

實驗七 繩波實驗

實驗目的：

觀察弦線橫波運動與共振現象，進而探討繩波的傳遞速率 v ，弦線張力 T 與弦線密度 μ 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

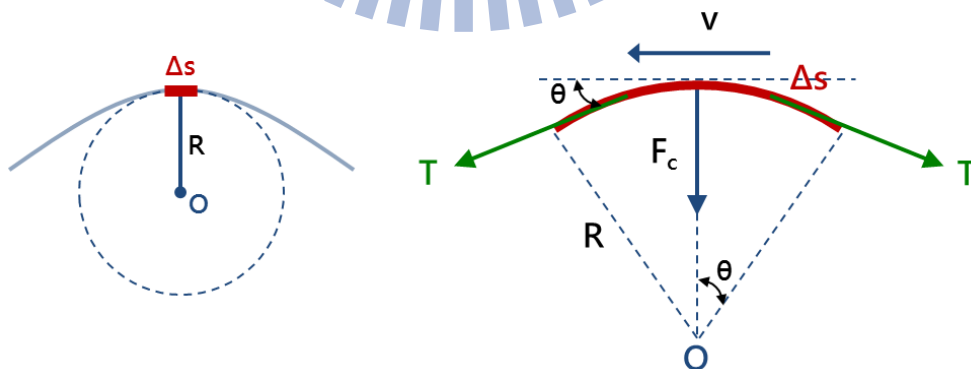
以左向右傳遞的脈波為例，相對於靜止的觀察者而言，弦線上介質質點並沒有沿波傳遞的方向移動，而觀察者卻會見到脈波向右傳遞。

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 Δs ，曲率半徑為 R 且圓心角為 2θ ，在弦線兩端會受到大小相等切向張力 T 作用，則可將向心力 F_c 表示為

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



圖一 單位長度弦線受力示意圖

已知單位長度弦線質量為 Δm ，單位長度(Δs)弦線密度為 μ ，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

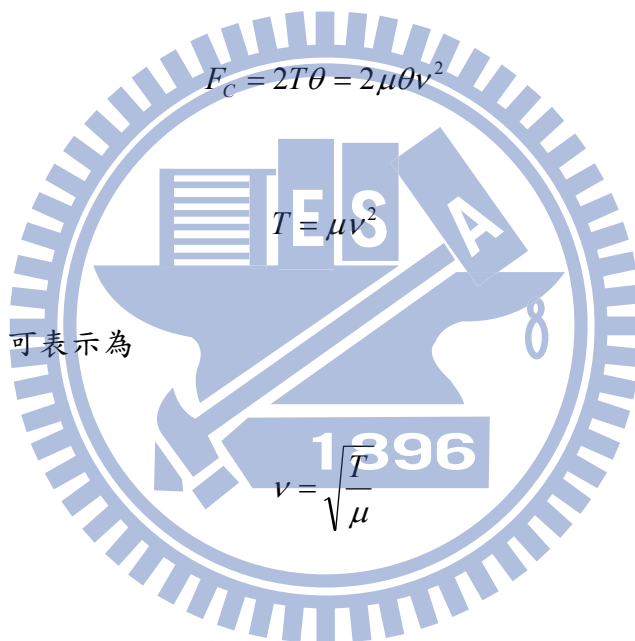
根據牛頓第二運動定律，則可將向心力 F_C 表示為

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

由公式(1)與公式(2)，向心力 F_C 可表示為

則

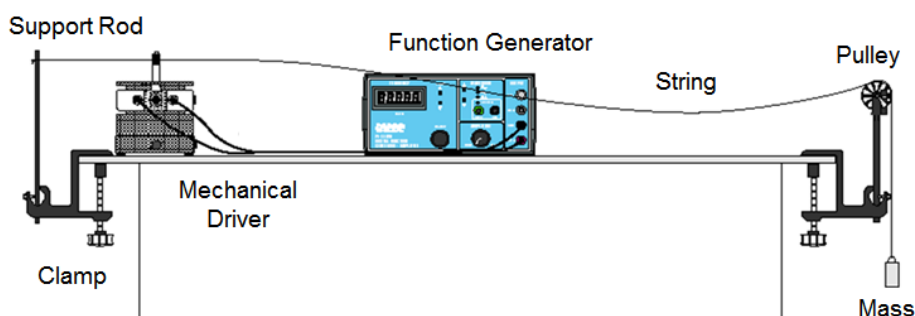
弦線傳遞速率 v 可表示為



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 μ 。
2. 振動儀應靠近固定端。
3. 弦線應先穿過振動儀上方小孔再鎖緊固定。弦線一端緊緊繫於固定架上，另一端緊緊繫掛鈎。
4. 振動儀在實驗前要將鎖桿撥至 **UNLOCK**；實驗後要將鎖桿撥至 **Lock**。
5. 起振前確認弦線是否張緊且砝碼切口方向交錯置於掛鈎上。

實驗步驟：



圖二 實驗裝置圖示意圖

A. 弦線密度 μ 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. 將計算弦線密度 μ 。

B. 固定弦線密度 μ ，改變弦線張力 T ，觀察弦線速率 v 與弦線張力 T 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 $T = m_1 g$ 。
4. 將振動儀上的鎖桿撥至 **Unlock** 位置後，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. 記錄不同頻率所形成的駐波波長 λ 。
6. 計算弦線速率 v 。
7. 固定弦線密度 μ ，改變弦線張力 T ，重覆上述步驟。
8. 作 $v^2 - T$ 關係圖。

C. 固定弦線張力 T ，改變弦線密度 μ ，觀察弦線速率 v 與弦線密度 μ 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 $T = m_1 g$ 。
4. 將振動儀上的鎖桿撥至 **Unlock** 位置後，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. 記錄不同頻率所形成的駐波波長 λ 。
6. 計算弦線速率 v 。
7. 固定弦線張力 T ，改變弦線密度 μ ，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。

