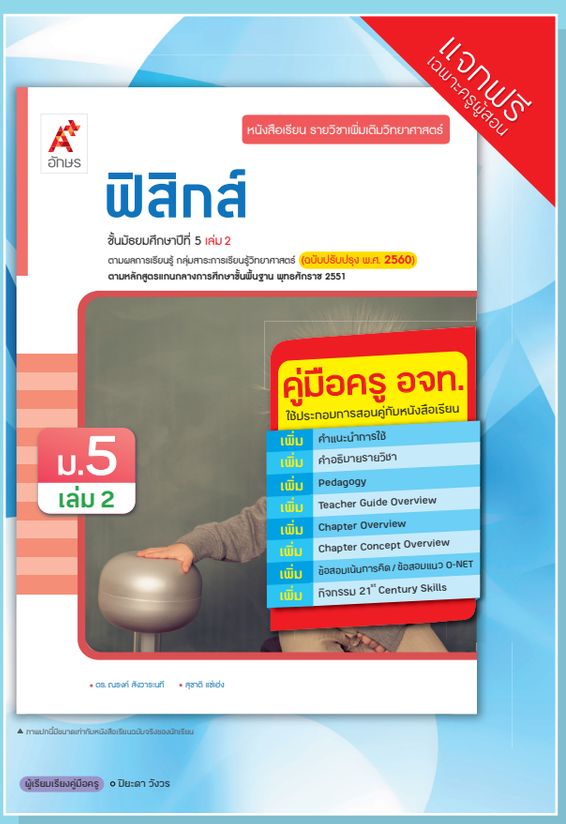
อักษร

คู่มือครู
รายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ ม.5

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ **(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)**
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ตัวอย่าง
หลักสูตรปรับปรุง '60



เพิ่ม

คำแนะนำการใช้ ช่วยสร้างความเข้าใจ เพื่อใช้คู่มือครูได้อย่างถูกต้องและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

คำอธิบายรายวิชา แสดงขอบข่ายเนื้อหาสาระของรายวิชา ซึ่งครอบคลุมมาตรฐานการเรียนรู้ และตัวชี้วัดตามที่หลักสูตรกำหนด

Pedagogy ช่วยสร้างความเข้าใจในกระบวนการออกแบบการจัดการเรียนการสอนแบบ Active Learning ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Teacher Guide Overview ช่วยให้เห็นภาพรวมของการจัดการเรียนการสอนทั้งหมดของรายวิชา ก่อนที่จะลงมือสอนจริง

Chapter Overview ช่วยสร้างความเข้าใจ และเห็นภาพรวมในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้แต่ละหน่วย

Chapter Concept Overview ช่วยให้เห็นภาพรวม Concept และเนื้อหาสำคัญของหน่วยการเรียนรู้

ข้อสอบเน้นการคิด/ข้อสอบแนว O-NET เพื่อเตรียมความพร้อมของผู้เรียนสู่การสอบในระดับต่าง ๆ

กิจกรรม 21st Century Skills กิจกรรมที่จะช่วยพัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้และการดำรงชีวิตในโลกแห่งศตวรรษที่ 21

คู่มือครู

ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ **(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)**

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียงหนังสือเรียน

รศ.ดร. ณรงค์ สังวาระนที

ดร. สุโกสินทร์ ทองรัตนาศิริ

ผู้ตรวจหนังสือเรียน

ผศ.ดร. ชนินันท์ พฤกษ์ประมูล

ดร. สุธิษา เละเซ็น

น.ต.หญิง ปวีณา ธารรักษ์

บรรณาธิการหนังสือเรียน

นางสาวชุลีพร สุวัฒนาพิบูล

ผู้เรียบเรียงคู่มือครู

นางสาววรรษมล เสนาะคำ

บรรณาธิการคู่มือครู

นางสาวชุลีพร สุวัฒนาพิบูล

อักษร www.aksorn.com

จัดพิมพ์และจำหน่ายทั่วประเทศโดย

บริษัท อักษรเจริญทัศน์ อจท. จำกัด

142 ถนนตะนาว เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200

โทร./แฟกซ์. 0 2622 2999 (อัตโนมัติ 20 คู่สาย)

พิมพ์ที่: **บริษัท ไทยร่มเกล้า จำกัด** โทร. 0 2903 9101-6

คำแนะนำการใช้

คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 เล่มนี้จัดทำขึ้นสำหรับให้ครูผู้สอนใช้เป็นแนวทางวางแผนจัดการเรียนการสอน เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และการประกันคุณภาพผู้เรียน ตามนโยบายของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.)

เพิ่ม **คำแนะนำการใช้** ช่วยสร้างความเข้าใจ เพื่อใช้คู่มือครูได้อย่างถูกต้องและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

เพิ่ม **คำอธิบายรายวิชา** แสดงขอบข่ายเนื้อหาสาระของรายวิชา ซึ่งครอบคลุมผลการเรียนรู้ตามที่หลักสูตรกำหนด

เพิ่ม **Pedagogy** ช่วยสร้างความเข้าใจในกระบวนการออกแบบการจัดการเรียนการสอนแบบ Active Learning ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

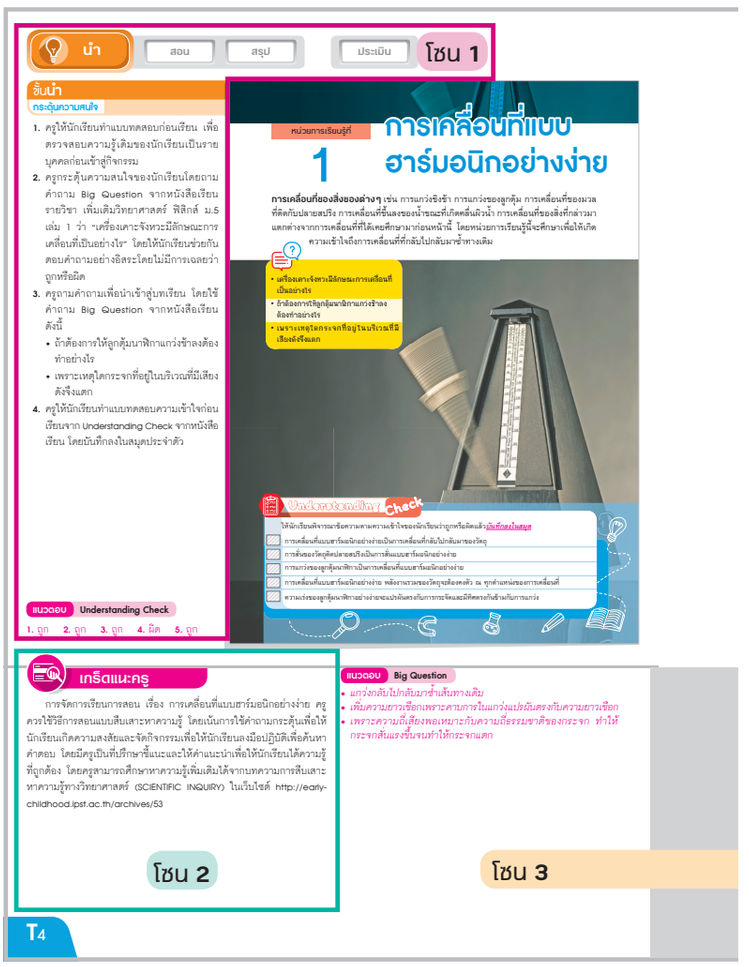
เพิ่ม **Teacher Guide Overview** ช่วยให้เห็นภาพรวมของการจัดการเรียนการสอนทั้งหมดของรายวิชาก่อนที่จะลงมือสอนจริง

เพิ่ม **Chapter Overview** ช่วยสร้างความเข้าใจและเห็นภาพรวมในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้แต่ละหน่วย

เพิ่ม **Chapter Concept Overview** ช่วยให้เห็นภาพรวม Concept และเนื้อหาสำคัญของหน่วยการเรียนรู้

เพิ่ม **ข้อสอบเน้นการคิด/ข้อสอบแนว O-NET** เพื่อเตรียมความพร้อมของผู้เรียนสู่การสอบในระดับต่าง ๆ

เพิ่ม **กิจกรรม 21st Century Skills** กิจกรรมที่จะช่วยพัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้และการดำรงชีวิตในโลกแห่งศตวรรษที่ 21



โซน 1 ช่วยครูจัดการเรียนการสอน

แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนให้ครูผู้สอนโดยแนะนำขั้นตอนการสอน และการจัดกิจกรรมอย่างละเอียด เพื่อให้นักเรียนบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามผลการเรียนรู้

นำ สอน สรุป ประเมิน

โซน 2 ช่วยครูเตรียมสอน

ประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์สำหรับครูเพื่อนำไปประยุกต์ใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียน

เกร็ดแนะครู

ความรู้เสริมสำหรับครู ข้อเสนอแนะ ข้อสังเกต แนวทางการจัดกิจกรรมและอื่น ๆ เพื่อประโยชน์ในการจัดการเรียนการสอน

นักเรียนควรรู้

ความรู้เพิ่มเติมจากเนื้อหา สำหรับอธิบายเสริมเพิ่มเติมให้กับนักเรียน

โดยใช้ ***หนังสือเรียน*** **รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1** และ***แบบฝึกหัด*** **รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1** ของบริษัท อักษรเจริญทัศน์ อจท. จำกัด เป็นสื่อหลัก (Core Materials) ประกอบการสอนและการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 ซึ่งคู่มือครูเล่มนี้มีองค์ประกอบที่ง่ายต่อการใช้งาน ดังนี้

โซน 3 ช่วยครูเตรียมนักเรียน

ประกอบด้วยแนวทางสำหรับการจัดกิจกรรมและเสนอแนะแนวข้อสอบ เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ครูผู้สอน

กิจกรรม 21st Century Skills

กิจกรรมที่ให้นักเรียนได้ประยุกต์ใช้ความรู้สร้างชิ้นงาน หรือทำกิจกรรมรวบยอดเพื่อให้เกิดทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21

ข้อสอบเน้นการคิด

ตัวอย่างข้อสอบที่มุ่งเน้นการคิด มีทั้งปรนัย-อัตนัย พร้อมเฉลยอย่างละเอียด

ข้อสอบเน้นการคิดแนว O-NET

ตัวอย่างข้อสอบที่มุ่งเน้นการคิดวิเคราะห์ และสอดคล้องกับแนวข้อสอบ O-NET มีทั้งปรนัย-อัตนัย พร้อมเฉลยอย่างละเอียด

กิจกรรมท้าทาย

เสนอแนะแนวทางการจัดกิจกรรม เพื่อต่อยอดสำหรับนักเรียนที่เรียนรู้ได้อย่างรวดเร็ว และต้องการท้าทายความสามารถในระดับที่สูงขึ้น

กิจกรรมสร้างเสริม

เสนอแนะแนวทางการจัดกิจกรรมซ่อมเสริมสำหรับนักเรียนที่ควรได้รับการพัฒนาการเรียนรู้

ห้องปฏิบัติการ *(วิทยาศาสตร์)*

คำอธิบายหรือข้อเสนอแนะสิ่งที่ควรระมัดระวัง หรือข้อควรปฏิบัติตามเนื้อหาในบทเรียน

สื่อ Digital

แนะนำแหล่งเรียนรู้และแหล่งค้นคว้าจากสื่อ Digital ต่าง ๆ

แนวทางการวัดและประเมินผล

เสนอแนะแนวทางการบรรลุผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดที่หลักสูตรกำหนด

คำอธิบายรายวิชา

ฟิสิกส์ เล่ม 1
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
เวลาเรียน 80 ชั่วโมง/ปี

ศึกษา วิเคราะห์ และอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของระบบมวล-สปริงเบา เงาของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย การสั่นพ้อง การถ่ายโอนพลังงานของคลื่นกล ชนิดของคลื่น รูปร่างและส่วนประกอบของคลื่น คลื่นผิวน้ำ คลื่นในเส้นเชือก การซ้อนทับของคลื่น หลักของฮอยเกนส์ การสะท้อนของคลื่นการหักเหของคลื่น การเลี้ยวเบนของคลื่น การแทรกสอดของคลื่น การเคลื่อนที่ของเสียงผ่านอากาศ อัตราเร็วของคลื่นเสียง การสะท้อนของเสียง การหักเหของเสียง การเลี้ยวเบนของเสียง การแทรกสอดของเสียง ความเข้มเสียง ระดับเสียง หูกับการได้ยิน มลภาวะทางเสียง เสียงดนตรี ระดับสูงต่ำของเสียง คุณภาพเสียง การสั่นพ้องของเสียง บีต คลื่นนิ่งของเสียงในท่อ ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ คลื่นกระแทก การนำความรู้ของเสียงไปใช้ประโยชน์ การเคลื่อนที่และอัตราเร็วของแสง การสะท้อนของแสงที่ผิววัตถุตามกฎการสะท้อน การเขียนรังสีของแสง การคำนวณตำแหน่งและขนาดภาพของวัตถุเมื่อแสงตกกระทบกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลม การสะท้อนของแสงจากกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลม การหักเหของแสง กฎการหักเหของแสง ภาพที่เกิดจากการหักเหที่ผิวเรียบ ความลึกจริง ความลึกปรากฏ มุมวิกฤตและการสะท้อนกลับหมด การเขียนรังสีของแสงเพื่อแสดงภาพที่เกิดจากเลนส์บาง การหาตำแหน่ง ขนาด ชนิดของภาพ ความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ ระยะภาพ และความยาวโฟกัส ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับแสง เช่น การกระจายแสง รุ้ง การทรงกลด มิราจ ทัศนอุปกรณ์ เช่น เครื่องฉายภาพ กล้องถ่ายรูป กล้องจุลทรรศน์ กล้องโทรทรรศน์ ความสว่าง ตาและการมองเห็นสี การผสมสารสี การผสมแสง และสาเหตุของการบอดสี

โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต การวิเคราะห์ การอภิปราย การอธิบาย และการสรุปผล เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความรู้ ความคิด และความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตตนเอง ตลอดจนมีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่ถูกต้อง

ผลการเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. อธิบายความถี่ธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้อง
3. อธิบายปรากฏการณ์คลื่น ชนิดของคลื่น ส่วนประกอบของคลื่น การแผ่ของหน้าคลื่นด้วยหลักการของฮอยเกนส์ และการรวมกันของคลื่นตามหลักการซ้อนทับ พร้อมทั้งคำนวณ อัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น
4. สังเกตและอธิบายการสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
5. อธิบายการเกิดเสียง การเคลื่อนที่ของเสียง ความสัมพันธ์ระหว่างคลื่น การกระจัดของอนุภาคกับคลื่นความดัน ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ขึ้นกับอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส สมบัติของคลื่นเสียง ได้แก่ การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

6. อธิบายความเข้มเสียง ระดับเสียง องค์ประกอบของการได้ยิน คุณภาพเสียง และมลพิษทางเสียง รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
7. ทดลองและอธิบายการเกิดการสั่นพ้องของอากาศในท่อปลายเปิดหนึ่งด้าน รวมทั้งสังเกตและอธิบายการเกิดบีต คลื่นนิ่ง ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ คลื่นกระแทกของเสียง คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และนำความรู้เรื่องเสียงไปใช้ในชีวิตประจำวัน
8. ทดลองและอธิบายการสะท้อนของแสงที่ผิววัตถุตามกฎการสะท้อน เขียนรังสีของแสงและคำนวณตำแหน่งและขนาดภาพของวัตถุ เมื่อแสงตกกระทบกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลม รวมทั้งอธิบายการนำความรู้เรื่องการสะท้อนของแสงจากกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลมไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน
9. ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีหักเห มุมตกกระทบ และมุมหักเห รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจริงและความลึกปรากฏ มุมวิกฤตและการสะท้อนกลับหมดของแสง และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
10. ทดลองและเขียนรังสีของแสงเพื่อแสดงภาพที่เกิดจากเลนส์บาง หาตำแหน่ง ขนาด ชนิดของภาพ และความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ ระยะภาพ และความยาวโฟกัส รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและอธิบายการนำความรู้เรื่องการหักเหของแสงผ่านเลนส์บางไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน
11. อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกี่ยวกับแสง เช่น รุ้ง การทรงกลด มิราจ การเห็นท้องฟ้าเป็นสีต่าง ๆ ในช่วงเวลาต่างกัน
12. สังเกตและอธิบายการมองเห็นแสงสี สีของวัตถุ การผสมสารสี และการผสมแสงสี รวมทั้งอธิบายสาเหตุของการบอดสี

รวม 12 ผลการเรียนรู้

คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 รวมถึงสื่อการเรียนรู้รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้น ม.5 ผู้จัดทำได้ออกแบบการสอน (Instructional Design) อันเป็นวิธีการจัดการเรียนรู้และเทคนิคการสอนที่เปี่ยมด้วยประสิทธิภาพ และมีความหลากหลายให้กับผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด รวมถึงสมรรถนะและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ของผู้เรียนที่หลักสูตรกำหนดไว้ โดยครูสามารถนำไปใช้จัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในรายวิชานี้ ได้นำรูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model) มาใช้ในการออกแบบการสอน ดังนี้

รูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model)

ด้วยจุดประสงค์ของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เพื่อช่วยให้ผู้เรียนได้พัฒนาวิธีคิด ทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ วิจารณ์ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าหาความรู้ และมีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ ผู้จัดทำจึงได้เลือกใช้รูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model) ซึ่งเป็นขั้นตอนการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้มีโอกาสสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการคิดและการลงมือทำ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นเครื่องมือสำคัญเพื่อการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21

วิธีสอน (Teaching Method)

ผู้จัดทำเลือกใช้วิธีสอนที่หลากหลาย เช่น การทดลอง การสาธิต การอภิปรายกลุ่มย่อย เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้รูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model) ให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งจะเน้นใช้วิธีสอนโดยใช้การทดลองมากเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นวิธีสอนที่มุ่งพัฒนาให้ผู้เรียนเกิดองค์ความรู้จากประสบการณ์ตรงโดยการคิดและการลงมือทำด้วยตนเอง อันจะช่วยให้ผู้เรียนมีความรู้และเกิดทักษะทางวิทยาศาสตร์ที่คงทน

เทคนิคการสอน (Teaching Technique)

ผู้จัดทำเลือกใช้เทคนิคการสอนที่หลากหลายและเหมาะสมกับเรื่องที่เรียน เพื่อส่งเสริมวิธีสอนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การใช้คำถาม การเล่นเกม เพื่อนช่วยเพื่อน ซึ่งเทคนิคการสอนต่าง ๆ จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความสุขในขณะที่เรียนและสามารถปฏิบัติกิจกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งได้พัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 อีกด้วย

ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1

หน่วยการเรียนรู้	ผลการเรียนรู้	ทักษะที่ได้	เวลาที่ใช้	การประเมิน	สื่อที่ใช้
1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	1. ทดลองและอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง 2. อธิบายความถี่ธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้อง	- ทักษะการวัด - ทักษะการสังเกต - ทักษะการทดลอง - ทักษะการสื่อสาร - ทักษะการวิเคราะห์ - ทักษะการทำงานร่วมกัน - ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	**12** *ชั่วโมง*	- ตรวจแบบทดสอบก่อนเรียน - ตรวจแบบทดสอบหลังเรียน - ตรวจแบบฝึกหัด - ตรวจใบงาน - ประเมินการปฏิบัติกิจกรรม - ประเมินชิ้นงาน/ภาระงาน - ประเมินการนำเสนอผลงาน - สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม - สังเกตพฤติกรรมการทำงานรายบุคคล - สังเกตคุณลักษณะอันพึงประสงค์	- แบบทดสอบก่อนเรียน - แบบทดสอบหลังเรียน - หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - แบบฝึกหัดรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - ใบงาน - PowerPoint - QR Code - ภาพยนตร์สารคดีสั้น Twig
2 คลื่นกล	3. อธิบายปรากฏการณ์คลื่น ชนิดของคลื่น ส่วนประกอบของคลื่น การแผ่ของหน้าคลื่นด้วยหลักการของฮอยเกนส์ และการรวมกันของคลื่นตามหลักการซ้อนทับ พร้อมทั้งคำนวณ อัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น 4. สังเกตและอธิบายการสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง	- ทักษะการวัด - ทักษะการสังเกต - ทักษะการทดลอง - ทักษะการสื่อสาร - ทักษะการวิเคราะห์ - ทักษะการทำงานร่วมกัน - ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	**22** *ชั่วโมง*	- ตรวจแบบทดสอบก่อนเรียน - ตรวจแบบทดสอบหลังเรียน - ตรวจแบบฝึกหัด - ตรวจใบงาน - ประเมินการปฏิบัติกิจกรรม - ประเมินชิ้นงาน/ภาระงาน - ประเมินการนำเสนอผลงาน - สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม - สังเกตพฤติกรรมการทำงานรายบุคคล - สังเกตคุณลักษณะอันพึงประสงค์	- แบบทดสอบก่อนเรียน - แบบทดสอบหลังเรียน - หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - แบบฝึกหัดรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - ใบงาน - PowerPoint - QR Code - ภาพยนตร์สารคดีสั้น Twig

หน่วยการเรียนรู้	ผลการเรียนรู้	ทักษะที่ได้	เวลาที่ใช้	การประเมิน	สื่อที่ใช้
3 เสียง	5. อธิบายการเกิดเสียง การเคลื่อนที่ของเสียง ความสัมพันธ์ระหว่างคลื่น การกระจัดของอนุภาคกับคลื่นความดัน ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ขึ้นกับอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส สมบัติของคลื่นเสียง ได้แก่ การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง 6. อธิบายความเข้มเสียง ระดับเสียง องค์ประกอบของการได้ยิน คุณภาพเสียง และมลพิษทางเสียง รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง 7. ทดลองและอธิบายการเกิดการสั่นพ้องของอากาศในท่อปลายเปิดหนึ่งด้าน รวมทั้งสังเกตและอธิบายการเกิดบีต คลื่นนิ่ง ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ คลื่นกระแทกของเสียง คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและนำความรู้เรื่องเสียงไปใช้ในชีวิตประจำวัน	- ทักษะการวัด - ทักษะการสังเกต - ทักษะการทดลอง - ทักษะการสื่อสาร - ทักษะการวิเคราะห์ - ทักษะการทำงานร่วมกัน - ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	**20** *ชั่วโมง*	- ตรวจแบบทดสอบก่อนเรียน - ตรวจแบบทดสอบหลังเรียน - ตรวจแบบฝึกหัด - ตรวจใบงาน - ประเมินการปฏิบัติกิจกรรม - ประเมินชิ้นงาน/ภาระงาน - ประเมินการนำเสนอผลงาน - สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม - สังเกตพฤติกรรมการทำงานรายบุคคล - สังเกตคุณลักษณะอันพึงประสงค์	- แบบทดสอบก่อนเรียน - แบบทดสอบหลังเรียน - หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - แบบฝึกหัดรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - ใบงาน - PowerPoint - QR Code - ภาพยนตร์สารคดีสั้น Twig
4 แสงและทัศนอุปกรณ์	8. ทดลองและอธิบายการสะท้อนของแสงที่ผิววัตถุตามกฎการสะท้อน เขียนรังสีของแสง และคำนวณตำแหน่งและขนาดภาพของวัตถุ เมื่อแสงตกกระทบกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลม รวมทั้งอธิบายการนำความรู้เรื่องการสะท้อนของแสงจากกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลมไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน 9. ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีหักเห มุมตกกระทบ และมุมหักเห รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจริงและความลึกปรากฏ มุมวิกฤตและการสะท้อนกลับหมดของแสง และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง 10. ทดลองและเขียนรังสีของแสงเพื่อแสดงภาพที่เกิดจากเลนส์บาง หาตำแหน่ง ขนาดชนิดของภาพและความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ ระยะภาพ และความยาวโฟกัส รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และอธิบายการนำความรู้เรื่องการหักเหของแสงผ่านเลนส์บางไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน 11. อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกี่ยวกับแสง เช่น รุ้ง การทรงกลด มิราจ การเห็นท้องฟ้าเป็นสีต่าง ๆ ในช่วงเวลาต่างกัน 12. สังเกต และอธิบายการมองเห็นแสงสี สีของวัตถุ การผสมสารสี และการผสมแสงสี รวมทั้งอธิบายสาเหตุของการบอดสี	- ทักษะการวัด - ทักษะการสังเกต - ทักษะการทดลอง - ทักษะการสื่อสาร - ทักษะการใช้จำนวน - ทักษะการวิเคราะห์ - ทักษะการทำงานร่วมกัน - ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	**26** *ชั่วโมง*	- ตรวจแบบทดสอบก่อนเรียน - ตรวจแบบทดสอบหลังเรียน - ตรวจแบบฝึกหัด - ตรวจใบงาน - ประเมินการปฏิบัติกิจกรรม - ประเมินชิ้นงาน/ภาระงาน - ประเมินการนำเสนอผลงาน - สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม - สังเกตพฤติกรรมการทำงานรายบุคคล - สังเกตคุณลักษณะอันพึงประสงค์	- แบบทดสอบก่อนเรียน - แบบทดสอบหลังเรียน - หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - แบบฝึกหัดรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - ใบงาน - PowerPoint - QR Code - ภาพยนตร์สารคดีสั้น Twig

สารบัญ

Chapter Title	Chapter Overview	Chapter Concept Overview	Teacher Script
หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 **การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย**	T2	T3	T4
• การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย			T5 - T24
• การสั่นพ้อง			T25 - T27
ท้ายหน่วยการเรียนรู้ที่ 1			T28 - T33
หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 **คลื่นกล**	T34 - T35	T36 - T37	T38
• การถ่ายโอนพลังงานของคลื่น			T39 - T48
• คลื่นผิวน้ำ			T49 - T51
• คลื่นในเส้นเชือกและการซ้อนทับของคลื่น			T52 - T56
• สมบัติของคลื่น			T57 - T82
ท้ายหน่วยการเรียนรู้ที่ 2			T83 - T89
หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 **เสียง**	T90 - T91	T92 - T93	T94
• ธรรมชาติของเสียง			T95 - T98
• สมบัติของคลื่นเสียง			T99 - T117
• ความเข้มเสียงและการได้ยิน			T118 - T129
• เสียงดนตรี			T130 - T138
• บีตและคลื่นนิ่งของเสียง			T139 - T148
• ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทก			T149 - T158
ท้ายหน่วยการเรียนรู้ที่ 3			T159 - T167
หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 **แสงและทัศนอุปกรณ์**	T168 - T169	T170 - T171	T172
• การเคลื่อนที่และอัตราเร็วของแสง			T173
• การสะท้อนของแสง			T173 - T186
• การหักเหของแสง			T187 - T198
• เลนส์บาง			T199 - T207
• ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับแสง			T208 - T215
• ทัศนอุปกรณ์			T216 - T224
• ความสว่าง			T225 - T227
• ตาและการมองเห็นสี			T228 - T230
• สี			T231 - T236
ท้ายหน่วยการเรียนรู้ที่ 4			T237 - T247

บรรณานุกรม T248

Chapter Overview

แผนการจัดการเรียนรู้	สื่อที่ใช้	จุดประสงค์	วิธีสอน	ประเมิน	ทักษะที่ได้	คุณลักษณะอันพึงประสงค์
แผนฯ ที่ 1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริง 5 ชั่วโมง	- แบบทดสอบก่อนเรียน - หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - แบบฝึกหัด รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - ใบงาน - PowerPoint - ภาพยนตร์สารคดีสั้น Twig	1. อธิบายลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของระบบมวล-สปริงเบา หรือวัตถุติดปลายสปริงได้ (K) 2. คำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของระบบมวล-สปริงเบา หรือวัตถุติดปลายสปริงได้ (K) 3. ปฏิบัติกิจกรรมการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุที่ติดปลายสปริงได้อย่างถูกต้องและเป็นลำดับขั้นตอน (P) 4. มีความใฝ่เรียนรู้ (A)	แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model)	- ตรวจแบบทดสอบก่อนเรียน - ตรวจแบบฝึกหัด - ตรวจใบงาน เรื่อง ระบบมวล-สปริงเบา - ประเมินการปฏิบัติกิจกรรมการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุที่ติดปลายสปริง - ตรวจและประเมินแผนที่ความคิด เรื่อง ระบบมวล-สปริงเบา - ประเมินการนำเสนอผลงาน - สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม - สังเกตคุณลักษณะอันพึงประสงค์	- ทักษะการสังเกต - ทักษะการทดลอง - ทักษะการสื่อสาร - ทักษะการวิเคราะห์ - ทักษะการทำงานร่วมกัน - ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	- มีวินัย - ใฝ่เรียนรู้ - ซื่อสัตย์ สุจริต - มุ่งมั่นในการทำงาน
แผนฯ ที่ 2 เงาของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ 1 ชั่วโมง	- หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - แบบฝึกหัด รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - ใบงาน	1. อธิบายและคำนวณหาปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของเงาของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ (K) 2. ปฏิบัติกิจกรรมการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายได้อย่างถูกต้องและเป็นลำดับขั้นตอน (P) 3. มีความใฝ่เรียนรู้ (A)	แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model)	- ตรวจแบบฝึกหัด - ตรวจใบงาน เรื่อง เงาของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ - ตรวจและประเมินแผนที่ความคิด เรื่อง เงาของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ แผนที่ความคิด - ประเมินการนำเสนอผลงาน - สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม - สังเกตคุณลักษณะอันพึงประสงค์	- ทักษะการสังเกต - ทักษะการสื่อสาร - ทักษะการวิเคราะห์ - ทักษะการทำงานร่วมกัน	- มีวินัย - ใฝ่เรียนรู้ - ซื่อสัตย์ สุจริต - มุ่งมั่นในการทำงาน
แผนฯ ที่ 3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของลูกตุ้มอย่างง่าย 4 ชั่วโมง	- หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - แบบฝึกหัด รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - ใบงาน - PowerPoint - RQ Code	1. อธิบายลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของลูกตุ้มอย่างง่ายได้ (K) 2. คำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของลูกตุ้มอย่างง่ายได้ (K) 3. ปฏิบัติกิจกรรมการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายได้อย่างถูกต้องและเป็นลำดับขั้นตอน (P) 4. มีความใฝ่เรียนรู้ และมีความมุ่งมั่นในการทำงาน (A)	แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model)	- ตรวจแบบฝึกหัด - ตรวจใบงาน เรื่อง การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของลูกตุ้มอย่างง่าย - ประเมินการปฏิบัติกิจกรรมการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย - ตรวจและประเมินแผนที่ความคิด เรื่อง การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของลูกตุ้มอย่างง่าย - สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม	- ทักษะการวัด - ทักษะการสังเกต - ทักษะการสำรวจค้นหา - ทักษะการวิเคราะห์ - ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล	- มีวินัย - ใฝ่เรียนรู้ - ซื่อสัตย์ สุจริต - มุ่งมั่นในการทำงาน
แผนฯ ที่ 4 การสั่นพ้อง 2 ชั่วโมง	- แบบทดสอบหลังเรียน - หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - แบบฝึกหัด รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 - ใบงาน - PowerPoint	1. อธิบายความถี่ธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้องได้ (K) 2. ปฏิบัติกิจกรรมการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายได้อย่างถูกต้องและเป็นลำดับขั้นตอน (P) 3. มีความใฝ่เรียนรู้ (A)	แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model)	- ตรวจแบบทดสอบหลังเรียน - ตรวจแบบฝึกหัด - ตรวจและประเมินแผนที่ความคิด เรื่อง การสั่นพ้อง - ประเมินการนำเสนอผลงาน - สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม - สังเกตคุณลักษณะอันพึงประสงค์	- ทักษะการสังเกต - ทักษะการสื่อสาร - ทักษะการวิเคราะห์ - ทักษะการทำงานร่วมกัน	- มีวินัย - ใฝ่เรียนรู้ - ซื่อสัตย์ สุจริต - มุ่งมั่นในการทำงาน

T2

Chapter Concept Overview

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

- การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีลักษณะแบบกลับไปกลับมาซ้ำเส้นทางเดิม ใช้เวลาในการเคลื่อนที่แต่ละรอบเท่าเดิม และมีพลังงานรวมของวัตถุคงตัว ณ ทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่ โดยมีคาบและแอมพลิจูดคงตัวและมีการกระจัดจากตำแหน่งสมดุลที่เวลาใด ๆ เป็นฟังก์ชันแบบไซน์ โดยปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$x = A\sin(\omega t + \phi)$$
$$v = A\omega\cos(\omega t + \phi)$$
$$v = \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2}$$
$$a = -A\omega^2\sin(\omega t + \phi)$$
$$a = -\omega^2 x$$

- การสั่นของวัตถุติดปลายสปริงและการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย เป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายที่มีขนาดของความเร่งแปรผันตรงกับขนาดของการกระจัดจากตำแหน่งสมดุล แต่มีทิศทางตรงข้าม โดยมีคาบการสั่นของวัตถุที่ติดอยู่ที่ปลายสปริง และคาบการแกว่งของลูกตุ้มตามสมการ

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

คาบการแกว่งของลูกตุ้ม $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

การสั่นพ้อง

- เมื่อระบบกวัดแกว่งหนึ่ง ๆ ถูกกระทำโดยแรงขับเคลื่อนภายนอกที่มีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบ แล้วทำให้แอมพลิจูดในการกวัดแกว่งของระบบนั้น ๆ เพิ่มมากขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การสั่นพ้อง ซึ่งความถี่ของแรงขับเคลื่อนที่ใช้กระตุ้นให้เกิดปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ความถี่สั่นพ้อง
- ตัวอย่างปรากฏการณ์การเกิดการสั่นพ้องของวัตถุ

การที่ผู้ไกวชิงช้าต้องออกแรงผลักให้ตรงกับจังหวะการแกว่งตามธรรมชาติของชิงช้า ขณะที่ชิงช้าแกว่งกลับมาถึงตำแหน่งสูงสุดใกล้ ๆ กับคนไกวชิงช้าจะแกว่งต่อไปโดยมีแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

การที่กระจกหน้าต่างที่อยู่ในบริเวณที่มีเสียงดังมากสั่น เป็นเพราะเสียงที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิดเสียงมีความใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของกระจก หากเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงมีความถี่พอเหมาะกับความถี่ธรรมชาติของกระจกก็จะทำให้กระจกสั่นแรงขึ้นจนทำให้กระจกร้าวจนแตกได้

(ก) การไกวชิงช้า

(ข) กระจกหน้าต่างร้าว

▲ ตัวอย่างปรากฏการณ์การเกิดการสั่นพ้อง

T3

ขั้นนำ

กระตุ้นความสนใจ

1. ครูให้นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน เพื่อตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียนเป็นรายบุคคลก่อนเข้าสู่กิจกรรม
2. ครูกระตุ้นความสนใจของนักเรียนโดยถามคำถาม Big Question จากหนังสือเรียนรายวิชา เพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 ว่า “เครื่องเคาะจังหวะมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นอย่างไร” โดยให้นักเรียนช่วยกันตอบคำถามอย่างอิสระโดยไม่มีการเฉลยว่าถูกหรือผิด
3. ครูถามคำถามเพื่อนำเข้าสู่บทเรียน โดยใช้คำถาม Big Question จากหนังสือเรียนดังนี้
   - ถ้าต้องการให้ลูกตุ้มนาฬิกาแกว่งช้าลงต้องทำอย่างไร
   - เพราะเหตุใดกระจกที่อยู่ในบริเวณที่มีเสียงดังจึงแตก
4. ครูให้นักเรียนทำแบบทดสอบความเข้าใจก่อนเรียนจาก Understanding Check จากหนังสือเรียน โดยบันทึกลงในสมุดประจำตัว

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

การเคลื่อนที่ของสิ่งของต่างๆ เช่น การแกว่งชิงช้า การแกว่งของลูกตุ้ม การเคลื่อนที่ของมวลที่ติดกับปลายสปริง การเคลื่อนที่ขึ้นลงของน้ำขณะที่เกิดคลื่นผิวน้ำ การเคลื่อนที่ของสิ่งที่กล่าวมาแตกต่างจากการเคลื่อนที่ที่ได้เคยศึกษามาก่อนหน้านี้ โดยหน่วยการเรียนรู้นี้จะศึกษาเพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงการเคลื่อนที่ที่กลับไปกลับมาซ้ำทางเดิม

- เครื่องเคาะจังหวะมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นอย่างไร
- ถ้าต้องการให้ลูกตุ้มนาฬิกาแกว่งช้าลงต้องทำอย่างไร
- เพราะเหตุใดกระจกที่อยู่ในบริเวณที่มีเสียงดังจึงแตก

Understanding Check

ให้นักเรียนพิจารณาข้อความตามความเข้าใจของนักเรียนว่าถูกหรือผิดแล้ว*บันทึกลงในสมุด*

- [ ] การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุ
- [ ] การสั่นของวัตถุติดปลายสปริงเป็นการสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
- [ ] การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
- [ ] การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย พลังงานรวมของวัตถุจะต้องคงตัว ณ ทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่
- [ ] ความเร่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายจะแปรผันตรงกับการกระจัดและมีทิศตรงกันข้ามกับการแกว่ง

แนวตอบ Understanding Check

1. ถูก 2. ถูก 3. ถูก 4. ผิด 5. ถูก

เกร็ดแนะครู

การจัดการเรียนการสอน เรื่อง การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ครูควรใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ โดยเน้นการใช้คำถามกระตุ้นเพื่อให้นักเรียนเกิดความสงสัยและจัดกิจกรรมเพื่อให้นักเรียนลงมือปฏิบัติเพื่อค้นหาคำตอบ โดยมีครูเป็นที่ปรึกษาชี้แนะและให้คำแนะนำเพื่อให้นักเรียนได้ความรู้ที่ถูกต้อง โดยครูสามารถศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมได้จากบทความการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (SCIENTIFIC INQUIRY) ในเว็บไซต์ http://early-childhood.ipst.ac.th/archives/53

แนวตอบ Big Question

- *แกว่งกลับไปกลับมาซ้ำเส้นทางเดิม*
- *เพิ่มความยาวเชือกเพราะคาบการแกว่งแปรผันตรงกับความยาวเชือก*
- *เพราะความถี่เสียงพอเหมาะกับความถี่ธรรมชาติของกระจก ทำให้กระจกสั่นแรงขึ้นจนทำให้กระจกแตก*

Prior Knowledge

ลูกตุ้มนาฬิกา มีลักษณะการเคลื่อนที่อย่างไร

1. การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

การเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นมีหลายแบบและในหน่วยการเรียนรู้นี้จะกล่าวถึงการเคลื่อนที่อีกแบบที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน คือ การเคลื่อนที่แบบสั่นหรือแบบแกว่งกวัด หรือการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

การเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีลักษณะแบบกลับไปกลับมาซ้ำเส้นทางเดิม ใช้เวลาในการเคลื่อนที่แต่ละรอบเท่าเดิม และมีพลังงานรวมของวัตถุคงตัว ณ ทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่ ซึ่งการเคลื่อนที่แบบนี้เรียกว่า **การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย** (simple harmonic motion ; SHM) ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ของมวลที่ผูกติดกับสปริงเบาและปลายอีกข้างหนึ่งของสปริงถูกยึดเอาไว้กับที่ การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา การสั่นของโมเลกุลในสสาร (1) เป็นต้น

การศึกษาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจะเริ่มจากการศึกษาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจากระบบมวล-สปริงเบา ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริงก่อน แล้วจึงนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการศึกษากับระบบอื่น ๆ ต่อไป

▲ **ภาพที่ 1.1** การแกว่งชิงช้าเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

1. ครูถามคำถาม Prior Knowledge จากหนังสือเรียน หน้า 3 เพื่อเป็นการนำเข้าสู่บทเรียนและตรวจสอบความรู้เดิมเกี่ยวกับ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของนักเรียนว่า “ลูกตุ้มนาฬิกามีลักษณะการเคลื่อนที่อย่างไร”
2. ครูแจ้งให้นักเรียนทราบว่าจะได้ศึกษา เรื่อง การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
3. ครูถามคำถามกระตุ้นความคิดนักเรียนว่า “การเคลื่อนที่ของเครื่องเคาะจังหวะมีลักษณะเป็นอย่างไร และเรียกการเคลื่อนที่นั้นว่าอะไร” โดยตกลงร่วมกันว่าเมื่อจบชั่วโมง แล้วจะสามารถตอบคำถามได้
4. ครูให้นักเรียนจับคู่กับเพื่อนร่วมชั้นเรียนที่นั่งใกล้กันแล้วให้นักเรียนร่วมกันศึกษา เรื่อง การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จากหนังสือเรียน หรือจากแหล่งการเรียนรู้ต่าง ๆ เช่น อินเทอร์เน็ต จากนั้นร่วมกันสรุปความรู้ที่ศึกษาได้ในสมุดประจำตัว

อธิบายความรู้

1. ครูทบทวนคำถามกระตุ้นความคิดกับนักเรียนที่ได้ถามไปแล้วอีกครั้ง แล้วขออาสาสมัครให้มาเขียนคำตอบบนกระดานหน้าชั้นเรียน
2. ครูตรวจสอบคำตอบของนักเรียน แล้วนำให้นักเรียนร่วมกันสรุปความหมายของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายและลักษณะของการเคลื่อนที่ เพื่อเป็นการสรุปความเข้าใจของนักเรียนให้เข้าใจได้อย่างถูกต้อง

แนวตอบ Prior Knowledge

แกว่งกลับไปกลับมาซ้ำเส้นทางเดิม

ข้อสอบเน้นการคิด

วัตถุในข้อใดเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

1. เก่งขับรถถอยหลังวนเป็นวงกลม
2. การเคลื่อนที่ของรถไฟเหาะตีลังกา
3. ตู่เดินขึ้นลงบันไดสำนักงานเป็นจำนวน 5 รอบ
4. แนนเดินทางจากบ้านไปโรงเรียนเส้นทางเดิมทุกวัน
5. การแกว่งของเครื่องเคาะจังหวะที่นักดนตรีใช้ในการช่วยฝึกซ้อมดนตรี

(วิเคราะห์คำตอบ) การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาซ้ำเส้นทางเดิม ใช้เวลาในการเคลื่อนที่แต่ละรอบเท่าเดิม ซึ่งเครื่องเคาะจังหวะเป็นอุปกรณ์ดนตรีที่ให้จังหวะที่สามารถปรับจังหวะได้ตามความต้องการ และจะนับจังหวะตามการแกว่งของด้ามเคาะจังหวะ ดังนั้น ตอบข้อ 5.)

นักเรียนควรรู้

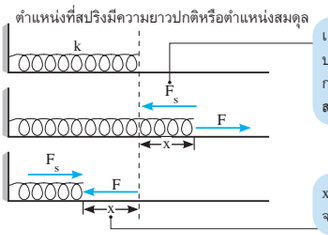
(1) **สสาร** และสารไม่ใช่สิ่งเดียวกัน เพราะสสาร หมายถึง สิ่งที่มีมวลสาร ต้องการที่อยู่และสัมผัสได้ อาจมีเพียงสารเดียว เช่น ทองคำ เงิน แก้ว เกลือ น้ำ หรือประกอบด้วยสารหลายสาร เช่น ดินปืน อากาศ ก็ได้ ส่วนสาร หมายถึง สิ่งที่มีองค์ประกอบเป็นอย่างเดียวกัน มีสมบัติเฉพาะของตนเอง และไม่สามารถใช้วิธีการใด ๆ มาแบ่งแยกให้เป็นส่วนอื่นที่มีองค์ประกอบและสมบัติแตกต่างออกไปได้

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

1. ครูเปิดคลิปวิดีโอที่เกี่ยวกับเครื่องเคาะจังหวะ (Metronome) ให้นักเรียนดูเพื่อกระตุ้นความสนใจของนักเรียน เช่น คลิปวิดีโอ เรื่อง Wittner Metronome Piano Music with Bell จาก youtube (https://www.youtube.com/watch?v=zzcbzubxFcY)
2. ครูชักชวนนักเรียนให้ร่วมกันพูดคุยเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของเครื่องเคาะจังหวะว่ามีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นอย่างไร และถามคำถามกระตุ้นนักเรียนว่า “การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นอย่างไร”
   (แนวตอบ การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นการเคลื่อนของวัตถุที่มีลักษณะแบบกลับไปกลับมาซ้ำเส้นทางเดิม ใช้เวลาในการเคลื่อนที่แต่ละรอบเท่าเดิม และมีพลังงานรวมของวัตถุคงตัว ณ ทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่)
3. ครูให้นักเรียนแต่ละคนศึกษา เรื่อง ระบบมวล-สปริงเบา และกฎของฮุก จากหนังสือเรียน
4. ครูแนะนำให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกฎของฮุก จากแหล่งข้อมูลต่างๆ เช่น อินเทอร์เน็ต โดยเน้นย้ำให้นักเรียนพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกลับกับระยะยืดหดของสปริงที่จะนำไปสู่การสรุปเป็นกฎของฮุก

1.1 ระบบมวล-สปริงเบา



▲ **ภาพที่ 1.2** การยืด-หดของสปริงจากความยาวปกติ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

จากภาพที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกลับ (F_s) กับระยะยืดหดของสปริง (x) เขียนได้ดังสมการด้านล่าง ซึ่งสมการนี้ เรียกว่า **กฎของฮุก (Hooke's law)**

$$F_s = -kx$$

F_s คือ แรงดึงกลับของสปริง มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)
k คือ ค่าคงตัวของสปริง มีหน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร (N/m)
x คือ ระยะยืดหดของสปริง มีหน่วยเป็น เมตร (m)

ค่าคงตัว k เป็นจำนวนจริงบวก เรียกว่า ค่าคงตัวของสปริงหรือค่านิจสปริง (spring's constant หรือ spring stiffness) ซึ่งเป็นปริมาณที่บอกว่าสปริงแข็งหรืออ่อนเท่าไร ถ้าสปริงแข็งมาก ค่าคงตัวของสปริงก็จะมาก ดังนั้น จะต้องใช้แรงที่มากในการยืดหรือกดอัดสปริง ส่วนเครื่องหมายลบในกฎของฮุกมีความหมายว่า แรงดึงกลับของสปริงและการกระจัดของสปริง จะมีทิศทางตรงกันข้ามกันเสมอ

ตัวอย่างที่ 1.1

สปริงเบายาว 12.0 เซนติเมตร และมีค่าคงตัวเป็น 400 นิวตันต่อเมตร เมื่อสปริงเบาถูกยืดออกจนทำให้มีความยาว 14.0 เซนติเมตร แรงดึงกลับของสปริงที่ตำแหน่งนี้มีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์จะได้ว่า ระยะยืดของสปริง (x) หาได้จาก

$$x = 14.0 - 12.0 = 2.0 \text{ cm} = 0.020 \text{ m}$$

คำนวณหาขนาดของแรงดึงกลับของสปริง

จากสมการ $F_s = -kx$

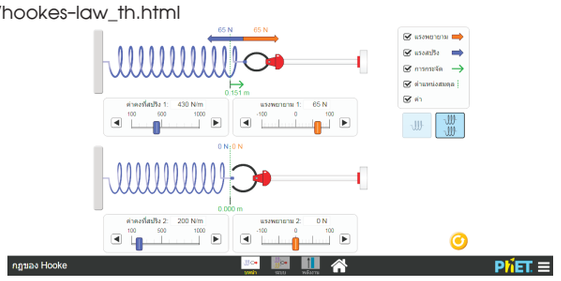
$$F_s = -(400)(0.020)$$

$$F_s = -8.0 \text{ N}$$

ดังนั้น แรงดึงกลับของสปริงมีขนาด 8.0 นิวตัน

เกร็ดแนะครู

ครูอาจแนะนำให้นักเรียนเข้าไปศึกษาสถานการณ์จำลองบนคอมพิวเตอร์แบบมีปฏิสัมพันธ์ (interactive simulation) เรื่อง กฎของฮุก ในหมวดของบทนำและหมวดของระบบ โดยให้นักเรียนปรับการยืดและการบีบอัดสปริงในสถานการณ์จำลอง แล้วสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างแรง ค่าคงที่ของสปริง การกระจัด และตรวจสอบว่าจะเกิดอะไรขึ้นเมื่อสปริงสองอันถูกเชื่อมติดกันต่อๆ กันและขนานกันโดยเข้าไปที่ https://phet.colorado.edu/sims/html/hookes-law/latest/hookes-law_th.html



ข้อสอบเน้นการคิด

ณเดชใช้ปากกาลูกลื่นจดงานแล้วสังเกตเห็นว่าทุกครั้งที่กดปากกาเพื่อจะใช้งานสปริงที่อยู่ในปากกาจะถูกกดให้หดลงไปจากความยาวเดิม **0.50** เซนติเมตร สปริงที่อยู่ในปากกามีค่านิจสปริงเท่าไร เมื่อแรงที่ณเดชใช้ในการกดสปริงปากกาเท่ากับ **0.50** นิวตัน

1. 0 นิวตันต่อเมตร
2. 50 นิวตันต่อเมตร
3. 100 นิวตันต่อเมตร
4. 150 นิวตันต่อเมตร
5. 200 นิวตันต่อเมตร

(วิเคราะห์คำตอบ จากกฎของฮุก $F_s = -kx$

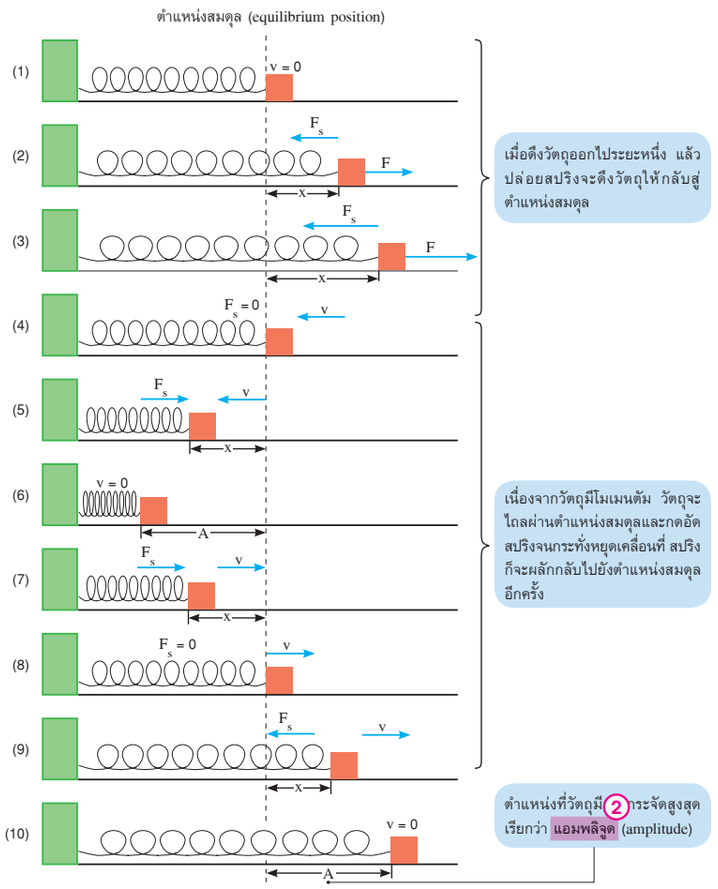
$$-0.50 = -k(0.50 \times 10^{-2})$$

$$k = \frac{0.50}{0.50 \times 10^{-2}}$$

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

จะได้ว่า สปริงที่อยู่ในปากกามีค่านิจสปริงเท่ากับ 100 นิวตันต่อเมตร ดังนั้น ตอบข้อ 3.)

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุรูปทรงลูกบาศก์ที่ติดปลายสปริงที่วางอยู่บนพื้นไร้แรงเสียดทาน (1) สามารถเขียนแสดงได้ ดังภาพที่ 1.3



▲ **ภาพที่ 1.3** การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริงที่วางบนพื้นไร้แรงเสียดทาน
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

5. ครูแบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็น กลุ่มละ 4-5 คน คละกันตามความสามารถ คือ เก่ง ปานกลาง ค่อนข้างเก่ง ปานกลางค่อนข้างอ่อน และอ่อน แล้วให้สมาชิกแต่ละคนในกลุ่มผลัดกันเล่าข้อมูลที่ตนเองได้ศึกษามา
6. ครูให้แต่ละกลุ่มอภิปรายข้อมูลที่ได้ศึกษามาร่วมกันแล้วสรุปเป็นผลการศึกษาข้อมูลประจำกลุ่ม
   (หมายเหตุ : *ครูเริ่มประเมินนักเรียน โดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม)*
7. ครูสุ่มตัวแทนกลุ่มของแต่ละกลุ่มออกมานำเสนอผลการศึกษาหน้าชั้นเรียนและอภิปายร่วมกันของกลุ่มตนเองให้เพื่อนๆ และครูฟังหน้าชั้นเรียน
   (หมายเหตุ : *ครูเริ่มประเมินนักเรียน โดยใช้แบบประเมินการนำเสนอผลงาน)*
8. ขณะที่นักเรียนแต่ละกลุ่มกำลังนำเสนอ ครูอาจเสนอแนะหรือแทรกข้อมูลเพิ่มเติมในเรื่องนั้นๆ ให้นักเรียนทุกคนได้มีความเข้าใจที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ข้อสอบเน้นการคิด

ลวดสปริงมวลเบาเส้นหนึ่งวางอยู่บนพื้นเรียบเกลี้ยงปลายด้านหนึ่งยึดไว้กับผนัง โดยที่ปลายอีกด้านหนึ่งมีวัตถุมวล **0.50** กิโลกรัมติดไว้ ถ้าลวดสปริงนี้มีค่าคงตัวสปริงเท่ากับ **25** นิวตันต่อเมตร จงหาว่าจะต้องออกแรงดึงมวลเท่าไรจึงทำให้ลวดสปริงยืดออกมา **0.10** เมตร

(แนวตอบ จากกฎของฮุก $F_s = -kx$

$F_s = -(25)(0.10)$

$F_s = -2.5\ N$

จะต้องออกแรงดึงมวลในปริมาณเท่ากับแรงดึงกลับของสปริง แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดึงกลับของสปริง ดังนั้น จะต้องออกแรงดึงมวลเท่ากับ 2.5 นิวตัน จึงทำให้ลวดสปริงยืดออกมา 0.10 เมตร)

นักเรียนควรรู้

(1) **พื้นไร้แรงเสียดทาน** หรือพื้นเรียบเกลี้ยง หมายถึง พื้นที่มีผิวเรียบลื่น เมื่อวัตถุเคลื่อนที่บนพื้นชนิดนี้จะไม่เกิดแรงเสียดทานต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งในทางปฏิบัติพื้นชนิดนี้เกิดขึ้นได้ยาก และคำนี้มักจะใช้ในการพิจารณาโจทย์หรือเนื้อหาในตอนเริ่มต้นเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ

(2) **แอมพลิจูด** หมายถึง ค่าสูงสุดของปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นคาบ เช่น ระยะระหว่างจุดกึ่งกลางและจุดสูงสุด (หรือจุดต่ำสุด) ของคลื่นน้ำหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนในเนื้อหาระบบมวล-สปริงเบา แอมพลิจูดจะหมายถึงระยะสปริงสามารถยืดจากตำแหน่งสมดุลได้ไกลสุดหรือระยะที่สปริงสามารถหดจากตำแหน่งสมดุลได้มากที่สุด

ขั้นสอน
สำรวจค้นหา

9. ครูชักชวนให้นักเรียนร่วมกันพิจารณาภาพการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริงที่วางบนพื้นไร้แรงเสียดทาน ในหนังสือเรียน
10. ครูอธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพไปที่ละช่วง โดยมีแนวทางการอธิบายว่า เมื่อดึงวัตถุออกไประยะหนึ่งแล้วปล่อย สปริงจะดึงวัตถุให้กลับสู่ตำแหน่งสมดุล และเนื่องจากวัตถุมีโมเมนตัม วัตถุจะไถลผ่านตำแหน่งสมดุลและกดอัดสปริงจนกระทั่งหยุดเคลื่อนที่ สปริงก็จะผลักกลับไปยังตำแหน่งสมดุลอีกครั้ง

1. ผลเฉลยของสมการการกระจัด จากภาพที่ 1.3 วัตถุจะเกิดการกวัดแกว่ง (oscillation) ในระหว่างการกวัดแกว่งนี้ แรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุในแนวการเคลื่อนที่ คือ แรงดึงกลับของสปริง ซึ่งจะมีขนาดเป็นศูนย์เมื่อวัตถุอยู่ตำแหน่งสมดุล เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งปลายสุดของการกวัดแกว่ง การกระจัดของวัตถุจะมีขนาดสูงสุด เราเรียกการกระจัดสูงสุดนี้ว่า **แอมพลิจูด** (amplitude)

พิจารณาที่การกระจัดของกล่อง x ใด ๆ จากกฎข้อที่สองของนิวตัน จะได้

$$\Sigma F = ma$$
$$-kx = ma$$
$$a = -\frac{k}{m}x$$

สมการด้านบน แสดงให้เห็นว่า ความเร่งของวัตถุ a จะมีทิศตรงกันข้ามกับการกระจัด x เมื่อพิจารณาผลเฉลยโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ผลเฉลยของสมการการกระจัดเขียนได้ ดังสมการ

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

- x คือ ขนาดการกระจัดของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
- A คือ แอมพลิจูด หรือการกระจัดสูงสุด มีหน่วยเป็น เมตร (m)
- ω คือ ความถี่เชิงมุมในการกวัดแกว่ง มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s)
- ϕ คือ มุมเฟสเริ่มต้น (initial phase angle) หรือค่าคงที่เฟส (phase constant)

ค่าคงที่เฟสจะบอกตำแหน่งเริ่มต้นของวัตถุเมื่อเวลา t = 0 มีหน่วยเป็นเรเดียน ถ้า $\phi = 0^\circ$ ที่เวลา t = 0 วัตถุจะเริ่มกวัดแกว่งที่ตำแหน่งสมดุล (x = 0) แต่ถ้า $\phi = 90^\circ$ หรือ $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน ที่เวลา t = 0 วัตถุจะเริ่มกวัดแกว่งที่ตำแหน่งสมดุล (x = A)

2. ความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

วัตถุขณะที่อยู่ตำแหน่งต่าง ๆ จะมีความเร็วต่างกัน ซึ่งสามารถหาขนาดของความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (v) ได้จากการหาอนุพันธ์ของตำแหน่งเทียบกับเวลา ดังนี้

$$v = \frac{dx}{dt}$$
$$v = \frac{d}{dt}(A\sin(\omega t + \phi))$$

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

- v คือ ขนาดของความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
- A คือ แอมพลิจูด หรือการกระจัดสูงสุด มีหน่วยเป็น เมตร (m)
- ω คือ ความถี่เชิงมุมในการกวัดแกว่ง มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s)
- ϕ คือ มุมเฟสเริ่มต้น (initial phase angle) หรือค่าคงที่เฟส (phase constant)

สื่อ Digital

เพื่อเป็นการเสริมสร้างความเข้าใจในเนื้อหา เรื่อง ผลเฉลยของสมการการกระจัด ครูอาจแนะนำให้นักเรียนทบทวนความรู้เกี่ยวกับกฎข้อที่สองของนิวตัน ได้จากภาพยนตร์สารคดีสั้น Twig เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

https://www.twig-aksorn.com/film/newtons-laws-of-motion-8286/

ข้อสอบเน้นการคิด

วัตถุก้อนหนึ่งสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายโดยมีการกระจัดเป็นไปตามสมการ $x = 10\sin\left(10\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$ เซนติเมตร การกระจัดสูงสุด อัตราเร็วเชิงมุมและมุมเริ่มต้น มีค่าเท่าไร

1. 1 เซนติเมตร π เรเดียนต่อวินาที และ π เรเดียน
2. 10 เซนติเมตร $\frac{\pi}{4}$ เรเดียนต่อวินาที และ 10π เรเดียน
3. -10 เซนติเมตร $-\frac{\pi}{4}$ เรเดียนต่อวินาที และ -10π เรเดียน
4. 10 เซนติเมตร 10π เรเดียนต่อวินาที และ $\frac{\pi}{4}$ เรเดียน
5. -10 เซนติเมตร -10π เรเดียนต่อวินาที และ $-\frac{\pi}{4}$ เรเดียน

(วิเคราะห์คำตอบ เนื่องจากผลเฉลยสมการการกระจัดเขียนได้ดังสมการ $x = A\sin(\omega t + \phi)$ จึงได้ว่า A = 10 cm $\omega = 10\pi$ rad/s และ $\phi = \frac{\pi}{4}$ rad ดังนั้น ตอบข้อ 4.)

เนื่องจาก[1]ฟังก์ชันโคไซน์ (cosine) มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ดังนั้น อัตราเร็วสูงสุดของวัตถุจึงหาได้จาก $v_{max} = \omega A$ ซึ่งจะอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล ($x = 0$) และอัตราเร็วจะเป็นศูนย์เมื่อวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งแอมพลิจูด ($x = \pm A$)

3. ความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

ขนาดของความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (a) ที่เวลาใด ๆ สามารถหาได้จาก[2]อนุพันธ์ของความเร็วเทียบกับเวลา ดังนี้

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$$a = \frac{d}{dt}(A\omega \cos(\omega t + \phi))$$

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

จากสมการการกระจัด $x = A \sin(\omega t + \phi)$ จะได้ว่า

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

เนื่องจาก[3]ฟังก์ชันไซน์ (sine) มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ดังนั้น ขนาดของความเร่งสูงสุดของวัตถุจึงเป็น $a_{max} = \omega^2 A$ ซึ่งจะอยู่ที่ตำแหน่งแอมพลิจูด ($x = \pm A$) และจะเป็นศูนย์เมื่อวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล เครื่องหมายลบข้างหน้าหมายความว่า การกระจัดและความเร่งจะมีทิศทางตรงกันข้ามกัน เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ไปทางด้านขวาของตำแหน่งสมดุล ความเร่งจะมีทิศไปทางด้านซ้ายมือ แสดงว่าสปริงพยายามดึงวัตถุให้กลับมาอยู่ที่ตำแหน่งสมดุลนั่นเอง

เมื่อเปรียบเทียบสมการความเร่ง $a = -\frac{k}{m}x$ และสมการ $a = -\omega^2 x$ เราจะได้ความสัมพันธ์ ดังสมการ

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

ซึ่งหมายความว่า ความถี่เชิงมุม (ω) ความถี่ (f) หรือคาบของการกวัดแกว่ง (T) ของระบบมวล-สปริงเบา จะขึ้นอยู่กับค่าคงตัวของสปริง (k) และมวลของวัตถุ (m) เท่านั้น แต่จะไม่ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของการกวัดแกว่ง (A) ดังนั้น ในตอนเริ่มแรก ไม่ว่านักเรียนจะยืดหรือกดสปริงไปเป็นระยะเท่าไรก็ตาม วัตถุจะใช้เวลาในการกวัดแกว่งครบหนึ่งรอบเท่ากันเสมอ แสดงว่า อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่ที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าจะต้องมากกว่าอัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่ที่มีแอมพลิจูดน้อยกว่า ดังสมการ

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

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

11. ครูให้นักเรียนกลับสู่กลุ่มเดิมตามที่ได้เคยแบ่งไว้ แล้วให้แต่ละกลุ่มร่วมกันศึกษาเกี่ยวกับปริมาณที่เกิดจากการที่วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (การกระจัด ความเร็ว และความเร่ง) โดยศึกษาจากหนังสือเรียน หรือจากแหล่งการเรียนรู้ต่าง ๆ เช่น อินเทอร์เน็ต
12. ครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับเรื่องที่ได้ศึกษา จากนั้นให้นักเรียนแต่ละคนเขียนสรุปความรู้ลงในสมุดประจำตัว เพื่อนำส่งครูท้ายชั่วโมง

หมายเหตุ : *ครูเริ่มประเมินนักเรียน โดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมการทำงานรายบุคคล)*

ข้อสอบเน้นการคิด

วัตถุก้อนหนึ่งสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายโดยมีการกระจัดเป็นไปตามสมการ $x = 10 \sin\left(10\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$ เซนติเมตร อยากทราบว่าวัตถุก้อนนี้จะสั่นด้วยความถี่เท่าไร

(แนวตอบ เนื่องจากผลเฉลยสมการการกระจัดเขียนได้ดังสมการ $x = A \sin(\omega t + \phi)$ จึงได้ว่า $\omega = 10\pi$ rad/s

จากสมการ $\omega = 2\pi f$

$10\pi = 2\pi f$

$f = \frac{10\pi}{2\pi}$

$f = 5$ Hz

ดังนั้น วัตถุก้อนนี้จะสั่นด้วยความถี่ 5 เฮิรตซ์)

นักเรียนควรรู้

[1] **ฟังก์ชันโคไซน์** เป็นฟังก์ชันตรีโกณมิติชนิดหนึ่ง เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ cosine $\theta = x$ โดยที่ θ เป็นจำนวนจริง

[2] **อนุพันธ์ของความเร็วเทียบกับเวลา** การหาอัตราการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันหนึ่งเทียบกับปริมาณที่สัมพันธ์กับฟังก์ชันนั้น เช่น อนุพันธ์ของฟังก์ชัน f ที่ x หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของ f (x) เทียบกับ x ในขณะใด ๆ หรือถ้าทำการหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันการกระจัดที่ขึ้นกับเวลาก็จะเป็นการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของการกระจัดเทียบกับเวลานั่นเอง

[3] **ฟังก์ชันไซน์** เป็นฟังก์ชันตรีโกณมิติชนิดหนึ่ง อาจนิยามโดยอาศัยวงกลมหนึ่งหน่วย เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ sine q = y โดยที่ q เป็นจำนวนจริงที่แทนด้วยความยาวของส่วนโค้งที่วัดจากจุด (1, 0) บนวงกลมหนึ่งหน่วย ไปตามส่วนโค้งของวงกลม (โดยคิดทิศทาง) และมี (x, y) เป็นจุดปลายของส่วนโค้งที่ยาว q หน่วย

T9

ขั้นสอน

อธิบายความรู้

1. ครูสุ่มนักเรียนให้ออกมานำเสนอผลการศึกษาหน้าชั้นเรียน โดยสุ่มออกมาเพียง 3 กลุ่ม ซึ่งครูเป็นคนเลือกว่าจะให้กลุ่มไหนนำเสนอเรื่องอะไร ตามหัวข้อเรื่อง ดังต่อไปนี้
   - ผลเฉลยของสมการการกระจัด
   - ความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
   - ความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
   - กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่ง กับเวลาการเคลื่อนที่ฯ
2. ขณะที่นักเรียนแต่ละกลุ่มกำลังนำเสนอ ครูอาจเสนอแนะหรือแทรกข้อมูลเพิ่มเติมในเรื่องนั้นๆ ให้นักเรียนทุกคนได้มีความเข้าใจที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ต่อไปจะหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวัตถุ v กับการกระจัด x

จากสมการตำแหน่งที่เวลา t ใดๆ $x = A \sin(\omega t + \phi)$

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

และจากสมการความเร็วที่เวลา t ใดๆ $v = A\omega \cos(\omega t + \phi)$

$$\cos(\omega t + \phi) = \frac{v}{\omega A} \quad (B)$$

พิจารณาสมการ (A) และ (B) เนื่องจากคุณสมบัติของตรีโกณมิติ (1) $\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$

จะได้ว่า $\sin^2(\omega t + \phi) + \cos^2(\omega t + \phi) = 1 \quad (C)$

แทนค่าสมการ (A) และ (B) ลงในสมการ (C)

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

$$\frac{x^2\omega^2 + v^2}{\omega^2 A^2} = 1$$

$$x^2\omega^2 + v^2 = \omega^2 A^2$$

$$v^2 = \omega^2 A^2 - x^2\omega^2$$

$$v^2 = \omega^2(A^2 - x^2)$$

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

เครื่องหมาย + และ - ในสมการด้านบนจะบอกทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ สังเกตว่าที่ตำแหน่งสมดุล x = 0 อัตราเร็วของวัตถุจะสูงสุด ($v = \omega A$) และเมื่อการกระจัดสูงสุด $x = \pm A$ อัตราเร็วของวัตถุจะเป็นศูนย์ ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

Physics Focus **สมการตำแหน่งในรูปโคไซน์**

เนื่องจากฟังก์ชันไซน์และโคไซน์มีเฟสต่างกันอยู่ 90 องศา ในหลายครั้ง เราจะเห็นสมการของตำแหน่ง x อยู่ในรูปแบบของโคไซน์และจะได้ความเร็วและความเร่ง ดังนี้

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

$$v = -A\omega \sin(\omega t + \phi)$$

$$a = -A\omega^2\cos(\omega t + \phi)$$

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

นักเรียนควรรู้

(1) **คุณสมบัติของตรีโกณมิติ** เนื่องจากฟังก์ชันตรีโกณมิติเป็นฟังก์ชันในเซตของจำนวนจริง สามารถใช้วงกลมหนึ่งหน่วยเป็นหลักในการนิยาม เช่น ฟังก์ชันไซน์ ซึ่งสามารถใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างมุมและด้านของรูปสามเหลี่ยม โดยสรุปเป็นสูตรพื้นฐานได้ 8 สูตร ดังนี้

1) $\sin\theta \operatorname{cosec}\theta = 1$
2) $\cos\theta \sec\theta = 1$
3) $\tan\theta \cot\theta = 1$
4) $\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$
5) $\sec^2\theta - \tan^2\theta = 1$
6) $\operatorname{cosec}^2\theta - \cot^2\theta = 1$
7) $\tan\theta = \frac{\sin\theta}{\cos\theta}$
8) $\cot\theta = \frac{\cos\theta}{\sin\theta}$

ข้อสอบเน้นการคิด

อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายด้วยแอมพลิจูด 2.0 เมตร และคาบ $\frac{\pi}{4}$ วินาที ณ ตำแหน่งที่วัตถุมีการกระจัด 1.0 เมตร อนุภาคนี้มีความเร็วเท่าใด

1. $\sqrt{3}$ เมตรต่อวินาที
2. $2\sqrt{3}$ เมตรต่อวินาที
3. $-3\sqrt{3}$ เมตรต่อวินาที
4. $4\sqrt{3}$ เมตรต่อวินาที
5. $8\sqrt{3}$ เมตรต่อวินาที

(วิเคราะห์คำตอบ คำนวณหาอัตราเร็วเชิงมุม

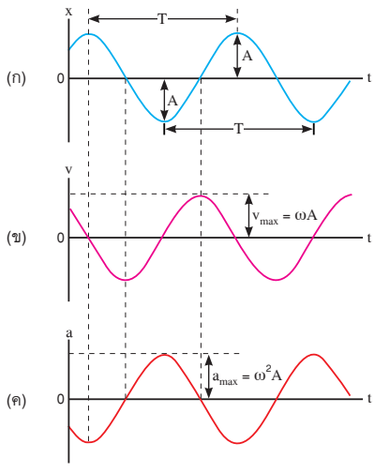
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{\frac{\pi}{4}} = 8 \text{ rad/s}$$

คำนวณหาความเร็วของอนุภาค

$$v = \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2} = 8\sqrt{(2.0)^2 - (1.0)^2} = 8\sqrt{3} \text{ m/s}$$

จะได้ว่า ณ ตำแหน่งที่วัตถุมีการกระจัด 1.0 เมตร อนุภาคนี้มีความเร็วเท่ากับ $8\sqrt{3}$ เมตรต่อวินาที ดังนั้น ตอบข้อ 5.)

4. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่ง กับเวลาของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย



▲ **ภาพที่ 1.4** **(ก)** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง x กับเวลา t ที่มุมเฟสเริ่มต้นใด ๆ
(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว v กับเวลา t ที่มุมเฟสเริ่มต้นใด ๆ
(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่ง a กับเวลา t ที่มุมเฟสเริ่มต้นใด ๆ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

จากภาพที่ 1.4 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง x กับเวลา t ที่มุมเฟสเริ่มต้นใด ๆ โดยแอมพลิจูด A หาได้จากระยะจากตำแหน่งสมดุล (x = 0) ไปยังสันคลื่นหรือท้องคลื่น ซึ่งค่าทั้งสองจะต้องเท่ากัน ส่วนคาบในการวัดแกว่ง T ซึ่งเป็นเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ จะวัดจากสันคลื่นหนึ่งถึงสันคลื่นที่อยู่ติดกัน หรือจากท้องคลื่นหนึ่งถึงท้องคลื่นที่อยู่ติดกัน ส่วนภาพที่ 1.4 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว v กับเวลา t ที่มุมเฟสใด ๆ เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งสมดุล (x = 0) อัตราเร็วสูงสุดจะหาได้จาก $v_{max} = \omega A$ และที่ตำแหน่งแอมพลิจูด (x = ±A) อัตราเร็วของวัตถุจะเป็นศูนย์ (v = 0) และภาพที่ 1.4 (ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่ง a กับเวลา t ที่มุมเฟสเริ่มต้นใด ๆ เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งสมดุล (x = 0) ขนาดของความเร่งจะเป็นศูนย์ (a = 0) และที่ตำแหน่งแอมพลิจูด (x = ±A) ขนาดของความเร่งสูงสุดจะหาได้จาก $a_{max} = \omega^2 A$

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

1. ครูถามคำถามเพื่อเป็นการทบทวนความรู้เดิมของนักเรียนว่า “การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ติดกับปลายลวดสปริงมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นอย่างไร”
(แนวตอบ มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย)
2. ครูให้นักเรียนนับจำนวน 1-5 วนไปเรื่อย ๆ จนครบทุกคน เพื่อแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน โดยคนที่นับจำนวนเดียวกันให้อยู่กลุ่มเดียวกัน
3. ครูแจ้งจุดประสงค์ของการทำกิจกรรม การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุที่ติดปลายสปริง

ข้อสอบเน้นการคิด

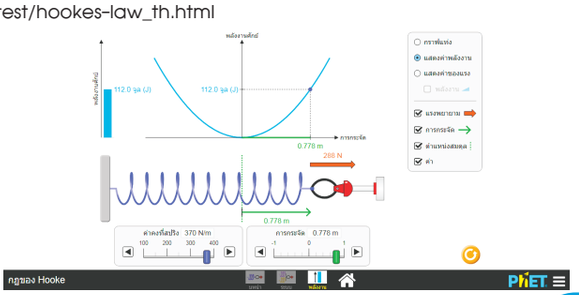
ถ้าพิจารณาที่ตำแหน่งสมดุลของวัตถุที่เคลื่อนที่ฮาร์มอนิกอย่างง่าย อัตราเร็วและขนาดของความเร่งเป็นอย่างไร

1. อัตราเร็วจะแปรผันตรงกับขนาดความเร่ง
2. อัตราเร็วและขนาดความเร่งจะมีค่าสูงสุด
3. อัตราเร็วและขนาดความเร่งจะมีค่าเป็นศูนย์
4. อัตราเร็วจะมีค่าสูงสุดและขนาดความเร่งจะมีค่าเป็นศูนย์
5. อัตราเร็วจะมีค่าเป็นศูนย์และขนาดความเร่งจะมีค่าสูงสุด

วิเคราะห์คำตอบ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่ง กับเวลาของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายที่มุมเฟสเริ่มต้นใด ๆ จะได้ว่า ที่ตำแหน่งสมดุล (x = 0) อัตราเร็วจะมีค่าสูงสุด ($v_{max} = \omega A$) และขนาดของความเร่งจะเป็นศูนย์ (a = 0) ดังนั้น ตอบข้อ 4.)

เกร็ดแนะครู

เพื่อเสริมความรู้เรื่องกราฟปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ครูอาจใช้สถานการณ์จำลองบนคอมพิวเตอร์แบบมีปฏิสัมพันธ์ เรื่อง กฎของฮุก ในหมวดของพลังงานมาอธิบาย โดยครูปรับค่าคงที่สปริงและการกระจัดแล้วให้นักเรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกราฟพลังงานศักย์กับการกระจัด โดยเข้าไปที่ https://phet.colorado.edu/sims/html/hookes-law/latest/hookes-law_th.html



ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

4. ครูใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบร่วมมือมาจัดกระบวนการเรียนรู้ โดยกำหนดให้สมาชิกแต่ละคนภายในกลุ่มมีบทบาทหน้าที่ของตนเอง ดังนี้
   - สมาชิกคนที่ 1-2 ทำหน้าที่เตรียมวัสดุอุปกรณ์
   - สมาชิกคนที่ 3-4 ทำหน้าที่อ่านวิธีปฏิบัติกิจกรรม และนำมาอธิบายให้สมาชิกภายในกลุ่มฟัง
   - สมาชิกคนที่ 5 ทำหน้าที่บันทึกผลกิจกรรม

   (หมายเหตุ : ครูเริ่มประเมินนักเรียน โดยใช้แบบประเมินการปฏิบัติกิจกรรม)
5. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มทำกิจกรรมตามขั้นตอนในหนังสือเรียน

กิจกรรม

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุที่ติดปลายสปริง

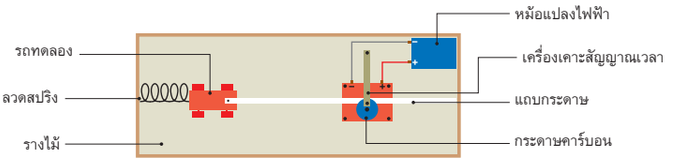
ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์
- การสังเกต
- การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล
- การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

จิตวิทยาศาสตร์
- ความซื่อสัตย์
- ความมุ่งมั่นอดทน

วัสดุอุปกรณ์

1. ลวดสปริง
2. รถทดลอง
3. รางไม้
4. แถบกระดาษ
5. เครื่องเคาะสัญญาณเวลา
6. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ

วิธีปฏิบัติ



▲ **ภาพที่ 1.5** กิจกรรมการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุที่ติดปลายสปริง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

1. จัดอุปกรณ์ ดังภาพที่ 1.5
2. ดึงรถทดลองออกห่างจากตำแหน่งสมดุล 6 เซนติเมตร แล้วเปิดสวิตช์ที่หม้อแปลงโวลต์ต่ำให้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาทำงาน จากนั้นปล่อยมือให้รถทดลองเคลื่อนที่ และเมื่อรถทดลองเริ่มเคลื่อนที่สวนกลับทางเดิมให้ปิดสวิตช์
3. นำแถบกระดาษที่ได้มาหาการกระจัดโดยวัดจากตำแหน่งสมดุล และหาความเร็วที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตลอดการเคลื่อนที่ ซึ่งปริมาณที่มีทิศไปทางขวามีเครื่องหมายบวก และปริมาณที่มีทิศไปทางซ้ายมีเครื่องหมายลบ
4. พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา และความเร็วกับเวลา พร้อมทั้งเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ โดยกำหนดให้เวลาเป็นแกนนอน

คำถามท้ายกิจกรรม

1. พิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา และความเร็วกับเวลา ที่ได้จากการทำกิจกรรม
   1.1 ความเร็วของรถทดลองมีค่าเท่าใด ณ เวลาที่การกระจัดเป็นศูนย์
   1.2 ความเร็วของรถทดลองมีค่าเท่าใด ณ เวลาที่การกระจัดมากที่สุด
2. กราฟที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา และความเร็วกับเวลา ได้จากการเคลื่อนที่ของรถทดลองกี่รอบ

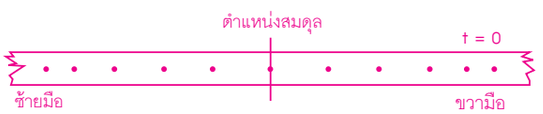
10

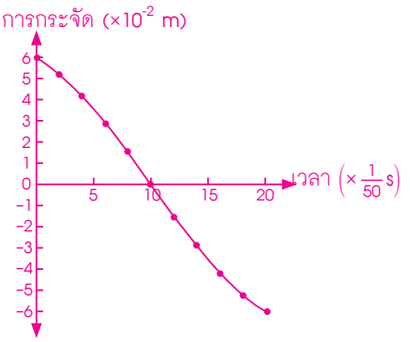
แนวตอบ คำถามท้ายกิจกรรม

1. 1.1) ความเร็วของรถทดลองมีค่าสูงสุด
1.2) ความเร็วของรถทดลองเป็นศูนย์
2. ครึ่งรอบ

บันทึก กิจกรรม

ตัวอย่างแถบกระดาษและกราฟที่ได้จากกิจกรรม



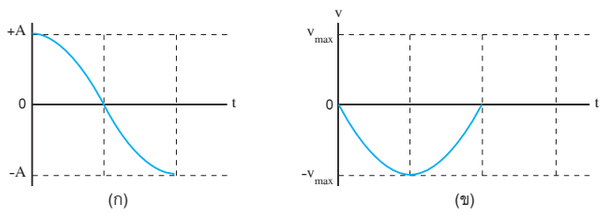


การกระจัด ($\times 10^{-2}$ m)	เวลา ($\times \frac{1}{50}$ s)
+6.00	0
+5.20	2
+4.25	4
+2.85	6
+1.65	8
0.00	10
-1.55	12
-2.80	14
-4.20	16
-5.25	18
-6.00	20

ข้อมูลที่ให้เป็นตัวอย่างผลการทำกิจกรรม พิจารณาตามผลการปฏิบัติกิจกรรมจริงโดยขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้สอน

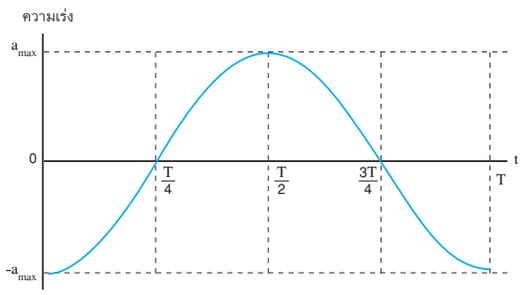
อภิปรายผลท้ายกิจกรรม

จากการทำกิจกรรม พบว่าความเร็วของรถทดลองมีค่าเป็นศูนย์ ณ การกระจัดสูงสุดที่ตำแหน่งเริ่มต้น และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรถทดลองเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งสมดุล ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งสมดุล สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา และความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ในลักษณะครึ่งคาบเป็นดังภาพที่ 1.6 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



▲ **ภาพที่ 1.6** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา และความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ในลักษณะครึ่งคาบ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

และจากการทำกิจกรรม สรุปได้ว่าความเร่งแปรผันตรงกับการกระจัดแต่มีทิศทางตรงข้าม ดังนั้น กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งและเวลาจะได้ดังภาพที่ 1.7



▲ **ภาพที่ 1.7** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา
ที่มา : คลังภาพ อจท.

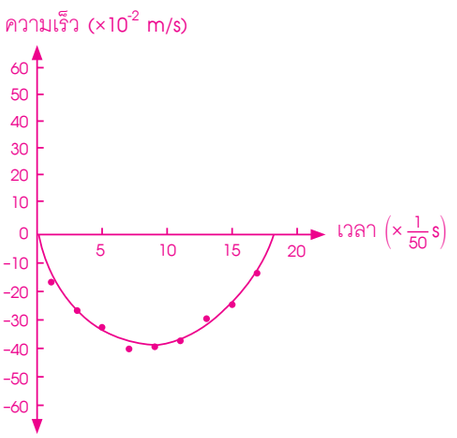
ขั้นสอน

อธิบายความรู้

1. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนมานำเสนอผลการทำกิจกรรม โดยในระหว่างที่นักเรียนนำเสนอครูคอยให้ข้อเสนอแนะและข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจที่ถูกต้อง
2. ครูให้นักเรียนร่วมกันตอบคำถามท้ายกิจกรรม โดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันอภิปรายเพื่อหาคำตอบร่วมกัน
3. ครูสุ่มเลือกนักเรียน 2-3 กลุ่ม ให้ออกมานำเสนอคำตอบของกลุ่มตนเอง เมื่อนักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอคำตอบของกลุ่มตนเองเรียบร้อย ครูนำสรุปผลการทำกิจกรรมและเฉลยคำถามท้ายกิจกรรมโดยในระหว่างที่ครูนำสรุปครูควรกระตุ้นในนักเรียนมีส่วนร่วมในการร่วมกันสรุปผลการทำกิจกรรมให้มากที่สุด

บันทึก กิจกรรม

ระยะทาง 2 ช่วงจุด ($\times10^{-2}$ m)	ความเร็ว ($\times10^{-2}$ m/s)	เวลา $\left(\times\frac{1}{50}\text{ s}\right)$
0	0	0
0.70	-17.50	1
1.15	-28.75	3
1.30	-33.75	5
1.60	-40.00	7
1.58	-39.50	9
1.45	-36.25	11
1.20	-30.00	13
1.10	-25.50	15
0.59	-14.75	17



ข้อมูลที่ให้เป็นตัวอย่างผลการทำกิจกรรม พิจารณาตามผลการปฏิบัติกิจกรรมจริงโดยขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้สอน

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

1. เพื่อเป็นการทบทวนความรู้เดิมครูตั้งประเด็นถามว่า “ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายสามารถแสดงได้ด้วยสมการที่เป็นฟังก์ชันแบบใด และมีสมการใดบ้าง”

   (แนวตอบ สามารถแสดงได้ด้วยสมการที่เป็นฟังก์ชันแบบไซน์ โดยมีสมการ ดังนี้

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

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

2. ครูให้นักเรียนจับคู่กับเพื่อน ร่วมกันศึกษาตัวอย่างที่ 1.2-1.4 จากหนังสือเรียน แล้วพูดคุยอภิปรายถึงคำตอบที่ได้

ตัวอย่างที่ 1.2

สปริงเบาอันหนึ่งมีค่าคงตัว 10 นิวตันต่อเมตร วางอยู่บนโต๊ะที่ไม่มีแรงเสียดทาน โดยที่ปลายข้างหนึ่งของสปริงถูกตรึงไว้กับที่ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งติดกับวัตถุมวล 0.40 กิโลกรัม เมื่อดึงวัตถุให้ยืดออก 10 เซนติเมตร จากตำแหน่งสมดุลแล้วปล่อย วัตถุจะเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

ก จงหาการกระจัดที่เวลาใด ๆ

วิธีทำ การกระจัดที่เวลาใด ๆ แสดงได้โดยสมการ $x = A\sin(\omega t + \phi)$

ดังนั้น จะต้องคำนวณหา ω A และ ϕ

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

$$\omega = \sqrt{\frac{10}{0.40}}$$

$$\omega = 5.0 \text{ rad/s}$$

และ $A = 10 \text{ cm} = 0.10 \text{ m}$

เนื่องจากเวลา $t = 0$ วัตถุอยู่ในตำแหน่ง $x = 0.10$ m เมื่อแทนค่าลงไปในสมการการกระจัดที่เวลาใด ๆ จะได้ ดังนี้

จากสมการ $x = A\sin(\omega t + \phi)$

$$0.10 = 0.10\sin((5.0)(0) + \phi)$$

$$\sin\phi = 1$$

$$\phi = \sin^{-1}(1)$$

$$\phi = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$$

ดังนั้น การกระจัดที่เวลาใด ๆ หาได้จากสมการ $x = 0.10\sin\left(5.0t + \frac{\pi}{2}\right)$ ในหน่วยเมตร

ข อัตราเร็วสูงสุดของวัตถุ

วิธีทำ จากสมการ $v_{max} = \omega A$

$$v_{max} = (5.0)(0.10)$$

$$v_{max} = 0.50 \text{ m/s}$$

ดังนั้น อัตราเร็วสูงสุดของวัตถุเป็น 0.50 เมตรต่อวินาที

ค อัตราเร่งสูงสุดของวัตถุ

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

$$a_{max} = (5.0)^2(0.10)$$

$$a_{max} = 2.5 \text{ m/s}^2$$

ดังนั้น อัตราเร่งสูงสุดของวัตถุเป็น 2.5 เมตรต่อวินาที^{2}

ข้อสอบเน้นการคิด

สปริงเบาตัวหนึ่งแขวนมวล 1.2 กิโลกรัม ถูกทำให้สั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจนมีแอมพลิจูดเป็น 10 เซนติเมตร จงหาอัตราเร็วสูงสุดและอัตราเร่งสูงสุดที่เกิดขึ้น เมื่อสปริงเบาตัวนี้มีค่าคงที่สปริงเท่ากับ 120 นิวตันต่อเมตร

(แนวตอบ คำนวณหาคาบการสั่นของมวล 1.2 กิโลกรัม

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

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

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{1.2}{120}} = 0.63 \text{ s}$$

คำนวณหาอัตราเร็วสูงสุด

จากสมการ $v_{max} = \omega A$

$$v_{max} = (A)\sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$v_{max} = (10 \times 10^{-2})\sqrt{\frac{120}{1.2}} = 1 \text{ m/s}$$

คำนวณหาอัตราเร่งสูงสุด

จากสมการ $a_{max} = -\omega^2 A$

$$a_{max} = -\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\right)^2 A$$

$$a_{max} = -\frac{k}{m}(A)$$

$$a_{max} = -\frac{120}{1.2}(10 \times 10^{-2}) = -10 \text{ m/s}^2$$

ดังนั้น อัตราเร็วสูงสุดและอัตราเร่งสูงสุดที่เกิดขึ้นเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที และ -10 เมตรต่อวินาที^{2})

ตัวอย่างที่ 1.3

กล่องใบหนึ่งถูกผูกติดกับสปริงที่มีค่าคงตัว 400 นิวตันต่อเมตร ณ เวลาหนึ่ง มีการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของกล่องเป็น 0.100 เมตร -13.6 เมตรต่อวินาที และ -123 เมตรต่อวินาที^{2} ตามลำดับ

ก จงหาคาบของการกวัดแกว่ง

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

$$-123 = -\omega^2(0.100)$$

$$\omega^2 = \frac{-123}{-0.100}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{123}{0.100}}$$

$$\omega = 35.1 \text{ rad/s}$$

จากสมการ $\omega = \frac{2\pi}{T}$

จะได้ว่า $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{35.1} = 0.179 \text{ s}$

ดังนั้น คาบการแกว่งของกล่องเท่ากับ 0.179 วินาที

ข จงหามวลของกล่อง

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

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

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

$$m = \frac{400}{(35.1)^2} = 0.325 \text{ kg}$$

ดังนั้น มวลของกล่องเท่ากับ 0.325 กิโลกรัม

ค จงหาแอมพลิจูดของการแกว่งของกล่อง

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

$$v^2 = \omega^2(A^2 - x^2)$$

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

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

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

$$A = \sqrt{\left(\frac{-13.6}{35.1}\right)^2 + (0.100)^2}$$

$$A = 0.400 \text{ m}$$

ดังนั้น แอมพลิจูดของการกวัดแกว่งกล่องเท่ากับ 0.400 เมตร

ขั้นสอน

อธิบายความรู้

1. ครูสุ่มนักเรียนบางคู่ออกมาแสดงวิธีการคำนวณหาผลลัพธ์ที่ได้ร่วมกันศึกษาและอภิปรายผลหน้าขั้นเรียน
2. ครูแจกใบงานที่ 1.1 เรื่อง ระบบมวล-สปริงเบา ให้นักเรียน
3. นักเรียนแต่ละคนศึกษาและลงมือทำใบงานที่ 1.1 เรื่อง ระบบมวล-สปริงเบา โดยครูคอยสังเกตการณ์และชี้แนะให้คำปรึกษาเมื่อนักเรียนเกิดปัญหา แล้วรวบรวมส่งคืนครูท้ายชั่วโมง

ขั้นสรุป

ขยายความเข้าใจ

1. ครูนำนักเรียนอภิปรายและสรุปร่วมกันเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ดังนี้ การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุที่กลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิมผ่านตำแหน่งสมดุล โดยมีคาบและแอมพลิจูดคงตัว และมีการกระจัดจากตำแหน่งสมดุลที่เวลาใด ๆ เป็นฟังก์ชันแบบไซน์ โดยปริมาณต่าง ๆ ที่ เกี่ยวข้อง มีความสัมพันธ์ตามสมการ

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

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

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

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

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

ข้อสอบเน้นการคิด

สปริงเบาอันหนึ่งมีค่านิจสปริง **100** นิวตันต่อเมตร วางอยู่บนโต๊ะที่ไม่มีแรงเสียดทาน ปลายข้างหนึ่งถูกตรึงไว้กับที่ ส่วนอีกปลายข้างหนึ่งติดกับวัตถุมวล **1.0** กิโลกรัม เมื่อดึงวัตถุให้ยืดออกจากตำแหน่งสมดุล **10** เซนติเมตร แล้วปล่อย วัตถุจะเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

ก) จงหาการกระจัดของวัตถุที่เวลาใด ๆ ข) จงหาอัตราเร็วสูงสุดของวัตถุ ค) จงหาความเร่งสูงสุดของวัตถุ

(แนวตอบ ก) คำนวณหาความถี่เชิงมุม

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

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{100}{1.0}} = 10 \text{ rad/s}$$

เนื่องจาก ผลเฉลยสมการการกระจัดเขียนได้ ดังสมการ

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

ที่เวลา t = 0 s วัตถุอยู่ที่ตำแหน่ง x = 0.10 m จะได้ว่า

$$0.10 = 0.10\sin(\omega(0) + \phi)$$

$$1 = \sin\phi$$

$$\phi = \sin^{-1}(1)$$

$$\phi = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$$

ดังนั้น การกระจัดที่เวลาใด ๆ เป็น $x = 0.10\sin(10t + \frac{\pi}{2})$ *เมตร*

ข) จากสมการ $v_{max} = \omega A$

$$v_{max} = (10)(0.10) = 1.0 \text{ m/s}$$

ดังนั้น อัตราเร็วสูงสุดของวัตถุเท่ากับ 1.0 เมตรต่อวินาที

ค) จากสมการ $a_{max} = -\omega^2 A$

$$a_{max} = -(10)^2(0.10) = -10 \text{ m/s}$$

ดังนั้น ความเร่งสูงสุดของวัตถุเท่ากับ -10 เมตรต่อวินาที)

T15

ขั้นสรุป

ขยายความเข้าใจ

2. ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนสอบถามเนื้อหา เรื่อง ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ว่ามีส่วนไหนที่ยังไม่เข้าใจ และให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนนั้น โดยที่ครูอาจจะใช้ PowerPoint เรื่อง ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ช่วยในการอธิบาย
3. ครูให้นักเรียนเขียนแผนที่ความคิด (Mind Mapping) เรื่อง ระบบมวล-สปริงเบา ลงในสมุดประจำตัวเป็นรายบุคคล
   (หมายเหตุ : *ครูเริ่มประเมินนักเรียน โดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมการทำงานรายบุคคล)*
4. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดจาก Topic Question เรื่อง ระบบมวล-สปริงเบา จากหนังสือเรียนลงในสมุดประจำตัว แล้วรวบรวมส่งครูท้ายชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 1.4

อนุภาคมวล 1.75 กิโลกรัม มีความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลาเป็นดังสมการ

$$x = 4.00\cos\left(1.33t + \frac{\pi}{5}\right)$$

โดยที่ตำแหน่งมีหน่วยเป็นเมตร เวลามีหน่วยเป็นวินาที และอนุภาคเริ่มต้นการเคลื่อนที่ ที่เวลา t = 0 วินาที

ก จงหาเวลาถัดไปที่อนุภาคอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล และกำลังเคลื่อนที่ไปทางด้านใด

วิธีทำ เปลี่ยนสมการตำแหน่งในอยู่ในรูปแบบของ sine จะได้ว่า

$$x = 4.00\sin\left(1.33t + \frac{\pi}{5} + \frac{\pi}{2}\right) = 4.00\sin\left(1.33t + \frac{7\pi}{10}\right)$$

ในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบอนุภาคจะผ่านตำแหน่งสมดุลสองครั้ง ดังนั้น ที่ตำแหน่ง x = 0 จะได้ว่า

$$0 = 4.00\sin\left(1.33t + \frac{7\pi}{10}\right)$$

$$\sin\left(1.33t + \frac{7\pi}{10}\right) = 0$$

$$\sin^{-1}(0) = 1.33t + \frac{7\pi}{10}$$

$$1.33t + \frac{7\pi}{10} = \pi,\ 2\pi$$

พิจารณาที่ π ;

$$1.33t + \frac{7\pi}{10} = \pi$$

$$t = \frac{0.3\pi}{1.33}$$

$$t = 0.709\ \text{s}$$

พิจารณาที่ 2π ;

$$1.33t + \frac{7\pi}{10} = 2\pi$$

$$t = \frac{1.3\pi}{1.33}$$

$$t = 3.07\ \text{s}$$

จะได้ว่า t = 0.709 วินาที และ 3.07 วินาที ซึ่งเวลาทั้งสองค่านี้เป็นเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสมดุล ในการตรวจสอบอนุภาคเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายหรือทางด้านขวาเราจะต้องแทนเวลาที่ได้ลงในสมการของความเร็ว

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

จะได้ว่า

$$v = (1.33)(4.00)\cos\left(1.33t + \frac{7\pi}{10}\right)$$

$$v = 5.32\cos\left(1.33t + \frac{7\pi}{10}\right)$$

ที่เวลา $t = 0.709$ s ;

$$v = 5.32\cos\left((1.33)(0.709) + \frac{7\pi}{10}\right)$$

$$v = -5.32\ \text{m/s}$$

14

เกร็ดแนะครู

เพื่อเป็นการเสริมความเข้าใจให้นักเรียน ครูอาจนำโจทย์ที่เกี่ยวข้องกับผลเฉลยของสมการการกระจัดที่มีความแตกต่างจากตัวอย่างที่ 1.4 มาให้นักเรียนแสดงวิธีหาคำตอบโดยมีครูคอยให้คำแนะนำ จากนั้นครูอาจเข้าไปศึกษาและหาโจทย์เพิ่มเติมได้จากบทเรียนออนไลน์รายวิชาฟิสิกส์ทั่วไป I โดยเข้าไปศึกษาได้ที่ https://thaimooc.org/courses/course-v1:KU-MOOC+ku002+2018_T2/about

กิจกรรมสร้างเสริม

ครูให้นักเรียนไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม และทำโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของระบบมวล-สปริงเบา โดยครูกำหนดให้นักเรียนแต่ละคน เขียนสรุปเนื้อหาสาระสำคัญทั้งหมด และมีการเพิ่มโจทย์ปัญหาหรือแสดงวิธีการคำนวณหาผลลัพธ์เพิ่มเติมนอกเหนือจากหนังสือเรียนลงในกระดาษ A4 อย่างน้อยคนละ 3 ข้อ เพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจเนื้อหาที่ได้ศึกษามาแล้วมากยิ่งขึ้น

ที่เวลา t = 3.07 s ; $v = 5.32\cos\left((1.33)(3.07) + \frac{7\pi}{10}\right)$

$v = 5.32$ m/s

ดังนั้น ที่เวลา 0.709 วินาที อนุภาคจะอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล และกำลังเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้าย ส่วนที่เวลา 3.07 วินาที อนุภาคกำลังเคลื่อนที่ไปทางด้านขวา

ข จงหาเวลาถัดไปที่อนุภาคอยู่ที่ตำแหน่งแอมพลิจูดต่ำสุด

วิธีทำ โจทย์ให้หาเวลาที่อนุภาคอยู่ที่ตำแหน่ง $x = -A = -4.00$ เมตร จะได้ว่า

$$-4.00 = 4.00\cos\left(1.33t + \frac{\pi}{5}\right)$$

$$\cos\left(1.33t + \frac{\pi}{5}\right) = -1.00$$

$$\cos^{-1}(-1.00) = 1.33t + \frac{\pi}{5}$$

$$1.33t + \frac{\pi}{5} = \pi$$

$$1.33t = \frac{4\pi}{5}$$

$$t = 1.89 \text{ s}$$

ดังนั้น ที่เวลา 1.89 วินาที วัตถุจะอยู่ที่ตำแหน่งแอมพลิจูดต่ำสุด

Physics Focus

การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ

เมื่อคลื่นไปกระทบวัตถุที่ลอยน้ำอยู่ เช่น ทุ่นที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ ลูกฟุตบอลที่ลอยน้ำอยู่ เมื่อสังเกตการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ลอยน้ำ จะเห็นได้ว่า วัตถุจะเคลื่อนที่ขึ้นลงอย่างสม่ำเสมอซึ่งเป็นผลจากการรบกวนที่ได้จากการถ่ายโอนพลังงานจากคลื่นน้ำให้กับวัตถุ ถ้าอนุภาคของน้ำมีสมบัติยืดหยุ่นและไม่ดูดกลืนพลังงานหรือไม่แปลงพลังงานไปเป็นพลังงานอื่น อนุภาคของน้ำจะมีการสั่นแล้วถ่ายโอนพลังงานให้กับอนุภาคข้างเคียงจำนวนมากต่อเนื่องกันไป ทำให้คลื่นเคลื่อนที่ออกไปโดยอนุภาคของน้ำจะสั่นหรือเคลื่อนที่กลับไปกลับมา ณ ตำแหน่งหนึ่ง ๆ เท่านั้น ซึ่งจะส่งผลทำให้วัตถุที่ลอยอยู่บนผิวน้ำสั่นขึ้นลงและซ้ำรอยเดิมอย่างต่อเนื่อง จึงกล่าวได้ว่า วัตถุที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำจะเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

▲ **ภาพที่ 1.8** วัตถุที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำจะเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ขั้นสรุป

ขยายความเข้าใจ

5. ครูให้นักเรียนจับคู่กับเพื่อนร่วมชั้นเรียนที่นั่งใกล้กันแล้วให้ช่วยกันยกตัวอย่างวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายที่สามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน 1 สถานการณ์ โดยให้ช่วยกันเขียนอธิบายลงในกระดาษ A4
6. ครูมอบหมายให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด เรื่อง ระบบมวล-สปริงเบา จากแบบฝึกหัด รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1 เป็นการบ้านส่งในชั่วโมงถัดไป

กิจกรรม 21st Century Skills

1. ให้นักเรียนแบ่งกลุ่มตามความสมัครใจ กลุ่มละ 3-4 คน
2. ให้นักเรียนร่วมกันสืบค้นข้อมูล เรื่อง ระบบมวล-สปริงเบา
3. สมาชิกในกลุ่มร่วมกันเลือกข้อมูล และจัดเตรียมข้อมูลเพื่อนำเสนอตามรูปแบบที่สื่อสารได้ง่ายและน่าสนใจ
4. นำเสนอข้อมูลหน้าชั้นเรียน ด้วยวิธีการสื่อสารที่ทำให้ผู้อื่นเข้าใจได้ง่าย

นักเรียนควรรู้

วัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลม หากวัตถุที่เคลื่อนตามแนวโค้งของวงกลมรอบจุดจุดหนึ่ง จะกล่าวได้ว่า วัตถุนั้นเคลื่อนที่เป็นวงกลม โดยการเคลื่อนที่แบบวงกลม แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การเคลื่อนที่แบบวงกลมอย่างสม่ำเสมอและการเคลื่อนที่แบบวงกลมอย่างไม่สม่ำเสมอ

- การเคลื่อนที่แบบวงกลมอย่างสม่ำเสมอ คือ การเคลื่อนที่ที่วัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัว ซึ่งการเคลื่อนที่แบบนี้มีขนาดของความเร็วคงตัว แต่ความเร็วจะมีการเปลี่ยนทิศทางไปตลอดเวลา
- การเคลื่อนที่แบบวงกลมอย่างไม่สม่ำเสมอ คือ การเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วไม่คงตัว ซึ่งการเคลื่อนที่แบบนี้มีขนาดและทิศของความเร็วของวัตถุจะไม่คงตัว

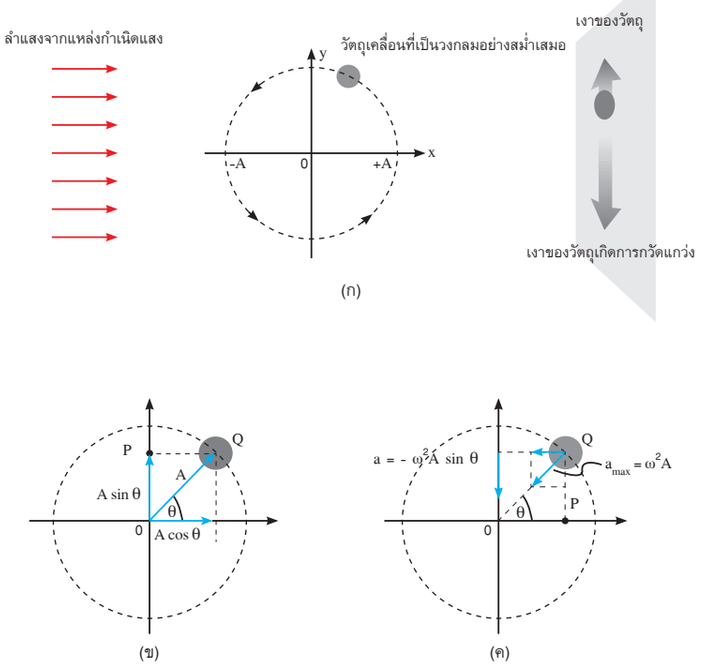
ขั้นประเมิน

ตรวจสอบผล

1. ครูตรวจสอบผลการทำแบบทดสอบก่อนเรียน เพื่อตรวจสอบความเข้าใจก่อนเรียนของนักเรียน
2. ครูตรวจสอบผลการทำแบบทดสอบความเข้าใจก่อนเรียนจาก Understanding Check ในสมุดประจำตัว
3. ครูตรวจสอบผลจากการทำใบงานที่ 1.1 เรื่อง ระบบมวล-สปริงเบา
4. ครูตรวจแบบฝึกหัดจาก Topic Question เรื่อง ระบบมวล-สปริงเบา ในสมุดประจำตัว
5. ครูตรวจสอบแบบฝึกหัด เรื่อง ระบบมวล-สปริงเบา จากแบบฝึกหัด รายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 1
6. ครูประเมินผล โดยการสังเกตพฤติกรรมการตอบคำถาม พฤติกรรมการทำงานรายบุคคล และการทำงานกลุ่ม
7. ครูวัดและประเมินผลการปฏิบัติกิจกรรมการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุที่ติดปลายสปริง ที่นักเรียนได้ปฏิบัติในขั้นสำรวจความรู้
8. ครูวัดและประเมินผลจากชิ้นงานแผนที่ความคิด (Mind Mapping) เรื่อง ระบบมวล-สปริงเบา ที่นักเรียนได้สร้างขึ้นจากขั้นขยายความเข้าใจเป็นรายบุคคล

1.2 เงาของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ

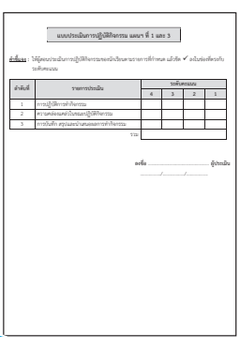
ในหัวข้อนี้จะศึกษาเงาวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ โดยจะนำไปเปรียบเทียบกับการเคลื่อนแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย และแสดงให้เห็นว่า เงาของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอกำลังเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายซึ่งแสดง ดังภาพที่ 1.9

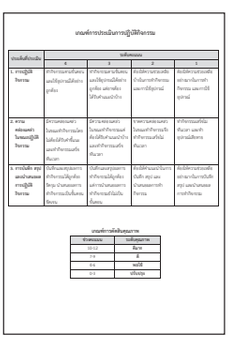


▲ **ภาพที่ 1.9** แผนภาพแสดงการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

แนวทางการวัดและประเมินผล

ครูสามารถวัดและประเมินการทำกิจกรรมการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุที่ติดปลายสปริง โดยศึกษาเกณฑ์การวัดและประเมินผลจากแบบประเมินการปฏิบัติกิจกรรมที่แนบมาท้ายแผนการสอนหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย





กิจกรรมท้าทาย

ครูเปิดประเด็นให้นักเรียนได้คิดว่า ถ้าค่าเฟสในตัวอย่างที่ 1.4 จากหนังสือเรียน เปลี่ยนจาก $\frac{\pi}{5}$ เป็น $-\frac{\pi}{5}$ คำตอบของข้อ ก และ ข จะเปลี่ยนไปหรือไม่ โดยครูให้นักเรียนช่วยกันระดมความคิดและอภิปรายร่วมกันเพื่อหาคำตอบ

Prior Knowledge

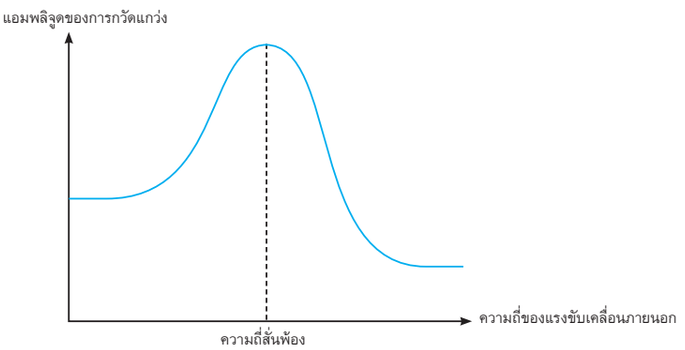
หากต้องการผลักชิงช้าให้แกว่งสูงขึ้นกว่าเดิมจะต้องออกแรงผลักอย่างไร

2. การสั่นพ้อง

เหตุการณ์ที่น่าสนใจทางฟิสิกส์ คือ การแกว่งชิงช้า (ซึ่งอาจจะถือได้ว่าเป็นลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย) ในขณะที่ชิงช้ากำลังแกว่งอยู่ เมื่อผลักคนที่นั่งบนชิงช้าด้วยจังหวะที่เหมาะสม จะทำให้ชิงช้าแกว่งขึ้นไปสูงขึ้นกว่าเดิม แต่ถ้าผลักด้วยจังหวะที่ช้าหรือเร็วไปเล็กน้อย ชิงช้าจะแกว่งต่ำลง เรียกการที่ทำให้ชิงช้าแกว่งสูงขึ้นว่า การสั่นพ้อง

การสั่นพ้อง (resonance) เป็นปรากฏการณ์ที่ระบบกวัดแกว่งหนึ่ง ๆ ถูกกระทำโดยแรงขับเคลื่อนภายนอกที่มีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบ แล้วทำให้แอมพลิจูดในการกวัดแกว่งของระบบนั้น ๆ เพิ่มมากขึ้น จะเรียกความถี่ของแรงขับเคลื่อนที่ใช้กระตุ้นว่า **ความถี่สั่นพ้อง** (resonant frequency)

จากที่กล่าวข้างต้น **ความถี่ธรรมชาติ** (natural frequency) จึงเป็นความถี่เฉพาะตัวของระบบหนึ่ง ๆ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนมากสุด คือ ลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายซึ่งจะมีความถี่ธรรมชาติเป็น $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{L}}$ หรือระบบมวล-สปริงเบาซึ่งจะมีความถี่ธรรมชาติเป็น $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$ สมมติว่า ความถี่ธรรมชาติของระบบมวล-สปริงหนึ่งเป็น 20 เฮิรตซ์ เมื่อมีแรงขับเคลื่อนภายนอกที่มีความถี่เท่ากับ 20 เฮิรตซ์พอดี ไปกระทำกับระบบจะทำให้มวลกวัดแกว่งด้วยแอมพลิจูดสูงสุด แต่ถ้าขับเคลื่อนด้วยความถี่ที่แตกต่างเล็กน้อย เช่น 19 เฮิรตซ์ หรือ 21 เฮิรตซ์ แอมพลิจูดของ



▲ **ภาพที่ 1.13** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของแรงขับเคลื่อนภายนอกกับแอมพลิจูดของการกวัดแกว่ง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ขั้นนำ

กระตุ้นความสนใจ

1. ครูแสดงกิจกรรมสาธิตโดยนำเชือกผูกกับวัตถุ เช่น นอตหรือลูกตุ้ม แล้วนำมาแกว่งให้นักเรียนดู โดยออกแรงผลักลูกตุ้มในจังหวะต่าง ๆ โดยในระหว่างสาธิตครูบอกให้นักเรียนสังเกตลักษณะการแกว่งของลูกตุ้มในขณะที่โดนแรงกระทำในจังหวะต่าง ๆ
2. ครูชักชวนนักเรียนให้ร่วมกันสนทนาเกี่ยวกับลักษณะการเคลื่อนที่ของชิงช้าว่า เวลาไกวชิงช้าผู้ที่ออกแรงไกวชิงช้าจะต้องออกแรงผลักคนที่นั่งบนชิงช้าอย่างไรจึงจะทำให้ชิงช้าไกวสูงขึ้น โดยให้นักเรียนช่วยกันร่วมกันอภิปรายอย่างอิสระ
3. ครูกระตุ้นความคิดให้กับนักเรียนโดยถามคำถาม Prior Knowledge จากหนังสือเรียน เพื่อเป็นการนำเข้าสู่บทเรียนว่า “หากต้องการผลักชิงช้าให้แกว่งสูงขึ้นกว่าเดิมจะต้องออกแรงผลักอย่างไร”
4. ครูแจ้งให้นักเรียนทราบว่าจะได้ศึกษา เรื่อง การสั่นพ้อง

แนวตอบ Prior Knowledge

จะต้องออกแรงผลักคนที่นั่งบนชิงช้าด้วยจังหวะที่เหมาะสม จึงจะทำให้ชิงช้าไกวขึ้นไปสูงขึ้นกว่าเดิม แต่ถ้าผลักด้วยจังหวะที่ช้าหรือเร็วไปเล็กน้อย ชิงช้าจะไกวต่ำลง)

ข้อสอบเน้นการคิด

การสั่นพ้องเกิดขึ้นได้อย่างไรและวัตถุที่เกิดการสั่นพ้องจะเป็นอย่างไร

(แนวตอบ การสั่นพ้องเกิดขึ้นเมื่อวัตถุได้รับการกระตุ้นให้สั่นด้วยความถี่เท่ากับหรือใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของวัตถุ เมื่อเกิดการสั่นพ้องวัตถุจะสั่นด้วยความถี่คงตัวเท่ากับความถี่ธรรมชาติของวัตถุ โดยแอมพลิจูดของการสั่นมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับแอมพลิจูดของการสั่นด้วยความถี่ค่าอื่น ๆ ถ้าเป็นการสั่นพ้องด้วยแรงวัตถุจะสั่นแรงกว่าปกติจนอาจทำให้วัตถุนั้นเสียหายได้ ถ้าเป็นการสั่นพ้องของเสียงจะเกิดเสียงดังกว่าปกติ)

เกร็ดแนะครู

เพื่อเป็นการเสริมความเข้าใจให้นักเรียนและให้การเรียนการสอนเกิดความน่าสนใจ ครูอาจจัดกิจกรรมสาธิตเกี่ยวกับความถี่ธรรมชาติให้นักเรียนลองปฏิบัติ โดยครูอาจศึกษาแนวทางการจัดกิจกรรมได้จากสื่อออนไลน์ต่าง ๆ เช่น คลิปวิดีโอจาก www.youtube.com เรื่อง ชิงช้ากับความถี่ธรรมชาติ : ฟิสิกส์สนุก (by Mahidol) (https://www.youtube.com/watch?v=QO2iWUuLKMU)

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

1. ครูให้นักเรียนแต่ละคนศึกษา เรื่อง การสั่นพ้อง จากหนังสือเรียน โดยครูแนะนำให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เช่น อินเทอร์เน็ต โดยเน้นย้ำให้พิจารณาถึงปริมาณที่มีผลต่อการเกิดปรากฏการณ์การสั่นพ้อง
2. ครูให้นักเรียนจับกลุ่มอย่างอิสระ กลุ่มละ 4-5 คน แล้วให้สมาชิกแต่ละคนในกลุ่มผลัดกันเล่าถึงข้อมูลที่ตนเองได้ศึกษามา
3. ครูให้แต่ละกลุ่มอภิปรายข้อมูลที่ได้มาร่วมกัน แล้วเขียนสรุปเป็นแผนที่ความคิด เรื่อง การสั่นพ้อง ลงในกระดาษฟลิปชาร์ต

(หมายเหตุ : *ครูเริ่มประเมินนักเรียน โดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม)*

อธิบายความรู้

1. ครูสุ่มตัวแทนกลุ่มของแต่ละกลุ่ม ออกมานำเสนอแผนที่ความคิดของกลุ่มตนเองให้เพื่อน ๆ และครูฟังหน้าชั้นเรียน

(หมายเหตุ : *ครูเริ่มประเมินนักเรียน โดยใช้แบบประเมินการนำเสนอผลงาน)*

2. ขณะที่นักเรียนแต่ละกลุ่มกำลังนำเสนอ ครูอาจเสนอแนะหรือแทรกข้อมูลเพิ่มเติมในเรื่องนั้น ๆ ให้นักเรียนทุกคนได้มีความเข้าใจที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น
3. ครูมอบหมายให้แต่ละกลุ่มร่วมกันทำแบบฝึกหัดจาก Topic Question เรื่อง การสั่นพ้อง จากหนังสือเรียน ลงในสมุดประจำตัว แล้วรวบรวมมาส่งครูท้ายชั่วโมง

การกวัดแกว่งจะลดลง ดังภาพที่ 1.13

ตัวอย่างของการสั่นพ้องอื่น ๆ ที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การปรับช่องโทรทัศน์หรือวิทยุให้ตรงกับความถี่ของคลื่นวิทยุที่ถูกปล่อยออกมา โดยจะต้องออกแบบวงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์ให้เกิดความถี่สั่นพ้องของกระแสไฟฟ้าที่ตรงกับความถี่ของคลื่นวิทยุ หรือนักร้องโอเปร่าสามารถร้องโน้ตเสียงสูงที่ความถี่เฉพาะค่าหนึ่ง แล้วทำให้แก้วไวน์แตกได้ เนื่องจากความถี่นี้ตรงกับความถี่ในการสั่นของโมเลกุลในแก้วไวน์ ทำให้โมเลกุลเกิดการกวัดแกว่งด้วยแอมพลิจูดสูงสุด

(ก) การปรับช่องวิทยุให้ตรงกับความถี่ที่สถานีปล่อยออกมา

(ข) นักร้องโอเปร่าร้องโน้ตเสียงสูงที่มีความถี่เฉพาะ

▲ **ภาพที่ 1.14** ตัวอย่างการสั่นพ้องที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Topic Question

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. วัตถุมวล 2.00 กิโลกรัม ผูกติดกับสปริงเบา เคลื่อนที่บนพื้นลื่น และถูกขับเคลื่อนด้วยแรงภายนอก $F = 3.00 \sin(2\pi t)$ โดยที่แรง F มีหน่วยเป็นนิวตัน และเวลา t มีหน่วยเป็นวินาที ค่าคงตัวของสปริงมีค่าเป็น 20.0 นิวตันต่อเมตร
   ก) จงหาความถี่สั่นพ้องของระบบ
   ข) จงหาความถี่ของแรงขับเคลื่อนภายนอก
   ค) จงหาแอมพลิจูดของการกวัดแกว่ง เมื่อฟังก์ชันของแอมพลิจูดเขียนได้เป็น $A = \frac{F_0}{m\,|\omega^2 - \omega_0^2|}$
   โดยที่ F_0 เป็นขนาดของแรงสูงสุด m เป็นมวลของวัตถุ ω เป็นความถี่เชิงมุมของแรงขับเคลื่อนภายนอก และ ω_0 เป็นความถี่เชิงมุมของการสั่นพ้องของระบบ
2. วัตถุมวล 0.150 กิโลกรัม ผูกติดกับสปริงเบาที่มีค่าคงตัว 6.30 นิวตันต่อเมตร และถูกแขวนตามแนวดิ่ง เมื่อมีแรงกวัดแกว่งภายนอกแอมพลิจูดสูงสุด 1.70 นิวตัน มาขับเคลื่อนระบบ จงหาความถี่ของแรงภายนอกที่ทำให้วัตถุกวัดแกว่งด้วยแอมพลิจูด 0.440 เมตร

แนวตอบ Topic Question

1. ก) $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{20.0}{2.00}} = 3.16$ rad/s

$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{3.16}{2\pi} = 0.503$ Hz

ดังนั้น ความถี่สั่นพ้องของระบบเท่ากับ 0.503 เฮิรตซ์

ข) $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{3.16}{2\pi} = 1$ Hz

ดังนั้น ความถี่สั่นพ้องของแรงขับเคลื่อนภายนอกเท่ากับ 1 เฮิรตซ์

ค) $A = \frac{F_0}{m|\omega^2 - \omega_0^2|} = \frac{3.00}{2.00|(2\pi)^2 - (3.16)^2|} = 0.123$ m

ดังนั้น แอมพลิจูดของการกวัดแกว่งเท่ากับ 0.123 เมตร

2. $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{6.30}{0.150}} = 6.48$ rad/s

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการของแอมพลิจูด $A = \frac{F_0}{m|\omega^2 - \omega_0^2|}$

จะได้ $0.444 = \frac{1.70}{(0.150)|\omega^2 - (6.48)^2|}$

$\omega^2 - (6.48)^2 = \pm 25.8$

$\omega = 8.23$ rad/s และ 4.03 rad/s

ดังนั้น ความถี่ของแรงภายนอกเท่ากับ 8.23 เรเดียนต่อวินาที และ 4.03 เรเดียนต่อวินาที

Physics in real life

ในการสร้างอาคารสูง วิศวกรโครงสร้างจะต้องออกแบบระบบโครงสร้างหลักของอาคารและส่วนประกอบอื่น ๆ ให้มีความแข็งแรงและเสถียรภาพสูงพอที่จะต้านแรงลมหรือผลจากแรงลมที่ทำให้อาคารสูงเกิดการสั่นไหวในทิศทางเดียวกับทิศทางลมหรือทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม ถ้าอาคารสูงถูกแรงลมกระทำจนเกิดการสั่นไหวที่มีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของอาคาร หรือกล่าวได้ว่า อาคารสูงเกิดการสั่นพ้อง อาคารอาจพังทลายเกิดความเสียหายได้ ตัวอย่างอาคารสูงที่มีการออกแบบเพื่อแก้ปัญหาการสั่นไหวของอาคาร คือ ตึกไทเป 101 ซึ่งเดิมเคยเป็นตึกที่สูงที่สุดในโลก โครงสร้างตึกทำจากเหล็กจึงทำให้เกิดปัญหาเรื่องการสั่นสะเทือนเพราะเหล็กมีความสามารถในการลดทอนการสั่นสะเทือนน้อย เมื่อมีแรงจากลมพายุปะทะเข้าที่ตึก ผู้ที่อยู่ชั้นสูงบนตึกรู้สึกได้ถึงแรงสั่นสะเทือนจึงทำให้เกิดความกังวล และเนื่องจากตัวตึกตั้งอยู่ในประเทศไต้หวันซึ่งเป็นประเทศที่เสี่ยงต่อไต้ฝุ่นและแผ่นดินไหวทำให้มีความเสี่ยงสูงที่ตัวตึกจะเกิดการสั่นพ้องจนเกิดความเสียหาย จึงได้มีการแขวนลูกตุ้มไว้ที่กึ่งกลางส่วนบนของตึก เมื่อตึกเกิดการไหวเอนลูกตุ้มจะแกว่งไปทิศทางตรงข้ามการไหวเอนของตึกเพื่อที่จะได้ลดทอนแรงที่จะทำให้ตึกเกิดการสั่นไหว ผู้ที่อยู่ชั้นสูงบนตึกจึงไม่รู้สึกถึงแรงสั่นสะเทือน และยังช่วยลดความถี่การสั่นของตึกไม่ให้ตึกเกิดการสั่นพ้องได้อีกด้วย

▲ **ภาพที่ 1.15** ตึกไทเป 101 ที่มีการติดตั้งลูกตุ้มเพื่อลดการสั่นสะเทือนของตึก
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ขั้นสรุป

ขยายความเข้าใจ

1. ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนสอบถามเนื้อหา เรื่อง การสั่นพ้อง ว่ามีส่วนไหนที่ยังไม่เข้าใจและให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนนั้น โดยที่ครูอาจจะใช้ PowerPoint เรื่อง การสั่นพ้อง ช่วยในการอธิบาย
2. ครูให้นักเรียนจับคู่กับเพื่อนร่วมชั้นเรียนที่นั่งใกล้กันแล้วให้ช่วยกันยกตัวอย่างสถานการณ์การสั่นพ้องที่สามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน 1 สถานการณ์ โดยให้ช่วยกันเขียนอธิบายลงในกระดาษ A4
3. ครูให้นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน เพื่อเป็นการวัดความรู้หลังเรียนของนักเรียน
4. ครูมอบหมายให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด เรื่อง การสั่นพ้อง จาก Unit Question 1 ในหนังสือเรียน เป็นการบ้านส่งในชั่วโมงถัดไป

ข้อสอบเน้นการคิด

ข้อใดไม่ใช่ปรากฏการณ์การสั่นพ้อง

1. กระจกที่อยู่ในบริเวณที่มีเสียงดังแตก
2. นักร้องที่ร้องโน้ตเสียงสูงจนทำให้แก้วแตก
3. การตะโกนบนหน้าผาแล้วมีเสียงสะท้อนกลับมา
4. การปรับช่องวิทยุให้ตรงกับความถี่ที่สถานีวิทยุปล่อยออกมา
5. สะพานถูกลมพัดอย่างรุนแรงทำให้สะพานสั่นอย่างแรงจนพังทลาย

วิเคราะห์คำตอบ การตะโกนบนหน้าผาแล้วมีเสียงสะท้อนกลับมาเป็นเพราะสมบัติการสะท้อนของคลื่นเสียง ดังนั้น ตอบข้อ 3.)

สื่อ Digital

ครูอาจแนะนำให้นักเรียนไปศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับตึกไทเป 101 ได้จากสื่อการเรียนรู้ออนไลน์ต่างๆ เช่น คลิปวิดีโอจาก www.youtube.com เรื่อง Bird's Eye View I EP.118 I ตึกไทเป 101 ไฮไลต์ของไต้หวัน
https://www.youtube.com/watch?v=biGTTxKaARg

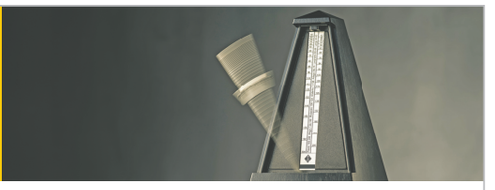
ขั้นประเมิน

ตรวจสอบผล

1. ครูตรวจสอบผลการทำแบบทดสอบหลังเรียน เพื่อเป็นการวัดความรู้หลังเรียนของนักเรียน
2. ครูตรวจแบบฝึกหัดจาก Topic Question เรื่อง การสั่นพ้อง ในสมุดประจำตัว
3. ครูตรวจสอบแบบฝึกหัด เรื่อง การสั่นพ้อง จาก Unit Question 1
4. ครูประเมินผล โดยการสังเกตพฤติกรรมการตอบคำถาม พฤติกรรมการทำงานรายบุคคล และการทำงานกลุ่ม
5. ครูวัดและประเมินผลจากขึ้นงานแผนที่ความคิด (Mind Mapping) เรื่อง การสั่นพ้อง

Summary

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย



ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีลักษณะแบบกลับไปกลับมาซ้ำเส้นทางเดิม ใช้เวลาในการเคลื่อนที่แต่ละรอบเท่าเดิม และมีพลังงานรวมของวัตถุคงตัว ณ ทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่ โดยปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ มีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

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

$$v = A\omega \cos(\omega t + \phi) \text{ หรือ } v = \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2}$$

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

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \begin{cases} \sqrt{\frac{k}{m}} & ; \text{กรณีที่เป็นระบบมวล - สปริงเบา} \\ \sqrt{\frac{g}{L}} & ; \text{กรณีที่เป็นการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย} \end{cases}$$

การสั่นพ้อง

- **การสั่นพ้อง** เป็นปรากฏการณ์ที่ระบบกวัดแกว่งหนึ่ง ๆ ถูกกระทำ โดยแรงขับเคลื่อนภายนอกที่มีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบ แล้วทำให้แอมพลิจูดในการกวัดแกว่งของระบบนั้น ๆ เพิ่มมากขึ้น
- **ความถี่สั่นพ้อง** คือ ความถี่ของแรงขับเคลื่อนที่ใช้กระตุ้น
- **ความถี่ธรรมชาติ** คือ ความถี่เฉพาะตัวของระบบหนึ่ง ๆ

Self Check

ให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจ โดยพิจารณาข้อความว่าถูกหรือผิด แล้วบันทึกลงในสมุด หากพิจารณาข้อความไม่ถูกต้อง ให้กลับไปทบทวนเนื้อหาตามหัวข้อที่กำหนดให้

	ถูก/ผิด	ทบทวนที่หัวข้อ
1. ความยาวของเส้นเชือกที่แขวนลูกตุ้มมีผลต่อคาบการแกว่งของลูกตุ้ม	○	1.3
2. การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุ	○	1
3. การแกว่งช้างช้าเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	○	1
4. การแกว่งไปมาแต่ละรอบของลูกตุ้ม ความเร็วและอัตราเร่งของลูกตุ้มไม่มีการเปลี่ยนแปลง	○	1.3
5. ความถี่เฉพาะตัวของระบบหนึ่ง ๆ คือ ความถี่สั่นพ้อง		2

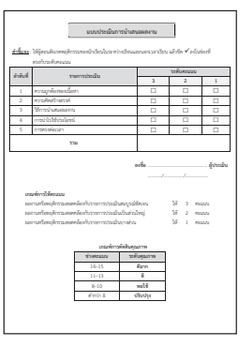
บันทึกลงในสมุด

แนวตอบ Self Check

1. ถูก 2. ผิด 3. ถูก
4. ผิด 5. ผิด

แนวทางการวัดและประเมินผล

ครูสามารถวัดและประเมินการนำเสนอผลงานแผนที่ความคิด เรื่อง การสั่นพ้อง โดยศึกษาเกณฑ์การวัดและประเมินผลจากแบบประเมินการนำเสนอผลงานที่แนบมาท้ายแผนการสอนหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย



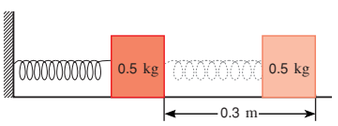
กิจกรรม 21st Century Skills

1. ให้นักเรียนแบ่งกลุ่มตามความสมัครใจ กลุ่มละ 3-4 คน
2. ให้นักเรียนร่วมกันสืบค้นข้อมูล เรื่อง การนำการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายไปประยุกต์ใช้
3. สมาชิกในกลุ่มร่วมกันเลือกข้อมูล และจัดเตรียมข้อมูลเพื่อนำเสนอในรูปแบบที่น่าสนใจอย่างอิสระ
4. นำเสนอข้อมูลหน้าชั้นเรียน ด้วยวิธีการสื่อสารที่ทำให้ผู้อื่นเข้าใจได้ง่าย

Unit Question 1

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ด้วยความถี่ 3 รอบต่อวินาที ถ้าแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่เท่ากับ 2 เซนติเมตร อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่มีค่าเท่าไร
2. ตำแหน่งของวัตถุหนึ่งซึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จะเป็นไปตามสมการ $x = 4\cos(5.5t + 0.5)$ โดย x มีหน่วยเป็นเมตร (m) และเวลา t มีหน่วยเป็นวินาที (s) จงหาแอมพลิจูด ความถี่เชิงมุม คาบ และมุมเฟสเริ่มต้น
3. ล้อวงกลมอันหนึ่งมีรัศมี 0.3 เมตร หมุนด้วยความถี่ 0.5 รอบต่อวินาที ที่ขอบล้อติดวัตถุไว้ก้อนหนึ่ง ขณะนั้นมีแสงแดดตกกระทบตั้งฉากกับพื้นโลก ทำให้เงาของวัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จงหาคาบ ความถี่ แอมพลิจูด และเขียนสมการแสดงการกระจัดในการเคลื่อนที่ ณ เวลาใด ๆ (กำหนดให้มุมเฟสเริ่มต้นเป็นศูนย์)
4. ลูกตุ้มมวล m ผูกติดกับเชือกยาว L ถูกทำให้กวัดแกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จงหาว่าเวลาที่ลูกตุ้มมวล m เคลื่อนที่จากจุดสูงสุดฝั่งหนึ่งไปถึงจุดสูงสุดอีกฝั่งหนึ่งจะมีค่าเท่าใด
5. วัตถุมวล 2 กิโลกรัม ผูกด้วยเชือกเบายาว 2.5 เมตร หากใช้มือดึงวัตถุออกจากตำแหน่งสมดุลแล้วปล่อยมือ จงหาว่าจะต้องใช้เวลานานเท่าไร วัตถุจึงจะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งเริ่มต้นอีกครั้ง
6. จากการทดลองการแกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของนอต พบว่า นอตแกว่งครบ 10 รอบ ใช้เวลา 15 วินาที
   ก) จงหาคาบและความถี่ของการแกว่ง
   ข) ถ้าเพิ่มนอตเป็น 2 ตัว คาบของการแกว่งมีค่าเป็นเท่าไร
   ค) ถ้าเพิ่มความยาวของเชือกเป็น 2 เท่า คาบของการแกว่งมีค่าเป็นเท่าไร
7. จากการทดสอบสปริงตัวหนึ่งพบว่า เมื่อใช้แรง 8 นิวตัน ดึงสปริงจะทำให้สปริงยืดออกเป็นระยะ 0.04 เมตร และเมื่อนำสปริงตัวนี้ติดกับมวล 0.5 กิโลกรัม และวางไว้ในแนวราบ ดังภาพที่ 1.16 ถ้าขยับมวลออกไปเป็นระยะ 0.3 เมตร แล้วปล่อยให้กวัดแกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
   ก) จงหาค่าคงตัวของสปริง
   ข) จงหาความถี่เชิงมุม ความถี่ และคาบ



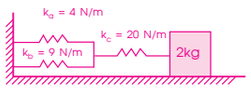
▲ **ภาพที่ 1.16** ภาพประกอบ Unit Question 1 ข้อ 7.
ที่มา : คลังภาพ อจท.

เฉลย Unit Question 1

1. อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่มีค่าเป็น 0.12π เมตรต่อวินาที
2. แอมพลิจูดเท่ากับ 4 เมตร
   ความถี่เชิงมุมเท่ากับ 5.5 เรเดียนต่อวินาที^{2}
   คาบเท่ากับ 1.14 วินาที
   และมุมเฟสเริ่มต้นเท่ากับ 0.5 องศา
3. คาบเท่ากับ 2 วินาที
   ความถี่เท่ากับ 0.5 เฮิรตซ์
   แอมพลิจูดเท่ากับ 0.3 เมตร
   สมการแสดงการกระจัดในการเคลื่อนที่ ณ เวลาใด ๆ คือ $x = 0.3\sin(\pi t)$
4. เวลาที่ลูกตุ้มมวล m เคลื่อนที่จากสุดสูงสุดฝั่งหนึ่งไปถึงจุดสูงสุดอีกฝั่งหนึ่งจะเท่ากับ $\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ วินาที
5. จะต้องใช้เวลา 12.6 วินาที วัตถุจึงเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสมดุลอีกครั้ง
6. ก) คาบเท่ากับ 1.5 วินาที และความถี่เท่ากับ 0.67 เฮิรตซ์
   ข) ถ้าเพิ่มนอตเป็น 2 ตัว คาบของการแกว่งจะมีค่าเท่าเดิมไม่เปลี่ยนแปลง
   ค) ถ้าเพิ่มความยาวเชือกเป็น 2 เท่า คาบของการแกว่งจะลดลง $\frac{1}{\sqrt{2}}$ เท่า
7. ก) ค่าคงตัวของสปริงเท่ากับ 200 ต่อเมตร
   ข) ความถี่เชิงมุมเท่ากับ 20 เรเดียนต่อวินาที ความถี่เท่ากับ 3.18 เฮิรตซ์ และคาบเท่ากับ 0.314 วินาที

T23

8. k_a = 4 N/m และ k_b = 9 N/m จะต่อขนานกัน และต่ออนุกรมกับ k_c = 20 N/m ดังภาพ จึงจะทำให้ความถี่เชิงมุมของการสั่นของวัตถุมวล 2 กิโลกรัมมีค่ามากที่สุดโดยจะมีค่าคงที่สปริงรวมเท่ากับ 7.88 นิวตันต่อเมตร



9. คาบการกวัดแกว่งของวัตถุจะไม่ขึ้นอยู่กับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

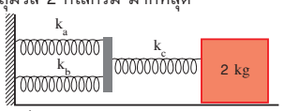
10. การกระจัด ณ ตำแหน่งที่มีอัตราเร็วเป็นครึ่งหนึ่งของอัตราเร็วสูงสุดเท่ากับ $\frac{\sqrt{3}}{2}$ A เมตร

11. ก) ความยาวใหม่ของสปริงเท่ากับ $l_0 + \frac{mg \sin \theta}{k}$

ข) คาบในการกวัดแกว่งของรถเด็กเล่นจึงมีค่าเป็น $2\pi\sqrt{\frac{k}{m}}$

12. แอมพลิจูดของการกวัดแกว่งที่ทำให้กล่องมวล m เริ่มไถลออกจากกล่องมวล M เท่ากับ 23.6 เซนติเมตร

8. ต่อสปริงสามตัวที่มีค่าคงตัวของสปริงเป็น 4 นิวตันต่อเมตร 9 นิวตันต่อเมตร และ 20 นิวตันต่อเมตร ดังภาพที่ 1.17 สปริงแต่ละตัวจะต้องมีค่าคงตัวของสปริงเป็นเท่าใดจึงจะทำให้ความถี่เชิงมุมของการสั่นของวัตถุมวล 2 กิโลกรัม มากที่สุด

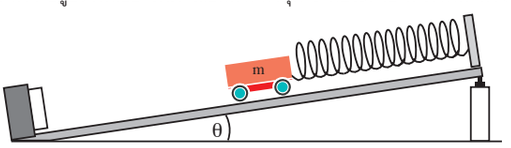


▲ **ภาพที่ 1.17** ภาพประกอบ Unit Question 1 ข้อ 8.
ที่มา : คลังภาพ อจท.

9. ถ้าสปริงเบามีค่าคงตัว k และมีวัตถุมวล m แขวนอยู่ที่ปลายข้างหนึ่งของสปริงในแนวดิ่ง จงพิสูจน์ว่าคาบในการกวัดแกว่งของวัตถุจะไม่ขึ้นอยู่กับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g

10. วัตถุก้อนหนึ่งติดสปริง แล้วทำให้เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายด้วยแอมพลิจูด A จงหาการกระจัด ณ ตำแหน่งที่มีอัตราเร็วเป็นครึ่งหนึ่งของอัตราเร็วสูงสุด

11. พิจารณาสปริงเบาที่มีความยาวเริ่มต้น l_0 และค่าคงตัว k สมมติว่าสปริงถูกผูกติดกับรถเด็กเล่นมวล m ที่วางอยู่บนพื้นเอียงไร้แรงเสียดทานทำมุม θ กับระนาบ ดังภาพที่ 1.18

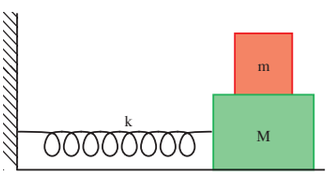


▲ **ภาพที่ 1.18** ภาพประกอบ Unit Question 1 ข้อ 11.
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ก) สปริงจะยืดออก ทำให้รถเด็กเล่นอยู่ในตำแหน่งสมดุล จงหาความยาวใหม่ของสปริงนี้

ข) จงหาคาบในการกวัดแกว่งของรถเด็กเล่น

12. กล่องสองกล่อง (มวล m = 1.8 กิโลกรัม และมวล M = 10 กิโลกรัม) และสปริง (k = 200 นิวตันต่อเมตร) ถูกจัดวางบนพื้นที่ไร้แรงเสียดทาน ดังภาพที่ 1.19 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างกล่องทั้งสองเป็น (μ_s) 0.40 จงหาแอมพลิจูดของการกวัดแกว่งที่ทำให้กล่องมวล m เริ่มไถลออกจากกล่องมวล M



▲ **ภาพที่ 1.19** ภาพประกอบ Unit Question 1 ข้อ 12.
ที่มา : คลังภาพ อจท.