



หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๔

ISBN 978-616-576-367-7

จำนวน ๑๑๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๖

จัดจำหน่ายโดย

องค์การค้าของ สกสค. พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว

๒๒๔๙ ถนนลาดพร้าว วังทองหลาง กรุงเทพมหานคร

❖ มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ



ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ ตามผลการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้ว อนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๕ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๗

ว่าที่ร้อยตรี

(ธนู วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาหลักสูตร
วิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภทที่ใช้
ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ นี้
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จัดทำขึ้นตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน
พุทธศักราช ๒๕๕๑ เพื่อให้สถานศึกษาพิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรสถานศึกษา และพิจารณาเลือกใช้
หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ตามความเหมาะสม

กระทรวงศึกษาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้
ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐาน
การศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี ตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

ว่าที่ร้อยตรี



(ธนุ วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลายมีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ นี้ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๒ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ เล่ม ๑ - เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ - ๖ แล้วก็สามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๒ ได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้ หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ เล่ม ๓ นี้มีเนื้อหาที่จำเป็นต้องเรียน ประกอบด้วย เรื่องการสั่น คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี ซึ่งเป็นพื้นฐาน ที่สำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ วิศวกร สถาปนิก นักอุตุนิยมวิทยา นักธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบันและสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ เล่ม ๓ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียนและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

ส. ธีระเดช

(รองศาสตราจารย์ธีระเดช เจียรสุขสกุล)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ เล่ม ๓

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕

เวลา ๘๐ ชั่วโมง จำนวน ๒ หน่วยกิต

ศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย แรงกับการสั่นของมวลติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย ความถี่ธรรมชาติและการสั่นพ้อง 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

๖. ทดลอง และอธิบายการสะท้อนของแสงที่ผิววัตถุตามกฎการสะท้อน เขียนรังสีของแสงและคำนวณตำแหน่งและขนาดภาพของวัตถุ เมื่อแสงตกกระทบบนกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลม รวมทั้งอธิบายการนำความรู้เรื่องการสะท้อนของแสงจากกระจกเงาราบ และกระจกเงาทรงกลมไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน
๗. ทดลอง และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีหักเห มุมตกกระทบ และมุมหักเหรวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจริงและความลึกปรากฏ มุมวิกฤตและการสะท้อนกลับหมดของแสง และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
๘. ทดลอง และเขียนรังสีของแสงเพื่อแสดงภาพที่เกิดจากเลนส์บาง หาดำแหน่ง 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

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญและเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน จะช่วยให้นักเรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

- คำถามสำคัญ
- จุดประสงค์การเรียนรู้
- ความรู้ก่อนเรียน
- ข้อสังเกต
- ขวนคิด
- กิจกรรม
- คำถามท้ายกิจกรรม
- กิจกรรมลองทำดู
- ความรู้เพิ่มเติม
- รู้หรือไม่
- สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน
- แบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ
- แบบฝึกหัดท้ายบท



คำถามสำคัญ

คำถามประจำบทที่นักเรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งนักเรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว



จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งนักเรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ



ความรู้ก่อนเรียน

คำสำคัญหรือข้อความสั้น ๆ ที่เกี่ยวกับความรู้ที่นักเรียนควรมีสำหรับเป็นพื้นฐานของการศึกษาความรู้ใหม่ในแต่ละบท



ข้อสังเกต

ความรู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้นักเรียนเห็นแนวคิดสำคัญและความเชื่อมโยงของเนื้อหา



ชวนคิด

คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา



กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง



คำถามท้ายกิจกรรม

คำถามที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมนั้น ๆ ช่วยเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ อภิปรายและสรุปผลการทำกิจกรรม



กิจกรรมลองทำดู

การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมที่ลงมือปฏิบัติในห้องเรียนหรือนอกเวลาเรียนได้



ความรู้เพิ่มเติม

ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล



รู้หรือไม่

ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน



สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

แบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ

ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ

คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง



แบบฝึกหัด

แบบฝึกหัดระหว่างเรียนที่ช่วยฝึกทักษะการคิด การคำนวณ และการแก้ปัญหาเบื้องต้น โดยใช้ความรู้ในหัวข้อนั้น ๆ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบความเข้าใจของเนื้อหา และฝึกฝนตนเองให้มีทักษะที่จำเป็นตามจุดประสงค์การเรียนรู้ได้

แบบฝึกหัดท้ายบท

ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้



คำถาม

คำถามที่เน้นให้นักเรียนตอบโดยการเขียนบรรยายแสดงความเข้าใจจนถึงการวิเคราะห์



ปัญหา

ปัญหาที่มีความซับซ้อนน้อยจนถึงปานกลาง เน้นให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการคำนวณ และการแก้ปัญหา



ปัญหาท้าทาย

ปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก เน้นให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการคิดระดับสูงในการคำนวณ และการแก้ปัญหา

สารบัญ	บทที่ 8-9	
บทที่	เนื้อหา	หน้า
8	การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	
	8.1 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	3
	8.2 ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	5
	8.2.1 การกระจัดของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	6
	8.2.2 ความเร็วและความเร่งของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	10
	8.3 แรงกับการสั่นของมวลติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย	15
	8.3.1 การสั่นของมวลติดปลายสปริง	15
	8.3.2 การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย	26
	8.4 ความถี่ธรรมชาติและการสั่นพ้อง	33
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	37
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8	39

9	คลื่น	
	9.1 ธรรมชาติของคลื่น	49
	9.1.1 การเกิดคลื่น	50
	9.1.2 ชนิดของคลื่น	51
	9.1.3 ส่วนประกอบของคลื่น	56
	9.2 อัตราเร็วของคลื่น	61
	9.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น	61
	9.2.2 อัตราเร็วของคลื่นในตัวกลาง	63
	9.3 หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น	69
	9.3.1 หลักการของฮอยเกนส์	69
	9.3.2 หลักการซ้อนทับ	72

สารบัญ	บทที่ 9-11	
บทที่	เนื้อหา	หน้า
	9.4 พฤติกรรมของคลื่น	77
	9.4.1 การสะท้อนของคลื่น	77
	9.4.2 การหักเหของคลื่น	82
	9.4.3 การแทรกสอดของคลื่น	87
	9.4.4 การเลี้ยวเบนของคลื่น	96
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	100
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9	102

10	แสงเชิงคลื่น	
	10.1 แนวคิดเกี่ยวกับแสงเชิงคลื่น	107
	10.2 การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่	109
	10.3 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว	126
	10.4 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง	138
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	148
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 10	150

11	แสงเชิงรังสี	
	11.1 การสะท้อนและการหักเหของแสง	160
	11.1.1 การสะท้อนของแสง	160
	11.1.2 การหักเหของแสง	165
	11.2 การมองเห็นและการเกิดภาพ	178
	11.2.1 การมองเห็น	178
	11.2.2 การเกิดภาพ	179
	11.3 ภาพจากเลนส์บางและกระจกเงาทรงกลม	187
	11.3.1 การเกิดภาพจากเลนส์บาง	187
	11.3.2 การคำนวณเกี่ยวกับเลนส์บาง	198
	11.3.3 การเกิดภาพจากกระจกเงาทรงกลม	205
	11.3.4 การคำนวณเกี่ยวกับกระจกเงาทรงกลม	212

สารบัญ	บทที่ 11-ภาคผนวก	
บทที่	เนื้อหา	หน้า
	11.4 แสงสีและการมองเห็นแสงสี	218
	11.4.1 การมองเห็นสีของมนุษย์	218
	11.4.2 การผสมแสงสี	220
	11.4.3 แผ่นกรองแสงและสีของวัตถุ	223
	11.4.4 การผสมสารสี	226
	11.5 การอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติและการใช้ประโยชน์เกี่ยวกับแสง	228
	11.5.1 ปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกี่ยวกับแสง	228
	11.5.2 การนำความรู้เรื่องกระจกเงาและเลนส์บางไปใช้ประโยชน์	235
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	244
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 11	247

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก คณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์	262
ภาคผนวก ข ระบบหน่วยระหว่างชาติ	272
ภาคผนวก ค ตารางฟังก์ชันตรีโกณมิติ	275
ภาคผนวก ง ตารางเลขกำลังสองรากที่สองและส่วนกลับ	276
ภาคผนวก จ ตัวอย่างการบันทึกการทดลอง	277
ภาคผนวก ฉ ลอการิทึม	280
คำศัพท์	283
บรรณานุกรม	285
ที่มาของรูป	286
คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน	287

บทที่



ipst.me/8887

8

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย



การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของลูกตุ้มนาฬิกาที่ใช้บอกเวลาหรือใช้หาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้ รวมทั้งการแกว่งของชิงช้า เราสามารถอธิบายแรงและลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุในสถานการณ์เหล่านี้ได้อย่างไร และความเข้าใจในเรื่องเหล่านี้ จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างไร



คำถามสำคัญ

- การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมีลักษณะอย่างไร
- การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันอย่างไรบ้าง



จุดประสงค์การเรียนรู้

8.1 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

1. อธิบายลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

8.2 ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

2. อธิบายการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
3. คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

8.3 แรงกับการสั่นของมวลติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย

4. อธิบายผลของแรงกับการสั่นของมวลติดปลายสปริงและการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย
5. ทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของรถทดลองติดปลายสปริง
6. ทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย
7. คำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับคาบการสั่นของมวลติดปลายสปริงและการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

8.4 ความถี่ธรรมชาติและการสั่นพ้อง

8. อธิบายความถี่ธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้อง



ความรู้ก่อนเรียน

การเคลื่อนที่แนวตรง การเคลื่อนที่แบบวงกลม กฎการเคลื่อนที่ข้อสองของนิวตัน เวกเตอร์

การโคจรของดาวเทียมรอบโลก การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาโบราณ การสั่นของแผ่นไดอะแฟรม ลำโพง การสั่นของสายกีตาร์ การสั่นของมวลติดปลายสปริง สถานการณ์เหล่านี้เป็นการเคลื่อนที่เป็นคาบ โดยวัตถุจะเคลื่อนที่ตามเส้นทางเดิมกลับมาที่เริ่มต้นซ้ำแล้วซ้ำอีก โดยเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ครบรอบมีค่าคงตัว ความเข้าใจเรื่องการเคลื่อนที่เป็นคาบ เป็นพื้นฐานสำคัญต่อการศึกษาเรื่อง คลื่น เสียง แสง และไฟฟ้ากระแสสลับ

การโคจรของดาวเทียมรอบโลก การสั่นของมวลติดปลายสปริง การเคลื่อนที่ข้างต้นเป็นการเคลื่อนที่เป็นคาบเหมือนกัน โดยดาวเทียมจะเคลื่อนที่วนกลับมาที่ตำแหน่งเดิม ส่วนมวลติดสปริงเคลื่อนที่กลับไปกลับมาผ่านตำแหน่งกึ่งกลาง เรียกการเคลื่อนที่นี้ว่า การสั่น (vibration) หรือ การแกว่งกวัด (oscillation) ทั้งสองคำนี้หมายถึงการเคลื่อนที่เดียวกัน ในบทนี้เน้นการเข้าใจการสั่นแบบที่ง่ายที่สุด เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (simple harmonic motion)

8.1 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

พิจารณาการเคลื่อนที่ของรถทดลองติดปลายสปริงที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังรูปต่อไปนี้

รถทดลองติดปลายสปริงวางอยู่บนพื้น

ล้อยของรถทดลองหมุนคล่อง ซึ่งประมาณได้ว่าแรงเสียดทานไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของรถทดลอง ให้ตำแหน่ง x_0 รถทดลองอยู่นิ่งสปริงไม่ยืดตัวและไม่หดตัว เรียกตำแหน่งนี้ว่า

ตำแหน่งสมดุล (equilibrium position)

ดังรูป 8.1 ก.

ดึงรถทดลองให้เคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งสมดุลไปทางขวาที่ตำแหน่ง x_1 ดังรูป 8.1 ข. และให้ตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งเริ่มต้นที่

เวลา $t = t_0$

ปล่อยมือให้รถทดลองเคลื่อนที่จาก

หยุดนิ่งไปทางซ้าย ผ่านตำแหน่งสมดุล โดย

ขณะผ่านตำแหน่งสมดุลรถทดลองมีอัตราเร็ว

สูงสุด จนกระทั่งที่เวลา $t = t_1$ รถทดลอง

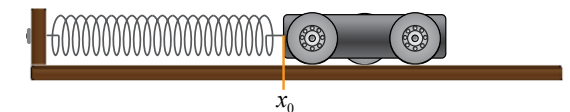
มีอัตราเร็วเป็นศูนย์ที่ตำแหน่ง x_2 และกำลังจะ

เคลื่อนที่กลับมาทางด้านขวา ดังรูป 8.1 ค.

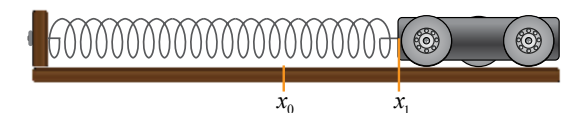
รถทดลองเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่ง

เริ่มต้นที่เวลา $t = t_2$ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ครบ

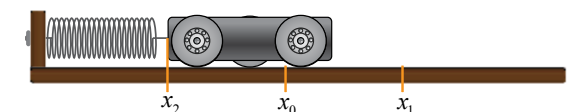
หนึ่งรอบ ดังรูป 8.1 ง.



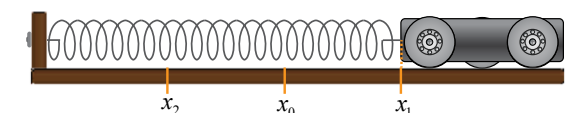
ก. รถทดลองติดปลายสปริงและอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล x_0



ข. ตำแหน่งรถทดลองที่เวลา $t = t_0$



ค. ตำแหน่งรถทดลองที่เวลา $t = t_1$



ง. ตำแหน่งรถทดลองที่เวลา $t = t_2$

รูป 8.1 ตำแหน่งรถทดลองที่เวลาต่าง ๆ

เวลาที่รถทดลองใช้ในการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นจนกลับมาถึงตำแหน่งเดิมเป็นเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ เรียกว่า คาบ (period) แทนด้วย T ซึ่งพิจารณา ความถี่ (frequency) ของการเคลื่อนที่ได้จาก $f = \frac{1}{T}$

ขณะรถทดลองอยู่ที่ตำแหน่งใด ๆ $x = x_t$ สามารถบอกการกระจัดของรถทดลองอ้างอิงกับตำแหน่งสมดุล ($x = x_0 = 0$) โดยเขียนเวกเตอร์บอกตำแหน่ง (position vector) ในหนึ่งมิติที่มีทิศทางจากตำแหน่งสมดุลไปยังตำแหน่งของรถทดลองขณะนั้น ๆ เรียกเวกเตอร์นี้ว่า การกระจัด (displacement) ของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย แทนด้วย $\vec{x}$

จากรูป 8.1 ข. และ ค. ที่ตำแหน่ง x_1 และ x_2 เป็นตำแหน่งที่รถทดลองอยู่ห่างจากตำแหน่งสมดุลมากที่สุดหรือมีขนาดการกระจัดมากที่สุด เรียกขนาดการกระจัดสูงสุดนี้ว่า แอมพลิจูด (amplitude) แทนด้วย A

การเคลื่อนที่ของรถทดลองติดปลายสปริงที่กล่าวมาในข้างต้น เป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิมผ่านตำแหน่งสมดุล โดยมีแอมพลิจูดและคาบคงตัว เรียกการเคลื่อนที่นี้ว่า การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

จากการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของรถทดลองติดปลายสปริง พบว่าการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของรถทดลองเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ที่เวลาต่าง ๆ ของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ปริมาณดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร จะได้ศึกษาในหัวข้อถัดไป

ตัวอย่าง 8.1 วัตถุชิ้นหนึ่งติดที่ปลายสปริง มีตำแหน่งสมดุลที่ $x = 0$ ดึงวัตถุไปที่ตำแหน่ง $x = 0.1$ m จากตำแหน่งสมดุล แล้วปล่อยวัตถุพร้อมเริ่มจับเวลา พบว่าวัตถุเคลื่อนที่กลับมาที่ตำแหน่ง $x = 0.1$ m อีกครั้ง ใช้เวลา $t = 2.2$ s จงหา ก. แอมพลิจูด ข. คาบ ค. ความถี่

แนวคิด แอมพลิจูด (A) เป็นขนาดการกระจัดที่มากที่สุดและมีค่าเป็นบวก มีหน่วย เมตร คาบ (T) เป็นเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ มีหน่วย วินาที และความถี่ (f) เป็นจำนวนรอบที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วย ต่อวินาที หรือเฮิรตซ์

วิธีทำ ก. วัตถุมีขนาดการกระจัดที่มากที่สุด 0.1 m จากตำแหน่งสมดุล

ดังนั้นแอมพลิจูดเท่ากับ 0.1 m

ข. วัตถุใช้เวลา 2.2 s ในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ ดังนั้นคาบเท่ากับ 2.2 s

ค. วัตถุเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบใช้เวลา 2.2 s

$$\text{ดังนั้น ความถี่} = \frac{1}{2.2 \text{ s}} = 0.45 \text{ s}^{-1} = 0.45 \text{ Hz}$$

ตอบ ก. แอมพลิจูดเท่ากับ 0.1 เมตร ข. คาบเท่ากับ 2.2 วินาที ค. ความถี่เท่ากับ 0.45 เฮิรตซ์



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.1

1. การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมีลักษณะอย่างไร
2. จงอธิบายตำแหน่งสมดุล
3. การเคลื่อนที่แบบวงกลมของลูกยาง การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย เป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายหรือไม่ เพราะเหตุใด



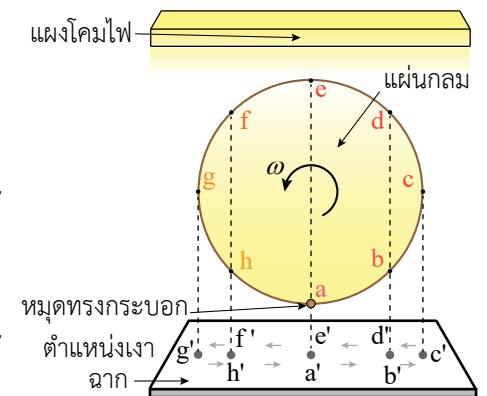
แบบฝึกหัด 8.1

1. ถ้าอนุภาคสั้นครบ 20 รอบ ในเวลา 40 วินาที จงหาความถี่และคาบการสั่นของอนุภาค
2. จงหาคาบต่อไปนี้ (ในหน่วยวินาที)
 - ก. ซีพอร์เตน 29 ครั้ง ใน 20 วินาที
 - ข. เครื่องยนต์หมุน 3200 รอบต่อนาที
3. จงหาความถี่ของเหตุการณ์ต่อไปนี้ (ในหน่วยต่อวินาทีหรือเฮิรตซ์)
 - ก. สายซอสัน 43 รอบ ใน 0.1 วินาที
 - ข. ใบพัดเครื่องบินอาหารหมุน 13 000 รอบ ใน 1 นาที
4. คันเคาะเครื่องเคาะสัญญาณเวลาทำให้เกิดจุดบนแถบกระดาษ 1200 จุด ใน 1 นาที คาบและความถี่ของคันเคาะมีค่าเท่าใด (ในหน่วยวินาที และต่อวินาทีหรือเฮิรตซ์ ตามลำดับ)

8.2 ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

แผ่นกลมรัศมี A มีหมุดตรึงกระบอกติดอยู่ที่ขอบกำลังหมุนด้วยอัตราเร็วเชิงมุม ω ทำให้หมุดตรึงกระบอกเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี A ด้วยอัตราเร็วเชิงมุม ω เช่นเดียวกับแผ่นกลม แผงโคไฟฉายแสงในแนวตั้งทำให้เกิดเงาบนฉากด้านล่าง

พิจารณาหมุดตรึงกระบอกเคลื่อนที่จาก a ซึ่งเป็นตำแหน่งเริ่มต้น ไป b ไป c ... และกลับมาที่ a ทำให้เกิดเงาของหมุดบนฉากด้านล่างในแนวระดับ โดยเงาเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในแนวตรงจาก a' ไป b' ไป c' ... และกลับมาที่ a' ตามลำดับ ดังรูป 8.2 จะพบว่าเงามีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิม มีคาบและแอมพลิจูดคงตัว ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย โดยมีตำแหน่ง a' หรือ e' เป็นตำแหน่งสมดุล จะสามารถหาการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของวัตถุเป็นฟังก์ชันกับเวลาได้ดังนี้



รูป 8.2 เงาของหมุดที่ตำแหน่งต่าง ๆ

8.2.1 การกระจัดของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

พิจารณาการเคลื่อนที่ของหมุดทรงกระบอกเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วเชิงมุมคงตัว ω เมื่อเวลาใด ๆ (t) แผ่นกลมหมุนไปเป็นมุม θ เงามของหมุด มีการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้น $x = 0$ ไปยังตำแหน่งใด ๆ (x_i) ดังรูป 8.3 เงามจะเคลื่อนที่ด้วยความถี่เชิงมุมเท่ากับอัตราเร็วเชิงมุมของหมุด ω การกระจัดของเงามเท่ากับ

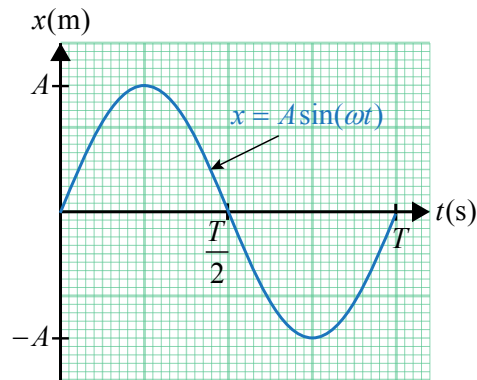
$$x = A \sin \theta$$

จาก $\theta = \omega t$ จะได้

$$x = A \sin \omega t \quad (8.1)$$

การกระจัดมีทิศทางไปทางขวา

จากสมการ (8.1) การกระจัดกับเวลาของเงามมีความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชันแบบไซน์ เขียนกราฟความสัมพันธ์ของการกระจัดของเงามกับเวลา เมื่อเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ ได้ดังรูป 8.4



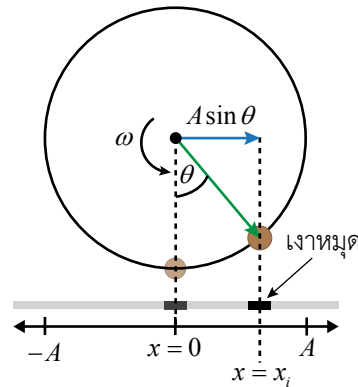
รูป 8.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดของเงามกับเวลา

ข้อสังเกต

อัตราเร็วเชิงมุมกับความถี่เชิงมุม

อัตราเร็วเชิงมุม

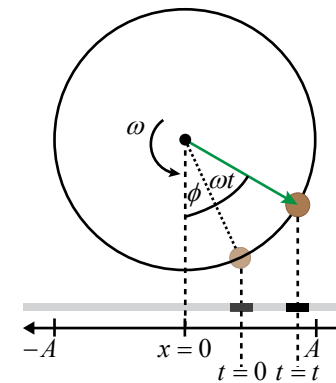
กรณีวัตถุเคลื่อนที่ไปบนเส้นรอบวงวงกลมในช่วงเวลา Δt วัตถุจะมีการกระจัดเชิงมุม $\Delta \theta$ สามารถหาอัตราเร็วเชิงมุม (angular speed) ได้จากความสัมพันธ์ $\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$ เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ $\Delta t = T$ จะได้ $\omega = \frac{2\pi}{T}$ และ $\omega = 2\pi f$



รูป 8.3 เปรียบเทียบตำแหน่งของหมุดกับการกระจัดของเงาม

ความถี่เชิงมุม

กรณีเงามของหมุดทรงกระบอกเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ในช่วงเวลา Δt จะไม่ปรากฏมุม $\Delta \theta$ จึงไม่สามารถหา ω ได้จาก $\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$ อย่างไรก็ตามสามารถหา ω ของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายได้จากความสัมพันธ์ $\omega = 2\pi f$ ดังนั้นในกรณีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจะเรียก ω ว่า ความถี่เชิงมุม (angular frequency) มีหน่วยเป็น rad/s ในกรณีเป็นความสัมพันธ์กับปริมาณเชิงมุมจะใช้ rad/s ส่วนกรณีที่สัมพันธ์กับปริมาณเชิงเส้นจะใช้เป็น s^{-1}



รูป 8.5 ตำแหน่งหมุดทรงกระบอกที่เวลา $t = 0$ เฟสเริ่มต้นเท่ากับ ϕ และที่เวลา t ใด ๆ มุมเฟสเท่ากับ $\phi + \omega t$

สมการ (8.2) สามารถนำไปใช้อธิบายการกระจัดของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุเป็นฟังก์ชันของเวลา

กรณีทั่วไป ตำแหน่งเริ่มต้น ($t = 0$) หมุดทรงกระบอกเคลื่อนที่จากจุด a ไปแล้วเป็นมุม ϕ เงามของหมุดไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งสมดุล ($x = 0$) เรียกมุม ϕ ว่า เฟสเริ่มต้นของเงาม เมื่อเวลาผ่านไป t หมุดเคลื่อนที่ต่อไปจนเป็นมุม $\phi + \omega t$ ซึ่งเรียกว่า มุมเฟส (phase angle) ของเงามขณะนั้น ดังสมการ

$$\theta(t) = \phi + \omega t$$

เขียนสมการความสัมพันธ์การกระจัดของเงามที่ขึ้นกับเวลา ในรูปทั่วไปได้เป็น

$$x = A \sin(\omega t + \phi) \quad (8.2)$$

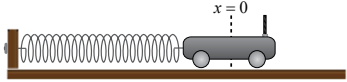
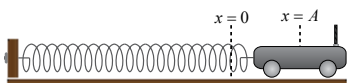
เมื่อ ϕ คือ เฟสเริ่มต้นหรือมุมเริ่มต้นที่เวลา $t = 0$

ข้อสังเกต

หน่วยของมุมเฟส

ในระบบเอสไอ มุมมีหน่วยเป็น เรเดียน (radian) เช่น มุม π เรเดียน มีค่าเท่ากับมุม 180 องศา มุม 2π เรเดียน มีค่าเท่ากับ มุม 360 องศา

ตัวอย่าง 8.2 จงเขียนสมการการกระจัดที่ขึ้นกับเวลาของรถทดลองติดปลายสปริงที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมีตำแหน่งเริ่มต้นที่จับเวลาต่างกันในตาราง กำหนดให้ ความถี่เชิงมุมเท่ากับ ω แอมพลิจูดเท่ากับ A

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

แนวคิด หาเฟสเริ่มต้น ด้วยการแทนค่า $t = 0$ และการกระจัดที่เวลาเริ่มต้นในสมการ $x = A \sin(\omega t + \phi)$ จะได้ค่า ϕ ที่เวลาเริ่มต้น

วิธีทำ ก. จากตาราง เมื่อ $t = 0$ การกระจัดที่เวลาเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ $x = 0$ จะได้

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

$$0 = \sin(\phi)$$

จาก $\sin(0) = 0$ จะได้ว่า $\phi = 0$

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

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

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

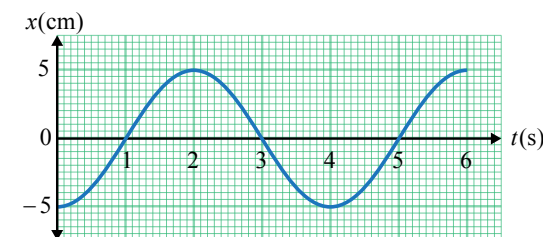
จาก $\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1$ จะได้ว่า $\phi = \frac{\pi}{2}$

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

ตอบ ก. เฟสเริ่มต้น $\phi = 0$ สมการการกระจัด $x = A \sin(\omega t)$

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

ตัวอย่าง 8.3 วัตถุชิ้นหนึ่งที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายบนพื้นราบแนวนระดับ กราฟระหว่าง การกระจัดกับเวลาเป็นดังรูป



รูป ประกอบตัวอย่าง 8.3

- ก. การกระจัดของวัตถุเป็นศูนย์ ที่เวลาใด
- ข. ที่เวลา $t = 2.5$ s การกระจัดของวัตถุมีค่าเท่าใด
- ค. ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ทั้งหมดเป็นเท่าใด
- ง. ความเร็วของวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ ที่เวลาใด

แนวคิด กราฟระหว่างการกระจัดกับเวลาของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เป็นกราฟที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการกระจัดของวัตถุที่เวลาต่าง ๆ นอกจากนี้ยังใช้หาคาบ ความถี่ ระยะทางรวมทั้งความเร็วจากความชันได้อีกด้วย

- วิธีทำ** ก. จากกราฟ การกระจัดมีค่าเป็น 0 ที่เวลา $t = 1$ s $t = 3$ s และ $t = 5$ s
- ข. จากกราฟ ที่ $t = 2.5$ s การกระจัด (x) มีค่า 3.5 cm ดังนั้นการกระจัดของวัตถุมีค่า 3.5 cm
- ค. ระยะทางระหว่างตำแหน่งสมดุลและตำแหน่งที่ขนาดการกระจัดสูงสุดเท่ากับ 5.0 cm ใช้เวลาเคลื่อนที่ 1 s ดังนั้นระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ทั้งหมดเท่ากับ 30.0 cm
- ง. ที่ $t = 0$, $t = 2$ s, $t = 4$ s และ $t = 6$ s ความชันของกราฟเป็น 0 ดังนั้น วัตถุมีความเร็วเป็นศูนย์ที่เวลา 0, 2 s, 4 s และ 6 s

- ตอบ** ก. การกระจัดของวัตถุเป็นศูนย์ ที่เวลา 1 วินาที 3 วินาที และ 5 วินาที
- ข. การกระจัดของวัตถุมีค่า 3.5 เซนติเมตร
- ค. ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ทั้งหมดเท่ากับ 30.0 เซนติเมตร
- ง. ความเร็วของวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ที่เวลา 0 วินาที 2 วินาที 4 วินาที และ 6 วินาที

ตัวอย่าง 8.4 อนุภาคหนึ่งมีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมีการกระจัดเป็น $x = (0.10 \text{ m}) \sin(\pi t)$

- ก. จากสมการในโจทย์ จงระบุ มุมเฟส เฟสเริ่มต้น ความถี่เชิงมุม และแอมพลิจูด
- ข. ที่เวลา $t = 1.0$ วินาที มุมเฟสและการกระจัดของอนุภาคมีค่าเท่าใด

แนวคิด สมการการกระจัดของอนุภาค $x = A \sin(\omega t + \phi)$ มี A เป็นแอมพลิจูด ω เป็นความถี่เชิงมุม $\omega t + \phi$ เป็นมุมเฟส และ ϕ เป็นเฟสเริ่มต้น เมื่อแทนค่าปริมาณต่าง ๆ ในสมการการกระจัด จะหาค่าของ x ซึ่งเป็นการกระจัดของอนุภาคได้

วิธีทำ ก. เปรียบเทียบสมการ $x = (0.10 \text{ m})\sin(\pi t)$ กับ $x = A\sin(\omega t + \phi)$ จะได้

มุมเฟส	πt
เฟสเริ่มต้น	0
ความถี่เชิงมุม	$\pi \text{ rad/s}$
แอมพลิจูด	0.10 m

ข. ที่เวลา $t = 1.0 \text{ s}$

$$\begin{aligned}\text{มุมเฟส} &= (\pi \text{ rad s}^{-1})(1.0 \text{ s}) \\ &= \pi \text{ rad}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{การกระจัดของอนุภาค} \quad x &= (0.10 \text{ m})\sin(\pi t) \\ &= (0.10 \text{ m})\sin(\pi) \\ &= 0\end{aligned}$$

ตอบ ก. πt เรเดียน, 0, π เรเดียนต่อวินาที และ 0.1 เมตร ตามลำดับ

ข. มุมเฟสและการกระจัดของอนุภาคมีค่า π เรเดียน และ 0 ตามลำดับ

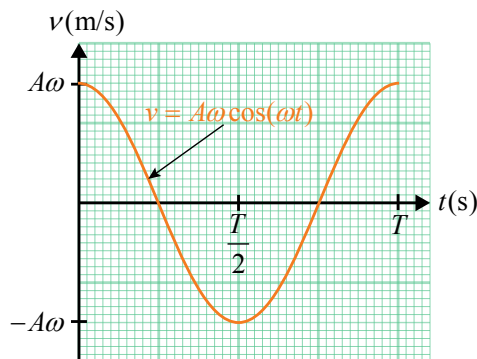
8.2.2 ความเร็วและความเร่งของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

ความเร็วของเงาหาได้จากองค์ประกอบความเร็วของวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็ว v_0 ได้ดังรูป 8.6 ขณะเวลาใด ๆ (t) ความเร็วของเงาเท่ากับความเร็วตามแนวระดับของมุมหาได้จาก

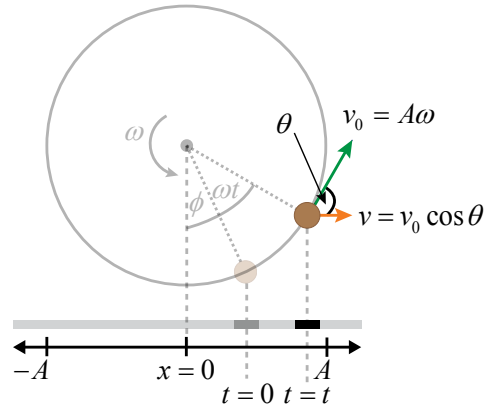
$$v = v_0 \cos \theta$$

จาก $\theta = \omega t + \phi$ และ $v_0 = A\omega$ จะได้

$$v = A\omega \cos(\omega t + \phi) \quad (8.3)$$



รูป 8.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา



รูป 8.6 เปรียบเทียบความเร็วของมุมกับความเร็วยของเงา

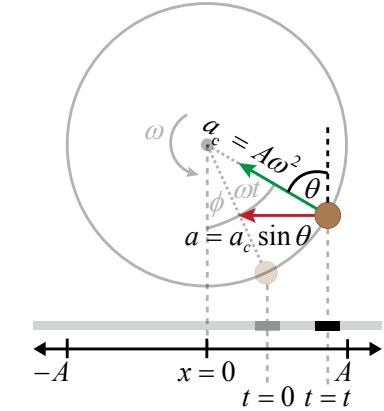
จากสมการ (8.3) ความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ของเงามีความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชันลักษณะแบบโคไซน์ เมื่อ $\phi = 0$ เขียนกราฟความสัมพันธ์ของความเร็วกับเวลาของเงาที่เคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบได้ ดังรูป 8.7

ความเร่งของเงาหาได้จากความเร่งในแนวระดับของมุม โดยที่ขนาดความเร่งของเงาเท่ากับขนาดความเร่งในแนวระดับของมุมแต่มีทิศตรงข้ามกับการกระจัด ดังรูป 8.8 ขณะเวลาใด ๆ (t) ความเร่งของเงาหาได้จาก

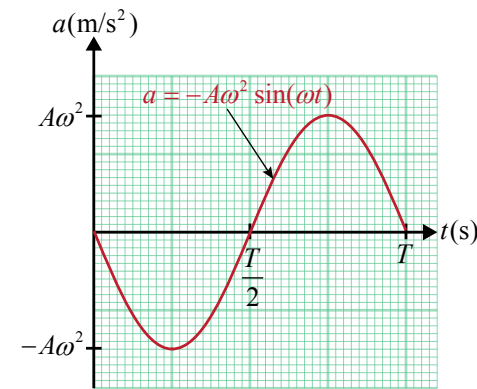
$$a = -a_c \sin \theta$$

จาก $\theta = \omega t + \phi$ และ $a_c = A\omega^2$ จะได้

$$a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi) \quad (8.4)$$



รูป 8.8 เปรียบเทียบความเร่งของมุมกับความเร่งของเงา



รูป 8.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา

จากสมการ (8.4) ความเร่งกับเวลาของการเคลื่อนที่ของเงามีความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชันลักษณะแบบไซน์ เมื่อ $\phi = 0$ เขียนกราฟความสัมพันธ์ของความเร่งกับเวลาของเงาที่เคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบได้ ดังรูป 8.9

สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับการกระจัดของเงาที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายได้โดยแทนค่าการกระจัดจากสมการ (8.2) ในสมการ (8.4) จะได้สมการความสัมพันธ์ของความเร่งกับการกระจัดตามสมการ

$$a = -\omega^2 x \quad (8.5)$$

เนื่องจากความถี่เชิงมุม ω คงตัว จากสมการ (8.5) จะได้ว่าขนาดของความเร่งแปรผันตรงกับขนาดของการกระจัด แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน สมการ (8.2) (8.3) และ (8.4) จะใช้อธิบายการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นฟังก์ชันกับเวลา

ตัวอย่าง 8.5 จากตัวอย่าง 8.4 อนุภาคมีการกระจัดเป็น $x = (0.10\text{ m})\sin(\pi t)$ สมการความเร็วของอนุภาคเป็นอย่างไร และที่เวลา $t = 1.0$ วินาที ความเร็วของอนุภาคมีค่าเท่าใด

แนวคิด วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีความเร็วตั้งสมการ $v = A\omega \cos(\omega t + \phi)$ เมื่อแทนค่าปริมาณต่าง ๆ ในสมการความเร็ว จะหาค่าของ v ซึ่งเป็นความเร็วของอนุภาคที่เวลาต่าง ๆ ได้

วิธีทำ อนุภาคมีแอมพลิจูด $A = 0.10\text{ m}$ ความถี่เชิงมุม $\omega = \pi\text{ s}^{-1}$ และเฟสเริ่มต้น $\phi = 0$ แทนปริมาณเหล่านี้ใน $v = A\omega \cos(\omega t + \phi)$ จะได้

$$\begin{aligned} v &= (0.10\text{ m})(\pi\text{ s}^{-1})\cos(\pi t) \\ &= (0.10\pi)\cos(\pi t)\text{ m s}^{-1} \\ \text{ที่เวลา } t &= 1.0\text{ s} \text{ จะได้} \\ v &= (0.10\pi\text{ m s}^{-1})\cos((\pi\text{ s}^{-1})(1.0\text{ s})) \\ &= (0.10\pi\text{ m s}^{-1})\cos(\pi) \\ &= (0.10\pi\text{ m s}^{-1})(-1) \\ &= -0.10\pi\text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

ตอบ สมการความเร็ว $v = (0.10\pi)\cos(\pi t)$ เมตรต่อวินาที และความเร็วที่เวลา $t = 1.0$ วินาที เท่ากับ -0.1π เมตรต่อวินาที

ตัวอย่าง 8.6 จากตัวอย่าง 8.4 สมการความเร่งของอนุภาค เป็นอย่างไร และที่เวลา $t = 1.0$ วินาที ความเร่งของอนุภาคมีค่าเท่าใด

แนวคิด วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีความเร่งตั้งสมการ $a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi)$ เมื่อแทนค่าปริมาณต่าง ๆ ในสมการความเร่ง จะหาค่าของ a ซึ่งเป็นความเร่งของอนุภาคที่เวลาต่าง ๆ ได้

วิธีทำ อนุภาคมีแอมพลิจูด $A = 0.10\text{ m}$ ความถี่เชิงมุม $\omega = \pi\text{ s}^{-1}$ และเฟสเริ่มต้น $\phi = 0$ แทนปริมาณเหล่านี้ใน $a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi)$ จะได้

$$\begin{aligned} a &= -(0.10\text{ m})(\pi\text{ s}^{-1})^2 \sin(\pi t) \\ &= -(0.10\pi^2)\sin(\pi t)\text{ m s}^{-2} \\ \text{ที่เวลา } t &= 1.0\text{ s} \text{ จะได้} \\ a &= -(0.10\pi^2\text{ m s}^{-2})\sin((\pi\text{ s}^{-1})(1.0\text{ s})) \\ &= -(0.10\pi^2\text{ m s}^{-2})\sin(\pi) \\ &= -(0.10\pi^2\text{ m s}^{-2})(0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

ตอบ สมการความเร่ง $a = -(0.10\pi^2)\sin(\pi t)$ เมตรต่อวินาที² และที่เวลา $t = 1.0$ วินาที ความเร่งของอนุภาคมีค่าเท่ากับศูนย์

ตัวอย่าง 8.7 วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีความถี่ 2 รอบต่อวินาที ณ ตำแหน่งที่มีการกระจัด 7 เซนติเมตร วัตถุจะมีความเร่งเท่าใด

แนวคิด ความเร่งของวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ณ ตำแหน่งใด ๆ หาได้จากสมการ $a = -\omega^2 x$

วิธีทำ หาความเร่งของวัตถุได้จาก

$$\begin{aligned} a &= -\omega^2 x \\ &= -(2\pi f)^2 x \\ &= -(4)(3.1416)^2 (4\text{ s}^{-2})(7 \times 10^{-2}\text{ m}) \\ &= -11\text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ตอบ วัตถุมีความเร่งเท่ากับ 11 เมตรต่อวินาที²

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าความเร่งมีความสัมพันธ์กับการกระจัด ทำนองเดียวกันสามารถพิจารณาความเร็วสัมพันธ์กับการกระจัดได้ดังนี้ ความสัมพันธ์ของความเร็วเงากับการกระจัดของเงาที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายหาได้จากการนำค่า $\sin(\omega t + \phi) = \frac{x}{A}$ จากสมการ (8.2) และ $\cos(\omega t + \phi) = \frac{v}{\omega A}$ จากสมการ (8.3) มายกกำลังสองแล้วบวกกัน จะได้

$$\begin{aligned} \sin^2(\omega t + \phi) + \cos^2(\omega t + \phi) &= \frac{x^2}{A^2} + \frac{v^2}{A^2\omega^2} \\ 1 &= \frac{x^2}{A^2} + \frac{v^2}{A^2\omega^2} \\ v &= \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2} \end{aligned} \quad (8.6)$$

สำหรับเครื่องหมาย $\pm$ ในสมการ (8.6) แสดงถึงทิศความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่ในหนึ่งมิติ เช่น ที่เวลาเริ่มต้น $t = 0$ วัตถุอยู่ที่ $x = 0$ ความเร็วมีค่าเป็นบวก แสดงว่าวัตถุติดปลายสปริงเคลื่อนที่จากตำแหน่งสมดุลไปทางขวา ในทางกลับกันความเร็วมีค่าเป็นลบแสดงว่าวัตถุเคลื่อนที่ไปทางซ้าย

จากสมการ (8.3) ขนาดความเร็วมีค่าสูงสุดเมื่อ $|\cos(\omega t + \phi)|$ เท่ากับหนึ่ง ดังนั้นจะเรียกว่าขนาดความเร็วสูงสุดหรือ $v_{\max} = A\omega$ พิจารณาลายกับสมการ (8.4) ที่แสดงขนาดความเร่งจะมีค่าสูงสุดเมื่อ $|\sin(\omega t + \phi)|$ เท่ากับ 1 แทนค่าขนาดความเร่งสูงสุดเป็น $a_{\max} = A\omega^2$ ดังนั้นสมการ (8.3) และ (8.4) เขียนได้เป็น

$$v = v_{\max} \cos(\omega t + \phi) \quad (8.7)$$

$$a = -a_{\max} \sin(\omega t + \phi) \quad (8.8)$$

ตัวอย่าง 8.8 วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายรอบตำแหน่งสมดุล โดยมีความถี่เชิงมุม 0.4 เรเดียนต่อวินาที และขนาดการกระจัดสูงสุด 10 เซนติเมตร ขณะที่วัตถุอยู่ห่างจากตำแหน่งสมดุลเป็นระยะทาง 8 เซนติเมตร วัตถุมีอัตราเร็วเท่าใด

แนวคิด อัตราเร็วของวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ณ ตำแหน่งใด ๆ หาได้จากสมการ

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

วิธีทำ จากโจทย์ $\omega = 0.4 \text{ s}^{-1}$, $A = 10 \text{ cm}$ และ $x = 8 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad v &= (0.4 \text{ s}^{-1}) \sqrt{(10 \text{ cm})^2 - (8 \text{ cm})^2} \\ &= 2.4 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

ตอบ วัตถุมีอัตราเร็วเท่ากับ 2.4 เซนติเมตรต่อวินาที



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.2

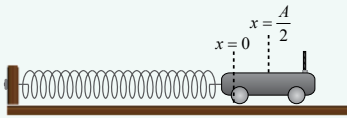
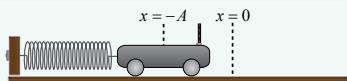
1. กราฟระหว่างการกระจัดกับเวลาของวัตถุชิ้นหนึ่งที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ให้ข้อมูลอะไรบ้าง
2. จากกราฟในตัวอย่าง 8.3 จงบรรยายการเคลื่อนที่ของวัตถุ
3. ขณะที่วัตถุสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ปริมาณใดที่มีทิศทางตรงข้ามกันเสมอ
4. วัตถุที่สั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายโดยมีแอมพลิจูดเท่ากับ A วัตถุจะเคลื่อนที่ได้ระยะทางเท่าใดในเวลา 1 คาบ
5. จงอธิบายปริมาณต่าง ๆ ในสมการการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย $x = A \sin(\omega t + \phi)$
6. มุมเฟสและเฟสเริ่มต้น ต่างกันอย่างไร และมีความสำคัญอย่างไร



แบบฝึกหัด 8.2

1. วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีแอมพลิจูด 30 เซนติเมตร มีคาบการเคลื่อนที่ 4 วินาที อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่มีค่าเท่าใด
2. วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายด้วยความถี่ 30 รอบต่อวินาที มีขนาดการกระจัดสูงสุด 20 เซนติเมตร ขนาดความเร่งสูงสุดของวัตถุนี้มีค่าเท่าใด

3. จงเขียนสมการการกระจัดที่ขึ้นกับเวลาของวัตถุติดปลายสปริงที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีตำแหน่งเริ่มต้นต่างกันในตาราง กำหนดให้ ความถี่เชิงมุมเท่ากับ ω แอมพลิจูดเท่ากับ A

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

4. วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ด้วยความถี่ 5 รอบต่อวินาที
 - ก. เมื่อเวลาผ่านไป 2 วินาที วัตถุอยู่ในมุมเฟสต่างจากเดิมเท่าใด
 - ข. เมื่อวัตถุอยู่ในมุมเฟสต่างจากเดิม $\frac{21\pi}{2}$ เรเดียน วัตถุเคลื่อนที่ได้กี่รอบ
 - ค. วัตถุใช้เวลาเท่าใด จึงจะอยู่ในมุมเฟสต่างไปจากเดิม 4π เรเดียน
5. วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายรอบจุดสมดุล O โดยม้อัตราเร็วสูงสุด 5.0 เซนติเมตรต่อวินาที และมีคาบการสั่นเท่ากับ 4π วินาที ขณะที่วัตถุมีอัตราเร็ว 3.0 เซนติเมตรต่อวินาที วัตถุอยู่ห่างจากจุดสมดุล O เป็นระยะกี่เซนติเมตร

8.3 แรงกับการสั่นของมวลติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย

เราทราบแล้วว่า การสั่น หรือการแกว่งกวัด เป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาผ่านตำแหน่งสมดุล ในหัวข้อนี้จะได้ศึกษาการสั่นแบบที่ง่ายที่สุดที่เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ได้แก่ การสั่นของวัตถุติดปลายสปริง และการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งสมดุลจะมีแรงดึงวัตถุกลับมายังตำแหน่งสมดุล ซึ่งเป็นแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่กลับไปมาซ้ำทางเดิมเรียกแรงนี้ว่า **แรงดึงกลับ (restoring force)** สัมพันธ์กับปริมาณอื่น ๆ ของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายอย่างไร จะได้ศึกษาในหัวข้อนี้

8.3.1 การสั่นของมวลติดปลายสปริง

การสั่นของมวลติดปลายสปริงเป็นตัวอย่างหนึ่งของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ในหัวข้อนี้จะพิจารณาแรงที่กระทำต่อวัตถุติดปลายสปริง และศึกษาปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จากกิจกรรม 8.1



กิจกรรม 8.1 การทดลองการเคลื่อนที่ของรถทดลองติดปลายสปริง

จุดประสงค์

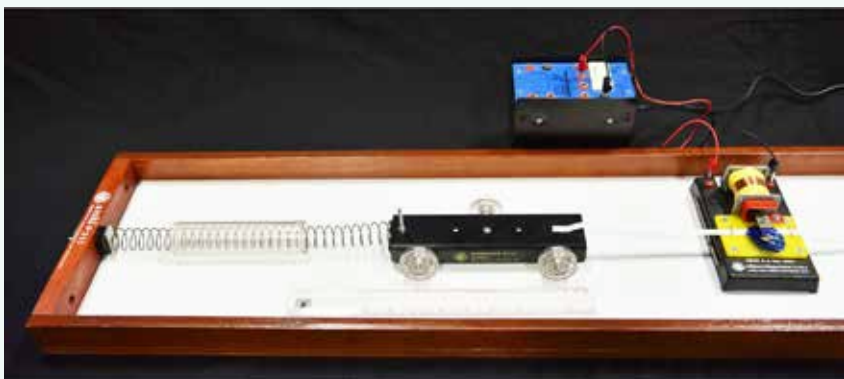
1. หาการกระจัดและความเร็วของรถทดลอง ซึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายในช่วงเวลาครึ่งคาบ
2. เขียนกราฟระหว่างการกระจัดกับเวลา และกราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ของรถทดลอง
3. อธิบายการกระจัดและความเร็วที่เวลาเดียวกันโดยพิจารณาจากกราฟในข้อ 2

วัสดุและอุปกรณ์

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

วิธีทำกิจกรรม

1. จัดอุปกรณ์ ดังรูป โดยตรึงปลายหนึ่งของลวดสปริงกับขอบรางไม้ อีกปลายหนึ่งของลวดสปริงยึดติดกับรถทดลอง แล้วยึดท่อให้ติดอยู่กับรางไม้ ติดแลปกระดาศกับรถทดลองแล้วสอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา



รูป การจัดอุปกรณ์การทดลอง

2. กดคันเคาะให้เกิดจุดบนแถบกระดาษแล้วทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งสมดุลตรงจุดดังกล่าวบนแถบกระดาษ ดังรูป



รูป ตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งสมดุลบนแถบกระดาษ

3. ใช้ดินสอขีดเส้นบนรางไม้เพื่อกำหนดตำแหน่งสมดุลของรถทดลองและตำแหน่งที่ตั้งรถทดลองออกห่างจากตำแหน่งสมดุล 6 เซนติเมตร ดังรูป



รูป ตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งและตำแหน่งที่สปริงยืดออก 6 เซนติเมตร

4. ดึงรถทดลองออกห่างจากตำแหน่งสมดุล 6 เซนติเมตร ดังรูป จากนั้นกดสวิทช์ที่หม้อแปลงให้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาทำงาน แล้วปล่อยมือให้รถทดลองเคลื่อนที่จนกระทั่งรถทดลองหยุดเคลื่อนที่และเริ่มเคลื่อนที่สวนกลับทางเดิม จึงปิดสวิทช์



รูป การดึงรถทดลองออกจากตำแหน่งสมดุล

5. นำแถบกระดาษมาหาการกระจัดจากสมดุลของรถทดลอง และคำนวณหาความเร็วที่เวลาต่าง ๆ ตลอดการเคลื่อนที่ กำหนดให้ปริมาณที่มีทิศไปทางขวามีเครื่องหมายบวก และปริมาณที่มีทิศไปทางซ้ายมีเครื่องหมายลบ บันทึกผลในตาราง

6. เขียนกราฟระหว่างการกระจัดกับเวลา โดยให้เวลา (t) อยู่ในแกนนอนและการกระจัด (x) อยู่ในแกนตั้ง
7. เขียนกราฟระหว่างความเร็วกับเวลา โดยให้เวลา (t) อยู่ในแกนนอนและความเร็ว (v) อยู่ในแกนตั้ง



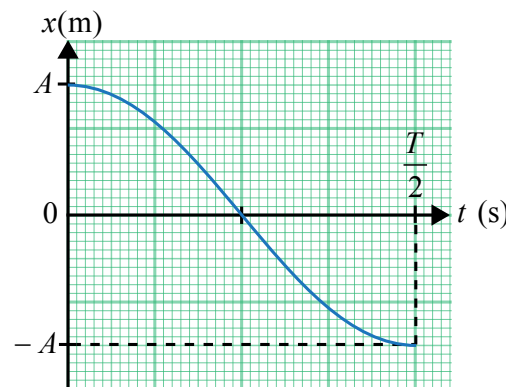
คำถามท้ายกิจกรรม

- กราฟการกระจัดกับเวลา และความเร็วกับเวลา มีลักษณะอย่างไร
- จากกราฟการกระจัดกับเวลา รถทดลองมีการกระจัดมากที่สุดและการกระจัดเป็นศูนย์ (สมดุล) ณ เวลาใด
- พิจารณากราฟการกระจัดกับเวลา เปรียบเทียบกับกราฟความเร็วกับเวลา
 1. ขณะการกระจัดเป็นศูนย์ ความเร็วของรถทดลองเป็นอย่างไร
 2. ขณะการกระจัดมากที่สุด ความเร็วของรถทดลองเป็นอย่างไร
- จากกราฟการกระจัดกับเวลาและกราฟความเร็วกับเวลาของรถทดลอง รถทดลองเคลื่อนที่ได้กี่รอบและใช้เวลาเท่าใด
- จากกราฟความเร็วกับเวลา ความชันของกราฟแทนปริมาณใด
- จากกราฟความเร็วกับเวลา ก่อนผ่านและหลังผ่านตำแหน่งสมดุล ความเร่งรถทดลองมีขนาดเปลี่ยนแปลงอย่างไรและมีทิศทางเทียบกับการกระจัดอย่างไร

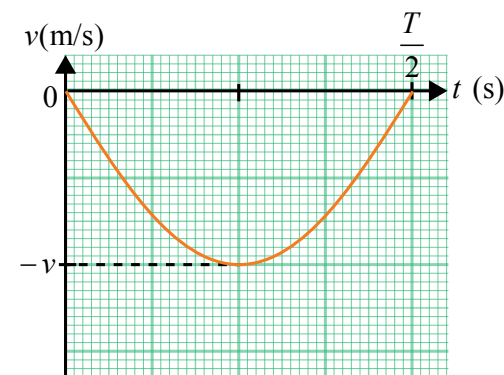


รูป 8.10 ตัวอย่างแถบกระดาษของรถทดลองติดปลายสปริง

จากกิจกรรม 8.1 พิจารณาแถบกระดาษในรูป 8.10 ระยะห่างของจุดบนแถบกระดาษ จากตำแหน่งเริ่มต้นจุดมีระยะห่างเพิ่มขึ้น จนกระทั่งมีระยะห่างมากที่สุดที่ตำแหน่งสมดุล จากนั้นระยะห่างระหว่างจุดลดลงน้อยที่สุดเมื่อรถทดลองเคลื่อนที่ครบครึ่งรอบ เขียนกราฟการกระจัดกับเวลาและกราฟความเร็วกับเวลาของรถทดลองได้ดังรูป 8.11



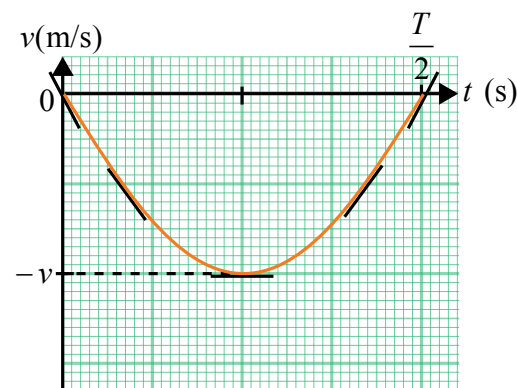
รูป 8.11 ก. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา



รูป 8.11 ข. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา

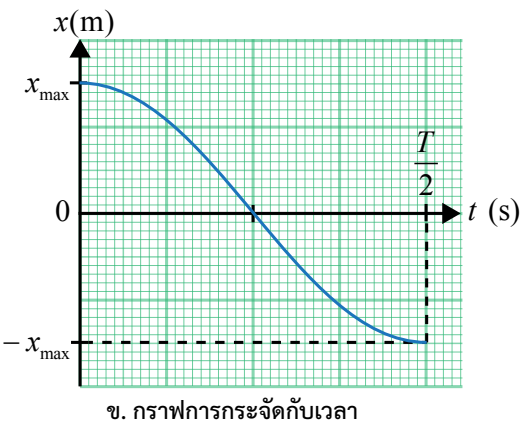
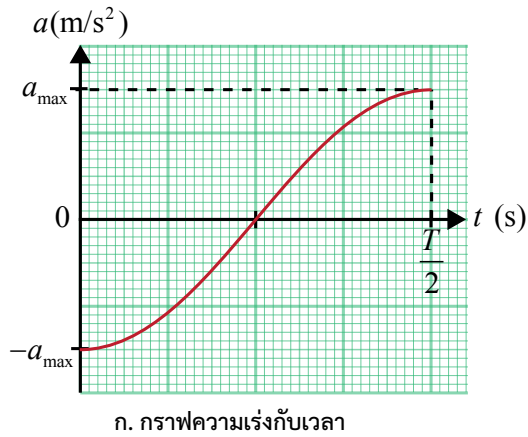
พิจารณากราฟการกระจัดกับเวลาและกราฟความเร็วกับเวลา ที่เวลา $t = 0$ รถทดลองอยู่หนึ่งที่ตำแหน่งการกระจัดมากที่สุด หลังปล่อยมือรถทดลองเริ่มเคลื่อนที่ โดยมีความเร็วเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งสมดุล จากนั้นเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสมดุลโดยมีความเร็วลดลงจนเป็นศูนย์ที่ตำแหน่งการกระจัดมากที่สุดด้านตรงกันข้ามกับตำแหน่งเริ่มต้น

จากการวิเคราะห์ความเร็วที่เวลาต่าง ๆ พบว่าความเร็วของรถทดลองไม่คงตัวหรือรถทดลองเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง สามารถหาความเร่งที่เวลาต่าง ๆ ได้โดยการลากเส้นสัมผัสกราฟความเร็วกับเวลาที่ขณะต่าง ๆ ดังรูป 8.12



รูป 8.12 เส้นสัมผัสกราฟความเร็วกับเวลาที่เวลาต่าง ๆ

พิจารณาความชันของเส้นสัมผัสกราฟ จะพบว่าความชันมีค่าเป็นลบมากที่สุดที่ตำแหน่งเริ่มต้น และเป็นลบน้อยลงจนมีค่าเป็นศูนย์ที่ตำแหน่งสมดุล จากนั้นมีค่าเป็นบวกโดยมีค่าเพิ่มขึ้นจนมากที่สุดที่ตำแหน่งสุดท้าย สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ความเร่งและเวลาได้ ดังรูป 8.13 ก.



รูป 8.13 เปรียบเทียบการกระจัดกับความเร่งที่เวลาต่าง ๆ

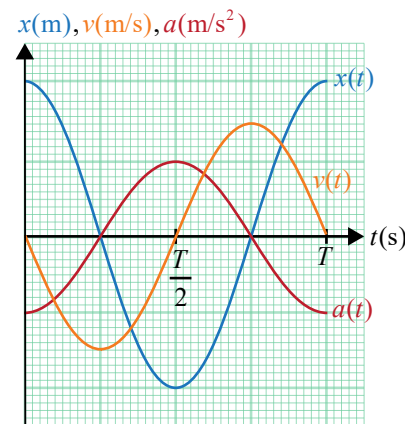
กิจกรรม 8.1 รถทดลองเคลื่อนที่ได้ครบรอบ หากเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ วัตถุจะเคลื่อนที่ย้อนกลับซ้ำรอยเดิมอีกครั้งรอบ โดยมีความสัมพันธ์ของการกระจัด ความเร็ว และความเร่งทำนองเดียวกันกับครั้งแรก ซึ่งสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์การกระจัด ความเร็ว ความเร่งกับเวลาของการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบได้ ดังรูป 8.14

จากกราฟจะเห็นว่าตลอดการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ ความเร่งมีทิศตรงข้ามกับการกระจัดเสมอ

ถ้าเปรียบเทียบกราฟความเร่งกับกราฟการกระจัดที่เวลาต่างๆ ของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของรถทดลองติดปลายสปริงที่เคลื่อนที่ครบรอบ ดังรูป 8.13 ก. และ ข. จะพบว่าความเร่งมีขนาดมากที่สุดที่ตำแหน่งเริ่มต้นซึ่งมีการกระจัดมากที่สุด และมีขนาดลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ที่ตำแหน่งสมดุล จากนั้นมีขนาดเพิ่มขึ้นจนมากที่สุดที่ตำแหน่งสุดท้าย ซึ่งมีการกระจัดมากที่สุดอีกด้านหนึ่ง และเป็นการเคลื่อนที่ครบครึ่งรอบพอดี

ชวนคิด

จากกิจกรรม 8.1 ในช่วงเวลา 1 คาบ กราฟการกระจัดกับเวลา กราฟความเร็วกับเวลา และกราฟความเร่งกับเวลามีลักษณะอย่างไร



รูป 8.14 กราฟการกระจัด ความเร็ว ความเร่ง กับเวลา

ข้อสังเกต

จากกิจกรรม 8.1 กราฟการกระจัด พิจารณาได้ในรูปฟังก์ชันตรีโกณมิติเป็น

$$x = A \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \text{ หรือ } x = A \cos \omega t$$

ซึ่ง $x = A \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$ มีเฟสเริ่มต้น $\phi = \frac{\pi}{2}$

ส่วน $x = A \cos \omega t$ มีเฟสเริ่มต้น $\phi = 0$

จะเห็นว่าสมการทั้งสองแบบสามารถใช้อธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย โดยสามารถเขียนในรูปทั่วไปได้ดังนี้ $x = A \sin(\omega t + \phi)$ หรือ $x = A \cos(\omega t + \phi)$

ในกิจกรรม 8.1 แรงดึงกลับที่ดึงรถทดลองให้เคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่งสมดุล คือ แรงที่สปริงกระทำต่อรถทดลอง และจากที่ทราบมาแล้วว่าแรงสปริงกระทำต่อวัตถุมีขนาดเท่ากับค่าคงตัวสปริงคูณกับขนาดของการกระจัด แต่มีทิศตรงข้ามกับทิศของการกระจัดตามสมการ

$$F_{\text{spring}} = -kx \quad (8.9)$$

เมื่อ F_{spring} เป็นแรงดึงกลับของสปริง มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)
 x เป็นการกระจัดของวัตถุ มีหน่วย เมตร (m)
 k เป็นค่าคงตัวของสปริง มีหน่วย นิวตันต่อเมตร (N/m)

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน $\sum_{i=1}^N \vec{F}_i = m\vec{a}$ ระบบการเคลื่อนที่ของวัตถุติดปลายสปริงมีแรงที่กระทำต่อวัตถุเพียง 1 แรง คือแรงดึงกลับ จะได้ว่า

$$\vec{F}_{\text{spring}} = m\vec{a} \quad (8.10)$$

จากสมการ (8.9) และ (8.10) พิจารณาการเคลื่อนที่ตามแนวแกน x จะได้

$$-kx = ma$$

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับการกระจัด ตามสมการ

$$a = -\frac{k}{m}x \quad (8.11)$$

นอกจากนี้สามารถหาความสัมพันธ์ของค่าคงตัวสปริง มวลของวัตถุ ความถี่เชิงมุมของระบบที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายได้โดยเปรียบเทียบกับสมการ (8.11) กับ (8.5) จะได้

$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (8.12)$$

หรือ

จากความสัมพันธ์ของความถี่เชิงมุมกับคาบ $\omega = \frac{2\pi}{T}$ และความถี่เชิงมุมกับความถี่ $\omega = 2\pi f$ เขียนสมการ (8.12) ที่ เป็นความสัมพันธ์ของค่าคงตัวสปริง มวลวัตถุ กับความถี่และคาบ ดังสมการ

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (8.13)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (8.14)$$

ตัวอย่าง 8.9 วัตถุมวล 0.5 กิโลกรัม ติดอยู่กับปลายสปริงที่มีค่าคงตัวสปริง 5.0 นิวตันต่อเมตร อยู่บนพื้นลื่น ดังรูป



รูป ประกอบตัวอย่าง 8.9

เมื่อดึงวัตถุออกจากตำแหน่งสมดุล แล้วปล่อยให้เคลื่อนที่กลับไปกลับมาแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย คาบการเคลื่อนที่เป็นเท่าใด

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

วิธีทำ $m = 0.5 \text{ kg}$ $k = 5.0 \text{ N/m}$

$$T = 2(3.1416) \sqrt{\frac{0.5 \text{ kg}}{5.0 \text{ N/m}}}$$

จะได้

$$T = 1.99 \text{ s}$$

ตอบ คาบการเคลื่อนที่เท่ากับ 1.99 วินาที

ตัวอย่าง 8.10 วัตถุมวล 200 กรัม ติดที่ปลายสปริงซึ่งมีค่าคงตัวสปริง 5 นิวตันต่อเมตร ถ้าวัตถุนี้เคลื่อนที่แบบการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายที่ตำแหน่ง $x = 0.05 \text{ m}$ จากตำแหน่งสมดุล วัตถุมีความเร็วเป็นศูนย์ จงหา

ก. ความถี่เชิงมุม

ข. ความเร่งที่ตำแหน่ง $x = 0.02 \text{ m}$

ค. ขนาดความเร่งสูงสุด

แนวคิด ความถี่เชิงมุมของมวลติดสปริง หาได้จาก $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

ความเร่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ หาได้จาก $a = -\omega^2 x$

ความเร่งสูงสุด หาได้จาก $a_{\max} = -\omega^2 A$

วิธีทำ ก. ความถี่เชิงมุม $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

$$= \sqrt{\frac{5 \text{ N/m}}{0.2 \text{ kg}}}$$

$$= 5 \text{ rad/s}$$

ตอบ ความถี่เชิงมุมเท่ากับ 5 เรเดียนต่อวินาที

ข. จากสมการความสัมพันธ์ของความเร่งกับความถี่เชิงมุมและการกระจัด

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

$$= -(5 \text{ rad/s})^2 (0.02 \text{ m})$$

$$= -0.5 \text{ m/s}^2$$

ตอบ ความเร่งที่ตำแหน่ง $x = 0.02 \text{ m}$ เท่ากับ -0.5 เมตรต่อวินาที²

ค. จากสมการความสัมพันธ์ของความเร่งกับความถี่เชิงมุมและการกระจัด

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

$$= -(5.0 \text{ rad/s})^2 (0.05 \text{ m})$$

$$= -1.25 \text{ m/s}^2$$

ตอบ ขนาดความเร่งสูงสุดเท่ากับ 1.25 เมตรต่อวินาที² มีทิศตรงข้ามกับการกระจัดขณะนั้น

ตัวอย่าง 8.11 วัตถุมวล 200 กรัม ติดที่ปลายสปริงซึ่งมีค่าคงตัวสปริง 5.0 นิวตันต่อเมตร ถ้าดึงวัตถุและปล่อยจากหยุดหนึ่งที่ตำแหน่ง $x = 0.05$ m จงหา

ก. ความเร็วของวัตถุที่ตำแหน่ง $x = 0.03$ m

ข. ขนาดความเร็วที่มีค่าสูงสุด

แนวคิด ความเร็วของวัตถุที่ตำแหน่งต่าง ๆ หาได้จาก $v = \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2}$

โดยความถี่เชิงมุมของมวลติดปลายสปริง (ω) หาได้จาก $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

วิธีทำ ก. หาความถี่เชิงมุม

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{5 \text{ N/m}}{0.2 \text{ kg}}}$$

$$= 5 \text{ rad/s}$$

จากสมการ

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

$$= \pm(5.0 \text{ rad/s})\sqrt{(0.05 \text{ m})^2 - (0.03 \text{ m})^2}$$

$$= \pm 0.2 \text{ m/s}$$

ตอบ ความเร็วของวัตถุที่ตำแหน่ง $x = 0.03$ m เท่ากับ ± 0.2 เมตรต่อวินาที

ข. ความเร็วของวัตถุที่มีค่าสูงสุดที่ $x = 0$ m หรือตำแหน่งสมดุล

จากสมการ

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

$$= \pm(5.0 \text{ rad/s})\sqrt{(0.05 \text{ m})^2 - (0 \text{ m})^2}$$

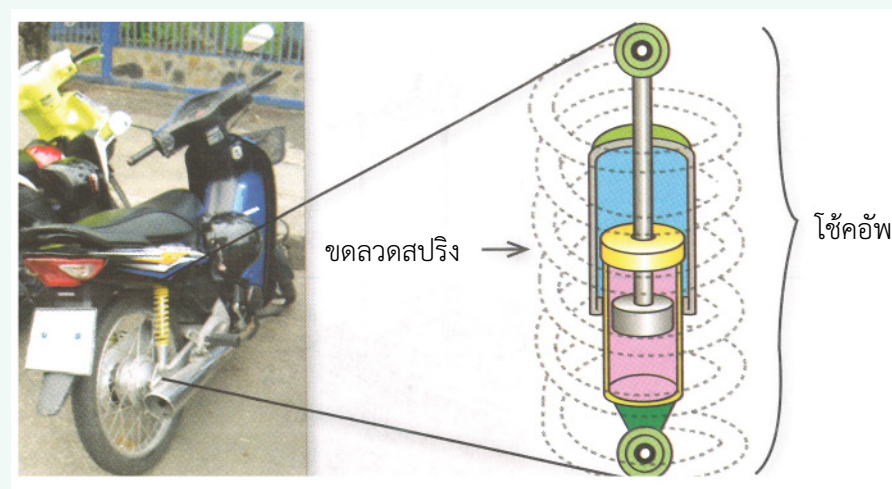
$$= \pm 0.25 \text{ m/s}$$

ตอบ ความเร็วของวัตถุที่ตำแหน่ง $x = 0$ m เท่ากับ ± 0.25 เมตรต่อวินาที

รู้หรือไม่

ระบบกันสะเทือนในยานพาหนะ

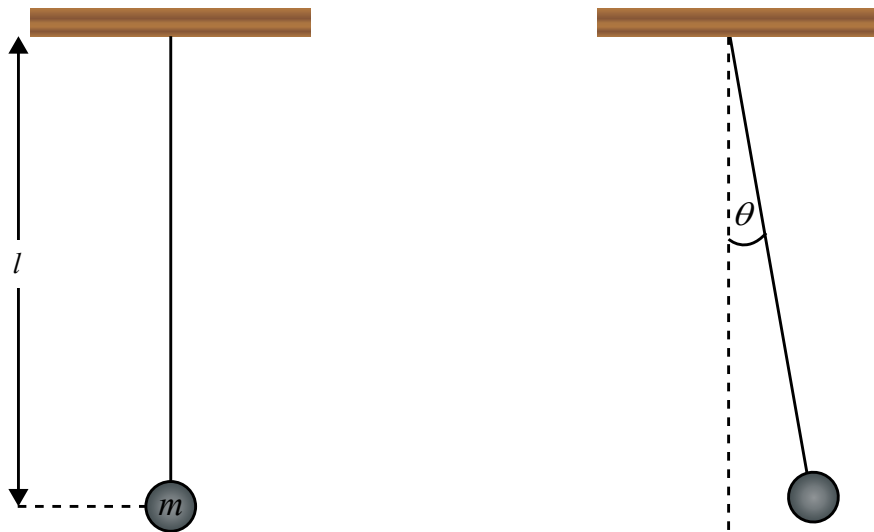
ระบบกันสะเทือนในยานพาหนะ เช่น รถยนต์ หน้าที่หลักคือลดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของล้อไปบนพื้นผิวถนนขรุขระ โดยมีชดลวดสปริงเป็นตัวรับน้ำหนักและแรงกระแทกที่เกิดขึ้น ชดลวดสปริงอยู่ระหว่างตัวรถกับล้อ เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่ชดลวดสปริงจะยุบและยืดตัวขึ้นลงคล้ายกับการสั่นของมวลติดปลายสปริง ส่งผลให้ล้อเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่ง ทำให้ลดการสั่นของรถลงได้ โดยผลจากการเคลื่อนที่ของล้อถูกส่งถ่ายไปยังตัวรถน้อยกว่าที่ล้อสัมผัสจริง ทำให้ผู้โดยสารและสัมภาระได้รับแรงสะเทือนน้อยลง อย่างไรก็ตาม รถยังอาจสั่นขึ้นลงตามสมบัติของสปริง จึงมีอุปกรณ์ที่ช่างไทยเรียกว่า โช้คอัพ (shock absorber) เพื่อหน่วงไม่ให้ชดลวดสปริงและล้อมีการสั่นต่อเนื่องนานเกินไป ทำให้รถยนต์วิ่งได้นุ่มนวลขึ้น



รูป ระบบกันสะเทือนในยานพาหนะ

8.3.2 การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

ลูกตุ้มอย่างง่ายใช้ในการบอกเวลาอย่างยาวนาน ประกอบไปด้วยลูกตุ้มมวล m ที่มีขนาดเล็กเสมือนเป็นจุดมวล (point mass) เชือกที่ปลายเชือกเบาที่มีความยาว l ดังรูป 8.15 ก. เมื่อดึงลูกตุ้มให้ทำมุม θ กับแนวตั้ง โดย θ น้อยกว่า 10 องศา ดังรูป 8.15 ข.



ก. ลูกตุ้มอย่างง่ายที่ตำแหน่งสมดุล

ข. ลูกตุ้มทำมุม θ กับแนวตั้ง

รูป 8.15 ลูกตุ้มอย่างง่ายที่แขวนในแนวตั้ง

หลังปล่อยมือลูกตุ้มจะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสมดุลไปอีกด้านหนึ่งและเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่งเริ่มต้น และหากเปลี่ยนความยาวเชือกจะมีผลต่อการเคลื่อนที่อย่างไร จะได้ศึกษาผ่านกิจกรรม 8.2



กิจกรรม 8.2 การทดลองเรื่องลูกตุ้มอย่างง่าย

จุดประสงค์

1. หาคาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย
2. หาความสัมพันธ์ระหว่างคาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย (T) กับรากที่สองของความยาวเชือก ($\sqrt{l}$)

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|--------------------|---------|
| 1. ลูกกลมโลหะ | 1 ลูก |
| 2. เชือกเบา (ด้าย) | 1 เมตร |
| 3. ไม้เมตร | 1 อัน |
| 4. นาฬิกาจับเวลา | 1 เรือน |
| 5. ขาตั้ง | 1 ชุด |

วิธีทำกิจกรรม

1. จัดอุปกรณ์ โดยใช้เชือกผูกกับลูกกลมโลหะ ดังรูป ก. และปลายเชือกอีกด้านหนึ่งผูกติดกับแขนของขาตั้งดังรูป ข. และแขวนลูกกลมโลหะอยู่ในแนวตั้ง ดังรูป ค.



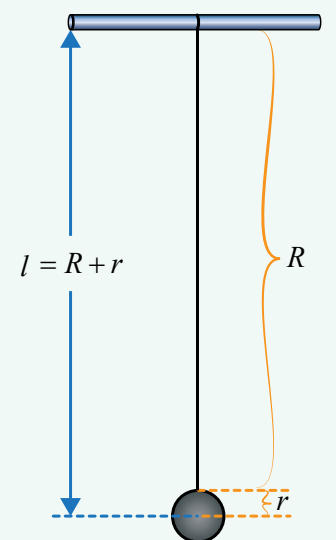
ก.

ข.

ค.

รูป การจัดอุปกรณ์การทดลอง

2. วัดความยาวเชือก (l) โดยวัดจากตำแหน่งที่ตรึงเชือกถึงจุดศูนย์กลางมวลของลูกกลมโลหะ ดังรูป และบันทึกผลในตาราง



รูป ตัวอย่างการวัดความยาวเชือก (l)

3. ดึงหรือใช้ไม้บรรทัดทำให้ลูกกลมโลหะทำมุม θ กับแนวดิ่ง โดย θ น้อยกว่า 10 องศา ดังรูป



รูป ลูกกลมโลหะทำมุมกับแนวดิ่ง

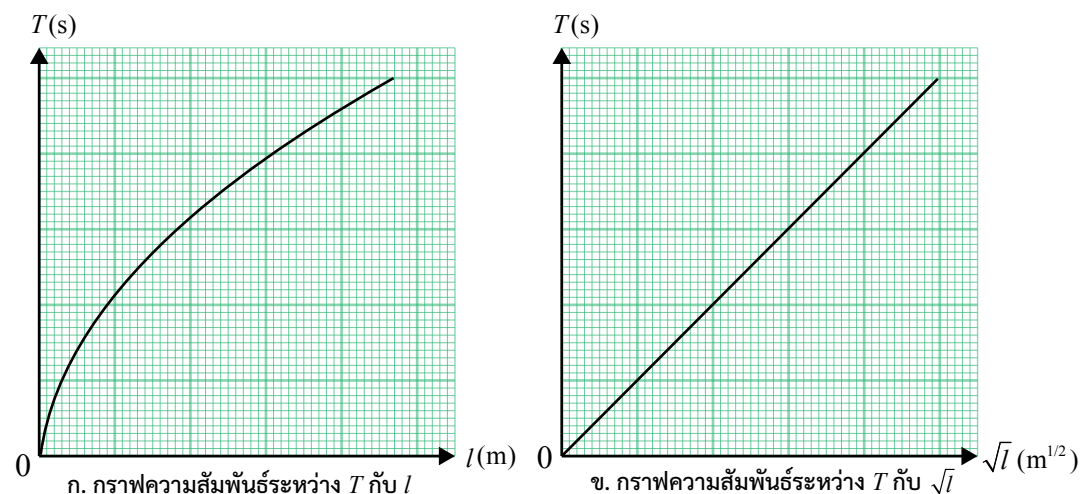
ปล่อยให้ลูกกลมโลหะแกว่งพร้อมกับจับเวลาที่ใช้ในการแกว่ง 30 รอบ บันทึกเวลา จากนั้นทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

4. คำนวณเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการแกว่ง 30 รอบ ($t_{30 \text{ รอบ}}$) คาบ (T) และบันทึกผลในตารางบันทึกผล
5. ทำซ้ำตามข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนความยาวของเชือกอีก 4 ค่า
6. เขียนกราฟระหว่าง T กับ l โดยให้ T อยู่บนแกนตั้ง l อยู่บนแกนนอน
7. เขียนกราฟระหว่าง T กับ $\sqrt{l}$ โดยให้ T อยู่บนแกนตั้ง $\sqrt{l}$ อยู่บนแกนนอน



คำถามท้ายกิจกรรม

- จากกราฟ T กับ l มีลักษณะอย่างไร เขียนความสัมพันธ์ของสองปริมาณนี้ได้อย่างไร
- จากกราฟ T กับ $\sqrt{l}$ มีลักษณะอย่างไร และปริมาณทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นหรือไม่



รูป 8.16 กราฟ T กับ l และกราฟ T กับ $\sqrt{l}$

จากกิจกรรม 8.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ l มีลักษณะไม่เชิงเส้น (เป็นเส้นโค้ง) ดังรูป 8.16 ก. และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ $\sqrt{l}$ มีลักษณะเป็นเชิงเส้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ $\sqrt{l}$ เป็นกราฟเส้นตรง ดังรูป 8.16 ข. จะเห็นว่าเมื่อความยาวเชือกเพิ่มขึ้น คาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายมีค่าเพิ่มขึ้น ตามสมการ

$$T = k\sqrt{l} \quad (8.15)$$

จากรูป 8.17 หลังจากปล่อยมือจะมีแรงดึงกลับ F กระทำต่อลูกตุ้มมวล m ดึงให้ลูกตุ้มเคลื่อนที่กลับไปอีกด้านผ่านตำแหน่งสมดุลและเคลื่อนที่กลับมาตำแหน่งเดิม แรงดึงกลับดังกล่าวมีค่าตามสมการ

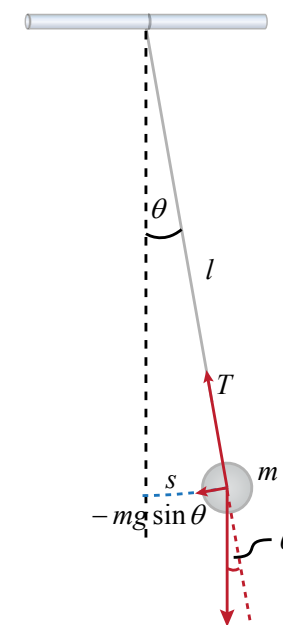
$$F = -mg \sin \theta \quad (8.16)$$

ถ้ามุม θ มีค่าน้อยมาก ๆ เช่น $\theta = 9^\circ$ คิดเป็นมุมในหน่วยเรเดียนได้เท่ากับ $\theta = 0.1571 \text{ rad}$ และมีค่า $\sin(0.1571 \text{ rad}) = 0.1565$ จึงสามารถประมาณได้ว่ามุมในหน่วยเรเดียน $\sin \theta \approx \theta$ และเขียนสมการ (8.16) ใหม่ได้เป็น

$$F = -mg\theta \quad (8.17)$$

มุม θ หาได้จากอัตราส่วนระหว่างความยาวส่วนโค้งกับรัศมีของวงกลมตามสมการ

$$\theta = \frac{s}{l}$$



รูป 8.17 แผนภาพแรงที่กระทำต่อลูกตุ้มมวล m

จะได้
$$F = -mg \left(\frac{s}{l} \right) \quad (8.18)$$

เมื่อ F คือ แรงดึงกลับ

s คือ ความยาวส่วนโค้ง

m คือ มวลของลูกตุ้ม

l คือ ความยาวเชือก

จะเห็นว่ามีความเพียงหนึ่งแรงที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ คือแรงดึงกลับ จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน จะได้

$$F = ma$$

แทนค่าแรงดึงกลับ F ในสมการ (8.18)

จะได้
$$ma = -mg \frac{s}{l}$$

$$a = -\frac{g}{l} s \quad (8.19)$$

ในระบบลูกตุ้มอย่างง่าย s เป็นส่วนโค้งช่วงสั้น ๆ เมื่อเทียบกับรัศมีถือว่าเป็นการกระจัดเชิงเส้น และจากสมการ (8.19) ความเร่งของลูกตุ้มแปรผันตรงกับการกระจัดเชิงเส้นและจากเครื่องหมายแสดงให้เห็นว่าความเร่งและการกระจัดมีทิศทางตรงข้ามกัน เมื่อนำสมการ (8.19) มาเปรียบเทียบกับสมการ (8.7) ดังสมการ

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

จะได้ความสัมพันธ์ของความถี่เชิงมุมกับความยาวเชือก ดังสมการ

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (8.20)$$

และจากความสัมพันธ์ของความถี่เชิงมุมกับคาบและความถี่จะได้

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (8.21)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (8.22)$$

จากสมการ (8.21) จะเห็นว่าคาบไม่ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของการแกว่ง สำหรับการแกว่งที่มีแอมพลิจูดน้อย ๆ ทำให้ลูกตุ้มมีประโยชน์ในการใช้จับเวลาหรือทำเป็นนาฬิกา คาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายขึ้นอยู่กับค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g และความยาวของเชือก l โดยเปรียบเทียบกับสมการ (8.21) กับสมการ (8.15) จะได้ว่าความถี่ของกรรพระหว่ง T กับ $\sqrt{l}$ ตามสมการ (8.15) ดังนี้

$$k = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}$$

$$g = \frac{4\pi^2}{k^2}$$

และ

ตัวอย่าง 8.12 ลูกตุ้มอย่างง่ายมีความยาวของสายลูกตุ้ม 50 เซนติเมตร คาบมีค่าเท่าใด

แนวคิด คาบการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายลูกตุ้มอย่างง่าย หาจากสมการ $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

วิธีทำ $l = 0.5 \text{ m}$

จะได้

$$T = 2(3.1416) \sqrt{\frac{0.50 \text{ m}}{9.8 \text{ m/s}^2}}$$

$$= 1.42 \text{ s}$$

ตอบ คาบการเคลื่อนที่เมื่อใช้สายลูกตุ้มยาว 50 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 1.42 วินาที

ตัวอย่าง 8.13 ลูกตุ้มอย่างง่ายมีคาบบนผิวโลกเท่ากับ 3.0 วินาที ถ้านักบินอวกาศนำลูกตุ้มอย่างง่ายอันเดิมนี้ออกไปหาคาบบนดวงจันทร์ได้เท่ากับ 7.4 วินาที ให้หาค่าความเร่งโน้มถ่วงบนดวงจันทร์ ให้ความเร่งโน้มถ่วง g บนผิวโลกเท่ากับ 9.8 เมตรต่อวินาที²

แนวคิด คาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายบนผิวโลก $T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad (1)$

คาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายบนผิวดวงจันทร์ $T_M = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g_M}} \quad (2)$

วิธีทำ นำสมการ (2) ทหารด้วย (1) $\frac{T_M}{T} = \sqrt{\frac{g}{g_M}}$

$$g_M = \left(\frac{T}{T_M} \right)^2 g$$

$$= \left(\frac{3.0 \text{ s}}{7.4 \text{ s}} \right)^2 (9.8 \text{ m/s}^2)$$

$$= 1.6 \text{ m/s}^2$$

ตอบ ค่าความเร่งโน้มถ่วงบนผิวดวงจันทร์ เท่ากับ 1.6 เมตรต่อวินาที²



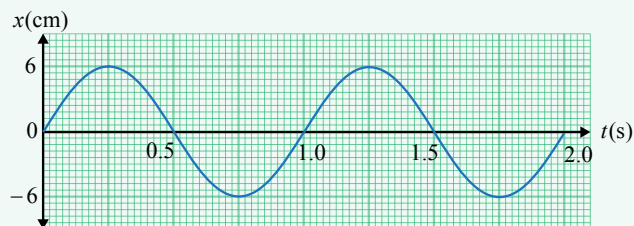
คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.3

- จงอธิบายแรงดึงกลับ
- ถ้าต้องการเพิ่มคาบการสั่นของวัตถุติดปลายสปริงสามารถทำได้ด้วยวิธีใดบ้าง
- ถ้าต้องการเพิ่มความถี่เชิงมุมของลูกตุ้มอย่างง่าย ทำได้ด้วยวิธีใดบ้าง
- ถ้าความยาวเชือกเท่ากับ 60 เซนติเมตร คาบของลูกตุ้มอย่างง่าย มวล m และ $2m$ มีค่าเท่ากันหรือไม่ อย่างไร



แบบฝึกหัด 8.3

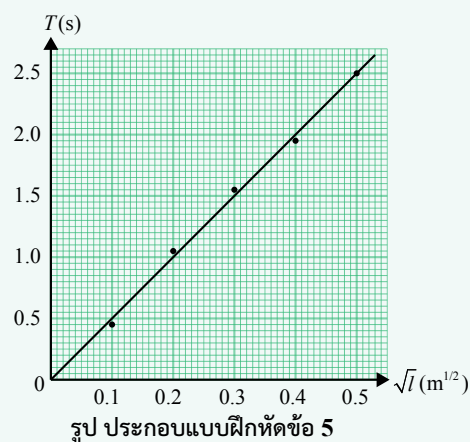
1. แขนมวล 4.9 กิโลกรัมกับสปริง แล้วปล่อยให้สั่นขึ้นลง วัดคาบของการสั่นได้ 0.5 วินาที ถ้าเอามวล 4.9 กิโลกรัมออก สปริงจะสั้นกว่าตอนที่แขนมวลอยู่เท่าใด
2. เมื่อนำมวล 0.5 กิโลกรัม แขนกับปลายสปริงในแนวดิ่ง ทำให้สปริงมีความยาวเพิ่มขึ้น 4.9 เซนติเมตร ถ้าทำให้มวลติดสปริงสั้นในแนวดิ่ง จะสั้นได้กี่รอบในเวลา 1 วินาที (ให้คำตอบติดค่า π)
3. จากรูป เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุมวล 50.0 กรัม ซึ่งติดไว้กับปลายข้างหนึ่งของลวดสปริงเบา ถ้าไม่คิดแรงเสียดทานที่กระทำต่อวัตถุและลวดสปริง ค่าคงตัวของลวดสปริงมีค่าเท่าใดในหน่วยนิวตันต่อเมตร



รูป ประกอบแบบฝึกหัดข้อ 3

4. ลูกเหล็กทรงกลมมวล 1 กรัม แก้วแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีแอมพลิจูด 2 มิลลิเมตร ความเร่งที่จุดปลายของการแกว่งมีค่า 8×10^3 เมตรต่อวินาที²
 - ก. จงหาความถี่ของการแกว่ง
 - ข. จงหาความเร็วที่ตำแหน่งสมดุล
 - ค. จงเขียนสมการแสดงแรงที่กระทำต่อให้ลูกเหล็กทรงกลมให้เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งและฟังก์ชันของเวลา

5. จากรูป เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบการแกว่งของลูกตุ้มกับรากที่สองของความยาวเชือกบนดาวดวงหนึ่ง ถ้าลูกตุ้มเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ค่าความเร่งโน้มถ่วงเนื่องจากดาวดวงนี้เป็นเท่าใด



รูป ประกอบแบบฝึกหัดข้อ 5

8.4 ความถี่ธรรมชาติและการสั่นพ้อง

จากตัวอย่างข้างต้นของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จะเห็นว่าวัตถุจะสั่นหรือแกว่งด้วยความถี่คงตัวค่าหนึ่ง เช่น ระบบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายความยาว l ลูกตุ้มแกว่งจะด้วยความถี่คงตัวค่าหนึ่ง เรียกความถี่นี้ว่า **ความถี่ธรรมชาติ (natural frequency)** โดยความถี่ธรรมชาติคือ ความถี่ในการสั่นของวัตถุหรือระบบที่มีแนวโน้มที่จะสั่นเมื่อถูกรบกวน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของแต่ละระบบ ถ้าทำให้ลูกตุ้มอย่างง่ายในระบบหนึ่งแกว่งด้วยแรงจากภายนอกที่มีความถี่ต่างกัน ระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร จะได้ศึกษาผ่านกิจกรรม 8.3

ตัวอย่าง 8.14 ลูกตุ้มขนาดเล็กมีความยาวเชือกคงตัวค่าหนึ่งใช้เวลาในการแกว่งครบ 1 รอบ เท่ากับ 0.5 วินาที การแกว่งของลูกตุ้มนี้มีความถี่ธรรมชาติเป็นเท่าใด

แนวคิด ความถี่ธรรมชาติของลูกตุ้มหาได้จากความถี่ของการแกว่งโดยอิสระของลูกตุ้มเมื่อความยาวเชือกของลูกตุ้มคงตัว

วิธีทำ จากสมการ $T = \frac{1}{f}$ แทนค่า $T = 0.5$ s จะได้

$$0.5 \text{ s} = \frac{1}{f}$$

$$f = 2 \text{ รอบต่อวินาที}$$

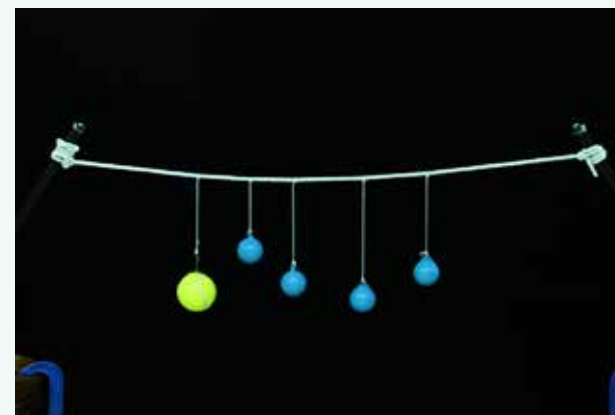
ตอบ ความถี่ธรรมชาติของลูกตุ้มมีค่าเท่ากับ 2 รอบต่อวินาที



กิจกรรม 8.3 ความถี่ธรรมชาติและการสั่นพ้องของวัตถุ

จุดประสงค์

ศึกษาความถี่ธรรมชาติและการสั่นพ้องของวัตถุ



รูป การจัดวางอุปกรณ์ในกิจกรรม

วิธีทำกิจกรรม

1. นำลูกตุ้มขนาดเล็กหลายลูกมาผูกกับเชือกที่มีความยาวต่างกัน
2. นำลูกตุ้มขนาดใหญ่ผูกด้วยเชือกที่มีความยาวเท่ากับความยาวของเชือกที่ผูกลูกตุ้มขนาดเล็กลูกใดลูกหนึ่ง
3. ชิงเชือกเส้นใดเป็นราวสำหรับแขวนลูกตุ้ม แล้วนำลูกตุ้มในข้อ 1 และ ข้อ 2 ไปแขวนดังรูป
4. แกว่งลูกตุ้มขนาดใหญ่และสังเกตการแกว่งของลูกตุ้มขนาดเล็ก



คำถามท้ายกิจกรรม

- ☐ เมื่อลูกตุ้มขนาดใหญ่แกว่ง ลูกตุ้มขนาดเล็กมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
- ☐ ลูกตุ้มขนาดเล็ก ลูกใดมีการกระจัดมากที่สุด

พิจารณาลูกตุ้มที่มีความยาวเชือกต่างกัน จะพบว่าแต่ละอันจะมีความถี่ของการแกว่งหรือความถี่ธรรมชาติต่างกัน จากกิจกรรม 8.3 ระบบประกอบด้วยลูกตุ้มขนาดเล็กที่ผูกที่มีความยาวเชือกต่างกันแขวนกับเชือกเส้นเดียวกัน ผูกเชือกลูกตุ้มขนาดใหญ่ที่มีความยาวเท่ากับลูกตุ้มขนาดเล็กลูกหนึ่ง เมื่อทำให้ลูกตุ้มขนาดใหญ่แกว่งจะแกว่งด้วยความถี่ธรรมชาติ ค่าหนึ่ง ซึ่งจะส่งผลให้ลูกตุ้มขนาดเล็กแต่ละลูกจะเริ่มแกว่งจะสังเกตเห็นว่าลูกตุ้มขนาดเล็กที่มีความยาวเท่ากับลูกตุ้มขนาดใหญ่จะแกว่ง โดยมีช่วงกว้างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีช่วงกว้างมากกว่าเมื่อเทียบกับลูกตุ้มขนาดเล็กลูกอื่น

เมื่อวัตถุถูกกระตุ้นต่อเนื่องให้สั่นอย่างอิสระด้วยแรงหรือพลังงานที่มีความถี่เท่ากับหรือใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของวัตถุ วัตถุนั้นจะสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติของวัตถุนั้นและสั่นด้วยแอมพลิจูดที่มีค่ามาก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า **การสั่นพ้อง (resonance)** ปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์มีตัวอย่างการสั่นพ้องมากมาย เช่น นักร้องเพลงโอเปร่าที่สามารถออกเสียงที่มีความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของแก้วจนทำให้แก้วแตกหรือการแกว่งชิงช้า ถ้าเราออกแรงผลักด้วยความถี่ที่สอดคล้องกับความถี่ในการแกว่งของชิงช้าจะทำให้ชิงช้าสั่นแกว่งด้วยแอมพลิจูดสูงมาก เมื่อเกิดการสั่นพ้อง ถ้าให้ความถี่ของแรงกระทำใกล้เคียงความถี่ธรรมชาติของระบบ จะทำให้ระบบดูดซับพลังงานได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับความถี่ค่าอื่น ๆ



ความรู้เพิ่มเติม

การสั่นพ้องในตึกสูง

ไทเป 101 เป็นตึกสูงในเมืองไทเป ประเทศไต้หวัน มีความสูง 509.2 เมตร ไต้หวันอยู่ในบริเวณที่เกิดไต้ฝุ่นและแผ่นดินไหวอยู่เสมอ ซึ่งเป็นอันตรายต่อตัวตึก วิศวกรจึงออกแบบตึกไทเป 101 ให้ทนทานต่อภัยธรรมชาติเหล่านี้ โดยติดตั้งตัวหน่วง (damper) ซึ่งมีชิ้นส่วนสำคัญคือลูกตุ้มเหล็กกล้า (steel pendulum) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เมตร มวล 660000 กิโลกรัม แขนอยู่ในช่วงชั้น 87 ถึงชั้น 92 อุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานเพื่อลดหรือต้านการสั่น โครงสร้างตึกจึงไม่เสียหาย ถ้าตึกสูงมากไม่มีตัวดูดซับหรือลดทอนพลังงาน พลังงานจากพายุและแผ่นดินไหวจะถ่ายโอนอย่างต่อเนื่องเข้าสู่ตัวตึก ทำให้แอมพลิจูดของการสั่นกว้าง ถ้าความถี่ของการสั่นตรงกับความถี่ธรรมชาติของตึก จะเกิดการสั่นพ้องจนสามารถทำลายตึกได้ ตัวหน่วงของตึกไทเป 101 มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลก จึงเป็นสิ่งที่ดึงดูดนักท่องเที่ยวให้ไปชม



รูป ลูกตุ้มเหล็กกล้าของตัวหน่วง

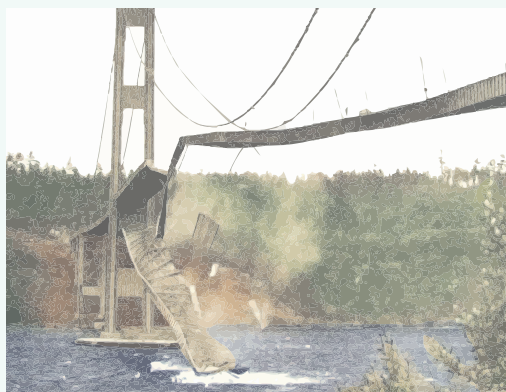


รู้หรือไม่

การสั่นพ้องของสะพาน

บางคนคงเคยข้ามสะพานแขวน (suspension bridge) ขนาดเล็กสำหรับเดินข้ามคลอง ขณะเดินข้ามบางครั้งจะรู้สึกว่สะพานสั่นไหว นอกจากนี้เมื่อมีลมเข้าปะทะก็อาจทำให้สะพานสั่นมากขึ้น แต่เมื่อใดที่จังหวะการปะทะของลมหรือจังหวะการเดินของคนตรงกับความถี่ธรรมชาติของสะพาน จะเกิดการสั่นพ้องแอมพลิจูดมีช่วงกว้างมากจนสะพานอาจเสียหายได้ นอกจากนี้สะพานลอยคนข้ามถนนที่มีโครงสร้างเหล็กและมีความยาวมาก (เช่น สะพานข้ามถนน 8 ช่องทางจราจรในกรุงเทพฯ) ขณะมีรถบรรทุกแล่นใต้สะพานหรือคนเดินข้ามบางครั้งจะรู้สึกว่สะพานสั่นน้อย ๆ เช่นกัน

การสั่นของสะพานขนาดใหญ่ที่น่าตื่นตาตื่นใจที่สุดเกิดขึ้นกับสะพานทาโคมาแนร์โรว์ (Tacoma narrows bridge) ดังรูป ใกล้เคียงซีแอตเทิล มลรัฐวอชิงตัน สหรัฐอเมริกา สะพานนี้เป็นสะพานแขวน (suspension) มีความยาวทั้งหมด 1810 เมตร ช่วงกลางมีความยาว 853.4 เมตร ถูกลมจากทะเลเข้าปะทะทำให้พื้นสะพานบิดตัวกลับไปมา และในตอนเช้าวันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2483 ลมที่เข้าปะทะมีอัตราเร็ว 64 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทำให้พื้นสะพานสั่นอย่างรุนแรง และพังลง นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรได้อธิบายว่า การปะทะของลมทำให้พื้นสะพานสั่นตรงกับความถี่ธรรมชาติของสะพาน เกิดการสั่นพ้องจนทำให้สะพานพัง เหตุการณ์นี้ทำให้การออกแบบสะพานที่มีความยาวมาก (long-span bridge) ต้องคำนึงถึงการสั่นพ้องที่จะเกิดกับตัวสะพาน สะพานทาโคมาแนร์โรว์ใหม่ถูกสร้างขึ้นในบริเวณเดิมในอีก 10 ปีต่อมา



รูป สะพานทาโคมาแนร์โรว์



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 8.4

1. ในการกระตุ้นให้วัตถุสั่นอย่างอิสระพบว่าทุกครั้ง วัตถุสั่นด้วยความถี่ค่าเดิมเสมอ ความถี่นี้เรียกว่าอะไร
2. จากกิจกรรม 8.3 การที่ลูกตุ้ม ที่มีความยาวเชือกเท่ากับลูกตุ้มลูกใหญ่แกว่งด้วยการกระจัดมากที่สุด เพราะเกิดปรากฏการณ์ใด



แบบฝึกหัด 8.4

1. จงหาความถี่ธรรมชาติของการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายที่ผูกติดกับเชือกเบาที่มีความยาว 50 เซนติเมตร
2. จงหาความถี่ธรรมชาติของวัตถุติดปลายสปริง เมื่อวัตถุมีมวล 0.1 กิโลกรัม และสปริงมีค่าคงตัวของสปริง 1000 นิวตันต่อเมตร



สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

8.1 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

- การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เป็นการสั่นหรือการแกว่งกวัดกลับไปกลับมาซ้ำทางเดิมผ่านตำแหน่งสมดุล โดยมีเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบเรียกว่า คาบ และมีการกระจัดสูงสุด เรียกว่า แอมพลิจูด ของการเคลื่อนที่คงตัว

8.2 ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

- การกระจัด ความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายขึ้นกับเวลาตามสมการ

$$\text{การกระจัด} \quad x = A \sin(\omega t + \phi)$$

$$\text{ความเร็ว} \quad v = A\omega \cos(\omega t + \phi)$$

$$\text{ความเร่ง} \quad a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi)$$

- ความเร่งและการกระจัดของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายสัมพันธ์กัน ตามสมการ $a = -\omega^2 x$ โดยความเร่งแปรผันตรงกับการกระจัด แต่มีทิศทางตรงกันข้าม
- ความเร็วและการกระจัดของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายสัมพันธ์กันตามสมการ $v = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2}$

8.3 แรงกับการสั่นของมวลติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย

- สำหรับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จะมีแรงดึงวัตถุกลับมายังตำแหน่งสมดุล เรียกแรงนี้ว่า แรงดึงกลับ
- ความถี่เชิงมุม คาบ และความถี่ ของการสั่นของมวลติดปลายสปริงสัมพันธ์กับค่าคงตัวสปริง (k) และมวลของวัตถุ (m) ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

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

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

- ความถี่เชิงมุม คาบ และความถี่ ของการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายสัมพันธ์กับความยาวเชือกตามสมการ

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

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

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

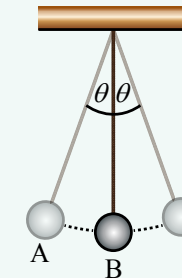
8.4 ความถี่ธรรมชาติและการสั่นพ้อง

- เมื่อให้วัตถุสั่นหรือแกว่งอย่างอิสระ วัตถุจะสั่นหรือแกว่งด้วยความถี่ค่าหนึ่งเรียกว่าความถี่ธรรมชาติ ซึ่งมีค่าคงตัวเมื่อมีแรงกระตุ้นต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุสั่นหรือแกว่ง โดยความถี่ของการให้แรงกระตุ้นเท่ากับความถี่ธรรมชาติของวัตถุ วัตถุจะสั่นหรือแกว่งโดยมีแอมพลิจูดเพิ่มขึ้น เรียกว่า การสั่นพ้อง
- ความรู้เรื่องการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ความถี่ธรรมชาติ และการสั่นพ้องถูกนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ระบบต้านแผ่นดินไหวของตึกสูง การออกแบบสะพาน

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8

?? | คำถาม

1. จงบรรยายการเคลื่อนที่ของวัตถุในตัวอย่าง 8.2
2. วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ขณะที่วัตถุอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล ปริมาณใดบ้างที่เป็นศูนย์
3. จงเปรียบเทียบมุมเฟสของกราฟตามสมการ $v = A\omega \cos(\omega t + \phi)$ และ $a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi)$
4. $x = A \sin(\omega t + \phi)$ และ $x = A \cos(\omega t + \phi)$ เป็นสมการการกระจัดของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย สมการทั้งสองแตกต่างกันอย่างไร
5. ลูกตุ้มเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายระหว่างจุด A และจุด C โดย B เป็นจุดต่ำสุด ดังรูป



รูป ประกอบคำถามข้อ 5

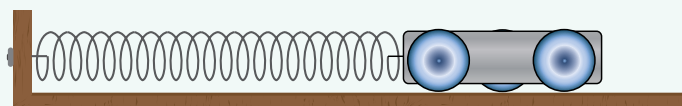
จงเขียนแผนภาพแสดงแรงกระทำต่อลูกตุ้ม ในขณะที่ลูกตุ้มอยู่ที่จุด A จุด B และจุด C

6. จงอธิบายการสาธิตการสั่นพ้องในห้องเรียน (หรือห้องปฏิบัติการ) ระบุอุปกรณ์ที่ใช้ วิธีการและผลที่เกิดขึ้น

P | ปัญหา

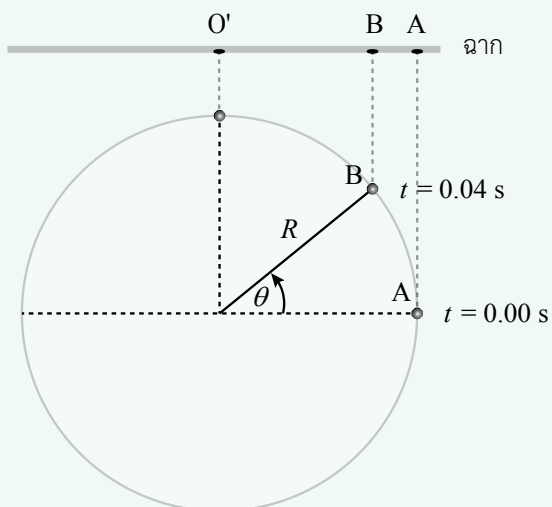
1. ส้อมเสียงอันหนึ่งสั่น 5000 รอบในเวลา 20 วินาที คาบและความถี่ของส้อมเสียงมีค่าเท่าใด
2. ในการบันทึกภาพการกระพือปีกของนกชนิดหนึ่ง พบว่านกกระพือปีกด้วยความถี่ 20 เฮิรตซ์ คาบและความถี่เชิงมุมของการกระพือปีกเป็นเท่าใด

3. วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายตามแนวแกน x มีคาบการเคลื่อนที่เป็น 6 วินาที มีสมการการเคลื่อนที่เป็น $x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$ เมื่อ A และ T เป็นค่าคงตัว t เป็นเวลา เวลาที่ใช้เคลื่อนที่จากตำแหน่ง $x = 0$ ไป $x = \frac{1}{2}A$ มีค่าเท่าใด
4. รถทดลองติดอยู่กับปลายข้างหนึ่งของสปริงที่วางบนพื้นราบลื่น ตรึงปลายอีกข้างของสปริงไว้ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 4

- ถ้ารถเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย โดยมีแอมพลิจูด 0.4 เมตร และอัตราเร็วสูงสุดเป็น 2.0 เมตรต่อวินาที ในเวลา 10 วินาที รถวิ่งกลับไปกลับมาได้กี่รอบ (ให้คำตอบติดค่า π)
5. อนุภาคมวล 0.2 กิโลกรัม เคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 5.0 เซนติเมตร ด้วยอัตราเร็วเชิงมุมคงตัว 40π เรเดียนต่อวินาที ทำให้เงาของวัตถุบนฉากเคลื่อนที่กลับไปกลับมาแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายรอบจุด O' ถ้าวัตถุเริ่มเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ถึง B โดยใช้เวลา 0.04 วินาที ดังรูป

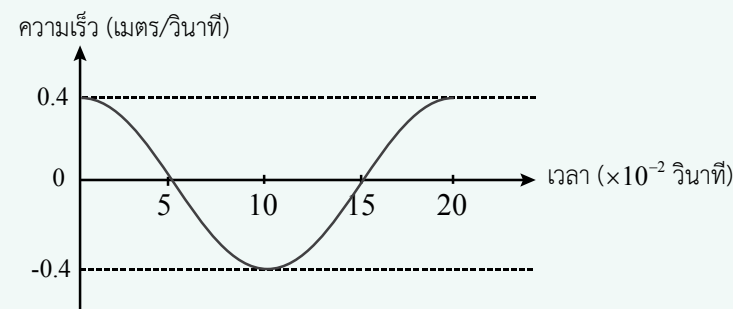


รูป ประกอบปัญหาข้อ 5

ขณะวัตถุอยู่ที่ตำแหน่ง B จงหาขนาดของ

- ก. การกระจัด ข. ความเร็ว ค. ความเร่ง

6. สมการการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของอนุภาคเป็น $x = (5.00 \text{ cm}) \cos\left(\frac{\pi}{60}t\right)$ เมื่อ x เป็นการกระจัด ในหน่วย เซนติเมตร t เป็นช่วงเวลาการเคลื่อนที่ ในหน่วย วินาที ที่เวลา $t = 10.0$ วินาที
- จงหา ก. การกระจัดของอนุภาค
 ข. ความเร็ว
 ค. ความเร่ง
7. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีแอมพลิจูด 30 เซนติเมตร มีคาบการเคลื่อนที่ 4 วินาที อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่มีค่าเท่าใด
8. กราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของอนุภาคหนึ่ง เป็นดังรูป



รูป ประกอบคำถามข้อ 8

- ที่เวลา 5×10^{-2} วินาที อนุภาคมีขนาดความเร่งเท่าใด (ให้คำตอบติดค่า π)
9. วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายด้วยแอมพลิจูด 2.00 เซนติเมตร ในแนวระดับ ความเร็วของวัตถุที่ตำแหน่งใดจากตำแหน่งสมดุลมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วสูงสุด
10. รถทดลองติดปลายลวดสปริงเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ด้วยแอมพลิจูด 15 เซนติเมตร และความถี่ 4 รอบต่อวินาที จงหาความเร็วสูงสุด และความเร่งสูงสุดของรถทดลอง
11. ลูกตุ้มมวล m ผูกเชือกยาว L แกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีคาบการแกว่งเป็น 2 วินาที ถ้าใช้ลูกตุ้มมวล $2m$ แกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ต้องการให้มีคาบการแกว่งเป็น 1 วินาที ต้องใช้เชือกยาวกี่เท่าของความยาว L

12. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายในแนวแกน 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

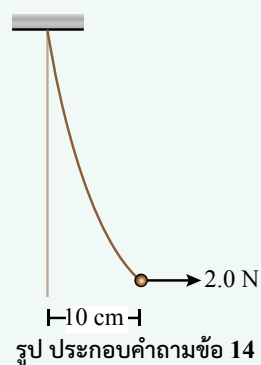
มุมเฟส ωt	การกระจัด y	ความเร็ว v	ความเร่ง a
0			
$\frac{\pi}{2}$			
π			
$\frac{3\pi}{2}$			
2π			

ข. เขียนกราฟระหว่างการกระจัดกับเวลา ความเร็วกับเวลา และความเร่งกับเวลา

13. แขนมวล 4.0 กิโลกรัมกับสปริงแล้วปล่อยให้สั่นขึ้นลงในแนวดิ่ง ปรากฏว่าวัดคาบการสั่นได้ 2.0 วินาที ถ้านำมวล 8.0 กิโลกรัม มาแขวนแทนมวล 4.0 กิโลกรัม แล้วปล่อยให้สั่นขึ้นลงจะสั่นด้วยความถี่เท่าใด

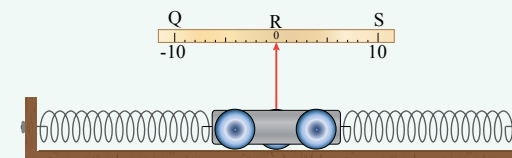
14. เมื่อออกแรง 2.0 นิวตัน ดึงปลายแผ่นสปริงของเครื่องชั่งมวล ปลายแผ่นสปริงเบนไปจากตำแหน่งสมดุล 10 เซนติเมตร ดังรูป ที่ปลายแผ่นสปริงติดมวล 0.3 กิโลกรัม ถัดให้ปลายแผ่นสปริงเบนไปจากตำแหน่งสมดุล 15 เซนติเมตร แล้วปล่อยมือ จงหา

- ก. ค่าคงตัวสปริง
ข. คาบของการสั่นของมวล
ค. ขนาดความเร่งสูงสุดของมวล



รูป ประกอบคำถามข้อ 14

15. รถทดลองมวล 2 กิโลกรัม ปลายทั้งสองยึดติดกับสปริงที่เหมือนกันทุกประการ ดังรูป รถเคลื่อนที่ระหว่างสปริงบนพื้นราบลื่น (ไม่คิดแรงเสียดทาน) ตอนบนของรถติดเข็มชี้ไว้และเข็มชี้จะเคลื่อนที่ระหว่างจุด Q กับ S เป็นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย บนสเกลที่วัดเป็นเซนติเมตร มี R เป็นจุดสมดุล ณ เวลา $t = 0$ รถเริ่มเคลื่อนที่จากจุด Q ไปทางขวามือ ซึ่งมีเครื่องหมายบอก



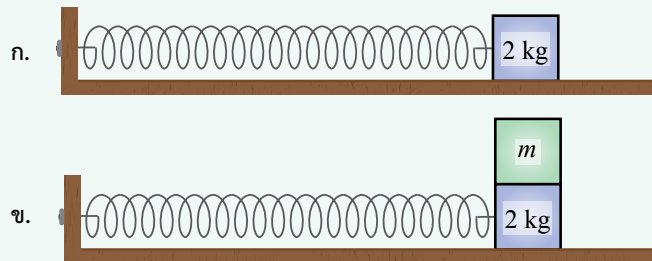
รูป ประกอบปัญหาข้อ 15

- ก. ถ้าคาบของการสั่นในหน่วยวินาทีเท่ากับ π แรงดึงกลับที่กระทำต่อรถในหน่วยนิวตัน ณ เวลา เริ่มต้น มีค่าเท่าใด
ข. ความเร็วของรถทดลองที่ตำแหน่ง S มีค่าเท่าใด ในหน่วยเมตรต่อวินาที
16. กล้องมวล m ติดอยู่กับปลายข้างหนึ่งของสปริงและอยู่บนพื้นระดับลื่น มีคาบของการสั่น 4.0 วินาที ถ้านำวัตถุมวล 1.0 กิโลกรัม ไปวางบนกล้อง คาบการสั่นเป็น 5.0 วินาที จงหามวลของกล้อง
17. กล้องมวล m อยู่บนแผ่นราบที่กำลังสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายในระนาบระดับ ด้วยความถี่ 2.0 เฮิรตซ์ ถ้ากล้องไม่ไถลบนแผ่นราบ จงหาการกระจัดสูงสุด กำหนดให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างกล้องและแผ่นราบเท่ากับ 0.6
18. สมการการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุเป็น $x = (5.00 \text{ cm}) \cos(3t)$ เมื่อ x เป็นการกระจัด หน่วย เซนติเมตร t เป็นช่วงเวลากการเคลื่อนที่ หน่วย วินาที ที่เวลา $t = 10.0 \text{ s}$ จงหา
- ก. การกระจัดของอนุภาค ข. ความเร็ว ค. ความเร่ง

🏃 | ปัญหาท้าทาย

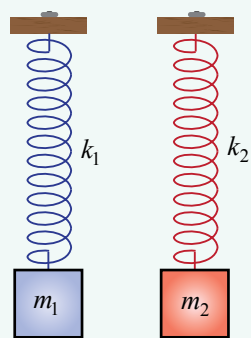
19. วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายด้วยความถี่ 5 รอบต่อวินาที ในแต่ละช่วงเวลา 1 วินาที วัตถุอยู่มีมุมเฟสต่างกันเท่าใด

20. ลูกเหล็กทรงกลมมวล 1 กรัม แก้วแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมีแอมพลิจูด 2 มิลลิเมตร ความเร่งที่จุดปลายของการแกว่งมีค่า 8×10^3 เมตรต่อวินาที²
- จงหาความถี่ของการแกว่ง
 - จงหาความเร็วที่จุดสมดุล
 - จงเขียนสมการแสดงแรงที่กระทำต่อลูกเหล็กให้เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งและฟังก์ชันของเวลา
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
22. มวล 2 กิโลกรัม ติดกับปลายลวดสปริง ดังรูป ก. ดึงสปริงให้ยืดออกแล้วปล่อยให้วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย บนพื้นระดับลื่น วัตถุเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ ใช้เวลา 1 วินาที ถ้ามีมวล m วางทับมวล 2 กิโลกรัมเดิมดังรูป ข. ทำให้วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายและครบ 1 รอบ ใช้เวลา 1.5 วินาที จงหามวล m



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 22

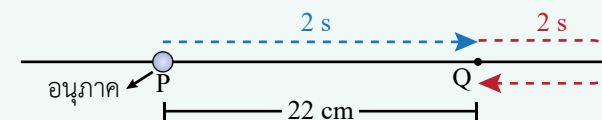
23. สปริงสองเส้นมีมวลน้อยมาก ปลายด้านหนึ่งยึดติดกับเพดาน ปลายอีกด้านหนึ่งมีมวล m_1 และ m_2 ติดไว้ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 23

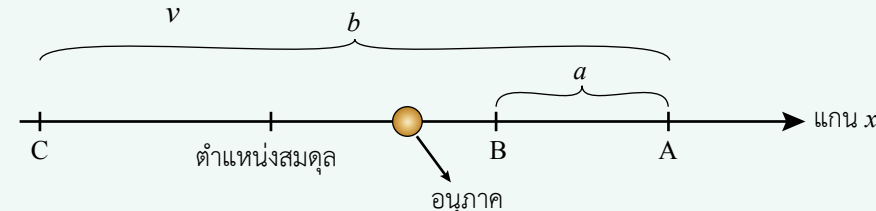
โดยค่าคงตัวสปริง k_1 เป็น 3 เท่าของค่าคงตัวสปริง k_2 และมวล m_1 เป็น 2 เท่าของมวล m_2 เมื่อออกแรงดึงมวล m_1 และ m_2 ให้สปริงยืดออกเล็กน้อยแล้วปล่อย มวล m_1 จะใช้เวลาในการสั่นครบรอบ เป็นกี่เท่าของมวล m_2

24. อนุภาคเคลื่อนที่ในแนววงกลมในระนาบระดับเคลื่อนที่ได้ 10 รอบใช้เวลา 3 วินาที เงามของอนุภาคเคลื่อนที่เป็นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย โดยมีแอมพลิจูด 8.0 เซนติเมตร ณ ตำแหน่งที่เงาของอนุภาคมีอัตราเร็วสูงสุด มีขนาดของการกระจัดเท่าใด และอัตราเร็วสูงสุดมีค่าเท่าใด
25. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ด้วยความถี่ 3 รอบต่อวินาที ถ้าแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ 2 เซนติเมตร อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่มีค่าเท่าใด
26. วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีแอมพลิจูด 10 เซนติเมตร มีความถี่ 2 รอบต่อวินาที ณ ตำแหน่งที่มีการกระจัด 7 เซนติเมตร วัตถุจะมีความเร่งเท่าใด
27. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย โดยใช้เวลา 2 วินาที ในการเคลื่อนที่ผ่านจุด P ไป Q ซึ่งอยู่ห่างกัน 22.0 เซนติเมตร ขณะผ่าน P และ Q อนุภาคมีอัตราเร็วเท่ากันอีก 2 วินาที ต่อมาวัตถุเคลื่อนที่กลับมาที่ Q จงหาคาบและแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 27

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



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 28

29. ล้อวงกลมอันหนึ่งมีรัศมี 0.3 เมตร ที่ขอบล้อติดวัตถุไว้ก้อนหนึ่ง ล้อหมุนด้วยความถี่ 0.5 รอบต่อวินาที รอบแกนหมุนในแนวแกนซึ่งอยู่กึ่งกลางที่ ขณะนั้นมีแสงแดดตกกระทบบังฉากกับพื้นโลก ทำให้เงาของวัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
- คาบของการเคลื่อนที่ของเงามีค่าเท่าใด
 - ความถี่ของการเคลื่อนที่ของเงามีค่าเท่าใด
 - แอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ของเงามีค่าเท่าใด
 - จงเขียนสมการแสดงการกระจัดในการเคลื่อนที่ ณ เวลาต่าง ๆ กำหนดให้มุมเฟสเริ่มต้นเป็นศูนย์

30. เชือกเส้นที่หนึ่งยาว L เชือกเส้นที่สองยาว $2L$ ต่างมีมวลติดที่ปลายเชือก เมื่อทำให้มวลแกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ถ้าอัตราเร็วสูงสุดของมวลที่ปลายเชือกทั้งสองมีค่าเท่ากัน แอมพลิจูดของมวลที่ปลายของเชือกเส้นที่หนึ่งเป็นกี่เท่าของเส้นที่สอง
31. การกระจัดของอนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เป็นฟังก์ชันของเวลาดังสมการ $x = (2\text{ m}) \sin\left(3\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$ จงหา
- การกระจัดที่เวลา $t = 2.0\text{ s}$
 - มุมเฟสที่เวลา $t = 2.0\text{ s}$
 - ความเร็วสูงสุด
 - สมการความเร็วที่เวลา t
 - สมการความเร่งที่เวลา t
32. อนุภาคหนึ่งมีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายรอบจุด $x = 0$ ที่เวลา $t = 0$ อนุภาคมีการกระจัด 0.02 เมตร และความเร็วเป็นศูนย์ ถ้าความถี่ของการเคลื่อนที่ 0.25 เฮิรตซ์ จงหา
- คาบ
 - ความถี่เชิงมุม
 - แอมพลิจูด
 - อัตราเร็วสูงสุด
 - อัตราเร็วที่เวลา $t = 3.0\text{ s}$
33. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีการกระจัดดังสมการ $y = (1.0\text{ m}) \cos\left(10t - \frac{\pi}{6}\right)$ จงหา
- ความถี่
 - การกระจัดสูงสุด
 - ความเร็วสูงสุด
 - ความเร่งสูงสุด
 - การกระจัด ความเร็วและความเร่งที่เวลา $t = 2.0\text{ s}$