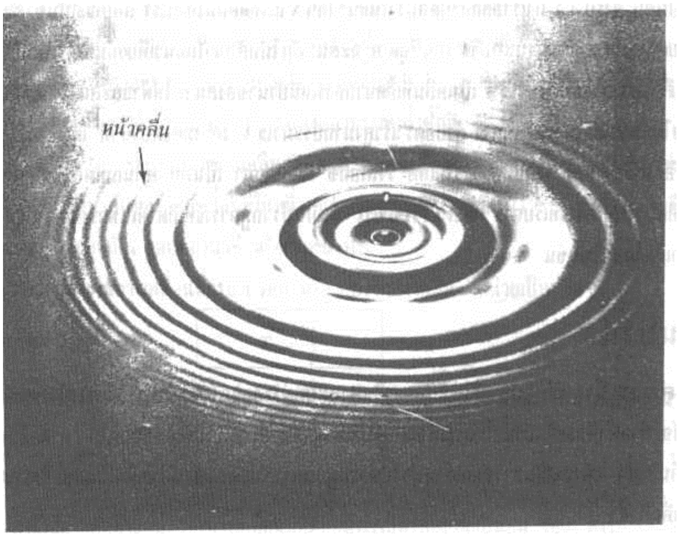
เอกสารประกอบการเรียนวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง คลื่น

1. คลื่นกล

การกระเพื่อมขึ้นลงของน้ำในสระ เสียงของเครื่องดนตรี การกระตุกเชือกขึ้นลงเมื่อเชือกขึงตึงในแนวราบ เหล่านี้เป็นตัวอย่างของปรากฏการณ์คลื่น เช่น รูปที่ 4.1



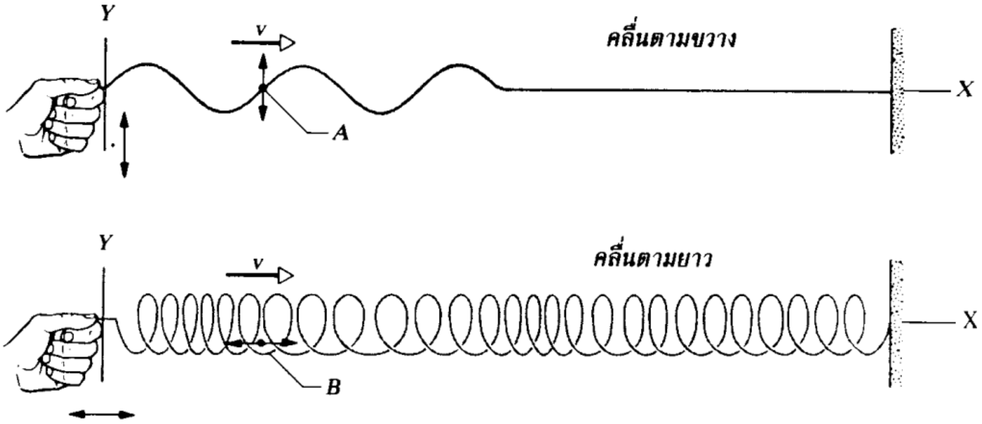
รูปที่ 4.1 คลื่นน้ำ

แสดงให้เห็นถึงคลื่นน้ำที่เกิดจากการทิ้งวัตถุให้ตกกระแทกผิวน้ำ เราจะเห็นการกระเพื่อมขึ้นลงของผิวน้ำแผ่กระจายออกไป

คลื่นสามารถแบ่งเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ

ก. คลื่นกล เป็นคลื่นที่เกิดในตัวกลางยืดหยุ่น (ได้แก่ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ) โดยเกิดจากการใช้แรงกระตุ้น สามารถถ่ายโอนพลังงานกลได้ เช่น คลื่นน้ำ คลื่นเชือก คลื่นเสียง เป็นต้น เราสามารถพิจารณาคลื่นกลโดยดูการเคลื่อนที่ของตัวกลางซึ่งจะทำให้แบ่งคลื่นกลเป็น 2 ชนิด ดังนี้

- **คลื่นตามขวาง** เป็นคลื่นที่ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นตั้งฉากกับการสั่นของตัวกลาง ได้แก่ คลื่นเชือก คลื่นน้ำ เป็นต้น ดังรูปที่ 2 ถ้าเราดึงเชือกแล้วกระตุกเชือกขึ้นลงในแนวดิ่ง (แกน Y) จะเกิดคลื่นเชือกเคลื่อนที่ออกไปด้วยความเร็ว v จะเห็นว่ามวลของเชือกเล็ก ๆ เช่น ตรงจุด A สั่นขึ้นลงในแกน Y ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่น



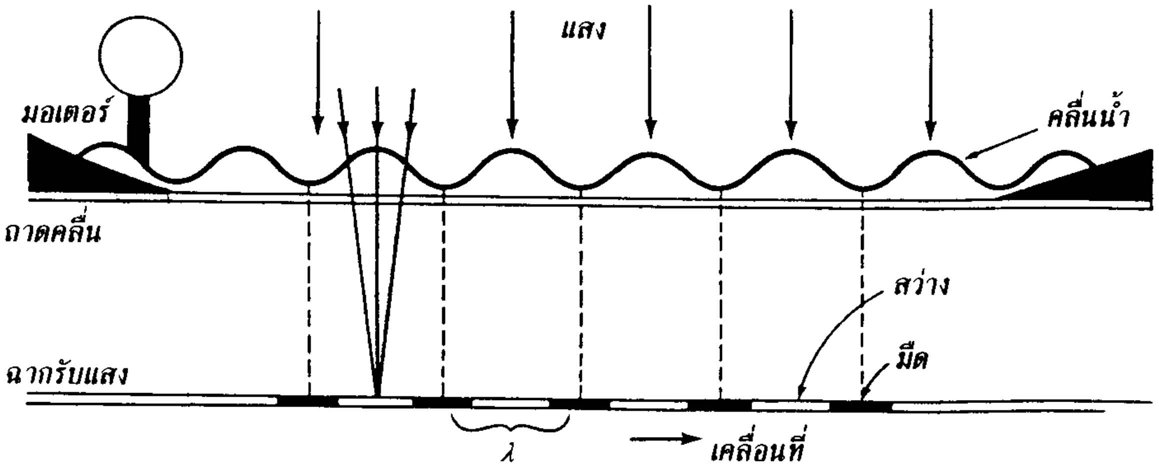
รูปที่ 4.2 ลักษณะสำคัญของคลื่นตามขวางและคลื่นตามยาว

- คลื่นตามยาว เป็นคลื่นที่ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นอยู่ในแนวเดียวกับการเคลื่อนที่ของตัวกลาง ได้แก่ คลื่นในสปริง คลื่นเสียง เป็นต้น ดังรูปที่ 2 ถ้าเราอัดและยืดสปริงในแนวแกน X จะเกิดคลื่นในสปริง ลักษณะเป็นช่วงอัดและขยายเคลื่อนที่ออกไปในสปริงด้วยความเร็ว v จุดหนึ่งบนสปริง เช่น ที่จุด B จะสั่นกลับไปกลับมาในแนวเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของคลื่น

ข. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นคลื่นที่เกิดจากการเหนี่ยนำของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กสลับต่อเนื่องกันไปและเคลื่อนที่ไปโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง ด้วยอัตราเร็วสูงมากประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ได้แก่ คลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ คลื่นโทรทัศน์ รังสีอินฟาเรด แสง รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นต้น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจัดเป็นคลื่นตามขวางเพราะมันสามารถเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า **โพลาไรเซชัน** ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดได้เฉพาะกับคลื่นตามขวางเท่านั้น คลื่นตามยาวไม่สามารถเกิดโพลาไรเซชัน

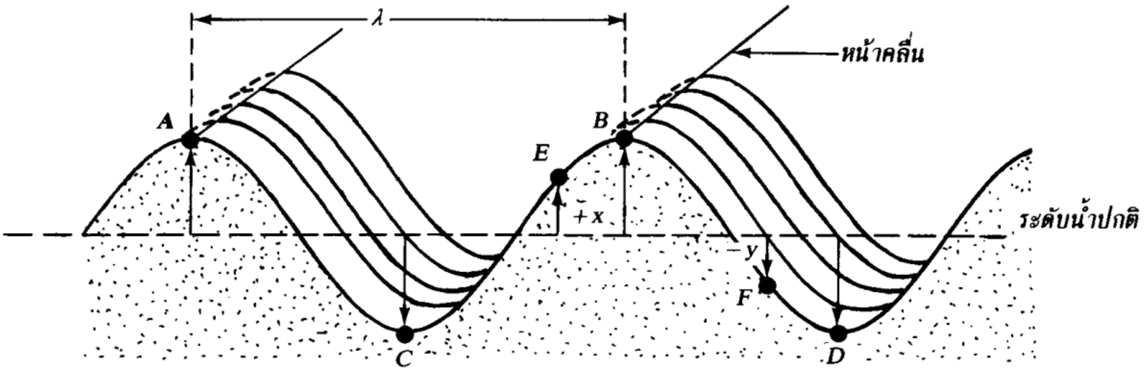
2. คลื่นผิวน้ำ

ก. กล่องคลื่น เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของคลื่นผิวน้ำ มีโครงสร้างและส่วนประกอบสำคัญดังรูปที่ 3 มอเตอร์จะทำหน้าที่กระตุ้นผิวน้ำให้กระเพื่อมเกิดคลื่นผิวน้ำอย่างต่อเนื่องเคลื่อนที่ออกไป ถาดคลื่นทำด้วยแผ่นโปร่งใสเมื่อฉายแสงผ่านคลื่นผิวน้ำ แสงจะเดินทางหักเหผ่านน้ำไปปรากฏบนฉากรับแสง ด้านล่างเห็นเป็นแถบมืดและแถบสว่างเคลื่อนที่ไปในแนวเดียวกับคลื่น



รูปที่ 3 กล่องคลื่น

ข. นิยามเกี่ยวกับคลื่น



รูปที่ 4.4 คลื่นน้ำ

การกระจัด : ระยะจากระดับน้ำปกติถึงตำแหน่งบนคลื่น เช่น จุด E มีการกระจัดเท่ากับ +x (+แปลว่าจุด E แปลว่าจุด E อยู่เหนือระดับน้ำปกติ) จุด F มีการกระจัดเท่ากับ -y (- แปลว่าจุด F อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำปกติ)

สันคลื่น : ตำแหน่งสูงสุดของคลื่น เช่น จุด A, B เป็นต้น

ห้องคลื่น : ตำแหน่งต่ำสุดของคลื่น เช่น จุด C, D เป็นต้น

แอมพลิจูด : ความสูงของสันคลื่นหรือท้องคลื่นวัดจากระดับน้ำปกติ

ความยาวคลื่น (λ) ระยะระหว่างสันคลื่นถัดกัน เช่น AB หรือระยะระหว่างท้องคลื่นถัดกัน เช่น CD แทนด้วย λ

ความถี่ (f) : จำนวนรอบของการเคลื่อนที่ในหนึ่งหน่วยเวลาหรือจำนวนคลื่น (λ = 1 ลูกคลื่น) ที่เคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งหนึ่งไปในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที หรือเฮิรตซ์ (Hz)

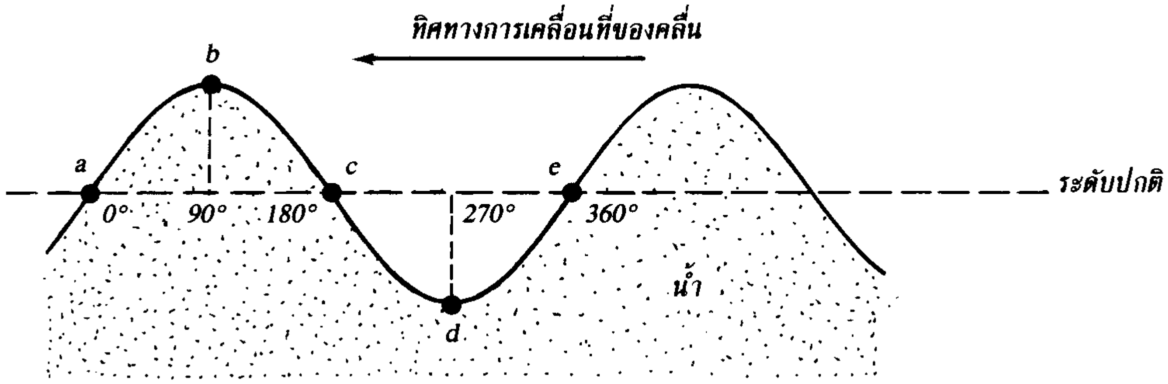
คาบ (T) : เวลาที่ใช้ในการคลื่นที่ครบ 1 รอบ หรือ 1 ความยาวคลื่น มีหน่วยเป็น วินาที

$$T = \frac{1}{f} \qquad ....(1\text{-}1)$$

อัตราเร็วคลื่น(v)ระยะทางที่สันคลื่นเคลื่อนที่ไปได้ในหนึ่งหน่วยเวลามีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

$$v = \lambda f \qquad ....(1\text{-}2)$$

เฟส : คำที่ใช้กำหนดตำแหน่งของการเคลื่อนที่ที่มีลักษณะเป็นรอบบอกเป็นมุม เช่น ดังรูปที่ 5 จุด a, b, c, d, e บนคลื่นมีเฟส 0°, 90°, 180°, 270°, และ 360° เป็นต้น



รูปที่ 4.5

เฟส 0° : จุดบนคลื่นที่มีเฟสเป็น 0° จะอยู่บนระดับปกติ และจะเคลื่อนที่ขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เช่น จุด a ในรูปที่ 5

เฟส 90° : จุดบนคลื่นที่มีเฟสเป็น 90° จะอยู่บนสันคลื่น และจะเคลื่อนที่ลงเมื่อเวลาผ่านไป เช่น จุด b ในรูปที่ 5

เฟส 180° : จุดบนคลื่นที่มีเฟสเป็น 180° จะอยู่บนระดับปกติ และจะเคลื่อนที่ลงเมื่อเวลาผ่านไป เช่น จุด c ในรูปที่ 5

เฟส 270° : จุดบนคลื่นที่มีเฟสเป็น 270° จะอยู่ที่ท้องคลื่น และจะเคลื่อนที่ขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เช่น จุด d ในรูปที่ 5

เฟส 360° : จุดบนคลื่นที่มีเฟสเป็น 360° จะเหมือน เฟส 0° เช่น จุด e ในรูปที่ 4.5

เฟสตรงกัน : จุดบนคลื่นคู่ใดที่มีเฟสตรงกัน จะต้อง

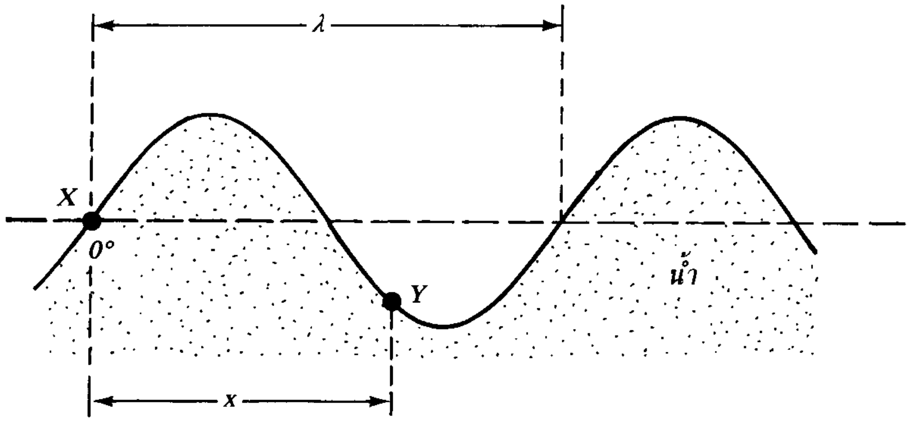
- การกระจัดของจุดคู่นั้นเท่ากัน
- เคลื่อนที่ทางเดียวกัน
- อยู่ห่างกันเป็นระยะ $n\lambda; n = 1, 2, 3, \ldots$

เฟสตรงข้ามกัน : จุดบนคลื่นคู่ใหม่ที่มีเฟสตรงข้ามกัน จะต้อง

- การกระจัดเท่ากันแต่เครื่องหมายตรงข้าม
- เคลื่อนที่ตรงข้ามกัน
- อยู่ห่างกันเป็นระยะ $\left(n+\frac{1}{2}\right)\lambda; n = 1, 2, 3, \ldots$

หน้าคลื่น : แนวของสันคลื่นหรือห้องคลื่นซึ่งมีเฟสตรงกัน แนวหน้าคลื่นต้องตั้งฉากกับทิศฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสมอ

ค. การหาเฟสของจุดบนคลื่น พิจารณารูปที่ 6 เป็นคลื่นน้ำจุด x มีเฟส 0°



รูปที่ 4. 6

เราต้องการหาว่าจุด Y ซึ่งอยู่บนคลื่นห่างจากจุด X ออกไปเป็นระยะ x จะมีเฟสกี่องศา เราสามารถคำนวณได้จากสมการ (1-3)

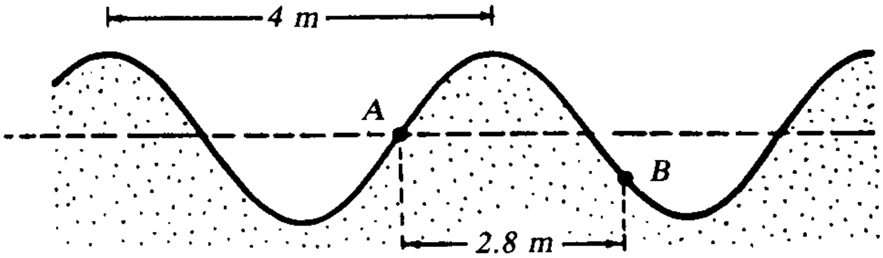
$$\phi = \left(n+\frac{2p}{2l}\right) \qquad \ldots\ldots\ldots(1\text{-}3)$$

เมื่อ ϕ เป็นเฟสของจุดบนคลื่นที่จุด Y มีหน่วยเป็น เรเดียน

λ เป็นความยาวคลื่น มีหน่วยเป็น เมตร

x เป็นระยะของจุดบนคลื่นจากจุดที่มีเฟสเป็น 0° มีหน่วยเป็น เมตร

ตัวอย่างที่ 1 คลื่นน้ำที่กำหนดให้ดังรูป ถ้า A มีเฟสเท่ากับ 0 องศา แล้วจุด B จะมีเฟสเท่าไร และคลื่นเคลื่อนที่ไปทางไหน



วิธีทำ **ตอนแรก** จากรูปจะได้ว่า $\lambda = 4m$

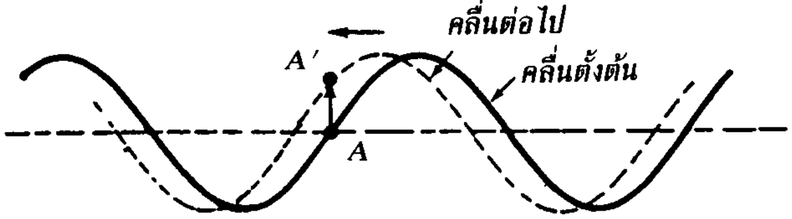
จาก $\phi = \frac{2\pi}{\lambda}x$

ϕ_B = เฟสของจุด B; $\phi_B = \frac{2\pi}{4}(2.8)$

$\therefore \quad \phi_B = \frac{360^\circ}{4}(2.8) = 252^\circ$

นั่นคือ เฟสของจุด B มีค่า 252 องศา

ตอนหลัง เนื่องจาก ϕ_A = เฟสของจุด A = 0° คลื่นจริงเคลื่อนที่จากขวาไปซ้ายดังนี้



เพราะ A มี $\phi_A = 0$ แสดงว่าในเวลาต่อมา A จะต้องเคลื่อนที่ขึ้น การที่ A จะต้องเคลื่อนที่ขึ้นทำให้คลื่นตั้งต้นต้องขยับจากขวาไปซ้าย เพื่อให้ A เคลื่อนมาที่ A′

นั่นคือ คลื่นเคลื่อนที่จากขวาไปซ้าย

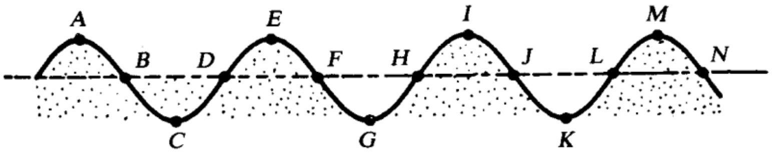
ตัวอย่างที่ 2 ถ้าคลื่นเชือกมีความยาวคลื่น 10 เซนติเมตร มีความถี่ 50 รอบต่อวินาที คลื่นจะมีความเร็วเท่าไร

วิธีทำ จาก $v = \lambda f$

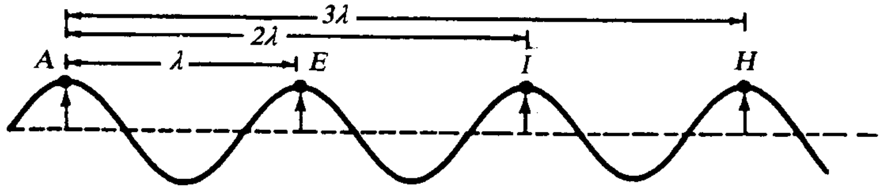
$v = (10 \times 10^{-2})(50) = 5 \text{ m/s}$

นั่นคือ ความเร็วคลื่นเท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที

ตัวอย่างที่ 3 จากรูป คลื่นน้ำจุดใดบ้างที่เฟสตรงกับจุด Aและ B

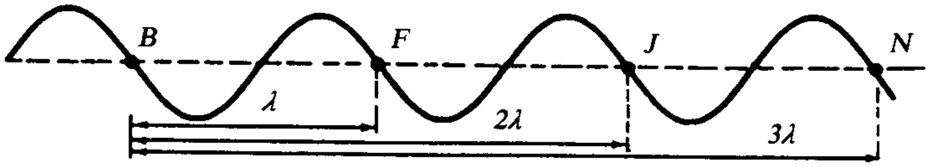


วิธีทำ จุด A



จุดที่มีเฟสตรงกับจุด A คือ E, I และ H เพราะห่างจากจุด A เท่ากับ λ, 2λ และ 3λ ตามลำดับ และมีการกระจัดจากระดับสมดุลเท่ากันหมด

จุด B

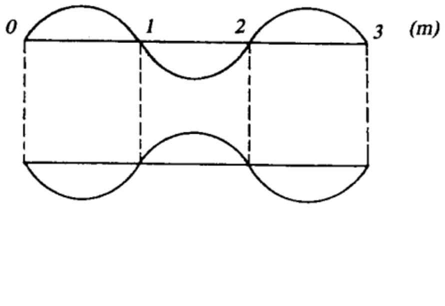


จุดที่มีเฟสตรงกับ B คือ F, J, N เพราะเหตุผลเดียวกับจุด A

นั่นคือ จุดที่มีเฟสตรงกับจุด A คือ E, I และ H

จุดที่มีเฟสตรงกับจุด B คือ F, J และ N

ตัวอย่างที่ 4 เชือกยาวมากเส้นหนึ่งกำลังสั่นเมื่อมองเพียงส่วนหนึ่งซึ่งยาว 3.0 เมตร เห็นคลื่นในเส้นเชือกดังรูป ถ้าคลื่นรูปบนและรูปล่างเวลาต่างกัน 2 วินาที จงหาว่าความเร็วของคลื่นมีค่าน้อยที่สุดเท่าไร



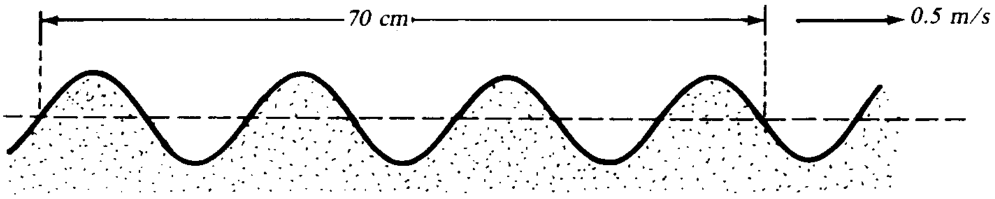
วิธีทำ จากรูป ความเร็วของคลื่นที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นความเร็วคลื่นหรือสันคลื่นเคลื่อนที่ไปได้ 1 m ในเวลา 2 s (ให้สังเกตสันคลื่นซ้ายมือสุดของคลื่นรูปบนกับสันคลื่นของคลื่นรูปล่าง จะมีระยะต่างกัน 1 m)

ดังนั้น ถ้า v เป็นความเร็วของคลื่นน้อยที่สุดจะได้

$$v = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ m/s}$$

นั่นคือ ความเร็วของคลื่นมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที

ตัวอย่างที่ 5 จากรูปเป็นคลื่นน้ำซึ่งกำลังเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำด้วยอัตราเร็ว 0.5 เมตรต่อวินาที จงคำนวณความถี่ของคลื่นน้ำ



วิธีทำ หา λ เมื่อ λ เป็นความยาวคลื่นของคลื่นน้ำ จากรูปที่โจทย์กำหนดให้จะเห็นว่า

$$3\lambda + \frac{\lambda}{2} = 70$$

$$\frac{7\lambda}{2} = 70$$

$$\therefore \lambda = 20 \text{ cm}$$

หา f เมื่อ f เป็นความถี่ของคลื่นน้ำ

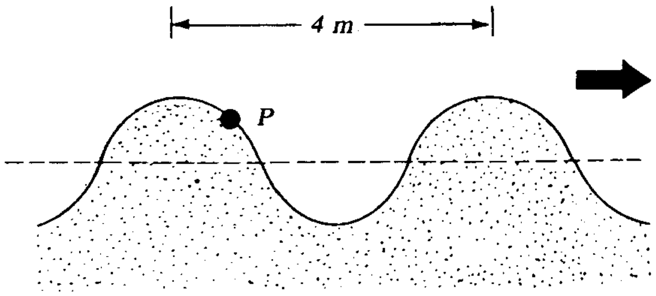
จาก $$v = \lambda f$$

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

$$= \frac{0.5}{20 \times 10^{-2}} = 2.5 \text{ Hz}$$

นั่นคือ ความถี่ของคลื่นน้ำมีค่า 2.5 เฮิรตซ์

ตัวอย่างที่ 6 คลื่นน้ำกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวามือด้วยความเร็ว 0.5 เมตรต่อวินาที ดังรูป ถ้าขณะนั้นจุด P มีเฟส 45 องศา ถามว่าอย่างเร็วที่สุดกี่วินาที P จึงจะถูกแกว่งขึ้นไปอยู่ที่สันคลื่น



วิธีทำ จากรูป จุด P จะต้องถูกแกว่งขึ้นไปอยู่ที่สันคลื่นซึ่งมี เฟส 90°

ดังนั้น จุดที่ P จะถูกแกว่งขึ้นไปมีเฟสต่างจากจุด P เท่ากับ $90^\circ - 45^\circ = 45^\circ$

หา f เมื่อ f เป็นความถี่ของคลื่นน้ำ

จาก $v = \lambda f$

$$\therefore f = \frac{v}{l} = \frac{0.5}{4} = 0.125 \text{ Hz}$$

หา T เมื่อ T เป็นคาบของคลื่นน้ำ

จาก $T = \frac{1}{f}$

$$\therefore T = \frac{1}{0.125} = 8 \text{ s}$$

หา t เมื่อ t เป็นเวลาที่น้อยที่สุดที่จุด P จะถูกแกว่งขึ้นไปที่สันคลื่น

จุด P แกว่ง 360° จะกินเวลาเท่ากับ 8 s

จุด P แกว่ง 45° จะกินเวลาเท่ากับ $\frac{8 \times 45^\circ}{360^\circ} = 1\text{s}$

นั่นคือ P จะถูกแกว่งขึ้นไปอยู่ที่สันคลื่นใช้เวลาน้อยที่สุด 1 วินาที

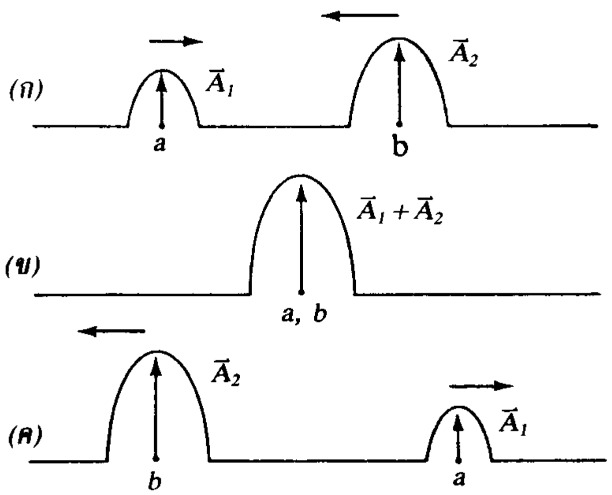
ง. ชนิดของคลื่นแบ่งตามลักษณะเฉพาะตัว

คลื่นดลรูปวงกลม (circular pulse)	คลื่นแบบนี้จะมีแนวหน้าคลื่นเพียงแนวเดียวเป็นรูปวงกลมแผ่กระจายออกไป
คลื่นดลเส้นตรง (straight pulse)	คลื่นแบบนี้จะมีแนวหน้าคลื่นเพียงแนวเดียวเป็นเส้นตรงแผ่กระจายออกไป
คลื่นต่อเนื่อง (continuous wave)	คลื่นแบบนี้จะถูกส่งออกมาจากแหล่งกำเนิดอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา อาจมีลักษณะเป็นวงกลมหรือเส้นตรงได้

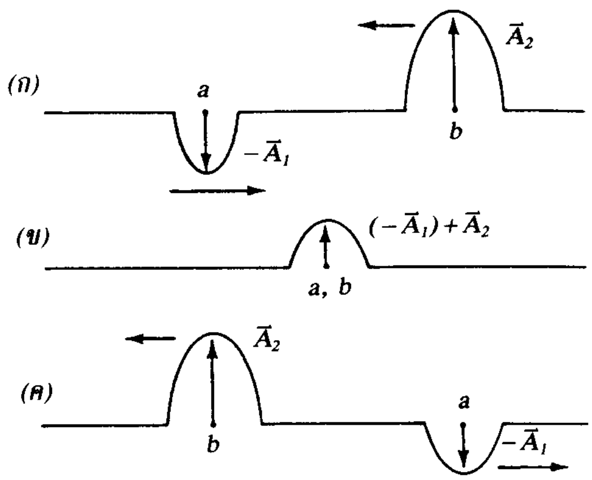
3. การซ้อนทับของคลื่น

ถ้ามีคลื่นสองขบวนวิ่งสวนกันในตัวกลางเดียวกัน เช่น คลื่นดลที่มีแอมพลิจูด $\overline{A}_1$ และ $\overline{A}_2$ ชี้ขึ้นทางเดียวกัน ดังรูปที่ 4.7 (ก) เมื่อคลื่นทั้งสองเดินทางมาพบกันจะเกิดการรวมคลื่น คลื่นรวมที่จุดรวมคลื่นจะมีแอมพลิจูด $\overline{A}_1 + \overline{A}_2$ ดังรูปที่ 4.7 (ข) เมื่อเวลาผ่านไปคลื่นทั้งสองยังคงมีรูปร่างดังเดิมและวิ่งในทิศทางเดิม แต่คราวนี้จะวิ่งจากกันไป ดังรูปที่ 4.7 (ค)

ถ้าคลื่นสองขบวนมีแอมพลิจูดชี้ตรงข้ามกัน เช่น $-\overline{A}_1$ กับ $\overline{A}_2$ ดังรูป 4.8 (ก) การรวมกันที่จะดรวมคลื่นแอมพลิจูดจะหักล้างกัน แอมพลิจูดของคลื่นรวมจะลดลง หลังจากนั้นคลื่นแต่ละขบวนจะวิ่งไปในทิศทางเดิมแต่แยกจากกัน ดูรูปที่ 4.8

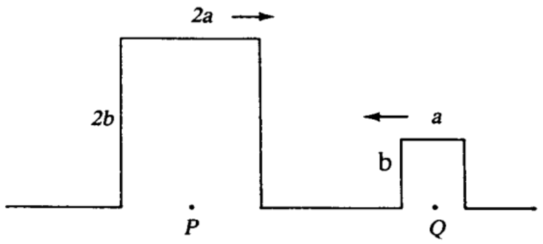


รูปที่ 4. 7

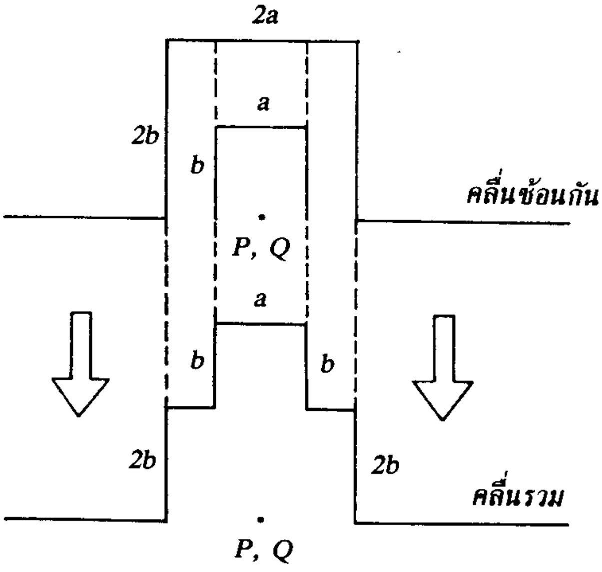


รูปที่ 4.8

ตัวอย่างที่ 7 คลื่นดลสี่เหลี่ยม P และ Q กำลังเคลื่อนที่เข้าหากันดังรูป โดยที่ 2b และb เป็นแอมพลิจูดของคลื่น P และ Q ตามลำดับ จงเขียนภาพของคลื่นรวมเมื่อจุด P และ Q ทับกัน

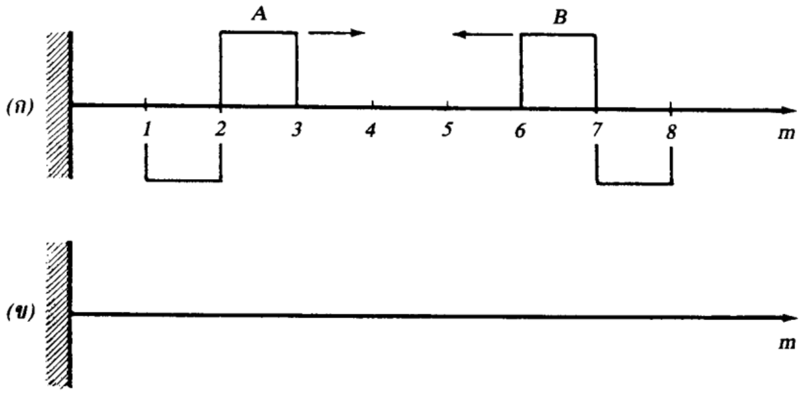


วิธีทำ

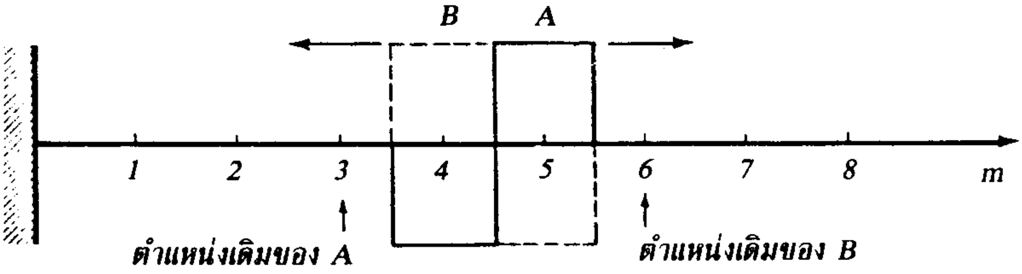


นั่นคือ ภาพของคลื่นรวม คือ คลื่นรูปล่าง แอมพลิจูดของคลื่นรวมสูงสุด 3b

ตัวอย่างที่ 8 คลื่นดลสองลูกเคลื่อนที่เข้าหากันในเส้นเชือก ลักษณะของเชือกที่เวลาหนึ่งเป็นไปดังรูป (ก) แต่เมื่อเวลาผ่านไป 0.5 วินาที ลักษณะของเชือกเป็นดังรูป (ข) จงคำนวณความเร็วของคลื่นดลทั้งสอง



วิธีทำ การที่เรามองไม่เห็นคลื่นดลในรูป (ข) แสดงว่าคลื่นดลสองลูกนี้กำลังอยู่ในลักษระที่แอมพลิจูดหักล้างกันพอดีมันจะเกิดอย่างนี้ได้แสดงว่าคลื่นดลจะต้องเดินทางเป็นระยะ 2.5 m ทั้งคู่ ขอให้ดูรูปประกอบ



ดังนั้น ถ้า v เป็นความเร็วของคลื่นดลทั้งสอง จะได้

$$v = \frac{2.5}{0.5} = 5 \text{ m/s}$$

นั่นคือ ความเร็วคลื่นเท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที

****