

หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐาน
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยาศาสตร์กายภาพ แรงและการเคลื่อนที่ พลังงาน

ตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕



ผู้เรียบเรียง

ดร.พัฒนชัย จันท

ผู้ตรวจ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤติยา ศรีบุญเพ็ง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไตรทศ งามปิติพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ นันทียกุล

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์
รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพงศ์ จิวประดิษฐ์กุล

สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ (พว.)

๑๒๕๖/๙ ถนนนครไชยศรี แขวงถนนนครไชยศรี เขตดุสิต กรุงเทพฯ ๑๐๓๐๐
โทร. ๐-๒๒๔๓-๘๐๐๐ (อัตโนมัติ ๑๕ สาย), ๐-๒๒๔๑-๘๙๙๙
แฟกซ์ : ทุกหมายเลข, แฟกซ์อัตโนมัติ : ๐-๒๒๔๑-๔๑๓๑, ๐-๒๒๔๓-๗๖๖๖

website : www.iadth.com

สงวนลิขสิทธิ์

บริษัท พัฒนาคุณภาพวิชาการ (พว.) จำกัด
พ.ศ. ๒๕๖๘
พิมพ์ครั้งที่ ๑ จำนวน ๑๐,๐๐๐ เล่ม
ISBN : 978-616-05-5174-3



คำนำ



QR CODE

คำชี้แจง
กระบวนการ
เรียนรู้

แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 ได้กำหนดวิสัยทัศน์ไว้ดังนี้ “คนไทยทุกคนได้รับการศึกษา และเรียนรู้ตลอดชีวิตอย่างมีคุณภาพ ดำรงชีวิตอย่างเป็นสุข สอดคล้องกับหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง และการเปลี่ยนแปลงของโลกในศตวรรษที่ 21” เป้าหมายด้านผู้เรียนโดยมุ่งพัฒนาผู้เรียนทุกคนให้มีคุณลักษณะ และทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ประกอบด้วยทักษะพื้นฐาน อ่านออกเขียนได้และคิดเลขเป็น และทักษะ ลำคัญอีก 8 ประการ ดังนี้ 1. ทักษะด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและทักษะในการแก้ปัญหา 2. ทักษะ ด้านการสร้างสรรค์และนวัตกรรม 3. ทักษะด้านความเข้าใจต่างวัฒนธรรมและต่างกระบวนทัศน์ 4. ทักษะ ด้านความร่วมมือการทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ 5. ทักษะด้านการสื่อสาร สารสนเทศ และการรู้เท่าทันสื่อ 6. ทักษะด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร 7. ทักษะอาชีพและทักษะการเรียนรู้ และ 8. ความมีเมตตา กรุณา มีวินัย มีคุณธรรมและจริยธรรม

ผลลัพธ์ที่พึงประสงค์ของการศึกษา พ.ศ. 2561 หมายถึง คุณลักษณะของคนไทย 4.0 ที่ตอบสนอง วิสัยทัศน์การพัฒนาประเทศสู่ความมั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน โดยคนไทย 4.0 จะต้องธำรงความเป็นไทย และแข่งขัน ได้ในเวทีโลก นั่นคือเป็นคนดี มีคุณธรรม ยึดค่านิยมร่วมของสังคมเป็นฐานในการพัฒนาตนให้เป็นบุคคล ที่มีลักษณะ 3 ด้าน โดยเป็นคุณลักษณะขั้นต้น ดังต่อไปนี้ 1. ผู้เรียนรู้ เป็นผู้มีความเพียร ไม่เรียนรู้ และมีทักษะ การเรียนรู้ตลอดชีวิต เพื่อก้าวทันโลกยุคดิจิทัลและโลกในอนาคต และมีสมรรถนะ 2. ผู้ร่วมสร้างสรรค์ นวัตกรรม เป็นผู้มีทักษะทางปัญญา ทักษะการคิดสร้างสรรค์ 3. พลเมืองที่เข้มแข็ง เป็นผู้มีความรักชาติ รักท้องถิ่น มีจิตอาสา ก่อปรด้วยค่านิยมร่วม 4 ประการ คือ 1. ความเพียรอันบริสุทธิ์ 2. ความพอเพียง 3. วิถีประชาธิปไตย 4. ความเท่าเทียม

หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐาน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ แรงและการเคลื่อนที่ พลังงาน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จัดทำตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยมีเนื้อหาและกระบวนการสอดคล้องกับทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เน้นการเสริมสร้างการสืบสอบ การทำโครงงาน และสะสมด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์ เสริมสร้างสมรรถนะสำคัญ ตามหลักสูตร และบูรณาการหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง เป็นหนังสือเรียนที่มีลักษณะเฉพาะ คือ ให้ผู้เรียน เรียนรู้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ควบคู่กับเนื้อหาที่เน้นองค์ความรู้ (body of knowledge) พัฒนาให้ผู้เรียน เป็นผู้เรียนรู้ เป็นนักคิด และเป็นพลเมืองที่เข้มแข็ง พร้อมกับมีสมรรถนะสำคัญตามหลักสูตร

ผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จะได้เรียนรู้เรื่อง การเคลื่อนที่และแรง แรงพื้นฐานในธรรมชาติ พลังงาน คลื่น เสียง แสงสี และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ (พว.) หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน เพื่อเรียนรู้ มีสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์และความสุขก่อก่อด้วยคุณลักษณะที่พึงประสงค์

สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ (พว.)

สารบัญ

นักเรียนเรียนรู้วิทยาศาสตร์กันอย่างไร

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 การเคลื่อนที่และแรง

1. การวัด	11
2. ปริมาณที่ใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่	14
2.1 จุดอ้างอิงและตำแหน่ง	14
2.2 ระยะทางและการกระจัด	17
2.3 อัตราเร็วและความเร็ว	19
2.4 ความเร่ง	26
3. แรง	33
3.1 ธรรมชาติของแรง	33
3.2 แรงลัพธ์	35
4. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	42
5. แบบของการเคลื่อนที่	46
5.1 การเคลื่อนที่ตำแหน่ง	46
5.2 การเคลื่อนที่แบบหมุน	56
5.3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกหรือการสั่น	57

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 การเคลื่อนที่และแรง

59

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 แรงพื้นฐานในธรรมชาติ

1. แรงโน้มถ่วง	62
1.1 แรงโน้มถ่วงกับแรงดึงดูดระหว่างมวล	62
1.2 การเคลื่อนที่ของวัตถุในสนามโน้มถ่วงของโลก	63
2. แรงแม่เหล็กไฟฟ้า	67
2.1 แรงไฟฟ้า	67
2.2 แรงแม่เหล็ก	74
3. แรงเข้มและแรงอ่อน	86

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ที่ 2 แรงพื้นฐานในธรรมชาติ

87

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 พลังงาน

หน้า

88

1. โครงสร้างอะตอม 89
2. กัมมันตภาพรังสี 93
3. ปฏิกิริยานิวเคลียร์ 98
 - 3.1 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน 100
 - 3.2 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน 101
4. กัมมันตภาพรังสีและปฏิกิริยานิวเคลียร์กับชีวิตประจำวัน 102
 - 4.1 รังสีกับมนุษย์ 102
 - 4.2 โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ 107
5. พลังงานทดแทน 110
 - 5.1 พลังงานแสงอาทิตย์ 113
 - 5.2 พลังงานลม 114
 - 5.3 พลังงานชีวมวล 115
 - 5.4 พลังงานจากขยะ 116
 - 5.5 พลังงานไฮโดรเจน 118

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ที่ 3 พลังงาน

119

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 คลื่น

120

1. ส่วนประกอบของคลื่น 121
2. ประเภทของคลื่น 127
3. ปรากฏการณ์ของคลื่น 128
 - 3.1 การสะท้อนของคลื่น 129
 - 3.2 การหักเหของคลื่น 131
 - 3.3 การเลี้ยวเบนของคลื่น 135
 - 3.4 การแทรกสอดของคลื่น 138
4. การสั่นพ้อง 142

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ที่ 4 คลื่น

143

หน่วยการเรียนรู้ที่ 5 เสียง

หน้า

144

1. ปรากฏการณ์ของคลื่นเสียงและการใช้ประโยชน์ 145
 - 1.1 การเกิดเสียง 145
 - 1.2 การสะท้อนของเสียง 147
 - 1.3 การหักเหของเสียง 149
 - 1.4 การเลี้ยวเบนของเสียง 149
 - 1.5 การแทรกสอดของเสียง 150
 - 1.6 บีต 151
 - 1.7 การสั่นพ้องของเสียง 153
 - 1.8 ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ 154
2. การได้ยินเสียง 156
 - 2.1 ระดับเสียง 156
 - 2.2 คุณภาพเสียง 156
 - 2.3 ความดัง 157
 - 2.4 มลพิษทางเสียง 159

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ที่ 5 เสียง

162

หน่วยการเรียนรู้ที่ 6 แสงสี

163

1. การมองเห็นสี 164
 - 1.1 การมองเห็น 164
 - 1.2 ตาบอดสี 165
2. แสงและสารสี 168
 - 2.1 การผสมสารสี 168
 - 2.2 การผสมแสงสี 170
 - 2.3 การมองเห็นสีของวัตถุ 171

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ที่ 6 แสงสี

176

หน่วยการเรียนรู้ที่ 7 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

177

1. ส่วนประกอบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 178
 - 1.1 สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 178
 - 1.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในชีวิตประจำวัน 182
2. การสื่อสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 189

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ที่ 7 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

191

บรรณานุกรม

192



นักเรียน เรียนรู้

วิทยาศาสตร์ กันอย่างไร

ทักษะพื้นฐาน

ทักษะขั้นสูง

1. ทักษะการสังเกต

2. ทักษะการวัด

3. ทักษะการจำแนกประเภท

4. ทักษะการหาความสัมพันธ์
ระหว่างสเปซกับสเปซ
และสเปซกับเวลา

5. ทักษะการใช้จำนวน

6. ทักษะการจัดกระทำ
และสื่อความหมายข้อมูล

7. ทักษะการลงความเห็น
จากข้อมูล

8. ทักษะการพยากรณ์

9. ทักษะการตั้งสมมุติฐาน

10. ทักษะการกำหนดนิยาม
เชิงปฏิบัติการ

11. ทักษะการกำหนด
และควบคุมตัวแปร

12. ทักษะการทดลอง

13. ทักษะการแปลความหมายข้อมูล
และลงข้อสรุป

14. ทักษะการสร้างแบบจำลอง

วิธีการทางวิทยาศาสตร์

(Scientific Method)

ได้ผลผลิตตามตัวชี้วัด

ของมาตรฐานการเรียนรู้

นำไปใช้

ประยุกต์

เกิดการ
วิทยา

เรียนรู้
ศาสตร์

สรุปหรือ

สร้างความรู้

รวบรวมข้อมูล

เพื่อหาคำตอบ

สังเกตและระบุ

คำถามสำคัญ

มีนิสัยความเป็น
หรือมี

นักวิทยาศาสตร์
จิตวิทยาศาสตร์

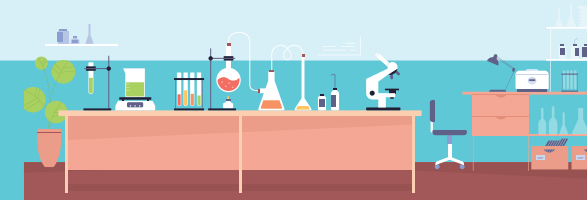
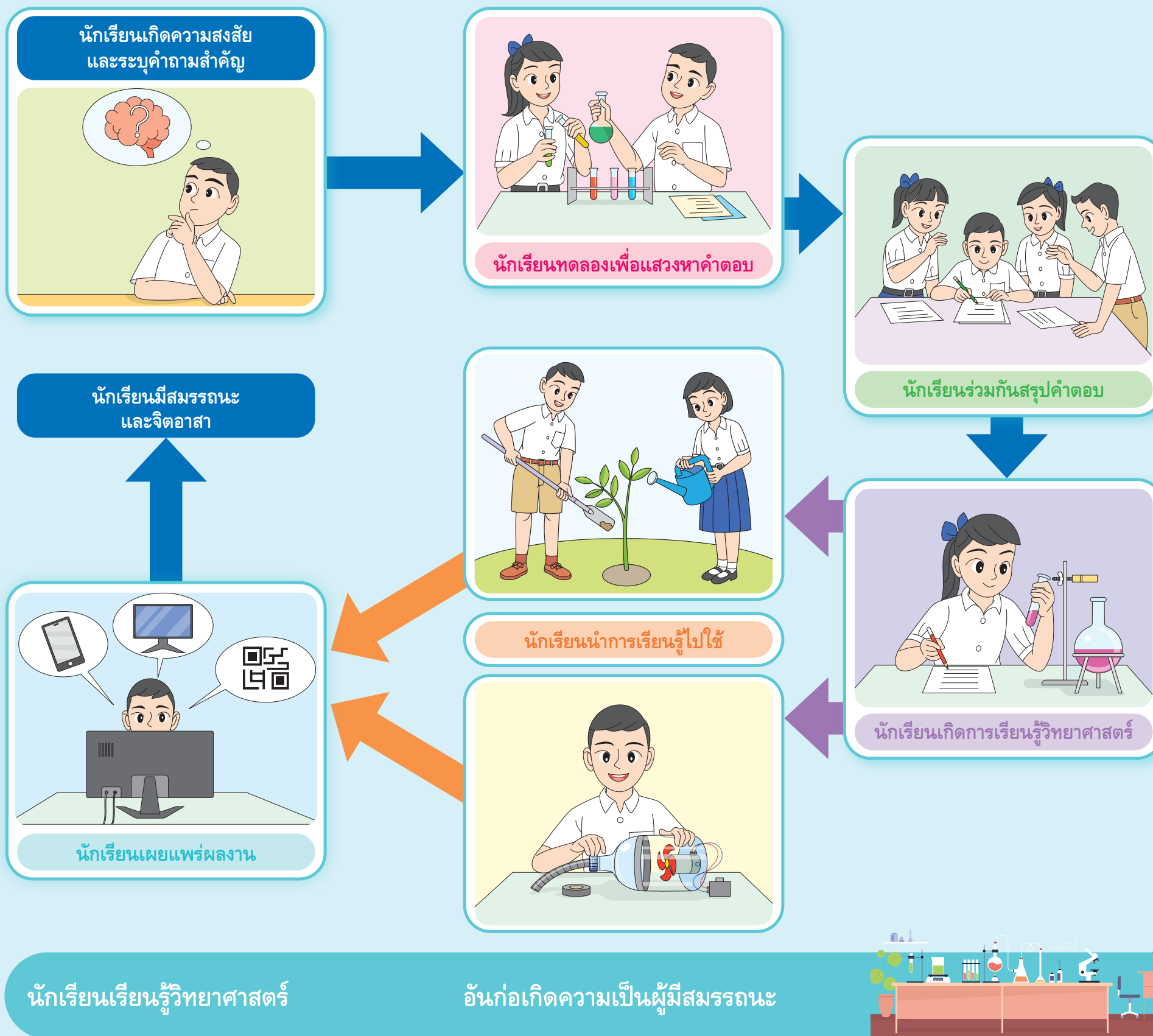
★ ช่างสังเกต ★ ช่างคิด ช่างวิเคราะห์

★ มีความเพียร ความอดทน ★ รักธรรมชาติ

★ คิดริเริ่มสร้างสรรค์ ★ เชื้อหลักฐานเชิงประจักษ์

★ มีภาวะผู้นำร่วมทำงานเป็นทีมและมีความพอเพียง

เมื่อนักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม ทั้งสภาพจริงหรือสภาพจำลองซึ่งเป็นสิ่งเร้า นักเรียนมีการสังเกตด้วยประสาทสัมผัสทั้ง 5 ทำให้เกิดความสงสัย นักเรียนจะ**ระบุคำถามสำคัญ**แล้วคาดคะเนคำตอบ ต่อมาครูจะให้นักเรียน**ตั้งสมมุติฐาน** จากนั้นนักเรียนจะทำ**กิจกรรมหรือทำการทดลอง** เพื่อรวบรวมข้อมูลด้วยความอดทนและรอบคอบ ได้ประสบการณ์ใหม่ จากนั้นนักเรียนจะเชื่อมประสบการณ์ใหม่กับประสบการณ์เดิม **เพื่อสังเคราะห์ความรู้ใหม่ด้วยตนเอง** เป็นความรู้อย่างเข้าใจที่คงทน อีกทั้งยังได้รับการพัฒนาความสามารถเกี่ยวกับทักษะและกระบวนการ รวมทั้งเจตคติและอุปนิสัย ความเป็นนักวิทยาศาสตร์ นักเรียนจะเกิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ **มีความพร้อมที่จะนำความรู้ไปใช้ และทักษะไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันและทำงาน** ทำให้ได้ผลผลิต (product) หรือภาระงาน (task) อันสะท้อนความสามารถสำคัญ และยังสามารถเผยแพร่ผลงาน เป็นการให้บริการและตอบแทนสังคม ซึ่งเป็นการปลูกฝังจิตอาสาแก่นักเรียนอีกด้วย



การเคลื่อนที่และแรง

แผนผังหัวข้อหน่วยการเรียนรู้

ตัวชี้วัดระหว่างทาง

- วิเคราะห์และแปลความหมาย ข้อมูลความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุ เพื่ออธิบายความเร่งของวัตถุ (ว 2.2 ม.5/1)
- สังเกตและอธิบายการหาแรงลัพธ์ที่เกิดจากแรงหลายแรงที่อยู่ในระนาบเดียวกันที่กระทำต่อวัตถุโดยการเขียนแผนภาพการรวมแบบเวกเตอร์ (ว 2.2 ม.5/2)
- สังเกต วิเคราะห์ และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวัตถุกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุและมวลของวัตถุ (ว 2.2 ม.5/3)
- สังเกตและอธิบายแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาระหว่างวัตถุคู่หนึ่ง ๆ (ว 2.2 ม.5/4)

ตัวชี้วัดปลายทาง

- สังเกตและอธิบายผลของความเร่งที่มีต่อการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ของวัตถุ ได้แก่ การเคลื่อนที่แนวตรง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ การเคลื่อนที่แบบวงกลม และการเคลื่อนที่แบบสั่น (ว 2.2 ม.5/5)



ศัพท์สำคัญ

การเคลื่อนที่ (motion)	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's laws of motion)
ความเร่ง (acceleration)	ความเร็ว (velocity)
แรง (force)	แรงลัพธ์ (net force)

1.

การวัด

ในอดีตมนุษย์สังเกตเห็นปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางธรรมชาติรอบตัว พร้อมกับความสงสัยว่าสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้เกิดขึ้นได้อย่างไร ความพยายามในการอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติโดยยึดหลักเหตุผลอย่างเป็นระบบ ก่อให้เกิดการแสวงหาความรู้ตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อประโยชน์ในการศึกษา จึงต้องมีการวัดปริมาณต่าง ๆ ของสิ่งที่ศึกษา โดยใช้เครื่องมือวัดและวิธีการวัดที่ถูกต้อง ทำให้ได้ข้อมูลเชิงตัวเลข และบันทึกตัวเลขที่เหมาะสมตามค่าที่อ่านได้จริงจากเครื่องมือ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ การวัดจึงเป็นทักษะพื้นฐานของการแสวงหาความรู้ตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การวัดที่ดีต้องมีความแม่นยำ (accuracy) คือ ค่าที่ได้จากการวัดต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด และต้องมีความเที่ยงตรง (precision) คือ การวัดซ้ำแต่ละครั้งต้องได้ค่าที่ใกล้เคียงกันเสมอ

คำถามสำคัญ ?

เครื่องมือวัดที่เราเลือกใช้เหมาะสมกับงานหรือไม่

กิจกรรมที่ 1.1 การวัด

วัสดุอุปกรณ์

- | | |
|--------------|--------|
| 1. ไม้บรรทัด | 1 อัน |
| 2. ตลับเมตร | 1 ตลับ |

วิธีทำ

- นักเรียนแบ่งกลุ่ม แต่ละกลุ่มร่วมกันวัดระยะทางของสิ่งที่สนใจ (ความกว้างของห้อง ความกว้างของตึก ความกว้างของสนาม) โดยวิธีต่าง ๆ ได้แก่
 - นับก้าว
 - ใช้ไม้บรรทัด
 - ใช้ตลับเมตร
- เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดจากอุปกรณ์และวิธีการที่แตกต่างกัน

- ❓ ค่าที่ได้จากการวัดของแต่ละวิธีได้ผลเหมือนกันหรือแตกต่างกัน อย่างไร
- ❓ ค่าที่ได้จากการวัดของแต่ละวิธีมีความคลาดเคลื่อนมากน้อยแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- ❓ เครื่องมือวัดชนิดใดเหมาะสมในการวัดมากกว่ากัน เพราะเหตุใด
- ❓ สรุปผลการทดลองนี้ได้อย่างไร

การวัด (measurement) เป็นกระบวนการระบุปริมาณทางกายภาพโดยใช้เครื่องมือวัด ผลที่ได้จากการวัด ประกอบด้วย ตัวเลขที่ระบุขนาด และหน่วยวัดของปริมาณที่วัดนั้น

ไม้บรรทัด

ใช้วัดความยาวของวัตถุ
ที่มีค่าไม่เกิน 30 เซนติเมตร
มีความละเอียด 0.1 เซนติเมตร



ภาพที่ 1.1 ไม้บรรทัด

ไม้เมตร

ใช้วัดความยาวของวัตถุ
ที่มีค่าไม่เกิน 100 เซนติเมตร
มีความละเอียด 0.1 เซนติเมตร



ภาพที่ 1.2 ไม้เมตร

ตลับเมตร

ใช้วัดความยาวของวัตถุ
ได้ยาวกว่า 100 เซนติเมตร
มีความละเอียด 0.1 เซนติเมตร



ภาพที่ 1.3 ตลับเมตร

เครื่องมือวัดพื้นฐาน
ที่สามารถพบได้ทั่วไป
ในห้องปฏิบัติการ

เครื่องชั่งสปริง

ใช้วัดมวลของวัตถุในหน่วยกรัม
หรือวัดน้ำหนักหรือแรงในหน่วยนิวตัน
โดยมีหลายค่าความละเอียด
และค่าสูงสุดที่วัดได้ให้เลือก
หลากหลาย



ภาพที่ 1.4 เครื่องชั่งสปริง



ภาพที่ 1.5 เวอร์เนียแคลิเปอร์

เวอร์เนียแคลิเปอร์

ใช้วัดความยาว ความกว้าง
ความลึกของวัตถุที่มีความละเอียด
มากกว่าค่าที่ได้จากไม้บรรทัด
ในหน่วยมิลลิเมตร
มีความละเอียด 0.05 มิลลิเมตร



ภาพที่ 1.6 ไมโครมิเตอร์

ไมโครมิเตอร์

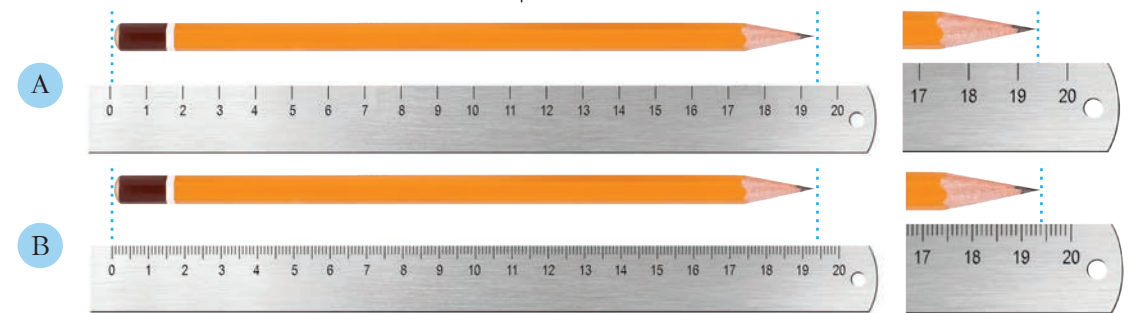
ใช้วัดความหนาของวัตถุ
ในหน่วยมิลลิเมตร
มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร

การบันทึกข้อมูลจากการวัด ประกอบด้วย ปริมาณ ซึ่งแสดงเป็นตัวเลข และหน่วยของปริมาณ ปริมาณบางชนิดมีหน่วยหลายแบบ เช่น ความยาว มีหน่วยวัดเป็น เซนติเมตร (cm) เมตร (m) ฟุต (ft) หลา (yard) ไมล์ (mile) จึงได้มีการกำหนดหน่วยมาตรฐานเพื่อเป็นหน่วยกลางทางวิทยาศาสตร์ เรียกว่า **ระบบหน่วยระหว่างชาติ** (International System of Units หรือ System-International d' Units) และกำหนดให้ใช้อักษรย่อแทนชื่อระบบนี้ว่า SI หรือ **หน่วยเอสไอ** (SI unit)

ตารางที่ 1.1 ชื่อหน่วยและสัญลักษณ์ของหน่วยเอสไอ

ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์
ความยาว (Length)	เมตร	m
มวล (Mass)	กิโลกรัม	kg
เวลา (Time)	วินาที	s
กระแสไฟฟ้า (Electric current)	แอมแปร์	A
อุณหภูมิ (Temperature)	เคลวิน	K
ปริมาณของสาร (Amount of Substance)	โมล	mol
ความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Luminous intensity)	แคนเดลา	cd

ความละเอียดของเครื่องมือวัด คือ ค่าของสเกลที่เล็กที่สุดของเครื่องมือวัด ตัวอย่างภาพไม้บรรทัด A มีความละเอียด 1 เซนติเมตร ส่วนไม้บรรทัด B มีความละเอียด 0.1 เซนติเมตร การอ่านค่าความยาว โดยใช้ไม้บรรทัดในกรณีที่วัตถุที่ต้องการวัดความยาวอยู่นิ่งและมีปลายทั้งสองด้านชัดเจน เราสามารถใช้สายตาประมาณตำแหน่งระหว่างสเกลที่เล็กที่สุดได้



ภาพที่ 1.7 การวัดความยาวของดินสอด้วยไม้บรรทัดที่มีความละเอียดต่างกัน

เช่น ความยาวดินสอที่อ่านได้จากไม้บรรทัด A คือ 19.4 เซนติเมตร ส่วนความยาวดินสอที่อ่านได้จากไม้บรรทัด B มีค่า 19.45 เซนติเมตร

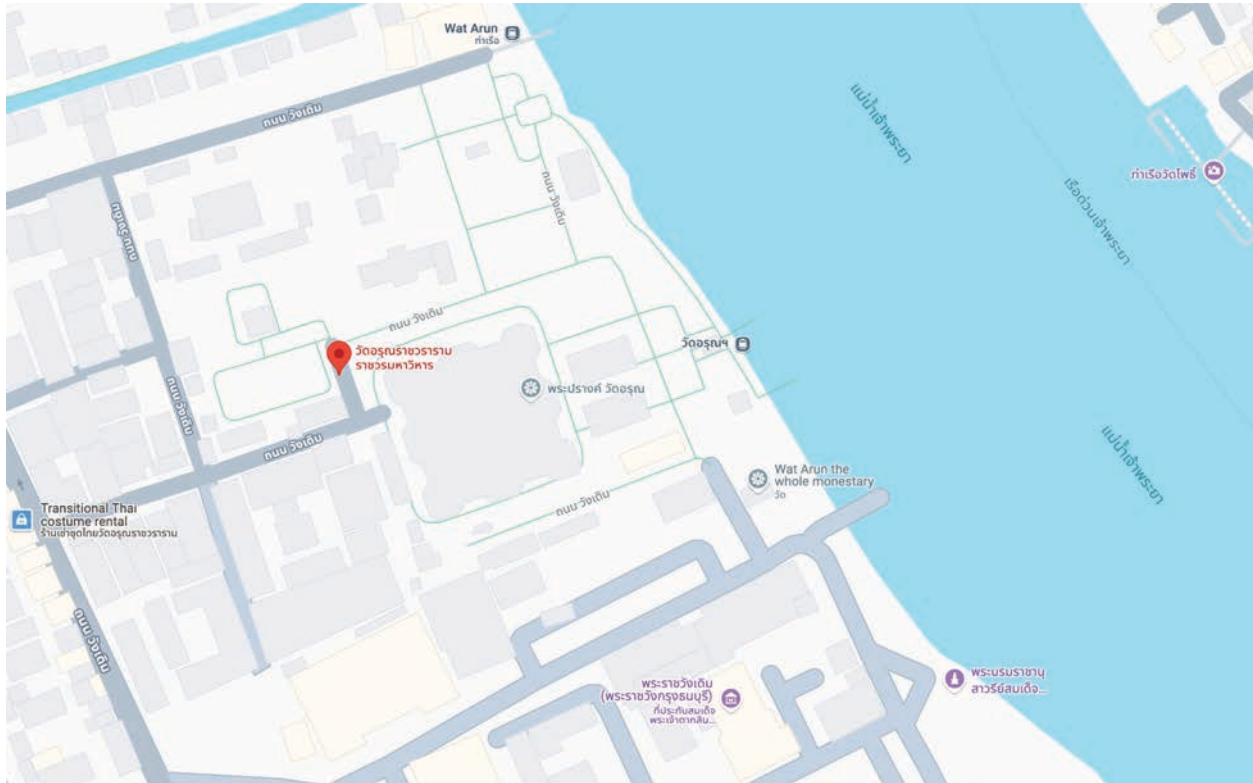
ไม้บรรทัด B มีความละเอียด
มากกว่าไม้บรรทัด A



2. ปริมาณที่ใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่

2.1 จุดอ้างอิงและตำแหน่ง

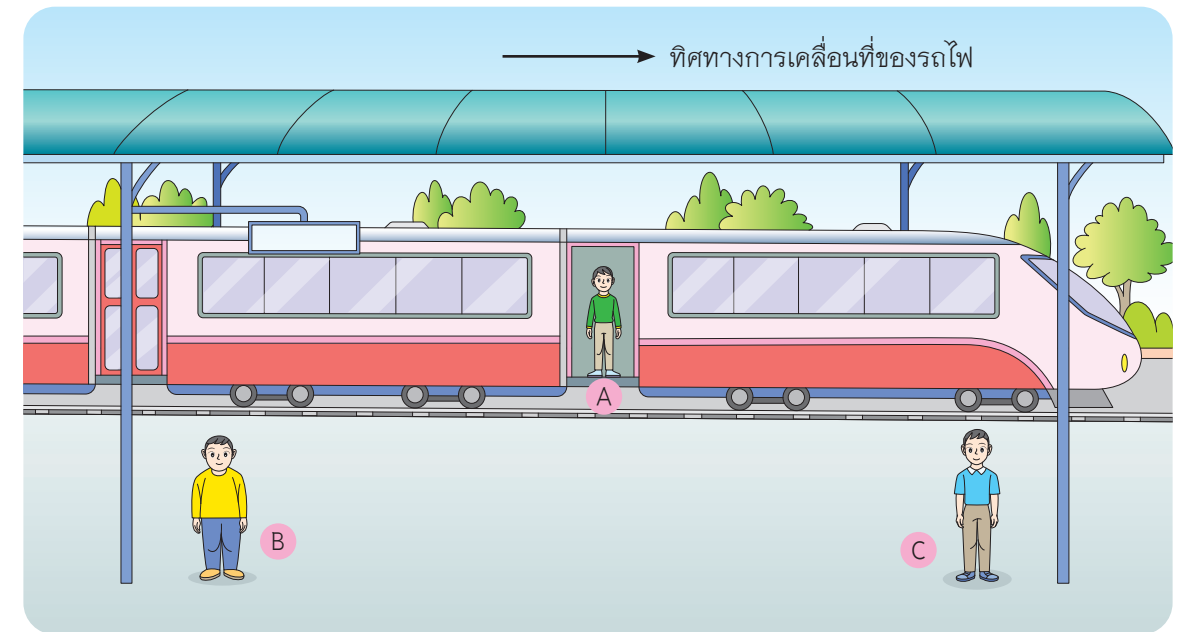
การเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นปรากฏการณ์หนึ่งที่สามารถพบเห็นได้โดยทั่วไป เช่น รถยนต์เคลื่อนที่บนถนน ปลาว่ายอยู่ในน้ำ มนุษย์พยายามอธิบายธรรมชาติของการเคลื่อนที่ของวัตถุต่าง ๆ เป็นที่มาของสาขาวิชาทางฟิสิกส์ต่าง ๆ เช่น วิชากลศาสตร์ (mechanics) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของแรงและผลของแรงต่อวัตถุ ซึ่งสามารถแบ่งได้อีกเป็น 2 สาขาย่อย ๆ ได้แก่ กลศาสตร์สถิต (statics) กล่าวถึงผลของแรงต่อวัตถุที่อยู่ในสถานะนิ่งหรือไม่เคลื่อนที่ และกลศาสตร์ไดนามิกส์ (dynamics) กล่าวถึงวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่อยู่อันเนื่องมาจากมีแรงมากระทำต่อวัตถุนั้น นอกจากนี้ กลศาสตร์ไดนามิกส์ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 แขนง ได้แก่ 1. จลนศาสตร์ (kinematics) จะกล่าวถึง สภาพของการเคลื่อนที่โดยไม่คำนึงถึงแรงที่ทำให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่ โดยจะศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของตำแหน่ง ทิศทางการเคลื่อนที่ ความเร็ว ความเร่ง และเวลา และ 2. จลนพลศาสตร์ (kinetics) กล่าวถึง ผลของแรงที่มีต่อการเคลื่อนที่ต่อวัตถุ เช่น กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันที่เกี่ยวข้องกับแรง มวล ความเร่ง



ภาพที่ 1.8 ตำแหน่งสถานที่บนแผนที่ google maps

? ลักษณะการเคลื่อนที่หรือที่เรียกว่า “สภาพการเคลื่อนที่” ของวัตถุ เช่น รถยนต์จอดอยู่นิ่งหรือกำลังแล่นอยู่ ปริมาณที่ใช้ในการอธิบายสภาพการเคลื่อนที่นี้คือปริมาณใด

พิจารณาภาพ



ภาพที่ 1.9 จุดอ้างอิงและตำแหน่งของ A B และ C ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของรถไฟ

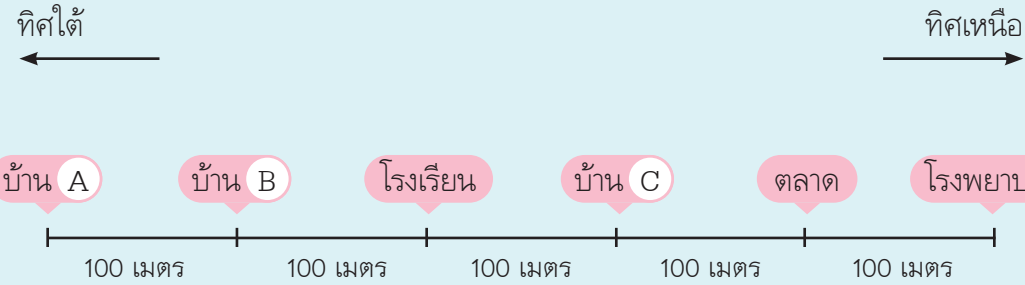
จากภาพ รถไฟกำลังเคลื่อนที่โดยมีทิศทางจากซ้ายไปขวาตามภาพ นาย A ยืนบนรถไฟ ส่วนนาย B และนาย C ยืนบนชานชาลารถไฟ

● เมื่อเทียบกับรถไฟ : นาย A หยุดนิ่ง

● เมื่อเทียบกับนาย B : นาย A อยู่ทางซ้ายของนาย B และกำลังเคลื่อนที่ห่างจากนาย B ทิศทางจากขวาไปซ้ายของนาย B

● เมื่อเทียบกับนาย C : นาย A อยู่ทางขวาของนาย C และกำลังเคลื่อนที่เข้าใกล้นาย C ทิศทางจากขวาไปซ้ายของนาย C

การศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุ เริ่มจากการพิจารณาถึงตำแหน่งที่ตั้งของวัตถุ เรียกว่า **ตำแหน่งของวัตถุ** (position) โดยต้องมีการระบุตำแหน่งนี้เปรียบเทียบกับจุดอ้างอิงจุดใดจุดหนึ่ง เพื่อความเข้าใจที่ตรงกัน เช่น ร้านอาหารอยู่ห่างจากเสาธง 20 เมตร ไปทางทิศใต้ ในที่นี้เสาธงเป็นจุดอ้างอิงของตำแหน่งร้านอาหารในทิศใต้ การระบุตำแหน่งของวัตถุ โดยกำหนดจุดอ้างอิงและทิศทางของวัตถุเปรียบเทียบกับจุดอ้างอิงนี้ เรียกว่า การกำหนด**จุดอ้างอิง** หากกำหนดจุดอ้างอิงที่แตกต่างกัน อาจทำให้วัตถุเดียวกัน มีลักษณะการเคลื่อนที่แตกต่างกันได้ เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่ของนาย A เมื่อเทียบกับตัวรถไฟ และการเคลื่อนที่ของนาย A เมื่อเทียบกับนาย B และนาย C



ตำแหน่งของบ้าน A บ้าน B โรงเรียน บ้าน C ตลาด และโรงพยาบาล

? ระบุตำแหน่งของโรงเรียน โดยใช้จุดอ้างอิงที่แตกต่างกัน 2 ตำแหน่ง

วัตถุเดียวกันอาจมีตำแหน่งแตกต่างกันได้ หากกำหนดจุดอ้างอิงและทิศทางของวัตถุนั้นเทียบกับจุดอ้างอิงแตกต่างกัน เช่น หากใช้โรงพยาบาลเป็นจุดอ้างอิง ตลาดจะอยู่ที่ตำแหน่ง 100 เมตร ไปทางทิศใต้ แต่หากใช้โรงเรียนเป็นจุดอ้างอิง ตลาดจะอยู่ที่ตำแหน่ง 200 เมตร ไปทางทิศเหนือ

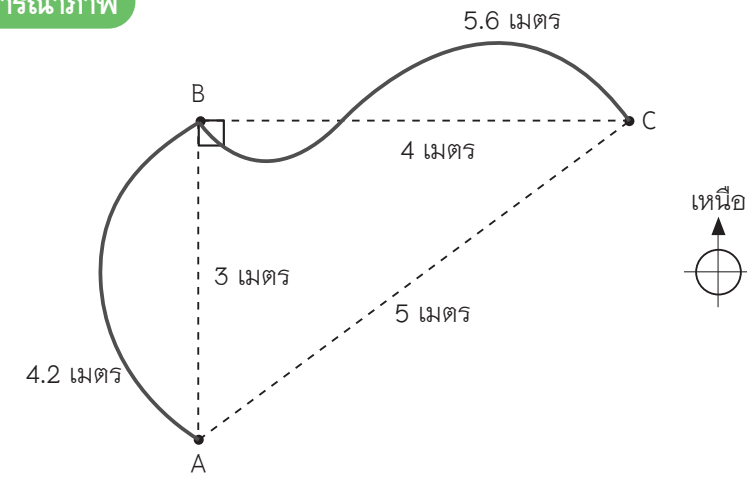
คำถามสำคัญ ?

จุดอ้างอิงและตำแหน่ง
จำเป็นต่อการอธิบายการเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร



2.2 ระยะทางและการกระจัด

พิจารณาภาพ



ภาพที่ 1.10 แนวการเดินทางจากตำแหน่ง A ไป B และ C

หมายเหตุ

เส้นโค้งที่บ่งแสดงแนว
การเดินทาง
จากตำแหน่ง A
ไป B และ C ตามลำดับ

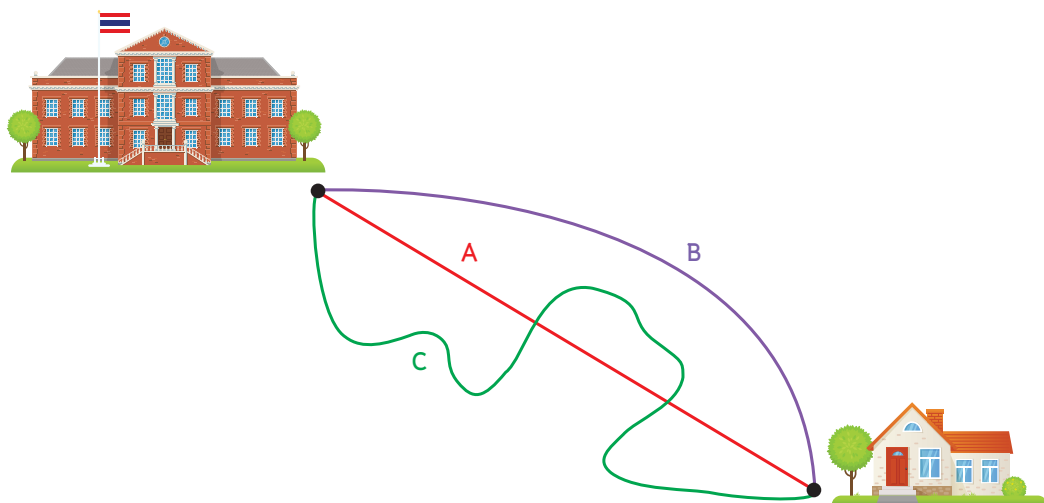
ระยะทาง (distance, s) คือ ความยาวของเส้นทางที่วัตถุเคลื่อนที่จริงของวัตถุจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสุดท้าย ระยะทางเป็นปริมาณสเกลาร์ที่ระบุเฉพาะขนาดโดยไม่ต้องพิจารณาทิศทาง มีหน่วยเป็น เมตร (m) พิจารณาจากภาพที่ 1.10 ระยะทางในการเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ไป B คือ 4.2 เมตร

- ? ระบุระยะทางจาก B ไป C
- ? ระบุระยะทางจาก C ไป B
- ? ระบุระยะทางจาก B ไป A

การกระจัด (displacement, s) คือ ปริมาณที่บ่งบอกการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจากการเคลื่อนที่ของวัตถุ การกระจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่ต้องระบุทั้งขนาดและทิศทาง ขนาดมีค่าเท่ากับระยะระหว่างตำแหน่งเริ่มต้นกับตำแหน่งสุดท้ายตามแนวเส้นตรง มีหน่วยเป็น เมตร (m) ส่วนทิศทางชี้จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสุดท้าย พิจารณาจากภาพที่ 1.10 การเคลื่อนที่จาก A ไป B จะมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง จากตำแหน่ง A ไปตำแหน่ง B หรือที่เรียกว่า การกระจัดจาก A ไป B คือ 3 เมตร ไปทางทิศเหนือ

- ? ระบุการกระจัดจาก B ไป C
- ? ระบุการกระจัดจาก C ไป B
- ? ระบุการกระจัดจาก B ไป A

พิจารณาภาพ การเดินทางจากโรงเรียนไปบ้านตามเส้นทางของพี่น้อง 3 คน ได้แก่ A B และ C ซึ่งเดินคนละเส้นทาง ดังนี้



ภาพที่ 1.11 การเดินทางจากโรงเรียนไปบ้านตามเส้นทางของ A B และ C

- ? ระยะทางของ A B และ C ที่เคลื่อนที่ได้ เท่ากันหรือไม่
หากไม่เท่ากัน ระยะทางตามเส้นทางใดมากที่สุด และระยะทางตามเส้นทางใดน้อยที่สุด
- ? การกระจัดของ A B และ C ที่เคลื่อนที่ได้ เท่ากันหรือไม่
หากไม่เท่ากัน การกระจัดตามเส้นทางใดมากที่สุด และการกระจัดตามเส้นทางใดน้อยที่สุด



เพิ่มเติมเสริมความรู้

ปริมาณทางกายภาพแบ่งเป็น ปริมาณสเกลาร์ และปริมาณเวกเตอร์

ปริมาณสเกลาร์

เป็นปริมาณที่มีแต่ขนาด
เช่น ระยะทาง อัตราเร็ว มวล

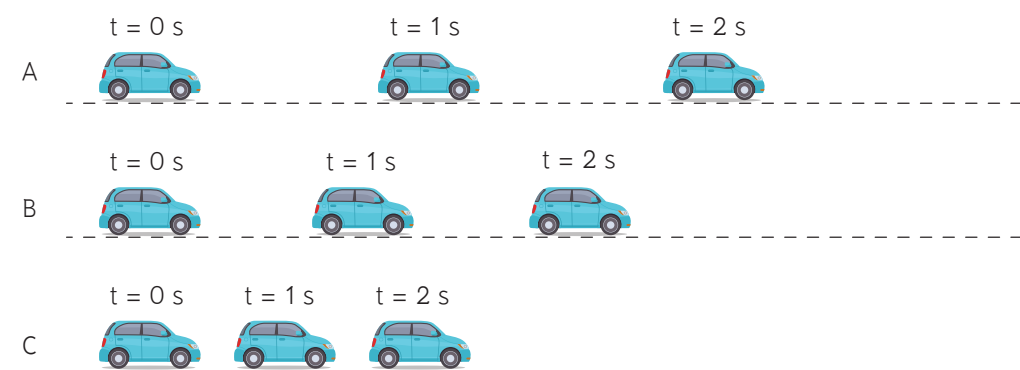
ปริมาณเวกเตอร์

เป็นปริมาณที่มีทั้งขนาดและทิศทาง
เช่น การกระจัด ความเร็ว ความเร่ง

2.3 อัตราเร็วและความเร็ว

อัตราเร็ว (speed, v) คือ ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s) เช่น วัตถุมีอัตราเร็ว 5 เมตรต่อวินาที หมายถึง วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 5 เมตร ภายในเวลา 1 วินาที อัตราเร็วเป็นปริมาณสเกลาร์ เนื่องจากไม่คำนึงถึงทิศทาง

พิจารณาภาพ การเคลื่อนที่ของรถยนต์ A B และ C โดยเริ่มต้นที่วินาทีที่ 0 ($t = 0$ s) วินาทีที่ 1 ($t = 1$ s) และวินาทีที่ 2 ($t = 2$ s) ตามลำดับ



ภาพที่ 1.12 การเคลื่อนที่ของรถยนต์ A B และ C ในแนวตรง

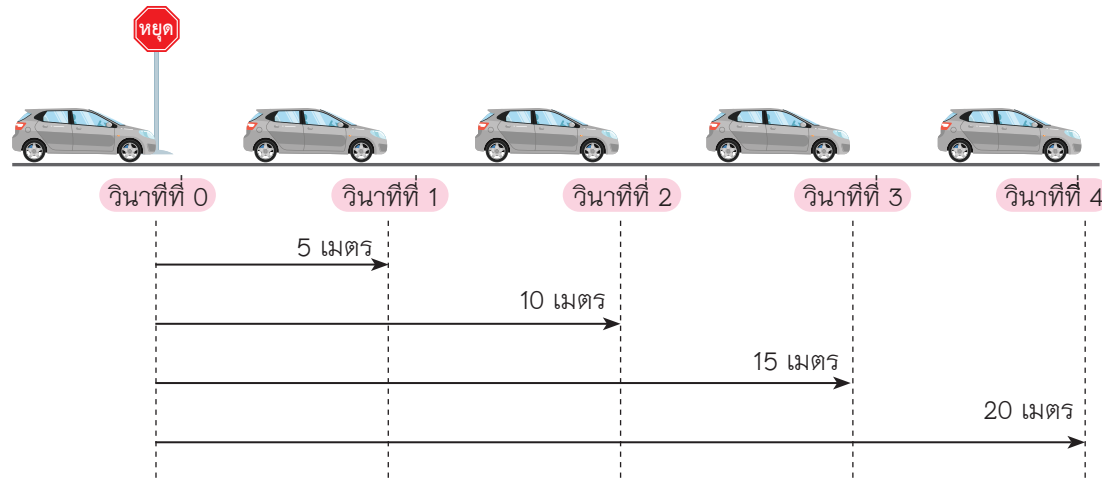
- ? อัตราเร็วของรถคันใดมีค่าน้อยที่สุด และอัตราเร็วของรถคันใดมีค่ามากที่สุด ทราบได้อย่างไร
- ? ถ้ากล่าวว่า รถยนต์ทั้งสามคันนี้ เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว (constant speed) จะอธิบายคำกล่าวข้างต้นนี้ว่าเป็นจริง ด้วยเหตุผลใด

จากคำถามข้างต้น เพื่อน ๆ อธิบายได้ดีหรือไม่
สนใจปรับปรุงอะไรอีกบ้าง



พิจารณาภาพ

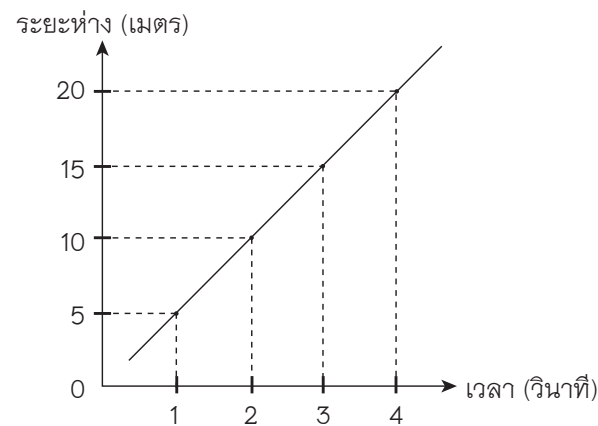
การเคลื่อนที่ของรถยนต์ด้วยอัตราเร็วคงตัว 5 เมตรต่อวินาที เริ่มต้นเคลื่อนที่ผ่านป้ายจราจร



ภาพที่ 1.13 การเคลื่อนที่ของรถยนต์ด้วยอัตราเร็วคงตัว 5 เมตรต่อวินาที

วินาทีที่ 1	รถยนต์เคลื่อนที่ได้ระยะทาง	5 เมตร	อยู่ห่างจากป้ายจราจร	5 เมตร
วินาทีที่ 2	รถยนต์เคลื่อนที่ได้ระยะทางอีก	5 เมตร	อยู่ห่างจากป้ายจราจร	10 เมตร
วินาทีที่ 3	รถยนต์เคลื่อนที่ได้ระยะทางอีก	5 เมตร	อยู่ห่างจากป้ายจราจร	15 เมตร
วินาทีที่ 4	รถยนต์เคลื่อนที่ได้ระยะทางอีก	5 เมตร	อยู่ห่างจากป้ายจราจร	20 เมตร

เมื่อนำข้อมูลของระยะทางของรถยนต์ไปยังป้ายจราจรที่เวลาต่างๆ ไปเขียนกราฟ จะได้ดังนี้



กราฟ ระยะทางของรถยนต์ไปยังป้ายจราจรที่เวลาต่าง ๆ

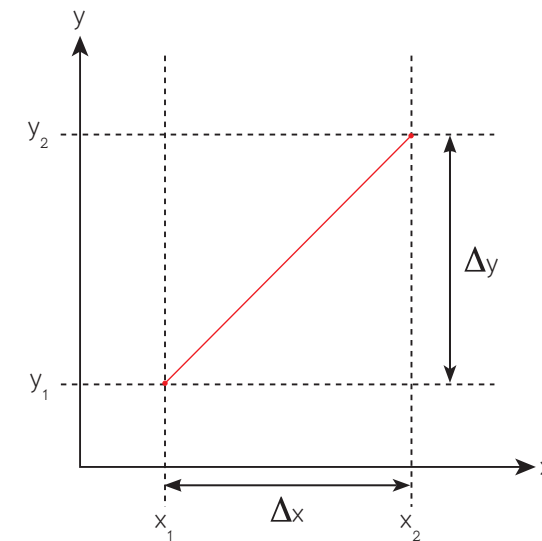
- ? ที่วินาทีที่ 5 รถยนต์จะเคลื่อนที่ได้ระยะทางอีกเท่าไร และจะอยู่ห่างจากป้ายจราจรเป็นระยะเท่าไร
- ? ถ้ามีรถยนต์อีกคันเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว 10 เมตรต่อวินาที เริ่มต้นเคลื่อนที่จากป้ายจราจรนี้เช่นกัน เขียนกราฟแสดงระยะทาง-เวลาของรถยนต์คันนี้

นักฟิสิกส์พยายามอธิบายสิ่งต่าง ๆ ในรูปแบบของสมการ (equation) ในเชิงคณิตศาสตร์ โดยหากพิจารณาจากสมการ จะมีรายละเอียดของความสัมพันธ์ของปริมาณที่เกี่ยวข้องกับสิ่งนั้น ๆ อยู่ ซึ่งจากสมการนี้สามารถนำไปใช้พยากรณ์หรือคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นภายใต้ความสัมพันธ์ตามเงื่อนไขเดิมนั้นได้อย่างถูกต้อง

สมการที่ใช้ในการอธิบายอัตราเร็ว ซึ่งเป็นปริมาณที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่เคลื่อนที่ได้กับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เป็นดังนี้

$$\text{อัตราเร็วเฉลี่ย (average speed)} = \frac{\text{ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ (เมตร)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)}} \quad v_{av} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

ข้อมูลจากกราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในแกนนอน (แกน x) และแกนตั้ง (แกน y) ประการหนึ่ง เรียกว่า **ความชัน** (slope) โดยความชันมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงของปริมาณในแกนตั้ง (Δy) กับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณในแกนนอน (Δx)



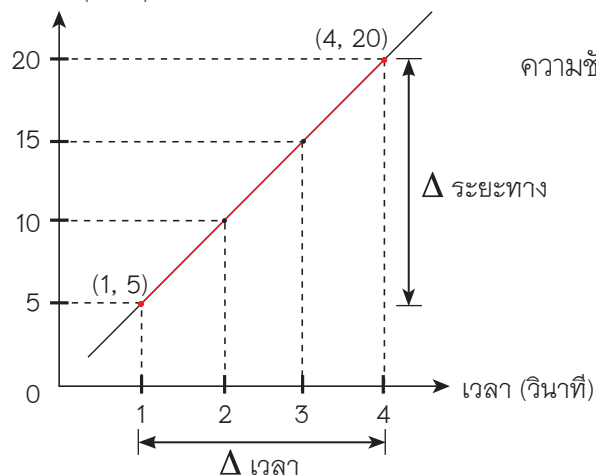
กราฟ ความสัมพันธ์ของตัวแปรแกนตั้งและตัวแปรแกนนอน

$$\text{ความชัน (slope)} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

EXAMPLE

ตัวอย่าง

ระยะทาง (เมตร)

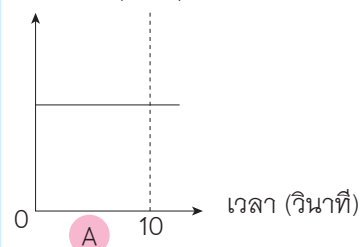


กราฟ ความสัมพันธ์ของระยะทางกับเวลา

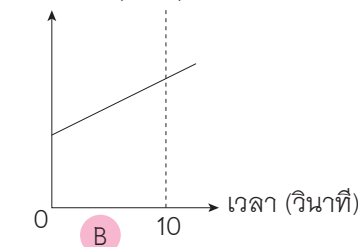
พิจารณากราฟ

ความสัมพันธ์ของระยะทางกับเวลาของวัตถุ A B และ C

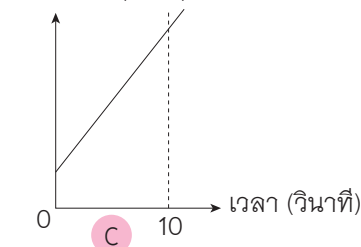
ระยะทาง (เมตร)



ระยะทาง (เมตร)



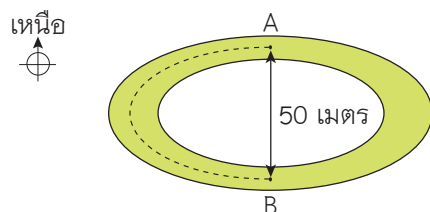
ระยะทาง (เมตร)



วัตถุ A มีลักษณะการเคลื่อนที่อย่างไร อธิบายจากกราฟได้อย่างไร

วัตถุ B และวัตถุ C วัตถุชนิดใดเคลื่อนที่ได้เร็วกว่ากัน อธิบายจากกราฟได้อย่างไร

ลู่วิ่งแห่งหนึ่งเป็นรูปวงรี ดังภาพ โดยระยะทาง 1 รอบ มีค่าเท่ากับ 200 เมตร



ภาพที่ 1.14 ลู่วิ่งรูปวงรี

- ถ้านักวิ่งสามารถวิ่งได้ครบ 1 รอบ ในเวลา 20 วินาที อัตราเร็วเฉลี่ยในการวิ่งของนักวิ่งเป็นเท่าไร
- ถ้านักวิ่งวิ่งได้ครึ่งรอบ (จาก A ไป B) ในเวลา 5 วินาที อัตราเร็วเฉลี่ยในการวิ่งของนักวิ่งเป็นเท่าไร

อัตราเร็วที่อ่านได้จากมาตรวัดในรถยนต์ที่แสดงถึงอัตราเร็ว ณ เวลานั้น เรียกว่า อัตราเร็วขณะใดขณะหนึ่ง (instantaneous speed) เช่น มาตรวัดในรถยนต์แสดงที่ตัวเลข 60 หมายความว่า รถยนต์คันนี้มีอัตราเร็วขณะใดขณะหนึ่งเท่ากับ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 16.67 เมตรต่อวินาที ซึ่งบอกขนาดการเคลื่อนที่ของรถยนต์ แต่ไม่ได้ระบุทิศทางการเคลื่อนที่



ภาพที่ 1.15 มาตรอัตราเร็วแสดงค่าของอัตราเร็วขณะหนึ่งของรถยนต์

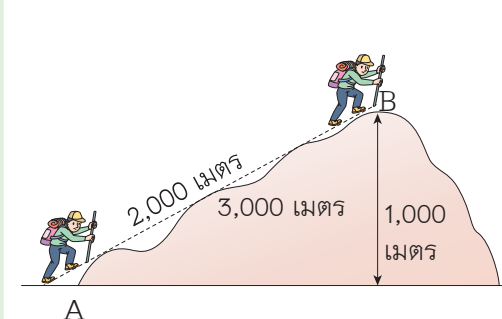
ความเร็ว (velocity, $\vec{v}$) คือ การกระจัดที่เปลี่ยนแปลงไปในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s) การกระจัดและความเร็วต่างเป็นปริมาณเวกเตอร์ เนื่องจากต้องระบุทิศทางการเคลื่อนที่กำกับด้วยเสมอ ความเร็วจะมีทิศเดียวกันกับทิศของการเปลี่ยนแปลงการกระจัด เช่น วัตถุมีความเร็ว 5 เมตรต่อวินาที ไปทางทิศเหนือ หมายถึง วัตถุมีการกระจัดเปลี่ยนแปลงไป 5 เมตร ภายในเวลา 1 วินาที ไปทางทิศเหนือ

ในกรณีที่วัตถุมีการเคลื่อนที่ในแนวตรงในทิศทางเดียว เช่น รถยนต์กำลังแล่นอยู่บนถนนที่เป็นทางตรง จะพบว่า ระยะทางและขนาดของการกระจัดจะมีค่าเท่ากัน ในช่วงเวลาเดียวกัน ในกรณีนี้ความเร็วจึงมีขนาดเท่ากับอัตราเร็วของวัตถุ

ในการเคลื่อนที่ช่วงใดช่วงหนึ่ง จะสามารถพิจารณาว่าวัตถุนั้น “เสมือน” เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวค่าหนึ่งเรียกว่า **ความเร็วเฉลี่ย** (average velocity, $\vec{v}_{av}$) มีค่าเท่ากับ การกระจัดระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดสุดท้ายของการเคลื่อนที่ต่อเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ทั้งหมด ความเร็วเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$\text{ความเร็วเฉลี่ย} = \frac{\text{การกระจัดระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดสุดท้ายของการเคลื่อนที่ (เมตร)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ทั้งหมด (วินาที)}} \quad \vec{v}_{av} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$$

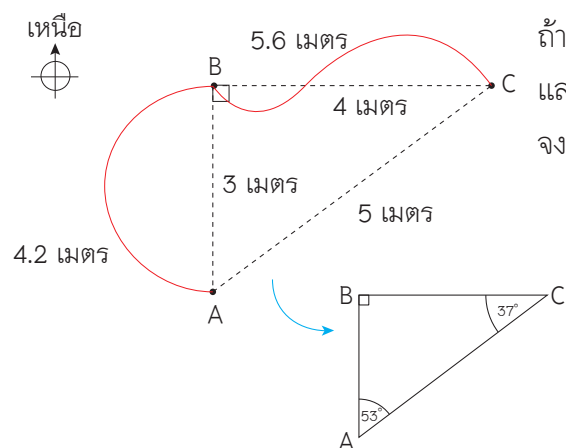
นักปีนเขาปีนเขาสูง 1,000 เมตร จากเชิงเขา (ตำแหน่ง A) ไปยังยอดเขา (ตำแหน่ง B) หากนักปีนเขาใช้เวลาในการปีนเขา 1 ชั่วโมง



ภาพที่ 1.16 ระยะทางปีนเขาจาก A ไป B

- จุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่คือตำแหน่งใด
- จุดสุดท้ายของการเคลื่อนที่คือตำแหน่งใด
- ระยะทางจริงที่นักปีนเขาเคลื่อนที่ได้มีค่าเท่าใด
- การกระจัดที่นักปีนเขาเคลื่อนที่ได้มีค่าเท่าใด
- ความเร็วเฉลี่ยในการปีนเขาของนักปีนเขามีค่าเท่าใด

ตัวอย่าง



ภาพที่ 1.17 การเคลื่อนที่ของวัตถุจาก A ไป B และ C

ถ้าวัตถุหนึ่งใช้เวลาในการเคลื่อนที่จาก A ไป B และ B ไป C เท่ากับ 3 วินาที และ 8 วินาที ตามลำดับ จงหา

1. ความเร็วเฉลี่ยในช่วงการเคลื่อนที่จาก A ไป B
2. ความเร็วเฉลี่ยในช่วงการเคลื่อนที่จาก B ไป C
3. ความเร็วเฉลี่ยในช่วงการเคลื่อนที่จาก A ไป C

วิธีทำ 1. พิจารณาจาก A ไป B

$$\text{จาก} \quad \vec{v}_{AB} = \frac{\text{การกระจัดจาก A ไป B}}{\text{เวลาที่ใช้จาก A ไป B}}$$

$$\vec{v}_{AB} = \frac{\Delta \vec{r}_{AB}}{\Delta t_{AB}}$$

$$\text{ขนาดของ} \quad \vec{v}_{AB} = \frac{3}{3} \quad \begin{matrix} \text{เมตร} \\ \text{วินาที} \end{matrix}$$

$$\text{ดังนั้น ขนาดของ} \quad \vec{v}_{AB} = 1 \quad \text{เมตรต่อวินาที}$$

ตอบ ความเร็วเฉลี่ยในช่วงการเคลื่อนที่จาก A ไป B เท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที (m/s) และมีทิศไปทางทิศเหนือ ↑ (ตามทิศของจุดสุดท้าย B เทียบกับจุดเริ่มต้น A หรือทิศของการกระจัดจาก A ไป B)

2. พิจารณาจาก B ไป C

$$\text{จาก} \quad \vec{v}_{BC} = \frac{\text{การกระจัดจาก B ไป C}}{\text{เวลาที่ใช้จาก B ไป C}}$$

$$\vec{v}_{BC} = \frac{\Delta \vec{r}_{BC}}{\Delta t_{BC}}$$

$$\text{ขนาดของ} \quad \vec{v}_{BC} = \frac{4}{8} \quad \begin{matrix} \text{เมตร} \\ \text{วินาที} \end{matrix}$$

$$\text{ดังนั้น ขนาดของ} \quad \vec{v}_{BC} = 0.5 \quad \text{เมตรต่อวินาที}$$

ตอบ ความเร็วเฉลี่ยในช่วงการเคลื่อนที่จาก B ไป C เท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที (m/s) และมีทิศไปทางทิศตะวันออก → (ตามทิศของจุดสุดท้าย C เทียบกับจุดเริ่มต้น B หรือทิศของการกระจัดจาก B ไป C)

3. พิจารณาจาก A ไป C

$$\text{จาก} \quad \vec{v}_{AC} = \frac{\text{การกระจัดจาก A ไป C}}{\text{เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จาก A ไป C}}$$

$$\vec{v}_{AC} = \frac{\Delta \vec{r}_{AC}}{\Delta t_{AC}}$$

$$\text{ขนาดของ} \quad \vec{v}_{AC} = \frac{5}{3+8} \quad \begin{matrix} \text{เมตร} \\ \text{วินาที} \end{matrix}$$

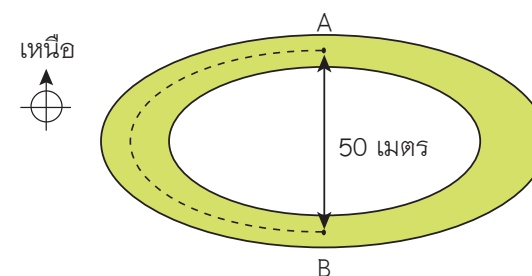
$$\vec{v}_{AC} = \frac{5}{11} \quad \begin{matrix} \text{เมตร} \\ \text{วินาที} \end{matrix}$$

$$\text{ดังนั้น ขนาดของ} \quad \vec{v}_{AC} = 0.45 \quad \text{เมตรต่อวินาที}$$

ตอบ ความเร็วเฉลี่ยในช่วงการเคลื่อนที่จาก A ไป C เท่ากับ 0.45 เมตรต่อวินาที (m/s) (มีทิศชี้จาก A ไป C)

พิจารณาข้อมูล และคำถามดังต่อไปนี้

ลู่วิ่งแห่งหนึ่งเป็นรูปวงรี ดังภาพ โดยระยะทาง 1 รอบ มีค่าเท่ากับ 200 เมตร

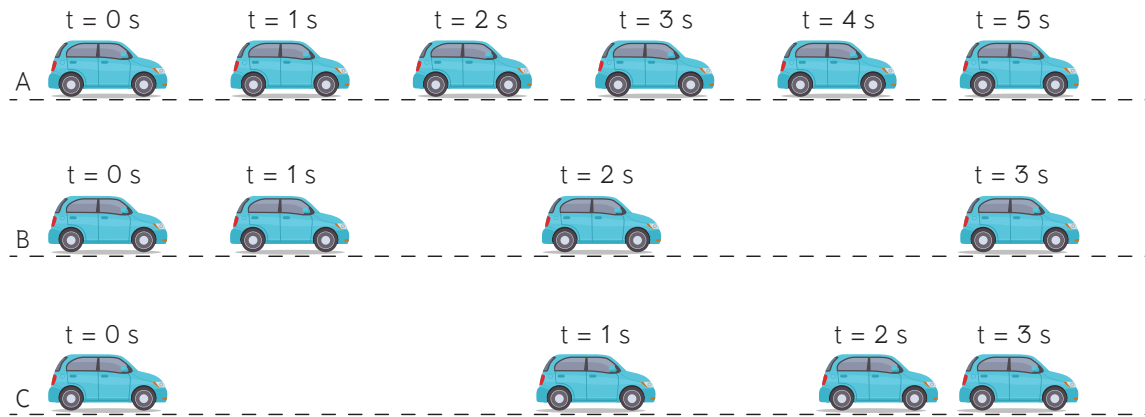


ภาพที่ 1.18 ลู่วิ่งรูปวงรี

- ❓ ถ้านักวิ่งสามารถวิ่งได้ครบ 1 รอบ ในเวลา 20 วินาที ความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งของนักวิ่งเป็นอย่างไร
- ❓ ถ้านักวิ่งวิ่งได้ครึ่งรอบ (จาก A ไป B) ในเวลา 5 วินาที ความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งของนักวิ่งเป็นอย่างไร
- ❓ นายเอกขับรถจากกรุงเทพมหานครไปเชียงใหม่ ซึ่งเป็นระยะทาง 700 กิโลเมตร ในเวลา 6 ชั่วโมง ถ้าตาม พ.ร.บ. จราจรทางบก ห้ามขับรถด้วยอัตราเร็วเกิน 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมงระหว่างจังหวัด นายเอกทำผิดกฎหมายหรือไม่ อย่างไร

2.4 ความเร่ง

ในชีวิตประจำวันการเคลื่อนที่จริงของวัตถุที่เราพบเห็น มีอัตราการเคลื่อนที่ที่ไม่สม่ำเสมอ ตลอดทั้งการเคลื่อนที่ หรือเรียกว่ามี **อัตราเร็วไม่คงตัว** เช่น รถยนต์ที่เคลื่อนที่จากบ้านมาโรงเรียน ถ้าเส้นทางนั้นมีจำนวนรถบนถนนน้อย รถยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้สะดวก อัตราเร็วของรถจะมาก ต่อมาพบสัญญาณไฟจราจรเป็นสีแดง จึงต้องหยุดรถ อัตราเร็วของรถจึงลดลงจนหยุดสนิท หรืออัตราเร็วเป็นศูนย์ และเมื่อสัญญาณไฟจราจรเป็นสีเขียวจึงเร่งรถ อัตราเร็วของรถจึงเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 1.19 การเคลื่อนที่ของรถยนต์ A B และ C บนทางตรงในช่วงเวลาต่าง ๆ

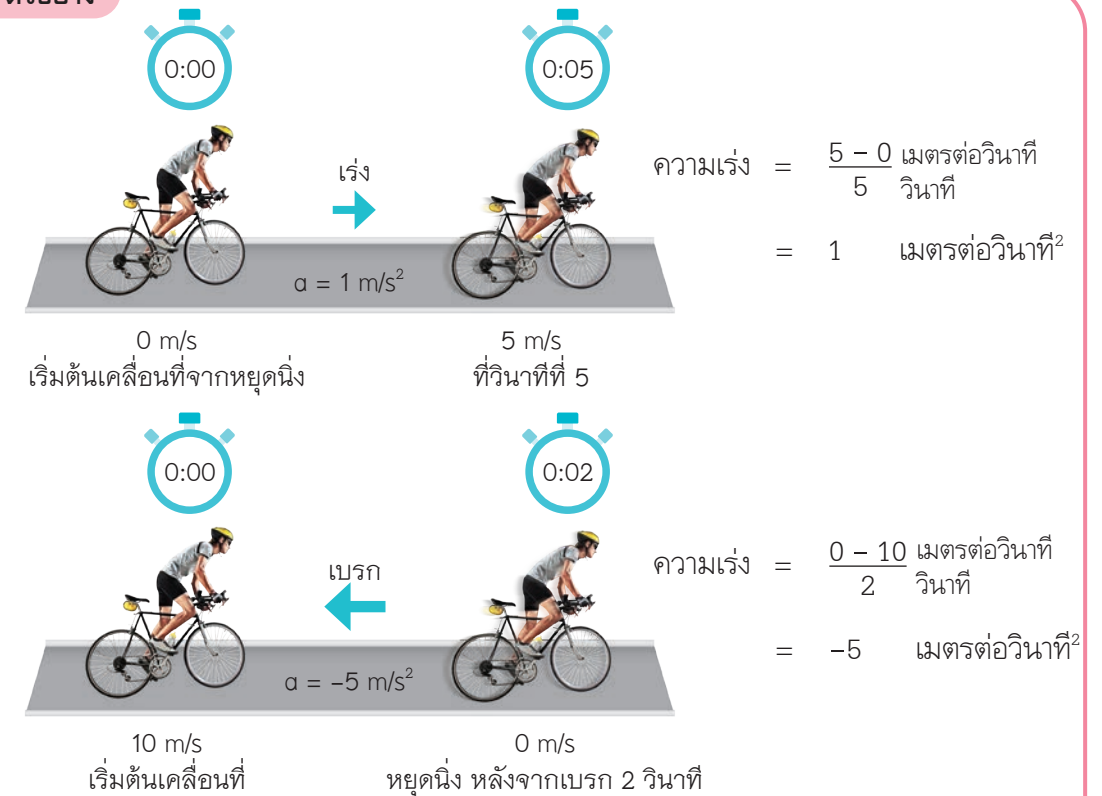
พิจารณาการเคลื่อนที่ของรถยนต์ A B และ C บนทางตรงในช่วงเวลาหนึ่ง พบว่า

- รถยนต์ A เคลื่อนที่ได้ระยะทางในแต่ละช่วงเวลาเท่ากันตลอด หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งช่วงเวลามีค่าเท่ากัน เรียกว่า รถยนต์ A **มีความเร็วคงตัว**
- รถยนต์ B เคลื่อนที่ได้ระยะทางเพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลา หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งช่วงเวลามีค่าเพิ่มขึ้น เรียกว่า รถยนต์ B **มีความเร็วเพิ่มขึ้น** ในทุก ๆ วินาที หรือรถยนต์ B เคลื่อนที่ด้วย **ความเร่ง**
- รถยนต์ C เคลื่อนที่ได้ระยะทางลดลงในแต่ละช่วงเวลา หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งช่วงเวลามีค่าลดลง เรียกว่า รถยนต์ C **มีความเร็วลดลง** ในทุก ๆ วินาที หรือรถยนต์ C เคลื่อนที่ด้วย **ความหน่วง**

ความเร่ง (acceleration, a) คือ การเปลี่ยนแปลงความเร็วในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที² (m/s^2) ความเร่งเป็นปริมาณเวกเตอร์ จึงต้องระบุทั้งขนาดและทิศทาง เช่น วัตถุมีความเร่ง 5 เมตรต่อวินาที² ไปทางทิศเหนือ หมายถึง วัตถุมีความเร็วเปลี่ยนแปลงไป 5 เมตรต่อวินาที ภายในเวลา 1 วินาทีไปทางทิศเหนือ ค่าความเร่งสามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$\text{ความเร่ง} = \frac{\text{ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป (เมตรต่อวินาที)}}{\text{ช่วงเวลาที่ความเร็วเปลี่ยนแปลง (วินาที)}} \quad \vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_{\text{ปลาย}} - \vec{v}_{\text{ต้น}}}{\Delta t}$$

ตัวอย่าง



ภาพที่ 1.20 ความเร่งของรถจักรยาน

ความหน่วง

เป็นความเร่งในทิศตรงข้ามกับการเคลื่อนที่

สำหรับกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่เป็นแนวตรง หากพบว่ามีความเร็วเพิ่มขึ้น แสดงว่าวัตถุกำลังเคลื่อนที่ภายใต้ความเร่ง ในกรณีตรงข้าม หากความเร็วลดลง แสดงว่าวัตถุกำลังเคลื่อนที่ภายใต้ความหน่วง

กิจกรรมที่ 1.2 เครื่องเคาะสัญญาณเวลา

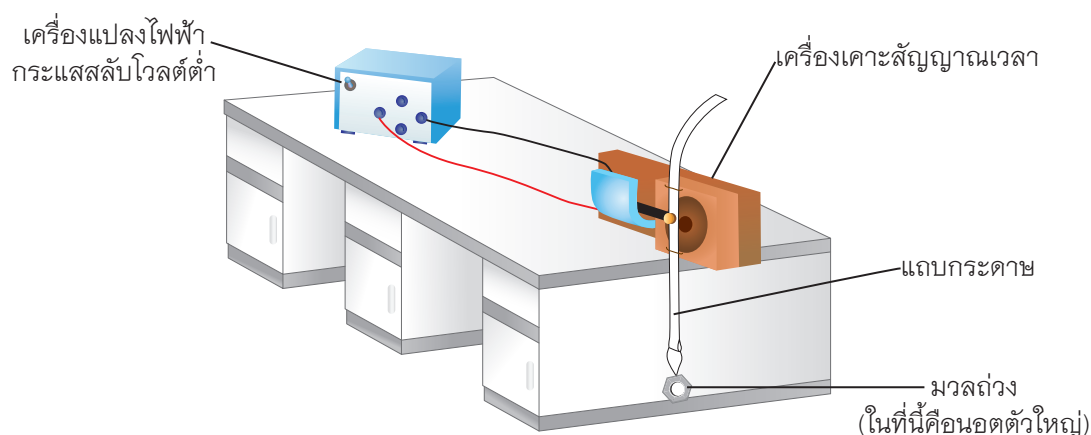
วัสดุอุปกรณ์

- | | |
|--|--------|
| 1. ชุดเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ประกอบด้วย
เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับโวลต์ต่ำ สายไฟฟ้า
และเครื่องเคาะสัญญาณเวลา | 1 ชุด |
| 2. แถบกระดาษ | 6 แถบ |
| 3. กระดาษคาร์บอน (สำหรับเครื่องเคาะสัญญาณเวลา) | 1 แผ่น |
| 4. รางไม้ | 1 อัน |
| 5. ไม้เมตร | 1 อัน |
| 6. รถทดลอง | 1 คัน |
| 7. นอตตัวใหญ่ | 3 ตัว |
| 8. กระดาษกาว | 1 ม้วน |

ตอนที่ 1

วิธีทำ

- นักเรียนแบ่งกลุ่ม แต่ละกลุ่มร่วมกันนำแถบกระดาษติดกับนอตตัวใหญ่ 1 ตัว
แล้วนำแถบกระดาษสอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ดังภาพ
โดยให้แถบกระดาษอยู่ใต้กระดาษคาร์บอนบนเครื่องเคาะสัญญาณเวลา



ภาพที่ 1.21 การทดลอง การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรี ตอนที่ 1

- เปิดสวิตช์เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับโวลต์ต่ำพร้อมกับปล่อยให้นอตตัวใหญ่ที่ติด
แถบกระดาษตกลงมา สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนแถบกระดาษ และนำแถบกระดาษ
ที่ได้มาติดในบันทึกผลการทำกิจกรรม
- ทำซ้ำข้อ 1-2 แต่ใช้นอตตัวใหญ่ 2 และ 3 ตัว ตามลำดับ เปรียบเทียบจุดบนแถบกระดาษที่ได้

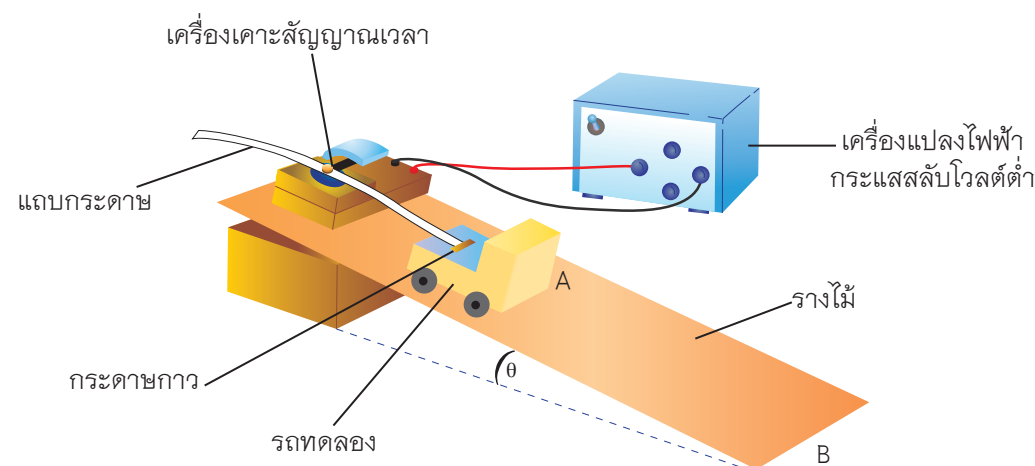
คำถามสำคัญ ?

ระยะระหว่างจุดที่ปรากฏบนแถบกระดาษ
จากเครื่องเคาะสัญญาณเวลา
มีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
และแถบกระดาษดังกล่าว สามารถบอก
ลักษณะการเคลื่อนที่ได้อย่างไร

ตอนที่ 2

วิธีทำ

- นักเรียนแบ่งกลุ่ม แต่ละกลุ่มร่วมกันตั้งรางไม้ให้มุม θ ที่รางไม้กระทำต่อแนวราบมากพอ
ที่ทำให้รถทดลองเคลื่อนที่ลงมาตามรางไม้ได้
- ใช้กระดาษกาวติดแถบกระดาษกับรถทดลอง แล้วนำแถบกระดาษสอดผ่านเครื่องเคาะ
สัญญาณเวลา
- เปิดสวิตช์เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับโวลต์ต่ำพร้อมกับปล่อยให้รถทดลองเคลื่อนที่ลงมา
ตามพื้นเอียง (จาก A ไป B) สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนแถบกระดาษ นำแถบกระดาษ
ที่ได้มาติดในบันทึกผลการทำกิจกรรม
- ทำซ้ำข้อ 2-3 แต่เพิ่มมุม θ ให้รางไม้ชันขึ้น เปรียบเทียบจุดบนแถบกระดาษที่ได้

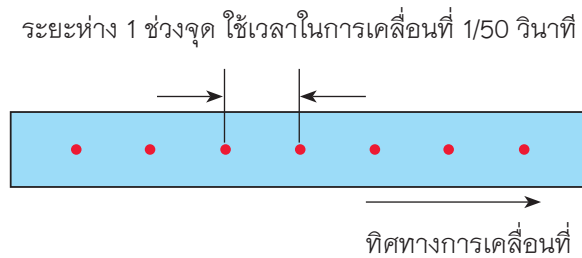


ภาพที่ 1.22 การทดลอง การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรี ตอนที่ 2

- ❓ ระยะห่างระหว่างช่วงจุดบนแถบกระดาษสามารถบอกสิ่งใดได้
- ❓ จากผลการทดลองตอนที่ 1 ระยะห่างระหว่างช่วงจุดมีลักษณะอย่างไร
และอธิบายได้ว่าอย่างไร
- ❓ จากผลการทดลองตอนที่ 1 ระยะห่างระหว่างช่วงจุด จากการใช้นอต 1 ตัว 2 ตัว และ 3 ตัว
มีลักษณะเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร เมื่อวัดจากจุดเริ่มต้น
- ❓ สรุปผลการทดลองตอนที่ 1 ได้อย่างไร
- ❓ จากผลการทดลองตอนที่ 2 เมื่อเอียงรางไม้ด้วยมุมที่ต่างกัน ระยะห่างระหว่างช่วงจุดที่ได้
เหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร
- ❓ สรุปผลการทดลองตอนที่ 2 ได้อย่างไร

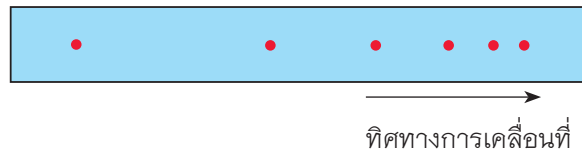
เครื่องเคาะสัญญาณเวลา (ticker timer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้บันทึกการเคลื่อนที่ของวัตถุ เพื่อหาความเร็วและความเร่ง โดยเมื่อต่อเครื่องเคาะสัญญาณเวลากับเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ โวลต์ต่ำ ทำให้คันเคาะสั่นด้วยความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับประมาณ 50 ครั้งต่อวินาที เมื่อตั้งแถบกระดาษที่สอดใต้กระดาษคาร์บอนตามการเคลื่อนที่ของวัตถุทำให้เกิดจุดบนกระดาษ ดังนั้น จุดที่ปรากฏบนแถบกระดาษนี้สามารถนำไปวิเคราะห์และคำนวณหาระยะทางและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ โดยระยะเวลาระหว่างจุดสองจุดบนแถบกระดาษที่เรียงกันเท่ากับ $1/50$ วินาที ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการหาอัตราเร็วของวัตถุได้

ถ้าระยะห่างระหว่างช่วงจุดคงที่
แสดงว่า แถบกระดาษเคลื่อนที่
ด้วยความเร็วคงตัว



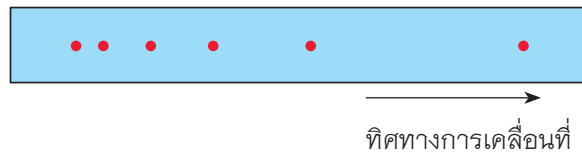
ภาพที่ 1.23 แถบกระดาษบันทึกการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว

ถ้าระยะห่างระหว่างช่วงจุดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แสดงว่า
แถบกระดาษเคลื่อนที่
ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น
หรือแถบกระดาษเคลื่อนที่ด้วย
ความเร่ง



ภาพที่ 1.24 แถบกระดาษบันทึกการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง

ถ้าระยะห่างระหว่างช่วงจุดลดลงเรื่อย ๆ แสดงว่า
แถบกระดาษเคลื่อนที่
ด้วยความเร็วลดลง
หรือแถบกระดาษเคลื่อนที่ด้วย
ความหน่วง



ภาพที่ 1.25 แถบกระดาษบันทึกการเคลื่อนที่ด้วยความหน่วง

ในกรณีที่วัตถุมีความเร็วเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ มีการเปลี่ยนขนาดของความเร็ว หรือมีการเปลี่ยนทิศของความเร็ว หรือมีการเปลี่ยนทั้งขนาดและทิศความเร็ว จะเรียกว่า วัตถุจะเคลื่อนที่ภายใต้ความเร่ง หากพิจารณาการเคลื่อนที่ช่วงหนึ่ง ซึ่งถือว่าอัตราเร็วเปลี่ยนแปลงความเร็วนั้นมีค่าคงตัว เรียกว่า วัตถุนั้นเคลื่อนที่ภายใต้ความเร่งเฉลี่ย (average acceleration, $\vec{a}_{av}$) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$

เมื่อให้วัตถุเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 1 ไปตำแหน่งที่ 2

$\vec{a}_{av}$ = ความเร่งเฉลี่ย มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที² (m/s^2)

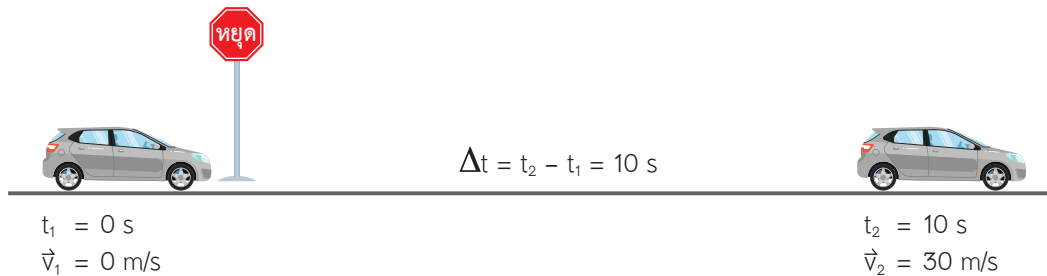
$\vec{v}_1$ = ความเร็วที่ตำแหน่งที่ 1 ณ จุดเริ่มต้นหรือความเร็วต้น (ขณะเวลา t_1)
มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

$\vec{v}_2$ = ความเร็วที่ตำแหน่งที่ 2 ณ จุดเริ่มต้นหรือความเร็วปลาย (ขณะเวลา t_2)
มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

Δt = เวลาที่ใช้ตลอดการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็น วินาที (s)

ตัวอย่าง

รถยนต์คันหนึ่งเริ่มเคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง จนกระทั่งมีความเร็วเท่ากับ 108 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภายใน 10 วินาที รถยนต์คันนี้มีความเร่งเท่าใด



วิธีทำ

กำหนดให้ v_1 เท่ากับ 0 เมตรต่อวินาที และ v_2 เท่ากับ 108 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

เปลี่ยนหน่วยจากกิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็น เมตรต่อวินาที

จาก 1 กิโลเมตร เท่ากับ 1,000 เมตร และ 1 ชั่วโมง เท่ากับ 3,600 วินาที

$$\text{จะได้ว่าขนาดของ } v_2 = \frac{108 \times 1,000}{3,600} \text{ เมตรต่อวินาที}$$

$$\text{ดังนั้น ขนาดของ } v_2 = 30 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

$$\text{จาก } a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$$\text{ขนาดของ } a_{av} = \frac{30 - 0}{10 - 0} \text{ เมตรต่อวินาที}^2$$

$$\text{ดังนั้น ขนาดของ } a_{av} = 3 \text{ เมตรต่อวินาที}^2$$

ตอบ รถยนต์คันนี้มีความเร่งเท่ากับ 3 เมตรต่อวินาที² (m/s²) และมีทิศเดียวกับทิศของความเร็ว หมายความว่า รถยนต์เพิ่มความเร็ว 3 เมตรต่อวินาทีอย่างสม่ำเสมอ

❓ เป็นไปได้หรือไม่ที่วัตถุจะมีความเร่งเป็นศูนย์ แต่มีความเร็วไม่เป็นศูนย์ อธิบายประกอบคำตอบ

❓ เป็นไปได้หรือไม่ที่วัตถุจะมีความเร็วเป็นศูนย์ แต่มีความเร่งไม่เป็นศูนย์ อธิบายประกอบคำตอบ

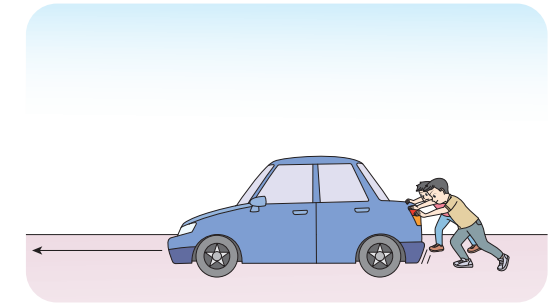
❓ รถยนต์ A และรถยนต์ B มีความเร่งเท่ากัน จะมีความเร็วเท่ากันหรือไม่ อธิบายประกอบคำตอบ

3.

แรง

3.1 ธรรมชาติของแรง

เมื่อนักเรียนผลักท้ายรถที่จอดนิ่งด้วยแรงที่เหมาะสม รถจะเริ่มเคลื่อนที่ และถ้าเรายังคงออกแรงผลักต่อไปอีก รถก็จะเคลื่อนที่เร็วขึ้น แต่ถ้าหากขณะที่รถกำลังเคลื่อนที่ไปข้างหน้า แต่เราออกแรงผลักในทิศทางตรงข้ามกับที่รถกำลังเคลื่อนที่ รถจะเคลื่อนที่ช้าลง แสดงว่าแรงที่กระทำต่อรถมีผลต่อการเคลื่อนที่ของรถ จากสถานการณ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าแรงที่กระทำต่อวัตถุจะทำให้วัตถุมีความเร็วเปลี่ยนไป ซึ่งอาจเปลี่ยนเฉพาะขนาดของความเร็ว หรือเปลี่ยนเฉพาะทิศทางของความเร็วก็ได้ หรือเปลี่ยนทั้งสองอย่างก็ได้ เราเรียกสภาพการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุนี้ว่า **การเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ** จึงอาจกล่าวได้อีกแบบหนึ่งว่า แรงสามารถทำให้วัตถุเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่



ภาพที่ 1.26 แรงในการผลักรถแนวระดับ

คำถามสำคัญ ?

แรงคืออะไร

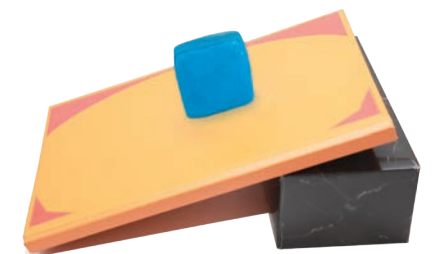
กิจกรรมที่ 1.3 ผลของแรงต่อวัตถุ

วัสดุอุปกรณ์

1. ดินน้ำมันก้อนใหญ่ 1 ก้อน
2. สมุดหรือหนังสือ 1 เล่ม

วิธีทำ

1. นักเรียนแบ่งกลุ่ม แต่ละกลุ่มร่วมกันนำดินน้ำมันมาปั้นเป็นก้อนทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก
2. นำดินน้ำมันที่ปั้นแล้วไปวางไว้บนโต๊ะราบ สังเกตการเปลี่ยนแปลง
3. ผลักก้อนดินน้ำมันเบา ๆ สังเกตการเปลี่ยนแปลง
4. ผลักก้อนดินน้ำมันให้แรงขึ้น สังเกตการเปลี่ยนแปลง
5. จัดสมุดหรือหนังสือเป็นพื้นเอียง ดังภาพ แล้วปล่อยให้ก้อนดินน้ำมันเคลื่อนที่ ขณะที่ก้อนดินน้ำมันเคลื่อนที่อยู่นั้น ให้ผลักก้อนดินน้ำมันในทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ครั้งแรก สังเกตการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 1.27 จัดสมุดหรือหนังสือเป็นพื้นเอียง



ภาพที่ 1.28 ออกแรงบีบก้อนดินน้ำมัน

6. ใช้มือบีบก้อนดินน้ำมัน สังเกตการเปลี่ยนแปลง
7. ใช้มือจับก้อนดินน้ำมัน แล้วดึงในทิศทางตรงกันข้าม ดังภาพ ดังเบา ๆ ในตอนแรกแล้วจึงดึงแรงขึ้น สังเกตการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 1.29 ปล่อยก้อนดินน้ำมันเหนือพื้น

8. นำก้อนดินน้ำมันที่ปั้นเป็นก้อนมาปล่อยเหนือพื้น ดังภาพ สังเกตการเปลี่ยนแปลง

- ❓ เมื่อนำก้อนดินน้ำมันมาวางไว้หนึ่ง ๆ บนโต๊ะ มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
- ❓ เมื่อผลักก้อนดินน้ำมันที่เดิมวางหนึ่ง ๆ บนโต๊ะ มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
- ❓ เมื่อผลักก้อนดินน้ำมันด้วยแรงที่แตกต่างกัน ก้อนดินน้ำมันมีการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- ❓ เมื่อนำก้อนดินน้ำมันมาวางบนพื้นเอียง ก้อนดินน้ำมันมีการเคลื่อนที่อย่างไร นักเรียนคิดว่าเหตุใดจึงเคลื่อนที่อย่างนั้น
- ❓ เมื่อออกแรงกระทำต่อก้อนดินน้ำมันในทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่เดิม ดินน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
- ❓ เมื่อออกแรงบีบก้อนดินน้ำมัน มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
- ❓ เมื่อออกแรงดึงก้อนดินน้ำมัน มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
- ❓ การออกแรงดึงก้อนดินน้ำมันด้วยแรงที่แตกต่างกัน ก้อนดินน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงที่ต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- ❓ หากจับปลายทั้ง 2 ข้างของดินสอแล้วดึง ดินสอจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ผลที่ได้จะเหมือนหรือแตกต่างจากการดึงก้อนดินน้ำมันหรือไม่ เพราะเหตุใด
- ❓ เมื่อก้อนดินน้ำมันถูกปล่อยกลางอากาศเหนือพื้นจะมีการเคลื่อนที่อย่างไร เพราะเหตุใด
- ❓ เมื่อก้อนดินน้ำมันกระทบพื้น มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอีกหรือไม่ เพราะเหตุใด
- ❓ แรงมีผลต่อดินน้ำมันอย่างไร
- ❓ สรุปผลการทดลองนี้ได้อย่างไร

จากกิจกรรมแสดงให้เห็นว่า **แรง (force)** คือ ปริมาณที่บ่งบอกการกระทำใด ๆ ต่อวัตถุ ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสภาพเดิมของวัตถุ ดังนี้

1. มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง
2. มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการเคลื่อนที่ คือ มีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว
3. มีการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่าง

แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีทั้งขนาดและทิศทาง มีหน่วยเป็น นิวตัน (N) แรงที่กระทำต่อวัตถุแตกต่างกัน ย่อมทำให้ผลของการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไปด้วย หากแรงที่กระทำมีค่ามาก การเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นผลของแรงนั้น ย่อมมีการเปลี่ยนแปลงมากด้วย แม้เรามองไม่เห็นแรง แต่สามารถรับรู้ได้ว่ามีแรงอยู่จากการสังเกตของการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากแรงนั้น เช่น การที่ไม่ร่วงลงสู่พื้นหรือตกลงสู่เบื้องล่างเสมอเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก การที่ก้านเกิดการหมุนเนื่องจากแรงลมที่พัดผ่านก้านนั้น

3.2 แรงลัพธ์

แรงตามธรรมชาติมีอยู่มากมายหลายชนิด ในขณะหนึ่งวัตถุอาจจะถูกแรงหลายแรงกระทำพร้อม ๆ กัน โดยแรงต่าง ๆ เหล่านั้น สามารถนำมาพิจารณาหาผลรวมของแรง ที่เรียกว่า **แรงลัพธ์ (net force, $\Sigma \vec{F}$)** เสมือนเป็นแรงสุทธิเพียงแรงเดียวที่กระทำต่อวัตถุ ซึ่งทั้งขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุได้

แรงลัพธ์ ($\Sigma \vec{F}$) จะมีค่าเท่ากับผลรวมแบบเวกเตอร์ของแรงย่อยทุกแรงที่กระทำต่อวัตถุนั้น ๆ ซึ่งต้องคำนึงถึงทั้งขนาดและทิศทางของแรงย่อยทุก ๆ แรงด้วย ดังสมการต่อไปนี้

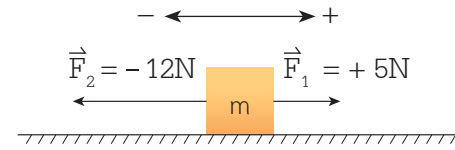
$$\Sigma \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

ขนาดของแรง ใช้สัญลักษณ์ $|\dots|$ คร่อมแรงนั้น

เช่น $|\Sigma \vec{F}|$ แทน ขนาดของแรงลัพธ์

$|\vec{F}_1|$ แทน ขนาดของแรง $\vec{F}_1$

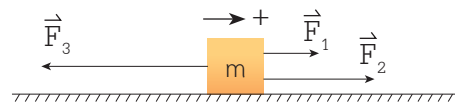
ในกรณีที่แรงย่อยทุกแรงอยู่ในแนวขนานกัน โดยมีแนวแรงอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันเรียกว่า **แรงใน 1 มิติ** เช่น แนวแรงอยู่ในแนวขนานกับพื้น แรงย่อยจะมี 2 ทิศทาง คือ ชี้ไปทางซ้าย และชี้ไปทางขวา ซึ่งจะถูกกำหนดทิศทาง โดยใช้เครื่องหมายลบ (-) และบวก (+) ตามลำดับ



ภาพที่ 1.30 แรงใน 1 มิติ

เช่น $\vec{F}_1$ มีขนาดเป็น 5 นิวตัน และมีทิศชี้ไปทางขวา
 $\vec{F}_2$ มีขนาดเป็น 12 นิวตัน และมีทิศชี้ไปทางซ้าย

ตัวอย่าง



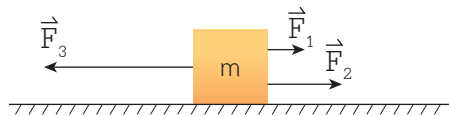
ภาพที่ 1.31 แรง $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$ กระทำต่อวัตถุ m

แรง $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$ มีขนาดเป็น 2 นิวตัน 4 นิวตัน และ 6 นิวตัน ตามลำดับ
 แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ m มีค่าเท่าไร (กำหนดให้ ทิศทางขวาเป็นบวก)

วิธีทำ

แรงที่มีทิศไปทางขวา จะเป็นบวก ได้แก่ $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$
 แรงที่มีทิศไปทางซ้าย จะเป็นลบ ได้แก่ $\vec{F}_3$
 ดังนั้น $\Sigma \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$
 $= 2 + 4 + (-6)$ นิวตัน
 $\Sigma \vec{F} = 0$ นิวตัน

ตอบ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ m เท่ากับ 0 นิวตัน



ภาพที่ 1.32 แรง $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$ กระทำต่อกล่อง m

ออกแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_3$ ขนาด 20 นิวตัน และ 80 นิวตัน ตามลำดับ หากต้องการให้กล่อง m อยู่นิ่ง ต้องออกแรง $\vec{F}_2$ ขนาดเท่าไรดึงกล่อง m

คำถามสำคัญ ?

เมื่อวัตถุมีแรงหลายแรงมากจะทำ วัตถุจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางใด

กิจกรรมที่ 1.4 ดึง

วัตถุประสงค์

1. เครื่องชั่งสปริง 3 เครื่อง
2. เหล็กท่ง ท่อ หรือหลอด 1 อัน

ตอนที่ 1

วิธีทำ

1. นักเรียนแบ่งกลุ่ม แต่ละกลุ่มร่วมกันนำเครื่องชั่งสปริง A B และ C คล้องผ่านเหล็กท่ง ดังภาพ โดยเครื่องชั่งสปริงทั้งสามวางเรียงในแนวขนานกันและหนึ่ง ไม่ขยับไปด้านใดด้านหนึ่งเสมอ



ภาพที่ 1.33 การจัดการทดลองดึง (ตอนที่ 1)

2. ออกแรงดึงเครื่องชั่งสปริง A B และ C ตามตาราง อ่านค่าแรงและบันทึกผลลงในตาราง ให้สมบูรณ์

ตารางที่ 1.2 ค่าแรงดึงที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริงทั้งสาม (ตอนที่ 1)

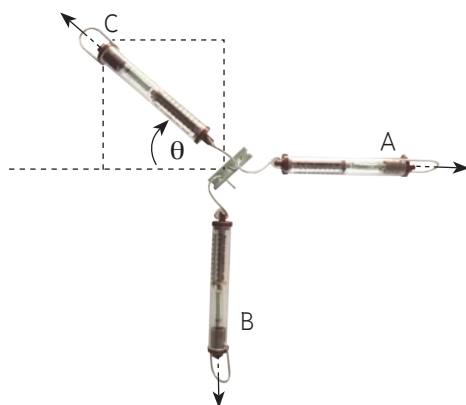
เครื่องชั่งสปริง	ค่าแรงดึงที่อ่านได้ (นิวตัน)			
A	2	1		5
B		8	4	3
C	6		7	

- จากกิจกรรมตอนที่ 1 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงจากเครื่องชั่งสปริง A B และ C ทั้งระบบ (เครื่องชั่งสปริง A B และ C และเหล็กท่ง) ไม่เคลื่อนที่ได้อย่างไร
- การกำหนดให้เครื่องชั่งสปริงทั้งสามไม่ขยับไปด้านใดด้านหนึ่ง แสดงว่าแรงลัพธ์ของระบบนี้มีค่าเป็นอย่างไร
- สรุปผลการทดลองนี้ได้อย่างไร

ตอนที่ 2

วิธีทำ

- ลากเส้นตรง 2 เส้น ที่ตัดกันเป็นมุมฉาก นำเครื่องชั่งสปริง A B และ C คล้องผ่านเหล็กรูตั้งภาพ โดยต้องดึงให้เครื่องชั่งสปริง A และ B ตั้งฉากกันเสมอ ส่วนเครื่องชั่งสปริง C ทำมุมใด ๆ ก็ได้ โดยเครื่องชั่งสปริงทั้งสามต้องไม่ขยับไปด้านใดด้านหนึ่ง



ภาพที่ 1.34 การจัดการทดลองดึง (ตอนที่ 2)

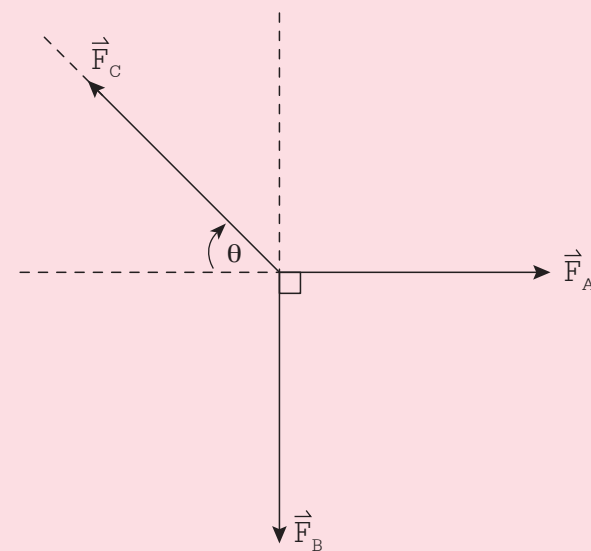
- ออกแรงดึงเครื่องชั่งสปริง A B และ C ตามตาราง อ่านค่าแรงและบันทึกผลลงในตารางให้สมบูรณ์

ตารางที่ 1.3 ค่าแรงดึงที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริงทั้งสาม (ตอนที่ 2)

เครื่องชั่งสปริง	ค่าแรงดึงที่อ่านได้ (นิวตัน)		
A	3	5	
B	4		2
C		10	8
มุม (องศา)			

- วัดค่ามุมของเครื่องชั่งสปริง C และแนวฉากที่กำหนด แล้วบันทึกผลลงในตาราง

- จากกิจกรรมตอนที่ 2 สรุปความสัมพันธ์ของแรงดึงจากเครื่องชั่งสปริง A B และ C ได้อย่างไร
- การดึงเครื่องชั่งสปริง A B และ C ในตอนที่ 2 แตกต่างจากตอนที่ 1 อย่างไร
- การดึงเครื่องชั่งสปริง A B และ C ในตอนที่ 2 มีส่วนที่เหมือนกับตอนที่ 1 อย่างไร และสิ่งนั้นส่งผลต่อสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุอย่างไร
- สรุปผลการทดลองนี้ได้อย่างไร



ลักษณะของแรงจากการทดลอง
ในกิจกรรมที่ 1.4 (ตอนที่ 2)
แรงจะอยู่ในระนาบเดียวกัน
เรียกว่า แรงอยู่ใน 2 มิติ

ภาพที่ 1.35 แรง $\vec{F}_A$ $\vec{F}_B$ และ $\vec{F}_C$ ที่อยู่ในระนาบเดียวกัน

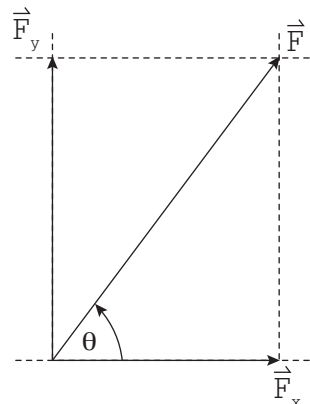
การที่วัตถุมีแรงลัพธ์มากระทำเป็นศูนย์ เรียกว่า วัตถุอยู่ในสภาพสมดุล โดยหากวัตถุจะรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิม กล่าวคือ หากเดิมวัตถุอยู่นิ่งจะอยู่นิ่งหรือมีความเร็วเป็นศูนย์ต่อไป หากเคลื่อนที่อยู่จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่าที่คงตัวต่อไป





เพิ่มเติมเสริมความรู้

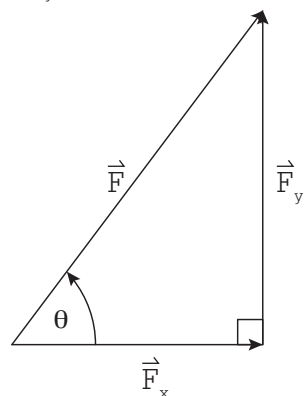
แรงใน 2 มิติ แรงในกรณีนี้จะอยู่ในแนวเฉียง โดยจะสามารถแตกแรงนั้นให้อยู่ในแนวแกนอ้างอิงที่ตั้งฉากกัน หรือแกน $x - y$ ดังนี้



$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$$

กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่าง $\vec{F}_x$ กับ $\vec{F}_y$

ถ้าพิจารณาเวกเตอร์ $\vec{F}$, $\vec{F}_x$ และ $\vec{F}_y$ จะเรียงต่อกันเป็นสามเหลี่ยมมุมฉากปิดพอดี ดังภาพ



ภาพที่ 1.36 สามเหลี่ยมมุมฉากปิดของเวกเตอร์ $\vec{F}$, $\vec{F}_x$ และ $\vec{F}_y$

จากทฤษฎีของพีทาโกรัส (pythagorean theorem) จะได้ว่า

$$F^2 = F_x^2 + F_y^2$$

การหาค่าแรงลัพธ์ใน 2 มิติ ให้รวมแรงตามแนว x และแนว y แล้วจึงหาค่าขนาดของแรงลัพธ์จากความสัมพันธ์

$$|\Sigma \vec{F}| = \sqrt{|\Sigma \vec{F}_x|^2 + |\Sigma \vec{F}_y|^2}$$



ตัวอย่าง

หาค่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ m

60 นิวตัน ← m → 50 นิวตัน



40 นิวตัน

วิธีทำ

$$\Sigma F_x = 60 - 50 \text{ นิวตัน}$$

$$\Sigma F_x = 10 \text{ นิวตัน (ทิศไปทางซ้าย)} \leftarrow$$

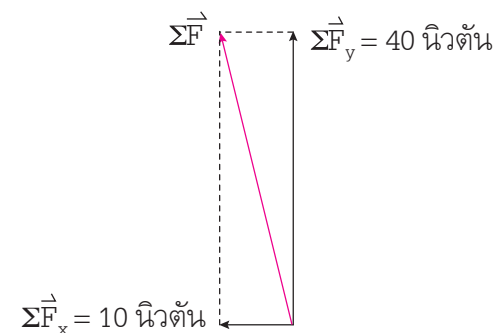
$$\Sigma F_y = 40 \text{ นิวตัน (ทิศขึ้นด้านบน)} \uparrow$$

จาก $|\Sigma \vec{F}| = \sqrt{|\Sigma \vec{F}_x|^2 + |\Sigma \vec{F}_y|^2}$ ภาพที่ 1.37 แรง 3 แรงที่กระทำต่อวัตถุ m

$$\text{ขนาดของ } \Sigma \vec{F} = \sqrt{10^2 + 40^2}$$

$$\text{ขนาดของ } \Sigma \vec{F} = \sqrt{1,700} \text{ นิวตัน}$$

ตอบ ขนาดของแรงลัพธ์ ($\Sigma \vec{F}$) เท่ากับ $\sqrt{1,700}$ นิวตัน และมีทิศทางในแนวเส้นทแยงมุมของสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีด้านยาวเท่ากับ ΣF_x และ ΣF_y



ภาพที่ 1.38 แรงลัพธ์ในแนวเส้นทแยงมุม



A 60 นิวตัน ← m → C 50 นิวตัน



B 80 นิวตัน

ถ้าต้องการให้กล่อง m อยู่นิ่ง
ต้องออกแรงขนาดเท่าไร
ในทิศทางใดกระทำต่อกล่อง m

ภาพที่ 1.39 แรง A B และ C ที่กระทำต่อวัตถุ m

4. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

เซอร์ไอแซก นิวตัน ได้เสนอแนวความคิดเกี่ยวกับผลของแรงต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ เรียกว่า กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's laws of motion)



ภาพที่ 1.40 เซอร์ไอแซก นิวตัน

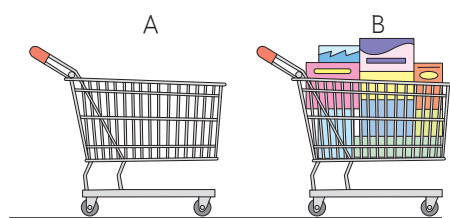
กฎข้อที่ 1 ของนิวตัน มีใจความว่า

หากแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ วัตถุจะรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมไว้

- หากเดิมวัตถุอยู่นิ่ง (ความเร็วเป็นศูนย์) วัตถุจะคงอยู่นิ่งต่อไป
- หากเดิมวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง วัตถุจะคงความเร็วค่านั้นต่อไป

สภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ พิจารณาจากความเร็วของวัตถุนั้น

การที่วัตถุพยายามรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมไว้ เรียกว่า **ความเฉื่อย** (inertia) ซึ่งสมบัตินี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณที่เรียกว่า **มวล** (mass) ของวัตถุนั้น หากมวลยิ่งมาก วัตถุนั้นจะมีความเฉื่อยมาก



ภาพที่ 1.41 รถเข็น A ไม่บรรจุสิ่งของ กับรถเข็น B บรรจุสิ่งของเต็มคันรถ

รถเข็น A ไม่บรรจุสิ่งของ กับรถเข็น B บรรจุสิ่งของเต็มคันรถ รถเข็นคันใดมีความเฉื่อยมากกว่ากัน เพราะเหตุใด

จากกฎข้อที่ 1 ของนิวตัน วัตถุใดมีความเฉื่อยมากที่สุด

- 1 วัตถุมวล 1 กิโลกรัม มีความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที
- 2 วัตถุมวล 2 กิโลกรัม มีความเร็ว 5 เมตรต่อวินาที
- 3 วัตถุมวล 3 กิโลกรัม มีความเร็ว 15 เมตรต่อวินาที
- 4 วัตถุมวล 4 กิโลกรัม มีความเร็ว 2 เมตรต่อวินาที

กฎข้อที่ 2 ของนิวตัน มีใจความว่า

หากแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุไม่เป็นศูนย์ วัตถุจะเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ หรือเรียกว่า วัตถุมีความเร่ง โดยความเร่งจะแปรผันตรงกับแรงลัพธ์ และแปรผกผันกับมวล

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

คำถามสำคัญ ?

อิทธิพลของมวลของวัตถุที่มีต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นอย่างไร

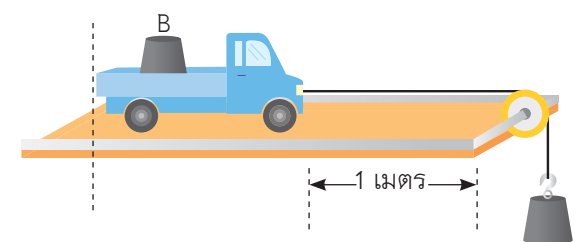
กิจกรรมที่ 1.5 แรงลากรร

วัสดุอุปกรณ์

- | | |
|--------------------------|---------|
| 1. รถของเล่น | 1 คัน |
| 2. เชือกยาว 1.5 เมตร | 1 เส้น |
| 3. รางไม้พร้อมรอกที่ปลาย | 1 อัน |
| 4. มวลถ่วง พร้อมขอเกี่ยว | 1 ชุด |
| 5. นาฬิกาจับเวลา | 1 เรือน |

วิธีทำ

1. นักเรียนแบ่งกลุ่ม แต่ละกลุ่มร่วมกันซึ่งมวลของรถของเล่น
2. นำรถของเล่นที่มีมวลถ่วง B เกี่ยวกับเชือก คล้องผ่านรอกไปยังมวลถ่วงที่ติดกับขอเกี่ยว A กำหนดจุดปล่อยรถของเล่นที่ระยะ (S) 1 เมตร ดังภาพ



ภาพที่ 1.42 รถของเล่นเคลื่อนที่ผ่านเชือกที่คล้องผ่านรอกไปยังมวลถ่วง A

3. ปล่อยให้มวลถ่วง A เริ่มเคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง มวลถ่วง A จะดึงรถของเล่นผ่านเชือกที่คล้องผ่านรอก จับเวลาที่รถของเล่นเคลื่อนที่ในระยะ 1 เมตร
4. เพิ่มมวลถ่วง B วางบนรถของเล่นอีก 2 ค่า ทำการทดลองซ้ำ จับเวลาที่รถของเล่นเคลื่อนที่ในระยะ 1 เมตร เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ระหว่างมวลถ่วง B มาก และมวลถ่วง B น้อย

- เมื่อเพิ่มมวลถ่วง B ที่วางบนรถของเล่น ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของรถอย่างไร
- การเพิ่มมวลถ่วง B ส่งผลต่อความเร่งของรถอย่างไร
- เพราะเหตุใดจึงต้องควบคุมให้มวลถ่วง A มีค่าคงตัวตลอดการทดลองในการเปลี่ยนมวลถ่วง B
- สรุปผลการทดลองนี้ได้อย่างไร

EXAMPLE

ตัวอย่าง

ชายคนหนึ่งใช้ไม้เรียวตีลูกเทนนิส มวล 58 กรัม ขณะเลี้ยวพบว่า ลูกเทนนิสจะเคลื่อนไปด้วยความเร็ว 200 เมตรต่อวินาที² ถ้าให้ลูกเทนนิสกระเด็นออกจากไม้เรียวเกตทันทีในแนวตั้งฉากกับหน้าไม้

- ก) แรงที่ชายคนนี้ใช้เรียวเกตกระทำต่อลูกเทนนิสมีค่าเท่าไร
ข) ถ้าชายคนนี้ใช้เรียวเกตตีลูกบอลซึ่งมีมวล 300 กรัม ด้วยแรงขนาดเท่าเดิม ลูกบอลจะเคลื่อนที่เช่นเดียวกับลูกเทนนิสหรือไม่ อย่างไร

วิธีทำ ก) กำหนดให้ ความเร่ง $(a) = 200$ เมตรต่อวินาที²
มวลลูกเทนนิส $(m) = 58$ กรัม

$$= \frac{58}{1,000} \text{ กิโลกรัม}$$

จาก $\Sigma F = ma$
จะได้ว่า ขนาดของแรงที่เรียวเกต $= \left(\frac{58}{1,000} \right) \times (200)$
 $= 11.6$ นิวตัน

ตอบ แรงที่เรียวเกตกระทำต่อลูกเทนนิส คือ 11.6 นิวตัน ตามทิศของไม้

ข) แรงที่เรียวเกตกระทำ คือ $\Sigma F = 11.6$ นิวตัน
มวลของลูกบอล $(m) = 300$ กรัม
 $= \frac{300}{1,000}$ กิโลกรัม
 $= 0.3$ กิโลกรัม

จาก $\Sigma F = ma$
จะได้ว่า $11.6 = (0.3) \times a$
ดังนั้น จะได้ว่าขนาดของ $a = \frac{11.6}{0.3}$ นิวตัน
 $= 38.67$ เมตรต่อวินาที²

ตอบ ลูกบอลจะเคลื่อนที่ออกไปด้วยความเร่ง 38.67 เมตรต่อวินาที² ซึ่งมีความเร่งน้อยกว่าลูกเทนนิส เนื่องจากมวลที่มากกว่านั่นเอง

กฎข้อที่ 3 ของนิวตัน มีใจความว่า

ทุกแรงกิริยาจะมีแรงปฏิกิริยาเกิดขึ้นเสมอ โดยแรงคู่นี้จะมีขนาดเท่ากัน ทิศตรงข้ามและกระทำต่อวัตถุคนละก้อน

คำถามสำคัญ ?

แรงปฏิกิริยาเกิดขึ้นเมื่อใด และสัมพันธ์กับแรงกิริยาอย่างไร

กิจกรรมที่ 1.6 แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา



วัสดุอุปกรณ์

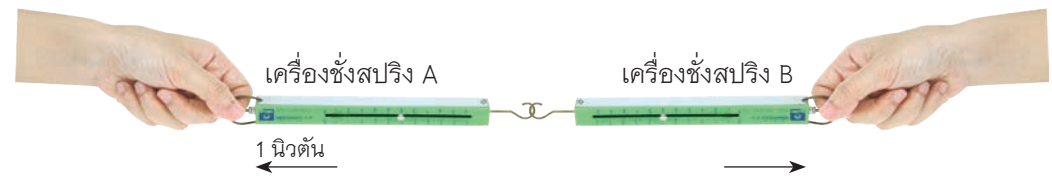
เครื่องชั่งสปริง

2 เครื่อง



วิธีทำ

- นักเรียนแบ่งกลุ่ม แต่ละกลุ่มร่วมกันดึงเครื่องชั่งสปริง A ด้วยแรง 1 นิวตัน ออกแรงดึงเครื่องชั่งสปริง B เพื่อให้ทั้งเครื่องชั่งสปริง A และ B ไม่ขยับ สังเกตขนาดและทิศทางของแรงที่ดึงเครื่องชั่งสปริง B บันทึกผล
- ทำซ้ำข้อ 1 แต่เปลี่ยนแรงดึงเครื่องชั่งสปริง A อีก 2 ครั้ง



ภาพที่ 1.43 การทดลอง แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา

- เปรียบเทียบแรงที่ใช้ดึงเครื่องชั่งสปริง A และเครื่องชั่งสปริง B ทั้งขนาดและทิศทาง
- สรุปผลการทดลองนี้ได้อย่างไร
- ถ้านั่งบนเก้าอี้ที่มีล้อเลื่อน แล้วออกแรงผลักผนังกำแพง
 - ตัวเราและเก้าอี้จะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่อย่างไร
 - ทิศทางของแรงของเก้าอี้เป็นอย่างไร
 - อธิบายแรงที่กระทำต่อผนังกำแพง และแรงที่ทำให้เก้าอี้และตัวเราเคลื่อนที่



ภาพที่ 1.44 ออกแรงผลักผนังกำแพง ขณะนั่งบนเก้าอี้ที่มีล้อเลื่อน



การเรียนรู้เรื่องแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา
ให้ประโยชน์ประเดินใดบ้าง

5. แบบของการเคลื่อนที่

วัตถุที่เราพบเห็นในชีวิตประจำวันมีลักษณะของการเคลื่อนที่หลายแบบ ได้แก่ การเคลื่อนที่แบบตรง การเคลื่อนที่แบบหมุน และการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกหรือการสั่น ทั้งนี้ เกิดจากลักษณะของแรงที่มากระทำต่อวัตถุนั้นมีลักษณะที่แตกต่างกัน

5.1 การเคลื่อนที่แบบตรง

เดิมทีวัตถุอยู่ในสภาพนิ่งหรือมีความเร็วเป็นศูนย์ หากมีแรงลัพธ์ที่ไม่เป็นศูนย์มากระทำ วัตถุจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ตามกฎข้อที่สองของนิวตัน ใน 2 ลักษณะ ดังนี้

1. วัตถุมีความเร็วเพิ่มขึ้น กรณีนี้เกิดจากวัตถุมีความเร่งในทิศทางเดียวกับความเร็ว เมื่อวัตถุเริ่มต้นเคลื่อนที่ เรียกว่า วัตถุอยู่ในสภาพเร่ง
2. วัตถุมีความเร็วลดลง กรณีนี้เกิดจากวัตถุมีความเร่งในทิศทางตรงข้ามกับความเร็ว เมื่อวัตถุเริ่มต้นเคลื่อนที่ เรียกว่า วัตถุอยู่ในสภาพหน่วง

สิ่งที่ตามมา คือ วัตถุจะมีการขยับเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไปจากที่เดิม จึงเรียกรูปแบบของการเคลื่อนที่แบบนี้ว่า **การเคลื่อนที่แบบตรง** (translational motion) ซึ่งยังสามารถแบ่งย่อยลักษณะของการเคลื่อนที่แบบตรงออกเป็นหลายรูปแบบ ได้แก่ การเคลื่อนที่แนวตรง การเคลื่อนที่วิถีโค้งแบบโปรเจกไทล์ และการเคลื่อนที่เป็นวงกลม

1) การเคลื่อนที่แนวตรง

วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แนวตรง (linear motion) จะมีแนวการเคลื่อนที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียว เช่น แนวราบหรือแนวตั้ง โดยมีการกระจัด ความเร็ว ความเร่ง อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน

ตัวอย่างของการเคลื่อนที่แนวตรง เช่น รถยนต์ที่แล่นบนถนนตรง การตกของวัตถุกลางอากาศ ถ้าหากวัตถุจะเคลื่อนที่ลงสู่พื้นผิวโลกภายใต้อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลกเพียงแรงเดียวโดยไม่มีแรงอื่นใดมากระทำ การตกของวัตถุตามเงื่อนไขที่กล่าวมานี้ เรียกว่า **การตกอย่างอิสระ** (free fall) โดยจะมีความเร่งคงตัว ในทิศทางพุ่งลงตั้งฉากกับพื้นโลก เรียกว่า **ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก**

- ❓ ลูกมะพร้าวลูกหนึ่งตกลงจากต้นถึงพื้นดิน ความเร็วของลูกมะพร้าวจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ระหว่างการตก เพราะเหตุใด

คำถามสำคัญ ?

การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกอย่างอิสระมีลักษณะอย่างไร

กิจกรรมที่ 1.7 การตกอย่างอิสระ

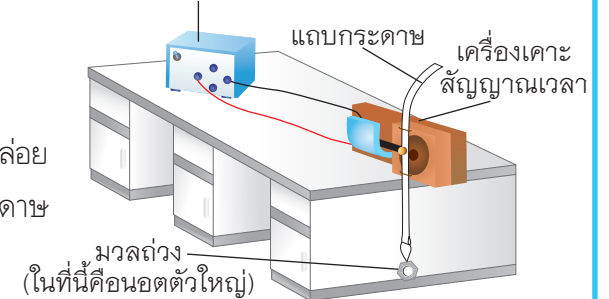
วัสดุอุปกรณ์

- | | |
|--|--------|
| 1. ชุดเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ประกอบด้วย
เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับโวลต์ต่ำ สายไฟฟ้า
และเครื่องเคาะสัญญาณเวลา | 1 ชุด |
| 2. แถบกระดาษ | 1 แถบ |
| 3. กระดาษคาร์บอน (สำหรับเครื่องเคาะสัญญาณเวลา) | 1 แผ่น |
| 4. กระดาษขาว | 1 ม้วน |
| 5. นอตตัวใหญ่ | 1 ตัว |

วิธีทำ

1. นักเรียนแบ่งกลุ่ม แต่ละกลุ่มร่วมกัน
จัดอุปกรณ์ ดังภาพ
2. นำแถบกระดาษติดที่นอตตัวใหญ่ แล้วปล่อย
ให้นอตตัวใหญ่ตกลงมา นำแถบกระดาษ
มาคำนวณเพื่อหาความเร่ง บันทึกผล

เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับโวลต์ต่ำ



ภาพที่ 1.45 การทดลอง การตกอย่างอิสระ

- ❓ ความเร่งที่ได้จากการคำนวณบนแถบกระดาษมีค่าเท่ากับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) หรือไม่ เพราะเหตุใด
- ❓ เพราะเหตุใดค่าความเร่งจึงคลาดเคลื่อนไปจากความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) และสามารถแก้ไขได้อย่างไร
- ❓ สรุปผลการทดลองนี้ได้อย่างไร
- ❓ วัตถุที่ถูกปล่อยกลางอากาศจะตกลงสู่พื้นดินเสมอหรือไม่ อย่างไร



วัตถุที่ตกอย่างอิสระมีความเร่งเท่ากับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าประมาณ $9.8 \text{ เมตรต่อวินาที}^2 \text{ (m/s}^2\text{)}$

2) การเคลื่อนที่วิถีโค้งหรือโพรเจกไทล์

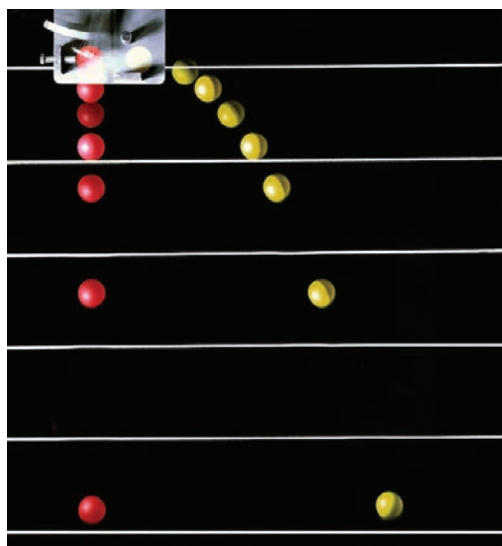
เมื่อขว้างลูกบอลลูกสีเหลืองออกไปโดยมีความเร็วเริ่มต้นขนานกับพื้น และอีกลูกหนึ่ง (สีแดง) ปล่อยลงมาในแนวตั้ง หากถ่ายภาพนิ่งแสดงตำแหน่ง การเคลื่อนที่ของลูกบอลในช่วงเวลาเท่ากัน จะได้ภาพการเคลื่อนที่ของลูกบอล ทั้งสองลูก ดังภาพ



QR CODE เรื่อง
การเคลื่อนที่
แบบโพรเจกไทล์

จากภาพ ลูกบอลสีเหลืองมีการเคลื่อนที่ ในแนวโค้งและแนวราบพร้อม ๆ กัน โดยลูกบอลลูกนี้ จะค่อย ๆ ลดระดับจนตกลงสู่พื้น

- ❓ การกระจัดของลูกบอลสีเหลืองในแนวตั้ง และแนวราบ แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- ❓ แรงที่กระทำต่อลูกบอลสีเหลืองคือแรงใด แรงนี้ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของลูกบอล ลูกนี้อย่างไร



ภาพที่ 1.46 การเคลื่อนที่ของลูกบอล ในแต่ละช่วงเวลาที่เท่า ๆ กัน

การเคลื่อนที่วิถีโค้งของวัตถุ เกิดจากวัตถุมีแรงมากระทำในทิศทางซึ่งต่างจากแนวของ ความเร็วเริ่มต้น โดยความเร็วของวัตถุสามารถจำแนกได้ 2 ทิศทาง คือ 1. ความเร็วในแนวขนาน กับแนวแรง และ 2. ความเร็วในแนวตั้งฉากกับแนวแรง เช่น หากพิจารณาปล่อยลูกบอลสีเหลืองให้เคลื่อนที่ ตามภาพที่ 1.46 ความเร็วต้นของลูกบอลในแนวตั้งเป็นศูนย์ และความเร็วจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจาก แรงโน้มถ่วงของโลกในทิศพุ่งลงสู่พื้นโลกจนกระทั่งลูกบอลตกถึงพื้น ส่วนความเร็วของลูกบอลในแนวราบ เท่ากับความเร็วของลูกบอล ณ จุดเริ่มต้น คือ ลูกบอลมีความเร็วคงตัวตลอดการเคลื่อนที่ เนื่องจากลูกบอล ไม่มีแรงมากระทำในแนวระดับ



แรงดึงดูดของโลก จะทำให้วัตถุที่ถูกขว้าง ไปในแนวราบมีการเคลื่อนที่เป็นวิถีโค้ง

กิจกรรมที่ 1.8 การเคลื่อนที่ของวัตถุแบบโพรเจกไทล์

คำถามสำคัญ ?

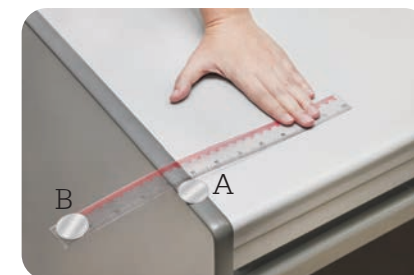
วัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ มีลักษณะอย่างไร

วัสดุอุปกรณ์

- | | |
|--------------|-----------|
| 1. เหรียญ | 2. เหรียญ |
| 2. ไม้บรรทัด | 1 อัน |

วิธีทำ

- นักเรียนแบ่งกลุ่ม แต่ละกลุ่มร่วมกันจัดอุปกรณ์ ดังภาพ โดยเหรียญ A วางบนขอบโต๊ะในแนวราบ เหรียญ B วางอยู่ที่ปลายไม้บรรทัด
- ดัดไม้บรรทัดในแนวราบแรง ๆ
- สังเกตการเคลื่อนที่ของเหรียญทั้งสองเหรียญ บันทึกผล



ภาพที่ 1.47 การทดลอง การเคลื่อนที่ของวัตถุแบบโพรเจกไทล์

- ❓ หากดัดไม้บรรทัดเร็วมาก ๆ ในแนวราบ นักเรียนคิดว่าจะเกิดอะไรขึ้น เพราะเหตุใด
- ❓ หากดัดไม้บรรทัดช้า ๆ นักเรียนคิดว่าจะเกิดอะไรขึ้น เพราะเหตุใด
- ❓ เหรียญ A หรือเหรียญ B เหรียญใดจะตกถึงพื้นก่อน
- ❓ ลักษณะการเคลื่อนที่ของเหรียญ A และเหรียญ B แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- ❓ สรุปผลการทดลองนี้ได้อย่างไร
- ❓ ถ้าขว้างบอลไปในแนวระดับขนานกับพื้น เพราะเหตุใดบอลจึงเคลื่อนที่ตกในวิถีโค้ง

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (projectile motion) เป็นการเคลื่อนที่วิถีโค้งที่มีความเร็ว ในแนวราบและความเร่งในแนวตั้งคงตัว การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน เช่น ลูกบอลที่ถูกนักฟุตบอลเตะขึ้นไปในอากาศ ลูกบาสเกตบอลที่ถูกส่งต่อระหว่างนักกีฬาหรือถูกโยนเข้าห่วง ถ้าหากนักกีฬามีความชำนาญจะสามารถคาดคะเนตำแหน่งของการเคลื่อนที่วิถีโค้งนี้ได้

3) การเคลื่อนที่แบบวงกลม

การเคลื่อนที่แบบวงกลม (circular motion) เป็นการเคลื่อนที่ที่มีเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นรูปวงกลมหรือส่วนของวงกลม โดยที่ความเร็วอยู่ในแนวเส้นสัมผัสวงกลม โดยมีแรงกระทำต่อวัตถุในทิศเข้าสู่ศูนย์กลางของการเคลื่อนที่ จึงมีความเร่งในทิศเข้าสู่ศูนย์กลางของวงกลม ระยะห่างจากวัตถุถึงศูนย์กลางของการเคลื่อนที่ เรียกว่า รัศมีของการเคลื่อนที่ เช่น การแกว่งลูกตุ้มที่ปลายเชือกเป็นวงกลมในแนวระดับปลายเชือกที่จับเป็นศูนย์กลางของการเคลื่อนที่ ส่วนระยะระหว่างปลายเชือกที่มีลูกตุ้มถึงปลายที่จับเชือก คือ รัศมีของการเคลื่อนที่

- ❓ หากนักเรียนนั่งอยู่ภายในรถที่เลี้ยวโค้งซ้าย นักเรียนจะรู้สึกแตกต่างจากการนั่งรถบนถนนตรงอย่างไร
- ❓ หากนักเรียนนั่งอยู่ภายในรถที่เลี้ยวโค้งขวา นักเรียนจะรู้สึกแตกต่างจากการนั่งรถบนถนนตรงอย่างไร

การที่นักเรียนนั่งอยู่ภายในรถซึ่งแล่นบนถนนโค้ง แล้วรู้สึกว่าตัวเองเอนเอียงไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการเลี้ยว เกิดจากการที่ตัวนักเรียนพยายามรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมไว้ ที่เรียกว่า ตัวนักเรียนมี**ความเฉื่อย** เช่นเดียวกับเมื่อขณะที่รถเบรก ตัวนักเรียนเอนไปด้านหน้า หรือเมื่อเร่งรถ ตัวนักเรียนเอนไปด้านหลัง ตามสภาพการเคลื่อนที่เดิมก่อนออกแรงเบรกหรือเร่งรถนั่นเอง

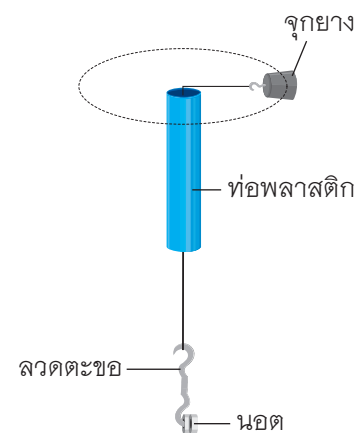
กิจกรรมที่ 1.9 การเคลื่อนที่ของวัตถุแบบวงกลม

วัสดุอุปกรณ์

- | | |
|----------------------------------|--------|
| 1. จุกยางที่มีห่วงสำหรับผูกเชือก | 1 อัน |
| 2. เชือกไนลอนยาวประมาณ 1 เมตร | 1 เส้น |
| 3. ลวดตะขอ | 1 อัน |
| 4. นอตตัวใหญ่ | 3 ตัว |
| 5. ท่อพลาสติก | 1 ท่อน |

วิธีทำ

- นักเรียนแบ่งกลุ่ม แต่ละกลุ่มร่วมกันนำปลายเชือกไนลอนข้างหนึ่งผูกกับจุกยาง แล้วนำปลายเชือกไนลอนอีกด้านร้อยผ่านท่อพลาสติก แล้วนำไปผูกกับลวดตะขอ ดังภาพ



ภาพที่ 1.48 การทดลองการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบวงกลม

คำถามสำคัญ ?

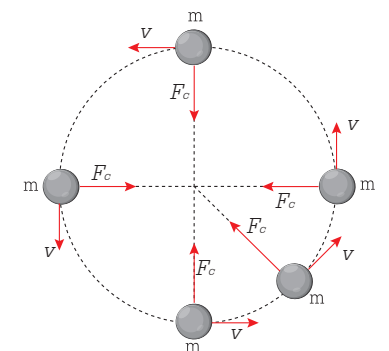
การเคลื่อนที่แบบวงกลมเกี่ยวข้องกับแรงอย่างไร

วิธีทำ

- ใช้มือจับที่ท่อพลาสติก คล้องนอต 1 ตัวที่ลวดตะขอ แล้วค่อย ๆ หมุนจนกระทั่งจุกยางเคลื่อนที่เป็นวงกลม สังเกตความยาวของเชือกไนลอน อัตราเร็วในการหมุนของจุกยาง และแรงดึงเชือก บันทึกผล
- อภิปรายภายในกลุ่มถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม ดังนี้
 - ถ้าหมุนด้วยอัตราเร็วเพิ่มขึ้น โดยควบคุมให้จำนวนนอตเท่าเดิม จุกยางจะมีการเคลื่อนที่อย่างไร
 - ถ้าเพิ่มจำนวนนอตให้เพิ่มขึ้น โดยควบคุมให้รัศมีของการเคลื่อนที่เท่าเดิม จุกยางจะมีการเคลื่อนที่อย่างไร
 - ถ้าต้องการให้รัศมีการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น โดยควบคุมให้จำนวนนอตเท่าเดิม จุกยางจะมีการเคลื่อนที่อย่างไร
 - แรงดึงเชือกมีความสัมพันธ์กับจำนวนนอตอย่างไร
 - แรงดึงเชือกมีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของจุกยางอย่างไร

- ❓ ถ้าแกว่งวัตถุให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัว ถ้ารัศมีการหมุนเพิ่มขึ้นหรือลดลง จะส่งผลต่อแรงสู่ศูนย์กลางอย่างไร
- ❓ ถ้าแกว่งวัตถุให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยรัศมีการเคลื่อนที่เท่าเดิม ถ้าอัตราเร็วเพิ่มขึ้นหรือลดลงจะส่งผลต่อแรงสู่ศูนย์กลางอย่างไร
- ❓ อธิบายความสัมพันธ์ของอัตราเร็วในการเคลื่อนที่แบบวงกลม รัศมีการเคลื่อนที่ของจุกยาง และแรงดึงเชือก
- ❓ สรุปผลการทดลองนี้ได้อย่างไร
- ❓ การเคลื่อนที่ของวัตถุแบบวงกลมจะนำไปใช้ประโยชน์ในเรื่องใด

พิจารณาการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มที่แกว่งเป็นวงกลมในแนวระนาบขนานกับพื้นด้วยอัตราเร็วคงตัว พบว่า ความเร็ว (v) ของลูกตุ้มมวล (m) จะอยู่ในแนวเส้นสัมผัสของแนวทางการเคลื่อนที่แบบวงกลม โดยมีแรงกระทำต่อวัตถุซึ่งมีทิศเข้าสู่หาศูนย์กลางของการเคลื่อนที่นั้น เรียกว่า **แรงสู่ศูนย์กลาง** (centripetal force, F_c) ความเร็วของลูกตุ้มมีทิศทางเปลี่ยนไปตลอดเวลา แม้มีขนาดคงเดิม ดังนั้น จึงถือว่าลูกตุ้มมีความเร็วเปลี่ยนแปลง เมื่อความเร็วของลูกตุ้มมีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าลูกตุ้มมีความเร่ง เรียกความเร่งจากการเคลื่อนที่แบบวงกลมนี้ว่า **ความเร่งสู่ศูนย์กลาง** (centripetal acceleration, a_c)



ภาพที่ 1.49 การเคลื่อนที่ของลูกตุ้มที่แกว่งเป็นวงกลม



เพิ่มเติมเสริมความรู้

จากการเปลี่ยนแปลงของความเร็วพบว่า ความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลาง ขนาด $a_c = \frac{v^2}{R}$ เกิดเนื่องจากแรงหนึ่งที่กระทำต่อวัตถุซึ่งมีทิศทางเข้าหาศูนย์กลางการเคลื่อนที่นั้นเสมอ เรียกแรงนี้ว่า **แรงสู่ศูนย์กลาง** (centripetal force, F_c) โดยแรงนี้ขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุ (m) ความเร็วในการเคลื่อนที่ (v) และรัศมีการเคลื่อนที่ (R) ดังความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{แรง} = \text{มวลของวัตถุ} \times \text{ความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลาง}$$

$$\text{จะได้ว่า } F_c = ma_c$$

$$\text{แต่ } a_c = \frac{v^2}{R}$$

$$\text{ดังนั้น } F_c = m \frac{v^2}{R}$$

การเคลื่อนที่แบบวงกลมของวัตถุที่มีแนวทางการเคลื่อนที่กลับมาซ้ำทางเดิม เรียกลักษณะการเคลื่อนที่ดังกล่าวว่า การเคลื่อนที่แบบวนซ้ำ โดยช่วงเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ เรียกว่า **คาบ** (period, T) มีหน่วยเป็น วินาที (s) และจำนวนรอบที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ใน 1 หน่วยเวลา เรียกว่า **ความถี่** (frequency, f) มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที หรือเฮิรตซ์ (Hz)

พิจารณาความสัมพันธ์ของความถี่และคาบ จากตัวอย่างต่อไปนี้



ตัวอย่าง

ถ้าแกว่งลูกตุ้มเป็นวงกลมได้ 240 รอบในเวลา 2 นาที ความถี่และคาบของการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มเป็นเท่าใด

วิธีทำ

$$\text{จาก } \text{ความถี่} = \frac{\text{จำนวนรอบที่เคลื่อนที่}}{\text{เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่}}$$

$$\text{แทนค่า } \text{ความถี่} = \frac{240}{2 \times 60} \quad \text{รอบวินาที}$$

$$\text{ความถี่} = \frac{240}{120}$$

$$\text{ดังนั้น } \text{ความถี่} = 2 \quad \text{รอบต่อวินาที}$$

ตอบ ความถี่ของการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มเท่ากับ 2 รอบต่อวินาที

$$\text{จาก } \text{คาบ} = \frac{\text{เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่}}{\text{จำนวนรอบที่เคลื่อนที่}}$$

$$\text{แทนค่า } \text{คาบ} = \frac{2 \times 60}{240} \quad \text{วินาทีรอบ}$$

$$\text{คาบ} = \frac{120}{240} \quad \text{วินาที}$$

$$\text{ดังนั้น } \text{คาบ} = \frac{1}{2} \quad \text{วินาที}$$

ตอบ คาบของการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มเท่ากับ $\frac{1}{2}$ วินาที

จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นได้ว่า ความถี่และคาบมีความสัมพันธ์กัน โดยเป็นส่วนกลับซึ่งกันและกัน ดังนี้

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{หรือ} \quad T = \frac{1}{f} \quad \text{เมื่อ } f = \text{ความถี่} \\ T = \text{คาบ}$$

❓ ถ้าลูกตุ้มมีความถี่ 40 เฮิรตซ์ จำนวนรอบที่แกว่งได้ใน 10 นาที และคาบของการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มเป็นเท่าใด

ตัวอย่าง

การเลี้ยวของรถบนถนนโค้งได้โดยไม่หลุดโค้งนั้น จะมีค่าอัตราเร็วสูงสุดได้ค่าหนึ่ง แรงเสียดทานระหว่างพื้นถนนและล้อของรถนั้นจะทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง ($f = F_c$)

ทั้งนี้ ถนนที่มีผิวลักษณะหนึ่งในเงื่อนไขหนึ่ง แรงเสียดทานขึ้นอยู่กับน้ำหนักรถและสมบัติของผิวถนน ถือได้ว่ามีขนาดคงที่



ภาพที่ 1.50 การเคลื่อนที่บนทางโค้ง

วิธีทำ

$$\text{จาก } F_c = m \frac{v^2}{R}$$

$$\text{จะได้ว่า } \frac{F_c R}{m} = v^2 \text{ ในที่นี้ } F_c \text{ และ } m \text{ เป็นค่าคงตัว}$$

จึงกล่าวได้ว่า ขณะที่รถแล่นเข้าโค้งโดยไม่หลุดออกจากถนนโค้ง อัตราเร็วสูงสุดยกกำลังสองที่ใช้ขึ้นอยู่กับรัศมีความโค้ง หรือ $v^2 \propto R$, $v \propto \sqrt{R}$ ดังนั้น

$\begin{array}{c} \text{(น้อย)} \quad v^2 \quad \quad \quad R \quad \text{(น้อย)} \\ \hline \Delta \end{array}$ อัตราเร็วน้อยแปรผันตรงกับรัศมีความโค้งน้อย	$\begin{array}{c} \text{(มาก)} \quad v^2 \quad \quad \quad R \quad \text{(มาก)} \\ \hline \Delta \end{array}$ อัตราเร็วมากแปรผันตรงกับรัศมีความโค้งมาก
---	---

$$\begin{array}{c} \text{(มาก)} \quad v^2 \quad \quad \quad R \quad \text{(น้อย)} \\ \hline \Delta \end{array}$$

จึงต้องปรับสมดุล

แต่ถ้า อัตราเร็วมาก รัศมีความโค้งน้อย → เกิดความไม่สมดุล



คำถามสำคัญ ?

ถ้าขับรถด้วยความเร็วสูงผ่านถนนโค้ง จะเกิดอันตรายหรือไม่ อย่างไร

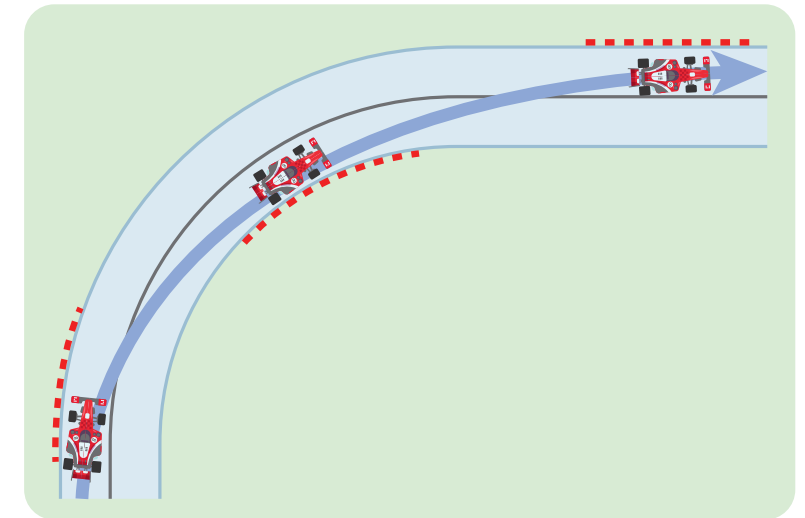
การเคลื่อนที่แบบวงกลมต้องมีแรงที่พอเหมาะกระทำกับวัตถุจึงทำให้วัตถุเคลื่อนที่ในแนวโค้งของวงกลมได้ด้วยรัศมีค่าหนึ่งและความเร็วค่าหนึ่งเท่านั้น ดังเช่น การเลี้ยวของรถบนถนนที่โค้ง จะต้องระวางการใช้อัตราเร็วให้เป็นไปตามที่กำหนดจึงปลอดภัย คือ ต้องมีแรงสู่ศูนย์กลางที่พอเหมาะมากระทำกับรถ ซึ่งโดยปกติมีค่าเท่ากับแรงเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับยางรถ โดยมีค่าสูงสุดเพียงค่าหนึ่งเท่านั้น ถ้าเลี้ยวด้วยความเร็วสูง ทำให้รถต้องการแรงสู่ศูนย์กลางมากขึ้น และถ้าแรงเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับยางรถไม่มากพอที่ทำให้รถยนต์เคลื่อนที่เป็นวงกลมตามทางโค้งได้ จะทำให้รถไถลออกจากโค้ง ทำให้เกิดอันตรายได้

การเลี้ยวของรถบนถนนโค้ง เป็นตัวอย่างหนึ่งของการเคลื่อนที่แบบวงกลม



วิธีการเลี้ยวรถบนถนนที่โค้งด้วยความเร็วสูงขึ้นโดยไม่หลุดโค้ง นักแข่งรถในสนามแข่งขันจะใช้วิธีการเลี้ยวตัด หรือการเลี้ยวข้ามช่องทางเดินรถ ซึ่งช่วยให้รัศมีของการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น

แต่ถ้าขับรถบนถนนจริง การเลี้ยวตัดซึ่งข้ามไปอีกช่องทางเดินรถหนึ่ง อาจทำให้เกิดการเฉี่ยวชนกับรถที่ขับสวนมาหรือตามมาข้างหลัง ก่อให้เกิดอุบัติเหตุร้ายแรงได้ ดังนั้น การขับรถบนถนนโค้ง จึงต้องระวางการใช้อัตราเร็วให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ จึงจะปลอดภัย และอีกวิธีหนึ่งคือการออกแบบถนนให้ลาดเอียงเข้าหาศูนย์กลางความโค้ง สามารถช่วยให้รถที่เลี้ยวโค้งเกาะถนนโค้งได้ดีขึ้น



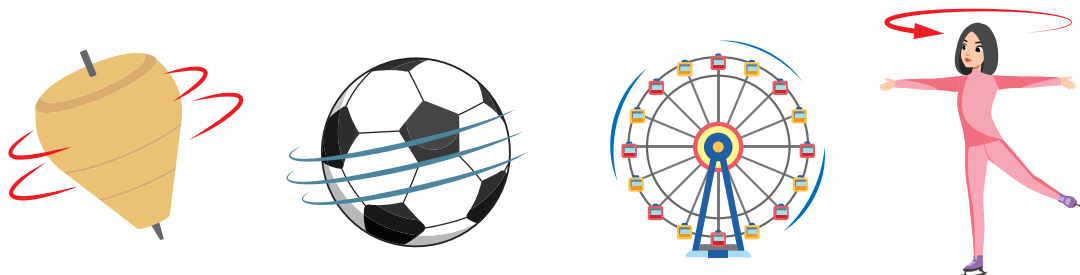
ภาพที่ 1.51 การเลี้ยวตัดของรถเพื่อไม่ให้หลุดโค้ง



การวิ่งทางโค้งของรถยนต์ให้ปลอดภัย จัดว่าเป็นการเคลื่อนที่แบบวงกลมเช่นกัน

5.2 การเคลื่อนที่แบบหมุน

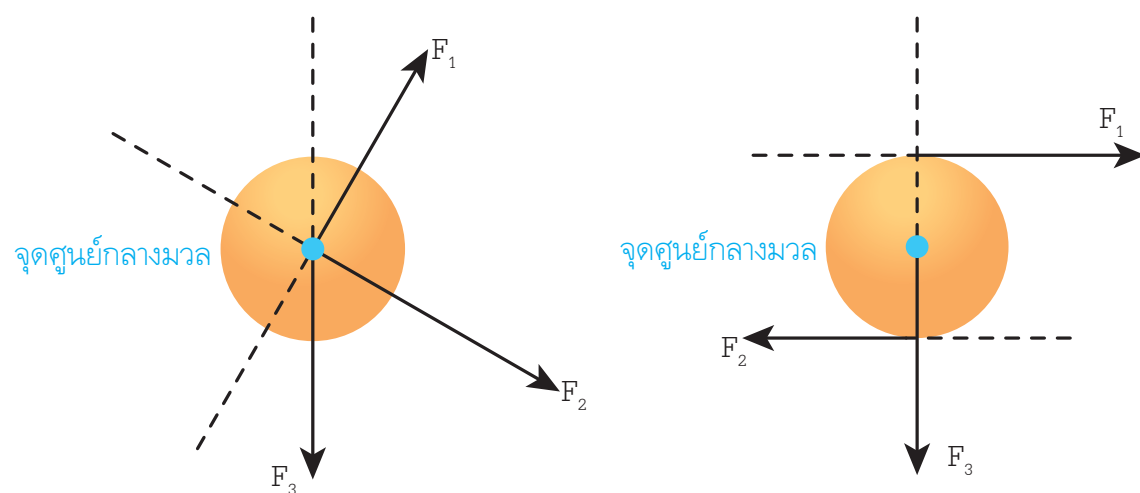
การเคลื่อนที่แบบหมุน (rotational motion) เป็นการเคลื่อนที่ที่หมุนรอบตัวเอง รอบจุดใดจุดหนึ่ง หรือแกนใดแกนหนึ่ง เช่น ลูกข่าง ใบพัดลม ล้อรถ



ภาพที่ 1.52 ตัวอย่างวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุน

เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุ การเคลื่อนที่ของวัตถุอาจพิจารณาได้ ดังนี้

1. ถ้าแรงที่มากระทำต่อวัตถุมีแนวแรงผ่านจุดศูนย์กลางมวล หรือจุดที่เสมือนเป็นที่รวมของมวลวัตถุทั้งก้อน แรงเหล่านี้จะไม่ทำให้วัตถุนั้น ๆ เกิดการหมุน
2. ถ้าแรงที่มากระทำต่อวัตถุมีแนวแรงไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลจะทำให้วัตถุเกิดการหมุน เช่น การหมุนของม้าหมุน การเปิดประตู หรือบางครั้งอาจเกิดการหมุนและเคลื่อนที่ไปด้วย เช่น การกลิ้งของลูกบอล การเคลื่อนที่ของล้อรถ ปริมาณที่ระบุลักษณะของการหมุน เรียกว่า โมเมนต์ของแรง ซึ่งมีค่าเท่ากับขนาดของแรงคูณด้วยระยะตั้งฉากจากจุดหมุนไปยังแนวแรงนั้น หรือที่เรียกว่าแขนของโมเมนต์



แรงทั้ง 3 แรงที่มากระทำต่อวัตถุผ่านจุดศูนย์กลางมวล ไม่ทำให้เกิดโมเมนต์ของแรง ดังนั้น จะไม่ทำให้เกิดการหมุน

แรง F_1 และ F_2 ทำให้เกิดการหมุน ส่วน F_3 จะไม่ทำให้เกิดการหมุน

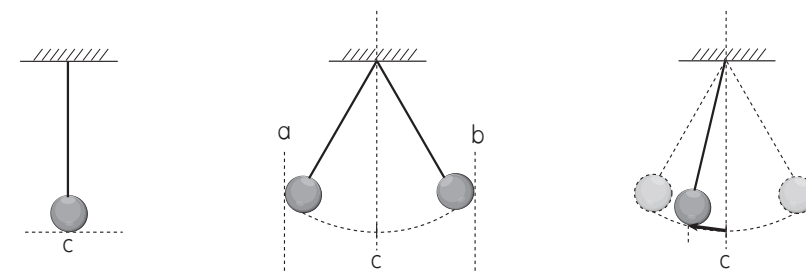
ภาพที่ 1.53 องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของวัตถุ

5.3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกหรือการสั่น

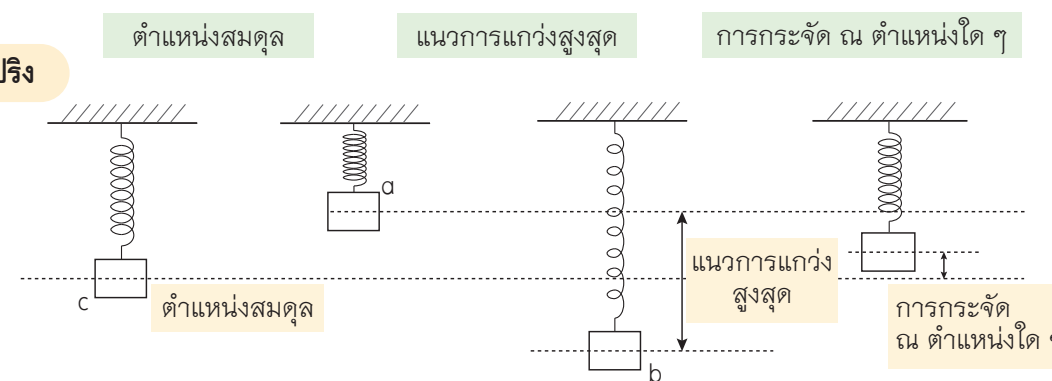
การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกหรือการสั่น (harmonic motion or oscillation) เป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิม เช่น การเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกา การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ติดอยู่ที่ปลายสปริง

หากไม่มีแรงอื่นมากระทำต่อลูกตุ้ม ลูกตุ้มจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงและจะอยู่ในตำแหน่งสมดุล คือ อยู่นิ่ง โดยมีแนวเชือกอยู่ในแนวตั้ง หากจับให้ลูกตุ้มเปลี่ยนตำแหน่งไปจากตำแหน่งสมดุลโดยเชือกตึงอยู่ แล้วปล่อย แรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อลูกตุ้มจะทำให้เกิดการแกว่งกวัด เช่นเดียวกันกับการถ่วงวัตถุติดสปริง หากไม่มีแรงอื่นมากระทำ วัตถุจะอยู่ในสภาพนิ่ง ณ ตำแหน่งสมดุล แต่หากดึงวัตถุให้สปริงยืดออก หรือดันวัตถุให้สปริงหดเข้าไปจากตำแหน่งสมดุลแล้วปล่อย แรงจากสปริงที่เรียกว่าแรงยืดหยุ่น จะพยายามทำให้วัตถุเคลื่อนกลับสู่ตำแหน่งสมดุล ทำให้เกิดการแกว่งกวัดขึ้น

ลูกตุ้ม



สปริง



ภาพที่ 1.54 ตำแหน่งสมดุล แนวการแกว่งสูงสุด และการกระจัด ณ ตำแหน่งใด ๆ ของลูกตุ้มและสปริง

ระยะห่างระหว่างตำแหน่งใด ๆ เทียบกับตำแหน่งสมดุล เรียกว่า **การกระจัด** ซึ่งเป็นปริมาณเวกเตอร์ ขนาดของการกระจัดสูงสุดของวัตถุแบบแกว่งกวัด เรียกว่า **แอมพลิจูด** การเคลื่อนที่แบบสั่นอย่างง่ายจะมีแอมพลิจูดคงตัว จากภาพข้างต้น ตำแหน่ง c คือ ตำแหน่งสมดุล ส่วน a และ b เป็นตำแหน่งที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ไกลจากตำแหน่งสมดุลมากที่สุด

การเคลื่อนที่แบบสั่นอย่างง่ายนี้เป็นการเคลื่อนที่ที่กลับไปกลับมา แสดงว่า วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่หรือวัตถุมีความเร่งตลอดการเคลื่อนที่ และความเร่งนี้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แต่จะมีทิศทางเข้าสู่ตำแหน่งสมดุลเสมอ



กิจกรรมที่ 1.10 แกว่งไกว

วัสดุอุปกรณ์

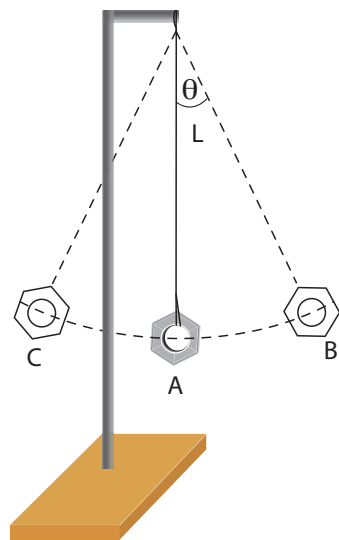
- | | |
|--------------------------|---------|
| 1. นอต | 3 ตัว |
| 2. เชือกยาวประมาณ 1 เมตร | 1 เส้น |
| 3. นาฬิกาจับเวลา | 1 เรือน |

วิธีทำ

- นักเรียนแบ่งกลุ่ม แต่ละกลุ่มร่วมกันแขวนนอต 1 ตัว กับเชือกยาวคงที่ค่าหนึ่ง บันทึกความยาวเชือก (L)
- เบนเชือกที่แขวนนอต ทำมุม θ ค่าหนึ่ง ควรมีค่าน้อย ๆ (ไม่เกิน 5°) แกว่ง 20 รอบ จับเวลา คำนวณค่าคาบ บันทึกผล
- แกว่งด้วยมุม θ เท่าเดิม แต่เปลี่ยนนอตเป็น 2 และ 3 ตัว ตามลำดับ แกว่ง 20 รอบ จับเวลา คำนวณค่าคาบ บันทึกผล
- เปลี่ยนความยาวของเชือก (L) แล้วทำการทดลอง ข้อ 2-3 ซ้ำ

คำถามสำคัญ ?

มวลและความยาวของลูกตุ้ม
จะส่งผลต่อการแกว่งของลูกตุ้ม
หรือไม่



ภาพที่ 1.55 การทดลองแกว่งไกว

- ปัจจุบันได้มีผลต่อคาบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้ม
- สรุปผลการทดลองนี้ได้อย่างไร
- หลักการเคลื่อนที่แบบสั่นอย่างง่ายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างไร



ภาพที่ 1.56 นาฬิกาลูกตุ้ม

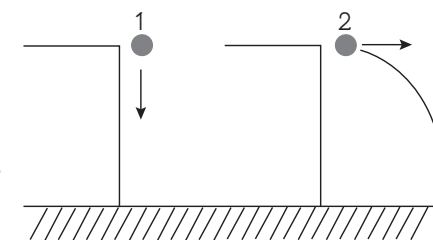
นาฬิกาลูกตุ้ม มีหลักการทำงานโดยใช้การแกว่งแบบสั่นอย่างง่ายของลูกตุ้มในการกำหนดเวลาการหมุนของเข็มนาฬิกา จากกลไกที่ติดกับแกนของลูกตุ้มนั้น ถ้าลูกตุ้มแกว่งเร็ว อัตราการเคลื่อนที่ของเข็มก็จะเร็ว ถ้าแกว่งช้า อัตราการเคลื่อนที่ของเข็มจะช้าตามไปด้วย

- ถ้านาฬิกาลูกตุ้มเดินเร็วกว่าเวลาจริง เช่น เข็มยาวใช้เวลาหมุนครบ 1 รอบ ในเวลา 58 นาที ต้องปรับให้แกนลูกตุ้มยาวขึ้นหรือสั้นลง เพราะเหตุใด อธิบาย

คำถามท้าทายหน่วยการเรียนรู้ที่

1 การเคลื่อนที่และแรง

- นายดำเดินทางไปทางทิศเหนือด้วยความเร็วคงที่ 1 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นจึงเลี้ยวไปทางทิศตะวันออกด้วยความเร็วคงที่ขนาด 2 เมตรต่อวินาที ได้ระยะทาง 120 เมตร จึงหยุด จงหาว่า
 - นายดำเดินทางได้ระยะทางทั้งหมดเท่าใด
 - อัตราเร็วเฉลี่ยของนายดำตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่มีค่าเท่าใด
 - ความเร็วเฉลี่ยของนายดำตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่มีค่าเท่าใด
- หากปล่อยลูกบอลมวล 10 กิโลกรัม และ 5 กิโลกรัม พร้อมกันจากยอดตึกสูง 200 เมตร เมื่อไม่คิดแรงต้านอากาศ ลูกบอลลูกใดจะเคลื่อนที่ลงมาด้วยความเร็วที่มากกว่ากัน และเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
- รถยนต์ออกจากจุดหยุดนิ่งด้วยความเร่ง 4 เมตรต่อวินาที² เมื่อเวลาผ่านไป 10 วินาที รถยนต์จะมีความเร็วเป็นเท่าใด
- สูตรวงรอบสนามซึ่งเป็นวงกลมรัศมี 7 เมตร ถ้าสูตรวิ่งได้ 2 รอบ ภายในเวลา 2 นาที จงหา
 - อัตราเร็วเฉลี่ยในการวิ่งของสูตร
 - ความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งของสูตร
- นาย ก ขับรถบนถนนสายตรงสายหนึ่งด้วยความเร็ว 108 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พอมีเด็กวิ่งตัดหน้า จึงเหยียบเบรกเพื่อลดความเร็วเหลือ 18 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภายในเวลา 5 วินาที จงหาความหน่วงในช่วงเบรก
- ปล่อยเหรียญ 2 เหรียญลงจากที่สูงเท่า ๆ กัน โดยเหรียญแรกปล่อยให้ตกลงมาตรง ๆ เหรียญที่สอง ดึงออกไปด้วยความเร็วค่าหนึ่งในทิศทางขนานกับพื้น เหรียญใดจะตกลงถึงพื้นก่อน
- การเคลื่อนที่แบบวงกลมกับการเคลื่อนที่แบบสั่น แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- ปัจจุบันบ้างที่ส่งผลต่อการแกว่งกวัดของวัตถุ
- เพราะเหตุใด เมื่อขับรถด้วยความเร็วสูงผ่านถนนโค้ง รถจึงเกิดการไถลออกนอกถนน
- ความยาวของแกนลูกตุ้มนาฬิกาจะส่งผลต่อการทำงานของนาฬิกาอย่างไร อธิบาย



ภาพที่ 1.57 ทิศทางการตกของเหรียญ



สื่อสารและนำเสนอ

นักเรียนร่วมกันนำเสนอการเรียนรู้เรื่อง การเคลื่อนที่และแรง เพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้และตรวจสอบความถูกต้องร่วมกัน



แบบประเมินการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง

นักเรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์อย่างไรบ้าง บอกสัญลักษณ์ ที่ตรงกับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของตนเอง



รายการ	ระดับความสามารถ			
	ดีเยี่ยม	ดี	พอใช้	ปรับปรุง
1. มีความรู้ ความเข้าใจอย่างชัดเจน เรื่อง การเคลื่อนที่และแรง				
2. มีการสังเกตสิ่งแวดล้อม เกิดคำถาม หรือสงสัยแล้วได้คาดคะเนคำตอบ				
3. รวมพลังคิดและปฏิบัติกิจกรรม หรือทดลองเพื่อหาคำตอบของคำถาม				
4. ได้รับการบ่มเพาะให้มีความเป็นนักวิทยาศาสตร์				
5. มีการสร้างผลผลิตและ/หรือนวัตกรรม หลังเกิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์				
6. มีโอกาสเผยแพร่ผลผลิตสู่สาธารณะ				



โครงงานหุ่นวิทยากร

รถลูกโป่ง (balloon car)

นักเรียนแบ่งกลุ่ม แต่ละกลุ่มร่วมกันวางแผน ออกแบบรถลูกโป่ง สำหรับการแข่งขันในการวิ่งทางราบให้ไปได้ไกลที่สุด โดยใช้ลูกโป่งแบบเดียวกัน จัดทำผลงาน จัดการแข่งขัน และนำเสนอผลการแข่งขัน



หน่วยการเรียนรู้ที่

2

แรงพื้นฐานในธรรมชาติ

แผนผังหัวข้อหน่วยการเรียนรู้

- แรงโน้มถ่วงกับแรงดึงดูดระหว่างมวล
- การเคลื่อนที่ของวัตถุในสนามโน้มถ่วงของโลก

แรงโน้มถ่วง

- แรงไฟฟ้า
- แรงแม่เหล็ก

แรงแม่เหล็กไฟฟ้า

แรงพื้นฐาน
ในธรรมชาติ

แรงเข้มและแรงอ่อน

ตัวชี้วัดระหว่างทาง

- สืบค้นข้อมูลและอธิบาย แรงโน้มถ่วงที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุต่าง ๆ รอบโลก (ว 2.2 ม.5/6)
- สังเกตและอธิบาย การเกิดสนามแม่เหล็ก เนื่องจากกระแสไฟฟ้า (ว 2.2 ม.5/7)
- สืบค้นข้อมูลและอธิบาย แรงเข้มและแรงอ่อน (ว 2.2 ม.5/10)

ตัวชี้วัดปลายทาง

- สังเกตและอธิบายแรงแม่เหล็ก ที่กระทำต่ออนุภาค ที่มีประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ ในสนามแม่เหล็กและแรงแม่เหล็ก ที่กระทำต่อลวดตัวนำ ที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน ในสนามแม่เหล็ก รวมทั้งอธิบาย หลักการทำงานของมอเตอร์ (ว 2.2 ม.5/8)
- สังเกตและอธิบายการเกิด อีเอ็มเอฟ รวมทั้งยกตัวอย่าง การนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ (ว 2.2 ม.5/9)

ศัพท์สำคัญ

แรงเข้มและแรงอ่อน (strong force and weak force)

แรงโน้มถ่วง (gravitational force)

แรงไฟฟ้า (electric force)

แรงแม่เหล็ก (magnetic force)

แรงแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic force)

สนามแม่เหล็ก (magnetic field)