

## 實驗七 繩波實驗

### 實驗目的：

觀察弦線橫波運動所產生的共振現象，探討弦線傳遞速率  $v$ ，弦線張力  $T$  與弦線密度  $\mu$  之間的關係。

### 實驗儀器：

波形產生器，振動儀，滑輪組(含支架與掛鉤)，砝碼，弦線，捲尺，電子秤

### 實驗原理：

#### A. 波傳遞速度與弦線所受張力的關係

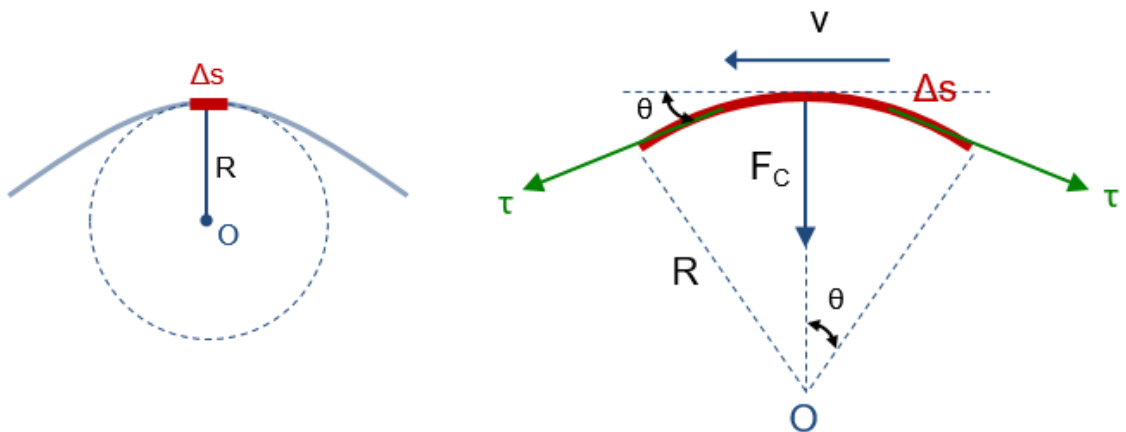
以左向右傳遞的脈波為例，相對於靜止的觀察者而言，弦線上介質質點並沒有沿波傳遞的方向移動，而觀察者卻會見到脈波向右傳遞。

假設觀察者以與脈波相同的速度向右移動，此時觀察者所見脈波會於空間中靜止不動，而弦線順著脈波形狀由右向左移動。

#### B. 弦線波速測定

圖一為單位長度弦線受力示意圖，弦線單位長度為  $\Delta s$ ，曲率半徑為  $R$  且圓心角為  $2\theta$ ，在弦線兩端會受到大小相等切向張力  $\tau$  作用，則可將向心力  $F_C$  表示為

$$F_C = 2\tau \sin \theta \approx \tau (2\theta) = \tau \frac{\Delta s}{R} \quad (1)$$



圖一 單位長度弦線受力示意圖。

已知單位長度弦線質量為  $\Delta m$ ，單位長度( $\Delta s$ )弦線密度為  $\mu$ ，則

$$\Delta m = \mu \Delta s$$

當單位長度弦線移動至脈波頂部時，可視為圓周運動，故向心加速度  $a$  可表示為

$$a = \frac{v^2}{R}$$

其中， $v$  為弦線傳遞速率

根據牛頓第二運動定律，則可將向心力  $F_C$  表示為

$$F_C = \Delta m a = (\mu \Delta s) \frac{v^2}{R} = 2\mu \theta v^2 \quad (2)$$

由公式(1)與公式(2)，向心力  $F_C$  可表示為

$$F_C = 2\tau\theta = 2\mu\theta v^2$$

則

$$\tau = \mu v^2$$

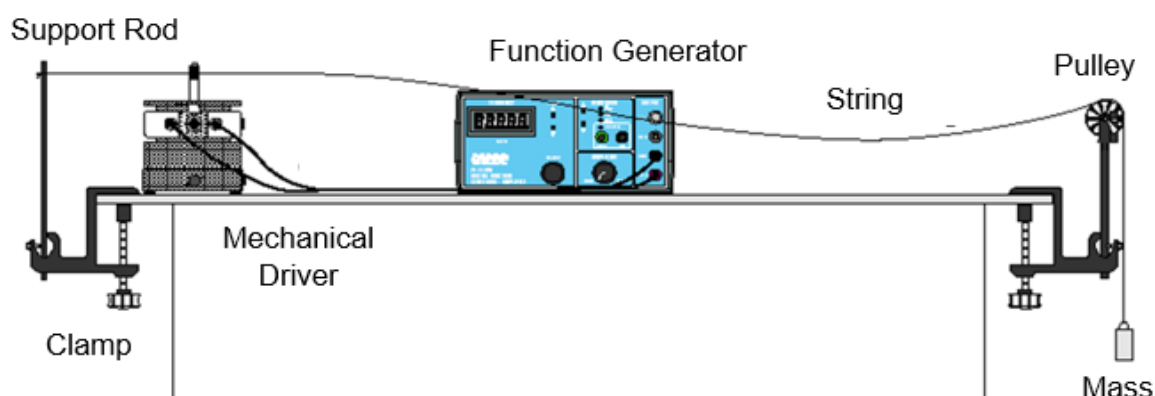
弦線傳遞速率  $v$  可表示為

$$v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$$

### 注意事項：

1. 為避免影響實驗結果，待實驗完成後再測量弦線密度  $\mu$ 。
2. 實驗前應將振動儀上方鎖桿撥至 **UNLOCK** 位置；實驗後再將鎖桿撥至 **Lock** 位置。
3. 振動儀應靠近固定端。
4. 弦線應先穿過振動儀上方小孔後再鎖緊固定。
5. 弦線一端繫於固定支柱上，另一端繫於掛鉤。
6. 砝碼切口方向應交錯置於掛鉤上。
7. 起振前應先確認弦線張緊再進行實驗。

## 實驗步驟：



圖二 實驗裝置圖示意圖。

### A. 弦線密度 $\mu$ 測量

1. 實驗進行前，以捲尺測量弦線長度  $l$ 。
2. 實驗完成後，以電子秤測量弦線質量  $m_2$ 。
3. 計算弦線密度  $\mu$ 。

### B. 固定弦線密度 $\mu$ ，改變弦線張力 $\tau$ ，觀察弦線張力 $\tau$ 與傳遞速率 $v$ 兩者間的關係

1. 實驗裝置圖如圖二所示。
2. 以電子秤測量砝碼與掛鉤總質量  $m_1$ 。
3. 計算弦線張力  $\tau = m_1 g$ 。
4. 調整振動頻率與振幅，至少要得到三種不同頻率 ( $f_1 \neq f_2 \neq f_3$ ) 所形成的駐波。
5. 測量不同頻率所形成的駐波波長  $\lambda$ 。
6. 計算弦線傳遞速率  $v$ 。
7. 固定弦線密度  $\mu$ ，改變弦線張力  $\tau$ ，重覆上述步驟。
8. 作  $v^2 - \tau$  關係圖。

### C. 固定弦線張力 $\tau$ ，改變弦線密度 $\mu$ ，觀察弦線密度 $\mu$ 與傳遞速率 $v$ 兩者間的關係

1. 實驗裝置圖如圖二所示。
2. 以電子秤測量砝碼與掛鉤總質量  $m_1$ 。
3. 計算弦線張力  $\tau = m_1 g$ 。
4. 調整振動頻率與振幅，至少要得到三種不同頻率 ( $f_1 \neq f_2 \neq f_3$ ) 所形成的駐波。
5. 測量不同頻率所形成的駐波波長  $\lambda$ 。
6. 計算弦線傳遞速率  $v$ 。
7. 固定弦線張力  $\tau$ ，改變弦線密度  $\mu$ ，重覆上述步驟。
8. 作  $v^2 - \frac{1}{\mu}$  關係圖。

### 實驗問題：

1. 若弦線非水平振動，對實驗是否有影響？試說明之。
2. 在本實驗中是先將弦線一端固定在支撐架上再穿過振動儀，若將弦線直接綁在振動儀是否會影響實驗結果？試說明之。

