

หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยาศาสตร์กายภาพ ม.5 เล่ม 2

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง

ทัศนียา อ้อยอารีย์
กุลวดี ห่อทรัพย์

ผู้ตรวจ

ผศ.มาลี สุทธิโสภาส
รศ.มานัส มงคลสุข
ผศ.ปรีดา เพชรมีศรี

บรรณาธิการ

ศ. ดร.พิเชษฐ์ ลิ้มสุวรรณ

หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยาศาสตร์กายภาพ ม.5 เล่ม 2

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

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

ผู้เรียบเรียง ทศนียา อ้อยอารีย์
ผู้ตรวจ ศศ.มาลี สุธธิโอภาส
รศ.มานัส มงคลสุข
ผศ.ปรีดา เพชรมีศรี
บรรณาธิการ ศ. ดร.พิเชษฐ ลิ่มสุวรรณ

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

ทศนียา อ้อยอารีย์.

หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยาศาสตร์กายภาพ ม.5 เล่ม 2.—กรุงเทพฯ : แม็คเอ็ดดูเคชั่น, 2567.

192 หน้า.

1. วิทยาศาสตร์ — การศึกษาและการสอน (มัธยมศึกษา). I. กลวดี ท่อทรัพย์,
ผู้แต่งร่วม. II. ชื่อเรื่อง.

507

ISBN 978-616-345-290-0

พิมพ์ครั้งที่ 1

จำนวน 11,000 เล่ม

สงวนลิขสิทธิ์ : กฎหมายลิขสิทธิ์ 2568

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใด
ของหนังสือเล่มนี้ นอกจากนี้จะได้อธิบายเป็นลายลักษณ์อักษร

จัดทำโดย

MAC EDUCATION

ส่งขนาดต้นฉบับไปยัง **ปราชญ์ฉลาดพัรา**

ในนาม **บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด**

9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว

แขวงจันทระเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

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

www.MACEducation.com

พิมพ์ที่ : บริษัท เค พี เอ็น เมทัล ซัพพลาย แอนด์ เซอร์วิส จำกัด

คำนำ

หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ ม.5 เล่ม 2
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ได้พัฒนาและปรับปรุงเนื้อหา กิจกรรมการทดลอง ภาพประกอบ กิจกรรมตรวจสอบ
การเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) และคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ให้ตรงตาม
มาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียงได้ศึกษามาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัดชั้นปี สาระการเรียนรู้แกนกลาง กระบวนการ
จัดการเรียนรู้ และแนวทางในการวัดและประเมินผล นำมาจัดทำโครงสร้างสำหรับหลักสูตรชั้นมัธยมศึกษา
ปีที่ 5 โดยเลือกเนื้อหา กระบวนการเรียนการสอน การทำกิจกรรม ทักษะการคิด การวัดผลและประเมินผล
ผ่านการนำเสนอด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) ที่เหมาะสมกับผู้เรียนในระดับ
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้ เข้าใจหลักทางวิทยาศาสตร์ ทักษะ
กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ วิธีการสำรวจตรวจสอบข้อมูล การคิดแก้ปัญหา การเสริมสร้างจิตวิทยาศาสตร์
และมุ่งเน้นให้เกิดการพัฒนาสมรรถนะหลักที่สำคัญต่อการใช้ชีวิต นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ฝึกฝน
และพัฒนาให้เกิดทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่สำคัญด้วยกิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)
ที่ช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง การคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา
และการทำงานร่วมกัน นำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรมที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาและ
นำไปใช้ในชีวิตประจำวัน

หนังสือเรียนเล่มนี้ประกอบด้วย 5 หน่วยการเรียนรู้ แต่ละหน่วยการเรียนรู้ได้สรุปสาระการเรียนรู้
ระบุตัวชี้วัดชั้นปี มีภาพและคำถามเข้าสู่บทเรียน แนวคิดสำคัญของแต่ละเรื่อง กิจกรรมตรวจสอบ
การเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) บทสรุปเนื้อหา และคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้
เพื่อเป็นการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนตามแนวปฏิรูป
การศึกษา และมีคุณภาพตรงตามมาตรฐานการเรียนรู้ตัวชี้วัดชั้นปี และสาระการเรียนรู้แกนกลาง
หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้เรียบเรียงขออภัยและขอความกรุณา

ทศนียา อ้อยอารีย์

กลวดี ท่อทรัพย์

คำชี้แจง

หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ ม.5 เล่ม 2 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ได้พัฒนาและปรับปรุงโดยผู้เชี่ยวชาญด้านหลักสูตร ด้านการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผลให้สอดคล้องกับมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดของหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ทุกประการ และให้สอดคล้องกับการพัฒนาประเทศในมิติด้านทรัพยากรมนุษย์ที่กำหนดไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 และแผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579

หนังสือเล่มนี้ได้นำเสนอเนื้อหาตาม **กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)** เน้นการบูรณาการการเรียนรู้กับทักษะกระบวนการและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ แต่ละหน่วยการเรียนรู้จะมีคำถามนำเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจ เน้นย้ำด้วยแนวคิดสำคัญของหัวข้อหลักให้ทราบถึงสิ่งที่เป็นความรู้และความคิดที่เป็นแก่นสำคัญ ฝึกฝนทักษะและความเชี่ยวชาญด้วยกิจกรรมตามธรรมชาติเพื่อให้ผู้เรียนมีการเรียนรู้ที่คงทน มีการตรวจสอบความรู้ความเข้าใจเป็นระยะ ๆ โดยสอดแทรกกิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ซึ่งสัมพันธ์กับเรื่องที่ได้เรียนผ่านมา ในท้ายหน่วยการเรียนรู้จะมีสรุปสำหรับทบทวนองค์ความรู้ทั้งหมด และประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ นอกจากนี้ยังเพิ่มเติมด้วยกิจกรรมบูรณาการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (STEM) ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายสำคัญของหนังสือนี้ ผู้เรียนและผู้สอนสามารถนำไปประยุกต์หรือดัดแปลงให้เหมาะสมกับบริบทของโรงเรียนและผู้เรียน ในส่วนของเนื้อหาเพิ่มเติมมีความเหมาะสมกับการเรียนรู้ ทั้งนี้มีสัญลักษณ์  ให้ใช้สแกนโทรศัพท์มือถือ QR Code เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาในเรื่องนั้น ๆ มากยิ่งขึ้น

คำถามนำเข้าสู่บทเรียน

คำถามเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนสนใจอยากเรียนรู้เนื้อหาในหน่วยการเรียนรู้นั้น ๆ

แนวคิดสำคัญ

เนื้อหาสำคัญในแต่ละเรื่องหรือหัวข้อทำให้ผู้เรียนจดจำหรือเข้าใจอย่างลึกซึ้ง

MAC iLink (Digital Contents)

เนื้อหาเสริมจากบทเรียนในรูปแบบของ Digital Contents ผ่านการสแกน QR Code ให้ใช้สแกนโทรศัพท์หรือผ่านเว็บไซต์ MACEducation.com เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาในเรื่องนั้น ๆ มากยิ่งขึ้น

กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้

กิจกรรมออกแบบมาเพื่อตรวจสอบความเข้าใจเนื้อหาในแต่ละเรื่องของผู้เรียน

กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ให้ผู้เรียนได้ฝึกปฏิบัติเพื่อให้เกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)

กิจกรรมบูรณาการความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และความรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่น ๆ โดยนำมาสร้างผลงานที่มีคุณภาพและความคิดริเริ่มสร้างสรรค์เพื่อให้เกิดประโยชน์และพัฒนาทักษะแห่งศตวรรษที่ 21

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้

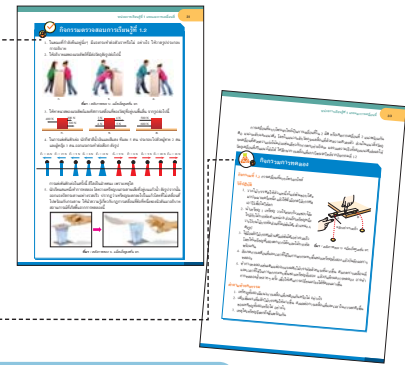
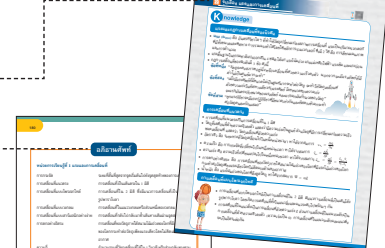
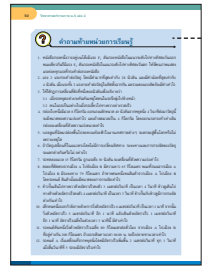
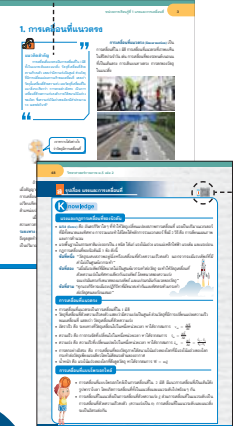
คำถามที่เน้นทักษะกระบวนการคิดเพื่อตรวจสอบความรู้รวบยอดของผู้เรียนให้เป็นไปตามแนวคิดสำคัญ ตัวชี้วัด และสาระการเรียนรู้แกนกลาง

สรุป

การสรุปองค์ความรู้ในแต่ละหน่วยการเรียนรู้ทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านความรู้ (Knowledge) ด้านทักษะกระบวนการ (Process) และด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (Attribute)

อภิธานศัพท์

คำสำคัญ คำศัพท์ยาก หรือคำค้นที่สัมพันธ์กับเนื้อหาในหน่วยการเรียนรู้ต่าง ๆ โดยจะมีการอธิบายความหมายหรือให้คำจำกัดความ



หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 แรงและการเคลื่อนที่

(ว 2.2 ม.5/1, 2, 3, 4, 5, 6)

1. การเคลื่อนที่แนวตรง
 2. แรงและกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
 3. การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์
 4. การเคลื่อนที่แบบวงกลม
 5. การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
- คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้

1

3

18

32

35

41

50

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 คลื่น

(ว 2.3 ม.5/3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)

1. คลื่นและสมบัติของคลื่น
 2. เสียงและการได้ยิน
 3. แสงและการมองเห็น
- คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้

53

55

72

88

98

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 แม่เหล็กไฟฟ้า

(ว 2.2 ม.5/7, 8, 9 และ ว 2.3 ม.5/11, 12)

1. แม่เหล็กไฟฟ้า
 2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้

100

102

119

132

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 ฟิสิกส์นิวเคลียร์

(ว 2.2 ม.5/10 และ ว 2.3 ม.5/1)

1. กัมมันตภาพรังสี
 2. พลังงานนิวเคลียร์
- คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้

133

135

146

157

หน่วยการเรียนรู้ที่ 5 พลังงานและพลังงานทดแทน

(ว 2.3 ม.5/2)

1. พลังงาน
 2. พลังงานทดแทน
- คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้

158

160

164

177

บรรณานุกรม

178

อภิธานศัพท์

180



ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

หน่วยการเรียนรู้ที่

1



แรงและการเคลื่อนที่

สาระการเรียนรู้

- 1 การเคลื่อนที่แนวตรง
- 2 แรงและกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
- 3 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์
- 4 การเคลื่อนที่แบบวงกลม
- 5 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

ตัวชี้วัดชั้นปี

1. วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุ เพื่ออธิบายความเร่งของวัตถุ (ว 2.2 ม.5/1)
2. สังเกตและอธิบายการหาแรงลัพธ์ที่เกิดจากแรงหลายแรงที่อยู่ในระนาบเดียวกันที่กระทำต่อวัตถุโดยการเขียนแผนภาพการรวมแบบเวกเตอร์ (ว 2.2 ม.5/2)
3. สังเกต วิเคราะห์ และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวัตถุกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุและมวลของวัตถุ (ว 2.2 ม.5/3)
4. สังเกตและอธิบายแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาระหว่างวัตถุคู่หนึ่งๆ (ว 2.2 ม.5/4)
5. สังเกตและอธิบายผลของความเร่งที่มีต่อการเคลื่อนที่แบบต่างๆ ของวัตถุ ได้แก่ การเคลื่อนที่แนวตรง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ การเคลื่อนที่แบบวงกลม และการเคลื่อนที่แบบสั่น (ว 2.2 ม.5/5)
6. สืบค้นข้อมูลและอธิบายแรงโน้มถ่วงที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุต่างๆ รอบโลก (ว 2.2 ม.5/6)

?

การเผาไหม้เชื้อเพลิงทำให้จรวดเคลื่อนที่
ขึ้นสู่อวกาศได้ การเคลื่อนที่ของจรวด
เกี่ยวข้องกับแรงอย่างไรบ้าง



ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

1. การเคลื่อนที่แนวตรง



แนวคิดสำคัญ

การเคลื่อนที่แนวตรงเป็นการเคลื่อนที่ใน 1 มิติ
ทั้งในแนวระดับและแนวตั้ง วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วย
ความเร็วคงตัว แสดงว่ามีความเร่งเป็นศูนย์ ส่วนวัตถุ
ที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วขณะเคลื่อนที่ แสดงว่า
วัตถุนั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง และวัตถุที่เคลื่อนที่ใน
แนวตั้งจะเรียกว่า การตกอย่างอิสระ เป็นการ
เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัวภายใต้สนามโน้มถ่วง
ของโลก ซึ่งความเร่งโน้มถ่วงของโลกมีค่าประมาณ
9.8 เมตรต่อวินาที²



เราทราบได้อย่างไร
ว่าวัตถุมีการเคลื่อนที่



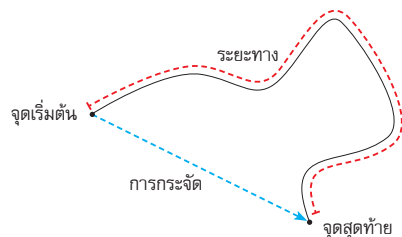
การเคลื่อนที่แนวตรง (linear motion) เป็น
การเคลื่อนที่ใน 1 มิติ การเคลื่อนที่แนวตรงที่เราพบเห็น
ในชีวิตประจำวัน เช่น การเคลื่อนที่ของรถยนต์บนถนน
ที่เป็นเส้นตรง การเดินบนทางตรง การตกของวัตถุ
ในแนวตั้ง



รูปที่ 1.1 การเคลื่อนที่ในแนวตรงที่พบได้ในชีวิตประจำวัน
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

ถ้าตำแหน่งของวัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น นักเรียนนั่งอยู่ในรถที่กำลังจอดติดสัญญาณไฟแดง
เมื่อสัญญาณไฟเปลี่ยนเป็นสีเขียว รถของนักเรียนจะเคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิม การอธิบายเกี่ยวกับ
การเคลื่อนที่ของรถคันนี้จะต้องเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของรถกับวัตถุอื่นที่อยู่หนึ่ง เช่น
เปรียบเทียบกับป้ายจราจร เสาไฟฟ้า โดยวัตถุที่อยู่หนึ่งที่ใช้อ้างอิงตำแหน่ง เรียกว่า **จุดอ้างอิง** วัตถุที่มี
ตำแหน่งเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับจุดอ้างอิง แสดงว่า วัตถุนั้นเคลื่อนที่

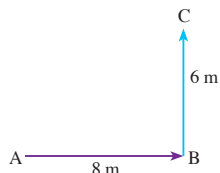
เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางใดๆ แสดงด้วยเส้นสีดำ ดังรูปที่ 1.2 ขนาดของเส้นทางหรือ
ความยาวตามเส้นทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้จริงจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสุดท้าย ซึ่งแสดงด้วยเส้นประสีแดงเรียกว่า
ระยะทาง (distance : S) เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็น เมตร (m) และเวกเตอร์ที่เชื่อมโยงจากจุดเริ่มต้น
ถึงจุดสุดท้ายของการเคลื่อนที่ ซึ่งแสดงด้วยเส้นลูกศรประสีน้ำเงิน เรียกว่า **การกระจัด (displacement : $\vec{S}$)**
เป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีทั้งขนาดและทิศทาง มีหน่วยเป็น เมตร (m)



รูปที่ 1.2 การกระจัดและระยะทางของการเคลื่อนที่ของวัตถุหนึ่ง

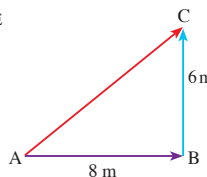
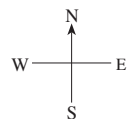
ในการที่มีการเคลื่อนที่หลาย ๆ ช่วง วัตถุอาจมีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ การพิจารณาระยะทางทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนตำแหน่ง จะนำเฉพาะขนาดของการเปลี่ยนตำแหน่งโดยไม่ต้องคำนึงถึงทิศทางมารวมกัน แต่สำหรับการกระจัดซึ่งเป็นปริมาณเวกเตอร์ การหาการกระจัดลัพธ์จะต้องนำทั้งขนาดและทิศทางของการกระจัดในแต่ละช่วงมารวมกันตามหลักการรวมเวกเตอร์

ตัวอย่างที่ 1.1 วัตถุชิ้นหนึ่งเคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B และเคลื่อนที่ต่อไปยังจุด C ดังรูป ระยะทางและการกระจัดในการเคลื่อนที่ของวัตถุนี้มีค่าเท่าไร



วิธีทำ จากโจทย์ ระยะทางจะมีค่าเท่ากับ
 $8 \text{ m} + 6 \text{ m} = 14 \text{ เมตร}$

และการกระจัดมีค่าเท่ากับเส้นตรงที่สั้นที่สุดที่ลากจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายของการเคลื่อนที่ คือ ความยาวของเส้นตรง AC



$$\text{จากทฤษฎีบทพีทาโกรัส } AC^2 = AB^2 + BC^2$$

$$AC = \sqrt{AB^2 + BC^2}$$

$$\text{ขนาดของการกระจัด} = \sqrt{8^2 \text{ m} + 6^2 \text{ m}} = \sqrt{100}$$

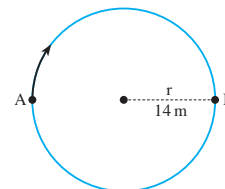
$$= 10 \text{ เมตร ในทิศตะวันออกเฉียงไปทางเหนือ}$$

ดังนั้น ระยะทางในการเคลื่อนที่ของวัตถุนี้มีค่าเท่ากับ 14 เมตร และการกระจัดมีขนาดเท่ากับ 10 เมตร ในทิศตะวันออกเฉียงไปทางเหนือ

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.2 วัตถุอันหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมที่มีรัศมีมีความโค้งเท่ากับ 14 เมตร โดยเริ่มเคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B ระยะทางและการกระจัดของการเคลื่อนที่นี้มีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากรูป หาระยะทางได้จาก



$$\begin{aligned} \text{ระยะทาง} &= \text{ครึ่งหนึ่งของความยาวเส้นรอบวงกลม} \\ &= \frac{2\pi r}{2} = \pi r \\ &= \frac{22}{7} \times 14 \text{ m} \\ &= 44 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

$$\text{ขนาดของการกระจัด} = 2r = (2)(14 \text{ m}) = 28 \text{ เมตร ในทิศไปทางขวา}$$

ดังนั้น ระยะทางของการเคลื่อนที่นี้มีค่าเท่ากับ 44 เมตร และการกระจัดมีขนาดเท่ากับ 28 เมตร ในทิศไปทางขวา

ตอบ

1.1 อัตราเร็วและความเร็ว

เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ ปริมาณที่อธิบายเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ คือ อัตราเร็วและความเร็ว ซึ่งเป็นปริมาณที่บ่งบอกว่าวัตถุนั้นเคลื่อนที่เร็วหรือช้า สำหรับการเคลื่อนที่แนวตรงโดยไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง ระยะทาง และขนาดของการกระจัดจะมีค่าเท่ากัน เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตรงของวัตถุด้วยระยะทางค่าหนึ่ง วัตถุที่ใช้เวลาในการเคลื่อนที่มาก แสดงว่าวัตถุนั้นเคลื่อนที่ช้า และวัตถุที่ใช้เวลาในการเคลื่อนที่น้อย แสดงว่าวัตถุนั้นเคลื่อนที่เร็ว

ดังนั้น ปริมาณที่จะบอกได้ว่าวัตถุเคลื่อนที่เร็วหรือช้า คือ **อัตราเร็ว (speed : v)** จัดเป็นปริมาณสเกลาร์ ซึ่งโดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงอัตราเร็วจะหมายถึงอัตราเร็วเฉลี่ย จากนั้นยามของอัตราเร็ว คือ ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ไปในหนึ่งหน่วยเวลา จะสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\text{อัตราเร็วเฉลี่ย} = \frac{\text{ระยะทางในการเคลื่อนที่}}{\text{เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่}}$$

หรือ

$$v_{av} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

(1.1)

เมื่อ v_{av} คือ อัตราเร็วเฉลี่ย มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

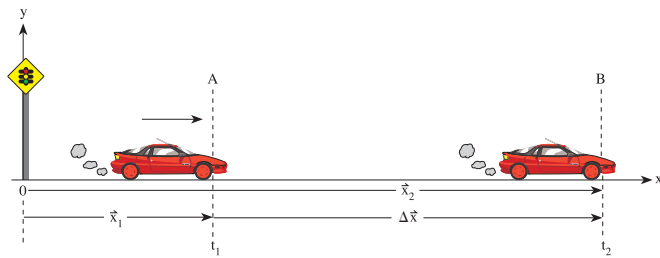
ΔS คือ ระยะทางจากตำแหน่งเริ่มต้นถึงตำแหน่งสุดท้าย มีหน่วยเป็น เมตร (m)

Δt คือ เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนตำแหน่งจากตำแหน่งเริ่มต้นถึงตำแหน่งสุดท้าย มีหน่วยเป็น วินาที (s)

อัตราเร็วเฉลี่ยเป็นปริมาณสเกลาร์ที่อธิบายถึงการเคลื่อนที่ของวัตถุ ไม่มีการระบุทิศทาง แต่

ความเร็ว (velocity : $\vec{v}$) เป็นปริมาณเวกเตอร์ ซึ่งเป็นการกระจัดที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s) จึงมีทั้งขนาดและทิศทาง โดยทั่วไปความเร็วของวัตถุจะหมายถึง **ความเร็วเฉลี่ย (average velocity : $\vec{v}_{av}$)**

ให้นักเรียนพิจารณารูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 การเปลี่ยนตำแหน่งของรถยนต์จากตำแหน่ง A ไปยังตำแหน่ง B

จากรูปที่ 1.3 รถคันนี้เปลี่ยนตำแหน่งจากตำแหน่ง A ที่เวลา t_1 ไปยังตำแหน่ง B ที่เวลา t_2 เมื่อพิจารณาการกระจัดของรถยนต์เทียบกับตำแหน่งอ้างอิงบนพิกัดฉากจากตำแหน่ง A ไปยังตำแหน่ง B จะได้ การกระจัดของรถมีค่าเท่ากับ $\vec{x}_2 - \vec{x}_1 = \Delta\vec{x}$ และมีทิศไปทางขวามือ เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนตำแหน่ง คือ $t_2 - t_1$ หรือ (Δt) จากนิยามของความเร็วชั่วขณะ สามารถหาความเร็วเฉลี่ยได้จากสมการ

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{x}_2 - \vec{x}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\vec{x}}{\Delta t} \quad (1.2)$$

หรือเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ว่า

$$\vec{v}_{av} = \frac{\Delta\vec{S}}{\Delta t} \quad (1.3)$$

เมื่อ $\vec{v}_{av}$ คือ ความเร็วเฉลี่ย มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

$\Delta\vec{S}$ คือ การกระจัดของวัตถุจากตำแหน่งเริ่มต้นถึงตำแหน่งสุดท้าย มีหน่วยเป็น เมตร (m)

Δt คือ เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นถึงตำแหน่งสุดท้าย มีหน่วยเป็น วินาที (s)

และเมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุช่วงเวลาสั้นๆ ความเร็วหรืออัตราเร็วของวัตถุจะเรียกว่า **ความเร็วขณะหนึ่ง** หรือ **อัตราเร็วขณะหนึ่ง** ถ้าในทุกช่วงเวลา วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วหรือขนาดของความเร็วเท่ากันตลอดทั้งการเคลื่อนที่ แสดงว่า วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว วัตถุจะมีอัตราเร็วขณะหนึ่งเท่ากับอัตราเร็วเฉลี่ย แต่ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วหรือความเร็วที่ไม่สม่ำเสมอ แสดงว่า วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง อัตราเร็วขณะหนึ่งของวัตถุอาจไม่เท่ากับอัตราเร็วเฉลี่ย

ค่าของอัตราเร็วเฉลี่ยจะทำให้ทราบลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุในช่วงเวลากว้างๆ จึงไม่สามารถอธิบายรายละเอียดในทุกขณะของการเคลื่อนที่ได้ แต่ในความเป็นจริง การเคลื่อนที่ของวัตถุแต่ละช่วงเวลาอาจมีอัตราเร็วสูงหรือต่ำกว่าอัตราเร็วเฉลี่ยก็ได้ ในบางกรณี การบอกอัตราเร็วของวัตถุด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยเพียงอย่างเดียวอาจไม่เหมาะสม เช่น ในการพยากรณ์อากาศเกี่ยวกับอัตราเร็วของลมมักจะบอกเป็นอัตราเร็วเฉลี่ย แต่ในความเป็นจริงแล้วอัตราเร็วขณะหนึ่งของลมจะไม่คงตัว

1.2 ความเร่ง

ความเร่งเป็นปริมาณที่เกี่ยวข้องกับสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเร็ว เช่น การเคลื่อนที่ของรถยนต์ที่วิ่งมาด้วยความเร็วค่าหนึ่ง เมื่อถึงทางแยกที่สัญญาณไฟจราจรเปลี่ยนเป็นสีแดง คนขับรถจะต้องลดความเร็วลงจนกระทั่งรถหยุดนิ่ง และเมื่อสัญญาณไฟจราจรเปลี่ยนเป็นสีเขียว คนขับรถจะเร่งเครื่องยนต์เพื่อให้รถเคลื่อนที่อีกครั้ง ซึ่งความเร็วของรถจะเพิ่มขึ้น การเคลื่อนที่ที่มีการเปลี่ยนความเร็วในลักษณะนี้จัดเป็นการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง เนื่องจากความเร็วของรถคันดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงขนาด คือ เคลื่อนที่เร็วขึ้นหรือช้าลง หรืออาจมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วทั้งขนาดและทิศทางหากรถคันนี้เลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวา

นิยามของ **ความเร่ง (acceleration : $\vec{a}$)** คือ ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปในหนึ่งหน่วยเวลา การเปลี่ยนแปลงความเร็วนั้นอาจเปลี่ยนแปลงเฉพาะขนาดหรือทิศทาง หรืออาจเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทางพร้อมๆ กันก็ได้ เนื่องจากความเร็วเป็นปริมาณเวกเตอร์จึงทำให้ความเร่งเป็นปริมาณเวกเตอร์ด้วย มีสมการดังนี้

$$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} \quad (1.4)$$

เมื่อ $\vec{a}_{av}$ คือ ความเร่งเฉลี่ย มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที² (m/s²)

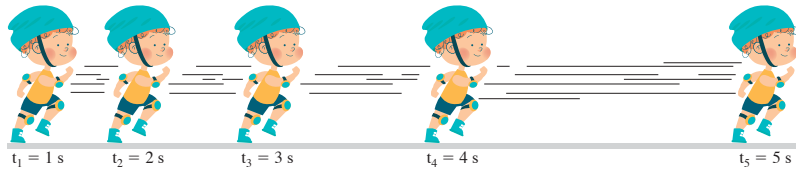
$\Delta\vec{v}$ คือ การเปลี่ยนแปลงความเร็วหรือความเร็วที่เปลี่ยนไป มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

Δt คือ เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงความเร็ว มีหน่วยเป็น วินาที (s)

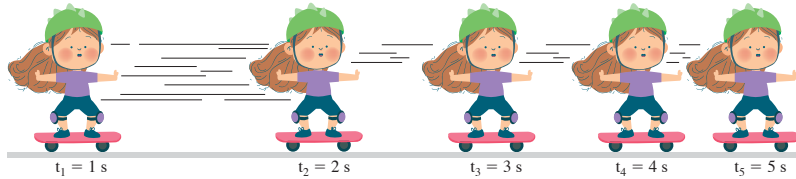
$\vec{v}_1$ คือ ความเร็วเริ่มต้น มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

$\vec{v}_2$ คือ ความเร็วสุดท้าย มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

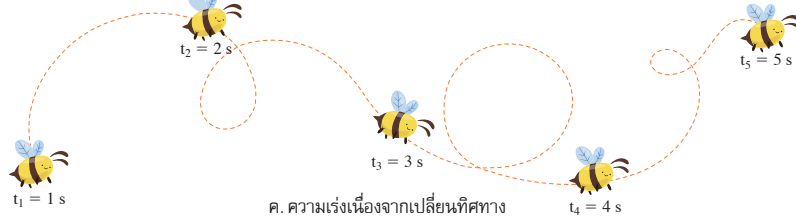
สำหรับการเคลื่อนที่แนวตรงหรือการเคลื่อนที่ใน 1 มิติ ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทาง หากความเร็วของวัตถุเปลี่ยนแปลง วัตถุนั้นจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง และสำหรับการเคลื่อนที่ที่ไม่เป็นเส้นตรง ความเร็วของวัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางหรืออาจเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทาง วัตถุนั้นจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเช่นกัน ดังรูปที่ 1.4



ก. ความเร่งเนื่องจากความเร็วเพิ่มขึ้น



ข. ความเร่งเนื่องจากความเร็วลดลง



ค. ความเร่งเนื่องจากเปลี่ยนทิศทาง

รูปที่ 1.4 การเคลื่อนที่ด้วยความเร่งลักษณะต่างๆ

ดังนั้น วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งอาจมีการเคลื่อนที่เร็วขึ้น ช้าลง หรือเปลี่ยนแปลงทิศทาง การเคลื่อนที่ก็ได้ โดยถ้าวัตถุมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วลดลงหรือเคลื่อนที่ช้าลง แสดงว่า วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเป็นลบ

ในเรื่องการเคลื่อนที่แนวตรง การคำนวณปริมาณเวกเตอร์ต่างๆ เช่น การกระจัด ความเร็ว ความเร่ง จะไม่ใส่เครื่องหมายเวกเตอร์ในสมการ เพราะเป็นการคำนวณขนาดของเวกเตอร์ ซึ่งโดยปกติ มักจะมีการกำหนดทิศทางของเวกเตอร์ด้วยเครื่องหมายบวกหรือลบในสมการ โดยกำหนดให้เวกเตอร์ที่มีทิศทางหนึ่งเป็นบวก เวกเตอร์อื่นที่มีทิศตรงข้ามกับเวกเตอร์ที่กำหนดไว้จะมีเครื่องหมายเป็นลบ

ตัวอย่างที่ 1.3 รถคันหนึ่งวิ่งบนถนนตรงด้วยอัตราเร็วเฉลี่ย 10 เมตรต่อวินาที ได้ระยะทาง 100 เมตร แล้ววิ่งต่อไปด้วยอัตราเร็วเฉลี่ย 20 เมตรต่อวินาที ได้ระยะทาง 40 เมตร รถคันนี้มีอัตราเร็วเฉลี่ยเท่าไร ถ้าถือว่าช่วงที่เปลี่ยนความเร็วสั้นมาก

วิธีทำ จากโจทย์วาดรูปประกอบได้ดังนี้



จากรูป วัตถุเคลื่อนที่ในแนวตรงโดยไม่เปลี่ยนทิศทาง ระยะทางทั้งหมด $S = S_1 + S_2 = 100 + 40 = 140 \text{ m}$ และเวลาทั้งหมด $t = t_1 + t_2$

$$\begin{aligned} \text{หาเวลาในการเคลื่อนที่ช่วงที่ 1} \quad t_1 &= \frac{S_1}{v_1} \\ &= \frac{100 \text{ m}}{10 \text{ m/s}} = 10 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หาเวลาในการเคลื่อนที่ช่วงที่ 2} \quad t_2 &= \frac{S_2}{v_2} \\ &= \frac{40 \text{ m}}{20 \text{ m/s}} = 2 \text{ s} \end{aligned}$$

จะได้เวลาในการเคลื่อนที่ทั้งหมด $t = t_1 + t_2 = 10 \text{ s} + 2 \text{ s} = 12 \text{ วินาที}$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad v_{AB} &= \frac{\Delta S}{\Delta t} \\ &= \frac{140 \text{ m}}{20 \text{ s}} = 11.7 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ดังนั้น รถเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 11.7 เมตรต่อวินาที

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.4 รถคันหนึ่งเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงจากเดิมอยู่นิ่งและเร่งเครื่องยนต์จนมีความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที ในช่วงเวลา 10 วินาที รถคันนี้มีความเร่งเท่าไร และถ้าหลังจากนั้นรถคันนี้เบรกจนหยุดนิ่งในช่วงเวลา 5 วินาที ความเร่งของรถขณะเบรกมีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์วาดรูปประกอบได้ดังนี้



หาขนาดของความเร่งเฉลี่ย

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \bar{a}_{av} &= \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} = \frac{\bar{v}_2 - \bar{v}_1}{t_2 - t_1} \\ &= \frac{(20 - 0) \text{ m/s}}{(10 - 0) \text{ s}} \\ \bar{a}_{av} &= 2 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ขนาดของความเร่งเฉลี่ยเป็นบวก ความเร็วเฉลี่ยของวัตถุเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น และทิศของความเร่งจะมีทิศเดียวกับทิศของความเร็วต้น

ดังนั้น ความเร่งของรถคันนี้ในช่วงเวลา 10 วินาที มีค่าเท่ากับ 2 เมตรต่อวินาที² มีทิศไปทางขวา

ตอบ

หาความเร่งเมื่อรถคันนี้เบรกจากความเร็วต้น 20 เมตรต่อวินาที ในเวลา 5 วินาที

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \bar{a}_{av} &= \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} = \frac{\bar{v}_2 - \bar{v}_1}{t_2 - t_1} \\ &= \frac{(0 - 20) \text{ m/s}}{(5 - 0) \text{ s}} \\ \bar{a}_{av} &= -4 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ความเร่งมีค่าเป็นลบ แสดงว่าความเร็วเฉลี่ยของวัตถุเปลี่ยนแปลงลดลง และทิศของความเร่งจะมีทิศตรงข้ามกับทิศของความเร็วต้น

ดังนั้น ความเร่งของรถขณะเบรกมีค่าเท่ากับ 4 เมตรต่อวินาที² มีทิศไปทางซ้าย **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.5 รถคันหนึ่งเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงด้วยความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที จนมีความเร็ว 15 เมตรต่อวินาที ในเวลา 2 วินาที ความเร่งเฉลี่ยของรถมีค่าเท่าไร และถ้าหลังจากนั้นคนขับลดความเร็วลงเรื่อยๆ จนกระทั่งรถหยุดนิ่งได้ในเวลา 5 วินาที ความเร่งของรถจะมีค่าเท่าไร

วิธีทำ หาความเร่งเฉลี่ยในช่วงแรก

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \bar{a}_{av} &= \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} = \frac{\bar{v}_2 - \bar{v}_1}{t_2 - t_1} \\ \bar{a}_{av} &= \frac{(15 - 10) \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = 2.5 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น ความเร่งเฉลี่ยของรถเท่ากับ 2.5 เมตรต่อวินาที² **ตอบ**

ช่วงที่ 2 คนขับได้ลดความเร็วลงจากความเร็วต้น 15 เมตรต่อวินาที จนกระทั่งหยุด แสดงว่าความเร็วสุดท้ายเป็น 0 เมตรต่อวินาที โดยใช้เวลาในการเปลี่ยนแปลงความเร็ว 5 วินาที

หาความเร่งในช่วงที่ 2

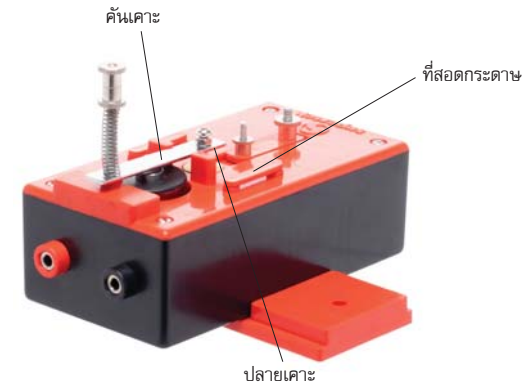
$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \bar{a}_{av} &= \frac{\bar{v}_2 - \bar{v}_1}{\Delta t} \\ \bar{a}_{av} &= \frac{(0 - 15) \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = -3 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ความเร่งมีค่าเป็นลบ แสดงว่าความเร็วเฉลี่ยของวัตถุเปลี่ยนแปลงลดลง และทิศของความเร่งจะมีทิศตรงข้ามกับทิศของความเร็วต้น

ดังนั้น ความเร่งของรถจะมีค่าลดลง 3 เมตรต่อวินาที² **ตอบ**

เครื่องเคาะสัญญาณเวลา

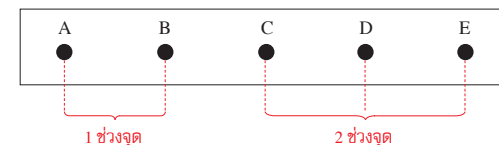
เครื่องเคาะสัญญาณเวลา (ticker tape timer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับศึกษาเรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยใช้สำหรับทดลองเพื่อหาความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่ในช่วงเวลาหนึ่ง เพราะสามารถบันทึกเวลาและตำแหน่งของวัตถุที่สัมพันธ์กัน เครื่องเคาะสัญญาณเวลามีส่วนประกอบ ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 เครื่องเคาะสัญญาณเวลา

ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเค็ดดูเคชั่น จก.

วิธีการทดลองเพื่อศึกษาเรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุ สามารถทำได้โดยนำเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ต่อเข้ากับหม้อแปลงแรงดันต่ำประมาณ 4-6 โวลต์ จะทำให้ปลายเคาะสั่นด้วยความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับจำนวน 50 รอบ ในเวลา 1 วินาที จากนั้นนำแถบกระดาษสอดเข้าไปใต้กระดาษคาร์บอน แล้วเปิดสวิตซ์ไฟพร้อมทั้งดึงแผ่นกระดาษ หรือต่อเข้ากับวัตถุที่ต้องการศึกษาการเคลื่อนที่ จะเกิดจุดบนแถบกระดาษจำนวน 51 จุด หรือ 50 ช่วงจุด (1 ช่วงจุด หมายถึง เวลาที่ใช้จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งที่อยู่ติดกัน) ในเวลา 1 วินาที ดังนั้น เวลา 1 ช่วงจุด จะเท่ากับ $\frac{1}{50}$ วินาที ช่วงเวลาหนึ่งช่วงจุดจะคงที่ เพราะความถี่ของไฟฟ้าคงที่



รูปที่ 1.6 ช่วงเวลาของจุดบนแถบกระดาษ

จากรูปที่ 1.6 จุด A เป็นจุดเริ่มต้น

เวลาจากจุด A ไปยังจุด B คือ ระยะเวลา 1 ช่วงจุด = $\frac{1}{50}$ วินาที

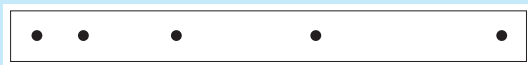
เวลาจากจุด C ไปยังจุด E คือ ระยะเวลา 2 ช่วงจุด = $2\left(\frac{1}{50}\right)$ วินาที
= $\frac{2}{50}$ วินาที

จุดบนแถบกระดาษ สามารถนำไปพิจารณาความเร็วของวัตถุได้ ดังนี้

กรณีที่ 1 วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่



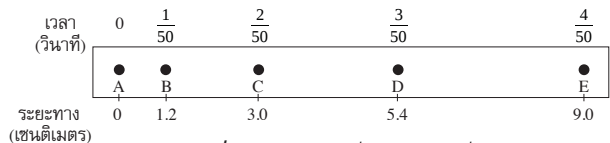
กรณีที่ 2 วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป



กรณีที่ 3 วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วลดลงเมื่อเวลาผ่านไป



การหาความเร็ว ณ เวลาใดเวลาหนึ่งหรือขณะใดขณะหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้โดยการหาความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลานั้นๆ



รูปที่ 1.7 แถบกระดาษที่มีความเร็วไม่สม่ำเสมอ

ถ้าวัดระยะทางระหว่างจุด A ถึงจุด C ซึ่งเวลาห่างกัน $\frac{2}{50}$ วินาที ความเร็วเฉลี่ยที่ได้เป็นความเร็ว ณ จุดกึ่งกลางเวลานั้น เรียกว่า **ความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง (instantaneous speed)** หรือเป็นความเร็วเฉลี่ยที่จุด B

จากแถบกระดาษจะเห็นว่า ระยะห่างระหว่างจุดไม่เท่ากัน แต่มีระยะห่างระหว่างจุดห่างกันมากขึ้น แสดงว่า แถบกระดาษนี้มีความเร็วไม่สม่ำเสมอ

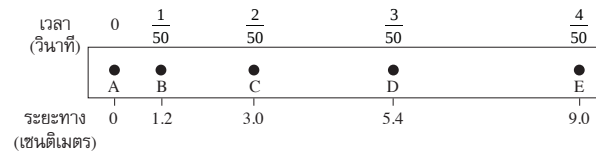
ความเร็วเฉลี่ยหาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{ความเร็วเฉลี่ย} = \frac{\text{การกระจัด}}{\text{ระยะเวลาทั้งหมด}} \quad (1.5)$$

โดยระยะเวลาทั้งหมด หาได้จาก

$$\text{ระยะเวลาทั้งหมด} = \text{จำนวนช่วงจุด} \times \left(\frac{1}{50}\right) \text{ วินาที} \quad (1.6)$$

ตัวอย่างที่ 1.6 ความเร็วเฉลี่ยจากจุด A ถึงจุด E จากแถบกระดาษเป็นเท่าไร



วิธีทำ ความเร็วเฉลี่ยจากจุด A ถึงจุด E = $\frac{\text{การกระจัดจาก A ถึง E}}{\text{ระยะเวลาจาก A ถึง E}}$

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วเฉลี่ยจากจุด A ถึงจุด E} &= \frac{9.0 \times 10^{-2} \text{ m}}{4 \times \left(\frac{1}{50}\right) \text{ s}} \\ &= 1.125 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความเร็วเฉลี่ยจากจุด A ถึง E เท่ากับ 1.125 เมตรต่อวินาที

ตอบ

ความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง หาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{ความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง} = \frac{\text{การกระจัดระหว่าง 2 ช่วงจุดที่อยู่ติดกัน}}{\text{ระยะเวลาระหว่าง 2 ช่วงจุดที่อยู่ติดกับขณะนั้น}} \quad (1.7)$$

โดยระยะเวลาระหว่าง 2 ช่วงจุดที่อยู่ติดกับขณะนั้น หาได้จาก $2 \times \left(\frac{1}{50}\right) = \left(\frac{2}{50}\right)$ วินาที

ตัวอย่างที่ 1.7 ความเร็วที่จุด C จากแถบกระดาษมีค่าเท่าไร

เวลา (วินาที)	0	$\frac{1}{50}$	$\frac{2}{50}$	$\frac{3}{50}$	$\frac{4}{50}$
	● A	● B	● C	● D	● E
ระยะทาง (เซนติเมตร)	0	1.2	3.0	5.4	9.0

วิธีทำ ความเร็วที่จุด C (v_C) = $\frac{\text{การกระจัดจาก B ถึง D}}{\text{ระยะเวลาจาก B ถึง D}}$

$$\begin{aligned}\text{ความเร็วที่จุด C } (v_C) &= \frac{4.2 \times 10^{-2} \text{ m}}{2 \times \left(\frac{1}{50}\right) \text{ s}} \\ &= 1.05 \text{ m/s}\end{aligned}$$

ดังนั้น ความเร็วที่จุด C เท่ากับ 1.05 เมตรต่อวินาที

ความเร่ง หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วในหนึ่งหน่วยเวลา

ความเร่งขณะใดขณะหนึ่ง หาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{ความเร่งขณะใดขณะหนึ่ง} = \frac{\text{ความเร็วที่เปลี่ยนไป } (\Delta v)}{\text{ระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนความเร็ว } (\Delta t)}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.8 ความเร่งที่จุด C จากแถบกระดาษมีค่าเท่าไร

เวลา (วินาที)	0	$\frac{1}{50}$	$\frac{2}{50}$	$\frac{3}{50}$	$\frac{4}{50}$
	● A	● B	● C	● D	● E
ระยะทาง (เซนติเมตร)	0	1.2	3.0	5.4	9.0

วิธีทำ หาความเร่งที่จุด C จาก

$$\text{ความเร่งขณะใดขณะหนึ่ง} = \frac{\text{ความเร็วที่เปลี่ยนไป } (\Delta v)}{\text{ระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนความเร็ว } (\Delta t)}$$

$$\begin{aligned}\text{ความเร่งที่จุด C} &= \frac{\text{ความเร็วที่จุด D} - \text{ความเร็วที่จุด B}}{\text{ระยะเวลาที่จุด D} - \text{ระยะเวลาที่จุด B}} \\ &= \frac{v_D - v_B}{t_D - t_B}\end{aligned}$$

หาความเร็วที่จุด B จาก

$$\text{ความเร็วที่จุด B } (v_B) = \frac{\text{การกระจัดจาก A ถึง C}}{\text{ระยะเวลาจาก A ถึง C}}$$

$$\begin{aligned}\text{ความเร็วที่จุด B } (v_B) &= \frac{3.0 \times 10^{-2} \text{ m}}{2 \times \left(\frac{1}{50}\right) \text{ s}} \\ &= 0.75 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\text{ความเร็วที่จุด B } (v_B) = 0.75 \text{ m/s}$$

หาความเร็วที่จุด D จาก

$$\text{ความเร็วที่จุด D } (v_D) = \frac{\text{การกระจัดจาก C ถึง E}}{\text{ระยะเวลาจาก C ถึง E}}$$

$$\begin{aligned}\text{ความเร็วที่จุด D } (v_D) &= \frac{6.0 \times 10^{-2} \text{ m}}{2 \times \left(\frac{1}{50}\right) \text{ s}} \\ &= 1.5 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\text{ความเร็วที่จุด D } (v_D) = 1.5 \text{ m/s}$$

แทนสมการ v_B , v_D , t_B และ t_D ในสมการ $\frac{v_D - v_B}{t_D - t_B}$

$$\begin{aligned}\text{ความเร่งที่จุด C } (a_C) &= \frac{(1.5 - 0.75) \text{ m/s}}{\left(\frac{3}{50} - \frac{1}{50}\right) \text{ s}} \\ &= \frac{0.75 \text{ m}}{\frac{2}{50} \text{ s}} \\ &= 18.75 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

ดังนั้น ความเร่งที่จุด C เท่ากับ 18.75 เมตรต่อวินาที²

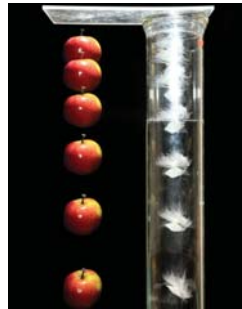
ตอบ

1.3 การตกอย่างอิสระ

โดยทั่วไปการเคลื่อนที่แนวตรงของวัตถุจะมีการเคลื่อนที่แนวตรงในแนวระดับและแนวตั้ง ซึ่งการเคลื่อนที่ในแนวระดับบางครั้งอาจเป็นการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวโดยไม่มีแรงมาเกี่ยวข้อง แต่การเคลื่อนที่ในแนวตั้งจะเป็นการเคลื่อนที่ภายใต้สนามโน้มถ่วงของโลกด้วยแรงคงตัวที่เรียกว่า **ความเร่งโน้มถ่วง (gravitational acceleration : g)** ซึ่งมีค่าประมาณ 9.8 เมตรต่อวินาที² เช่น การโยนลูกบอลขึ้นไปในอากาศ การตกของลูกมะพร้าวอาจเรียกว่า **การตกอย่างอิสระ (free fall)** ซึ่งเป็น การเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้สนามโน้มถ่วงของโลกที่มีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุให้ตกลงมายังพื้นโลกเสมอ



รูปที่ 1.8 การตกของลูกมะพร้าว
ที่มา : www.physicsworld.com



รูปที่ 1.9 การตกอย่างอิสระของลูกแอปเปิลและขนนก
ที่มา : www.physicsworld.com

กาลิเลโอ กาลิเลอี (Galileo Galilei) ได้ศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุและเสนอแนวคิดไว้ว่า หากปล่อยวัตถุที่มีมวลต่างกันให้ตกจากความสูงระดับเดียวกัน เมื่อไม่มีแรงต้านอากาศมาเกี่ยวข้อง วัตถุทั้งสองจะตกถึงพื้นพร้อมกัน นักวิทยาศาสตร์ได้ทดสอบแนวคิดนี้โดยทดลองปล่อยวัตถุ 2 ชนิดที่มีมวลต่างกัน เช่น ลูกแอปเปิลและขนนกให้ตกจากความสูงระดับเดียวกันในสภาพสุญญากาศ (ไม่มีแรงต้านอากาศ) ดังรูปที่ 1.9 พบว่า ลูกแอปเปิลและขนนกจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากันและตกถึงพื้นพร้อมกัน สรุปได้ว่า ความเร็วของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งหรือการตกอย่างอิสระของวัตถุนั้นจะขึ้นอยู่กับความเร่งโน้มถ่วงของโลก โดยไม่ขึ้นกับมวลของวัตถุ

เมื่อพิจารณาการตกอย่างอิสระของวัตถุ จะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุให้เคลื่อนที่เข้าหาโลก ด้วยความเร่งโน้มถ่วง (g) ซึ่งแรงโน้มถ่วงของโลกที่ดึงดูดวัตถุก็คือ น้ำหนัก (weight) ของวัตถุ ดังสมการ

$$\vec{W} = m\vec{g} \quad (1.9)$$

เมื่อ $\vec{W}$ คือ น้ำหนักของวัตถุ มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

g คือ ความเร่งโน้มถ่วงของโลก มีค่าประมาณ 9.8 เมตรต่อวินาที²

น้ำหนักเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศเดียวกับความเร่งโน้มถ่วง ดังนั้น น้ำหนักจึงมีทิศทางพุ่งเข้าหาจุดศูนย์กลางของโลก สำหรับวัตถุหนึ่ง ๆ มวลของวัตถุจะมีค่าคงตัวเสมอไม่ว่าอยู่ที่ใดก็ตาม แต่น้ำหนักของวัตถุจะขึ้นกับความเร่งโน้มถ่วง ดังนั้น วัตถุก้อนเดียวกันเมื่อชั่งน้ำหนักในบริเวณที่มีความเร่งโน้มถ่วงต่างกัน จะมีน้ำหนักแตกต่างกันได้ เช่น การชั่งน้ำหนักของวัตถุมวล 1 กิโลกรัม บนโลกที่มีความเร่งโน้มถ่วง 9.8 m/s^2 หรือประมาณ 10 m/s^2 กับการชั่งน้ำหนักของวัตถุชิ้นเดียวกันบนดาวพฤหัสบดีที่มีความเร่งโน้มถ่วง 24.79 m/s^2 หรือประมาณ 25 m/s^2 ซึ่งมากกว่าโลก 2.53 เท่า ดังนั้น วัตถุจะหนัก 10 นิวตันบนโลก แต่จะหนัก 25 นิวตันบนดาวพฤหัสบดี

วัตถุนบนโลกมีน้ำหนักเนื่องจากมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุ แต่วัตถุที่อยู่ห่างไกลมาก ๆ แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุจะมีค่าน้อยลงจนเกือบเป็นศูนย์ได้ และในกรณีของผู้ที่อยู่ในดาวเทียมที่กำลังโคจรรอบโลก ดาวเทียมจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเหมือนกับดาวเทียมกำลังตกอย่างอิสระอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้ผู้ที่อยู่ในดาวเทียมมี **สภาพแรงโน้มถ่วงน้อย (microgravity)** จนอาจถือได้ว่าเป็น **สภาพไร้น้ำหนัก (weightlessness)** เช่นเดียวกับการชั่งน้ำหนักในลิฟต์ที่ขาดและกำลังตกลงมาด้วยความเร่ง g ผู้ที่อยู่ในลิฟต์จะไม่มีแรงที่เท้ากดลงบนตาชั่ง ทำให้ตาชั่งอ่านค่าได้เป็นศูนย์ จึงอยู่ในสภาพไร้น้ำหนักเช่นเดียวกัน



ก. สภาพไร้น้ำหนักในสถานีอวกาศนานาชาติ



ข. การทดลองสภาพไร้น้ำหนักด้วยเครื่องบิน

รูปที่ 1.10 สภาพไร้น้ำหนัก
ที่มา : www.nasa.gov



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.1

1. นักเรียนคนหนึ่งเดินจากบ้านไปโรงเรียนเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร ใช้เวลา 20 นาที นักเรียนคนนี้เดินด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยกี่เมตรต่อวินาที
2. รถคันหนึ่งเคลื่อนที่บนถนนตรงจากหยุดหนึ่ง จนกระทั่งมีความเร็วเป็น 25 เมตรต่อวินาที ในช่วงเวลา 10 วินาที ความเร่งของรถยนต์คันนี้มีค่าเท่าไร
3. เมื่อทดลองปล่อยกระดาษที่แผ่นหนึ่งขยำให้เป็นก้อน ส่วนอีกแผ่นหนึ่งไม่ได้ขยำ ให้ตกลงมาจากระดับความสูงเท่ากัน กระดาษทั้งสองตกลงถึงพื้นพร้อมกันหรือไม่ เพราะเหตุใด
4. เมฆปล่อยก้อนหินจากหน้าผาแห่งหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที ก้อนหินจะมีความเร็วเท่าไร
5. ในการชั่งน้ำหนัก นักเรียนคิดว่าน้ำหนักที่อ่านค่าได้บนดวงจันทร์และดาวอังคารจะเป็นอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักบนโลก เพราะเหตุใด

2. แรงและกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน



แนวคิดสำคัญ

แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีทั้งขนาดและทิศทาง การหาแรงลัพธ์จึงทำได้โดยใช้หลักการรวมเวกเตอร์ ผลของแรงทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ซึ่งการเคลื่อนที่ของวัตถุทุกชนิดในเอกภพสามารถอธิบายได้โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันและกฎความโน้มถ่วงสากลของนิวตัน แรงที่กระทำต่อวัตถุในลักษณะที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้วัตถุมีลักษณะการเคลื่อนที่แตกต่างกันด้วย

2.1 แรงพื้นฐานในธรรมชาติ

ในชีวิตประจำวัน การทำกิจกรรมหรือปรากฏการณ์ต่างๆ เช่น การยกวัตถุ การเคลื่อนย้ายสิ่งของ วัตถุตกจากที่สูง เรือที่กำลังลอยในน้ำ ล้วนเกี่ยวข้องกับแรงเสมอ ซึ่งแรงมีผลทำให้วัตถุเปลี่ยนแปลงสภาพไปจากเดิม เช่น เปลี่ยนแปลงตำแหน่ง เคลื่อนที่เร็วขึ้นหรือช้าลง เปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือขนาด

แรง (force) คือ อันตรกิริยาใดๆ ที่สามารถเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ อาจทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วหรือเปลี่ยนทิศทาง

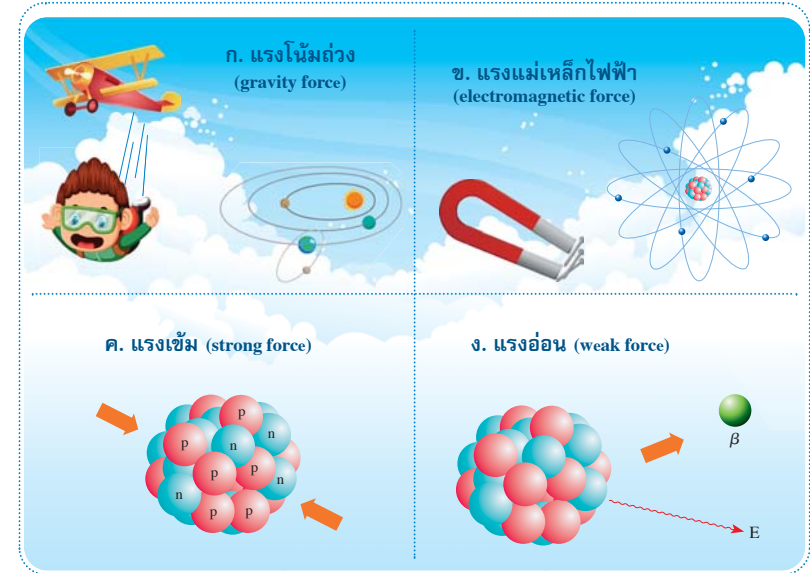
การเคลื่อนที่ แรงจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีทั้งขนาดและทิศทาง มีหน่วยเป็น **นิวตัน (N)** โดยทั่วไปแรงพื้นฐานในธรรมชาติแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ แรงโน้มถ่วง แรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงเข้ม และแรงอ่อน

1. แรงโน้มถ่วง (gravitational force) เป็นแรงดึงดูดระหว่างมวลของวัตถุ เช่น แรงที่ดวงอาทิตย์ดึงดูดโลก ซึ่งทำให้โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ แรงที่โลกดึงดูดวัตถุให้ตกลงมายังพื้นโลก แรงโน้มถ่วงเป็นแรงที่อ่อนที่สุดในบรรดาแรงพื้นฐานเมื่อเปรียบเทียบกับระยะห่างเท่ากัน และเป็นแรงที่ส่งผลได้ไกล มีความเข้มของแรงประมาณ 10^{-38} เท่าของแรงเข้มถึงแม้ว่าแรงโน้มถ่วงเป็นแรงที่ไม่สามารถรับรู้ได้เพราะความเข้มของแรงที่กระทำต่อวัตถุมีความเบาบาง แต่ก็เป็แรงที่ยึดเหนี่ยวสิ่งต่างๆ ไว้กับพื้นโลก

2. แรงแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic force) เป็นแรงที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า หรือการเหนี่ยวนำระหว่างสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก มีความเข้มมากกว่าแรงโน้มถ่วงเป็นอย่างมาก หรือประมาณ 10^{-2} เท่าของแรงเข้ม และเป็นแรงที่ส่งผลได้ไกล แรงแม่เหล็กไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างมากในระดับอะตอม เนื่องจากเป็นแรงที่ยึดอิเล็กตรอนกับโปรตอนเข้าไว้ด้วยกันซึ่งทำให้เกิดอะตอม และยังเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือโมเลกุลอื่นๆ เข้าด้วยกัน

3. แรงเข้ม (strong force) หรืออันตรกิริยาอย่างเข้ม เป็นแรงที่ดึงดูดควาร์ก (quark) เข้าด้วยกัน การรวมตัวของควาร์กจะทำให้เกิดโปรตอนและนิวตรอนที่รวมกันเป็นนิวเคลียส ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของอะตอมภายในสสารต่างๆ เป็นแรงที่มีขนาดมากที่สุดในบรรดาแรงพื้นฐานเมื่อเปรียบเทียบกับระยะห่างเท่ากัน และส่งผลที่ระยะประมาณ 10^{-15} เมตร หรือประมาณขนาดของนิวเคลียส

4. แรงอ่อน (weak force) หรืออันตรกิริยาอย่างอ่อน เป็นแรงที่เกี่ยวข้องกับการสลายของอนุภาค หรือสารกัมมันตรังสี เช่น การสลายให้อนุภาคบีตา หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นแรงที่ใช้ยึดเหนี่ยวกลุ่มอิเล็กตรอนไว้ในอะตอมของสสารนั้นๆ ซึ่งมีความเข้มประมาณ 10^{-6} เท่าของแรงเข้มและส่งผลที่ระยะประมาณ 10^{-18} เมตร หรือเล็กกว่าขนาดของโปรตอน

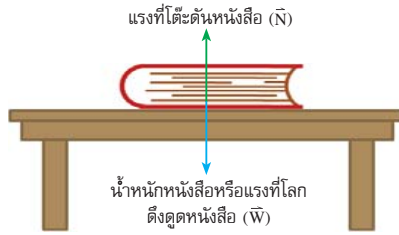


รูปที่ 1.11 แรงพื้นฐานในธรรมชาติ
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุ วัตถุนั้นอาจเคลื่อนที่หรือไม่ก็ได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีแรงอื่นกระทำต่อวัตถุด้วย เช่น ถ้าวัตถุวางบนพื้นที่มีแรงเสียดทานกระทำต่อวัตถุ หากออกแรงกระทำต่อวัตถุน้อยกว่าแรงเสียดทานสถิตวัตถุก็จะไม่เกิดการเคลื่อนที่ แต่ถ้าออกแรงกระทำต่อวัตถุมากกว่าแรงเสียดทานสถิตก็จะทำให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร่งตามทิศที่แรงมากระทำ ซึ่งในชีวิตประจำวันอาจพบการเคลื่อนที่ของวัตถุเนื่องจากมีแรงมากระทำ เช่น การเตะลูกฟุตบอล การตีเทนนิส แรงที่กระทำต่อลูกฟุตบอลหรือลูกเทนนิสในช่วงเวลาสั้นๆ จะทำให้ลูกฟุตบอลหรือลูกเทนนิสเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่หรือมีความเร็วเปลี่ยนไปตามแรงกระทำ

2.2 การหาแรงลัพธ์

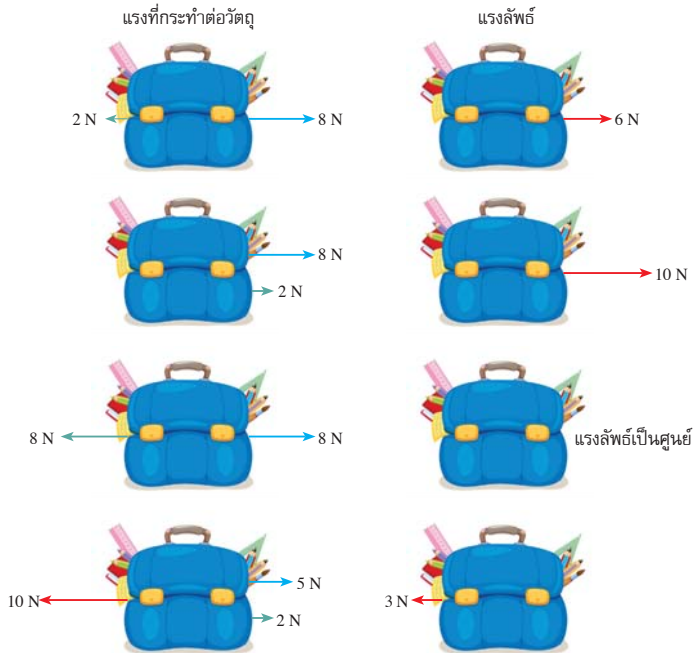
ให้นักเรียนพิจารณาหนังสือที่วางนิ่งบนโต๊ะ



รูปที่ 1.12 แรงกระทำต่อหนังสือที่วางนิ่งบนโต๊ะ
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

จากรูปที่ 1.12 จะเห็นว่า หนังสือที่วางอยู่หนึ่ง ๆ นั้นก็ยังคงมีแรงกระทำต่อหนังสือ แต่สาเหตุที่หนังสือไม่เปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ เนื่องจากแรงที่กระทำต่อหนังสือทั้งสองแรงมีขนาดเท่ากันและมีทิศทางตรงข้ามกัน เมื่อรวมกัน แรงลัพธ์จะมีค่าเป็นศูนย์ หนังสือจึงอยู่หนึ่งและ ไม่เปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่

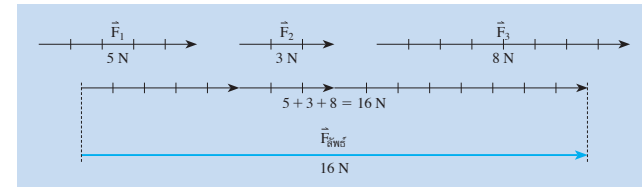
วัตถุต่าง ๆ จะเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่หรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ เมื่อมีแรงมากกว่า 1 แรงที่อยู่ในแนวเดียวกันกระทำต่อวัตถุ สามารถหาแรงลัพธ์ได้ดังรูปที่ 1.13



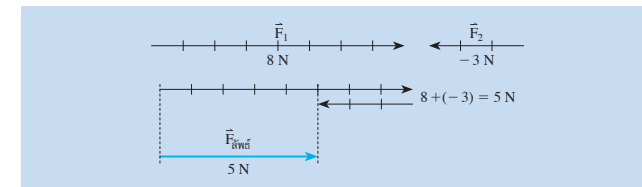
รูปที่ 1.13 แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุลักษณะต่างๆ
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์จะใช้วิธีการรวมเวกเตอร์ เมื่อแรงที่มากระทำต่อวัตถุอยู่ในแนวเดียวกัน การรวมแรงจะแยกออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

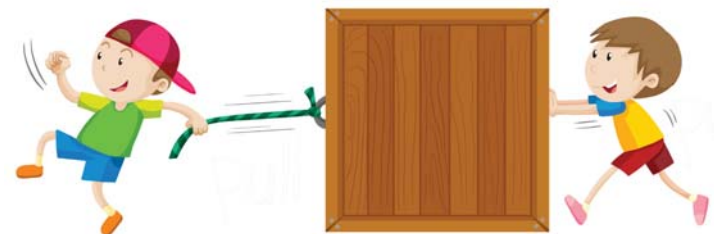
1. แรงมีทิศทางไปทางเดียวกัน ขนาดของแรงลัพธ์จะหาได้จากผลรวมของขนาดของแรง และทิศทางของแรงลัพธ์จะมีทิศเดิม เช่น มีแรงขนาด 5 นิวตัน 3 นิวตัน และ 8 นิวตัน กระทำต่อวัตถุในทิศไปทางขวามือ จะหาแรงลัพธ์ได้ดังนี้



2. แรงมีทิศทางตรงข้ามกัน ถ้ากำหนดให้แรงที่มีขนาดมากกว่ามีเครื่องหมายเป็นบวก แรงที่มีทิศทางตรงข้ามกับแรงนั้นจะมีเครื่องหมายเป็นลบ ขนาดของแรงลัพธ์หาได้จากผลรวมขนาดของแรงที่คิดตามเครื่องหมายแสดงทิศทาง และทิศทางของแรงลัพธ์จะมีทิศเดียวกับแรงที่มีขนาดมากกว่า เช่น มีแรงขนาด 8 นิวตัน กระทำต่อวัตถุในทิศไปทางขวามือ และแรงขนาด 3 นิวตัน กระทำต่อวัตถุในทิศไปทางซ้ายมือ จะหาแรงลัพธ์ได้ดังนี้



การหาแรงลัพธ์ของแรงที่อยู่ในแนวเดียวกันมีวิธีการที่ค่อนข้างง่าย แต่ถ้าแรงแต่ละแรงไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกัน การหาแรงลัพธ์จะทำได้โดยการสร้างรูป ให้นักเรียนศึกษากิจกรรมที่ 1.1



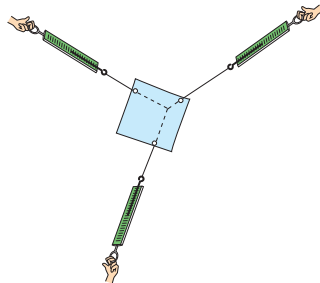


กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.1 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์

วิธีปฏิบัติ

1. นำเชือกทั้ง 3 เส้น มาผูกปลายด้านหนึ่งเข้าด้วยกัน ส่วนปลายที่เหลือให้ผูกเป็นห่วงเพื่อใช้เกี่ยวกับเครื่องชั่งสปริง
2. วางเชือกที่ผูกแล้วไว้บนกระดาษขาว แล้วใช้เครื่องชั่งสปริงทั้ง 3 อัน เกี่ยวที่ห่วงเชือก ดังรูป
3. จากนั้นออกแรงดึงเครื่องชั่งสปริงทั้ง 3 อัน จนกระทั่งปมเชือกอยู่ในตำแหน่งสมดุล จัดให้เครื่องชั่งสปริง 2 อัน อยู่ในทิศทางเดียวกัน และบันทึกค่าแรงดึงจากเครื่องชั่งสปริงทั้ง 3 อัน
4. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3 โดยให้เครื่องชั่งสปริง 2 อันทำมุมต่อกัน 45° และ 90° ตามลำดับ แล้วบันทึกขนาดของแรงจากเครื่องชั่งสปริงทั้ง 3 อัน
5. เขียนเวกเตอร์แทนขนาดและทิศทางของแรงทั้งสามในแต่ละกรณี แล้วให้นักเรียนนำแรง 2 แรงที่ทำมุมกัน 45° และ 90° มารวมกันโดยวิธีสร้างรูป เปรียบเทียบแรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นทั้งขนาดและทิศทางกับเวกเตอร์แทนแรงของแรงทั้งสาม แล้วเขียนเป็นรายงานการทดลอง



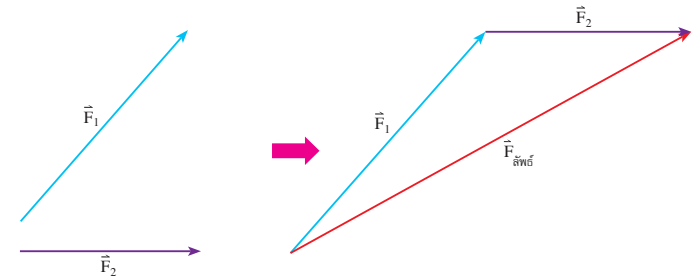
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

คำถามท้ายกิจกรรม

1. แรงที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริงทั้ง 3 กรณี มีความแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
2. เื่อนำเวกเตอร์ของแรง 2 แรงที่ทำมุมต่อกัน 45° และ 90° มารวมกันโดยวิธีสร้างสี่เหลี่ยมด้านขนาน แล้วเปรียบเทียบแรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นทั้งขนาดและทิศทางกับเวกเตอร์แทนแรงของแรงทั้งสามได้ผลเป็นอย่างไร

จากกิจกรรมที่ 1.1 ขณะที่ปมเชือกอยู่นิ่ง เมื่อนักเรียนนำแรง 2 แรงที่ทำมุมต่อกันมารวมกันแบบเวกเตอร์ โดยวิธีการสร้างรูป จะพบว่า แรงลัพธ์ของแรงย่อยทั้งสองจะมีขนาดเท่ากับแรงย่อยที่สาม แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน การหาแรงลัพธ์โดยวิธีสร้างรูปสามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้

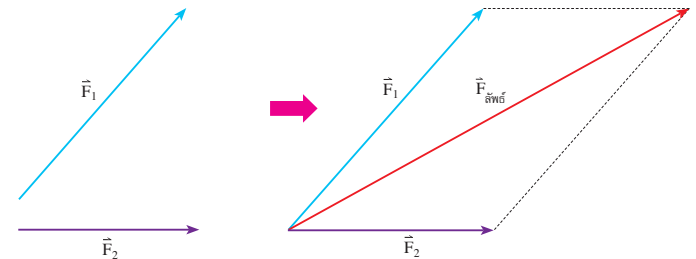
1. การสร้างรูปสามเหลี่ยม ให้กำหนดมาตราส่วนจากค่าจริงให้เป็นค่าที่สามารถใช้ไม้บรรทัดวัดได้ จากนั้นวาดลูกศรของแรงที่ 1 ($\vec{F}_1$) และแรงที่ 2 ($\vec{F}_2$) ในทิศทางเดียวกับที่โจทย์กำหนด โดยให้หางลูกศรของแรงที่ 2 ต่อกับหัวลูกศรของแรงที่ 1 จากนั้นลากเส้นจากหางลูกศรของแรงที่ 1 ไปยังหัวลูกศรของแรงที่ 2 จะได้แรงลัพธ์ ($\vec{F}_{\text{ลัพธ์}}$) ดังรูปที่ 1.14 วัดขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์จากรูปและเทียบมาตราส่วนกลับเป็นค่าจริงตามที่ได้กำหนดไว้



รูปที่ 1.14 การหาแรงลัพธ์โดยวิธีสร้างรูปสามเหลี่ยม

ในกรณีที่ให้มีแรงมากกว่า 2 แรง ให้วาดแรงแต่ละแรงโดยนำหางลูกศรต่อกับหัวลูกศรของแรงในลักษณะนี้ไปเรื่อยๆ จนครบทุกแรง แล้วลากเส้นจากหางลูกศรของแรงแรกไปยังหัวลูกศรของแรงสุดท้าย ก็จะได้แรงลัพธ์

2. การสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน ให้กำหนดมาตราส่วนจากค่าจริงให้เป็นค่าที่สามารถใช้ไม้บรรทัดวัดได้ จากนั้นวาดลูกศรของแรงที่ 1 ($\vec{F}_1$) และลูกศรของแรงที่ 2 ($\vec{F}_2$) ในทิศทางเดียวกับที่โจทย์กำหนด โดยให้หางลูกศรของแรงทั้งสองต่อกัน จะได้แรงลัพธ์ ($\vec{F}_{\text{ลัพธ์}}$) ตามแนวเส้นทแยงมุมของสี่เหลี่ยมด้านขนาน ดังรูปที่ 1.15 วัดขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์จากรูปและเทียบมาตราส่วนกลับเป็นค่าจริงตามที่ได้กำหนดไว้



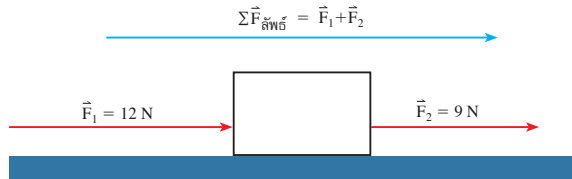
รูปที่ 1.15 การหาแรงลัพธ์โดยการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน

การหาแรงลัพธ์โดยการสร้างรูปเป็นวิธีที่ง่าย แต่อาจได้ผลลัพธ์ที่ไม่ละเอียดนักและอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย เนื่องจากความแม่นยำในการวัดขึ้นอยู่กับเครื่องมือวัดและความชำนาญของผู้วัด

เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุตั้งแต่ 2 แรงขึ้นไปกระทำต่อวัตถุ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุสามารถหาด้วยวิธีการคำนวณ มีดังนี้

- เมื่อแรงที่มากระทำต่อวัตถุมีทิศทางไปทางเดียวกัน หรือทำมุม 0 องศาต่อกัน ผลรวมของแรงลัพธ์สามารถหาได้จากการนำขนาดของแรงเหล่านั้นมารวมกัน และทิศทางของแรงลัพธ์ก็จะมีทิศทางเดียวกับแรงเหล่านั้น

ตัวอย่างที่ 1.9 แรงขนาด 9 นิวตัน และ 12 นิวตัน กระทำต่อวัตถุ ดังรูป



วิธีทำ

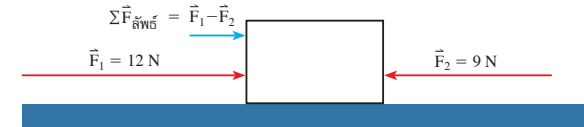
$$\begin{aligned}\text{หาขนาดของแรงลัพธ์ ได้จาก} \quad \Sigma F &= F_1 + F_2 \\ \Sigma F &= 12 \text{ N} + 9 \text{ N} \\ \Sigma F &= 21 \text{ N}\end{aligned}$$

ดังนั้น แรงลัพธ์มีค่า 21 นิวตัน มีทิศไปทางขวา

ตอบ

- เมื่อแรงที่มากระทำต่อวัตถุมีทิศทางตรงข้ามกัน หรือทำมุม 180 องศาต่อกัน ผลรวมของแรงลัพธ์สามารถหาได้จากการนำขนาดของแรงเหล่านั้นมาหักล้างกัน และทิศทางของแรงลัพธ์ก็จะมีทิศทางเดียวกับแรงที่มีค่ามากกว่า

ตัวอย่างที่ 1.10 แรงขนาด 9 นิวตัน และ 12 นิวตัน กระทำต่อวัตถุ ดังรูป



วิธีทำ

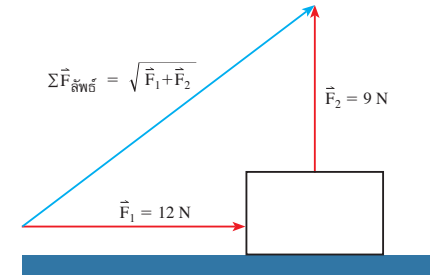
$$\begin{aligned}\text{หาขนาดของแรงลัพธ์ ได้จาก} \quad \Sigma F &= F_1 - F_2 \\ \Sigma F &= 12 \text{ N} - 9 \text{ N} \\ \Sigma F &= 3 \text{ N}\end{aligned}$$

ดังนั้น แรงลัพธ์มีค่า 3 นิวตัน มีทิศไปทางขวาตามแรง F_1

ตอบ

- เมื่อแรงที่มากระทำต่อวัตถุมีทิศทางตั้งฉากกัน หรือทำมุม 90 องศาต่อกัน ผลรวมของแรงลัพธ์สามารถหาได้โดยใช้ทฤษฎีบทของพีทาโกรัส

ตัวอย่างที่ 1.11 แรงขนาด 9 นิวตัน และ 12 นิวตัน กระทำต่อวัตถุ ดังรูป



วิธีทำ

$$\begin{aligned}\text{หาขนาดของแรงลัพธ์ ได้จาก} \quad \Sigma F^2 &= F_1^2 + F_2^2 \\ \Sigma F^2 &= (12)^2 \text{ N} + (9)^2 \text{ N} \\ \Sigma F &= \sqrt{144 \text{ N} + 81 \text{ N}} \\ \Sigma F &= 15 \text{ N}\end{aligned}$$

ดังนั้น แรงลัพธ์ 15 นิวตัน มีทิศชี้จากหางของเวกเตอร์ F_1 ไปยังหัวของเวกเตอร์ F_2

ตอบ

2.3 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

ในธรรมชาตินั้น โลกหมุนรอบตัวเองตลอดเวลา ในขณะเดียวกันก็โคจรรอบดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์โคจรรอบโลก น้ำไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ สิ่งของตกลงมายังพื้นโลก เรือลอยอยู่บนน้ำ วัตถุเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เหตุการณ์เหล่านี้ล้วนเป็นผลของแรงที่มากระทำต่อวัตถุ เซอร์ไอแซก นิวตัน (Sir Isaac Newton) นักวิทยาศาสตร์และนักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้เสนอ **กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's laws of motion)** ซึ่งสามารถใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของดวงดาวและวัตถุทุกชนิดในเอกภพได้

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันเป็นกฎทางกายภาพและเป็นรากฐานของกลศาสตร์ดั้งเดิม ใช้สำหรับอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุกับแรงที่กระทำต่อวัตถุและสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันมี 3 ข้อ ดังนี้



รูปที่ 1.16 เซอร์ไอแซก นิวตัน
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน (Newton's first law of motion)

วัตถุจะคงสภาพอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว นอกจากจะมีแรงลัพธ์ที่มีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำ

หมายความว่า วัตถุที่อยู่นิ่งก็จะอยู่นิ่งต่อไป ส่วนวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวก็จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวนั้นต่อไป จนกว่าจะมีแรงภายนอกที่ไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุให้เปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ และเนื่องจากความเร็วเป็นปริมาณเวกเตอร์ ความเร็วของวัตถุที่คงตัวจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทาง

ตัวอย่างการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เป็นไปตามกฎข้อที่ 1 ของนิวตัน เช่น ลูกบอลที่วางอยู่บนพื้น บอลลูกหนึ่งที่กำลังลอยบนฟ้าด้วยความเร็วคงตัวทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง

เมื่อวัตถุใด ๆ ที่มีสภาพอยู่นิ่งหรือกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว แล้วมีแรงลัพธ์ที่ไม่เป็นศูนย์มากระทำ จะทำให้วัตถุนั้นเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุแต่ละชนิดจะมีความยากง่ายแตกต่างกัน เช่น รถบรรทุกและรถมอเตอร์ไซด์เริ่มเคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง

รถมอเตอร์ไซด์จะเคลื่อนที่ได้ง่ายกว่ารถบรรทุก ในทำนองเดียวกัน ถ้ารถบรรทุกและรถมอเตอร์ไซด์กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวเท่ากัน รถมอเตอร์ไซด์จะหยุดเคลื่อนที่ได้โดยใช้แรงที่น้อยกว่ารถบรรทุก ในอัตราเดียวกัน เนื่องจากรถมอเตอร์ไซด์มีมวลน้อยกว่ารถบรรทุก

มวล (mass) คือ ปริมาณของสสารในวัตถุ มีสมบัติด้านการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ เรียกสมบัตินี้ว่า **ความเฉื่อย (inertia)** โดยวัตถุที่มีมวลมากจะรักษาสภาพการเคลื่อนที่ได้ดีกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย สามารถพบเห็นเหตุการณ์เหล่านี้ในชีวิตประจำวันได้บ่อยครั้ง เช่น วัตถุที่วางอยู่บนรถจะมีความเร็วเท่ากับความเร็วของรถ เมื่อรถหยุดกะทันหัน วัตถุจะต้านการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ โดยรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิม จึงทำให้วัตถุไถลไปข้างหน้า กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันจึงเรียกได้อีกอย่างว่า **กฎของความเฉื่อย (inertia law)**

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน (Newton's second law of motion)

เมื่อมีแรงลัพธ์ที่มีขนาดไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุ จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ในทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ที่กระทำ โดยขนาดของความเร่งจะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ

เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$$

หรือ

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

(1.10)

เมื่อ $\vec{F}$ คือ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

$\vec{a}$ คือ ความเร่งของวัตถุ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที² (m/s^2)

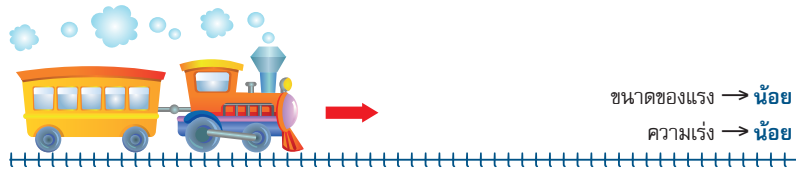
แรง 1 นิวตัน คือ แรงที่ทำให้วัตถุ 1 กิโลกรัมเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง 1 เมตรต่อวินาที²



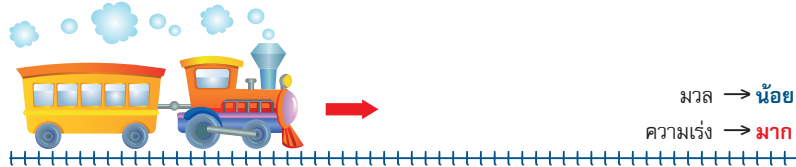
จากความสัมพันธ์ระหว่าง แรง มวล และความเร่ง ตามสมการที่ 1.10 ความเร่งของการเคลื่อนที่ จะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุและมวลของวัตถุ ดังสถานการณ์ต่อไปนี้



เมื่อมวลคงตัว



เมื่อแรงคงตัว

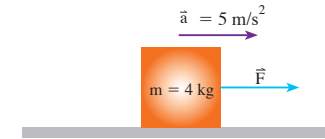


ดังนั้นสรุปได้ว่า ความเร่งของวัตถุจะแปรผันตรงกับแรงที่กระทำต่อวัตถุ และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ

ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

ตัวอย่างที่ 1.12 กล่องไม้มวล 4 กิโลกรัม วางอยู่บนโต๊ะผิวเกลี้ยง ถ้าต้องการให้กล่องไม้เคลื่อนที่ไปบนโต๊ะด้วยความเร่ง 5 เมตรต่อวินาที² แรงลัพธ์ที่กระทำต่อกล่องไม้จะต้องมีขนาดกี่นิวตัน

วิธีทำ จากโจทย์สามารถวาดภาพประกอบได้ดังนี้



จากโจทย์ทราบ $m = 4 \text{ kg}$ และ $a = 5 \text{ m/s}^2$

หาแรงลัพธ์จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$\Sigma F = ma$$

$$\Sigma F = (4 \text{ kg})(5 \text{ m/s}^2) = 20 \text{ N}$$

ดังนั้น แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุจะต้องมีขนาด 20 นิวตัน มีทิศไปทางขวามือ

ตอบ

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน (Newton's third law of motion)

ทุกแรงกิริยาจะมีแรงปฏิกิริยาที่มีขนาดเท่ากันและทิศตรงข้ามกระทำต่อวัตถุคนละก้อนเสมอ

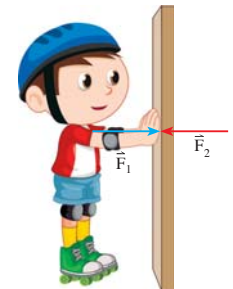
เมื่อออกแรงกระทำต่อวัตถุใดๆ แล้ววัตถุนั้นจะออกแรงกระทำกลับเสมอ โดยแรงทั้งสองมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงกันข้าม แรงที่กระทำต่อวัตถุ เรียกว่า **แรงกิริยา (action force)** และแรงที่วัตถุกระทำกลับมา เรียกว่า **แรงปฏิกิริยา (reaction force)** โดยแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาเกิดขึ้นในกรณีที่วัตถุสัมผัสกันหรือไม่สัมผัสกันก็ได้ และจะเกิดขึ้นพร้อมกันบนวัตถุคนละก้อนเสมอ เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

(1.11)

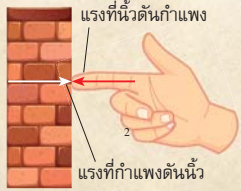
ตัวอย่างเช่น ขณะที่คนกำลังพายเรือจะดันไม้พายไปข้างหลัง จะเกิดแรงที่ไม้พายกระทำต่อน้ำ ซึ่งเป็นแรงกิริยา และน้ำจะดันไม้พายไปข้างหน้าเป็นแรงปฏิกิริยา ขนาดของแรงที่ไม้พายกระทำกับน้ำเท่ากับขนาดของแรงที่น้ำกระทำกับไม้พายแต่มีทิศตรงข้าม

การสวมรองเท้าสเก็ตแล้วหันหน้าเข้าหาผนังห้อง จากนั้นใช้มือออกแรงผลักผนังห้อง จะเกิดแรงจากผนังห้องกระทำกลับทำให้เกิดการเคลื่อนที่ออกจากผนังห้องได้ และถ้าผลักผนังห้องด้วยขนาดของแรงที่มากขึ้น ก็จะเคลื่อนที่ออกจากผนังห้องได้เร็วและไกลมากขึ้น แสดงว่าขนาดของแรงที่ผนังห้องกระทำกลับมากจะมากขึ้นตามไปด้วย ดังรูปที่ 1.17



รูปที่ 1.17 การสวมรองเท้าสเก็ต แล้วออกแรงผลักผนังห้อง

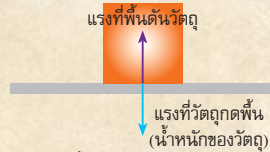
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.



การเอานิ้วมือกดบนกำแพง ซึ่งนิ้วจะออกแรงกดเข้าหากำแพงด้วยแรงค่าหนึ่ง และกำแพงจะออกแรงดันนิ้วด้วยแรงที่มีขนาดเท่ากันแต่ทิศตรงกันข้าม ดังรูปที่ 1.18

รูปที่ 1.18 การเอานิ้วกดบนกำแพง
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

พิจารณาแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาของวัตถุที่วางอยู่บนพื้น ดังรูปที่ 1.19 แรงกิริยา คือ แรงที่วัตถุกดลงบนพื้น แรงปฏิกิริยา คือ แรงที่พื้นดันวัตถุ



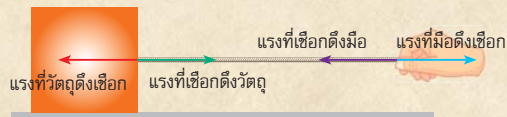
รูปที่ 1.19 วัตถุที่วางอยู่บนพื้น
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.



พิจารณาแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาของวัตถุที่กำลังตกลงมายังพื้นโลก ดังรูปที่ 1.20 แรงกิริยา คือ แรงที่โลกดึงดูดวัตถุ หรือน้ำหนักของวัตถุ แรงปฏิกิริยา คือ แรงที่วัตถุดึงดูดโลก

รูปที่ 1.20 วัตถุที่กำลังตกลงมายังพื้นโลก
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

พิจารณาแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาของการดึงเชือกที่ผูกกับวัตถุ ดังรูปที่ 1.21 กรณีนี้จะเกิดแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา 2 คู่ ดังนี้ คู่ที่ 1 แรงกิริยา คือ แรงที่มือดึงเชือก แรงปฏิกิริยา คือ แรงที่เชือกดึงมือ และคู่ที่ 2 แรงกิริยา คือ แรงที่เชือกดึงวัตถุ แรงปฏิกิริยา คือ แรงที่วัตถุดึงเชือก



รูปที่ 1.21 การดึงเชือกที่ผูกกับวัตถุ
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.



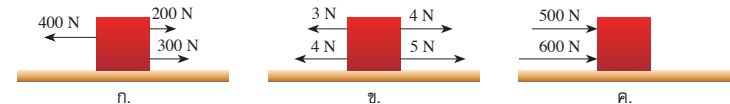
กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.2

1. ในขณะที่กำลังยืนอยู่หนึ่ง ๆ มีแรงกระทำต่อตัวเราหรือไม่ อย่างไร ให้อธิบายประกอบ
2. ให้อธิบายผลของแรงลัพธ์ที่มีต่อวัตถุดังรูปต่อไปนี้

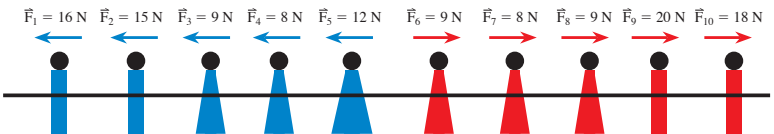


ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

3. ให้หาขนาดของแรงลัพธ์และทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุที่อยู่บนพื้นลื่น จากรูปต่อไปนี้

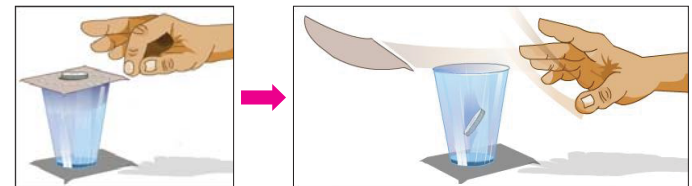


4. ในการแข่งขันชักเย่อ นักกีฬาสี่น้ำเงินและสีแดง ทีมละ 5 คน ประกอบไปด้วยผู้ชาย 2 คน และผู้หญิง 3 คน ออกแรงกระทำต่อเชือก ดังรูป



การแข่งขันชักเย่อในครั้งนี้ สีใดเป็นฝ่ายชนะ เพราะเหตุใด

5. นักเรียนคนหนึ่งทำการทดลอง โดยวางเหรียญบนกระดาษแข็งที่อยู่บนแก้วน้ำ ดังรูป จากนั้นออกแรงบิดกระดาษอย่างรวดเร็ว ปรากฏว่าเหรียญจะตกลงไปในแก้วโดยที่ไม่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับกระดาษ ให้นักความรู้เกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันมาอธิบายสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจากการทดลองนี้



ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

6. วัตถุก้อนหนึ่งวางบนพื้นที่ไม่มีความเสียดทาน เมื่อถูกแรง 50 นิวตันกระทำ จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 4 เมตรต่อวินาที² วัตถุนี้มีมวลกี่กิโลกรัม

7. จากระบบ อธิบายการเกิดแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาตามกฎข้อที่สามของนิวตัน



ก. ข.
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

3. การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์



แนวคิดสำคัญ

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เป็นการเคลื่อนที่ใน 2 มิติ มีแนวการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งรูปพาราโบลา โดยเกิดการเคลื่อนที่ทั้งในแนวดิ่งและแนวระดับไปพร้อม ๆ กัน การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งเป็นการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง g ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวระดับเป็นการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว (ความเร็วเป็น 0) การเคลื่อนที่ในแนวระดับและแนวตั้งจะเป็นอิสระต่อกัน

การเคลื่อนที่ของวัตถุบางอย่างที่พบในชีวิตประจำวันมีเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นแนวโค้ง เช่น การขว้างลูกบอลออกไปในอากาศ การยิงหนังสติ๊ก การพุ่งของน้ำพุ การเคลื่อนที่ลักษณะนี้ เรียกว่า **การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (projectile motion)**



รูปที่ 1.22 การเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งที่พบได้ในชีวิตประจำวัน

ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เป็นการเคลื่อนที่ใน 2 มิติ หรือเกิดการเคลื่อนที่ 2 แนวพร้อมกัน คือ แนวระดับและแนวตั้ง โดยในแนวระดับวัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ส่วนในแนวตั้งวัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งโน้มถ่วงเช่นเดียวกับการตกอย่างอิสระ ผลรวมความเร็วทั้งสองแนวจึงส่งผลให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งได้ ให้ศึกษาการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์จากกิจกรรมที่ 1.2

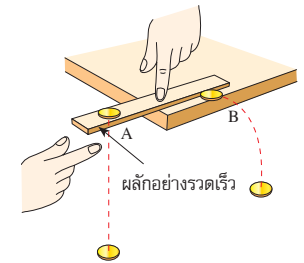


กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.2 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

วิธีปฏิบัติ

1. วางไม้บรรทัดให้ส่วนหนึ่งโผล่พ้นขอบโต๊ะมาประมาณครึ่งหนึ่ง แล้วใช้นิ้วมือกดไม้บรรทัดเอาไว้เพื่อไม่ให้ตก
2. นำเหรียญ 1 เหรียญ วางไว้ตรงบริเวณขอบโต๊ะ ใกล้กับไม้บรรทัด ตำแหน่ง B ส่วนอีกเหรียญหนึ่ง วางไว้บนไม้บรรทัดส่วนที่โผล่พ้นโต๊ะ ตำแหน่ง A ดังรูป
3. ใช้มือผลักไม้บรรทัดด้านที่โผล่พ้นโต๊ะอย่างรวดเร็ว โดยให้เหรียญทั้งสองตกจากโต๊ะและไม้บรรทัดพร้อมกัน
4. สังเกตการเคลื่อนที่และเวลาที่ใช้ในการตกกระทบพื้นของเหรียญทั้งสอง แล้วบันทึกผลการทดลอง
5. ทำการทดลองเช่นเดิมแต่ออกแรงผลักไม้บรรทัดด้วยแรงที่มากขึ้น สังเกตการเคลื่อนที่และเวลาที่ใช้ในการตกกระทบพื้นของเหรียญทั้งสอง แล้วบันทึกผลการทดลอง อาจทำการทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนมากขึ้น

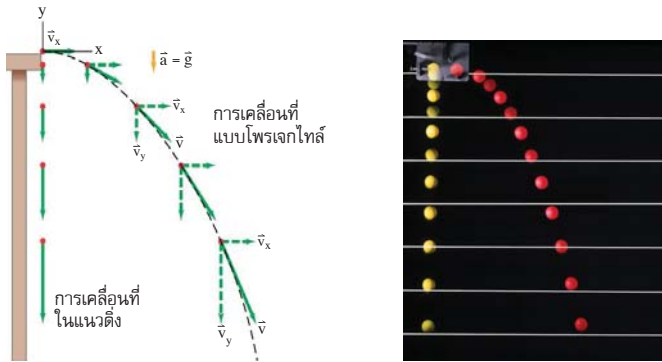


ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

คำถามท้ายกิจกรรม

1. เหรียญทั้งสองมีการเคลื่อนที่เหมือนกันหรือไม่ อย่างไร
2. เมื่อเพิ่มแรงที่ผลักไม้บรรทัดให้มากขึ้น ส่งผลต่อการเคลื่อนที่และเวลาในการตกถึงพื้นของเหรียญทั้งสองหรือไม่ อย่างไร
3. เหตุใดเหรียญจึงตกถึงพื้นพร้อมกัน

จากการศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบโพรเจกไทล์ พบว่า เหยื่อทั้งสองเริ่มต้นเคลื่อนที่พร้อมกัน จากระดับความสูงเท่ากัน โดยเหยื่อที่ตำแหน่ง A ตกอย่างอิสระในแนวตั้ง ส่วนอีกเหยื่อที่ตำแหน่ง B เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยเหยื่อที่ถูกไม้บรรทัดปล่อยจะทำให้มีความเร็วในแนวระดับ และเมื่อพ้นขอบโต๊ะ เหยื่อจะตกอย่างอิสระในแนวตั้ง ด้วยความเร่ง g จึงเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และเหยื่อทั้งสองจะตกถึงพื้นพร้อมกัน และเมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของเหยื่อทั้ง 2 ในแต่ละช่วง จะเปรียบเทียบได้กับการเคลื่อนที่ของวัตถุดังรูปที่ 1.23



รูปที่ 1.23 การเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้งและแบบโพรเจกไทล์
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

จะเห็นได้ว่า เมื่อพิจารณาในช่วงเวลาที่เท่ากันแต่ละช่วง วัตถุทั้งสองจะมีการกระจัดในแนวตั้งเท่ากันตลอดการเคลื่อนที่ วัตถุทั้งสองจึงใช้เวลาในการตกถึงพื้นพร้อมกัน



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.3

1. เหตุใดการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์จึงจัดเป็นการตกอย่างอิสระ
2. วัตถุ 2 ชิ้นที่มีลักษณะเหมือนกัน ถูกผลักออกจากขอบโต๊ะด้วยแรงที่ต่างกัน ทำให้วัตถุทั้งสองเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ตำแหน่งที่วัตถุตกถึงพื้นและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของวัตถุทั้งสองจะเป็นอย่างไร
3. ให้อีกตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ที่พบในชีวิตประจำวันมา 5 ตัวอย่าง

4. การเคลื่อนที่แบบวงกลม



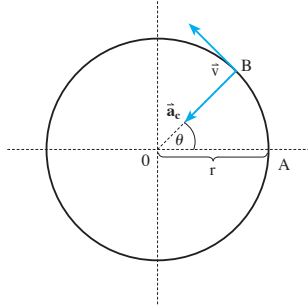
แนวคิดสำคัญ

การเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัว เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนววงกลมหรือส่วนหนึ่งของวงกลมด้วยความเร่งสู่ศูนย์กลาง ซึ่งมีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางของวงกลม วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวแต่ทิศทางของความเร็วเปลี่ยนแปลง โดยแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมมีทิศทางเดียวกับความเร่งสู่ศูนย์กลาง เรียกว่าแรงสู่ศูนย์กลาง โดยแรงนี้อาจเป็นแรงโน้มถ่วง แรงตึงในเส้นเชือก หรือแรงเสียดทานขณะรถที่กำลังเลี้ยวโค้ง



รูปที่ 1.24 การเคลื่อนที่แบบวงกลมที่พบได้ในชีวิตประจำวัน
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

การเคลื่อนที่แบบวงกลม (circular motion) คือ การเคลื่อนที่แบบสองมิติ ในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่จะมีแรงกระทำตั้งฉากกับความเร็วตลอดการเคลื่อนที่ วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ในแนววงกลม แต่ยังคงมีความเร่งเกิดขึ้น คือ **ความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลาง (a_c)** ซึ่งเป็นความเร่งในการเคลื่อนที่แบบวงกลม มีทิศตั้งฉากกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุและมีทิศพุ่งเข้าสู่จุดศูนย์กลางวงกลมเสมอ ดังรูปที่ 1.25



รูปที่ 1.25 ความเร่งแนวสัมผัสและความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางในการเคลื่อนที่แบบวงกลม

โดยขนาดของความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางหาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

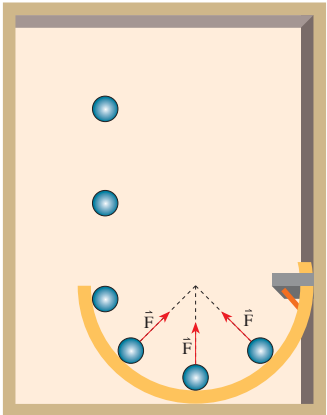
$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

(1.12)

โดย a_c หมายถึง ขนาดของความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลาง มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที² (m/s²)
v หมายถึง ขนาดของความเร็วของวัตถุขณะเคลื่อนที่เป็นวงกลม มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)
r หมายถึง รัศมีความโค้งของเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นวงกลม มีหน่วยเป็น เมตร (m)

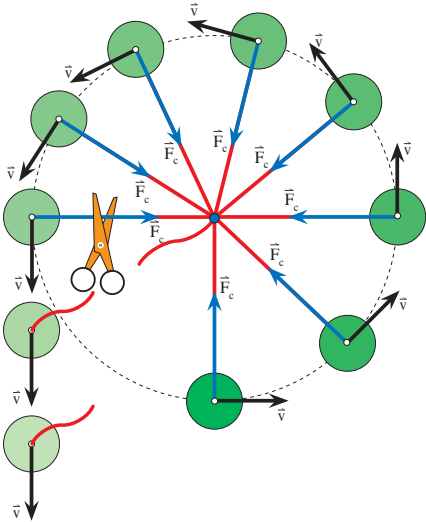
ถ้าทดลองใช้อุปกรณ์สาธิตที่ติดลูกกลมโลหะให้เคลื่อนที่ไปตามรางโค้ง ดังรูปที่ 1.26 ลูกกลมโลหะจะเคลื่อนที่เป็นวงกลมได้บนรางโค้ง แสดงว่าจะต้องมีแรงกระทำจากรางในทิศทางเข้าหาศูนย์กลางของวงกลม ซึ่งตั้งฉากกับรางอยู่ตลอดเวลา และเมื่อลูกกลมโลหะหลุดจากรางโค้งจะไม่มีแรงกระทำจากราง ทำให้ลูกกลมโลหะเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของความเร็วในแนวเส้นสัมผัสวงกลมตรงตำแหน่งที่ลูกกลมโลหะหลุดจากรางโค้งพอดี เรียกแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมได้ว่า **แรงสู่ศูนย์กลาง (centripetal force : F_c)** ถ้าไม่มีแรงสู่ศูนย์กลาง วัตถุจะไม่สามารถเคลื่อนที่เป็นวงกลมได้

พิจารณาการแกว่งวัตถุให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม ถ้าเชือกหลุดหรือขาด วัตถุก็จะไม่สามารถเคลื่อนที่แบบวงกลมได้อีก เนื่องจากไม่มีแรงสู่ศูนย์กลางนั่นเอง



รูปที่ 1.26 อุปกรณ์สาธิตการเคลื่อนที่แบบวงกลม (มองจากด้านบน)

ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.



รูปที่ 1.27 การเคลื่อนที่ของวัตถุเมื่อเชือกขาด (มองจากด้านบน)

ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

การเคลื่อนที่แบบวงกลมเป็นการเคลื่อนที่ใน 2 มิติ ขนาดของแรงจะขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุ อัตราเร็วของวัตถุ และระยะห่างระหว่างวัตถุกับจุดศูนย์กลางของวงกลม โดยขนาดของแรงเข้าสู่ศูนย์กลางจะแปรผันกับอัตราเร็วยกกำลังสอง และแปรผกผันกับรัศมีของการเคลื่อนที่ เมื่อมวลของวัตถุคงที่ จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน $\Sigma F_c = ma_c$

$$\text{ดังนั้น} \quad \Sigma F_c = m \frac{v^2}{r} \quad \text{เมื่อ} \quad a_c = \frac{v^2}{r} \quad (1.13)$$

โดย ΣF_c หมายถึง ขนาดผลรวมของแรงใด ๆ ที่เป็นแรงเข้าสู่ศูนย์กลางที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลม มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

m หมายถึง ขนาดมวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

v หมายถึง อัตราเร็วของวัตถุขณะเคลื่อนที่เป็นวงกลม มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

r หมายถึง รัศมีความโค้งของเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นวงกลม มีหน่วยเป็น เมตร (m)

กล่าวคือ เมื่อเหวี่ยงวัตถุก้อนหนึ่งให้เคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วเพิ่มขึ้น ขนาดของแรงสู่ศูนย์กลางจะมากขึ้นด้วย แต่ถ้ารัศมีการเคลื่อนที่แบบวงกลมของวัตถุมากขึ้น ขนาดของแรงสู่ศูนย์กลางจะลดลง

การเคลื่อนที่แบบวงกลมจะมีการเคลื่อนที่ซ้ำเส้นทางเดิมเป็นรอบ ๆ เสมอ ซึ่งช่วงเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ เรียกว่า **คาบ (period)** มีหน่วยเป็น วินาที (s) และจำนวนรอบที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ใน 1 วินาที เรียกว่า **ความถี่ (frequency)** มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์ (Hz) โดยความสัมพันธ์ระหว่างคาบกับความถี่จะเป็นไปตามสมการ

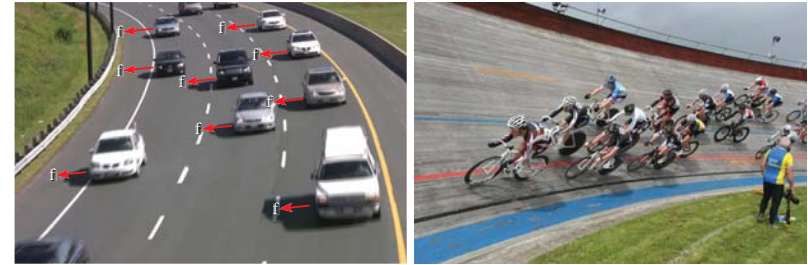
$$f = \frac{1}{T} \quad (1.14)$$

เมื่อ f คือ ความถี่ มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์ (Hz)

T คือ คาบ มีหน่วยเป็น วินาที (s)

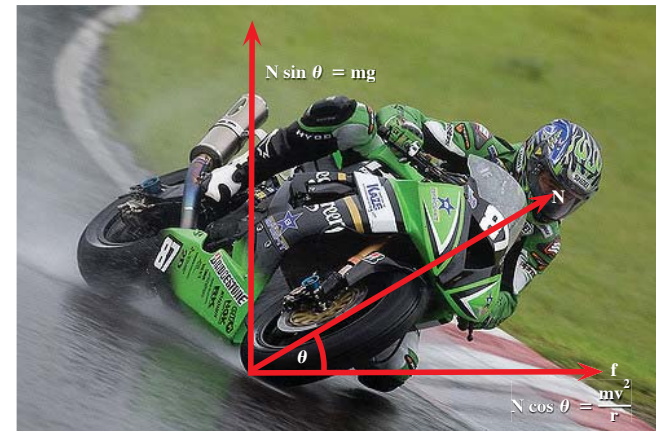
การเคลื่อนที่บนทางโค้ง

การเคลื่อนที่บนทางโค้งของยานพาหนะต่าง ๆ อาจเป็นการเคลื่อนที่แบบวงกลมโดยประมาณ ซึ่งขณะที่เลี้ยวโค้งจะต้องมีแรงสู่ศูนย์กลางของความโค้งกระทำกับรถ จึงจะทำให้เลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัย



รูปที่ 1.28 การเคลื่อนที่บนทางโค้งของรถ
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

การขับซึ่รถขณะเลี้ยวโค้งบนถนนราบจะต้องใช้ความระมัดระวังสูง และต้องขับช้าด้วยอัตราเร็วไม่เกินที่กำหนดไว้จึงจะปลอดภัย ถ้าขับช้าด้วยอัตราเร็วสูงกว่าที่กำหนดอาจทำให้รถไถลออกนอกเส้นทางจนเกิดอันตรายได้ ทั้งนี้เพราะแรงสู่ศูนย์กลางขณะเลี้ยวโค้งคือแรงเสียดทานที่พื้นถนนกระทำต่อล้อ ซึ่งแรงเสียดทานนี้มีค่าจำกัดค่าหนึ่งเท่านั้น



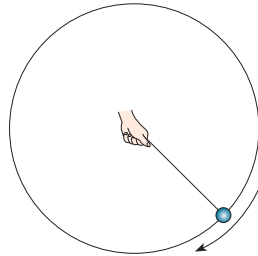
รูปที่ 1.29 การเลี้ยวโค้งบนถนนที่เป็นพื้นเอียง
ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

แรงเสียดทานที่ทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลางในการเลี้ยวรถบนถนนราบจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับล้อรถ ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นกับล้อเป็นศูนย์ รถจะไม่สามารถเลี้ยวโค้งได้ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการออกแบบถนนบริเวณทางโค้งให้ถนนมีลักษณะเอียงเข้าหาศูนย์กลางของความโค้ง เพื่อช่วยเพิ่มแรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถ โดยอาศัยแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อรถทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลางโดยไม่ต้องคำนึงถึงแรงเสียดทาน ซึ่งสามารถเพิ่มความปลอดภัยในการขับชั้รถบนทางโค้งได้มากยิ่งขึ้นถึงแม้ว่าถนนจะลื่นเมื่อเกิดฝนตกก็ตาม



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.4

1. จากรูป ขณะที่วัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลม ถ้าเชือกที่ผูกวัตถุขาดวัตถุจะเคลื่อนที่อย่างไร เพราะเหตุใด
2. นักเรียนคนหนึ่งใช้เชือกผูกกับวัตถุ จากนั้นเหวี่ยงให้เคลื่อนที่แบบวงกลมจำนวน 20 รอบ ในเวลา 5 วินาที คำนวณการเคลื่อนที่ของวัตถุนี้เป็นเท่าไร
3. คำนวณออกแบบถนนโค้งอย่างไรเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการขับชั้รถ เหตุใดการออกแบบถนนในลักษณะนี้จึงเกิดความปลอดภัยในการขับชั้รถบนถนนโค้งมากขึ้น
4. การขับรถบนถนนโค้งราบในสภาพที่ถนนเปียก ผู้ขับชั้จะต้องระมัดระวังอย่างไร
5. สภาพผิวถนนและยางรถมีความสำคัญอย่างไรกับการขับชั้รถให้ปลอดภัย



5. การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย



แนวคิดสำคัญ

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย คือ การเคลื่อนที่ที่กลับไปกลับมาซ้ำเส้นทางเดิมผ่านจุดสมดุล ซึ่งเป็นตำแหน่งที่วัตถุไม่ถูกแรงภายนอกมากระทำ เช่น การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา การสั่นของมวลที่ถูกติดกับสปริง การสั่นของสายเครื่องดนตรี ความเร่งของการเคลื่อนที่ที่แปรผันตรงกับการกระจัดแต่มีทิศทางตรงกันข้าม



”

การเคลื่อนที่ของวัตถุอีกรูปแบบหนึ่ง เช่น การแกว่งของชิงช้า การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ติดปลายสปริง การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของลูกสูบ เป็นการเคลื่อนที่ที่กลับไปกลับมาซ้ำเส้นทางเดิมผ่านจุดสมดุล โดยมีช่วงการแกว่งแคบ ๆ ซึ่งระยะการแกว่งสูงสุดและคาบในการแกว่งจะมีค่าคงตัว การเคลื่อนที่ลักษณะนี้เรียกว่า **การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (simple harmonic motion)**



รูปที่ 1.30 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุต่าง ๆ

ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

พิจารณาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายที่มีวัตถุมวล m ผูกติดกับสปริงเบาและเคลื่อนที่อยู่บนพื้นลื่น (ไม่มีความเสียดทาน) ในแนวระดับ แรงสปริงที่กระทำต่อวัตถุให้เกิดการเคลื่อนที่จะมีเพียงแรงดึงกลับของสปริงเพียงแรงเดียว

วัตถุติดสปริง

ระยะกระจัด ตำแหน่ง ระยะกระจัด
(แอมพลิจูด) สมดุล (แอมพลิจูด)
สูงสุด สูงสุด

- เริ่มต้น วัตถุอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล ($x = 0$) แรงสปริงที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ ($F = 0$)
- เมื่อดึงวัตถุออกจากตำแหน่งสมดุลเป็นระยะ A แล้วปล่อย จะมีแรงสปริง F เป็นแรงต้านของสปริงดึงวัตถุกลับไปยังตำแหน่งสมดุล
- หลังจากปล่อยวัตถุที่ระยะ A แรงดึงกลับจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งสมดุลด้วยความเร็วสูงสุด ระยะกระจัดและแรงที่กระทำต่อวัตถุที่ตำแหน่งนี้มีค่าเป็นศูนย์
- วัตถุเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่มีระยะกระจัดสูงสุดอีกด้านหนึ่ง ($-A$) ที่ตำแหน่งนี้ความเร็วของวัตถุจะเป็นศูนย์ และมีแรงสปริง F เป็นแรงต้านของสปริงดึงวัตถุกลับไปยังตำแหน่งสมดุล
- วัตถุจะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสมดุลด้วยความเร็วสูงสุดอีกครั้ง ระยะกระจัดและแรงที่กระทำต่อวัตถุที่ตำแหน่งนี้มีค่าเป็นศูนย์
- วัตถุเคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งที่มีระยะกระจัดสูงสุด (A) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ ความเร็วของวัตถุจะเป็นศูนย์และมีแรงสปริง F ดึงวัตถุกลับไปยังตำแหน่งสมดุลเช่นเดิม โดยถ้าไม่มีการสูญเสียพลังงาน วัตถุจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมารอบจุดสมดุลเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ

ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

จากเหตุการณ์ข้างต้นสามารถอธิบายปริมาณที่ควรทราบเพื่อใช้ในการพิจารณาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายได้ดังนี้

- แอมพลิจูด (amplitude : A)** คือ ขนาดสูงสุดของการกระจัดจากจุดสมดุล มีหน่วยเป็น เมตร (m) โดยการสั่น 1 รอบ วัตถุจะเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ไปยังตำแหน่งสมดุล และไปยัง $-A$ จากนั้นกลับมายังตำแหน่งสมดุล และกลับมายัง A
- คาบ (period : T)** คือ ช่วงเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ครบรอบ 1 รอบ มีหน่วยเป็น วินาที (s)
- ความถี่ (frequency : f)** คือ จำนวนรอบต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์ (Hz)

ความรู้เพิ่มเติม

การเคลื่อนที่ของวัตถุติดสปริงนั้นจะเป็นไปตาม **กฎของฮุก (Hooke's law)** ซึ่งแรงดึงกลับในสปริงจะเป็นไปตามสมการ

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

เมื่อ $\vec{F}$ คือ แรงดึงกลับในสปริง มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

k คือ ค่าคงตัวของสปริง มีหน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร (N/m)

$\Delta\vec{x}$ คือ การกระจัดของสปริง มีหน่วยเป็น เมตร (m)

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดสปริง คาบและความถี่ของการเคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุ และค่าคงตัวของสปริง



คาบของการเคลื่อนที่ (T) แปรผันตามรากที่สองของมวลของวัตถุ (m)

$$T \propto \sqrt{m}$$

หมายความว่า ถ้ามวลของวัตถุ (m) มาก คาบของการเคลื่อนที่ (T) จะมีค่ามาก

ถ้ามวลของวัตถุ (m) น้อย คาบของการเคลื่อนที่ (T) จะมีค่าน้อย

คาบของการเคลื่อนที่ (T) แปรผกผันกับรากที่สองของค่าคงตัวของสปริง (k)

และ

$$T \propto \frac{1}{\sqrt{k}}$$

หมายความว่า ถ้าค่าคงตัวของสปริง (k) มาก คาบของการเคลื่อนที่ (T) จะมีค่าน้อย

ถ้าค่าคงตัวของสปริง (k) น้อย คาบของการเคลื่อนที่ (T) จะมีค่ามาก

จะได้

$$T \propto \sqrt{\frac{m}{k}}$$

สรุปได้ว่า

$$\frac{A}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

เมื่อ A คือ ค่าคงตัว

(1.15)

เมื่อคาบของการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับอัตราเร็วเชิงมุม (ω) ดังสมการ

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ หรือ } \omega = \frac{A}{T}$$

ดังนั้น

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

(1.16)

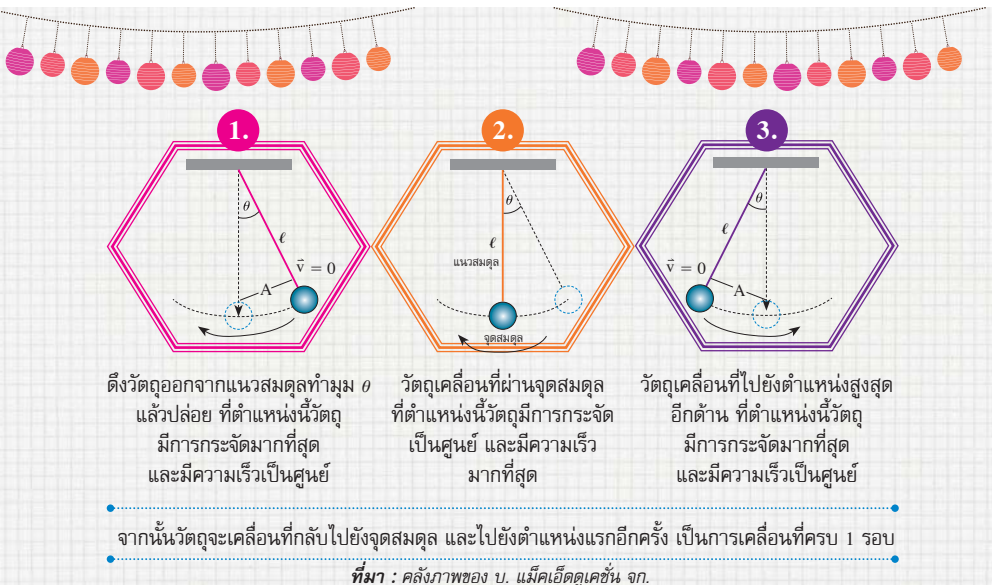
นอกจากวัตถุติดสปริงแล้ว ยังมีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายอีกแบบหนึ่ง เรียกว่า **การเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกา** (simple pendulum) เมื่อแขวนวัตถุในแนวตั้ง โดยจุดที่วัตถุอยู่นิ่ง คือ **จุดสมดุล** และแนวของเชือกที่วางตัวในแนวตั้ง เรียกว่า **แนวสมมูล** เมื่อดึงวัตถุออกจากแนวสมมูลเล็กน้อยแล้วปล่อยให้วัตถุเคลื่อนที่ วัตถุจะแกว่งกลับไปกลับมาผ่านจุดสมดุล

ให้พิจารณากระบวนการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกาที่ผูกด้วยเชือกยาว ℓ ดังนี้



รูปที่ 1.31 ลูกตุ้มนาฬิกา

ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.



ในการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจะมีแนวสมมูล ซึ่งเป็นแนวที่แรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุ วัตถุจะเคลื่อนที่ออกไปจากจุดสมดุลจนไปถึงปลายด้านหนึ่ง แล้วจะเคลื่อนที่กลับมายังจุดสมดุล แล้วผ่านไปยังจุดสมดุลอีกด้านหนึ่ง แล้วกลับมายังจุดสมดุลอีกครั้ง เป็นการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ ซึ่งเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ คือ **คาบของการเคลื่อนที่** ซึ่งคาบของการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกาจะขึ้นอยู่กับความยาวของเชือกที่ใช้ในการแกว่ง โดยไม่ขึ้นกับมวลของลูกตุ้ม เมื่อความยาวของเชือกมาก จะทำให้คาบในการแกว่งมีค่ามาก ลูกตุ้มจะแกว่งช้า และถ้าเชือกสั้นลง คาบในการแกว่งจะมีค่าน้อย ลูกตุ้มจะแกว่งเร็วขึ้น

คาบของการเคลื่อนที่ (T) แปรผันตามรากที่สองของความยาวของเชือก (ℓ)

$$T \propto \sqrt{\ell}$$

หมายความว่า ถ้าความยาวของเชือก (ℓ) มาก คาบของการเคลื่อนที่ (T) จะมีค่ามาก

ถ้าความยาวของเชือก (ℓ) น้อย คาบของการเคลื่อนที่ (T) จะมีค่าน้อย

คาบของการเคลื่อนที่ (T) แปรผกผันกับรากที่สองของค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (g)

และ

$$T \propto \frac{1}{\sqrt{g}}$$

หมายความว่า ถ้าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (g) มาก คาบของการเคลื่อนที่ (T) จะมีค่าน้อย

ถ้าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (g) น้อย คาบของการเคลื่อนที่ (T) จะมีค่ามาก

จะได้

$$T \propto \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

สรุปได้ว่า

$$\frac{A}{T} = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$$

เมื่อ A คือ ค่าคงตัว

(1.17)

เมื่อคาบของการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับอัตราเร็วเชิงมุม (ω) ดังสมการ

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ หรือ } \omega = \frac{A}{T}$$

ดังนั้น

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

(1.18)



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.5

1. การเคลื่อนที่แบบวงกลมจัดเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
2. ให้อธิบายค่าของการกระจัดและความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุติดสปริงและลูกตุ้มนาฬิกา พร้อมวาดภาพประกอบการอธิบาย
3. นิสากำลังนั่งชิงช้าพร้อมกับนับรอบของการแกว่งไปด้วย พบว่า เมื่อชิงช้าแกว่งครบ 20 รอบ ใช้เวลาในการแกว่ง 30 วินาที ซึ่งชิงช้าแกว่งด้วยคาบและความถี่เท่าไร
4. จากรูป วัตถุ A และ B วัตถุใดจะแกว่งได้ช้าหรือเร็วกว่ากัน เพราะเหตุใด



5. ถ้าเพื่อน 2 คนที่มีน้ำหนักต่างกันนั่งชิงช้าที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ เพื่อนทั้ง 2 คน จะมีคาบของการแกว่งชิงช้าแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร



กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)

“โพรเจกไทล์ช่วยชีวิต”

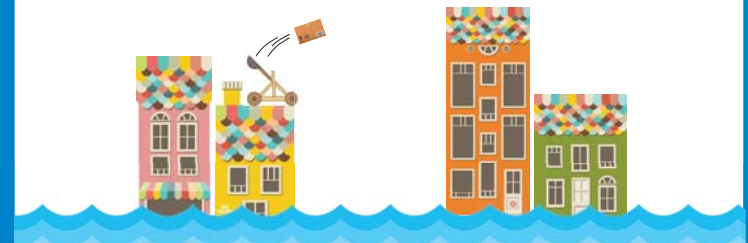
คำชี้แจง

1. ให้นักเรียนจัดกลุ่มและตั้งชื่อกลุ่ม
2. การทำกิจกรรมต้องระดมสมองในการสืบค้นความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และความรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่นๆ โดยนำมาบูรณาการสร้างผลงาน อภิปรายเพื่อแสดงความคิดเห็นโดยใช้เหตุผลในการโต้แย้งจากประสบการณ์ที่พบตลอดการทำกิจกรรม เพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ โดยคำนึงถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากการทำกิจกรรม
3. นำเสนอผลงานหน้าชั้นเรียนและแลกเปลี่ยนเรียนรู้

สถานการณ์

ใน พ.ศ. 2554 เกิดอุทกภัยรุนแรงในเขตกรุงเทพมหานคร ทำให้ถนนถูกน้ำท่วมสูงจนไม่สามารถเดินทางไปยังอีกฝั่งของถนนได้ โดยอีกฝั่งหนึ่งของถนนที่ถูกตัดขาดนั้นมีประชาชนจำนวนหนึ่งติดอยู่บนตึกสูง 4 ชั้น แต่ละชั้นมีผู้คนที่ต้องการความช่วยเหลือ นักเรียนได้รับมอบหมายให้ส่งกล่องช่วยชีวิตไปยังตึกดังกล่าวเพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัย โดยมีเงื่อนไขดังนี้

1. จะต้องส่งกล่องช่วยชีวิตจากตาดฟ้าของตึก 2 ชั้น ไปยังตึกฝั่งตรงข้ามจำนวน 3 จุด คือ ชั้นที่ 3 ชั้นที่ 4 และชั้นตาดฟ้า ถ้าส่งได้ตรงเป้าหมายจะได้คะแนนเต็มจุดละ 10 คะแนน และคะแนนจะลดลงเรื่อยๆ ถ้าส่งห่างออกจากเป้าหมายมากขึ้น และถ้าชนผนังตึกจะถือว่าไม่ได้คะแนน
2. การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ส่งกล่องช่วยชีวิตจะต้องใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในห้องถื่นหรือเป็นวัสดุเหลือใช้
3. ชิ้นงานต้องมีความสวยงามและแข็งแรง



ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

สรุปเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่



Knowledge

แรงและกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

- **แรง (force)** คือ อันตรกิริยาใดๆ ที่ทำให้วัตถุเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีทั้งขนาดและทิศทาง การรวมแรงทำได้โดยใช้หลักการรวมเวกเตอร์ ซึ่งมี 2 วิธี คือ การเขียนแผนภาพและการคำนวณ
- แรงพื้นฐานในธรรมชาติแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ แรงโน้มถ่วง แรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงเคมี และแรงอ่อน
- กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันมี 3 ข้อ ดังนี้

ข้อที่หนึ่ง “วัตถุจะคงสภาพอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว นอกจากจะมีแรงลัพธ์ที่มีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำ”

ข้อที่สอง “เมื่อมีแรงลัพธ์ที่มีขนาดไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุ จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งในทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ โดยขนาดของความเร่งจะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ”

ข้อที่สาม “ทุกแรงกิริยาจะมีแรงปฏิกิริยาที่มีขนาดเท่ากันและทิศตรงข้ามกระทำต่อวัตถุคนละก้อนเสมอ”



การเคลื่อนที่แนวตรง

- การเคลื่อนที่แนวตรงเป็นการเคลื่อนที่ใน 1 มิติ
- วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว แสดงว่ามีความเร่งเป็นศูนย์ ส่วนวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วขณะเคลื่อนที่ แสดงว่า วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง
- อัตราเร็ว คือ ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนไปในหนึ่งหน่วยเวลา หาได้จากสมการ $v_{av} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$
- ความเร็ว คือ การกระจัดที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา หาได้จากสมการ $\vec{v}_{av} = \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t}$
- ความเร่ง คือ ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปในหนึ่งหน่วยเวลา หาได้จากสมการ $\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$
- การตกอย่างอิสระ คือ การเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้สนามโน้มถ่วงของโลกที่มีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุเพียงแรงเดียวโดยไม่คิดแรงต้านของอากาศ
- น้ำหนัก คือ แรงโน้มถ่วงของโลกที่ดึงดูดวัตถุ หาได้จากสมการ $\vec{W} = m\vec{g}$

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์



- การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เป็นการเคลื่อนที่ใน 2 มิติ มีแนวการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งรูปพาราโบลา โดยเกิดการเคลื่อนที่ทั้งในแนวตั้งและแนวนอนไปพร้อมๆ กัน
- การเคลื่อนที่ในแนวตั้งเป็นการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง g ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวนอนเป็นการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว (ความเร่งเป็น 0) การเคลื่อนที่ในแนวระดับและแนวตั้งจะเป็นอิสระต่อกัน

การเคลื่อนที่แบบวงกลม

- การเคลื่อนที่แบบวงกลม เกิดจากแรงสู่ศูนย์กลางที่มากระทำต่อวัตถุและทำให้เกิดความเร่งสู่ศูนย์กลาง
- วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลมจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งสู่ศูนย์กลาง
- การเคลื่อนที่บนทางโค้งราบให้ปลอดภัยจะขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานระหว่างล้อรถกับถนน ซึ่งทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

- การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย คือ การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำเส้นทางเดิมผ่านจุดสมดุล
- สำหรับการเคลื่อนที่ของวัตถุติดสปริง คาบการเคลื่อนที่ขึ้นกับมวลของวัตถุและค่าคงตัวของสปริง

มวลของวัตถุมาก	→	คาบของการเคลื่อนที่มีค่ามาก
ค่าคงตัวของสปริงมาก	→	คาบของการเคลื่อนที่มีค่าน้อย
- สำหรับการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกา คาบการเคลื่อนที่ขึ้นกับความยาวของเชือกและค่าความโน้มถ่วง

ความยาวของเชือกมาก	→	คาบของการเคลื่อนที่มีค่ามาก
ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงมาก	→	คาบของการเคลื่อนที่มีค่าน้อย



Process

- วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลความเร็วกับเวลาในการเคลื่อนที่ของวัตถุ
- หาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุโดยการเขียนแผนภาพและการคำนวณการรวมแบบเวกเตอร์
- วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวัตถุกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุและมวลของวัตถุ
- สังเกตแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาระหว่างวัตถุคู่หนึ่งๆ
- สังเกตผลของความเร่งที่มีต่อการเคลื่อนที่แบบต่างๆ ของวัตถุ
- คิดแบบมีวิจารณญาณและคิดแก้ปัญหา
- สื่อสารและทำงานร่วมกับผู้อื่นได้

Attribute

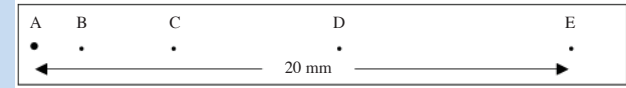
- มีวินัย
- ใฝ่เรียนรู้
- มุ่งมั่นในการทำงาน



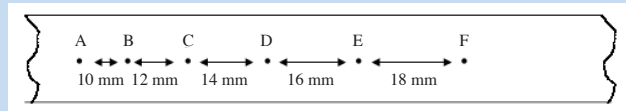
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้

- หนังสือกองหนึ่งวางอยู่บนโต๊ะมีแรง F_1 ดันกองหนังสือในแนวระดับไปทางทิศตะวันออก ขณะเดียวกันก็มีแรง F_2 ดันกองหนังสือในแนวระดับไปทางทิศตะวันตก ให้เขียนภาพแสดงแรงย่อยทุกแรงที่กระทำต่อกองหนังสือ
- แรง 2 แรงกระทำต่อดัตุ โดยมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 28 นิวตัน และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 4 นิวตัน เมื่อแรงทั้ง 2 แรงกระทำต่อดัตุในทิศตั้งฉากกัน ผลรวมของแรงลัพธ์จะมีค่าเท่าไร
- ให้ใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันเพื่ออธิบายว่า
 - เมื่อรถหยุดอย่างกะทันหันคนในรถจึงพุ่งไปข้างหน้า
 - คนในรถเป็นอย่างไรเมื่อรถเลี้ยวไปทางขวาอย่างรวดเร็ว
- กล่องใบหนึ่งมีมวล 8 กิโลกรัม ออกแรงผลักดันขนาด 40 นิวตันจากหยุดนิ่ง 4 วินาทีต่อดัตุนี้ จะมีขนาดของความเร่งเท่าไร และถ้าลดมวลเป็น 4 กิโลกรัม โดยออกแรงกระทำเท่าเดิม กล่องจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งขนาดเท่าไร
- บอลลู่นี้นิยมปล่อยขึ้นไปลอยบนท้องฟ้าในงานเทศกาลต่างๆ จะตกลงสู่พื้นโลกหรือไม่ เพราะเหตุใด
- ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ในแนวตรงโดยไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง ระยะทางและการกระจัดของวัตถุ จะแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- รถทดลองมวล 15 กิโลกรัม ถูกแรงดึง 30 นิวตัน จะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเท่าไร
- คลองที่ตัดตรงจากเมือง A ไปยังเมือง B มีความยาว 65 กิโลเมตร ขณะที่ถนนจากเมือง A ไปเมือง B มีระยะทาง 79 กิโลเมตร ถ้าชายคนหนึ่งขนส่งสินค้าจากเมือง A ไปเมือง B โดยรถยนต์ สินค้านั้นจะมีขนาดของการกระจัดเท่าไร
- ชาวบ้านเดินไปทางขวาด้วยอัตราเร็วคงตัว 3 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 4 วินาที ชาวตูเดินไปทางซ้ายด้วยอัตราเร็วคงตัว 4 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 3 วินาที ชาวบันกับชาวตูมีการกระจัดต่างกันเท่าไร
- เด็กคนหนึ่งออกกำลังกายด้วยการวิ่งด้วยอัตราเร็ว 6 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นวิ่งด้วยอัตราเร็ว 5 เมตรต่อวินาที อีก 1 นาที แล้วเดินด้วยอัตราเร็ว 1 เมตรต่อวินาที อีก 1 นาที อัตราเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลา 3 นาทีนี้ มีค่าเท่าไร
- รถยนต์คันหนึ่งวิ่งด้วยอัตราเร็วเฉลี่ย 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากเมือง A ไปเมือง B ที่อยู่ห่างกัน 200 กิโลเมตร ถ้าออกเดินทางเวลา 06.00 น. จะถึงปลายทางเวลาเท่าไร
- รถยนต์ A เริ่มเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งโดยมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้น 2 เมตรต่อวินาที ทุก 1 วินาที เมื่อสิ้นวินาทีที่ 5 จะมีอัตราเร็วเท่าไร

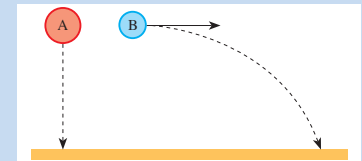
- เด็กคนหนึ่งวิ่งเป็นเส้นตรงไปทางขวา 20 เมตร ในเวลา 4 วินาที จากนั้นหันกลับแล้ววิ่งเป็นเส้นตรงไปทางซ้ายอีก 2 เมตร ในเวลา 1 วินาที ขนาดของความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งของเด็กคนนี้เป็นเท่าไร
- นักเรียนคนหนึ่งทำการทดลองเรื่องเครื่องเคาะสัญญาณเวลา โดยใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลา ความถี่ 4 เฮิรตซ์ ได้ผลการทดลองดังแถบกระดาษ ความเร็วเฉลี่ยจากจุด A ถึง E มีค่าเท่าไร



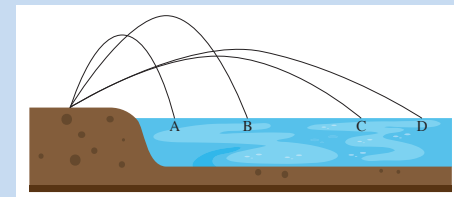
- จากผลการทดลองเรื่องเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ผลการทดลองเป็นตามแถบกระดาษ ความเร่งที่จุด C เป็นเท่าไร
กำหนดให้ เครื่องเคาะสัญญาณเวลาความถี่ 10 เฮิรตซ์



- วัตถุ A และ B เป็นวัตถุทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากัน แต่วัตถุ A มีมวลเป็น 2 เท่าของวัตถุ B ถ้าปล่อยให้วัตถุ A ตกลงในแนวตั้ง พร้อม ๆ กับขว้างวัตถุ B ออกไปในแนวระดับตั้งรูป เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของวัตถุทั้งสองจะแตกต่างกันอย่างไร



- เด็ก 4 คนนั่งอยู่ริมตลิ่งและขว้างก้อนหินพร้อมกันลงในน้ำคนละก้อน แต่ละก้อนตกที่ตำแหน่งต่าง ๆ คือ A, B, C และ D โดยมีเส้นทางการเคลื่อนที่ของก้อนหินดังรูป ก้อนหินที่ตกตรงตำแหน่งใดเป็นก้อนหินที่ถึงพื้นน้ำเร็วที่สุด เพราะเหตุใด



ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

18. การเคลื่อนที่แบบวงกลมมีเงื่อนไขที่สำคัญอย่างไรบ้าง
19. เวลาขับรถบนถนนโค้งเอียงที่มีป้ายกำหนดความเร็วไว้ให้ขับไม่เกิน 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่กลับสังเกตเห็นความเร็วของรถขณะเลี้ยวโค้งที่มาตรวจวัดบอกความเร็วสูงกว่า 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รถก็ยังสามารถเลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัยเป็นเพราะเหตุใด
20. จักจั่นหรือออดออดเป็นของเล่นพื้นบ้านที่เกิดจากการเสียนเสียงสัตว์ร้องตามธรรมชาติ เมื่อแกว่งจะทำให้เกิดเสียงดังคล้ายเสียงสัตว์ร้อง จากการแกว่งจักจั่นเป็นการเคลื่อนที่แบบวงกลมหรือไม่ เพราะเหตุใด



ที่มา : คลังภาพของ บ. แม็คเอ็ดดูเคชั่น จก.

21. วัตถุชิ้นหนึ่งผูกติดกับสปริงเบาที่มีค่าคงตัวเท่ากับ 90 นิวตันต่อเมตร เมื่อดึงวัตถุออกจากสมดุลเป็นระยะ 10 เซนติเมตรแล้วปล่อย วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง 3 เมตรต่อวินาที² วัตถุนี้มีมวลเท่าไร
22. นอตขนาดเล็กผูกด้วยสายเอ็นยาว ℓ แขนงไว้ตั้งรูป ซึ่งสายเอ็นสามารถเปลี่ยนให้มีความยาวค่าต่างๆ ได้ คาบการแกว่ง T ของนอตจะขึ้นกับความยาว ℓ อย่างไร
23. จากรูป วัตถุ A และ B ผูกด้วยเชือกความยาวเท่ากัน ถ้าวัตถุ A มีมวลเป็น 10 เท่าของวัตถุ B เมื่อแกว่งวัตถุทั้งสองด้วยมุม θ ขนาดเล็กๆ วัตถุใดจะแกว่งได้ช้าหรือเร็วกว่ากัน เพราะเหตุใด

