



ไฮไลต์เล่มนี้
สนุกเลย!



ฉบับ

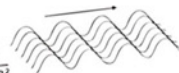
ฟิสิกส์

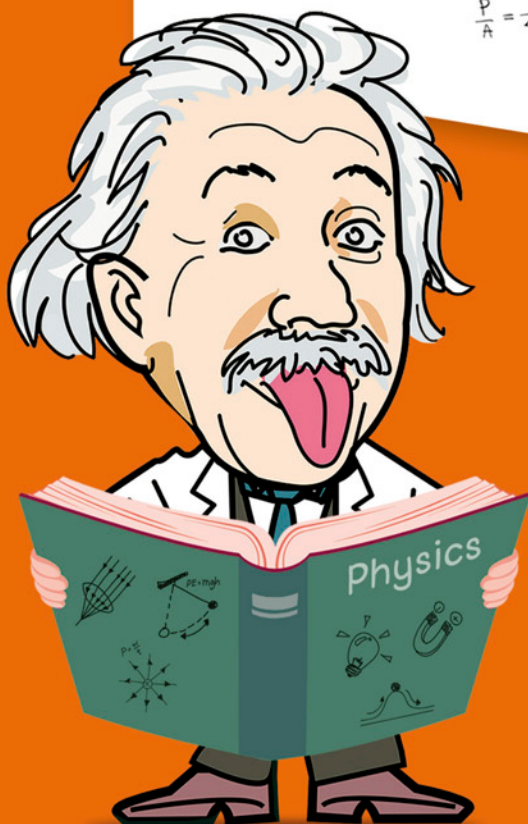


ม.ปลาย



เล่ม 2

$$\frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi R^2}$$




คลื่นและไฟฟ้า,
คลื่นกล, คลื่นเสียง,
ทัศนอุปกรณ์, แสง,
ไฟฟ้าสถิต, ไฟฟ้ากระแส,
แม่เหล็กไฟฟ้า

- คู่มือเตรียมสอบในชั้นเรียน
และสอบแข่งขันเข้ามหาวิทยาลัย
ทั่วประเทศ
- ทบทวนความรู้ในการสอบแข่งขัน
ในทุกๆ สนามสอบ

อติพงษ์ อามาตย์สมบัติ

ลัทธิพิลึกส์ ม.ปลาย เล่ม 2

โดย อธิพงษ์ อามาตย์สมบัติ



สำนักพิมพ์ ฟุคุโร

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย โดย อธิพงษ์ อามาตย์สมบัติ © พ.ศ. 2563

ห้ามคัดลอก ลอกเลียน ดัดแปลง ทำซ้ำ จัดพิมพ์ หรือกระทำการอื่นใด โดยวิธีการใดๆ ในรูปแบบใดๆ
ไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้ เพื่อเผยแพร่ในสื่อทุกประเภท หรือเพื่อวัตถุประสงค์ใดๆ
นอกจากได้รับอนุญาต

4 1 0 - 0 4 4 - 4 9 6

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

อธิพงษ์ อามาตย์สมบัติ.

ลัทธิพิลึกส์ ม.ปลาย เล่ม 2.-- กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2563.

496 หน้า.

1. พิลึกส์ -- ข้อสอบและเฉลย. 2. พิลึกส์ -- การศึกษาและการสอน (มัธยมศึกษา).

I. ชื่อเรื่อง.

530.076

Barcode (e-book) 9786160840038

ผลิตและจัดจำหน่ายโดย



บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED

เลขที่ 1858/87-90 ถนนเทพรัตน แขวงบางนาใต้ เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260 โทร. 0-2826-8000

หากมีคำแนะนำหรือติชม สามารถติดต่อได้ที่ comment@se-ed.com

ค้นหาหนังสือที่ต้องการ (รวม e-book และสินค้าที่น่าสนใจ) ได้เร็ว ทันใจ

๑ บน PC และ Notebook ที่ www.se-ed.com

๑ สำหรับ Smartphone และ Tablet ทุกยี่ห้อ ที่ <http://m.se-ed.com>

คำนำ

หนังสือเล่มนี้เป็นหนังสือที่บรรยายเนื้อหาฟิสิกส์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในส่วนของคลื่นและไฟฟ้าไว้อย่างละเอียดตามหลักสูตรของกระทรวงศึกษาธิการ ชื่อหนังสือ **“ลัคนฟิสิกส์ ม.ปลาย เล่ม 2”** ใช้สำหรับการเตรียมตัวสอบในชั้นเรียน หรือการเตรียมตัวในการสอบแข่งขันเข้ามหาวิทยาลัยทั่วประเทศ และรวมทั้งใช้ทบทวนความรู้ในการสอบแข่งขันใน ทุก ๆ สนามสอบ โดยผู้เขียนได้อธิบายเนื้อหา ในส่วนของคลื่นและไฟฟ้าไว้อย่างครอบคลุมและครบถ้วนภายในเล่มเดียว พร้อมพิสูจน์และบรรยายถึงที่มาของสมการต่าง ๆ ไว้อย่างละเอียดและเข้าใจง่าย รวมทั้งมีโจทย์ตัวอย่างจำนวนมาก แทรกในแต่ละส่วนของเนื้อหา โดยโจทย์ตัวอย่างจะเรียงเรียงจากระดับพื้นฐานจนถึงระดับโจทย์แข่งขันเข้ามหาวิทยาลัย เพื่อผู้อ่านจะได้ทำความเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น และเป็นการฝึกทักษะในการแก้โจทย์ปัญหา สำหรับการเตรียมตัวในการสอบด้วยความมั่นใจ

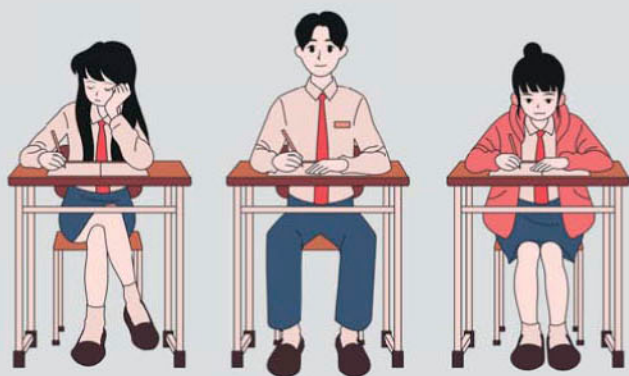
ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผู้อ่านจะได้รับความรู้ความเข้าใจ ในเนื้อหาของฟิสิกส์จากหนังสือเล่มนี้ เพื่อประโยชน์ทางการศึกษาที่สามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานเพื่อต่อยอดความรู้ในคณะหรือสาขาวิชาต่าง ๆ สำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา หรือระดับที่สูงขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำงานในชีวิตประจำวัน รวมถึงการดำเนินชีวิตภายใต้ความเข้าใจของกฎเกณฑ์ทางธรรมชาติที่มากยิ่งขึ้น เพราะฟิสิกส์คือธรรมชาติ และต้องเข้าใจว่า “กฎที่ธรรมชาติสร้างขึ้นย่อมอยู่เหนือกฎที่มนุษย์สร้างขึ้นเสมอ”

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครูบาอาจารย์ และกัลยาณมิตรทุกท่านที่มีส่วนร่วมส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้เขียนได้ถ่ายทอดสิ่งที่รักและหลงใหล ออกมาเป็นหนังสือเล่มนี้โดยผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผู้ที่ได้อ่านหนังสือเล่มนี้ทุกท่านจะได้ร่วมสัมผัสกับความน่าอัศจรรย์และความงดงามของธรรมชาติ และหลงรักกับความงามทางวิชาการของฟิสิกส์ ดังเช่นผู้เขียน

“ไม่มีสิ่งใดอยู่เหนือธรรมชาติได้ แต่เป็นเพียงเพราะเรายังไม่สามารถเข้าใจธรรมชาติของสิ่งนั้นได้ นั่นเอง”

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

อธิพงษ์ อามาตย์สมบัติ



สารบัญ

๙	คลื่นกล	๙
๙.1	คลื่นกลและการถ่ายโอนพลังงาน	10
๙.2	คลื่นฮาร์มอนิกและองค์ประกอบพื้นฐานของคลื่น	11
๙.3	การซ้อนทับของคลื่น	14
๙.4	สมบัติของคลื่น	2๙
๙.5	คลื่นนิ่ง	55
10	คลื่นเสียง	65
10.1	สมบัติของคลื่นเสียง	66
10.2	การเคลื่อนที่ของเสียงผ่านตัวกลาง	67
10.3	อัตราเร็วเสียง	68
10.4	ความเข้มและระดับความเข้มเสียง	84
10.5	การได้ยินและระดับสูงต่ำของเสียง	105
10.6	การเกิดบีตของเสียง	123
10.7	ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทก	131
11	แสงและทัศนอุปกรณ์	143
11.1	พฤติกรรมและสมบัติของแสง	144
11.2	การสะท้อนของแสง	151
11.3	การหักเหของแสง	171
11.4	ความสว่าง	211
11.5	ตาและการมองเห็นสี	21๙

12 แสงเชิงฟิสิกส์.....231

12.1 การแทรกสอดของแสง..... 232

12.2 การเลี้ยวเบนของแสง..... 234

12.3 เกรตติง..... 248

13 ไฟฟ้าสถิต259

13.1 ประจุไฟฟ้า..... 260

13.2 ประจุไฟฟ้าในอะตอมและกฎอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า..... 261

13.3 การเหนี่ยวนำไฟฟ้า..... 262

13.4 กฎของคูลอมบ์และแรงระหว่างประจุ..... 264

13.5 สนามไฟฟ้า..... 281

13.6 ศักย์ไฟฟ้า..... 294

13.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอและความต่างศักย์..... 298

13.8 การถ่ายโอนประจุระหว่างตัวนำทรงกลม..... 299

13.9 ตัวเก็บประจุและความจุ..... 325

14 ไฟฟ้ากระแสตรง..... 349

14.1 การนำไฟฟ้า..... 350

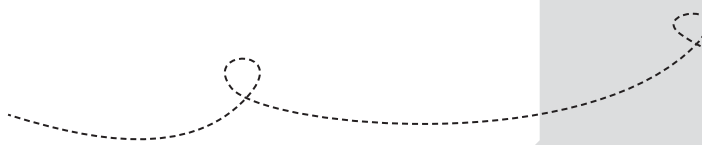
14.2 กระแสไฟฟ้าในตัวนำ..... 351

14.3 กฎของโอห์ม ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์..... 354

14.4 พลังงานในวงจรไฟฟ้า..... 371

14.5 การต่อตัวต้านทานและการต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้า..... 373

14.6 เครื่องมือวัดไฟฟ้า..... 416



15	แม่เหล็กไฟฟ้า.....	425
15.1	แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก.....	426
15.2	อนุภาคที่มีประจุที่เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก.....	434
15.3	กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก	435
15.4	แรงบนลวดตัวนำเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน.....	437
15.5	แรงกระทำต่อขดลวดเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กและมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน...	464
15.6	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ.....	471
15.7	หม้อแปลงไฟฟ้า	476



9



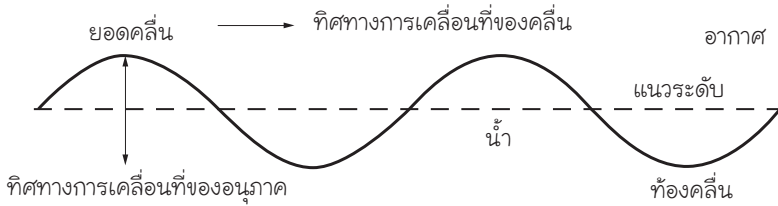


ในชีวิตประจำวันเราคงเคยสัมผัสและคุ้นเคยกับคลื่นอยู่เสมอ ไม่ว่าจะเป็นคลื่นน้ำ คลื่นวิทยุ หรือคลื่นโทรศัพท์ รวมทั้งคลื่นแสง ซึ่งสิ่งเหล่านี้ ล้วนแต่มีประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของเราทั้งนั้น โดยคลื่น หมายถึง “การรบกวน (disturbance) และการรบกวนนั้นจะเคลื่อนที่หรือแผ่ (propagate) ออกจากตำแหน่งหนึ่งไปสู่อีกตำแหน่งหนึ่งที่อยู่ห่างออกไปเสมอเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งการเคลื่อนที่ของคลื่นอาจจะอาศัยตัวกลางหรือไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่หรือแผ่ออกไปก็ได้” เช่น เมื่อรบกวนโมเลกุลของน้ำจะเกิดคลื่นน้ำแผ่ออกไปเรื่อย ๆ เรียกว่า คลื่นน้ำ ซึ่งตัวกลางคือโมเลกุลของน้ำ หรือคลื่นเสียงเกิดจากการรบกวนโมเลกุลของอากาศทำให้เกิดคลื่นเสียงแผ่ออกไปเรื่อย ๆ โดยตัวกลางคือโมเลกุลของอากาศ ส่วนคลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ คลื่นแสง คลื่นเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง ก็สามารถเคลื่อนที่หรือแผ่ออกไปได้ ดังนั้นจึงจำแนกคลื่นออกเป็น 2 ประเภท คือ **คลื่นกล (mechanical waves)** คือ คลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่น คลื่นน้ำ คลื่นในเส้นเชือก คลื่นเสียง คลื่นแผ่นดินไหว และคลื่นอีกประเภทหนึ่งคือ **คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves)** คือ คลื่นที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่น คลื่นแสง คลื่นวิทยุ คลื่นโทรทัศน์ โดยเนื้อหาในบทเรียนนี้จะศึกษาเฉพาะ “คลื่นกล” เท่านั้น

9.1 คลื่นกลและการถ่ายโอนพลังงาน

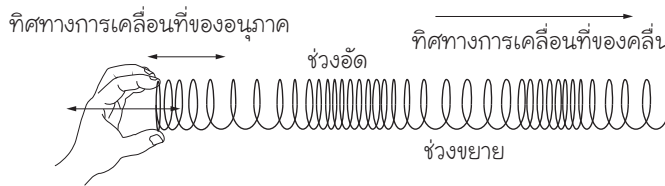
จากที่ได้กล่าวไว้แล้ว คลื่นกล เป็นคลื่นที่อาศัยพลังงานในการเคลื่อนที่ หรือจะเรียกว่า **คลื่นยืดหยุ่น (elastic waves)** โดยคลื่นกลจะเคลื่อนที่ได้โดยอาศัยสมบัติความยืดหยุ่นของตัวกลางนั้น ๆ ซึ่งคลื่นกลเกิดจากการรบกวนโมเลกุลซึ่งเป็นตัวกลางของคลื่น ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่น และโมเลกุลจะถ่ายโอนพลังงานจากโมเลกุลหนึ่งไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่งที่อยู่ใกล้กันต่อไปเรื่อย ๆ ทำให้เกิดคลื่นแผ่ออกไป โมเลกุลหรือตัวกลางนั้นจะสั่นกลับไปกลับมา ณ ตำแหน่งหนึ่ง ๆ เท่านั้น ไม่ได้เคลื่อนที่ไปพร้อมกับคลื่น จึงถือได้ว่า โมเลกุลนั้น มีการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก (SHM) และการเคลื่อนที่ของคลื่นอาจจะเรียกว่า **การแผ่ของโมเมนตัมและพลังงาน** สำหรับการสั่นของอนุภาคอาจจะมียุรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยจะจำแนกการสั่นของตัวกลางกับทิศทางของการแผ่ของคลื่นออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. **คลื่นตามขวาง (transverse waves)** คือ คลื่นที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุลหรือตัวกลางอยู่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นที่เคลื่อนที่แผ่ออกไป เช่น คลื่นในเส้นเชือก คลื่นผิวน้ำ แสดงดังรูปที่ 9.1



รูปที่ 9.1 ลักษณะของคลื่นตามขวาง

2. **คลื่นตามยาว (longitudinal waves)** คือ คลื่นที่เกิดจากการสั่นของตัวกลางอยู่ในแนวเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นที่แผ่ออกไป เช่น การดิ่งแล้วอัดสปริงในแนวของความยาวสปริง หรือการสั่นตัวกลางของคลื่นเสียง แสดงดังรูปที่ 9.2

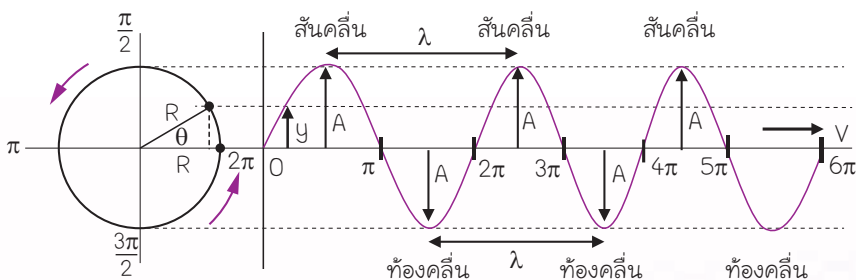


รูปที่ 9.2 ลักษณะของคลื่นตามยาว

นอกจากนี้ยังมีคลื่นอีกประเภท เรียกว่า **คลื่นสสาร (matter wave)** ในกรณีของอนุภาคที่เป็นอิเล็กตรอน โปรตอน โดยอนุภาคเหล่านี้สามารถแสดงสมบัติเป็นคลื่นได้เช่นกัน

9.2 คลื่นฮาร์มอนิกและองค์ประกอบพื้นฐานของคลื่น

เมื่อตัวกลางของคลื่นมีการเคลื่อนที่แบบสั่นกลับไปกลับมา หรือแบบซิมเปิลฮาร์มอนิก (SHM) ดังนั้น จึงมีสมการของการเคลื่อนที่แบบรูปไซน์ (sinusoidal wave) หรือเรียกว่า คลื่นฮาร์มอนิก (harmonic wave) ดังรูปที่ 9.3



รูปที่ 9.3 ลักษณะของการเคลื่อนที่แบบรูปไซน์



เมื่อพิจารณาอนุภาคเคลื่อนที่กลับไปกลับมาแบบซิมเปิลฮาร์โมนิกและเป็นวงกลม รัศมี R ขณะที่อนุภาคเคลื่อนที่ทำมุม θ กับตำแหน่งเริ่มต้น หรือเรียกว่า มุมเฟส จะสามารถหาการกระจัด (displacement) ตามแนวตั้ง y ได้ความสัมพันธ์เป็น

$$y = R \sin \theta \quad \dots\dots\dots (9.1)$$

จากการเคลื่อนที่แบบวงกลม เมื่อ $\theta = \omega t$ จะได้ความสัมพันธ์ของการกระจัดกับเวลา คือ

$$y = A \sin(\omega t) \quad \dots\dots\dots (9.2)$$

เมื่อ t คือ เวลา (s), ω คือ อัตราเร็วเชิงมุม (rad/s) และ A คือ การกระจัดสูงสุด เรียกว่า แอมพลิจูด (amplitude) (m) เมื่ออนุภาคหมุนต่อเนื่องไปเรื่อยๆ สามารถแสดงเป็นรูปคลื่นไซน์ ดังรูปที่ 9.3 จากรูปคลื่น จะเรียกตำแหน่งที่มีการกระจัดมากที่สุดในทิศขึ้นว่า **สันคลื่น (crest)** และตำแหน่งที่มีการกระจัดมากที่สุดในทิศลงว่า **ท้องคลื่น (trough)** โดยระยะทางระหว่างท้องคลื่นที่อยู่ติดกัน และสันคลื่นที่อยู่ติดกัน เป็นความยาวที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ หรือ 1 ลูกคลื่น จะเรียกว่า **ความยาวคลื่น (wavelength)** แทนด้วย λ อ่านว่า แลมดา มีหน่วยเป็นเมตร (m) ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า ความยาวคลื่น คือ การที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ครบ 1 รอบนั่นเอง ซึ่งมีระยะห่างระหว่างจุดสองจุดบนคลื่น เป็น 360 องศา หรือ 2π เรเดียน (rad) เมื่อพิจารณาเวลาที่อนุภาคสั่นขึ้นลงได้ครบ 1 รอบ หรือครบ 1 ลูกคลื่น จะเรียกเวลานี้ว่า **คาบ (period)** แทนด้วย T มีหน่วยเป็น วินาที (s) และเมื่อพิจารณาจำนวนลูกคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งใดๆ ในหน่วยเวลา เรียกว่า **ความถี่ (frequency)** แทนด้วย f มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์ (Hz) ดังนั้น เมื่ออนุภาคบนคลื่นเคลื่อนที่ขึ้นลงครบ 1 รอบ ภายใน 1 วินาที จะเขียนความสัมพันธ์ได้

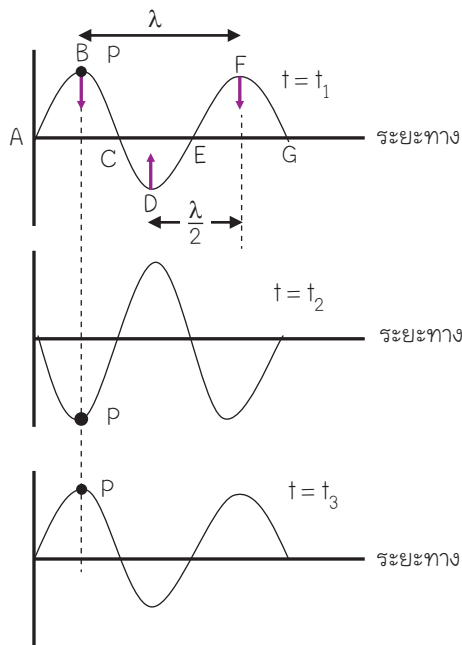
$$T = \frac{1}{f} \quad \text{หรือ} \quad f = \frac{1}{T} \quad \dots\dots\dots (9.3)$$

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่แผ่ออกไปเรื่อยๆ ระยะทางที่ อนุภาคบนคลื่นที่ตำแหน่งใดๆ เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า **อัตราเร็วคลื่น (wave speed)** แทนด้วย v มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s) คลื่นเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ ในเวลาที่เท่ากัน คลื่นจะมีอัตราเร็วคงที่ ดังนั้น จะได้ $v = S/t$ เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ เวลา จะเรียกว่า คาบ ($t = T$) และระยะทางจะเป็นความยาวคลื่น ($S = \lambda$) ดังนั้น ความเร็วคลื่น เขียนความสัมพันธ์ได้

$$v = \frac{\lambda}{T} \text{ หรือ } v = f\lambda$$

.....(9.4)

เมื่ออนุภาคบนคลื่นเคลื่อนที่ขึ้นลงโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน แอมพลิจูดของคลื่นนั้นจะคงที่ เมื่อเวลาผ่านไปอนุภาคจะอยู่ที่ตำแหน่งใด ตำแหน่งหนึ่งบนคลื่น การบอกตำแหน่งที่อยู่ของอนุภาคนั้น เรียกว่า อยู่ที่ตำแหน่ง **เฟส (phase)** ดังนั้น เฟสคือการบอกตำแหน่งบนคลื่นนั่นเอง เมื่อมีการเปรียบเทียบเฟสของตำแหน่งเดียวกันเมื่อเวลาต่างกัน จะเรียกว่า **ความต่างเฟส (phase difference)** เช่น ตำแหน่ง P ที่เวลา $t = t_1$ และเวลา $t = t_2$ มีความต่างเฟส 180 องศา หรือ π rad และที่เวลา $t = t_1$ และเวลา $t = t_3$ มีความต่างเฟส 360 องศา หรือ 2π rad หรือมีความต่างเฟส 0 องศา แสดงดังรูปที่ 9.4



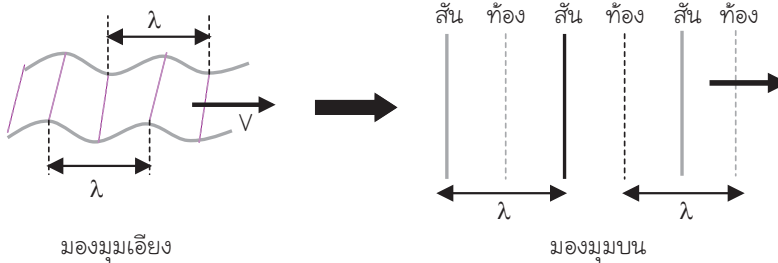
รูปที่ 9.4 การกระจัดและระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้

สำหรับการบอกตำแหน่ง เฟสของอนุภาคสองตำแหน่งบนคลื่น เมื่ออนุภาคทั้งสองมีการกระจัดเท่ากันและมีทิศทางเดียวกัน จุดทั้งสองนี้จะเรียกว่า **เฟสตรงกัน (in phase)** เช่น ตำแหน่ง B และ F มีเฟสตรงกัน หรือ ตำแหน่ง A และ E มีเฟสตรงกัน และเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ตำแหน่งทั้งสองยังคงมีเฟสตรงกัน เพราะว่าการกระจัดเท่ากันและมีทิศทางเดียวกัน



เช่นเดิม ซึ่งเมื่ออนุภาคมีเฟสตรงกันทั้งสองจะอยู่ห่างกัน 1 ความยาวคลื่นพอดี ซึ่งจะห่างกันทุก ๆ 2π , 4π , 6π และสำหรับอนุภาคที่อยู่ตำแหน่งที่มีการกระจัดเท่ากันแต่ทิศทางตรงข้ามกัน จุดทั้งสองนี้จะเรียกว่า **เฟสตรงข้ามกัน (out of phase)** เช่น ตำแหน่ง B และ D มีเฟสตรงข้ามกัน หรือ ตำแหน่ง E และ F มีเฟสตรงกัน เมื่ออนุภาคมีเฟสตรงข้ามกันทั้งสองจะอยู่ห่างกันครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นพอดี ซึ่งจะห่างกันทุก ๆ π , 3π , 5π แสดงดังรูปที่ 9.4

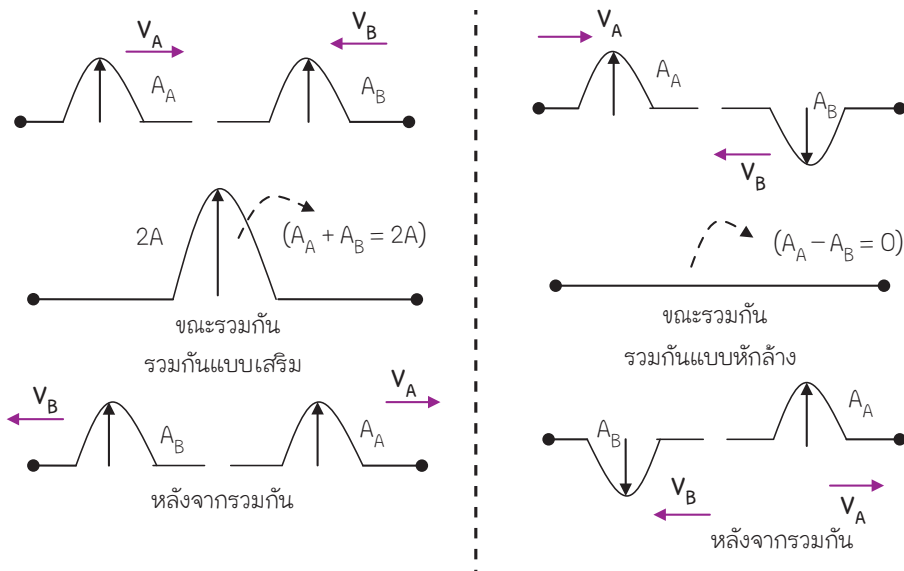
เมื่อคลื่นกลเกิดจากการรบกวนของตัวกลาง ถ้ารบกวนตัวกลางเพียงครั้งเดียวคลื่นที่ได้จะเรียกว่า **คลื่นดล (pulse wave)** แต่เมื่อรบกวนตัวกลางต่อเนื่องเป็นจังหวะจะเกิดคลื่นเคลื่อนที่ออกไปตลอดเวลา เรียกว่า **คลื่นต่อเนื่อง (continuous wave)** โดยการสั่นของแหล่งกำเนิดหรือตัวกลางเท่ากับความถี่ของคลื่น เมื่อคลื่นต่อเนื่องแผ่กระจายออกจากแหล่งกำเนิดคลื่น แนวสันคลื่นหรือท้องคลื่นที่มีเฟสตรงกัน จะเรียกว่า **หน้าคลื่น (wave front)** คือ เส้นที่ลากผ่านแนวของสันคลื่นหรือแนวของท้องคลื่น ดังรูปที่ 9.5 โดยหน้าคลื่นจะมีทิศตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น และหน้าคลื่นที่อยู่ติดกันคือความยาวคลื่น



รูปที่ 9.5 หน้าคลื่น

9.3 การซ้อนทับของคลื่น

เมื่อคลื่นดล 2 คลื่นเคลื่อนที่มาพบกัน คลื่นดลทั้งสองจะเกิดการรวมกัน เรียกว่า **การซ้อนทับ (superposition)** โดย “เมื่อคลื่นตั้งแต่สองคลื่นมาพบกันจะทำให้เกิดการรวมกันของคลื่น ทำให้การกระจัดของคลื่นรวมมีค่าเท่ากับผลบวกของการกระจัดของคลื่นแต่ละคลื่นที่พบกัน หลังจากคลื่นเคลื่อนที่ผ่านไปแล้ว คลื่นแต่ละคลื่นจะมีรูปร่างและทิศทางการเคลื่อนที่ทางเดิม” เรียกว่า **หลักการซ้อนทับ (principle of superposition)** ดังรูปที่ 9.6



รูปที่ 9.6 การซ้อนทับของคลื่น



ตัวอย่าง

Ex 9.1

เมื่อเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำ ทำให้ผิวกระเพื่อมขึ้นลงจากระดับเดิม 600 รอบในเวลา 1 นาที ถ้าระยะห่าง ระหว่างสันคลื่นที่อยู่ติดกันวัดได้ เท่ากับ 30 เซนติเมตร จง คำนวณหาอัตราเร็วของคลื่นผิวน้ำ

วิธีทำ เมื่อเวลา 1 นาที หรือ 60 วินาที คลื่นกระเพื่อม 600 รอบ

ดังนั้น เมื่อ 1 วินาที จะได้คลื่น $\frac{600}{60} = 10$ รอบ

จะได้ความถี่ คือ 10 รอบ/วินาที หรือ 10 Hz

เมื่อ สันคลื่นติดกันห่างกัน 30 cm ดังนั้น $\lambda = 30$ cm

จาก $v = f\lambda$

$$v = 10 \times 30 = 300 \text{ cm/s}$$

ตอบ คลื่นมีอัตราเร็ว 300 เซนติเมตรต่อวินาที

**Ex 9.2**

ในการทดลองเรื่องการเคลื่อนที่ของคลื่น โดยใช้ถาดน้ำกับตัวกำเนิดคลื่นซึ่งเป็นมอเตอร์ที่หมุน 4 รอบ/วินาที ถ้าคลื่นบนผิวน้ำเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 12 เซนติเมตร/วินาที จงหาความยาวคลื่นของน้ำที่เกิดขึ้น

วิธีทำ เมื่อมอเตอร์คือ ตัวกำเนิดคลื่น มีความถี่ 4 รอบ/วินาที หรือ 4 Hz และคลื่นมีความเร็ว 12 cm/s

$$\text{จาก} \quad v = f\lambda$$

$$\lambda = \frac{12}{4}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad 12 = 4\lambda$$

$$\lambda = 3 \text{ cm}$$

ตอบ ความยาวคลื่นมีค่า 3 เซนติเมตร

Ex 9.3

คลื่นน้ำเคลื่อนที่ผ่านจุดจุดหนึ่งไป 30 ลูกคลื่นในเวลา 1 นาที ถ้าคลื่นนี้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 2 เมตร/วินาที จงหาระยะระหว่างสันคลื่นและท้องคลื่นที่อยู่ติดกัน

วิธีทำ เมื่อเวลา 1 นาที หรือ 60 วินาที คลื่นเคลื่อนที่ได้ 30 ลูก

$$\text{ดังนั้น เมื่อ 1 วินาที จะได้คลื่น } \frac{30}{60} = 0.5 \text{ ลูก}$$

จะได้ความถี่ คือ 0.5 ลูก/วินาที หรือ 0.5 Hz

$$\text{จาก} \quad v = f\lambda \quad (\text{เมื่อความเร็ว } v = 2 \text{ m/s})$$

$$\text{จะได้} \quad 2 = 0.5\lambda$$

$$\lambda = 4 \text{ m}$$

$$\text{ดังนั้น สันคลื่นและท้องคลื่นที่อยู่ติดกันคือ } \frac{\lambda}{2} \text{ จะได้ } \frac{4}{2} = 2 \text{ m}$$

ตอบ สันคลื่นและท้องคลื่นที่อยู่ติดกันห่างกัน 2 เมตร



Ex 9.4

แหล่งกำเนิดคลื่น 10 รอบ ในเวลา 5 วินาที และคลื่นมีความเร็ว 4 เมตรต่อวินาที ถ้าขณะเวลาหนึ่งแหล่งกำเนิดคลื่นสั้นโดยมีการกระจัดมากที่สุด (แอมพลิจูด) อยากทราบว่าขณะนั้น ณ จุดซึ่งอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่น 2.5 เมตร อนุภาคของตัวกลางจะมีการเคลื่อนที่อย่างไร

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

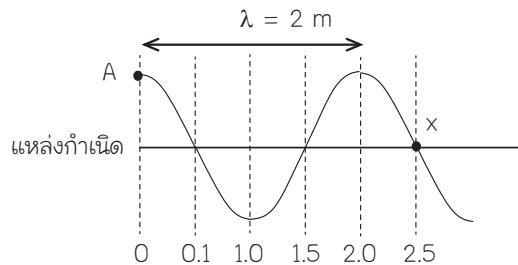
วิธีทำ

จาก $f = 10 \text{ รอบ}/5 \text{ วินาที}$

จะได้ $f = \frac{10}{5} = 2 \text{ Hz}$

จาก $v = f\lambda$

หรือ $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{4}{2} = 2 \text{ m}$



ตอบ การกระจัดเป็นศูนย์

Ex 9.5

คลื่นขบวนหนึ่งมีความถี่ 9 เฮิรตซ์ และมีระยะห่างสองจุดที่มีเฟสต่างกัน 6π เรเดียน เป็น 18 เมตร คลื่นขบวนนี้มีอัตราเร็วกี่เมตรต่อวินาที

วิธีทำ ระยะห่างสองจุดที่มีเฟสต่างกัน $2\pi \text{ rad}$ คือ 1 ลูกคลื่น หรือ λ

จากโจทย์

จุดสองจุดเฟสต่าง 6π เป็น 18 m

จุดสองจุดเฟสต่าง 2π เป็น $\frac{18 \times 2\pi}{6\pi}$

หรือ $\lambda = 6 \text{ m}$

จาก $v = f\lambda$

$$v = 9(6)$$

ดังนั้น $v = 54 \text{ m/s}$

ตอบ คลื่นขบวนนี้มีอัตราเร็ว 54 เมตร/วินาที

**Ex 9.6**

คลื่นทะเลลูกหนึ่งมีแอมพลิจูดเท่ากับ 4 เมตร มีระยะห่างระหว่างสันคลื่นเท่ากับ 150 เมตร ชายคนหนึ่งจับเวลาที่สันคลื่นนี้จมหายลงไปในน้ำทะเลแล้วโผล่ขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง ใช้เวลา 5 วินาที ในขณะที่เกิดคลื่น คลื่นจะเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของน้ำ ทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่เป็นวงกลมมีรัศมีเท่ากับแอมพลิจูดของคลื่น จงหาอัตราเร็วของโมเลกุลของน้ำจะเป็นกี่เท่าของอัตราเร็วของคลื่น

วิธีทำ เมื่อรู้แอมพลิจูด $A = 4 \text{ m}$, $\lambda = 150 \text{ m}$, $T = 5 \text{ วินาที}$ และรัศมีเท่ากับแอมพลิจูด ($R = A$)

$$\text{จาก} \quad v_{\text{โมเลกุลน้ำ}} = \frac{S}{t} \quad \dots\dots 1$$

$$v_{\text{คลื่น}} = \frac{\lambda}{T} \quad \dots\dots 2$$

$$\text{เมื่อ} \quad \frac{1}{2} \quad \text{จะได้} \quad \frac{v_{\text{โมเลกุลน้ำ}}}{v_{\text{คลื่น}}} = \frac{2\pi R}{T} \times \frac{T}{\lambda}$$

$$= \frac{2\pi R}{\lambda}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{v_{\text{โมเลกุลน้ำ}}}{v_{\text{คลื่น}}} = \frac{2 \times \frac{22}{7} \times 4}{150} = \frac{1}{6}$$

ตอบ อัตราเร็วของโมเลกุลน้ำเป็น $\frac{1}{6}$ เท่าของอัตราเร็วของคลื่น

Ex 9.7

จากการทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น ถ้าปรับกระแสไฟฟ้าที่ผ่านมอเตอร์ ทำให้ปั๊มกำหนดคลื่นสั้นด้วยความถี่ลดลงเป็น 0.5 เท่าของค่าเดิม ผลที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามข้อใด

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

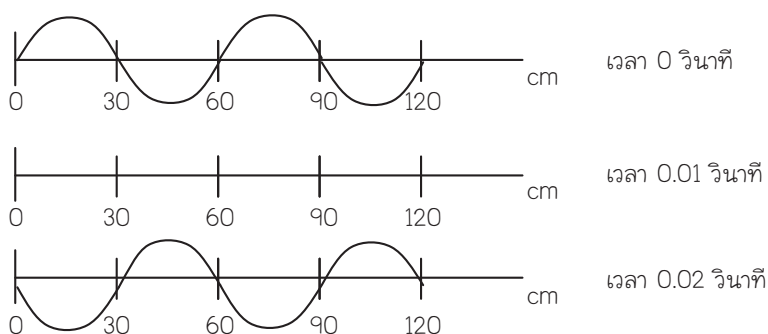
วิธีทำ ถ้าคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางเดียวกัน คลื่นจะมี v คงที่ ดังนั้น จาก $v = f\lambda$
การเปลี่ยน f จะทำให้ λ เปลี่ยนตาม

จากโจทย์ปรับ f ให้ลดลง 0.5 เท่า ทำให้ λ เพิ่มขึ้น 2 เท่า เนื่องจาก $v \propto \frac{1}{f}$

ตอบ ความยาวคลื่นเป็นสองเท่าของค่าเดิม

Ex 9.8

คลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่เวลาต่างๆ 3 เวลา ดังรูป จงหาความเร็วของคลื่นในเชือกนี้



วิธีทำ จากรูปความยาวคลื่น (λ) = 60 cm หรือ $\lambda = 0.6$ m

และ $\frac{T}{2} = 0.02$ วินาที หรือ $T = 0.04$ วินาที

จาก $v = f\lambda$ และ $f = \frac{1}{T}$

ดังนั้น $v = \frac{\lambda}{T}$

$$v = \frac{0.6}{0.04} = 15 \text{ m/s}$$

ตอบ ความเร็วของคลื่นเท่ากับ 15 เมตร/วินาที

**Ex 9.9**

ในทะเลที่ลมค่อนข้างราบเรียบมีคลื่นซัดเข้าหาชายฝั่งทั้งหมด 240 ลูกในเวลา 2 นาที ระยะห่างตามแนวราบระหว่างท้องคลื่นและสันคลื่นเท่ากับ 50 เซนติเมตร จงหาอัตราเร็วของคลื่นนี้

วิธีทำ จากโจทย์คลื่น 240 ลูกใช้เวลา 2 นาที หรือ 120 วินาที

ดังนั้น

$$f = \frac{240}{120}$$

$$f = 2 \text{ ลูก/วินาที}$$

ท้องคลื่นถึงสันคลื่นที่ติดกันจะห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$

ดังนั้น

$$\frac{\lambda}{2} = 50 \text{ cm}$$

$$\lambda = 100 \text{ cm}$$

หรือ

$$\lambda = 1 \text{ m}$$

จาก $v = f\lambda$

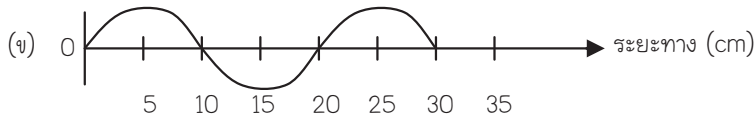
$$v = 2(1)$$

ดังนั้น $v = 2 \text{ m/s}$

ตอบ อัตราเร็วของคลื่นเท่ากับ 2 เมตร/วินาที

Ex 9.10

คลื่นในเชือกเส้นยาว เมื่อเวลาหนึ่งเป็นดังรูป ก หลังจากนั้น 0.5 วินาที เป็นดังรูป ข ความถี่ของคลื่นจะเป็นกี่เฮิรตซ์



วิธีทำ จากรูป $\lambda = 20 \text{ cm}$

เมื่อ

$$v = \frac{S}{t}$$

จากรูปจะได้ $v = \frac{30 - 15}{0.5} = \frac{15}{0.5} = 30 \text{ cm/s}$

จาก $v = \lambda f$

หรือ $f = \frac{v}{\lambda}$

ดังนั้น $f = \frac{30}{20} = 1.5 \text{ Hz}$

ตอบ ความถี่ของคลื่นเป็น 1.5 เฮิรตซ์

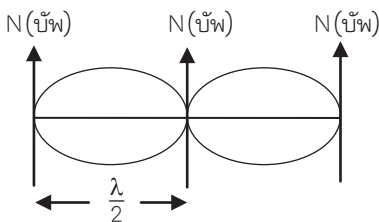
Ex 9.11

ในการทดลองของคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก ถ้าคลื่นในเส้นเชือกมีความถี่ 720 เฮิรตซ์ และอัตราเร็ว 360 เมตร/วินาที ตำแหน่งบัพที่อยู่ติดกันจะห่างกันกี่เมตร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $f = 720$ และ $v = 360$ Hz

จาก $v = f\lambda$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{360}{720} = 0.5 \text{ m}$$



จากรูป บัพที่อยู่ติดกันจะห่างกันคือ $\frac{\lambda}{2}$

จะได้ว่า $\frac{\lambda}{2} = \frac{0.5}{2}$

ดังนั้น $\lambda = 0.25 \text{ m}$

ตอบ ตำแหน่งบัพที่ติดกันห่าง 0.25 เมตร

Ex 9.12

คลื่นในทะเลพัดเข้าหาฝั่งด้วยอัตราเร็ว 3 เมตรต่อวินาที ถ้าระยะระหว่างสันคลื่นที่ติดกันเท่ากับ 6 เมตร จะมีคลื่นเข้ากระทบฝั่งกี่ลูกในเวลา 1 นาที

วิธีทำ เมื่อระยะระหว่างสันคลื่นที่ติดกันคือ λ

จาก $v = f\lambda$

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

$$f = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$$

แสดงว่า $\frac{1}{2}$ ลูก/1 วินาที

โจทย์ต้องการ 1 นาที คือ 60 วินาที จะได้ว่า $\frac{1}{2} \times 60 = 30$ ลูกคลื่น

ตอบ จะมีคลื่นเข้ากระทบฝั่ง 30 ลูก ในเวลา 1 นาที

**Ex 9.13**

เมื่อเรากระทุ้งน้ำเป็นจังหวะสม่ำเสมอ 3 ครั้ง/วินาที แล้วจับเวลาที่คลื่นลูกแรกเคลื่อนที่ไปกระทบขอบสระอีกด้านหนึ่งซึ่งอยู่ห่างออกไป 45 เมตร พบว่าใช้เวลา 3 วินาที ความยาวคลื่นของคลื่นผิวน้ำนี้เท่ากับกี่เมตร

วิธีทำ

จากโจทย์ทราบระยะห่าง $S = 45 \text{ m}$

และเวลา $t = 3 \text{ s}$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad v &= \frac{S}{t} \\ v &= \frac{45}{3} \\ v &= 15 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ต้องการหาความยาวคลื่น λ

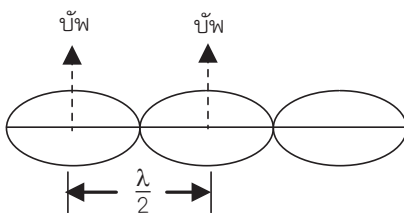
เมื่อรู้ $v = 15 \text{ m/s}$ และ $f = 3 \text{ ครั้ง/วินาที}$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \lambda &= \frac{v}{f} \\ \lambda &= \frac{15}{3} = 5 \text{ m} \end{aligned}$$

ตอบ ความยาวคลื่นมีค่า 5 เมตร

Ex 9.14

ในการทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก ถ้าความถี่ของคลื่นนิ่งเป็น 475 เฮิรตซ์ และอัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือกเท่ากับ 380 เมตรต่อวินาที ตำแหน่งบัพสองตำแหน่งที่อยู่ติดกันจะห่างกันเท่าใด

วิธีทำ

$$\text{จาก } v = f\lambda$$

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

$$\lambda = \frac{380}{475}$$

$$\lambda = 0.8 \text{ m}$$

เมื่อตำแหน่งบัพที่อยู่ติดกัน คือ $\frac{\lambda}{2}$

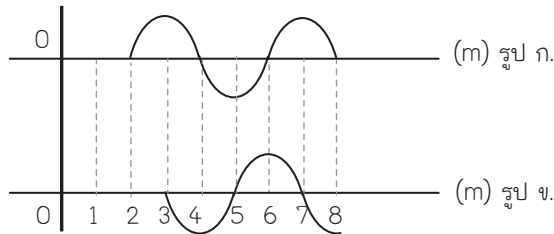
$$\text{ดังนั้นจะได้} \quad \frac{\lambda}{2} = \frac{0.8}{2}$$

$$\lambda = 0.4 \text{ m}$$

ตอบ ตำแหน่งบัพที่อยู่ติดกันห่าง 0.4 เมตร

Ex 9.15

คลื่นในเส้นเชือกที่จุด 0 เป็นจุดตรึง ปลายอีกข้างหนึ่งสับัดขึ้นลง ทำให้เกิดคลื่น โดยเมื่อเวลาหนึ่งมีลักษณะดังรูป (ก) แต่เมื่อเวลาผ่านไป t ปรากฏว่าเห็นคลื่น มีลักษณะดังรูป (ข) ถ้าอัตราเร็วของคลื่นเท่ากับ 20 เมตร/วินาที อยากทราบว่าเวลา t มีค่าเท่าไร



วิธีทำ จากรูป ก $\rightarrow$ ข คลื่น เคลื่อนที่ได้ระยะทาง $2 + 3 = 5$ m

$$\text{จากอัตราเร็ว } v = \frac{S}{t} \text{ หรือ } t = \frac{S}{v}$$

$$t = \frac{5}{20}$$

ดังนั้น

$$t = 0.25 \text{ วินาที}$$

ตอบ เวลาที่เคลื่อนที่มาถึงขอบภาตเคลื่อนที่ห่างกันเป็น 0.25 วินาที

Ex 9.16

เมื่อทำให้เกิดคลื่นดลหน้าคลื่นเส้นตรงขึ้นในชุดภาตคลื่น โดยใช้คานำกำเนิดคลื่น ตรงกระทุ้งน้ำหนึ่งครั้ง พบว่าคลื่นดลนี้เคลื่อนที่ไปถึงขอบภาตที่อยู่ห่างออกไป 40 เซนติเมตร ในเวลา 10 วินาที และมีคลื่นสะท้อนน้อยมากจากขอบภาต ต่อมาทำให้คานำกำเนิดคลื่นกระทุ้งน้ำด้วยความถี่ 10 ครั้ง/วินาที อย่างสม่ำเสมอ จะพบว่าเวลาที่ยออด 2 ยออดที่อยู่ใกล้กันที่สุด จะเคลื่อนที่มาถึงขอบภาตคลื่นที่ห่างกันเป็นเวลากี่วินาที

วิธีทำ ต้องการหาเวลาที่ยออดคลื่น 2 ยออดที่อยู่ใกล้เคลื่อนที่ถึงขอบภาต

คลื่นที่มีเวลาต่างกันเท่าใด คือ หา T (คาบ)

f ของแหล่งกำเนิด = f ของคลื่น

$$\text{จาก } T = \frac{1}{f}$$

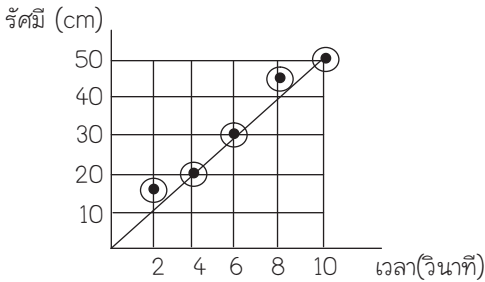
$$T = \frac{1}{10}$$

$$\text{ดังนั้น } T = 0.1 \text{ วินาที}$$

ตอบ เวลาเคลื่อนที่มาถึงขอบภาตคลื่นห่างกันเป็น 0.1 วินาที

**Ex 9.17**

ในการสังเกตของนักเรียนกลุ่มหนึ่งพบว่า เมื่อทำให้เกิดคลื่นดลวงกลมขึ้นในภาดคลื่น รัศมีของคลื่นดลวงกลมรัศมีต่าง ๆ เป็นไปตามกราฟข้างล่าง



ถามว่าถ้านักเรียนกลุ่มนี้ทำให้เกิดคลื่นต่อเนื่องขึ้นในภาดคลื่นด้วยความถี่ 10 Hz ยอดคลื่น 2 ยอดที่อยู่ใกล้กันมากที่สุดจะอยู่ห่างกันกี่เซนติเมตร

วิธีทำ โจทย์ต้องการหา ระยะห่างระหว่างยอดคลื่น 2 ยอดที่อยู่ติดกันหรือ λ

จาก $v = \frac{S}{t}$

หรือความชัน $v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$

ดังนั้น $v = \frac{50-0}{10-0}$

$v = 5 \text{ cm/s}$

เมื่อ $v = f\lambda$

หรือ $\lambda = \frac{v}{f}$

$\lambda = \frac{5}{10} = 0.5 \text{ cm}$

ตอบ ความยาวคลื่นมีค่า 0.5 เซนติเมตร/วินาที

Ex 9.18

จากรูปคลื่นน้ำเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ 10 เซนติเมตร/วินาที จุด P อยู่ที่ท้องคลื่นพอดี อยากทราบว่าอีกนานเท่าไร จุด P จึงอยู่บนสันคลื่น เมื่อคลื่นขบวนนี้สันคลื่นติดกันห่างกัน 5 เซนติเมตร



วิธีทำ จากโจทย์ $v = 10 \text{ cm/s}$ และคลื่นมีระยะห่างของสันคลื่นที่อยู่ติดกัน 5 cm
ดังนั้น $\lambda = 5 \text{ cm}$

เมื่อ $v = f\lambda$ และ $f = \frac{1}{T}$

ดังนั้น $v = \frac{\lambda}{T}$

หรือ $T = \frac{\lambda}{v}$

$T = \frac{5}{10} = 0.5 \text{ วินาที}$

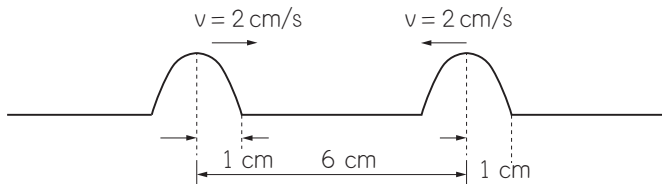
ดังนั้น จากท้องคลื่นไปสันคลื่น คือ $\frac{T}{2}$

จะได้ $\frac{T}{2} = 0.25$ วินาที

ตอบ อีก 0.25 วินาที จุด P จึงอยู่บนสันคลื่น

Ex 9.19

คลื่นดลสองคลื่นในเส้นเชือก กำลังเคลื่อนที่เข้าหากันด้วยอัตราเร็ว 2 เซนติเมตร ต่อวินาที ณ เวลาขณะหนึ่ง คลื่นดลทั้งสองอยู่ห่างกัน 6 เซนติเมตร ดังรูป เมื่อเวลาผ่านไป 2.5 วินาที ตำแหน่งสันคลื่นทั้งสองอยู่ห่างกันเท่าใด



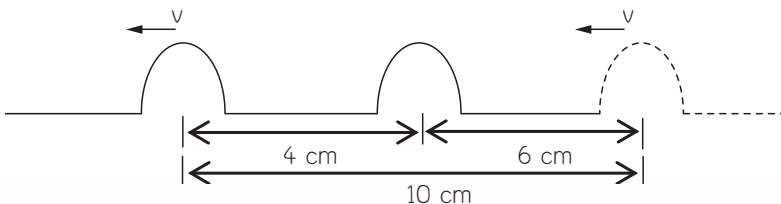
วิธีทำ จากรูป จะกำหนดให้คลื่นลูกขวามือหยุดนิ่ง ดังนั้นจะได้คลื่นลูกซ้ายมือวิ่งด้วยอัตราเร็ว $v = 4 \text{ m/s}$ (จากความเร็วสัมพัทธ์)

เมื่อ $v = \frac{S}{t}$

หรือ $S = vt$

$$= 4(2.5) = 10 \text{ cm}$$

ดังนั้น เมื่อเวลาผ่านไป 2.5 วินาที จะเป็นดังรูป



จากรูปจะพบว่า ลูกคลื่นทั้งสองจะอยู่ห่างกัน $10 - 6 = 4$

ตอบ ตำแหน่งสันคลื่นทั้งสองอยู่ห่างกัน 4 เซนติเมตร

**Ex 9.20**

เชือกเส้นหนึ่งขึงตึง โดยปลายข้างหนึ่งตรึงอยู่กับที่ อีกปลายหนึ่งติดอยู่กับเครื่องสั่นสะเทือน ณ ที่จุดหนึ่งบนเชือกมีเฟสเปลี่ยนไป 240 องศา ทุกๆ ช่วง 3 วินาที จงหาว่าเครื่องสั่นสะเทือนนี้มีความถี่ในการสั่นเท่าไร (ในหน่วยเฮิรตซ์)

วิธีทำ เมื่อรู้มุมเฟสเปลี่ยนไป $\Delta\phi = 240$ องศา และ $\Delta t = 3$ วินาที

$$\text{จาก } \Delta\phi = \frac{360(\Delta t)}{T} = \frac{2\pi(\Delta t)}{T}$$

$$\text{หรือ } T = \frac{360(\Delta t)}{\Delta\phi}$$

$$\text{จะได้ } T = \frac{360(3)}{240} = 4.5 \text{ วินาที}$$

$$\text{จาก } f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{4.5} = 0.22 \text{ Hz}$$

ตอบ คลื่นมีความถี่ 0.22 เฮิรตซ์

ที่ระยะ λ เฟสเปลี่ยน 2π

ที่ระยะ Δx เฟสเปลี่ยน $\frac{2\pi \Delta x}{\lambda}$

เมื่อให้ $\Delta\phi$ แทนมุมเฟสที่เปลี่ยนไป

$$\therefore \Delta\phi = \frac{2\pi \Delta x}{\lambda} = \frac{2\pi \Delta x f}{v}$$

$$\Delta\phi = 2\pi \Delta t f$$

$$\Delta\phi = \frac{2\pi \Delta t}{T}$$

Ex 9.21

คลื่นผิวน้ำมีอัตราเร็ว 20 เมตร/วินาที กระจายออกจากแหล่งกำเนิดคลื่นซึ่งมีความถี่ 5 เฮิรตซ์ การกระเพื่อมของผิวน้ำที่อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิด 30 เซนติเมตร จะมีเฟสต่างกันกี่องศา

วิธีทำ คลื่นมีอัตราเร็ว $v = 20$ m/s

และ $f = 5$ Hz สามารถหา λ ได้

$$\text{จาก } v = f\lambda$$

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

$$\lambda = \frac{20}{5} = 4 \text{ m}$$

เมื่อรู้ความต่างระยะทางจากแหล่งกำเนิดทั้งสอง (Δx) หาเฟสที่ต่างกัน $\Delta\phi$ ได้

$$\text{จาก } \Delta\phi = \frac{2\pi \Delta x}{\lambda}$$

$$\Delta\phi = \frac{2\pi(30)}{4}$$

$$\Delta\phi = 15\pi \text{ เรเดียน}$$

จุด 2 จุดต่างกัน 15π คือ เฟสตรงข้ามกัน

อาจใช้ผลต่างต่ำสุดคือ π เรเดียน หรือ 180 องศา

ตอบ มีเฟสต่างกัน 180 องศา

Ex 9.22

ตัวกำเนิดคลื่นน้ำให้คลื่นที่มีความถี่ 8 เฮิรตซ์ ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 2 เมตร/วินาที จุด A และ จุด B อยู่บนผิวน้ำในแนวเส้นตรงต่อกับตัวกำเนิดคลื่น โดยอยู่ห่าง 0.30 เมตร จุดทั้งสองมีเฟสต่างกันกี่เรเดียน

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $f = 8 \text{ Hz}$, $v = 2 \text{ m/s}$ และ $\Delta s = 0.3 \text{ m}$

$$\text{จาก} \quad \lambda = \frac{v}{f}$$

$$\lambda = \frac{2}{8} = 0.25 \text{ m}$$

หา $\Delta\phi$ จากระยะต่างกัน 0.25 m มีเฟสต่างกัน $2\pi \text{ rad}$

$$\text{ถ้าระยะต่างกัน } 0.30 \text{ m มีเฟสต่างกัน } \frac{2\pi \times 0.3}{0.25}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \Delta\phi = 2.4\pi \text{ rad}$$

ตอบ จุดทั้งสองมีเฟสต่างกัน 2.4π เรเดียน

Ex 9.23

คลื่นกลสองคลื่น เริ่มเคลื่อนที่ออกจากจุดเดียวกันด้วยเฟสตรงกัน มีความถี่ 248 เฮิรตซ์ และ 250 เฮิรตซ์ เวลา 2.5 วินาทีต่อมา คลื่นทั้งสองจะมีเฟสต่างกันกี่เรเดียน

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $f_1 = 248 \text{ Hz}$, $f_2 = 250 \text{ Hz}$ และ $t = 2.5 \text{ วินาที}$

$$\text{จาก} \quad \Delta\phi = 2\pi\Delta f t$$

$$\Delta\phi = 2\pi(f_2 - f_1)t$$

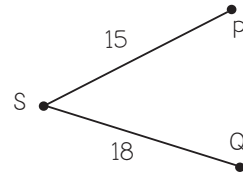
$$\Delta\phi = 2\pi(250 - 248)(2.5)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \Delta\phi = 10\pi \text{ rad}$$

ตอบ คลื่นทั้งสองมีเฟสต่างกัน 10π เรเดียน

**Ex 9.24**

จากรูป S เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นซึ่งมีความถี่ 100 เฮิรตซ์ จุด P และจุด Q อยู่ห่างจาก S เป็นระยะ 15 เมตร และ 18 เมตร ตามลำดับ ถ้าคลื่นที่มาถึงจุด P และจุด Q มีเฟสต่างกัน $\frac{3\pi}{2}$ เรเดียน จงหาอัตราเร็วของคลื่นในหน่วยเมตร/วินาที

**วิธีทำ**

จาก $f = 100 \text{ Hz}$	จาก $\Delta\phi = \frac{2\pi(\Delta x)}{\lambda}$	จาก $v = f\lambda$ $v = 100(4)$ ดังนั้น $v = 400 \text{ m/s}$
$\Delta\phi = \frac{3\pi}{2} \text{ rad}$	หรือ $\lambda = \frac{2\pi(\Delta x)}{\Delta\phi}$	
$\Delta x = 18 - 15$	$\lambda = \frac{2\pi(3)}{\frac{3\pi}{2}} = 4 \text{ m}$	
$= 3 \text{ m}$		

ตอบ อัตราเร็วของคลื่น 400 เมตร/วินาที

Ex 9.25

คลื่นมีความถี่ 30 เฮิรตซ์ และ ความเร็ว 2.4 เมตร/วินาที ระยะทางระหว่าง 2 จุดที่คลื่นมีความแตกต่างเฟสเป็น 120 องศา มีค่าเป็นเท่าใด เมื่อพิจารณาตำแหน่งของผิวน้ำนี้ถ้าเวลาผ่านไป $\frac{1}{90}$ วินาที แล้วคลื่น ณ ตำแหน่งนี้มีการเปลี่ยนเฟสไปเท่าใด

วิธีทำ

1. หา ΔS เมื่อ $\Delta\phi = 120^\circ$	จาก $\lambda = \frac{v}{f}$
2. หา $\Delta\phi$ เมื่อ $\Delta t = \frac{1}{90} \text{ s}$	$\lambda = \frac{2.4}{30} = 0.08 \text{ m}$
	$\lambda = 8 \text{ cm}$

1) หา ΔS จาก จุด 2 จุดเฟสต่างกัน 360° ห่างกัน 8 cm

เมื่อจุด 2 จุดมีเฟสต่างกัน 120° ห่างกัน $\frac{8 \times 120}{360} = 2.7 \text{ cm}$

2) หา $\Delta\phi$ จาก $T = \frac{1}{f}$

$$T = \frac{1}{30} \text{ s}$$

ดังนั้น เมื่อเวลาผ่านไป $\frac{1}{30}$ S เฟสเปลี่ยน 360°

ถ้าเวลาผ่านไป $\frac{1}{90}$ S เฟสเปลี่ยน $\frac{360 \times \frac{1}{90}}{\frac{1}{30}} = 120^\circ$

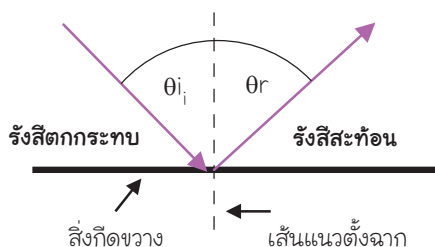
ตอบ คลื่นมีการเปลี่ยนเฟสไป 120 องศา

9.4 สมบัติของคลื่น

เมื่อคลื่นมีการเคลื่อนที่ จะพบว่ามีปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดเกี่ยวกับคลื่นเกิดขึ้น เรียกว่า สมบัติของคลื่น โดยปัจจุบันมีการค้นพบและสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับคลื่น มี 4 ประการ คือ การสะท้อนของคลื่น, หักเหของคลื่น, การแทรกสอดของคลื่น และ การเลี้ยวเบนของคลื่น ดังนี้

9.4.1 การสะท้อนของคลื่น

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่หรือแผ่ออกไปและเดินทางไปชนกับสิ่งกีดขวางจะทำให้คลื่นในบางส่วนหรือทั้งหมดเกิดการสะท้อนกลับมาแนวเดิม เรียกว่า **การสะท้อน (reflection)** โดยคลื่นที่ไปกระทบกับสิ่งกีดขวางเรียกว่า **คลื่นตกกระทบ (incident wave)** และคลื่นที่สะท้อนกลับออกมา เรียกว่า **คลื่นสะท้อน (reflected wave)** แสดงดังรูปที่ 9.7 ตามกฎการสะท้อนจะได้ว่า **มุมตกกระทบ (angle of incidence), θ_i** ซึ่งมีค่าเท่ากับ **มุมสะท้อน (angle of reflection), θ_r** เสมอ

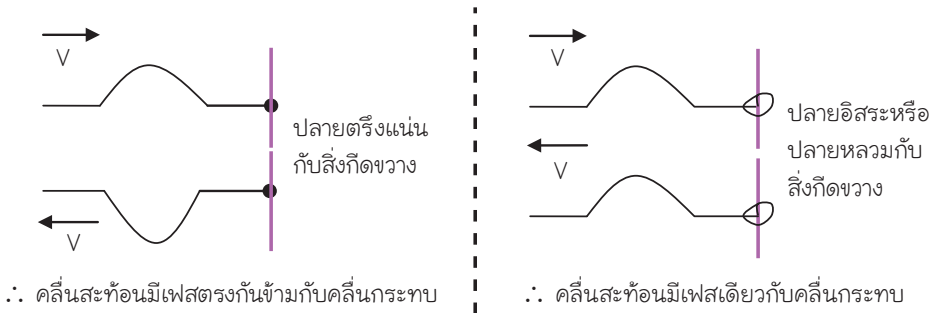


มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน

$$\theta_i = \theta_r$$

รูปที่ 9.7 การสะท้อนของคลื่น

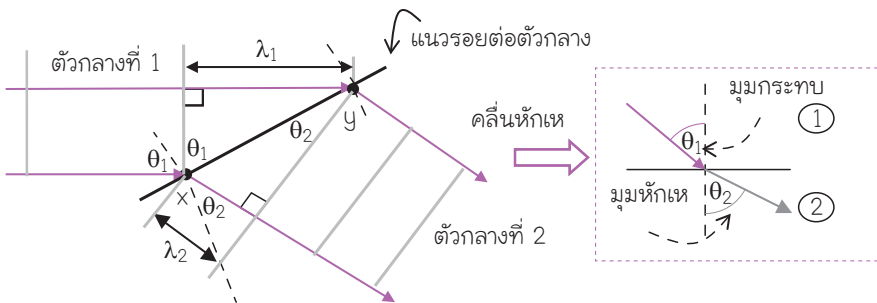
เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ตกกระทบบนรอยของตัวกลางคลื่นจะมีการสะท้อนเกิดขึ้น ซึ่งคลื่นจะสะท้อนอาจจะมีเฟสตรงข้ามกันหรือเฟสตรงกันก็ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของแนวรอยต่อของตัวกลางดังรูปที่ 9.8 เมื่อผูกเชือกปลายตรึงและปลายอิสระกับสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 9.8 การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือก

9.4.2 การหักเหของคลื่น

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งและมาถึงขอบของอีกตัวกลางหนึ่งที่อยู่ติดกัน พลังงานหรือคลื่นบางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับตามกฎการสะท้อน และพลังงานหรือคลื่นอีกส่วนหนึ่งจะส่งถ่ายผ่านไปยังอีกตัวกลางหนึ่งที่อยู่ติดกัน ซึ่งจะทำให้คลื่นมีทิศทางเปลี่ยนจากเดิม ทำให้คลื่นมีอัตราเร็ว และความยาวคลื่นเปลี่ยนไปจากเดิม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า **การหักเห (refraction)** โดยการหักเหของคลื่นจะไม่ส่งผลต่อความถี่ของคลื่น หรือ ความถี่จะคงที่ นั่นเอง โดยคลื่นที่ผ่านแนวรอยต่อของตัวกลางทั้งสองเรียกว่า **คลื่นหักเห (refraction wave)** ดังรูปที่ 9.9



รูปที่ 9.9 การหักเหของคลื่น

จากรูปที่ 9.9 เมื่อคลื่นมีความยาวคลื่น λ_1 เคลื่อนที่จากตัวกลางที่ 1 ไปกระทบแนวรอยต่อของตัวกลาง ทำมุม θ_1 หักเหผ่านเข้าไปสู่ตัวกลางที่ 2 ทำ **มุมหักเห (angle of refraction)** กับแนวรอยต่อ ทำมุม θ_2 จะทำให้ความยาวคลื่นเปลี่ยนเป็น λ_2 จากรูปจะได้

$$\sin \theta_1 = \frac{\lambda_1}{xy} \quad \text{และ} \quad \sin \theta_2 = \frac{\lambda_2}{xy}$$

เมื่อนำมาหารกันจะได้ $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ และจาก $\lambda = \frac{v}{f}$ และเมื่อความถี่ (f) คงที่ สำหรับการหักเห จะได้ความสัมพันธ์เป็น

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad \dots\dots\dots(9.5)$$

จากสมการที่ (9.5) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีอัตราเร็วหรือความยาวคลื่นน้อยกว่าไปยังตัวกลางที่มีอัตราเร็วหรือความยาวคลื่นมากกว่า จะพบว่า มุมหักเห θ_2 มีค่ามากกว่ามุมตกกระทบ θ_1 ตรงข้ามกัน เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีอัตราเร็วหรือความยาวคลื่นมากกว่าไปยังตัวกลางที่มีอัตราเร็วหรือความยาวคลื่นน้อยกว่า จะพบว่า มุมหักเห θ_1 มีค่าน้อยกว่ามุมตกกระทบ θ_2 และควรรู้ว่า อัตราเร็วของคลื่นในน้ำลึกจะมีค่ามากกว่าอัตราเร็วคลื่นของน้ำตื้นเสมอ

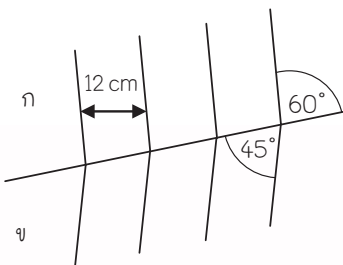


ตัวอย่าง

Ex 9.26

คลื่นน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีความลึกต่างกันเกิดปรากฏการณ์ดังรูปในบริเวณ ก หน้าคลื่นอยู่ห่างกัน 12 เซนติเมตร ในบริเวณ ข คลื่นมีความเร็ว $6\sqrt{2}$ เซนติเมตร/วินาที ถ้าต้นกำเนิดคลื่นมาจาก บริเวณ ก ความถี่ของต้นกำเนิดคลื่นมีค่าเท่าใด

วิธีทำ



จากโจทย์ทราบ $\lambda_g = 12 \text{ cm}$

และ $v_x = 6\sqrt{2} \text{ cm/s}$

และเมื่อ $\theta_g = 60^\circ$ และ $\theta_x = 45^\circ$



$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \frac{\sin \theta_n}{\sin \theta_y} &= \frac{v_n}{v_y} \\ \frac{\sin \theta_n}{\sin \theta_y} &= \frac{\lambda_n f}{v_y} \\ \frac{\sin 60^\circ}{\sin 45^\circ} &= \frac{12f}{6\sqrt{2}} \\ \frac{\sqrt{3}/2}{\sqrt{2}/2} &= \sqrt{2} f \\ \text{ดังนั้น} \quad f &= \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ Hz} \end{aligned}$$

ตอบ มีความถี่บริเวณ ก เท่ากับ $\frac{\sqrt{3}}{2}$ เฮิรตซ์

Ex 9.27

ถ้าคลื่นน้ำเคลื่อนที่ผ่านจากเขตน้ำลึกไปยังเขตน้ำตื้น แล้วทำให้ความยาวคลื่นลดลงครึ่งหนึ่ง จงหาอัตราส่วนของอัตราเร็วของคลื่นในน้ำลึกกับอัตราเร็วของคลื่นในน้ำตื้น

วิธีทำ จากโจทย์กำหนด $\lambda_{\text{ตื้น}} = \frac{1}{2} \lambda_{\text{ลึก}}$ ต้องการหา $v_{\text{ลึก}} : v_{\text{ตื้น}}$

$$\text{จาก} \quad \frac{v_{\text{ลึก}}}{v_{\text{ตื้น}}} = \frac{\lambda_{\text{ลึก}}}{\lambda_{\text{ตื้น}}} = \frac{\lambda_{\text{ลึก}}}{\frac{1}{2} \lambda_{\text{ลึก}}}$$

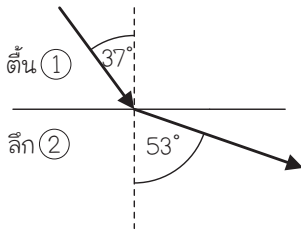
$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{v_{\text{ลึก}}}{v_{\text{ตื้น}}} = \frac{2}{1}$$

ตอบ อัตราส่วน $v_{\text{ลึก}} : v_{\text{ตื้น}} = 2 : 1$



Ex 9.28

คลื่นน้ำเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำตื้นสู่บริเวณน้ำลึก โดยทำมุมตกกระทบ 37° องศา และมีมุมหักเห 53° องศา ถ้าวัดความยาวคลื่นในน้ำตื้นเป็น 3.0 เซนติเมตร จงหาความยาวคลื่นของคลื่นน้ำในบริเวณน้ำลึก

วิธีทำ

$$\text{จาก } \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

$$\frac{\sin 37^\circ}{\sin 53^\circ} = \frac{3}{\lambda_2}$$

$$\frac{3}{5} \times \frac{5}{4} = \frac{3}{\lambda_2}$$

$$\frac{3}{4} = \frac{3}{\lambda_2}$$

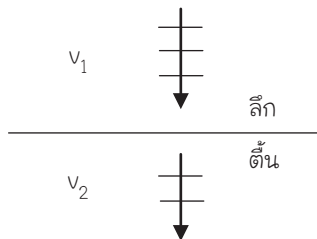
$$\lambda_2 = \frac{3 \times 4}{3}$$

$$\text{ดังนั้น } \lambda_2 = 4 \text{ cm}$$

ตอบ ความยาวคลื่นของคลื่นบริเวณน้ำลึกคือ 4 เซนติเมตร

Ex 9.29

คลื่นน้ำลึกมีอัตราเร็ว 20 เซนติเมตร/วินาที ความยาวคลื่น 1.5 เซนติเมตร หากคลื่นขนานกับแนวรอยต่อน้ำตื้นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าบริเวณน้ำตื้นจะมีอัตราเร็ว 5 เซนติเมตร/วินาที คลื่นนี้จะมีทิศทางเปลี่ยนไปจากแนวเดิมกี่องศา

วิธีทำ

เนื่องจากหน้าคลื่นขนานกับแนวรอยต่อนั้น คือ ทิศทางของคลื่น ตั้งฉากกับรอยต่อ

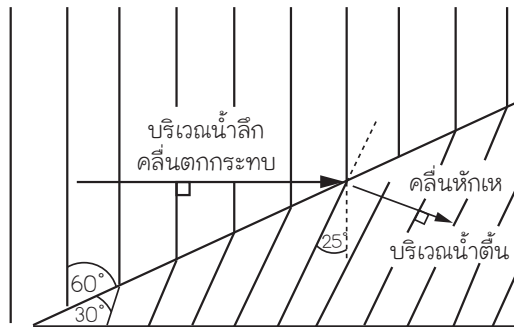
ดังนั้น คลื่นจะไม่หักเหเปลี่ยนทิศทาง

จะได้ มุมที่เปลี่ยนไปคือ 0 หรือ $\sin^{-1}(0)$

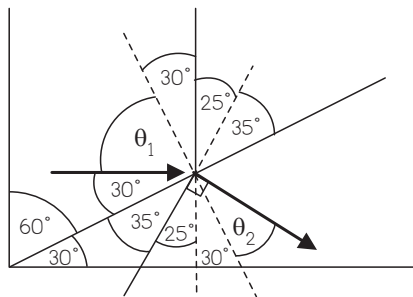
ตอบ คลื่นจะมีทิศทางเปลี่ยนไปจากเดิม $\sin^{-1}(0)$

**Ex 9.30**

จงคำนวณมุมตกกระทบและมุมหักเหของคลื่นในรูป

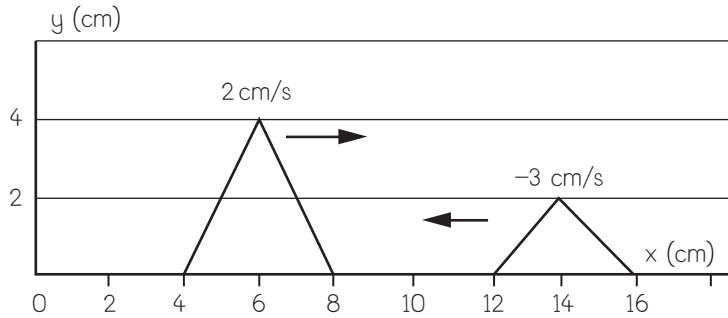


1. มุมตกกระทบ = 60° และมุมหักเห = 30°
2. มุมตกกระทบ = 30° และมุมหักเห = 35°
3. มุมตกกระทบ = 60° และมุมหักเห = 35°
4. มุมตกกระทบ = 30° และมุมหักเห = 55°

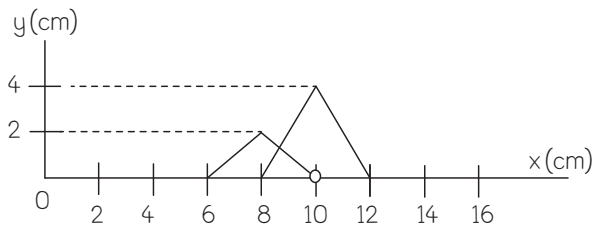
วิธีทำ พิจารณาจากรูป**ตอบ** θ_1 คือ มุมตกกระทบ = 60° และ θ_2 คือ มุมหักเห = 35° องศา

Ex 9.31

คลื่นดลสองลูกกำลังเคลื่อนที่เข้าหากัน ($t = 0$) ดังแสดงในรูป ที่เวลา $t = 2$ วินาที ตำแหน่ง x เท่ากับเท่าไรที่คลื่นมีแอมพลิจูดสูงสุด



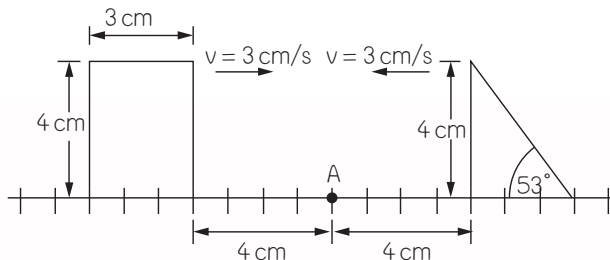
วิธีทำ ที่เวลาผ่านไป $t = 2$ วินาที คลื่นจะซ้อนทับกัน ดังรูป



ตอบ แอมพลิจูดสูงสุดอยู่ที่ $x = 10$ เซนติเมตร

Ex 9.32

คลื่นดลสองชุดมีการกระจัดสูงสุด 4 เซนติเมตร เท่ากัน ดังรูป กำลังเคลื่อนที่เข้าหากันบนเส้นเชือกด้วยอัตราเร็ว 3 เซนติเมตรต่อวินาที ในตอนเริ่มต้นสังเกตจุด A บนเชือกอยู่ห่างจากคลื่นดลทั้งสองเป็นระยะ 4 เซนติเมตร เท่ากัน เมื่อเวลาผ่านไป 2 วินาที จุด A มีการกระจัดกี่เซนติเมตร



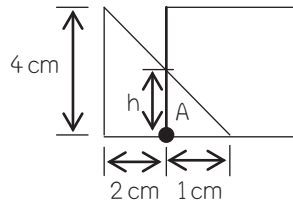
**วิธีทำ**

$$\text{จาก } S = vt$$

$$S = 3(2)$$

$$S = 6 \text{ cm}$$

ทั้งสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมต่างเคลื่อนไป 6 cm ดังรูป



สามารถหาความสูงของ h ได้จาก $\frac{h}{1} = \frac{4}{3}$ (สามเหลี่ยมคล้าย)

$$\text{จะได้ } h = \frac{4}{3}$$

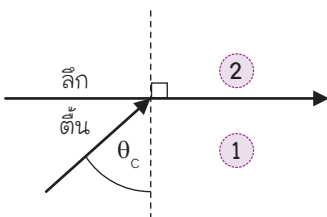
ดังนั้น ที่จุด A จึงมีการกระจัดเป็น $4 + \frac{4}{3} = \frac{16}{3} \text{ cm}$

ตอบ จุด A มีการกระจัด $\frac{16}{3}$ เซนติเมตร

Ex 9.33

ในการทดลองโดยใช้ถาดคลื่น พบว่า ความเร็วของคลื่นน้ำลึกเป็น 2 เท่าของความเร็วในน้ำตื้น ถ้าจะทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมด คลื่นจะต้องตั้งต้นเคลื่อนที่จากบริเวณไหน และมีมุมวิกฤตเท่าไร

วิธีทำ คลื่นจะเกิดการสะท้อนกลับหมด เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีอัตราเร็วน้อย (น้ำตื้น) ไปยังตัวกลางที่มีอัตราเร็วมาก (น้ำลึก) ดังรูป



จากโจทย์กำหนดให้ $v_{\text{ตื้น}} = v$ และ $v_{\text{ลึก}} = 2v$

$$\text{จาก } \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_{\text{ตื้น}}}{v_{\text{ลึก}}}$$

$$\frac{\sin \theta_c}{\sin 90^\circ} = \frac{v}{2v}$$

$$\sin \theta_c = \frac{1}{2}$$

$$\text{ดังนั้น } \theta_c = 30^\circ$$

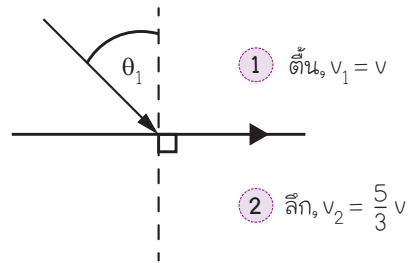
ตอบ มุมวิกฤต คือ 30 องศา คลื่นต้องตั้งต้นที่น้ำตื้นไปสู่ น้ำลึก

Ex 9.34

อัตราเร็วของคลื่นน้ำในน้ำลึกมีค่า $5/3$ เท่าของอัตราเร็วของคลื่นในน้ำตื้น คลื่นจะเกิดการสะท้อนกลับหมดเมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากบริเวณใด มีมุมตกกระทบเท่าใด

วิธีทำ คลื่นจะสะท้อนกลับหมด เมื่อมุมตกกระทบโตกว่ามุมวิกฤต (คลื่นจากน้ำตื้นไปยังน้ำลึก)

$$\begin{aligned}\text{จาก} \quad \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} &= \frac{v_1}{v_2} \\ \frac{\sin \theta_1}{\sin 90^\circ} &= \frac{3}{5} \\ \sin \theta_1 &= \frac{3}{5} \\ \text{ดังนั้น} \quad \theta_1 &= 37^\circ\end{aligned}$$



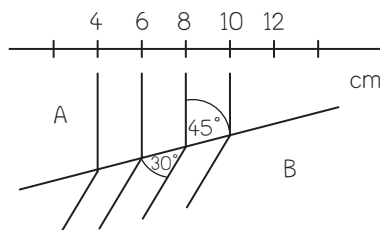
การสะท้อนกลับหมดจะเกิดได้เมื่อมุมตกกระทบมากกว่า 37°

ตอบ มุมตกกระทบมีค่ามากกว่า 37 องศา คลื่นเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำตื้นไปสู่บริเวณน้ำลึก

Ex 9.35

เมื่อคลื่นแนวตรงเคลื่อนที่จากบริเวณ A ไปสู่บริเวณ B ในภาคคลื่น ทำให้เกิดการหักเหของคลื่นปรากฏดังรูป ซึ่งมีไม้สเกลเซนติเมตรวางเทียบอยู่ ถ้าคลื่นนี้เกิดจากแหล่งกำเนิดซึ่งมีความถี่ 9 เฮิรตซ์ จงหาอัตราเร็วของคลื่นน้ำที่บริเวณ B

วิธีทำ



$$\text{จากรูป} \quad \frac{\sin \theta_A}{\sin \theta_B} = \frac{v_A}{v_B}$$

$$\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{\lambda_A f}{v_B}$$

$$v_B = 2 \times 9 \frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ}$$

$$v_B = 18 \times \frac{1}{2} \times \frac{2}{\sqrt{2}}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad v_B = 9\sqrt{2} \text{ cm/s}$$

ตอบ อัตราเร็วของคลื่นที่ B คือ $9\sqrt{2}$ เซนติเมตร/วินาที

**Ex 9.36**

คลื่นน้ำเคลื่อนที่จากน้ำตื้นไปยังน้ำลึก ถ้ามุมตกกระทบและมุมหักเหเท่ากับ 30 องศา และ 45 องศา ตามลำดับ และความยาวคลื่นในน้ำตื้นเท่ากับ 2 เซนติเมตร จงหาความยาวคลื่นในน้ำลึกในหน่วยเซนติเมตร

วิธีทำ

$$\text{จาก } \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\lambda_{\text{ตื้น}}}{\lambda_{\text{ลึก}}}$$

$$\frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{2}{\lambda_{\text{ลึก}}}$$

$$\frac{1}{2} \times \frac{2}{\sqrt{2}} = \frac{2}{\lambda_{\text{ลึก}}}$$

$$\text{ดังนั้น } \lambda_{\text{ลึก}} = 2\sqrt{2}$$

$$\text{หรือ } \lambda_{\text{ลึก}} = 2.83 \text{ cm}$$

ตอบ ความยาวคลื่นในน้ำลึกมีค่า 2.83 เซนติเมตร

Ex 9.37

คลื่นเคลื่อนที่จากน้ำลึกด้วยความเร็ว 10 เมตร/วินาที ผ่านเข้าไปบริเวณน้ำตื้น ทำมุมหักเห 53 องศา กับเส้นปกติ และมีความเร็วเป็น 4 เมตร/วินาที จงหา มุมกระทบ และเมื่อน้ำตื้นมีความยาวคลื่น 2 เมตร จงหาความถี่ของน้ำลึก

$$\text{วิธีทำ จาก } \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_{\text{ลึก}}}{v_{\text{ตื้น}}}$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin 53^\circ} = \frac{10}{4}$$

$$\sin \theta_1 = \frac{10}{4} \times \frac{4}{5}$$

$$\sin \theta_1 = 2$$

$$\text{ดังนั้น } \theta_1 = \sin^{-1}(2)$$

$$\text{จาก } \frac{v_{\text{ลึก}}}{v_{\text{ตื้น}}} = \frac{\lambda_{\text{ลึก}}}{\lambda_{\text{ตื้น}}}$$

$$\frac{10}{4} = \frac{\lambda_{\text{ลึก}}}{2}$$

$$\lambda_{\text{ลึก}} = \frac{2 \times 10}{4} = 5 \text{ m}$$

$$\text{จาก } v = f\lambda$$

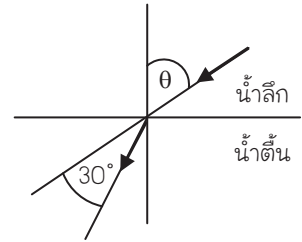
$$10 = f_{\text{ลึก}}(5)$$

$$\text{ดังนั้น } f_{\text{ลึก}} = 2 \text{ Hz}$$

ตอบ มุมตกกระทบ $\sin^{-1}(2)$ และความถี่ของน้ำลึก 2 เฮิรตซ์

Ex 9.38

จากรูป แนวการเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำจากบริเวณน้ำลึกไปยังน้ำตื้น หักเหจากแนวของคลื่นตกกระทบ 30° องศาและอัตราเร็วของคลื่นในน้ำลึกเป็น 2 เท่า ของอัตราเร็วในน้ำตื้น มุม θ มีค่าเท่าใด



วิธีทำ จากรูปกำหนดให้ $\theta_1 = \theta$ ดังนั้น $\theta_2 = \theta - 30^\circ$ ให้ $v_{\text{ตื้น}} = v$ และ $v_{\text{ลึก}} = 2v$

$$\text{จาก} \quad \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_{\text{ลึก}}}{v_{\text{ตื้น}}}$$

$$\frac{\sin \theta}{\sin(\theta - 30^\circ)} = \frac{2v}{v}$$

$$\frac{\sin \theta}{2} = \sin(\theta - 30^\circ)$$

$$\frac{\sin \theta}{2} = \sin \theta \cos 30^\circ - \cos \theta \sin 30^\circ$$

$$\frac{\sin \theta}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \theta - \frac{\cos \theta}{2}$$

$$\cos \theta = (\sqrt{3} - 1) \sin \theta$$

$$\tan \theta = \frac{1}{\sqrt{3} - 1}$$

ดังนั้น

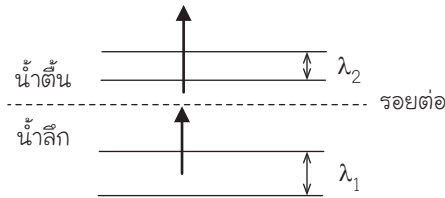
$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{3} - 1} \right)$$

ตอบ มุม θ มีค่า $\tan^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{3} - 1} \right)$

**Ex 9.39**

คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำลึกไปยังน้ำตื้นโดยหน้าคลื่นตกกระทบขนานกับบริเวณรอยต่อคลื่นในบริเวณทั้งสองมีค่าใดเป็นเท่ากัน

- ก. ความถี่ของคลื่น ข. ความยาวคลื่น
ค. อัตราเร็วของคลื่น ง. ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น
1. ก. และ ข. 2. ข. และ ค. 3. ค. และ ง. 4. ก. และ ง.

วิธีทำ

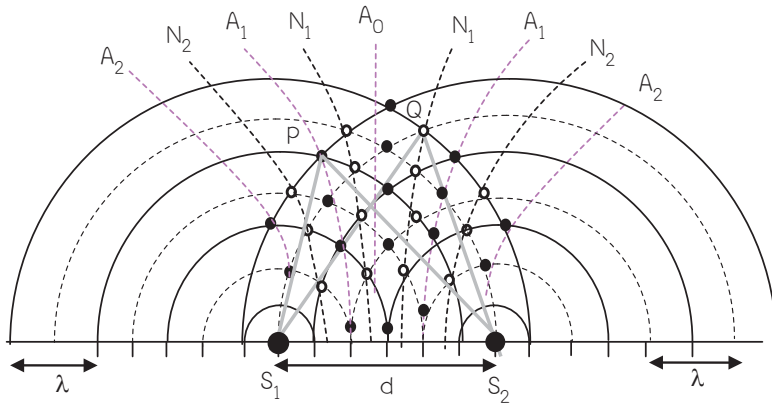
การเคลื่อนที่ของคลื่นผิวน้ำจากบริเวณน้ำลึกไปน้ำตื้นโดยหน้าคลื่นขนานกับรอยต่อของตัวกลางหรือทิศทางการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับรอยต่อจะได้ว่า

ความถี่ f คงที่ ความยาวคลื่น λ ลดลง อัตราเร็วคลื่น v ลดลงและทิศทางคงเดิม

ตอบ ข้อ 4. ความถี่และทิศทางการเคลื่อนที่เท่ากัน

9.4.3 การแทรกสอดของคลื่น

เมื่อคลื่นสองขบวนเคลื่อนที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดคลื่นที่มีความถี่เท่ากันและเฟสตรงกันหรือต่างกันคงตัว เรียกว่า **แหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์ (coherent sources)** เมื่อคลื่นต่อเนื่องทั้งสองขบวนเดินทางมาซ้อนทับกัน ปรากฏการณ์แบบนี้ เรียกว่า **การแทรกสอด (interference)** โดยการซ้อนทับกันจะทำให้มีการแทรกสอดที่เกิดขึ้นจะมี 2 แบบ คือ **การแทรกสอดแบบเสริม (constructive interference)** คือ การกระจัดของคลื่นทั้งสองจะเสริมกันทำให้มีตำแหน่งของการกระจัดมากที่สุด ซึ่งเป็นตำแหน่งของท้องคลื่นซ้อนทับกับท้องคลื่น และตำแหน่งที่สันคลื่นมาซ้อนทับกับสันคลื่น เรียกว่า **ปฏิบัพ (antinode)** และเมื่อคลื่นทั้งสองมาซ้อนทับกันโดยท้องคลื่นพบกับสันคลื่นการกระจัดจะหักล้างกัน เรียกว่า **เกิดการแทรกสอดแบบหักล้าง (destructive interference)** จะทำให้ตำแหน่งนี้มีการกระจัดเป็นศูนย์ เรียกว่า **บัพ (node)** โดยเมื่อเกิดการแทรกสอดจะเห็นแนว บัพ และปฏิบัพสลับกันไป เรียกว่า **ลวดลายการแทรกสอด (interference pattern)** แสดงดังรูปที่ 9.10 เมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์สองแหล่ง S_1 และ S_2 ห่างกันระยะ d



รูปที่ 9.10 การแทรกสอดของคลื่นต่อเนื่อง

จากการแทรกสอดของคลื่นรูปที่ 9.10 เมื่อให้เส้นประ แทนท้องคลื่น และเส้นทึบ แทนสันคลื่น พบว่าจะมีการแทรกสอดแบบเสริม (ปฏิบัพ) เกิดขึ้นที่แนวกลางเสมอ เมื่อเขียนเชื่อมต่อกันกัน เรียกว่า เส้นปฏิบัพ (antinode line) แทนเป็นเส้นแนวปฏิบัพลำดับที่ศูนย์ (A_0) และถัดไปจะมีการแทรกสอดแบบหักล้าง เมื่อเขียนเชื่อมต่อกัน เรียกว่า เส้นบัพ (nodal line) (บัพ) แทนเป็นเส้นแนวบัพลำดับที่หนึ่ง (N_1) และเส้นแนวการแทรกสอดแบบเสริมลำดับที่หนึ่ง (A_1) เกิดขึ้นถัดมา และจะเกิดสลับกันไปเรื่อยๆ ของทั้งสองฝั่งแสดงดังรูปที่ 9.10

เมื่อพิจารณาตำแหน่งการแทรกสอดแบบเสริมที่ตำแหน่ง P ผลต่างของระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองบนตำแหน่งปฏิบัพจะมีค่าเป็นจำนวนเต็มของความยาวคลื่นเสมอ จากรูป ระยะห่าง S_1P มีความยาวเป็น 2.5λ และระยะห่าง S_2P มีความยาวเป็น 3.5λ ดังนั้นเมื่อคิดผลต่างของ $S_2P - S_1P$ ในค่าสัมบูรณ์ จะได้

$$|S_2P - S_1P| = 3.5\lambda - 2.5\lambda = 1\lambda$$

เมื่อให้แทนลำดับการแทรกสอดที่เกิดขึ้นเป็น n เมื่อ $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ จะได้

$$|S_2P - S_1P| = n\lambda \quad (\text{antinode}) \quad \dots\dots\dots(9.6)$$

ทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาการแทรกสอดแบบหักล้างที่ตำแหน่ง Q ผลต่างของระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองบนตำแหน่งปฏิบัพจะมีค่าเป็นจำนวนเต็มลบออกอีกครึ่งหนึ่ง



ของความยาวคลื่นเสมอ จากรูป ระยะห่าง S_1Q มีความยาวเป็น 3.5λ และระยะห่าง S_2Q มีความยาวเป็น 3λ ดังนั้นเมื่อคิดผลต่างของ $S_1P - S_1Q$ ในค่าสัมบูรณ์ จะได้

$$|S_1Q - S_2Q| = 3.5\lambda - 3\lambda = 0.5\lambda$$

เมื่อให้แทนลำดับการแทรกสอดที่เกิดขึ้นเป็น n เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots$ จะได้

$$|S_1Q - S_2Q| = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (\text{node}) \quad \dots\dots\dots(9.7)$$

จากสมการที่ (9.6) และ (9.7) สามารถนำไปใช้ทำนายตำแหน่งการแทรกสอดของคลื่นที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งปฏิบัพและบัพ ได้ตามลำดับ โดย $|S_1P - S_2P|$ และ $|S_1Q - S_2Q|$ เรียกว่า **ความต่างระยะทาง** (path difference) เมื่อพิจารณาตำแหน่งการแทรกสอดที่แหล่งกำเนิดคลื่นพอดิ S_1 หรือ S_2 โดยตำแหน่งดังกล่าวจะตั้งฉากกับแนวกลางของการแทรกสอด จะได้ความต่างระยะทางมีค่าเท่ากับระยะห่างของแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองพอดิ คือ $|S_1P - S_2P| = d$ หรือ $|S_1P - S_2P| = d\sin\theta$ และ $|S_1Q - S_2Q| = d$ หรือ $|S_1Q - S_2Q| = d\sin\theta$ เมื่อ $\theta = 90^\circ$ ดังนั้น จากสมการที่ (9.6) และ (9.7) จะเขียนได้เป็น

$$d = n\lambda \quad \text{หรือ} \quad d\sin\theta = n\lambda \quad (\text{antinode}) \quad \dots\dots\dots(9.8)$$

และ

$$d = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \text{หรือ} \quad d\sin\theta = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (\text{node}) \quad \dots\dots\dots(9.9)$$

เมื่อ $\theta \neq 90^\circ$ หรือ ตำแหน่งการแทรกสอดทำมุมใดกับแนวกลาง สามารถใช้สมการที่ (9.8) และ (9.9) ทำนายตำแหน่งการแทรกสอดของคลื่นได้เช่นกัน





ตัวอย่าง

Ex 9.40

S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นน้ำ อยู่ห่างกัน 18 เซนติเมตร ให้คลื่นเฟสตรงกัน มีความถี่และแอมพลิจูดเท่ากัน ความยาวคลื่น 4 เซนติเมตร ระหว่าง S_1 และ S_2 จะให้แนวบัพกี่แนว

วิธีทำ จากโจทย์ทราบผลต่างของ S_1 และ S_2 แทนด้วย $d = 18$ cm, ทราบ $\lambda = 4$ cm และทราบ $\theta = 90^\circ$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad d \sin \theta &= \left(n - \frac{1}{2}\right) \lambda \\ 18 \sin 90^\circ &= \left(n - \frac{1}{2}\right) (4) \\ n &= 5 \end{aligned}$$

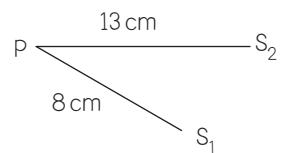
แสดงว่าบัพที่ 5 ผ่าน S_1, S_2 พอดี
ดังนั้นระหว่าง S_1 และ S_2
มีแนวบัพ 8 แนว (ซ้าย 4, ขวา 4)

ตอบ จะให้แนวบัพ 8 แนว

Ex 9.41

แหล่งกำเนิดอาพันธ์ห่างกัน 10 เซนติเมตร มีความยาวคลื่น 2 เซนติเมตร ตำแหน่งห่างจากแหล่งกำเนิดทั้งสองเป็นระยะ 8 เซนติเมตร และ 13 เซนติเมตร จะอยู่บนบัพหรือปฏิบัพลำดับที่เท่าใด และจะเกิดบัพและปฏิบัพทั้งหมดกี่แนว

วิธีทำ ตรวจสอบว่า P อยู่บนตำแหน่งปฏิบัพ หรือ บัพ พิจารณา ถ้าตำแหน่ง (n) เป็นเลขลงตัว (ไม่มีทศนิยม) แสดงว่า P อยู่ตำแหน่งนั้น



พิจารณา $|S_1P - S_2P| = n\lambda$ (ปฏิบัพ)

$$|8 - 13| = n(2)$$

ดังนั้น $n = 2.5$



พิจารณา $|S_1P - S_2P| = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda$ (บัพ)

$$|8 - 13| = \left(n - \frac{1}{2}\right)(2)$$

ดังนั้น $n = 3$

คิดจำนวนแนวทั้งหมดจากปฏิบัพ (เมื่อตั้งฉากกับแนวกลาง)

จาก $d = n\lambda$ (ปฏิบัพ)

$$10 = n(2)$$

ดังนั้น $n = 5$ (เกิดปฏิบัพ 11 แนว และบัพ 10 แนว)

ตอบ จุด P อยู่บนบัพที่ 3 เกิดบัพทั้งหมด 10 แนว และปฏิบัพ 11 แนว

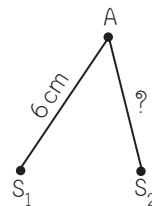
Ex 9.42

จุด A อยู่ห่างจากจุด S_1 และ S_2 ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์มีเฟสตรงกัน ให้กำเนิดคลื่นความยาวคลื่น 3 เซนติเมตร จุด A นี้ อยู่ห่างจากจุด S_1 เป็นระยะ 6 เซนติเมตร และจะอยู่ห่างจาก S_2 เท่าไร ถ้าจุด A เป็นตำแหน่งบนแนวบัพเส้นแรกถัดจากเส้นกลาง

วิธีทำ จากโจทย์ $S_1A = 6$ cm และ $\lambda = 3$ cm ถ้าให้ A เป็นจุดที่อยู่บนแนวบัพเส้นแรก ดังนั้น $n = 1$

จาก $|S_1A - S_2A| = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda$

$$|6 - S_2A| = \left(1 - \frac{1}{2}\right)(3)$$



ดังนั้น $-(6 - S_2A) = \frac{3}{2}$

$$-6 + S_2A = \frac{3}{2}$$

จะได้ $S_2A = 7.5$ cm

และ $6 - S_2A = \frac{3}{2}$

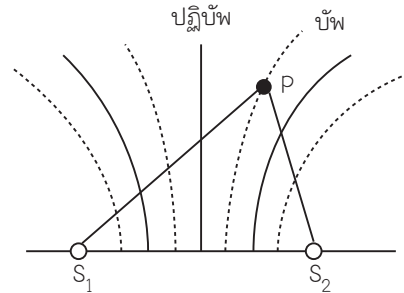
$$S_2A = 6 - \frac{3}{2}$$

จะได้ $S_2A = 4.5$ cm

ตอบ จุด A อยู่ห่างจาก S_2 มีค่า 7.5 และ 4.5 เซนติเมตร

Ex 9.43

จากรูป แสดงภาพการแทรกสอดของคลื่นผิวน้ำที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์ S_1 และ S_2 มี P เป็นจุดบนเส้นบัพ ถ้า S_1P เท่ากับ 10 เซนติเมตร และ S_2P เท่ากับ 7 เซนติเมตร ถ้าอัตราเร็วของคลื่นทั้งสองเท่ากับ 30 เซนติเมตรต่อวินาที แหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองมีความถี่เท่าใด



วิธีทำ จากรูป P อยู่บนตำแหน่ง บัพ ที่ 1 ($n = 1$)

$$\begin{aligned} \text{จาก } |S_1P - S_2P| &= \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \\ |10 - 7| &= \left(1 - \frac{1}{2}\right)\lambda \\ 3 &= 0.5\lambda \\ \lambda &= 6 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } v &= f\lambda \\ f &= \frac{v}{\lambda} \\ f &= \frac{30}{6} \\ \text{ดังนั้น } f &= 5 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ตอบ แหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองมีความถี่ 5 เฮิรตซ์

Ex 9.44

แหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์ S_1 และ S_2 ทำให้เกิดการแทรกสอดของคลื่น โดยที่จุด A อยู่บนท้องคลื่นลำดับที่ 3 ของ S_1 และอยู่บนท้องคลื่นลำดับที่ 5 ของ S_2 ถ้าจุด A อยู่ห่างจาก S_1 และ S_2 เท่ากับ 6.0 และ 9.0 เซนติเมตร ตามลำดับ และคลื่นมีอัตราเร็ว 0.21 เมตร/วินาที จงคำนวณหาความถี่ของคลื่น

วิธีทำ จากโจทย์ A อยู่บนท้องคลื่นลำดับที่ 3 และลำดับที่ 5 ดังนั้น จึงเป็นการแทรกสอดแบบเสริมที่ปฏิบัพลำดับที่ 2 (จาก $5 - 3 = 2$)

$$\begin{aligned} \text{จาก } |S_1P - S_2P| &= n\lambda \\ |9 - 6| &= 2\lambda \\ \lambda &= 1.5 \text{ cm} \\ \lambda &= 0.015 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } v &= f\lambda \\ f &= \frac{v}{\lambda} \\ f &= \frac{0.21}{0.015} \\ \text{ดังนั้น } f &= 14 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ตอบ คลื่นมีความถี่ 14 เฮิรตซ์

**Ex 9.45**

แหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์สองแหล่งห่างกัน 6 เซนติเมตร ทำให้เกิดคลื่นผิวน้ำที่มีความถี่เท่ากันและความยาวคลื่น 2 เซนติเมตร จงหาว่าเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างแหล่งกำเนิดทั้งสองคลื่นรวมที่เกิดจากการแทรกสอดมีปฏิบัพกี่ตำแหน่ง

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $d = 0.6 \text{ m}$ ทราบ $\lambda = 0.02 \text{ m}$ และหาความต้องการหาจำนวนปฏิบัพทั้งหมด ดังนั้นจะได้ $\theta = 90^\circ$

$$\text{จาก } d \sin \theta = n\lambda \text{ (ปฏิบัพ)}$$

$$0.06 \sin 90^\circ = n(0.02)$$

$$\text{จะได้ } n = 3$$

ดังนั้นแนวปฏิบัพสุดท้ายคือแนวที่ 3

จึงเกิดแนวการแทรกสอดปฏิบัพทั้งหมดคือ

$$3(2) + 1 = 7 \text{ แนว}$$

ตอบ คลื่นเกิดการแทรกสอดมีปฏิบัพทั้งหมด 7 ตำแหน่ง

Ex 9.46

แหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์เฟสตรงกัน 2 อัน วางห่างกัน 6 เซนติเมตร ความเร็วคลื่น 40 เซนติเมตร/วินาที ขณะนั้นคลื่นมีความถี่ 20 เฮิรตซ์ จงหาว่าแนวปฏิบัพที่ 3 จะเบนออกจากแนวกลางเท่าใด

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $d = 6 \text{ cm}$, ความเร็วคลื่น $v = 40 \text{ cm/s}$ และความถี่ $f = 20 \text{ Hz}$

$$\text{จาก } d \sin \theta = n\lambda \text{ (ปฏิบัพ) และเมื่อ } \lambda = \frac{v}{f}$$

$$d \sin \theta = n \frac{v}{f}$$

$$6 \sin \theta = 3 \left(\frac{40}{20} \right)$$

$$\sin \theta = 1$$

$$\text{ดังนั้น } \theta = 90^\circ$$

ตอบ แนวปฏิบัพที่ 3 จะเบนออกจากแนวกลาง 90 องศา

Ex 9.47

S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์ให้คลื่นเฟสตรงกัน $|S_1P - S_2P| = 20$ เซนติเมตร และ P อยู่บนแนวปฏิบัติที่ 4 ถ้า Q อยู่บนแนวปฏิบัติที่ 3 จงหาค่า $|S_1Q - S_2Q|$

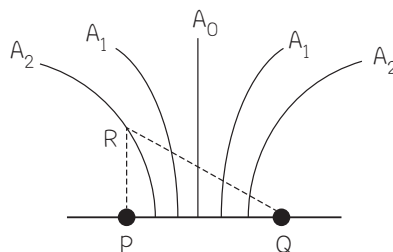
วิธีทำ จากโจทย์ P อยู่บนแนวปฏิบัติที่ 4 ($n = 4$) และ Q อยู่บนแนวปฏิบัติที่ 3 ($n = 3$) และการแทรกสอดเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น (λ) เท่ากัน ดังนั้นสามารถหาความยาวคลื่นได้จากแนวปฏิบัติ ดังนี้

จาก $ S_1P - S_2P = n\lambda$ (ปฏิบัติ)	จาก $ S_1Q - S_2Q = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda$ (บัพ)
$20 = 4\lambda$	$ S_1Q - S_2Q = \left(3 - \frac{1}{2}\right)(5)$
$\lambda = 5 \text{ cm}$	ดังนั้น $ S_1Q - S_2Q = 12.5 \text{ cm}$

ตอบ $|S_1Q - S_2Q|$ มีค่า 12.5 เซนติเมตร

Ex 9.48

แหล่งกำเนิดคลื่นน้ำสร้างคลื่น 2 ตำแหน่ง P และ Q มีความยาวคลื่น 2 เซนติเมตร และได้แนวของเส้นปฏิบัติดังรูป อยากทราบว่า PR และ QR มีความยาวต่างกันเท่าใด



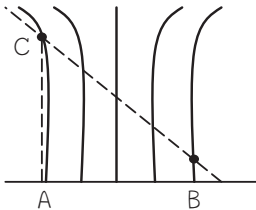
วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $\lambda = 2 \text{ cm}$ และจากรูป ทราบ R อยู่บนแนวปฏิบัติลำดับที่ 2 ดังนั้น $n = 2$

จาก การแทรกสอดแบบเสริม	$ RP - RQ = n\lambda$
	$ RP - RQ = (2)(2)$
ดังนั้น	$ RP - RQ = 4 \text{ cm}$

ตอบ PR และ QR มีความยาวต่างกัน 4 เซนติเมตร

**Ex 9.49**

แหล่งกำเนิดคลื่นน้ำสร้างคลื่นน้ำที่สองตำแหน่ง A และ B มีความยาวคลื่น 1.5 เซนติเมตร และได้แนวของเส้นปฏิบัพแสดงในรูป อยากทราบว่า AC และ BC มีความยาวต่างกันเท่าใด



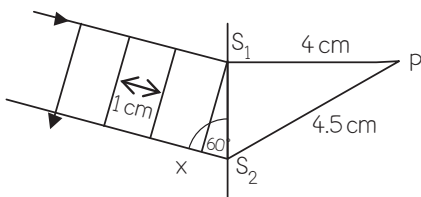
วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $\lambda = 1.5$ cm และ C อยู่บนแนวปฏิบัพลำดับที่ 2 ดังนั้น $n = 2$

$$\begin{aligned} \text{จาก การแทรกสอดแบบเสริม} \quad |AC - BC| &= n\lambda \\ &= 2(1.5) \\ &= 3 \text{ cm} \end{aligned}$$

ตอบ AC และ BC มีความยาวต่างกัน 3 เซนติเมตร

Ex 9.50

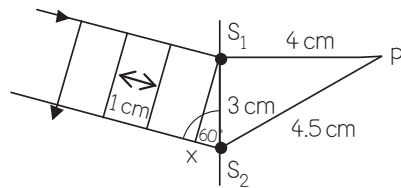
จากรูป S_1 และ S_2 เป็นช่องแคบ ถ้ามีคลื่นหน้าตรงความยาวคลื่น 1 เซนติเมตร ตกกระทบบนมุม 60 องศา กับแนว $S_1 S_2$ ซึ่งห่างกัน 3 เซนติเมตร การแทรกสอดที่จุด P จะเป็นอย่างไร



1. จะไม่เกิดการแทรกสอดของคลื่น
2. จะเกิดจุดปฏิบัพ
3. จะเกิดจุดบัพ
4. เกิดการแทรกสอดที่ไม่ใช่ทั้งบัพและปฏิบัพ

วิธีทำ จากรูป $S_1 S_2$ ซึ่งห่างกัน 3 cm

ซึ่งจะได้ระยะห่างระหว่าง คือ ดังนั้น



พิจารณาแนวปฏิบัพ

$$\begin{aligned} xS_2P - S_1P &= n\lambda \\ (3 \cos 60^\circ + 4.5) - 4 &= n_1 \\ n &= 2 \end{aligned}$$

พิจารณาแนวบัพ

$$\begin{aligned} xS_2P - S_1P &= \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \\ (3 \cos 60^\circ + 4.5) - 4 &= \left(n - \frac{1}{2}\right)(1) \\ n &= 2.5 \text{ (ไม่ลงตัว)} \end{aligned}$$

ดังนั้น จะพบว่าที่จุด P จะอยู่บนแนวปฏิบัพลำดับที่ 2

ตอบ การแทรกสอดที่จุด P อยู่บนแนวปฏิบัพลำดับที่ 2

Ex 9.51

ถ้า S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นในภาตคลื่น ซึ่งมีความถี่เท่ากันและเฟสตรงกัน ห่างกัน 8 เซนติเมตร และถ้าความยาวคลื่น 4 เซนติเมตร จะเกิดจุดบัพและจุดปฏิบัพทั้งหมดกี่จุดบนเส้นตรง S_1S_2

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $d = 8 \text{ cm}$, $\lambda = 4 \text{ cm}$ และเมื่อให้ n คือลำดับของบัพและปฏิบัพที่ไกลที่สุด ดังนั้น $\theta = 90^\circ$

คิดบัพสุดท้าย

$$\text{จาก } d \sin \theta = \left(n - \frac{1}{2}\right) (\lambda)$$

$$8 \sin 90^\circ = \left(n - \frac{1}{2}\right) (4)$$

$$n = 2.5$$

จะได้ว่าบัพสุดท้ายที่เกิดบนเส้นตรง

S_1S_2 คือบัพที่ 2

คิดปฏิบัพสุดท้าย

$$\text{จาก } d \sin \theta = n \lambda$$

$$8 \sin 90^\circ = n(4)$$

$$n = 2$$

จะได้ว่าปฏิบัพสุดท้ายที่เกิดบนเส้น

ตรง S_1S_2 คือปฏิบัพที่ 2

ดังนั้น บนเส้นตรง S_1S_2 จะเกิดจุดบัพ 4 จุด (ซ้าย 2 ขวา 2) และเกิดจุดปฏิบัพ 5 จุด (ซ้าย 2 ขวา 2 และเนวกลาง 1)

ตอบ เกิดจุดบัพทั้งหมด 4 จุดและจุดปฏิบัพทั้งหมด 5 จุด

Ex 9.52

แหล่งกำเนิดคลื่นผิวน้ำอาพันธ์ S_1 และ S_2 มีเฟสตรงกัน อยู่ห่างกัน 12 เซนติเมตร ถ้าความยาวคลื่นเท่ากับ 4 เซนติเมตร ระหว่าง S_1 และ S_2 จะมีจุดบัพกี่จุด

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $d = 12 \text{ cm}$, $\lambda = 4 \text{ cm}$ และเมื่อให้ n คือลำดับของบัพและปฏิบัพที่ไกลที่สุด ดังนั้น $\theta = 90^\circ$

จากการแทรกสอดแบบหักล้าง

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

$$12 \sin 90^\circ = \left(n - \frac{1}{2}\right) (4)$$

$$12 = 4n - 2$$

$$14 = 4n$$

$$n = 3.5$$

ดังนั้น แนวบัพสุดท้ายเป็นบัพที่ 3

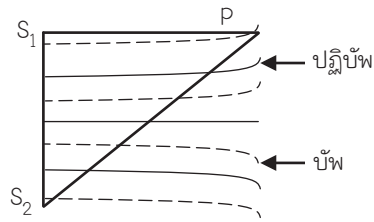
แสดงว่าระหว่าง S_1 และ S_2 มีแนวบัพ 6

แนว (ซ้าย 3 ขวา 3)

ตอบ ระหว่าง S_1 และ S_2 มีบัพ 6 จุด

**Ex 9.53**

จากรูป S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดคลื่น
ผิวน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์ ระยะ
 $S_1P = 12$ เซนติเมตร และ $S_2P = 18$
เซนติเมตร ถ้าความถี่ของคลื่นเท่ากับ
10 เฮิรตซ์ จงหาความเร็วของคลื่น



วิธีทำ จากรูป P อยู่บนแนวปฏิบัพที่ 2 ดังนั้น $n = 2$ และจากโจทย์ทราบ ความถี่ $f = 10 \text{ Hz}$

จากการแทรกสอดแบบหักล้าง

$$|S_1P - S_2P| = \left(n - \frac{1}{2}\right)(\lambda)$$

$$|12 - 18| = \left(2 - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$|-6| = \frac{3\lambda}{2}$$

ดังนั้น $\lambda = 4 \text{ cm}$

จาก $v = f\lambda$

$$v = 10(4)$$

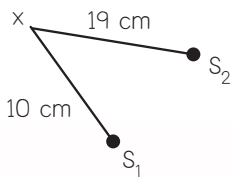
$$v = 40 \text{ cm/s}$$

หรือ $v = 0.4 \text{ m/s}$

ตอบ ความเร็วคลื่นมีค่า 0.4 เมตร/วินาที

Ex 9.54

แหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์ให้หน้าคลื่นวงกลมสองแหล่งอยู่ห่างกัน 10 เซนติเมตร
มีความยาวคลื่น 2 เซนติเมตร ตำแหน่งหนึ่งห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสอง
เป็นระยะ 10 เซนติเมตร และ 19 เซนติเมตร ตามลำดับจะอยู่บนแนวปฏิบัพหรือ
ปฏิบัพที่เท่าใด นับจากแนวกลาง

วิธีทำ

พิจารณาแนวปฏิบัพ

$$|S_1X - S_2X| = n\lambda$$

$$|10 - 19| = n(2)$$

$$n = 4.5$$

พิจารณาแนวบัพ

$$|S_1X - S_2X| = \left(n - \frac{1}{2}\right)(\lambda)$$

$$|10 - 19| = \left(n - \frac{1}{2}\right)(2)$$

$$n = 5$$

ดังนั้น n เป็นจำนวนเต็มแสดงว่าจุด X อยู่บนบัพที่ 5

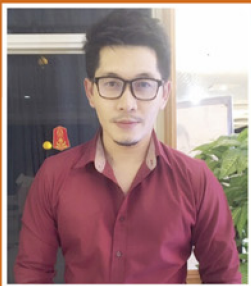
ตอบ ตำแหน่ง X อยู่แนวบัพลำดับที่ 5

ลัปคม ฟิสิกส์ ม.ปลาย เล่ม 2

“ลัปคม ฟิสิกส์ ม.ปลาย เล่ม 2” เล่มนี้ อธิบายเนื้อหาฟิสิกส์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในส่วนของคลื่นและไฟฟ้าไว้อย่างละเอียด ตามหลักสูตรของกระทรวงศึกษาธิการ ให้อ่านสำหรับ เตรียมตัวสอบในชั้นเรียน หรือเตรียมตัวสอบเข้ามหาวิทยาลัยทั่วประเทศ รวมทั้งให้บทวนความรู้ ในการสอบแข่งขันในทุกๆ สนามสอบ ผู้เขียนอธิบายเนื้อหาในส่วนของคลื่นและไฟฟ้า ไว้อย่าง ครบคลุมและครบถ้วนภายในเล่มเดียว พร้อมพิสูจน์ และอธิบายถึงที่มาของสมการต่างๆ ไว้อย่าง ละเอียดและเข้าใจง่าย รวมทั้งมีโจทย์ตัวอย่างจำนวนมาก แทรกในแต่ละส่วนของเนื้อหา โดยโจทย์ ตัวอย่างจะเรียงเรียงจากระดับพื้นฐานจนถึงระดับโจทย์สอบเข้ามหาวิทยาลัย เพื่อผู้อ่านจะได้ ทำความเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น และเป็นการฝึกทักษะในการแก้โจทย์ปัญหา สำหรับการเตรียมตัว ในการสอบด้วยความมั่นใจ

“กฎที่ธรรมชาติสร้างไว้อย่อมอยู่เหนือกฎที่มนุษย์สร้างขึ้นเสมอ”

ประวัติผู้เขียน



อติพงษ์ อามาตย์สมบัติ

- ★ ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ★ ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ★ ปริญญาเอก วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 - เป็นอาจารย์พิเศษ โรงเรียนมหาไถ่ศึกษา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (2556 – 2560)
 - เป็นติวเตอร์ให้กับสถาบันกวดวิชาและโรงเรียนหลายแห่ง ประสบการณ์สอนมากกว่า 10 ปี (2549 – ปัจจุบัน)



www.se-ed.com



sbc.fans

พร้อมจำหน่ายในรูปแบบ

- | | |
|--|---|
| ☒ e-book (PDF) | ☐ audiobooks |
| ☐ e-book (EPUB) | ☐ audio CD / MP3 |
| <hr/> | |
| ☒ ปกอ่อน | ☐ LARGE PRINT (ตัวอักษรขนาดใหญ่) |

ISBN 978-616-08-4003-8



9 786160 840038

272 บาท

คู่มือเรียน - สอบ / มัธยม