



คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่



# ฟิสิกส์

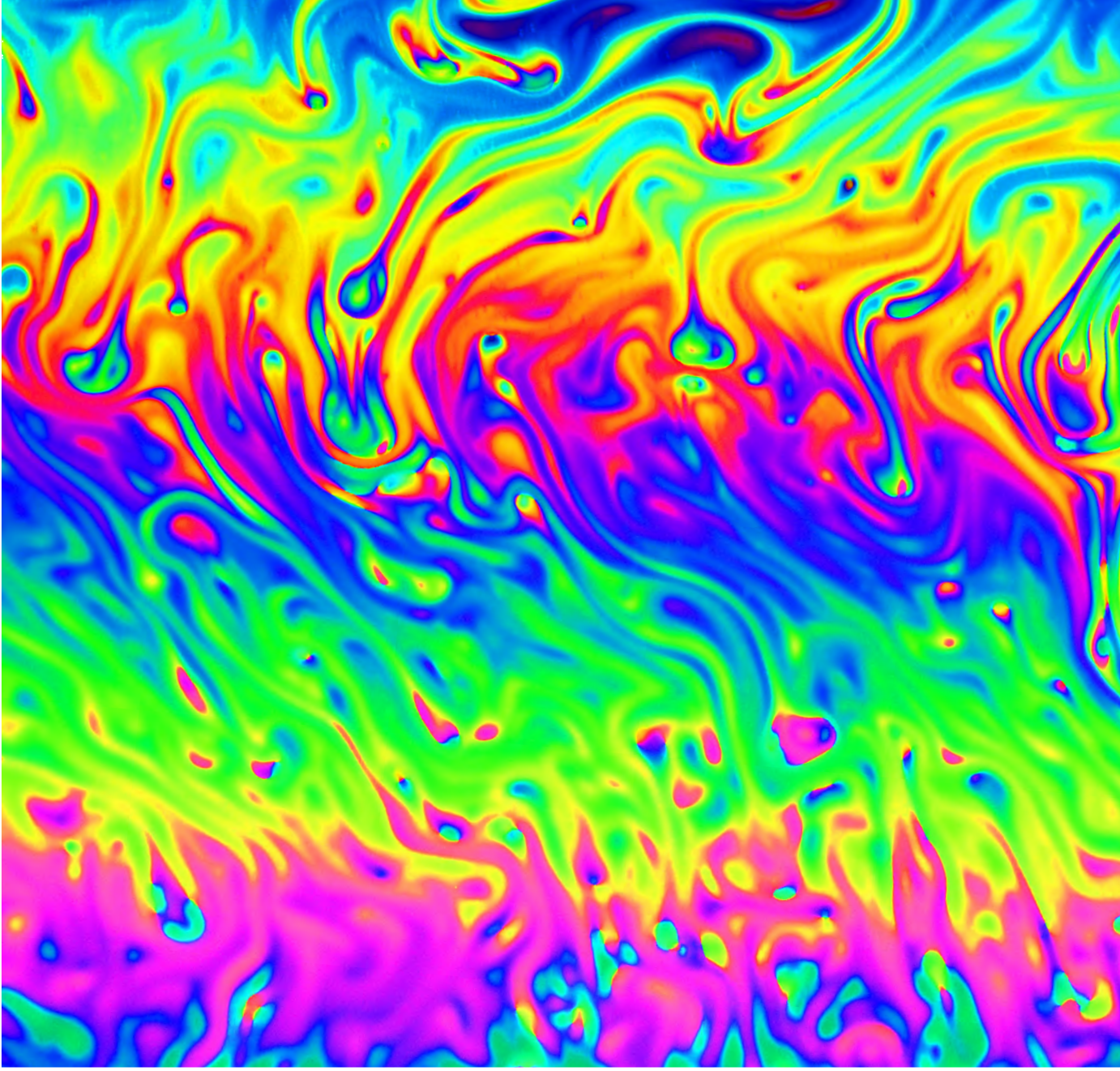
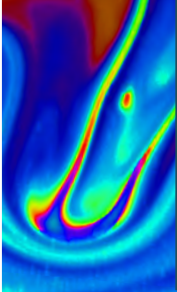
## เล่ม ๓

# ๕

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑



ตัวอักษรกรีก

ตัวอักษรเล็ก	ตัวอักษรใหญ่	ชื่อ	
$\alpha$	A	alpha	แอลฟา
$\beta$	B	beta	บีตา
$\gamma$	$\Gamma$	gamma	แกมมา
$\delta, \delta$	$\Delta$	delta	เดลตา
$\epsilon$	E	epsilon	เอปไซลอน
$\zeta$	Z	zeta	ซีตา
$\eta$	H	eta	อีตา
$\theta$	$\Theta$	theta	ทีตา
$\iota$	I	iota	ไอโอตา
$\kappa$	K	kappa	แคปปา
$\lambda$	$\Lambda$	lambda	แลมบ์ดา
$\mu$	M	mu	มิว

ตัวอักษรเล็ก	ตัวอักษรใหญ่	ชื่อ	
$\nu$	N	nu	นิว
$\xi$	$\Xi$	xi	ไซ
$\omicron$	O	omicron	โอไมครอน
$\pi$	$\Pi$	pi	พาย
$\rho$	P	rho	โร
$\sigma$	$\Sigma$	sigma	ซิกมา
$\tau$	T	tau	เทา
$\upsilon$	Y	upsilon	อึปไซลอน
$\phi$	$\Phi$	phi	ฟาย, ฟี
$\chi$	X	chi	ไค
$\psi$	$\Psi$	psi	ซาย
$\omega$	$\Omega$	omega	โอเมกา

ราชบัณฑิตยสถาน ศัพท์คณิตศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พิมพ์ครั้งที่ ๙ แก้ไขเพิ่มเติม กรุงเทพฯ : ราชบัณฑิตยสถาน, ๒๕๔๙.



คู่มือครู

# รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

## ฟิสิกส์

ชั้น

## มัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

เผยแพร่ พฤษภาคม ๒๕๖๒

## คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้รับมอบหมายจากกระทรวงศึกษาธิการ ในการพัฒนามาตรฐานและตัวชี้วัดของหลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ และยังมีบทบาทหน้าที่ในการรับผิดชอบเกี่ยวกับการจัดทำหนังสือเรียน คู่มือครู แบบฝึกทักษะ กิจกรรม และสื่อการเรียนรู้ ตลอดจนวิธีการจัดการเรียนรู้และการวัดและประเมินผล เพื่อให้การจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ นี้ จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการใช้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ โดยครอบคลุมเนื้อหาตามผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ ในสาระฟิสิกส์ โดยมีตารางวิเคราะห์ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม เพื่อการจัดทำหน่วยการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ มีแนวการจัดการเรียนรู้ การให้ความรู้เพิ่มเติมที่จำเป็นสำหรับครูผู้สอน รวมทั้งการเฉลยคำถามและแบบฝึกหัดในหนังสือเรียน

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือครูเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ บุคลากรทางการศึกษาและหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องซึ่งในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้



(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิมปิจนางค์)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
กระทรวงศึกษาธิการ

# คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อต้องการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไปโรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. ได้มีการจัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน และเพื่อให้ครูผู้สอนสามารถสอนและจัดกิจกรรมต่างๆ ตามหนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้จัดทำคู่มือครูสำหรับใช้ประกอบหนังสือเรียนดังกล่าว

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ นี้ ได้บอกแนวการจัดการเรียนการสอนตามเนื้อหาในหนังสือเรียนเกี่ยวกับ การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ธรรมชาติของคลื่น หลักการและพฤติกรรมของคลื่น พฤติกรรมเชิงคลื่นของแสง การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยวและเกรตติง การสะท้อนและการหักเหของแสง การเกิดภาพจากเลนส์บางและกระจกเงาทรงกลม การมองเห็นแสงสี และปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกี่ยวกับแสง ซึ่งครูผู้สอนสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ให้บรรลุจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยสามารถนำไปจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ตามความเหมาะสมและความพร้อมของโรงเรียน ในการจัดทำคู่มือครูเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สอน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้คู่มือครูเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วยจะขอบคุณยิ่ง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

## คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ เล่ม ๓

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕

เวลา ๘๐ ชั่วโมง จำนวน ๒ หน่วยกิต

ศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย แรงกับการสั่นของมวลติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย ความถี่ธรรมชาติและ การสั่นพ้อง ธรรมชาติของคลื่น อัตราเร็วของคลื่น หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น พฤติกรรมของคลื่น แนวคิดเกี่ยวกับแสงเชิงคลื่น การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว การเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง การสะท้อนและการหักเหของแสง การมองเห็นและการเกิดภาพ ภาพจากเลนส์และกระจกเงาทรงกลม แสงสีและการมองเห็นแสงสี ปรากฏการณ์ธรรมชาติและการใช้ประโยชน์เกี่ยวกับแสง โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปราย และสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

### ผลการเรียนรู้

- ทดลองและอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- อธิบายความถี่ธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้อง
- อธิบายปรากฏการณ์คลื่น ชนิดของคลื่น ส่วนประกอบของคลื่น การแผ่ของหน้าคลื่นด้วยหลักการของฮอยเกนส์ และการรวมกันของคลื่นตามหลักการซ้อนทับ พร้อมทั้งคำนวณอัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น
- สังเกตและอธิบายการสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- ทดลอง และอธิบายการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่และเกรตติง การเลี้ยวเบนและการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตเดี่ยว รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- ทดลอง และอธิบายการสะท้อนของแสงที่ผิววัตถุตามกฎการสะท้อน เขียนรังสีของแสงและคำนวณตำแหน่งและขนาดภาพของวัตถุ เมื่อแสงตกกระทบบนกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลม รวมทั้งอธิบายการนำความรู้เรื่องการสะท้อนของแสงจากกระจกเงาราบ และกระจกเงาทรงกลม ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน

๗. ทดลอง และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีหักเห มุมตกกระทบ และมุมหักเหรวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจริงและความลึกปรากฏ มุมวิกฤตและการสะท้อนกลับหมดของแสง และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
๘. ทดลอง และเขียนรังสีของแสงเพื่อแสดงภาพที่เกิดจากเลนส์บาง หาตำแหน่ง ขนาด ชนิดของภาพ และความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ ระยะภาพและความยาวโฟกัส รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และอธิบายการนำความรู้เรื่องการหักเหของแสงผ่านเลนส์บางไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน
๙. อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกี่ยวกับแสง เช่น รุ้ง การทรงกลด มิราจ และการเห็นท้องฟ้าเป็นสีต่าง ๆ ในช่วงเวลาต่างกัน
๑๐. สังเกต และอธิบายการมองเห็นแสงสี สีของวัตถุ การผสมสารสี และการผสมแสงสี รวมทั้งอธิบายสาเหตุของการบอดสี

**รวมทั้งหมด ๑๐ ผลการเรียนรู้**

## ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้คู่มือครู

วิทยาศาสตร์มีความเกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการงานอาชีพต่าง ๆ รวมทั้งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผลผลิตต่าง ๆ ที่ใช้ในการอำนวยความสะดวกทั้งในชีวิต และการทำงาน นอกจากนี้วิทยาศาสตร์ยังช่วยพัฒนาวิธีคิดและทำให้มีทักษะที่จำเป็นในการตัดสินใจและแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ การจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนมีความรู้และทักษะที่สำคัญตามเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จึงมีความสำคัญยิ่ง ซึ่งเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มีดังนี้

1. เพื่อให้เข้าใจหลักการและทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานของวิชาวิทยาศาสตร์
2. เพื่อให้เกิดความเข้าใจในลักษณะ ขอบเขต และข้อจำกัดของวิทยาศาสตร์
3. เพื่อให้เกิดทักษะที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. เพื่อพัฒนากระบวนการคิดและจินตนาการ ความสามารถในการแก้ปัญหาและการจัดการทักษะในการสื่อสารและความสามารถในการตัดสินใจ
5. เพื่อให้ตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี มวลมนุษยและสภาพแวดล้อม ในเชิงที่มีอิทธิพลและผลกระทบซึ่งกันและกัน
6. เพื่อนำความรู้ความเข้าใจเรื่องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและการดำรงชีวิตอย่างมีคุณค่า
7. เพื่อให้มีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรม จริยธรรม และค่านิยมในการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างสร้างสรรค์

คู่มือครูเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นควบคู่กับหนังสือเรียน สำหรับให้ครูได้ใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนได้รับความรู้และมีทักษะที่สำคัญตามจุดประสงค์การเรียนรู้ในหนังสือเรียน ซึ่งสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ตามสาระการเรียนรู้ ส่งเสริมให้บรรลุเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้ อย่างไรก็ตาม ครูอาจพิจารณาตัดแปลงหรือเพิ่มเติมการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียนได้โดยคู่มือครูมีองค์ประกอบหลักดังต่อไปนี้

### ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้เป็นผลลัพธ์ที่ควรเกิดกับนักเรียนทั้งด้านความรู้และทักษะ ซึ่งช่วยให้ครูได้ทราบเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ในแต่ละเนื้อหาและออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ได้ ทั้งนี้ครูอาจเพิ่มเติมเนื้อหาหรือทักษะตามศักยภาพของนักเรียน รวมทั้งอาจสอดแทรกเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับท้องถิ่น เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้นได้



## การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

การวิเคราะห์ความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 จิตวิทยาศาสตร์ ที่เกี่ยวข้องในแต่ละผลการเรียนรู้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้

### ผังมโนทัศน์

แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคิดหลัก ความคิดรอง และความคิดย่อย เพื่อช่วยให้ครูเห็นความเชื่อมโยงของเนื้อหาภายในบทเรียน

### สรุปแนวความคิดสำคัญ

การสรุปเนื้อหาสำคัญของบทเรียน เพื่อช่วยให้ครูเห็นกรอบเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งลำดับของเนื้อหาในบทเรียนนั้น

### เวลาที่ใช้

เวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ ซึ่งครูอาจดำเนินการตามข้อเสนอแนะที่กำหนดไว้ หรืออาจปรับเวลาได้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

### ความรู้ก่อนเรียน

คำสำคัญหรือข้อความที่เป็นความรู้พื้นฐาน ซึ่งนักเรียนควรมีก่อนที่จะเรียนรู้เนื้อหาในบทเรียนนั้น

### การจัดการเรียนรู้ของแต่ละหัวข้อ

การจัดการเรียนรู้ในแต่ละข้ออาจมีองค์ประกอบแตกต่างกัน โดยรายละเอียดแต่ละองค์ประกอบมีดังนี้

#### - จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งสามารถวัดและประเมินผลได้ ทั้งนี้ครูอาจตั้งจุดประสงค์เพิ่มเติมจากที่ให้ไว้ ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

#### - ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

เนื้อหาที่นักเรียนอาจเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่พบบ่อย ซึ่งเป็นข้อมูลให้ครูได้พึงระวังหรืออาจเน้นย้ำในประเด็นดังกล่าวเพื่อป้องกันการเกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้

## - สิ่งที่คุณต้องเตรียมล่วงหน้า

สื่อการเรียนรู้ เช่น บัตรคำ คลิปวีดิทัศน์ หรือ วัสดุและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการประกอบ การจัดการเรียนรู้ ซึ่งคุณควรเตรียมล่วงหน้าก่อนเริ่มการจัดการเรียนรู้

## - แนวการจัดการเรียนรู้

แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยมีการนำเสนอทั้งใน ส่วนของเนื้อหาและกิจกรรมเป็นขั้นตอนอย่างละเอียด ทั้งนี้คุณอาจปรับหรือเพิ่มเติมกิจกรรม จากที่ให้ได้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

## - กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของ บทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสาธิต การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งควรให้ นักเรียนลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง โดยองค์ประกอบของกิจกรรมมีรายละเอียด ดังนี้

### • จุดประสงค์

เป้าหมายที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมนั้น

### • วัสดุและอุปกรณ์

รายการวัสดุ อุปกรณ์ หรือสารเคมีที่ต้องใช้ในการทำกิจกรรม ซึ่งคุณควรเตรียมให้เพียงพอ สำหรับการจัดกิจกรรม

### • สิ่งที่คุณต้องเตรียม

ข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่คุณต้องเตรียมล่วงหน้าสำหรับการจัดกิจกรรม เช่น การเตรียม สารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ การเตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิต

### • ข้อเสนอแนะการทำกิจกรรม

ข้อมูลที่ให้คุณแจ้งต่อนักเรียนให้ทราบถึงข้อระวัง ข้อควรปฏิบัติ หรือข้อมูลเพิ่มเติมใน การทำกิจกรรมนั้น ๆ

### • ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตัวอย่างผลการทดลอง การสาธิต การสืบค้นข้อมูลหรือกิจกรรมอื่น ๆ เพื่อให้ครูใช้เป็นข้อมูล สำหรับตรวจสอบผลการทำกิจกรรมของนักเรียน

- อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการอภิปรายและสรุปผลการทำกิจกรรม ซึ่งครูอาจใช้คำถามท้ายกิจกรรมหรือคำถามเพิ่มเติมเพื่อช่วยให้นักเรียนอภิปรายในประเด็นที่ต้องการรวมทั้งช่วยกระตุ้นให้นักเรียนช่วยกันคิดและอภิปรายถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ผลของกิจกรรมเป็นไปตามที่คาดหวัง หรืออาจไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง

นอกจากนี้ อาจมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับครู ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู เพื่อให้ครูมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องนั้น ๆ เพิ่มขึ้น จากเนื้อหาที่มีในหนังสือเรียน

- **แนวการวัดและประเมินผล**

แนวทางการวัดและประเมินผลที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ ซึ่งประเมินทั้งด้านความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ประเมินจิตวิทยาาสตร์ของนักเรียนที่ควรเกิดขึ้นหลังจากได้เรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ผลที่ได้จากการประเมินจะช่วยให้ครูทราบถึงความสำเร็จของการจัดการเรียนรู้ รวมทั้งใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาการเรียนรู้นี้ให้เหมาะสมกับนักเรียน

เครื่องมือวัดและประเมินผลมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น แบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ แบบประเมินทักษะ แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาาสตร์ ซึ่งครูอาจเรียกใช้เครื่องมือสำหรับการวัดและประเมินผลจากเครื่องมือมาตรฐานที่มีผู้พัฒนาไว้ ดัดแปลงจากเครื่องมือที่ผู้อื่นทำไว้แล้ว หรือสร้างเครื่องมือใหม่ขึ้นเอง ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล ดังภาคผนวก

- **แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ และเฉลยแบบฝึกหัด**

แนวคำตอบของคำถามตรวจสอบความเข้าใจ และเฉลยแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ ทั้งนี้ครูควรใช้คำถามตรวจสอบความเข้าใจเรียนเพื่อตรวจสอบความรู้ความเข้าใจของนักเรียนก่อนเริ่มเนื้อหาใหม่ เพื่อให้สามารถปรับการจัดการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมต่อไป และให้แบบฝึกหัดเพื่อฝึกฝนทักษะการแก้ปัญหาและทักษะอื่น ๆ

- **เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบท**

ประกอบด้วยแนวคำตอบของคำถามท้ายบทเรียนในหนังสือเรียน รวมทั้ง เฉลยปัญหา และเฉลยปัญหาท้ายบท ซึ่งครูควรใช้คำถามและปัญหาในแบบฝึกหัดท้ายบทในการตรวจสอบว่าหลังจากที่นักเรียน เรียนจบบทเรียนแล้ว นักเรียนยังขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องใดเพื่อให้สามารถวางแผนการทบทวนหรือเน้นย้ำเนื้อหาให้กับนักเรียนก่อนการทดสอบได้ ส่วนปัญหาท้ายบท เป็นปัญหาสำหรับนักเรียนที่มีศักยภาพสูง และต้องการโจทย์ท้าทายเพิ่มเติม

8

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

ผลการเรียนรู้	1
การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	1
ผังมโนทัศน์ การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	4
สรุปแนวความคิดสำคัญ	5
เวลาที่ใช้	6
ความรู้ก่อนเรียน	6
8.1 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	7
8.2 ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	10
8.2.1 การกระจัดของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	11
8.2.2 ความเร็วและความเร่งของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	11
8.3 แรงกับการสั่นของมวลติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย	17
8.3.1 การสั่นของมวลติดปลายสปริง	18
8.3.2 การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย	23
8.4 ความถี่ธรรมชาติและการสั่นพ้อง	31
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8	35

9

คลื่น

ผลการเรียนรู้	63
การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	63
ผังมโนทัศน์ คลื่น	66
สรุปแนวความคิดสำคัญ	67
เวลาที่ใช้	68
ความรู้ก่อนเรียน	68

บทที่	เนื้อหา	หน้า
	9.1 ธรรมชาติของคลื่น	69
	9.1.1 การเกิดคลื่น	69
	9.1.2 ชนิดของคลื่น	70
	9.1.3 ส่วนประกอบของคลื่น	72
	9.2 อัตราเร็วของคลื่น	74
	9.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น	75
	9.2.2 อัตราเร็วของคลื่นในตัวกลาง	76
	9.3 หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น	85
	9.3.1 หลักการของฮอยเกนส์	85
	9.3.2 หลักการซ้อนทับ	88
	9.4 พฤติกรรมของคลื่น	91
	9.4.1 การสะท้อนของคลื่น	92
	9.4.2 การหักเหของคลื่น	93
	9.4.3 การแทรกสอดของคลื่น	97
	9.4.4 การเลี้ยวเบนของคลื่น	102
	เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9	105

# 10

## แสงเชิงคลื่น

ผลการเรียนรู้	115
การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	115
ผังมโนทัศน์ แสงเชิงคลื่น	117
สรุปแนวความคิดสำคัญ	118
เวลาที่ใช้	119
ความรู้ก่อนเรียน	119
10.1 แนวคิดเกี่ยวกับแสงเชิงคลื่น	120
10.2 การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่	121
10.3 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว	134
10.4 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง	141
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 10	150

11

แสงเชิงรังสี

ผลการเรียนรู้	173
การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	174
ผังมโนทัศน์ แสงเชิงรังสี	178
สรุปแนวความคิดสำคัญ	179
เวลาที่ใช้	181
ความรู้ก่อนเรียน	181
11.1 การสะท้อนและการหักเหของแสง	182
11.1.1 การสะท้อนของแสง	182
11.1.2 การหักเหของแสง	185
11.2 การมองเห็นและการเกิดภาพ	196
11.2.1 การมองเห็น	196
11.2.2 การเกิดภาพ	197
11.3 ภาพจากเลนส์บางและกระจกเงาทรงกลม	202
11.3.1 การเกิดภาพจากเลนส์บาง	202
11.3.2 การคำนวณเกี่ยวกับเลนส์บาง	205
11.3.3 การเกิดภาพจากกระจกเงาทรงกลม	208
11.3.4 การคำนวณเกี่ยวกับกระจกเงาทรงกลม	210
11.4 แสงสีและการมองเห็นแสงสี	217
11.4.1 การมองเห็นสีของมนุษย์	218
11.4.2 การผสมแสงสี	220
11.4.3 แผ่นกรองแสงและสีของวัตถุ	223
11.4.4 การผสมสารสี	227
11.5 การอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติและการใช้ประโยชน์เกี่ยวกับแสง	230
11.5.1 ปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกี่ยวกับแสง	230
11.5.2 การนำความรู้เรื่องกระจกเงาและเลนส์บางไปใช้ประโยชน์	235
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 11	242

สารบัญ

ภาคผนวก

บทที่

เนื้อหา

หน้า

## ภาคผนวก

ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล	292
แบบทดสอบ	292
แบบประเมินทักษะ	296
แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาาสตร์	299
การประเมินการนำเสนอผลงาน	302
บรรณานุกรม	304
คณะกรรมการจัดทำคู่มือครู	305





## บทที่



ipst.me/8838

## 8

## การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

## ผลการเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. อธิบายความถี่ธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้อง

## การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

## ผลการเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

## จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายลักษณะเฉพาะของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
2. อธิบายการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
3. คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
4. อธิบายผลของแรงกับการสั่นของมวลติดปลายสปริงและการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย
5. ทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของรถทดลองติดปลายสปริง
6. ทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย
7. คำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับคาบการสั่นของมวลติดปลายสปริงและการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การวัด (ระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษ และ คาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย)</li> <li>2. การทดลอง</li> <li>3. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (การเขียนกราฟความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับความเร็ว การกระจัด และ กราฟความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับคาบและความยาวเชือก)</li> <li>4. การตีความหมายข้อมูล และลงข้อสรุป(การสรุปผลการทดลอง)</li> <li>5. การใช้จำนวน (การจัดความเร็ว ความเร่ง จากสมการการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การสื่อสารสารสนเทศ และการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล)</li> <li>2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ความซื่อสัตย์</li> <li>2. ความมุ่งมั่นอดทน</li> </ol>

**ผลการเรียนรู้**

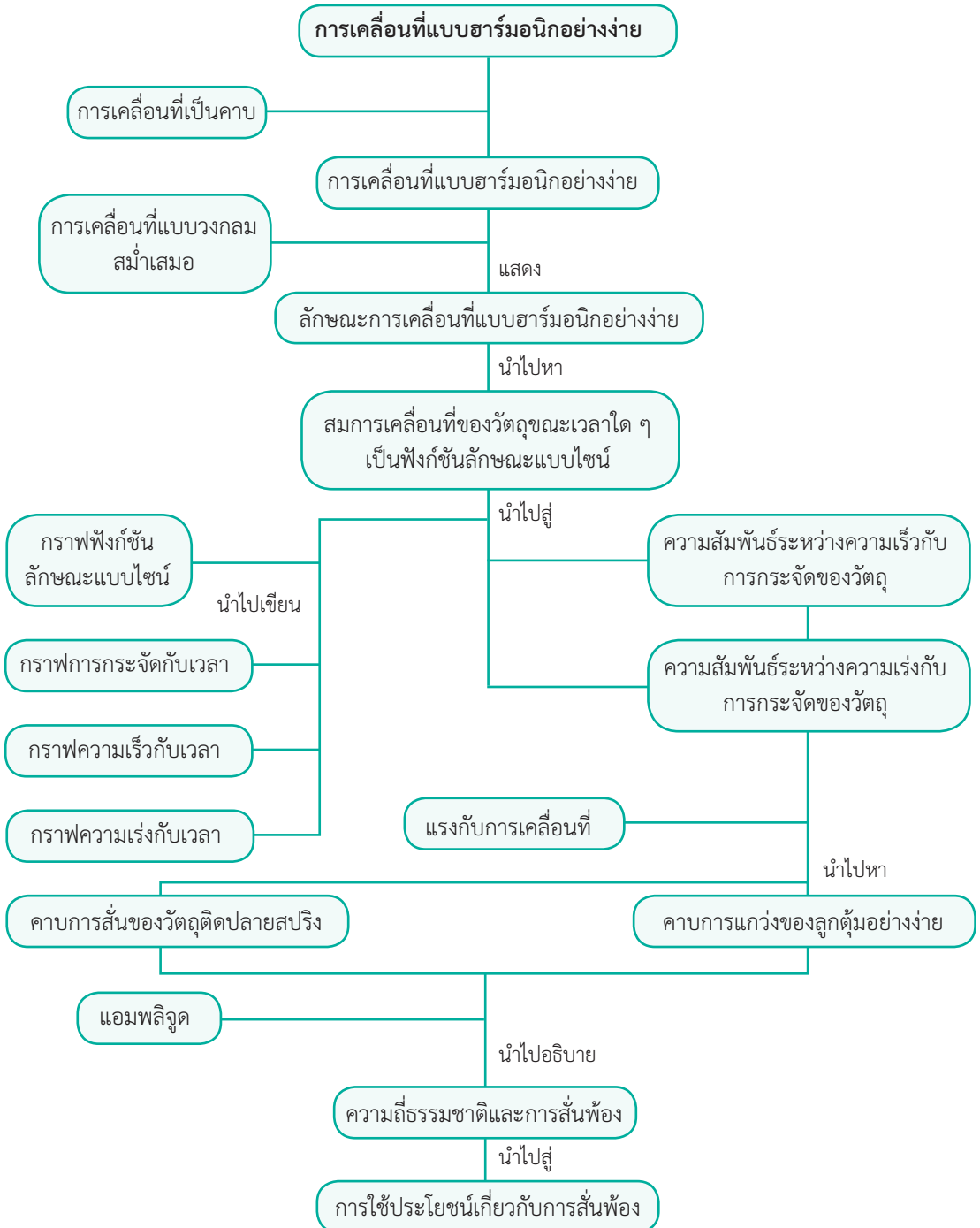
- อธิบายความถี่ธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้อง

**จุดประสงค์การเรียนรู้**

- อธิบายความถี่ธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้อง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
<ol style="list-style-type: none"> <li>การสังเกต (การแกว่งของลูกตุ้ม)</li> <li>การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป(เกี่ยวกับการเกิดการสั่นพ้อง)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>ความอยากรู้อยากเห็น</li> </ol>

## ผังมโนทัศน์ การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย



### สรุปแนวความคิดสำคัญ

การสั่น (vibration) หรือการแกว่งกวัด (oscillation) ทั้งสองคำนี้หมายถึงการเคลื่อนที่เดียวกัน การสั่นแบบที่ง่ายที่สุด คือ การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (simple harmonic motion) เป็นการเคลื่อนที่กลับไปมาซ้ำรอยเดิมผ่านตำแหน่งสมดุล (equilibrium position) มีคาบและแอมพลิจูดคงตัว

เมื่อฉายแสงให้ขนานกับระนาบการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบวงกลมด้วยอัตราเร็วเชิงมุมคงตัว เงามของวัตถุบนฉากจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิมในแนวตรงมีความเร็วเข้าสู่จุดสมดุลซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จากการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเงากับการเคลื่อนที่แบบวงกลมของวัตถุสรุปเป็นสมการของปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของเงาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{การกระจัด} & \quad x = A \sin(\omega t + \phi) \\ \text{ความเร็ว} & \quad v = A\omega \cos(\omega t + \phi) \\ \text{ความเร่ง} & \quad a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi) \end{aligned}$$

ความเร่งแปรผันตรงกับการกระจัด แต่มีทิศตรงข้ามกัน สัมพันธ์กันตามสมการ  $a = -\omega^2 x$  ส่วนความเร็วสัมพันธ์กับการกระจัดตามสมการ  $v = \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2}$

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุจะมีแรงที่ดึงวัตถุให้กลับมาที่ตำแหน่งสมดุล เรียกแรงนี้ว่า **แรงดึงกลับ (restoring force)** การสั่นของมวลติดปลายสปริงและการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายเป็นตัวอย่างของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

การสั่นของมวลติดปลายสปริง แรงดึงกลับเท่ากับ  $-kx$  จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงตัวสปริง ( $k$ ) มวลของวัตถุ ( $m$ ) กับความถี่เชิงมุมตามสมการ  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$  และจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เชิงมุมกับคาบและความถี่ จะได้

$$\begin{aligned} \text{คาบ} & \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \\ \text{ความถี่} & \quad f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \end{aligned}$$

ในทำนองเดียวกันนี้ของการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายแรงดึงกลับเท่ากับ  $-mg \sin \theta$  เมื่อพิจารณากรณี  $\theta < 10^\circ$  จะได้

$$\begin{aligned} \text{ความถี่เชิงมุม} & \quad \omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}} \\ \text{คาบ} & \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \end{aligned}$$

ความถี่  $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$

เมื่อให้วัตถุสั่นหรือแกว่งอย่างอิสระ เช่น การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายในวัตถุติดสปริงหรือลูกตุ้มอย่างง่าย วัตถุจะสั่นด้วยความถี่เฉพาะตัวค่าหนึ่ง เรียกว่า **ความถี่ธรรมชาติ** (natural frequency) เมื่อวัตถุถูกกระตุ้นต่อเนื่องให้สั่นอย่างอิสระด้วยแรงหรือพลังงานที่มีความถี่เท่ากับหรือใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของวัตถุ วัตถุนั้นจะสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติของวัตถุนั้นและสั่นด้วยแอมพลิจูดที่มีค่ามาก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า **การสั่นพ้อง** (resonance)

ความรู้เรื่องการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ความถี่ธรรมชาติ และการสั่นพ้องนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ระบบต้านแผ่นดินไหวของตึกสูง การออกแบบสะพาน อาคาร และสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ

### เวลาที่ใช้

#### บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 20 ชั่วโมง

8.1 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	2	ชั่วโมง
8.2 ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	6	ชั่วโมง
8.3 แรงกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	10	ชั่วโมง
8.4 ความถี่ธรรมชาติและการสั่นพ้อง	2	ชั่วโมง

### ความรู้ก่อนเรียน

เวกเตอร์ การเคลื่อนที่แนวตรง กฎการเคลื่อนที่ข้อสองของนิวตัน การเคลื่อนที่แบบวงกลม

ครูนำเข้าสู่บทที่ 8 โดยยกตัวอย่างการเคลื่อนที่เป็นคาบ เช่น การโคจรของดาวเทียมรอบโลก การสั่นของวัตถุติดสปริง การสั่นของวัตถุที่อยู่บนผิวน้ำเมื่อมีคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่าน การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับลักษณะที่เหมือนหรือแตกต่างกันของการเคลื่อนที่เป็นคาบที่กล่าวมาข้างต้น จนสรุปได้ว่า การสั่นหรือการแกว่งจะมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิมผ่านตำแหน่งสมดุล และในบทนี้นักเรียนจะได้ศึกษาการสั่นแบบที่ง่ายที่สุด ที่เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

ครูชี้แจงคำถามสำคัญที่นักเรียนจะต้องตอบได้หลังจากการเรียนรู้บทที่ 8 และหัวข้อต่าง ๆ ที่จะได้เรียนรู้ในบทที่ 8

## 8.1 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

### จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. การสั่นหรือการแกว่งกวัดทุกกรณีเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	1. การสั่นหรือการแกว่งกวัดที่มีคาบและแอมพลิจูดคงตัวเท่านั้นที่เป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

### สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

- วิดิทัศน์การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของรถทดลองติดปลายสปริง

### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ ข้อที่ 1 ของหัวข้อ 8.1 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 8.1 โดยแสดงวิดิทัศน์การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของรถทดลองติดปลายสปริง ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับลักษณะการเคลื่อนที่จากวิดิทัศน์จนสรุปเกี่ยวกับตำแหน่งสมดุล คาบ และความถี่เวกเตอร์บอกตำแหน่ง การกระจัด แอมพลิจูด ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นครูถามต่อว่า คาบและแอมพลิจูดของรถทดลองในวิดิทัศน์เปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันต่อไปจนสรุปได้ว่า รถทดลองติดสปริงเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิมผ่านตำแหน่งสมดุล โดยมีแอมพลิจูดและคาบคงตัว เรียกการเคลื่อนที่นี้ว่า การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 8.1 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ แล้วจึงให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.1 และทำแบบฝึกหัด 8.1 โดยครูอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

### แนวการวัดและประเมินผล

- ความรู้เกี่ยวกับลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จากการอภิปรายร่วมกันและการตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.1
- ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปรายร่วมกัน



### แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.1

1. การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมีลักษณะอย่างไร

**แนวคำตอบ** การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิมผ่านตำแหน่งสมดุล โดยมีขนาดของการกระจัดสูงสุด (แอมพลิจูด) และคาบของการเคลื่อนที่คงตัว

2. จงอธิบายตำแหน่งสมดุล

**แนวคำตอบ** ตำแหน่งสมดุลเป็นตำแหน่งของวัตถุขณะแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ตามแนวการเคลื่อนที่ เช่น ตำแหน่งสมดุลของลูกตุ้มนาฬิกาอยู่ ณ จุดต่ำสุดในแนวดิ่ง

3. การเคลื่อนที่แบบวงกลมของลูกยาง การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย เป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายหรือไม่ เพราะเหตุใด

**แนวคำตอบ** การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิมผ่านตำแหน่งสมดุล มีคาบและแอมพลิจูดคงตัว ดังนั้นการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายจึงเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย แต่การเคลื่อนที่แบบวงกลมของลูกยางไม่ได้เป็น เนื่องจากการเคลื่อนที่ในทางเดียวไม่มีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา



### เฉลยแบบฝึกหัด 8.1

1. ถ้าวินาทีครบ 20 รอบ ในเวลา 40 วินาที จงหาความถี่และคาบของอนุภาค
- วิธีทำ** ความถี่  $f$  มีค่าเท่ากับจำนวนรอบของวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา

$$\begin{aligned} f &= \frac{20 \text{ รอบ}}{40 \text{ s}} \\ &= 0.5 \text{ s}^{-1} \\ &= 0.5 \text{ Hz} \end{aligned}$$

คาบ  $T$  มีค่าเท่ากับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ

$$\begin{aligned} T &= \frac{40 \text{ s}}{20 \text{ รอบ}} \\ &= 2.0 \text{ s} \end{aligned}$$



หรือ

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

$$= \frac{1}{0.5 \text{ s}^{-1}}$$

$$= 2.0 \text{ s}$$

**ตอบ** ความถี่และคาบของอนุภาคมีค่า 0.50 เฮิรตซ์ และ 2.0 วินาที ตามลำดับ

2. จงหาคาบของการเคลื่อนที่ต่อไปนี้ (ในหน่วยวินาที)

ก. ซีพจรเดิน 29 ครั้ง ใน 20 วินาที

ข. เครื่องยนต์หมุน 3200 รอบต่อนาที

**วิธีทำ** คาบ  $T$  มีค่าเท่ากับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ

ก.

$$T = \frac{20 \text{ s}}{29}$$

$$= 0.69 \text{ s}$$

ข.

$$T = \frac{60 \text{ s}}{3200}$$

$$= 0.019 \text{ s}$$

**ตอบ** ก. คาบของซีพจรเดิน 29 ครั้ง ใน 20 วินาที เท่ากับ 0.69 วินาที

ข. คาบของเครื่องยนต์หมุน 3200 รอบต่อนาที เท่ากับ 0.019 วินาที

3. จงหาความถี่ของเหตุการณ์ต่อไปนี้ (ในหน่วยต่อวินาทีหรือเฮิรตซ์)

ก. สายซอสัน 43 รอบ ใน 0.1 วินาที

ข. ใบพัดเครื่องบินอาหารหมุน 13 000 รอบ ใน 1 นาที

**วิธีทำ** ความถี่  $f$  มีค่าเท่ากับจำนวนรอบของวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา

ก.

$$f = \frac{43}{0.1 \text{ s}}$$

$$= 430 \text{ s}^{-1}$$

ข.

$$f = \frac{13000}{60 \text{ s}}$$

$$= 216.7 \text{ s}^{-1}$$

**ตอบ** ก. ความถี่ของสายซอสัน 43 รอบ ใน 0.1 วินาที เท่ากับ 430 วินาที<sup>-1</sup>

ข. ความถี่ของใบพัดเครื่องบินอาหารหมุน 13 000 รอบ ใน 1 นาที เท่ากับ 216.7 วินาที<sup>-1</sup>

4. คั่นเคาะเครื่องเคาะสัญญาณเวลาทำให้เกิดจุดบนแถบกระดาษ 1200 จุด ใน 1 นาที คาบและความถี่ของคั่นเคาะมีค่าเท่าใด (ในหน่วยวินาที และต่อวินาทีหรือเฮิรตซ์ ตามลำดับ)

**วิธีทำ** จุดบนแถบกระดาษ 1 จุด หมายถึงคั่นเคาะเคาะได้หนึ่งครั้ง ดังนั้น

คาบ ( $T$ ) มีค่าเท่ากับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ

$$\begin{aligned} T &= \frac{60 \text{ s}}{1200} \\ &= 0.05 \text{ s} \end{aligned}$$

ความถี่ ( $f$ ) มีค่าเท่ากับจำนวนรอบของวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา

$$\begin{aligned} f &= \frac{1200}{60 \text{ s}} \\ &= 20 \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

**ตอบ** คาบของคั่นเคาะเท่ากับ 0.05 วินาที และความถี่ของคั่นเคาะเท่ากับ 20 วินาที<sup>-1</sup>

## 8.2 ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

### จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
- คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมีค่าคงตัวตลอดการเคลื่อนที่	1. ความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมีค่าไม่คงตัว โดยขนาดความเร่งจะแปรผันตรงกับขนาดการกระจัด
2. การกระจัดและความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมีทิศเดียวกัน	2. การกระจัดและความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมีทิศทางตรงข้ามกัน
3. วัตถุหนึ่งที่สั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายหากสั่นด้วยแอมพลิจูดน้อย จะมีคาบการสั่นน้อยกว่าเมื่อสั่นด้วยแอมพลิจูดมาก	3. วัตถุหนึ่งที่สั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจะมีคาบการสั่นคงตัว ไม่ขึ้นกับแอมพลิจูด

## สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. วัตถุประสงค์การเคลื่อนที่ของแผ่นกลมที่มีหมุดทรงกระบอก

### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูยกสถานการณ์โดยใช้รูป 8.2 ในหนังสือเรียน หรือแสดงวัตถุประสงค์การหมุนด้วยอัตราเร็วเชิงมุมคงตัวของแผ่นกลมที่มีหมุดทรงกระบอกติดอยู่บนแผ่นบริเวณขอบ จากนั้นครุณำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของเงาบนฉาก จนสรุปเพิ่มเติมจากหนังสือเรียนได้ว่า เงาของหมุดมีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมีคาบคงตัวเท่ากับคาบการเคลื่อนที่ของหมุดและมีแอมพลิจูดคงตัวเท่ากับรัศมีการเคลื่อนที่ของหมุด จากนั้นครุถามต่อว่าจะสามารถหาการกระจัด ความเร็วและความเร่งของเงาของหมุดเป็นฟังก์ชันกับเวลาได้อย่างไร ให้นักเรียนตอบอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วให้นักเรียนศึกษาหัวข้อต่อไป

#### 8.2.1 การกระจัดของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 2 และ 3 ของหัวข้อ 8.2 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการกระจัดของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ตามหนังสือเรียน

ครุนำเข้าสู่หัวข้อที่ 8.2.1 โดยใช้รูป 8.3 ให้นักเรียนศึกษาการหาการกระจัดของเงาของหมุดเป็นฟังก์ชันของเวลา แล้วครุนำอภิปรายจนสรุปได้สมการ (8.1) และกราฟดังรูป 8.4 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นให้นักเรียนศึกษาข้อสังเกตระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมกับความถี่เชิงมุม

ครุใช้รูป 8.5 นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับเฟสเริ่มต้น และมุมเฟสของเงาของหมุดจนสรุปได้สมการ (8.2) ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครุให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 8.2 8.3 และ 8.4 โดยครุเป็นผู้ให้คำแนะนำ

#### 8.2.2 ความเร็วและความเร่งของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 2 และ 3 ของหัวข้อ 8.2 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความเร็วและความเร่งของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ตามหนังสือเรียน

ครุนำเข้าสู่หัวข้อที่ 8.2.2 โดยใช้รูป 8.6 ให้นักเรียนศึกษาการหาความเร็วของเงาของหมุดเป็นฟังก์ชันของเวลา แล้วครุนำอภิปรายจนสรุปได้สมการ (8.3) และกราฟดังรูป 8.7 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครุใช้รูป 8.8 ให้นักเรียนศึกษาการหาความเร่งของเงาของหมุดเป็นฟังก์ชันของเวลา แล้วครุนำอภิปรายจนสรุปได้สมการ (8.4) และกราฟดังรูป 8.9 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ครุให้นักเรียนพิจารณาสมการ (8.2) และ (8.4) แล้วอภิปรายจนได้สมการ (8.5) และสรุปได้ว่า ขนาดของความเร่งแปรผันตรงกับขนาดของการกระจัด แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน และอธิบายการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นฟังก์ชันกับเวลาด้วยสมการ (8.2) (8.3) และ (8.4)

ครุให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 8.5 8.6 และ 8.7 โดยครุเป็นผู้ให้คำแนะนำ

ครูตั้งคำถามว่า จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าความเร่งมีความสัมพันธ์กับการกระจัด ทำนองเดียวกัน เราสามารถพิจารณาความเร็วสัมพันธ์กับการกระจัดของเงาของหมุดได้หรือไม่ อย่างไร แล้วให้นักเรียนศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับการกระจัดของเงาของหมุดในหนังสือเรียน จากนั้นอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้สมการ (8.6) (8.7) และ (8.8) ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 8.8 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ แล้วจึงให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.2 และทำแบบฝึกหัด 8.2 โดยครูอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบพร้อมกัน

### แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ความสัมพันธ์ของการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง กับเวลา จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.2
2. ทักษะการใช้จำนวนจากการคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จากแบบฝึกหัด 8.2



### แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.2

1. กราฟระหว่างการกระจัดกับเวลาของวัตถุชิ้นหนึ่งที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ให้ข้อมูลอะไรบ้าง

**แนวคำตอบ** การกระจัดของวัตถุที่เวลาต่างๆ คาบ และความถี่สามารถหาได้จากคาบ นอกจากนี้ยังหาความเร็วที่เวลาต่าง ๆ ได้จากความชัน

2. จากกราฟในตัวอย่าง 8.3 จงบรรยายการเคลื่อนที่ของวัตถุ

**แนวคำตอบ** เริ่มต้น  $t = 0$  วัตถุอยู่ที่ตำแหน่ง  $x = -5.0$  cm ซึ่งเป็นตำแหน่งที่วัตถุมีการกระจัดมากที่สุด ต่อมาวัตถุเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งสมดุลที่  $x = 0$  ที่เวลา  $t = 1.0$  s วัตถุเคลื่อนที่ต่อไปที่ตำแหน่ง ซึ่งเป็นตำแหน่งที่วัตถุมีการกระจัดมีค่ามากที่สุด ที่เวลา  $t = 2.0$  s จากนั้นวัตถุเคลื่อนที่กลับทิศทาง ผ่านตำแหน่งสมดุลที่  $t = 3.0$  s

3. ขณะที่วัตถุสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ปริมาณใดที่มีทิศทางตรงข้ามกันเสมอ

**แนวคำตอบ** ความเร่งและการกระจัด

4. วัตถุที่สั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายโดยมีแอมพลิจูดเท่ากับ  $A$  วัตถุจะเคลื่อนที่ได้ระยะทางเท่าใดในเวลา 1 คาบ  
**แนวคำตอบ** สี่เท่าของแอมพลิจูด หรือ  $4A$
5. จงอธิบายรายละเอียดของปริมาณต่าง ๆ ในสมการการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย  
 $x = A \sin(\omega t + \phi)$   
**แนวคำตอบ**  $x$  แทนการกระจัดที่เวลาต่างๆ  $A$  แทนการกระจัดสูงสุดหรือแอมพลิจูด  $\omega$  แทนปริมาณความถี่เชิงมุม  $t$  แทนปริมาณเวลาต่างๆ  $\phi$  แทนเฟสเริ่มต้นที่เวลา  $t = 0$  และ ฟังก์ชัน  $\sin$  หมายถึงเมื่อ  $\phi = 0$  การเคลื่อนที่เริ่มที่ตำแหน่งสมดุลของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
6. มุมเฟสและเฟสเริ่มต้น ต่างกันอย่างไร และมีความสำคัญอย่างไร  
**แนวคำตอบ** มุมเฟสใช้บอกตำแหน่งของของวัตถุที่เวลาต่างๆ ของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ส่วนเฟสเริ่มต้นจะเป็นตำแหน่งของวัตถุที่เวลา  $t = 0$



### เฉลยแบบฝึกหัด 8.2

1. วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีแอมพลิจูด 30 เซนติเมตร มีคาบการเคลื่อนที่ 4 วินาที อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่มีค่าเท่าใด
- วิธีทำ** อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่หาได้จากสมการ  $v_{\max} = A\omega$   
 เราสามารถหา  $\omega$  ได้จากสมการ  $\omega = \frac{2\pi}{T}$   
 จากโจทย์  $T = 4.0 \text{ s}$   
 แทนค่า  $\omega = \frac{2\pi}{4.0 \text{ s}}$   
 $= 0.5\pi \text{ rad/s}$   
 จากโจทย์  $A = 30 \text{ cm}$   
 แทนค่า  $v_{\max} = (0.3 \text{ m})(0.5\pi \text{ rad/s})$   
 $= 0.15\pi \text{ m/s}$
- ตอบ** อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่  $0.5\pi$  ที่มีค่า  $0.15\pi$  เมตรต่อวินาที

2. วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายด้วยความถี่ 30 รอบต่อวินาที มีขนาดการกระจัดสูงสุด 20 เซนติเมตร ความเร่งสูงสุดของวัตถุนี้มีค่าเท่าใด

วิธีทำ ความเร่งสูงสุดของวัตถุหาได้จากสมการ  $a_{\max} = A\omega^2$

เราสามารถหา  $\omega$  ได้จากสมการ  $\omega = 2\pi f$

จากโจทย์  $f = 30$  รอบต่อวินาที

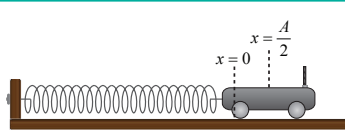
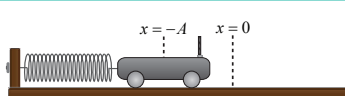
$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad \omega &= 2\pi \left( \frac{30}{60\text{s}} \right) \\ &= \pi \text{ rad/s} \end{aligned}$$

จากโจทย์  $A = 20 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad a_{\max} &= (0.2 \text{ m})(\pi \text{ rad/s})^2 \\ &= 0.2\pi^2 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ตอบ ความเร่งสูงสุดของวัตถุ  $0.2\pi^2$  เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>

3. จงเขียนสมการการกระจัดที่ขึ้นกับเวลาของวัตถุติดปลายสปริงที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีตำแหน่งเริ่มต้นต่างกันในตาราง กำหนดให้ ความถี่เชิงมุมเท่ากับ  $\omega$  แอมพลิจูด เท่ากับ  $A$

รูปแสดงตำแหน่งเริ่มต้นที่ $t = 0$	เฟสเริ่มต้น ( $\phi$ )	สมการการกระจัด
ก. 		
ข. 		

วิธีทำ หาเฟสเริ่มต้น ด้วยการแทนค่า  $t = 0$  และการกระจัดที่เวลาเริ่มต้นในสมการ

$x = A \sin(\omega t + \phi)$  จะได้ค่า  $\phi$  ที่เวลาเริ่มต้น

ก. จากตาราง เมื่อ  $t = 0$  การกระจัดที่เวลาเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ  $x = \frac{A}{2}$  จะได้

$$\frac{A}{2} = A \sin(\omega(0) + \phi)$$

$$\frac{1}{2} = \sin(\phi)$$

$\therefore \sin(30^\circ) = \frac{1}{2}$  จะได้ว่า  $\phi = 30^\circ$  หรือ  $\phi = \frac{\pi}{6}$

เขียนสมการการกระจัดได้เป็น  $x = A \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$

ข. จากตาราง เมื่อ  $t = 0$  การกระจัดที่เวลาเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ  $x = -A$  จะได้

$$-A = A \sin(\omega(0) + \phi)$$

$$-1 = \sin(\phi)$$

$$\therefore \sin(270^\circ) = -1 \text{ จะได้ว่า } \phi = 270^\circ \text{ หรือ } \phi = \frac{3\pi}{2}$$

เขียนสมการการกระจัดได้เป็น  $x = A \sin\left(\omega t + \frac{3\pi}{2}\right)$

ตอบ ก. เฟสเริ่มต้นเท่ากับ  $\phi = \frac{\pi}{6}$  เขียนสมการได้เป็น  $x = A \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$

ข. เฟสเริ่มต้นเท่ากับ  $\phi = \frac{3\pi}{2}$  เขียนสมการได้เป็น  $x = A \sin\left(\omega t + \frac{3\pi}{2}\right)$

4. วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ด้วยความถี่ 5 รอบต่อวินาที

ก. เมื่อเวลาผ่านไป 2 วินาที วัตถุอยู่ในมุมเฟสต่างจากเดิมเท่าใด

ข. เมื่อวัตถุอยู่ในเฟสต่างจากเดิม  $\frac{21\pi}{2}$  เรเดียน วัตถุเคลื่อนที่ได้กี่รอบ

ค. วัตถุใช้เวลาเท่าใด จึงจะอยู่ในเฟสต่างไปจากเดิม  $4\pi$  เรเดียน

วิธีทำ มุมเฟสมีค่าเท่ากับ  $\omega t + \phi$

ก. ที่เวลา  $t_0$  มุมเฟสของวัตถุ =  $\omega t_0 + \phi$

เมื่อเวลาผ่านไป  $\Delta t$  มุมเฟสของวัตถุ =  $\omega(t_0 + \Delta t) + \phi$

ดังนั้นวัตถุมีมุมเฟสต่างจากเดิม =  $[\omega(t_0 + \Delta t) + \phi] - [\omega t_0 + \phi] = \omega \Delta t$  ที่  $t = 2 \text{ s}$

และจาก  $\omega = 2\pi f$

$$\begin{aligned} \text{มุมเฟสต่างจากเดิม} &= 2\pi f \Delta t \\ &= 2\pi(5\text{s}^{-1})(2\text{s}) \text{ rad} \\ &= 20\pi \text{ rad} \end{aligned}$$

ข. วัตถุอยู่ในเฟสต่างจากเดิม  $2\pi$  rad วัตถุเคลื่อนที่ = 1 รอบ

$$\begin{aligned} \text{วัตถุอยู่ในเฟสต่างจากเดิม } \frac{21\pi}{2} \text{ rad วัตถุเคลื่อนที่} \\ &= \frac{1}{2\pi} \times \frac{21\pi}{2} \\ &= 5.25 \end{aligned}$$

ค. มุมเฟสต่างจากเดิมเท่ากับ  $2\pi f \Delta t = 4\pi$

$$\text{ดังนั้น} \quad \Delta t = \frac{4\pi}{2\pi f}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad &= \frac{2}{(5 \text{ Hz})} \\ &= 0.4 \text{ s} \end{aligned}$$

ตอบ ก. เวลาผ่านไป 2 วินาที วัตถุอยู่ในเฟสต่างจากเดิม  $20\pi$  เรเดียน

ข. เมื่อวัตถุอยู่ในเฟสต่างจากเดิม  $\frac{21\pi}{2}$  เรเดียน วัตถุเคลื่อนที่ได้ 5.25 รอบ

ค. วัตถุใช้เวลา 0.4 วินาที จึงจะอยู่ในเฟสต่างไปจากเดิม  $4\pi$  เรเดียน

5. วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายรอบจุดสมดุล O โดยมีอัตราเร็วสูงสุด 5.0 เซนติเมตรต่อวินาที และมีคาบการสั่นเท่ากับ  $4\pi$  วินาที ขณะที่วัตถุมีอัตราเร็ว 3.0 เซนติเมตรต่อวินาที วัตถุอยู่ห่างจากจุดสมดุล O เป็นระยะกี่เซนติเมตร

วิธีทำ ทหาระยะจากจุดสมดุลได้จากสมการ  $v = \omega\sqrt{A^2 - x^2}$

$$\text{เราสามารถหา } \omega \text{ ได้จากสมการ } \omega = \frac{2\pi}{T}$$

จากโจทย์  $T = 4$  วินาที

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad \omega &= \frac{2\pi}{4\pi \text{ s}} \\ &= 0.5 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

เราสามารถหา  $A$  ได้จากสมการ  $v_{\max} = A\omega$

จากโจทย์  $v_{\max} = 5.0$  เซนติเมตรต่อวินาที

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad 5.0 \text{ cm/s} &= A(0.5 \text{ rad/s}) \\ A &= 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

จากโจทย์ วัตถุมีอัตราเร็ว 3.0 เซนติเมตรต่อวินาที



$$\text{แทนค่า} \quad 3.0 \text{ cm/s} = (0.5 \text{ rad/s})\sqrt{(10 \text{ cm})^2 - x^2}$$

$$x = \pm 8.0 \text{ cm}$$

**ตอบ** ขณะที่วัตถุมีอัตราเร็ว 3.0 เซนติเมตรต่อวินาที วัตถุอยู่ห่างจากจุดสมดุล O เป็นระยะ 8.0 เซนติเมตร

### 8.3 แรงกับการสั่นของมวลติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย

#### จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายผลของแรงกับการสั่นของมวลติดปลายสปริงและการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย
- ทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของรถทดลองติดปลายสปริง
- ทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย
- คำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับคาบการสั่นของมวลติดปลายสปริงและการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. การสั่นของมวลติดปลายสปริง ความเร็วของมวลจะมีทิศทางเดียวกับทิศทางการกระจัดเสมอ	1. การสั่นของมวลติดปลายสปริง ความเร็วของมวลจะมีทิศทางเดียวกับทิศทางการกระจัดหรือมีทิศทางตรงกันข้ามก็ได้
2. มวลมีผลต่อคาบของการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย	2. มวลไม่มีผลต่อคาบของการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย เพราะคาบของการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายขึ้นกับความยาวเชือก
3. คาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายขึ้นอยู่กับมุมที่เริ่มต้นปล่อย	3. คาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายไม่ขึ้นอยู่กับมุมที่เริ่มต้นปล่อย

## แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 8.3 โดยยกสถานการณ์การสั่นของวัตถุติดปลายสปริงและการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย แล้วตั้งคำถามว่าเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งสมดุลมีแรงกระทำต่อวัตถุหรือไม่ อย่างไร จากนั้นครูนำนักเรียนอภิปราย จนสรุปได้ว่าจะมีแรงกระทำต่อวัตถุในทิศทางดึงวัตถุกลับมายังตำแหน่งสมดุลเสมอ โดยแรงนี้ทำให้วัตถุเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิมผ่านตำแหน่งสมดุล เรียกว่า **แรงดึงกลับ (restoring force)** จากนั้นครูตั้งคำถามว่าแรงดึงกลับสัมพันธ์กับปริมาณอื่น ๆ ของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย อย่างไร โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้องแล้วให้นักเรียนศึกษาหัวข้อต่อไป

### 8.3.1 การสั่นของมวลติดปลายสปริง

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 4 และ 5 ของหัวข้อ 8.3 ตามหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง ของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของรถทดลองติดปลายสปริงโดยทำกิจกรรม 8.1



#### กิจกรรม 8.1 การทดลองการเคลื่อนที่ของรถทดลองติดปลายสปริง

##### จุดประสงค์

1. หาการกระจัดและความเร็วของรถทดลอง ซึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายในช่วงเวลาครึ่งคาบ
2. เขียนกราฟระหว่างการกระจัดกับเวลา และกราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ของรถทดลอง
3. อธิบายการกระจัดและความเร็วที่เวลาเดียวกันโดยพิจารณาจากกราฟในข้อ 2

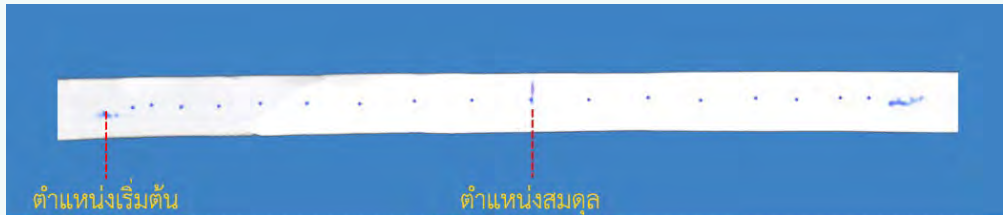
เวลาที่ใช้ 50 นาที

##### วัสดุและอุปกรณ์

- |                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 1. รถทดลอง มวล 500 กรัม             | 1 คัน     |
| 2. แท่งเหล็ก/แผ่นเหล็ก มวล 500 กรัม | 1 แผ่น    |
| 3. ลวดสปริงพร้อมท่อ                 | 1 ตัว     |
| 4. เครื่องเคาะสัญญาณเวลา            | 1 เครื่อง |
| 5. หม้อแปลงโวลต์ต่ำ                 | 1 เครื่อง |
| 6. รางไม้                           | 1 อัน     |
| 7. สายไฟ                            | 1 คู่     |
| 8. แถบกระดาษ                        | 1 แถบ     |

### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตัวอย่างแถบกระดาษของรถทดลองติดปลายสปริงที่ผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา



รูป ตัวอย่างแถบกระดาษของรถทดลองติดปลายสปริง

### ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทำกิจกรรม

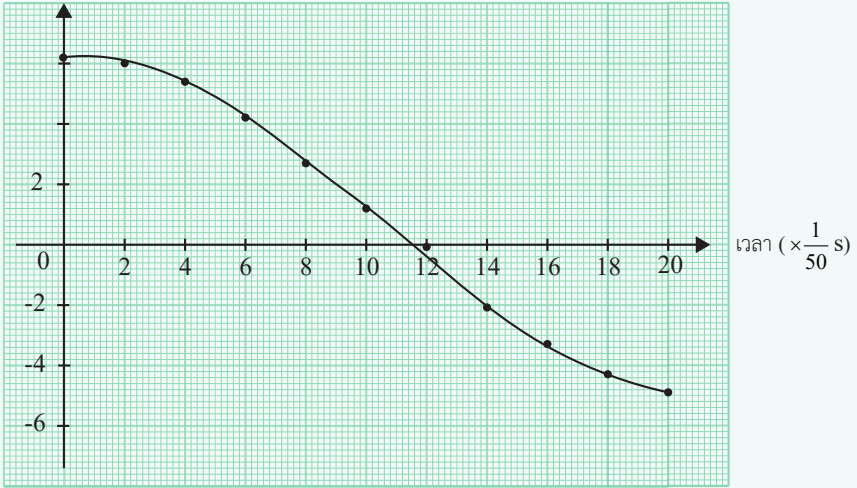
แอมพลิจูด  $6.20 \times 10^{-2} \text{ m}$

เวลา ( $\times \frac{1}{50} \text{ s}$ )	การกระจัด ( $\times 10^{-2} \text{ m}$ )
0	6.20
2	6.00
4	5.40
6	4.20
8	2.70
10	1.05
12	-0.55
14	-2.10
16	-3.35
18	-4.30
20	-4.90

เวลา ( $\times \frac{1}{50} \text{ s}$ )	ระยะทาง 2 ช่วงจุด ( $\times 10^{-2} \text{ m}$ )	ความเร็ว (m/s)
0	0.00	0.00
1	-0.20	-0.050
3	-0.60	-0.150
5	-1.20	-0.300
7	-1.50	-0.375
9	-1.65	-0.413
11	-1.60	-0.400
13	-1.55	-0.388
15	-1.25	-0.313
17	-0.95	-0.238
19	-0.60	-0.150

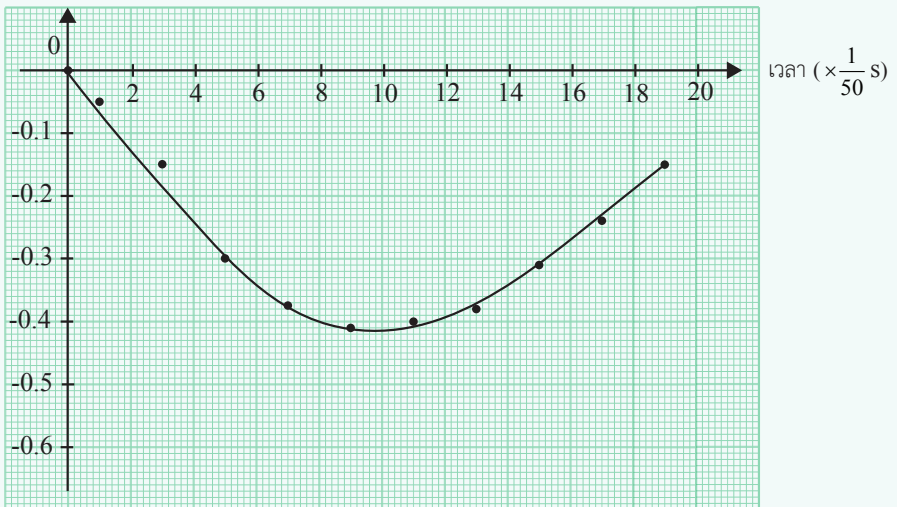
## ตัวอย่างกราฟ

การกระจัด



รูป กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา

ความเร็ว (m/s)



รูป กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา



### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- กราฟการกระจัดกับเวลา และความเร็วกับเวลา มีลักษณะอย่างไร

**แนวคำตอบ** ลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาเป็นฟังก์ชันลักษณะแบบไซน์

- จากกราฟการกระจัดกับเวลา รถทดลองมีการกระจัดมากที่สุดและการกระจัดเป็นศูนย์ (สมดุล) ณ เวลาใด

**แนวคำตอบ** รถทดลองมีการกระจัดสูงสุด ณ เวลา 0 วินาที รถทดลองมีการกระจัดเป็นศูนย์ ณ เวลา  $\frac{11.5}{50}$  วินาที

- พิจารณากราฟการกระจัดกับเวลา เปรียบเทียบกับกราฟความเร็วกับเวลา

1. ขณะการกระจัดเป็นศูนย์ ความเร็วของรถทดลองเป็นอย่างไร

**แนวคำตอบ** ความเร็วของรถทดลองมีค่ามากที่สุด

2. ขณะการกระจัดมากที่สุด ความเร็วของรถทดลองเป็นอย่างไร

**แนวคำตอบ** ความเร็วของรถทดลองมีค่าเป็นศูนย์

- จากกราฟการกระจัดกับเวลาและกราฟความเร็วกับเวลาของรถทดลอง รถทดลองเคลื่อนที่ได้กี่รอบและใช้เวลาเท่าใด

**แนวคำตอบ** รถทดลองเคลื่อนที่ได้ครึ่งรอบ และใช้เวลา  $\frac{T}{2}$

- จากกราฟความเร็วกับเวลา ความชันของกราฟแทนปริมาณใด

**แนวคำตอบ** ความชันของกราฟความเร็วกับเวลาแทนปริมาณความเร่งของรถทดลอง

- จากกราฟความเร็วกับเวลา ก่อนผ่านและหลังผ่านตำแหน่งสมดุล ความเร่งรถทดลองมีขนาดเปลี่ยนแปลงอย่างไรและมีทิศทางเทียบกับการกระจัดอย่างไร

**แนวคำตอบ** ความเร่งรถทดลองมีขนาดลดลงเมื่อเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งสมดุล และมีทิศทางตรงกันข้ามกับการกระจัด

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

หลังจากครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรม 8.1 จนสรุปได้ดังนี้

1. กราฟการกระจัดกับเวลา และกราฟความเร็วกับเวลา ของรถทดลองติดปลายสปริงที่เคลื่อนที่ครึ่งคาบเป็นกราฟของฟังก์ชันลักษณะแบบไซน์ดังรูป 1 ซึ่งพิจารณาได้ว่า รถทดลองมีความเร็วสูงสุดขณะมีการกระจัดเป็นศูนย์ และรถทดลองมีความเร็วเป็นศูนย์ ขณะมีการกระจัดมากที่สุด
2. จากความชันของกราฟความเร็วกับเวลา พิจารณาได้ว่าขนาดความเร่งของรถทดลองลดลงขณะเคลื่อนเข้าหาตำแหน่งสมดุล และขนาดความเร่งของรถทดลองเพิ่มขึ้น ขณะเคลื่อนออกจากตำแหน่งสมดุล โดยมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการกระจัดขณะนั้น

ครูใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระจัดกับเวลาดังรูป 8.11 ก.

ครูใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาดังรูป 8.11 ข. เพื่อนำไปพิจารณาค่าความชันดังรูป 8.12 เพื่อนำไปเขียนกราฟความเร่งกับเวลาดังรูป 8.13 ก. แล้วนำไปเปรียบเทียบกับกราฟการกระจัดกับเวลาดังรูป 8.13 ข. ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ครูนำอภิปรายจนสรุปได้เป็นกราฟการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง กับเวลา ในช่วงเวลา 1 คาบ ได้กราฟดังรูป 8.14 จากนั้นให้นักเรียนศึกษาข้อสังเกต จนสรุปได้ว่า สามารถอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ในรูปสมการทั่วไปได้ทั้ง  $x = A \sin(\omega t + \phi)$  หรือ  $x = A \cos(\omega t + \phi)$

ครูใช้การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของรถทดลองติดปลายสปริง ในกิจกรรม 8.1 นำอภิปรายจนสรุปได้ว่า แรงดึงกลับคือแรงที่สปริงกระทำกับรถทดลองสัมพันธ์กับการกระจัดตามสมการ (8.9) อภิปรายต่อตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนได้ความสัมพันธ์ตามสมการ (8.11) (8.12) (8.13) และ (8.14)

ให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 8.9 – 8.11 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

### 8.3.2 การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 6 และ 7 ของหัวข้อ 8.3 ตามหนังสือเรียน ครูให้นักเรียนศึกษาคาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายโดยทำกิจกรรม 8.2



#### กิจกรรม 8.2 การทดลองเรื่องลูกตุ้มอย่างง่าย

##### จุดประสงค์

1. หาคาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย
2. เขียนกราฟระหว่างคาบการแกว่งของลูกตุ้ม ( $T$ ) กับรากที่สองของความยาวเชือก  $\sqrt{l}$
3. หาคความสัมพันธ์ระหว่างคาบการแกว่งของลูกตุ้มกับรากที่สองของความยาวเชือก

เวลาที่ใช้ 50 นาที

##### วัสดุและอุปกรณ์

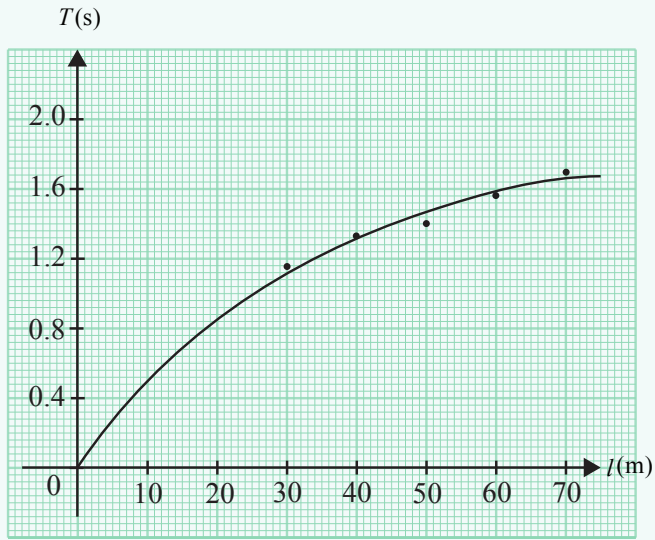
1. ลูกตุ้มโลหะทรงกลม 1 อัน
2. เชือก 1 เมตร
3. ไม้เมตร 1 อัน
4. นาฬิกาจับเวลา 1 เรือน

##### ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทำกิจกรรม

ความยาวเชือก $l$ ( $\times 10^{-2}$ m)	เวลาที่ใช้ในการแกว่ง 30 รอบ (s)	คาบ (s)	$\sqrt{l}$ ( $m^{1/2}$ )
30	35.0	1.17	5.47
40	38.0	1.27	6.32
50	42.0	1.40	7.07
60	47.0	1.57	7.75
70	51.0	1.70	8.37

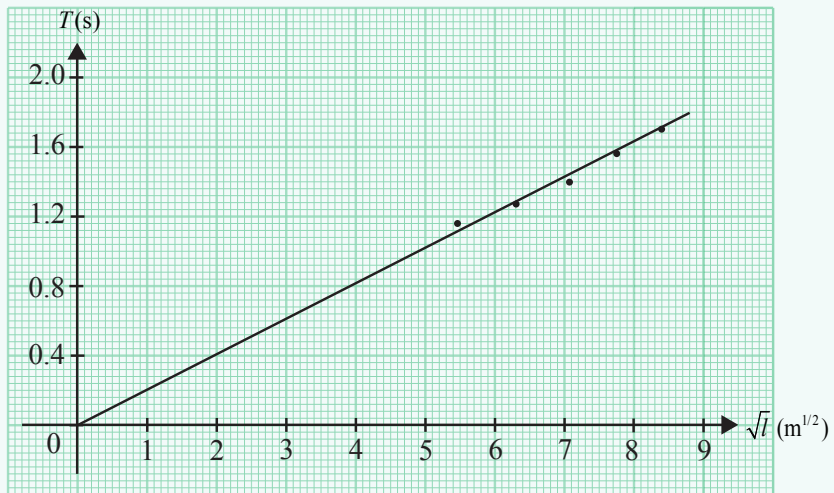
## ตัวอย่างกราฟ

เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $T$  กับ  $l$  กราฟมีลักษณะดังรูป



รูป กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $T$  กับ  $l$

เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $T$  กับ  $\sqrt{l}$  กราฟมีลักษณะดังรูป



รูป กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $T$  กับ  $\sqrt{l}$





### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- จากกราฟ  $T$  กับ  $l$  มีลักษณะอย่างไร เขียนความสัมพันธ์ของสองปริมาณนี้ได้อย่างไร  
**แนวคำตอบ** จากกราฟ  $T$  กับ  $l$  มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง
- จากกราฟ  $T$  กับ  $\sqrt{l}$  มีลักษณะอย่างไร และปริมาณทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นหรือไม่  
**แนวคำตอบ** กราฟ  $T$  กับ  $\sqrt{l}$  มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง และปริมาณทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงเส้น

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

หลังจากครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรม 8.2 จนสรุปได้ดังนี้

คาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายขึ้นกับความยาวของเชือก โดยลูกตุ้มที่มีความยาวเชือกมากจะมีคาบการแกว่งมากกว่าลูกตุ้มที่มีความยาวเชือกน้อย โดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $T$  กับ  $\sqrt{l}$  เป็นกราฟเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด หรือมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตามสมการ (8.15)

ครูใช้การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย ในกิจกรรม 8.2 นำอภิปรายจนสรุปได้ว่า แรงดึงดูดกลับ คือองค์ประกอบของแรงโน้มถ่วงที่อยู่ในแนวการเคลื่อนที่ตามสมการ (8.16) อภิปรายต่อตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนได้ความสัมพันธ์ตามสมการ (8.19) (8.20) (8.21) และ (8.22)

ให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 8.12 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ แล้วจึงให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.3 และทำแบบฝึกหัด 8.3 โดยครูอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบพร้อมกัน

### แนวการวัดและประเมินผล

1. การวัด การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการอภิปรายร่วมกัน การทำกิจกรรม และการบันทึกผล
2. การทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของรถทดลองติดปลายสปริง จากการสังเกต และจากการตอบทำกิจกรรม 8.1
3. อธิบายผลของแรงกับการสั่นของมวลติดปลายสปริงและการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย จากการตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.3

4. การทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย จากการสังเกตการปฏิบัติและการตอบคำถามท้ายกิจกรรม 8.2

การคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับคาบการสั่นของมวลติดปลายสปริงและการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย จากการทำแบบฝึกหัด 8.3



### แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.3

1. จงอธิบายแรงดึงกลับ

**แนวคำตอบ** แรงดึงกลับเป็นแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่งสมดุล และทำให้วัตถุเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิม

2. ถ้าต้องการเพิ่มคาบการสั่นของวัตถุติดปลายสปริงสามารถทำได้ด้วยวิธีใดบ้าง

**แนวคำตอบ** คาบการสั่นของวัตถุติดปลายสปริงสามารถเพิ่มได้โดยการเพิ่มมวลของวัตถุหรือลดค่าคงตัวของสปริง

3. ถ้าต้องการเพิ่มความถี่เชิงมุมของลูกตุ้มอย่างง่าย ทำได้ด้วยวิธีใดบ้าง

**แนวคำตอบ** เพิ่มความถี่เชิงมุมของลูกตุ้มอย่างง่ายได้โดยการลดความยาวเชือก

4. ถ้าความยาวเชือกเท่ากับ 60 เซนติเมตร คาบของลูกตุ้มอย่างง่าย มวล  $m$  และ  $2m$  มีค่าเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

**แนวคำตอบ** คาบของลูกตุ้มอย่างง่ายของมวล  $m$  และ  $2m$  มีค่าเท่ากัน เนื่องจากมวลไม่มีผลต่อคาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย



### เฉลยแบบฝึกหัด 8.3

1. แขนมวล 4.9 กิโลกรัมกับสปริง แล้วปล่อยให้สั่นขึ้นลง วัดคาบของการสั่นได้ 0.5 วินาที ถ้าเอามวล 4.9 กิโลกรัมออก สปริงจะสั้นกว่าตอนที่แขนมวลอยู่เท่าใด

**วิธีทำ** เมื่อเอามวล 4.9 กิโลกรัม ออกแรงดึงกลับของสปริงจะดึงสปริงกลับเข้ามาเป็นระยะทาง  $x$  ด้วยแรง  $F = kx$  ซึ่งเท่ากับน้ำหนักของมวลที่นำออกไป

เราสามารถหา  $k$  ได้จากสมการ 
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

จะได้  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$   
จากโจทย์น้ำหนักของมวลมีค่าเท่ากับ  $mg$  และ  $T = 0.5$  วินาที จะได้

$$mg = kx$$

$$mg = \frac{4\pi^2 m}{T^2} x$$

$$x = \frac{gT^2}{4\pi^2}$$

แทนค่า

$$x = \frac{(9.8 \text{ m/s}^2)(0.5 \text{ s})^2}{(4)(3.14)^2}$$

$$= 0.06 \text{ m}$$

ตอบ สปริงจะหดสั้นลง 0.06 เมตร

2. เมื่อนำมวล 0.5 กิโลกรัม ขวนกับปลายสปริงในแนวตั้ง ทำให้สปริงมีความยาวเพิ่มขึ้น 4.9 เซนติเมตร ถ้าทำให้มวลติดสปริงสั้นในแนวตั้งจะสั้นได้กี่รอบในเวลา 1 วินาที (ให้คำตอบติดค่า  $\pi$ )

วิธีทำ แขนงมวล  $m$  ที่ปลายสปริงที่ห้อยไว้แนวตั้ง ขณะมวล  $m$  นี้ แรงลัพธ์ในแนวตั้งเป็นศูนย์ แรงดึงกลับของสปริงมีค่าเท่ากับน้ำหนักของมวล  $m$

$$kx = mg$$

$$k(4.9 \times 10^{-2} \text{ m}) = (0.5 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)$$

$$k = 100 \text{ N/m}$$

จากสมการ

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

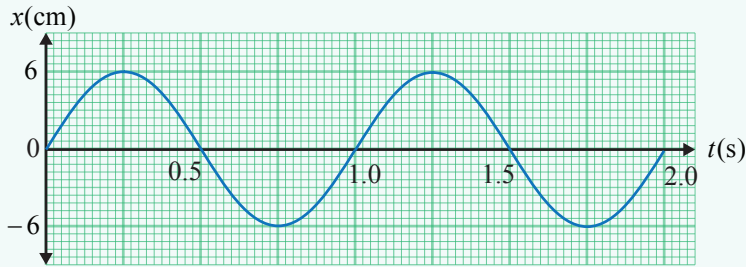
จะได้

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{100 \text{ N/m}}{0.5 \text{ kg}}}$$

$$= \frac{5\sqrt{2}}{\pi} \text{ Hz}$$

ตอบ สปริงจะสั้นได้  $\frac{5\sqrt{2}}{\pi}$  รอบต่อวินาที

3. จากรูป เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุมวล 50.0 กรัม ซึ่งติดไว้กับปลายข้างหนึ่งของลวดสปริงเบา ถ้าไม่คิดแรงเสียดทานที่กระทำต่อวัตถุ และลวดสปริง ค่าคงตัวของลวดสปริงมีค่าเท่าใดในหน่วยนิวตันต่อเมตร



รูป ประกอบแบบฝึกหัดข้อ 3

**วิธีทำ** จากกราฟ คาบของการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ติดปลายสปริงเป็น 1 วินาที

จาก 
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

ดังนั้น 
$$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$$

$$= \frac{(4)(3.14)^2 (50 \times 10^{-3} \text{ kg})}{(1 \text{ s})^2}$$

$$= 1.97 \text{ N/m}$$

**ตอบ** ค่าคงตัวของลวดสปริงมีค่าเท่ากับ 1.97 นิวตันต่อเมตร

4. ลูกเหล็กทรงกลมมวล 1 กรัม แกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีแอมพลิจูด 2 มิลลิเมตร ความเร่งที่จุดปลายของการแกว่งมีค่า  $8 \times 10^3$  เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>
- จงหาความถี่ของการแกว่ง
  - จงหาความเร็วที่จุดสมดุล
  - จงเขียนสมการแสดงแรงที่กระทำต่อให้ลูกเหล็กทรงกลมให้เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งและเวลา

**วิธีทำ** ก. หาความถี่ของการแกว่งได้จากสมการ  $\omega = 2\pi f$  และ  $a_{\max} = \omega^2 A$

ดังนั้น 
$$a_{\max} = (2\pi f)^2 A$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a_{\max}}{A}}$$

จากโจทย์  $a_{\max} = 8 \times 10^3 \text{ m/s}^2$  และ  $A = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad f &= \frac{1}{2(3.14)} \sqrt{\frac{8 \times 10^3 \text{ m/s}^2}{2 \times 10^{-3} \text{ m}}} \\ &= 3.18 \times 10^2 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ข. หาความเร็วที่จุดสมดุลได้จากสมการ  $v = \omega \sqrt{A^2 - x^2}$  ที่ตำแหน่งสมดุล  $x = 0$  ดังนั้น

$$\begin{aligned} v &= 2\pi f \sqrt{A^2 - (0)^2} \\ &= 2\pi fA \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad v &= 2(3.14)(3.18 \times 10^2 \text{ Hz})(2 \times 10^{-3} \text{ m}) \\ &= 4 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ค. จากเรื่องลูกตุ้มอย่างง่าย แรงกระทำต่อลูกตุ้ม  $F = -mg \frac{x}{l}$  ซึ่งสามารถใช้สมการนี้หาแรงกระทำต่อลูกเหล็กกลมเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งและยังทำให้ทราบอีกด้วยว่า

$$\omega^2 = \frac{g}{l}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad (2\pi f)^2 = \frac{g}{l}$$

$$F = -4\pi^2 f^2 mx$$

เนื่องจาก  $\pi$ ,  $f$ ,  $m$  เป็นค่าคงตัว และ  $x$  เป็นการกระจัดที่มีค่าเปลี่ยนแปลง

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad F &= -4(3.14)^2 (3.18 \times 10^2 \text{ s}^{-1})^2 (0.001 \text{ kg})x \\ F &= -3988x \end{aligned}$$

หาสมการแสดงแรงที่กระทำต่อลูกเหล็กที่เป็นฟังก์ชันของเวลา  $t$  จาก

$$\begin{aligned} F &= -ma \\ &= -m\omega^2 x \end{aligned}$$

จากสมการการกระจัดกับเวลา  $x = A \sin(\omega t + \phi)$  ดังนั้น

$$F = -m(2\pi f)^2 A \sin(2\pi ft + \phi)$$

เนื่องจาก  $\pi$ ,  $f$ ,  $m$ ,  $A$ ,  $\phi$  เป็นค่าคงตัว และ  $t$  เป็นเวลาที่ค่าเปลี่ยนแปลง

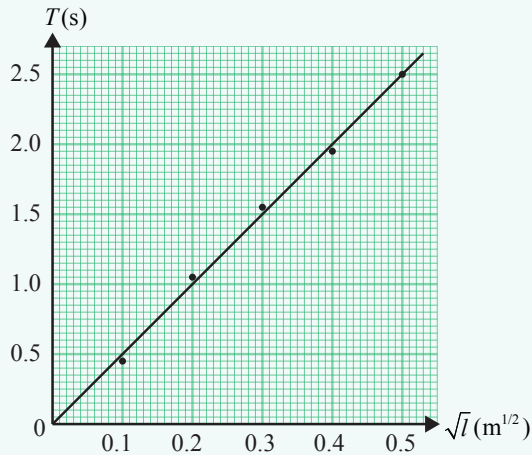
$$\text{แทนค่า} \quad F = -8 \sin(1997t + \phi)$$

**ตอบ** ก. ความถี่ของการแกว่งเท่ากับ  $3.18 \times 10^2$  เฮิรตซ์

ข. ความเร็วที่จุดสมดุลเท่ากับ 4 เมตรต่อวินาที

ค. สมการแสดงแรงที่กระทำต่อลูกเหล็กทรงกลมให้เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งและเวลา  $F = -3988x$  และ  $F = -8 \sin(1997t + \phi)$  ตามลำดับ

5. จากรูป เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบการแกว่งของลูกตุ้มกับรากที่สองของความยาวเชือกบนดาวดวงหนึ่ง ถ้าลูกตุ้มเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ค่าความเร่งโน้มถ่วงเนื่องจากดาวดวงนี้เป็นเท่าใด



รูป ประกอบแบบฝึกหัดข้อ 5

วิธีทำ หาความเร่งโน้มถ่วงเนื่องจากดาวได้จากสมการ  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

เมื่อเทียบความชันของกราฟและสมการจะได้

$$\text{ความชัน} = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}$$

$$\text{แทนค่า} \quad \frac{2.5 \text{ s} - 0.5 \text{ s}}{0.5 \text{ m}^{-1/2} - 0.1 \text{ m}^{-1/2}} = \frac{2(3.14)}{\sqrt{g}}$$

$$g = 1.58 \text{ m/s}^2$$

ตอบ ความเร่งโน้มถ่วงเนื่องจากดาวดวงนี้เป็น 1.58 เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>

## 8.4 ความถี่ธรรมชาติและการสั่นพ้อง

### จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายความถี่ธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้อง

### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อกระตุ้นให้วัตถุสั่นหรือแกว่งอย่างอิสระ คาบการแกว่งจะเพิ่มขึ้น	1. เมื่อกระตุ้นให้วัตถุสั่นหรือแกว่งอย่างอิสระ คาบการแกว่งคงตัว แต่ที่พบการแกว่งในธรรมชาติ คาบการแกว่งจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ เช่น แรงต้านอากาศ แรงเสียดทาน

### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 8 ของหัวข้อ 8.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 8.4 โดยยกสถานการณ์การสั่นของวัตถุติดปลายสปริงและการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย แล้วอภิปรายเกี่ยวกับความถี่ของวัตถุจนสรุปได้ว่า เมื่อวัตถุถูกกระตุ้นให้สั่นหรือแกว่งอย่างอิสระ วัตถุจะสั่นหรือแกว่งด้วยความถี่คงตัวค่าหนึ่งเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 8.14 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

ครูตั้งคำถามว่าหากกระตุ้นวัตถุด้วยความถี่เท่ากับหรือใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของวัตถุนั้น จะเกิดผลอย่างไร ให้นักเรียนตอบอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วให้นักเรียนทำกิจกรรม 8.3



### กิจกรรม 8.3 ความถี่ธรรมชาติของการสั่นของวัตถุ

#### จุดประสงค์

- เพื่อศึกษาการสั่นหรือแกว่งของวัตถุที่ถูกบังคับให้สั่นหรือแกว่งด้วยแรงจากภายนอกที่มีความถี่ต่างๆ กัน

เวลาที่ใช้ 30 นาที

### วัสดุและอุปกรณ์

- |                          |        |
|--------------------------|--------|
| 1. ลูกตุ้มขนาดเล็กทรงกลม | 4 ลูก  |
| 2. ลูกตุ้มขนาดใหญ่ทรงกลม | 1 ลูก  |
| 3. เชือก                 | 6 เส้น |

### ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทำกิจกรรม

เมื่อลูกตุ้มขนาดใหญ่แกว่ง ลูกตุ้มขนาดเล็กทุกลูกจะแกว่ง โดยลูกตุ้มขนาดเล็กที่มีความยาวเชือกใกล้เคียงกับความยาวเชือกของลูกตุ้มขนาดใหญ่ จะแกว่งโดยมีการกระจัดมากที่สุด เมื่อเทียบกับลูกตุ้มขนาดเล็กลูกอื่น ๆ



### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- เมื่อลูกตุ้มขนาดใหญ่แกว่ง ลูกตุ้มขนาดเล็กมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

**แนวคำตอบ** เมื่อลูกตุ้มขนาดใหญ่แกว่ง ลูกตุ้มขนาดเล็กแกว่งและลูกตุ้มขนาดเล็กที่มีความยาวเชือกใกล้เคียงกับความยาวเชือกของลูกตุ้มขนาดใหญ่แกว่งกว้างจากเดิมมากที่สุด

- ลูกตุ้มขนาดเล็ก ลูกใดมีการกระจัดมากที่สุด

**แนวคำตอบ** ลูกตุ้มขนาดเล็กที่มีความยาวเชือกใกล้เคียงกับลูกตุ้มขนาดใหญ่มีการกระจัดมากที่สุด

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

หลังจากครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรม 8.3 จนสรุปได้ดังนี้

ลูกตุ้มที่มีความยาวเชือกเท่ากันหรือใกล้เคียงกันจะมีความถี่ธรรมชาติเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน สามารถถ่ายโอนพลังงานให้แก่กันได้มากกว่าลูกตุ้มที่มีความยาวเชือกแตกต่างกันมาก

จากนั้นครูนำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการกระตุ้นให้วัตถุสั่นด้วยความถี่ต่าง ๆ จนได้ข้อสรุปว่า เมื่อวัตถุถูกกระตุ้นต่อเนื่องให้สั่นอย่างอิสระด้วยแรงหรือพลังงานที่มีความถี่เท่ากับหรือใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของวัตถุ วัตถุนั้นจะสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติของวัตถุนั้นและสั่นด้วยแอมพลิจูดที่มีค่ามาก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การสั่นพ้อง



ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.4 และทำแบบฝึกหัด 8.4 โดยครูอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

### แนวการวัดและประเมินผล

1. อธิบายความถี่ธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้อง จากการตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.4
2. การสังเกต การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป จากการทำกิจกรรม 8.3 และการอภิปรายร่วมกัน



### แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.4

1. ในการกระตุ้นให้วัตถุสั่นอย่างอิสระพบว่าทุกครั้ง วัตถุสั่นด้วยความถี่ค่าเดิมเสมอ ความถี่นี้เรียกว่าอะไร

**แนวคำตอบ** ความถี่ธรรมชาติ

2. จากกิจกรรม 8.3 การที่ลูกตุ้ม ที่มีความยาวเชือกเท่ากับลูกตุ้มลูกใหญ่แกว่งด้วยการกระจัดมากที่สุด เพราะเกิดปรากฏการณ์ใด

**แนวคำตอบ** การสั่นพ้อง



### เฉลยแบบฝึกหัด 8.4

1. จงหาความถี่ธรรมชาติของการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายที่ผูกติดกับเชือกเบาที่มีความยาว 50 เซนติเมตร

**วิธีทำ** หาความถี่ธรรมชาติของการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายได้จากสมการ  $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$

จากโจทย์  $l = 0.50 \text{ m}$  และ  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad f &= \frac{1}{2(3.14)} \sqrt{\frac{9.8 \text{ m/s}^2}{0.50 \text{ m}}} \\ &= 0.70 \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

**ตอบ** ความถี่ธรรมชาติของการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายเท่ากับ 0.70 เฮิรตซ์

2. จงหาความถี่ธรรมชาติของวัตถุติดปลายสปริง เมื่อวัตถุมีมวล 0.1 กิโลกรัม และสปริงมีค่าคงตัวของสปริง 1000 นิวตันต่อเมตร

**วิธีทำ** หาความถี่ธรรมชาติของการแกว่งของวัตถุติดปลายสปริงได้จากสมการ  $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$

จากโจทย์  $k = 1000 \text{ N/m}$  และ  $m = 0.1 \text{ kg}$

แทนค่า

$$f = \frac{1}{2(3.14)} \sqrt{\frac{1000 \text{ N/m}}{0.1 \text{ kg}}}$$

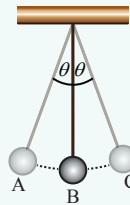
$$= 15.9 \text{ s}^{-1}$$

**ตอบ** ความถี่ธรรมชาติของวัตถุติดปลายสปริงเท่ากับ 15.9 เฮิรตซ์

## เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8

## ?? | คำถาม

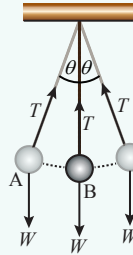
- จงบรรยายการเคลื่อนที่ของวัตถุในตัวอย่าง 8.2  
**แนวคำตอบ** เป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่กลับไปมาซ้ำรื่อยเดิมผ่านตำแหน่งสมดุล
- วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ขณะที่วัตถุอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล ปริมาณใดบ้างที่เป็นศูนย์  
**แนวคำตอบ** การกระจัด ความเร็ว
- จงเปรียบเทียบมุมเฟสของกราฟตามสมการ  $v = A\omega \cos(\omega t + \phi)$  และ  $a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi)$   
**แนวคำตอบ** มุมเฟสมีค่าเท่ากับ  $\omega t + \phi$  ดังนั้นมุมเฟสของทั้งสองสมการมีค่าเท่ากัน
- $x = A \sin(\omega t + \phi)$  และ  $x = A \cos(\omega t + \phi)$  เป็นสมการการกระจัดของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย สมการทั้งสองแตกต่างกันอย่างไร  
**แนวคำตอบ** ที่เวลาเริ่มต้น  $t = 0$  จะได้  $x = A \sin \phi$ ,  $x = A \cos \phi$  ถ้า  $\phi = 0$  ตำแหน่งของวัตถุที่เวลาเริ่มต้นจะแตกต่างกัน โดย  $x = A \sin \phi$  จะเริ่มที่การกระจัดเท่ากับศูนย์ และ  $x = A \cos \phi$  จะเริ่มที่การกระจัดสูงสุด
- ลูกตุ้มเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายระหว่างจุด A และจุด C โดย B เป็นจุดต่ำสุด ดังรูป



รูป ประกอบคำถามข้อ 5

จงเขียนแผนภาพแสดงแรงกระทำต่อลูกตุ้ม ในขณะที่ลูกตุ้มอยู่ที่จุด A จุด B และจุด C

**แนวคำตอบ** แผนภาพของแรงที่กระทำต่อลูกตุ้มอย่างง่ายที่จุด A B และ C แสดงได้ดังรูป



รูป ประกอบคำถามข้อ 5

6. จงอธิบายการสาธิตการสั่นพ้องในห้องเรียน (หรือห้องปฏิบัติการ) ระบุอุปกรณ์ที่ใช้ วิธีการและผลที่เกิดขึ้น

**แนวคำตอบ** ลูกตุ้มมวลต่าง ๆ 4-5 ลูก ผูกห้อยกับเชือกที่ซึ่งเป็นราว โดยให้ความยาวของเชือกที่แขวนลูกตุ้มต่างกัน และบางลูกมีความยาวเท่ากัน เมื่อแกว่งลูกตุ้มลูกหนึ่ง ลูกตุ้มลูกอื่น ๆ จะแกว่ง โดยลูกตุ้มที่มีความยาวเท่ากันจะแกว่งพร้อมกัน

## 🔍 | ปัญหา

1. ส้อมเสียงอันหนึ่งสั่น 5000 รอบในเวลา 20 วินาที คาบและความถี่ของส้อมเสียงมีค่าเท่าใด  
วิธีทำ คาบเป็นเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ จะได้

$$T = \frac{20 \text{ s}}{5000}$$

$$= 0.004 \text{ s}$$

ความถี่เป็นจำนวนรอบที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา จะได้

$$f = \frac{5000}{20 \text{ s}}$$

$$= 250 \text{ s}^{-1}$$

**ตอบ** ส้อมเสียงมีคาบและความถี่เท่ากับ 0.004 วินาที และ 250 รอบต่อวินาที ตามลำดับ

2. ในการบันทึกภาพการกระพือปีกของนกชนิดหนึ่ง พบว่านกกระพือปีกด้วยความถี่ 20 เฮิรตซ์ คาบและความถี่เชิงมุมของการกระพือปีกเป็นเท่าใด

วิธีทำ คาบมีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{f}$  จะได้

$$\begin{aligned}\text{คาบ} &= \frac{1}{20 \text{ Hz}} \\ &= 0.05 \text{ s}\end{aligned}$$

ความถี่เชิงมุมมีค่าเท่ากับ  $2\pi f$  จะได้

$$\begin{aligned}\text{ความถี่เชิงมุม} &= 2(3.1416 \text{ rad})(20 \text{ Hz}) \\ &= 125.66 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

ตอบ คาบและความถี่เชิงมุมของการกระพือปีกเท่ากับ 0.05 วินาที และ 125.66 เรเดียนต่อวินาที

3. วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายตามแนวแกน  $x$  มีคาบการเคลื่อนที่เป็น 6 วินาที

มีสมการการเคลื่อนที่เป็น  $x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$  เมื่อ  $A$  และ  $T$  เป็นค่าคงตัว  $t$  เป็นเวลา เวลา

ที่ใช้เคลื่อนที่จากตำแหน่ง  $x = 0$  ไป  $x = \frac{1}{2}A$  มีค่าเท่าใด

วิธีทำ จากสมการ  $x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$

$$\text{จะได้} \quad \frac{1}{2}A = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$$

$$\frac{1}{2} = \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$$

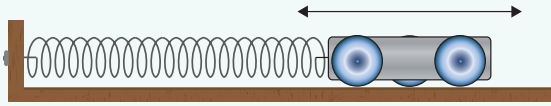
$$\sin\left(\frac{\pi}{6}\right) = \sin\left(\frac{2\pi}{6 \text{ s}}t\right)$$

$$\frac{\pi}{6} = \frac{2\pi}{6 \text{ s}}t$$

$$t = 0.5 \text{ s}$$

ตอบ เวลาที่ใช้เคลื่อนที่ 0.5 วินาที

4. รถทดลองติดอยู่กับปลายข้างหนึ่งของสปริงที่วางบนพื้นราบลื่น ตรึงปลายอีกข้างของสปริงไว้ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 4

ถ้ารถเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย โดยมีแอมพลิจูด 0.4 เมตร และอัตราเร็วสูงสุดเป็น 2.0 เมตรต่อวินาที ในเวลา 10 วินาที รถวิ่งกลับไปกลับมาได้กี่รอบ (ให้คำตอบติดค่า  $\pi$ )

วิธีทำ จากสมการ  $v_{\max} = \omega A$

$$v_{\max} = (2\pi f)A$$

จะได้  $2 \text{ m/s} = (2\pi f)(0.4 \text{ m})$

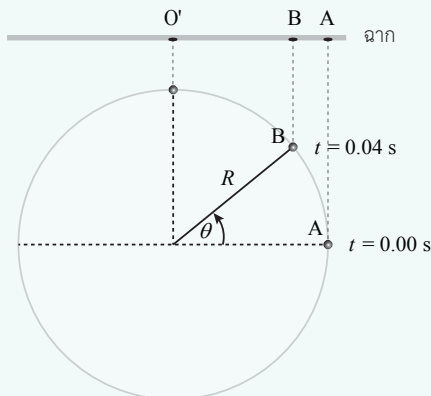
$$f = \frac{2.5}{\pi} \text{ s}^{-1}$$

ในเวลา 1 s รถเคลื่อนที่ได้เท่ากับ  $\frac{2.5}{\pi}$  รอบ

ในเวลา 10 s รถเคลื่อนที่ได้เท่ากับ  $\frac{25}{\pi}$  รอบ

ตอบ ในเวลา 10 วินาที รถวิ่งกลับไปกลับมาได้  $\frac{25}{\pi}$  รอบ

5. อนุภาคมวล 0.2 กิโลกรัม เคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 5.0 เซนติเมตร ด้วยอัตราเร็วเชิงมุมคงตัว  $40\pi$  เรเดียนต่อวินาที ทำให้เงาของวัตถุบนฉากเคลื่อนที่กลับไปกลับมาแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย รอบจุด  $O'$  ถ้าวัตถุเริ่มเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ถึง B โดยใช้เวลา 0.04 วินาที ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 5

ขณะวัตถุอยู่ที่ตำแหน่ง B จงหาขนาดของ

- ก. การกระจัด
- ข. ความเร็ว
- ค. ความเร่ง

**วิธีทำ** จากรูป วัตถุเริ่มเคลื่อนที่จากตำแหน่งการกระจัดสูงสุดจากตำแหน่ง A ไป B  
ดังนั้นการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของวัตถุ ณ ตำแหน่ง B เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ก. ขนาดของการกระจัด} \quad x &= R \cos \theta \\ &= R \cos \omega t \\ &= (5 \text{ cm}) \cos((40\pi \text{ s}^{-1})(0.04 \text{ s})) \\ &= 1.55 \text{ cm} \end{aligned}$$

**ตอบ** ขนาดของการกระจัดมีค่าเท่ากับ 1.55 เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \text{ข. ขนาดของความเร็ว} \quad v &= -\omega R \sin \theta \\ &= -\omega R \sin \omega t \\ &= -(40\pi \text{ s}^{-1})(5 \text{ cm}) \sin((40\pi \text{ s}^{-1})(0.04 \text{ s})) \\ &= 190\pi \text{ cm/s} \end{aligned}$$

**ตอบ** ขนาดของความเร็วมีค่าเท่ากับ  $190\pi$  เซนติเมตรต่อวินาที

$$\begin{aligned} \text{ค. ขนาดของความเร่ง} \quad a &= -\omega^2 R \cos \theta \\ &= -\omega^2 R \cos \omega t \\ &= -(40\pi \text{ s}^{-1})^2 (5 \text{ cm}) \cos((40\pi \text{ s}^{-1})(0.04 \text{ s})) \\ &= -2472\pi^2 \text{ cm/s}^2 \end{aligned}$$

**ตอบ** ขนาดของความเร่งมีค่าเท่ากับ  $-2472\pi^2$  เซนติเมตรต่อวินาที<sup>2</sup>

6. สมการการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของอนุภาคเป็น  $x = (5.00 \text{ cm}) \cos\left(\frac{\pi}{60} t\right)$

เมื่อ  $x$  เป็นการกระจัดในหน่วย เซนติเมตร  $t$  เป็นช่วงเวลาการเคลื่อนที่ในหน่วย วินาที ที่เวลา  $t = 10.0$  วินาที

- จงหา ก. การกระจัดของอนุภาค
- ข. ความเร็ว
- ค. ความเร่ง

วิธีทำ ก. จากโจทย์  $A = 5.00 \text{ cm}$ ,  $\omega = \frac{\pi}{60} \text{ rad/s}$

หาการกระจัดที่เวลา  $t = 10.0 \text{ s}$  จากสมการ  $x = (5.00 \text{ cm}) \cos\left(\frac{\pi}{60} t\right)$

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad x &= (5.00 \text{ cm}) \cos\left(\frac{\pi}{60} \times 10 \text{ rad}\right) \\ &= (5.00 \text{ cm}) \cos(30^\circ) \\ &= (5.00 \text{ cm}) \frac{\sqrt{3}}{2} \\ x &= 4.33 \text{ cm} \end{aligned}$$

ตอบ การกระจัดของอนุภาคเท่ากับ 4.33 เซนติเมตร

ข. หาความเร็ว ที่เวลา  $t = 10.0$  วินาที

เมื่อ  $x$  มีค่าน้อยกว่า  $A$  ทิศของความเร็ว ( $v$ ) จะตรงข้ามกับการกระจัด คือ -

จากสมการ

$$v = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2}$$

$$v = \left(-\frac{\pi}{60} \text{ rad/s}\right) \sqrt{(5.00 \text{ cm})^2 - (4.33 \text{ cm})^2}$$

$$v = -0.04\pi \text{ cm/s}$$

ตอบ ความเร็วที่เวลา 10 วินาที เท่ากับ  $-0.04\pi$  เซนติเมตรต่อวินาที

ค. หาความเร่งที่เวลา  $t = 10.0$  วินาที

จากสมการ

$$a = -\omega^2 x$$

แทนค่า

$$a = -\left(\frac{\pi}{60} \text{ rad/s}\right)^2 (4.33 \text{ cm})$$

$$a = -1.20 \times 10^{-3} \pi^2 \text{ cm/s}^2$$

ตอบ ความเร่งที่เวลา 10 วินาที เท่ากับ  $-1.20 \times 10^{-3} \pi^2$  เซนติเมตรต่อวินาที<sup>2</sup>



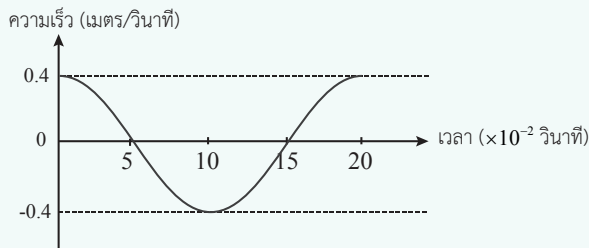
7. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีแอมพลิจูด 30 เซนติเมตร มีคาบการเคลื่อนที่ 4 วินาที อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่มีค่าเท่าใด

วิธีทำ จากสมการ  $v_{\max} = \omega A$

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad v_{\max} &= \left( \frac{2\pi}{T} \right) A \\ &= \frac{2(3.1416)}{4 \text{ s}} (0.3 \text{ m}) \\ &= 0.47 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ตอบ อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่มีค่า 0.47 เมตรต่อวินาที

8. กราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของอนุภาคหนึ่ง เป็นดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 8

ที่เวลา  $5 \times 10^{-2}$  วินาที อนุภาคมีขนาดความเร่งเท่าใด (ให้คำตอบติดค่า  $\pi$ )

วิธีทำ จากกราฟ

$$v_{\max} = 0.4 \text{ m/s}$$

คาบ

$$T = 20 \times 10^{-2} \text{ s}$$

จากสมการ

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

จะได้

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2\pi}{20 \times 10^{-2} \text{ s}} \\ &= 10\pi \text{ rad/s} \end{aligned}$$

จากสมการ

$$v_{\max} = \omega A$$

จะได้

$$\begin{aligned} 0.4 \text{ m/s} &= (10\pi \text{ rad/s}) A \\ A &= \frac{0.4}{10\pi} \text{ m} \end{aligned}$$

ที่เวลา  $5 \times 10^{-2}$  s อนุภาคมีความเร็วเป็นศูนย์ ที่ตำแหน่งนี้จะมีความเร่งสูงสุด

จากสมการ

$$a_{\max} = \omega^2 A$$

จะได้

$$\begin{aligned} &= (10\pi \text{ rad/s})^2 \left( \frac{0.4}{10\pi} \text{ m} \right) \\ &= 4\pi \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

**ตอบ** อนุภาคมีขนาดความเร่ง  $4\pi$  เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>

9. วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายด้วยแอมพลิจูด 2.00 เซนติเมตร ในแนวระดับ ความเร็วของวัตถุที่ตำแหน่งใดจากตำแหน่งสมดุลมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วสูงสุด

**วิธีทำ** ให้  $x$  เป็นตำแหน่งที่วัตถุมีความเร็วเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วสูงสุด

$$v_x = \frac{1}{2}(v_{\max})$$

จะได้

$$\omega\sqrt{(A^2 - x^2)} = \frac{1}{2}(\omega A)$$

$$\sqrt{(A^2 - x^2)} = \frac{1}{2}A$$

$$A^2 - x^2 = \frac{1}{4}A^2$$

$$x^2 = \frac{3}{4}A^2$$

$$x = \pm \frac{\sqrt{3}A}{2}$$

แทนค่า  $A = 2.00 \text{ cm}$  จะได้

$$x = \pm 1.73 \text{ cm}$$

- ตอบ** เมื่อการกระจัดเท่ากับ 1.73 เซนติเมตร ทิศไปทางซ้ายหรือขวา จะมีความเร็วเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วสูงสุด

10. รถทดลองติดปลายลวดสปริงเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ด้วยแอมพลิจูด 15 เซนติเมตร และความถี่ 4 รอบต่อวินาที จงหาความเร็วสูงสุด และความเร่งสูงสุดของรถทดลอง

**วิธีทำ** หาความเร็วสูงสุดจาก  $v_{\max} = \omega A$

$$\begin{aligned} v_{\max} &= (2\pi f)A \\ &= 2(3.1416)(4 \text{ s}^{-1})(0.15 \text{ m}) \\ &= 3.8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

หาความเร่งสูงสุดจาก  $a_{\max} = \omega^2 A$

$$\begin{aligned} a_{\max} &= (2\pi f)^2 A \\ &= (2(3.1416)(4 \text{ s}^{-1}))^2 (0.15 \text{ m}) \\ &= 94.7 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

**ตอบ** ความเร็วสูงสุดเท่ากับ 3.8 เมตรต่อวินาที และ ความเร่งสูงสุดเท่ากับ 94.7 เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>

11. ลูกตุ้มมวล  $m$  ผูกเชือกยาว  $L$  แกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีคาบการแกว่งเป็น 2 วินาที ถ้าใช้ลูกตุ้มมวล  $2m$  แกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ต้องการให้มีคาบการแกว่งเป็น 1 วินาที ต้องใช้เชือกยาวกี่เท่าของความยาว  $L$

**วิธีทำ** จากสมการ  $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$

มวลลูกตุ้ม ไม่มีผลต่อคาบการแกว่ง  $T$

ลูกตุ้มมวล  $m$  ผูกเชือกยาว  $L_1$

คาบการแกว่งเป็น  $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{L_1}{g}} \quad (1)$

ลูกตุ้มมวล  $2m$  ผูกเชือกยาว  $L_2$

คาบการแกว่งเป็น  $T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{L_2}{g}} \quad (2)$

$$\frac{(2)}{(1)} \quad \frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$$

แทนค่า  $\frac{1 \text{ s}}{2 \text{ s}} = \sqrt{\frac{L_2}{L}}$

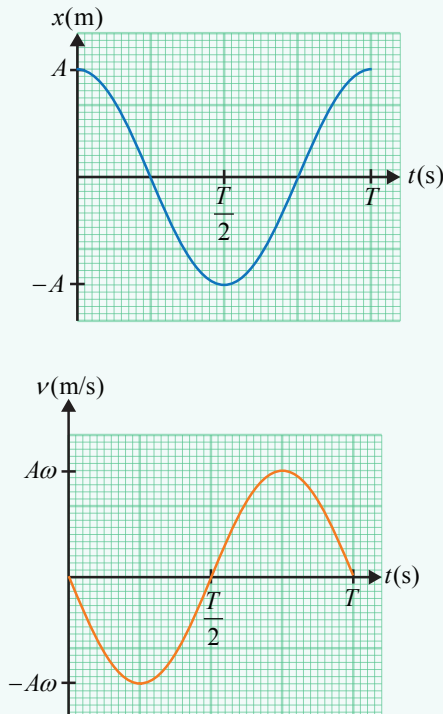
$$L_2 = \frac{1}{4} L$$

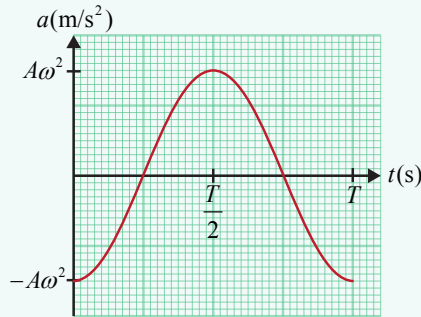
**ตอบ** ต้องใช้เชือกยาว  $\frac{1}{4}$  เท่าของความยาว  $L$

12. อนุภาคหนึ่งสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายในแนวแกน  $y$  โดยมีการกระจัด ความเร็วและความเร่งของอนุภาค ดังสมการ  $y = A \cos \omega t$   $v = -\omega A \sin \omega t$  และ  $a = -\omega^2 A \cos \omega t$  ตามลำดับ  
 ก. กรอกข้อมูลการกระจัด ความเร็วและความเร่งของอนุภาคที่มุมเฟสต่าง ๆ ลงในตารางต่อไปนี้

มุมเฟส $\omega t$	การกระจัด $y$	ความเร็ว $v$	ความเร่ง $a$
0	$A$	0	$-\omega^2 A$
$\frac{\pi}{2}$	0	$-\omega A$	0
$\pi$	$-A$	0	$\omega^2 A$
$\frac{3\pi}{2}$	0	$\omega A$	0
$2\pi$	$A$	0	$-\omega^2 A$

- ข. เขียนกราฟระหว่างการกระจัดกับเวลา ความเร็วกับเวลา และความเร่งกับเวลา





13. แขนงมวล 4.0 กิโลกรัมกับสปริงแล้วปล่อยให้สั่นขึ้นลงในแนวตั้ง ปรากฏว่าวัดคาบการสั่นได้ 2.0 วินาที ถ้านำมวล 8.0 กิโลกรัม มาแขวนแทนมวล 4.0 กิโลกรัม แล้วปล่อยให้สั่นขึ้นลงจะสั่นด้วยความถี่เท่าใด

วิธีทำ หา  $k$  จาก  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$  ดังนั้น  $k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$

วัตถุมวล 4.0 กิโลกรัม สั่นขึ้นลงโดยมีคาบของการสั่นเท่ากับ 2.0 วินาที

แทนค่า  $k = \frac{4\pi^2 (4.0 \text{ kg})}{(2.0 \text{ s})^2}$

$$k = 4\pi^2 \text{ kg/s}^2$$

เมื่อเปลี่ยนมวลเป็น 8.0 กิโลกรัม จะสั่นขึ้นลงด้วยความถี่

จาก  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$  ดังนั้น  $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$

แทนค่า  $k$  และ  $m$   $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{4\pi^2 \text{ kg/s}^2}{8 \text{ kg}}}$

$$f = 0.35 \text{ s}^{-1}$$

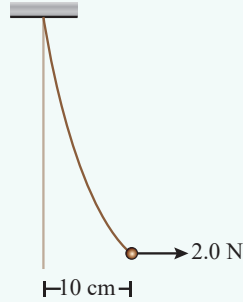
ตอบ ความถี่ของมวล 8.0 กิโลกรัม เท่ากับ 0.35 เฮิรตซ์

14. เมื่อออกแรง 2.0 นิวตัน ดึงปลายแผ่นสปริงของเครื่องชั่งมวล ปลายแผ่นสปริงเบนไปจากตำแหน่งสมดุล 10 เซนติเมตร ดังรูป ที่ปลายแผ่นสปริงติดมวล 0.3 กิโลกรัม ถ้าดึงให้ปลายแผ่นสปริงเบนไปจากตำแหน่งสมดุล 15 เซนติเมตร แล้วปล่อยมือ จงหา

ก. ค่าคงตัวสปริง

ข. คาบของการสั่นของมวล

ค. ขนาดความเร่งสูงสุดของมวล



รูป ประกอบปัญหาข้อ 15

**วิธีทำ ก.** ออกแรง 2.0 นิวตัน ดึงปลายแผ่นสปริงเบนจากตำแหน่งสมดุล 0.1 m

จาก

$$F = kx$$

$$2.0 \text{ N} = k(0.1 \text{ m})$$

$$k = 20 \text{ N/m}$$

**ตอบ** ค่าคงตัวสปริงเท่ากับ 20 นิวตันต่อเมตร

**วิธีทำ ข.** ต่อมาดึงปลายแผ่นสปริงเบนจากตำแหน่งสมดุล แล้วปล่อยมวล 0.3 กิโลกรัม จะสั้นด้วยคาบของการสั่น

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{0.3 \text{ kg}}{20 \text{ N/m}}}$$

$$T = 0.77 \text{ s}$$

**ตอบ** คาบของการสั่นของมวล 0.3 กิโลกรัม เท่ากับ 0.77 วินาที

**วิธีทำ ค.** ขนาดความเร่งสูงสุดของมวล

จาก

$$a_x = -\omega^2 x$$

ดังนั้น

$$a_m = -\frac{k}{m} x_m$$

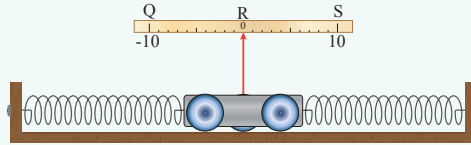
$$= -\left(\frac{20 \text{ N/m}}{0.3 \text{ kg}}\right)(15 \times 10^{-2} \text{ m})$$

$$= -10 \text{ m/s}^2$$

**ตอบ** ความเร่งสูงสุดของมวล 10 เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>

15. รถทดลองมวล 2 กิโลกรัม ปลายทั้งสองยึดติดกับสปริงที่เหมือนกันทุกประการ ดังรูป รถเคลื่อนที่ระหว่างสปริงบนพื้นราบลื่น (ไม่คิดแรงเสียดทาน) ตอนบนของรถติดเข็มชี้ไว้และเข็มชี้จะเคลื่อนที่ระหว่างจุด Q กับ S เป็นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย บนสเกลที่วัดเป็นเซนติเมตร มี R เป็นจุดสมดุล

ณ เวลา  $t = 0$  รถเริ่มเคลื่อนที่จากจุด Q ไปทางขวามือ ซึ่งมีเครื่องหมายบวก



รูป ประกอบปัญหาข้อ 16

- ก. ถ้าคาบของการสั่นในหน่วยวินาทีเท่ากับ  $\pi$  แรงดึงกลับที่กระทำต่อรถในหน่วยนิวตันต่อเมตร ณ เวลา เริ่มต้น มีค่าเท่าใด

- ข. ความเร็วของรถทดลองที่ตำแหน่ง S มีค่าเท่าใด ในหน่วยเมตรต่อวินาที

วิธีทำ ก. จาก  $a = \omega^2 r$

$$\begin{aligned} a &= \frac{4\pi^2 r}{T^2} \\ &= \frac{(4)(3.1416)^2(10 \times 10^{-2} \text{ m})}{(3.1416 \text{ s})^2} \\ &= 4.0 \times 10^{-1} \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

หาแรงดึงกลับจาก  $F = ma$

$$\begin{aligned} F &= (2 \text{ kg})(4 \times 10^{-1} \text{ m/s}^2) \\ &= 0.8 \text{ N} \end{aligned}$$

- ตอบ ก. แรงดึงกลับที่กระทำต่อรถ ณ เวลาเริ่มต้นเป็น 0.8 นิวตัน

- ข. ณ ตำแหน่ง S รถทดลองมีการกระจัดสูงสุด รถทดลองมีความเร็วเท่ากับศูนย์

16. กล้องมวล  $m$  ติดอยู่กับปลายข้างหนึ่งของสปริงและอยู่บนพื้นลื่นระดับ มีคาบของการสั่น 4.0 วินาที ถ้านำวัตถุมวล 1.0 กิโลกรัม ไปวางบนกล้อง คาบการสั่นเป็น 5.0 วินาที จงหามวลของกล้อง

วิธีทำ พิจารณาสมการ  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

แทนค่า  $T = 4$  s และ  $m = m_{\text{box}}$  จะได้

$$4 \text{ s} = 2\pi \sqrt{\frac{m_{\text{box}}}{k}} \quad (1)$$

แทนค่า  $T = 5$  s และ  $m = m_{\text{box}} + 1 \text{ kg}$

$$5 \text{ s} = 2\pi \sqrt{\frac{m_{\text{box}} + 1 \text{ kg}}{k}} \quad (2)$$

(1) จะได้  
(2)

$$\frac{5 \text{ s}}{4 \text{ s}} = \sqrt{\frac{m_{\text{box}} + 1 \text{ kg}}{m_{\text{box}}}}$$

$$\frac{25}{16} = \frac{m_{\text{box}} + 1 \text{ kg}}{m_{\text{box}}}$$

$$m_{\text{box}} = 1.78 \text{ kg}$$

ตอบ มวลของกล่องมีค่าเท่ากับ 1.78 กิโลกรัม

17. กล่องมวล  $m$  อยู่บนแผ่นราบที่กำลังสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายในระนาบระดับ ด้วยความถี่ 2.0 เฮิรตซ์ ถ้ากล่องไม่ไถลบนแผ่นราบ จงหาการกระจัดสูงสุด กำหนดให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างกล่องและแผ่นราบเท่ากับ 0.6

**วิธีทำ** หากการกระจัดสูงสุดจากสมการ  $f_s = \mu_s N$  และสมการ  $a_{\text{max}} = \omega^2 A = (2\pi f)^2 A$  จากกรณีที่กล่องไม่ไถลความเร่งของกล่องต้องมีค่าเท่ากับความเร่งของแผ่นราบ

จากสมการ  $\sum F = ma$  และ  $f_s = \mu_s N$  จะได้

$$\begin{aligned} ma &= \mu_s N \\ &= \mu_s mg \end{aligned}$$

$$a = \mu_s g$$

จากสมการ  $a_{\text{max}} = (2\pi f)^2 A$  และ  $a = \mu_s g$  จะได้

$$(2\pi f)^2 A = \mu_s g$$

$$A = \frac{\mu_s g}{(2\pi f)^2}$$

แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned} A &= \frac{(0.6)(9.8 \text{ m/s}^2)}{(2(3.1416)(2 \text{ Hz}))^2} \\ &= 0.037 \text{ m} \end{aligned}$$

ตอบ การกระจัดสูงสุดของแผ่นราบมีค่าเท่ากับ 3.7 เซนติเมตร



18. สมการการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุเป็น  $x = (5.00 \text{ cm}) \cos(3t)$  เมื่อ  $x$  เป็นการกระจัด หน่วย เซนติเมตร  $t$  เป็นช่วงเวลาการเคลื่อนที่ หน่วย วินาที ที่เวลา  $t = 10.0 \text{ s}$  จงหา

ก. การกระจัดของอนุภาค ข. ความเร็ว ค. ความเร่ง

วิธีทำ ก. พิจารณาฟังก์ชัน  $\cos(\theta)$  สามารถเขียนได้ในอีกรูปคือ  $\sin\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right)$

ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น  $x = (5.00 \text{ cm}) \sin\left(3t + \frac{\pi}{2}\right)$   
แทนค่า  $t = 10.0 \text{ s}$  จะได้

$$\begin{aligned} x &= (5.00 \text{ cm}) \sin\left((3 \text{ rad/s})(10.0 \text{ s}) + \frac{\pi}{2}\right) \\ &= 0.771 \text{ cm} \end{aligned}$$

ตอบ การกระจัดของอนุภาคเท่ากับ 0.771 เซนติเมตร

วิธีทำ ข. เมื่อพิจารณาสมการ จะได้ว่า  $A = 0.05 \text{ m}$ ,  $\omega = 3 \text{ rad/s}$  และ  $\phi = \frac{\pi}{2}$   
แทนค่าในสมการ  $v = A\omega \cos(\omega t + \phi)$  จะได้

$$\begin{aligned} v &= (5.0 \text{ cm})(3 \text{ rad/s}) \cos\left((3 \text{ rad/s})(10.0 \text{ s}) + \frac{\pi}{2}\right) \\ &= 14.8 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

ตอบ ความเร็วอนุภาคเท่ากับ 14.8 เซนติเมตรต่อวินาที มีทิศไปทางขวา

วิธีทำ ค. เมื่อพิจารณาสมการ จะได้ว่า  $A = 0.05 \text{ m}$ ,  $\omega = 3 \text{ rad/s}$  และ  $\phi = \frac{\pi}{2}$   
แทนค่าในสมการ  $a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi)$  จะได้

$$\begin{aligned} a &= (5.0 \text{ cm})(3 \text{ rad/s})^2 \sin\left((3 \text{ rad/s})(10.0 \text{ s}) + \frac{\pi}{2}\right) \\ &= 6.94 \text{ cm/s}^2 \end{aligned}$$

ตอบ ความเร่งอนุภาคเท่ากับ 6.94 เซนติเมตรต่อวินาที<sup>2</sup> มีทิศไปทางขวา



## ปัญหาท้าทาย

19. วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายด้วยความถี่ 5 รอบต่อวินาที ในแต่ละช่วงเวลา 1 วินาที วัตถุจะมีมุมเฟสต่างกันเท่าใด

**วิธีทำ** พิจารณาสมการ  $\omega = 2\pi f$  และมุมเฟส  $= \omega t + \phi$

ดังนั้นทุก ๆ เวลา 1 วินาที

$$\text{มุมเฟสต่างกัน} = 2\pi f(1 \text{ s})$$

$$\text{แทนค่า} = 2\pi(5 \text{ Hz})(1 \text{ s})$$

$$= 10\pi \text{ rad}$$

**ตอบ** วัตถุมีมุมเฟสต่างกัน  $10\pi$  เรเดียน

20. ลูกเหล็กทรงกลมมวล 1 กรัม แก้วแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมีแอมพลิจูด 2 มิลลิเมตร ความเร่งที่จุดปลายของการแกว่งมีค่า  $8 \times 10^3$  เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>

ก. จงหาความถี่ของการแกว่ง

ข. จงหาความเร็วที่จุดสมดุล

ค. จงเขียนสมการแสดงแรงที่กระทำต่อลูกเหล็กให้เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งและฟังก์ชันของเวลา

**วิธีทำ** ก. หาได้จากสมการ  $f = \frac{\omega}{2\pi}$  และ  $a = \omega^2 x$

ดังนั้น

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a}{x}}$$

แทนค่า

$$f = \frac{1}{2(3.1416)} \sqrt{\frac{8 \times 10^3 \text{ m/s}^2}{2 \times 10^{-3} \text{ m}}}$$

$$= 3.18 \times 10^2 \text{ Hz}$$

**ตอบ** ความถี่ของการแกว่งเท่ากับ  $3.18 \times 10^2$  เฮิรตซ์

**วิธีทำ** ข. หาความเร็วที่จุดสมดุลจาก  $v = \omega A$

แทนค่า

$$v = 2\pi fA$$

$$= 2(3.1416)(3.18 \times 10^2 \text{ Hz})(2 \times 10^{-3} \text{ m})$$

$$= 4 \text{ m/s}$$

**ตอบ** ความเร็วที่จุดสมดุลเท่ากับ 4 เมตรต่อวินาที

**วิธีทำ** ค. จากเรื่องลูกตุ้มอย่างง่าย

แรงกระทำต่อลูกตุ้ม  $F = -mg \frac{x}{l}$  ซึ่งสามารถใช้สมการนี้หาแรงกระทำต่อลูกเหล็กกลม

เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งและยังทราบอีกว่า  $\omega^2 = \frac{g}{l}$

ดังนั้น  $(2\pi f)^2 = \frac{g}{l}$

แทนค่า  $F = -4\pi^2 f^2 mx$  (1)

เนื่องจาก  $\pi, f, m$  เป็นค่าคงตัว และ  $x$  เป็นการกระจัดที่มีค่าเปลี่ยนแปลง ดังนั้น

สมการ (1) จึงเป็นสมการแสดงแรงที่กระทำต่อลูกเหล็กที่เป็นฟังก์ชันของตำแหน่ง

ถ้าแทนค่า  $\pi, f, m$  ลงในสมการ (1) จะได้  $F = -3992x$

**ตอบ** สมการแสดงแรงที่กระทำต่อลูกเหล็กที่เป็นฟังก์ชันของตำแหน่ง คือ  $F = -4\pi^2 f^2 mx$

หรือ  $F = -ma = -m\omega^2 x$

หาสมการแสดงแรงที่กระทำต่อลูกเหล็กที่เป็นฟังก์ชันของเวลา

จากสมการ  $F = -ma = -m\omega^2 x$  จะได้

$$\begin{aligned} F &= -m\omega^2 A \sin(\omega t) \\ &= -m4\pi^2 f^2 A \sin(2\pi ft) \end{aligned}$$

เนื่องจาก  $\pi, f, m, A$  เป็นค่าคงตัว และเป็นแรงที่มีค่าเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงเป็น

สมการแสดงแรงที่กระทำต่อลูกเหล็กที่เป็นฟังก์ชันของเวลา

ถ้าแทนค่า  $\pi, f, m, A$  ลงในสมการ จะได้  $F = -8\sin(1998t)$

**ตอบ** สมการแสดงแรงที่กระทำต่อลูกเหล็กที่เป็นฟังก์ชันของเวลา คือ

$F = -m4\pi^2 f^2 A \sin(2\pi ft)$  หรือ  $F = -8\sin(2000t)$

21. วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายรอบจุดสมดุล O ที่อยู่ระหว่างตำแหน่ง A และ B โดยใช้เวลา 1 วินาที ในการเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ไป B ซึ่งอยู่ห่างกัน 20 เซนติเมตร ที่ตำแหน่ง A และ B วัตถุจะอยู่นิ่ง ขณะที่วัตถุผ่านตำแหน่ง C ซึ่งอยู่ห่างจาก O เป็นระยะ 6 เซนติเมตร วัตถุจะมีอัตราเร็วกี่เมตรต่อวินาที

**วิธีทำ** โจทย์ระบุตำแหน่ง A และ B วัตถุจะอยู่นิ่ง แสดงว่าระยะจากจุด O ไปจุด A คือ แอมพลิจูด

ดังนั้นแอมพลิจูด (A) ของการเคลื่อนที่มีค่า 10 เซนติเมตร

ระยะเวลาที่เคลื่อนที่จาก A ไป B มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของคาบ

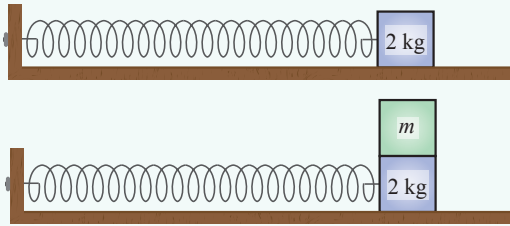
$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad \frac{T}{2} &= 1 \text{ s} \\ T &= 2 \text{ s} \end{aligned}$$

หาความเร็วของวัตถุที่ห่างจากจุด O 6 เซนติเมตร ได้จาก  $v = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2}$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad v &= \pm \left( \frac{2\pi}{2 \text{ s}} \right) \sqrt{(10 \times 10^{-2} \text{ m})^2 - (6 \times 10^{-2} \text{ m})^2} \\ &= \pm 0.08\pi \text{ m/s} \end{aligned}$$

ตอบ วัตถุจะมีอัตราเร็ว  $0.08\pi$  เมตรต่อวินาที

22. มวล 2 กิโลกรัม ติดกับปลายลวดสปริง ดังรูป ก. ดึงสปริงให้ยืดออกแล้วปล่อยให้วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย บนพื้นราบเกลี้ยง วัตถุเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ ใช้เวลา 1 วินาที ถ้ามีมวลวางทับมวล 2 กิโลกรัมเดิมดังรูป ข ทำให้วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายและครบ 1 รอบ ใช้เวลา 1.5 วินาที จงหามวล  $m$



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 22

วิธีทำ จาก  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

$$\text{จากรูป ก. ได้ว่า} \quad 1 \text{ s} = 2\pi \sqrt{\frac{2 \text{ kg}}{k}} \quad (1)$$

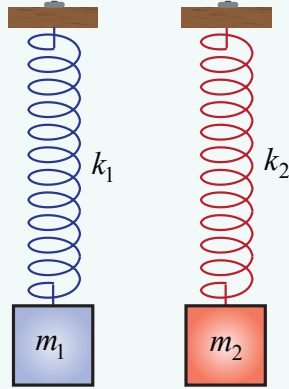
$$\text{จากรูป ข. ได้ว่า} \quad 1.5 \text{ s} = 2\pi \sqrt{\frac{m + 2 \text{ kg}}{k}} \quad (2)$$

$$\frac{(1)}{(2)} \quad 1.5 = \sqrt{\frac{m + 2 \text{ kg}}{2 \text{ kg}}}$$

$$m = 2.5 \text{ kg}$$

ตอบ มวล  $m$  เท่ากับ 2.5 กิโลกรัม

23. สปริงสองเส้นมีมวลน้อยมาก ปลายด้านหนึ่งยึดติดกับเพดาน ปลายอีกด้านหนึ่งมีมวล  $m_1$  และ  $m_2$  ติดไว้ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 22

โดยค่าคงตัวสปริง  $k_1$  เป็น 3 เท่าของค่าคงตัวสปริง  $k_2$  และมวล  $m_1$  เป็น 2 เท่าของมวล  $m_2$  เมื่อออกแรงดึงมวล  $m_1$  และ  $m_2$  ให้สปริงยืดออกเล็กน้อยแล้วปล่อย มวล  $m_1$  จะใช้เวลาในการสั่นครบรอบ เป็นกี่เท่าของมวล  $m_2$

**วิธีทำ** คาบของระบบมวลติดสปริงคำนวณได้จาก  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$   
มวล  $m_1$  ติดกับสปริงที่มีค่าคงตัวสปริง จะได้

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m_1}{k_1}} \quad (1)$$

มวล  $m_2$  ติดกับสปริงที่มีค่าคงตัวสปริง จะได้

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m_2}{k_2}} \quad (2)$$

$$\frac{(1)}{(2)} \quad \frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}} \sqrt{\frac{k_2}{k_1}}$$

แทนค่า

$$= \sqrt{\frac{(2m_2)}{m_2}} \sqrt{\frac{k_2}{(3k_2)}}$$

$$T_1 = \sqrt{\frac{2}{3}} T_2$$

ตอบ มวล  $m_1$  จะใช้เวลาสั่นครบรอบเป็น  $\sqrt{\frac{2}{3}}$  เท่าของมวล  $m_2$

24. อนุภาคเคลื่อนที่ในแนววงกลมในระนาบระดับเคลื่อนที่ได้ 10 รอบ ใช้เวลา 3 วินาที เงามของอนุภาคเคลื่อนที่เป็นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย โดยมีแอมพลิจูด 8.0 เซนติเมตร ณ ตำแหน่งที่เงาของอนุภาคมีอัตราเร็วสูงสุด มีขนาดของการกระจัดเท่าใด และอัตราเร็วสูงสุดมีค่าเท่าใด

**วิธีทำ** หาขนาดของการกระจัดจากสมการ  $v = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2}$

จากสมการเมื่อ  $x = 0$  จะทำให้  $v$  มีค่าสูงสุด

ดังนั้นเงาของอนุภาคมีอัตราเร็วสูงสุดเมื่อการกระจัดมีค่าเป็นศูนย์

แทนค่า  $x = 0$  ในสมการ จะได้

$$\begin{aligned} v &= \omega A \\ &= 2\pi f A \\ &= (2)(3.1416) \left( \frac{10}{3} \text{ s}^{-1} \right) (8.0 \times 10^{-2} \text{ m}) \\ &= 1.67 \text{ m/s} \end{aligned}$$

**ตอบ** เงามของอนุภาคมีอัตราเร็วสูงสุดเมื่อขนาดของการกระจัดเป็นศูนย์ และอัตราเร็วสูงสุดเท่ากับ 1.67 เมตรต่อวินาที

25. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ด้วยความถี่ 3 รอบต่อวินาที ถ้าแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ 2 เซนติเมตร อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่มีค่าเท่าใด

**วิธีทำ** จากสมการ  $v = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2}$  และ  $\omega = 2\pi f$

โดยอนุภาคจะมีอัตราเร็วสูงสุดที่ตำแหน่งสมดุล ( $x = 0$ ) ของการเคลื่อนที่

ดังนั้น

$$v = \pm (2\pi f) \sqrt{A^2 - x^2}$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} &= \pm (2\pi(3 \text{ Hz})) \sqrt{(2 \times 10^{-2} \text{ m})^2 - (0)} \\ &= \pm 0.12\pi \text{ m/s} \end{aligned}$$

**ตอบ** อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่มีค่า  $\pm 0.12\pi$  เมตรต่อวินาที

26. วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีแอมพลิจูด 10 เซนติเมตร มีความถี่ 2 รอบต่อวินาที ณ ตำแหน่งที่มีการกระจัด 7 เซนติเมตร วัตถุจะมีความเร่งเท่าใด

**วิธีทำ** จากสมการ  $a = \pm \omega^2 x$  และ  $\omega = 2\pi f$

ความเร่งของวัตถุที่ตำแหน่งที่มีการกระจัด 7 เซนติเมตร มีค่า

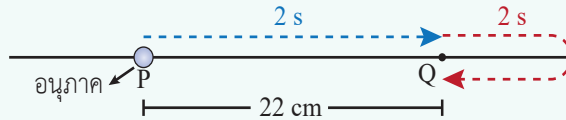
$$a = \pm (2\pi f)^2 x$$

$$\text{แทนค่า} \quad = \pm (2\pi(2 \text{ Hz}))^2 (7 \times 10^{-2} \text{ m})$$

$$= \pm 1.12\pi \text{ m/s}^2$$

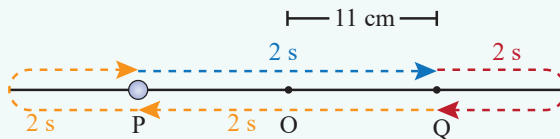
**ตอบ** วัตถุจะมีความเร่ง  $1.12\pi$  เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>

27. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย โดยใช้เวลา 2 วินาที ในการเคลื่อนที่ผ่านจุด P ไป Q ซึ่งอยู่ห่างกัน 22.0 เซนติเมตร ขณะผ่าน P และ Q อนุภาคมีอัตราเร็วเท่ากัน อีก 2 วินาที ต่อมาวัตถุเคลื่อนที่กลับมาที่ Q จงหาคาบและแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 27

**วิธีทำ** จากสมการ  $v = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2}$  และ พิจารณาจุด P และ Q เมื่ออัตราเร็วเท่ากันจะได้ว่า จุด P และ Q อยู่ห่างจากจุดสมดุลเป็นระยะเท่ากันและสามารถหาคาบของการเคลื่อนที่ได้ดังรูป



หาแอมพลิจูดได้จากสมการ  $x = A \sin \omega t$  ซึ่ง  $\omega = \frac{2\pi}{T}$

แทนค่า  $x = 0.11 \text{ m}$   $t = 1 \text{ s}$  และ  $T = 8 \text{ s}$  ในสมการ  $x = A \sin \omega t$  จะได้

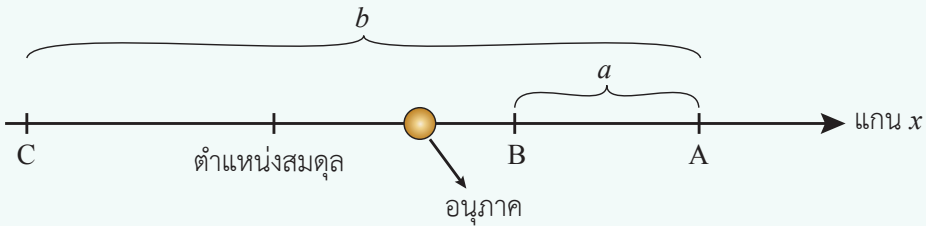
$$0.11 \text{ m} = A \sin \left( \frac{2\pi}{8} (1 \text{ s}) \right)$$

ดังนั้น

$$A = 0.156 \text{ m}$$

**ตอบ** อนุภาคมีคาบเท่ากับ 8 วินาที และอนุภาคมีแอมพลิจูดเท่ากับ 15.6 เซนติเมตร

28. ABC เป็นจุดบนเส้นตรงเส้นหนึ่ง อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายที่ตำแหน่ง B และ C อนุภาคจะอยู่นิ่งโดยจุด B และ C อยู่ห่างจาก A เป็นระยะ  $a$  และ  $b$  ตามลำดับ ที่จุดกึ่งกลางของ B และ C อนุภาคมีความเร็ว  $v$  จงแสดงให้เห็นว่า คาบของการเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ  $\frac{\pi(b-a)}{v}$



วิธีทำ จุด B และ C เป็นจุดปลายของการเคลื่อนที่  
ดังนั้น แอมพลิจูด จะได้

$$A = \frac{b-a}{2}$$

จากสมการ  $v = \omega A$

$$v = \omega \frac{(b-a)}{2}$$

จะได้

$$\omega = \frac{2v}{b-a}$$

จากสมการ  $\omega = \frac{2\pi}{T}$

ดังนั้น

$$\frac{2\pi}{T} = \frac{2v}{b-a}$$

จะได้

$$T = \frac{\pi(b-a)}{v}$$

ตอบ แสดงว่าคาบของการเคลื่อนที่มีเท่ากับ  $\frac{\pi(b-a)}{v}$



29. ล็อบกลมอันหนึ่งมีรัศมี 0.3 เมตร ที่ขอบล้อติดวัตถุไว้ก้อนหนึ่ง ล็อบหมุนด้วยความถี่ 0.5 รอบต่อวินาที รอบแกนหมุนในแนวแกนซึ่งอยู่กับที่ ขณะนั้นมีแสงแดดตกตั้งฉากกับพื้นโลก ทำให้เงาของวัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

- คาบของการเคลื่อนที่ของเงามีค่าเท่าใด
- ความถี่ของการเคลื่อนที่ของเงามีค่าเท่าใด
- แอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ของเงามีค่าเท่าใด
- จงเขียนสมการแสดงการกระจัดในการเคลื่อนที่ ณ เวลาต่าง ๆ กำหนดให้มุมเฟสเริ่มต้นเป็นศูนย์

**วิธีทำ** ก. คาบของการเคลื่อนที่ของเงา คือ เวลาที่เงาจะเคลื่อนที่กลับมาอยู่ตำแหน่งเดิม ซึ่งจะมีค่าเท่ากับคาบการหมุนของวงล้อ

$$\text{จาก } T = \frac{1}{f} \text{ จะได้} \quad T = \frac{1}{0.5 \text{ Hz}} = 2 \text{ s}$$

**ตอบ** คาบของการเคลื่อนที่ของเงามีค่า 2 วินาที

$$\text{ข. จาก } f = \frac{1}{T} \text{ จะได้} \quad f = \frac{1}{2 \text{ s}} = 0.5 \text{ Hz}$$

**ตอบ** ความถี่ของการเคลื่อนที่ของเงามีค่า 0.5 เฮิรตซ์

ค. แอมพลิจูดของเงามีขนาดเท่ากับรัศมีของล้อวงกลมซึ่งเท่ากับ 0.3 เมตร

**ตอบ** แอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ของเงามีค่า 0.3 เมตร

ง. จากสมการ  $x = A \sin(\omega t + \phi)$   
จากสมการ  $\omega = 2\pi f$  แทนค่าจะได้

$$\omega = 2\pi(0.5 \text{ Hz}) = \pi \text{ rad/s}$$

แทนค่าในสมการจะได้สมการ  $x = 0.3 \sin(\pi t)$

**ตอบ** สมการแสดงการกระจัดในการเคลื่อนที่ ณ เวลาต่าง ๆ  $x = 0.3 \sin(\pi t)$

30. เชือกเส้นที่หนึ่งยาว  $L$  เชือกเส้นที่สองยาว  $2L$  ต่างมีมวลติดที่ปลายเชือก เมื่อทำให้มวลแกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ถ้าอัตราเร็วสูงสุดของมวลที่ปลายเชือกทั้งสองมีค่าเท่ากัน แอมพลิจูดของมวลที่ปลายของเชือกเส้นที่หนึ่งเป็นกี่เท่าของเส้นที่สอง

วิธีทำ กำหนดให้

$$v_{\max 1} = v_{\max 2}$$

จะได้

$$\omega_1 A_1 = \omega_2 A_2$$

จากสมการ  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  และ  $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

จะได้

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

ดังนั้น

$$\sqrt{\frac{g}{L}} A_1 = \sqrt{\frac{g}{2L}} A_2$$

$$A_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} A_2$$

$$A_1 = 0.707 A_2$$

ตอบ แอมพลิจูดของมวลที่ปลายของเชือกเส้นที่หนึ่งเป็น 0.707 เท่าของเชือกเส้นที่สอง

31. การกระจัดของอนุภาคหนึ่งที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เป็นฟังก์ชันของเวลาดังสมการ

$$x = (2 \text{ m}) \sin\left(3\pi t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ จงหา}$$

ก. การกระจัดที่เวลา  $t = 2.0 \text{ s}$

ข. มุมเฟสที่เวลา  $t = 2.0 \text{ s}$

ค. ความเร็วสูงสุด

ง. สมการความเร็วที่เวลา  $t$

จ. สมการความเร่งที่เวลา  $t$

วิธีทำ ก. แทนค่า  $t = 2.0 \text{ s}$  ลงในสมการ จะได้

$$x = (2 \text{ m}) \sin\left(3\pi(2.0 \text{ s}) + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$= 1.414 \text{ m}$$

ตอบ การกระจัดที่เวลา  $t = 2.0 \text{ s}$  มีค่า 1.414 เมตร

วิธีทำ ข. แทนค่า  $t = 2.0$  s ลงในสมการ จะได้

$$\begin{aligned}\text{มุมเฟส} &= 3\pi(2.0 \text{ s}) + \frac{\pi}{4} \\ &= \frac{25\pi}{4} \text{ rad}\end{aligned}$$

ตอบ มุมเฟสที่เวลา  $t = 2.0$  s มีค่า  $\frac{25\pi}{4}$  เรเดียน

วิธีทำ ค. จากสมการ  $x = (2 \text{ m})\sin(3\pi t + \frac{\pi}{4})$  จะได้  $\omega = 3\pi \text{ rad/s}$  และ  $A = 2 \text{ m}$

จากสมการ  $a_{\text{max}} = \omega^2 A$  แทนค่า

$$\begin{aligned}a_{\text{max}} &= (3\pi \text{ rad/s})^2(2 \text{ m}) \\ &= 18\pi^2 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

ตอบ ความเร่งสูงสุดมีค่าเท่ากับ  $18\pi^2$  เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>

วิธีทำ ง. จากสมการ  $v = \omega A \cos(\omega t + \phi)$  และจากสมการที่โจทย์กำหนดให้

จะได้  $A = 2 \text{ m}$ ,  $\omega = 3\pi \text{ rad/s}$  และ  $\phi = \frac{\pi}{4}$  ดังนั้น เขียนสมการได้เป็น

$$\begin{aligned}v &= (3\pi \text{ rad/s})(2 \text{ m}) \cos\left( (3\pi \text{ rad/s})t + \frac{\pi}{4} \right) \\ &= 6\pi \cos\left( 3\pi t + \frac{\pi}{4} \right)\end{aligned}$$

ตอบ สมการความเร็วที่เวลา  $t$  เป็น  $v = 6\pi \cos\left( 3\pi t + \frac{\pi}{4} \right)$

วิธีทำ จ. จากข้อ ง. และสมการ  $a = -\omega^2 A \sin(\omega t + \phi)$  แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned}a &= -(3\pi \text{ rad/s})^2(2 \text{ m}) \sin\left( (3\pi \text{ rad/s})t + \frac{\pi}{4} \right) \\ &= -18\pi^2 \sin\left( 3\pi t + \frac{\pi}{4} \right)\end{aligned}$$

ตอบ สมการความเร่งที่เวลา  $t$  เป็น  $a = -18\pi^2 \sin\left( 3\pi t + \frac{\pi}{4} \right)$

32. อนุภาคหนึ่งมีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายรอบจุด  $x = 0$  ที่เวลา  $t = 0$  อนุภาคมีการกระจัด 0.02 เมตร และความเร็วเป็นศูนย์ ถ้าความถี่ของการเคลื่อนที่ 0.25 เฮิรตซ์ จงหา  
ก. คาบ ข. ความถี่เชิงมุม ค. แอมพลิจูด ง. อัตราเร็วสูงสุด จ. อัตราเร็วที่เวลา  $t = 3.0$  s

วิธีทำ ก. จากสมการ  $T = \frac{1}{f}$  แทนค่า

$$T = \frac{1}{0.25 \text{ Hz}}$$

$$= 4 \text{ s}$$

ตอบ อนุภาคมีคาบเท่ากับ 4 วินาที

วิธีทำ ข. จากสมการ  $\omega = 2\pi f$  แทนค่า

$$\omega = 2\pi(0.25 \text{ Hz})$$

$$= 0.5\pi \text{ rad/s}$$

ตอบ อนุภาคมีความถี่เชิงมุมเท่ากับ  $0.5\pi$  เรเดียนต่อวินาที

วิธีทำ ค. จากสมการ  $v = \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2}$  แทนค่า  $v = 0$  และ  $x = 0.02$  m จะได้

$$0 = \pm\omega\sqrt{A^2 - 0.02^2}$$

ดังนั้น  $A = 0.02$  m

ตอบ อนุภาคมีแอมพลิจูดเท่ากับ 0.02 เมตร

วิธีทำ ง. จากสมการ  $v_{\max} = \omega A$  แทนค่า  $\omega = 0.5\pi$  rad/s และ  $A = 0.02$  m จะได้

$$v_{\max} = (0.5\pi \text{ rad/s})(0.02 \text{ m})$$

$$= 0.01\pi \text{ m/s}$$

ตอบ อนุภาคมีอัตราเร็วสูงสุดเท่ากับ  $0.01\pi$  เมตรต่อวินาที

**วิธีทำ** จ. จากสมการ  $v = \omega A \cos(\omega t + \phi)$

แทนค่า  $A = 0.02 \text{ m}$ ,  $\omega = 0.5\pi \text{ rad/s}$  จะได้  $v = 0.01\pi \cos(0.5\pi t + \phi)$

จากโจทย์ที่  $t = 0$  ความเร็วเป็นศูนย์ ( $v = 0$ ) แทนค่าจะได้

$$0 = 0.01\pi \cos(0.5\pi(0) + \phi)$$

ดังนั้น  $\cos(\phi) = 0$

$\therefore \phi = \frac{\pi}{2}$

เขียนสมการใหม่ได้เป็น  $v = 0.01\pi \cos\left(0.5\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$  แทนค่า

จะได้ 
$$v = 0.01\pi \cos\left(0.5\pi(3.0 \text{ s}) + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$= 0.01\pi \text{ m/s}$$

**ตอบ** อนุภาคมีอัตราเร็วที่เวลา  $t = 3.0 \text{ s}$  เท่ากับ  $0.01\pi$  เมตรต่อวินาที

33. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีการกระจัดตั้งสมการ

$$y = (1.0 \text{ m}) \cos\left(10t - \frac{\pi}{6}\right) \text{ จงหา}$$

ก. ความถี่ ข. การกระจัดสูงสุด ค. ความเร็วสูงสุด ง. ความเร่งสูงสุด

จ. การกระจัด ความเร็วและความเร่งที่เวลา  $t = 2.0 \text{ s}$

**วิธีทำ** ก. จาก  $\cos(\theta)$  เท่ากับ  $\sin\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right)$  ดังนั้นเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$y = (1.0 \text{ m}) \sin\left(10t - \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{2}\right)$$

จากสมการสามารถบอกได้ว่า  $A = 1.0 \text{ m}$ ,  $\omega = 10 \text{ rad/s}$

จากสมการ  $\omega = 2\pi f$  จะได้

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$= \frac{10 \text{ rad/s}}{2\pi}$$

$$= \frac{5}{\pi} \text{ Hz}$$

แทนค่า

**ตอบ** อนุภาคมีความถี่เท่ากับ  $\frac{5}{\pi}$  เฮิรตซ์

**วิธีทำ** ข. การกระจัดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.0 เมตร

**ตอบ** อนุภาคมีการกระจัดสูงสุดเท่ากับ 1.0 เมตร

**วิธีทำ** ค. จากสมการ  $v_{\max} = A\omega$  แทนค่า

$$\begin{aligned} v_{\max} &= (1.0 \text{ m})(10 \text{ rad/s}) \\ &= 10 \text{ m/s} \end{aligned}$$

**ตอบ** อนุภาคมีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที

**วิธีทำ** ง. จากสมการ  $a_{\max} = A\omega^2$  แทนค่า

$$\begin{aligned} a_{\max} &= (1.0 \text{ m})(10 \text{ rad/s})^2 \\ &= 100 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

**ตอบ** อนุภาคมีความเร่งสูงสุดเท่ากับ 100 เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>

**วิธีทำ** จ. จากสมการ  $y = (1.0 \text{ m}) \sin\left(10t - \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{2}\right)$  สามารถเขียนให้อยู่ในรูปความเร็ว

ได้เป็น  $v_y = (1.0 \text{ m})(10) \cos\left(10t - \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{2}\right)$  และเขียนในรูปความเร่งได้เป็น

$a_y = -(1.0 \text{ m})(100) \sin\left(10t - \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{2}\right)$  แทนค่า ในสมการจะได้

$$\begin{aligned} \text{การกระจัด} \quad y &= (1.0 \text{ m}) \sin\left(10(2.0 \text{ s}) - \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{2}\right) \\ &= 0.81 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเร็ว} \quad v_y &= (1.0 \text{ m})(10) \cos\left(10(2.0 \text{ s}) - \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{2}\right) \\ &= -5.87 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเร่ง} \quad a_y &= -(1.0 \text{ m})(100) \sin\left(10(2.0 \text{ s}) - \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{2}\right) \\ &= -81 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

**ตอบ** การกระจัด ความเร็วและความเร่งที่เวลา  $t = 2.0 \text{ s}$  เท่ากับ 0.81 เมตร

-5.87 เมตรต่อวินาที และ -81 เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>

บทที่



ipst.me/8839

## 9

คลื่น

## ผลการเรียนรู้

1. อธิบายปรากฏการณ์คลื่น ชนิดของคลื่น ส่วนประกอบของคลื่น การแผ่ของหน้าคลื่นด้วยหลักการของฮอยเกนส์ และการรวมกันของคลื่นตามหลักการซ้อนทับ พร้อมทั้งคำนวณอัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น
2. สังเกตและอธิบายการสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

## การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

## ผลการเรียนรู้

1. อธิบายปรากฏการณ์คลื่น ชนิดของคลื่น ส่วนประกอบของคลื่น การแผ่ของหน้าคลื่นด้วยหลักการของฮอยเกนส์และการรวมกันของคลื่นตามหลักการซ้อนทับ พร้อมทั้งคำนวณอัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น

## จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายปรากฏการณ์คลื่น และลักษณะที่สำคัญของคลื่นชนิดต่าง ๆ
2. อธิบายองค์ประกอบต่าง ๆ ของคลื่น
3. ระบุปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วคลื่นในตัวกลาง
4. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว ความถี่และความยาวคลื่นและคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
5. อธิบายการแผ่ของหน้าคลื่นโดยใช้หลักการของฮอยเกนส์
6. อธิบายการรวมกันของคลื่นโดยอาศัยหลักการซ้อนทับ

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การสังเกต (คลื่นในขดลวดสปริง คลื่นผิวน้ำ)</li> <li>2. การตีความหมายข้อมูล และลงข้อสรุป (โดยอาศัยความรู้จากการเกิดคลื่น หลักการของคลื่น ส่วนประกอบของคลื่น)</li> <li>3. การใช้จำนวน (การคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับอัตราเร็วคลื่น ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วคลื่น ความยาวคลื่น และความถี่คลื่น เฟสและความต่างเฟสของคลื่น)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การสื่อสารสารสนเทศ และการรู้เท่าทันสื่อ</li> <li>2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ความอยากรู้อยากเห็น</li> </ol>

### ผลการเรียนรู้

2. สังเกตและอธิบายการสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

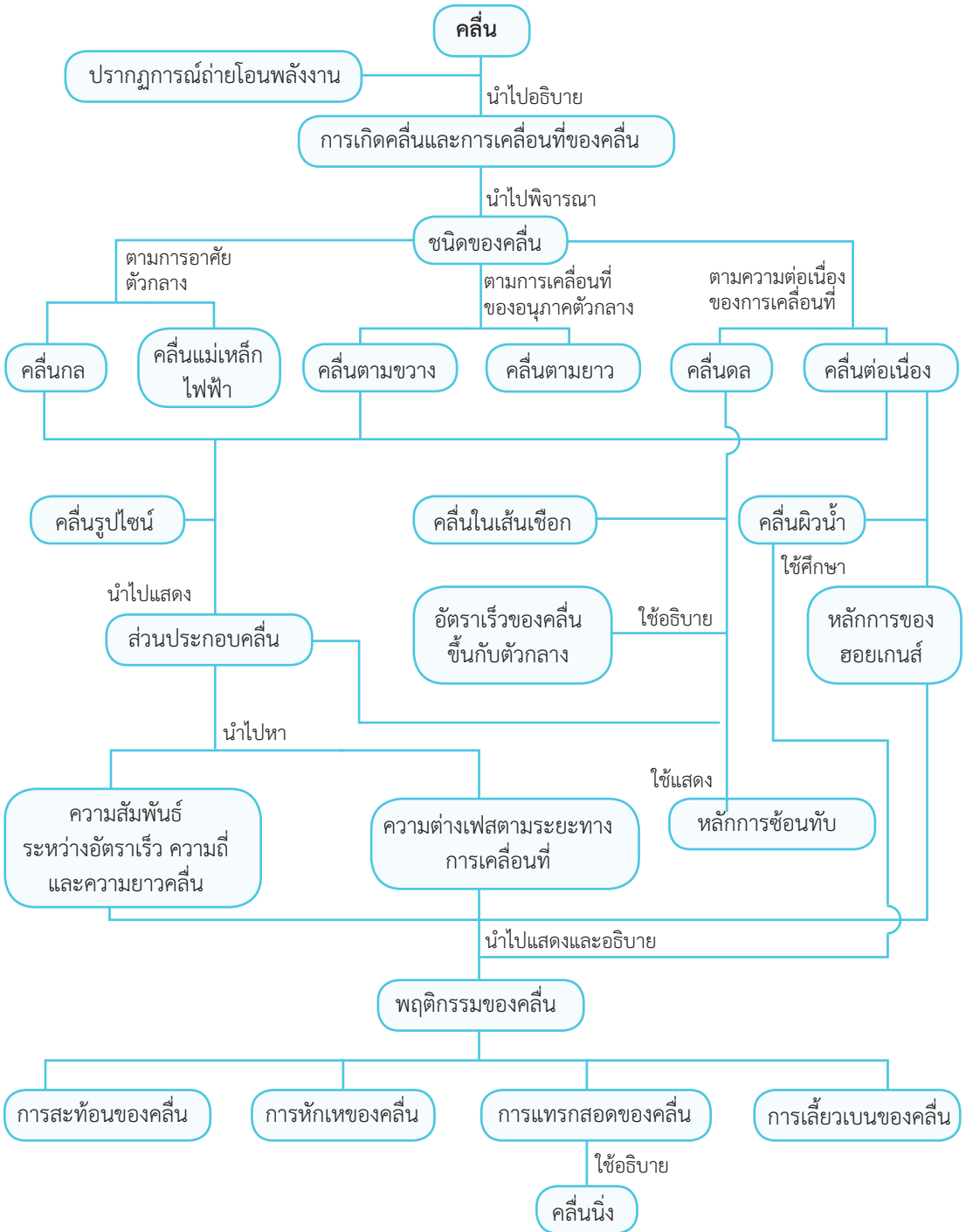
### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดลอง สังเกต และอธิบายการสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน การแทรกสอดของคลื่นผิวน้ำ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. สังเกตและอธิบายการเกิดคลื่นนิ่ง



ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การสังเกต (พฤติกรรมของคลื่น)</li> <li>2. การทดลอง</li> <li>3. การตีความหมายข้อมูล และลงข้อสรุป (พฤติกรรมของคลื่น)</li> <li>4. การใช้จำนวน (การคำนวณการแทรกสอดของคลื่น การเกิดคลื่นนิ่ง)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การสื่อสารสารสนเทศ และการรู้เท่าทันสื่อ</li> <li>2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ความซื่อสัตย์</li> <li>2. ความมุ่งมั่นอดทน</li> </ol>

### ผังมโนทัศน์ คลื่น



### สรุปแนวความคิดสำคัญ

คลื่นเป็นปรากฏการณ์ถ่ายโอนพลังงาน จากที่หนึ่งไปยังที่หนึ่งโดยอาศัยตัวกลางเรียกว่า คลื่นกล โดยแหล่งพลังงานซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดคลื่น เมื่อพลังงานแผ่ออกไปทำให้ตัวกลางมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา หลังจากคลื่นผ่านไปแล้วตัวกลางจะไม่เคลื่อนที่ไปกับคลื่น กรณีที่ทิศการเคลื่อนที่ของตัวกลางอยู่ในแนวขนานกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น เรียกว่า **คลื่นตามยาว** ถ้าทิศการเคลื่อนที่ของตัวกลางทำมุมฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เรียกว่า **คลื่นตามขวาง** การทำให้เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ เรียกว่าทำให้เกิด **คลื่นดล** แต่ถ้าทำให้เกิดคลื่นต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ เรียกว่าทำให้เกิด **คลื่นต่อเนื่อง** คลื่นที่กล่าวมาเป็นคลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางและแหล่งกำเนิดคลื่นเป็นพลังงานกล จัดเป็น **คลื่นกล** สำหรับคลื่นที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางสามารถถ่ายโอนพลังงานของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าผ่านสุญญากาศโดยการเปลี่ยนแปลงค่าสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ากลับไปกลับมาในทิศตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น จัดเป็น **คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า**

ในขณะที่มีการรบกวนตัวกลางด้วยคาบสมัาเสมอจะเกิดคลื่นผ่านตัวกลางทำให้อนุภาคของตัวกลางสั่นมีคาบการสั่นเท่ากับคาบของการรบกวน เมื่ออนุภาคของตัวกลางสั่นหนึ่งรอบทำให้เกิดคลื่นผ่านตัวกลางหนึ่งลูก ดังนั้นคลื่นจึงมีความถี่เท่ากับความถี่แหล่งกำเนิดคลื่น

แอมพลิจูดของคลื่นเท่ากับแอมพลิจูดของอนุภาค เฟสของคลื่นเท่ากับเฟสของอนุภาค สำหรับคลื่นตามขวาง ตำแหน่งที่อนุภาคอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุดเรียกว่าสันคลื่น และตำแหน่งที่อนุภาคอยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุดเรียกว่าท้องคลื่น ระยะทางที่คลื่นแผ่ออกไปในเวลาหนึ่งคาบ ( $T$ ) เท่ากับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) อัตราเร็วของคลื่น ( $v$ ) จึงเป็นไปตามความสัมพันธ์  $v = \frac{\lambda}{T}$  หรือ  $v = f\lambda$  เมื่อคลื่นผ่านตัวกลางที่ต่างจากเดิมอัตราเร็วจะเปลี่ยนไปเนื่องจากอัตราเร็วของคลื่นขึ้นอยู่กับสมบัติของตัวกลาง

หลักการที่อธิบายการแผ่คลื่นผ่านตัวกลางคือ **หลักการของฮอยเกนส์** ซึ่งกล่าวว่าแต่ละจุดบนหน้าคลื่นเป็นแหล่งกำเนิดแบบจุด ทำให้เกิดคลื่นหน้าวงกลมใหม่ซึ่งส่งคลื่นออกไป โดยคลื่นใหม่มีอัตราเร็วและความถี่เท่ากับคลื่นเดิม เมื่อคลื่นสองคลื่นพบกัน คลื่นรวมจะมีค่าตามหลักการซ้อนทับ โดยคลื่นรวมมีการกระจัดเท่ากับผลรวมของการกระจัดของแต่ละคลื่น กรณีที่การกระจัดของคลื่นทั้งสองอยู่ในทิศเดียวกันคลื่นจะรวมแบบเสริม กรณีที่การกระจัดของคลื่นทั้งสองอยู่ในทิศตรงข้ามกันคลื่นจะรวมแบบหักล้าง

คลื่นหนึ่งคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกตัวกลางหนึ่ง เมื่อกระทบผิวรอยต่อของตัวกลาง คลื่นจะแสดงพฤติกรรมสองพฤติกรรมคือ คลื่นส่วนหนึ่งสะท้อนกลับในตัวกลางเดิม เรียกว่าคลื่นสะท้อน ซึ่งคลื่นที่สะท้อนกลับมาในตัวกลางเดิม มีอัตราเร็วและความถี่เดิม การสะท้อนของคลื่นเป็นไปตามกฎการสะท้อน เรียกพฤติกรรมนี้ว่าการสะท้อนของคลื่น

คลื่นอีกส่วนหนึ่งเคลื่อนผ่านเข้าไปในอีกตัวกลางหนึ่ง เรียกว่าคลื่นหักเห คลื่นที่ผ่านเข้าไปในอีกตัวกลางหนึ่งมีอัตราเร็วของคลื่นเปลี่ยนไปโดยความถี่คลื่นคงเดิม ทิศทางของคลื่นอาจเปลี่ยนไปจากเดิม เรียกพฤติกรรมนี้ว่าการหักเหของคลื่น พฤติกรรมนี้สามารถอธิบายได้ด้วย กฎการหักเห ซึ่งมีความสัมพันธ์ตาม

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

เมื่อคลื่นสองคลื่นเคลื่อนที่สวนทางมาพบกันจะเกิดการรวมกันตามหลักการซ้อนทับของคลื่นเรียกว่า การแทรกสอดของคลื่น ถ้าคลื่นที่มารวมกันมีความถี่เท่ากัน แอมพลิจูดเท่ากัน ตำแหน่งที่รวมกันแบบเสริมคลื่นรวมมีแอมพลิจูดสูงสุด อนุภาคของตัวกลางสั่นกลับไปกลับมาที่มีการกระจัดมากที่สุด เรียกตำแหน่งนี้ว่า **ปฏิบัพ (antinode)** และตำแหน่งที่รวมกันแบบหักล้าง คลื่นหักล้างกันหมดทำให้อนุภาคของตัวกลางไม่มีการสั่น เรียกตำแหน่งนี้ว่า **บัพ (node)** และดูเหมือนคลื่นรวมไม่มีการเคลื่อนที่ เรียกว่า **คลื่นนิ่ง (standing waves)** สำหรับแหล่งกำเนิดคลื่นที่อยู่ในตัวกลางเดียวกันมีความถี่เท่ากัน แอมพลิจูดเท่ากัน ความยาวคลื่นเท่ากัน มีเฟสเริ่มต้นตรงกัน จัดเป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์ (coherent sources) การแทรกสอดของแหล่งกำเนิดคลื่นนี้จะเกิดคลื่นนิ่ง ถ้ากำหนดให้  $S_1$  และ  $S_2$  เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุด จุด  $P$  และ  $Q$  เป็นตำแหน่งที่เป็นปฏิบัพและบัพ ตามลำดับ  $|S_1P - S_2P|$  หรือ  $|S_1Q - S_2Q|$  เรียกว่า ผลต่างระยะทาง  $\Delta r$  (path different) มีความสัมพันธ์ตามสมการ  $|S_1P - S_2P| = n\lambda$  เมื่อ  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$  และ  $|S_1Q - S_2Q| = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda$  เมื่อ  $n = 1, 2, 3, \dots$

เมื่อคลื่นหนึ่งคลื่นเคลื่อนที่กระทบขอบของสิ่งกีดขวางหรือผ่านช่องแคบ คลื่นสามารถอ้อมไปทางด้านหลังของสิ่งกีดขวางได้ ซึ่งอธิบายได้ด้วยการแผ่ของหน้าคลื่นตามหลักของฮอยเกนส์ เรียกพฤติกรรมนี้ว่าการเลี้ยวเบนของคลื่น

### เวลาที่ใช้

#### บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 20 ชั่วโมง

9.1 ธรรมชาติของคลื่น	3 ชั่วโมง
9.2 อัตราเร็วของคลื่น	3 ชั่วโมง
9.3 หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น	3 ชั่วโมง
9.4 พฤติกรรมของคลื่น	11 ชั่วโมง



#### ความรู้ก่อนเรียน

การเคลื่อนที่แนวตรง การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

ครูนำเข้าสู่บทที่ 9 โดยให้นักเรียนดูภาพนำบทแล้วให้อภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับคลื่นคืออะไร คลื่นเกิดได้อย่างไร คลื่นเคลื่อนที่ไปได้อย่างไรและมีสิ่งใดเคลื่อนที่ไปกับคลื่น โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูชี้แจงคำถามสำคัญที่นักเรียนจะต้องตอบได้หลังจากการเรียนรู้บทที่ 9 และหัวข้อต่าง ๆ ที่นักเรียนจะได้เรียนรู้ในบทที่ 9

## 9.1 ธรรมชาติของคลื่น

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายปรากฏการณ์คลื่น และลักษณะที่สำคัญของคลื่นชนิดต่าง ๆ
2. อธิบายองค์ประกอบต่าง ๆ ของคลื่น

### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 9.1 โดยใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนตอบเกี่ยวกับคลื่นว่า คลื่นคืออะไร แล้วอภิปรายร่วมกันเพื่อตอบคำถาม โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูใช้รูป 9.1 ในหนังสือเรียนหรือยกสถานการณ์ใกล้เคียงมาอภิปรายร่วมกับนักเรียนจนสรุปได้ว่าปรากฏการณ์ที่มีการรบกวนเนื้อสาร ณ จุดใดจุดหนึ่ง การรบกวนนี้จะถูกส่งต่อไปยังจุดอื่นรอบ ๆ ทุกทิศทางพร้อมกับพาพลังงานไปด้วย โดยที่อนุภาคของเนื้อสารที่ถูกรบกวนไม่เคลื่อนที่ตามไปกับการถ่ายโอนพลังงาน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าคลื่น

#### 9.1.1 การเกิดคลื่น

##### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. คลื่นทุกชนิดต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงาน	1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงาน
2. ตัวกลางเคลื่อนที่ไปกับคลื่น	2. ตัวกลางไม่เคลื่อนที่ไปกับคลื่นแต่จะสั่นกลับไปกลับมารอบตำแหน่งเดิม

## แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 1 หัวข้อ 9.1 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 9.1.1 โดยยกสถานการณ์การเกิดคลื่นจากหยดน้ำดังรูป 9.2 แล้วตั้งคำถาม คลื่นเกิดขึ้นได้อย่างไร ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า การเกิดคลื่นในรูปมีหยดน้ำเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นเมื่อกระทบผิวน้ำมีการถ่ายโอนพลังงานให้กับอนุภาคน้ำซึ่งเป็นตัวกลางทำให้ผิวน้ำถูกรบกวนกระเพื่อมเป็นลูกคลื่น

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 50 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันโดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระจนได้แนวคำตอบดังนี้



### แนวคำตอบชวนคิด

คลื่นในสปริง คลื่นแผ่นดินไหว และคลื่นเสียง สิ่งใดเป็นแหล่งกำเนิดคลื่น และตัวกลางที่ทำให้เกิดคลื่นเหล่านี้

**แนวคำตอบ** คลื่นในสปริง สิ่งที่ออกแรงสั่นสปริงเป็นแหล่งกำเนิดคลื่น มีอนุภาคสปริงเป็นตัวกลางของคลื่น

คลื่นแผ่นดินไหว เกิดจากการปลดปล่อยพลังงานจากความเครียดที่เก็บอยู่ในหินใต้ผิวโลก อย่างทันทีทันใด มีแผ่นเปลือกโลกเป็นตัวกลางของคลื่น

คลื่นเสียง การสั่นของวัตถุเป็นแหล่งกำเนิดคลื่น อนุภาคของสารที่เสียงผ่าน เช่น อากาศ น้ำ เหล็ก ฯลฯ เป็นตัวกลางของคลื่น

ครูตั้งคำถามการถ่ายโอนพลังงานของวัตถุที่เคลื่อนที่และคลื่นมีข้อแตกต่างกันอย่างไร แล้วอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า วัตถุเคลื่อนที่จะนำพลังงานไปกับวัตถุ สำหรับคลื่น พลังงานจะถูกถ่ายโอนผ่านอนุภาคในตัวกลาง และแม้ว่าอนุภาคในตัวกลางจะมีการเคลื่อนที่ แต่จะเคลื่อนที่กลับไปกลับมา ณ ตำแหน่งหนึ่ง ๆ เท่านั้น โดยไม่ได้เคลื่อนที่ไปพร้อมกับการถ่ายโอนพลังงาน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

## 9.1.2 ชนิดของคลื่น

### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

### สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. วิดีทัศน์การเกิดคลื่นในสปริง

## แนวการจัดการเรียนรู้

ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 1 ของหัวข้อ 9.1 ตามหนังสือเรียน ครูเข้าสู่หัวข้อ 9.1.2 โดยตั้งคำถามว่า หากไม่มีตัวกลางแล้วคลื่นเกิดขึ้นได้หรือไม่ ให้นักเรียนยกตัวอย่างคลื่นที่รู้จักแล้วเขียนชื่อคลื่นบนกระดาน จากนั้นแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 5-6 คน ให้แต่ละกลุ่มระบุตัวกลางของคลื่นบนกระดาน แล้วนำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า เมื่อพิจารณาจากการอาศัยตัวกลางหรือไม่อาศัยตัวกลาง จะแบ่งคลื่นได้เป็นคลื่นกลและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามลำดับ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

จากนั้นครูให้นักเรียนชมคลิปวิดีโอที่ค้นการเกิดคลื่นในสปริง หรืออาจให้นักเรียนทำกิจกรรมลองทำดู



### กิจกรรมลองทำดู คลื่นในสปริง

#### จุดประสงค์

ศึกษาลักษณะของคลื่นในสปริง

#### วัสดุและอุปกรณ์

1. สปริง
2. เชือกหรือริบบิ้นยาวประมาณ 5 เซนติเมตร



### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- เมื่อสับัดปลายสปริงในแนวตั้งฉากกับตัวสปริง เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เชือกหรือริบบิ้นเคลื่อนที่อย่างไร

**แนวคำตอบ** เมื่อสับัดปลายสปริงในแนวตั้งฉากกับตัวสปริง จะเกิดคลื่นเคลื่อนผ่านตัวสปริงจากด้านที่มีการสับัดมือไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง เชือกหรือริบบิ้นที่ผูกติดกับสปริงจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในแนวตั้งฉากกับตัวสปริง

- เมื่ออัดปลายสปริงในแนวตามยาวของตัวสปริง เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เชือกหรือริบบิ้นเคลื่อนที่อย่างไร

**แนวคำตอบ** เมื่ออัดปลายสปริงในแนวตามยาวของตัวสปริง จะเกิดคลื่นเคลื่อนผ่านตัวสปริงจากด้านที่มีการอัดปลายสปริงไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง เชือกหรือริบบิ้นที่ผูกติดกับสปริงเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในแนวตามยาวของตัวสปริง

หลังดูวิดีโอหรือทำกิจกรรมลองทำดู ครูตั้งคำถามว่าถ้าแบ่งคลื่นตามทิศการเคลื่อนที่ของอนุภาคตัวกลางกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นจะแบ่งชนิดคลื่นได้อย่างไร ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่าเมื่ออนุภาคตัวกลางเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น และอนุภาคตัวกลางเคลื่อนที่ในแนวขนานกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น เรียกว่า คลื่นตามขวางและคลื่นตามยาว ตามลำดับ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูอาจให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับความรู้เพิ่มเติมในหนังสือเรียนหน้า 54 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

ครูถามว่าหากใช้ช่วงเวลารบกวนตัวกลางให้เกิดคลื่นเป็นเกณฑ์ เช่น ทำให้เกิดคลื่นโดยสับหรืออัดปลายสปริงในช่วงสั้น ๆ ก็กับการสับหรืออัดปลายสปริงหลาย ๆ ครั้งต่อเนื่องกัน จะแบ่งคลื่นที่เกิดขึ้นได้กี่ชนิด ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า หากใช้ช่วงเวลารบกวนตัวกลางให้เกิดคลื่นเป็นเกณฑ์ จะแบ่งคลื่นได้สองชนิด คือ รบกวนตัวกลางในช่วงเวลาสั้น ๆ จะเกิดคลื่นจำนวนหนึ่ง เช่น หนึ่งลูกหรือสองลูก และรบกวนตัวกลางต่อเนื่องจะเกิดคลื่นจำนวนมากต่อเนื่องกันไป เรียกคลื่นตลและคลื่นต่อเนื่องตามลำดับ

จากนั้นครูให้นักเรียนพิจารณารูป 9.6 และร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่าในกรณีคลื่นต่อเนื่องการรบกวนเป็นคาบสม่ำเสมอ ทำให้เกิดคลื่นแบบไซน์ได้ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูอาจให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับความรู้เพิ่มเติมในหนังสือเรียนหน้า 55 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

### 9.1.3 ส่วนประกอบของคลื่น

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 2 ของหัวข้อ 9.1 ตามหนังสือเรียน ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 9.1.3 โดยยกสถานการณ์การทำให้เกิดคลื่นตามขวางด้วยการสับปลายเชือก ดังรูป 9.7 ในหนังสือเรียนแล้วให้นักเรียนพิจารณาลักษณะการสั่นและเฟสของอนุภาคตัวกลางขณะเวลาต่าง ๆ จาก 9.7ก. ถึง 9.7จ. จนครบหนึ่งคาบซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นในเชือกหนึ่งลูกคลื่น จากนั้นอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า จำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้นเท่ากับจำนวนรอบของการสับมือทำให้ความถี่ของคลื่นเท่ากับความถี่ของแหล่งกำเนิดคลื่น และอนุภาคของเชือกมีการสั่นในแนวตั้งฉากกับทิศทางของคลื่น

ให้นักเรียนใช้รูป 9.8 ในหนังสือเรียน ศึกษาส่วนประกอบของคลื่นแล้วอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่าส่วนประกอบต่าง ๆ ของคลื่นประกอบด้วย สันคลื่น ท้องคลื่น แอมพลิจูดคลื่น และความยาวคลื่นตามรายละเอียดในหนังสือเรียน



ให้นักเรียนใช้รูป 9.7จ. ในหนังสือเรียน ศึกษาเฟสของอนุภาคแล้วอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า ใช้เฟสของอนุภาคที่สั้นมาอธิบายเฟสของคลื่นและตำแหน่งบนคลื่น 2 ตำแหน่งที่อยู่ห่างกันเท่ากับ ความยาวคลื่น มีเฟสต่างกัน  $360^\circ$  หรือ  $2\pi$  เรเดียน

ครูให้นักเรียนพิจารณาการเคลื่อนที่ของอนุภาคตัวกลางที่ตำแหน่งใด ๆ ตั้งแต่คลื่นเริ่มเคลื่อนที่ผ่าน จนคลื่นผ่านครบหนึ่งลูกคลื่น แล้วร่วมกันอภิปรายเขียนกราฟการกระจัดกับเวลา และกราฟการกระจัดกับเฟส จนได้ข้อสรุปดังกราฟรูป 9.9 ในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนพิจารณาเปรียบเทียบการกระจัด ทิศทางการสั่นของอนุภาคตัวกลางในคลื่นที่ตำแหน่งต่าง ๆ ร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่า อนุภาคที่เฟสต่างกันเป็นจำนวนเต็มเท่าของ  $2\pi$  หรืออยู่ห่างกันเป็นจำนวนเต็มเท่าของ  $\lambda$  จะมีการสั่นขึ้นลงพร้อมกัน เรียก มีเฟสตรงกัน และอนุภาคที่มีเฟสต่างกันเป็น  $\pi$   $3\pi$   $5\pi$  ... หรืออยู่ห่างกันเป็น  $0.5\lambda$   $1.5\lambda$   $2.5\lambda$  ... มีการสั่นขึ้นลงในทิศตรงข้ามกัน เรียก มีเฟสตรงข้ามกัน ดังรูป 9.10ก. และ 9.10ข. ตามลำดับ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูตั้งคำถามว่าถ้าสองตำแหน่งบนคลื่นอยู่ห่างกันเป็นระยะ  $\Delta x$  ในแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นจะหาเฟสที่ต่างกันอย่างไร และมีค่าเท่าใด ร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ตามสมการ (9.1) ในหนังสือเรียนแล้วให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 9.1 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

ครูอาจให้นักเรียนสรุปเกณฑ์ที่ใช้แบ่งชนิดของคลื่นและบอกชนิดของคลื่นที่ใช้เกณฑ์นั้นแบ่ง โดยอาจให้สรุปเป็นตารางที่นักเรียนออกแบบขึ้นเอง จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 9.1 ทั้งนี้อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

### แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการเกิดคลื่นจากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ
2. ทักษะการแก้ปัญหาและการสื่อสาร
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล จากการอภิปรายร่วมกัน



### แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 9.1

รูปข้างล่างนี้แสดงรูปร่างคลื่นเคลื่อนที่ในเส้นเชือกที่กำลังเคลื่อนที่ไปทางซ้าย



1. อนุภาคของเชือกตรงจุด A และจุด B กำลังจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางใด (ซ้าย ขวา ลง หรือขึ้น)  
**แนวคำตอบ** จุด A จะเคลื่อนที่ขึ้น และจุด B จะเคลื่อนที่ลง ในทิศตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่น
2. คลื่นกลต่างจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างไร  
**แนวคำตอบ** คลื่นกลเป็นการถ่ายโอนพลังงานกลต้องอาศัยตัวกลาง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นการถ่ายโอนพลังงานไม่ต้องอาศัยตัวกลาง

## 9.2 อัตราเร็วของคลื่น

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ระบุปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วคลื่นในตัวกลาง
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว ความถี่และความยาวคลื่นและคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

### สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. วิดีทัศน์การเกิดคลื่นในสปริง

### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 9.2 โดยนำนักเรียนอภิปรายทบทวนเกี่ยวกับอัตราเร็วเฉลี่ยและอัตราเร็วคงตัวแล้วตั้งคำถามว่าเมื่อทำให้เกิดคลื่นเคลื่อนที่ในตัวกลาง อัตราเร็วคลื่นขึ้นอยู่กับตัวกลางหรือไม่ สามารถหาอัตราเร็วคลื่นได้อย่างไร และอัตราเร็วคลื่นเกี่ยวข้องกับส่วนประกอบใดของคลื่น โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ของหัวข้อ 9.2

### 9.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว ความถี่และความยาวคลื่น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. อัตราเร็วของคลื่นในตัวกลางหนึ่งเปลี่ยนแปลงเมื่อความถี่หรือความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลง	1. อัตราเร็วคลื่นในตัวกลางหนึ่งมีค่าคงตัวไม่เปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่หรือความยาวคลื่น โดยหากความถี่เปลี่ยน ความยาวคลื่นจะเปลี่ยนตาม แต่ผลคูณของความถี่กับความยาวคลื่นคงเดิม

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 3 และ 4 ของหัวข้อ 9.2 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 9.2.1 โดยตั้งคำถามว่าเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปในตัวกลางเราสามารถนำความรู้การหาอัตราเร็วเฉลี่ยของวัตถุทั่วไปมาใช้หาสมการอัตราเร็วคลื่นกับปริมาณที่เกี่ยวข้องได้อย่างไรให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันโดยใช้ความสัมพันธ์  $v = \frac{\lambda}{T}$  ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนจนได้อัตราเร็วคลื่นสัมพันธ์กับความถี่และความยาวคลื่นดังสมการ (9.2)

ครูตั้งคำถามว่าจากสมการอัตราเร็วคลื่นที่ได้ หากความถี่คลื่นเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วคลื่นจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า ในตัวกลางหนึ่งเมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ของคลื่น ความยาวคลื่นจะเปลี่ยนแปลงตาม แต่ผลคูณของความถี่และความยาวคลื่นยังคงเท่ากับอัตราเร็วเดิม จากนั้นให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 9.2 และ 9.3 โดยครูคอยให้คำแนะนำ

## 9.2.2 อัตราเร็วของคลื่นในตัวกลาง ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

### แนวทางการจัดการเรียนรู้

ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 3 และ 4 ของหัวข้อ 9.2 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 9.2.2 โดยตั้งคำถามว่าการที่ผลคูณความถี่กับความยาวคลื่นในตัวกลางหนึ่งมีค่าเท่าเดิมเสมอแสดงว่าอัตราเร็วคลื่นในตัวกลางขึ้นกับสิ่งใด อภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า อัตราเร็วคลื่นขึ้นอยู่กับสมบัติของตัวกลางคลื่นที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน จากนั้นครูยกสถานการณ์คลื่นเคลื่อนที่ผ่านเชือกเส้นเดียวกันที่มีความตึงต่างกันแล้วถามนักเรียนว่า อัตราเร็วคลื่นในเชือกเป็นอย่างไร ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่าอัตราเร็วคลื่นในเชือกขึ้นอยู่กับความตึงของเชือกโดยเชือกยิ่งตึงคลื่นจะเคลื่อนที่ผ่านไปอย่างรวดเร็ว ครูถามต่อว่าเชือกที่มีแรงตึงเท่ากันแต่มีความหนาแน่นเชิงเส้น (มวลต่อหน่วยความยาว) ของเชือกต่างกัน อัตราเร็วคลื่นในเชือกจะเป็นอย่างไร อภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่าเชือกที่มีแรงตึงเท่ากันคลื่นจะเคลื่อนที่ผ่านเส้นเชือกที่มีความหนาแน่นเชิงเส้นสูงได้ช้ากว่า แล้วให้ศึกษาตัวอย่าง 9.4 โดยครูคอยให้คำแนะนำ

ครูนำอภิปรายเน้นย้ำสมการอัตราเร็วของเชือกตามสมการ (9.2) จะมีค่าไม่ขึ้นกับความถี่ของการสั่นตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูอาจให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับความรู้เพิ่มเติมในหนังสือเรียนหน้า 64 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ ครูตั้งคำถามว่าแอมพลิจูดของคลื่นในเชือกแตกต่างกันเกิดจากอะไร และหมายถึงสิ่งใดในคลื่น ให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่า คลื่นที่มีแอมพลิจูดแตกต่างกันเกิดจากการสั่นให้มีการกระจัดต่างกัน โดยแอมพลิจูดมากกว่าเมื่อสั่นด้วยการกระจัดมากกว่าซึ่งต้องใช้พลังงานมากกว่า ดังนั้นแอมพลิจูดมากกว่าหมายถึงต้องทำงานหรือให้พลังงานแก่เชือกมากกว่าทำให้พลังงานที่ถ่ายโอนไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของคลื่นมากกว่า ค่าพลังงานที่คลื่นถ่ายโอนไปจึงสัมพันธ์กับแอมพลิจูดของคลื่นตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

หลังจากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 9.2 ทั้งนี้อาจมีการเฉลยและอภิปรายวิธีการคิดหาคำตอบร่วมกัน

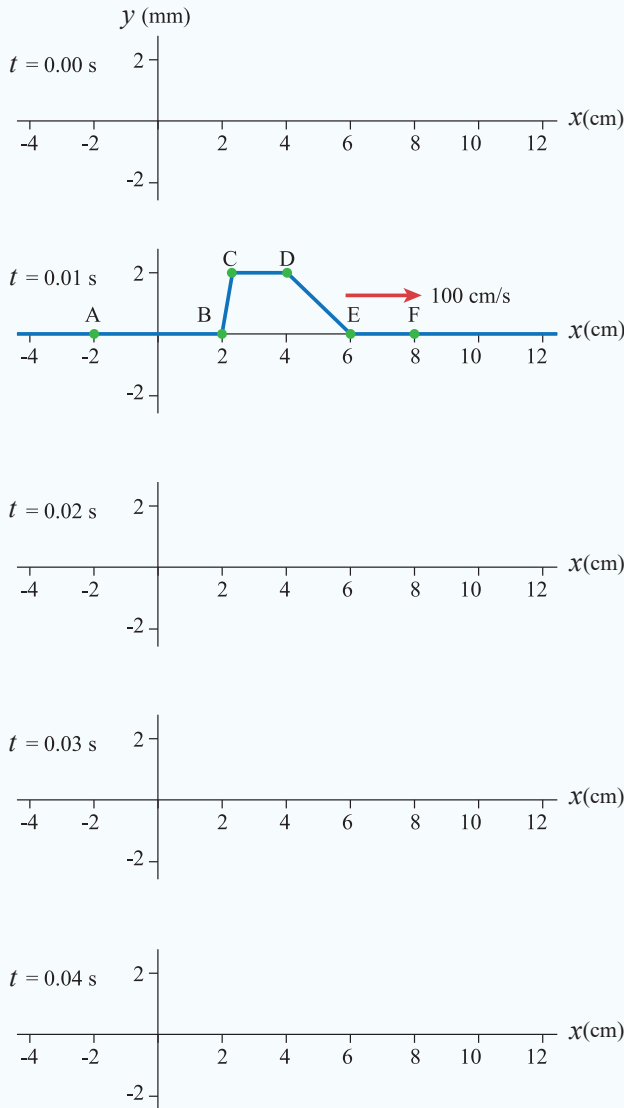
### แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วคลื่น ความถี่ และความยาวคลื่นจากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 9.2
2. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบของคลื่น
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น จากการอภิปรายร่วมกัน



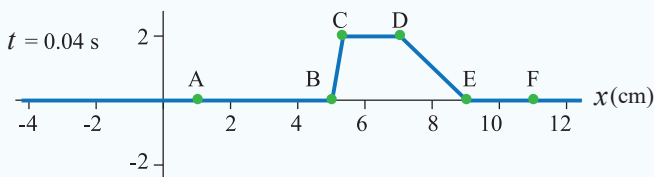
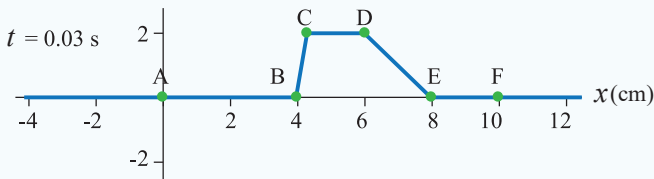
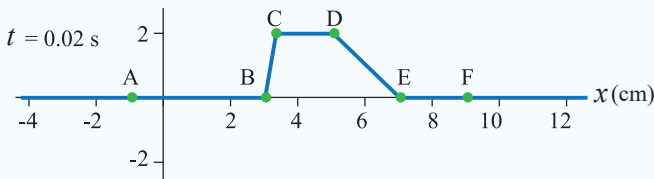
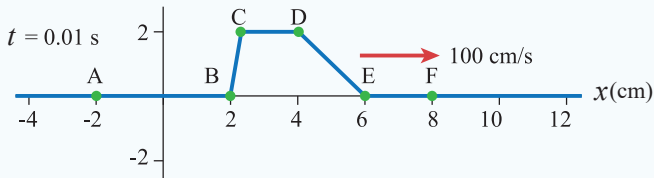
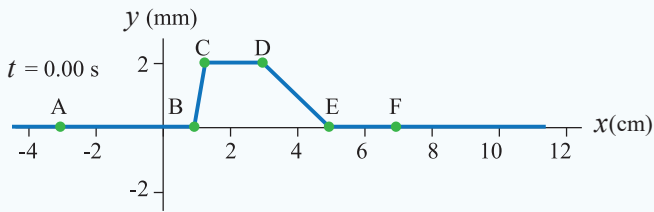
แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 9.2

1. ด้านล่างแสดงรูปร่างคลื่นคลืนในเส้นเชือกที่กำลังเคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยอัตราเร็ว 100 เซนติเมตรต่อวินาที โดยในรูป แสดงเฉพาะรูปร่างคลื่นที่เวลา  $t = 0.01$  s เท่านั้น
  - ก. จงวาดรูปร่างคลื่นที่เวลา  $t = 0.00$  s,  $0.02$  s,  $0.03$  s และ  $0.04$  s
  - ข. อนุภาคของเชือกที่จุด A, B, C, D, E และ F มีค่าการกระจัดเท่าใด ระหว่างเวลา  $t = 0.01$  s กับ  $t = 0.03$  s (การกระจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ ต้องระบุทั้งขนาดและทิศทาง)



**แนวคำตอบ** ก. เนื่องจากคลื่นมีอัตราเร็ว 100 เซนติเมตรต่อวินาที

เวลาผ่านไป 0.01 วินาทีจึงเคลื่อนที่ได้ทางเท่ากับ  $100 \times 0.01 = 1$  เซนติเมตร  
 ดังนั้นรูปที่วาดทุกรูปลูกคลื่นเหมือนเดิมแต่รูปที่เวลา 0.00 วินาที จุด B จะอยู่ที่ 1 เซนติเมตร  
 ที่เวลา 0.02 s 0.03 s และ 0.04 s จุด B จะอยู่ที่ระยะ 3 4 และ 5 เซนติเมตรตามลำดับ



**แนวคำตอบ** ข. ระยะเวลาจาก  $t = 0.01$  s ถึง  $t = 0.03$  s ใช้เวลาเท่ากับ

$$0.03 - 0.01 = 0.02 \text{ วินาที}$$

คลื่นเคลื่อนที่ได้ระยะทางเท่ากับ  $100 \times 0.02 = 2$  เซนติเมตร ไปทางขวา

อนุภาคเชือกที่จุด A มีการกระจัดเป็นศูนย์ตลอดเวลา

อนุภาคเชือกที่จุด B มีการกระจัดเป็นศูนย์ตลอดเวลา

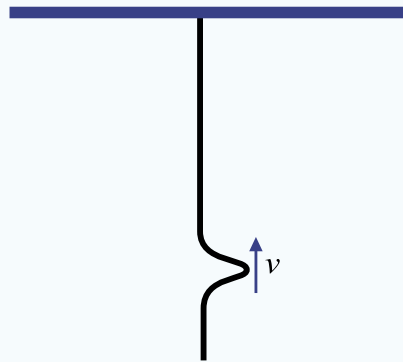
อนุภาคเชือกที่จุด C มีการกระจัดลดลงจาก 2 มิลลิเมตรเป็น 0 มิลลิเมตร

อนุภาคเชือกที่จุด D มีการกระจัดลดลงจาก 2 มิลลิเมตรเป็น 0 มิลลิเมตร

อนุภาคเชือกที่จุด E มีการกระจัดเพิ่มขึ้นจาก 0 มิลลิเมตรเป็น 2 มิลลิเมตร

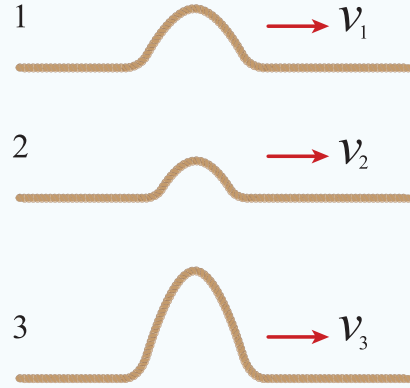
อนุภาคเชือกที่จุด F มีการกระจัดเป็นศูนย์ตลอดเวลา

2. พิจารณาเชือกหนาที่มีความหนาแน่นเชิงเส้นสม่ำเสมอ ถูกนำมาห้อยลงมาจากเพดานดังรูป เมื่อเราสับดปลายเชือกด้านล่างให้เกิดคลื่นดล คลื่นดลนี้จะเคลื่อนที่ขึ้นไปตามแนวเชือก ขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ขึ้นนั้น อัตราเร็วของคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ถ้าเปลี่ยน คลื่นดลนี้จะเคลื่อนที่เร็วขึ้นหรือช้าลงก่อนที่จะชนเพดาน



**แนวคำตอบ** อัตราเร็วของคลื่นมีการเปลี่ยนแปลง โดยคลื่นดลนี้จะเคลื่อนที่เร็วขึ้น

3. พิจารณาเชือกเส้นหนึ่งที่มีแรงตึงเชือกเท่ากันตลอดเส้น ถ้าเราทำให้มีคลื่นเคลื่อนที่ผ่านเชือกเส้นนี้ใน 3 ลักษณะที่ต่างกััน ดังแสดงในรูปด้านขวา คลื่นหมายเลขใดจะมีอัตราเร็วมากที่สุด และคลื่นหมายเลขใดจะมีพลังงานมากที่สุด

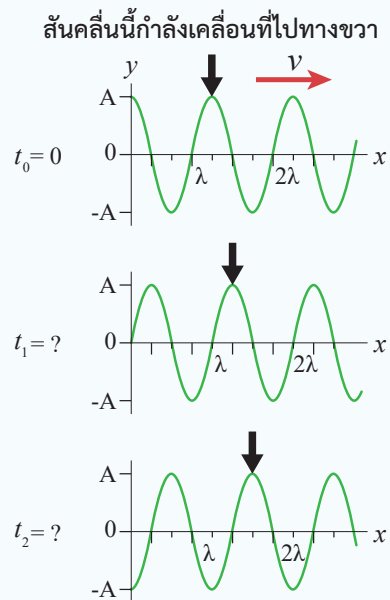


**แนวคำตอบ** อัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือกทั้งสามหมายเลขมีอัตราเร็วเท่ากัน โดยคลื่นหมายเลขสามมีพลังงานมากที่สุด

เชือกเส้นเดียวกันแรงตึงเท่ากันตลอดเส้นแสดงว่าอัตราเร็วคลื่นในเชือกเส้นนี้เท่ากันเพราะสมบัติของเชือกเหมือนกันตลอดเส้น คลื่นในรูปที่ 3 แอมพลิจูดมากที่สุดแสดงว่ามีพลังงานมากที่สุด

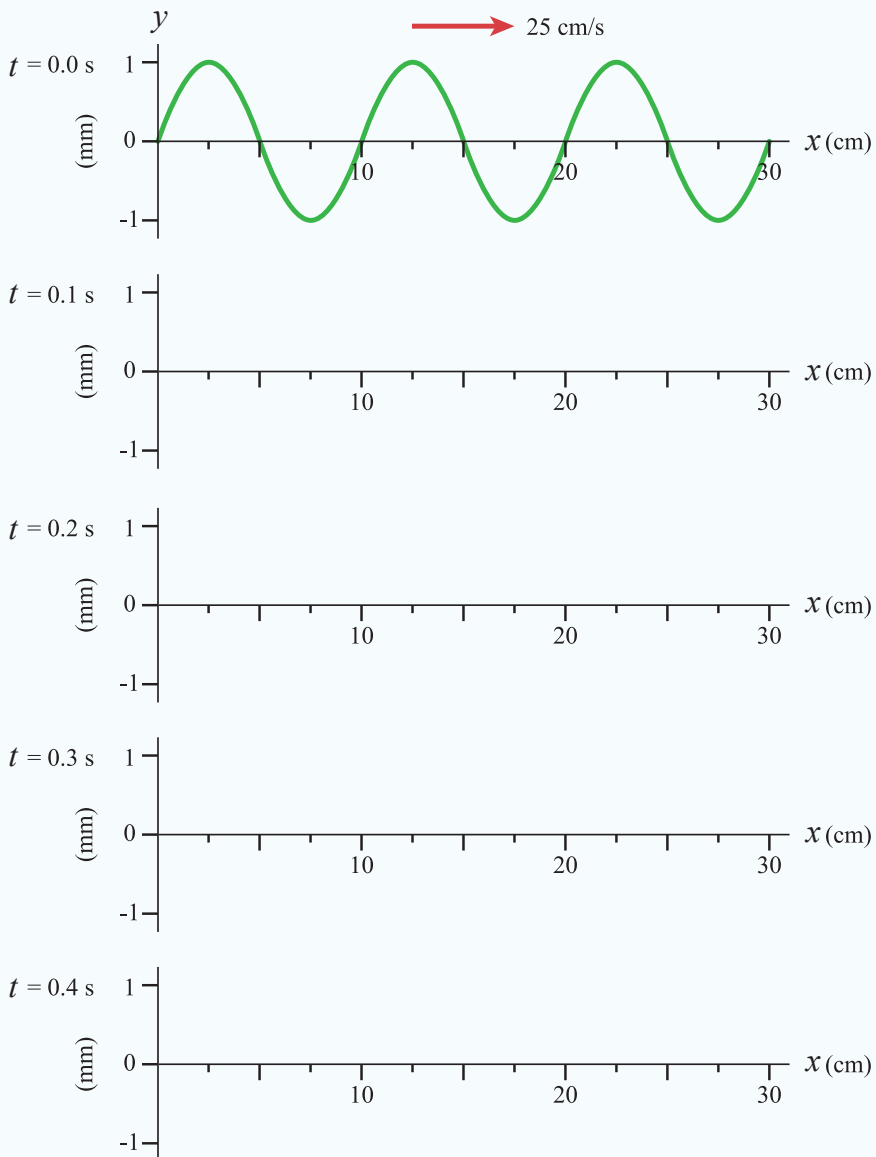
4. รูปด้านขวาแสดงคลื่นฮาร์มอนิกเคลื่อนที่ไปทางขวา โดยรูปบนสุดแสดงที่เวลาเริ่มต้น  $t_0=0$  ลูกศรสีดำชี้ตำแหน่งของจุดสูงสุดของคลื่นจุดหนึ่งซึ่งเคลื่อนที่ไปทางขวา จงระบุว่า เวลา  $t_1, t_2$  มีค่าเป็นกี่เท่าของคาบคลื่น  $T$

**แนวคำตอบ**  $t_1$  เท่ากับ  $\frac{T}{4}$  และ  $t_2$  เท่ากับ  $\frac{T}{2}$

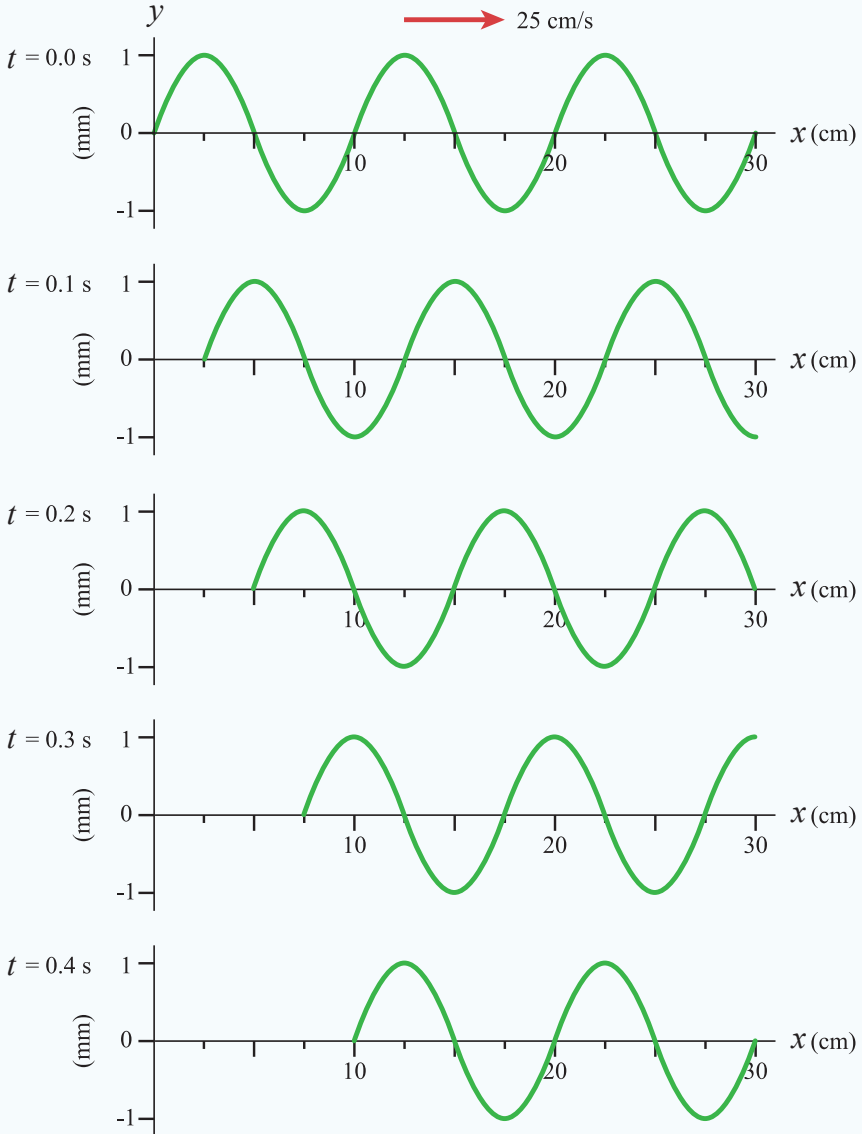




5. พิจารณาคลื่นรูปไซน์ด้านล่างนี้ โดยเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยอัตราเร็ว 25 เซนติเมตรต่อวินาที จงวาดรูปคลื่นไซน์นี้ที่เวลาอื่น ๆ ตามระบุในรูป



## แนวคำตอบ



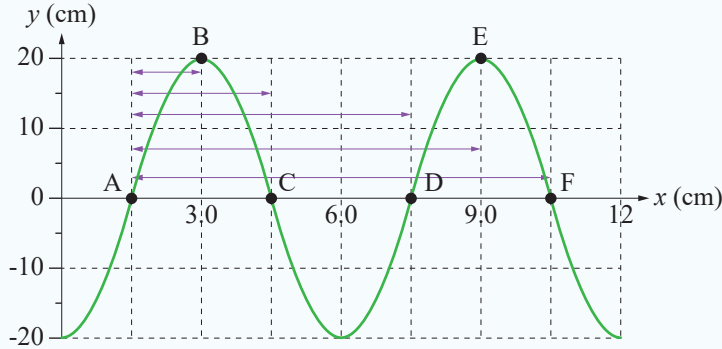
คลื่นมีอัตราเร็ว 25 เซนติเมตรต่อวินาที

ดังนั้นเวลา 0.1 วินาทีที่คลื่นที่ได้อยู่ระยะทางเท่ากับ  $25 \times 0.1 = 2.5$  เซนติเมตร

พิจารณารูปสเกลตามแกน  $x$  ขนาด 1 ช่องเท่ากับ 2.5 เซนติเมตร

ลูกคลื่นที่วาดจึงเลื่อนไปทางขวา 1 ช่องทุกเวลาที่เพิ่มขึ้น 0.1 วินาที

6. พิจารณาคลื่นรูปไซน์ด้านล่าง จงหาว่า จุด B C D E และ F ห่างจากจุด A เป็นระยะในแนวนอน เท่ากับกี่เท่าของความยาวคลื่นนี้ และมีค่าเฟสต่างจากจุด A เท่าใด



**แนวคำตอบ** จุด B C D E และ F ห่างจากจุด A เป็นระยะ  $\frac{\lambda}{4}$   $\frac{\lambda}{2}$   $\lambda$   $\frac{5\lambda}{4}$   $\frac{3\lambda}{2}$  ตามลำดับ และจุด B C D E และ F มีเฟสต่างจากจุด A เท่ากับ  $90^\circ$   $180^\circ$   $360^\circ$   $450^\circ$  และ  $540^\circ$  ตามลำดับ

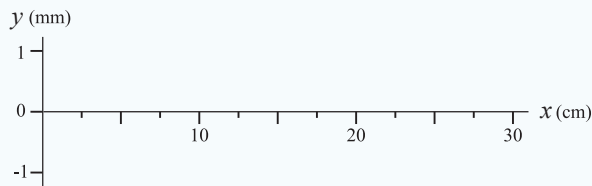
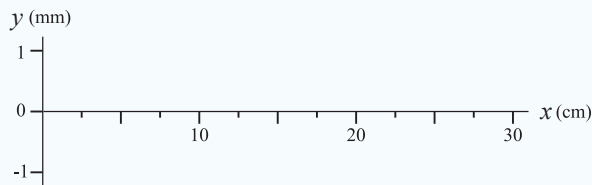
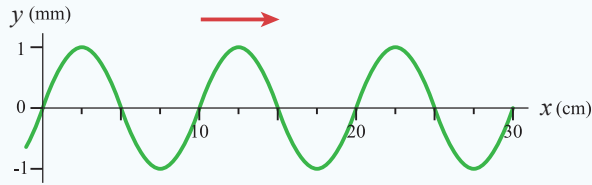
7. เมื่อทำให้เกิดคลื่นในเส้นเชือกที่มีความถี่ 50 เฮิรตซ์ และวัดค่าความยาวคลื่นของคลื่นนี้ได้ 1.2 เมตร ถ้าทำให้เกิดคลื่นในเส้นเชือกเดิมนี้ โดยคลื่นมีความถี่ 60 เฮิรตซ์ แทนอัตราเร็วและความยาวคลื่นนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

**แนวคำตอบ** อัตราเร็วของคลื่นในเชือกมีค่าเท่าเดิมเท่ากับ 60 เมตรต่อวินาที แต่ความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงเป็น 1 เมตร

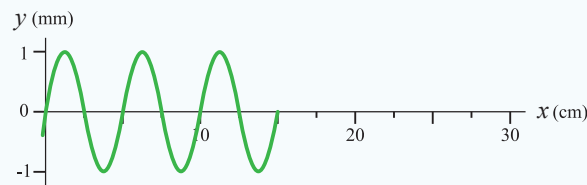
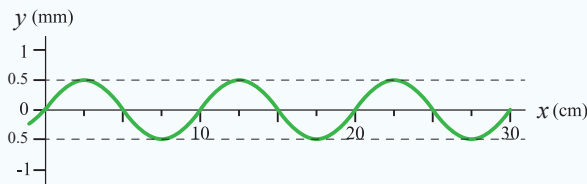
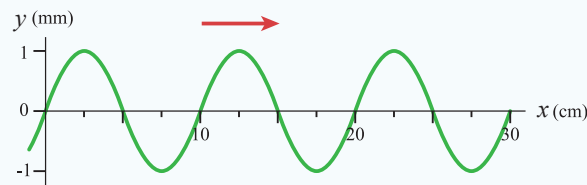
8. สันคลื่นกับท้องคลื่นที่อยู่ติดกันมีเฟสต่างกันกี่องศา

**แนวคำตอบ** มีเฟสต่างกัน  $180^\circ$  หรือ  $\pi$  เรเดียน

9. พิจารณาคลื่นรูปไซน์ด้านล่างนี้ จงวาดรูปของคลื่นไซน์อีก 2 คลื่น โดยคลื่นแรกมีความยาวคลื่นเท่ากับคลื่นด้านล่างบนสุดแต่มีแอมพลิจูดเป็นครึ่งหนึ่ง และคลื่นที่สองมีแอมพลิจูดเท่ากับคลื่นบนสุดแต่มีความยาวคลื่นเป็นครึ่งหนึ่ง



แนวคำตอบ



ครูอาจให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับความรู้เพิ่มเติมในหนังสือเรียนหน้า 69 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

### 9.3 หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น

#### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการแผ่ของคลื่นโดยใช้หลักการของฮอยเกนส์
2. อธิบายการรวมกันของคลื่นโดยอาศัยหลักการซ้อนทับ

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 9.3 โดยตั้งคำถามว่าคลื่นมีลักษณะแตกต่างกันตามชนิดของคลื่น และชนิดของตัวกลางที่คลื่นเดินทางผ่าน เราจะสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของคลื่นแต่ละชนิด และคลื่นในแต่ละตัวกลางได้ด้วยหลักการเดียวกันหรือไม่ ให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

#### 9.3.1 หลักการของฮอยเกนส์

##### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. หน้าคลื่นที่แผ่ออกไปเป็นหน้าคลื่นเดิมที่เคลื่อนที่ออกไป	1. หน้าคลื่นที่แผ่ออกไปเป็นหน้าคลื่นใหม่ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นบนหน้าคลื่นเดิมแผ่ออกไปเสริมกัน

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 5 ของหัวข้อ 9.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 9.3.1 โดยยกสถานการณ์ที่ขวางก้อนหินลงน้ำแล้วตั้งคำถามว่าเราจะอธิบายการแผ่ออกไปของวงคลื่นในน้ำได้อย่างไร ให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นให้นักเรียนทำกิจกรรม 9.1



### กิจกรรม 9.1 คลื่นผิวน้ำ

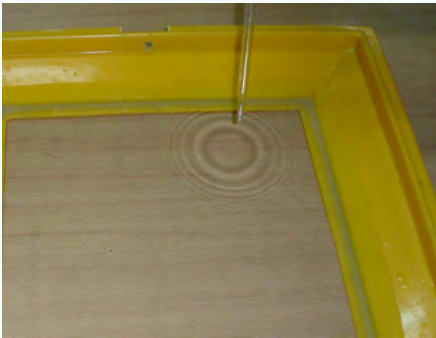
#### จุดประสงค์

สังเกตและอธิบายหน้าคลื่น และทิศทางของคลื่นผิวน้ำ

#### วัสดุและอุปกรณ์

- |                               |        |
|-------------------------------|--------|
| 1. ชูตถาดคลื่น                | 1 ชุด  |
| 2. หม้อแปลงโวลต์ต่ำพร้อมสายไฟ | 1 ชุด  |
| 3. กระดาษขาว                  | 1 แผ่น |

#### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

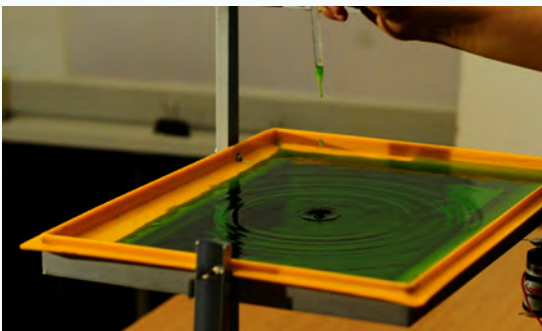


ก. คลื่นดลวงกลม

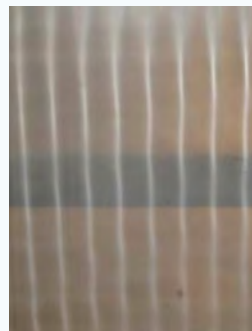


ข. คลื่นดลเส้นตรง

รูป 9.1 คลื่นดล



ค. คลื่นต่อเนื่องวงกลม



ง. คลื่นต่อเนื่องเส้นตรง

รูป 9.2 คลื่นต่อเนื่อง



### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- เมื่อใช้ปลายดินสอ และไม้บรรทัดจุ่มลงในน้ำ 1 ครั้ง ภาพที่เกิดขึ้นบนกระดาษขาวเป็นอย่างไร  
**แนวคำตอบ** เมื่อใช้ปลายดินสอจุ่มผิวน้ำ 1 ครั้ง เกิดภาพแถบวงกลมสีขาวยบนกระดาษขาวใต้ ภาดคลื่นแถบเดี่ยวแผ่ออกจากภาพของตำแหน่งที่จุ่มปลายดินสอ เหมือนกับตำแหน่งภาพที่จุ่ม ปลายดินสอเป็นศูนย์กลางของวงกลม เมื่อใช้ไม้บรรทัดจุ่มที่ผิวน้ำ ภาพที่เกิดเป็นแถบเส้นตรงสี ขาวเคลื่อนที่ออกจากภาพของตำแหน่งที่จุ่มไม้บรรทัดออกไปทั้งสองด้าน ด้านละแถบ
- แถบสีดำบนกระดาษขาวที่เกิดขึ้นจากการรบกวนผิวน้ำอย่างต่อเนื่อง เคลื่อนที่อย่างไร  
**แนวคำตอบ** เมื่อใช้ปั๊มกำเนิดคลื่นสั้นที่ผิวน้ำอย่างต่อเนื่องจะเกิดภาพแถบวงกลมสีดำสลับแถบ วงกลมสีขาวแผ่ออกจากภาพปั๊มกำเนิดคลื่นอย่างต่อเนื่อง โดยระยะห่างระหว่างแถบจะพอ ๆ กัน  
 เมื่อใช้คานกำเนิดคลื่นสั้นที่ผิวน้ำอย่างต่อเนื่องจะเกิดแถบตรงสีดำสลับแถบตรง สีขาวแผ่ออกไปทั้งสองด้านของคาน โดยมีระยะห่างระหว่างแถบพอ ๆ กัน

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูนำอภิปรายโดยให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม แล้วอธิบายการสังเกตคลื่นว่า ไม่สามารถ สังเกตคลื่นผิวน้ำ จากการกระเพื่อมขึ้นลงของผิวน้ำได้โดยตรง แต่จะดูจากภาพที่เป็นแถบสว่าง แถบมืด บนกระดาษขาวซึ่งอยู่บนพื้นโต๊ะใต้ภาดคลื่น แถบสว่างแถบมืดเกิดได้ดังนี้ เมื่อรบกวนผิวน้ำ น้ำจะกระเพื่อมโดยส่วนที่เป็นสันคลื่นผิวน้ำนูนขึ้นทำหน้าที่คล้ายเลนส์นูนรวมแสงให้กระทบกระดาษ ขาวด้านล่าง ทำให้เกิดแถบสว่าง ส่วนที่เป็นท้องคลื่นผิวน้ำเว้าลงทำหน้าที่คล้ายเลนส์เว้ากระจาย แสงให้กระทบกระดาษขาวด้านล่าง เกิดแถบมืด แถบเหล่านี้แทนหน้าคลื่นจริง แถบสว่างแทนสัน คลื่นแถบมืดแทนท้องคลื่น จากนั้นให้ความรู้เรื่องหน้าคลื่น ทิศทางของคลื่น หลักของฮอยเกนส์ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนแบ่งกลุ่มสรุปสาระในหัวข้อ 9.3.1 แล้วนำเสนอ ในห้องเรียนหรือส่งเป็นรายงาน

### 9.3.2 หลักการซ้อนทับ

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อคลื่นพบกัน หลังจากผ่านพ้นกันคลื่นจะเปลี่ยนแปลงไป	1. เมื่อคลื่นพบกัน หลังผ่านพ้นกันแล้วคลื่นยังคงเหมือนเดิมทุกประการ

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 6 ของหัวข้อ 9.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 9.3.2 โดยยกสถานการณ์คลื่นสองคลื่นมาพบกัน ให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า เมื่อส่วนของลูกคลื่นซ้อนทับกันจะเกิดผลอย่างไร และเมื่อคลื่นที่ผ่านพ้นกันไปแล้ว คลื่นทั้งสองเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมหรือไม่ อย่างไร เปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระโดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่า เมื่อคลื่นมาพบกันจะรวมกันตามหลักการซ้อนทับของคลื่น หลังการซ้อนทับคลื่นทั้งสองยังคงสภาพเดิม ขณะที่ซ้อนทับกันมีการรวมแบบเสริมและแบบหักล้างโดยใช้รูป 9.13 ประกอบการอภิปราย ในกรณีคลื่นที่แอมพลิจูดเท่ากันรวมแบบหักล้างกัน จะมีจุดที่อนุภาคของตัวกลางไม่เคลื่อนที่โดยใช้รูป 9.14 ประกอบการอภิปราย รายละเอียดตามหนังสือเรียน จากนั้นให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 9.5 แล้วหาตัวแทนนักเรียนจากอาสาสมัครหรือจากการสุ่มเพื่ออธิบายและแสดงวิธีคิดแก้ปัญหาตามตัวอย่าง โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนทุกคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม ทั้งนี้ครูเป็นผู้ช่วยในการแก้ปัญหาตอบข้อสงสัยต่าง ๆ หรือบอกแนวคิดที่ถูกต้องหากเกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน

ให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายจนสรุปหัวข้อ 9.3 การแผ่ของคลื่นโดยใช้หลักการของฮอยเกนส์ และการรวมกันของคลื่นโดยใช้หลักการซ้อนทับ เปิดโอกาสให้นักเรียนซักถามข้อสงสัยและจดบันทึกสาระสำคัญของหัวข้อ แล้วให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 9.3 อาจให้ทำเป็นการบ้านแล้วนำมาอภิปรายวิธีคิดเพื่อหาคำตอบร่วมกัน

#### แนวการวัดและประเมินผล

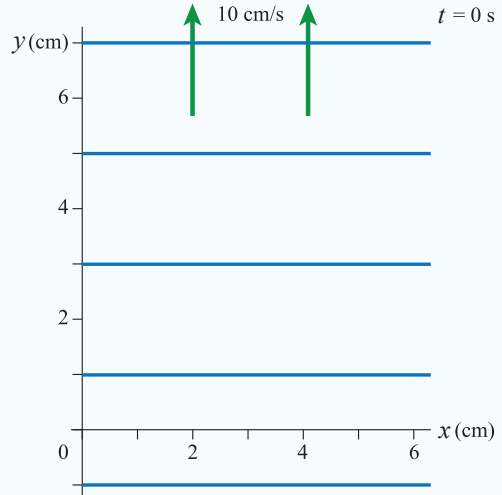
1. ความรู้เกี่ยวกับหลักการของคลื่นจากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 9.3
2. ทักษะการสื่อสารจากการอภิปรายและการนำเสนอข้อสรุปหลักการของฮอยเกนส์
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล จากการอภิปรายร่วมกัน





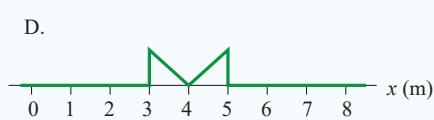
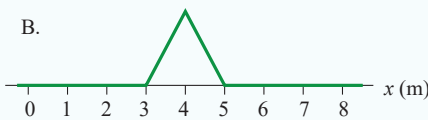
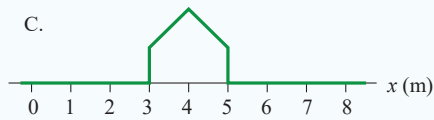
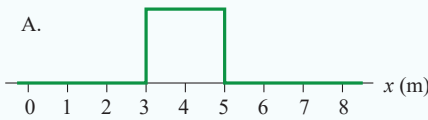
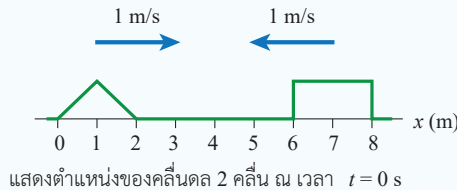
แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 9.3

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



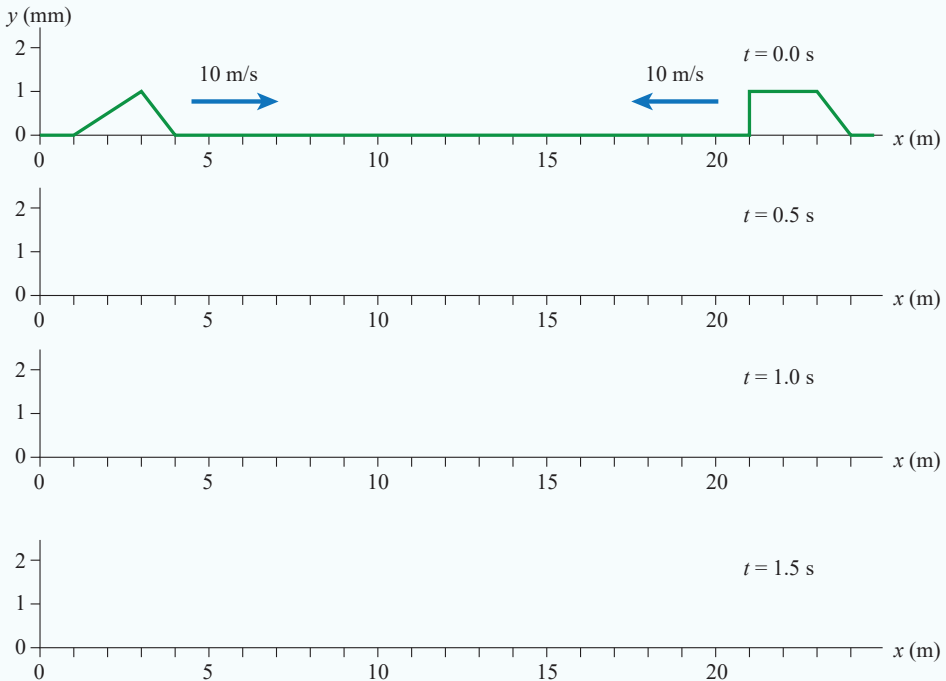
**แนวคำตอบ** พิจารณาจากรูปแนวหน้าคลื่นอยู่ที่ระยะ  $y = -1$  1 3 5 และ 7 เซนติเมตรตามลำดับถ้าหน้าคลื่นเหล่านี้แทนสันคลื่นระยะห่างระหว่างสันคลื่นเท่ากับ 2 เซนติเมตรซึ่งเท่ากับกับความยาวคลื่น และแนวของท้องคลื่นอยู่ที่ระยะ  $y = 0$  2 4 และ 6 เซนติเมตรตามลำดับ

- พิจารณาคลื่นดล 2 คลื่นที่เคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม โดยทั้งคู่มีอัตราเร็วเท่ากันเท่ากับ 1.0 เมตรต่อวินาที โดยมีการกระจัดของตัวกลางที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่เวลาเริ่มต้นเป็นดังรูปใน ตัวเลือกข้อใดแสดงการกระจัดของตัวกลางได้ถูกต้องหลังจากเวลาผ่านไปแล้ว 3.0 วินาทีจากตอนเริ่มต้น

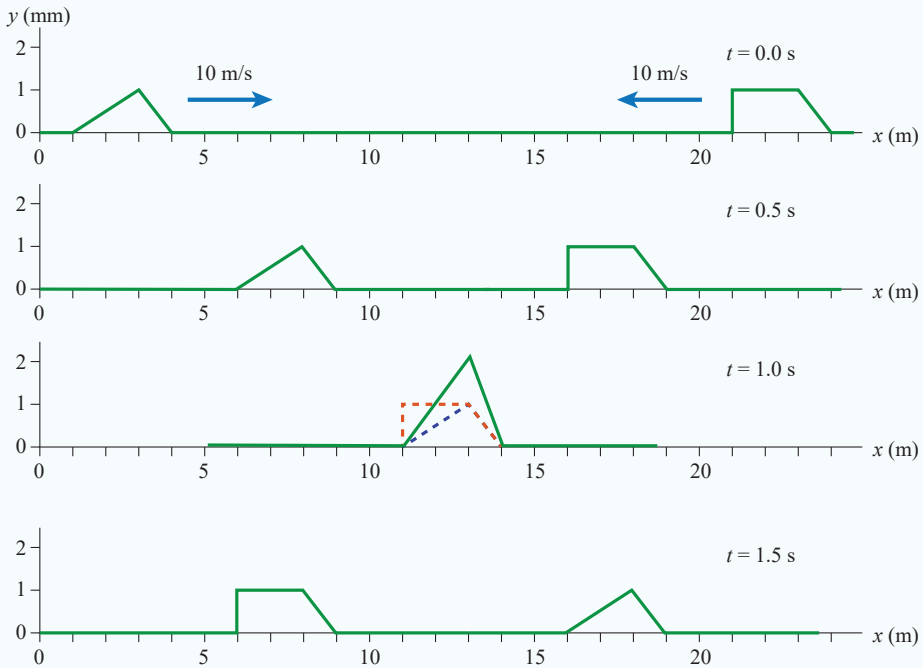


**แนวคำตอบ** จากรูปคลื่นทั้งสองอยู่ห่างกัน 6 เมตร มีอัตราเร็ว 1 เมตรต่อวินาที เมื่อเวลาผ่านไป 3 วินาที ระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้คำนวณจาก  $s = v \times t$  จะได้  $s = 1 \times 3 = 3$  เมตร จะพบว่าคลื่นทั้งสองเคลื่อนที่มาซ้อนทับกันพอดี แอมพลิจูดของคลื่นรวมจึงเป็นผลรวมของแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองซึ่งตรงกับรูปในตัวเลือก C

3. คลื่นดล 2 คลื่น มีรูปร่างต่างกัน เคลื่อนที่เข้าหากันด้วยอัตราเร็ว 10 เมตรต่อวินาที ดังรูปจงวาดรูปร่างคลื่นรวมที่เวลาถัดมา ตามที่ระบุในรูป



**แนวคำตอบ** จากรูป ที่เวลา  $t = 0$  คลื่นทั้งสองอยู่ห่างกัน 20 เมตร สามารถคำนวณหาระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้จาก  $s = v \times t$  จะได้ว่าที่เวลา  $t = 0.5$   $t = 1.0$  และ  $t = 1.5$  วินาที คลื่นแต่ละลูกเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 5 10 และ 15 เมตรตามลำดับ ดังนั้นที่เวลา  $t = 0.5$  วินาที คลื่นทั้งสองอยู่ห่างกัน 10 เมตร ที่เวลา  $t = 1.0$  วินาที คลื่นทั้งสองซ้อนทับกันพอดีคลื่นรวมมีแอมพลิจูดเท่ากับผลรวมของแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสอง ที่เวลา  $t = 1.5$  วินาที คลื่นทั้งสองผ่านพ้นกันและอยู่ห่างกัน 10 เมตร



### 9.4 พฤติกรรมของคลื่น

#### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดลอง สังเกต และอธิบายการสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน การแทรกสอดของคลื่นผิวน้ำ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. สังเกตและอธิบายการเกิดคลื่นนิ่ง

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 9.4 โดยอาจทำกิจกรรมต่อไปนี้ ทบทวนกิจกรรมคลื่นผิวน้ำในภาคคลื่นแล้วให้นักเรียนอภิปรายประเด็นที่คลื่นแผ่ออกไปแล้ว หากไปกระทบกับวัตถุอื่น คลื่นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง หรือ ให้ตัวแทนนักเรียนข้างลูกบอลกระทบผนัง นักเรียนสังเกตแล้วอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นกับลูกบอล แล้วครูตั้งคำถามว่า ถ้าเปลี่ยนจากลูกบอลเป็นคลื่น ผลจะเป็นอย่างไร เปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่าในขณะที่คลื่นแผ่ออกไปจากแหล่งกำเนิด อาจพบสิ่งกีดขวางที่คลื่นผ่านไม่ได้ หรือผ่านได้บางส่วน หรือสิ่งกีดขวางมีช่องให้คลื่นผ่าน คลื่นจะแสดงพฤติกรรมออกมาซึ่งจะศึกษาได้จากหัวข้อนี้

ครูอาจให้นักเรียนอภิปรายทบทวนการสะท้อนของอนุภาคว่าเป็นไปตามกฎการสะท้อน แล้วตั้งคำถามว่าคลื่นจะแสดงพฤติกรรมการสะท้อนเหมือนอนุภาคหรือไม่ เปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

### 9.4.1 การสะท้อนของคลื่น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 7 ในส่วนของการสะท้อนของคลื่นผิวน้ำของหัวข้อ 9.4 ตามหนังสือเรียน จากนั้น ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 9.4.1 โดยใช้กิจกรรม 9.2 การสะท้อนของคลื่นผิวน้ำ



#### กิจกรรม 9.2 การสะท้อนของคลื่นผิวน้ำ

##### จุดประสงค์

สังเกตและอธิบายการสะท้อนของคลื่นผิวน้ำ

##### วัสดุและอุปกรณ์

1. ชุดถาดคลื่น 1 ชุด
2. หม้อแปลงโวลต์ต่ำพร้อมสายไฟ 1 ชุด
3. กระดาษขาว 1 แผ่น

##### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

มุมระหว่างแผ่นกั้นกับแนวอ้างอิง	มุมระหว่างคลื่นสะท้อนกับแนวอ้างอิง
30	29
45	45
60	61



**แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม**

- ในแต่ละกรณี มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบกระทำต่อแผ่นกัน และมุมที่หน้าคลื่นสะท้อนทำกับแผ่นกัน มีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร

**แนวคำตอบ** มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบกระทำต่อแผ่นกัน และมุมที่หน้าคลื่นสะท้อนกระทำต่อแผ่นกันมีค่าเท่ากันทุกกรณี

**อภิปรายหลังการทำกิจกรรม**

หลังจากตอบคำถามท้ายกิจกรรม ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่า การสะท้อนของคลื่นเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบขอบเขตของตัวกลาง ทำให้คลื่นส่วนหนึ่งกลับมาในตัวกลางเดิมและอธิบายด้วยกฎการสะท้อน คือเส้นรังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน รอยต่อขอบเขตของตัวกลาง และเส้นแนวฉากอยู่ในระนาบเดียวกัน และมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ให้นักเรียนซักถามข้อสงสัยเกี่ยวกับการสะท้อนของคลื่นและบันทึกสาระสำคัญ

**9.4.2 การหักเหของคลื่น**

**ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น**

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อคลื่นกระทบรอยต่อของตัวกลางจะเกิดคลื่นสะท้อนหรือคลื่นหักเหอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น	1. เมื่อคลื่นกระทบรอยต่อของตัวกลางคลื่นส่วนหนึ่งเกิดการสะท้อนและอีกส่วนหนึ่งเกิดการหักเห
2. การหักเหของคลื่นเป็นการเปลี่ยนทิศทางของคลื่นเมื่อผ่านเข้าไปในตัวกลางอีกตัวกลางหนึ่ง	2. การหักเหของคลื่นเป็นการเปลี่ยนอัตราเร็วของคลื่นเมื่อผ่านเข้าไปในตัวกลางอีกตัวกลางหนึ่ง อาจไม่เปลี่ยนทิศทางก็ได้

### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 7 ในส่วนของการหักเหของคลื่นผิวน้ำของหัวข้อ 9.4 ตามหนังสือเรียน จากนั้น ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 9.4.2 โดยยกสถานการณ์คลื่นผ่านจากตัวกลางหนึ่งเข้าสู่อีกตัวกลางหนึ่ง เกิดการสะท้อนหรือไม่ และคลื่นที่ผ่านเข้าสู่อีกตัวกลางหนึ่ง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนนำเสนอความคิดอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่า เมื่อคลื่นกระทบรอยต่อของตัวกลาง คลื่นส่วนหนึ่งสะท้อนกลับสู่ตัวกลางเดิม อีกส่วนหนึ่งผ่านเข้าไปในอีกตัวกลางหนึ่ง เรียกว่าคลื่นหักเห ครูทบทวนเรื่องอัตราเร็วของคลื่นในตัวกลางต่างหากมีค่าต่างกันเพื่อชี้ให้เห็นว่า คลื่นหักเหมีอัตราเร็วเปลี่ยนไป แล้วอภิปรายต่อไปว่านอกจากอัตราเร็วเปลี่ยนไปแล้ว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรได้อีก

จากนั้นยกสถานการณ์การสะท้อนและการหักเหของคลื่นในเชือกสองเส้นที่มีค่าความหนาแน่นเชิงเส้นต่างกันต่อกัน ดังรูป 9.18 ให้นักเรียนพิจารณาแล้วร่วมกันอภิปรายจนสรุปการสะท้อนและการหักเหของคลื่นในเชือก ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 84 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันโดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ

จากนั้นครูใช้ประเด็นชวนคิดนำเข้าสู่กิจกรรม 9.3 การหักเหของคลื่นผิวน้ำ



### แนวคำตอบชวนคิด

คลื่นผิวน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณน้ำลึกไปยังน้ำตื้น จะเกิดการสะท้อนและการหักเหหรือไม่ เพราะเหตุใด

**แนวคำตอบ** คลื่นผิวน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณน้ำลึกไปยังน้ำตื้น จะเกิดการสะท้อนและการหักเห เนื่องจากเมื่อคลื่นผ่านน้ำที่มีความลึกต่างกัน อัตราเร็วเปลี่ยนไปทำให้มีคลื่นส่วนหนึ่งสะท้อนกลับในน้ำลึกและส่วนหนึ่งหักเหผ่านน้ำตื้น



### กิจกรรม 9.3 การหักเหของคลื่นผิวน้ำ

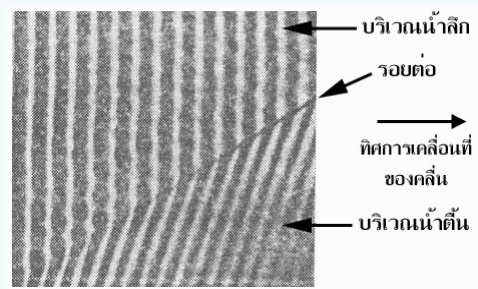
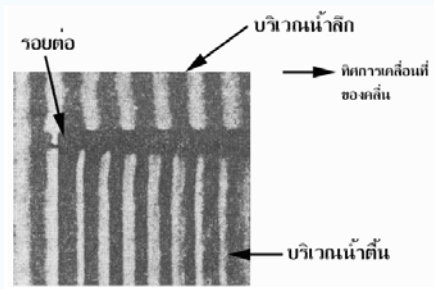
#### จุดประสงค์

สังเกตและอธิบายการหักเหของคลื่นน้ำ

#### วัสดุและอุปกรณ์

- |                               |        |
|-------------------------------|--------|
| 1. ชุดถาดคลื่น                | 1 ชุด  |
| 2. หม้อแปลงโวลต์ต่ำพร้อมสายไฟ | 1 ชุด  |
| 3. กระดาษขาว                  | 1 แผ่น |

#### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม



ก. ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นตั้งฉากกับรอยต่อ

ข. ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นไม่ตั้งฉากกับรอยต่อ

รูป 9.3 การหักเหของคลื่นผิวน้ำ



#### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างเขตน้ำลึกและเขตน้ำตื้น ถ้าหน้าคลื่นตกกระทบขนานกับรอยต่อ ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นและความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงอย่างไร
- แนวคำตอบ** เมื่อหน้าคลื่นผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างเขตน้ำลึกเข้าสู่ น้ำตื้น ถ้าหน้าคลื่นขนานกับรอยต่อ ทิศทางของคลื่นไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงไปโดยความยาวคลื่นน้อยลง

- เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างเขตน้ำลึกและเขตน้ำตื้น ถ้าหน้าคลื่นตกกระทบทำมุมกับรอยต่อ ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นและความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงอย่างไร

**แนวคำตอบ** เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างเขตน้ำลึกและเขตน้ำตื้น ถ้าหน้าคลื่นตกกระทบทำมุมกับรอยต่อ ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเปลี่ยนไป โดยมุมระหว่างหน้าคลื่นหักเหกับรอยต่อมีขนาดเล็กกว่ามุมระหว่างหน้าคลื่นตกกระทบรอยต่อ

- จากการสังเกตคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น เมื่อคลื่นเคลื่อนที่มาถึงรอยต่อระหว่างเขตน้ำลึกกับเขตน้ำตื้น คลื่นมีการสะท้อนหรือไม่ อย่างไร

**แนวคำตอบ** เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่มาถึงรอยต่อระหว่างเขตน้ำลึกกับเขตน้ำตื้น พบว่ามี การสะท้อนของคลื่น ซึ่งน้อยกว่าคลื่นหักเห

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

หลังจากตอบคำถามท้ายกิจกรรมให้นักเรียนใช้ผลของการทำกิจกรรมมาอภิปรายร่วมกันโดยใช้หลักของฮอยเกนส์อธิบายการหักเหของคลื่นตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า คลื่นหักเหมีความเร็วต่างไปจากคลื่นตกกระทบ แต่ความถี่ของคลื่นในตุ่กลางทั้งสองเท่ากันเนื่องจากมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน ทำให้ความยาวคลื่นตกกระทบกับความยาวคลื่นหักเหต่างกัน และในตุ่กลางคู่เดิมค่ามุมตกกระทบและมุมหักเหของคลื่นมีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วในตุ่กลางทั้งสอง

ตามสมการ  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$  ซึ่งเป็นกฎการหักเหของคลื่น

ในการสรุปนั้นครูควรเน้นว่า ในกรณีที่คลื่นจากตุ่กลางหนึ่งผ่านรอยต่อเข้าไปสู่อีกตุ่กลางหนึ่ง จะเกิดการสะท้อนและการหักเหของคลื่นพร้อมกันเสมอ คลื่นหักเหไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนทิศเสมอไป กรณีที่หน้าคลื่นตกกระทบขนานผิวย่อยต่อ คลื่นหักเหจะไม่เปลี่ยนทิศทางไปจากเดิม



### 9.4.3 การแทรกสอดของคลื่น

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. คลื่นนิ่งเป็นคลื่นที่ไม่มีการเคลื่อนที่	1. คลื่นนิ่งเป็นคลื่นรวมของคลื่นสองคลื่นที่มาจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์จุดที่เป็นปฏิปักษ์และบัพอยู่นิ่งกับที่ ในขณะที่คลื่นทั้งสองยังเคลื่อนที่ตามเดิม

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 7 ในส่วนของการแทรกสอดและข้อ 8 ของหัวข้อ 9.4 ตามหนังสือเรียน จากนั้น ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 9.4.3 โดยยกสถานการณ์คลื่นสองคลื่นเคลื่อนที่มาพบกัน ทบทวนความรู้เดิมว่าคลื่นทั้งสองรวมกันหาค่าคลื่นรวมได้จากหลักการซ้อนทับของคลื่น ให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายประเด็นที่คลื่นสองคลื่นมีความถี่เท่ากัน ผ่านตัวกลางเดียวกัน มีแอมพลิจูดเท่ากัน และเฟสตรงกัน จนสรุปได้ว่าคลื่นดังกล่าวเป็นคลื่นอาพันธ์ แล้วยกสถานการณ์คลื่นฮาร์มอนิกต่อเนื่องในเชือกเคลื่อนที่มาพบกันเกิดการรวมกันตามลำดับตามรูป 9.21 ร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่า ตำแหน่งที่อนุภาคตัวกลางในคลื่นรวมมีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2 เท่าของแอมพลิจูดของคลื่นแต่ละขบวน เรียกจุดนี้ว่า จุดปฏิปักษ์ และตำแหน่งที่อนุภาคตัวกลางในคลื่นรวมอยู่นิ่ง เรียกจุดนี้ว่า จุดบัพ การที่มีจุดบัพนี้ทำให้ดูเหมือนว่าคลื่นรวมไม่มีการเคลื่อนที่ไปทางซ้ายหรือทางขวาจึงเรียกคลื่นรวมนี้ว่า คลื่นนิ่ง ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

จากนั้นครูทบทวนการสะท้อนของคลื่นในเชือกที่ปลายตรึง ใช้คำถามว่าคลื่นที่สะท้อนกลับเป็นอย่างไร ถ้าเป็นคลื่นฮาร์มอนิกต่อเนื่องคลื่นสะท้อนกลับรวมกับคลื่นตกกระทบผลเป็นอย่างไร ให้นักเรียนศึกษาการรวมกันของคลื่นตกกระทบกับคลื่นสะท้อนในเชือกตามรูป 9.22 โดยครูคอยให้คำแนะนำ จากนั้นครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 88 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันโดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ เพื่อให้เข้าใจมากขึ้นครูสามารถใช้กิจกรรมลองทำดู คลื่นนิ่งในเชือก



#### แนวคำตอบชวนคิด

ในรูป 9.21 มีตำแหน่งอื่นอีกหรือไม่ที่เป็นจุดบัพกับจุดปฏิปักษ์

**แนวคำตอบ** ตำแหน่งอื่น ๆ เป็นจุดบัพและปฏิปักษ์ได้เช่นเดียวกัน



### แนวคำตอบชวนคิด

ถ้าคลื่นฮาร์มอนิก 2 ขบวนที่เคลื่อนที่สวนทางกันมาซ้อนทับกันโดยทั้งคู่มีความถี่และความยาวคลื่นเท่ากันแต่แอมพลิจูดไม่เท่ากันจะเกิดคลื่นนิ่งได้หรือไม่

**แนวคำตอบ** จะเกิดคลื่นนิ่งไม่ได้เพราะตำแหน่งที่รวมแบบเสริมและหักล้างจะอยู่หนึ่งแต่การรวมแบบหักล้างจะหักล้างกันไม่หมด



### กิจกรรมลองทำดู คลื่นนิ่งในเส้นเชือก

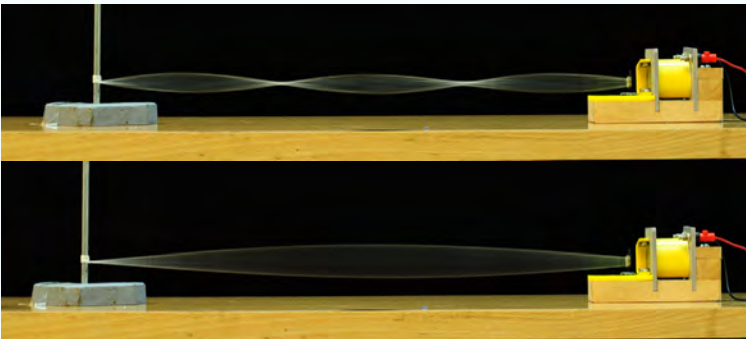
#### จุดประสงค์

สังเกตและอธิบายคลื่นนิ่งในเส้นเชือก

#### วัสดุและอุปกรณ์

- |   |           |
|---|-----------|
| 1. เครื่องเคาะสัญญาณเวลา                          | 1 เครื่อง |
| 2. เชือกสายป่านวาวหรือด้ายเย็บผ้ายาวประมาณ 2 เมตร | 1 เส้น    |
| 3. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำพร้อมสายไฟ                | 1 ชุด     |
| 4. รางไม้พร้อมรอก                                 | 1 ชุด     |
| 5. นอต  | 6 ตัว     |

#### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม



รูป 9.4 คลื่นนิ่งในเส้นเชือก



### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ลักษณะของคลื่นเมื่อเพิ่มแรงดึงเชือกเปลี่ยนแปลงอย่างไร

**แนวคำตอบ** เมื่อเพิ่มแรงดึงเชือก ระยะห่างระหว่างบัพกับบัพที่อยู่ติดกันมากกว่าเดิม

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

หลังการตอบคำถามท้ายกิจกรรม ให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่าอัตราเร็วของคลื่นในเชือกขึ้นอยู่กับแรงดึงเชือกและค่าความหนาแน่นเชิงเส้น เมื่อเพิ่มแรงดึงในเชือกทำให้อัตราเร็วในเชือกเพิ่มขึ้นในขณะที่ความถี่คลื่นเท่าเดิมจึงทำให้ความยาวคลื่นลดลง ระยะห่างระหว่างบัพสองบัพที่อยู่ติดกันเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นจึงน้อยลง จากนั้นให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 9.6 โดยครุคอยให้คำแนะนำ

ตั้งประเด็นว่าถ้าคลื่นทั้งสองเป็นคลื่นผิวน้ำ ซึ่งการแผ่ของคลื่นเป็นวงกลมผลจะเป็นอย่างไร ให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรม 9.4 การแทรกสอดของคลื่นผิวน้ำ



### กิจกรรม 9.4 การแทรกสอดของคลื่นผิวน้ำ

#### จุดประสงค์

สังเกตและอธิบายการแทรกสอดของคลื่นผิวน้ำ

#### วัสดุและอุปกรณ์

- |                               |        |
|-------------------------------|--------|
| 1. ชุดถาดคลื่น                | 1 ชุด  |
| 2. หม้อแปลงโวลต์ต่ำพร้อมสายไฟ | 1 ชุด  |
| 3. กระดาษขาว                  | 1 แผ่น |

#### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรมพิจารณาได้จากรูป 9.23 ในหนังสือเรียน



### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- จากภาพคลื่นต่อเนื่องวงกลมที่สร้างโดยปั๊มกำเนิดคลื่นทั้งสองปรากฏเป็นแถบมืด แถบมืดนี้เกิดขึ้นได้อย่างไร

**แนวคำตอบ** ตำแหน่งที่เป็นแถบมืดและแถบสว่าง คือจุดที่คลื่นจากปั๊มกำเนิดคลื่นทั้งสองไปรวมกันแบบหักล้างและเสริมกันตามลำดับ

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

หลังตอบคำถามท้ายกิจกรรมให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่า การรวมกันของคลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์ที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน เมื่อรวมกันจะเกิดบัพและปฏิบัพ แล้วจึงเชื่อมโยงเข้ากับผลการทำกิจกรรมโดยอภิปรายว่าปั๊มกำเนิดคลื่นสองปั๊มติดอยู่กับคานกำเนิดคลื่นเดียวกันจึงทำให้เกิดคลื่นผิวน้ำด้วยความถี่เดียวกัน คลื่นผ่านตัวกลางเดียวกัน อัตราเร็วเท่ากัน ความยาวคลื่นเท่ากัน สันแรงเท่ากัน แอมพลิจูดเท่ากัน เป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์ เมื่อคลื่นจากแหล่งกำเนิดทั้งสองมาพบกัน จึงเกิดจุดที่คลื่นมารวมกันแบบเสริม เป็นจุดปฏิบัพ และจุดที่คลื่นรวมกันแบบหักล้าง เป็นจุดบัพ ซึ่งตำแหน่งที่เป็นบัพและปฏิบัพเหล่านี้ไม่เคยเคลื่อนที่ จึงเป็นคลื่นนิ่ง ตามรูป 9.23 ตามหนังสือเรียน หลังจากนั้นพิจารณาตำแหน่งที่เป็นปฏิบัพ และบัพ แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างระยะทาง กับความยาวคลื่น โดยใช้รูป 9.24 และ 9.25 ประกอบการอภิปรายจนได้ความสัมพันธ์  $|S_1P - S_2P| = n\lambda$  เมื่อ  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$  เมื่อจุด  $P$  เป็นปฏิบัพ และ  $|S_1Q - S_2Q| = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda$  เมื่อ  $n = 1, 2, 3, \dots$  เมื่อ  $Q$  เป็นบัพ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

จากนั้นให้นักเรียนตอบชวนคิดในหน้า 94 โดยอาจร่วมกันอภิปรายหาคำตอบโดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ



### แนวคำตอบชวนคิด

การแทรกสอดกันของคลื่นที่จุดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่จุดที่สันคลื่น (หรือท้องคลื่น) ซ้อนทับกับสันคลื่น (หรือท้องคลื่น) เป็นการแทรกสอดแบบใด

**แนวคำตอบ** เป็นการแทรกสอดแบบหักล้าง



### แนวคำตอบชวนคิด

หากเฟสเริ่มต้นของคลื่นจากแหล่งกำเนิดทั้งสองมีค่าต่างกัน  $180$  องศา หรือมีเฟสตรงข้ามกัน เงื่อนไขของการแทรกสอดแบบเสริมกับแบบหักล้างจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร เพราะเหตุใด

**แนวคำตอบ** หากเฟสเริ่มต้นของคลื่นจากแหล่งกำเนิดทั้งสองมีค่าต่างกัน  $180$  องศา หรือมีเฟสตรงข้าม เงื่อนไขของการแทรกสอดเปลี่ยนไปโดยที่แนวกลางเป็นการแทรกสอดแบบหักล้าง เนื่องจากหน้าคลื่นแรกที่พบกันแทรกสอดแบบหักล้างกัน



### แนวคำตอบชวนคิด

ในรูป 9.26 แสดงเส้นแนวการแทรกสอดกัน แสดงค่า  $\Delta r$  สูงสุดเท่ากับ  $2\lambda$  มีแนวการแทรกสอดที่ค่า  $\Delta r$  มากกว่า  $2\lambda$  หรือไม่ เพราะเหตุใด

**แนวคำตอบ** ไม่มี เนื่องจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองเป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์และอยู่ห่างกัน  $2\lambda$  เท่านั้น



### แนวคำตอบชวนคิด

หากเฟสเริ่มต้นของคลื่นจากแหล่งกำเนิดทั้งสองมีค่าต่างกัน  $180$  องศาหรือมีเฟสตรงข้ามกัน เส้นแนวการแทรกสอดกันของคลื่นที่จุดซึ่งมีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดทั้งสองเท่ากัน จะเกิดการแทรกสอดแบบใด

**แนวคำตอบ** เกิดการแทรกสอดแบบหักล้าง

### 9.4.4 การเลี้ยวเบนของคลื่น

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. การที่คลื่นอ้อมไปทางด้านหลังของสิ่งกีดขวางเป็นการหักเหของคลื่น	1. การที่คลื่นอ้อมไปทางด้านหลังของสิ่งกีดขวางเป็นการเลี้ยวเบนของคลื่น
2. การเลี้ยวเบนของคลื่นเกิดขึ้นเมื่อคลื่นผ่านช่องแคบที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นเท่านั้น	2. การเลี้ยวเบนของคลื่นเกิดขึ้นเมื่อคลื่นกระทบขอบของสิ่งกีดขวางและผ่านช่องแคบทุกขนาด

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 7 ในส่วนของการเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำของหัวข้อ 9.4 ตามหนังสือเรียน จากนั้นครูนำเข้าสู่หัวข้อ 9.4.4 โดยทบทวนพฤติกรรมของคลื่นเมื่อผ่านรอยต่อของตัวกลางว่ามีคลื่นสะท้อนและหักเห จากนั้นยกสถานการณ์ให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายกรณีที่คลื่นกระทบสิ่งกีดขวางที่ขนาดเล็กกว่าความยาวของหน้าคลื่นทำให้คลื่นส่วนหนึ่งผ่านขอบของสิ่งกีดขวางได้ หรือสิ่งกีดขวางมีลักษณะเป็นช่องที่ให้คลื่นผ่านได้ คลื่นแสดงพฤติกรรมอย่างไร เปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระโดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นนำเข้าสู่กิจกรรม 9.5 การเลี้ยวเบนของคลื่น



### กิจกรรม 9.5 การเลี้ยวเบนของคลื่น

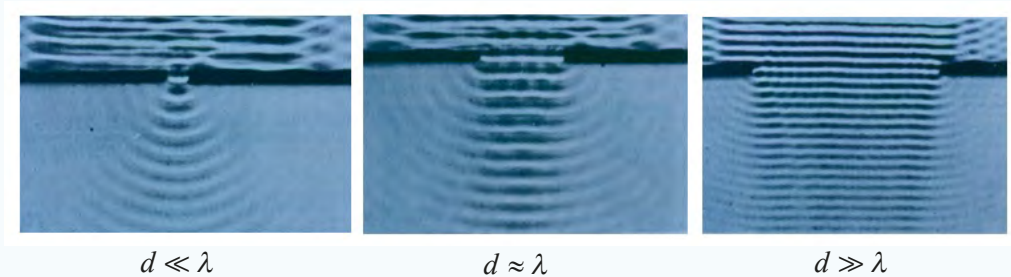
#### จุดประสงค์

สังเกตและอธิบายการเลี้ยวเบนของคลื่น

#### วัสดุและอุปกรณ์

- |                               |        |
|-------------------------------|--------|
| 1. ชุดถาดคลื่น                | 1 ชุด  |
| 2. หม้อแปลงโวลต์ต่ำพร้อมสายไฟ | 1 ชุด  |
| 3. กระดาษขาว                  | 1 แผ่น |

## ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

 $d \ll \lambda$  $d \approx \lambda$  $d \gg \lambda$ 

รูป 9.5 แสดงการเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านช่องที่มีขนาดต่างกัน



## แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- เมื่อใช้แผ่นกั้นขวางการเคลื่อนที่ของคลื่นผิวน้ำบางส่วน คลื่นจะมีการเคลื่อนที่อย่างไรบริเวณด้านหลังของแผ่นกั้น

**แนวคำตอบ** เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านขอบของแผ่นกั้น พบว่ามีคลื่นแผ่เป็นแนวโค้งทางด้านหลังของแผ่นกั้น ตามรูปในหนังสือเรียน

- เมื่อใช้แผ่นกั้นสองแผ่น ทำช่องเปิดที่มีความกว้างมากกว่า ใกล้เคียงและน้อยกว่าความยาวคลื่นของคลื่นผิวน้ำ ในแต่ละครั้งคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดมีลักษณะอย่างไร

**แนวคำตอบ** เมื่อคลื่นผ่านช่องเปิดที่มีความกว้างมากกว่าความยาวคลื่นดังรูป 9.28 ในหนังสือเรียน

เมื่อคลื่นผ่านช่องเปิดที่มีความกว้างใกล้เคียงกับความยาวคลื่นมีลักษณะดังรูป 9.28 ในหนังสือเรียน  
เมื่อคลื่นผ่านช่องเปิดที่มีความกว้างน้อยกว่าความยาวคลื่นมีลักษณะดังรูป 9.28 ในหนังสือเรียน

## อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

หลังจากตอบคำถามหลังกิจกรรมให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายจนได้ข้อสรุปว่า ทุกกรณีที่คลื่นผ่านขอบของสิ่งกีดขวาง หรือผ่านช่องแคบจะเกิดคลื่นแผ่อ้อมไปทางด้านหลังของสิ่งกีดขวางเสมอ เรียกพฤติกรรมของคลื่นนี้ว่าการเลี้ยวเบนของคลื่น แล้วตั้งคำถามว่า คลื่นอ้อมเข้าไปด้านหลังของสิ่งกีดขวางได้อย่างไร ให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูทบทวนเรื่องการแผ่ของคลื่นโดยใช้หลักของฮอยเกนส์ อธิบายเชื่อมโยงกับการเลี้ยวเบนของคลื่นจนสรุปลักษณะของคลื่นที่เลี้ยวเบนในแต่ละกรณีได้

ให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 9.4

### แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้การสะท้อน การหักเห การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนจากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 9.4
2. ทักษะการสังเกต การทดลองจากการอภิปรายร่วมกัน
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล จากการอภิปรายร่วมกัน



### แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 9.4

1. พิจารณาคลื่นดลในเส้นเชือกที่ต่อกัน 2 เส้นในรูป 9.18 แล้วเปรียบเทียบอัตราเร็วของคลื่นตกกระทบ คลื่นสะท้อน และคลื่นหักเหว่าเท่ากันหรือไม่ ถ้าไม่เท่ากัน ให้เรียงลำดับอัตราเร็วของคลื่น จากมากไปหาน้อย

**แนวคำตอบ** เชือกสองเส้นที่ต่อกันตามรูป 9.18 มีสองกรณีคือ

คลื่นผ่านเชือกที่มีความหนาแน่นเชิงเส้นมากเข้าสู่เชือกที่มีความหนาแน่นเชิงเส้นน้อย กรณีนี้คลื่นตกกระทบมีอัตราเร็วเท่ากับคลื่นสะท้อนและไม่เท่ากับคลื่นหักเห โดยอัตราเร็วคลื่นหักเหมากกว่าอัตราเร็วคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน

คลื่นผ่านเชือกที่มีความหนาแน่นเชิงเส้นน้อยเข้าสู่เชือกที่มีความหนาแน่นเชิงเส้นมาก กรณีนี้คลื่นตกกระทบมีอัตราเร็วเท่ากับคลื่นสะท้อนและไม่เท่ากับคลื่นหักเห โดยอัตราเร็วคลื่นตกกระทบเท่ากับคลื่นสะท้อนและมากกว่าอัตราเร็วของคลื่นหักเห



## เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9



## คำถาม

1. ความเร็วคลื่นในเส้นเชือกแตกต่างจากความเร็วอนุภาคเล็กในเส้นเชือกอย่างไร

**แนวคำตอบ** เมื่อคลื่นผ่านเส้นเชือก คลื่นเคลื่อนที่ไปตามเส้นเชือกด้วยอัตราเร็วที่ขึ้นอยู่กับแรงตึงเชือกและมวลต่อความยาวเชือก ส่วนอนุภาคเล็ก ๆ ในเส้นเชือกเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยไม่เคลื่อนที่ไปกับคลื่น
2. คลื่นผิวน้ำในน้ำที่มีความลึกคงตัว และน้อยกว่าความยาวคลื่นจะมีความยาวคลื่นจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อความถี่ของคลื่นเป็นสองเท่าของความถี่เดิม ความเร็วของคลื่นมีค่าคงตัว

**แนวคำตอบ** ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว ความถี่และความยาวคลื่นเป็นไปตามสมการ  $v = f\lambda$  เมื่ออัตราเร็วคงตัว  $v = f_1\lambda_1$  และ  $v = f_2\lambda_2$  ดังนั้น  $f_1\lambda_1 = f_2\lambda_2$  จะได้ว่า  $\frac{f_1}{f_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$  เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า จะทำให้  $\lambda_2 = \frac{\lambda_1}{2}$  หรือความยาวคลื่นลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเดิม
3. อัตราเร็วของคลื่นจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าและผ่านตัวกลางเดิม

**แนวคำตอบ** อัตราเร็วของคลื่นขึ้นอยู่กับสมบัติของตัวกลาง เมื่อคลื่นเปลี่ยนแปลงความถี่แต่ยังคงผ่านตัวกลางเดิมอัตราเร็วคลื่นยังคงตัวเท่าเดิม
4. เชือกเส้นใหญ่มีมวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวมากกว่าเชือกเส้นเล็ก เมื่อนำมาต่อกันให้คลื่นผ่านจากเชือกเส้นใหญ่เข้าสู่เชือกเส้นเล็ก อัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น เปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร

**แนวคำตอบ** คลื่นเคลื่อนที่จากเชือกเส้นใหญ่เข้าสู่เชือกเส้นเล็กสิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปคือ อัตราเร็วและความยาวคลื่น โดยที่อัตราเร็วเพิ่มขึ้น ความถี่คลื่นคงเดิมทำให้ความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น
5. คลื่นดลสองลูกเคลื่อนที่ในเชือกเข้าหากัน เมื่อพบกันจะเกิดการสะท้อนจากคลื่นอีกลูกหนึ่งหรือไม่ อธิบาย

**แนวคำตอบ** คลื่นดลสองลูกเคลื่อนที่เข้าหากันเมื่อพบกันจะเกิดการซ้อนทับกัน และผ่านพ้นกัน โดยไม่มีการสะท้อนจากคลื่นอีกลูกหนึ่ง

6. เมื่อคลื่นมาซ้อนทับกัน เงื่อนไขต้องเป็นอย่างไรเมื่อ

- ก. แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่ามากกว่าคลื่นที่มารวมกัน
- ข. แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่าน้อยกว่าคลื่นที่มารวมกัน
- ค. แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่าเท่ากับศูนย์

**แนวคำตอบ** เมื่อคลื่นมาซ้อนทับกัน เมื่อ

- ก. แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่ามากกว่าคลื่นที่มารวมกัน คลื่นที่มีซ้อนทับกันต้องมีเฟสตรงกัน เช่น สันคลื่นกับสันคลื่น หรือท้องคลื่นกับท้องคลื่น
- ข. แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่าน้อยกว่าคลื่นที่มารวมกัน คลื่นที่มีซ้อนทับกันต้องมีเฟสตรงข้ามกัน คือสันคลื่นกับท้องคลื่น
- ค. แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่าเท่ากับศูนย์ คลื่นที่มีซ้อนทับกันต้องมีเฟสตรงข้ามกัน และมีแอมพลิจูดเท่ากัน

7. ในการแทรกสอดของคลื่นแบบเสริมและแบบหักล้าง พลังงานเพิ่มขึ้นหรือสูญหายไปหรือไม่ อธิบาย

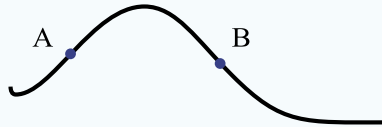
**แนวคำตอบ** การซ้อนทับกันของคลื่นทั้งสองแบบพลังงานไม่เพิ่มขึ้นหรือสูญหายไป สังเกตได้จากเมื่อคลื่นผ่านพ้นการซ้อนทับกันแล้วคลื่นทั้งสองมีแอมพลิจูดเท่าเดิม

8. คลื่นสองคลื่นความถี่เท่ากัน อยู่ในตัวกลางเดียวกัน แต่แอมพลิจูดต่างกัน เมื่อมาแทรกสอดกัน เฟสของคลื่นทั้งสองต้องต่างกันเท่าไรจึงจะทำให้แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่ามากที่สุด และน้อยที่สุดตามลำดับและค่าแอมพลิจูดรวมของคลื่นในแต่ละกรณีเป็นเท่าไร

**แนวคำตอบ** คลื่นในตัวกลางเดียวกัน ความถี่เท่ากัน ทำให้มีความยาวคลื่นเท่ากัน เมื่อมาซ้อนทับกันและรวมแบบเสริมเฟสต้องตรงกันหรือต่างกันศูนย์องศาจะทำให้แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่ามากที่สุดและเท่ากับผลรวมของแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสอง

เมื่อซ้อนทับกันและรวมแบบหักล้างคลื่นต้องมีเฟสต่างกัน 180 องศาทำให้แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่าน้อยที่สุดและเท่ากับผลต่างของแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสอง

9. จากภาพแสดงคลื่นในเชือกกำลังเคลื่อนไปทางซ้ายด้วยอัตราเร็ว 10 เมตรต่อวินาที A และ B เป็นอนุภาคเล็กในเส้นเชือก



รูป ประกอบคำถามข้อ 9

จุด A และ B เคลื่อนที่อย่างไร และความเร็วของจุดทั้งสองเปลี่ยนแปลงอย่างไร

**แนวคำตอบ** จุด A กำลังเคลื่อนที่ขึ้นและมีความเร็วที่ลดลง และจะวกกลับ

จุด B กำลังเคลื่อนที่ลง และความเร็วลดลง หลังจากนั้นจะอยู่นิ่ง

## 📌 | ปัญหา

1. ดึงสายยางท่อน้ำเส้นเล็กให้ตึง ดัดสายยางให้สั้น สังเกตลูกคลื่นที่เกิดขึ้นในสายยาง อัตราเร็วของลูกคลื่นในสายยางจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร เมื่อ

ก. ดึงสายยางให้ตึงมากขึ้น

ข. กรอกน้ำให้เต็มสายยาง

**ตอบ** อัตราเร็วคลื่นในเชือกขึ้นอยู่กับแรงตึงในเชือกและมวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวเชือกโดยที่อัตราเร็วคลื่นมากถ้าแรงตึงในเชือกมากและอัตราเร็วคลื่นน้อยถ้ามวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวมาก

ก. เปรียบสายยางเป็นเชือก เมื่อตึงให้ตึงมากขึ้นคลื่นผ่านสายยางด้วยอัตราเร็วมากขึ้น

ข. เมื่อกรอกน้ำให้เต็มสายยางทำให้มวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวมากขึ้น ทำให้อัตราเร็วคลื่นในสายยางลดลง

2. ความยาวคลื่นในเส้นเชือกมีความสัมพันธ์กับสิ่งใดต่อไปนี้ ความยาวเชือก แรงตึงในเส้นเชือก มวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเชือก จงอธิบายความสัมพันธ์นั้น

**ตอบ** ความยาวคลื่นในเชือกมีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วและความถี่คลื่น ซึ่งสิ่งที่มีผลต่ออัตราเร็วคลื่นในเชือกคือแรงตึงในเชือก และมวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวเชือก โดยที่อัตราเร็วคลื่นแปรตามแรงตึงในเชือก และแปรผกผันกับมวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเชือก ความยาวคลื่นแปรตามอัตราเร็วคลื่น ดังนั้นจึงแปรตามแรงตึงเชือกและแปรผกผันกับมวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวเชือกเช่นกัน

3. คลื่นผิวน้ำผ่านเสาที่ปักอยู่ในน้ำด้วยความเร็ว 2.8 เมตรต่อวินาที และมีสันคลื่นอยู่ห่างกัน 5 เมตร ระดับน้ำที่เสาจะกระเพื่อมขึ้นลงด้วยความถี่เท่าไร

วิธีทำ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว ความยาวคลื่นและความถี่เป็นไปตามสมการ  $v = f\lambda$   
โดยที่  $v = 2.5 \text{ m/s}$ ,  $\lambda = 5 \text{ m}$

$$f = \frac{2.5}{5}$$

$$= 0.5 \text{ m/s}$$

ตอบ ระดับน้ำที่เสาจะกระเพื่อมขึ้นลงด้วยความถี่ 0.5 เมตรต่อวินาที

4. โป้ไม้ลอยในน้ำเมื่อมีคลื่นผ่านจะกระเพื่อมขึ้นลง 15 รอบในเวลา 0.5 วินาทีและสันคลื่นห่างกัน 2 เมตร อัตราเร็วคลื่นในน้ำขณะนั้นเป็นเท่าไร

วิธีทำ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว ความยาวคลื่นและความถี่เป็นไปตามสมการ  $v = f\lambda$

$$f = \frac{15}{0.5} \text{ รอบ/วินาที}, \lambda = 2 \text{ m}$$

$$v = \frac{15 \times 2}{0.5}$$

$$= 60 \text{ m/s}$$

ตอบ อัตราเร็วคลื่นในน้ำขณะนั้นเป็น 60 เมตรต่อวินาที



### ปัญหาท้าทาย

5. เชือกเส้นหนึ่งถูกสับตัดปลายเชือกอย่างสม่ำเสมอ 50 รอบในเวลา 20 วินาที และทำให้คลื่นผ่านเชือกเป็นระยะทาง 10 เมตร ความยาวคลื่นในเส้นเชือกนี้เป็นเท่าไร

วิธีทำ สับตัดเชือก 50 รอบแสดงว่าเกิดคลื่นจำนวน 50 ลูก  
คลื่นเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 10 เมตร

$$\text{ดังนั้น ความยาวคลื่นเท่ากับ } \frac{10}{50} = 0.2 \text{ เมตร}$$

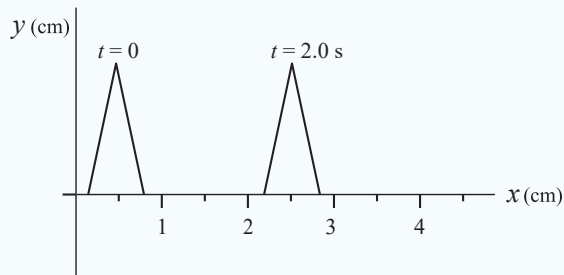
$$\text{หรือ อัตราเร็วคลื่นเท่ากับ } \frac{10}{20} \text{ m/s ความถี่คลื่นเท่ากับ } \frac{50}{20} \text{ รอบ/วินาที}$$

จาก

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{v}{f} \\ &= \frac{0.5}{2.5} \\ &= 0.2 \text{ m}\end{aligned}$$

**ตอบ** ความยาวคลื่นในเส้นเชือกนี้เป็น 0.2 เมตร

6. ภาพแสดงคลื่นคลผ่านตัวกลางชนิดหนึ่ง



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 6

- ก. คลื่นคลนี้มีความเร็วเท่าไร  
 ข. เมื่อเวลา  $t = 3$  s คลื่นคลนี้จะอยู่ที่ตำแหน่งใด  
 ก. **วิธีทำ** จากรูป คลื่นเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 2 เซนติเมตร ใช้เวลา 2 วินาที

$$\begin{aligned}v &= \frac{2}{2} \\ &= 1 \text{ เซนติเมตร/วินาที}\end{aligned}$$

**ตอบ** คลื่นคลนี้มีความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาที

- ข. **วิธีทำ** ในวินาทีที่ 3 คลื่นจะเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 3 เซนติเมตรห่างจากจุดเริ่มต้น  
 จากรูปคลื่นเริ่มต้นที่ระยะ 0.5 เซนติเมตร  
 ดังนั้น วินาทีที่ 3 คลื่นจะอยู่ที่ 3.5 เซนติเมตร

**ตอบ** คลื่นคลนี้จะอยู่ที่ตำแหน่ง 3.5 เซนติเมตร

7. คลื่นกลผ่านตัวกลางแรกด้วยความเร็ว 4 เมตรต่อวินาที ตกกระทบรอยต่อของตัวกลางด้วยมุมตกกระทบขนาด 30 องศา และผ่านเข้าสู่ตัวกลางที่สองด้วยมุมหักเห 45 องศา ความเร็วคลื่นในตัวกลางที่สองเป็นเท่าไร

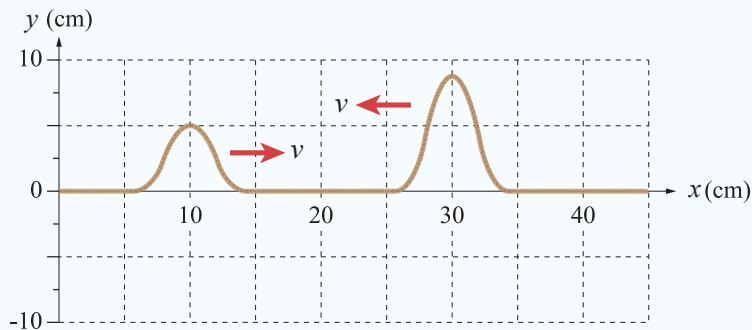
วิธีทำ จากกฎการหักเหของคลื่น 
$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\frac{1}{\frac{1}{\sqrt{2}}} = \frac{4}{v_2}$$

$$v_2 = 4\sqrt{2} \text{ m/s}$$

ตอบ ความเร็วคลื่นในตัวกลางที่สองเป็น  $4\sqrt{2}$  เมตรต่อวินาที

8. ที่เวลา  $t = 0$  คลื่นเคลื่อนที่เข้าหากันด้วยความเร็ว 1.0 เมตรต่อวินาที ดังรูป



รูป ประกอบคำถามข้อ 8

- ก. อีกนานเท่าไรคลื่นทั้งสองจึงจะซ้อนทับกันพอดี  
 ข. จงวาดภาพการรวมกันของคลื่นทั้งสองที่เวลา  $t = 0.1$  s และ  $t = 0.2$  s  
 ก. **วิธีทำ** เริ่มต้น ณ เวลาที่  $t = 0$  คลื่นทั้งสองอยู่ห่างกัน 20 เซนติเมตร และเคลื่อนที่เข้าหากันด้วยอัตราเร็ว 1 เมตร หรือ 100 เซนติเมตร/วินาที  
 ให้เวลาผ่านไป  $t$  วินาที คลื่นจึงซ้อนทับกัน และระยะทางที่คลื่นทั้งสองเคลื่อนที่รวมกันได้ 20 เซนติเมตร ระยะทางที่คลื่นแต่ละลูกเคลื่อนที่ได้ เท่ากับ  $100t$

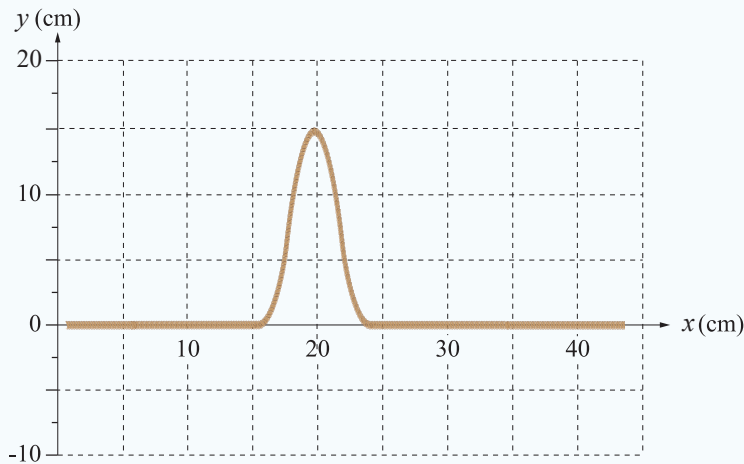
$$100t + 100t = 20$$

$$t = \frac{20}{200}$$

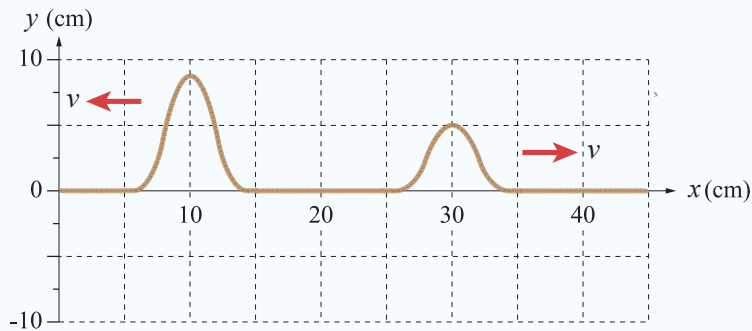
$$= 0.1 \text{ วินาที}$$

ตอบ เมื่อเวลาผ่านไป 0.1 วินาที คลื่นทั้งสองจึงจะซ้อนทับกันพอดี

- ข. ที่เวลา  $t = 0.1$  วินาที คลื่นทั้งสองเคลื่อนที่ได้ระยะทาง เท่ากับ  $100 \times 0.1 = 10$  เซนติเมตร และซ้อนทับกันพอดีที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตร ดังนั้น ภาพที่ได้เป็นลูกคลื่นยอดคลื่นอยู่ที่ตำแหน่ง 20 เซนติเมตร และมีความสูงของคลื่นเท่ากับผลรวมของแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสอง
- ที่เวลา  $t = 0.2$  วินาที คลื่นทั้งสองเคลื่อนที่ได้ระยะทาง เท่ากับ  $100 \times 0.2 = 20$  เซนติเมตร ดังนั้น ภาพที่ได้จะเป็นลูกคลื่นตำแหน่งเดียวกับตอนเริ่มต้นแต่สลับลูกคลื่นกัน

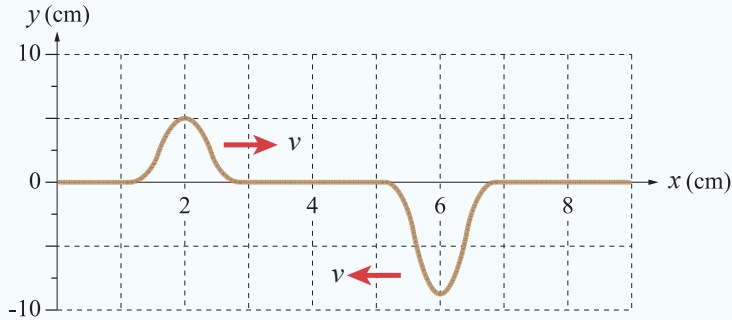


ที่เวลา  $t = 0.1$  s



ที่เวลา  $t = 0.2$  s

9. ที่เวลา  $t = 0$  คลื่นเคลื่อนที่เข้าหากัน ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 9

ก. ที่เวลา  $t = 1$  s คลื่นทั้งสองซ้อนทับกันได้พอดี ความเร็วคลื่นเป็นเท่าไร

ข. จงวาดภาพการรวมกันของคลื่นทั้งสองที่เวลา  $t = 1$  s และ  $t = 2$  s

ก. **วิธีทำ** ที่เวลา  $t = 0$  คลื่นทั้งสองอยู่ห่างกัน 4 เซนติเมตร

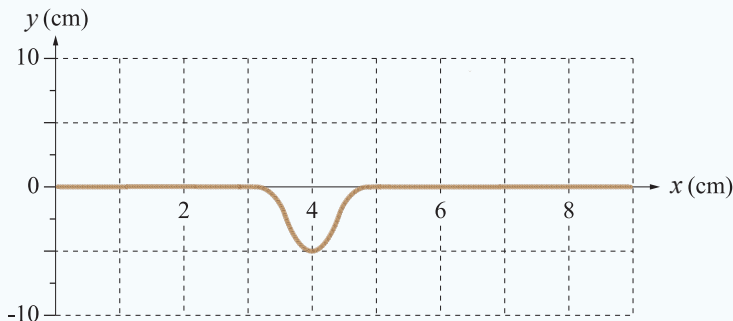
เวลาผ่านไป 1 วินาที คลื่นทั้งสองเคลื่อนที่ได้ระยะทาง  $v \times 1$  เซนติเมตร  
ดังนั้น

$$v + v = 4$$

$$v = 2 \text{ cm/s}$$

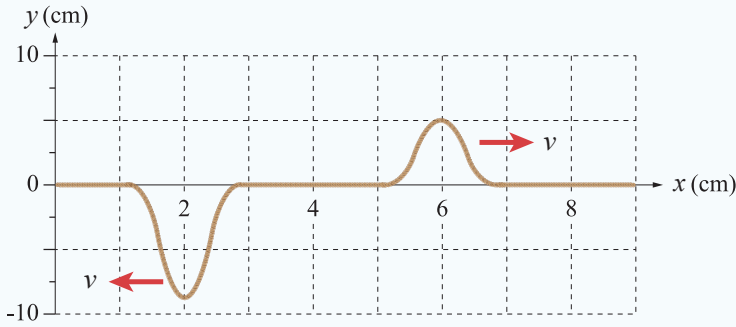
**ตอบ** ความเร็วคลื่นเป็น 2 เซนติเมตรต่อวินาที

ข. ที่เวลา  $t = 1$  วินาที คลื่นทั้งสองเคลื่อนที่ได้ระยะทาง เท่ากับ  $2 \times 1 = 2$  เซนติเมตร และซ้อนทับกันพอดีที่ตำแหน่ง 4 เซนติเมตร ดังนั้นภาพที่ได้เป็นลูกคลื่นยอดคลื่นอยู่ที่ตำแหน่ง 4 เซนติเมตร และมีความสูงของคลื่นเท่ากับผลต่างของแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสอง  
ที่เวลา  $t = 2$  วินาที คลื่นทั้งสองเคลื่อนที่ได้ระยะทาง เท่ากับ  $2 \times 2 = 4$  เซนติเมตร  
ดังนั้น ภาพที่ได้จะเป็นลูกคลื่นตำแหน่งเดียวกับตอนเริ่มต้นแต่สลับลูกคลื่นกัน



ที่เวลา  $t = 1$  s





ที่เวลา  $t = 2$  s

10. คลื่นผิวน้ำในถาดคลื่นเกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นสั้นด้วยความถี่ 50 รอบต่อวินาทีและคลื่นแผ่ออกไปด้วยความเร็ว 1.0 เมตรต่อวินาที ตำแหน่งของคลื่นผิวน้ำที่มีเฟสต่างกัน 180 องศาอยู่ห่างกันเท่าไร

วิธีทำ จากความสัมพันธ์

$$v = f\lambda$$

แทนค่า

$$1 = 50 \lambda$$

$$\lambda = 0.02 \text{ เมตร}$$

ตำแหน่งบนผิวน้ำที่มีเฟสต่างกัน 360 องศา อยู่ห่างกัน 1 ความยาวคลื่น = 0.02 เมตร

ดังนั้น เฟสต่างกัน

$$180 \text{ องศา อยู่ห่างกัน } \frac{0.02 \times 180}{360} = 0.01 \text{ เมตร}$$

ตอบ อยู่ห่างกัน 0.01 เมตร

11. เมื่อมองฉากรับภาพได้ถาดคลื่น เห็นภาพคลื่นมีแถบสว่างห่างกัน 1.5 เซนติเมตร เมื่อคลื่นผ่านน้ำบริเวณที่มีกระจกใสจมอยู่ มองเห็นแถบสว่างห่างกัน 1 เซนติเมตร อัตราส่วนความเร็วของคลื่นในถาดคลื่นกับคลื่นที่ผ่านน้ำที่มีกระจกใสจมอยู่เป็นเท่าไร

วิธีทำ ระยะระหว่างแถบสว่างคือความยาวคลื่น

จากกฎการหักเหของคลื่น 
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

แทนค่า

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{1.5}{1}$$

อัตราส่วนของความเร็วเท่ากับ 1.5

ตอบ อัตราส่วนความเร็วของคลื่นในถาดคลื่นกับคลื่นที่ผ่านน้ำที่มีกระจกใสจมอยู่เป็น 1.5



บทที่

10

แสงเชิงคลื่น



ipst.me/8840

### ผลการเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่และเกรตติง การเลี้ยวเบนและการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตเดี่ยว รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

### การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

#### ผลการเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่และเกรตติง การเลี้ยวเบนและการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตเดี่ยว รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

#### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ระบุได้ว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. อธิบายรูปแบบการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่
3. คำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่
4. อธิบายรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยวที่มีความกว้างขนาดต่าง ๆ
5. คำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว
6. อธิบายรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง
7. คำนวณหาความยาวคลื่นแสงและปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยใช้เกรตติง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การสังเกต (แถบมืดและแถบสว่างจากสลิตคู่ เกรตติงและสลิตเดี่ยว)</li> <li>2. การวัด (ระยะห่างของแถบมืดและแถบสว่าง)</li> <li>3. การทดลอง</li> <li>4. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (การสรุปผลการทดลอง)</li> <li>5. การใช้จำนวน (ปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแทรกสอดและการเลี้ยวเบนผ่านสลิตเดี่ยว สลิตคู่และเกรตติง)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การสื่อสารสารสนเทศ และ การรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล)</li> <li>2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ความซื่อสัตย์</li> <li>2. ความมุ่งมั่นอดทน</li> </ol>

### ผังมโนทัศน์ แสงเชิงคลื่น



### สรุปแนวความคิดสำคัญ

แสงที่ตามองเห็นได้เป็นช่วงหนึ่งในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-700 นาโนเมตร มีอัตราเร็วเท่ากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไปคือ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที เดิมเชื่อกันว่าแสงเป็นอนุภาค จนกระทั่ง ธิมอส ยัง ได้ทำการทดลองให้เห็นว่าแสงมีการแทรกสอดได้ จึงยอมรับกันว่าแสงเป็นคลื่น

การแทรกสอดของแสงศึกษาได้จากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ ซึ่งเป็นช่องขนาดเล็กสองช่องอยู่ห่างกันระยะหนึ่ง เมื่อฉายแสงกระทบสลิตคู่ แต่ละช่องทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแสง แผ่คลื่นออกไปกระทบฉาก บริเวณที่คลื่นแสงรวมกันมีเฟสตรงกัน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความต่างระยะทาง  $\Delta r = n\lambda$  เมื่อ  $n = 0, 1, 2, \dots$  จะแทรกสอดแบบเสริม ทำให้บริเวณนั้นเป็นแถบสว่าง และสามารถหาตำแหน่งของแถบสว่างได้จากความสัมพันธ์  $d \sin \theta = n\lambda$  เมื่อ  $n = 0, 1, 2, \dots$  ส่วนบริเวณที่คลื่นแสงรวมกันมีเฟสตรงข้ามกัน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความต่างระยะทาง  $\Delta r = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda$  เมื่อ  $n = 1, 2, 3, \dots$  จะแทรกสอดแบบหักล้าง ทำให้บริเวณนั้นเป็นแถบมืด และสามารถหาตำแหน่งของแถบมืดได้จากความสัมพันธ์  $d \sin \theta = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda$  เมื่อ  $n = 1, 2, 3, \dots$  ลักษณะของแถบสว่างแต่ละแถบมีความกว้างและความสว่างเท่า ๆ กัน ระยะห่างระหว่างแถบสว่างกับแถบสว่างและแถบมืดกับแถบมืดเท่า ๆ กัน

เมื่อแสงผ่านสลิตเดี่ยว จะเกิดแถบสว่างแนวกลางกว้างและสว่างมากกว่าแถบสว่างด้านข้างทั้งสองข้าง และความสว่างของแถบสว่างถัดออกไปจะลดลง ซึ่งสามารถใช้หลักการของฮอยเกนส์อธิบายการหาแถบมืดที่เกิดขึ้นได้ความสัมพันธ์  $a \sin \theta = n\lambda$  เมื่อ  $n = 1, 2, 3, \dots$  ถ้าความกว้างของช่องสลิตเข้าใกล้ขนาดของความยาวคลื่นแสง ( $a \simeq \lambda$ ) ขนาดของความกว้างของแถบสว่างกลางจะเพิ่มขึ้น จำนวนแถบมืดทั้งสองด้านจะลดลง เมื่อความกว้างของช่องสลิตเท่ากับความยาวคลื่นแสงจะไม่ปรากฏแถบมืด แต่ปรากฏเฉพาะแถบสว่างกลางเพียงแถบเดียว

เกรตติงเป็นอุปกรณ์ทางแสงที่มีช่องเล็ก ๆ จำนวนหลาย ๆ ช่อง และระยะห่างแต่ละช่องเท่ากัน เมื่อแสงผ่านเกรตติงจะเกิดการเลี้ยวเบนและแทรกสอด ทำให้เกิดแถบสว่างเบนไปจากแนวกลาง ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์  $d \sin \theta = n\lambda$  เมื่อ  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$  หากแสงขาวผ่านเกรตติง ตำแหน่งแถบสว่างของแสงแต่ละสี จะต่างกัน เนื่องจากความยาวคลื่นของแสงแต่ละสีมีค่าต่างกัน

## เวลาที่ใช้

## บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 12 ชั่วโมง

10.1 แนวคิดเกี่ยวกับแสงเชิงคลื่น	1	ชั่วโมง
10.2 การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่	3	ชั่วโมง
10.3 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว	3	ชั่วโมง
10.4 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง	5	ชั่วโมง

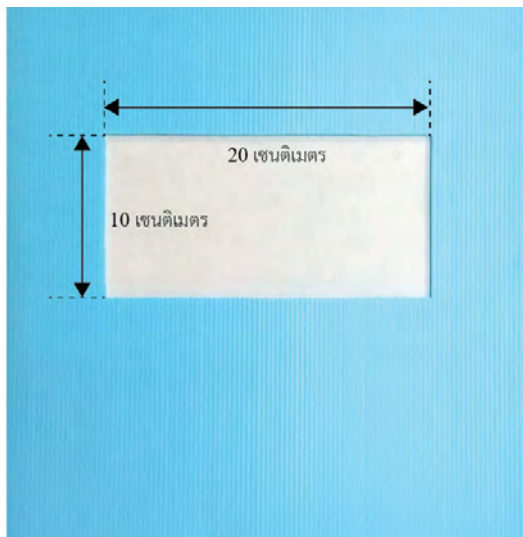


## ความรู้ก่อนเรียน

สเปกตรัมของแสง การรวมกันได้ของคลื่น การแทรกสอดของคลื่น การเลี้ยวเบนของคลื่น

## สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. น้ำสบู่พร้อมหลอดเป่า
2. แผ่นบันทึกข้อมูล
3. เตรียมฉากโดยเจาะพลาสติกลูกฟูกเป็นรูปสี่เหลี่ยม (ขนาด  $10 \times 20$  เซนติเมตร)



รูป พลาสติกลูกฟูกสำหรับทำฉาก

ครูนำเข้าสู่บทที่ 10 โดยให้สังเกตปรากฏการณ์ของแสงเชิงคลื่น เช่น ให้นักเรียนสังเกตสีที่ปรากฏบนฟองสบู่ สังเกตสีจากแผ่นซีดีหรือแผ่นดีวีดี รวบรวมผลที่ได้จากการสังเกต ครูตั้งคำถามว่าพฤติกรรมใดของแสงทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว โดยให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการสังเกต ไม่เน้นความถูกต้อง ครูชี้แจงคำถามสำคัญที่นักเรียนจะต้องตอบได้หลังการเรียนรู้บทที่ 10 และหัวข้อต่าง ๆ ที่จะได้เรียนรู้ในบทที่ 10

## 10.1 แนวคิดเกี่ยวกับแสงเชิงคลื่น

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ระบุได้ว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตามองเห็นได้

### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. แสงเป็นคลื่นชนิดเดียวกับกับคลื่นเสียง	1. แสงเป็นคลื่นต่างจากคลื่นเสียง เพราะคลื่นเสียงเป็นคลื่นกล แต่แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วงประมาณ 400-700 นาโนเมตร

### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 1 หัวข้อ 10.1 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 10.1 โดยครูนำอภิปรายพฤติกรรมของคลื่นว่ามีการสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบน จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามรายละเอียดในหนังสือเรียน และอภิปรายจนสรุปได้ว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตามองเห็นได้ มีความยาวคลื่นประมาณ 400 -700 นาโนเมตร

ครูตั้งคำถามว่าในระยะแรกนักวิทยาศาสตร์สงสัยว่าแสงเป็นคลื่นหรืออนุภาค ครูนำนักเรียนอภิปรายจนได้ข้อสรุปตามรายละเอียดในหนังสือเรียนว่าแสงเป็นคลื่น เนื่องจากสามารถหาความยาวคลื่นของแสงได้จากการทดลองของ ธอมส์ ยัง

### แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้ แนวคิดเกี่ยวกับแสงเชิงคลื่น จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 10.1





### แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 10.1

1. พฤติกรรมใดที่แสดงว่าแสงเป็นคลื่น  
**แนวคำตอบ** พฤติกรรมการแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของแสง แสดงให้เห็นว่าแสงเป็นคลื่น
2. มนุษย์สามารถรับรู้คลื่นแสงได้อย่างไร  
**แนวคำตอบ** มนุษย์สามารถรับรู้คลื่นแสงได้จากการมองเห็น

## 10.2 การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายรูปแบบการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่
2. คำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อแสงผ่านสลิตคู่ แสงจะผ่านไปตรง ๆ และเกิดสว่างตามขนาดของช่องสลิต	1. เมื่อแสงผ่านสลิตคู่ แสงจะเกิดการเลี้ยวเบน อ้อมไปปรากฏด้านหลังของช่องสลิต และเกิดการแทรกสอดปรากฏเป็นแถบมืดแถบสว่าง
2. ความกว้างของช่องสลิตคู่มีผลต่อจำนวนของแถบสว่างที่ปรากฏ	2. จำนวนของแถบสว่างที่ปรากฏไม่ขึ้นอยู่กับความกว้างของช่องสลิตคู่ แต่ขึ้นกับระยะห่างระหว่างช่องของสลิต
3. การแทรกสอดของแสงขาวผ่านสลิตคู่ จะปรากฏแถบสว่างเป็นสีขาวเท่านั้น	3. แถบสว่างจะเป็นสีขาวเฉพาะแถบสว่างกลาง แถบสว่างถัดไปอาจจะเริ่มแยกเป็นสีต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างช่องของสลิตคู่ และระยะห่างจากฉาก

### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 2 และ 3 ของหัวข้อ 10.2 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 10.2 โดยครูนำอภิปรายเรื่องการแทรกสอดของคลื่นผิวน้ำที่ได้เรียนมาในบทที่ 9 จากนั้นครูอภิปรายต่อเกี่ยวกับสลิตจนสรุปได้ว่า เป็นอุปกรณ์ทางแสงมีลักษณะเป็นช่องเปิดขนาดเล็กที่มีความกว้างน้อยๆ ค่าหนึ่ง หากมีช่องเดี่ยวเรียกว่า สลิตเดี่ยว มีสองช่องเรียกสลิตคู่ ครูตั้งคำถามหากแสงผ่านสลิตคู่ไปตกบนฉาก ภาพที่ปรากฏบนฉากจะมีลักษณะอย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 10.1 การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ ในหนังสือเรียน



### กิจกรรม 10.1 การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

#### จุดประสงค์

สังเกตและอธิบายการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

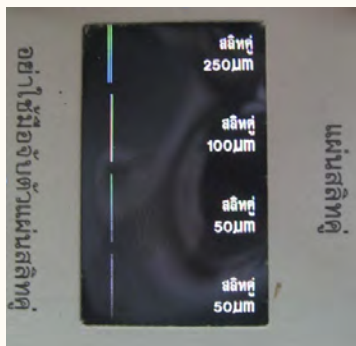
เวลาที่ใช้ 50 นาที

#### วัสดุและอุปกรณ์

- |                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| 1. เลเซอร์พอยเตอร์ชนิดสีแดง*   | 1 อัน     |
| 2. เลเซอร์พอยเตอร์ชนิดสีเขียว* | 1 อัน     |
| 3. สลิตคู่                     | 1 แผ่น    |
| 4. ไม้เมตร                     | 1 อัน     |
| 5. แท่นยึด                     | 4 ชุด     |
| 6. ฉาก                         | 1 แผ่น    |
| 7. อุปกรณ์บันทึกภาพ            | 1 เครื่อง |

\*ควรมีกำลังไม่เกิน 2200 มิลลิวัตต์ และหลีกเลี่ยงการชี้แสงเลเซอร์ไปยังนัยน์ตาของตนเองหรือผู้อื่น เพราะเป็นอันตรายต่อนัยน์ตา




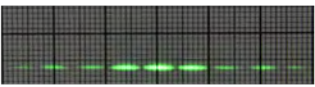


#### แนะนำก่อนการทำกิจกรรม



รูป แผ่นสลิตคู่

1. ตรวจสอบสลิตคู่ที่นำมาใช้ ควรมีระยะห่างระหว่างช่องเป็น 50 100 และ 250 ไมโครเมตร
2. ตรวจสอบเลเซอร์ที่นำมาใช้การทดลองหากมีกำลังเกิน 2200 มิลลิวัตต์ ให้ใช้แบตเตอรี่เก่าที่ใช้งานมาแล้วเพื่อลดความเข้มของแสงเลเซอร์ หรือสวมแว่นตาป้องกันขณะทำการทดลอง
3. ควรให้นักเรียนทุกกลุ่มติดตั้งอุปกรณ์ตามหนังสือเรียนให้พร้อมทำการทดลอง จากนั้นปิดไฟในห้องทดลองเพื่อเริ่มทำกิจกรรมพร้อมกัน
4. เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบระยะต่าง ๆ บนฉาก กึ่งกลางของแถบสว่างกลางของลวดลายการแทรกสอดควรอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันทุกครั้ง โดยก่อนเริ่มทำกิจกรรม ให้นักเรียนเปิดเลเซอร์โดยไม่ต้องผ่านแผ่นสลิตคู่ จากนั้นทำเครื่องหมายที่ฉากตรงตำแหน่งที่แสงเลเซอร์ตกกระทบ เพื่อเป็นการกำหนดตำแหน่งของกึ่งกลางของแถบสว่างกลาง
5. การบันทึกภาพให้บันทึกจากด้านหลังฉาก เพื่อให้ได้ภาพมุมมองในแนวตรง และลดการสะท้อนของแสงเลเซอร์
6. ย้ำกับนักเรียนถึงอันตรายของแสงเลเซอร์ว่าเป็นแสงที่มีความเข้มสูง ห้ามนำเลเซอร์มาส่องเข้าตาของตัวเองและผู้อื่น และในการสังเกตห้ามสังเกตแสงเลเซอร์ในแนวรับลำแสงเลเซอร์โดยตรง

**ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม**

		สลิตคู่ 50 ไมโครเมตร
		สลิตคู่ 100 ไมโครเมตร
		สลิตคู่ 250 ไมโครเมตร

รูป การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ของแสงสีเขียว



### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ในกรณีที่ใช้แสงเลเซอร์สีแดงผ่านสลิตคู่ที่มีระยะห่างระหว่างช่องต่างกัน ภาพที่ปรากฏบนฉากมีลักษณะอย่างไร มีความแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

**แนวคำตอบ** เมื่อแสงเลเซอร์สีแดงผ่านสลิตคู่ลักษณะภาพบนฉากประกอบด้วยแถบสว่างและแถบมืดสลับกัน โดยมีแถบสว่างตรงกลางสว่างกว่าแถบสว่างด้านข้าง เมื่อระยะห่างระหว่างช่องสลิตคู่มากขึ้น ความกว้างของแถบสว่างและแถบมืดมีค่าน้อยลง

- ภาพการแทรกสอดของแสงที่ได้จากกรณีที่ใช้แสงเลเซอร์สีเขียวแตกต่างจากกรณีที่ใช้แสงเลเซอร์สีแดงหรือไม่ อย่างไร

**แนวคำตอบ** เมื่อแสงเลเซอร์สีเขียวผ่านสลิตคู่ จะปรากฏแถบมืดแถบสว่างเช่นเดียวกับแสงเลเซอร์สีแดง แต่แตกต่างกันคือ เมื่อใช้สลิตคู่ที่มีระยะห่างระหว่างช่องเท่ากัน แถบสว่างและแถบมืดที่เกิดจากแสงเลเซอร์สีเขียวจะมีความกว้างของแถบน้อยกว่าที่เกิดจากแสงเลเซอร์สีแดง

### ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับครู

1. หากภาพการแทรกสอดที่ปรากฏไม่ชัดเจน อาจปฏิบัติดังนี้
  - ถ้าเลเซอร์ที่ใช้มีกำลังน้อย ให้ใช้เลเซอร์ที่มีกำลังมากขึ้น
  - ลดแสงสว่างภายในห้องทำกิจกรรม
  - ลดระยะห่างระหว่างสลิตกับฉาก
  - กรณีสังเกตภาพด้านหลังฉากได้ไม่ชัดเจน อาจเปลี่ยนมาถ่ายภาพด้านที่แสงเลเซอร์ตกกระทบฉาก
2. การเตรียมฉากรับภาพจากพลาสติกลูกฟูก การสังเกตภาพที่เกิดจากการเลี้ยวเบน และการแทรกสอดนั้น จะให้ภาพเกิดบนกระดาษกราฟ เพื่อสะดวกในการเปรียบเทียบขนาดของแถบสว่าง ถ้าใช้กระดาษกราฟติดผนังหรือวัสดุทึบแสงอื่นๆ ต้องบันทึกภาพทางด้านเดียวกับเลเซอร์พอยเตอร์ อาจเกิดการสะท้อนของแสงรบกวน หรือแนวการถ่ายภาพไม่ตั้งฉากกับกระดาษกราฟ จึงแก้ไขโดยใช้พลาสติกลูกฟูกเจาะเป็นช่องขนาด  $10 \times 20$  เซนติเมตร แล้วติดกระดาษกราฟปิดช่องที่เจาะไว้ เมื่อทำกิจกรรมให้ภาพเกิดบนกระดาษกราฟสังเกตและบันทึกภาพจากทางด้านหลังของฉาก

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

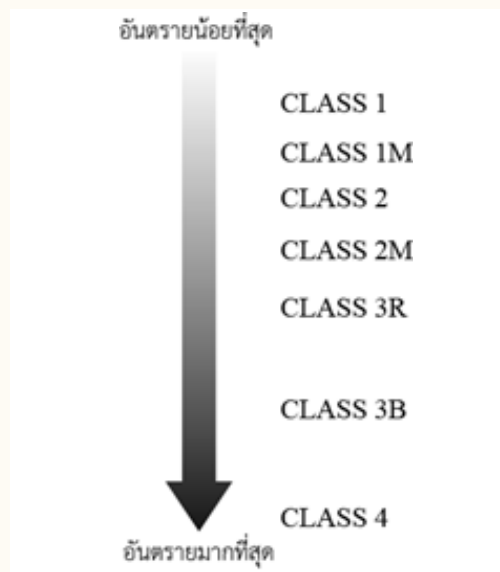
ครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรม

#### 10.1 จนได้ข้อสรุปดังนี้

1. เมื่อแสงเลเซอร์ผ่านสลิตคู่ จะเห็นลวดลายการแทรกสอดของแสงเป็นแถบสว่าง และแถบมืดสลับกันบนฉาก คล้ายกับการเกิดปฏิบัพและบัพจากการแทรกสอดของคลื่นผิวน้ำตามลำดับ แสดงว่าคลื่นแสงมีการแทรกสอดแบบเสริมและแบบหักล้าง
2. ลวดลายการแทรกสอดที่ปรากฏเมื่อแสงเลเซอร์ผ่านสลิตคู่นั้น แถบสว่างแต่ละแถบมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่ออกไปทั้งสองข้างจากกึ่งกลาง เมื่อเปลี่ยนสลิตที่มีระยะห่างระหว่างช่องของสลิตคู่มากขึ้น ขนาดของแถบสว่างที่ปรากฏจะมีขนาดเล็กลง และอยู่ใกล้กันมากขึ้น
3. เมื่อให้แสงเลเซอร์สีแดงและสีเขียว ผ่านสลิตคู่ที่มีระยะระหว่างช่องเท่ากัน ความกว้างของแถบสว่างที่ปรากฏจากแสงเลเซอร์สีเขียวจะน้อยกว่าที่ปรากฏจากแสงเลเซอร์สีแดง แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้แสงเลเซอร์สีเขียวซึ่งมีความยาวคลื่นน้อยกว่าแสงเลเซอร์สีแดงจะทำให้ความกว้างของแถบสว่างมีค่าน้อยกว่า

### ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์สามารถแบ่งออกเป็นชั้นตามระดับอันตรายที่แสงเลเซอร์สามารถทำให้เกิดต่อดวงตาและผิวหนัง แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์สามารถแบ่งได้เป็น 7 ชั้น (class) ตามรหัสที่แสดงไว้ดังรูป ซึ่งเรียงลำดับชั้นจากอันตรายน้อยที่สุด (least hazardous) จนถึงชั้นอันตรายมากที่สุด (most hazardous)



รูป การแบ่งชั้นของแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์

ตาราง อันตรายายที่เกิดจากแสงเลเซอร์และข้อควรระวัง

ชั้น	กำลังแสง*	อันตรายายที่เกิดขึ้นได้**	ข้อควรระวัง	ตัวอย่างเลเซอร์
1	< 0.4 $\mu\text{W}$	ไม่มีอันตราย	ไม่มีข้อควรระวัง	เครื่องพิมพ์เลเซอร์
1M	< 0.4 $\mu\text{W}$	ก่อให้เกิดอันตรายได้ถ้าแสงเลเซอร์ส่องผ่านเลนส์รวมแสงก่อนเข้าตา	ระมัดระวังการใช้เลเซอร์เมื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์รวมแสง เช่น เลนส์	
2	$\geq 0.4 \mu\text{W}$ < 1mW	ก่อให้เกิดอันตรายต่อจอร์ภาพได้เมื่อมองแสงโดยตรงในช่วงเวลานาน ๆ	หลีกเลี่ยงการมองแสงเลเซอร์โดยตรง กลไกการกระพริบตาเมื่อเริ่มเห็นแสงสามารถช่วยป้องกันอันตรายจากแสงเลเซอร์ในกลุ่มนี้ได้	ซีดีเอ็ม-วีเออนเลเซอร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทางแสง
2M	$\geq 0.4 \mu\text{W}$ < 1mW	ก่อให้เกิดอันตรายต่อจอร์ภาพได้เมื่อมองแสงโดยตรงในช่วงเวลานาน ๆ โดยอาศัยเลนส์รวมแสง	กลไกการกระพริบตาเมื่อเริ่มเห็นแสงสามารถช่วยป้องกันอันตรายจากแสงเลเซอร์ในกลุ่มนี้ได้ แต่ให้ระมัดระวังการใช้งานเลเซอร์เมื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์รวมแสง ระมัดระวังการใช้งานเลเซอร์เมื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์รวมแสง	

**ตาราง อันตรายที่เกิดจากแสงเลเซอร์และข้อควรระวัง (ต่อ)**

ชั้น	กำลังแสง*	อันตรายที่เกิดขึ้นได้**	ข้อควรระวัง	ตัวอย่างเลเซอร์
3R	≥ 1 mW < 5 mW	ก่อให้เกิดอันตรายต่อจอร์ับภาพได้เมื่อมองแสงโดยตรงในช่วงเวลานาน แต่ไม่มีอันตรายต่อผิวหนัง	หลีกเลี่ยงการมองแสงเลเซอร์โดยตรงเป็นเวลานาน	เลเซอร์พอยเตอร์
3B	≥ 5 mW < 0.5 W	ก่อให้เกิดอันตรายต่อจอร์ับภาพได้เมื่อมองแสงโดยตรงในช่วงเวลานาน แต่ไม่มีอันตรายต่อผิวหนัง	ผู้ใช้งาน ควร สวมแว่นป้องกัน และหลีกเลี่ยงกำเนิดเลเซอร์ควรมีระบบความปลอดภัย	
4	≥ 0.5 W	ก่อให้เกิดอันตรายต่อดวงตา และผิวหนังจากแสงตกกระทบโดยตรงหรือแสงกระเจิงจากผิวสะท้อน นอกจากนี้ยังสามารถทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้	ผู้ใช้งาน ต้อง สวมแว่นป้องกัน แสงจากแหล่งกำเนิดเลเซอร์และสถานที่ใช้งานควรมีระบบความปลอดภัยที่รัดกุม	เลเซอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับการเจาะ เชื่อม ตัด

\* อ้างอิงกับแสงเลเซอร์ชนิดต่อเนื่องในช่วงความยาวคลื่นที่ตนเองเห็น

\*\* เกณฑ์ในการแบ่งชั้นของเลเซอร์ข้างต้นอ้างอิงตาม IEC 60825-1 (International Electrotechnical Commission)

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 112 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



### แนวคำตอบชวนคิด

ใช้เลเซอร์พอยเตอร์สีม่วง และสีเขียวฉายแสงผ่านสลิตคู่ที่มีระยะห่างเท่ากัน ความกว้างของแถบสว่างเนื่องจากแสงเลเซอร์สีม่วงและแสงเลเซอร์สีเขียว แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

**แนวคำตอบ** แตกต่างกัน เนื่องจากแสงเลเซอร์สีม่วงมีความยาวคลื่นน้อยกว่าแสงเลเซอร์สีเขียว ความกว้างของแถบสว่างของแสงเลเซอร์สีม่วงจะมีความกว้างน้อยกว่าแถบสว่างของแสงเลเซอร์สีเขียว

ครูทบทวนและนำอภิปรายตามหนังสือเรียน เรื่องความต่างระยะทาง และความต่างเฟสของคลื่น จากแหล่งกำเนิดอาพันธ์สองแหล่งกำเนิด ให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 10.1 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ ครูนำอภิปรายจนได้สมการ (10.1) และ (10.2) จากนั้นให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 10.2 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ แล้วครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับเงื่อนไขการเกิดการแทรกสอดแบบเสริมและการแทรกสอดแบบหักล้าง จนได้สมการ (10.3) และ (10.4) ตามลำดับ และให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 10.3-10.4 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

ครูและนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับลักษณะลดทอนการแทรกสอดของแสงจากสลิตคู่ที่มีช่องขนาดเล็กมาก จนถึงว่าเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบจุด ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจข้อ 1-4 และทำแบบฝึกหัดข้อ 1 โดยครูอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

### แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการแทรกสอดของแสงเมื่อผ่านสลิตคู่จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัด
2. ทักษะการสังเกต การทดลอง การวัดและการตีความหมายและลงข้อสรุป จากการอภิปรายร่วมกันการทำการกิจกรรม และการบันทึกผลการทำการกิจกรรม 10.1
3. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำโจทย์และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสลิตคู่
4. จิตวิทยาศาสตร์ความซื่อสัตย์ จากรายงานผลการทดลอง และความมุ่งมั่นอดทนจากการทดลองและการอภิปรายร่วมกัน





**แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 10.2**

1. การทดลองเรื่องการแทรกสอดของธอมัส ยัง เมื่อประมาณ 200 ปีมาแล้ว เป็นการสนับสนุนแนวคิดเกี่ยวกับเรื่องใด  
แนวคำตอบ แสงเป็นคลื่น

2. ถ้ากำหนดให้ระยะทาง  $S_1P$  และ  $S_2P$  เท่ากับ  $125\lambda$  และ  $120\lambda$  ตามลำดับ ความต่างเฟสของคลื่นสองขบวนนี้ที่ตำแหน่ง P เป็นเท่าใด

แนวคำตอบ

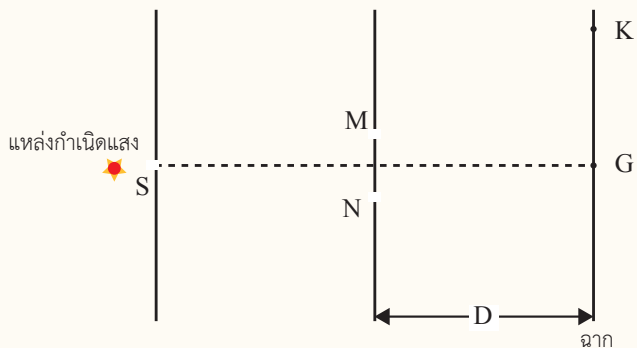
ความต่างเฟส	$\Delta r =  S_1P - S_2P $
	$=  125\lambda - 120\lambda $
	$= 5\lambda$
ความต่างเฟส	$\Delta\phi = \Delta r \times \frac{2\pi}{\lambda}$
	$= 5\lambda \times \frac{2\pi}{\lambda}$
	$= 10\pi$

ดังนั้นที่ตำแหน่ง P คลื่นทั้งสองขบวนมีความต่างเฟส  $5(2\pi)$  หรือเท่ากับ  $2\pi$

3. รูปแสดงแผนภาพการทดลองการแทรกสอดของยัง ซึ่งมีแหล่งกำเนิดแสงส่องผ่านสลิตเดี่ยว S และผ่านสลิตคู่ M กับ N ไปตกกระทบบนฉากซึ่งห่างจากสลิตคู่ M และ N เป็นระยะ D ถ้าแนวแบ่งครึ่ง MN ผ่านฉากที่ตำแหน่ง G และแสงมีความยาวคลื่น  $\lambda$  ถ้า K เป็นจุดๆ หนึ่งบนฉากที่ทำให้  $NK - MK = \frac{\lambda}{2}$

ก. ภาพที่ปรากฏบนฉากที่ตำแหน่ง G และ K เป็นอย่างไร

ข. ถ้าต้องการให้แถบสว่างอยู่ใกล้กันมากขึ้น จะต้องทำอย่างไร



รูป สำหรับปัญหาข้อ 3

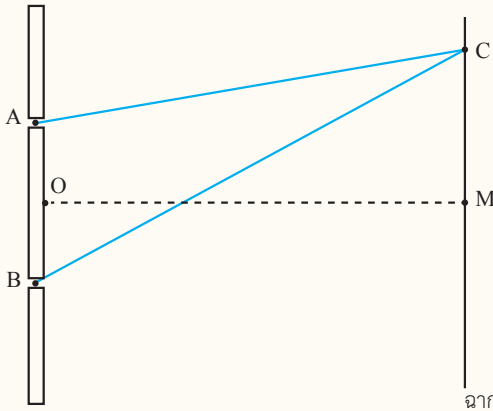
### แนวคำตอบ

- ก. ตำแหน่ง G เป็นแถบสว่างกลาง เพราะ  $|NG - MG| = 0$   
 ตำแหน่ง K เป็นแถบมืดอันดับที่ 1 เพราะ  $|NK - MK| = \frac{\lambda}{2}$   
 ข. พิจารณาจากสมการ 10.5 จะได้

$$x = \frac{\lambda n L}{d}$$

แสดงว่าแถบสว่างอยู่ใกล้กันมากขึ้น (ระยะห่างระหว่างแถบสว่างกับแถบสว่างกลาง ( $x$ ) มีค่าลดลง) เมื่อระยะห่างระหว่างฉากกับสลิต ( $L$ ) มีค่าน้อยลง ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) น้อยลง หรือระยะห่างระหว่างช่อง ( $d$ ) เพิ่มขึ้น

4. AB เป็นสลิตคู่ เมื่อมีแสงที่มีความยาวคลื่น  $\lambda$  ตกกระทบสลิตคู่ ในแนวตั้งฉากภาพการแทรกสอดจะปรากฏที่ฉาก ถ้าระยะ  $AC = n\lambda$  และ  $BC = (n+3)\lambda$  เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนเต็ม ให้ OM เป็นแนวกลาง ภาพแทรกสอดที่ C เป็นแถบสว่างหรือแถบมืดอันดับที่เท่าใด



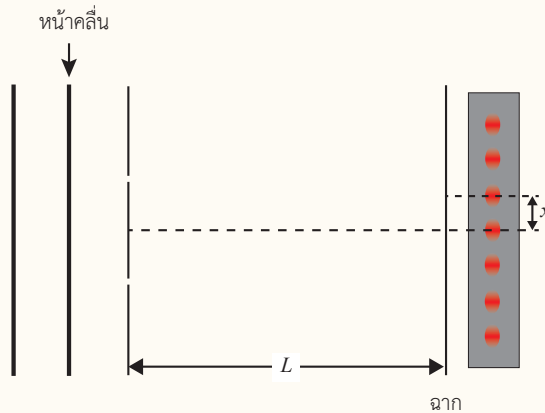
รูป สำหรับปัญหาข้อ 4

แนวคำตอบ ภาพแทรกสอดที่ C เป็นแถบสว่างที่ 3 เพราะ  $|BC - AC| = 3\lambda$



### เฉลยแบบฝึกหัด 10.2

1. แสงมีความยาวคลื่น  $5.9 \times 10^{-7}$  เมตร ตกกระทบบนตึ้งฉากในแนวสไลต์คู่ ถ้าสไลต์ทั้งสองอยู่ห่างกัน  $1.0 \times 10^{-3}$  เมตร ภาพการแทรกสอดบนฉากที่อยู่ห่างจากสไลต์คู่เป็นระยะ  $L$  ให้  $x$  คือ ระยะที่แถบสว่างแรกอยู่ห่างจากแถบสว่างกลาง ดังรูป



รูป ประกอบแบบฝึกหัดข้อ 1

ถ้า  $L$  มีค่า 1 เมตร  $x$  จะมีค่าเท่าใด

วิธีทำ ระยะห่างที่แถบสว่างอยู่ห่างจากแถบสว่างกลางคำนวณได้จากสมการ

$$d \sin \theta = n\lambda$$

พิจารณาค่า  $\sin \theta$

$$\sin \theta = \frac{n\lambda}{d}$$

$$\sin \theta = \frac{n(5.9 \times 10^{-7} \text{ m})}{(1.0 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$\sin \theta \sim 10^{-3}$$

เนื่องจากระยะห่างระหว่างช่องของสไลต์คู่มีค่ามากกว่าความยาวคลื่นมาก ๆ ( $d \gg \lambda$ ) ซึ่งทำให้ค่า  $\sin \theta$  มีค่าน้อยมาก ดังนั้น

$$\sin \theta \approx \tan \theta$$

$$\approx \frac{x}{L}$$

จาก 
$$d \frac{x}{L} = n\lambda$$

จะได้ 
$$x = \frac{n\lambda L}{d}$$

$$x = \frac{(1)(5.9 \times 10^{-7} \text{ m})(1 \text{ m})}{(1.0 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$x = 5.9 \times 10^{-4} \text{ m}$$

**หมายเหตุ** หากไม่ทำการประมาณค่า  $\sin \theta$  สามารถแสดงวิธีทำได้ดังนี้

จาก 
$$d \sin \theta = n\lambda$$

จากรูป 
$$\sin \theta = \frac{x}{\sqrt{L^2 + x^2}}$$

ดังนั้น 
$$d \frac{x}{\sqrt{L^2 + x^2}} = n\lambda$$

จะได้ 
$$L = x \sqrt{\frac{d^2}{n^2 \lambda^2} - 1}$$

แทนค่า 
$$(1 \text{ m}) = x \sqrt{\frac{(1.0 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{1^2 (5.9 \times 10^{-7})^2} - 1}$$

$$(5.9 \times 10^{-4} \text{ m}) = x \sqrt{1 - (5.9)^2 \times 10^{-8}}$$

เนื่องจาก  $(5.9)^2 \times 10^{-8}$  เข้าใกล้ศูนย์ จะได้

$$x = 5.9 \times 10^{-4} \text{ m}$$

จะเห็นว่าทั้งสองวิธีหากไม่ต้องการความละเอียดมากนัก จะได้คำตอบที่เท่ากัน

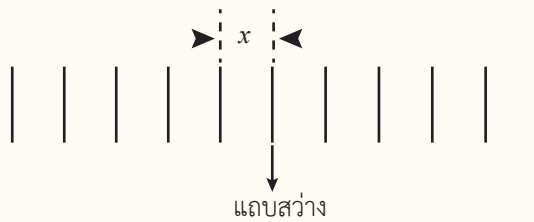
**ตอบ**  $x$  มีค่า  $5.9 \times 10^{-4}$  เมตร

2. เส้นทึบข้างล่างแทนแถบสว่างของภาพแทรกสอดที่เกิดจากแสงที่มีความยาวคลื่น  $6.0 \times 10^{-7}$  เมตร เมื่อตกกระทบสลิตคู่ในแนวตั้งฉาก ถ้าสลิตทั้งสองอยู่ห่างกัน  $2.0 \times 10^{-5}$  เมตร และฉากรับภาพอยู่ห่างจากสลิต 2.0 เมตร

ก. ระยะ  $x$  มีค่าเท่าใด

ข. ถ้าระยะระหว่างสลิตกับฉากเพิ่มขึ้น ระยะ  $x$  จะเปลี่ยนแปลงอย่างไร

ค. ถ้าทำให้แหล่งกำเนิดแสงสว่างขึ้น ระยะ  $x$  จะเปลี่ยนแปลงอย่างไร



รูป ประกอบแบบฝึกหัดข้อ 2

**วิธีทำ** ก. ระยะ  $x$  คือระยะห่างระหว่างแถบสว่างอันดับที่ 1 กับแถบสว่างกลาง ซึ่งสำหรับสลิตคู่ ระยะห่างระหว่างแถบสว่างที่ติดกันจะห่างเท่ากันทุกคู่ พิจารณาระยะห่างแถบสว่างอันดับที่ 1 กับแถบสว่างกลาง

$$\text{จาก} \quad d \frac{x}{L} = n\lambda$$

$$\text{แทนค่า} \quad (2.0 \times 10^{-5} \text{ m}) \frac{x}{2 \text{ m}} = (1)(6.0 \times 10^{-7} \text{ m})$$

$$x = 6.0 \times 10^{-2} \text{ m}$$

**ตอบ** ระยะ  $x$  เท่ากับ  $6.0 \times 10^{-2} \text{ m}$

**วิธีทำ** ข. พิจารณา

$$\text{จาก} \quad d \frac{x}{L} = n\lambda$$

$$\text{จะได้} \quad x = \frac{n\lambda L}{d}$$

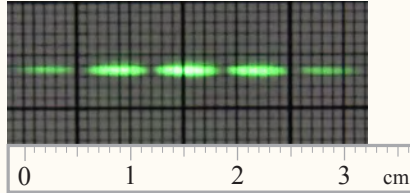
เนื่องจาก  $n$ ,  $\lambda$  และ  $d$  เป็นค่าคงตัว ดังนั้น  $x$  แปรผันตรงกับ  $L$  นั่นคือ ถ้า  $L$  มีค่าเพิ่มขึ้น  $x$  ก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

**ตอบ** ถ้าระยะระหว่างสลิตกับฉากเพิ่มขึ้น ระยะ  $x$  ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น

**วิธีทำ** ค. ถ้าทำให้แหล่งกำเนิดแสงสว่างขึ้น ระยะ  $x$  เปลี่ยนแปลงอย่างไร

**ตอบ** ระยะ  $x$  จะคงเดิม เพราะความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงไม่มีผลต่อการเลี้ยวเบน และแทรกสอด

3.



จากรูป ความกว้างของแถบสว่างกลางมีค่าเท่าใด

**แนวคำตอบ** ความกว้างของแถบสว่างกลางวัดจากตำแหน่งที่มีความสว่างน้อยที่สุด ถึงตำแหน่งที่มีความสว่างน้อยที่สุดที่อยู่สองข้างของแถบสว่างกลางจากรูปคือ 1.85 เซนติเมตร และ 1.20 เซนติเมตร ดังนั้น ความกว้างของแถบสว่างกลางมีค่า  $1.85 - 1.20 = 0.65$  เซนติเมตร

### 10.3 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว

#### จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยวที่มีความกว้างขนาดต่าง ๆ
- คำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. แถบสว่างจะมีขนาดกว้างมากขึ้น เมื่อขนาดช่องสลิตมีความกว้างเพิ่มขึ้น	1. แถบสว่างจะมีความกว้างมากขึ้น เมื่อขนาดของช่องสลิตมีความกว้างลดลง
2. แถบมืดที่เกิดจากสลิตเดี่ยวคำนวณได้จากสมการ $d \sin \theta = \left(n - \frac{1}{2}\right) \lambda$	2. แถบมืดที่เกิดจากสลิตเดี่ยวคำนวณได้จากสมการ $a \sin \theta = n \lambda$ เมื่อ $n, 1, 2, 3, \dots$

## แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 4 และ 5 หัวข้อ 10.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 10.3 โดยครูนำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับ การเลี้ยวเบนและการแทรกสอดของคลื่นผิวน้ำที่ผ่านช่องเดี่ยวตามที่ได้เรียนมาในบทที่ 9 จากนั้นใช้คำถามว่า หากฉายแสงผ่านสลิตเดี่ยว ลวดลายการแทรกสอดที่เกิดขึ้นบนฉากรจะมีลักษณะเป็นอย่างไรให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วให้นักเรียนทำกิจกรรม 10.2



## กิจกรรม 10.2 การเลี้ยวเบนของแสง

### จุดประสงค์

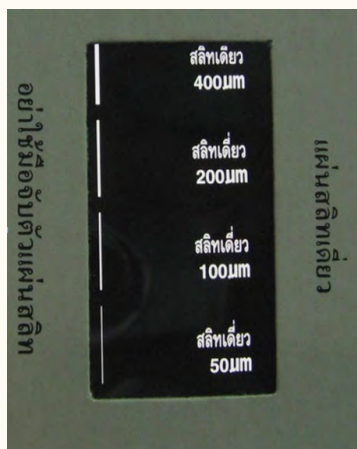
สังเกตและอธิบายรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยวที่มีความกว้างขนาดต่าง ๆ

เวลาที่ใช้ 50 นาที

### วัสดุและอุปกรณ์

- |                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| 1. เลเซอร์พอยเตอร์ชนิดสีแดง | 1 อัน     |
| 2. สลิตเดี่ยว               | 1 แผ่น    |
| 3. ไม้เมตร                  | 1 อัน     |
| 4. แท่นยึด                  | 4 ชุด     |
| 5. ฉาก                      | 1 แผ่น    |
| 6. อุปกรณ์บันทึกภาพ         | 1 เครื่อง |

### แนะนำก่อนทำกิจกรรม



รูป แผ่นสลิตเดี่ยว

1. ตรวจสอบสลิตเดี่ยว ควรมีความกว้างของช่อง 50 100 200 และ 400 ไมโครเมตร
2. ควรเน้นวิธีการสังเกตความกว้างของแถบสว่างว่า วัดระยะห่างระหว่างตำแหน่งมืด (ความสว่างน้อยที่สุด) สองข้างของแถบสว่างนั้น
3. ย้ำให้นักเรียนระวังอันตรายของแสงเลเซอร์

### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม



50 ไมโครเมตร



100 ไมโครเมตร



200 ไมโครเมตร

รูป แถบสว่างและแถบมืดจากสลิตเดี่ยวที่มีความกว้างขนาดต่าง ๆ



### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ขนาดแถบสว่างที่ปรากฏบนฉากเปรียบเทียบกับขนาดของสลิตเดี่ยว เป็นอย่างไร  
**แนวคำตอบ** ขนาดแถบสว่างที่ปรากฏบนฉากมีขนาดกว้างกว่าความกว้างของสลิตเดี่ยว
- ภาพบนฉากในกรณีที่ใช้สลิตเดี่ยวที่มีความกว้างต่างกัน มีลักษณะอย่างไร และเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร  
**แนวคำตอบ** ภาพบนฉากมีลักษณะเหมือนกันคือ ปรากฏแถบสว่างและแถบมืดสลับกันบนฉาก โดยแถบสว่างกลาง มีความสว่างและความกว้างมากกว่าแถบสว่างที่อยู่ถัดไปทั้งสองด้าน แตกต่างกันคือ เมื่อความกว้างของสลิตเดี่ยวมากขึ้น แถบสว่างจะมีความกว้างน้อยลง และอยู่ชิดกันมากขึ้น
- แถบสว่างและแถบมืดที่ปรากฏบนฉากเหมือนหรือแตกต่างจากสลิตคู่อย่างไร  
**แนวคำตอบ** แตกต่างกัน โดยแถบสว่างกลางซึ่งเกิดจากสลิตเดี่ยวมีความกว้างมากกว่าแถบสว่างอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด แต่แถบสว่างที่เกิดจากสลิตคู่มิขนาดความกว้างเท่า ๆ กัน



### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรม 10.2 จนได้ข้อสรุปดังนี้

1. เมื่อแสงเลเซอร์ผ่านสลิตเดี่ยว ปรากฏแถบสว่างกลางกว้างมากกว่าความกว้างของสลิต แสดงว่าแสงมีการเลี้ยวเบน
2. ลวดลายการแทรกสอดที่ปรากฏเมื่อแสงเลเซอร์ผ่านสลิตเดี่ยวนั้น แถบสว่างกลางจะมี ความกว้างมากกว่าแถบสว่างอื่น เมื่อเปลี่ยนสลิตโดยให้ความกว้างของสลิตมีขนาด มากขึ้น แถบสว่างที่ปรากฏจะมีความกว้างลดลง

ครูนำอภิปรายเรื่องหลักการของฮอยเกนส์ และการพิจารณาแถบมืดซึ่งเกิดจากแสงผ่านสลิตเดี่ยว ตามหนังสือเรียน จนได้สมการ (10.7) และ (10.8) จากนั้น ให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 10.5-10.6 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

**หมายเหตุ** การศึกษาเกี่ยวกับการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว ในระดับนี้จะพิจารณาเฉพาะ สมการสำหรับตำแหน่งของแถบมืดเท่านั้น

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 134 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียน แสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



### แนวคำตอบชวนคิด

เพราะเหตุใดการเลี้ยวเบนของแสงจึงพบเห็นได้ยาก แต่การเลี้ยวเบนของคลื่นน้ำจึงพบได้ทั่วไป

**แนวคำตอบ** คลื่นที่มีความยาวคลื่นมากเกิดการเลี้ยวเบนได้มากกว่าคลื่นที่มีความยาวคลื่นน้อย คลื่นน้ำมีความยาวคลื่นมากกว่าความยาวคลื่นของแสงมาก จึงพบการเลี้ยวเบนของคลื่นน้ำในธรรมชาติ ง่ายกว่าคลื่นแสง

ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจข้อ 1 และทำแบบฝึกหัดข้อ 1 โดยอาจมีการอภิปรายและเฉลยคำตอบพร้อมกัน

### แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการเลี้ยวเบนของแสงเมื่อผ่านสลิตเดี่ยวที่มีความกว้างต่าง ๆ จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 10.3 และแบบฝึกหัด 10.3
2. ทักษะการสังเกต การทดลอง การวัดและการตีความหมายและลงข้อสรุป จากการอภิปรายร่วมกัน การทำกิจกรรม และการบันทึกผลการทำกิจกรรม 10.2
3. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำโจทย์และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสลิตเดี่ยว
4. จิตวิทยาศาสตร์ความซื่อสัตย์ จากรายงานผลการทดลอง และความมุ่งมั่นอดทนจากการทดลอง และการอภิปรายร่วมกัน



### แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 10.3

1. ในการทดลองเพื่อหาความยาวคลื่นของเลเซอร์โดยใช้เลเซอร์ฉายผ่านสลิตเดี่ยวที่ทราบความกว้างของช่อง เลเซอร์จะเลี้ยวเบนที่สลิต แล้วไปแทรกสอดบนฉาก พบว่า จุดสว่างที่เกิดขึ้นอยู่ชิดกันมากทำให้การวัดระยะห่างมีความคลาดเคลื่อนมาก ความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อนสูง จะทำอย่างไรให้ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

**แนวคำตอบ** เพิ่มระยะทางระหว่างสลิตกับฉากให้มากขึ้น จะทำให้จุดสว่างบนฉากห่างกันมากขึ้นตามสมการ

$$x = \frac{n\lambda L}{d}$$

ทำให้วัดค่า  $x$  และ  $L$  ได้คลาดเคลื่อนน้อยลง เป็นผลให้ความยาวคลื่นที่คำนวณได้จะมีความคลาดเคลื่อนลดลง



### เฉลยแบบฝึกหัด 10.3

1. แสงมีความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ตกกระทบสลิตเดี่ยวที่มีความกว้างของช่อง 150 ไมโครเมตร ในแนวตั้งฉาก ภาพการเลี้ยวเบนจะปรากฏบนฉากรที่อยู่ห่างออกไป 1.30 เมตร

ก. ขนาดของมุมที่แถบมืดอันดับที่ 1 เบนจากเส้นแนวกลาง

ข. แถบสว่างกลางกว้างเท่าใด

วิธีทำ

ก. ขนาดของมุมที่แถบมืดอันดับที่ 1 เบนจากเส้นแนวกลาง หาได้ดังนี้

จาก

$$a \sin \theta = n\lambda$$

$$(150 \times 10^{-6} \text{ m}) \sin \theta = (1)(500 \times 10^{-9} \text{ m})$$

$$\sin \theta = 0.0033$$

$$\theta = 0.19^\circ$$

ตอบ ขนาดของมุมที่แถบมืดอันดับที่ 1 เบนจากเส้นแนวกลาง 0.19 องศา

ข. หาความกว้างแถบสว่างกลางได้ดังนี้

หาแถบมืดแรกนับจากแนวกลางจาก

$$a \frac{x}{L} = \lambda$$

$$\text{ดังนั้น} \quad 0.015 \times 10^{-2} \text{ m} \times \frac{x}{1.30 \text{ m}} = 5.0 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$x = \frac{5.0 \times 10^{-7} \text{ m} \times 1.30 \text{ m}}{0.015 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

$$x = 4.30 \times 10^{-3} \text{ m}$$

แถบสว่างกลางจะอยู่ระหว่างแถบมืดอันดับที่ 1 ทั้งสองข้าง

ดังนั้น

$$\text{แถบสว่างกลางกว้าง} = 2x$$

$$= 2 \times 4.3 \times 10^{-3} \text{ m}$$

ตอบ แถบสว่างกลางกว้างเท่ากับ  $8.6 \times 10^{-3}$  เมตร

2. ฉายแสงความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ตกกระทบบนตั้งฉากกับแผ่นสลิตเดี่ยวที่กว้าง 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ห่างจากฉาก 2.0 เมตร ตำแหน่งมืดที่ 2 อยู่ห่างจากเส้นแนวกลางเป็นระยะเท่าใดในหน่วย มิลลิเมตร

**วิธีทำ** ระยะห่างของแถบมืดจากเส้นแนวกลางคำนวณได้จาก

$$a \frac{x}{L} = n\lambda$$

$$\frac{(0.3 \times 10^{-3} \text{ m}) x}{(2.0 \text{ m})} = (2)(600 \times 10^{-9} \text{ m})$$

$$x = \frac{2(600 \times 10^{-9} \text{ m})(2.0 \text{ m})}{(0.3 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$= 8 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$x = 8 \text{ mm}$$

**ตอบ** ตำแหน่งมืดที่ 2 อยู่ห่างจากเส้นแนวกลางเท่ากับ 8 มิลลิเมตร

## 10.4 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง
2. กำหนดหาความยาวคลื่นแสงและปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยใช้เกรตติง

### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เกรตติงสามารถแยกแสงขาวออกเป็นแสงสีต่าง ๆ เกิดจากพฤติกรรมของคลื่นเดียวกันกับการกระจายแสงของปริซึม	1. การกระจายแสงของปริซึม เกิดจากพฤติกรรมหักเหของแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ส่วนการแยกแสงขาวเป็นสีต่าง ๆ เมื่อผ่านเกรตติง เกิดจากพฤติกรรมการเลี้ยวเบนและการแทรกสอดของแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน
2. แสงขาวที่ผ่านเกรตติง จะแยกเป็นแสงสีต่าง ๆ ได้แก่ สีม่วง สีนํ้าเงิน สีเขียว สีเหลือง สีแดง และสีแดง โดยแสงสีม่วงคือแถบสว่างอันดับที่ 1 และแสงสีแดงคือแถบสว่างอันดับที่ 6	2. แสงขาวที่ผ่านเกรตติง จะแยกเป็นแสงสีต่าง ๆ และปรากฏเป็นกลุ่ม ๆ กลุ่มของแสงสีที่อยู่ใกล้ตำแหน่งแนวสว่างกลางมากที่สุดคือ แถบสว่างอันดับที่ 1

### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 6 และ 7 หัวข้อ 10.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 10.4 โดยครูนำนักเรียนอภิปรายการเกิดแถบมืดแถบสว่างจากสลิตคู่ และสลิตเดี่ยว จากนั้นตั้งคำถามว่า ถ้าสลิตมีจำนวนช่องมากกว่า 2 ช่อง ลวดลายการแทรกสอดเป็นอย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

อภิปรายต่อเกี่ยวกับเกรตติงและการหาระยะห่างระหว่างช่องและที่มาของสมการ (10.9) ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นให้นักเรียนมองแสงหลอดไฟผ่านเกรตติง แล้วบอกสิ่งที่สังเกตเห็นและอภิปรายร่วมกัน จนสรุปได้ว่าแสงขาวเมื่อผ่านเกรตติงจะเกิดแถบสว่างของแสงสีต่าง ๆ ณ ตำแหน่งต่างกัน และสามารถนำมาหาความยาวคลื่นของแสงแต่ละสีได้ ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 10.3 การทดลองหาความยาวคลื่นของแสงในหนังสือเรียน



### กิจกรรม 10.3 การทดลองหาความยาวคลื่นของแสง

#### จุดประสงค์

1. หาความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์พอยเตอร์สีแดงโดยใช้เกรตติง
2. หาความยาวคลื่นของแสงสีต่างๆ โดยใช้เกรตติง

เวลาที่ใช้ 50 นาที

#### วัสดุและอุปกรณ์

- |                     |   |         |
|---------------------|---|---------|
| 1. กล้องแสง         | 1 | กล้อง   |
| 2. หม้อแปลงโวลต์ต่ำ | 1 | เครื่อง |
| 3. เกรตติง          | 1 | แผ่น    |
| 4. ไม้เมตร          | 1 | อัน     |
| 5. เลเซอร์พอยเตอร์  | 1 | อัน     |
| 6. กระดาษเทาขาว     | 1 | แผ่น    |
| 7. แท่นยึด          | 2 | ชุด     |

#### ตอนที่ 1 การหาความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์

##### แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. การจัดตั้งฉากอาจติดกระดาษเทาขาวกับผนังห้องเรียนโดยฉากต้องอยู่ในแนวตั้ง
2. ยึดเลเซอร์พอยเตอร์ให้อยู่ในแนวระดับเดียวกันกับเกรตติง โดยยึดด้วยแท่นยึด

##### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

#### ตอนที่ 1



ระยะห่างของแถบสว่างที่ 1 จากแถบสว่างกลาง			ความยาวคลื่น (nm)
ทางด้านซ้าย (cm)	ทางด้านขวา (cm)	ระยะเฉลี่ย (cm)	
18.6	18.5	18.55	656



### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- เลเซอร์ที่ใช้ในการทดลองมีความยาวคลื่นเท่าใด

#### แนวคำตอบ

หาความยาวคลื่นได้จากสมการ

$$d \left( \frac{x}{\sqrt{L^2 + x^2}} \right) = n\lambda$$

แผ่นเกรตติงที่ใช้ทดลองเป็นชนิด 5300 ช่อง/เซนติเมตร

$$\begin{aligned} d &= \frac{1 \text{ cm}}{5300 \text{ ช่อง}} \\ &= \frac{10^{-2} \text{ m}}{5300 \text{ ช่อง}} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\left( \frac{10^{-2}}{5300} \text{ m} \right) \left( \frac{18.55 \text{ cm}}{\sqrt{(50 \text{ cm})^2 + (18.55 \text{ cm})^2}} \right) = (1)(\lambda)$$

$$\left( \frac{10^{-2}}{5300} \text{ m} \right) \left( \frac{18.55 \times 10^{-2} \text{ m}}{(\sqrt{50^2 + 18.55^2}) \times 10^{-2} \text{ m}} \right) = \lambda$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{18.55 \times 10^{-4}}{53 \times 53.33} \text{ m} \\ &= 656.29 \times 10^{-9} \\ \lambda &\approx 656 \text{ nm} \end{aligned}$$

แสงเลเซอร์ที่ใช้ในการทดลองมีความยาวคลื่นประมาณ 656 นาโนเมตร

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

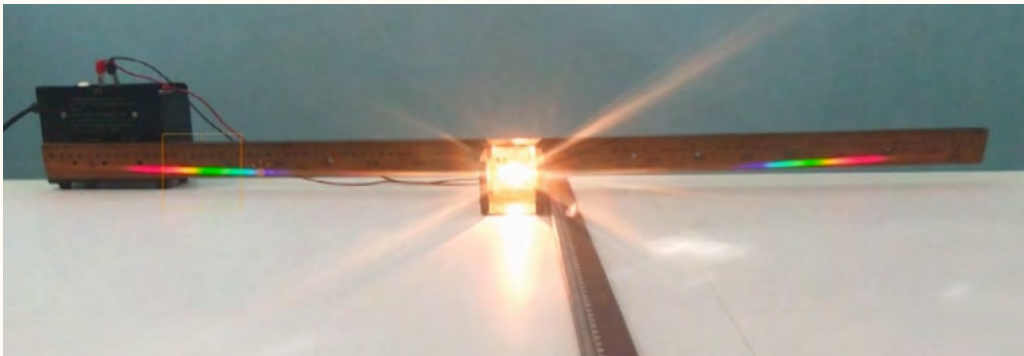
แสงจากเลเซอร์เป็นแสงที่มีความถี่เดียว เมื่อให้แสงเลเซอร์ผ่านเกรตติง แสงเลเซอร์จะเกิดการเลี้ยวเบนและไปแทรกสอดแบบเสริมกันที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนฉาก เพียงสี่เดียว

## ตอนที่ 2

### แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. จัดไส้หลอดไฟของกล่องแสงให้อยู่ในแนวตั้ง
2. จัดให้แผ่นเกรตติงอยู่ในระดับเดียวกับไส้หลอด และมีระยะนาบอยู่ในแนวตั้ง
3. การใช้เกรตติงจะต้องจับที่กรอบเท่านั้น ห้ามแตะแผ่นเกรตติง

### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม



แถบสี	ระยะทางซ้ายมือ		ระยะทางขวามือ		ระยะ $x$ เฉลี่ย $((x_{\text{ซ้าย}} + x_{\text{ขวา}})/2)$ (cm)	ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) (nm)
	ตำแหน่ง	$x$ (cm)	ตำแหน่ง	$x$ (cm)		
ม่วง	27.0	23.0	73.5	23.5	23.3	428
น้ำเงิน	24.0	26.0	76.5	26.5	26.5	483
เขียว	21.5	28.5	79.0	29.0	28.8	522
เหลือง	18.5	31.5	81.5	31.5	31.5	567
แสด	17.0	33.0	83.0	33.0	33.0	591
แดง	13.0	37.0	87.0	37.0	37.0	655





### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- แสงสีใดมีการเบนจากเส้นแนวกลางมากที่สุด และน้อยที่สุด  
แนวคำตอบ แสงสีแดงเบนจากแนวกลางมากที่สุด แสงสีม่วงเบนจากแนวกลางน้อยที่สุด
- ความยาวคลื่นของแสงแต่ละสีมีค่าเท่าใด  
แนวคำตอบ

แสงสี	ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) (nm)
ม่วง	428
น้ำเงิน	483
เขียว	522
เหลือง	567
แสด	591
แดง	655

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

เมื่อมองแสงขาวผ่านเกรตติงจะเห็นเป็นแสงสีต่าง ๆ โดยแสงสีแดงจะเบนออกจากแนวกลางมากที่สุด และแสงสีม่วงเบนจากแนวกลางน้อยที่สุด แสงสีต่าง ๆ มีความยาวคลื่นเรียงจากสั้นที่สุดไปถึงความยาวคลื่นยาวที่สุดดังนี้ สีม่วง สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีแสด และสีแดง

### ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับครู

ในกรณีที่ผลการทดลองของนักเรียนแต่ละกลุ่มมีค่าไม่เท่ากันนั้นอาจเป็นเพราะการอ่านค่าตัวเลขจากไม้เมตรเป็นค่าประมาณตรงกลางของแถบสี และแถบสีแต่ละสีมีขอบซ้อนกันทำให้การอ่านค่าตัวเลขคลาดเคลื่อนได้เช่นกัน ให้นำผลที่ได้เทียบกับความยาวคลื่นของแสงสีต่าง ๆ ในตาราง 10.1 ในหนังสือเรียน ถ้าอยู่ช่วงตามตารางถือว่ามีความแม่นยำได้ หากไม่อยู่ในช่วงตามตาราง ควรอภิปราย

เพื่อหาข้อผิดพลาด และการกำหนดนิยามปฏิบัติการก่อนการทดลองว่า ตำแหน่งของแถบสี หมายถึงอะไรให้ตรงกันทุกคน

ครูนำอภิปรายว่า แถบสีต่าง ๆ ที่เห็นจากการมองผ่านเกรตติงนั้น เรียกว่าสเปกตรัมของแสงขาว แสดงว่าแสงขาวประกอบด้วยแสงสีต่าง ๆ ครูชี้ให้เห็นว่าเราสังเกตเห็นและบอกตำแหน่งของแถบสว่างได้ เมื่อระยะห่างระหว่างช่องของเกรตติง และระยะห่างระหว่างเกรตติงกับฉาก  $L$  มีค่าเหมาะสม เช่น จากกิจกรรม 10.3 เราใช้ค่า  $d$  เท่ากับ  $\frac{10^{-2}}{5300} \text{ m} = 1.8 \times 10^{-6} \cong 10^{-6}$  เมตร และค่า  $L$  เท่ากับ 1 เมตร ปรากฏว่า สามารถมองเห็นสีต่างๆ ของแถบสว่างแยกออกจากกัน และสามารถบอกตำแหน่งของแสงสีนั้น ๆ ได้ ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $d$  และความยาวคลื่นของแสง ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับขนาด  $10^{-7}$  เมตรได้

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{10^{-6}}{10^{-7}}$$

ดังนั้น

$$d = 10\lambda$$

จากสมการ  $d \sin \theta = n\lambda$  สำหรับแถบสว่างที่ 1 ถ้า  $d$  มีค่ามากขึ้น เช่น  $100\lambda$  จะพบว่า  $x$  มีค่าเท่ากับ 0.01 เมตร ในกรณีนี้เราจะบอกตำแหน่งของแถบสว่างได้ยากและผิดพลาดได้ง่าย ดังนั้นจะเห็นว่า เมื่อ  $d$  มีค่ามากขึ้นเรื่อย ๆ แถบสว่างแต่ละแถบจะอยู่ชิดกันมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถสังเกตภาพการแทรกสอดได้ชัดเจน แสดงว่า เกรตติงที่ใช้นั้น ควรมีจำนวนช่องมาก ๆ เพื่อให้ระยะ  $d$  มีค่าน้อย จะทำให้แถบแสงสีของภาพแทรกสอดแยกออกจากกันชัดเจน สะดวกในการวัดระยะทางต่าง ๆ

ให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 10.7 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 10.4 และทำแบบฝึกหัด 10.4 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

### แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติงจากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 10.4 และแบบฝึกหัด 10.4
2. ทักษะการสังเกต การทดลอง การวัดและการตีความหมายและลงข้อสรุป จากการอภิปรายร่วมกัน การทำกิจกรรม และการบันทึกผลการทำกิจกรรม 10.3
3. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำโจทย์และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเกรตติง
4. จิตวิทยาศาสตร์ความซื่อสัตย์ จากรายงานผลการทดลอง และความมุ่งมั่นอดทนจากการทดลองและการอภิปรายร่วมกัน



### แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 10.4

1. แสงขาวตกกระทบเกรตตติงในแนวตั้งฉาก และเกิดภาพแทรกสอดบนฉาก มุมที่แสงแต่ละสีเบนไปจากแนวกลางขึ้นกับความยาวคลื่นของแสงหรือไม่ อย่างไร

**แนวคำตอบ** มุมที่แสงแต่ละสีเบนจากแนวกลางขึ้นกับความยาวคลื่นแสง โดยในแถบสว่างลำดับเดียวกัน แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นจะทำมุม  $\theta$  กับเส้นแนวกลางน้อยกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นยาว โดยพิจารณาจาก  $d \sin \theta = n\lambda$

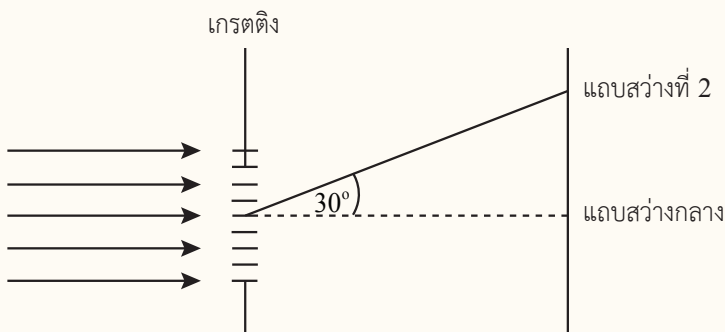
2. อธิบายภาพที่ปรากฏบนฉากเมื่อฉายแสงขาวผ่านเกรตตติง

**แนวคำตอบ** เมื่อฉายแสงขาวผ่านเกรตตติง จะปรากฏแสงสีต่าง ๆ บนฉาก เรียงตามความยาวคลื่น โดยแสงสีแดงจะเบนออกจากเส้นแนวกลางมากที่สุด และแสงสีม่วงจะเบนจากเส้นแนวกลางน้อยที่สุด



### เฉลยแบบฝึกหัด 10.4

1. แสงความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร เมื่อผ่านเกรตตติง แถบสว่างอันดับที่ 2 เบนไปจากแนวแถบสว่างกลางเป็นมุม 30 องศา ดังรูป



จงหาจำนวนช่องต่อเซนติเมตรของเกรตตติงที่ใช้

**วิธีทำ** หาระยะห่างระหว่างช่องเกรตตติงจาก

$$d \sin \theta = n\lambda$$

แถบสว่างอันดับ 2 แทน  $n$  เท่ากับ 2 จะได้

$$d \sin 30^\circ = (2)\lambda$$

ให้เกรตติงที่ใช้มีจำนวนช่อง  $N$  ต่อความยาว จะได้ระยะห่างระหว่างช่อง

$$d = \frac{1}{N}$$

จะได้ 
$$\left(\frac{1}{N}\right)\left(\frac{1}{2}\right) = 2(625 \times 10^{-9} \text{ m})$$

$$N = 400000 \text{ m}^{-1}$$

$$N = 4000 \text{ cm}^{-1}$$

**ตอบ** จำนวนช่องต่อเซนติเมตรของเกรตติงที่ใช้เท่ากับ 4000 ช่องต่อเซนติเมตร

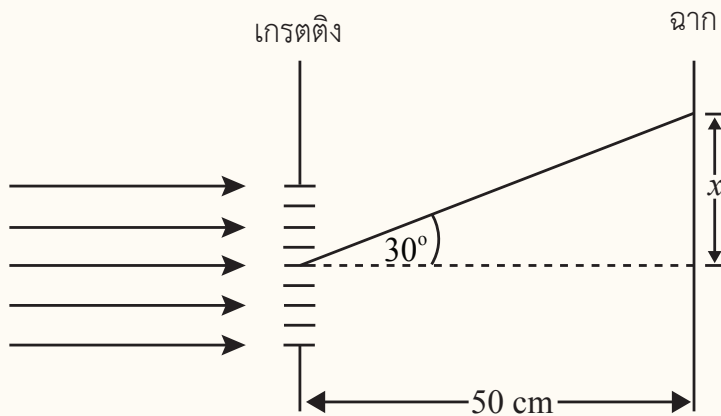
2. ฉายแสงความยาวคลื่นเดี่ยวตกกระทบในแนวตั้งฉากกับเกรตติงที่มีจำนวนช่อง 10000 ช่องต่อเซนติเมตร เกิดแถบสว่างที่ 1 ทำมุม 30 องศากับแนวกลาง ถ้าเกรตติงอยู่ห่างจากฉาก 50 เซนติเมตร

ก. แถบสว่างที่ 1 อยู่ห่างจากแนวกลางเป็นระยะเท่าใดในหน่วยเซนติเมตร

ข. ความยาวคลื่นของแสงนี้มีค่าเท่าใดในหน่วยนาโนเมตร

**วิธีทำ**

- ก. ให้แถบสว่างที่ 1 อยู่ห่างจากแนวกลางของเกรตติงเป็นระยะ  $x$  ดังรูป



โดยพิจารณาจากรูปจะได้

$$x = (0.5 \text{ m})(\tan 30^\circ)$$

$$= 0.29 \text{ m}$$

$$= 29 \text{ cm}$$

ข. หาความยาวคลื่นจากเงื่อนไขการเกิดแถบสว่าง  $d \sin \theta = n\lambda$  โดยแทน  $n = 1$  จะได้ว่า

$$\begin{aligned}d \sin \theta &= n\lambda \\&= \left( \frac{10^{-2}}{10^4} \text{ m} \right) \sin 30^\circ \\&= (10^{-6} \text{ m}) \left( \frac{1}{2} \right) \\&= 500 \times 10^{-9} \text{ m} \\&= 500 \text{ nm}\end{aligned}$$

**ตอบ** ความยาวคลื่นของแสงเท่ากับ 500 นาโนเมตร

## เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 10



### คำถาม

1. เพราะเหตุใดการเลี้ยวเบนของแสงจึงพบเห็นได้ยาก แต่การเลี้ยวเบนของเสียงจึงพบได้ทั่วไป  
**แนวคำตอบ** เสียงที่เราได้ยินมีความถี่ประมาณ 500-1000 เฮิรตซ์ ซึ่งที่อุณหภูมิห้องมีความยาวคลื่นประมาณ 70-35 เซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดของสิ่งก่อสร้างในชีวิตประจำวัน เช่น ความกว้างของหน้าต่าง ประตูหรือช่องระบายอากาศ จึงมักได้ยินเสียงที่เลี้ยวเบนส่วนแสงที่มองเห็นมีความยาวคลื่นประมาณ  $400 \times 10^{-7} - 700 \times 10^{-7}$  เซนติเมตร (400-700 นาโนเมตร) ซึ่งมีค่าน้อยมาก การเลี้ยวเบนรอบขอบหรือสันใด ๆ เช่น ขอบหน้าต่างจึงน้อยมาก และสังเกตเห็นยาก

2. คลื่นแสงจากสองแหล่งกำเนิดแสงต้องมีผลต่างระยะทางเป็นเท่าไรจึงจะทำให้การแทรกสอดที่เกิดขึ้นเป็นแบบ

ก) เสริมกัน

ข) หักล้างกัน

#### แนวคำตอบ

ก. การแทรกสอดแบบเสริมกันจะเกิดขึ้นเมื่อความต่างระยะทาง ( $\Delta r$ ) ของคลื่นแสงจากสองแหล่งกำเนิดมีค่าเป็น 0 หรือจำนวนเท่าของความยาวคลื่น

$$\Delta r = n\lambda \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

ข. การแทรกสอดแบบหักล้างกันจะเกิดขึ้นเมื่อความต่างระยะทางมีค่าเป็นจำนวนครึ่งเท่าของความยาวคลื่น

$$\Delta r = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

3. เราสามารถยกมือบังแสงแดดไม่ให้มาเข้าตาเราได้ ทำไมเราไม่สามารถใช้วิธีเดียวกันนี้ป้องกันไม่ให้เสียงมาเข้าหูเราได้

#### แนวคำตอบ

เสียงที่เราได้ยินมีความถี่ประมาณ 500-1000 เฮิรตซ์ ซึ่งที่อุณหภูมิห้องมีความยาวคลื่นประมาณ 70-35 เซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดของมือ เสียงจึงสามารถเลี้ยวเบนผ่านมือเข้าสู่หูเราได้ แต่แสงมีความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ซึ่งเป็นขนาดเล็กมากเทียบกับมือ จึงเลี้ยวเบนได้น้อย

4. เมื่อฉายแสงผ่านสลิตเดี่ยว ถ้าความกว้างของช่องสลิตแคบลง ความกว้างของแถบสว่างกลางจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เพราะอะไร

#### แนวคำตอบ

เมื่อความกว้างของช่องสลิต ( $a$ ) แคบลง ความกว้างของแถบสว่างกลางจะมีความกว้างมากขึ้น ซึ่งความกว้างของแถบสว่างกลางสามารถคำนวณได้จากระยะห่างระหว่างแถบมืดอันดับที่ 1 ทางด้านซ้ายและขวาของแถบสว่างกลาง ( $x$ )

พิจารณาหาระยะห่างของแถบมืดอันดับที่ 1 ได้จากสมการ

$$a \frac{x}{L} = (1) \lambda$$

$$x = \frac{\lambda L}{a}$$

สมการข้างต้นแสดงให้เห็นว่า เมื่อความกว้างของช่องสลิตแคบลง (มีค่าลดลง) ระยะห่างของแถบมืดอันดับที่ 1 จะมีค่ามากขึ้น

5. วิธีการสังเกตการเลี้ยวเบนของแสงที่ง่ายที่สุดคือ การมองไปยังแหล่งกำเนิดแสงผ่านช่องระหว่างนิ้วมือที่ชิดกัน วิธีดังกล่าวจะเกิดผลอย่างไร เพราะอะไร

#### แนวคำตอบ

สังเกตเห็นการเลี้ยวเบนของแสงผ่านช่องระหว่างนิ้วมือที่ชิดกัน โดยจะเห็นลวดลายการแทรกสอดของแสงคล้ายกับการลวดลายการแทรกสอดของแสงที่ผ่านสลิตเดี่ยว เพราะระยะห่างระหว่างช่องนิ้วมือที่ชิดกันทำหน้าที่เหมือนสลิตเดี่ยว

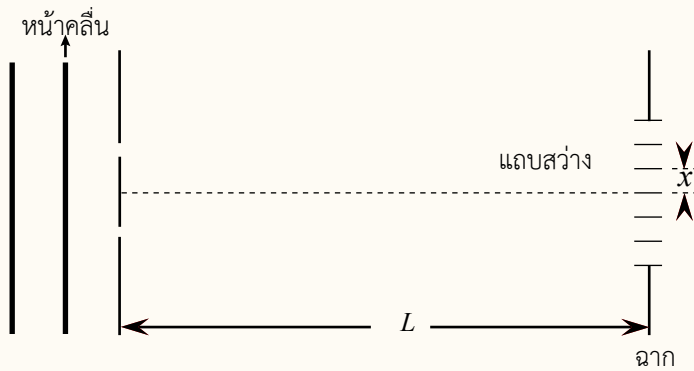
6. เสียงสามารถเลี้ยวเบนผ่านขอบของมุมอาคารได้ ทำให้ผู้ฟังที่อยู่อีกด้านหนึ่งของอาคารสามารถได้ยินเสียงได้ เพราะเหตุใดแสงจึงไม่เกิดปรากฏการณ์เช่นนั้น

#### แนวคำตอบ

เสียงที่เราได้ยินมีความถี่ประมาณ 500-1000 เฮิรตซ์ ที่อุณหภูมิห้องมีความยาวคลื่นประมาณ 70-35 เซนติเมตร ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับสิ่งก่อสร้างในชีวิตประจำวัน ในขณะที่แสงมีความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าสิ่งก่อสร้างมาก ดังนั้นเสียงจึงเลี้ยวเบนผ่านขอบของมุมอาคารได้ดีกว่าแสง

## Ⓕ | ปัญหา

1. แสงมีความยาวคลื่น  $6.5 \times 10^{-7}$  เมตร ตกกระทบบนตึกฉากในแนวสลิตคู่ ถ้าสลิตทั้งสองอยู่ห่างกัน  $2.5 \times 10^{-4}$  เมตร ภาพการแทรกสอดบนฉากที่อยู่ห่างจากสลิตคู่เป็นระยะ  $L$  ให้  $x$  คือ ระยะที่แถบสว่างแรกอยู่ห่างจากแถบสว่างกลาง



รูป ประกอบปัญหาข้อ 1

ถ้า  $L$  มีค่า 1 เมตร  $x$  จะมีค่าเท่าใด

วิธีทำ ใช้เงื่อนไขการเกิดการแทรกสอดแบบเสริมได้แถบสว่าง จากสมการ

$$d \frac{x}{L} = n\lambda$$

$$(2.5 \times 10^{-4} \text{ m}) \frac{x}{(1 \text{ m})} = (1)(6.5 \times 10^{-7} \text{ m})$$

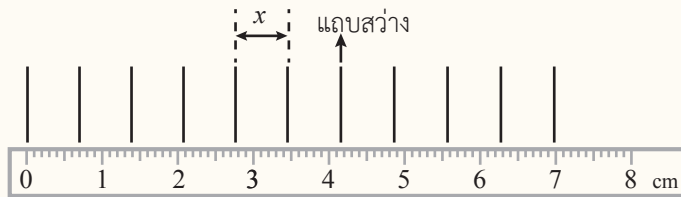
$$x = \frac{(1)(6.5 \times 10^{-7} \text{ m})(1 \text{ m})}{(2.5 \times 10^{-4} \text{ m})}$$

$$= 2.6 \times 10^{-3} \text{ m}$$

ตอบ  $x$  มีค่า  $2.6 \times 10^{-3}$  เมตร



2.



รูป ประกอบปัญหาข้อ 2

จากรูประยะห่างของแถบสว่างมีค่าเท่าใด

**วิธีทำ** จากรูป วัดระยะห่างจากแถบสว่างได้ 0.70 เซนติเมตร

**ตอบ** ระยะห่างของแถบสว่างมีค่า 0.70 เซนติเมตร

3. ในการทดลองหาความยาวคลื่นของแสงสีหนึ่ง โดยฉายแสงตั้งฉากกับแผ่นสลิตคู่ที่มีระยะห่างระหว่างสลิต 0.20 มิลลิเมตร เกิดการแทรกสอดของแสงบนฉาก ซึ่งห่างจากแผ่นสลิต 1.0 เมตร พบว่า แถบสว่างที่ 4 อยู่ห่างจากแนวกลาง 1.2 เซนติเมตร แสงนี้มีความยาวคลื่นเท่าใดในหน่วยนาโนเมตร

**วิธีทำ** ใช้เงื่อนไขการเกิดการแทรกสอดแบบเสริมได้แถบสว่าง จากสมการ

$$\frac{dx}{L} = n\lambda$$

สำหรับแถบสว่างที่ 4 แทน  $n$  เท่ากับ 4 จะได้

$$\frac{(0.20 \times 10^{-3} \text{ m})(1.2 \times 10^{-2} \text{ m})}{1.0 \text{ m}} = 4\lambda$$

$$\lambda = 600 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$\lambda = 600 \text{ nm}$$

**ตอบ** แสงมีความยาวคลื่นเท่ากับ 600 นาโนเมตร

4. แสงความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ส่องตั้งฉากกับสลิตคู่ ซึ่งมีระยะห่างระหว่างสลิต 0.5 มิลลิเมตร และอยู่ห่างจากฉาก 2 เมตร แถบสว่างถัดกันที่ปรากฏบนฉากห่างกันเท่าใดในหน่วยมิลลิเมตร

**วิธีทำ** ใช้เงื่อนไขในการเกิดแถบสว่างจากสมการ

$$\frac{dx}{L} = n\lambda$$

$$x = \frac{n\lambda L}{d}$$

หาระยะห่างระหว่างแถบสว่างติดกันบนฉากได้

$$\begin{aligned}\Delta x &= x_{n+1} - x_n \\ &= (n+1)\frac{\lambda L}{d} - \frac{n\lambda L}{d} \\ &= \frac{\lambda L}{d} \\ &= \frac{(500 \times 10^{-9} \text{ m})(2 \text{ m})}{0.5 \times 10^{-3} \text{ m}} \\ &= 2.0 \times 10^{-3} \text{ m} \\ \Delta x &= 2.0 \text{ mm}\end{aligned}$$

**ตอบ** แถบสว่างติดกันที่ปรากฏบนฉากห่างกันเท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร

5. ฉายแสงความยาวคลื่น 600 นาโนเมตรตั้งฉากกับสลิตคู่ เกิดการแทรกสอดของแสงบนฉากซึ่งห่างจากแผ่นสลิต 1.0 เมตร ถ้าวัดระยะห่างระหว่างแถบสว่าง 2 แถบติดกันได้ 5 มิลลิเมตร แผ่นสลิตนี้มีระยะห่างระหว่างสลิตเท่าใดในหน่วยไมโครเมตร

**วิธีทำ** ใช้เงื่อนไขการเกิดแถบสว่างจากสมการ

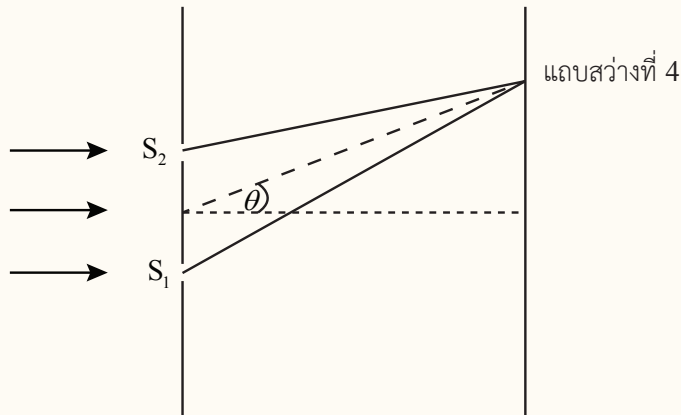
$$\frac{dx}{L} = n\lambda$$

หาระยะห่างระหว่างแถบสว่าง 2 แถบติดกันได้

$$\begin{aligned}\frac{d\Delta x}{L} &= \lambda \\ \frac{d(5 \times 10^{-3} \text{ m})}{1 \text{ m}} &= 600 \times 10^{-9} \text{ m} \\ d &= \frac{600 \times 10^{-9} \text{ m}}{5 \times 10^{-3}} \\ &= 120 \times 10^{-6} \text{ m} \\ d &= 120 \text{ } \mu\text{m}\end{aligned}$$

**ตอบ** แผ่นสลิตนี้มีระยะห่างระหว่างสลิตเท่ากับ 120 ไมโครเมตร

6. แสงความยาวคลื่นเดียวตกกระทบตั้งฉากกับสลิตคู่ที่ช่องสลิตอยู่ห่างกัน 200 ไมโครเมตร แถบสว่างที่ 4 เบนจากแถบสว่างกลางเป็นมุม 0.63 องศา ซึ่งมีค่า  $\sin 0.63 = 0.011$  ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 6

แสงมีความยาวคลื่นเท่าใดในหน่วยนาโนเมตร

วิธีทำ

สำหรับแถบสว่างที่ 4 แทน  $n$  เท่ากับ 4 จะได้

$$d \sin \theta = (4) \lambda$$

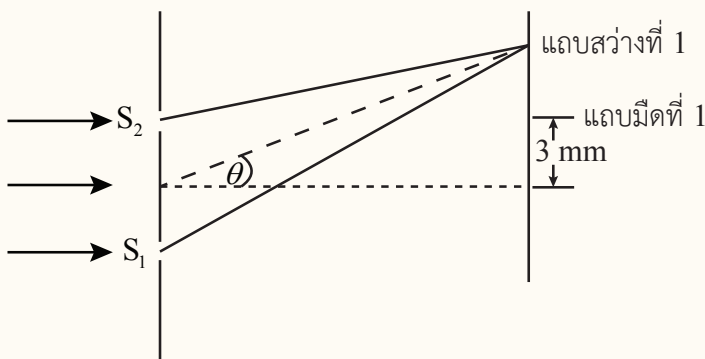
$$(200 \times 10^{-6} \text{ m})(0.011) = 4 \lambda$$

$$\lambda = 550 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$\lambda = 550 \text{ nm}$$

ตอบ แสงมีความยาวคลื่นเท่ากับ 550 นาโนเมตร

7. แสงความยาวคลื่นเดียวตกกระทบตั้งฉากกับสลิตคู่เกิดแถบสว่างแถบคู่ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 7

แถบมืดที่ 1 บนฉากเบนจากแนวเส้นกลางเป็นระยะ 3 มิลลิเมตร แถบสว่างที่ 1 บนฉากจะเบนจากแนวเส้นกลางเป็นระยะเท่าใดในหน่วยมิลลิเมตร

**วิธีทำ**

ให้ระยะที่แถบมืดอันดับที่ 1 อยู่ห่างจากแนวเส้นกลางเท่ากับ  $x_1$

ให้ระยะที่แถบสว่างอันดับที่ 1 อยู่ห่างจากแนวเส้นกลางเท่ากับ  $x_2$

$$d \frac{x_1}{L} = \frac{1}{2} \lambda$$

$$\frac{\lambda L}{d} = 2(3 \text{ mm})$$

$$\frac{\lambda L}{d} = 6 \text{ mm} \quad (1)$$

สำหรับแถบสว่างที่ 1 แทน  $n$  เท่ากับ 1

$$d \frac{x_2}{L} = 1\lambda$$

$$x_2 = \frac{\lambda L}{d} \quad (2)$$

สมการ (2) = (1)

จะได้  $x_2 = 6 \text{ mm}$

**ตอบ** แถบสว่างที่ 1 บนฉากจะเบนจากแนวเส้นกลางเป็นระยะเท่ากับ 6 มิลลิเมตร

8. ในการเกิดการแทรกสอดของแสงที่มีความยาวคลื่น  $6.5 \times 10^{-7}$  เมตร โดยใช้ช่องขนาดเล็ก 2 ช่อง ให้เกิดบนฉากที่อยู่ห่างออกไป 1.0 เมตร ถ้าต้องการให้แถบสว่าง 2 แถบที่ติดกันอยู่ห่างกัน  $1.0 \times 10^{-3}$  เมตร ช่องทั้งสองจะต้องอยู่ห่างกันเท่าใด (ให้ถือว่าตำแหน่งแถบสว่างเบนไปจากแนวกลางน้อยมาก)

**วิธีทำ**

ระยะระหว่างแถบสว่างแรกจากแนวกลางเท่ากับระยะระหว่างแถบสว่าง 2 แถบที่อยู่ติดกัน

ดังนั้น  $\Delta x = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}$

และ  $\Delta n = 1$

เนื่องจากตำแหน่งแถบสว่างเบนไปจากแนวกลางน้อยมาก

จาก

$$\frac{d(\Delta x)}{L} = \Delta n \lambda$$

$$d = \frac{\Delta n \lambda L}{\Delta x}$$

$$d = \frac{1 \times (6.5 \times 10^{-7} \text{ m}) \times (1.0 \text{ m})}{(1.0 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$d = 6.5 \times 10^{-4} \text{ m}$$

**ตอบ** ช่องทั้งสองจะต้องอยู่ห่างกัน  $6.5 \times 10^{-4}$  เมตร

9. แสงความยาวคลื่นเดี่ยวตกกระทบบนสลิตเดี่ยวที่มีความกว้าง 250 ไมโครเมตร ความกว้างของแถบสว่างกลางบนฉากมีขนาด 5 มิลลิเมตร ถ้าเปลี่ยนเป็นสลิตเดี่ยวที่มีความกว้าง 50 ไมโครเมตร แถบสว่างกลางบนฉากเดิมจะกว้างเท่าใดในหน่วยมิลลิเมตร

**วิธีทำ**

ความกว้างของแถบสว่างกลางคำนวณได้จากระยะห่างระหว่างตำแหน่งของแถบมืดอันดับที่หนึ่งที่อยู่สองข้างของแถบสว่างกลาง

ระยะที่แถบมืดอันดับที่หนึ่งอยู่ห่างจากแถบสว่างกลางคำนวณได้จาก

$$a \frac{x}{L} = n \lambda$$

เมื่อใช้สลิตที่มีความกว้าง 250  $\mu\text{m}$  จะได้

$$(250 \times 10^{-6} \text{ m}) \frac{x_1}{L} = (1) \lambda \quad (1)$$

เมื่อใช้สลิตที่มีความกว้าง 50  $\mu\text{m}$  จะได้

$$(50 \times 10^{-6} \text{ m}) \frac{x_2}{L} = \lambda \quad (2)$$

สมการ (2) = (1)

$$(50 \times 10^{-6} \text{ m}) x_2 = (250 \times 10^{-6} \text{ m}) \left( \frac{5 \times 10^{-3} \text{ m}}{2} \right)$$

$$x_2 = \frac{25 \times 10^{-3} \text{ m}}{2}$$

$$2x_2 = 25 \text{ mm}$$

**ตอบ** แถบสว่างกลางบนฉากเดิมจะกว้าง 25 มิลลิเมตร

10. ฉายแสงความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ตกกระทบตั้งฉากกับแผ่นสลิตเดี่ยวที่อยู่ห่างจากฉาก 1.20 เมตร พบว่าแถบมืดแรกห่างจากกึ่งกลางของแถบสว่างกลาง 0.02 เมตร จงหาความกว้างของสลิตในหน่วยไมโครเมตร

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad a \frac{x}{L} &= n\lambda \\ \text{สำหรับแถบมืดที่ 1 แทน } n \text{ เท่ากับ 1 จะได้} \\ a &= \frac{\lambda L}{x} \\ &= \frac{(500 \times 10^{-9} \text{ m})(1.20 \text{ m})}{0.02 \text{ m}} \\ &= 30 \times 10^{-6} \text{ m} \\ a &= 30 \mu\text{m} \end{aligned}$$

ตอบ ความกว้างของสลิตเท่ากับ 30 ไมโครเมตร

11. แสงความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ตกกระทบตั้งฉากกับแผ่นสลิตเดี่ยวที่กว้าง 200 ไมโครเมตร ระยะห่างระหว่างแถบมืดที่อยู่ด้านข้างของแถบสว่างกลางที่ตกบนฉากห่างกัน 1.0 เซนติเมตร ฉากอยู่ห่างจากแผ่นสลิตเดี่ยวเป็นระยะเท่าใดในหน่วยเมตร

วิธีทำ

ระยะห่างระหว่างแถบมืดที่อยู่ด้านข้างของแถบสว่างกลางที่ตกบนฉากมีค่าเป็นสองเท่าของระยะห่างของแถบมืดอันดับที่หนึ่งจากแถบสว่างกลาง ดังนั้น

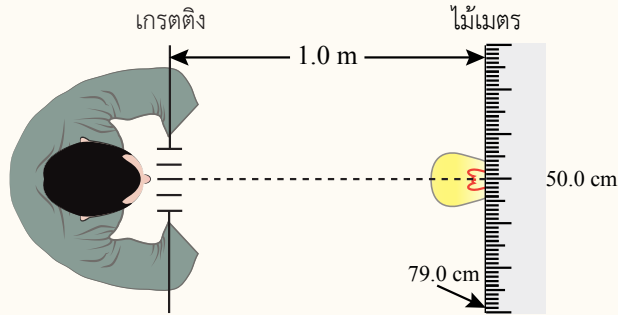
$$\begin{aligned} x &= \frac{1.0 \times 10^{-2} \text{ m}}{2} \\ &= 0.5 \times 10^{-2} \text{ m} \end{aligned}$$

จาก

$$\begin{aligned} a \frac{x}{L} &= n\lambda \\ \text{สำหรับแถบมืดที่ 1 แทน } n \text{ เท่ากับ 1 จะได้} \\ \frac{(200 \times 10^{-6} \text{ m})(0.5 \times 10^{-2} \text{ m})}{L} &= (1)(600 \times 10^{-9} \text{ m}) \\ L &= \frac{(200 \times 10^{-6} \text{ m})(0.5 \times 10^{-2} \text{ m})}{(600 \times 10^{-9} \text{ m})} \\ L &= 1.67 \text{ m} \end{aligned}$$

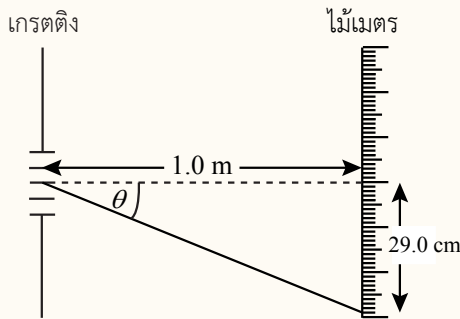
ตอบ ฉากอยู่ห่างจากสลิตเดี่ยวเท่ากับ 1.67 เมตร

12. มองไส้หลอดไฟที่ส่องสว่างผ่านเกรตติงที่มีจำนวน 5000 ช่องต่อเซนติเมตร โดยให้เกรตติงอยู่ห่างจากไส้หลอดไฟ 1.0 เมตร และไส้หลอดอยู่ที่ตำแหน่ง 50.0 เซนติเมตรของไม้เมตร ดังรูป



สำหรับแสงสีหนึ่งในแถบสเปกตรัมอันดับที่ 1 ปรากฏบนไม้เมตรที่ตำแหน่ง 79.0 เซนติเมตร แสงสีนั้นมีความยาวคลื่นเท่าใดในหน่วยนาโนเมตร

วิธีทำ



หามุม  $\theta$  ของแถบสเปกตรัมอันดับที่ 1 โดยพิจารณาจากรูปจะได้

$$\sin \theta = \frac{0.29 \text{ m}}{\sqrt{(1.0 \text{ m})^2 + (0.29 \text{ m})^2}}$$

$$= \frac{0.29 \text{ m}}{1.041 \text{ m}}$$

$$\sin \theta = 0.278$$

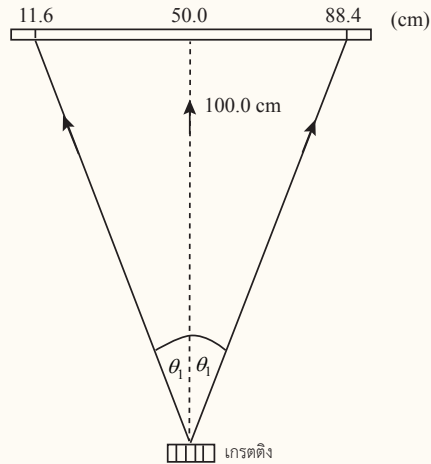
จากสมการ  $d \sin \theta = n\lambda$  แทน  $n = 1$  จะได้

$$\lambda = \left( \frac{10^{-2} \text{ m}}{5000} \right) (0.278)$$

$$\lambda = 556 \text{ nm}$$

ตอบ แสงสีนั้นมีความยาวคลื่นเท่ากับ 556 นาโนเมตร

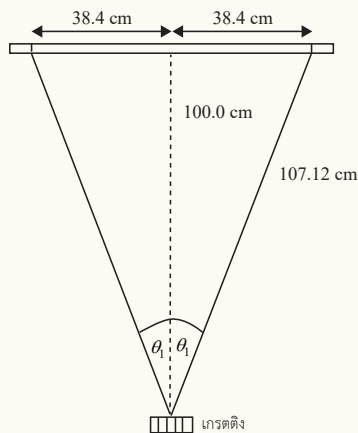
13. ในการทดลองเพื่อหาความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ โดยใช้เกรตติงที่มี 5000 ช่องต่อเซนติเมตร พบว่า แถบสว่างอันดับที่ 1 ทางด้านซ้ายและขวา อยู่ที่ตำแหน่ง 11.6 และ 88.4 เซนติเมตรของไม้เมตร ตามลำดับ ถ้าฉากอยู่ห่างเกรตติงเป็นระยะ 100.0 เซนติเมตร ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 13

ความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์มีค่าเท่าใด

วิธีทำ



จากรูป

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{38.4 \times 10^{-2} \text{ m}}{\sqrt{(100 \times 10^{-2} \text{ m})^2 + (38.4 \times 10^{-2} \text{ m})^2}} \\ &= \frac{38.4 \times 10^{-2} \text{ m}}{107.12 \times 10^{-2} \text{ m}} \\ &= 0.3585 \end{aligned}$$



ระยะห่างระหว่างช่อง ( $d$ ) ของเกรตติงมีค่า

$$d = \frac{1 \times 10^{-2} \text{ m}}{5000}$$

$$= 2.0 \times 10^{-6} \text{ m}$$

และ  $n = 1$

จาก  $d \sin \theta = n\lambda$

แทนค่า  $(2.0 \times 10^{-6} \text{ m})(0.3585) = (1)\lambda$

จะได้  $\lambda = 717 \times 10^{-9} \text{ m}$

$$\lambda = 717 \text{ nm}$$

**ตอบ** ความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์มีค่า 717 นาโนเมตร

14. ฉายแสงขาวตั้งฉากกับเกรตติงที่มีจำนวนช่อง 10000 ช่องต่อเซนติเมตร จะปรากฏแถบสเปกตรัมอันดับที่สองในช่วงความยาวคลื่น 400 นาโนเมตรถึง 700 นาโนเมตร ได้ครบทุกความยาวคลื่นหรือไม่ แสดงเหตุผลประกอบคำตอบ

**วิธีทำ** ตรวจสอบโดยพิจารณาจากค่าไซน์ของมุมของความยาวคลื่นสูงสุดของสเปกตรัมอันดับที่สองที่ทำกับแนวกลาง ถ้ามากกว่า 1 แสดงว่าจะเกิดสเปกตรัมไม่ครบความยาวคลื่นจากสมการ

$$d \sin \theta = n\lambda$$

สำหรับสเปกตรัมอันดับที่ 2 แทน  $n$  เท่ากับ 2 จะได้

$$\sin \theta = \frac{2\lambda}{d}$$

$$= \frac{2(700 \times 10^{-9} \text{ m})}{\left(\frac{10^{-2}}{10^4} \text{ m}\right)}$$

$$\sin \theta = 1.4$$

มีค่าเกิน 1 ซึ่งค่า  $\sin \theta$  เกิน 1 ไม่ได้ นั่นคือ จะไม่ปรากฏสเปกตรัมอันดับที่สองของแสงความยาวคลื่นนี้

**ตอบ** แถบสเปกตรัมอันดับที่สองในช่วงความยาวคลื่น 400 นาโนเมตรถึง 700 นาโนเมตร ปรากฏไม่ครบทุกความยาวคลื่น



### ปัญหาท้าทาย

1. แสงความยาวคลื่น  $\lambda_1$  และ  $\lambda_2$  ตกกระทบตั้งฉากกับสลิตคู่ พบว่าภาพการแทรกสอดที่ปรากฏบนฉากของแถบมืดอันดับที่ 3 ของแสง  $\lambda_1$  เกิดที่เดียวกับแถบสว่างที่ 2 ของแสง  $\lambda_2$  อัตราส่วนระหว่าง  $\lambda_1$  กับ  $\lambda_2$  เป็นเท่าใด

วิธีทำ

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

$$\text{แถบมืดที่ 3 ของแสง } \lambda_1 \quad n = 3$$

$$\text{จะได้} \quad d \sin \theta = \left( 3 - \frac{1}{2} \right) \lambda_1$$

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

$$\text{แถบสว่างที่ 2 ของแสง } \lambda_2 \quad n = 2$$

$$\text{จะได้} \quad d \sin \theta = 2 \lambda_2$$

เนื่องจากแถบมืดที่ 3 ของแสง  $\lambda_1$  เกิดที่เดียวกับแถบสว่างที่ 2 ของแสง  $\lambda_2$

$$(1) = (2) \quad \left( 3 - \frac{1}{2} \right) \lambda_1 = 2 \lambda_2$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{4}{5}$$

ตอบ อัตราส่วนระหว่าง  $\lambda_1$  กับ  $\lambda_2$  เป็น 4 : 5

2. แสงสีเขียวความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ตกกระทบตั้งฉากกับสลิตคู่ ถ้าที่ตำแหน่งการแทรกสอด ห่างจากจุดกึ่งกลางของแถบสว่างกลางเป็นระยะ 1.1 เซนติเมตร มีเฟสต่างกัน  $4\pi$  เรเดียน ระยะห่างของสลิตคู่มีค่าเท่าใด ถ้าฉากอยู่ห่างออกไป 1.0 เมตร

วิธีทำ

ตำแหน่งที่คลื่นแทรกสอดกันคลื่นทั้งสองมีเฟสต่างกัน  $4\pi$  เรเดียน คำนวณหาความต่างระยะทาง ( $\Delta r$ ) ได้จาก

$$\Delta\phi = \Delta r \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right)$$

$$\begin{aligned} \Delta r &= \Delta\phi \left( \frac{\lambda}{2\pi} \right) \\ &= (4\pi) \left( \frac{\lambda}{2\pi} \right) \end{aligned}$$

ดังนั้น  $\Delta r = 2\lambda$

สำหรับสลิตคู่ความต่างระยะทางคำนวณได้จาก

$$\Delta r = d \sin\theta$$

$$\Delta r = d \left( \frac{x}{L} \right)$$

จะได้ว่า  $d \left( \frac{x}{L} \right) = 2\lambda$

ในที่นี้  $x = 1.1 \times 10^{-2} \text{ m}$ ,  $L = 1.0 \text{ m}$ ,  $\lambda = 550 \times 10^{-9} \text{ m}$

แทนค่า  $d \frac{(1.1 \times 10^{-2} \text{ m})}{1.0 \text{ m}} = 2(550 \times 10^{-9} \text{ m})$

จะได้  $d = 100 \times 10^{-6} \text{ m}$

$$d = 100 \mu\text{m}$$

ตอบ ระยะห่างของสลิตคู่มีค่าเท่ากับ 100 ไมโครเมตร

3. เมื่อใช้แสงสีเขียวที่มีความยาวคลื่น  $5.2 \times 10^{-7}$  เมตร ตกกระทบสลิตคู่ในแนวตั้งฉาก เกิดภาพแทรกสอดบนฉาก ถ้าแถบสว่าง 2 แถบที่ติดกันอยู่ห่างกัน 0.2 มิลลิเมตร แต่ถ้าใช้แสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น  $6.5 \times 10^{-7}$  เมตร แทนแถบสว่าง 2 แถบที่ติดกันจะอยู่ห่างกันกี่มิลลิเมตร
- วิธีทำ

$$\text{จาก} \quad d \frac{x}{L} = n\lambda$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad \lambda = d \frac{x}{nL}$$

$$\text{แทนค่า} \quad 5.2 \times 10^{-7} \text{ m} = d \frac{(0.2 \times 10^{-3} \text{ m})}{(1)L} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อใช้แสงสีแดง} \quad \lambda &= 6.5 \times 10^{-7} \text{ m}, n=1 \text{ ต้องการทราบค่า } x \\ \text{แทนค่า} \quad (6.5 \times 10^{-7} \text{ m}) &= d \frac{x}{(1)L} \quad (2) \end{aligned}$$

$$(2)/(1) \quad \frac{(6.5 \times 10^{-7} \text{ m})}{(5.2 \times 10^{-7} \text{ m})} = d \frac{x}{L} \times \frac{L}{d(0.2 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$x = 0.25 \times 10^{-3} \text{ m}$$

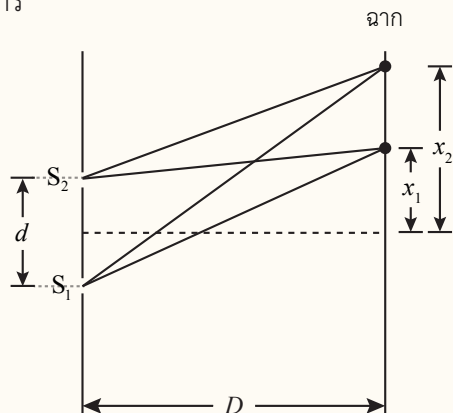
$$\text{หรือ} \quad = 0.25 \text{ mm}$$

ตอบ แถบสว่าง 2 แถบติดกันจะอยู่ห่างกัน 0.25 มิลลิเมตร

4. สลิตคู่ที่อยู่ห่างกัน  $d$  และอยู่ห่างจากฉาก  $D$  เมื่อฉายแสงความยาวคลื่น  $\lambda$  ตั้งฉากกับสลิตคู่เกิดการแทรกสอดของแสง ปรากฏเป็นแถบสว่างและแถบมืดบนฉาก ระยะห่างระหว่างแถบมืดที่ 1 กับแถบมืดที่ 2 ของภาพบนฉาก จะเป็นเท่าใด ในเทอม  $\lambda$   $D$  และ  $d$

วิธีทำ ใช้เงื่อนไขในการเกิดแถบมืด จากสมการ

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



แถบมืดที่ 1 แทน  $n$  เท่ากับ 1 เกิดที่ตำแหน่ง  $x_1$  บนฉากได้ จะได้

$$d \frac{x_1}{D} = \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

แถบมืดที่ 2 แทน  $n$  เท่ากับ 2 เกิดที่ตำแหน่ง  $x_2$  บนฉากได้ จะได้

$$d \frac{x_2}{D} = \frac{3\lambda}{2} \quad (2)$$

สมการ (2) - (1) จะได้

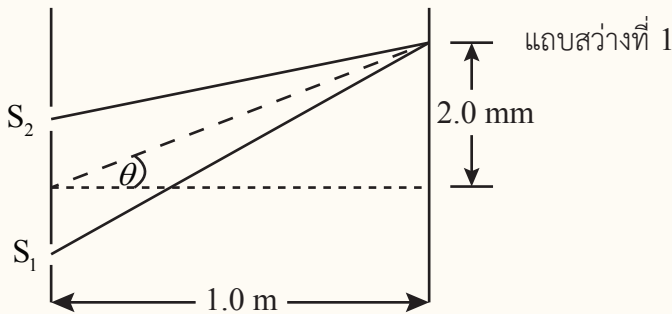
$$\frac{dx_2}{D} - \frac{dx_1}{D} = \frac{3\lambda}{2} - \frac{\lambda}{2}$$

$$\frac{d}{D}(x_2 - x_1) = \lambda$$

$$x_2 - x_1 = \frac{\lambda D}{d}$$

ตอบ ระยะห่างระหว่างแถบมืดที่ 1 กับแถบมืดที่ 2 ของภาพบนฉาก จะห่างกันเท่ากับ  $\frac{\lambda D}{d}$

5. แสงความยาวคลื่นเดี่ยวตกกระทบตั้งฉากกับสลิตคู่ เกิดการแทรกสอดบนฉาก ดังรูป



แถบสว่างที่ 1 เบนไปจากแนวเส้นกลางเป็นระยะ 2.0 มิลลิเมตร เมื่อฉากอยู่ห่างจากสลิต 1.0 เมตร ถ้าต้องการให้แถบสว่างที่ 1 เบนไปจากแนวเส้นกลางเป็นระยะ 3 มิลลิเมตร ต้องให้ฉากอยู่ห่างจากสลิตเป็นระยะเท่าใดในหน่วยเมตร

วิธีทำ

สำหรับแถบสว่างที่ 1 แทน  $n$  เท่ากับ 1

$$d \frac{x}{L} = (1)\lambda$$

ถ้า  $x = 2.0 \text{ mm}$  จะได้

$$\frac{d(2.0 \text{ mm})}{(1.0 \text{ m})} = \lambda \quad (1)$$

ถ้า  $x = 3.0 \text{ mm}$  จะได้

$$\frac{d(3.0 \text{ mm})}{L_2} = \lambda \quad (2)$$

$$(1) = (2) \quad \frac{d(2.0 \text{ mm})}{(1.0 \text{ m})} = \frac{d(3.0 \text{ mm})}{L_2}$$

$$L_2 = 1.5 \text{ m}$$

**ตอบ** ฉากอยู่ห่างจากสลิตเป็นระยะเท่ากับ 1.5 เมตร

6. ถ้าใช้เลเซอร์สีแดงฉายผ่านสลิตคู่ที่มีระยะระหว่างช่อง 25 ไมโครเมตร เกิดภาพการแทรกสอดบนกระดานที่อยู่ห่างจากสลิต 2.30 เมตร วัดระยะระหว่างแถบสว่างที่ 3 ทั้งสองข้างของแถบสว่างกลางได้ 35 เซนติเมตร แสงเลเซอร์ที่ใช้มีความยาวคลื่นเท่าใด

**วิธีทำ**

ในที่นี้  $n = 3$  ระยะระหว่างแถบสว่าง 35 cm ดังนั้น

$$x = \frac{35 \times 10^{-2} \text{ m}}{2}, \quad d = 25 \times 10^{-6} \text{ m} \quad \text{และ} \quad L = 2.30 \text{ m}$$

$$\text{จาก} \quad d \frac{x}{L} = n\lambda$$

ดังนั้น

$$\frac{(25 \times 10^{-6} \text{ m}) \left( \frac{35 \times 10^{-2} \text{ m}}{2} \right)}{2.30 \text{ m}} = 3\lambda$$

$$\lambda = 634 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$= 634 \text{ nm}$$

**ตอบ** แสงเลเซอร์ที่ใช้มีความยาวคลื่นเท่ากับ 634 นาโนเมตร

7. ในการทดลองให้แสงความยาวคลื่นเดี่ยวตกกระทบตั้งฉากกับสลิตคู่และสลิตเดี่ยว ถ้าต้องการให้ตำแหน่งมืดที่ 2 ของการแทรกสอดของแสงบนฉากที่ผ่านสลิตคู่ ตรงกับตำแหน่งมืดที่ 2 ของการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว ต้องใช้สลิตคู่ที่มีระยะระหว่างสลิตเป็นกี่เท่าของความกว้างสลิตเดี่ยว

**วิธีทำ**

ให้สลิตคู่มีระยะห่างสลิตเป็น  $d$

ความกว้างของสลิตเดี่ยวเป็น  $a$

พิจารณาการเกิดแถบมืดที่ 2 ของสลิตคู่ จากสมการ

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

$$d \sin \theta = \frac{3}{2} \lambda \quad (1)$$

พิจารณาการเกิดแถบมืดที่ 2 ของสลิตเดี่ยว จากสมการ

$$a \sin \theta = n \lambda$$

$$a \sin \theta = 2 \lambda \quad (2)$$

$$\begin{array}{l} \text{สมการ } \frac{(1)}{(2)} \\ \frac{d}{a} = \frac{3}{4} \\ d = \frac{3}{4} a \end{array}$$

**ตอบ** ต้องใช้สลิตคู่ที่มีระยะระหว่างสลิตเป็น  $\frac{3}{4}$  เท่าของความกว้างสลิตเดี่ยว

8. ฉายแสงความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ตกกระทบบนตั้งฉากกับแผ่นสลิตเดี่ยวที่กว้าง 10 ไมโครเมตร แถบสว่างกลางรองรับมุมที่จุดกึ่งกลางของสลิตเดี่ยวกี่องศา

**วิธีทำ**

หามุมที่แถบมืดแถบแรกทำกับแนวสว่างกลางโดยแทน  $n = 1$  จะได้

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{\lambda}{a} \\ &= \frac{560 \times 10^{-9} \text{ m}}{10 \times 10^{-6} \text{ m}} \\ \sin \theta &= 0.056 \\ \theta &\approx 3^\circ \end{aligned}$$

แถบสว่างกลางอยู่ระหว่างแถบมืดอันดับที่หนึ่งที่อยู่สองข้างของแถบสว่างกลาง ดังนั้นแถบสว่างกลางรองรับมุมที่จุดกึ่งกลางของสลิตเดี่ยว  $2\theta$  เท่ากับ 6 องศา

**ตอบ** แถบสว่างกลางรองรับมุมที่จุดกึ่งกลางของสลิตเดี่ยว 6 องศา

9. ในการทดลองหาเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดโลหะเส้นหนึ่งโดยการเลี้ยวเบนของแสง พบว่าเลเซอร์สามารถเลี้ยวเบนผ่านลวด แล้วเกิดบริเวณสว่าง-มืดที่ฉากรับ โดยที่ระยะทางระหว่างบริเวณมืดที่ 1, 2 และ 3 อยู่ห่างจากบริเวณสว่างกลางเท่ากับ 1 เซนติเมตร 2 เซนติเมตร และ 3 เซนติเมตร ตามลำดับ ถ้าฉากรับอยู่ห่างจากลวดเป็นระยะทาง 1.00 เมตร จงหาเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดโลหะ ถ้าใช้เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

### วิธีทำ

ลวดลายของแสงที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยวเบนผ่านลวด จะมีลักษณะคล้ายกับลวดลายของแสงที่เลี้ยวเบนผ่านสลิตเดี่ยวที่มีความกว้างระหว่างช่องสลิตเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด หาเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดได้จาก

จากสมการ 
$$a \frac{x}{L} = n\lambda$$

เขียนใหม่ จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของลวด เป็น

$$a = \frac{n\lambda L}{x}$$

เมื่อ  $n = 1$  จะได้

$$d = \frac{(1)(632.8 \times 10^{-9} \text{ m})(1.00 \text{ m})}{0.01 \text{ m}}$$

$$= 0.0633 \text{ mm}$$

เมื่อ  $n = 2$  จะได้

$$d = \frac{(2)(632.8 \times 10^{-9} \text{ m})(1.00 \text{ m})}{0.02 \text{ m}}$$

$$= 0.0633 \text{ mm}$$

เมื่อแทนค่าไม่ว่าจะได้จากบริเวณมืดที่ 1, 2 หรือ 3 จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเป็น 0.0633 mm

ตอบ เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเท่ากับ 0.0633 มิลลิเมตร

10. แสงความยาวคลื่น  $\lambda$  ตกกระทบตั้งฉากกับสลิตเดี่ยวที่มีความกว้างของช่อง  $d$  ทำให้ความกว้างของแถบสว่างกลางบนฉากเป็น  $a$  ถ้าฉากรับภาพอยู่ห่างจากสลิตเป็นระยะ  $L$  และ  $\frac{d}{\lambda}$  มีค่าเท่ากับ 200 ระยะ  $L$  เป็นกี่เท่าของความกว้าง  $a$

วิธีทำ ขอบของแถบสว่างกลางถือว่าเป็นตำแหน่งมืดที่ 1 ซึ่งห่างจากเส้นแนวกลางของแถบสว่างกลางเป็นระยะ

$$x = \frac{a}{2}$$

สมการสำหรับแถบมืดใด ๆ 
$$a \frac{x}{L} = n\lambda$$



ในที่นี้  $x = \frac{a}{2}$ ,  $D = L$  และ  $n = 1$  สำหรับตำแหน่งมืดที่ 1

$$\text{แทนค่า} \quad d \left( \frac{a}{2L} \right) = 1\lambda$$

$$\frac{d}{\lambda} \left( \frac{a}{2L} \right) = 1$$

$$200 \left( \frac{a}{2L} \right) = 1$$

$$L = 100a$$

ตอบ ระยะ  $L$  เป็น 100 เท่าของความกว้าง  $a$

11. เมื่อให้แสงที่เปล่งจากหลอดบรรจุไฮโดรเจนตกกระทบบนแผ่นเกรตติงอันหนึ่ง ในแนวตั้งฉากปรากฏว่า เส้นสเปกตรัมอันดับที่ 2 ที่เกิดเนื่องจากแสงสีแดง ซึ่งมีความยาวคลื่น 656 นาโนเมตร ซ้อนทับเส้นสเปกตรัมอันดับที่ 3 ของแสงสีอื่นอีกสีหนึ่ง แสงสีอื่นี้มีความยาวคลื่นเท่าใด ในหน่วยนาโนเมตร

**วิธีทำ** การหาตำแหน่งแถบสว่าง หาได้จาก  $d \sin \theta = n\lambda$

พิจารณาแสงสีแดงความยาวคลื่น 656 nm ที่มุม  $\theta$  ที่เป็นเส้นสเปกตรัมอันดับที่ 2

$$\text{จะได้ว่า} \quad d \sin \theta = (2)(656 \times 10^{-9}) \quad (1)$$

พิจารณาแสงสีอื่นที่ไม่รู้ความยาวคลื่นที่มุม  $\theta$  ที่เป็นเส้นสเปกตรัมอันดับที่ 3

$$\text{จะได้ว่า} \quad d \sin \theta = 3\lambda \quad (2)$$

การที่เส้นสเปกตรัมซ้อนทับกันแสดงว่า  $\theta$  เท่ากันซึ่งจะทำให้  $\sin \theta$  เท่ากัน จึงได้สมการ (1) เท่ากับ สมการ (2)

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad 3\lambda &= (2)(656 \times 10^{-9} \text{ m}) \\ &= 437.33 \times 10^{-9} \text{ m} \\ &\approx 437 \text{ nm} \end{aligned}$$

ตอบ แสงอีกสีหนึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 437 นาโนเมตร

12. ถ้าใช้เกรตติงที่มีจำนวนช่อง 5000 ช่องต่อเซนติเมตร และเกรตติงที่มีจำนวนช่อง 10000 ช่องต่อเซนติเมตร รับแสงขาวที่มาจากกระทบบดตั้งฉาก ทำให้เกิดสเปกตรัมของแสงขาว ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตรถึง 700 นาโนเมตร เกรตติงแต่ละแผ่นจะให้สเปกตรัมสูงสุดกี่อันดับ

**วิธีทำ** ใช้เงื่อนไขการเกิดแถบสว่างจากสมการ  $d \sin \theta = n\lambda$  ตามเงื่อนไขเกิดสเปกตรัมครบทุกความยาวคลื่น เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นสูงสุดซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ 700 นาโนเมตร ทำมุมกับแนวกลางเป็นมุมโดยประมาณ 90 องศา ดังนั้น

$$d \sin 90^\circ = n\lambda$$

$$n = \frac{d}{\lambda}$$

หา  $n_1$  เมื่อใช้เกรตติง 5000 ช่องต่อเซนติเมตรได้

$$n_1 = \frac{\left(\frac{1}{5000} \times 10^{-2} \text{ m}\right)}{\left(700 \times 10^{-9} \text{ m}\right)}$$

$$= \frac{\left(2 \times 10^{-6} \text{ m}\right)}{\left(7 \times 10^{-7} \text{ m}\right)}$$

$$n_1 = 2.86$$

คิดเฉพาะจำนวนเต็มได้

$$n_1 = 2$$

หา  $n_2$  เมื่อใช้เกรตติง 10000 ช่องต่อเซนติเมตรได้

$$n_2 = \frac{\left(\frac{1}{10000} \times 10^{-2} \text{ m}\right)}{\left(700 \times 10^{-9} \text{ m}\right)}$$

$$= \frac{\left(1 \times 10^{-6} \text{ m}\right)}{\left(7 \times 10^{-7} \text{ m}\right)}$$

$$n_2 = 1.43$$

คิดเฉพาะจำนวนเต็มได้

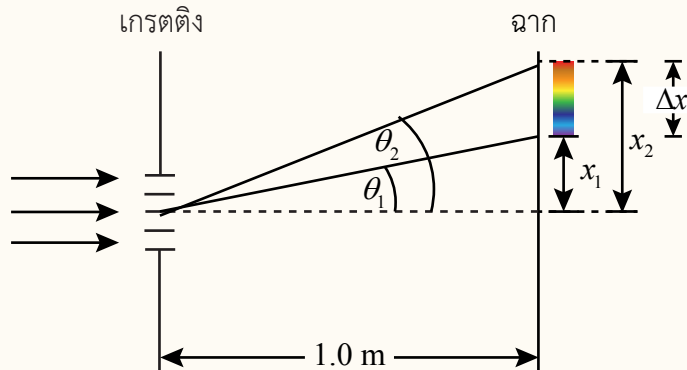
$$n_2 = 1$$

สังเกต เกรตติงที่มีจำนวนช่องต่อความยาวยิ่งมาก จำนวนลำดับของการเกิดสเปกตรัมยิ่งลดลง

**ตอบ** 2 ลำดับ และ 1 ลำดับ ตามลำดับ

13. ถ้าใช้เกรตติงที่มีจำนวนช่อง 8000 ช่องต่อเซนติเมตร รับแสงขาวความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ถึง 700 นาโนเมตร ที่ตกกระทบตั้งฉาก ทำให้เกิดสเปกตรัมของแสงบนฉากที่อยู่ห่างจากเกรตติง 1.0 เมตร ความกว้างของแถบสเปกตรัมอันดับที่หนึ่งซึ่งปรากฏบนฉากเป็นเท่าใด ในหน่วยเซนติเมตร

**วิธีทำ** หามุมที่แสงความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร และ 700 นาโนเมตร ของสเปกตรัมอันดับที่หนึ่งทำกับแนวกลาง คือ  $\theta_1$  และ  $\theta_2$  ตามลำดับ ดังรูป



แล้วนำไปหาความกว้างสเปกตรัมอันดับที่ 1

จากสมการ  $d \sin \theta = n\lambda$  สำหรับมุม  $\theta_1$  ของแสงความยาวคลื่น  $\lambda_1$  แทน  $n$  เท่ากับ 1 จะได้

$$d \sin \theta_1 = (1)\lambda_1$$

$$\sin \theta_1 = \frac{\lambda_1}{d}$$

$$= \frac{(400 \times 10^{-9} \text{ m})}{\left(\frac{1}{8000} \times 10^{-2} \text{ m}\right)}$$

$$\sin \theta_1 = 0.32$$

$$\theta_1 = 18.7^\circ$$

สำหรับมุม  $\theta_2$  ของแสงความยาวคลื่น  $\lambda_2$  แทน  $n$  เท่ากับ 1 จะได้

$$d \sin \theta_2 = (1)\lambda_2$$

$$\sin \theta_2 = \frac{\lambda_2}{d}$$

$$\sin\theta_2 = \frac{(700 \times 10^{-9} \text{ m})}{\left(\frac{1}{8000} \times 10^{-2} \text{ m}\right)}$$

$$\sin\theta_2 = 0.56$$

$$\theta_2 = 34.1^\circ$$

จากรูป

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

$$= (1.0 \text{ m}) \tan 34.1^\circ - (1.0 \text{ m}) \tan 18.7^\circ$$

$$= 0.677 \text{ m} - 0.3384 \text{ m}$$

$$= 0.3386 \text{ m}$$

$$\Delta x = 33.86 \text{ cm}$$

**ตอบ** ความกว้างของแถบสเปกตรัมอันดับที่หนึ่งที่ปรากฏบนฉากเท่ากับ 33.86 เซนติเมตร

14. ฉายแสงความยาวคลื่น 450-600 นาโนเมตร ตกกระทบบนตึกฉากกับเกรตติงที่มี 10000 ช่องต่อเซนติเมตร จะเกิดชุดสเปกตรัมครบทุกความยาวคลื่นถึงอันดับที่เท่าใด

**วิธีทำ** แทน  $\lambda$  ค่ามากที่สุดคือ 600 nm เพื่อให้เกิดแถบสว่างสมบูรณ์ถึงชุดที่  $n$

โดยที่  $\theta = 90^\circ$

ใช้เงื่อนไขการเกิดแถบสว่างจากสมการ  $d \sin \theta = n\lambda$  จะได้

$$\left(\frac{1}{10^4} \times 10^{-2} \text{ m}\right) \sin 90^\circ = n(600 \times 10^{-9} \text{ m})$$

$$n = 1.7$$

ต้องเลือกค่า  $n$  ที่เป็นจำนวนเต็มเท่านั้น จึงได้สเปกตรัมที่สมบูรณ์

ดังนั้น เกิดชุดสเปกตรัมครบทุกความยาวคลื่นถึงลำดับที่ 1

**ตอบ** เกิดชุดสเปกตรัมครบทุกความยาวคลื่นถึงลำดับที่ 1

บทที่

11

แสงเชิงรังสี



ipst.me/8841

### ผลการเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีหักเห มุมตกกระทบ และมุมหักเห รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจริงและความลึกปรากฏ มุมวิฤตและการสะท้อนกลับหมดของแสง และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. ทดลองและอธิบายการสะท้อนของแสงที่ผิววัตถุตามกฎการสะท้อน เขียนรังสีของแสงและคำนวณตำแหน่งและขนาดภาพของวัตถุเมื่อแสงตกกระทบกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลม รวมทั้งอธิบายการนำความรู้เรื่องการสะท้อนของแสงจากกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลมไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน
3. ทดลองและเขียนรังสีของแสงเพื่อแสดงภาพที่เกิดจากเลนส์บาง หาตำแหน่ง ขนาด ชนิดของภาพ และความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ ระยะภาพ และความยาวโฟกัส รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และอธิบายการนำความรู้เรื่องการหักเหของแสงผ่านเลนส์บางไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน
4. สังเกตและอธิบายการมองเห็นแสงสี สีของวัตถุ การผสมสารสี และการผสมแสงสี รวมทั้งอธิบายสาเหตุของการบอดสี
5. อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับแสง เช่น รุ้ง การทรงกลด มิราจ และการเห็นท้องฟ้าเป็นสีต่าง ๆ ในช่วงเวลาต่างกัน

## การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

### ผลการเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีหักเห มุมตกกระทบ และมุมหักเห รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจริงและความลึกปรากฏ มุมวิกฤตและการสะท้อนกลับหมดของแสง และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายการสะท้อนของแสง กฎการสะท้อนของแสง
2. ทดลองและอธิบายการหักเหของแสง กฎของสเนลล์
3. อธิบายมุมวิกฤต การสะท้อนกลับหมด และการกระจายของแสงเมื่อผ่านปริซึม

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การสังเกต การวัด และการลงความเห็นจากข้อมูล (จากการทำกิจกรรม)</li> <li>2. การใช้จำนวน (การคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และการเขียนรายงานผล การทำกิจกรรม)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การแก้ปัญหา (สถานการณ์ที่เกี่ยวกับการสะท้อนและการหักเหของแสง)</li> <li>2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ (การทำกิจกรรม)</li> <li>3. การสื่อสาร (การอภิปรายร่วมกันและนำเสนอผล)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ด้านความรอบคอบและความรับผิดชอบ และความร่วมมือช่วยเหลือ (จากการทำกิจกรรม)</li> </ol>

### ผลการเรียนรู้

2. ทดลองและอธิบายการสะท้อนของแสงที่ผิววัตถุตามกฎการสะท้อน เขียนรังสีของแสงและคำนวณตำแหน่งและขนาดภาพของวัตถุเมื่อแสงตกกระทบบกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลม รวมทั้งอธิบายการนำความรู้เรื่องการสะท้อนของแสงจากกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลมไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน
3. ทดลองและเขียนรังสีของแสงเพื่อแสดงภาพที่เกิดจากเลนส์บาง หาดำแหน่ง ขนาด ชนิดของภาพ และความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ ระยะภาพ และความยาวโฟกัส รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และอธิบายการนำความรู้เรื่องการหักเหของแสงผ่านเลนส์บางไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายวิธีการเขียนรังสีของแสงและการเกิดภาพ
2. เขียนรังสีของแสงและอธิบายการเกิดภาพ ระบุตำแหน่งและชนิดของภาพที่เกิดจากการสะท้อนของแสงจากกระจกเงาราบ
3. เขียนรังสีของแสง อธิบายและคำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ของการเกิดภาพที่เกิดจากการหักเหของแสงที่ผ่านตัวกลางที่ต่างกัน
4. ทดลอง และเขียนรังสีของแสงที่หักเหผ่านเลนส์บางเพื่อระบุตำแหน่งและชนิดของภาพ
5. คำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดภาพจากเลนส์บาง
6. เขียนรังสีของแสงที่สะท้อนจากผิวของกระจกเงาทรงกลมเพื่อระบุตำแหน่งและชนิดของภาพ
7. คำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดภาพจากกระจกเงาทรงกลม

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การสังเกต การวัด และการลงความเห็นจากข้อมูล (จากการทำกิจกรรม)</li> <li>2. การใช้จำนวน (การคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และการเขียนรายงานผลการทำกิจกรรม)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การแก้ปัญหา (สถานการณ์ที่เกี่ยวกับการมองเห็นและการเกิดภาพ ภาพจากเลนส์และกระจกเงาทรงกลม)</li> <li>2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ (การทำกิจกรรม)</li> <li>3. การสื่อสาร (การอภิปรายร่วมกันและนำเสนอผล)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ด้านความรอบคอบและความรับผิดชอบ และความร่วมมือช่วยเหลือ (จากการทำกิจกรรม)</li> </ol>

### ผลการเรียนรู้

4. สังเกตและอธิบายการมองเห็นแสงสี สีสของวัตถุ การผสมสารสี และการผสมแสงสี รวมทั้งอธิบายสาเหตุของการบอดสี

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการมองเห็นแสงสี สีสของวัตถุ และสาเหตุของการบอดสี
2. อธิบายการผสมแสงสี และการผสมสารสี

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การสังเกต และการลงความเห็นจากข้อมูล (จากการทำกิจกรรม)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ (การทำกิจกรรม)</li> <li>2. การสื่อสาร (การอภิปรายร่วมกันและนำเสนอผล)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ด้านความรอบคอบและความรับผิดชอบ และความร่วมมือช่วยเหลือ (จากการทำกิจกรรม)</li> </ol>



**ผลการเรียนรู้**

- อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกี่ยวกับแสง เช่น รุ้ง การทรงกลม มิราจ และการเห็นท้องฟ้าเป็นสีต่าง ๆ ในช่วงเวลาต่างกัน

**จุดประสงค์การเรียนรู้**

- อธิบายการเกิดรุ้ง การทรงกลม มิราจ และการมองเห็นท้องฟ้าเป็นสีต่าง ๆ ในช่วงเวลาที่ต่างกัน
- อธิบายการนำความรู้เรื่องแสงเชิงรังสีไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน

<b>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b>	<b>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</b>	<b>จิตวิทยาศาสตร์</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>การสังเกต และการลงความเห็นจากข้อมูล (จากการทำกิจกรรม)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ (การทำกิจกรรม)</li> <li>การสื่อสาร (การอภิปรายร่วมกันและนำเสนอผล)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>ด้านความรอบคอบและความรับผิดชอบ และความร่วมมือช่วยเหลือ (จากการทำกิจกรรม)</li> </ol>



### สรุปแนวความคิดสำคัญ

ปรากฏการณ์ธรรมชาติในเรื่องการสะท้อนและการหักเหของแสงอธิบายได้โดยใช้มุมมองของแสงในรูปแบบแสงเชิงรังสี (ray optics) โดยรังสีของแสงบอกทิศทางเคลื่อนที่ของแสงและมีทิศทางตั้งฉากกับหน้าคลื่น

การสะท้อนของแสง (reflection of light) เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบผิววัตถุที่สามารถสะท้อนแสงได้ โดยเป็นไปตามกฎการสะท้อน (law of reflection) คือ

1. มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน
2. รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นแนวฉาก อยู่ในระนาบเดียวกัน

การหักเหของแสง (refraction of light) เกิดขึ้นเมื่อแสงมีการเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปอีกตัวกลางหนึ่ง ทำให้มีอัตราเร็วเปลี่ยนไป โดยอัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วแสงในสุญญากาศกับอัตราเร็วแสงในตัวกลางใด ๆ คือ ดรรชนีหักเห (index of refraction)  $n = \frac{c}{v}$  และ  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$  เรียกว่า กฎของสเนลล์ (Snell's law)

การหักเหของแสงเป็นไปตามกฎการหักเห (law of refraction) คือ

1.  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$
2. รังสีตกกระทบ รังสีหักเห และเส้นแนวฉาก อยู่ในระนาบเดียวกัน

ในกรณีที่แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีดรรชนีหักเหเข้าไปตัวกลางที่มีดรรชนีหักเห น้อย จะทำให้มุมหักเหโตกว่ามุมตกกระทบ เมื่อเพิ่มมุมตกกระทบ จนมีมุมหักเหเป็นมุม 90 องศาพอดี เรียกมุมตกกระทบนี้ว่า มุมวิกฤต (critical angle,  $\theta_c$ ) ซึ่งเป็นไปตามสมการ  $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$  ถ้ามุมตกกระทบโตกว่ามุมวิกฤต จะทำให้ไม่มีแสงหักเหผ่านเข้าสู่ตัวกลางที่มีดรรชนีหักเห น้อย มีแต่แสงส่วนที่สะท้อนกลับในตัวกลางเดิมเท่านั้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การสะท้อนกลับหมด (total internal reflection)

เมื่อให้แสงขาวผ่านปริซึมจะพบว่า แสงที่หักเหออกจากปริซึมจะแยกออกเป็นแสงสีต่าง ๆ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การกระจายแสง (dispersion of light)

เมื่อแสงจากวัตถุถูกทำให้เปลี่ยนเส้นทางเดินมาเข้าตา เช่น การสะท้อนกับกระจกเงาราบ การหักเหผ่านเลนส์บาง การสะท้อนจากกระจกเงาทรงกลม ทำให้เห็นวัตถุตรงตำแหน่งที่แนวรังสีที่เปลี่ยนเส้นทางมาเข้าตาตัดกัน ซึ่งอาจไม่พบวัตถุจริงตรงตำแหน่งนั้น เรียกสิ่งที่มองเห็นว่า ภาพ (image)

กระจกเงาราบสามารถสะท้อนแสงได้ดี ภาพของวัตถุที่เกิดจากการสะท้อนกับกระจกเงาราบหาได้จาก การเขียนรังสีของแสง หรือใช้ความสัมพันธ์  $s' = -s$

เมื่อแสงจากวัตถุเดินทางผ่านรอยต่อระหว่างตัวกลางที่มีดรรชนีหักเหต่างกัน ตำแหน่งภาพที่มองเห็นจะต่างไปจากตำแหน่งของวัตถุจริงทำให้ความลึกที่ปรากฏต่อสายตาดูต่างไปจากความลึกจริงของวัตถุ ซึ่งหาได้จากการเขียนรังสีของแสง หรือใช้ความสัมพันธ์  $\frac{s'}{s} = \frac{n_2}{n_1}$

เลนส์บางทำงานโดยใช้หลักการหักเหของแสง ทำจากแก้วหรือพลาสติกที่มีผิวโค้งทรงกลมทั้งสองข้างไม่ขนานกัน เลนส์บางมี 2 ชนิด คือ **เลนส์นูน** (convex lens) และ **เลนส์เว้า** (concave lens) เมื่อวางวัตถุหน้าเลนส์บางจะเกิดภาพของวัตถุโดยตำแหน่ง ขนาดและชนิดของภาพที่เกิดขึ้น หาได้จากการเขียนรังสีของแสง หรือใช้ความสัมพันธ์  $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$  ซึ่งเรียกว่า **สมการของเลนส์บาง**

**กำลังขยาย** (magnification,  $M$ ) เท่ากับอัตราส่วนความสูงของภาพ  $y'$  กับความสูงของวัตถุ  $y$  ดังสมการ  $M = \frac{y'}{y}$

กระจกเงาทรงกลมทำด้วยวัสดุที่สามารถสะท้อนแสงได้ดีเช่นเดียวกับกระจกเงาราบ กระจกเงาทรงกลมมี 2 ชนิด คือ **กระจกโค้งเว้า** (concave mirror) และ **กระจกโค้งนูน** (convex mirror) เมื่อวางวัตถุหน้ากระจกเงาทรงกลมจะเกิดภาพของวัตถุโดยตำแหน่ง ขนาดและชนิดของภาพที่เกิดขึ้น หาได้จากการเขียนรังสีของแสงและการคำนวณโดยใช้รูปแบบสมการที่เหมือนกับสมการของเลนส์บาง

การมองเห็นแสงสีเป็นการรับรู้อย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นในสมองเมื่อมีแสงมากระทบบน **จอตา** (retina) ซึ่งมี **เซลล์รูปกรวย** (cone cell) 3 ชนิด คือ ชนิด S ชนิด M และ ชนิด L โดยเซลล์รูปกรวยแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองต่อแสงที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน การมองเห็นสีของวัตถุจะขึ้นกับแสงสีที่ตกกระทบกับวัตถุและสารสีบนวัตถุ โดยสารสีจะดูดกลืนบางแสงสีและสะท้อนบางแสงสี เมื่อแสงสีสะท้อนจากวัตถุมาเข้าตาทำให้สามารถมองเห็นวัตถุเป็นสีต่าง ๆ ได้ แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน จัดเป็น **แสงสีปฐมภูมิ** (primary colours of light) เพราะเมื่อแสงสีเหล่านี้มาผสมกันจะได้เป็นแสงสีต่าง ๆ ครบทุกสี ส่วนสารสีน้ำเงินเขียว สารสีเหลือง และสารสีแดงม่วง จัดเป็น **สารสีปฐมภูมิ** (primary colours of pigment) เพราะเมื่อสารสีเหล่านี้มาผสมกันจะได้สีต่าง ๆ ครบทุกสี ถ้าเซลล์รูปกรวยชนิดใดชนิดหนึ่งหรือมากกว่ามีความบกพร่อง จะมองเห็นสีแตกต่างไปจากคนปกติ เรียกความผิดปกติในการมองเห็นสีนี้ว่า **การบอดสี** (colour blindness)

ความรู้เรื่องแสงเชิงรังสีสามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น รุ้ง การทรงกลด มิราจ และการเห็นท้องฟ้าเป็นสีต่าง ๆ ในช่วงเวลาต่างกัน รวมทั้งการใช้ประโยชน์เกี่ยวกับแสงในชีวิตประจำวัน เช่น กล้องโทรทรรศน์ กล้องจุลทรรศน์ และกล้องถ่ายรูป

## เวลาที่ใช้

### บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 28 ชั่วโมง

11.1 การสะท้อนและการหักเหของแสง	5 ชั่วโมง
11.2 การมองเห็นและการเกิดภาพ	7 ชั่วโมง
11.3 ภาพจากเลนส์บางและกระจกเงาทรงกลม	10 ชั่วโมง
11.4 แสงสีและการมองเห็นแสงสี	3 ชั่วโมง
11.5 การอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติและ การใช้ประโยชน์เกี่ยวกับแสง	3 ชั่วโมง



### ความรู้ก่อนเรียน

ธรรมชาติของแสง การสะท้อนของแสง การหักเหของแสง การกระจายของแสงผ่านปริซึม

### สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

ถ้าจะมีการให้นักเรียนสังเกตการเกิดภาพจากการสะท้อนและหักเหของแสง ให้เตรียมวัสดุและอุปกรณ์ ดังนี้

1. กระจกเงาราบ
2. เลนส์ เช่น เลนส์นูน เลนส์เว้า ขวดน้ำ หรือแว่นตา
3. กระจกเงาทรงกลม เช่น กระจกโค้งนูน กระจกโค้งเว้า หรือข้อสอดแนมเลส

ครูนำเข้าสู่บทที่ 11 โดยอาจใช้รูปนำบทนำอภิปรายโดยถามนักเรียนว่า เหตุใดภาพของเสาชิงช้าที่ปรากฏบนลูกแก้วทรงกลมจึงเป็นภาพหัวกลับและมีขนาดเล็กลง หรือครูอาจจัดกิจกรรมสาธิตโดยให้นักเรียนสังเกตภาพที่เกิดขึ้นจากกระจกเงาราบ เลนส์บาง กระจกเงาทรงกลม ซึ่งครูอาจใช้วัตถุจากชีวิตประจำวันทดแทน เช่น ขวดน้ำ แว่นตา และข้อสอดแนมเลส จากนั้น ครูนำอภิปรายโดยถามนักเรียนว่า ภาพดังกล่าวเกิดขึ้นได้อย่างไร และเหตุใด ภาพที่เกิดขึ้นมีจึงมีขนาดเท่าเดิม เพิ่มขึ้น หรือลดลงเมื่อเทียบกับวัตถุจริง โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ และไม่คาดหวังคำตอบถูกต้อง

ครูชี้แจงนักเรียนว่า ในบทที่ 11 นี้ นักเรียนจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับการเกิดภาพจากปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของแสงที่สามารถอธิบายได้โดยใช้มุมมองของแสงในแบบที่เป็นรังสี จากนั้นครูใช้รูป 11.1 ในหนังสือเรียนนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า รังสีของแสงบอกทิศทาง การเคลื่อนที่ของแสงและมีทิศทางตั้งฉากกับหน้าคลื่น

ครูชี้แจงคำถามสำคัญที่นักเรียนจะต้องตอบได้หลังจากการเรียนรู้บทที่ 11 และหัวข้อที่นักเรียนจะได้เรียนรู้ในบทเรียนนี้

## 11.1 การสะท้อนและการหักเหของแสง

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายการสะท้อนของแสงและกฎการสะท้อนของแสง
2. ทดลองและอธิบายการหักเหของแสงและกฎของสเนลล์
3. อธิบายมุมวิกฤต การสะท้อนกลับหมด และการกระจายของแสงเมื่อผ่านปริซึม

### 11.1.1 การสะท้อนของแสง

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อแสงตกกระทบวัตถุที่ผิวเรียบและสามารถสะท้อนแสงได้ แสงสะท้อนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ออกไปทุกทิศทาง	1. เมื่อแสงตกกระทบวัตถุที่ผิวเรียบและสามารถสะท้อนแสงได้ แสงสะท้อนที่เกิดขึ้นจะมีเฉพาะในทิศทางที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน และแนวรังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นแนวฉาก อยู่ในระนาบเดียวกัน

#### สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

ถ้าจะมีการให้นักเรียนสังเกตการสะท้อนของแสง ให้เตรียมวัสดุและอุปกรณ์ ดังนี้

1. เครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์หรือไฟฉาย
2. กระจกหรือวัตถุที่ผิวเรียบสามารถสะท้อนแสงได้

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 1 ของหัวข้อ 11.1 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 11.1.1 โดยใช้รูป 11.2 ในหนังสือเรียน หรือจัดกิจกรรมสาธิตโดยให้นักเรียนสังเกตการสะท้อนของแสงเมื่อฉายแสงจากเลเซอร์หรือไฟฉายไปยังกระจกเงาราบ จากนั้น ครูนำอภิปรายโดยถามนักเรียนว่า ขนาดของมุมตกกระทบและขนาดของมุมสะท้อนที่เกิดจากรังสีของแสงที่ตกกระทบและสะท้อนบนกระจกเงาราบ มีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ และไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้น ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 11.1 ในหนังสือเรียน



## กิจกรรม 11.1 การสะท้อนของแสง

### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาระนาบของรังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นแนวฉาก และความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมสะท้อน

เวลาที่ใช้ 30 นาที

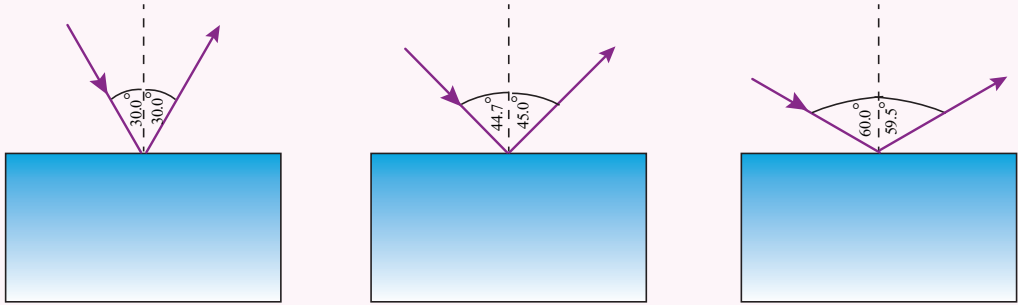
### วัสดุและอุปกรณ์

1. ชุดกล่องแสง	1	ชุด
2. หม้อแปลงโวลต์ต่ำขนาด 12 โวลต์	1	เครื่อง
3. แท่งพลาสติกสีเหลืองผืนผ้า	1	แท่ง
4. ผิวสะท้อนเว้าและนูน	1	อัน
5. ครึ่งวงกลมวัดมุม	1	อัน
6. กระดาษขาว	1	แผ่น

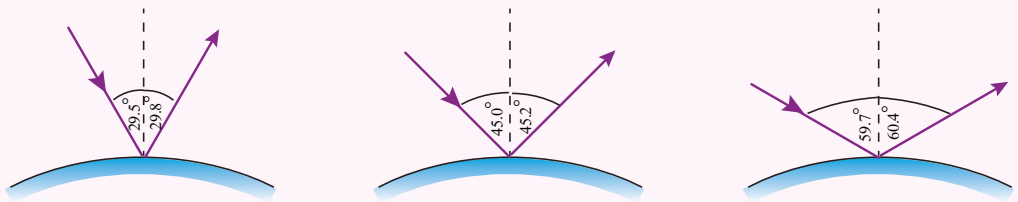
### แนะนำก่อนทำกิจกรรม

- จัดบริเวณที่ทำกิจกรรมให้มีมืดกว่าปกติจะได้สังเกตเห็นลำแสงได้ชัดเจน
- นำแท่งพลาสติกสีเหลืองผืนผ้า ผิวสะท้อนเว้า หรือผิวสะท้อนนูน ใ้กลัดแผ่นช่องแสงให้มากที่สุดเพื่อให้ลำแสงสว่างและชัดเจน
- การเขียนรังสีตกกระทบและรังสีสะท้อนอาจใช้ดินสอเขียนจุด 2 จุดบนกระดาษ ในแนวกลางของลำแสงก่อน จากนั้น ยกวัตถุสะท้อนแสงออก แล้วลากเส้นตรงผ่านจุดทั้งสอง
- การเขียนเส้นแนวฉาก ในกรณีของวัตถุผิวราบลากเส้นแนวฉากให้ตั้งฉากกับผิวราบตรงจุดที่แสงตกกระทบ ส่วนในกรณีวัตถุผิวสะท้อนนูนและผิวสะท้อนเว้า ให้ลากเส้นตั้งฉากกับเส้นสัมผัสผิววัตถุ ณ จุดที่แสงตกกระทบ

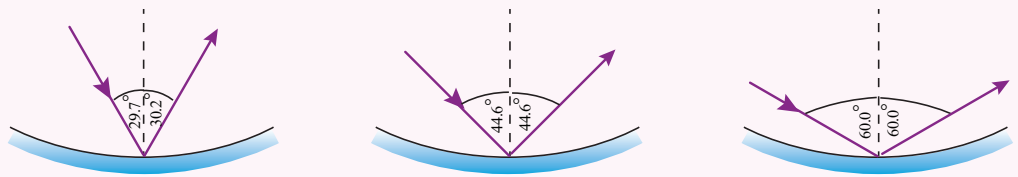
## ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม



การสะท้อนของแสงโดยแท่งพลาสติกสีเหลี่ยมผืนผ้า



การสะท้อนของแสงโดยผิวสะท้อนนูน



การสะท้อนของแสงโดยผิวสะท้อนเว้า



## แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นแนวฉากอยู่ในระนาบเดียวกันหรือไม่  
แนวคำตอบ รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นแนวฉากอยู่ในระนาบเดียวกัน
- มุมตกกระทบและมุมสะท้อนที่ผิวสะท้อนของแท่งพลาสติกเท่ากันทุกครั้งหรือไม่ อย่างไร  
แนวคำตอบ มุมตกกระทบและมุมสะท้อนมีค่าใกล้เคียงกันจนประมาณได้ว่าเท่ากันทุกครั้ง



- มุมตกกระทบและมุมสะท้อนที่ผิวสะท้อนนูนเท่ากันทุกครั้งหรือไม่ อย่างไร  
**แนวคำตอบ** มุมตกกระทบและมุมสะท้อนมีค่าใกล้เคียงกันจนประมาณได้ว่าเท่ากันทุกครั้ง
- มุมตกกระทบและมุมสะท้อนที่ผิวสะท้อนเว้าเท่ากันทุกครั้งหรือไม่ อย่างไร  
**แนวคำตอบ** มุมตกกระทบและมุมสะท้อนมีค่าใกล้เคียงกันจนประมาณได้ว่าเท่ากันทุกครั้ง

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูนำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า เมื่อแสงผ่านช่องแสงชนิด 1 ช่อง จะทำให้เกิดลำแสง และเมื่อลำแสงดังกล่าวตกกระทบกับผิวสะท้อน ลำแสงจะเกิดการสะท้อนโดย

1. มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน
2. รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นแนวฉาก อยู่ในระนาบเดียวกัน

ครูใช้รูป 11.3 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการสะท้อนของแสง จนสรุปได้ว่า การสะท้อนของแสงเป็นไปตามกฎการสะท้อนของแสง จากนั้น ครูนำอภิปรายโดยถามนักเรียนว่า ถ้าผิวสะท้อนมีความขรุขระ การสะท้อนของแสงจะเป็นอย่างไร แล้วจึงใช้รูป 11.4 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า การสะท้อนของแสงในกรณีผิวสะท้อนมีความขรุขระยังคงเป็นไปตามกฎการสะท้อนของแสง หลังการอภิปราย ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 11.1 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ และอาจให้นักเรียนศึกษาความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับตัวสะท้อนแสงเลเซอร์บนดวงจันทร์

#### 11.1.2 การหักเหของแสง

##### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปอีกตัวกลางหนึ่ง แสงจะไม่เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่	1. เมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปอีกตัวกลางหนึ่ง แสงจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ ยกเว้นกรณีแสงตกกระทบตั้งฉากกับผิวรอยต่อ
2. เมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปอีกตัวกลางหนึ่งในแนวตั้งฉากกับผิวรอยต่อ แสงจะไม่เกิดการหักเห	2. เมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปอีกตัวกลางหนึ่ง แสงจะเกิดการหักเหเสมอ เนื่องจากมีอัตราเร็วเปลี่ยนแปลงไป

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
3. เมื่อแสงขาวเคลื่อนที่ผ่านปริซึมสามเหลี่ยม จะเกิดการหักเหแล้วยังคงเป็นแสงขาวเช่นเดิม	3. เมื่อแสงขาวเคลื่อนที่ผ่านปริซึมสามเหลี่ยม จะเกิดการหักเหทำให้แยกออกเป็นแสงสีต่าง ๆ
4. ดรรชนีหักเหของตัวกลางหนึ่งมีค่าเดียวกัน สำหรับแสงทุกความยาวคลื่น	4. ดรรชนีหักเหของตัวกลางหนึ่งมีค่าแตกต่างกัน สำหรับแสงแต่ละความยาวคลื่น

### สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

ถ้าจะมีการให้นักเรียนสังเกตการหักเหของแสงเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านน้ำในแก้ว การสะท้อนกลับหมดของแสงเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านสายใยนำแสง และการกระจายแสงผ่านปริซึมสามเหลี่ยม ให้เตรียมวัสดุและอุปกรณ์ ดังนี้

1. เครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์หรือไฟฉาย
2. แก้วน้ำที่บรรจุน้ำ
3. สายใยนำแสง
4. ปริซึมสามเหลี่ยม

### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 2 และ 3 ของหัวข้อ 11.1 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 11.1.2 โดยใช้รูป 11.5 ในหนังสือเรียน หรือจัดกิจกรรมสาธิตโดยฉายลำแสงเลเซอร์ลงไปในแก้วที่บรรจุน้ำแล้วให้นักเรียนร่วมกันสังเกตเส้นทางการเคลื่อนที่ของแสงเลเซอร์ แล้วร่วมกันอภิปรายโดยให้นักเรียนตอบคำถามว่า เพราะเหตุใดแสงเลเซอร์จึงเกิดการเปลี่ยนทิศทางเมื่อเคลื่อนที่จากอากาศไปน้ำ โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาการหักเหของแสงตามรายละเอียดในหนังสือเรียน และร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่า ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดจากการหักเหของแสง โดยครูให้นักเรียนศึกษารังสีตกกระทบ รังสีหักเห มุมตกกระทบ มุมหักเห และเส้นแนวฉาก จากรูป 11.6 ในหนังสือเรียน

ครูนำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับดรรชนีหักเหของตัวกลางตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า การหักเหของแสงเป็นผลโดยตรงจากอัตราเร็วของคลื่นในตัวกลางแต่ละชนิดไม่เท่ากัน โดยดรรชนีหักเหของตัวกลางเป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วแสงในสุญญากาศกับอัตราเร็วแสงในตัวกลางนั้น จากนั้น ครูให้นักเรียนศึกษาตาราง 11.1 และอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับดรรชนีหักเหของสารชนิดต่าง ๆ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า ดรรชนีหักเหของของสารแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน

ครูนำอภิปรายโดยถามนักเรียนว่า ในกรณีที่รังสีตกกระทบไม่ตั้งฉากกับผิวรอยต่อของตัวกลาง มุมของรังสีตกกระทบและมุมของรังสีหักเหมีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 11.2 ในหนังสือเรียน



### กิจกรรม 11.2 การหักเหของแสง

#### จุดประสงค์

ศึกษาการหักเหของแสง

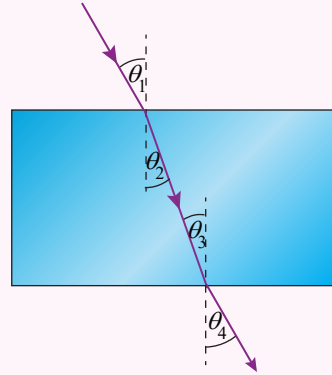
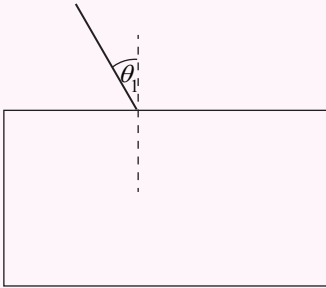
เวลาที่ใช้ 60 นาที

#### วัสดุและอุปกรณ์

- |                                  |   |         |
|----------------------------------|---|---------|
| 1. ชุดกล่องแสง                   | 1 | ชุด     |
| 2. หม้อแปลงโวลต์ต่ำขนาด 12 โวลต์ | 1 | เครื่อง |
| 3. แท่งพลาสติกสี่เหลี่ยมผืนผ้า   | 1 | แท่ง    |
| 4. ครึ่งวงกลมวัดมุม              | 1 | อัน     |
| 5. กระดาษขาว                     | 1 | แผ่น    |

#### แนะนำก่อนทำกิจกรรม

- จัดบริเวณที่ทำกิจกรรมให้มีมืดกว่าปกติจะได้สังเกตเห็นลำแสงได้ชัดเจน
- นำแท่งพลาสติกสี่เหลี่ยมผืนผ้าวางใกล้แผ่นช่องแสงให้มากที่สุดเพื่อให้ลำแสงสว่างและชัดเจน
- ใช้ดินสอปลายแหลมขีดแนวของพลาสติกทั้ง 4 ด้าน บนกระดาษขาว แล้วนำแท่งพลาสติกสี่เหลี่ยมผืนผ้าออกจากกระดาษ กำหนดจุดให้แสงตกกระทบบริเวณด้านยาวของแนวแท่งพลาสติกสี่เหลี่ยมผืนผ้า แล้วลากเส้นแนวฉากจากจุดดังกล่าว และลากเส้นตรงเพื่อเป็นแนวลำแสงตกกระทบทำมุม  $\theta_1$  กับเส้นแนวฉาก ดังรูป ก.
- เมื่อทำการทดลอง วางแท่งพลาสติกสี่เหลี่ยมผืนผ้าในกรอบที่ขีดไว้ แล้วจัดลำแสงให้ทาบเส้นตรงที่ทำมุม  $\theta_1$  กับเส้นแนวฉาก ใช้ดินสอจุดตำแหน่งที่แนวรังสีของแสงออกจากแท่งพลาสติกสี่เหลี่ยมผืนผ้า จากนั้นยกแท่งพลาสติกสี่เหลี่ยมผืนผ้าออก ลากเส้นตรงต่อจุดที่แสงตกกระทบและจุดที่แสงออกจากแท่งพลาสติกสี่เหลี่ยมผืนผ้า วัดมุมหักเหในแท่งพลาสติกสี่เหลี่ยมผืนผ้า  $\theta_2$  พร้อมกับวัดมุมตกกระทบ  $\theta_3$  และมุมหักเห  $\theta_4$  ดังรูป ข. แล้วบันทึกมุมที่วัดได้



ก. แนววางแท่งพลาสติก แนวรังสีตกกระทบและเส้นแนวฉาก

ข. มุมตกกระทบและมุมหักเห

รูป ตัวอย่างบันทึกการหักเหของแสง

### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ครั้งที่	$\theta_1$ (องศา)	$\theta_2$ (องศา)	$\theta_3$ (องศา)	$\theta_4$ (องศา)	$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$	$\frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_4}$
1	30	19.5	19.5	30	1.49	0.67
2	45	28.5	28.5	45	1.48	0.67
3	60	36	36	60	1.47	0.68



### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ค่าของ  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$  และ  $\frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_4}$  ที่ได้ทั้งสามครั้ง เท่ากันหรือไม่

แนวคำตอบ ไกล่เคียงกันหรือเท่ากัน

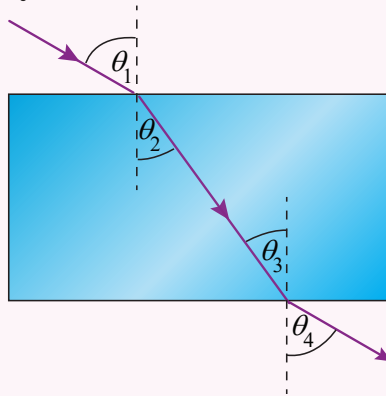
- ค่าของ  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$  เท่ากับส่วนกลับของ  $\frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_4}$  หรือไม่

แนวคำตอบ  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$  มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับส่วนกลับของ  $\frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_4}$

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูนำนักเรียนอภิปรายจนได้ข้อสรุป ดังนี้

1. เมื่อลำแสงเคลื่อนที่จากอากาศเข้าสู่แท่งพลาสติกสีเหลี่ยมผืนผ้า แสงจะเกิดการหักเห และเมื่อแสงเคลื่อนที่จากแท่งพลาสติกสีเหลี่ยมผืนผ้ากลับออกสู่อากาศ แสงจะเกิดการหักเหอีกครั้ง ดังรูป



รูป การหักเหของแสง

2. มุม  $\theta_1$  โตกว่า  $\theta_2$  นั่นคือ เมื่อแสงเคลื่อนที่จากอากาศเข้าไปในแท่งพลาสติกสีเหลี่ยมผืนผ้า มุมหักเหจะเล็กกว่ามุมตกกระทบ
3. มุม  $\theta_3$  เล็กกว่า  $\theta_4$  นั่นคือ เมื่อแสงเคลื่อนที่จากแท่งพลาสติกสีเหลี่ยมผืนผ้าเข้าไปในอากาศ มุมหักเหจะโตกว่ามุมตกกระทบ
4. อัตราส่วนของ  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$  และอัตราส่วนของ  $\frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_4}$  มีค่าคงตัว
5. อัตราส่วนของ  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$  เท่ากับส่วนกลับของอัตราส่วน  $\frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_4}$

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรมจนสรุปได้ว่า สำหรับตัวกลางคู่หนึ่ง อัตราส่วนระหว่างไซน์ของมุมตกกระทบกับไซน์ของมุมหักเหมีค่าคงตัว

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับการหักเหของแสงตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แนะนำอภิปรายจนได้ความสัมพันธ์ตามสมการ (11.2) ในหนังสือเรียน ซึ่งเป็นกฎของสเนลล์ และสามารถสรุปได้ว่า การหักเหของแสงเป็นไปตามกฎการหักเห

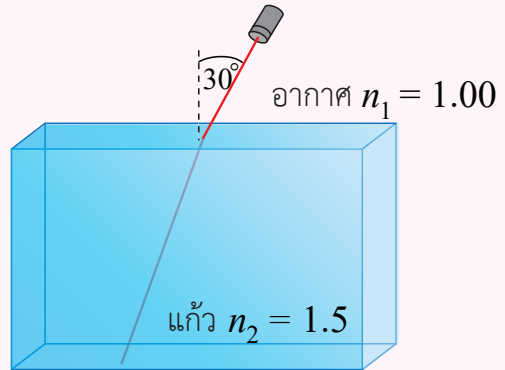
ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 11.2 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

ครูอาจถามคำถามชวนคิด ในหน้า 170 โดยให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้

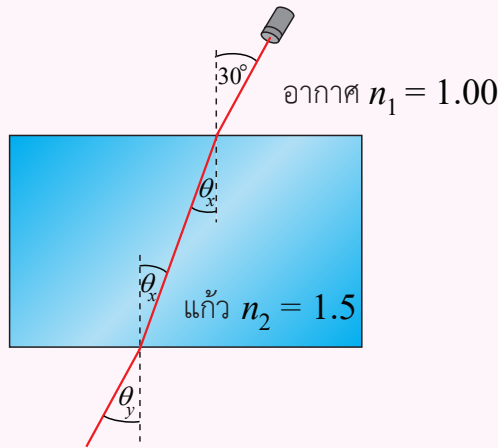


## แนวคำตอบชวนคิด

ถ้าแสงตกกระทบบนแท่งแก้วที่มีดรรชนีหักเห 1.5 ที่มีความหนาสม่ำเสมอ ด้วยมุมตกกระทบบน  $30^\circ$  ดังรูป แสงจะหักเหออกจากแท่งแก้วด้วยมุมหักเหเท่าใด กำหนดให้แท่งแก้วนี้วางอยู่ในอากาศที่มีดรรชนีหักเห 1.00



**แนวคำตอบ** แท่งแก้วมีความหนาสม่ำเสมอทำให้ผิวด้านบนขนานกับผิวด้านล่าง จะได้มุมหักเหในแท่งแก้วเท่ากับมุมตกกระทบบนแท่งแก้วโดยให้เป็น  $\theta_x$  และให้มุมหักเหสู่อากาศเป็น  $\theta_y$  ดังรูป



รูป ประกอบแนวคำตอบชวนคิด

จะได้ 
$$\frac{\sin 30^\circ}{\sin \theta_x} = \frac{\sin \theta_y}{\sin \theta_x}$$

แสดงว่า 
$$\theta_y = 30^\circ$$

ดังนั้น แสงจะหักเหออกจากแท่งแก้วสู่อากาศด้วยมุมหักเหเท่ากับ  $30^\circ$  องศา

**หมายเหตุ:** อาจหาคำตอบได้โดยใช้วิธีคำนวณหา  $\theta_x$  และ  $\theta_y$  ได้จากความสัมพันธ์ตามกฎของสเนลล์ คือ  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการสะท้อนกลับหมด โดยให้นักเรียนตอบคำถามว่า ในกรณีที่แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีดรรชนีหักเหมากไปยังตัวกลางที่มีดรรชนีหักเหน้อยซึ่งทำให้มุมหักเหมีขนาดโตกว่ามุมตกกระทบ ถ้าเพิ่มขนาดของมุมตกกระทบมากขึ้นเรื่อย ๆ จะเกิดอะไรขึ้นกับรังสีของแสงหักเห โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูใช้รูป 11.7 และ 11.8 ในหนังสือเรียน นำอภิปรายเกี่ยวกับปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมดจนสรุปได้ว่า มุมตกกระทบที่ทำให้มุมหักเหเท่ากับ 90 องศา เรียกว่า มุมวิกฤต และเมื่อมุมตกกระทบโตกว่ามุมวิกฤตจะเกิดการสะท้อนกลับหมด และสามารถหามุมวิกฤตได้ ดังสมการ (11.3) ในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 11.3 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ จากนั้นครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 173 โดยให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระแล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



### แนวคำตอบชวนคิด

ถ้าแก้ววางอยู่ในน้ำแทนที่จะเป็นอากาศ มุมวิกฤตสำหรับการสะท้อนกลับหมดในแก้วที่รอยต่อระหว่างแก้วกับน้ำจะเท่ากับ  $41.8^\circ$  หรือไม่

**แนวคำตอบ** หามุมวิกฤตจากกฎของสเนลล์โดยพิจารณามุมหักเหขนาดเท่ากับ 90 องศา และใช้ดรรชนีหักเหของน้ำเท่ากับ 1.33

$$\begin{aligned} \text{จากกฎของสเนลล์} \quad & n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \\ \text{แทนค่า} \quad & (1.50)(\sin \theta_c) = (1.33)(\sin 90^\circ) \\ \text{จะได้} \quad & \sin \theta_c = \frac{1.33}{1.50} \\ & \theta_c = \arcsin(0.887) \\ & \theta_c = 62.46^\circ \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่ามุมวิกฤตสำหรับการสะท้อนกลับหมดที่รอยต่อระหว่างแก้วกับน้ำ เท่ากับ  $62.5^\circ$  องศา

ครูใช้รูป 11.9 ในหนังสือเรียน หรืออาจจัดกิจกรรมสาธิตเพื่อให้นักเรียนสังเกตการเดินทางของแสงผ่านสายใยนำแสง แล้วนำอภิปรายโดยให้นักเรียนตอบคำถามว่า ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นได้อย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้น ครูให้นักเรียนศึกษารายละเอียดในหนังสือเรียนจนสรุปได้ว่า สายใยนำแสงหรือเส้นใยนำแสงประกอบด้วยชั้นในเรียกว่าแกน และชั้นนอกเรียกว่าเปลือกหุ้มแกน โดยส่วนที่เป็นแกนจะมีดรรชนีหักเหมากกว่าส่วนที่เป็นเปลือกหุ้มแกนทำให้แสงที่เคลื่อนที่เข้าไปยังแกนเกิดการสะท้อนกลับหมดอยู่ภายในแกนของเส้นใยนำแสง

ครูใช้รูป 11.9 ในหนังสือเรียน หรืออาจจัดกิจกรรมสาธิตเพื่อให้นักเรียนสังเกตการเดินทางของแสงผ่านเส้นใยนำแสง แล้วนำอภิปรายโดยให้นักเรียนตอบคำถามว่า ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นได้อย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้น ครูให้นักเรียนศึกษารายละเอียดในหนังสือเรียนจนสรุปได้ว่า เส้นใยนำแสงประกอบด้วยชั้นในเรียกว่าแกน และชั้นนอกเรียกว่าเปลือกหุ้มแกน โดยส่วนที่เป็นแกนจะมีดัชนีหักเหมากกว่าส่วนที่เป็นเปลือกหุ้มแกนทำให้แสงที่เคลื่อนที่เข้าไปยังแกนเกิดการสะท้อนกลับหมดอยู่ภายในแกนของเส้นใยนำแสง

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 11.4 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

ครูใช้รูป 11.11 ในหนังสือเรียน หรืออาจจัดกิจกรรมสาธิตเพื่อให้นักเรียนสังเกตการกระจายแสงผ่านปริซึมสามเหลี่ยม แล้วนำอภิปรายโดยให้นักเรียนตอบคำถามว่า ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นได้อย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษารายละเอียดในหนังสือเรียนจนสรุปได้ว่า แสงแต่ละสีจะมีดัชนีหักเหไม่เท่ากัน ทำให้มุมหักเหของแสงแต่ละสีต่างกัน เมื่อแสงขาวเคลื่อนที่ผ่านปริซึมสามเหลี่ยมจึงเกิดการหักเหแยกจากกันเป็นสีต่าง ๆ จากนั้นครูอาจให้นักเรียนศึกษาความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการค้นพบสเปกตรัมของแสงขาวผ่านปริซึมสามเหลี่ยม

### แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการสะท้อนและการหักเหของแสง จากการตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 11.1 และการทำแบบฝึกหัด 11.1
2. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวนจากการคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสะท้อนและการหักเหของแสง
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล และความรอบคอบ จากการทำกิจกรรมและการอภิปรายร่วมกัน และจากการทำแบบฝึกหัด 11.1



### แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 11.1

1. การสะท้อนของแสงเกิดอย่างไร

**แนวคำตอบ** การสะท้อนของแสงเกิดขึ้นจากการที่แสงตกกระทบผิววัตถุที่สามารถสะท้อนแสงได้โดยมุมตกกระทบจะมีค่าเท่ากับมุมสะท้อน และรังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นแนวฉากอยู่ในระนาบเดียวกัน



## 2. การหักเหของแสงเกิดอย่างไร

**แนวคำตอบ** การหักเหของแสงเกิดจากการที่แสงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปอีกตัวกลางหนึ่ง ซึ่งอาจทำให้แสงเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนแปลงอัตราเร็ว โดยที่  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$  และรังสีตกกระทบ รังสีหักเห และเส้นแนวฉากอยู่ในระนาบเดียวกัน

## 3. เพราะเหตุใดแสงเลเซอร์ที่เคลื่อนที่จากอากาศไปยังแท่งแก้วและน้ำด้วยมุมตกกระทบที่เท่ากัน จึงมีมุมหักเหที่ต่างกัน

**แนวคำตอบ** เพราะแท่งแก้วและน้ำมีดัชนีหักเหที่แตกต่างกัน แสงเลเซอร์ที่เคลื่อนที่จากอากาศไปยังแท่งแก้วและน้ำด้วยมุมตกกระทบที่เท่ากัน จึงมีมุมหักเหที่ต่างกัน

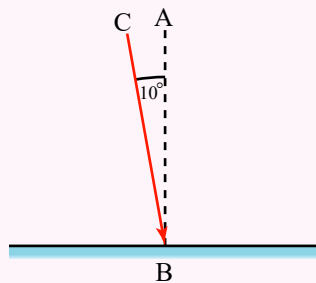
## 4. เพราะเหตุใดเมื่อให้แสงขาวเคลื่อนที่ผ่านปริซึมจึงเกิดเป็นแถบแสงหลายสี

**แนวคำตอบ** เพราะแสงขาวประกอบด้วยแสงหลายสี และดัชนีหักเหของแสงแต่ละสีสำหรับวัสดุเดียวกันมีค่าไม่เท่ากัน เมื่อให้แสงขาวเคลื่อนที่ผ่านปริซึม มุมหักเหของแสงแต่ละสีจึงไม่เท่ากันและแยกออกจากกันเกิดเป็นแถบแสงหลายสี



## เฉลยแบบฝึกหัด 11.1

## 1. รังสีของแสง CB ตกกระทบกระจกเงาราบทำมุม 10 องศา กับเส้น AB ซึ่งอยู่ในแนวตั้งฉากกับกระจก ดังรูป



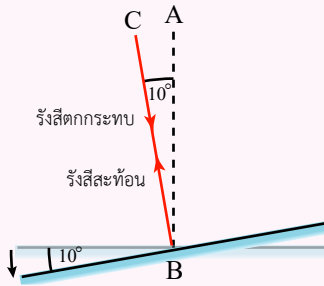
รูป ประกอบแบบฝึกหัด 11.1 ข้อ 1

เมื่อปิดกระจกเงาราบทำมุม 10 องศา กับแนวเดิมของกระจกเงาราบ รังสีสะท้อนจะทำมุมเท่าใดกับเส้น AB ถ้า

- ปิดกระจกเงาราบในทิศทางทวนเข็มนาฬิการอบจุด B
- ปิดกระจกเงาราบในทิศทางตามเข็มนาฬิการอบจุด B

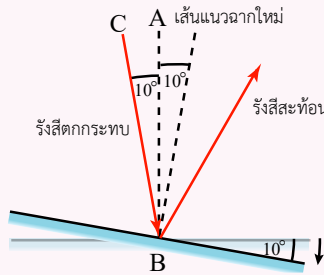
## วิธีทำ

ก. เมื่อปิดกระจกเงาราบในทิศทวนเข็มนาฬิกาในทิศทางทำมุม  $10^\circ$  องศา กับแนวเดิม รังสีสะท้อนจะสะท้อนกลับในแนวของรังสีตกกระทบเดิม เพราะรังสีตกกระทบทับกับเส้นแนวฉาก ดังนั้น รังสีสะท้อนทำมุมกับเส้น AB เท่ากับ  $10^\circ$  องศา ดังรูป



รูป ประกอบเฉลยแบบฝึกหัด ข้อ 11.1 ก.

ข. เมื่อปิดกระจกเงาราบในทิศตามเข็มนาฬิกาในทิศทางทำมุม  $10^\circ$  องศา กับแนวเดิม เส้นแนวฉากใหม่ทำมุมกับรังสีตกกระทบเดิม  $20^\circ$  องศา ดังนั้น รังสีสะท้อนทำมุมกับเส้น AB เท่ากับ  $30^\circ$  องศา ดังรูป



รูป ประกอบเฉลยแบบฝึกหัด ข้อ 11.1 ข.

ตอบ ก. เมื่อปิดกระจกเงาราบในทิศทวนเข็มนาฬิกา รังสีสะท้อนทำมุม  $10^\circ$  องศากับเส้น AB  
 ข. เมื่อปิดกระจกเงาราบในทิศทางตามเข็มนาฬิกา รังสีสะท้อนทำมุม  $30^\circ$  องศากับเส้น AB

2. แสงความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร เดินทางจากสุญญากาศเข้าสู่ซิลิกาโดยมีอัตราเร็วของแสงในซิลิกาเป็น  $2.06 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที ดรรชนีหักเหของซิลิกาเป็นเท่าใด กำหนดอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศเท่ากับ  $3.00 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที

**วิธีทำ** จากนิยาม ดรรชนีหักเหของตัวกลาง  $n = \frac{c}{v}$

เมื่อ  $n$  คือ ดรรชนีหักเหของซิลิกา

$c$  คือ อัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ  $3.00 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที

$v$  คือ อัตราเร็วของแสงในซิลิกา มีค่าเท่ากับ  $2.06 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที

แทนค่า 
$$n = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.06 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

จะได้ 
$$n = 1.46$$

**ตอบ** ดรรชนีหักเหของซิลิกา เท่ากับ 1.46

3. แสงเดินทางออกจากแก้วควารน์สู่อากาศทำมุมตกกระทบ 30 องศา ที่ผิวรอยต่อระหว่างแก้วควารน์กับอากาศ แสงจะมีมุมหักเหเป็นเท่าใด กำหนดดรรชนีหักเหของอากาศและแก้วควารน์เท่ากับ 1.00 และ 1.52 ตามลำดับ

**วิธีทำ** จากกฎของสเนลล์  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

เมื่อ  $n_1$  คือ ดรรชนีหักเหของแก้วควารน์ มีค่าเท่ากับ 1.52

$n_2$  คือ ดรรชนีหักเหของอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.00

$\theta_1$  คือ มุมตกกระทบ มีค่าเท่ากับ  $30^\circ$

$\theta_2$  คือ มุมหักเห

แทนค่า 
$$(1.52) \sin 30^\circ = (1.00) \sin \theta_2$$

$$\sin \theta_2 = (1.52)(0.5)$$

$$= 0.760$$

$$\theta_2 = 49.5^\circ$$

**ตอบ** แสงที่เดินทางออกจากแก้วควารน์สู่อากาศมีมุมหักเหเท่ากับ 49.5 องศา

4. จงหามุมวิกฤตของเพชรเมื่อแสงผ่านจากเพชรไปยังน้ำ กำหนดดรรชนีหักเหของเพชรและน้ำ เท่ากับ 2.42 และ 1.33 ตามลำดับ

**วิธีทำ** จากกฎของสเนลล์  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

เมื่อ  $n_1$  คือ ดรรชนีหักเหของเพชร มีค่าเท่ากับ 2.42

$n_2$  คือ ดรรชนีหักเหของอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.33

$\theta_1$  คือ มุมตกกระทบในเพชร

$\theta_2$  คือ มุมหักเหในน้ำ มีค่าเท่ากับ  $90^\circ$

แทนค่า  $(2.42) \sin \theta_1 = (1.33) \sin 90^\circ$

$$\sin \theta_1 = 0.5496$$

$$\theta_1 = 33.34^\circ$$

**ตอบ** มุมวิกฤตของเพชรเท่ากับ  $33.34$  องศา

## 11.2 การมองเห็นและการเกิดภาพ

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายวิธีการเขียนรังสีของแสงและการเกิดภาพ
2. เขียนรังสีของแสงและอธิบายการเกิดภาพ ระบุตำแหน่งและชนิดของภาพที่เกิดจากการสะท้อนของแสงจากกระจกเงาราบ
3. เขียนรังสีของแสง อธิบายและคำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ของการเกิดภาพที่เกิดจากการหักเหของแสงที่ผ่านตัวกลางที่ต่างกัน

### 11.2.1 การมองเห็น

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 4 ของหัวข้อ 11.2 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 11.2.1 โดยยกสถานการณ์ว่า ในเวลากลางคืนหรือเวลาที่เรายืนในสถานที่ที่มีต้นสนิท ทำให้เราไม่สามารถมองเห็นวัตถุได้ แต่ถ้ามีการส่องแสง เช่น แสงจากไฟฉายไปกระทบวัตถุ จะทำให้เราสามารถมองเห็นวัตถุได้ จากนั้นครูนำอภิปรายโดยให้นักเรียนตอบคำถามว่า จากสถานการณ์ดังกล่าว จะสามารถนำมาอธิบายการมองเห็นวัตถุได้อย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูใช้รูป 11.12 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการมองเห็นตามรายละเอียดในหนังสือเรียนจนสรุปได้ว่า การมองเห็นวัตถุเกิดขึ้นเนื่องจากมีแสงจากวัตถุเข้าตา โดยเลนส์ตาทำหน้าที่ช่วยให้แสงไปรวมกันที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนจอตาทำให้เกิดการรับรู้บนจอตาส่งสัญญาณให้สมองแปลความหมายเป็นการมองเห็นวัตถุ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยการเขียนรังสีของแสงจากวัตถุมายังตา

### 11.2.2 การเกิดภาพ

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ภาพที่เห็นจากกระจกเงาราบอยู่บนพื้นผิวของกระจกเงาราบ เนื่องจากแสงสะท้อนจากผิวที่กระจกเงาราบ	1. ภาพที่เห็นจากกระจกเงาราบอยู่ด้านหลังกระจกเงาราบ เนื่องจากภาพที่เห็นเกิดจากแสงสะท้อนที่ผิวกระจก โดยแสงดังกล่าวเสมือนออกมาจากตำแหน่งภาพที่อยู่หลังกระจกเงาราบ
2. เมื่ออยู่ในอากาศและมองวัตถุที่อยู่ในน้ำจากด้านบน จะเห็นภาพของวัตถุในน้ำอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกับวัตถุจริง	2. เมื่ออยู่ในอากาศและมองวัตถุที่อยู่ในน้ำจากด้านบน จะเห็นภาพของวัตถุในน้ำอยู่ตื้นกว่าตำแหน่งของวัตถุจริง

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 5 ของหัวข้อ 11.2 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 11.2.2 โดยครูยกสถานการณ์การส่องกระจกเงาราบ โดยใช้รูป 11.13 แล้วนำอภิปรายโดยให้นักเรียนตอบคำถามว่า เหตุใด จึงเห็นตัวเราในกระจกเงาราบได้ ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับการเกิดภาพจากการสะท้อนตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่ากระจกเงาราบสะท้อนแสงจากตัวเรามาเข้าตา ทำให้เห็นภาพตัวเราในกระจกเงาราบได้ จากนั้น ครูใช้รูป 11.14 – 11.17 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า ภาพของวัตถุสามารถเกิดขึ้นคนละตำแหน่งกับวัตถุได้ เมื่อมีบางสิ่งมาเปลี่ยนทางเดินของแสงที่ออกจากวัตถุมาเข้าตา ทำให้เห็นภาพตรงตำแหน่งที่แนวรังสีที่เข้าตาตัดกัน เช่น การเห็นวัตถุ P จากการสะท้อนจากกระจกเงาราบตามกฎการสะท้อน ดังรูป 11.17 ในหนังสือเรียน

ครูใช้รูป 11.18 และ 11.19 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการหาความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะวัตถุและระยะภาพ จนสรุปได้ว่า ระยะจากภาพถึงกระจกมีค่าเท่ากับระยะวัตถุถึงกระจก นั่นคือ  $s' = -s$  โดยให้หน้ากระจกเป็นบวกและหลังกระจกเป็นลบ จากนั้น ครูให้นักเรียนศึกษาและทดสอบ ตำแหน่งการเกิดภาพของกระจกเงาราบตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ซึ่งควรสรุปได้ว่า ภาพจากกระจกเงาราบเกิดหลังกระจกเงาราบ

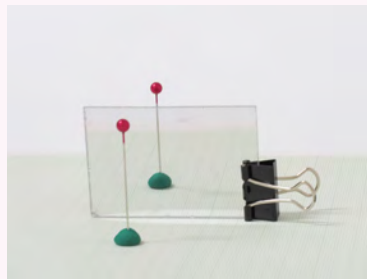
ครูอาจถามคำถามชวนคิด ในหน้า 182 โดยให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียน แสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



### แนวคำตอบชวนคิด

จะออกแบบการทดลองอย่างไรเพื่อพิสูจน์ว่า ระยะระหว่างภาพถึงกระจกเท่ากับระยะวัตถุถึงกระจก

**แนวคำตอบ** สามารถทำได้โดยการวางกระจกเงาราบบนกระดาษขาว โดยให้ผิวหน้าของกระจกตั้งฉากกับระนาบของกระดาษ นำวัตถุ เช่น เข็มหมุด ปักไว้หน้ากระจก แล้วมองภาพของเข็มหมุดในกระจก จากนั้นนำเข็มหมุดอีกอันมาปักไว้ด้านหลังกระจกโดยปรับตำแหน่งให้เข็มหมุดที่อยู่หลังกระจกอยู่ซ้อนทับกับภาพเข็มหมุดในกระจก จนพบตำแหน่งที่เมื่อเอียงศีรษะไปทางซ้ายและทางขวา เข็มหมุดที่อยู่หลังกระจกยังคงซ้อนทับกับภาพของเข็มหมุดในกระจก ดังรูป



รูป ประกอบแนวคำตอบชวนคิด

เมื่อเปรียบเทียบระยะระหว่างเข็มหมุดที่อยู่หน้ากระจกไปตั้งฉากกับผิวกระจกซึ่งเป็นระยะวัตถุกับ ระยะระหว่างเข็มหมุดที่อยู่หลังกระจกไปตั้งฉากกับผิวกระจกซึ่งเป็นระยะภาพ ควรพบว่า ระยะวัตถุเท่ากับระยะภาพ

ครูใช้รูป 11.21 และ 11.22 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการเกิดภาพจากกระจกเงาราบสำหรับวัตถุที่มีขนาดใหญ่จนสรุปได้ว่า การเกิดภาพจากกระจกเงาราบสำหรับวัตถุที่มีขนาดใหญ่สามารถพิจารณาได้เช่นเดียวกับกรณีวัตถุที่เป็นจุด ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูนำนักเรียนอภิปรายโดยใช้รูป 11.23 หนังสือเรียน หรืออาจจัดกิจกรรมสาธิตโดยให้นักเรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อมองวัตถุ เช่น เหรียญไม้บรรทัด ที่อยู่ในแก้วน้ำในขณะที่ยังไม่มึ่น้ำกับขณะที่มีน้ำ จากนั้น ครูนำอภิปรายโดยให้นักเรียนตอบคำถามว่า เหตุใดภาพของวัตถุที่อยู่ในแก้วน้ำที่มีน้ำกับไม่มีน้ำจึงแตกต่างกัน ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูใช้รูป 11.24 และ 11.25 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการเกิดภาพจากการหักเหตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า เมื่อแสงจากวัตถุเดินทางผ่านรอยต่อระหว่างตัวกลางที่มีดรรชนีหักเหต่างกัน ตำแหน่งภาพที่มองเห็นจะต่างไปจากตำแหน่งของวัตถุจริงทำให้ความลึกที่ปรากฏต่อสายตาดังกล่าวต่างไปจากความลึกจริงของวัตถุ โดยในกรณีมองวัตถุที่อยู่ในน้ำโดยผู้สังเกตอยู่ในอากาศ จะพบว่าความลึกที่ปรากฏต่อสายตานั้นน้อยกว่าความลึกจริงของวัตถุ และเมื่อเขียนรังสีของแสงจะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ 
$$\frac{s'}{s} = \frac{n_2}{n_1}$$

### แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการมองเห็นภาพและการเกิดภาพ จากการตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 11.2 และการทำแบบฝึกหัด 11.2
2. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นภาพและการเกิดภาพ
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล และความรอบคอบ จากการอภิปรายร่วมกัน และจากการทำแบบฝึกหัด 11.2



### แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 11.2

1. การสะท้อนของแสงทำให้เกิดภาพได้อย่างไร

**แนวคำตอบ** ภาพจากการสะท้อนเกิดจากรังสีของแสงที่ออกมาจากตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของวัตถุเกิดการสะท้อนที่ผิวสะท้อน ทำให้รังสีสะท้อนทุกรังสีเปลี่ยนทิศทางมีแนวตัดกันที่จุดหนึ่งเกิดเป็นภาพของวัตถุที่ตำแหน่งนั้น

2. การหักเหของแสงทำให้เกิดภาพได้อย่างไร

**แนวคำตอบ** ภาพจากการหักเหเกิดจากรังสีของแสงที่ออกมาจากตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของวัตถุเกิดการหักเหที่ผิวรอยต่อระหว่างตัวกลาง ทำให้รังสีหักเหทุกรังสีเปลี่ยนทิศทางมีแนวตัดกันที่จุดหนึ่งเกิดเป็นภาพของวัตถุที่ตำแหน่งนั้น



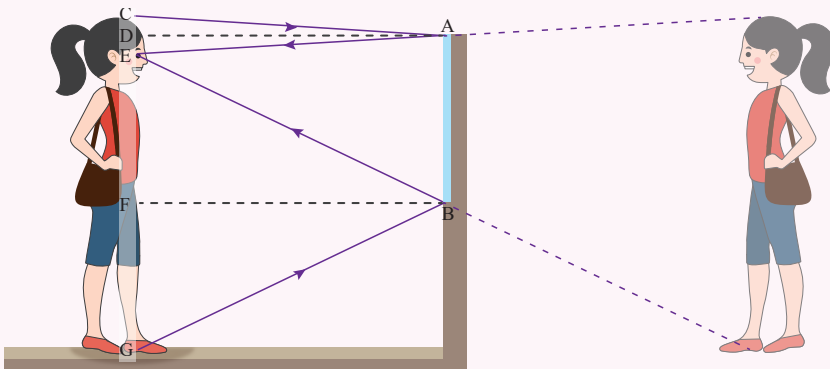
### เฉลยแบบฝึกหัด 11.2

1. หญิงคนหนึ่งสูง  $h$  ยืนอยู่หน้ากระจก ดังรูป จงหาขนาดความสูงของกระจกที่น้อยที่สุดที่ทำให้ผู้หญิงคนนี้อาจมองตัวเองได้เต็มตัว และต้องติดตั้งกระจกสูงจากพื้นเท่าไร



รูป ประกอบแบบฝึกหัด ข้อ 1

**วิธีทำ** พิจารณาแผนภาพรังสีของแสงในการมองภาพตัวเองในกระจก โดยลากทางเดินของแสงจากเท้าและจากศีรษะไปกระทบกระจกแล้วสะท้อนเข้าตา ดังรูป



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับแบบฝึกหัด ข้อ 1

จากรูป เส้นตรง  $AD$  เป็นเส้นแนวฉาก ดังนั้น  $\triangle CAD$  และ  $\triangle EAD$  เป็นสามเหลี่ยมที่เท่ากันทุกประการ จะได้

$$CD = DE \quad (1)$$

และ เส้นตรง  $BF$  เป็นเส้นแนวฉาก ดังนั้น  $\triangle EBF$  และ  $\triangle GBF$  เป็นสามเหลี่ยมที่เท่ากันทุกประการจะได้

$$EF = FG \quad (2)$$

แต่  $CD + DE + EF + FG = h$



แทนค่า (1) ใน (2) จะได้

$$2DE + 2EF = h$$

นั่นคือ 
$$DE + EF = \frac{h}{2}$$

ดังนั้น ขนาดความสูงของกระจกที่น้อยที่สุดเท่ากับ  $\frac{h}{2}$  โดยระยะติดตั้งกระจกให้สูงจากพื้นเท่ากับ  $FG$  ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของระยะจากพื้นถึงตา

**ตอบ** ขนาดความสูงของกระจกที่น้อยที่สุดที่ทำให้ผู้หญิงคนนี้สามารถมองเห็นตัวเองได้เต็มตัวเท่ากับ  $\frac{h}{2}$  และต้องติดตั้งกระจกโดยให้สูงจากพื้นเป็นครึ่งหนึ่งของระยะจากพื้นถึงตาของผู้หญิงคนนี้

2. ปลาอยู่ในน้ำที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 0.20 เมตร ความลึกปรากฏของปลาเป็นเท่าใด เมื่อผู้สังเกตมองปลาในแนวตั้งตรงตัวปลา กำหนดให้ดรรชนีหักเหของอากาศเท่ากับ 1.00 และดรรชนีหักเหของน้ำเท่ากับ 1.33

**วิธีทำ** จาก 
$$\frac{s'}{s} = \frac{n_2}{n_1}$$

เมื่อ  $n_1$  คือ ดรรชนีหักเหของน้ำ มีค่าเท่ากับ 1.33

$n_2$  คือ ดรรชนีหักเหของอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.00

$s'$  คือ ความลึกปรากฏ

$s$  คือ ความลึกจริง มีค่าเท่ากับ 0.20 เมตร

แทนค่า 
$$\frac{s'}{0.20 \text{ m}} = \frac{1.00}{1.33}$$

$$s' = 0.150 \text{ m}$$

**ตอบ** ความลึกปรากฏของปลาเท่ากับ 0.15 เมตร

3. ถ้าปลาตัวหนึ่งมองเห็นนกอินทรีที่บินอยู่ในอากาศสูงจากผิวน้ำ 20.00 เมตร ปลาจะเห็นนกอินทรีสูงจากผิวน้ำเท่าใด กำหนดให้น้ำมีดรรชนีหักเหเท่ากับ 1.33 และอากาศมีดรรชนีหักเหเท่ากับ 1.00

**วิธีทำ** จาก 
$$\frac{s'}{s} = \frac{n_2}{n_1}$$

เมื่อ  $n_1$  คือ ดรรชนีหักเหของอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.00

$n_2$  คือ ดรรชนีหักเหของน้ำ มีค่าเท่ากับ 1.33

$s'$  คือ ความลึกปรากฏ

$$s \text{ คือ ความลึกจริง มีค่าเท่ากับ } 20.00 \text{ เมตร}$$

$$\text{แทนค่า} \quad \frac{s'}{20.00 \text{ m}} = \frac{1.33}{1.00}$$

$$s' = 26.60 \text{ m}$$

**ตอบ** ความลึกปรากฏของนกอินทรีเท่ากับ 26.60 เมตร

### 11.3 ภาพจากเลนส์บางและกระจกเงาทรงกลม

#### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดลอง และเขียนรังสีของแสงที่หักเหผ่านเลนส์บางเพื่อระบุตำแหน่งและชนิดของภาพ
2. คำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดภาพจากเลนส์บาง
3. เขียนรังสีของแสงที่สะท้อนจากผิวของกระจกเงาทรงกลมเพื่อระบุตำแหน่งและชนิดของภาพ
4. คำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดภาพจากกระจกเงาทรงกลม

#### 11.3.1 การเกิดภาพจากเลนส์บาง

##### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ภาพที่เกิดจากเลนส์บางอยู่หลังเลนส์บางเสมอ เพราะแสงที่ผ่านเลนส์บางเกิดการหักเหผ่านเลนส์บางไปทางด้านหลังของเลนส์บาง	1. ภาพที่เกิดจากเลนส์บางสามารถเกิดได้ทั้งหน้าเลนส์บางและหลังเลนส์บาง โดยถ้าแสงหักเหผ่านเลนส์บางไปตัดกันจริง จะเกิดภาพที่หลังเลนส์บาง ถ้าแสงหักเหผ่านเลนส์บางแล้วเสมือนไปตัดกันหน้าเลนส์บาง จะเกิดภาพที่หน้าเลนส์บาง

##### สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

ถ้าจะมีการให้นักเรียนสังเกตการเกิดภาพจากเลนส์บาง ให้เตรียมวัสดุและอุปกรณ์ คือ

1. เลนส์บาง เช่น เลนส์นูน (แว่นขยาย แว่นตา) และเลนส์เว้า
2. กระจกเงาทรงกลม เช่น กระจกโค้งเว้า กระจกโค้งนูน
3. วัตถุ เช่น ตึกตา ต้นไม้จำลอง รถของเล่น เทียนไข

## แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 7 ของหัวข้อ 11.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 11.3.1 โดยใช้รูป 11.26 ในหนังสือเรียน หรือนำเลนส์นูนและเลนส์เว้าแบบต่าง ๆ มาให้นักเรียนสังเกต แล้วให้นักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า เลนส์เป็นอุปกรณ์ทางแสงที่ทำงานโดยใช้หลักการหักเหของแสง ทำจากแก้วหรือพลาสติกที่มีผิวโค้งทรงกลมทั้งสองข้างไม่ขนานกัน มี 2 ชนิด คือ เลนส์นูน และเลนส์เว้า

ครูให้นักเรียนสังเกตจากการสาธิตการเกิดภาพจากเลนส์นูนเมื่อวัตถุอยู่ห่างจากเลนส์นูนในระยะที่แตกต่างกัน แล้วให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันโดยตอบคำถามต่อไปนี้

- ภาพจากเลนส์นูนเกิดขึ้นได้อย่างไร
- ระยะวัตถุที่อยู่ห่างจากเลนส์นูนมีผลต่อภาพที่เกิดขึ้นหรือไม่อย่างไร
- ทหารยะภาพจากเลนส์นูนได้อย่างไร

ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาการเกิดภาพจากเลนส์นูนตามรายละเอียดในหนังสือเรียน และใช้รูป 11.27 ในหนังสือเรียน ให้นักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า การหักเหของแสงผ่านเลนส์บางถือว่าเกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวที่แกนเลนส์

ครูใช้รูป 11.28 และ 11.29 ในหนังสือเรียน ให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับเส้นแกนमुखสำคัญ โฟกัส ความยาวโฟกัส และสามารถสรุปได้ว่า เลนส์นูนมีคุณสมบัติทำให้รังสีของแสงขนานลู่อเข้าหากัน ทำให้บางครั้งเรียกเลนส์นูนว่า เลนส์รวมแสง โดยเลนส์นูนบางจะมีความยาวโฟกัสเท่ากันสองด้าน

ครูใช้รูป 11.30 ในหนังสือเรียน ให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับลักษณะสำคัญในการหักเหของแสงผ่านเลนส์นูนจนสรุปได้ว่า รังสีของแสงที่ขนานกับเส้นแกนमुखสำคัญจะรวมกันที่โฟกัสด้านหลังเลนส์ รังสีของแสงที่ผ่านโฟกัสด้านหน้าเลนส์จะหักเหเป็นรังสีขนานเส้นแกนमुखสำคัญ รังสีของแสงที่ผ่านจุดกึ่งกลางเลนส์จะไม่เปลี่ยนแปลงทิศทางจากเดิม

ครูใช้รูป 11.31 และ 11.32 ในหนังสือเรียน ให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการเขียนรังสีของแสงเพื่อแสดงการเกิดภาพจากเลนส์นูนจนสรุปได้ว่า การหาภาพจากเลนส์นูนสามารถทำได้โดยเขียนรังสี 3 เส้นที่ลากจากส่วนปลายบนของวัตถุมาผ่านเลนส์ ได้แก่ รังสีของแสงที่ขนานกับเส้นแกนमुखสำคัญ รังสีของแสงที่ผ่านโฟกัสด้านหน้าเลนส์ และรังสีของแสงที่ผ่านจุดกึ่งกลางเลนส์ โดยต่อเส้นรังสีหักเหจากรังสีตกกระทบทั้งสามจนตัดกันจะเป็นตำแหน่งภาพปลายบนของวัตถุ จากนั้น วาดภาพวัตถุส่วนที่เหลือทั้งหมดจากภาพปลายบนไปตั้งฉากกับเส้นแกนमुखสำคัญ ถ้ารังสีของแสงหักเหไปตัดกันจริง จะได้ภาพจริงมีลักษณะกลับหัวกับวัตถุ

ครูอาจให้นักเรียนทำกิจกรรมลองทำดู

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 11.5 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 193 โดยให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



### แนวคำตอบชวนคิด

ถ้าใช้รังสีเพียงสองเส้นจะเพียงพอที่จะหาตำแหน่งของภาพหรือไม่ อย่างไร

**แนวคำตอบ** การใช้รังสีเพียงสองเส้นเพียงพอที่จะหาตำแหน่งของภาพ โดยสามารถเลือกใช้รังสี 2 เส้นใน 3 เส้นได้ แต่มีโอกาสทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย

ครูนำนักเรียนอภิปรายโดยให้นักเรียนตอบคำถามว่า หากวางวัตถุไว้หน้าเลนส์นูนที่ระยะน้อยกว่าความยาวโฟกัส ภาพที่เกิดขึ้นจะเป็นอย่างไร โดยให้นักเรียนเขียนรังสีของแสงเพื่อหาภาพที่เกิดขึ้น จากนั้น ครูใช้รูป 11.33 นำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า เมื่อระยะวัตถุน้อยกว่าความยาวโฟกัสของเลนส์ รังสีหักเหของแสงจะถ่างออกจากกันไม่ตัดกันจริง จึงต้องต่อรังสีย้อนกลับไปจะเสมือนตัดกันที่หน้าเลนส์เป็นตำแหน่งที่เกิดภาพ เรียกว่า ภาพเสมือน มีลักษณะหัวตั้งเหมือนวัตถุ

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 11.6 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

ครูทบทวนความรู้โดยให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับการเกิดภาพของเลนส์นูน จนสรุปได้ว่าเลนส์นูนสามารถทำให้เกิดได้ทั้งภาพจริงและภาพเสมือน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของวัตถุ จากนั้น ครูนำอภิปรายโดยให้นักเรียนตอบคำถามว่า ถ้าหากนำกระดาษขาวซึ่งเป็นฉากไปวางที่ตำแหน่งที่เกิดภาพจะเกิดอะไรขึ้น โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูใช้รูป 11.34 ในหนังสือเรียน หรือจัดกิจกรรมสาธิตให้นักเรียนสังเกตภาพที่ปรากฏบนฉาก โดยครูนำวัตถุที่มีแสงสว่างในตัวเอง เช่น เทียนไข วางวัตถุที่ระยะห่างจากเลนส์มากกว่า 2 เท่าของความยาวโฟกัส แล้วเลื่อนฉากรับภาพไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ ด้านหลังเลนส์ จากนั้น วางวัตถุที่ระยะน้อยกว่าความยาวโฟกัส แล้วเลื่อนฉากรับภาพไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ ด้านหน้าเลนส์ โดยครูตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า ภาพเกิดขึ้นบนฉากรับภาพได้อย่างไร และภาพชนิดใดสามารถปรากฏบนฉากรับภาพได้ โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้น ครูนำนักเรียนอภิปรายตามรายละเอียดในหนังสือเรียนจนสรุปได้ว่า ภาพจริงจะนำฉากไปรับได้ ส่วนภาพเสมือนจะนำฉากไปรับไม่ได้

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 196 และให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ จากนั้นครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



### แนวคำตอบชวนคิด

การใช้เลนส์นูนเป็นแว่นขยาย ระยะวัตถุต้องเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับความยาวโฟกัสของเลนส์  
**แนวคำตอบ** ระยะวัตถุต้องน้อยกว่าความยาวโฟกัสของเลนส์

ครูให้นักเรียนศึกษาลักษณะของเลนส์เว้าในหนังสือเรียน จากนั้นครูใช้รูป 11.36 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายจนสรุปเกี่ยวกับโฟกัสของเลนส์เว้า รังสีหักเหที่เกิดจากรังสีที่ตกกระทบเลนส์เว้ามีแนวขนานเส้นแกนमुखสำคัญ มีแนวผ่านโฟกัส และมีแนวผ่านกึ่งกลางเลนส์ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน รวมทั้ง สรุปได้ว่า การหาภาพที่เกิดจากเลนส์เว้าสามารถทำได้โดยการเขียนรังสีของแสงเช่นเดียวกับเลนส์นูน ครูให้นักเรียนศึกษาการเขียนรังสีของแสงในการหาภาพที่เกิดจากเลนส์เว้า จากตัวอย่าง 11.7 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ จากนั้น ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า ภาพจากเลนส์เว้าเป็นภาพเสมือนเท่านั้น และเป็นภาพที่มีขนาดเล็กกว่าวัตถุเสมอ

### 11.3.2 การคำนวณเกี่ยวกับเลนส์บาง

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 8 ของหัวข้อ 11.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 11.3.2 โดยให้นักเรียนร่วมกันตอบคำถามว่า นอกจากการเขียนรังสีของแสงเพื่อหาตำแหน่งของภาพที่เกิดจากเลนส์นูนและเลนส์เว้าแล้ว จะมีวิธีการคำนวณหาตำแหน่งของภาพที่เกิดจากเลนส์นูนและเลนส์เว้าได้อย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 11.3 ในหนังสือเรียน



### กิจกรรม 11.3 การหักเหของแสงผ่านเลนส์นูน

#### จุดประสงค์

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ ระยะภาพ และความยาวโฟกัสของเลนส์นูน

เวลาที่ใช้ 30 นาที

#### วัสดุและอุปกรณ์

- |                |       |
|----------------|-------|
| 1. เลนส์นูน    | 1 อัน |
| 2. ฉากขาว      | 1 อัน |
| 3. ชุดกล่องแสง | 1 ชุด |
| 4. ไม้เมตร     | 1 อัน |

#### แนะนำก่อนทำกิจกรรม

- ในการหาความยาวโฟกัสของเลนส์ ควรใช้วัตถุที่มีความสว่างมากพอ เพื่อให้ภาพที่ปรากฏบนฉากเห็นได้ชัดเจน ทำให้การปรับภาพให้คมชัดที่สุดสังเกตได้ง่าย
- ฉากควรอยู่ในบริเวณที่มีแสงไม่สว่างมาก เพื่อให้ภาพที่ปรากฏบนฉากชัดเจน
- การวัดระยะต่าง ๆ ให้วัดจากกึ่งกลางเลนส์ถึงตำแหน่งสิ่งที่จะวัด เช่น วัตถุ ภาพ และโฟกัส

#### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

**ตอนที่ 1** การหาความยาวโฟกัสของเลนส์นูน

ความยาวโฟกัสของเลนส์นูน เท่ากับ 14.5 เซนติเมตร

**ตอนที่ 2** การหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ ระยะภาพ และความยาวโฟกัสของเลนส์นูน

ส่วนกลับของความยาวโฟกัสของเลนส์นูน  $\left(\frac{1}{f}\right)$  เท่ากับ 6.9 เซนติเมตร

ครั้งที่	$s$ (cm)	$s'$ (cm)	$\frac{1}{s}$ ( $m^{-1}$ )	$\frac{1}{s'}$ ( $m^{-1}$ )	$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$ ( $m^{-1}$ )
1	25.0	34.5	4.0	2.9	6.9
2	30.0	28.1	3.3	3.6	6.9
3	35.0	24.8	2.9	4.0	6.9
4	40.0	22.7	2.5	4.4	6.9
5	50.0	20.4	2.0	4.9	6.9



### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- เมื่อเลื่อนเลนส์นูนห่างจากหลอดไฟเป็นระยะต่าง ๆ ผลรวมของ  $\frac{1}{s}$  กับ  $\frac{1}{s'}$  มีค่าเท่ากัน ทุกครั้งหรือไม่

แนวคำตอบ เท่ากันทุกครั้ง

- ผลรวมของ  $\frac{1}{s}$  กับ  $\frac{1}{s'}$  มีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{f}$  หรือไม่

แนวคำตอบ ผลรวมของ  $\frac{1}{s}$  กับ  $\frac{1}{s'}$  เท่ากับ  $\frac{1}{f}$

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูนำนักเรียนอภิปรายจนได้ข้อสรุป ดังนี้

1. เมื่อวัตถุอยู่ไกลจากเลนส์นูนมาก ๆ แสงจากวัตถุส่วนที่มากกระทบเลนส์นูนถือว่าเป็นแสงขนาน และเมื่อแสงขนานผ่านเลนส์นูนจะไปตัดกันที่โฟกัส นั่นคือ เกิดภาพของวัตถุที่อยู่ไกลมากที่โฟกัสของเลนส์ ทำให้สามารถหาความยาวโฟกัสของเลนส์นูน เท่ากับ 14.5 เซนติเมตร
2. ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับของระยะวัตถุ ระยะภาพ และความยาวโฟกัส คือ  $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$

ครูให้นักเรียนศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ ระยะภาพ และความยาวโฟกัส ในหนังสือเรียน และครูใช้รูป 11.37 และ 11.38 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้สมการของเลนส์บางตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาการใช้เครื่องหมายสำหรับสมการของเลนส์บางและร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ตามตาราง 11.2 ในหนังสือเรียน จากนั้น ครูให้นักเรียนศึกษากำลังขยายในหนังสือเรียน และร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่า กำลังขยายเท่ากับอัตราส่วนความสูงของภาพต่อความสูงของวัตถุ โดยกำลังขยายเป็นบวกสำหรับภาพเสมือน และกำลังขยายเป็นลบสำหรับภาพจริง

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 11.8 – 11.10 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

### 11.3.3 การเกิดภาพจากกระจกเงาทรงกลม

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ภาพที่เกิดจากกระจกเงาทรงกลมจะเกิดหลังกระจกเงาทรงกลมเสมอ เหมือนกับกระจกเงาราบ	1. ภาพที่เกิดจากกระจกเงาทรงกลมเกิดได้ทั้งหน้าและหลังกระจกเงาทรงกลม โดยถ้าแสงสะท้อนกระจกเงาทรงกลมไปตัดกันจริง จะเกิดภาพที่หน้ากระจกเงาทรงกลม ถ้าแสงสะท้อนกระจกเงาทรงกลมเสมือนไปตัดกันหลังกระจกเงาทรงกลม จะเกิดภาพที่หลังกระจกเงาทรงกลม

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 9 ของหัวข้อ 11.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 11.3.3 โดยครูนำนักเรียนอภิปรายทบทวนความรู้เกี่ยวกับภาพที่เกิดจากกระจกเงาราบแล้วร่วมกันอภิปรายต่อโดยตอบคำถามว่า ภาพที่เกิดจากกระจกเงาที่มีผิวโค้งจะเหมือนหรือแตกต่างจากกระจกเงาราบหรือไม่ อย่างไร และกระจกเงาผิวโค้งมีกี่แบบ แต่ละแบบจะทำให้เกิดภาพเหมือนหรือแตกต่างกันหรือไม่ ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูนำนักเรียนอภิปรายตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า กระจกเงาโค้งสามารถทำให้เกิดภาพจากการสะท้อนของแสง ทำด้วยวัสดุที่สามารถสะท้อนแสงได้ดีเช่นเดียวกับกระจกเงาราบแต่มีผิวโค้ง จากนั้น ครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่า ในระดับนี้ นักเรียนจะศึกษาเกี่ยวกับกระจกเงาโค้งที่มีผิวโค้งเป็นส่วนประกอบของผิวของทรงกลม ซึ่งเรียกว่า กระจกเงาทรงกลม ซึ่งแบ่งได้เป็นกระจกโค้งนูนและกระจกโค้งเว้า

ครูให้นักเรียนศึกษาลักษณะของกระจกโค้งเว้าในหนังสือเรียน จากนั้นครูใช้รูป 11.39 นำนักเรียนอภิปรายจนสรุปเกี่ยวกับโพกัสของกระจกเว้า รังสีสะท้อนที่เกิดจากรังสีตกกระทบมีแนวขนานเส้นแกนमुखสำคัญ มีแนวผ่านโพกัส มีแนวผ่านกึ่งกลางกระจก และมีแนวผ่านศูนย์กลางความโค้ง ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน



ครูใช้รูป 11.40 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการหาภาพที่เกิดจากกระจกโค้งเว้า โดยการเขียนแผนภาพรังสีของแสง จนสรุปได้ว่า การหาภาพจากกระจกเว้าสามารถทำได้โดยเขียนรังสี 4 เส้น ที่ลากจากส่วนปลายบนของวัตถุมากระทบกระจกโค้งเว้า ได้แก่ รังสีของแสงที่ขนานกับเส้นแกนमुखสำคัญ รังสีของแสงที่ผ่านโฟกัสด้านหน้ากระจกโค้งเว้า รังสีของแสงที่กระทบกึ่งกลางกระจก และรังสีของแสงที่ผ่านศูนย์กลางความโค้ง โดยต่อเส้นรังสีสะท้อนของรังสีตกกระทบทั้งสี่เส้นจนตัดกันจะเป็นตำแหน่งภาพปลายบนของวัตถุ จากนั้น วาดภาพวัตถุส่วนที่เหลือทั้งหมดจากภาพปลายบนไปตั้งฉากกับแกนमुखสำคัญ โดยภาพจริงจากกระจกโค้งเว้าเกิดจากรังสีของแสงตัดกันจริงที่ด้านเดียวกับวัตถุซึ่งเป็นด้านหน้าของกระจกโค้งเว้า

ครูควรให้ความรู้เพิ่มจากหนังสือเรียนว่า ภาพเสมือนจากกระจกโค้งเว้าเกิดจากรังสีของแสงที่สะท้อนกระจกเสมือนไปตัดกันที่คนละด้านกับวัตถุซึ่งเป็นด้านหลังกระจกโค้งเว้า

ครูให้นักเรียนศึกษาลักษณะของกระจกโค้งนูนในหนังสือเรียน จากนั้นครูใช้รูป 11.41 นำนักเรียนอภิปรายจนสรุปเกี่ยวกับโฟกัสของกระจกโค้งนูน รังสีสะท้อนที่เกิดจากรังสีตกกระทบมีแนวขนานเส้นแกนमुखสำคัญ มีแนวผ่านโฟกัส มีแนวผ่านกึ่งกลางกระจก และมีแนวผ่านศูนย์กลางความโค้ง โดยการหาภาพที่เกิดจากกระจกโค้งนูนสามารถทำได้โดยการเขียนแผนภาพรังสีของแสงเช่นเดียวกับกระจกโค้งเว้า ดังรูป 11.42 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษา ตัวอย่าง 11.11 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ และครูนำอภิปรายเพื่อสรุปว่า ภาพที่เกิดจากกระจกโค้งเว้าเป็นได้ทั้งภาพจริงและภาพเสมือนขึ้นกับตำแหน่งของวัตถุ ดังนี้

1. เกิดภาพจริง เมื่อวัตถุอยู่ห่างจากกระจกโค้งเว้ามากกว่าความยาวโฟกัส
2. เกิดภาพเสมือน เมื่อวัตถุอยู่ห่างจากกระจกโค้งเว้าน้อยกว่าความยาวโฟกัส

ครูอาจถามคำถามชวนคิด ในหน้า 211 โดยให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



### แนวคำตอบชวนคิด

จากตัวอย่าง 11.11 ถ้าเปลี่ยนเป็นกระจกโค้งนูน ระยะวัตถุมีผลต่อชนิดของภาพที่เกิดขึ้นหรือไม่  
**แนวคำตอบ** ระยะวัตถุไม่มีผลต่อชนิดของภาพที่เกิดจากกระจกโค้งนูน เนื่องจากภาพที่เกิดจากกระจกโค้งนูนเป็นภาพเสมือนเสมอ

### 11.3.4 คำนวณเกี่ยวกับกระจกเงาทรงกลม

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

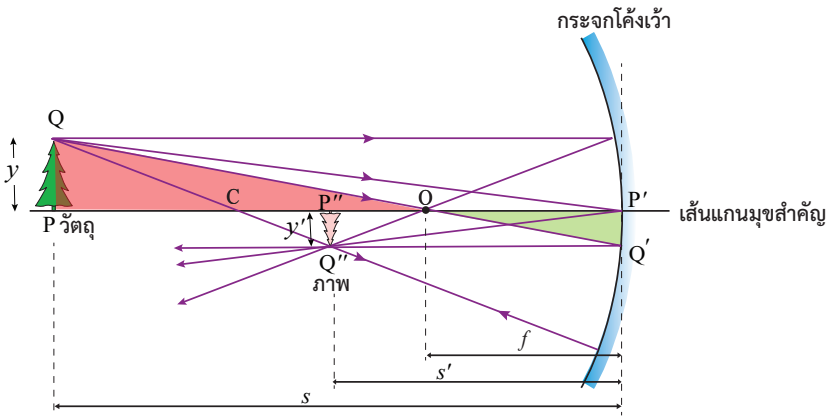
-

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 10 ของหัวข้อ 11.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 11.3.4 โดยให้นักเรียนร่วมกันตอบคำถามว่า นอกจากการเขียนรังสีของแสงเพื่อหาตำแหน่งของภาพที่เกิดจากกระจกโค้งเว้าและกระจกโค้งนูนแล้ว จะมีวิธีการคำนวณหาตำแหน่งของภาพที่เกิดจากกระจกโค้งเว้าและกระจกโค้งนูนได้อย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ ระยะภาพ และความยาวโฟกัส ในหนังสือเรียน จากนั้น ครูเขียนแผนภาพรังสีของแสงแสดงการเกิดภาพจริงจากกระจกโค้งเว้า ดังรูป



รูป 11.1 แผนภาพรังสีของแสงแสดงการเกิดภาพจริงจากกระจกโค้งเว้า

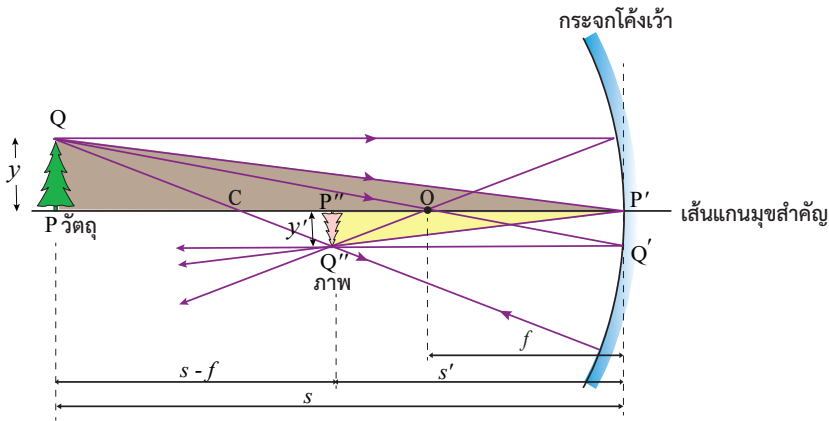
ครูนำนักเรียนอภิปรายโดยใช้รูป 11.1 จนสรุปได้ว่า รูปสามเหลี่ยมสีแดง POQ และรูปสามเหลี่ยมสีเขียว P'OQ' เป็นสามเหลี่ยมคล้ายเนื่องจากขนาดของมุมภายในทั้ง 3 มุม เท่ากันเป็นคู่ ๆ ทำให้อัตราส่วนระหว่างด้านที่สมนัยกัน มีค่าเท่ากัน นั่นคือ

แทนค่า

$$\frac{\text{ด้าน } P'Q'}{\text{ด้าน } PQ} = \frac{\text{ด้าน } P'O}{\text{ด้าน } PO}$$

$$\frac{y'}{y} = \frac{f}{s-f} \quad (\text{a})$$

ครูเขียนแผนภาพรังสีของแสงแสดงการเกิดภาพจริงจากกระจกโค้งเว้าพิจารณาคู่สามเหลี่ยมคล้ายอีกคู่ ดังรูป



รูป 11.2 แผนภาพรังสีของแสงแสดงการเกิดภาพจริงจากกระจกโค้งเว้า

ครูนำนักเรียนอภิปรายเพื่อพิจารณาคู่สามเหลี่ยมคล้ายอีกคู่โดยใช้รูป 11.2 จนสรุปได้ว่ารูปสามเหลี่ยมสีน้ำตาล  $PP'Q$  และรูปสามเหลี่ยมสีเหลือง  $P''P'Q''$  เป็นสามเหลี่ยมคล้ายเนื่องจากขนาดของมุมภายในทั้ง 3 มุม เท่ากันเป็นคู่ ๆ ทำให้อัตราส่วนระหว่างด้านที่สมนัยกัน มีค่าเท่ากัน นั่นคือ

$$\frac{\text{ด้าน } P''Q''}{\text{ด้าน } PQ} = \frac{\text{ด้าน } P'P''}{\text{ด้าน } P'P}$$

แทนค่า

$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \quad (\text{b})$$

จากนั้น ครูนำนักเรียนอภิปรายแสดงการจัดรูปโดยใช้ความสัมพันธ์ (a) = (b) ดังนี้

$$\frac{s'}{s} = \frac{f}{s-f}$$

จัดรูปใหม่ จะได้

$$\frac{s-f}{s} = \frac{f}{s'}$$

$$1 - \frac{f}{s} = \frac{f}{s'}$$

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{s} = \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

ซึ่งเป็นสมการเดียวกับสมการ (11.13) ในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาข้อสังเกตและอภิปรายการใช้เครื่องหมายสำหรับการคำนวณภาพจากกระจกโค้งทรงกลม และร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับกำลังขยายตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

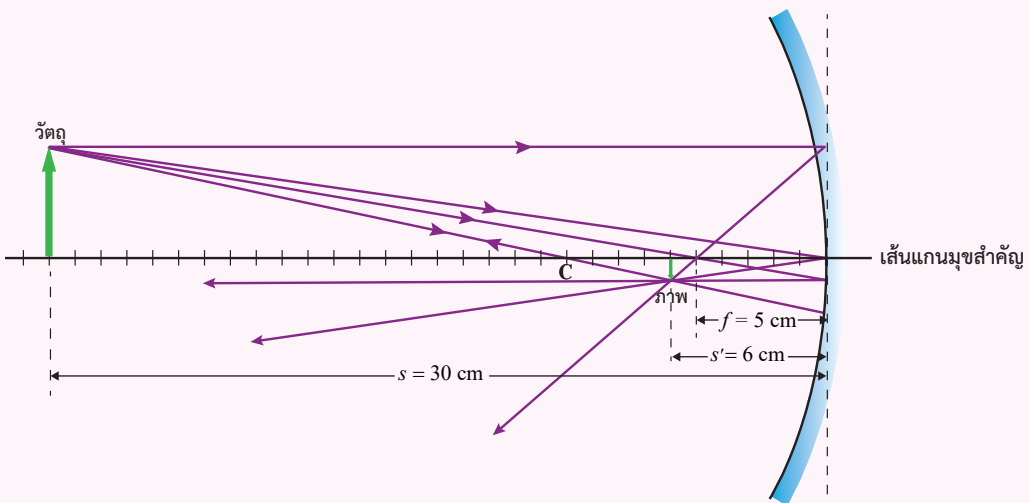
ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 11.12 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

ครูอาจถามคำถามชวนคิด ในหน้า 214 โดยให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



### แนวคำตอบชวนคิด

จากตัวอย่าง 11.12 จงเขียนแผนภาพของรังสีของแสงแสดงการเกิดภาพ  
แนวคำตอบ เขาจะเห็นหน้าตัวเองโดยห่างจากตาของเขาเป็นระยะทาง  
30 เซนติเมตร - 6 เซนติเมตร = 24 เซนติเมตร ดังรูป



ครูอาจให้นักเรียนศึกษาความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับกระจกทรงโค้งพาราโบลอยด์ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

### แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการเกิดภาพจากเลนส์และกระจกเงาทรงกลม จากการตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 11.3 และการทำแบบฝึกหัด 11.3
2. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดภาพจากเลนส์และกระจกเงาทรงกลม
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล และความรอบคอบ จากการทำกิจกรรมและการอภิปรายร่วมกัน และจากการทำแบบฝึกหัด 11.3



### แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 11.3

1. เพราะเหตุใด กระจกติตรถยนต์สำหรับใช้ดูยานพาหนะที่อยู่ข้างหลัง มักเป็นกระจกโค้งนูน  
**แนวคำตอบ** เพราะกระจกโค้งนูนรับแสงได้เป็นมุมกว้างกว่ากระจกเงาราบ ทำให้เห็นสิ่งแวดล้อมและยานพาหนะที่อยู่ข้างหลังได้มากกว่า จึงทำให้มีความปลอดภัยมากกว่า
2. เพราะเหตุใด ทันตแพทย์จึงใช้กระจกโค้งเว้าส่องดูฟันคนไข้  
**แนวคำตอบ** เนื่องจากภายในช่องปากแคบ การใช้กระจกโค้งเว้าส่องดูฟันคนไข้จะทำให้เมื่อตำแหน่งฟันอยู่ห่างจากกระจกโค้งเว้าน้อยกว่าความยาวโฟกัสของกระจกโค้งเว้า เกิดภาพเสมือนมีขนาดขยาย ทันตแพทย์จึงเห็นรายละเอียดของฟันคนไข้ได้มากขึ้นและชัดเจนขึ้น
3. ถ้าระยะวัตถุมากกว่าความยาวโฟกัสแต่น้อยกว่าสองเท่าของความยาวโฟกัสของเลนส์นูน จะได้ภาพชนิดใด และมีขนาดเล็กกว่าหรือใหญ่กว่าขนาดวัตถุ  
**แนวคำตอบ** ได้ภาพจริงหัวกลับ ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ

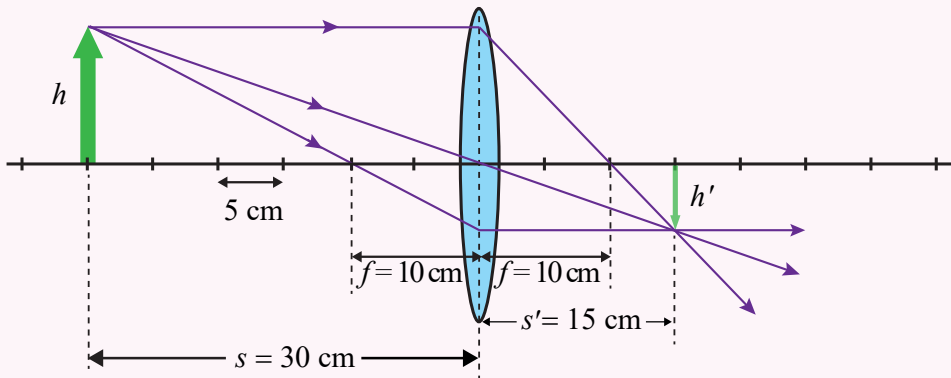


### เฉลยแบบฝึกหัด 11.3

1. วางวัตถุหน้าเลนส์นูนที่มีความยาวโฟกัส 10 เซนติเมตร ให้ห่างจากเลนส์นูน 30 เซนติเมตร จงหาระยะภาพ ชนิดของภาพ และกำลังขยาย ด้วยวิธีดังนี้

- ก. การเขียนแผนภาพรังสีของแสง
- ข. การคำนวณ

วิธีทำ ก. การเขียนแผนภาพรังสีของแสง



ข. การคำนวณ

กำหนดให้  $f = 10 \text{ cm}$  และ  $s = 30 \text{ cm}$

หาระยะภาพจาก 
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

แทนค่า 
$$\frac{1}{30 \text{ cm}} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{10 \text{ cm}}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{s'} &= \frac{1}{10 \text{ cm}} - \frac{1}{30 \text{ cm}} \\ &= \frac{30}{300 \text{ cm}} - \frac{10}{300 \text{ cm}} \\ &= \frac{20}{300 \text{ cm}} \end{aligned}$$

$$s' = 15 \text{ cm}$$

$s'$  มีเครื่องหมาย + แสดงว่าเป็นภาพจริงหัวกลับ

หาค่ากำลังขยายจาก 
$$M = -\frac{s'}{s}$$

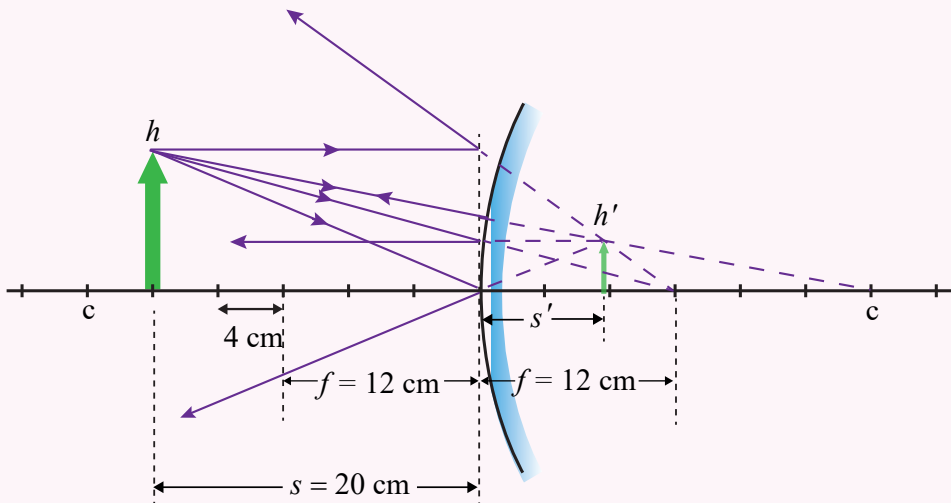
แทนค่า 
$$M = -\frac{15 \text{ cm}}{30 \text{ cm}}$$
  

$$= -0.5$$

ตอบ ภาพเกิดหลังเลนส์นูนและอยู่ห่างจากเลนส์นูนเท่ากับ 15 เซนติเมตร เป็นภาพจริง และมีกำลังขยายเท่ากับ 0.5 (ภาพเล็กกว่าวัตถุ)

2. วางวัตถุไว้หน้ากระจกโค้งนูนที่มีรัศมีความโค้ง 24 เซนติเมตร ให้ห่างจากกระจกโค้งนูน 20 เซนติเมตร จงหาระยะภาพ ชนิดของภาพ และกำลังขยาย ด้วยวิธีดังนี้
- การเขียนแผนภาพรังสีของแสง
  - การคำนวณ

วิธีทำ ก. การเขียนแผนภาพรังสีของแสง



ข. การคำนวณ

กำหนดให้  $f = -\frac{R}{2} = -12 \text{ cm}$  (มีเครื่องหมาย - เพราะโฟกัสอยู่หลังกระจกโค้งนูน)  
 $s = +20 \text{ cm}$  (มีเครื่องหมาย + เพราะวัตถุอยู่หน้ากระจกโค้งนูน)

หาระยะภาพจาก  $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad \frac{1}{20 \text{ cm}} + \frac{1}{s'} &= \frac{1}{-12 \text{ cm}} \\ \frac{1}{s'} &= -\frac{1}{12 \text{ cm}} - \frac{1}{20 \text{ cm}} \\ &= -\frac{20}{240 \text{ cm}} - \frac{12}{240 \text{ cm}} \\ &= -\frac{32}{240 \text{ cm}} \end{aligned}$$

$$s' = -7.5 \text{ cm}$$

$s'$  มีเครื่องหมาย - แสดงว่าเป็นภาพเสมือนหัวตั้งเกิดด้านหลังกระจกโค้งนูน

$$\begin{aligned} \text{หาค่าลึขยายจาก} \quad M &= -\frac{s'}{s} \\ M &= -\frac{(-7.5 \text{ cm})}{20 \text{ cm}} \\ &= 0.38 \end{aligned}$$

**ตอบ** ภาพเกิดหลังกระจกเงานูนและอยู่ห่างจากกระจกเงานูนเท่ากับ 7.5 เซนติเมตร เป็นภาพเสมือน และมีกำลังขยายเท่ากับ 0.38 (ภาพเล็กกว่าวัตถุ)

3. เทียนไขสูง 4 เซนติเมตร ตั้งอยู่บนเส้นแกนมุขสำคัญของกระจกโค้งเว้าที่มีความยาวโฟกัส 10 เซนติเมตร ทำให้เกิดภาพหน้ากระจกโค้งเว้าห่างจากกระจกโค้งเว้า 15 เซนติเมตร เทียนไขอยู่ห่างจากกระจกโค้งเว้ากี่เซนติเมตร และภาพเทียนไขสูงกี่เซนติเมตร

**วิธีทำ** กำหนดให้  $f = +10 \text{ cm}$  (มีเครื่องหมาย + เพราะโฟกัสอยู่หน้ากระจกโค้งเว้า)  
 $s' = +15 \text{ cm}$  (มีเครื่องหมาย + เพราะภาพอยู่หน้ากระจกโค้งเว้า)

หาระยะวัตถุจาก  $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$

$$\text{แทนค่า} \quad \frac{1}{s} + \frac{1}{15 \text{ cm}} = \frac{1}{10 \text{ cm}}$$



$$\begin{aligned}\frac{1}{s} &= \frac{1}{10 \text{ cm}} - \frac{1}{15 \text{ cm}} \\ &= \frac{15}{150 \text{ cm}} - \frac{10}{150 \text{ cm}} \\ &= \frac{5}{150 \text{ cm}}\end{aligned}$$

$$s = 30 \text{ cm}$$

หาขนาดภาพจาก  $M = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$

แทนค่า  $\frac{y'}{4 \text{ cm}} = -\frac{15 \text{ cm}}{30 \text{ cm}}$

$$y' = -2 \text{ cm}$$

$y'$  มีเครื่องหมาย - แสดงว่าเป็นภาพจริงหัวกลับ

ตอบ เทียนไขอยู่หน้ากระจกโค้งเว้า 30 เซนติเมตร และภาพของเทียนไขสูง 2 เซนติเมตร

## 11.4 แสงสีและการมองเห็นแสงสี

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการมองเห็นแสงสี สีของวัตถุ และสาเหตุของการบอดสี
2. อธิบายการผสมแสงสี และการผสมสารสี

### สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

ครูควรเตรียมวัสดุทัศนศึกษาเกี่ยวกับการผสมแสงสี การผสมสารสี การจัดฉากการแสดงด้วยแสงสี การผสมสารสีสำหรับวาดเขียน หรือฉายแสงสีต่าง ๆ ลงบนวัตถุ

### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยการเปิดวิดีโอทัศนศึกษาเกี่ยวกับการผสมแสงสี การผสมสารสี การจัดฉากการแสดงด้วยแสงสี การผสมสารสีสำหรับวาดเขียน หรือฉายแสงสีต่าง ๆ ลงบนวัตถุให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า มีปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อการมองเห็นสี เหตุใดจึงไม่ใช่ตาของมนุษย์ในการระบุสี แต่ใช้รหัสสีและการจำแนกสี เช่น ใช้ RGB code ในงานผสมแสงสี และใช้ CMYK code ในงานผสมสารสี ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูตั้งคำถามว่า ตาของมนุษย์เกี่ยวข้องกับการมองเห็นสีอย่างไร จากนั้นให้นักเรียนศึกษาการมองเห็นสีของมนุษย์ในหัวข้อถัดไป

### 11.4.1 การมองเห็นสีของมนุษย์ ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ตาของมนุษย์มีเซลล์รูปกรวย 3 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะตอบสนองเฉพาะแสงสีใดสีหนึ่งในสามสีคือ แสงสีน้ำเงิน แสงสีเขียว แสงสีแดง	1. ตาของมนุษย์มีเซลล์รูปกรวย 3 ชนิดที่ตอบสนองต่อแสงที่มีช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน ซึ่งมากกว่าหนึ่งแสงสี

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 11 ของหัวข้อ 11.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 11.4.1 โดยให้นักเรียนสังเกตวัตถุที่มีสีต่าง ๆ แล้วตอบคำถามว่า ส่วนใดของตาของมนุษย์ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีต่าง ๆ โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูใช้รูป 11.44 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการมองเห็นสีของมนุษย์ จนสรุปได้ว่าจอตาของมนุษย์ มีเซลล์รูปกรวย 3 ชนิด คือ ชนิด S ชนิด M และชนิด L ที่การตอบสนองต่อแสงความยาวคลื่นต่าง ๆ แตกต่างกัน การมองเห็นสีต่าง ๆ เกิดขึ้นเนื่องจากเซลล์รูปกรวยหนึ่งชนิดหรือมากกว่าถูกกระตุ้นทำให้มองเห็นเป็นสีนั้น ๆ โดยการตอบสนองของเซลล์รูปกรวยทั้ง 3 ชนิด ทำให้สามารถมองเห็นคลื่นแสงเป็นสีต่าง ๆ ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ตั้งแต่สีม่วงไปจนถึงสีแดงได้ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

### ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

จอตามีเซลล์รับแสงเป็นจำนวนมาก ซึ่งเซลล์เหล่านี้มีสองชนิด คือ เซลล์รูปกรวย และเซลล์รูปแท่ง โดยเซลล์รูปกรวยจะไวต่อแสงที่มีความเข้มสูงและสามารถทำให้มองเห็นสีต่าง ๆ ได้หลายสี ดังรูป 11.3 ก. ส่วนเซลล์รูปแท่งจะไวต่อแสงที่มีความเข้มต่ำ เช่น ในที่มีแสงสว่างน้อย ทำให้มองเห็นได้แต่ไม่สามารถแยกสีได้ ดังรูป 11.3 ข.



ก. การมองเห็นภาพในที่สว่าง



ข. การมองเห็นภาพในที่ที่มีแสงสว่างน้อย

รูป 11.3 จำลองการมองเห็นภาพในที่สว่างและที่มีแสงสว่างน้อย

### 11.4.2 การผสมแสงสี

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. แสงสีแต่และแสงสีมีความยาวคลื่นเฉพาะจึงไม่สามารถนำแสงสีความยาวคลื่นอื่นๆ มาผสมกันให้มองเห็นเป็นแสงสีนั้น ๆ ได้	1. การมองเห็นแสงสีเกิดจากการถูกกระตุ้นของเซลล์รูปกรวยที่จอตา ทำให้เมื่อนำแสงสีตั้งแต่สองแสงสีมาผสมกันเกิดเป็นแสงสีอื่นๆ ได้ เช่น แสงสีเหลืองเกิดจากการผสมระหว่างแสงสีแดงกับแสงสีเขียว แสงสีแดงม่วงเกิดจากการผสมระหว่างแสงสีแดงกับแสงสีน้ำเงิน
2. การผสมแสงสีจะทำให้เกิดแสงสีใหม่ที่มีความยาวคลื่นเท่ากับความยาวคลื่นเฉลี่ยของแสงสีที่มาผสมกัน เช่น การผสมแสงสีแดงความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร กับแสงสีเขียวความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร จะได้แสงสีเหลืองที่มีความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร	2. การผสมแสงสีไม่ทำให้เกิดแสงสีใหม่ แต่เป็นการกระตุ้นของเซลล์รูปกรวยที่จอตา ทำให้มองเห็นเป็นแสงสีใหม่ เช่น การผสมแสงสีแดงความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร กับแสงสีเขียวความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร จะกระตุ้นเซลล์รูปกรวยชนิด L และ M เช่นเดียวกับการกระตุ้นของแสงสีเหลือง จึงทำให้มองเห็นเป็นแสงสีเหลือง แต่ไม่ได้เกิดแสงสีเหลืองที่มีความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 11 และ 12 ของหัวข้อ 11.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 11.4.2 โดยให้นักเรียนร่วมกันตอบคำถามว่า ถ้าฉายแสงหลายสีมาผสมกันบนฉากขาวจะเกิดอะไรขึ้น เช่น ถ้าฉายแสงสีแดงผสมกับแสงสีเขียว หรือ ฉายแสงสีเขียวผสมกับแสงสีน้ำเงิน จะมองเห็นเป็นแสงสีใด การผสมแสงสีดังกล่าว มีผลต่อการกระตุ้นเซลล์รูปกรวยที่ตาอย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 11.4 ในหนังสือเรียน



### กิจกรรม 11.4 การผสมแสงสีบนฉากราว

#### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาการผสมแสงสี

เวลาที่ใช้ 30 นาที

#### วัสดุและอุปกรณ์

1. กล้องผสมแสงสี 1 อัน

#### แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. ฉากรวมมีสีขาวจริงหากฉากในกล้องผสมแสงสีมีสีซีดเหลือง อาจใช้กระดาษขาวมาวางทับเพื่อป้องกันการเห็นแสงสีผิดเพี้ยน

#### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

แสงสีที่ผสม	สีที่ปรากฏบนฉากรวม บริเวณที่แสงสีซ้อนกัน	ตัวอย่าง
1. แดง+เขียว+น้ำเงิน	ขาว	
2. แดง+เขียว	เหลือง	
3. แดง+น้ำเงิน	แดงม่วง	
4. เขียว+น้ำเงิน	น้ำเงินเขียว	



### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- สีที่ปรากฏบนฉากรับ บริเวณที่วางสีซ้อนกัน เหมือนกับสีของแสงที่มาซ้อนสีใดสีหนึ่งหรือไม่  
แนวคำตอบ สีที่ปรากฏบนฉากรับ บริเวณที่วางสีซ้อนกัน ไม่เหมือนสีของแสงที่มาซ้อนสีใดสีหนึ่ง

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครุณำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า เมื่อนำแสงสีต่าง ๆ มาผสมกันจะเห็นเป็นแสงสีใหม่ โดยการผสมระหว่างแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน จะเห็นเป็นแสงสีขาว

ครูใช้รูป 11.46 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการใช้ไดโอดเปล่งแสงชนิดสามสี ในการสร้างภาพ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า การผสมของแสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน ทำให้เกิดการกระตุ้นเซลล์รูปกรวยในลักษณะต่าง ๆ จึงมองเห็นเป็นแสงสีอื่น ๆ ได้ ครบทุกสี เช่น การผสมแสงสีจากไดโอดเปล่งแสง

ครูใช้รูป 11.47 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการผสมแสงสี จนสรุปได้ว่า แสงสีปฐมภูมิ ประกอบด้วยแสงสี 3 แสงสี คือ แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน

ครูให้นักเรียนร่วมกันตอบคำถามว่า ถ้าเซลล์รูปกรวยบางชนิดบกพร่อง เช่น เซลล์รูปกรวยชนิด L บกพร่อง การมองเห็นแสงสีจะเป็นอย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้น ครูใช้รูป 11.48 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการบอดสีตามรายละเอียดในหนังสือเรียนจนสรุปได้ว่า การบอดสีเกิดจากการทำงานผิดปกติของเซลล์รูปกรวยบางชนิดส่งผลให้มองเห็นสีผิดเพี้ยนไปจากคนปกติ ซึ่งถ้าเซลล์รูปกรวยชนิด L บกพร่อง การมองเห็นจะผิดเพี้ยนไปจากคนที่มีสายตาสปกติ โดยไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างแสงที่มีช่วงความยาวคลื่น 530 – 700 นาโนเมตร ได้ เนื่องจากเห็นเป็นสีใกล้เคียงกัน

### ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

แสงสีที่ไม่สามารถผสมขึ้นใหม่ได้มี 3 สี คือ แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน เรียกว่า **แสงสีปฐมภูมิ** ส่วนแสงสีที่เกิดจากการผสมของแสงสีปฐมภูมิทำให้เห็นเป็นแสงสีอื่น เช่น แสงสีเหลือง แสงสีแดงม่วง และแสงสีน้ำเงินเขียว เรียกว่า **แสงสีทุติยภูมิ** เมื่อแสงสีปฐมภูมิทั้งสามสีผสมกันจะเห็นเป็นแสงขาว โดยแสงสีคู่ใดเมื่อผสมกันแล้วเห็นเป็นแสงขาว เรียกแสงสีคู่นั้นว่า **แสงสีเติมเต็ม** เช่น แสงสีแดงกับแสงสีน้ำเงินเขียว

### 11.4.3 แผ่นกรองแสงและสีของวัตถุ

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. แผ่นกรองแสงสีทำหน้าที่เติมสีนั้น ๆ ลงไปในแสง เช่น เมื่อแสงสีขาวผ่านแผ่นกรองแสงสีแดง จะถูกเติมสีแดงทำให้ได้เป็นแสงสีแดง	1. แผ่นกรองแสงสีทำหน้าที่กั้นบางแสงสีไว้และยอมให้บางแสงสีผ่านไปได้ เช่น เมื่อแสงสีขาวผ่านแผ่นกรองแสงสีแดง แสงสีแดงและแสงสีใกล้เคียงกับสีแดงจะผ่านได้ ส่วนแสงสีอื่น ๆ จะถูกกั้นไว้ จึงเห็นเป็นแสงสีแดง
2. แผ่นกรองแสงสีใดจะทำหน้าที่กั้นแสงสีนั้นไว้ ทำให้มองเห็นแผ่นกรองแสงสีเป็นสีนั้น	2. แผ่นกรองแสงสีใดจะยอมให้แสงสีนั้นและแสงสีใกล้เคียงสีนั้นผ่านได้ ทำให้มองเห็นแผ่นกรองแสงสีเป็นสีนั้น

#### สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

ถ้าจะมีการให้นักเรียนสังเกตการกรองแสงสีของแผ่นกรองแสงสี ให้เตรียมวัสดุและอุปกรณ์ คือ แผ่นกรองแสงสี ไฟฉายหรือแหล่งกำเนิดแสงสีขาว

## แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 12 ของหัวข้อ 11.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 11.4.3 โดยให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า เหตุใดเมื่อให้แสงขาวส่องไปยังวัตถุจึงมองเห็นวัตถุมีสีแตกต่างกัน การมองเห็นสีของวัตถุขึ้นกับปัจจัยอะไรบ้าง แสงสีมีอิทธิพลต่อการมองเห็นสีของวัตถุอย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูชี้แจงว่า การทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเห็นสีของวัตถุแตกต่างกัน ขึ้นกับปัจจัยอะไรบ้าง ควรเริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับการเห็นแสงที่ผ่านแผ่นกรองแสงสี โดยครูอาจสาธิตด้วยการฉายแสงขาวผ่านแผ่นกรองแสงสีแล้วให้นักเรียนสังเกตแสงสีที่ปรากฏบนฉากขาวหรือครุยกสถานการณ์ฉายแสงผ่านแผ่นกรองแสงสีแล้วให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่าเหตุใดจึงทำให้เห็นเป็นสีนั้น ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 11.5 ในหนังสือเรียน



### กิจกรรม 11.5 แผ่นกรองแสงสี

#### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาสมบัติของแผ่นกรองแสงสีต่าง ๆ

#### เวลาที่ใช้ 30 นาที

#### วัสดุและอุปกรณ์

- |   |           |
|---|-----------|
| 1. ชุดกล่องแสง  | 1 อัน     |
| 2. หม้อแปลงโวลต์ต่ำ 12 โวลต์  | 1 เครื่อง |
| 3. ปริซึมสามเหลี่ยม   | 1 อัน     |
| 4. แผ่นช่องแสงชนิด 1 ช่อง   | 1 แผ่น    |
| 5. แผ่นพลาสติกโปร่งใสสีม่วงสีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีส้ม และสีแดง อย่างละ 1 แผ่น |           |

#### แนะนำก่อนทำกิจกรรม

- จัดบริเวณที่ทำกิจกรรมให้สว่างน้อยกว่าปกติ จะสังเกตเห็นลำแสงได้ชัดเจน
- ควรวางปริซึมสามเหลี่ยมให้ใกล้กับแผ่นช่องแสงมากที่สุด เพื่อใช้ลำแสงช่วงที่สว่างมาก ทำให้ได้ผลการทำกิจกรรมที่สังเกตเห็นได้ชัดเจน
- เขียนรังสีแทนลำแสงของสีต่าง ๆ บนกระดาษขาว ณ ตำแหน่งที่เห็น พร้อมทั้งบันทึกสีที่เห็น



ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

สีของแผ่นพลาสติก โปร่งใส	สีของแสงที่ผ่านพลาสติก โปร่งใสที่เห็น	แถบสีที่เห็นเมื่อใช้ปริซึมสามเหลี่ยมกันระหว่างแสงที่ผ่านแผ่นพลาสติกโปร่งใส					
		ม่วง	น้ำเงิน	เขียว	เหลือง	ส้ม	แดง
สีม่วง	สีม่วง	✓	✓				
สีน้ำเงิน	สีน้ำเงิน	✓	✓	✓			
สีเขียว	สีเขียว		✓	✓	✓		
สีเหลือง	สีเหลือง			✓	✓	✓	
สีส้ม	สีส้ม				✓	✓	✓
สีแดง	สีแดง					✓	✓



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- เมื่อกันแสงหน้าช่องแสงด้วยแผ่นพลาสติกโปร่งใสแต่ละสี เปรียบเทียบกับแถบสีที่เห็นกรณีไม่มีแผ่นพลาสติกใสแต่ละสีกัน แตกต่างกันอย่างไรร  
**แนวคำตอบ** เมื่อกันช่องแสงด้วยแผ่นพลาสติกโปร่งใสแต่ละสีจะพบว่าสีแสงสีบางแสงสีทะลุผ่านได้ แต่บางแสงสีหายไป ส่วนในกรณีไม่มีแผ่นพลาสติกใสกันจะเห็นแถบสีครบทุกสี

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูนำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า เมื่อให้แสงขาวซึ่งประกอบด้วยแสงหลายสีตกกระทบแผ่นพลาสติกโปร่งใสสีต่าง ๆ ก็ akan เห็นแสงที่ผ่านพลาสติกโปร่งใสเป็นสีนั้น ๆ แต่เมื่อนำปริซึมสามเหลี่ยมมากระจายแสงที่ผ่านแผ่นพลาสติกโปร่งใสสีต่าง ๆ พบว่า แสงสีบางสีจะถูกแผ่นพลาสติกโปร่งใสดูดกลืนไว้ และมีแสงสีบางสีทะลุผ่านแผ่นพลาสติกโปร่งใส เช่น แผ่นพลาสติกโปร่งใสสีน้ำเงิน จะพบว่า แสงสีแดงถูกดูดกลืนไว้ แต่แสงสีน้ำเงินทะลุผ่านได้ดี และอาจมีแสงสีม่วงและสีเขียวปนออกมาด้วย แต่สว่างน้อยกว่าแสงสีน้ำเงิน

ครูใช้รูป 11.49 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับแสงสีที่ผ่านแผ่นพลาสติกโปร่งใส จนสรุปได้ว่า แผ่นพลาสติกโปร่งใสสีต่างๆ ทำหน้าที่กั้นแสงบางสีไว้และยอมให้แสงบางสีผ่านไปได้ ซึ่งเรียกว่าแผ่นกรองแสงสี นอกจากนี้ ครูอาจชี้แจงว่า ความสามารถในการกรองแสงสีของแผ่นกรองแสงสีขึ้นอยู่กับคุณภาพของแผ่นกรองแสงสี ยิ่งแผ่นกรองแสงสีมีคุณภาพสูงก็จะกรองแสงสีออกมาเป็นสีนั้น ๆ ได้ โดยแสงสีอื่น ๆ ปนออกมาน้อยมาก

ครูใช้รูป 11.50 และ 11.51 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการมองเห็นสีของวัตถุ เนื่องจากสารในวัตถุที่เรียกว่า สารสี จนสรุปได้ว่า สารสีทำหน้าที่ดูดกลืนแสงบางแสงสีไว้และสะท้อนแสงสีส่วนที่เหลือจากการดูดกลืน ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีเดียวกับแสงที่สะท้อนมาเข้าตา เช่น ใบไม้ที่มีสีเขียว เนื่องจากมีส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ที่สามารถสะท้อนแสงสีเขียวในปริมาณมากที่สุด ทำให้มองเห็นใบไม้เป็นสีเขียว

### ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

วัตถุสามารถแบ่งตามปริมาณแสงและลักษณะที่แสงผ่านวัตถุได้ ดังนี้

1. **วัตถุโปร่งใส (transparent material)** หมายถึง วัตถุที่แสงผ่านไปได้อย่างเกือบหมด ทำให้สามารถมองผ่านวัตถุชนิดนี้ได้อย่างชัดเจน เช่น กระจกใส พลาสติกใส พลาสติกใสสี และแก้วใส
2. **วัตถุโปร่งแสง (translucent material)** หมายถึง วัตถุที่แสงผ่านไปได้อย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้ไม่สามารถมองผ่านวัตถุนี้ได้ชัด เช่น น้ำขุ่น กระจกฝ้า และกระดาษชุบไข
3. **วัตถุทึบแสง (opaque material)** หมายถึง วัตถุที่แสงผ่านไปไม่ได้เลย แสงทั้งหมดจะถูกดูดกลืนไว้หรือสะท้อนกลับ จึงไม่สามารถมองผ่านวัตถุชนิดนี้ได้ เช่น ไม้ ผนังตึก และกระจกเงา

#### 11.4.4 การผสมสารสี

##### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. การมองเห็นสีของวัตถุเกิดจากการผสมกันระหว่างสารสีของวัตถุและแสงสีที่ตกกระทบวัตถุ	1. การมองเห็นสีของวัตถุไม่ได้เกิดจากการผสมกันระหว่างสารสีของวัตถุและแสงสีที่ตกกระทบวัตถุ แต่ขึ้นกับแสงสีที่ตกกระทบวัตถุและแสงสีที่สะท้อนโดยสารสีของวัตถุ
2. การมองเห็นสีของวัตถุไม่ขึ้นกับสีของแสงที่ตกกระทบวัตถุ	2. สีของวัตถุที่เห็นขึ้นกับสีของแสงที่ตกกระทบวัตถุ
3. ผลของการผสมสารสีเหมือนกับผลของการผสมแสงสี เช่น ถ้าแสงสีแดงผสมกับแสงสีเขียวจะได้แสงสีเหลือง ดังนั้น ถ้าสารสีแดงผสมกับสารสีเขียวจะได้สารสีเหลือง	3. ผลของการผสมสารสีแตกต่างจากผลของการผสมแสงสี เช่น ถ้าแสงสีแดงผสมกับแสงสีเขียวจะได้แสงสีเหลือง แต่ถ้าสารสีแดงผสมกับสารสีเขียวจะได้สารสีดำ

### สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

ถ้าจะมีการให้นักเรียนสังเกตการผสมสารสี ให้เตรียมวัสดุและอุปกรณ์ คือ

1. สีโปสเตอร์ 3 สี ได้แก่ สีเหลือง สีน้ำเงินเขียว และสีแดงม่วง
2. ฟู่กันและจานสี
3. กระดาษขาว

### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 12 ของหัวข้อ 11.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 11.4.4 โดยนำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า คุณสมบัติการดูดกลืนและสะท้อนแสงสีของสารสีในวัตถุนำมาใช้อธิบายการผสมสารสี สารสีที่ไม่อาจสร้างขึ้นจากการผสมสารสีต่าง ๆ เข้าด้วยกันมี 3 สี คือ สารสีน้ำเงินเขียว (Cyan) สารสีเหลือง (Yellow) และสารสีแดงม่วง (Magenta) ซึ่งเรียกว่า สารสีปฐมภูมิ ซึ่งเมื่อนำมาผสมกันจะได้เป็นสารสีอื่น ๆ ตามต้องการ จึงนำมาใช้เป็นหมึกพิมพ์ ดังรูป 11.52 ในหนังสือเรียน

ครูนำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการเห็นสีที่เกิดจากแสงสะท้อนมากระตุ้นเซลล์รูปกรวยและมีผลต่อการมองเห็นเป็นสีต่าง ๆ ได้อย่างไร ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูใช้รูป 11.53 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการเห็นวัตถุที่มีสารสีเหลือง จนสรุปได้ว่า เมื่อแสงขาวกระทบวัตถุที่มีสารสีเหลือง จะดูดกลืนแสงส่วนที่เป็นสีน้ำเงินซึ่งเป็นส่วนที่จะกระตุ้นเซลล์รูปกรวยชนิด S แต่จะสะท้อนแสงความยาวคลื่นอื่น ๆ ที่จะกระตุ้นให้เซลล์รูปกรวยชนิด M และ L ทำงานพร้อมกัน การที่เซลล์รูปกรวยสองชนิดนี้ ถูกกระตุ้นพร้อมกัน จึงทำให้ตาเราเห็นเป็นสีเหลือง อาจอธิบายง่าย ๆ ว่า สารสีเหลืองที่เราเห็นนั้น คือ แสงสีเขียวที่กระตุ้นเซลล์รูปกรวยชนิด M และแสงสีแดงที่กระตุ้นเซลล์รูปกรวยชนิด L โดยสามารถสรุปสำหรับการเห็นสารสีน้ำเงินเขียวและสารสีแดงม่วงได้ในทำนองเดียวกัน ดังตาราง 11.3 ในหนังสือเรียน ซึ่งแสดงการดูดกลืนและสะท้อนแสงสีปฐมภูมิของสารสีปฐมภูมิ และสามารถเขียนแผนภาพการผสมสารสีปฐมภูมิได้ดังรูป 11.54

### ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ในวิชาศิลปะ แม่สีสำหรับการผสมสีจะมี 3 สี คือ สีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงิน เพื่อใช้ผสมให้เกิดเป็นสีอื่น ๆ ได้ ซึ่งอาจจะทำให้นักเรียนสับสนเพราะชื่อเรียกแม่สีในวิชาศิลปะไม่ตรงกับชื่อสารสีปฐมภูมิ ในทางวิทยาศาสตร์เนื่องจากมีเกณฑ์ในการจำแนกสีที่แตกต่างกัน

### แนวการวัดและการประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับแสงสีและการมองเห็นสี จากการตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 11.4
2. จิตวิทยาศาสตร์/เจตคติด้านความมีเหตุผล และความรอบคอบ จากการทำกิจกรรมและการอภิปรายร่วมกัน และจากการทำแบบฝึกหัด 11.4



### แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 11.4

1. หากฉายแสงขาวไปตกกระทบวัตถุที่มีสีดำ แสงสีใดบ้างที่จะถูกดูดกลืนโดยสารสีของวัตถุนั้น และแสงสีใดบ้างจะสะท้อนโดยสารสีของวัตถุนั้นกลับเข้าสู่ตาผู้สังเกต

**แนวคำตอบ** เห็นวัตถุเป็นสีดำ เนื่องจากวัตถุสีดำจะดูดกลืนแสงสีทุกสี จึงไม่มีแสงสีใดสะท้อนออกมา

2. จงอธิบายสีที่เกิดจากการผสมสารสีน้ำเงินเขียวและสารสีแดงม่วง โดยอาศัยความรู้เรื่องการดูดกลืนและการสะท้อนแสงสีของสารสี

**แนวคำตอบ** สารสีน้ำเงินเขียวจะดูดกลืนแสงสีแดง ส่วนสารสีแดงม่วงจะดูดกลืนแสงสีเขียว เมื่อนำมาผสมกันทำให้สารสีดังกล่าวดูดกลืนทั้งแสงสีแดงและแสงสีเขียว สะท้อนเพียงแค่แสงสีน้ำเงินเท่านั้น ทำให้สารสีที่ผสมระหว่างสีน้ำเงินเขียวกับสีแดงม่วงเป็นสารสีน้ำเงิน

3. เหตุใด หมึกของเครื่องพิมพ์เอกสารส่วนใหญ่จึงมีเพียงแค่ 4 สี คือ สีน้ำเงินเขียว (Cyan) สีเหลือง (Yellow) สีแดงม่วง (Magenta) และสีดำ (Blak)

**แนวคำตอบ** เนื่องจากการใช้หมึกสีน้ำเงินเขียว หมึกสีเหลือง และหมึกสีแดงม่วง ก็เพียงพอที่จะใช้ผสมเป็นสารสีอื่น ๆ ได้ครบทุกสี ส่วนการใช้หมึกสีดำ (Blak) เนื่องจากการประหยัดสารสีอื่น ๆ ในงานที่ต้องการสีดำ

4. เมื่อฉายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสีน้ำเงินไปบนวัตถุสีแดง เรามองเห็นเป็นสีอะไร เพราะเหตุใด

**แนวคำตอบ** เห็นวัตถุเป็นสีดำ เนื่องจากวัตถุสีแดงจะสะท้อนสีแดง และดูดกลืนแสงสีอื่นไว้ เมื่อฉายแสงสีน้ำเงินลงบนวัตถุสีแดงทำให้ไม่มีแสงสีใดสะท้อนออกมา

5. การผสมแสงสีในรูป 11.47 และการผสมสารสีในรูปที่ 11.54 มีความเชื่อมโยงกันอย่างไร

**แนวคำตอบ** สารสีปฐมภูมิแต่ละสีในรูปที่ 11.54 จะสะท้อนแสงสีปฐมภูมิจำนวน 2 แสงสี ทำให้สารสีปฐมภูมิตรงกับส่วนของการรวมแสงสีปฐมภูมินั้นคือตรงกับแสงสีทุติยภูมิ ส่วนสารสีทุติยภูมิจะสะท้อนแสงสีปฐมภูมิเพียงสีเดียว ทำให้สารสีทุติยภูมิตรงกับแสงสีปฐมภูมิ

## 11.5 การอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติและการใช้ประโยชน์เกี่ยวกับแสง จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการเกิดรุ้ง การทรงกลด มิราจ และการมองเห็นท้องฟ้าเป็นสีต่าง ๆ ในช่วงเวลาที่ต่างกัน
2. อธิบายการนำความรู้เรื่องแสงเชิงรังสีไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน

### 11.5.1 ปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกี่ยวกับแสง ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อมีละอองน้ำในอากาศในปริมาณที่เหมาะสม เราสามารถมองเห็นรุ้งทุกทิศทางได้ โดยไม่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์	1. เมื่อมีละอองน้ำในอากาศในปริมาณที่เหมาะสม เราสามารถมองเห็นรุ้งได้เมื่อหันหลังให้ดวงอาทิตย์เท่านั้น
2. ภาพมิราจเกิดจากแสงสะท้อนไอน้ำบนถนน	2. ภาพมิราจเกิดจากการหักเหของแสงในบรรยากาศชั้นต่าง ๆ เพราะความหนาแน่นของอากาศในแต่ละชั้นไม่เท่ากัน ทำให้แสงเบนขึ้นที่ละน้อยจนเกิดการสะท้อนกลับหมด
3. ท้องฟ้าในตอนกลางวันมีสีฟ้าจึงเห็นท้องฟ้าเป็นสีฟ้า และท้องฟ้าตอนเช้าหรือตอนเย็นเป็นสีแดงเพราะแสงจากดวงอาทิตย์ในช่วงเวลานั้นเป็นแสงสีแดง	3. โมเลกุลของอากาศทำให้แสงอาทิตย์เกิดการกระเจิงโดยแสงสีน้ำเงินกระเจิงได้มากกว่าแสงสีอื่นและแสงสีแดงกระเจิงน้อยกว่าแสงสีอื่น ทำให้เห็นท้องฟ้าในตอนกลางวันเป็นสีฟ้า และเห็นท้องฟ้าตอนเช้าหรือตอนเย็นเป็นสีแดง

### สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

ถ้าจะมีการให้นักเรียนสังเกตการกระเจิงของแสง ให้เตรียมวัสดุและอุปกรณ์ คือ

1. ไฟฉาย
2. ถังพลาสติกใสบรรจุน้ำ
3. นม

## แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 13 ของหัวข้อ 11.5 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อครูนำเข้าสู่หัวข้อ 11.5.1 โดยให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า ปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกี่ยวกับแสง ได้แก่ การเกิดรุ้ง การทรงกลด มิราจ และการมองเห็นท้องฟ้าเป็นสีต่าง ๆ ในช่วงเวลาที่ต่างกัน มีลักษณะอย่างไร เกิดเมื่อไร และเกิดได้อย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

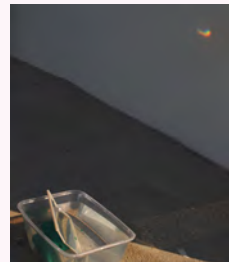
ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายในประเด็นต่อไป นี้ รุ้งมีกี่ชนิด แต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างไร รุ้งเกิดขึ้นเมื่อใด และรุ้งเกิดขึ้นได้อย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้น ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับรุ้งตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แล้วครูนำนักเรียนอภิปรายโดยใช้รูป 11.55 11.56 11.57 และ 11.58 ในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า รุ้งเกิดจากแสงขาวจากดวงอาทิตย์หักเหเข้าสู่หยดน้ำแล้วเกิดการสะท้อนภายในหยดน้ำ แล้วจึงหักเหออกจากหยดน้ำอีกครั้งหนึ่ง และเนื่องจากดรรชนีหักเหของแสงสีแต่ละแสงสีมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้แสงสีแต่ละแสงสีหักเหออกจากหยดน้ำด้วยมุมที่ต่างกัน เนื่องจากสายตาของผู้สังเกตจะทำมุมใดมุมหนึ่งกับหยดน้ำแต่ละหยดเท่านั้น จึงทำให้แสงสีที่เข้าตาผู้สังเกตจากหยดน้ำหนึ่งหยดจะต้องเป็นแสงสีใดแสงสีหนึ่งตามมุมที่เหมาะสมเท่านั้น การเห็นรุ้งจึงเกิดจากการที่แสงแต่ละสีที่เข้าตามาจากหยดน้ำคนละหยด

## ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การสร้างรุ้งสามารถทำได้โดยการหันหลังให้กับดวงอาทิตย์ แล้วฉีดละอองน้ำที่ด้านหน้าผู้สังเกต ในระดับสูงกว่าศีรษะของผู้สังเกต เมื่อแสงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านละอองน้ำแล้วเกิดการหักเหเข้าสู่หยดน้ำ สะท้อนภายในหยดน้ำ และหักเหออกจากหยดน้ำ จะทำให้ผู้สังเกตเห็นรุ้งที่เกิดขึ้นได้ หรืออาจใช้การสังเกตบริเวณที่มีละอองน้ำที่อยู่ด้านตรงข้ามกับแสงอาทิตย์ ดังรูป 11.4 ก. นอกจากนี้ อาจใช้การนำกระจกมาวางลงในน้ำในมุมที่เหมาะสมทำให้แสงเกิดการหักเหในน้ำ สะท้อนที่กระจก และหักเหออกจากน้ำอีกครั้ง เกิดการแยกแสงสีเป็นรุ้ง ดังรูป 11.4 ข.



ก. การเกิดรุ้งที่บริเวณที่มีละอองน้ำ



ข. การเกิดรุ้งจากการหักเหและสะท้อน

รูป 11.4 การเกิดรุ้ง

ครูใช้รูป 11.59 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการมองเห็นรุ้ง จนสรุปได้ว่า รุ้งที่มองเห็นจะต้องเป็นส่วนของวงกลมเพื่อให้มุมของแสงแต่ละสีที่เข้าสู่ตาของผู้สังเกตมีค่าคงเดิมในทุก ๆ ส่วนของรุ้ง

ครูใช้รูป 11.60 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเปรียบเทียบการเกิดรุ้งปฐมภูมิและรุ้งทุติยภูมิ จนสรุปได้ว่า รุ้งปฐมภูมิแสงมีการสะท้อนภายในหยดน้ำจำนวน 1 ครั้ง แต่รุ้งทุติยภูมิแสงมีการสะท้อนภายในหยดน้ำจำนวน 2 ครั้ง ทำให้ลำดับของแสงที่ออกมาและมุมที่แสงแต่ละสีมีความเข้มมากที่สุดระหว่างรุ้งปฐมภูมิและรุ้งทุติยภูมิมีความแตกต่างกัน

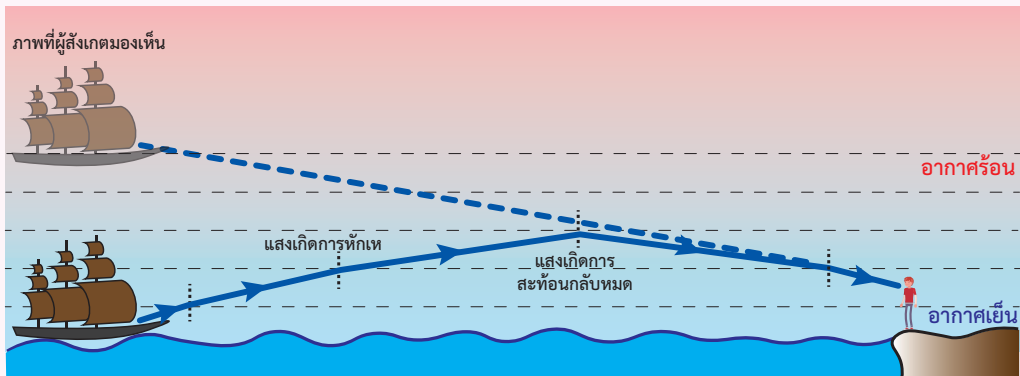
ครูนำนักเรียนอภิปรายว่า การทรงกลมเกิดขึ้นได้อย่างไร มีลักษณะเป็นอย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้น ครูให้นักเรียนศึกษาเรื่องการทรงกลม และใช้รูป 11.61 11.62 และ 11.63 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่าการทรงกลมเกิดขึ้นจากการที่แสงเปียงเบนเนื่องจากผลึกน้ำแข็งรูปหกเหลี่ยมในชั้นบรรยากาศสูง ๆ ทำให้ผู้สังเกตเห็นแสงอาทิตย์อีกที่หนึ่งที่ทำมุม 22 องศากับแนวตรงของดวงอาทิตย์ เกิดเป็นวงกลมรอบดวงอาทิตย์

ครูนำอภิปรายโดยถามนักเรียนว่า มिरาจเกิดขึ้นได้อย่างไร มีลักษณะเป็นอย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้น ครูให้นักเรียนศึกษาเรื่องการเกิดมิราจ และใช้รูป 11.64 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า มิราจเกิดจากการที่แสงเกิดการหักเหอย่างต่อเนื่องระหว่างรอยต่อระหว่างอากาศที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันทำให้แสงเปลี่ยนทิศทางทีละน้อยจนเกิดการสะท้อนกลับหมด เกิดเป็นภาพที่อยู่คนละตำแหน่งกับวัตถุจริง เช่น การเห็นภาพของท้องฟ้าอยู่บนพื้นถนน



### ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

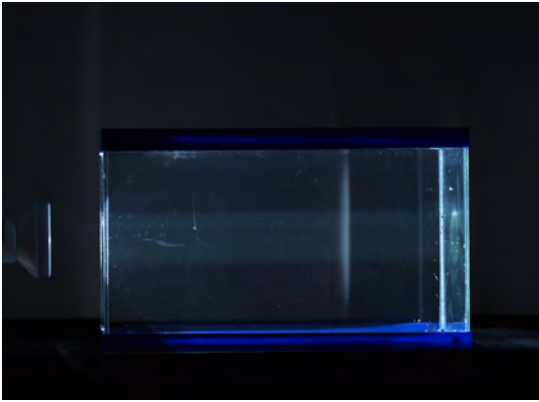
หากความแตกต่างของอากาศในส่วนที่อยู่ด้านล่างเย็นกว่าด้านบน แสงก็จะเกิดการหักเหอย่างต่อเนื่องจนเกิดการสะท้อนกลับหมดเช่นเดียวกัน เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า **looming** โดยผู้สังเกตจะเห็นภาพของวัตถุลอยอยู่เหนือพื้นระดับ ดังรูป 11.5



รูป 11.5 ปรากฏการณ์ **looming**

ครูนำอภิปรายโดยถามนักเรียนว่า สีของท้องฟ้าในแต่ละวันมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร ซึ่งควรได้คำตอบว่า ในแต่ละเวลาสีของท้องฟ้าจะต่างกันไป โดยในตอนเช้าและตอนเย็นจะเห็นท้องฟ้าเป็นสีแดงหรือสีส้มแดง ส่วนในเวลากลางวันจะเห็นท้องฟ้าเป็นสีฟ้า จากนั้น ครูนำอภิปรายโดยถามนักเรียนต่อว่า เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูอาจสาธิตการกระเจิงของแสงโดยใช้ไฟฉายส่องแสงเข้าไปในน้ำในกล่องพลาสติกใสเพื่อให้แสงไปตกตั้งฉากกับผิวกล่อง แล้วให้นักเรียนสังเกตผล ใส่นมผสมลงไปใต้น้ำ คนให้ทั่ว แล้วสังเกตผลที่เกิดขึ้นโดยมองด้านที่ตั้งฉากกับลำแสง และด้านตรงข้ามกับไฟฉาย จากนั้นครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับผลการสังเกต จนสรุปได้ว่า เมื่อฉายไฟฉายผ่านน้ำที่ยังไม่ผสมนมลงไป จะเห็นลำแสงเป็นสีขาว ดังรูป 11.6 ก. และ 11.6 ข. แต่เมื่อผสมนมลงไปใต้น้ำ แล้วสังเกตแสงด้านที่ตั้งฉากกับลำแสงจะมองเห็นแสงจากไฟฉายที่กระทบน้ำผสมนมเป็นสีฟ้า ในช่วงแรก ๆ ดังรูป 11.6 ค. แต่ถ้ามองด้านตรงข้ามไฟฉายจะมองเห็นแสงเป็นสีแดงส้ม ดังรูป 11.6 ง.



ก. เมื่อมองตั้งฉากจะพบลำแสงในน้ำเป็นสีขาว



ข. เมื่อมองด้านตรงข้ามจะพบลำแสงในน้ำเป็นสีขาว



ค. เมื่อมองตั้งฉากจะพบลำแสงในน้ำผสมนมเป็นสีฟ้าในช่วงแรก ๆ



ง. เมื่อมองด้านตรงข้ามจะพบลำแสงในน้ำผสมนมเป็นสีแดงส้ม

รูป 11.6 การศึกษาการกระเจิงของแสง

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับการกระเจิงของแสงตามรายละเอียดในหนังสือเรียน และใช้รูป 11.65 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า การกระเจิงของแสงเกิดจากแสงตกกระทบโมเลกุลของอากาศในชั้นบรรยากาศแล้วทำให้แสงกระเจิงออกมาทุกทิศทาง โดยแสงสีม่วงและแสงสีน้ำเงินซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นจะเกิดการกระเจิงได้ดี ส่วนแสงสีแดงซึ่งมีความยาวคลื่นมากจะกระเจิงได้น้อย

จากนั้น ครูใช้รูป 11.66 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า แสงอาทิตย์ในเวลากลางวันจะเกิดการกระเจิงทำให้เมื่อมองส่วนอื่น ๆ ของท้องฟ้าที่ไม่ใช่บริเวณดวงอาทิตย์จะเห็นเป็นสีฟ้า ในขณะที่แสงอาทิตย์ในเวลาเช้าหรือเย็นจะต้องเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศเป็นระยะทางมาก จึงเห็นแต่แสงสีแดงเพราะเกิดการกระเจิงน้อยที่สุด

### 11.5.2 การนำความรู้เรื่องกระจกเงาและเลนส์บางไปใช้ประโยชน์

#### ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. หากนำเลนส์บางหรือกระจกโค้งทรงกลมอันหนึ่งมารับภาพจากเลนส์บางหรือกระจกโค้งทรงกลมอีกอันหนึ่ง จะไม่ทำให้เกิดภาพใหม่ขึ้น เนื่องจากไม่มีวัตถุอยู่ในตำแหน่งนั้นจริง ๆ	1. หากนำเลนส์บางหรือกระจกโค้งทรงกลมอันหนึ่งมารับภาพจากเลนส์บางหรือกระจกโค้งทรงกลมอีกอันหนึ่ง จะทำให้เกิดภาพใหม่ขึ้น เนื่องจากภาพจากเลนส์บางหรือกระจกโค้งทรงกลมอันหนึ่ง จะกลายเป็นวัตถุให้กับเลนส์บางหรือกระจกโค้งทรงกลมอีกอัน

#### แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 14 ของหัวข้อ 11.5 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 11.5.2 โดยให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยตั้งคำถามว่า ความรู้เรื่องกระจกเงาและเลนส์บางสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้อย่างไรบ้าง โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูนำอภิปรายโดยถามนักเรียนว่า ถ้าต้องการนำความรู้เรื่องกระจกเงาและเลนส์บางมาช่วยทำให้มองเห็นวัตถุที่ไกลออกไป จะสามารถทำได้อย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับกล้องโทรทรรศน์ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน พร้อมทั้งนำอภิปรายเกี่ยวกับหลักการทำงานของกล้องโทรทรรศน์ แล้วให้นักเรียนทำกิจกรรม 11.6 ในหนังสือเรียน



## กิจกรรม 11.6 กล้องโทรทรรศน์

### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของกล้องโทรทรรศน์

เวลาที่ใช้ 30 นาที

### วัสดุและอุปกรณ์

- |                                  |   |     |
|----------------------------------|---|-----|
| 1. ชุดกล้องโทรทรรศน์และจุลทรรศน์ | 1 | ชุด |
| 2. ไม้เมตร                       | 1 | อัน |

### แนะนำก่อนทำกิจกรรม

- ให้นักเรียนเลือกทีวีทัศน์หรืออาคารบ้านเรือนที่อยู่ไกลออกไปเป็นวัตถุสำหรับการทำกิจกรรมนี้ เพื่อให้ถือว่าลำแสงที่มาตกกระทบเป็นลำแสงขนาน
- ชุดกล้องจุลทรรศน์และโทรทรรศน์ มีเลนส์นูน 2 อัน เลนส์นูนอันใหญ่มีความยาวโฟกัสมากกว่าเลนส์นูนอันเล็ก อาจให้นักเรียนตรวจสอบโดยการหาความยาวโฟกัสตามกิจกรรม 11.3 ตอนที่ 1
- เพื่อความสะดวก ควรวางเลนส์นูนที่มีความยาวโฟกัสสั้นอยู่ชิดปลายข้างหนึ่งของรางเลื่อน และปรับตำแหน่งของเลนส์นูนที่มีความยาวโฟกัสมากเท่านั้น

### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

- เลนส์นูนอันใหญ่มีความยาวโฟกัสประมาณ 14.5 เซนติเมตร เป็นเลนส์ใกล้วัตถุ
- เลนส์นูนอันเล็กมีความยาวโฟกัส ประมาณ 5.0 เซนติเมตร เป็นเลนส์ใกล้ตา
- ผลรวมระหว่างความยาวโฟกัสระหว่างเลนส์ใกล้วัตถุและเลนส์ใกล้ตาเท่ากับ 19.5 เซนติเมตร
- ภาพที่เกิดจากเลนส์ใกล้ตาเป็นภาพเสมือนหัวกลับขนาดใหญ่ และจะชัดที่สุดเมื่อเลนส์ทั้งสองอยู่ห่างกันประมาณ 19.3 เซนติเมตร



### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ระยะระหว่างเลนส์ทั้งสองขณะเห็นภาพชัดที่สุดเป็นอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวโฟกัสของเลนส์แต่ละอัน

**แนวคำตอบ** ภาพชัดที่สุดเมื่อเลนส์ทั้งสองห่างกันประมาณ 19.3 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลรวมของความยาวโฟกัสของเลนส์ทั้งสองคือ 14.5 เซนติเมตร + 5.0 เซนติเมตร เท่ากับ 19.5 เซนติเมตร

□ ภาพที่เห็นเหมือนหรือแตกต่างวัตถุหรือไม่ อย่างไร

**แนวคำตอบ** ภาพที่เห็นแตกต่างจากวัตถุโดยเป็นภาพเสมือนหัวกลับขนาดขยาย

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูนำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า กล้องโทรทรรศน์ประกอบด้วยเลนส์นูนสองอัน เลนส์นูนอันใหญ่ซึ่งเป็นเลนส์ใกล้วัตถุมีความยาวโฟกัสมากกว่าเลนส์นูนอันเล็กซึ่งเป็นเลนส์ใกล้ตา เมื่อใช้กล้องโทรทรรศน์ส่องดูวัตถุที่อยู่ไกล รังสีขนานจากวัตถุจะผ่านเลนส์ใกล้วัตถุแล้วมาตัดกันที่หลังเลนส์ใกล้วัตถุ ภาพที่เกิดจากเลนส์ใกล้วัตถุนี้กลายเป็นวัตถุของเลนส์ใกล้ตาซึ่งได้ภาพเสมือนขนาดขยาย ภาพที่เกิดขึ้นในกล้องโทรทรรศน์ เมื่อใช้ส่องดูวัตถุที่อยู่ไกล ๆ จะได้เป็นภาพหัวกลับ

ครูใช้รูป 11.67 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการเกิดภาพโดยใช้เลนส์นูนสองอันมาประกอบกัน จนสรุปได้ว่า ภาพที่เกิดจากเลนส์อันแรกจะกลายเป็นวัตถุของเลนส์อันที่สอง จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 11.14 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ แล้วใช้รูป 11.68 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับ การเพิ่มเลนส์บางอีกหนึ่งอันมาใช้ประโยชน์ในการออกแบบกล้องโทรทรรศน์ จนสรุปได้ว่า การใช้เลนส์บางสองอันมาสร้างกล้องโทรทรรศน์จะทำให้ได้ภาพหัวกลับและเป็นภาพเสมือนขนาดขยาย ซึ่งนำเลนส์บางอีกอันมาวางระหว่างเลนส์ทั้งสองในตำแหน่งที่เหมาะสม จะทำให้ภาพที่เห็นเป็นภาพหัวตั้ง จากนั้น ครูนำนักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับเลนส์ประกอบตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูนำอภิปรายโดยถามนักเรียนว่า ในกรณีที่ต้องการนำความรู้เรื่องกระจกเงาและเลนส์บางมาช่วยทำให้มองเห็นวัตถุที่มีขนาดเล็กมาก ๆ จะสามารถทำได้อย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับกล้องจุลทรรศน์ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน พร้อมทั้งนำอภิปรายเกี่ยวกับหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ แล้วให้นักเรียนทำกิจกรรม 11.7 ในหนังสือเรียน



### กิจกรรม 11.7 กล้องจุลทรรศน์

#### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของกล้องจุลทรรศน์

เวลาที่ใช้ 30 นาที

#### วัสดุและอุปกรณ์

- |                                  |   |      |
|----------------------------------|---|------|
| 1. ชุดกล้องโทรทรรศน์และจุลทรรศน์ | 1 | ชุด  |
| 2. ไม้เมตร                       | 1 | อัน  |
| 3. แผ่นกระดาษแข็งทึบแสง          | 1 | แผ่น |
| 4. แผ่นกระดาษผ้า                 | 1 | แผ่น |
| 5. ตัวอย่างภาพสไลด์              | 1 | ชุด  |
| 6. ไม้เมตร                       | 1 | อัน  |

#### แนะนำก่อนทำกิจกรรม

- ชุดกล้องจุลทรรศน์และโทรทรรศน์ มีเลนส์นูน 2 อัน เลนส์นูนอันใหญ่มีความยาวโฟกัสมากกว่าเลนส์นูนอันเล็ก อาจให้นักเรียนตรวจสอบโดยการหาความยาวโฟกัสตามกิจกรรม 11.3 ตอนที่ 1
- แผ่นลูกศรที่เสียบหน้ากล้องแสงต้องอยู่ระดับเดียวกับศูนย์กลางของเลนส์นูนทั้งสอง

#### ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

- เลนส์นูนอันเล็กมีความยาวโฟกัส ประมาณ 5.0 เซนติเมตร เป็นเลนส์ใกล้วัตถุ
- เลนส์นูนอันใหญ่มีความยาวโฟกัสประมาณ 14.5 เซนติเมตร เป็นเลนส์ใกล้ตา
- ผลรวมระหว่างความยาวโฟกัสระหว่างเลนส์ใกล้วัตถุและเลนส์ใกล้ตาเท่ากับ 19.5 เซนติเมตร
- ตำแหน่งของลูกศรต้องอยู่ระหว่าง 5.5 เซนติเมตร ถึง 9.0 เซนติเมตร ของเลนส์ใกล้วัตถุ จึงจะเกิดภาพจริงหน้าเลนส์ใกล้ตา
- ภาพที่เกิดจากเลนส์ใกล้ตาเป็นภาพเสมือนหัวกลับขนาดใหญ่ และจะมีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเลนส์ทั้งสองอยู่ห่างกันประมาณ 24.5 เซนติเมตร



### แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ขนาดและลักษณะของภาพเป็นอย่างไรเมื่อมองผ่านเลนส์นูนที่มีความยาวโฟกัสยาว  
**แนวคำตอบ** ภาพเสมือนหัวกลับขนาดขยาย
- ระยะระหว่างเลนส์ทั้งสองมีค่าเท่าใด และระยะนี้แตกต่างจากความยาวโฟกัสของเลนส์นูนทั้งสองอย่างไร  
**แนวคำตอบ** ภาพมีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเลนส์ทั้งสองห่างกันประมาณ 24.5 เซนติเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าผลรวมของความยาวโฟกัสของเลนส์ทั้งสองคือ 5.0 เซนติเมตร +14.5 เซนติเมตร เท่ากับ 19.5 เซนติเมตร

### อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครุณานักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า กล้องจุลทรรศน์ประกอบด้วยเลนส์นูนสองอัน เลนส์นูนอันใหญ่ซึ่งเป็นเลนส์ใกล้ตามีความยาวโฟกัสมากกว่าเลนส์นูนอันเล็กซึ่งเป็นเลนส์ใกล้วัตถุ ถ้านำวัตถุมาวางที่ระยะระหว่าง  $f$  กับ  $2f$  ของเลนส์ใกล้วัตถุ จะทำให้เกิดภาพจริงที่มีขนาดใหญ่กว่าวัตถุหน้าเลนส์ใกล้ตาโดยมีระยะน้อยกว่าความยาวโฟกัสของเลนส์ใกล้ตา ซึ่งภาพจากเลนส์ใกล้วัตถุจะกลายเป็นวัตถุของเลนส์ใกล้ตาทำให้ตามองเห็นเป็นภาพเสมือนขนาดใหญ่

ครูใช้รูป 11.69 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับแผนภาพรังสีของแสงสำหรับกล้องจุลทรรศน์ จนสรุปได้ว่า กล้องจุลทรรศน์ประกอบด้วยเลนส์นูนสองอันที่มีความยาวโฟกัส ระยะห่างระหว่างเลนส์ และระยะห่างระหว่างวัตถุที่เหมาะสม จนทำให้เกิดภาพที่มีกำลังขยายมาก ๆ ได้ จากนั้นครุณานักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับกล้องจุลทรรศน์ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครุณานักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับประโยชน์ของกล้องถ่ายรูปและการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีของกล้องถ่ายรูปตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ครูเน้นว่ากล้องถ่ายรูปปัจจุบันที่นักเรียนใช้ในชีวิตประจำวันเป็นกล้องถ่ายรูปแบบดิจิทัล แต่กล้องถ่ายรูปที่นักเรียนจะได้ศึกษาเป็นกล้องที่ใช้ระบบเลนส์ซึ่งพัฒนามาก่อนที่จะเป็นกล้องถ่ายรูปแบบดิจิทัลที่ใช้งานง่ายและแพร่หลายอย่างมากในปัจจุบัน

ครูให้นักเรียนศึกษาหลักการการทำงานของกล้องถ่ายรูปและส่วนประกอบของกล้องถ่ายรูปตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยครูใช้รูป 11.70 จากนั้นครุณานักเรียนอภิปราย จนสรุปได้ว่า กล้องถ่ายรูปอย่างง่ายประกอบด้วย เลนส์นูน ฟิล์มถ่ายรูป วงแหวนปรับความชัด ช่องมองภาพ ไดอะแฟรม และชัตเตอร์

ครูนำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับกล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัลตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า กล้องดิจิทัลใช้เซนเซอร์รับภาพแทนฟิล์มรับภาพ โดยพื้นที่ผิวของเซนเซอร์รับภาพจะถูกแบ่งออกเป็นจุดเล็ก ๆ ที่เรียกว่า พิกเซล ซึ่งใช้สำหรับบันทึกข้อมูลแต่ละจุดของภาพ จำนวนพิกเซลต่อเซนเซอร์รับภาพจึงมีผลต่อความละเอียดของภาพ

### แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติและการใช้ประโยชน์เกี่ยวกับแสง จากการตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 11.5
2. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผลและความรอบคอบ จากการทำกิจกรรมและการอภิปรายร่วมกัน



### แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 11.5

1. ดวงจันทร์สามารถเกิดการทรงกลมได้หรือไม่ ถ้าได้จะเกิดขึ้นเมื่อไร

**แนวคำตอบ** ดวงจันทร์สามารถเกิดการทรงกลมได้โดยจะเกิดในคืนที่ดวงจันทร์สว่างจ้า และในชั้นบรรยากาศมีเมฆที่ประกอบด้วยผลึกน้ำแข็งรูปหกเหลี่ยมในปริมาณที่เหมาะสม

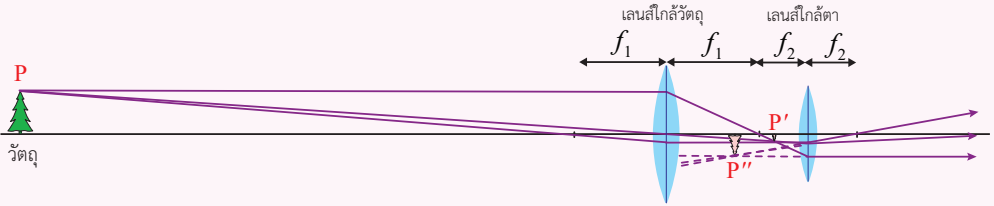
2. การเกิดรุ้งปฐมภูมิและการเกิดรุ้งทุติยภูมิเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

**แนวคำตอบ** การเกิดรุ้งปฐมภูมิและรุ้งทุติยภูมิเกิดจากการที่แสงหักเหและสะท้อนภายในหยดน้ำ โดยรุ้งปฐมภูมิเกิดจากการที่แสงสะท้อนภายในหยดน้ำ 1 ครั้ง แต่รุ้งทุติยภูมิเกิดจากการที่แสงสะท้อนภายในหยดน้ำ 2 ครั้ง

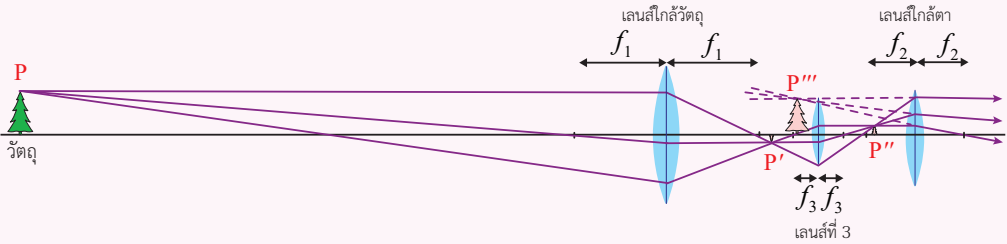
3. เหตุใดภาพที่เกิดจากกล้องโทรทรรศน์ที่ประกอบด้วยเลนส์นูนจำนวน 2 อัน จึงเป็นภาพกลับหัว และถ้าต้องการทำให้ภาพที่เกิดขึ้นไม่กลับหัวด้วยการเพิ่มเลนส์นูนจำนวน 1 อัน จะต้องนำเลนส์นูนนี้ไปวางไว้ที่ตำแหน่งใด

**แนวคำตอบ** ภาพที่เกิดจากกล้องโทรทรรศน์ที่ประกอบด้วยเลนส์นูนจำนวน 2 อันเป็นภาพกลับหัวเนื่องจากการมองวัตถุอยู่ห่างจากเลนส์ใกล้วัตถุมาก ๆ เช่น ที่ตำแหน่ง P จะทำให้ภาพที่เกิดจากเลนส์ใกล้วัตถุเป็นภาพหัวกลับที่อยู่ใกล้เคียงกับตำแหน่งโฟกัสของเลนส์ใกล้วัตถุที่ตำแหน่ง P' ซึ่งภาพนี้จะเป็นวัตถุให้กับเลนส์ใกล้ตาที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับตำแหน่งโฟกัสของเลนส์ใกล้ตาทำให้เกิดภาพเสมือนขนาดใหญ่ที่มีทิศทางเดียวกับวัตถุของเลนส์ใกล้ตา (ภาพของเลนส์ใกล้วัตถุ) จึงได้ภาพที่มีลักษณะหัวกลับกับวัตถุจริง ที่ตำแหน่ง P'' ดังรูป





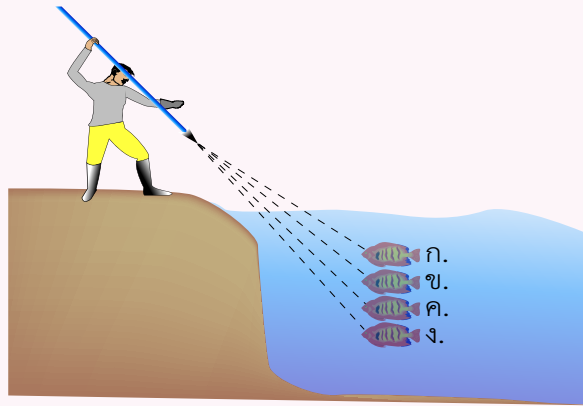
ถ้าต้องการทำให้ภาพที่เกิดขึ้นไม่กลับหัว จะต้องนำเลนส์นูนจำนวน 1 อันไปวางระหว่างเลนส์ใกล้วัตถุและเลนส์ใกล้ตา โดยให้ระยะจากภาพของเลนส์ใกล้วัตถุที่ตำแหน่ง  $P'$  มีค่ามากกว่าความยาวโฟกัสของเลนส์ที่นำไปวางเพื่อให้เกิดเป็นภาพจริงหัวกลับและเป็นวัตถุของเลนส์ใกล้ตาที่ตำแหน่ง  $P''$  จึงได้ภาพเสมือนหัวตั้งเหมือนวัตถุจริงที่ตำแหน่ง  $P'''$  ดังรูป



## เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 11

### ?? | คำถาม

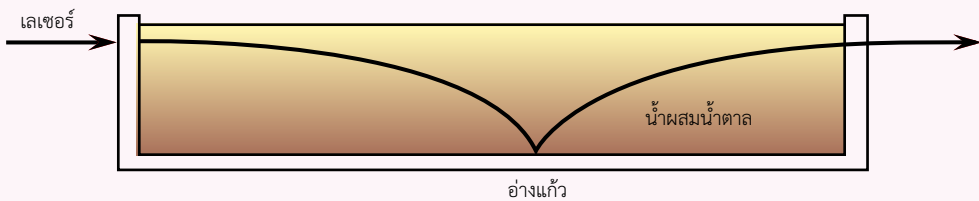
1. ชายคนหนึ่งกำลังล่าปลาโดยใช้ไม้ปลายแหลม ถ้าเขามองเห็นปลาที่ตำแหน่ง ค. เขาต้องพุ่งไม้ไปที่ตำแหน่งใด จึงมีโอกาสตักตัวปลา



รูป ประกอบคำถามข้อ 1

**แนวคำตอบ** เนื่องจากการหักเหของแสงทำให้ชายคนนั้นมองเห็นปลาอยู่ตื้นกว่าความเป็นจริง ดังนั้น เขาควรพุ่งไม้ไปยังตำแหน่งที่ตื้นกว่าตำแหน่ง ค. เพื่อให้มีโอกาสตักตัวปลา นั่นคือ เขาต้องพุ่งไม้ไปที่ ตำแหน่ง ง.

2. เมื่อฉายแสงเลเซอร์เข้าไปในน้ำที่ผสมน้ำตาล ปรากฏว่าแนวของลำแสงเบนดังรูป จงอธิบายว่าเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น



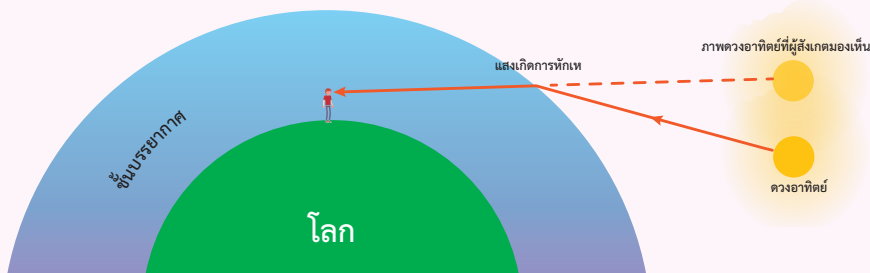
รูป ประกอบคำถามข้อ 2

**แนวคำตอบ** น้ำผสมน้ำตาลเป็นของผสมที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน ด้านบนมีความหนาแน่นน้อยที่สุด ลึกลงไปจะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และมีความหนาแน่นมากที่สุดบริเวณด้านล่าง น้ำผสมน้ำตาลจึงเปรียบเสมือนชั้นของเหลวที่มีดรรชนีหักเหของแสงแตกต่างกันหลาย ๆ ชั้น

เมื่อฉายแสงเลเซอร์ไปที่ด้านบน แสงจะหักเหผ่านชั้นเหล่านี้ จนกระทบพื้นกล่อง แล้วสะท้อนและหักเหผ่านชั้นต่าง ๆ จนเคลื่อนที่ออกจากกล่อง ทำให้มองเห็นแนวของลำแสงมีลักษณะดังกล่าว

3. ในตอนเช้า ดวงอาทิตย์ยังไม่ขึ้นจากขอบฟ้า และในตอนเย็น ขณะที่ดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้าไปแล้ว เราสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้ เพราะเหตุใด

**แนวคำตอบ** เราสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้แม้ดวงอาทิตย์ยังไม่ขึ้นจากขอบฟ้าหรือดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้าไปแล้ว เนื่องจากแสงจากดวงอาทิตย์เมื่อเคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศ อาจเกิดการหักเหจนทำให้เห็นภาพของดวงอาทิตย์ปรากฏคนละตำแหน่งกับดวงอาทิตย์จริง ดังรูป



รูป ประกอบแนวคำตอบสำหรับคำถามข้อ 3

4. จงอธิบายการเกิดการกระจายของแสงขาว เมื่อตกกระทบผิวด้านหนึ่งของปริซึมสามเหลี่ยม

**แนวคำตอบ** เมื่อฉายแสงขาวไปตกกระทบปริซึมสามเหลี่ยม จะเกิดการหักเหที่ผิวโดยแสงขาวซึ่งประกอบด้วยแสงสีหลายสี แต่เนื่องจากดัชนีหักเหของปริซึมสามเหลี่ยมสำหรับแสงแต่ละสีไม่เท่ากัน ทำให้มุมหักเหของแสงแต่ละสีไม่เท่ากัน เมื่อนำฉากไปรับแสงที่หักเหออกจากปริซึม จะพบแสงสีต่าง ๆ เรียงกัน ได้แก่ แสงสีม่วง สีนํ้าเงิน สีเขียว สีเหลือง สีแสดและสีแดงโดยแสงสีม่วงมีการหักเหมากที่สุด แสงสีแดงมีการหักเหน้อยที่สุด เรียกว่า การกระจายของแสงขาว

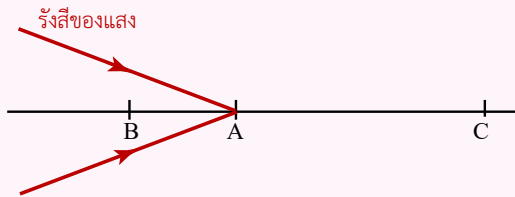
5. กระจกเงาราบทำให้เกิดภาพจริงได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

**แนวคำตอบ** ไม่ได้ เพราะแสงที่สะท้อนจากกระจกเงาราบไม่สามารถไปตัดกันได้ ต้องต่อแนวรังสีสะท้อนย้อนกลับไปตัดกัน จึงจะได้ภาพเสมือนเท่านั้น

6. เมื่อส่องกระจกเงาราบจะมองเห็นภาพสลับซ้ายเป็นขวา แต่ทำไมจึงไม่เห็นภาพกลับจากบนเป็นล่าง และจากล่างเป็นบน

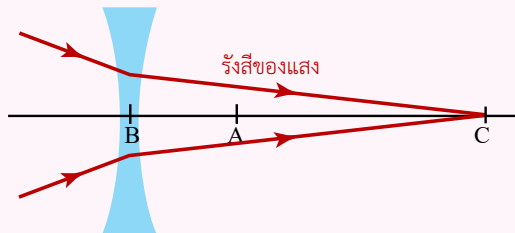
**แนวคำตอบ** ภาพที่เกิดจากกระจกเงาราบจะเกิดด้านเดียวกับวัตถุเสมอ เมื่อเรามองภาพที่เกิดขึ้นจะเห็นภาพมือซ้ายอยู่ทางด้านซ้ายและภาพมือขวาอยู่ทางด้านขวา แต่ความรู้สึกรู้สึกจากการมองเห็นทำให้เหมือนภาพสลับซ้ายเป็นขวา

7. ฉายแสงขนานผ่านเลนส์นูนบางในน้ำทำให้แสงรวมกันที่โฟกัส ความยาวโฟกัสของเลนส์นูนที่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากการฉายแสงขนานผ่านเลนส์นูนบางในอากาศหรือไม่ อย่างไร
- แนวคำตอบ** เปลี่ยนแปลงโดยที่ความยาวโฟกัสของเลนส์นูนที่ได้จากการฉายแสงขนานในน้ำจะมีค่ามากกว่าความยาวโฟกัสของเลนส์นูนที่ได้จากการฉายแสงขนานในอากาศ
8. รังสีของแสงเบนเข้าหากันที่จุด A ถ้านำเลนส์ไปวางไว้ที่จุด B รังสีของแสงคู่นี้จะเบนไปพบกันที่จุด C เลนส์ที่นำไปวางเป็นเลนส์ชนิดใด จงอธิบาย



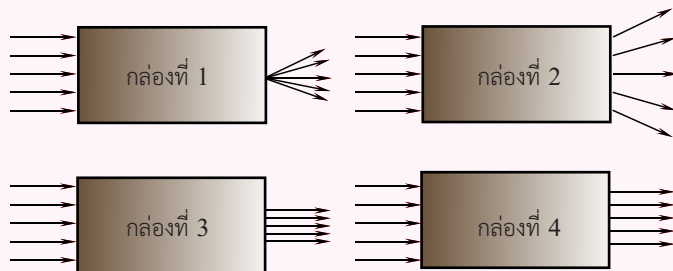
รูป ประกอบคำถามข้อ 8

**แนวคำตอบ** เลนส์ที่นำไปวางเป็นเลนส์เว้า เพราะเลนส์เว้าทำให้รังสีบานออก จึงเป็นผลทำให้รังสีเบนไปพบกันไกลกว่าจุดเดิม ดังรูป



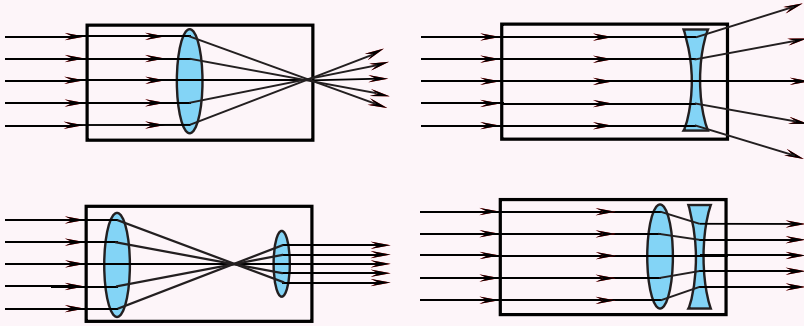
รูป ประกอบแนวคำตอบสำหรับคำถามข้อ 8

9. ถ้าต้องการให้ลำแสงสี่เดี่ยวส่องขนานเข้าไปในกล่องที่ภายในมีเลนส์บรรจุอยู่แล้วทำให้รังสีทะลุออกมา มีลักษณะต่าง ๆ ดังรูป



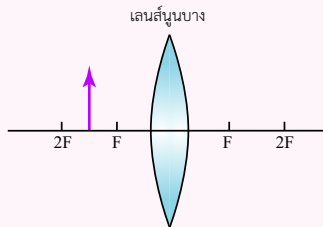
รูป ประกอบคำถามข้อ 9

จงหาชนิดของเลนส์ที่อยู่ในกล่องแต่ละกล่อง โดยในแต่ละกล่องอาจมีเลนส์มากกว่า 1 อันก็ได้  
**แนวคำตอบ** ชนิดของเลนส์ที่ต้องใส่ในกล่อง ดังรูป



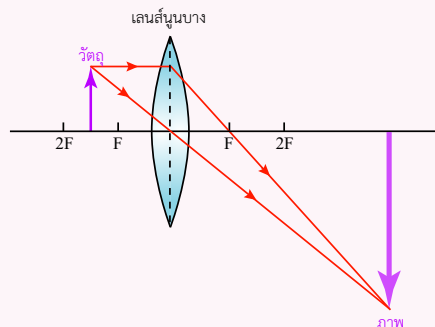
รูป ประกอบแนวคำตอบสำหรับคำถามข้อ 9

10. นำวัตถุไปวางที่ตำแหน่งระหว่าง  $F$  กับ  $2F$  ของเลนส์นูนบาง ภาพที่เกิดโดยเลนส์นี้มีลักษณะอย่างไร กำหนดให้  $F$  เป็นโฟกัสของเลนส์



รูป ประกอบคำถามข้อ 10

**แนวคำตอบ** วัตถุอยู่ระหว่าง  $F$  กับ  $2F$  ของเลนส์นูนบาง จะพบว่า ภาพที่เกิดขึ้นเป็นภาพจริงหัวกลับ ขนาดขยายและอยู่ไกลกว่า  $2F$  ดังรูป



รูป ประกอบแนวคำตอบสำหรับคำถามข้อ 10

11. เมื่อแสงผ่านละอองฝนและปริซึมจะเกิดสเปกตรัมของแสง การเกิดสเปกตรัมของแสงทั้งสองกรณีเป็นเพราะสมบัติใดของแสง

**แนวคำตอบ** สเปกตรัมของแสงเมื่อแสงผ่านละอองฝนเกิดจากการหักเห สะท้อนกลับหมดและการกระจายแสง และสเปกตรัมของแสงเมื่อแสงผ่านปริซึมเกิดจากการหักเหและการกระจายแสง

12. ภาพของวัตถุที่วางหน้ากระจกเงาราบ เป็นภาพเสมือนเสมอ เพราะเหตุใด

**แนวคำตอบ** เมื่อมีรังสีของแสงจากวัตถุตกกระทบกระจกเงาราบ เกิดรังสีสะท้อนซึ่งต้องต่อออกไปด้านหลังจึงจะพบกันเกิดเป็นภาพ และตำแหน่งนั้นเอาฉากมารับภาพไม่ได้

13. ภาพของวัตถุที่วางหน้ากระจกโค้งนูน เป็นภาพเสมือนเสมอ เพราะเหตุใด

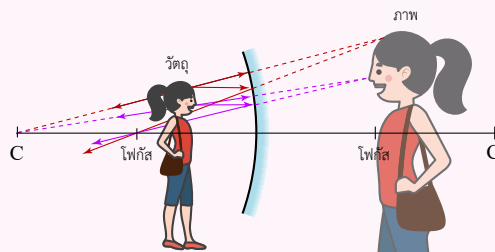
**แนวคำตอบ** เพราะเมื่อมีรังสีตกกระทบกระจกโค้งนูน เกิดรังสีสะท้อนซึ่งต้องต่อออกไปด้านหลังจึงจะพบกัน และตำแหน่งนั้นเอาฉากมารับไม่ได้

14. ถ้าใช้กระจกโค้งเว้าเป็นกระจคมองข้างสำหรับรถยนต์จะเกิดปัญหาอะไรบ้าง

**แนวคำตอบ** การใช้กระจกโค้งเว้าเป็นกระจคมองข้างสำหรับรถยนต์ จะเกิดปัญหาในกรณีที่วัตถุอยู่ไกลกว่าความยาวโฟกัสของกระจก เพราะภาพที่เกิดขึ้นจะเป็นภาพกลับหัว และต้องใช้ฉากรับจึงจะมองเห็นภาพได้ ซึ่งถ้าแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการใช้กระจกโค้งเว้าที่มีความยาวโฟกัสมาก ๆ แม้จะทำให้ได้ภาพเสมือน แต่ภาพดังกล่าวจะมีขนาดใหญ่กว่าวัตถุทำให้เห็นภาพของวัตถุบางส่วนเท่านั้น

15. สุธาปสตรีผู้หนึ่งยืนหน้ากระจกโค้งเว้าที่มีความยาวโฟกัส 30 เซนติเมตร เธอจะต้องทำอย่างไรจึงจะเห็นภาพใบหน้าขยายขนาดขึ้นกว่าปกติ และภาพใบหน้าของเธอจะปรากฏอยู่ที่ไหน

**แนวคำตอบ** สุธาปสตรีผู้หนึ่งจะต้องยืนหน้ากระจกโดยมีระยะทางน้อยกว่า 30 เซนติเมตร เธอจึงจะเห็นภาพใบหน้าขยายขนาดขึ้นกว่าปกติ โดยภาพใบหน้าของเธอจะปรากฏอยู่หลังกระจกโค้งเว้า ดังรูป



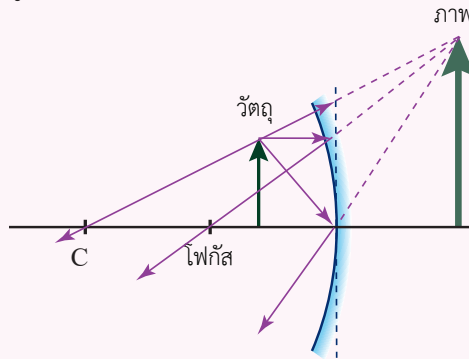
รูป ประกอบแนวคำตอบสำหรับคำถามข้อ 15

16. แหล่งกำเนิดแสงเป็นจุดเล็ก ๆ วางห่างหน้ากระจกโค้งเว้า 15 เซนติเมตร แสงจากแหล่งกำเนิดนี้ เมื่อกระทบกระจกจะสะท้อนออกจากกระจกและขนานกัน ความยาวโฟกัสของกระจกเป็นเท่าไร

**แนวคำตอบ** ความยาวโฟกัสของกระจกโค้งเว้าเท่ากับ 15 เซนติเมตร

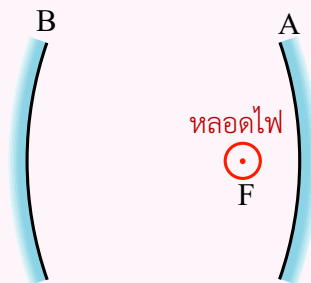
17. กระจกในข้อใดต่อไปนี่ที่สามารถทำให้เกิดภาพเสมือนที่มีขนาดใหญ่กว่าวัตถุให้เขียนทางเดินของแสงประกอบคำอธิบาย
- กระจกเงาราบ
  - กระจกโค้งนูน
  - กระจกโค้งเว้า

**แนวคำตอบ** กระจกโค้งเว้าทำให้เกิดภาพเสมือนที่มีขนาดใหญ่กว่าวัตถุได้ เมื่อระยะวัตถุน้อยกว่าความยาวโฟกัส ดังรูป



รูป ประกอบแนวคำตอบสำหรับคำถามข้อ 17

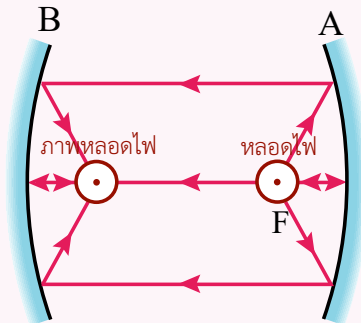
18. วางหลอดไฟที่โฟกัส F ของกระจกโค้งเว้า A แล้วนำกระจกโค้งเว้า B มารับแสงจากกระจกโค้งเว้า A ดังรูป



รูป ประกอบคำถามข้อ 18

ภาพของหลอดไฟนี้ที่เกิดจากกระจกโค้งเว้า B จะเกิด ณ ตำแหน่งใดบ้าง และเป็นภาพจริงหรือภาพเสมือน

**แนวคำตอบ** เมื่อแสงจากหลอดไฟตกกระทบกระจกโค้งเว้า A รังสีสะท้อนจะเป็นรังสีขนาน ถ้ากระจกโค้งเว้า B มารับรังสีของแสงขนานดังกล่าวจะทำให้แสงสะท้อนไปตัดกันจริงที่โฟกัสของกระจกเว้า B เกิดภาพจริงของหลอดไฟ ดังรูป

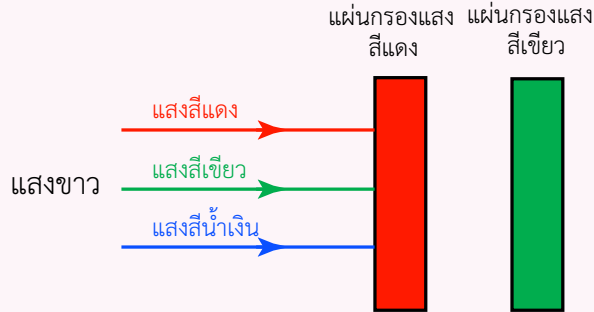


รูป ประกอบแนวคำตอบสำหรับคำถามข้อ 18

19. สารสีปฐมภูมิประกอบด้วยสารสีใดบ้าง เมื่อผสมสารสีปฐมภูมิทีละคู่จะได้สารสีใดบ้าง  
**แนวคำตอบ** สารสีปฐมภูมิประกอบด้วยสารสีเหลือง แดงม่วงและน้ำเงินเขียว เมื่อผสมสารสีปฐมภูมิทีละคู่ คือ ผสมสารสีเหลืองและแดงม่วงจะได้สารสีแดง ผสมสารสีแดงม่วงและน้ำเงินเขียวจะได้สารสีน้ำเงิน ผสมสารสีน้ำเงินเขียวและเหลืองจะได้สารสีเขียว (สารสีแดง สารสีน้ำเงินและสารสีเขียว เรียกว่า สารสีทุติยภูมิ)
20. ถ้าฉายแสงเหลืองไปที่วัตถุสีขาว จะมองเห็นวัตถุเป็นสีอะไร  
**แนวคำตอบ** วัตถุสีขาวสะท้อนแสงทุกสี ดังนั้นเมื่อฉายแสงสีเหลืองไปที่วัตถุสีขาว วัตถุจะสะท้อนแสงสีเหลืองออกมา ทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีเหลือง
21. ถ้าให้แสงสีต่าง ๆ ตกกระทบวัตถุทึบแสง จะเห็นสีของวัตถุต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด  
**แนวคำตอบ** ต่างกัน เนื่องจากการมองเห็นสีของวัตถุขึ้นอยู่กับสารสีและแสงสีที่ตกกระทบกับวัตถุ



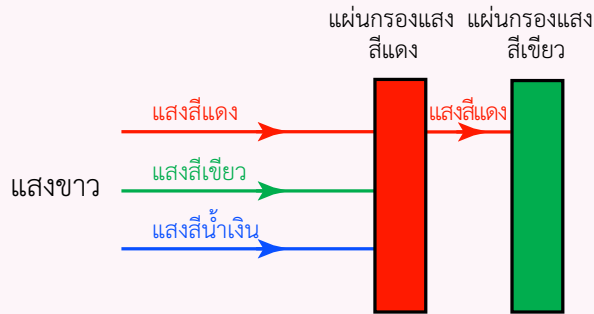
22. ถ้ามองแสงขาวผ่านแผ่นกรองแสงสีแดงและสีเขียวที่วางซ้อนกัน ดังรูป



รูป ประกอบคำถามข้อ 22

แสงสีใดจะผ่านแผ่นกรองแสงสีมาเข้าตา

**แนวคำตอบ** แสงขาวตกกระทบแผ่นกรองแสงสีแดง แสงสีอื่นจะถูกดูดกลืนไว้ ยกเว้นแสงสีแดง เมื่อตกกระทบแผ่นกรองแสงสีเขียว แสงสีแดงจะถูกดูดกลืนไว้ จึงไม่มีแสงสีใดจะผ่านแผ่นกรองสีมาเข้าตา ดังรูป



รูป ประกอบคำถามข้อ 22

23. เมื่อฉายวัตถุด้วยแสงขาว เห็นวัตถุ A มีสีขาว และวัตถุ B มีสีเขียว โดยที่วัตถุทั้งสองเป็นวัตถุทึบแสง ถ้าฉายวัตถุด้วยแสงสีแดง จะเห็นวัตถุ A และ B เป็นสีอะไร

**แนวคำตอบ** เห็นวัตถุ A มีสีแดง และเห็นวัตถุ B มีสีดำ

24. รถ 4 คัน เมื่อมองในแสงขาว จะเห็นเป็นสีดำ สีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงิน ถ้านำรถทั้ง 4 คันนี้ไปจอดในบริเวณที่มีแสงไฟสีเหลือง จะเห็นรถเป็นสีอะไร ตามลำดับ  
**แนวคำตอบ** เห็นรถเป็นสีดำ สีเหลือง สีแดง และสีดำ ตามลำดับ
25. ถ้านำสารสีเหลืองมาผสมกับสารสีน้ำเงินเขียว และฉายแสงสีแดงลงไปจะเห็นเป็นสีอะไร  
**แนวคำตอบ** ถ้านำสารสีเหลืองมาผสมกับสารสีน้ำเงินเขียวจะได้สารสีเขียว เมื่อฉายแสงสีแดงลงไปจึงเห็นเป็นสีดำ
26. วัตถุชิ้นหนึ่งอยู่ในที่มืด เมื่อฉายแสงสีแดงไปยังวัตถุนั้นเห็นวัตถุมีสีแดง เมื่อฉายแสงสีเขียวไปยังวัตถุนั้นเห็นวัตถุมีสีเขียว เมื่อนำวัตถุนั้นออกมาในห้องที่มีแสงขาว จะเห็นวัตถุนั้นมีสีอะไร  
**แนวคำตอบ** วัตถุนั้นมีสีขาวหรือสีเหลือง
27. เพราะเหตุใด ไฟสัญญาณเตือนอันตรายจึงนิยมใช้แสงสีแดง  
**แนวคำตอบ** เนื่องจากแสงสีแดงขณะผ่านหมอกและฝุ่นละอองในอากาศจะเกิดการกระเจิงของแสงน้อยกว่าแสงสีอื่น ๆ จึงสังเกตเห็นไฟสัญญาณของแสงสีแดงได้ในระยะไกลกว่าแสงสีอื่น ๆ และมองเห็นชัดเจนกว่าแสงสีอื่น ๆ

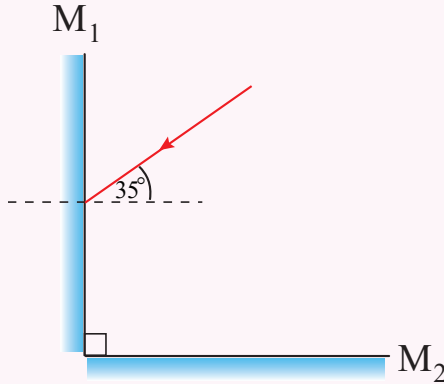
## Ⓟ | ปัญหา

1. ถ้ายืนส่องกระจกเงาราบในแนวตั้งฉากกับกระจกเงาราบเป็นระยะ 1.0 เมตร จากนั้นถอยห่างจากกระจกเงาราบไปในแนวตั้งฉากกับกระจกเงาราบอีก 0.5 เมตร จะสังเกตเห็นภาพของตัวเองในกระจกเงาราบห่างจากตัวเป็นระยะเท่าใด

**วิธีทำ** กระจกเงาราบทำให้เกิดภาพที่มีระยะภาพเท่ากับระยะวัตถุ  
 เมื่อถอยห่างไปอีก 0.5 เมตร จะทำให้ระยะวัตถุเป็น 1.5 เมตร  
 นั่นคือ  $\text{ระยะภาพ} = 1.5 \text{ m}$   
 จะได้  $\text{ระยะวัตถุ} + \text{ระยะภาพ} = 1.5 \text{ m} + 1.5 \text{ m}$   
 $= 3.0 \text{ m}$

**ตอบ** จะเห็นภาพตัวเองในกระจกห่างจากตัวเป็นระยะ 3.0 เมตร

2. กระจกเงาราบ  $M_1$  และ  $M_2$  วางทำมุมฉากกัน มีรังสีตกกระทบที่กระจก  $M_1$  ทำมุมตกกระทบเป็น  $35^\circ$  องศา ดังรูป

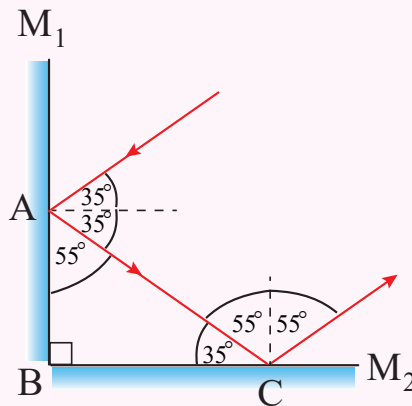


รูป ประกอบปัญหาข้อ 2

รังสีสะท้อนจากกระจกเงาราบ  $M_2$  ทำมุมสะท้อนเท่าใด

**วิธีทำ** เมื่อแสงตกกระทบกระจกเงาราบ แสงจะเกิดการสะท้อนโดยมีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

เขียนแผนภาพรังสีแสงการสะท้อนของแสงที่กระจกเงาราบ  $M_1$  และ  $M_2$  ได้ดังนี้



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาข้อ 2

พิจารณา รังสีตกกระทบที่จุด A บน  $M_1$  จะได้

$$\text{มุมตกกระทบ} = 35^\circ$$

ดังนั้น มุมสะท้อน =  $35^\circ$

พิจารณา  $\triangle ABC$  โดยที่  $\hat{BAC} = 90^\circ - 35^\circ = 55^\circ$

$$\text{จะได้} \quad \hat{ACB} = 180^\circ - 90^\circ - 55^\circ = 35^\circ$$

พิจารณา รังสีตกกระทบบนที่จุด C บน  $M_2$  ซึ่งทำมุมกับผิวของ  $M_2 = 35^\circ$  จะได้

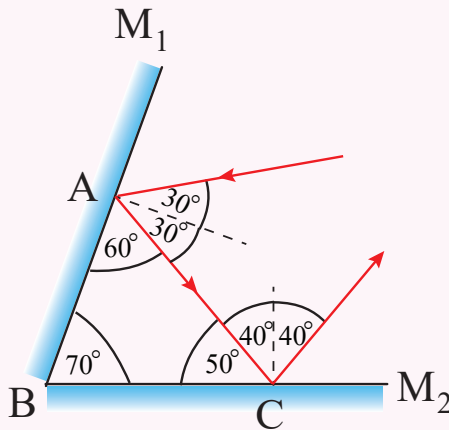
$$\text{มุมตกกระทบบน} = 90^\circ - 35^\circ = 55^\circ$$

ดังนั้น มุมสะท้อน =  $55^\circ$

ตอบ รังสีสะท้อนจากกระจกเงาราบทำมุมสะท้อน  $55^\circ$  องศา

3. กระจกเงาราบสองบานหันหน้าเข้าหากันทำมุม  $70^\circ$  องศา ถ้ารังสีของแสงตกกระทบบนกระจกบานแรกเป็นมุม  $30^\circ$  องศา กับกระจก รังสีของแสงที่สะท้อนออกจากกระจกบานที่สองทำมุมกี่องศา กับกระจกบานที่สอง

**วิธีทำ** เมื่อแสงตกกระทบบนกระจกเงาราบ แสงจะเกิดการสะท้อนโดยมีมุมตกกระทบบเท่ากับมุมสะท้อน เขียนแผนภาพรังสีแสงการสะท้อนของแสงที่กระจกเงาราบ  $M_1$  และ  $M_2$  ได้ดังนี้



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาข้อ 3

พิจารณา รังสีตกกระทบบนที่จุด A บน  $M_1$  จะได้

$$\text{มุมตกกระทบบน} = 30^\circ$$

$$\text{มุมสะท้อน} = 30^\circ$$

พิจารณา  $\triangle ABC$  โดยที่  $\hat{BAC} = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$

$$\text{จะได้} \quad \hat{ACB} = 180^\circ - 70^\circ - 60^\circ = 50^\circ$$

พิจารณา รังสีตกกระทบบนที่จุด C บน  $M_2$  ซึ่งทำมุมกับผิวของ  $M_2 = 50^\circ$  จะได้

$$\text{มุมตกกระทบบน} = 90^\circ - 50^\circ = 40^\circ$$

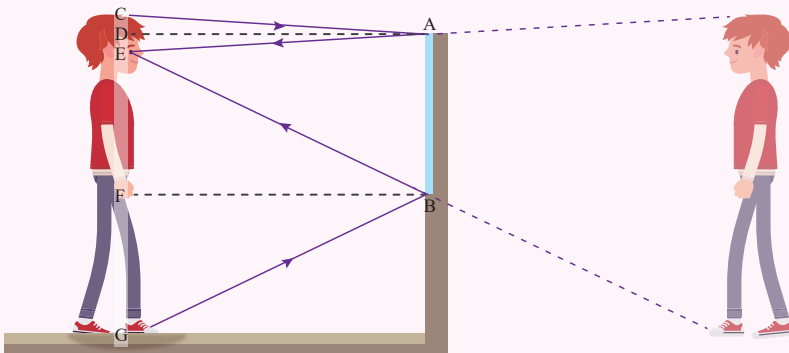
$$\text{มุมสะท้อน} = 40^\circ$$

ดังนั้น มุมที่รังสีของแสงที่สะท้อนออกจากกระจกบานที่สอง  $= 90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$

**ตอบ** รังสีของแสงที่สะท้อนออกจากกระจกบานที่สองทำมุม 50 องศา กับกระจกบานที่สอง

4. ชายคนหนึ่งสูง 1.80 เมตร ต้องการกระจกเงาราบเพื่อจะใช้ส่องมองเห็นได้ตลอดตัว จงหา
- ความสูงน้อยที่สุดของกระจกเงาราบ
  - ระยะที่ชายคนนั้นต้องยืนห่างจากกระจกเงาราบ
  - หากชายคนนี้ ยืนห่างจากกระจกเงาราบมากกว่าระยะในข้อ ข. ภาพที่ปรากฏบนกระจกเงาราบจะมีขนาดเป็นอย่างไร

**วิธีทำ** ในการหาความสูงของกระจกเงาที่จะใช้ส่องมองเห็นได้ตลอดตัว ควรจะลากทางเดินของแสงจากเท้าและจากศีรษะไปกระทบกระจกแล้วสะท้อนเข้าตา ระยะห่างของจุดทั้งสองที่รังสีของแสงตกกระทบกระจก คือ ความสูงของกระจกที่ต้องการ ดังรูป



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาข้อ 4

จากรูป เส้นตรง AD เป็นเส้นแนวฉาก จะได้  $\triangle CAD = \triangle EAD$  ทุกประการ  
 ดังนั้น  $CD = DE$  และเส้นตรง BF เป็นเส้นแนวฉาก จะได้  $\triangle EBF = \triangle GBF$   
 ทุกประการ ดังนั้น  $EF = FG$

เพราะฉะนั้น  $DE + EF = CD + FG$

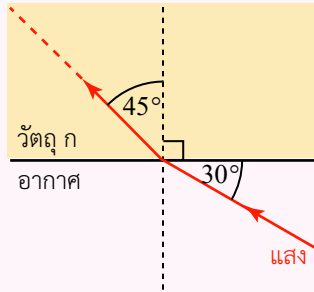
แต่  $DE + EF + CD + FG = 1.80 \text{ m}$

ดังนั้น  $DE + EF = 0.90 \text{ m}$

จะได้  $AB = 0.90 \text{ m}$  ด้วย เพราะ  $AB = DE + EF$

- ตอบ**
- ความสูงน้อยที่สุดของกระจกเงาราบเท่ากับ 0.90 เมตร
  - ไม่ว่าชายคนนี้จะยืนห่างจากกระจกเงาราบเท่าใดก็ยังคงมองเห็นภาพตลอดตัว
  - ภาพที่มองเห็นจากกระจกเงาราบจะมีขนาดเล็กลงเมื่อชายคนนี้ยืนห่างจากกระจกเงาราบมากขึ้น

## 5. แสงเดินทางจากอากาศเข้าสู่วัตถุโปร่งแสง ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 5

จงหาดัชนีหักเหของวัตถุนี้

วิธีทำ มุมตกกระทบในอากาศเท่ากับ  $90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ มุมหักเหในวัตถุ ก เท่ากับ  $45^\circ$ ให้  $n$  เป็นดัชนีหักเหของวัตถุ ก

จะได้

$$n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} &= \frac{\sin 60^\circ}{\sin 45^\circ} \\ &= \frac{\sqrt{3}/2}{1/\sqrt{2}} \\ &= 1.22 \end{aligned}$$

ตอบ ดรรชนีหักเหของวัตถุ ก เท่ากับ 1.22

## 6. รังสีของแสงในอากาศตกกระทบผิวน้ำทำมุมตกกระทบ 43 องศา จงหามุมสะท้อนและมุมหักเห

วิธีทำ หามุมสะท้อน

จากกฎการสะท้อนของแสง ในกรณีที่รังสีของแสงในอากาศตกกระทบผิวน้ำทำมุมตกกระทบ 43 องศา จะได้ มุมสะท้อนเท่ากับ 43 องศา

หามุมหักเห

จากสมการ

$$n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

ในที่นี้ ดรรชนีหักเหของน้ำ  $n = 1.333$  และมุมตกกระทบ  $\theta_1 = 43^\circ$

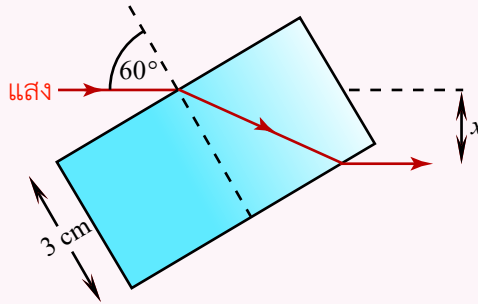
แทนค่า 
$$1.333 = \frac{\sin 43^\circ}{\sin \theta_2}$$

$$\sin \theta_2 = \frac{0.6820}{1.333} = 0.5116$$

จะได้ 
$$\theta_2 = 30.77^\circ$$

ตอบ มุมสะท้อนและมุมหักเหเท่ากับ  $43^\circ$  องศา และ  $31^\circ$  องศา ตามลำดับ

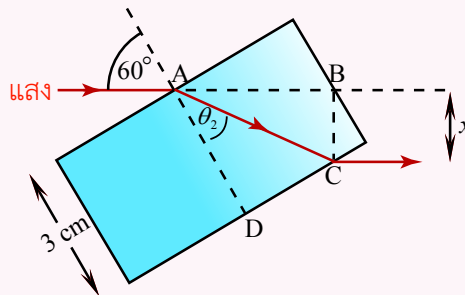
7. นำแท่งพลาสติกสี่เหลี่ยมกว้าง 3 เซนติเมตร ขวางทางเดินของแสง ทำให้แสงมีการหักเห ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 7

จงหาระยะ  $x$  ถ้าพลาสติกมีดรรชนีหักเหเท่ากับ 1.50

วิธีทำ พิจารณาแผนภาพรังสีของแสง ดังรูป



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาข้อ 7

จากสมการ 
$$n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

พิจารณารังสีหักเหที่ A

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad 1.50 &= \frac{\sin 60^\circ}{\sin \theta_2} \\ \sin \theta_2 &= \frac{\sqrt{3}/2}{1.50} = 0.577 \end{aligned}$$

$$\text{จะได้} \quad \theta_2 \cong 35^\circ$$

พิจารณา  $\triangle ABC$  จะได้

$$x = BC = AC \sin \hat{BAC} = \frac{AD}{\cos \theta_2} \sin \hat{BAC}$$

แทนค่า  $AD = 3 \text{ cm}$ ,  $\theta_2 = 35^\circ$  และ  $\hat{BAC} = 60^\circ - 35^\circ = 25^\circ$  จะได้

$$\begin{aligned} x &= \frac{3 \text{ cm}}{\cos 35^\circ} \sin 25^\circ \\ &= \frac{3 \text{ cm}}{0.819} (0.423) \\ &= 1.54 \text{ m} \end{aligned}$$

**ตอบ** ระยะ  $x$  เท่ากับ 1.54 เซนติเมตร

8. จงหามุมวิกฤตของน้ำเมื่อแสงเคลื่อนที่จากน้ำไปยังอากาศ ถ้ากำหนดให้ดรรชนีหักเหของน้ำและอากาศเท่ากับ 1.33 และ 1.00 ตามลำดับ

**วิธีทำ** จากกฎของสเนลล์  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

ในที่นี้  $n_1$  คือ ดรรชนีหักเหของน้ำ เท่ากับ 1.33

$n_2$  คือ ดรรชนีหักเหของอากาศ เท่ากับ 1.00

$\theta_1$  คือ มุมตกกระทบในน้ำซึ่งเป็นมุมวิกฤต เท่ากับ  $\theta_c$

$\theta_2$  คือ มุมหักเหในอากาศ เท่ากับ  $90^\circ$

$$\text{แทนค่า} \quad 1.33 \sin \theta_c = 1.00 \sin 90^\circ$$

$$\sin \theta_c = 0.751$$

$$\text{จะได้} \quad \theta_c = 48.677^\circ$$

**ตอบ** มุมวิกฤตในน้ำไปสู่อากาศเท่ากับ 48.68 องศา



9. จงหามุมวิกฤตของเพชรเมื่อแสงเคลื่อนที่จากเพชรไปยังน้ำ ถ้ากำหนดให้ดรรชนีหักเหของเพชรและน้ำเท่ากับ 2.42 และ 1.33 ตามลำดับ

วิธีทำ จากกฎของสเนลล์

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

ในที่นี้  $n_1$  คือ ดรรชนีหักเหของเพชร เท่ากับ 2.42

$n_2$  คือ ดรรชนีหักเหของน้ำ เท่ากับ 1.33

$\theta_1$  คือ มุมตกกระทบในน้ำซึ่งเป็นมุมวิกฤต เท่ากับ  $\theta_c$

$\theta_2$  คือ มุมหักเหในอากาศ เท่ากับ  $90^\circ$

แทนค่า 
$$2.42 \sin \theta_c = 1.33 \sin 90^\circ$$

$$\sin \theta_c = 0.5496$$

จะได้ 
$$\theta_c = 33.34^\circ$$

ตอบ มุมวิกฤตของเพชรเท่ากับ  $33.34$  องศา

10. ถังน้ำสูง 1.00 เมตร เมื่อบรรจุน้ำเต็มแล้วมองลงไปตรง ๆ จะเห็นก้นถังมีความลึกจากผิวน้ำเท่าใด ถ้ากำหนดให้ดรรชนีหักเหของน้ำเท่ากับ 1.33

วิธีทำ จาก 
$$\frac{s'}{s} = \frac{n_2}{n_1}$$

ในที่นี้  $n_1$  คือ ดรรชนีหักเหของน้ำ เท่ากับ 1.33

$n_2$  คือ ดรรชนีหักเหของอากาศ เท่ากับ 1.00

$s$  คือ ความลึกจริง เท่ากับ 1.00 เมตร

$s'$  คือ ความลึกปรากฏ

แทนค่า 
$$\frac{s'}{1.00 \text{ m}} = \frac{1.00}{1.33}$$

$$s' = 0.7519 \text{ m}$$

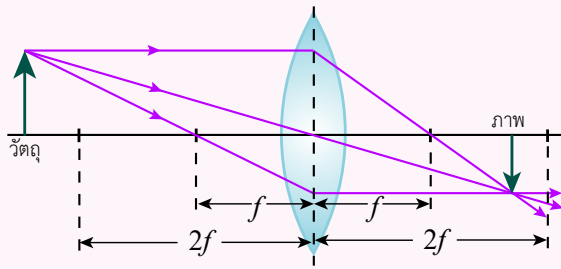
ตอบ จะเห็นก้นถังมีความลึกจากผิวน้ำเท่ากับ 0.75 เมตร

11. จงเขียนแผนภาพแสดงการเกิดภาพ และระบุชนิดภาพที่เกิดขึ้นว่าเป็นภาพจริงหรือภาพเสมือน ในกรณีวัตถุอยู่หน้าเลนส์นูนและเลนส์เว้า โดยวัตถุวางตั้งฉากกับแกนमुखสำคัญของเลนส์ และวัตถุอยู่ห่างจากเลนส์ทั้งสองเป็นระยะต่าง ๆ กัน ดังนี้

ก.  $s > 2f$  ข.  $s = 2f$  ค.  $f < s < 2f$  ง.  $s = f$  จ.  $s < f$

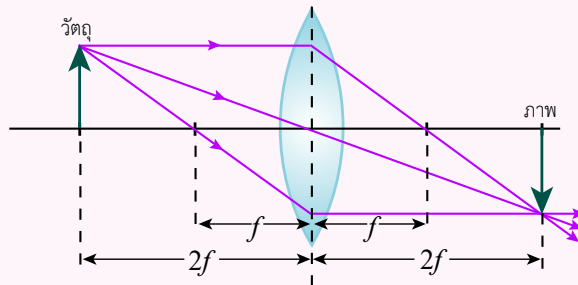
แผนภาพแสดงการเกิดภาพ ในกรณีวัตถุอยู่หน้าเลนส์นูน มีดังนี้

ก.  $s > 2f$



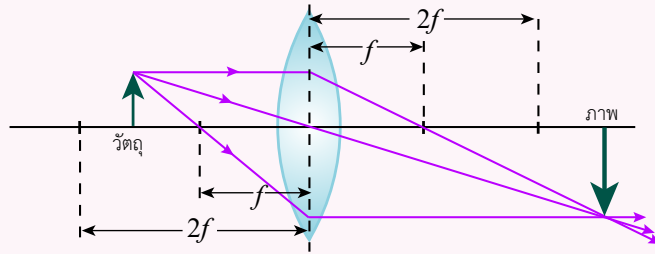
ตอบ เมื่อ  $s > 2f$  ภาพที่เกิดเป็นภาพจริง หัวกลับ ขนาดเล็กกว่าวัตถุ เพราะรังสีที่หักเหผ่านเลนส์นูนไปตัดกันจริงหลังเลนส์นูน

ข.  $s = 2f$



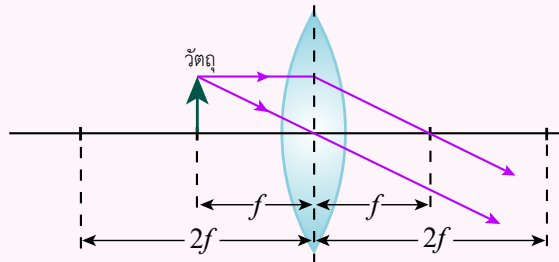
ตอบ เมื่อ  $s = 2f$  ภาพที่เกิดเป็นภาพจริง หัวกลับ ขนาดเท่าวัตถุ เพราะรังสีที่หักเหผ่านเลนส์นูนไปตัดกันจริงหลังเลนส์นูน

ค.  $f < s < 2f$



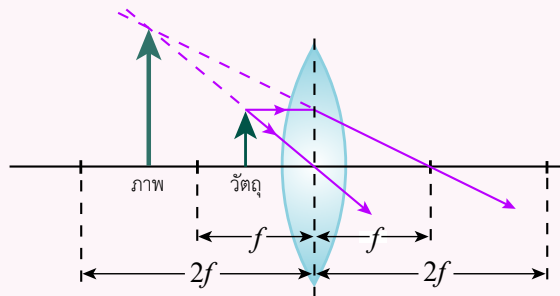
ตอบ เมื่อ  $f < s < 2f$  ภาพที่เกิดเป็นภาพจริง หัวกลับ ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ เพราะรังสีที่หักเหผ่านเลนส์นูนไปตัดกันจริงหลังเลนส์นูน

ง.  $s = f$



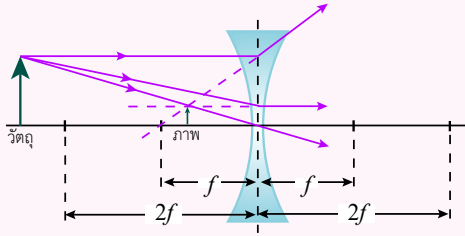
ตอบ เมื่อ  $s = f$  ภาพที่เกิดเป็นภาพจริง ที่ระยะไกลมาก เพราะรังสีที่หักเหผ่านเลนส์นูนจะไปตัดกันจริงที่ระยะไกลมากหลังเลนส์นูน

จ.  $s < f$

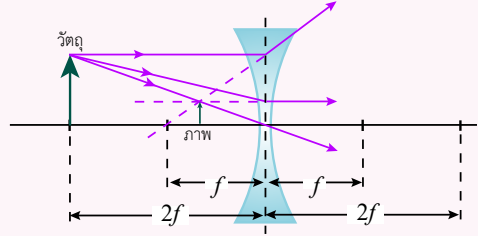


ตอบ เมื่อ  $s < f$  ภาพที่เกิดเป็นภาพเสมือน หัวตั้ง ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ

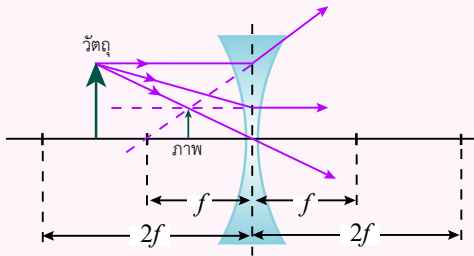
แผนภาพแสดงการเกิดภาพ ในกรณีวัตถุอยู่หน้าเลนส์เว้า มีดังนี้



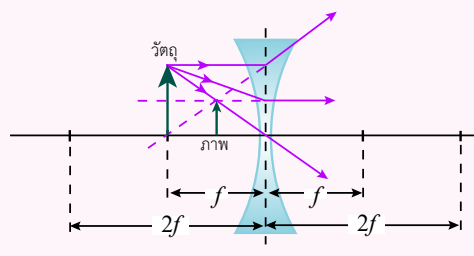
ก.  $s > 2f$



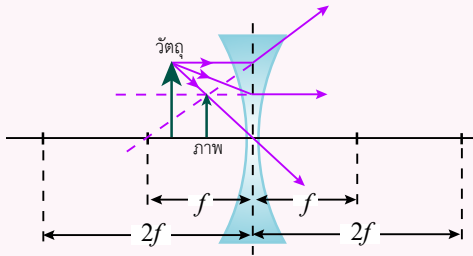
ข.  $s = 2f$



ค.  $f < s < 2f$



ง.  $s = f$



จ.  $s < f$

ตอบ ภาพจากเลนส์เว้าทุกกรณีเป็นภาพเสมือนหัวตั้ง ขนาดเล็กกว่าวัตถุ เพราะรังสีที่หักเหผ่านเลนส์ไม่ไปตัดกันจริงหลังเลนส์เว้า แต่เสมือนตัดกันหน้าเลนส์เว้า

12. ต้องการใช้แว่นขยายความยาวโฟกัส 12 เซนติเมตร ทำให้ตัวหนังสือมีขนาดขยาย 4 เท่า ต้องให้แว่นขยายห่างจากตัวหนังสือเป็นระยะเท่าใด

**วิธีทำ** แว่นขยายทำจากเลนส์นูน ต้องการให้เกิดกำลังขยาย  $M = 4$  และเห็นภาพเสมือน

จาก 
$$M = -\frac{s'}{s}$$

แทนค่า จะได้ 
$$4 = -\frac{s'}{s}$$

ดังนั้น 
$$s' = -4s$$

หา  $s$  จากสมการของเลนส์บาง

$$\begin{aligned} \frac{1}{f} &= \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \\ \frac{1}{12 \text{ cm}} &= \frac{1}{s} + \frac{1}{(-4s)} \\ \frac{1}{12 \text{ cm}} &= \frac{4-1}{4s} \\ s &= 9 \text{ cm} \end{aligned}$$

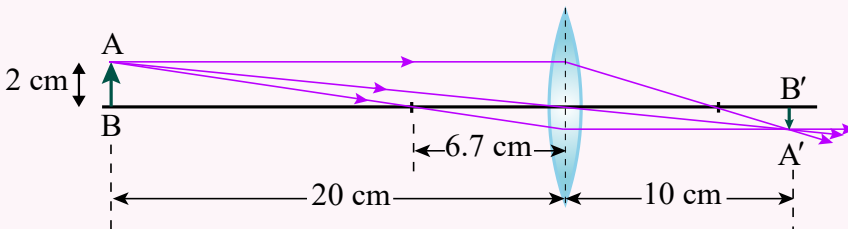
**ตอบ** ต้องให้แว่นขยายห่างจากตัวหนังสือเป็นระยะ 9 เซนติเมตร

13. วัตถุสูง 2.0 เซนติเมตร อยู่ห่างจากเลนส์นูน 20.0 เซนติเมตร เกิดภาพจริงห่างจากเลนส์ 10.0 เซนติเมตร จงหาความยาวโฟกัสของเลนส์นูนและขนาดภาพ ด้วยวิธีดังนี้

- ก. การเขียนแผนภาพรังสีของแสง
- ข. การคำนวณ

**วิธีทำ**

- ก. การเขียนภาพรังสีของแสง



ดังนั้น ความยาวโฟกัสของเลนส์นูนเท่ากับ 6.7 เซนติเมตร และขนาดของภาพเท่ากับ 1.0 เซนติเมตร

ข. การคำนวณ

จากสมการเลนส์บาง 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

ในที่นี้  $s = +20.0 \text{ cm}$  และ  $s' = +10.0 \text{ cm}$

แทนค่า 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{+20.0 \text{ cm}} + \frac{1}{+10.0 \text{ cm}}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1+2}{+20.0 \text{ cm}}$$

จะได้  $f = 6.67 \text{ cm}$

หาขนาดของภาพจากกำลังขยาย

$$M = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$

ในที่นี้  $s = +20.0 \text{ cm}$   $s' = +10.0 \text{ cm}$  และ  $y = +2.0 \text{ cm}$

แทนค่า 
$$\frac{y'}{+2.0 \text{ cm}} = -\frac{+10.0 \text{ cm}}{+20.0 \text{ cm}}$$

จะได้  $y' = -1.0 \text{ cm}$  เครื่องหมายลบแสดงว่าเป็นภาพจริงหัวกลับ

**ตอบ** ความยาวโฟกัสของเลนส์นูนเท่ากับ 6.7 เซนติเมตร และขนาดของภาพเท่ากับ 1.0 เซนติเมตร

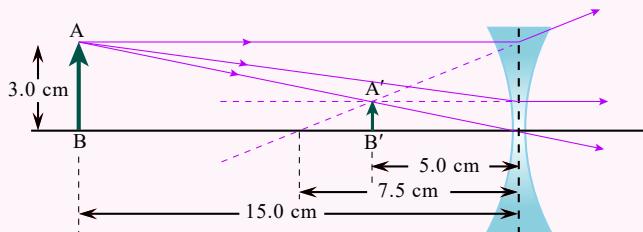
14. วัตถุสูง 3.0 เซนติเมตร อยู่ห่างจากเลนส์เว้า 15.0 เซนติเมตร เกิดภาพห่างจากเลนส์ 5.0 เซนติเมตร จงหาความยาวโฟกัสของเลนส์เว้าและขนาดภาพ ด้วยวิธีดังนี้

ก. การเขียนแผนภาพรังสีของแสง

ข. การคำนวณ

**วิธีทำ**

ก. การเขียนภาพรังสีของแสง



ดังนั้น ความยาวโฟกัสของเลนส์เว้าเท่ากับ 7.5 เซนติเมตร ขนาดภาพเท่ากับ 1.0 เซนติเมตร

ข. การคำนวณ

จากสมการเลนส์บาง 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

ในที่นี้  $s = +15.0 \text{ cm}$  และ  $s' = -5.0 \text{ cm}$

แทนค่า 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{+15.0 \text{ cm}} + \frac{1}{-5.0 \text{ cm}}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1-3}{+15.0 \text{ cm}}$$

จะได้  $f = -7.5 \text{ cm}$  เครื่องหมายลบแสดงว่าโฟกัสอยู่หน้าเลนส์ว่าหาขนาดของภาพจากกำลังขยาย

$$M = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$

ในที่นี้  $s = +15.0 \text{ cm}$  และ  $s' = -5.0 \text{ cm}$  และ  $y = +3.0 \text{ cm}$

แทนค่า 
$$\frac{y'}{+3.0 \text{ cm}} = -\frac{-5.0 \text{ cm}}{+15.0 \text{ cm}}$$

จะได้  $y' = +1.0 \text{ cm}$  เครื่องหมายบวกแสดงว่าเป็นภาพเสมือนหัวตั้ง

**ตอบ** ความยาวโฟกัสของเลนส์นูนเท่ากับ 7.5 เซนติเมตร และขนาดของภาพเท่ากับ 1.0 เซนติเมตร

15. วางวัตถุหน้าเลนส์ 10 เซนติเมตร ได้ภาพขนาด  $\frac{3}{4}$  เท่าของวัตถุ และอยู่ด้านเดียวกับวัตถุ เลนส์ที่ใช้เป็นเลนส์ชนิดใด และมีความยาวโฟกัสเท่าใด

**วิธีทำ** หาระยะภาพจากกำลังขยาย

$$M = -\frac{s'}{s}$$

ในที่นี้  $s = +10.0 \text{ cm}$  และ  $M = \frac{3}{4}$

แทนค่า 
$$\frac{3}{4} = -\frac{s'}{+10.0 \text{ cm}}$$

จะได้  $s' = -7.5 \text{ cm}$

หาความยาวโฟกัสจากสมการเลนส์บาง

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

ในที่นี้  $s = +10.0 \text{ cm}$  และ  $s' = -7.5 \text{ cm}$

แทนค่า 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{+10.0 \text{ cm}} + \frac{1}{-7.5 \text{ cm}}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{7.5 - 10.0}{+75.0 \text{ cm}}$$

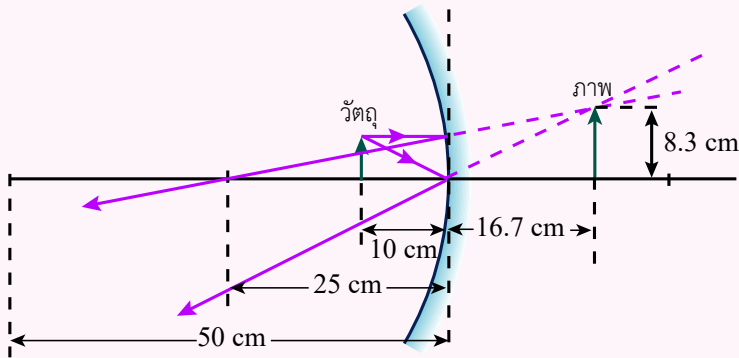
จะได้  $f = -30.0 \text{ cm}$  เครื่องหมายลบแสดงว่าเป็นเลนส์เว้า

**ตอบ** เลนส์ที่ใช้เป็นเลนส์เว้า และมีความยาวโฟกัสเท่ากับ 30.0 เซนติเมตร

16. วัตถุสูง 5 เซนติเมตร วางอยู่ห่างจากกระจกโค้งเว้า 10 เซนติเมตร ถ้ากระจกโค้งเว้ามีความยาวโฟกัส 25 เซนติเมตร จงหาระยะภาพ ชนิดของภาพ และขนาดของภาพ ด้วยวิธีดังนี้

- ก. การเขียนแผนภาพรังสีของแสง
- ข. การคำนวณ

**วิธีทำ** ก. การเขียนภาพรังสีของแสง



ดังนั้น ระยะภาพประมาณเท่ากับ 17 เซนติเมตร เป็นภาพเสมือนหัวตั้ง มีความสูงเท่ากับ 8 เซนติเมตร

- ข. การคำนวณ

จากสมการ 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

ในที่นี้  $s = +10 \text{ cm}$  และ  $f = +25 \text{ cm}$



แทนค่า  $\frac{1}{25 \text{ cm}} = \frac{1}{10 \text{ cm}} + \frac{1}{s'}$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{25 \text{ cm}} - \frac{1}{10 \text{ cm}}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{2-5}{50 \text{ cm}}$$

จะได้  $s' = -16.67 \text{ cm}$  เครื่องหมายลบแสดงว่าเป็นภาพเสมือน  
หาขนาดของภาพจากกำลังขยาย

$$M = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$

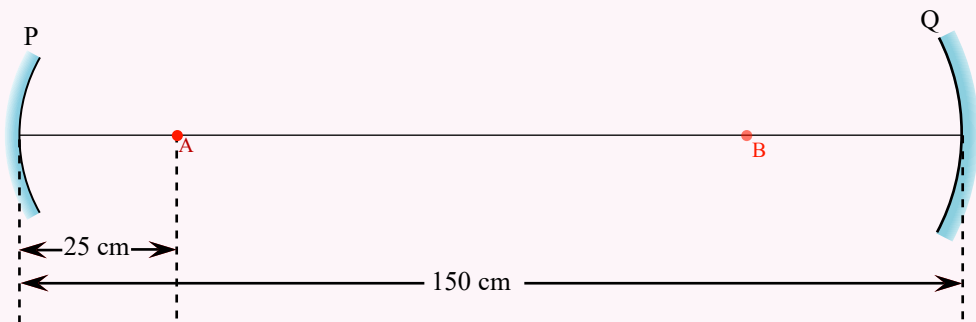
ในที่นี้  $s = +10 \text{ cm}$   $s' = -50/3 \text{ cm}$  และ  $y = +5 \text{ cm}$

แทนค่า  $\frac{y'}{+5 \text{ cm}} = -\frac{-50/3 \text{ cm}}{+10 \text{ cm}}$

จะได้  $y' = -8.33 \text{ cm}$  เครื่องหมายลบแสดงว่าเป็นภาพเสมือนหัวตั้ง

**ตอบ** ระยะภาพเท่ากับ 17 เซนติเมตร เป็นภาพเสมือนหัวตั้ง มีความสูงเท่ากับ 8 เซนติเมตร

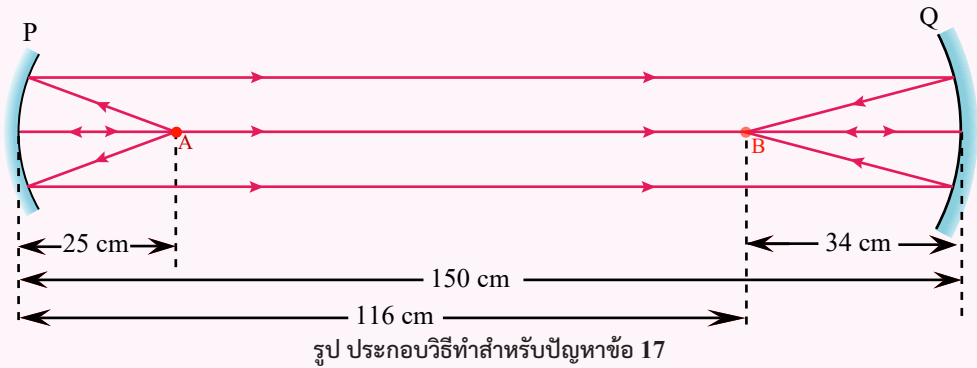
17. กระจกโค้งเว้า P ความยาวโฟกัส 25 เซนติเมตร และกระจกโค้งเว้า Q ความยาวโฟกัส 34 เซนติเมตร วางหันหน้าเข้าหากันและห่างกัน 150 เซนติเมตร โดยมีเส้นแกนमुखสำคัญร่วมกัน ถ้านำวัตถุขนาดเล็ก ไปวางที่จุด A ซึ่งเป็นตำแหน่งโฟกัสของกระจกโค้งเว้า P ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 17

พิจารณาแสงจากวัตถุที่จุด A ไปตกกระทบกระจกโค้งเว้า P แล้วสะท้อนกลับไปที่กระจกโค้งเว้า Q จากนั้นสะท้อนกลับมาพบกันที่จุด B จะพบว่าจุด B อยู่ห่างจากกระจกโค้งเว้า P เป็นระยะเท่าใด

**วิธีทำ** เขียนภาพทางเดินแสงระหว่างกระจกเงาเว้าทั้งสองได้ดังนี้



กระจกโค้งเว้า P มีความยาวโฟกัส 25 cm และกระจกเงาเว้า Q มีความยาวโฟกัส 34 cm

วัตถุวางอยู่ที่จุด A ซึ่งเป็นโฟกัสของกระจกโค้งเว้า P แสงจากวัตถุที่จุด A ไปตกที่กระจกโค้งเว้า P จึงเป็นแสงขนาน เมื่อไปกระทบกระจกโค้งเว้า Q สะท้อนกลับมาพบกันที่จุด B ดังนั้น จุด B โฟกัสของกระจกเงาเว้า Q จะได้

ระยะระหว่างจุด B กับกระจกเงาเว้า P เท่ากับ  $150 \text{ cm} - 34 \text{ cm} = 116 \text{ cm}$

**ตอบ** จุด B อยู่ห่างจากกระจกโค้งเว้า P เท่ากับ 116 เซนติเมตร

18. ถ้าวัตถุอยู่ห่างจากกระจกโค้งเว้า 36.4 เซนติเมตร จะเกิดภาพจริงที่มีความสูงเท่ากับวัตถุ กระจกโค้งเว้านี้มีรัศมีมีความโค้งเท่าใด

**วิธีทำ**

**วิธีที่ 1** ถ้าวัตถุวางหน้ากระจกโค้งเว้าที่ศูนย์กลางความโค้งของกระจก จะเกิดภาพจริงขนาดเท่าเดิมและอยู่ที่ตำแหน่งเดิม นั่นคือ รัศมีมีความโค้งของกระจกโค้งเว้าเท่ากับ 36.4 เซนติเมตร

**วิธีที่ 2** เนื่องจากภาพที่เกิดขึ้นเป็นภาพจริงมีความสูงเท่ากับวัตถุ ดังนั้น กำลังขยาย  $M$  เท่ากับ 1

$$\text{จากสมการ } M = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s} \text{ จะได้ } s' = s = +36.4 \text{ cm}$$

จากสมการ	$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$
แทนค่า	$\frac{1}{f} = \frac{1}{+36.4 \text{ cm}} + \frac{1}{+36.4 \text{ cm}}$
จะได้	$f = +18.2 \text{ cm}$
เนื่องจากรัศมีความโค้ง	$R = 2f$
ดังนั้น	$R = 2(+18.2 \text{ cm}) = +36.4 \text{ cm}$

**ตอบ** รัศมีความโค้งของกระจกเงาเว้าเท่ากับ 36.4 เซนติเมตร

19. กระจกโค้งนูนมีความยาวโฟกัส 24 เซนติเมตร จงหาค่าลักษณะเมื่อ
- ระยะวัตถุเท่ากับ 8 เซนติเมตร
  - ระยะวัตถุเท่ากับ 16 เซนติเมตร

**วิธีทำ**

ก. จากสมการ	$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$
เมื่อ $s = +8 \text{ cm}$ และ $f = -24 \text{ cm}$ แทนค่า	
	$\frac{1}{-24 \text{ cm}} = \frac{1}{+8 \text{ cm}} + \frac{1}{s'}$
จะได้	$s' = -6 \text{ cm}$
หาค่าลักษณะขยายจาก	$M = -\frac{s'}{s}$
แทนค่า	$M = -\frac{-6 \text{ cm}}{8 \text{ cm}} = +0.75$

ข. จากสมการ	$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$
เมื่อ $s = +16 \text{ cm}$ และ $f = -24 \text{ cm}$ แทนค่า	
	$\frac{1}{-24 \text{ cm}} = \frac{1}{+16 \text{ cm}} + \frac{1}{s'}$
จะได้	$s' = -9.6 \text{ cm}$
หาค่าลักษณะขยายจาก	$M = -\frac{s'}{s}$
แทนค่า	$M = -\frac{-9.6 \text{ cm}}{16 \text{ cm}} = +0.60$

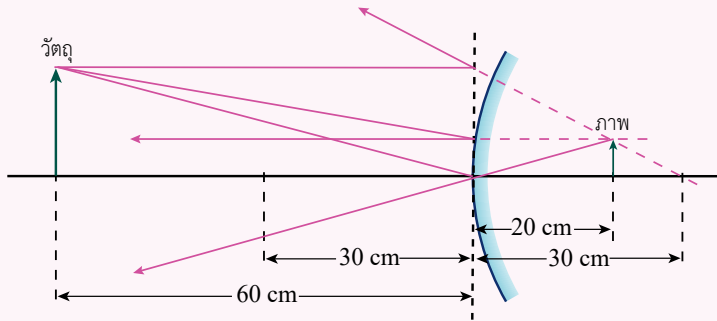
**ตอบ** ก. หาค่าลักษณะขยายจากเท่ากับ 0.75 และ ข. หาค่าลักษณะขยายจากเท่ากับ 0.60

20. ถ้าจะทำให้เกิดภาพหลังกระจกโค้งนูนและอยู่ห่างจากกระจกโค้งนูน 20 เซนติเมตร โดยที่กระจกโค้งนูนมีรัศมีความโค้ง 60 เซนติเมตร จงหาตำแหน่งที่ต้องวางวัตถุ ด้วยวิธีดังนี้

- ก. การเขียนแผนภาพรังสีของแสง
- ข. การคำนวณ

#### วิธีทำ

- ก. การเขียนภาพรังสีของแสง



ต้องวางวัตถุหน้ากระจกโค้งนูนเป็นระยะเท่ากับ 60 เซนติเมตร

- ข. การคำนวณ

จากสมการ 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

ในที่นี้  $s' = -20$  cm (ภาพเสมือน) และ  $f = -30$  cm (กระจกโค้งนูน)

แทนค่า 
$$\frac{1}{-30 \text{ cm}} = \frac{1}{s} + \frac{1}{-20 \text{ cm}}$$

$$\frac{1}{s} = \frac{1}{20 \text{ cm}} + \frac{1}{-30 \text{ cm}}$$

$$\frac{1}{s} = \frac{3-2}{60 \text{ cm}}$$

จะได้  $s = +60$  cm

**ตอบ** ต้องวางวัตถุหน้ากระจกโค้งนูนเป็นระยะเท่ากับ 60 เซนติเมตร

21. วางวัตถุห่างจากกระจกโค้งนูนเป็นระยะครึ่งหนึ่งของความยาวโฟกัส ภาพที่เกิดขึ้นเป็นภาพชนิดใด และมีกำลังขยายเท่าใด

วิธีทำ จากสมการ 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

ในที่นี้  $s = f/2$  และ  $f$  เป็นลบเนื่องจากกระจกโค้งนูน

แทนค่า 
$$\frac{1}{-f} = \frac{2}{f} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{s'} = -\left(\frac{2}{f} + \frac{1}{f}\right)$$

จะได้ 
$$s' = -\frac{f}{3} \text{ cm}$$

แสดงว่า ภาพที่เกิดเป็นภาพเสมือน เพราะ  $s'$  มีเครื่องหมาย -

หากำลังขยายจาก 
$$M = -\frac{s'}{s}$$

แทนค่า 
$$M = -\frac{-f/3}{f/2} = \frac{2}{3}$$

ตอบ ภาพที่เกิดเป็นภาพเสมือน มีกำลังขยายเท่ากับ  $\frac{2}{3}$

22. กระจกมองด้านข้างของรถยนต์เป็นกระจกโค้งนูนที่มีความยาวโฟกัส 6 เมตร ถ้าวัดระยะวัตถุที่วางตามหลังอยู่ห่างออกไป 10 เมตร จะเกิดภาพที่กระจกเป็นระยะทางเท่าใด และมีกำลังขยายเท่าใด

วิธีทำ จากสมการ 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

ในที่นี้  $s = +10 \text{ m}$  และ  $f = -6 \text{ m}$  (กระจกโค้งนูน)

แทนค่า 
$$\frac{1}{-6 \text{ m}} = \frac{1}{+10 \text{ m}} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{-6 \text{ m}} + \frac{1}{-10 \text{ m}}$$

$$\frac{1}{s'} = -\frac{5+3}{30 \text{ m}}$$

จะได้ 
$$s' = -3.75 \text{ m}$$

หากำลังขยายจาก 
$$M = -\frac{s'}{s}$$

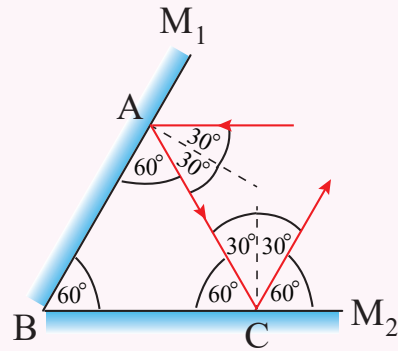
แทนค่า 
$$M = -\frac{-3.75 \text{ m}}{10 \text{ m}} = +0.375$$

ตอบ ระยะภาพของรอมบอเตอร์ไซด์เท่ากับ 3.75 เมตร และกำลังขยายเท่ากับ +0.375

### ปัญหาท้าทาย

23. กระจกเงาราบสองบานหันหน้าเข้าหากันทำมุม  $60^\circ$  องศา รังสีของแสงตกกระทบบนกระจกเงาราบต้องทำมุมเท่าไรกับกระจกบานแรก จึงจะทำให้รังสีของแสงที่สะท้อนจากกระจกบานที่สองขนานกับกระจกบานแรก

**วิธีทำ** เมื่อแสงตกกระทบบนกระจกเงาราบ แสงจะเกิดการสะท้อนโดยมีมุมตกกระทบบเท่ากับมุมสะท้อน เขียนแผนภาพรังสีแสงการสะท้อนของแสงที่กระจกเงาราบ  $M_1$  และ  $M_2$  ได้ดังนี้



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาข้อ 23

พิจารณารังสีสะท้อนที่จุด C บน  $M_2$  ซึ่งขนานกับกระจก  $M_1$  แสดงว่า มุมที่รังสีของแสงที่สะท้อนออกจากกระจกบานที่สอง  $= 60^\circ$

$$\text{มุมสะท้อน} = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$$

ดังนั้น มุมตกกระทบบ  $= 30^\circ$

พิจารณา  $\triangle ABC$  โดยที่  $\hat{A}CB = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$

จะได้  $\hat{B}AC = 180^\circ - 60^\circ - 60^\circ = 60^\circ$

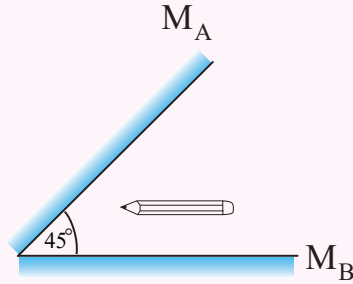
พิจารณารังสีตกกระทบบที่จุด C บน  $M_2$  ซึ่งทำมุมกับผิวของ  $M_2 = 60^\circ$  จะได้

$$\text{มุมสะท้อน} = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$$

ดังนั้น มุมตกกระทบบ  $= 30^\circ$

ตอบ รังสีของแสงตกกระทบบต้องทำมุม  $30^\circ$  องศา กับกระจกบานแรก

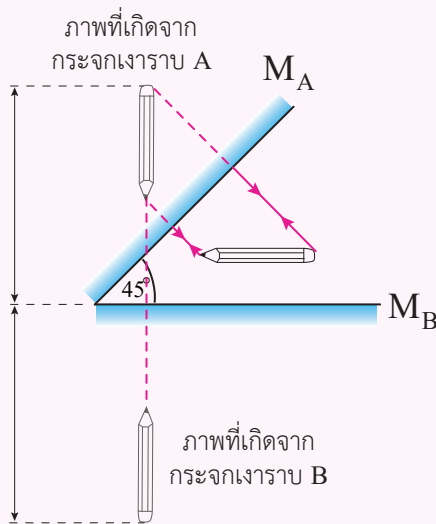
24. ดินสอแท่งหนึ่งวางไว้ระหว่างกระจกเงาราบ 2 บาน ที่ทำมุมกันเท่ากับ  $45^\circ$  องศา ดังรูป



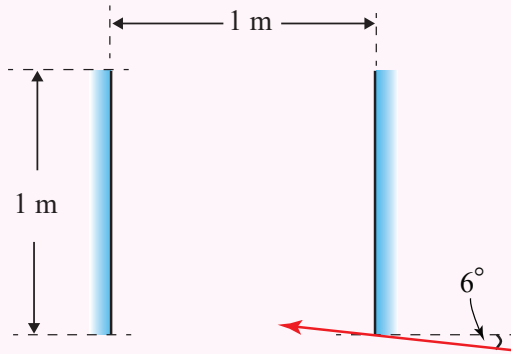
รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 24

จงเขียนแผนภาพรังสีของแสงเพื่อแสดงภาพที่เกิดจากกระจกเงาราบทั้งสอง โดยพิจารณาแสงจากดินสอที่กระทบกระจกเงาราบ A แล้วสะท้อนไปยังกระจกเงาราบ B

ตอบ เขียนแผนภาพรังสีของแสงได้ดังนี้



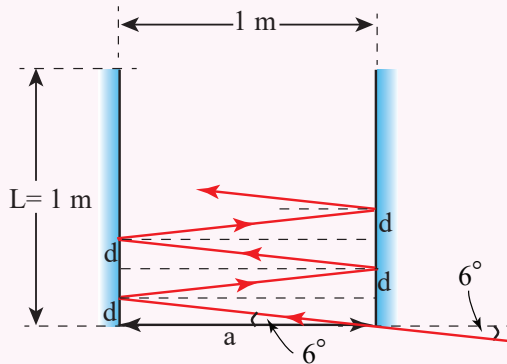
25. กระจกเงาราบ 2 บานมีความสูง 1 เมตรเท่ากัน แขนงห้อยหันหน้าเข้ากันให้ขนานกันและห่างกัน 1 เมตร ถ้าฉายลำแสงเลเซอร์ทำมุม 6 องศา กับแนวด้านล่างของขอบกระจก ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 25

แสงกระทบกระจกแต่ละบานได้กี่ครั้ง (กำหนดให้  $\tan 6^\circ = 0.10$ )

วิธีทำ เขียนแผนภาพการสะท้อนของแสงได้ดังนี้



เนื่องจากมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ทำให้ระยะ  $d$  มีค่าเท่ากันตลอดทั้งกระจก  
หา  $d$  จาก  $d = a \tan \theta$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad d &= (1 \text{ m}) \tan 6^\circ \\ &= 0.10 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad L &= (n)d \\ \text{แทนค่า} \quad 1 \text{ m} &= (n)(0.10 \text{ m}) \\ n &= 10 \end{aligned}$$

แสงตกกระทบกระจกทั้งสองจำนวน 10 ครั้ง แสดงว่า แสงกระทบกระจกบานละ 5 ครั้ง

**ตอบ** แสงกระทบกระจกบานละ 5 ครั้ง



26. รังสีของแสงที่เคลื่อนที่จากอากาศเข้าสู่ น้ำแข็งและน้ำโดยทำมุมตกกระทบเท่ากับ 50 องศา ผลต่างของมุมหักเหของแสงที่เกิดขึ้นในน้ำแข็งและน้ำเป็นเท่าใด ถ้าดัชนีหักเหของน้ำแข็งและน้ำเท่ากับ 1.309 และ 1.333 ตามลำดับ

**วิธีทำ** กรณีแสงเดินทางจากอากาศเข้าสู่ น้ำแข็ง

$$\text{จากสมการ} \quad \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\text{ในที่นี้ } n_1 = 1, n_2 = n_{\text{ice}} = 1.309 \text{ และ } \theta_1 = 50^\circ$$

$$\text{แทนค่า} \quad \frac{\sin 50^\circ}{\sin \theta_2} = \frac{1.309}{1}$$

$$\sin \theta_2 = \frac{\sin 50^\circ}{1.309} = \frac{0.7660}{1.309} = 0.5852$$

$$\text{จะได้} \quad \theta_2 = 35.82^\circ$$

กรณีแสงเดินทางจากอากาศเข้าสู่ น้ำ

$$\text{จากสมการ} \quad \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\text{ในที่นี้ } n_1 = 1, n_2 = n_{\text{water}} = 1.333 \text{ และ } \theta_1 = 50^\circ$$

$$\text{แทนค่า} \quad \frac{\sin 50^\circ}{\sin \theta_2} = \frac{1.333}{1}$$

$$\sin \theta_2 = \frac{\sin 50^\circ}{1.333} = \frac{0.7660}{1.333} = 0.5746$$

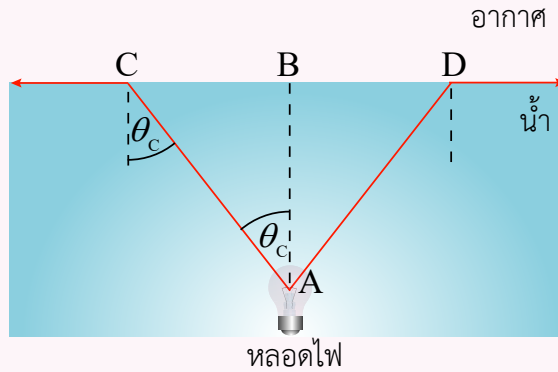
$$\text{จะได้} \quad \theta_2 = 35.07^\circ$$

$$\text{ดังนั้น ผลต่างของมุมหักเห} = 35.82^\circ - 35.07^\circ = 0.75^\circ$$

**ตอบ** ผลต่างของมุมหักเหในน้ำแข็งและในน้ำเท่ากับ 0.75 องศา

27. เทคาร์บอนไดออกไซด์ไฟต์ซึ่งเป็นของเหลวใสที่มีดัชนีหักเห 1.63 ลงไปในอ่างแก้วใบใหญ่ที่สูง 10 เซนติเมตร จนเต็มอ่าง โดยที่ก้นอ่างมีหลอดไฟขนาดเล็กดวงหนึ่งเปิดสว่างอยู่ จงหาพื้นที่ผิวที่มากที่สุดของคาร์บอนไดออกไซด์ไฟต์ที่แสงลอดผ่านขึ้นมาได้

วิธีทำ เขียนแผนภาพการหักเหได้ดังนี้



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาท้าทายข้อ 27

ให้ C และ D เป็นจุดที่แสงสว่างจากหลอดไฟ A ตกกระทบรอยต่อแล้วหักเหทำมุม 90 องศาพอดี ดังนั้นพื้นที่ผิวของคาร์บอนไดออกไซด์ไฟต์ใหญ่ที่สุดที่แสงลอดผ่านขึ้นมาได้จะเป็นรูปวงกลมที่มี CD เป็นเส้นผ่านศูนย์กลาง  
พิจารณาที่จุด C

$$\begin{aligned} \text{จากกฎของสเนลล์} \quad n_1 \sin \theta_1 &= n_2 \sin \theta_2 \\ \text{ในที่นี้ } n_1 &= 1.63, n_2 = 1, \theta_1 = \theta_c \text{ และ } \theta_2 = 90^\circ \\ \text{แทนค่า} \quad 1.63 \sin \theta_c &= 1 \sin 90^\circ \end{aligned}$$

$$\sin \theta_c = \frac{1}{1.63} = 0.6135$$

$$\theta_c = 37.84^\circ$$

หารัศมีของวงกลม BC โดยพิจารณา  $\triangle ABC$

$$\text{จาก} \quad BC = AB \tan \theta_c$$

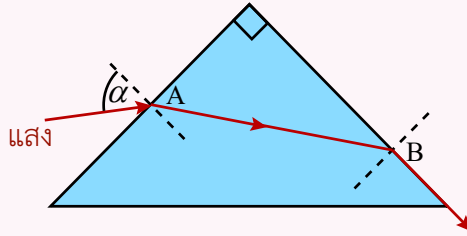
$$\text{แทนค่า} \quad BC = (10 \text{ cm}) \tan 37.84^\circ = 7.768 \text{ cm}$$

$$\text{จาก} \quad \text{พื้นที่วงกลม} = \pi r^2$$

$$\text{แทนค่า} \quad \text{พื้นที่วงกลม} = \pi (BC)^2 = (3.14)(7.768 \text{ cm})^2 = 189.5 \text{ cm}^2$$

ตอบ พื้นที่ผิวที่มากที่สุดของคาร์บอนไดออกไซด์ไฟต์ที่แสงลอดผ่านขึ้นมาได้เท่ากับ 189.5 ตารางเซนติเมตร

28. แสงทำมุมตกกระทบบนด้านของปริซึมสามเหลี่ยมมุมฉากที่ A แล้วหักเหเข้าไปในปริซึม จากนั้น แสงกระทบผิวปริซึมที่ B แล้วหักเหเป็นมุม 90 องศา ดังรูป

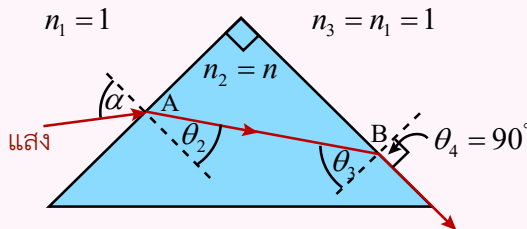


รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 28

จงหา

- ก. ดรรชนีหักเหของปริซึมในเทอมของ  $\alpha$  มีค่าเท่าใด
- ข. ถ้ามุมตกกระทบ  $\alpha$  มีขนาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จะเกิดอะไรขึ้นหลังจากแสงกระทบผิวปริซึมที่ B

วิธีทำ เขียนแผนภาพการหักเห ได้ดังนี้



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาท้าทายข้อ 28

ก. หาดรรชนีหักเหของปริซึมในเทอมของ  $\alpha$

จากกฎของสเนลล์  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

พิจารณาการหักเหที่ A

จะได้  $1 \sin \alpha = n \sin \theta_2$

$$\sin \theta_2 = \frac{1}{n} \sin \alpha \tag{a}$$

พิจารณาการหักเหที่ B

$$\text{จะได้} \quad n \sin \theta_3 = 1 \sin \theta_4$$

$$\text{แต่ } \theta_3 = (90^\circ - \theta_2) \text{ และ } \sin \theta_4 = \sin 90^\circ$$

$$\text{แทนค่า} \quad n \sin(90^\circ - \theta_2) = 1 \sin 90^\circ$$

$$\cos \theta_2 = \frac{1}{n} \quad (\text{b})$$

พิจารณา (a)<sup>2</sup> + (b)<sup>2</sup> จะได้

$$\sin^2 \theta_2 + \cos^2 \theta_2 = \left(\frac{1}{n} \sin \alpha\right)^2 + \left(\frac{1}{n}\right)^2$$

$$1 = \frac{1}{n^2} (\sin^2 \alpha + 1)$$

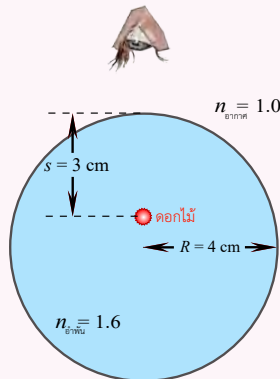
$$\text{นั่นคือ} \quad n = \sqrt{\sin^2 \alpha + 1}$$

- ข. ถ้ามุมตกกระทบ  $\alpha$  มีขนาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จะทำให้มุมตกกระทบที่ B เพิ่มขึ้น ด้วย ส่งผลให้มุมตกกระทบที่ B มีค่ามากกว่ามุมวิกฤต แสงที่ B จึงเกิดการสะท้อนกลับหมด

ตอบ ก. ดรรชนีหักเหของปริซึมเท่ากับ  $\sqrt{\sin^2 \alpha + 1}$

ข. แสงที่ B จะเกิดการสะท้อนกลับหมด

29. ที่หับกระดาศรูปทรงกลมรัศมี 4.0 เซนติเมตร ทำด้วยอำพันซึ่งมีดรรชนีหักเห 1.6 โดยมีดอกไม้ขนาดเล็กวางอยู่บนเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวตั้ง และห่างจากผิวด้านบนของทรงกลม 3.0 เซนติเมตร เมื่อมองดูดอกไม้ตามแนวตั้ง ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 29

ภาพดอกไม้ที่อยู่ลึกจากผิวทรงกลมด้านที่มองเท่าใด กำหนดดรรชนีหักเหของอากาศเป็น 1.0

วิธีทำ ทหารยะภาพจาก 
$$\frac{s'}{s} = \frac{n_2}{n_1}$$

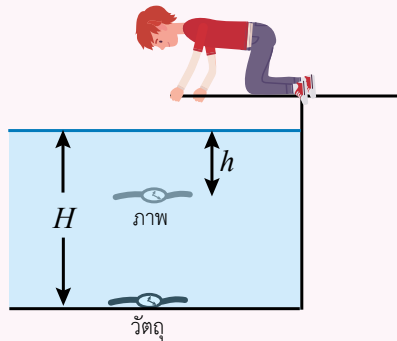
ในที่นี้  $s = 3.0 \text{ cm}$ ,  $n_1 = 1.6$  และ  $n_2 = 1.0$

แทนค่า 
$$\frac{s'}{3.0 \text{ cm}} = \frac{1.0}{1.6}$$

จะได้ 
$$s' = 1.88 \text{ cm}$$

ตอบ ภาพดอกไม้ที่อยู่ลึกจากผิวทรงกลมด้านที่มองเท่ากับ 1.88 เซนติเมตร

30. ชายคนหนึ่งมองลงไปใต้อ่างน้ำในแนวตั้งเพื่อหานาฬิกาที่ตกลงไปในสระน้ำ ปรากฏว่าเขาเห็นนาฬิกาอยู่ลึกจากผิวน้ำ  $h$  ถ้าสระน้ำลึก  $H$  และมีดัชนีหักเห  $n$  จงแสดงว่า  $h = \frac{H}{n}$
- วิธีทำ เขียนแผนภาพการหักเห ได้ดังนี้



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 30

จาก 
$$\frac{s'}{s} = \frac{n_2}{n_1}$$

ในที่นี้  $s = H$ ,  $s' = h$ ,  $n_1 = n$  และ  $n_2 = 1$

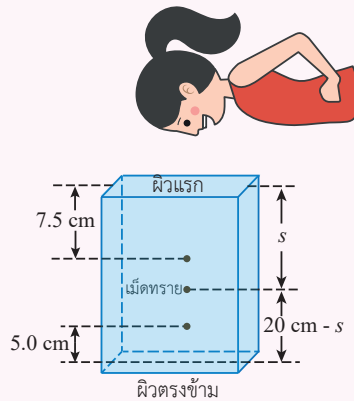
แทนค่า 
$$\frac{h}{H} = \frac{1}{n}$$

จะได้ 
$$h = \frac{H}{n}$$

ตอบ 
$$h = \frac{H}{n}$$

31. วัตถุต้นทำจากวัสดุโปร่งใสทรงลูกบาศก์ ยาวด้านละ 20.0 เซนติเมตร ภายในมีเม็ดทรายเล็ก ๆ 1 เม็ด เมื่อมองด้านหนึ่งเห็นเม็ดทรายที่ระยะ 7.5 เซนติเมตร จากผิว แต่เมื่อมองด้านตรงข้าม จะเห็นที่ระยะ 5.0 เซนติเมตร จากผิวด้านตรงข้าม เม็ดทรายอยู่ที่ตำแหน่งใดจากผิวด้านแรก ที่มอง และวัสดุโปร่งใสนี้มีดรรชนีหักเหเท่าใด

วิธีทำ เขียนแผนภาพการหักเห ได้ดังนี้



ให้  $s$  เป็นระยะที่เม็ดทรายอยู่ห่างผิวแรกหรือความลึกจริงของเม็ดทราย  
ดังนั้น เม็ดทรายจะห่างผิวดตรงข้ามเป็นระยะ  $20.0 \text{ cm} - s$

หาความลึกจริงและดรรชนีหักเห จาก

$$\frac{s'}{s} = \frac{n_2}{n_1}$$

เมื่อมองผิวแรก 
$$\frac{7.5 \text{ cm}}{s} = \frac{1}{n}$$

จะได้ 
$$s = (n)(7.5 \text{ cm})$$

หรือ 
$$n = \frac{s}{7.5 \text{ cm}} \quad (\text{a})$$

เมื่อมองผิวดตรงข้าม 
$$\frac{5.0 \text{ cm}}{20.0 \text{ cm} - s} = \frac{1}{n}$$

$$s = 20.0 \text{ cm} - (n)(5.0 \text{ cm}) \quad (\text{b})$$

แทนค่า (a) ใน (b) จะได้ 
$$s = 20.0 \text{ cm} - \left( \frac{s}{7.5 \text{ cm}} \right) (5.0 \text{ cm})$$

$$s + 0.667s = 20.0 \text{ cm}$$

$$s = 11.998 \text{ cm}$$

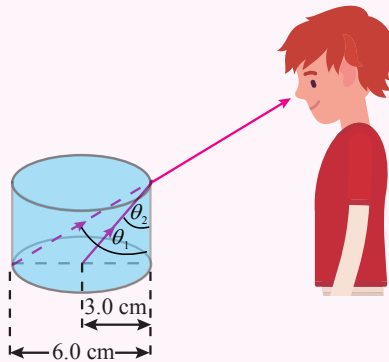
$$\begin{aligned} \text{นำค่าของ } s \text{ แทนใน (a)} \quad n &= \frac{11.998 \text{ cm}}{7.5 \text{ cm}} \\ n &= 1.60 \end{aligned}$$

ดังนั้น วัสดุโปร่งใสมีดรรชนีหักเหเท่ากับ 1.6

**ตอบ** เม็ดทรายอยู่ที่ตำแหน่ง 12 เซนติเมตร จากผิวแรก และวัสดุโปร่งใสมีดรรชนีหักเหเท่ากับ 1.6

32. ภาพขณะรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.0 เซนติเมตร เมื่อผู้สังเกตมองผ่านขอบด้านบน เห็นขอบของก้นภาชนะด้านตรงข้ามพอดี แต่เมื่อเติมน้ำจนเต็มภาชนะผู้สังเกตที่อยู่ตำแหน่งเดิมจะเห็นจุดกึ่งกลางของก้นภาชนะพอดี ภาพขณะใต้น้ำสูงเท่าไร ถ้าดรรชนีหักเหของน้ำเท่ากับ 1.333

**วิธีทำ** เขียนแผนภาพรังสีได้ดังนี้



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาท้าทายข้อ 32

ให้ภาพขณะสูงเท่ากับ  $h$

พิจารณามองภาพขณะรูปทรงกระบอกโดยไม่มีน้ำ จากทฤษฎีบทพีทาโกรัสและฟังก์ชันตรีโกณมิติ จะได้

$$\sin \theta_1 = \frac{d}{\sqrt{h^2 + d^2}}$$

พิจารณามองภาพขณะรูปทรงกระบอกโดยมีน้ำ จากทฤษฎีบทพีทาโกรัสและฟังก์ชันตรีโกณมิติ จะได้

$$\sin \theta_2 = \frac{(d/2)}{\sqrt{h^2 + (d/2)^2}}$$

จากการหักเหของแสง

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

แทนค่า  $1 \frac{6.0 \text{ cm}}{\sqrt{h^2 + (6.0 \text{ cm})^2}} = 1.333 \frac{3.0 \text{ cm}}{\sqrt{h^2 + (3.0 \text{ cm})^2}}$

$$3\sqrt{h^2 + 9 \text{ cm}^2} = 2\sqrt{h^2 + 36 \text{ cm}^2}$$

$$9(h^2 + 9 \text{ cm}^2) = 4(h^2 + 36 \text{ cm}^2)$$

$$9h^2 + 81 \text{ cm}^2 = 4h^2 + 144 \text{ cm}^2$$

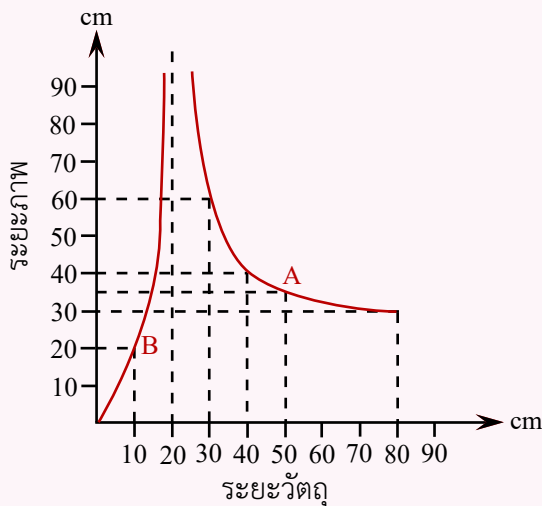
$$(9 - 4)h^2 = 144 \text{ cm}^2 - 81 \text{ cm}^2$$

$$h^2 = 12.6 \text{ cm}^2$$

แทนค่า  $h = \pm 3.5496 \text{ cm}$

ตอบ ภาชนะใบนี้สูงเท่าประมาณ 3.55 เซนติเมตร

33. นักเรียนวางวัตถุไว้หน้าเลนส์นูนที่ระยะต่าง ๆ แล้วบันทึกระยะวัตถุและระยะภาพที่สัมพันธ์กัน โดยนำมาเขียนกราฟ ได้ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 33



จงหา

- ก. ความยาวโฟกัสของเลนส์นูน
- ข. ระยะภาพเมื่อวางวัตถุที่ระยะ 40 เซนติเมตร จากเลนส์
- ค. ระยะวัตถุและระยะภาพ ณ จุด A ในกราฟ
- ง. ภาพ ณ จุด A ในกราฟ เป็นภาพจริงหรือภาพเสมือน และมีขนาดขยายหรือย่อ
- จ. จุดบนกราฟที่จะทำให้เกิดภาพจริงและมีขนาดขยายเป็น 2 เท่าของวัตถุ

วิธีทำ

- ก. หาคความยาวโฟกัสจากกราฟ เมื่อระยะวัตถุ  $s = +20 \text{ cm}$  จะได้ระยะภาพ  $s' = \infty$  แสดงว่าวัตถุอยู่ที่โฟกัส ดังนั้นความยาวโฟกัสของเลนส์นูนเป็น  $+20 \text{ cm}$  หรือหาคความยาวโฟกัสจากสมการเลนส์บางโดยเลือกค่าใด ๆ เช่น  $s = +30 \text{ cm}$  และ  $s' = +60 \text{ cm}$

จากสมการ 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

แทนค่า 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{+30 \text{ cm}} + \frac{1}{+60 \text{ cm}}$$

จะได้ 
$$f = +20 \text{ cm}$$

- ข. หาระยะภาพจากกราฟ เมื่อระยะวัตถุ  $s = +40 \text{ cm}$  จะได้ระยะภาพ  $s' = +40 \text{ cm}$  หรือหาจากสมการเลนส์บาง โดยที่  $f = +20 \text{ cm}$  และ  $s = +40 \text{ cm}$

แทนค่า 
$$\frac{1}{+20 \text{ cm}} = \frac{1}{+40 \text{ cm}} + \frac{1}{s'}$$

จะได้ 
$$s' = +40 \text{ cm}$$

- ค. หาระยะภาพจากกราฟ ณ ตำแหน่ง A ระยะวัตถุ  $s = +50 \text{ cm}$  จะได้ระยะภาพ  $s' \cong +35 \text{ cm}$  หรือหาจากสมการเลนส์บาง โดยที่  $f = +20 \text{ cm}$  และ  $s = +50 \text{ cm}$

แทนค่า 
$$\frac{1}{+20 \text{ cm}} = \frac{1}{+50 \text{ cm}} + \frac{1}{s'}$$

จะได้ 
$$s' = +33.3 \text{ cm}$$

- ง. ณ ตำแหน่ง A จะได้ภาพจริง เพราะระยะภาพมีค่าเป็น + และภาพมีขนาดย่อ เพราะอัตราส่วนระหว่างระยะภาพและระยะวัตถุมีค่าน้อยกว่า 1 กล่าวคือ

$$M = -\frac{s'}{s} = -\frac{+30 \text{ cm}}{+50 \text{ cm}} \quad \text{ดังนั้น } |M| < 1$$

- จ. จุดบนกราฟที่ได้ภาพจริง ขนาดขยาย 2 เท่าของวัตถุมี 2 จุด คือ  $s = +10 \text{ cm}$  ( $s' = +20 \text{ cm}$ ) และ  $s = +30 \text{ cm}$  ( $s' = +60 \text{ cm}$ )

**ตอบ ก.** ความยาวโฟกัสของเลนส์นูนเท่ากับ 20 เซนติเมตร

ข. ระยะภาพเท่ากับ 40 เซนติเมตร

ค. ระยะวัตถุเท่ากับ +50 เซนติเมตร และระยะภาพเท่ากับ +33 เซนติเมตร

ง. ณ ตำแหน่ง A จะได้ภาพจริง ขนาดย่อ

จ. จุดบนกราฟที่จะได้ภาพจริง ขนาดขยายใหญ่เป็น 2 เท่าของวัตถุมี 2 จุด คือ +10 เซนติเมตร และ +30 เซนติเมตร

**หมายเหตุ** จากกราฟเมื่อระยะวัตถุมากกว่าความยาวโฟกัส ( $s > f$ ) ความสัมพันธ์ระหว่าง  $s$  และ  $s'$  จะเป็นกราฟเส้นขวา แต่เมื่อระยะวัตถุน้อยกว่าความยาวโฟกัส ( $s < f$ ) ความสัมพันธ์ระหว่าง  $s$  และ  $s'$  จะเป็นกราฟเส้นซ้าย

34. แมวตัวหนึ่งอยู่ที่ระยะ 10 เมตร หน้าเลนส์นูนที่มีความยาวโฟกัส 15 เซนติเมตร ถ้าแมวเดินออกจากเลนส์ไป 5 เมตร ภาพที่เกิดขึ้นเลื่อนไปจากเดิมเท่าไร และเลื่อนเข้าหาหรือออกจากเลนส์

**วิธีทำ** ทหาระยะภาพขณะแมวอยู่ที่ระยะ 10 เมตรหน้าเลนส์นูน

จากสมการ 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

แทนค่า 
$$\frac{1}{+15 \text{ cm}} = \frac{1}{+10 \text{ m}} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{0.15 \text{ m}} - \frac{1}{10 \text{ m}}$$

จะได้ 
$$s' = -0.15228 \text{ m}$$

หาระยะภาพขณะแมวอยู่ที่ระยะ 15 เมตรหน้าเลนส์นูน

จากสมการ 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad \frac{1}{+15 \text{ cm}} &= \frac{1}{+15 \text{ m}} + \frac{1}{s'} \\ \frac{1}{s'} &= \frac{1}{0.15 \text{ m}} - \frac{1}{15 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$\text{จะได้} \quad s' = +0.15151 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ภาพที่เกิดขึ้นเลื่อนไปจากเดิม} &= (+0.15228 \text{ m}) - (+0.15151 \text{ m}) \\ &= +0.00077 \text{ m} \text{ หรือ } 0.077 \text{ cm} \end{aligned}$$

**ตอบ** ภาพที่เกิดขึ้นเลื่อนเข้าหาเลนส์เป็นระยะทาง 0.077 เซนติเมตร

35. วางวัตถุอยู่หน้าเลนส์นูนและห่างจากเลนส์นูน 1.00 เมตร ถ้าเลนส์นูนมีความยาวโฟกัส 0.50 เมตร และอยู่หน้ากระจกเงาราบ โดยเลนส์นูนและกระจกเงาราบอยู่ห่างกัน 2.00 เมตร เมื่อมองผ่านเลนส์นูนตรงไปที่กระจกเงาราบ จงหา

- ก. ระยะภาพสุดท้ายเทียบกับเลนส์นูน
- ข. ภาพสุดท้ายเป็นภาพจริงหรือภาพเสมือน

**วิธีทำ** พิจารณาเลนส์นูน

$$\text{หาระยะภาพ จากสมการเลนส์บาง} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

$$\text{ในที่นี้ } s = +100 \text{ cm} \text{ และ } f = +50 \text{ cm}$$

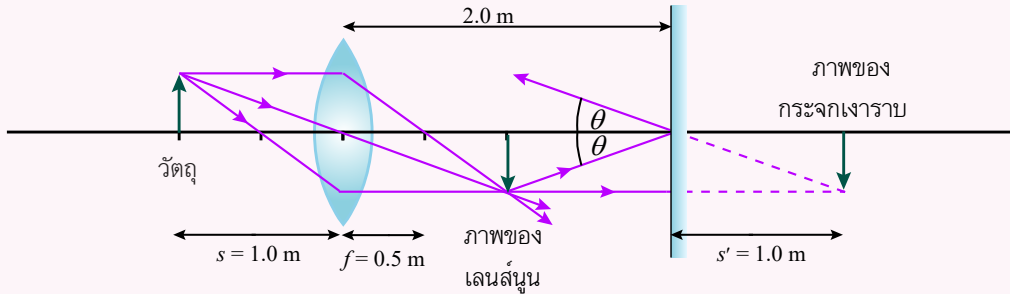
$$\text{แทนค่า} \quad \frac{1}{+50 \text{ cm}} = \frac{1}{+100 \text{ cm}} + \frac{1}{s'}$$

$$\text{จะได้} \quad s' = +100 \text{ cm}$$

$$\text{หากำลังขยายจาก} \quad M = -\frac{s'}{s}$$

$$\text{จะได้} \quad M = -\frac{+100 \text{ cm}}{+100 \text{ cm}} = -1$$

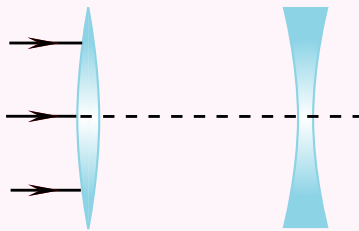
ภาพที่เกิดจากเลนส์นูนเป็นภาพจริงหัวกลับมีระยะภาพ 100 เซนติเมตร ขนาดเท่ากับวัตถุ อยู่หลังเลนส์นูน แต่อยู่หน้ากระจกเงาราบจึงเป็นวัตถุจริงมีระยะวัตถุเป็น 200 เซนติเมตร - 100 เซนติเมตร เท่ากับ 100 เซนติเมตร และเกิดภาพจากกระจกเงาราบเป็นภาพเสมือนขนาดเท่ากับวัตถุเป็นภาพเสมือน หัวกลับอยู่ด้านหลังกระจกเงาราบ ดังรูป



### รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาท้าทายข้อ 35

- ตอบ ก. เมื่อมองผ่านเลนส์นูนตรงไปที่กระฉากเงาราบจะมองเห็นภาพสุดท้ายเป็นภาพหัวกลับ โดยมีระยะทางห่างจากเลนส์นูนเท่ากับ 300 เซนติเมตร หรือ 3 เมตร
- ข. ภาพสุดท้ายเป็นภาพเสมือนหัวกลับกับวัตถุ

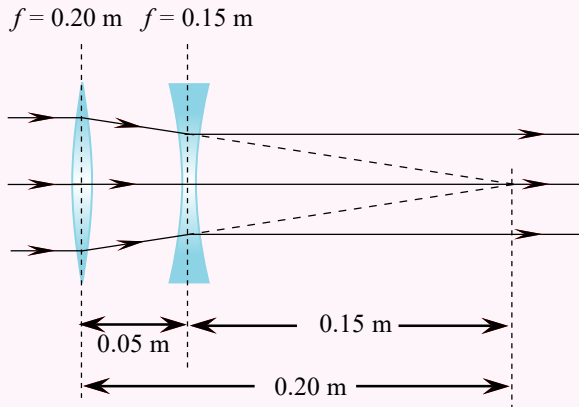
36. เลนส์นูนมีความยาวโฟกัส 0.20 เมตร และเลนส์เว้ามีความยาวโฟกัส 0.15 เมตร วางอยู่โดยมีเส้นแกนमुखสำคัญร่วมกัน เมื่อให้แสงขนานตกกระทบบนเลนส์นูน ดังรูป



### รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 36

ถ้าต้องการให้แสงที่ผ่านเลนส์เว้าออกมาเป็นแสงขนานอีกครั้ง เลนส์ทั้งสองจะต้องอยู่ห่างกันเท่าใด

**วิธีทำ** เมื่อแสงขนานที่เข้ามาตกกระทบบนเลนส์นูน แสงที่ผ่านเลนส์นูนจะไปพบกันที่ตำแหน่งโฟกัสของเลนส์นูน และถ้าต้องการให้แสงดังกล่าวที่ผ่านเลนส์เว้าออกมาเป็นแสงขนาน แสงที่ผ่านเลนส์เว้าจะต้องเสมือน ไปพบกันที่ตำแหน่งโฟกัสของเลนส์เว้าพอดี ดังนั้นตำแหน่งโฟกัสของเลนส์นูนต้องเป็นตำแหน่งโฟกัสของเลนส์เว้าด้วย ระยะระหว่างเลนส์จึงเท่ากับ  $0.20 \text{ เมตร} - 0.15 \text{ เมตร}$  เท่ากับ  $0.05 \text{ เมตร}$  ดังรูป

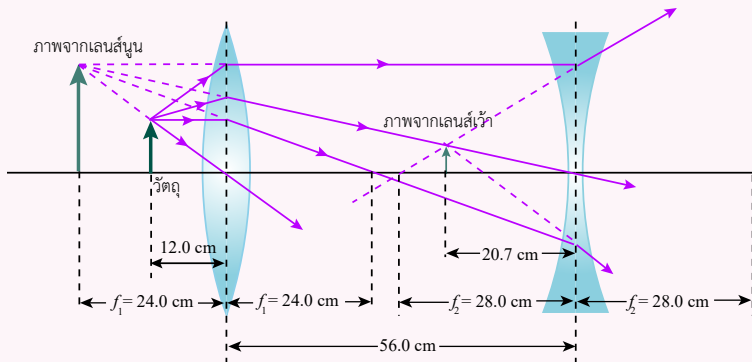


รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาท้าทายข้อ 36

ตอบ เลนส์ทั้งสองอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.05 เมตร

37. เลนส์นูนความยาวโฟกัส 24.0 เซนติเมตร อยู่ทางซ้ายของเลนส์เว้าที่มีความยาวโฟกัส 28.0 เซนติเมตร โดยเลนส์ทั้งสองวางห่างกัน 56.0 เซนติเมตร และมีเส้นแกนमुखสำคัญร่วมกัน ถ้าวางวัตถุทางซ้ายของเลนส์นูนและห่างจากเลนส์นูน 12.0 เซนติเมตร จงหาตำแหน่งของภาพสุดท้ายเทียบกับเลนส์เว้า

วิธีทำ เขียนแผนภาพทางเดินของแสงได้ดังนี้



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาท้าทายข้อ 37

จากสมการเลนส์บาง

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

หาตำแหน่งของภาพแรกที่เกิดจากเลนส์นูน ในที่นี้  $s = +12.0 \text{ cm}$  และ  $f = +24.0 \text{ cm}$

แทนค่า

$$\frac{1}{+24.0 \text{ cm}} = \frac{1}{+12.0 \text{ cm}} + \frac{1}{s'}$$

จะได้

$$s' = -24.0 \text{ cm}$$

หาตำแหน่งของภาพที่สองที่เกิดจากเลนส์เว้า ในที่นี้

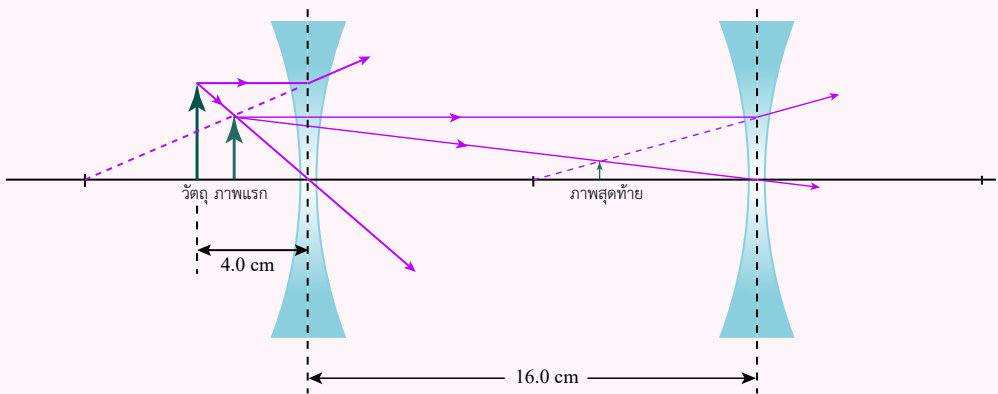
$$s = (+56.0 \text{ cm}) + (+24.0 \text{ cm}) = +80.0 \text{ cm} \text{ และ } f = -28.0 \text{ cm}$$

แทนค่า 
$$\frac{1}{-28.0 \text{ cm}} = \frac{1}{+80.0 \text{ cm}} + \frac{1}{s'}$$

จะได้ 
$$s' = -20.7 \text{ cm}$$

ตอบ ภาพสุดท้ายอยู่หน้าเลนส์เว้าโดยมีระยะห่างเท่ากับ 20.7 เซนติเมตร

38. เลนส์เว้าความยาวโฟกัส 9.0 เซนติเมตร ที่มีลักษณะเหมือนกันสองอันวางห่างกัน 16.0 เซนติเมตร และมีเส้นแกนमुखสำคัญร่วมกัน ถ้าวางวัตถุทางซ้ายห่างจากเลนส์ที่อยู่ทางซ้ายเท่ากับ 4.0 เซนติเมตร จงหาระยะภาพสุดท้ายเทียบกับเลนส์ที่อยู่ทางขวา
- วิธีทำ เขียนแผนภาพทางเดินของแสงได้ดังนี้



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาท้าทายข้อ 38

จากสมการเลนส์บาง 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

หาตำแหน่งของภาพแรกที่เกิดจากเลนส์เว้าทางซ้าย ในที่นี้  $s = +4.0 \text{ cm}$  และ  $f = -9.0 \text{ cm}$

แทนค่า 
$$\frac{1}{-9.0 \text{ cm}} = \frac{1}{+4.0 \text{ cm}} + \frac{1}{s'}$$

จะได้ 
$$s' = -\frac{36}{13} \text{ cm}$$

หาตำแหน่งของภาพสุดท้ายที่เกิดจากเลนส์เว้าทางขวา ในที่นี้

$$s = +16.0 \text{ cm} + \frac{36}{13} \text{ cm} = +\frac{244}{13} \text{ cm} \text{ และ } f = -9.0 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad & \frac{1}{-9.0 \text{ cm}} = \frac{1}{(+244/13) \text{ cm}} + \frac{1}{s'} \\ \text{จะได้} \quad & s' = -6.08 \text{ cm} \end{aligned}$$

**ตอบ** ภาพสุดท้ายอยู่หน้าเลนส์เว้าอันที่อยู่ทางขวาโดยมีระยะห่างเท่ากับ 5.6 เซนติเมตร

39. เลนส์เว้าความยาวโฟกัส 10.0 เซนติเมตร อยู่ทางซ้ายของเลนส์นูนความยาวโฟกัส 30.0 เซนติเมตร เป็นระยะ 20.0 เซนติเมตร ถ้าวางวัตถุสูง 3.0 เซนติเมตรอยู่ทางซ้ายของเลนส์เว้าที่โฟกัสพอดี จงหาระยะภาพสุดท้ายเทียบกับเลนส์นูน และความสูงของภาพสุดท้าย
- วิธีทำ**

$$\begin{aligned} \text{จากสมการเลนส์บาง} \quad & \frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \\ \text{หาตำแหน่งของภาพแรกที่เกิดจากเลนส์เว้า ในที่นี้ } s = +10.0 \text{ cm และ } f = -10.0 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad & \frac{1}{-10.0 \text{ cm}} = \frac{1}{+10.0 \text{ cm}} + \frac{1}{s'} \\ \text{จะได้} \quad & s' = -5.0 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{หากำลังขยายจาก} \quad M = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad & \frac{y'}{+3.0 \text{ cm}} = -\frac{-5.0 \text{ cm}}{+10.0 \text{ cm}} \\ \text{จะได้} \quad & y' = 1.5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หาตำแหน่งของภาพที่เกิดจากเลนส์นูน ในที่นี้} \\ s = (+20.0 \text{ cm}) + (+5.0 \text{ cm}) = +25.0 \text{ cm และ } f = +30.0 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad & \frac{1}{+30.0 \text{ cm}} = \frac{1}{+25.0 \text{ cm}} + \frac{1}{s'} \\ \text{จะได้} \quad & s' = -150.0 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{หากำลังขยายจาก} \quad M = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad & \frac{y'}{+1.5 \text{ cm}} = -\frac{-150.0 \text{ cm}}{+25.0 \text{ cm}} \\ \text{จะได้} \quad & y' = 9.0 \text{ cm} \end{aligned}$$

**ตอบ** ภาพสุดท้ายอยู่หน้าเลนส์นูนโดยมีระยะห่างเท่ากับ 150.0 เซนติเมตร และเป็นภาพที่มี  
ความสูงเท่ากับ 9.0 เซนติเมตร

40. วัตถุหนึ่งอยู่หน้ากระจกโค้งนูน 25 เซนติเมตร เกิดภาพหลังกระจก 20 เซนติเมตร ถ้าวัตถุอยู่ที่ 18 เซนติเมตร จะเกิดภาพที่ใด

**วิธีทำ** หาโฟกัสของกระจกโค้งนูนจากสมการ

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

ในที่นี้  $s = +25 \text{ cm}$  และ  $s' = -20 \text{ cm}$

แทนค่า 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{+25 \text{ cm}} + \frac{1}{-20 \text{ cm}}$$

จะได้ 
$$f = -100 \text{ cm}$$

หาระยะภาพ เมื่อ  $s = +18 \text{ cm}$  และ  $f = -100 \text{ cm}$

แทนค่า 
$$\frac{1}{-100 \text{ cm}} = \frac{1}{+18 \text{ cm}} + \frac{1}{s'}$$

จะได้ 
$$s' = -15.25 \text{ cm}$$

**ตอบ** เกิดภาพหลังกระจกโค้งนูนเป็นระยะทางเท่ากับ 15.25 เซนติเมตร

41. วางวัตถุไว้หน้ากระจกโค้งเว้าที่มีความยาวโฟกัสเท่ากับ 10.0 เซนติเมตร ทำให้เกิดภาพจริง  
ขนาดขยาย 4 เท่า วัตถุนี้อยู่ห่างจากกระจกเป็นระยะเท่าใด

**วิธีทำ** จากกำลังขยาย 
$$M = -\frac{s'}{s}$$

ในที่นี้  $M = -4$  แทนค่า 
$$-4 = -\frac{s'}{s}$$

จะได้ 
$$s' = +4s$$

จากสมการ 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

ในที่นี้  $s' = +4s$  และ  $f = +10.0 \text{ cm}$



$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad \frac{1}{10.0 \text{ cm}} &= \frac{1}{s} + \frac{1}{-4s} \\ \frac{1}{10.0 \text{ cm}} &= \frac{4-1}{4s} \\ s &= 7.5 \text{ cm} \end{aligned}$$

**ตอบ** วัตถุอยู่ห่างจากกระจกโค้งเว้าเป็นระยะทางเท่ากับ 7.5 เซนติเมตร

42. ชายคนหนึ่งยืนริมฝั่งแม่น้ำ และฝั่งตรงข้ามมีต้นไม้ต้นหนึ่ง เขาใช้กระจกบานหนึ่งหาความสูงของต้นไม้ และระยะทางระหว่างต้นไม้กับตัวเขา พบว่า กระจกเงาทำให้เกิดภาพของดวงอาทิตย์ที่ระยะ 0.80 เมตรจากหน้ากระจก เกิดภาพของต้นไม้ที่มีความสูง 0.10 เมตร และอยู่ที่ 0.81 เมตร จากหน้ากระจก จงหา

- กระจกเงาที่ใช้เป็นกระจกโค้งเว้าหรือกระจกโค้งนูน
- ต้นไม้อยู่ห่างจากชายคนนั้นประมาณเท่าใด
- ต้นไม้สูงประมาณเท่าใด

**วิธีทำ**

- เนื่องจากกระจกเงาทำให้เกิดภาพของดวงอาทิตย์ที่ 0.80 เมตร หน้ากระจกเงา แสดงว่า กระจกเงาที่ใช้เป็นกระจกเงาโค้งเว้า มีความยาวโฟกัส  $f = +0.80 \text{ cm}$
- กระจกโค้งเว้าทำให้เกิดภาพจริงหน้ากระจก โดยมีระยะภาพ  $s' = +0.81 \text{ m}$

$$\text{จากสมการ} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

ในที่นี้  $f = +0.80 \text{ cm}$  และ  $s' = +0.81 \text{ m}$

$$\text{แทนค่า} \quad \frac{1}{+0.80 \text{ m}} = \frac{1}{s} + \frac{1}{+0.81 \text{ m}}$$

$$\text{จะได้} \quad s = +64.8 \text{ m}$$

ค. หาความสูงของต้นไม้

$$\text{จากกำลังขยาย} \quad M = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$

$$\text{แทนค่า} \quad \frac{+0.10 \text{ m}}{y} = -\frac{+0.81 \text{ m}}{+64.8 \text{ m}}$$

$$\text{จะได้} \quad y = -8.0 \text{ m}$$

**ตอบ** ก. กระจกเงาที่ใช้เป็นกระจกโค้งเว้า

ข. ต้นไม้อยู่ห่างจากชายคนนั้นประมาณ 65 เมตร

ค. ต้นไม้สูงประมาณ 8 เมตร

# ภาคผนวก

## ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล

### แบบทดสอบ

การประเมินผลด้วยแบบทดสอบเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวัดผลสัมฤทธิ์ในการเรียนโดยเฉพาะด้านความรู้และความสามารถทางสติปัญญา ครูควรมีความเข้าใจในลักษณะของแบบทดสอบ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัดของแบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ เพื่อประโยชน์ในการสร้างหรือเลือกใช้แบบทดสอบให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด โดยลักษณะของแบบทดสอบ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัดของแบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ เป็นดังนี้

#### 1) แบบทดสอบแบบที่มีตัวเลือก

แบบทดสอบแบบที่มีตัวเลือก ได้แก่ แบบทดสอบแบบเลือกตอบ แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด และแบบทดสอบแบบจับคู่ รายละเอียดของแบบทดสอบแต่ละแบบเป็นดังนี้

##### 1.1) แบบทดสอบแบบเลือกตอบ

เป็นแบบทดสอบที่มีการกำหนดตัวเลือกให้หลายตัวเลือก โดยมีตัวเลือกที่ถูกเพียงหนึ่งตัวเลือก องค์ประกอบหลักของแบบทดสอบแบบเลือกตอบมี 2 ส่วน คือ คำถามและตัวเลือก แต่บางกรณีอาจมีส่วนของสถานการณ์เพิ่มขึ้นมาด้วย แบบทดสอบแบบเลือกตอบมีหลายรูปแบบ เช่น แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถามเดียว แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถามชุด แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถาม 2 ชั้น โครงสร้างดังตัวอย่าง

#### แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเดียวที่ไม่มีสถานการณ์

คำถาม.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

**แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเดียวที่มีสถานการณ์**

สถานการณ์.....

คำถาม.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

**แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเป็นชุด**

สถานการณ์.....

คำถามที่ 1.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

คำถามที่ 2.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

### แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถาม 2 ชั้น

สถานการณ์.....

คำถามที่ 1.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

คำถามที่ 2...(ถามเหตุผลของการตอบคำถามที่ 1)...

.....

.....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบมีข้อดีคือ สามารถใช้ผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนได้ครอบคลุมเนื้อหาตามจุดประสงค์ สามารถตรวจให้คะแนนและแปลผลคะแนนได้ตรงกัน แต่มีข้อจำกัด คือ ไม่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงออกอย่างอิสระจึงไม่สามารถวัดความคิดระดับสูง เช่น ความคิดสร้างสรรค์ได้ นอกจากนี้นักเรียนที่ไม่มีความรู้สามารถเดาคำตอบได้

#### 1.2) แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด

เป็นแบบทดสอบที่มีตัวเลือก ถูกและผิด เท่านั้น มีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ คำสั่งและข้อความให้นักเรียนพิจารณาว่าถูกหรือผิด ดังตัวอย่าง

#### แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด

คำสั่ง ให้พิจารณาว่าข้อความต่อไปนี้ถูกหรือผิด แล้วใส่เครื่องหมาย ✓ หรือ ✗ หน้าข้อความ

..... 1. ข้อความ.....

..... 2. ข้อความ.....

..... 3. ข้อความ.....

..... 4. ข้อความ.....

..... 5. ข้อความ.....

แบบทดสอบรูปแบบนี้สามารถสร้างได้ง่าย รวดเร็ว และครอบคลุมเนื้อหา สามารถตรวจได้รวดเร็วและให้คะแนนได้ตรงกัน แต่นักเรียนมีโอกาสเดาได้มาก และการสร้างข้อความเป็นจริงหรือเป็นเท็จโดยสมบูรณ์ในบางเนื้อหาทำได้ยาก

1.3) แบบทดสอบแบบจับคู่

ประกอบด้วยส่วนที่เป็นคำสั่ง และข้อความสองชุดที่ให้จับคู่กัน โดยข้อความชุดที่ 1 อาจเป็นคำถาม และข้อความชุดที่ 2 อาจเป็นคำตอบหรือตัวเลือก โดยจำนวนข้อความในชุดที่ 2 อาจมีมากกว่าในชุดที่ 1 ดังตัวอย่าง

**แบบทดสอบแบบจับคู่**

**คำสั่ง** ให้นำตัวอักษรหน้าข้อความในชุดคำตอบมาเติมในช่องว่างหน้าข้อความในชุดคำถาม

ชุดคำถาม	ชุดคำตอบ
..... 1. ข้อความ.....	ก. ข้อความ.....
..... 2. ข้อความ.....	ข. ข้อความ.....
..... 3. ข้อความ.....	ค. ข้อความ.....
	ง. ข้อความ.....

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่าย ตรวจให้คะแนนได้ตรงกัน และเดาคำตอบได้ยาก เหมาะสำหรับวัดความสามารถในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคำหรือข้อความ 2 ชุด แต่ในกรณีที่นักเรียนจับคู่ผิดไปแล้วจะทำให้มีการจับคู่ผิดในคู่อื่น ๆ ด้วย

2) แบบทดสอบแบบเขียนตอบ

เป็นแบบทดสอบที่ให้นักเรียนคิดคำตอบเอง จึงมีอิสระในการแสดงความคิดเห็นและสะท้อนความคิดออกมาโดยการเขียนให้ผู้อ่านเข้าใจ โดยทั่วไป การเขียนตอบมี 2 แบบ คือ การเขียนตอบแบบเติมคำหรือการเขียนตอบอย่างสั้น และการเขียนตอบแบบอธิบาย รายละเอียดของแบบทดสอบที่มีการตอบแต่ละแบบเป็นดังนี้

2.1) แบบทดสอบเขียนตอบแบบเติมคำหรือตอบอย่างสั้น

ประกอบด้วยคำสั่งและข้อความที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะมีส่วนที่เว้นไว้เพื่อให้เติมคำตอบหรือข้อความสั้น ๆ เพื่อให้เติมคำตอบหรือข้อความสั้น ๆ ที่ทำให้ข้อความข้างต้นถูกต้องหรือสมบูรณ์ นอกจากนี้แบบทดสอบยังอาจประกอบด้วยสถานการณ์และคำถามที่ให้นักเรียนตอบโดยการเขียนอย่างอิสระ แต่สถานการณ์และคำถามจะเป็นสิ่งที่กำหนดคำตอบให้มีความถูกต้องและเหมาะสม

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่าย มีโอกาสเดาได้ยาก และสามารถวินิจฉัยคำตอบที่นักเรียนตอบผิด เพื่อให้ทราบถึงข้อบกพร่องทางการเรียนรู้หรือความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้ แต่การจำกัดคำตอบให้นักเรียนตอบเป็นคำ วลี หรือประโยคได้ยาก ตรวจสอบให้คะแนนได้ยากเนื่องจากบางครั้งมีคำตอบถูกต้องหรือยอมรับได้หลายคำตอบ

## 2.2) แบบทดสอบเขียนตอบแบบอธิบาย

เป็นแบบทดสอบที่ต้องการให้นักเรียนตอบอย่างอิสระ ประกอบด้วยสถานการณ์และคำถามที่สอดคล้องกัน โดยคำถามเป็นคำถามแบบปลายเปิด

แบบทดสอบรูปแบบนี้ในการตอบจึงสามารถใช้วัดความคิดระดับสูงได้ แต่เนื่องจากนักเรียนต้องใช้เวลาในการคิดและเขียนคำตอบมาก ทำให้ถามได้น้อยข้อ จึงอาจทำให้วัดได้ไม่ครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งตรวจให้คะแนนยาก และการตรวจให้คะแนนอาจไม่ตรงกัน

## แบบประเมินทักษะ

เมื่อนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมจริงจะมีหลักฐานร่องรอยที่แสดงไว้ทั้งวิธีการปฏิบัติและผลการปฏิบัติ ซึ่งหลักฐานร่องรอยเหล่านั้นสามารถใช้ในการประเมินความสามารถ ทักษะการคิด และทักษะปฏิบัติได้เป็นอย่างดี

การปฏิบัติการทดลองเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยทั่วไปประเมินได้ 2 ส่วน คือประเมินทักษะการปฏิบัติการทดลองและการเขียนรายงานการทดลอง โดยเครื่องมือที่ใช้ประเมินดังตัวอย่าง

### ตัวอย่างแบบสำรวจรายการทักษะปฏิบัติการทดลอง

รายการที่ต้องสำรวจ	ผลการสำรวจ	
	มี (ระบุจำนวนครั้ง)	ไม่มี
การวางแผนการทดลอง		
การทดลองตามขั้นตอน		
การสังเกตการทดลอง		
การบันทึกผล		
การอภิปรายผลการทดลองก่อนลงข้อสรุป		



ตัวอย่างแบบประเมินทักษะปฏิบัติการทดลอง  
ที่ใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย

ทักษะปฏิบัติการ ทดลอง	คะแนน		
	3	2	1
การเลือกใช้อุปกรณ์ / เครื่องมือใน การทดลอง	เลือกใช้อุปกรณ์ / เครื่องมือในการทดลอง ได้ถูกต้องเหมาะสม กับงาน	เลือกใช้อุปกรณ์ / เครื่องมือในการทดลอง ได้ถูกต้องแต่ไม่เหมาะสม กับงาน	เลือกใช้อุปกรณ์ / เครื่องมือในการทดลอง ไม่ถูกต้อง
การใช้อุปกรณ์ / เครื่องมือใน การทดลอง	เลือกใช้อุปกรณ์ / เครื่องมือในการทดลอง ได้อย่างคล่องแคล่ว และถูกต้องตามหลัก การปฏิบัติ	ใช้อุปกรณ์ /เครื่องมือใน การทดลองได้ถูกต้องตาม หลักการปฏิบัติ แต่ไม่ คล่องแคล่ว	ใช้อุปกรณ์ /เครื่องมือใน การทดลองไม่ถูกต้อง
การทดลองตาม แผนที่กำหนด	ทดลองตามวิธีการและ ขั้นตอนที่กำหนดไว้ อย่างถูกต้อง มีการปรับ ปรุงแก้ไขเป็นระยะ	ทดลองตามวิธีการและ ขั้นตอนที่กำหนดไว้ มี การปรับปรุงแก้ไขบ้าง	ทดลองตามวิธีการและ ขั้นตอนที่กำหนดไว้หรือ ดำเนินการข้ามขั้นตอน ที่กำหนดไว้ ไม่มีการ ปรับปรุงแก้ไข

ตัวอย่างแบบประเมินทักษะปฏิบัติการทดลอง  
ที่ใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบมาตราประมาณค่า

ทักษะที่ประเมิน	ผลการประเมิน		
	ระดับ 3	ระดับ 2	ระดับ 1
1.วางแผนการทดลองอย่างเป็นขั้นตอน 2.ปฏิบัติการทดลองได้อย่างคล่องแคล่ว สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้อง เหมาะสมและจัดวางอุปกรณ์เป็นระเบียบ สะดวกต่อการใช้งาน 3.บันทึกผลการทดลองได้ถูกต้องและครบถ้วนสมบูรณ์	ระดับ 3 หมายถึง ปฏิบัติได้ทั้ง 3 ข้อ	ระดับ 2 หมายถึง ปฏิบัติได้ 2 ข้อ	ระดับ 1 หมายถึง ปฏิบัติได้ 1 ข้อ

ตัวอย่างแนวทางให้คะแนนการเขียนรายงานการทดลอง

คะแนน		
3	2	1
เขียนรายการตามลำดับขั้นตอน ผลการทดลองตรงตามสภาพจริงและสื่อความหมาย	เขียนรายงานการทดลองตามลำดับ แต่ไม่สื่อความหมาย	เขียนรายงานโดยลำดับขั้นตอน ไม่สอดคล้องกัน และสื่อความหมาย

**แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์**

การประเมินจิตวิทยาศาสตร์ไม่สามารถทำได้โดยตรง โดยทั่วไปทำโดยการตรวจสอบพฤติกรรมภายนอกที่ปรากฏให้เห็นในลักษณะของคำพูด การแสดงความคิดเห็น การปฏิบัติหรือพฤติกรรมบ่งชี้ที่สามารถสังเกตหรือวัดได้ และแปลผลไปถึงจิตวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นสิ่งที่ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมดังกล่าว เครื่องมือที่ใช้ประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์ ดังตัวอย่าง

**ตัวอย่างแบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์**

**คำชี้แจง** จงทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับคุณลักษณะที่นักเรียนแสดงออก โดยจำแนกระดับพฤติกรรมการแสดงออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้

- มาก หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นอย่างสม่ำเสมอ
- ปานกลาง หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นเป็นครั้งคราว
- น้อย หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นน้อยครั้ง
- ไม่มีการแสดงออก หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นเลย

รายการพฤติกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
<p><b>ด้านความอยากรู้อยากเห็น</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>นักเรียนสอบถามจากผู้รู้หรือไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม เมื่อเกิดความสงสัยในเรื่องราววิทยาศาสตร์</li> <li>นักเรียนชอบไปงานนิทรรศการวิทยาศาสตร์</li> <li>นักเรียนนำการทดลองที่สนใจไปทดลองต่อที่บ้าน</li> </ol>				
<p><b>ด้านความซื่อสัตย์</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>นักเรียนรายงานผลการทดลองตามที่ทดลองได้จริง</li> <li>เมื่อทำงานทดลองผิดพลาด นักเรียนจะลอกผลการทดลองของเพื่อนส่งครู</li> <li>เมื่อครูมอบหมายให้ทำชิ้นงานสิ่งประดิษฐ์ นักเรียนจะประดิษฐ์ตามแบบที่ปรากฏอยู่ในหนังสือ</li> </ol>				

รายการพฤติกรรมกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
<p><b>ด้านความใจกว้าง</b></p> <p>1. แม้ว่านักเรียนจะไม่เห็นด้วยกับการสรุปผลการทดลองในกลุ่ม แต่ก็ยอมรับผลสรุปของสมาชิกส่วนใหญ่</p> <p>2. ถ้าเพื่อนแย้งวิธีการทดลองนักเรียนและมีเหตุผลที่ดีกว่า นักเรียนพร้อมที่จะนำข้อเสนอแนะของเพื่อนไปปรับปรุงงานของตน</p> <p>3. เมื่องานที่นักเรียนตั้งใจและทุ่มเททำถูกตำหนิหรือโต้แย้ง นักเรียนจะหมดกำลังใจ</p>				
<p><b>ด้านความรอบคอบ</b></p> <p>1. นักเรียนสรุปผลการทดลองทันทีเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง</p> <p>2. นักเรียนทำการทดลองซ้ำ ๆ ก่อนที่จะสรุปผลการทดลอง</p> <p>3. นักเรียนตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ก่อนทำการทดลอง</p>				
<p><b>ด้านความมุ่งมั่นอดทน</b></p> <p>1. ถึงแม้ว่างานค้นคว้าที่ทำอยู่มีโอกาสำเร็จได้ยาก นักเรียนจะยังคงค้นคว้าต่อไป</p> <p>2. นักเรียนล้มเลิกการทดลองทันที เมื่อผลการทดลองที่ได้ขัดจากที่เคยเรียนมา</p> <p>3. เมื่อทราบว่าคุณค่าการทดลองที่นักเรียนสนใจต้องใช้ระยะเวลาในการทดลองนาน นักเรียนก็เปลี่ยนไปศึกษาชุดการทดลองที่ใช้เวลาน้อยกว่า</p>				

รายการพฤติกรรมการแสดงผลออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงผลออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงผลออก
<b>เจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์</b> 1. นักเรียนนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ มาใช้ แก้ปัญหาในชีวิตประจำวันอยู่เสมอ 2. นักเรียนชอบทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับ วิทยาศาสตร์ 3. นักเรียนสนใจติดตามข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับ วิทยาศาสตร์				

### วิธีการตรวจให้คะแนน

ตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์โดยกำหนดน้ำหนักของตัวเลขในช่องต่าง ๆ เป็น 4 3 2 1 ตามลำดับ  
 ข้อความที่มีความหมายเป็นทางบวก กำหนดให้คะแนนแต่ละข้อความดังต่อไปนี้

ระดับพฤติกรรมการแสดงผลออก	คะแนน
มาก	4
ปานกลาง	3
น้อย	2
ไม่มีการแสดงผลออก	1

ส่วนของข้อความที่มีความหมายเป็นทางลบ กำหนดให้คะแนนในแต่ละข้อความมีลักษณะตรงข้าม

### การประเมินการนำเสนอผลงาน

การประเมินผลและให้คะแนนการนำเสนอผลงานอาจใช้แนวทางการประเมินเช่นเดียวกับการประเมินภาระงานอื่น คือ การใช้คะแนนแบบภาพรวม และการให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) **การให้คะแนนในภาพรวม** เป็นการให้คะแนนที่ต้องการสรุปภาพรวมจึงประเมินเฉพาะประเด็นหลักที่สำคัญ ๆ เช่น การประเมินความถูกต้องของเนื้อหา ความรู้และการประเมินสมรรถภาพด้านการเขียน โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบภาพรวม ดังตัวอย่างต่อไปนี้

#### ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินความถูกต้องของเนื้อหาความรู้ (แบบภาพรวม)

รายการประเมิน	ระดับประเมิน
- เนื้อหาไม่ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่	ต้องปรับปรุง
- เนื้อหาถูกต้องแต่ให้สาระสำคัญน้อยมาก และระบุแหล่งที่มาของความรู้	พอใช้
- เนื้อหาถูกต้อง มีสาระสำคัญ แต่ยังไม่ครบถ้วน มีการระบุแหล่งที่มาของความรู้	ดี
- เนื้อหาถูกต้อง มีสาระสำคัญครบถ้วน และระบุแหล่งที่มาของความรู้ชัดเจน	ดีมาก

#### ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินสมรรถภาพด้านการเขียน (แบบภาพรวม)

รายการประเมิน	ระดับประเมิน
- เขียนสับสน ไม่เป็นระบบ ไม่บอกปัญหาและจุดประสงค์ ขาดการเชื่อมโยง เนื้อหาบางส่วนไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ ใช้ภาษาไม่เหมาะสมและสะกดคำไม่ถูกต้อง ไม่อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	ต้องปรับปรุง
- เขียนเป็นระบบแต่ไม่ชัดเจน บอกจุดประสงค์ไม่ชัดเจน เนื้อหาถูกต้องแต่มีรายละเอียดไม่เพียงพอ เนื้อหาบางตอนไม่สัมพันธ์กัน การเรียบเรียงเนื้อหาไม่ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	พอใช้
- เขียนเป็นระบบ แสดงให้เห็นโครงสร้างของเรื่อง บอกความสำคัญและที่มาของปัญหา จุดประสงค์ แนวคิดหลักไม่ครอบคลุมประเด็นสำคัญทั้งหมด เนื้อหาบางตอนเรียบเรียงไม่ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง มีการยกตัวอย่าง รูปภาพแผนภาพประกอบ อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	ดี
- เขียนเป็นระบบ แสดงให้เห็นโครงสร้างของเรื่อง บอกความสำคัญและที่มาของปัญหา จุดประสงค์ แนวคิดหลักได้ครอบคลุมประเด็นสำคัญทั้งหมด เรียบเรียงเนื้อหาได้ต่อเนื่องต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง ชัดเจนเข้าใจง่าย รูปภาพแผนภาพประกอบ อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	ดีมาก

2) การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย เป็นการประเมินเพื่อต้องการนำผลการประเมินไปใช้พัฒนางานให้มีคุณภาพผ่านเกณฑ์ และพัฒนาคุณภาพให้สูงขึ้นกว่าเดิมอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เกณฑ์ย่อย ๆ ในการประเมินเพื่อให้รู้ทั้งจุดเด่นที่ควรส่งเสริมและจุดด้อยที่ควรแก้ไขปรับปรุงการทำงานในส่วนนั้น ๆ เกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย มีตัวอย่างดังนี้

#### ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินสมรรถภาพ (แบบแยกองค์ประกอบย่อย)

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
<b>ด้านการวางแผน</b>	
- ไม่สามารถออกแบบได้ หรือออกแบบได้แต่ไม่ตรงกับประเด็นปัญหาที่ต้องการเรียนรู้	ต้องปรับปรุง
- ออกแบบการได้ตามประเด็นสำคัญของปัญหาบางส่วน	พอใช้
- ออกแบบครอบคลุมประเด็นสำคัญของปัญหาเป็นส่วนใหญ่ แต่ยังไม่ชัดเจน	ดี
- ออกแบบได้ครอบคลุมประเด็นสำคัญของปัญหาอย่างเป็นขั้นตอนที่ชัดเจน และตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการ	ดีมาก
<b>ด้านการดำเนินการ</b>	
- ดำเนินการไม่เป็นไปตามแผน ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบถูกต้องแต่ไม่คล่องแคล่ว	ต้องปรับปรุง
- ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบถูกต้องแต่ไม่คล่องแคล่ว	พอใช้
- ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบการสาธิตได้อย่างคล่องแคล่วและเสร็จทันเวลา ผลงานในบางขั้นตอนไม่เป็นไปตามจุดประสงค์	ดี
- ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบได้ถูกต้อง คล่องแคล่ว และเสร็จทันเวลา ผลงานทุกขั้นตอนเป็นไปตามจุดประสงค์	ดีมาก
<b>ด้านการอธิบาย</b>	
- อธิบายไม่ถูกต้อง ขัดแย้งกับแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์	ต้องปรับปรุง
- อธิบายโดยอาศัยแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ แต่การอธิบายเป็นแนวพรรณนาทั่วไป ซึ่งไม่คำนึงถึงการเชื่อมโยงกับปัญหาทำให้เข้าใจยาก	พอใช้
- อธิบายโดยอาศัยแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ ตรงตามประเด็นของปัญหา แต่ข้ามไปในบางขั้นตอน ใช้ภาษาได้ถูกต้อง	ดี
- อธิบายโดยอาศัยแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ ตรงตามประเด็นของปัญหาและจุดประสงค์ ใช้ภาษาได้ถูกต้องเข้าใจง่าย สื่อความหมายให้ชัดเจน	ดีมาก

## บรรณานุกรม

- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). **คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1.** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสศ. ลาดพร้าว.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). **คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3.** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสศ. ลาดพร้าว.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2547). **คู่มือครูสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 2.** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- Giancoli, D. C. (2014). **Physics: Principles with Applications.** (7<sup>th</sup> ed.). Pearson.
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2013). **Fundamentals of Physics.** (10<sup>th</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Serway, R. A., Faughn, J. S. (2009). **Holt Physics.** Holt, Rinehart and Winston.
- Serway, R. A., Jewett, Jr., J. W. (2014). **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics.** (9<sup>th</sup> ed.). Brooks/Cole.
- Young, H. D., Freedman, R. A. (2015). **Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics.** (14<sup>th</sup> ed.). Pearson.



**คณะกรรมการจัดทำคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิลิกส์ เล่ม 3**  
**ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)**  
**ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551**

**คณะที่ปรึกษา**

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| 1. ศ.ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์    | ผู้อำนวยการ<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี        |
| 2. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ | ผู้ช่วยผู้อำนวยการ<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

**คณะผู้จัดทำคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิลิกส์**  
**ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 3**

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| 1. นายรังสรรค์ ศรีสาคร      | ผู้เชี่ยวชาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี     |
| 2. นายบุญชัย ต้นไถง         | ผู้ชำนาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี         |
| 3. นายวัฒน์ มากชื่น         | ผู้ชำนาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี         |
| 4. นายไชสิต ลิงหุต          | ผู้ชำนาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี         |
| 5. นายรักษพล ธนानวงศ์       | นักวิชาการอาวุโส สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 6. ดร.กวิน เชื้อมกลาง       | นักวิชาการอาวุโส สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 7. ดร.ปรีดา พัทรมณีปรกรณ์   | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี       |
| 8. ดร.จำเริญตา ปริญญาธารมาศ | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี       |
| 9. นายสรจิตต์ อารีรัตน์     | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี       |
| 10. นายจอมพรรค นวลดี        | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี       |

- |                           |  |
|---------------------------|--|
| 11. นายเทพนคร แสงหัวช้าง  | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 12. นายธนรัชต์ คัมภ์ทักษ์ | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

**คณะผู้ร่วมพิจารณาคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิลิกส์  
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 3 (ฉบับร่าง)**

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| 1. ผศ.ดร.บุรินทร์ อัครพิภพ       | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                                      |
| 2. ผศ.ดร.สุชัย นพรัตน์แจ่มจำรัส  | สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล จ.นครปฐม        |
| 3. นายสุมิตร สวนสุข              | โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร                    |
| 4. นายประสิทธิ์ สลัดทุกซ์        | โรงเรียนย่านตาขาวรัฐชนูปถัมภ์ จ.ตรัง                       |
| 5. นายนิกรณ นิลพงษ์              | โรงเรียนศรีคุณวิทยบาลลังก์ จ.อำนาจเจริญ                    |
| 6. นายอดิศักดิ์ ยงยุทธ           | โรงเรียนมัธยมวัดหนองจอก กรุงเทพมหานคร                      |
| 7. นางสาวสายชล สุขโข             | โรงเรียนจ่านกร้อง จ.พิษณุโลก                               |
| 8. นายชรินทร์ วัฒนธีรางกูร       | โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย จ.นครปฐม                            |
| 9. นายบุญโฮม สุขล้วน             | โรงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภชลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร           |
| 10. นายพลพิพัฒน์ วัฒนเศรษฐานุกูล | สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 2<br>กรุงเทพมหานคร |

**คณะบรรณาธิการ**

- |                           |  |
|---------------------------|--|
| 1. นายวิศาล จิตต์วาริน    | นักวิชาการอิสระ  |
| 2. ดร.ศักดิ์ สุวรรณฉาย    | มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์  |
| 3. ดร.รังสรรค์ จอมทะรักษ์ | มหาวิทยาลัยสวนดุสิต  |
| 4. ดร.กวิน เชื้อมกลาง     | นักวิชาการอาวุโส สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย<br>สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |



## ค่าคงตัวและข้อมูลทางกายภาพอื่น ๆ

### ค่าคงตัว

ปริมาณ	สัญลักษณ์	ค่าประมาณ
อัตราเร็วของแสง	$c, c_0$	$3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
ค่าคงตัวโน้มถ่วง	$G$	$6.6726 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
ค่าคงตัวพลังค์	$h$	$6.6261 \times 10^{-34} \text{ J s}$
ประจุมูลฐาน	$e$	$1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$
ค่าคงตัวริดเบิร์ก	$R_\infty$	$1.0974 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$
รัศมีโบร์	$a_0$	$5.2918 \times 10^{-11} \text{ m}$
มวลอิเล็กตรอน	$m_e$	$9.1094 \times 10^{-31} \text{ kg}$
มวลโปรตอน	$m_p$	$1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$
มวลนิวตรอน	$m_n$	$1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg}$
มวลดิวเทอรอน	$m_d$	$3.3436 \times 10^{-27} \text{ kg}$
ค่าคงตัวอวอกาโดร	$N_A, L$	$6.0221 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
ค่าคงตัวมวลอะตอม	$m_u$	$1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$
ค่าคงตัวแก๊ส	$R$	$8.3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
ค่าคงตัวโบลต์ซมันน์	$k_B$	$1.3807 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

### ข้อมูลทางกายภาพอื่น ๆ

ปริมาณ	ค่า
มวลของโลก	$5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$
มวลของดวงจันทร์	$7.36 \times 10^{22} \text{ kg}$
มวลของดวงอาทิตย์	$1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$
รัศมีของโลก (เฉลี่ย)	$6.38 \times 10^3 \text{ km}$
รัศมีของดวงจันทร์ (เฉลี่ย)	$1.74 \times 10^3 \text{ km}$
รัศมีของดวงอาทิตย์ (เฉลี่ย)	$6.96 \times 10^5 \text{ km}$
ระยะทางระหว่างโลกและดวงจันทร์ (เฉลี่ย)	$3.84 \times 10^5 \text{ km}$
ระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ (เฉลี่ย)	$1.496 \times 10^8 \text{ km}$



สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
กระทรวงศึกษาธิการ