

# 波動

## 實驗目的：

用振盪器使繩子產生波動，觀察行進波與駐波。並用駐波探討繩波的傳遞速率如何受繩的張力與繩的線質量密度影響。

## 實驗儀器：

波形產生器，振盪器，滑輪組(含支架與掛鉤)，砝碼，繩，捲尺，電子秤。

## 實驗原理：

### A. 行進波

物質中週期性的形變會形成波。週期性的形變若往前後傳遞，稱之為行進波。以繩子上的行進波為例，當波動從左向右傳遞，繩子上每一個質點只有上下移動，並沒有順著波傳遞的方向移動，但對觀察者卻會由質點上下震盪的行為造成看見似乎一個質點接一個質點向右邊傳遞，形成一種波形往右邊行進的視覺感受。

只要繩子的張力 $\tau$ 和線質量密度 $\mu$ 固定，繩波波速 $v$ 就會是定值。繩波波速 $v$ 即是一周期時間行進一波長，如下所示。

$$v = f \cdot \lambda$$

### B. 駐波

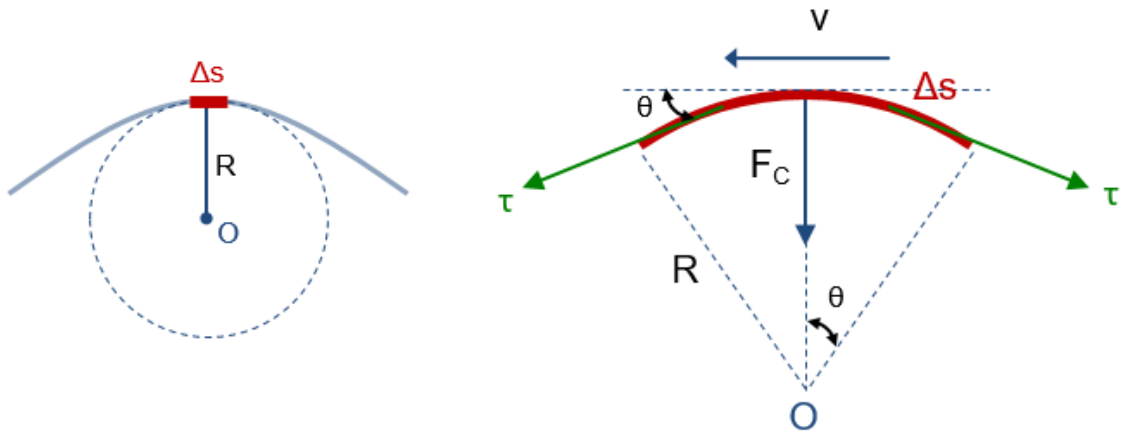
在適當的邊界條件下，兩股傳播方向相反，振幅、頻率、波長都相同的波疊在一起，只要相位搭配正確，會讓觀察者產生波在空間中靜止的錯覺，波形並未傳遞只是質點作上下簡諧震盪，稱為駐波。駐波上有些特定質點都靜止。驅動駐波的外加力之頻率與簡諧振盪的自然頻率一樣的時候，繩波會產生共振現象而形成巨大的振幅。

因為駐波在空間中不移動，很容易測量出它的波長與頻率，推算出速度，所以本實驗中將先調整出駐波，針對駐波來觀察波如何傳遞。

### C. 推導繩波波速

圖一為單位長度繩子受力示意圖，繩單位長度為 $\Delta s$ ，曲率半徑為 $R$ 且圓心角為 $2\theta$ ，在繩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 單位長度繩受力示意圖。圖中繩單位長度為 $\Delta s$ ，曲率半徑為 $R$ ，圓心為 $O$ ，圓心角為 $2\theta$ ，繩承受的張力為 $\tau$ ，一小段繩所受的向心力為 $F_c$ ， $v$ 為繩波波速。

此單位長度繩的質量為 $\Delta m$ ，可以其單位長度( $\Delta s$ )與其線質量密度 $\mu$ 表示，即

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

當單位長度繩移動至脈波頂部時，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， $v$ 為波傳遞速率

根據牛頓第二運動定律，則可將向心力 $F_c$ 表示為

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

由於(1)式等於(2)式，向心力 $F_c$ 可表示為

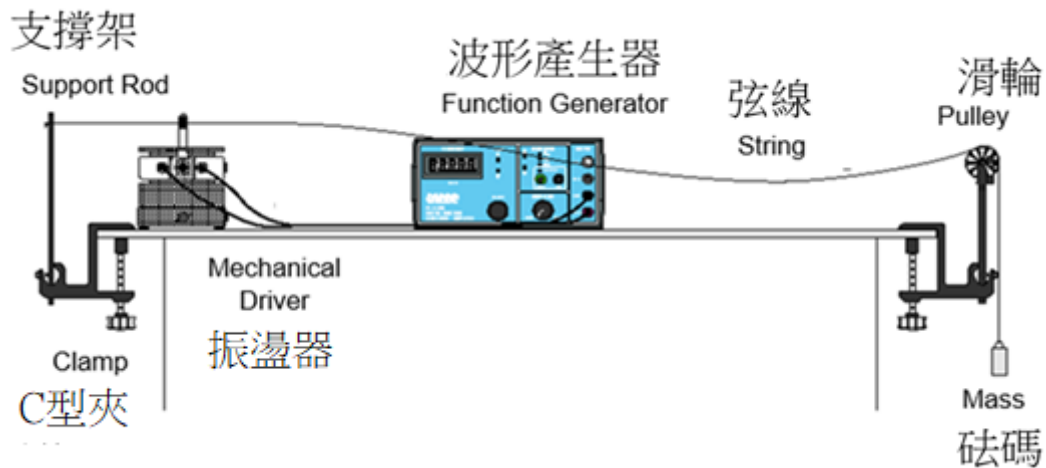
$$F_c = 2\tau \theta = 2\mu \theta v^2$$

則

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

波傳遞速率 $v$ 可表示為

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



圖二 實驗裝置示意圖。

### 注意事項：

1. 振動儀應靠近固定端。
2. 繩子應先穿過振動儀上方小孔後再鎖緊固定。將一端繫於固定支柱上，另一端繫於掛鉤。
3. 實驗前應將振動儀上方鎖桿撥至 **UNLOCK**；實驗後將鎖桿撥至 **Lock**。
4. 起振前確認繩子是否張緊且砝碼切口方向交錯於掛鉤上，並將波形產生器振幅調至最小。

### 實驗步驟：

圖二為實驗裝置圖示意圖。圖中數位波形產生器會產生訊號到振動儀，使振動儀撥動繩子產生繩波。左邊支撐架及 C 型夾用以固定繩子一端，而右邊懸掛砝碼以提供繩子張力。調整滑輪高低使繩子盡量維持水平。

#### A. 測量弦線密度 $\mu$

1. 以捲尺測量繩長  $l$ 。
2. 以電子秤測量繩子質量  $m_2$ 。
3. 計算繩的線質量密度  $\mu$ 。

#### B. 駐波的和弦(Harmonics)

1. 以電子秤測量砝碼與掛鉤總質量  $m_1$ 。
2. 計算繩張力  $\tau = m_1 g$ 。
3. 如圖二架設實驗裝置。將振盪器上的鎖桿撥至 **UNLOCK**，再啟動波形產生器。
4. 先固定張力  $\tau$  與密度  $\mu$ 。張力  $\tau$  是砝碼質量決定的，而密度  $\mu$  是繩子型式決定的。
5. 調整頻率  $f$  與振幅先找到一駐波，再改變  $f$  (從小到大)。紀錄產生駐波的數個頻率。
6. 畫圖記錄駐波的波形。標示出駐波的頻率、波長及速度，並與該繩行進波速預期

值  $v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$  相比較。實驗值和預期值相符嗎？

**C. 測試波速如何隨繩張力而改變**

1. 更改數種砝碼重量。
2. 各調出駐波。
3. 由駐波量的波長與對應頻率算出波速。
4. 作  $v^2$  vs.  $\tau$  關係圖呈現波速如何隨張力變化。和預期作比較。

**D. 測試波速如何隨繩線質量密度改變**

1. 置換數種不同的繩子。
2. 各調出駐波。
3. 由駐波量的波長與對應頻率算出波速。
4. 作  $v^2$  vs.  $\frac{1}{\mu}$  關係圖呈現波速如何隨繩的線質量密度變化。和預期作比較。