

# 氣體壓力的變化會影響聲音的傳播速度嗎？

## 國中組物理科第三名

高市七賢國中

作者：胡長松、吳唐林

指導教師：李宗波

### 一、研究動機

學了理化17章聲音與波動後我們知道聲音的傳播速率在攝氏零度時可行進 331 公尺，且其速率取決於空氣溫度、濕度以及與當時風速有關，但是，我們不禁要問：

- (一)聲音速度既然比陸地上任何車輛都快，那麼快的速度，我們如何去測量它呢？
- (二)溫度、濕度、風速會影響聲速，那麼，氣體的密度（壓力）也會影響聲速嗎？
- (三)氣體的傳聲速率與介質的分子量大小有何關係？

### 二、研究目的

- (一)利用駐波原理，測量聲音的傳播速率。
- (二)改變封閉器中氣體壓力的大小，研究氣體的密度對聲音傳播速率的影響。
- (三)改變介質種類，探討介質分子量的大小與傳聲速率之關係。

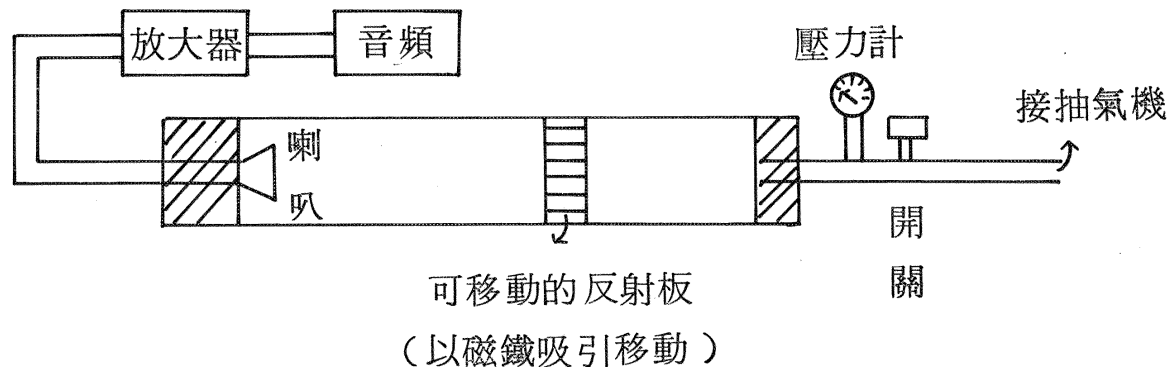
### 三、研究設備器材

(一)儀器：

1. 壓克力管兩枝（長 100 cm、內徑 6.4 cm、外徑 7.0 cm）。
2. 音頻產生器乙台（1 KHZ ~ 20 KHZ）。

3. 音量測定器乙台 (  $0 \sim 120 \text{ db}$  )。
4. 放大器乙台 (  $8 \text{ W}$  )。
5. 喇叭兩個 (  $4 \Omega$  ,  $0.5 \text{ W}$  )。
6. 抽氣機乙台。
7. 壓力計兩個。
8. 橡皮塞四個。
9. 整流器乙台。
10. 細粒保利綸 ( 直徑  $4 \text{ cm}$  以下 )。
11. 自製反射板兩個 ( 置入壓克力管內 )。
12. 木架乙座 ( 固定壓克力管之用 )。
13. 氮氣、氧氣、氫氣、 $\text{CO}_2$ 、氨氣各一筒。
14. 強力磁鐵乙個。
15. 皮尺二條。
16. 導線若干條。

(二)裝置圖：( 本實驗備有壓克力管二枝，其中只有一枝內裝有保利綸 )。

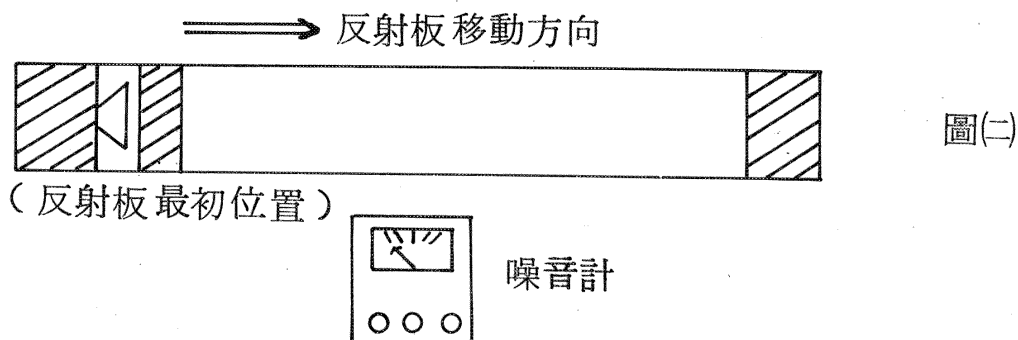


#### 四、研究過程及方法

(一)由氣柱共鳴時，音量的變化情形，找出波長。

1. 將反射板移動至與喇叭接觸為止。
2. 打開電源及音頻產生器 ( 頻率固定好 )，移動反射板，當噪音計的讀數達最大值時將反射板至喇叭的距離記錄下來，得到數個數據後，再將每兩次音量最大時的間隔距離求出平均值(d)，

此值即為聲波波長的一半，故利用  $V = \lambda \cdot f = 2d \cdot f$  可得聲速〔如下圖(二)〕。



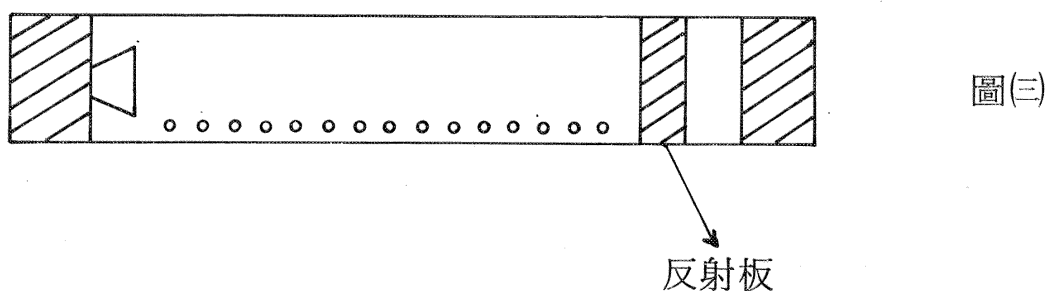
3. 打開抽氣機，改變壓克力管中氣體的壓力大小，重複步驟 1. 2.。

4. 待空氣被抽光後，將不同的氣體充入管內，重複步驟 1. 2. 3.。

(二) 利用保利綸在駐波中的排波情形，找出波長。

1. 將反射板與喇叭的距離  $S$  固定，搖動壓克力管使保利綸在管底分布均勻。

2. 調整聲音頻率，至管中的氣柱共鳴的音量最大為止，將此時的頻率記錄下來，觀察保利綸的堆積情形，求出每兩堆的平均間隔( $d$ )，此為半個波長，利用  $V = \lambda \cdot f = 2d \cdot f$  可得聲音速度〔如下圖(三)〕：



3. 重新將保利綸搖動使之均勻改變頻率，重複步驟 1. 2.。

4. 打開抽氣機，改變管中的氣體的壓力大小，重複步驟 1. 2.。

5. 待管中空氣被抽光後，將不同的氣體充入壓克力管中，重複步驟 1. 2. 3. 4.。

## 五、研究結果

(一)由氣柱共鳴時，音量的變化情形，找出波長。

溫度 ℃	氣體 介質	使用聲 音頻率	壓克力管內部 氣體壓力大小	音 量 達 最 大 值 時 ， 反 射 板 與 喇 叭 的 距 離 ( cm )												平 均 間 隔 (dcm)	波 長 (2dcm)	音 速 (m/sec)
19.5	空 氣	2000 H Z	75 厘米汞柱	8.5	17.2	25.7	34.3	43.3	51.7	61.0	69.7	77.8	86.6	8.66	17.32	346.4		
			65 厘米汞柱	8.5	17.2	25.8	34.6	43.1	51.2	60.8	70.2	78.1	86.4	8.64	17.28	345.6		
			55 厘米汞柱	8.6	16.7	25.9	34.6	43.2	52.1	61.1	70.2	78.1	86.5	8.65	17.26	345.2		
			45 厘米汞柱	8.7	17.2	27.0	34.3	43.3	51.8	60.9	70.2	77.9	86.5	8.65	17.30	346.0		
			35 厘米汞柱	8.6	17.1	26.2	34.6	43.8	52.1	61.2	70.0	77.8	86.3	8.63	17.26	345.2		
			25 厘米汞柱	8.6	17.0	25.8	34.6	43.5	51.6	60.7	69.7	78.0	86.4	8.64	17.28	345.6		
19.5	氫	3000 H Z	75 厘米汞柱	21.7			43.6			64.9			86.8	21.70	43.40	1302.0		
			65 厘米汞柱	22.0			43.5			65.0			86.9	21.73	43.46	1303.8		
			55 厘米汞柱	21.3			43.3			65.2			86.8	21.70	43.40	1302.0		
			45 厘米汞柱	21.1			43.0			65.3			86.8	21.70	43.40	1302.0		
			35 厘米汞柱	21.5			43.5			64.9			86.9	21.73	43.46	1303.8		
			25 厘米汞柱	21.5			43.0			65.0			86.6	21.65	43.30	1299.0		
19.5	氧	2000 H Z	74.5 厘米汞柱	8.4	17.1	24.8	33.3	42.0	49.9	59.1	66.8	75.5	83.6	8.36	16.72	334.4		
			65 厘米汞柱	8.3	16.8	24.9	33.6	42.9	49.8	58.7	67.2	75.0	83.7	8.37	16.74	334.8		
			55 厘米汞柱	8.5	16.7	24.9	33.5	41.7	49.9	58.7	67.0	75.2	83.9	8.39	16.78	335.6		
			45 厘米汞柱	8.6	17.1	24.9	33.7	41.9	49.9	57.7	67.2	75.0	83.5	8.35	16.70	334.0		
			35 厘米汞柱	8.7	17.2	24.8	33.6	41.8	49.7	58.0	67.3	75.2	83.5	8.35	16.70	334.0		
			25 厘米汞柱	8.7	16.8	25.0	33.4	41.8	50.1	58.8	67.2	74.9	83.3	8.33	16.66	333.2		
19.5	氮	2000 H Z	75.5 厘米汞柱	8.4	17.7	26.3	35.9	44.7	53.8	62.0	70.8	79.7		8.89	17.78	355.6		
			65 厘米汞柱	8.6	17.3	26.5	35.4	44.2	53.5	62.3	70.9	79.9		8.88	17.26	355.6		
			55 厘米汞柱	9.1	17.2	26.6	35.1	44.1	53.7	62.1	71.0	80.2		8.91	17.82	356.2		
			45 厘米汞柱	8.6	17.9	27.0	35.3	43.9	52.9	62.7	70.9	80.2		8.91	17.82	356.4		
			35 厘米汞柱	8.4	17.6	26.3	35.3	44.3	52.8	61.5	70.9	80.0		8.82	17.64	352.8		
			25 厘米汞柱	9.1	17.7	26.3	35.6	44.8	53.2	62.0	70.8	79.6		8.84	17.68	353.6		
19.5	氬	2000 H Z	75.5 厘米汞柱	10.3	21.3		31.5	43.0	52.4	63.0		73.4		10.49	20.98	419.5		
			65 厘米汞柱	10.8	21.5		31.6	41.0	52.2	63.4		73.5		10.51	21.02	420.4		
			55 厘米汞柱	10.7	21.3		31.8	42.0	52.1	63.0		73.6		10.59	20.98	419.6		
			45 厘米汞柱	10.6	21.3		31.7	42.4	52.5	63.1		73.4		10.53	21.06	421.2		
			35 厘米汞柱	10.6	20.7		31.6	42.4	52.8	63.2		73.6		10.51	21.02	420.4		
			25 厘米汞柱	10.4	21.2		31.7	42.0	52.7	63.2		73.5		10.50	20.98	419.6		

19.5	二 氧 化 碳	2000 H X	75 厘米汞柱	6.7	13.7	19.8	26.6	33.3	39.5	46.3	53.1	59.5	66.1	6.61	13.22	264.4
			65 厘米汞柱	6.5	13.2	19.8	26.7	33.4	40.4	45.5	53.0	59.6	66.2	6.62	13.24	266.8
			55 厘米汞柱	6.9	13.6	19.9	26.9	33.3	39.5	46.4	53.2	60.1	66.3	6.63	13.26	265.2
			45 厘米汞柱	6.5	13.8	19.8	26.8	33.5	40.2	46.1	52.7	59.8	66.2	6.62	13.24	264.8
			35 厘米汞柱	6.2	13.9	20.1	26.5	32.9	40.4	46.3	53.2	59.7	66.0	6.60	13.20	263.6
			25 厘米汞柱	6.4	13.2	20.2	26.7	33.4	39.8	45.5	52.5	59.7	66.0	6.60	13.20	264.0

(二)利用保利綸在駐波中的排列，找出波長。

※反射板與喇叭的距離  $S$ ，固定為  $80\text{ cm}$ ，大氣壓力  $75 \sim 76\text{ cm}$

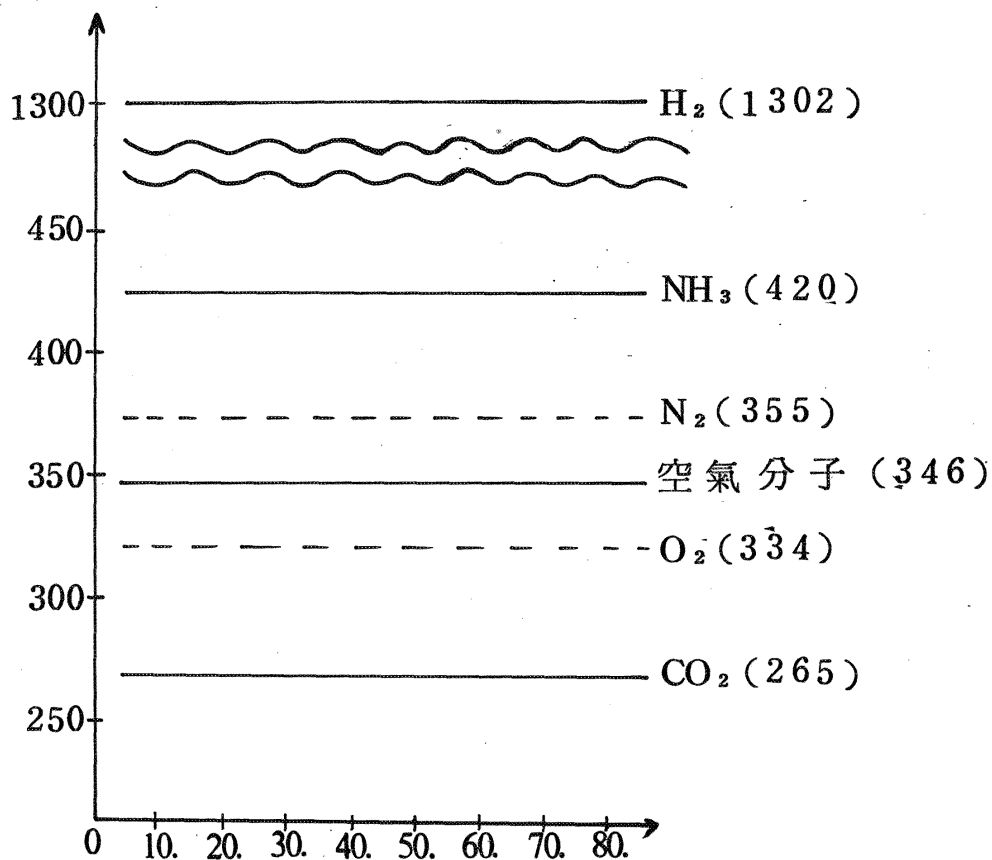
Hg

氣 體 介 質	聲音頻率 (HZ)	保利綸排列 的間隔數目 ( $n$ )	平均間隔 ( $d=s/n$ )	波 長 ( $2d\text{ cm}$ )	波 長 ( $\text{m/sec}$ )
空 氣	1720	8	10.00	20.00	344.00
	2160	10	8.00	16.00	345.60
氫 ( $\text{H}^2$ )	2440	3	26.67	53.34	1301.50
	3250	4	20.00	40.00	1300.00
氧 ( $\text{O}^2$ )	1680	8	10.00	20.00	336.00
	2090	10	8.00	16.00	334.00
氮 ( $\text{N}^2$ )	1770	8	10.00	20.00	354.00
	2220	10	8.00	16.00	355.20
氨 ( $\text{NH}^3$ )	1840	7	11.43	22.86	420.62
	2120	8	10.00	20.00	424.00
二氧化碳 ( $\text{CO}^2$ )	1820	11	7.27	14.54	264.63
	2320	14	5.71	11.42	264.94

※此種方法所得數據與前者所用方法，所得的數據有很大誤差，故僅列部分做為參考而已。

(三)圖表：〔由(一)中之數據繪成〕

1. 氣體的壓力對聲音傳播速率的影響：

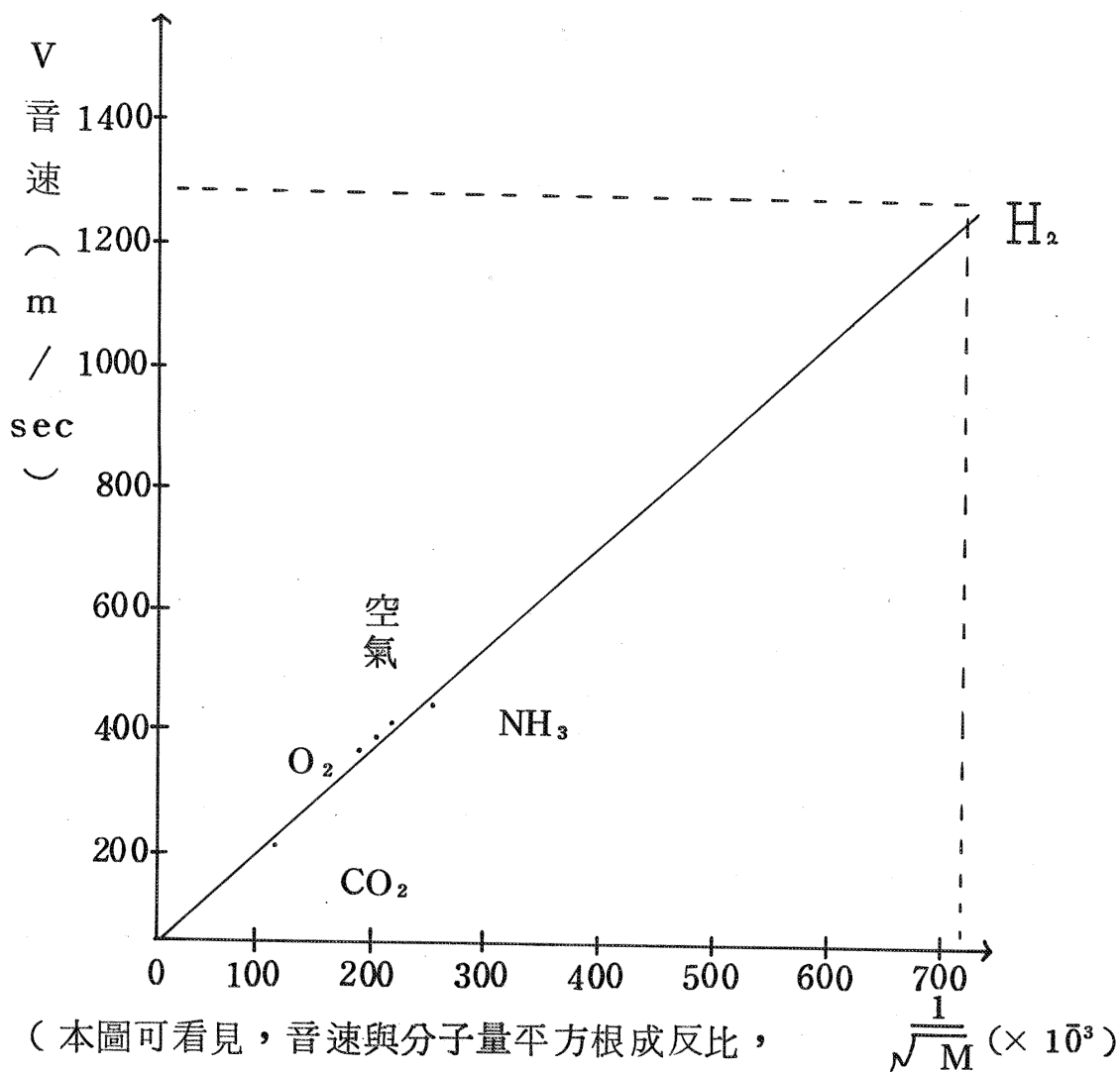


氣體介質的壓力大小 (cm . Hg)

(本圖可看出氣體的壓力與聲音的傳播速率無關)

2. 氣體的分子質量大小對傳播速率的影響

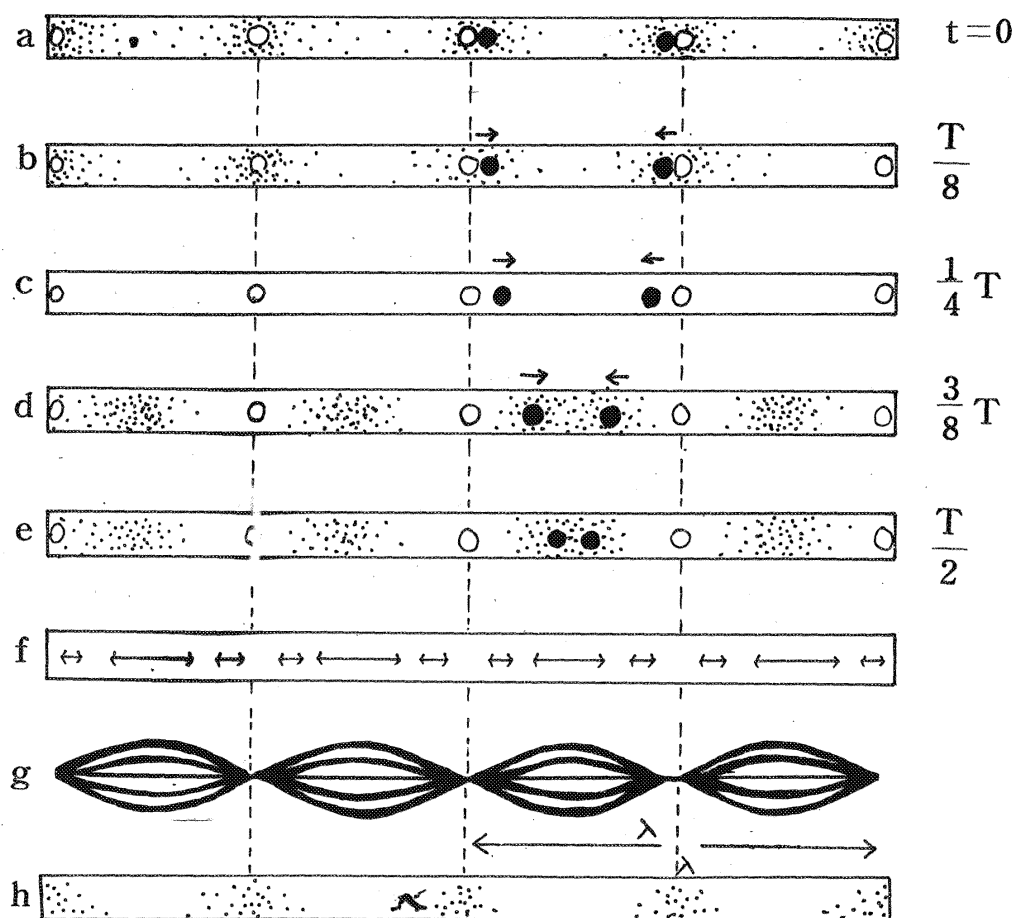
	分子量 (M)	$\sqrt{M}$	$\frac{1}{\sqrt{M}}$	音 速 (m/sec)
空 氣	28.9	5.376	0.186	346
H <sub>2</sub>	2	1.414	0.707	1302
O <sub>2</sub>	32	5.657	0.177	334
N <sub>2</sub>	28	5.292	0.189	355
NH <sub>3</sub>	17	4.123	0.243	420
CO <sub>2</sub>	44	6.633	0.151	265



(本圖可看見，音速與分子量平方根成反比，  
即分子量愈大，音速愈慢)。

## 六、討 論

- (一) 波傳播的是能量，而不是物質本身，若是讓波源而至的入射波和陸續反射回來的反射波會合，將發生種種特殊的情況，所謂駐波便是其中的一種。
- (二) 駐波的產生如下圖，由於波腹處質點的振動最為激烈，而波節是介質分子靜止的點，故保利綸在波節處堆積起來，兩堆保利綸之間隔恰好為半個波長，此時產生加強性干涉，可以聽見音量達最大值。



(三)在氣體動力論中我們知道一個式子  $\frac{1}{2} m \bar{V}^2 = \frac{3}{2} KT \dots$  ① (式中  $\bar{V}$  代表分子運動的平均速度) 當溫度一定時，氣體的運動速度與分子的質量平方根成反比。根據此式可推知氣體分子的運動速度如右表，表中的右邊亦列出本實驗所求出的各種氣體介質的傳播速度，兩列的數據並不一樣，原因是因為氣體分子並非在不受干擾的直線上衝出，而是一路上與撞到身上的其他分子撞擊搏鬥前進的，因此分子是沿著鋸齒形的路徑前進的，考慮了這個因素以後，我們可知道氣體介質的傳聲速率約為分子的平均速度的 0.7 倍左右而已。

氣 體	分子速率 ( $V_1$ )	音 速 ( $V_2$ )	$\frac{V_2}{\bar{V}_1}$
空 氣	485 m/sec	346 m/sec	0.71
氫	1838	1302	0.71
氧	461	334	0.72
氮	493	355	0.72
氨	654	420	0.64
二 氧 化 碳	393	265	0.67



## 七、結 論

- (一)我們已證明氣體介質的傳聲速率與氣體壓力大小無關，也知道管子內氣體愈稀疏聲量就愈小，故高山上講話困難（遠距離不易聽清楚），絕不是因壓力降低而使音速降低之故，氣體變得太稀疏或山上太過空曠才是主要因素。
- (二)聲速大小與氣體介質分子量平方根成反比。
- (三)本實驗是在 1 大氣壓內測得的數據，若在更大氣壓下，（例如十大氣壓以上，氣體介質的傳播速率是否仍不受影響呢？則有待更進一步的探討了。

## 八、參考資料

- (一)音樂的科學原理
- (二)物理基礎概念 吳友仁著
- (三)Fundamentals of physics

## 評 語

- 1.利用磁鐵吸引壓克力管端內之鐵片，改變管長以測量駐波之變化，進而推算波速，構想頗富創意。
- 2.能把握問題之核心且做出有效之結果，如透過壓力對駐波影響的分析，決定了音速與分子量變化的關係。