

# 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。



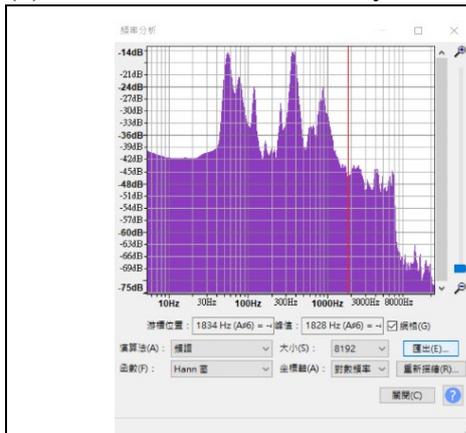
圖（一）



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

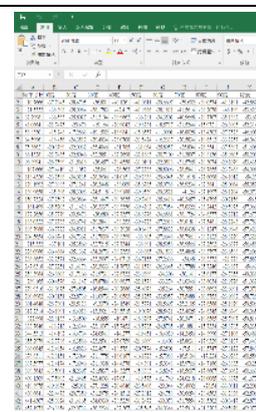
圖（四）

(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）

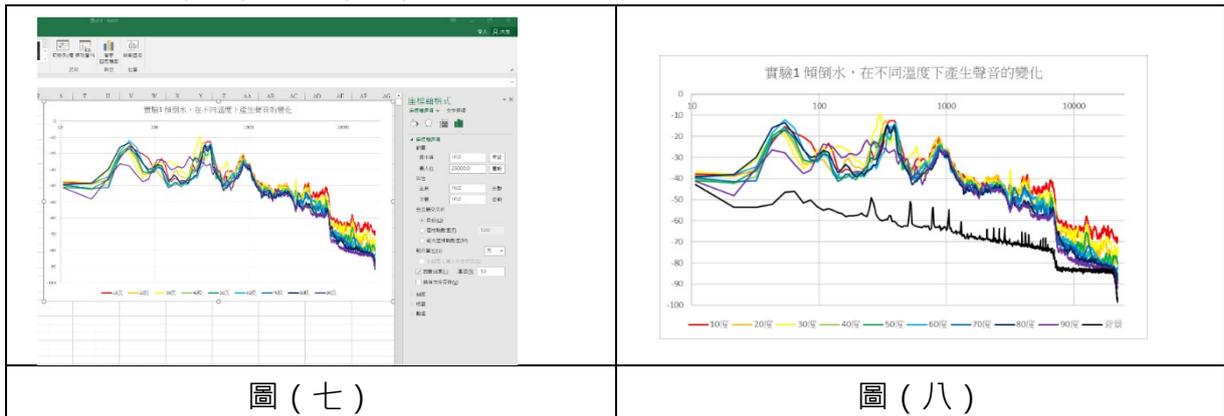
A	B
10.766602	-37.794476
21.533203	-38.397976
32.299805	-36.533009
43.066406	-22.747461
53.833008	-15.247996
64.599609	-18.456011
75.366211	-20.379873
86.132812	-22.743483
96.899414	-28.759872
107.666016	-27.441929
118.432617	-23.258753
129.199219	-27.398336
139.965820	-35.396015
150.732422	-37.259209
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  $\rho$  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。

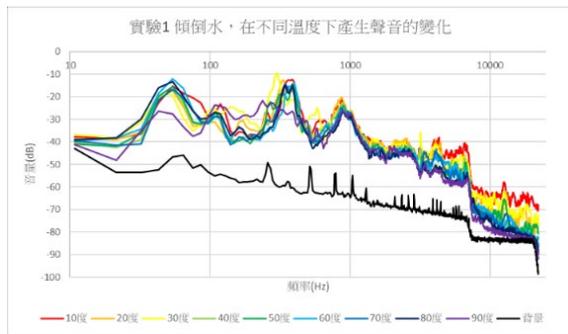


圖 ( 九 )

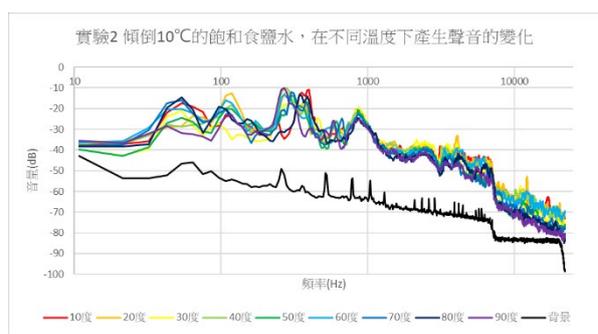


圖 ( 十 )

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**。

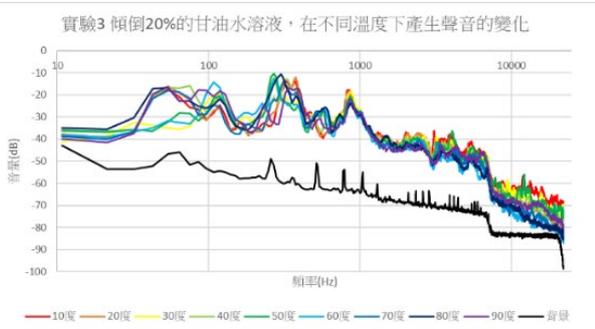


圖 ( 十一 )

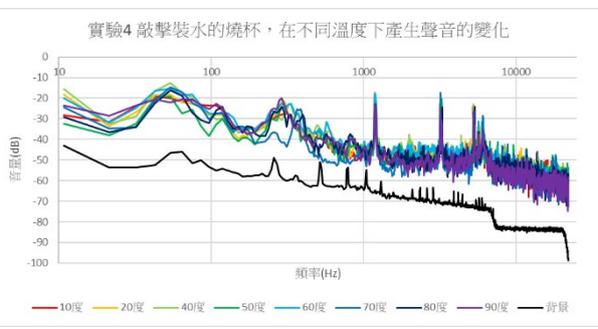


圖 ( 十二 )

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。

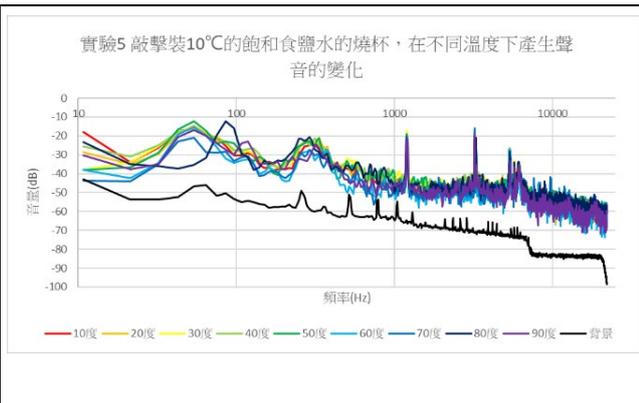


圖 (十三)

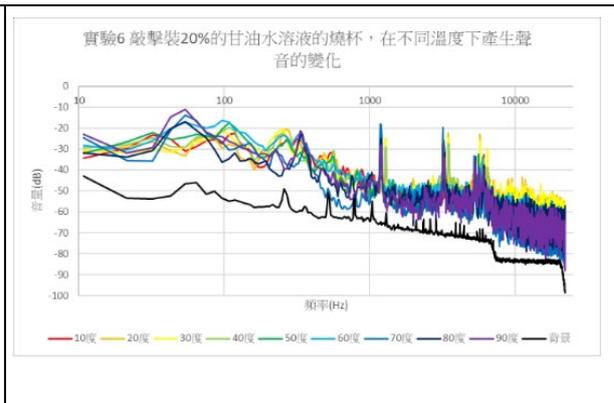


圖 (十四)

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。

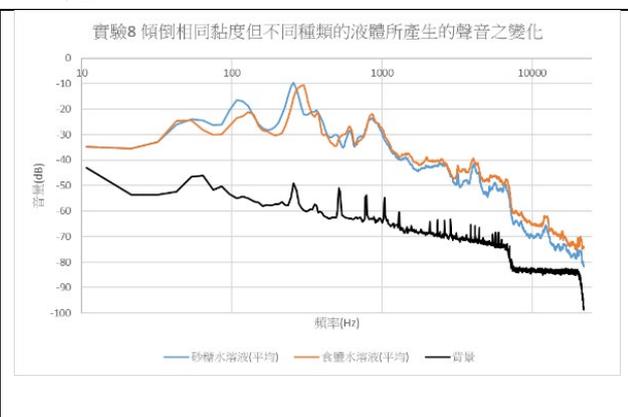


圖 (十五)

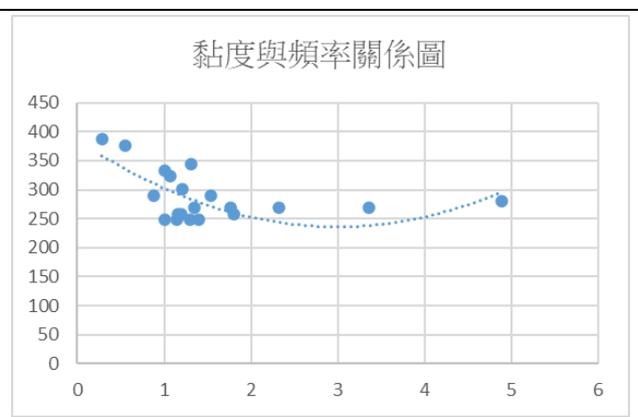


圖 (十六)

## 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