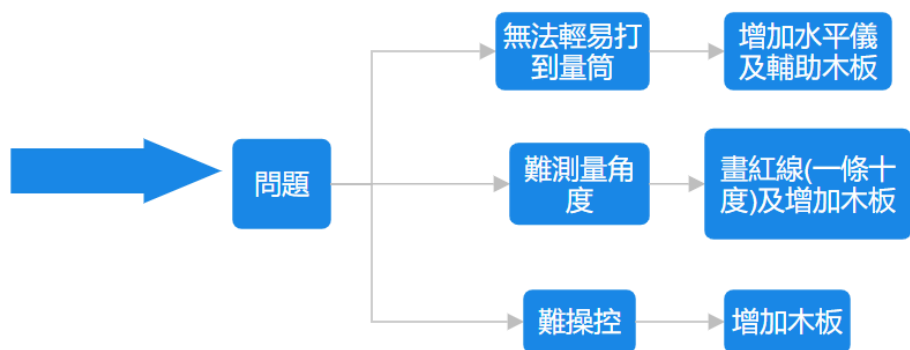
Density (g/cm ³)	NaCl concentration		
	%	g/l	Mol/l
1.005	1	10.1	0.17
1.013	2	20.3	0.35
1.02	3	30.6	0.52
1.027	4	41.1	0.7
1.034	5	51.7	0.88
1.041	6	62.5	1.07
1.043	7	73.4	1.26
1.056	8	84.5	1.44
1.063	9	95.6	1.63
1.071	10	107.1	1.83
1.078	11	118	2.02
1.086	12	130	2.22
1.093	13	142	2.43
1.101	14	154	2.63
1.109	15	166	2.84
1.116	16	179	3.06
1.124	17	191	3.27
1.132	18	204	3.48
1.14	19	217	3.71
1.148	20	230	3.93
1.156	21	243	4.15
1.164	22	256	4.38
1.172	23	270	4.61
1.18	24	283	4.84
1.189	25	297	5.08
1.197	26	311	5.32

圖八

(六) 實驗遇到的困難及解決方法



敲擊器第一版

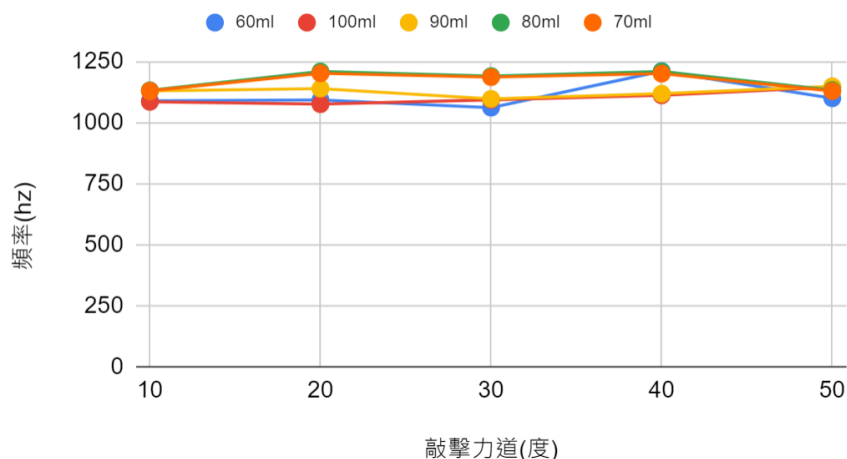


圖九

(七)數據分析與討論

1. 探討敲擊試管力道與聲音頻率之間的關係

敲擊力道對頻率的影響

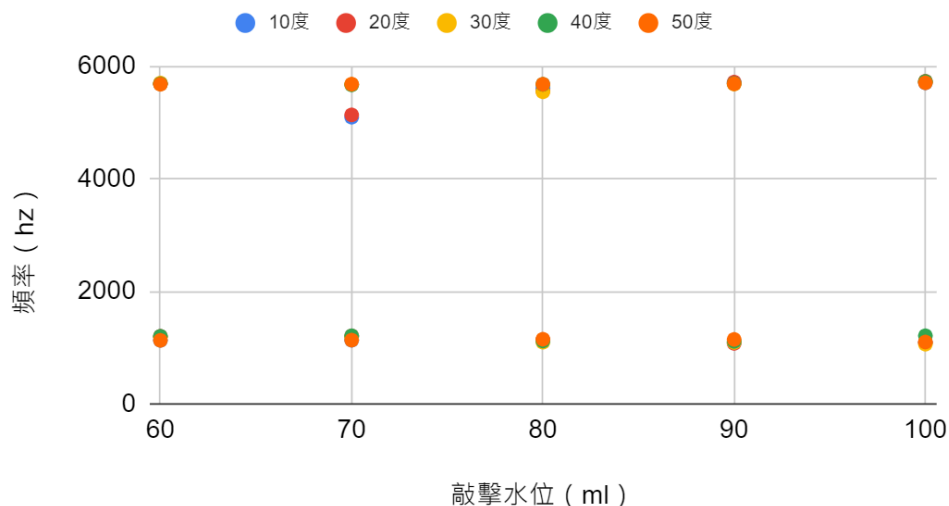


圖十

從圖十中，可看到不論何種敲擊力道在不同敲擊位置時頻率幾乎成一直線相當接近，由此結果我們可以推論擊力道不影響管柱頻率，此與我們原理相符，敲擊力道僅會造成震幅的改變進而影響音量大小，但由於敲擊行為本身不影響器材本體結構與阻尼結構，所以震盪系統的阻尼係數不改變，因此震盪頻率不變。

2. 探討敲擊試管位置與聲音頻率之影響

敲擊位置對頻率的影響關係圖

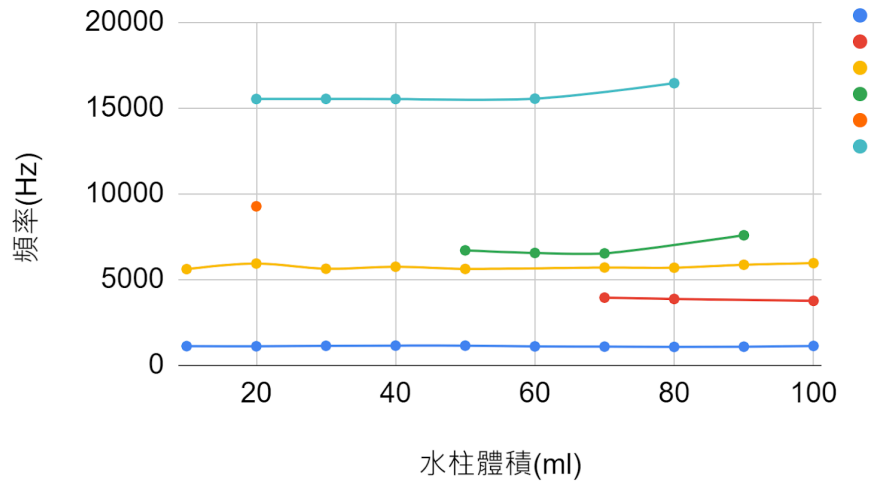


圖十一

從圖十一中，可看到在敲擊角度固定下，不同敲擊位置產生的聲音頻率幾乎為一條線，譬如說敲擊試管60ml的位置，不管角度的大小，五個點幾乎集中在同一個頻率，即使在同一敲擊水位下會同時產生兩個聲音頻率，但各敲擊水位皆有兩聲音頻率且頻率相近，表示敲擊位置不影響發生體的震動結果，由此便可看出敲擊位置對頻率的影響，也就是敲擊位置並不影響聲音的頻率。

3. 探討水柱體積與聲音頻率之影響

不同水柱體積敲擊頻率關係圖

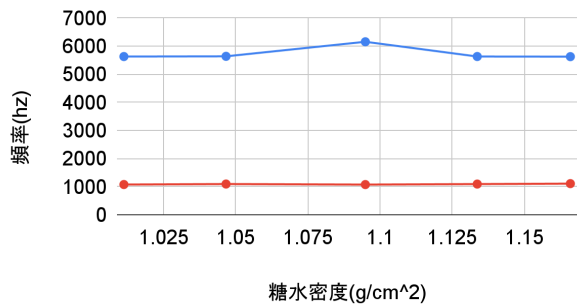


圖十二

從圖十二中，我們可以發現在調整不同水柱體積的實驗下會有多個頻率的音頻產生，其中在藍色與黃色頻率區域由於不受水柱體積影響，我們猜測其可能是由實驗器材本身的敲擊聲音，並非由玻璃管震盪形成，然而，其他顏色分布頻率則隨著水柱體積有所變化，當水柱體積增加時，其頻率分布逐漸從高頻逐漸往低頻分布，此現象可歸因於當水柱體積增加時會影響阻尼係數，使阻尼係數增加，導致玻璃管柱發出的聲音頻率降低。

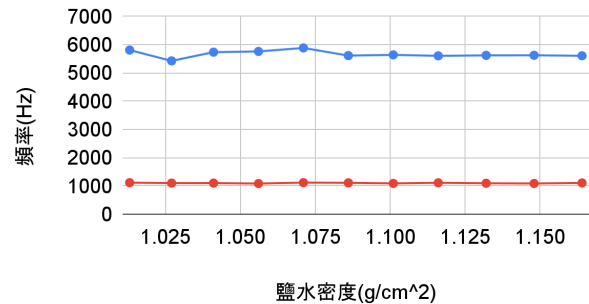
4. 探討鹽水與糖水液體密度與聲音頻率之間的關係

糖水密度對音頻的影響



圖十三

鹽水密度對音頻的影響



圖十四

從圖十三與圖十四中，我們可以發現不論改變鹽水密度或是糖水密度，兩著的頻率分布皆在接近6000赫茲與1000赫茲左右，並無明顯變化，這可能顯示液體密度不影響聲音頻率，這與我們設想的實驗結果不同，起初我們認為當液體密度越大，會導致阻尼係數增加，進而造成聲音頻率降低，但在本次實驗中並無此現象，我們猜想是因為本次的鹽水密度或糖水密度變化小，不足以大幅度的影響阻尼係數，因此造成聲音頻率變化小，不易觀測。

五、結論與生活應用

(一) 結論

1. 探討敲擊試管力道與聲音頻率之間的關係: 敲擊力道不影響聲音頻率。
2. 探討敲擊試管位置與聲音頻率之影響: 敲擊水位不影響聲音頻率
3. 探討水柱體積與聲音頻率之影響: 水柱體積的增加會導致聲音頻率降低。
4. 探討鹽水與糖水液體密度與聲音頻率之間的關係: 不管是糖水還是鹽水的密度都不會影響到聲音頻率的大小。

(二) 未來展望與生活應用

在我們的實驗中，我們決定測量量筒中間的位子的頻率，這可能導致測量時頻率變化無法被精準量測，由於音樂產業中的所有管樂器在管頂部附近的聲音品質最好，因此將手機放在管上可以提高錄製的聲音品質。

我們的實驗數據可用於音樂領域，根據實驗收集的數據創建新的樂器，這為創意樂器世界增添了更多內容。此外，我們希望我們的結果可以透過測試頻率來識別容器內液體的密度。

參考資料

蕭詠儀,蕭詠儀.叮叮噹—圓筒狀玻璃杯振動聲音之研究.

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/052301.pdf>

過阻尼,欠阻尼,臨界阻尼.科學Online.(2021,October6).

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=59534>

清華大學.力學振盪. (n.d.).

[http://w3.phys.nthu.edu.tw/~exphy/Download/ex07v2.pdf\(n.d.\)](http://w3.phys.nthu.edu.tw/~exphy/Download/ex07v2.pdf(n.d.)).