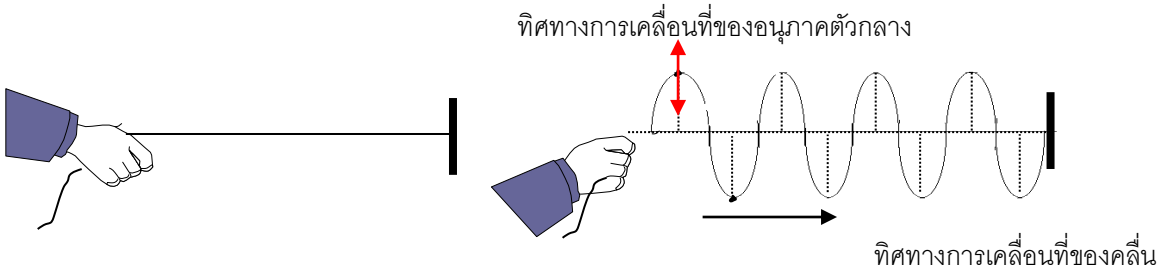
คลื่น (Wave)

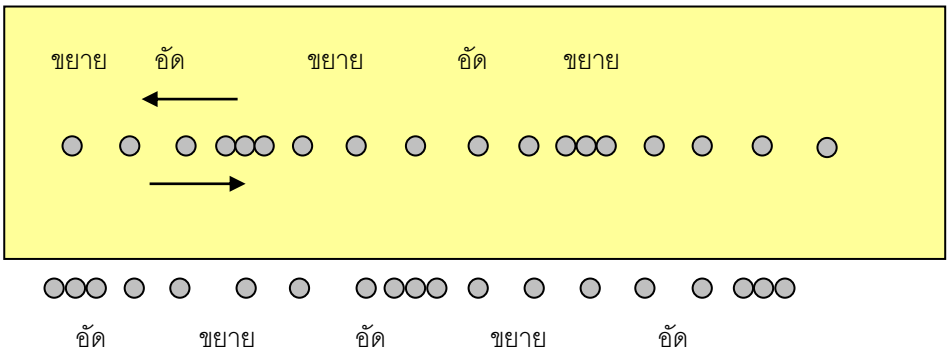
คลื่น(Wave)เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรบกวนแหล่งกำเนิดหรือตัวกลางเกิดการสั่นสะเทือนทำให้มีการถ่ายทอดพลังงานจากการสั่นไปยังจุดอื่นๆ ดังนั้นคลื่นจึงเป็นกระบวนการถ่ายทอดพลังงานอย่างต่อเนื่องโดยที่ตัวกลางอาจจะเคลื่อนที่หรือไม่เคลื่อนที่ไปกับคลื่น

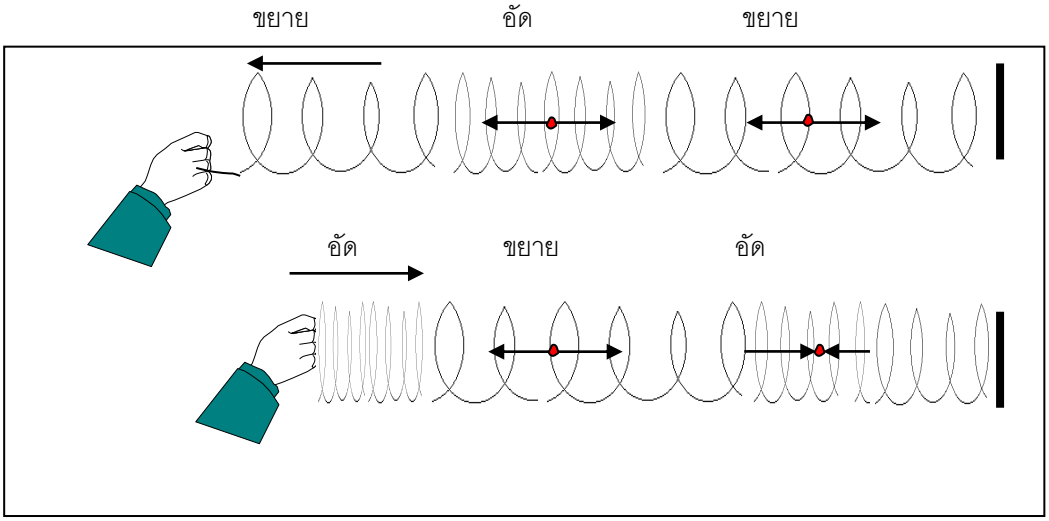
การจัดแบ่งประเภทของคลื่นขึ้นกับการใช้หลักเกณฑ์ที่แตกต่างกัน การจำแนกคลื่น ตามลักษณะการสั่นสะเทือนของอนุภาคตัวกลางกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. **คลื่นตามขวาง** (Transverse Wave) เป็นคลื่นที่เกิดขึ้นโดยอนุภาคตัวกลาง สั่นในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นในเส้นเชือก คลื่นน้ำ คลื่นที่เกิดจากการสะบัดของสปริง เป็นต้น



2. **คลื่นตามยาว** (Longitudinal Wave) เป็นคลื่นที่เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคตัวกลางสั่นในแนวเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นเสียง ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาค ตัวกลางที่เกิดคลื่นลูกอัด คลื่นลูกขยายสลับกันไป





การจำแนกคลื่นตามลักษณะของตัวกลางแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

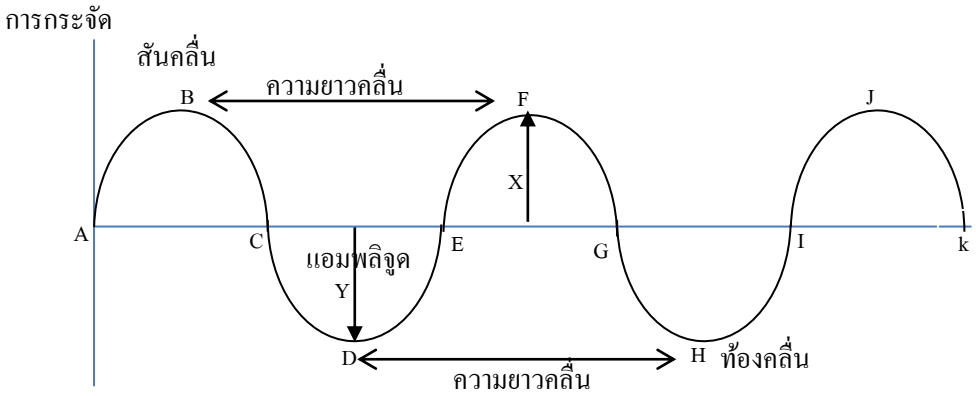
1. **คลื่นกล** (Mechanical Wave) คือคลื่นที่อาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่น คลื่นน้ำ คลื่นในสปริง คลื่นในเส้นเชือก คลื่นเสียง เป็นต้น

2. **คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า** (Electromagnetic Wave) เป็นคลื่นที่ไม่อาศัยตัวกลาง ในการเคลื่อนที่ เช่นคลื่นวิทยุ คลื่นแสง คลื่นไมโครเวฟ คลื่นรังสีเอกซ์ เป็นต้น

คลื่นผิวน้ำ การเกิดคลื่นในผิวน้ำเกิดจากการที่ผิวน้ำถูกรบกวน เช่นโยนก้อนหินลงในน้ำเพียงครั้งเดียว จะเห็นน้ำกระเพื่อมขึ้นลง และกระจายออกจากจุดที่โยนก้อนหิน คลื่นที่เกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดคลื่นเพียงครั้งเดี่ยว เรียกว่า คลื่นดล (Pulse Wave) แต่ถ้าการรบกวนผิวน้ำอย่างต่อเนื่องจึงทำให้เกิด คลื่นต่อเนื่อง (Continuous Wave)

2. ส่วนประกอบของคลื่น

คลื่นเกิดจากการถ่ายทอดพลังงาน ซึ่งถ้าพิจารณาองค์ประกอบของคลื่นจะประกอบด้วย สันคลื่น ท้องคลื่น การกระจัด แอมพลิจูด ความยาวคลื่น คาบเวลา ความถี่คลื่น



รูปที่ 9.5

1. **สันคลื่น**(Crest) คือตำแหน่งสูงสุดของคลื่นจากรูปตำแหน่งที่เป็นสันคลื่นคือจุดB และจุด F , J

2. **ท้องคลื่น**(Trough)คือตำแหน่งต่ำสุดของคลื่นจากรูปตำแหน่งที่เป็นท้องคลื่นคือจุด DและจุดH

3. **การกระจัด**(Displacement : $\vec{d}$)คือระยะทางตั้งฉากที่วัดจากตำแหน่งสมดุล ถึงตำแหน่งบนคลื่น โดยใช้เครื่องหมาย + และ - แสดงทิศทางการกระจัด

4. **แอมพลิจูด**(Amplitude: A) คือระยะการกระจัดที่วัดจากแนวสมดุลไปยังตำแหน่งสูงสุด หรือระยะการกระจัดจากแนวสมดุลไปยังตำแหน่งต่ำสุด จากรูป แอมพลิจูดคือระยะ X , Y

5. **ความยาวคลื่น** (Wave Length : λ) คือระยะทางจากเฟสหนึ่งถึงอีกเฟสหนึ่งที่อยู่ ตรงกันของลูกคลื่นถัดไป ซึ่งวัดได้จากจุดเริ่มต้นของคลื่นถึงจุดสุดท้ายของคลื่น 1 ลูก จากรูป คือระยะ AE , EI หรือสันคลื่นลูกหนึ่งไปยังสันคลื่นอีกลูกหนึ่งที่อยู่ถัดไป จากรูปคือระยะ BF , FJ หรือท้องคลื่นลูกหนึ่งถึงท้องคลื่นอีกลูกหนึ่งที่อยู่ถัดไป จากรูปคือระยะ DH

6. **คาบ** (Period : T) คือเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ไป 1 ลูก หรือเวลาที่อนุภาคตัวกลางสั่นขึ้นลงได้ 1 รอบ คาบเวลามีหน่วยเป็นวินาที

7. **ความถี่** (Frequency : f) คือจำนวนลูกคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านจุดๆหนึ่งในเวลา 1 วินาที ความถี่มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที

8. **เฟสของคลื่น** (Phase) คือการบอกตำแหน่งของคลื่นว่ามีการกระจัดเป็นเท่าใด และมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นอย่างไร นิยมบอกในรูปของมุมในหน่วยของ เรเดียน ดังรูปที่ 9.5

ที่จุด A มีเฟส 0 องศา หรือ 0 เรเดียน ที่จุด B มีเฟส 90 องศา หรือ $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน ที่จุด C มีเฟส 180 องศา หรือ π เรเดียน ที่จุด D มีเฟส 270 องศา หรือ $\frac{3\pi}{2}$ เรเดียน ที่จุด E มีเฟส 360 องศา หรือ 2π เรเดียน

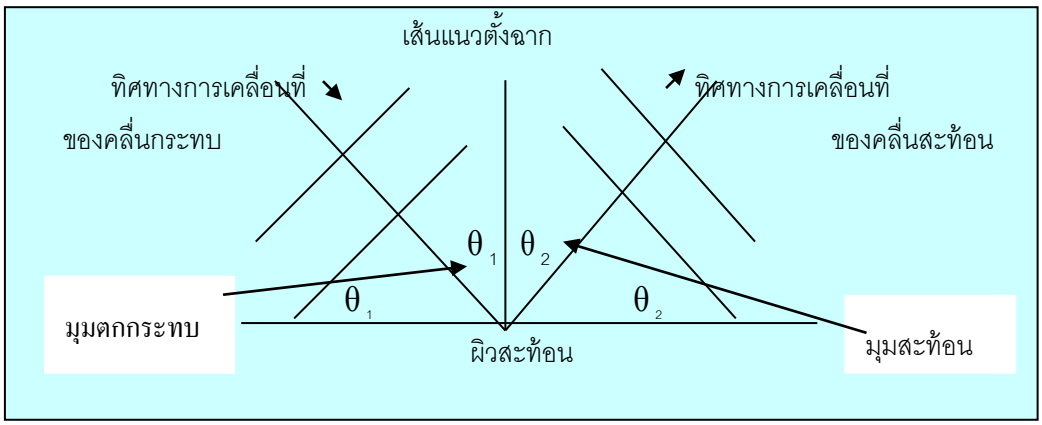
9. **อัตราเร็วคลื่นหรืออัตราเร็วเฟส** (Velocity : v) หมายถึง ระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ 1 ลูก (λ) ในเวลา 1 วินาที ใช้บอกการเคลื่อนที่ของคลื่นกลหรือคลื่นต่อเนื่องก็ได้ อัตราเร็วเฟสเป็นอัตราเร็วจริงของคลื่นความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น (λ) และอัตราเร็วเฟส (v) และความถี่คลื่น (f) จะเป็นไปตามสมการ

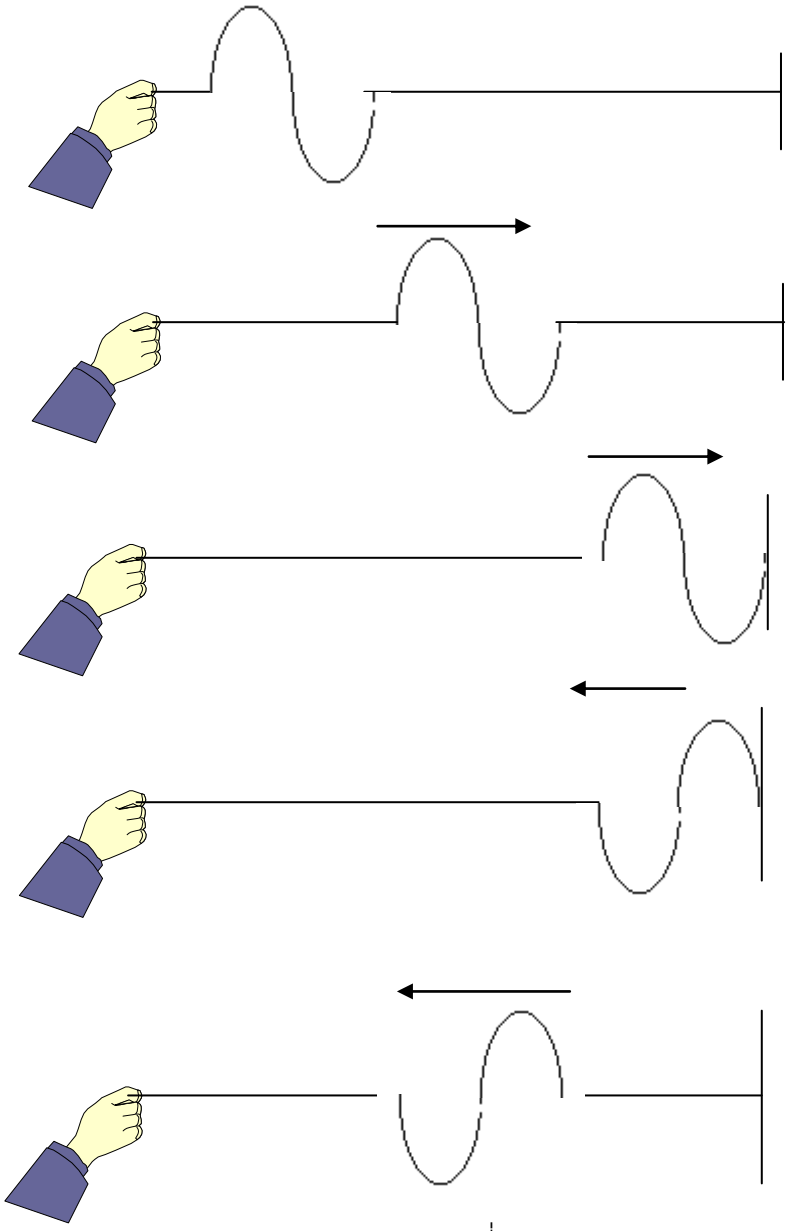
$$V = \lambda f$$

3 คุณสมบัติของคลื่น

3.1 การสะท้อน (Reflection)

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปถึงปลายสุดของตัวกลางเดิม หรือไปถึงแนวรอยต่อระหว่างตัวกลางนั้นกับตัวกลางใหม่คลื่นจะสะท้อนกลับมายังตัวกลางเดิม เรียกว่าการสะท้อนของคลื่น (Reflection) ดังรูป จากรูปคลื่นในเส้นเชือกเคลื่อนที่เข้าชน สิ่งกีดขวาง คลื่นสะท้อนกลับในทิศทางตรงข้าม





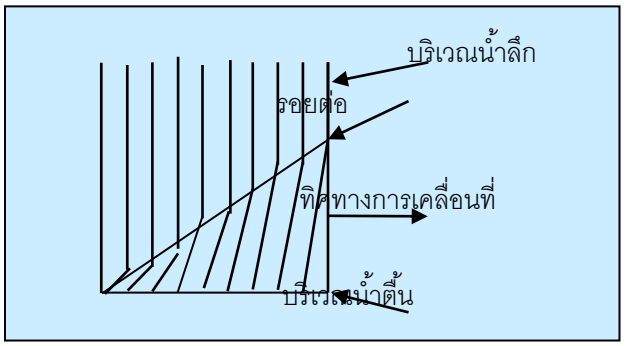
จากรูปที่ 7

จากรูปที่ 7 คลื่นในเส้นเชือกเคลื่อนที่เข้ากระทบผิวสะท้อน ทำมุม θ_1 กับแนวเส้นตั้งฉากกับผิวสะท้อน เราเรียกมุมที่ทิศทางของคลื่นตกกระทบกระทำกับเส้นแนวตั้งฉากว่า **มุมตกกระทบ** (θ_1) คลื่นจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่กลับไปยังตัวกลางเดิมในแนวทำมุม θ_2 กับเส้นแนวตั้งฉาก เราเรียกมุมที่ทิศทางของคลื่นตกสะท้อนกระทำกับเส้นแนวตั้งฉากว่า **มุมสะท้อน** (θ_2) การสะท้อนของคลื่นใดๆจะทำให้ **มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน** เสมอ ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นสะท้อนและเส้นปกติพบกันที่จุดเดียวกันและอยู่บนระนาบเดียวกัน ซึ่งเราเรียกว่า **กฎการสะท้อน** ผลของการสะท้อนจะทำให้

1 . ความถี่ ความยาวคลื่น และอัตราเร็วคลื่นสะท้อนและคลื่นตกกระทบเท่าเดิมเสมอ

2. ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นจะเปลี่ยนไป

3.2 **การหักเห** (Refraction) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางเดียวกันซึ่งมีความหนาแน่นเท่ากัน ความเร็วของคลื่น จะมีค่าคงที่ แต่เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน ความเร็วของคลื่นจะเปลี่ยนไปเสมอ แต่ความถี่คลื่นยังเท่าเดิม ปรากฏการณ์ที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน แล้วทำให้ความเร็วของคลื่น เปลี่ยนไป เราเรียกว่า **การหักเหของคลื่น** (Refraction) เช่นการเคลื่อนที่ของคลื่นจากน้ำลึกสู่น้ำตื้น ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงการหักเหของคลื่นน้ำเมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากน้ำลึกสู่น้ำตื้น

เมื่อพิจารณาจากการหักเหของคลื่นพบว่า อัตราเร็วของคลื่นในตัวกลางทั้ง 2 ชนิด ไม่เท่ากัน จากรูปที่ 8 กำหนดให้ความยาวคลื่น ในตัวกลางที่ 1 เป็น λ_1 และความยาวคลื่น ในตัวกลางที่ 2 เป็น λ_2 ให้

θ_1 = มุมตกกระทบกระทำกับเส้นปกติ

θ_2 = มุมหักเหกระทำกับเส้นปกติ

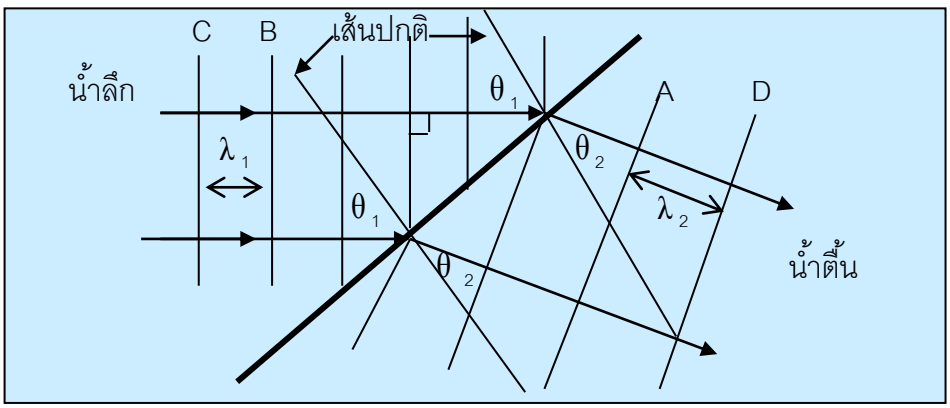
λ_1 = ความยาวคลื่นตกกระทบ = CB

λ_2 = ความยาวคลื่นหักเห = AD

$$\sin\theta_1 = \frac{CB}{AB} \quad \text{.....1}$$

$$\sin\theta_2 = \frac{AD}{AB} \quad \text{.....2}$$

1 / 2 $$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{CB}{AD} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad \text{.....3}$$



จากรูปที่ 9 การหักเหของคลื่นผิวน้ำ

คลื่นเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดแล้วผ่านบริเวณน้ำลึกและบริเวณน้ำตื้นมีความถี่เท่ากัน

ให้ f เป็นความถี่จากแหล่งกำเนิดเดียวกัน

จาก $v = \lambda f$

อัตราเร็วคลื่นบริเวณน้ำลึก $v_1 = \lambda_1 f$ 4

อัตราเร็วคลื่นบริเวณน้ำตื้น $v_2 = \lambda_2 f$ 5

4 / 5 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 6

3 = 6 $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 7

จากรูปที่ 9 เมื่อ θ_1 (มุมตกกระทบ) เปลี่ยนจะทำให้ θ_2 (มุมหักเห) เปลี่ยนตามด้วย

แต่ $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ จะมีค่าคงที่เสมอ ซึ่งเราเรียกว่า ดัชนีหักเห (n) ของตัวกลางที่ 2 เทียบกับตัวกลางที่ 1

จะได้ $$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = n$$ 8

การหักเกของคลื่นทุกชนิดเป็นไปตามสมการของการหักเห ซึ่งเราเรียกว่ากฎของสเนล (Snell' s Law)

ตัวอย่างที่ 1 คลื่นหน้าตรงเคลื่อนที่จากบริเวณ a ไปยังบริเวณ b ปรากฏว่าความยาวคลื่นบริเวณ b ลดเหลือครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นบริเวณ a ถ้าหน้าคลื่นของ a ทำมุม 37° ให้หา

ก. ดัชนีหักเหของ b เทียบกับ a

ข. มุมหักเหในตัวกลาง b มีค่าเท่าใด

วิธีทำ (ก) จาก $\frac{n_1}{n_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$

$$\frac{n_b}{n_a} = \frac{\lambda_a}{\lambda_b} = \frac{\lambda_a}{\frac{1}{2}\lambda_a}$$

$\therefore$ $\frac{n_b}{n_a} = 2$ **ตอบ**

(ข) จาก $\frac{\sin\theta_a}{\sin\theta_b} = \frac{n_b}{n_a}$

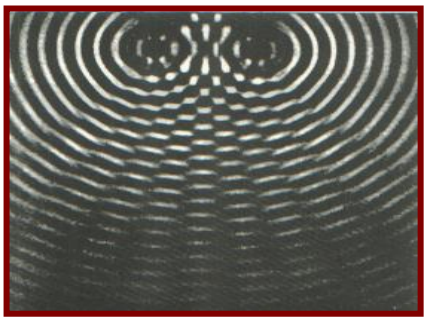
$$\frac{\sin 37}{\sin\theta_b} = 2$$

$$\sin\theta_b = \frac{3/5}{2} = 0.3$$

$$\theta_b = \sin^{-1} 0.3$$ **ตอบ**

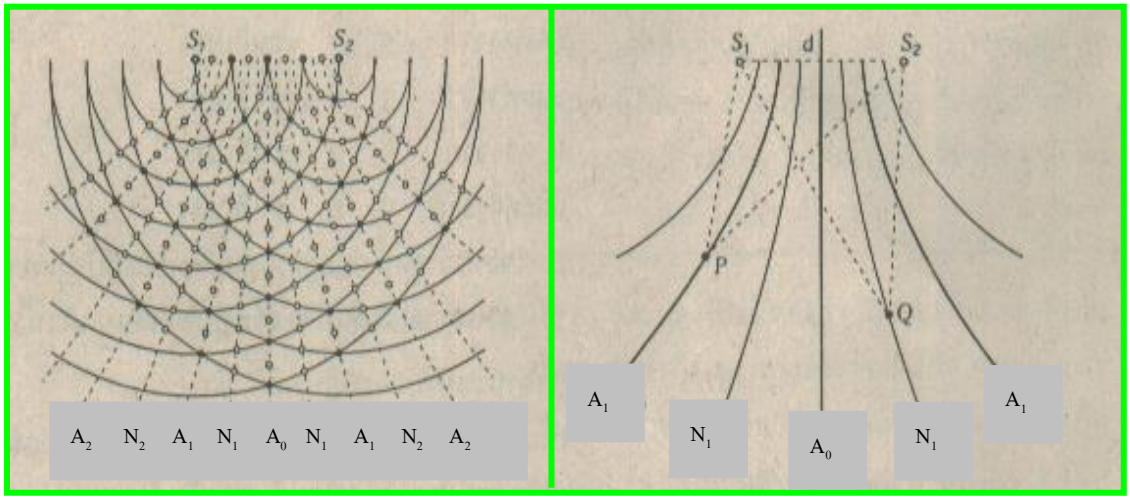
3.3 **การแทรกสอด** (Interference)

เมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นต่อเนื่อง 2 แหล่งมีความถี่เท่ากัน เฟสตรงกัน และอยู่ห่างกัน เป็นระยะทาง d เมื่อแหล่งกำเนิดทั้งสองปล่อยคลื่นออกมา จะเกิดการซ้อนทับกันของคลื่น ในกรณีนี้เรียกว่า **การแทรกสอดของคลื่น** (Interference) ตำแหน่งที่คลื่นรวมกันแบบเสริมกันจะมี แอมพลิจูดมากที่สุด เรียกว่า **ตำแหน่งปฏิบัพ** (Antinode : A) สำหรับตำแหน่งที่คลื่นรวมกัน แบบหักล้างกันจะมีแอมพลิจูดน้อยที่สุดหรือเป็นศูนย์ เรียกว่า **ตำแหน่งบัพ** (Node : N) การแทรกสอดของคลื่นน้ำจะเป็นผล ดังรูป



บริเวณตำแหน่งปฏิบัพเกิดจากสันคลื่นและท้องคลื่นจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองมาพบกัน ทำให้เกิดการกระจัดลัพธ์ของคลื่นทั้งสองมีค่ามากที่ เรียกว่า **การแทรกสอดแบบเสริมกัน**(Constructive Interference) ส่วนบริเวณที่น้ำไม่กระเพื่อมเกิดจากสันคลื่นและท้องคลื่นมาพบกัน การกระจัดลัพธ์มีค่าเป็นศูนย์ เรียกว่า **การแทรกสอดแบบหักล้างกัน** (Destructive Interference)

เมื่อลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างตำแหน่งการหักล้าง เรียกว่า **เส้นบัพ**(N) และลากเส้นต่อระหว่างตำแหน่งการรวมคลื่น เรียกว่า **เส้นปฏิบัพ** (A) ดังรูป



จากรูป S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์ สำหรับเส้นที่ลากผ่านจุดปฏิบัพ เรียกว่า **เส้นปฏิบัพ** (Antinode Line) ซึ่งจะแทนด้วย A_0 , A_1 , A_2 และเส้นที่ลากผ่านจุดบัพ จะเรียกว่า **เส้นบัพ** (Node Line) ซึ่งจะแทนด้วย N_1 , N_2 ,N_3 การแทรกสอดแบบเสริมกัน (จุดปฏิบัพ : Antinode) พิจารณาจาก

จะได้ $|S_1P_n - S_2P_n| = n\lambda$ .....9 เมื่อ n = 0 , 1 , 2 , 3 ...

เมื่อจุดที่เกิดการแทรกสอดอยู่ไกลจากแหล่งกำเนิดทั้งสองมากๆ การแทรกสอดแบบหักล้าง (จุดบัพ : Node)

จะได้ $|S_1Q_n - S_2Q_n| = (n - \frac{1}{2})\lambda$ .....10 เมื่อ n = 1 , 2 , 3 ...

ตัวอย่าง 2 แหล่งกำเนิดคลื่นต่อเนื่อง 2 แหล่ง มีความถี่เท่ากันคือ 10 Hz จุดบัพในแนวบัพที่ 1 จะอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดทั้งสองเป็นระยะ 6 และ 8 เซนติเมตร ตามลำดับ จงหา

ก. ความยาวคลื่น ข. ความเร็วคลื่น

วิธีทำ ก. เมื่ออยู่ในแนวบัพ จากสมการ

$$|S_1Q_n - S_2Q_n| = (n - \frac{1}{2})\lambda$$

เมื่ออยู่ในแนวบัพที่ 1 แสดงว่า n = 1

$$|6 - 8| = (1 - \frac{1}{2})\lambda$$

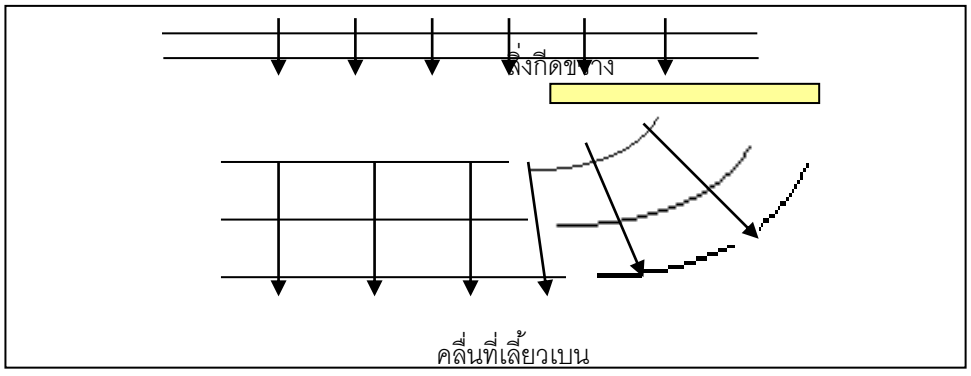
$$\therefore \lambda = 4 \quad \text{cm} \qquad \textbf{ตอบ}$$

ข. จาก $v = f\lambda$

$$v = 10(0.04)$$

$$v = 0.4 \quad \text{m/s} \quad \textbf{ตอบ}$$

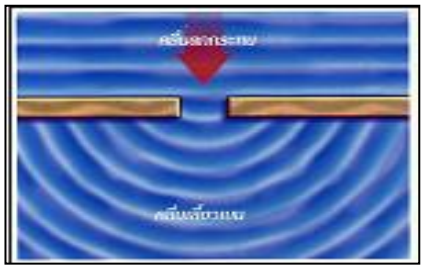
3.4 **การเลี้ยวเบนของคลื่น** (Diffraction)เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปพบสิ่งกีดขวาง คลื่นสามารถแผ่อ้อมผ่านไปด้านหลัง ของสิ่งกีดขวางได้ ลักษณะนี้เรียกว่า **การเลี้ยวเบนของคลื่น** (Diffraction) ซึ่งมีลักษณะ ดังรูป



หลักการเลี้ยวเบนของฮอยเกนส์ (Huygens Principle of Diffraction) กล่าวว่าทุกๆ จุดบนหน้าคลื่นใดๆ อาจถือเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่ซึ่งปล่อยคลื่นเล็กๆออกไปรอบๆโดยมีอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วคลื่นเดิม

การเลี้ยวเบนของคลื่นเมื่อผ่านช่องแคบ 1 ช่อง

1. ความกว้างของช่องแคบ (สลิต) เท่ากับหรือน้อยกว่าความยาวคลื่น การเลี้ยวเบน จะเกิดขึ้นได้ดี คลื่นที่เคลื่อนที่แผ่ออกไปด้านหลังสิ่งกีดขวาง จะมีลักษณะเป็นวงกลมดังรูป



ความยาวคลื่นหรือสั้นกว่าความยาวคลื่น (a $\leq$ λ)

2. ความกว้างของช่องแคบ (สลิต) ยาวกว่าความยาวคลื่น (a $>$ λ) จะทำให้เกิดการแทรกสอดด้านหลังสิ่งกีดขวาง จะเกิดบัพและปฏิบัพทั้งสองข้าง ดังรูป