หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ เล่ม ๑

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔-๖

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

กระทรวงศึกษาธิการ

สสวท

๖๒.-

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีไว้ทำกระสุน บ้างไม่มีไว้กระทำ

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม ๑

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔-๖

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
(สำหรับนักเรียนที่เน้นวิทยาศาสตร์)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ISBN 978-974-01-9680-8
พิมพ์ครั้งที่สาม ๒๐๐,๐๐๐ เล่ม
พ.ศ. ๒๕๕๔

องค์การค้าของ สกสค. จัดพิมพ์จำหน่าย
พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว
๒๒๔๙ ถนนลาดพร้าว วังทองหลาง กรุงเทพมหานคร

มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ
เรื่อง อนุญาตให้ใช้หนังสือในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานได้พิจารณาแล้วอนุญาตให้ใช้หนังสือนี้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ 8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553

(นายชินภัทร ภูมิรัตน)
เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาหลักสูตรวิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภทที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 นี้ จัดทำตามสาระและมาตรฐานการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แนวตรง แรงและกฎการเคลื่อนที่ และการเคลื่อนที่แบบต่างๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาความรู้ ทักษะ จิตวิทยาศาสตร์ และการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนได้เป็นอย่างดี

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่นๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

(นายชินภัทร ภูมิรัตน)
เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
8 กุมภาพันธ์ 2553

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้รับมอบหมายจากกระทรวงศึกษาธิการ ให้ดำเนินการจัดทำหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยสาระหลัก 8 สาระ คือ สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม สารและสมบัติของสาร แรงและการเคลื่อนที่ พลังงาน กระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลก ดาราศาสตร์และอวกาศ ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สำหรับการศึกษาขั้นพื้นฐาน ตัวชี้วัดชั้นปีและตัวชี้วัดช่วงชั้น ซึ่งเป็นเป้าหมายสำหรับผู้เรียนทุกคนที่จะได้รับการพัฒนาทั้งด้านความรู้ กระบวนการคิด กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา ความสามารถในการสื่อสาร การตัดสินใจ การนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน ตลอดจนมีจิตวิทยาศาสตร์ คุณธรรมและค่านิยมที่ถูกต้องเหมาะสม โดยมุ่งเน้นความเป็นไทยควบคู่กับความเป็นสากล ตั้งแต่ปีการศึกษา 2553 เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 จึงจำเป็นต้องมีสื่อการเรียนการสอนที่ได้รับการพัฒนาอย่างเหมาะสมและเป็นไปตามเป้าหมายของหลักสูตรดังกล่าว

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 นี้ได้พัฒนาขึ้นให้สอดคล้องกับมาตราฐานการเรียนรู้ สาระที่ 4 แรงและการเคลื่อนที่ และสาระที่ 5 พลังงาน สถานศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นหนังสือเรียนหลักได้ ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาความรู้ที่เป็นหลักการพื้นฐานที่จำเป็นที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน และความรู้เพื่อการศึกษาต่อไปในระดับสูง มีกิจกรรมการเรียนรู้ที่หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบ การสืบค้นข้อมูล การปฏิบัติการทดลอง และการอภิปราย อันจะก่อให้เกิดทักษะที่สำคัญในการเรียนรู้และการดำรงชีวิต ในการจัดทำหนังสือเรียนวิทยาศาสตร์เล่มนี้ได้รับความร่วมมืออย่างดียิ่งจากคณาจารย์ ผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ และครูผู้สอน จากสถาบันต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท.หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์เล่มนี้ จะเป็นประโยชน์แก่นักเรียนและผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนวิทยาศาสตร์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จักขอบคุณยิ่ง

(นางพรพรรณ ไวทยางกูร)
ผู้อำนวยการ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 การอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ 2
1.2 ฟิสิกส์ 4
1.3 ปริมาณกายภาพและหน่วย 5
1.3.1 หน่วยฐาน 6
1.3.2 หน่วยอนุพัทธ์ 6
1.4 การทดลองในวิชาฟิสิกส์ 9
1.5 ความไม่แน่นอนในการวัด 9
1.6 เลขนัยสำคัญ 10
1.7 การบันทึกผลการคำนวณ 12
1.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 14
สรุปสาระสำคัญ 17
แบบฝึกหัดบทที่ 1
คำถาม 18
ปัญหา 20

บทที่ 2 การเคลื่อนที่แนวตรง

2.1 ปริมาณต่างๆ ของการเคลื่อนที่ 25
2.1.1 ตำแหน่ง ระยะทางและการกระจัด 25
2.1.2 อัตราเร็ว 29
2.1.3 ความเร็ว 32
2.2 การวัดอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ในแนวตรง 33
2.3 ความเร่ง 35
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกราฟความเร็วเวลากับระยะทางสำหรับการเคลื่อนที่ในแนวตรง 42
2.4.1 การเคลื่อนที่ที่ไม่กลับทิศทาง 42
2.4.2 การเคลื่อนที่ที่มีการกลับทิศทาง 43
2.5 สมการสำหรับคำนวณหาปริมาณต่างๆ ของการเคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร่งคงตัว 44
สรุปสาระสำคัญ 50
แบบฝึกหัดบทที่ 2
คำถาม 52
ปัญหา 54

บทที่ 3 แรงและกฎการเคลื่อนที่

3.1 แรง 62
3.2 การหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน 65
3.2.1 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์โดยการสร้างรูป 66
3.2.2 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์โดยการคำนวณ 67
3.3 กฎการเคลื่อนที่ 72
3.3.1 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน 72
3.3.2 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน 74
3.3.3 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน 80
3.4 น้ำหนัก 84
3.5 กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน 85
3.5.1 สนามโน้มถ่วง 89

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

3.5.2 ความเร่งโน้มถ่วง ณ ตำแหน่งที่ห่างจากผิวโลก 90
3.5.3 สภาพไร้น้ำหนัก 91
3.6 แรงเสียดทาน 92
3.7 การนำกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันไปใช้ 97
สรุปสาระสำคัญ 102
แบบฝึกหัดบทที่ 3
คำถาม 104
ปัญหา 107

บทที่ 4 การเคลื่อนที่แบบต่างๆ

4.1 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ 114
4.1.1 การเคลื่อนที่ในแนวระดับและแนวดิ่ง 118
4.1.2 การกระจัดและความเร็วของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ 121
4.1.3 วัตถุที่มีความเร็วต้นทำมุมกับแนวระดับ 124
4.2 การเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัว 129
4.2.1 ความเร่งสู่ศูนย์กลาง 135
4.2.2 การเคลื่อนที่บนทางโค้ง 138
4.2.3 อัตราเร็วเชิงมุม 144
4.2.4 การเคลื่อนที่ของดาวเทียม 148
4.3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย 151
4.3.1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุติดปลายสปริง 151
4.3.2 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเทียบกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม 156
4.3.3 การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย 159
สรุปสาระสำคัญ 162
แบบฝึกหัดบทที่ 4 164
คำถาม 164
ปัญหา 166

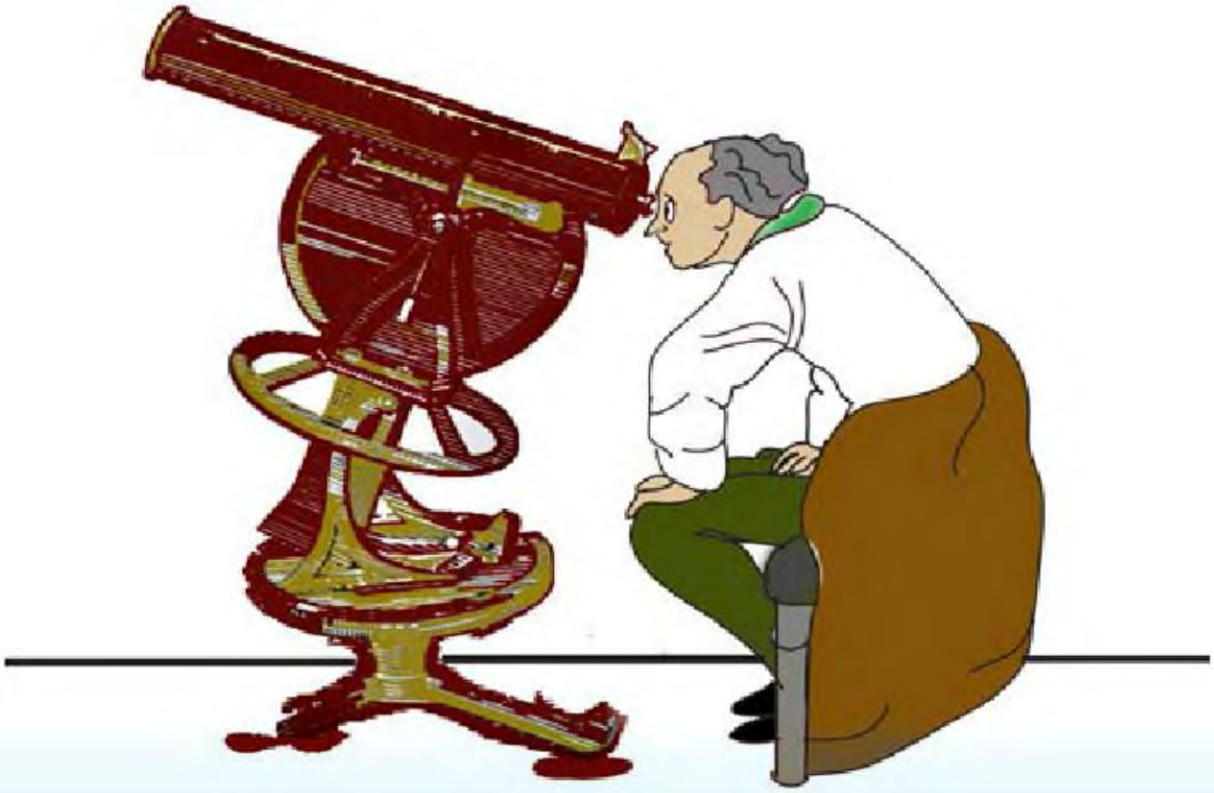
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตัวอย่างการบันทึกการทดลอง 174
ภาคผนวก ข คณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์ 177
ภาคผนวก ค ระบบหน่วยระหว่างชาติ 187
ภาคผนวก ง ตารางฟังก์ชันตรีโกณมิติ 191
ภาคผนวก จ ตารางเลขกำลังสอง รากที่สอง และส่วนกลับ 193
ภาคผนวก ฉ ดัชนีคำศัพท์ 194

คำตอบแบบฝึกหัด 197
บรรณานุกรม 201
คณะทำงาน 202

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

บทที่ 1
บทนำ



ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เป็นผลผลิตจากสติปัญญาของมนุษย์ การได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีหลายทางด้วยกัน เช่น การสังเกต การรวบรวมข้อมูล การทดลอง และการคิดหาเหตุผล เป็นต้น ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์สาขาหนึ่งและจัดว่าเป็นพื้นฐานที่สำคัญของวิทยาศาสตร์ จึงควรทราบถึงลักษณะสำคัญบางประการของวิทยาศาสตร์และฟิสิกส์โดยรวมก่อน

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

1.1 การอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ

ฟ้าผ่า

รุ้ง

ดวงอาทิตย์กำลังตก

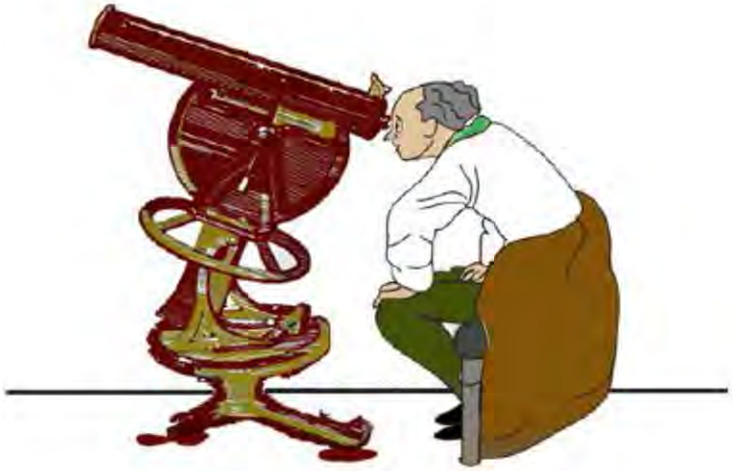
ดวงจันทร์ทรงกลด

รูป 1.1 ปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ

ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น กลางวันกลางคืน รุ้ง ฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ดวงจันทร์ทรงกลด เป็นต้น มักเป็นที่สนใจแก่ผู้ที่พบเห็น มนุษย์ในสมัยโบราณพยายามอธิบายการเกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติดังกล่าว โดยเชื่อว่า เกิดจากการกระทำของเทพเจ้า หรือภูตผีปีศาจ ตามที่เราทราบได้จากนิยายปรัมปราของแต่ละชาติ จากความสงสัย อยากที่จะเข้าใจในสิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ทำให้มนุษย์มีพัฒนาการทางสติปัญญามากกว่าสัตว์โลกอื่น ๆ อย่างไรก็ดีการอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติของมนุษย์ในระยะเริ่มต้นนี้ยังไม่มีความเป็นเหตุเป็นผล

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

☐ *ปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า แผ่นดินไหว จันทรุปราคา เป็นต้น คนไทยโบราณมีคำอธิบายสำหรับเรื่องนี้อย่างไร*



รูป 1.2 นักดาราศาสตร์สมัยโบราณกับการสังเกตและบันทึกข้อมูล

ในยุคต่อมาเริ่มมีการสังเกตและบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการศึกษาเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติของมนุษย์ เช่น ชาวอียิปต์โบราณสังเกตและบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของฤดูต่าง ๆ เป็นเวลานานจนสามารถทำนายเวลาของการเปลี่ยนฤดูได้ล่วงหน้า และใช้ความรู้นี้เป็นประโยชน์ในการเตรียมการเพาะปลูก นอกจากนี้มนุษย์ยังพบว่า การเปลี่ยนแปลงของฤดูเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนตำแหน่งของกลุ่มดาวฤกษ์บนท้องฟ้าเทียบกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์อีกด้วย

จากการสังเกตและบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ และกลุ่มดาวฤกษ์ต่าง ๆ มาตั้งแต่สมัยโบราณ ทำให้โคเพอร์นิคัสซึ่งเป็นนักดาราศาสตร์ในยุคกลางสามารถบรรยายการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ต่าง ๆ รอบดวงอาทิตย์ ต่อมาเคปเลอร์ได้ตั้งกฎเพื่อใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์นั้น โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการสังเกตและการบันทึกของนักดาราศาสตร์คนอื่น ๆ

การพัฒนาความรู้ของมนุษย์นั้นเกิดขึ้นจากการสังเกต การบันทึกข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เพื่อสรุปหาความรู้และความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกัน เช่น ความรู้ที่ว่า “โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ครบหนึ่งรอบใช้เวลา 365.24 วัน” กับความรู้ที่ว่า “ดวงจันทร์โคจรรอบโลกครบหนึ่งรอบใช้เวลา 27.32 วัน” เป็นต้น ซึ่งความรู้เหล่านี้ไม่ได้เกิดจากการสังเกตและบันทึกข้อมูลของคนเพียงคนเดียว แต่เป็นการสรุปข้อมูลที่สะสมไว้เป็นจำนวนมากโดยผู้สังเกตรุ่นก่อน ๆ นับตั้งแต่สมัยโบราณเป็นต้นมา เมื่อนักดาราศาสตร์สามารถบรรยายการเคลื่อนที่ของโลกและดาวเคราะห์ต่าง ๆ ได้แล้ว มนุษย์ก็พยายามหาคำอธิบายต่อไปอีกว่า เพราะเหตุใดดาวเคราะห์จึงโคจรเช่นนั้น ซึ่งนักเรียนจะตอบคำถามนี้ได้หลังจากได้ศึกษาต่อไป

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพังกระทำ บ้างไม่พังกระทำ

1.2 ฟิสิกส์

ฟิสิกส์เป็นความรู้ความเข้าใจที่เกิดขึ้นและสะสมกันมาในช่วงเวลากว่า 400 ปี ซึ่งเป็นส่วนพื้นฐานของวิชาที่ได้จัดให้เป็นระบบ เพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการเรียนรู้ และในที่สุดเรื่องต่างๆ ที่เรียนจะสัมพันธ์กันทุกเรื่อง การเรียนรู้ที่ดีจะต้องทำให้เกิดความเข้าใจหลักการของเรื่องนั้นๆ จนสามารถนำหลักการไปประยุกต์ได้ การฝึกให้สามารถประยุกต์หลักการด้วยการทำแบบฝึกหัดหรือโจทย์ปัญหาเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งที่นักเรียนควรพยายามคิดด้วยตนเอง ซึ่งจะเป็นการฝึกคิดอย่างนักฟิสิกส์หรือนักวิทยาศาสตร์ การทำการทดลองนอกจากจะทำให้เรียนรู้ด้วยความเข้าใจแบบเป็นรูปธรรมแล้ว ยังฝึกให้เรียนรู้วิธีทำการทดลองและการวิเคราะห์ผล เพื่อทดสอบหรือพิสูจน์ความจริงอย่างมีเหตุผลในลักษณะที่นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติกัน

ฟิสิกส์เป็นวิชาที่ศึกษาหากฎเกณฑ์ต่างๆ สำหรับอธิบายปรากฏการณ์ในธรรมชาติ ความสัมพันธ์ระหว่างสสารและพลังงาน เช่น ทำไมวัตถุจึงตกสู่พื้นโลก ปรากฏการณ์การตกของวัตถุมีเกณฑ์อย่างไร ทำไมสสารจึงเปลี่ยนสถานะ การเปลี่ยนสถานะของสสารมีกฎเกณฑ์อย่างไร ทำไมจึงเกิดรุ้ง ทำไมดวงอาทิตย์จึงมีสีแดงตอนจะลับขอบฟ้า เป็นต้น

ความรู้ในวิชาฟิสิกส์ส่วนหนึ่งได้มาจากข้อมูลจากการสังเกตและการวัดโดยอาศัยเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ และนักฟิสิกส์จะนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์แปลความหมายและลงข้อสรุปเป็นหลักการและกฎเกณฑ์ต่างๆ ความรู้อีกส่วนหนึ่งได้มาจากแบบจำลองทางความคิด ซึ่งนำไปสู่การสร้างทฤษฎีเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม หลักการ กฎเกณฑ์และทฤษฎีที่ได้นี้ อาจเปลี่ยนแปลงได้ในอนาคต ถ้ามีข้อมูลใหม่ที่แตกต่างไปจากเดิมและไม่สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีเก่า เนื่องจากในปัจจุบันมีการพัฒนาเกี่ยวกับเครื่องมือและวิธีการวัดอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น ข้อจำกัดของความรู้ทางฟิสิกส์ในขณะใดๆ จึงขึ้นอยู่กับข้อมูลซึ่งเป็นที่ทราบกันอยู่ในขณะนั้น

ความรู้ทางฟิสิกส์ก่อให้เกิดความรู้ทางชีววิทยาและทางการแพทย์มากมาย รวมถึงการใช้รังสีเอกซ์ เอ็มอาร์ไอ (magnetic resonance imaging, MRI) เครื่องวัดความดันโลหิต เครื่องอัลตราซาวด์ เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าของหัวใจและสมอง เครื่องตรวจการไหลของเลือดเพื่อใช้ในการตรวจวินิจฉัยผู้ป่วย

ความรู้ทางฟิสิกส์สถานะของแข็ง (solid-state physics) ไฟฟ้าสถิต ไฟฟ้ากระแส ไฟฟ้าแม่เหล็ก ทำให้เกิดการพัฒนาด้านอิเล็กทรอนิกส์อย่างมากมายนำไปสู่การสร้างคอมพิวเตอร์ เครื่องมือสื่อสาร เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน

การสร้างสเปกโทรกราฟ เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส เครื่องหมุนเหวี่ยง ทำให้นักเคมีสามารถศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างของโมเลกุล สารประกอบ ธาตุ อันนำไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ แม้แต่การศึกษาทางดาราศาสตร์ การสำรวจอวกาศ การสื่อสาร กัมมันตภาพรังสี ต้องใช้ความรู้ทฤษฎี และเครื่องมือทางฟิสิกส์เป็นหลักสำคัญ ฟิสิกส์จึงเกี่ยวข้องกับศาสตร์ต่างๆ มากมาย รวมทั้งเทคโนโลยีต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีทางการแพทย์ เทคโนโลยีด้านอวกาศ เทคโนโลยีด้านอาหาร เทคโนโลยีการเกษตร เทคโนโลยีการสื่อสาร เทคโนโลยีด้านขนส่งและพลังงาน เป็นต้น

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ความรู้ที่จัดว่าเป็นพื้นฐานของวิชาฟิสิกส์ ได้แก่ กลศาสตร์ ความร้อน แสง เสียง ไฟฟ้า แม่เหล็ก ฟิสิกส์อะตอม ฟิสิกส์นิวเคลียร์ ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาในชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

1.3 ปริมาณกายภาพและหน่วย

ปริมาณกายภาพเป็นปริมาณที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือโดยตรงหรือโดยอ้อม เป็นปริมาณที่มีความหมายเฉพาะเจาะจงอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น ปริมาตร มวล น้ำหนัก แรง ความเร็ว ความดัน กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ อุณหภูมิ เป็นต้น ปริมาณเหล่านี้จะต้องมีหน่วยกำกับจึงจะมีความหมายชัดเจน เช่น ปริมาตร อาจจะมีหน่วย ลูกบาศก์เซนติเมตร ลูกบาศก์เมตรหรือลูกบาศก์ฟุต และยังมี ลิตร ถัง แกลลอนอีก ซึ่งรวมแล้วมีหน่วยได้หลายอย่าง แต่ที่นิยมใช้กันในที่ต่าง ๆ เพื่อให้การใช้หน่วยเป็นมาตรฐานเดียวกันทั่วโลกโดยเฉพาะในวงการวิทยาศาสตร์ **องค์กรระหว่างชาติเพื่อการมาตรฐาน** (ISO หรือ International Organization for Standardization) จึงได้กำหนดระบบหน่วยมาตรฐานที่เรียกว่า **ระบบหน่วยระหว่างชาติ** (The International System of Units) หรือ**ระบบเอสไอ** (SI) ให้ทุกประเทศใช้เป็นมาตรฐาน ระบบเอสไอประกอบด้วย**หน่วยฐาน** (base units) และ**หน่วยอนุพัทธ์** (derived units) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

SI เป็นตัวย่อของ Le système International d'Unités ซึ่งเป็นภาษาฝรั่งเศส

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพังกระทำ บ้างไม่พังกระทำ

1.3.1 หน่วยฐาน

หน่วยฐานเป็นหน่วยหลักของระบบเอสไอ มีทั้งหมด 7 หน่วย ดังตาราง 1.1

ตาราง 1.1 ชื่อและสัญลักษณ์ของหน่วยฐาน

ปริมาณฐาน (base quantity)	ชื่อหน่วย (unit)	สัญลักษณ์ (symbol)
length ความยาว	metre เมตร	m
mass มวล	kilogram กิโลกรัม	kg
time เวลา	second วินาที	s
electric current กระแสไฟฟ้า	ampere แอมแปร์	A
thermodynamic temperature อุณหภูมิอุณหพลวัต	kelvin เคลวิน	K
amount of substance ปริมาณของสาร	mole โมล	mol
luminous intensity ความเข้มของการส่องสว่าง	candela แคนเดลา	cd

1.3.2 หน่วยอนุพัทธ์

หน่วยอนุพัทธ์เป็นหน่วยที่สร้างจากหน่วยฐาน เช่น หน่วยของแรงให้ชื่อว่า นิวตัน (newton , N) ซึ่งเป็นชื่อที่ให้เป็นเกียรติกับเซอร์ ไอแซก นิวตัน สังเกตว่าเมื่อนำชื่อนักวิทยาศาสตร์มาเป็นหน่วย การเขียนชื่อหน่วยในภาษาอังกฤษจะนำด้วยตัวพิมพ์เล็กให้ต่างจากชื่อคน แต่สัญลักษณ์ย่อของหน่วยใช้ตัวพิมพ์ใหญ่ คือ N หน่วยนิวตันจะเทียบเท่ากับ กิโลกรัม เมตรต่อวินาที^{2} หรือ $\mathrm{kg\ m/s^2}$ หน่วยของพลังงานให้ใช้หน่วยชื่อ จูล (joule, J) ซึ่งเป็นชื่อคนเช่นกัน หน่วยจูลเทียบเท่ากับ นิวตัน เมตร (Nm) ซึ่งเทียบหน่วยฐาน คือ กิโลกรัม เมตร^{2}ต่อวินาที^{2} หรือ $\mathrm{kg\ m^2/s^2}$

นอกจากนี้ระบบเอสไอยังได้กำหนด**คำนำหน้าหน่วย** (prefix) เพื่อทำให้หน่วยที่ใช้เล็กลงหรือโตขึ้น คำนำหน้าหน่วยที่สำคัญมีดังนี้

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ตาราง 1.2 คำนำหน้าหน่วย

คำนำหน้าหน่วย	ชื่อภาษาไทย	สัญลักษณ์ย่อ	ตัวคูณที่เทียบเท่า
pico	พิโก	p	10^{-12}
nano	นาโน	n	10^{-9}
micro	ไมโคร	μ	10^{-6}
milli	มิลลิ	m	10^{-3}
centi	เซนติ	c	10^{-2}
deci	เดซิ	d	10^{-1}
kilo	กิโล	k	10^{3}
mega	เมกะ	M	10^{6}
giga	จิกะ	G	10^{9}
tera	เทระ	T	10^{12}

ตัวอย่างการใช้คำนำหน้าหน่วย เช่น ความยาวคลื่นของแสงนิยมใช้หน่วย **นาโนเมตร** (nanometre, nm) ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้บนถนนนิยมใช้หน่วย **กิโลเมตร** (kilometre, km) เป็นต้น

รายละเอียดเพิ่มเติมสำหรับหน่วยในระบบเอสไอและหน่วยอื่นปรากฏอยู่ในภาคผนวก ค

ตัวอย่าง 1.1

รัศมีนิวเคลียสของทองคำมีค่าประมาณ 7×10^{-15} เมตร จงแปลงรัศมีนิวเคลียสของทองคำให้เป็นหน่วยต่อไปนี้

ก. นาโนเมตร

ข. ไมโครเมตร

ค. พิโกเมตร

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ก. การแปลงหน่วยรัศมีนิวเคลียสของทองคำให้เป็นหน่วยนาโนเมตร

วิธีทำ จาก $1\ nm = 10^{-9}\ m$

ดังนั้น $1\ m = 10^{9}\ nm$

รัศมีนิวเคลียสของทองคำ $= 7 \times 10^{-15}\ m$

$= 7 \times 10^{-15} \times 10^{9}\ nm$

$= 7 \times 10^{(-15+9)}\ nm$

$= 7 \times 10^{-6}\ nm$

ตอบ รัศมีนิวเคลียสของทองคำเท่ากับ 7×10^{-6} นาโนเมตร

ข. การแปลงหน่วยรัศมีนิวเคลียสของทองคำให้เป็นหน่วยไมโครเมตร

วิธีทำ จาก $1\ \mu m = 10^{-6}\ m$

ดังนั้น $1\ m = 10^{6}\ \mu m$

รัศมีนิวเคลียสของทองคำ $= 7 \times 10^{-15}\ m$

$= 7 \times 10^{-15} \times 10^{6}\ \mu m$

$= 7 \times 10^{(-15+6)}\ \mu m$

$= 7 \times 10^{-9}\ \mu m$

ตอบ รัศมีนิวเคลียสของทองคำเท่ากับ 7×10^{-9} ไมโครเมตร

ค. การแปลงหน่วยรัศมีนิวเคลียสของทองคำให้เป็นหน่วยพิโกเมตร

วิธีทำ จาก $1\ pm = 10^{-12}\ m$

ดังนั้น $1\ m = 10^{12}\ pm$

รัศมีนิวเคลียสของทองคำ $= 7 \times 10^{-15}\ m$

$= 7 \times 10^{-15} \times 10^{12}\ pm$

$= 7 \times 10^{(-15+12)}\ pm$

$= 7 \times 10^{-3}\ pm$

ตอบ รัศมีนิวเคลียสของทองคำเท่ากับ 7×10^{-3} พิโกเมตร

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

1.4 การทดลองในวิชาฟิสิกส์

การทดลองในวิชาฟิสิกส์ที่จะได้ทำในบทเรียนต่างๆ จะเป็นการฝึกฝนวิธีการทำการทดลองตามแนวทางซึ่งเป็นที่ยอมรับในวงการฟิสิกส์ การทำการทดลองถือเป็นส่วนสำคัญในการฝึกทักษะและการคิดหาเหตุผลอย่างวิทยาศาสตร์

เป็นการยากที่จะวางกฎเกณฑ์แน่ชัดสำหรับการทดลองทุกๆ เรื่อง เนื่องจากในการทดลองแต่ละเรื่อง อาจมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามในการทำการทดลองมักจะทำเพื่อตอบคำถามบางอย่าง หรือเพื่อหาความจริงบางอย่าง (ซึ่งก็คือจุดประสงค์ของการทดลอง) เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบก็ต้องคิดวิธีการทดลองที่เหมาะสมและสอดคล้องกับอุปกรณ์ทำการทดลองที่มี เพื่อให้ได้ข้อมูลต่างๆ จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสรุปเป็นคำตอบ ขั้นตอนเหล่านี้เป็นกรอบที่จำเป็นสำหรับการทดลอง

คำตอบที่เราได้จะทำให้ผู้อื่นเชื่อถือหรือไม่ เราต้องสามารถแสดงทุกขั้นตอนของการทดลองได้ ดังนั้นจึงมีการเขียนรายงานการทดลอง โดยยึดหลักการที่ว่าเขียนรายงานการทดลองให้ผู้อ่านเข้าใจได้ง่ายที่สุด กะทัดรัดที่สุด ครบถ้วนทุกอย่าง และข้อมูลต้องชัดเจน โดยทั่วไปนิยมใช้รูปวาดประกอบและมีการเสนอข้อมูลเป็นตารางและหรือกราฟเพื่อให้ดูง่าย นอกจากนี้ควรแสดงการวิเคราะห์ผลการทดลองและการสรุปผลการทดลอง จากนั้นตามด้วยข้อวิจารณ์ หรือความคิดเห็นของตนเองเพิ่มเติมไว้ ดังตัวอย่างการบันทึกผลการทดลองในภาคผนวก ก ท้ายเล่ม ซึ่งสิ่งต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นเป็นสิ่งที่ทุกคนควรฝึกทำทุกการทดลอง

1.5 ความไม่แน่นอนในการวัด

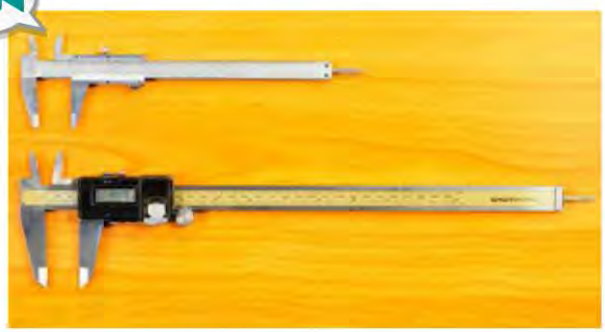
การวัดปริมาณต่างๆ ด้วยเครื่องวัดย่อมมีความแม่นยำอยู่ในช่วงจำกัด เพราะไม่มีเครื่องวัดใด ที่สามารถวัดได้ทุกช่วง เช่น การวัดความยาว ถ้าสิ่งที่ต้องการวัดมีความยาวมากๆ อย่างเช่น ระยะทางระหว่างจังหวัด การใช้ไม้เมตรวัดระยะทางนั้นเป็นการใช้เครื่องมือไม่เหมาะสม จึงต้องหาวิธีหรือเครื่องมือชนิดอื่นมาช่วยในการวัด แต่ถ้าต้องการวัดความกว้างของสนามฟุตบอลควรใช้ตลับเมตรซึ่งถ้าใช้ไม้บรรทัดมาวัดอาจทำให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนมาก สำหรับการวัดความยาวของดินสอควรใช้ไม้บรรทัดจึงจะเหมาะสม และการวัดความยาวที่สั้นมากๆ เช่น ความหนาของเหรียญบาท ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด ควรจะเลือกใช้ไมโครมิเตอร์หรือเวอร์เนียร์แคลลิเปิร์ส

ดังนั้นในการวัดแต่ละครั้งควรเลือกใช้เครื่องวัดให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด เพื่อให้ค่าที่ได้จากการวัดมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อยที่สุด โดยจะขึ้นอยู่กับเครื่องมือและวิธีการที่ใช้วัด รวมทั้งขึ้นอยู่กับความสามารถและประสบการณ์ของผู้วัดด้วย

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ก. ตลับเมตร

ข. ไม้บรรทัดและไม้เมตร



ค. เวอร์เนียร์แคลลิเปิร์ส

ง. ไมโครมิเตอร์

รูป 1.3 เครื่องมือวัดความยาวแบบต่างๆ

1.6 เลขนัยสำคัญ

เลขนัยสำคัญ (significant figures) คือตัวเลขที่ได้จากการวัด จำนวนตัวเลขนัยสำคัญขึ้นกับความละเอียดของเครื่องมือวัดที่ใช้ เลขนัยสำคัญมีความสำคัญต่อปริมาณที่จะต้องนำมาคำนวณ เช่น วัดมวลแท่งโลหะแท่งหนึ่งได้ 0.012 กิโลกรัม ถือว่ามีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ซึ่งเท่ากับ 12 กรัม แต่ถ้าเขียน 0.0120 กิโลกรัม จะมีเลขนัยสำคัญถึง 3 ตัว เหมือนกับ 12.0 กรัม การเขียน 12 กรัม และ 12.0 กรัม จึงมีความหมายต่างกัน 12.0 กรัม หมายถึงผิดพลาดได้ไม่เกิน 0.05 กรัม แต่ 12 กรัม อาจจะผิดพลาดได้ถึง 0.5 กรัม

หลักการนับจำนวนเลขนัยสำคัญ

1. ตัวเลข 1 – 9 ให้นับทุกตัว เช่น 1234 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 ตัว
2. เลข 0 มีวิธีการนับดังนี้
   - 2.1 เลข 0 ที่อยู่หน้าตัวเลขอื่นไม่นับ เช่น 0.0003 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 1 ตัว
   - 2.2 เลข 0 ที่อยู่ระหว่างตัวเลขอื่นให้นับทุกตัว เช่น 1003 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

2.3 เลข 0 ที่อยู่หลังตัวเลขอื่นซึ่งอยู่หลังจุดทศนิยมให้นับทุกตัว เช่น 0.000 300 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 3 ตัว 14 000.0 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 6 ตัว

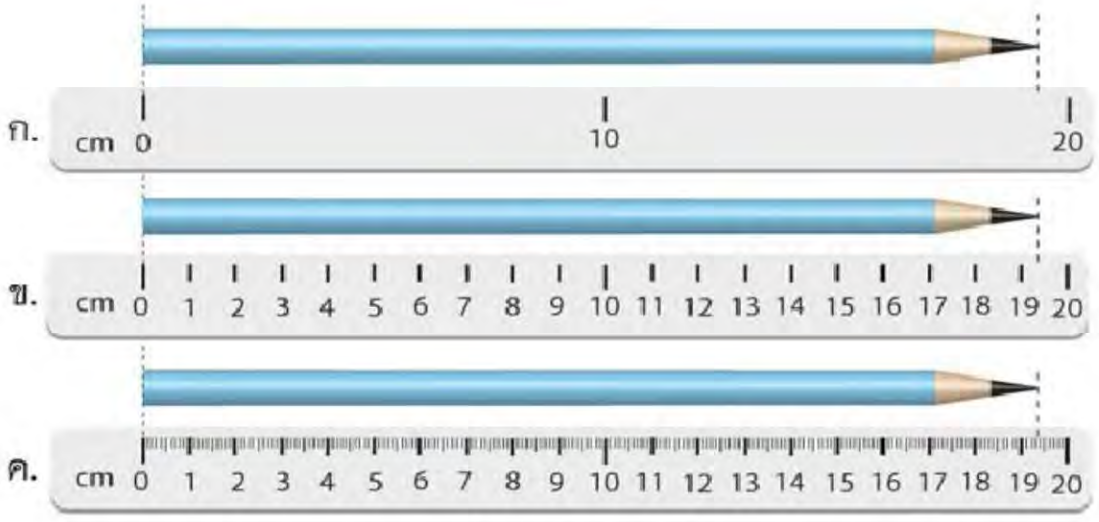
2.4 เลข 0 ที่อยู่หลังตัวเลขอื่นที่เป็นจำนวนเต็ม อาจจะนับหรือไม่นับขึ้นกับความละเอียดของเครื่องวัด ดังนั้นจึงควรเขียนแบบ**สัญกรณ์วิทยาศาสตร์** (scientific notation) เช่น ตัวเลข 14 000 ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ให้เขียนเป็น 1.40×10^4

3. ค่าคงตัวทั้งหลาย เช่น π e และเลขในสูตร เช่น 2 ใน $2\pi R$ ไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ

สัญกรณ์วิทยาศาสตร์ เป็นรูปแบบของการเขียนตัวเลขอยู่ในรูปการคูณของเลขยกกำลังที่มีฐานเป็นสิบและเลขชี้กำลังเป็นจำนวนเต็ม มีรูปทั่วไปเป็น $A \times 10^n$ เมื่อ $1 \leq A < 10$ และ n เป็นจำนวนเต็ม เรานิยมเขียนจำนวนที่มีค่ามาก ๆ หรือค่าน้อย ๆ ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ เช่น 123 000 000 000 เขียนได้เป็น 1.23×10^{11} และ 0.000 000 000 753 เขียนได้เป็น 7.53×10^{-10} เป็นต้น

ตัวอย่างที่ 1.2

การวัดความยาวของดินสอ



รูปประกอบตัวอย่าง 1.2

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ในการใช้ไม้บรรทัดที่มีช่องสเกลต่างกันวัดความยาวของดินสอ ไม้บรรทัดในรูป ก. มีความละเอียด 10 เซนติเมตร จะอ่านความยาวของดินสอได้ประมาณ 19 เซนติเมตร ส่วนไม้บรรทัดในรูป ข. มีความละเอียด 1 เซนติเมตร จะอ่านความยาวของดินสอได้ 19.4 เซนติเมตร สำหรับไม้บรรทัดในรูป ค. มีความละเอียด 0.1 เซนติเมตร จะอ่านความยาวของดินสอได้ 19.35 เซนติเมตร ซึ่งแสดงว่าค่าจากการวัดจะต้องบันทึกด้วยจำนวนเลขนัยสำคัญที่เหมาะสม ในตัวอย่างนี้จำนวนเลขนัยสำคัญขึ้นอยู่กับความละเอียดของขีดสเกลไม้บรรทัด ดังนั้น ในการทดลอง ปริมาณทุกปริมาณควรบันทึกด้วยจำนวนเลขนัยสำคัญที่เหมาะสม กล่าวคือ บันทึกให้มีความละเอียดเท่ากับความละเอียดที่อ่านได้จากเครื่องมือ โดยการประมาณค่าคลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้เพิ่มอีกหนึ่งตำแหน่ง

1.7 การบันทึกผลการคำนวณ

ในการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ เราไม่เพียงแต่ใช้ข้อมูลที่วัดได้โดยตรงเท่านั้น เรายังมีการนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเพื่อใช้ประโยชน์อื่นต่อไป การนำเอาจำนวนที่มีเลขนัยสำคัญต่างกันมาบวก ลบ คูณ และหารกันจะมีวิธีทำอย่างไร จึงจะทำให้ได้ตัวเลขที่มีความหมาย

ตัวอย่าง 1.3

มวลของภาชนะใบหนึ่งมีค่า 75.1 กรัม เมื่อใส่ทรายลงไปจำนวนหนึ่งแล้วนำไปชั่งอย่างละเอียดได้ค่า 80.25 กรัม ทรายที่เติมลงไปมีมวลเท่าใด

แนวคิด ถ้านำตัวเลขมาลบกันโดยตรงจะได้ 80.25 กรัม – 75.1 กรัม เท่ากับ 5.15 กรัม

วิธีทำ เนื่องจากมวลของภาชนะมีค่าละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่หนึ่งเท่านั้น การบอกผลว่าทรายมีมวล 5.15 กรัม จึงเป็นการบอกผลที่ละเอียดเกินไป ผลลัพธ์ที่เหมาะสม ควรมีทศนิยมตำแหน่งเดียว โดยเราจะถือเอาจำนวนที่มีความละเอียดน้อยที่สุดเป็นหลัก

ดังนั้นในกรณีนี้จึงควรบันทึกมวลของทรายเป็น 5.2 กรัม สำหรับการบวกก็ใช้หลักเดียวกัน

ตอบ ทรายที่เติมลงไปมีมวลเท่ากับ 5.2 กรัม

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ตัวอย่าง 1.4

ทองเหลืองแท่งหนึ่งมวล 26.5 กรัม มีปริมาตร 3.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร จงหาความหนาแน่นของทองเหลือง

แนวคิด ความหนาแน่น $= \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}}$

วิธีทำ แทนค่า ความหนาแน่น $= \frac{26.5\ \text{g}}{3.0\ \text{cm}^3}$

$= 8.833\ \text{g/cm}^3$

เนื่องจากการคูณหรือการหาร อาจจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญหลายตำแหน่ง ปัญหามีอยู่ว่าเราจะบันทึกผลลัพธ์อย่างไร ในกรณีเช่นนี้เราจะใช้การพิจารณาจำนวนตัวเลขนัยสำคัญที่น้อยที่สุดเป็นหลัก 26.5 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ส่วน 3.0 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ดังนั้นผลลัพธ์จึงควรใช้ตัวเลขเพียง 2 ตัว ความหนาแน่นของทองเหลืองจึงมีค่าเท่ากับ 8.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ตอบ ความหนาแน่นของทองเหลืองเท่ากับ 8.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวอย่าง 1.5

แผ่นโลหะรูปวงกลม วัดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 13.12 เซนติเมตร จงหาพื้นที่ของแผ่นโลหะ

แนวคิด พื้นที่วงกลม $= \pi R^2$

$\pi = 3.1416$

รัศมี $= \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลาง}}{2}$

วิธีทำ แทนค่า พื้นที่ของแผ่นโลหะรูปวงกลม $= \left(3.1416\right)\left(\frac{13.12\ \text{cm}}{2}\right)^2$

$= 135.1944\ \text{cm}^2$

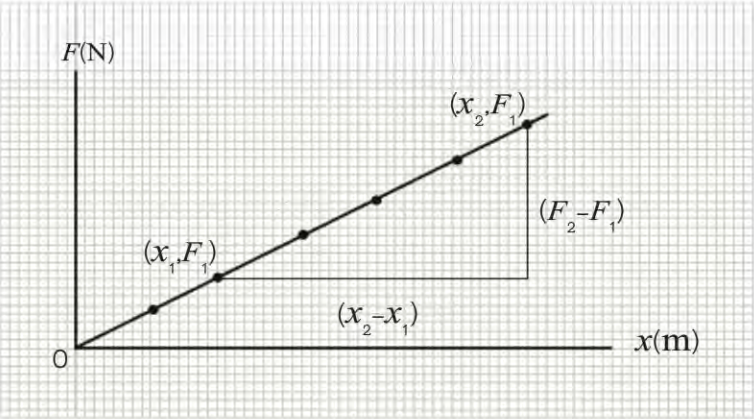
เนื่องจาก π และ 2 เป็นค่าคงตัว ไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ เส้นผ่านศูนย์กลางมีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว ตัวเลขนัยสำคัญที่ได้จากการคูณพิจารณาจำนวนตัวเลขที่น้อยที่สุด ดังนั้น ผลลัพธ์จึงควรใช้เพียง 4 ตัว พื้นที่ของแผ่นโลหะรูปวงกลม บันทึกได้เป็น 135.2 ตารางเซนติเมตร

ตอบ พื้นที่ของแผ่นโลหะรูปวงกลมเท่ากับ 135.2 ตารางเซนติเมตร

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

1.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เพื่อให้มองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง ให้นำผลการทดลองมาเขียนกราฟ โดยทั่วไปนิยมใช้ตัวแปรต้นเป็นแกนนอนและตัวแปรตามเป็นแกนตั้ง เช่น กราฟจากการทดลองวัดแรงที่ใช้ดึงสปริง (F) กับระยะยืดของสปริง (x) ซึ่งสองปริมาณนี้แปรผันโดยตรงต่อกันเป็นดังรูป 1.5



รูป 1.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ดึงสปริงกับระยะยืดของสปริง

สมการทางคณิตศาสตร์ของกราฟเส้นตรงอยู่ในรูป $y = mx + c$ เมื่อ m คือ**ความชัน** (slope) ซึ่งหาได้จากผลต่างของจุดสองจุดในแกนตั้งหารด้วยผลต่างของจุดสองจุดในแกนนอน จากกราฟในรูป 1.5 ความชันเท่ากับ $\frac{(F_2 - F_1)}{(x_2 - x_1)}$ และ c คือจุดที่เส้นกราฟตัดแกน y ในที่นี้ $c = 0$ จะได้ความสัมพันธ์ $F = mx$ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ดึงสปริงกับระยะยืดของสปริง ความชันที่ได้คือค่าคงตัวของสปริง ซึ่งนิยมใช้สัญลักษณ์ k ดังนั้นจะได้ว่า $F = kx$

ความสัมพันธ์ระหว่างสองปริมาณอาจจะอยู่ในรูปของ $y = \frac{k}{x}$ เช่น ความสัมพันธ์ของความดันแก๊ส P กับปริมาตรแก๊ส V ในภาชนะปิด เมื่ออุณหภูมิคงตัว

จะได้ $PV = k$ เมื่อ k เป็นค่าคงตัว

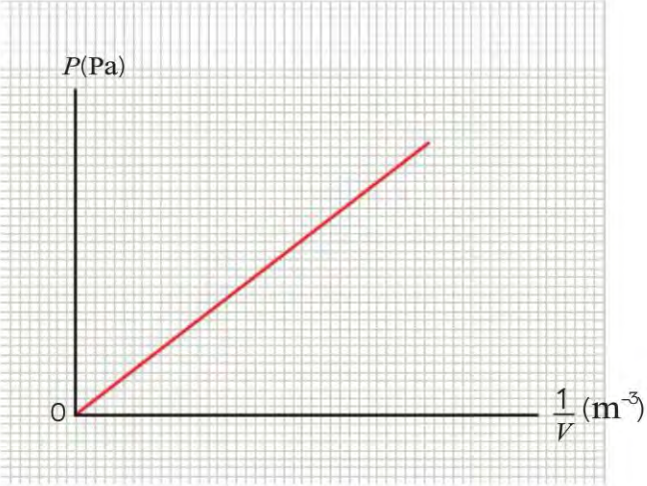
ดังนั้น $P = \frac{k}{V}$

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ถ้าเขียนกราฟระหว่างความดันแก๊สกับปริมาตรของแก๊สจะได้กราฟเป็นดังรูป 1.6

รูป 1.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันแก๊สกับปริมาตรแก๊ส

แต่ถ้าเขียนกราฟระหว่างความดันแก๊สกับส่วนกลับของปริมาตรแก๊ส จะได้ดังนี้



รูป 1.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันแก๊สกับส่วนกลับของปริมาตรแก๊ส

จากกราฟแสดงว่า P แปรผันตาม $\frac{1}{V}$ ซึ่งก็คือ $P = \frac{k}{V} + c$ ซึ่ง c ในกรณีนี้มีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ PV = ค่าคงตัว

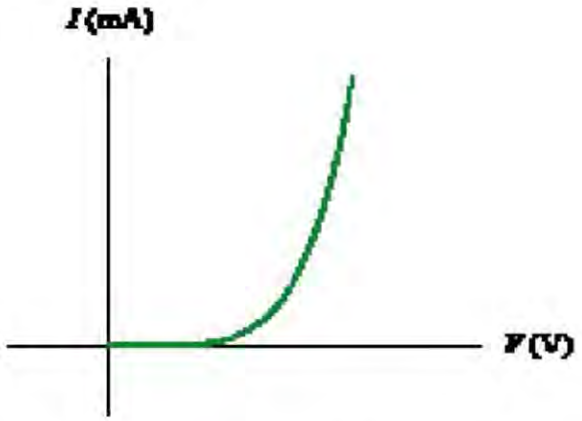
สรุป ความสัมพันธ์ระหว่างสองปริมาณอาจจะอยู่ในรูป $y = \frac{k}{x}$, $y = \frac{k}{x^2}$, $y = \log x$, $y = \frac{1}{\log x}$,

$y = \sin x$, $y = \tan x$, $y = kx^2$ เป็นต้น ดังนั้นหากเราต้องการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสองปริมาณ

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ให้อยู่ในรูปของกราฟเส้นตรง เราจะต้องเลือกเขียนกราฟระหว่างปริมาณที่เหมาะสม เช่น ถ้าต้องการเขียนกราฟ $y = \frac{k}{x^2}$ ให้อยู่ในรูปกราฟเส้นตรง เราจะต้องเขียนกราฟระหว่าง y กับ $\frac{1}{x^2}$ แทนที่จะเขียนเป็น y กับ x เป็นต้น

นอกจากนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณบางคู่ไม่สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ของกราฟเส้นตรง เช่น การนำไฟฟ้าของไดโอด (diode) เมื่อนำความต่างศักย์ (V) กับกระแสไฟฟ้า (I) ที่ผ่านไดโอดมาเขียนกราฟ จะเป็นดังรูป 1.8



รูป 1.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ระหว่างปลายของไดโอด

ในกรณีนี้ เราไม่อาจใช้สมการทางคณิตศาสตร์ของกราฟเส้นตรงมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์

ดังนั้น ก่อนที่จะสรุปความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ จากกราฟ ต้องพิจารณาถึงเนื้อเรื่องที่เกี่ยวข้องด้วย เพราะความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ จากกราฟไม่จำเป็นต้องเป็นกราฟเส้นตรงอย่างเดียวเท่านั้น

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

สรุปสาระสำคัญ

การอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ เป็นความพยายามของมนุษย์ที่สงสัย อยากที่จะเข้าใจปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ทำให้เกิดการพัฒนาความรู้ที่เกิดจากการสังเกต การบันทึกข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เพื่อสรุปหาความรู้และความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

ฟิสิกส์ เป็นวิชาที่เกี่ยวข้องกับการวัด หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกายภาพแล้วสรุปเป็นหลักการ ทฤษฎี กฎ นำไปสู่การสร้างเครื่องมือ อุปกรณ์ วิธีการและความรู้ที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์และเทคโนโลยีต่างๆ

ปริมาณกายภาพและหน่วย เป็นปริมาณที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือโดยตรงหรือโดยอ้อม ประกอบด้วยค่าที่วัดได้และมีหน่วยกำกับ หน่วยที่ใช้เป็นมาตรฐานเดียวกันทั่วโลกโดยเฉพาะในวงการวิทยาศาสตร์ เรียกว่า**ระบบหน่วยระหว่างชาติ** (The International System of Units) หรือระบบเอสไอ ระบบนี้ประกอบด้วย**หน่วยฐาน** (base unit) และ**หน่วยอนุพัทธ์** (derived unit) หน่วยฐาน มี 7 หน่วย ได้แก่ เมตร (m) กิโลกรัม (kg) วินาที (s) แอมแปร์ (A) เคลวิน (K) โมล (mol) และแคนเดลา (cd) หน่วยอนุพัทธ์ เป็นหน่วยที่เกิดจากหน่วยฐานหลายหน่วย เช่น นิวตัน (N) เกิดจากหน่วยฐาน กิโลกรัม เมตร วินาที (N เทียบเท่า $\mathrm{kg\ m/s^2}$)

การทดลองในวิชาฟิสิกส์ เป็นส่วนสำคัญในการฝึกทักษะและคิดหาเหตุผลอย่างวิทยาศาสตร์ การทำการทดลองมักจะทำเพื่อตอบคำถามหรือเพื่อหาความจริงบางอย่าง มีขั้นตอนการทดลองและการเขียนรายงานการทดลอง

ความไม่แน่นอนในการวัด ค่าที่ได้จากการวัดมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงของปริมาณที่วัดโดยจะขึ้นกับเครื่องมือและวิธีการวัด รวมทั้งขึ้นกับความสามารถและประสบการณ์ของผู้วัด

เลขนัยสำคัญ คือ ตัวเลขที่ได้จากการวัด จำนวนตัวเลขนัยสำคัญขึ้นกับความละเอียดของเครื่องมือวัดที่ใช้

สัญกรณ์วิทยาศาสตร์ เป็นรูปแบบการเขียนตัวเลขอยู่ในรูปการคูณของเลขยกกำลังที่มีฐานเป็นสิบและเลขชี้กำลังเป็นจำนวนเต็ม มีรูปทั่วไป $A\times10^n$ เมื่อ $1 \leq A < 10$ และ n เป็นจำนวนเต็ม

การบันทึกผลการคำนวณ ข้อมูลที่ได้จากการวัดเมื่อนำมาคำนวณจะต้องบันทึกผลโดยคำนึงถึงเลขนัยสำคัญของข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณ

การวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง ให้นำผลการทดลองมาเขียนกราฟ แล้ววิเคราะห์สรุปผลการทดลองจากกราฟ

[สรุปสาระสำคัญที่ปรากฏตอนท้ายของแต่ละบทในหนังสือเรียนเล่มนี้เป็นภาพรวมของเนื้อหา หรือความรู้ในบทเท่านั้น สรุปสาระสำคัญไม่สามารถทดแทนเนื้อหาทั้งหมดหรือทำให้เกิดความเข้าใจทั้งบทได้ การเรียนรู้ในแต่ละบทจะประสบผลสำเร็จได้นั้นต้องศึกษาในรายละเอียด (รวมทั้งการทำกิจกรรม) อย่างครบถ้วนเท่านั้น]

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

แบบฝึกหัดบทที่ 1

คำถาม

1.1 การอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ

1. มนุษย์พัฒนาความรู้ของตนเองด้วยวิธีการใดเพื่อให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติได้
2. ถ้าท่านจะแก้ปัญหาขยะในโรงเรียนด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ท่านคิดว่าจะแก้ปัญหาอย่างไร จงอธิบายตั้งแต่ขั้นเริ่มต้น

1.2 ฟิสิกส์

3. วิชาฟิสิกส์คืออะไร
4. เราสามารถนำความรู้ทางฟิสิกส์ไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันอย่างไรบ้าง
5. ความรู้หลักการทางฟิสิกส์ก่อให้เกิดการพัฒนาทางเทคโนโลยีในด้านใดบ้าง

1.3 ปริมาณกายภาพและหน่วย

6. ปริมาณกายภาพคืออะไร
7. ระบบหน่วยของปริมาณต่าง ๆ ที่เป็นที่ยอมรับของนานาชาติ คือระบบหน่วยอะไร
8. หน่วยที่เป็นมาตรฐานสากลของปริมาณต่อไปนี้คืออะไร ความยาว มวล เวลา กระแสไฟฟ้า พลังงาน แรง
9. หน่วยของระยะทางที่นิยมใช้มีอะไรบ้าง
10. ท่านมีความสูงเท่าใด (ในหน่วยเมตรและเซนติเมตร)

1.4 การทดลองในวิชาฟิสิกส์

11. การเขียนรายงานการทดลองมีความสำคัญอย่างไร
12. ในการเขียนรายงานการทดลองควรยึดหลักการอย่างไรบ้าง

1.5 ความไม่แน่นอนในการวัด

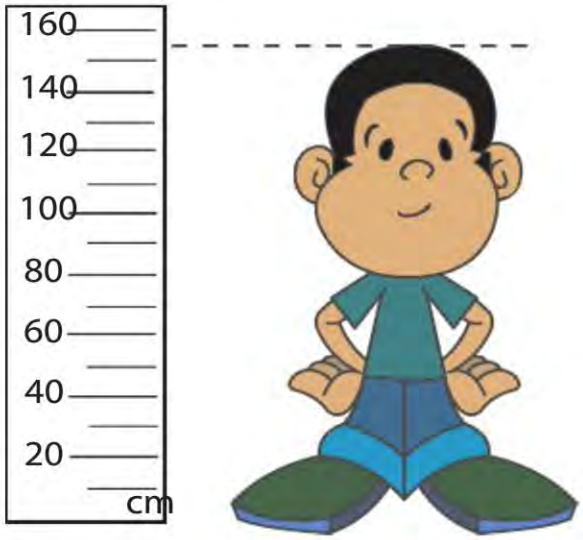
13. ความคลาดเคลื่อนของการวัดเกิดขึ้นได้อย่างไร
14. ถ้าท่านต้องการวัดความหนาของแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ ท่านจะใช้เครื่องมืออะไรในการวัดจึงจะได้ค่าที่ละเอียดดีพอ

1.6 เลขนัยสำคัญ

15. ระยะทางระหว่างบ้านและโรงเรียนเป็น 1150.00 เมตร ระยะทางดังกล่าวมีเลขนัยสำคัญกี่ตัว
16. ถ้าระบุว่าที่ตำแหน่งหนึ่งบนโลก $g = 9.783\ m/s^2$ ค่านี้มีเลขนัยสำคัญกี่ตัว

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

17. ชายคนหนึ่งวัดส่วนสูงของตนเอง เขามีความสูงเท่าใด (ในหน่วยเมตร)



รูปสำหรับคำถามข้อ 17

1.7 การบันทึกผลการคำนวณ

1.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

18. เมื่อออกแรงดึงสปริงอันหนึ่ง ทำให้สปริงยืดตัวเป็นระยะต่าง ๆ ซึ่งความสัมพันธ์ของระยะที่สปริงยืดตัวกับแรงดึงแสดงได้ดังตาราง

ระยะที่สปริงยืดตัว (เซนติเมตร)	แรงดึงสปริง (นิวตัน)
1.0	5
1.9	10
3.0	15
4.1	20

จากตารางจงเขียนกราฟความสัมพันธ์ของแรงดึงสปริง (แกนตั้ง) กับระยะที่สปริงยืดตัว (แกนนอน)

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ปัญหา

1.1 การอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ

1.2 ฟิสิกส์

1.3 ปริมาณกายภาพและหน่วย

1. พื้นที่ 100 ตารางวา เรียกว่า หนึ่งงาน พื้นที่ 4 งาน เท่ากับ 1 ไร่ และความยาว 1 วาเท่ากับ 2 เมตร พื้นที่หนึ่งไร่มีกี่ตารางเมตร
2. โลกมีรัศมีประมาณ 6.37×10^6 เมตร จงหา
   ก. เส้นรอบวงของโลกในหน่วยกิโลเมตร
   ข. พื้นที่ผิวของโลกในหน่วยตารางกิโลเมตร
3. 1 ไมโครเมตร เรียกว่า หนึ่งไมครอน ระยะทาง 1 กิโลเมตร จะเท่ากับกี่ไมครอน
4. ลูกตุ้มนาฬิกาทรงกระบอกตันทำมาจากทองแดงมีความหนา 20 มิลลิเมตร วัดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 115 มิลลิเมตร จงหาว่าลูกตุ้มนาฬิกามีมวลกี่กรัม (ความหนาแน่นของทองแดงเท่ากับ 8.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

1.4 การทดลองในวิชาฟิสิกส์

1.5 ความไม่แน่นอนในการวัด

1.6 เลขนัยสำคัญ

5. น้ำพุตั้งอยู่ที่ศูนย์กลางของสระน้ำรูปวงกลม วัดเส้นรอบวงด้านนอกของขอบสระได้ 8.80 เมตร และใช้ไม้โพรแทรกเตอร์วัดมุมจากขอบสระด้านนอกโดยเล็งไปที่จุดสูงสุดของน้ำพุ พบว่าทำมุมประมาณ 60 องศา น้ำพุมีความสูงจากขอบสระประมาณเท่าใด (ตอบเลขนัยสำคัญ 2 ตัว)

รูปสำหรับปัญหาข้อ 5

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

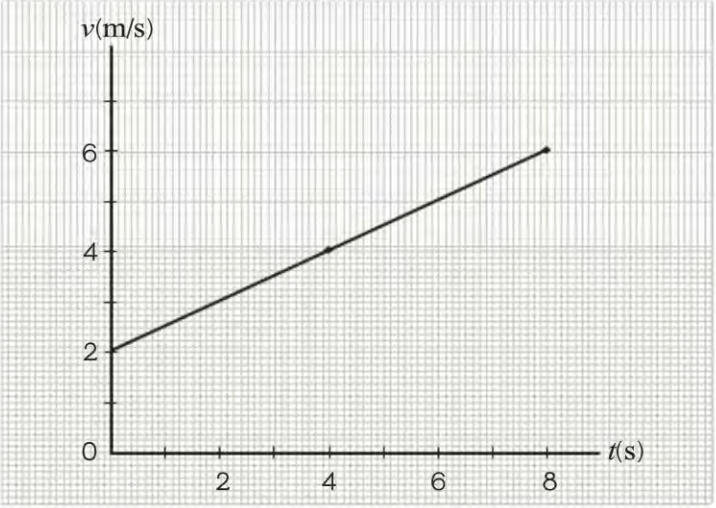
6. พื้นที่ 6.0 ตารางกิโลเมตรเท่ากับกี่ตารางเซนติเมตร (ตอบเลขนัยสำคัญ 2 ตัว)
7. ใน 1 ปีมี 365.24 วัน และใน 1 ปีจะมีกี่วินาที (ตอบเลขนัยสำคัญ 3 ตัว)

1.7 การบันทึกผลการคำนวณ

8. ชายคนหนึ่งขับเรือด้วยอัตราเร็ว 26.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในเวลา 4.0 ชั่วโมง เขาเดินทางได้กี่กิโลเมตร
9. ทรายถุงหนึ่งมวล 10.5 กรัม อีกถุงหนึ่งมวล 20.22 กรัม ทรายทั้งสองถุงมวลรวมเท่าใด

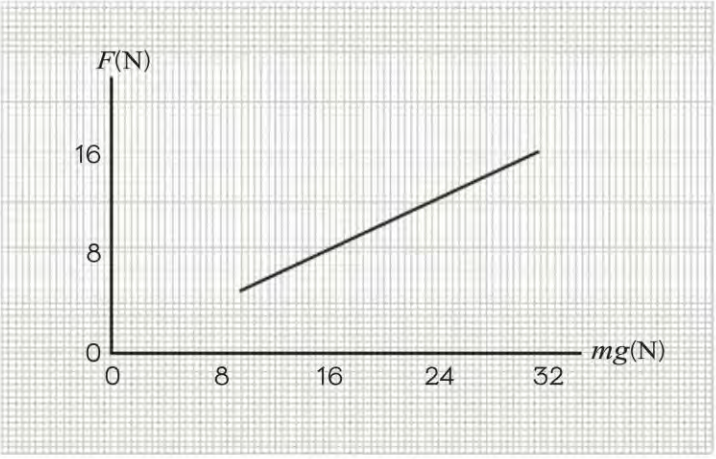
1.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

10. กราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุ เป็นดังรูป ความเร่งของวัตถุซึ่งหาได้จากความชันของกราฟมีค่าเท่าใด



รูปสำหรับปัญหาข้อ 10

11. จากกราฟเป็นข้อมูลการทดลองเรื่องการหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยแกนนอนเป็นน้ำหนักถุงทราย (mg) แกนตั้งเป็นแรง F ที่ดึงให้แผ่นไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของการทดลอง ซึ่งหาได้จากความชันของกราฟมีค่าเท่าใด



รูปสำหรับปัญหาข้อ 11

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

บทที่ 2
การเคลื่อนที่แนวตรง

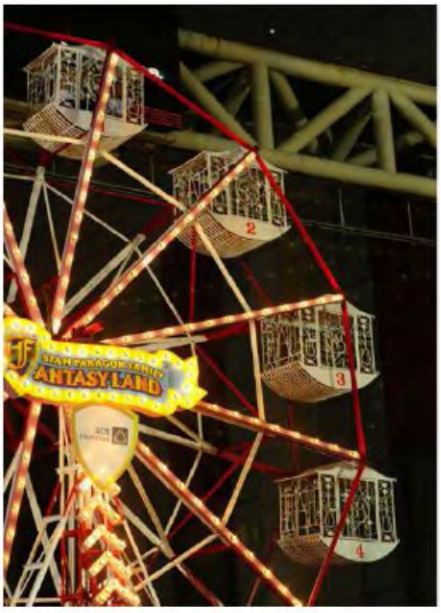
ในชีวิตประจำวัน เราจะพบเห็นการเคลื่อนที่ของวัตถุต่าง ๆ มากมาย เช่น คนเดิน รถยนต์แล่น ใบพัดลมหมุน เป็นต้น ถ้าพิจารณาเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุดังกล่าว จะพบว่า เส้นทางการเคลื่อนที่อาจเป็นแนวตรง (1 มิติ) หรือแนวโค้ง (2 มิติ) หรืออาจจะมีลักษณะซับซ้อน สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวตรงเป็นลักษณะที่ง่ายต่อการศึกษา เราจึงเริ่มศึกษาการเคลื่อนที่ในแนวตรง เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับศึกษาการเคลื่อนที่ลักษณะอื่น ๆ ต่อไป

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ก. คนเดินข้ามทางม้าลาย

ข. รถยนต์วิ่ง

ค. การเคลื่อนที่ของลูกบาสเกตบอล



ง. การหมุนของชิงช้าสวรรค์

รูป 2.1 การเคลื่อนที่ของสิ่งต่าง ๆ

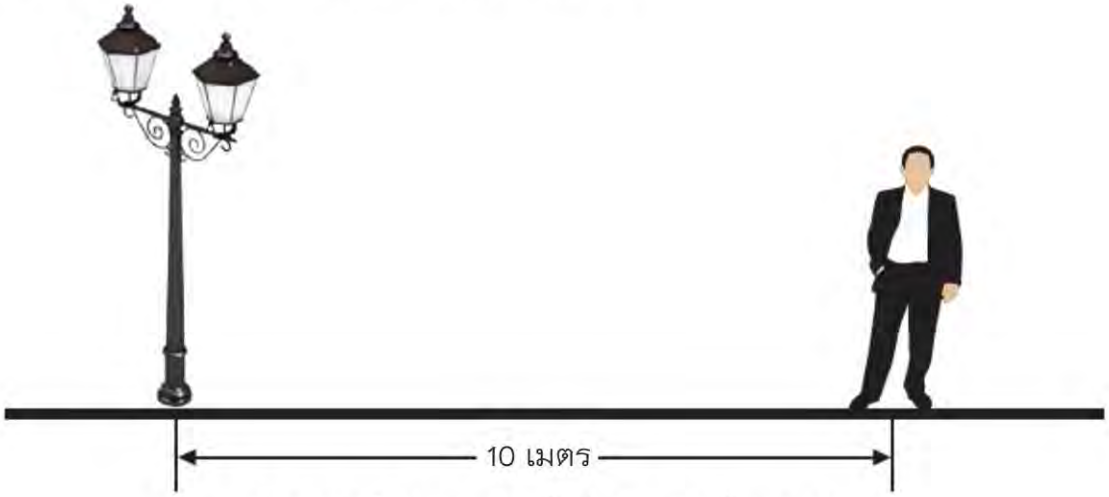
Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

2.1 ปริมาณต่าง ๆ ของการเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ในแนวตรง เราจะศึกษาเกี่ยวกับตำแหน่ง ระยะทาง การกระจัด การกระจัดลัพธ์ อัตราเร็วเฉลี่ย อัตราเร็วขณะหนึ่ง ความเร็วเฉลี่ย ความเร็วขณะหนึ่ง และความเร่ง

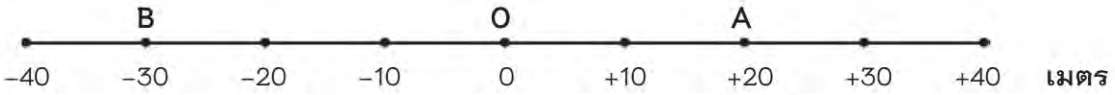
2.1.1 ตำแหน่ง ระยะทาง และการกระจัด

การบอกตำแหน่งที่ชัดเจนจะต้องเทียบกับตำแหน่งหนึ่งที่เรียกว่า ตำแหน่งอ้างอิงหรือจุดอ้างอิง เช่น คนยืนห่างจากเสาไฟฟ้า 10 เมตรไปทางขวา ดังรูป 2.2



รูป 2.2 คนยืนห่างจากเสาไฟฟ้า 10 เมตรไปทางขวา

สำหรับการบอกตำแหน่งของวัตถุ เช่น รถ แป้นบาสเกตบอล เป็นต้น ในแนวเส้นตรงนิยมเขียนเส้นตรง แล้วกำหนดจุดอ้างอิง พร้อมกับสเกลแสดงระยะทาง



รูป 2.3 ตำแหน่งของจุด A และจุด B เทียบกับจุด O

จากรูป 2.3 บอกได้ว่าจุด A อยู่ห่างจากจุด O ไปทางขวา 20 เมตรและจุด B อยู่ห่างจากจุด O ไปทางซ้าย 30 เมตร ในกรณีนี้มีเพียง 2 ทิศทาง คือทิศทางไปทางขวา กำหนดให้ใช้เครื่องหมายบวก (+) และทิศทางไปทางซ้าย กำหนดให้ใช้เครื่องหมายลบ (–)

ถ้าให้คนเดินจากจุด O ไปยังจุด A ดังรูป 2.3 เรากล่าวว่า เขาเดินได้ระยะทาง 20 เมตร และเขามีการเปลี่ยนตำแหน่งหรือ**การกระจัด** (displacement) จากจุด O ไปจุด A มีขนาดของการกระจัดเท่ากับ 20 เมตร มีทิศทางจากจุด O ไปจุด A การกระจัดเป็นปริมาณ**เวกเตอร์** (vector) ที่ต้องบอกทั้งขนาดและทิศทาง

Aw Hong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ถ้าคนเดินจากจุด O ไปจุด A และเดินย้อนกลับไปถึงจุด B ในกรณีนี้ระยะทางทั้งหมดที่คนเดิน คือ

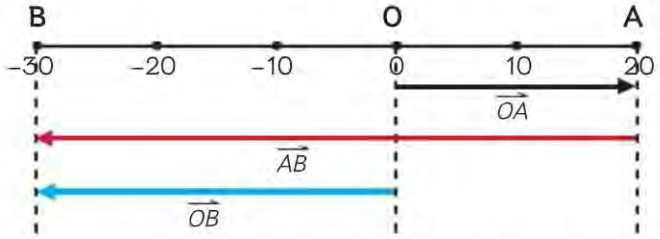
ระยะทางทั้งหมด = ระยะ OA + ระยะ AB

= 20 เมตร + 50 เมตร

= 70 เมตร

ระยะทาง (distance) จึงเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งโดยไม่คำนึงถึงทิศทาง

แต่ถ้าคิดการกระจัด คนมีการกระจัดเท่ากับ $\overrightarrow{OB}$ มีทิศทางไปทางซ้าย สามารถเขียนแผนภาพแสดงการกระจัดได้ดังรูป 2.4



รูป 2.4 แผนภาพแสดงการกระจัด

เขียนเป็นสมการได้ว่า

$\overrightarrow{OB} = \overrightarrow{OA}+\overrightarrow{AB}$

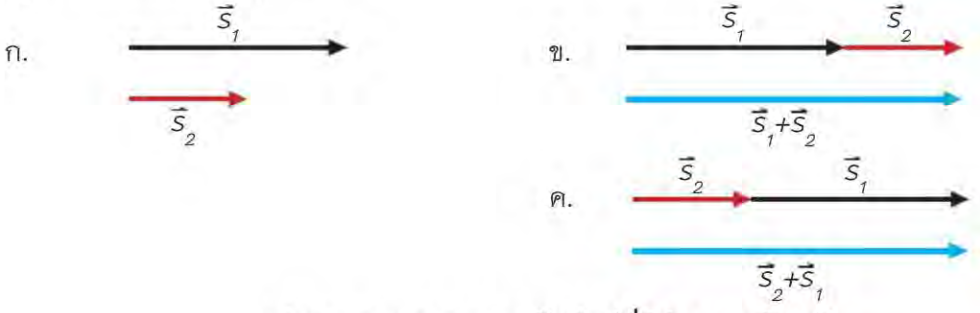
นั่นคือ การกระจัด $\overrightarrow{OB}$ มีขนาด 30 เมตร มีทิศทางไปทางซ้าย

การกระจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่บอกการเปลี่ยนตำแหน่ง ถ้าให้ $\vec{s}$ เป็นปริมาณเวกเตอร์ของการกระจัด การเขียน s โดยไม่มีลูกศรกำกับ จะหมายถึงขนาดของการกระจัด

การหา**การกระจัดลัพธ์** (resultant displacement) ใช้วิธีการเดียวกับการรวมเวกเตอร์ ดังนี้

ถ้ากำหนดให้ $\vec{s}_1$ และ $\vec{s}_2$ เป็นการกระจัด 2 ปริมาณ ซึ่งมีขนาดและทิศทางดังรูป 2.5 ก เราสามารถหาการกระจัดลัพธ์ได้จาก $\vec{s}_1 + \vec{s}_2$ ได้โดยนำหางของ $\vec{s}_2$ มาต่อที่หัวของ $\vec{s}_1$ ความยาวของ $\vec{s}_1 + \vec{s}_2$ จะเท่ากับความยาวจากหางของ $\vec{s}_1$ มาถึงหัวของ $\vec{s}_2$ และมีทิศทางจากหางของ $\vec{s}_1$ มาทางหัวของ $\vec{s}_2$ ดังรูป 2.5 ข

ในการหาการกระจัดลัพธ์ของ $\vec{s}_1$ และ $\vec{s}_2$ เราสามารถนำหางของ $\vec{s}_1$ มาต่อที่หัวของ $\vec{s}_2$ ซึ่งจะได้การกระจัดลัพธ์ $\vec{s}_2 + \vec{s}_1$ ดังรูป 2.5 ค ซึ่งได้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับการกระจัดลัพธ์ $\vec{s}_1 + \vec{s}_2$ ที่เกิดจาก การนำหางของ $\vec{s}_2$ มาต่อที่หัวของ $\vec{s}_1$



รูป 2.5 การหาการกระจัดลัพธ์ที่มีทิศทางเดียวกัน

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ในกรณีที่การกระจัดมีทิศทางตรงข้ามกัน ก็สามารถหาการกระจัดลัพธ์ได้เช่นกัน ดังรูป 2.6

รูป 2.6 การหาการกระจัดลัพธ์ที่มีทิศทางตรงข้ามกัน

จากรูป 2.6 เราสามารถหาการกระจัดลัพธ์ได้จาก $\vec{s}_1 + \vec{s}_2$ ซึ่งเป็นผลบวกของเวกเตอร์ $\vec{s}_1$ และ $\vec{s}_2$ เช่นเดียวกัน

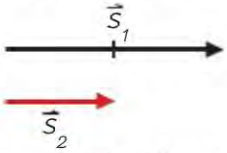
ตัวอย่าง 2.1

ให้ $\vec{s}_1$ และ $\vec{s}_2$ เป็นการกระจัดที่มีขนาดและทิศทางดังรูป จงพิสูจน์ด้วยวิธีเขียนรูป

ก. $\vec{s}_1 + \vec{s}_2 = \vec{s}_2 + \vec{s}_1$

ข. $\vec{s}_1 - \vec{s}_2 \neq \vec{s}_2 - \vec{s}_1$

ค. $\vec{s}_1 + \vec{s}_2 \neq \vec{s}_1 - \vec{s}_2$



รูปประกอบตัวอย่าง 2.1

ก. พิสูจน์ว่า $\vec{s}_1 + \vec{s}_2 = \vec{s}_2 + \vec{s}_1$

แนวคิด

รูปประกอบตัวอย่าง 2.1 ข้อ ก.

วิธีทำ

$\vec{s}_1 + \vec{s}_2$ เป็นเวกเตอร์ลัพธ์ของ $\vec{s}_1$ และ $\vec{s}_2$ มีขนาด 3 หน่วย มีทิศทางจากซ้ายไปขวา

$\vec{s}_2 + \vec{s}_1$ เป็นเวกเตอร์ลัพธ์ของ $\vec{s}_2$ และ $\vec{s}_1$ มีขนาด 3 หน่วย มีทิศทางจากซ้ายไปขวา

จะพบว่า $\vec{s}_1 + \vec{s}_2$ และ $\vec{s}_2 + \vec{s}_1$ มีขนาดเท่ากัน และมีทิศทางเดียวกัน ดังนั้น $\vec{s}_1 + \vec{s}_2 = \vec{s}_2 + \vec{s}_1$

ตอบ $\vec{s}_1 + \vec{s}_2 = \vec{s}_2 + \vec{s}_1$

Inw Hong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ข. พิสูจน์ว่า $\vec{s}_1 - \vec{s}_2 \neq \vec{s}_2 - \vec{s}_1$

แนวคิด

รูปประกอบตัวอย่าง 2.1 ข้อ ข.

วิธีทำ

$\vec{s}_1 - \vec{s}_2$ เป็นเวกเตอร์ลัพธ์ของ $\vec{s}_1$ และ $-\vec{s}_2$ มีขนาด 1 หน่วย มีทิศทางจากซ้ายไปขวา
$\vec{s}_2 - \vec{s}_1$ เป็นเวกเตอร์ลัพธ์ของ $\vec{s}_2$ และ $-\vec{s}_1$ มีขนาด 1 หน่วย มีทิศทางจากขวาไปซ้าย
จะพบว่า $\vec{s}_1 - \vec{s}_2$ และ $\vec{s}_2 - \vec{s}_1$ มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน ดังนั้น $\vec{s}_1 - \vec{s}_2 \neq \vec{s}_2 - \vec{s}_1$

ตอบ $\vec{s}_1 - \vec{s}_2 \neq \vec{s}_2 - \vec{s}_1$

ค. พิสูจน์ว่า $\vec{s}_1 + \vec{s}_2 \neq \vec{s}_1 - \vec{s}_2$

แนวคิด

รูปประกอบตัวอย่าง 2.1 ข้อ ค.

วิธีทำ

$\vec{s}_1 + \vec{s}_2$ เป็นเวกเตอร์ลัพธ์ของ $\vec{s}_1$ และ $\vec{s}_2$ มีขนาด 3 หน่วย มีทิศทางจากซ้ายไปขวา
$\vec{s}_1 - \vec{s}_2$ เป็นเวกเตอร์ลัพธ์ของ $\vec{s}_1$ และ $-\vec{s}_2$ มีขนาด 1 หน่วย มีทิศทางจากซ้ายไปขวา
จะพบว่า $\vec{s}_1 + \vec{s}_2$ และ $\vec{s}_1 - \vec{s}_2$ มีขนาดไม่เท่ากัน แต่มีทิศทางเดียวกัน ดังนั้น $\vec{s}_1 + \vec{s}_2 \neq \vec{s}_1 - \vec{s}_2$

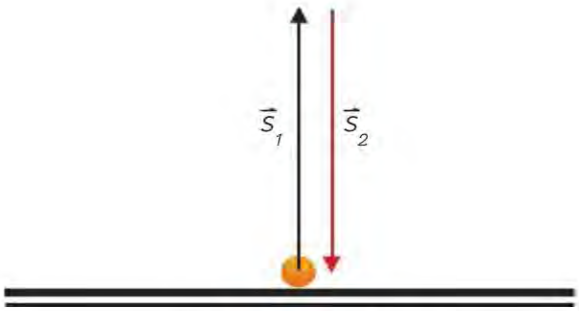
ตอบ $\vec{s}_1 + \vec{s}_2 \neq \vec{s}_1 - \vec{s}_2$

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

ตัวอย่าง 2.2

โยนก้อนหินขึ้นในแนวดิ่งจากพื้นจนกระทั่งก้อนหินตกมาที่ตำแหน่งเริ่มต้น จงหาระยะทาง และการกระจัดลัพธ์ของก้อนหินด้วยวิธีการเขียนรูป

แนวคิด



รูปประกอบตัวอย่าง 2.2

วิธีทำ กำหนดให้ ระยะทางที่ก้อนหินเคลื่อนที่ขึ้นจากพื้นถึงจุดสูงสุด คือ s_1
และระยะทางที่ก้อนหินที่เคลื่อนที่จากจุดสูงสุดลงถึงพื้น คือ s_2
ดังนั้น ระยะทางที่ก้อนหินเคลื่อนที่ เท่ากับ $s_1 + s_2$
กำหนดให้ การกระจัดของก้อนหินจากพื้นถึงจุดสูงสุด คือ $\vec{S}_1$
และการกระจัดของก้อนหินจากจุดสูงสุดลงสู่พื้น คือ $\vec{S}_2$
ดังนั้น การกระจัดลัพธ์ของก้อนหิน เท่ากับ $\vec{S}_1 + \vec{S}_2 = 0$ (การกระจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ ดังนั้นในการคำนวณให้นำทิศทางของการเคลื่อนที่มาพิจารณาด้วย โดยให้ก้อนหินเคลื่อนที่ขึ้นมีทิศทางเป็นบวก และเคลื่อนที่ลงมีทิศทางเป็นลบ)

ตอบ ระยะทางที่ก้อนหินเคลื่อนที่ได้เท่ากับ $s_1 + s_2$ และการกระจัดลัพธ์ของก้อนหินเท่ากับศูนย์

2.1.2 อัตราเร็ว

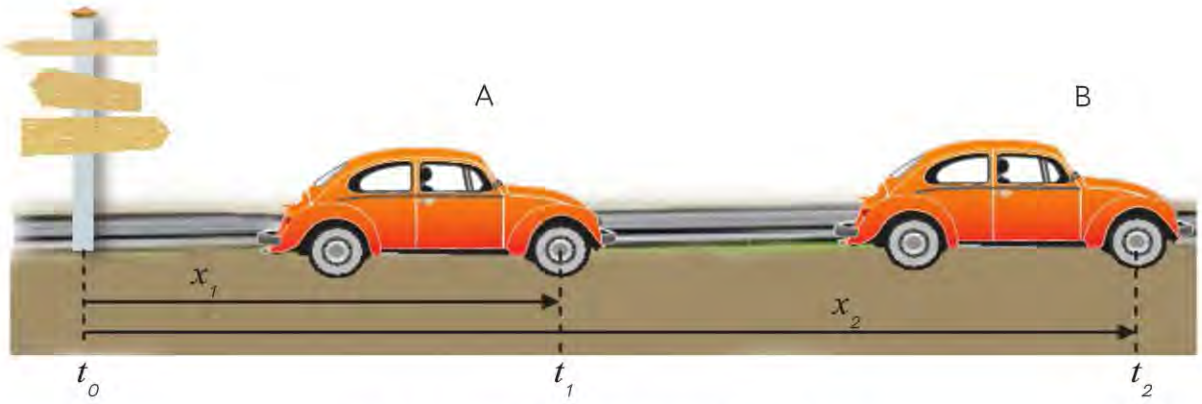
เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่จะมีการเปลี่ยนตำแหน่ง ให้การเปลี่ยนตำแหน่งคงเดิม วัตถุที่เคลื่อนที่เร็วจะใช้เวลาในการเปลี่ยนตำแหน่งน้อยกว่าวัตถุที่เคลื่อนที่ช้า ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา จะเรียกว่า **อัตราเร็วเฉลี่ย** (average speed)

$$v_{av} = \frac{s}{t} \qquad (2.1)$$

เมื่อ v_{av} เป็นอัตราเร็วเฉลี่ย มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)
s เป็นระยะทาง มีหน่วย เมตร (m)
t เป็นช่วงเวลาของการเคลื่อนที่ มีหน่วย วินาที (s)

Inw Hong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ถ้าหาอัตราเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ในช่วงเวลาสั้น ๆ จนใกล้ศูนย์ เรียกอัตราเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาสั้น ๆ นี้ว่า **อัตราเร็วขณะหนึ่ง** (instantaneous speed)



รูป 2.7 การเคลื่อนที่ของรถยนต์ในแนวตรง

การศึกษาอัตราเร็วขณะหนึ่งและอัตราเร็วเฉลี่ยต่อไปนี้ จะใช้วิธีระบุตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ในระบบพิกัดฉาก จากรูป 2.7 พิจารณาการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในแนวตรงโดยระบุตำแหน่งของรถตามแนวแกน x ของระบบพิกัดฉาก ถ้าเริ่มต้นรถอยู่ที่ตำแหน่ง A ซึ่งอยู่ห่างจากตำแหน่งอ้างอิงเป็นระยะทาง x_1 ณ เวลา t_1 และเมื่อสิ้นสุดการเดินทาง รถอยู่ที่ตำแหน่ง B ซึ่งอยู่ห่างจากตำแหน่งอ้างอิงเป็นระยะทาง x_2 ณ เวลา t_2 จากสมการ (2.1) จะได้ $v_{av} = \frac{s}{t}$ (s เป็นระยะทาง)

ระยะทางทั้งหมดของการเคลื่อนที่ในแนวตรงจะเท่ากับ $x_2 - x_1$ หรือเขียนเป็น Δs

ส่วนช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่นี้ก็จะเท่ากับ $t_2 - t_1$ หรือเขียนเป็น Δt

ดังนั้นอัตราเร็วเฉลี่ยของการเดินทางในช่วงนี้หาได้จาก

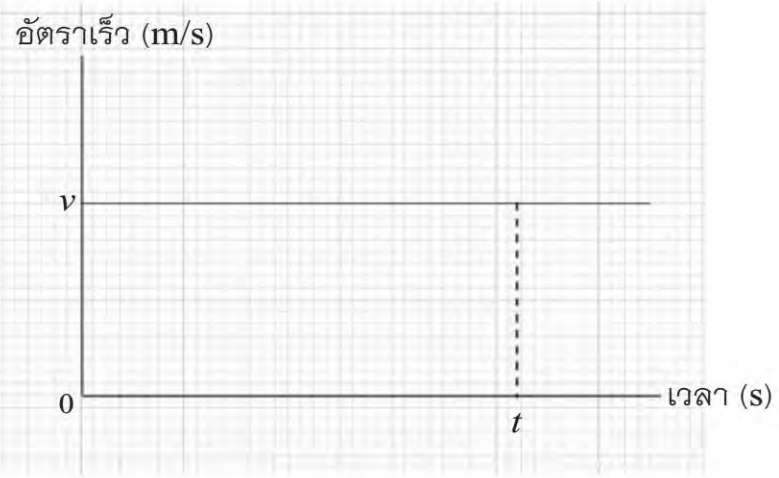
$$v_{av} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \qquad (2.2)$$

หรือ $$v_{av} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

จากสมการ (2.2) ถ้าเวลา t_1 และ t_2 ใกล้เคียงกันมากหรือกล่าวได้ว่าให้ Δt มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ อัตราเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาสั้น ๆ เช่นนี้เรียกว่า อัตราเร็วขณะหนึ่ง ณ กึ่งกลางของช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 นั่นเอง อัตราเร็วขณะหนึ่ง ใช้สัญลักษณ์ v

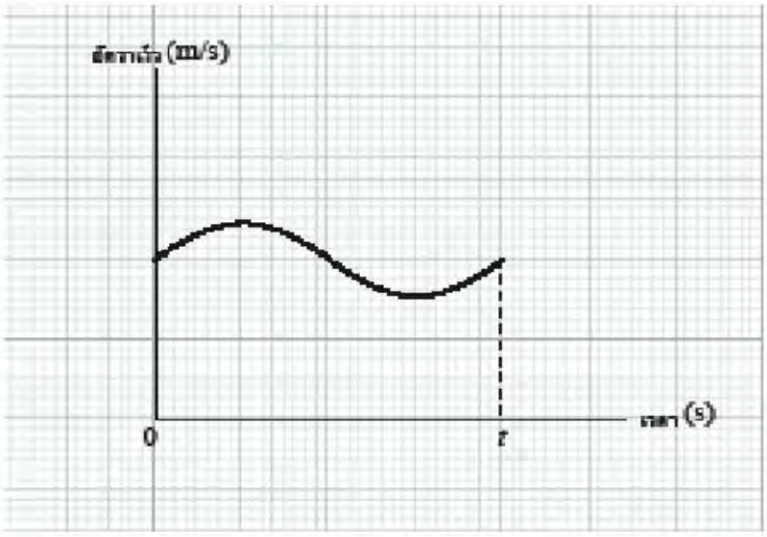
Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

พิจารณากราฟของการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นกราฟอัตราเร็วกับเวลาของรถยนต์คันที่ 1 ดังรูป 2.8



รูป 2.8 กราฟอัตราเร็วกับเวลาของรถยนต์คันที่ 1

จะเห็นได้ว่า รถยนต์คันที่ 1 มีอัตราเร็วคงตัว ดังนั้นอัตราเร็วขณะหนึ่งจะเท่ากับอัตราเร็วเฉลี่ย ส่วนรถยนต์คันที่ 2 มีอัตราเร็วไม่คงตัว ดังกราฟรูป 2.9 และสรุปได้ว่า อัตราเร็วขณะหนึ่งอาจจะไม่เท่ากับอัตราเร็วเฉลี่ย



รูป 2.9 กราฟอัตราเร็วกับเวลาของรถยนต์คันที่ 2

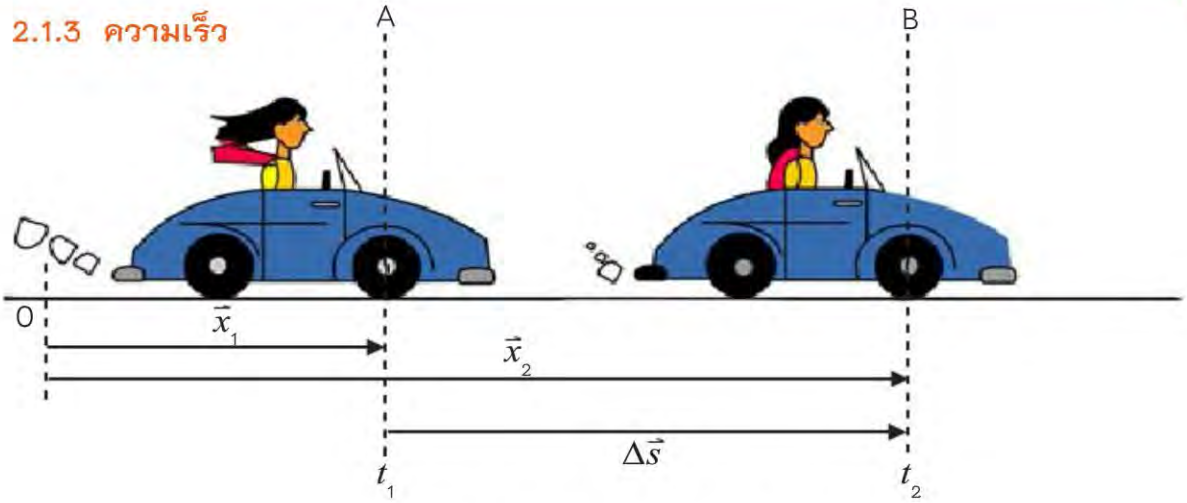
การบอกอัตราเร็วเฉลี่ยจะทำให้ทราบลักษณะการเคลื่อนที่ในช่วงเวลาหนึ่ง แต่ไม่อาจจะทราบถึงรายละเอียดทุกขณะของการเคลื่อนที่ ดังนั้นการบอกแต่เพียงอัตราเร็วเฉลี่ย อาจทำให้เกิดความเข้าใจที่ไม่ครบถ้วนเกี่ยวกับการเคลื่อนที่นั้นๆ ได้ เช่น อัตราเร็วของลมที่พัดในบริเวณหนึ่ง มักจะบอกเป็นอัตราเร็วเฉลี่ย ทั้งที่ตามความเป็นจริงแล้วอัตราเร็วขณะหนึ่งของลมจะไม่คงตัว บางขณะอาจจะไม่มีลมพัด บางขณะอาจมีค่ามากกว่าอัตราเร็วเฉลี่ย ในกรณีเช่นนี้ถ้านำเฉพาะข้อมูลที่มีแต่อัตราเร็วเฉลี่ยมาพิจารณาเท่านั้น อาจทำให้เกิดความเข้าใจไม่สมบูรณ์ และก่อให้เกิดอันตรายได้ เช่น การออกแบบ

Inw Hong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

แผ่นป้ายโฆษณา การก่อสร้างตึกสูง การเดินเรือ การแล่นเรือใบ เป็นต้น ถ้าโครงสร้างของสิ่งต่างๆ ดังกล่าว สามารถต้านลมที่มีอัตราเร็วเท่ากับค่าเฉลี่ยเท่านั้น แต่ไม่อาจต้านลมกรรโชกที่มีอัตราเร็วสูงกว่าค่าเฉลี่ยได้ ก็จะก่อให้เกิดอันตรายได้

อัตราเร็ว ใช้ในความหมายที่ระบุว่า วัตถุย้ายตำแหน่งเร็วหรือช้าเท่านั้น โดยไม่ได้ระบุว่าวัตถุย้ายไปในทิศทางใด

2.1.3 ความเร็ว



รูป 2.10 การเคลื่อนที่ของรถยนต์จาก A ไป B

รถยนต์เปลี่ยนตำแหน่งจาก A ณ เวลา t_1 ไปยังตำแหน่ง B ณ เวลา t_2 ดังรูป 2.10 เมื่อพิจารณาการกระจัดของรถยนต์โดยเทียบกับจุด O ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงในระบบพิกัดฉากจะได้ว่า ในเวลา $t_2 - t_1$ รถยนต์มีการกระจัด $\Delta\vec{s} = \vec{x}_2 - \vec{x}_1$ มีทิศทางจาก A ไป B การกระจัดต่อหนึ่งหน่วยเวลาเรียกว่า **ความเร็วเฉลี่ย** (average velocity)

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{x}_2 - \vec{x}_1}{t_2 - t_1} \qquad (2.3)$$

หรือ $$\vec{v}_{av} = \frac{\Delta\vec{s}}{\Delta t}$$

ถ้าเวลา $t_2 - t_1$ เป็นช่วงเวลาสั้นๆ จนเข้าใกล้ศูนย์ ความเร็วเฉลี่ย จะกลายเป็น **ความเร็วขณะหนึ่ง** (instantaneous velocity) ใช้สัญลักษณ์ $\vec{v}$

รถยนต์มีความเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะหมายความว่า รถยนต์มีความเร็วขณะหนึ่ง 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เนื่องจาก ความเร็ว จะหมายถึง ความเร็วขณะหนึ่ง

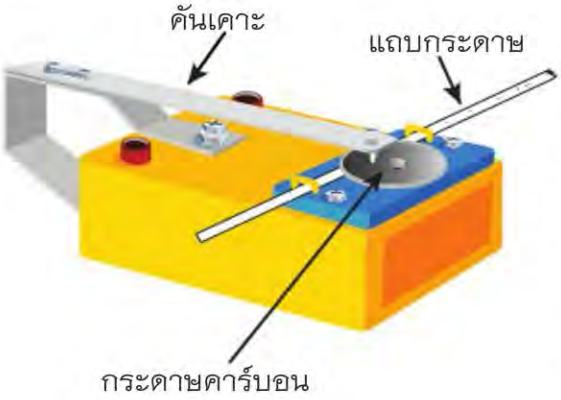
Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

2.2 การวัดอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ในแนวตรง

เราทราบอัตราเร็วของยานพาหนะต่างๆ ที่เคลื่อนที่โดยดูจากมาตรอัตราเร็วที่ติดตั้งอยู่กับยานพาหนะนั้นซึ่งเป็นอัตราเร็วขณะหนึ่ง ถ้าเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุอื่น ๆ ซึ่งไม่มีมาตรอัตราเร็วติดตั้งอยู่ เช่น คนวิ่ง ผลไม้หล่นจากต้น ลูกบอลกลิ้งไปในสนาม เราหาอัตราเร็วเฉลี่ยได้โดยวัดระยะทาง และใช้นาฬิกาจับเวลาของการเคลื่อนที่

สำหรับการวัดอัตราเร็วในการทดลองต่างๆ ของวิชาฟิสิกส์ ใช้**เครื่องเคาะสัญญาณเวลา** (ticker timer) การวัดทำได้โดยติดปลายแถบกระดาษข้างหนึ่งกับวัตถุ แล้วสอดปลายแถบกระดาษอีกข้างหนึ่งเข้าไปใต้แผ่นกระดาษคาร์บอนดังรูป 2.11 เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ก็จะดึงแถบกระดาษให้เคลื่อนที่ผ่านคันเคาะเครื่องเคาะสัญญาณเวลาไปด้วยอัตราเร็วเท่ากับวัตถุ ทำให้ปรากฏจุดเรียงกันเป็นระยะบนแถบกระดาษ ดังรูป 2.12 จากการนับจำนวนช่วงจุดจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้ายที่นำมาพิจารณาก็จะสามารถทราบช่วงเวลาทั้งหมดของการเคลื่อนที่ได้ โดยระยะทางการเคลื่อนที่นั้นวัดจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้ายของช่วง ดังกล่าว

หลักการทำงานของเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

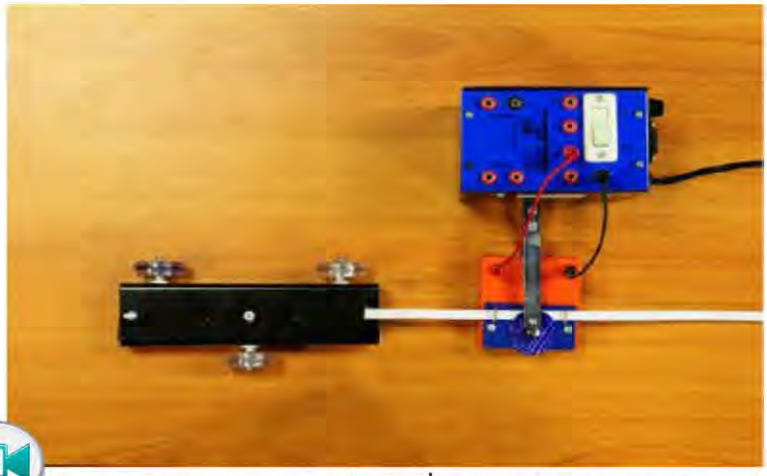


รูป เครื่องเคาะสัญญาณเวลา

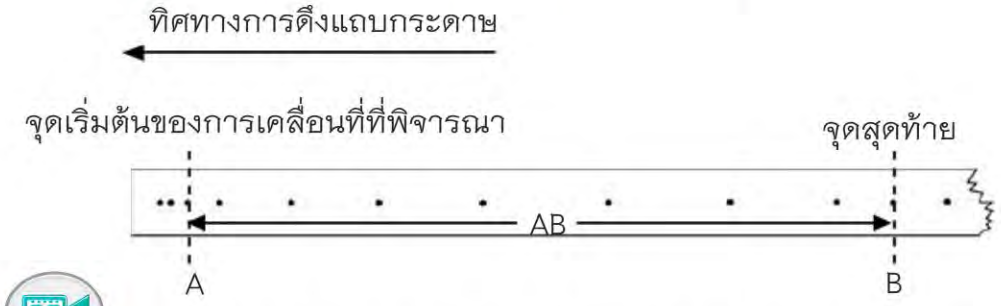
เครื่องเคาะสัญญาณเวลาเป็นอุปกรณ์ที่ใช้หาอัตราเร็วของวัตถุ เมื่อต่อเครื่องเคาะสัญญาณเวลาเข้ากับความต่างศักย์ 4 – 6 โวลต์ ของหม้อแปลงโวลต์ต่ำ จะทำให้คันเคาะสั่นด้วยความถี่เท่ากับความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ คือ 50 ครั้งต่อวินาที เมื่อดึงแถบกระดาษที่สอดใต้กระดาษคาร์บอนจะทำให้เกิดจุดต่าง ๆ เรียงกันบนแถบกระดาษ จุดเหล่านี้ช่วยให้ทราบระยะทางกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เพราะเวลาระหว่างจุด 2 จุดที่เรียงกัน เท่ากับ 1/50 วินาที ข้อมูลเวลาและระยะทางช่วยให้ วิเคราะห์หาอัตราเร็วได้

ส่วนต่างๆ และหลักการทำงานของเครื่องเคาะ

Inw Hong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ



รูป 2.11 แถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา



รูป 2.12 ตัวอย่างแถบกระดาษที่ถูกดึงผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

การวิเคราะห์แถบกระดาษเพื่อหาอัตราเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของวัตถุทำได้ดังนี้ เราจะใช้จุดที่เริ่มวัดระยะทางได้สะดวกเป็นจุดเริ่มต้นจับเวลาโดยถือว่า ณ ตำแหน่งนั้น $t = 0$ จากรูป 2.12 กำหนดให้ A เป็นจุดเริ่มต้นจับเวลา และ B เป็นจุดสิ้นสุดการจับเวลา ระยะทางของการเคลื่อนที่จาก A ถึง B วัดโดยใช้ไม้บรรทัดได้ 8.0 เซนติเมตร สำหรับช่วงเวลาทั้งหมดในการเคลื่อนที่จาก A ไป B หาได้จากจำนวนช่วงจุดระหว่าง A ถึง B ซึ่งในที่นี้ มีจำนวน 8 ช่วงจุด ดังนั้น จะได้ช่วงเวลาของการเคลื่อนที่จาก A ถึง B เป็น 8/50 วินาที

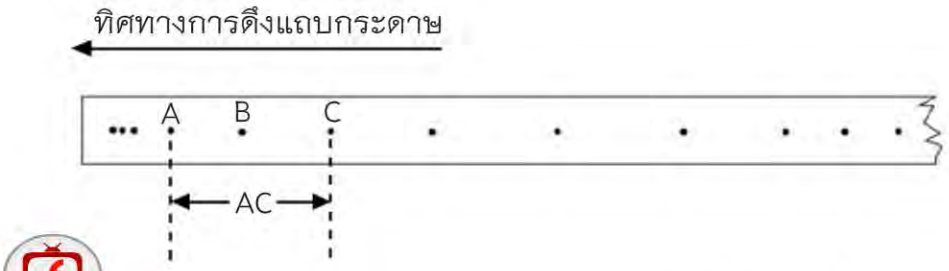
$$v_{av} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$v_{av} = \frac{0.08 \text{ m}}{\frac{8}{50} \text{ s}}$$

$$= 0.50 \quad \text{m/s}$$

ถ้าต้องการหาอัตราเร็ว ณ จุดใดจุดหนึ่ง จะทำได้โดยใช้วิธีการหาอัตราเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาสั้น ๆ อัตราเร็วเฉลี่ยนี้ถือได้ว่าเป็นอัตราเร็วขณะหนึ่ง ณ จุดกึ่งกลางของช่วงเวลาสั้น ๆ นั้น เช่นพิจารณาจุดบนแถบกระดาษเพื่อหาอัตราเร็วขณะหนึ่งของวัตถุทำได้โดยวัดระยะทางที่เคลื่อนที่ได้จาก A ไป C ใน 2 ช่วงจุด ดังรูป 2.13 ช่วงเวลาของการเคลื่อนที่จาก A ถึง C เป็น 2/50 วินาที

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ



รูป 2.13 ตัวอย่างแถบกระดาษและการหาอัตราเร็วขณะหนึ่ง

หาอัตราเร็วที่จุด B ได้จาก

$$v_B = \frac{AC}{\Delta t}$$

$$= \frac{0.018\ \text{m}}{\frac{2}{50}\ \text{s}} = 0.45\ \text{m/s}$$

2.3 ความเร่ง

รูป 2.14 แถบกระดาษที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วไม่คงตัว

จากแถบกระดาษซึ่งแสดงการเคลื่อนที่ดังรูป 2.14 จะเห็นว่า ความเร็วของการเคลื่อนที่มีค่าไม่สม่ำเสมอ เพราะระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษมีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดการเคลื่อนที่ กล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่นี้เป็นการเคลื่อนที่แบบมีความเร่ง

ความเร็วที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า **ความเร่ง** (acceleration) ซึ่งการเปลี่ยนความเร็วนี้อาจเปลี่ยนเฉพาะขนาดของความเร็ว หรือเฉพาะทิศทางของความเร็ว หรือทั้งขนาดและทิศทางพร้อมกันก็ได้ เนื่องจากความเร็วที่เปลี่ยนไปเป็นปริมาณเวกเตอร์ ดังนั้น ความเร่งจึงเป็นปริมาณเวกเตอร์และเขียนสัญลักษณ์เป็น $\vec{a}$

สำหรับความเร่งในช่วงเวลาการเคลื่อนที่ใด ๆ เรียกว่า **ความเร่งเฉลี่ย** $\vec{a}_{av}$ (average acceleration) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วที่เปลี่ยนไปทั้งหมดกับช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนความเร็วนั้น

$$\vec{a}_{av} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \qquad (2.4)$$

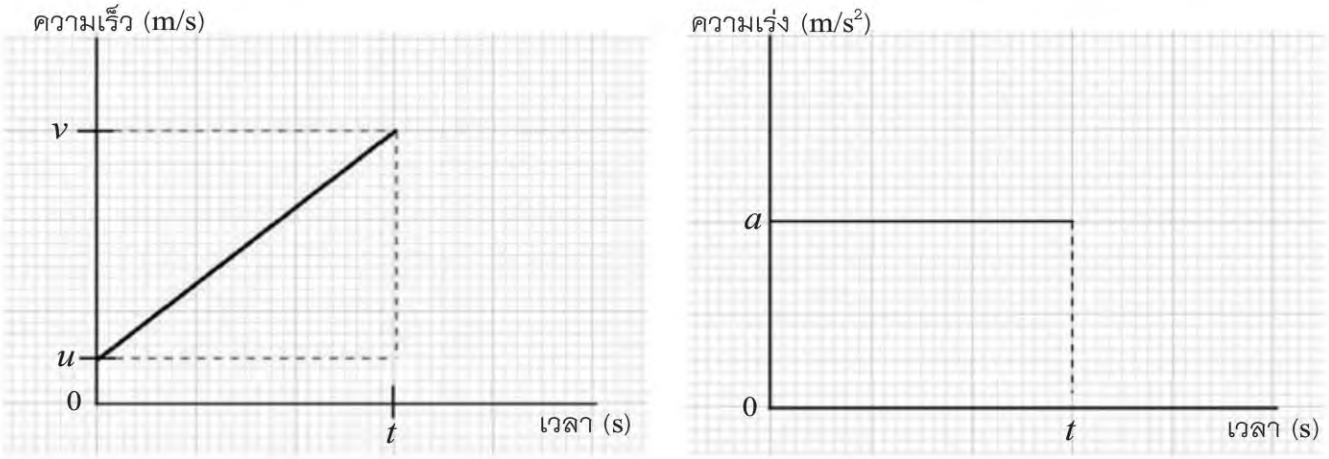
www.kong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

จากสมการ (2.4) จะเห็นว่า $\vec{a}_{av} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ ในระบบเอสไอ ความเร่งมีหน่วย เมตรต่อวินาที^{2}

สำหรับช่วงเวลา Δt มีค่าน้อยๆ จนเข้าใกล้ศูนย์ ความเร่งในช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็น **ความเร่งขณะหนึ่ง** (instantaneous acceleration) ณ ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงเวลา Δt นั้น

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \quad \text{เมื่อ } \Delta t \text{ เข้าใกล้ศูนย์}$$

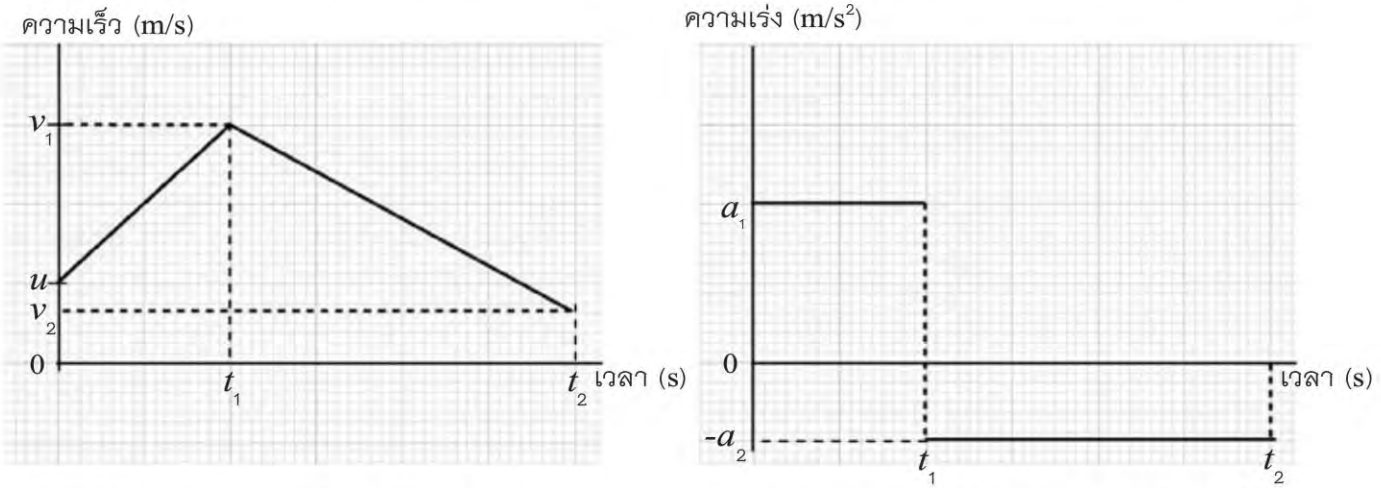
พิจารณากราฟความเร็วกับเวลาและความเร่งกับเวลาของรถยนต์คันที่ 1 ดังรูป 2.15



ก. กราฟความเร็วกับเวลาของรถยนต์คันที่ 1 ข. กราฟความเร่งกับเวลาของรถยนต์คันที่ 1

รูป 2.15 กราฟความเร็วกับเวลาและความเร่งกับเวลาของรถยนต์คันที่ 1

แสดงว่ารถยนต์คันที่ 1 วิ่งด้วยความเร่งคงตัว ความเร่งขณะหนึ่งเท่ากับความเร่งเฉลี่ย ส่วนรถยนต์คันที่ 2 วิ่งด้วยความเร่งไม่คงตัว ดังกราฟรูป 2.16 ความเร่งขณะหนึ่งอาจไม่เท่ากับความเร่งเฉลี่ย



ก. กราฟความเร็วกับเวลาของรถยนต์คันที่ 2 ข. กราฟความเร่งกับเวลาของรถยนต์คันที่ 2

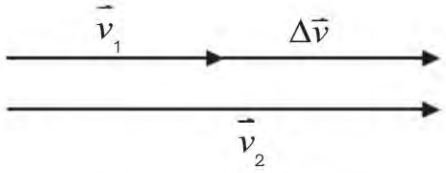
รูป 2.16 กราฟความเร็วกับเวลาและความเร่งกับเวลาของรถยนต์คันที่ 2

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ตัวอย่าง 2.3

รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่ในแนวตรงโดยมีความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที ต่อมาคนขับได้เร่งเครื่องยนต์ ทำให้รถยนต์มีความเร่ง 3 เมตรต่อวินาที^{2} เป็นเวลา 5 วินาที จงหาความเร็วที่สิ้นสุดเวลา 5 วินาที

แนวคิด เดิมรถยนต์มีความเร็ว $\vec{v}_1$ ต่อมามีความเร่งทำให้ความเร็วเปลี่ยนไป ดังนั้นความเร็วที่สิ้นสุดเวลา 5 วินาที คือ $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \Delta\vec{v}$



รูปประกอบตัวอย่าง 2.3

วิธีทำ

จาก $a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$

ดังนั้น $v_2 - v_1 = a(\Delta t)$

$v_2 = v_1 + a(\Delta t)$

$= 20 \text{ m/s} + (3 \text{ m/s}^2)(5 \text{ s})$

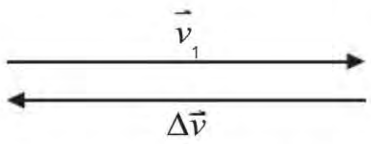
$= 35 \text{ m/s}$

ตอบ ความเร็วสุดท้ายเท่ากับ 35 เมตรต่อวินาที มีทิศทางเดียวกับความเร็วเดิม

ตัวอย่าง 2.4

รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่บนถนนตรงในแนวระดับโดยมีความเร็ว 30 เมตรต่อวินาที คนขับมองเห็นท่อนไม้ใหญ่ขวางถนนอยู่ จึงเหยียบเบรกเพื่อให้รถหยุดภายในเวลา 6 วินาที จงหาความเร่ง ที่เกิดขึ้น

แนวคิด จาก $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \Delta\vec{v}$ เมื่อ $\vec{v}_2 = 0$; $\Delta\vec{v} = -\vec{v}_1$



รูปประกอบตัวอย่าง 2.4

Inw Hong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

$\Delta\vec{v}$ มีทิศทางตรงข้ามกับ $\vec{v}_1$ นั่นคือความเร่งจากการเหยียบเบรกทำให้ขนาดของความเร็วลดลง ดังนั้นความเร่งนี้จะมีทิศทางตรงข้ามกับความเร็ว

วิธีทำ

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

$$a = \frac{0 \text{ m/s} - 30 \text{ m/s}}{6 \text{ s}}$$

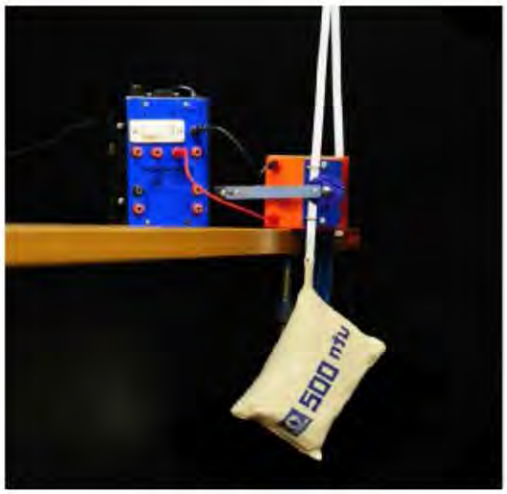
$$a = -5 \text{ m/s}^2$$

ตอบ ความเร่งจากการเหยียบเบรกเท่ากับ –5 เมตรต่อวินาที^{2} (เครื่องหมายลบแสดงว่าความเร่งมีทิศทางตรงข้ามกับความเร็วเดิม ทำให้ความเร็วลดลง)

การเคลื่อนที่ของสิ่งต่าง ๆ ที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน ส่วนใหญ่เป็นการเคลื่อนที่ที่มีความเร่ง ซึ่งมีทั้งความเร่งคงตัวและความเร่งไม่คงตัว ในการศึกษาเบื้องต้น เราจะพิจารณาเฉพาะการเคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร่งคงตัว โดยจะศึกษาจาก**การตกแบบเสรี** (free fall) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ปล่อยให้ตกภายใต้แรงโน้มถ่วงของโล[illegible] ความเร็วของวัตถุที่ตกแบบเสรีจะเปลี่ยน[illegible] ทดลอง 2.1

เทคนิคหลักการจัดอุปกรณ์และเทคนิคปล่อยอุปกรณ์ต่างๆ

การทดลอง 2.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรี
จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการหาความเร่งของวัตถุที่ตกแบบเสรี

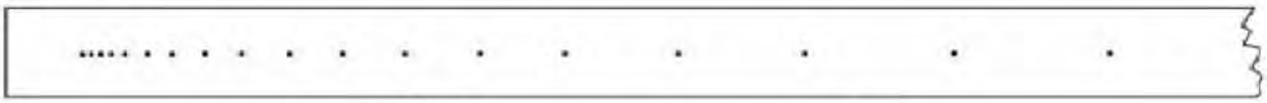


รูป การจัดอุปกรณ์

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

วิธีทดลอง

1. ยึดเครื่องเคาะสัญญาณเวลาที่ต่อกับหม้อแปลงโวลต์ต่ำบนขอบโต๊ะที่อยู่สูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร
2. ยึดถุงทรายให้ติดกับปลายด้านหนึ่งของแถบกระดาษ
3. สอดแถบกระดาษเข้าไปในช่องของเครื่องเคาะสัญญาณเวลา โดยให้ถุงทรายอยู่ด้านล่างและให้อยู่ชิดกับตัวเครื่องเคาะสัญญาณเวลามากที่สุด ดังรูป
4. จัดเครื่องเคาะสัญญาณเวลาจนแถบกระดาษอยู่ในแนวดิ่ง เปิดสวิตช์ให้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาทำงาน
5. ปล่อยให้ถุงทรายตกลงสู่พื้น นำแถบกระดาษที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาความเร็วขณะหนึ่ง ณ เวลากึ่งกลางของแถบกระดาษในช่วงนั้น
6. บันทึกผลการคำนวณในตาราง เขียนกราฟระหว่าง v กับ t โดยให้ v อยู่บนแกนตั้งและ t อยู่บนแกนนอน



รูป ตัวอย่างแถบกระดาษจากการทดลอง 2.1

ตารางบันทึกผลการทดลอง

แถบกระดาษตอนที่	ระยะทางใน 2 ช่วงจุด s (cm)	เวลา 2 ช่วงจุด (s)	ขนาดความเร็วเฉลี่ยใน 2 ช่วงจุด v (cm/s)	เวลาตรงกึ่งกลางแต่ละช่วง t (s)
1		2/50		1/50
2		2/50		3/50
3		2/50		5/50
4		2/50		7/50
5		2/50		9/50

- ☐ *กราฟที่ได้มีลักษณะอย่างไร*
- ☐ *จากลักษณะของกราฟแสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความเร็วขณะหนึ่งกับเวลาเป็นอย่างไร*
- ☐ *ความชันของกราฟมีค่าเท่าใด และค่านี้แทนปริมาณอะไร*

Aiw Hong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

จากการทดลอง 2.1 จะเห็นว่า วัตถุที่ถูกปล่อยให้ตกแบบเสรีนั้นจะมีขนาดของความเร็วเพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงตัว เพราะกราฟที่เขียนระหว่างความเร็วกับเวลาเป็นเส้นตรง ความชันของเส้นกราฟเท่ากับ ($\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$) ซึ่งก็คือความเร่งเฉลี่ยของการเคลื่อนที่นั่นเอง เนื่องจากความเร่งเฉลี่ยนี้มีค่าคงตัวตลอด ดังนั้นความเร่งเฉลี่ยที่ได้ก็คือ ความเร่งขณะหนึ่ง

ความเร่งในการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรีนี้คือ **ความเร่งโน้มถ่วง**ของโลก (gravitational acceleration) ซึ่งเราใช้ $\vec{g}$ เป็นสัญลักษณ์ ที่กรุงเทพฯ g มีค่า 9.783 เมตรต่อวินาที^{2} ที่ลอนดอน ประเทศอังกฤษ g มีค่า 9.812 เมตรต่อวินาที^{2} ในการคำนวณใช้ g เท่ากับ 9.8 เมตรต่อวินาที^{2}

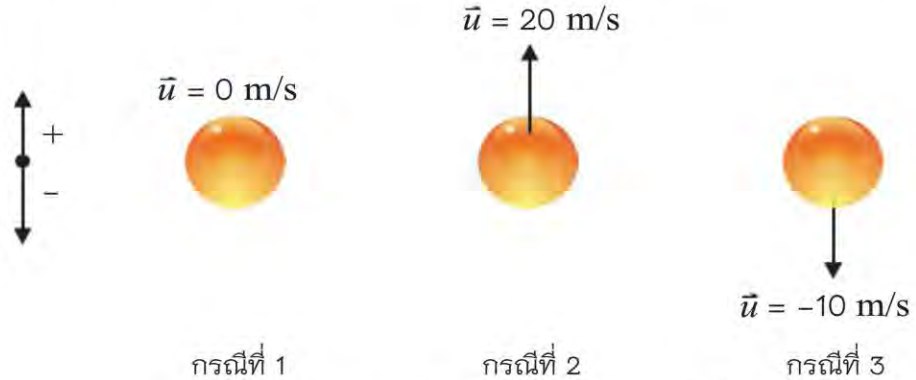
การศึกษาการเคลื่อนที่ส่วนใหญ่ของวัตถุในแนวตรงมักจะเป็นการศึกษาการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง เพราะเป็นการเคลื่อนที่ค่อนข้างง่ายต่อการพิจารณา เนื่องจากเราถือว่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกที่บริเวณผิวโลกมีค่าคงตัว

> การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของวัตถุที่มีมวลมากและความหนาแน่นมาก เช่น ก้อนหิน แท่งเหล็ก แท่งไม้ ที่ผลของแรงต้านหรือแรงเสียดทานของอากาศมีค่าน้อย เนื่องจากแรงต้านนี้มีขนาดน้อยเทียบกับน้ำหนักของวัตถุ จึงถือเสมือนเป็นการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว แต่สำหรับวัตถุที่มีมวลน้อยและมีความหนาแน่นต่ำ เช่น ก้อนกระดาษ แผ่นฟองน้ำ ก้อนสำลี แรงต้านหรือแรงเสียดทานของอากาศมีผลต่อการเคลื่อนที่มาก เมื่อปล่อยให้เคลื่อนที่ในอากาศ จะเป็นการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งไม่คงตัว จึงไม่สามารถนำความรู้ของการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรีมาใช้ได้ถูกต้อง

การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งเสรีพิจารณาได้สามกรณี คือ ปล่อยวัตถุให้เคลื่อนที่ตกสู่พื้นโลก ขว้างวัตถุขึ้นไปในแนวดิ่ง และขว้างวัตถุลงในแนวดิ่ง ทั้งสามกรณีดังกล่าวสิ่งที่แตกต่างกันคือ ความเร็วต้นของการเคลื่อนที่

กรณีที่หนึ่ง ปล่อยวัตถุให้เคลื่อนที่ตกสู่พื้นโลก ความเร็วต้นเท่ากับ 0 m/s

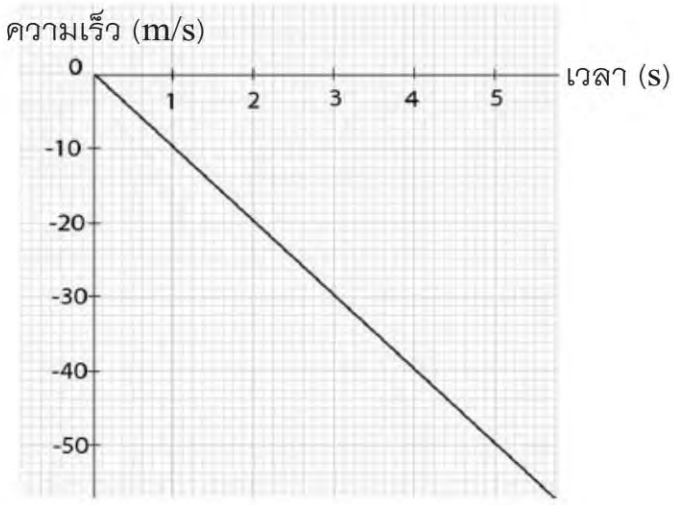
กรณีที่สอง ขว้างวัตถุขึ้นไปในแนวดิ่ง ความเร็วต้นเท่ากับ 20 m/s ในทิศทางขึ้นมีเครื่องหมายเป็นบวก กรณีที่สาม ขว้างวัตถุลงในแนวดิ่ง ความเร็วต้นเท่ากับ 10 m/s ในทิศทางลงมีเครื่องหมายเป็นลบ



รูป 2.17 การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่งทั้งสามกรณี

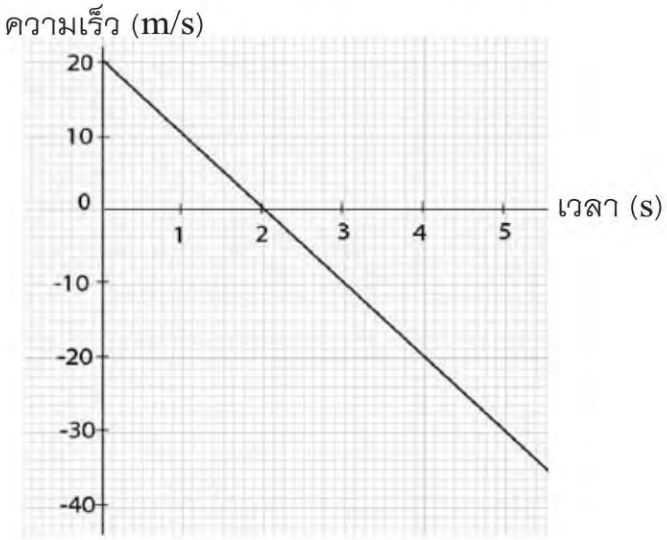
Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

เมื่อเขียนกราฟความเร็วกับเวลาของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งทั้งสามกรณี จะได้กราฟ ดังนี้



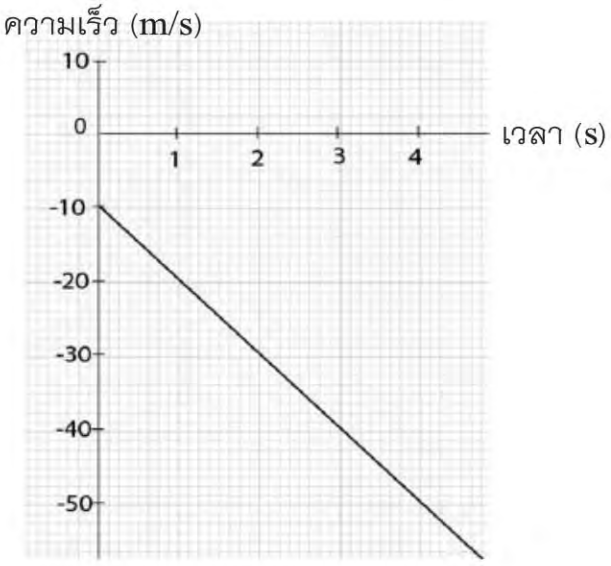
ก. กราฟความเร็วกับเวลาของการปล่อยวัตฤให้เคลื่อนที่ตกสู่พื้นโลก ความเร็วต้นเท่ากับ 0 m/s

กรณีที่ 1



ข. กราฟความเร็วกับเวลาของการขว้างวัตถุขึ้นไปในแนวดิ่ง ความเร็วต้นเท่ากับ 20 m/s ในทิศทางขึ้น

กรณีที่ 2



ค. กราฟความเร็วกับเวลาของการขว้างวัตถุลงในแนวดิ่ง ความเร็วต้นเท่ากับ 10 m/s ในทิศทางลง

กรณีที่ 3

รูป 2.18 กราฟความเร็วกับเวลาของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง

www.Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

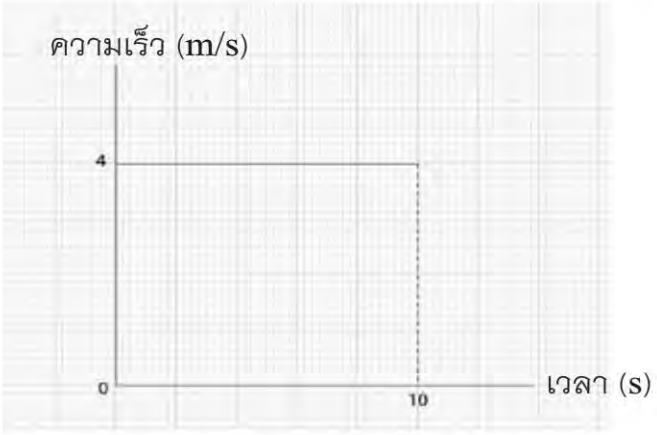
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกราฟความเร็ว เวลากับระยะทาง สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวตรง

วัตถุที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตรง ทิศทางการเคลื่อนที่จะมีเพียงสองทิศทาง คือ ทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ และทิศทางสวนทางการเคลื่อนที่ ในการเคลื่อนที่ที่ไม่กลับทิศทาง และการเคลื่อนที่กลับทิศทาง ระยะทางและขนาดการกระจัดทั้งสองกรณีจะมีค่าเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

เพื่อให้เข้าใจเรื่องการเคลื่อนที่ดีขึ้น เราจะศึกษากราฟความเร็วกับเวลา เนื่องจากพื้นที่ใต้กราฟที่เกิดจากผลคูณของความเร็วกับเวลา คือ การกระจัด

2.4.1 การเคลื่อนที่ที่ไม่กลับทิศทาง

ในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่แนวตรงในทิศทางเดียวตลอด เช่น รถยนต์เคลื่อนที่ในแนวตรงไปทางขวาด้วยความเร็วคงตัว 4 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 10 วินาที เขียนกราฟความเร็วกับเวลาได้ดังนี้



รูป 2.19 กราฟความเร็วกับเวลาของรถยนต์เคลื่อนที่แนวตรงในทิศทางเดียว

สามารถหาการกระจัดของรถยนต์ได้จากพื้นที่ใต้กราฟความเร็วกับเวลา ซึ่งคือผลคูณของความเร็วกับช่วงเวลาของการเคลื่อนที่

$$\begin{aligned}\Delta\vec{s} &= \vec{v}_{av}\Delta t \\ &= (4\ \text{m/s})(10\ \text{s}) \\ &= 40\ \text{m}\end{aligned}$$

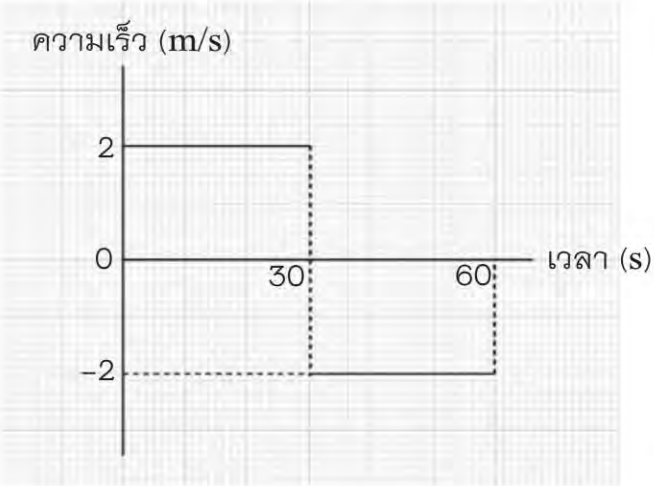
ขนาดการกระจัดของรถยนต์คันนี้เท่ากับ 40 เมตร และเนื่องจากความเร็วมีค่าคงตัว ดังนั้นระยะทางก็เท่ากับ 40 เมตร เช่นกัน

นั่นคือ ในการเคลื่อนที่ที่ไม่กลับทิศทาง ขนาดการกระจัดและระยะทางมีค่าเท่ากัน

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

2.4.2 การเคลื่อนที่ที่มีการกลับทิศทาง

ในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่แนวตรงและมีการกลับทิศทาง เช่น รถบรรทุกคันหนึ่งเคลื่อนที่ในแนวตรงไปทางขวาด้วยความเร็วคงตัว 2 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นแล่นกลับมาทางซ้ายด้วยความเร็วคงตัว 2 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 30 วินาที เขียนกราฟความเร็วกับเวลาได้ดังนี้



รูป 2.20 กราฟความเร็วกับเวลาของรถบรรทุกที่มีการเคลื่อนที่กลับทิศทาง

ให้การเคลื่อนที่ไปทางขวาเป็นบวก และทางซ้ายเป็นลบ

จากกราฟความเร็วกับเวลา ดังรูป 2.20 หาขนาดการกระจัดในช่วงเวลา 0 – 60 วินาทีได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\Delta\vec{s} &= \text{ผลรวม } v_{av}\Delta t \text{ ของแต่ละช่วง}\\ &= (2\ \text{m/s})(30\ \text{s}) + (-2\ \text{m/s})(30\ \text{s})\\ &= 60\ \text{m} - 60\ \text{m}\\ &= 0\ \text{m}\end{aligned}$$

ขนาดการกระจัดของรถบรรทุกคันนี้เท่ากับ 0 เมตร

หาระยะทางการเคลื่อนที่ช่วงเวลา 0 – 60 วินาที

$$\begin{aligned}\Delta s &= \text{ผลรวม } v_{av}\Delta t \text{ ของแต่ละช่วง}\\ &= (2\ \text{m/s})(30\ \text{s}) + (2\ \text{m/s})(30\ \text{s})\\ &= 60\ \text{m} + 60\ \text{m}\\ &= 120\ \text{m}\end{aligned}$$

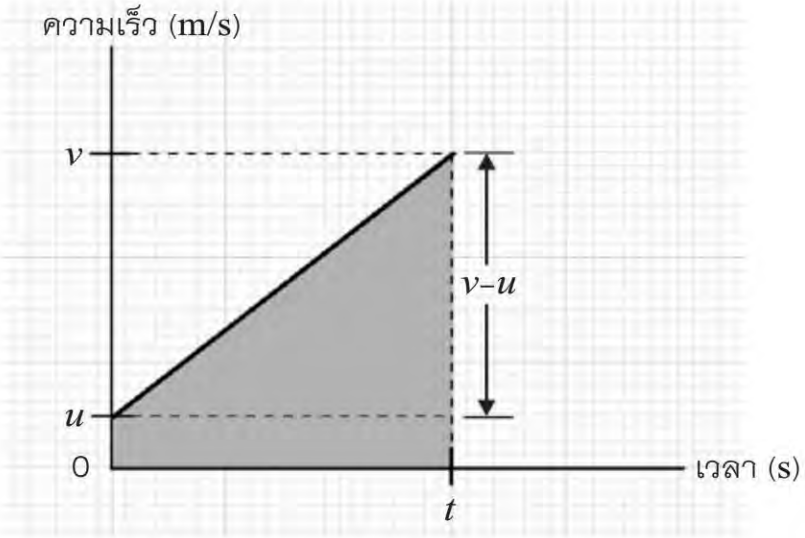
ระยะทางของรถบรรทุกคันนี้เท่ากับ 120 เมตร

นั่นคือ ในการเคลื่อนที่ที่มีการกลับทิศทาง ขนาดการกระจัดและระยะทางมีค่าไม่เท่ากัน

Mr. Hong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

2.5 สมการสำหรับคำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ของการเคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร่งคงตัว

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตรงด้วยความเร่งคงตัว โดยให้วัตถุเริ่มต้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต้น u ที่เวลาเริ่มต้น $t = 0$ หลังจากเวลาผ่านไป t วัตถุมีความเร็ว v กราฟความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ในกรณีนี้เขียนได้ดังรูป 2.21



รูป 2.21 กราฟความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่แนวตรงด้วยความเร่งคงตัว

จากกราฟความเร็วกับเวลา ความชันของกราฟคือ ความเร่ง ค่าของความเร่งหาได้จาก

$$a = \frac{v-u}{t-0}$$

หรือเขียนได้เป็น $$v = u + at \qquad (2.5)$$

สมการ (2.5) เป็นสมการสำหรับคำนวณหาความเร็วขณะหนึ่งเมื่อกำหนดความเร็วต้นและความเร่งคงตัวมาให้

สำหรับการคำนวณหาขนาดการกระจัด s ที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในช่วงเวลา t เมื่อกำหนดขนาดความเร็วต้น u และขนาดความเร่งคงตัว a ให้ จะหาได้ดังนี้

เนื่องจากขนาดการกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้มีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟ ดังนั้นจะได้

$$s = \frac{1}{2}(u + v)t$$

$$s = \frac{(u + v)t}{2} \qquad (2.6)$$

แทนค่า v จากสมการ (2.5) ในสมการ (2.6) จะได้

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

$$s = \frac{(u + u + at)t}{2}$$

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2 \qquad (2.7)$$

เราอาจหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง s, u, v และ a โดยไม่มี t มาเกี่ยวข้องได้โดยการแทนค่า $t = \frac{v - u}{a}$ จากสมการ (2.5) ลงในสมการ (2.6) จะได้

$$s = \frac{(u + v)}{2}\frac{(v - u)}{a}$$

$$s = \frac{v^2 - u^2}{2a}$$

$$v^2 = u^2 + 2as \qquad (2.8)$$

จากสมการต่างๆ ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง s, u, v, a และ t มีข้อควรสังเกตดังนี้

u เป็นความเร็วต้นที่เวลา $t = 0$ u อาจมีค่าเท่ากับศูนย์หรือไม่เท่ากับศูนย์ก็ได้ ขึ้นกับการกำหนดสถานการณ์

t เป็นช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ โดยกำหนดเวลาเริ่มต้นที่ $t = 0$

s เป็นการกระจัดในช่วงเวลา t

v เป็นความเร็วสุดท้าย ณ เวลา t

a เป็นความเร่ง มีค่าคงตัว

ทั้ง u, v, s และ a ในสมการการเคลื่อนที่เป็นปริมาณเวกเตอร์ เราจึงใช้เครื่องหมายบวกและเครื่องหมายลบแสดงทิศทางของปริมาณเหล่านี้ได้ สำหรับกรณีที่เป็นการเคลื่อนที่ในแนวตรงเท่านั้น ถ้ากำหนดให้ทิศทางหนึ่งมีเครื่องหมายบวก ทิศทางที่ตรงกันข้ามก็จะมีเครื่องหมายลบ กรณีวัตถุเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง เรากำหนดให้ปริมาณที่มีทิศทางขึ้นมีเครื่องหมายบวก และปริมาณที่มีทิศทางลงมีเครื่องหมายลบ ดังนั้นในการเคลื่อนที่แนวดิ่ง $\vec{a}$ คือ $\vec{g}$ และมีทิศทางลงจึงมีเครื่องหมายเป็นลบ ส่วนกรณีวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัวในแนวระดับ เรากำหนดให้ปริมาณที่มีทิศทางไปทางขวามีเครื่องหมายบวก ปริมาณที่มีทิศทางไปทางซ้ายมีเครื่องหมายลบ

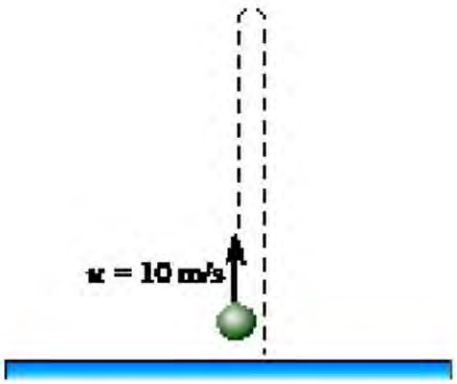
ข้อสังเกตในการใช้สมการ (2.7) และ (2.8)

s ในสมการเป็นการกระจัด ดังนั้นเมื่อวัตถุมีการกลับทิศทาง เช่น โยนขึ้นไปในแนวดิ่งแล้วตกลงมา การกระจัดของวัตถุจะไม่เท่ากับระยะทางการเคลื่อนที่ การคำนวณหาระยะทางจะต้องคิดทั้งระยะทางที่เคลื่อนที่ขึ้นและระยะทางที่เคลื่อนที่ลง

www.klong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ตัวอย่าง 2.5

ถ้าโยนก้อนหินขึ้นในแนวดิ่งด้วยอัตราเร็ว 10 เมตรต่อวินาที ดังรูป จงหา
ก. ความเร็วของก้อนหิน เมื่อสิ้นวินาทีที่ 1
ข. ความเร็วของก้อนหิน เมื่อสิ้นวินาทีที่ 2
ค. ขนาดของการกระจัดของก้อนหิน เมื่อสิ้นวินาทีที่ 1 และวินาทีที่ 2
ง. ระยะสูงสุดที่ก้อนหินขึ้นไปได้
กำหนดขนาดความเร่งโน้มถ่วงของโลก (g) เท่ากับ 9.8 เมตรต่อวินาที^{2}



รูปประกอบตัวอย่าง 2.5

แนวคิด ให้ปริมาณต่างๆ ที่มีทิศทางขึ้นมีเครื่องหมายบวก ส่วนที่มีทิศทางลงมีเครื่องหมายลบ
ดังนั้น จะได้ว่า $u = 10\ \text{m/s}$
ความเร่ง $a = -g = -9.8\ \text{m/s}^2$

ก. หาความเร็วของก้อนหิน เมื่อสิ้นวินาทีที่ 1

วิธีทำ จากสมการ $v = u + at$
ความเร็วเมื่อสิ้นวินาทีที่ 1 ($t = 1\ \text{s}$) คือ

$$v = 10\ \text{m/s} + (-9.8\ \text{m/s}^2)(1\ \text{s})$$
$$= 10\ \text{m/s} - 9.8\ \text{m/s}$$
$$= 0.2\ \text{m/s}$$

ตอบ ความเร็วของก้อนหินเมื่อสิ้นวินาทีที่ 1 เท่ากับ 0.2 เมตรต่อวินาที และการเคลื่อนที่มีทิศทางขึ้น

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

ข. หาความเร็วของก้อนหิน เมื่อสิ้นวินาทีที่ 2

วิธีทำ จากสมการ $v = u + at$

ความเร็วเมื่อสิ้นวินาทีที่ 2 ($t = 2$ s) คือ

$$v = (10 \text{ m/s}) + (-9.8 \text{ m/s}^2)(2 \text{ s})$$
$$= 10 \text{ m/s} - 19.6 \text{ m/s}$$
$$= -9.6 \text{ m/s}$$

ตอบ ความเร็วของก้อนหินเมื่อสิ้นวินาทีที่ 2 เท่ากับ 9.6 เมตรต่อวินาที และการเคลื่อนที่มีทิศทางลง

ค. หาขนาดการกระจัดของก้อนหิน เมื่อสิ้นวินาทีที่ 1 และวินาทีที่ 2

วิธีทำ ขนาดการกระจัดเมื่อสิ้นวินาทีที่ 1 ($t = 1$ s)

จาก $s = ut + \frac{1}{2}at^2$

$$= (10 \text{ m/s})(1 \text{ s}) + \frac{1}{2}(-9.8 \text{ m/s}^2)(1 \text{ s})^2$$
$$= 5.1 \text{ m}$$

ดังนั้นขนาดการกระจัดเมื่อสิ้นวินาทีที่ 1 เท่ากับ 5.1 เมตร

ขนาดการกระจัดเมื่อสิ้นวินาทีที่ 2 ($t = 2$ s)

จาก $s = ut + \frac{1}{2}at^2$

$$= (10 \text{ m/s})(2 \text{ s}) + \frac{1}{2}(-9.8 \text{ m/s}^2)(2 \text{ s})^2$$
$$= 0.4 \text{ m}$$

ดังนั้นขนาดการกระจัดเมื่อสิ้นวินาทีที่ 2 เท่ากับ 0.4 เมตร

ตอบ ขนาดการกระจัดของก้อนหิน เมื่อสิ้นวินาทีที่ 1 เท่ากับ 5.1 เมตร และขนาดการกระจัดเมื่อสิ้นวินาทีที่ 2 เท่ากับ 0.4 เมตร

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ง. หาระยะสูงสุดที่ก้อนหินเคลื่อนที่ไปได้

วิธีทำ เมื่อก้อนหินขึ้นไปสูงสุดจะมีขนาดความเร็วเป็นศูนย์ ($v = 0$)

จากสมการ $v^2 = u^2 + 2as$

$0 = (10\ \text{m/s})^2 + 2(-9.8\ \text{m/s}^2)s$

$s = 5.1\ \text{m}$

ตอบ ระยะสูงสุดที่ก้อนหินขึ้นไปได้เท่ากับ 5.1 เมตร จากจุดเริ่มต้น

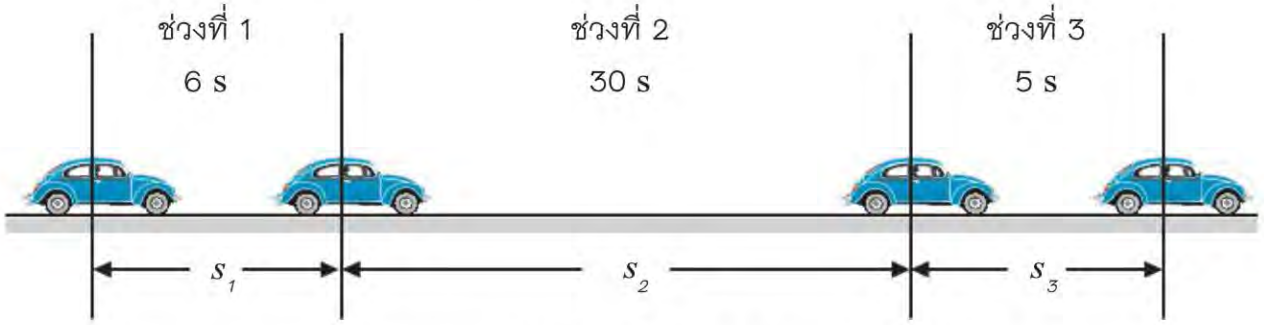
ตัวอย่าง 2.6

รถยนต์คันหนึ่งเริ่มเคลื่อนที่จากสภาพนิ่งไปตามถนนตรงด้วยขนาดความเร่งคงตัวเท่ากับ 2 เมตรต่อวินาที^{2} ในช่วงเวลา 6 วินาที แล้วเคลื่อนที่ต่อไปด้วยอัตราเร็วคงตัวเป็นเวลา 30 วินาที ผู้ขับจึงห้ามล้อทำให้รถยนต์เคลื่อนที่ต่อไปด้วยอัตราเร็วลดลง แล้วหยุดในเวลา 5 วินาที จงหา

ก. อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่

ข. ระยะทางทั้งหมดที่เคลื่อนที่ได้

แนวคิด การเคลื่อนที่มี 3 ช่วง ช่วงที่หนึ่ง รถยนต์เคลื่อนที่จากสภาพนิ่งด้วยอัตราเร็วคงตัวเป็นเวลา 6 วินาที ช่วงที่สอง รถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัวเป็นเวลา 30 วินาที และช่วงที่สาม รถยนต์เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วลดลงจนหยุดโดยใช้เวลา 5 วินาที เมื่อเขียนรูปภาพของสถานการณ์จะได้ดังนี้



รูปประกอบตัวอย่าง 2.6

กำหนดให้ทิศทางที่ไปทางเดียวกับการเคลื่อนที่มีเครื่องหมายบวก

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ก. หาอัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่

วิธีทำ กำหนดให้ $u = 0$ m/s $a = 2$ m/s^2 และ $t = 6$ s

จากสมการ $v = u + at$

จะได้ $v = 0 + (2 \text{ m/s}^2)(6 \text{ s})$

$= 12$ m/s

ตอบ อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่เท่ากับ 12 เมตรต่อวินาที

ข. หาระยะทางทั้งหมด

วิธีทำ **ช่วงที่ 1** รถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัวเท่ากับ 2 เมตรต่อวินาที^{2} ในเวลา 6 วินาที

กำหนดระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในช่วงนี้ $= s_1$

จากสมการ $s = ut + \frac{1}{2}at^2$

$s_1 = 0 + \frac{1}{2}[(2 \text{ m/s}^2)(6 \text{ s})^2]$

$= 36$ m

ช่วงที่ 2 รถยนต์เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวเท่ากับ 12 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 30 วินาที

กำหนดระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในช่วงนี้ $= s_2$

จากสูตร ระยะทาง = อัตราเร็ว x เวลา

$s_2 = (12 \text{ m/s})(30 \text{ s})$

$= 360$ m

ช่วงที่ 3 รถยนต์เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วลดลงเป็นเวลา 5 วินาที จนหยุด นั่นคือ $v = 0$

กำหนดระยะทางที่เคลื่อนที่ไปได้ในช่วงนี้ $= s_3$

จากสูตร ระยะทาง = อัตราเร็วเฉลี่ย x เวลา

$s_3 = \left(\frac{u + v}{2}\right)t$

$= \left(\frac{12 \text{ m/s} + 0 \text{ m/s}}{2}\right)(5 \text{ s})$

$= 30$ m

www.Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

$$\begin{aligned} \text{ระยะทางทั้งหมด} &= s_1 + s_2 + s_3 \\ &= 36\ \text{m} + 360\ \text{m} + 30\ \text{m} \\ &= 426\ \text{m} \end{aligned}$$

ตอบ ระยะทางทั้งหมดที่เคลื่อนที่ได้เท่ากับ 426 เมตร

สรุปสาระสำคัญ

การบอกตำแหน่งของวัตถุในแนวตรงต้องบอกเทียบกับจุด ๆ หนึ่งในแนวการเคลื่อนที่ เรียกว่า **จุดอ้างอิง** เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ ตำแหน่งของวัตถุนั้นจะเปลี่ยนไป การเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุเรียกว่า **การกระจัด** (displacement) การกระจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่บอกทั้งขนาดและทิศทาง ส่วนความยาวตามเส้นทางที่วัตถุเคลื่อนที่ เรียกว่า **ระยะทาง** (distance)

ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ นอกจากการกระจัดและระยะทางแล้ว ยังมีอัตราเร็ว ความเร็ว และความเร่ง

ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา จะหมายถึง **อัตราเร็วเฉลี่ย** (average speed) $v_{av} = \frac{s}{t}$ ถ้าอัตราเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ในช่วงเวลาสั้น ๆ จนใกล้ศูนย์ เรียก อัตราเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาสั้น ๆ นี้ว่า **อัตราเร็วขณะหนึ่ง** (instantaneous speed) ใช้สัญลักษณ์ v

การกระจัดต่อหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า **ความเร็วเฉลี่ย** (average velocity) หรือ $\vec{v}_{av} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$ ถ้า Δt เป็นช่วงเวลาสั้น ๆ จนเข้าใกล้ศูนย์ ความเร็วเฉลี่ย จะเป็น **ความเร็วขณะหนึ่ง** (instantaneous velocity) ใช้สัญลักษณ์ $\vec{v}$

ความเร็วที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า **ความเร่ง** (acceleration) สำหรับความเร่งในช่วงเวลาการเคลื่อนที่ใด ๆ เรียกว่า **ความเร่งเฉลี่ย** $\vec{a}_{av}$ (average acceleration) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วที่เปลี่ยนไปทั้งหมดกับช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนความเร็วนั้น $\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$

สำหรับ Δt เป็นช่วงเวลามีค่าน้อย ๆ จนเข้าใกล้ศูนย์ ความเร่งในช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็น **ความเร่งขณะหนึ่ง** (instantaneous acceleration) $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ เมื่อ Δt เข้าใกล้ศูนย์

วัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวตรง เมื่อเวลาผ่านไป การกระจัด ความเร็วและความเร่งของวัตถุอาจเปลี่ยนไป ปริมาณเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เช่น กราฟความเร็วกับเวลา โดยความชันของกราฟความเร็วและเวลา คือ ความเร่ง และพื้นที่ใต้กราฟความเร็วกับเวลาเป็นระยะทางในแนวตรงที่วัตถุเคลื่อนที่ได้

การตกแบบเสรี เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกเพียงแรงเดียว โดยไม่คิดแรงต้านหรือแรงเสียดทานของอากาศ ความเร่งในการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรี เรียกว่า ความเร่งโน้มถ่วงของโลก

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

สมการสำหรับคำนวณหาปริมาณต่างๆ ของการเคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร่งคงตัวมี 4 สมการ ได้แก่ $v = u + at$, $s = \frac{(u + v)t}{2}$, $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ และ $v^2 = u^2 + 2as$

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

แบบฝึกหัดบทที่ 2

คำถาม

2.1 ปริมาณต่าง ๆ ของการเคลื่อนที่

1. จงหาเวกเตอร์ลัพธ์ของเวกเตอร์ ⟶ บวกกับเวกเตอร์ ⟶
2. การบอกแต่อัตราเร็วเฉลี่ยของลมจะมีผลต่อการแล่นเรือใบ การขับเครื่องบินหรือไม่
3. จงบอกข้อแตกต่างของอัตราเร็วและความเร็ว
4. จงหาการกระจัดและระยะทางของวัตถุที่เคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่งด้วยความเร็วต้น u จนถึงจุดสูงสุดที่เวลา t ต่อมาวัตถุนั้นเปลี่ยนทิศทาง และมีความเร็ว $-u$ ที่เวลา $2t$

2.2 การวัดอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ในแนวตรง

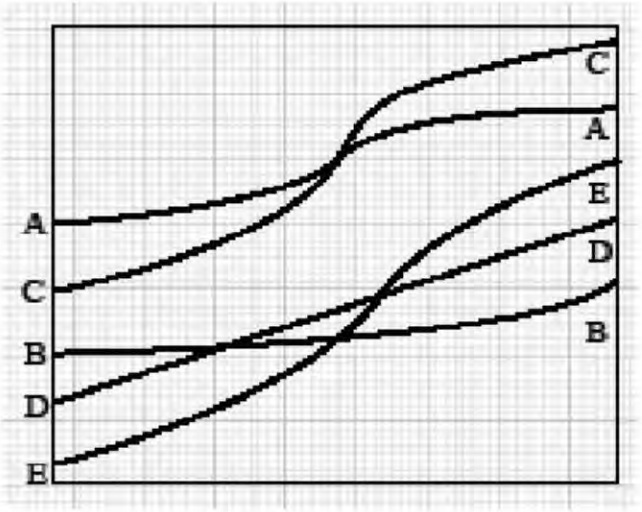
2.3 ความเร่ง

5. จงเขียนนิยามทั่วไปของความเร่ง
6. ถ้าเราปล่อยก้อนหินก้อนหนึ่งให้ตกแบบเสรี ในขณะเดียวกับที่เราขว้างก้อนหินอีกก้อนหนึ่งลงตามแนวดิ่ง ก้อนหินก้อนไหนจะตกถึงพื้นก่อน
7. ปล่อยลูกบอล A ให้ตกแบบเสรี ขณะที่ลูกบอล B ถูกโยนขึ้นในแนวดิ่งด้วยความเร็วต้นค่าหนึ่ง หลังจากที่ลูกบอลทั้งสองเคลื่อนที่ออกจากมือ จงเปรียบเทียบความเร่งของลูกบอลทั้งสองกรณี โดยถือว่าไม่มีแรงต้านทานอากาศ
8. ลูกบาสเกตบอลกำลังเคลื่อนที่ขึ้นด้วยอัตราเร็วที่ลดลงอย่างสม่ำเสมอ ความเร่งเป็นอย่างไร
9. ถ้าขว้างวัตถุขึ้นตามแนวดิ่ง วัตถุจะเคลื่อนที่เร็วขึ้นหรือช้าลง เพราะเหตุใด
10. ในการปล่อยวัตถุให้เคลื่อนที่ตกสู่พื้นโลก ขว้างวัตถุขึ้นไปในแนวดิ่ง และขว้างวัตถุลงในแนวดิ่ง ความเร็วต้นของการเคลื่อนที่แตกต่างกันอย่างไร ขนาดและทิศทางของความเร่ง $\vec{g}$ ในการเคลื่อนที่ทั้งสามกรณีแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกราฟความเร็ว เวลา กับระยะทางสำหรับการเคลื่อนที่ในแนวตรง

11. เพราะเหตุใดในกรณีที่มีการเคลื่อนที่กลับทิศทาง ระยะทางการเคลื่อนที่และขนาดการกระจัดมีค่าไม่เท่ากัน
12. เพราะเหตุใดในการหาระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ สามารถนำค่าที่ได้มาบวกกันถึงแม้ว่าในช่วงหลังของการเคลื่อนที่จะมีการเคลื่อนที่กลับทิศทาง
13. ในการวิ่งแข่งระยะ 400 เมตร กราฟแสดงความสัมพันธ์ของระยะทางกับเวลาของนักวิ่ง A, B, C, D และ E เป็นดังรูป

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ



รูปสำหรับคำถามข้อ 13

ก. ใครวิ่งถึงระยะ 300 เมตร เป็นคนแรก
ข. ใครวิ่งทันกันที่ระยะ 350 เมตร พอดี
ค. ใครวิ่งผ่านเส้นชัย 400 เมตร เป็นคนแรก

2.5 สมการสำหรับคำนวณหาปริมาณต่างๆ ของการเคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร่งคงตัว

14. วัตถุเคลื่อนที่ขึ้นตามแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ระยะสูงสุดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ขึ้นกับปริมาณใดบ้าง
15. ขณะวัตถุเคลื่อนที่ขึ้นหรือเคลื่อนที่ลงตามแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่และมีค่าคงตัวได้แก่ปริมาณใด

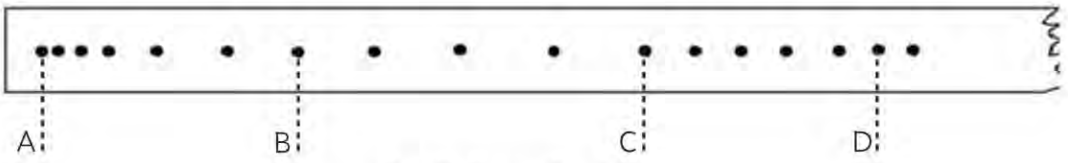
Inw Hong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ปัญหา

กำหนดความเร่งโน้มถ่วงของโลก (g) = 9.8 เมตรต่อวินาที^{2}

2.1 ปริมาณต่าง ๆ ของการเคลื่อนที่

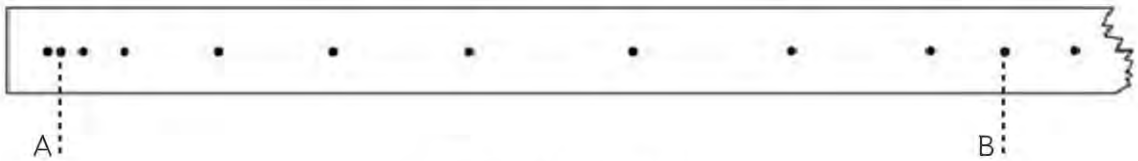
1. เด็กคนหนึ่งเดินไปทางทิศตะวันออก 150 เมตร แล้วเดินกลับทางเดิม 30 เมตร ไปทางทิศตะวันตก
   ก. ระยะทางทั้งหมดที่เด็กคนนั้นเดินได้เป็นเท่าใด
   ข. การกระจัดของการเคลื่อนที่เป็นเท่าใด
2. จงหาการกระจัดจากจุดเริ่มต้นในกรณีต่อไปนี้
   ก. เดินไปทางทิศใต้ 5 เมตร แล้วย้อนกลับมาทางทิศเหนือ 2 เมตร
   ข. เดินไปทางทิศตะวันตก 4 เมตร แล้วเดินต่อไปในทิศเดิมอีก 8 เมตร
   ค. เดินไปทางทิศตะวันตก 7 เมตร แล้วย้อนกลับมาทางทิศตะวันออก 9 เมตร
3. รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่ได้ 30 กิโลเมตร ในครึ่งชั่วโมงแรก และเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 50 กิโลเมตร ในครึ่งชั่วโมงต่อมา อัตราเร็วเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมงมีค่าเท่าใด
4. ชายคนหนึ่งวิ่งออกกำลังกายด้วยอัตราเร็วคงตัว 5 เมตรต่อวินาที เมื่อวิ่งได้ระยะทาง 1000 เมตร เขารู้สึกเหนื่อยจึงเปลี่ยนเป็นเดินด้วยอัตราเร็วคงตัว 1 เมตรต่อวินาที ในระยะทาง 100 เมตร อัตราเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของชายคนนี้มีค่าเท่าใด
5. "ความไว" ของการตอบสนองของคนขับรถยนต์คันหนึ่งเท่ากับ 1/5 วินาที ซึ่งหมายความว่า ถ้าคนขับรถยนต์คนหนึ่งเห็นสิ่งของใดอยู่ข้างหน้า ช่วงเวลาที่สั้นที่สุดที่สมองของเขาจะสั่งให้กระทำการอันใดอันหนึ่งตอบสนองต่อสิ่งที่สังเกตเห็น คือ 1/5 วินาที ถ้าขณะที่เขาขับรถยนต์ด้วยความเร็วคงตัว 25 เมตรต่อวินาที เขาเห็นรถคันข้างหน้าลดความเร็วอย่างกะทันหัน จึงรีบเหยียบห้ามล้อทันที อยากทราบว่าจากช่วงเวลาที่เห็นรถคันข้างหน้าลดความเร็วอย่างกะทันหันจนกระทั่งเริ่มเหยียบห้ามล้อ รถยนต์ของเขาแล่นได้ระยะทางอย่างน้อยที่สุดกี่เมตร
6. จากรูปแสดงแถบกระดาษที่ได้จากการทดลองดึงผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาที่เคาะ 50 ครั้งต่อวินาที จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยของแถบกระดาษในช่วง AD และอัตราเร็วเฉลี่ยของแถบกระดาษในช่วง BC



รูปสำหรับปัญหาข้อ 6

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

7. ชายคนหนึ่งดึงแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ซึ่งเคาะ 50 ครั้งต่อวินาที ปรากฏจุดบนแถบกระดาษดังรูป จงหาความเร็วที่ A และความเร็วที่ B



รูปสำหรับปัญหาข้อ 7

8. รถยนต์คันหนึ่งแล่นด้วยอัตราเร็ว25กิโลเมตรต่อชั่วโมงเป็นเวลา4นาทีต่อมาเพิ่มอัตราเร็วเป็น 50กิโลเมตรต่อชั่วโมงเป็นเวลา8นาทีจากนั้นจึงลดอัตราเร็วเป็น2กิโลเมตรต่อชั่วโมงเป็นเวลา 2 นาที ในช่วงเวลา 14 นาทีติดกันนี้ อัตราเร็วเฉลี่ยของรถยนต์เป็นเท่าใด

2.2 การวัดอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ในแนวตรง

2.3 ความเร่ง

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกราฟความเร็ว เวลา กับระยะทางสำหรับการเคลื่อนที่ในแนวตรง

2.5 สมการสำหรับคำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ของการเคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร่งคงตัว

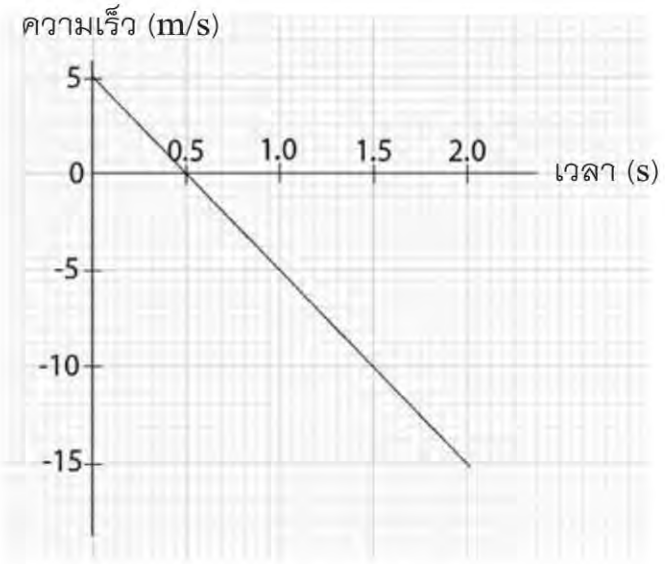
9. คนขับรถยนต์ A, B และ C เริ่มอ่านอัตราเร็วจากมาตรอัตราเร็วของรถยนต์ พร้อมกันทุก ๆ 5.0 วินาที และได้ค่าตามที่ปรากฏในตารางต่อไปนี้ คือ

เวลา (วินาที)	0	5.0	10.0	15.0	20.0
อัตราเร็วของ A (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
อัตราเร็วของ B (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0
อัตราเร็วของ C (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	20.0	15.0	10.0	5.0	0

ก. อัตราเร็วของรถยนต์ A ที่เปลี่ยนไปทุก ๆ 5 วินาทีมีค่าเท่าใด ความเร่งของรถยนต์ A เป็นเท่าใด
ข. อัตราเร็วของรถยนต์ B ที่เปลี่ยนไปทุก ๆ 5 วินาทีมีค่าเท่าใด ความเร่งของรถยนต์ B เป็นเท่าใด
ค. อัตราเร็วของรถยนต์ C ที่เปลี่ยนไปทุก ๆ 5 วินาทีมีค่าเท่าใด ความเร่งของรถยนต์ C เป็นเท่าใด

www.Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

10. เด็กคนหนึ่งเริ่มวิ่งจากหยุดนิ่งไปตามถนนตรงด้วยความเร่งคงตัว จงหาอัตราส่วนของการกระจัดในวินาทีที่ 0 ถึง 1 และวินาทีที่ 1 ถึง 2 ของการเคลื่อนที่
11. วัตถุ x และ y เคลื่อนที่ขึ้นตามแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ระยะทางสูงสุดของวัตถุทั้งสองเท่ากับ 100 เมตร และ 200 เมตร ตามลำดับ อัตราส่วนระหว่างความเร็วต้นของ x และ y มีค่าเท่าใด
12. ปล่อยก้อนหินตกแบบเสรีจากที่สูงแห่งหนึ่งจะใช้เวลานานเท่าใด ความเร็วของก้อนหินจึงเป็น 4 เท่าของความเร็วเมื่อสิ้นวินาทีที่ 1 ของการเคลื่อนที่
13. บอลลูนลูกหนึ่งกำลังลอยขึ้นในแนวดิ่ง และในขณะที่มีความเร็วขนาดหนึ่ง คนในบอลลูนปล่อยวัตถุให้ตกแบบเสรี กราฟความเร็วกับเวลาของวัตถุในช่วงเวลา 2 วินาที หลังจากปล่อยเป็นดังรูป หลังจากปล่อยวัตถุไปแล้ว 2 วินาที วัตถุอยู่ต่ำกว่าตำแหน่งที่ปล่อยเท่าใด



รูปสำหรับปัญหาข้อ 13

14. วัตถุชิ้นหนึ่งเคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร็วต้น 10 เมตรต่อวินาที โดยมีความเร่ง 5 เมตรต่อวินาที^{2} ขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 480 เมตร วัตถุเคลื่อนที่มาแล้วกี่วินาที
15. รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งไปตามถนนตรงด้วยความเร่งคงตัว และไปได้ไกล 75 เมตร ภายในเวลา 5 วินาที ขนาดของความเร่งของรถยนต์เป็นเท่าใด
16. รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่บนถนนตรงด้วยความเร็ว 15 เมตรต่อวินาที หลังจากนั้น 1 นาที รถยนต์มีความเร็ว 7 เมตรต่อวินาที ในทิศทางเดิม จงหาความเร่งเฉลี่ยของรถยนต์
17. รถยนต์คันหนึ่งแล่นตามทางตรงด้วยความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 2.0 วินาทีต่อมา ความเร็วเปลี่ยนเป็น 34 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และอีก 2.0 วินาทีต่อมา ความเร็วเปลี่ยนเป็น 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อบันทึกข้อมูลของเวลาและความเร็วลงในตารางได้ดังนี้

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

เวลา (วินาที)	0	2.0	4.0
ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	30.0	34.0	38.0

จงเขียนกราฟความเร็วกับเวลา แล้วตอบคำถามต่อไปนี้ (โดยอ่านจากกราฟหรือคำนวณ)

ก. รถยนต์มีความเร็วเปลี่ยนไปเท่าใด ภายในเวลา 2.0 วินาที

ข. รถยนต์มีความเร่งเท่าใด

ค. ถ้ารถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร่งอย่างที่กำหนดนี้ อยากทราบว่ารถยนต์จะมีความเร็วเป็นเท่าใด เมื่อเวลา 5.0, 6.0 และ 7.0 วินาที จากเริ่มต้น

ง. ความเร็วของรถยนต์เป็นเท่าใดเมื่อเวลา 2.0 วินาที ก่อนที่รถยนต์จะมีความเร็วเป็น 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

18. จรวดพุ่งออกจากฐานปล่อยบนพื้นโลกตามแนวดิ่งด้วยความเร่งคงตัว ภายใน 10 วินาที จรวดมีความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 2 กิโลเมตรต่อวินาที จรวดนั้นมีความเร่งเท่าใด และขณะนั้นจรวดอยู่สูงจากฐานเท่าใด

19. โยนก้อนหินขึ้นไปตามแนวดิ่งด้วยความเร็วต้น 9.8 เมตรต่อวินาที (ไม่คิดแรงต้านอากาศ) จงหา

ก. เมื่อใดก้อนหินมีความเร็วเป็นศูนย์

ข. ก้อนหินขึ้นไปได้สูงสุดเท่าใด

ค. เป็นเวลานานเท่าใด ก้อนหินจึงจะตกลงมาถึงตำแหน่งเริ่มต้น

20. ขณะที่บอลลูนลูกหนึ่งลอยขึ้นตรง ๆ ด้วยความเร็ว 4.9 เมตรต่อวินาที ขณะที่ลูกบอลลูนสูงจากพื้นดิน 29.4 เมตร ผู้อยู่ในบอลลูนก็ปล่อยถุงทรายลงมาซึ่งตกแบบเสรี

ก. จงหาตำแหน่งของถุงทรายหลังจากที่ปล่อยไปแล้ว 1.0 และ 2.0 วินาที

ข. ถุงทรายจะตกถึงพื้นดินในเวลาเท่าใด

ค. ขณะที่ถึงพื้นดินถุงทรายมีความเร็วเท่าใด

ง. จุดสูงสุดของถุงทรายสูงจากพื้นดินเท่าใด

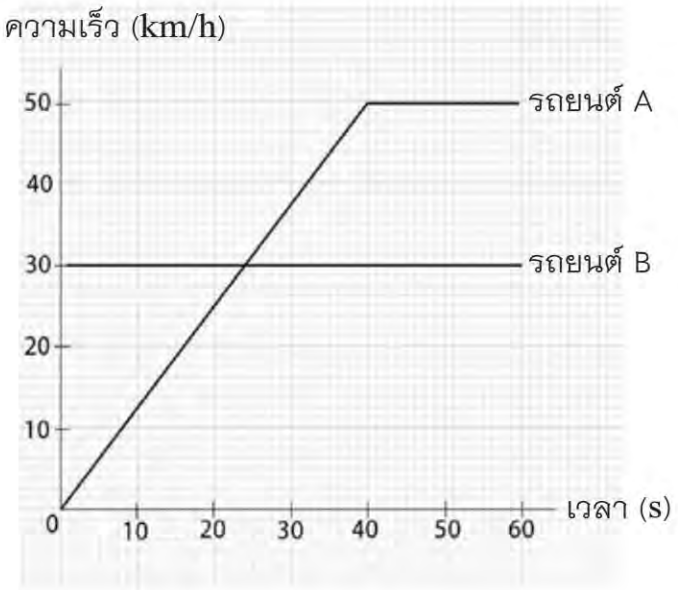
21. เด็กคนหนึ่งใช้หนังสติ๊กยิงก้อนหินขึ้นไปในอากาศตามแนวดิ่งด้วยความเร็วต้น 20 เมตรต่อวินาที

ก. จงหาตำแหน่งของก้อนหินจากจุดเริ่มต้น เมื่อสิ้นเวลา 1 วินาที

ข. จงหาความเร็ว (ขนาดและทิศทาง) ของก้อนหิน เมื่อสิ้นเวลา 1 วินาที

22. รถยนต์ A ติดสัญญาณไฟแดง เมื่อไฟสัญญาณเปลี่ยนเป็นไฟเขียว รถยนต์ A จึงเร่งเครื่องออกเดินทางต่อไปจนมีความเร็วคงตัว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในขณะที่รถ A เริ่มเคลื่อนที่นั้น รถยนต์ B วิ่งผ่านรถยนต์ A ด้วยความเร็วคงตัว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กราฟของความเร็วกับเวลาของรถยนต์ทั้งสองคันปรากฏดังรูป

Thai Fong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ



รูปสำหรับปัญหาข้อ 22

ก. รถยนต์ A แล่นเป็นเวลานานเท่าใด จึงมีความเร็วเท่ากับรถยนต์ B

ข. ณ เวลานั้น (ในข้อ ก.) รถยนต์ B อยู่ข้างหน้ารถยนต์ A เป็นระยะทางเท่าใด

ค. ที่วินาทีที่ 40 รถยนต์คันใดอยู่หน้า เป็นระยะทางเท่าใด

ง. เมื่อใดรถยนต์ A จึงจะแล่นทันรถยนต์ B

23. อิเล็กตรอนตัวหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.0×10^4 เมตรต่อวินาที เข้าสู่บริเวณสนามไฟฟ้าและถูกเร่งโดยสนามไฟฟ้าเป็นระยะทาง 1.0 เซนติเมตร เมื่อออกจากสนามไฟฟ้าอิเล็กตรอนมีความเร็ว 4.0×10^6 เมตรต่อวินาที จงหาความเร่งของอิเล็กตรอนขณะอยู่ในสนามไฟฟ้า

24. รถสองคันวิ่งตามกันมาบนถนนสายตรงด้วยความเร็วเท่ากันคือ 30 เมตรต่อวินาที และอยู่ห่างกัน 40 เมตร ถ้าผู้ขับรถคันหน้าเริ่มจับเวลาเมื่อรถคันหลังเริ่มลดความเร็วด้วยความเร่งขนาดคงตัว 3 เมตรต่อวินาที^{2}

ก. รถคันหลังอยู่ห่างจากรถคันหน้าเท่าใด ที่เวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 วินาที

ข. เขียนกราฟระยะทางกับเวลาของรถทั้งสองโดยให้ระยะทางเป็นแกนตั้ง เวลาเป็นแกนนอน

ค. อัตราเร็วของรถคันหลังเป็นเท่าใด ที่เวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 วินาที

ง. เขียนกราฟอัตราเร็วกับเวลาจากข้อ ค. โดยให้อัตราเร็วเป็นแกนตั้ง เวลาเป็นแกนนอน

25. จากกราฟความเร็วกับเวลาของรถไฟที่วิ่งระหว่างสองสถานี ในนาทีแรก รถไฟมีความเร่งสม่ำเสมอ หลังจากนั้นวิ่งด้วยความเร็วคงตัว ก่อนถึงสถานีปลายทางได้ลดความเร็วลงจนกระทั่งจอดภายใน 0.5 นาที

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

รูปสำหรับปัญหาข้อ 25

ก. จงหาความเร่งในเวลา 1 นาทีแรก

ข. จงหาระยะทางที่รถไฟแล่นไปในช่วงเวลา 1 นาทีแรก

ค. จงหาระยะทางระหว่างสถานีทั้งสอง

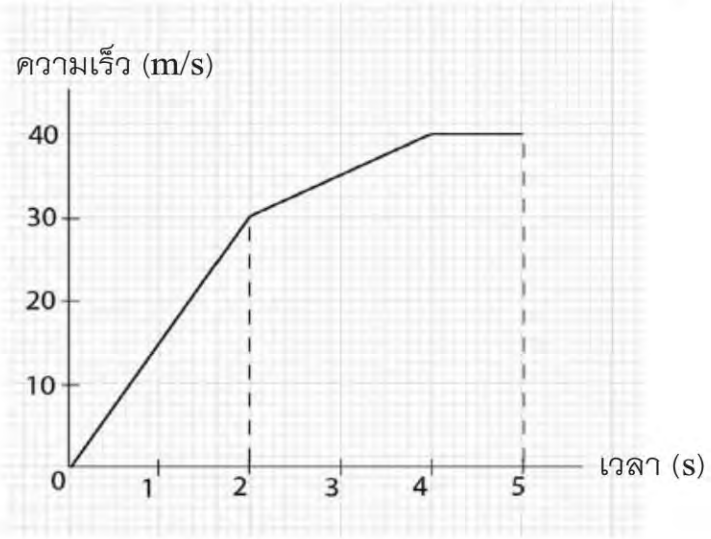
ง. ถ้ารถไฟวิ่งระหว่างสถานีทั้งสองด้วยความเร็วสม่ำเสมอ และใช้เวลาในการเดินทางเท่ากัน ความเร็วของรถไฟจะเป็นเท่าใด

26. จากกราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของรถที่เคลื่อนที่บนถนนตรง ในช่วงเวลา 5 วินาที

ก. รถเคลื่อนที่ได้ระยะทางเท่าใด ในเวลา 2 วินาทีแรก

ข. รถเคลื่อนที่ได้ระยะทางเท่าใด ในเวลา 4 วินาทีแรก

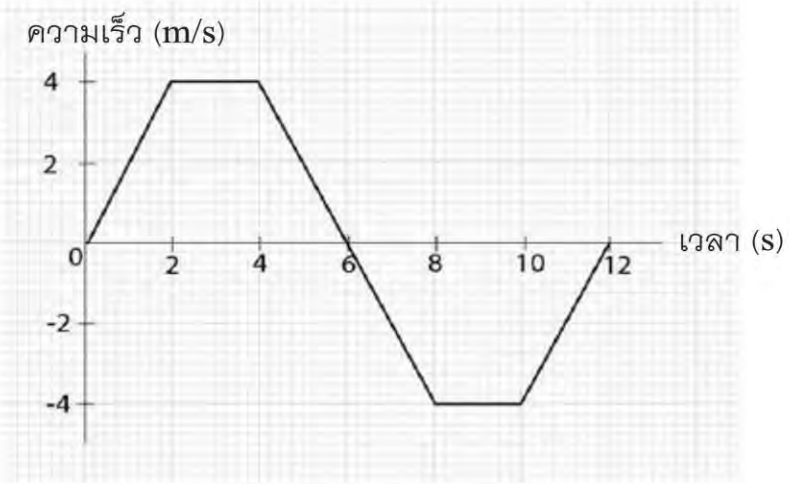
ค. ขนาดความเร่งของรถที่เวลา 3 วินาที มีค่าเท่าใด หลังจากเริ่มเคลื่อนที่



รูปสำหรับปัญหาข้อ 26

www.Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

27. จากกราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวตรง
    ก. การกระจัดทั้งหมดของวัตถุมีค่าเท่าใด
    ข. ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้มีค่าเท่าใด
    ค. วัตถุเคลื่อนที่กลับทิศทางเมื่อเวลาเท่าใด
    ง. ความเร่งที่เวลา 1 วินาที มีค่าเท่าใด



รูปสำหรับปัญหาข้อ 27

28. โยนก้อนหินขึ้นไปในแนวดิ่งจากพื้นดิน ด้วยความเร็วต้น 20 เมตรต่อวินาที หลังจากที่โยนไปแล้วเป็นเวลาเท่าใด ก้อนหินจึงตกลงมาด้วยความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที
29. เด็กคนหนึ่งโยนเหรียญขึ้นไปในแนวดิ่ง เหรียญตกถึงพื้นที่อยู่ต่ำกว่าตำแหน่งมือที่โยนเหรียญเป็นระยะทาง 80 เซนติเมตร ถ้าเหรียญอยู่ในอากาศเป็นเวลา 2 วินาที เด็กคนนั้นโยนเหรียญขึ้นไปด้วยอัตราเร็วเท่าใด

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

บทที่ 3
แรงและกฎการเคลื่อนที่

พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุต่าง ๆ รอบตัวเรา ไม่ว่าจะเป็นรถยนต์ รถจักรยาน เราเคยสงสัยบ้างหรือไม่ว่าวัตถุเหล่านี้เคลื่อนที่ได้เพราะเหตุใด มีปริมาณอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องอีกหรือไม่ นอกเหนือจากปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ที่ได้ศึกษามาแล้วได้แก่ ระยะทาง เวลา การกระจัด อัตราเร็ว ความเร็วและความเร่ง

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

3.1 แรง

ในชีวิตประจำวันทุกคนออกแรงกระทำต่อวัตถุอยู่เสมอ เช่น ยกกระเป๋า ผลักประตู หรือเลื่อนเก้าอี้ เป็นต้น การออกแรงดังกล่าวเกิดจากการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ เมื่อต้องการบอกขนาดของแรงที่ใช้ว่ามีค่ามากหรือน้อย มักใช้ความรู้สึกและประสบการณ์เดิมเข้าช่วย เช่น เรารู้สึกว่าการยกหนังสือออกแรงน้อยกว่าการเข็นรถ เป็นต้น การบอกขนาดของแรงจากความรู้สึกดังกล่าว ไม่อาจใช้เป็นมาตรฐานในการวัดขนาดของแรงได้

รูป 3.1 ออกแรงผลักรถเด็กเล่น

ถ้าเราออกแรงผลักรถเด็กเล่นที่วางนิ่งบนพื้นโต๊ะ รถจะเริ่มเคลื่อนที่ ถ้าเราออกแรงผลักต่อไปอีกรถก็จะเคลื่อนที่เร็วขึ้น ถ้าเราต้องการให้รถที่เคลื่อนที่อยู่แล้วหยุด จะต้องออกแรงผลักในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของรถ รถจะเคลื่อนที่ช้าลงจนกระทั่งหยุด แสดงว่า แรงที่กระทำต่อรถมีผลต่อการเคลื่อนที่ของรถ

จากสถานการณ์ข้างต้นนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุ แล้ววัตถุมีการเคลื่อนที่จะทำให้วัตถุมีความเร็วเปลี่ยนไป ซึ่งอาจเปลี่ยนเฉพาะขนาดของความเร็วหรือเปลี่ยนเฉพาะทิศทางของความเร็ว หรือเปลี่ยนทั้งขนาดและทิศทางของความเร็วก็ได้ เราเรียกการเปลี่ยนความเร็วของวัตถุว่าการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ จึงอาจกล่าวได้อีกแบบหนึ่งว่า **แรงสามารถทำให้วัตถุเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่** แสดงว่า **แรง** (force) เป็นปริมาณที่มีทั้งขนาดและทิศทาง แรงจึงเป็นปริมาณเวกเตอร์ สำหรับหน่วยของแรง ตามระบบเอสไอ คือ นิวตัน (N)

เนื่องจากแรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ เราจึงสามารถใช้วิธีการเขียนรูปลูกศรแทนแรงได้ โดยให้ความยาวของเส้นตรงแทนขนาดของแรง และหัวลูกศรแสดงทิศทางของแรง ซึ่งก็เป็นลักษณะเช่นเดียวกับปริมาณเวกเตอร์อื่นๆ ที่ได้ศึกษามาแล้ว

จากการศึกษาเกี่ยวกับแรง เราเริ่มต้นพิจารณาที่แรงเพียงแรงเดียวกระทำต่อวัตถุ หากมีแรงมากกว่าหนึ่งแรงกระทำต่อวัตถุ จะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุอย่างไร เราจะได้ศึกษาต่อไป

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

ถ้าออกแรง 2 แรงในแนวระดับกระทำต่อรถซึ่งหยุดนิ่งบนพื้นราบ โดยออกแรง $\vec{F}_1$ ผลักรถและออกแรง $\vec{F}_2$ ดึงรถ แรงทั้งสองเขียนแทนด้วยรูปลูกศร ดังรูป 3.2

รูป 3.2 เวกเตอร์ของแรง 2 แรงที่ผลักรถและดึงรถ

☐ *จากรูป 3.2 รถจะเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร*

ถ้าออกแรง2แรงในแนวระดับกระทำต่อรถซึ่งหยุดนิ่งบนพื้นราบ โดยออกแรงผลักรถในทิศทางตรงข้ามกัน ด้วยแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ ดังรูปลูกศรในรูป 3.3

รูป 3.3 เวกเตอร์ของแรง 2 แรงที่ผลักรถในทิศทางตรงข้ามกัน

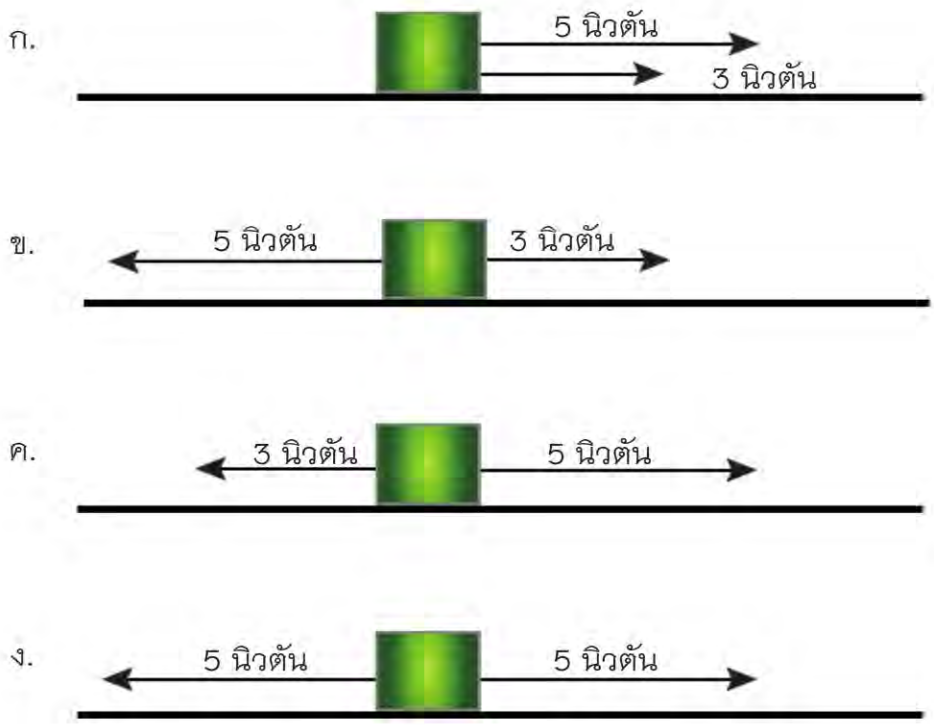
☐ *ถ้าขนาดของแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ เท่ากัน รถจะเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร*

☐ *ถ้าขนาดของแรง $\vec{F}_1$ มากกว่า $\vec{F}_2$ รถจะเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร*

เมื่อมีแรง 2 แรง หรือมากกว่ามากระทำต่อวัตถุเดียวกัน ผลที่เกิดขึ้นจะเสมือนกับว่า มีแรงเพียงแรงเดียวกระทำต่อวัตถุนั้น ซึ่งแรงดังกล่าวเรียกว่า **แรงลัพธ์** (resultant force)

การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ใช้วิธีการเดียวกับการหาเวกเตอร์ลัพธ์ ในกรณีหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ในแนวตรง เรากำหนดให้แรงที่มีทิศทางตรงข้ามกัน มีเครื่องหมายต่างกัน เช่น กำหนดให้แรงที่มีทิศทางไปทางขวามือ มีเครื่องหมายบวก (+) และให้แรงที่มีทิศทางไปทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ (–) เป็นต้น

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ



รูป 3.4 แรงสองแรงที่กระทำต่อวัตถุอยู่ในแนวเดียวกัน

□ *จากรูป 3.4 แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุในแต่ละกรณีมีขนาดเท่าใดและมีทิศทางไปทางใด*

การหาแรงลัพธ์ดังรูป 3.4 เป็นการหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่อยู่ในแนวเดียวกัน ซึ่งขนาดของแรงลัพธ์จะเท่ากับผลบวกของขนาดของแรงทั้งสองในกรณีแรงทั้งสองมีทิศทางไปทางเดียวกัน ดังรูป 3.4 ก. หรือขนาดของแรงลัพธ์จะเท่ากับผลต่างของขนาดของแรงทั้งสองในกรณีแรงทั้งสองมีทิศทางตรงข้ามกัน โดยทิศทางของแรงลัพธ์จะมีทิศทางไปตามทิศทางของแรงที่มีขนาดมากกว่า ดังรูป 3.4 ข. และ 3.4 ค. ในกรณีแรงทั้งสองมีขนาดเท่ากัน ทิศทางตรงข้ามกัน แรงลัพธ์จะมีขนาดเป็นศูนย์ ทิศทางไม่สามารถระบุได้ ดังรูป 3.4 ง.

นอกจากกรณีดังกล่าวข้างต้นแล้วจะเป็นกรณีที่แรงทำมุมต่อกัน การหาแรงลัพธ์มีวิธีการอย่างไร จะได้ศึกษาในหัวข้อต่อไป

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

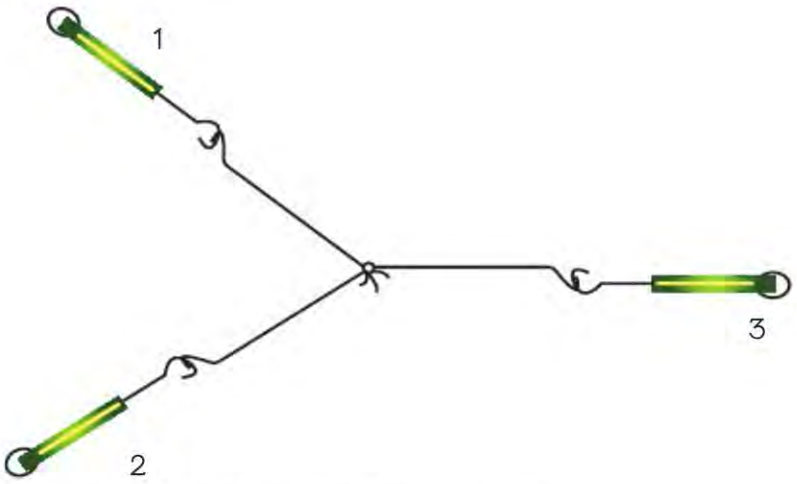
3.2 การหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน

ในกรณีแรงที่ทำมุมต่อกัน จะทำการทดลองหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ได้จากการทดลอง 3.1 ซึ่งนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์โดยการสร้างรูปและโดยการคำนวณได้ดังนี้

การทดลอง 3.1 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์

จุดประสงค์ เพื่อหาขนาดทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน

วิธีทดลอง



รูป การจัดอุปกรณ์การทดลอง 3.1

1. นำปลายข้างหนึ่งของเชือกทั้งสามผูกรวมกันไว้ ปลายที่เหลือทำเป็นห่วงเชือก แล้ววางบนกระดาษขาว
2. ใช้เครื่องชั่งสปริงทั้งสามอันเกี่ยวกับห่วงเชือกแล้วดึงเครื่องชั่งสปริงทั้งสามจนปมเชือกหยุดนิ่ง โดยที่เครื่องชั่งสปริงสองอันแรกทำมุม 0° เขียนแนวแรงตามแนวของเชือก และบันทึกค่าของแรงทั้งสาม
3. ทำเช่นเดียวกับข้อ 2 โดยให้เครื่องชั่งสปริงสองอันแรกทำมุม 45°และ 90°
4. เขียนเวกเตอร์แทนขนาดและทิศทางของแรงทั้งสามในแต่ละกรณี
5. หาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่กระทำมุมต่อกันในข้อ 2 และ 3 โดยวิธีสร้างสี่เหลี่ยมด้านขนาน

☐ *เวกเตอร์ของแรงลัพธ์จะมีขนาดเท่ากับเวกเตอร์ของแรงที่สามหรือไม่ และทิศทางเป็นอย่างไร*

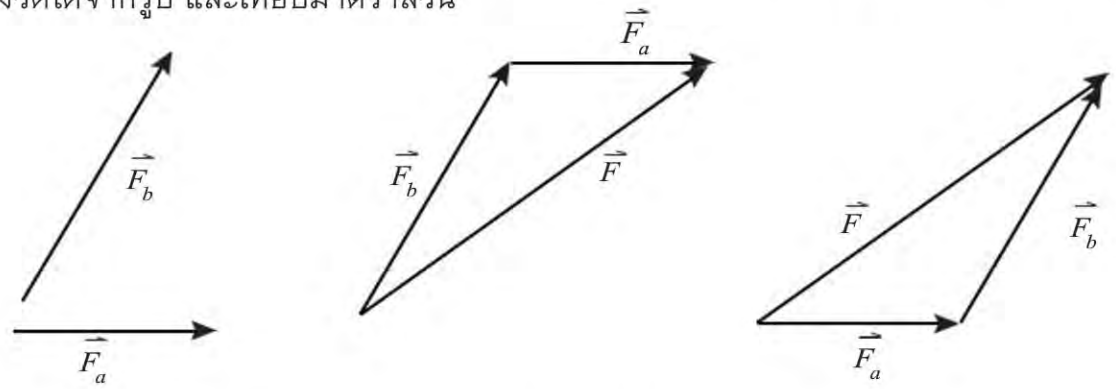
Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพังกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

3.2.1 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์โดยการสร้างรูป

วิธีสร้างรูป เป็นวิธีการหาแรงลัพธ์ที่ง่ายและสะดวกที่สุด แต่ผลที่ได้จะถูกต้องมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับการเขียนลูกศรแทนขนาดและทิศทางของแรงโดยใช้มาตราส่วนถูกต้องหรือไม่ เราอาจแบ่งวิธีสร้างรูปได้ 2 แบบ คือการสร้างรูปสามเหลี่ยมและการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน

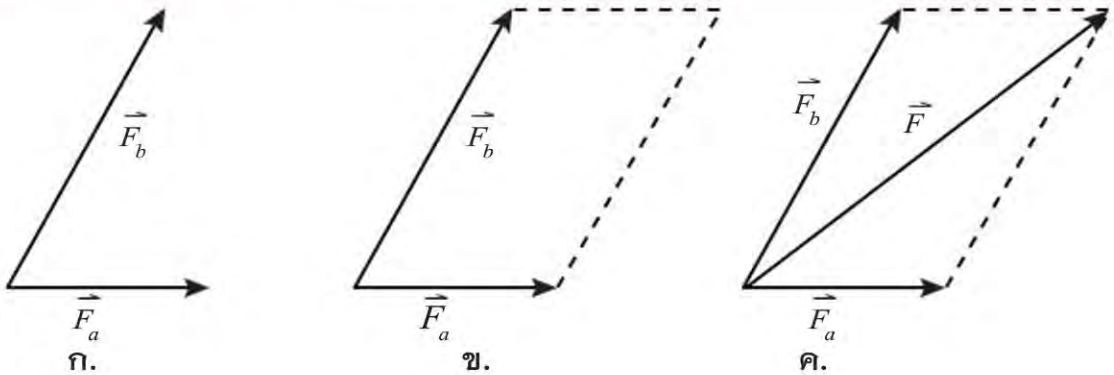
การสร้างรูปสามเหลี่ยม

ทำได้โดยนำหางลูกศรของแรงหนึ่ง ($\vec{F}_a$) ไปต่อกับหัวลูกศรของอีกแรงหนึ่ง ($\vec{F}_b$) ลากเส้นจากหางลูกศรของแรงแรกไปยังหัวลูกศรของแรงที่สองจะได้แรงลัพธ์ ($\vec{F}$) ดังรูป 3.5 ขนาดและทิศทางของแรงวัดได้จากรูป และเทียบมาตราส่วน



รูป 3.5 การหาแรงลัพธ์ของแรง $\vec{F}_a$ และ $\vec{F}_b$ โดยการสร้างรูปสามเหลี่ยม

การสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน



รูป 3.6 การหาแรงลัพธ์โดยการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน

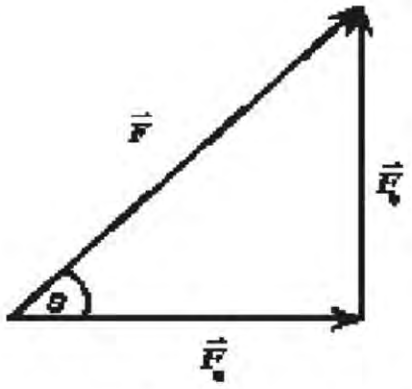
นำหางของ $\vec{F}_a$ ต่อกับหางของ $\vec{F}_b$ (หรือหาง $\vec{F}_b$ ต่อกับหาง $\vec{F}_a$) ดังรูป 3.6 ก จากนั้นสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานดังรูป 3.6 ข เส้นทแยงมุมของสี่เหลี่ยมด้านขนาน คือ แรงลัพธ์ $\vec{F}$ ขนาดและทิศทางของแรง $\vec{F}$ วัดได้จากรูป 3.6 ค และเทียบมาตราส่วน

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

3.2.2 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์โดยการคำนวณ

ในกรณีการสร้างรูปและการวัดจากรูปที่สร้างขึ้นตามมาตราส่วนนั้นมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง เราจึงนิยมหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์โดยวิธีคำนวณซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ กรณีที่แรงทั้งสองทำมุมต่อกันเป็นมุมฉาก และกรณีที่แรงสองแรงทำมุมต่อกันไม่เป็นมุมฉาก

การบวก vector



รูป 3.7 การหาแรงลัพธ์ของแรง $\vec{F}_a$ และ $\vec{F}_b$ ซึ่งตั้งฉากกัน

กรณีที่แรงทั้งสองทำมุมต่อกันเป็นมุมฉาก ขนาดของแรงลัพธ์ $\vec{F}$ หาได้จากทฤษฎีพีทาโกรัส

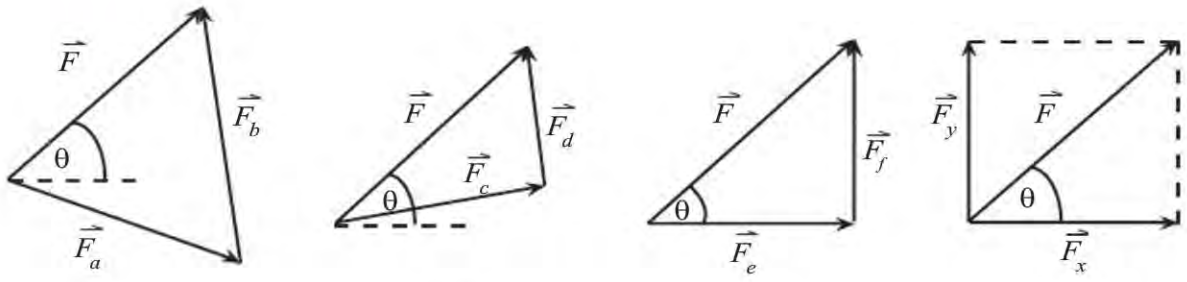
$$F^2 = F_a^{\,2} + F_b^{\,2}$$

ส่วนทิศทางของแรงลัพธ์ $\vec{F}$ ที่ทำมุม θ กับแรง $\vec{F}_a$ หา ได้จาก

$$\tan\theta = \frac{F_b}{F_a}$$

ในกรณีที่แรงสองแรงทำมุมต่อกันไม่เป็นมุมฉาก ใช้วิธีแยกแรงออกเป็นแรงย่อยเสียก่อนแล้วจึงหาแรงลัพธ์ เพราะว่าแรงสองแรงที่กระทำต่อวัตถุมีผลเสมือนมีแรงลัพธ์เพียงแรงเดียวกระทำต่อวัตถุ และแรงสองแรงนั้นเราคิดว่าเป็นแรงย่อยของแรงลัพธ์ได้ ซึ่งมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แรงองค์ประกอบ ในทางตรงกันข้าม ถ้ามีแรงอยู่เพียงแรงเดียว เราก็สามารถแยกแรงนี้เป็นแรงย่อยได้สองแรง และเพื่อความสะดวกเรากำหนดให้แรงย่อยทั้งสองอยู่ในทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกัน ดังรูป 3.8 ค และ 3.8 ง

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ



ก ข ค ง

รูป 3.8 แรงย่อยของแรง $\vec{F}$

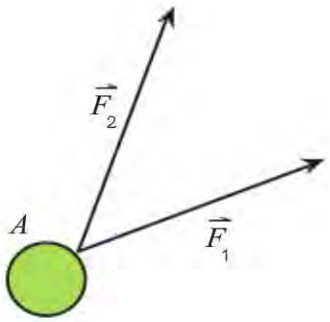
☐ *จากรูป 3.8 ก -ง ถ้า $\vec{F}$ มีค่าเท่ากัน $\vec{F}_a + \vec{F}_b = \vec{F}_c + \vec{F}_d = \vec{F}_e + \vec{F}_f = \vec{F}_x + \vec{F}_y$ หรือไม่ เพราะเหตุใด*

ในรูป 3.8 ก ข ค เป็นการรวมเวกเตอร์แบบสามเหลี่ยม ส่วนรูป 3.8 ง เป็นการรวมเวกเตอร์แบบสี่เหลี่ยมด้านขนาน ซึ่งแรงลัพธ์ของทั้งสองแบบเท่ากัน ดังนั้นเราสามารถแยกแรง $\vec{F}$ ออกเป็น $\vec{F}_e$ กับ $\vec{F}_f$ ได้และเรียก $\vec{F}_e$ ว่า $\vec{F}_x$ ซึ่งมีความหมายว่าเป็นแรงย่อยของ $\vec{F}$ ในแนวแกน x เรียก $\vec{F}_f$ ว่า $\vec{F}_y$ ซึ่งมีความหมายว่าเป็นแรงย่อยของ $\vec{F}$ ในแนวแกน y

จากหลักตรีโกณมิติ $\frac{F_x}{F} = \cos\theta$ หรือ $F_x = F\cos\theta$

$\frac{F_y}{F} = \sin\theta$ หรือ $F_y = F\sin\theta$

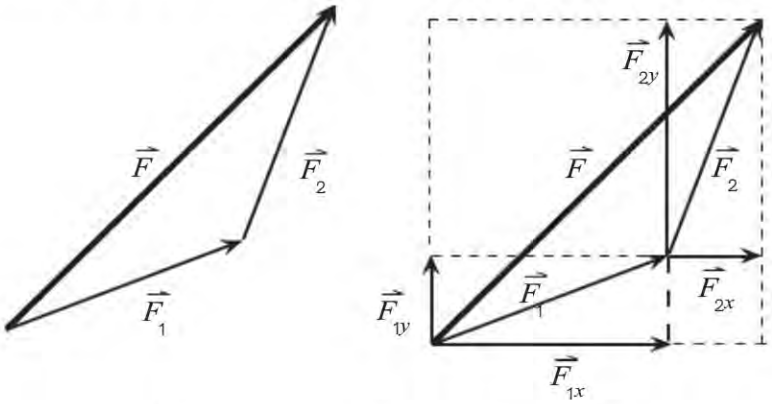
ต่อไปจะศึกษาว่า หลักของการแยกแรงเป็นแรงย่อยก่อนนั้นสามารถนำไปหาแรงลัพธ์ได้



รูป 3.9 แรงสองแรงกระทำต่อวัตถุ

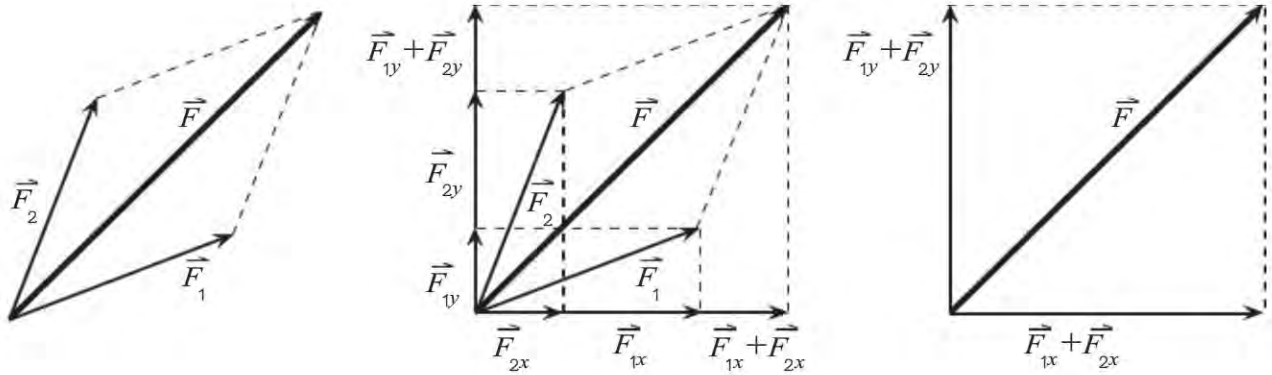
Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

พิจารณาวัตถุ A ถูกแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ กระทำ ดังรูป 3.9 เราสามารถหาแรงลัพธ์ $\vec{F}$ ของ $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ ได้โดยสร้างรูปสามเหลี่ยม ดังรูป 3.10 ก และถ้าใช้วิธีแยกแรงแล้วหาแรงลัพธ์ $\vec{F}$ จะเขียนได้ดังรูป 3.10 ข



ก ข

รูป 3.10 การหาแรงลัพธ์โดยแยกเป็นแรงย่อยก่อน



ก ข ค

รูป 3.11 การหาแรงลัพธ์โดยแยกเป็นแรงย่อยก่อน

การหาแรงลัพธ์ $\vec{F}$ โดยวิธีสร้างสี่เหลี่ยมด้านขนานดังรูป 3.11 ก และถ้าใช้วิธีแยกแรงแล้วหาแรงลัพธ์ $\vec{F}$ จะเขียนได้ดังรูป 3.11 ข เรานิยมใช้การแยกแรงตามรูป 3.11 ข เพราะจุดกระทำของแรงเป็นไปตามรูป 3.9

จากรูป 3.10 ข และ 3.11 ข เราสามารถแยกแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ ให้มาอยู่ในแกน x และ y ได้โดย

แยกแรง $\vec{F}_1$ เป็น $\vec{F}_{1x}$ และ $\vec{F}_{1y}$

แยกแรง $\vec{F}_2$ เป็น $\vec{F}_{2x}$ และ $\vec{F}_{2y}$

แรงลัพธ์ทางแกน x เท่ากับ $\vec{F}_{1x} + \vec{F}_{2x} = \vec{F}_x$

แรงลัพธ์ทางแกน y เท่ากับ $\vec{F}_{1y} + \vec{F}_{2y} = \vec{F}_y$

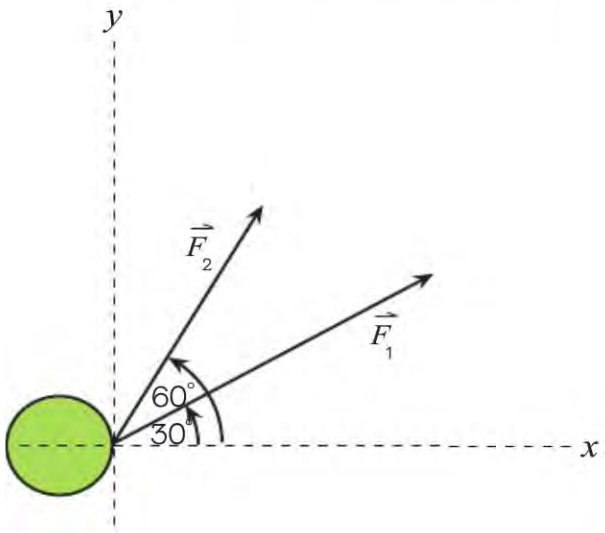
$$\vec{F}_x + \vec{F}_y = \vec{F}$$

เราจะเห็นวิธีการคำนวณหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ได้ จากตัวอย่างต่อไปนี้

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

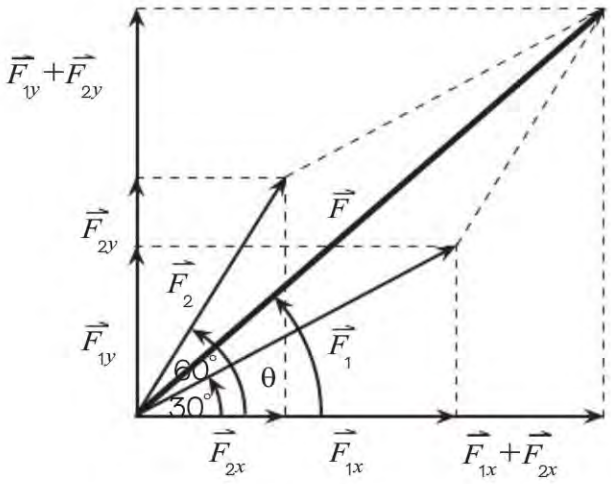
ตัวอย่าง 3.1

จงหาแรงลัพธ์ของ $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ ที่กระทำต่อวัตถุ กำหนดให้ F_1 มีขนาด 5.0 นิวตัน ทำมุม 30 องศา กับแกน x และ F_2 มีขนาด 4.0 นิวตัน ทำมุม 60 องศา กับแกน x



รูปประกอบตัวอย่าง 3.1 แรงสองแรงที่กระทำต่อวัตถุ

แนวคิด เขียนรูปแรงที่กระทำต่อวัตถุ
แยกแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ เป็นแรงย่อยในแกน x และแกน y หาแรงลัพธ์ในแกน x และแกน y (F_x และ F_y) แล้วหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์จาก $F = \sqrt{F_x^{\,2} + F_y^{\,2}}$ และ $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right)$



รูป การแยกแรงเป็นแรงย่อยในแกน x และแกน y

การแยกแรงเป็นแรงย่อยในแกน x แกน y

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

วิธีทำ หาองค์ประกอบแรงลัพธ์ในแกน x ได้

$$\vec{F}_x = \vec{F}_{1x} + \vec{F}_{2x}$$

$$F_x = F_1 \cos 30^\circ + F_2 \cos 60^\circ$$

$$F_x = (5.0\ \text{N})\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) + (4.0\ \text{N})\left(\frac{1}{2}\right) = 4.33\ \text{N} + 2.0\ \text{N} = 6.33\ \text{N}$$

หาองค์ประกอบแรงลัพธ์ในแกน y ได้

$$\vec{F}_y = \vec{F}_{1y} + \vec{F}_{2y}$$

$$F_y = F_1 \sin 30^\circ + F_2 \sin 60^\circ$$

$$F_y = (5.0\ \text{N})\left(\frac{1}{2}\right) + (4.0\ \text{N})\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 2.5\ \text{N} + 3.46\ \text{N} = 5.96\ \text{N}$$

หาขนาดของแรงลัพธ์ $\vec{F}$ ได้จาก

$$F = \sqrt{F_x^{\,2} + F_y^{\,2}}$$

$$F = \sqrt{(6.33\ \text{N})^2 + (5.96\ \text{N})^2}$$

$$= \quad 8.7\ \text{N}$$

หาทิศทางของ $\vec{F}$ ได้จาก

$$\tan\theta = \frac{F_y}{F_x}$$

$$\tan\theta = \frac{5.96\,\text{N}}{6.33\,\text{N}} = 0.942$$

$$\theta = \tan^{-1}0.942$$

เปิดตารางตรีโกณมิติในภาคผนวก ได้ $\theta = 43.3^\circ$

ตอบ แรงลัพธ์ของ $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ มีขนาด 8.7 นิวตัน ทำมุม 43.3 องศา กับแกน x

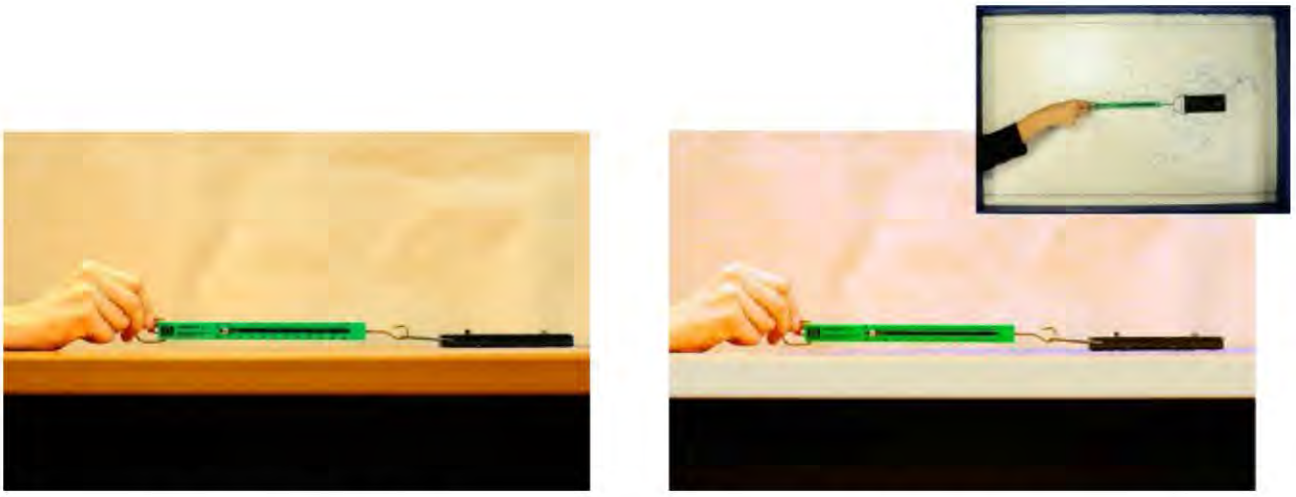
Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

3.3 กฎการเคลื่อนที่

พิจารณาการเคลื่อนที่ของรถยนต์คันหนึ่งเริ่มต้นจากหยุดนิ่ง ต่อมามีแรงมาทำให้รถเคลื่อนที่ ช่วงเวลาที่รถเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งจนมีความเร็วที่ต้องการนั้นมีความเร่งเกิดขึ้น เมื่อรถมีความเร็วแล้ว อาจมีความเร็วคงตัวอยู่ขณะหนึ่งที่รถวิ่งอยู่บนถนนตรง แต่โดยทั่วไปแล้วขนาดและทิศทางของความเร็วจะไม่แน่นอน เพราะอาจมีการเพิ่มหรือลดขนาดความเร็ว ด้วยการใช้คันเร่งและห้ามล้อ หรือมีการเลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนความเร็วจะมีความเร่งเกิดขึ้นเสมอ เพราะความเร่งคืออัตราการเปลี่ยนความเร็ว

จะเห็นว่าการเคลื่อนที่ของรถยนต์ มีการเคลื่อนที่หลายลักษณะ เช่น หยุดนิ่ง มีความเร็วคงตัว และมีความเร็วไม่คงตัวหรือมีความเร่งซึ่งเป็นการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ นักเรียนจะเข้าใจสภาพการเคลื่อนที่ และการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ได้ดี เมื่อได้ศึกษา**กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน** (Newton's law of motion) ทั้งสามข้อ

3.3.1 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน



ก. ดึงแท่งเหล็กบนพื้นโต๊ะ ข. ดึงแท่งเหล็กบนพื้นที่โรยเม็ดพลาสติก

รูป 3.12 การดึงแท่งเหล็กด้วยเครื่องชั่งสปริง

ใช้เครื่องชั่งสปริงดึงแท่งเหล็ก (ที่มีขอสำหรับเกี่ยว) บนพื้นโต๊ะดังรูป 3.12 ก. พยายามให้แท่งเหล็กเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว อ่านค่าของแรงที่ใช้ดึงว่าเปลี่ยนแปลงหรือไม่ เมื่อหยุดออกแรงแล้ว แท่งเหล็กมีการเคลื่อนที่อย่างไร

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

นำแท่งเหล็กอันเดิมวางบนถาดลดแรงเสียดทานที่โรยเม็ดพลาสติก ใช้เครื่องชั่งสปริงดึงแท่งเหล็กให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวดังรูป 3.12 ข. อ่านค่าของแรงจากเครื่องชั่งสปริง เมื่อหยุดออกแรงลากแล้ว แท่งเหล็กมีการเคลื่อนที่อย่างไร

ลักษณะการเคลื่อนที่ของแท่งเหล็กทั้งสองกรณีเหมือนกันหรือไม่ ถ้าวางแท่งเหล็กบนพื้นที่ลื่นกว่าถาดลดแรงเสียดทานแล้วออกแรงดึง เมื่อหยุดออกแรง แท่งเหล็กจะเคลื่อนที่อย่างไร และถ้าพื้นนั้นไม่มีความฝืดเลย การเคลื่อนที่ของแท่งเหล็กหลังจากที่เราหยุดออกแรงดึงแล้วจะเป็นเช่นใด

การเคลื่อนที่ของวัตถุแบบมีความเร็วคงตัว เกิดขึ้นได้ทั้งกรณีที่พื้นมีความฝืดและพื้นไม่มีความฝืด สำหรับกรณีที่พื้นมีความฝืดมาก เราต้องออกแรงดึงตลอดเวลาเพื่อให้วัตถุมีความเร็วคงตัว เมื่อหยุดออกแรงวัตถุจะหยุดเคลื่อนที่ ส่วนกรณีที่พื้นไม่มีความฝืดหลังจากที่เราออกแรงดึงจนกระทั่งวัตถุมีความเร็วขนาดหนึ่งแล้วเมื่อหยุดออกแรง วัตถุจะยังคงเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็วคงตัว

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีความเร็วคงตัวนั้นมีความหมายว่า วัตถุไม่เปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ สภาพหยุดนิ่งของวัตถุ(สภาพที่วัตถุมีความเร็วคงตัวเท่ากับศูนย์) ก็ถือว่าไม่เปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่เช่นเดียวกัน นอกจากนั้นยังทราบอีกว่า แรงทำให้วัตถุมีการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ ดังนั้นการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีความเร็วคงตัว จึงถือได้ว่าไม่มีแรงมากระทำ เพราะไม่มีการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ แรงที่กล่าวถึงนี้ ในกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน หมายถึง แรงลัพธ์

☐ *การดึงแท่งเหล็กให้มีความเร็วคงตัวบนพื้นที่มีความฝืด แรงกระทำต่อแท่งเหล็กมีแรงใดบ้างและแรงลัพธ์มีค่าเท่าใด เพราะเหตุใด*

☐ *กรณีที่ดึงแท่งเหล็กทำให้เคลื่อนที่บนพื้นที่มีความฝืดน้อยมากจนอาจถือได้ว่าไม่มีความฝืดเลย เมื่อหยุดออกแรงดึงแล้วแท่งเหล็กจะเคลื่อนที่อย่างไร มีแรงใดมากระทำหรือไม่ แรงลัพธ์มีค่าเท่าใด*

นิวตันได้นำแนวความคิดเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบมีความเร็วคงตัวมาสรุปเป็น**กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน** (Newton's first law of motion) มีใจความว่า **วัตถุคงสภาพอยู่นิ่ง หรือสภาพเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอในแนวเส้นตรง นอกจากจะมีแรงลัพธ์ซึ่งมีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำ**

หรืออาจกล่าวได้ว่า ถ้าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ วัตถุจะไม่เปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ นั่นคือ ถ้าเดิมวัตถุนั้นหยุดนิ่ง ก็จะหยุดนิ่งต่อไป เช่นหนังสือวางอยู่บนโต๊ะ ถ้าไม่มีแรงใดมากระทำ หนังสือเล่มนั้นก็จะวางอยู่บนโต๊ะตลอดไป ถ้าวัตถุนั้นมีการเคลื่อนที่อยู่แล้วด้วยความเร็วค่าหนึ่ง วัตถุนั้นก็จะเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็วคงตัวค่าเดิม เช่น การผลักแท่งเหล็กให้เคลื่อนที่ในถาดที่โรยด้วยเม็ดพลาสติกเล็ก ๆ เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างแท่งไม้กับพื้นถาด ถ้าถาดมีขนาดใหญ่มากและแรงเสียดทานมีค่าน้อยมากจนอาจถือได้ว่าไม่มีแรงเสียดทานเกิดขึ้น เมื่อปล่อยมือแล้ว แท่งเหล็กจะมีความเร็วคงตัวตลอดไปและแนวการเคลื่อนที่จะเป็นเส้นตรง หรือรถยนต์ที่วิ่งด้วยความเร็วคงตัวบนถนนตรง เราก็อาจกล่าวได้ว่าขณะนั้นแรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถยนต์มีค่าเป็นศูนย์

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน มีอีกชื่อหนึ่งคือ **กฎของความเฉื่อย** (law of inertia) คือ เฉื่อยต่อการเปลี่ยนสภาพเคลื่อนที่

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพังกระทำ บ้างไม่พังกระทำ

รูป นิวตัน

นิวตัน Sir Isaac Newton (พ.ศ. 2185 – 2270 หรือ ค.ศ. 1642 – 1727) นักวิทยาศาสตร์และนักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษ เป็นผู้อธิบายว่า ทำไมวัตถุจึงตกลงสู่พื้นโลกด้วยความเร่ง เขาได้ตั้งกฎการเคลื่อนที่ 3 ข้อ ซึ่งเป็นรากฐานที่สำคัญมากของวิชาฟิสิกส์ นิวตันสร้างกฎเหล่านี้จากข้อมูลของตนเองและนักวิทยาศาสตร์คนอื่น ๆ เช่น กาลิเลโอ เคปเลอร์ แล้วสรุปเป็นกฎเกณฑ์ง่าย ๆ นอกจากนี้นิวตันยังได้ศึกษาเกี่ยวกับวิชาแสง เช่น เลนส์ สร้างกล้องโทรทรรศน์สำหรับส่องดูดาว ตลอดจนวางรากฐานวิชาแคลคูลัส

3.3.2 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

ในหัวข้อที่ผ่านมาได้ศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ซึ่งไม่มีแรงลัพธ์มากระทำ หรือแรงลัพธ์ที่กระทำมีขนาดเป็นศูนย์และได้สรุปเป็นกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันมาแล้ว สำหรับในหัวข้อนี้เราจะศึกษากรณีการเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งมีแรงลัพธ์ที่มีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำ แรงนี้มีความสัมพันธ์กับมวลและความเร่งของวัตถุอย่างไร ศึกษาได้จากการทดลอง 3.2

การทดลอง 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่ง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อวัตถุกับความเร่งของวัตถุที่เกิดจากแรงนั้น เมื่อมวลของวัตถุที่พิจารณามีค่าคงตัว

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การชดเชยแรงเสียดทาน

1. การติดตั้งอุปกรณ์ วางรางไม้บนโต๊ะ นำแขนรางไม้ที่มีรอกติดอยู่มาประกอบกับรางไม้ จัดปลายรางไม้ด้านที่มีรอกให้ยื่นพ้นขอบโต๊ะเล็กน้อย
2. นำรถทดลองวางบนรางไม้ ติดปลายข้างหนึ่งของแถบกระดาษกับท้ายรถทดลอง นำปลายอีกข้างหนึ่งของแถบกระดาษสอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาซึ่งต่ออยู่กับหม้อแปลงโวลต์ต่ำ (ใช้ความต่างศักย์ 4 – 6 โวลต์ หรือตามข้อแนะนำของเครื่องเคาะสัญญาณเวลา)

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

3. ผูกสายไนลอนกับแกนเหล็กที่อยู่ด้านหน้ารถทดลอง แล้วคล้องสายไนลอนผ่านรอกให้ห้อยลงในแนวดิ่ง ผูกขอเกี่ยวโลหะที่ปลายสายไนลอน
4. จัดให้แนวแถบกระดาษ ตัวรถ และสายไนลอน ให้อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันดังรูป

รูป การชดเชยแรงเสียดทาน

การชดเชยแรงเสียดทาน

5. ลองผลักรถทดลองเบา ๆ ในทิศทางเข้าหารอก ถ้ารถเคลื่อนที่ได้ระยะใกล้ ๆ แล้วหยุดเคลื่อนที่ให้หนุนปลายรางด้านที่อยู่ตรงข้ามกับที่ติดรอกให้สูงขึ้นเล็กน้อย แล้วลองผลักรถทดลองใหม่ จะหยุดปรับปลายรางให้สูงขึ้น เมื่อรางอยู่ในตำแหน่งที่ผลักรถทดลองเบา ๆ แล้ว รถทดลองแล่นตามรางด้วยความเร็วคงตัว ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากระยะห่างที่เท่ากันของแต่ละช่วงจุดบนกระดาษที่สอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

☐ *ก่อนหนุนปลายรางไม้ข้างหนึ่งให้สูงขึ้น เมื่อผลักรถทดลองเบา ๆ เหตุใดรถทดลองเคลื่อนที่ไปแล้วหยุด*

☐ *จะทราบได้อย่างไรว่า รถทดลองแล่นด้วยความเร็วคงตัวและขณะที่รถทดลองแล่นด้วยความเร็วคงตัว แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถทดลองเป็นเท่าใด*

ตอนที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของความเร่งกับขนาดของแรงดึง เมื่อมวลของวัตถุมีค่าคงตัว

1. ใช้ชุดการทดลองที่เตรียมไว้จากตอนที่ 1 นำนอต 1 ตัว คล้องกับขอเกี่ยวโลหะ จับรถทดลองไว้ จัดแถบกระดาษให้เรียบร้อย (เช่นเดียวกับตอนที่ 1)
2. เปิดเครื่องเคาะสัญญาณเวลาพร้อมกับปล่อยรถทดลองให้เคลื่อนที่ นำแถบกระดาษที่ได้มาเขียนข้อความไว้ที่ด้านหลังว่า นอต 1 ตัว

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

3. เปลี่ยนแถบกระดาษใหม่ แล้วทดลองซ้ำ แต่เพิ่มจำนวนนอตเป็น 2, 3, 4 และ 5 ตัว ตามลำดับ เขียนข้อความไว้ด้านหลังแถบกระดาษทุกครั้งว่า นอต 2 ตัว นอต 3 ตัว นอต 4 ตัว และนอต 5 ตัว ตามลำดับ โดยให้นอต 1 ตัวดึงรถด้วยแรงขนาด $1F$ ดังนั้น เมื่อใช้นอต 2, 3, 4 และ 5 ตัว จะมีแรงดึงรถทดลองด้วยขนาด $2F$, $3F$, $4F$, และ $5F$ ตามลำดับ

4. วิเคราะห์หาความเร่งของรถจากจุดบนแถบกระดาษแต่ละแถบ โดยวิธีเดียวกับการหาความเร่งโน้มถ่วงในการทดลอง 2.1

5. บันทึกขนาดความเร่งของรถทดลอง เมื่อใช้แรงขนาดต่าง ๆ ดึงรถทดลอง

6. เขียนกราฟระหว่างขนาดแรงที่ดึงรถทดลอง F กับขนาดความเร่ง a ของรถทดลองโดยให้ F อยู่บนแกน x และ a อยู่บนแกน y

- ☐ *เมื่อใส่นอตลงในขอเกี่ยวโลหะ ขณะรถทดลองเคลื่อนที่ มีแรงลัพธ์กระทำต่อรถทดลองหรือไม่*
- ☐ *กราฟระหว่างขนาดความเร่ง a กับขนาดของแรง F มีลักษณะอย่างไร*
- ☐ *จากลักษณะของกราฟขนาดความเร่ง a กับขนาดของแรง F มีความสัมพันธ์กันอย่างไร*

จากการทดลอง 3.2 สรุปเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

เมื่อมวล m คงตัว ขนาดของความเร่ง a ของรถจะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ F

$$a \propto F \qquad \text{(ก)}$$

และเมื่อทำการทดลองต่อโดยเปลี่ยนมวล (m) ของรถทดลองและให้แรงลัพธ์ F มีขนาดคงตัว ขนาดของความเร่ง a ของรถจะแปรผันตรงกับขนาดของส่วนกลับมวล $\frac{1}{m}$ หรือกล่าวได้ว่า ขนาดของความเร่ง a แปรผกผันกับมวล m นั่นเอง

$$a \propto \frac{1}{m} \qquad \text{(ข)}$$

จากการแปรผันตาม(ก) และ(ข) จะสรุปได้ว่า

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

หรือ $$F \propto ma \qquad \text{(ค)}$$

เราสามารถเปลี่ยนการแปรผันให้เป็นสมการได้โดยใช้หลักคณิตศาสตร์ ดังนั้นการแปรผันตาม (ค) จะกลายเป็น

$$F = kma \qquad (3.1)$$

เมื่อ k เป็นค่าคงตัวของการแปรผัน

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ในหน่วยเอสไอ กำหนดขนาดของแรง 1 นิวตัน ว่าเป็นแรงที่ทำให้วัตถุซึ่งมีมวล 1 กิโลกรัม เคลื่อนที่ไปด้วยความเร่ง 1 เมตรต่อวินาที^{2}

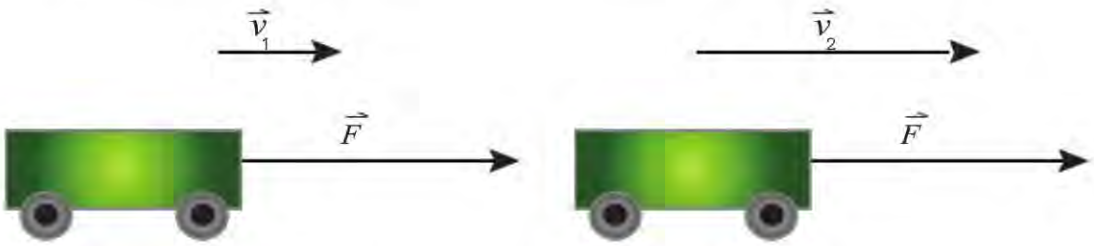
$$1\ \mathrm{N} = k\ (1\ \mathrm{kg})\ (1\ \mathrm{m/s^2})$$

จากสมการ (3.1) จะได้ $k = 1\ \mathrm{Ns^2/kgm}$

ดังนั้น สมการ (3.1) จะกลายเป็น

$$F = ma \tag{3.2}$$

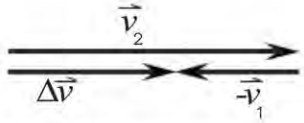
พิจารณาทิศทางของความเร็วของรถกับทิศทางของแรงที่เชือกดึงรถ ในรูป 3.13



รูป 3.13 ทิศทางของแรงที่กระทำต่อรถทดลอง

จะเห็นว่าขนาดของ $\vec{v}_2$ มีค่ามากกว่า $\vec{v}_1$ และมีทิศทางไปทางเดียวกัน เราหาค่าที่เพิ่มขึ้นได้จาก

$$\vec{v}_2 - \vec{v}_1 = \Delta\vec{v}$$



รูป 3.14 การลบเวกเตอร์หา $\Delta\vec{v}$

จากสรุปการทดลอง รูป 3.13 และรูป 3.14 ความเร็วของรถทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ นั่นคือ ความเร่งมีทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ เนื่องจากทั้งแรงและความเร่งเป็นปริมาณเวกเตอร์ เราจึงเขียนสมการ (3.2) ในรูปสมการเวกเตอร์ได้เป็น

$$\vec{F} = m\vec{a} \tag{3.3}$$

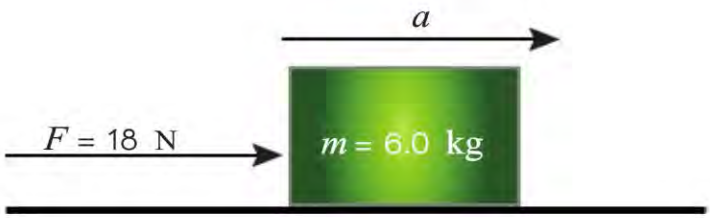
จากผลการศึกษาข้างต้น อาจสรุปเป็น**กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน** (Newton's second law of motion) ได้ว่า **เมื่อมีแรงลัพธ์ซึ่งมีขนาดไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุ จะทำให้วัตถุเกิดความเร่งในทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ที่มากระทำ และขนาดของความเร่งนี้จะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ**

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ตัวอย่าง 3.2

แท่งไม้มวล 6.0 กิโลกรัม วางบนถาดที่ไม่มีแรงเสียดทาน มีแรงขนาด 18 นิวตัน มากระทำต่อแท่งไม้นี้ในทิศทางขนานกับพื้นถาด ให้หาขนาดและทิศทางของความเร่งของแท่งไม้

แนวคิด ใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน หาขนาดและทิศทางของความเร่ง เขียนรูปตามสถานการณ์ในโจทย์ได้ดังนี้



รูปประกอบตัวอย่าง 3.2

วิธีทำ

จาก แรง $F = 18\ \text{N}$

แท่งไม้ มวล $m = 6.0\ \text{kg}$

แทนในสมการ $a = \frac{F}{m}$

ได้ $a = \frac{18\ \text{N}}{6.0\ \text{kg}}$

$a = 3.0\ \text{m/s}^2$

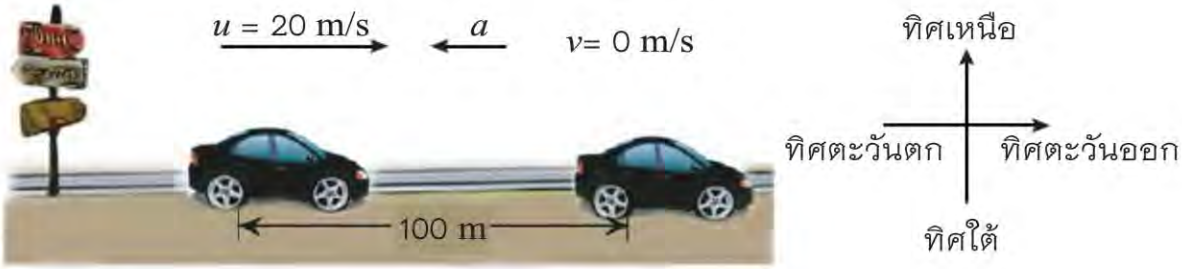
ตอบ ขนาดความเร่งของแท่งไม้เท่ากับ 3.0 เมตรต่อวินาที^{2} มีทิศทางเดียวกับแรงที่มากระทำ

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ตัวอย่าง 3.3

รถยนต์คันหนึ่งมวล 800 กิโลกรัม กำลังแล่นบนถนนในแนวระดับด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที ไปทางทิศตะวันออก เมื่อคนขับดับเครื่องยนต์ รถยนต์คันนี้แล่นต่อไปอีกเป็นระยะทาง 100 เมตร จึงหยุดนิ่ง จงหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถยนต์

แนวคิด กำหนดทิศที่มีเครื่องหมายบวก แล้วหาความเร็วจากสมการ จากนั้นนำไปหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ เขียนรูปตามสถานการณ์ในโจทย์ได้ดังนี้



รูปประกอบตัวอย่าง 3.3

วิธีทำ กำหนดให้ปริมาณเวกเตอร์ที่มีทิศไปทางทิศตะวันออก มีเครื่องหมายบวก

หาความเร่งของรถยนต์

จาก $v^2 = u^2 + 2as$

แทนค่า $0 = (+20\ \text{m/s})^2 + 2a\ (+100\ \text{m})$

จะได้ $a = -2\ \text{m/s}^2$

นั่นคือ รถยนต์แล่นด้วยความเร่ง 2 เมตรต่อวินาที^{2} โดยทิศทางของความเร่งไปทางทิศตะวันตก

หาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถยนต์คันนี้

จาก $F = ma$

แทนค่า $F = (800\ \text{kg})\ (-2\ \text{m/s}^2)$

จะได้ $F = -1600\ \text{N}$

ตอบ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถยนต์มีขนาด 1600 นิวตัน ในทิศตะวันตกหรือตรงข้ามกับการเคลื่อนที่

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันจะเห็นได้ว่า มวลกับแรงลัพธ์ เป็นปริมาณที่สัมพันธ์กัน ซึ่งเราอาจหามวลของวัตถุได้จาก อัตราส่วนระหว่างขนาดของแรงลัพธ์ที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่กับขนาดของความเร่งของวัตถุ นั่นคือ

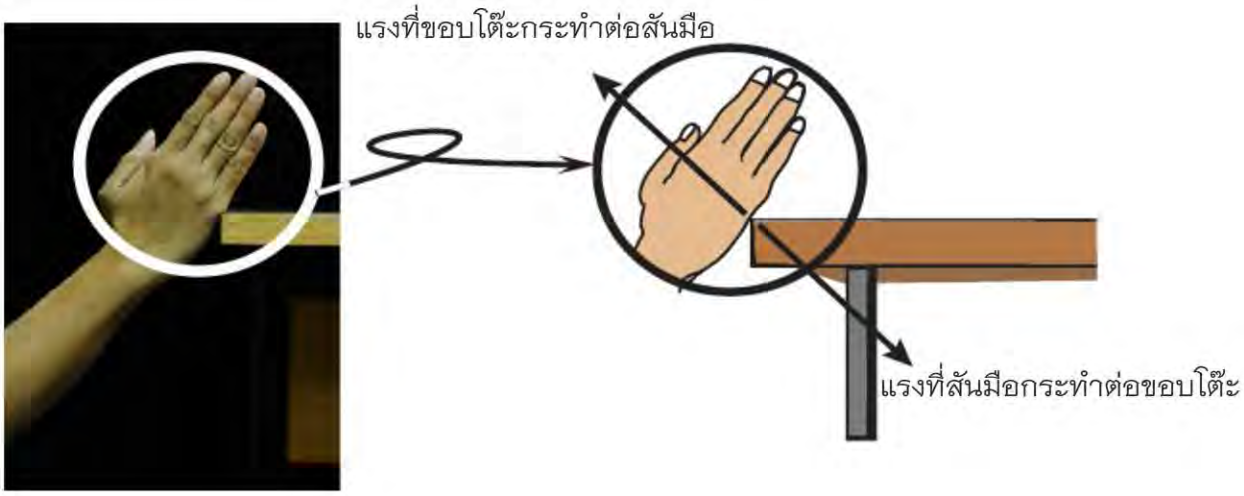
$$m = \frac{F}{a}$$

ดังนั้น สำหรับวัตถุหนึ่ง ๆ อัตราส่วนระหว่าง ขนาดของแรงลัพธ์ F กับขนาดของความเร่ง a จะมีค่าคงตัวเสมอ ค่าคงตัวดังกล่าวนี้ก็คือ มวล m ของวัตถุนั่นเอง

3.3.3 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน

เราได้ศึกษามาแล้วทั้งกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งและข้อที่สองของนิวตัน เกี่ยวกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุว่า วัตถุจะเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่อย่างไร ต่อไปเราจะพิจารณาว่าในขณะที่มีแรงมากระทำต่อวัตถุ วัตถุจะมีแรงโต้ตอบต่อแรงที่มากระทำนั้นหรือไม่ อย่างไร

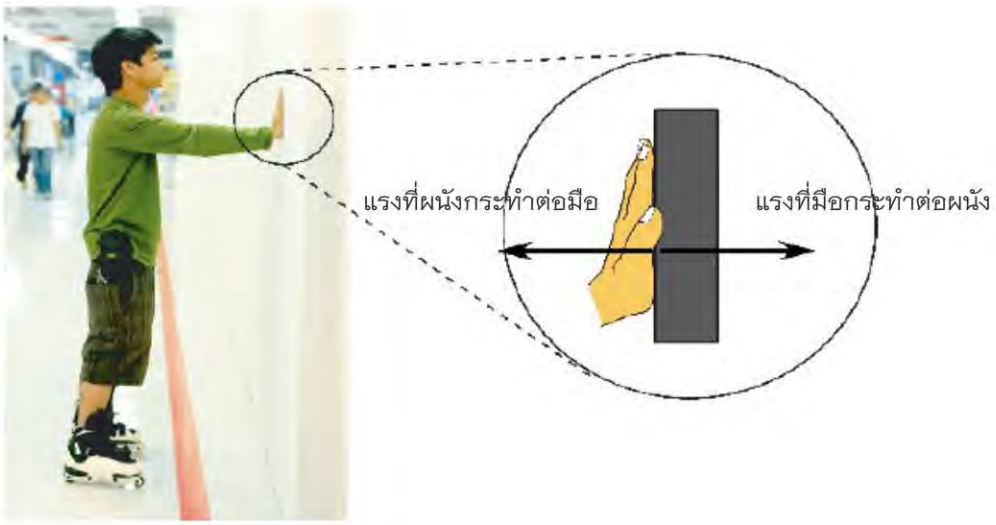
ถ้าใช้สันมือเคาะที่ขอบโต๊ะเบาๆ จะรู้สึกเจ็บมือเล็กน้อย ถ้าเคาะแรงขึ้นก็จะเจ็บมากขึ้น แสดงว่าขณะเคาะขอบโต๊ะ สันมือและขอบโต๊ะออกแรงกระทำต่อกัน



รูป 3.15 แรงที่สันมือและขอบโต๊ะกระทำต่อกัน

ถ้าใส่รองเท้าสเกต หันหน้าเข้าผนังห้องแล้วใช้มือผลักผนังห้อง จะพบว่าตัวเราเคลื่อนที่ถอยหลังออกจากผนังห้อง แสดงว่าขณะที่มือผลักผนังห้อง ผนังห้องก็จะผลักมือด้วย

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ



รูป 3.16 แรงที่มือและผนังห้องกระทำต่อกัน

จากสถานการณ์ทั้งสองจะเห็นว่า วัตถุสองสิ่งออกแรงกระทำต่อกัน แต่ขนาดของแรงทั้งสองเท่ากันหรือไม่

นำเครื่องชั่งสปริงมาสองอันเกี่ยวเข้าด้วยกัน แล้วให้มือขวาออกแรงดึงโดยที่มือซ้ายจับเครื่องชั่งสปริงให้อยู่นิ่ง จากนั้นเปลี่ยนให้มือซ้ายออกแรงดึงโดยที่มือขวาจับเครื่องชั่งสปริงให้อยู่นิ่ง ในแต่ละครั้งอ่านค่าของแรงจากเครื่องชั่งสปริงทั้งสอง จะพบว่าขนาดของแรงที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริงทั้งสองมีค่าเท่ากัน

รูป 3.17 การใช้มือสองข้างดึงเครื่องชั่งสปริงสองอัน

แสดงว่า ขณะที่วัตถุหนึ่งออกแรงกระทำต่ออีกวัตถุหนึ่ง วัตถุที่ถูกแรงกระทำก็จะมีแรงโต้ตอบด้วยแรงที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้าม เราเรียกแรงที่กระทำและแรงที่โต้ตอบว่าแรงกิริยากับแรงปฏิกิริยา หรือ **แรงคู่กิริยา–ปฏิกิริยา** (action –reaction pair)

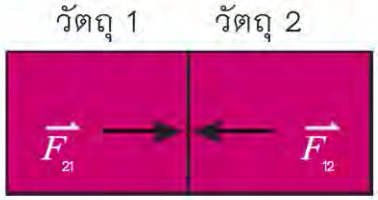
แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตันเป็นแรงกระทำระหว่างวัตถุคู่หนึ่ง แรงคู่นี้กระทำต่อวัตถุต่างชิ้นกัน

แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกิริยากับแรงปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ นิวตันได้สรุปเป็น**กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน** (Newton's third law of motion) ซึ่งมีใจความว่า **ทุกแรงกิริยาจะต้องมีแรงปฏิกิริยาที่มีขนาดเท่ากันและทิศทางตรงข้ามเสมอ**

เนื่องจากแรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ เราจึงเขียนเวกเตอร์แทนแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาได้ดังนี้



รูป 3.18 เวกเตอร์ของแรงคู่กิริยา–ปฏิกิริยา

ถ้า $\vec{F}_{21}$ เป็นแรงที่วัตถุ 1 กระทำต่อวัตถุ 2
$\vec{F}_{12}$ เป็นแรงที่วัตถุ 2 กระทำต่อวัตถุ 1
สมการเวกเตอร์ของแรงตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตันจะเขียนเป็น

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \tag{3.4}$$

รูป 3.19 แรงคู่กิริยา – ปฏิกิริยาเมื่อมือดึงถุงทราย

ถ้าใช้มือดึงเส้นเชือกที่ผูกปลายอีกข้างกับถุงทราย โดยมวลของเส้นเชือกน้อยมากเมื่อเทียบกับมวลของถุงทราย จะพิจารณาได้ว่า **แรงที่มือดึงเส้นเชือกส่งผ่านเส้นเชือก ทำให้เส้นเชือกดึงวัตถุด้วยแรงขนาดเท่ากัน** แรงที่เส้นเชือกดึงมือ และแรงที่เส้นเชือกดึงวัตถุนี้เรียกว่า **แรงดึงในเส้นเชือก** (tension)

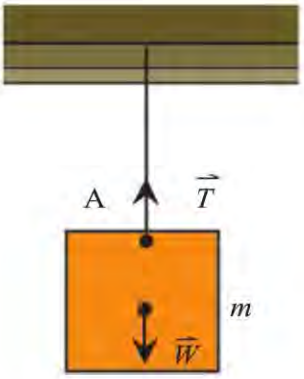
☐ *แรงที่เส้นเชือกดึงมือ กับแรงที่เส้นเชือกดึงวัตถุ มีขนาดเท่ากันหรือไม่ อย่างไร*

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

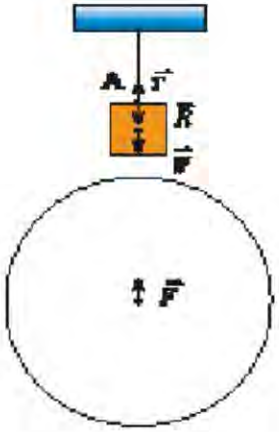
แรงคู่กิริยา–ปฏิกิริยา ที่กล่าวมาเกิดขึ้นเมื่อวัตถุสองสิ่งสัมผัสกัน ถ้าพิจารณาในกรณีที่ผิวของวัตถุสองสิ่งไม่สัมผัสกัน เช่น แม่เหล็กสองแท่งที่วางใกล้กันและใช้มือยึดไว้ไม่ให้สัมผัสกัน แรงดึงดูดหรือแรงผลักระหว่างแม่เหล็กเป็นแรงคู่กิริยา–ปฏิกิริยา หรือในกรณีของโลกกับดวงจันทร์ แรงดึงดูดระหว่างโลกกับดวงจันทร์ก็เป็นแรงคู่กิริยา–ปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังมีแรงระหว่างประจุไฟฟ้าซึ่งเราจะศึกษาต่อไป

ดังนั้น แรงคู่กิริยา – ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ทั้งกรณีที่วัตถุสัมผัสกัน หรือไม่สัมผัสกันก็ได้

ถ้าแขวนวัตถุมวล m ติดกับเพดานด้วยเส้นเชือกซึ่งมีมวลน้อยมาก ดังรูป 3.20 ถ้าพิจารณาแรงที่กระทำต่อวัตถุจะพบว่า มีแรงสองแรงที่กระทำต่อวัตถุ คือ $\vec{T}$ เป็นแรงที่เส้นเชือกดึงวัตถุ และ $\vec{W}$ เป็นน้ำหนักของวัตถุอยู่ที่ศูนย์ถ่วงของวัตถุ วัตถุนี้อยู่นิ่งตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน แสดงว่า $\vec{T} = -\vec{W}$ แรง $\vec{T}$ และ $\vec{W}$ นี้เป็นแรงคู่กิริยา – ปฏิกิริยาตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตันหรือไม่อย่างไร



รูป 3.20 แรงที่กระทำต่อวัตถุที่แขวนด้วยเส้นเชือก



รูป 3.21 แรงคู่กิริยา–ปฏิกิริยาของแรงที่กระทำกับวัตถุที่แขวนด้วยเส้นเชือก

พิจารณารูป 3.21 ที่จุด A จะมีแรงที่เชือกดึงวัตถุคือ $\vec{T}$ และแรงที่วัตถุดึงเชือกคือ $\vec{R}$ ส่วนน้ำหนักวัตถุ $\vec{W}$ เป็นแรงที่โลกดึงดูดวัตถุ และ $\vec{F}$ เป็นแรงที่วัตถุดึงดูดโลก

□ *จากแรงที่พิจารณาข้างต้น แรงใดเป็นแรงคู่กิริยา –ปฏิกิริยาของแรง $\vec{T}$ และแรงใดเป็นแรงคู่กิริยา–ปฏิกิริยาของน้ำหนัก $\vec{W}$*

จะเห็นได้ว่า แรง $\vec{T}$ และ $\vec{W}$ ถึงแม้ว่าจะมีขนาดเท่ากัน ทิศทางตรงข้ามกันก็ตาม แต่แรงคู่นี้ไม่ใช่แรงคู่กิริยา – ปฏิกิริยาตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน เพราะแรงคู่นี้กระทำกับวัตถุเดียวกัน

□ *ณ ตำแหน่งที่เชือกผูกยึดกับเพดานมีแรงคู่กิริยา –ปฏิกิริยาหรือไม่ อย่างไร*

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพังกระทำ บ้างไม่พังกระทำ

ณ ตำแหน่งดังกล่าวจะมีแรงคู่กิริยา – ปฏิกิริยาเช่นกัน โดยแรงคู่นี้จะเป็นแรงระหว่างเชือกกับเพดาน กล่าวคือที่จุดยึดจะมีแรงที่เชือกดึงเพดานและแรงที่เพดานดึงเชือก

ศูนย์ถ่วงของวัตถุ เป็นจุดที่แรงลัพธ์ของแรงดึงดูดของโลกกระทำต่อวัตถุทั้งก้อน

3.4 น้ำหนัก

จากการศึกษาการตกแบบเสรีของวัตถุใกล้ผิวโลกเราทราบว่า ความเร่งของวัตถุมีค่าคงตัว จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน เราทราบว่า จะต้องมีแรงลัพธ์ที่ไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุจึงจะทำให้วัตถุนั้นมีความเร่ง ซึ่งแรงลัพธ์ที่ไม่เป็นศูนย์นี้ก็คือ แรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อวัตถุนั้นนั่นเอง เราเรียกแรงดังกล่าวนี้ว่า **น้ำหนัก** (weight) $\vec{W}$ ของวัตถุ

พิจารณาวัตถุมวล m ซึ่งตกแบบเสรีด้วยความเร่งโน้มถ่วงของโลก จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน จะเขียนน้ำหนัก $\vec{W}$ ของวัตถุได้เป็น

$$\vec{W} = m\vec{g}$$

น้ำหนักวัตถุบนดาวดวงอื่น

น้ำหนักวัตถุมวล m บริเวณผิวโลกมีขนาดเท่ากับ mg เกิดจากแรงดึงดูดของโลกกระทำต่อวัตถุ ถ้าวัตถุอยู่ที่ผิวดาวดวงอื่น น้ำหนักวัตถุมวลจะเปลี่ยนไปโดยมีค่าเท่ากับแรงดึงดูดของดาวดวงนั้นกระทำต่อวัตถุนั้น น้ำหนักวัตถุมวล m ยังคงเท่ากับ mg แต่จะมีค่า mg เปลี่ยนไปตามกฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน

เนื่องจาก **น้ำหนักเป็นแรงที่โลกดึงดูดวัตถุ** น้ำหนักจึงเป็นปริมาณเวกเตอร์ ซึ่งมีทิศทางเดียวกับความเร่งโน้มถ่วง $\vec{g}$ และมีหน่วยเช่นเดียวกับแรงคือ นิวตัน

เนื่องจากในบริเวณเดียวกัน $\vec{g}$ จะเท่ากัน ถ้าพิจารณาวัตถุสองก้อนซึ่งแต่ละก้อนมีมวล m_1 และ m_2 ตามลำดับ อัตราส่วนระหว่างมวลของวัตถุทั้งสองจะสัมพันธ์กับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัตถุทั้งสองอย่างไร

น้ำหนักของมวล m_1 หาได้จาก $W_1 = m_1 g$

น้ำหนักของมวล m_2 หาได้จาก $W_2 = m_2 g$

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

จะได้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของมวลทั้งสองเป็น

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{m_1 g}{m_2 g}$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{m_1}{m_2} \qquad (3.6)$$

จะเห็นได้ว่า อัตราส่วนระหว่างมวลของวัตถุสองก้อนจะเท่ากับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัตถุทั้งสองเมื่ออยู่ในบริเวณเดียวกัน เราจึงสามารถใช้เครื่องชั่งสปริงหาน้ำหนักของวัตถุใด ๆ ได้เพราะว่าเป็นการเปรียบเทียบกับน้ำหนักของมวลมาตรฐาน

เครื่องชั่งอีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้กัน คือ เครื่องชั่งสองแขน ซึ่งอาศัยการเปรียบเทียบน้ำหนักของมวลที่ไม่ทราบค่ากับน้ำหนักของมวลมาตรฐาน ตัวอย่างเครื่องชั่งสองแขนดังรูป 3.22 แขนทั้งสองข้างของเครื่องชั่งยาวเท่ากัน เมื่อวางมวลที่ไม่ทราบค่าบนจานข้างหนึ่งและเติมมวลมาตรฐานบนจานอีกข้างหนึ่งจนกระทั่งเข็มของเครื่องชั่งชี้ศูนย์ น้ำหนักที่ต้องการหาจะเท่ากับ น้ำหนักของมวลมาตรฐานที่เติมลงไปซึ่งสามารถอธิบายได้ตามสมการ (3.6)

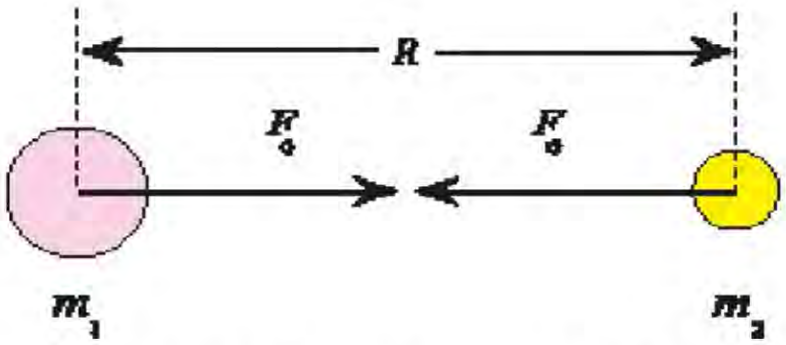
รูป 3.22 ตัวอย่างเครื่องชั่งแบบสองแขน

3.5 กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน

จากการสังเกตของนักวิทยาศาสตร์ สรุปได้ว่า ดวงจันทร์โคจรรอบโลก ส่วนโลกและดาวเคราะห์ต่าง ๆ โคจรรอบดวงอาทิตย์ โดยวงโคจรของดวงจันทร์หรือดาวเคราะห์มีลักษณะเป็นวงกลมหรือวงรี แต่ยังไม่มีใครสามารถอธิบายสาเหตุของการโคจรเช่นนี้ได้ จนกระทั่งนิวตันได้นำผลการสังเกตของนักดาราศาสตร์ต่าง ๆ มาหาคำอธิบายสาเหตุได้ว่า การที่ดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นผลเนื่องจากมีแรงกระทำระหว่างดวงอาทิตย์กับดาวเคราะห์

นิวตันเชื่อว่าแรงนี้เป็นแรงดึงดูดระหว่างมวลของดวงอาทิตย์กับดาวเคราะห์ นอกจากนี้เขายังเชื่อว่าแรงดึงดูดระหว่างมวลเป็นแรงดึงดูดระหว่างวัตถุทุกชนิดในเอกภพ นิวตันจึงเสนอ**กฎแรงดึงดูดระหว่างมวล** (Newton's law of gravitation) ซึ่งมีใจความว่า **วัตถุทั้งหลายในเอกภพจะดึงดูดซึ่งกันและกัน โดยขนาดของแรงดึงดูดระหว่างวัตถุคู่หนึ่ง ๆ จะแปรผันตรงกับมวลของวัตถุทั้งสอง และจะแปรผกผันกับระยะทางระหว่างวัตถุทั้งสองนั้นยกกำลังสอง**

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพังกระทำ บ้างไม่พังกระทำ



รูป 3.23 แรงดึงดูดระหว่างมวลของวัตถุคู่หนึ่ง

ถ้า m_1 และ m_2 เป็นมวลของวัตถุทั้งสองซึ่งอยู่ห่างกันเป็นระยะทาง R ขนาดของแรงดึงดูดระหว่างมวล F_G ตามกฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน จะเป็นไปตามสมการ

$$F_G = \frac{Gm_1m_2}{R^2} \qquad (3.7)$$

G เป็นค่าคงตัวของแรงดึงดูดระหว่างมวล และเป็นค่าเดียวกันเสมอไม่ว่าวัตถุที่ดึงดูดกันจะเป็นวัตถุใดๆ ก็ตามในเอกภพ เรียกว่า **ค่าคงตัวโน้มถ่วงสากล** (universal gravitation constant)

แรงดึงดูดระหว่างมวล เป็นแรงกระทำร่วม โดยมวลที่หนึ่งดึงดูดมวลที่สอง และมวลที่สองก็ดึงดูดมวลที่หนึ่งด้วยขนาดของแรงเท่ากันในแนวเดียวกัน แต่ทิศทางตรงกันข้าม นั่นคือเป็นแรงคู่กิริยา – ปฏิกิริยา

□ *ขณะที่โลกดึงดูดวัตถุนั้น วัตถุจะดึงดูดโลกด้วยหรือไม่ ขนาดของแรงดึงดูดเป็นอย่างไร*

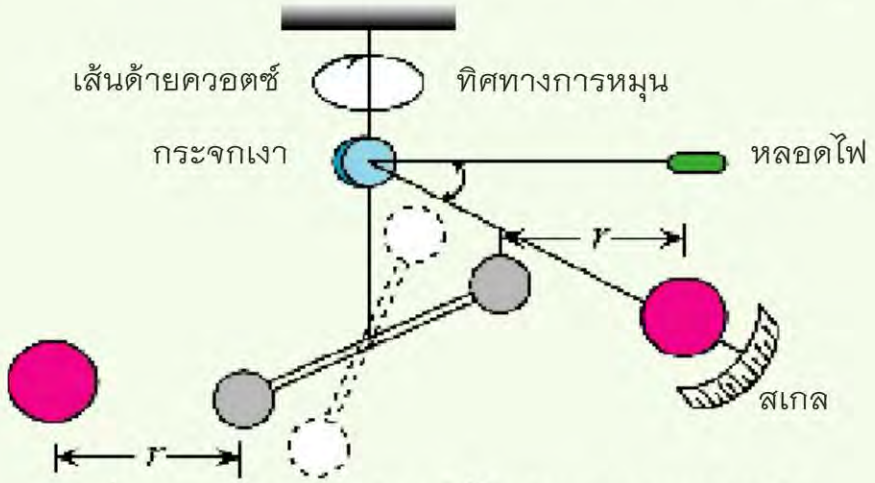
กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตันตามสมการ (3.7) นี้ช่วยให้สามารถคำนวณหาแรงดึงดูดระหว่างวัตถุคู่หนึ่งๆ ได้ เมื่อทราบค่าคงตัว G เนื่องจาก G มีค่าเท่ากับ $\frac{F_GR^2}{m_1m_2}$ ในทางปฏิบัติการหาค่าของ G นั้น มวล m_1 และ m_2 หาได้ด้วยการชั่ง ส่วนระยะทางระหว่างมวลทั้งสอง R ก็สามารถวัดได้ ในกรณีที่วัตถุมีขนาดใหญ่เหมือนรูปทรงกลม R คือระยะทางระหว่างศูนย์กลางของทรงกลมทั้งสอง แต่มวลที่ใช้ในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไปแล้วจะทำให้เกิดแรงดึงดูดน้อยมาก การวัดขนาดแรงดึงดูด F_G จึงทำได้ยากมาก แต่เฮนรี คาเวนดิช (Henry Cavendish) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษสามารถคิดวิธีวัดแรงดึงดูดค่าน้อยๆ นี้ได้

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

หลักการหาค่าคงตัวโน้มถ่วงสากล

การทดลองหาค่าคงตัวโน้มถ่วงสากล

คาเวนดิชสามารถหาค่าคงตัวโน้มถ่วงสากล โดยใช้เครื่องมือ ดังรูป



รูป เครื่องมือการทดลองหาค่าคงตัวโน้มถ่วงสากลของคาเวนดิช

เครื่องมือประกอบด้วยคานที่มีน้ำหนักเบายาวประมาณ 2 เมตร และมีลูกกลมเล็ก ๆ ทำด้วยตะกั่วติดที่ปลายคานด้านละลูก คานนี้ถูกแขวนด้วยด้ายควอตซ์เส้นเล็ก ๆ คาเวนดิชทราบมาก่อนแล้วว่า ต้องใช้แรงเท่าใดในการทำให้คานและด้ายควอตซ์บิดไปเป็นมุมต่างๆ เมื่อคาเวนดิชนำลูกกลมใหญ่ทำด้วยตะกั่วมาใกล้ลูกกลมเล็กที่ปลายคานข้างละลูก โดยให้ห่างจากลูกกลมเล็กเท่ากัน ด้ายควอตซ์จะบิดและลูกกลมเล็กจะเบี่ยงเบนไปอยู่ในตำแหน่งสมดุลใหม่ จากการวัดมุมที่ด้ายควอตซ์บิดไป คาเวนดิชคำนวณหาแรงดึงดูดระหว่างลูกกลมเล็กและลูกกลมใหญ่ได้ เมื่อวัดมวลของลูกกลมและระยะทางระหว่างลูกกลมแล้ว คาเวนดิชสามารถหาค่าคงตัวโน้มถ่วงสากลได้ ตามระบบเอสไอ มีค่า $6.673 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$

ตัวอย่าง 3.4

จงคำนวณหาขนาดของแรงดึงดูดระหว่างมวล ต่อไปนี้

ก. โลกกับดวงจันทร์ ซึ่งมีมวล 5.98×10^{24} กิโลกรัม และ 7.36×10^{22} กิโลกรัม ตามลำดับ โดยระยะทางระหว่างศูนย์กลางโลกและดวงจันทร์เท่ากับ 3.8×10^{8} เมตร

ข. โลกกับวัตถุมวล 1.00 กิโลกรัม ซึ่งวางที่ผิวโลก ณ บริเวณเส้นศูนย์สูตร รัศมีของโลกเท่ากับ 6.37×10^{6} เมตร

ค. วัตถุสองก้อนซึ่งมวล 50.0 และ 60.0 กิโลกรัม และอยู่ห่างกัน 2.0 เมตร

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ่างพึงกระทำ บ่างไม่พึงกระทำ

แนวคิด วัตถุทั้งหลายจะดึงดูดซึ่งกันและกัน โดยขนาดของแรงดึงดูดระหว่างวัตถุคู่หนึ่ง หาได้จากกฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน $F_G = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$

วิธีทำ

ก. จากสมการ $F_G = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$

แทนค่าจะได้ $F_G = \frac{(6.67 \times 10^{-11}\,\mathrm{Nm^2\,kg^{-2}})\,(5.98 \times 10^{24}\mathrm{kg})\,(7.36\times 10^{22}\mathrm{kg})}{(3.8 \times 10^{8}\mathrm{m})^2}$

$= 2.0 \times 10^{20}$ N

ตอบ แรงดึงดูดระหว่างโลกกับดวงจันทร์มีขนาด 2.0×10^{20} นิวตัน

ข. จากสมการ $F_G = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$

แทนค่าจะได้ $F_G = \frac{(6.67 \times 10^{-11}\,\mathrm{Nm^2\,kg^{-2}})\,(5.98 \times 10^{24}\mathrm{kg})\,(1.0\mathrm{kg})}{(6.37 \times 10^{6}\mathrm{m})^2} = 9.8\mathrm{N}$

ตอบ แรงดึงดูดระหว่างโลกกับวัตถุมวล 1.0 กิโลกรัมมีขนาด 9.8 นิวตัน

ค. จากสมการ $F_G = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$

แทนค่าจะได้ $F_G = \frac{(6.67 \times 10^{-11}\,\mathrm{Nm^2\,kg^{-2}})\,(50\ \mathrm{kg})\,(60\ \mathrm{kg})}{(2.0\ \mathrm{m})^2} = 5.0 \times 10^{-8}\mathrm{N}$

ตอบ แรงดึงดูดระหว่างมวลทั้งสองมีขนาด 5.0×10^{-8} นิวตัน

จากตัวอย่างจะเห็นว่า แรงดึงดูดระหว่างโลกกับดวงจันทร์มีค่ามาก ส่วนแรงดึงดูดระหว่างมวลต่าง ๆ ที่เราพบเห็นในชีวิตประจำวันมีค่าน้อยมาก

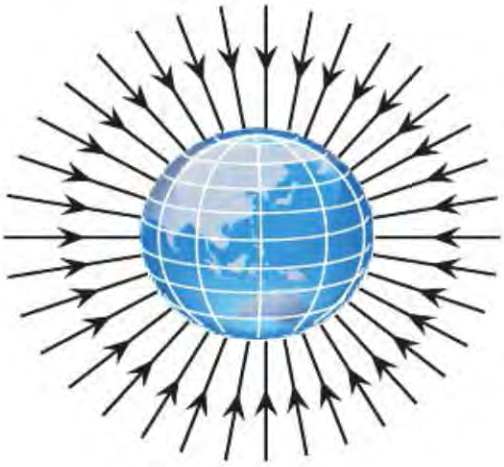
การค้นพบว่าแรงดึงดูดในระบบสุริยะและทุกแห่งในเอกภพเป็นแรงชนิดเดียวกับแรงดึงดูดบนโลก เป็นการค้นพบที่สำคัญ เพราะก่อนสมัยของนิวตันไม่มีใครเชื่อว่ากฎเกณฑ์ต่างๆ บนพื้นโลกจะเหมือนกับกฎเกณฑ์ในเอกภพ แม้ว่านิวตันจะค้นพบแรงดึงดูดระหว่างมวล แต่เขาก็ไม่สามารถอธิบายได้ว่า ทำไมจึงมีแรงชนิดนี้อยู่ในเอกภพ เช่น เมื่อถือก้อนหินไว้แล้วปล่อยมือ ก้อนหินจะตกลงสู่พื้นด้วยความเร่ง ทำให้เราทราบว่าจะต้องมีแรงกระทำต่อก้อนหิน แต่ทำไมโลกดึงดูดก้อนหิน ทำไมวัตถุต่าง ๆ จึงดึงดูดซึ่งกันและกัน

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

3.5.1 สนามโน้มถ่วง

ตามความเข้าใจของนิวตัน อวกาศเป็นบริเวณว่างเปล่า มีมวลรวมกันเป็นก้อนเกิดเป็นวัตถุ เช่น ดาวเคราะห์และดาวฤกษ์ ดาวเคราะห์และดาวฤกษ์เหล่านี้ดึงดูดซึ่งกันและกัน เป็นต้นว่า โลกดึงดูดดวงจันทร์ และดวงจันทร์ดึงดูดโลก ปัญหามีว่าโลกดึงดูดดวงจันทร์โดยที่ไม่มีตัวกลางหรือสื่อกลางระหว่างโลกและดวงจันทร์ได้อย่างไร

ในกรณีโลกดึงดูดวัตถุนั้น อาจถือว่า โลกแผ่สนามของแรงออกไปรอบๆ เรียกว่า **สนามโน้มถ่วง** (gravitational field) สนามโน้มถ่วงทำให้เกิดแรงดึงดูดกระทำต่อมวลของวัตถุทั้งหลาย แรงดึงดูดนี้เรียกว่า **แรงโน้มถ่วง** (gravitational force)



รูป 3.24 สนามโน้มถ่วงของโลกมีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางของโลก

สนามโน้มถ่วงเป็นปริมาณเวกเตอร์ สนามโน้มถ่วงของโลกแทนด้วยสัญลักษณ์ $\vec{g}$ **สนามโน้มถ่วงที่ตำแหน่งใดๆ หาได้จากแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อวัตถุมวลหนึ่งหน่วย**

ขนาดและทิศทางของสนามโน้มถ่วงที่บริเวณต่างๆ จึงหาได้จากขนาดและทิศทางของแรงที่โลกดึงดูดมวล 1 หน่วยที่วางอยู่ตรงจุดซึ่งจะหาสนามนั้น เช่น วางวัตถุมวล 10 กิโลกรัม ที่ผิวโลก วัตถุจะถูกโลกดึงดูดด้วยแรง 98 นิวตัน ในทิศทางเข้าหาศูนย์กลางโลก ดังนั้นสนามโน้มถ่วงที่บริเวณนั้นจะมีขนาด 9.8 นิวตันต่อกิโลกรัม และทิศทางเข้าหาศูนย์กลางโลก

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน แรง $\vec{F}$ ที่กระทำต่อมวล m ทำให้มวลมีความเร่ง $\vec{a}$ เมื่อสนามโน้มถ่วงเป็นแรงที่ทำกับมวล 1 หน่วย ดังนั้นค่าของสนามโน้มถ่วงก็จะเป็นค่าของความเร่ง สนามโน้มถ่วงของโลกก็คือความเร่งที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลกนั่นเอง

ที่ผิวโลก สนามโน้มถ่วงมีค่าประมาณ 9.8 นิวตันต่อกิโลกรัม และความเร่งโน้มถ่วงมีค่าประมาณ 9.8 เมตรต่อวินาที^{2} นั่นคือ **ที่ตำแหน่งหนึ่งๆ ความเร่งโน้มถ่วงมีค่าตัวเลขเท่ากับสนามโน้มถ่วง** จึงนิยมแทนความเร่งด้วยสัญลักษณ์ $\vec{g}$ เช่นเดียวกันกับสนามโน้มถ่วง

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ในกรณีที่มีมวลก้อนหนึ่ง มวลก้อนนี้พร้อมที่จะดึงดูดมวลอีกก้อนหนึ่งตลอดเวลา ดังนั้นถ้านำมวลก้อนที่สองมาไว้ ณ จุดใด ๆ รอบมวลก้อนแรกก็จะถูกมวลก้อนแรงออกแรงดึงดูด เราถือว่า มวลก้อนที่สองอยู่ในสนามโน้มถ่วงของมวลก้อนแรก ในทางกลับกัน มวลก้อนที่สองก็ดึงดูดมวลก้อนแรก เราถือว่ามวลก้อนแรกอยู่ในสนามโน้มถ่วงของมวลก้อนที่สองด้วย

- ☐ *เมื่อชั่งน้ำหนักของวัตถุมวล 10 กิโลกรัม ตำแหน่งที่สูงจากพื้นโลกขึ้นไประยะหนึ่ง อ่านน้ำหนักได้ 80 นิวตัน บริเวณที่ชั่งน้ำหนักนั้นจะมีขนาดของสนามโน้มถ่วงเท่าใด*
- ☐ *ขนาดของสนามโน้มถ่วงของโลกที่ระดับความสูงต่าง ๆ กัน มีค่าคงตัวหรือไม่ เพราะเหตุใด*

การที่โลกมีแรงดึงดูดวัตถุ แสดงว่าวัตถุอยู่ในสนามโน้มถ่วงของโลก และในทำนองเดียวกัน การที่ดวงอาทิตย์ดึงดูดดาวเคราะห์นั้นเป็นเพราะดาวเคราะห์อยู่ในสนามโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์นั่นเอง

3.5.2 ความเร่งโน้มถ่วง ณ ตำแหน่งที่ห่างจากผิวโลก

เมื่อวัตถุอยู่ห่างจากผิวโลก แรงที่โลกดึงดูดวัตถุจะน้อยลง ซึ่งแสดงให้เห็นได้จากสมการ $F_G = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$ โดยที่ G , m_1 และ m_2 มีค่าคงตัว ดังนั้น $F_G \propto \frac{1}{R^2}$ ซึ่งหมายความว่า ถ้า R มีค่ามาก F_G จะมีค่าน้อย

แรงที่โลกดึงดูดวัตถุ $\vec{F}_G$ ก็คือ น้ำหนักของวัตถุแสดงว่า น้ำหนักของวัตถุจะลดลงเมื่อวัตถุอยู่ห่างผิวโลกมากขึ้น เนื่องจาก $\vec{F}_G = m\vec{g}$ ดังนั้นขนาดความเร่งโน้มถ่วง g จะมีค่าลดลง

เมื่อวัตถุอยู่ห่างจากผิวโลกมากขึ้น ขนาดของ g เกี่ยวข้องกับระยะทางจากศูนย์กลางของโลก R อย่างไร

เนื่องจาก ขนาดของแรงที่โลกดึงดูดวัตถุ = ขนาดของน้ำหนักของวัตถุ

$$\frac{Gm_em}{R^2} = mg$$

ดังนั้น $$g = \frac{Gm_e}{R^2}$$

จะได้ว่า $$g \propto \frac{1}{R^2}$$

ความเร่งโน้มถ่วงของโลกที่ตำแหน่งใด ๆ แปรผกผันกับระยะทางจากศูนย์กลางของโลกยกกำลังสอง

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

3.5.3 สภาพไร้น้ำหนัก

ตามความหมายของน้ำหนัก (บริเวณผิวโลก) ซึ่งคือแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุ หรือถ้าเป็นน้ำหนักบริเวณผิวดาวดวงอื่นก็คือแรงโน้มถ่วงที่ดาวดวงนั้นกระทำต่อวัตถุ โดยทั่วไปเราจะพิจารณาน้ำหนักเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเท่านั้น เพราะว่าน้ำหนักของวัตถุมีความสัมพันธ์กับขนาดความเร่งโน้มถ่วง g และ g มีความสัมพันธ์กับ R (ระยะทางจากศูนย์กลางของโลกถึงวัตถุ)

$$g \propto \frac{1}{R^2}$$

พิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่าง g กับ R ถ้า R มีค่ามาก ๆ จะทำให้ g มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ หมายความว่าวัตถุที่อยู่ห่างโลกมาก ๆ แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุจะน้อยมาก จนเกือบมีค่าเป็นศูนย์ได้ น้ำหนักของวัตถุเกือบเป็นศูนย์เช่นกัน กล่าวว่า ณ ตำแหน่งนั้น วัตถุจะอยู่ใน**สภาพไร้น้ำหนัก** (weightlessness)

สำหรับมนุษย์อวกาศที่อยู่ในยานอวกาศขณะโคจรรอบโลก น้ำหนักของมนุษย์อวกาศยังมีอยู่หรืออยู่ในสภาพไร้น้ำหนัก

ถ้ายานอวกาศโคจรสูงจากพื้นโลก 300 กิโลเมตร รัศมีของโลกเท่ากับ 6.37×10^6 เมตร

ณ ตำแหน่งยานอวกาศโคจรรอบโลก $g_s = \frac{Gm_e}{R_s^2}$

ณ ตำแหน่งผิวโลก $g = \frac{Gm_e}{R^2}$

ดังนั้น $\frac{g_s}{g} = \frac{R^2}{R_s^2}$

$$= \frac{(6.37 \times 10^6 \text{ m})^2}{((6.37 \times 10^6 \text{ m}) + (0.3 \times 10^6 \text{ m}))^2}$$

$$= \frac{(6.37 \times 10^6 \text{ m})^2}{(6.67 \times 10^6 \text{ m})^2}$$

$$g_s = 0.9\, g$$

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

จากการคำนวณจะเห็นว่า g_s ที่ยานอวกาศจะเป็น 0.9 เท่าของ g ที่ผิวโลก ดังนั้น น้ำหนักของมนุษย์อวกาศจะลดลงและเหลือ 0.9 เท่าของน้ำหนักที่ผิวโลก แล้วที่กล่าวว่ามนุษย์อวกาศอยู่ในสภาพไร้น้ำหนักนั้นความหมายคืออะไร จะศึกษากันต่อไป

ถ้าชายคนหนึ่งยืนบนเครื่องชั่งน้ำหนักที่อยู่ในลิฟต์ขณะที่ลิฟต์อยู่นิ่งอ่านน้ำหนักของชายคนนั้นจากเครื่องชั่งได้ เมื่อลวดสลิงที่แขวนลิฟต์ขาด ชายคนนั้น เครื่องชั่งและลิฟต์ตกลงมาด้วยความเร่งเท่ากัน ซึ่งทั้งหมดกำลังตกแบบเสรี

ขณะนั้นไม่มีแรงที่เท้ากระทำต่อเครื่องชั่ง จึงไม่มีแรงที่เครื่องชั่งกระทำต่อเท้าด้วย จึงอ่านน้ำหนักไม่ได้ (ทั้งที่น้ำหนักเนื่องจากแรงโน้มถ่วงยังมีอยู่) สภาพที่ชายคนนั้นตกแบบเสรี เรียกว่า **สภาพเสมือนไร้น้ำหนัก** (apparent weightlessness)

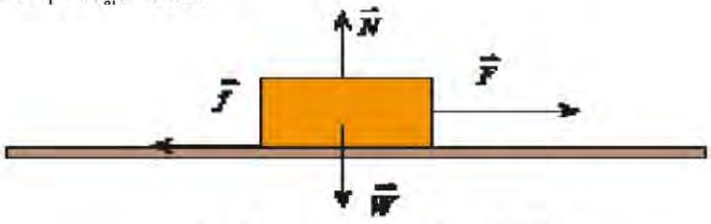
รูป 3.25 ลวดสลิงของลิฟต์ขาด

ปรากฏการณ์ที่เราพบกันบ่อย คือ ขณะขี่จักรยานไปสะดุดขอนไม้ ทำให้รถกระดอนขึ้น ขณะที่รถเริ่มตกลง เราจะรู้สึกว่าก้นไม่ได้สัมผัสกับอานรถ เหมือนกับตัวเราไม่มีน้ำหนัก สำหรับกรณีสภาพเสมือนไร้น้ำหนักของมนุษย์อวกาศนั้น ทั้งตัวมนุษย์อวกาศและตัวยานจะตกลงสู่ผิวโลกด้วยความเร่ง $\vec{g}$ เท่ากัน จึงไม่มีแรงที่เท้ากระทำต่อพื้นยานและไม่มีแรงที่พื้นยานกระทำต่อเท้า

3.6 แรงเสียดทาน

ทุกคนคงเคยรู้สึกว่า เมื่อเดินบนผิวถนนที่มีโคลนเปียกจะแตกต่างจากการเดินบนผิวถนนเดิมที่แห้ง คือ การเดินบนผิวถนนที่มีโคลนเปียกจะลื่น เดินได้ยากกว่า เนื่องจากแรงที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสระหว่างผิวถนนกับพื้นรองเท้ามีน้อยกว่า แรงที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสกันระหว่างผิววัตถุสองผิว เช่น ผิวถนนกับพื้นรองเท้า เรียกว่า **แรงเสียดทาน** (frictional force)

การดำเนินชีวิตประจำวันจะมีแรงเสียดทานเข้ามาเกี่ยวข้องตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นการเดินที่ต้องอาศัยแรงเสียดทานของผิวถนนกับพื้นรองเท้า การเคลื่อนที่ของรถต้องอาศัยแรงเสียดทานของผิวถนนกับยางรถ เป็นต้น เราสามารถจะศึกษาแรงเสียดทานลักษณะต่างๆ ได้ จากการทดลองโดยการดึงหรือลากวัตถุบนพื้นผิวต่างๆ ดังรูป 3.26



รูป 3.26 การออกแรงดึงแผ่นไม้

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

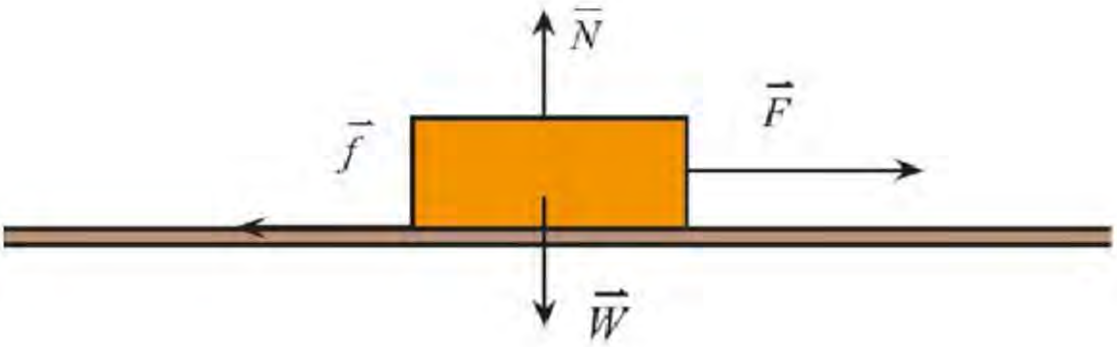
การทดลอง 3.3 แรงเสียดทาน

จุดประสงค์ 1. เพื่อศึกษาขนาดและทิศทางของแรงเสียดทาน
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและน้ำหนักของวัตถุ

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 แรงเสียดทานสถิตและแรงเสียดทานจลน์

1. ใช้เครื่องชั่งสปริงเกี่ยวกับขอเกี่ยวของแผ่นไม้ ซึ่งวางอยู่บนรางไม้ และใช้ถุงทราย 1 ถุง วางทับแผ่นไม้ ดังรูป



รูปการดึงแผ่นไม้ที่มีถุงทรายด้วยเครื่องชั่งสปริง

2. ออกแรงน้อยๆ แล้วค่อยๆ เพิ่มแรงดึง สังเกตแรงที่อ่านได้ก่อนที่แผ่นไม้จะเริ่มเคลื่อนที่
3. บันทึกแรงดึงที่ทำให้แผ่นไม้เริ่มเคลื่อนที่ และแรงที่ทำให้แผ่นไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวอย่างละประมาณ 5 – 7 ค่า แล้วหาค่าเฉลี่ยในสองกรณี

☐ *ขณะออกแรงดึงแผ่นไม้ มีแรงเสียดทานกระทำต่อแผ่นไม้หรือไม่*
☐ *เมื่อออกแรงดึงแผ่นไม้แต่ละกรณี แรงลัพธ์ที่กระทำต่อแผ่นไม้มีค่าเท่าใด อธิบาย*
☐ *เมื่อออกแรงดึงแผ่นไม้แต่ละกรณี แรงเสียดทานมีขนาดเท่าใด และมีทิศทางอย่างไร*
☐ *แรงเสียดทานในกรณีใดมีค่ามากกว่า*

ตอนที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานสถิตและแรงกดในแนวตั้งฉาก

1. จัดรางไม้ให้พื้นรางอยู่ในแนวระดับ ใช้เครื่องชั่งสปริงเกี่ยวขอเกี่ยวของแผ่นไม้ที่มีถุงทรายวางทับอยู่ 1 ถุง

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

2. ออกแรงดึงเครื่องชั่งสปริงให้ทิศทางของแรงดึงอยู่ในแนวระดับ เพิ่มแรงจนทำให้แผ่นไม้และถุงทรายเริ่มจะเคลื่อนที่ บันทึกแรงดึงนี้
3. ทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มถุงทรายวางทับแผ่นไม้เป็น 2, 3 และ 4 ถุง
4. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงดึงที่ทำให้แผ่นไม้เริ่มเคลื่อนที่ (F) กับขนาดของน้ำหนักของถุงทรายรวมกับขนาดของน้ำหนักแผ่นไม้ (W) หาความชันของเส้นกราฟ ความชันนี้ คือค่าอะไร

ตอนที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานจลน์และน้ำหนักของวัตถุ

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 2 แต่ออกแรงดึงเครื่องชั่งสปริงเพื่อดึงแผ่นไม้ที่มีถุงทรายวางทับให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว
2. บันทึกขนาดของแรงดึง (F) และขนาดของน้ำหนักถุงทรายรวมกับน้ำหนักแผ่นไม้ (W)
3. เขียนกราฟระหว่าง F กับ W หาความชันของเส้นกราฟ ความชันนี้คือค่าอะไร

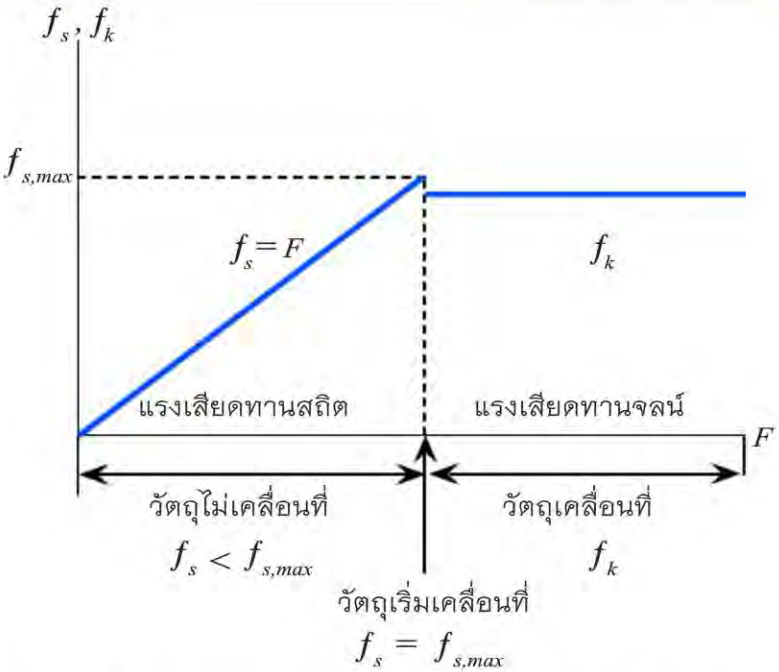
☐ *กราฟที่ได้จากการทดลองทั้งสองตอนมีลักษณะอย่างไร*
☐ *จากกราฟ สรุปความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับน้ำหนักได้อย่างไร*
☐ *ความชันของเส้นกราฟจากการทดลองทั้งสองตอนเท่ากันหรือไม่ ถ้าไม่เท่ากันกราฟใดมีความชันมากกว่า*

จากการทดลองตอนแรกสรุปได้ว่า เมื่อแผ่นไม้อยู่นิ่ง ขนาดของแรงเสียดทานจะมีค่าเท่ากับขนาดของแรงดึงแผ่นไม้แต่มีทิศทางตรงข้าม เพราะแรงลัพธ์ที่กระทำต่อแผ่นไม้เป็นศูนย์ ซึ่งเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน และขนาดของแรงเสียดทานเพิ่มตามขนาดของแรงดึงที่เพิ่มขึ้นจนมีค่ามากที่สุดเมื่อแผ่นไม้จะเริ่มเคลื่อนที่ เรียกแรงเสียดทานนี้ว่า **แรงเสียดทานสถิต** (static friction) แทนด้วย สัญลักษณ์ f_s

หลังจากเริ่มเคลื่อนที่แล้ว ปกติจะใช้แรงที่น้อยลงในการทำให้แผ่นไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว การที่แผ่นไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวบนพื้นราบแสดงว่า แรงลัพธ์ในแนวราบมีค่าเป็นศูนย์ตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน แสดงว่าแรงเสียดทานขณะนั้นมีขนาดเท่ากับแรงที่ดึงแต่มีทิศทางตรงข้าม แรงเสียดทานขณะที่แผ่นไม้มีการเคลื่อนที่จะเรียกว่า **แรงเสียดทานจลน์** (kinetic friction) แทนด้วยสัญลักษณ์ f_k

ค่าของแรงเสียดทานทั้งสอง (f_s, f_k) สามารถแสดงเป็นกราฟ f_s, f_k กับ F ได้ดังรูป 3.27

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ



รูป 3.27 กราฟระหว่างแรงเสียดทาน f_s, f_k และแรงดึง F

จากการทดลอง จะพบว่าขณะวัตถุกำลังเคลื่อนที่แรงเสียดทานจลน์แปรผันกับแรงที่พื้นกระทำต่อวัตถุในแนวตั้งฉากกับพื้น (ซึ่งมีขนาดเท่ากับแรงกดพื้นในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส อาจจะนับว่าเป็นแรงกดระหว่างผิว) เมื่ออยู่บนพื้นราบ แรงนี้จะมีขนาดเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ การแปรผันนี้ทำให้สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานและแรงกดระหว่างผิวในแนวตั้งฉากกับผิวได้ว่า

$$f_k = \mu_k N \qquad (3.8)$$

เมื่อ f_k เป็นแรงเสียดทานจลน์ N เป็นแรงกดระหว่างผิวสัมผัสในแนวตั้งฉากกับผิวหรือแรงที่ผิวสัมผัสกระทำต่อวัตถุในแนวตั้งฉากซึ่งมีค่าเท่ากัน μ_k เป็นค่าคงตัวของการแปรผัน เรียกว่า **สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์** (coefficient of kinetic friction) จากการทดลองพบว่า μ_k ขึ้นกับชนิดของผิวสัมผัสแต่ละคู่

ขณะวัตถุอยู่นิ่ง ค่าของแรงมากสุดที่ทำให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ได้จะเรียก **แรงเสียดทานสถิตสูงสุด** เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $f_{s,max}$ ซึ่งจะสัมพันธ์กับแรงที่พื้นกระทำต่อวัตถุในแนวตั้งฉากกับผิว N ในทำนองเดียวกันกับสมการ (3.8) คือ

$$f_{s,max} = \mu_s N \qquad (3.9)$$

เมื่อ $f_{s,max}$ เป็นแรงเสียดทานสถิตสูงสุด μ_s เป็นค่าคงตัวของการแปรผันเรียกว่า **สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต** (coefficient of static friction)

μ เป็นอักษรกรีกอ่านว่า มิว μ_k และ μ_s ในสมการ (3.8) และ (3.9) จึงอ่านว่า มิวเค และ มิวเอส ตามลำดับ

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต μ_s และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ μ_k ที่หาได้จากการทดลองมีค่าขึ้นอยู่กับชนิดของผิวสัมผัสดังตาราง 3.1 ซึ่งพบว่า สำหรับผิวสัมผัสคู่หนึ่งสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต μ_s มีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ μ_k เสมอ

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ตาราง 3.1 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (μ_s) และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (μ_k)

ผิวสัมผัส	μ_s	μ_k
ไม้กับไม้	0.70	0.40
เหล็กกล้ากับเหล็กกล้า	0.74	0.57
อะลูมิเนียมกับเหล็กกล้า	0.61	0.47
ทองแดงกับเหล็กกล้า	0.53	0.36
ทองเหลืองกับเหล็กกล้า	0.51	0.44
แก้วกับแก้ว	0.94	0.40
ทองแดงกับแก้ว	0.68	0.53
ยางกับคอนกรีต (แห้ง)	1.00–4.00	0.86
ยางกับคอนกรีต (เปียก)	0.30	0.25
ล้อยางกับถนน (แห้ง)	0.90	0.65
ล้อยางกับถนน (เปียก)	0.70	0.55

รู้หรือไม่

ในการแสดงจับจระเข้ที่ฟาร์มจระเข้สมุทรปราการ ถ้าผู้ชมสังเกตจะพบว่าพื้นที่การแสดงเป็นพื้นปูนที่ขัดมันขณะแสดงผู้แสดงจะราดน้ำที่พื้นปูนการที่ทำเช่นนี้ก็เพราะ แรงเสียดทานระหว่างพื้นและฝ่าเท้าของจระเข้ลดลง ทำให้ความว่องไวของจระเข้ลดลง

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

การลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส สามารถทำได้โดยการใช้น้ำมันหรือสารหล่อลื่นแทรกระหว่างผิวสัมผัส เช่น การหล่อลื่นในเครื่องยนต์กลไกต่างๆ สำหรับการเคลื่อนที่แบบหมุน ตลับลูกปืนมีบทบาทสำคัญในการลดแรงเสียดทาน โดยการใส่ลูกปืนกลมเล็ก ๆ ระหว่างผิวนอกและผิวในของตลับลูกปืน ทำให้ตลับลูกปืนชั้นนอกและชั้นในเคลื่อนที่สัมพันธ์กันได้คล่อง นั่นคือ การลดแรงเสียดทานในการหมุน ในทางอุตสาหกรรมได้มีการผลิตตลับลูกปืน เพื่อใช้ในงานต่าง ๆ เช่นการเคลื่อนย้ายสิ่งของล้อรถเลื่อน รถยนต์ เป็นต้น

แรงเสียดทานเป็นแรงที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน แม้ว่าในบางครั้ง เราพยายามลดแรงเสียดทานลงเพื่อลดความสูญเสียเนื่องจากการเสียดสี เช่น ตามจุดหมุนของเครื่องยนต์ เครื่องกล เครื่องกลไฟฟ้า เป็นต้น แต่ในบางโอกาส เราต้องการแรงเสียดทานที่มีค่ามาก เช่น พื้นรองเท้า ยางรถยนต์ แผ่นเบรก แผ่นคลัตช์ เป็นต้น การเลือกที่จะลดหรือเพิ่มแรงเสียดทานจึงขึ้นกับงานที่เราต้องการ

แรงเสียดทานสถิตและแรงเสียดทานจลน์เป็นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิววัตถุที่สัมผัสกัน เช่น ผิวไม้กับผิวไม้ ผิวถนนกับผิวพื้นรองเท้า ขนาดของแรงเสียดทานขึ้นกับลักษณะและชนิดของผิวสัมผัส เช่น ถ้าผิวที่สัมผัสกันเป็นผิวหยาบหรือขรุขระ แรงเสียดทานมักจะมีค่ามาก แต่ถ้าเป็นผิวเกลี้ยงหรือผิวลื่น แรงเสียดทานมักจะมีค่าน้อย ยกเว้นกรณีนำแผ่นกระจกเรียบสองแผ่นประกบกันสนิท แรงเสียดทานจะมีค่าสูง

3.7 การนำกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันไปใช้

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันทั้งสามข้อเป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญมากในวิชาฟิสิกส์ ซึ่งสามารถทำให้เข้าใจหรือใช้อธิบายสาเหตุของการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุทุกชนิด และทุกกรณี ทั้งการเคลื่อนที่บนโลก นอกโลกและในเอกภพ และยังสามารถอธิบายเรื่องสมดุลและการเคลื่อนที่ของวัตถุต่าง ๆ ได้ทุกลักษณะ และยังเป็นพื้นฐานสำหรับนำไปใช้ศึกษาเรื่องอื่น ๆ เช่น งาน พลังงาน โมเมนตัม เป็นต้น ซึ่งเราจะได้ศึกษาในบทต่อ ๆ ไป ส่วนในบทนี้จะได้กล่าวถึงดังนี้

การนำกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันไปใช้ในบทนี้จะเป็นการหาแรงและปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยจะพิจารณาในกรณีวัตถุเคลื่อนที่ในแนวตรง นั่นคือแรงลัพธ์และความเร่งมีทิศทางอยู่ในแนวเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ การใช้กฎนี้ อาจให้หาขนาดของแรงกระทำโดยถือว่าทราบทิศทางของแรงกระทำ เช่น

น้ำหนักของวัตถุมวล m (มีค่าเท่ากับ mg) มีทิศทางชี้ลงในแนวดิ่ง

แรงดึง (ในเส้นเชือก) กรณีเชือกเบามีค่าเดียวกันตลอดเส้น มีทิศทางชี้ออกจากวัตถุที่ถูกกระทำ

แรงเสียดทาน (ที่พื้นกระทำต่อวัตถุ) มีทิศทางตรงข้ามทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ (หรือตรงข้ามทิศทางที่วัตถุจะเคลื่อนที่ในกรณีแรงเสียดทานสถิต)

แรง (ที่พื้นกระทำต่อวัตถุ) **ในแนวตั้งฉากผิว** มีทิศทางพุ่งออกจากผิวในแนวตั้งฉากผิว ส่วนทิศทางของแรงอื่นๆ จะเป็นไปตามที่โจทย์กำหนด

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ในการนำไปใช้มักเกี่ยวข้องกับการหาแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุ เพื่อช่วยในการหาแรงลัพธ์ มีการเขียนแผนภาพแสดงแรงทุกแรงที่กระทำต่อวัตถุ เรียกแผนภาพนี้ว่า **แผนภาพวัตถุอิสระ** (free body diagram) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกวัตถุที่ต้องการหาแรงลัพธ์ แสดงวัตถุและจุดที่แรงกระทำบนวัตถุ (ถือว่าวัตถุเป็นอนุภาค)
2. เขียนเวกเตอร์แสดงแรงทุกแรงที่กระทำต่อวัตถุลงในแผนภาพผ่านจุดที่แรงกระทำบนวัตถุ แสดงทิศทางและแนวแรง ดังทิศทางของแรงที่กล่าวถึงข้างต้น ส่วนทิศทางของแรงอื่น ๆ ต้องเป็นไปตามโจทย์
3. สร้างแกนฉาก (ถ้ามีแรงกระทำไม่อยู่ในแนวการเคลื่อนที่) โดยแกนหนึ่งอยู่ในแนวการเคลื่อนที่ แกนทั้งสองตัดกัน ณ จุดที่แรงกระทำ
4. แยกหาองค์ประกอบของแรงที่ไม่อยู่ในแนวแกนฉาก (ในกรณีมีแรงกระทำไม่อยู่ในแนวการเคลื่อนที่)

แผนภาพวัตถุอิสระ เป็นการเขียนแรงต่างๆ ที่กระทำต่อวัตถุหนึ่ง ห้ามเขียนแรงที่วัตถุนี้กระทำต่อวัตถุอื่น

จากแผนภาพนำไปใช้หาแรงลัพธ์ในแนวการเคลื่อนที่ร่วมกับการใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันแก้ปัญหาเกี่ยวข้องต่อไป ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 3.5

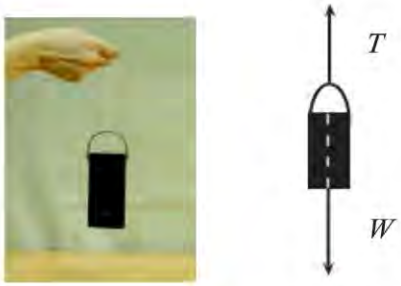
ถือเชือกที่มีมวลน้อยมากซึ่งปลายอีกข้างหนึ่งผูกติดกับแท่งเหล็กมวล 1.0 กิโลกรัมไว้ ให้หาแรงที่เชือกดึงมือหรือแรงในเชือกเมื่อ

ก. ถือเชือกอยู่นิ่ง ๆ
ข. หย่อนเชือกลงด้วยความเร็วคงตัว 1.5 เมตรต่อวินาที
ค. ดึงเชือกขึ้นด้วยความเร็วคงตัว 8.5 เมตรต่อวินาที
ง. หย่อนเชือกลงด้วยความเร่ง 5.0 เมตรต่อวินาที^{2}
จ. ดึงเชือกขึ้นด้วยความเร่ง 5.0 เมตรต่อวินาที^{2}

แนวคิด เขียนแผนภาพวัตถุอิสระ (ในที่นี้เป็นแท่งเหล็ก) โดยแรงที่เชือกดึงแท่งเหล็กชี้ทิศขึ้น และน้ำหนักของแท่งเหล็ก ชี้ทิศลง หาแรงลัพธ์ตามแนวการเคลื่อนที่นำไปแทนในกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันโดยในกรณี ก. ข. ค.แทน ในสมการ $\sum \vec{F} = 0$ ส่วนในกรณี ง. จ. แทนในสมการ $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ จากนั้นแก้สมการแล้วหาแรงในเชือกในแต่ละกรณี

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

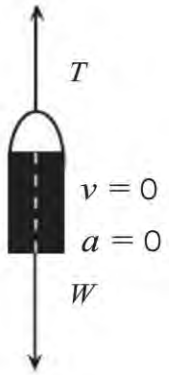
วิธีทำ เขียนแผนภาพวัตถุอิสระ ได้แก่ น้ำหนักของวัตถุ W ทิศทางลงในแนวดิ่งและแรงดึงในเชือก T ทิศทางออกจากวัตถุ ดังรูป (ในกรณีนี้แรงทั้งสองอยู่ในแนวการเคลื่อนที่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องสร้างแกนฉาก) เขียนแผนภาพแรงกระทำต่อแท่งเหล็ก ดังรูป



รูปประกอบตัวอย่าง 3.5

ก. เมื่อถือเชือกอยู่นิ่งๆ $\vec{a} = 0$ ได้ $\sum \vec{F} = 0$
จากแผนภาพวัตถุอิสระได้

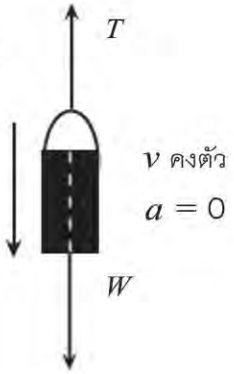
$$T - W = 0$$
$$T - mg = 0$$
$$T = mg$$
$$T = (1.0\ \text{kg})(9.8\ \text{m/s}^2) = 9.8\ \text{N}$$



ตอบ แรงในเชือกเท่ากับ 9.8 นิวตัน

ข. เมื่อหย่อนเชือกลงด้วยความเร็วคงตัว 1.5 เมตรต่อวินาที $\vec{a} = 0$ ได้ $\sum \vec{F} = 0$
จากแผนภาพวัตถุอิสระได้

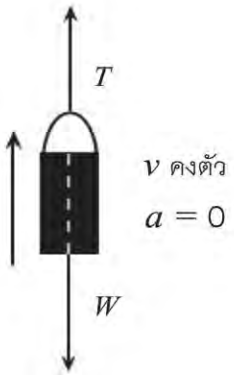
$$T - W = 0$$
$$T - mg = 0$$
$$T = mg$$
$$T = (1.0\ \text{kg})(9.8\ \text{m/s}^2) = 9.8\ \text{N}$$



ตอบ แรงในเชือกเท่ากับ 9.8 นิวตัน

ค. ดึงเชือกขึ้นด้วยความเร็วคงตัว 8.5 เมตรต่อวินาที $\vec{a} = 0$ ได้ $\sum \vec{F} = 0$
จากแผนภาพวัตถุอิสระได้

$$T - W = 0$$
$$T - mg = 0$$
$$T = mg$$
$$T = (1.0\ \text{kg})(9.8\ \text{m/s}^2) = 9.8\ \text{N}$$



ตอบ แรงในเชือกเท่ากับ 9.8 นิวตัน

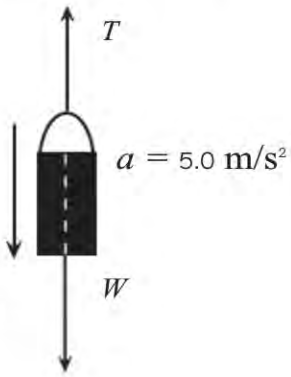
Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ง. หย่อนเชือกลงด้วยความเร่ง 5.0 เมตรต่อวินาที^{2} ความเร่งมีทิศทางลง แรงลัพธ์มีทิศทางลงเช่นกัน

นั่นคือ $W - T$ มีทิศทางเดียวกับ a

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันได้

$$W - T = ma$$
$$T = W - ma$$
$$T = mg - ma$$
$$T = (1\text{ kg})(9.8\text{ m/s}^2) - (1\text{ kg})(5\text{ m/s}^2) = 4.8\text{ N}$$

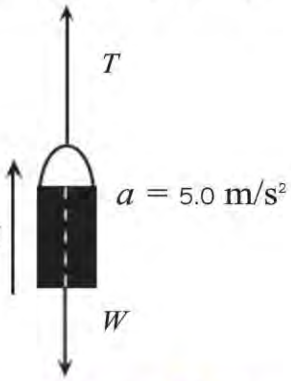


ตอบ แรงที่เชือกดึงมือเท่ากับ 4.8 นิวตัน

จ. ดึงเชือกขึ้นด้วยความเร่ง5.0เมตรต่อวินาที^{2}ความเร่งมีทิศทางขึ้นแรงลัพธ์มีทิศทางขึ้นนั่นคือ $T > W$

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันได้

$$T - W = ma$$
$$T = W + ma$$
$$T = mg + ma$$
$$T = (1\text{ kg})(9.8\text{ m/s}^2) + (1\text{ kg})(5\text{ m/s}^2) = 14.8\text{ N}$$



ตอบ แรงที่เชือกดึงมือเท่ากับ 14.8 นิวตัน

ตัวอย่าง 3.6

แท่งทองเหลืองวางบนแผ่นเหล็กกล้าที่ทำเป็นพื้นเอียง สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่นี้มีค่า $\mu_s = 0.50$ และ $\mu_k = 0.44$

ก. จงหามุม θ ที่พื้นเอียงทำกับแนวระดับที่ทำให้แท่งทองเหลืองเริ่มเคลื่อนที่

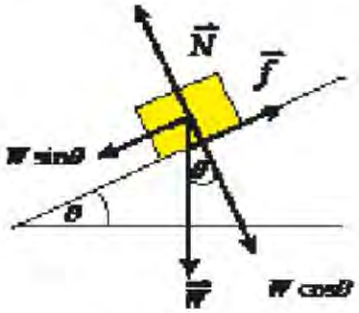
ข. หลังจากเริ่มเคลื่อนที่แล้ว แท่งทองเหลืองจะมีความเร่งเท่าใด ถ้ามุมไม่เปลี่ยนแปลง

แนวคิด ก. เขียนแผนภาพแรงกระทำต่อวัตถุ แล้วหาองค์ประกอบของน้ำหนักแท่งทองเหลืองตามแนวตั้งฉากพื้นเอียงและขนานพื้น จากนั้นใช้ค่าองค์ประกอบทั้งสองหา $f_{s,max}$ และ นำไปหา θ จาก $\mu_s = \dfrac{f_{s,max}}{N}$

ข. ใช้ μ_k หา f_k นำไปหาแรงลัพธ์ตามแนวขนานพื้น แล้วนำไปหาความเร่งจากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

วิธีทำ ก. แผนภาพวัตถุอิสระเป็นดังรูป



ให้ $\vec{W} = m\vec{g}$ เป็นน้ำหนักของแท่งทองเหลือง

$\vec{f}$ เป็นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น ($f_{s,max}$ หรือ f_k)

$\vec{N}$ เป็นแรงตั้งฉากกับพื้นเอียงที่กระทำต่อวัตถุ

$\vec{W}$, $\vec{f}$ และ $\vec{N}$ เป็นแรงสามแรงที่กระทำต่อแท่งทองเหลือง มีทิศทางดังแสดงในรูป เพื่อความสะดวกในการคิด แทนแรง W ด้วยแรงองค์ประกอบ $W\sin\theta$ และ $W\cos\theta$ ดังรูป ซึ่งก่อนแท่งทองเหลืองเคลื่อนที่ จะมีแรงลัพธ์เป็นศูนย์ หมายถึง

$f = W\sin\theta$ และ $W\cos\theta = N$

วัตถุจะเริ่มเคลื่อนที่เมื่อ $W\sin\theta = f_{s,max} = \mu_s W\cos\theta$ (f_s อาจมีค่าน้อยกว่า $\mu_s N$ เมื่อวัตถุอยู่นิ่ง)

นั่นคือ $\tan\theta = \mu_s = 0.50$

หรือ $\theta = \tan^{-1}(0.50) = 26.5°$

ตอบ มุม θ ที่พื้นเอียงทำกับแนวระดับที่ทำให้แท่งทองเหลืองเริ่มเคลื่อนที่เท่ากับ 26.5 องศา

ข. หลังจากเริ่มเคลื่อนที่แล้ว แรงเสียดทานจะเป็น $f_k = \mu_k N$ โดยพิจารณาจากแผนภาพวัตถุอิสระ หาแรงลัพธ์ในแนวขนานกับพื้นได้

$$F = W\sin\theta - f = W\sin\theta - \mu_k N$$
$$= mg\sin\theta - \mu_k mg\cos\theta = mg(\sin\theta - \mu_k\cos\theta)$$

นำไปหาความเร่งจากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

$$F = ma$$

ได้ $$a = \frac{F}{m} = \frac{mg(\sin\theta - \mu_k\cos\theta)}{m} = g(\sin\theta - \mu_k\cos\theta)$$

แทนค่าได้ $a = (9.8\ \text{m/s}^2)(\sin 26.5° - 0.44\cos 26.5°) = 0.51\ \text{m/s}^2$

ตอบ แท่งทองเหลืองมีความเร่งเท่ากับ 0.51 เมตรต่อวินาที^{2}

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

สรุปสาระสำคัญ

แรง ทำให้วัตถุเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ หน่วยของแรงในระบบเอสไอ คือนิวตัน แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ การหาแรงลัพธ์ใช้วิธีการเดียวกับการหาเวกเตอร์ลัพธ์

การหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรง ที่ทำมุมกัน อาจทำได้โดยการสร้างรูป หรือการคำนวณ

การหาแรงลัพธ์โดยการสร้างรูป โดยเขียนลูกศรแทนขนาดและทิศทางของแรงตามมาตราส่วนที่กำหนดเพื่อหาแรงลัพธ์ 2 แบบ คือ การสร้างรูปสามเหลี่ยม และการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน

- **การสร้างรูปสามเหลี่ยม** ทำได้โดยนำหางลูกศรของแรงหนึ่งไปต่อกับหัวลูกศรของอีกแรงหนึ่งแล้วลากเส้นจากหางลูกศรของแรงแรกไปยังหัวลูกศรของแรงที่สองจะได้แรงลัพธ์
- **การสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน** ทำได้โดยลากหางลูกศรของแรงทั้งสองออกจากจุดพิจารณา แล้วลากเส้นจากหัวลูกศรของแรงทั้งสองขนานกับแนวแรงอีกแรงหนึ่งได้เป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน จากนั้นลากเส้นทแยงมุมจากหางลูกศรของแรงทั้งสองไปยังจุดที่มุมตรงข้าม จะได้แรงลัพธ์

การหาแรงลัพธ์โดยการคำนวณ โดยแยกแรงแต่ละแรงเป็นแรงย่อย ในแนวแกน x และในแนวแกน y แล้วหาแรงลัพธ์ทางแกน x เป็น $F_x = F_{1x} + F_{2x}$ และแรงลัพธ์ทางแกน y เป็น $F_y = F_{1y} + F_{2y}$ จากนั้นหาขนาดและทิศทางจาก $F = \sqrt{F_x^{\,2} + F_y^{\,2}}$ และ $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right)$

กฎการเคลื่อนที่ เป็นกฎที่ใช้อธิบายเกี่ยวกับสภาพการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ ประกอบด้วยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันสามข้อ

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน กล่าวว่า วัตถุคงสภาพอยู่นิ่งหรือสภาพเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอในแนวเส้นตรง นอกจากจะมีแรงลัพธ์มีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำ กฎนี้มีอีกชื่อหนึ่งคือ กฎของความเฉื่อย

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน กล่าวว่า เมื่อมีแรงลัพธ์มากระทำต่อวัตถุจะทำให้วัตถุเกิดความเร่งในทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ที่มากระทำ และขนาดของความเร่งจะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ เขียนในรูปสมการเวกเตอร์ได้เป็น $\vec{F} = m\vec{a}$ (เมื่อ $\vec{F}$ เป็นแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุมวล m ให้เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง $\vec{a}$)

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน กล่าวว่า ทุกแรงกิริยาจะต้องมีแรงปฏิกิริยาที่มีขนาดเท่ากันและทิศทางตรงข้ามเสมอ แรงทั้งสองนี้คือแรงคู่กิริยา–ปฏิกิริยาเขียนในรูปสมการเวกเตอร์ได้เป็น $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ เมื่อ $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ เป็นแรงคู่กิริยา – ปฏิกิริยา

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

น้ำหนักของวัตถุ คือแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อวัตถุ เขียนน้ำหนักของวัตถุมวล m ได้เป็น $\vec{W} = m\vec{g}$ น้ำหนักเป็นปริมาณเวกเตอร์มีทิศทางเดียวกับความเร่งโน้มถ่วงและมีหน่วยนิวตัน ในบริเวณเดียวกัน g จะเท่ากัน อัตราส่วนของมวลของวัตถุสองก้อนจะเท่ากับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัตถุทั้งสองเป็นไปตามสมการ $\frac{W_1}{W_2} = \frac{m_1}{m_2}$

กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน กล่าวว่า วัตถุทั้งหลายในเอกภพจะดึงดูดซึ่งกันและกันโดยขนาดของแรงดึงดูดระหว่างวัตถุคู่หนึ่งๆ แปรผันตรงกับมวลวัตถุทั้งสอง และแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางระหว่างวัตถุทั้งสอง เป็นไปตามสมการ $F_G = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$ เมื่อ m_1 และ m_2 เป็นมวลของวัตถุสองก้อนซึ่งอยู่ห่างกันเป็นระยะทาง R และ F_G เป็นแรงดึงดูดระหว่างมวล m_1 และ m_2 หรือเรียกแรงโน้มถ่วงระหว่างมวล m_1 และ m_2

สนามโน้มถ่วงทำให้เกิดแรงโน้มถ่วงกระทำต่อมวลของวัตถุ สนามโน้มถ่วงเป็นปริมาณเวกเตอร์เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\vec{g}$ สนามโน้มถ่วงที่ตำแหน่งใดๆ หาได้จากแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อวัตถุมวลหนึ่งหน่วย หรือ $\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$

ความเร่งโน้มถ่วงของโลก $\vec{g}$ ณ ตำแหน่งที่ห่างจากผิวโลกแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางจากศูนย์กลางของโลก ($\vec{g}$ มีค่าลดลง ที่ตำแหน่งห่างจากผิวโลกมากขึ้น)

วัตถุที่อยู่ห่างโลกมากๆ น้ำหนักของวัตถุจะน้อยมากจนเกือบเป็นศูนย์ เรียกว่า วัตถุอยู่ใน**สภาพไร้น้ำหนัก** วัตถุที่ตกแบบเสรี จะไม่มีแรงเนื่องจากน้ำหนักวัตถุกดพื้น เรียกว่า วัตถุอยู่ใน**สภาพเสมือนไร้น้ำหนัก**

แรงเสียดทาน เป็นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสคู่หนึ่ง แรงเสียดทานมีสองชนิด คือ**แรงเสียดทานจลน์**มีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ และ**แรงเสียดทานสถิต** มีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางที่วัตถุพยายามจะเคลื่อนที่

แรงเสียดทานจลน์มีขนาด $f_k = \mu_k N$ เมื่อ f_k เป็นแรงเสียดทานจลน์ N เป็นแรงกดระหว่างผิวสัมผัสในแนวตั้งฉากผิวสัมผัส และ μ_k เป็นค่าคงตัวขึ้นกับชนิดของผิวสัมผัสแต่ละคู่เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ เรียกว่า สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ ส่วนแรงเสียดทานสถิตมี $f_{s,max} = \mu_s N$ เมื่อ $f_{s,max}$ เป็นแรงเสียดทานสถิตสูงสุด N เป็นแรงกดระหว่างผิวสัมผัสในแนวตั้งฉากผิวสัมผัสและ μ_s เป็นค่าคงตัวขึ้นกับชนิดของผิวสัมผัสแต่ละคู่เมื่อวัตถุอยู่นิ่ง เรียกว่า สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

การนำกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันไปใช้ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันทั้งสามข้อเป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญมากในวิชาฟิสิกส์ สามารถนำไปใช้หาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับแรงและการเคลื่อนที่ รวมทั้งเรื่องสมดุล และยังเป็นพื้นฐานสำหรับนำไปใช้ศึกษาเรื่องอื่นๆ เช่น งาน พลังงาน โมเมนตัม เป็นต้น

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

แบบฝึกหัดบทที่ 3

คำถาม

3.1 แรง

1. จงอธิบายคำว่า แรง
2. จงอธิบายวิธีการหาแรงลัพธ์ของแรงสามแรงที่อยู่ในแนวเดียวกัน
   ก. โดยวิธีการสร้างรูป
   ข. โดยวิธีการคำนวณ

3.2 การหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน

3. จงอธิบายการหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกันโดยการสร้างรูปสามเหลี่ยม
4. จงอธิบายการหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกันโดยการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน
5. จงอธิบายการหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกันโดยการคำนวณ

3.3 กฎการเคลื่อนที่

6. อาศัยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน จงอธิบายว่า
   ก. เมื่อรถหยุดอย่างกะทันหัน เหตุใดคนในรถจึงพุ่งไปข้างหน้า
   ข. คนในรถเป็นอย่างไร เมื่อรถเลี้ยวขวาอย่างเร็ว
7. ผูกเชือก (ด้ายเย็บผ้าที่เหนียวพอประมาณ) กับถุงทราย 1 ถุงดึงขึ้นอย่างช้าๆ กับดึงขึ้นอย่างรวดเร็วผลที่เกิดขึ้นคือ เมื่อดึงขึ้นอย่างช้าๆ เชือกไม่ขาด แต่ดึงขึ้นอย่างรวดเร็วเชือกขาด จงให้เหตุผล
8. เข็มขัดนิรภัยและที่พิงศีรษะที่ติดอยู่กับเบาะนั่งในรถยนต์มีไว้เพื่อประโยชน์อะไร จงอธิบาย
9. ถ้าจรวดพ่นแก๊สและเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ออกไป ทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนจรวดคงตัว (ปกติไม่คงตัว) ความเร่งของจรวดจะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด
10. ผลักรถทดลองซึ่งอยู่บนรางไม้ที่ชดเชยแรงเสียดทานแล้วรถทดลองจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วอย่างไร เพราะเหตุใด
11. เมื่อใช้ช้างลากซุง กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตันบอกเราว่า ซุงจะดึงช้างไว้เท่ากับแรงที่ช้างดึงซุง จงอธิบายว่าทำไมซุงจึงเคลื่อนที่ไปได้
12. จงให้ความหมายของแรงที่กล่าวถึงในกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน

3.4 น้ำหนัก

13. สมมติว่ามีการจำลองมวลมาตรฐาน 1 กิโลกรัม จากกรุงปารีสมาไว้กรุงเทพฯ น้ำหนักและมวลของมวลจำลองนี้ที่กรุงเทพฯ แตกต่างกับที่กรุงปารีสเท่าใด (ถ้า g ที่กรุงปารีส และกรุงเทพฯ เป็น 9.81 และ 9.78 เมตรต่อวินาที^{2} ตามลำดับ)

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

14. น้ำหนักของวัตถุก้อนเดียวกันที่บริเวณขั้วโลกและที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร มีค่าต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด

3.5 กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน

15. สมมติดาวเคราะห์ดวงหนึ่งมีดาวบริวารที่มีมวลเท่ากันสองดวง ดวงหนึ่งอยู่ใกล้ อีกดวงหนึ่งอยู่ไกล แรงที่ดาวเคราะห์ดึงดูดดาวบริวารทั้งสองมีขนาดแตกต่างกันอย่างไร
16. วัตถุสองก้อนอยู่สูงจากพื้นเท่ากัน ก้อนหนึ่งมีมวลมากกว่าอีกก้อนหนึ่ง แรงที่โลกดึงดูดวัตถุทั้งสองก้อนแตกต่างกันอย่างไร

3.6 แรงเสียดทาน

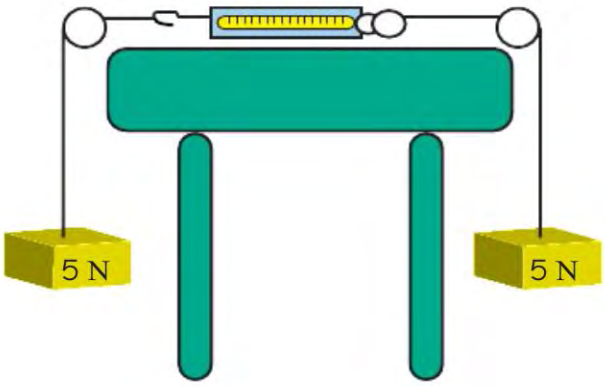
17. แรงเสียดทานระหว่างผิวถนนกับพื้นรองเท้ามีผลต่อการเดินของคนอย่างไร และทิศทางของแรงเสียดทานอยู่ในทิศทางใดขณะก้าวเดิน
18. จงเปรียบเทียบทิศทางของแรงเสียดทานที่เกิดจากการลากกล่องไม้ไปบนพื้นถนนกับทิศทางของแรงเสียดทานที่ล้อรถกระทำกับพื้นถนนขณะรถเคลื่อนที่
19. การลดแรงเสียดทานสามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างไรบ้าง จงยกตัวอย่าง
20. การเพิ่มแรงเสียดทานสามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างไรบ้าง จงยกตัวอย่าง

3.7 การนำกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันไปใช้

21. นักเทนนิสตีลูกเทนนิสอย่างแรง ขณะลูกเทนนิสกำลังเคลื่อนที่อยู่ในอากาศ มีแรงใดบ้างกระทำต่อลูกเทนนิส (ไม่คิดแรงต้านจากอากาศ)
22. ผลักแท่งไม้ทรงสี่เหลี่ยมให้ไถลไปบนพื้นราบ แท่งไม้นี้จะเคลื่อนที่ไปได้ระยะทางหนึ่งแล้วหยุดนิ่ง ขณะแท่งไม้กำลังเคลื่อนที่ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อแท่งไม้และความเร่งของแท่งไม้อยู่ในทิศทางใด จงวาดรูปประกอบ
23. ถ้าเรายืนชั่งน้ำหนักใกล้ๆกับโต๊ะ แล้วใช้มือกดลงบนโต๊ะไว้ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง เพราะเหตุใด
24. จากข้อความที่ว่า "จรวดไม่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นจากผิวดวงจันทร์ได้ เพราะไม่มีอากาศผลัก" คำกล่าวนี้ถูกต้องหรือไม่ จงอธิบาย
25. จงหาแรงคู่กิริยา–ปฏิกิริยาของแรงต่อไปนี้
    ก. แรงกระทำต่อจรวดในขณะพ่นเชื้อเพลิงไปด้านหลัง
    ข. แรงกระทำต่อล้อรถจักรยานขณะรถจักรยานเคลื่อนที่บนถนนในแนวระดับไปข้างหน้า
    ค. แรงกระทำต่อล้อรถพ่วงในขณะรถพ่วงถูกลากให้เคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือ
26. ขณะยิงปืน แรงที่ปืนกระทำกับลูกกระสุน และแรงที่ลูกกระสุนกระทำกับปืนมีขนาดเท่ากันทิศทางตรงข้าม แรงลัพธ์ที่กระทำต่อลูกกระสุนเป็นศูนย์หรือไม่ เพราะเหตุใดลูกกระสุนจึงเคลื่อนที่ไปได้
27. ในการเคลื่อนที่แนวตรง ถ้าระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่แปรผันตรงกับเวลา แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเท่าใด

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

28. "การที่ยานอวกาศลงบนดวงจันทร์ได้อย่างนิ่มนวล จะต้องใช้จรวดยั้งความเร็ว" จงอธิบายว่าแรงที่จรวดยั้งความเร็วควรเป็นอย่างไร
29. จากรูป รอกหมุนคล่อง เครื่องชั่งสปริงอ่านค่าได้เท่าใด เพราะเหตุใด



รูปสำหรับคำถาม 29

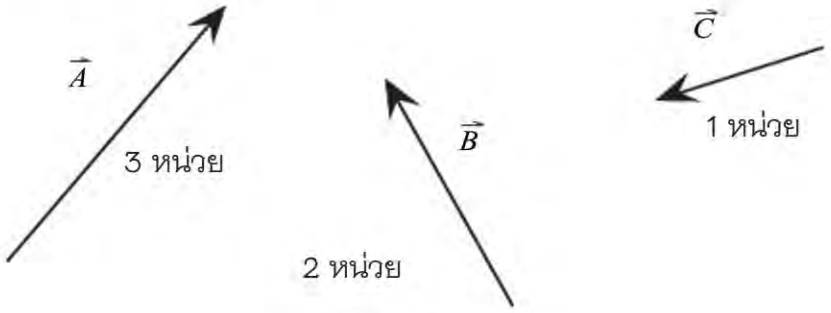
Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

คำถาม

3.1 แรง

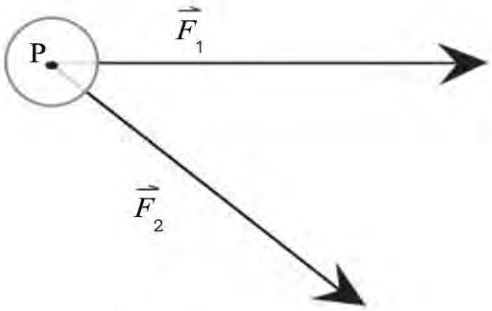
3.2 การหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน

1. จงหาผลบวกของเวกเตอร์สองเวกเตอร์ขนาด 3 หน่วย และ 4 หน่วย ซึ่งทำมุม θ ต่อกัน โดยการเขียนรูป เมื่อ θ มีค่าเป็น 0, 45, 90, 135 และ 180 องศา
2. กำหนดให้ $\vec{A}$, $\vec{B}$ และ $\vec{C}$ เป็นเวกเตอร์ที่มีขนาดและทิศทางดังรูป จงหาขนาดและทิศทางของเวกเตอร์ลัพธ์ของ $\vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$



รูปสำหรับปัญหาข้อ 2

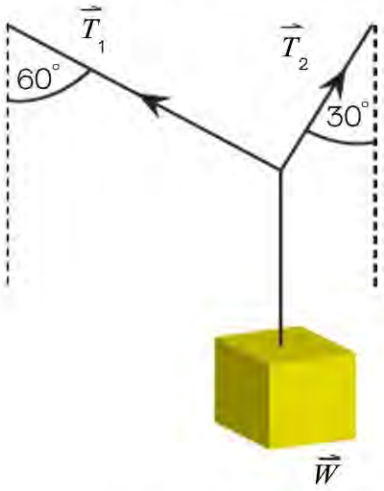
3. จงหาแรงลัพธ์ของแรงต่อไปนี้
   ก. 5 นิวตัน ไปทางทิศตะวันออก
   ข. 3 นิวตัน ไปทางทิศเหนือ
   ค. 4 นิวตัน ไปทางทิศใต้
   ง. 6 นิวตัน ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ
   โดยการเขียนรูปเรียงลำดับดังนี้
   1. ก ข ค ง 2. ข ก ง ค 3. ง ค ก ข
   แรงลัพธ์ที่ได้ทั้งสามกรณีเหมือนกันหรือไม่
4. แรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ กระทำต่อวัตถุที่จุด P มีขนาดและทิศทางดังรูป จงหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงทั้งสอง $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$



รูปสำหรับปัญหาข้อ 4

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

5. เด็กคนหนึ่งออกแรง 100 นิวตัน ดึงรถให้เคลื่อนที่ไปตามแนวระดับ โดยแนวแรงของแรงดึงทำมุม 37 องศา กับแนวระดับ จงหาองค์ประกอบของแรง 100 นิวตัน ในแนวระดับกับแนวดิ่ง
6. วัตถุน้ำหนัก $\vec{W}$ แขวนด้วยเชือกสองเส้น ซึ่งเอียงทำมุม 60 องศา และ 30 องศากับแนวดิ่ง เมื่อวัตถุสมดุล $\vec{T}_1$ และ $\vec{T}_2$ คือแรงดึงในเส้นเชือกทั้งสอง ดังรูป จงเขียนแรงลัพธ์แทนขนาดและทิศทางของผลรวมของแรงทั้งสาม เมื่อ $\vec{W}$ มีขนาด 10 นิวตัน



รูปสำหรับปัญหาข้อ 6

3.3 กฎการเคลื่อนที่

7. จะต้องใช้แรงขนาดเท่าใดกระทำต่อวัตถุซึ่งมีมวล 0.5 กิโลกรัม จึงจะทำให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง 4.0 เมตรต่อวินาที^{2}
8. ถ้าใช้แรง 3.0 นิวตัน กระทำต่อวัตถุซึ่งมีมวล 0.6 กิโลกรัม วัตถุนั้นจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเท่าใด
9. แรงสองแรงมีขนาดเท่ากัน เท่ากับ 3.0 นิวตัน กระทำต่อมวล 6.0 กิโลกรัม จงหาขนาดและทิศทางของความเร่งของวัตถุ เมื่อแรงทั้งสอง
    ก. กระทำในทิศทางเดียวกัน
    ข. กระทำในทิศทางตรงข้าม
10. แรงขนาดหนึ่งกระทำต่อวัตถุซึ่งมีมวล m_1 ทำให้วัตถุนั้นมีความเร่ง 8.0 เมตรต่อวินาที^{2} เมื่อแรงขนาดเดียวกันนั้นกระทำต่อวัตถุซึ่งมีมวล m_2 ทำให้วัตถุมีความเร่ง 24.0 เมตรต่อวินาที^{2} จงหาอัตราส่วนระหว่าง m_1 ต่อ m_2
11. แรงคงตัวแรงหนึ่งเมื่อกระทำต่อวัตถุเป็นเวลา 1.2 วินาที ทำให้ความเร็วของวัตถุนั้นเปลี่ยนจาก 1.8 เมตรต่อวินาที เป็น 4.2 เมตรต่อวินาที ถ้าใช้แรงนี้กระทำต่อวัตถุเดิมเป็นเวลา 2.0 วินาที ความเร็วของวัตถุจะเปลี่ยนจาก 1.8 เมตรต่อวินาที เป็นเท่าใด ในทั้งสองกรณีนี้ให้แรงกระทำในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

12. เมื่อใช้แรง 2.0 นิวตัน กระทำต่อมวล 8.0 กิโลกรัม ซึ่งเดิมอยู่นิ่ง ให้เคลื่อนที่ไปตามพื้นราบ ปรากฏว่าวัตถุเคลื่อนที่ไปได้ 3.0 เมตร ในเวลา 6.0 วินาที
    ก. หาความเร่งของวัตถุ จาก $s = ut + \frac{1}{2}at^2$
    ข. อัตราส่วนระหว่างแรงที่ใช้ต่อมวลของวัตถุเป็นเท่าใด
    ค. อธิบายได้อย่างไรว่า ทำไมคำตอบในข้อ ก. และ ข. จึงไม่เท่ากัน

3.4 น้ำหนัก

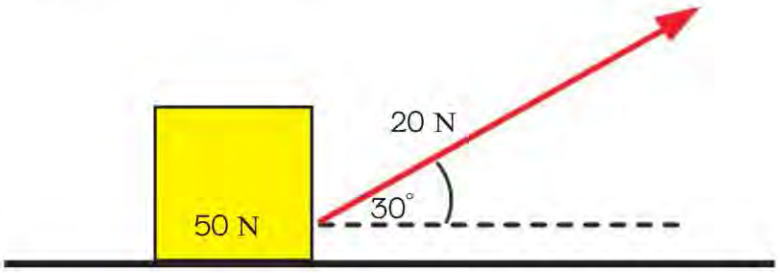
13. ถุงทรายมวล 0.5 กิโลกรัม ตกแบบเสรีด้วยความเร่ง 9.8 เมตรต่อวินาที^{2} ถุงทรายนี้มีน้ำหนักเท่าใด ณ บริเวณที่ตก

3.5 กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน

14. มวลสองก้อนห่างกันเป็นระยะทาง 6 หน่วย มวลทั้งสองจะมีแรงดึงดูดระหว่างกัน F ถ้ามวลสองก้อนห่างกันเป็นระยะทาง 3 หน่วย แรงดึงดูดระหว่างมวลทั้งสองจะเป็นเท่าใด
15. วัตถุมวล m อยู่บนผิวโลกซึ่งมีรัศมี 6.38×10^6 เมตร จงคำนวณหามวลของโลก
16. จงหามวลของดวงจันทร์ซึ่งมีรัศมี R_m และความเร่งโน้มถ่วงที่ผิวดวงจันทร์มีค่า g_m
17. วัตถุหนึ่งมีน้ำหนัก 270 นิวตัน เมื่อชั่งที่ผิวโลก ถ้าชั่งวัตถุชิ้นนี้ที่ระยะทางจากผิวโลกเป็นสองเท่าของรัศมีโลก วัตถุนี้จะมีน้ำหนักเท่าใด
18. ที่ความสูงเหนือผิวโลกเป็นระยะ 300 กิโลเมตร g มีค่าเท่าใด

3.6 แรงเสียดทาน

19. วัตถุมีน้ำหนัก 50 นิวตัน วางอยู่บนพื้นระดับ และมีแรงดึง 20 นิวตัน กระทำในทิศทางทำมุม 30 องศา กับพื้น ดังรูป ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว จงหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างวัตถุกับพื้น

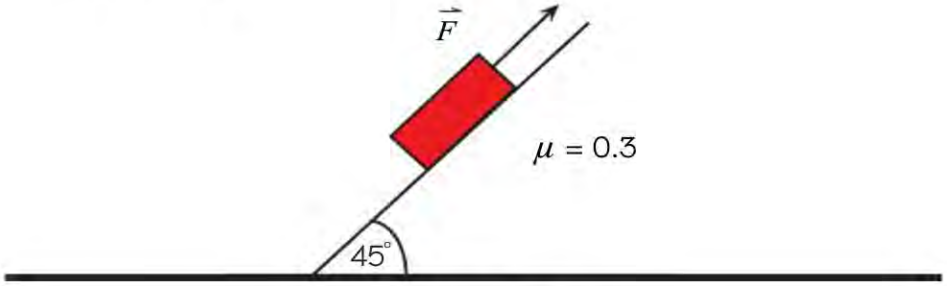


รูปสำหรับปัญหาข้อ 19

20. วัตถุหนัก 1.25×10^3 นิวตัน เลื่อนลงตามพื้นเอียงด้วยความเร็วสม่ำเสมอ พื้นเอียงยาว 6.0 เมตร สูง 3.0 เมตร จงหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างวัตถุกับพื้นเอียง

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

21. วัตถุมีน้ำหนัก 20 นิวตัน วางอยู่บนพื้นเอียงซึ่งเอียงทำมุม 45 องศากับแนวระดับ ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างวัตถุกับพื้นเท่ากับ 0.3 แรง $\vec{F}$ กระทำต่อวัตถุมีแนวขนานกับพื้นเอียง ดังรูป จงหา

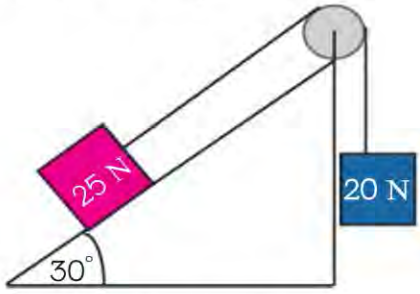


รูปสำหรับปัญหาข้อ 21

ก. ขนาดแรงดึง $\vec{F}$ ที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว

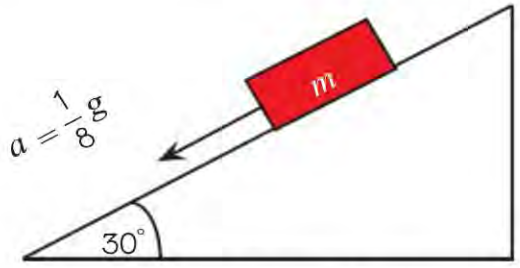
ข. ขนาดแรงดึง $\vec{F}$ ที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ลงพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว

22. วัตถุหนัก 20 นิวตัน แขวนไว้ด้วยเชือกคล้องผ่านรอกที่ไม่คิดความฝืด (ความฝืดน้อยมาก) ปลายอีกข้างหนึ่งของเชือกผูกวัตถุหนัก 25 นิวตัน ซึ่งวางอยู่บนพื้นเอียง ดังรูป เมื่อปล่อยไว้อย่างอิสระ ปรากฏว่า วัตถุที่วางบนพื้นเอียงจะเริ่มเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียง จงหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างพื้นกับวัตถุ



รูปสำหรับปัญหาข้อ 22

23. มวล m วางบนพื้นเอียงซึ่งทำมุม 30 องศากับแนวระดับ ถ้าวัดได้ว่ามวลนั้นไถลลงพื้นเอียง ด้วยความเร่ง $\frac{1}{8}g$ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างมวลนั้นกับพื้นจะเป็นเท่าใด

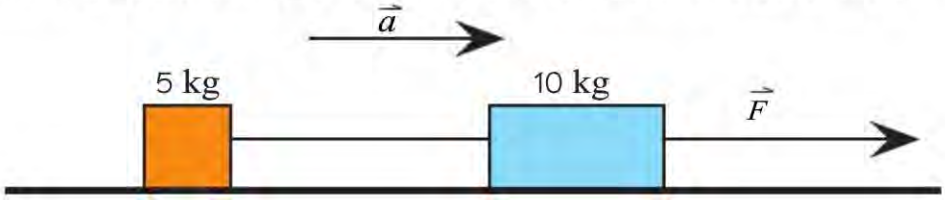


รูปสำหรับปัญหาข้อ 23

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

3.7 การนำกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันไปใช้

24. ลิฟต์ขนของมวล 200 กิโลกรัม เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง 2.2 เมตรต่อวินาที^{2} ถ้าลวดที่แขวนลิฟต์ทนแรงดึงได้สูงสุด 7440 นิวตัน ลิฟต์จะบรรทุกสิ่งของได้มากที่สุดเท่าใด
25. วัตถุก้อนหนึ่งเคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือด้วยความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที และ 5.0 วินาทีต่อมาพบว่า วัตถุนั้นกำลังเคลื่อนที่ไปทางทิศใต้ด้วยความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที
    ก. วัตถุนั้นมีความเร็วเปลี่ยนไปในช่วง 5.0 วินาทีนั้นเท่าใด
    ข. วัตถุมีความเร่งเฉลี่ยเท่าใด และทิศทางใด
    ค. ทิศทางของแรงเฉลี่ยที่กระทำต่อวัตถุนั้นเป็นทิศทางใด
26. วัตถุมวล 5.0 และ 10.0 กิโลกรัม ผูกติดกันด้วยเชือกเบา วางอยู่บนพื้นราบที่ไม่มีความฝืดดังรูป ให้แรง $\vec{F}$ ซึ่งมีค่าคงตัว กระทำต่อวัตถุทั้งสองอยู่นาน 15 วินาที จนความเร็วของวัตถุเปลี่ยนไป 40 เมตรต่อวินาที จงหา $\vec{F}$ และแรงที่เชือกดึงมวล 5.0 กิโลกรัม

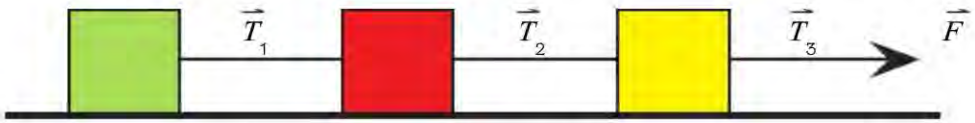


รูปสำหรับปัญหาข้อ 26

27. มวล A และ B วางอยู่บนพื้นราบเกลี้ยง ถ้ามีแรง $\vec{F}$ กระทำต่อมวล A ในแนวขนานกับพื้น ทำให้มวลทั้งสองเคลื่อนที่ติดกันไปด้วยความเร่ง $\vec{a}$ ดังรูป จงเปรียบเทียบแรงที่ A กระทำต่อ B และแรงที่ B กระทำต่อ A

รูปสำหรับปัญหาข้อ 27

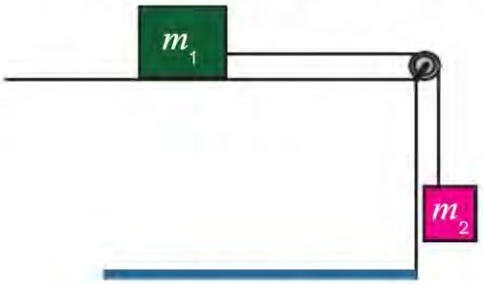
28. จากรูป วัตถุ 3 ก้อน มวลเท่ากันผูกติดกับเชือกเบา วางบนพื้นที่ไม่มีความฝืด ถ้าขนาดของแรง $\vec{F}$ ดึงวัตถุเคลื่อนที่ไปทางขวา ดังรูป ขนาดของแรงดึงในเส้นเชือก $\vec{T}_1$ $\vec{T}_2$ และ $\vec{T}_3$ สัมพันธ์กันอย่างไร



รูปสำหรับปัญหาข้อ 28

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

29. วัตถุมวล m_1 วางบนพื้นโต๊ะที่ไม่มีความเสียดทาน ผูกเชือกที่มวล m_1 แล้วคล้องผ่านรอกที่หมุนคล่อง นำวัตถุมวล m_2 มาผูกติดกับปลายเชือก ดังรูป

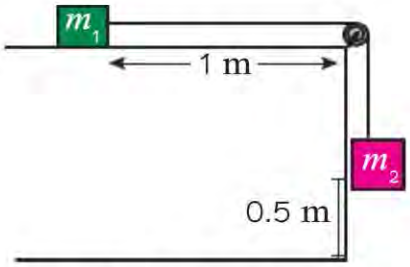


รูปสำหรับปัญหาข้อ 29

ก. เมื่อปล่อยให้ m_1 และ m_2 เคลื่อนที่ จงหาความเร่งของมวล m_1

ข. เมื่อ m_2 กระทบพื้น แรงที่ดึงเส้นเชือก m_1 เป็นเท่าใด และมวลจะเคลื่อนที่โดยมีความเร็วเป็นอย่างไร

30. m_1 เป็นวัตถุวางบนโต๊ะราบที่ไม่มีความฝืด ห่างจากขอบโต๊ะ 1 เมตร m_2 เป็นวัตถุโลหะอยู่สูงจากพื้น 0.5 เมตร ดังรูป ถ้าปล่อยให้ m_1 และ m_2 เคลื่อนที่แล้ว จะมีความเร็วสูงสุดเท่าใด (กำหนดให้ m_1 = 2.0 kg m_2 = 0.5 kg)

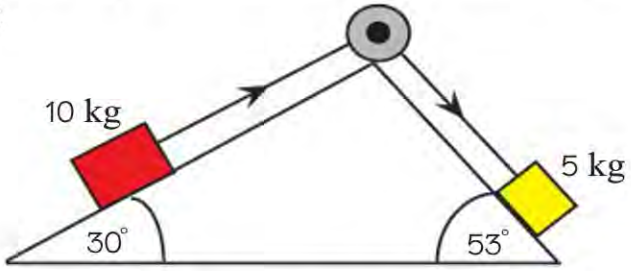


รูปสำหรับปัญหาข้อ 30

31. วัตถุมวล 10.0 กิโลกรัม และ 0.5 กิโลกรัม ผูกติดกันด้วยเชือกเบา แล้วคล้องผ่านรอกลื่นและวางอยู่บนพื้นเอียงที่ไม่มีความเสียดทาน ดังรูป เมื่อปล่อยให้มวลทั้งสองเคลื่อนที่ จงหา

ก. ความเร่งของมวลทั้งสอง

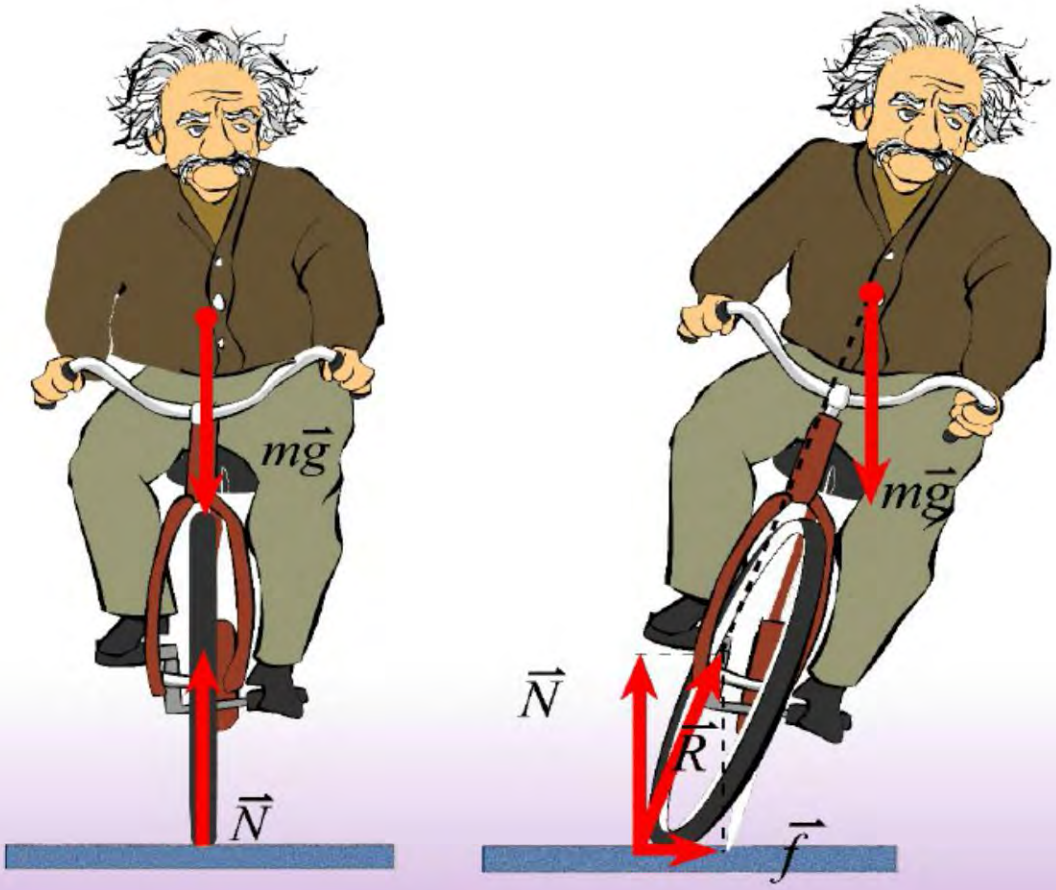
ข. แรงดึงในเส้นเชือก



รูปสำหรับปัญหาข้อ 31

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

บทที่ 4
การเคลื่อนที่แบบต่างๆ



รถจักรยานที่วิ่งบนถนนตรงวิ่งตั้งตรงได้
แต่เหตุใดต้องเอียงรถจักรยานเมื่อเลี้ยวโค้ง

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

การเคลื่อนที่ของวัตถุต่างๆ รอบตัวเรา อาจจะเป็นการเคลื่อนที่แนวตรง หรืออาจเป็นแนวโค้ง เช่น ลูกบาสเกตบอลที่กำลังลอยเข้าห่วง สายน้ำที่พุ่งออกจากหัวฉีด ลูกบอลที่ถูกเตะลอยไปในอากาศ การเลี้ยวของรถเมื่อเข้าทางโค้ง การหมุนของใบพัดลม เป็นต้น ในบทนี้จะได้ศึกษาการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ได้แก่ การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ การเคลื่อนที่แบบวงกลม และการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

4.1 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

ถ้าพิจารณาเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกเหล็กที่ทุ่มโดยนักกีฬาทุ่มน้ำหนัก หรือเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบาสเกตบอลที่ถูกทุ่ม จะพบว่าเส้นทางการเคลื่อนที่นั้นเป็นแนวโค้ง ถ้าไม่มีแรงต้านของอากาศหรือแรงต้านทานมีผลน้อยมากจนไม่ต้องนำมาคิด จะเรียกการเคลื่อนที่นี้ว่า **การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์** (projectile motion) และเรียกวัตถุที่เคลื่อนที่ในลักษณะดังกล่าวนี้ว่า **โพรเจกไทล์** (projectile)

การพุ่งแหลน

การทุ่มน้ำหนัก

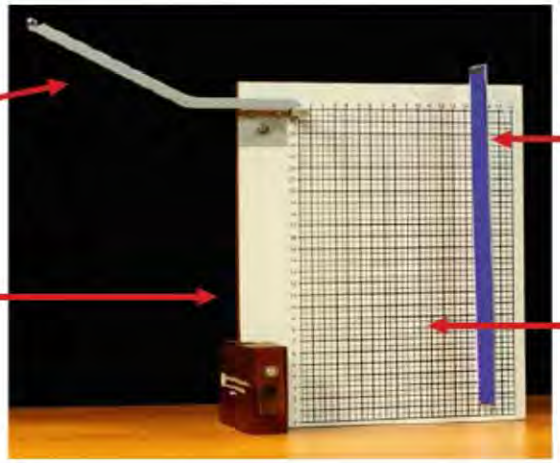
รูป 4.1 การเล่นกรีฑาบางชนิด

เส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์มีลักษณะอย่างไร ศึกษาได้จากการทดลอง 4.1

การทดลอง 4.1 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาลักษณะของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

วิธีทดลอง



รูป การติดตั้งอุปกรณ์ศึกษาลักษณะของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

ตอนที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์

1. ประกอบรางอะลูมิเนียมเข้ากับแป้นไม้ ให้รางตอนล่างอยู่ในแนวระดับ แล้วติดกระดาษกราฟ เข้ากับแป้นไม้

2. ตัดกระดาษขาวและกระดาษคาร์บอนขนาดกว้างยาวเท่ากับเป้าโลหะและปิดกระดาษขาวเข้ากับเป้า แล้วปิดกระดาษคาร์บอนทับกระดาษขาวโดยยึดติดเฉพาะปลายบนของกระดาษคาร์บอน ดังรูป จากนั้นวางเป้าให้ชิดปลายรางอะลูมิเนียม

ตอนที่ 2 การหาเส้นทางการเคลื่อนที่

1. วางลูกกลมโลหะบนรางอะลูมิเนียมใกล้ปลายรางตอนบน โดยถือไม้บรรทัดกั้นลูกกลมโลหะไว้ ยกไม้บรรทัดขึ้นอย่างรวดเร็ว ลูกกลมโลหะจะกลิ้งลงมาตามรางเข้าชนเป้า เมื่อยกปลายล่างของกระดาษคาร์บอนขึ้น จะเห็นจุดดำบนกระดาษขาว ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ลูกกลมโลหะชนเป้า ทำเครื่องหมายบนกระดาษกราฟให้มีระดับตรงกับจุดดำบนเป้า

2. ทำการทดลองซ้ำ แต่ละครั้งที่ทดลองต้องวางลูกกลมโลหะที่ตำแหน่งเดิมแต่เลื่อนเป้าออกไปครั้งละ 1 เซนติเมตร จนกระทั่งลูกกลมโลหะไม่กระทบเป้า

3. เมื่อทดลองเสร็จแล้ว ให้ลากเส้นผ่านจุดทุกจุดบนกระดาษกราฟ จะได้เส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ของลูกกลมโลหะ

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์โดยการเขียนกราฟ

1. กำหนดให้จุดบนกราฟจุดแรกซึ่งตรงกับจุดที่ลูกกลมโลหะกระทบเป้า เมื่อวางชิดปลายรางด้านล่างเป็นจุดกำเนิด ลากแกนนอนหรือแกน x และแกนยืนหรือแกน y

2. จากกราฟที่ได้ วัดการกระจัดในแนวระดับ x และการกระจัดในแนวดิ่ง y ของจุดต่าง ๆ พร้อมทั้งหาการกระจัดในแนวระดับยกกำลังสอง x^2 ออกแบบตารางและบันทึกผลลงในตาราง

3. เขียนกราฟระหว่างการกระจัดในแนวดิ่ง y กับการกระจัดในแนวระดับยกกำลังสอง x^2

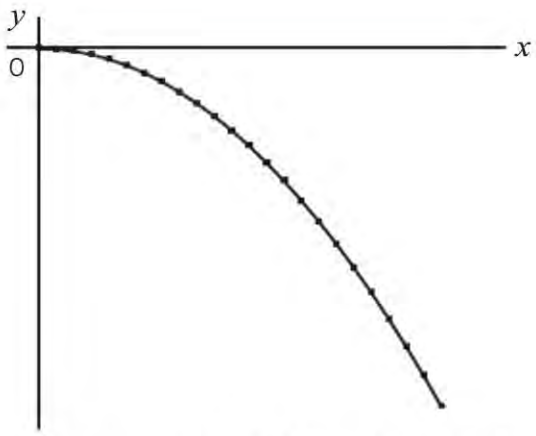
☐ *เพราะเหตุใด ต้องปล่อยลูกกลมโลหะจากตำแหน่งเดียวกันทุกครั้ง*

☐ *แนวการเคลื่อนที่ของลูกกลมโลหะจากกระดาษกราฟบนแป้นไม้มีลักษณะอย่างไร*

☐ *จากกราฟระหว่างขนาดของการกระจัดในแนวดิ่ง y กับขนาดของการกระจัดในแนวระดับยกกำลังสอง x^2 จะสรุปลักษณะของแนวการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ว่าเป็นแนวโค้งแบบใด*

จากการทดลองข้างต้น พบว่าแนวการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์มีลักษณะเป็นแนวโค้ง ดังรูป 4.2

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ



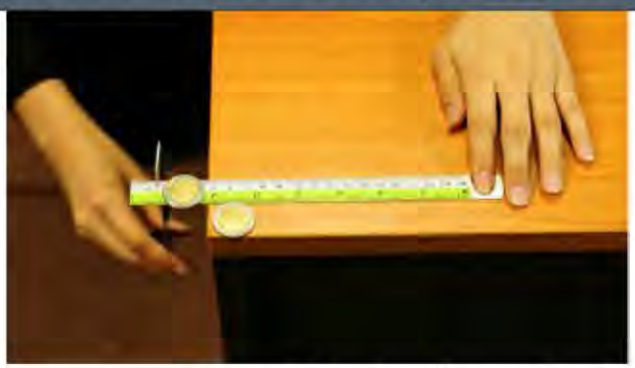
รูป 4.2 แนวการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

เมื่อเขียนกราฟระหว่างขนาดของการกระจัดในแนวดิ่ง (y) กับขนาดของการกระจัดในแนวระดับยกกำลังสอง (x^2) จะได้กราฟเส้นตรงซึ่งผ่านจุดกำเนิด ดังนั้นจะได้ว่า $y \propto x^2$ หรือ $y = kx^2$ เมื่อ k เป็นค่าคงตัวของการแปรผัน

เนื่องจากสมการ $y = kx^2$ เป็นสมการของกราฟพาราโบลา ดังนั้นจากการทดลองนี้จะเห็นได้ชัดเจนว่า การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์มีแนวการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งพาราโบลา โดยวัตถุจะมีการกระจัดทั้งในแนวระดับและแนวดิ่งพร้อมกัน การกระจัดในแนวดิ่งและแนวระดับมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ศึกษาได้จากสถานการณ์ต่อไปนี้

การเคาะไม้บรรทัดให้เหรียญทั้งสองเคลื่อนที่

นำเหรียญขนาดเท่ากันสองเหรียญวางเหรียญแรกที่ขอบโต๊ะ วางอีกเหรียญบนไม้บรรทัดกดปลายด้านหนึ่งของไม้บรรทัด ดังรูป 4.3 ใช้ไม้บรรทัดอีกอันเคาะปลายไม้บรรทัดที่ยื่นพ้นขอบโต๊ะโดยเร็ว สังเกตการเคลื่อนที่ของเหรียญทั้งสองเมื่อใช้แรงเคาะต่างๆ กัน



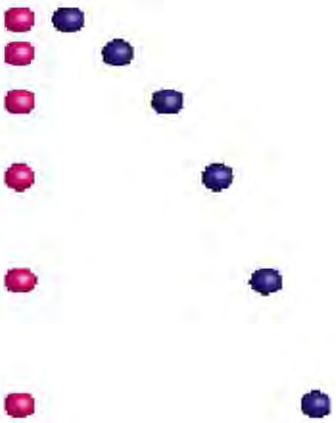
รูป 4.3 การเคาะไม้บรรทัดให้เหรียญทั้งสองเคลื่อนที่

จะเห็นได้ว่า เหรียญที่อยู่บนไม้บรรทัดจะตกในแนวดิ่ง ส่วนเหรียญที่ขอบโต๊ะจะเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ แต่เหรียญทั้งสองตกถึงพื้นพร้อมกัน ไม่ว่าจะเคาะด้วยแรงขนาดเท่าใดก็ตาม

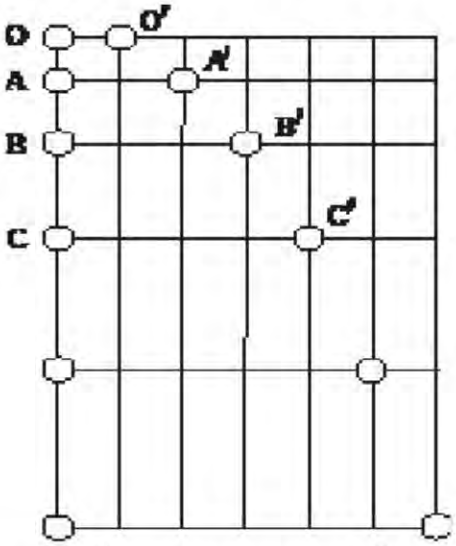
นอกจากนี้ จากการทดลองถ่ายภาพลูกกลมสองลูกที่ถูกทำให้เคลื่อนที่พร้อมกันจากระดับเดียวกัน โดยลูกหนึ่งตกในแนวดิ่ง ขณะเดียวกันดีดอีกลูกหนึ่งให้เคลื่อนที่ในแนวระดับ แล้วบันทึกภาพโดยใช้แสงไฟแฟลชที่สว่างเป็นจังหวะ แต่ละจังหวะใช้เวลาเท่ากัน ดังรูป 4.4 ก และ ข ลูกกลมเคลื่อนที่

Inw Tong Phaya Lai
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ในแนวดิ่งจาก O ถึง A จาก A ถึง B และจาก B ถึง C ใช้เวลาเท่ากัน ในทำนองเดียวกัน ลูกกลมที่เคลื่อนที่ในแนวโค้ง จะเคลื่อนที่จาก O' ถึง A' จาก A' ถึง B' และจาก B' ถึง C' โดยใช้เวลาเท่ากัน



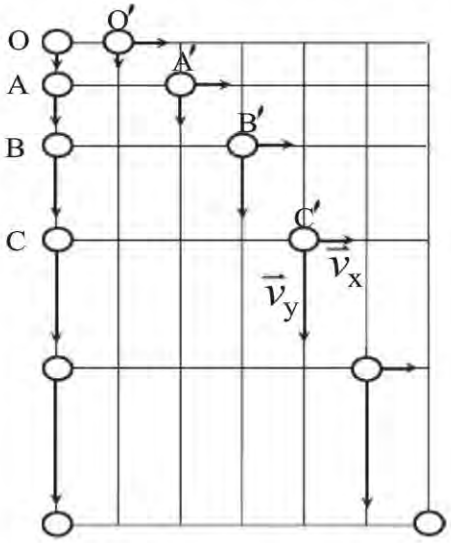
ก. ภาพถ่ายลูกกลม 2 ลูกที่เคลื่อนที่ในแนวดิ่งและแนวระดับพร้อมกัน



ข. การกระจัดในแนวดิ่งและการกระจัดในแนวระดับที่ลูกกลมทั้งสองเคลื่อนที่ได้

รูป 4.4 การเคลื่อนที่ของลูกกลมสองลูก

การศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรี ที่ตำแหน่ง A กับ A' หรือ B กับ B' หรือ C กับ C' วัตถุมีความเร็วในแนวดิ่งเท่ากัน สำหรับวัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์นั้น ที่ตำแหน่ง A' B' หรือ C' วัตถุมีความเร็วตามแนวระดับคงตัว และเท่ากันด้วย ดังรูป 4.5



รูป 4.5 ความเร็วของวัตถุที่ตกในแนวดิ่งและวัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

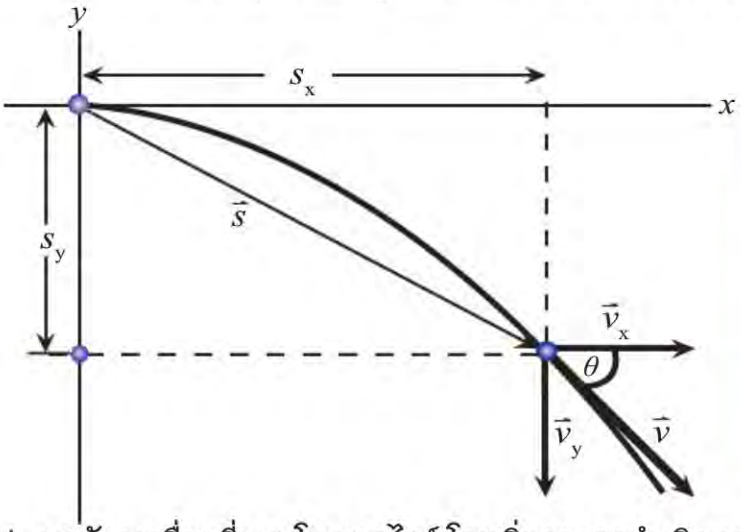
จะเห็นได้ว่า วัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ประกอบด้วยการเคลื่อนที่ทั้งในแนวระดับและแนวดิ่งพร้อมๆ กันและเป็นอิสระต่อกัน การเคลื่อนที่ในแนวระดับจะเหมือนกับการเคลื่อนที่แนวตรงด้วยความเร็วคงตัว (ความเร่งเป็นศูนย์) ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งจะเหมือนกับการตกแบบเสรีด้วยความเร่งคงตัว การที่มีการเคลื่อนที่ทั้งสองแนวนี้ ทำให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งได้

4.1.1 การเคลื่อนที่ในแนวระดับและแนวดิ่ง

ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์จะแยกพิจารณาการเคลื่อนที่ในแนวระดับ และการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งออกจากกัน แล้วจึงนำมาพิจารณารวมกันเพื่อหาความเร็วลัพธ์หรือการกระจัดลัพธ์ของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ดังนี้

การเคลื่อนที่ในแนวระดับ

วัตถุซึ่งถูกขว้างออกไปในแนวระดับจะมีความเร็วในแนวระดับคงตัว เพราะว่าแรงลัพธ์ในแนวระดับที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ โดยถือว่าแรงต้านของอากาศมีค่าน้อยมาก จนไม่ต้องนำมาคิด



การกำหนดเครื่องหมายของปริมาณในการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ กำหนดให้ ปริมาณที่มีทิศไปทางขวามีเครื่องหมาย + ส่วนปริมาณที่มีทิศทางลง ได้แก่ การกระจัด ความเร็ว และความเร่งมีเครื่องหมาย –

รูป 4.6 วัตถุเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยเริ่มจากจุดกำเนิดของแกนอ้างอิง *xy*

จากรูป 4.6 ให้แกน x เป็นแนวการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวระดับ

s_x คือ การกระจัดของวัตถุในแนวระดับ

v_x คือ ความเร็วของวัตถุในแนวระดับซึ่งมีค่าคงตัว

การกระจัดของวัตถุในแนวระดับในช่วงเวลา t ได้จากสมการ

$$s_x = v_x t \qquad (4.1)$$

Inw Tong Inwiyalai
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

การเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง

การเคลื่อนที่ของวัตถุแบบโพรเจกไทล์ในแนวดิ่งจะเหมือนกับการปล่อยวัตถุตกแบบเสรี คือมีความเร็วต้นเป็นศูนย์ และมีความเร่งคงตัว a_y ที่มีค่าเท่ากับความเร่งโน้มถ่วง g ซึ่งมีทิศทางลง

จากรูป 4.6 ให้แกน y เป็นแนวการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่ง

v_y คือ ความเร็วในแนวดิ่ง จะหา v_y ที่เวลา t จากเริ่มต้นได้จากสมการ

$$v_y = u_y + a_y t$$

ในที่นี้ $u_y = 0$ และ $a_y = -g = -9.8\ \text{m/s}^2$

ดังนั้น
$$v_y = -gt \qquad (4.2)$$

s_y คือ การกระจัดในแนวดิ่ง เมื่อเวลาผ่านไป t จะหา s_y ได้จากสมการ

$$s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2$$

ดังนั้น
$$s_y = -\frac{1}{2} g t^2 \qquad (4.3)$$

การแทนค่าของ g

ในสมการ (4.2) และ (4.3) g คือขนาดของความเร่งโน้มถ่วง ส่วนเครื่องหมาย – แทนทิศทางลง ดังนั้นในการแทนค่าของ g ในสมการ (4.2) และ (4.3) ให้แทนด้วย $g = 9.8\ \text{m/s}^2$ ไม่ใช่ $g = -9.8\ \text{m/s}^2$

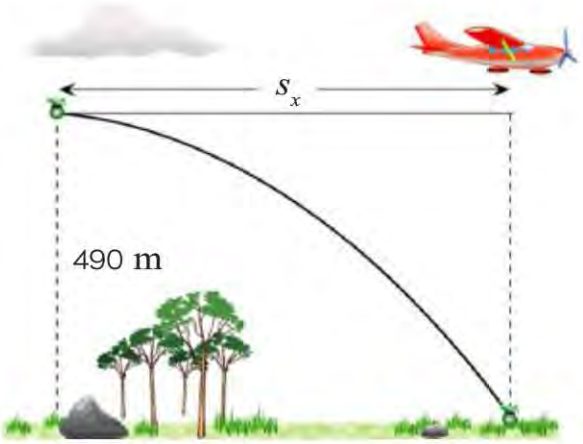
ตัวอย่าง 4.1

เครื่องบินลำหนึ่งบินในแนวระดับที่ความสูง 490 เมตร ด้วยความเร็วคงตัว 360 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถ้าคนในเครื่องบินทิ้งถุงสัมภาระถุงหนึ่งลงมา จงหาว่าเครื่องบินอยู่ห่างจากตำแหน่งที่ทิ้งถุงสัมภาระในแนวระดับเมื่อถุงสัมภาระตกถึงพื้นเท่าใด

แนวคิด เมื่อทิ้งถุงสัมภาระ ถุงสัมภาระจะมีความเร็วในแนวระดับ v_x เท่ากับความเร็วของเครื่องบิน 360 km/h ดังนั้นระยะทางที่เครื่องบินเคลื่อนที่ได้ในแนวระดับ s_x จึงเท่ากับระยะทางที่ถุงสัมภาระเคลื่อนที่ได้ในแนวระดับ โดยที่ช่วงเวลาของการเคลื่อนที่ในแนวระดับเท่ากับช่วงเวลาของการเคลื่อนที่ได้ในแนวดิ่ง

Thai Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

เขียนรูปของสถานการณ์ได้ดังนี้



รูปประกอบตัวอย่าง 4.1 แนวการเคลื่อนที่ของถุงสัมภาระ

วิธีทำ หาเวลาที่ถุงสัมภาระตกถึงพื้นดินได้จากสมการ

$$s_y = -\frac{1}{2}gt^2$$

ในที่นี้ $s_y = -490\ \text{m}$ และ $g = 9.8\ \text{m/s}^2$

แทนค่า $-490\ \text{m} = -\frac{1}{2}(9.8\ \text{m/s}^2)t^2$

$$t = 10\ \text{s}$$

หาระยะทางที่ถุงสัมภาระเคลื่อนที่ได้ในแนวระดับจากสมการ

$$s_x = v_x t$$

ในที่นี้ $v_x = 360\ \text{km/h} = \frac{360\ \text{km}}{1\ \text{h}} = \frac{360 \times 10^3\ \text{m}}{60 \times 60\ \text{s}} = 100\ \text{m/s}$ และ $t = 10\ \text{s}$

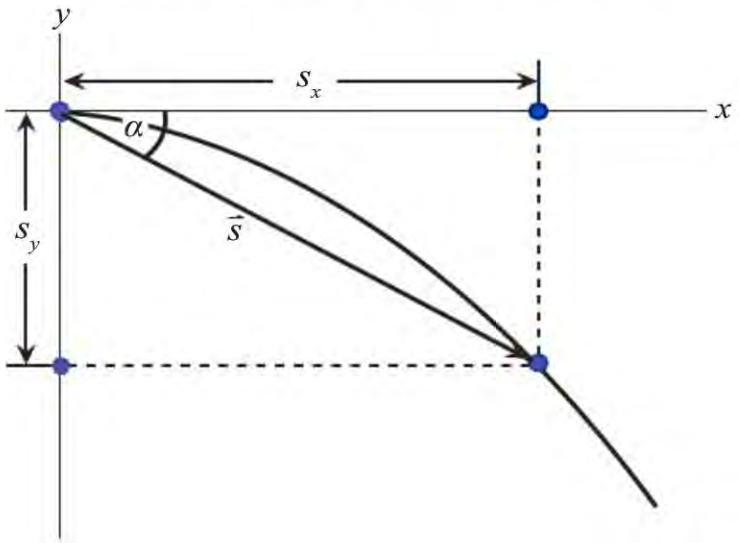
ดังนั้น $s_x = (100\ \text{m/s})(10\ \text{s}) = 1000\ \text{m}$

ตอบ เมื่อถุงสัมภาระตกถึงพื้น เครื่องบินอยู่ห่างจากตำแหน่งที่ทิ้งถุงสัมภาระในแนวระดับ 1000 เมตร

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

4.1.2 การกระจัดและความเร็วของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์มีการเคลื่อนที่ทั้งในแนวระดับและแนวดิ่งพร้อมกัน ซึ่งสามารถหาขนาดของการกระจัดและขนาดของความเร็วในแนวดิ่งและแนวระดับแยกจากกัน แล้วนำมาคิดรวมกันในภายหลัง เพื่อหาการกระจัดขณะหนึ่งและความเร็วขณะหนึ่งของวัตถุ ดังนี้



รูป 4.7 การกระจัดของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

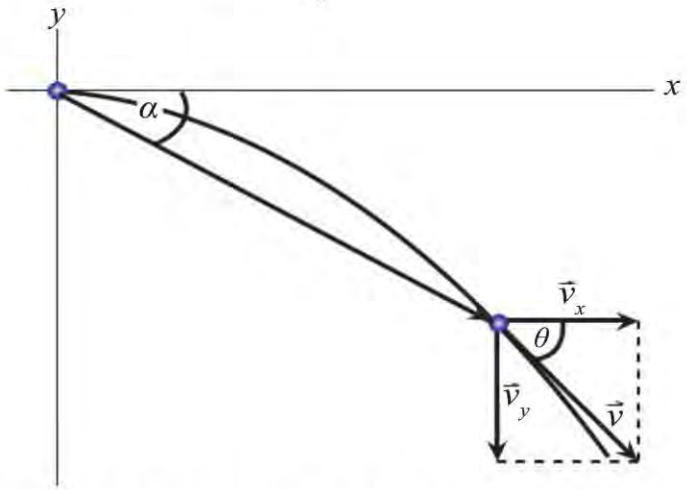
ถ้าให้ s_x เป็นการกระจัดในแนวระดับของวัตถุวัดจากจุดเริ่มต้น

s_y เป็นการกระจัดในแนวดิ่งของวัตถุวัดจากจุดเริ่มต้น

s เป็นการกระจัดลัพธ์ของวัตถุซึ่งวัดจากจุดเริ่มต้น

ดังนั้น
$$s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \qquad (4.4)$$

สำหรับทิศทางของการกระจัดของวัตถุ ถ้าให้มุมที่การกระจัดทำกับแนวแกน $+x$ มีค่า α จะหาได้จาก
$$\tan \alpha = \frac{s_y}{s_x} \qquad (4.5)$$



รูป 4.8 ความเร็วขณะหนึ่งของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

Thai Living Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ความเร็วขณะหนึ่งของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์จะอยู่ในแนวเส้นสัมผัสกับเส้นโค้งพาราโบลา ซึ่งหาได้เช่นเดียวกับการกระจัดลัพธ์ จะได้

ขนาดของความเร็ว $$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (4.6)$$

ทิศทางของความเร็ว หาได้จาก $$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} \quad (4.7)$$

เมื่อ v_x เป็นความเร็วของวัตถุในแนวระดับ

v_y เป็นความเร็วของวัตถุในแนวดิ่ง

v เป็นความเร็วลัพธ์ของวัตถุในแนวเส้นสัมผัส

θ เป็นมุมที่ความเร็วลัพธ์ของวัตถุในแนวเส้นสัมผัสกระทำกับแนวระดับ

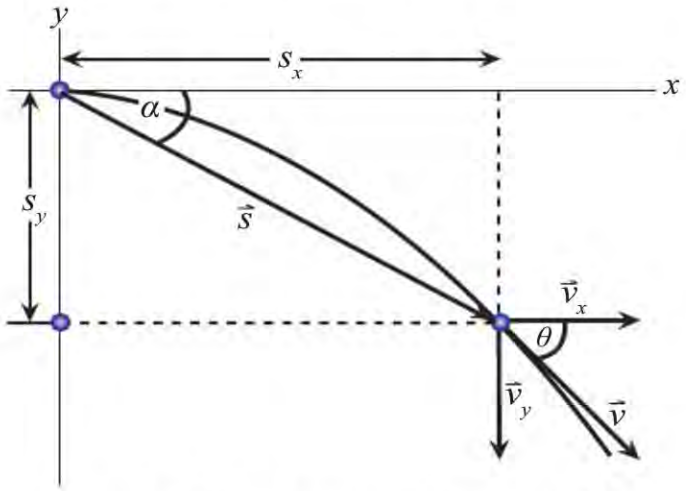
ตัวอย่าง 4.2

ขว้างวัตถุออกไปในแนวระดับด้วยความเร็วต้น 10.0 เมตรต่อวินาที เมื่อเวลาผ่านไป 2.0 วินาที จงหา ก. การกระจัดของวัตถุ

ข. ความเร็วของวัตถุ

แนวคิด การหาการกระจัด ต้องหาขนาดการกระจัดในแนวระดับ s_x และขนาดการกระจัดในแนวดิ่ง s_y ก่อน จากนั้นจึงนำมาหาการกระจัดลัพธ์ ซึ่งต้องหาทั้งขนาดและทิศทาง

การหาความเร็ว ต้องหาขนาดความเร็วในแนวระดับ v_x และขนาดความเร็วในแนวดิ่ง v_y ก่อน จากนั้นจึงนำมาหาความเร็วลัพธ์ ซึ่งต้องหาทั้งขนาดและทิศทาง



รูปประกอบตัวอย่าง 4.2 การกระจัดและความเร็ว

Inw Tong Phayaklang
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

วิธีทำ

ก. หาการกระจัดในแนวระดับได้จาก $s_x = v_x t$

ในที่นี้ $v_x = 10.0$ m/s และ $t = 2.0$ s

ดังนั้น $s_x = (10.0 \text{ m/s})(2.0 \text{ s}) = 20.0$ m

หาการกระจัดในแนวดิ่งได้จาก $s_y = -\frac{1}{2}gt^2$

ในที่นี้ $g = 9.8$ m/s^2 และ $t = 2.0$ s

ดังนั้น $s_y = -\frac{1}{2}(9.8 \text{ m/s}^2)(2.0 \text{ s})^2 = -19.6$ m

หาขนาดการกระจัดลัพธ์ (s) ได้จาก $s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$

ดังนั้น $s = \sqrt{(20.0 \text{ m})^2 + (-19.6 \text{ m})^2} = 28.0$ m

หาทิศทางของการกระจัดลัพธ์ทำมุมกับแนวระดับได้จาก $\tan\alpha = \frac{s_y}{s_x}$

ดังนั้น $\tan\alpha = \frac{-19.6 \text{ m}}{20.0 \text{ m}} = -0.98$

(เครื่องหมาย – เป็นผลมาจากวัดมุม ไปทางแกน $-y$ ดังรูปข้างต้น)

ดังนั้น $\alpha = -44.4^\circ$

ตอบ ก. การกระจัดของวัตถุเท่ากับ 28.0 เมตร ทำมุมก้ม 44.4 องศา กับแนวระดับ

ข. หาความเร็วในแนวดิ่งได้จากสมการ $v_y = u_y - gt$

ในที่นี้ $u_y = 0$, $g = 9.8$ m/s^2 และ $t = 2.0$ s

ดังนั้น $v_y = 0 - (9.8 \text{ m/s}^2)(2.0 \text{ s}) = -19.6$ m/s

ความเร็วในแนวระดับมีค่าคงตัว $v_x = 10.0$ m/s

หาขนาดความเร็วลัพธ์ของวัตถุ (v) ได้จาก $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$

ดังนั้น $v = \sqrt{(10.0 \text{ m/s})^2 + (-19.6 \text{ m/s})^2}$

$= 22.0$ m/s

และหาทิศทางของความเร็วทำมุม θ กับแนวระดับได้จาก

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{-19.6 \text{ m}}{10.0 \text{ m}} = -1.96$$

$$\theta = -63.0^\circ$$

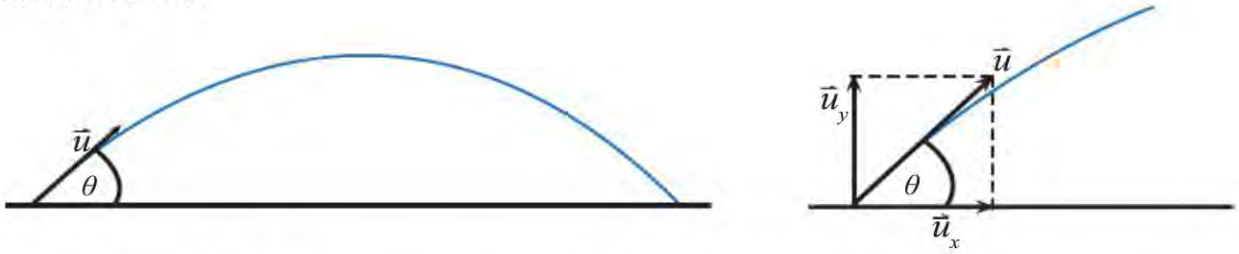
ตอบ ข. ความเร็วของวัตถุเท่ากับ 22.0 เมตรต่อวินาที ทำมุมก้ม 63.0 องศา กับแนวระดับ

Amazing Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

4.1.3 วัตถุที่มีความเร็วต้นทำมุมกับแนวระดับ

การวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ที่ผ่านมานั้น วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต้นในแนวระดับ ต่อไปเราจะศึกษาการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ที่มีความเร็วต้นในทิศทางทำมุมกับแนวระดับ เช่น การพุ่งแหลน การทุ่มน้ำหนัก การกระโดดไกล เป็นต้น

ให้วัตถุเคลื่อนที่ออกจากจุดกำเนิดของระบบแกนมุมฉาก xy ด้วยความเร็วต้น $\vec{u}$ ในทิศทางทำมุม θ กับแกน x หรือพื้นระดับ แนวการเคลื่อนที่จะเป็นเส้นโค้งพาราโบลาคว่ำ ดังรูป 4.9 ก ซึ่งความเร็วต้น $\vec{u}$ แยกเป็นความเร็วในแนวระดับและแนวดิ่ง ดังรูป 4.9 ข การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ในลักษณะนี้ จะแยกออกเป็นการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งด้วยความเร่งคงตัว $\vec{g}$ และการเคลื่อนที่ในแนวระดับด้วยความเร็วคงตัว



ก. ความเร็วต้น ในทิศทางทำมุม θ กับแนวระดับ ข. ความเร็วในแนวระดับและแนวดิ่ง

รูป 4.9 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีความเร็วต้นทำมุมกับแนวระดับ

การเคลื่อนที่ในแนวระดับ

u_x เป็นความเร็วต้นในแนวระดับ $u_x = u\cos\theta$

s_x เป็นการกระจัดในแนวระดับ

t เป็นช่วงเวลาของการเคลื่อนที่

จาก $s_x = u_x t$

จะได้ $s_x = (u\cos\theta)t$ (4.8)

ขนาดการกระจัดในแนวระดับ s_x หรือระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในแนวระดับจากเริ่มต้นจนตกถึงพื้นระดับเดิม เรียกว่า **พิสัย** (range) ของวัตถุ

การเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง

u_y เป็นความเร็วต้นในแนวดิ่ง $u_y = u\sin\theta$

a_y เป็นความเร่งในแนวดิ่ง ซึ่งเท่ากับ $-g$

s_y เป็นการกระจัดในแนวดิ่ง

t เป็นช่วงเวลาของการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งซึ่งเท่ากับช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแนวระดับ

การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งจะมีปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ทั้งขึ้นและลง ได้แก่ ความเร็ว ความเร่ง และการกระจัด จึงกำหนดให้ปริมาณที่มีทิศทางขึ้น มีเครื่องหมาย + และปริมาณที่มีทิศทางลง มีเครื่องหมาย –

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

จาก $s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2$

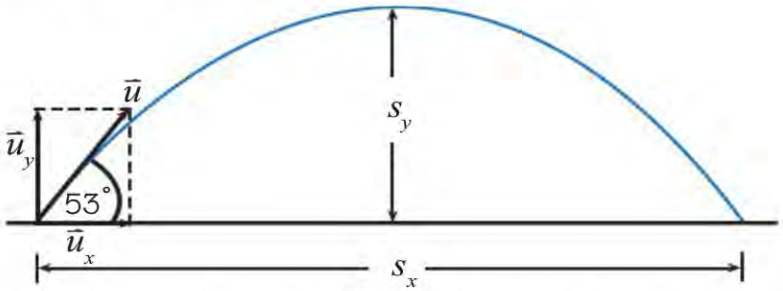
จะได้ $s_y = (u \sin\theta)t - \frac{1}{2} g t^2$ (4.9)

ตัวอย่าง 4.3

ขว้างวัตถุออกไปในอากาศด้วยความเร็วต้น 10 เมตรต่อวินาที ในทิศทางทำมุม 53 องศา กับแนวระดับ จงหาว่า ก. วัตถุจะขึ้นไปได้สูงสุดเท่าใด ข. วัตถุจะไปได้ไกลเท่าใดในแนวระดับ

แนวคิด ขนาดการกระจัดที่วัตถุขึ้นไปได้สูงสุดในแนวดิ่ง s_y หาได้จากสมการ (4.9) แต่รู้ค่าเฉพาะความเร็วต้น จึงต้องหาขนาดการกระจัดที่วัตถุขึ้นไปได้สูงสุด s_y จากสมการ $v_y^2 = u_y^2 + 2a_y s_y$ ส่วนขนาดการกระจัดที่ไปได้ไกลสุดในแนวระดับ หาได้จากสมการ $s_x = u_x t$

วิธีทำ



รูปประกอบตัวอย่าง 4.3 ทางเดินของวัตถุที่ขว้างไปในอากาศทำมุม 53 องศา กับพื้นระดับ

ก. การกระจัดสูงสุดที่วัตถุขึ้นไปได้ s_y หาได้จากสมการ

$$v_y^2 = u_y^2 + 2a_y s_y$$

วัตถุมีความเร็วต้น 10 m/s ในทิศทางทำมุม 53° กับแนวระดับ หาความเร็วต้นในแนวดิ่งและแนวระดับได้ดังนี้

ความเร็วต้นในแนวดิ่ง $u_y = (10\ \text{m/s}) \sin 53^\circ = (10\ \text{m/s})(0.80) = 8.0\ \text{m/s}$

ความเร็วในแนวระดับ $u_x = (10\ \text{m/s}) \cos 53^\circ = (10\ \text{m/s})(0.60) = 6.0\ \text{m/s}$

เนื่องจากความเร็วต้นในแนวดิ่ง $u_y = 8.0\ \text{m/s}$ ที่จุดสูงสุดความเร็วในแนวดิ่ง $v_y = 0$ และ $a_y = -g$

ดังนั้น $v_y^2 = u_y^2 - 2gs_y$

แทนค่า $0 = (8.0\ \text{m/s})^2 - 2(9.8\ \text{m/s}^2)s_y$

$s_y = 3.3\ \text{m}$

ตอบ ก. วัตถุจะขึ้นไปได้สูงสุด 3.3 เมตร

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ข. การกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในแนวระดับ s_x หาได้จากสมการ

$$s_x = u_x t$$

ความเร็วในแนวระดับมีค่าคงตัว 6.0 m/s และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ t เป็นเวลาทั้งหมดที่วัตถุอยู่ในอากาศ หาได้จากการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของวัตถุโดยคิดเวลาตั้งแต่จุดเริ่มต้นถึงจุดที่วัตถุตกถึงพื้นอีกครั้งหนึ่ง โดยใช้สมการ

$$s_y = u_y t - \frac{1}{2} g t^2$$

เนื่องจากวัตถุตกถึงพื้นระดับเดิม $s_y = 0$ และความเร็วต้นในแนวดิ่ง $u_y = 8.0$ m/s

ดังนั้น $0 = (8.0 \text{ m/s})t - \frac{1}{2}(9.8 \text{ m/s}^2)\, t^2$

$0 = (8.0 \text{ m/s})t - (4.9 \text{ m/s}^2)\, t^2$

$t = 1.63$ s

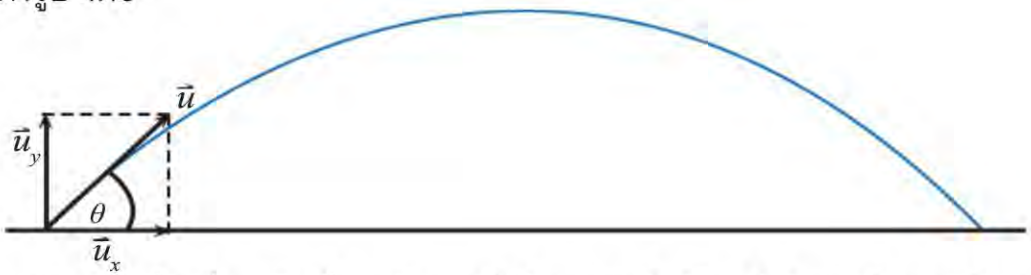
ช่วงเวลาทั้งหมดที่วัตถุอยู่ในอากาศ = 1.63 s

ดังนั้น $s_x = (6.0 \text{ m/s})(1.63 \text{ s}) = 9.8$ m

ตอบ ข. วัตถุจะไปได้ไกลสุดในแนวระดับ 9.8 เมตร

☐ *ในการทุ่มน้ำหนักหรือพุ่งแหลนด้วยความเร็วต้นค่าหนึ่ง เพื่อให้ได้ขนาดการกระจัดในแนวระดับไกลที่สุด มุมระหว่างทิศทางของความเร็วต้นกับแนวระดับจะมีขนาดกี่องศา*

พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งถูกขว้างออกไปด้วยความเร็วต้น $\vec{u}$ ในทิศทางทำมุม θ กับแนวระดับ ดังรูป 4.10



รูป 4.10 แนวการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ถูกขว้างออกไปด้วยความเร็วต้น u ในทิศทางทำมุม θ กับแนวระดับ

ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในแนวระดับ จะเป็น

$$s_x = u_x t = (u \cos\theta)t$$

t เป็นช่วงเวลาที่วัตถุตกถึงพื้นจากการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่ง หาได้จาก

$$s_y = (u \sin\theta)t + \frac{1}{2}(-g)t^2$$

Inw Tong Institute
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

พิจารณาเมื่อวัตถุตกถึงพื้น $s_y = 0$ จะได้

$$0 = (u \sin\theta - \frac{1}{2}gt)t$$

ดังนั้น $t = 0$ และ $t = \dfrac{2u \sin\theta}{g}$

แต่ $t = 0$ เป็นเวลาขณะที่วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ ดังนั้นช่วงเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่จนกระทั่งตกถึงพื้นจึงเป็น

$$t = \frac{2u \sin\theta}{g} \qquad (4.10)$$

จะได้ว่า ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในแนวระดับจากเริ่มต้นจนตกถึงพื้นระดับเดิมหรือพิสัยของวัตถุ มีค่าเป็น

$$s_x = (u \cos\theta)t$$

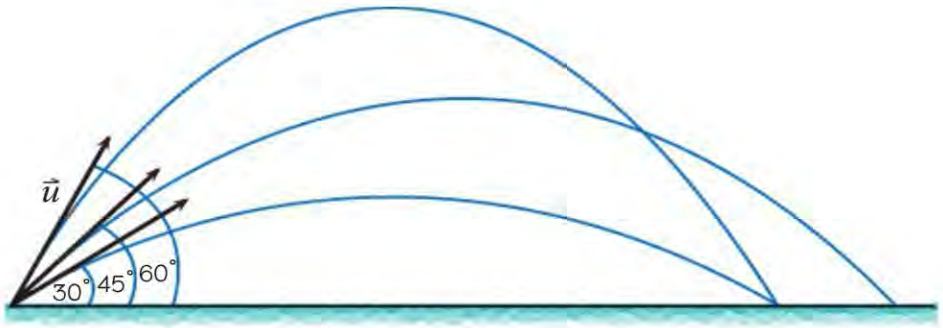
$$s_x = (u \cos\theta)\left(\frac{2u \sin\theta}{g}\right)$$

$$= \frac{u^2}{g}(2 \sin\theta \cos\theta)$$

จากความรู้ทางตรีโกณมิติ $2 \sin\theta \cos\theta = \sin 2\theta$

ดังนั้น $$s_x = \frac{u^2 \sin 2\theta}{g} \qquad (4.11)$$

จากสมการ (4.11) จะเห็นได้ว่า ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในแนวระดับ (s_x) จะขึ้นอยู่กับความเร็วต้น (u) และมุมที่ขว้างวัตถุออกไป (θ) ถ้าต้องการขว้างวัตถุให้ได้ระยะทางในแนวระดับไกลที่สุดด้วยความเร็วต้นค่าหนึ่ง จะต้องขว้างวัตถุในทิศทางที่ทำมุมกับแนวระดับที่เหมาะสมค่าหนึ่งซึ่งทำให้ $\sin 2\theta$ มีค่ามากที่สุด เนื่องจาก $\sin 2\theta$ มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าของ $\sin 90^\circ$ ดังนั้นจะได้ $2\theta = 90^\circ$ หรือ $\theta = 45^\circ$



รูป 4.11 พิสัยของวัตถุที่ถูกขว้างออกไปด้วยอัตราเร็วค่าหนึ่ง แต่มุมต่างกัน

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

นั่นคือ การขว้างวัตถุด้วยอัตราเร็วคงตัวค่าหนึ่งในทิศทางทำมุมกับแนวระดับต่างๆ กัน เมื่อขว้างวัตถุในทิศทางทำมุม 45 องศา กับแนวระดับ วัตถุจะเคลื่อนที่ไปได้ระยะทางไกลที่สุดในแนวระดับเมื่อตกถึงพื้น ทั้งนี้ไม่คิดแรงต้านจากอากาศ และการเคลื่อนที่ของวัตถุไม่มีการหมุน

สมการต่างๆ ที่ได้ศึกษานั้นเป็นการพิจารณาเฉพาะกรณีที่ไม่มีแรงต้านจากอากาศเท่านั้น สามารถนำไปอธิบายการเคลื่อนที่ของลูกกลมโลหะ การโยนลูกบาสเกตบอล การทุ่มน้ำหนักได้ เพราะว่าเป็นการเคลื่อนที่ในระยะสั้นๆ วัตถุที่เคลื่อนที่มีความหนาแน่นมาก ดังนั้นจึงมีผลจากแรงต้านของอากาศไม่มากนัก

แต่ถ้าเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีระยะทางไกล เช่น ลูกปืน ลูกกอล์ฟ ลูกบอล ผลจากแรงต้านของอากาศจะมากขึ้น ทำให้สมการที่ศึกษามาให้ผลไม่ถูกต้องนัก ถ้าจะให้มีความถูกต้องจะต้องเพิ่มความสัมพันธ์ของแรงต้านกับความเร็ว นอกจากนี้ยังขึ้นกับรูปทรงของวัตถุและการหมุนรอบตัวเองด้วย

ตัวอย่างของโพรเจกไทล์ที่พอสังเกตผลของแรงต้านต่างๆ ได้ชัด เช่น ลำน้ำที่ถูกฉีดออกจากท่อน้ำดับเพลิงหรือน้ำพุ ดังรูป 4.12 จะเห็นว่าความโค้งของลำน้ำขณะฉีดขึ้นกับขณะที่ตกลงมา มีความแตกต่างกัน ซึ่งไม่เป็นโค้งพาราโบลา เพราะน้ำมีความหนาแน่นน้อยจึงมีผลจากแรงต้านอากาศกระทำมากขึ้น

รูป 4.12 ความโค้งของสายน้ำขณะที่ถูกฉีดออกจากท่อ

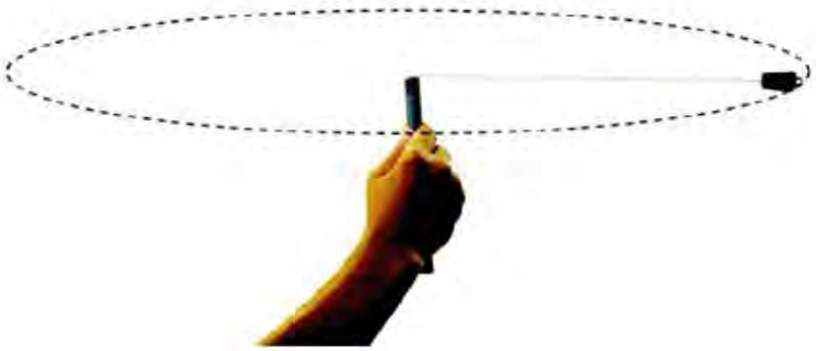
ความโค้งของสายน้ำขณะที่ถูกฉีดออกจากท่อ

Inw Tong Phaya
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

4.2 การเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัว

การเคลื่อนที่หลายอย่างรอบตัวเรา เช่น รถยนต์หรือรถจักรยานยนต์กำลังเลี้ยวโค้ง หรือดาวเทียมโคจรรอบโลก เป็นการเคลื่อนที่ที่มีแนวการเคลื่อนที่เป็นวงกลมหรือส่วนของวงกลม เรียกการเคลื่อนที่นี้ว่า **การเคลื่อนที่แบบวงกลม** (circular motion) รถยนต์ รถจักรยานยนต์ และดาวเทียมเคลื่อนที่ในแนววงกลมหรือส่วนของวงกลมได้อย่างไร หรือทำไมการเคลื่อนที่เป็นแบบนั้น

เพื่อความเข้าใจการเคลื่อนที่แบบวงกลม เราจะเริ่มศึกษาการเคลื่อนที่แบบวงกลมที่มีอัตราเร็วคงตัว ซึ่งเรียกว่า **การเคลื่อนที่แบบวงกลมสม่ำเสมอ** (uniform circular motion) นั่นคือการเคลื่อนที่ที่มีขนาดของความเร็วเท่าเดิม สม่ำเสมอ แต่ทิศทางเปลี่ยนไปทีละน้อย

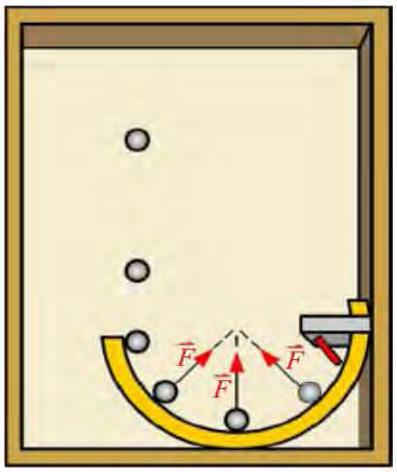


รูป 4.13 การแกว่งวัตถุให้เคลื่อนที่ในแนววงกลมในระนาบระดับ

ถ้าแกว่งวัตถุที่ผูกกับปลายเชือกให้เคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบระดับ ดังรูป 4.13 ในการแกว่งที่รัศมีค่าหนึ่ง เราจะรู้สึกว่า มือจะต้องใช้แรงดึงวัตถุมากขึ้นเมื่อแกว่งให้เร็วขึ้น (เวลาครบรอบสั้นลง) แสดงว่าการทำให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมจะต้องใช้แรงดึง แสดงว่าการเคลื่อนที่แบบวงกลมหรือการเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งของวัตถุต้องใช้แรง เช่นเดียวกัน การใช้อุปกรณ์สาธิตที่ดีดลูกกลมโลหะให้เคลื่อนที่ไป ตามรางโค้งวงกลม ดังรูป 4.14 ก จะสังเกตได้ว่า เมื่อสุดรางโค้ง ลูกกลมโลหะจะวิ่งตรงต่อไป แสดงว่า วัตถุวิ่งโค้งได้เนื่องจากมีรางบังคับ และจะต้องมีแรงจากรางกระทำต่อวัตถุอยู่ตลอดเวลา แรงดังกล่าวเป็นแรงกระทำจากผิวด้านในของรางซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากลูกกลมโลหะเคลื่อนที่สัมผัสกับรางณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในทิศทางตั้งฉากกับราง จึงมีทิศทางเข้าหาศูนย์กลางของการเคลื่อนที่ ดังรูป 4.14 ข

Thai Young Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ก. ลูกกลมโลหะเคลื่อนที่ไปตามรางโค้งวงกลม



ข. แรงที่กระทำต่อลูกกลมโลหะขณะเคลื่อนที่ในแนววงกลม

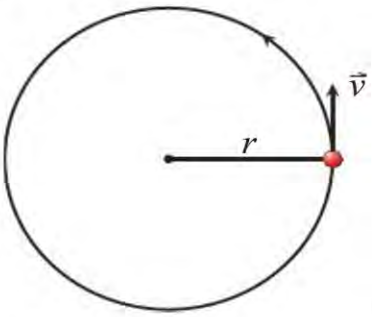
รูป 4.14 อุปกรณ์สาธิตการเคลื่อนที่แบบวงกลม

แรงที่กระทำต่อวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ในแนววงกลม และมีทิศทางเข้าหาศูนย์กลางของแนววงกลม เรียกว่า **แรงสู่ศูนย์กลาง** (centripetal force) ขณะลูกกลมโลหะหลุดจากรางจะไม่มีแรงสู่ศูนย์กลางกระทำต่อลูกกลม ลูกกลมจะเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของความเร็ว ซึ่งอยู่ในแนวเส้นสัมผัสวงกลมตรงตำแหน่งที่ลูกกลมโลหะหลุดจากราง ซึ่งเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน

การเคลื่อนที่แบบวงกลมจะมีลักษณะเฉพาะคือเป็นการเคลื่อนที่แบบเลื่อนตำแหน่งที่มีแนวการเคลื่อนที่เป็นรูปวงกลม ช่วงเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ เรียกว่า **คาบ** (period) ใช้สัญลักษณ์ T แทนคาบ หน่วยของคาบ คือวินาที และจำนวนรอบที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ใน 1 หน่วยเวลา เรียกว่า **ความถี่** (frequency) ใช้สัญลักษณ์ f มีหน่วย คือ รอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์ ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และคาบจึงเป็น

$$f = \frac{1}{T} \qquad (4.12)$$

พิจารณาวัตถุซึ่งกำลังเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบระดับด้วยอัตราเร็วคงตัว v และรัศมีของแนววงกลมที่เคลื่อนที่ r ดังรูป 4.15



รูป 4.15 วัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบระดับด้วยอัตราเร็วคงตัว

Inw Tong Institute
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

จะเห็นได้ว่า ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่เมื่อครบ 1รอบ คือ ความยาวของเส้นรอบวง ซึ่งมีค่าเท่ากับ นั่นคือในช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ 1 รอบคือ T วัตถุเคลื่อนที่ได้ระยะทาง $2\pi r$

ดังนั้นอัตราเร็ว $$v = \frac{2\pi r}{T} \quad (4.13)$$

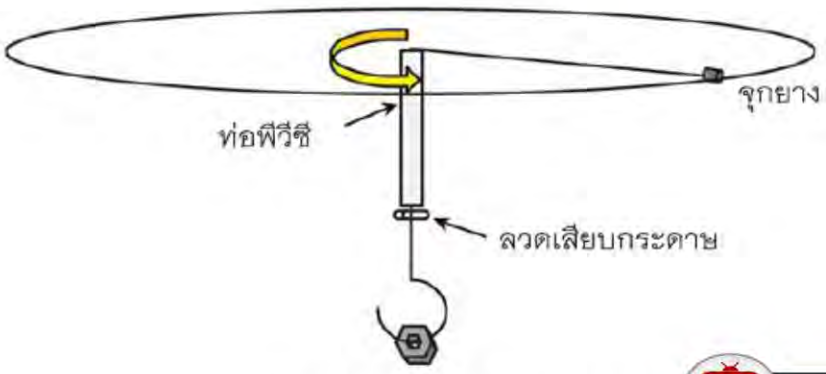
จากสถานการณ์การแกว่งวัตถุให้เคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบระดับ แรงที่ใช้ดึงวัตถุในทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางของวงกลมซึ่งเรียกว่า **แรงสู่ศูนย์กลาง** มีสัญลักษณ์ $\vec{F}_c$ แรงสู่ศูนย์กลาง คาบและรัศมีมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ศึกษาได้จากการทดลอง 4.2

การทดลอง 4.2 การเคลื่อนที่ในแนววงกลม

ตอนที่ 1

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคาบ และแรงสู่ศูนย์กลางของการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนววงกลมในระนาบระดับ เมื่อรัศมีคงตัว

วิธีทดลอง



รูป การจัดอุปกรณ์การทดลอง 4.2

รายละเอียดการทดลอง

1. ใช้ชุดทดลองการเคลื่อนที่ในแนววงกลม ให้วัดระยะจากจุดกึ่งกลางของจุกยางตามแนวเส้นเชือกออกไปถึงปลายบนของท่อพีวีซี ยาว 60 เซนติเมตร และใช้ลวดเสียบกระดาษเสียบที่เส้นเชือกห่างจากปลายล่างของท่อพีวีซี ประมาณ 1 เซนติเมตร
2. ใช้นอตแขวนที่ขอเกี่ยวโลหะ 2 ตัว ดังรูป โดยใช้นอตที่มีน้ำหนักประมาณเท่าๆ กัน และน้ำหนักของนอต 1 ตัวแทนแรงขนาด 1 F
3. จับท่อพีวีซีแกว่งให้จุกยางเคลื่อนที่ในแนววงกลมในระนาบระดับ โดยให้ลวดที่เสียบที่เส้นเชือกอยู่ห่างจากปลายล่างของท่อพีวีซี 1 เซนติเมตร คงตัวตลอดเวลา
4. จับเวลาการเคลื่อนที่ของจุกยางครบ 30 รอบ แล้วนำมาคำนวณหาคาบ T ของการเคลื่อนที่ของจุกยาง

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

5. ทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มจำนวนนอตเป็น 3, 4, 5 และ 6 ตัว ซึ่งจะทำให้ขนาดของแรงดึงในเส้นเชือกเป็น 3 F, 4 F, 5 F และ 6 F ตามลำดับ

6. บันทึกขนาดแรงดึงในเส้นเชือก F คาบ T และส่วนกลับของคาบยกกำลังสอง $\frac{1}{T^2}$ ลงในตาราง

7. เขียนกราฟระหว่างขนาดแรงดึงในเส้นเชือก F กับส่วนกลับของคาบยกกำลังสอง $\frac{1}{T^2}$

☐ *เมื่อขนาดของแรงดึงในเส้นเชือกเพิ่มขึ้น ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ครบรอบของจุกยางเป็นอย่างไร*

☐ *กราฟระหว่างขนาดแรงดึงในเส้นเชือก F กับส่วนกลับของคาบยกกำลังสอง $\frac{1}{T^2}$ มีลักษณะอย่างไร และสรุปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสองได้อย่างไร*

ตอนที่ 2

จุดประสงค์ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคาบ และรัศมีของการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนววงกลมในระนาบระดับเมื่อแรงคงตัว

วิธีทดลอง

1. ใช้นอต 4 ตัว ใส่ที่ขอเกี่ยวโลหะ แกว่งให้จุกยางเคลื่อนที่ในแนววงกลมในระนาบระดับ โดยให้ความยาวเส้นเชือกเป็น 50 60 70 และ 80 เซนติเมตร ตามลำดับ

2. หารัศมีของการเคลื่อนที่ของจุกยางในแนววงกลมปฏิบัติเช่นเดียวกับตอนที่ 1 แต่ละครั้งจับเวลาการเคลื่อนที่ของจุกยางครบ 30 รอบ

3. คำนวณหาเวลาของการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ (T) และ T^2 ของแต่ละครั้ง บันทึกผลลงในตาราง

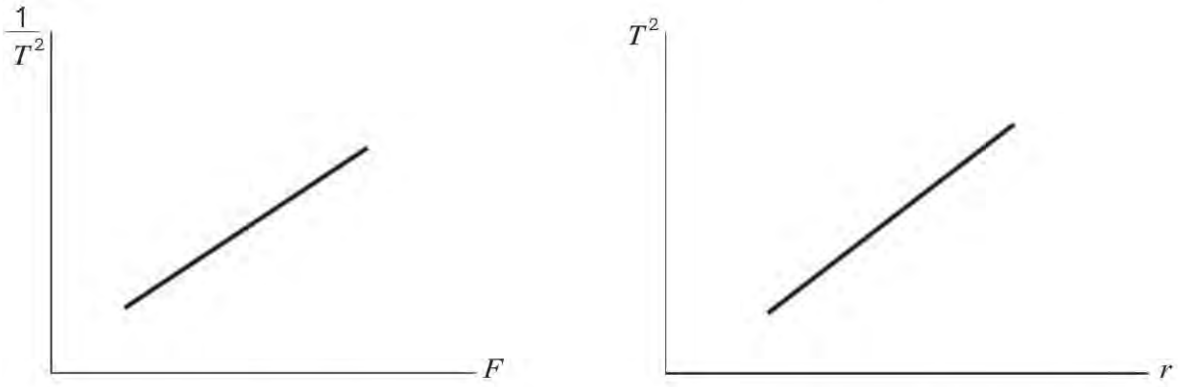
4. เขียนกราฟระหว่างรัศมี r กับคาบยกกำลังสอง (T^2)

☐ *เมื่อรัศมีการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ครบรอบของจุกยาง เป็นอย่างไร*

☐ *กราฟระหว่างรัศมีการเคลื่อนที่ (r) คาบยกกำลังสอง (T^2) มีลักษณะอย่างไร และสรุปความสัมพันธ์ของปริมาณทั้งสองได้อย่างไร*

Inw Tong Inwtong
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

จากการทดลองทั้งสองตอน กราฟระหว่างขนาดแรงดึงในเส้นเชือก F กับส่วนกลับของคาบยกกำลังสอง $\frac{1}{T^2}$ และกราฟระหว่างรัศมีการเคลื่อนที่ r คาบยกกำลังสอง T^2 มีลักษณะดังรูป 4.16 ก และ ข ตามลำดับ



ก. กราฟระหว่าง F และ $\frac{1}{T^2}$ จากตอนที่ 1 ข. กราฟระหว่าง r และ T^2 จากตอนที่สอง

รูป 4.16 กราฟจากการทดลอง 4.2

จากกราฟที่ได้จากการทดลองทั้งสองตอน จะสรุปได้ว่า

ในตอนที่ 1 เมื่อรัศมีคงตัว ส่วนกลับของคาบยกกำลังสองแปรผันตรงกับขนาดของแรงที่ใช้ดึงจุกยาง

นั่นคือ $\frac{1}{T^2} \propto F$ หรือ $T^2 \propto \frac{1}{F}$ (ก)

ในตอนที่ 2 เมื่อขนาดของแรงที่ใช้ดึงจุกยางคงตัว คาบยกกำลังสองแปรผันตรงกับรัศมีการเคลื่อนที่

นั่นคือ $T^2 \propto r$ (ข)

จากความสัมพันธ์ (ก) และ (ข) จะได้ $T^2 \propto \frac{r}{F}$ (ค)

จากสมการ $v = \frac{2\pi r}{T}$

จะได้ $T^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{v^2}$

$T^2 \propto \frac{r^2}{v^2}$ (ง)

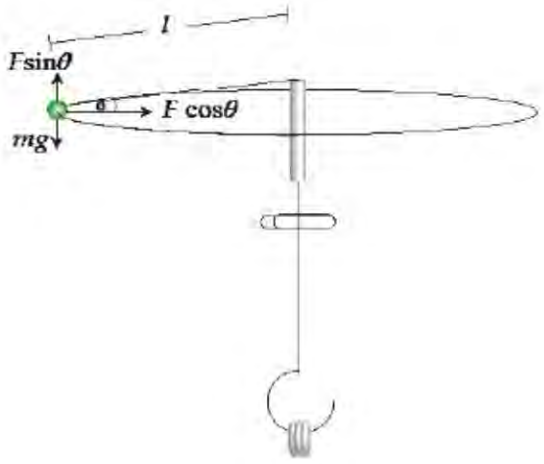
จากความสัมพันธ์ (ค) และ (ง) จะได้ $\frac{r}{F} \propto \frac{r^2}{v^2}$

หรือ $F \propto \frac{v^2}{r}$

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

นั่นคือขนาดของแรงดึงในเส้นเชือกแปรผันตรงกับอัตราเร็วของจุกยางยกกำลังสอง และแปรผกผันกับรัศมีของการเคลื่อนที่

จากการทดลอง จะเห็นว่า ขณะที่จุกยางเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบระดับ เส้นเชือกไม่อยู่ในแนวระดับ เพราะน้ำหนักของจุกยางทำให้เส้นเชือกเอียงทำมุมกับแนวระดับเล็กน้อย ดังรูป 4.17 แรงดึงในเส้นเชือกจะเป็นแรงสู่ศูนย์กลางได้หรือไม่ พิจารณาได้ดังนี้



รูป 4.17 การแกว่งจุกยางให้เคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบระดับ เส้นเชือกจะเอียงทำมุม θ กับแนวระดับ

จากรูป 4.17 องค์ประกอบในแนวดิ่งของแรงดึงในเส้นเชือก คือ $F\sin\theta$ จะเท่ากับน้ำหนักของจุกยาง mg และมีทิศทางตรงข้าม ส่วนองค์ประกอบในแนวระดับของแรงดึงในเส้นเชือก คือ $F\cos\theta$ เป็นแรงที่กระทำต่อจุกยางให้เคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบระดับได้ตลอดเวลา นั่นคือ $F\cos\theta$ ทำหน้าที่เป็น แรงสู่ศูนย์กลาง ดังนั้น

$$F_c = F\cos\theta$$

ในการทดลองตอนที่ 1 เมื่อจุกยางเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวในระนาบระดับ มุม θ จะเปลี่ยนไปบ้าง แต่ค่าของ $\cos\theta$ จะใกล้เคียงกัน จึงถือได้ว่า $\cos\theta$ มีค่าคงตัว นั่นคือขนาดของแรงสู่ศูนย์กลาง F_c แปรผันตรงกับขนาดของแรงดึงในเส้นเชือก F

ทำนองเดียวกัน รัศมีของการเคลื่อนที่ r จะเท่ากับ $l\cos\theta$ เมื่อ l เป็นระยะจากจุดกึ่งกลางของจุกยางตามแนวเส้นเชือก ถึงปลายบนของท่อพีวีซี และ $\cos\theta$ มีค่าคงตัว จะได้รัศมีการเคลื่อนที่ของจุกยางมีค่าใกล้เคียงกับความยาวของเส้นเชือก

ดังนั้นจึงเขียนความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงสู่ศูนย์กลาง อัตราเร็วและรัศมีของการเคลื่อนที่ ได้ดังนี้

$$F_c \propto \frac{v^2}{r}$$

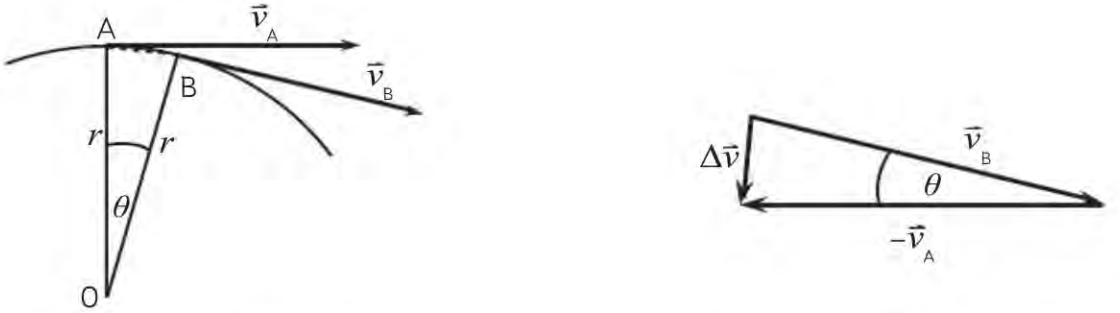
การที่วัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ โดยมีแรงสู่ศูนย์กลางกระทำต่อวัตถุในทิศทางสู่ศูนย์กลางตลอดเวลานี้ วัตถุจะมีความเร่งหรือไม่

Inw Tong Phuying
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

4.2.1 ความเร่งสู่ศูนย์กลาง

เราทราบแล้วว่า วัตถุซึ่งเคลื่อนที่แบบวงกลม ทิศทางการเคลื่อนที่จะเปลี่ยนตลอดเวลา แสดงว่ามีแรงกระทำต่อวัตถุ จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน จะพบว่าวัตถุมีความเร่งเกิดขึ้นด้วย ขนาดและทิศทางของความเร่งของวัตถุซึ่งกำลังเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัวจะหาได้อย่างไร

การหาทิศทางของความเร่ง



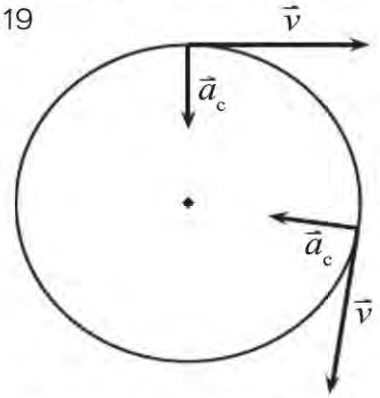
ก. การเปลี่ยนความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม ข. ความเร็วที่เปลี่ยนไป $\Delta\vec{v} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$

รูป 4.18 ความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม

พิจารณารูป 4.18 ก วัตถุเคลื่อนที่ไปตามแนวโค้งของวงกลมรัศมี r ด้วยอัตราเร็วคงตัว v ความเร็วของวัตถุ ณ ตำแหน่งต่างๆ บนแนวโค้งจะมีทิศทางตามแนวเส้นสัมผัสกับส่วนโค้ง ณ ตำแหน่งนั้น เช่น $\vec{v}_A$ และ $\vec{v}_B$ จะแทนความเร็วของวัตถุ ณ จุด A และ B ดังรูป 4.18 ก ดังนั้นความเร็วที่เปลี่ยนไประหว่างการเคลื่อนที่จากจุด A ไปยัง B คือ $\Delta\vec{v} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$ ดังรูป 4.18 ข

ถ้าวัตถุเคลื่อนที่จาก A ไป B ใช้เวลาน้อยมากๆ และ θ มีค่าน้อย $\Delta\vec{v}$ จะตั้งฉากกับทิศทางของ $\vec{v}$ และมีทิศทางสู่ศูนย์กลางของวงกลม

จากความหมายของความเร่ง $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ แสดงว่าความเร่ง $\vec{a}$ มีทิศทางเดียวกับความเร็วที่เปลี่ยนไป $\Delta\vec{v}$ เมื่อ $\Delta\vec{v}$ มีทิศทางสู่ศูนย์กลางของวงกลม ดังนั้น ความเร่งของวัตถุ ณ ตำแหน่งใดๆ บนส่วนโค้งรูปวงกลม จะมีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางของวงกลม เรียกความเร่งนี้ว่า **ความเร่งสู่ศูนย์กลาง** (centripetal acceleration) a_c ดังรูป 4.19



รูป 4.19 ความเร่งสู่ศูนย์กลาง

Amornrung Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

การหาขนาดของความเร่ง

จากรูป 4.18 ก จะเห็นว่า OA ตั้งฉากกับ $\vec{v}_A$ และ OB ตั้งฉากกับ $\vec{v}_B$ มุม θ เป็นมุมระหว่าง OA และ OB และเป็นมุมระหว่าง $\vec{v}_A$ และ $\vec{v}_B$ ด้วย เมื่อนำเวกเตอร์ $\vec{v}_A$ $\vec{v}_B$ และ $\Delta\vec{v}$ มาต่อกันเป็นรูปสามเหลี่ยม จะได้รูปสามเหลี่ยมคล้ายกับรูปสามเหลี่ยม OAB ดังนั้นจากสมบัติของสามเหลี่ยมคล้ายจะได้

$$\frac{v_A}{OA} = \frac{v_B}{OB} = \frac{\Delta v}{AB} \qquad \text{(ก)}$$

เนื่องจากวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว ดังนั้นขนาดความเร็วขณะหนึ่งของวัตถุ จะมีค่าเท่ากับ อัตราเร็วนี้ จะได้ $v_A = v_B = v$ (ข)

ถ้าวัตถุเคลื่อนที่จากจุด A ไปยัง B ใช้เวลา Δt ซึ่งมีค่าน้อยๆ ดังนั้นจุด A และ B จะอยู่ใกล้กันมาก เราอาจถือได้ว่า ความยาวของเส้นตรง AB เท่ากับความยาวของส่วนโค้ง AB ซึ่งมีค่าเท่ากับ $v\Delta t$ จาก (ก) และ (ข) จะได้

$$\frac{v}{OA} = \frac{\Delta v}{AB}$$

$$\frac{v}{r} = \frac{\Delta v}{v\Delta t}$$

หรือ $$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{r}$$

นั่นคือ $$a = \frac{v^2}{r}$$

ให้ a_c เป็นความเร่งสู่ศูนย์กลางของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่แบบวงกลม

ดังนั้น จะได้ $$a_c = \frac{v^2}{r} \qquad (4.14)$$

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน เราทราบว่า แรงมีทิศทางเดียวกับความเร่ง ดังนั้นวัตถุซึ่งเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบระดับด้วยอัตราเร็วคงตัว จะมีแรงสู่ศูนย์กลางในทิศทางเข้าหาศูนย์กลางของวงกลม

จาก $F = ma$ เมื่อให้ F_c เป็นแรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำกับวัตถุมวล m ทำให้วัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยความเร่ง a_c จะได้ว่า

$$F_c = ma_c = \frac{mv^2}{r} \qquad (4.15)$$

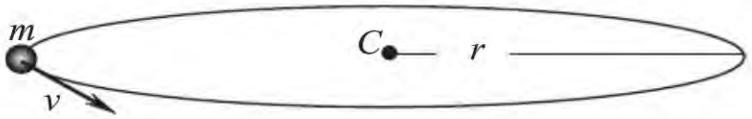
Inw Tong Institute
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ตัวอย่าง 4.4

ผูกวัตถุมวล 100 กรัม ไว้ที่ปลายหนึ่งของเชือก แกว่งให้วัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบระดับด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ และรัศมี 0.500 เมตร ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ครบ 2 รอบใช้เวลา 1.0 วินาที จงหา ก. ความเร่งสู่ศูนย์กลาง ข. แรงสู่ศูนย์กลาง

แนวคิด ความเร่งสู่ศูนย์กลางของวัตถุ หาได้จาก $a_c = \frac{v^2}{r}$ ในที่นี้เรารู้รัศมีของการเคลื่อนที่ r แต่ไม่รู้อัตราเร็ว v ดังนั้นต้องหาอัตราเร็วของวัตถุ v โดยหาจาก $v = \frac{2\pi r}{T}$ เมื่อ T คือคาบของการเคลื่อนที่

เขียนแผนภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ ดังรูป



รูปประกอบตัวอย่าง 4.4 ความเร่งสู่ศูนย์กลางของวัตถุ

วิธีทำ ก. หาอัตราเร็วของวัตถุ จากสมการ $v = \frac{2\pi r}{T}$

ในที่นี้ $r = 0.500\ \text{m}$ และ $T = \frac{1\ \text{s}}{2} = 0.5\ \text{s}$

แทนค่าจะได้ $v = \frac{2(3.14)(0.500\ \text{m})}{0.5\ \text{s}} = 6.28\ \text{m/s}$

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

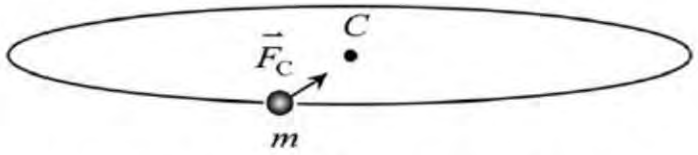
ในที่นี้ $r = 0.500\ \text{m}$ และ $v = 6.28\ \text{m/s}$

แทนค่าจะได้ $a_c = \frac{(6.28\ \text{m/s})^2}{0.500\ \text{m}} = 78.9\ \text{m/s}^2$

ตอบ ความเร่งสู่ศูนย์กลางเท่ากับ 78.9 เมตรต่อวินาที^{2}

www.vsing Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

แรงดึงในเชือกอยู่ในแนวระดับเป็นแรงสู่ศูนย์กลาง F_c ซึ่งหาแรงได้จาก $F_c = ma_c$ เขียนแผนภาพวัตถุอิสระของวัตถุ ดังรูป



รูปประกอบตัวอย่าง 4.4 แสดงแรงสู่ศูนย์กลาง F_c

วิธีทำ ข. หาแรงสู่ศูนย์กลาง จากสมการ $F_c = ma_c$
ในที่นี้ $m = 0.100\ \text{kg}$ และ $a_c = 78.9\ \text{m/s}^2$ (จาก ก.)
แทนค่า จะได้ $F_c = (0.100\ \text{kg})(78.9\ \text{m/s}^2) = 7.89\ \text{N}$

ตอบ แรงสู่ศูนย์กลางมีค่าประมาณ 7.89 นิวตัน

4.2.2 การเคลื่อนที่บนทางโค้ง

เราทราบแล้วว่า การที่วัตถุเคลื่อนที่ตามแนวโค้งของวงกลมได้ จะต้องมีแรงสู่ศูนย์กลางกระทำต่อวัตถุนั้น เช่น การแกว่งจุกยางซึ่งผูกติดกับปลายเชือกให้เคลื่อนที่แบบวงกลม จะมีแรงดึงในเส้นเชือกเป็นแรงสู่ศูนย์กลาง สำหรับรถยนต์หรือรถจักรยานยนต์ซึ่งแล่นบนถนนราบตรง จะมีแรงเสียดทานระหว่างยางรถกับพื้นถนนในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ ซึ่งช่วยให้รถยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า แต่ขณะรถกำลังเลี้ยวโค้งนั้น นอกจากจะมีแรงเสียดทานในแนวเดียวกับการเคลื่อนที่แล้ว ยังมีแรงเสียดทานระหว่างยางรถกับพื้นถนนที่มีทิศทางพุ่งเข้าสู่ศูนย์กลางของทางโค้ง แรงนี้ก็คือแรงสู่ศูนย์กลางกระทำต่อรถในแนวตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ และแรงสู่ศูนย์กลางนี้ต้องมีขนาดเพียงพอที่จะทำให้รถไม่ไถลออกนอกทางโค้ง

รูป 4.20 แรงเสียดทานระหว่างยางกับถนนทางด้านข้างทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลางของรถยนต์ที่กำลังเลี้ยวโค้ง

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

☐ *แรงเสียดทานระหว่างยางรถกับถนนที่ทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลางจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอะไรบ้าง*

☐ *รถยนต์ที่แล่นบนทางโค้งราบในขณะที่ฝนไม่ตก และฝนตกจะสามารถใช้อัตราเร็วสูงสุดที่เลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัยแตกต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด*

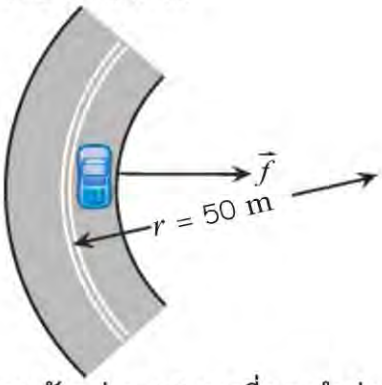
เราจะศึกษาวิธีการคำนวณหาแรงเสียดทานได้จากตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 4.5

รถยนต์มวล 1550 กิโลกรัม แล่นเลี้ยวโค้งบนถนนระดับ ซึ่งมีรัศมีความโค้ง 50 เมตร ด้วยอัตราเร็ว 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จงหาแรงเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับยางรถที่มีค่าน้อยที่สุดที่ทำให้รถยนต์สามารถเลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัย

แนวคิด แรงเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับยางรถที่มีค่าน้อยที่สุดที่ทำให้รถยนต์สามารถเลี้ยวโค้งได้ ก็คือแรงสู่ศูนย์กลาง ซึ่งหาได้จากสมการ $f = F_c = \frac{mv^2}{r}$

เขียนแผนภาพวัตถุอิสระของรถยนต์ ได้ดังนี้



รูปประกอบตัวอย่าง 4.5 แรงที่กระทำต่อรถยนต์

วิธีทำ ในที่นี้ m = 1550 kg, v = 36 km/h $= \frac{36\ \text{km}}{1\ \text{h}} = \frac{36 \times 1000\ \text{m}}{3600\ \text{s}}$ = 10 m/s

และ r = 50 m

แทนค่า $F_c = \frac{(1550\ \text{kg})(10\ \text{m/s})^2}{50\ \text{m}} = 3100\ \text{N}$

จะได้ $f = 3100\ \text{N}$

ตอบ แรงเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับยางรถที่มีค่าน้อยที่สุดที่ทำให้รถยนต์สามารถเลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัย เท่ากับ 3100 นิวตัน

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ตัวอย่าง 4.6

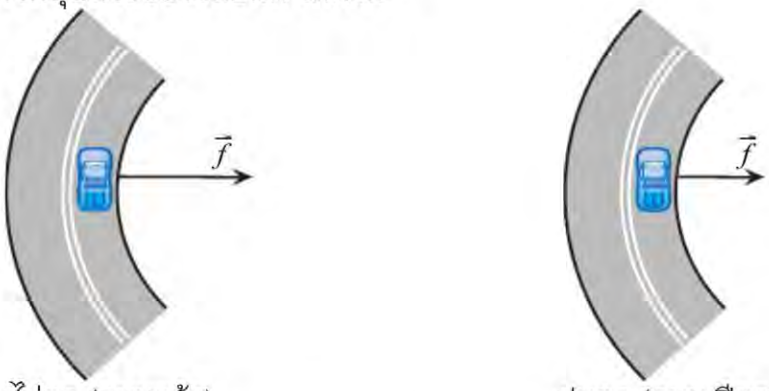
รถยนต์คันหนึ่งมีมวล 1200 กิโลกรัม แล่นเลี้ยวโค้งบนถนนระดับ ซึ่งมีรัศมีความโค้ง 60 เมตร ด้วยอัตราเร็ว 72 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รถจะเลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัยหรือไม่ ถ้า

ก. ผิวถนนแห้ง และแรงเสียดทานในทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 10 000 นิวตัน

ข. ผิวถนนเปียก และแรงเสียดทานในทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 6000 นิวตัน

แนวคิด การเลี้ยวโค้งของรถต้องอาศัยแรงเสียดทานซึ่งทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง เราจะต้องคำนวณว่าแรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถยนต์มีค่าพอเพียงที่จะทำให้รถเลี้ยวโค้งโดยปลอดภัยหรือไม่ จากสมการ $F_c = \frac{mv^2}{r}$ โดยรถจะเลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัย ถ้าแรงสู่ศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงเสียดทานสูงสุด แรงเสียดทานสูงสุดยังขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวถนนด้วย ในขณะที่ฝนตกหรือถนนเปียก แรงเสียดทานจะต่ำกว่าขณะที่ถนนแห้ง

เขียนแผนภาพวัตถุอิสระของรถยนต์ ได้ดังนี้



ฝนไม่ตก (ถนนแห้ง) ฝนตก (ถนนเปียก)

รูปประกอบตัวอย่าง 4.6 แรงเสียดทานที่กระทำต่อรถยนต์ที่กำลังเลี้ยวโค้งบนถนนระดับ

วิธีทำ หาแรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถยนต์ จากสมการ $F_c = \frac{mv^2}{r}$

ในที่นี้ $m = 1200\ \text{kg}$, $v = \frac{72 \times 10^3\ \text{m}}{3600\ \text{s}} = 20\ \text{m/s}$ และ $r = 60\ \text{m}$

แทนค่า $F_c = \frac{(1200\ \text{kg})(20\ \text{m/s})^2}{60\ \text{m}}$

$F_c = 8000\ \text{N}$

Inw Tong Institute
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

นั่นคือ แรงสู่ศูนย์กลางกระทำต่อรถยนต์ขณะเลี้ยวโค้งเท่ากับ 8000 นิวตัน

ดังนั้น ถ้าขับรถบนผิวถนนแห้ง ซึ่งแรงเสียดทานในทิศทางสู่ศูนย์กลางมีค่าสูงสุด 10 000 นิวตัน จึงเพียงพอที่จะทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง รถยนต์สามารถเลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัย

แต่ถ้าขับรถขณะผิวถนนเปียก ซึ่งแรงเสียดทานในทิศทางสู่ศูนย์กลางมีค่าสูงสุด 6000 นิวตัน จึงไม่เพียงพอที่จะทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง รถจะไถลออกนอกทางได้

ตอบ ก. ผิวถนนแห้ง รถยนต์สามารถเลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัย
ข. ผิวถนนเปียก รถยนต์ไม่สามารถเลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัย

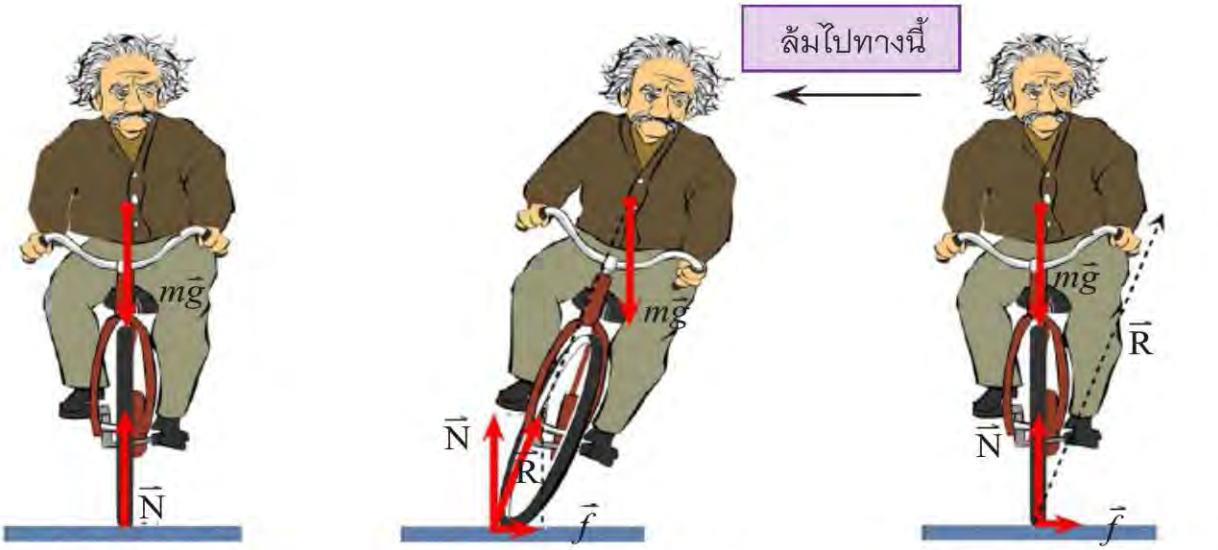
☐ *รถยนต์ที่แล่นบนถนนราบเมื่อเลี้ยวโค้งที่มีรัศมีสั้นกับเลี้ยวโค้งที่มีรัศมียาว ด้วยอัตราเร็วเท่ากัน กรณีใดรถยนต์จะมีโอกาสไถลออกนอกทางมากกว่ากัน เพราะเหตุใด*

เมื่อรถยนต์แล่นเลี้ยวโค้งบนถนนราบที่มีรัศมีความโค้งไม่เท่ากัน ด้วยอัตราเร็วเท่ากัน รถยนต์ต้องการแรงสู่ศูนย์กลางไม่เท่ากัน จากสมการ (4.15) จะเห็นว่า $F_c = \frac{mv^2}{r}$ ทางโค้งที่มีรัศมีความโค้งสั้น รถจะต้องการแรงสู่ศูนย์กลางมากกว่าทางโค้งที่มีรัศมีความโค้งยาว ดังนั้นบนทางโค้งที่มีรัศมีความโค้งสั้น จึงไม่ควรเลี้ยวรถด้วยอัตราเร็วสูงเหมือนทางโค้งที่มีรัศมีความโค้งยาว เนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างถนนกับยางรถซึ่งทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลางอาจจะมีค่าไม่เพียงพอที่จะทำให้รถเลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัย ทำให้รถไถลออกไปนอกโค้งได้ ดังนั้น ถ้าจะให้เลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัยด้วยอัตราเร็วที่มากขึ้น จึงต้องมีแรงอื่นมาช่วยแรงเสียดทานเพื่อทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง แรงนี้จะได้มาจากที่ใด

การเลี้ยวโค้งบนถนนราบของรถจักรยานยนต์หรือรถจักรยาน

ขณะที่รถจักรยานยนต์หรือรถจักรยานแล่นในแนวตรงบนถนนราบ ถ้าพิจารณาแรงทั้งหมดที่กระทำกับรถและคน นอกจากแรงเสียดทานที่กระทำที่ล้อรถ ทำให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ ยังมีน้ำหนักของรถและคน $m\vec{g}$ และแรงที่พื้นดันรถและคนในทิศทางตั้งฉาก $\vec{N}$ รถและคนจะต้องตั้งตรงแนวของ $m\vec{g}$ และ $\vec{N}$ จึงจะผ่านศูนย์กลางมวลรวมของรถและคนและอยู่ในแนวดิ่ง ทำให้ไม่มีโมเมนต์ของแรงที่จะทำให้รถล้ม รถจึงไม่ล้ม ดังรูป 4.21 ก

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ



ก. แรงที่กระทำต่อรถจักรยานที่แล่นตรง

ข. แรงที่กระทำต่อรถจักรยานที่แล่นโค้งและเอียง ทำให้รถไม่ล้ม

ค. แรงที่กระทำต่อรถจักรยานที่แล่นโค้งและไม่เอียง ทำให้รถล้ม

รูป 4.21 แรงกระทำต่อรถจักรยานยนต์

เมื่อรถจักรยานยนต์หรือรถจักรยานเลี้ยวโค้ง จะต้องมีแรงกระทำต่อรถเพิ่มอีก 1 แรง คือ แรงเสียดทาน $\vec{f}$ ที่พื้นถนนกระทำกับด้านข้างของล้อรถในทิศทางเข้าหาศูนย์กลางของความโค้ง รถจำเป็นต้องเอียงตัว เพื่อให้ไม่มีโมเมนต์ของแรงที่ศูนย์กลางมวล ดังรูป 4.21 ข ถ้าคนและรถไม่เอียงตัว แรงลัพธ์ $\vec{R}$ ของ $\vec{f}$ และ $\vec{N}$ จะไม่ผ่านศูนย์กลางมวล ดังรูป 4.21 ค ทำให้มีโมเมนต์ของแรง (คิดรอบศูนย์กลางมวล) ที่เป็นเหตุให้รถล้มได้

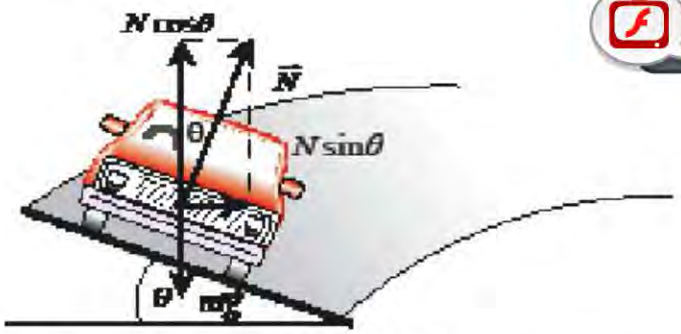
□ *ถ้าต้องการให้รถเลี้ยวโค้งด้วยความเร็วที่สูงขึ้นและปลอดภัยขึ้น จะทำได้หรือไม่ อย่างไร*

การเลี้ยวโค้งบนถนนเอียง

เพื่อให้การเลี้ยวโค้งด้วยความเร็วที่สูงขึ้นและปลอดภัยขึ้น พื้นถนนจะถูกสร้างให้เอียงโดยยกขอบถนนด้านนอกสูงกว่าขอบด้านใน เมื่อรถแล่นเลี้ยวโค้งบนพื้นถนนที่เอียงด้วยขนาดของความเร็วที่พอดี ตามที่วิศวกรออกแบบไว้ ไม่ว่าจะเป็นรถยนต์หรือรถจักรยานยนต์ แรงที่ผิวถนนกระทำต่อรถ $\vec{N}$ จะอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับพื้นเอียงในการเลี้ยวโค้งบนทางโค้ง ในกรณีนี้ผลของการเอียงของผิวถนนมีมากกว่าแรงเสียดทาน เมื่อไม่คิดแรงเสียดทาน $\vec{f}$ ที่พื้นถนนกระทำต่อด้านข้างของล้อรถ องค์ประกอบของแรงตั้งฉากกับถนน $\vec{N}$ ในทิศทางขนานกับพื้นระดับจะทำให้เกิดแรงสู่ศูนย์กลาง $\vec{F}_c$ ดังรูป 4.22 องค์ประกอบของแรง $\vec{N}$ ในแนวระดับคือ $N \sin\theta$ เมื่อยกขอบถนนให้เอียงทำมุม θ กับแนวระดับและวิ่งด้วยอัตราเร็วพอดี จากรูป 4.22 ขนาดแรงสู่ศูนย์กลาง คือ $N \sin\theta$

Inw Tong ภาษาไทย
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

การเลี้ยวโค้งบนพื้นเอียง



รูป 4.22 แรงที่กระทำต่อรถขณะที่กำลังแล่นเลี้ยวโค้งบนถนนเอียงทำมุม θ กับพื้นระดับ

จาก $F_c = \frac{mv^2}{r}$

ดังนั้น $N\sin\theta = \frac{mv^2}{r}$

และ $N\cos\theta = mg$

ดังนั้น $\frac{N\sin\theta}{N\cos\theta} = \frac{mv^2}{rmg}$

หรือ $\tan\theta = \frac{v^2}{rg}$ (4.16)

จากสมการ (4.16) จะเห็นว่าการสร้างถนนช่วงทางโค้งให้เอียงทำมุมกับแนวระดับต้องคำนึงถึงอัตราเร็วของรถขณะเลี้ยวและรัศมีของทางโค้งเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการขับรถ

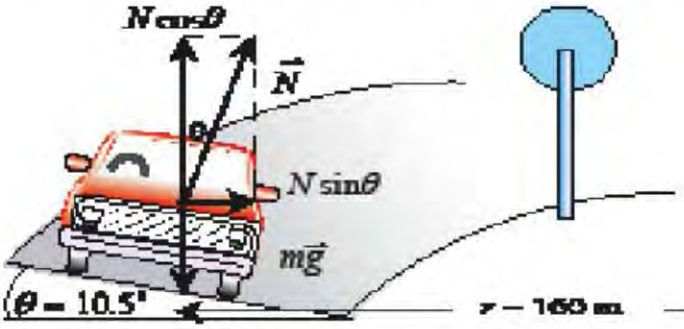
ตัวอย่าง 4.7

ทางโค้งบนถนนสายหนึ่งถูกออกแบบให้มีรัศมีความโค้ง 160 เมตร และพื้นถนนเอียงทำมุม 10.5 องศา กับแนวระดับ ป้ายบอกอัตราเร็วสูงสุดของรถยนต์ที่อยู่ข้างถนนก่อนถึงทางโค้งนั้น ควรมีค่าเท่าใด รถจึงเลี้ยวโค้งอย่างปลอดภัย เมื่อไม่คิดแรงเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับยางรถ

แนวคิด อัตราเร็วสูงสุดของรถยนต์ขณะเลี้ยวโค้งบนพื้นถนนเอียงขึ้นอยู่กับรัศมีความโค้งและมุมที่พื้นถนนเอียงทำมุมกับแนวระดับ ซึ่งหาได้จากสมการ $\tan\theta = \frac{v^2}{rg}$ หรือ $v^2 = rg\tan\theta$

Inwfang Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

เขียนแผนภาพวัตถุอิสระของรถยนต์ ได้ดังนี้



การเปลี่ยนหน่วย m/s เป็น km/h

$$1\ \text{m/s} = \frac{1\ \text{m}}{1\ \text{s}} = \frac{10^{-3}\ \text{km}}{\frac{1}{60 \times 60}\ \text{h}}$$

$$= \frac{60 \times 60}{10^{3}}\ \text{km/h}$$

$$= \frac{18}{5}\ \text{km/h} = 3.6\ \text{km/h}$$

รูปประกอบตัวอย่าง 4.7 รถยนต์ที่กำลังเลี้ยวโค้งบนถนนเอียงทำมุมกับแนวระดับ

วิธีทำ จากสมการ $v^2 = rg \tan\theta$

ในที่นี้ รัศมีทางโค้งของถนน $r = 160\ \text{m}$

พื้นถนนเอียงทำมุม $\theta = 10.5^\circ$

$g = 9.8\ \text{m/s}^2$

แทนค่า $v^2 = (160\ \text{m})(9.8\ \text{m/s}^2)(\tan 10.5^\circ)$

(จากตารางภาคผนวก $\tan 10.5^\circ = 0.185$)

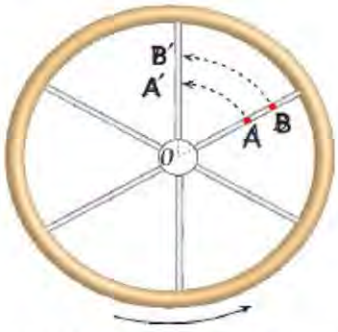
$v = 17.03\ \text{m/s}$

$= 61.3\ \text{km/h}$

ตอบ อัตราเร็วสูงสุดของรถยนต์ที่ควรระบุไว้บนป้ายเท่ากับ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง(ป้ายข้างถนนต้องรวมเป็นจำนวนที่มีหลักหน่วยเป็นศูนย์)

4.2.3 อัตราเร็วเชิงมุม

การศึกษาการเคลื่อนที่แบบวงกลมที่ผ่านมา เราพิจารณาอัตราเร็วของวัตถุตามแนวเส้นรอบวง โดยคิดจากระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ใน 1 หน่วยเวลา อัตราเร็วของวัตถุซึ่งคิดตามวิธีดังกล่าวนี้เรียกว่า **อัตราเร็วเชิงเส้น** (linear speed) นอกจากวัตถุจะมีอัตราเร็วเชิงเส้นแล้วยังมีอัตราเร็วอื่นอีกหรือไม่



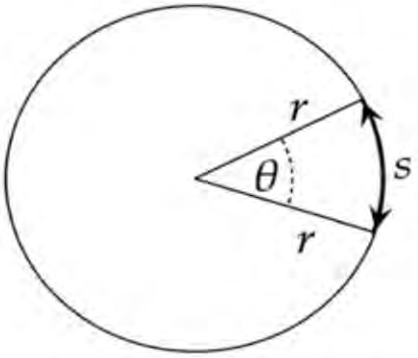
รูป 4.23 จุด A และ B ล้อซึ่งกำลังหมุนจะมีอัตราเร็วเชิงเส้นไม่เท่ากัน

Inw Tong Phayaphong
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ถ้าพิจารณาการเคลื่อนที่ของจุด A และจุด B ในรูป 4.23 จะเห็นว่าจุด A อยู่ใกล้ศูนย์กลาง O มากกว่าจุด B เมื่อเวลาผ่านไป จุด A ย้ายไปอยู่ที่ A' และจุด B ย้ายไปอยู่ที่ B' ระยะทางที่จุด B เคลื่อนที่ได้ในเวลา t มากกว่าระยะทางที่ A เคลื่อนที่ได้ อัตราเร็วเชิงเส้นของจุด B จึงมากกว่าอัตราเร็วเชิงเส้นของจุด A แต่มุมระนาบที่รัศมี OA และ OB กวาดไปมีค่าเท่ากัน ดังนั้น มุมระนาบที่รัศมีกวาดไปได้ใน 1 หน่วยเวลาจึงเท่ากันด้วย

มุมที่รัศมีกวาดได้ต่อเวลา เรียกว่า **อัตราเร็วเชิงมุม** (angular speed) ใช้สัญลักษณ์ ω (อ่านว่า โอเมกา)

มุมที่รัศมีของการเคลื่อนที่กวาดไปได้นั้น นอกจากจะมีหน่วย**องศา** (degree) แล้ว ยังมีหน่วย**เรเดียน** (radian) โดยกำหนดให้ 1 เรเดียนคือมุมระนาบที่ศูนย์กลางของวงกลมที่ถูกรองรับด้วยส่วนโค้งของวงกลมที่มีความยาวเท่ากับรัศมี



รูป 4.24 การหามุมในหน่วยเรเดียน

มุมระนาบที่ศูนย์กลางของวงกลม ในหน่วยเรเดียน หาได้จาก

$$\theta = \frac{s}{r} \qquad (4.17)$$

เมื่อ s คือ ความยาวของส่วนโค้งที่รองรับมุม θ มีหน่วย เมตร
r คือ รัศมีของส่วนโค้ง มีหน่วย เมตร
θ คือ มุมที่ศูนย์กลาง มีหน่วย เรเดียน

เรเดียน

จากสมการ (4.17) มุมระนาบที่ศูนย์กลางของวงกลม มีหน่วยในรูปของหน่วยฐานคือ m/m ในระบบเอสไอได้กำหนดให้มีชื่อว่า **เรเดียน** (radian) และมีตัวย่อเป็น rad

มุมระนาบรอบจุด ในหน่วยเรเดียน $\theta = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi = 2\ (3.14)\ \text{rad} = 6.28\ \text{rad}$

มุมระนาบในหน่วยเรเดียนและองศามีความสัมพันธ์กันดังนี้ $1\ \text{rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} \simeq 57.3^\circ$

ถ้าวัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วเชิงมุมคงตัวโดยมุมที่รัศมีของการเคลื่อนที่กวาดไปเป็น θ มีหน่วย เรเดียน ในเวลา t อัตราเร็วเชิงมุมของวัตถุ จะเป็น

$$\omega = \frac{\theta}{t} \qquad (4.18)$$

และหน่วยของอัตราเร็วเชิงมุม ω จะเป็นเรเดียนต่อวินาที (rad/s)

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ในแนววงกลมด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอจนครบ 1 รอบ โดยมีคาบเป็น T แสดงว่ารัศมีการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นกวาดไปเป็นมุม 2π ในเวลา T ดังนั้นวัตถุจะมีอัตราเร็วเชิงมุม

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad (4.19)$$

การที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ครบ 1 รอบนั้น วัตถุจะเคลื่อนที่ได้ระยะทางเท่ากับความยาวของเส้นรอบวง ซึ่งเท่ากับ $2\pi r$ ในเวลา T

ดังนั้น วัตถุมีอัตราเร็วเชิงเส้น $v = \frac{2\pi r}{T}$

หรือ $$v = \omega r \qquad (4.20)$$

จากสมการ (4.14) ขนาดของความเร่งสู่ศูนย์กลาง

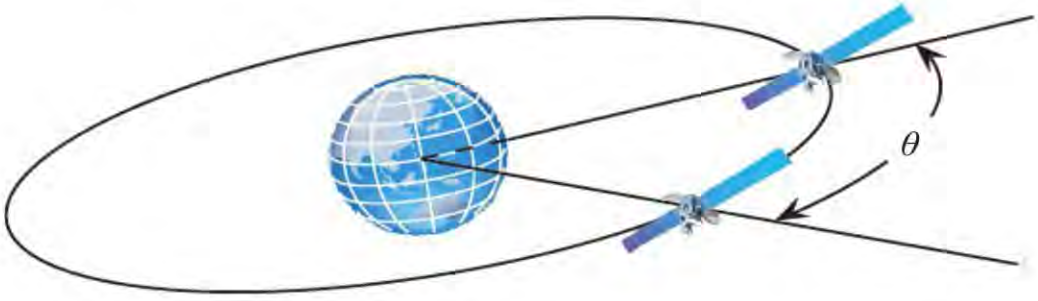
$$a_c = \frac{v^2}{r} \qquad (4.19)$$

ดังนั้นเมื่อเขียนใหม่ในรูปของอัตราเร็วเชิงมุมจะได้

$$a_c = \omega^2 r \qquad (4.21)$$

และขนาดของแรงสู่ศูนย์กลาง $$F_c = m\omega^2 r \qquad (4.22)$$

การอธิบายการเคลื่อนที่ในแนววงกลมของวัตถุในรูปของอัตราเร็วเชิงมุมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่นดาวเทียมสื่อสารที่โคจรอยู่รอบโลกนั้น เพื่อความสะดวกในการติดต่อสื่อสาร เราจึงทำให้ดาวเทียมโคจรไปรอบโลกพร้อม ๆ กับที่โลกหมุนรอบตัวเอง โดยตำแหน่งของดาวเทียมเมื่อเทียบกับตำแหน่งพื้นโลกจะอยู่ที่เดิมตลอดเวลา ซึ่งในกรณีเช่นนี้ อัตราเร็วเชิงมุมของดาวเทียมจะต้องเท่ากับอัตราเร็วเชิงมุมของตำแหน่งบนผิวโลก หลักการนี้ใช้ในการกำหนดความสูงของดาวเทียมจากพื้นดิน และอัตราเร็วเชิงเส้นของดาวเทียมได้



รูป 4.25 ดาวเทียมสื่อสารที่โคจรอยู่เหนือตำแหน่งเดิมบนพื้นโลกจะมีอัตราเร็วเชิงมุมเท่ากับอัตราเร็วเชิงมุมของตำแหน่งบนผิวโลก

Inw Tong Institute
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ตัวอย่าง 4.8

จากการหมุนรอบตัวเองของโลกรอบละ 24 ชั่วโมง และรัศมีโลกเท่ากับ 6.37×10^6 เมตร จงคำนวณหา

ก. อัตราเร็วเชิงมุมของวัตถุบนผิวโลก

ข. อัตราเร็วเชิงเส้นของวัตถุที่อยู่บนเส้นศูนย์สูตรของโลก

ค. ขนาดของความเร่งสู่ศูนย์กลางของวัตถุที่อยู่บนเส้นศูนย์สูตรของโลก

แนวคิด เมื่อโลกหมุนรอบตัวเอง วัตถุต่าง ๆ ที่อยู่บนผิวโลกจะเคลื่อนที่แบบวงกลม และมีคาบเท่ากับ คาบการหมุนรอบตัวเองของโลก 1 รอบ คือ 24 ชั่วโมง หรือ $24 \times 60 \times 60$ วินาที

วิธีทำ

ก. อัตราเร็วเชิงมุมของวัตถุบนผิวโลก หาได้จากสมการ $\omega = \dfrac{\theta}{t}$

เมื่อโลกหมุนไป 1 รอบ รัศมีของการเคลื่อนที่จะกวาดได้มุม 2π เรเดียน

ดังนั้น
$$\omega = \frac{2\pi \text{ rad}}{24 \times 60 \times 60 \text{ s}}$$
$$= \frac{(2)(3.14) \text{ rad}}{24 \times 60 \times 60 \text{ s}}$$
$$= 7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$$

ตอบ อัตราเร็วเชิงมุมของวัตถุบนผิวโลกเท่ากับ 7.27×10^{-5} เรเดียนต่อวินาที

ข. อัตราเร็วเชิงเส้นของวัตถุที่อยู่บนเส้นศูนย์สูตร หาได้จากสมการ $v = \omega r$

เนื่องจากรัศมีการเคลื่อนที่ของวัตถุบริเวณศูนย์สูตรมีความยาวเท่ากับรัศมีโลก คือ 6.37×10^6 m

ดังนั้น
$$v = (7.27 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1})(6.37 \times 10^6 \text{ m})$$
$$= 4.64 \times 10^2 \text{ m/s}$$

ตอบ อัตราเร็วเชิงเส้นของวัตถุบนเส้นศูนย์สูตรมีค่า 4.64×10^2 เมตรต่อวินาที

Amornrung Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ค. ขนาดของความเร่งสู่ศูนย์กลางของวัตถุบนผิวโลกที่เส้นศูนย์สูตร หาได้จากสมการ

$$a_c = \omega^2 r$$

ดังนั้น $$= (7.27 \times 10^{-5}\ \mathrm{s}^{-1})^2(6.37 \times 10^{6}\ \mathrm{m})$$

$$= 3.37 \times 10^{-2}\ \mathrm{m/s}^2$$

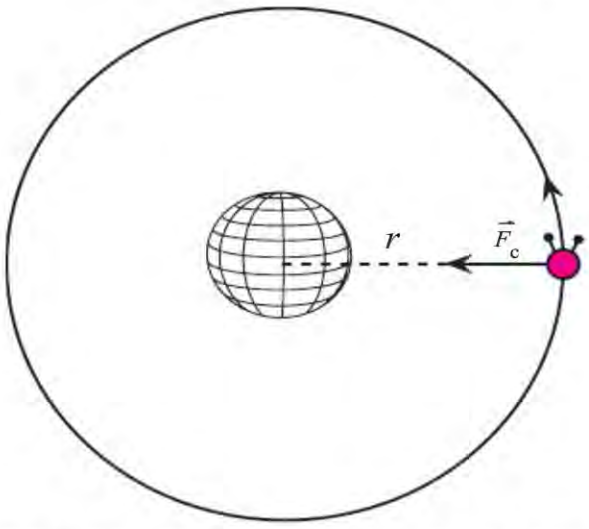
ตอบ บนเส้นศูนย์สูตร ขนาดความเร่งสู่ศูนย์กลางของวัตถุเท่ากับ 3.37×10^{-2} เมตรต่อวินาที^{2}

4.2.4 การเคลื่อนที่ของดาวเทียม

เราทราบมาแล้วว่า วัตถุซึ่งเคลื่อนที่ในแนววงกลมจะมีแรงสู่ศูนย์กลางกระทำและมีความเร่งสู่ศูนย์กลาง กรณีของดาวเทียมซึ่งโคจรรอบโลก แรงสู่ศูนย์กลางที่ทำให้ดาวเทียมโคจรรอบโลกเกิดขึ้นได้อย่างไร

จากการศึกษากฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตันจากบทที่ 3 วัตถุทั้งหลายจะดึงดูดซึ่งกันและกัน ในกรณีที่ดวงจันทร์โคจรรอบโลกก็มีแรงที่โลกดึงดูดดวงจันทร์ และแรงที่ดวงจันทร์ดึงดูดโลก แรงทั้งสองเป็นแรงคู่กิริยา – ปฏิกิริยา สำหรับโลกกับดวงจันทร์ แรงที่โลกดึงดูดดวงจันทร์จะทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง ให้ดวงจันทร์โคจรรอบโลก

ในทำนองเดียวกัน ดาวเทียมที่โคจรรอบโลกก็มีแรงที่โลกดึงดูดดาวเทียมทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง ดังรูป 4.26



รูป 4.26 แรงสู่ศูนย์กลางที่โลกกระทำต่อดาวเทียม

ให้ m_e และ m เป็นมวลของโลกและดาวเทียมตามลำดับ
จากกฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน แรงดึงดูดที่โลกกระทำต่อดาวเทียม คือ

$$F = \frac{Gm_e m}{r^2}$$

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Inw Tong Institute
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ให้ v เป็นอัตราเร็วของดาวเทียมมวล m ที่โคจรรอบโลก ณ ตำแหน่งวงโคจรซึ่งห่างจากศูนย์กลางของโลกเป็นระยะ r จะได้แรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อดาวเทียม คือ

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

ดังนั้น

$$\frac{Gm_e m}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$v^2 = \frac{Gm_e}{r} \qquad (4.23)$$

จากการศึกษากฎแรงดึงดูดระหว่างมวลที่ผ่านมา เราสามารถคำนวณหามวลของโลกได้ ดังนั้นเราจึงสามารถคำนวณหาอัตราเร็วของดาวเทียมที่โคจรรอบโลก ณ ตำแหน่งวงโคจรต่าง ๆ ได้จากสมการดังกล่าวข้างต้น

การส่งดาวเทียมขึ้นไปสู่วงโคจรต่าง ๆ รอบโลกนั้นได้มีการกำหนดรัศมีวงโคจรไว้ก่อน แล้วคำนวณหาแรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อดาวเทียมและอัตราเร็วเชิงเส้นในวงโคจรนั้น ๆ เมื่อส่งดาวเทียมขึ้นไปจนมีความสูงหรือรัศมีของการโคจรตามต้องการแล้ว จึงปรับทิศทางและอัตราเร็วของดาวเทียมเพื่อให้เข้าสู่วงโคจรรอบโลกตามที่กำหนดไว้

ตัวอย่าง 4.9

ดาวเทียมสื่อสารดวงหนึ่งโคจรรอบโลก จงหา

ก. อัตราเร็วเชิงมุมของดาวเทียมสื่อสาร

ข. รัศมีวงโคจรรอบโลกของดาวเทียมสื่อสาร ในหน่วยกิโลเมตร

กำหนดให้โลกหมุนรอบตัวเองหนึ่งรอบใช้เวลาเท่ากับ 24 ชั่วโมง $G = 6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{Nm^2/kg^2}$ และมวลของโลก $= 5.98 \times 10^{24}\ \mathrm{kg}$

แนวคิด ดาวเทียมสื่อสารเป็นดาวเทียมประจำที่ผู้สังเกตบนโลกจะเห็นดาวเทียมอยู่นิ่ง เนื่องจากอัตราเร็วเชิงมุมของดาวเทียมเท่ากับของอัตราเร็วเชิงมุมการหมุนรอบตัวเองของโลก ซึ่งหาได้จาก $\omega = \frac{2\pi}{T}$ จากนั้นนำอัตราเร็วเชิงมุม ω ไปหารัศมีวงโคจรรอบโลกของดาวเทียมสื่อสาร

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

วิธีทำ

ก. หาอัตราเร็วเชิงมุมของดาวเทียมสื่อสาร จาก $\omega = \frac{2\pi}{T}$

ในที่นี้ $T = 86\ 400\ \text{s}$

แทนค่า $\omega = \frac{2(3.14)}{86\ 400\ \text{s}} = 7.27 \times 10^{-5}\ \text{rad/s}$

ตอบ ก. อัตราเร็วเชิงมุมของดาวเทียมสื่อสารเท่ากับ 7.27×10^{-5} เรเดียนต่อวินาที

ข. หารัศมีวงโคจรรอบโลกของดาวเทียมสื่อสาร จาก $v^2 = \frac{GM}{r}$

ในที่นี้ $v = \omega r$

จะได้ $r^3 = \frac{GM}{\omega^2}$

แทนค่า $r^3 = \frac{(6.67 \times 10^{-11}\ \text{Nm}^2/\text{kg}^2)(5.98 \times 10^{24}\ \text{kg})}{(7.27 \times 10^{-5}\ \text{s}^{-1})^2}$

$= 75\ 467.19 \times 10^{18}\ \text{m}^3$

$r = 42.259 \times 10^{6}\ \text{m}$

$= 42\ 259\ \text{km}$

ตอบ ข. รัศมีวงโคจรรอบโลกของดาวเทียมสื่อสารเท่ากับ 42 259 กิโลเมตร

Inw Tong ทำไมไม่ได้
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

4.3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

การเคลื่อนที่ของสิ่งต่าง ๆ เช่น การแกว่งของชิงช้า การแกว่งของลูกตุ้ม การเคลื่อนที่ของมวลที่ติดกับปลายแผ่นสปริง การเคลื่อนที่ขึ้นลงของน้ำขณะเกิดคลื่นผิวน้ำ การเคลื่อนที่ของสิ่งเหล่านี้แตกต่างจากการเคลื่อนที่ที่เคยทราบมาแล้วอย่างไร

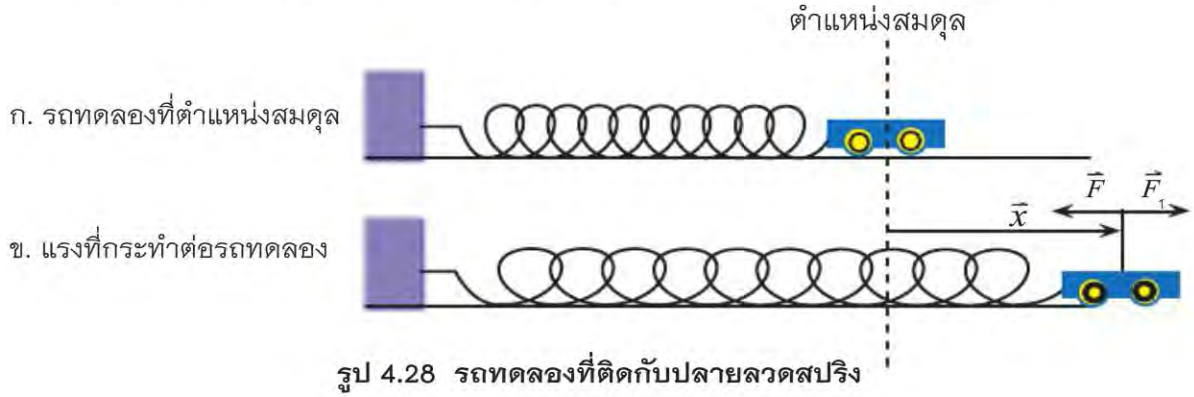
การเคลื่อนที่ของชิงช้า ลูกตุ้มและมวลที่ปลายแผ่นสปริงมีลักษณะที่เหมือนกัน นั่นคือ ถ้าเราเริ่มสังเกตวัตถุดังกล่าว ณ ตำแหน่งปลายสุดด้านหนึ่ง วัตถุดังกล่าวจะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสมดุลไปในทิศทางหนึ่ง และอัตราเร็วจะลดลงเรื่อย ๆ จนหยุด แล้วเคลื่อนที่ย้อนกลับมาตามแนวทางเดิม โดยอัตราเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และมีอัตราเร็วสูงสุดเมื่อผ่านตำแหน่งสมดุล จากนั้นอัตราเร็วจะลดลงจนหยุดอีกครั้งหนึ่ง

รูป 4.27 การแกว่งของลูกตุ้ม

□ *ถ้านำนอตมายึดติดกับปลายลวดสปริงหรือยางยืดที่แขวนไว้ในแนวดิ่ง ดึงลวดสปริงหรือยางยืดออกแล้วปล่อยมือ การเคลื่อนที่ของนอตเป็นอย่างไร*

4.3.1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุที่ติดปลายสปริง

นำรถทดลองมายึดติดที่ปลายด้านหนึ่งของลวดสปริง ส่วนอีกปลายยึดให้แน่น โดยให้ลวดสปริงวางตัวขนานกับพื้นและยังคงมีความยาวปกติ ตำแหน่งของรถทดลองเป็นตำแหน่งที่ยังไม่ออกแรงกระทำต่อรถทดลอง เรียกตำแหน่งนี้ว่า **ตำแหน่งสมดุล** (equilibrium position) ดังรูป 4.28 ก



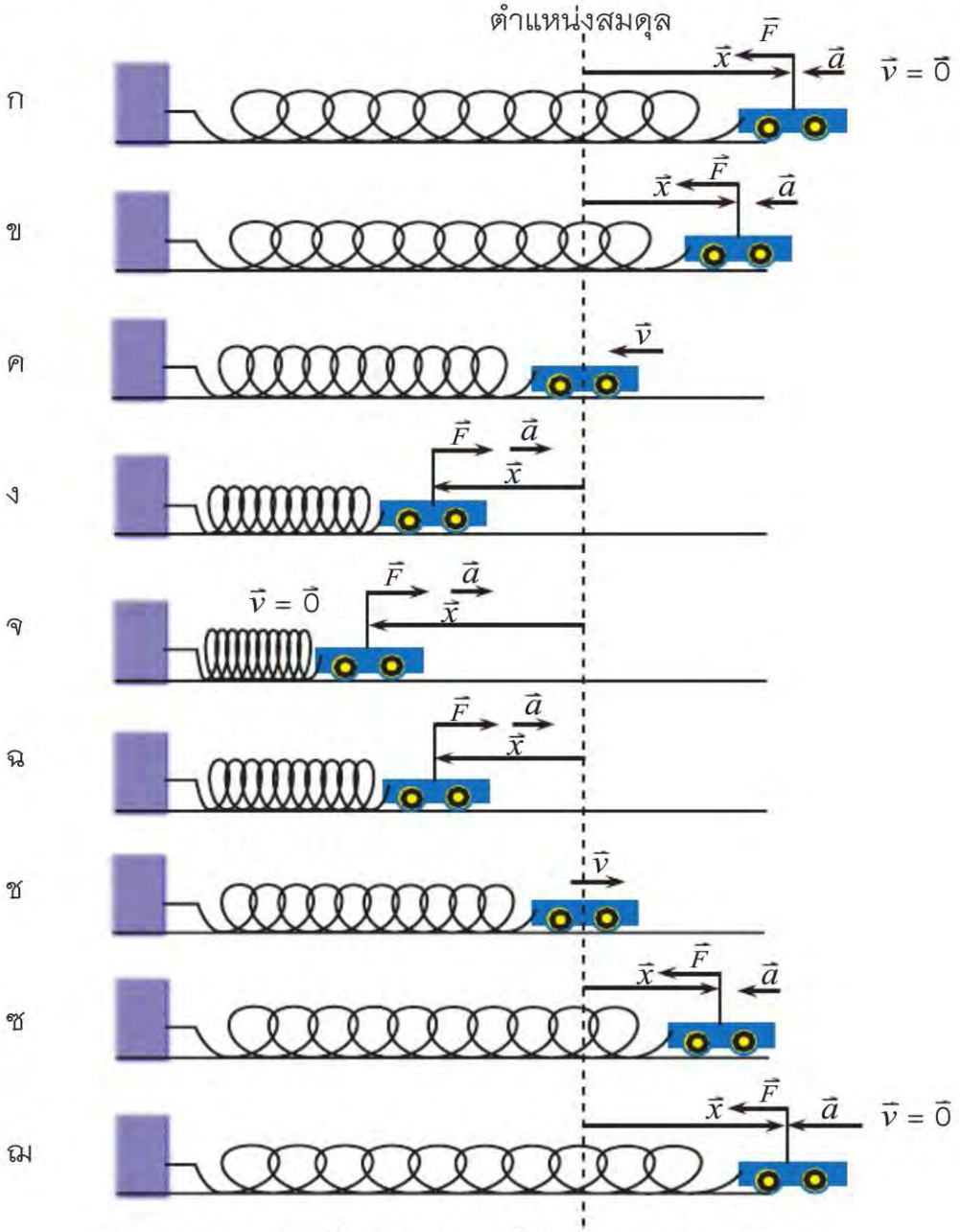
รูป 4.28 รถทดลองที่ติดกับปลายลวดสปริง

Anuwong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ออกแรง $\vec{F}_1$ ดึงรถทดลองไปทางขวา ลวดสปริงจะยืดออกและการกระจัดของรถทดลองจากตำแหน่งสมดุลเป็น $\vec{x}$ ดังรูป 4.28 ข เนื่องจากแรง $\vec{F}_1$ ที่ใช้ดึงรถทดลองแปรผันตรงกับการกระจัด $\vec{x}$ ในขณะเดียวกันลวดสปริงจะดึงรถทดลองกลับด้วยแรง $\vec{F}$ เรียกว่า **แรงดึงกลับ** (restoring force) ซึ่งมีขนาดเท่ากับขนาดของแรง $\vec{F}_1$ แต่มีทิศทางตรงข้าม

ดังนั้น $$\vec{F} = -k\vec{x} \qquad (4.24)$$

☐ *เมื่อปล่อยมือ รถทดลองจะมีการเคลื่อนที่อย่างไร*



รูป 4.29 การเคลื่อนที่ของรถทดลองที่ติดกับปลายลวดสปริง

การเคลื่อนที่ของรถทดลองติดกับปลายลวดสปริง

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

เมื่อปล่อยมือ แรง $\vec{F}_1$ จะหมดไป เหลือแรงดึงกลับ $\vec{F}$ ซึ่งจะดึงรถทดลองให้เริ่มเคลื่อนที่ไปทางซ้ายด้วยความเร่ง ดังรูป 4.29 ก

ในขณะที่รถทดลองเคลื่อนที่ไปทางซ้าย การกระจัดจะมีขนาดลดลงเรื่อย ๆ ทำให้ขนาดของแรง $\vec{F}$ ลดลงด้วย ดังรูป 4.29 ข เมื่อรถทดลองเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งสมดุล การกระจัดมีขนาดเป็นศูนย์ ขนาดของแรง $\vec{F}$ เป็นศูนย์ด้วย ที่ตำแหน่งสมดุลนี้ รถทดลองมีความเร็วสูงสุดไปทางซ้าย ดังรูป 4.29 ค เนื่องจากขณะนี้รถทดลองยังมีพลังงานจลน์ ดังนั้นรถทดลองจะเคลื่อนที่ไปทางซ้ายพร้อมกับอัดลวดสปริงให้หดสั้นเข้า ลวดสปริงที่ถูกอัดจะมีแรง $\vec{F}$ ต้านการเคลื่อนที่ของรถทดลอง ทำให้รถทดลองมีความเร็วลดลง ดังรูป 4.29 ง และความเร็วเป็นศูนย์เมื่อเคลื่อนที่ถึงจุดซ้ายสุดและมีการกระจัดขนาดหนึ่ง ดังรูป 4.29 จ

หลังจากนั้นแรง $\vec{F}$ จะดันรถทดลองให้เริ่มเคลื่อนที่กลับไปทางขวาด้วยความเร่ง เมื่อการกระจัดมีขนาดลดลง แรง $\vec{F}$ มีขนาดลดลงด้วย และจะมีขนาดเป็นศูนย์เมื่อถึงตำแหน่งสมดุล ดังรูป 4.29 ช ในขณะนี้รถทดลองมีความเร็วสูงสุดไปทางขวาจึงเคลื่อนที่ไปพร้อมกับดึงสปริงให้ยืดออกไปด้วย

เมื่อลวดสปริงถูกยืดออก ลวดสปริงจะมีแรง $\vec{F}$ ต้านการเคลื่อนที่ของรถทดลอง จนในที่สุดรถทดลองจะหยุดนิ่ง เมื่อเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งขวาสุดซึ่งก็คือตำแหน่งที่เริ่มต้น ดังรูป 4.29 ฌ ต่อจากนั้นลวดสปริงจะดึงรถทดลองกลับไปดังรูป 4.29 ก เกิดการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำทางเดิมโดยผ่านตำแหน่งสมดุล การเคลื่อนที่ดังกล่าวนี้เป็นการเคลื่อนที่แบบสั่น

พิจารณารูป 4.29 ข แรงดึงกลับ $\vec{F}$ เป็นแรงที่ลวดสปริงดึงรถทดลองซึ่งมีมวล m เคลื่อนที่ไปทางซ้ายด้วยความเร่ง $\vec{a}$ จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน จะได้

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

จากสมการ (4.24) $$\vec{F} = -k\vec{x}$$

ดังนั้น $$\vec{a} = -\frac{k}{m}\vec{x} \qquad (4.25)$$

ในสมการ (4.25) k และ m เป็นค่าคงตัว แสดงว่า ความเร่งมีขนาดแปรผันตรงกับขนาดของการกระจัด แต่มีทิศทางตรงข้าม

□ *ณ เวลาใดๆ การกระจัด ความเร่งและความเร็วของรถทดลองมีทิศทางอย่างไรเมื่อเทียบกับตำแหน่งสมดุล*

เมื่อพิจารณารูป 4.29 จะเห็นว่าการกระจัดมีทิศทางออกจากตำแหน่งสมดุล แต่ความเร่งมีทิศทางเข้าหาตำแหน่งสมดุลตลอดเวลา ส่วนความเร็วอาจมีทิศทางออกจากหรือเข้าหาตำแหน่งสมดุลก็ได้

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ในการเคลื่อนที่ของรถทดลองดังกล่าว หากไม่มีแรงต้านจากภายนอก เช่น แรงเสียดทานและแรงต้านจากอากาศ เป็นต้น มากระทำต่อรถทดลอง รถทดลองจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาภายใต้แรงของลวดสปริงเพียงอย่างเดียว ดังนั้นขนาดการกระจัดสูงสุดของรถทดลองจึงมีค่าคงตัว ขนาดการกระจัดสูงสุดนี้เรียกว่า **แอมพลิจูด** *A* การเคลื่อนที่แบบสั่นที่มีขนาดของการกระจัดสูงสุดและคาบของการเคลื่อนที่คงตัวเรียกว่า **การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย** (simple harmonic motion)

☐ *การสั่นของสายกีตาร์ การสั่นของมวลที่ผูกกับยางยืดซึ่งแขวนในแนวดิ่ง เป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายหรือไม่อย่างไร*

เมื่อสังเกตการสั่นของสายกีตาร์ หรือการสั่นของมวลที่ผูกกับยางยืดซึ่งแขวนในแนวดิ่ง จะเห็นว่าทั้งสายกีตาร์ และมวลดังกล่าวจะสั่นอยู่ในช่วงเวลาหนึ่งแล้วก็หยุด แสดงว่า แอมพลิจูดในแต่ละรอบจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากแรงต้านจากภายนอก ถ้าพิจารณาการสั่นดังกล่าวในช่วงเวลาสั้น ๆ แอมพลิจูดจะลดลงน้อยมากจนอาจถือได้ว่าการสั่นที่พิจารณาในช่วงเวลาสั้นๆ นี้เป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

จากสถานการณ์ในรูป 4.29 เราทราบแล้วว่า วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายนั้น ความเร่งมีทิศทางตรงข้ามกับการกระจัด และมีขนาดแปรผันตรงกับขนาดของการกระจัด โดยที่แอมพลิจูดมีค่าคงตัว การกระจัดและความเร็วที่เวลาต่าง ๆ ของวัตถุจะเป็นอย่างไร ศึกษาได้จากการทดลอง 4.3

การทดลอง 4.3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของรถทดลองซึ่งติดอยู่กับสปริง

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการกระจัดและความเร็วของรถทดลองซึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายในช่วงเวลาครึ่งคาบ

วิธีทดลอง

รูปการจัดอุปกรณ์การทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของรถทดลองซึ่งติดอยู่กับสปริง

การทดลอง การเคลื่อนที่

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

1. ตรึงปลายหนึ่งของลวดสปริงกับขอบรางไม้ อีกปลายหนึ่งของลวดสปริงยึดติดกับรถทดลอง ติดแถบกระดาษกับรถทดลองแล้วสอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ดึงรถทดลองออกห่างจากตำแหน่งสมดุล 6 เซนติเมตร

2. กดสวิตช์ที่หม้อแปลงโวลต์ต่ำให้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาทำงาน จากนั้นปล่อยมือให้รถทดลองเคลื่อนที่ เมื่อรถทดลองเริ่มเคลื่อนที่สวนกลับทางเดิม ให้ปิดสวิตช์

3. นำแถบกระดาษมาหาการกระจัดของรถทดลอง โดยวัดจากตำแหน่งสมดุล และหาความเร็วที่เวลาต่างๆ ตลอดการเคลื่อนที่ กำหนดให้ปริมาณที่มีทิศไปทางขวามีเครื่องหมายบวก และปริมาณที่มีทิศไปทางซ้ายมีเครื่องหมายลบ

4. เขียนกราฟระหว่างการกระจัดกับเวลา และความเร็วกับเวลา โดยให้เวลาเป็นแกนนอน

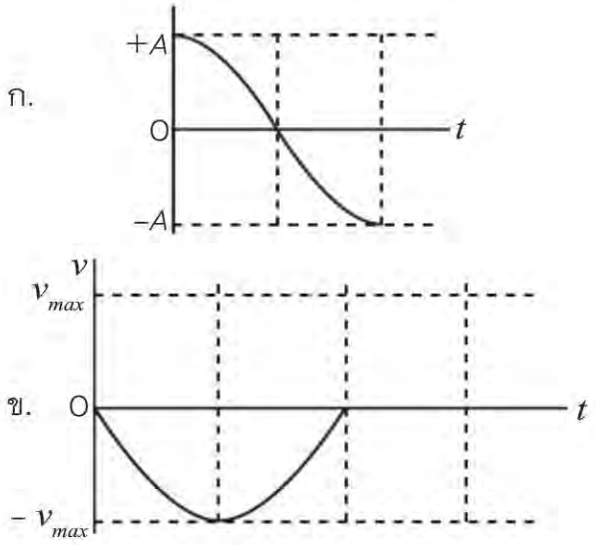
☐ *พิจารณากราฟการกระจัดกับเวลา เปรียบเทียบกับกราฟความเร็วกับเวลา*

1. ณ เวลาที่การกระจัดเป็นศูนย์ ความเร็วของรถทดลองเป็นอย่างไร

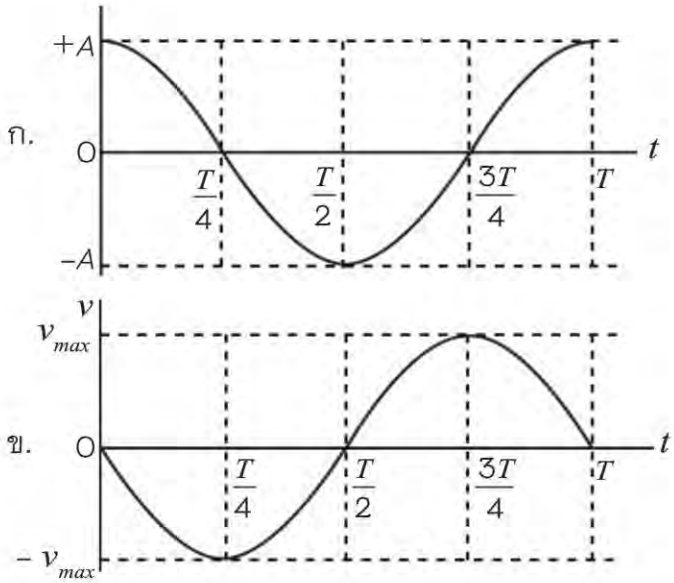
2. ณ เวลาที่การกระจัดมากที่สุด ความเร็วของรถทดลองเป็นอย่างไร

☐ *กราฟการกระจัดกับเวลา และกราฟความเร็วกับเวลาเป็นกราฟที่ได้จากการเคลื่อนที่ของรถทดลองกี่รอบ*

จากการทดลอง พบว่า รถทดลองมีความเร็วเป็นศูนย์เมื่อมีการกระจัดสูงสุด ณ ตำแหน่งเริ่มต้น และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรถทดลองเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งสมดุล จะมีค่ามากที่สุดเมื่อรถทดลองเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งสมดุล ต่อจากนั้นความเร็วลดลงจนเป็นศูนย์เมื่อรถทดลองมีการกระจัดมากที่สุดทางอีกด้านหนึ่งของตำแหน่งสมดุล เมื่อเขียนกราฟระหว่างการกระจัดกับเวลา และความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ครึ่งคาบ เป็นดังรูป 4.30 ก และ ข



รูป 4.30 กราฟระหว่างการกระจัดกับเวลาและกราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ครึ่งคาบ

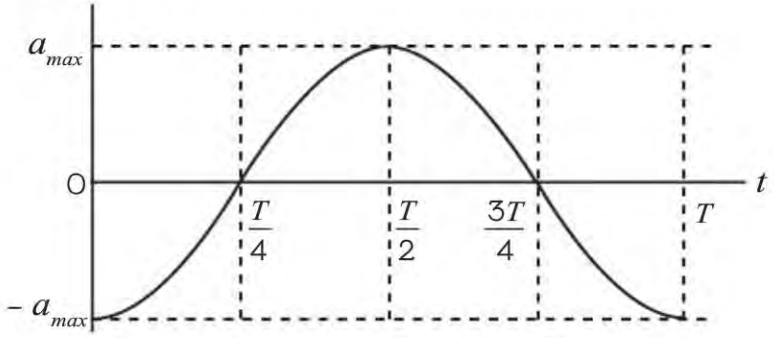


รูป 4.31 กราฟระหว่างการกระจัดกับเวลา และกราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่หนึ่งคาบ

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ถ้ารถทดลองเคลื่อนที่ครบหนึ่งคาบ กราฟระหว่างการกระจัดกับเวลา และกราฟระหว่างความเร็วกับเวลาจะเป็นดังรูป 4.31 ก และ 4.31 ข ตามลำดับ

เนื่องจากความเร่งแปรผันตรงกับการกระจัดแต่มีทิศทางตรงข้าม ดังนั้นกราฟระหว่างความเร่งกับเวลาจะมีลักษณะดังรูป 4.32

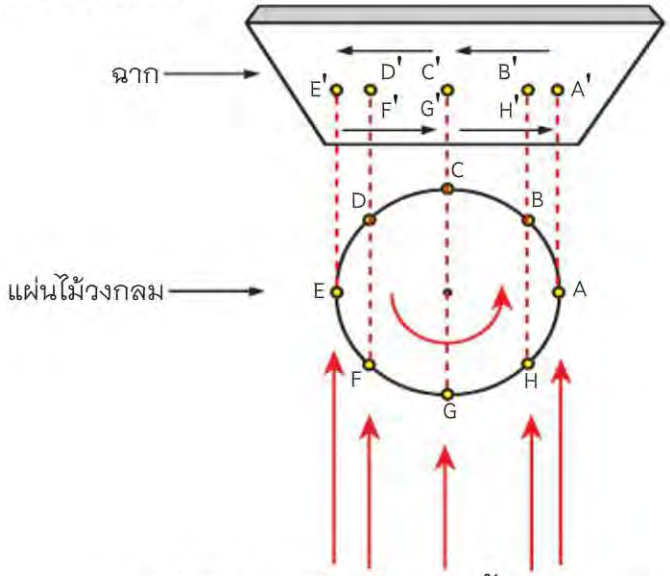


รูป 4.32 กราฟระหว่างความเร่งกับเวลา

4.3.2 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเทียบกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายซึ่งมีการกระจัด ความเร็วและความเร่งของวัตถุ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังกราฟในรูป 4.31 และ 4.32 จากการศึกษาข้างต้น สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ ดังกล่าวได้จากสถานการณ์ต่อไปนี้

ติดดินน้ำมันก้อนเล็ก ๆ ไว้ที่ตำแหน่ง A ของแผ่นไม้วงกลม เมื่อฉายแสงไปที่ดินน้ำมัน และหมุนแผ่นไม้วงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัวในระนาบระดับ ดินน้ำมันก็จะเคลื่อนที่ในแนววงกลม จาก A ไป B ไป C ... และกลับมาที่ A ทำให้เกิดเงาของดินน้ำมันบนฉากเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในแนวตรงที่ A', B', C' ... และกลับมาที่ A' ตามลำดับ ดังรูป 4.33 การเคลื่อนที่ของเงาของดินน้ำมันเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายหรือไม่ อย่างไร



รูป 4.33 การเคลื่อนที่ของดินน้ำมันและเงาของดินน้ำมัน

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

สมมติให้ดินน้ำมันเคลื่อนที่ในแนววงกลมรัศมี R ด้วยอัตราเร็วเชิงมุมคงตัว ω โดยมีความเร่งสู่ศูนย์กลาง a_0 และมีอัตราเร็วเชิงเส้น v_0

เมื่อดินน้ำมันเริ่มเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ถึง B ดินน้ำมันทำมุมที่ศูนย์กลางของเส้นผ่านศูนย์กลาง AE เป็นมุม θ เงาของดินน้ำมันจะมีการกระจัด จาก O' เท่ากับ $\vec{x}$ ดังรูป 4.34

ขนาดของการกระจัดจะเป็น

$$x = R\cos\theta \qquad (4.26)$$

ขนาดของความเร็ว v ของเงาของดินน้ำมันจะเท่ากับขนาดขององค์ประกอบของความเร็ว v_0 ในทิศทางขนานกับเส้น AE และเนื่องจากกำหนดให้ทิศไปทางขวาเป็นบวก แต่ความเร็วของเงาของดินน้ำมันมีทิศไปทางซ้าย ดังนั้น

$$v = -v_0\sin\theta \qquad (4.27)$$

ความเร่ง a ของเงาของดินน้ำมันจะมีขนาดเท่ากับขนาดของความเร่งองค์ประกอบของ a_0 ในทิศทางขนานกับเส้น AE ดังรูป 4.35 และความเร่งของเงาของดินน้ำมันมีทิศทางเข้าหาตำแหน่งสมดุล นั่นคือ

$$a = -a_0\cos\theta \qquad (4.28)$$

จากเรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม ทราบว่า $\theta = \omega t$, $v_0 = \omega R$ และ $a_0 = \omega^2 R$

ดังนั้น สมการ (4.26) (4.27) และ (4.28) จะเป็น

$$x = R\cos\omega t \qquad (4.29)$$

$$v = -\omega R\sin\omega t \qquad (4.30)$$

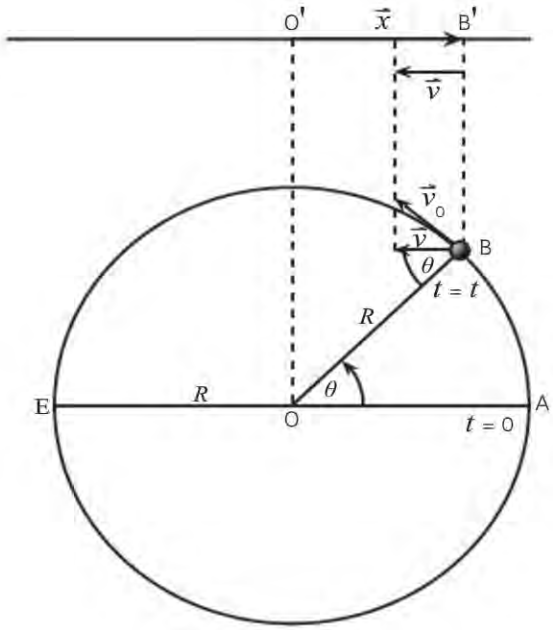
และ $$a = -\omega^2 R\cos\omega t \qquad (4.31)$$

ωt เป็น**มุมเฟส** (phase angle) ณ เวลา t **เฟสเป็นคำที่ใช้บอกตำแหน่งขณะหนึ่งของสิ่งที่เคลื่อนที่ในลักษณะที่เป็นรอบ**

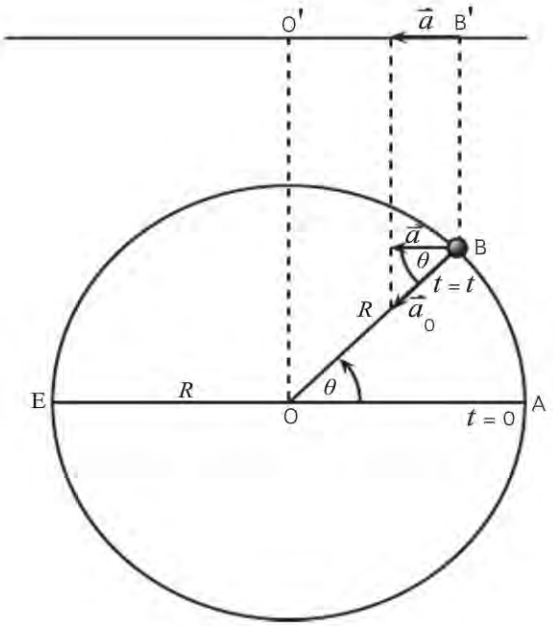
จากสมการ (4.29) และ (4.31) จะได้

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

หรือ $$\vec{a} = -\omega^2\vec{x} \qquad (4.32)$$



รูป 4.34 การกระจัดและความเร็วของเงาของดินน้ำมันที่ตำแหน่ง B'



รูป 4.35 ความเร่งของเงาของดินน้ำมัน ที่ตำแหน่ง B'

Thai Visiting Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

เนื่องจากอัตราเร็วเชิงมุม ω มีค่าคงตัว จากสมการ (4.32) ขนาดของความเร่งแปรผันตรงกับขนาดของการกระจัด นั่นคือเงาของดินน้ำมันมีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ดังนั้น สมการ (4.29) (4.30) และ (4.31) ซึ่งเป็นสมการบอกความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด ความเร็วและความเร่งของเงาของดินน้ำมันเทียบกับเวลา จึงใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง การกระจัด ความเร็วและความเร่งเทียบกับเวลาของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของวัตถุใดๆ ได้กราฟของสมการ (4.29) (4.30) และ (4.31) มีลักษณะเช่นเดียวกับกราฟในรูป 4.30 ก ข และรูป 4.32 ตามลำดับ

จากสมการ (4.25) และ (4.32) จะได้

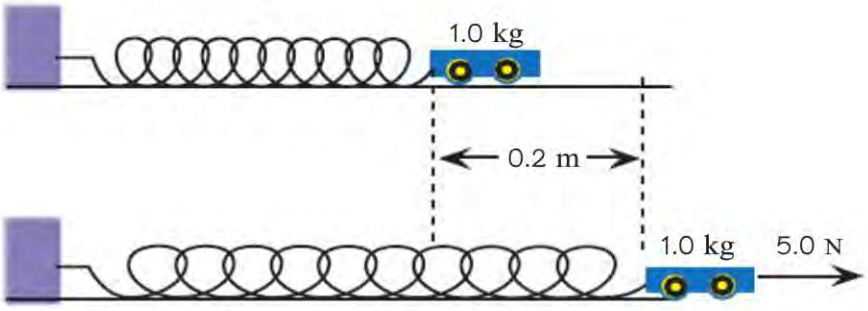
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad (4.33)$$

ตัวอย่าง 4.11

ลวดสปริงอันหนึ่งวางอยู่บนพื้นเกลี้ยงปลายด้านหนึ่งยึดแน่นกับผนัง ปลายที่เหลือมีมวล 1.0 กิโลกรัม ติดไว้ ออกแรง 5.0 นิวตัน ดึงมวล ทำให้ลวดสปริงยืดออก 0.2 เมตร เมื่อปล่อยมือ มวลจะเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายด้วยคาบเท่าใด

แนวคิด เมื่อปล่อยมือ มวลจะเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ซึ่งหาคาบการเคลื่อนที่ได้จากสมการ $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ในที่นี้ไม่ทราบค่าของ ω แต่หาได้จาก $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ เมื่อ k เป็นค่าคงตัวสปริง

จากสถานการณ์เขียนแทนด้วยรูปได้ดังนี้



รูป การเคลื่อนที่ของมวลที่ปลายลวดสปริง

วิธีทำ หา k จากสมการ $F = kx$

ในที่นี้ F เป็นขนาดของแรงที่ยืดลวดสปริง = 5.0 N

x เป็นขนาดของการกระจัด = 0.2 m

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

แทนค่า $5.0\ \text{N} = k\,(0.2\ \text{m})$

จะได้ $k = \dfrac{5.0\ \text{N}}{0.2\ \text{m}} = 25.0\ \text{N/m}$

ดังนั้น $\omega = \sqrt{\dfrac{k}{m}} = \sqrt{\dfrac{25.0\ \text{N/m}}{1.0\ \text{kg}}} = 5.0\ \text{rad s}^{-1}$

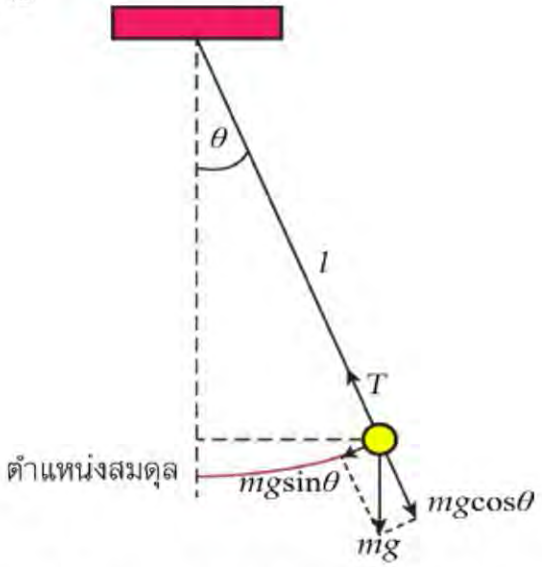
จากสมการ $T = \dfrac{2\pi}{\omega}$

ดังนั้น $T = \dfrac{2(3.14)}{5.0\ \text{s}^{-1}} = 1.3\ \text{s}$

ตอบ มวล 1.0 กิโลกรัม มีคาบการเคลื่อนที่เท่ากับ 1.3 วินาที

4.3.3 การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

ลูกตุ้มอย่างง่าย (simple pendulum) ประกอบด้วยมวลขนาดเล็ก ตามอุดมคติเป็นจุดแขวนที่ปลายด้ายหรือเชือกอ่อน โดยธรรมชาติวัตถุแขวนห้อยในแนวดิ่งเป็นตำแหน่งสมดุล เมื่อดึงวัตถุให้เอียงทำมุมเล็กๆ กับแนวดิ่งแล้วปล่อย วัตถุจะเคลื่อนที่กลับไปมาซ้ำทางเดิมผ่านตำแหน่งสมดุล ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย



รูป 4.36 แผนภาพวัตถุอิสระของลูกตุ้มขณะเส้นเชือกเอียงทำมุมกับแนวดิ่งมีแรงกระทำเข้าหาตำแหน่งสมดุล

ขณะที่ลูกตุ้มมวล m ที่ผูกกับเส้นเชือกยาว l เอียงเป็นมุม θ กับแนวดิ่ง จะมีแรงสองแรงกระทำต่อมวล m คือน้ำหนักของลูกตุ้ม mg และแรงดึงในเส้นเชือก T ซึ่งทำมุม θ กับแนวดิ่ง ดังรูป 4.36 สองแรงนี้รวมกันได้แรงลัพธ์เป็น $mg\sin\theta$ ตามแนวเส้นสัมผัสซึ่งตั้งฉากกับเส้นเชือก

การแกว่งของลูกตุ้มขณะเส้นเชือกเอียงทำมุมเอียงกับแนวดิ่ง

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

เนื่องจากแรง mg สามารถคิดแยกออกเป็นสองแรงในแนวตั้งฉากกัน ดังรูป 4.36 จะเห็นว่าแรง $mg \sin \theta$ เป็นแรงที่ดึงมวล m กลับสู่ตำแหน่งสมดุล ให้แรงนี้เป็นแรง F เมื่อคำนึงถึงทิศทางด้วย แรง F คือ

$$F = -mg \sin \theta$$

ถ้า θ เป็นมุมเล็กๆ (ค่าของมุมที่ทำให้ $\sin \theta = \tan \theta$) การเคลื่อนที่โค้งประมาณได้ว่าเป็นเส้นตรง มีขนาดการกระจัด x และ $\sin \theta = \frac{x}{l}$ จะได้

$$F = -mg \frac{x}{l}$$

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน $F = ma$ จะได้

$$-mg \frac{x}{l} = ma$$

$$a = -\frac{g}{l} x$$

จะเห็นว่า ความเร่งของลูกตุ้มแปรผันตรงกับการกระจัดและมีทิศทางตรงข้าม การแกว่งของลูกตุ้มจึงเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายด้วย

เนื่องจากขนาดของความเร่งของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

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

ดังนั้น

$$\omega^2 = \frac{g}{l}$$

จาก $\omega^2 = \frac{g}{l}$ จะได้

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (4.34)$$

หรือ

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}} \qquad (4.35)$$

สมการ (4.34) อาจนับว่าเป็นสมการที่ทำนายคาบของลูกตุ้มอย่างง่ายจากที่ได้วิเคราะห์มาตามหลักการของการเคลื่อนที่ที่ต้องเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน คาบของการแกว่งจริงจะเป็นอย่างไร จะศึกษาจากการทดลองต่อไปนี้

Inw Tong Institute
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

การทดลอง 4.4 ลูกตุ้มอย่างง่าย

จุดประสงค์ เพื่อหาความเร่งโน้มถ่วงของโลก g

วิธีทดลอง

รูป การจัดอุปกรณ์ทดลอง

1. ทำลูกตุ้มอย่างง่าย โดยใช้นอตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 เซนติเมตร ผูกสายเอ็นยาวประมาณ 1 เมตร ใช้ไม้หนีบ (สำหรับหนีบเสื้อ) หนีบอีกปลายหนึ่งของเส้นเอ็น ยึดไม้หนีบกับขอบโต๊ะให้นอตห้อยอยู่ในแนวดิ่ง ความยาวของเส้นเอ็น (l) ให้วัดจากจุดแขวนถึงศูนย์กลางของนอต

2. แกว่งนอต และจับเวลาการแกว่งเพื่อหาคาบ (T) โดยเปลี่ยนความยาวของเส้นเอ็น ต่างกัน 6 ค่า การจับเวลาแต่ละครั้งให้จับเวลาเมื่อนอตแกว่งครบ 30 รอบ หาค่าเฉลี่ยของเวลาครบ 30 รอบ แล้วจึงหาคาบ

3. เขียนกราฟระหว่าง T^2 กับ l โดยให้ T^2 อยู่บนแกนตั้ง l อยู่บนแกนนอน (เพราะสาเหตุใดจึงเขียนกราฟระหว่าง T^2 กับ l)

☐ *จากกราฟ T^2 กับ l มีความสัมพันธ์กันอย่างไร และความสัมพันธ์นี้มีความหมายอย่างไร กับ* $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

☐ *หา g จากความชันของกราฟ และประมาณค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้ g ที่ได้จากการทดลองเป็นเท่าใด*

จะเห็นว่า คาบและความถี่ของการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายขึ้นกับความเร่งโน้มถ่วง g และความยาวของเชือก l ความรู้ที่ได้นี้นำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน เช่น ในการสร้างนาฬิกาแบบลูกตุ้ม ซึ่งกำหนดช่วงเวลาได้โดยการปรับความยาวของสายลูกตุ้ม ถ้าสายยาวจะแกว่งช้าลง และถ้าสายสั้นเข้าลูกตุ้มจะแกว่งเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ในการหา g ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนผิวโลกได้ โดยวัดความถี่ของการแกว่งของลูกตุ้มและความยาวของสาย นำมาคำนวณหา g ได้

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ตัวอย่าง 4.12

นาฬิกาแบบลูกตุ้มเรือนหนึ่ง ลูกตุ้มแกว่งได้ 60 รอบต่อนาที จงหาความยาวของก้านของลูกตุ้มนาฬิกา

แนวคิด ลูกตุ้มของนาฬิกามีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ด้วยความถี่คงตัว 60 รอบต่อนาที

วิธีทำ หาความยาวของก้านลูกตุ้มนาฬิกา จากสมการ

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}$$

หรือ

$$l = \frac{g}{4\pi^2 f^2}$$

ในที่นี้

$$f = \frac{60}{1\ \text{min}} = \frac{60}{60\ \text{s}} = 1\ \text{s}^{-1}$$

$$g = 9.8\ \text{m/s}^2$$

แทนค่า จะได้

$$l = \frac{9.8\ \text{m/s}^2}{4(3.14)^2(1\ \text{s}^{-1})^2} = 0.25\ \text{m}$$

ตอบ ความยาวของก้านของลูกตุ้มนาฬิกาเท่ากับ 0.25 เมตร

สรุปสาระสำคัญ

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (projectile motion) เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวเส้นโค้งพาราโบลา ถ้าไม่คิดแรงต้านของอากาศ การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ประกอบด้วยการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งและแนวระดับที่เป็นอิสระต่อกัน การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งเป็นการเคลื่อนที่ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกเพียงแรงเดียว หรือการตกแบบเสรี ซึ่งมีความเร่งคงตัว $\vec{g}$ ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวระดับไม่มีแรงกระทำ จึงเป็นการเคลื่อนที่ที่มีความเร็วคงตัว

การเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัว (uniform circular motion) เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนววงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัว แต่ความเร็วเปลี่ยนตลอดเวลา ซึ่งทำให้เกิด**ความเร่งสู่ศูนย์กลาง**ที่มีขนาด $a_c = \frac{v^2}{r}$ โดยมีทิศทางสู่ศูนย์กลางของวงกลมและตั้งฉากกับความเร็วขณะหนึ่ง

แรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมมีทิศทางสู่ศูนย์กลางของวงกลม ทิศเดียวกับความเร่งสู่ศูนย์กลาง เรียกว่า **แรงสู่ศูนย์กลาง** (centripetal force) ซึ่งมีขนาด $F_c = \frac{mv^2}{r}$ แรงนี้อาจเป็นแรงโน้มถ่วง แรงดึงในเชือก

Inw Tong Phitthaya
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

แรงเสียดทาน หรือแรงชนิดอื่น

รถที่กำลังเลี้ยวโค้งจะมีแรงเสียดทานที่มีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางของทางโค้ง ทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง ซึ่งต้องมีขนาดเพียงพอที่จะทำให้รถไม่ไถลออกนอกทางโค้ง

การเลี้ยวโค้งด้วยอัตราเร็วที่มีค่ามาก พื้นถนนบริเวณทางโค้งจะถูกสร้างให้เอียงทำมุมกับพื้นระดับโดยขอบนอกสูงกว่าขอบใน ดังสมการ $\tan\theta = \frac{v^2}{rg}$

วัตถุที่เคลื่อนแบบวงกลมสม่ำเสมอมีอัตราเร็วเชิงมุม ω ที่สัมพันธ์กับอัตราเร็วเชิงเส้น v ดังสมการ $v = \omega r$ โดย $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ จึงสามารถเขียนแรงสู่ศูนย์กลางเป็น $F_c = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$

ดาวเทียมสื่อสารมวล m มีการเคลื่อนที่แบบวงกลมรอบโลกโดยมีแรงดึงดูดที่โลกกระทำต่อดาวเทียมเป็นแรงสู่ศูนย์กลาง $F_c = \frac{Gmm_e}{r^2}$ เมื่อ m_e เป็นมวลของโลก

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (simple harmonic motion) เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุกลับไปมาซ้ำทางเดิมผ่านตำแหน่งสมดุล โดยมีขนาดของการกระจัดสูงสุดคงตัว เรียกว่า **แอมพลิจูด** ช่วงเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบเรียกว่า **คาบ** T และจำนวนรอบที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลาเรียกว่า **ความถี่** f

การเคลื่อนที่ของรถทดลองมวล m ที่ติดกับปลายลวดสปริงที่มีค่าคงตัว k จะเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย โดยความเร่งมีขนาดแปรผันตรงกับขนาดของการกระจัด แต่มีทิศทางตรงข้าม หรือ $\vec{a} = -\frac{k}{m}\vec{x}$

เมื่อฉายแสงไปยังดินน้ำมันก้อนเล็กๆ ที่มีการเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัวในระนาบระดับ เงาของดินน้ำมันบนฉากจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในแนวตรงตามแนวระดับซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย โดยมีขนาดของความเร่งแปรผันตรงกับขนาดของการกระจัด หรือ $a = \omega^2 x$

ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา ความเร็วกับเวลา และความเร่งกับเวลาของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นไปตามสมการ $x = R\cos\omega t$, $v = -\omega R\sin\omega t$ และ $a = -\omega^2 R\cos\omega t$ เมื่อ ωt เป็นมุมเฟส (phase angle) ณ เวลา t เฟสเป็นคำที่ใช้บอกตำแหน่งขณะหนึ่งของสิ่งที่เคลื่อนที่ในลักษณะที่เป็นรอบ

การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายโดยทำมุมเล็กๆ กับแนวดิ่ง (ตำแหน่งสมดุล) เป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย โดยความเร่งของลูกตุ้มแปรผันตรงกับการกระจัดและมีทิศทางตรงข้ามกัน หรือ $a = -\frac{g}{l}x = -\omega^2 x$ และคาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

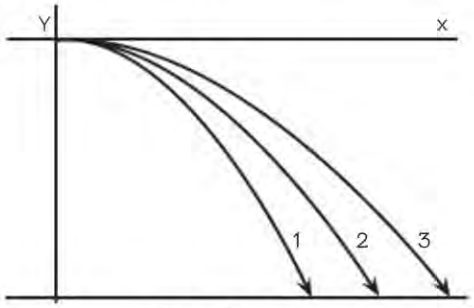
Anuwong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

แบบฝึกหัดบทที่ 4

คำถาม

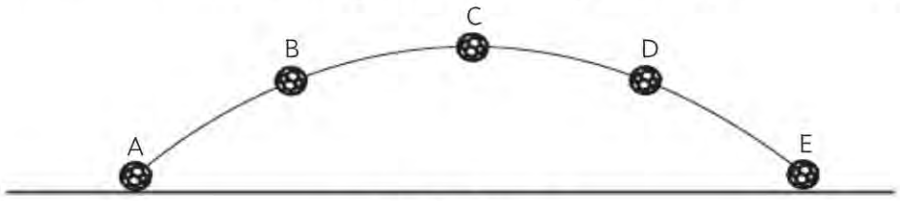
4.1 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

1. การดีดเหรียญออกจากขอบโต๊ะด้วยแรงในแนวระดับที่มีค่าแตกต่างกัน เส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุจะเป็นดังรูป ความเร็วตามแนวระดับของเหรียญตามเส้นทางทั้งสามเป็นอย่างไร



รูปสำหรับคำถาม 1

2. นักกีฬายิงธนูออกไปในแนวระดับไปยังเป้า ลูกธนูมีการเคลื่อนที่แนวตรงหรือการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ให้เหตุผล
3. ดีดเหรียญที่วางบนขอบโต๊ะ ถ้าบริเวณนั้นปราศจากสนามโน้มถ่วง แนวการเคลื่อนที่ของเหรียญจะเป็นอย่างไร
4. ขณะที่กำลังถีบรถจักรยานด้วยอัตราเร็วคงตัว ก็ปล่อยเหรียญบาทให้ตกสู่พื้นถนน แนวทางเดินของเหรียญบาทที่สังเกตโดยผู้ถีบรถจักรยานจะเป็นอย่างไร และผู้ที่ยืนอยู่ฝั่งตรงข้ามของถนนจะเห็นแนวทางเดินของเหรียญบาทเป็นอย่างไร เหมือนผู้ถีบรถจักรยานเห็นหรือไม่ (ลองทำดู) และเขียนแนวทางเดินของเหรียญที่ผู้สังเกตทั้งสองเห็น
5. พิจารณาทางเดินของลูกบอลที่ถูกเตะออกไป ดังรูป ขณะที่ลูกบอลลอยอยู่



รูปสำหรับคำถาม 5

ก. ตำแหน่งใดที่ขนาดของความเร็วในแนวดิ่งมีค่ามากที่สุด
ข. ตำแหน่งใดที่ขนาดของความเร็วในแนวระดับมีค่าเท่ากัน
ค. ตำแหน่งใดที่ขนาดของความเร็วในแนวดิ่งมีค่าน้อยที่สุด
ง. ตำแหน่งใดที่ขนาดของการกระจัดมีค่ามากที่สุด

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

6. การโดดร่มจากเครื่องบินที่กำลังบิน เส้นทางการเคลื่อนที่ของนักโดดร่มจะเป็นแบบโพรเจกไทล์หรือไม่ เพราะเหตุใด
7. เด็กคนหนึ่งกำลังเล่นรถบังคับด้วยคลื่นวิทยุบนระเบียงบ้านชั้นที่สอง ปรากฏว่ารถพุ่งออกนอกระเบียงตกสู่พื้นด้านล่าง เวลาที่รถตกถึงพื้นขึ้นกับอัตราเร็วขณะพ้นขอบระเบียงหรือไม่ เพราะเหตุใด

4.2 การเคลื่อนที่แบบวงกลม

8. เสื้อผ้าในถังปั่นของเครื่องซักผ้าแห้งได้ เพราะน้ำถูกสะบัดออกจากเสื้อผ้าในแนวรัศมี คำกล่าวนี้ถูกต้องหรือไม่ ให้เหตุผล
9. จากชุดการเคลื่อนที่แบบวงกลม ขณะที่จุกยางเคลื่อนที่แบบวงกลม ถ้าเชือกที่ผูกจุกยางขาด จุกยางจะเคลื่อนที่อย่างไร
10. วัตถุเคลื่อนที่ตามแนวทางโค้งโดยมีความเร่งเป็นศูนย์หรือความเร่งคงตัวได้หรือไม่ อธิบาย
11. ขณะวัตถุมีการเคลื่อนที่แบบวงกลมสม่ำเสมอ ปริมาณใดต่อไปนี้มีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางของวงกลม และปริมาณใดมีทิศทางในแนวเส้นสัมผัสวงกลม ก. ความเร็ว $\vec{v}$ ข. แรงที่กระทำต่อวัตถุ $\vec{F}$ ค. ความเร่ง $\vec{a}$
12. การแข่งขันขว้างค้อน ค้อนมีการเคลื่อนที่แบบใดบ้าง จงอธิบาย
13. แรงที่กระทำต่อวัตถุที่เคลื่อนที่ตกแบบเสรี แบบโพรเจกไทล์และแบบวงกลม กับแนวการเคลื่อนที่ของวัตถุทั้งสามกรณี เหมือนหรือต่างกันอย่างไร

4.3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

14. จงอธิบายความหมายของตำแหน่งสมดุล
15. จงอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
16. จงยกตัวอย่างวัตถุที่มีการสั่นที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน
17. ความเร่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นศูนย์ได้หรือไม่

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

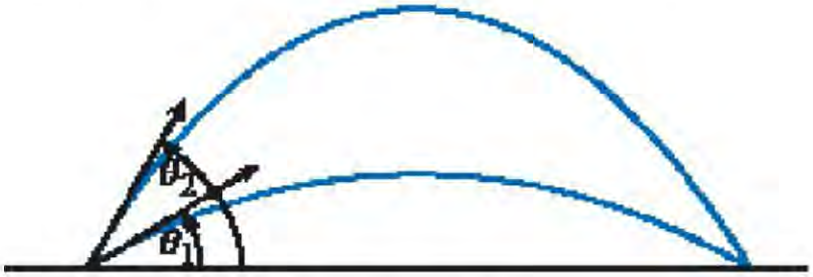
ปัญหา

4.1 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

1. ก้อนหินถูกขว้างออกจากหน้าผาในแนวระดับด้วยความเร็วต้น 10 เมตรต่อวินาที ก้อนหินตกถึงพื้นดินในเวลา 8 วินาที ก้อนหินตกห่างจากจุดขว้างในแนวระดับเท่าใด
2. ลูกบอลลูกหนึ่งกลิ้งตกลงมาจากโต๊ะราบซึ่งสูง 1.0 เมตร ถ้าลูกบอลกระทบพื้นตรงจุดที่ห่างจากขอบโต๊ะตามแนวระดับ 2.0 เมตร ความเร็วของลูกบอลขณะหลุดจากขอบโต๊ะมีค่าเท่าใด
3. หินก้อนหนึ่งถูกขว้างออกไปในแนวระดับจากที่สูง 10 เมตรจากพื้น ก้อนหินตกกระทบพื้นดินทำมุม 45 องศา กับพื้น ความเร็วต้นที่ใช้ขว้างก้อนหินมีค่าเท่าใด
4. ขีปนาวุธถูกยิงจากพื้นดินด้วยความเร็ว 60 เมตรต่อวินาทีในทิศทำมุม 30 องศา กับแนวระดับ ขีปนาวุธนั้นลอยอยู่ในอากาศเป็นเวลานานเท่าใดจึงจะตกถึงพื้น และขณะที่อยู่ตรงจุดสูงสุดนั้นสูงจากพื้นดินเท่าใด
5. เตะลูกบอลขึ้นไปในอากาศ ถ้าลูกบอลลอยอยู่ในอากาศนาน 4.0 วินาที โดยไม่คิดแรงต้านทานของอากาศ จงหาว่าลูกบอลขึ้นไปได้สูงสุดเท่าใด และความเร็วที่ใช้ขว้างมีค่าเท่าใด ถ้าลูกบอลไปได้ไกลในแนวระดับ 45.0 เมตร
6. นักกระโดดไกลผู้หนึ่งกระโดดด้วยความเร็ว 9.8 เมตรต่อวินาที ทำมุม 45 องศากับพื้นดิน เขาจะกระโดดไปได้ระยะทางไกลเท่าใด ถ้าเขากระโดดบนผิวดวงจันทร์ด้วยความเร็วเท่ากันและมุมเท่ากันเขาจะกระโดดได้ระยะทางไกลเท่าใด เมื่อความเร่งโน้มถ่วงบนผิวดวงจันทร์เป็น $\frac{1}{6}$ เท่าของความเร่งโน้มถ่วงบนผิวโลก
7. ก้อนหินถูกยิงขึ้นจากพื้นดินด้วยความเร็ว 29.4 เมตรต่อวินาที ในแนวเอียงทำมุม 30 องศากับพื้นดิน จงหา
   ก. ความเร็วและความสูงของก้อนหินที่จุดสูงสุด
   ข. เวลาทั้งหมดที่ก้อนหินอยู่ในอากาศ
   ค. ก้อนหินตกถึงพื้นได้ระยะทางไกลเท่าใด
   ง. จุดสูงสุดอยู่ห่างจากจุดตั้งต้นเป็นระยะทางเท่าใด
8. ขว้างลูกกอล์ฟจากหน้าต่างบ้าน ให้เคลื่อนออกไปด้วยความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที ในทิศทางทำมุม 60 องศากับแนวราบ ลูกกอล์ฟตกถึงพื้นดินในเวลา 2 วินาที ลูกกอล์ฟตกได้ระยะทางในแนวราบกี่เมตร
9. วัตถุเคลื่อนที่จากพื้นด้วยความเร็วคงตัว u ในทิศทางทำมุม θ กับพื้น ถ้าต้องการให้วัตถุเคลื่อนที่ไปได้ไกลที่สุดในแนวระดับ มุม θ มีค่ากี่องศา
10. ในการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบโพรเจกไทล์ เมื่อเวลาผ่านไป t ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในแนวระดับ $s_x = v_x t$ และระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในแนวดิ่ง $s_y = \frac{1}{2} gt^2$ จงพิสูจน์ว่า $s_y = \left(\frac{g}{2v_x^2}\right) s_x^2$ และจากสมการนี้ จงแสดงว่า วัตถุมีเส้นทางเดินเป็นรูปพาราโบลา

Inw Tong Inwtong
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

11. การยิงโพรเจกไทล์สองครั้ง ด้วยอัตราเร็วต้นเท่ากัน ครั้งแรกยิงด้วยมุมเงย θ_1 ครั้งที่สองยิงด้วย มุมเงย θ_2 เมื่อ $\theta_1 < \theta_2$ และ $\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$ จงพิสูจน์ว่าขณะที่โพรเจกไทล์ตกถึงระดับเดิมในการยิงแต่ละครั้งจะห่างจากจุดยิงเป็นระยะทางเท่ากัน



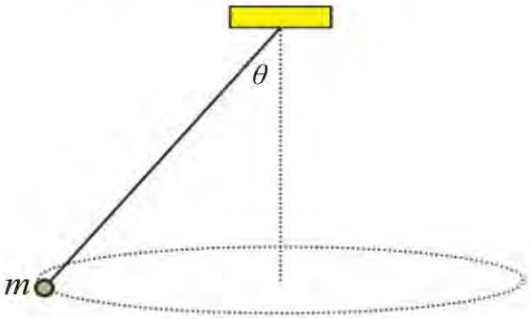
รูปสำหรับปัญหาข้อ 11

4.2 การเคลื่อนที่แบบวงกลม

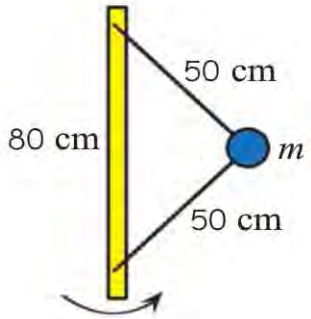
12. วัตถุเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอในแนววงกลมด้วยอัตรา 20 รอบในเวลา 4.0 วินาที จงหา
    ก. คาบของการเคลื่อนที่
    ข. ความถี่ของการเคลื่อนที่
    ค. ถ้ารัศมีของการเคลื่อนที่เท่ากับ 2.0 เมตร จงหาอัตราเร็วของการเคลื่อนที่
13. ลูกยางกลมลูกหนึ่งผูกไว้กับเชือกแล้วแกว่งให้เคลื่อนที่ตามแนววงกลมรัศมี 1.30 เมตร ด้วยความถี่ 5.0 รอบต่อวินาที จงหาความเร่งสู่ศูนย์กลางของลูกยางกลม
14. จงหาความเร่งสู่ศูนย์กลางของวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนววงกลมรัศมี 16.0 เมตร ด้วยอัตราเร็ว 40.0 เมตรต่อวินาที
15. ในการแกว่งชุดการเคลื่อนที่ในแนววงกลมให้จุกยางเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวในแนวระดับ ปรากฏว่าขณะนั้นเชือกทำมุม 20 องศา กับแนวระดับตลอดเวลา ถ้าขนาดน้ำหนักของขอเกี่ยวโลหะและนอตที่ใช้มีค่า 1.2 นิวตัน จงหาแรงสู่ศูนย์กลางและความเร่งสู่ศูนย์กลางของจุกยาง
16. จากการแข่งขันรถจักรยานยนต์ในสนามแห่งหนึ่ง ปรากฏว่าเมื่อรถมาถึงทางโค้งรัศมี 40 เมตร คนขับรถต้องเอียงรถทำมุม 32 องศากับแนวดิ่ง อยากทราบว่าขณะนั้นรถมีอัตราเร็วเท่าใด
17. กำหนดให้รถยนต์วิ่งเลี้ยวโค้งบนถนนที่มีรัศมีความโค้ง 0.1 กิโลเมตร ด้วยอัตราเร็ว 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมงได้อย่างปลอดภัย แม้ในขณะที่มีฝนตกถนนลื่น (ไม่มีแรงเสียดทานในทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลาง) จะต้องสร้างถนนให้เอียงทำมุมกับแนวระดับกี่องศา
18. รถยนต์คันหนึ่งวิ่งบนทางโค้งด้วยอัตราเร็ว v รัศมีความโค้งของถนน r ความกว้างของถนน d จะต้องยกขอบถนนด้านนอกให้สูงกว่าด้านในเท่าใด เมื่อรถวิ่งบนทางโค้งแล้วล้อรถไม่ไถลออกนอกเส้นทาง

Thai Secondary Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

19. ลูกตุ้มนาฬิกามวล m ถูกปล่อยจากตำแหน่งหยุดนิ่ง ในขณะที่เชือกซึ่งยาว l เอียงทำมุม θ กับแนวดิ่ง เมื่อลูกตุ้มนาฬิกาผ่านจุดต่ำสุด แรงดึงในเส้นเชือกมีค่าเท่าใด กำหนดให้อัตราเร็วของลูกตุ้มนาฬิกาที่จุดต่ำสุด $= \sqrt{2\,gl\,(1 - \cos\theta)}$



รูปสำหรับปัญหาข้อ 20



รูปสำหรับปัญหาข้อ 21

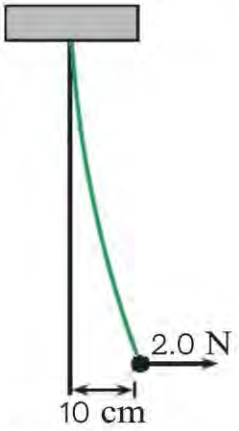
20. ลูกกลมมวล 2 กิโลกรัม ผูกไว้ด้วยเชือกยาว 2 เมตร จัดให้ปลายข้างหนึ่งตรึงไว้กับที่แกว่งเชือก เพื่อให้ลูกกลมเคลื่อนที่ในแนววงกลมในระนาบระดับ โดยเชือกเอียงทำมุม θ กับแนวดิ่ง ดังรูป ถ้าอัตราเร็วเชิงมุมของลูกกลมเพิ่มขึ้นทีละน้อย และเส้นเชือกทนแรงดึงได้มากที่สุด 100 นิวตัน เส้นเชือกจะขาดเมื่อมุม θ มีค่ากี่องศา และอัตราเร็วเชิงมุมขณะนั้นมีค่าเท่าใด
21. วัตถุมวล 300 กรัม โยงติดกับคานที่ตั้งอยู่ในแนวดิ่งด้วยเชือก 2 เส้น ดังรูป คานหมุนรอบตัวเองทำให้วัตถุเคลื่อนที่ในแนววงกลมในระนาบระดับโดยมีความถี่คงตัว และปรากฏว่าเชือกเส้นบนมีแรงดึง 20 นิวตัน จงหา
    ก. แรงดึงของเชือกเส้นล่าง
    ข. ความถี่ของการเคลื่อนที่ของวัตถุ
22. ถ้าแกว่งเชือกที่มีวัตถุก้อนหนึ่งผูกอยู่ที่ปลายให้เคลื่อนที่แบบลูกตุ้มกรวย โดยแนวเส้นเชือกทำมุม θ กับแนวดิ่ง รัศมีของการเคลื่อนที่ในแนววงกลมเท่ากับ r และวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ v จงแสดงว่า $\tan\theta = \dfrac{v^2}{rg}$ เมื่อ g คือความเร่งโน้มถ่วง

4.3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

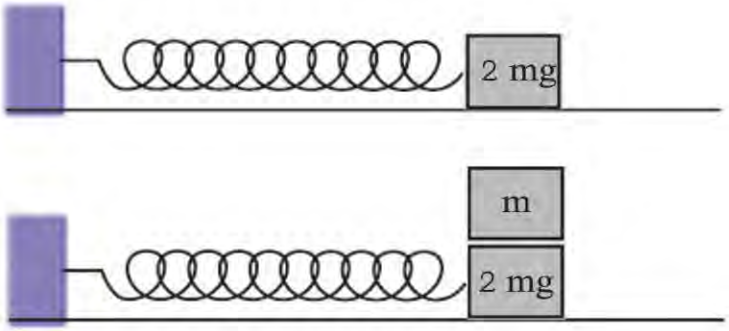
23. รถทดลองติดปลายลวดสปริงเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ด้วยแอมพลิจูด 15 เซนติเมตร และความถี่ 4 รอบต่อวินาที จงหาความเร็วสูงสุด และความเร่งสูงสุดของรถทดลอง
24. แขวนมวล 4.0 กิโลกรัมกับสปริงแล้วปล่อยให้สั่นขึ้นลงในแนวดิ่ง ปรากฏว่าวัดคาบการสั่นได้ 2.0 วินาที ถ้านำมวล 8.0 กิโลกรัมมาแขวนแทนมวล 4.0 กิโลกรัม แล้วปล่อยให้สั่นขึ้นลง จะสั่นด้วยความถี่เท่าใด

Inw Tong Phuyaisat
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

25. แขวนมวล 4.9 กิโลกรัมกับสปริง แล้วปล่อยให้สั่นขึ้นลง วัดคาบของการสั่นได้ 0.5 วินาที ถ้าเอามวล 4.9 กิโลกรัมออก สปริงจะสั่นกว่าตอนที่แขวนมวลอยู่เท่าใด
26. เมื่อออกแรง 2.0 นิวตัน ดึงปลายแผ่นสปริงของเครื่องชั่งมวล ปลายแผ่นสปริงเบนไปจากตำแหน่งสมดุล 10 เซนติเมตร ดังรูป ที่ปลายแผ่นสปริงติดมวล 0.3 กิโลกรัม ถ้าดึงให้ปลายสปริงเบนไปจากตำแหน่งสมดุล 15 เซนติเมตร แล้วปล่อยมือ จงหา
    ก. คาบของการสั่นของมวล
    ข. ความเร่งสูงสุดของมวล



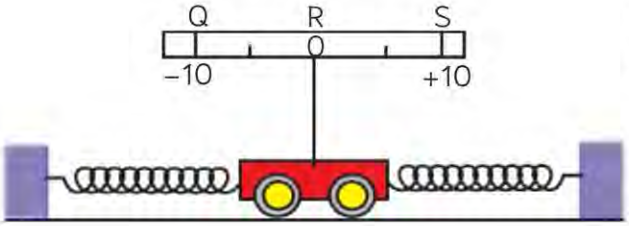
รูปสำหรับปัญหาข้อ 26



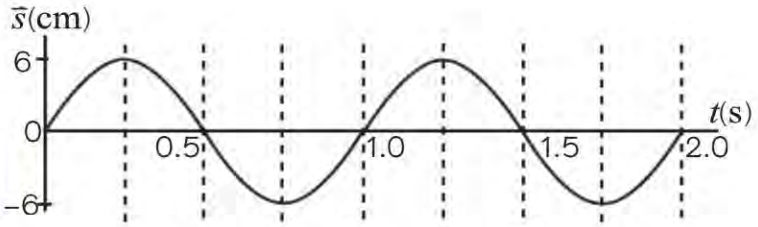
รูปสำหรับปัญหาข้อ 27

27. มวล 2 กิโลกรัม ติดกับปลายลวดสปริง ดังรูป ก. ดึงสปริงให้ยืดออกแล้วปล่อยให้วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย บนพื้นราบเกลี้ยง วัตถุเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ ใช้เวลา 1 วินาที ถ้ามีมวล m วางทับมวล 2 กิโลกรัมเดิมดังรูป ข ทำให้วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายและครบ 1 รอบ ใช้เวลา 1.5 วินาที จงหา m
28. รถทดลองมวล 2 กิโลกรัม ปลายทั้งสองยึดติดกับสปริงที่เหมือนกันทุกประการ ดังรูป รถเคลื่อนที่ระหว่างสปริงบนพื้นราบลื่น (ไม่คิดแรงเสียดทาน) ตอนบนของรถติดเข็มชี้ไว้และเข็มชี้จะเคลื่อนที่ระหว่างจุด Q กับ S เป็นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย บนสเกลที่วัดเป็นเซนติเมตร มี R เป็นจุดสมดุล ณ เวลา $t = 0$ รถเริ่มเคลื่อนที่จากจุด Q ไปทางขวามือ ซึ่งมีเครื่องหมายบวก
    ก. ถ้าคาบของการสั่นในหน่วยวินาทีเท่ากับ π แรงดึงกลับที่กระทำต่อรถในหน่วยนิวตัน ณ เวลาเริ่มต้น มีค่าเท่าใด
    ข. ความเร็วของรถทดลองที่ตำแหน่ง S มีค่าเท่าใด ในหน่วยเมตรต่อวินาที

Aim Aiyong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ



รูปสำหรับปัญหาข้อ 28



รูปสำหรับปัญหาข้อ 29

29. จากรูป เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุมวล 50.0 กรัม ซึ่งติดไว้กับปลายข้างหนึ่งของลวดสปริงเบา ถ้าไม่คิดแรงเสียดทานที่กระทำต่อวัตถุและลวดสปริง ค่าคงตัวของลวดสปริงมีค่าเท่าใดในหน่วยนิวตันต่อเมตร
30. อนุภาคเคลื่อนที่ในแนววงกลมในระนาบระดับเคลื่อนที่ได้ 10 รอบใช้เวลา 3 วินาที เงาของอนุภาคเคลื่อนที่เป็นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย โดยมีแอมพลิจูด 8.0 เซนติเมตร ณ ตำแหน่งที่เงาของอนุภาคมีอัตราเร็วสูงสุด มีขนาดของการกระจัดเท่าใด และอัตราเร็วสูงสุดมีค่าเท่าใด
31. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ด้วยความถี่ 3 รอบต่อวินาที ถ้าแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ 2 เซนติเมตร อัตราเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่มีค่าเท่าใด
32. วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีความถี่ 2 รอบต่อวินาที ณ ตำแหน่งที่มีการกระจัด 7 เซนติเมตร วัตถุจะมีความเร่งเท่าใด
33. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย โดยใช้เวลา 2 วินาที ในการเคลื่อนที่ผ่านจุด P ไป Q ซึ่งอยู่ห่างกัน 22.0 เซนติเมตร ขณะผ่าน P และ Q อนุภาคมีอัตราเร็วเท่ากัน อีก 2 วินาที ต่อมาวัตถุเคลื่อนที่กลับมาที่ Q จงหาคาบและแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่
34. A B C เป็นจุดบนเส้นตรงเส้นหนึ่ง อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายที่ตำแหน่ง B และ C อนุภาคจะอยู่นิ่งโดยจุด B และ C อยู่ห่างจาก A เป็นระยะ a และ b ตามลำดับ ที่จุดกึ่งกลางของ B และ C อนุภาคมีความเร็ว จงแสดงให้เห็นว่า คาบของการเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ $\pi\frac{b-a}{v}$
35. ล้อวงกลมอันหนึ่งมีรัศมี 0.3 เมตร ที่ขอบล้อติดวัตถุไว้ก้อนหนึ่ง ล้อหมุนด้วยความถี่ 0.5 รอบต่อวินาที รอบแกนหมุนในแนวระดับซึ่งอยู่กับที่ ขณะนั้นมีแสงแดดตกตั้งฉากกับพื้นโลก ทำให้เงาของวัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย
    ก. คาบของการเคลื่อนที่ของเงามีค่าเท่าใด
    ข. ความถี่ของการเคลื่อนที่ของเงามีค่าเท่าใด
    ค. แอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ของเงามีค่าเท่าใด
    ง. จงเขียนสมการแสดงการกระจัดในการเคลื่อนที่ ณ เวลาต่าง ๆ กำหนดให้มุมเฟสเริ่มต้นเป็นศูนย์

Inw Tong Inwtong
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

36. วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ด้วยความถี่ 5 รอบต่อวินาที
    ก. เมื่อเวลาผ่านไป 2 วินาที วัตถุอยู่ในเฟสต่างจากเดิมเท่าใด
    ข. เมื่อวัตถุอยู่ในเฟสต่างจากเดิม $\frac{21\pi}{2}$ เรเดียน วัตถุเคลื่อนที่ได้กี่รอบ
    ค. ในแต่ละช่วงเวลา 1 วินาที วัตถุอยู่ในเฟสต่างกันเท่าใด
37. ลูกเหล็กทรงกลมมวล 1 กรัม แกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีแอมพลิจูด 2 มิลลิเมตร ความเร่งที่จุดปลายของการแกว่งมีค่า 8×10^3 เมตรต่อวินาที^{2}
    ก. จงหาความถี่ของการแกว่ง
    ข. จงหาความเร็วที่จุดสมดุล
    ค. จงเขียนสมการแสดงแรงที่กระทำต่อให้ลูกเหล็กทรงกลมให้เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งและเวลา

Thai Living Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

ภาคผนวก

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

ภาคผนวก ก ตัวอย่างการบันทึกการทดลอง

การศึกษาหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์นั้นจำเป็นต้องมีการทดลอง เพื่อให้รู้จักและเข้าใจกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการหาเหตุผลหรือหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ การบันทึกรายละเอียดต่าง ๆ จากการสังเกตสิ่งที่เกิดขึ้นในการทดลองจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก **เพราะการสรุปเหตุผลหรือการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจะใช้ข้อมูลที่ได้จากสังเกตเท่านั้น** ถ้าการบันทึกรายละเอียดในการทดลองมีความบกพร่อง เราอาจไม่สามารถสรุปได้ หรือต้องทำการทดลองซ้ำใหม่ ปัญหามีอยู่ว่า เราจะบันทึกผลการทดลองอย่างไร

การบันทึกการทดลอง ควรจัดลำดับของรายละเอียดต่าง ๆ ให้เหมาะสมและควรบันทึกด้วยข้อความที่กะทัดรัด เข้าใจง่ายและชัดเจน รายการที่บันทึกอาจเรียงลำดับดังนี้

1. หัวข้อการทดลอง
2. วัน เวลา สถานที่ทดลอง และสภาพแวดล้อมขณะนั้น
3. จุดประสงค์การทดลอง
4. รายการวัสดุอุปกรณ์
5. วิธีทดลอง
6. ภาพการจัดอุปกรณ์การทดลอง
7. ตารางบันทึกผลการทดลอง
8. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณที่วัดได้
9. การคำนวณจากตารางบันทึกผลการทดลองหรือจากกราฟ
10. การสรุปและอภิปรายผล หัวข้อนี้ควรประกอบด้วย การสรุป การแปลความหมาย การบอกความคลาดเคลื่อน (ในกรณีที่มีการหาความคลาดเคลื่อน) รวมทั้งข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงแก้ไขสำหรับการทดลองนี้ในครั้งต่อๆไป

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในขั้นตอนการทำการทดลองข้างต้น ขอให้ศึกษาตัวอย่างการบันทึกการทดลองต่อไปนี้

การทดลอง ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงดึงสปริงกับระยะทางที่สปริงยืดออก
[วันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2553 เวลา 13.30 น. ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์]

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสปริงกับระยะทางที่สปริงยืดออก

วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งสปริง	1 อัน
2. สปริง	1 ขด
3. ไม้บรรทัด	1 อัน

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

รูป ก1 การจัดอุปกรณ์การทดลอง

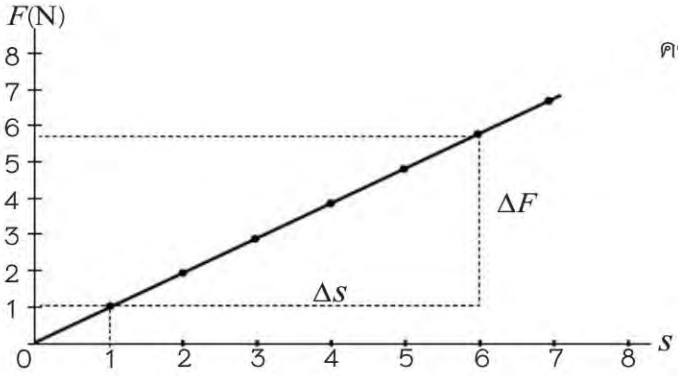
วิธีทดลอง

1. ยึดปลายข้างหนึ่งของสปริงไว้แล้วใช้เครื่องชั่งสปริงเกี่ยวปลายอีกข้างหนึ่ง วางสปริงและเครื่องชั่งสปริงในแนวขนานกับไม้บรรทัด ดังแสดงในรูป ให้ปลายสุดท้ายของสปริงด้านที่เกี่ยวกับเครื่องชั่งสปริงอยู่ตรงขีดศูนย์ของไม้บรรทัด
2. ออกแรงดึงเครื่องชั่งสปริงให้สปริงยืดออกครั้งละ 1 เซนติเมตร บันทึกขนาดของแรงดึงกับระยะทางที่สปริงยืดออกจากตำแหน่งสมดุล
3. เขียนกราฟระหว่างขนาดของแรงดึงกับระยะทางที่สปริงยืดออก โดยให้ขนาดของแรงดึงอยู่ในแกนตั้ง และระยะทางที่สปริงยืดออกอยู่ในแกนนอน

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ระยะทางที่สปริงยืดออก (cm)	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
ขนาดของแรงดึงสปริง (N)	0	1.00	1.85	2.80	3.85	4.80	5.70	6.60

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงดึงสปริงกับระยะทางที่สปริงยืดออกเป็นดังนี้



$$\text{ความชัน} = \frac{\Delta F}{\Delta s}$$

$$= \frac{5.70\ \text{N} - 1.00\ \text{N}}{0.06\ \text{m} - 0.01\ \text{m}}$$

$$= 94\ \text{N/m}$$

รูป ข2 กราฟระหว่างขนาดของแรงดึงสปริงกับระยะทางที่สปริงยืดออก

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

การสรุปและอภิปรายผล

จากการทดลองพบว่า เมื่อออกแรงดึงสปริงเพิ่มขึ้น ระยะทางที่สปริงยืดออกจะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงดึงสปริงกับระยะทางที่สปริงยืดออก จะได้เส้นตรงผ่านจุดกำเนิด แสดงว่าขนาดของแรงที่ใช้ดึงสปริง F แปรผันตรงกับระยะทางที่สปริงยืดออก s ซึ่งเขียนได้ว่า $F \propto s$

หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า $F = ks$

เมื่อ k เป็นค่าคงตัวของการแปรผัน และเป็นความชันของกราฟเส้นตรงที่ผ่านจุดกำเนิด ความชันของกราฟระหว่างแรงดึงสปริง F กับระยะทางที่สปริงยืดออก s มีค่า 94 N/m

ข้อเสนอแนะ

1. การจัดอุปกรณ์ ควรให้ตะขอแขวนของเครื่องชั่งสปริง และตะขอแขวนของสปริงอยู่ในแนวระดับ
2. ควรทำเครื่องหมายที่ปลายสุดท้ายของสปริงเป็นตำแหน่งของการสังเกตเพื่อวัดระยะยืด
3. วางไม้บรรทัดให้ใกล้กับสปริงมากที่สุด และขณะอ่านระยะยืดของสปริงควรให้สายตาอยู่ในแนวตั้งฉากกับไม้บรรทัดกับปลายสุดท้ายที่ทำเครื่องหมาย
4. การกำหนดสเกลของกราฟควรกำหนดให้เหมาะสม เพื่อให้ง่ายต่อการบันทึก
5. ระวังอย่าดึงสปริงจนเกินขีดจำกัดความยืดหยุ่นของสปริง เพราะอาจทำให้ตำแหน่งสมดุลของสปริงเปลี่ยนไป

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ภาคผนวก ข คณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์

1. พื้นฐานทั่วไปทางคณิตศาสตร์

1.1 เศษส่วน ทศนิยม ร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์

1.2 อัตราส่วน อัตรา สัดส่วน

1.3 การแปรผันและสมการ

2. พีชคณิต

2.1 เลขชี้กำลัง

2.2 การแก้สมการ

2.3 สมการกำลังสอง

2.4 สมการเชิงเส้น

3. เรขาคณิตและตรีโกณมิติ

3.1 การหาความยาวระหว่างจุดสองจุดในระบบพิกัดฉาก

3.2 ข้อมูลรูปทรงทางเรขาคณิต

3.3 ทฤษฎีบทพีทาโกรัส

3.4 ฟังก์ชันตรีโกณมิติ

1. พื้นฐานทั่วไปทางคณิตศาสตร์

1.1 เศษส่วน ทศนิยม ร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์

เศษส่วน (fraction) ในทางเลขคณิต หมายถึง จำนวนที่อยู่ในรูป $\frac{A}{B}$ โดยที่ $B \neq 0$ เรียก A ว่า ตัวเศษ เรียก B ว่า ตัวส่วน เช่น $\frac{2}{5}$, $\frac{1+\sqrt{2}}{2-\sqrt{3}}$ ในทางพีชคณิต ตัวเศษและตัวส่วนอาจเป็นตัวแปรหรือตัวไม่รู้ค่า (unknown) เช่น $\frac{x}{2}$, $\frac{1}{f}$ เราอาจแสดงเศษส่วนในรูปทศนิยม (decimal) โดยหารตัวเศษด้วยตัวส่วน หรือแสดงในรูปร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ (percent) โดยการคูณด้วย 100% เช่น $\frac{1}{4}$ ในรูปทศนิยมเขียนได้ดังนี้ $\frac{1}{4} = 0.25$ และในรูปร้อยละ เขียนได้ดังนี้ 0.25 x 100% = 25 %

1.2 อัตราส่วน อัตรา สัดส่วน

อัตราส่วน (ratio) เป็นการเปรียบเทียบปริมาณสองปริมาณโดยการหาร ซึ่งจะเขียนเหมือนเศษส่วน

อัตรา (rate) เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณสองปริมาณที่มีหน่วยต่างกัน เช่น $\frac{\text{ระยะทาง}}{\text{เวลา}}$ ระยะทางมีหน่วย เมตร (m) และเวลามีหน่วย วินาที (s) ในฟิสิกส์ ปริมาณที่เป็นตัวส่วน มักเป็น เวลา

สัดส่วน (proportion) เป็นสมการ/ข้อความที่แสดงการเท่ากันของอัตราส่วนสองอัตราส่วน เช่น $\frac{3}{6} = \frac{1}{2}$ บางสัดส่วนอาจมีตัวไม่รู้ค่า (unknown) เช่น $\frac{4}{x} = \frac{2}{3}$, $\frac{x}{y} = \frac{a}{b}$

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

1.3 การแปรผันและสมการ (proportionality and equations)

ในการค้นหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ จะพบว่า เมื่อปริมาณกายภาพหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลถึงปริมาณกายภาพอื่น ปัญหาสำคัญประการหนึ่ง ก็คือ การหาว่าปริมาณต่างๆ เหล่านั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

นักวิทยาศาสตร์พบว่า เมื่อให้ความต่างศักย์ระหว่างปลายของลวดตัวนำ จะเกิดกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำนั้น ถ้าเพิ่มความต่างศักย์เป็นสองเท่า กระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำจะเป็นสองเท่า และถ้าเพิ่มความต่างศักย์เป็นสามเท่า กระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำก็จะเป็นสามเท่า จึงกล่าวได้ว่า กระแสไฟฟ้าแปรผันกับความต่างศักย์ เขียนในรูปสัญลักษณ์ ได้ดังนี้ $I \propto V$ โดย I คือกระแสไฟฟ้า V คือความต่างศักย์ และ $\propto$ มีความหมายว่า “แปรผันกับ (is proportional to)”

การที่ปริมาณสองปริมาณมีความสัมพันธ์ในลักษณะที่เมื่อปริมาณหนึ่งเพิ่ม ทำให้อีกปริมาณหนึ่งเพิ่มขึ้นอย่างได้สัดส่วนกัน เรียกว่า การแปรผันตรง (direct proportion)

บางครั้ง ปริมาณสองปริมาณอาจมีความสัมพันธ์ในลักษณะที่เมื่อปริมาณหนึ่งเพิ่ม ทำให้อีกปริมาณหนึ่งลดลงอย่างได้สัดส่วนกัน เรียกว่า **การแปรผันกลับ (inverse proportion)** เช่น นักวิทยาศาสตร์พบว่า เมื่อเพิ่มความดันให้แก๊สจำนวนหนึ่ง แก๊สจะมีปริมาตรลดลง ถ้าเพิ่มความดันเป็นสองเท่า ปริมาตรลดลงเหลือ $\frac{1}{2}$ และถ้าเพิ่มความดันเป็นสามเท่า ปริมาตรลดลงเหลือ $\frac{1}{3}$ จึงกล่าวได้ว่า ความดันของแก๊สแปรผันกับส่วนกลับของปริมาตร เขียนในรูปสัญลักษณ์ ได้ดังนี้ $P \propto \frac{1}{V}$ โดย P คือความดัน V คือปริมาตร และ $\propto$ มีความหมายว่า “แปรผันกับ” ซึ่งในกรณีนี้ กล่าวได้ว่า P แปรผันกับ $\frac{1}{V}$ หรือ P แปรผันกลับกับ V

ขั้นตอนต่อไปคือเปลี่ยน การแปรผัน (proportionality) เป็นสมการ (equation) (หรือเปลี่ยน $\propto$ เป็น =) ซึ่งทำได้โดยการใส่ **ค่าคงตัวการแปรผัน** (proportionality constant) k ดังนี้

จาก $I \propto V$ จะได้ $I = kV$ (1)

และ $P \propto \frac{1}{V}$ จะได้ $P = \frac{k}{V}$ (2)

นอกจากนี้ยังมีการแปรผันอื่น เช่น $T \propto \sqrt{l}$, $F \propto \frac{1}{r^2}$, $F \propto a$, $W \propto g$ เป็นต้น ซึ่งจะทราบเกี่ยวกับความสัมพันธ์ (1),(2) และอื่นๆ เมื่อศึกษาในรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์

การหาความสัมพันธ์ของปริมาณกายภาพในรูปแบบของสมการ จะทำให้เราสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของปริมาณทั้งสองในเชิงปริมาณ (quantitative) หรือเชิงตัวเลขได้ ซึ่งนำไปสู่การทำนายการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของปรากฏการณ์ต่างๆได้

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

2. พีชคณิต

2.1 เลขชี้กำลัง

เลขชี้กำลัง (exponent) หมายถึง ตัวเลขหรือสัญลักษณ์ที่เขียนไว้ด้านบนขวาของจำนวนหรือนิพจน์ใดๆ เช่น 5^3 , $9^{\frac{1}{2}}$, 4^a และ $(x+1)^2$ มี 3, $\frac{1}{2}$, a และ 2 เป็นเลขชี้กำลัง ตามลำดับ ส่วนจำนวนหรือนิพจน์ 5, 9, 4 และ $x+1$ เรียกว่า **ฐาน** เลขชี้กำลังจะบอกให้ทราบว่า จะต้องคูณจำนวนหรือนิพจน์ (ฐาน) กี่ครั้ง เช่น a^3 หมายถึง $a \times a \times a$ หรือ $a \cdot a \cdot a$

สมบัติของเลขชี้กำลัง

สำหรับ a ไม่เท่ากับศูนย์ และ p เป็นจำนวนเต็มใดๆ จะได้

$$a^0 = 1,\ a^1 = a,\ \frac{1}{a^p} = a^{-p}$$

สำหรับ a และ b เป็นจำนวนเต็มและไม่เท่ากับศูนย์ r , s และ t เป็นจำนวนเต็ม จะได้

$$a^r a^s = a^{r+s},\ (a^r)^s = a^{rs},\ \frac{a^r}{a^s} = a^{r-s},\ (ab)^r = a^r b^r,\ (a^r b^s)^t = a^{rt} b^{st}$$

2.2 การแก้สมการ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกายภาพต่าง ๆ ในฟิสิกส์ มักอยู่ในรูปสมการที่มีสัญลักษณ์แทนปริมาณเหล่านั้น และมีเครื่องหมาย = ซึ่งบอกให้ทราบว่าปริมาณทั้งหลายที่อยู่ข้างซ้ายและข้างขวาของ = มีค่าเท่ากัน เช่น $\rho = \frac{m}{V}$, $v = \frac{s}{t}$, $v^2 = u^2 + 2as$, $v = 2\pi rf$, $E = mc^2$ และ $F = ma$ เป็นต้น ในวิชาพีชคณิตนิยมใช้สัญลักษณ์ x y และ z แทนปริมาณที่ไม่ทราบค่าหรือ**ตัวไม่รู้ค่า** (unknown) เราต้องแก้สมการเพื่อหาค่าของปริมาณหรือตัวไม่รู้ค่านั้น

การแก้สมการที่มีตัวไม่รู้ค่า 1 ตัว

ในการแก้สมการที่มีตัวไม่รู้ค่า 1 ตัว เช่น $2x + 5 = 8$ ให้จัดกระทำกับสมการโดยอาศัย**หลักการ** ได้แก่ (1) การบวกหรือลบด้วยตัวเลขหรือสัญลักษณ์ (2) การคูณหรือหารด้วยตัวเลขหรือสัญลักษณ์และ (3) การยกกำลังหรือใส่รากด้วยตัวเลขหรือสัญลักษณ์ **การจัดกระทำดังกล่าวต้องทำทั้งสองข้างของสมการเพื่อให้ทั้งสองข้างของสมการยังคงเท่ากัน**จนกระทั่งได้ ตัวไม่รู้ค่า อยู่ข้างซ้ายของ = ดังตัวอย่าง

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพังกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ตัวอย่าง

จงหา x จากสมการ ก. $x+6 = 2$ ข. $4x = 12$ ค. $\frac{x}{2} = 5$

วิธีทำ ก. ลบทั้งสองข้างด้วย 6

$$x+6-6 = 2-6$$
$$x = -4$$

ข. หารทั้งสองข้างด้วย 4

$$\frac{4x}{4} = \frac{12}{4}$$
$$x = 3$$

ค. คูณทั้งสองข้างด้วย 2

$$\frac{x}{2} \times 2 = 5 \times 2$$
$$x = 10$$

การแก้สมการ (กำลังหนึ่ง) ที่มีตัวไม่รู้ค่า 2 ตัว

ในการแก้สมการที่มีตัวไม่รู้ค่า 1 ตัว ต้องการเพียง 1 สมการ แต่การแก้สมการ (กำลังหนึ่ง) ที่มีตัวไม่รู้ค่า 2 ตัว ต้องใช้ 2 สมการ โดยมีขั้นตอนดังนี้ (1) เลือกสมการใดสมการหนึ่ง แล้วหา x ในเทอมของ y [หรือหา y ในเทอมของ x] (2) นำ x ไปแทนในอีกสมการหนึ่ง จะได้ค่าของ y (3) นำค่าของ y ไปแทนในอีกสมการหนึ่ง จะได้ค่าของ x ในการจัดกระทำกับขั้นตอนแต่ละขั้น ใช้หลักการเดียวกับการแก้สมการที่มีตัวไม่รู้ค่า 1 ตัว ดังตัวอย่าง

[หมายเหตุ การแก้สมการในตัวอย่างต่อไปนี้เป็นวิธีการหนึ่ง ยังมีวิธีการอื่นซึ่งให้ผลเหมือนกัน]

ตัวอย่าง

จงหา x และ y ในสมการ (1) $x - 2y = 4$ และ สมการ (2) $3x + y = 5$

วิธีทำ ขั้นที่ (1) เลือกสมการ (1) เพื่อหา x ในเทอมของ y [หรือเลือกสมการ (2) เพื่อหา y ในเทอมของ x ก็ได้]

$$x - 2y = 4$$
$$x = 4+2y \quad [\text{บวกทั้งสองข้างด้วย } 2y]$$

ขั้นที่ (2) นำ $x = 4 + 2y$ ไปแทนในสมการ (2) จะได้

$$3(4 + 2y)+ y = 5$$
$$12 + 6y + y = 5$$
$$12 + 7y = 5$$
$$7y = -7 \quad [\text{ลบทั้งสองข้างด้วย } 12]$$
$$y = -1 \quad [\text{หารทั้งสองข้างด้วย } 7]$$

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

ขั้นที่ (3) นำ $y = -1$ ไปแทนในสมการ $x - 2y = 4$ จะได้

$$x = 2(-1) + 4 = 2$$

ตอบ $x = 2$ และ $y = -1$

การตรวจคำตอบ เราสามารถตรวจคำตอบโดยการนำคำตอบที่หาได้ไปแทนในสมการทั้งสองในโจทย์ ดังนี้

จากสมการ (1) $x - 2y = 4$

$2 - 2(-1) = 4$ [แทน $x = 2$ และ $y = -1$]

$2 + 2 = 4$

$4 = 4$ [สองข้างของ = มีค่าเท่ากัน]

และสมการ (2) $3x + y = 5$

$3(2) + (-1) = 5$ [แทน $x = 2$ และ $y = -1$]

$6 - 1 = 5$

$5 = 5$ [สองข้างของ = มีค่าเท่ากัน]

จะเห็นว่า สองข้างของ = มีค่าเท่ากัน แสดงว่า $x = 2$ และ $y = -1$ ถูกต้อง

2.3 สมการกำลังสอง

สมการกำลังสอง (quadratic equation) อยู่ในรูป $ax^2 + bx + c = 0$ เมื่อ x เป็นตัวไม่รู้ค่า และ a, b และ c เป็นตัวคงค่า โดยที่ $a \neq 0$

รากของสมการกำลังสองคือ $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ ถ้า $b^2 - 4ac \geq 0$ รากจะเป็นจำนวนจริง 2 ค่า

ตัวอย่าง

จงหา x จากสมการ $x^2 + 3x + 2 = 0$

วิธีทำ รากของสมการคือ $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

$$x = \frac{-3 \pm \sqrt{3^2 - 4(1)(2)}}{2(1)} = \frac{-3 \pm \sqrt{1}}{2} = \frac{-3 \pm 1}{2}$$

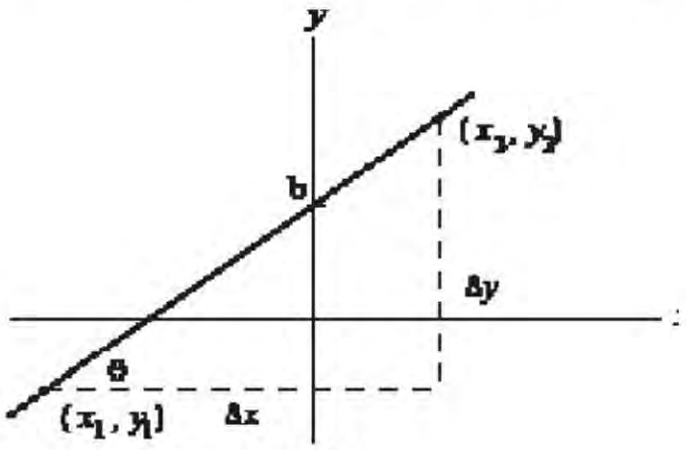
$$x = \frac{-3 + 1}{2} = -1 \text{ และ } x = \frac{-3 - 1}{2} = -2$$

$$x = -1, -2$$

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

2.4 สมการเชิงเส้น

สมการเชิงเส้น (linear equation) มีรูปแบบดังนี้ $y = mx + b$ โดยที่ m และ b เป็นตัวคงค่า สมการนี้เป็นเชิงเส้น เพราะเมื่อเขียนกราฟของ y และ x จะได้กราฟเป็นเส้นตรง ดังรูป ข1



รูป ข1

ตัวคงค่า b เรียกว่า **ระยะตัดแกน** y (y–intercept) เป็นค่าของ y ที่เส้นตรงตัดกับแกน y

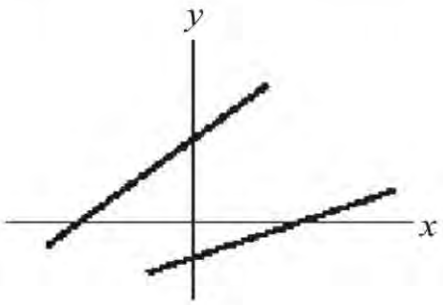
ตัวคงค่า m เท่ากับ **ความชัน** (slope, gradient) ของเส้นตรง และเท่ากับ tan ของมุมที่เส้นตรงทำกับแกน x (ในกรณีแกนทั้งสองใช้สเกลเดียวกัน)

ถ้า (x_1, y_1) และ (x_2, y_2) เป็นจุดสองจุดบนเส้นตรง ดังรูป ข1 ความชันของเส้นตรงมีค่าดังนี้

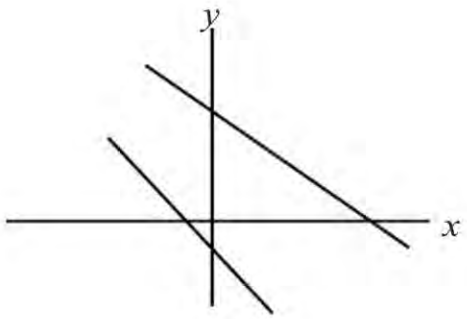
$$\text{ความชัน} = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \tan \Theta$$

ถ้า $m > 0$ เส้นตรงมีความชันเป็นบวก ดังรูป ข2 ถ้า $m < 0$ เส้นตรงมีความชันเป็นลบ ดังรูป ข3

สังเกตว่า m และ b มีค่าได้ทั้งบวกและลบ



รูป ข2 $m > 0$



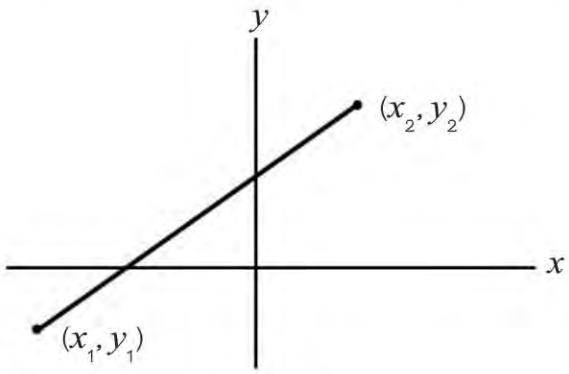
รูป ข3 $m < 0$

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บางไม่พึงกระทำ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

3. เรขาคณิตและตรีโกณมิติ

3.1 การหาความยาวระหว่างจุดสองจุดในระบบพิกัดฉาก

ความยาวระหว่างจุดสองจุดที่มีพิกัด (x_1, y_1) และ (x_2, y_2) หาได้จาก $s = \sqrt{(x_2-x_1)^2 + (y_2-y_1)^2}$



รูป ข4

3.2 ข้อมูลรูปทรงทางเรขาคณิต

ข้อมูลเกี่ยวกับรูปทรงทางเรขาคณิต ได้แก่ เส้นรอบรูป พื้นที่ พื้นที่ผิวและปริมาตร แสดงในตาราง ข1

ตาราง ข1 ข้อมูลรูปทรงทางเรขาคณิต

รูปทรง	เส้นรอบรูป	พื้นที่	พื้นที่ผิว	ปริมาตร
วงกลม รัศมี r	$C = 2\pi r$	$A = \pi r^2$	–	–
จัตุรัส ความยาวด้าน a	$C = 4a$	$A = a^2$	–	–
สี่เหลี่ยมผืนผ้า ยาว l กว้าง w	$C = 2l + 2w$	$A = lw$	–	–
สามเหลี่ยม ฐาน a สูง h	–	$A = \frac{1}{2}ah$	–	–
ทรงกระบอก รัศมี r สูง h	–	–	$A = 2\pi rh + 2\pi r^2$	$V = \pi r^2 h$
ทรงกลม รัศมี r	–	–	$A = 4\pi r^2$	$V = \frac{4}{3}\pi r^3$
ลูกบาศก์ ความยาวด้าน a	–	–	$A = 6a^2$	$V = a^3$

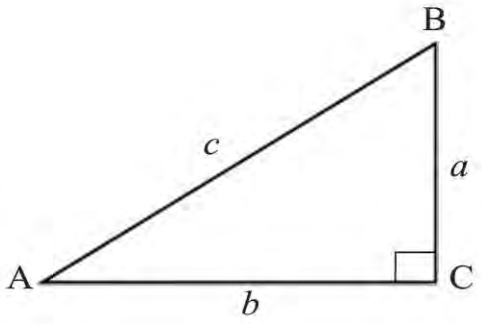
Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

3.3 ทฤษฎีบทพีทาโกรัส

ทฤษฎีบทพีทาโกรัส (Pythagoras' theorem) เป็นทฤษฎีบทที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างด้านทั้งสามของสามเหลี่ยมมุมฉาก กล่าวว่า ในสามเหลี่ยมมุมฉากใดๆ ผลรวมของพื้นที่จัตุรัสบนด้านประกอบมุมฉากเท่ากับพื้นที่ของจัตุรัสบนด้านตรงข้ามมุมฉาก

ถ้า a และ b แทนความยาวของด้านประกอบมุมฉากและ c แทนความยาวของด้านตรงข้ามมุมฉาก ดังรูป ข5จะเขียนทฤษฎีบทพีทาโกรัส ในรูปสมการได้ดังนี้

$c^2 = a^2 + b^2$ หรือ $c = \sqrt{a^2 + b^2}$



รูป ข5

ตัวอย่าง

จงหาความยาว c ของด้าน AB ของสามเหลี่ยมมุมฉาก ABC ในรูป ข5 เมื่อ a = 3 cm และ b = 4 cm

วิธีทำ ความยาวของด้าน AC $= b = 4$ cm

ความยาวของด้าน BC $= a = 3$ cm

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$c = \sqrt{(3\text{ cm})^2 + (4\text{ cm})^2} = \sqrt{9\text{ cm}^2 + 16\text{ cm}^2} = \sqrt{25\text{ cm}^2} = 5\text{ cm}$$

3.4 ฟังก์ชันตรีโกณมิติ

ฟังก์ชันตรีโกณมิติเป็นอัตราส่วนระหว่างความยาวของด้านสองด้านของสามเหลี่ยมมุมฉาก ฟังก์ชันตรีโกณมิติ ได้แก่ sine (sin), cosine (cos), tangent (tan), cosecant (csc), secant (sec) และ cotangent (cot) แต่ฟังก์ชันตรีโกณมิติที่ใช้บ่อย ได้แก่ sin cos และ tan

พิจารณา สามเหลี่ยมมุมฉาก ABC มี

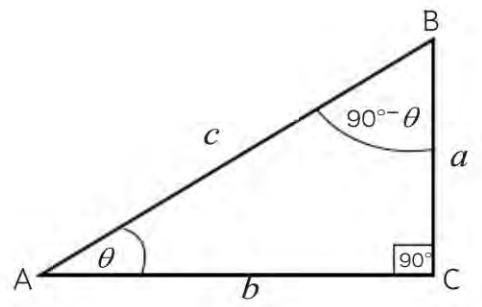
C เป็นมุมฉาก

a เป็นความยาวของด้านตรงข้ามมุม θ

b เป็นความยาวของด้านประชิดมุม θ

c เป็นความยาวของด้านตรงข้ามมุมฉาก

ฟังก์ชันตรีโกณมิติของมุม θ ถูกกำหนดดังนี้



รูป ข6

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

$$\sin\theta = \frac{a}{c} \qquad \csc\theta = \frac{c}{a} = \frac{1}{\sin\theta}$$

$$\cos\theta = \frac{b}{c} \qquad \sec\theta = \frac{c}{b} = \frac{1}{\cos\theta}$$

$$\tan\theta = \frac{a}{b} \qquad \cot\theta = \frac{b}{a} = \frac{1}{\tan\theta}$$

จากสามเหลี่ยมมุมฉาก ในรูป ข6 จะได้

$$\sin\theta = \cos(90^\circ-\theta)\,,\ \cos\theta = \sin(90^\circ-\theta)\,,\ \tan\theta = \cot(90^\circ-\theta)\,,\ \tan\theta = \frac{\sin\theta}{\cos\theta}$$

จากทฤษฎีบทพีทาโกรัส $c^2 = a^2 + b^2$ สามารถพิสูจน์ได้ว่า

$$\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1\,,\ \sec^2\theta - \tan^2\theta = 1\,,\ \csc^2\theta - \cot^2\theta = 1$$

ความสัมพันธ์อื่นๆของฟังก์ชันตรีโกณมิติ

$$\sin 2\theta = 2\sin\theta\cos\theta$$

$$\cos 2\theta = \cos^2\theta - \sin^2\theta$$

$$\tan 2\theta = \frac{2\tan\theta}{1-\tan^2\theta}$$

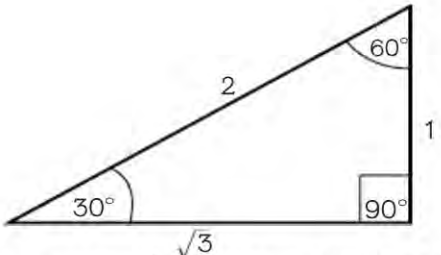
$$\sin(A \pm B) = \sin A\cos B \pm \cos A\sin B$$

$$\cos(A \pm B) = \cos A\cos B \mp \sin A\sin B$$

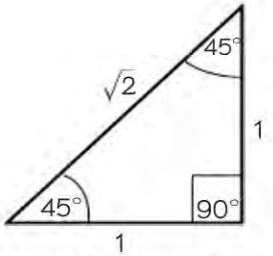
$$\tan(A \pm B) = \frac{\tan A \pm \tan B}{1 \mp \tan A\tan B}$$

ฟังก์ชันตรีโกณมิติของมุมที่พบบ่อย

สามเหลี่ยมมุมฉากที่พบบ่อยคือสามเหลี่ยมมุมฉากที่มีมุม 30°–60°–90° และ 45°–45°–90° สามเหลี่ยมทั้งสองมีความยาวของด้านทั้งสามดังรูป ข7 และ ข8 ฟังก์ชันตรีโกณมิติของมุมต่างๆ มีค่าดังตาราง ข2 [ถ้าทุกคนจำได้ จะช่วยแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้เร็วขึ้น]



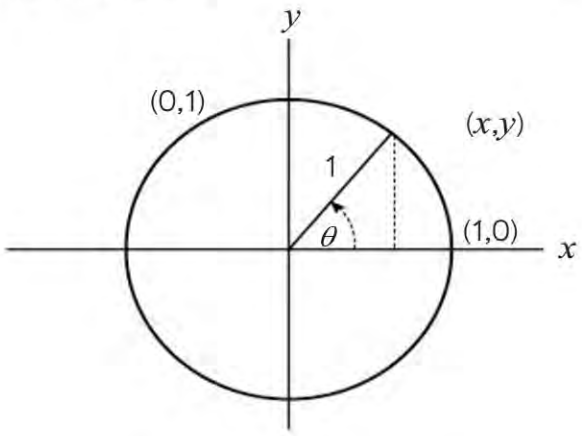
รูป ข7 สามเหลี่ยมมุมฉาก 30°–60°–90°



รูป ข8 สามเหลี่ยมมุมฉาก 45°–45°–90°

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพังกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ส่วนฟังก์ชันตรีโกณมิติของมุมอื่นๆที่พบบ่อย เช่น 90°, 120°, 180° มีค่าหาได้จากค่า x, y บนส่วนโค้งของวงกลมรัศมีหนึ่งหน่วย ดังรูป ข9 โดย $\sin\theta = y$, $\cos\theta = x$ และ $\tan\theta = \frac{x}{y}$ เช่น ที่ $\theta = 90°$ $x = 0$ $y = 1$ ได้ $\sin 90° = 1$, $\cos 90° = 0$ และ $\tan 90° = \infty$



รูป ข9 วงกลมรัศมีหนึ่งหน่วย

ตาราง ข2 ฟังก์ชันตรีโกณมิติของมุมที่พบบ่อย

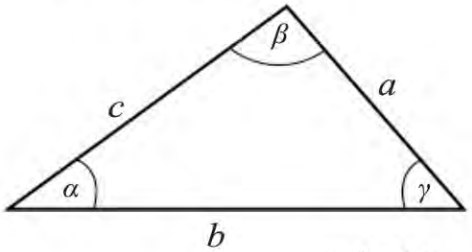
ฟังก์ชันตรีโกณมิติ	มุม								
	0°	30°	45°	60°	90°	120°	180°	270°	360°
sin	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	0	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	0	−1	0
cos	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{2}$	1	$-\frac{1}{2}$	−1	0	1
tan	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	∞	$-\sqrt{3}$	0	∞	0

ความสัมพันธ์ระหว่างด้านและมุมภายในของสามเหลี่ยมใดๆ

สมมติสามเหลี่ยมใดๆ มี α, β และ γ เป็นมุมภายใน และมี a, b และ c เป็นความยาวของด้านตรงข้ามมุม α, β และ γ ตามลำดับ ดังรูป ข10 ด้านและมุมภายในของสามเหลี่ยมมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\frac{\sin\alpha}{a} = \frac{\sin\beta}{b} = \frac{\sin\gamma}{c}$$ กฎของไซน์ (law of sines)

$$a^2 = b^2 + c^2 + 2bc\cos\alpha$$
$$b^2 = c^2 + a^2 + 2ac\cos\beta$$
$$c^2 = a^2 + b^2 + 2ab\cos\gamma$$ กฎของโคไซน์ (law of cosines)



รูป ข10

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ภาคผนวก ค ระบบหน่วยระหว่างชาติ

ระบบหน่วยระหว่างชาติ (The International System of Units หรือ Systeme International d' Unites) หรือเอสไอ ประกอบด้วย หน่วยฐาน หน่วยอนุพัทธ์ และคำนำหน้าหน่วย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. **หน่วยฐาน** (base units) เป็นหน่วยหลักของเอสไอ มีทั้งหมด 7 หน่วย ดังตาราง 1

ตาราง 1 ชื่อและสัญลักษณ์ของของหน่วยฐาน

หน่วยฐาน	ศัพท์บัญญัติ	สัญลักษณ์	ปริมาณฐาน
metre	เมตร	m	ความยาว
kilogram	กิโลกรัม	kg	มวล
second	วินาที	s	เวลา
ampere	แอมแปร์	A	กระแสไฟฟ้า
kelvin	เคลวิน	K	อุณหภูมิอุณพลวัติ
mole	โมล	mol	ปริมาณของสาร
candela	แคนเดลา	cd	ความเข้มของการส่องสว่าง

นิยามของหน่วยฐาน

เมตร คือ ความยาวที่แสงเดินทางได้ในสุญญากาศ ในช่วงเวลา 1/299 792 458 ของวินาที

กิโลกรัม คือ หน่วยของมวลซึ่งเท่ากับมวลต้นแบบระหว่างชาติของกิโลกรัม

วินาที คือ ช่วงเวลา 9 192 631 770 เท่าของคาบการแผ่รังสีที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอะตอมซีเซียม –133 ระหว่างระดับไฮเพอร์ไฟน์สองระดับของสถานะพื้น

แอมแปร์ คือ กระแสคงตัวซึ่งเมื่อให้อยู่ในตัวนำตรง 2 เส้น ที่มีความยาวไม่จำกัด และมีพื้นที่หน้าตัดน้อยจนไม่ต้องคิด ซึ่งวางอยู่คู่ขนานห่างกัน 1 เมตร ในสุญญากาศแล้วจะทำให้เกิดแรงระหว่างลวดตัวนำทั้งสองเท่ากับ 2×10^{-7} นิวตันต่อความยาว 1 เมตร

เคลวิน คือ หน่วยของอุณหภูมิอุณหพลวัติ มีค่าเท่ากับ 1/273.16 ของอุณหภูมิอุณหพลวัติของจุดร่วมสามของน้ำ

(หมายเหตุ : หน่วยเคลวิน ซึ่งมีสัญลักษณ์ K เป็นหน่วยทั้งอุณหภูมิอุณหพลวัติ และช่วงหรือความต่างอุณหภูมิ)

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

โมล

1. โมล คือ ปริมาณของสารในระบบซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบมูลฐานที่เทียบเท่ากับจำนวนอะตอมคาร์บอน 12 ปริมาณ 0.012 กิโลกรัม

2. ในการใช้โมลต้องมีการกำหนดองค์ประกอบมูลฐานด้วย ซึ่งอาจจะเป็นอะตอม โมเลกุล ไอออน อิเล็กตรอน อนุภาคอื่น ๆ หรือกลุ่มอนุภาคดังกล่าว

(หมายเหตุ: ตามนิยามนี้ เป็นที่เข้าใจว่าอะตอมคาร์บอน 12 ต้องไม่ถูกยึดเหนี่ยวและอยู่ในสถานะพื้น)

แคนเดลา คือ ความเข้มของการส่องสว่างในทิศที่กำหนดของแหล่งกำเนิดที่แผ่รังสีของแสงความถี่เดียวที่มีความถี่ 540 x 10^{12} เฮิรตซ์ และมีความเข้มของการแผ่รังสีในทิศทางนั้นเท่ากับ (1/683) วัตต์ต่อสตีเรเดียน

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

2. หน่วยอนุพัทธ์ (derived units)

หน่วยอนุพัทธ์เป็นหน่วยที่มีหน่วยฐานหลายหน่วยมาเกี่ยวเนื่องกัน หน่วยอนุพัทธ์มีหลายหน่วย ซึ่งมีชื่อและสัญลักษณ์ที่กำหนดขึ้นโดยเฉพาะ ดังตาราง 2

ตาราง 2 ชื่อและสัญลักษณ์ของหน่วยอนุพัทธ์

ปริมาณอนุพัทธ์	หน่วยอนุพัทธ์				
	ชื่อหน่วย	ศัพท์บัญญัติ	สัญลักษณ์	ในเทอมของเอสไออื่น	ในเทอมของหน่วยฐาน
ความถี่	เฮิรตซ์	hertz	Hz	–	s^{-1}
แรง	นิวตัน	newton	N	–	$m\ kg\ s^{-2}$
ความดัน	พาสคัล	pascal	Pa	N/m^2	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
พลังงาน งาน ปริมาณความร้อน	จูล	joule	J	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
กำลัง ฟลักซ์การแผ่รังสี	วัตต์	watt	W	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
ประจุไฟฟ้า ปริมาณไฟฟ้า	คูลอมบ์	coulomb	C	–	s A
ศักย์ไฟฟ้า ความต่างศักย์ ร.ค.ฟ.	โวลต์	volt	V	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}A^{-1}$
ความจุ	ฟารัด	farad	F	C/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4A^2$
ความต้านทาน	โอห์ม	ohm	Ω	V/ A	$m^2\ kg\ s^{-3}A^{-2}$
ความนำ	ซีเมนส์	siemens	S	A/V	$m^{-2}kg^{-1}\ s^3\ A^2$
ฟลักซ์แม่เหล็ก	เวเบอร์	weber	Wb	V s	$m^2\ kg\ s^{-2}A^{-1}$
ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก	เทสลา	tesla	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}A^{-1}$
ความเหนี่ยวนำ	เฮนรี	henry	H	Wb/A	$m^2\ kg\ s^{-2}A^{-2}$
ฟลักซ์ส่องสว่าง	ลูเมน	lumen	lm	cd sr	cd
ความสว่าง	ลักซ์	lux	lx	lm/m^2	$m^{-2}cd$
กัมมันตภาพ	เบ็กเคอเรล	becquerel	Bq	–	s^{-1}
ขนาดกำหนดของกัมมันตภาพรังสี	ซีเวิร์ต	sievert	Sv	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
ขนาดกำหนดของการดูดกลืนของรังสีที่ทำให้แตกตัวเป็นไอออน	เกรย์	gray	Gy	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
มุมระนาบ	เรเดียน	radian	rad	–	m/m
มุมตัน	สตีเรเดียน	steradian	sr	–	m^2/m^2

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

3. คำนำหน้าหน่วย (prefixes)

เมื่อค่าในหน่วยฐานหรือหน่วยอนุพัทธ์มากหรือน้อยเกินไป เราสามารถเขียนค่านั้นเป็นตัวเลขคูณด้วยตัวคูณ (เลขสิบยกกำลังบวกหรือลบ) ได้ เช่น 0.000 005 แอมแปร์ เขียนเป็น 5×10^{-6} แอมแปร์ หรือ 6 000 000 วัตต์ เขียนเป็น 6×10^{6} วัตต์ ตัวคูณ 10^{-6} และ 10^{6} ให้เขียนแทนด้วยคำนำหน้าหน่วย ไมโครและเมกะ กำกับไว้หน้าแอมแปร์และวัตต์ ตามลำดับ คำนำหน้าหน่วยที่ใช้แทนตัวคูณและสัญลักษณ์ แสดงไว้ในตาราง 3

ตาราง 3 คำนำหน้าหน่วยและสัญลักษณ์

ตัวคูณ	คำนำหน้าหน่วย		สัญลักษณ์
	ชื่อ	ศัพท์บัญญัติ	
10^{-24}	yocto	ยอคโต	y
10^{-21}	zepto	เซพโต	z
10^{-18}	atto	อัตโต	a
10^{-15}	femto	เฟมโต	f
10^{-12}	pico	พิโก	p
10^{-9}	nano	นาโน	n
10^{-6}	micro	ไมโคร	μ
10^{-3}	milli	มิลลิ	m
10^{-2}	centi	เซนติ	c
10^{-1}	deci	เดซิ	d

ตัวคูณ	คำนำหน้าหน่วย		สัญลักษณ์
	ชื่อ	ศัพท์บัญญัติ	
10^{1}	deca	เดคา	da
10^{2}	hecto	เฮกโต	h
10^{3}	kilo	กิโล	k
10^{6}	mega	เมกะ	M
10^{9}	giga	จิกะ	G
10^{12}	tera	เทระ	T
10^{15}	peta	เพตะ	P
10^{18}	exa	เอกซะ	E
10^{21}	zetta	เซตตะ	Z
10^{24}	yotta	ยอตตะ	Y

จากตัวอย่างข้างต้น

0.000 005 แอมแปร์ = 5×10^{-6} แอมแปร์ = 5 ไมโครแอมแปร์ (μA)

6 000 000 วัตต์ = 6×10^{6} วัตต์ = 6 เมกะวัตต์ (MW)

หมายเหตุ

1. การใช้คำนำหน้าหน่วยควรใช้เพียงครั้งเดียว ไม่นิยมเขียนคำนำหน้าหน่วยซ้อนกัน เช่นไม่ควรเขียน มิลลิไมโครวินาที (mμs) ควรเขียนนาโนวินาที (ns)

2. การนำสัญลักษณ์ของคำนำหน้าหน่วยไปกำกับหน้าสัญลักษณ์ของหน่วย จะถือว่าได้สัญลักษณ์ใหม่เป็นสัญลักษณ์เดี่ยว เมื่อนำไปยกกำลังไม่ต้องใส่วงเล็บ เช่น mm^3, μs^{-1}, GHz^{-1}

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ภาคผนวก ง ตารางฟังก์ชันตรีโกณมิติ

มุม (องศา)	มุม (เรเดียน)	sine	cosine	tangent
0	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
1	0.0175	0.0175	0.9998	0.0175
2	0.0349	0.0349	0.9994	0.0349
3	0.0524	0.0524	0.9986	0.0524
4	0.0698	0.0697	0.9976	0.0699
5	0.0873	0.0872	0.9962	0.0875
6	0.1047	0.1045	0.9945	0.1051
7	0.1222	0.1219	0.9925	0.1228
8	0.1396	0.1391	0.9903	0.1405
9	0.1571	0.1565	0.9877	0.1584
10	0.1745	0.1736	0.9848	0.1763
11	0.1920	0.1908	0.9816	0.1944
12	0.2094	0.2079	0.9782	0.2126
13	0.2269	0.2250	0.9744	0.2309
14	0.2443	0.2419	0.9703	0.2493
15	0.2618	0.2588	0.9659	0.2679
16	0.2793	0.2756	0.9613	0.2867
17	0.2967	0.2924	0.9563	0.3057
18	0.3142	0.3090	0.9511	0.3249
19	0.3316	0.3256	0.9455	0.3443
20	0.3491	0.3421	0.9397	0.3640
21	0.3665	0.3584	0.9336	0.3839
22	0.3840	0.3746	0.9272	0.4040
23	0.4014	0.3907	0.9205	0.4245
24	0.4189	0.4067	0.9135	0.4452
25	0.4363	0.4226	0.9063	0.4663
26	0.4538	0.4384	0.8988	0.4877
27	0.4712	0.4540	0.8910	0.5095
28	0.4887	0.4695	0.8829	0.5317
29	0.5061	0.4848	0.8746	0.5543
30	0.5236	0.5000	0.8660	0.5774
31	0.5411	0.5150	0.8572	0.6009
32	0.5585	0.5299	0.8480	0.6249
33	0.5760	0.5446	0.8387	0.6494
34	0.5934	0.5592	0.8290	0.6745
35	0.6109	0.5736	0.8192	0.7002
36	0.6283	0.5878	0.8090	0.7265
37	0.6458	0.6018	0.7986	0.7536
38	0.6632	0.6157	0.7880	0.7813
39	0.6807	0.6293	0.7771	0.8098
40	0.6981	0.6428	0.7660	0.8391
41	0.7156	0.6561	0.7547	0.8693
42	0.7330	0.6691	0.7431	0.9004
43	0.7505	0.6820	0.7314	0.9325
44	0.7679	0.6947	0.7193	0.9657
45	0.7854	0.7071	0.7071	1.0000
46	0.8029	0.7193	0.6947	1.0724
47	0.8203	0.7314	0.6820	1.0724
48	0.8378	0.7431	0.6691	1.1106
49	0.8552	0.7547	0.6561	1.1504
50	0.8727	0.7660	0.6428	1.1918

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

มุม (องศา)	มุม (เรเดียน)	sine	cosine	tangent
51	0.8901	0.7771	0.6293	1.2349
52	0.9076	0.7880	0.6157	1.2799
53	0.9250	0.7986	0.6018	1.3270
54	0.9425	0.8090	0.5878	1.3764
55	0.9599	0.8192	0.5736	1.4281
56	0.9774	0.8290	0.5592	1.4826
57	0.9948	0.8387	0.5446	1.5399
58	1.0123	0.8480	0.5299	1.6003
59	1.0297	0.8572	0.5150	1.6643
60	1.0472	0.8660	0.5000	1.7321
61	1.0647	0.8746	0.4848	1.8040
62	1.0821	0.8829	0.4695	1.8807
63	1.0996	0.8910	0.4540	1.9626
64	1.1170	0.8988	0.4384	2.0503
65	1.1345	0.9063	0.4226	2.1445
66	1.1519	0.9135	0.4067	2.2460
67	1.1694	0.9205	0.3907	2.3559
68	1.1868	0.9272	0.3746	2.4751
69	1.2043	0.9336	0.3584	2.6051
70	1.2217	0.9397	0.3420	2.7475

มุม (องศา)	มุม (เรเดียน)	sine	cosine	tangent
71	1.2392	0.9455	0.3256	2.9042
72	1.2566	0.9511	0.3090	3.0777
73	1.2741	0.9563	0.2924	3.2709
74	1.2915	0.9613	0.2756	3.4874
75	1.3090	0.9659	0.2588	3.7321
76	1.3265	0.9703	0.2419	4.0108
77	1.3439	0.9744	0.2250	4.3315
78	1.3614	0.9781	0.2079	4.7046
79	1.3788	0.9816	0.1908	5.1446
80	1.3963	0.9848	0.1736	5.6713
81	1.4137	0.9877	0.1564	6.3138
82	1.4312	0.9903	0.1392	7.1154
83	1.4486	0.9925	0.1219	8.1443
84	1.4661	0.9945	0.1045	9.5144
85	1.4835	0.9962	0.0872	11.430
86	1.5010	0.9976	0.0698	14.301
87	1.5184	0.9986	0.0523	19.081
88	1.5359	0.9994	0.0349	28.636
89	1.5533	0.9998	0.0175	57.290
90	1.5708	1.0000	0.0000	∞

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ภาคผนวก จ ตารางเลขกำลังสอง รากที่สองและส่วนกลับ

n	n^2	$\sqrt{n}$	10/n	n	n^2	$\sqrt{n}$	10/n	n	n^2	$\sqrt{n}$	10/n
1	1	1.000	10.000	41	1681	6.403	0.244	81	6561	9.000	0.123
2	4	1.414	5.000	42	1764	6.481	0.238	82	6724	9.055	0.122
3	9	1.732	3.333	43	1849	6.557	0.233	83	6889	9.110	0.120
4	16	2.000	2.500	44	1936	6.633	0.227	84	7056	9.165	0.119
5	25	2.236	2.000	45	2025	6.708	0.222	85	7225	9.220	0.118
6	36	2.449	1.667	46	2116	6.782	0.217	86	7396	9.274	0.116
7	49	2.646	1.429	47	2209	6.856	0.213	87	7569	9.327	0.115
8	64	2.828	1.250	48	2304	6.928	0.208	88	7744	9.381	0.114
9	81	3.000	1.111	49	2401	7.000	0.204	89	7921	9.434	0.112
10	100	3.162	1.000	50	2500	7.071	0.200	90	8100	9.487	0.111
11	121	3.317	0.909	51	2601	7.141	0.196	91	8281	9.539	0.110
12	144	3.464	0.833	52	2704	7.211	0.192	92	8464	9.592	0.109
13	169	3.606	0.769	53	2809	7.280	0.189	93	8649	9.644	0.108
14	196	3.742	0.714	54	2916	7.348	0.185	94	8836	9.695	0.106
15	225	3.873	0.667	55	3025	7.416	0.182	95	9025	9.747	0.105
16	256	4.000	0.625	56	3136	7.483	0.179	96	9216	9.798	0.104
17	289	4.123	0.588	57	3249	7.550	0.175	97	9409	9.849	0.103
18	324	4.243	0.556	58	3364	7.616	0.172	98	9604	9.899	0.102
19	361	4.359	0.526	59	3481	7.681	0.169	99	9801	9.950	0.101
20	400	4.472	0.500	60	3600	7.746	0.167	100	10000	10.000	0.100
21	441	4.583	0.476	61	3721	7.810	0.164	101	10201	10.049	0.099
22	484	4.690	0.455	62	3844	7.874	0.161	102	10404	10.100	0.098
23	529	4.796	0.435	63	3969	7.937	0.159	103	10609	10.149	0.097
24	576	4.899	0.417	64	4096	8.000	0.156	104	10816	10.198	0.096
25	625	5.000	0.400	65	4225	8.062	0.154	105	11025	10.247	0.095
26	676	5.099	0.385	66	4356	8.124	0.152	106	11236	10.296	0.094
27	729	5.196	0.370	67	4489	8.185	0.149	107	11449	10.344	0.093
28	784	5.292	0.357	68	4624	8.246	0.147	108	11664	10.392	0.093
29	841	5.385	0.345	69	4761	8.307	0.145	109	11881	10.440	0.092
30	900	5.477	0.333	70	4900	8.367	0.143	110	12100	10.488	0.091
31	961	5.568	0.323	71	5041	8.426	0.141	111	12321	10.536	0.090
32	1024	5.657	0.313	72	5184	8.485	0.139	112	12544	10.583	0.089
33	1089	5.745	0.303	73	5329	8.544	0.137	113	12769	10.630	0.088
34	1156	5.831	0.294	74	5476	8.602	0.135	114	12996	10.677	0.088
35	1225	5.916	0.286	75	5625	8.660	0.133	115	13225	10.724	0.087
36	1296	6.000	0.278	76	5776	8.718	0.132	116	13456	10.770	0.086
37	1369	6.083	0.270	77	5929	8.775	0.130	117	13689	10.817	0.085
38	1444	6.164	0.263	78	6084	8.832	0.128	118	13924	10.863	0.085
39	1521	6.245	0.256	79	6241	8.888	0.127	119	14161	10.909	0.084
40	1600	6.325	0.25	80	6400	8.944	0.125	120	14400	10.954	0.083

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ภาคผนวก ฉ ดัชนีคำศัพท์

บทที่ 1 บทนำ

องค์การระหว่างชาติเพื่อการมาตรฐาน (International Organization for Standardization, ISO)
ระบบหน่วยระหว่างชาติ (International System of Units, SI)
หน่วยฐาน (base unit)
หน่วยอนุพัทธ์ (derived unit)
คำนำหน้าหน่วย (prefix)
สัญกรณ์วิทยาศาสตร์ (scientific notation)
เลขนัยสำคัญ (significant figure)

บทที่ 2 การเคลื่อนที่แนวตรง

ปริมาณเวกเตอร์ (vector quantity)
การกระจัด (displacement)
การกระจัดลัพธ์ (displacement)
อัตราเร็ว (speed)
อัตราเร็วเฉลี่ย (average speed)
อัตราเร็วขณะหนึ่ง (instantaneous speed)
ความเร็ว (velocity)
ความเร็วเฉลี่ย (average velocity)
ความเร็วขณะหนึ่ง (instantaneous velocity)
ความเร่ง (acceleration)
ความเร่งเฉลี่ย (average acceleration)
การตกแบบเสรี (free fall)
ความเร่งโน้มถ่วง (gravitational acceleration)

บทที่ 3 แรงและกฎการเคลื่อนที่

แรง (force)
แรงลัพธ์ (resultant force)
กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's law of motion)
แรงคู่กิริยา–ปฏิกิริยา (action–reaction pair)
แรงดึง (tension)
น้ำหนัก (weight)
สนาม (field)
สนามโน้มถ่วง (gravitational field)
แรงโน้มถ่วง (gravitational force)
ความเร่งโน้มถ่วง (gravitational acceleration)
กฎแรงดึงดูดระหว่างมวล (Newton's law of gravitation)
ค่าคงตัวโน้มถ่วงสากล (universal gravitational constant)
สภาพไร้น้ำหนัก (weightlessness)
สภาพเสมือนไร้น้ำหนัก (apparent weightlessness)
แรงเสียดทาน (frictional force)
แรงเสียดทานสถิต (static frictional force)
แรงเสียดทานจลน์ (kinetic frictional force)
สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (coefficient of friction)
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (coefficient of static friction)
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (coefficient of kinetic friction)

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

บทที่ 4 การเคลื่อนที่แบบต่างๆ

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (projectile motion)
โพรเจกไทล์ (projectile)
พิสัย (range)
การเคลื่อนที่แบบวงกลม (circular motion)
แรงสู่ศูนย์กลาง (centripetal force)
ความเร่งสู่ศูนย์กลาง (centripetal acceleration)
คาบ (period)
ความถี่ (frequency)
อัตราเร็วเชิงมุม (angular speed)
อัตราเร็วเชิงเส้น (linear speed)
การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (simple harmonic motion)
แรงดึงกลับ (restoring force)
แอมพลิจูด (amplitude)
เฟส (phase)
ลูกตุ้มอย่างง่าย (simple pendulum)

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึ่งกระทำ บ้างไม่พึ่งกระทำ

คำตอบแบบฝึกหัด
หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม
ฟิสิกส์ เล่ม ๑

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

บทที่ 1

1. $1600\ m^2$
2. ก. 4.00×10^4 km
   ข. $5.09 \times 10^8\ km^2$
3. 1×10^9 ไมครอน
4. 1.86×10^3 g
5. 2.4 m
6. $6.0 \times 10^{10}\ cm^2$
7. 3.16×10^7 s
8. 1.1×10^2 km
9. 30.72 g
10. $0.5\ m/s^2$
11. 0.5

บทที่ 2

1. ก. 180 m
   ข. 120 m ทิศตะวันออก
2. ก. 3 m ทิศใต้
   ข. 12 m ทิศตะวันตก
   ค. 2 m ทิศตะวันตก
3. 80 km/h
4. 3.67 m/s
5. 5 m
6. v_{AD} = 0.3 m/s ,
   v_{BC} = 0.5 m/s
7. 0.1 m/s , 0.4 m/s
8. 36 km/h
9. ก. 0 m/s, $0\ m/s^2$
   ข. 0.56 m/s, $0.11\ m/s^2$
   ค. 1.39 m/s, $-0.28\ m/s^2$
10. 1:3
11. $1: \sqrt{2}$
12. 4 s
13. 10 m
14. 12 s
15. $6\ m/s^2$
16. $-0.13\ m/s^2$
17. ก. 4 km/h
    ข. $2\ m/s^2$
    ค. 40 km/h ,42 km/h , 44 km/h
    ง. 26 km/h
18. $0.2\ km/s^2$, 10 km
19. ก. 1 s
    ข. 4.9 m
    ค. 2 s
20. ก. 0 m , -9.8 m
    ข. 3 s
    ค. 24.5 m/s
    ง. 30.63 m
21. ก. 15.1 m
    ข. 10.2 m/s
22. ก. 24 s
    ข. 100 m
    ค. 55.6 m
    ง. 50 s
23. $8.0 \times 10^{14}\ m/s^2$
24. ก. 46 m , 64 m, 94m , 136 m, 190 m
    ค. 24 m/s , 18 m/s, 12 m/s , 6 m/s , 0 m/s
25. ก. 800 m/min^2
    ข. 400 m
    ค. 7400 m
    ง. 740 m/s
26. ก. 30 m
    ข. 100 m
    ค. $5\ m/s^2$
27. ก. 0 m
    ข. 32 m
    ค. 6 s
    ง. $2\ m/s^2$
28. 3.1 s
29. 9.4 m/s

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

บทที่ 3

1. –
2. –
3. –
4. –
5. 86.6 N,50N
6. –
7. 2.0 N
8. 5.0 m/s^2
9. ก. 1.0 m/s^2
   ข. 0 m/s^2
10. 3:1
11. 5.8 m/s
12. ก. 0.17 m/s^2
    ข. 0.25 m/s^2
    ค. –
13. 4.9 N
14. $4F$
15. 5.98×10^{24} kg
16. $\frac{g_m R^2_m}{G}$
17. 30 N
18. 0.91 $g_{\text{ผิวโลก}}$
19. 0.43
20. 0.58
21. ก. 18.4 N
    ข. 9.9 N
22. 0.35
23. 0.43
24. 420 kg
25. ก. 20 m/s
    ข. 4 m/s^2 ทิศใต้
    ค. ทิศใต้
26. 40 N และ 13.3 N
27. –
28. 1:2:3
29. ก. $\frac{m_1 g}{m_1+m_2}$
    ข. –
30. 1.4 m/s
31. ก. 0.44 m/s^2
    ข. 44.6 N

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบางพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

บทที่ 4

1. 80 m
2. 4.4 m/s
3. 14 m/s
4. 2.5 s, 46 m
5. 19.6 m, 22 m 63^0
6. 9.8 m, 58.8 m
7. ก. 25.5 m/s, 11.0 m
   ข. 3.0 s
   ค. 76.4 m
   ง. 39.8 m
8. 10 m
9. 45^0
10. –
11. –
12. ก. 0.2 s
    ข. 5 s^{-1}
    ค. 62.8 m/s
13. 1.28 x 10^3 m/s^2
14. 100 m/s^2
15. 1.13 N, 27 m/s^2
16. 15.7 m/s
17. 5.8^0
18. $v^2 d / \sqrt{v^4 + r^2 g^2}$
19. mg (3–2 $\cos\theta$)
20. 78.7^0, 5 rad/s
21. ก. 16.33 N
    ข. 2.48 s^{-1}
22. –
23. 3.8 m/s, 94.7 m/s^2
24. 0.35 Hz
25. 0.06 m
26. ก. 0.77 s
    ข. 10 m/s^2
27. 2.5 kg
28. ก. 0.8 N
    ข. 0
29. 1.97 N/m
30. 0, 1.7 m/s
31. 0.377 m/s
32. 11.0 m/s^2
33. 8 s, 0.156 m
34. –
35. ก. 2 s
    ข. 0.5 s^{-1}
    ค. 0.3 m
    ง. x =0.3 sin πt
36. ก. 20 π rad
    ข. 5.25 รอบ
    ค. 10 π rad
37. ก. 3.18 x 10^2 Hz
    ข. 4 m/s
    ค. $F = -4\pi^2 f^2 mx$
    หรือ $F = -4000x$,
$F = -4\pi^2 f^2 A \sin(2\pi f t)$
หรือ $F = -8 \sin(2000t)$

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

บรรณานุกรม

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. **หนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ เล่ม 1 ว.021.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2528.

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. **หนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ เล่ม 2 ว.022.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2528.

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. **หนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ เล่ม 3 ว.023.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2530.

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. **หนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ เล่ม 1 ว.421.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2545.

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. **หนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ เล่ม 2 ว.021.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2543.

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. **หนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ เล่ม 3 ว.022.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2543.

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. **หนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ 1 ว.422.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2543.

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. **หนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ 2 ว.026.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2542.

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. **หนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ 3 ว.027.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2542.

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. **หนังสือเรียนสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2547.

Brown, W. and Others. **Advanced Physics**. London : Longman, 1995.

Giancoli, D.C. **Physics : Principle and Applications**. London : Prentice –Hall, Inc., 1995.

Halliday, D., Resnick, R. and Walker, J. **Fundamentals of Physics**. Fourth Edition. New York : John Wiley & Sons, Inc., 1993.

Jardine, J. **Physics Through Application**. Oxford : Oxford University Press, 1989.

Jones, G. and Others. **Cambridge Coordinated Science : Physics**. Cambrigde : Cambrigde University Press, 1997.

Pople, S. **Complete Physics**. Oxford : Oxford University Press, 1989.

Serway, R.A. **Physics**. Fourth Edition. Philadelphia : Saunders College Publishing, 1996.

Serway, R.A. and Faughn, J.S. **Holt Physics**. Austin : Holt, Rinehart and Winston, 2009.

ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

คณะกรรมการดำเนินการพัฒนาหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

คณะกรรมการดำเนินงานจัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1

1.	นายอนันตสิน เตชะกำพุช	นักวิชาการอิสระ
2.	นายบุญชัย ตันไถง	นักวิชาการอิสระ
3.	นางกิ่งแก้ว คูอมรพัฒนะ	นักวิชาการอิสระ
4.	นายสุมิตร สวนสุข	โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย
5.	นายบุรินทร์ อัศวพิภพ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6.	นายราม ติวารี	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
7.	นายไชยยันต์ ศิริโชติ	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
8.	นายรังสรรค์ ศรีสาคร	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
9.	นายวินัย เลิศเกษมสันต์	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
10.	นางสาวนันท์นภัส ลิ้มสันติธรรรม	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
11.	นางสาวศิขริน ดอนขำไพร	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษา

1.	ดร.พรพรรณ ไวทยางกูร	ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2.	ดร.จารุวรรณ แสงทอง	ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3.	นายณรงค์ศิลป์ ธูปพนม	ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้เชี่ยวชาญทางวิชาการ

1.	รศ.ดร.อนันตสิน เตชะกำพุช	นักวิชาการอิสระ
2.	ผศ.ดร.วุทธิพันธ์ ปรัชญพฤทธิ์	นักวิชาการอิสระ
3.	รศ.สุวรรณ คูสำราญ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะบรรณาธิการ

1.	นายราม ติวารี	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2.	นายไพรัตน์ วรภักดี	นักวิชาการอิสระ
3.	นายนัทธี สามารถ	นักวิชาการอิสระ

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

คณะกรรมการพิจารณาหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1

1. นายพิพัฒน์ คงทอง	นักวิชาการอิสระ
2. นายพูลศักดิ์ อินทวี	มหาวิทยาลัยศิลปากร
3. นายสมชาย กฤตพลวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
4. นางสาวนฤมล สุวรรณจันทร์ดี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. นายประธาน บุรณศิริ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6. นายสุธี เพชราวุธ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
7. นายอภิชาติ พัฒนโภครัตนา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
8. นายวิวัธน์ ยังดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
9. นางฉวีวรรณ ชัยวัฒนา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
10. นายมิญช์ เมธีสุวกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
11. นายสมพร วัธนเวคิน	โรงเรียนหอวัง
12. นายโกเมน ปาปะโถ	โรงเรียนสตรีวิทยา
13. นายปกรณ์ ปานรอด	โรงเรียนสตรีศรีสุริโยทัย
14. นายโฆสิต สิงหสุต	โรงเรียนศึกษานารีวิทยา
15. นางตฤษณา เขมาภาตะพันธ์	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
16. นางสุชาดา เสตวรรณา	โรงเรียนสายน้ำผึ้ง
17. นายอภิชาติ ศักดิ์วิโรจน์	โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย
18. นายนพพร ศรีแดงบุตร	โรงเรียนบรมราชินีนาถราชวิทยาลัย
19. นางอนุกูล แก้วบัวรมย์	โรงเรียนนครไทย
20. นายสวัสดิ์ สุวรรณกิจ	โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
21. นายดำรงค์ ชาแท่น	โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย
22. นายชุมพร อินทรจักรพงษ์	โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย
23. นายสวัสดิ์ กมล	โรงเรียนร้อยเอ็ดวิทยาลัย
24. นางนงยันต์ ขัมภรัตน์	โรงเรียนวารินชำราบ
25. นายประหยัด จิตอารี	โรงเรียนสะเมิงพิทยาคม
26. นายวิรัตน์ ตาละปิน	โรงเรียนจอมทอง
27. นางสาวปิยะมาศ บุญประกอบ	โรงเรียนวัดบวรนิเวศ

Kanchanaw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

ผู้จัดทำภาพวาดและภาพถ่าย

1. นายพิริยะ ปราณีกิจ
2. นางสาวพรฑิณีย์ เอมมัส
3. นางสาวชุลีพร สุวัฒนาพิบูล
4. นายพันธกิจ ณ สงขลา
5. นายนพวัตร เตรียมแจ้งอรุณ

ผู้จัดทำปก

1. นายสุชีพ ณ สงขลา

พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว นายสันติภาพ อินทรพัฒน์ ผู้พิมพ์และผู้โฆษณา พ.ศ. 2554

Inw Tong Physics สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ ๑ **กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์**

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔-๖ **เวลา ๘๐ ชั่วโมง จำนวน ๒ หน่วยกิต**

ศึกษาธรรมชาติของวิชาฟิสิกส์ ปริมาณกายภาพและหน่วย การวัด ความคลาดเคลื่อนในการวัดและการทดลองในวิชาฟิสิกส์ การบอกตำแหน่งของวัตถุ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แนวตรงด้วยความเร่งคงตัว แรงและผลของแรงที่มีต่อสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน กฎแรงดึงดูดระหว่างมวล และแรงเสียดทาน การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ การเคลื่อนที่แบบวงกลมและการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบค้นข้อมูล การสำรวจตรวจสอบ เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ ความคิดมีความสามารถในการสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ การตัดสินใจ การนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรมและค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

๑. อธิบายเกี่ยวกับธรรมชาติของวิชาฟิสิกส์ ปริมาณกายภาพและหน่วยในระบบเอสไอ

๒. อธิบายความสำคัญของการทดลอง การวัดปริมาณกายภาพต่างๆ และการบันทึกผลการวัด

๓. อธิบายเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แนวตรง และปริมาณที่เกี่ยวข้อง

๔. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด ความเร็วและความเร่งของการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตรงที่มีความเร่งคงตัว

๕. อธิบายแรงและหาแรงลัพธ์ของแรงหลายแรง

๖. อธิบายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันและใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันอธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุ

๗. อธิบายกฎแรงดึงดูดระหว่างมวล

๘. อธิบายแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง

๙. วิเคราะห์และอธิบายการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

๑๐. วิเคราะห์และอธิบายการเคลื่อนที่แบบวงกลม

๑๑. วิเคราะห์และอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

รวมทั้งหมด ๑๑ ผลการเรียนรู้

หมายเหตุ ในการจัดการเรียนรู้ให้ดำเนินกิจกรรมให้บรรลุถึงมาตรฐาน ว ๘.๑ ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่กำหนดไว้ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ ด้วย

Inw Tong Physics
ลูกผู้ชายมีบ้างพึงกระทำ บ้างไม่พึงกระทำ

สสวท

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์
พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว
นายสันติภาพ อินทรพัฒน์ ผู้พิมพ์และผู้โฆษณา
๕๔๐๐๑๙๖
องค์การค้าของ สกสค.
www.suksapan.or.th