

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱： **The Sound of Temperature**

一、摘要：

本研究由探討日常生活中倒冷水、熱水之聲音差異起始。探討液體溫度、黏度、密度與其傾倒、敲擊時產生的聲音之關聯。發現傾倒時的聲音頻率（高頻聲音和泛音的音量），溫度高的液體高於溫度低的液體。初始推測，可能是溫度改變導致「黏度」與「密度」改變，進而影響聲音頻率，經實驗後，發現「黏度」為主要影響的因素。黏度為 3 cP 以下時，黏度越高，頻率越低；黏度為 3 cP 以上時，黏度越高，頻率越高。

二、探究題目與動機

我們曾在倒水的時候，發現倒熱水與冷水時產生的聲音有些不同，但是從來沒有想過要深究。上了國中後，老師曾教過聲音三要素：振幅、頻率、波形。剛好看到 Youtube 上用聲音分辨冷、熱水的影片。於是我們便想深入探索：所謂的聲音不同是哪一個要素的不同？溫度是藉由何種物理性質去影響聲音要素？於是我們便著手開始研究溫度與聲音的關聯，試著找出影響傾倒液體時產生聲音的變化的原因。

三、探究目的與假設

探究假設：

1. 聲音三要素：八年級時，我們曾學過聲音三要素：響度（振幅）、音調（頻率）、音色（波形）。
而在聆聽倒熱、冷水產生的聲音時，感覺聲音的高低有所變化，因此我們推測冷熱水聲音的不同為聲音的「頻率」。

2. 影響聲音的因素：由於溫度的不同會影響其他的物理性質，根據所查詢的資料與自己的推論，我們認為溫度所造成的「黏度」或「密度」差異可能會影響倒液體時產生的聲音，為了驗證此事，我們列出以下目的。

探究目的：

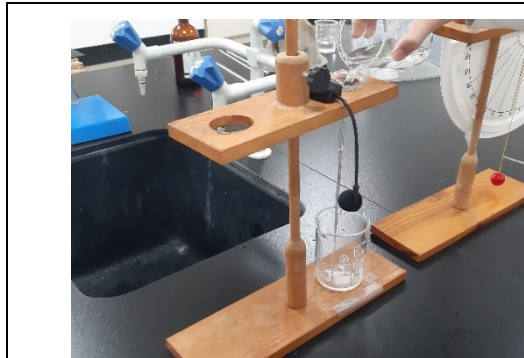
1. 查詢有關液體的資料，並找出可能影響聲音的條件。
2. 傾倒水，在不同溫度下產生聲音的變化。
3. 傾倒重量百分濃度 25% 的食鹽水，在不同溫度下產生聲音的差異。
4. 傾倒重量百分濃度 20% 的甘油水溶液，在不同溫度下產生聲音的差異。
5. 敲擊裝水的燒杯，在不同溫度下產生聲音的差異。
6. 敲擊裝 10°C 時的飽和食鹽水（重量百分濃度 25% 的食鹽水）的燒杯，在不同溫度下產生聲音的差異。
7. 敲擊裝重量百分濃度 20% 的甘油水溶液的燒杯，在不同溫度下產生聲音的差異。
8. 傾倒相同黏度但不同種類的液體所產生的聲音之差異。
9. 傾倒不同密度的液體所產生的聲音之差異。

四、探究方法與驗證步驟

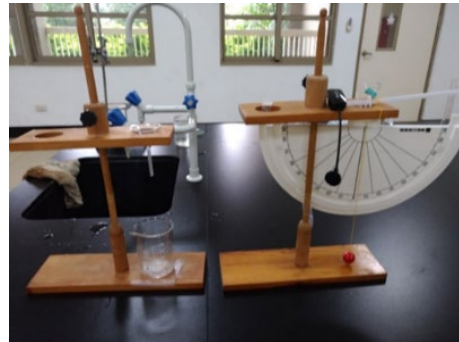
探究方法：

1. 實驗的方式：將調溫完的水保持滿水位經過漏斗滴入燒杯中，拍下過程並使用麥克風錄製聲音，存到電腦中。如圖（一）。

圖（二）左邊為倒水的裝置，圖（二）右為敲擊的裝置。



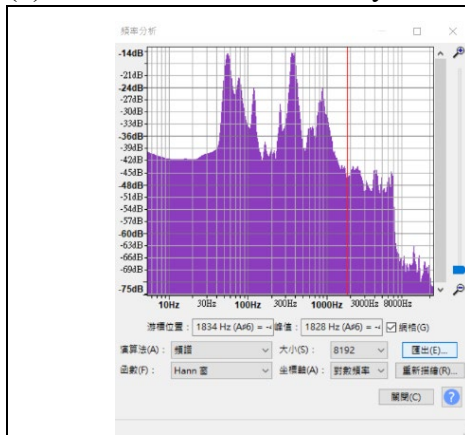
圖（一）



圖（二）

2. 由於需要分析產出的聲音差異，首先需要確立統一的方法用來分析聲音。我們利用免費的音樂剪輯與聲音分析軟體 Audacity 及 Excel 進行分析，步驟如下：

(1) 錄製聲音，以 Audacity 內建的頻譜分析功能輸出頻率與響度的數據。



圖（三）

頻率 (Hz)	強度 (dB)
10.766602	-37.794476
21.533203	-38.397976
32.299805	-36.533009
43.066406	-22.747461
53.833008	-15.247996
64.599609	-18.456011
75.366211	-20.379873
86.132812	-22.743483
96.899414	-28.759872
107.666016	-27.441929
118.432617	-23.258753
129.199219	-27.398336
139.965820	-35.396015
150.732422	-37.259209
161.499023	-35.520348
172.265625	-35.777943
183.032227	-37.273270
193.798828	-36.772163
204.565430	-36.674122
215.332031	-37.130000

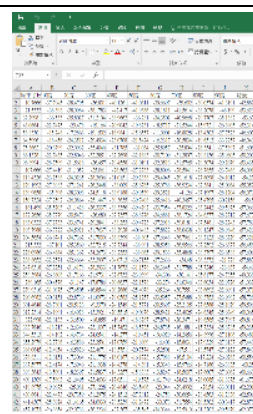
圖（四）

(2) 開啟 Excel，輸入剛才輸出的數據，圖（五）。

(3) 以對數刻度為基準，繪製頻率與響度的關係圖。圖（六）

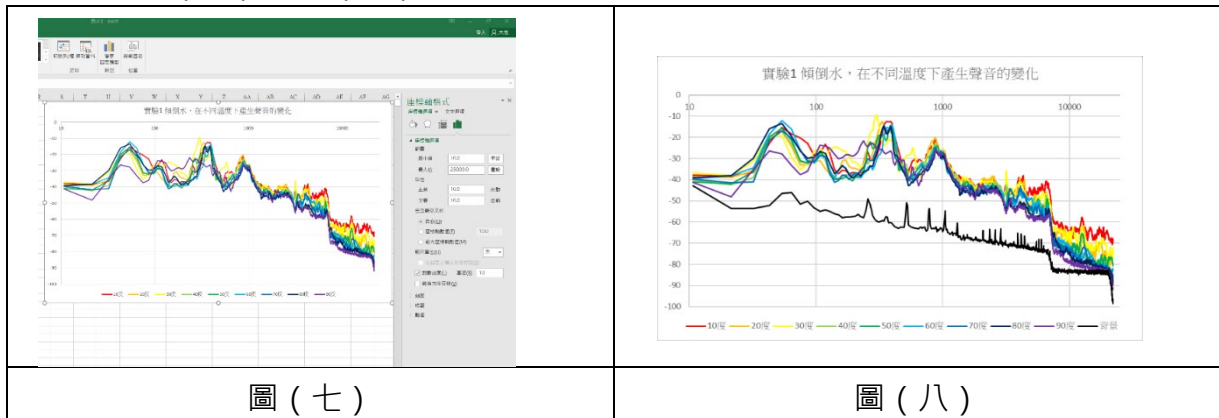
A	B
10.766602	-37.794476
21.533203	-38.397976
32.299805	-36.533009
43.066406	-22.747461
53.833008	-15.247996
64.599609	-18.456011
75.366211	-20.379873
86.132812	-22.743483
96.899414	-28.759872
107.666016	-27.441929
118.432617	-23.258753
129.199219	-27.398336
139.965820	-35.396015
150.732422	-37.259209
161.499023	-35.520348
172.265625	-35.777943
183.032227	-37.273270
193.798828	-36.772163
204.565430	-36.674122
215.332031	-37.130000

圖（五）



圖（六）

(4) 輸入要比較的數據，觀察數據頻譜圖中與背景音分開的高峰（響度較大的頻率），如圖（七）、圖（八）。



圖（七）

圖（八）

驗證步驟：

1. 根據 K van den Doel(2004)的研究，他認為倒水的聲音主要來自於液體進入水中所產生的氣泡破裂，產生脈衝響應時間(impulse response) 公式如下

$$u(t) = a \sin(2\pi f t) e^{-dt} \quad (1)$$

其中 a 為振幅、f 為頻率、t 為時間、d 為阻尼係數(damping factor)。

根據 Minnearts formula，理想氣體在 NTP（一個大氣壓，20°C）產生的聲音頻率為：

$$f = 3/r \quad (2)$$

其中 f 為頻率、r 為氣泡半徑。

因為人可以聽到聲音的頻率為 20Hz~20000Hz，根據公式(2)，計算出氣泡的大小範圍為 15cm~0.15mm 之間，可產生人耳可聽見的聲音。一個氣泡所產生的動能 E 可以下方公式(3)計算：

$$E = 2\rho r^3 u^2 \quad (3)$$

其中 ρ 為密度、r 為氣泡半徑、u 是氣泡內側邊界的平均速率。

因此我們假設密度與產生的聲音是可能有關連的。

2. 傾倒水，在不同溫度下產生聲音的變化（實驗一）。

由圖（九）可得知，在 290 至 380 Hz 左右有一高峰，而 870 Hz 左右也有一高峰，皆與背景音不同，表示此兩頻率聲音為倒水時產生之聲音。我們推測，340-380 Hz 的聲音是倒水時產生的主要聲音頻率；870 Hz 的聲音則是一開始到水時，水敲擊燒杯產生的振動。以外，傾倒高溫的水所產生之聲音在 500 Hz 以上的音量較低溫的水低，表示在**高頻聲音中，低溫音量高於高溫音量**，與聽到的聲音特色相符。

3. 傾倒 10°C 時的飽和食鹽水，在不同溫度下產生聲音的變化（實驗二）。

圖（十）數據列的走向與實驗一的結果大致相同，而且在 290 至 380 Hz 左右的高峰也大致由高溫到低溫，代表**高溫所產生的頻率較低，低溫則較高**，但並由高溫到低溫沒有非常明顯的規律變化，可能是實驗誤差導致。

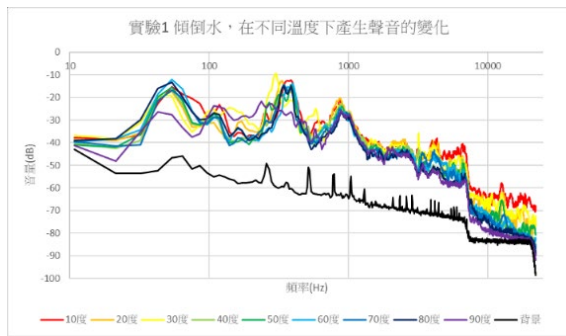


圖 (九)

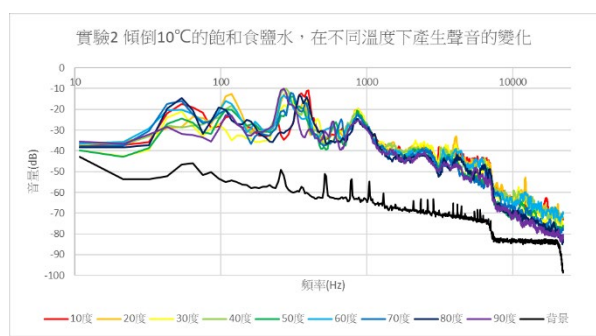


圖 (十)

4. 傾倒 20%的甘油水溶液，在不同溫度下產生聲音的變化 (實驗三)。

圖 (十二) 在 290 至 380 Hz 左右有一高峰，而 870 Hz 左右也有一高峰，皆與背景音不同，表示此兩頻率聲音為倒水時產生之聲音。而我們推測，340-380 Hz 的聲音是倒水時產生的主要聲音頻率；870 Hz 的聲音則是一開始倒水時，水敲擊燒杯產生的振動。此外，傾倒高溫的水所產生之聲音在 500 Hz 以上的音量較低溫的水低，表示**高頻聲音低溫音量高於高溫音量**，與聽到的聲音特色相符。

5. 敲擊裝水的燒杯，在不同溫度下產生聲音的變化 (實驗四)。

由圖 (十二) 可得知，在 1195 Hz 左右與 3200 Hz 左右有兩個高峰，表示敲擊裝水的燒杯時產生的聲音為此 2 頻率。但是各個溫度的高峰十分近似，並無太大差異，因此我們認為，燒杯中的**水溫或許與敲擊燒杯時產生聲音的頻率無關**。

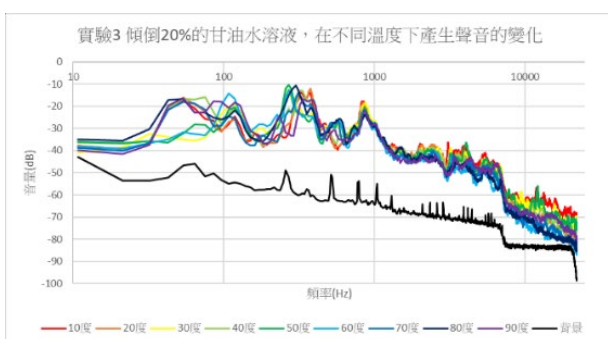


圖 (十一)

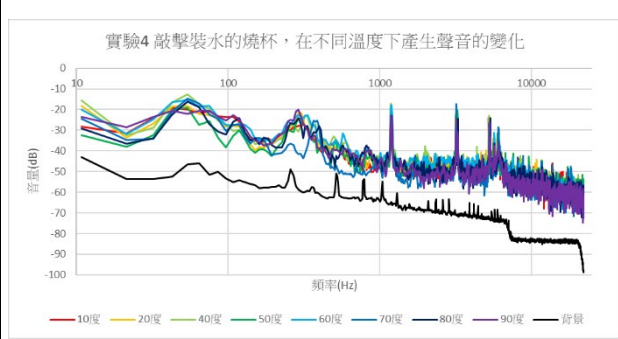


圖 (十二)

6. 敲擊裝 10°C時的飽和食鹽水的燒杯，在不同溫度下產生聲音的變化 (實驗五)。

由圖 (十三) 可得知，在 1195 Hz 左右與 3200 Hz 左右有兩個高峰，與前燒杯中裝水 (實驗四) 的狀況相同，且各溫度的高峰一樣十分近似，並無太大差異，因此我們認為，燒杯中的**水溫不會影響敲擊燒杯時產生聲音的頻率與振幅**。

7. 敲擊裝 20%的甘油水溶液的燒杯，在不同溫度下產生聲音的變化 (實驗六)。

由圖 (十四) 可得知，甘油水溶液溫度為 70°C至 90°C時，在 1195 Hz 左右與 3200 Hz 左右有兩個高峰；10°C至 60°C時，在 1300 Hz 左右與 3500 Hz 左右有兩個高峰，兩者之間在高峰處和 5000 Hz 以上的高頻聲音皆有些許差異，但根據實驗五與實驗六的結果，

70°C至 90°C、10°C至 60°C時的高峰也分別重疊，因此我們認為，兩數據分歧的原因是實驗誤差而非實際影響。

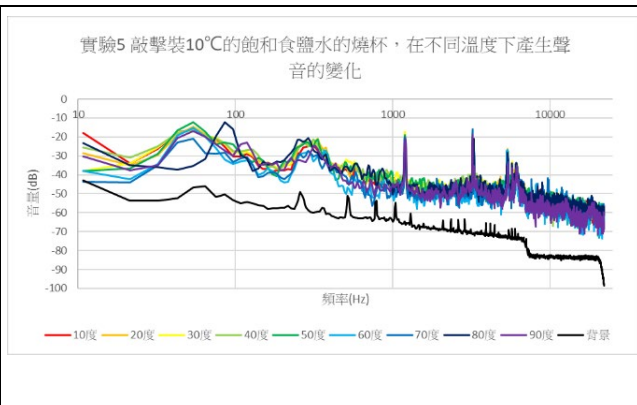


圖 (十三)

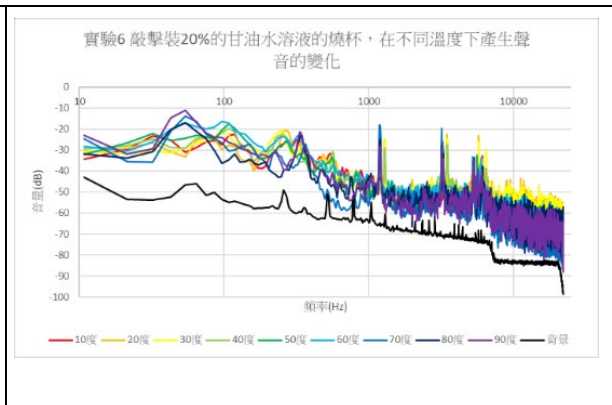


圖 (十四)

8. 傾倒相同黏度但不同種類的液體所產生的聲音之變化。

圖 (十五) 相同黏度液體的砂糖水溶液的數據線 (紅色系) 與食鹽水溶液的數據線 (藍色系) 明顯不同，兩者的高峰分別為 258 Hz 與 301 Hz，而且 1000 Hz 以上的數據也有所不同。**糖水：**隨著水溶液中的糖量增加，密度和黏度皆逐漸增加，且黏度的變化更加明顯。而從圖中可看到，**密度和黏度增加時，聲音的頻率逐漸增加，且音量逐漸變小**，加六次砂糖之後 (黏度為 6.9 cP)，因音量太小而無法聽到任何聲音。

食鹽水：隨著水溶液中的食鹽含量增加，密度和黏度皆逐漸增加，但黏度的變化較小。而從圖中可看到，**四組數據的主要頻率幾乎相同**，數據也幾乎重疊，與糖水數據的較大變化比較，我們得知：**影響倒水時產生之聲音的主要直接因素應為「黏度」**，之前認為密度有關係可能是因為在之前實驗增溫的過程中，黏密度兩者的變化皆不大且接近而導致。

9. 尋關係求得：經過以上實驗，我們得知，影響倒水時產生之聲音的主要直接因素應為「黏度」，而將每次實驗數據於 290 至 380 Hz 之間的高峰之頻率求得詳細數字(如圖(十六))，整合為黏度與頻率關係圖後，發現為：

黏度為 0 cP ~ 3 cP 時，黏度越高，頻率越低；黏度為 3 cP 以上時，數據不足，未能確定。

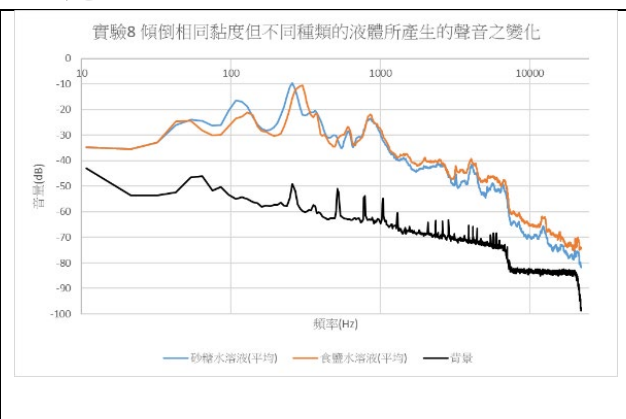


圖 (十五)

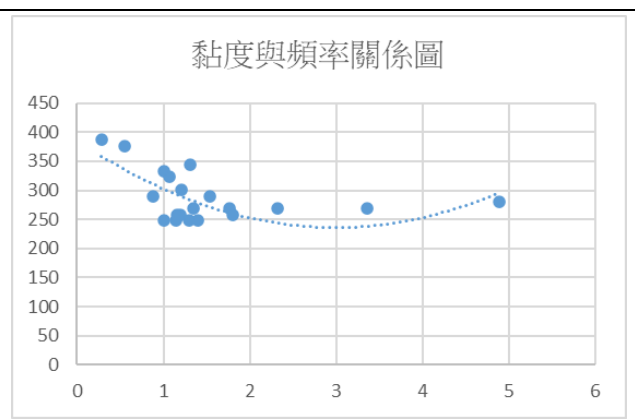


圖 (十六)

五、結論與生活應用

結論：

1. 在傾倒時的聲音頻率，熱水高於冷水。
2. 黏度為影響倒水時產生之聲音之主要直接因素，且黏度為 3 cP 以下時，黏度越高，頻率越低；黏度為 3 cP 以上時，數據不足，未能確定。
3. 黏度越大，倒水時產生的聲音之音量越小，而黏度高於 6.9 cP 時，傾倒液體會因音量太低而產生不出聲音。
4. 敲擊燒杯壁時產生聲音的頻率、振幅與水溫關係不明顯。
5. 倒水時產生之主頻率介於 290 至 380 Hz 之間，而敲擊裝有水的燒杯時所產生的聲音大約為 1195 Hz 和 3200 Hz 左右。

生活應用：

1. 可以用在判斷水溫，作為非接觸式溫度計。例如說使用 arduino 偵測頻率，判斷水溫。
2. 用在研究液體所發出的聲音與溫度、密度的關係，例如瀑布、河流所發出的聲音。
3. 研究音量，例如船艦利用螺旋槳前進，螺旋槳攪動水發出的聲音，尤其像潛水艦，會希望聲音盡量小一點。

參考資料

1. J. B. Secur, Helen E. Oberstak, Viscosity of Glycerol and Its Aqueous Solutions, Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 43. No. 9, p.2117-2120 (1951)
2. Koichi Takamura, Herbert Fischer, Norman R. Morrow, Physical properties of aqueous glycerol solutions, Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 98-99, p.50-60 (2012)
3. Kees van den Doel, Physically based models for liquid sounds, Proceedings of ICAD 04-Tenth Meeting of the International Conference on Auditory Display, Sydney, Australia, July 6-9, 2004
4. 彭崧璋、黃竹安、甘竣愷、張士彥、曾瑾瑜，探索黏度與毛細現象 X 檔案，第 43 屆中小學科學展覽會報告
5. 黃瀨瑩、蕭宇岑、梁沛如、丁亦男、周憲男，聽酒杯在唱歌 - 濃度與聲音頻率關係之探討，第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書