

บทที่ 11 ปรากฏการณ์คลื่น

11.1 การถ่ายโอนพลังงานของคลื่นกล

คลื่น (wave) คือ สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนตัวกลางเนื่องจากการรบกวนจากภายนอก

องค์ประกอบที่ทำให้เกิดคลื่น

1. มีแหล่งกำเนิดคลื่น
2. มีการสั่นของแหล่งกำเนิดคลื่น
3. มีตัวกลางให้คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน

สำหรับข้อที่ 3. คลื่นบางชนิดไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่น คลื่นแสง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิด

การจำแนกประเภทของคลื่น

1. จำแนกตามลักษณะการสั่น แบ่งได้เป็น

1.1 **คลื่นตามขวาง** คือ คลื่นที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของอนุภาค เช่น คลื่นน้ำ คลื่นเชือก คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น

1.2 **คลื่นตามยาว** คือ คลื่นที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ อยู่ในแนวเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค 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 คลื่นวิทยุ คลื่นแสง เป็นต้น

3. **คลื่นดล** คือ คลื่นที่ส่งออกมาจากแหล่งกำเนิดโดยการรบกวน หนึ่งหรือสองครั้ง ชนิดของคลื่นดลแตกต่างกันไปตามลักษณะของการรบกวน เช่น คลื่นดลวงกลม คลื่นดลเส้นตรง คลื่นดลจะเกิดในระยะเวลาสั้น ๆ

4. **คลื่นต่อเนื่อง** คือ คลื่นที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิดโดยการรบกวนหลาย ๆ ครั้ง อย่างต่อเนื่อง คลื่นต่อเนื่องจะเกิดขึ้นในระยะเวลายาว

11.2 คลื่นผิวน้ำ

เนื่องจากคลื่นโดยทั่วไปเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดโดยอนุภาคของตัวกลางสั่นแบบกลับไปกลับมา ดังนั้นลักษณะของคลื่นชนิดต่าง ๆ จึงเขียนแทนด้วยกราฟของค่า sine หรือ cosine

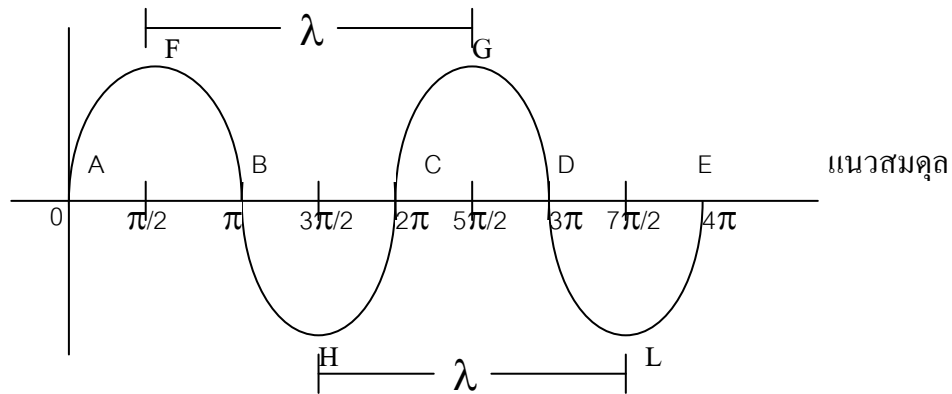
สิ่งที่ควรรอบเกี่ยวกับคลื่น

1. สมการทั่วไปของคลื่น การกระจัด

$$y = A \sin \theta \dots\dots\dots (11.1)$$

$$\theta = \omega t = \frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{2\pi}{T} \dots\dots\dots (11.2)$$

ส่วนประกอบของคลื่น



1. ยอดคลื่น หรือสันคลื่น หมายถึง ส่วนบนสุดของคลื่นแต่ละลูก
2. ท้องคลื่น หมายถึง ส่วนล่างสุดของคลื่นแต่ละลูก
3. ความยาวคลื่น (λ) หมายถึง ความกว้างของคลื่นหนึ่งลูก ซึ่งเป็นระยะห่างของตำแหน่งบนคลื่นที่มีลักษณะเดียวกันที่ติดต่อกัน เช่น ระยะจากสันคลื่นหนึ่งถึงสันคลื่นของลูกถัดไป ระยะจากท้องคลื่นถึงท้องคลื่นของลูกถัดไป
4. การกระจัด หมายถึง ระยะจากตำแหน่งใด ๆ บนแนวคลื่นถึงแนวสมมูล
5. ช่วงความกว้างของคลื่นหรือแอมพลิจูด (A) หมายถึง ระยะจากสันคลื่นหรือระยะจากท้องคลื่นถึงแนวสมมูล หรือ แอมพลิจูด คือ ระยะการกระจัดที่มีค่ามากที่สุด
6. เฟสของคลื่น หมายถึง ค่าของมุมบนแนวสมมูลที่ใช้บอกตำแหน่งของคลื่น เช่น ตำแหน่งของคลื่นที่ F มีเฟสเท่ากับ $\pi/2$ หรือ 90 องศา
7. ตำแหน่งของคลื่นที่มีเฟสเหมือนหรือมีเฟสต่างกัน หมายถึง ตำแหน่งของคลื่นที่มีระยะห่างเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่น จากรูป A, C, E เป็นตำแหน่งของคลื่นที่มีเฟสตรงกัน
8. ตำแหน่งของคลื่นที่มีเฟสตรงกันข้าม หมายถึงตำแหน่งบนคลื่นที่อยู่ห่างกัน $\pi, 3\pi/2, 5\pi/2, \dots\dots$ เรเดียน
9. ความถี่ (f) หมายถึงจำนวนลูกคลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดในหนึ่งหน่วยเวลา หรือจำนวนลูกคลื่นที่ผ่านจุดใด ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือ Hertz
10. คาบของคลื่น หมายถึงเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ หรือเคลื่อนที่เป็นระยะทางหนึ่งความยาวคลื่น ถ้า $T =$ คาบของคลื่น

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

12. อัตราเร็วคลื่นและอัตราเร็วเฟส หมายถึง ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา

อัตราเร็วคลื่น (v) = ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ต่อ เวลา

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

$$\therefore v = \lambda f \dots\dots\dots (11.3)$$

ตัวอย่างที่ 1 เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำกระเพื่อมขึ้นลงจากระดับเดิม 900 รอบต่อวินาที ระยะระหว่างสันคลื่นที่ติดกันวัดได้ 30 cm. จงหาอัตราเร็วของคลื่นที่ผิวน้ำ

ตัวอย่างที่ 2 เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำกระเพื่อมขึ้นลงจากระดับเดิม 800 รอบต่อวินาที ระยะระหว่างสันคลื่นที่ติดกันวัดได้ 20 cm. จงหาอัตราเร็วของคลื่นที่ผิวน้ำ

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

ตัวอย่างที่ 4 คลื่นน้ำเคลื่อนที่เข้ากระทบฝั่งนับได้ 30 ลูกคลื่นทุก ๆ 5 วินาที ถ้าระยะระหว่างสันคลื่นที่ติดกันเท่ากับ 3 เมตร คลื่นน้ำมีความเร็วเท่าไร

ตัวอย่างที่ 5 คลื่นขบวนหนึ่งมีความถี่ 150 Hz มีความเร็ว 300 เมตรต่อวินาที จุดสองจุดบนคลื่นที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา จะอยู่ห่างกันกี่เมตร

ตัวอย่างที่ 6 คลื่นขบวนหนึ่งมีความถี่ 500 Hz มีความเร็ว 600 เมตรต่อวินาที จุดสองจุดบนคลื่นที่มีเฟสต่างกัน 180 องศา จะอยู่ห่างกันกี่เมตร

ความต่างเฟสระหว่างจุด 2 จุด หาได้จากสูตรดังนี้

$$\Delta\theta = \frac{2\pi\Delta x}{\lambda} = \frac{2\pi\Delta t}{T} \dots\dots\dots(11.4)$$

เมื่อ $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ เรเดียน

$\Delta x = x_2 - x_1$ เมตร

ตัวอย่างที่ 7 คลื่นสองคลื่นมีความถี่ 200 และ 240 Hz มีอัตราเร็ว 300 m/s ถ้าต้นกำเนิดคลื่นมีเฟสเดียวกัน ที่ระยะ 2 m จากต้นกำเนิดทั้งสองเฟสจะต่างกันอยู่เท่าไร

ตัวอย่างที่ 8 คลื่นสองคลื่นมีความถี่ 200 และ 240 Hz มีอัตราเร็ว 300 m/s ถ้าต้นกำเนิดคลื่นมีเฟสเดียวกัน ที่ระยะ 2 m จากต้นกำเนิดทั้งสองเฟสจะต่างกันอยู่เท่าไร

สโตรโบสโคป เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งใช้วัดความถี่ของคลื่น มีหลักการว่า ช่วงเวลาที่สโตรโบสโคปหมุนได้ 1 ช่อง เท่ากับช่วงเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ครบ 1 รอบ เราจึงมองเห็นคลื่นหรือวัตถุใด ๆ หยุดนิ่ง จะได้ว่า

$$f_w = n f_s \dots\dots\dots (11.5)$$

เมื่อ f_w = ความถี่คลื่น

f_s = ความถี่สโตรโบสโคป

n = จำนวนช่อง

ตัวอย่าง 9 คลื่นขบวนหนึ่งมีความยาวคลื่นเท่ากับ 10 cm ถ้ามองดูคลื่นนี้โดยใช้สโตรโบสโคปที่มีจำนวนช่อง 8 ช่อง สโตรโบสโคปจะต้องหมุนด้วยคาบเวลาเท่ากับ 5 วินาที จึงจะมองเห็นคลื่นหยุดนิ่ง ความเร็วของคลื่นขบวนนี้มีค่าเท่าใด

ตัวอย่าง 10 คลื่นขบวนหนึ่งมีความยาวคลื่นเท่ากับ 20 cm ถ้ามองดูคลื่นนี้โดยใช้สโตรโบสโคปที่มีจำนวนช่อง 16 ช่อง สโตรโบสโคปจะต้องหมุนด้วยคาบเวลาเท่ากับ 4 วินาที จึงจะมองเห็นคลื่นหยุดนิ่ง ความเร็วของคลื่นขบวนนี้มีค่าเท่าใด

11.3 การซ้อนทับกันของคลื่น (superposition of wave)

การซ้อนทับกันของคลื่นหรือการรวมกันของคลื่น เกิดขึ้นเมื่อตั้งแต่ 2 คลื่นเคลื่อนที่มาพบกัน มี 2 ลักษณะ คือ

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

2. **การรวมกันแบบหักล้าง** เกิดเมื่อคลื่นสองคลื่นที่มีการกระจัดไปทางทิศตรงกันข้าม เช่น สันคลื่นกับท้องคลื่น โดยการกระจัดรวมหาได้จากผลต่างของการกระจัดของคลื่นทั้งสอง ณ ตำแหน่งและเวลานั้น ๆ

11.4 สมบัติของคลื่น

การที่เราจะตัดสินว่าการเคลื่อนที่แบบใดแบบหนึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบคลื่น ต้องพิจารณาจากสมบัติของคลื่น 4 ประการ

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

สมบัติการสะท้อนและการหักเหเป็นสมบัติร่วมของคลื่นและอนุภาคสมบัติการแทรกสอดและการเลี้ยวเบนเป็นสมบัติเฉพาะของคลื่น

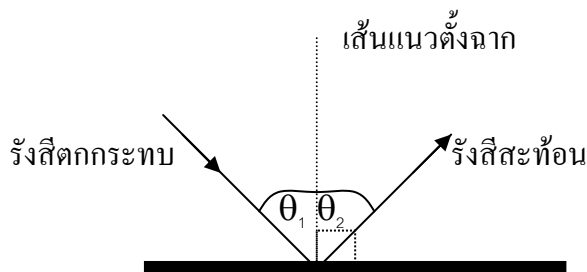
สรุปลักษณะของคลื่นสะท้อน

1. จุดสะท้อนตรึงแน่น คลื่นสะท้อนมีลักษณะตรงข้ามกันคลื่นตกกระทบคือ เข้าเป็นสันคลื่นออกเป็นท้องคลื่น หรือเข้าเป็นท้องคลื่นออกเป็นสันคลื่น ดังนั้นเฟสเปลี่ยน 180 องศา (เฟสตรงข้ามกัน)

2. จุดสะท้อนอิสระ คลื่นสะท้อนมีลักษณะเหมือนคลื่นตกกระทบ คือ เข้าเป็นสันคลื่น ออกเป็นสันคลื่น หรือเข้าเป็นท้องคลื่นออกเป็นท้องคลื่น ดังนั้นเฟสไม่เปลี่ยน (เฟสตรงกัน)

หลักการสะท้อนของคลื่น

รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และแนวตั้งฉาก ต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน



มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน

$$\theta_1 = \theta_2$$

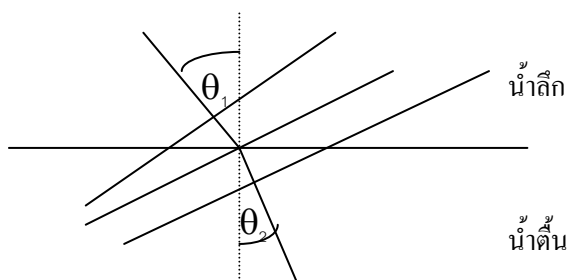
การหักเหของคลื่น

การหักเหของคลื่นเป็นอาการที่คลื่นเคลื่อนที่ เมื่อเคลื่อนผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน

ลักษณะของการหักเห

- เบนออกจากเส้นแนวฉาก ถ้าคลื่นเดินทางจากตัวกลางที่มีความเร็วต่ำสู่ตัวกลางที่มีความเร็วมาก
- เบนเข้าหาเส้นแนวตั้งฉาก ถ้าคลื่นเดินทางจากตัวกลางที่มีความเร็วมากสู่ตัวกลางที่มีความเร็วต่ำ

สมการการหักเหของคลื่น เมื่อเดินทางจากตัวกลางหนึ่ง (เช่นคลื่นในน้ำลึก) เข้าสู่ตัวกลางอีกชนิดหนึ่ง (เช่นคลื่นในน้ำตื้น) โดยมุมตกกระทบมากกว่า 0 องศา จะเกิดการหักเหขึ้น และจะได้สมการหักเหของคลื่นดังนี้



$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = n \dots\dots\dots (11.6)$$

เมื่อ n เป็นดัชนีหักเหของน้ำตื้นเทียบกับน้ำลึกและจะได้ว่า

$$v_1 > v_2$$

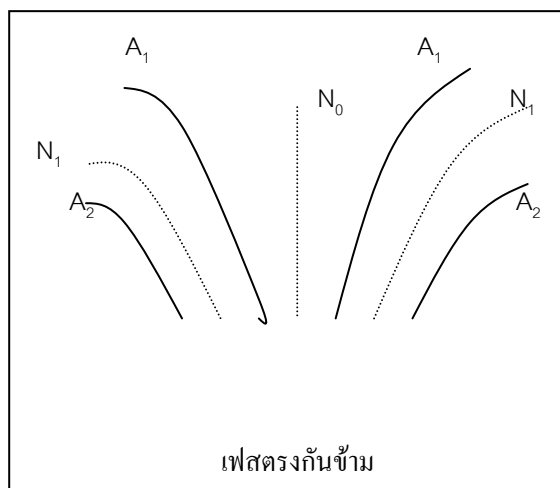
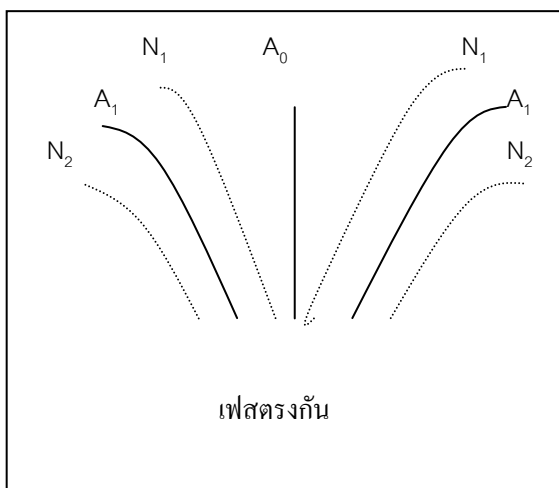
$$\lambda_1 > \lambda_2$$

การแทรกสอดของคลื่น

เมื่อมีคลื่นตั้งแต่ 2 คลื่น เคลื่อนที่มาพบกันจะเกิดการรวมกันแบบเสริม หรือหักล้าง เรียก สมบัติการรวมกันของคลื่นนี้ว่า การแทรกสอด

แหล่งกำเนิดอาพันธ์ (Coherent Source) คือแหล่งกำเนิดคลื่นที่มีความถี่เท่ากัน มีเฟสต่างกัน คงที่ หรือมีเฟสตรงกัน

สรุปสูตรการแทรกสอด



เมื่อเฟสตรงกัน

เสริมกัน (ปฏิบัติ)

$$\begin{aligned} |S_1P - S_2P| &= n\lambda \\ d\sin\theta &= n\lambda \end{aligned}$$

เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots$

หักล้างกัน (บัพ)

$$\begin{aligned} |S_1Q - S_2Q| &= \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \\ d\sin\theta &= \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \end{aligned}$$

เมื่อ $1, 2, 3, \dots$

..... (11.7)

เมื่อเฟสตรงกันข้าม
เสริมกัน (ปฏิบัติ)

$$\begin{aligned} |S_1P - S_2P| &= \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \\ d\sin\theta &= \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \end{aligned} \quad \text{เมื่อ } n = 1, 2, 3, \dots \quad \dots\dots\dots (11.8)$$

หักล้างกัน (บัพ)

$$\begin{aligned} |S_1Q - S_2Q| &= n\lambda \\ d\sin\theta &= n\lambda \end{aligned} \quad \text{เมื่อ } n = 1, 2, 3, \dots \quad \dots\dots\dots (11.9)$$

ตัวอย่างที่ 11 แหล่งกำเนิดอาพันธ์ 2 แหล่งให้เฟสตรงกัน ห่างกัน 6 cm. ปรากฏว่าแนวเสริมกันครั้งแรก เบนออกจากแนวกลาง 30 องศา จงหาความยาวคลื่นจากแหล่งกำเนิดทั้งสอง

ตัวอย่างที่ 12 แหล่งกำเนิดอาพันธ์ 2 แหล่งให้เฟสตรงกัน ห่างกัน 10 cm. ปรากฏว่าแนวเสริมกันครั้งแรก เบนออกจากแนวกลาง 60 องศา จงหาความยาวคลื่นจากแหล่งกำเนิดทั้งสอง

การเลี้ยวเบนของคลื่น

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบกับขอบหรือส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง พบว่ามีคลื่นแผ่ออกจากขอบหรือมุมสิ่งกีดขวางอ้อมไปทางด้านหลังเป็นคลื่นหน้าโค้ง ถ้าเป็นอนุภาคไม่สามารถประพุดิตัวอย่างนี้ได้คือ จะเคลื่อนที่ตรงไปในทิศทางเดิม การที่คลื่นเลี้ยวเบนผ่านสิ่งกีดขวางได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเลี้ยวเบนของคลื่น

ลักษณะการเลี้ยวเบนของคลื่น

1. เมื่อคลื่นหน้าตรงหรือคลื่นวงกลม ผ่านช่องแคบหรือมีความกว้างน้อยกว่าความยาวคลื่นจะมีคลื่นแผ่ออกมาจากช่องแคบมีหน้าคลื่นเป็นรูปวงกลม
2. เมื่อคลื่นผ่านช่องที่มีความกว้างมากกว่าความยาวคลื่น คลื่นที่เบนออกจะมีหน้าคลื่นตรง ณ บริเวณส่วนกลาง แต่ตรงขอบทั้งสองข้างจะมีหน้าคลื่นโค้งเบนไปด้านหลังสิ่งกีดขวาง
3. คลื่นที่มีความถี่ต่ำจะมีการเลี้ยวเบนที่ขอบของสิ่งกีดขวางได้มากกว่าคลื่นที่มีความถี่สูง
4. เมื่อคลื่นผ่านช่องแคบที่โตกว่าความยาวคลื่น คลื่นที่ผ่านไปด้านหลังจะมีแนวบัพขึ้นแต่ช่องที่เล็กกว่าความยาวจะไม่มีแนวบัพ
5. หลักรของฮอยเกนส์กล่าวว่า “แต่ละจุดบนหน้าคลื่น อาจถือได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดของคลื่นย่อยลูกใหม่ โดยมีหน้าคลื่นเป็นรูปวงกลมเคลื่อนที่ไปตามแนวของคลื่นเดิม

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

ลักษณะของคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้น

1. จุดบัพที่อยู่ติดกันจะห่างกันเท่ากับ $\lambda/2$ เสมอ และจุดปฏิบัพที่อยู่ติดกันจะห่างกันเท่ากับ $\lambda/2$ เสมอ
2. จุดบัพและจุดปฏิบัพที่ติดกันจะห่างกันเท่ากับ $\lambda/4$ เสมอ และคาบของคลื่นนิ่งจะเท่ากับคาบของคลื่นย่อยทั้งสอง
3. แอมพลิจูดสูงสุดของจุดปฏิบัพจะเป็นสองเท่าของคลื่นย่อยทั้งสอง

ตัวอย่างที่ 13 ลวดเส้นหนึ่งยาว 40 cm ปลายทั้งคู่ถูกขึงตึงเมื่อตีลวดตรงกลางทำให้เส้นลวดสั่นขึ้นลงด้วยความถี่ 20 Hz อัตราเร็วของคลื่นในเส้นลวดนี้มีค่าเท่าใด

ตัวอย่างที่ 14 ลวดเส้นหนึ่งยาว 90 cm ปลายทั้งคู่ถูกขึงตึงเมื่อตีลวดตรงกลางทำให้เส้นลวดสั่นขึ้นลงด้วยความถี่ 30 Hz อัตราเร็วของคลื่นในเส้นลวดนี้มีค่าเท่าใด

ตัวอย่างที่ 15 คลื่นนิ่งมีระยะห่างของบัพที่ติดกัน 10 cm ถ้าอัตราเร็วของคลื่น 160 cm/s ความถี่ของแหล่งกำเนิดคลื่นนี้เป็นเท่าใด

ตัวอย่างที่ 16 คลื่นนิ่งมีระยะห่างของปฏิบัพที่ติดกัน 4 cm ถ้าอัตราเร็วของคลื่น 200 cm/s ความถี่ของแหล่งกำเนิดคลื่นนี้เป็นเท่าใด

ตัวอย่างที่ 17 คลื่นนิ่งมีระยะห่างของปฏิบัพที่ติดกัน 5 cm ถ้าอัตราเร็วของคลื่น 300 cm/s ความถี่ของแหล่งกำเนิดคลื่นนี้เป็นเท่าใด

ตัวอย่างที่ 18 คลื่นนิ่งมีระยะห่างของปฏิบัพที่ติดกัน 0.1 เมตร ถ้าอัตราเร็วของคลื่น 5 m/s ความถี่ของแหล่งกำเนิดคลื่นนี้เป็นเท่าใด