

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เวลา 60 ชั่วโมง จำนวน 1.5 หน่วยกิต

ศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุติดสปริง การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย คลื่นกล ส่วนประกอบของคลื่น สมการของคลื่นไซน์ การรวมกันของคลื่น สมบัติของคลื่น ธรรมชาติของเสียง สมบัติของเสียง การสั่นพ้องและคลื่นนิ่งของเสียง ความเข้มเสียงและการได้ยิน เสียงดนตรี ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทก ธรรมชาติของแสง การสะท้อนของแสง การหักเหของแสง การแทรกสอด และการเลี้ยวเบนของแสง ตาและการมองเห็นสี ความสว่าง ปรากฏการณ์ทางแสงและทัศนอุปกรณ์

โดยจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนได้ศึกษา ค้นคว้า นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันควบคู่ไปกับคุณธรรมและจริยธรรม และมีคุณลักษณะอันพึงประสงค์ ได้แก่ การใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ และการแก้ปัญหา มีความรอบคอบ มีความรับผิดชอบ พร้อมทั้งตระหนักว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ผลการเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย รวมทั้งคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. อธิบายธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้อง
3. อธิบายปรากฏการณ์คลื่น ชนิดของคลื่น ส่วนประกอบของคลื่น การแผ่ของหน้าคลื่นด้วยหลักการของฮอยเกนส์ และการรวมกันของคลื่นตามหลักการซ้อนทับ 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 เขียนรังสีของแสงและคำนวณตำแหน่งและขนาดภาพของวัตถุเมื่อแสงตกกระทบบนกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลม รวมทั้งอธิบายการนำความรู้เรื่องการสะท้อนของแสงจากกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลมไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน
10. ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีหักเห มุมตกกระทบ และมุมหักเห รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจริงและความลึกปรากฏ มุมวิกฤตและการสะท้อนกลับหมดของแสง และคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
11. ทดลองและเขียนรังสีของแสงเพื่อแสดงภาพที่เกิดจากเลนส์บาง หาดำแหน่ง 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

วรรมล เสนาะคำ

ผู้ตรวจ

ศ.มหาสิ สุทธิโสภา

รศ.มานัส มงคลสุข

ศ.ปรีดา เพชรมีศรี

บรรณาธิการ

ศ. ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง

วราชมล เสนาะคำ

ผู้ตรวจ

ผศ.มาลี สุทธิโอภาส

รศ.มานัส มงคลสุข

ผศ.ปริดา เพชรมีศรี

บรรณาธิการ

ศ. ดร.พิเชษฐ ลิ่มสุวรรณ

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

วราชมล เสนาะคำ.

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1.-- กรุงเทพฯ : แม็คเ็ดดูเคชั่น,
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

MAC EDUCATION

ส่งขนาดนี้ส่งจ่าย ไปรษณีย์ลาดพร้าว

ในนาม บริษัท แม็คเ็ดดูเคชั่น จำกัด

9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว

แขวงจันทระเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร. 0-2512-0661, 0-2938-2022-7 แฟกซ์ 0-2938-2028

www.MACeducation.com

พิมพ์ที่ : บริษัท แพลนพรินท์ติ้ง 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 เป็นต้นไปให้ใช้ในทุกระดับชั้นเรียน ซึ่งการปรับหลักสูตรครั้งนี้มีเป้าหมายสำคัญเพื่อให้โรงเรียนสามารถจัดการกระบวนการเรียนรู้ที่จะช่วยให้ผู้เรียนมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบสามารถใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบูรณาการกับความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนาด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่นำไปสู่การคิดค้นสิ่งประดิษฐ์หรือสร้างสรรค์นวัตกรรม นอกจากนี้ยังให้เกิดการเรียนรู้เรื่องภูมิศาสตร์ (Geo-literacy) ทั้งด้านความสามารถทางภูมิศาสตร์ กระบวนการทางภูมิศาสตร์ และทักษะทางภูมิศาสตร์ เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจได้อย่างถูกต้องและนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิต

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

โดยหนังสือเรียนแต่ละหน่วยการเรียนรู้จะให้ผู้ใช้นหนังสือเรียนได้ทราบเป้าหมายการเรียนรู้ในตอนต้นหน่วยการเรียนรู้ จากสาระการเรียนรู้และตัวชี้วัดชั้นปี และทุกหัวข้อหลักจะนำเสนอแนวคิดสำคัญเพื่อให้ทราบถึงสิ่งที่มีความรู้ ความคิดที่เป็นแก่นสำคัญที่ต้องเรียนรู้ให้ลึกซึ้ง และการเรียนรู้ที่ดี ผู้เรียนควรได้ตรวจสอบความรู้ความเข้าใจเป็นระยะ ๆ ก่อนเรียนเรื่องใหม่ ดังนั้น ในหนังสือเรียนจะมีการสอดแทรกกิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่สัมพันธ์กับเรื่องที่ได้เรียนผ่านมา เพื่อให้ผู้เรียนได้ตรวจสอบ

ตนเอง หรือบางหัวข้ออาจเป็นการฝึกทักษะให้ชำนาญก่อน สิ่งที่เพิ่มเติมในหนังสือเรียนแม็ค 4.0 นี้ คือ กิจกรรมบูรณาการวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ (STEM) ตามเป้าหมายสำคัญของการปฏิรูปหลักสูตรครั้งนี้ ซึ่งผู้เรียนและผู้สอนสามารถนำไปประยุกต์หรือดัดแปลงให้เหมาะสมกับบริบทของโรงเรียนและผู้เรียน การศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศ (ICT) เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องค้นคว้าเพิ่มเติม ดังนั้นในหนังสือเรียนแม็ค 4.0 จึงได้มีการเสริมเนื้อหาเพิ่มเติมที่ได้ผ่านการคัดกรองมาแล้วว่าเหมาะสมกับการเรียนรู้ แทรกไว้ในเนื้อหาบางหน่วย โดยใช้สัญลักษณ์  ผู้เรียนสามารถใช้สมาร์ทโฟนสแกน AR Code โดยใช้แอปพลิเคชัน SnapLearn ทำหน่วยการเรียนรู้ทุกหน่วยจะมีการสรุปบทเรียนสำหรับผู้เรียนได้ใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการตรวจสอบองค์ความรู้ที่ควรได้รับการพัฒนาหลังจากเสร็จสิ้นการเรียนรู้ หรือเป็นสาระสำคัญที่ควรจดจำและทำความเข้าใจให้ต้องแท้ ซึ่งนับว่าเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งในการปรับปรุงหนังสือเรียนครั้งนี้ที่ได้พัฒนาให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

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

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด

วิธีการใช้ SnapLearn

1. ดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน SnapLearn 
2. เปิดใช้งานแอปพลิเคชัน SnapLearn
 - 2.1 กดปุ่มตรงกลาง  เพื่อลงแบบบาร์โค้ด ISBN ที่ปกหลังมุมล่างด้านขวามือ
 - 2.2 กรอกรหัสหนังสือเรียนลงในช่องค้นหา ("Physics M.5 Vol.1")

3. กดดาวมีหลอดไฟสีเขียว
4. สแกนภาพหนังสือเรียนที่มีสัญลักษณ์ 

คำนำ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1 ได้พัฒนาและปรับปรุงเนื้อหา 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 การทบทวนเนื้อหา และคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ เพื่อเป็นการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนตามแนวปฏิรูปการศึกษา และมีคุณภาพตรงตามผลการเรียนรู้ หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้เรียบเรียงขออภัยและคำแนะนำด้วยความขอบคุณยิ่ง

วรรณมล 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 |

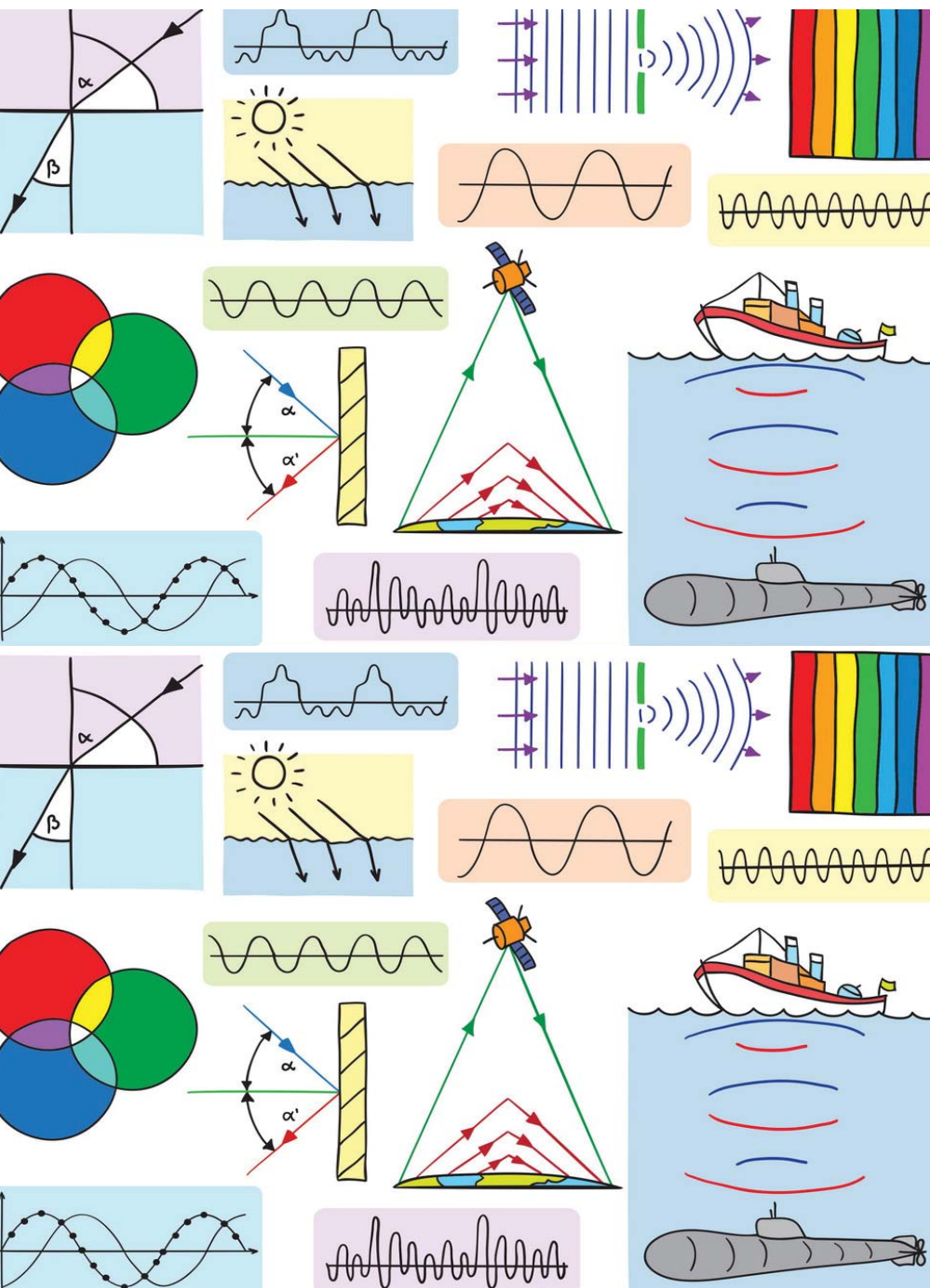
- | | |
|-----------------------------------|-----|
| 5. ตาและการมองเห็นสี | 198 |
| 6. ความสว่าง | 206 |
| 7. ปรากฏการณ์ทางแสงและทัศนอุปกรณ์ | 208 |
| คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ | 220 |

บรรณานุกรม

223

อภิธานศัพท์

225



การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

สาระการเรียนรู้

- 1 การเคลื่อนที่ของวัตถุติดสปริง
- 2 การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

ผลการเรียนรู้

1. ทดลอง และอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย รวมทั้งคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. อธิบายความถี่ธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้อง



ลูกตุ้มฟูโกต์ (foucault pendulum) ที่วิหารพาเอนอน กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส เป็นการทดลอง ที่พิสูจน์ว่าโลกหมุนรอบตัวเอง ลูกตุ้มฟูโกต์ มีหลักการทำงานอย่างไร

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



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายที่พบในชีวิตประจำวัน

วัตถุที่เคลื่อนที่แบบมีคาบจะมีตำแหน่งสมดุลเสมอ เช่น เมื่อย้ายวัตถุจากตำแหน่งหนึ่งแล้วปล่อย วัตถุจะเกิดแรงหรือทอร์กเพื่อดึงวัตถุนั้นให้กลับมายังจุดสมดุล แต่ในจังหวะที่กลับมายังจุดสมดุล ถ้าวัตถุได้รับพลังงานจลน์ค่าหนึ่ง วัตถุจะเคลื่อนที่เลยตำแหน่งสมดุลนั้นไปและจะถูกดึงกลับมามีแรงเดิมอีกครั้ง เหมือนกับการกลิ้งของลูกบอลในหลอดรูปถ้วย ซึ่งในบทเรียนนี้จะสนใจเพียงระบบเบื้องต้นของการเคลื่อนที่แบบมีคาบ คือ ระบบของมวลติดสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย

1. การเคลื่อนที่ของวัตถุติดสปริง



แนวคิดสำคัญ

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายที่เห็นได้ชัดเจนที่สุด คือ การเคลื่อนที่ของมวลติดสปริง ซึ่งค่าคงตัวของสปริงและมวลของวัตถุจะมีอิทธิพลสำคัญต่อระบบนี้ เนื่องจากแรงจากสปริงจะเป็นแรงที่ทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาได้ และขนาดของมวลมีผลต่อความถี่และความคาบของการเคลื่อนที่



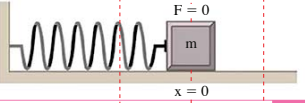
”

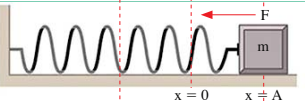
พิจารณาระบบของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายที่มีวัตถุมวล m ผูกติดกับสปริงเบาและเคลื่อนที่อยู่บนรางลื่นในแนวระดับ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุให้เกิดการเคลื่อนที่จะมีเพียงแรงสปริงเพียงแรงเดียว

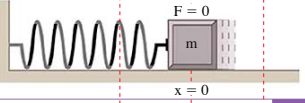


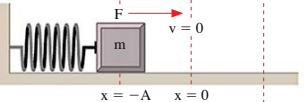
วัตถุติดสปริง

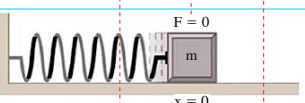
ระยะกระจัด สูงสุด
ตำแหน่ง สมดุล
ระยะกระจัด สูงสุด

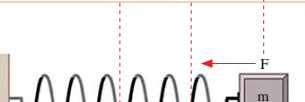
- 

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

เมื่อดึงวัตถุออกจากตำแหน่งสมดุลเป็นระยะ A จะมีแรงลัพธ์ F เป็นแรงต้านของสปริงดึงวัตถุกลับไปยังตำแหน่งสมดุล
- 

วัตถุจะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสมดุลด้วยความเร็วสูงสุด ระยะกระจัดและแรงที่กระทำต่อวัตถุที่ตำแหน่งนี้มีค่าเป็นศูนย์
- 

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

วัตถุจะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสมดุลด้วยความเร็วสูงสุดอีกครั้ง ระยะกระจัดและแรงที่กระทำต่อวัตถุที่ตำแหน่งนี้มีค่าเป็นศูนย์
- 

วัตถุเคลื่อนที่กลับไปสู่ระยะกระจัดสูงสุด (A) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ ความเร็วของวัตถุจะเป็นศูนย์ และมีแรงลัพธ์ F ดึงวัตถุกลับไปยังตำแหน่งสมดุลเช่นเดิม โดยถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงาน วัตถุจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมารอบจุดสมดุลเช่นนั้นต่อไปเรื่อยๆ

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

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.1)$$

และ

$$T = \frac{1}{f} \quad (1.2)$$

เมื่อ f คือ ความถี่ มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์ (Hz)

T คือ คาบ มีหน่วยเป็น วินาที (s)

สำหรับวัตถุติดสปริง เมื่อออกแรงดึงวัตถุออกจากตำแหน่งสมดุลไปยังจุด A จะเกิดการกระจัดของวัตถุเท่ากับ A และเมื่อปล่อยวัตถุ สปริงจะออกแรงคืนตัวดึงให้วัตถุกลับมาตำแหน่งสมดุล โดยแรงคืนตัวจะมีขนาดเท่ากับแรงที่ใช้ดึงวัตถุออกจากจุดสมดุล แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน และแรงคืนตัวจึงมีทิศทางตรงข้ามกับการกระจัดของวัตถุซึ่งเป็นไปตามกฎของฮุก (Hooke's law) ดังสมการ

$$\vec{F} = -k\vec{x} \quad (1.3)$$

เมื่อ $\vec{F}$ คือ แรงดึงกลับในสปริง

k คือ ค่าคงตัวของสปริง

$\vec{x}$ คือ การกระจัดของสปริง

วัตถุมวล m เคลื่อนที่ด้วยแรงคืนตัวของสปริงด้วยความเร่ง a ซึ่งจากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

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

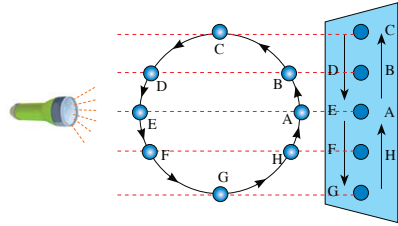
จะได้

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

$$\vec{a} = -\frac{k}{m}\vec{x} \quad (1.4)$$

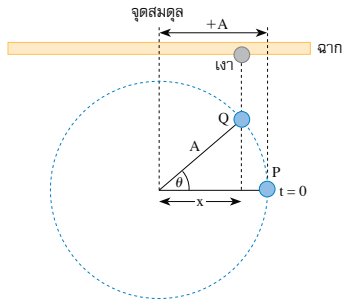
จากสมการที่ 1.4 จะได้ว่า ถ้ามวลของวัตถุมีค่าคงตัว ความเร่งของการเคลื่อนที่จะแปรผันตรงกับการกระจัดของวัตถุแต่มีทิศทางตรงกันข้าม

ปริมาณต่าง ๆ ของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจะอยู่ในฟังก์ชันของเวลา $x(t)$ หากเปรียบเทียบการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายกับการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบวงกลมจะมีความสัมพันธ์กัน ดังนี้
ถ้าฉายแสงไปยังวัตถุที่ถูกแกว่งให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม จะพบว่า เงาของวัตถุนั้นที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำแนวเดิมในแนวตรง 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

$$x = A \cos \theta \tag{1.5}$$

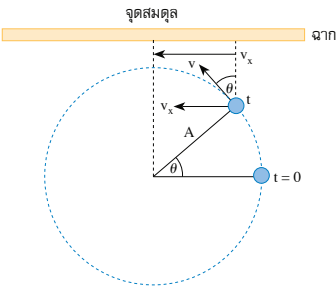
และจากการเคลื่อนที่แบบวงกลม

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

จะได้

$$x = A \cos \omega t \tag{1.6}$$

เมื่อเวลาผ่านไป เงาของลูกบอลจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำแนวเดิมระหว่างการกระจัดที่ตำแหน่ง $x = +A$ และ $x = -A$ เมื่อรัศมี A คือ แอมพลิจูดของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ซึ่งเทียบได้กับค่าโคไซน์ในการเคลื่อนที่แบบวงกลมซึ่งค่าจะอยู่ระหว่าง $+1$ และ -1 เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่เป็นวงกลมครบ 1 รอบ เงาจะเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายครบ 1 รอบด้วยเช่นกัน



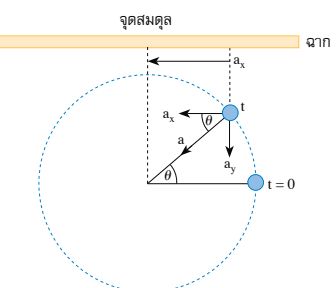
รูปที่ 1.4 ความเร็วในการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของวัตถุ

จากรูปที่ 1.4 ถ้าพิจารณาความเร็วของลูกบอลบนแกน x ที่เวลา t โดยกำหนดให้ด้านขวาเป็น $+x$ และด้านซ้ายเป็น $-x$ ความเร็วของลูกบอลในแกน x จะมีทิศทางไปทาง $-x$ จะหาขนาดของความเร็วนบนแกน x ได้จาก

$$v_x = -v \sin \theta \tag{1.7}$$

และจาก $v = \omega A$ จะได้

$$v_x = -\omega A \sin \omega t \tag{1.8}$$



รูปที่ 1.5 ความเร่งในการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของวัตถุ

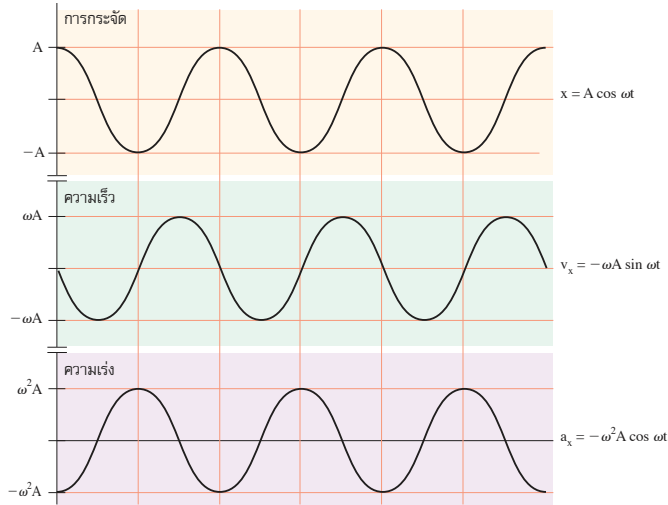
จากรูปที่ 1.5 พิจารณาความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลม จะมีความเร่งในทิศเข้าหาศูนย์กลางของวงกลม ความเร่งของลูกบอลบนแกน x จะมีทิศทางไปทาง $-x$ จะหาขนาดของความเร่งบนแกน x ได้จาก

$$a_x = -a \cos \theta \tag{1.9}$$

และจาก $a = \omega^2 A$ จะได้

$$a_x = -\omega^2 A \cos \omega t \quad (1.10)$$

ขนาดของการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจากสมการที่ 1.6, 1.8 และ 1.10 เมื่อนำไปวาดกราฟฟังก์ชันกับเวลา 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 จะเห็นได้ว่ากราฟฟูรีไซน์ของการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่มีเฟส (ϕ) ไม่เท่ากัน โดยการกระจัดจะมีเฟสนำความเร็วอยู่ $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน ความเร็วจะมีเฟสนำความเร่งอยู่ $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน และกราฟของการกระจัดจะมีค่าขึ้นกับเฟสเริ่มต้น สมการรูปทั่วไปของการกระจัดจะเป็นดังนี้

$$x = A \cos (\omega t + \phi) \quad (1.11)$$

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

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

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

จะได้

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

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

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

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

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

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

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

สมการที่ 1.12 เป็นสมการที่ใช้หาความเร็วขณะใดๆ ของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เมื่อทราบตำแหน่งหรือการกระจัดที่แน่นอนของวัตถุ

จากสมการที่ 1.6 จัดรูปสมการใหม่ ดังนี้

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

แทนค่าในสมการที่ 1.10 จะได้

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

$$a_x = -\omega^2 x \quad (1.13)$$

และจาก

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

จะได้

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

ดังนั้น

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1.14)$$

จากการเคลื่อนที่แบบวงกลม $\omega = 2\pi f$ จะได้

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

จะได้ความถี่ของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายดังสมการ

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

และจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และคาบ จะได้คาบของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายดังสมการ

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

จากสมการข้างต้นแสดงให้เห็นว่า สำหรับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดสปริง ความถี่และคาบของการเคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับค่าคงตัวของสปริงและมวลของวัตถุ

ตัวอย่างที่ 1.1 เครื่องทรานสดิวเซอร์อัลตราซาวด์ (ลำโพงแบบหนึ่ง) เครื่องหนึ่งซึ่งใช้สำหรับวินิจฉัยทางการแพทย์ สั่นที่ความถี่ 6.7 เมกะเฮิร์ตซ์ การสั่นแต่ละรอบจะใช้เวลาเท่าไรและความถี่เชิงมุมมีค่าเท่าไร

วิธีทำ หาคาบจาก

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

$$= \frac{1}{6.7 \times 10^6}$$

$$= 1.5 \times 10^{-7} = 0.15 \mu\text{s}$$

หาความถี่เชิงมุมจาก

$$\omega = 2\pi f$$

$$= 2\pi(6.7 \times 10^6)$$

$$= 4.2 \times 10^7 \text{ rad/s}$$

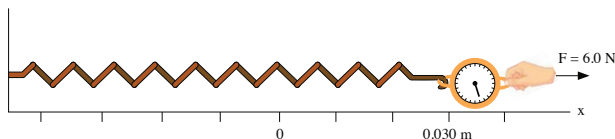
ดังนั้น การสั่นแต่ละรอบจะใช้เวลา 0.15 ไมโครวินาที และความถี่เชิงมุมมีค่าเท่ากับ 4.2×10^7 เรเดียนต่อวินาที

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.2 สปริงชนิดหนึ่งถูกติดตั้งในแนวระดับ ปลายด้านซ้ายยึดไว้กับผนัง ปลายอีกด้านหนึ่งผูกกับตาชั่งสปริง ดังรูป เมื่อออกแรงดึงไปด้านขวา พบว่า แรงดึงแปรผันตรงกับแรงกระจัด โดยเมื่อออกแรงดึงขนาด 6.0 นิวตัน ทำให้เกิดการกระจัดขนาด 0.030 เมตร ถ้าเอาตาชั่งสปริงออกและผูกวัตถุมวล 0.50 กิโลกรัมกับปลายสปริง วัตถุจะแกว่งไป 0.020 เมตร แล้วปล่อยให้วัตถุสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จงหา

ก. ค่าคงตัวของสปริง

ข. ความเร็วเชิงมุม ความถี่ และคาบของการสั่น



วิธีทำ ก. จากโจทย์ทราบ $x = 0.030 \text{ m}$ และแรงที่ใช้ดึงสปริง $F = 6.0 \text{ N}$

เนื่องจากแรงที่ใช้ดึงสปริงมีทิศเดียวกับการกระจัด จากกฎของฮุกจะได้

$$F = kx$$

$$6.0 = k(0.03)$$

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

ดังนั้น ค่าคงตัวของสปริงเท่ากับ 200 นิวตันต่อเมตร

ตอบ

ข. จากโจทย์ทราบ $m = 0.50 \text{ kg}$ และ $k = 200 \text{ N/m}$

หาความเร็วเชิงมุมจาก

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

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

หาความถี่จาก

$$\omega = 2\pi f$$

$$20 = 2\pi f$$

$$f = 3.2 \text{ Hz}$$

หาคาบจาก

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

ดังนั้น ความเร็วเชิงมุมเท่ากับ 20 เรเดียนต่อวินาที ความถี่เท่ากับ 3.2 เฮิร์ตซ์ และคาบของการสั่นเท่ากับ 0.31 วินาที

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.3 มวล 0.01 กิโลกรัม แขนงอยู่ที่ปลายสปริงซึ่งห้อยในแนวตั้ง ทำให้สปริงยืดออก 12 เซนติเมตร เมื่อดึงมวลแล้วปล่อยให้สั่นขึ้นลงในแนวตั้ง จะทำให้สปริงมีการสั่นเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $m = 0.01 \text{ kg}$ และ $x = 0.12 \text{ m}$

หาค่าคงตัวของสปริงจาก

$$F = kx$$

$$mg = kx$$

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

หาคาบจาก

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

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

$$= 0.69 \text{ s}$$

ดังนั้น สปริงมีคาบการสั่น 0.69 วินาที

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.4 อุปกรณ์ลดการกระเทือนซึ่งทำจากสปริงในรถเก๋งคันหนึ่งที่มีมวล 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

$$F = kx$$

$$980 = k(0.028)$$

$$k = 3.5 \times 10^4 \text{ N/m}$$

หามวลของคอนจาก

$$W = mg$$

$$980 = m(9.8)$$

$$m = 100 \text{ kg}$$

มวลทั้งหมดที่ยูบ่นสปริงเท่ากับ $m_{\text{รวม}} = 1,000 + 100 = 1,100 \text{ kg}$

หาคาบจาก

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

$$= 2\pi\sqrt{\frac{1100}{3.5 \times 10^4}} = 1.11 \text{ s}$$

หาความถี่จาก

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

$$= 0.90 \text{ Hz}$$

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

หาความเร็วเชิงมุมจาก

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

$$= 8 \text{ rad/s}$$

หาความเร็วขณะใด ๆ จาก

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

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

$$= 2.4 \text{ m/s}$$

ดังนั้น วัตถุมีความเร็ว 2.4 เมตรต่อวินาที

ตอบ

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

- อัตราเร็วสูงสุด
- อัตราเร่งสูงสุด
- ความเร็วของอนุภาคนี้เมื่อมีการกระจัด 1 เมตร

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

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

ก. หาอัตราเร็วสูงสุดจาก

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

$$= (0.5)(2) = 1 \text{ m/s}$$

ดังนั้น อัตราเร็วสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที

ตอบ

ข. หาความเร่งสูงสุดจาก

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

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

ดังนั้น อัตราเร่งสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที²

ค. หาความเร็วของอนุภาคนี้เมื่อมีการกระจัด 1 เมตรจาก

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

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

$$= 0.87 \text{ m/s}$$

ดังนั้น ความเร็วของอนุภาคนี้เมื่อมีการกระจัด 1 เมตร มีค่าเท่ากับ 0.87 เมตรต่อวินาที

ตอบ

บททวนเพิ่มเติมอีกนิด

ตอบ



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.1

จงตอบคำถามต่อไปนี้

- สำหรับการเคลื่อนที่แบบวงกลมจะมีอัตราเร็วคงตัวตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ ส่วนการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจะมีอัตราเร็วเป็นอย่างไร
- สำหรับการเคลื่อนที่แบบวงกลมจะมีความเร่งคงตัวตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ในทิศเข้าหาจุดศูนย์กลางของวงกลม การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจะมีความเร่งเป็นอย่างไร
- กราฟระยะการกระจัดกับเวลาของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมีลักษณะเป็นอย่างไร

2. การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย



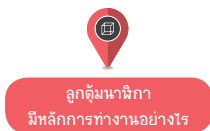
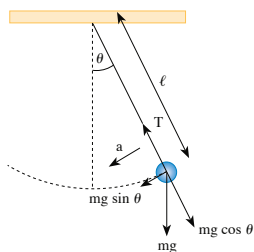
แนวคิดสำคัญ

หลักการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่ายจะคล้ายกับ มวลติดสปริง แต่จะแตกต่างกันที่ลักษณะการสั่นของระบบที่เป็นการแกว่งของเชือกแทนการสั่นของสปริง ซึ่งตัวแปรที่ส่งผลต่อการแกว่งของลูกตุ้ม คือ ความยาวของเชือกและความเร่งโน้มถ่วง

ลูกตุ้มอย่างง่าย (simple pendulum) คือ ลูกตุ้ม

ที่ประกอบด้วยมวลขนาดเล็กผูกหรือแขวนที่ปลายเชือกเบา ที่มีมวลน้อยมากและไม่เกิดการยืดหรือหด โดยธรรมชาติวัตถุแขวนห้อยในแนวตั้งโดยไม่มีการขยับจะอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล เมื่อดึงวัตถุให้ทำมุมเอียงเล็กน้อยกับแนวตั้งแล้วปล่อยวัตถุจะแกว่งกลับไปมาโดยผ่านตำแหน่งสมดุล สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา การแกว่งของชิงช้า

พิจารณาการแกว่งลูกตุ้มมวล m ที่ผูกติดกับเชือกเบายาว l กับทำมุม θ กับแนวตั้ง ดังรูปที่ 1.7



ลูกตุ้มนาฬิกา
มีหลักการทํางานอย่างไร

รูปที่ 1.7 การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

จากรูปที่ 1.7 เมื่อดึงวัตถุออกจากแนวตั้งด้วยแรง F จะมีแรงดึงกลับที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายได้ โดยแรงดึงกลับมีทิศตรงข้ามกับแรง F เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$F = -mg \sin \theta \quad (1.17)$$

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

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}} \quad (1.18)$$

จากการเคลื่อนที่แบบวงกลม $\omega = 2\pi f$ จะได้

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

จะได้ความถี่ในการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายดังสมการ

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

และจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และคาบ จะได้คาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายดังสมการ

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad (1.20)$$

จากสมการที่ 1.19 แสดงให้เห็นว่า สำหรับการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย ความถี่และคาบของการเคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับความยาวเชือกและความเร่งโน้มถ่วง ให้นักเรียนศึกษาการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายจากกิจกรรมที่ 1.1



กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.1 การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย
2. เพื่อหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก g จากการแกว่งของลูกตุ้ม

วัสดุอุปกรณ์

1. เชือกเบาหรือสายเอ็น
2. นอตขนาด 1.5 เซนติเมตร 3 ตัว
3. ไม้บรรทัดวัดมุม
4. นาฬิกาจับเวลา

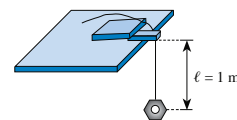
คำถ่วงก่อนกิจกรรม

ความยาวเชือกและมวลของนอตจะมีผลต่อการแกว่งของนอตที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายหรือไม่ อย่างไร

ตอนที่ 1 มวลของนอตกับการเคลื่อนที่

วิธีปฏิบัติ

1. นำนอต 1 ตัว ผูกกับเชือกยาว 1 เมตร แล้วจัดอุปกรณ์ดังรูป
2. ดึงนอตออกจากตำแหน่งสมดุล โดยทำมุม 15 องศา กับแนวตั้ง แล้วปล่อยให้นอตแกว่งไปและกลับโดยจับเวลาที่นอตเคลื่อนที่จนครบ 30 รอบ แล้วบันทึกผลลงในตาราง
3. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย แล้วคำนวณหาคาบการเคลื่อนที่ของนอต
4. ทำการทดลองเช่นเดิมตั้งแต่ข้อ 1-3 แต่เพิ่มมวลของนอตเป็น 2 ตัว และ 3 ตัว ตามลำดับ
5. เปรียบเทียบคาบการเคลื่อนที่ของนอตเมื่อมวลของนอตต่างกัน



ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลอง

จำนวนรอบ	เวลาในการเคลื่อนที่ 30 รอบ (วินาที)				คาบการเคลื่อนที่ (วินาที)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
1	ให้นักเรียนบันทึกผลลงในสมุดประจำตัวนักเรียน				
2					
3					

ตอนที่ 2 ความยาวเชือกกับคาบการเคลื่อนที่

วิธีปฏิบัติ

- จัดอุปกรณ์การทดลองเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1 โดยใช้เชือกยาว 50 เซนติเมตร
- ดึงเชือกออกจากตำแหน่งสมดุล โดยทำมุม 15 องศากับแนวตั้ง แล้วปล่อยให้เชือกแกว่งไปและกลับ โดยจับเวลาที่เชือกเคลื่อนที่จนครบ 30 รอบ บันทึกผลลงในตาราง
- ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย แล้วคำนวณหาคาบการเคลื่อนที่ของเชือก
- ทำการทดลองเช่นเดิมตั้งแต่ข้อ 1-3 แต่เปลี่ยนความยาวเชือกให้ต่างกันอีก 5 ค่า
- นำข้อมูลที่ได้จากตารางไปเขียนกราฟระหว่างคาบ (T^2) กับความยาวเชือก (l) โดยให้ T^2 อยู่บนแกนตั้ง และ l อยู่บนแกนนอน หาค่าความชันของกราฟเพื่อนำไปหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก g โดยพิจารณาความสัมพันธ์จากสมการที่ 1.20

ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลอง

ความยาวเชือก (เซนติเมตร)	เวลาในการเคลื่อนที่ 30 รอบ (วินาที)				คาบการเคลื่อนที่ (วินาที)	T ² (วินาที ²)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย		
50	ให้นักเรียนบันทึกผลลงในสมุดประจำตัวนักเรียน					
60						
70						
80						
90						
100						

คำถามท้ายกิจกรรม

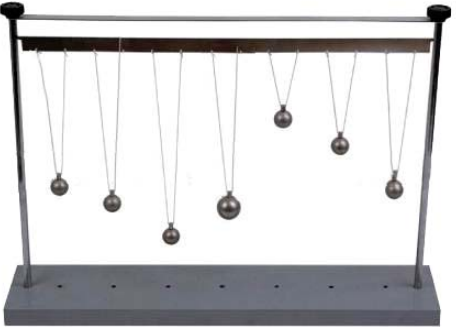
- มวลที่แตกต่างกันของเชือกมีผลต่อคาบการเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร
- ความยาวเชือกที่แตกต่างกันมีผลต่อคาบการเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร
- กราฟระหว่างระลอก T^2 กับความยาวเชือก (l) มีลักษณะเป็นอย่างไร
- ค่าความเร่งโน้มถ่วง g ที่คำนวณได้จากความชันของกราฟเป็นอย่างไรเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีที่มีค่า g เท่ากับ 9.8 เมตรต่อวินาที

จากกิจกรรมที่ 1.1 จะเห็นได้ว่า มวลของวัตถุไม่มีผลต่อคาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย ส่วนความยาวเชือกมีผลต่อคาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย โดยคาบการแกว่งจะแปรผันตรงกับความยาวเชือกตามสมการที่ 1.20 นั่นคือเมื่อเชือกยาว ลูกตุ้มจะแกว่งได้ช้า เมื่อเชือกสั้นลง ลูกตุ้มจะแกว่งได้เร็วขึ้น และเมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า T^2 กับ l จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันของกราฟเท่ากับ $\frac{4\pi^2}{g}$ จึงสามารถหาค่าความเร่งโน้มถ่วง g จากความชันของกราฟระหว่าง T^2 กับ l ได้

การสั่นพ้องของวัตถุ

เมื่อวัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เช่น ดิ่งวัตถุติดปลายสปริงออกจากตำแหน่งสมดุลแล้วปล่อยให้สั่นหรือดิ่งวัตถุที่แขวนด้วยเชือกออกจากแนวตั้งแล้วปล่อยให้แกว่ง วัตถุจะสั่นหรือแกว่งด้วยความถี่คงตัวค่าหนึ่งเสมอ เรียกความถี่นี้ว่า **ความถี่ธรรมชาติ (natural frequency)** โดยทั่วไปแล้ววัตถุทุกชนิดจะมีค่าความถี่ธรรมชาติเฉพาะตัวค่าหนึ่งเสมอ หากทำให้วัตถุนั้นสั่นหรือแกว่งด้วยความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติ จะทำให้วัตถุสั่นด้วยแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า **การสั่นพ้อง (resonance)** เช่น การแกว่งชิงช้า การสั่นของสายกีตาร์ การสั่นของล้อมล้อ แต่วัตถุบางอย่าง หากเกิดการสั่นพ้องจะทำให้เกิดความเสียหายรุนแรงได้ เช่น การสั่นสะเทือนของตึกสูงเมื่อเกิดแผ่นดินไหว การแกว่งของสะพานเมื่อถูกลมพัด

หากนักเรียนทดลองนำลูกตุ้มขนาดเล็กแขวนด้วยเชือกยาวต่าง ๆ กันหลายลูก โดยมีลูกตุ้มขนาดใหญ่ 1 ลูกที่แขวนด้วยเชือกยาวเท่ากับลูกตุ้มขนาดเล็กลูกหนึ่ง ดังรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 ชุดทดลองการสั่นพ้องของลูกตุ้ม

เมื่อนักเรียนแกว่งลูกตุ้มขนาดใหญ่ จะส่งผลให้ลูกตุ้มขนาดเล็กที่ผูกด้วยเชือกยาวเท่ากันเริ่มแกว่งด้วยแอมพลิจูดที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการแกว่งของลูกตุ้มนั้น ความถี่ในการแกว่งจะไม่ขึ้นกับมวลของวัตถุ แต่จะขึ้นกับความยาวของเชือก ลูกตุ้มขนาดใหญ่และลูกตุ้มขนาดเล็กผูกด้วยเชือกยาวเท่ากัน จึงมีความถี่ธรรมชาติเท่ากัน การแกว่งของลูกตุ้มขนาดใหญ่จึงส่งผลให้ลูกตุ้มขนาดเล็กเกิดการสั่นพ้องได้

ความรู้เพิ่มเติม

ส้อมเสียง (tuning fork) คือ แท่งโลหะที่มีปลาย 2 ก้านขึ้นรูปเป็นตัวยู เมื่อทำให้ส้อมเสียงเกิดการสั่นสะเทือนด้วยการเคาะหรือตี ส้อมเสียงจะสะท้อนเสียงในระดับความถี่เสียงที่คงที่ ระดับเสียงที่ปล่อยออกมาจะขึ้นอยู่กับความยาวของก้านโลหะทั้งสอง ซึ่งจะมีส่วนที่ไม่เกิดการสั่นสะเทือน 2 จุดใกล้กับแนวโค้งของตัวยู โดยการสั่นของส้อมเสียงเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เนื่องจากส้อมเสียงสั่นด้วยความถี่เดียวตลอดและไม่ขึ้นกับแอมพลิจูด จึงทำให้นักดนตรีนิยมใช้ส้อมเสียงในการเทียบเสียงเพื่อปรับระดับเสียงของเครื่องดนตรี



ตัวอย่างที่ 1.7 คาบและความถี่ในการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายที่มีเชนยาว 1,000 เมตร ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งที่มีความเร่งโน้มถ่วง 10 เมตรต่อวินาที² มีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $\ell = 1,000 \text{ m}$ และ $g = 10 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned} \text{หาคาบจาก} \quad T &= 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}} \\ &= 2\pi \sqrt{\frac{1000}{10}} = 62.8 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หาความถี่จาก} \quad f &= \frac{1}{T} \\ &= \frac{1}{62.8} = 0.016 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ดังนั้น คาบและความถี่ในการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายเท่ากับ 62.8 วินาที และ 0.016 เฮิรตซ์ ตามลำดับ

ตอบ



ตัวอย่างที่ 1.8 แขนงลูกตุ้มด้วยเชือกยาว 1 เมตร ลูกตุ้มจะแกว่งด้วยคาบ 2 วินาที ถ้าแขนงลูกตุ้มด้วยเชือกยาว 16 เมตร ลูกตุ้มจะแกว่งด้วยคาบเท่าไร

วิธีทำ จาก

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

ตอนแรก

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\ell_1}{g}} \quad \dots\dots(1)$$

ตอนหลัง

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{\ell_2}{g}} \quad \dots\dots(2)$$

นำสมการ $\frac{(1)}{(2)}$ จะได้

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{2\pi \sqrt{\frac{\ell_1}{g}}}{2\pi \sqrt{\frac{\ell_2}{g}}}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{\ell_1}{\ell_2}}$$

$$\frac{2}{T_2} = \sqrt{\frac{1}{16}}$$

$$\frac{2}{T_2} = \frac{1}{4}$$

$$T_2 = 8 \text{ s}$$

ดังนั้น ถ้าแขนงลูกตุ้มด้วยเชือกยาว 16 เมตร ลูกตุ้มจะแกว่งด้วยคาบ 8 วินาที

ตอบ



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.2

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. ชิงช้า A มีความยาวแขนเป็น 2 เท่าของชิงช้า B ถ้าแกว่งด้วยแรงที่เท่ากัน ชิงช้าใดจะแกว่งด้วยคาบที่มากกว่า
2. ลูกเลือกคนหนึ่งมองเห็นแถวลิฟท์ที่ห้อยอยู่บนต้นไม้ 3 เส้นที่มีความยาวไม่เท่ากัน ถ้าเขาต้องการข้ามคลองอย่างช้าๆ จะต้องโหนแถวลิฟท์เส้นใด ถ้าแถวลิฟท์ทั้งสามเส้นยาวพอที่จะข้ามคลองได้
3. ถ้าต้องทำให้ลูกตุ้มแกว่งด้วยคาบ 10 วินาที จะต้องใช้เชือกที่มีความยาวเท่าไร
4. นำแผ่นก้ำลิ้งชิงช้าพร้อมกับนับรอบของการแกว่งไปด้วย พบว่า เมื่อชิงช้าแกว่งครบ 20 รอบ ใช้เวลาในการแกว่ง 30 วินาที ชิงช้าแกว่งด้วยคาบและความถี่เท่าไร
5. ความเร่งโน้มถ่วงของโลก ณ ตำแหน่งที่นาฬิกาลูกตุ้มที่มีเชนยาว 2.25 เมตร แกว่งด้วยความถี่เชิงมุม 2 เรเดียนต่อวินาที มีค่าเท่าไร



กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ “แกว่งไปแกว่งมาน่าสนุก”

คำชี้แจง

1. ให้นักเรียนจัดกลุ่ม กลุ่มละ 6 คน และตั้งชื่อกลุ่ม
2. ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการทำกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ที่กำหนดให้
3. ทำกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้
4. การทำกิจกรรมต้องระดมสมองในการสืบค้นความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และความรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่นๆ โดยนำมาบูรณาการสร้างผลงาน อภิปรายเพื่อแสดงความคิดเห็นโดยใช้เหตุผล ในการโต้แย้งจากปรัชญาที่พบตลอดการทำกิจกรรมเพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ โดยคำนึงถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากการทำกิจกรรม
5. เตรียมความพร้อมที่จะนำเสนอผลงานเพื่อการแลกเปลี่ยนเรียนรู้

สถานการณ์

นักเรียนได้รับมอบหมายให้ประดิษฐ์ของเล่นหรือของตกแต่งบ้านที่ใช้หลักการเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เพื่อนำไปจัดแสดงในงานนิทรรศการของโรงเรียน โดยมีเงื่อนไขดังนี้

1. ของเล่นหรือของตกแต่งบ้านนั้นสามารถเล่นได้เช่นเดียวกับวัตถุติดสปริงหรือแกว่งแบบลูกตุ้มอย่างง่าย
2. อาจนำความรู้ในเรื่องอื่นๆ เช่น พลังงาน โมเมนตัม สภาวะสมดุล โมเมนต์ มาประยุกต์ใช้ในการประดิษฐ์สิ่งของ
3. มีความแข็งแรง สวยงาม และสร้างสรรค์
4. ใช้วัสดุหาได้ง่ายและมีราคาถูก



Knowledge

สรุปเรื่องการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

การเคลื่อนที่ของวัตถุติดสปริง

- การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (simple harmonic motion) เป็นการเคลื่อนที่แบบมีคาบ วัตถุจะมีแนวการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำแนวเดิมโดยผ่านจุดสมดุล
- ความถี่และคาบของการเคลื่อนที่เป็นส่วนกลับกันหรือแปรผกผันซึ่งกันและกันดังสมการ

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

- แรงคืนตัวของสปริงเป็นไปตามกฎของฮุก ดังสมการ

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

- การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายมีสมการสำหรับค่าแอมพลิจูดดังนี้

ขนาดของการกระจัด

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

หรือในรูปทั่วไป

$$x = A \cos (\omega t + \phi)$$

ขนาดของความเร็ว

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

ขนาดของความเร็วที่ขณะใด ๆ

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

ขนาดของความเร่ง

$$a_x = -\omega^2 A \cos \omega t$$

- สำหรับวัตถุติดสปริง ความเร็วเชิงมุม ความถี่ และคาบการเคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุและค่าคงตัวของสปริง ดังสมการ

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

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

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

การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

- ลูกตุ้มอย่างง่าย (simple pendulum) คือ ลูกตุ้มที่ประกอบด้วยมวลขนาดเล็กผูกหรือแขวนที่ปลายเชือกเบาที่มีมวลน้อยมากและเกิดการยืดหรือหด
- ขนาดแรงคืนตัวของสปริงเป็นไปตามกฎของฮุก ดังสมการ

$$F = -mg \sin \theta$$

- สำหรับวัตถุติดสปริง ความเร็วเชิงมุม ความถี่ และคาบการเคลื่อนที่ จะขึ้นอยู่กับความยาวของเชือกและความเร่งโน้มถ่วงของโลก ดังสมการ

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

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

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

- **ความถี่ธรรมชาติ (natural frequency)** คือ ความถี่ในการสั่นหรือแกว่งของวัตถุใดๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ววัตถุทุกชนิดจะมีความถี่ธรรมชาติเฉพาะตัวค่าหนึ่งเสมอ
- **การสั่นพ้อง (resonance)** เกิดขึ้นเมื่อทำให้วัตถุสั่นหรือแกว่งด้วยความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติ จะทำให้วัตถุสั่นด้วยแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้น



Process

1. ทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย
2. ทดลองอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย
3. อธิบายความถี่ธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้อง
4. คำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
5. คิดแบบมีวิจารณญาณและคิดแก้ปัญหา
6. สื่อสารและทำงานร่วมกับผู้อื่นได้



Attribute

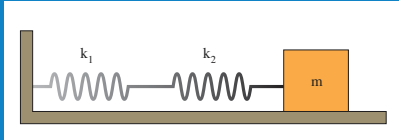
1. สื่อสารถ้อยรู้คิด
2. ใฝ่เรียนรู้
3. มุ่งมั่นในการทำงาน



คำถามท้าทายหน่วยการเรียนรู้

1. วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายตามแกน x โดยเริ่มเคลื่อนที่ที่ตำแหน่งห่างจากตำแหน่งสมดุล 5 เซนติเมตร ไปทางขวามือ หากวัตถุนั้นเคลื่อนที่ได้ห่างจากตำแหน่งสมดุลมากที่สุด 10 เซนติเมตร และวัตถุนั้นเคลื่อนที่ด้วยความถี่ 0.5 รอบต่อวินาที จงหา
 - 1.1 การกระจัดที่เวลาใดๆ
 - 1.2 อัตราเร็วของวัตถุขณะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสมดุล
 - 1.3 ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ระหว่างเวลา $t = 1$ วินาที ถึง $t = 2$ วินาที
 - 1.4 กราฟความเร็วและความเร่งกับเวลา
2. ลูกมวลติดกับสปริงเบา ดึงให้สปริงยืดออก 5 เซนติเมตร แล้วปล่อยให้สั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายด้วยความถี่ 10 เรเดียนต่อวินาที เมื่อมวลเคลื่อนที่ผ่านจุดสมดุลจะมีอัตราเร็วเชิงเส้นเท่าไร
3. แขนมวล 30 กรัม ติดกับปลายสปริงเบาที่มีค่าคงตัวสปริงเท่ากับ 100 นิวตันต่อเมตร เมื่อดึงมวลออกจากจุดสมดุล 20 เซนติเมตร แล้วปล่อยให้แกว่ง ความถี่เชิงมุมของการสั่นเท่ากับเท่าไร
4. วัตถุหนึ่งสั่นด้วยความถี่ 70 เฮิรตซ์ มีแอมพลิจูด 0.03 เซนติเมตร ความเร่งสูงสุดและอัตราเร็วสูงสุดของวัตถุนั้นมีค่าเท่าไร
5. การสั่นสะเทือนของลำโพงเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ถ้าวัดความถี่สูงสุดได้ 1.0 กิโลเฮิรตซ์ และแอมพลิจูดเท่ากับ 2.0×10^{-4} เมตร ความเร่งสูงสุดในการสั่นของลำโพงมีค่าเท่าไร
6. สปริงหนึ่งมีค่าคงตัว 100 นิวตันต่อเมตร ปลายสปริงด้านหนึ่งติดกับมวล 0.5 กิโลกรัม ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของสปริงติดกับผนัง เมื่อดึงมวลแล้วปล่อยให้สปริงเคลื่อนที่กลับไปกลับมาระหว่างตำแหน่งที่ดึงไว้
7. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายบนพื้นระดับด้วยแอมพลิจูด 10 เซนติเมตร ที่จุดห่างจากจุดสมดุล 6 เซนติเมตร มีความเร็ว 24 เซนติเมตรต่อวินาที คาบของอนุภาคนั้นมีค่าเท่าไร
8. แขนมวล 30 กรัม ติดกับปลายสปริงเบาที่มีค่าคงตัว 100 นิวตันต่อเมตร เมื่อดึงมวลออกจากจุดสมดุล 20 เซนติเมตร แล้วปล่อยให้แกว่ง มวลนี้จะมีอัตราเร็วเชิงมุมเท่าไร
9. นำวัตถุมาผูกติดกับสปริงและแขวนในแนวตั้ง เมื่อดึงวัตถุออกจากจุดสมดุลของสปริงแล้วปล่อย จะเริ่มเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ถ้ากำหนดให้วัตถุมีมวล 4 กิโลกรัม สปริงมีค่าคงตัว $16\pi^2$ นิวตันต่อเมตร และความเร่งโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ π^2 เมตรต่อวินาที² จงหา
 - 9.1 คาบของการสั่น
 - 9.2 ความถี่ของการสั่น
 - 9.3 ความเร็วเชิงมุม

10. สปริง 2 อัน มีค่าคงตัว k_1 และ k_2 ถูกติดกันแล้วผูกติดกับมวล m วางอยู่บนพื้นส้น ดังรูป มวล m จะสั่นด้วยคาบเท่าไร



11. แขนงลูกตุ้มด้วยเชือกยาว 0.4, 0.64 และ 1.4 เมตร เชือกแต่ละความยาวจะมีคาบเท่าไร และความสัมพันธ์ระหว่างเชือกกับคาบการแกว่งเป็นอย่างไร
12. ความเร่งโน้มถ่วงของโลก (g) ณ ตำแหน่งที่นาฬิกาลูกตุ้มที่มีแขนยาว 150.3 เซนติเมตร แกว่งครบ 100 รอบในเวลา 246.7 วินาที มีค่าเท่าไร
13. ลูกตุ้มแขนด้วยเชือกยาว 1 เมตร แกว่งไปมาด้วยคาบ 3 วินาที ถ้าลูกตุ้มแขนด้วยเชือกยาว 9 เมตร จะแกว่งด้วยคาบเท่าไร
14. ลูกตุ้มนาฬิกาแขนด้วยเชือกยาว 2 เมตร จงหาความถี่ของลูกตุ้มในการแกว่งต่อไปนี้
- 14.1 แกว่งบนพื้นโลก
- 14.2 แกว่งในลิฟต์ที่เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง 2 เมตรต่อวินาที²
- 14.3 แกว่งในลิฟต์ที่เคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง 2 เมตรต่อวินาที²
15. นาฬิกาโบราณเรือนหนึ่งอาศัยหลักการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาเป็นเครื่องบอกเวลา ถ้านาฬิกานี้เรือนนี้ไปไว้ที่ดวงจันทร์ซึ่งมีความเร่งโน้มถ่วงเป็น $\frac{1}{6}$ เท่าของความเร่งโน้มถ่วงบนโลก เมื่อนาฬิกาบนดวงจันทร์ผ่านไป 1 ชั่วโมง เวลาจริงบนโลกจะผ่านไปเท่าไร
16. วัตถุก้อนหนึ่งกำลังเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย การกระจัดจะมีค่าเป็นกี่เท่าของแอมพลิจูดที่ตำแหน่งพลังงานศักย์เท่ากับพลังงานจลน์