



ตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง

รศ. ดร.ณรงค์ สักวารนนท์

ผู้ตรวจ

ผศ. ดร.ชนินันท์ พฤกษ์ประมูล

ผศ. ดร.เอกภูมิ จันทรชนันต์

ผศ. ดร.อุดมเดช ภักดี

บรรณาธิการ

ผศ. ดร.สุโกสินทร์ ทองรัตนาศิริ

นางสาวบุลลิตา สุวัฒนาพิบูล

ปีที่พิมพ์ 2568

พิมพ์ครั้งที่ 1

จำนวนพิมพ์ 10,000 เล่ม

ISBN : 978-616-606-143-7

รหัสสินค้า 3518022



คำแนะนำในการใช้สื่อ

หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ 2 (ฟิสิกส์) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จัดทำขึ้นสำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยดำเนินการจัดทำให้สอดคล้องตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ทุกประการ เพื่อส่งเสริมทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ทั้งทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การแก้ปัญหา การคิดสร้างสรรค์ การใช้เทคโนโลยี การสื่อสาร และการร่วมมือ เพื่อให้ผู้เรียนรู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงของระบบเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และสภาพแวดล้อม สามารถแข่งขันและอยู่ร่วมกับประชาคมโลกได้

คำถามกระตุ้น

คำถามกระตุ้นการเรียนรู้ก่อนเข้าสู่เนื้อหา เพื่อให้เกิดกระบวนการสืบเสาะหาความรู้

Check for Understanding

คำถามตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียนก่อนเข้าสู่การเรียนการสอน

กิจกรรม

กิจกรรมให้ผู้เรียนฝึกปฏิบัติเพื่อเสริมสร้างทักษะทางวิทยาศาสตร์

Prior Knowledge

คำถามทบทวนความรู้เดิมของผู้เรียน เพื่อเชื่อมโยงสู่ความรู้ใหม่

Supplementary Note

ความรู้เสริมจากเนื้อหาเพื่อขยายความรู้ของผู้เรียน

ตัวชี้วัด

ระบุตัวชี้วัดระหว่างทางและตัวชี้วัดปลายทางที่สอดคล้องกับเนื้อหา

QR Code

นำเสนอเนื้อหาในรูปแบบที่รองรับการเรียนรู้ผ่านสื่อดิจิทัล

Test for U

แนวข้อสอบเพื่อเข้าศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา

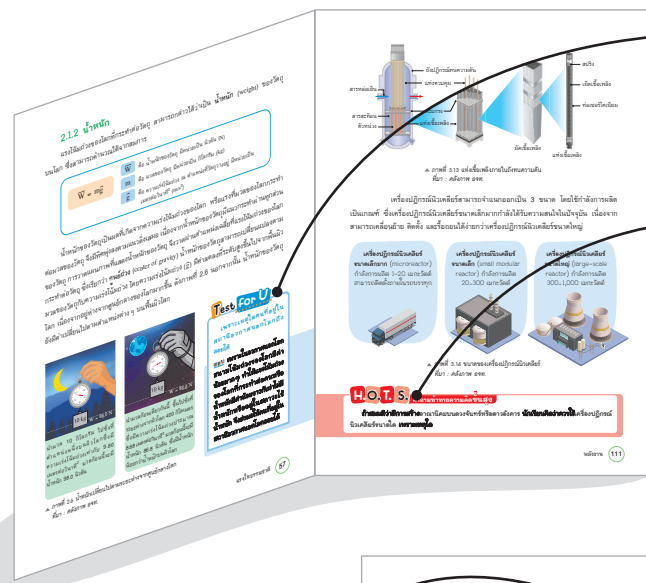
H.O.T.S.

คำถามท้าทายความคิดขั้นสูง

คำถามเพื่อให้ผู้เรียนพัฒนาการคิดวิเคราะห์ คิดสร้างสรรค์ คิดอย่างมีวิจารณญาณ

Unit Questions

แบบฝึกหัดประจำหน่วยการเรียนรู้เพื่อใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

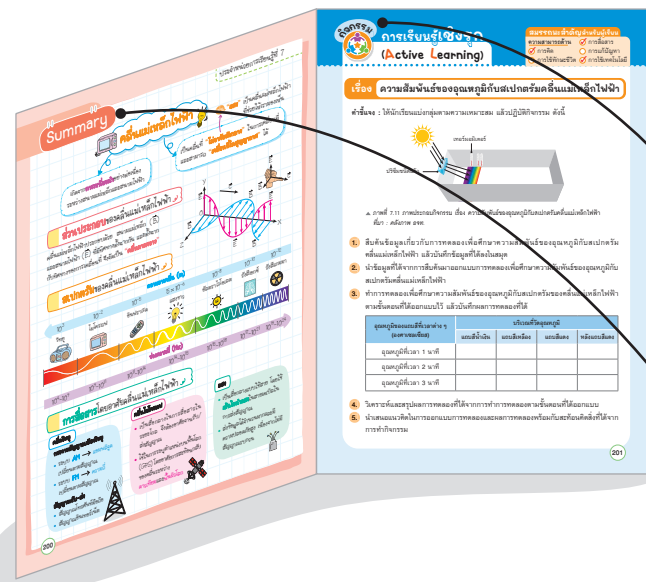
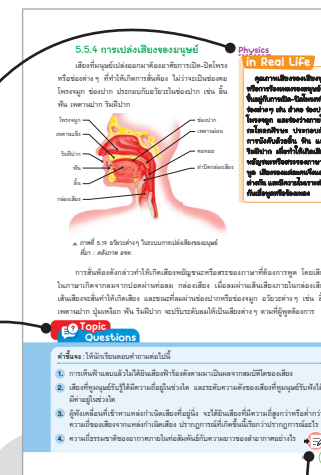


Physics in Real Life

เชื่อมโยงความรู้ทางฟิสิกส์สู่ชีวิตประจำวัน

Topic Questions

คำถามตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียนในแต่ละหัวข้อ



เชื่อมโยงสู่แบบฝึกหัด

เชื่อมโยงสู่แบบฝึกหัด เพื่อให้ผู้เรียนฝึกฝนจนเกิดความเชี่ยวชาญ

กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)

กิจกรรมที่เน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ด้วยตนเองและบรรลุสมรรถนะสำคัญ

Summary

สรุปเนื้อหาเพื่อให้ผู้เรียนได้ทบทวนสาระสำคัญประจำหน่วยการเรียนรู้



หน่วยการเรียนรู้ที่ 1



แรงและการเคลื่อนที่

2

1.1 การเคลื่อนที่แนวตรง	3
1.1.1 ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ	4
1.2 การตกแบบเสรี	13
1.2.1 การปล่อยหรือขว้างวัตถุให้ตกลงในแนวตั้ง	13
1.2.2 การโยนวัตถุขึ้นในแนวตั้ง	14
1.3 แรงและกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	15
1.3.1 แรง	15
1.3.2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	21
1.4 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์	30
1.5 การเคลื่อนที่แบบวงกลม	35
1.6 การเคลื่อนที่แบบสั่น	41
1.6.1 การแกว่งของวัตถุติดปลายเชือก	42
1.6.2 การสั่นของวัตถุติดปลายสปริง	45
กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)	48
Summary	49

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2

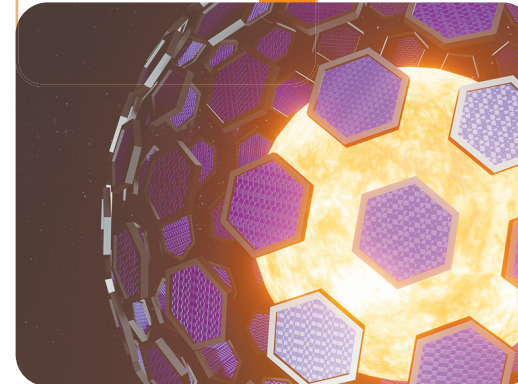


แรงในธรรมชาติ

52

2.1 แรงโน้มถ่วง	53
2.1.1 แรงโน้มถ่วงและสนามโน้มถ่วง	53
2.1.2 น้ำหนัก	57
2.1.3 ประโยชน์จากความเข้าใจในเรื่องสนามโน้มถ่วง	59
2.2 แรงไฟฟ้า	61
2.2.1 แรงไฟฟ้าและสนามไฟฟ้า	61
2.2.2 แรงไฟฟ้าต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า	65
2.2.3 ประโยชน์จากความเข้าใจในเรื่องแรงไฟฟ้า	66
2.3 แรงแม่เหล็ก	68
2.3.1 แรงแม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก	68
2.3.2 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ	72
2.3.3 แรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า	76
2.3.4 แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน	81
2.3.5 ประโยชน์จากความเข้าใจเรื่องแรงแม่เหล็ก	84
2.3.6 กระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำที่เกิดจากการเหนี่ยวนำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	87
2.4 แรงแม่เหล็กไฟฟ้า	91
2.4.1 แรงแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างเข้ม	92
2.4.2 แรงแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างอ่อน	94
กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)	97
Summary	98

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3



พลังงาน

100

3.1 ธรรมชาติของพลังงาน	101
3.2 แหล่งของพลังงาน	103
3.2.1 พลังงานไม่หมุนเวียน	104
3.2.2 พลังงานหมุนเวียน	114
3.3 เทคโนโลยีพลังงานและการประยุกต์	126
3.3.1 แบตเตอรี่	126
3.3.2 เซลล์เชื้อเพลิง	127
3.3.3 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงาน	128
กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)	129
Summary	130

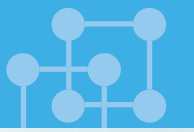
หน่วยการเรียนรู้ที่ 4



ปรากฏการณ์ของคลื่นกล

134

4.1 คลื่นกล	135
4.1.1 ประเภทของคลื่นกล	135
4.1.2 ส่วนประกอบของคลื่น	136
4.2 สมบัติของคลื่น	137
4.2.1 การสะท้อน	137
4.2.2 การหักเห	140
4.2.3 การเลี้ยวเบน	142
4.2.4 การแทรกสอด	144
4.3 ความถี่ธรรมชาติและการสั่นพ้อง	147
4.3.1 ความถี่ธรรมชาติ	147
4.3.2 การสั่นพ้อง	147
กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)	150
Summary	151



หน่วยการเรียนรู้ที่ 5



เสียง

152

5.1 ลักษณะของคลื่นเสียง	153
5.2 สมบัติของคลื่นเสียง	154
5.2.1 การสะท้อนของเสียง	154
5.2.2 การหักเหของเสียง	155
5.2.3 การเลี้ยวเบนของเสียง	156
5.2.4 การแทรกสอดของเสียง	156
5.3 การได้ยินเสียง	157
5.3.1 ความเข้มเสียงและระดับเสียง	157
5.3.2 หูกับการได้ยิน	159
5.4 ปรากฏการณ์ของเสียง	161
5.4.1 บีต	161
5.4.2 ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์	164
5.4.3 การสั่นพ้องของเสียง	165
5.5 ประโยชน์ของความเข้าใจเกี่ยวกับเสียง	167
5.5.1 เครื่องอัลตราซาวนด์	167
5.5.2 การออกแบบเครื่องดนตรี	167
5.5.3 อุปกรณ์โซนาร์	168
5.5.4 การแปลงเสียงของมนุษย์	169
กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)	171
Summary	172

หน่วยการเรียนรู้ที่ 6



แสงสี

174

6.1 ตากับการมองเห็นสี	175
6.1.1 การมองเห็นสี	175
6.1.2 การบอดสี	177
6.2 การผสมแสงสีและการผสมสารสี	179
6.2.1 การผสมแสงสี	179
6.2.2 การผสมสารสี	184
กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)	188
Summary	189

หน่วยการเรียนรู้ที่ 7



คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

190

7.1 ลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	191
7.2 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	192
7.3 ประโยชน์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	193
กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)	199
Summary	200
กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)	201
บรรณานุกรม	202



Q

วัตถุสามารถ
เคลื่อนที่ได้อย่างไร



ตัวชี้วัด

ว 2.2 ม.5/1 ม.5/2 ม.5/3 ม.5/4 ม.5/5

หน่วยการเรียนรู้ที่

1

แรง

และการเคลื่อนที่

✓✗ Check for
Understanding

ให้นักเรียนพิจารณาข้อความตามความเข้าใจของนักเรียนว่าถูกหรือผิด แล้วบันทึกลงในตาราง

ถูก/ผิด

- | | |
|---|--|
| 1. การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวมีเพียงการเคลื่อนที่แนวตรงเท่านั้น | |
| 2. แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาเป็นแรงที่มีขนาดเท่ากันและมีทิศตรงข้ามกันจึงทำให้แรงลัพธ์เป็นศูนย์ | |
| 3. การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เป็นการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้งแนวไฮเพอร์โบลา | |
| 4. การเคลื่อนที่ที่ความเร่งมีทิศตั้งฉากกับความเร็วตลอดเวลา คือ การเคลื่อนที่แบบวงกลม | |
| 5. การเคลื่อนที่แบบสั่นเป็นการเคลื่อนที่กลับไปมาผ่านตำแหน่งสมดุล | |

การเคลื่อนที่ของวัตถุมีหลากหลายรูปแบบ เช่น การร่วงของผลไม้จากต้นไม้ ผลไม้จะร่วงมาตรง ๆ ด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เป็นการเคลื่อนที่แนวตรงและเป็นการตกแบบเสรี การโยนลูกบาสเกตบอลเข้าห่วง ลูกบาสจะเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งรูปพาราโบลา เป็นการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ การเข้าโค้งของรถบนถนน แรงเสียดทานที่พื้นถนนกระทำต่อรถจะมีทิศตั้งฉากกับความเร็วของรถ เป็นการเคลื่อนที่แบบวงกลม การแกว่งของชิงช้า ตัวที่นั่งของชิงช้าจะมีการเคลื่อนที่กลับไปมาที่ตำแหน่งเดิม เป็นการเคลื่อนที่แบบสั่น

Prior
Knowledge

การตกของส้มจากต้น
กับการเคลื่อนที่ของรถ
ตามท้องถนนเหมือนกัน
หรือไม่ อย่างไร



1.1 การเคลื่อนที่แนวตรง

การเคลื่อนที่แนวตรง (linear motion) คือ การเคลื่อนที่ใน 1 มิติ โดยเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุจากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหนึ่งจะเป็นเส้นตรงในแนวเดียว สามารถแบ่งรูปแบบการเคลื่อนที่แนวตรงได้เป็น 2 กรณี

การเคลื่อนที่แนวตรงตามระดับ เช่น
การเคลื่อนที่ของรถจักรยานไปบนถนนตรง
การเคลื่อนที่ของรถไฟที่แล่นบนรางตรง



การเคลื่อนที่แนวตรงตามแนวดิ่งภายใต้
แรงโน้มถ่วงของโลก หรือภายใต้ความเร่ง
เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก หรือเรียกอีก
อย่างหนึ่งว่า การตกแบบเสรี (free fall) เช่น
น้ำตกที่ไหลจากที่สูง



▲ ภาพที่ 1.1 การเคลื่อนที่แนวตรงตามระดับและตามแนวดิ่ง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

สำหรับวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ ถ้าวัตถุนั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวหรือความเร่งเป็นศูนย์ รูปแบบการเคลื่อนที่ของวัตถุจะมีเฉพาะการเคลื่อนที่แนวตรงเท่านั้น แต่หากวัตถุนั้นมีความเร่งมาเกี่ยวข้อง การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นอาจจะเป็นรูปแบบอื่น ๆ ได้ ดังนั้น การเคลื่อนที่แนวตรงถือว่าเป็นรูปแบบการเคลื่อนที่ที่นักเรียนสามารถเรียนรู้และเข้าใจได้ง่ายกว่าการเคลื่อนที่แบบอื่นที่มีลักษณะซับซ้อนมากขึ้น รวมถึงเหมาะต่อการศึกษาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุอีกด้วย

แรงและการเคลื่อนที่

3

1.1.1 ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ

หากต้องการศึกษาว่าวัตถุนั้นมีการเคลื่อนที่หรือไม่ เราสามารถบอกได้จากตำแหน่งของวัตถุ (position) ถ้าวัตถุมีการเปลี่ยนตำแหน่ง หมายความว่าวัตถุมีการเคลื่อนที่ การเปลี่ยนแปลงนี้จะนำไปสู่การเกิดปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

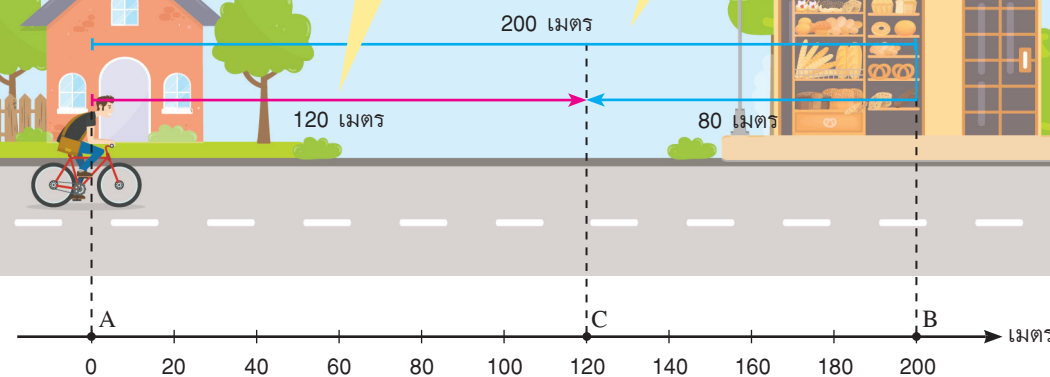
1. ระยะทางและการกระจัด เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ ตำแหน่งของวัตถุจะเปลี่ยนไป เช่น ขณะที่รถยนต์แล่นไปบนท้องถนน ตำแหน่งของรถยนต์จะเปลี่ยนไปตลอดเวลา สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงจากตำแหน่งเริ่มต้นถึงตำแหน่งสุดท้ายของวัตถุได้จากปริมาณที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1 ระยะทาง (distance) คือ ระยะทั้งหมดที่วัตถุได้ตามแนวการเคลื่อนที่จริงของวัตถุ ตั้งแต่จุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่จนถึงจุดสุดท้าย หรือปลายทางของการเคลื่อนที่ ระยะทางเป็นปริมาณสเกลาร์ (scalar) ที่ระบุเพียงแค่งาน ไม่ระบุทิศทาง และโดยทั่วไปจะใช้หน่วยเป็นเมตร (m) ตามระบบเอสไอ (SI)

2 การกระจัด (displacement) คือ ปริมาณที่บอกถึงการเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสุดท้ายของการเคลื่อนที่ โดยไม่คำนึงถึงเส้นทางการเคลื่อนที่จริงของวัตถุ การกระจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ (vector) ที่ระบุขนาด ซึ่งเป็นระยะที่วัดได้ตามเส้นตรงที่ลากจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้ายของการเคลื่อนที่ และระบุทิศทางซึ่งชี้จากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้ายของการเคลื่อนที่

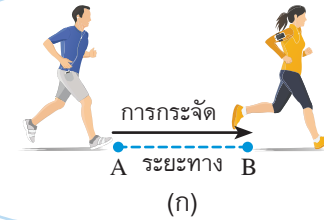
การกระจัดวัดจากจุด A ไปในแนวเส้นตรงถึงจุด C มีขนาดเท่ากับ 120 เมตร และมีทิศทางไปทางขวาจากจุด A ไปยังจุด C

ระยะทางวัดจากจุด A ไปยังจุด B และไปต่อถึงจุด C จะได้ ระยะทางทั้งหมด = 200 + 80 = 280 เมตร

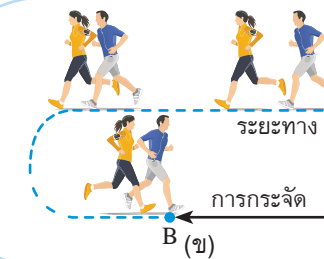


▲ ภาพที่ 1.2 แผนภาพแสดงระยะทางและการกระจัดจากจุด A ไปยังจุด C ของรถจักรยาน
ที่มา : คลังภาพ อจท.

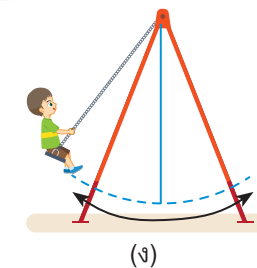
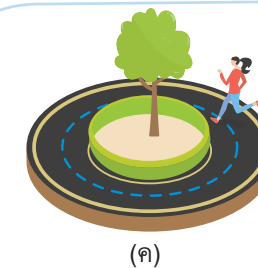
ความแตกต่างระหว่างระยะทางกับการกระจัด



จากภาพที่ 1.3 (ก) นักกรีฑาเริ่มวิ่งจากจุด A ไปยังจุด B โดยวิ่งเป็นเส้นตรงในทิศทางเดียวตลอดจนถึงจุด B ดังนั้น ระยะทางจะเท่ากับขนาดของการกระจัด



จากภาพที่ 1.3 (ข) นักกรีฑาวิ่งเป็นเส้นทางตรง เมื่อวิ่งมาได้ระยะหนึ่งจึงได้วิ่งย้อนกลับมาตามเส้นทางเดิม เมื่อวิ่งจากจุด A ถึงจุด B ระยะทางจากจุด A ถึงจุด B จะมากกว่าขนาดของการกระจัด



จากภาพที่ 1.3 (ค) และ (ง) วัตถุที่เคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้าย ซึ่งเป็นจุดเดียวกันกับจุดเริ่มต้น กล่าวคือ วัตถุเคลื่อนที่ครบรอบพอดี ขนาดของการกระจัดจะเป็นศูนย์ แต่ระยะทางไม่เป็นศูนย์

▲ ภาพที่ 1.3 ความแตกต่างระหว่างระยะทางกับการกระจัด
ที่มา : คลังภาพ อจท.

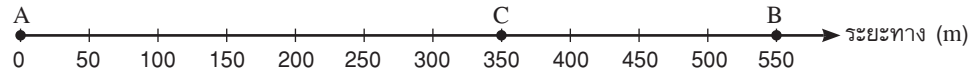
Supplementary Note

ระบบหน่วยระหว่างชาติ

ระบบหน่วยระหว่างชาติ (The International System of units) หรือระบบเอสไอ (SI) เป็นระบบหน่วยมาตรฐานที่องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (ISO หรือ International Organization for Standardization) ได้กำหนดให้ทุกประเทศใช้หน่วยทางวิทยาศาสตร์เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยกำหนดให้หน่วยฐานหรือหน่วยหลักของระบบเอสไอ มี 7 หน่วย ได้แก่ เมตร (m) กิโลกรัม (kg) วินาที (s) แอมแปร์ (A) เคลวิน (K) โมล (mol) และแคนเดลา (cd)

ตัวอย่างที่ 1.1

เด็กคนหนึ่งวิ่งจากจุดเริ่มต้น A ไปยังตำแหน่ง B แล้ววิ่งย้อนกลับไปที่ตำแหน่ง C จงหาระยะทางและการกระจัดของเด็กคนนี้



▲ ภาพที่ 1.4 ตำแหน่งที่เด็กชายคนหนึ่งวิ่งจากจุด A ไปยังจุด C
ที่มา : คลังภาพ อจท.

วิธีทำ ระยะทาง วัดความยาวตามเส้นทางวิ่ง $A \rightarrow B \rightarrow C$
จะได้ ระยะทาง = 550 เมตร + 200 เมตร = 750 เมตร
การกระจัด วัดจากจุดเริ่มต้น A ไปในแนวตรงถึงจุดสุดท้าย C
จะได้ การกระจัด = 350 เมตร
ดังนั้น เด็กคนนี้วิ่งได้ระยะทาง 750 เมตร และมีการกระจัด 350 เมตร มีทิศจาก A ไป C

ตัวอย่างที่ 1.2

รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่รอบวงเวียนรัศมี 7 เมตร จากจุด A แล้วกลับมาที่จุดเดิม จำนวน 1 รอบ แล้วหยุดเตรียมพร้อมเพื่อเคลื่อนที่ออกจากวงเวียน จงหาระยะทางและการกระจัดของรถยนต์คันนี้



▲ ภาพที่ 1.5 รถยนต์เคลื่อนที่รอบวงเวียนจากจุด A แล้วกลับมาที่จุดเดิม
ที่มา : คลังภาพ อจท.

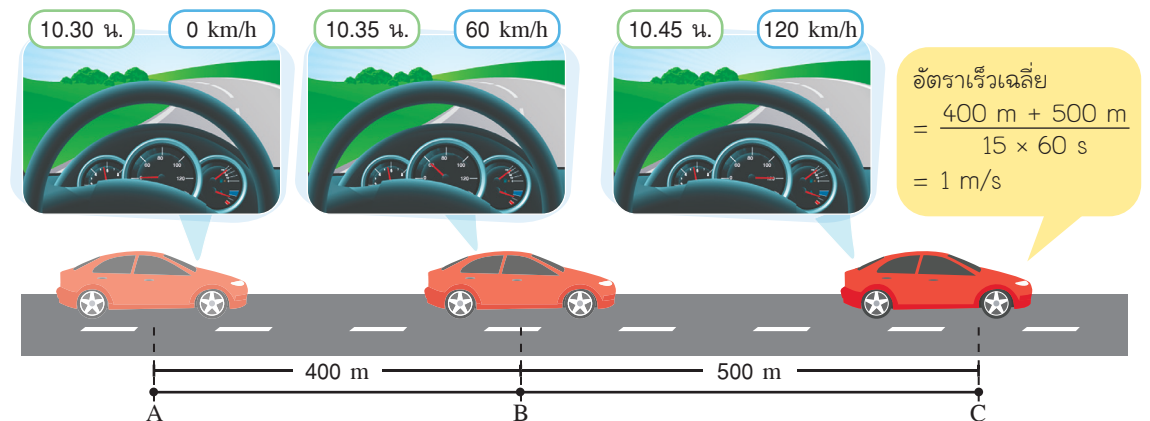
วิธีทำ ระยะทาง มีระยะเท่ากับเส้นรอบวงของวงเวียน รัศมี $r = 7$ เมตร
จาก เส้นรอบวง = $2\pi r = 2 \times \frac{22}{7} \times 7 = 44$ เมตร
จะได้ ระยะทาง = 44 เมตร
การกระจัด วัดจากจุดเริ่มต้น A จนถึงสุดท้าย A จะมีขนาดเท่ากับ 0 เมตร เนื่องจากจุดสุดท้ายและจุดเริ่มต้นเป็นจุดเดียวกัน หรือรถยนต์เคลื่อนที่ครบรอบพอดี
ดังนั้น รถยนต์คันนี้เคลื่อนที่ได้ระยะทาง 44 เมตร และมีการกระจัด 0 เมตร

2. อัตราเร็วและความเร็ว การเคลื่อนที่ของวัตถุจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง นอกจากจะคำนึงถึงระยะทางและการกระจัดแล้ว ยังต้องคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ด้วย โดยปริมาณที่ใช้บอกว่าวัตถุใดเคลื่อนที่ได้เร็วหรือช้ากว่ากัน จะพิจารณาจากระยะทางหรือการกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้เทียบกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่

1) **อัตราเร็ว (speed)** คือ ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา จัดเป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็นหน่วยของความยาวต่อหน่วยของเวลา เช่น เมตรต่อวินาที (m/s) หรือ กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h) หากวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่ไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าวัตถุนั้นเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ แต่หากวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วไม่เท่ากัน บางช่วงอาจจะมีอัตราเร็วมากหรืออัตราเร็วน้อย เมื่อคิดอัตราเร็วโดยรวมตลอดระยะทางจะคิดเป็น **อัตราเร็วเฉลี่ย (average speed)** สามารถพิจารณาจากอัตราส่วนของระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ต่อช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่

$$\text{อัตราเร็วเฉลี่ย} = \frac{\text{ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้}}{\text{ช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่}}$$

หากเราพิจารณาอัตราเร็วของวัตถุ ณ เวลาใดเวลาหนึ่งระหว่างการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ จะเรียกอัตรเร็วนี้ว่า **อัตราเร็วขณะหนึ่ง (instantaneous speed)** ซึ่งแสดงดังภาพที่ 1.6



▲ ภาพที่ 1.6 อัตราเร็วเฉลี่ยและอัตราเร็วขณะหนึ่ง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ในชีวิตประจำวันเราสามารถบอกอัตราเร็วขณะหนึ่งของรถยนต์ที่กำลังเคลื่อนที่ได้จากการอ่านค่าบนมาตรอัตราเร็ว (speedometer) ของรถยนต์ ดังภาพที่ 1.7 และจะพบว่าอัตราเร็วขณะหนึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดการเคลื่อนที่



▲ ภาพที่ 1.7 มาตรอัตราเร็วของรถยนต์ในปัจจุบัน มีการแสดงผลทั้งอัตราเร็วเฉลี่ยและอัตราเร็วขณะหนึ่ง เพื่อเพิ่มความปลอดภัยต่อการขับขี่ จากภาพ รถยนต์อยู่ในเกียร์ P (รถจอดนิ่ง) อัตราเร็วขณะหนึ่งจึงมีค่าเป็นศูนย์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

2) ความเร็ว (velocity) คือ การกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เนื่องจากการกระจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ ความเร็วจึงจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์เช่นกัน ซึ่งจะมีทิศทางเดียวกับทิศทางของการกระจัด มีหน่วยเป็นหน่วยของความยาวต่อหน่วยของเวลา เช่น เมตรต่อวินาที (m/s) หรือ กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h) หากวัตถุมีการเคลื่อนที่ด้วยขนาดและทิศทางของความเร็วสม่ำเสมอ แสดงว่าวัตถุมีความเร็วคงตัว ความเร็วสามารถเปลี่ยนได้ทั้งขนาดและทิศทาง การบอกความเร็วในการเคลื่อนที่ซึ่งบอกเป็น **ความเร็วเฉลี่ย** (average velocity) สามารถพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างการกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ต่อช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่

$$\text{ความเร็วเฉลี่ย} = \frac{\text{การกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้}}{\text{ช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่}}$$

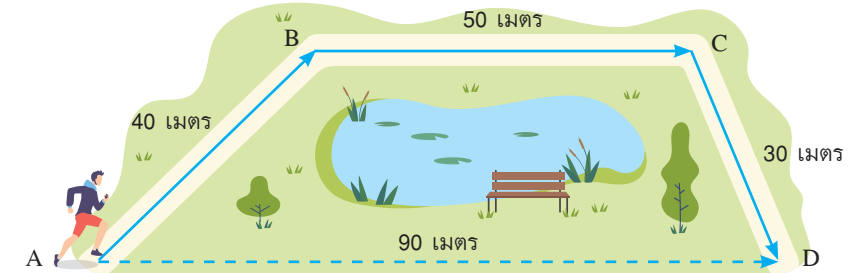
หากพิจารณาความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ ณ เวลาใดเวลาหนึ่งของการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นช่วงเวลามีค่าน้อยมาก ๆ หรือสั้นมาก ๆ จะเรียกความเร็วนั้นว่า **ความเร็วขณะหนึ่ง** (instantaneous velocity)

Physics in Real Life

ปัจจุบันคนส่วนใหญ่มักเข้าใจว่า มาตรอัตราเร็วบนหน้าปัดของยานพาหนะต่างๆ เช่น รถยนต์ รถจักรยานยนต์ จะแสดงค่าความเร็ว แต่ในความเป็นจริงแล้วค่าที่แสดงบนหน้าปัดนั้น คือ อัตราเร็วขณะหนึ่ง และรถรุ่นใหม่ ๆ ส่วนมากมักจะมีจอแสดงผลเพิ่มเข้ามาเพื่อบอกค่าอัตราเร็วเฉลี่ยด้วย

ตัวอย่างที่ 1.3

นายธนาคารวิ่งออกกำลังกายในสวนสาธารณะ โดยเริ่มวิ่งจากจุด A ไปยังจุด B วิ่งต่อไปยังจุด C แล้วไปยังจุด D ในเวลา 20 วินาที ดังภาพที่ 1.8



▲ ภาพที่ 1.8 เส้นทางเดินของนายธนาคารจากจุด A ไปยังจุด D
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ก. จงหาระยะทางทั้งหมดที่นายธนาคารวิ่งจากจุด A ไปยังจุด D

วิธีทำ ระยะทาง = ระยะ AB + ระยะ BC + ระยะ CD
= 40 + 50 + 30 เมตร
ระยะทาง = 120 เมตร

ดังนั้น ระยะทางทั้งหมดเท่ากับ 120 เมตร

ข. จงหาการกระจัดของการวิ่งของนายธนาคารครั้งนี้

วิธีทำ การกระจัด = ระยะ AD = 90 เมตร
ดังนั้น การกระจัดของการวิ่งครั้งนี้เท่ากับ 90 เมตร มีทิศทางจาก A ไปยัง D

ค. จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยในการวิ่ง

วิธีทำ จากสมการ อัตราเร็วเฉลี่ย = $\frac{\text{ระยะทางที่คนเคลื่อนที่ได้}}{\text{ช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่}}$
= $\frac{120 \text{ เมตร}}{20 \text{ วินาที}}$
อัตราเร็วเฉลี่ย = 6 เมตรต่อวินาที

ดังนั้น อัตราเร็วเฉลี่ยในการวิ่งเท่ากับ 6 เมตรต่อวินาที

ง. จงหาความเร็วเฉลี่ยในการวิ่ง

วิธีทำ จากสมการ ความเร็วเฉลี่ย = $\frac{\text{การกระจัดที่คนเคลื่อนที่ได้}}{\text{ช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่}}$
= $\frac{90 \text{ เมตร}}{20 \text{ วินาที}}$
ความเร็วเฉลี่ย = 4.5 เมตรต่อวินาที

ดังนั้น ความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งเท่ากับ 4.5 เมตรต่อวินาที มีทิศทางจาก A ไปยัง D



กิจกรรมที่ 1.1

การหาอัตราเร็วเฉลี่ยโดยใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลา

จุดประสงค์

เพื่อหาอัตราเร็วเฉลี่ยจากการตั้งแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

คำถาม

อัตราเร็วเฉลี่ยสามารถหาจากการลากแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาได้หรือไม่ อย่างไร

วัสดุอุปกรณ์

- ไม้บรรทัด
- เครื่องเคาะสัญญาณเวลาความถี่ 50 เฮิรตซ์
- แถบกระดาษ
- หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 0-12 โวลต์

วิธีปฏิบัติ

- ออกแบบและวางแผนการทดลอง โดยอาจมีแนวทางการทดลอง ดังนี้
 - ต่อเครื่องเคาะสัญญาณเวลาเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ โดยใช้ความต่างศักย์กระแสสลับ 4-6 โวลต์ สอดปลายของแถบกระดาษผ่านใต้กระดาษคาร์บอนของเครื่องเคาะสัญญาณเวลาแล้วจับไว้
 - เปิดสวิตช์หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ ลากแถบกระดาษผ่านคันเคาะของเครื่องเคาะสัญญาณเวลา โดยเพิ่มอัตราเร็วในการลากอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดจุดบนแถบกระดาษเรียงตามความยาวของแถบกระดาษ เลือจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายบนแถบกระดาษที่สามารถวัดระยะทางได้สะดวก (มากกว่า 7 จุด)
 - นับจำนวนจุดระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดสุดท้ายที่เลือก โดยไม่นับจุดเริ่มต้น (ให้จุดเริ่มต้นเป็นจุดที่ 0)
 - คำนวณหาอัตราเร็วเฉลี่ยในการลากแถบกระดาษผ่านคันเคาะของเครื่องเคาะสัญญาณเวลาที่เลือกไว้ในข้อ 1.3
 - ทำการทดลองข้อ 1.1-1.4 ซ้ำ โดยลากแถบกระดาษผ่านคันเคาะของเครื่องเคาะสัญญาณเวลาด้วยอัตราเร็วในการลากที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง
- ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ โดยออกแบบตารางบันทึกผลและจดบันทึกผลการทดลองที่ได้ อย่างเป็นระบบและน่าเชื่อถือ
- ร่วมกันสรุปและอภิปรายผลการทดลองที่ได้ โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้มาประกอบการอภิปราย

คำถามท้ายกิจกรรม

- ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายเป็นเท่าใด และมีกี่ช่วงจุด
- อัตราเร็วเฉลี่ยในการลากกระดาษในช่วงที่ได้เลือกไว้จากการปฏิบัติกิจกรรมเท่ากับเท่าใด

แนวทางอภิปรายผลกิจกรรม

ลักษณะของจุดแต่ละจุดที่ปรากฏบนแถบกระดาษบ่งบอกถึงการเคลื่อนที่ของแถบกระดาษ ถ้าช่วงจุดไหนกว้างแสดงว่าดึงแถบกระดาษด้วยอัตราเร็วสูงกว่าในช่วงที่มีช่วงจุดแคบกว่า สำหรับเครื่องเคาะสัญญาณเวลาที่เคาะด้วยความถี่ 50 ครั้งต่อวินาที ไม่ว่าช่วงจุดไหนจะกว้างหรือแคบก็ตาม อัตราเร็วเฉลี่ยในแต่ละช่วงจุดบนแถบกระดาษใช้เวลาเท่ากัน คือ $\frac{1}{50}$ ส่วนอัตราเร็วขณะหนึ่งหาได้จากการนำระยะทาง 2 ช่วงจุดหารด้วยเวลาที่ใช่ คือ $\frac{2}{50}$ วินาที หากพิจารณาจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของแถบกระดาษ เมื่อระยะห่างระหว่างจุดเพิ่มขึ้น

แถบกระดาษจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะห่างระหว่างจุดค่อย ๆ น้อยลง แถบกระดาษจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ลดลง



เครื่องเคาะสัญญาณเวลา



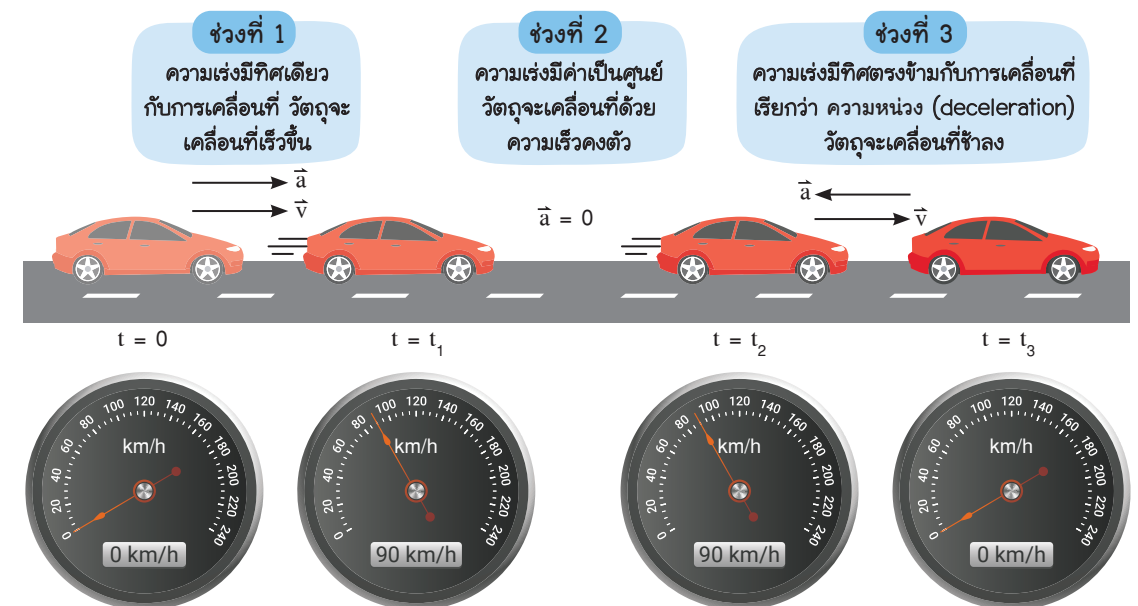
3. ความเร่ง (acceleration) คือ ความเร็วที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเร็วนั้น อาจเปลี่ยนแปลงเฉพาะขนาด หรือทิศทางของความเร็ว หรือเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทางพร้อมกันก็ได้ เนื่องจากความเร็วเป็นปริมาณเวกเตอร์ ความเร่งจึงเป็นปริมาณเวกเตอร์เช่นกัน ความเร่งมีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที² (m/s²) ถ้าพิจารณาความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งหมดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เรียกว่า **ความเร่งเฉลี่ย (average acceleration)** หาได้จากอัตราส่วนระหว่างความเร็วที่เปลี่ยนไปทั้งหมดกับช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วนั้น

$$\text{ความเร่งเฉลี่ย} = \frac{\text{ความเร็วที่เปลี่ยนไป}}{\text{ช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็ว}}$$

หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุในช่วงเวลาที่มีค่าน้อยมาก ๆ หรือสั้นมาก ๆ ความเร่งดังกล่าวจะเป็น **ความเร่งขณะหนึ่ง (instantaneous acceleration)**

การที่วัตถุเคลื่อนที่โดยมีความเร็วเปลี่ยนแปลงไป กล่าวได้ว่า **วัตถุมีความเร่ง** ซึ่งการอธิบายความเร่งจำเป็นจะต้องบอกทั้งขนาดและทิศทาง โดยขนาดสามารถพิจารณาจากสมการด้านบน สำหรับการเคลื่อนที่แนวตรง ทิศทางของความเร่งอาจมีทิศเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือทิศตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งจะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ ดังภาพที่ 1.9

การเคลื่อนที่ของรถยนต์ในช่วงเวลาหนึ่ง



▲ ภาพที่ 1.9 การเคลื่อนที่ของรถยนต์แต่ละช่วงเวลา
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ตัวอย่างที่ 1.4

รถจักรยานยนต์วิ่งบนทางตรงด้วยความเร็ว 5 เมตรต่อวินาที เมื่อเวลาผ่านไป 4 วินาที ความเร็วรถจักรยานยนต์เพิ่มขึ้นเป็น 17 เมตรต่อวินาที รถจักรยานยนต์คันนี้มีความเร่งเฉลี่ยกี่เมตรต่อวินาที²



▲ ภาพที่ 1.10 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1.4
ที่มา : คลังภาพ อจท.

วิธีทำ จากสมการ ความเร่งเฉลี่ย = $\frac{\text{ความเร็วที่เปลี่ยนไป}}{\text{ช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็ว}}$

$$= \frac{17 \text{ เมตรต่อวินาที} - 5 \text{ เมตรต่อวินาที}}{4 \text{ วินาที}}$$

$$\text{ความเร่งเฉลี่ย} = 3 \text{ เมตรต่อวินาที}^2$$

ดังนั้น รถจักรยานยนต์คันนี้จะเกิดความเร่งเฉลี่ย 3 เมตรต่อวินาที² และมีทิศเดียวกับการเคลื่อนที่ของรถจักรยานยนต์ เนื่องจากความเร็วของรถจักรยานยนต์เพิ่มมากขึ้น

1.2 การตกแบบเสรี

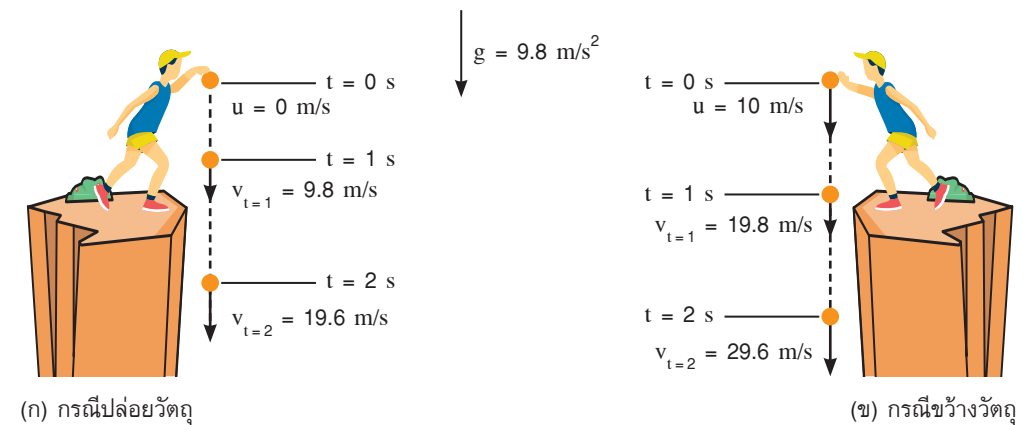
การเคลื่อนที่แนวตรงในหัวข้อที่ผ่านมา เป็นการเคลื่อนที่แนวตรงตามแนวระดับ ส่วนการเคลื่อนที่แนวตรงตามแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก เรียกว่า การตกแบบเสรี (free fall) เช่น การเคลื่อนที่ของมะม่วงที่หล่นจากต้น การโยนลูกบอลขึ้นไปในอากาศ โดยการตกแบบเสรีนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อปล่อยวัตถุให้ตกในแนวตั้งโดยไม่คิดแรงต้านอากาศ แรงโน้มถ่วงของโลกจะกระทำต่อวัตถุให้เคลื่อนที่เร็วขึ้นหรือช้าลง กล่าวได้ว่า วัตถุมีความเร่ง โดยความเร่งของวัตถุที่ตกจะมีค่าคงตัว ไม่ขึ้นอยู่กับชนิด มวล หรือรูปร่างของวัตถุ เราจะเรียกความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ภายใต้แรงโน้มถ่วงว่า ความเร่งโน้มถ่วง (gravitational acceleration) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ g มีค่าประมาณ 9.8 เมตรต่อวินาที² และมีทิศเข้าสู่ศูนย์กลางของโลก (พุ่งลงในแนวตั้ง) การตกแบบเสรีสามารถแบ่งการพิจารณาได้จากตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

Prior Knowledge

ปล่อยลูกฟุตบอลลงจากตึก ลูกฟุตบอลจะมีการเคลื่อนที่อย่างไร และความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ จงอธิบาย



1.2.1 การปล่อยหรือขว้างวัตถุให้ตกลงในแนวตั้ง



▲ ภาพที่ 1.11 การปล่อยหรือขว้างวัตถุให้ตกลงในแนวตั้ง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

เมื่อปล่อยวัตถุจากที่สูง วัตถุจะเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งด้วยความเร็วเริ่มต้น (u) เป็นศูนย์และความเร็วมีทิศเดียวกับความเร่งโน้มถ่วงของโลก ทำให้วัตถุมีความเร็วในทิศพุ่งลงในแนวตั้งเพิ่มขึ้นวินาทีละ 9.8 เมตรต่อวินาที ณ เวลา 1 วินาที และ 2 วินาที วัตถุจะมีความเร็ว (v) เป็น 9.8 และ 19.6 เมตรต่อวินาที ดังภาพที่ 1.11 (ก)

เมื่อขว้างวัตถุจากที่สูง วัตถุจะเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งด้วยความเร็วเริ่มต้น (u) ไม่เป็นศูนย์และความเร็วมีทิศเดียวกับความเร่งโน้มถ่วงของโลก ทำให้วัตถุมีความเร็วในทิศพุ่งลงในแนวตั้งเพิ่มขึ้นวินาทีละ 9.8 เมตรต่อวินาทีเช่นกัน ณ เวลา 1 วินาที และ 2 วินาที วัตถุจะมีความเร็ว (v) เป็น 19.8 และ 29.6 เมตรต่อวินาที ดังภาพที่ 1.11 (ข)

Topic Questions

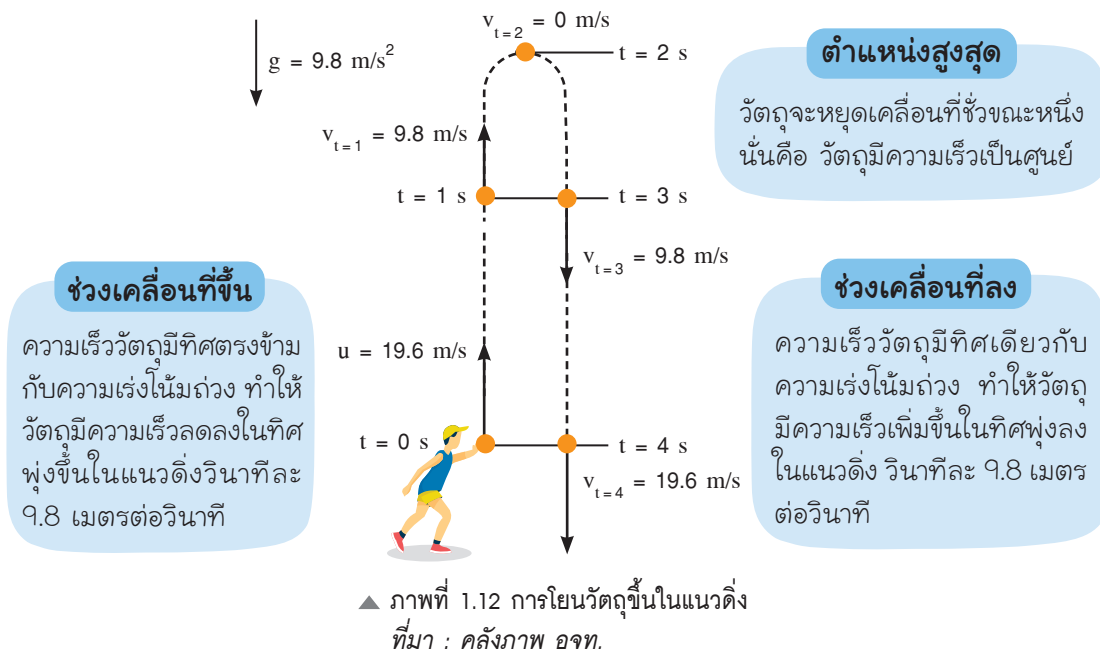
คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

- ชายคนหนึ่งเดินวนรอบวงกลมรัศมี 7 เมตร เมื่อเดินครบ 5 รอบ ระยะทางและการกระจัดในการเดินของชายคนนี้จะเท่ากันเท่าใด
- เด็กนักเรียนปั่นจักรยานไปโรงเรียนที่อยู่ทางทิศเหนือเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร จากนั้นปั่นไปทางทิศตะวันออกเป็นระยะทาง 1.5 กิโลเมตร จงหาระยะทางและการกระจัดในการปั่นจักรยานของเด็กนักเรียนคนนี้
- รถคันหนึ่งเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกเป็นระยะทาง 24 กิโลเมตร จากนั้นเคลื่อนที่กลับทางทิศตะวันออกเป็นระยะทาง 16 กิโลเมตร ถ้าใช้เวลาในการเคลื่อนที่ทั้งหมด 30 นาที อัตราเร็วเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของรถคันนี้เป็นกี่กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- รถไฟฟากำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 50 เมตรต่อวินาที และต้องการจอดที่สถานีเพื่อส่งผู้โดยสารภายใน 3 นาที รถไฟฟ้าจะเกิดความเร่งเฉลี่ยเป็นกี่เมตรต่อวินาที² จึงจะสามารถจอดได้อย่างพอดี



จากภาพที่ 1.11 (ก) และ 1.11 (ข) จะพบว่า ณ ขณะเวลาเดียวกัน เช่น 1 วินาที ความเร็วของวัตถุในกรณีขว้างวัตถุลงมาจะมีค่ามากกว่ากรณีที่ปล่อยวัตถุให้ตกลงมา แต่วัตถุยังเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ทั้งขนาดและทิศทาง

1.2.2 การโยนวัตถุขึ้นในแนวตั้ง



จากภาพที่ 1.12 สามารถพิจารณาความเร็วและปริมาณการเคลื่อนที่อื่น ๆ ได้อีก เช่น

- ณ ระดับเดียวกัน ความเร็วของวัตถุขณะเคลื่อนที่ขึ้นกับความเร็วของวัตถุขณะเคลื่อนที่ลงจะมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกัน
- หากวัตถุเคลื่อนที่ขึ้นและลงมาถึงตำแหน่งเดิม เวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ขึ้นไปถึงตำแหน่งสูงสุดจะมีค่าเท่ากับเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่กลับลงมาที่เดิม และเวลาทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับผลรวมของเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ขึ้นไปถึงจุดสูงสุดและลงมายู่ที่ตำแหน่งเดิม

Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. การปล่อยวัตถุในแนวตั้งและการโยนวัตถุขึ้นในแนวตั้ง ความเร็วและความเร่งของวัตถุแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
2. หากโยนวัตถุขึ้นในแนวตั้งด้วยความเร็วต้น 49 เมตรต่อวินาที วัตถุจะใช้เวลานานเท่าใดจึงจะตกกลับมามีตำแหน่งเดิม



1.3 แรงและกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

วัตถุอาจมีการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ได้ เช่น รถยนต์เคลื่อนที่ไปด้านหน้าแล้วเหยียบเบรกจนหยุด ลูกบาสเกตบอลที่ถูกโยนขึ้นด้านบนแล้วเกิดการเคลื่อนที่โค้งเข้าห่วง ในหัวข้อนี้เราจะศึกษาปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1.3.1 แรง

หากเดิมวัตถุอยู่นิ่งแล้วต้องการให้วัตถุเคลื่อนที่ หรือเดิมวัตถุกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่าหนึ่งแล้วต้องการให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนความเร็วหรือเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ จะต้องมีแรงมากระทำต่อวัตถุนั้น เช่น การตบลูกวอลเลย์บอลตอบโต้กันไปมานั้น ผู้เล่นจะต้องออกแรงกระทำต่อลูกวอลเลย์บอลเพื่อให้ลูกวอลเลย์บอลเกิดการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่และสามารถเคลื่อนที่พุ่งไปข้างหน้าเข้าหาผู้เล่นฝั่งตรงข้ามได้ หรืออาจจะทำให้ลูกวอลเลย์บอลเกิดการเปลี่ยนขนาดของความเร็วให้เคลื่อนที่ไวขึ้น แม้ว่าแรงจะไม่ได้กระทำต่อวัตถุตลอดเวลา แต่ผลของแรงก็ยังส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุต่อไปได้ เช่น การส่งยานอวกาศออกไปสำรวจดาวเคราะห์นอกระบบโดยยานเคลื่อนที่ออกจากโลกด้วยแรงจากจรวดขับเคลื่อนด้วยความเร็วที่สูงมาก เมื่อยานอวกาศหลุดออกจากจรวดขับเคลื่อน ยานอวกาศก็ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนอีก แต่ยังคงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงเดิม เนื่องจากไม่มีแรงภายนอกมากระทำต่อยานอวกาศ

Prior Knowledge

แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุอย่างไร



▲ ภาพที่ 1.13 ผู้เล่นออกแรงกระทำต่อลูกวอลเลย์บอลเพื่อทำให้ลูกวอลเลย์บอลเกิดการเปลี่ยนทิศทางและพุ่งหาผู้เล่นฝั่งตรงข้าม
ที่มา : คลังภาพ อจท.



▲ ภาพที่ 1.14 ยานอวกาศโอไรออน (Orion) เคลื่อนที่ออกนอกโลกด้วยแรงจากจรวดขับเคลื่อน
ที่มา : คลังภาพ อจท.

แรง (force) คือ อิทธิพลที่ส่งผลให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนรูปร่าง หรือเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ เช่น วัตถุเกิดการเคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของความเร็ว หรือทิศทางของความเร็ว หรือเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทางของความเร็วไปพร้อมกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางของแรงที่มากระทำ แรงจึงจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\vec{F}$ มีหน่วยในระบบเอสไอ (SI unit) เป็น นิวตัน (Newton; N) หรือกิโลกรัม เมตรต่อวินาที² (kg m/s^2)

1. ส่วนประกอบของแรง ในปัจจุบันคำว่า แรง เป็นคำที่ใช้กันทั่วไป จะเห็นว่า คำต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแรงนั้นมักมีความหมายและส่วนประกอบที่แตกต่างกันตามบริบท ดังนั้น ในวิชาฟิสิกส์ได้กำหนดส่วนประกอบของแรงไว้ ดังนี้

1 สิ่งที่ถูกกระทำ หรือวัตถุที่ถูกกระทำ เช่น แรงที่เราใช้ผลักหรือเข็นรถ ซึ่งรถจะเป็นวัตถุที่ถูกกระทำ

2 ผู้กระทำ หรือวัตถุที่กระทำ เช่น การเข็นรถ ผู้กระทำหรือผู้ที่ออกแรงคือ คน

3 ทิศทางของแรงที่กระทำ เช่น แรงที่คนเข็นรถ จะมีทิศทางไปด้านหน้าของคน ซึ่งคำกริยา เช่น เข็น ผลัก ดัน ลาก ดึง จะเป็นสิ่งที่บ่งบอกทิศทางของแรงได้



▲ ภาพที่ 1.15 ส่วนประกอบของแรงในวิชาฟิสิกส์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

เนื่องจากแรงทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ แต่การเคลื่อนที่ของวัตถุใด ๆ นั้น อาจมีผลมาจากแรงหลายแรงมากระทำต่อวัตถุ ในกรณีที่มีแรงหลายแรงกระทำต่อวัตถุจะต้องรวมแรงทั้งหมดที่มากระทำเพื่อหาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุนั้น โดยความหมายของแรงลัพธ์และการหาแรงลัพธ์จะได้ศึกษาในหัวข้อถัดไป

Physics

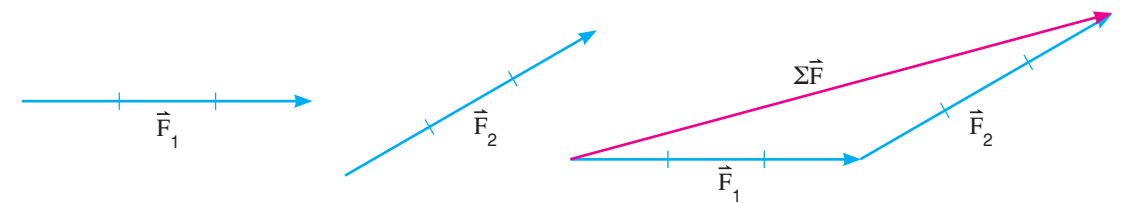
in Real Life

การบีบเครื่องบีบดินเผา หรือการบีบดินน้ำมัน เป็นการออกแรงกระทำต่อวัสดุ เพื่อให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปร่างตามที่ต้องการ

2. การหาแรงลัพธ์ เนื่องจากแรงเป็นปริมาณเวกเตอร์เช่นเดียวกับการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง จึงสามารถเขียนลูกศรหรือเวกเตอร์แทนแรงได้ โดยให้ความยาวของลูกศรแทนขนาดของแรงและหัวลูกศรแทนทิศทางของแรง ถ้าหากวัตถุมีแรงสองแรงหรือมากกว่ามากระทำ โดยแรงเหล่านั้นอยู่ในระนาบเดียวกัน จะต้องรวมแรงทั้งหมดเพื่อหา **แรงลัพธ์ (resultant force)** ที่กระทำต่อวัตถุนั้น เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\Sigma \vec{F}$ และสามารถหาแรงลัพธ์ได้จากการรวมแบบเวกเตอร์ แบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ การเขียนแผนภาพการรวมแบบเวกเตอร์และการคำนวณ

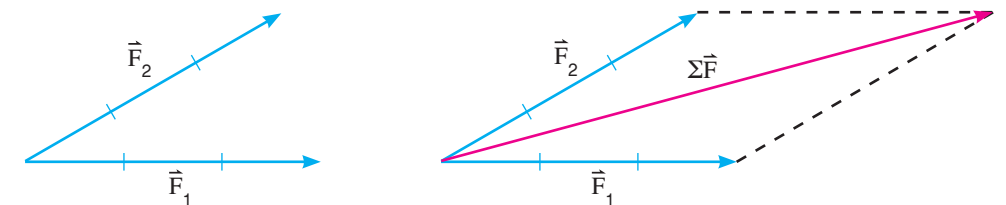
1) การหาแรงลัพธ์โดยการเขียนแผนภาพการรวมแบบเวกเตอร์ มี 2 วิธี ดังนี้

• **วิธีเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัว** การหาแรงลัพธ์โดยวิธีนี้ทำได้โดยการนำหางลูกศร (tail) ของเวกเตอร์แรงหนึ่งไปต่อกับหัวลูกศร (head) ของอีกเวกเตอร์แรงหนึ่ง จากนั้นลากเวกเตอร์จากหางลูกศรของเวกเตอร์แรงตัวแรกไปยังหัวลูกศรของเวกเตอร์แรงตัวสุดท้าย ซึ่งเวกเตอร์ที่ลากขึ้นมาใหม่ คือ เวกเตอร์ลัพธ์หรือแรงลัพธ์ โดยความยาวของเวกเตอร์ลัพธ์ที่ได้แทนขนาดของแรงลัพธ์ และทิศทางหัวลูกศรของเวกเตอร์ลัพธ์แทนทิศทางของแรงลัพธ์



▲ ภาพที่ 1.16 การหาแรงลัพธ์ของแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ โดยการเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัว
ที่มา : คลังภาพ อจท.

• **วิธีสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน** การหาแรงลัพธ์โดยวิธีนี้ทำได้โดยการนำหางลูกศรของเวกเตอร์แรงหนึ่งต่อกับหางลูกศรของเวกเตอร์อีกแรงหนึ่ง จากนั้นลากเส้นประสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน โดยเส้นทแยงมุมของสี่เหลี่ยมด้านขนานแทนขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์



▲ ภาพที่ 1.17 การหาแรงลัพธ์ของแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ โดยการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน
ที่มา : คลังภาพ อจท.



กิจกรรมที่ 1.2

การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ในเส้นเชือก โดยวิธีเขียนแผนภาพรวมแบบเวกเตอร์

จุดประสงค์

หาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำ
มุมต่อกัน ด้วยวิธีเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัว
และวิธีการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน

คำถาม

แรงลัพธ์สามารถหาได้ด้วยวิธีการใดบ้าง
และแต่ละวิธีการได้ผลลัพธ์ที่มีค่าเท่ากัน
หรือไม่

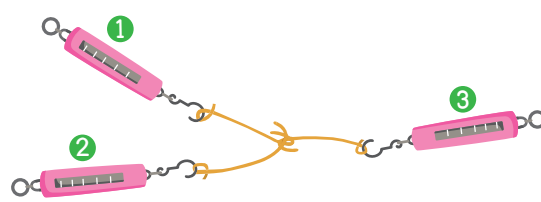
วัสดุอุปกรณ์

- เชือก
- กระดาษสีขาว
- เครื่องชั่งสปริง
- ไม้โปรแทรกเตอร์

วิธีปฏิบัติ

- ออกแบบและวางแผนการทดลอง โดยอาจมีแนวทางการทดลอง ดังนี้

- ผูกเชือกทั้งสามเข้าด้วยกัน โดยให้ปลายด้าน
หนึ่งของเชือกมัดรวมกัน ส่วนปลายอีกด้าน
หนึ่งมัดเป็นห่วง แล้วนำเครื่องชั่งสปริงมา
เกี่ยวกับห่วงเชือกทั้งสาม ดังภาพ



- วางอุปกรณ์ที่เตรียมไว้ในข้อ 1.1 ลงบน
กระดาษสีขาว แล้วค่อย ๆ ออกแรงดึง
เครื่องชั่งสปริงทั้งสามจนเห็นว่าปมเชือกที่
มัดรวมกันนั้นอยู่นิ่ง อ่านค่าแรงดึงจาก
เครื่องชั่งสปริงทั้งสาม แล้วขีดเส้นตามแนวเส้นเชือกทั้งสามลงบนกระดาษ โดยกำหนดให้ 1 นิวตัน
เท่ากับ 1 เซนติเมตร และเขียนเวกเตอร์แสดงค่าแรงดึงในเส้นเชือกแต่ละเส้น

▲ ภาพที่ 1.18 ภาพประกอบกิจกรรมการหาขนาดและ
ทิศทางของแรงลัพธ์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

- หาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงดึงเชือกทั้งสามแรง จากวิธีเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหาง
ต่อหัวและวิธีสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน แล้วนำผลที่ได้จากการหาแรงลัพธ์ทั้งสองวิธีมาวิเคราะห์
เปรียบเทียบ จากนั้นนำผลการเปรียบเทียบของตนเองไปเปรียบเทียบกับเพื่อนร่วมชั้นเรียนกลุ่มอื่น

- ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ โดยออกแบบตารางบันทึกผลและจดบันทึกผลการทดลองที่ได้
อย่างเป็นระบบและน่าเชื่อถือ

- ร่วมกันสรุปและอภิปรายผลการทดลองที่ได้ โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้มาประกอบการอภิปราย

คำถามท้ายกิจกรรม

- แรงลัพธ์ที่ได้จากวิธีเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัว และวิธีสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานมีค่าเท่ากัน
หรือไม่
- แรงดึงในเส้นเชือกทั้งสามเส้นสัมพันธ์กันอย่างไร

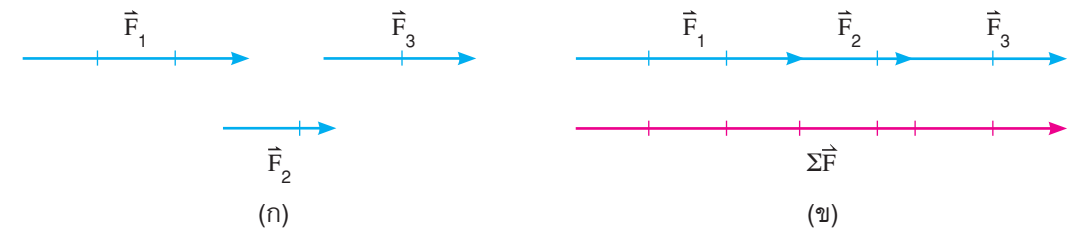
แนวทางอภิปรายผลกิจกรรม

การหาแรงลัพธ์โดยการเขียนแผนภาพการรวมแบบเวกเตอร์สามารถทำได้ 2 วิธี ดังที่ได้ศึกษามาแล้ว ซึ่ง
หากเป็นแรงย่อยในระนาบเดียวกัน ไม่ว่าจะใช้วิธีการใดก็จะได้แรงลัพธ์ที่มีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ซึ่งจาก
กิจกรรมนี้แรงลัพธ์ที่หาได้จากวิธีเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัว และวิธีสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานจะมี
ค่าเท่ากันหรือค่าใกล้เคียงกัน เพราะแรงย่อยที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นแรงเดียวกัน

2) การหาแรงลัพธ์โดยวิธีการคำนวณ แรงลัพธ์จะมีค่าเท่ากับผลบวกของแรงย่อย
ทั้งหมด โดยใช้หลักทางคณิตศาสตร์มาคำนวณ กล่าวคือ ถ้า $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$ เป็นแรงย่อย จะได้
แรงลัพธ์ ($\Sigma \vec{F}$) เป็น $\Sigma \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$ ซึ่งการหาแรงลัพธ์โดยวิธีการคำนวณสามารถแบ่งออกได้
หลายกรณี ดังนี้

• กรณีแรงย่อยทั้งหมดมีทิศทางเดียวกัน สามารถหาขนาดของแรงลัพธ์ได้จากผลรวม
ของขนาดของแรงย่อยทั้งหมด และทิศทางของแรงลัพธ์จะมีทิศทางเดียวกับแรงย่อย

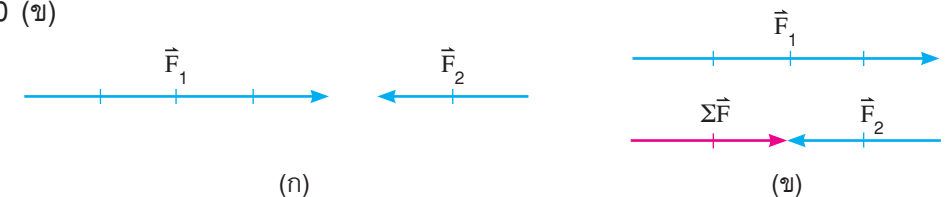
ตัวอย่างเช่น แรงย่อย $\vec{F}_1$ มีขนาด 3 นิวตัน แรงย่อย $\vec{F}_2$ มีขนาด 1.5 นิวตัน และ
แรงย่อย $\vec{F}_3$ มีขนาด 2 นิวตัน และมีทิศทาง ดังภาพที่ 1.19 (ก) ขนาดของแรงลัพธ์ที่เกิดจากการ
รวมขนาดของแรงย่อย $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$ คือ $\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3$ ดังนั้น $\Sigma F = 3 + 1.5 + 2 =$
6.5 นิวตัน ซึ่งแรงลัพธ์จะมีทิศทาง ดังภาพที่ 1.19 (ข)



▲ ภาพที่ 1.19 การหาแรงลัพธ์ของแรงย่อยที่มีทิศทางเดียวกัน
ที่มา : คลังภาพ อจท.

• กรณีแรงย่อยมีทิศทางตรงข้ามกัน สามารถหาแรงลัพธ์ได้จากผลรวมของแรงย่อย
ทั้งหมดในระบบ โดยกำหนดให้แรงทิศใดทิศหนึ่งมีค่าเป็นบวก และแรงอื่นที่มีทิศตรงกันข้ามมีค่า
เป็นลบ ซึ่งทิศทางของแรงลัพธ์จะพิจารณาจากผลการคำนวณ หากแรงลัพธ์มีค่าเป็นบวก แรงลัพธ์
นั้นจะมีทิศทางเดียวกับแรงที่กำหนดไว้ แต่หากแรงลัพธ์มีค่าเป็นลบ แรงลัพธ์นั้นจะมีทิศตรงข้าม
กับแรงที่กำหนดไว้

ตัวอย่างเช่น แรงย่อย $\vec{F}_1$ มีขนาด 4 นิวตัน และแรงย่อย $\vec{F}_2$ มีขนาด 2 นิวตัน
และมีทิศทาง ดังภาพที่ 1.20 (ก) เมื่อกำหนดให้ทิศทางด้านขวามีค่าเป็นบวก และทิศทางด้าน
ซ้ายมีค่าเป็นลบ สามารถหาขนาดของแรงลัพธ์ได้จาก $\Sigma F = F_1 + (-F_2) = 4 + (-2) = 2$
นิวตัน เนื่องจากขนาดของแรงลัพธ์มีค่าเป็นบวก ดังนั้น แรงลัพธ์จึงมีทิศไปทางด้านขวา ดังภาพ
ที่ 1.20 (ข)



▲ ภาพที่ 1.20 การหาแรงลัพธ์ของแรงย่อยที่มีทิศทางตรงข้ามกัน
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ตัวอย่างที่ 1.5

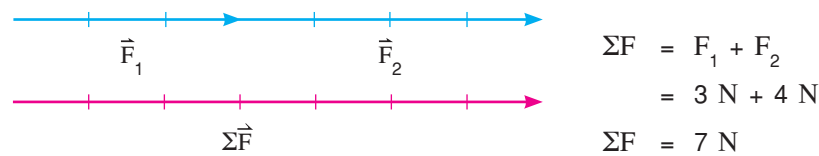
แรง $\vec{F}_1$ ขนาด 3 นิวตัน แรง $\vec{F}_2$ ขนาด 4 นิวตัน และแรง $\vec{F}_3$ ขนาด 2 นิวตัน มีทิศทาง ดังภาพที่ 1.21



▲ ภาพที่ 1.21 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1.5
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ก. จงหาแรงลัพธ์ของแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$

วิธีทำ กำหนดให้ทิศทางขวามีค่าเป็นบวกและทิศทางซ้ายมีค่าเป็นลบ



▲ ภาพที่ 1.22 แรงลัพธ์ของแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ดังนั้น แรงลัพธ์ของแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ มีขนาดเท่ากับ 7 นิวตัน และมีทิศทางไปทางขวา

ข. จงหาแรงลัพธ์ของแรง $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$

วิธีทำ กำหนดให้ทิศทางขวามีค่าเป็นบวกและทิศทางซ้ายมีค่าเป็นลบ

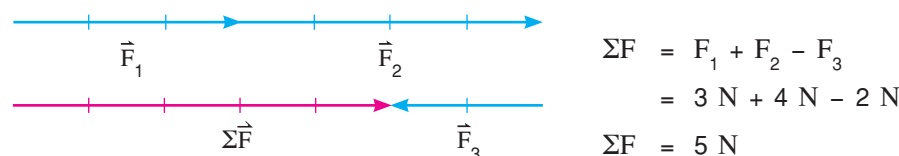


▲ ภาพที่ 1.23 แรงลัพธ์ของแรง $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ดังนั้น แรงลัพธ์ของแรง $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$ มีขนาดเท่ากับ 2 นิวตัน และมีทิศทางไปทางขวา

ค. จงหาแรงลัพธ์ของแรง $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$

วิธีทำ กำหนดให้ทิศทางขวามีค่าเป็นบวกและทิศทางซ้ายมีค่าเป็นลบ

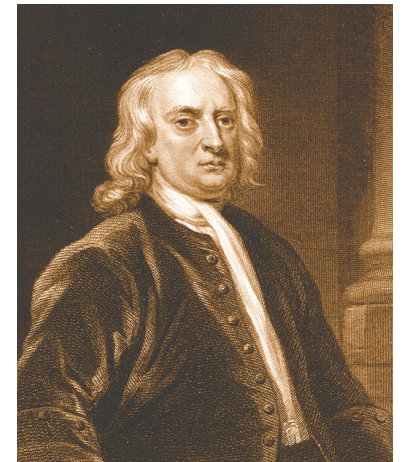


▲ ภาพที่ 1.24 แรงลัพธ์ของแรง $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ดังนั้น แรงลัพธ์ของแรง $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$ มีขนาดเท่ากับ 5 นิวตัน และมีทิศทางไปทางขวา

1.3.2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

เมื่อเราพยายามทำให้วัตถุมีการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ไม่ว่าจะเร็วขึ้น ช้าลง หรือเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ ก็จะมีปริมาณที่ต้านการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่เหล่านั้น เรียกว่า **ความเฉื่อย (inertia)** โดยปริมาณที่บ่งบอกถึงความเฉื่อยของวัตถุ คือ **มวล (mass)** โดยวัตถุที่มีมวลมาก จะมีความเฉื่อยมาก ทำให้เปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ได้ยาก ส่วนวัตถุที่มีมวลน้อยจะมีความเฉื่อยน้อยทำให้เปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ได้ง่าย



▲ ภาพที่ 1.25 เซอร์ไอแซก นิวตัน
ที่มา : คลังภาพ อจท.

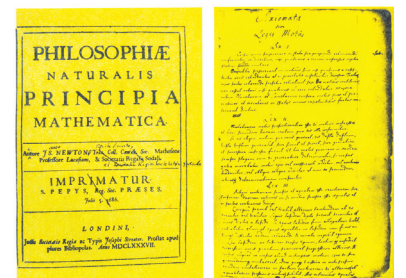
เซอร์ไอแซก นิวตัน (Sir Isaac Newton) ได้นำเสนอแนวคิดที่อธิบายถึงความสัมพันธ์ของแรงกับความเร่งที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งเป็นพื้นฐานของวิชากลศาสตร์ เรียกแนวคิดนี้ว่า **กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's laws of motion)** ซึ่งเป็นกฎที่ใช้อธิบายผลของแรงต่อสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุที่อธิบายได้ครอบคลุมและเข้าใจง่าย

ในหัวข้อการเคลื่อนที่แนวตรง ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุและปริมาณต่าง ๆ ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ เช่น ตำแหน่ง ระยะทาง การกระจัด อัตราเร็ว ความเร็ว ความเร่ง โดยไม่สนใจว่าวัตถุนั้นเคลื่อนที่ได้อย่างไร แต่ในหัวข้อนี้จะศึกษาสาเหตุของการเคลื่อนที่นั้นโดยใช้กฎการเคลื่อนที่ทั้ง 3 ข้อ ของนิวตันในการอธิบาย

Supplementary Note

งานเขียนของนิวตัน

เซอร์ไอแซก นิวตัน (ค.ศ. 1642-1727 หรือ พ.ศ. 2185-2270) นักวิทยาศาสตร์และนักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษ เป็นผู้อธิบายว่า ทำไมวัตถุจึงตกลงสู่พื้นด้วยความเร่ง ผ่านงานเขียนของเขาใน พ.ศ. 2230 ชื่อว่า Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica (ภาษาละติน) หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่า Principia ถือว่าเป็นหนึ่งในหนังสือที่มีอิทธิพลที่สุดในอดีตและเป็นรากฐานของวิชากลศาสตร์ดั้งเดิม (classical mechanics) โดยในงานเขียนนี้นิวตันได้พรรณนาถึงกฎแรงโน้มถ่วงสากลและกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน



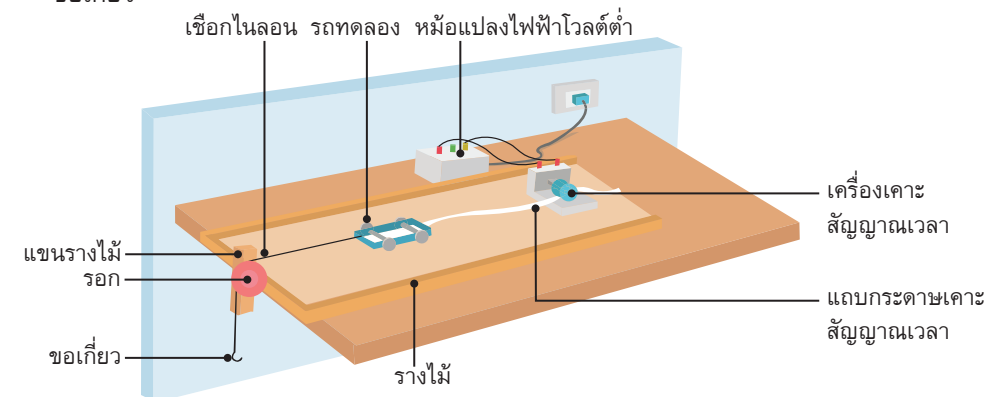
▲ ภาพที่ 1.26 Principia งานเขียนของนิวตัน
ที่มา : คลังภาพ อจท.

A photograph of an astronaut in a white spacesuit with red stripes, working on the exterior of the International Space Station. The astronaut is positioned horizontally, with their head to the left and legs to the right. They are holding onto a metal structure. The background is a vast, blue, and white cloud-covered Earth.

สังเกตได้ว่า กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันไม่ได้กล่าวถึงแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็น
ศูนย์เพียงแต่กล่าวว่า จะเป็นอย่างไรเมื่อไม่มีแรงภายนอกหรือแรงใด ๆ มากระทำต่อวัตถุเท่านั้น

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

คือ ความเร่งของวัตถุ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที² (m/s²)



23

1.2.4 ทำการตรวจสอบว่ารถทดลองเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวหลังจากหนูนราง ด้วยการให้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาทำงาน แล้วปล่อยให้รถทดลองเคลื่อนที่เพื่อลากแถบกระดาษเคาะสัญญาณเวลา จากนั้นสังเกตระยะห่างระหว่างช่วงจุดบนแถบกระดาษว่ามีระยะห่างระหว่างช่วงจุดเท่ากันหรือไม่ หากระยะห่างระหว่างช่วงจุดเท่ากัน ให้ปรับระยะหรือมุมในการหนูนรางหนึ่งสัปดาห์ จนกระทั่งระยะห่างระหว่างช่วงจุดมีค่าเท่ากัน

1.3 ใช้ชุดอุปกรณ์จากข้อ 1.2 ซึ่งถือว่าแรงเสียดทานบนรางไม่ได้ถูกชดเชยแล้ว โดยจัดเชือกในลอนแถบกระดาษเคาะสัญญาณเวลา และรถทดลองให้อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน

1.4 ใส่หลอดลงไปที่ย่อเกี่ยว 1 ตัว ดังภาพที่ 1.30 เปิดหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำให้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาทำงาน แล้วปล่อยให้รถทดลองลากแถบกระดาษเคาะสัญญาณเวลาผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

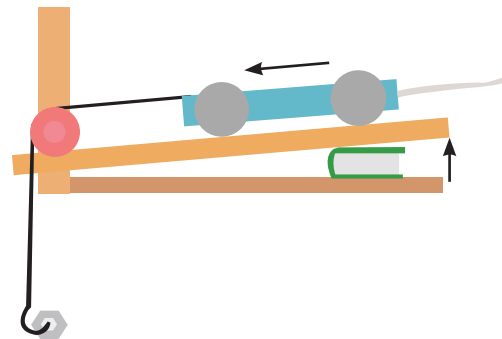
1.5 นำแถบกระดาษที่ได้มาเขียนข้อความไว้ด้านหลังว่า นอต 1 ตัว

1.6 เปลี่ยนแถบกระดาษเคาะสัญญาณเวลา แล้วปฏิบัติตามข้อ 1.3–1.5 ซ้ำ แต่เพิ่มจำนวนนอตเป็น 2 3 4 และ 5 ตัว ตามลำดับ ซึ่งจะได้แถบกระดาษเคาะสัญญาณเวลาทั้งหมด 5 แถบ

1.7 สังเกตและเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษที่ได้จากการทำกิจกรรม และร่วมกันสรุปผล

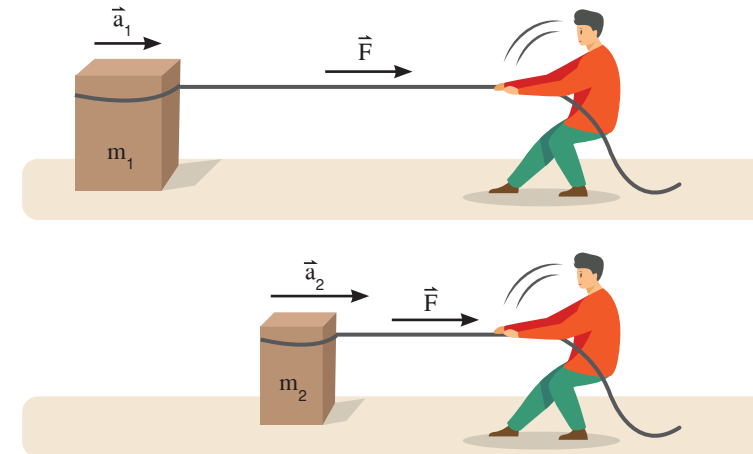
2. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ โดยออกแบบตารางบันทึกผลและจัดบันทึกผลการทดลองที่ได้อย่างเป็นระบบและน่าเชื่อถือ

3. ร่วมกันสรุปและอภิปรายผลการทดลองที่ได้ โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้มาประกอบการอภิปราย



▲ ภาพที่ 1.30 การใส่หลอดลงไปที่ย่อเกี่ยว 1 ตัว
ที่มา : คลังภาพ อจท.

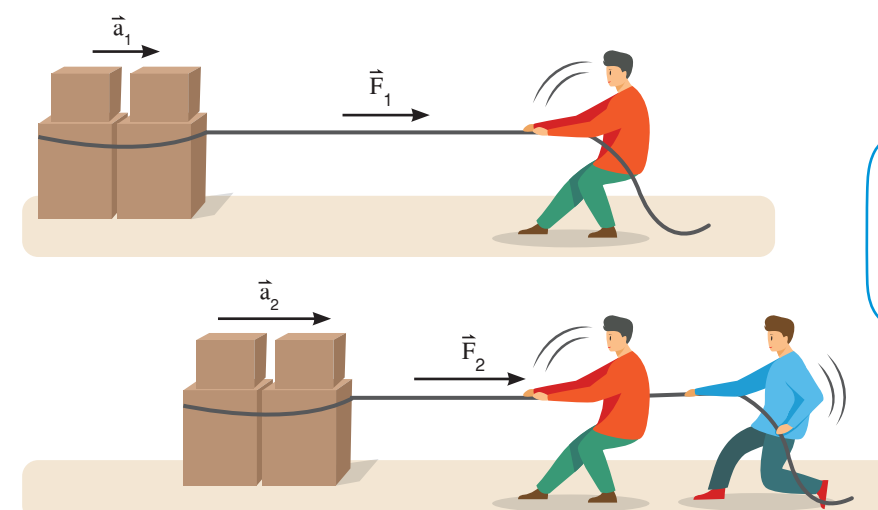
จากกิจกรรมแรงกับความเร่ง ถ้าวัดเปลี่ยนมวลของวัตถุโดยให้แรงที่กระทำต่อวัตถุมีขนาดคงตัวจะพบว่า เมื่อเพิ่มมวลของวัตถุ ขนาดของความเร่งของวัตถุจะมีค่าลดลง จึงสรุปได้ว่า ขนาดของความเร่งของวัตถุแปรผกผันกับมวล ซึ่งสอดคล้องกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน ดังภาพที่ 1.31



เมื่อ F ขนาดคงตัว
และ $m_1 > m_2$
จะได้ $a_1 < a_2$

▲ ภาพที่ 1.31 ขนาดของความเร่งของวัตถุแปรผกผันกับมวล เมื่อแรงที่กระทำต่อวัตถุคงตัว
ที่มา : คลังภาพ อจท.

และถ้าวัดเปลี่ยนแรงที่กระทำต่อวัตถุโดยให้มวลมีขนาดคงตัวจะพบว่า เมื่อเพิ่มแรงที่กระทำต่อวัตถุ ขนาดของความเร่งจะมีค่าเพิ่มขึ้น จึงสรุปได้ว่า ขนาดของความเร่งของวัตถุแปรผันตรงกับแรงที่กระทำต่อวัตถุ ซึ่งสอดคล้องกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันเช่นกัน ดังภาพที่ 1.32



เมื่อ m ขนาดคงตัว
และ $F_1 < F_2$
จะได้ $a_1 < a_2$

▲ ภาพที่ 1.32 ขนาดของความเร่งของวัตถุแปรผันตรงกับแรงที่กระทำต่อวัตถุ เมื่อมวลมีขนาดคงตัว
ที่มา : คลังภาพ อจท.

คำถามท้ายกิจกรรม

- เหตุใดรถทดลองจึงเคลื่อนที่ได้ในระยะทางสั้น ๆ แล้วหยุด
- การหนูนรางไม่มีวัตถุประสงค์เพื่ออะไร
- การเพิ่มจำนวนนอตเปรียบเสมือนการเพิ่มปริมาณใด
- จงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแรงดึงรถทดลองกับขนาดความเร่งของรถทดลอง จากแถบกระดาษที่ได้จากการทำกิจกรรม
- ถ้าเพิ่มมวลบนรถทดลองแต่ให้จำนวนนอตคงตัว ผลการทำกิจกรรมที่ได้จะเป็นอย่างไร

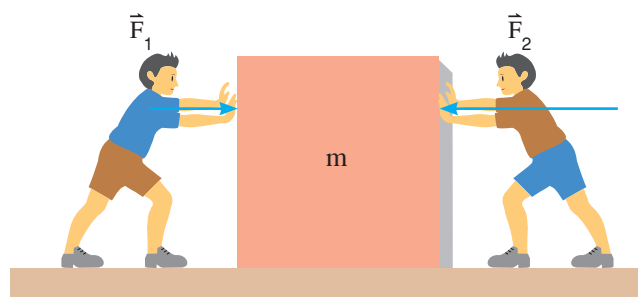
แนวทางอภิปรายผลกิจกรรม

จากกิจกรรม พบว่า เมื่อมวลของรถทดลองคงตัว ขนาดแรงที่ดึงรถทดลองเพิ่มมากขึ้น จะมีผลทำให้ความเร่งของรถทดลองเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน เมื่อขนาดของแรงที่ดึงรถทดลองคงตัว หากมวลรถทดลองเพิ่มมากขึ้น จะมีผลทำให้ความเร่งของรถทดลองลดลง

จากสมการกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน มวลจะมีค่าเป็นบวกเสมอ จึงทำให้ทิศทางของความเร่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ แต่เมื่อแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ วัตถุจะยังคงรักษาสภาพการเคลื่อนที่ หรือคงสภาวะหยุดนิ่ง หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว (ความเร่งเป็นศูนย์) ต่อไป นอกจากนี้ ทิศทางของแรงลัพธ์และความเร็วที่เกิดขึ้นหลังถูกแรงลัพธ์กระทำจะมีผลต่อการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุด้วย เช่น หากแรงลัพธ์กับความเร็วของวัตถุมีทิศทางเดียวกัน วัตถุจะเคลื่อนที่เร็วขึ้น หากแรงลัพธ์กับความเร็วมีทิศตรงข้ามกัน วัตถุจะเคลื่อนที่ช้าลง

ตัวอย่างที่ 1.6

มวล 50 กิโลกรัม มีแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ กระทำ ดังภาพที่ 1.34 ถ้าขนาดของ $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ มีค่าเท่ากับ 10 และ 20 นิวตัน ตามลำดับ จงหาขนาดและทิศทางของความเร่ง



▲ ภาพที่ 1.33 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1.6
ที่มา : คลังภาพ อจท.

วิธีทำ กำหนดให้ทิศทางขวามีค่าเป็นบวก และทิศทางซ้ายมีค่าเป็นลบ จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\Sigma F &= F_1 - F_2 \\ &= 10 \text{ N} - 20 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\Sigma F = -10 \text{ N}$$

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน $\Sigma F = ma$

$$-10 \text{ N} = (50 \text{ kg})a$$

$$a = -0.2 \text{ m/s}^2$$

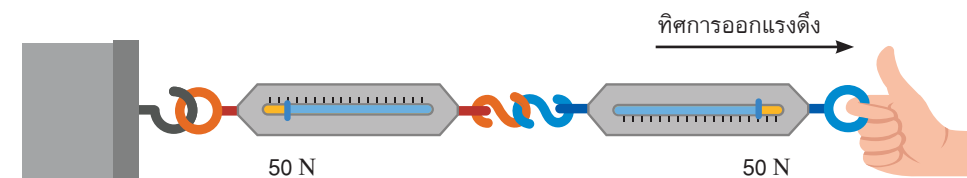
ดังนั้น ความเร่งมีขนาดเท่ากับ 0.2 เมตรต่อวินาที² และมีทิศทางไปทางซ้ายเช่นเดียวกับทิศทางของแรงลัพธ์

H.O.T.S.

คำถามท้าทายความคิดขั้นสูง

ถ้านักเรียนออกแรงคงที่ขนาด 1 นิวตัน กระทำต่อหนังสือที่วางนิ่งบนโต๊ะ หนังสือจะเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่หรือไม่ และหากมีการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ หนังสือจะมีความเร็วและทิศทางของการเคลื่อนที่อย่างไร

3. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน (Newton's third law of motion) นิวตันได้กล่าวไว้ว่า “ในทุกแรงกระทำ จะมีแรงกระทำกลับที่เท่ากัน และทิศทางตรงกันข้ามเสมอ หรือแรงที่สองวัตถุกระทำต่อกัน จะมีขนาดเท่ากัน และทิศทางตรงกันข้าม” ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า เมื่อมีแรงกระทำระหว่างวัตถุสองวัตถุ แรงที่วัตถุทั้งสองกระทำต่อกันจะมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกัน



▲ ภาพที่ 1.34 การทดลองเพื่อพิสูจน์กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน
ที่มา : คลังภาพ อจท.

จากภาพที่ 1.34 หากออกแรงดึงเครื่องชั่งสปริงที่เกี่ยวข้องกัน จะเห็นได้ว่า ขนาดของแรงดึงที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริงทั้งสองมีค่าเท่ากัน โดยแรงที่สปริงอันใดอันหนึ่งดึงเป็นแรงกิริยา ส่วนแรงดึงสปริงอีกอันเป็นแรงปฏิกิริยา ทำให้สรุปได้ว่า ทุก ๆ แรงกิริยา (action force) หรือแรงที่กระทำต่อวัตถุหนึ่งจะมีแรงปฏิกิริยา (reaction force) หรือแรงที่วัตถุกระทำโต้ตอบต่อแรงที่กระทำเสมอ ซึ่งแรงทั้งสองจะมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกัน แรงคู่นี้เรียกว่า แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา (action-reaction pair) สามารถเขียนสมการแทนกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตันได้ ดังสมการ

$$\vec{F}_{\text{action}} = -\vec{F}_{\text{reaction}}$$

$$|\vec{F}_{\text{action}}| = |\vec{F}_{\text{reaction}}|$$

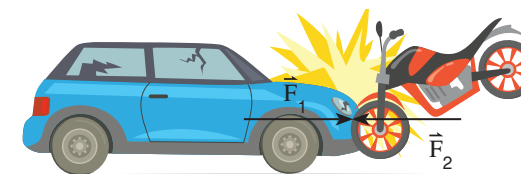
$$\vec{F}_{\text{action}}$$

คือ แรงกิริยา มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

$$\vec{F}_{\text{reaction}}$$

คือ แรงปฏิกิริยา มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันแต่ไม่ได้กระทำบนวัตถุเดียวกัน จึงนำแรงทั้งสองมาหักล้างกันหรือพิจารณาเป็นแรงสมดุลไม่ได้ เช่น การที่เราออกแรงดันกำแพง แรงที่มือดันกำแพงถือว่าเป็นแรงกิริยา ส่วนแรงที่กำแพงดันมือเราถือว่าเป็นแรงปฏิกิริยา จึงทำให้เรารู้สึกเจ็บมือหรือเมื่อยรถยนต์และรถจักรยานยนต์ชนกัน แรงที่รถยนต์ชนรถจักรยานยนต์เป็นแรงกิริยา ทำให้รถจักรยานยนต์กระเด็นไป ส่วนแรงที่รถจักรยานยนต์ชนรถยนต์เป็นแรงปฏิกิริยาทำให้รถยนต์เกิดการบอบหรือยุบจากเดิม ดังภาพที่ 1.35



แรงที่รถยนต์ชนรถจักรยานยนต์ ($\vec{F}_1$) คือ แรงกิริยา

แรงที่รถจักรยานยนต์ชนรถยนต์ ($\vec{F}_2$) คือ แรงปฏิกิริยา

▲ ภาพที่ 1.35 แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อรถยนต์และรถจักรยานยนต์ชนกัน
ที่มา : คลังภาพ อจท.

แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาสามารถนำมาอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันได้ เช่น การว่ายน้ำ เมื่อเราออกแรงกิริยากระทำต่อน้ำก็จะเกิดแรงดันจากน้ำซึ่งเป็นแรงปฏิกิริยากระทำต่อเรา ส่งผลให้เราเกิดการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าได้ นอกจากนี้ แรงกิริยายังสามารถทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งได้ ยกตัวอย่างวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยแรงกิริยา เช่น การเตะลูกบอล การตีลูกเทนนิส การออกแรงผลักวัตถุ ดังภาพที่ 1.36 แรงปฏิกิริยาก็สามารถทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเช่นกัน ยกตัวอย่างวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยแรงปฏิกิริยา เช่น การเคลื่อนที่ของจรวด การเคลื่อนที่ของเรือหางยาว การติดตัวกลับของกระบอกปืน การเคลื่อนที่ของหมึกหรือแมงกะพรุน ดังภาพที่ 1.37



(ก) แรงที่ตาข่ายกระทำต่อลูกเทนนิสเป็นแรงกิริยา ส่งผลให้ลูกเทนนิสเคลื่อนที่



(ข) แรงที่คนกระทำการผลักรถยนต์เป็นแรงกิริยา ส่งผลให้รถยนต์เคลื่อนที่

▲ ภาพที่ 1.36 วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยแรงกิริยา
ที่มา : คลังภาพ อจท.



(ก) แรงที่น้ำดันคนเป็นแรงปฏิกิริยา ส่งผลให้คนเคลื่อนที่ไปข้างหน้า



(ข) แรงดันจากน้ำที่พ่นออกจากแมงกะพรุนเป็นแรงปฏิกิริยา ส่งผลให้แมงกะพรุนเคลื่อนที่

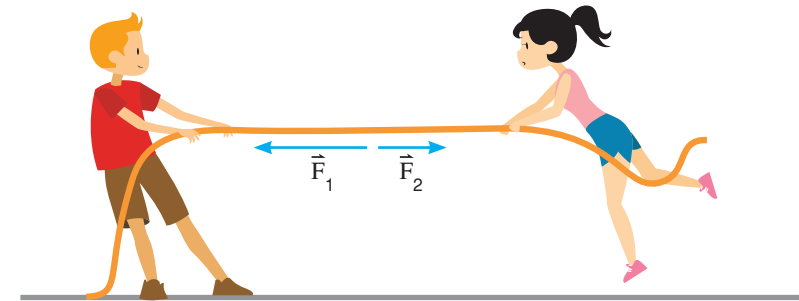


(ค) แรงดันจากลูกปืนเป็นแรงปฏิกิริยา ส่งผลให้กระบอกปืนเคลื่อนที่

▲ ภาพที่ 1.37 วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยแรงปฏิกิริยา
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ตัวอย่างที่ 1.7

จากภาพที่ 1.38 จงใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันอธิบายการออกแรงดึงเชือกของนายเอและนางสาวบี



▲ ภาพที่ 1.38 นายเอออกแรงขนาดมากกว่านางสาวบี ($F_1 > F_2$)
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ดังนั้น จากภาพที่ 1.38 นายเอและนางสาวบีออกแรงขนาดไม่เท่ากันและมีทิศทางของแรงตรงข้ามกัน แรงลัพธ์จึงมีทิศไปทางซ้าย ทำให้เชือกเคลื่อนที่ไปทางซ้ายด้วยความเร่ง

Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. การกระโดดขึ้นของมนุษย์โดยอาศัยแรงดันของเท้ากับพื้นเป็นผลมาจากสิ่งใด และอธิบายได้ด้วยกฎการเคลื่อนที่ข้อใดของนิวตัน
2. จงอธิบายความหมายของแรง 10 นิวตัน โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน
3. สมหมายและสมพงษ์ออกแรงขนาด 5 นิวตัน ไปในทิศเดียวกัน เพื่อผลักให้ลังไม้มวล 2 กิโลกรัม เกิดการเคลื่อนที่ ลังไม้นี้จะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเท่าใด
4. แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาเป็นแรงสมดุลหรือไม่ เพราะเหตุใด
5. จงยกตัวอย่างการเคลื่อนที่ที่เป็นผลจากการกระทำของแรงปฏิกิริยามา 3 ตัวอย่าง



1.4 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุใน 2 มิติ วัตถุยังสามารถเคลื่อนที่ในรูปแบบอื่น ๆ ที่ไม่เป็นแนวเส้นตรง เช่น น้ำจากสายยางที่พุ่งออกไปในแนวระดับจะเกิดการเคลื่อนที่เป็นแนวโค้ง จนกระทั่งตกกระทบพื้น เช่นเดียวกับลูกบอลที่ถูกเตะขึ้นไปในอากาศก็จะเคลื่อนที่เป็นแนวโค้ง เนื่องมาจากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงโลก เรียกการเคลื่อนที่ในลักษณะนี้ว่า การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (projectile motion) เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยไม่มีแรงต้านอากาศใน 2 มิติ โดยจะเกิดการเคลื่อนที่ในแนวระดับและแนวตั้งพร้อมกัน ในแนวตั้งจะมีแรงกระทำเนื่องจากสนามโน้มถ่วงของโลก วัตถุจึงเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัวซึ่งมีค่าเท่ากับความเร่งโน้มถ่วงของโลก และในแนวระดับจะไม่มีแรงใด ๆ กระทำ วัตถุจึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ผลรวมของความเร็วที่เกิดขึ้นพร้อมกันทั้งสองแนวนั้นจะส่งผลให้แนวการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นวิถีโค้ง มีลักษณะคล้ายรูปพาราโบลาคว่ำ เช่น การเคลื่อนที่ของน้ำในน้ำพุ ดังภาพที่ 1.40



▲ ภาพที่ 1.39 การเคลื่อนที่ของลูกบาสเกตบอล
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ภาพที่ 1.40 การเคลื่อนที่ของน้ำในน้ำพุ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Prior Knowledge

การตีลูกกอล์ฟให้ลงหลุมที่อยู่ห่างออกไปหลายสิบเมตร ควรตีอย่างไร



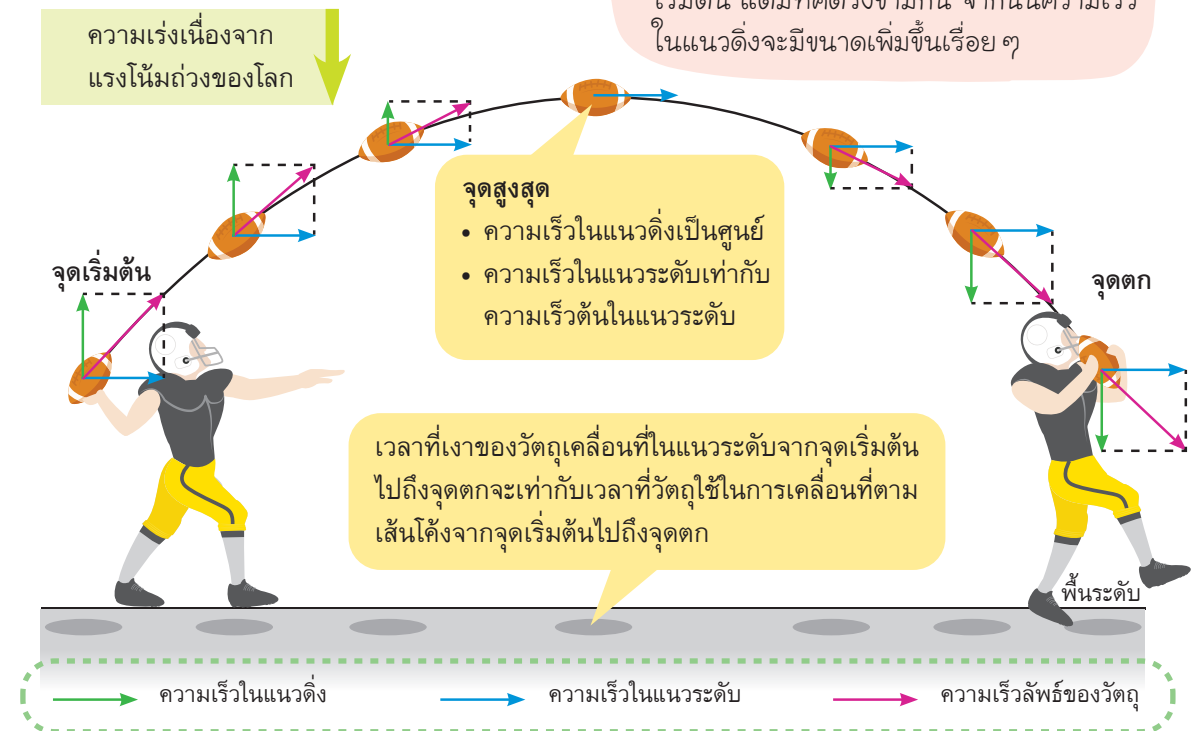
ความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

ช่วงที่วัตถุเคลื่อนที่ขึ้น

- ความเร็วในแนวระดับมีขนาดเท่ากันทุกจุด โดยมีขนาดเท่ากับความเร็วต้นในแนวระดับ
- ความเร็วในแนวตั้งมีขนาดลดลงจนเป็นศูนย์ที่จุดสูงสุด

ช่วงที่วัตถุเคลื่อนที่ลง

- ความเร็วในแนวระดับมีขนาดเท่ากันทุกจุด โดยมีขนาดเท่ากับความเร็วต้นในแนวระดับ
- ความเร็วในแนวตั้งมีขนาดเพิ่มขึ้นจนเท่ากับขนาดของความเร็วในแนวตั้งที่จุดเริ่มต้นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านระดับเดียวกันกับจุดเริ่มต้น แต่มีทิศตรงข้ามกัน จากนั้นความเร็วในแนวตั้งจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ



▲ ภาพที่ 1.41 ความเร็วที่จุดต่างๆ ของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

H.O.T.S. คำถามท้าทายความคิดขั้นสูง

ให้นักเรียนพิจารณาข้อความที่กำหนดให้ว่ากล่าวถูกต้องหรือไม่ โดยอธิบายพร้อมให้เหตุผล “จากภาพที่ 1.41 เมื่อลูกรักบี้เคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่งสูงสุดของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ความเร็วของลูกรักบี้จะเท่ากับศูนย์ และเมื่อลูกรักบี้เคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่งตกความเร็วของลูกรักบี้จะเท่ากับศูนย์เช่นกัน”



กิจกรรมที่ 1.4

เครื่องยิงโพรเจกไทล์

จุดประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมุมยิงกับระยะตกของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

คำถาม

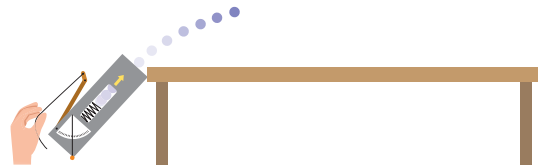
เมื่อยิงวัตถุทำมุมกับแนวระดับที่ต่างกัน วัตถุจะมีลักษณะของการเคลื่อนที่อย่างไร และระยะการตกของวัตถุมีค่าต่างกันหรือไม่

วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องยิงโพรเจกไทล์
2. ลูกบอลพลาสติก
3. กระดาษขาว
4. กระดาษคาร์บอน
5. แคลมป์
6. ตลับเมตร
7. แท่งพลาสติกสำหรับดันลูกบอลพลาสติกเข้าไปในกระบอกยิง

วิธีปฏิบัติ

1. ออกแบบและวางแผนการทดลอง โดยอาจมีแนวทางการทดลอง ดังนี้
 - 1.1 จัดเครื่องยิงโพรเจกไทล์ให้ปลายปากกระบอกของเครื่องยิงกับโต๊ะทดลองอยู่ในระนาบเดียวกัน จากนั้นปรับมุมยิงไว้ที่ 15 องศา แล้วบรรจุลูกบอลพลาสติกเข้าไปในเครื่องยิง โดยใช้แท่งพลาสติกดันลูกบอลพลาสติกอัดสปริงเข้าไปจนลูกบอลพลาสติกอยู่ที่ตำแหน่งที่เหมาะสม แล้วดึงเชือกถ่วงไกยิงลูกบอลพลาสติกออกไปดังภาพที่ 1.42 สังเกตจุดตกกระทบพื้นของลูกบอลพลาสติกอยู่บริเวณใด
 - 1.2 วางกระดาษคาร์บอนซ้อนทับบนกระดาษขาว แล้วนำไปวางไว้บริเวณจุดตกกระทบพื้นของลูกบอลพลาสติกที่สังเกตได้จากการทดลองยิงครั้งแรก จากนั้นทดลองยิงซ้ำที่มุมยิง 15 องศา หาตำแหน่งที่เป็นจุดแรกที่ลูกบอลพลาสติกตกกระทบพื้น (จุดที่สีเข้มที่สุด ชัดที่สุด บนกระดาษขาว) ใช้ตลับเมตรวัดระยะตก (ระยะในแนวระดับจากปากกระบอกของกระบอกยิงถึงจุดตกกระทบพื้น) ของลูกบอลพลาสติก แล้วบันทึกผล
 - 1.3 ปฏิบัติซ้ำอีก 2 ครั้ง ที่มุมยิง 15 องศา แล้วหาระยะตกเฉลี่ยของมุมยิง 15 องศา
 - 1.4 ปฏิบัติซ้ำแต่เปลี่ยนมุมยิงเป็น 30 องศา 45 องศา 60 องศา และ 75 องศา ตามลำดับ แล้วเปรียบเทียบระยะตกเฉลี่ยที่มุมยิงทั้งสาม
2. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ โดยออกแบบตารางบันทึกผลและจดบันทึกผลการทดลองที่ได้อย่างเป็นระบบและน่าเชื่อถือ
3. ร่วมกันสรุปและอภิปรายผลการทดลองที่ได้ โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้จากการทดลองมาประกอบการอภิปราย



▲ ภาพที่ 1.42 เครื่องยิงโพรเจกไทล์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

คำถามท้ายกิจกรรม

1. มุมยิงเท่าใดที่ทำให้ระยะตกไกลที่สุด
2. มุมยิงคู่ใดที่ทำให้ระยะตกใกล้เคียงกันมาก (หรือเท่ากันโดยประมาณ)
3. ผลบวกของมุมยิงคู่ใดที่ทำให้ระยะตกใกล้เคียงกันมาก (หรือเท่ากันโดยประมาณ) มีค่าเท่าใด
4. จากกิจกรรม จะสรุปความสัมพันธ์ระหว่างมุมยิงกับระยะตกได้อย่างไร

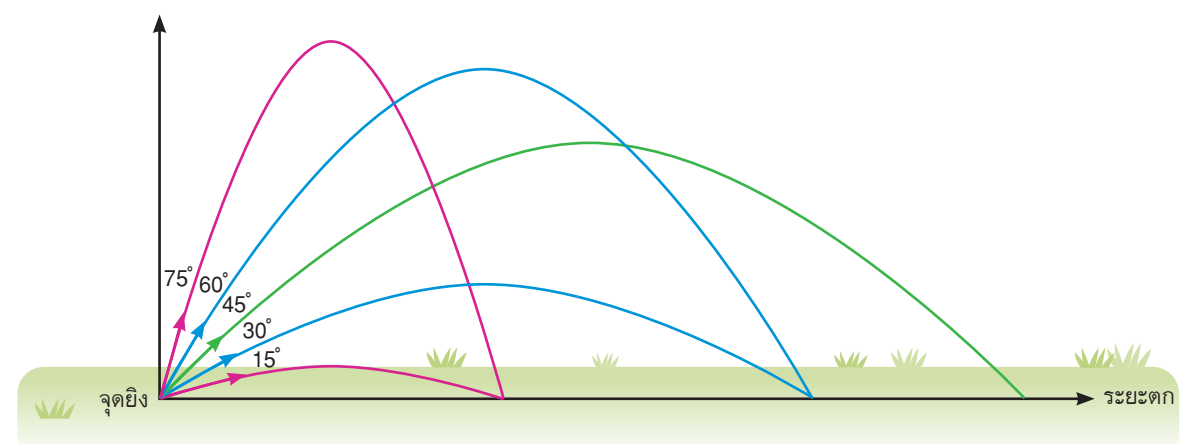
แนวทางอภิปรายผลกิจกรรม

เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ออกไปในอากาศด้วยความเร็วต้นที่มีทิศทางเอียงทำมุมกับแนวระดับ (น้อยกว่า 90 องศา) วัตถุจะเคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้งพาราโบลาด้วยความเร่งในแนวดิ่งเท่ากับความเร่งโน้มถ่วงของโลก โดยความสูงที่วัตถุขึ้นไปถึงและระยะตก (ระยะในแนวระดับที่วัตถุตกห่างจากจุดเริ่มต้น) ขึ้นอยู่กับขนาดของความเร็วต้นและมุมที่ความเร็วต้นทำกับแนวระดับหรือที่เรียกกันว่า มุมยิง

สำหรับระยะตกเมื่อความเร็วต้นในการยิงเท่ากัน มุมยิงที่ให้ระยะตกมากที่สุด คือ มุมยิง 45 องศา และระยะตกจะเพิ่มขึ้นตามมุมยิงในช่วงมุมน้อยกว่า 45 องศา แต่ระยะตกจะลดลงเมื่อเพิ่มมุมยิงในช่วงมุมยิงมากกว่า 45 องศา และระยะตกจะมีค่าเท่ากันเมื่อมุมยิงคู่ที่มีผลรวมของมุมเท่ากับ 90 องศา เช่น มุมยิง 30 องศา กับมุมยิง 60 องศา

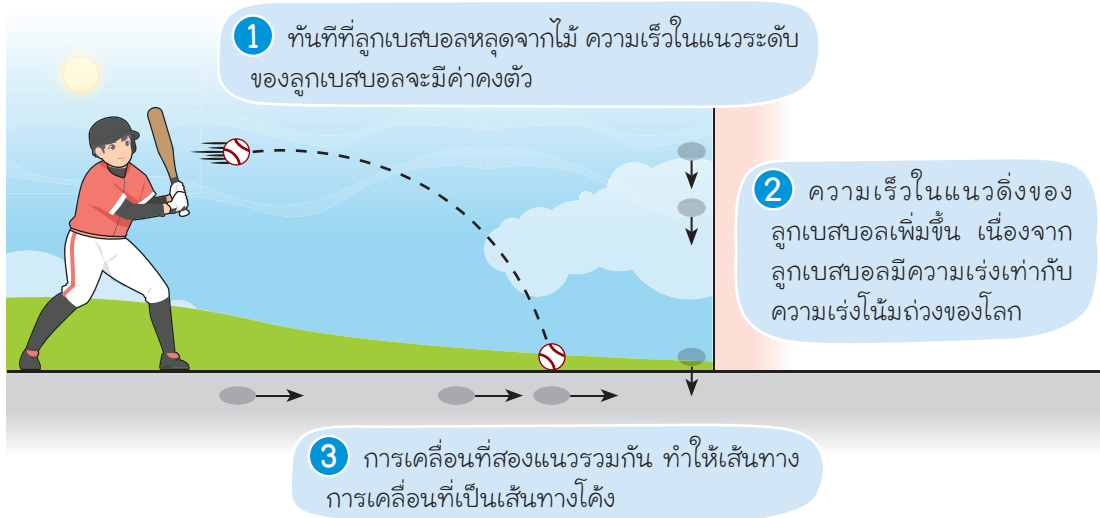
จากกิจกรรมยิงวัตถุได้ผลสรุปว่า วัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ด้วยความเร็วต้นค่าหนึ่ง ระยะตกจะมีค่ามากที่สุดเมื่อมุมของความเร็วต้นเอียงจากแนวระดับหรือมุมยิงเป็น 45 องศา โดยในช่วงมุมยิงที่มีค่าน้อยกว่า 45 องศา ระยะตกจะเพิ่มขึ้นตามค่ามุมยิง เช่น ระยะตกของวัตถุที่ถูกยิงด้วยมุม 15 องศา จะน้อยกว่าระยะตกของวัตถุที่ถูกยิงด้วยมุม 30 องศา แต่ในช่วงมุมยิงมากกว่า 45 องศา แต่้น้อยกว่า 90 องศา ระยะตกจะลดลงเมื่อเพิ่มค่ามุมยิง เช่น ระยะตกของวัตถุที่ถูกยิงด้วยมุม 60 องศา จะมากกว่าระยะตกของวัตถุที่ถูกยิงด้วยมุม 75 องศา และมีมุมยิงที่ทำให้ระยะตกเท่ากันเป็นคู่ ๆ โดยผลรวมของทั้งสองมุมรวมกันจะได้ 90 องศา เช่น วัตถุที่ถูกยิงด้วยมุม 15 องศา จะตกที่ตำแหน่งเดียวกับวัตถุที่ถูกยิงด้วยมุม 75 องศา ดังภาพที่ 1.43

ตำแหน่งในแนวดิ่ง



▲ ภาพที่ 1.43 มุมในการยิงวัตถุแบบโพรเจกไทล์คู่หนึ่ง ๆ ที่มีผลรวมเป็น 90 องศา โดยจุดเริ่มต้นและจุดตกอยู่ระดับเดียวกัน
ที่มา : คลังภาพ อจท.





▲ ภาพที่ 1.44 แนวการเคลื่อนที่ของวัตถุ เมื่อขว้างวัตถุออกไปในแนวระดับ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

เมื่อเราขว้างวัตถุออกไปในแนวระดับด้วยความเร็วต้นค่าหนึ่งโดยไม่คิดแรงต้านจากอากาศ วัตถุจะไม่ได้รับแรงกระทำใด ๆ ในแนวระดับ วัตถุจึงมีความเร็วในแนวระดับแบบคงตัวตลอดการเคลื่อนที่ ส่วนความเร็วในแนวตั้งขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ออกมาจะมีความเร็วเริ่มต้นเป็นศูนย์ และเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ต่อไป วัตถุจะถูกแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำ จึงทำให้ความเร็วในแนวตั้งของวัตถุเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ ด้วยความเร่งโน้มถ่วงของโลกซึ่งมีค่าประมาณ 9.8 เมตรต่อวินาที² ทิศพุ่งลงสู่พื้นโลก เนื่องจากวัตถุเคลื่อนที่ไปพร้อมกันทั้งในแนวระดับด้วยความเร็วคงตัวและในแนวตั้งด้วยความเร่งคงตัว ผลรวมของความเร็วทั้งสองแนวนั้นทำให้การเคลื่อนที่ของวัตถุมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ดังภาพที่ 1.44

ความรู้เรื่องการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์นั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์ให้วัตถุตกได้ไกลที่สุดหรือตกไปยังตำแหน่งที่ต้องการ เช่น การเล่นเกมกีฬาทุ่มน้ำหนัก บาสเกตบอล หรือการพุ่งแหลน การปล่อยถุงยังชีพจากเครื่องบิน

Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

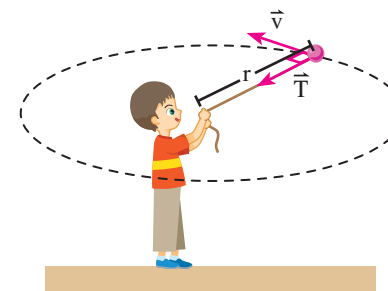
1. การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เป็นผลรวมของการเคลื่อนที่แบบใด
2. การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เป็นการเคลื่อนที่แบบมีความเร่งหรือไม่ อย่างไร
3. ความเร็วของวัตถุที่ตำแหน่งสูงสุดของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เป็นศูนย์เป็นอย่างไร เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
4. มุมยิงค่าใดที่ให้ระยะตกเท่ากับมุมยิง 37 องศา เมื่อตำแหน่งที่ตกอยู่ในระดับความสูงเดียวกับตำแหน่งที่ยิง



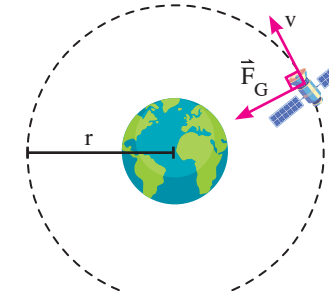
1.5 การเคลื่อนที่แบบวงกลม

การเคลื่อนที่แบบวงกลม (circular motion) เป็นการเคลื่อนที่อีกรูปแบบหนึ่งที่มีแนวการเคลื่อนที่ไม่เป็นเส้นตรง โดยอาจพิจารณาเฉพาะส่วนโค้งของวงกลมก็ได้ เช่น การเคลื่อนที่ของรถไฟเหาะตีลังกา การเคลื่อนที่ของเข็มนาฬิกา การเลี้ยวโค้งของรถ การเคลื่อนที่ของกระเช้าชิงช้าสวรรค์เคลื่อนที่เป็นวงกลมหรือส่วนของวงกลม

การเคลื่อนที่แบบวงกลมเกิดจากแรงกระทำกับวัตถุในทิศเข้าสู่ศูนย์กลาง เรียกว่าแรงสู่ศูนย์กลาง (centripetal force) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ F_c โดยแรงสู่ศูนย์กลางจะมีทิศตั้งฉากกับความเร็วของวัตถุตลอดเวลาและต้องมีขนาดที่เหมาะสม จึงจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ในแนวโค้งของวงกลมด้วยอัตราค่าหนึ่งและความเร็วค่าหนึ่ง มีแรงหลายชนิดที่สามารถทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลางได้ เช่น การแกว่งวัตถุที่แขวนไว้กับเชือกให้เป็นวงกลมในแนวระดับจะมีแรงดึงในเส้นเชือกทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง ดังภาพที่ 1.46 ดาวเทียมที่โคจรแบบวงกลมรอบโลกจะมีแรงดึงดูดที่โลกกระทำต่อดาวเทียมทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง ดังภาพที่ 1.47



▲ ภาพที่ 1.46 การแกว่งวัตถุเป็นวงกลมในแนวระดับ
ที่มา : คลังภาพ อจท.



▲ ภาพที่ 1.47 การโคจรของดาวเทียมรอบโลก
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Prior Knowledge

นักเรียนพบเจอการเคลื่อนที่วงกลมในชีวิตประจำวันอย่างไรบ้าง



▲ ภาพที่ 1.45 การเคลื่อนที่ของรถไฟเหาะตีลังกา
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Test for U

วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม สามารถมีความเร่งเป็นศูนย์หรือความเร่งคงตัวได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

ตอบ วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม จะมีความเร่งเป็นศูนย์ไม่ได้ เพราะทิศทางของความเร็วเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ส่วนความเร่งคงตัวไม่ได้เช่นกัน เนื่องจากทิศทางของแรงสู่ศูนย์กลางเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่งผลให้ทิศทางของความเร่งเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน

จากภาพที่ 1.47 ขณะที่วัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี (r) ค่าหนึ่ง แรงดึงในเส้นเชือก ($\vec{T}$) จะทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง ($\vec{F}_c$) ที่ดึงวัตถุไว้ โดยมีทิศของแรงพุ่งเข้าสู่ศูนย์กลางตลอดเวลา ซึ่งขนาดของแรงดึงในเส้นเชือกจะขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของวัตถุ (v) สามารถพิจารณาขนาดของแรงสู่ศูนย์กลางได้ ดังสมการ

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

F_c คือ ขนาดของแรงสู่ศูนย์กลาง มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

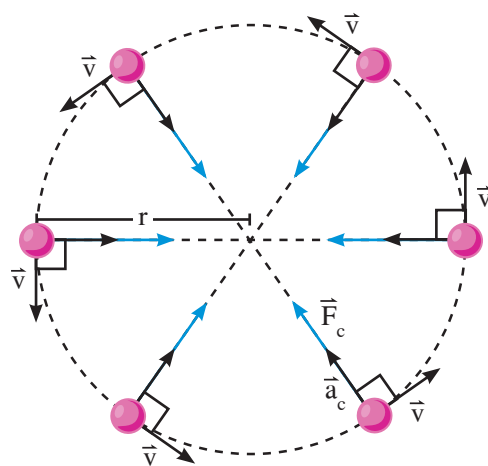
m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

v คือ อัตราเร็วของวัตถุตามแนวเส้นสัมผัสวงกลม มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

r คือ รัศมีของวงกลม มีหน่วยเป็น เมตร (m)

โดย $F_c = T$ กรณีเส้นเชือกเคลื่อนที่แบบวงกลมในแนวระดับ

วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยขนาดของความเร็วคงตัวหรืออัตราเร็วคงตัวนั้น จะมีทิศทางของความเร็วเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากความเร็วที่จุดใด ๆ บนเส้นรอบวงของวงกลม จะอยู่ในแนวเส้นสัมผัสรอบวงของวงกลมและมีทิศตั้งฉากกับรัศมีของวงกลม ณ จุดนั้น หรือกล่าวได้ว่า ความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จึงถือว่าเป็นการเคลื่อนที่แบบมีความเร่งตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ของความเร่งและแรงที่กระทำต่อวัตถุ โดยความเร่งของวัตถุเป็นผลจากการกระทำของแรง และทิศของความเร่งจะมีทิศเดียวกับแรงที่กระทำต่อวัตถุ



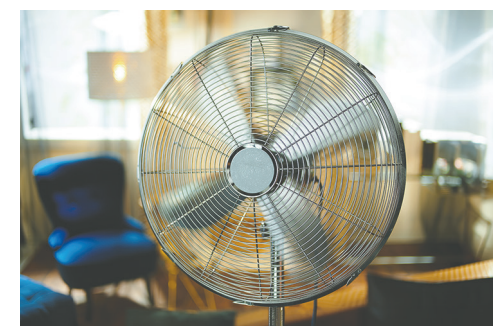
▲ ภาพที่ 1.48 แรงที่กระทำต่อวัตถุจะมีทิศเข้าหาจุดศูนย์กลางของการเคลื่อนที่ เมื่อวัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลม
ที่มา : คลังภาพ อจท.

จากภาพที่ 1.48 จะเห็นว่า ความเร่งของวัตถุเป็นผลจากการกระทำของแรงสู่ศูนย์กลาง ($\vec{F}_c$) ทำให้มีทิศสู่ศูนย์กลางเช่นเดียวกับแรงสู่ศูนย์กลาง เรียกว่า ความเร่งสู่ศูนย์กลาง (centripetal acceleration) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ a_c

เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่แบบวงกลม วัตถุจะเคลื่อนที่ซ้ำแนวการเคลื่อนที่เดิม ช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ เรียกว่า คาบ (period) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ T มีหน่วยในระบบเอสไอเป็น วินาที (s) และจำนวนรอบที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ใน 1 หน่วยเวลา เรียกว่า ความถี่ (frequency) แทนด้วยสัญลักษณ์ f มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที (s^{-1}) หรือเฮิรตซ์ (Hz) โดยคาบและความถี่จะมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน ดังสมการ

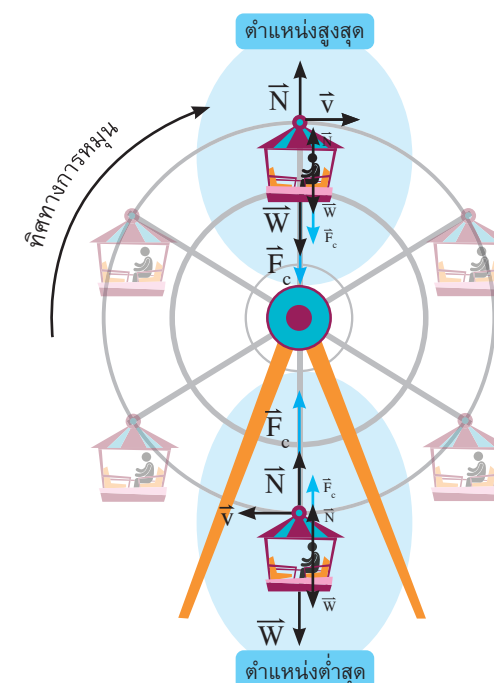
$$T = \frac{1}{f}$$

คาบของการเคลื่อนที่แบบวงกลมจะมีค่าขึ้นอยู่กับรัศมีของวงกลมและอัตราเร็วของวัตถุในแนวเส้นสัมผัส ถ้าต้องการให้คาบการเคลื่อนที่เท่ากัน วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยรัศมีมากกว่าจะต้องเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วในแนวเส้นสัมผัสมากกว่า ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนในชีวิตประจำวัน เช่น การหมุนของพัดลม จุดที่ปลายใบพัดจะเคลื่อนที่เร็วกว่าจุดที่อยู่ใกล้กึ่งกลางใบพัด ทำให้เรามองเห็นปลายใบพัดไม่ชัดเจนขณะที่พัดลมกำลังหมุน ดังภาพที่ 1.49



▲ ภาพที่ 1.49 การเคลื่อนที่ของใบพัดของพัดลมที่มาก : คลังภาพ อจท.

การเคลื่อนที่แบบวงกลมมีทั้งการเคลื่อนที่แบบวงกลมในแนวระนาบและในแนวตั้ง สำหรับการเคลื่อนที่แบบวงกลมในแนวตั้ง น้ำหนัก (weight; $\vec{W}$) ของวัตถุจะมีผลต่อขนาดของแรงสู่ศูนย์กลางที่บางตำแหน่งด้วย โดยเฉพาะที่ตำแหน่งสูงสุดและตำแหน่งต่ำสุด เช่น กรณีของชิงช้าสวรรค์ ส่งผลให้แรงแนวฉาก (normal force; $\vec{N}$) ที่กระทำกระทำต่อคนนั่งมีค่าไม่เท่ากัน ดังภาพที่ 1.50 ผลเช่นเดียวกันนี้เกิดขึ้นกับการแกว่งวัตถุที่ผูกติดกับปลายเชือกให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมในแนวตั้ง



▲ ภาพที่ 1.50 แสดงแรงแนวฉากที่ตำแหน่งสูงสุดและต่ำสุด
ที่มา : คลังภาพ อจท.



กิจกรรมที่ 1.5

การเคลื่อนที่แบบวงกลมในแนวตั้ง

จุดประสงค์

เปรียบเทียบผลของมวล และความเร็วของการเคลื่อนที่ของลูกยางที่มีต่อการเคลื่อนที่แบบวงกลม

คำถาม

มวลและความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลต่อแรงที่เชือกกระทำต่อมืออย่างไร

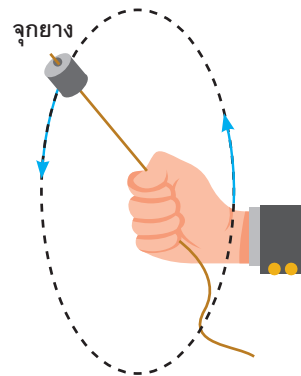
วัสดุอุปกรณ์

1. ลูกยางที่เจาะรูตรงกลางขนาดต่างกัน 2 อัน
2. เชือกยาว 60 เซนติเมตร
3. สายวัด

วิธีปฏิบัติ

1. ออกแบบและวางแผนการทดลอง โดยอาจมีแนวทางการทดลอง ดังนี้

- 1.1 สอดปลายข้างหนึ่งของเชือกผ่านรูตรงกลางลูกยางอันหนึ่งแล้วผูกปลายเชือกเป็นปมไว้ จากนั้นจับเชือกที่ตำแหน่งที่ตำแหน่งห่างจากลูกยาง 50 เซนติเมตร
- 1.2 แกว่งลูกยางให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมในแนวตั้ง สังเกตเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกยางและแรงที่เชือกกระทำต่อมือ แล้วบันทึกผลการสังเกตที่ได้
- 1.3 เพิ่มความเร็วในแกว่งลูกยางให้มากขึ้น แล้วสังเกตเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกยางและแรงที่เชือกกระทำต่อมือ แล้วบันทึกผลการสังเกตที่ได้
- 1.4 ทำการทดลองข้อ 1.1–1.2 ซ้ำ โดยเปลี่ยนขนาดของลูกยางให้มีขนาดใหญ่ขึ้น (มวลเพิ่มขึ้น) แล้วสังเกตเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกยางและแรงที่เชือกกระทำต่อมือ แล้วบันทึกผลการสังเกตที่ได้



▲ ภาพที่ 1.51 การแกว่งวัตถุในแนวตั้ง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

- 1.5 เปรียบเทียบผลการสังเกตที่ได้จากการทดลอง

2. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ โดยออกแบบตารางบันทึกผลและจดบันทึกผลการทดลองที่ได้อย่างเป็นระบบและน่าเชื่อถือ
3. ร่วมกันสรุปและอภิปรายผลการทดลองที่ได้ โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้จากการทดลองมาประกอบการอภิปราย

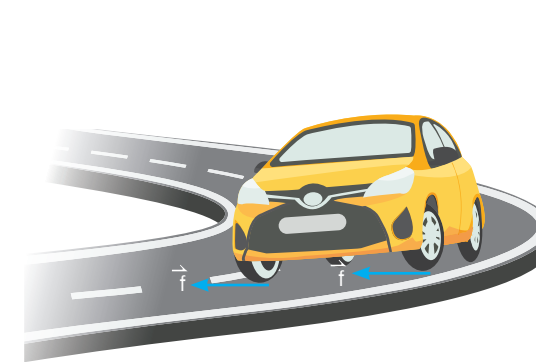
คำถามท้ายกิจกรรม

1. การเพิ่มอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกยางในการปฏิบัติข้อ 1.3 ส่งผลอย่างไรต่อขนาดแรงที่เชือกกระทำต่อมือ
2. การเปลี่ยนจากลูกยางขนาดเล็กเป็นลูกยางขนาดใหญ่ในการปฏิบัติข้อ 1.4 ส่งผลอย่างไรต่อขนาดแรงที่เชือกกระทำต่อมือ

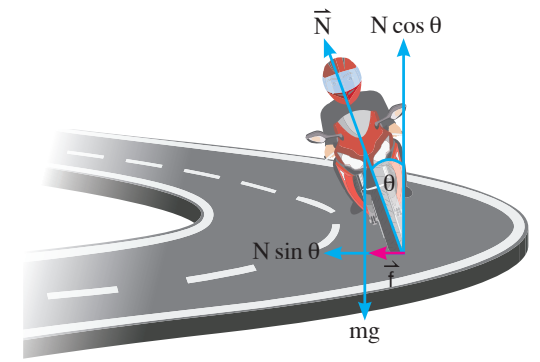
แนวทางอภิปรายผลกิจกรรม

จากผลการปฏิบัติกิจกรรม จะได้ว่า ขนาดแรงที่เชือกกระทำต่อมือขึ้นอยู่กับมวลและความเร็ว และมีทิศพุ่งออกจากมือเสมอ ซึ่งสามารถสังเกตขนาดของแรงที่เชือกกระทำต่อมือได้ โดยเมื่อเพิ่มความเร็วของการเคลื่อนที่ในการแกว่งลูกยาง หรือเพิ่มขนาดของลูกยาง (มวลเพิ่มขึ้น) การเปลี่ยนแปลงปริมาณทั้งสองจะส่งผลให้แรงที่เชือกกระทำต่อมือมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้เชือกก็ตึงลูกยางด้วยเช่นเดียวกัน โดยมีทิศพุ่งเข้าหาจุดศูนย์กลางตลอดเวลาและมีขนาดเท่ากับแรงที่เชือกกระทำต่อมือ เรียกแรงนี้ว่า แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง

ความรู้เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลมสามารถนำมาอธิบายและประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ เช่น การเคลื่อนที่ของรถจักรยานยนต์หรือรถยนต์บนถนนโค้งในแนวระดับ จะมีแรงเสียดทาน (frictional force; f) ที่พื้นกระทำต่อล้อรถไม่ให้รถไถลหลุดโค้ง ดังภาพที่ 1.52 (ก) โดยแรงเสียดทานจะมีทิศพุ่งเข้าสู่จุดศูนย์กลางของถนนโค้ง จึงทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง หากรถเลี้ยวโค้งมาด้วยความเร็วมากเกินไปความเร็วสูงสุดที่กำหนด แรงเสียดทานจะมีค่าไม่มากพอที่จะทำให้รถเลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัย สำหรับรถจักรยานยนต์อาจใช้การเอียงตัวและรถเข้าหาโค้งทางด้านในของถนนเพื่อเพิ่มแรงสู่ศูนย์กลาง ทำให้เกิดความปลอดภัยในการขับขี่มากขึ้น ดังภาพที่ 1.52 (ข)



(ก)



(ข)

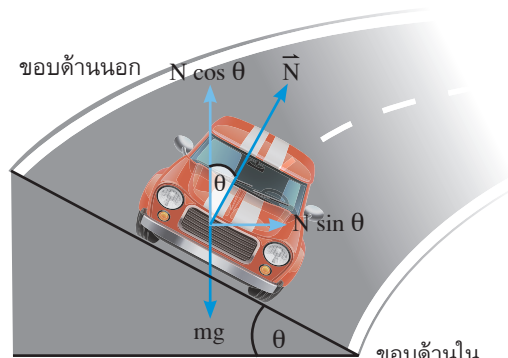
▲ ภาพที่ 1.52 รถยนต์และรถจักรยานยนต์เคลื่อนที่เข้าโค้งบนถนนในแนวระดับ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

สำหรับการเพิ่มความปลอดภัยในการโค้งของรถยนต์และรถจักรยานยนต์จะออกแบบถนนบริเวณทางโค้งให้เอียงขึ้น โดยขอบถนนด้านนอกจะสูงกว่าขอบถนนด้านใน ดังภาพที่ 1.53 (ก) เพราะขณะรถเลี้ยวผ่านถนนโค้ง นอกจากจะมีแรงเสียดทานทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลางแล้วยังมีแรงแนวฉาก (N) ที่พื้นกระทำต่อรถที่มีทิศเข้าสู่ศูนย์กลางและทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลางเพิ่มมาด้วย ดังภาพที่ 1.53 (ข) ดังนั้น เมื่อเกิดการฝนตก ถนนลื่น สัมประสิทธิ์เสียดทานลดลงส่งผลให้ขนาดของแรงเสียดทานลดลง แรงเข้าสู่ศูนย์กลางก็จะมีค่าน้อยลงด้วย อาจทำให้รถสามารถหลุดโค้งได้ แต่ถ้าถนนโค้งมีการเอียงขึ้นก็จะทำให้ขนาดของแรงสู่ศูนย์กลางมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงแนวฉาก ซึ่งการออกแบบเช่นนี้จะช่วยลดหรือป้องกันอุบัติเหตุไม่ให้เกิดการหลุดโค้งของรถได้



(ก)

▲ ภาพที่ 1.53 การออกแบบถนนโค้งให้เอียงขึ้น เพื่อเพิ่มขนาดของแรงสู่ศูนย์กลาง
ที่มา : คลังภาพ อจท.



(ข)

Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. ขนาดและทิศทางของความเร่งสู่ศูนย์กลางสัมพันธ์กับขนาดและทิศทางของความเร็วตามแนวสัมผัสอย่างไร
2. แรงสู่ศูนย์กลางในการเลี้ยวผ่านถนนโค้งลื่น (ไม่มีแรงเสียดทาน) คือแรงใด
3. ในการแกว่งวัตถุให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมแนวดิ่ง แรงตึงในเส้นเชือกมีค่าสูงสุดเมื่อวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งใด เพราะเหตุใด
4. การเพิ่มอัตราเร็วในการเคลื่อนที่แบบวงกลมรัศมีคงตัว ส่งผลอย่างไรต่อแรงสู่ศูนย์กลางและคาบการเคลื่อนที่
5. ถ้าแรงเสียดทานระหว่างล้อรถกับพื้นถนนมีค่าไม่มากพอจะเกิดอะไรขึ้นกับรถที่เลี้ยวผ่านถนนโค้ง



1.6 การเคลื่อนที่แบบสั่น

การเคลื่อนที่อีกรูปแบบหนึ่งที่เรพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน คือ การเคลื่อนที่ในลักษณะกลับไปกลับมา เช่น การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา การแกว่งของชิงช้า การสั่นของวัตถุติดปลายสปริง การเคลื่อนที่ของลูกสูบในกระบอกสูบ เราเรียกการเคลื่อนที่ลักษณะนี้ว่า **การเคลื่อนที่แบบสั่น** ซึ่งมีกรณีที่ง่ายที่สุดคือ การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (simple harmonic motion) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่กลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิมรอบตำแหน่งสมดุลหรือตำแหน่งที่แรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ด้วยความเร่งที่มีทิศเข้าหาตำแหน่งสมดุลตลอดเวลา

Prior Knowledge

เพราะเหตุใด
เมื่อแกว่งชิงช้า
ชิงช้าถึงเคลื่อนที่
กลับไปกลับมา



▲ ภาพที่ 1.54 การแกว่งของชิงช้ามีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา หรือมีการเคลื่อนที่แบบสั่น
ที่มา : คลังภาพ อจท.

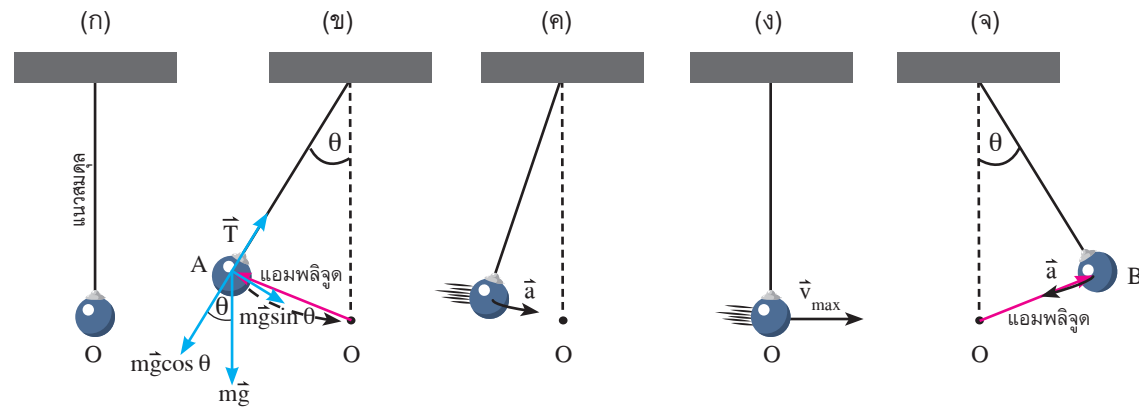
Physics in Real Life

เครื่องเล่นไวกิง เป็นเครื่องเล่นในสวนสนุกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบสั่นหรือเคลื่อนที่แกว่งกลับไปกลับมา รอบจุดสมดุล โดยในแต่ละรอบของการแกว่งจะทำมุมกับแนวสมดุลต่างกันไปทำให้มีแอมพลิจูดต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมเครื่องเล่นเพื่อให้ผู้เล่นเกิดความสุข

การเคลื่อนที่แบบสั่นเป็นการเคลื่อนที่ที่มีความเร่งไม่คงตัว ขนาดของความเร่งจะแปรผันตรงกับขนาดของการกระจัดจากตำแหน่งสมดุล ขนาดของความเร่งจะมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งไกลสุดของการสั่น มีค่าเป็นศูนย์ที่ตำแหน่งสมดุล และมีทิศพุ่งเข้าหาจุดสมดุลตลอดเวลา ความเร่งในการเคลื่อนที่แบบสั่นจึงมีทิศตรงข้ามกับการกระจัดเสมอ ส่งผลให้ขนาดของความเร็วในการเคลื่อนที่แบบสั่นของวัตถุเปลี่ยนแปลงในลักษณะตรงข้ามกับความเร่ง กล่าวคือ ขนาดของความเร็วมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งสมดุลและเป็นศูนย์ที่ตำแหน่งไกลสุดของการสั่น โดยการเคลื่อนที่แบบสั่นที่พบเห็นได้บ่อย ๆ ในชีวิตประจำวัน มีดังนี้

1.6.1 การแกว่งของวัตถุติดปลายเชือก

ในสภาวะสมดุล วัตถุอยู่นิ่ง เชือกจะวางตัวในแนวตั้งตามแนวสมมุติที่จุด O ดังภาพที่ 1.55 (ก) เรียกจุด O ว่า ตำแหน่งสมดุล (equilibrium position) เมื่อดึงวัตถุไปทางซ้ายให้เชือกเอียงทำมุม θ กับแนวสมมุติและมีขนาดการกระจัดค่าหนึ่งที่วัดจากจุด O ถึงจุด A เรียกว่า แอมพลิจูด (amplitude) แล้วปล่อย วัตถุจะถูกแรงดึงกลับทำให้เคลื่อนที่เข้าหาจุด O ดังภาพที่ 1.55 (ข)



ตำแหน่งสมดุล เป็นจุดที่แรงลัพธ์ กระทำต่อวัตถุ เป็นศูนย์

แรงดึงกลับ คือ องค์ประกอบของ น้ำหนักหรือแรง โน้มถ่วงที่กระทำ ต่อวัตถุในแนวเส้น สัมผัสเส้นทางการ เคลื่อนที่

วัตถุเคลื่อนที่เข้าหา จุด O ด้วยความเร็ว ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่า วัตถุมีความเร่ง เข้าหาจุด O

วัตถุมีความเร็วสูงสุด ที่จุด O ซึ่งเป็นตำแหน่ง ที่แรงลัพธ์กระทำต่อ วัตถุเป็นศูนย์ ความเร่ง จึงเป็นศูนย์เช่นกัน

วัตถุจะเคลื่อนที่ต่อ โดยออกจากจุด O ด้วยความเร็วที่ ลดลงและมีความ เร็วเป็นศูนย์ที่จุด B แสดงว่าวัตถุมี ความเร่งในทิศ ตรงข้ามกับความเร็ว หรือมีทิศเข้าหาจุด O

▲ ภาพที่ 1.55 การแกว่งของวัตถุติดปลายเชือก
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ดังนั้น วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจะมีแรงมากระทำให้วัตถุเคลื่อนที่และ เกิดความเร่ง โดยความเร่งของวัตถุนั้นจะมีขนาดแปรผันตรงกับขนาดของการกระจัดและมีทิศ ตรงข้ามกับการกระจัดหรือเข้าหาตำแหน่งสมดุลเสมอ ส่วนการเคลื่อนที่แบบสั้นของวัตถุ เมื่อวัตถุ เคลื่อนที่ครบ 1 รอบ วัตถุจะผ่านตำแหน่งสมดุล 2 ครั้ง เวลาที่ใช้ในการแกว่งกลับไปกลับมา 1 รอบ เรียกว่า คาบ ส่วนจำนวนรอบการแกว่งในหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า ความถี่ ในการแกว่งของวัตถุ ติดปลายเชือก คาบของการแกว่งของวัตถุจะขึ้นอยู่กับปริมาณใด อย่างไร สามารถศึกษาได้จาก กิจกรรมการเคลื่อนที่แบบแกว่ง



กิจกรรมที่ 1.6

การเคลื่อนที่แบบแกว่ง

จุดประสงค์

1. หาคาบการแกว่งจากการเคลื่อนที่แบบแกว่งของนอต
2. วิเคราะห์คาบการแกว่งเมื่อความยาวเชือกคงตัว แต่มวลของนอตเปลี่ยนแปลง
3. วิเคราะห์คาบการแกว่งเมื่อมวลของนอตคงตัว แต่ความยาวของเชือกเปลี่ยนแปลง

คำถาม

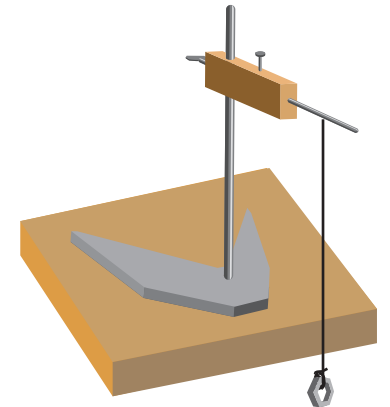
ความยาวของเชือกและมวลของนอต ส่งผลต่อคาบของการแกว่งอย่างไร

วัสดุอุปกรณ์

1. เชือก
2. นอตโลหะ
3. ครึ่งวงกลมวัดมุม
4. นาฬิกาจับเวลา
5. ขาตั้งพร้อมคาน

วิธีปฏิบัติ

1. ออกแบบและวางแผนการทดลอง โดยอาจมีแนวทางการทดลอง ดังนี้
 - 1.1 จัดอุปกรณ์เตรียมการทำการทดลอง ดังภาพที่ 1.56 ดึงเชือกให้ เอียงทำมุม 10 องศา กับแนวตั้ง โดยใช้ครึ่งวงกลมวัดมุม ปล่อย ให้นอตแกว่งพร้อมจับเวลาในการแกว่งครบ 10 รอบ บันทึกผล พร้อมคำนวณหาคาบการแกว่ง
 - 1.2 ปฏิบัติซ้ำข้อ 1.1 แต่เพิ่มมวลหรือจำนวนของนอต โดยให้ ความยาวเชือกคงตัว เพื่อศึกษาว่ามวลมีผลต่อคาบหรือไม่
 - 1.3 ปฏิบัติซ้ำข้อ 1.1 แต่เพิ่มความยาวเชือก โดยให้มวลของนอต คงตัว เพื่อศึกษาว่าความยาวเชือกมีผลต่อคาบหรือไม่
2. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ โดยออกแบบตาราง บันทึกผลและจดบันทึกผลการทดลองที่ได้อย่างเป็นระบบ และ นำเชื่อถือ
3. ร่วมกันสรุปและอภิปรายผลการทดลองที่ได้ โดยใช้หลักฐานเชิง ประจักษ์ที่ได้จากการทดลองมาประกอบการอภิปราย



▲ ภาพที่ 1.56 อุปกรณ์กิจกรรม การเคลื่อนที่แบบแกว่ง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

คำถามท้ายกิจกรรม

1. เมื่อความยาวเชือกคงตัว แต่มวลของนอตมากขึ้นจะมีผลต่อคาบการแกว่งหรือไม่ อย่างไร
2. เมื่อมวลของนอตคงตัว แต่ความยาวเชือกเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อคาบการแกว่งหรือไม่ อย่างไร

แนวทางอภิปรายผลกิจกรรม

การแกว่งกลับไปกลับมาในแนวตั้งของวัตถุที่ถูกติดกับปลายเชือก กรณีที่มุมในการแกว่งเป็นมุมเล็ก ๆ จะ เป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เนื่องจากแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่และความเร่งของวัตถุมีค่าแปรผัน ตรงกับขนาดของการกระจัดและมีทิศพุ่งเข้าหาจุดสมดุล โดยคาบของการแกว่งเป็นมุมเล็ก ๆ นี้ไม่ขึ้นกับมวล ของวัตถุ แต่ขึ้นกับความยาวของเชือกเท่านั้น เมื่อเพิ่มความยาวของเชือก คาบการแกว่งจะเพิ่มขึ้น

จากกิจกรรมการเคลื่อนที่แบบแกว่ง พบว่า คาบการแกว่งของวัตถุที่ผูกอยู่ปลายเชือกขึ้นอยู่กับความยาวของเชือกที่ผูกวัตถุเท่านั้น โดยเฉพาะการแกว่งเป็นมุมน้อย ๆ มวลของวัตถุและมุมในการแกว่งจะไม่มีผลต่อคาบการแกว่งของวัตถุ กรณีการแกว่งเป็นมุมน้อย ๆ คาบการแกว่งของวัตถุที่ผูกอยู่ปลายเชือกจะแปรผันตรงกับรากที่สองของความยาวเชือก เช่น ถ้าเชือกมีความยาว 25 เซนติเมตร คาบการแกว่งของวัตถุที่ผูกอยู่ปลายเชือกจะมีค่าน้อยกว่าวัตถุที่ผูกอยู่ปลายเชือกยาว 1 เมตร กล่าวได้ว่า ถ้าเชือกที่ผูกวัตถุยิ่งยาวคาบการแกว่งยิ่งมีค่ามากหรือใช้เวลาในการแกว่งมาก

ผลของความยาวเชือกที่มีต่อคาบของการแกว่งนี้นำไปประยุกต์ใช้ในการปรับเทียบการบอกเวลาของนาฬิกาตุ้มตุ้ม ดังภาพที่ 1.57 ได้ โดยแทนความยาวเชือกด้วยความยาวของก้านตุ้มตุ้ม (ระยะจากจุดแขวนที่ปลายจนถึงจุดกึ่งกลางตุ้มตุ้มที่ปลายล่าง) ถ้านาฬิกาบอกเวลาช้ากว่าเวลามาตรฐาน (เดินช้า) ให้ปรับก้านตุ้มตุ้มให้สั้นลง แต่ถ้านาฬิกาบอกเวลาเร็วกว่าเวลามาตรฐาน (เดินเร็ว) ให้ปรับก้านตุ้มตุ้มให้ยาวขึ้น ซึ่งในปัจจุบันมักจะไม่ค่อยพบนาฬิกาแบบตุ้มตุ้มแล้ว เนื่องจากมีความเที่ยงตรงน้อย



▲ ภาพที่ 1.57 นาฬิกาแบบตุ้มตุ้ม
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Supplementary Note

นักประดิษฐ์นาฬิกา

เมื่อ พ.ศ. 2143 นักวิทยาศาสตร์และนักประดิษฐ์ ได้พยายามสร้างนาฬิกาที่มีความเที่ยงตรงสูง แต่ปรากฏว่าไม่มีใครประดิษฐ์ได้ จนกระทั่งคริสตียาน แฮวเคินส์ (Christiaan Huygens) นักฟิสิกส์ชาวดัตช์ เป็นคนแรกที่ประสบความสำเร็จ โดยเขาได้ค้นพบว่า คาบการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา ขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นเชือกที่แขวนลูกตุ้มนาฬิกาเท่านั้น ไม่ขึ้นอยู่กับมวลของลูกตุ้ม

มนุษย์เริ่มมีการใช้นาฬิกาแบบลูกตุ้มมาตั้งแต่ พ.ศ. 2202 ซึ่งในขณะนั้นถือว่ามีความเที่ยงตรงสูงมาก โดยชิ้นส่วนสำคัญของนาฬิกาแบบลูกตุ้ม มีดังนี้

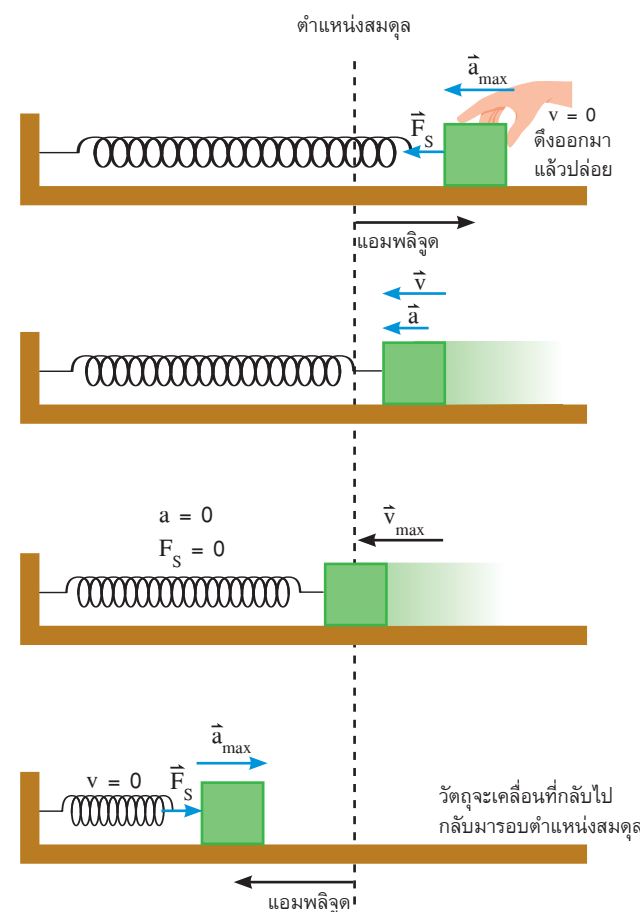
- หน้าปัดมีเข็มชั่วโมง นาที และวินาที
- มีตุ้มน้ำหนักจำนวนหนึ่งหรือมากกว่า (ถ้านาฬิกาที่ทันสมัยขึ้นมา จะใช้สปริงทดเป็นวงแทน)
- ลูกตุ้มที่แกว่งไปมา ซึ่งการแกว่งทั่ว ๆ ไป คือ 1 ครั้งต่อวินาที หรือบางรุ่นก็แกว่ง 2 ครั้งต่อวินาที ส่วนนาฬิการุ่นที่เก่ามากจะแกว่ง 1 ครั้ง ต่อ 2 วินาที



▲ ภาพที่ 1.58 คริสตียาน แฮวเคินส์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

1.6.2 การสั่นของวัตถุติดปลายสปริง

พิจารณาวัตถุที่ยึดติดกับปลายข้างหนึ่งของสปริงที่วางตัวในแนวระดับและตรึงปลายอีกข้างหนึ่งไว้กับกำแพง โดยวัตถุวางอยู่บนพื้นผิวลื่น สามารถพิจารณาการเคลื่อนที่ได้ ดังภาพที่ 1.59



▲ ภาพที่ 1.59 การสั่นของวัตถุติดปลายสปริง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

เมื่อดึงวัตถุให้สปริงยืดออกจากตำแหน่งสมดุล แรงดึงกลับหรือแรงในสปริง (F_s) จะกระทำต่อวัตถุ โดยขนาดของแรงจะแปรผันตรงกับขนาดของระยะยืดหรือหดของสปริง

เมื่อปล่อยวัตถุเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งสมดุลด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าวัตถุมีความเร่ง (a) เข้าหาตำแหน่งสมดุล

วัตถุเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสมดุลด้วยความเร็วสูงสุด (v_{max}) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แรงในสปริงกระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ เนื่องจากไม่เกิดระยะยืดหรือหดของสปริง ส่งผลให้ความเร่งของวัตถุเป็นศูนย์เช่นกัน

วัตถุเคลื่อนที่ต่อไปโดยออกจากตำแหน่งสมดุลด้วยความเร็วที่ลดลงและมีความเร็วเป็นศูนย์ที่ระยะแอมพลิจูด เนื่องจากความเร่งมีทิศตรงข้ามกับการกระจัดหรือมีทิศเข้าหาตำแหน่งสมดุล

ดังนั้น วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบสั่นไม่จำเป็นจะเป็นการแกว่งของวัตถุติดปลายเชือกหรือการสั่นของวัตถุติดปลายสปริง จะมีแรงมากกระทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง โดยความเร่งของวัตถุจะมีขนาดแปรผันตรงกับขนาดของการกระจัดและมีทิศตรงข้ามกับการกระจัดหรือเข้าหาตำแหน่งสมดุลเสมอ

สำหรับคาบการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ยึดติดปลายสปริงนั้นจะขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุและค่าคงตัวของสปริง โดยมีค่าแปรผันตรงกับรากที่สองของอัตราส่วนระหว่างมวลของวัตถุกับค่าคงตัวของสปริงและไม่ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของการสั่นหรือระยะยืดหดของสปริงจากตำแหน่งสมดุล

การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ยึดติดกับปลายสปริงนำไปใช้ประโยชน์ในระบบกันสะเทือนของยานพาหนะ เช่น รถจักรยานยนต์ รถยนต์ โดยทำงานร่วมกับอุปกรณ์ที่เรียกกันว่า โช้กอัพ (shock absorber) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฮดรอลิกที่ใช้ดูดซับพลังงานการสั่นของสปริง โดยเปลี่ยนพลังงานการสั่นสะเทือนเป็นพลังงานความร้อน โช้กอัพช่วยรองรับแรงกระแทก ลดแรงสั่นสะเทือนของรถ และหน่วงการเคลื่อนที่ขึ้นลงของตัวรถ โดยควบคุมการอัดขยายหรือการสั่นของสปริงเพื่อหน่วงไม่ให้เกิดการสั่นต่อเนื่องนานเกินไป ทำให้การตั้งขึ้นลงหรือการสั่นของตัวรถและล้อลดน้อยลง รถจึงเคลื่อนที่ได้นุ่มนวลขึ้น นอกจากนี้ ยังช่วยให้รถทรงตัวดีขึ้นและลดการสึกหรอของยางอีกด้วย



▲ ภาพที่ 1.60 โช้กอัพที่อยู่บริเวณล้อรถจักรยานยนต์จะช่วยรองรับแรงกระแทกและลดแรงสั่นสะเทือน เมื่อขับขี่ไปบนถนนที่มีผิวขรุขระหรือหลุมบ่อ จึงถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเสริมความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. แรงดึงกลับที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบสั่นมีลักษณะเฉพาะอย่างไร
2. จงเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของความเร็วกับความเร่งในการเคลื่อนที่แบบสั่น
3. จงระบุตำแหน่งสมดุลในการแกว่งของวัตถุที่ผูกอยู่ที่ปลายเชือกและตำแหน่งสมดุลในการสั่นของวัตถุที่ยึดอยู่ที่ปลายสปริง
4. คาบการแกว่งของวัตถุที่ผูกอยู่ที่ปลายเชือกเมื่อแกว่งเป็นมุมเล็ก ๆ ขึ้นอยู่กับสิ่งใด อย่างไร
5. คาบการแกว่งของวัตถุที่ยึดอยู่ที่ปลายสปริงขึ้นอยู่กับสิ่งใด จงอธิบาย



Unit Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. จงระบุทิศทางของความเร่งและผลของความเร่งต่อความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวตรง
2. หนูตัวหนึ่งวิ่งรอบสระน้ำรูปวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เมตร โดยเคลื่อนที่ครบรอบในเวลา 2 นาที
 - 2.1 จงหาระยะทางและขนาดของการกระจัดของหนูขณะวิ่งได้ครบรอบสระ
 - 2.2 จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลา 2 นาที
3. รถคันหนึ่งเริ่มต้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที ถูกเร่งจนมีความเร็วเป็น 20 เมตรต่อวินาที ในวินาทีที่ 5 และถูกเร่งจนมีความเร็วเป็น 50 เมตรต่อวินาที ในอีก 3 วินาทีต่อมา ความเร่งเฉลี่ยของรถในแต่ละช่วงการเคลื่อนที่และตลอดการเคลื่อนที่มีค่าเท่าใด
4. แบล็กวอลล์ลูกบอลลงมาในแนวดิ่งด้วยอัตราเร็วเริ่มต้น 20 เมตรต่อวินาที ในขณะเดียวกันบอยก็ปล่อยลูกบอลลงมาในแนวดิ่งจากที่สูงเดียวกัน เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที ลูกบอลทั้ง 2 ลูก มีอัตราเร็วต่างกันอย่างไร
5. จากภาพที่ 1.61 จงหาแรงลัพธ์ของแรงดังต่อไปนี้ (กำหนดให้ อัตราส่วน 1 เซนติเมตร : 3 นิวตัน)



▲ ภาพที่ 1.61 แรง $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$
ที่มา : คลังภาพ อจท.

- 5.1 แรง $\vec{F}_1$ กับแรง $\vec{F}_2$
 - 5.2 แรง $\vec{F}_2$ กับแรง $\vec{F}_3$
 - 5.3 แรง $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$
6. สถานการณ์ดังต่อไปนี้ สามารถอธิบายได้ด้วยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อใด อย่างไร
 - 6.1 การเพิ่มจำนวนสุนัขลากเลื่อนเพื่อเร่งการเดินทาง
 - 6.2 การชนกันของรถยนต์ คนขับมักได้รับบาดเจ็บจากการชนกับกระจกบังลม
 - 6.3 การคงอยู่ในสภาพเอียงจากแนวดิ่งของหอนอนเมื่อปีضا
 - 6.4 การลดจำนวนสิ่งของที่บรรทุกทำให้รถบรรทุกทำความเร็วได้สูงขึ้น

7. จงระบุทิศทางของความเร่งและผลของความเร่งต่อความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์
8. การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เหมือนหรือแตกต่างจากการเคลื่อนที่แนวตรงอย่างไร
9. จงระบุทิศทางของความเร่งและผลของความเร่งต่อความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม
10. จงระบุทิศทางของความเร่งและผลของความเร่งต่อความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบสั่น



กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)

สมรรถนะสำคัญสำหรับผู้เรียน

- | | |
|--------------------|-------------------|
| ✓ ความสามารถด้าน | ✓ การสื่อสาร |
| ✓ การคิด | ✓ การแก้ปัญหา |
| ○ การใช้ทักษะชีวิต | ✓ การใช้เทคโนโลยี |

คำชี้แจง : ให้นักเรียนอ่านสถานการณ์ที่กำหนดให้และปฏิบัติกิจกรรม

สถานการณ์

สมมติต้องการให้รถของเล่นเคลื่อนที่ไปชนลูกโป่งให้แตก โดยลูกโป่งอยู่ห่างออกไปเป็นระยะทาง 5 เมตร สมมติจะต้องออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ส่งรถของเล่นอย่างไร เพื่อให้เคลื่อนที่ตามระยะทางที่กำหนดและชนลูกโป่งให้แตกได้พอดี กำหนดให้ใช้อุปกรณ์ ดังนี้

- หนังสือ
- ลูกโป่ง
- หลอด
- เชือก
- พลาสติกลูกฟูก
- อุปกรณ์อื่น ๆ เช่น เทปขาว กรรไกร คัตเตอร์ ไม้บรรทัด

ให้นักเรียนแบ่งกลุ่มตามความเหมาะสม แล้วปฏิบัติกิจกรรม ดังนี้

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันสืบค้นและรวบรวมข้อมูลที่น่าสนใจในการสร้างอุปกรณ์ส่งรถของเล่น
2. นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายแล้วสรุปข้อมูลร่วมกัน จากนั้นออกแบบ วางแผน และลงมือสร้างอุปกรณ์ส่งรถของเล่นตามแผนที่วางไว้
3. นักเรียนแต่ละกลุ่มนำอุปกรณ์ส่งรถของเล่นที่สร้างขึ้นมาทดสอบประสิทธิภาพว่าสามารถเคลื่อนที่ไปชนลูกโป่งให้แตกตามระยะทางที่กำหนดหรือไม่ แล้วหาแนวทางแก้ไขปรับปรุง
4. ร่วมกันลงข้อสรุปและสะท้อนคิดสิ่งที่ได้จากการทำกิจกรรม

Summary

ประจำหน่วยการเรียนรู้ที่ 1

แรงและการเคลื่อนที่



การเคลื่อนที่แนวตรง

การเคลื่อนที่ใน 1 มิติ โดยเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวเดียว

ระยะทาง

ระยะทั้งหมดที่วัตถุเคลื่อนที่

เป็นปริมาณสเกลาร์ หน่วย : เมตร (m)

การกระจัด

ระยะที่วัดจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้ายและมีทิศทางจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้าย เป็นปริมาณเวกเตอร์ หน่วย : เมตร (m)

อัตราเร็วเฉลี่ย

$$\text{อัตราเร็วเฉลี่ย} = \frac{\text{ระยะทาง (m)}}{\text{ช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (s)}}$$

ความเร็วเฉลี่ย

$$\text{ความเร็วเฉลี่ย} = \frac{\text{การกระจัด (m)}}{\text{ช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (s)}}$$



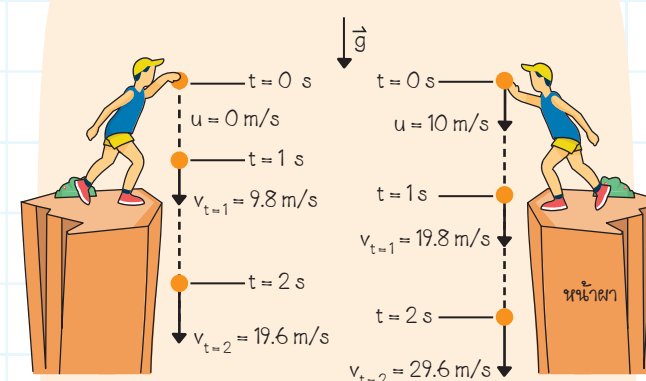
ความเร่งเฉลี่ย

$$\text{ความเร่งเฉลี่ย} = \frac{\text{ความเร็วที่เปลี่ยนแปลง (m/s)}}{\text{ช่วงเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนความเร็ว (s)}}$$

การตกแบบเสรี

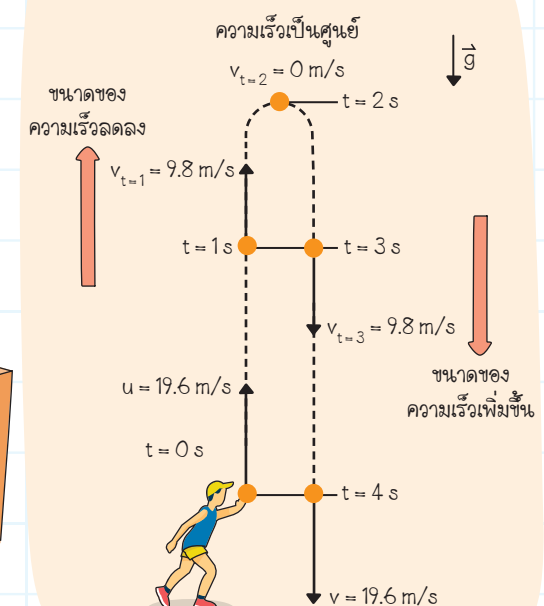
การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้งภายใต้สนามโน้มถ่วงของโลก ด้วยความเร่งโน้มถ่วงของโลกที่มีค่า 9.8 เมตรต่อวินาที² และมีทิศทางลงสู่พื้นโลก

กรณีปล่อยหรือขว้างวัตถุในแนวตั้ง

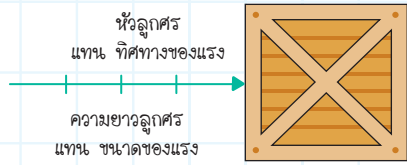


ความเร่งโน้มถ่วงของโลกจะทำให้วัตถุมีขนาดของความเร็วเพิ่มขึ้นทีละ 9.8 เมตรต่อวินาที

กรณีโยนวัตถุขึ้นในแนวตั้ง



แรงและการเคลื่อนที่ของนิวตัน

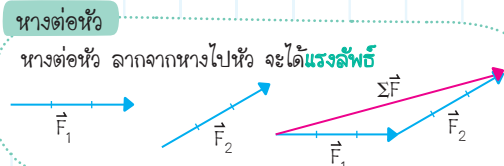


แรง ($\vec{F}$)

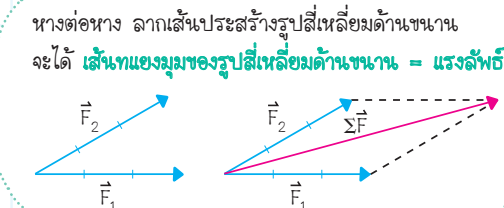
สิ่งที่กระทำต่อวัตถุแล้วส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างหรือสภาพการเคลื่อนที่ **เป็นปริมาณเวกเตอร์** มีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

หากแรงกระทำกับวัตถุมากกว่า 2 แรงขึ้นไป จะต้องรวมแรงแบบเวกเตอร์ เรียกว่า **แรงลัพธ์ ($\Sigma \vec{F}$)**

เขียนแผนภาพ



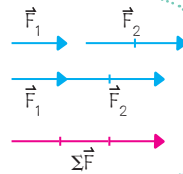
สร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน



คำนวณ

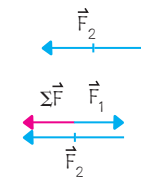
แรงย่อยมีทิศทางเดียวกัน

ขนาดของแรงลัพธ์ = ผลรวมของแรงย่อย
 $\Sigma F = F_1 + F_2$



แรงย่อยมีทิศตรงข้ามกัน

กำหนดให้ทิศใดทิศหนึ่งเป็นบวก และทิศตรงข้ามเป็นลบ
ขนาดของแรงลัพธ์ = ผลรวมของแรงย่อย
 $\Sigma F = F_1 + (-F_2)$



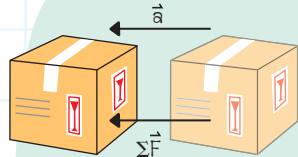
กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

1 กฎแห่งความเฉื่อย



ถ้าไม่มีแรงภายนอกมากกระทำต่อวัตถุ วัตถุจะรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมไว้

2 กฎแห่งความเร่ง

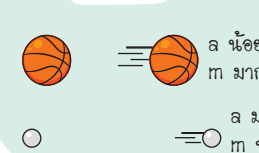


เมื่อมีแรงลัพธ์มากกระทำต่อวัตถุ วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง

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

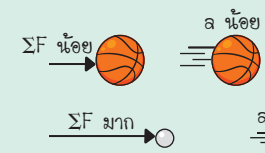
ความเร่งแปรผกผันกับมวล

$$a \propto \frac{1}{m}$$



ความเร่งแปรผันตรงกับแรงลัพธ์

$$a \propto \Sigma F$$



3 แรงกิริยา = แรงปฏิกิริยา



ทุก ๆ แรงกิริยาจะมีแรงปฏิกิริยาเกิดขึ้น พร้อมกันเสมอ

- มีขนาดเท่ากัน
- มีทิศตรงข้ามกัน
- กระทำต่อวัตถุคนละก้อน



แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา ไม่ใช่แรงสมดุลที่สามารถนำมาหักล้างกันได้

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

วัตถุเคลื่อนที่แบบอิสระใน 2 มิติ (แนวระดับและแนวตั้ง) ไปพร้อม ๆ กัน ทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่เป็นวิถีโค้ง หรือรูปพาราโบลาคว่ำ

ความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

จุดสูงสุด

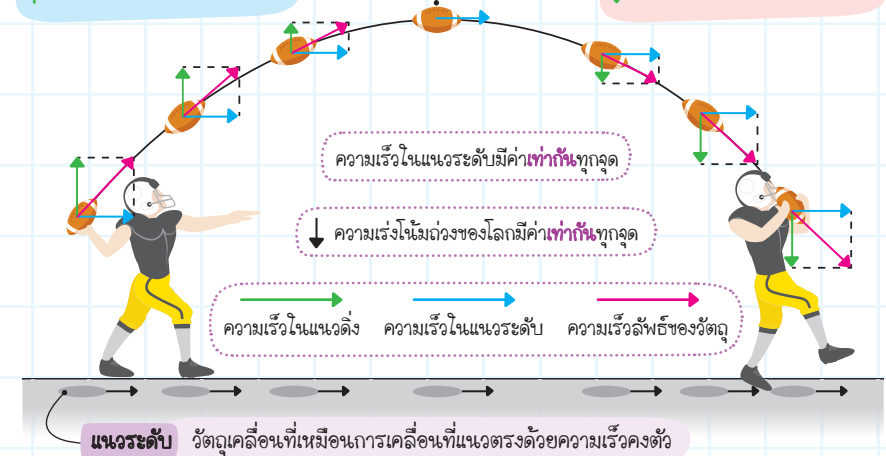
- ความเร็วในแนวตั้งขนาดเท่ากับศูนย์
- ความเร็วของวัตถุขนาดเท่ากับความเร็วเริ่มต้นในแนวแกน x

ช่วงที่วัตถุเคลื่อนที่ขึ้น

↑ ความเร็วในแนวตั้งมีค่าลดลง

ช่วงที่วัตถุเคลื่อนที่ลง

↓ ความเร็วในแนวตั้งมีค่าเพิ่มขึ้น

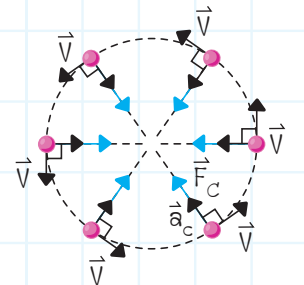


แนวตั้ง

วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งโน้มถ่วงของโลกเหมือนการตกแบบเสรี

การเคลื่อนที่แบบวงกลม

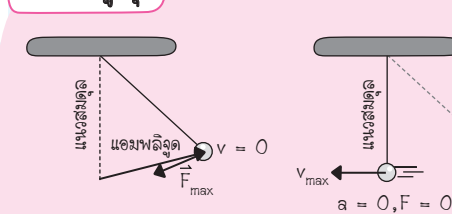
วัตถุถูกแรงกระทำในทิศพุ่งเข้าสู่ศูนย์กลาง เรียกว่า **แรงสู่ศูนย์กลาง ($\vec{F}_c$)** จึงเกิดความเร่งในทิศเดียวกับแรงสู่ศูนย์กลาง เรียกว่า **ความเร่งสู่ศูนย์กลาง ($\vec{a}_c$)** ส่งผลให้ทิศทางของความเร็วของวัตถุเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา



การเคลื่อนที่แบบสั่น

วัตถุถูกแรงกระทำในทิศเข้าหาแนวสมดุล ทำให้วัตถุเคลื่อนที่กลับไปมารอบจุดสมดุลด้วยความเร่งไม่คงตัวและมีทิศเข้าหาจุดสมดุลเสมอ โดยขนาดของแรงกระทำและขนาดของความเร่งจะแปรผันตรงกับความยาวของการกระจัดและมีทิศตรงข้ามกัน

การแกว่งลูกตุ้ม



การสั่นของมวลติดสปริง

