บทที่ 9 คลื่นกล

9.1 ธรรมชาติของคลื่น

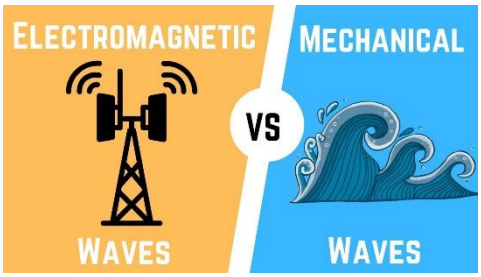
การถ่ายโอนพลังงานของคลื่นกล

คลื่น (Wave) คือ ลักษณะของการถูกรบกวนของเนื้อสารและส่งต่อพลังงานออกไปรอบ ๆ ซึ่งอาจเกิดจากการสั่นหรือการถูกรบกวนของตัวกลาง เช่น การใช้มือจุ่มน้ำในขัน ในตุ่ม ในสระ ในแม่น้ำลำคลอง หรือขว้างวัตถุลงไปในน้ำ เราจะมองเห็นผิวน้ำกระเพื่อม แล้วแผ่เป็นวงกลมออกไปโดยรอบซึ่งลักษณะนี้ว่า คลื่นน้ำเกิดขึ้นบนผิวน้ำ

การส่งต่อพลังงานของคลื่นกลเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของคลื่นผ่านตัวกลางต่าง ๆ โดยตัวกลางจะช่วยในการถ่ายโอนพลังงานจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง โดยตัวกลางอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ซึ่งไม่มีการเคลื่อนที่ของตัวกลางในทิศทางเดียวกับคลื่น แต่มวลของตัวกลางจะสั่นในตำแหน่งเดิมและส่งผ่านพลังงานไปเรื่อย

ชนิดของคลื่น

1. จำแนกคลื่นตามความจำเป็นของการ**ใช้ตัวกลาง**ในการแผ่ โดยแบ่งได้ 2 ชนิดคือ



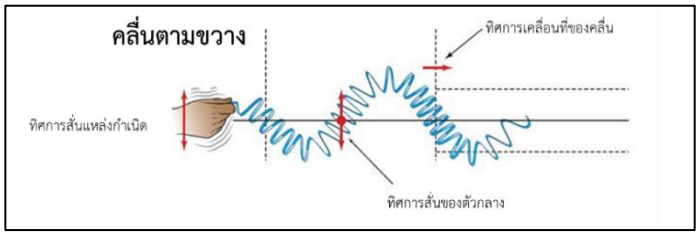
1.1 คลื่นกล (Mechanical Wave) เป็นคลื่นที่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการแผ่ คลื่นประเภทนี้ได้แก่ คลื่นน้ำ คลื่นน้ำในเส้นเชือก คลื่นเสียง

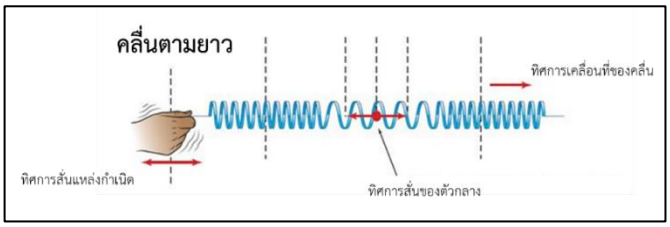
1.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากการเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าในทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกัน ได้แก่ เช่น คลื่นวิทยุ โทรทัศน์ ไมโครเวฟ แสง รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา

---

2. จำแนกคลื่นตาม**ลักษณะของการสั่น**ของแหล่งกำเนิดหรือตามลักษณะการแผ่ การจำแนกประเภทนี้ แบ่งคลื่นออกได้ 2 ชนิด

2.1 คลื่นตามขวาง (Transverse Wave) เป็นคลื่นที่มีทิศทางการสั่นของตัวกลางหรือทิศทาง ตั้งฉากกับทิศทางการแผ่ (ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น) เช่น <u>คลื่นในเส้นเชือก คลื่นน้ำ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า</u> คลื่นตามขวางอาจมีทั้งคลื่นกลและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็ได้



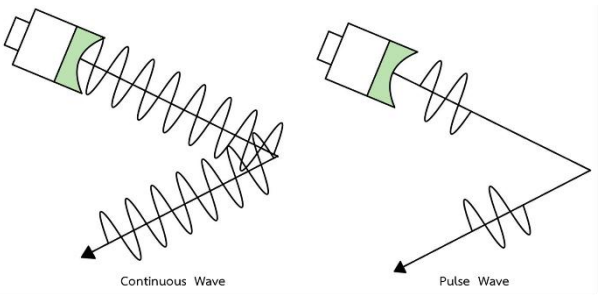


2.2 คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) เป็นคลื่นที่มีทิศทางการสั่นของตัวกลางอยู่ในแนวขนานกับการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น <u>คลื่นเสียง</u> คลื่นที่เกิดจากการอัดและการขยายตัวในขดลวดสปริง และคลื่นตามยาวทุกชนิดจะเป็นคลื่นกลทั้งสิ้น

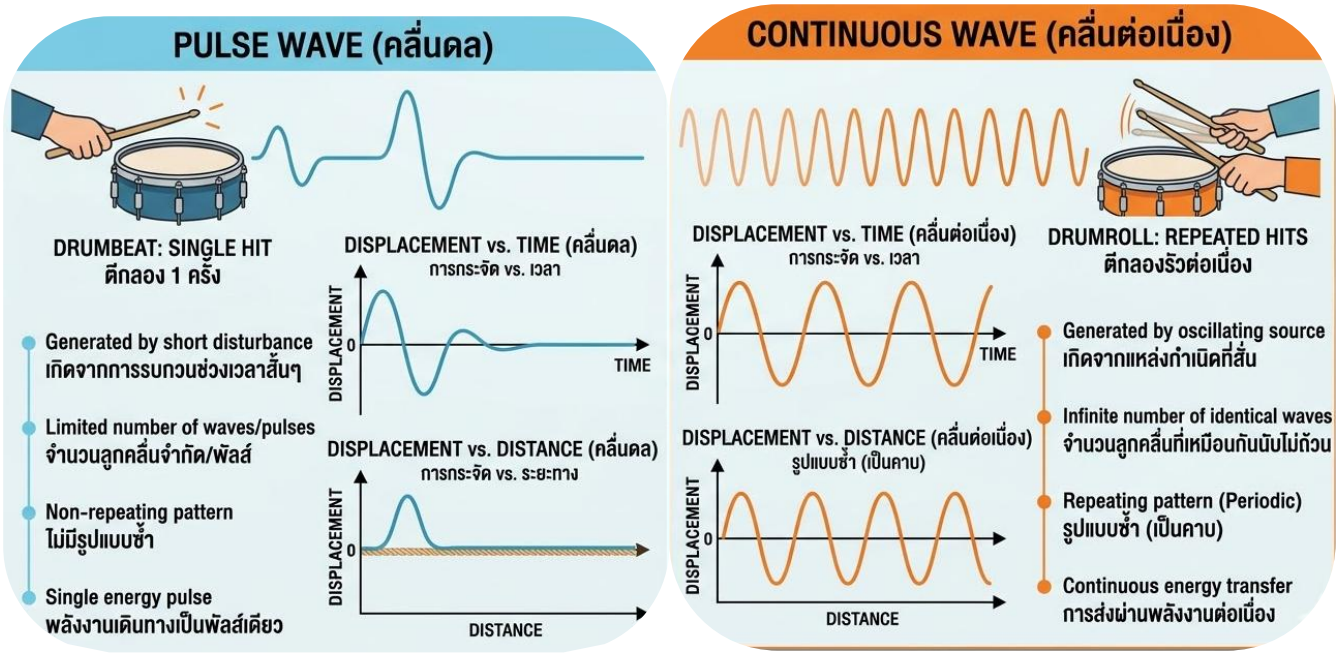
---

3. จำแนกตาม**ความต่อเนื่อง**ของแหล่งกำเนิดแบ่งออกได้ 2 ชนิด

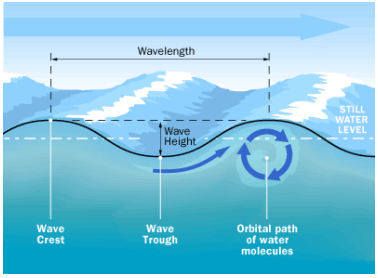
3.1 คลื่นดล (Pulse Wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดสั่น หรือรบกวนตัวกลางเป็นช่วงเวลาสั้นๆ แผ่ออกไปจำนวนน้อย ๆ เพียง 1 หรือ 2 คลื่น เช่น การนิ้วจุ่มที่ผิวน้ำเพียงครั้งหรือ 2 ครั้ง การสะบัดปลายเชือก 1 ครั้ง เคาะโต๊ะ 1 ครั้ง การตีกลอง 1 ครั้ง การทำงานของเซนเซอร์อัลตราโซนิก การส่งสัญญาณของเรดาร์ เป็นต้น

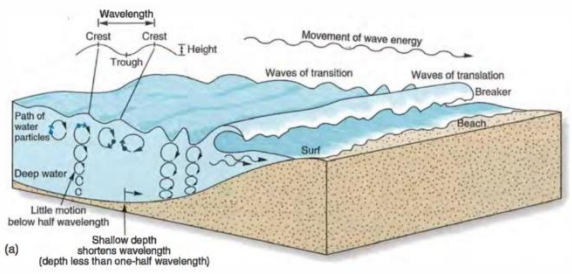


3.2 คลื่นต่อเนื่อง (Continuous Wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดสั่น หรือรบกวนตัวกลางอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดคลื่นแผ่ออกไปเป็นขบวนอย่างต่อเนื่อง เช่นการเกิดคลื่นผิวน้ำเนื่องจากแหล่งกำเนิดติดกับมอเตอร์ หรือการสะบัดเชือกอย่างต่อเนื่อง

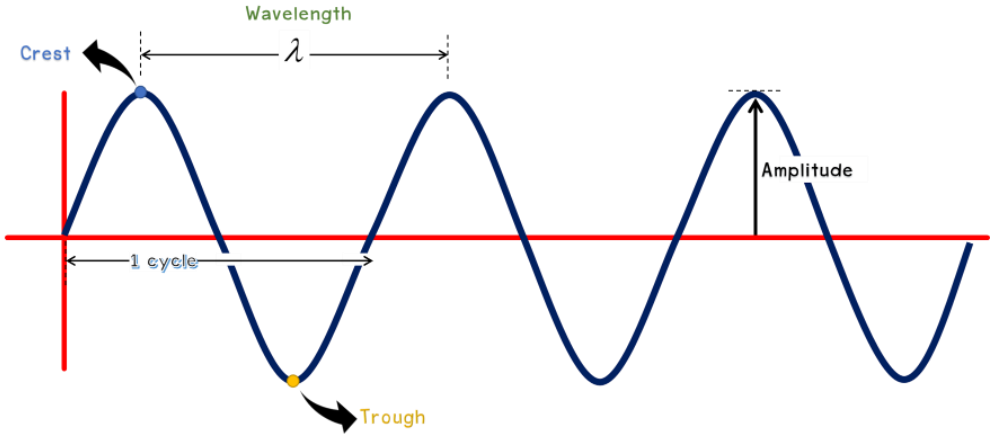


* คลื่นน้ำในทะเลจะเป็นลักษณะของคลื่นทั้งตามขวางและตามยาว





ส่วนประกอบของคลื่น



- **สันคลื่น (Crest)** เป็นตำแหน่งสูงสุดของคลื่น หรือเป็นตำแหน่งที่มีการกระจัดสูงสุดในทางบวก
- **ท้องคลื่น (Trough)** เป็นตำแหน่งต่ำสุดของคลื่น หรือเป็นตำแหน่งที่มีการกระจัดสูงสุดในทางลบ
- **แอมพลิจูด (Amplitude)** เป็นระยะการกระจัดมากสุด ทั้งค่าบวกและค่าลบ
- **ความยาวคลื่น (wavelength)** เป็นความยาวของคลื่นหนึ่งลูกมีค่าเท่ากับระยะระหว่างสันคลื่นหรือท้องคลื่นที่อยู่ถัดกัน ความยาวคลื่นแทนด้วยสัญลักษณ์ λ (lambda) มีหน่วยเป็นเมตร (m)

คาบและความถี่

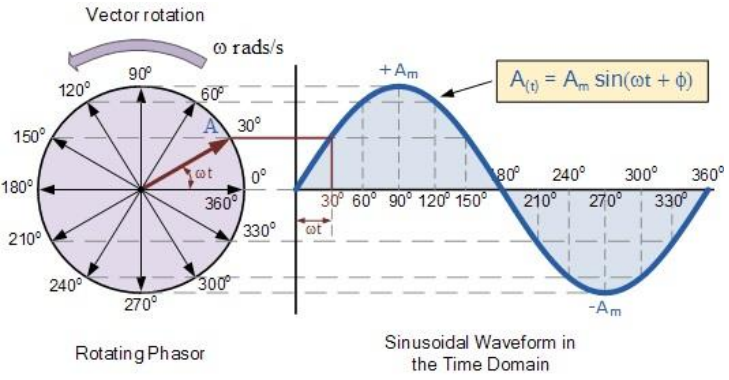
- **ความถี่ (frequency)** หมายถึง จำนวนลูกคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งใด ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา แทนด้วยสัญลักษณ์ f มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที (s^{-1}) หรือ เฮิรตซ์ (Hz)
- **คาบ (period)** หมายถึง ช่วงเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งใด ๆ ครบหนึ่งลูกคลื่น แทนด้วยสัญลักษณ์ T มีหน่วยเป็นวินาทีต่อรอบ (s)

$$\text{คาบ} = \frac{\text{เวลา}}{\text{จำนวนรอบ}} \quad \text{และ} \quad \text{ความถี่} = \frac{\text{จำนวนรอบ}}{\text{เวลา}} \quad \text{ดังนั้น} \quad f = \frac{1}{T}$$

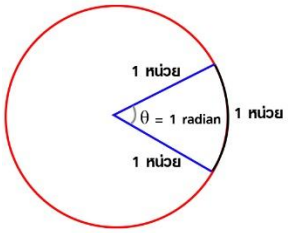
ทบทวน

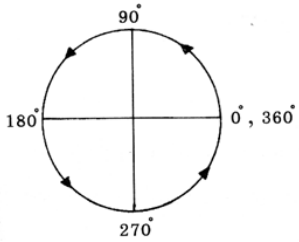
จงวาดรูปคลื่นที่มีความยาวคลื่น 2 เมตร แอมพลิจูด 20 เซนติเมตร จำนวน 3 ลูกคลื่น พร้อมระบุตำแหน่งของสันคลื่นและท้องคลื่น

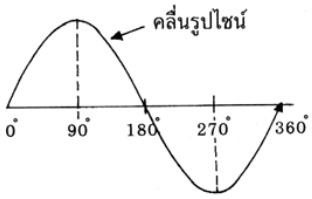
การบอกตำแหน่งของคลื่น

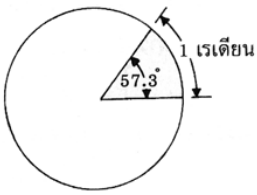


ในการบอกตำแหน่งของคลื่นบนหน้าคลื่นใด ๆ จะบอกเป็นค่าของมุม เรียกว่า **เฟสของคลื่น** เฟสของคลื่นเป็นการบอกตำแหน่งต่าง ๆ บนคลื่น โดยบอกเป็นมุมในหน่วย**องศา**หรือ**เรเดียน** ลักษณะของคลื่นสามารถนำมาเขียนในรูปของคลื่นรูปไซน์ได้ ดังนั้นตำแหน่งต่าง ๆ บนคลื่นรูปไซน์จึงระบุตำแหน่งเป็นมุมในหน่วยองศาหรือเรเดียนได้ ซึ่งมุม 1 เรเดียนเทียบได้เท่ากับ 57.3 องศา มุม 360 องศาเทียบได้เท่ากับ 2π เรเดียน









จงวาดรูปคลื่นที่มีคาบ 3 วินาที ให้เริ่มต้นมีเฟส 90 องศา แอมพลิจูด 20 เซนติเมตร จำนวน 1.5 ลูกคลื่น พร้อมระบุเฟสของคลื่น

9.2 อัตราเร็วของคลื่น (wave speed)

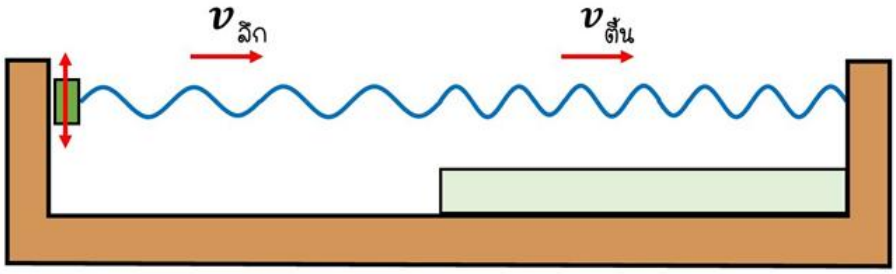
***อัตราเร็วของคลื่น (wave speed** อัตราเร็วในเรื่องคลื่น แบ่งได้ดังนี้*

1. อัตราเร็วคลื่น คือ อัตราเร็วของการถ่ายโอนพลังงานของคลื่น **หรือเรียกว่าอัตราเร็วเฟส** เป็นอัตราเร็วคลื่นที่เคลื่อนที่ไปแบบเชิงเส้น ซึ่งอัตราเร็วคลื่นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน

สมการที่ใช้

$$v = \frac{s}{t} = \frac{\lambda}{T} = f\lambda \qquad \Rightarrow \quad \boxed{v = f\lambda}$$

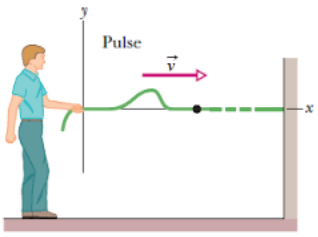
2. อัตราเร็วคลื่นในน้ำตื้น $(v << \lambda)$ ขึ้นกับความลึกของน้ำ ถ้าให้น้ำลึก d จะได้ความสัมพันธ์ $v = \sqrt{gd}$



3. อัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือก ขึ้นอยู่กับแรงตึงเชือก (T) และค่าคงตัวของเชือก (μ) ซึ่งเป็นค่ามวล (m) ต่อความยาวเชือก (ℓ)

$$\boxed{v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}}$$

โดยที่ $\mu = \frac{m}{\ell}$



ตัวอย่าง

1. คลื่นกลต่อเนื่องที่แผ่ผ่านตัวกลางหนึ่ง ด้วยความถี่ 260 เฮิรตซ์ และความยาวคลื่น 1.3 เมตร คลื่นนี้มีอัตราเร็วเท่าใด

ก. คลื่นนี้จะใช้เวลานานเท่าใด จึงจะเคลื่อนที่ได้ ระยะทาง 84.5 เมตร (เฉลย)

ข. คาบของคลื่นมีค่าเท่าใด (เฉลย)

2. เรือลำหนึ่งจอดหยุดนิ่งที่จุดหนึ่งบนผิวน้ำ ต่อมามีคลื่นต่อเนื่องที่ทำให้เรือเคลื่อนที่ขึ้นลง ถ้าระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดของคลื่นที่อยู่ถัดกันมีค่าเป็น 12.0 เมตร และคลื่นมีอัตราเร็ว 4 เมตรต่อวินาที จะใช้เวลานานเท่าใด ที่เรือจะเคลื่อนที่จากจุดสูงสุดไปถึงจุดที่ต่ำที่สุด (เฉลย)

3. เชือกยาว 10 เมตร มีมวล 0.25 กิโลกรัม ต้องดึงให้ตึงเท่าใด เมื่อสะบัดเชือกจะทำให้เกิดคลื่นที่มีความเร็ว 30 เมตรต่อวินาทีได้ (เฉลย)

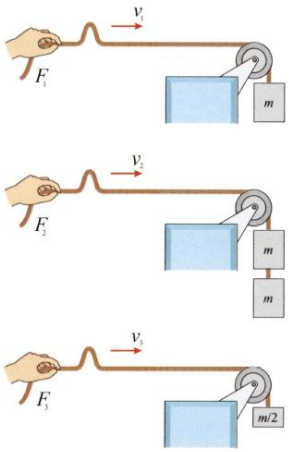
แบบฝึกหัด 9.1

1. คลื่นในเส้นเชือกกำลังเคลื่อนที่ไปทางซ้าย ที่จุด A และ B ถูกแต้มสีดำไว้ ดังรูป อนุภาคของเชือกตรงจุด A และจุด B กำลังจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางใด (เฉลย)

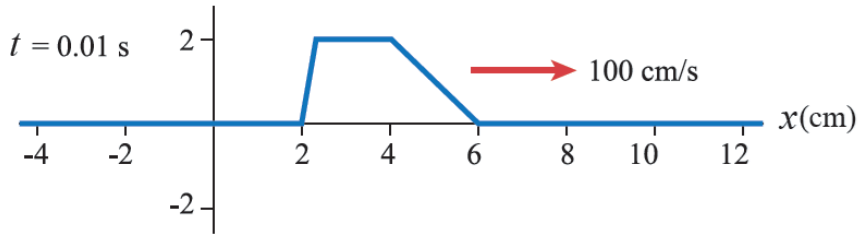
** แนววิเคราะห์ อนุภาคของคลื่นไม่ได้เคลื่อนที่ไปกับคลื่น*

1. A ขึ้น B ลง
2. A ลง B ขึ้น
3. A ซ้าย B ขวา
4. A ขวา B ซ้าย

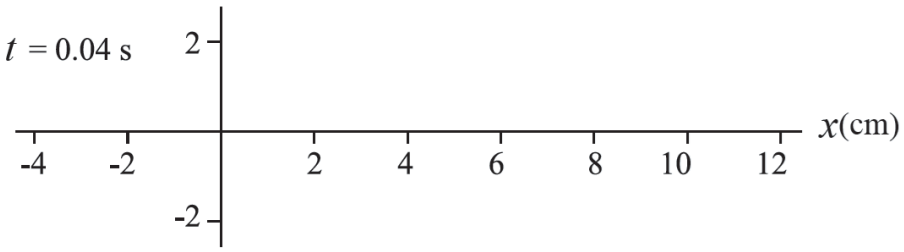
2. พิจารณาเชือก 3 เส้นที่เหมือนกัน ปลายด้านหนึ่งยึดติดกับตุ้มน้ำหนักที่มีมวลต่างกันผ่านรอกดังแสดงในรูป ปลายอีกด้านหนึ่ง มีมือดึงอยู่ เมื่อมือที่จับเชือกแต่ละเส้น สะบัดขึ้นลง 1 ครั้ง จะเกิดคลื่นดลเคลื่อนที่ไปตามเชือก จงเรียงลำดับอัตราเร็วคลื่น (เฉลย)



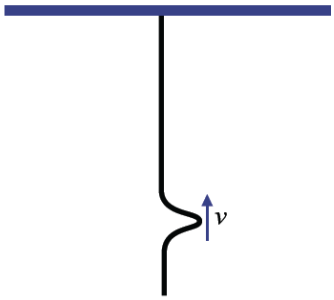
3. คลื่นดลในตัวกลางหนึ่งกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยอัตราเร็ว 100 เซนติเมตรต่อวินาที (เฉลย)



จงวาดรูปร่างของคลื่นที่เวลา t = 0.04 วินาที

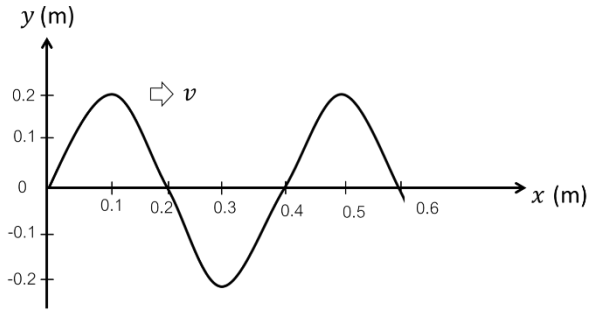


4. เชือกมีความหนาแน่นเชิงเส้นสม่ำเสมอ ถูกนำมาห้อยลงมาจากเพดานดังรูป เมื่อเราสะบัดปลายเชือกด้านล่างให้เกิดคลื่นดล คลื่นดลนี้จะเคลื่อนที่ขึ้นไปตามแนวเชือก ขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ขึ้นนั้น อัตราเร็วของคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ (เฉลย)



1. เร็วขึ้น 2. ช้าลง
3. คงที่ 4. ไม่สม่ำเสมอ

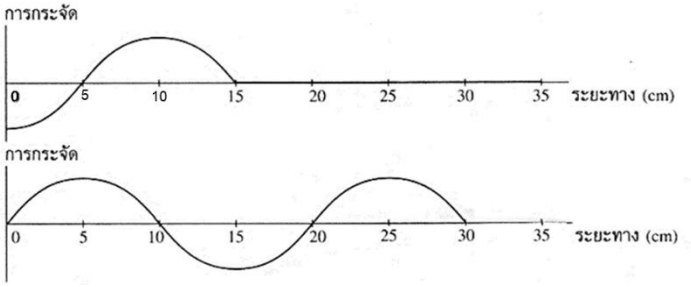
5. จากรูป คือ คลื่นต่อเนื่องในเส้นเชือกที่ขึงตึง ถ้าความถี่ของคลื่นเท่ากับ 2 Hz อัตราเร็วของคลื่นในเชือกนี้จะเป็นเท่าใด (เฉลย)



1. 0.8 m/s 2. 0.6 m/s
3. 0.4 m/s 4. 0.2 m/s

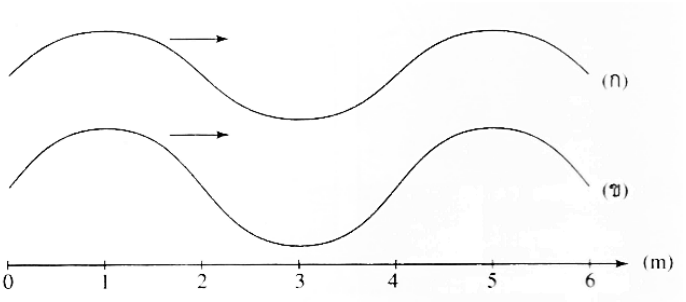
6. คลื่นในเส้นเชือกยาว เมื่อเวลาหนึ่งเป็นดังรูป ก หลังจากนั้น 0.5 วินาที เป็นดังรูป ข ความถี่ของคลื่นในเส้นเชือกเป็นกี่เฮิรตซ์ (เฉลย)

1. 3.0 2. 2.5
3. 2.5 4. 1.5

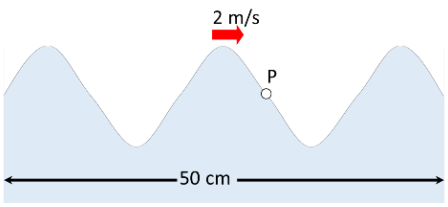


7. คลื่นต่อเนื่องในเส้นเชือกมีลักษณะตั้งต้นดังรูป ก เมื่อเวลาผ่านไป 0.4 วินาที คลื่นจะมีลักษณะตามรูป ข อยากทราบว่าคลื่นมีอัตราเร็ว **อย่างน้อย**ที่สุดเท่าใด (เฉลย)

1. 4 m/s 2. 6 m/s
3. 8 m/s 4. 10 m/s



8. จากรูป คลื่นผิวน้ำกำลังเคลื่อนที่ทางขวามือด้วยอัตราเร็ว 2 เมตรต่อวินาที มีเม็ดโฟมลอยอยู่ที่จุด P เมื่อเวลาผ่านไปเล็กน้อยเม็ดโฟมจะเคลื่อนที่อย่างไร (เฉลย)



1. เคลื่อนที่ไปทางขวามือด้วยอัตราเร็ว 2 m/s
2. เคลื่อนที่ทางซ้ายมือด้วยอัตราเร็ว 2 m/s
3. เคลื่อนที่ขึ้นโดยมีขนาดของความเร็วลดลง
4. เคลื่อนที่ขึ้นโดยมีขนาดของความเร็วเพิ่มขึ้น

9. จากข้อที่ 8 ความถี่ของคลื่นน้ำเป็นเท่าใด (เฉลย)

1. 2 Hz 2. 5 Hz 3. 10 Hz 4. 25 Hz

10. จากข้อที่ 8 จะใช้เวลาอย่างน้อยที่สุดเท่าใด เม็ดโฟมจึงจะมีตำแหน่งเหมือนเดิม (เฉลย)

1. 0.5 วินาที 2. 0.2 วินาที 3. 0.1 วินาที 4. 0.05 วินาที

11. เชือกเส้นหนึ่งยาว 2 เมตร มีมวล 15 กรัม ถูกดึงให้ตึงด้วยแรง 12 นิวตัน จงหาอัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือก (เฉลย)

    1. 10 m/s 2. 20 m/s 3. 30 m/s 4. 40 m/s

12. คลื่นหน้าตรงหนึ่งมีอัตราเร็ว 12 เมตร/วินาที มีความยาวคลื่น 20 เมตร เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านจุด ๆ หนึ่ง จะเกิดคลื่นกี่ลูกในเวลา 1 นาที (เฉลย)

    1. 9 ลูก 2. 18 ลูก 3. 27 ลูก 4. 36 ลูก

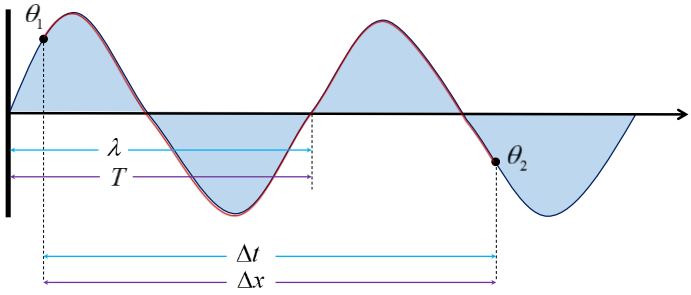
13. คลื่นน้ำเข้ากระทบชายฝั่งโดยอัตราเร็วคลื่น 40 เมตร/วินาที โดยความยาวคลื่น 240 เมตร จงหาเวลาที่คลื่นแต่ละลูกเข้ากระทบชายฝั่ง (เฉลย)

    1. 6 วินาที 2. 10 วินาที 3. 12 วินาที 4. 16 วินาที

14. คลื่นกลุ่มหนึ่งถูกปล่อยออกมานาน 1 วินาที โดยมีอัตราเร็วคลื่น 36 เมตร/วินาที และความยาวคลื่น 0.1 เมตร จงหาจำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้น (เฉลย)

    1. 120 ลูก 2. 240 ลูก 3. 300 ลูก 4. 360 ลูก

การหาความต่างเฟสของคลื่น



โดยที่ θ_1 คือ เฟสที่ 1
θ_2 คือ เฟสที่ 2
λ คือ ความยาวคลื่น
T คือ คาบ
Δt คือ ช่วงเวลา
Δx คือ ระยะห่างระหว่าง θ_1 และ θ_2

จาก $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \Rightarrow 2\pi f = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \Rightarrow \frac{2\pi}{T} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$

เมื่อทราบช่วงเวลา $\frac{\Delta\theta}{2\pi} = \frac{\Delta t}{T}$ และ เมื่อทราบระยะห่าง $\frac{\Delta\theta}{2\pi} = \frac{\Delta x}{\lambda}$

****

15. คลื่นผิวน้ำกระจายออกจากแหล่งกำเนิดคลื่นที่มีความถี่ 10 เฮิรตซ์ อัตราเร็วของคลื่นน้ำ 30 เซนติเมตร/วินาที หากสันคลื่น 2 คลื่นอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเป็นระยะ 60 และ 72 เซนติเมตร ตามลำดับ ห่างกันกี่ลูกคลื่น (เฉลย)

1. 4 ลูกคลื่น 2. 5 ลูกคลื่น 3. 6 ลูกคลื่น 4. 7 ลูกคลื่น

16. จุด 2 จุดบนคลื่นขบวนหนึ่ง อยู่ห่างกัน 3 เมตรมีเฟสต่างกัน 240 องศาแสดงว่าคลื่นขบวนนี้มีความยาวคลื่นเท่าใด (เฉลย)

1. 1.5 เมตร 2. 3.0 เมตร 3. 4.5 เมตร 4. 6.0 เมตร

ความรู้เพิ่มเติม

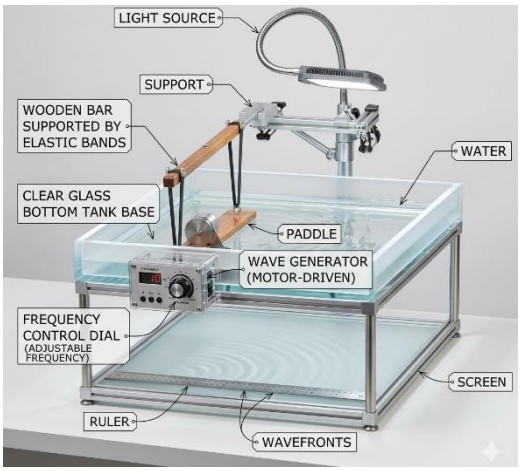
คลื่นผิวน้ำ

การเกิดคลื่นผิวน้ำต้องมีตัวกลาง แหล่งกำเนิด โดยในที่นี้ตัวกลางคือ น้ำ เช่น โยนก้อนหินลงในน้ำ จะทำให้ผิวน้ำกระเพื่อม ซึ่งทำให้เกิดคลื่นน้ำเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดกระจายออกไป แผ่เป็นวงกลมออกไปโดยรอบซึ่งลักษณะนี้ว่าคลื่นน้ำเกิดขึ้นบนผิวน้ำ

ในการศึกษาคลื่นผิวน้ำและพฤติกรรมของคลื่นน้ำ จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ถาดคลื่น (Ripple Tank)

ส่วนประกอบของถาดคลื่น

1. ตัวถาด โดยก้นถาดเป็นแผ่นพลาสติกใสหรือแก้ว เพื่อให้แสงส่องลงสู่ใต้ถาดได้
2. ตัวกำเนิดคลื่น มีปุ่มปรับความถี่ได้โดยการทำงานของมอเตอร์
3. โคมไฟ อยู่ด้านบนถาดคลื่น เพื่อให้แสงส่องจากด้านบนลงมา



การทดลอง

1. ในการทดลองคลื่นน้ำในถาดคลื่นจะดูจากความเข้มแสงที่ผ่านคลื่นในถาดคลื่น ทำให้เกิดเงาที่พื้นใต้ถาดคลื่น

2. เมื่อปรับให้มอเตอร์หมุนด้วยความถี่ค่าหนึ่ง คานและปุ่มกลมที่ติดอยู่กับคานจะสั่นขึ้นลงกระทบผิวน้ำ

- ผิวน้ำในส่วนที่โค้งขึ้น เสมือนแสงตกกระทบเลนส์นูน แสงที่ผ่านลงด้านล่างจะเกิดการรวมแสงกัน ทำให้เกิดแถบสว่างบนแผ่นกระดาษขาวที่วางอยู่ใต้ถาดคลื่น

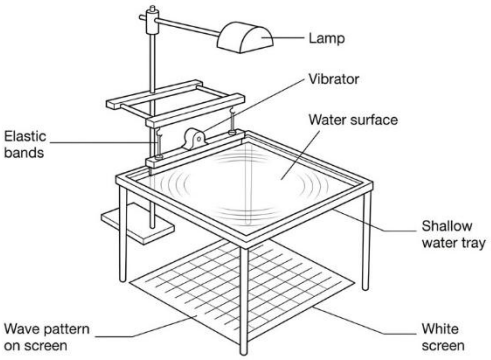
- ผิวน้ำในส่วนที่โค้งลงจะเสมือนแสงตกกระทบเลนส์เว้า แสงที่ผ่านลงด้านล่างจะเกิดการกระจายแสงทำให้เกิดแถบมืดบนแผ่นกระดาษ

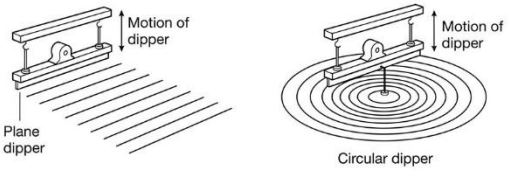
3. ภาพของคลื่นผิวน้ำที่ปรากฏบนกระดาษขาวใต้ถาดคลื่น คือ แถบมืดและแถบสว่างสลับกันไปดังรูป

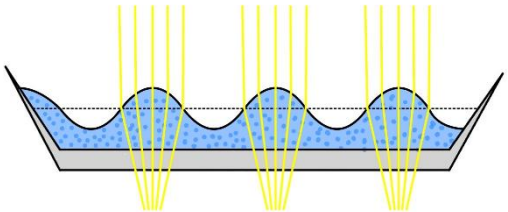
- จุดกึ่งกลางของแถบมืดแสดงตำแหน่งของท้องคลื่น

- จุดกึ่งกลางของแถบสว่างแสดงตำแหน่งของสันคลื่น

4. ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของแถบสว่าง (สันคลื่น) ที่หรือระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของแถบมืด(ท้องคลื่น) ที่อยู่ติดกัน คือ ความยาวคลื่น (λ)

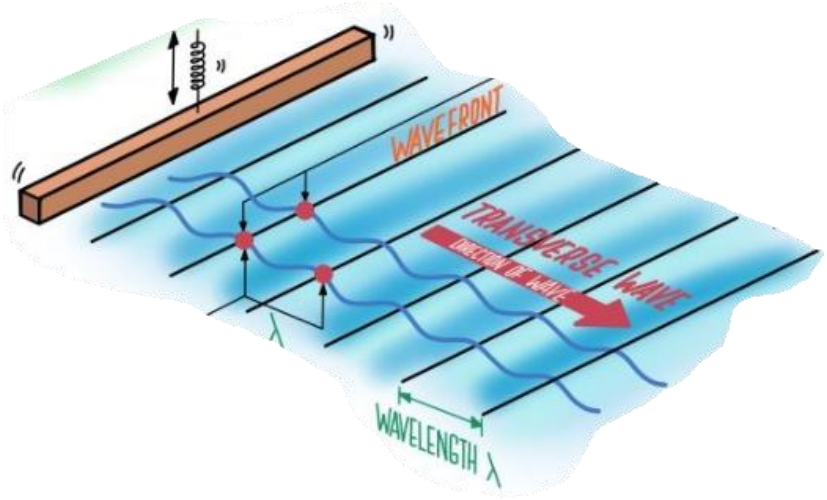


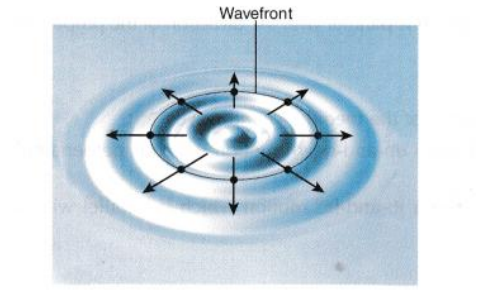




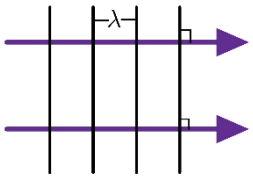
หน้าคลื่น (Wave front)

หน้าคลื่น คือ **แนวทางเดินของตำแหน่งบนคลื่นที่มีเฟสเท่ากัน** เช่น แนวเส้นกลางของแถบสว่างซึ่งเกิดจากแนวของสันคลื่น และแนวเส้นกลางของแถบมืด ซึ่งเกิดจากแนวของท้องคลื่น ต่างก็เป็นหน้าคลื่นแต่โดยทั่วไป เมื่อกล่าวถึงหน้าคลื่น เราจะใช้แนวใดแนวหนึ่งเพียงแนวเดียว (แนวสันคลื่นหรือแนวท้องคลื่น) ดังรูป

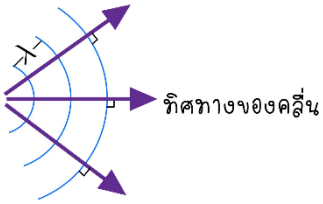




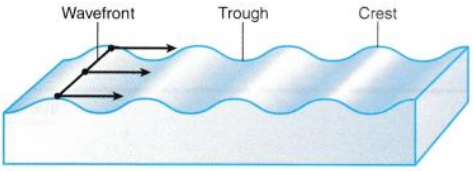
(a) Circular waves



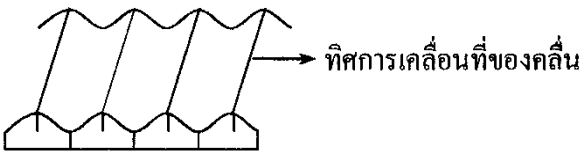
คลื่นหน้าตรง



คลื่นหน้าวงกลม



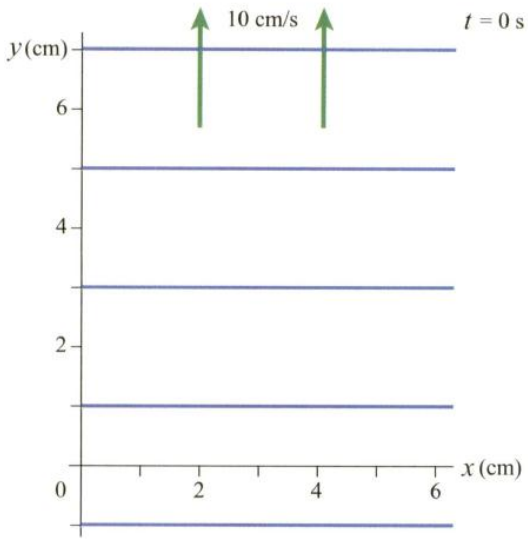
(b) Plane waves



หน้าคลื่นและทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

- หน้าคลื่นและทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นจะต้องตั้งฉากกันเสมอ
- ระยะห่างของหน้าคลื่นที่อยู่ติดกัน คือ ความยาวคลื่น (λ)

ตัวอย่าง พิจารณาหน้าคลื่นระนาบ ณ เวลาเริ่มต้น t = 0 วินาที ที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 10 เซนติเมตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปด้านขวา ความยาวคลื่นของคลื่นนี้มีค่าเท่าใด แนวของสันคลื่นกับแนวของท้องคลื่นอยู่ที่ ค่า y เท่าใดบ้าง

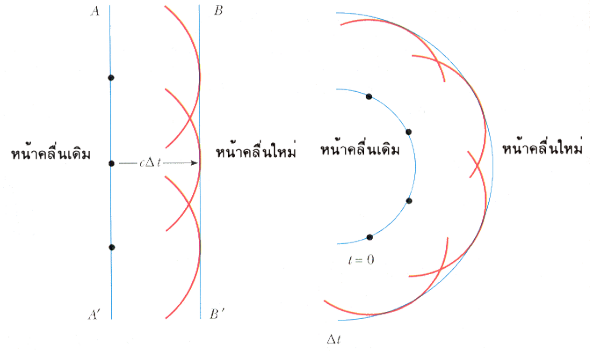


9.3 หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น

9.3.1 หลักการของ ฮอยเกนส์

คริสเตียน ฮอยเกนส์ (Christiaan Huygens) นักวิทยาศาสตร์ชาวดัตช์ ได้เสนอแนวคิดที่ช่วยให้เราทำนายตำแหน่งของหน้าคลื่นในอนาคตได้ โดยมีใจความสำคัญ 2 ส่วนคือ:

1. **จุดกำเนิดคลื่นใหม่:** ทุก ๆ จุดบนหน้าคลื่นเดิม จะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นวงกลมใหม่ (เรียกว่า "คลื่นย่อย" หรือ Wavelets)
2. **หน้าคลื่นใหม่:** หน้าคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้น คือเส้นสัมผัสที่ลากเชื่อมคลื่นย่อยเหล่านั้น (Envelope) ในทิศทางที่คลื่นเคลื่อนที่ไป



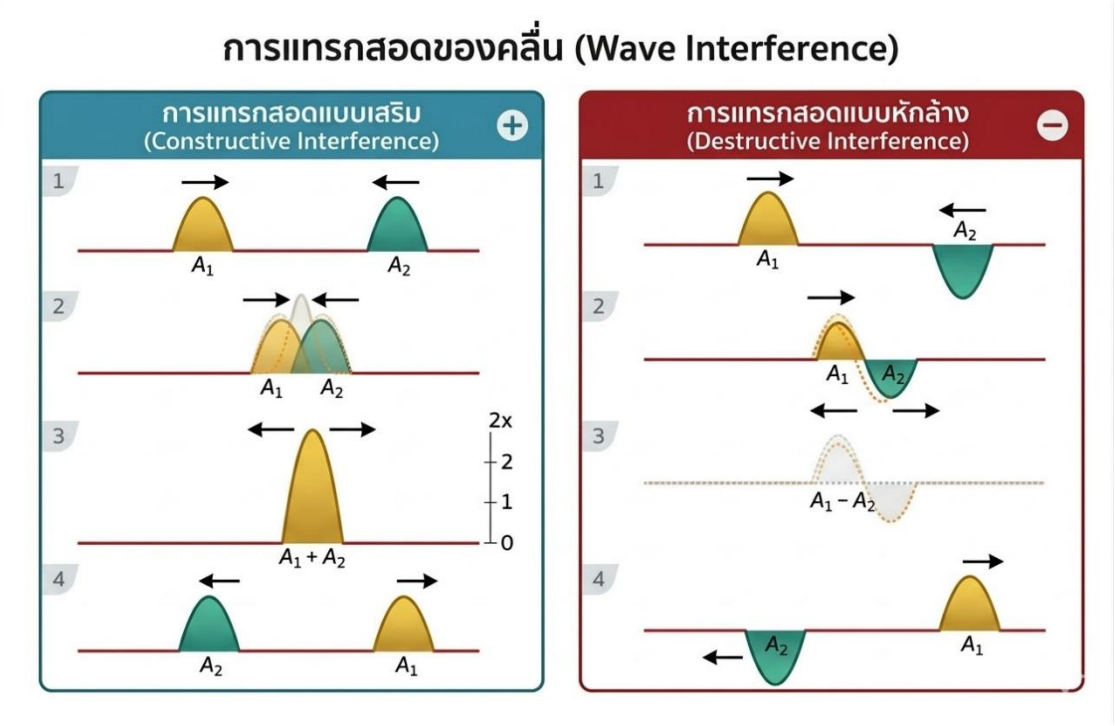
ตัวอย่าง เช่น ถ้าห้องสองห้องนั้นเชื่อมต่อด้วยทางเดิน และมีการกำเนิดเสียงที่มุมหนึ่งของห้องหนึ่ง ผู้ที่อยู่ในอีกห้องหนึ่งจะสามารถได้ยินเสียงนี้ ราวกับว่าเสียงนี้มีจุดกำเนิดอยู่ที่ทางเดิน ซึ่งในความเป็นจริงการสั่นไหวของอากาศที่ทางเดินนี้เป็นแหล่งกำเนิดเสียงนี้นั่นเอง

9.3.2 หลักการซ้อนทับของคลื่น

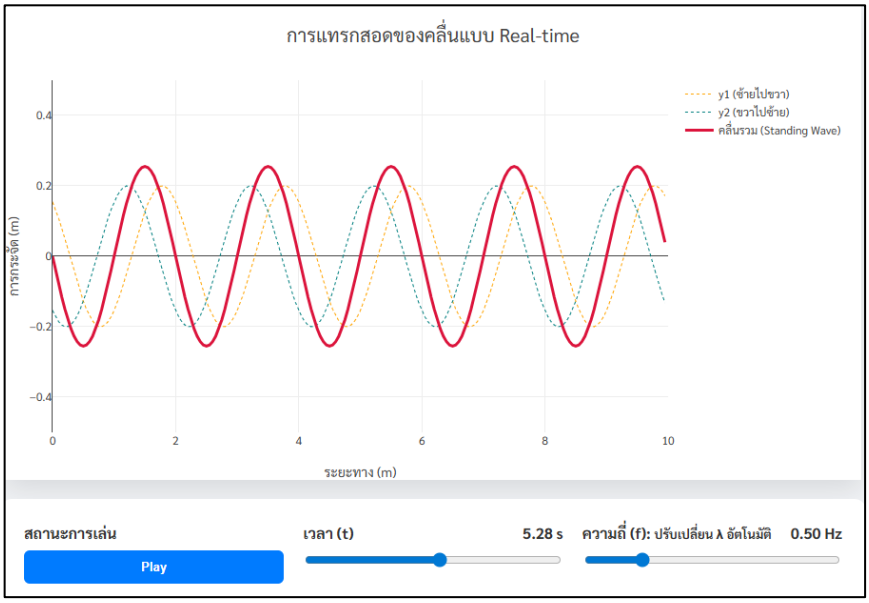
เมื่อมีคลื่นสองลูกเคลื่อนที่สวนทางกัน จะเกิดการรวมกันในลักษณะเฉพาะแบบคลื่น ดังนี้

1. สันคลื่นลูกหนึ่งรวมกับสันคลื่นอีกลูกหนึ่ง ทำให้สันคลื่นรวมมีค่าเพิ่มขึ้น หรือ แอมพลิจูดรวมเพิ่มขึ้น เรียกว่า **การรวมกันแบบเสริม** ท้องคลื่นลูกหนึ่งรวมกับท้องคลื่นอีกลูกหนึ่ง ทำให้ท้องคลื่นมีแอมพลิจูดรวมเพิ่มขึ้นก็เป็นการรวมกันแบบเสริมเหมือนกัน

2. สันคลื่นลูกหนึ่งรวมกับท้องคลื่นอีกลูกหนึ่งจะทำให้แอมพลิจูดคลื่นรวมลดลง เรียกว่า **การรวมกันแบบหักล้าง**

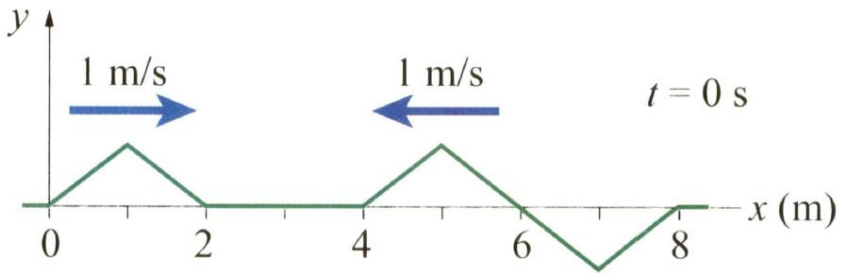


Animation การแทรกสอดของคลื่น

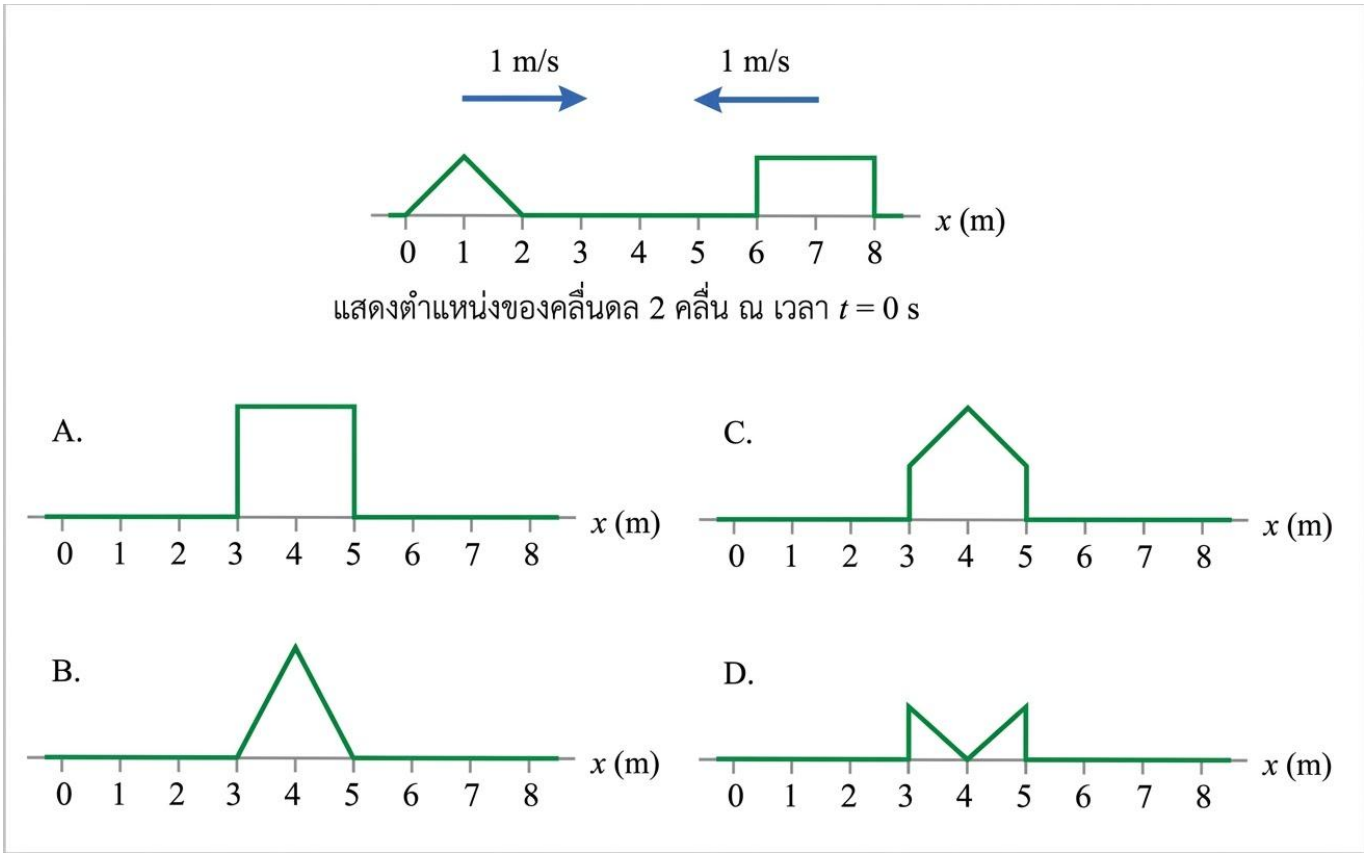


https://doc.physicspaple.com/wave/wave3.HTML

ตัวอย่าง มีคลื่นดล 2 คลื่น เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางเดียวกันแต่ในทิศทางตรงข้ามกัน โดยอัตราเร็วของคลื่นมีค่าเท่ากับ 1.0 เมตรต่อวินาทีและมีรูปร่างดังแสดงในรูปด้านล่าง จงใช้หลักการซ้อนทับ วาดรูปร่างของคลื่นรวมเมื่อเวลาผ่านไป 2 วินาที 3 วินาทีและ 4 วินาที



ตัวอย่าง พิจารณาคลื่นดล 2 คลื่นที่เคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม โดยทั้งคู่มีอัตราเร็วเท่ากันเท่ากับ 1.0 เมตรต่อวินาที โดยมีการกระจัดของตัวกลางที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่เวลาเริ่มต้นเป็นดังรูป รูปในตัวเลือกข้อใดแสดงการกระจัดของตัวกลางได้ถูกต้องหลังจากเวลาผ่านไปแล้ว 3.0 วินาที จากตอนเริ่มต้น



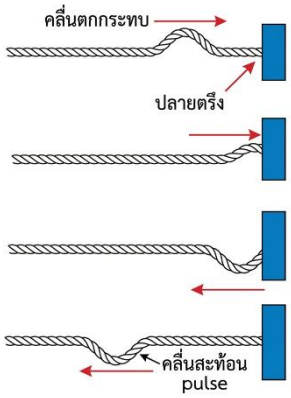
9.4 พฤติกรรมของคลื่น

การที่คลื่นกลมีการเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งนั้นต้องผ่านตัวกลาง ซึ่งอาจเป็นตัวกลางชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ โดยคลื่นจะแสดงสมบัติของคลื่น 4 ประการ คือ

1. การสะท้อนของคลื่น (Reflection)
2. การหักเหของคลื่น (Refraction)
3. การแทรกสอดของคลื่น (Interference)
4. การเลี้ยวเบนของคลื่น (Diffraction)

9.4.1 การสะท้อนของคลื่น

การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือก

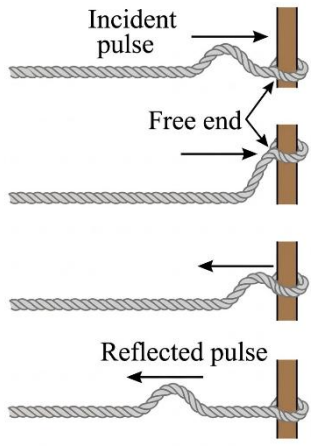


1. การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกเมื่อจุดสะท้อนปลายถูกตรึงแน่น

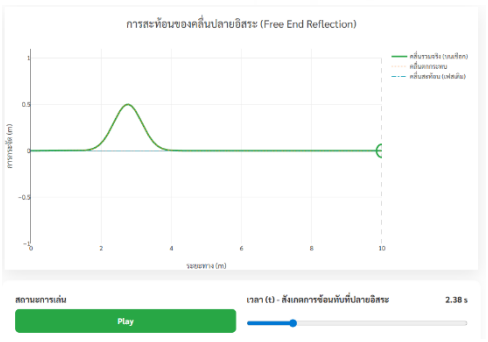
กรณีที่นำปลายลวดสปริงยึดติดไว้ด้านหนึ่ง ดึงปลายลวดสปริงอีกด้านให้ยืดออกจนสปริงมีความยาวมากขึ้น สะบัดปลายลวดสปริง จะทำให้เกิดคลื่นดลเคลื่อนที่ไปอีกปลายด้านหนึ่งแล้วสะท้อนกลับ ดังรูป **โดยคลื่นสะท้อนจะมีเฟสตรงกันข้ามกับคลื่นตกกระกระทบ**

2. การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกเมื่อจุดสะท้อนที่ปลายอิสระ

กรณีที่นำปลายลวดสปริงที่คล้องกับห่วงแล้วคล้องกับเสา ดึงปลายลวดสปริงอีกด้านให้ยืดออก ออกแรงสะบัดปลายลวดสปริง คลื่นตกกระทบจะเคลื่อนที่เข้าหาเสาและสะท้อนกลับมา **โดยคลื่นสะท้อนจะมีเฟสเดียวกับกับคลื่นตกกระกระทบ**

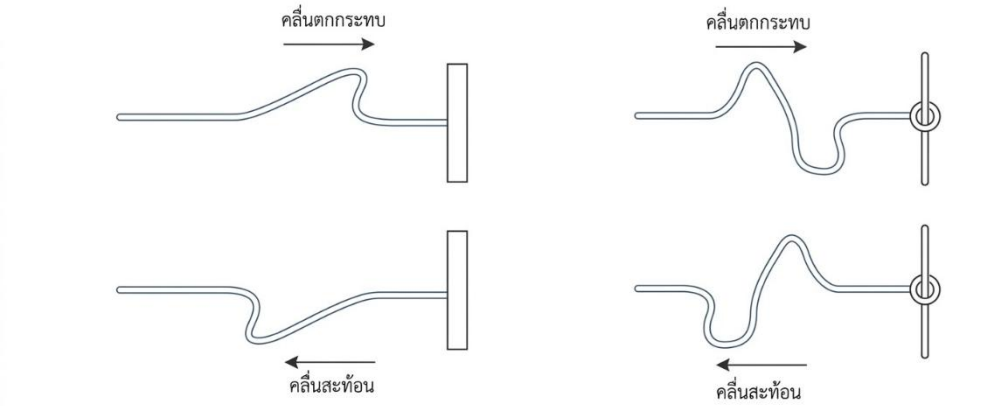


Animation **จุดสะท้อนปลายถูกตรึงแน่น**



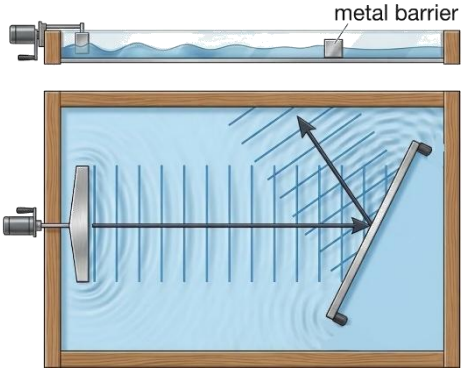
Animation **จุดสะท้อนปลายอิสระ**

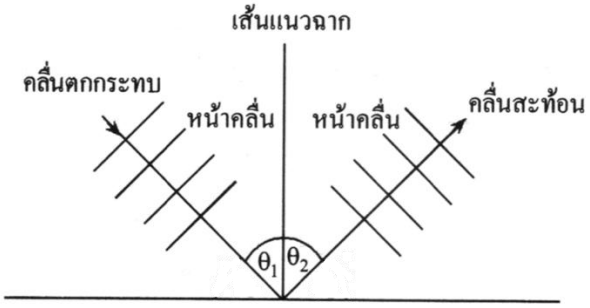
การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกที่ไม่สมมาตร

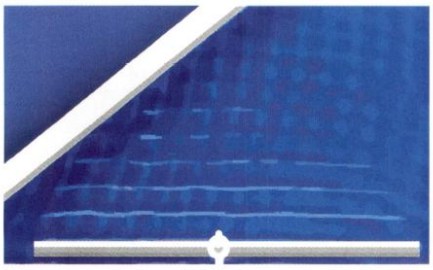


การสะท้อนของคลื่นที่ผิวน้ำ

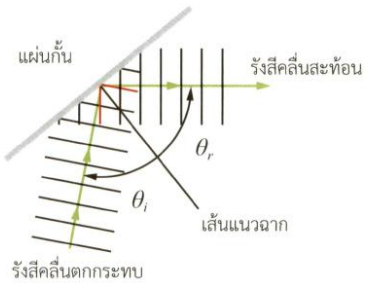
เมื่อคลื่นน้ำเคลื่อนที่ไปตกกระทบกับวัตถุที่กีดขวางทางเดินเกิดการสะท้อนของคลื่นโดยโมเลกุลน้ำที่ผิวตัวสะท้อนจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามคลื่น โดยการสะท้อนของผิวน้ำเหมือนกับการสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกที่จุดอิสระ ทำให้เฟสของคลื่นสะท้อนที่ผิวน้ำจะไม่เปลี่ยนแปลง







ก.



ข.

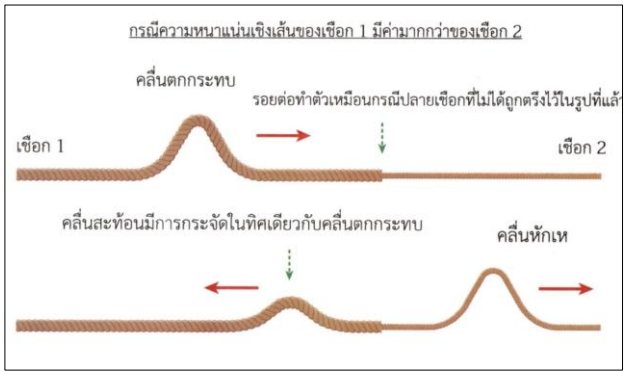
รูปแสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน

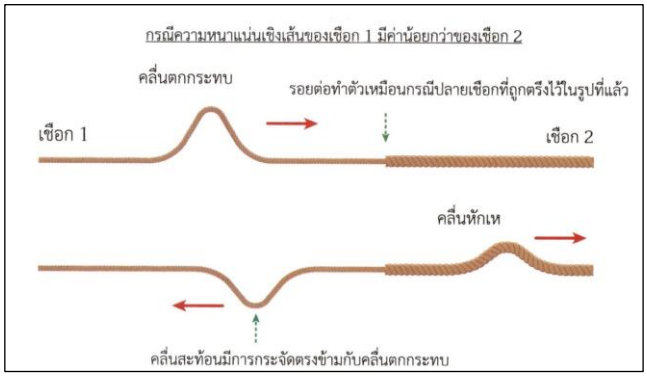
กฎการสะท้อน

1. มุมตกกระทบ (θ_1) = มุมสะท้อน (θ_2)
2. คลื่นตกกระทบ คลื่นสะท้อนและเส้นแนวฉาก จะต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน

9.4.2 การหักเหของคลื่น (Refraction)

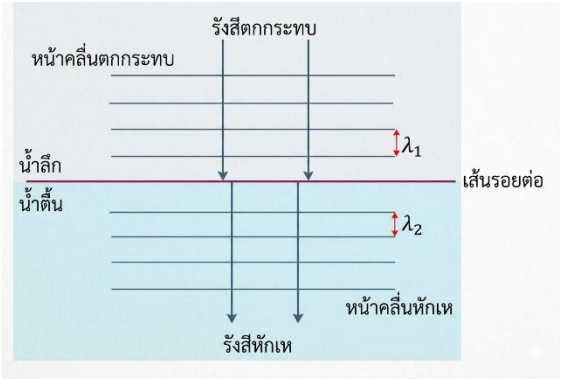
คลื่นจะมีการหักเหเมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางที่มีคุณสมบัติต่างกัน ทำให้ความเร็วและความยาวคลื่นเกิดการเปลี่ยนแปลง

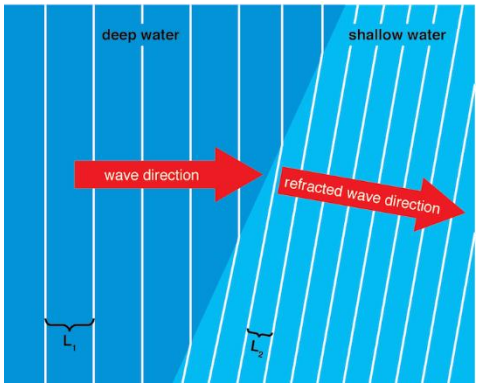


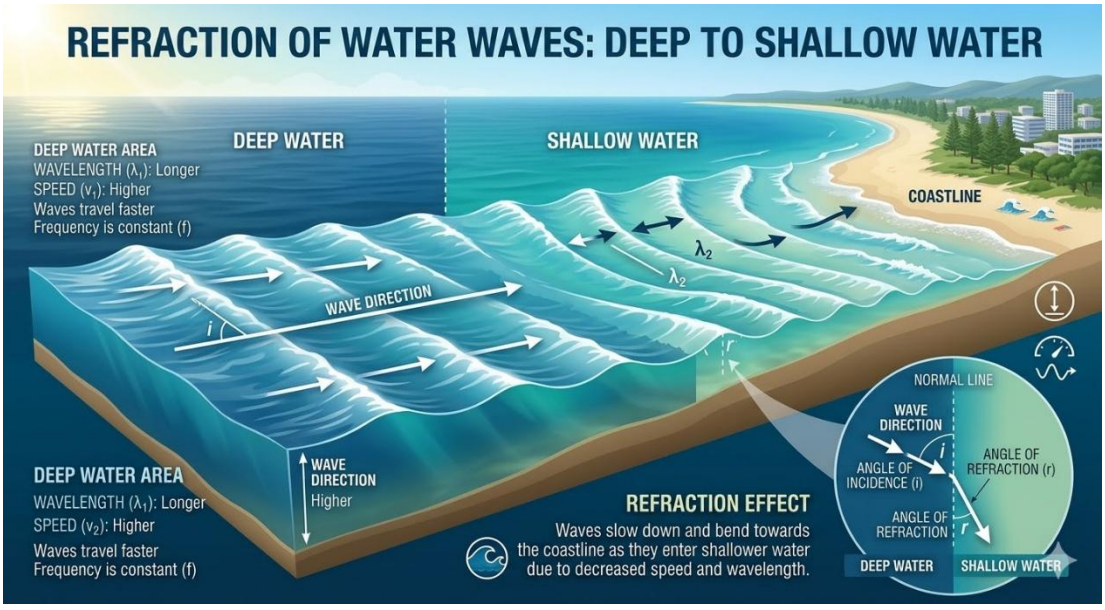


ตำแหน่งที่เกิดการหักเห คือ ตรงจุดรอยต่อระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด โดยคลื่นที่ผ่านรอยต่อระหว่างตัวกลาง เรียกว่า คลื่นหักเห (Refracted)

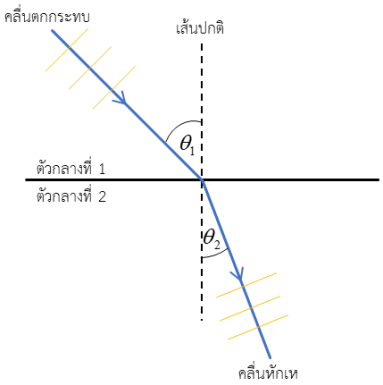
1. การเคลื่อนที่ของคลื่นผิวน้ำจากบริเวณน้ำลึกไปน้ำตื้น โดยหน้าคลื่นตกกระทบขนานกับรอยต่อของตัวกลาง หรือทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบตั้งฉากกับรอยต่อของตัวกลาง



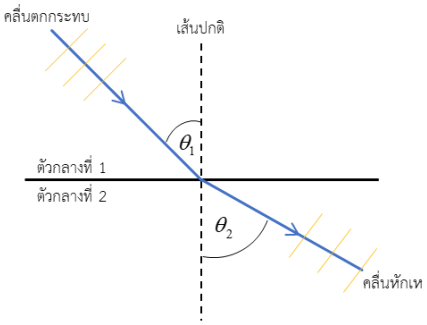




2. การเคลื่อนที่ของคลื่นผิวน้ำ โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบไม่ตั้งฉากกับรอยต่อของตัวกลาง



การหักเหแบบเข้าหาเส้นปกติ



การหักเหแบบออกจากเส้นปกติ

สูตรการคำนวณการหักเหของคลื่น

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{n_2}{n_1}$$

เมื่อ $\theta_2 \neq 0$

โดยที่ θ_1,θ_2 คือ มุมตกกระทบและมุมหักเหของคลื่นตามลำดับ

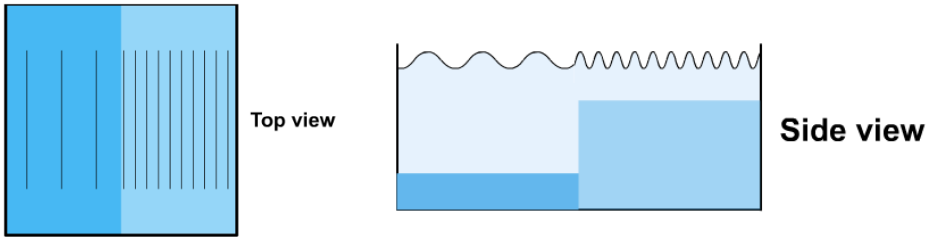
v_1,v_2 คือ อัตราเร็วของคลื่นตกกระทบ①และคลื่นหักเห②ตามลำดับ

λ_1,λ_2 คือ ความยาวคลื่นของคลื่นตกกระทบ①และคลื่นหักเห②ตามลำดับ

n_1,n_2 คือ ดัชนีการหักเหของคลื่นตกกระทบ①และคลื่นหักเห②ตามลำดับ

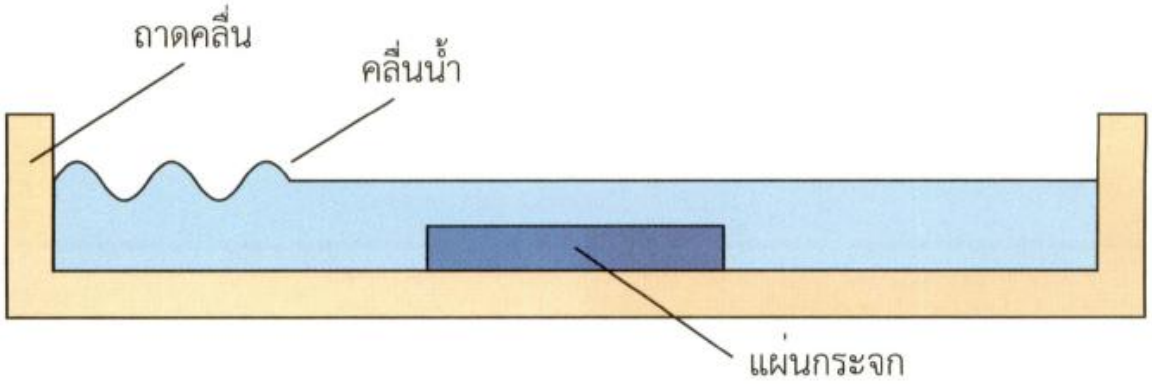
** ให้คลื่นมาจากตัวกลางที่ ①ไปสู่ตัวกลางที่② เสมอ

เรียก $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{n_2}{n_1}$ *หรือ* $n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2$ *ว่า กฎของสเนลล์*



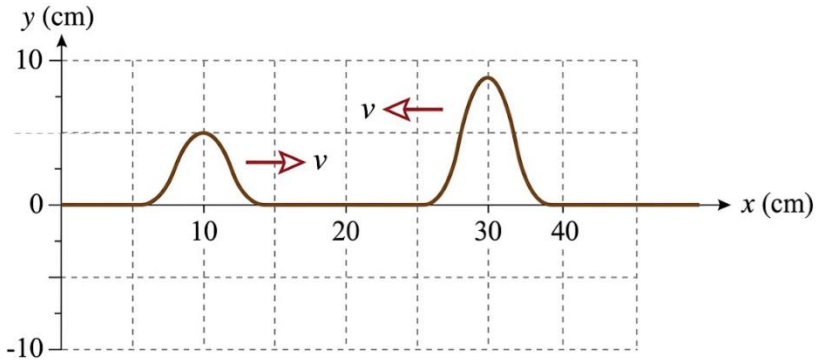
การหักเหของคลื่น ในน้ำลึกและน้ำตื้น

ชวนคิด คลื่นผิวน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณน้ำลึกไปยังน้ำตื้น จะเกิดการสะท้อนและการหักเหหรือไม่ เพราะเหตุใด



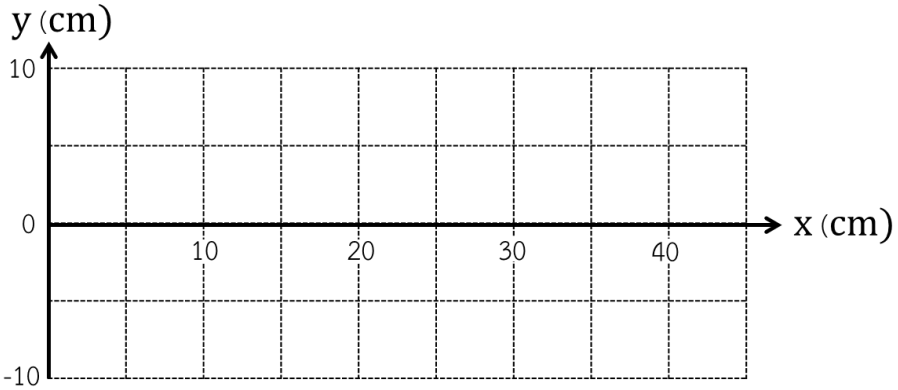
แบบฝึกหัด

17. ที่เวลา t = 0 คลื่นเคลื่อนที่เข้าหากันด้วยความเร็ว 1.0 เมตรต่อวินาที

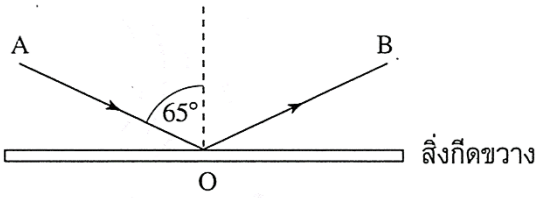


ก. อีกนานเท่าไร คลื่นจะซ้อนทับกันพอดี (เฉลย)

ข. จงวาดภาพการรวมกันของคลื่นที่เวลา t = 0.2 วินาที (เฉลย)



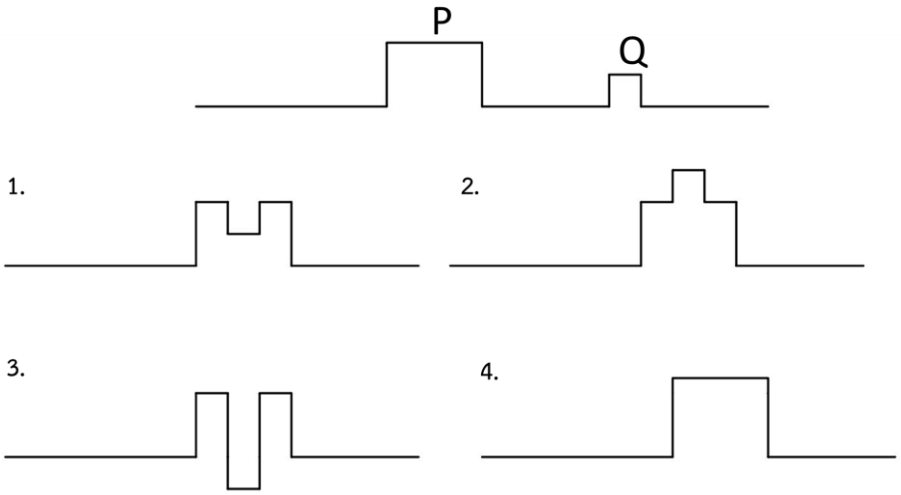
18. คลื่นน้ำเคลื่อนที่ตามแนว AO แล้วสะท้อนไปในแนว OB ดังรูป หน้าคลื่นสะท้อนจะมีมุมเปลี่ยนไปจากหน้าคลื่นตกกระทบเท่าใด (เฉลย)



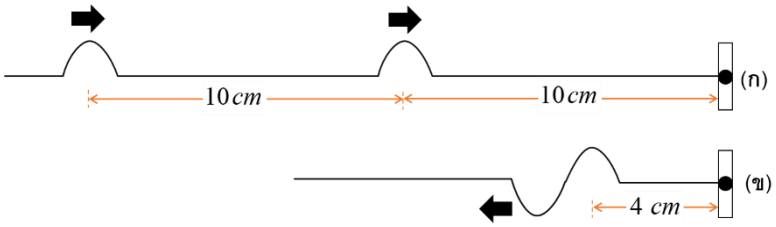
1. 50°
2. 65°
3. 100°
4. 130°

19. จากข้อที่แล้ว จงพิสูจน์ว่าถ้าหมุนสิ่งกีดขวางรอบแกนที่เสียบตั้งฉากกับกระดาษตรงจุด O โดยหมุนทวนเข็มนาฬิกาไปจากเดิม θ องศา คลื่นสะท้อนจะเปลี่ยนไปจากแนวคลื่นสะท้อนเดิม θ องศา (เฉลย)

20. จากรูป คลื่น P และ Q เคลื่อนที่สวนกัน ขณะที่จุด P และ Q ซ้อนกัน รูปคลื่นจะมีลักษณะตามข้อใด (เฉลย)



21. คลื่นดลจากแหล่งกำเนิดเดียวกันในเส้นเชือก 2 ชุดห่างกัน 10 เซนติเมตรดังรูป ก เมื่อเวลาผ่านไป 0.2 วินาที คลื่นดลมีลักษณะดังรูป ข จงคำนวณหาอัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือก (เฉลย)



1. 1.0 m/s
2. 0.9 m/s
3. 0.8 m/s
4. 0.7 m/s

22. คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำลึกไปยังบริเวณน้ำตื้น โดยหน้าคลื่นตกกระทบขนานกับบริเวณรอยต่อคลื่นในบริเวณทั้งสองมีค่าใดบ้างที่เท่ากัน (เฉลย)

ก. ความถี่ของคลื่น ข. ความยาวคลื่น

ค. อัตราเร็วของคลื่น ง. ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น

1. ข้อ ก และ ข 2. ข้อ ข และ ค

3. ข้อ ค และ ง 4. ข้อ ก และ ง

23. คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำลึกเข้าสู่บริเวณน้ำตื้น พบว่าอัตราเร็วเปลี่ยนไป 10 เปอร์เซ็นต์ อยากทราบว่าความถี่ของคลื่นผิวน้ำจะเปลี่ยนไปกี่เปอร์เซ็นต์ (เฉลย)

1. 0 % 2. 5 % 3. 10 % 4. 15 %

24. คลื่นน้ำเคลื่อนที่จากเขตน้ำลึกไปน้ำตื้นโดยมุมตกกระทบทำมุม 45 องศา กับเส้นปกติ โดยความยาวคลื่นในเขตน้ำลึกมีค่าเป็น $\sqrt{2}$ เท่าของเขตน้ำตื้น จงหาว่ามุมหักเหจะมีทิศทำมุมกับเส้นปกติเท่าใด (เฉลย)

1. 30° 2. 45° 3. 90° 4. 100°

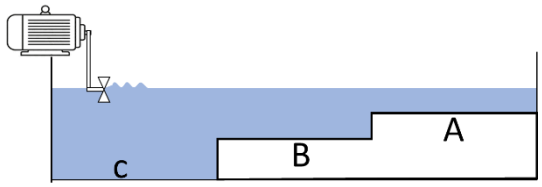
25. คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำลึกเข้าสู่บริเวณน้ำตื้น อัตราเร็วเปลี่ยนจาก 10 เมตรต่อวินาทีเป็น 8 เมตรต่อวินาที ถ้าคลื่นน้ำตื้นมีความยาวคลื่น 1 เมตร ความยาวคลื่นของคลื่นน้ำลึกจะเป็นเท่าไร (เฉลย)

1. 0.8 m 2. 1.0 m 3. 1.25 m 4. 1.5 m

26. คลื่นน้ำเคลื่อนที่ผ่านเขตรอยต่อตัวกลางจากเขตน้ำลึกไปน้ำตื้น โดยความยาวคลื่นของน้ำลึกเป็น 2 เท่าของน้ำตื้น จงหาอัตราส่วนของอัตราเร็วคลื่นของน้ำลึกกับน้ำตื้น (เฉลย)

1. 2 : 1 2. 4 : 1 3. 3 : 1 4. 3 : 2

27. จากรูป แสดงถาดคลื่นซึ่งแบ่งเป็น 3 บริเวณ A , B และ C โดยที่ A ตื้นที่สุด และ C ลึกที่สุด เมื่อเกิดการกระตุ้นให้เกิดคลื่นด้วยมอเตอร์ ทำให้เกิดคลื่นผิวน้ำจาก C ไป B และ A ตามลำดับ ข้อใดถูกต้อง (เฉลย)

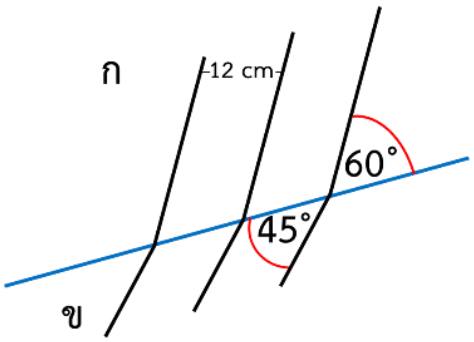


1. บริเวณ C คลื่นผิวน้ำมีอัตราเร็วต่ำที่สุด
2. บริเวณ B คลื่นผิวน้ำมีอัตราเร็วต่ำที่สุด
3. บริเวณ A คลื่นผิวน้ำมีอัตราเร็วต่ำที่สุด
4. บริเวณ A , B และ V คลื่นผิวน้ำมีอัตราเร็วเท่ากัน

28. จากข้อ 27 ถ้าบริเวณ A คลื่นผิวน้ำมีความยาวคลื่น 2 เซนติเมตรและอัตราเร็วคลื่น 5 เซนติเมตรต่อวินาที แสดงว่ามอเตอร์กระทุ้งผิวน้ำด้วยความถี่เท่าใด (เฉลย)

1. 2.0 Hz
2. 2.5 Hz
3. 3.0 Hz
4. 3.5 Hz

29. คลื่นน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีความลึกต่างกันเกิดปรากฏการณ์ดังรูป ในบริเวณ ก หน้าคลื่นอยู่ห่างกัน 12 เซนติเมตร ในบริเวณ ข คลื่นมีความเร็ว $6\sqrt{2}$ เซนติเมตรต่อวินาที ถ้าต้นกำเนิดคลื่นมาจากบริเวณ ก ความถี่ของต้นกำเนิดคลื่นมีค่าเท่าไร (เฉลย)



1. $\frac{\sqrt{3}}{2}$ Hz
2. $\frac{4}{\sqrt{3}}$ Hz
3. $\frac{12}{\sqrt{3}}$ Hz
4. $\frac{1}{\sqrt{3}}$ Hz

30. คลื่นน้ำแบบต่อเนื่องที่มีหน้าคลื่นตรง เคลื่อนที่ผ่านรอยต่อระหว่างบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้นแล้วทำให้เกิดคลื่นหักเหหน้าคลื่นตรง ถ้าแนวทางเดินของคลื่นตกกระทบทำมุมกับรอยต่อระหว่างตัวกลางเท่ากับ 30° จงหามุมหักเห ถ้าความยาวคลื่นในน้ำตื้นลดลงเป็น $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ของความยาวคลื่นในน้ำลึก (เฉลย)

1. 15° 2. 30° 3. 45° 4. 60°

31. คลื่นน้ำเคลื่อนที่จากน้ำตื้นไปน้ำลึก ถ้ามุมตกกระทบและมุมหักเหเท่ากับ 30° และ 45° ตามลำดับและความยาวคลื่นในน้ำตื้นเท่ากับ 2 เซนติเมตร จงหาความยาวคลื่นในน้ำลึกในหน่วยเซนติเมตร (เฉลย)

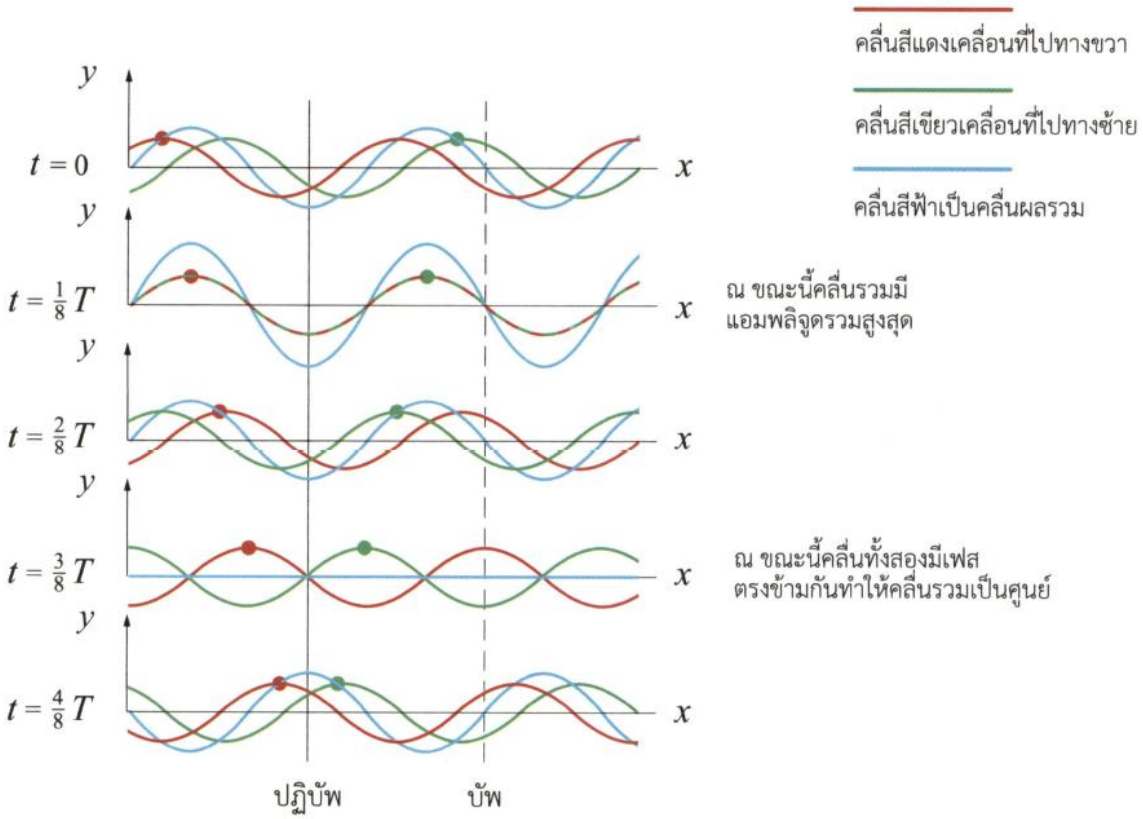
1. 2 cm 2. $\sqrt{2}$ cm 3. $\frac{\sqrt{2}}{2}$ cm 4. $2\sqrt{2}$ cm

กิจกรรม การหักเห

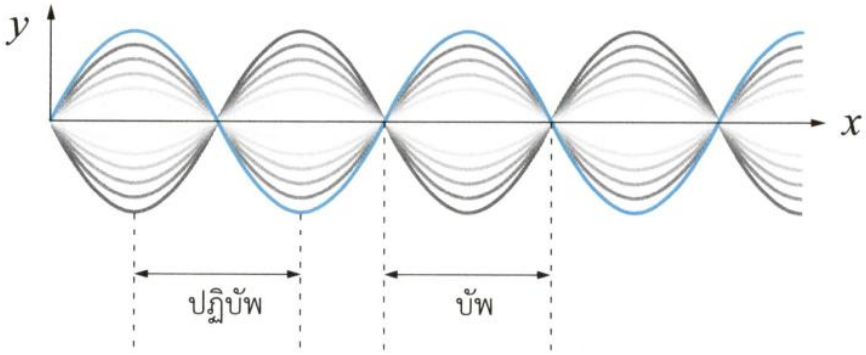
ให้นักเรียนหาวิธีพิสูจน์สมการกฎการหักเหของคลื่น $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{n_2}{n_1}$

9.4.3 *การแทรกสอดของคลื่น (Interference of wave)*

เมื่อคลื่น 2 คลื่นจากแหล่งกำเนิดคลื่น 2 แห่งมารวมกันในตัวกลางชนิดเดียวกัน จะเกิดการแทรกสอดของคลื่นขึ้น เมื่อคลื่นที่เคลื่อนที่มาพบกัน จะเกิดการรวมกันตามหลักการซ้อนทับของคลื่นโดยเราจะพิจารณากรณีที่ คลื่นทั้งสองขบวนมีความยาวคลื่น ความถี่ และแอมพลิจูดเท่ากัน และถ้าหากว่า*แหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองปล่อยคลื่นที่มีความถี่ ความเร็ว แอมพลิจูด เท่ากัน ความต่างเฟสของคลื่นทั้งสองคงตัว* จะเรียกแหล่งกำเนิดทั้งสองว่า **แหล่งกำเนิดอาพันธ์ (Coherent source)**

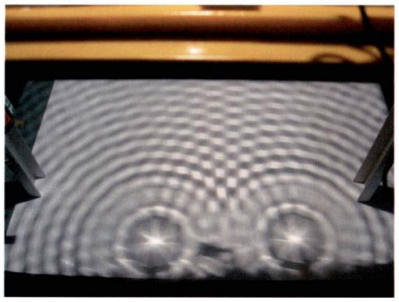


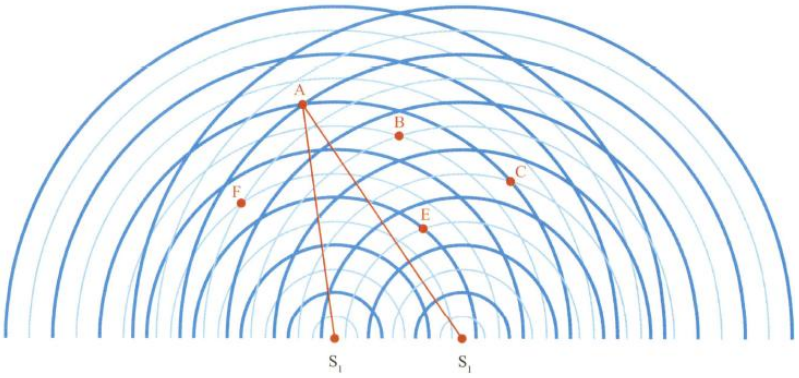
กราฟแสดงการรวมกันของคลื่นที่เคลื่อนที่สวนทางกัน



กราฟแสดงคลื่นนิ่งที่เกิดจากคลื่นฮาร์มอนิกสองขบวนที่มีความถี่และแอมพลิจูดเท่ากันเคลื่อนที่สวนทางกัน

แหล่งกำเนิดสองแหล่งอยู่ในตัวกลางเดียวกัน ให้คลื่นต่อเนื่องที่มีแอมพลิจูด ความถี่ และความยาวคลื่นเท่ากัน มีเฟสเริ่มต้นตรงกันหรือต่างกันคงที่ จัดเป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์ (coherent sources) เมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นนี้แผ่คลื่นออกมา คลื่นที่เคลื่อนที่ออกมาเกิดการแทรกสอดกัน โดยบางจุดจะเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกันสนิทเป็น**จุดบัพ (Node)** ค่าการกระจัดลัพธ์ของตัวกลางที่จุดนี้จะเป็นศูนย์ และเกิดจุดที่มีการแทรกสอดแบบเสริมกันเป็น**จุดปฏิบัพ (Antinode)** ค่าการกระจัดลัพธ์ของตัวกลางที่จุดนี้จะมีขนาดเป็นสองเท่าของแอมพลิจูดของคลื่นที่ออกมาจากแหล่งกำเนิด ส่วนตำแหน่งอื่น ๆ ที่เหลือก็จะเป็นการแทรกสอดที่ไม่ได้หักล้างกันสนิทหรือเสริมกันมากที่สุด





การแทรกสอดของคลื่นอาพันธ์

จุด A ห่างจาก S_1 =..... λ S_2 =..... λ ผลต่างจาก S_1S_2 = ... λ .....

จุด B ห่างจาก S_1 =..... λ S_2 =..... λ ผลต่างจาก S_1S_2 = ... λ .....

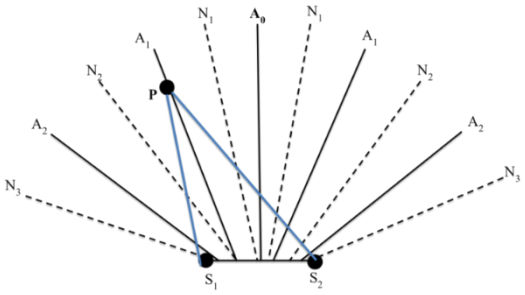
จุด C ห่างจาก S_1 =..... λ S_2 =..... λ ผลต่างจาก S_1S_2 = ... λ .....

จุด D ห่างจาก S_1 =..... λ S_2 =..... λ ผลต่างจาก S_1S_2 = ... λ .....

จุด E ห่างจาก S_1 =..... λ S_2 =..... λ ผลต่างจาก S_1S_2 = ... λ .....

จุด F ห่างจาก S_1 =..... λ S_2 =..... λ ผลต่างจาก S_1S_2 = ... λ .....

1. การแทรกสอดแบบเสริม (constructive interference)



การแทรกสอดแบบเสริมเกิดขึ้นเมื่อ สันคลื่นกับสันคลื่น หรือท้องคลื่นกับท้องคลื่น เดินทางมาพบกันทำให้การกระจัดของคลื่นมีค่ามากที่สุด เรียกตำแหน่งนี้ว่าตำแหน่งการแทรกสอดแบบเสริม หรือ ตำแหน่งปฏิบัพ (Antinode)

สูตรสำหรับการหาตำแหน่งแนวการแทรกสอดที่จุด P

$$\left|S_1P - S_2P\right| = n\lambda \quad ; \; n = 0, 1, 2, 3, \ldots.$$

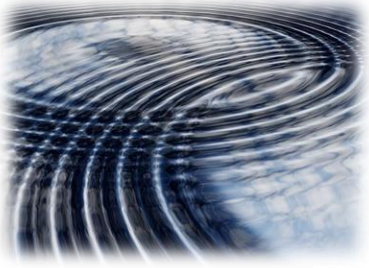
S_1P คือ ระยะห่างระหว่าง แหล่งกำเนิดคลื่นที่ 1 ถึงจุด P

S_2P คือ ระยะห่างระหว่าง แหล่งกำเนิดคลื่นที่ 2 ถึงจุด P

λ คือ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดทั้งสอง

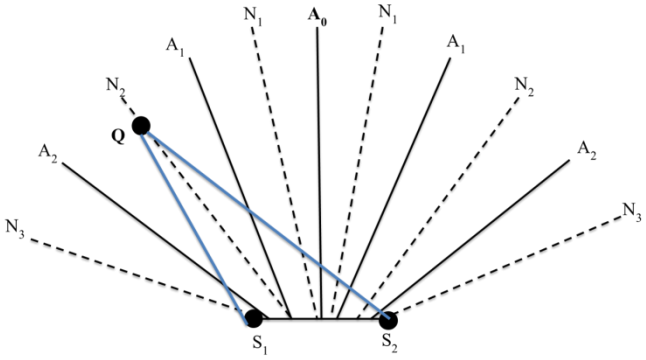
n คือ ตำแหน่งแนวปฏิบัพใด ๆ

** การแทรกสอดแบบเสริมจะเกิดขึ้นก่อเมื่อคลื่นทั้งสองมีเฟสต่างกันทุก ๆ 360° หรือ ทุกระยะ 1 λ



2. การแทรกสอดแบบหักล้าง (destructive interference)

การแทรกสอดแบบหักล้างเกิดขึ้นเมื่อ สันคลื่นกับท้องคลื่นเดินทางมาพบกันทำให้การกระจัดของคลื่นมีค่าน้อยที่สุด เรียกตำแหน่งนี้ว่าตำแหน่งการแทรกสอดแบบหักล้าง หรือ ตำแหน่งบัพ



สูตรสำหรับการหาตำแหน่งแนวการแทรกสอดที่จุด Q

$$\left|S_1Q - S_2Q\right| = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \; ; \; n = 1, 2, 3, \ldots.$$

S_1Q คือ ระยะห่างระหว่าง แหล่งกำเนิดคลื่นที่ 1 ถึงจุด Q

S_2Q คือ ระยะห่างระหว่าง แหล่งกำเนิดคลื่นที่ 2 ถึงจุด Q

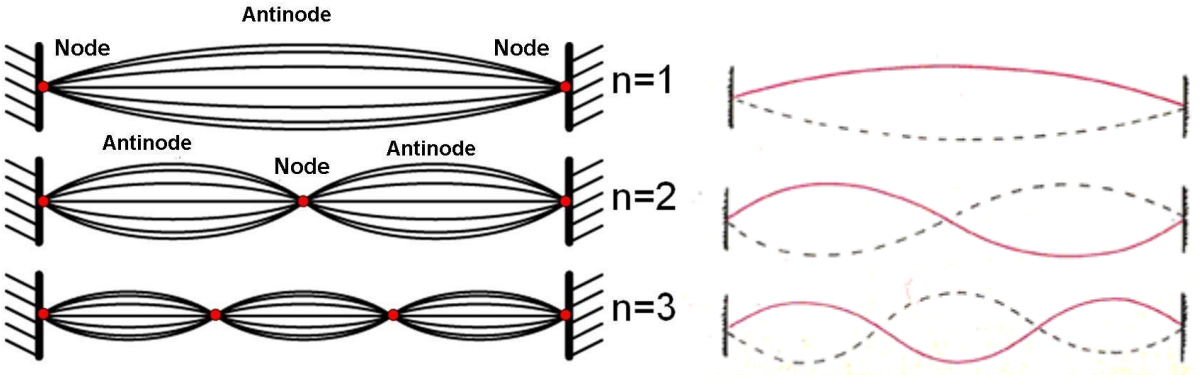
λ *คือ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดทั้งสอง*

n *คือ ตำแหน่งแนวบัพใดๆ*

เรียก $\left|S_1P - S_2P\right|$ *และ* $\left|S_1Q - S_2Q\right|$ *ว่า* ***ผลต่างระยะทาง (path difference)***

คลื่นนิ่ง (standing wave)

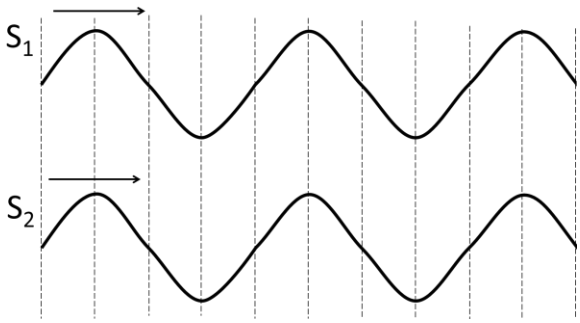
คลื่นนิ่ง เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากคลื่น 2 ขบวน ที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน มีความยาวคลื่นเท่ากัน มีอัตราเร็วเท่ากัน เคลื่อนที่สวนทางกันในแนวเส้นตรงเดียวกัน และเกิดการรวมกันตามหลักการรวมกันของคลื่น ซึ่งพบว่ามีบางตำแหน่งการกระจัดของคลื่นรวมมีค่าเป็นศูนย์เสมอ เรียกตำแหน่งนี้ว่า**บัพ** (Node : N) และมีบางตำแหน่งการกระจัดของคลื่นรวมมีการกระจัดเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ลบมากสุด ไปจนถึงบวกมากสุด ซึ่งอยู่กึ่งกลางระหว่างจุดบัพที่ติดกัน เรียกตำแหน่งนี้ว่า**ปฏิบัพ**(Antinode : A) ดังรูป



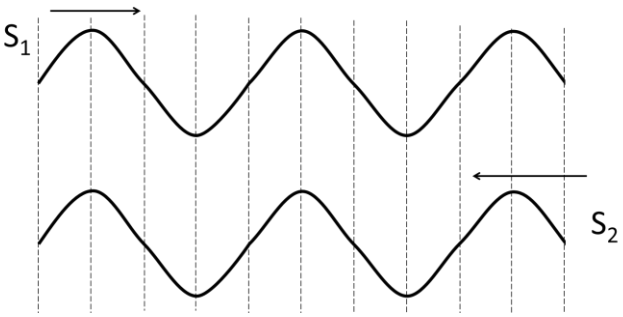
สรุปคลื่นนิ่ง

1. จุดบัพที่อยู่ติดกันจะห่างกัน เท่ากับ $\lambda/2$ เสมอ
2. จุดปฏิบัพที่อยู่ติดกันจะห่างกัน เท่ากับ $\lambda/2$ เสมอ
3. จุดบัพและปฏิบัพที่ติดกันจะห่างกัน เท่ากับ $\lambda/4$ เสมอ
4. แอมพลิจูดสูงสุดของจุดปฏิบัพจะเป็นสองเท่าของคลื่นย่อยทั้งสอง
5. คาบของคลื่นนิ่งจะเท่ากับคาบของคลื่นย่อยทั้งสอง

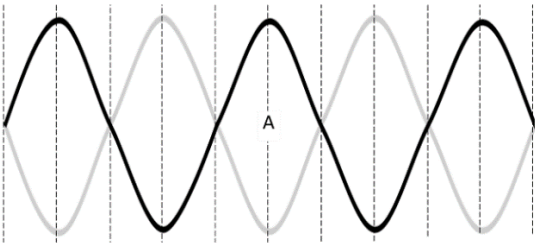
คลื่นนิ่งที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์เฟสตรงกัน



คลื่นอาพันธ์เฟสตรงกัน

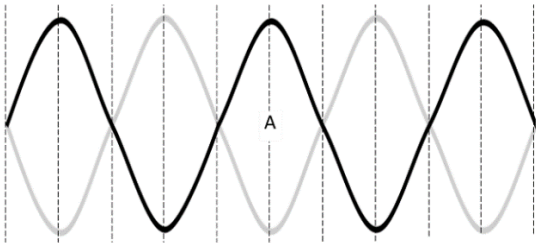


คลื่นอาพันธ์เฟสตรงกัน เคลื่อนที่สวนกัน



เกิดคลื่นนิ่งโดยตำแหน่งกึ่งกลาง

เป็นแถบการ**<u>แทรกสอดแบบเสริมเสมอ</u>**

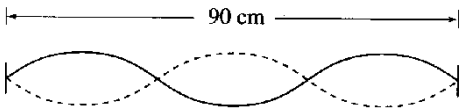


เกิดคลื่นนิ่งโดยตำแหน่งกึ่งกลาง

เป็นแถบการ**<u>แทรกสอดแบบเสริมเสมอ</u>**

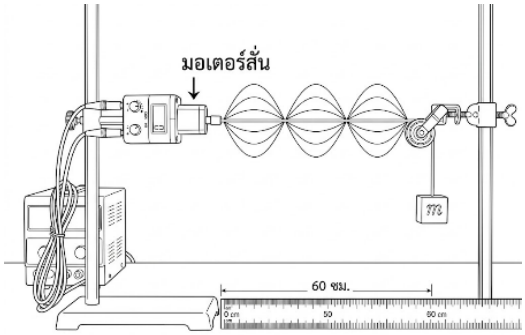
แบบฝึกหัด

32. จากรูป เป็นคลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่มีปลายทั้งสองยึดไว้แน่น ถ้าเส้นเชือกยาว 90 เซนติเมตร และความเร็วคลื่นในเส้นเชือกขณะนั้นเท่ากับ 2.4 x 10^2 เมตรต่อวินาที จงหาความถี่ของคลื่น (เฉลย)



1. 200 Hz
2. 267 Hz
3. 400 Hz
4. 800 Hz

33. เส้นด้ายปลายด้านหนึ่งผูกติดกับมอเตอร์ที่สั่นด้วยความถี่ 250 Hz ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งผ่านรอกลื่นและมีมวลถ่วงให้เส้นด้ายตึง เมื่อส้อมเสียงสั้นปรากฏเกิดคลื่นนิ่ง ดังรูป แสดงว่าอัตราเร็วคลื่นในเส้นด้ายเป็นเท่าใด (เฉลย)

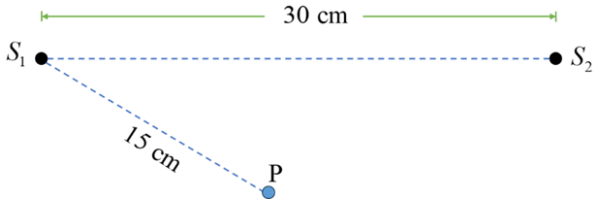


1. 50 m/s
2. 100 m/s
3. 150 m/s
4. 200 m/s

34. คลื่นต่อเนื่องเหมือนกันทุกประการ เคลื่อนที่สวนกันแล้วเกิดคลื่นนิ่ง ถ้าคลื่นทั้งสองมีแอมพลิจูด 3 เซนติเมตร คลื่นนิ่งจะมีแอมพลิจูดเท่าใด (เฉลย)

1. 0 เซนติเมตร
2. 3 เซนติเมตร
3. 6 เซนติเมตร
4. 9 เซนติเมตร

35. จากรูป S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์บนผิวน้ำซึ่งมีเฟสตรงกัน มีความยาวคลื่น 3 เซนติเมตรทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนผิวน้ำ จุด P เป็นจุดใด ๆ บนผิวน้ำห่างจาก S_1 เป็นระยะ 15 เซนติเมตร จุด P จะต้องอยู่ห่างจาก S_2 เป็นระยะเท่าไร จึงจะมีแนวปฏิบัพ A_3 ผ่านพอดี (เฉลย)



1. 27 cm 2. 24 cm
3. 21 cm 4. 18 cm

36. แหล่งกำเนิดคลื่นน้ำอาพันธ์ให้หน้าคลื่นวงกลมสองแหล่งอยู่ห่างกัน 10 เซนติเมตร มีความยาวคลื่น 2 เซนติเมตร ที่ตำแหน่งหนึ่งห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองเป็นระยะ 10 เซนติเมตรและ 19 เซนติเมตร ตามลำดับ จะอยู่บนแนวบัพหรือปฏิบัพที่เท่าไรนับจากแนวกลาง (เฉลย)

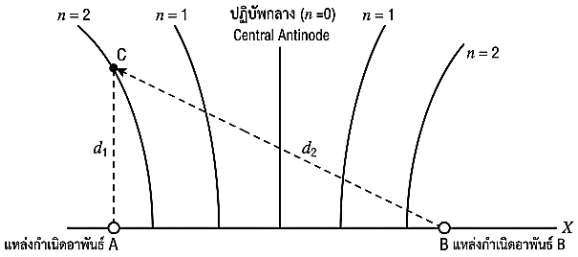
1. ปฏิบัพที่ 4 2. บัพที่ 4 3. ปฏิบัพที่ 5 4. บัพที่ 5

37. S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์บนผิวน้ำเฟสตรงกัน คลื่นผิวน้ำมีอัตราเร็ว 19 เซนติเมตรต่อวินาที มีความถี่ 9.5 เฮิรตซ์ จุด P อยู่บนแนว A_1 อยากทราบว่าจุด P จะต้องอยู่ห่างจาก S_1 อย่างน้อยที่สุดเท่าไร กำหนดให้ S_1S_2 = 12 เซนติเมตร (เฉลย)

1. 4 เซนติเมตร 2. 5 เซนติเมตร 3. 12 เซนติเมตร 4. 15 เซนติเมตร

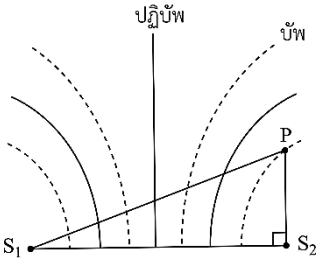
38. แหล่งกำเนิดคลื่นน้ำสร้างคลื่นน้ำที่สองตำแหน่ง A และ B มีความยาวคลื่น 1.5 เซนติเมตร และได้แนวของเส้นปฏิบัพดังแสดงในรูป อยากทราบว่า AC และ BC มีความยาวต่างกันเท่าไร (เฉลย)

1. 1.5 cm 2. 3.0 cm 3. 4.5 cm 4. 6.0 cm

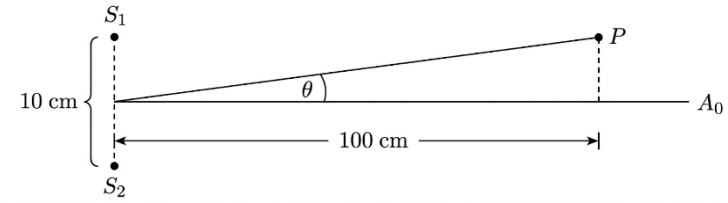


39. จากรูป เป็นภาพการแทรกสอดของคลื่นผิวน้ำที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์ S_1 และ S_2 โดยมี P เป็น จุดใด ๆ บนแนวเส้นบัพ S_1P = 15 เซนติเมตร S_2P = 5 เซนติเมตร ถ้าอัตราเร็วของคลื่นทั้งสองเท่ากับ 50 เซนติเมตรต่อวินาที แหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองมีความถี่กี่เฮิรตซ์ (เฉลย)

1. 7.5 เฮิรตซ์ 2. 6.5 เฮิรตซ์ 3. 5.0 เฮิรตซ์ 4. 2.5 เฮิรตซ์

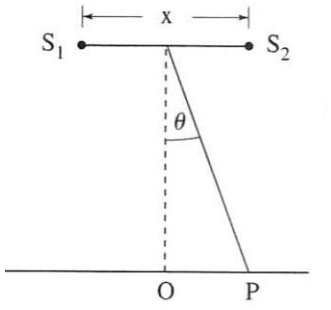


40. จากรูป S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นผิวน้ำอาพันธ์เฟสตรงกัน ห่างกัน 10 เซนติเมตร ปล่อยคลื่นน้ำ มีความยาวคลื่น 4 เซนติเมตรออกมาแทรกสอดกัน จุด P อยู่ห่างจากแนว S_1S_2 เป็นระยะ 100 เซนติเมตร ถ้าจุด P มีแนวปฏิบัพ A_2 ผ่านพอดี จงประมาณค่ามุม θ ต่อไปนี้ (เฉลย)



1. 60° 2. 53° 3. 45° 4. 37°

41. S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์ที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ λ จุด P เป็นจุดที่เกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันจุดที่ 2 จากจุดกึ่งกลาง มุม θ จะมีค่าเท่าใด (เฉลย)



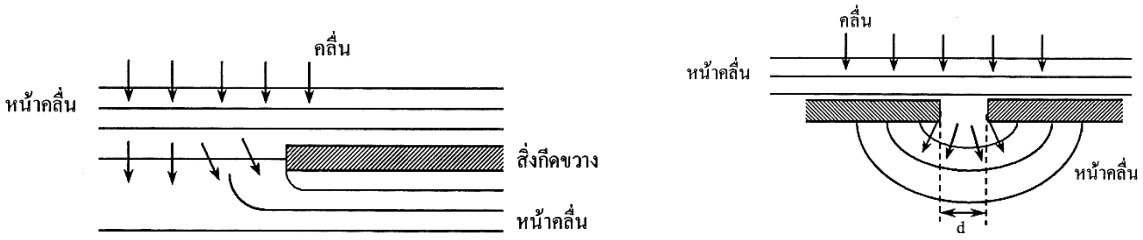
1. $\sin^{-1}\left(\frac{2\lambda}{x}\right)$ 2. $\sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{x}\right)$

3. $\sin^{-1}\left(\frac{5\lambda}{2x}\right)$ 4. $\sin^{-1}\left(\frac{3\lambda}{2x}\right)$

9.4.4 การเลี้ยวเบนของคลื่น (Diffraction)

การเลี้ยวเบนของคลื่น คือ การที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางในตัวกลางชนิดเดียวกัน โดยคลื่นส่วนหนึ่งจะถูกกั้นด้วยสิ่งกีดขวาง แต่บางส่วนจะผ่านสิ่งกีดขวางไปตามขอบของสิ่งกีดขวางนั้น ทำให้คลื่นส่วนนี้สามารถเคลื่อนที่ไปด้านหลังสิ่งกีดขวางได้

การเลี้ยวเบนของคลื่นผ่านช่องแคบเดี่ยว

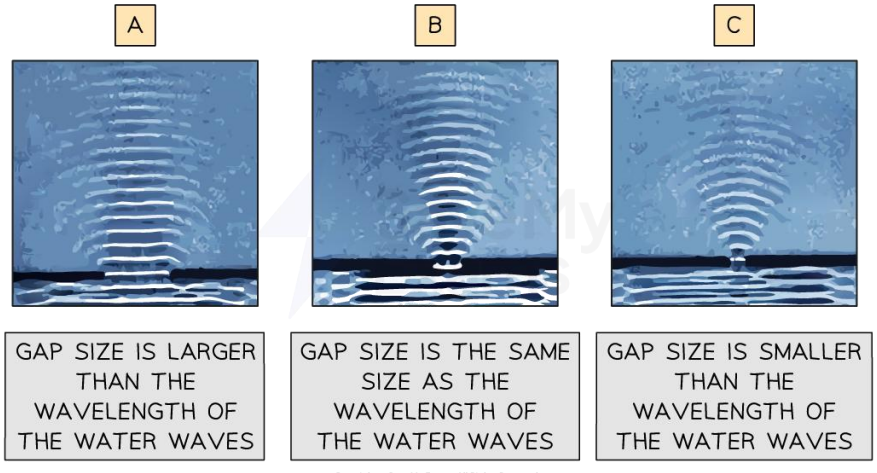


รูป แสดงคลื่นผ่านสิ่งกีดขวางรูปแสดงคลื่นผ่านช่องเปิด

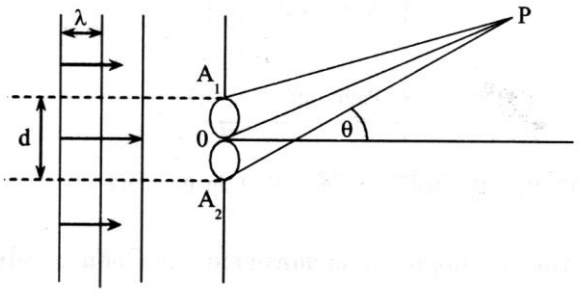
กรณีที่ 1 ถ้า $d \approx \lambda$ หน้าคลื่นที่ผ่านช่องแคบออกมาจะเป็นส่วนโค้งของวงกลมมากขึ้น โดยในแนวไกลสุด n = 1 แนวบัพที่ 1 จะทับแนวของสิ่งกีดขวางพอดี จะทำให้มองไม่เห็นแนวบัพ เหมือนในรูป.....

กรณีที่ 1 ถ้า $d >> \lambda$ หน้าคลื่นที่ผ่านช่องแคบออกมาจะเป็นเส้นตรง ยกเว้นหน้าคลื่นบริเวณขอบทั้งสองข้างของช่องแคบ โดยในแนวไกลที่สุด n > 1 จะเกิดแนวบัพมากกว่า 1 แนว เหมือนในรูป.....

กรณีที่ 3 ถ้า $d << \lambda$ หน้าคลื่นที่ผ่านช่องแคบออกมาจะเป็นส่วนโค้งวงกลม โดยในแนวไกลที่สุด n < 1 ไม่มีแนวบัพ เหมือนในรูป.....



พิจารณารูป แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่นเมื่อผ่านช่องแคบเดี่ยว ถ้าจุด P เป็นจุดที่มีการแทรกสอดแบบหักล้างกัน จะทำให้เกิดแนวบัพ



ถ้าจุด P เป็นจุด ๆ หนึ่งบนแนวบัพ

$$|A_1P - A_2P| = n\lambda \text{ ; n = 1,2,3,4...}$$

หรือ $d\sin\theta = n\lambda$

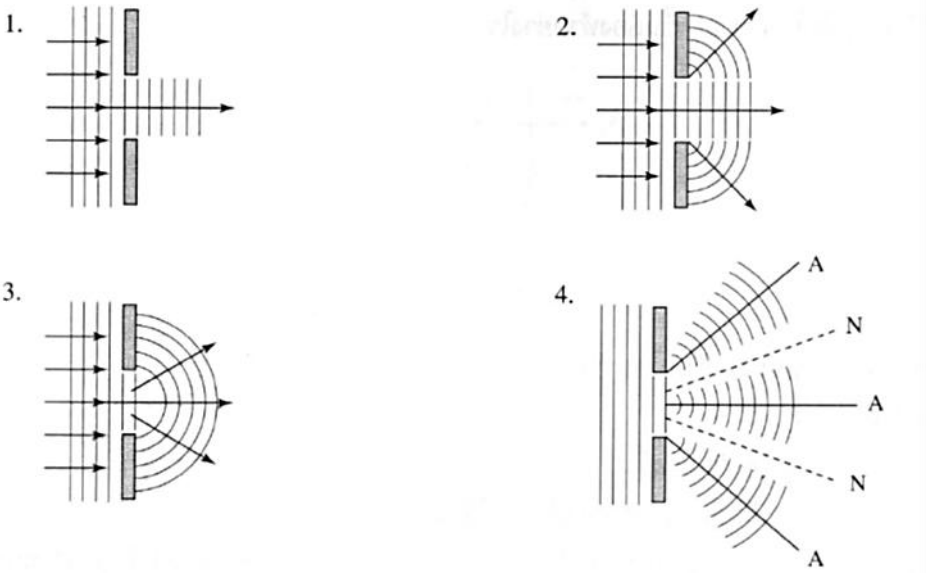
ถ้าจุด P เป็นจุด ๆ หนึ่งบนแนวปฏิบัพ

$$|A_1P - A_2P| = \left(n+\frac{1}{2}\right)\lambda \text{ ; n = 0,1,2,3,4...}$$

หรือ $$d\sin\theta = \left(n+\frac{1}{2}\right)\lambda$$

แบบฝึกหัด

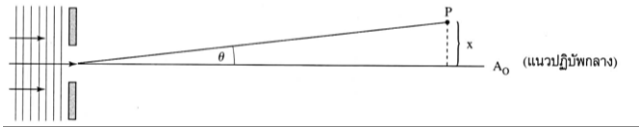
42. คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านสลิตเดี่ยวมีความกว้าง 30 เซนติเมตร โดยมีอัตราเร็ว 10 เซนติเมตรต่อวินาที ความถี่ 20 เฮิรตซ์ คลื่นที่เคลื่อนที่ผ่าน สลิตเดี่ยวไปแล้วจะมีลักษณะอย่างไร (เฉลย)



43. จากข้อ 42 ถ้าสลิตเดี่ยวมีความกว้าง 2 เซนติเมตร คลื่นน้ำมีอัตราเร็ว 20 เซนติเมตรต่อวินาที และมีความถี่ 4 Hz คลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านสลิตเดี่ยวไปแล้วจะมีลักษณะตามข้อใด (เฉลย)

1. เหมือนรูปข้อ 1
2. เหมือนรูปข้อ 2
3. เหมือนรูปข้อ 3
4. เหมือนรูปข้อ 4

44. จากรูป คลื่นผิวน้ำหน้าตรงความยาวคลื่น 1 เซนติเมตร เคลื่อนที่ผ่านช่องซึ่งมีความกว้าง 4 เซนติเมตร ทำให้เกิดแนวบัพและปฏิบัพ ปรากฏว่าจุด P อยู่บนแนวบัพที่ 2 (N_2) จงคำนวณหามุม θ (เฉลย)



1. 15°
2. 30°
3. 37°
4. 45°

คำถามท้ายบท

1. ความเร็วคลื่นในเส้นเชือกแตกต่างจากความเร็วอนุภาคเล็กในเส้นเชือกอย่างไร

2. คลื่นผิวน้ำในน้ำที่มีความลึกคงตัว และน้อยกว่าความยาวคลื่นจะมีความยาวคลื่นจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อความถี่ของคลื่นเป็นสองเท่าของความถี่เดิม ความเร็วของคลื่นมีค่าคงตัว

3. อัตราเร็วของคลื่นจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าและผ่านตัวกลางเดิม

4. เชือกเส้นใหญ่มีมวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวมากกว่าเชือกเส้นเล็ก เมื่อนำมาต่อกันให้คลื่นผ่านจากเชือกเส้นใหญ่เข้าสู่เชือกเส้นเล็ก อัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น เปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร

5. คลื่นดลสองลูกเคลื่อนที่ในเชือกเข้าหากัน เมื่อพบกันจะเกิดการสะท้อนจากคลื่นอีกลูกหนึ่งหรือไม่ อธิบาย

6. เมื่อคลื่นมาซ้อนทับกัน เงื่อนไขต้องเป็นอย่างไรเมื่อ

ก. แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่ามากกว่าคลื่นที่มารวมกัน

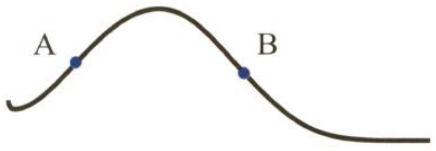
ข. แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่าน้อยกว่าคลื่นที่มารวมกัน

ค. แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่าเท่ากับศูนย์

7. ในการแทรกสอดของคลื่นแบบเสริมและแบบหักล้าง พลังงานเพิ่มขึ้นหรือสูญหายไปหรือไม่ อธิบาย

8. คลื่นสองคลื่นความถี่เท่ากัน อยู่ในตัวกลางเดียวกัน แต่แอมพลิจูดต่างกัน เมื่อมาแทรกสอดกันเฟสของคลื่นทั้งสองต้องต่างกันเท่าไร จึงจะทำให้แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่ามากที่สุด และน้อยที่สุดตามลำดับและค่าแอมพลิจูดรวมของคลื่นในแต่ละกรณีเป็นเท่าไร

9. จากภาพแสดงคลื่นในเชือกกำลังเคลื่อนไปทางซ้ายด้วยอัตราเร็ว 10 เมตรต่อวินาที A และ Bเป็นอนุภาคเล็กในเส้นเชือก



จุด A และ B เคลื่อนที่อย่างไร และความเร็วของจุดทั้งสองเปลี่ยนแปลงอย่างไร

10. ดึงสายยางท่อน้ำเส้นเล็กให้ตรง ดีดสายยางให้สั่น สังเกตลูกคลื่นที่เกิดขึ้นในสายยาง อัตราเร็วของลูกคลื่นในสายยางจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร เมื่อ
    ก. ดึงสายยางให้ตึงมากขึ้น
    ข. กรอกน้ำให้เต็มสายยาง

11. ความยาวคลื่นในเส้นเชือกมีความสัมพันธ์กับสิ่งใดต่อไปนี้ ความยาวเชือก แรงดึงในเส้นเชือก มวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเชือก จงอธิบายความสัมพันธ์นั้น

12. คลื่นผิวน้ำผ่านเสาที่ปักอยู่ในน้ำด้วยความเร็ว 2.8 เมตรต่อวินาที และมีสันคลื่นอยู่ห่างกัน 5 เมตร ระดับน้ำที่เสาจะกระเพื่อมขึ้นลงด้วยความถี่เท่าไร

13. ใบไม้ลอยในน้ำเมื่อมีคลื่นผ่านจะกระเพื่อมขึ้นลง 15 รอบในเวลา 0.5 วินาทีและสันคลื่นห่างกัน2 เมตร อัตราเร็วคลื่นในน้ำขณะนั้นเป็นเท่าไร