

## บทที่ 9 คลื่น

### 9.1 ธรรมชาติของคลื่น

#### 9.1.1 การเกิดคลื่น

คลื่น (wave) คือ สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนตัวกลางเนื่องจากการรบกวนจากภายนอก เช่น การสั่นของน้ำ การสั่นของเส้นเชือก แล้วมีการส่งผ่านพลังงานผ่านตัวกลาง โดยที่ตัวกลางไม่เคลื่อนที่ไปด้วยแต่ตัวที่เคลื่อนที่ไป คือ พลังงาน แต่ตัวกลางจะสั่นแบบขึ้น ๆ ลง ๆ อยู่กับที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก

#### องค์ประกอบที่ทำให้เกิดคลื่น

1. มีแหล่งกำเนิดคลื่น
2. มีการสั่นของแหล่งกำเนิดคลื่น
3. มีตัวกลางให้คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน

สำหรับข้อที่ 3. คลื่นบางชนิดไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่น คลื่นแสง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิด

#### 9.1.2 ชนิดคลื่น

#### การจำแนกชนิดของคลื่น

##### 1. จำแนกตามลักษณะการสั่น แบ่งได้เป็น

1.1 คลื่นตามขวาง คือ คลื่นที่มีทิศเคลื่อนที่กับทิศตัวกลางตั้งฉากกันเวลาเคลื่อนที่ เช่น คลื่นน้ำ คลื่นเชือก คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น

1.2 คลื่นตามยาว คือ คลื่นที่มีทิศเคลื่อนที่กับทิศตัวกลางขนานกันเวลาเคลื่อนที่ เช่น คลื่นเสียง คลื่นที่เกิดจากการอัดของสปริง เป็นต้น

##### 2. จำแนกโดยอาศัยหลักการใช้ตัวกลางในการส่งคลื่น แบ่งได้เป็น

2.1 คลื่นกล คือ คลื่นที่อาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่น คลื่นน้ำ คลื่นในเส้นเชือก คลื่นในลวดสปริง คลื่นของต้นหญ้า หรือต้นข้าวขณะลมพัด คลื่นเสียง เป็นต้น

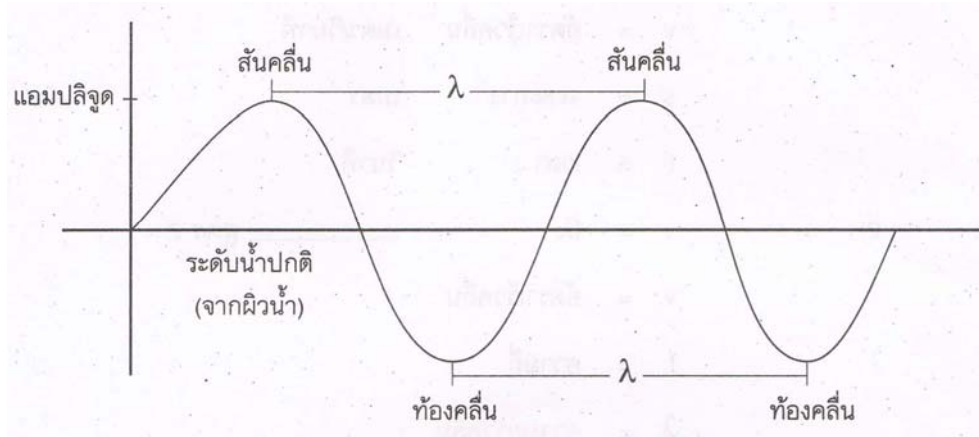
2.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ คลื่นที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่น คลื่นแสง เป็นต้น

##### 3. จำแนกตามการเกิดคลื่นเป็นเกณฑ์ แบ่งได้เป็น

3.1 คลื่นคล คือ คลื่นที่ส่งออกมาจากแหล่งกำเนิดโดยการรบกวน หนึ่งหรือสองครั้ง เกิดคลื่นแค่ลูกเดียว หรือสองลูก คลื่นคลจะเกิดในระยะเวลาสั้น ๆ

3.2 คลื่นต่อเนื่อง คือ คลื่นที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิดโดยการรบกวนหลาย ๆ ครั้ง อย่างต่อเนื่อง คลื่นต่อเนื่องจะเกิดขึ้นในระยะเวลายาว

### 9.1.3 ส่วนประกอบของคลื่น



1. ยอดคลื่น หรือสันคลื่น หมายถึง ส่วนบนสุดของคลื่นแต่ละลูก
2. ท้องคลื่น หมายถึง ส่วนล่างสุดของคลื่นแต่ละลูก
3. การกระจัด หมายถึง ระยะจากตำแหน่งใด ๆ บนแนวคลื่นถึงแนวสมดุล
4. ช่วงความกว้างของคลื่นหรือแอมพลิจูด (A) หมายถึง ระยะจากสันคลื่นหรือระยะจากท้องคลื่นถึงแนวสมดุล หรือ แอมพลิจูด คือระยะการกระจัดที่มีค่ามากที่สุด

5. ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) หมายถึง ความกว้างของคลื่นหนึ่งลูก ซึ่งเป็นระยะห่างของตำแหน่งบนคลื่นที่มีลักษณะเดียวกันที่ติดต่อกัน เช่น ระยะจากสันคลื่นหนึ่งถึงสันคลื่นของลูกถัดไป ระยะจากท้องคลื่นถึงท้องคลื่นของลูกถัดไป

6. หน้าคลื่น (Wave Front) คือ เส้นที่ลากผ่านตำแหน่งที่มีเฟสเหมือนกัน (Same Phas) ซึ่งต้องอยู่บนคลื่นลูกเดียวกัน เช่น เส้นที่ลากระหว่างจุดที่เป็นสันคลื่นในลูกเดียวกัน เป็นต้น หน้าคลื่นจะต้องตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นเสมอ

7. ความถี่ (f) หมายถึง จำนวนลูกคลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดในหนึ่งหน่วยเวลา หรือจำนวนลูกคลื่นที่ผ่านจุดใด ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือ Hertz

8. คาบ (T) หมายถึงเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ หรือเคลื่อนที่เป็นระยะทางหนึ่งความยาวคลื่น มีหน่วยเป็นวินาที

ความสัมพันธ์ระหว่างคาบกับความถี่

$$T = \frac{1}{f}$$

9. อัตราเร็วคลื่นและอัตราเร็วเฟส (v) หมายถึง ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

## 9.2 อัตราเร็วของคลื่น

### 9.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น

อัตราเร็วคลื่นและอัตราเร็วเฟส ( $v$ ) หมายถึง ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

$$\text{จะได้} \quad v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

$$\boxed{v = \lambda f}$$

**ตัวอย่างที่ 1** เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำกระเพื่อมขึ้นลงจากระดับเดิม 900 รอบต่อวินาที ระยะระหว่างสันคลื่นที่ติดกันวัดได้ 30 cm. จงหาอัตราเร็วของคลื่นที่ผิวน้ำ

**ตัวอย่างที่ 2** เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำกระเพื่อมขึ้นลงจากระดับเดิม 800 รอบต่อวินาที ระยะระหว่างท้องคลื่นที่ติดกันวัดได้ 20 cm. จงหาอัตราเร็วของคลื่นที่ผิวน้ำ

**ตัวอย่างที่ 3** คลื่นน้ำเคลื่อนที่เข้ากระทบฝั่งนับได้ 15 ลูก คลื่นทุก ๆ 10 วินาที ถ้าระยะระหว่างสันคลื่นที่ติดกันเท่ากับ 3 เมตร คลื่นน้ำมีความเร็วเท่าไร

**ตัวอย่างที่ 4** (มข.) เมื่อเรากระทุ้งน้ำเป็นจังหวะสม่ำเสมอ 3 ครั้งต่อวินาที แล้วจับเวลาที่คลื่นลูกแรกเคลื่อนที่ไปกระทบขอบสระอีกด้านหนึ่งซึ่งอยู่ห่างออกไป 45 เมตร พบว่าใช้เวลา 3 วินาที ความยาวคลื่นของผิวน้ำนี้เท่ากับกี่เมตร ( 5 เมตร )

**ตัวอย่างที่ 5** (มข.) เมื่อสังเกตคลื่นเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำ พบว่าผิวน้ำกระเพื่อมขึ้นลง 600 รอบใน 1 นาที และระยะระหว่างสันคลื่นที่ติดกันวัดได้ 20 เซนติเมตร จงหาว่าเมื่อสังเกตคลื่นลูกหนึ่งเคลื่อนที่ไปใน 1 นาที จะได้ระยะทางกี่เมตร ( 120 เมตร )

**ตัวอย่างที่ 6** (มข.50) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำทำให้ผิวกระเพื่อมขึ้นลงจากระดับเดิม 600 รอบในเวลา 1 นาที ถ้าระยะห่างระหว่างสันคลื่นที่อยู่ติดกันวัดได้เท่ากับ 30 เซนติเมตร จงคำนวณหาอัตราเร็วของคลื่นผิวน้ำ

**ตัวอย่างที่ 7** (มข.52) ในทะเลที่ลมค่อนข้างราบเรียบมีคลื่นซัดเข้าหาชายฝั่งทั้งหมด 240 ลูก ในเวลา 2 นาที ระยะห่างตามแนวราบระหว่างท้องคลื่นและสันคลื่นเท่ากับ 50 เซนติเมตร จงหาอัตราเร็วของคลื่นนี้

**ตัวอย่างที่ 8** (มข.54) คลื่นในทะเลซัดเข้าหาฝั่งด้วยอัตราเร็ว 3 เมตรต่อวินาที ถ้าระยะระหว่างสันคลื่นที่ติดกันเท่ากับ 6 เมตร จะมีคลื่นเข้ากระทบฝั่งกี่ลูกในเวลา 1 นาที

**ตัวอย่างที่ 9** (มข.53) ในการทดลองของคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก ถ้าคลื่นในเส้นเชือกมีความถี่ 720 เฮิรตซ์ และอัตราเร็ว 360 เมตร/วินาที ตำแหน่งบัพที่อยู่ติดกันจะห่างกันกี่เมตร

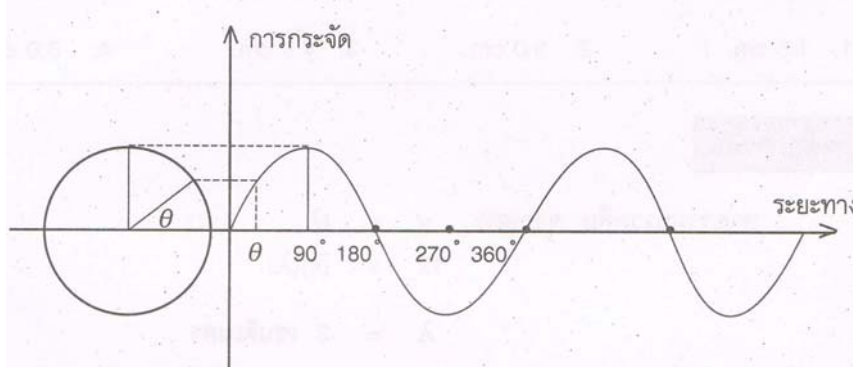
**ตัวอย่างที่ 10** (มข.54) คลื่นในทะเลซัดเข้าหาฝั่งด้วยอัตราเร็ว 3 เมตรต่อวินาที ถ้าระยะระหว่างสันคลื่นที่ติดกันเท่ากับ 6 เมตร จะมีคลื่นเข้ากระทบฝั่งกี่ลูกในเวลา 1 นาที

### 9.2.1 อัตราเร็วของคลื่นในตัวกลาง

อัตราเร็วคลื่นกลขึ้นอยู่กับสมบัติของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน เช่น อัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกขึ้นอยู่กับแรงตึงในเส้นเชือกและมวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเชือก กล่าวคือ เชือกยิ่งตึงคลื่นจะเคลื่อนที่ผ่านได้เร็ว

### มุมเฟส

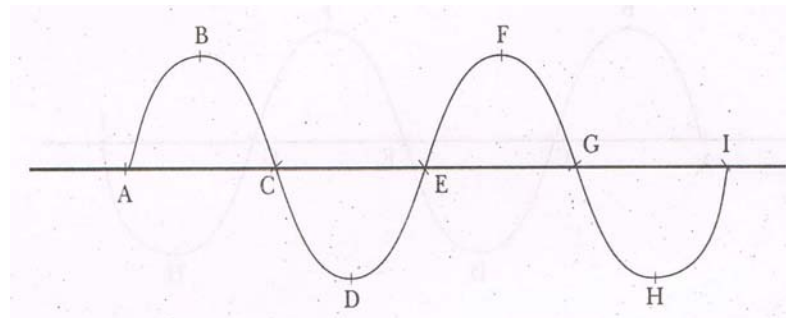
มุมเฟส คือ มุมที่ใช้เรียกตำแหน่งใด ๆ บนคลื่น โดยวัดเทียบกับการเคลื่อนที่เป็นวงกลม



### ตัวอย่างการหามุมเฟสเริ่มต้น

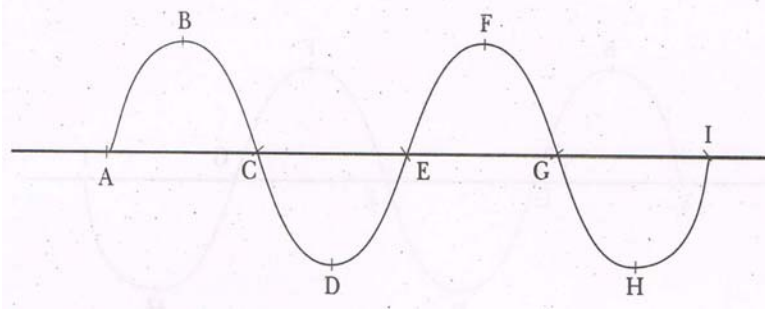
มุมเฟสเริ่มต้น 90 องศา	มุมเฟสเริ่มต้น 270 องศา

**เฟสตรงกัน** คือ ตำแหน่งที่มีการกระจัดเท่ากันและสั้นในทิศทางเดียวกัน (ความต่างเฟส 0 องศา)



- จากรูป
1. จุดที่มีเฟสตรงกันคือ B, F และ D, H และ A, E, I
  2. มีระยะห่างกันเท่ากับ  $\lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$
  3. มีเวลาห่างกันเท่ากับ  $T, 2T, 3T, \dots$

**เฟสตรงกันข้าม** คือ ตำแหน่งที่มีการกระจัดเท่ากันแต่สั่นในทิศตรงกันข้าม (ความต่างเฟส 180 องศา)



- จากรูป 1. จุดที่มีเฟสตรงข้าม คือ A กับ C และ B กับ D
2. มีระยะห่างกันเท่ากับ  $\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}, \dots$
3. มีเวลาห่างกันเท่ากับ  $\frac{T}{2}, \frac{3T}{2}, \frac{5T}{2}, \dots$

**การรวมกันของคลื่นสองขบวน**

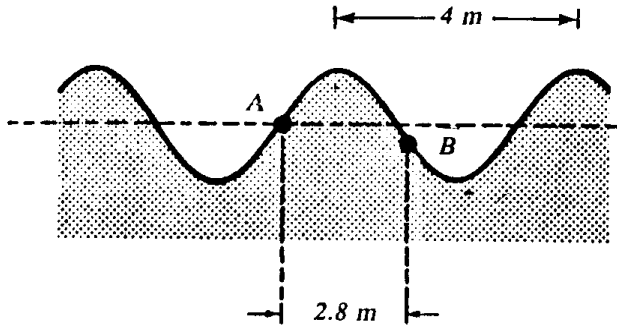
คลื่นสองขบวนที่มีเฟสตรงกันวิ่งเข้าหากัน (รวมกันแบบเสริม)	คลื่นสองขบวนที่มีเฟสตรงกันข้ามวิ่งเข้าหากัน (รวมกันแบบหักล้าง)
<p>เฟสตรงกัน</p> <p>เสริม</p> <p>2A</p> <p>จะรวมกันแบบเสริม</p>	<p>เฟสตรงข้าม</p> <p>หักล้าง</p>

**ความต่างเฟส**

บอกระยะทาง	บอกเวลา
$\Delta\theta = \frac{2\pi\Delta x}{\lambda}$	$\Delta\theta = \frac{2\pi\Delta t}{T}$
<p>เมื่อ <math>\lambda</math> คือ ความยาวคลื่น (m)</p> <p><math>\Delta x</math> คือ <math>x_2 - x_1</math></p> <p><math>\Delta\theta</math> คือ <math>\theta_2 - \theta_1</math></p>	<p>เมื่อ T คือ คาบเวลา (s)</p> <p><math>\Delta t</math> คือ <math>t_2 - t_1</math></p> <p><math>2\pi</math> เท่ากับ <math>360^\circ</math></p>

**ตัวอย่างที่ 11** คลื่นขบวนหนึ่งมีความถี่ 150 Hz มีความเร็ว 300 เมตรต่อวินาที จุดสองจุดบนคลื่นที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา จะอยู่ห่างกันกี่เมตร

**ตัวอย่างที่ 12** จากคลื่นน้ำที่กำหนดให้ในรูป ถ้าจุด A มีเฟสเท่ากับ 0 องศา แล้วจุด B จะมีเฟสเท่าไร

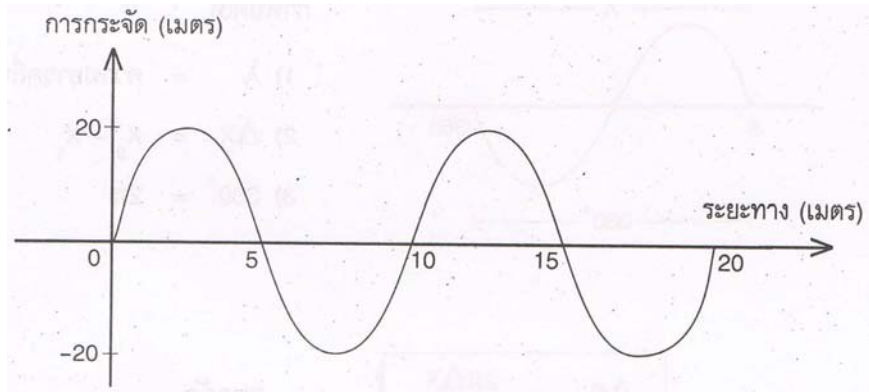


**ตัวอย่างที่ 13** (มข.51) คลื่นขบวนหนึ่งมีความถี่ 9 เฮิรตซ์ และมีระยะห่างสองจุดที่มีเฟสต่างกัน  $6\pi$  เรเดียน เป็น 18 เมตร คลื่นขบวนนี้มีอัตราเร็วกี่เมตรต่อวินาที

**ตัวอย่างที่ 14** คลื่นสองคลื่นมีความถี่ 200 และ 300 Hz มีอัตราเร็ว 30 m/s ถ้าต้นกำเนิดคลื่นมีเฟสเดียวกัน ที่ระยะ 3 m จากต้นกำเนิดทั้งสอง เฟสจะต่างกันอยู่เท่าไร

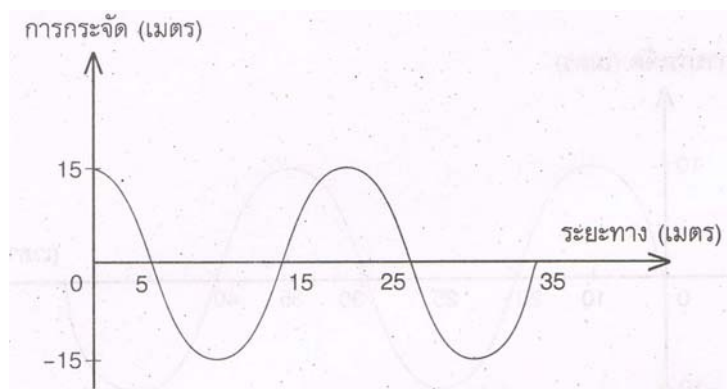
**ตัวอย่างที่ 15** คลื่นสองคลื่นมีความถี่ 100 และ 200 Hz มีอัตราเร็ว 20 m/s ถ้าต้นกำเนิดคลื่นมีเฟสเดียวกัน ที่ระยะ 2 m จากต้นกำเนิดทั้งสอง เฟสจะต่างกันอยู่เท่าไร

ตัวอย่างที่ 16 คลื่นขบวนหนึ่งวิ่งไปใช้เวลา 0.5 วินาที จะมีรูปร่างดังรูป ที่กำหนดให้ จงหา



- ก. แอมพลิจูด
- ข. มุมเฟสเริ่มต้น
- ค. อัตราเร็วคลื่น
- ค. เวลาที่เคลื่อนที่ครบรอบ
- ง. จำนวนลูกคลื่นในหนึ่งนาที

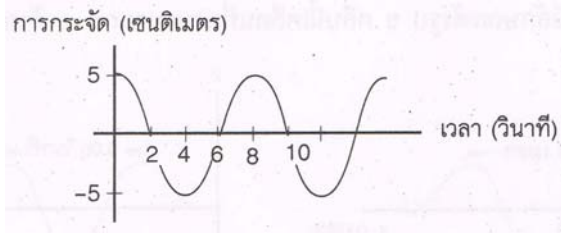
ตัวอย่างที่ 17 จากรูปที่กำหนดให้ น่องหมอนกระตุกเชือกจนมีความเร็ว 80 เมตร/วินาที จงหา



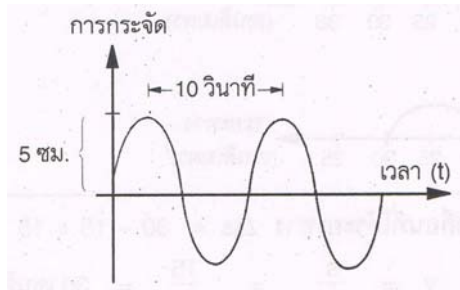
- ก. แอมพลิจูด
- ข. มุมเฟสเริ่มต้น
- ค. เวลาของ 1 ลูกคลื่น
- ง. จำนวนลูกคลื่นใน 1 วินาที
- จ. จำนวนลูกคลื่นใน 5 วินาที



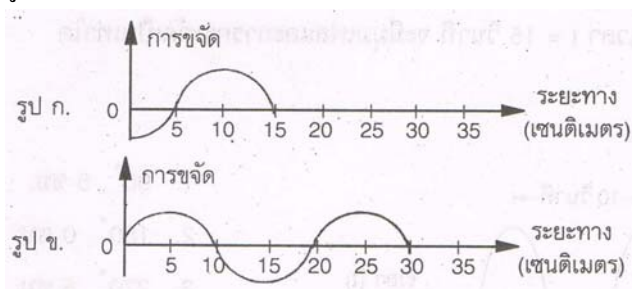
ตัวอย่างที่ 18 (มข.) คลื่นขบวนหนึ่งมีรูปร่างดังกราฟ จงหา มุมเฟสเริ่มต้น แอมพลิจูด คาบเวลา และความถี่



ตัวอย่างที่ 19 (มข.) จากคลื่นดังรูปที่เวลา  $t = 15$  วินาที จะมีมุมเฟสและการกระจัดเป็นเท่าใด



ตัวอย่างที่ 20 (Ent.) คลื่นในเส้นเชือกยาว เมื่อเวลาหนึ่งเป็นดังที่เห็นรูป ก. หลังจากนั้น 5 วินาที เป็นดังที่เห็นในรูป ข. ความถี่ของคลื่นจะเป็นกี่เฮิรตซ์



### 9.3 หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น

#### 9.3.1 หลักการของฮอยเกนส์

หลักของฮอยเกนส์กล่าวว่า “แต่ละจุดบนหน้าคลื่น กระทำตัวเหมือนแหล่งกำเนิดของคลื่นอันใหม่จะกระจายคลื่นทุกทิศทางด้วยอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วตอนแรกที่ปล่อยคลื่น

#### 9.3.2 หลักการซ้อนทับ

การซ้อนทับกันของคลื่นหรือการรวมกันของคลื่น เกิดขึ้นเมื่อคลื่นตั้งแต่ 2 คลื่นเคลื่อนที่มาพบกันมี 2 ลักษณะ คือ

1. การรวมกันแบบเสริมกัน เกิดขึ้นเมื่อคลื่นสองคลื่นที่มีการกระจัดไปทางทิศเดียวกันเคลื่อนที่มาพบกัน เช่น สันคลื่นกับสันคลื่น หรือท้องคลื่นกับท้องคลื่น โดยการกระจัดรวมหาได้จากผลบวกของการกระจัดของคลื่นทั้งสอง ณ ตำแหน่งและเวลานั้น ๆ เมื่อคลื่นทั้งสองเคลื่อนที่ผ่านพ้นกันไปแล้ว คลื่นแต่ละคลื่นจะยังคงมีลักษณะเหมือนเดิม

2. การรวมกันแบบหักล้าง เกิดเมื่อคลื่นสองคลื่นที่มีการกระจัดไปทางทิศตรงกันข้าม เช่น สันคลื่นกับท้องคลื่น โดยการกระจัดรวมหาได้จากผลต่างของการกระจัดของคลื่นทั้งสอง ณ ตำแหน่งและเวลานั้น ๆ

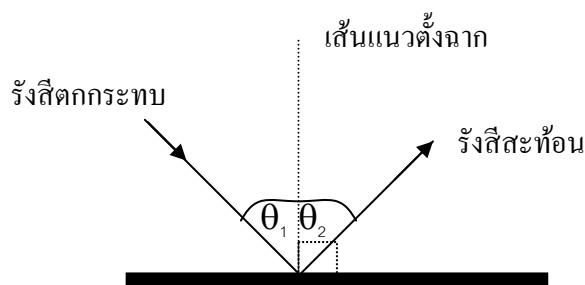
### 9.4 พฤติกรรมของคลื่น

การที่เราจะตัดสินว่าการเคลื่อนที่แบบใดแบบหนึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบคลื่นหรือไม่นั้น ต้องพิจารณาจากสมบัติของคลื่น 4 ประการ ดังนี้

- |                              |                               |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1. การสะท้อน (Reflection)    | 2. การหักเห (Refraction)      |
| 3. การแทรกสอด (Interference) | 4. การเลี้ยวเบน (Diffraction) |

สมบัติการสะท้อนและการหักเหเป็นสมบัติร่วมของคลื่นและอนุภาค สมบัติการแทรกสอดและการเลี้ยวเบนเป็นสมบัติเฉพาะของคลื่น

#### 9.4.1 การสะท้อนของคลื่น (Reflection)



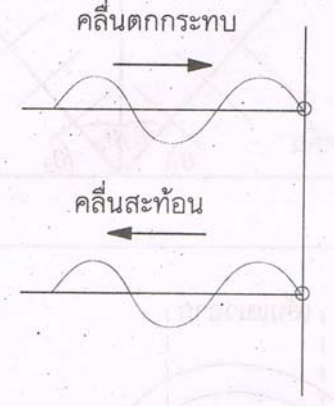
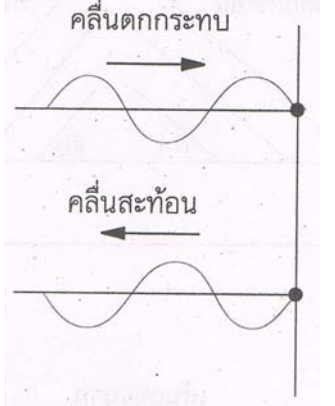
กฎการสะท้อนมี 2 ข้อ คือ

1. รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และแนวตั้งฉาก ต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน
2. มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน ( $\theta_1 = \theta_2$ )

สรุปลักษณะของคลื่นสะท้อน

1. จุดสะท้อนตรึงแน่น คลื่นสะท้อนมีลักษณะตรงข้ามกับคลื่นตกกระทบคือ เข้าเป็นสันคลื่นออกเป็นท้องคลื่น หรือเข้าเป็นท้องคลื่นออกเป็นสันคลื่น ดังนั้นเฟสเปลี่ยน 180 องศา (เฟสตรงข้ามกัน)
2. จุดสะท้อนอิสระ คลื่นสะท้อนมีลักษณะเหมือนคลื่นตกกระทบ คือ เข้าเป็นสันคลื่นออกเป็นสันคลื่น หรือเข้าเป็นท้องคลื่นออกเป็นท้องคลื่น ดังนั้นเฟสไม่เปลี่ยน (เฟสตรงกัน)

การสะท้อนในเส้นเชือก มี 2 แบบ คือ

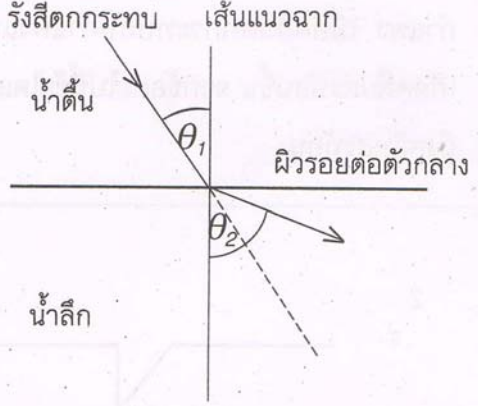
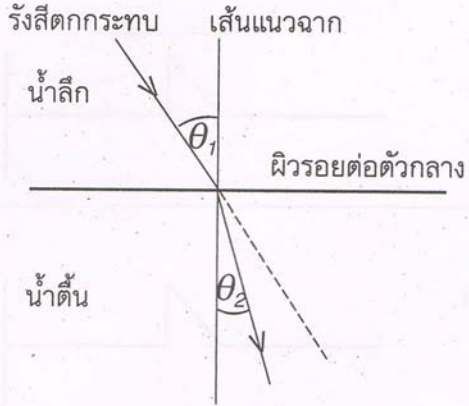
1. สะท้อนปลายอิสระ	2. สะท้อนปลายตรึงแน่น
	
<p>คลื่นสะท้อนออกมาเฟสตรงกัน (รูปร่างเหมือนเดิม) ความต่างเฟส <math>0^\circ</math></p>	<p>คลื่นสะท้อนออกมาเฟสตรงข้ามกัน (รูปร่างตรงข้าม) ความต่างเฟส <math>180^\circ</math></p>

ตัวอย่างที่ 21 (มข.) เชือกเส้นหนึ่งมีปลายข้างหนึ่งผูกติดกับเสาเมื่อสร้างคลื่นคลจากปลายอีกข้างหนึ่งเข้ามากระทบ จะเกิดคลื่นสะท้อนขึ้น คลื่นสะท้อนนี้มีเฟสเปลี่ยนไปกี่องศา

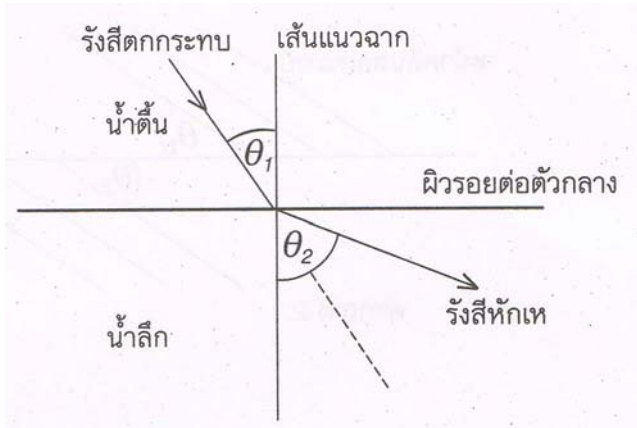
#### 9.4.2 การหักเหของคลื่น (Refraction)

การหักเห คือ การที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อระหว่างตัวกลางที่ต่างกัน เช่น น้ำลึกกับน้ำตื้น ทำให้ทิศทางของคลื่นเปลี่ยนไปและมีความเร็วกับความยาวคลื่นเปลี่ยนไป แต่ความถี่คงที่เสมอ

ลักษณะของการหักเห มี 2 แบบ คือ

1. การหักเหออก	2. การหักเหเข้า
	
<p>คลื่นเดินทางจากน้ำตื้นไปน้ำลึก รังสีคลื่นจะเบนออกจากเส้นแนวฉาก</p>	<p>คลื่นเดินทางจากน้ำลึกไปน้ำตื้น รังสีคลื่นจะเบนเข้าหาเส้นแนวฉาก</p>

### การหักเหของแสงโดยใช้กฎของสเนล

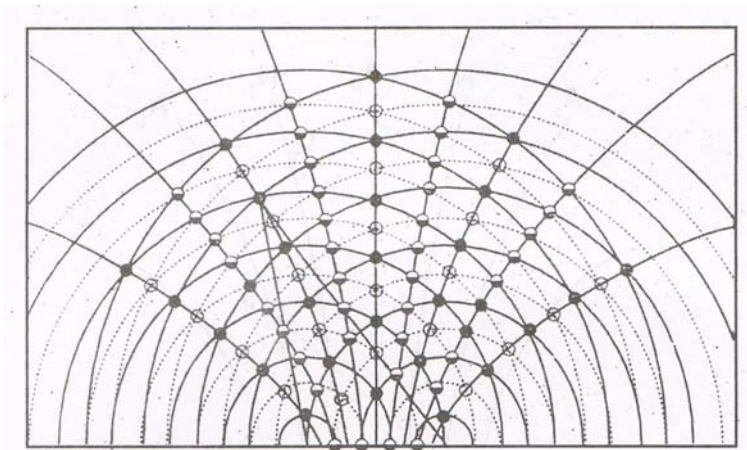


$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = n$$

เมื่อ  $n$  เป็นดัชนีหักเหของน้ำดี้นเทียบกับน้ำลึกและจะได้ว่า

ตัวกลาง	$v$	$\lambda$
น้ำดี้น	น้อย	น้อย
น้ำลึก	มาก	มาก

### 9.4.3 การแทรกสอดของคลื่น (Interference)

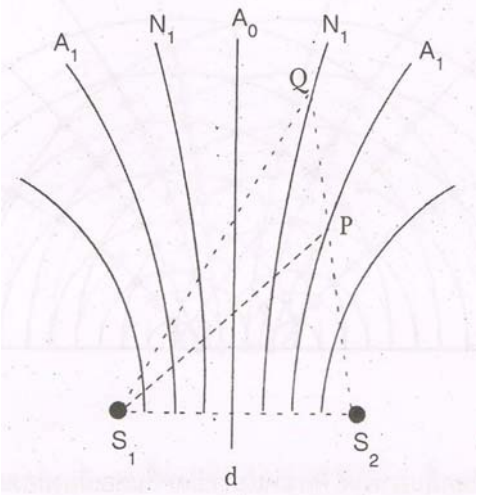
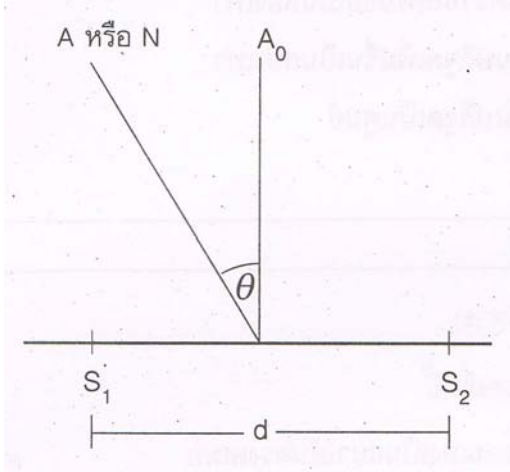


รูปการแทรกสอดของคลื่นน้ำ

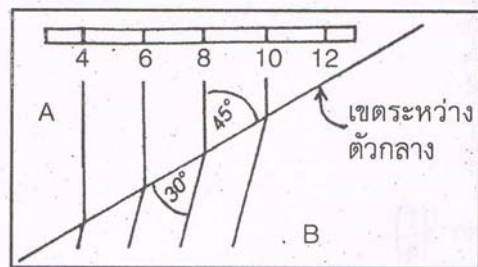
#### นิยามเกี่ยวกับการแทรกสอด

1. การแทรกสอด คือ เมื่อมีคลื่นตั้งแต่ 2 คลื่น เคลื่อนที่มาพบกันจะเกิดการรวมกันแบบเสริม หรือหักล้าง
2. แหล่งกำเนิดอาพันธ์ (Coherent Source) คือแหล่งกำเนิดคลื่นที่มีความถี่เท่ากัน มีเฟสต่างกันคงที่ หรือมีเฟสตรงกัน
3. การแทรกสอดแบบเสริม คือ สันคลื่นเจอสันคลื่น หรือท้องคลื่นเจอท้องคลื่นเรียกแนวปฏิบัติ (A)
4. การแทรกสอดแบบหักล้าง คือ สันคลื่นเจอท้องคลื่นเรียกแนวปฏิบัติ (N)
5. แนวปฏิบัติหน้ากระเพื่อมมาก แนวปฏิบัติหน้ากระเพื่อมน้อย

การคำนวณเรื่องการแทรกสอด

เมื่อโจทย์บอกผลต่างระยะทาง	เมื่อโจทย์บอกมุมที่เบนจากแนวกลาง
	
<p>สูตร การรวมแบบเสริม (แนวปฏิบัติ) จุด P</p> $ S_1P - S_2P  = n\lambda \quad \text{เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots$	<p>สูตร การรวมแบบเสริม (แนวปฏิบัติ = A)</p> $d \sin \theta = n\lambda \quad \text{เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots$
<p>สูตร การรวมกันแบบหักล้าง (แนวปฏิบัติ) จุด Q</p> $ S_1Q - S_2Q  = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \text{เมื่อ } n = 1, 2, 3, \dots$	<p>สูตร การรวมแบบหักล้าง (แนวปฏิบัติ = N)</p> $d \sin \theta = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \text{เมื่อ } n = 1, 2, 3, \dots$

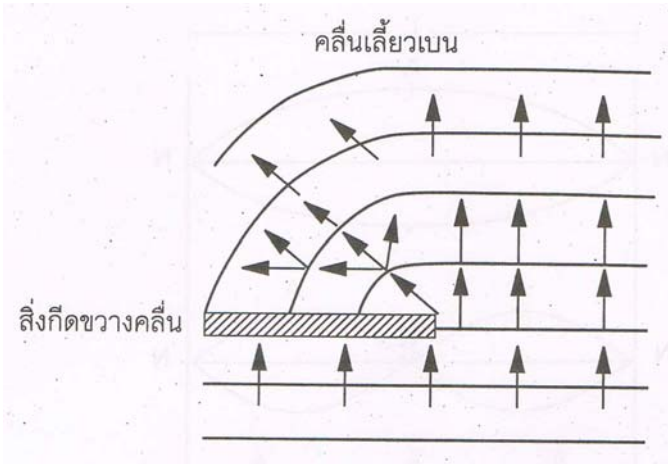
ตัวอย่างที่ 22 (Ent.) เมื่อคลื่นแนวตรงเคลื่อนที่จากบริเวณ A ไปสู่บริเวณ B ในถาดคลื่น ทำให้เกิดการหักเหของคลื่นปรากฏดังรูป ซึ่งมีไม้สเกลเซนติเมตรวางเทียบอยู่ ถัดคลื่นนี้เกิดจากแหล่งกำเนิดซึ่งมีความถี่ 9 เฮิรตซ์ จงหาอัตราเร็วของคลื่นน้ำที่บริเวณ B ( $9\sqrt{2}$  เซนติเมตร/วินาที)



ตัวอย่างที่ 23 แหล่งกำเนิดอาพันธ์ 2 แหล่งให้เฟสตรงกัน ห่างกัน 6 cm. ปรากฏว่าแนวเสริมกันครั้งแรกเบนออกจากแนวกลาง 30 องศา จงหาความยาวคลื่นจากแหล่งกำเนิดทั้งสอง

ตัวอย่างที่ 24 แหล่งกำเนิดอาพันธ์ 2 แหล่งให้เฟสตรงกัน ห่างกัน 10 cm. ปรากฏว่าแนวเสริมกันครั้งแรกเบนออกจากแนวกลาง 60 องศา จงหาความยาวคลื่นจากแหล่งกำเนิดทั้งสอง

### 9.4.4 การเลี้ยวเบนของคลื่น (Diffraction)

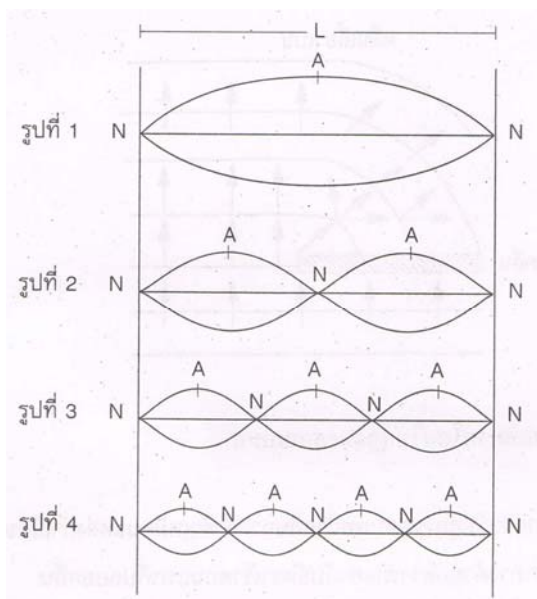


#### การเลี้ยวเบนอธิบายโดยใช้กฎของฮอยเกนส์

หลักของฮอยเกนส์กล่าวว่า “แต่ละจุดบนหน้าคลื่น กระทำตัวเหมือนแหล่งกำเนิดของคลื่นอันใหม่จะกระจายคลื่นทุกทิศทุกทางด้วยอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วตอนแรกที่ปล่อยคลื่น

การเลี้ยวเบนผ่านช่องเดี่ยว	การเลี้ยวเบนผ่านช่องคู่
1. จะเลี้ยวเบนได้ก็ต่อเมื่อ $\lambda \geq d$	1. จะเลี้ยวเบนปล่อยคลื่นออกมาเหมือนการแทรกสอด
2. จะเกิดแนวบัพหลังสิ่งกีดขวาง	2. การเลี้ยวเบนจะเกิดการแทรกสอดเสมอ
3. จะเกิดการแทรกสอดขึ้น	
4. ถ้าช่องกว้าง $d < \lambda$	

**9.5 คลื่นนิ่ง** เป็นปรากฏการณ์แทรกสอดชนิดหนึ่งที่เกิดจากคลื่นสองขบวนที่มีแอมพลิจูด ความถี่และความยาวคลื่นเท่ากันเคลื่อนที่สวนทางกัน คลื่นนิ่งมีลักษณะเป็น loop ส่วนที่กว้างมากที่สุดเรียกว่า Antinode (ปฏิบัพ) ส่วนนี้มีขนาดไม่คงที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา แสดงว่าคลื่นนิ่งนั้นเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ตลอดเวลา ส่วนตำแหน่งที่มีการเคลื่อนที่น้อยที่สุดเรียกว่า Node บัพ



- หลักการ**
- ระยะห่างจาก A ถึง A =  $\frac{\lambda}{2}$
  - ระยะห่างจาก N ถึง N =  $\frac{\lambda}{2}$
  - ระยะห่างจาก A ถึง N =  $\frac{\lambda}{4}$

ถ้าเกิดทั้งหมด n loop จะได้

$$L = \frac{n\lambda}{2}$$

$$L = \frac{nv}{2f}$$

**กำหนดให้** L = ความยาวเชือก (m)

n = จำนวน loop

$\lambda$  = ความยาวคลื่น (m)

**ตัวอย่างที่ 25** คลื่นนิ่งมีระยะห่างของบัพที่ติดกัน 10 cm ถ้าอัตราเร็วของคลื่น 160 cm/s ความถี่ของแหล่งกำเนิดคลื่นนี้เป็นเท่าใด

**ตัวอย่างที่ 26** คลื่นนิ่งมีระยะห่างของบัพที่ติดกัน 4 cm ถ้าอัตราเร็วของคลื่น 200 cm/s ความถี่ของแหล่งกำเนิดคลื่นนี้เป็นเท่าใด

**ตัวอย่างที่ 27** คลื่นนิ่งในเส้นเชือกมีระยะห่างระหว่าง Node และ Antinode เท่ากับ 10 cm ถ้าคลื่นมีความเร็ว 200 m/s จงหาความถี่ของคลื่น

**ตัวอย่างที่ 28** ในการทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก ถ้าความถี่ของคลื่นนิ่งเป็น 700 เฮิรตซ์ และอัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือกเท่ากับ 350 เมตรต่อวินาที ตำแหน่งบัพสองตำแหน่งที่อยู่ติดกันจะห่างกันเท่าใด



**แบบทดสอบ (O-NET) บทที่ 9 เรื่อง คลื่น**

1. (O-NET49) เมื่อคลื่นเดินทางจากน้ำลึกสู่น้ำตื้น ข้อใดต่อไปนี้เป็นข้อที่ถูกต้อง
  1. อัตราเร็วคลื่นในน้ำตื้นน้อยกว่าอัตราเร็วคลื่นในน้ำลึก
  2. ความยาวคลื่นในน้ำตื้นมากกว่าความยาวคลื่นในน้ำลึก
  3. ความถี่คลื่นในน้ำตื้นมากกว่าความถี่คลื่นในน้ำลึก
  4. ความถี่คลื่นในน้ำตื้นน้อยกว่าความถี่คลื่นในน้ำลึก
2. (O-NET49) คลื่นใดต่อไปนี้เป็นคลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่
  1. คลื่นแสง
  2. คลื่นเสียง
  3. คลื่นผิวน้ำ

คำตอบที่ถูกต้องคือ

  1. ทั้ง 1, 2 และ 3
  2. ข้อ 2 และ 3
  3. ข้อ 1 เท่านั้น
  4. ผิดทุกข้อ
3. (O-NET50) เมื่อคลื่นเคลื่อนจากตัวกลางที่หนึ่งไปตัวกลางที่สองโดยอัตราเร็วของคลื่นลดลง ถ้ามวลสำหรับคลื่นในตัวกลางที่สอง ข้อความใดถูกต้อง
  1. ความถี่เพิ่มขึ้น
  2. ความถี่ลดลง
  3. ความยาวคลื่นมากขึ้น
  4. ความยาวคลื่นลดลง
4. (O-NET50) ถ้ากระทุ้งน้ำเป็นจังหวะสม่ำเสมอ ลูกบิงปองที่ลอยอยู่ห่างออกไปจะเคลื่อนที่อย่างไร
  1. ลูกบิงปองเคลื่อนที่ออกห่างไปมากขึ้น
  2. ลูกบิงปองเคลื่อนที่เข้ามาหา
  3. ลูกบิงปองเคลื่อนที่ขึ้น-ลงอยู่ที่ตำแหน่งเดิม
  4. ลูกบิงปองเคลื่อนที่ไปด้านข้าง
5. (O-NET51) คลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ปริมาณใดต่อไปนี้เป็นค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลง
  1. ความถี่
  2. ความยาวคลื่น
  3. อัตราเร็ว
  4. ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น
6. (O-NET52) ข้อใดต่อไปนี้เป็นข้อที่ถูกต้องเกี่ยวกับคลื่นตามยาว
  1. เป็นคลื่นที่ของตัวกลางมีการสั่นในแนวเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่น
  2. เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ไปตามแนวยาวของตัวกลาง
  3. เป็นคลื่นที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่
  4. เป็นคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางมีการสั่นได้หลายแนว
7. (O-NET53) ในการทดลองเพื่อสังเกตผลของสิ่งกีดขวางเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่าน เป็นการศึกษาสมบัติตามข้อใดของคลื่น
  1. การหักเห
  2. การเลี้ยวเบน
  3. การสะท้อน
  4. การแทรกสอด
8. (O-NET53) ทำให้เกิดคลื่นบนเส้นเชือกที่ปลายทั้งสองด้านถูกขึงตึง พบว่ามีความถี่และความยาวคลื่นค่าหนึ่ง ถ้าทำให้ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของความถี่เดิม ข้อใดถูกต้อง
  1. ความยาวคลื่นบนเส้นเชือกลดลงเหลือครึ่งหนึ่งเนื่องจากคลื่นเคลื่อนที่ในตัวกลางเดิม
  2. ความยาวคลื่นบนเส้นเชือกเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เนื่องจากปริมาณทั้งสองแปรผันตามกัน
  3. ความยาวคลื่นบนเส้นเชือกเท่าเดิม เนื่องจากคลื่นเกิดบนตัวกลางเดิม
  4. ความยาวคลื่นบนเส้นเชือกเท่าเดิม แต่อัตราเร็วของคลื่นเพิ่มเป็นสองเท่าตามสมการ  $v = f\lambda$



9. (O-NET54) คลื่นกลตามยาวและคลื่นกลตามขวางถูกนิยามขึ้น โดยดูจากปัจจัยใดเป็นหลัก

1. ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น
2. ทิศการสั่นของอนุภาคตัวกลาง
3. ประเภทของแหล่งกำเนิด
4. ความยาวคลื่น

10. (O-NET54) ลูกบอลผูกหนึ่งตกลงน้ำและสั่นขึ้นลงหลายรอบทำให้เกิดคลื่นผิวน้ำแผ่ออกไปเป็นรูปวงกลม เมื่อเวลาผ่านไป 10 วินาทีคลื่นน้ำแผ่ออกไปได้รัศมีสูงสุดประมาณ 20 เมตร โดยมีระยะระหว่างสันคลื่นเท่ากับ 2 เมตร จากข้อมูลดังกล่าว ลูกบอลสั่นขึ้นลงด้วยความถี่ประมาณเท่าใด

1. 0.5 Hz
2. 1.0 Hz
3. 2.0 Hz
4. 4.0 Hz

11. คลื่นกล A และคลื่นกล B มารวมกันที่จุดๆ หนึ่งเงื่อนไขใดที่ไม่ทำให้เกิดการแทรกสอด

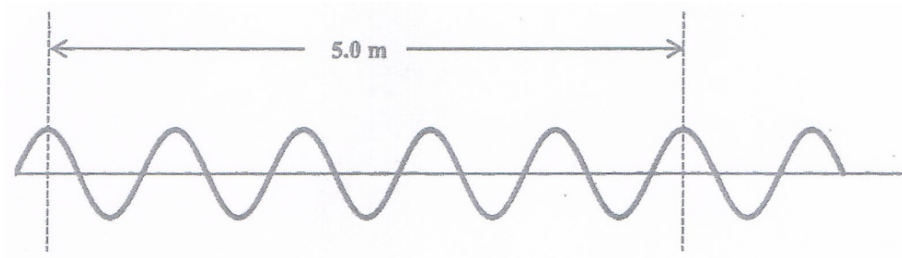
แบบเสริมกัน (O-Net 58)

1. ท้องคลื่น A เจอกับท้องคลื่น B โดยที่แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองเท่ากัน
2. ท้องคลื่น A เจอกับสันคลื่น B โดยที่แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองเท่ากัน
3. สันคลื่น A เจอกับสันคลื่น B โดยที่แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองเท่ากัน
4. ท้องคลื่น A เจอกับท้องคลื่น B โดยที่แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองต่างกัน
5. สันคลื่น A เจอกับสันคลื่น B โดยที่แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองต่างกัน

12. เมื่อจุ่มหลอดคาเฟล่งในแก้วที่มีน้ำจะพบว่า หลอดคาเฟล่งส่วนที่อยู่ใต้น้ำไม่ต่อเป็นแนวเดียวกับส่วนที่อยู่เหนือเมื่อน้ำ ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเนื่องจากสมบัติใด (O-Net 59)

1. การสะท้อน
2. การหักเห
3. การแทรกสอด
4. การเลี้ยวเบน
5. การดูดกลืนแสง

13. คลื่นขบวนหนึ่ง มีความถี่ 10 เฮิรตซ์ และระยะห่างระหว่างสันคลื่นที่ 1 ถึงสันคลื่นที่ 6 เท่ากับ 5.0 เมตร ดังภาพ

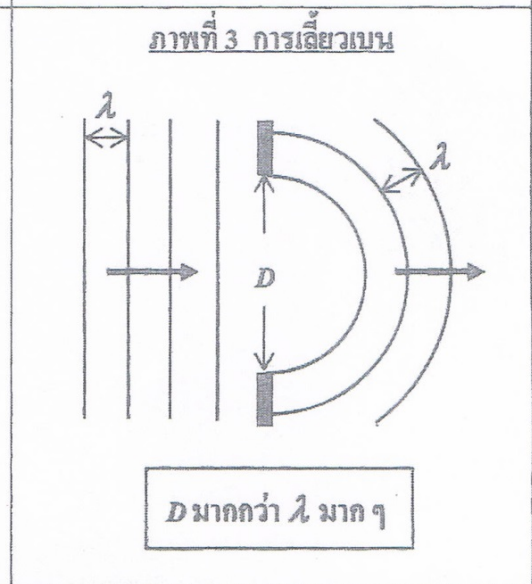
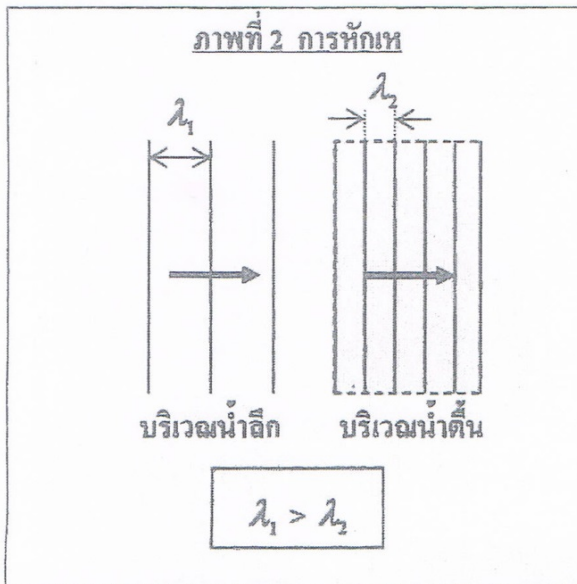
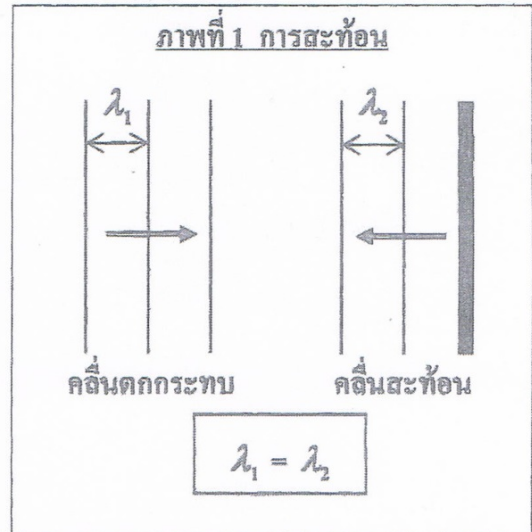
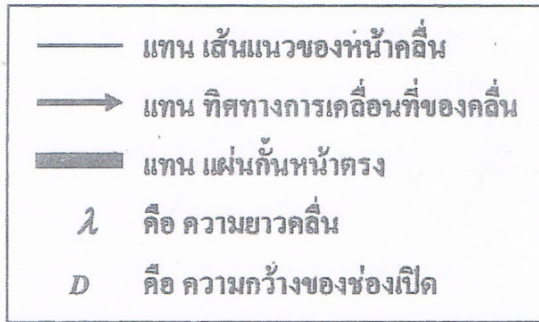


ในการเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 100.00 เมตร คลื่นจะใช้เวลาเคลื่อนที่เป็นเท่าใด

1. 0.3 วินาที
2. 2.0 วินาที
3. 10.0 วินาที
4. 12.0 วินาที
5. 20.0 วินาที

14. พิจารณาการเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำและแนวของหน้าคลื่นดังต่อไปนี้

กำหนดให้



ภาพใดแสดงแนวของหน้าคลื่นได้ถูกต้อง

- |                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| 1. ภาพที่ 1 เท่านั้น | 2. ภาพที่ 1 และ 2 |
| 3. ภาพที่ 1 และ 3    | 4. ภาพที่ 2 และ 3 |
| 5. ภาพที่ 1 2 และ 2  |                   |

### แบบทดสอบเข้ามหาวิทยาลัยขอนแก่น บทที่ 9 เรื่อง คลื่นกล

1. (มข.50) เมื่อเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำทำให้ผิวกระเพื่อมขึ้นลงจากระดับเดิม 600 รอบในเวลา 1 นาที ถ้าระยะห่างระหว่างสันคลื่นที่อยู่ติดกันวัดได้เท่ากับ 30 เซนติเมตร จงคำนวณหาอัตราเร็ว ของคลื่นผิวน้ำ

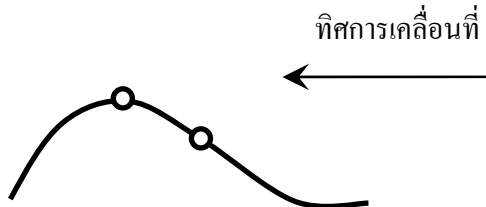
1. 3 เมตร/วินาที
2. 6 เมตร/วินาที
3. 9 เมตร/วินาที
4. 12 เมตร/วินาที

2. (มข.50) จากการทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น ถ้าปรับกระแสไฟฟ้าที่ผ่านมอเตอร์ทำให้ปุ่มกำหนดคลื่นสั้นด้วยความถี่ลดลงเป็น 0.5 เท่าของค่าเดิม ผลที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามข้อใด

1. อัตราเร็วของคลื่นมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าเดิม
2. อัตราเร็วของคลื่นมีค่าเป็นสองเท่าของค่าเดิม
3. ความยาวคลื่นเป็นครึ่งหนึ่งของค่าเดิม
4. ความยาวคลื่นเป็นสองเท่าของค่าเดิม

3. (มข.50) คลื่นคลื่นในเส้นเชือกกำลังคลื่นที่จากขวาไปซ้าย A และ B เป็นจุดสองจุดบนเส้นเชือก ณ เวลาหนึ่งรูปร่างของเส้นเชือกเป็นดังรูปอยากทราบว่าถ้าเวลาผ่านไปอีกเล็กน้อยจุด A และ B จะอยู่ที่ตำแหน่งใด

1. ทั้ง A และ B เคลื่อนที่ไปทางซ้าย
2. A ต่ำกว่าเดิม B สูงกว่าเดิม
3. A สูงกว่าเดิม B ต่ำกว่าเดิม
4. ทั้ง A และ B ต่ำกว่าเดิม



4. (มข.50) ข้อใดเป็นหลักของฮอยเกนส์

1. เมื่อคลื่นเกิดการสะท้อนจะได้ว่า มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน
2. แต่ละจุดบนหน้าคลื่นถือได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่
3. แต่ละจุดบนหน้าคลื่นเดียวกันจะมีเฟสเหมือนกัน
4. ถูกทั้งข้อ 2. และข้อ 3.

5. (มข.51) แหล่งกำเนิดคลื่น 10 รอบ ในเวลา 5 วินาที และคลื่นมีความเร็ว 4 เมตรต่อวินาที ถ้าขณะเวลาหนึ่งแหล่งกำเนิดคลื่นสั้นโดยมีการกระจัดมากที่สุด(อัมพลิจูด) อยากทราบว่าขณะนั้น ณ จุดซึ่งอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่น 2.5 เมตร อนุภาคของตัวกลางจะมีการเคลื่อนที่อย่างไร

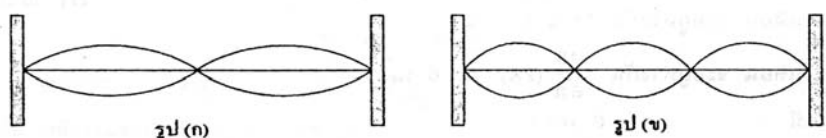
1. มีการกระจัดเป็นศูนย์
2. มีการกระจัดเป็น  $1/4$  เท่าของอัมพลิจูด
3. มีการกระจัดเป็น  $1/2$  เท่าของอัมพลิจูด
4. มีการกระจัดมากที่สุด

6. (มข.51) คลื่นขบวนหนึ่งมีความถี่ 9 เฮิรตซ์ และมีระยะห่างสองจุดที่มีเฟสต่างกัน  $6\pi$  เรเดียน เป็น 18 เมตร คลื่นขบวนนี้มีอัตราเร็วกี่เมตรต่อวินาที

1. 24 เมตรต่อวินาที
2. 27 เมตรต่อวินาที
3. 48 เมตรต่อวินาที
4. 54 เมตรต่อวินาที

7. (มข.51) แหล่งกำเนิดคลื่นทำให้เกิดคลื่นในเส้นเชือกยาว 30 เซนติเมตร ที่ตรึงปลาย ทั้งสองข้างไว้ เมื่อใช้แหล่งกำเนิดคลื่นที่มีความถี่ 40 เฮิรตซ์จะเกิดคลื่นนิ่งดังที่แสดงในรูป(ก) ถ้าต้องการทำให้เกิดคลื่นนิ่งดังที่แสดงในรูป(ข) โดยอัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกคงเดิมจะต้องใช้แหล่งกำเนิดคลื่นที่มีความถี่เท่าไร

1. 20 เฮิรตซ์
2. 30 เฮิรตซ์
3. 50 เฮิรตซ์
4. 60 เฮิรตซ์



8. (มข.52) ในทะเลที่ลมค่อนข้างราบเรียบมีคลื่นซัดเข้าหาชายฝั่งทั้งหมด 240 ลูก ในเวลา 2 นาที ระยะห่างตามแนวราบระหว่างท้องคลื่นและสันคลื่นเท่ากับ 50 เซนติเมตร จงหาอัตราเร็วของคลื่นนี้

1. 0.5 เมตรต่อวินาที
2. 1.0 เมตรต่อวินาที
3. 2.0 เมตรต่อวินาที
4. 4.0 เมตรต่อวินาที

9. (มข.51) คลื่นน้ำเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำตื้นสู่บริเวณน้ำลึก โดยทำมุมตกกระทบ  $37^\circ$  และมีมุมหักเห  $53^\circ$  ถ้าวัดความยาวคลื่นในน้ำตื้นเป็น 3.0 เซนติเมตร จงหาความยาวคลื่นของคลื่นน้ำในบริเวณน้ำลึก

กำหนดให้  $\tan 37^\circ = 3/4$

1. 2.0 เซนติเมตร
2. 3.0 เซนติเมตร
3. 4.0 เซนติเมตร
4. 5.0 เซนติเมตร

10. (มข.52) คำกล่าวต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง

1. ในการเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำผ่านช่องแคบเดี่ยวที่ความกว้างของช่องแคบมากกว่าความยาวคลื่นจะเกิดการเลี้ยวเบนเพียงอย่างเดียว

2. ในการเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำผ่านช่องแคบเดี่ยวที่ความกว้างของช่องแคบน้อยกว่าความยาวคลื่นจะเกิดการเลี้ยวเบนเพียงอย่างเดียว

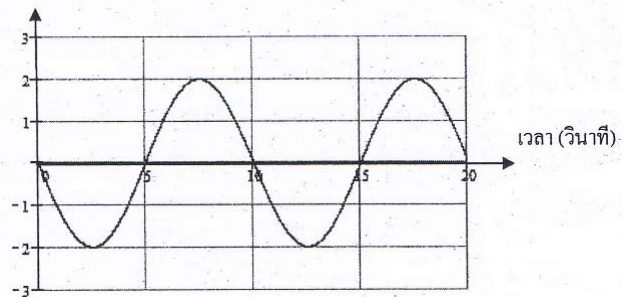
3. ในการเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำผ่านช่องแคบคู่ที่ความกว้างของช่องแคบแต่ละช่องมากกว่าความยาวคลื่น จะเกิดการแทรกสอดเพียงอย่างเดียว

4. ในการเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำผ่านช่องแคบคู่ที่ความกว้างของช่องแคบแต่ละช่องน้อยกว่าความยาวคลื่น จะเกิดการเลี้ยวเบนเพียงอย่างเดียว

11. (มข.53) คลื่นกลมีการกระจัดที่เขียนเป็นกราฟกับเวลาได้ดังรูป คลื่นกลนี้มีแอมพลิจูด ความถี่ และเฟสเริ่มต้นเป็นเท่าใด

1. 4 เมตร 10 เฮิรตซ์ และ 0 เรเดียน
2. 4 เมตร 0.1 เฮิรตซ์ และ 0 เรเดียน
3. 2 เมตร 10 เฮิรตซ์ และ  $\pi$  เรเดียน
4. 2 เมตร 0.1 เฮิรตซ์ และ  $\pi$  เรเดียน

การกระจัด (เมตร)



12. (มข.53) ในการทดลองของคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก ถ้าคลื่นในเส้นเชือกมีความถี่ 720 เฮิรตซ์ และอัตราเร็ว 360 เมตร/วินาที ตำแหน่งบัพที่อยู่ติดกันจะห่างกันกี่เมตร

1. 0.25
2. 0.5
3. 1.0
4. 2.0

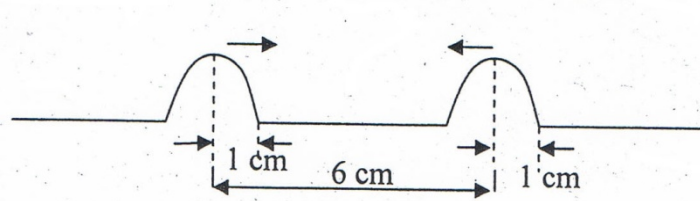
13. (มข.54) คลื่นในทะเลซัดเข้าหาฝั่งด้วยอัตราเร็ว 3 เมตรต่อวินาที ถ้าระยะระหว่างสันคลื่นที่ติดกันเท่ากับ 6 เมตร จะมีคลื่นเข้ากระทบฝั่งกี่ลูกในเวลา 1 นาที

1. 18 ลูก
2. 30 ลูก
3. 360 ลูก
4. 1080 ลูก

14. (มข.54) ในการทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก ถ้าความถี่ของคลื่นนิ่งเป็น 475 เฮิรตซ์ และอัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือกเท่ากับ 380 เมตรต่อวินาที ตำแหน่งบัพสองตำแหน่งที่อยู่ติดกันจะห่างกันเท่าใด

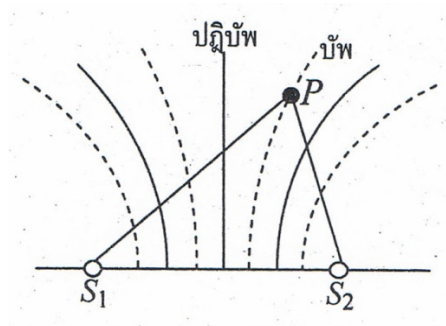
- |             |             |
|-------------|-------------|
| 1. 0.2 เมตร | 2. 0.4 เมตร |
| 3. 0.6 เมตร | 4. 0.8 เมตร |

15. (มข.54) คลื่นคลสองคลื่นในเส้นเชือก กำลังเคลื่อนที่เข้าหากันด้วยอัตราเร็ว 2 เซนติเมตรต่อวินาที ณ เวลาขณะหนึ่ง คลื่นคลทั้งสองอยู่ห่างกัน 6 เซนติเมตร ดังรูป เมื่อเวลาผ่านไป 2.5 วินาที ตำแหน่งสันคลื่นทั้งสองอยู่ห่างกันเท่าใด



- |                |                |
|----------------|----------------|
| 1. 2 เซนติเมตร | 2. 3 เซนติเมตร |
| 3. 4 เซนติเมตร | 4. 5 เซนติเมตร |

16. (มข.54) จากรูป แสดงภาพการแทรกสอดของคลื่นผิวน้ำที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอาน์  $S_1$  และ  $S_2$  มี  $P$  เป็นจุดบนเส้นบัพ ถ้า  $S_1P$  เท่ากับ 10 เซนติเมตรและ  $S_2P$  เท่ากับ 7 เซนติเมตร ถ้าอัตราเร็วของคลื่นทั้งสองเท่ากับ 30 เซนติเมตรต่อวินาที แหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองมีความถี่เท่าใด



- |              |              |
|--------------|--------------|
| 1. 3 เฮิรตซ์ | 2. 4 เฮิรตซ์ |
| 4. 5 เฮิรตซ์ | 4. 6 เฮิรตซ์ |