

# 第 108 學年度清華大學普通物理實驗(一)

☐預報 或 ☒結報 課程編號： 10810PHYS101010

實驗名稱： 一維駐波與二維共振的克拉尼圖案實驗

系 級： 電機資訊學院學士班 1 年級 組 別： 13

學 號： 108060018 姓 名： 葉承泓

組 員： 陳竑廷

實驗日期： 108 年 10 月 30 日 補作日期：      年      月      日

◎ 以下為助教記錄區

預報繳交日期	報告成績	助教簽名欄
結報繳交日期		
報告缺失紀錄		

## 六、實驗結果與分析

### (一)實驗 A——一維橫波弦振盪與其駐波共振：

#### 1. 改變繩線所受之張力 $T$ (固定線密度 $\mu$ )：測量 $T$ 與波速 $v$ 之間的關係

表 1 改變張力  $T$

繩線(棉線)質量  $m \doteq 0.000086 \text{ kg}$

繩線(棉線)長度  $L \doteq 0.883 \text{ m}$

線密度  $\mu = \frac{m}{L} \doteq 0.000098 \text{ kg/m}$

圖形上的斜率  $\doteq 0.4616$

實驗次數	懸掛物體(砝碼架+砝碼)質量 $M(\text{kg})$	張力(N) $T=Mg$	$\log_{10} T$ (N)
第 1 次	0.250208	2.45265482	2.80990
第 2 次	0.200208	1.96265482	2.49070
第 3 次	0.150208	1.47265482	2.24140
第 4 次	0.100208	0.98265482	1.78220
第 5 次	0.070208	0.68865482	1.42990

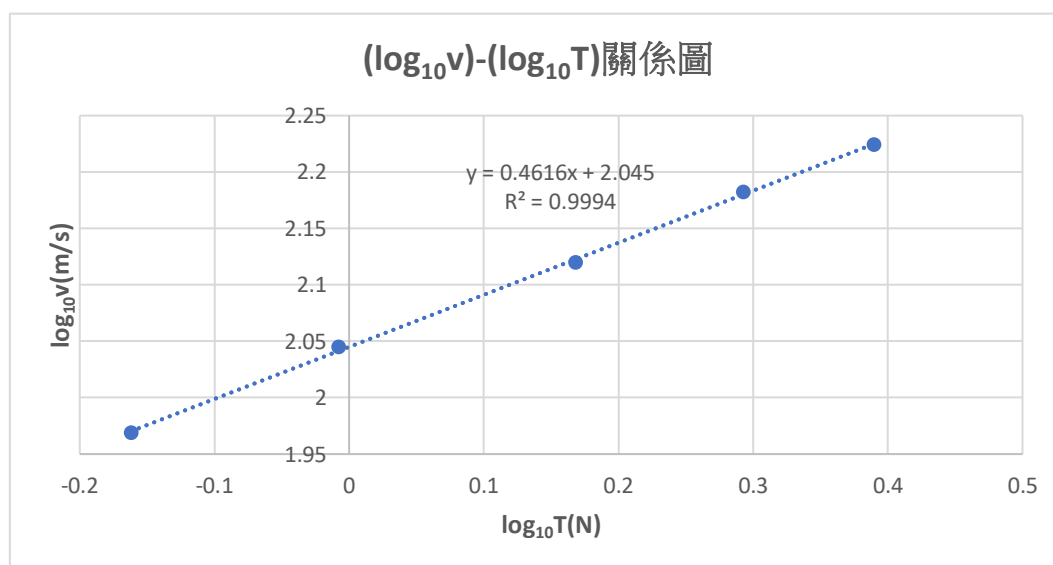
n=1			n=2		
振動頻率 $f$ 測量值(1/s)	$\lambda = \frac{2L}{n}$ (m)	$v$ 實驗值 (m/s)	振動頻率 $f$ 測量值 (1/s)	$\lambda = \frac{2L}{n}$ (m)	$v$ 實驗值 (m/s)
94.8	1.766	167.4168	189.4	0.883	167.2402
87.8		155.0548	169.9		150.0217
75.9		134.0394	147.3		130.0659
65.9		116.3794	122.2		107.9026
54.9		96.9534	102.4		90.4192

n=3			v 實驗值平均 (m/s)	$\log_{10}(v \text{ 實驗值平均})$ (m/s)
振動頻率 f 測量值 (1/s)	$\lambda = \frac{2L}{n}$ (m)	v 實驗值 (m/s)		
285.1	0.588667	167.828867	167.495289	2.224003
256.9		151.228467	152.101656	2.182134
222.9		131.2138	131.773033	2.119827
183.8		108.196933	110.8263111	2.044643
155.9		91.7731333	93.048578	1.968710

表 2 改變張力 T

秤重、量長度所得之測量值 $\mu$	0.000098(kg/m)
由實驗斜率得到的線密度 $\mu$	0.000081(kg/m)
誤差百分比	16.667796%

圖 1 改變張力 T 之  $(\log_{10} v) - (\log_{10} T)$  關係圖



數據分析：

1. 用精密天平測量棉線的質量  $m$ (測量值(理論值))
2. 用鐵直尺測量棉線的總長度  $L$ (測量值(理論值))
3. 由  $\mu = \frac{m}{L}$  可得到棉線的平均線密度(測量值(理論值)) (假設棉線為非彈性，即其不因受力而改變長度，則線密度在整個實驗中皆相等)
4. 用電子天平測量砝碼架的質量，並在其上掛上 3 個 50g 砝碼、2 個 20g 砝碼、1 個 10g 砝碼，得到「懸掛物體(砝碼架+砝碼)質量  $M$ (kg)」
5. 棉線所受之張力  $T = Mg$ ，並取  $\log_{10} T$  的值

6. 將實驗裝置架設好，再將驅動臂的鎖定滑桿切換至「非鎖定狀態(Unlock)」，開啟正弦波信號產生器，慢慢增加振動頻率直到駐波形成(看見節點)，當在  $L$  的長度中分別形成  $\frac{1}{2}\lambda$ ( $n=1$ )、 $\lambda$ ( $n=2$ )、 $\frac{3}{2}\lambda$ ( $n=3$ )的波形時，記錄下此時的頻率  $f$  於表 1 中
7. 由於  $n=1$  時  $L=\frac{1}{2}\lambda$ 、 $n=2$  時  $L=\lambda$ 、 $n=3$  時  $L=\frac{3}{2}\lambda$ ，故可推得知當  $n=1$  時  $\lambda=2L$ ；當  $n=2$  時  $\lambda=L$ ；當  $n=3$  時  $\lambda=\frac{2}{3}L$ ，分別記錄於表 1 中
8. 由於波速  $v=f\times\lambda$ ，由實驗數據分別可求出  $n=1,2,3$  時的  $v$  值，將其取平均，並將平均值取  $\log_{10}(v\text{平均})$  的值
9. 將砝碼架上懸掛的砝碼質量分別改為 150g、100g、50g、20g，重複步驟 5.~8.，可得到 5 個  $\log_{10} v$  與 5 個  $\log_{10} T$  的數據
10. 畫出  $(\log_{10} v)-(\log_{10} T)$  關係圖，如圖 1 所示
11. 因為  $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \Rightarrow \log_{10} v = \frac{1}{2}(\log_{10} T - \log_{10} \mu) = \frac{1}{2}\log_{10} T - \frac{1}{2}\log_{10} \mu$ ，故  $(\log_{10} v)-(\log_{10} T)$  關係圖成一直線，且其斜率大約為  $\frac{1}{2}$ ，其  $y$  軸截距為  $-\frac{1}{2}\log_{10} \mu$ ，因此若圖形回歸直線的  $y$  軸截距為  $y_0$ ，則  $y_0 = -\frac{1}{2}\log_{10} \mu$ ，可計算出線密度  $\mu$  的實驗值為  $10^{-2y_0}$
12. 如表 2， $\mu$  誤差  $= \frac{\mu_{\text{實驗值}} - \mu_{\text{理論值}}}{\mu_{\text{理論值}}} \times 100\%$

## 2. 改變振盪繩線之線密度 $\mu$ (固定張力 $T$ )：測量 $\mu$ 與波速 $v$ 之間的關係

表 3 改變線密度  $\mu$

懸掛物體(砝碼架+砝碼)質量  $M \doteq 0.250208 \text{ kg}$

實驗線種所受之張力  $T = Mg \doteq 2.45265482 \text{ N}$

實驗線種	實驗線種質量 $m(\text{kg})$	實驗線種長度 $L(\text{m})$	實驗線種線密度 $\mu$ (理論值)( $\text{kg/m}$ )
棉線	0.000086	2.45265482	0.000098
彈性繩	0.005959	1.463	0.004073

實驗線種	$n=1$			$n=2$		
	振動頻率 $f$ 測量值 (1/s)	$\lambda = \frac{2L}{n}$ (m)	$v$ 實驗值 (m/s)	振動頻率 $f$ 測量值(1/s)	$\lambda = \frac{2L}{n}$ (m)	$v$ 實驗值 (m/s)
棉線	94.8	1.766	167.4168	189.4	0.883	167.2402
彈性繩	14.8		26.1368	29.7		26.2251

實驗線種	n=3			v 實驗值平均 (m/s)
	振動頻率 f 測量值 (1/s)	$\lambda = \frac{2L}{n}$ (m)	v 實驗值 (m/s)	
棉線	285.1	0.588667	167.828867	167.495289
彈性繩	44.5		26.195667	26.18585556

表 4 改變線密度  $\mu$

實驗線種	$\mu$ 實驗值平均 (m/s)	$\mu$ 理論值 (m/s)	$\mu$ 誤差
棉線	0.003576868	0.004073	-12.186910%
彈性繩	0.000087	0.000098	-10.371917%

數據分析：

1. 用電子天平測量砝碼架的質量，並在其上掛上 3 個 50g 砝碼、2 個 20g 砝碼、1 個 10g 砝碼，得到「懸掛物體(砝碼架+砝碼)質量 M(kg)」
2. 計算實驗線種所受之張力  $T=Mg$ ，記錄在表 3 中
3. 用精密天平測量棉線的質量 m，記錄在表 3 中
4. 用鐵直尺測量棉線的總長度 L，記錄在表 3 中
5. 由  $\mu = \frac{m}{L}$  可得到棉線的平均線密度(測量值(理論值))(假設棉線為非彈性，即其不因受力而改變長度，則線密度在整個實驗中皆相等)
6. 將實驗裝置架設好，再將驅動臂的鎖定滑桿切換至「非鎖定狀態(Unlock)」，開啟正弦波信號產生器，慢慢增加振動頻率直到駐波形成(看見節點)，當在 L 的長度中分別形成  $\frac{1}{2}\lambda$ (n=1)、 $\lambda$ (n=2)、 $\frac{3}{2}\lambda$ (n=3)的波形時，記錄下此時的頻率 f 於表 3 中
7. 由於 n=1 時  $L = \frac{1}{2}\lambda$ 、n=2 時  $L = \lambda$ 、n=3 時  $L = \frac{3}{2}\lambda$ ，故可推得知當 n=1 時  $\lambda = 2L$ ；當 n=2 時  $\lambda = L$ ；當 n=3 時  $\lambda = \frac{2}{3}L$ ，分別記錄於表 3 中
8. 由於波速  $v = f \times \lambda$ ，由實驗數據分別可求出 n=1,2,3 時的 v 值，將其取平均值，並將其記錄於表 3 中
9. 因為  $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ ，故  $\mu = \frac{T}{v^2}$ ，可算出  $\mu$  平均(實驗值)，如表 4
10. 如表 4， $\mu$  誤差  $= \frac{\mu_{\text{實驗值}} - \mu_{\text{理論值}}}{\mu_{\text{理論值}}} \times 100\%$
11. 將棉線換成彈性繩，如下所述

12. 用精密天平測量彈性繩的質量  $m$ ，記錄在表 3 中
13. 用鐵直尺測量彈性繩在所受張力為  $Mg$  的總長度  $L$  (因為彈性繩會因為受力大小而改變長度，因而改變其線密度，故要計算其線密度時，必須先固定(或已知)張力(或其所受之力)的大小)，記錄在表 3 中
14. 由  $\mu = \frac{m}{L}$  可得到彈性繩的平均線密度(測量值(理論值))
15. 重複步驟 6.~10.

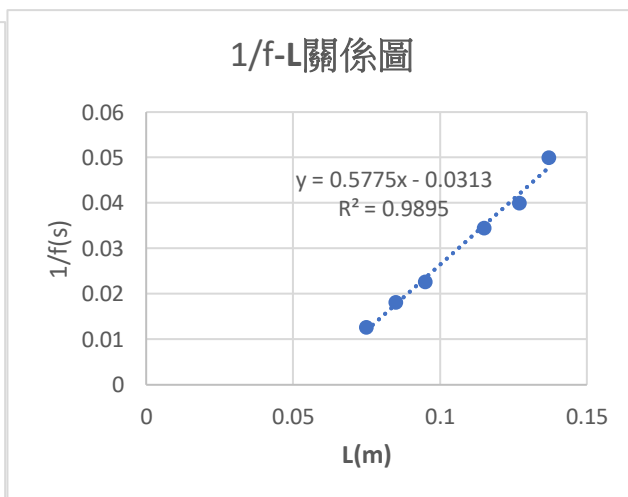
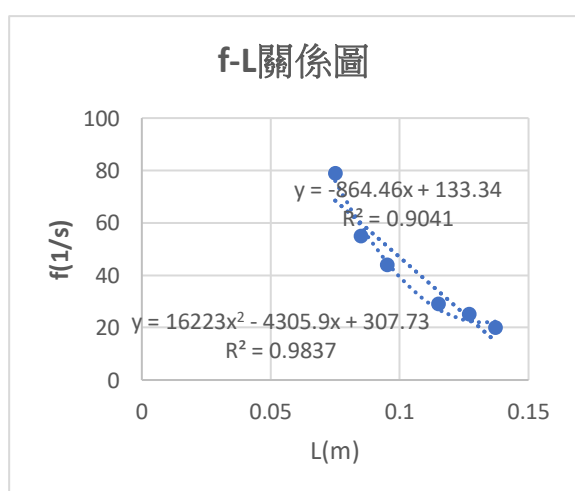
## (二) 實驗 B—金屬長條片的橫波振盪：

表 5 金屬長條片之長度  $L$  與共振頻率  $f$  的關係

金屬長條片 編號	長度 $L(m)$	達到共振時的頻率 $f(1/s)$	$\frac{1}{f}(s)$
1	0.075	79.0	0.012658
2	0.085	55.0	0.018182
3	0.095	44.0	0.022727
4	0.115	29.0	0.034483
5	0.127	25.0	0.040000
6	0.137	20.0	0.050000

圖 2 金屬長條片之  $f$ - $L$  關係圖

圖 3 金屬長條片之  $\frac{1}{f}$ - $L$  關係圖



數據分析：

1. 測量各金屬長條片的長度，記錄在表 5 中
2. 將實驗裝置架設好，再將驅動臂的鎖定滑桿切換至「非鎖定狀態(Unlock)」，開啟正弦波信號產生器，慢慢增加振動頻率直到某一金屬片的共振達成(當震動振幅相對於其他條金屬片為最大時)，記錄下此時的頻率  $f$  於表 5 中
3. 繼續緩慢增加振動頻率，直到找到每一片金屬片的共振頻率
4. 當金屬長條片振幅為最大時，表示產生駐波且其端點落在腹點上，故其長度  $L$  可能

為  $L = \frac{n\lambda}{4}$ ， $n=1,3,5,\dots$

5. 因為此 6 片金屬長條片之材質相同，故波動在其間傳遞的速率應幾乎相等，又

$v=f \times \lambda$ ，故  $\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow L = \frac{n\lambda}{4} = \frac{nv}{4f} (n=1,3,5,\dots) \Rightarrow$  當  $n$  相同時， $L \propto \frac{1}{f}$ ，如圖 3 所示(y 軸

截距我認為可能是因為測量  $f$  值時的  $n$  不同所導致)

### (三) 實驗 C—環型駐波振盪與電子軌道運動：

表 6 金屬圓環之節點數  $n$  與共振頻率  $f$  的關係

節點數 $n$ (個)	達到共振時的頻率 $f$ (1/s)
3	13.3
4	58.0
5	66.6
6	78.3
7	109.0

圖 4 金屬圓環之環形駐波的  $f$ - $n$  關係圖

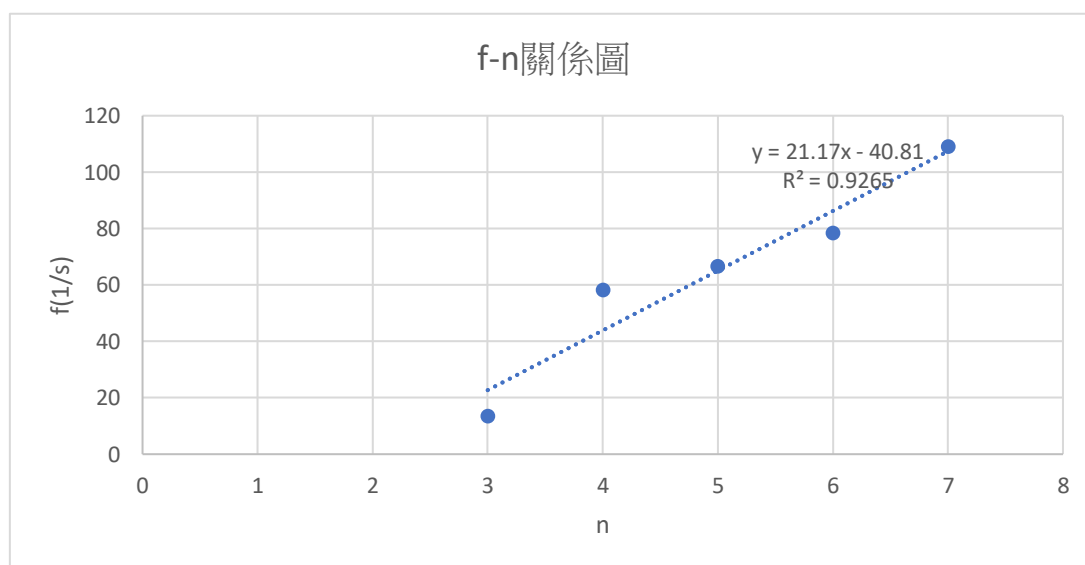
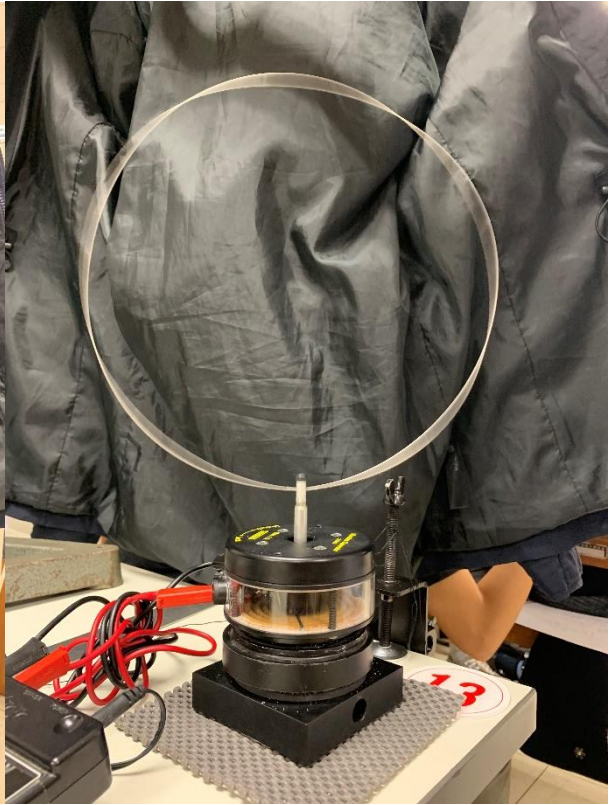


圖 5 金屬圓環所產生之環形駐波的實驗照片

$n=7$  時



$n=5$  時



$n=4$  時





數據分析：

1. 將金屬線環上的香蕉型插頭插入振動儀的驅動臂上，使之與驅動軸連接
2. 將其他實驗裝置架設好，再將驅動臂的鎖定滑桿切換至「非鎖定狀態(Unlock)」，開啟正弦波信號產生器，慢慢增加振動頻率直到駐波形成(看見節點(不隨著震動的點))，記錄下此時的節點數目  $n$  以及頻率  $f$  於表 6 中
3. 繼續緩慢增加振動頻率，尋找駐波形成時的頻率及節點數目並記錄在表 6 中，共記錄 5 組( $n, f$ )數據
4. 假設金屬線環的周長為  $L$ (或假設其半徑為  $r$ ，則周長  $L=2\pi r$  亦可得知)，當節點數目為  $n$  ( $n$  可以為任何正整數)時，節點將整個圓環分成  $n$  等分，且每一等分長度恰好為  $\frac{\lambda}{2}$ ，所以  $L=\frac{n\lambda}{2}$ ，又波速  $v=f\times\lambda\Rightarrow\lambda=\frac{v}{f}\Rightarrow L=\frac{nv}{2f}(n\in N)$ 。因為  $L$  長度為定值，且因為波在同一金屬環(假設密度均勻)上傳遞，故  $v$  值亦為常數，所以理論上  $n\propto f$ 。

#### (四) 實驗 D—彈簧縱波振盪：

表 7 改變彈簧彈力  $F$

彈簧質量  $m \doteq 0.016370 \text{ kg}$

彈簧原長  $x_0 \doteq 0.153 \text{ m}$

掛上 10g 砝碼後之彈簧總長  $x \doteq 0.2592 \text{ m}$

彈簧的彈性常數  $k = -\frac{F}{\Delta x} = -\frac{0.01g}{x-x_0} \doteq -0.922787 \text{ (N/m)}$

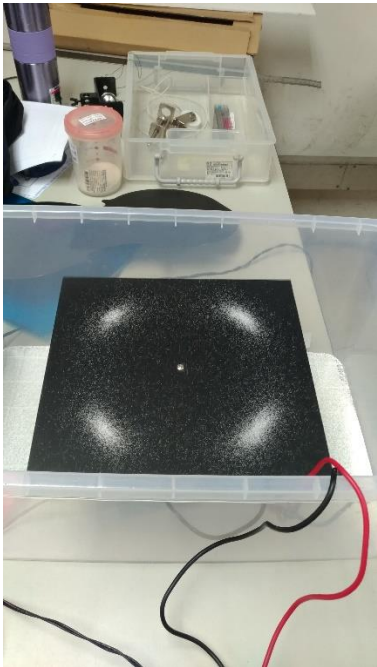


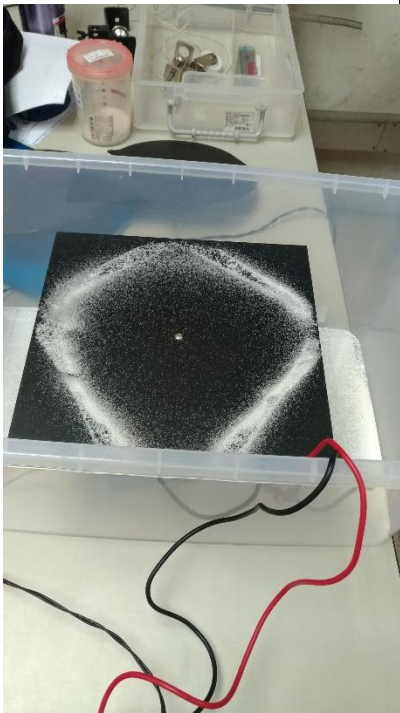
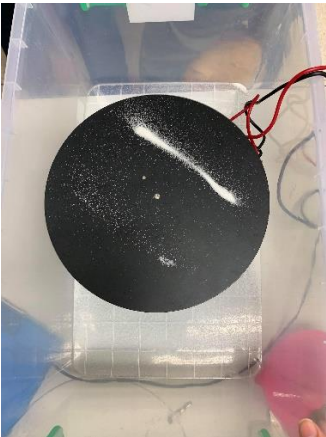

實驗次數	彈簧總長度 $x(\text{m})$	彈簧伸長量 $\Delta x(\text{m})$	彈簧彈力 $F(\text{N})$	彈簧線密度 $\mu(\text{kg/m})$
第 1 次	0.5095	0.3565	0.328974	0.032129
第 2 次	0.382	0.229	0.211318	0.042852

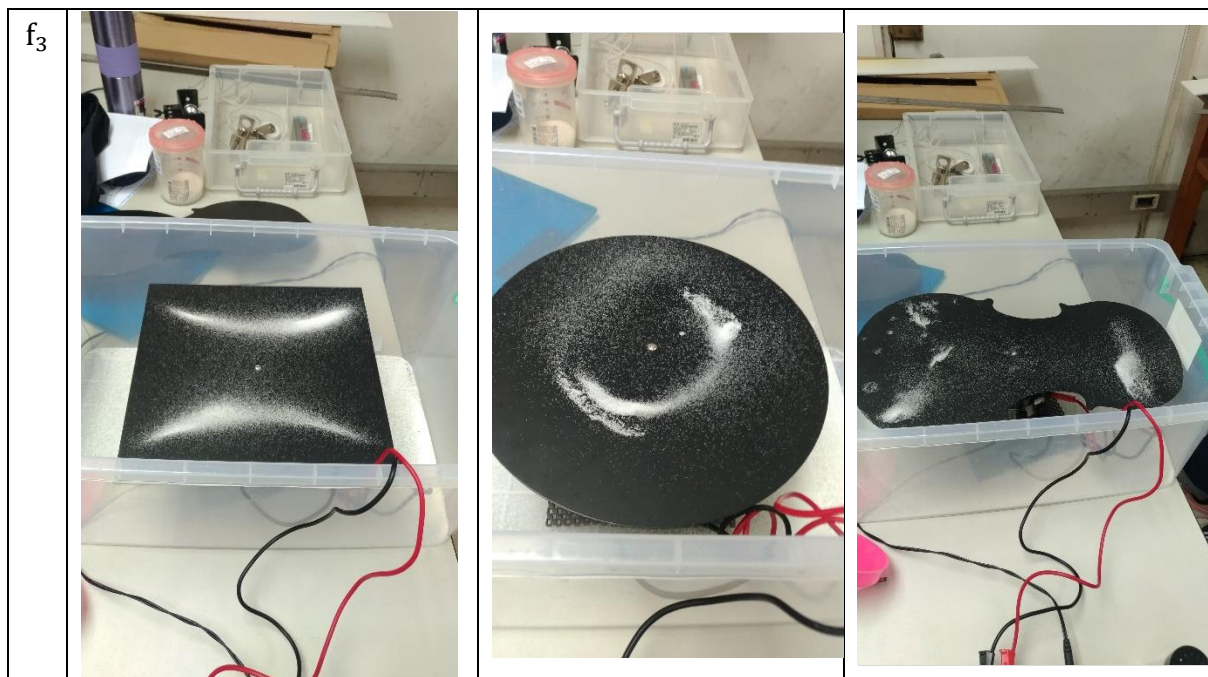
實驗次數	振動頻率 $f$ 測量值(1/s)	$\lambda (\text{m})$	$v$ 實驗值 (m/s)	$v$ 實驗 值平均 (m/s)	$v$ 理論值 (m/s)	$v$ 誤差
第 1 次	45.3	0.094	4.2582	3.92174	3.199879	22.558995%
	56.3	0.069	3.8847			
	64.9	0.058	3.7642			
	82.6	0.048	3.9648			
	103.8	0.036	3.7368			
第 2 次	45.5	0.068	3.094	3.14054	2.220655	41.424014%
	51.7	0.059	3.0503			
	68.4	0.048	3.2832			
	124.5	0.026	3.237			
	138.1	0.022	3.0382			

數據分析：

1. 用精密天平測量彈簧的質量  $m$ (測量值(理論值))
2. 用鐵直尺測量彈簧的原長  $x_0$  (測量值(理論值))
3. 接著要獲得此彈簧的彈性係數  $k$ ：將 10g 砝碼掛上彈簧後測量其總長  $x$
4. 因此彈簧的彈性常數  $k = -\frac{F}{\Delta x} = -\frac{0.01g}{x - x_0}$ ，記錄在表 7 中
5. 將彈簧上端的支撐物向上提，使彈簧伸長(下端仍穿過香蕉型接頭上的洞口(鈎掛在香蕉接頭上)，連接著振動儀的驅動軸插座
6. 測量此時彈簧總長度  $x$ ，並計算彈簧伸長量  $\Delta x = x - x_0$
7. 計算彈簧彈力(張力)  $F = -k\Delta x$ ，如表 7
8. 計算此長度下彈簧的線密度  $\mu = \frac{m}{x}$
9. 將實驗裝置架設好，再將驅動臂的鎖定滑桿切換至「非鎖定狀態(Unlock)」，開啟正弦波信號產生器，慢慢增加振動頻率直到駐波形成(看見節點(固定不動、不隨著震動的點))，記錄下此時的頻率  $f$  於表 1 中
10. 測量此時(駐波形成時)兩相鄰節點之間的距離(為  $\frac{\lambda}{2}$ )，將此數據乘以 2 即可得到  $\lambda$  值，將其記錄於表 7 中
11. 繼續緩慢增加振動頻率，尋找駐波形成時的頻率  $f$ ，並測量兩相鄰節點之間的距離得到  $\lambda$  值，記錄  $f$  與  $\lambda$  在表 7 中，共記錄 5 組  $(\lambda, f)$  數據
12. 由於波速  $v = f \times \lambda$ ，由實驗數據分別可求出  $n=1,2,3,4,5$  時的  $v$  值，將其取平均值並記錄於表 7 中
13. 因為  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ ，故可得出  $v$  的理論值
14. 如表 7， $v$  誤差  $= \frac{v_{\text{實驗值}} - v_{\text{理論值}}}{v_{\text{理論值}}} \times 100\%$
15. 將彈簧上端的支撐物再次向上提，使彈簧再度伸長(但下端仍穿過香蕉型接頭上的洞口(鈎掛在香蕉接頭上)，連接著振動儀的驅動軸插座，重複步驟 6.~14.

(五) 實驗 E—二維共振之克拉尼圖形：

頻 率	正方形鋁製平板	圓形鋁製平板	小提琴形鋁製平板
$f_1$			
$f_2$			



分析：

我們發現上方照片中的圖形有一個共通點：細沙集中分布在某個方向(右方)，導致整個圖形看起來並不向理論上的那麼均勻、對稱。我們認為可能是實驗裝置並不水平(在某方向上)，例如桌面並非水平，或塑膠盆子、鋁製平板所放置的位置傾斜所導致，因為波動使平板震動，又因為平板不水平，使得平板所給予細沙的正向力並非鉛直方向，而是有朝向前後左右方向的力，使細沙傾向往那個方向移動，而使在那個方向上的節線(在平面上的節點所成的集合(連線))上所堆積的細沙較另一側多。

## 七、問題與討論

**Q1：此實驗中可能引起誤差的因素有哪些？**

**A1：1. 儀器測量精確度：**

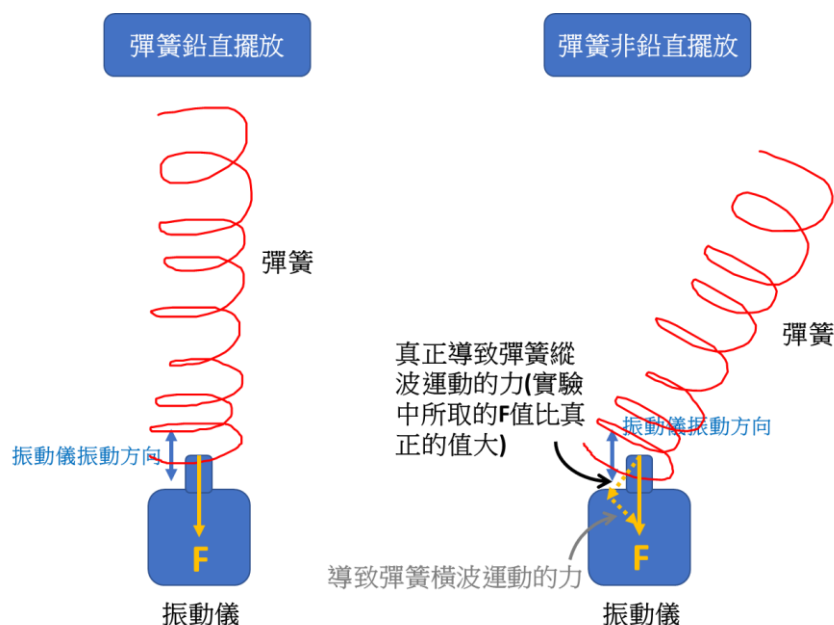
- (1) 以精密天平測量  $m$  時，儀器精確度只到 0.0001 公克(小數點後 7 位)的程度，但是實際數值可能超過小數點後 7 位，會導致測量上的些微誤差
- (2) 在以電子天平測量  $M$  時，儀器精確度只到 0.1 公克(小數點後 4 位)的程度，但是實際數值可能超過小數點後 4 位，因此也會導致誤差
- (3) 用鐵直尺測量繩線的長度時，因為其精確度只到 0.001m(即 1mm)，但是實際數值可能超過小數點後 3 位，因此也會導致誤差

**2. 觀測紀錄者觀測之精確度(人為判斷誤差)：**

- (1) 在確認直尺零點刻度是否已對其實際物體的位置時，有人為觀測上的誤差；而讀取直尺刻度時，估計值也會因人而異，且與實際值有差距。
- (2) 儀器裝置並沒有安裝得很精確，例如：彈簧實際上並未只在鉛直方向振動，而我們認為它以鉛直擺放，因此使其開始振動，造成振動儀對其所施的振動方向不與彈簧本身平行，會使振動儀對其所施同樣大小力量的振動下，平行分量(導致縱波)較小，而垂直彈簧方向的施力不為 0(若彈簧鉛直擺放則會為 0)，導致彈簧有橫波的產生，但因為在此實驗中我們只測量與縱波有關的物



理量，造成測量值較理論預期的來得小



3. 實驗E的鋁製平板並非水平，以至於在振動時並非鉛直方向上振動，而造成細沙往某特定一側聚集，使二維克拉尼圖形看起來並非對稱(理論上應對稱)。

**Q<sub>2</sub>：**為何細線不能直接繫在振動儀上，而一定要留一小段繩線使之與擬被振盪的部份水平地繫於桌邊的支撐架上？

**A<sub>2</sub>：**為了要保持整段繩子的水平，且使繩子兩端至少有一個是固定端(被固定在某處，不會隨著振動而移動位置)。若細線的一端直接繫在振動儀上，則理論上此端點應為自由端，即當駐波形成時，此點為腹點。但實際上因為連接砝碼架的那一端並不完全是固定端(因為通過滑輪，並未固定住)，因此當兩端都不是完全固定端時，會導致繩子並非固定處於一個水平面上，而是會隨著振動而整根跟著移動位置，那麼振動儀所施予的力量就被用來造成整根細線的運動，而不只是彈簧內部能量(波動)的傳遞，因此波動振幅變小，使得駐波較難被觀察到。所以我們要將繩子至少一端固定，但連接砝碼架那一側提供張力，必須裝在滑輪上，因此只好在被震盪的這一側固定住。

**Q<sub>3</sub>：**本實驗中所用的振動物體均是線密度均勻的繩線，若繩線的線密度不均勻的話，請問會產生什麼樣的結果？

**A<sub>3</sub>：**若繩線的線密度不均勻，則在波動傳遞的過程中，由於 $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ ，當 $T$ 為定值(固定而不隨繩線的位置變化)時， $v$ 與 $\sqrt{\mu}$ 成反比關係，所以若繩線的線密度不均勻，那麼在線密度較小的地方波動傳遞得較快，在線密度較大的地方波動傳遞得較緩慢，會使得產生駐波(波峰正好跑到另一個波峰的地方，波谷正好跑到另一個波谷的地方)的機會減少。另外，因為線密度並不均勻，因此在線密度改變的地方會有「反射波」形成(若線密度不變則不會有)，讓整個運動所需考慮的因素變得更加複雜，也因此干擾駐波的產生。

**Q<sub>4</sub>：**請說明金屬共振片彼此之間的角度對共振現象的影響，並解釋其原因。

**A<sub>4</sub>：**理論上金屬共振片彼此之間的角度與達到駐波條件的共振頻率之間應該沒有關

係，因為同樣都是以振動儀的驅動臂為振動端點，由於  $v=f \times \lambda$ ，達成駐波所需滿足的頻率只跟波速(與金屬片材質以及密度有關)與波長(即金屬片長度 $\times 4$ ，與金屬片長度有關)，而與金屬片相對之間的角度無關。因此理論上，改變金屬片之間的相對夾角並不會影響到單一金屬片的共振頻率。

**Q5：以此實驗的結果，說明以片條狀物體發音之樂器的基本工作原理，如鋼琴、木琴、鐵琴等樂器。**

**A5：**以片條狀物體發音之樂器有共同特徵：不同音高的音分別由敲擊不同長度的金屬片(條)來發出聲音，越高音的音(即頻率越高的音)需敲擊長度較短的金屬片；而越低音的音(即頻率越低的音)需敲擊長度較長的金屬片，此與實驗 B(金屬長條片的橫波振盪)的實驗結果(金屬片(條)長度越長，共振頻率越低(同一個  $n$  值下))相符合。而樂器的金屬片長度有特別設計過，使其達到共振(所發出的聲音的振幅才不會被互相抵銷，而是會加倍，讓音量更大聲)的頻率正好為 Do~Si 的音高。

**Q6：何謂懸臂樑？請解釋懸臂樑的設計原理和工作原理。**

**A6：**懸臂樑是只有一端被固定的樑(另一端為自由端)，常應用在陽臺的設計及橋樑的施工用懸臂上。當懸臂的一端固定，在其他地方(除了固定端)受到垂直於其表面的力量時，它會因此而彎曲變形(因為越遠離固定端(支點)的同樣大小的力所造成的力矩越大(因為力臂越大)，因此會越彎曲)，但它將這些負載以彎矩和剪力的形式傳遞到支座，而不會斷掉。

**Q7：請列舉幾個奈/微米級懸臂樑的應用？**

**A7：**

1. 利用微懸臂梁進行生物分子的感測，因其具有靈敏的質量、溫度與表面應力變化，可偵測引發特定疾病的生物分子，以準確並且快速地達到早期發現早期治療的診斷方式。資料來源：<http://www.stam.org.tw/newsletter2a.php?SN=46&opp=download1>
2. 原子力顯微鏡：降低探針的高程時，藉由壓電材料穩定地簡諧震盪驅動微懸臂梁，使微懸臂梁產生穩定簡諧波動，而探針端因為波的擾動而有垂直方向振動，透過觀測微懸臂梁的彎曲變形以及其擺動(或共振頻率變化)，可得知探針是否已碰觸試體(或在原子力影響高程內)。資料來源：[http://www.ntuce-newsletter.tw/vol.84/T4\\_06.html](http://www.ntuce-newsletter.tw/vol.84/T4_06.html)

**Q8：請利用日常生活中容易取得的物品，自己設計一個簡單型且可在家自己組裝的克拉尼圖形實驗裝置。**

**A8：**我認為可以利用擴音器(喇叭)加上墊板以及細沙來在家裡做類似的自製實驗，因為我在實驗時發現振動儀中有一個類似喇叭的振動裝置，使其上的驅動臂能作規律性的振動，而一般家中的喇叭也可以達成此項功能(但可能較不精準、精密)，只要讓他所輸出的聲音為固定頻率的「單音」，則其振動模式就有如振動儀。在喇叭上放上墊板，有如鋁製平板，只要能確保它是水平放置的，而且與細沙之間的摩擦係數不會太大(找表面稍微光滑的墊板即可達成)，就能夠達到類似的效果了。

**Q9：金屬線環上的駐波和節點觀察，可作為電子以不同半徑的球形軌道繞原子核做球體圓周運動，而產生共振頻率和具有特定之不連續能階的最佳圖解與說明。請試著說明兩者之間的對應關係。**

**A9：**電子在原子核外作圓周運動的軌道為球形駐波的形式，因為在運動方式為駐波

下，能量才不會因為互相抵銷而減少，才能使得電子保持在某特定軌道上(因為能量被鎖在駐波系統中，不會逸散出去)。而因為對應到特定的半徑(或特定周長，因為周長 $L=2\pi r$ )，能夠產生駐波的**共振頻率**也為特定幾個(因為 $L=\frac{n\lambda}{2}=\frac{nv}{2f}\Rightarrow f=\frac{nv}{2L}=\frac{nv}{4\pi r}$ )，因此波長也為特定幾個，故電子所在的軌道並非連續(即電子所在的軌道為**特定之不連續能階**)，而是有特定幾個(波長、頻率)值，才會形成駐波而使能量不逸散出去。

## 八、心得及建議

這次的實驗講義以及實驗內容真的都超級多的！我事先花了好幾個小時看講義，然後做整理又寫預報，還好那是在月考後，不過結報的時間點就真的有點尷尬了.....正好落在月考前一週要寫，而且這次的份量又好多喔，每個實驗要寫數據分析及理論推導，還要解釋一些實驗步驟的原理或原因，而且這次的數據真的滿多又複雜的，我花了好多時間整理，不過這週的結報作完就可以休息一下了——下一次實驗課是令人期待的演示實驗(不用再待到 6:30 了耶)，而且下星期又因為運動會而停課，所以有比較充裕的時間可以寫報告了～

這次實驗做得又急又亂，最後還麻煩助教幫我們看數據方面計算上的問題(結果是我在波長的部分忘了除以 2)，也幫我們測量出金屬片長度的實驗，聽說有助教晚上有課，真是辛苦助教還得犧牲上課來陪我們做實驗～

## 九、參考資料

1. 國立清華大學普通物理實驗室網站—實驗 7. 一維駐波與二維共振的克拉尼圖案 (Standing Waves)・網址：<http://www.phys.nthu.edu.tw/~gplab/exp007.html>
2. 實驗 7：一維駐波與二維共振的克拉尼圖案  
Lab. 7 One-dimensional Standing Waves and Two dimensional Chladni Resonance Patterns 講義・編者：國立清華大學物理系戴明鳳教授・編寫日期：97.02.06・修正：國立清華大學物理系陳志嘉・修正日期：99.10.26・網址：[http://www.phys.nthu.edu.tw/~gplab/file/07%20Standing%20Waves/wave\\_20101026.pdf](http://www.phys.nthu.edu.tw/~gplab/file/07%20Standing%20Waves/wave_20101026.pdf)
3. 波 (物理學名詞)・百度百科・網址：<https://baike.baidu.com/item/%E6%B3%A2/7467115>
4. 懸臂・維基百科，自由的百科全書・網址：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%82%AC%E8%87%82>