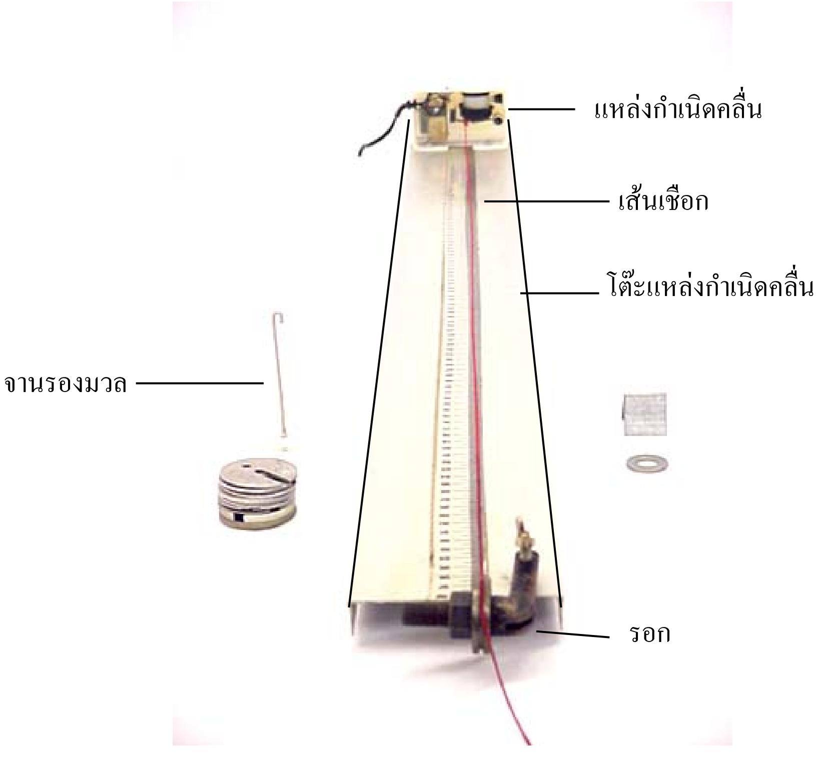
การทดลอง
อัตราเร็วของคลื่นตามขวางในเส้นเชือกและคลื่นนิ่งในเส้นเชือก

วัตถุประสงค์

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

อุปกรณ์

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



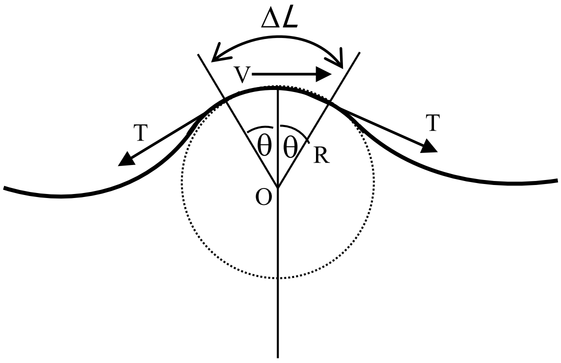
รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือก

ทฤษฎี

ตอนที่ 1 อัตราเร็วของคลื่นตามขวางในเส้นเชือก

จากรูปที่ 2 พิจารณาคลื่นดลในเส้นเชือกในช่วงความยาว ΔL น้อยๆ สมมุติว่าคลื่นมีอัตราเร็ว v มีทิศไปทางขวามือ จะดูเหมือนกับว่าเส้นเชือกที่ยาว ΔL กำลังเคลื่อนที่ไปขวามือด้วยอัตราเร็ว v เป็นรูปวงกลมรัศมี R โดยมี ΔL เป็นส่วนหนึ่งของเส้นรอบวงของวงกลมนี้ ถ้าให้ μ เป็นมวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเส้นเชือก ดังนั้นเชือกยาว ΔL จะมีมวล $m = \mu\,\Delta L$ ขณะนี้แรงตึงในเส้นเชือก คือ T เมื่อแตกแรงตึงเข้าสู่จุดศูนย์กลาง O โดยมุม θ เล็กมาก จะได้ว่า

$$2T\sin\theta \approx T(2\theta) = T\left(\frac{\Delta L}{R}\right) \qquad \text{...............(1)}$$



รูปที่ 2

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน โดยคิดในแนวผ่านศูนย์กลางจะได้

$$\sum F = ma$$

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

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \qquad \text{...............(2)}$$

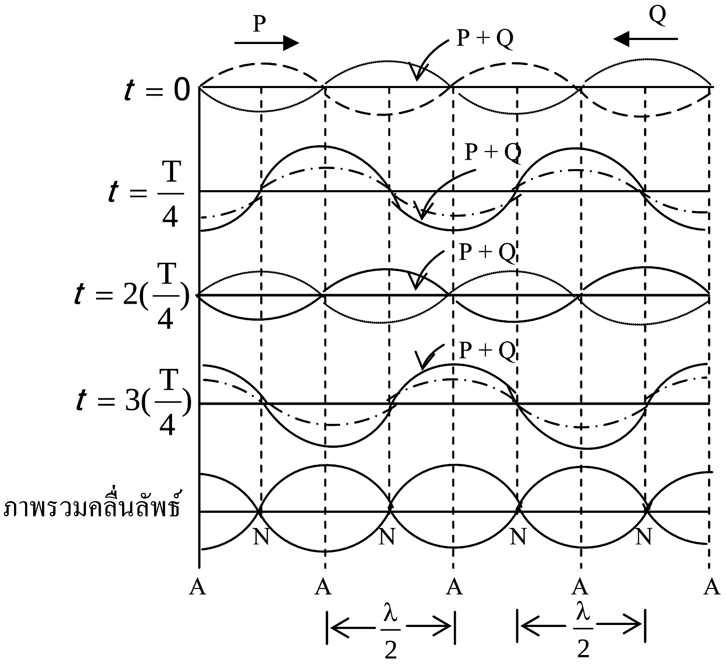
เมื่อ v = อัตราเร็วของคลื่นตามขวางในเส้นเชือก (m/s)

T = แรงตึงในเส้นเชือก (N)

μ = 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 ....) มีแอมพลิจูดและการกระจัดทุกๆ จุดบนคลื่นตรงข้ามกัน ดังนั้นคลื่น P และ Q รวมกันแบบหักล้างได้คลื่นลัพธ์ (P + Q) เรียบเป็นเส้นตรงอยู่บนแนวสมดุล

ณ t = T/4 ซึ่ง T เป็นคาบของคลื่น คลื่น P และ Q เคลื่อนที่ได้คลื่นละ $\lambda/4$ (เมื่อ λ 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 มีทิศทางตรงกันข้ามกันอีก คลื่น P และ Q รวมกันแบบหักล้างกันทุกส่วน ได้คลื่นลัพธ์เป็นเส้นตรงอยู่ในแนวสมดุล

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

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

สรุปแล้วคลื่นนิ่งต้องมีสิ่งสำคัญต่อไปนี้

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

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาค่ามวลต่อความยาว (μ) ของเส้นเชือกจากคลื่นนิ่ง

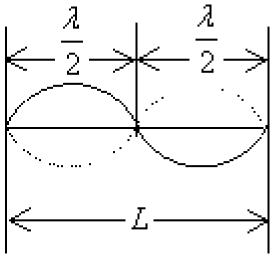
1. ชั่งจานรองน้ำหนัก บันทึกในรายงานผลการทดลอง
2. คล้องเชือกผ่านรอกซึ่งให้จานรองน้ำหนักแขวนที่ปลายเชือกนี้อยู่ในแนวดิ่ง
3. เสียบปลั๊กไฟฟ้า 220 V ในขณะนี้เชือกจะสั่นและเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือก
4. ใส่ตุ้มน้ำหนักลงบนจานรองน้ำหนักเพื่อทำให้เกิดบ่วงในเส้นเชือกจำนวน 6 บ่วง โดยที่แต่ละบ่วงมีแอมพลิจูดของจุดปฏิบัพโตที่สุด จากนั้นวัดความยาวของแต่ละบ่วงแล้วนำไปหาค่าความยาวบ่วงเฉลี่ย (X) จากนั้นคำนวณหาความยาวคลื่น (λ) ในเส้นเชือก โดยใช้สมการดังนี้

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

   ใช้ λ ที่ได้นี้ไปคำนวณหาอัตราเร็วคลื่นตามขวางในเส้นเชือก โดยใช้ $v = f\lambda$ บันทึกค่าต่างๆ ในรายงานผลการทดลอง
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อ 4 โดยเพิ่มตุ้มน้ำหนักลงไปอีก เพื่อทำให้เกิดจำนวนบ่วง 5, 4, 3 และ 2 บ่วง ตามลำดับ โดยแต่ละครั้งให้หา λ และ v บันทึกในรายงานผลการทดลอง
6. เขียนกราฟระหว่างแรงตึงเชือก T กับ v^2 โดยให้ T เป็นแกนตั้ง และ v^2 เป็นแกนนอน แล้วคำนวณค่า μ จากกราฟนี้

ตอนที่ 2 การหามวลของวัตถุจากคลื่นนิ่ง

1. คล้องเชือกผ่านรอกซึ่งให้จานรองน้ำหนักแขวนที่ปลายเชือกนี้อยู่ในแนวดิ่ง
2. ใส่วัตถุที่ต้องการหามวลลงบนจานรองน้ำหนัก
3. เสียบปลั๊กไฟฟ้า 220 V ในขณะนี้เชือกจะสั่นและเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือก
4. เลื่อนหมอนสามเหลี่ยมไปบนฐานตามแนวเส้นเชือกเพื่อให้เกิดบ่วงบนเส้นเชือกเป็นจำนวน 2 บ่วง ที่มีแอมพลิจูดของจุดปฏิบัพโตที่สุด วัดความยาวเชือกที่เกิด 2 บ่วงนี้ ให้เท่ากับ L แล้วหา λ ซึ่งจากรูป 4 จะได้ $2(\lambda/2) = L$
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4 โดยทำให้เกิดบ่วงเป็นจำนวน 3, 4, 5 บ่วง โดยแต่ละครั้งให้หา λ 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 และคำนวณหาเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนของมวล m ที่ได้จากการคำนวณเทียบกับ มวล m ที่ได้จากการชั่ง



รูปที่ 4