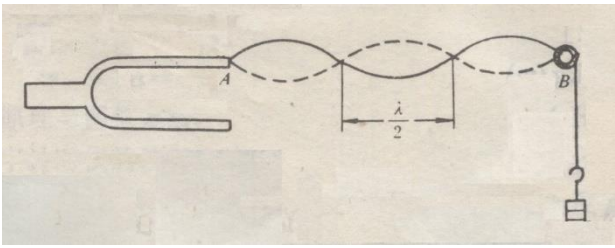
教育部 105 學年度普通型高級中等學校數理及資訊學科能力競賽

物理科決賽實驗試題參考解

[實驗原理]

1. 找**釣魚線密度**部分：



採用在線上形成駐波的方法，將釣魚線一端固定在頻率為 f 的音叉一臂上，另一端線繞過定滑輪而掛上物體使線上有一張力 T，如圖所示；一面敲擊音叉讓釣魚線振動，一面調整 AB 間的長度 l，當釣魚線呈現駐波時，l 為半波長的整數倍，即

$$l = n \cdot \frac{\lambda}{2} \qquad ,(n = 1,2,3,\cdots) \cdots\cdots \text{式}(1)$$

波在線上的傳播速率 v 與線上張力 T 及線的線密度 ρ 之間的關係為

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}} \cdots\cdots \text{式}(2)$$

由波速 v、波長 λ、頻率 f 三者的關係 $v=f\lambda$，可將式(2)整理得出

$$\lambda = \frac{1}{f}\sqrt{\frac{T}{\rho}} \cdots\cdots \text{式}(3)$$

將式(1)代入，即得

$$f = \frac{n}{2l}\sqrt{\frac{T}{\rho}} \cdots\cdots \text{式}(4)$$

所以只要由呈現駐波時所見半波長的數量 n 及頻率 f、長度 l、張力 T，即可找出釣魚線的待測線密度 ρ。

2. 求 α **值**部分：

採用氣柱共鳴的方法，用頻率 f 的振動音叉置於量筒管口使筒內的空氣柱共振時，內部聲波的波長正比於 $(L+\alpha\times D)$，其中 L 為量筒內空氣柱長度，α 為待測常數，D 為量筒內側直徑，即知

$$\lambda = \frac{v}{f} = k(L+\alpha\times D) \qquad ,k\text{為常數}$$

$$\Rightarrow L = \frac{v}{kf} - \alpha\times D \qquad ,k\text{為常數}\cdots\cdots \text{式}(5)$$

故只要調整量筒中的水量使桶內空氣柱達到共振，測量出各種不同內徑 D 的量筒所對應的空氣柱長度 L，以 L、D 數據算出其直線關係式 $L=a+bD$，就可得到 $\alpha=-b$。

3. 求**聲波的傳播速率**部分：

找釣魚線之線密度部分，只能求得聲波在釣魚線上的傳播速率；欲求聲波之傳播速率只能從求 α 值部分著手。量筒中空氣柱共振時，筒內空氣柱長度 L、量筒內側直徑 D 與波長 λ 之關係為

$$L+\alpha\times D=\left(\frac{2n+1}{4}\right)\lambda\cdots\cdots\text{式(6)}$$

本實驗中 n=0，再將 L、α 與 D 的值代入上式算出波長 λ，然後利用波速 v、波長 λ、頻率 f 三者的關係 $v=f\lambda$ 計算，以此法算出之 v 值即為題目所求之聲波的傳播速率。

[實驗步驟與相關裝置圖]

(求**釣魚線的線密度**部分)

1. 利用泡棉膠帶及膠帶將滑輪固定於桌旁成為定滑輪。
2. 將含音箱之音叉放在桌上使音叉臂與定滑輪高度大致相等，並在音箱中置入水瓶藉此使音叉能穩定不翻落。
3. 如實驗原理圖示，將釣魚線一端固定音叉一臂上，另一端線繞過定滑輪後綁上螺帽，使掛上的螺帽重等於線上的張力 T，且使桌面上的釣魚線呈水平方向。
4. 調整音叉位置以改變桌面上音叉臂至定滑輪間的釣魚線長，並敲擊音叉，觀察線振動至釣魚線呈現駐波之狀況，記錄呈現駐波時之所見 AB 間的長度 l 及半波長的數量 n。
5. 改變音叉位置重覆步驟 4 以得到更多之 n、l 數據。
6. 將所掛螺帽質量配合重力加速度 g 算出線上張力 T。
7. 利用式(4)與測得之 n、l、音叉頻率 f 及算出之 T，即可求出待測釣魚線的線密度 ρ。

(求 α **值**部分)

8. 利用游標尺測量各量筒之內側直徑 D，並將音叉自音箱上取下。

9. 如圖，取一量筒置入適量的水，敲擊音叉後將其移至量筒上方，仔細聆聽量筒處是否有共鳴聲。
10. 調整水量至產生最大共鳴聲時，測量此時量筒內空氣柱長度 L。
11. 另取量筒重覆步驟 9 及步驟 10，以得到更多之 D 與 L 的數據。

12. 利用測得之 D 與 L 的數據計算出此二變量之直線關係式，即可由此求出 α 值。

(求**聲波的傳播速率**部分)

13. 將求 α 值部分所得之量筒內空氣柱長度 L 與聆聽共鳴聲狀況判斷找出 n 值，代入式(6)即可算出波長 λ。
14. 利用音叉頻率 f、波長 λ 與 $v=f\lambda$ 算出聲波的傳播速率 v。

[數據記錄]

1. 求**釣魚線的線密度**部分

釣魚線的線上張力 T=螺帽質量×重力加速度 g=36.78(g)×9.8(m/s^2)

音叉頻率 f=440(Hz)

半波長數量 n	6	5	4	3	2
AB 間長度 l(cm)	58.00	48.50	39.50	29.60	19.60

2. 求 α **值**部分

量筒內徑 D(mm)	60.06	50.02	37.00	33.00	26.60
最大共鳴聲時空氣柱長 L(cm)	17.10	17.60	18.30	18.40	18.80

3. 求**聲波的傳播速率**部分

共鳴時空氣柱長 L(cm)	17.10	17.60	18.30	18.40	18.80

比 L 更短的距離都沒有能聽到共鳴聲的位置

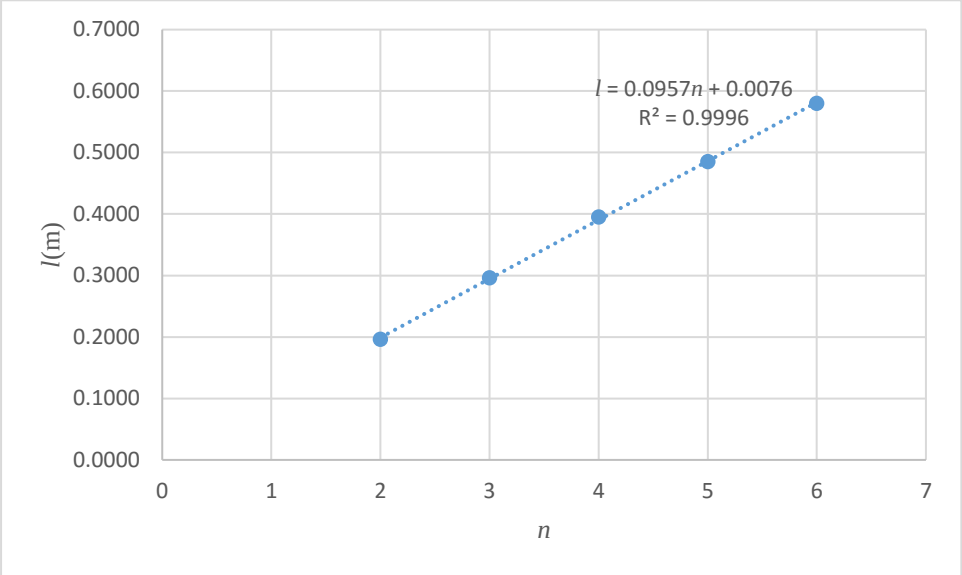
音叉頻率 f=440(Hz)

[數據分析與作圖]

1. 求**釣魚線的線密度**部分

T=36.78gx9.8m/s^2=0.03678kgx9.8 m/s^2=0.3604N
f=440Hz

n	6	5	4	3	2
l(m)	0.5800	0.4850	0.3950	0.2960	0.1960

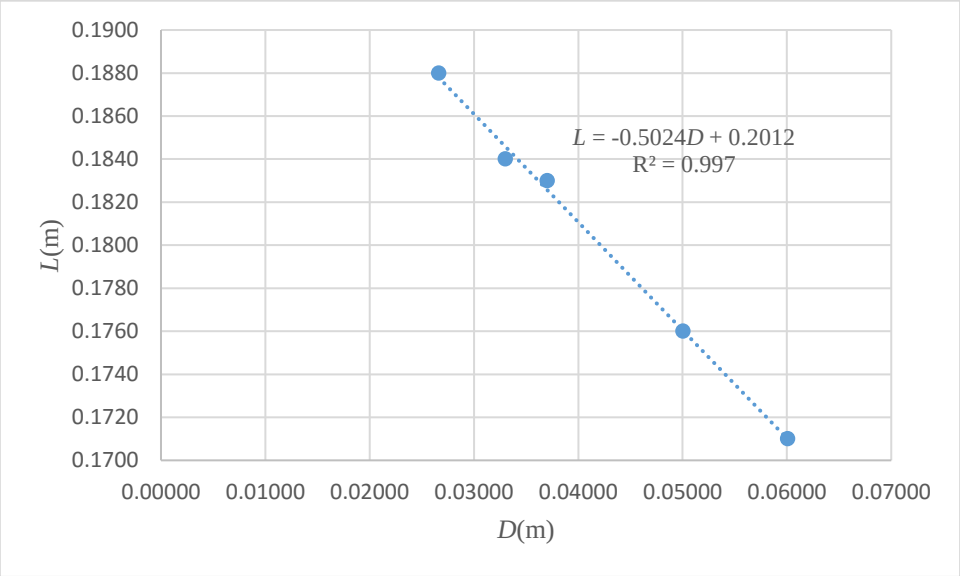


斜率=0.0957m
ρ =T/(2fx斜率)^2=0.00005082 kg/m

2. 求 α **值**部分

D(m)	0.06006	0.05002	0.03700	0.03300	0.02660
L(m)	0.1710	0.1760	0.1830	0.1840	0.1880

以 D 為橫軸 L 為縱軸作圖



配合 $L=\dfrac{v}{kf}-\alpha\times D$ ，k為常數及所得直線關係式可得

$\alpha=-(-0.5024)=0.5024$

3. 求**聲波的傳播速率**部分

由實驗結果判斷 n=0

配合 $L+\alpha\times D=\left(\frac{2n+1}{4}\right)\lambda$ ，分別將 n、L、α、D 數據代入，算出波長 λ

$L+\alpha\times D$ (m)	0.2012	0.2011	0.2016	0.2006	0.2014
波長 λ (m)	0.8047	0.8045	0.8064	0.8023	0.8055

平均波長 λ =0.8047 m

(標準差=0.001501 m)

f=440Hz，代入 v=f λ 算出聲波的傳播速率為 v = 354.1 m/s

4. 整理出實驗所得結果為：**釣魚線的線密度 ρ = 5.082× 10^{-5} kg/m，α= 0.5024，聲波的傳播速率 v = 354.1 m/s**。

[結果與討論]

1. 滑輪須確實固定於桌面上，避免釣魚線振動時滑輪晃動，造成實驗誤差。
2. 安裝器材及整個實驗過程都必須隨時注意是否保持桌面上 AB 間的釣魚線呈水平方向。
3. 觀察釣魚線是否呈現駐波時，宜在線的後方置上色紙以輔助觀察。
4. 敲擊音叉後聆聽量筒處是否有共鳴聲時，小心別將敲擊聲錯判成是音叉振動所發出的聲音。
5. 將音叉敲擊後才移至量筒開口處聆聽，較容易判定是否產生共鳴。
6. 當初現共鳴聲時，微調量筒內水量於附近多做些不同空氣柱長度之聆聽，較容易比較共鳴聲大小來找出最大共鳴聲位置，量得欲求之空氣柱長度 L。