

# 由海螺發聲談起——空瓶集聲的探討

## 國中組物理第三名

高雄市立德國中

作者：王慧婉、張筱芳

指導老師：林明良、丁少梅

### 一、研究動機：

段考後，班上同學到援中港戲水，大夥兒嘻嘻哈哈地，好不快活。我們在沙灘上檢到了許多漂亮的海螺，當我把海螺靠在耳邊時，發現有聲音，覺得很奇怪，回家後，我發覺，凡是各種容器，只要有空的部份，把它湊在耳邊，都會有這種現象，而且所聽到的聲音都不相同，剛好物理第二冊第十五章裏也講到聲音，於是我對這個問題產生濃厚的興趣，就請老師指導我着手研究這個問題。

### 二、發現問題：

- (一)海螺及各式容器中，均可聽見聲音，到底聲音是由何處而來？
- (二)每個容器聲音高低均不相同，究竟是什麼變因造成的？
- (三)在問題(二)中的各種變因間，是否有某些數學關係存在呢？

### 三、觀察及收集資料：

在國中物理第三冊中，曾提到聲音的形成，是由於物質快速振動，造成空氣分子疏密相間的縱波，傳遞到我們的耳朵。海螺內部並沒有振源發出振動，那麼它的聲音究竟從何而來？唯一可能的是空氣中原來就有許多微弱的小振動，某些具有特殊性質的小振動，進入海螺後；經由反射作用，反射波和入射波相遇，造成干涉，而聲量加強，才使我們聽見。瓶子及其它各式容器，也能有這樣的現象，而且又因各容器具有不同性質，聲音也形成高低的不同。課本上又說到聲音的

高低是由於聲波頻率的高低而造成，於是我們就來探討影響聲音頻率的變因，來尋求問題的解答，那麼頻率會受到那些變因的影響呢？

波的頻率 = 波速 / 波長。

聲波在一端封閉的管內，當其波長與容器長成倍數關係時，波形如下：



圖(二)之頻率為圖(一)之 3 倍；圖(三)為圖(一)之 5 倍，……。

其音是為泛音，而最低頻率之音為基音，泛音之頻率，均為基音的奇數由(一)圖知基音波長為容器長的四倍  $\lambda = 4L$ 。

聲波傳播速率的可能變化原因很多，傳聲介質的性質不同，或介質本身發生速率變化，均可造成改變，在自然界中，風速大小，或氣溫的變化，亦可影響密度大小不同以致造成聲速的不同。

一般情況下，空氣中聲速  $\mu = 331 + 0.6t$  (  $t$  表溫度 )

又在氣體內  $\mu = \sqrt{\frac{rp}{d}}$ ，(  $P$  : 壓力， $D$  = 密度， $r$  = 氣體定壓比

熱與是容比熱之比 )。

綜合以上研究，我們可得到影響空瓶集聲之頻率的變因有 1. 空瓶長度 2. 空瓶的截面大小 3. 空瓶內氣體的密度 4. 溫度 5. 壓力。

#### 四、建立模型：

根據氣體模型，氣體分子是無拘束的，以高速運動著，偶爾，分子因相互的碰撞，而改變它們的運動速度，使得分子作不規則運動，空瓶內的氣體可現為在一個大箱子裏裝有很多高速運動的輕質小球，當他們彼此相撞，或撞到器壁時，均能以原速率反跳，聲波在空氣中

傳播時，是以動能的方式，藉着粒子的碰撞，而依次傳遞，因此粒子本身的質量及當時的溫度，都影響其運動速率，而運動速率之快慢，又很明顯的影響到能量傳遞的快慢（即波速）又單位體積的分子數，（密度）增加時，又會增大壓力，亦能加速能量的傳遞。

## 五、形成假設

- (一)空氣中的雜亂振動進入容器內，使其發出聲音。
- (二)當壓力及溫度一定時，頻率會隨着容器的截面及長短而改變。
- (三)在一定容器內當壓力一定時，溫度愈高則頻率愈高。溫度愈低則頻率愈低。
- (四)在一定容器內，當溫度一定時，壓力愈大則頻率愈高，壓力愈小，則頻率愈低。
- (五)若容器內的氣體種類改變，其分子量不同時，聲音的頻率也會改變。

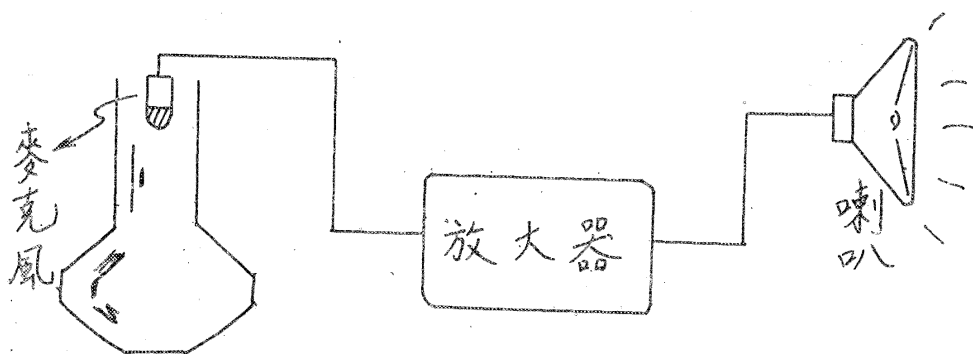
## 六、設計實驗，驗證假設：

- (一)實驗：證明空瓶的聲音，來自空氣中雜亂的振動。

### 1. 構想：

本實驗在分析空瓶內聲音的來源。但從海螺及各式空瓶所聽到聲音的音量過小，以一般人的聽力無法作詳細的分析，因此請本校家庭電器修護班支援，借用他們的儀器，將聲音放大。

### 2. 器材及裝置：



### 3. 步驟：

- (1)取電容式麥克風，放入瓶口附近，使麥克風接收瓶內之聲音。
- (2)封住瓶口，觀察聲音的變化。
- (3)再把瓶口打開，重覆觀察。
- (4)換另一空瓶，重覆以上實驗。

### 4. 結果與討論

- (1)當空瓶一靠近麥克風時，喇叭馬上發出「噏」的聲音。一移開聲音就沒有了，證明此聲音確是由空瓶發出的。
- (2)將瓶口封住時，聲音消失，證明聲源必在瓶外。
- (3)在實驗中，我發現白天做的時候，效果甚佳，而晚上就不明顯了，可見周遭雜亂振動減少時，會影響結果，證明空瓶內的聲音，確是一種集音效果。
- (4)實驗時爲了避免麥克風，移動造成其他影響，所以固定麥克風，將空瓶移入，移出。

### (二)實驗：證明空瓶截面大小會影響聲頻。

#### 1. 構想：

操縱改變的變因：容器截面。

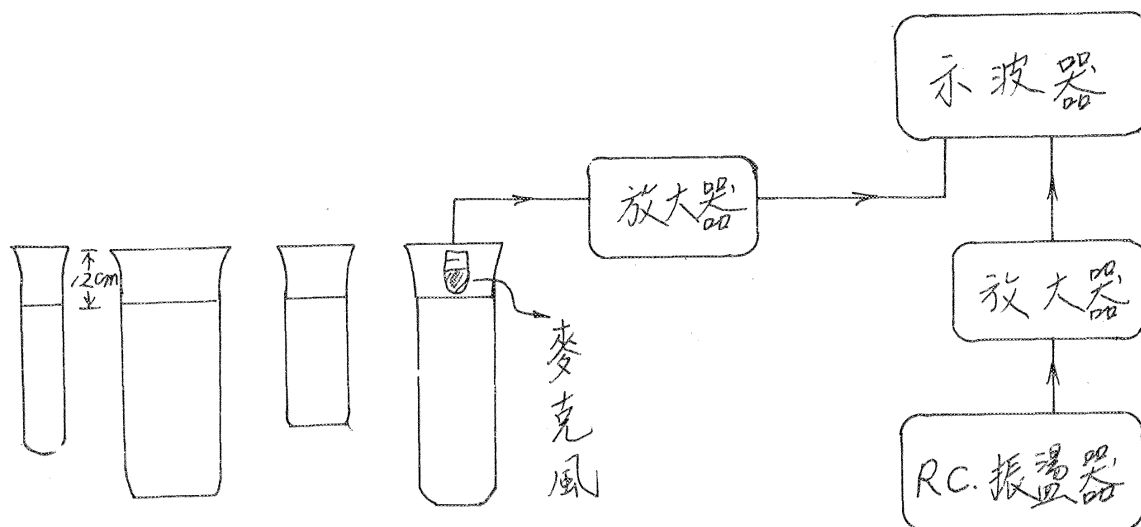
控制的變因：壓力、溫度、氣體密度、容器高度。

應測量的物理量：聲音頻率。

本實驗採用開口空瓶，在定溫定壓下進行，因收集之容器高度不等，故注水入瓶，使瓶內氣柱等高。

聲音頻率測量的方法，是將聲音經麥克風，放大器，輸入示波器中，再用R C振盪器，發出另一已知頻率的信號，亦輸入示波器內，若二者頻率相同時，在示波器的螢光幕上，將可見一圓形圖，由此即可得知聲音的頻率。

#### 2. 器材及裝置：



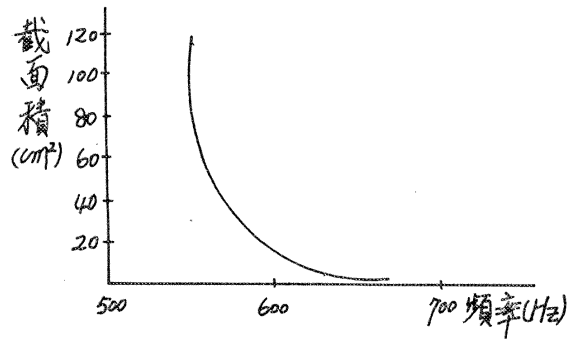
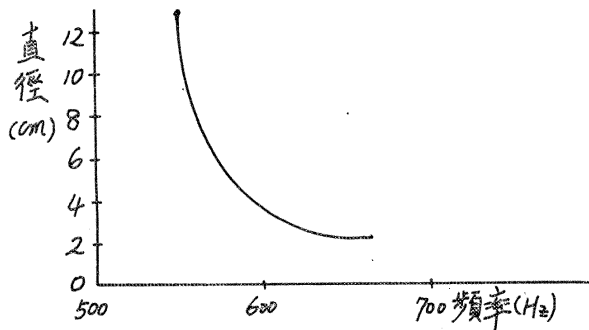
### 3. 步驟：

- (1) 取大小不同圆柱空瓶，量取各容器直徑，計算截面積。
- (2) 加水至容器，使瓶口至水面的距離為 12 cm。
- (3) 打開 R.C 振盪器，改變振盪器頻率，至示波器上，圖形成圓形為止，記下振盪器所示頻率。
- (4) 逐一更換空瓶重覆步驟(3)。

### 4. 結果：

溫度 ( T ) : 30.2 °C, 壓力 ( P ) : 768.3 mm- hg  
氣柱高 ( L ) : 12 cm。

編號	截面積 ( cm <sup>2</sup> )	直徑 ( cm )	厚度 ( mm )	質料	頻率 ( HZ )				
					I	II	III	IV	平均值
1	5.8	2.7	1.8	玻璃	615	610	660	660	636
2	20.4	5.1	1.4	玻璃	585	588	590	590	588
3	24.0	5.5	0.8	塑膠	575	615	620	620	608
4	29.8	6.2	1.9	玻璃	565	560	570	590	571
5	91.6	10.8	1.3	玻璃	560	540	555	565	555



### 5. 討論：

(1) 實際上一般容器發聲情形相當複雜，實驗時予以簡化，只取最簡單的形狀——圓柱形。

(2) 由實驗結果可看出除第 3 號容器之外，截面積愈大的發出聲音頻率愈低。可能是因為它的質料及厚薄，和其餘四個容器相差太大之故。

(3) 本實驗因受條件限制，無法收集到許多資料，厚薄完全相同，而且粗細不同的容器，致無法完全控制所有的變因，因此不擬藉本實驗作確實定論，不過至少已看出了容器寬度，確能影響發出聲音的頻率。

(三) 實驗：探討空氣柱長短，對頻率的影響。

#### 1. 構想：

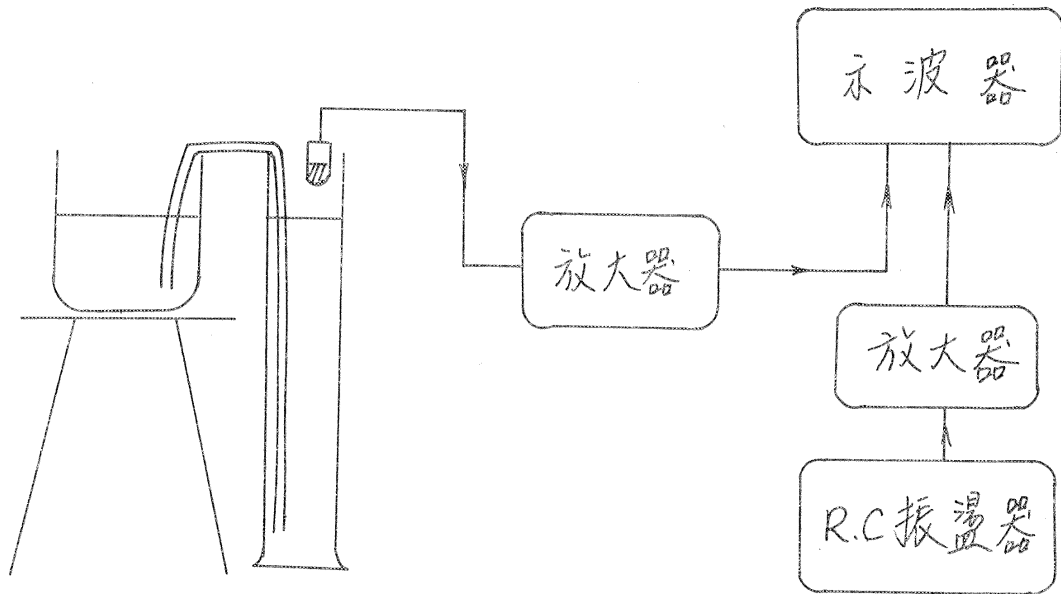
操縱改變的變因：空氣柱長短。

控制的變因：溫度、壓力、氣體的密度，容器截面。

應測量的物理量：聲音的頻率

本實驗是以開口量筒在定溫定壓，用虹吸管，改變水面高度來操縱改變空氣柱長度。聲音頻率的求法如實驗：

#### 2. 器材及裝置：

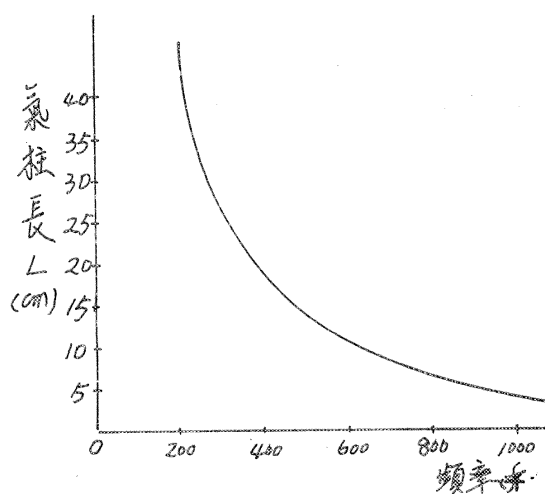


3. 步驟：

- (1) 利用虹吸管使量筒內氣柱長為 5cm。
- (2) 改變 R . C 振盪器的頻率至示波器上圖形，成圓形為止，記錄頻率。
- (3) 依次改變空氣柱長，重覆實驗。

4. 結果： 溫度  $T = 28.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  ， 壓力  $P = 765.7\text{ mm-Hg}$  ，  
 截面積 =  $29.8\text{ cm}^2$  ，

空氣柱長度 (cm)	5	10	15	20	25	30	35
頻 一	779	738	485	383	362	267	254
率 二	1030	733	505	381	295	278	238
F 三	1018	718	510	376	300	250	222
(Hz) 平均值	1009	730	500	380	319	265	238
L × F	5045	7300	7500	7600	7975	7950	8330



### 5. 討論：

(1)由圖可看出氣柱愈短時，聲頻愈大，而氣柱加長則聲頻減少。

(2)本實驗使用的R.C振盪器，並不很精密，頻率讀數誤差約為10%。

由 $L \times F$ 之值看出其在10%誤差範圍內，可現為一常數，故可說氣柱長短與發聲頻率成反比。

### (四)實驗：探討溫度對頻率的影響：

#### 1. 構想：

操縱改變的變因：溫度。

控制的變因：壓力、空氣、密度、空瓶大小。

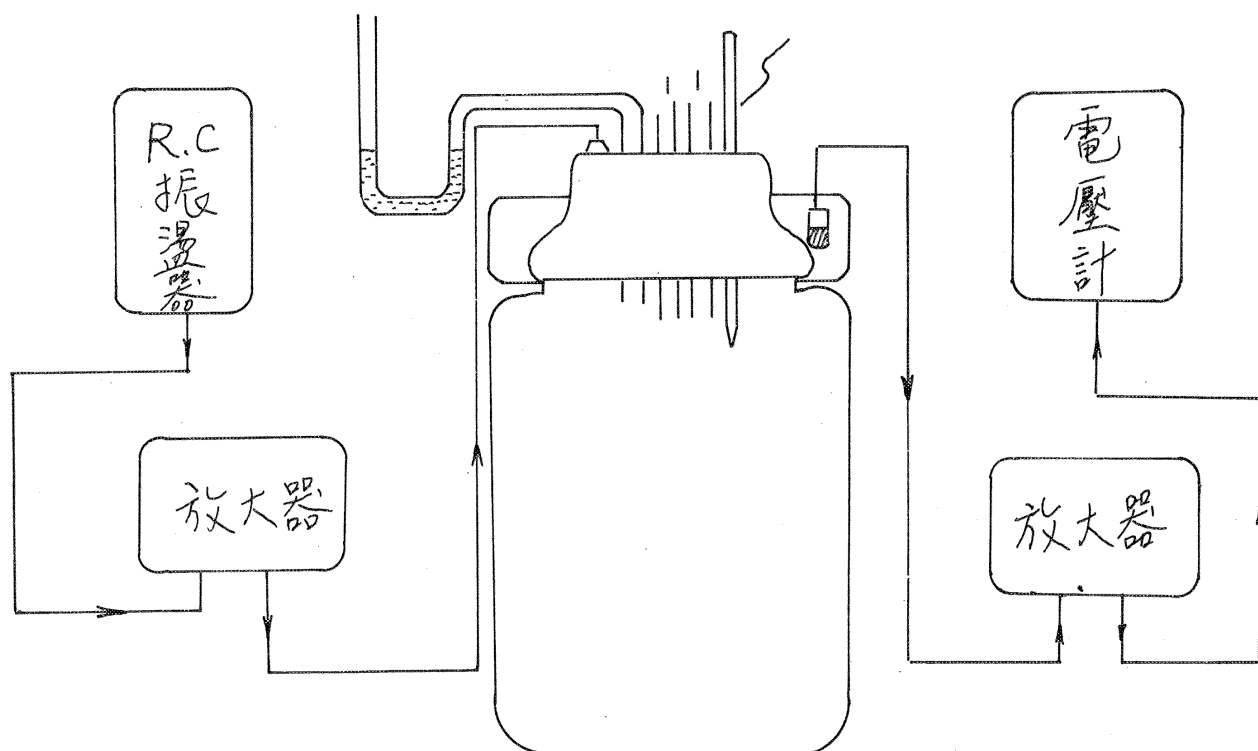
應測量的物理量：聲音的頻率。

在前面的實驗中常發生外界雜音太多，就無法實驗的困難，因此在本實驗中有較大的更動，將喇叭及麥克風固定在瓶蓋內密封起來，如此才能確實控制壓力大小，及改變氣體種類。利用R.C振盪器的掃瞄經喇叭模擬雜音輸入瓶內，在某些特定頻率時發生共振，麥克風輸出電壓加大，利用電壓計可以測量，最大電壓值的頻率。

本實驗當溫度改變時，因壓力與空氣密度，為因變的兩變因無法同時控制，故分成A、B二組實驗，以作比較。

#### 2. 器材裝置：





### 3. 步驟：

#### (1) 開口〔控制瓶內壓力不變〕

A 將密閉瓶放入保麗龍箱內以冰鹽冷劑降低溫度。

B 以 R . C 振盪器掃瞄，觀察電壓計讀數最大時，記下當時頻率及溫度。

C 改變溫度，並鬆開橡皮管上夾子，使瓶內外壓力相等，再夾住，並重覆步驟(2)。

D 當溫度升至室溫後，改以水浴法，升高溫度重覆實驗。

#### (2) 密封〔控制氣體密度不變〕

保持瓶子在密封狀態，使溫度改變，測量頻率。

### 4. 結果：

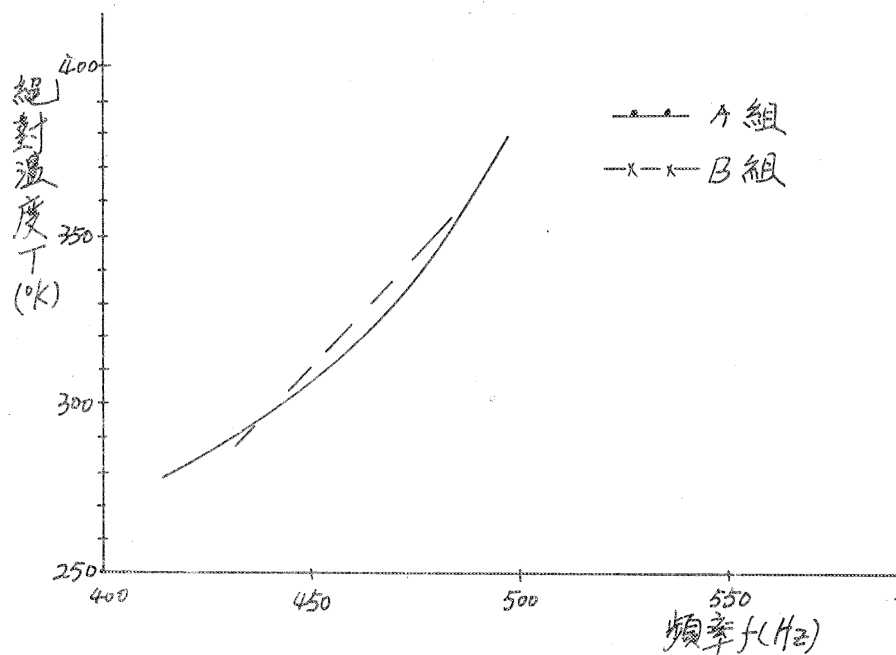
(1) 壓力  $P = 766.8 \text{ mm-Hg}$  體積  $V = 1.216 \text{ l.}$

溫度 t (°C)	10	15.0	20.3	25.2	28.8	31.9	38.8	40.8
絕對溫度 T (°K)	283	288	293.3	298	298	304.9	311.8	313.8
頻率 f (Hz)	420	425	432	440	440	448	450	450
$\frac{\sqrt{T}}{f}$	0.0400	0.0399	0.0396	0.0392	0.0390	0.0390	0.0392	0.0392

溫度 t (°C)	45.5	52.9	60.0	65.0	75.0	80.0	81.5	82.4
絕對溫度 T (°C)	318.5	325.9	333	338	348	353	353	355.4
頻率 f (Hz)	460	465	468	475	480	482	482	520
$\frac{\sqrt{T}}{f}$	0.0388	0.0388	0.0390	0.0387	0.0389	0.0390	0.0390	0.0363

$$(2) \quad d = 1.19 \frac{g}{\ell} \quad V = 1216 \ell$$

溫度 t (°C)	20.6	26.3	30.9	35.8	40.0	45.0	51.4	57.2	63.2
絕對溫度 T	293.6	299.3	303.9	308.8	313.0	318	324.4	330.2	336.2
頻率 f (Hz)	434	446	446	450	453	456	462	466	472
$\frac{\sqrt{T}}{f}$	0.0395	0.0390	0.0390	0.0390	0.0390	0.0391	0.0390	0.0390	0.0389



### 5. 討論：

- (1) 比較 A . B 二組數據，發現數值相當接近，由  $T - f$  圖上二條綫重疊，知若氣體成份不變，當溫度改變時，壓力與氣體密度只須控制其一即可。
- (2) 由圖知溫度愈低頻率愈低，溫度升高頻率變大。
- (3) 由數據第四行中  $\sqrt{T}/f \div 0.39$ ，是為一常數，因此可說空瓶發聲的頻率與絕對溫度平方根成正比。

### (五) 實驗：探討壓力對頻率的影響。

#### 1. 構想：

操縱改變的變因壓力。

控制的變因：溫度、空氣密度、空瓶大小。

應測量的物理量：聲音的頻率。

先由氣壓計得知當時大氣壓力，則由開管壓力計水銀柱差可知瓶內壓力，頻率求法如實驗四。

#### 2. 器材及裝置：同實驗四裝置。

#### 3. 步驟：

(1)以打氣筒改變瓶內壓力。

(2)以 R.C 振盪器掃瞄，觀察電壓計讀數為最大時，記下頻率。

#### 4. 結果：

溫度 $t(^{\circ}\text{C})$ 25 $^{\circ}\text{C}$	壓力 P	692.2	721.2	727.2	735.7	762.2	779.2	793.7	822.2	845.2
	頻率 f(Hz)	425	425	424	426	425	423	425	425	425
27 $^{\circ}\text{C}$	P mm-hy	682.3	691.4	706.3	713.3	723.9	739.4	762.4	783.2	790.1
	f	430	432	430	430	430	428	430	435	428
28 $^{\circ}\text{C}$	P	691.3	711.2	721.5	742.4	749.1	763.8	775.4	780.0	789.3
	f	443	440	441	440	445	442	441	443	441

#### 5. 討論：

(1)由實驗中我們發現了一件很奇怪的事，不論壓力如何變化，測得的頻率看來幾乎沒有變化，與假設相衝突，爲了肯定起見我們曾試着多次在不同的情況下，不斷重覆此實驗，最後證明了，「壓力對頻率不發生影響」。

(2)國中物理第三冊 108 頁，「在自然界中如高空和地面的風速大小不同或氣溫的變化，而影響高空和地面間空氣密度大小不同時，均可產生聲波的折射現象。」的敘述中，得到一種概念：「聲速會由空氣密度大小不同而改變，空氣密度愈大時，氣壓愈高，單位體積的分子數增加，因此推演出模型，分子分佈愈密，波速愈大，由此實驗結果證明了事實與假設不符，應修正模型。

(3)修正模型：在一千六百公尺接力賽，由八人接力時的跑者，雖然較四人時爲多，但傳棒的速率絕不因此而加倍，由此模型可推出單位體積內，氣體分子數，並不能影響能量

的傳遞。故壓力並不影響聲音速率則頻率不因壓力變而變。  
 (六)實驗：探討不同的氣體，其溫度及頻率的關係。

1. 構想：

操縱改變的變因：分別為溫度或氣體種類。

控制的變因：溫度、空瓶大小。

應測量的物理量：聲音的頻率。

由實驗四已證實壓力對頻率不發生影響，此時已不需加以控制，故可將瓶封住，進行實驗，又為想得知分子量對頻率的影響，故依次以不同的氣體來改變溫度研究之。

2. 器材及裝置：同實驗四裝置。

3. 步驟：

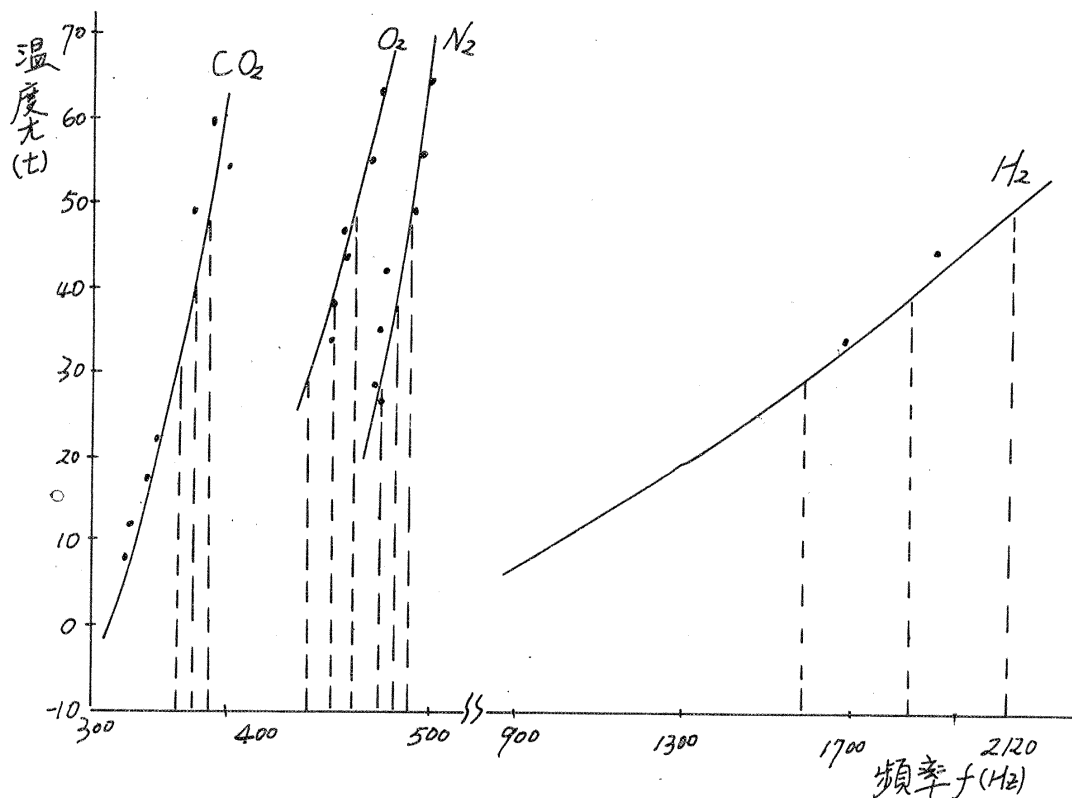
(1)將氮氣裝入瓶內封口，調整R.C.振盪器，測其頻率記錄溫度。

(2)利用實驗四的方法，改變瓶內氣體溫度求頻率。

(3)依次將氧氣，三氧化碳、氫氣，灌入瓶內重覆實驗。

4. 結果：

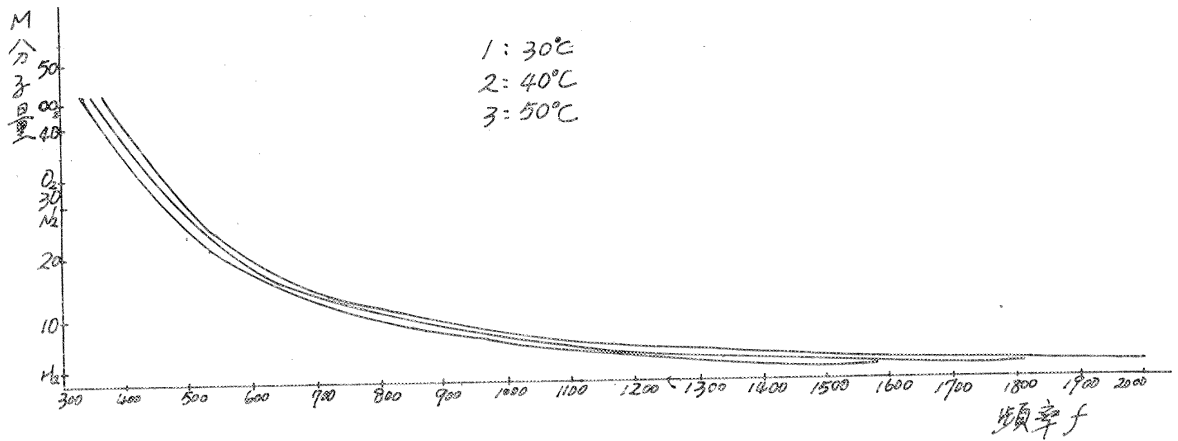
I	N <sub>2</sub>	溫度 t(°C)	27.0	28.2	35.0	42.1	49.0	56.0	65.0			
		頻率 f(Hz)	470	467	470	472	490	495	500			
II	O <sub>2</sub>	溫度 t(°C)	29.0	34.0	38.0	43.5	46.7	55.0	63.0			
		頻率 f(Hz)	425	440	442	450	445	465	470			
III	CO <sub>2</sub>	溫度 t(°C)	-1	4.0	8.0	12.0	17.4	22.0	38.0	49.0	54.5	59.0
		頻率 f(Hz)	308	318	320	322	334	338	352	359	380	365
III	H <sub>2</sub>	溫度 t(°C)	8.0	15.2	20.3	34.2	45.0	50.0				
		頻率 f(Hz)	930	1175	1340	1680	1900	2100				



5. 討論：

- (1) 由數據，可大致看出各種氣體的溫度愈高時，頻率愈大，反之亦然。
- (2) 由圖中找出溫度為 30 °C 40 °C， 50 °C 時，各種氣體的發聲頻率，如下表；並作分子量—頻率關係圖。

氣體種類	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>
分子量 M	44	33	28	2
頻率 f	352	429	468	1586
f/m	2334.9	2426.8	2476.4	2242.9
溫度 t	363	448	483	1812
30 °C	2407.9	2534.3	2534.8	2242.6
40 °C	371	464	491	2030
50 °C	2460.9	2624.8	2598.1	2870.8



(3)由表中，看來，在相同的溫度下， $f \times \sqrt{M}$  之值，誤差在 10% 內，可視為一常數，則氣體發聲頻率與分子量的平方根成反比。

(4)根據模型綜合來看，待聲介質本身粒子的，動能與溫度有關，溫度高動能大，但待聲速率由分子運動速率決定  $E_k = \frac{1}{2} m u^2$ ，所以分子量愈大的氣體，在相同的動能時，運動速率反而小，則傳聲速率減慢，聲音頻率低。應該和分子的疏密分布無關，因此若氣體成份不固定，密度可表示分子量變化，則對頻率有影響，若成分固定密度僅表示分子數目，則與頻率無關，因此密度的變因，應以分子量代之為宜。

(5)實驗中使用到氫氣和氧氣。為安全起見須分隔使用，並注意通風。

## 七、結論：

(一)根據實驗結果：

(1)頻率(f)與氣柱長度(L)成反比，即  $f = k_1 / L$

(2)頻率(f)與絕對溫度(T)的平方根成正比，即  $f = k_2 / \sqrt{T}$

(3)頻率與壓力無關。

(4)頻率(f)與氣體分子量(M)的平方根成反比，即  $f = k_3 / \sqrt{M}$  所以可寫成：在截面積固定的容器內，聲音頻率與各變因間的關

$$\text{係爲 } f = \frac{k}{L} \sqrt{T/M}$$

(二)由理論推理：

我們已知在氣體中波速  $u = \sqrt{rp/d}$

其中密度  $d = m/v$

氣體的質量(M) = 摩耳數(n) × 分子量(M)

在此情況下，空氣可視為理想氣體。

∴  $PU = nRT$  (R表氣體常數)。

又空瓶中  $f = u/a = u/4L$

$$\begin{aligned} \therefore f &= \frac{1}{4L} \sqrt{rp/d} \\ &= \frac{1}{4L} \sqrt{rpv/nm} \\ &= \frac{1}{4L} \sqrt{r nRT/nm} \\ &= \frac{1}{4L} \sqrt{rRT/M} \end{aligned}$$

∴ r.R均為常數 ∴  $f = \frac{\sqrt{rR}}{4L} \sqrt{T/M}$  與實驗結果完全相同。

(三)由實驗值可直接求得K，代入公式  $f = \frac{k}{L} \sqrt{T/M}$  中，反求氣

體平均分子量。利用這種方法可迅速求出未知成分氣體的平均密度，亦可協助判斷空氣成份改變的程度。

八、建議：

對於國中物理第三冊 108 頁課文中關於空氣密度影響聲速的敘述，由實驗及理論均可證明為誤，空氣密度改變時若僅改變單位體積內的分子數，對聲速不發生影響。謹將此意見提供國立編譯館參考。



參考資料：

一 國中物理第三冊。

二 普通物理學上（正中書局）。

三 物理學 第二冊 Halliday Resnick 著（東華書局）王唯農……等譯。

四 大學物理學 第二冊 李怡嚴著（東華書局）。

評語：1. 從平凡現象中，發掘研究問題具有獨見。

2. 能對改變聲頻之因素，考慮周詳逐一加以實驗研究，內容豐富。

3. 數據分析及結果表達均佳。