MAC 4.0

หนังสือเรียน**รายวิชาเพิ่มเติม**

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์ ม.5

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

เล่ม 1

ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง
วรรษมล เสนาะคำ

105.-

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ **กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1 **เวลา 60 ชั่วโมง จำนวน 1.5 หน่วยกิต**

ศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุติดสปริง การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย คลื่นกล ส่วนประกอบของคลื่น สมการของคลื่นไซน์ การรวมกันของคลื่น สมบัติของคลื่น ธรรมชาติของเสียง สมบัติของเสียง การสั่นพ้องและคลื่นนิ่งของเสียง ความเข้มเสียงและการได้ยินเสียงดนตรี ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทก ธรรมชาติของแสง การสะท้อนของแสง การหักเหของแสง การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของแสง ตาและการมองเห็นสี ความสว่าง ปรากฏการณ์ทางแสงและทัศนอุปกรณ์

โดยจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนได้ศึกษา ค้นคว้า นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันควบคู่ไปกับคุณธรรมและจริยธรรม และมีคุณลักษณะอันพึงประสงค์ ได้แก่ การใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้และการแก้ปัญหา มีความรอบคอบ มีความรับผิดชอบ พร้อมทั้งตระหนักว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ผลการเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย รวมทั้งคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. อธิบายความถี่ธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้อง
3. อธิบายปรากฏการณ์คลื่น ชนิดของคลื่น ส่วนประกอบของคลื่น การแผ่ของหน้าคลื่นด้วยหลักการของฮอยเกนส์และการรวมกันของคลื่นตามหลักการซ้อนทับ พร้อมทั้งคำนวณอัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น
4. สังเกตและอธิบายการสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
5. อธิบายการเกิดเสียง การเคลื่อนที่ของเสียง ความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นการกระจัดของอนุภาคกับคลื่นความดัน ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ขึ้นกับอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส สมบัติของคลื่นเสียง ได้แก่ การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด การเลี้ยวเบน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
6. อธิบายความเข้มเสียง ระดับเสียง องค์ประกอบของการได้ยิน คุณภาพเสียงและมลพิษทางเสียง รวมทั้งคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
7. ทดลองและอธิบายการเกิดการสั่นพ้องของอากาศในท่อปลายเปิดหนึ่งด้าน รวมทั้งสังเกตและอธิบายการเกิดบีตส์ คลื่นนิ่ง ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ คลื่นกระแทกของเสียง คำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และนำความรู้เรื่องเสียงไปใช้ในชีวิตประจำวัน
8. ทดลองและอธิบายสมบัติการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่และเกรตติง สมบัติการเลี้ยวเบนและการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตเดี่ยว รวมทั้งคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
9. ทดลองและอธิบายการสะท้อนของแสงที่ผิววัตถุตามกฎการสะท้อน เขียนรังสีของแสงและคำนวณตำแหน่งและขนาดภาพของวัตถุเมื่อแสงตกกระทบกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลม รวมทั้งอธิบายการนำความรู้เรื่องการสะท้อนของแสงจากกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลมไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน
10. ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีหักเห มุมตกกระทบ และมุมหักเห รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจริงและความลึกปรากฏ มุมวิกฤตและการสะท้อนกลับหมดของแสง และคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
11. ทดลองและเขียนรังสีของแสงเพื่อแสดงภาพที่เกิดจากเลนส์บาง หาตำแหน่ง ขนาด ชนิดของภาพ และความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ ระยะภาพ และความยาวโฟกัส รวมทั้งคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และอธิบายการนำความรู้เรื่องการหักเหของแสงผ่านเลนส์บางไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน
12. อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกี่ยวกับแสง เช่น รุ้ง การทรงกลด มิราจ และการเห็นท้องฟ้าเป็นสีต่างๆ ในช่วงเวลาต่างกัน
13. สังเกตและอธิบายการมองเห็นแสงสี สีของวัตถุ การผสมสารสี และการผสมแสงสี รวมทั้งอธิบายสาเหตุของการบอดสี

รวมทั้งหมด 13 ผลการเรียนรู้

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง วรรษมล เสนาะคำ

ผู้ตรวจ ผศ.มาลี สุทธิโอภาส

รศ.มานัส มงคลสุข

ผศ.ปรีดา เพชรมีศรี

บรรณาธิการ ศ. ดร.พิเชษฐ์ ลิ้มสุวรรณ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง วรรษมล เสนาะคำ
ผู้ตรวจ ผศ.มาลี สุทธิโอภาส
รศ.มานัส มงคลสุข
ผศ.ปรีดา เพชรมีศรี
บรรณาธิการ ศ. ดร.พิเชษฐ์ ลิ้มสุวรรณ

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ
วรรษมล เสนาะคำ.
หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1.-- กรุงเทพฯ : แม็คเอ็ดดูเคชั่น, 2562.
236 หน้า.
1. ฟิสิกส์--การศึกษาและการสอน (มัธยมศึกษา).
I. ชื่อเรื่อง

530.07
ISBN 978-616-345-152-1

พิมพ์ครั้งที่ 1
จำนวน 8,000 เล่ม

สงวนลิขสิทธิ์ : มกราคม 2563
สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใด ของหนังสือเล่มนี้ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

จัดทำโดย
IMACEDUCATION

ส่งธนาณัติสั่งจ่าย **ไปรษณีย์ลาดพร้าว**
ในนาม **บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด**
9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว
แขวงจันทรเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทร. 0-2512-0661, 0-2938-2022-7 แฟกซ์ 0-2938-2028
www.MACeducation.com

พิมพ์ที่ : บริษัท พี อาร์ คัลเลอร์พริ้นท์ จำกัด

คำชี้แจง

ตามที่กระทรวงศึกษาธิการโดยสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานได้ดำเนินการทบทวนหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยในระยะแรกให้ปรับปรุงมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาระภูมิศาสตร์ในกลุ่มสาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม สำหรับใช้ในปีการศึกษา 2561 ในชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และ 4 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 และ 4 ปีการศึกษา 2562 ให้ใช้ในชั้นประถมศึกษาปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และตั้งแต่ปีการศึกษา 2563 เป็นต้นไปให้ใช้ในทุกชั้นเรียน ซึ่งการปรับหลักสูตรครั้งนี้มีเป้าหมายสำคัญเพื่อให้โรงเรียนสามารถจัดกระบวนการเรียนรู้ที่จะช่วยให้ผู้เรียนมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบ สามารถใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบูรณาการกับความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนาด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่นำไปสู่การคิดค้นสิ่งประดิษฐ์หรือสร้างสรรค์นวัตกรรม นอกจากนี้ยังให้เกิดการรู้เรื่องภูมิศาสตร์ (Geo-literacy) ทั้งด้านความสามารถทางภูมิศาสตร์ กระบวนการทางภูมิศาสตร์ และทักษะทางภูมิศาสตร์ เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจได้อย่างถูกต้องและนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิต

ด้วยตระหนักถึงความสำคัญของการปรับเปลี่ยนหลักสูตรข้างต้น บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด จึงได้มอบหมายให้ผู้เชี่ยวชาญด้านหลักสูตร ด้านการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล ได้ปรับปรุงพัฒนาหนังสือเรียน ให้สอดคล้องมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด ของหลักสูตรในกลุ่มสาระการเรียนรู้ที่มีการเปลี่ยนแปลง และให้สอดคล้องกับการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ที่กำหนดไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 และยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี

โดยหนังสือเรียนแต่ละหน่วยการเรียนรู้จะให้ผู้ใช้หนังสือเรียนได้ทราบเป้าหมายการเรียนรู้ในตอนต้นหน่วยการเรียนรู้ จากสาระการเรียนรู้และตัวชี้วัดชั้นปี และทุกหัวข้อหลักจะนำเสนอแนวคิดสำคัญเพื่อให้ทราบถึงสิ่งที่เป็นความรู้ ความคิดที่เป็นแก่นสำคัญที่ต้องเรียนรู้ให้ลึกซึ้ง และการเรียนรู้ที่ดีผู้เรียนควรได้ตรวจสอบความรู้ความเข้าใจเป็นระยะ ๆ ก่อนเรียนเรื่องใหม่ ดังนั้น ในหนังสือเรียนจะมีการสอดแทรกกิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่สัมพันธ์กับเรื่องที่ได้เรียนผ่านมา เพื่อให้ผู้เรียนได้ตรวจสอบ

ตนเอง หรือบางหัวข้ออาจเป็นการฝึกทักษะให้ชำนาญก่อน สิ่งที่เพิ่มเติมในหนังสือเรียนแม็ค 4.0 นี้ คือ กิจกรรมบูรณาการวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ (STEM) ตามเป้าหมายสำคัญของการปรับหลักสูตรครั้งนี้ ซึ่งผู้เรียนและผู้สอนสามารถนำไปประยุกต์หรือดัดแปลงให้เหมาะสมกับบริบทของโรงเรียนและผู้เรียน การศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศ (ICT) เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องค้นคว้าเพิ่มเติม ดังนั้นในหนังสือเรียนแม็ค 4.0 จึงได้มีการเสริมเนื้อหาเพิ่มเติมที่ได้ผ่านการคัดกรองมาแล้วว่าเหมาะสมกับการเรียนรู้ แทรกไว้ในเนื้อหาบางหน่วย โดยใช้สัญลักษณ์ ผู้เรียนสามารถใช้สมาร์ตโฟนสแกน AR Code โดยใช้แอปพลิเคชัน SnapLearn ท้ายหน่วยการเรียนรู้ทุกหน่วยจะมีการสรุปบทเรียนสำหรับให้ผู้เรียนได้ใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการตรวจสอบองค์ความรู้ที่ควรได้รับการพัฒนาหลังจากเสร็จสิ้นการเรียน หรือเป็นสาระสำคัญที่ควรจดจำและทำความเข้าใจให้ถ่องแท้ ซึ่งนับว่าเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งในการปรับปรุงหนังสือเรียนครั้งนี้ที่ได้พัฒนาให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียน แบบฝึกหัด คู่มือครู และแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้ปรับปรุงใหม่ชุดนี้ จะมีคุณค่า มีประโยชน์ และช่วยส่งเสริมการปฏิรูปการศึกษารอบนี้ เพื่อเป็นรากฐานสำคัญที่จะช่วยทำให้ประเทศไทยก้าวสู่ประเทศที่มีการพัฒนาอย่างยั่งยืน ด้วยการมีพลเมืองที่มีคุณภาพ มีความคิดสร้างสรรค์ ตามเจตนารมณ์ของการปรับปรุงหลักสูตรครั้งนี้ และนโยบายประเทศไทย 4.0

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด

วิธีการใช้ SnapLearn

1. ดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน SnapLearn
2. เปิดใช้งานแอปพลิเคชัน SnapLearn
   - 2.1 กดปุ่มตรงกลาง เพื่อสแกนบาร์โค้ด ISBN ที่ปกหลังมุมล่างด้านขวามือ
   - 2.2 กรอกชื่อหนังสือเรียนลงในช่องค้นหา “Physics M.5 Vol.1”
3. กดดาวน์โหลดหนังสือเรียน
4. สแกนหน้าหนังสือเรียนที่มีสัญลักษณ์

คำนำ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1 ได้พัฒนาและปรับทั้งเนื้อหา กิจกรรมการทดลอง ภาพประกอบ กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ให้ตรงตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียงได้ศึกษาผลการเรียนรู้ กระบวนการจัดการเรียนรู้ และแนวทางในการวัดและประเมินผล นำมาจัดทำโครงสร้างสำหรับหลักสูตรชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยเลือกเนื้อหา กระบวนการเรียนการสอน การทำกิจกรรม ทักษะการคิด การวัดผลและประเมินผล ผ่านการนำเสนอด้วยการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ (Active Learning) ที่เหมาะสมกับผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้ เข้าใจหลักการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ วิธีการสำรวจตรวจสอบข้อมูล การคิดแก้ปัญหา ตลอดจนการเสริมสร้างจิตวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนและพัฒนาให้เกิดทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่สำคัญ ด้วยกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ที่ช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง การคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การทำงานร่วมกัน นำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรมที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาและนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นคำตอบของการศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์

หนังสือเรียนเล่มนี้ประกอบด้วย 4 หน่วยการเรียนรู้ แต่ละหน่วยการเรียนรู้ได้สรุปสาระการเรียนรู้ ระบุผลการเรียนรู้ มีภาพและคำถามเข้าสู่บทเรียน แนวคิดสำคัญของแต่ละเรื่อง กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ เนื้อหา และคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ เพื่อเป็นการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนตามแนวปฏิรูปการศึกษา และมีคุณภาพตรงตามผลการเรียนรู้ หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้เรียบเรียงขอน้อมรับคำแนะนำด้วยความขอบคุณยิ่ง

วรรษมล เสนาะคำ

สารบัญ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย 1

1. การเคลื่อนที่ของวัตถุติดสปริง 3
2. การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย 13

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ 23

หน่วยการเรียนรู้ 2 คลื่นและสมบัติของคลื่น 25

1. คลื่นกล 27
2. ส่วนประกอบของคลื่น 35
3. สมการของคลื่นรูปไซน์ 40
4. การรวมกันของคลื่น 45
5. สมบัติของคลื่น 47

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ 66

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 เสียง 68

1. ธรรมชาติของเสียง 70
2. สมบัติของเสียง 75
3. การสั่นพ้องและคลื่นนิ่งของเสียง 93
4. ความเข้มเสียงและการได้ยิน 104
5. เสียงดนตรี 114
6. ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทก 118

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ 133

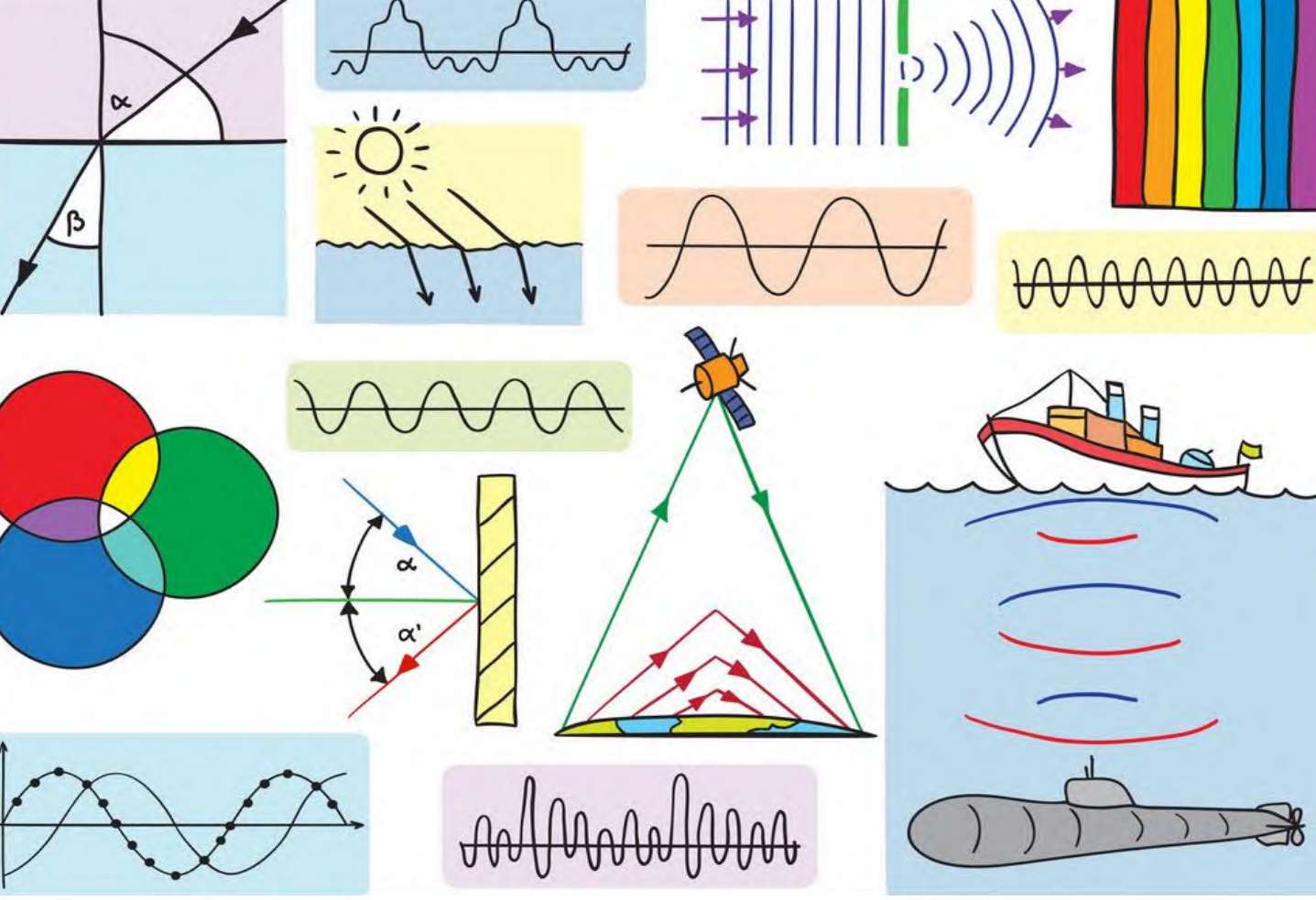
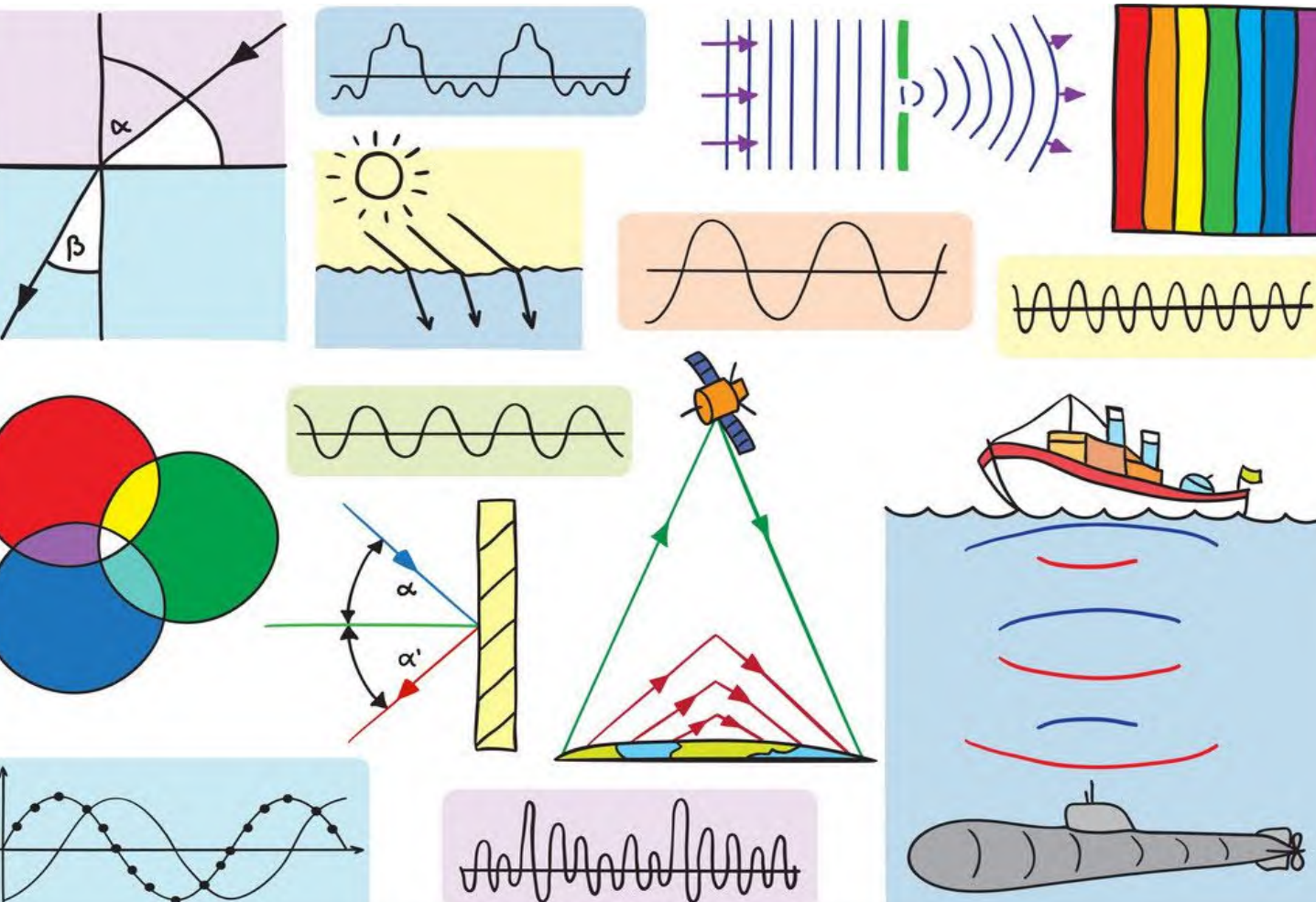
หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 แสง 136

1. ธรรมชาติของแสง 138
2. การสะท้อนของแสง 140
3. การหักเหของแสง 161
4. การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของแสง 183

5. ตาและการมองเห็นสี 198
6. ความสว่าง 206
7. ปรากฏการณ์ทางแสงและทัศนอุปกรณ์ 208
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ 220

บรรณานุกรม 223

อภิธานศัพท์ 225


α
β
α
α'

α
β
α
α'

หน่วยการเรียนรู้ที่

1

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

สาระการเรียนรู้

1. การเคลื่อนที่ของวัตถุติดสปริง
2. การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

ผลการเรียนรู้

1. ทดลอง และอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. อธิบายความถี่ธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้อง

ลูกตุ้มฟูโกต์ (foucault pendulum) ที่วิหารพาเธนอน กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส เป็นการทดลองที่พิสูจน์ว่าโลกหมุนรอบตัวเอง ลูกตุ้มฟูโกต์มีหลักการทำงานอย่างไร

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (simple harmonic motion) เป็นการเคลื่อนที่แบบมีคาบ สามารถพบได้จากการเคลื่อนที่ของสิ่งของต่างๆ ในชีวิตประจำวัน เช่น การแกว่งกวัดของลูกตุ้มนาฬิกาในนาฬิกาโบราณ การแกว่งของชิงช้า การสั่นของวัตถุที่ติดปลายสปริง หรือแม้กระทั่งเสียงที่เกิดจากแคลริเน็ต การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของลูกสูบในเครื่องยนต์ ทั้งหมดนี้เป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาผ่านตำแหน่งเดิม ซึ่งความเข้าใจการเคลื่อนแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการศึกษาฟิสิกส์เรื่องอื่นๆ เช่น คลื่น ไฟฟ้ากระแสสลับ

รูปที่ 1.1 *ตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายที่พบในชีวิตประจำวัน*

วัตถุที่เคลื่อนที่แบบมีคาบจะมีตำแหน่งสมดุลเสมอ เช่น เมื่อย้ายวัตถุจากตำแหน่งหนึ่งแล้วปล่อย วัตถุจะเกิดแรงหรือทอร์กเพื่อดึงวัตถุนั้นให้กลับมายังจุดสมดุล แต่ในจังหวะที่กลับมายังจุดสมดุล ถ้าวัตถุได้รับพลังงานจลน์ค่าหนึ่ง วัตถุจะเคลื่อนที่เลยตำแหน่งสมดุลนั้นไปและจะถูกดึงกลับมาด้วยแรงเดิมอีกครั้ง เหมือนกับการกลิ้งของลูกบอลในหลอดรูปตัวยู ซึ่งในบทเรียนนี้จะสนใจเพียงระบบเบื้องต้นของการเคลื่อนที่แบบมีคาบ คือ ระบบของมวลติดสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย

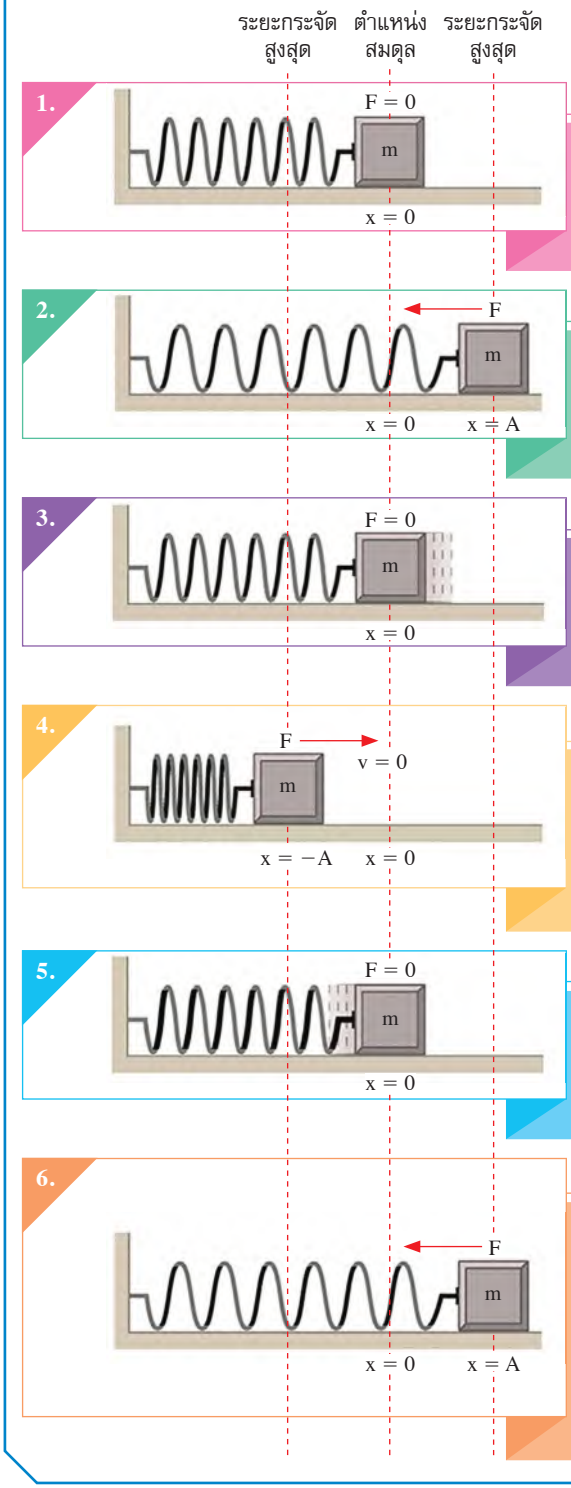
1. การเคลื่อนที่ของวัตถุติดสปริง

แนวคิดสำคัญ

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายที่เห็นได้ชัดเจนที่สุด คือ การเคลื่อนที่ของมวลติดสปริง ซึ่งค่าคงตัวของสปริงและมวลของวัตถุจะมีอิทธิพลสำคัญต่อระบบนี้ เนื่องจากแรงจากสปริงจะเป็นแรงที่ทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาได้ และขนาดของมวลมีผลต่อความถี่และคาบของการเคลื่อนที่

พิจารณาระบบของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายที่มีวัตถุมวล m ผูกติดกับสปริงเบาและเคลื่อนที่อยู่บนรางลื่นในแนวระดับ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุให้เกิดการเคลื่อนที่จะมีเพียงแรงสปริงเพียงแรงเดียว

วัตถุติดสปริง



เริ่มต้น วัตถุอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล ($x = 0$) แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ ($F = 0$)

เมื่อดึงวัตถุออกจากตำแหน่งสมดุลเป็นระยะ A จะมีแรงลัพธ์ F เป็นแรงต้านของสปริงดึงวัตถุกลับไปยังตำแหน่งสมดุล

วัตถุจะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสมดุลด้วยความเร็วสูงสุด ระยะกระจัดและแรงที่กระทำต่อวัตถุที่ตำแหน่งนี้มีค่าเป็นศูนย์

วัตถุเคลื่อนที่ไปที่ระยะกระจัดสูงสุด อีกด้านหนึ่ง ($-A$) ที่ตำแหน่งนี้ความเร็วของวัตถุจะเป็นศูนย์ และมีแรงลัพธ์ F เป็นแรงต้านของสปริงดึงวัตถุกลับไปยังตำแหน่งสมดุล

วัตถุจะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสมดุลด้วยความเร็วสูงสุดอีกครั้ง ระยะกระจัดและแรงที่กระทำต่อวัตถุที่ตำแหน่งนี้มีค่าเป็นศูนย์

วัตถุเคลื่อนที่กลับไปที่ระยะกระจัดสูงสุด (A) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ ความเร็วของวัตถุจะเป็นศูนย์ และมีแรงลัพธ์ F ดึงวัตถุกลับไปยังตำแหน่งสมดุลเช่นเดิม โดยถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงาน วัตถุจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมารอบจุดสมดุลเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ

จากเหตุการณ์ข้างต้นสามารถอธิบายปริมาณที่ควรทราบเพื่อใช้ในการพิจารณาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายได้ดังนี้

1. แอมพลิจูด (amplitude : A) คือ ขนาดสูงสุดของการกระจัดจากจุดสมดุล มีหน่วยเป็น เมตร (m) โดยการสั่น 1 รอบ วัตถุจะเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ไปยังตำแหน่งสมดุล และไปยัง $-A$ จากนั้นกลับมายังตำแหน่งสมดุล และกลับมายัง A

2. คาบ (period : T) คือ ช่วงเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ครบรอบ 1 รอบ มีหน่วยเป็น วินาที (s)

3. ความถี่ (frequency : f) คือ จำนวนรอบต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์ (Hz)

จากนิยามของความถี่และคาบ แสดงว่า ตัวแปรทั้งสองเป็นส่วนกลับหรือแปรผกผันซึ่งกันและกัน จะมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$f = \frac{1}{T} \tag{1.1}$$

และ

$$T = \frac{1}{f} \tag{1.2}$$

เมื่อ f คือ ความถี่ มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์ (Hz)
T คือ คาบ มีหน่วยเป็น วินาที (s)

สำหรับวัตถุติดสปริง เมื่อออกแรงดึงวัตถุออกจากตำแหน่งสมดุลไปยังจุด A จะได้การกระจัดของวัตถุเท่ากับ A และเมื่อปล่อยวัตถุ สปริงจะออกแรงคืนตัวดึงให้วัตถุกลับมาตำแหน่งสมดุล โดยแรงคืนตัวจะมีขนาดเท่ากับแรงที่ใช้ดึงวัตถุออกจากจุดสมดุล แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน และแรงคืนตัวจึงมีทิศทางตรงข้ามกับการกระจัดของวัตถุซึ่งเป็นไปตาม **กฎของฮุก (Hooke's law)** ดังสมการ

$$\vec{F} = -k\vec{x} \tag{1.3}$$

เมื่อ $\vec{F}$ คือ แรงดึงกลับในสปริง
k คือ ค่าคงตัวของสปริง
$\vec{x}$ คือ การกระจัดของสปริง

วัตถุมวล m เคลื่อนที่ด้วยแรงคืนตัวของสปริงด้วยความเร่ง a ซึ่งจากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$$

จะได้

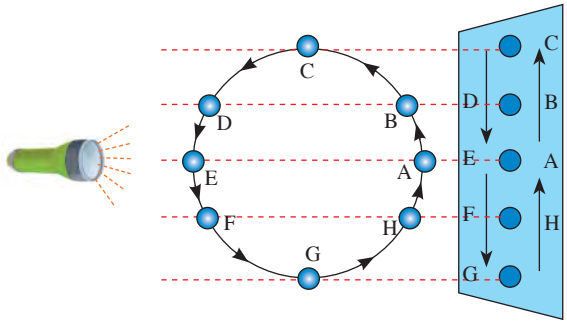
$$-k\vec{x} = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = -\frac{k}{m}\vec{x} \tag{1.4}$$

จากสมการที่ 1.4 จะได้ว่า ถ้ามวลของวัตถุมีค่าคงตัว ความเร่งของการเคลื่อนที่จะแปรผันตรงกับการกระจัดของวัตถุแต่มีทิศทางตรงกันข้าม

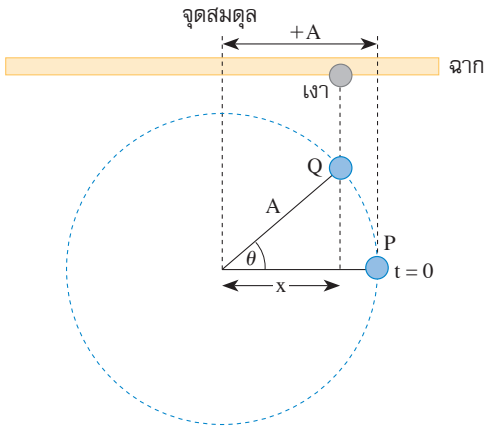
ปริมาณต่าง ๆ ของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจะอยู่ในฟังก์ชันของเวลา x(t) หากเปรียบเทียบการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายกับการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบวงกลมจะมีความสัมพันธ์กัน ดังนี้

ถ้าฉายแสงไปยังวัตถุที่ถูกแกว่งให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม จะพบว่า เงาของวัตถุบนฉากที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำแนวเดิมในแนวตรง โดยมีตำแหน่งศูนย์กลางของวงกลมเป็นแนวสมดุลดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 *การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของเงาวัตถุ*

พิจารณาการเคลื่อนที่ของลูกบอลเป็นวงกลมรัศมี A เริ่มต้น ลูกบอลเริ่มหมุนจากตำแหน่ง P ที่เวลา t = 0 เมื่อเวลาผ่านไป t ลูกบอลเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง Q จะกวาดมุมไปได้ θ โดยลูกบอลหมุนด้วยอัตราเร็วเชิงมุมคงตัว ω ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 *การกระจัดของลูกบอลที่เวลา t*

จากรูปที่ 1.3 หาขนาดของการกระจัดบนแกน x ของลูกบอลได้จาก

$$\cos\theta = \frac{x}{A}$$

จะได้

$$x = A\cos\theta \qquad \textbf{(1.5)}$$

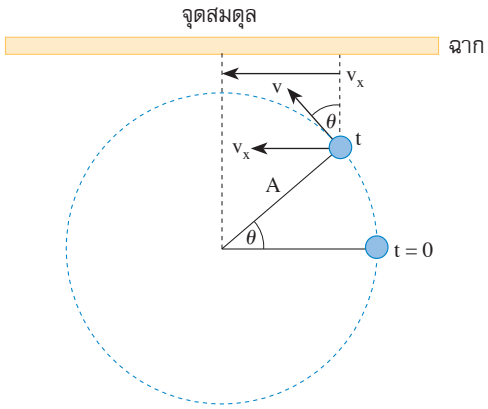
และจากการเคลื่อนที่แบบวงกลม

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

จะได้

$$x = A\cos\omega t \qquad \textbf{(1.6)}$$

เมื่อเวลาผ่านไป เงาของลูกบอลจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาระหว่างการกระจัดที่ตำแหน่ง x = +A และ x = −A เมื่อรัศมี A คือ แอมพลิจูดของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ซึ่งเทียบได้กับค่าโคไซน์ในการเคลื่อนที่แบบวงกลมซึ่งค่าจะอยู่ระหว่าง +1 และ −1 เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่เป็นวงกลมครบ 1 รอบ เงาก็จะเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายครบ 1 รอบด้วยเช่นกัน



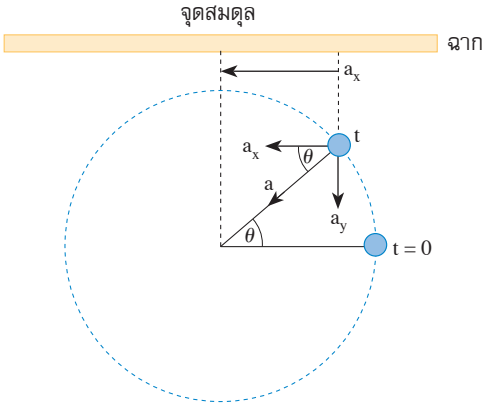
รูปที่ 1.4 *ความเร็วในการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของวัตถุ*

จากรูปที่ 1.4 ถ้าพิจารณาความเร็วของลูกบอลบนแกน x ที่เวลา t โดยกำหนดให้ด้านขวาเป็น +x และด้านซ้ายเป็น −x ความเร็วของลูกบอลในแกน x จะมีทิศทางไปทาง −x จะหาขนาดของความเร็วบนแกน x ได้จาก

$$v_x = -v \sin \theta \qquad \textbf{(1.7)}$$

และจาก $v = \omega A$ จะได้

$$v_x = -\omega A \sin \omega t \qquad \textbf{(1.8)}$$



รูปที่ 1.5 *ความเร่งในการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของวัตถุ*

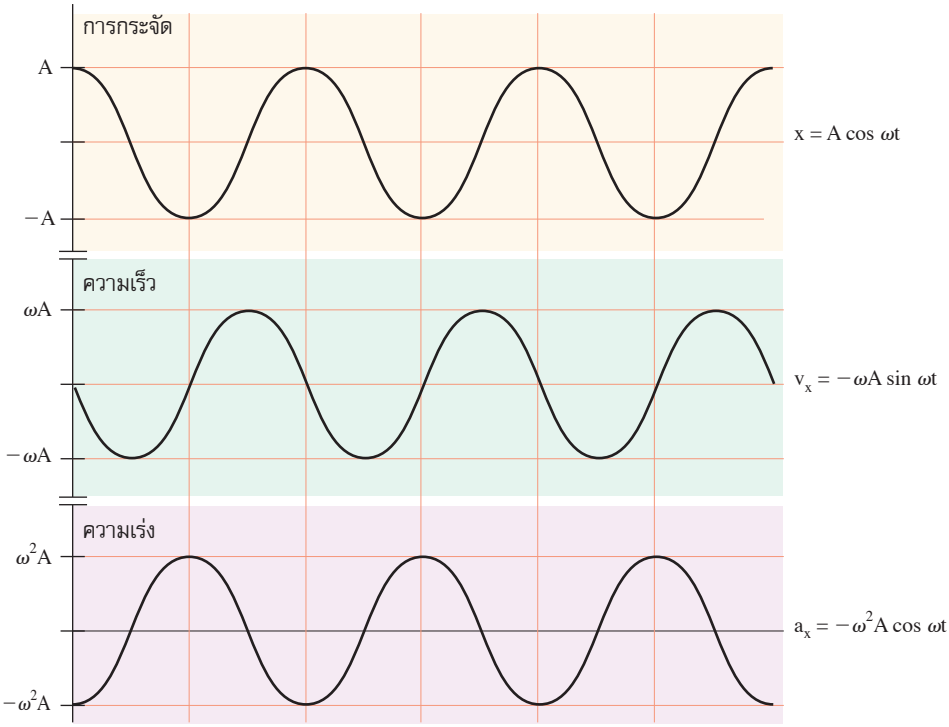
จากรูปที่ 1.5 พิจารณาความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลม จะมีความเร่งในทิศเข้าหาศูนย์กลางของวงกลม ความเร่งของลูกบอลบนแกน x จะมีทิศทางไปทาง −x จะหาขนาดของความเร่งบนแกน x ได้จาก

$$a_x = -a \cos \theta \qquad \textbf{(1.9)}$$

และจาก $a = \omega^2 A$ จะได้

$$a_x = -\omega^2 A \cos \omega t \qquad \textbf{(1.10)}$$

ขนาดของการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจากสมการที่ 1.6, 1.8 และ 1.10 เมื่อนำไปวาดกราฟฟังก์ชันไซน์กับเวลา จะได้ว่า ความเร็ว v_x มีค่าอยู่ระหว่าง $+\omega A$ และ $-\omega A$ ส่วนความเร่ง a_x มีค่าอยู่ระหว่าง $+\omega^2 A$ และ $-\omega^2 A$ ดังรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 *กราฟของการกระจัด ความเร็ว และความเร่งกับเวลาของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย*

จากรูปที่ 1.6 จะเห็นได้ว่ากราฟรูปไซน์ของการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่มีเฟส (ϕ) ไม่เท่ากัน โดยการกระจัดจะมีเฟสนำความเร็วอยู่ $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน ความเร็วจะมีเฟสนำความเร่งอยู่ $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน และกราฟของการกระจัดจะมีค่าขึ้นกับเฟสเริ่มต้น สมการรูปทั่วไปของการกระจัดจะเป็นดังนี้

$$x = A \cos (\omega t + \phi) \qquad \textbf{(1.11)}$$

จากสมการที่ 1.6 และ 1.8 พิจารณาเฉพาะขนาดของการกระจัดและความเร็วดังนี้

$$x = A \cos \omega t$$

$$v_x = \omega A \sin \omega t$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\cos \omega t = \frac{x}{A}$$

และ

$$\sin \omega t = \frac{v_x}{\omega A}$$

จากความสัมพันธ์ในเรื่องตรีโกณมิติ $\sin^2\theta+\cos^2\theta = 1$

จะได้ $\sin^2\omega t+\cos^2\omega t = 1$

$$\left(\frac{v_x}{\omega A}\right)^2+\left(\frac{x}{A}\right)^2 = 1$$

$$\left(\frac{v_x}{\omega A}\right)^2 = 1-\left(\frac{x}{A}\right)^2$$

$$\frac{v_x^2}{\omega^2A^2} = \frac{A^2}{A^2}-\frac{x^2}{A^2}$$

$$\frac{v_x^2}{\omega^2A^2} = \frac{A^2-x^2}{A^2}$$

$$v_x^2 = \omega^2A^2\left(\frac{A^2-x^2}{A^2}\right)$$

$$v_x = \pm\omega\sqrt{A^2-x^2} \qquad \textbf{(1.12)}$$

สมการที่ 1.12 เป็นสมการที่ใช้หาความเร็วขณะใดๆ ของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เมื่อทราบตำแหน่งหรือการกระจัดที่แน่นอนของวัตถุ

จากสมการที่ 1.6 จัดรูปสมการใหม่ ดังนี้

$$A = \frac{x}{\cos\omega t}$$

แทนค่าในสมการที่ 1.10 จะได้

$$a_x = -\omega^2\left(\frac{x}{\cos\omega t}\right)\cos\omega t$$

$$a_x = -\omega^2x \qquad \textbf{(1.13)}$$

และจาก $a = -\frac{k}{m}x$

จะได้ $-\omega^2x = -\frac{k}{m}x$

ดังนั้น $$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad \textbf{(1.14)}$$

จากการเคลื่อนที่แบบวงกลม $\omega = 2\pi f$ จะได้

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

จะได้ความถี่ของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายดังสมการ

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \qquad \textbf{(1.15)}$$

และจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และคาบ จะได้คาบของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายดังสมการ

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad \textbf{(1.16)}$$

จากสมการข้างต้นแสดงให้เห็นว่า สำหรับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดสปริง ความถี่และคาบของการเคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับค่าคงตัวของสปริงและมวลของวัตถุ

ตัวอย่างที่ 1.1 เครื่องทรานสดิวเซอร์อัลตราซาวด์ (ลำโพงแบบหนึ่ง) เครื่องหนึ่งซึ่งใช้สำหรับวินิจฉัยทางการแพทย์สั่นที่ความถี่ 6.7 เมกะเฮิรตซ์ การสั่นแต่ละรอบจะใช้เวลาเท่าไรและความถี่เชิงมุมมีค่าเท่าไร

วิธีทำ หาคาบจาก $T = \frac{1}{f}$

$$= \frac{1}{6.7\times10^{6}}$$

$$= 1.5\times10^{-7} = 0.15\ \mu s$$

หาความถี่เชิงมุมจาก $\omega = 2\pi f$

$$= 2\pi(6.7\times10^{6})$$

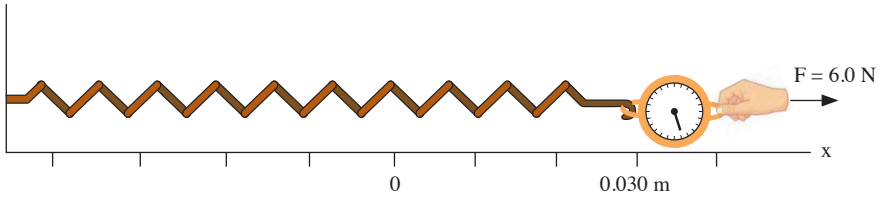
$$= 4.2\times10^{7}\ \text{rad/s}$$

ดังนั้น การสั่นแต่ละรอบจะใช้เวลา 0.15 ไมโครวินาที และความถี่เชิงมุมมีค่าเท่ากับ 4.2×10^{7} เรเดียนต่อวินาที **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.2 สปริงขดหนึ่งถูกติดตั้งในแนวระดับ ปลายด้านซ้ายยึดไว้กับผนัง ปลายอีกด้านหนึ่งผูกกับตาชั่งสปริงดังรูป เมื่อออกแรงดึงไปด้านขวา พบว่า แรงดึงแปรผันตรงกับการกระจัด โดยเมื่อออกแรงดึงขนาด 6.0 นิวตัน ทำให้เกิดการกระจัดขนาด 0.030 เมตร ถ้าเอาตาชั่งสปริงออกและผูกวัตถุมวล 0.50 กิโลกรัมกับปลายสปริง ดึงวัตถุออกไป 0.020 เมตร แล้วปล่อยให้วัตถุสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จงหา

ก. ค่าคงตัวของสปริง

ข. ความเร็วเชิงมุม ความถี่ และคาบของการสั่น



วิธีทำ ก. จากโจทย์ทราบ x = 0.030 m และแรงที่ใช้ดึงสปริง F = 6.0 N

เนื่องจากแรงที่ใช้ดึงสปริงมีทิศเดียวกับการกระจัด จากกฎของฮุกจะได้

$$F = kx$$

$$6.0 = k(0.03)$$

$$k = 200\ \text{N/m}$$

ดังนั้น ค่าคงตัวของสปริงเท่ากับ 200 นิวตันต่อเมตร **ตอบ**

ข. จากโจทย์ทราบ m = 0.50 kg และ k = 200 N/m

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

$= \sqrt{\frac{200}{0.50}} = 20$ rad/s

หาความถี่จาก $\omega = 2\pi f$

$20 = 2\pi f$

$f = 3.2$ Hz

หาคาบจาก $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{3.2} = 0.31$ s

ดังนั้น ความเร็วเชิงมุมเท่ากับ 20 เรเดียนต่อวินาที ความถี่เท่ากับ 3.2 เฮิรตซ์ และคาบของการสั่นเท่ากับ 0.31 วินาที **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.3 มวล 0.01 กิโลกรัม แขวนอยู่ที่ปลายสปริงซึ่งห้อยในแนวดิ่ง ทำให้สปริงยืดออก 12 เซนติเมตร เมื่อดึงมวลแล้วปล่อยให้สั่นขึ้นลงในแนวดิ่ง จะทำให้สปริงมีคาบการสั่นเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ m = 0.01 kg และ x = 0.12 m

หาค่าคงตัวของสปริงจาก $F = kx$

$mg = kx$

$k = \frac{mg}{x}$

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

$= 2\pi\sqrt{\frac{x}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{0.12}{10}}$

$= 0.69$ s

ดังนั้น สปริงมีคาบการสั่น 0.69 วินาที **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.4 อุปกรณ์ลดการสะเทือนซึ่งทำจากสปริงในรถเก่าคันหนึ่งที่มีมวล 1,000 กิโลกรัม อยู่ในสภาพที่แย่มาก เมื่อคนหนัก 980 นิวตัน เข้าไปนั่งในตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถ พบว่ารถยุบตัวลง 2.8 เซนติเมตร เมื่อรถแล่นบนถนนขรุขระจะเกิดการสั่น ถ้าจำลองคนและรถเป็นวัตถุก้อนเดียวที่วางอยู่บนสปริง คาบและความถี่ของการสั่นนี้เป็นเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ เมื่อคนเข้าไปนั่งในรถ น้ำหนักจะเพิ่มขึ้นอีก 980 N สปริงหดตัวลงจากเดิม 0.028 m

หาค่าคงตัวของสปริงจาก $F = kx$

$980 = k(0.028)$

$k = 3.5\times10^4$ N/m

หามวลของคนจาก $W = mg$

$980 = m(9.8)$

$m = 100$ kg

มวลทั้งหมดที่อยู่บนสปริงเท่ากับ $m_{รวม} = 1{,}000+100 = 1{,}100$ kg

หาคาบจาก $T = 2\pi\sqrt{\frac{m_{รวม}}{k}}$

$= 2\pi\sqrt{\frac{1100}{3.5\times10^4}} = 1.11$ s

หาความถี่จาก $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1.11}$

$= 0.90$ Hz

ดังนั้น คาบและความถี่ของการสั่นนี้เท่ากับ 1.11 วินาที และ 0.90 เฮิรตซ์ ตามลำดับ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.5 วัตถุก้อนหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายด้วยแอมพลิจูด 0.5 เมตร และคาบ $\frac{\pi}{4}$ วินาที ณ ตำแหน่งที่วัตถุมีการกระจัด 0.4 เมตร วัตถุมีความเร็วกี่เมตรต่อวินาที

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $A = 0.5$ m, $T = \frac{\pi}{4}$ s และ $x = 0.4$ m

หาความเร็วเชิงมุมจาก $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{\frac{\pi}{4}}$

$= 8$ rad/s

หาความเร็วขณะใดๆ จาก $v_x = \omega\sqrt{A^2-x^2}$

$= 8\sqrt{(0.5)^2-(0.4)^2}$

$= 2.4$ m/s

ดังนั้น วัตถุมีความเร็ว 2.4 เมตรต่อวินาที **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.6 อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีการกระจัดดังสมการ $x = 2\cos\left(0.5t+\frac{\pi}{4}\right)$ จงหา

ก. อัตราเร็วสูงสุด

ข. อัตราเร่งสูงสุด

ค. ความเร็วของอนุภาคนี้เมื่อมีการกระจัด 1 เมตร

วิธีทำ จากโจทย์ สมการการกระจัดคือ $x = 2\cos\left(0.5t+\frac{\pi}{4}\right)$

จะได้ $A = 2$ m, $\omega = 0.5$ rad/s และ $\phi = \frac{\pi}{4}$ rad

ก. หาอัตราเร็วสูงสุดจาก $v_{max} = \omega A$

$= (0.5)(2) = 1$ m/s

ดังนั้น อัตราเร็วสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที **ตอบ**

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

$= (0.5)^2(2) = 0.5\ m/s^2$

ดังนั้น อัตราเร่งสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที^{2} **ตอบ**

ค. หาความเร็วของอนุภาคนี้เมื่อมีการกระจัด 1 เมตรจาก

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

$= 0.5\sqrt{(2)^2 - (1)^2}$

$= 0.87\ m/s$

ดังนั้น ความเร็วของอนุภาคนี้เมื่อมีการกระจัด 1 เมตร มีค่าเท่ากับ 0.87 เมตรต่อวินาที **ตอบ**

ทบทวนเพิ่มเติมอีกนิด

กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.1

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. สำหรับการเคลื่อนที่แบบวงกลมจะมีอัตราเร็วคงตัวตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ ส่วนการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจะมีอัตราเร็วเป็นอย่างไร
2. สำหรับการเคลื่อนที่แบบวงกลมจะมีความเร่งคงตัวตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ในทิศเข้าหาจุดศูนย์กลางของวงกลม การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจะมีความเร่งเป็นอย่างไร
3. กราฟระยะการกระจัดกับเวลาของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมีลักษณะเป็นอย่างไร

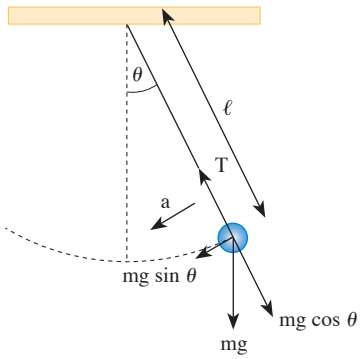
2. การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

แนวคิดสำคัญ

หลักการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่ายจะคล้ายกับมวลติดสปริง แต่จะแตกต่างกันที่ลักษณะการสั่นของระบบที่เป็นการแกว่งของเชือกแทนการสั่นของสปริง ซึ่งตัวแปรที่ส่งผลต่อคาบการแกว่งของลูกตุ้ม คือ ความยาวของเชือกและความเร่งโน้มถ่วง

ลูกตุ้มอย่างง่าย (simple pendulum) คือ ลูกตุ้มที่ประกอบด้วยมวลขนาดเล็กผูกหรือแขวนที่ปลายเชือกเบาที่มีมวลน้อยมากและไม่เกิดการยืดหรือหด โดยธรรมชาติวัตถุแขวนห้อยในแนวดิ่งโดยไม่มีการขยับจะอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล เมื่อดึงวัตถุให้ทำมุมเอียงเล็กน้อยกับแนวดิ่งแล้วปล่อย วัตถุจะแกว่งกลับไปมาโดยผ่านตำแหน่งสมดุล สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา การแกว่งของชิงช้า

พิจารณาการแกว่งลูกตุ้มมวล m ที่ผูกติดกับเชือกเบายาว ℓ และทำมุม θ กับแนวดิ่ง ดังรูปที่ 1.7



ลูกตุ้มนาฬิกา
มีหลักการทำงานอย่างไร

รูปที่ 1.7 *การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย*

จากรูปที่ 1.7 เมื่อดึงวัตถุออกจากแนวดิ่งด้วยแรง F จะมีแรงดึงกลับที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายได้ โดยแรงดึงกลับมีทิศตรงข้ามกับแรง F เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$F = -mg \sin \theta \qquad \textbf{(1.17)}$$

ถ้ามุม θ เป็นมุมเล็กๆ จะประมาณได้ว่าการเคลื่อนที่แนวโค้งของวัตถุจะเป็นเส้นตรง คือ การกระจัด x จะได้

$$\sin \theta = \frac{x}{\ell}$$

จากสมการที่ (1.16) จะได้ $F = -mg \frac{x}{\ell}$

วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง a จากกฎการเคลื่อนที่ข้อสองของนิวตัน

$$F = ma$$

จะได้ $-mg \frac{x}{\ell} = ma$

และจาก $a = -\omega^2 A$

จะได้ $-mg \frac{x}{\ell} = -m\omega^2 A$

$$g \frac{x}{\ell} = \omega^2 A$$

เมื่อลูกตุ้มมีการกระจัด x เท่ากับ A จะได้

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

ดังนั้น $$\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}} \qquad \textbf{(1.18)}$$

จากการเคลื่อนที่แบบวงกลม $\omega = 2\pi f$ จะได้

$$2\pi f = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$$

จะได้ความถี่ในการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายดังสมการ

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{\ell}} \qquad \textbf{(1.19)}$$