

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่

5

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



ผู้เรียบเรียง

รศ. ดร.ณรงค์ สักวาเรนที
ผศ. ดร.สุโกสินทร์ ทองรัตนศิริ

ผู้ตรวจ

ผศ. ดร.ชนินันท์ พฤกษ์ประมูล
ดร.สุธิษา เละเขื่อน
น.ท.หญิง ปวีณา ธารรักษ์

บรรณาธิการ

ผศ. ดร.เอกภูมิ จันทรวงศ์
นางสาวจุลิสรา สุวัฒนาพิบูล

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

ปีที่พิมพ์ 2567

พิมพ์ครั้งที่ 1

จำนวนพิมพ์ 20,000 เล่ม

ISBN : 978-616-606-0768

รหัสสินค้า 3518017

อักษร
www.aksorn.com

จัดพิมพ์และจำหน่ายทั่วประเทศโดย
บริษัท อักษรเจริญทัศน์ อจก. จำกัด
142 ถนนตะนาว เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200
โทร. 0 2622 2999 (อัตโนมัติ 20 คู่สาย)
พิมพ์ที่: บริษัท ไทยรับเกล้า จำกัด โทร. 0 2903 9101-6





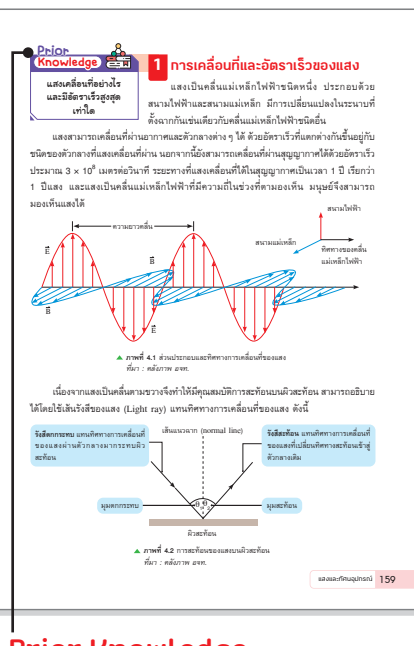
คำแนะนำในการใช้สื่อ



หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1 จัดทำขึ้นสำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยดำเนินการจัดทำให้สอดคล้องตาม ผลการเรียนรู้ในสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ส่งเสริมการจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) และทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เพื่อให้ผู้เรียนรู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลง ของระบบเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และสภาพแวดล้อม สามารถแข่งขันและอยู่ร่วมกับประชาคมโลกได้

Big Question

คำถามกระตุ้น การเรียนรู้ ก่อนเข้าสู่เนื้อหา เพื่อให้เกิด กระบวนการ สืบเสาะหาความรู้



Prior Knowledge

คำถามทบทวนความรู้เดิมของผู้เรียน เพื่อเชื่อมโยงสู่ความรู้ใหม่



H.O.T.S.

คำถามท้าทายการคิดขั้นสูง

คำถามเพื่อให้ผู้เรียนพัฒนา การคิดวิเคราะห์ คิดสร้างสรรค์ คิดอย่างมีวิจารณญาณ



Physics Focus

ความรู้เสริมจากเนื้อหา เพื่อยุยาความรู้ของผู้เรียน

Physics in Real Life

เชื่อมโยงความรู้ทาง พิสิกส์สู่ชีวิตประจำวัน



QR Code

ใช้สมาร์ตโฟนเพื่อสแกนเข้าดู สื่อดิจิทัลเพิ่มเติม



เชื่อมโยงสู่แบบฝึกหัดเพื่อให้ผู้เรียน ฝึกฝนจนเกิดความเชี่ยวชาญ

กิจกรรม

กิจกรรมให้ผู้เรียนฝึกปฏิบัติเพื่อเสริมสร้างทักษะ ทางวิทยาศาสตร์

Summary

สรุปเนื้อหาเพื่อให้ผู้เรียน ได้ทบทวนสาระสำคัญ ประจำหน่วยการเรียนรู้

Safety first

ข้อควรระวัง ในการทำการทดลอง

Unit questions

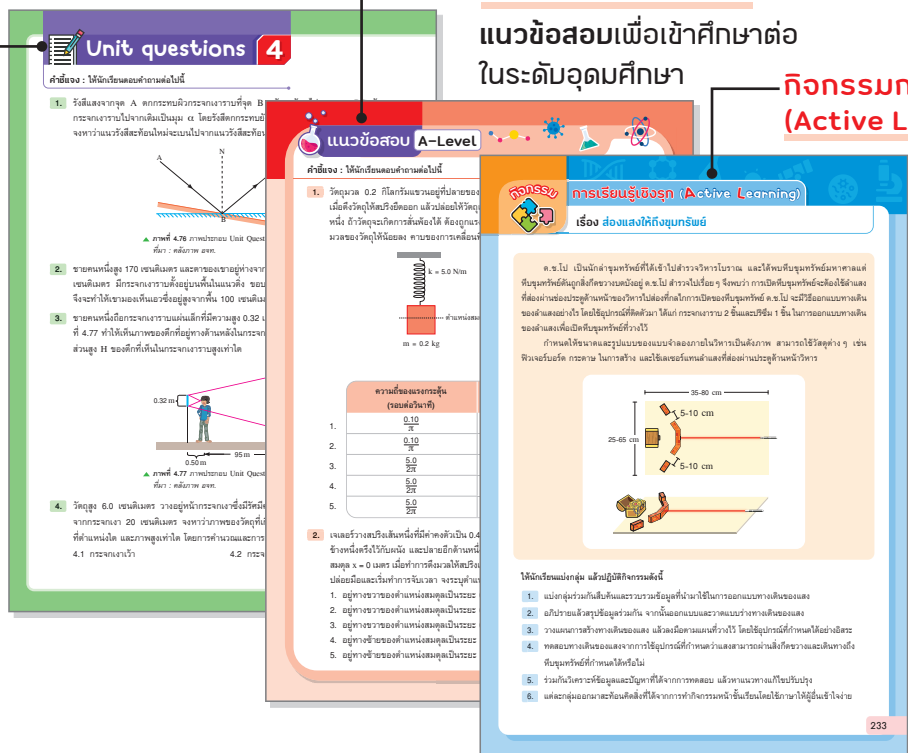
แบบฝึกหัดประจำหน่วยการเรียนรู้ เพื่อใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์ การการเรียนรู้

แนวข้อสอบ A-Level

แนวข้อสอบเพื่อเข้าศึกษาต่อ ในระดับอุดมศึกษา

กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)

กิจกรรมที่เน้น ให้ผู้เรียนได้ ลงมือปฏิบัติจริง เพื่อให้เกิด การเรียนรู้ และ สร้างองค์ความรู้ ด้วยตนเอง





คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ เล่ม 1

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เวลา 80 ชั่วโมง

ศึกษา วิเคราะห์ และอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของระบบมวล-สปริงเบา เงามของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย การสั่นพ้อง การถ่ายโอนพลังงานของคลื่นกล ชนิดของคลื่น รูปร่างและส่วนประกอบของคลื่น คลื่นผิวหน้า คลื่นในเส้นเชือก การซ้อนทับของคลื่น หลักของฮอยเกนส์ การสะท้อนของคลื่น การหักเหของคลื่น การเลี้ยวเบนของคลื่น การแทรกสอดของคลื่น การเคลื่อนที่ของเสียงผ่านอากาศ อัตราเร็วของคลื่นเสียง การสะท้อนของเสียง การหักเหของเสียง การเลี้ยวเบนของเสียง การแทรกสอดของเสียง ความเข้มเสียง ระดับเสียง หูกับการได้ยิน มลภาวะทางเสียง เสียงดนตรี ระดับสูงต่ำของเสียง คุณภาพเสียง การสั่นพ้องของเสียง บีต คลื่นนิ่งของเสียงในท่อ ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ คลื่นกระแทก การนำความรู้ของเสียงไปใช้ประโยชน์ การเคลื่อนที่และอัตราเร็วของแสง การสะท้อนของแสง ที่ผิววัตถุตามกฎการสะท้อน การเขียนรังสีของแสง การคำนวณตำแหน่งและขนาดภาพของวัตถุเมื่อแสงตกกระทบบนกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลม การสะท้อนของแสงจากกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลม การหักเหของแสง กฎการหักเหของแสง ภาพที่เกิดจากการหักเหที่ผิวเรียบ ความลึกจริง ความลึกปรากฏ มุมวิกฤติและการสะท้อนกลับหมด การเขียนรังสีของแสงเพื่อแสดงภาพที่เกิดจากเลนส์บาง การหาตำแหน่ง ขนาด ชนิดของภาพ ความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ ระยะภาพ และความยาวโฟกัส ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับแสง เช่น การกระจายแสง รุ้ง การทรงกลด มิราจ เป็นต้น ทัศนอุปกรณ์ เช่น เครื่องฉายภาพ กล้องถ่ายรูป กล้องจุลทรรศน์ กล้องโทรทรรศน์ เป็นต้น ความสว่างตาและการมองเห็นสี การผสมสารสี การผสมแสง สาเหตุของการบอดสี

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



ผลการเรียนรู้

1. ทดลอง และอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริงและลูกตุ้มอย่างง่าย รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. อธิบายความถี่ธรรมชาติของวัตถุและการเกิดการสั่นพ้อง
3. อธิบายปรากฏการณ์คลื่น ชนิดของคลื่น ส่วนประกอบของคลื่น การแผ่ของหน้าคลื่นด้วยหลักการของฮอยเกนส์ และการรวมกันของคลื่นตามหลักการซ้อนทับ พร้อมทั้งคำนวณ อัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น
4. สังเกต และอธิบายการสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบนของคลื่นผิวหน้า รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
5. อธิบายการเกิดเสียง การเคลื่อนที่ของเสียง ความสัมพันธ์ระหว่างคลื่น การกระจัดของ อนุภาคกับคลื่น ความดัน ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ขึ้นกับอุณหภูมิในหน่วยของศาเซลเซียส สมบัติของคลื่นเสียง ได้แก่ การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
6. อธิบายความเข้มเสียง ระดับเสียง องค์ประกอบของการได้ยิน คุณภาพเสียง และมลพิษทางเสียง รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
7. ทดลอง และอธิบายการเกิดการสั่นพ้องของอากาศในท่อปลายเปิดหนึ่งด้าน รวมทั้งสังเกต และอธิบาย การเกิดบีต คลื่นนิ่ง ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ คลื่นกระแทกของเสียง คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และนำความรู้เรื่องเสียงไปใช้ในชีวิตประจำวัน
8. ทดลอง และอธิบายการสะท้อนของแสงที่ผิววัตถุตามกฎการสะท้อน เขียนรังสีของแสงและคำนวณตำแหน่ง และขนาดภาพของวัตถุ เมื่อแสงตกกระทบบนกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลม รวมทั้งอธิบายการนำความรู้เรื่องการสะท้อนของแสงจากกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลมไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน
9. ทดลอง และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีหักเห มุมตกกระทบบ และมุมหักเห รวมทั้งอธิบาย ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจริง และความลึกปรากฏ มุมวิกฤติและการสะท้อนกลับหมดของแสง และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
10. ทดลอง และเขียนรังสีของแสงเพื่อแสดงภาพที่เกิดจากเลนส์บาง หาตำแหน่ง ขนาด ชนิดของภาพ และความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ ระยะภาพ และความยาวโฟกัส รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และอธิบายการนำความรู้เรื่องการหักเหของแสงผ่านเลนส์บางไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน
11. อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกี่ยวกับแสง เช่น รุ้ง การทรงกลด มิราจ การเห็นท้องฟ้าเป็นสีต่าง ๆ ในช่วงเวลาต่างกัน
12. สังเกต และอธิบายการมองเห็นแสงสี สีของวัตถุ การผสมสารสี และการผสมแสงสี รวมทั้งอธิบายสาเหตุของการบอดสี

รวม 12 ผลการเรียนรู้

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1



ฮาร์มอนิกอย่างง่าย 2-31

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	3
• ระบบมวล-สปริงเบา	4
• เงามของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ	16
• การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย	19
การสั่นพ้อง	23
Unit questions 1	27
แนวข้อสอบ A-Level	31

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2



คลื่น 32-83

การถ่ายโอนพลังงานของคลื่น	33
• ชนิดของคลื่น	33
• รูปร่างและส่วนประกอบของคลื่น	37
อัตราเร็วของคลื่น	43
คลื่นในเส้นเชือก	
และการซ้อนทับของคลื่น	46
• คลื่นในเส้นเชือก	46
• การซ้อนทับของคลื่น	48
• หลักของฮอยเกนส์	49
สมบัติของคลื่น	51
• การสะท้อน	51
• การหักเห	57
• การเลี้ยวเบน	63
• การแทรกสอด	66
Unit questions 2	79
แนวข้อสอบ A-Level	83

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3



เสียง 84-157

ธรรมชาติของเสียง	85
• การเคลื่อนที่ของเสียงผ่านอากาศ	85
• อัตราเร็วของเสียง	87
สมบัติของคลื่นเสียง	89
• การสะท้อนของเสียง	90
• การหักเหของเสียง	95
• การเลี้ยวเบนของเสียง	99
• การแทรกสอดของเสียง	101
การได้ยิน	108
• ความเข้มเสียง	108
• ระดับเสียง	110
• หูกับการได้ยิน	115
• มลภาวะทางเสียง	118
เสียงดนตรี	120
• ระดับสูงต่ำของเสียง	120
• คุณภาพเสียง	121
• การสั่นพ้องของเสียง	122
บีตและคลื่นนิ่งของเสียง	129
• บีต	129
• คลื่นนิ่งของเสียงในท่อ	132
ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์	
และคลื่นกระแทก	139
• ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์	139
• คลื่นกระแทก	144
Unit questions 3	151
แนวข้อสอบ A-Level	157

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4



แสงและทัศนอุปกรณ์ 158-232

การเคลื่อนที่และอัตราเร็วของแสง	159
การสะท้อนของแสง	160
• ภาพที่เกิดจากกระจกเงาราบ	161
• ภาพที่เกิดจากกระจกเงาทรงกลม	165
การหักเหของแสง	173
• กฎการหักเหของแสง	174
• ภาพที่เกิดจากการหักเหที่ผิวเรียบ	179
• ความลึกจริง ความลึกปรากฏ	181
• การสะท้อนกลับหมด	183
เลนส์บาง	185
ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับแสง	194
• การกระจายแสง	195
• รุ้ง	197
• การทรงกลด	199
• มิวราจ	201
ทัศนอุปกรณ์	202
• เครื่องฉายภาพ	202
• กล้องถ่ายรูป	204
• กล้องจุลทรรศน์	205
• กล้องโทรทรรศน์	208
ความสว่าง	211
ตาและการมองเห็นสี	214
สี	218
• การผสมสารสี	218
• การผสมแสงสี	219
Unit questions 4	225
แนวข้อสอบ A-Level	232

กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)	233
บรรณานุกรม	234



ลูกตุ้มนาฬิกา
เคลื่อนที่กลับไปกลับมา
ได้อย่างไร

1 หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

การเคลื่อนที่ของสิ่งของต่างๆ เช่น การแกว่งของชิงช้า การแกว่งของลูกตุ้ม การเคลื่อนที่ของมวลที่ติดกับสปริง จะมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิมผ่านจุดสมดุล เรียกการเคลื่อนที่แบบนี้ว่า การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ซึ่งแตกต่างจากการเคลื่อนที่ที่เคยศึกษา มาก่อนหน้า หน่วยการเรียนรู้นี้จะอธิบายและสร้างความเข้าใจถึงการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

Check for Understanding

พิจารณาข้อความตามความเข้าใจของนักเรียนว่าถูกหรือผิด แล้วบันทึกลงในสมุดบันทึก

ถูก/ผิด

- | | |
|--|--|
| 1. การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุ | |
| 2. การสั่นของวัตถุติดสปริงเป็นการสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย | |
| 3. การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย | |
| 4. การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย พลังงานรวมของวัตถุจะต้องคงตัว ณ ทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่ | |
| 5. ความเร่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายจะแปรผันตรงกับการกระจัดและมีทิศตรงกันข้ามกับการแกว่ง | |

บันทึกลงในสมุด

Prior Knowledge

จึงจำเป็นต้องทบทวน
การเคลื่อนที่อย่างไร

1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

การเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นมีหลายแบบและในหน่วยการเรียนรู้นี้จะกล่าวถึงการเคลื่อนที่อีกแบบที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน คือ การเคลื่อนที่แบบสั่นหรือแบบแกว่งกวัด หรือการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

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

การศึกษาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจะเริ่มจากการศึกษาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจากระบบมวล-สปริงเบา ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริงก่อน แล้วจึงนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการศึกษากับระบบอื่น ๆ ต่อไป



▲ ภาพที่ 1.1 การแกว่งชิงช้าเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
ที่มา : คลังภาพ อจท.

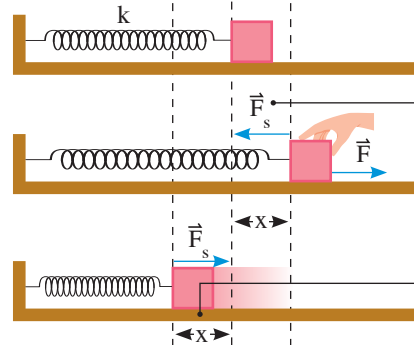
การแกว่งของ
ลูกตุ้มอย่างง่าย



www.aksorn.com/simulation/sci11065

1.1 ระบบมวล-สปริงเบา

ตำแหน่งที่สปริงมีความยาวปกติหรือตำแหน่งสมดุล



เมื่อสปริงเบาถูกแรงมากระทำทำให้เกิดการยืดหรือหดตัวจากความยาวปกติ ภายในสปริงจะเกิดแรงที่พยายามดึงสปริงกลับไปสู่ความยาวปกติ เรียกแรงนี้ว่า แรงดึงกลับของสปริง (restoring force; $\vec{F}_s$)

x คือ ระยะยืดหรือหดตัวของสปริง จากความยาวเดิมหรือการกระจัดของสปริง

▲ ภาพที่ 1.2 การยืดหรือหดตัวของสปริงจากความยาวปกติ ที่มา : คลังภาพ อจท.

จากภาพที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแรงดึงกลับของสปริง (F_s) กับระยะยืดหรือหดตัวของสปริง (x) เขียนได้ดังสมการด้านล่าง สมการนี้ เรียกว่า กฎของฮุก (Hooke's law)

$$F_s = -kx$$

- F_s คือ ขนาดของแรงดึงกลับของสปริง มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)
- k คือ ค่าคงตัวของสปริง มีหน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร (N/m)
- x คือ ระยะยืดหรือหดตัวของสปริง มีหน่วยเป็น เมตร (m)

ค่าคงตัว k เป็นจำนวนจริงบวก เรียกว่า ค่าคงตัวของสปริงหรือค่านิจสปริง (spring's constant หรือ spring stiffness) เป็นปริมาณที่บอกความแข็งของสปริง ถ้าสปริงแข็งมาก ค่าคงตัวของสปริงก็จะมาก และจะต้องใช้แรงที่มากในการยืดหรือกดอัดสปริง ส่วนเครื่องหมายลบในกฎของฮุกมีความหมายว่า แรงดึงกลับของสปริงและการกระจัดของสปริงจะมีทิศทางตรงข้ามกันเสมอ

ตัวอย่างที่ 1.1

สปริงเบายาว 12.0 เซนติเมตร และมีค่าคงตัวเป็น 400 นิวตันต่อเมตร เมื่อสปริงเบาถูกยืดออกจนทำให้มีความยาว 14.0 เซนติเมตร ขนาดของแรงดึงกลับของสปริงที่ตำแหน่งนี้มีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์จะได้ว่า ระยะยืดของสปริง (x) หาได้จาก

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

คำนวณหาขนาดของแรงดึงกลับของสปริง

จากสมการ

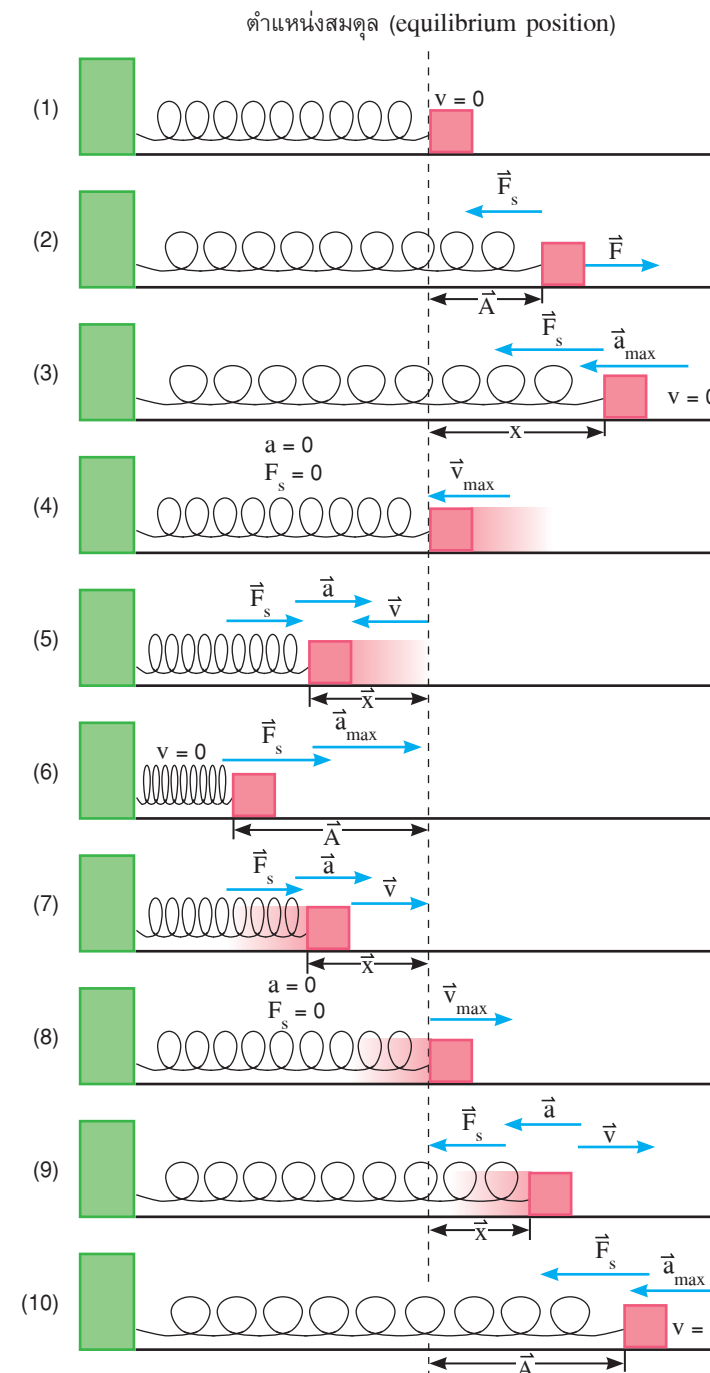
$$F_s = kx$$

$$= (400 \text{ N/m})(0.020 \text{ m})$$

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

ดังนั้น ขนาดของแรงดึงกลับของสปริงมีขนาด 8.0 นิวตัน

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของมวลติดปลายสปริงที่วางอยู่บนพื้นไร้แรงเสียดทาน สามารถเขียนแสดงได้ ดังภาพที่ 1.3



เริ่มต้นมวลอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล เมื่อดึงมวลออกเป็นระยะการกระจัดสูงสุด เรียกว่า แอมพลิจูด (A) แล้วปล่อย เกิดแรงลัพธ์ $\vec{F}_s$ เป็นแรงดึงกลับของสปริงดึงให้มวลเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งสมดุล ส่งผลให้มวลเกิดความเร่งในทิศเดียวกับแรงลัพธ์และมีขนาดมากที่สุด (a_{max})

มวลจะเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งสมดุลทำให้การกระจัดน้อยลงจนเป็นศูนย์ ส่งผลให้แรงลัพธ์และความเร่งของมวลลดลงจนเป็นศูนย์เช่นกัน มวลจึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นและผ่านจุดสมดุลด้วยความเร็วสูงสุด (v_{max})

เนื่องจากมวลมีโมเมนตัมจึงเคลื่อนที่ไปกดอัดสปริงจนกระทั่งหยุด แรงลัพธ์ $\vec{F}_s$ ก็จะผลักมวลกลับไปยังตำแหน่งสมดุลอีกครั้ง

มวลเคลื่อนที่กลับไปสู่ระยะแอมพลิจูด ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ ถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงาน มวลจะเคลื่อนที่กลับไปมารอบตำแหน่งสมดุลไปเรื่อย ๆ

▲ ภาพที่ 1.3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของมวลติดปลายสปริงที่วางบนพื้นไร้แรงเสียดทาน ที่มา : คลังภาพ อจท.

1. ผลเฉลยของสมการการกระจัด จากภาพที่ 1.3 วัตถุจะเกิดการกวัดแกว่ง (oscillation) ในระหว่างการกวัดแกว่งนี้ แรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุเพื่อให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ คือ แรงดึงกลับของสปริง โดยเมื่อวัตถุอยู่ตำแหน่งสมดุลการกระจัดจะมีขนาดเป็นศูนย์ แต่เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งปลายสุดของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย การกระจัดของวัตถุจะมีขนาดสูงสุด เรียกการกระจัดสูงสุดนี้ว่า แอมพลิจูด (amplitude ; A)

พิจารณาภาพที่ 1.3 (3) เมื่อดึงมวล m ออกจากตำแหน่งสมดุลเป็นระยะ x จะเกิดแรงดึงกลับของสปริง F_s ดึงให้มวลเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง a จากกฎข้อที่สองของนิวตัน จะได้

$$\Sigma F = ma$$

$$-kx = ma$$

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

สมการด้านบน พบว่า ความเร่งของวัตถุ a จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับการกระจัด x เสมอ 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 สามารถหาขนาดของความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (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)

เนื่องจากฟังก์ชันโคไซน์ (cosine) มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ดังนั้น อัตราเร็วสูงสุดของวัตถุจึงหาได้จาก $v_{\max} = \omega A$ เมื่อวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล ($x = 0$) และอัตราเร็วจะเป็นศูนย์เมื่อวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งแอมพลิจูด ($x = \pm A$)

3. ความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ขนาดของความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (a) ที่เวลาใด ๆ สามารถหาได้จากอนุพันธ์ของความเร็วเทียบกับเวลา ดังนี้

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

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

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

จากสมการการกระจัด $x = A \sin(\omega t + \phi)$ จะได้ขนาดของความเร่งของวัตถุ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

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

เนื่องจากฟังก์ชันไซน์ (sine) มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ดังนั้น ขนาดของความเร่งสูงสุดของวัตถุจึงเป็น $a_{\max} = \omega^2 A$ เมื่อวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งแอมพลิจูด ($x = \pm A$) และมีขนาดเป็นศูนย์เมื่อวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล ($x = 0$) เครื่องหมายลบข้างหน้าหมายความว่า การกระจัดและความเร่งจะมีทิศทางตรงกันข้ามกัน หากวัตถุเคลื่อนที่ไปทางด้านขวาของตำแหน่งสมดุล ความเร่งจะมีทิศไปทางด้านซ้ายมือ แสดงว่าสปริงพยายามดึงวัตถุให้กลับมาอยู่ที่ตำแหน่งสมดุลนั่นเอง

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการความเร่ง $a = -\frac{k}{m}x$ และสมการ $a = -\omega^2 x$ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เชิงมุม (ω) ค่าคงที่ของสปริง (k) และมวล (m) ดังสมการ

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

ซึ่งหมายความว่า ความถี่เชิงมุม (ω) ความถี่ (f) หรือคาบการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (T) ของระบบมวล-สปริงเบา จะขึ้นอยู่กับค่าคงตัวของสปริง (k) และมวลของวัตถุ (m) เท่านั้น แต่จะไม่ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของการกวัดแกว่ง (A) ดังนั้น ไม่ว่าสปริงยืดหรือหดไปเป็นระยะเท่าไรก็ตาม วัตถุจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบเท่ากันเสมอ แสดงว่า อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่ที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าจะต้องมากกว่าอัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่ที่มีแอมพลิจูดน้อยกว่า ดังสมการ

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

พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวัตถุ v และการกระจัด x ดังนี้

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

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

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

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

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

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

แทนค่าสมการ (A) และ (B) ลงในสมการ (C)

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

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

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

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

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

ดังนั้น สามารถหาอัตราเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ณ ตำแหน่งการกระจัดใด ๆ ได้จากสมการ

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

เครื่องหมาย + และ - ในสมการจะบอกทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ สังเกตว่าที่ตำแหน่งสมดุล ($x = 0$) อัตราเร็วของวัตถุจะสูงสุด ($v_{\max} = \omega A$) และเมื่อการกระจัดสูงสุด ($x = \pm A$) อัตราเร็วของวัตถุจะเป็นศูนย์ ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

Physics Focus สมการตำแหน่งในรูปโคไซน์

เนื่องจากฟังก์ชันไซน์และโคไซน์มีเฟสต่างกันอยู่ 90 องศา ในหลายครั้ง เราจะเห็นสมการของตำแหน่ง x อยู่ในรูปแบบของโคไซน์และจะได้ความเร็วและความเร่ง ดังนี้

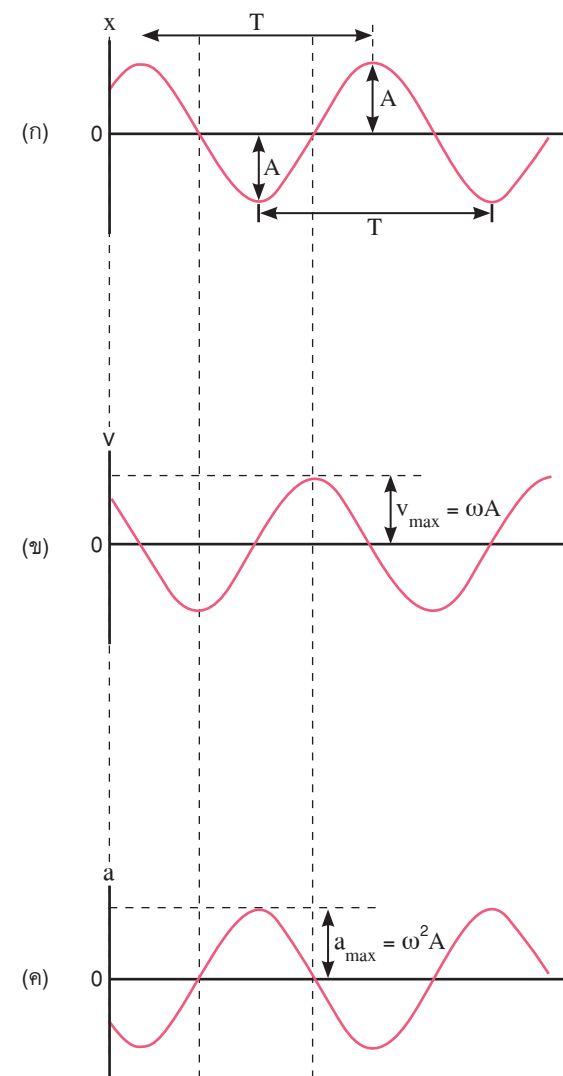
$$x = A \cos (\omega t + \phi)$$

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

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

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

4. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่ง กับเวลาของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย



ตำแหน่ง x กับเวลา t

แอมพลิจูด A หาได้จากระยะห่างจากตำแหน่งสมดุล ($x = 0$) ไปยังสั่นคลื่นหรือท้องคลื่น และเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ครบ 1 รอบหรือคาบ T วัดได้จากระยะห่างของสั่นคลื่นหรือท้องคลื่นที่ติดกัน

ความเร็ว v กับเวลา t

พิจารณาที่ตำแหน่งสมดุล ($x = 0$) อัตราเร็วสูงสุดหาได้จาก $v_{\max} = \omega A$ และที่ตำแหน่งแอมพลิจูด ($x = \pm A$) อัตราเร็วของวัตถุจะเป็นศูนย์

ความเร่ง a กับเวลา t

พิจารณาที่ตำแหน่งสมดุล ($x = 0$) ขนาดของความเร่งของวัตถุจะเป็นศูนย์และที่ตำแหน่งแอมพลิจูด ($x = \pm A$) ขนาดของความเร่งสูงสุดจะหาได้จาก $a_{\max} = \omega^2 A$

▲ 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.



กิจกรรม

ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

- การสังเกต
- การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล
- การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

จิตวิทยาศาสตร์

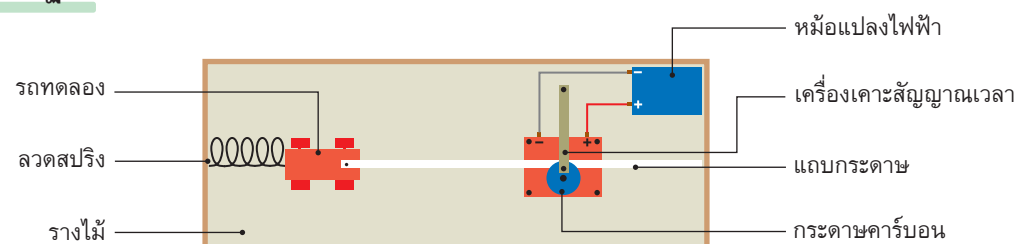
- ความซื่อสัตย์
- การมุ่งมั่นอดทน

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุที่ติดปลายสปริง

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 แล้วเปิดสวิทช์ที่หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำให้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาทำงาน จากนั้นปล่อยมือให้รถทดลองเคลื่อนที่ และเมื่อรถทดลองเริ่มเคลื่อนที่สวนกลับทางเดิมให้ปิดสวิทช์
3. นำแถบกระดาษที่ได้มาหาการกระจัดโดยวัดจากตำแหน่งสมดุล และหาความเร็วที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตลอดการเคลื่อนที่ ซึ่งปริมาณที่มีทิศไปทางขวามีเครื่องหมายบวก และปริมาณที่มีทิศไปทางซ้ายมีเครื่องหมายลบ
4. พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา และความเร็วกับเวลา พร้อมทั้งเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ โดยกำหนดให้เวลาเป็นแกนนอน

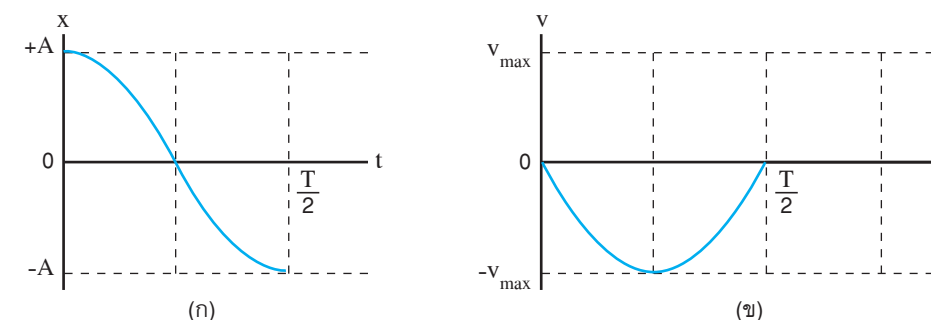
คำถามท้ายกิจกรรม

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



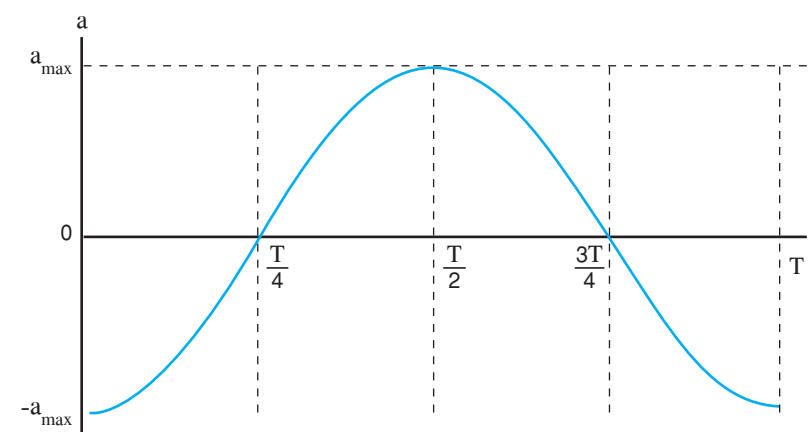
อภิปรายผลกิจกรรม

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



▲ ภาพที่ 1.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา และความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ในลักษณะครึ่งคาบ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

และจากการทำกิจกรรม สรุปได้ว่าความเร่งแปรผันตรงกับการกระจัดแต่มีทิศตรงข้าม ดังนั้น กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งและเวลาจะได้ดังภาพที่ 1.7



▲ ภาพที่ 1.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา
ที่มา : คลังภาพ อจท.

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

$$\begin{aligned}\omega &= \sqrt{\frac{k}{m}} \\ &= \sqrt{\frac{10 \text{ N/m}}{0.40 \text{ kg}}} \\ \omega &= 5.0 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

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

เนื่องจากเวลา $t = 0$ วัตถุอยู่ในตำแหน่ง $x = 0.10 \text{ m}$ เมื่อแทนค่าลงไปในสมการการกระจัดที่เวลาใด ๆ จะได้ ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{จากสมการ} \quad x &= A \sin(\omega t + \phi) \\ 0.10 \text{ m} &= (0.10 \text{ m})((5.0)(0) + \phi) \\ \sin \phi &= 1 \\ \phi &= \sin^{-1}(1) \\ \phi &= 90^\circ = \frac{\pi}{2}\end{aligned}$$

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

ข อัตราเร็วสูงสุดของวัตถุ

$$\begin{aligned}\text{วิธีทำ} \quad \text{จากสมการ} \quad v_{\max} &= \omega A \\ &= (5.0 \text{ rad/s})(0.10 \text{ m}) \\ v_{\max} &= 0.50 \text{ m/s}\end{aligned}$$

ดังนั้น อัตราเร็วสูงสุดของวัตถุเป็น 0.50 เมตรต่อวินาที

ค อัตราเร่งสูงสุดของวัตถุ

$$\begin{aligned}\text{วิธีทำ} \quad \text{จากสมการ} \quad a_{\max} &= \omega^2 A \\ &= (5.0 \text{ rad/s})^2(0.10 \text{ m}) \\ a_{\max} &= 2.5 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

ดังนั้น อัตราเร่งสูงสุดของวัตถุเป็น 2.5 เมตรต่อวินาที²

ตัวอย่างที่ 1.3

กล่องใบหนึ่งถูกผูกติดกับสปริงที่มีค่าคงตัว 400 นิวตันต่อเมตร ณ เวลาหนึ่ง มีการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของกล่องเป็น 0.100 เมตร -13.6 เมตรต่อวินาที และ -123 เมตรต่อวินาที² ตามลำดับ

ก จงหาคาบของการเคลื่อนที่

วิธีทำ จากความสัมพันธ์

$$\begin{aligned}a &= -\omega^2 x \\ -123 \text{ m/s}^2 &= -\omega^2(0.100 \text{ m}) \\ \omega^2 &= \frac{123 \text{ m/s}^2}{0.100 \text{ m}} \\ \omega &= \sqrt{\frac{123 \text{ m/s}^2}{0.100 \text{ m}}} \\ \omega &= 35.1 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

จากสมการ

$$\begin{aligned}\text{จะได้ว่า} \quad \omega &= \frac{2\pi}{T} \\ T &= \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{35.1 \text{ rad/s}} = 0.179 \text{ s}\end{aligned}$$

ดังนั้น คาบการเคลื่อนที่ของกล่องเท่ากับ 0.179 วินาที

ข จงหามวลของกล่อง

วิธีทำ จากความสัมพันธ์

$$\begin{aligned}\omega &= \sqrt{\frac{k}{m}} \\ \omega^2 &= \frac{k}{m} \\ m &= \frac{k}{\omega^2} \\ m &= \frac{400 \text{ N/m}}{(35.1 \text{ rad/s})^2} = 0.325 \text{ kg}\end{aligned}$$

ดังนั้น มวลของกล่องเท่ากับ 0.325 กิโลกรัม

ค จงหาแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ของกล่อง

วิธีทำ จากสมการ

$$\begin{aligned}v &= \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2} \\ v^2 &= \omega^2(A^2 - x^2) \\ \left(\frac{v}{\omega}\right)^2 &= A^2 - x^2 \\ \left(\frac{v}{\omega}\right)^2 + x^2 &= A^2 \\ A &= \sqrt{\left(\frac{v}{\omega}\right)^2 + x^2} \\ A &= \sqrt{\left(\frac{-13.6 \text{ m/s}}{35.1 \text{ rad/s}}\right)^2 + (0.100 \text{ m})^2} \\ A &= 0.400 \text{ m}\end{aligned}$$

ดังนั้น แอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ของกล่องเท่ากับ 0.400 เมตร

ตัวอย่างที่ 1.4

อนุภาคมวล 1.75 กิโลกรัม มีความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลา ดังสมการ

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

โดยที่ตำแหน่งมีหน่วยเป็นเมตร เวลา มีหน่วยเป็นวินาที และอนุภาคเริ่มต้นเคลื่อนที่ ที่เวลา $t = 0$ วินาที

ก จงหาเวลาถัดไปที่อนุภาคอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล และกำลังเคลื่อนที่ไปทางด้านใด

วิธีทำ เปลี่ยนสมการตำแหน่งให้อยู่ในรูปแบบของ 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 $x = 0$

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

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

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

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

พิจารณาที่ π ;

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

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

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

พิจารณาที่ 2π ;

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

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

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

จะได้ว่า ที่เวลา 0.709 วินาที และ 3.07 วินาที เป็นเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสมดุล ในการตรวจสอบอนุภาคเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายหรือทางด้านขวาเราจะต้องแทนเวลาที่ได้ลงในสมการของความเร็ว

จากสมการ

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

จะได้ว่า

$$v = (1.33 \text{ rad/s})(4.00 \text{ m}) \cos\left(1.33t + \frac{7\pi}{10}\right)$$

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

ที่เวลา $t = 0.709 \text{ s}$;

$$v = (5.32 \text{ m/s}) \cos\left((1.33)(0.709) + \frac{7\pi}{10}\right) = -5.32 \text{ m/s}$$

ที่เวลา $t = 3.07 \text{ s}$;

$$v = (5.32 \text{ m/s}) \cos\left((1.33)(3.07) + \frac{7\pi}{10}\right) = 5.32 \text{ m/s}$$

ดังนั้น ที่เวลา 0.709 วินาที อนุภาคจะอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล และกำลังเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้าย ส่วนที่เวลา 3.07 วินาที อนุภาคกำลังเคลื่อนที่ไปทางด้านขวา

ข จงหาเวลาถัดไปที่อนุภาคอยู่ที่ตำแหน่งแอมพลิจูดต่ำสุด

วิธีทำ โจทย์ให้หาเวลาที่อนุภาคอยู่ที่ตำแหน่ง $x = -A = -4.00 \text{ m}$ จากสมการของความเร็ว

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

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

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

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

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

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

ดังนั้น ที่เวลา 1.89 วินาที วัตถุจะอยู่ที่ตำแหน่งแอมพลิจูดต่ำสุด



Physics Focus

การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ

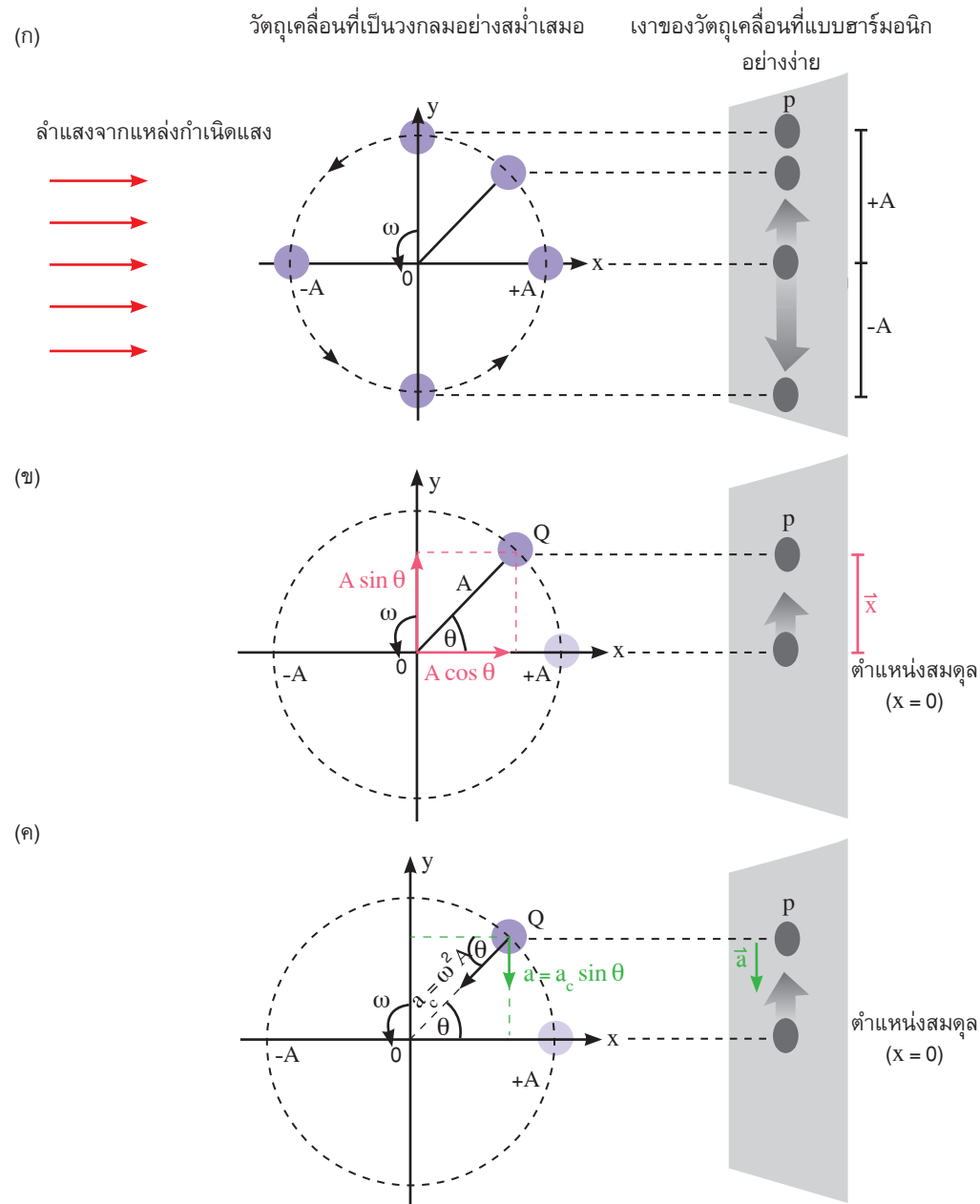
- เมื่อคลื่นไปกระทบวัตถุที่ลอยน้ำอยู่ เช่น ฟันที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ ลูกฟุตบอลที่ลอยน้ำอยู่ เมื่อสังเกตการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ลอยน้ำ จะเห็นได้ว่า วัตถุจะเคลื่อนที่ขึ้นลงอย่างสม่ำเสมอซึ่งเป็นผลจากการรบกวนที่ได้จากการถ่ายโอนพลังงานจากคลื่นน้ำให้กับวัตถุ ถ้าอนุภาคของน้ำมีสมบัติยืดหยุ่นและไม่ดูดกลืนพลังงานหรือไม่แปลงพลังงานไปเป็นพลังงานอื่น อนุภาคของน้ำจะมีการสั่นแล้วถ่ายโอนพลังงานให้กับอนุภาคข้างเคียงจำนวนมากต่อเนื่องกันไป ทำให้คลื่นเคลื่อนที่ออกไปโดยอนุภาคของน้ำจะสั่นหรือเคลื่อนที่กลับไปกลับมา ณ ตำแหน่งหนึ่ง ๆ เท่านั้น ซึ่งจะส่งผลทำให้วัตถุที่ลอยอยู่บนผิวน้ำสั่นขึ้นลงและซ้ายขวาอย่างต่อเนื่อง จึงกล่าวได้ว่า วัตถุที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำจะเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย



▲ ภาพที่ 1.8 วัตถุที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำจะเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
ที่มา : คลังภาพ อจท.

1.2 เงานของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ

ในหัวข้อนี้จะศึกษาเงานวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ โดยจะนำไปเปรียบเทียบกับ การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย และแสดงให้เห็นว่า เงานของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ กำลังเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายซึ่งแสดง ดังภาพที่ 1.9



▲ ภาพที่ 1.9 แผนภาพแสดงการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

จากภาพที่ 1.9 (ก) แสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอบนระนาบ xy เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเชิงมุมคงที่ ω และจากภาพที่ 1.9 (ข) แสดงตำแหน่งของวัตถุ อยู่ที่จุด Q บนเส้นรอบวงที่เวลา t ใด ๆ โดยทำมุมกับแนวระดับ (แกน x) เป็นมุม $\theta = \omega t$ ซึ่งเงานของวัตถุที่จุด Q บนฉากรับเงาน แทนด้วยจุด P ดังนั้น ตำแหน่ง x ของจุด P คือ

$$x = A \sin \theta$$

ส่วนภาพที่ 1.9 (ค) แสดงความเร่งของวัตถุที่ตำแหน่ง Q เนื่องจากวัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลม จะได้ว่า ความเร่งมีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางโดยมีขนาดเท่ากับ $\omega^2 A$ และเงานของวัตถุที่จุด Q บนฉากรับเงานแทนด้วยจุด P ดังนั้น ความเร่งของเงานที่จุด P คือ

$$\begin{aligned} a &= a_c \sin \theta \\ a &= -\omega^2 A \sin \theta \\ a &= -\omega^2 x \end{aligned}$$

พิจารณาสมการด้านบน จะเห็นได้ว่า สมการความเร่งของเงานเหมือนกับสมการความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จึงสรุปได้ว่า “เงานของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมอย่างสม่ำเสมอมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย”

ตัวอย่างที่ 1.5

ม้าหมุนในสนามเด็กเล่นเครื่องหนึ่งมีรัศมี 2 เมตร เด็กหญิงเบิ้ลได้ขึ้นไปเล่นม้าหมุนที่กำลังหมุนด้วยความถี่ 0.2 เฮิรตซ์ ในขณะที่ม้าหมุนกำลังหมุนอยู่นั้น แสงไฟจากรถยนต์คันหนึ่งทำให้เกิดเงานของเด็กหญิงเบิ้ลบนกำแพงที่อยู่ด้านข้างม้าหมุน

ก จงหาแอมพลิจูด ความถี่ คาบ และความถี่เชิงมุมของเงานของเด็กหญิงเบิ้ล

วิธีทำ ม้าหมุนหมุนด้วยความถี่คงที่ หมายถึง เป็นการหมุนแบบวงกลมด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ

จึงกล่าวได้ว่า เงานของเด็กหญิงเบิ้ลเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ดังนั้น

แอมพลิจูด (A) = รัศมีของม้าหมุน = 2 เมตร

ความถี่ (f) = ความถี่ของม้าหมุน = 0.2 เฮิรตซ์

คาบ (T) = $\frac{1}{f} = \frac{1}{0.2 \text{ Hz}} = 5$ วินาที

ความถี่เชิงมุม (ω) = $2\pi f = 2\pi(0.2 \text{ Hz}) = 0.4\pi$ เรเดียนต่อวินาที

ดังนั้น แอมพลิจูด ความถี่ คาบ และความถี่เชิงมุมของเงานเด็กหญิงเบิ้ลเท่ากับ 2 เมตร 0.2 เฮิรตซ์ 5 วินาที และ 0.4π เรเดียนต่อวินาที ตามลำดับ

ข สมการแสดงการกระจัดของเงาของเด็กหญิงเป็ลที่เกิดขึ้นที่เวลาขณะใด ๆ

วิธีทำ เนื่องจากเงาของเด็กหญิงเป็ลเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย พิจารณาการกระจัดของเงา ณ เวลาใด ๆ ได้จากสมการ

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

$$x = (2 \text{ m}) \sin(0.4\pi t + \phi)$$

ดังนั้น สมการแสดงการกระจัดของเงาของเด็กหญิงเป็ลที่เกิดขึ้นในเวลาขณะใด ๆ คือ

$x = 2 \sin(0.4\pi t + \phi)$ และเนื่องจากโจทย์ไม่ได้กำหนดปริมาณการเคลื่อนที่อื่น ๆ มาจึงทำให้ไม่สามารถคำนวณหามุมเฟสเริ่มต้น (ϕ) ได้

ตัวอย่างที่ 1.6

ในการทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย นักเรียนกลุ่มหนึ่งได้นำกล่องมวล m ติดอยู่ที่ปลายข้างหนึ่งของสปริงเบาที่มีค่าคงตัว k หากนักเรียนใช้กล่องหลายใบที่มีมวลแตกต่างกันในการทดลอง และบันทึกค่าความถี่ของการเคลื่อนที่ที่วัดได้ แล้วนำไปวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f^2 กับ $\frac{1}{m}$ จงอธิบายลักษณะของกราฟที่ได้

วิธีทำ จากความสัมพันธ์

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

จะได้ว่า

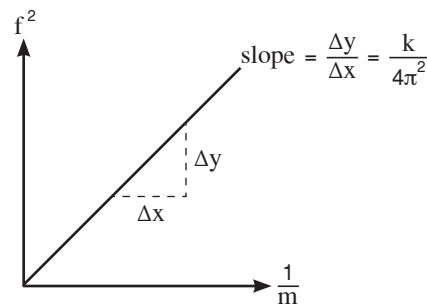
$$2\pi f = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$4\pi^2 f^2 = \frac{k}{m} \quad (1)$$

จากโจทย์จะได้ว่า m เป็นตัวแปรต้น และ f เป็นตัวแปรตาม จึงกล่าวได้ว่า $1/m$ จะเป็นแกนนอน และ f^2 จะเป็นแกนตั้งของกราฟ ดังนั้น จากสมการ (1) จะได้ว่า

$$f^2 = \left(\frac{k}{4\pi^2}\right)\left(\frac{1}{m}\right) \quad (2)$$

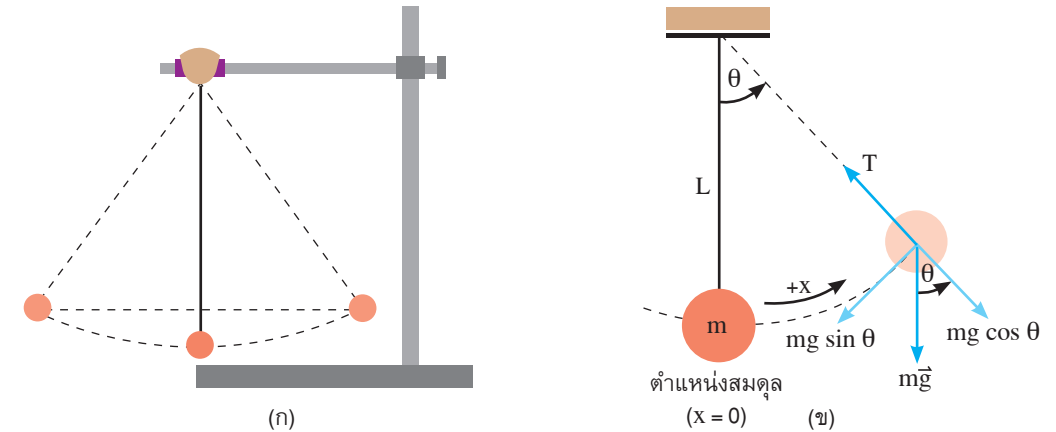
ดังนั้น จากสมการ (2) จะได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง f^2 กับ $\frac{1}{m}$ จะเป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $\frac{k}{4\pi^2}$ ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 1.10



▲ ภาพที่ 1.10 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1.6
ที่มา : คลังภาพ อจท.

1.3 การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย

ลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายประกอบด้วยวัตถุมวล m แขวนอยู่ที่ปลายเชือกยาว L มวลของเชือกมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับวัตถุมวล m โดยที่เชือกไม่มีการยืดหด และไม่คิดแรงต้านอากาศ หรือแรงเสียดทานใด ๆ ระหว่างการเคลื่อนที่



▲ ภาพที่ 1.11 แผนภาพแสดงการศึกษากการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย
ที่มา : คลังภาพ อจท.

โดยธรรมชาติ ลูกตุ้มที่ห้อยแขวนในแนวตั้งจะอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล แต่เมื่อดึงลูกตุ้มให้เอียงทำมุมเล็กน้อยกับแนวตั้ง แล้วปล่อยให้ลูกตุ้มเคลื่อนที่แกว่งกลับไปกลับมา จะพิสูจน์ได้ว่า ลูกตุ้มเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เนื่องจากลูกตุ้มเคลื่อนที่ตามแนวเส้นรอบวงของวงกลม โดยให้ x เป็นตำแหน่งของลูกตุ้มตามแนวเส้นรอบวง ตำแหน่งสมดุลเป็นตำแหน่งเริ่มต้น ($x = 0$) และทิศการเคลื่อนที่ไปทางขวาเป็นบวก ดังภาพที่ 1.11 (ข)

ลูกตุ้มมวล m ผูกกับเชือกยาว L เอียงทำมุม θ โดยมีแรงภายนอกที่กระทำกับวัตถุ คือแรงตึงในเส้นเชือกเท่ากับ T และน้ำหนักของวัตถุเท่ากับ mg เราสามารถแยกส่วนประกอบของน้ำหนักของวัตถุให้อยู่ในแนวรัศมีและแนวสัมผัสวงกลมได้ ดังนั้น แรงตึงในเส้นเชือกจะมีขนาดเท่ากับ $mg \cos \theta$ จึงทำให้เชือกตึงยาวเท่าเดิม แต่ในขณะที่น้ำหนัก $mg \sin \theta$ ในแนวสัมผัสวงกลมจะเป็นแรงที่พยายามดึงลูกตุ้มให้กลับสู่ตำแหน่งสมดุล ซึ่งก็คือ แรงดึงกลับของลูกตุ้ม (เปรียบเทียบกับแรงดึงกลับของสปริงในระบบมวลสปริงเบา) มีค่าเท่ากับ $F = -mg \sin \theta$ และถ้ามุมที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของการแกว่งมีค่าน้อย ($\theta < 10^\circ$) การเคลื่อนที่ตามแนวเส้นรอบวงจะถูกประมาณได้ว่าเป็นเส้นตรง ถ้าการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มมีการกระจัด x และ $\sin \theta \approx \frac{x}{L}$ ซึ่งจะได้ว่า

$$F = -\frac{mgx}{L}$$



และจากกฎข้อที่สองของนิวตัน

$$\begin{aligned}\Sigma F &= ma \\ -\frac{mgx}{L} &= ma \\ a &= -\frac{g}{L}x\end{aligned}$$

สมการข้างต้น $\frac{g}{L}$ เป็นค่าคงที่ ดังนั้น ขนาดของความเร่งของลูกตุ้มจะแปรผันตรงกับขนาดของการกระจัดและทั้งสองปริมาณนี้จะมีทิศทางตรงกันข้าม เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของมวลติดสปริงเบา จึงสรุปได้ว่า การแกว่งของลูกตุ้มเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย และความถี่เชิงมุมของการกวัดแกว่งมีค่าเท่ากับ

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

สังเกตว่าคาบหรือความถี่ของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของลูกตุ้มนาฬิกาจะไม่ขึ้นอยู่กับมวลของลูกตุ้ม (m) และแอมพลิจูด (A) (ที่จะต้องน้อยกว่า 10°) แต่จะขึ้นอยู่กับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (g) และความยาวของเชือกเบา (L) เท่านั้น เมื่อเชือกยาวมากขึ้น คาบในการเคลื่อนที่ก็จะเพิ่มขึ้น จากคุณสมบัตินี้ ทำให้เราสามารถใช้คาบในการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายเป็นเครื่องมือบอกเวลา เช่น นาฬิกาลูกตุ้มโบราณ หรือใช้เพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงบริเวณนั้น ๆ

ตัวอย่างที่ 1.7

นักเรียนกลุ่มหนึ่งได้ทำการทดลองการกวัดแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย โดยใช้เชือกที่ห้อยลูกตุ้มยาว 8.95 เซนติเมตร และลูกตุ้มแกว่งได้ 100 รอบในเวลา 60.0 วินาที จงหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงในบริเวณที่นักเรียนกลุ่มนี้ทำการทดลอง

วิธีทำ คำนวณหาคาบการกวัดแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา

จากโจทย์ลูกตุ้มแกว่งได้ 100 รอบ ในเวลา 60.0 วินาทีแสดงว่าคาบ (T) เท่ากับ

$$\begin{aligned}T &= \frac{60.0}{100} \\ T &= 0.600 \text{ s}\end{aligned}$$

คำนวณหาความถี่เชิงมุมของลูกตุ้มนาฬิกา

$$\begin{aligned}\text{จากสมการ} \quad \omega &= 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{g}{L}} \\ \text{จะได้ว่า} \quad \sqrt{\frac{g}{L}} &= \frac{2\pi}{T} \\ \frac{g}{L} &= \frac{4\pi^2}{T^2} \\ g &= \frac{4\pi^2 L}{T^2} \\ g &= \frac{4\pi^2 (8.95 \times 10^{-2} \text{ m})}{(0.600 \text{ s})^2} \\ g &= 9.81 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

ดังนั้น ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกในบริเวณที่ทำการทดลองเท่ากับ 9.81 เมตรต่อวินาที²

Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

- ตำแหน่งอนุภาคหนึ่งที่กวัดแกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเขียนได้ดังสมการ

$$x(t) = 4.00 \cos(3.00\pi t + \pi)$$

โดยที่ตำแหน่ง x มีหน่วยเมตร และเวลา t มีหน่วยวินาที จงคำนวณหาปริมาณต่อไปนี้

- | | |
|--------------|--|
| ก) ความถี่ | ง) อัตราเร็วสูงสุดของอนุภาค |
| ข) คาบ | จ) อัตราเร่งสูงสุดของอนุภาค |
| ค) แอมพลิจูด | ฉ) ตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งของอนุภาคที่เวลา $t = 0.250$ วินาที |

- อนุภาคเคลื่อนที่บนแกน x ตอนเริ่มต้น ($t = 0$) อยู่ที่ตำแหน่ง 0.270 เมตร เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.140 เมตรต่อวินาทีและความเร่ง -0.320 เมตรต่อวินาที² สมมติว่าอนุภาคเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย และให้ตำแหน่ง $x = 0$ เป็นตำแหน่งสมดุล จงหาตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งของอนุภาคที่เวลา $t = 4.50$ วินาที
- วัตถุขนาดเล็กถูกยึดติดบนขอบแผ่นเสียงวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20.3 เซนติเมตร ซึ่งแผ่นเสียงกำลังหมุนด้วยอัตราเร็ว 45.0 รอบต่อวินาที เมื่อวัตถุถูกฉายแสงจะทำให้เกิดเงาขึ้นบนฉาก จงหาแอมพลิจูด ความถี่เชิงมุม อัตราเร็วสูงสุด และอัตราเร่งสูงสุดของเงาของวัตถุ
- ลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายกวัดแกว่งครบ 120 รอบ ภายในเวลา 3.00 นาที จงหาคาบและความยาวของลูกตุ้มนาฬิกา
- ลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายกวัดแกว่งบนโลกด้วยคาบเท่ากับ 1.50 วินาที หากนำลูกตุ้มนี้ไปกวัดแกว่งบนดวงจันทร์ที่มีความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงเป็น 1.60 เมตรต่อวินาที² คาบของการกวัดแกว่งจะเป็นเท่าใด

H.O.T.S.

คำถามท้าทายการคิดขั้นสูง

ความรู้เรื่องคาบการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายมีประโยชน์อย่างไรในชีวิตประจำวัน



กิจกรรม

ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

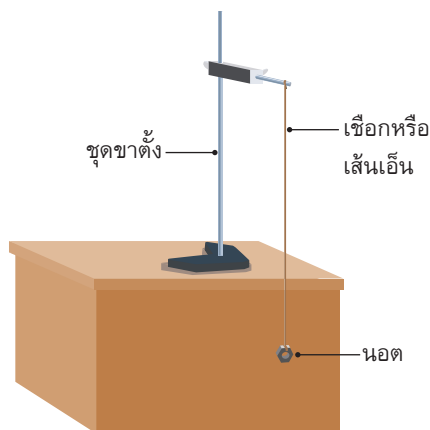
- การสังเกต
- การทดลอง
- การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล

จิตวิทยาศาสตร์

- ความซื่อสัตย์
- การมุ่งมั่นอดทน

วิธีปฏิบัติ

1. จัดอุปกรณ์การทำการทดลองดังภาพที่ 1.12
2. วัดความยาวเชือกโดยให้วัดจากจุดแขวนถึงศูนย์กลางนอต บันทึกค่าที่วัดได้
3. จับนอตให้เส้นเชือกทำมุมแคบ ๆ กับแนวตั้ง แล้วปล่อยให้แกว่งในแนวระนาบเดียวไม่แกว่งเป็นวงกลม จับเวลาที่นอตแกว่งครบ 10 รอบ แล้วบันทึกค่าเวลาที่ได้
4. ทำกิจกรรมข้อ 2. ซ้ำ โดยเปลี่ยนความยาวเชือกต่างกัน 5 ค่า
5. คำนวณหาคาบของแต่ละความยาวเชือก แล้วนำไปเขียนกราฟระหว่างคาบยกกำลังสองกับความยาวเชือก โดยให้คาบยกกำลังสองอยู่บนแกนตั้งและความยาวเชือกอยู่บนแนวนอน



▲ ภาพที่ 1.12 การจัดอุปกรณ์กิจกรรมการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย
ที่มา : คลังภาพ อจท.

คำถามท้ายกิจกรรม

1. กราฟที่ได้จากการทำการทดลองมีลักษณะกราฟเป็นอย่างไร และสัมพันธ์กับปริมาณใด
2. ความชันของกราฟที่ได้จากการทำการทดลองมีค่าเท่ากับปริมาณใด

อภิปรายผลกิจกรรม

คาบและความถี่ของการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายขึ้นอยู่กับความยาวเชือก และถ้าเขียนกราฟระหว่างคาบยกกำลังสองกับความยาวเชือกแล้วนำไปหาความชัน จะพบว่า สัมพันธ์กับค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้จากสมการ $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$ (ซึ่งพิจารณาจาก $\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{g}{L}}$)

การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

วัสดุอุปกรณ์

1. ขูดขาคตั้ง
2. นอต 1 ตัว
3. นาฬิกาจับเวลา
4. เชือกหรือเส้นเอ็นยาว 1 เมตร

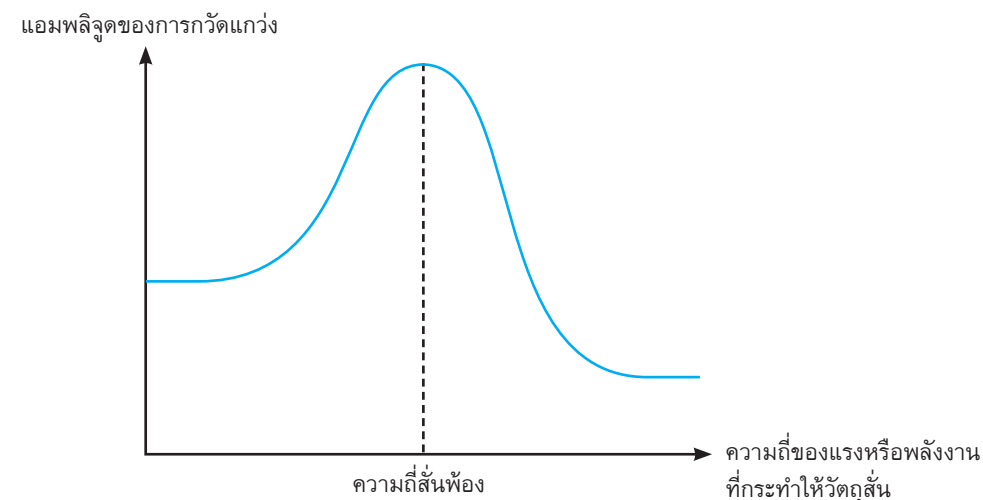
Prior Knowledge

หากต้องการผลึกจึงทำให้แกว่งสูงขึ้นกว่าเดิมจะต้องออกแรงผลักอย่างไร

2 การสั่นพ้อง

เหตุการณ์ที่น่าสนใจทางฟิสิกส์ คือ การแกว่งชิงช้า (ซึ่งอาจจะถือได้ว่าเป็นลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย) ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ในขณะที่ชิงช้ากำลังแกว่งอยู่ เมื่อผลักคนที่นั่งบนชิงช้าด้วยจังหวะที่เหมาะสม จะทำให้ชิงช้าแกว่งขึ้นไปสูงขึ้นกว่าเดิม แต่ถ้าผลักด้วยจังหวะที่ช้าหรือเร็วไปเล็กน้อย ชิงช้าจะแกว่งต่ำลง

จากการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย วัตถุจะสั่นหรือแกว่งด้วยความถี่คงตัวค่าหนึ่ง เรียกความถี่นี้ว่า ความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนมากที่สุด คือ ลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายที่มีความถี่ธรรมชาติเป็น $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}$ หรือระบบมวล-สปริงเบาที่มีความถี่ธรรมชาติเป็น $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ สมมติว่าความถี่ธรรมชาติของวัตถุหนึ่งเป็น 20 เฮิรตซ์ เมื่อมีแรงกระทำที่มีความถี่ 20 เฮิรตซ์พอดีไปกระทำกับวัตถุ จะทำให้วัตถุสั่นหรือแกว่งด้วยแอมพลิจูดที่มากที่สุด แต่ถ้ากระทำด้วยความถี่ที่ต่างกันเล็กน้อย เช่น 19 เฮิรตซ์ หรือ 21 เฮิรตซ์ แอมพลิจูดของการกวัดแกว่งจะลดลง ดังภาพที่ 1.13



▲ ภาพที่ 1.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของแรงหรือพลังงานที่กระทำให้วัตถุสั่นกับแอมพลิจูดของการกวัดแกว่ง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

เมื่อวัตถุถูกแรงหรือพลังงานมากระทำให้เกิดการสั่นด้วยความถี่ที่ใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติ วัตถุจะสั่นหรือแกว่งด้วยความถี่ธรรมชาติของวัตถุนั้นและสั่นหรือแกว่งด้วยแอมพลิจูดที่มากที่สุด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การสั่นพ้อง (resonance) และเรียกความถี่ของแรงหรือพลังงานที่มากระทำให้เกิดการสั่นว่า ความถี่สั่นพ้อง (resonant frequency)

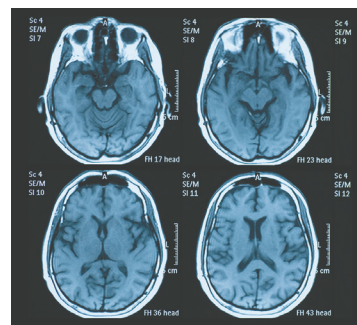
ตัวอย่างของการสั่นพ้องอื่น ๆ ที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การเปิดเพลงที่มีความถี่เสียงค่าหนึ่งแล้วทำให้กระจกแตกได้ เนื่องจากความถี่ของเสียงนั้นตรงกับความถี่ธรรมชาติในการสั่นของโมเลกุลในกระจกและสั่นด้วยแอมพลิจูดสูงสุด อีกทั้งยังนำไปพัฒนาเทคโนโลยีทางการแพทย์ เช่น เครื่อง Magnetic Resonance Imaging (MRI) หรือเครื่องตรวจคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเมื่อส่งคลื่นวิทยุที่มีความถี่ตรงกับความถี่ในการสั่นของโปรตอนจะเกิดการสั่นพ้องขึ้น เมื่อหยุดส่งคลื่นวิทยุ โปรตอนก็จะคายคลื่นวิทยุออกเข้าสู่เครื่องรับสัญญาณและถูกประมวลผลออกมาเป็นดังภาพที่ 1.14 (ค)



(ก) การเปิดเพลงที่มีความถี่เสียงค่าหนึ่งแล้วทำให้กระจกแตกได้



(ข) เครื่อง Magnetic Resonance Imaging (MRI)



(ค) ภาพที่ได้จากการประมวลผลของเครื่อง MRI

▲ ภาพที่ 1.14 ตัวอย่างการสั่นพ้องที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Topic Questions

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 และถูกขับเคลื่อนตามแนวดิ่ง เมื่อมีแรงกวัดแกว่งภายนอกแอมพลิจูดสูงสุด 1.70 นิวตัน มาขับเคลื่อนระบบ จงหาความถี่ของแรงภายนอกที่ทำให้วัตถุกวัดแกว่งด้วยแอมพลิจูด 0.440 เมตร

Chemistry in Real Life

การออกแบบระบบโครงสร้างของอาคารเพื่อลดการสั่นสะเทือน

ในการสร้างอาคารสูง วิศวกรโครงสร้างจะต้องออกแบบระบบโครงสร้างหลักของอาคารและส่วนประกอบอื่นๆ ให้มีความแข็งแรงและเสถียรภาพสูงพอที่จะต้านแรงลมหรือผลจากแรงลมที่ทำให้อาคารสูงเกิดการสั่นไหวในทิศทางเดียวกับทิศทางลมหรือทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม ถ้าอาคารสูงถูกแรงลมกระทำจนเกิดการสั่นไหวที่มีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของอาคาร หรือกล่าวได้ว่า อาคารสูงเกิดการสั่นพ้อง อาคารอาจพังทลายเกิดความเสียหายได้ ตัวอย่างอาคารสูงที่มีการออกแบบเพื่อแก้ปัญหาการสั่นไหวของอาคาร คือ ตึกไทเป 101 ซึ่งเดิมเคยเป็นตึกที่สูงที่สุดในโลก โครงสร้างตึกทำจากเหล็กจึงทำให้เกิดปัญหาเรื่องการสั่นสะเทือนเพราะเหล็กมีความสามารถในการลดทอนการสั่นสะเทือนน้อย เมื่อมีแรงจากลมพายุปะทะเข้าที่ตึก ผู้ที่อยู่ชั้นสูงบนตึกรู้สึกได้ถึงแรงสั่นสะเทือนจึงทำให้เกิดความกังวล และเนื่องจากตัวตึกตั้งอยู่ในประเทศไต้หวันซึ่งเป็นประเทศที่เสี่ยงต่อไต้ฝุ่นและแผ่นดินไหว ทำให้มีความเสี่ยงสูงที่ตัวตึกจะเกิดการสั่นพ้องจนเกิดความเสียหาย จึงได้มีการแขวนลูกตุ้มไว้ที่กึ่งกลางส่วนบนของตึก เมื่อตึกเกิดการไหวเอนลูกตุ้มจะแกว่งไปทิศทางตรงข้ามการไหวเอนของตึกเพื่อที่จะได้ลดทอนแรงที่จะทำให้ตึกเกิดการสั่นไหว ผู้ที่อยู่ชั้นสูงบนตึกจึงไม่รู้สึกถึงแรงสั่นสะเทือน และยังช่วยลดความถี่การสั่นของตึกไม่ให้ตึกเกิดการสั่นพ้องได้อีกด้วย



▲ ภาพที่ 1.15 ตึกไทเป 101 ที่มีการติดตั้งลูกตุ้มเพื่อลดการสั่นสะเทือนของตึก
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Summary

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีลักษณะแบบกลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิมผ่านจุดสมดุลใช้เวลาในการเคลื่อนที่แต่ละรอบเท่าเดิม และมีพลังงานรวมของวัตถุคงตัว ณ ทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่ โดยปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ มีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

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

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

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

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

การสั่นพ้อง

- **การสั่นพ้อง** เป็นปรากฏการณ์ที่วัตถุถูกแรงหรือพลังงานมากระทำให้เกิดการสั่นด้วยความถี่ที่ใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติ วัตถุจะสั่นหรือแกว่งด้วยความถี่ธรรมชาติของวัตถุนั้นและสั่นหรือแกว่งด้วยแอมพลิจูดที่มากที่สุด
- **ความถี่สั่นพ้อง** คือ ความถี่ของแรงหรือพลังงานที่ไปกระทำให้วัตถุเกิดการสั่นด้วยแอมพลิจูดที่มากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของวัตถุนั้น ๆ
- **ความถี่ธรรมชาติ** คือ ความถี่เฉพาะของวัตถุหนึ่ง ๆ

Self Check

ให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจ โดยพิจารณาข้อความว่าถูกหรือผิด แล้วบันทึกลงในสมุด

หากพิจารณาข้อความไม่ถูกต้อง ให้กลับไปทบทวนเนื้อหาตามหัวข้อที่กำหนดให้

	ถูก/ผิด	บทวนที่หัวข้อ
1. ความยาวของเส้นเชือกที่แขวนลูกตุ้มมีผลต่อคาบการแกว่งของลูกตุ้ม	☐	1.3
2. การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุ	☐	1
3. การแกว่งชิงช้าเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	☐	1
4. การแกว่งไปมาแต่ละรอบของลูกตุ้ม ความเร็วและอัตราเร่งของลูกตุ้มไม่มีการเปลี่ยนแปลง	☐	1.3
5. ความถี่เฉพาะตัวของระบบหนึ่ง ๆ คือ ความถี่สั่นพ้อง	☐	2



Unit questions

1

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. ล้อวงกลมอันหนึ่งมีรัศมี 0.3 เมตร หมุนด้วยความถี่ 0.5 รอบต่อวินาที ที่ขอบล้อติดวัตถุไว้ก้อนหนึ่ง ขณะนั้นมีแสงแดดตกกระทบตั้งฉากกับพื้นโลก ทำให้เงาของวัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จงหา คาบ ความถี่ แอมพลิจูด และเขียนสมการแสดงการกระจัดในการเคลื่อนที่ ณ เวลาใด ๆ (กำหนดให้มุมเฟสเริ่มต้นเป็นศูนย์)
2. ตำแหน่งของวัตถุหนึ่งซึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จะเป็นไปตามสมการ $x = 4 \cos(5.5t + 0.5)$ โดย x มีหน่วยเป็น เมตร และเวลา t มีหน่วยเป็น วินาที จงหาแอมพลิจูด ความถี่เชิงมุม คาบ และมุมเฟสเริ่มต้น
3. วัตถุก้อนหนึ่งติดสปริง แล้วทำให้เคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายด้วยแอมพลิจูด A จงหาการกระจัด ณ ตำแหน่งที่มีอัตราเร็วเป็นครึ่งหนึ่งของอัตราเร็วสูงสุด
4. วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ด้วยความถี่ 3 รอบต่อวินาที ถ้าแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่เท่ากับ 2 เซนติเมตร อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่มีค่าเท่าไร
5. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายบนแกนนอน มีความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลาเป็น

$$x(t) = -0.500 \sin\left(\frac{\pi t}{5.00} + \frac{\pi}{4.00}\right)$$

โดย x มีหน่วยเป็น เมตร และ t มีหน่วยเป็น วินาที

- 5.1 จงหาคาบของการกวัดแกว่ง
- 5.2 จงหาอัตราเร็วสูงสุดของอนุภาค
- 5.3 จงหาอัตราเร็วและอัตราเร่งที่เวลาหนึ่งส่วนของคาบ
- 5.4 จงวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลา ความเร็วกับเวลา และความเร่งกับเวลาในช่วงเวลา $t = 0$ ถึง $t = 20.0$ วินาที
6. อนุภาคเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายบนแกน x โดยเริ่มต้นที่ตำแหน่งสมดุล เมื่อเวลา $t = 0$ วินาที อนุภาคเคลื่อนที่ไปทางขวา แอมพลิจูดของการเคลื่อนที่เป็น 2.00 เซนติเมตร และความถี่เป็น 1.50 เฮิรตซ์
 - 6.1 จงเขียนสมการแสดงตำแหน่ง x ของอนุภาค เป็นฟังก์ชันของเวลา
 - 6.2 จงหาอัตราเร็วสูงสุด และอัตราเร่งสูงสุดของอนุภาค
 - 6.3 จงหาระยะทางทั้งหมดที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้ ภายในช่วงเวลา $t = 0$ ถึง $t = 1.00$ วินาที

7. วัตถุมวล 0.500 กิโลกรัม ในระบบมวล-สปริงกำลังกวัดแกว่งบนพื้นลื่นด้วยความเร็วเป็นฟังก์ชันของเวลา $v(t) = -3.60 \sin\left(4.71t - \frac{\pi}{2}\right)$ เซนติเมตรต่อวินาที

7.1 จงหาคาบในการกวัดแกว่ง แอมพลิจูด อัตราเร็วสูงสุดของวัตถุ และค่าคงตัวของสปริง

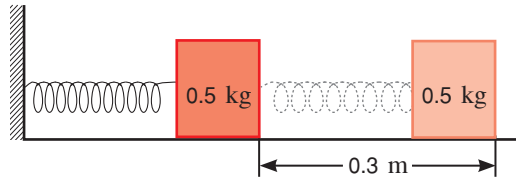
7.2 จงเขียนสมการแสดงตำแหน่งและความเร่งของวัตถุ เป็นฟังก์ชันของเวลา

8. ถ้าสปริงเบามีค่าคงตัว k และมีวัตถุมวล m แขนงอยู่ที่ปลายข้างหนึ่งของสปริงในแนวตั้ง จงพิสูจน์ว่าคาบในการกวัดแกว่งของวัตถุจะไม่ขึ้นอยู่กับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g

9. จากการทดสอบสปริงตัวหนึ่งพบว่า เมื่อใช้แรง 8 นิวตัน ดึงสปริงจะทำให้สปริงยืดออกเป็นระยะ 0.04 เมตร และเมื่อนำสปริงตัวนี้ติดกับมวล 0.5 กิโลกรัม และวางไว้ในแนวราบ ดังภาพที่ 1.16 ถ้าขยับมวลออกไปเป็นระยะ 0.3 เมตร แล้วปล่อยให้กวัดแกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

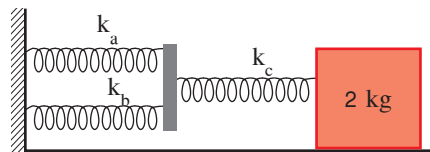
9.1 จงหาค่าคงตัวของสปริง

9.2 จงหาความถี่เชิงมุม ความถี่ และคาบ



▲ ภาพที่ 1.16 ภาพประกอบ Unit Question 1 ข้อ 9.
ที่มา : คลังภาพ อจท.

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



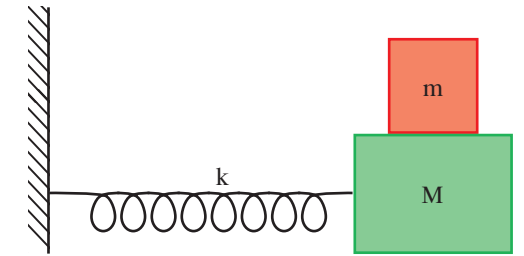
▲ ภาพที่ 1.17 ภาพประกอบ Unit Question 1 ข้อ 10.
ที่มา : คลังภาพ อจท.

11. สปริงเบามีค่าคงตัว 8,600 นิวตันต่อเมตร ถูกตัดออกเป็นสองส่วน แต่ละส่วนยาว 7.0 เซนติเมตร และ 10.0 เซนติเมตร

11.1 จงหาค่าคงตัวของสปริงทั้งสอง

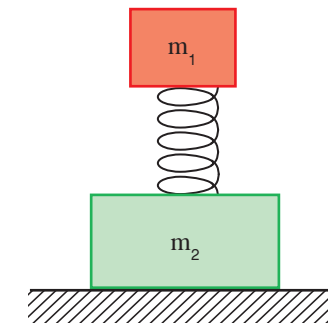
11.2 ถ้ากล่องที่ติดกับสปริงก่อนตัดมีความถี่ในการกวัดแกว่งที่ 200 เฮิรตซ์ จงหาความถี่ในการกวัดแกว่งของกล่องที่ติดกับสปริงทั้งสอง

12. มวล m มีขนาด 1.8 กิโลกรัม และมวล M มีขนาด 10 กิโลกรัม ผูกติดปลายสปริงที่มีค่าคงตัวของสปริง 200 นิวตันต่อเมตร ถูกจัดวางบนพื้นที่ไร้แรงเสียดทาน ดังภาพที่ 1.18 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างมวลทั้งสองเป็น 0.40 จงหาแอมพลิจูดของการกวัดแกว่งที่ทำให้มวล m เริ่มไถลออกจากมวล M



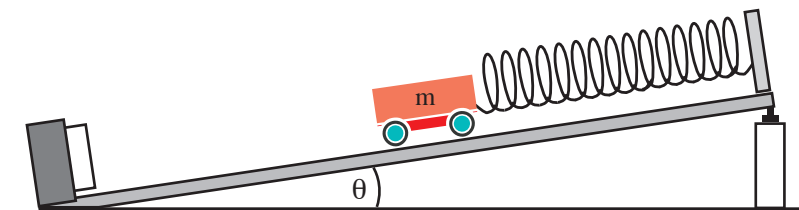
▲ ภาพที่ 1.18 ภาพประกอบ Unit Question 2 ข้อ 12.
ที่มา : คลังภาพ อจท.

13. มวล m_1 1.00 กิโลกรัม และ มวล m_2 4.10 กิโลกรัม ถูกเชื่อมต่อกันโดยสปริงเบา ดังภาพที่ 1.19 ถ้ามวล m_1 มีอิสระในการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายตามแนวตั้งด้วยแอมพลิจูด 1.6 เซนติเมตร และความถี่เชิงมุม 25 เรเดียนต่อวินาที จงหาค่าที่มากที่สุดและน้อยที่สุดของแรงที่ระบบ (วัตถุทั้งสองและสปริงเบา) กระทำกับพื้น



▲ ภาพที่ 1.19 ภาพประกอบ Unit Question 2 ข้อ 13.
ที่มา : คลังภาพ อจท.

14. พิจารณาสปริงเบามีความยาวเริ่มต้น l_0 และค่าคงตัว k สมมติว่าสปริงถูกผูกติดกับรถเด็กเล่นมวล m ที่วางอยู่บนพื้นเอียงไร้แรงเสียดทานทำมุม θ กับระนาบ ดังภาพที่ 1.20

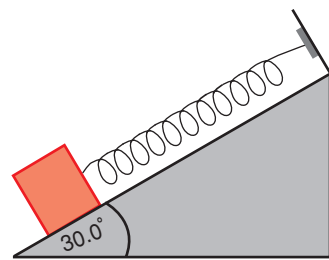


▲ ภาพที่ 1.20 ภาพประกอบ Unit Question 2 ข้อ 14.
ที่มา : คลังภาพ อจท.

14.1 เมื่อสปริงยืดออกจนทำให้รถเด็กเล่นอยู่ในตำแหน่งสมดุล จงหาความยาวใหม่ของสปริงนี้

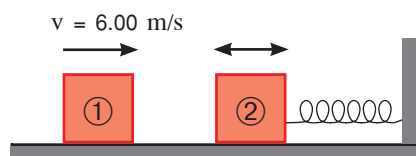
14.2 จงหาคาบในการกวัดแกว่งของรถเด็กเล่น

15. ในกล่องน้ำหนัก 15.0 นิวตัน ผูกติดกับปลายข้างหนึ่งของสปริงเบายาว 0.450 เมตร และมีค่าคงตัวของสปริง 120 นิวตันต่อเมตร ถ้ากล่องและสปริงวางอยู่บนพื้นเอียงทำมุม 30.0 องศา กับแนวระดับ ดังภาพที่ 1.21 ถ้ากล่องถูกดึงลงเล็กน้อยแล้วปล่อย กล่องจะมีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จงหาคาบของการเคลื่อนที่



▲ ภาพที่ 1.21 ภาพประกอบ Unit Question 2 ข้อ 15.
ที่มา : คลังภาพ อจท.

16. กล่องหมายเลข ② มวล 2.00 กิโลกรัม สั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายที่ปลายข้างหนึ่งของสปริงด้วยการสั่นเป็น 20.0 มิลลิวินาที ตำแหน่งของกล่องหมายเลข ② มีรูปแบบเป็นดังสมการ $x = 1.00 \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$ เซนติเมตร เมื่อกล่องหมายเลข ① มวล 4.00 กิโลกรัม เคลื่อนที่เข้ามาหากล่องหมายเลข ② ด้วยอัตราเร็ว 6.00 เมตรต่อวินาที ถ้ากล่องทั้งสองชนกันแบบไม่ยืดหยุ่นอย่างสมบูรณ์ที่เวลา 5.00 มิลลิวินาที จงหาแอมพลิจูดของการกวัดแกว่งหลังจากการชน



▲ ภาพที่ 1.22 ภาพประกอบ Unit Question 2 ข้อ 16.
ที่มา : คลังภาพ อจท.

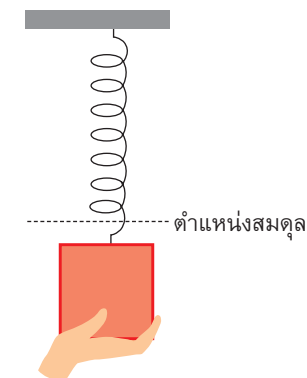
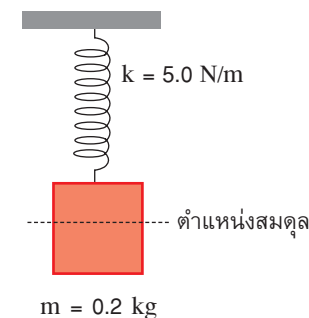
17. ลูกตุ้มมวล m ผูกติดกับเชือกยาว L ถูกทำให้กวัดแกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จงหาว่าเวลาที่ลูกตุ้มมวล m เคลื่อนที่จากจุดสูงสุดฝั่งหนึ่งไปถึงจุดสูงสุดอีกฝั่งหนึ่งจะมีค่าเท่าใด
18. วัตถุมวล 2 กิโลกรัม ผูกด้วยเชือกเบายาว 2.5 เมตร หากใช้มือดึงวัตถุออกจากตำแหน่งสมดุลแล้วปล่อยมือ จงหาว่าต้องใช้เวลานานเท่าไร วัตถุจึงจะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งเริ่มต้นอีกครั้ง
19. จากการทดลองการแกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของนอต พบว่า นอตแกว่งครบ 10 รอบใช้เวลา 15 วินาที
- 19.1 จงหาคาบและความถี่ของการแกว่ง
- 19.2 ถ้าเพิ่มนอตเป็น 2 ตัว คาบของการแกว่งมีค่าเป็นเท่าไร
- 19.3 ถ้าเพิ่มความยาวของเชือกเป็น 2 เท่า คาบของการแกว่งมีค่าเป็นเท่าไร
20. ลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายแขวนด้วยเชือกที่มีความยาว 0.790 เมตร และมวลของลูกตุ้มที่ปลายเชือกเป็น 0.240 กิโลกรัม ลูกตุ้มนาฬิกาถูกดึงออกมาจากตำแหน่งสมดุลด้วยมุม 8.50 องศา และถูกปล่อยจากหยุดนิ่ง สมมติว่าไม่ต้องพิจารณาแรงต้านอากาศ
- 20.1 จงหาความถี่เชิงมุมของการเคลื่อนที่
- 20.2 จงเขียนการกระจัดเชิงมุม θ เป็นฟังก์ชันของเวลา t
- 20.3 จงหาอัตราเร็วของลูกตุ้มขณะที่ผ่านตำแหน่งต่ำสุดของการกวัดแกว่ง



แนวข้อสอบ A-Level

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. วัตถุมวล 0.2 กิโลกรัมแขวนอยู่ที่ปลายของสปริงที่มีค่าคงตัวของสปริงเท่ากับ 5.0 นิวตันต่อเมตร เมื่อดึงวัตถุให้สปริงยืดออก แล้วปล่อยให้วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย วัตถุจะมีความถี่ค่าหนึ่ง ถ้าวัตถุจะเกิดการสั่นพ้องได้ ต้องถูกแรงกระตุ้นด้วยความถี่กี่รอบต่อวินาที และถ้าลดขนาดมวลของวัตถุให้น้อยลง คาบของการเคลื่อนที่จะเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับก่อนลดมวล



	ความถี่ของแรงกระตุ้น (รอบต่อวินาที)	คาบของการเคลื่อนที่เมื่อลดมวลของวัตถุ (เทียบกับก่อนลดมวล)
1.	$\frac{0.10}{\pi}$	เพิ่มขึ้น
2.	$\frac{0.10}{\pi}$	ลดลง
3.	$\frac{5.0}{2\pi}$	เท่าเดิม
4.	$\frac{5.0}{2\pi}$	เพิ่มขึ้น
5.	$\frac{5.0}{2\pi}$	ลดลง

2. เจลเลอร์วางสปริงเส้นหนึ่งที่มีค่าคงตัวเป็น 0.4 นิวตันต่อเมตร ไว้บนพื้นลื่นในแนวระดับ โดยปลายข้างหนึ่งตรึงไว้กับผนัง และปลายอีกด้านหนึ่งติดกับมวล 0.1 กิโลกรัม ถ้าวางมวลอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล $x = 0$ เมตร เมื่อทำการดึงมวลให้สปริงเกิดการยืดออกมาอยู่ที่ตำแหน่ง $x = +2$ เมตร จากนั้นปล่อยมือและเริ่มทำการจับเวลา จงระบุตำแหน่งของมวลเมื่อเคลื่อนที่ผ่านไป $\frac{3\pi}{2}$
1. อยู่ทางขวาของตำแหน่งสมดุลเป็นระยะ 0.2 เมตร
2. อยู่ทางขวาของตำแหน่งสมดุลเป็นระยะ $0.2\sqrt{2}$ เมตร
3. อยู่ทางขวาของตำแหน่งสมดุลเป็นระยะ $0.2\sqrt{3}$ เมตร
4. อยู่ทางซ้ายของตำแหน่งสมดุลเป็นระยะ 0.2 เมตร
5. อยู่ทางซ้ายของตำแหน่งสมดุลเป็นระยะ $0.2\sqrt{2}$ เมตร

