

## การทดลอง

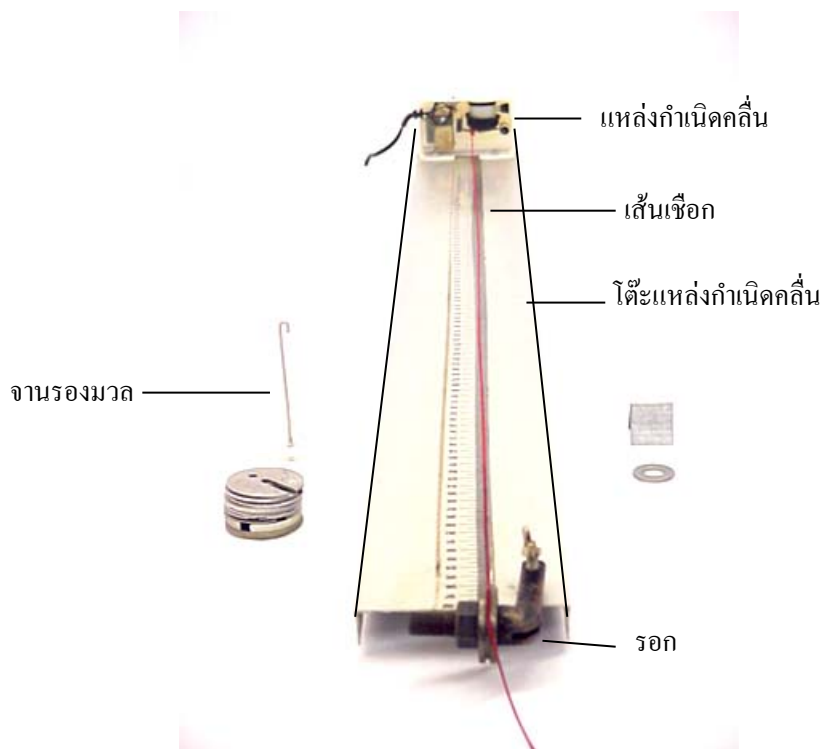
### อัตราเร็วของคลื่นตามขวางในเส้นเชือกและคลื่นนิ่งในเส้นเชือก

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาอัตราเร็วของคลื่นตามขวางในเส้นเชือก
2. เพื่อหามวลต่อความยาวของเส้นเชือกจากคลื่นนิ่ง
3. เพื่อศึกษาลักษณะของรูปคลื่นนิ่ง
4. เพื่อหามวลของวัตถุจากคลื่นนิ่ง

#### อุปกรณ์

1. เส้นเชือก 1 เส้น
2. แหล่งกำเนิดคลื่น 1 ชุด ความถี่ 50 Hz พร้อมโต๊ะติดตั้งแหล่งกำเนิดคลื่น
3. ตู้น้ำหนัก 1 ชุด
4. วัตถุที่ต้องการหามวล
5. จานรองมวล
6. หมอนสามเหลี่ยม



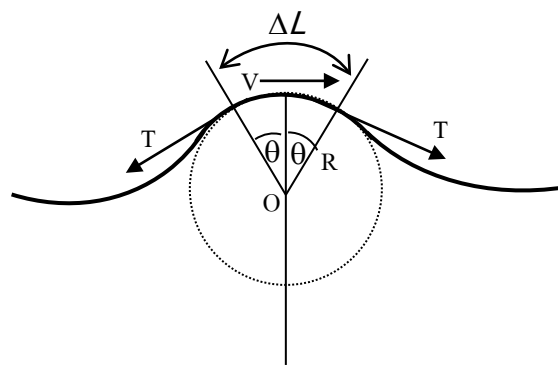
รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือก

## ทฤษฎี

**ตอนที่ 1** อัตราเร็วของคลื่นตามขวางในเส้นเชือก

จากรูปที่ 2 พิจารณาคลื่นเคลื่อนที่ในเส้นเชือกในช่วงความยาว  $\Delta L$  น้อยๆ สมมติว่าคลื่นมีอัตราเร็ว  $v$  มีทิศไปทางขวามือ จะดูเหมือนกับว่าเส้นเชือกที่ยาว  $\Delta L$  กำลังเคลื่อนที่ไปขวามือด้วยอัตราเร็ว  $v$  เป็นรูปวงกลมรัศมี  $R$  โดยมี  $\Delta L$  เป็นส่วนหนึ่งของเส้นรอบวงของวงกลมนี้ ถ้าให้  $\mu$  เป็นมวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเส้นเชือก ดังนั้นเชือกยาว  $\Delta L$  จะมีมวล  $m = \mu \Delta L$  ขณะนี้แรงตึงในเส้นเชือก คือ  $T$  เมื่อแตกแรงตึงเข้าสู่จุดศูนย์กลาง  $O$  โดยมุม  $\theta$  เล็กมาก จะได้ว่า

$$2T \sin \theta \approx T(2\theta) = T\left(\frac{\Delta L}{R}\right) \quad \dots\dots\dots(1)$$



รูปที่ 2

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน โดยคิดในแนวผ่านศูนย์กลางจะได้

$$\sum F = ma$$

$$T\left(\frac{\Delta L}{R}\right) = (\mu\Delta L)\frac{v^2}{R}$$

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

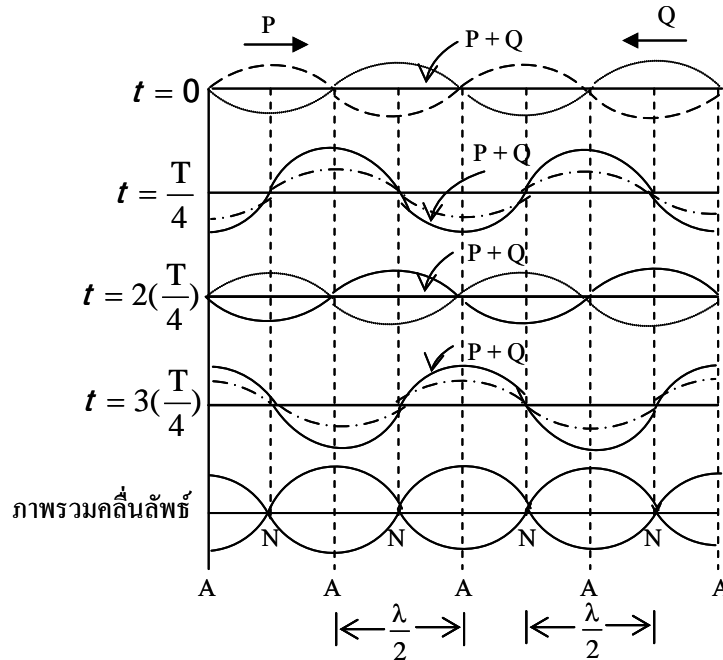
เมื่อ  $v =$  อัตราเร็วของคลื่นตามขวางในเส้นเชือก (m/s)

$T =$  แรงตึงในเส้นเชือก (N)

$\mu =$  มวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเส้นเชือก (kg/m)

**ตอนที่ 2** คลื่นนิ่งในเส้นเชือก

คลื่นนิ่ง คือคลื่นลัพธ์ที่เกิดจากคลื่นสองขบวนที่มีอัตราเร็วคลื่นเท่ากัน ความยาวคลื่นเท่ากัน ความถี่ของคลื่นเท่ากัน มีแอมพลิจูดเท่ากันและมีเฟสต่างกันคงที่ เคลื่อนที่เข้ามารวมกัน ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3 มีคลื่น P และ Q รวมกัน ณ เวลาต่างๆ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 3

ณ  $t = 0$  คลื่น P (เป็นเส้น ---) กับคลื่น Q (เป็นเส้น ..... ) มีแอมพลิจูดและการกระจัดต่างๆ จุดบนคลื่นตรงข้ามกัน ดังนั้นคลื่น P และ Q รวมกันแบบหักล้างได้คลื่นลัพธ์ (P + Q) เรียบเป็นเส้นตรงอยู่บนแนวสมมูล

ณ  $t = T/4$  ซึ่ง T เป็นคาบของคลื่น คลื่น P และ Q เคลื่อนที่ได้คลื่นละ  $\lambda/4$  (เมื่อ  $\lambda$  เป็นความยาวคลื่น) P และ Q จะซ้อนกันพอดีทุกส่วน ทำให้แอมพลิจูดและการกระจัดรวมกันได้ 2 เท่าของคลื่น P และ Q ดังนั้นคลื่นลัพธ์จะมีแอมพลิจูดเป็น 2 เท่าของคลื่น P และ Q แต่ความยาวคลื่นของคลื่นลัพธ์ยังเท่ากับความยาวคลื่นของ P และ Q

ณ  $t = 2(T/4)$  คลื่น P และ Q เคลื่อนที่ได้  $2(\lambda/4)$  นับจาก  $t = 0$  แอมพลิจูดและการกระจัดของ P และ Q มีทิศตรงกันข้ามกันอีก คลื่น P และ Q รวมกันแบบหักล้างกันทุกส่วน ได้คลื่นลัพธ์เป็นเส้นตรงอยู่ในแนวสมมูล

ณ  $t = 3(T/4)$  คลื่น P และ Q เคลื่อนที่ได้  $3(\lambda/4)$  นับจาก  $t = 0$  แอมพลิจูดและการกระจัดของ P และ Q มีทิศเดียวกัน คลื่น P และ Q รวมกันแบบเสริมกันทุกส่วน ได้คลื่นลัพธ์มีแอมพลิจูดเป็น 2 เท่าของแอมพลิจูดของคลื่น P และ Q

เมื่อเขียนรูปคลื่นลัพธ์ไว้ที่แห่งเดียวกันจะได้รูปร่างที่สุด ซึ่งจะเห็นว่ามามีบริเวณหนึ่งที่อนุภาคตัวกลางสั่นกลับไปมาตลอดเวลา เรียกจุดที่อนุภาคสั่นด้วยแอมพลิจูดสูงสุดว่า **จุดปฏิบัพ** (Antinode; A) และมีจุดซึ่งอนุภาคตัวกลางไม่สั่นเลย เรียกจุดนี้ว่า **จุดบัพ** (Node; N) แต่เราไม่เห็นคลื่นลัพธ์เคลื่อนที่ไปทางซ้ายหรือว่าไปทางขวา ดูราวกับว่าคลื่นลัพธ์ไม่ได้เคลื่อนที่ จึงเรียกคลื่นลัพธ์ว่า **คลื่นนิ่ง** ซึ่งอันที่จริงแล้วคลื่นนิ่งมีอัตราเร็วตามสมการ  $v = f\lambda$  แต่เราสังเกตไม่เห็นว่าคุณคลื่นเคลื่อนที่เท่านั้นเอง

### สรุปแล้วคลื่นนิ่งต้องมีสิ่งสำคัญต่อไปนี้

1. มีจุดบัพ (Node; N) เป็นจุดที่อนุภาคตัวกลางไม่สั่นเลย
2. มีจุดปฏิบัพ (Antinode; A) เป็นจุดที่อนุภาคตัวกลางสั่นรุนแรงที่สุด เมื่อเทียบกับบริเวณข้างเคียง และสั่นด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของคลื่นก่อนรวมกัน (ในที่นี้คือ P และ Q)
3. ระยะระหว่างจุดบัพถึงบัพที่ติดกัน เท่ากับระยะระหว่างจุดปฏิบัพถึงปฏิบัพที่ติดกันซึ่งเท่ากับ  $\lambda/2$
4. เมื่อเกิดการสั่นของอนุภาคตัวกลางด้วยความถี่สูง จะเห็นรูปคลื่นนิ่งเป็นบ่วง (loop) ซึ่งระยะ 1 บ่วง =  $\lambda/2$

### วิธีการทดลอง

**ตอนที่ 1** การหาค่ามวลต่อความยาว ( $\mu$ ) ของเส้นเชือกจากคลื่นนิ่ง

1. ชั่งจานรองน้ำหนัก บันทึกในรายงานผลการทดลอง
2. คล้องเชือกผ่านรอกซึ่งให้จานรองน้ำหนักแขวนที่ปลายเชือกนี้อยู่ในแนวตั้ง
3. เสียบปลั๊กไฟฟ้า 220 V ในขณะนี้เชือกจะสั่นและเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือก
4. ใส่ตุ้มน้ำหนักลงบนจานรองน้ำหนักเพื่อทำให้เกิดบ่วงในเส้นเชือกจำนวน 6 บ่วง โดยที่แต่ละบ่วงมีแอมพลิจูดของจุดปฏิบัพโตที่สุด จากนั้นวัดความยาวของแต่ละบ่วงแล้วนำไปหาค่าความยาวบ่วงเฉลี่ย ( $X$ ) จากนั้นคำนวณหาความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ในเส้นเชือก โดยใช้สมการดังนี้

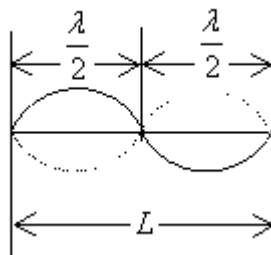
$$\lambda = 2 \text{ เท่าของความยาวบ่วงเฉลี่ย} = 2X$$

ใช้  $\lambda$  ที่ได้ไปคำนวณหาอัตราเร็วคลื่นตามขวางในเส้นเชือก โดยใช้  $v = f\lambda$  บันทึกค่าต่างๆ ในรายงานผลการทดลอง

5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4 โดยเพิ่มตุ้มน้ำหนักลงไปอีก เพื่อทำให้เกิดจำนวนบ่วง 5, 4, 3 และ 2 บ่วง ตามลำดับ โดยแต่ละครั้งให้หา  $\lambda$  และ  $v$  บันทึกในรายงานผลการทดลอง
6. เขียนกราฟระหว่างแรงตึงเชือก T กับ  $v^2$  โดยให้ T เป็นแกนตั้ง และ  $v^2$  เป็นแกนนอน แล้วคำนวณค่า  $\mu$  จากกราฟนี้

**ตอนที่ 2** การหามวลของวัตถุจากคลื่นนิ่ง

1. คล้องเชือกผ่านรอกซึ่งให้จานรองน้ำหนักแขวนที่ปลายเชือกนี้อยู่ในแนวตั้ง
2. ใส่วัตถุที่ต้องการหามวลลงบนจานรองน้ำหนัก
3. เสียบปลั๊กไฟฟ้า 220 V ในขณะนี้เชือกจะสั่นและเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือก
4. เลื่อนหอนสามเหลี่ยมไปบนฐานตามแนวเส้นเชือกเพื่อให้เกิดบ่วงบนเส้นเชือกเป็นจำนวน 2 บ่วง ที่มีแอมพลิจูดของจุดปฏิบัติที่ต่ำที่สุด วัดความยาวเชือกที่เกิด 2 บ่วงนี้ ให้เท่ากับ  $L$  แล้วหา  $\lambda$  ซึ่งจากรูป 4 จะได้  $2(\lambda/2) = L$
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4 โดยทำให้เกิดบ่วงเป็นจำนวน 3, 4, 5 บ่วง โดยแต่ละครั้งให้หา  $\lambda$  บันทึกในรายงานผลการทดลอง
6. หาค่าเฉลี่ยของความยาวคลื่น ( $\bar{\lambda}$ )
7. จาก  $v = \sqrt{T/\mu} = f\lambda$  และ  $T = mg$  ให้คำนวณหามวล  $m$   
เมื่อ  $m =$  มวลของวัตถุที่ต้องการหา + มวลของจานรองน้ำหนัก
8. ชั่งมวล  $m$  และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของมวล  $m$  ที่ได้จากการคำนวณเทียบกับ มวล  $m$  ที่ได้จากการชั่ง



รูปที่ 4