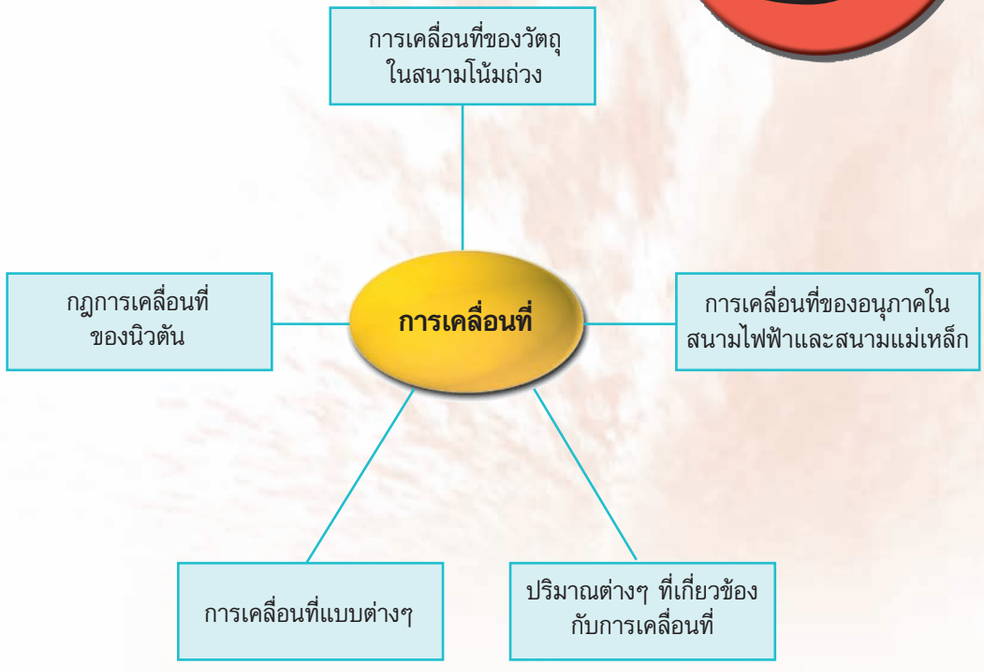
# การเคลื่อนที่



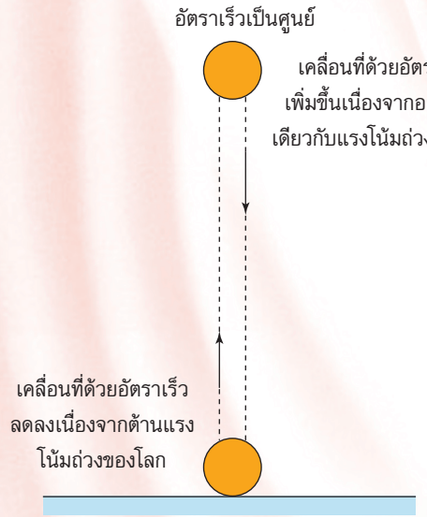

## จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุในสนามโน้มถ่วงพร้อมยกตัวอย่างได้ (ว 4.1 ม.4-6/1)
2. อธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กได้ (ว 4.1 ม.4-6/2, 3)
3. อธิบายความหมายของปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ ได้แก่ ระยะทาง การกระจัด อัตราเร็ว อัตราเร็วขณะหนึ่ง ความเร็ว ความเร็วขณะหนึ่ง อัตราเร่ง ความเร่ง อัตราเร่งเฉลี่ย และความเร่งเฉลี่ยได้ (ว 4.2 ม.4-6/1)
4. ทดลองและคำนวณหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ได้ (ว 4.2 ม.4-6/1)
5. อธิบายเกี่ยวกับการหาปริมาณต่างๆ ของการเคลื่อนที่จากกราฟ (ว 4.2 ม.4-6/1)
6. อธิบายและยกตัวอย่างเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ในแนวโค้งแบบโพรเจกไทล์ของวัตถุได้ (ว 4.2 ม.4-6/2)

7. ทดลองเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวโค้งแบบโพรเจกไทล์ได้ (ว 4.2 ม.4-6/2)
8. อธิบายเกี่ยวกับแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ในแนววงกลมได้ (ว 4.2 ม.4-6/2)
9. ทดลองเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนววงกลมได้ (ว 4.2 ม.4-6/2)
10. อธิบายเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบหมุนของวัตถุได้ (ว 4.2 ม.4-6/2)
11. ทดลองเพื่อศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบหมุนของวัตถุได้ (ว 4.2 ม.4-6/2)
12. อธิบายเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบสั่นอย่างง่ายของวัตถุได้ (ว 4.2 ม.4-6/2)
13. นำความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบต่างๆ ไปอธิบายสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันได้ (ว 4.2 ม.4-6/3)
14. อธิบายเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ทั้ง 3 ข้อของนิวตันได้ (ว 4.2 ม.4-6/1)
15. ยกตัวอย่างสถานการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันได้ (ว 4.2 ม.4-6/3)
16. นำความรู้เกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันไปอธิบายเกี่ยวสมดุลของวัตถุและจุดศูนย์ถ่วงของวัตถุได้ (ว 4.2 ม.4-6/3)

# การเคลื่อนที่ของวัตถุในสนามโน้มถ่วง

วัตถุที่อยู่บนโลกล้วนได้รับอิทธิพลจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่มีทิศพุ่งเข้าสู่ศูนย์กลางของโลก วัตถุต่างๆ จะถูกแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำตลอดเวลา




*การเคลื่อนที่แบบอิสระของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก*

เมื่อโยนวัตถุขึ้นไปในแนวดิ่ง วัตถุจะมีอัตราเร็วลดลงเรื่อยๆ จนหยุดนิ่ง (อัตราเร็วเป็น 0) จากนั้นจะตกสู่พื้นด้วยอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงพื้น ในตอนขาขึ้น แรงดึงดูดของโลกพยายามที่จะดึงวัตถุให้เคลื่อนที่ลงแต่เนื่องจากวัตถุมีอัตราเร็วจากการโยนจึงไม่สามารถตกลงมาทันที แต่จะทำให้วัตถุมีอัตราเร็วลดลงเรื่อยๆ ในอัตรา 9.8 เมตรต่อวินาทีในช่วงเวลา 1 วินาที จนกระทั่งอัตราเร็วกลายเป็นศูนย์ จากนั้นจะตกลงมาด้วยอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตรา 9.8 เมตรต่อวินาทีในช่วงเวลา 1 วินาทีเช่นกัน การเคลื่อนที่ของวัตถุในลักษณะนี้เรียกว่า **การเคลื่อนที่แบบอิสระ** ของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก และแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อวัตถุจะไม่ขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุ ถ้าเราทำการทดลองปล่อยวัตถุที่มีมวลต่างกันตกจากความสูงในระดับเดียวกัน ในบริเวณที่ไม่มีแรงต้านอากาศ วัตถุจะตกสู่พื้นได้ในเวลาเท่ากัน

## กิจกรรมที่ 3.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุในสนามโน้มถ่วง

**จุดประสงค์**

เพื่อศึกษาเกี่ยวกับแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อวัตถุที่อยู่ในสนามโน้มถ่วงของโลก

**อุปกรณ์**

1. ถุงทราย 500 กรัม 1 ถุง
2. กระดาษ เอ 4 2 แผ่น
3. เก้าอี้ 1 ตัว

**วิธีการทดลอง**

1. นำกระดาษ เอ 4 จำนวน 1 แผ่น มาปั้นให้เป็นก้อนกลมๆ
2. ให้นักเรียนที่จะทำการทดลองขึ้นไปยืนบนเก้าอี้ มือด้านหนึ่งถือกระดาษที่ปั้นเป็นก้อนกลม ส่วนมืออีกข้างหนึ่งถือถุงทรายขนาด 500 กรัม ยื่นแขนทั้งสองออกไปข้างหน้าและให้อยู่ในแนวระดับเดียวกัน แล้วปล่อยวัตถุทั้งสองลงสู่พื้นพร้อมกัน
3. สังเกตการเคลื่อนที่ของก้อนกระดาษและถุงทรายขณะถึงพื้น บันทึกผล
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-3 แต่เปลี่ยนกระดาษ เอ 4 เป็นแผ่นที่ไม่ได้ปั้นเป็นก้อนกลม สังเกตการเคลื่อนที่ของแผ่นกระดาษและถุงทรายขณะที่ตกและขณะถึงพื้น บันทึกผล
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

**บันทึกผลการทดลอง**

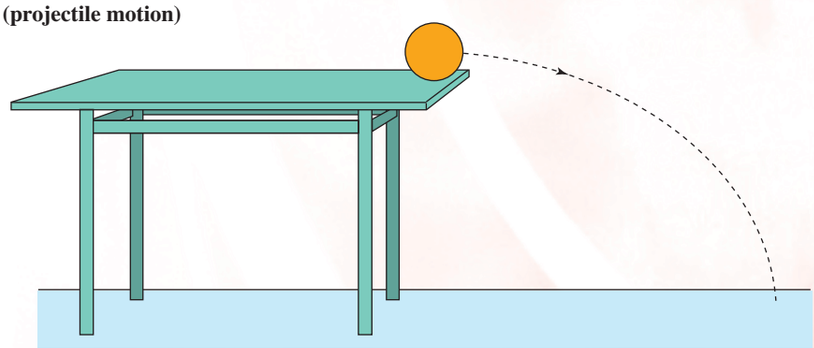
.....

.....

**คำถามหลังการทดลอง**

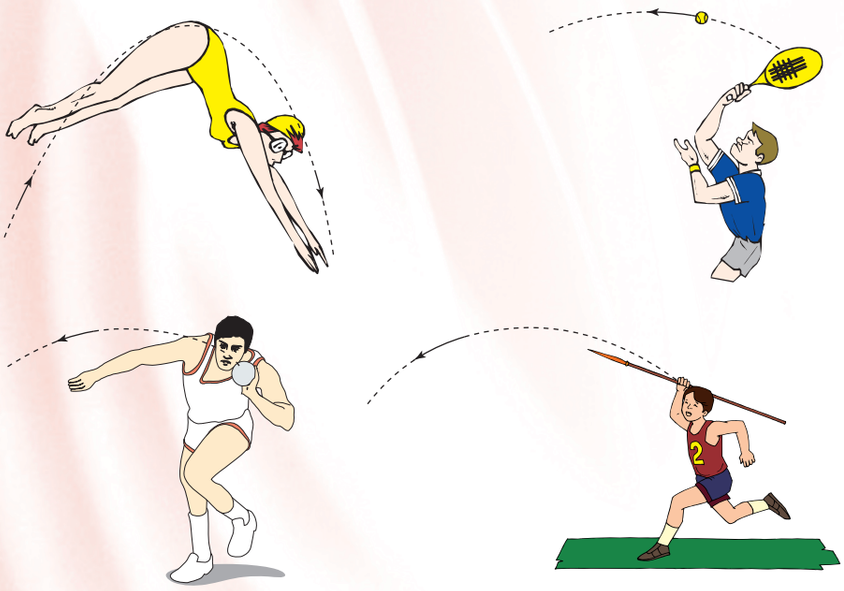
1. ถุงทรายกับก้อนกระดาษตกลงสู่พื้นแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
2. นักเรียนคิดว่าอะไรเป็นสาเหตุทำให้ถุงทรายและกระดาษที่ปั้นเป็นก้อนตกลงสู่พื้น
3. นักเรียนคิดว่าแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อถุงทรายและก้อนกระดาษมีขนาดแตกต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด
4. จากการทดลองนักเรียนคิดว่าแรงดึงดูดของโลกขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุหรือไม่ เพราะเหตุใด
5. ถุงทรายกับแผ่นกระดาษที่ไม่ได้ปั้นเป็นก้อนตกลงพื้นพร้อมกันหรือไม่อย่างไร เพราะเหตุใด
6. จากการทดลองสามารถสรุปเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในสนามโน้มถ่วงของโลกได้ว่าอย่างไร

ในกรณีที่เรากลิ้งวัตถุให้ตกจากขอบโต๊ะ เราจะเห็นวัตถุเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งและตกสู่พื้น วัตถุดังกล่าวเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งได้เนื่องมาจากความเร็วในแนวระดับที่เกิดจากการกลิ้งวัตถุให้ตกกับความเร็วในแนวดิ่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก ผลที่ได้คือ ความเร็วลัพธ์ที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งและตกสู่พื้น การเคลื่อนที่ของวัตถุในลักษณะนี้เรียกว่า **การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (projectile motion)**



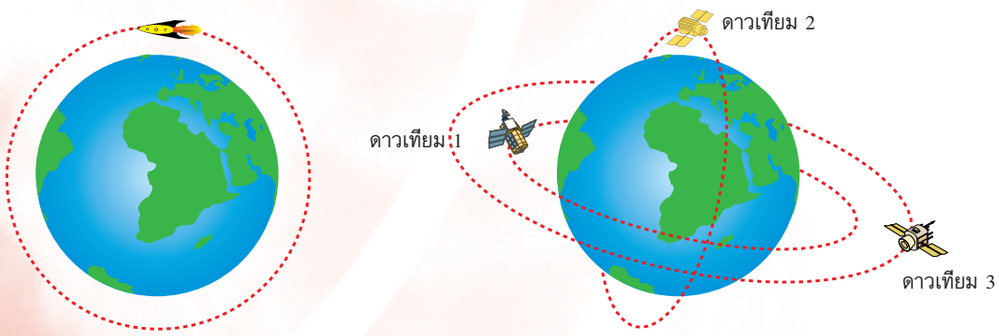
*การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์*

นอกจากนี้ การที่เราปาวัตถุออกไปในแนวเฉียงทำมุมกับพื้นดิน เช่น การทุ่มน้ำหนัก การยิงหนังสติ๊ก การพุ่งแหลน การกระโดดน้ำ ฯลฯ วัตถุจะเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งเนื่องจากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลกเช่นเดียวกัน



*การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ที่พบได้ในชีวิตประจำวัน*

ดาวเทียม ยานอวกาศ หรือสถานีอวกาศสามารถโคจรรอบโลกได้ก็เพราะมีแรงดึงดูดของโลกกระทำต่อวัตถุนั้นๆ และ**การเคลื่อนที่เป็นวงกลม**ของดาวเทียมด้วยความเร็วที่เหมาะสม จึงทำให้ดาวเทียมหรือวัตถุต่างๆ ที่ต้องการให้โคจรรอบโลกนั้นสามารถโคจรรอบโลกด้วยรัศมีการโคจรคงที่และไม่ตกสู่พื้นโลกได้

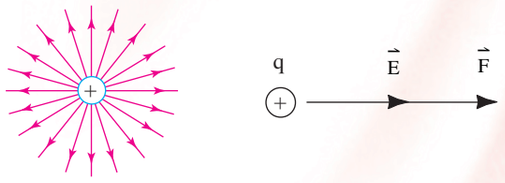



*การเคลื่อนที่ของดาวเทียม ยานอวกาศ หรือสถานีอวกาศรอบโลก*

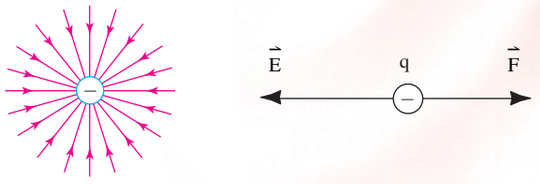
# การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

## การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้า

สนามไฟฟ้า (electric field) คือ บริเวณโดยรอบประจุไฟฟ้า ซึ่งประจุไฟฟ้าสามารถส่งอำนาจทางไฟฟ้าไปถึง หรือบริเวณที่เมื่อนำประจุทดสอบ (test charge) ไปวางแล้วจะเกิดแรงไฟฟ้ากระทำกับประจุทดสอบ สนามไฟฟ้าเป็นปริมาณเวกเตอร์มีทิศทางเดียวกับแรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าบวกและตรงข้ามกับทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุลบที่วางอยู่ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า ดังรูป

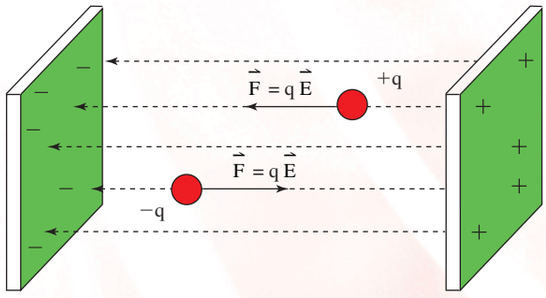



*แสดงสนามไฟฟ้ามีทิศเดียวกับทิศของแรงกระทำต่อประจุบวก*




*แสดงสนามไฟฟ้ามีทิศตรงข้ามกับทิศของแรงกระทำต่อประจุลบ*

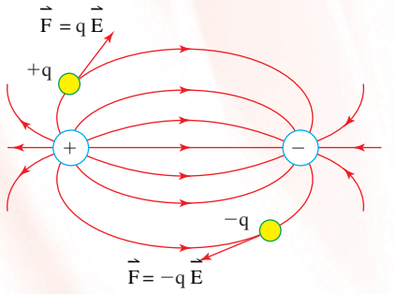
เมื่อเราปล่อยอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเข้าไปยังบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ซึ่งอยู่ระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนาน (ทิศของสนามไฟฟ้าพุ่งจากแผ่นที่มีประจุไฟฟ้าบวกไปสู่แผ่นที่มีประจุไฟฟ้าลบ)




*แรงกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าของแผ่นโลหะคู่ขนาน*

ถ้าอนุภาคนั้นมีประจุไฟฟ้าบวก จะมีแรงไฟฟ้ากระทำต่อประจุไฟฟ้านั้นในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า และอนุภาคเคลื่อนที่ตามทิศของสนามไฟฟ้า ส่วนอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ จะมีแรงไฟฟ้ากระทำต่อประจุไฟฟ้านั้นในทิศทางตรงข้ามกับสนามไฟฟ้า โดยอนุภาคจะเคลื่อนที่จากแผ่นที่มีประจุลบไปยังแผ่นที่มีประจุบวก

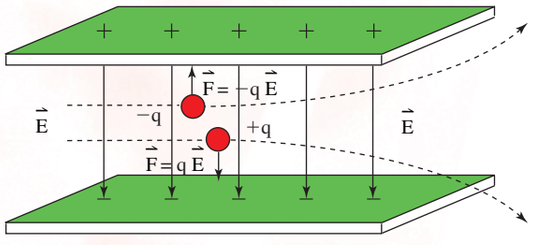
และเมื่อเราปล่อยอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าของจุดประจุไฟฟ้าบวกและจุดประจุไฟฟ้าลบ ดังรูป




*การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามของจุดประจุ*

ถ้าอนุภาคนั้นมีประจุไฟฟ้าบวกจะมีแรงไฟฟ้ากระทำในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า อนุภาคจะเคลื่อนที่จากจุดประจุบวกไปยังจุดประจุไฟฟ้าลบ แต่ถ้าอนุภาคนั้นมีประจุไฟฟ้าเป็นลบจะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม

ถ้าเรายิงอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบวกในทิศที่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า ดังรูปข้างล่าง อนุภาคที่เรายิงเข้าไปจะเคลื่อนที่เป็นทางโค้งเข้าหาแผ่นโลหะที่มีประจุเป็นลบ ส่วนการยิงอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ อนุภาคนั้นจะเคลื่อนที่โค้งขึ้นไปหาแผ่นโลหะที่มีประจุเป็นบวก



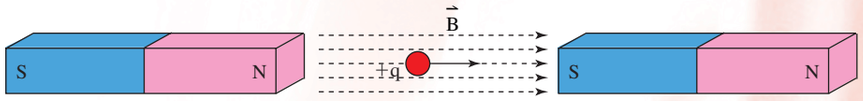

*การยิงอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในทิศที่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า*

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อเราปล่อยหรือยิงอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า จะมีแรงไฟฟ้ากระทำต่ออนุภาคนั้น

## การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามแม่เหล็ก

เมื่อเราปล่อยให้อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก อาจมีแรงแม่เหล็กมากระทำต่ออนุภาคนั้น หรือไม่มีแรงแม่เหล็กมากระทำต่ออนุภาคนั้นก็ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคนั้นในสนามแม่เหล็ก

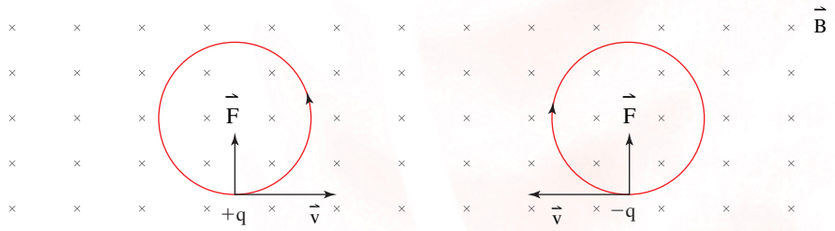
ถ้าอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าอยู่นิ่งในสนามแม่เหล็กหรือเคลื่อนที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก ดังรูป



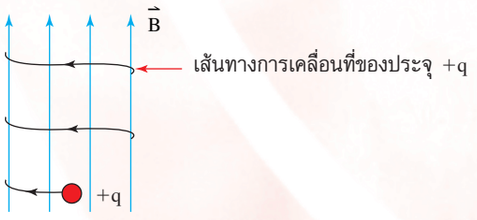

*การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุเข้าไปในสนามแม่เหล็กแบบขนานกับสนามแม่เหล็ก*

จะไม่มีแรงแม่เหล็กมากระทำต่ออนุภาคนั้น โดยอนุภาคที่อยู่นิ่งนั้นจะไม่เคลื่อนที่ ส่วนอนุภาคที่เคลื่อนที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่

และเมื่ออนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่เข้าไปบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กในลักษณะที่ทำมุมใดๆ กับสนามแม่เหล็ก โดยมุมนั้นต้องไม่เป็น 0 องศา และ 180 องศา จะมีแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กกระทำต่ออนุภาคนั้นส่งผลให้อนุภาคนั้นเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งแบบเกลียว เมื่ออนุภาคที่วิ่งเข้าไปตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก แรงแม่เหล็กที่มากระทำต่ออนุภาคจะทำให้อนุภาคนั้นเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งวงกลม โดยแรงแม่เหล็กจะมีทิศทางพุ่งเข้าหาจุดศูนย์กลางของวงกลมนั้น ดังรูป




*การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก*




*การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามแม่เหล็ก เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ทำมุมใดๆ กับสนามแม่เหล็กที่ไม่ใช่ 0, 90 และ 180 องศา*

**⇨ กิจกรรมลองสืบค้นและนำเสนอ**

ให้นักเรียนลองสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้ต่างๆ เช่น ห้องสมุด หรืออินเทอร์เน็ตเกี่ยวกับการประยุกต์ความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามแม่เหล็กไปใช้ประโยชน์ในการผลิตเครื่องไซโคลตรอนและเครื่องแมสสเปกโทรมิเตอร์ แล้วนำข้อมูลมาเสนอหน้าชั้นเรียน

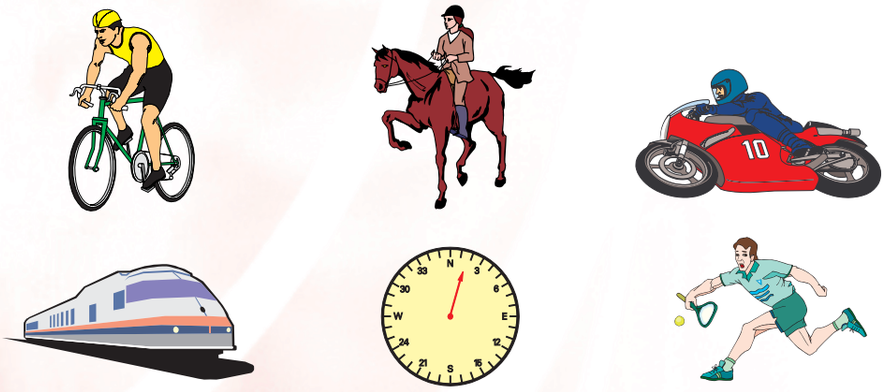
**ผลของสนามแม่เหล็กต่อเส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน**

มีนักวิทยาศาสตร์พบว่า เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้า (กระแสอิเล็กตรอน) เข้าไปในลวดตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ เมื่อเราวางเส้นลวดตัวนำในสนามแม่เหล็ก แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเส้นลวด อาจมีแรงแม่เหล็กกระทำต่อเส้นลวดหรือไม่มีแรงแม่เหล็กมากระทำก็ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะการวางเส้นลวดในสนามแม่เหล็ก ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังนี้

- ถ้าเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านวางขนานกับสนามแม่เหล็กจะไม่มีแรงแม่เหล็กมากระทำ
- ถ้าเส้นลวดวางทำมุม $\theta$ ใดๆ (ที่ไม่ใช่ 0 องศากับ 180 องศา) กับสนามแม่เหล็ก จะมีแรงแม่เหล็กกระทำต่อเส้นลวด โดยแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านจะมากที่สุดเมื่อเส้นลวดนั้นวางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก

## ปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่

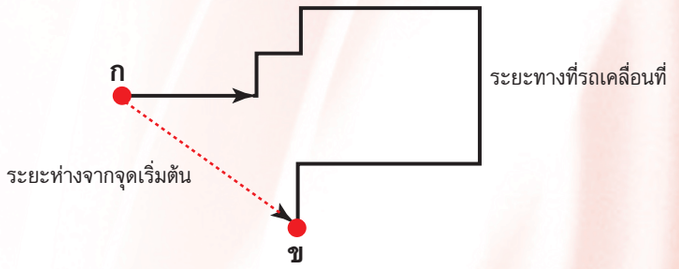
ในชีวิตประจำวันสามารถพบการเคลื่อนที่ของวัตถุได้หลากหลายลักษณะ เช่น การขี่จักรยาน การขี่ม้า การวิ่งของรถจักรยานยนต์ การเคลื่อนที่ของรถไฟ การเคลื่อนที่ของลูกบอล ฯลฯ



*การเคลื่อนที่ของสิ่งต่างๆ ที่พบได้ในชีวิตประจำวัน*

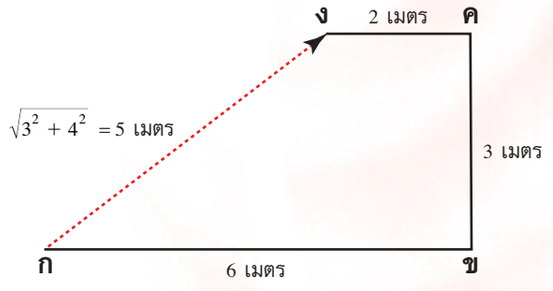
## ระยะทางและการกระจัด

พิจารณาภาพการเคลื่อนที่ของรถในรูปต่อไปนี้



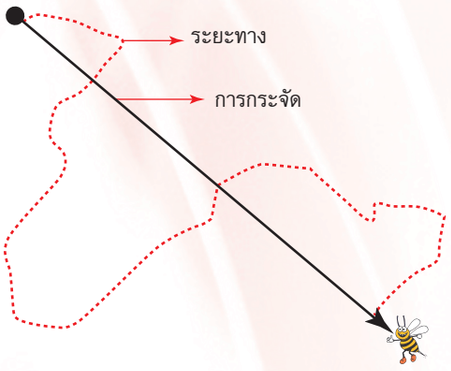

*การเคลื่อนที่ของรถคันหนึ่งที่วิ่งจากจุด ก ไปยังจุด ข*

เส้นทางที่รถเคลื่อนที่จากจุด ก ไปยังจุด ข มีลักษณะคดไปมา เรียกว่า **ระยะทาง** มีหน่วยตาม ระบบเอสไอเป็นเมตร เป็นปริมาณสเกลาร์ ส่วนเส้นประที่ลากจากจุด ก ไปยังจุด ข เป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดที่วัดจากจุดเริ่มต้นไปถึงจุดสุดท้าย เรียกว่า **การกระจัด** เป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้าย



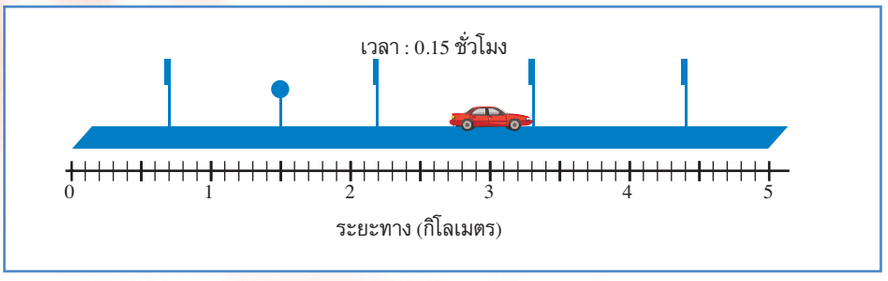

*การหาระยะทางและการหาการกระจัดของการเคลื่อนที่ของวัตถุจากจุด ก ไป ข, ค และ ง ตามลำดับ*

จากรูปจะเห็นว่าเมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ ย่อมมีระยะทางและการกระจัดเกิดขึ้นเสมอ การเดินทางของชายคนนี้ได้ระยะทางตามเส้นทาง กข ขค และเส้นทาง คง รวมกันเป็นระยะทาง 11 เมตร โดยขนาดของการกระจัดคือเส้นทาง กง เท่ากับ 5 เมตร




*การเคลื่อนที่ของแมลงชนิดหนึ่ง*

จากรูป จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนตำแหน่งมีระยะทางและการกระจัดเกิดขึ้น ระยะทางที่แมลงเคลื่อนที่ได้เป็นเส้นโค้งไปมา ส่วนการกระจัดของแมลงจะเป็นเส้นตรงที่สั้นที่สุด จากจุดเริ่มต้นการเคลื่อนที่ของแมลงไปยังจุดสุดท้ายของการเคลื่อนที่ของแมลง



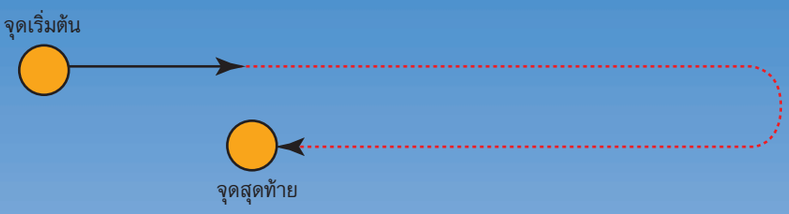

*การเดินทางเป็นเส้นตรงของรถยนต์ที่ไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง*

จากรูปการเคลื่อนที่ของรถยนต์ที่เคลื่อนที่ในแนวตรงโดยไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง เมื่อวัดระยะทางและขนาดของการกระจัดของการเคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากัน

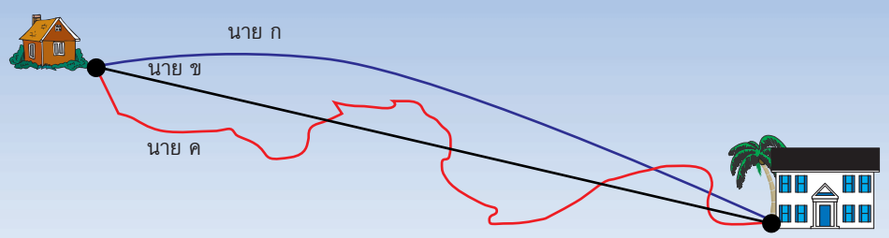
จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับระยะทางในกรณีของการเคลื่อนที่ในแนวตรง ไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง จะส่งผลให้การกระจัดมีขนาดเท่ากับระยะทาง แต่ถ้าเป็นการเคลื่อนที่ที่มีการเปลี่ยนทิศทาง จะส่งผลให้การกระจัดมีขนาดไม่เท่ากับระยะทาง

**คำถาม**

1. จากรูปการเคลื่อนที่ของวัตถุต่อไปนี้ นักเรียนคิดว่าระยะทางกับการกระจัดของการเคลื่อนที่ของวัตถุนี้แตกต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด

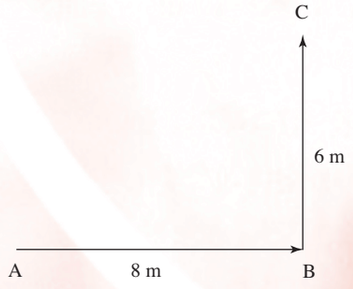



2. วินัยวิ่งรอบสนามเป็นวงกลมจนครบ 1 รอบ การเคลื่อนที่ของวินัยมีระยะทางและการกระจัดแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
3. จากรูป แสดงการเดินทางของนาย ก นาย ข และนาย ค จากบ้านไปยังที่ทำงานซึ่งไปกันคนละเส้นทาง




- ระยะทางที่นาย ก นาย ข และนาย ค เคลื่อนที่ได้เท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด
- การกระจัดของการเคลื่อนที่ของนาย ก นาย ข และนาย ค แตกต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด

**ตัวอย่างที่ 3.1** วัตถุชิ้นหนึ่งเคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B และเคลื่อนที่ต่อไปยังจุด C ดังรูป จงหาระยะทางและการกระจัดของการเคลื่อนที่ของวัตถุนี้

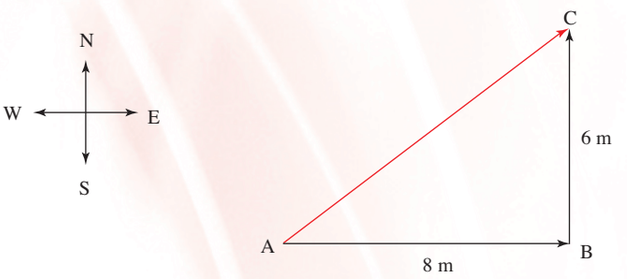



**วิธีทำ**

จากโจทย์ระยะทางจะมีค่าเท่ากับ

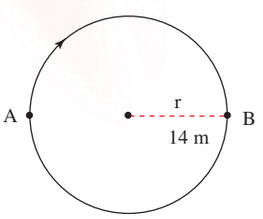
$8 + 6 = 14$ เมตร **ตอบ**

และการกระจัดมีค่าเท่ากับเส้นตรงที่สั้นที่สุดที่ลากจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายของการเคลื่อนที่ นั่นคือ ความยาวของเส้นตรง AC




การกระจัด $= \sqrt{8^2 + 6^2} = \sqrt{100} = 10$ เมตร ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ **ตอบ**

**ตัวอย่างที่ 3.2** วัตถุอันหนึ่งเคลื่อนที่เป็นแนววงกลม โดยมีรัศมีความโค้งเท่ากับ 14 เมตร เริ่มเคลื่อนที่จาก จุด A ไปยังจุด B จงหาระยะทางและการกระจัดของการเคลื่อนที่นี้




**วิธีทำ** จากรูป หาระยะทางได้จาก

ระยะทาง = ครึ่งหนึ่งของความยาวของเส้นรอบวงของวงกลม

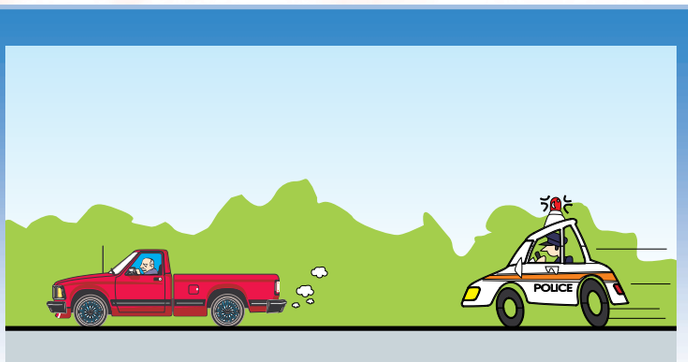
$$= \frac{2\pi r}{2}$$

$$= \frac{22}{7} \times 14$$

$$= 44 \text{ m}$$

ส่วนการกระจัดมีค่าเท่ากับเส้นตรงที่สั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายของการเคลื่อนที่ = 28 m

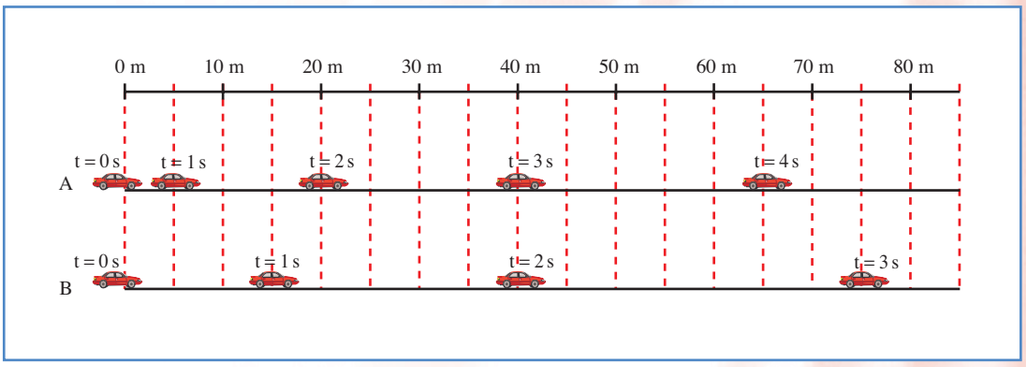
ดังนั้น ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้เท่ากับ 44 เมตร และขนาดของการกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้เท่ากับ 28 เมตร **ตอบ**




**คำถาม**

นักเรียนบอกได้หรือไม่ว่ารถคันใดวิ่งเร็วกว่ากัน สังเกตจากอะไร และใช้อะไรเป็นเกณฑ์ในการบอกว่าวัตถุใดมีอัตราเร็วมากหรือน้อย

## อัตราเร็วและความเร็ว



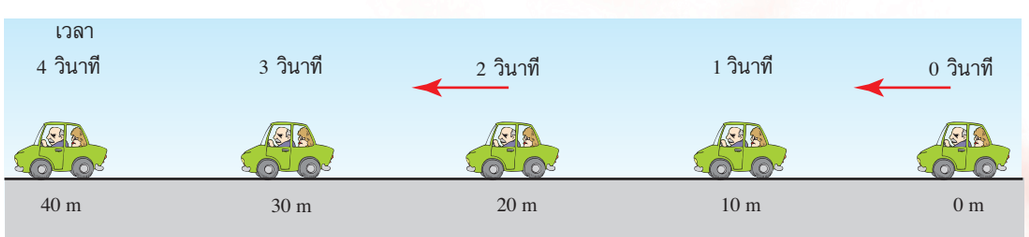

*การเคลื่อนที่ของรถยนต์ A และ B ในระยะทางที่เท่ากัน*

จากรูปจะเห็นว่า ระยะทางที่เท่ากันรถ A ใช้เวลาในการเคลื่อนที่มากกว่ารถ B เช่น ที่ระยะทาง 40 เมตร รถ A ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 3 วินาที ส่วนรถ B ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 2 วินาที จึงทำให้รถทั้งสองคันนี้มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากัน รถ A ซึ่งใช้เวลาในการเคลื่อนที่มากกว่ามีอัตราเร็วน้อยกว่ารถ B

ดังนั้นปริมาณที่จะบอกได้ว่าวัตถุเคลื่อนที่เร็วหรือช้าคือ อัตราเร็ว (speed) โดยดูจากช่วงเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง โดยไม่ต้องคำนึงถึงทิศทางของการเคลื่อนที่ ซึ่งโดยทั่วๆ ไป **อัตราเร็ว** หมายถึง ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

**คำถาม**

เราจะหาอัตราเร็วของวัตถุได้อย่างไร



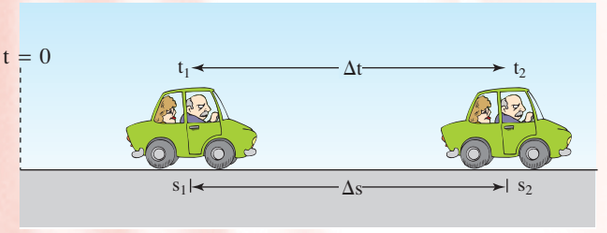

*การเคลื่อนที่ของรถด้วยอัตราเร็ว 10 เมตรต่อวินาที*

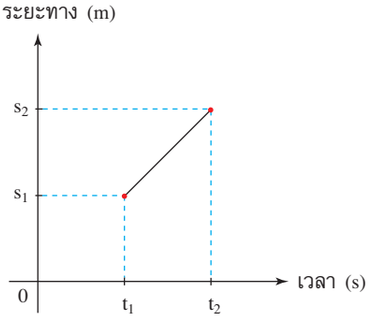
จากรูปจะเห็นว่าถ้าต้องการหาอัตราเร็วของวัตถุ จะต้องทราบระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ หรือขนาดของการเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง และเวลาที่วัตถุใช้ในการเปลี่ยนตำแหน่งนั้น โดยอัตราเร็วจะคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{อัตราเร็ว} = \frac{\text{ระยะทางที่เกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ}}{\text{เวลาที่วัตถุใช้ในการเปลี่ยนตำแหน่ง}}$$

ซึ่งเขียนได้อีกแบบเป็น

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




โดย $\Delta s = s_2 - s_1$ คือระยะทางที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่ง มีหน่วยเป็น เมตร (m)

$\Delta t = t_2 - t_1$ คือเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนตำแหน่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้าย มีหน่วยเป็น วินาที (s)

การวัดอัตราเร็วสามารถทำได้ 2 ลักษณะคือ อัตราเร็วเฉลี่ยและอัตราเร็วขณะหนึ่ง

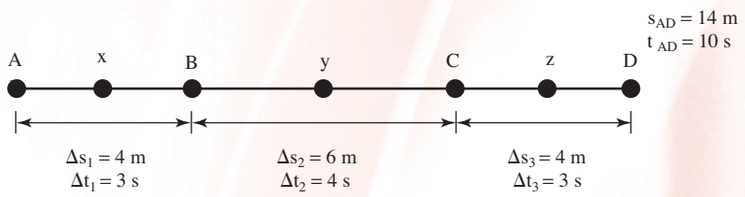
➲ **อัตราเร็วเฉลี่ย** หมายถึง อัตราเร็วที่หาได้จากอัตราส่วนของระยะทางที่วัตถุนั้นเคลื่อนที่ได้ทั้งหมดกับเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเคลื่อนที่

ถ้ากำหนดให้ชายคนหนึ่งเดินทางจาก A ถึง B ได้ระยะทาง $s = 14$ เมตร ภายในเวลา $t = 10$ วินาที แสดงว่าชายคนนี้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเฉลี่ย $v_{av}$ เขียนได้ดังนี้

$$v_{av} = \frac{s_{AB}}{t_{AB}}$$

$$v_{av} = \frac{14}{10} = 1.4 \text{ m/s}$$

**อัตราเร็วขณะหนึ่ง** หมายถึง อัตราเร็ว ณ จุดใดๆ หรืออัตราเร็ว ณ เวลาหนึ่ง ซึ่งอาจหาได้จากค่าเฉลี่ยของอัตราเร็วในช่วงสั้นๆ หรืออัตราส่วนของระยะทางสั้นๆ ที่วัตถุนั้นเคลื่อนที่ได้ ($\Delta s$) กับเวลาช่วงสั้นๆ ที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ ($\Delta t \rightarrow 0$)




กำหนดให้ x, y และ z เป็นจุดกึ่งกลางของระยะช่วง AB, BC และ CD ตามลำดับ

อัตราเร็วเฉลี่ยในแต่ละช่วงสั้นๆ AB, BC และ CD เป็นดังนี้

$$v_{AB} = \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1} = \frac{4}{3} = 1.33 \text{ m/s}$$ ดังนั้น อัตราเร็ว ณ จุด x คือ 1.33 เมตรต่อวินาที

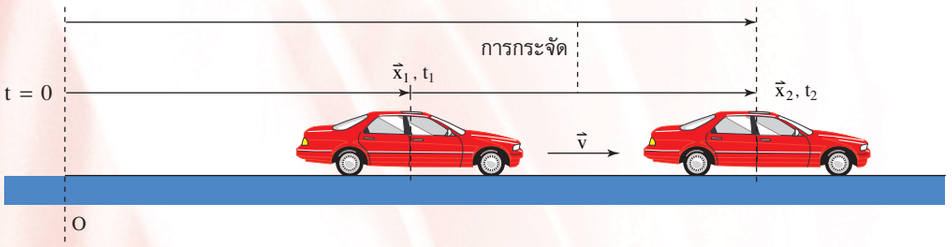
$$v_{BC} = \frac{\Delta s_2}{\Delta t_2} = \frac{6}{4} = 1.5 \text{ m/s}$$ ดังนั้น อัตราเร็ว ณ จุด y คือ 1.5 เมตรต่อวินาที

$$v_{CD} = \frac{\Delta s_3}{\Delta t_3} = \frac{4}{3} = 1.33 \text{ m/s}$$ ดังนั้น อัตราเร็ว ณ จุด z คือ 1.33 เมตรต่อวินาที

เราทราบมาแล้วว่าเมื่อวัตถุมีการเปลี่ยนตำแหน่งหรือเกิดการเคลื่อนที่ นอกจากวัตถุจะมีระยะทางที่เกิดจากการเคลื่อนที่แล้ว วัตถุยังมีปริมาณอีกปริมาณหนึ่งเกิดขึ้นนั่นคือ **การกระจัด** ซึ่งเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่ต้องระบุทั้งขนาดและทิศทาง อัตราการเปลี่ยนแปลงการกระจัดหรือการเปลี่ยนแปลงการกระจัดในหนึ่งหน่วยเวลาเรียกว่า **ความเร็ว (velocity)** ปริมาณนี้เป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีทิศทางเดียวกับการกระจัด มีหน่วยวัดเป็น เมตรต่อวินาที (m/s) เช่นเดียวกับอัตราเร็ว

**คำถาม**

ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ อัตราเร็วเฉลี่ย และอัตราเร็วขณะหนึ่งจะมีค่าเท่ากับอัตราเร็วคงที่นั้นหรือไม่




*การหาความเร็วของรถยนต์*

จากรูป ณ เวลา $t_1$ รถมีการเปลี่ยนตำแหน่งจากจุดอ้างอิง O คือ $\vec{x}_1$ เมื่อเวลา $t_2$ รถมีการเปลี่ยนตำแหน่งจากจุดอ้างอิง O คือ $\vec{x}_2$ จึงสามารถหาความเร็วของวัตถุได้จากสมการ

$$\vec{v} = \frac{\vec{x}_1 - \vec{x}_2}{t_1 - t_2}$$

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{s}}{\Delta t}$$

โดย $\vec{v}$ คือ ความเร็ว มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

$\Delta\vec{s}$ คือ การกระจัดของวัตถุ มีหน่วยเป็น เมตร (m)

$\Delta t$ คือ เวลาที่วัตถุใช้ในการเปลี่ยนตำแหน่งหรือเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็น วินาที (s)

ความเร็วอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

**1. ความเร็วเฉลี่ย** ($\vec{v}_{av}$) หมายถึง ความเร็วที่วัดจากการกระจัดของวัตถุที่เปลี่ยนไปในช่วงเวลาหนึ่งที่พิจารณา

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

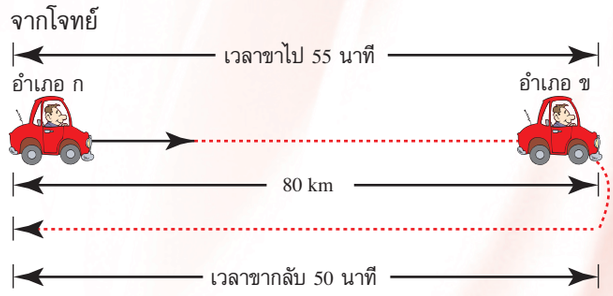
**2. ความเร็วขณะหนึ่ง** ($\vec{v}$) หรือความเร็ว ณ เวลาหนึ่ง หรือความเร็วที่จุดใดจุดหนึ่ง หมายถึง ความเร็วที่วัดจากการกระจัดระยะสั้นๆ ที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในช่วงเวลาสั้นๆ ($\Delta t \to 0$) ที่ทำการสังเกต

**คำถาม**

ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ความเร็วเฉลี่ย และความเร็วขณะหนึ่งจะมีค่าเท่ากับความเร็วคงที่นี้หรือไม่

**ตัวอย่างที่ 3.3** ชายคนหนึ่งขับรถบนถนนตรงจากอำเภอ ก ไปยังอำเภอ ข ซึ่งมีระยะห่างระหว่าง 2 อำเภอเท่ากับ 80 กิโลเมตร ใช้เวลาขับรถนาน 55 นาที เมื่อไปถึงอำเภอ ข ก็ขับรถกลับอำเภอ ก โดยใช้เวลา 50 นาที จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยของรถยนต์ในหน่วยกิโลเมตรต่อชั่วโมง

**วิธีทำ** อัตราเร็วเฉลี่ยหาได้จากระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งหมดต่อเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ทั้งหมด




ดังนั้นระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งหมด $= 80+80$

$= 160$ km

เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ทั้งหมด $= 55+50$

$= 105$ min

$= \frac{105}{60} = 1.75$ hr

จาก $v_{av} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{160}{1.75}$

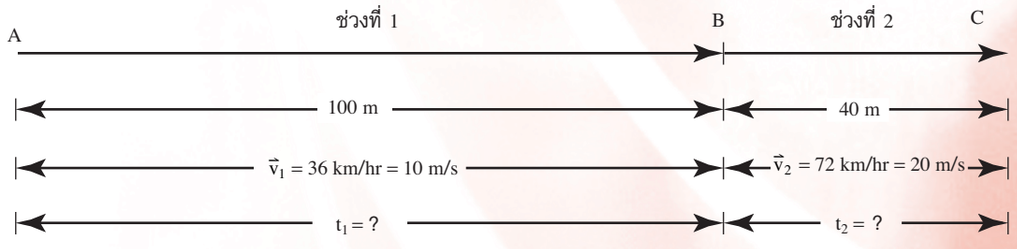
$= 91.43$ km/hr

นั่นคือ อัตราเร็วเฉลี่ยของรถยนต์เท่ากับ 91.43 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

**ตอบ**

**ตัวอย่างที่ 3.4** รถคันหนึ่งวิ่งบนถนนตรงด้วยความเร็ว 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ระยะทาง 100 เมตร แล้ววิ่งต่อไปด้วยความเร็ว 72 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ระยะทาง 40 เมตร จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ย

**วิธีทำ** จากโจทย์ เขียนเป็นแผนภาพได้ดังนี้



จากรูป เราทราบระยะทางทั้งหมด = 100+40 = 140 m และการกระจัดทั้งหมด = 100 +40 = 140 m เช่นกัน เพราะเป็นการเคลื่อนที่ในแนวตรงที่ไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง แต่เรายังไม่ทราบเวลาทั้งหมดที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ จากรูป เวลาทั้งหมด $(t_1+t_2)$ ซึ่งเราสามารถหาเวลาได้จาก

$$t_1 = \frac{s_1}{v_1}$$

$$= \frac{100}{10} = 10 \text{ s}$$

$$t_2 = \frac{s_2}{v_2}$$

$$= \frac{40}{20} = 2 \text{ s}$$

ดังนั้นเวลาในการเคลื่อนที่ทั้งหมดเท่ากับ 10+2 = 12 s

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

อัตราเร็วเฉลี่ย $= \frac{140}{12} = 11.67$ m/s

$\therefore$ ขนาดของความเร็วเฉลี่ย $= \frac{140}{12} = 11.67$ m/s ทิศไปทางขวามือ

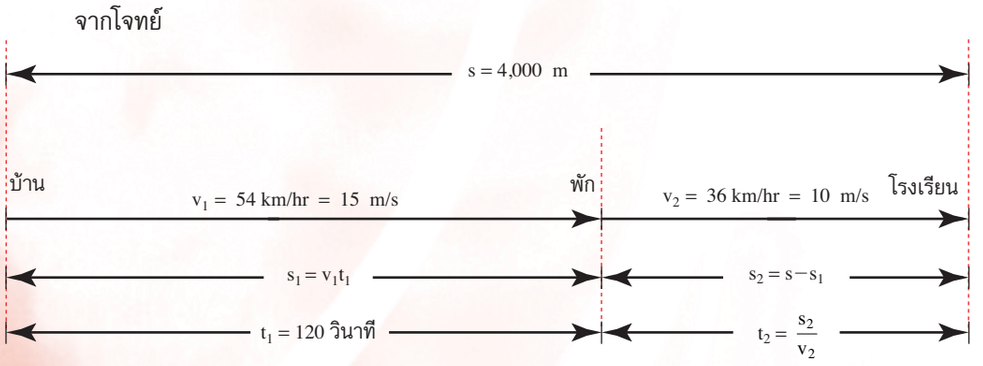
นั่นคือ รถเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 11.67 เมตรต่อวินาที และรถคันนี้เคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยขนาดของความเร็วเท่ากับ 11.67 เมตรต่อวินาที

**ตอบ**

**ข้อสังเกต**

จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่า ถ้าเป็นการเคลื่อนที่ในแนวตรงที่ไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง อัตราเร็วเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากันเพราะว่าระยะทางกับขนาดของการกระจัดมีค่าเท่ากัน

**ตัวอย่างที่ 3.5** สมศักดิ์ขี่จักรยานยนต์บนถนนแนวตรงจากบ้านไปยังโรงเรียนซึ่งห่างกัน 4,000 เมตร โดยในช่วงเวลา 120 วินาทีแรกขี่ด้วยอัตราเร็ว 54 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากนั้นได้หยุดพักระหว่างทางนาน 2 นาที แล้วจึงขี่ต่อไปด้วยอัตราเร็ว 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมงจนถึงโรงเรียน จงหาความเร็วเฉลี่ยในการเดินทางไปโรงเรียน



**วิธีทำ**

ขนาดของการกระจัดที่เกิดจากการเคลื่อนที่คือ 4,000 เมตร และเวลาในการเคลื่อนที่ในช่วงแรกคือ 120 วินาที อัตราเร็วในช่วงแรกคือ 54 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 15 เมตรต่อวินาที เวลาที่พักระหว่างการเดินทาง 2 นาที หรือเท่ากับ 120 วินาที ต้องหาเวลาในการเคลื่อนที่ในช่วงที่ 2 ($t_2$) โดยหาค่า $s_2$ ก่อน

จาก $s_1 = v_1 t_1$

$= 15 \times 120 = 1800$ m

$\therefore \quad s_2 = 4000 - 1800$

$= 2200$ m

หา $t_2$; จาก $t_2 = \frac{s_2}{v_2}$

$= \frac{2200}{10} = 220$ s

ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมด $= 120 + 120 + 220 = 460$ s

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

$\therefore$ ขนาดของความเร็วเฉลี่ย $= \frac{4000}{460} = 8.69$ m/s

นั่นคือสมศักดิ์ขี่จักรยานยนต์จากบ้านไปโรงเรียนด้วยความเร็วเฉลี่ย 8.69 เมตรต่อวินาที ทิศจากบ้านไปโรงเรียน **ตอบ**

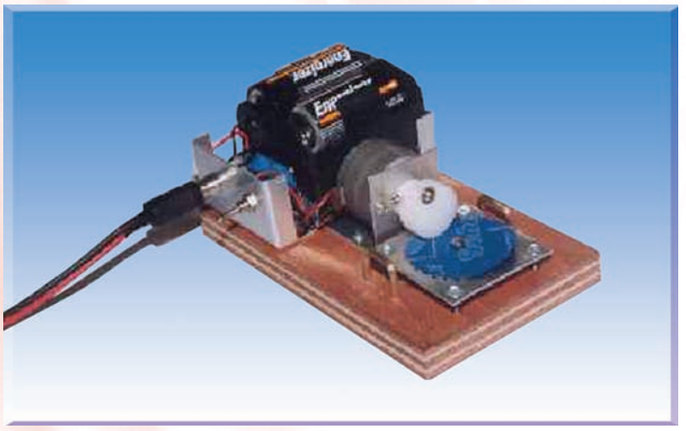
**⇨ ลองทำดู**

1. รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 60 กิโลเมตรในเวลา 2 ชั่วโมงแรกของการเดินทาง และได้ระยะทาง 15 กิโลเมตรในชั่วโมงที่ 3 รถยนต์คันนี้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยเท่าใด
2. เรือเร็วลำหนึ่งเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเป็นระยะทาง 4 กิโลเมตรในเวลา 20 นาที หลังจากนั้นก็เคลื่อนที่ไปทางทิศใต้อีก 3 กิโลเมตรในเวลา 10 นาที อัตราเร็วเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ยของเรือเร็วลำนี้เป็นกี่กิโลเมตรต่อชั่วโมง

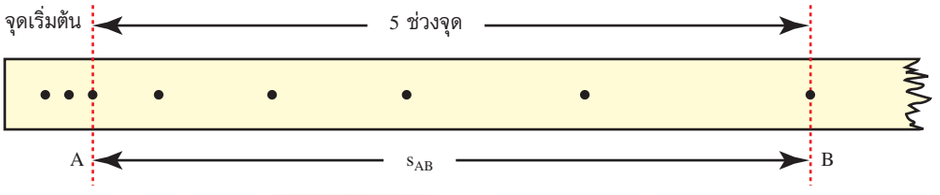
## การหาอัตราเร็วและอัตราเร็วขณะหนึ่งโดยใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลา

เครื่องเคาะสัญญาณเวลา เป็นเครื่องมือที่เหมาะสำหรับใช้วัดอัตราเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่ไปในช่วงเวลาสั้นๆ การใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาทำได้โดยต่อเครื่องเคาะสัญญาณเวลาเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ (12 โวลต์) จากนั้นผูกวัตถุกับปลายแถบกระดาษ ซึ่งสอดเข้าไประหว่างแผ่น

โลหะที่เคาะเป็นจังหวะผ่านกระดาษคาร์บอน เมื่อวัตถุเคลื่อนที่จะดึงแถบกระดาษผ่านโลหะด้วยอัตราเร็วเดียวกับวัตถุ ทำให้เกิดจุดต่างๆ ขึ้นบนแถบกระดาษ โดยเครื่องเคาะสัญญาณเวลามีอัตราการเคาะ 50 ครั้งต่อวินาที หรือช่วงเวลาระหว่างการเคาะครั้งหนึ่งและการเคาะครั้งถัดไปมีค่า 1/50 วินาที ซึ่งจะคงที่ตลอดการเคลื่อนที่

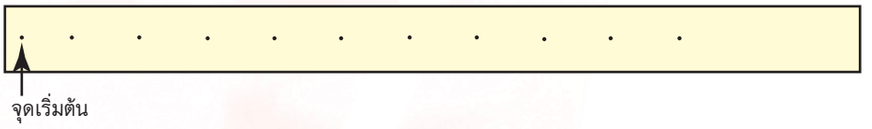


เครื่องเคาะสัญญาณเวลา




การวัดระยะทางที่ได้จากแถบกระดาษที่ผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

ตัวอย่างลักษณะจุดบนแถบกระดาษบอกให้ทราบลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุ

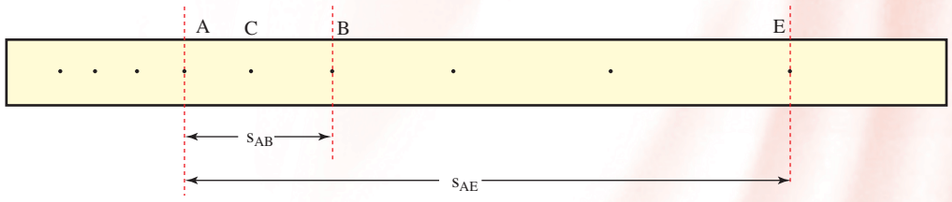



ระยะห่างระหว่างจุดที่สม่ำเสมอ แสดงว่าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่

ระยะห่างระหว่างจุดเพิ่มขึ้น แสดงว่าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น

*ระยะห่างระหว่างจุดลดลง แสดงว่าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่ลดลง*

การหาอัตราเร็วเฉลี่ยและอัตราเร็วขณะหนึ่งของวัตถุจากแถบกระดาษที่ผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา เช่น ถ้าเราต้องการหาอัตราเร็วเฉลี่ยในช่วง A ไป E จากแถบกระดาษดังรูป




*การหาอัตราเร็วและความเร็วเฉลี่ยจากแถบกระดาษ*

เราต้องวัดระยะทางจากจุด A ไปยังจุด E และวัดเวลาการเคลื่อนที่จากจุด A ไป จุด E จากรูป

หาอัตราเร็วเฉลี่ยจาก $v_{av} = \frac{\Delta s_{AE}}{\Delta t_{AE}}$

ถ้าต้องการหาอัตราเร็วขณะหนึ่ง ณ จุด C ซึ่งประมาณว่าอยู่กึ่งกลางระหว่าง A กับ B

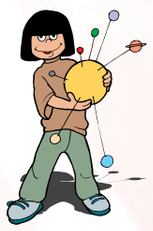
พิจารณาในช่วง AB

อัตราเร็วเฉลี่ยช่วง $A \rightarrow B$ ได้

$$v_{av} = \frac{\Delta s_{AB}}{\Delta t_{AB}}$$

$\therefore$ อัตราเร็วขณะหนึ่งที่จุด C คือ $v_c = \frac{\Delta s_{AB}}{\Delta t_{AB}}$

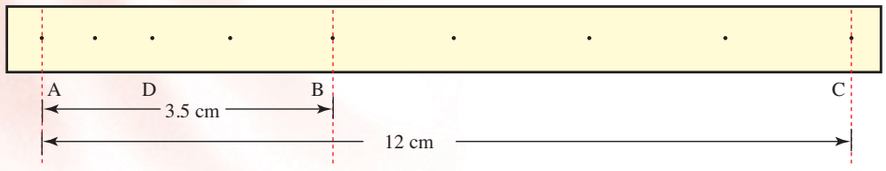
ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า อัตราเร็วขณะหนึ่ง $(v_c)$ หาได้จากอัตราเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาสั้นๆ ที่มีจุดนั้นอยู่ตรงกลางช่วง AB นั่นเอง



## การหาความเร็วเฉลี่ยและความเร็วขณะหนึ่งโดยใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลา

เราสามารถหาความเร็วเฉลี่ยและความเร็วขณะหนึ่งได้จากแถบกระดาษที่ลากผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาได้เช่นเดียวกับการหาอัตราเร็วเฉลี่ยและอัตราเร็วขณะหนึ่ง ลักษณะจุดบนแถบกระดาษบอกให้ทราบถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุเช่นเดียวกับอัตราเร็ว เนื่องจากการเคลื่อนที่ในลักษณะนี้ เป็นการเคลื่อนที่ในแนวตรงที่ไม่มีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จึงทำให้อัตราเร็วและขนาดของความเร็วของวัตถุที่หาได้จากแถบกระดาษมีค่าเท่ากัน เพียงแต่ว่าในการหาความเร็วนั้น เราต้องบอกทิศของความเร็วด้วย แต่อัตราเร็วเราบอกเฉพาะขนาดเท่านั้น

**ตัวอย่างที่ 3.6** ในการวัดอัตราเร็วของวัตถุชิ้นหนึ่งโดยใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาแบบใช้ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์ โดยทำให้เกิดจุดบนแถบกระดาษ 50 ช่วงจุด ในเวลา 1 วินาที และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง แถบกระดาษที่บันทึกได้เป็นดังนี้




จากรูป จงหาอัตราเร็วและความเร็วเฉลี่ยของวัตถุชิ้นนี้จากแถบกระดาษช่วง AC และอัตราเร็วและความเร็วขณะหนึ่ง ณ จุด D

จากรูป อัตราเร็วเฉลี่ย $= \frac{s_{A\to C}}{t_{A\to C}}$

$= \frac{12}{\frac{8}{50}}$

$= 75 \text{ cm/s}$

ขนาดของความเร็วเฉลี่ย $= \frac{s_{A\to C}}{t_{A\to C}}$

$= \frac{12}{\frac{8}{50}}$

$= 75 \text{ cm/s}$

หาอัตราเร็วขณะหนึ่ง ณ จุด D โดยถือว่าเป็นจุดกึ่งกลางระหว่าง A กับ B

จากอัตราเร็วเฉลี่ยช่วง AB

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

$$= \frac{3.5}{\frac{4}{50}}$$

$$= 43.75 \text{ cm/s}$$

∴ อัตราเร็วขณะหนึ่งที่จุด D คือ 43.75 cm/s

ขนาดของความเร็วขณะหนึ่ง ณ จุด D

จากขนาดของความเร็วเฉลี่ยช่วง AB

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

$$= \frac{3.5}{\frac{4}{50}}$$

$$= 43.75 \text{ cm/s}$$

∴ ขนาดของความเร็วขณะหนึ่งที่จุด D คือ 43.75 cm/s

จากตัวอย่างจะเห็นว่าอัตราเร็วเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ยที่หาได้จากแถบกระดาษจะมีค่าเท่ากัน และอัตราเร็วขณะหนึ่งและความเร็วขณะหนึ่ง ณ จุดเดียวกันก็มีค่าเท่ากันด้วย

**กิจกรรมที่ 3.2 การหาอัตราเร็วเฉลี่ย ความเร็วเฉลี่ย อัตราเร็วขณะหนึ่ง และความเร็วขณะหนึ่ง โดยใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลา**

**จุดประสงค์**

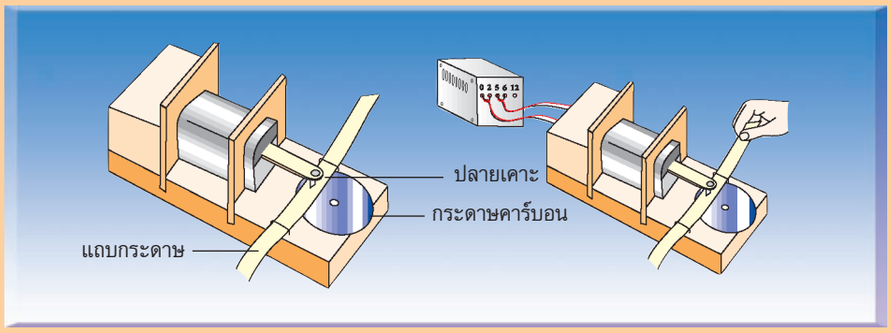
1. ต่อวงจรของเครื่องเคาะสัญญาณเวลากับหม้อแปลงไฟฟ้าได้ถูกต้อง
2. หาอัตราเร็วเฉลี่ย ความเร็วเฉลี่ย อัตราเร็วและความเร็วขณะหนึ่งของการเคลื่อนที่จากจุดบนแถบกระดาษ

**อุปกรณ์**

1. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ
2. สายไฟฟ้า
3. เครื่องเคาะสัญญาณเวลา
4. แถบกระดาษ
5. กระดาษคาร์บอน
6. ไม้บรรทัด

**วิธีทำการทดลอง**

1. ต่อเครื่องเคาะสัญญาณเวลาเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ พร้อมสอดแถบกระดาษเข้ากับเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ดังรูป




2. ให้นักเรียนดึงแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาด้วยอัตราเร็วคงที่ สังเกตลักษณะของจุดบนแถบกระดาษ บันทึกผลการสังเกต

3. ดึงแถบกระดาษด้วยอัตราเร็วเพิ่มขึ้น (ดึงอย่างรวดเร็ว) สังเกตลักษณะของจุดบนแถบกระดาษ บันทึกผลการสังเกต

4. ดึงแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาด้วยอัตราเร็วค่าหนึ่ง จากนั้นให้นักเรียนนำแถบกระดาษที่ได้มาคำนวณหาอัตราเร็วเฉลี่ย ความเร็วเฉลี่ย อัตราเร็วขณะหนึ่ง และความเร็วขณะหนึ่ง โดยให้นักเรียนเลือกจุดบนแถบกระดาษมาจำนวนประมาณ 11 จุด จากนั้นให้คำนวณหาอัตราเร็วเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้าย (จุดที่11) โดยนำระยะทางและการกระจัดที่นักเรียนวัดได้ทั้งหมดหารด้วยเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ทั้งหมด บันทึกผลการหาและการคำนวณให้ชัดเจน

5. การหาอัตราเร็วและความเร็วขณะหนึ่งโดยเลือกจุดบนแถบกระดาษจากข้อ 4 ที่ไม่ใช่จุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย วัดระยะทางโดยให้จุดที่นักเรียนเลือกอยู่ตรงกลาง ดังตัวอย่าง

ถ้านักเรียนเลือกจุดที่ 4 ให้นักเรียนวัดระยะทางและการกระจัดจากจุดที่ 3 ถึงจุดที่ 5 และวัดเวลาในการเคลื่อนที่จากจุดที่ 3 ถึงจุดที่ 5 เช่นเดียวกัน นำระยะทางและขนาดของการกระจัดที่นักเรียนวัดได้จากจุดที่ 3 ถึงจุดที่ 5 บันทึกข้อมูลและการคำนวณหาอัตราเร็วและขนาดของความเร็วขณะหนึ่ง

6. สรุปผลการทดลอง

**ผลการทดลอง**

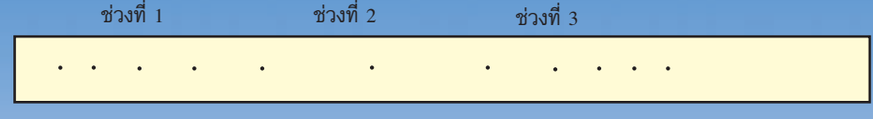
- ติดแถบกระดาษที่ได้จากการดึงผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาตามการทดลองในข้อ 2 และ 3 พร้อมเปรียบเทียบลักษณะของจุดที่สังเกตเห็นจากแถบกระดาษ
- ติดแถบกระดาษที่จะใช้ในการคำนวณหาอัตราเร็วเฉลี่ย ความเร็วเฉลี่ย อัตราเร็วขณะหนึ่ง และความเร็วขณะหนึ่ง พร้อมกับแสดงวิธีการหาค่าให้ชัดเจน

**คำถามหลังการทดลอง**

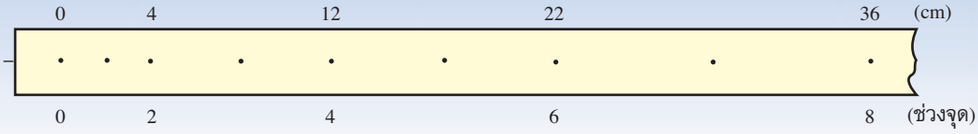
1. ลักษณะของแถบกระดาษที่ได้จากการดึงผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาด้วยอัตราเร็วคงที่แตกต่างจากการดึงอย่างรวดเร็วหรือไม่ อย่างไร
2. ลักษณะของจุดบนแถบกระดาษสามารถใช้บอกอัตราเร็วของวัตถุได้หรือไม่ อย่างไร
3. นักเรียนมีวิธีการหาอัตราเร็วเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ยจากแถบกระดาษได้อย่างไร
4. นักเรียนมีวิธีการหาอัตราเร็วและความเร็วขณะหนึ่งจากแถบกระดาษได้อย่างไร
5. อัตราเร็วเฉลี่ยและขนาดของความเร็วเฉลี่ยที่นักเรียนหาได้จากแถบกระดาษมีค่าแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร เพราะเหตุใด
6. อัตราเร็วและความเร็วขณะหนึ่งที่นักเรียนหาได้จากแถบกระดาษมีค่าแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร เพราะเหตุใด
7. นักเรียนจะสรุปผลการทดลองได้ว่าอย่างไร

**ลองทำดู**

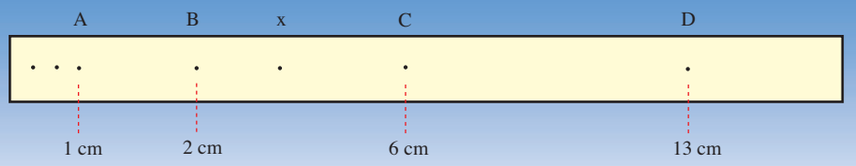
1. จากรูป จงอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของแถบกระดาษ




2. จากรูป
   - 2.1 จงหาอัตราเร็วและขนาดความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ทั้งหมด
   - 2.2 จงหาอัตราเร็วขณะหนึ่ง ณ จุด 5 และความเร็วขณะหนึ่ง ณ จุด 4



3. จากแถบกระดาษดังรูป เป็นแถบกระดาษที่ลากผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาชนิด 50 ครั้ง/วินาที

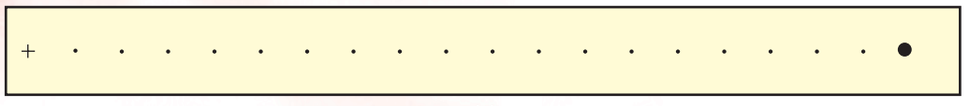



จงหาขนาดของความเร็วเฉลี่ยระหว่างจุด A ถึง D เป็นกี่เมตรต่อวินาที และขนาดของความเร็วที่จุด x เป็นกี่เมตรต่อวินาที

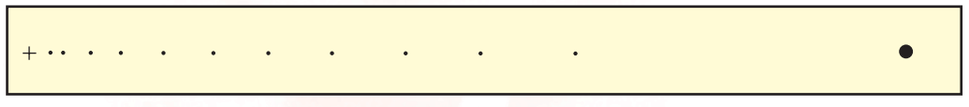
## อัตราเร่งและความเร่ง

จากการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุ พบว่าในบางครั้งอาจมีการเคลื่อนที่เร็วขึ้นหรือช้าลง และบางครั้งมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ซึ่งมีขนาดหรือทิศทางของความเร็วเปลี่ยนแปลง เรียกว่า “การเคลื่อนที่แบบมีความเร่ง” โดยทั่วไป **ความเร่ง** หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วหรือความเร็วที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา

สังเกตรูปแสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาต่อไปนี้



*(ก)*



*(ข)*

*(ก) และ (ข) แสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวเส้นตรง*

จากรูปนักเรียนจะสังเกตเห็นว่าลักษณะของจุดบนแถบกระดาษในรูป (ก) มีลักษณะห่างกันอย่างสม่ำเสมอ แสดงว่าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ไม่เปลี่ยนแปลงหรือความเร็วคงที่นั่นเอง แต่ในรูป (ข) ลักษณะจุดจะห่างมากขึ้นเรื่อยๆ แสดงให้เห็นว่าความเร็วของวัตถุไม่คงที่ กล่าวคือ การเคลื่อนที่ที่ความเร็วของวัตถุมีการเปลี่ยนแปลง ถือเป็นการเคลื่อนที่แบบมีความเร่ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้

เนื่องจากความเร็วเป็นปริมาณเวกเตอร์ ความเร่งจึงเป็นปริมาณเวกเตอร์ด้วย หน่วยของความเร่งเป็นเมตรต่อวินาที$^2$ ($m/s^2$) สัญลักษณ์ของความเร่งแทนด้วย $\vec{a}$ โดยทั่วไปความเร่งที่เราพูดถึงจะหมายถึงความเร่งเฉลี่ย จากนิยามของความเร่ง เราจึงสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการหาความเร่งได้ดังนี้

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

เมื่อ $\vec{a}_{av}$ คือความเร่งเฉลี่ย หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที$^2$

$\vec{v}_2 - \vec{v}_1$ หรือ $\Delta\vec{v}$ คือ อัตราการเปลี่ยนความเร็ว หรือความเร็วที่เปลี่ยนไป มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

$t_2 - t_1$ หรือ $\Delta t$ คือ เวลาในการเปลี่ยนความเร็ว มีหน่วยเป็นวินาที

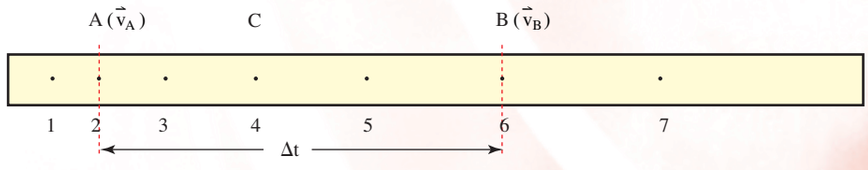
ส่วนอัตราเร่งจัดเป็นปริมาณสเกลาร์ หาได้จากการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วต่อเวลา

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

สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวตรงที่ไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง อัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดของความเร็วจะมีค่าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วต่อเวลา จึงทำให้อัตราเร่งและขนาดของความเร่งของวัตถุมีค่าเท่ากัน แต่ถ้ามีการเคลื่อนที่แบบเปลี่ยนทิศทางหรือการเคลื่อนที่ที่ไม่เป็นแนวตรง อัตราเร่งและขนาดของความเร่งจะมีค่าไม่เท่ากัน

## การหาความเร่งเฉลี่ยและความเร่งขณะหนึ่งของวัตถุจากแถบกระดาษ

จากแถบกระดาษดังรูป เราสามารถหาความเร่งเฉลี่ยจากจุด A ไปจุด B




เราต้องหาความเร็วขณะหนึ่งที่จุด A ซึ่งจะเป็นความเร็วต้นของการเคลื่อนที่และต้องหาความเร็วขณะหนึ่งที่จุด B ซึ่งจะเป็นความเร็วสุดท้ายของการเคลื่อนที่ในช่วง A ไป B

หาขนาดของความเร็วขณะหนึ่ง

$$v_A = \frac{s_{1\to3}}{t_{1\to3}} \quad \text{และ} \quad v_B = \frac{s_{5\to7}}{t_{5\to7}}$$

ดังนั้น $$\vec{a}_{av_{A\to B}} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_B - \vec{v}_A}{t_{A\to B}}$$

และหาความเร่งของวัตถุที่จุด C ซึ่งเป็นความเร่งขณะหนึ่ง ทำได้โดยนักเรียนต้องหาความเร็วขณะหนึ่งที่จุด 3 ($\vec{v}_1$)และความเร็วขณะหนึ่งที่จุด 5 ($\vec{v}_2$) ก่อน

โดยขนาดของความเร็วขณะหนึ่ง

$$v_1 = \frac{s_{2\to4}}{t_{2\to4}} \quad \text{และ} \quad v_2 = \frac{s_{4\to6}}{t_{4\to6}}$$

จากนั้นจึงนำมาหาความเร่งที่จุด C ได้จากสมการ

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

**ตัวอย่างที่ 3.7** รถคันหนึ่งเคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร่งคงที่และความเร็วเปลี่ยนจาก 10 เมตรต่อวินาที เป็น 15 เมตรต่อวินาที ในเวลา 2 วินาที จงหา

1. ความเร่งเฉลี่ยของรถ
2. เป็นเวลานานเท่าไรรถจึงจะมีความเร็วจาก 15 เมตรต่อวินาที เป็น 18 เมตรต่อวินาที

**วิธีทำ** จากโจทย์ ความเร็วต้น ($\vec{u}$) = 10 m/s ความเร็วสุดท้าย ($\vec{v}$) = 15 m/s เวลาในการเปลี่ยนความเร็วเท่ากับ 2 วินาที ต้องการหาความเร่ง

จาก $$\vec{a}_{av} = \frac{\vec{v} - \vec{u}}{\Delta t}$$

$\therefore$ ขนาดของความเร่งเฉลี่ย $$a_{av} = \frac{15 - 10}{2}$$

$$= 2.5 \text{ m/s}^2$$ **ตอบ**

ทราบความเร่งของวัตถุเท่ากับ 2.5 $m/s^2$ ความเร็วต้น = 15 m/s ความเร็วสุดท้าย = 18 m/s หาเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงความเร็ว

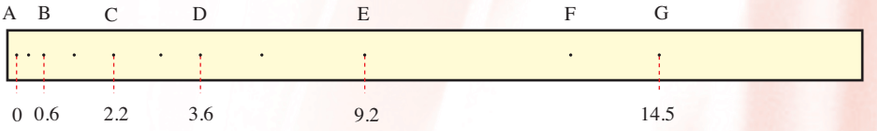
จาก $$\vec{a}_{av} = \frac{\vec{v} - \vec{u}}{\Delta t}$$

หรือขนาดของความเร่งเฉลี่ย $$a_{av} = \frac{v - u}{\Delta t}$$

$$2.5 = \frac{18 - 15}{t}$$

$$t = 1.2 \text{ s}$$ **ตอบ**

**ตัวอย่างที่ 3.8** เมื่อลากแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาชนิด 50 ครั้งต่อวินาที ปรากฏจุดบนแถบกระดาษดังรูป จงหาความเร่งเฉลี่ยและความเร่งที่จุด D จากข้อมูลบนแถบกระดาษที่วัดระยะเป็นเซนติเมตร




**วิธีทำ** การหาความเร่งเฉลี่ยต้องทราบความเร็ว ณ จุด B และจุด F และเวลาจากจุด B ถึง F

ขนาดของความเร็วขณะหนึ่ง $v_B = \frac{s_{A\to C}}{t_{A\to C}} = \frac{2.2 - 0}{\frac{4}{50}}$

$= 27.5 \text{ cm/s}$

ขนาดของความเร็วขณะหนึ่ง $v_F = \frac{s_{E\to G}}{t_{E\to G}} = \frac{14.5 - 9.2}{\frac{2}{50}}$

$= 132.50 \text{ cm/s}$

จาก $\vec{a}_{av} = \frac{\vec{v} - \vec{u}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_F - \vec{v}_B}{t_{B\to F}}$

ขนาดของความเร่งเฉลี่ย $a_{av} = \frac{132.50 - 27.5}{\frac{7}{50}}$

$= 750 \text{ cm/s}^2$ หรือ $7.50 \text{ m/s}^2$

ขนาดความเร่งที่จุด D หาจาก $a_D = \frac{v - u}{\Delta t} = \frac{v_D - u_B}{t_{B\to D}}$

$$= \frac{\frac{9.2 - 2.2}{\frac{4}{50}} - \frac{2.2 - 0}{\frac{4}{50}}}{\frac{4}{50}}$$

$$a_D = \frac{87.5 - 27.5}{\frac{4}{50}}$$

$a_D = 750 \text{ cm/s}^2$ หรือ $7.50 \text{ m/s}^2$

## กิจกรรมที่ 3.3 การหาความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวราบ

### จุดประสงค์

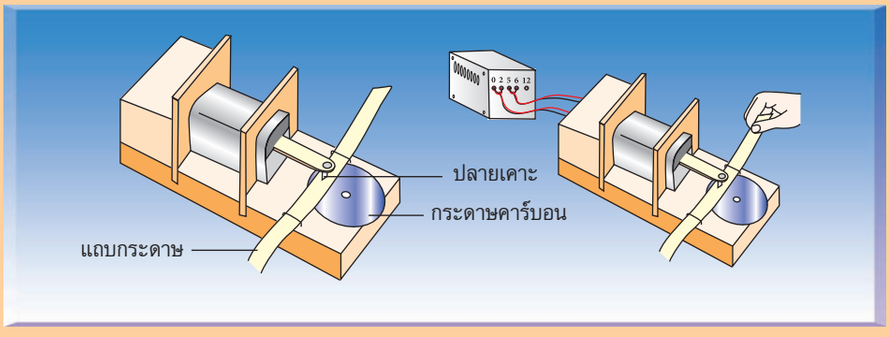
1. บอกลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุจากแถบกระดาษที่ได้จากเครื่องเคาะสัญญาณเวลาได้
2. เพื่อหาอัตราเร่งเฉลี่ยและความเร่งเฉลี่ยของการเคลื่อนที่จากจุดบนแถบกระดาษได้
3. เพื่อหาอัตราเร่งขณะหนึ่งและความเร่งเฉลี่ยขณะหนึ่งของการเคลื่อนที่จากจุดบนแถบกระดาษได้

### อุปกรณ์

1. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ
2. สายไฟฟ้า
3. เครื่องเคาะสัญญาณเวลา
4. แถบกระดาษ
5. กระดาษคาร์บอน
6. รถทดลอง

### วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรของเครื่องเคาะสัญญาณเวลากับหม้อแปลงไฟฟ้าให้เรียบร้อย และสอดแถบกระดาษเข้ากับเครื่องเคาะสัญญาณเวลาดังรูป




2. ดึงแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาด้วยความเร็วค่าหนึ่ง สังเกตจุดที่เกิดบนแถบกระดาษ บันทึกผลการสังเกต

3. ดึงแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาด้วยความเร็วที่มากขึ้นกว่าเดิม สังเกตจุดที่เกิดบนแถบกระดาษ บันทึกผลการสังเกต

4. ดึงแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาด้วยความเร่งค่าหนึ่ง นำแถบกระดาษที่ได้มาหาอัตราเร่งเฉลี่ยและความเร่งเฉลี่ยให้นักเรียนเลือกจุดบนแถบกระดาษที่สามารถวัดระยะทางและการกระจัดได้สะดวกมาจำนวน 11 จุด กำหนดจุดเริ่มต้นเป็นจุดที่ 1 ดังรูป จากนั้นให้หาอัตราเร็วและความเร็วขณะหนึ่ง ณ จุดที่ 2 และจุดที่ 10

โดยการหาอัตราเร็วและขนาดของความเร็ว ณ จุด 2 จากระยะทางและขนาดของการกระจัดระหว่างจุด 1 - จุด 3 และเวลาจากจุด 1 - จุด 3 (เวลาใน 2 ช่วงจุด) การหาอัตราเร็วและขนาดของความเร็ว ณ จุด 10 ทำเช่นเดียวกับการหาที่จุด 2 บันทึกผลการตรวจสอบให้ชัดเจน ซึ่งนักเรียนจะเห็นได้ว่าระยะทางและขนาดของการกระจัดของการเคลื่อนที่ที่นักเรียนวัดได้จะมีค่าเท่ากันเสมอ ทั้งนี้เพราะเป็นการเคลื่อนที่ในแนวตรงที่ไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง

5. หาอัตราเร่งเฉลี่ยของการเคลื่อนที่จากจุดที่ 2 ไปจุดที่ 10 โดยการนำอัตราเร็วขณะหนึ่ง ณ จุดที่ 10 ลบด้วยอัตราเร็วขณะหนึ่ง ณ จุดที่ 2 แล้วหารด้วยเวลาในการเคลื่อนที่จากจุดที่ 2 - 10 บันทึกผลการตรวจสอบ

6. หาความเร่งเฉลี่ยของการเคลื่อนที่จากจุดที่ 2 ไปจุดที่ 10 โดยการนำความเร็วขณะหนึ่ง ณ จุดที่ 10 ลบด้วยความเร็วขณะหนึ่ง ณ จุดที่ 2 แล้วหารด้วยเวลาในการเคลื่อนที่จากจุดที่ 2 ถึงจุดที่ 10 บันทึกผลการตรวจสอบ เปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับข้อ 5

7. สรุปผลการทดลอง

**ผลการทดลอง**

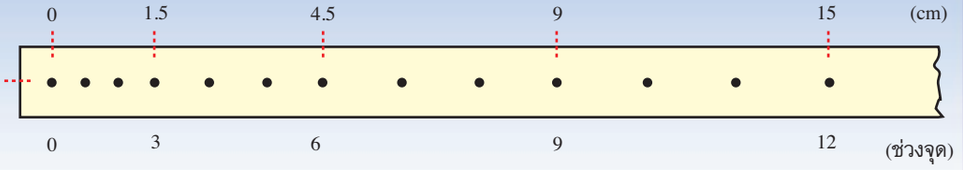
- ติดแถบกระดาษที่ได้จากการดึงผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบลักษณะของจุดที่เกิดขึ้นบนแถบกระดาษ
- ติดแถบกระดาษที่ใช้หาอัตราเร่งเฉลี่ย ความเร่งเฉลี่ย พร้อมแสดงวิธีการคำนวณให้ชัดเจน

**คำถามหลังการทดลอง**

1. ลักษณะของแถบกระดาษที่ได้จากการดึงผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาด้วยความเร็วน้อยและความเร็วมากมีความแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
2. วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งลักษณะของจุดบนแถบกระดาษมีลักษณะเป็นอย่างไร
3. นักเรียนมีวิธีการหาอัตราเร่งเฉลี่ยและความเร่งเฉลี่ยจากแถบกระดาษได้อย่างไร
4. อัตราเร่งเฉลี่ยและความเร่งเฉลี่ยที่นักเรียนหาได้จากแถบกระดาษมีค่าแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร เพราะเหตุใด
5. นักเรียนจะสรุปผลการทดลองได้ว่าอย่างไร

### ⇨ ลองคิดดู

1. มดขับรถออกจากบ้านด้วยความเร่ง 4 เมตรต่อวินาที$^2$ อยากทราบว่าในเวลา 5 วินาทีต่อมารถของมด มีความเร็วเท่าไร
2. วัตถุชิ้นหนึ่งเริ่มต้นเคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร็ว 5 เมตรต่อวินาที และมีความเร่ง 2 เมตรต่อวินาที$^2$ เมื่อเวลาผ่านไป 4 วินาที วัตถุมีความเร็วเท่าไร
3. วัตถุอันหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที เมื่อสิ้นเวลา 5 วินาที ความเร็วของวัตถุเปลี่ยนไปเป็น 25 เมตรต่อวินาที ความเร่งของวัตถุนี้มีค่าเท่าไร
4. จากการทดลองดึงแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาชนิดเคาะ 50 ครั้งต่อวินาที ได้ผลการทดลองดังรูป จงหาความเร่งที่ช่วงเวลา 3 และ 9 ในหน่วยเซนติเมตรต่อวินาที$^2$




## กิจกรรมที่ 3.4 การหาความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวดิ่ง

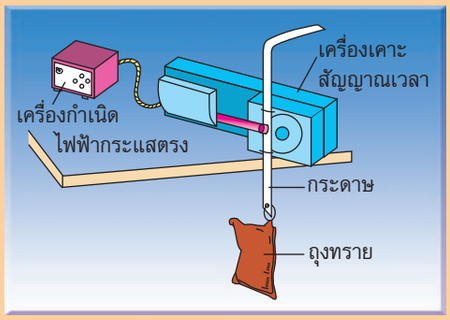
### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาการหาความเร่งของวัตถุที่ตกอย่างเสรีหรือตกในแนวดิ่งภายใต้แรงดึงดูดของโลก

### อุปกรณ์

1. เครื่องเคาะสัญญาณเวลา 1 เครื่อง
2. แถบกระดาษ
3. หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เครื่อง
4. ถุงทราย 3 ถุง

### วิธีการทดลอง




1. ต่อวงจรของเครื่องเคาะสัญญาณเวลากับหม้อแปลงไฟฟ้าให้เรียบร้อย และสอดแถบกระดาษเข้ากับเครื่องเคาะสัญญาณเวลาดังรูป
2. นำเครื่องเคาะสัญญาณเวลาไปวางที่ขอบโต๊ะ แล้วผูกถุงทรายกับแถบกระดาษ จากนั้นปล่อยให้ถุงทรายเคลื่อนที่ลงมาอย่างอิสระ สังเกตจุดบนแถบกระดาษที่ได้

3. ทำการทดลองเช่นเดิม แต่เพิ่มจำนวนถุงทรายเป็น 2 ถุง และ 3 ถุง ตามลำดับ สังเกตจุดบนแถบกระดาษที่ได้ บันทึกผลการทดลอง

4. หาขนาดของความเร่งเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของถุงทรายจากแถบกระดาษที่ได้

5. สรุปผลการทดลอง

**ผลการทดลอง**

- ติดแถบกระดาษที่ได้จากการตกของถุงทรายทั้ง 3 ครั้ง

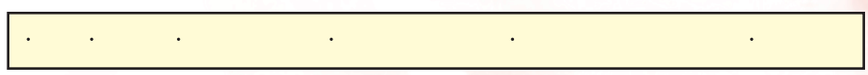
**คำถามหลังการทดลอง**

1. นักเรียนคิดว่าจุดบนแถบกระดาษใช้บอกความเร่งของถุงทรายที่ตกในแนวดิ่งได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
2. ลักษณะของจุดบนแถบกระดาษที่เกิดจากการตกของถุงทรายในแนวดิ่งที่นักเรียนสังเกตเห็นแตกต่างจากจุดบนแถบกระดาษที่เกิดจากการที่นักเรียนดึงแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาในแนวราบด้วยความเร็วที่ไม่คงที่หรือไม่ อย่างไร
3. ลักษณะของจุดบนแถบกระดาษที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของถุงทราย 1 ถุง 2 ถุง และ 3 ถุง แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร นักเรียนคิดว่าเป็นเพราะเหตุใด
4. นักเรียนจะสรุปผลการทดลองได้ว่าอย่างไร

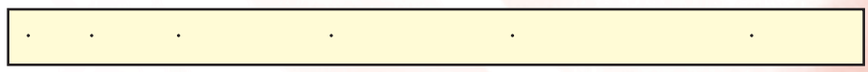
จากการศึกษาความเร่งของการตกของถุงทรายในแนวดิ่งอย่างอิสระจะพบว่า ลักษณะจุดบนแถบกระดาษที่เกิดขึ้นจากการตกของถุงทราย 1 ถุง 2 ถุง และ 3 ถุง และการคำนวณ แสดงว่าความเร่งของวัตถุที่ตกอย่างอิสระในแนวดิ่งจะมีค่าคงที่ค่าหนึ่งและค่าความเร่งนี้ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุที่ตกลงมา เราเรียกความเร่งนี้ว่า ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกหรือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าประมาณ 9.8 เมตรต่อวินาที$^2$

ตัวอย่างช่วงจุดบนขอบกระดาษที่ได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ 9.8 เมตรต่อวินาที$^2$ โดยสังเกตได้จากกระดาษ ในการทดลองดังนี้

แถบกระดาษที่ได้จากการตกของถุงทราย 1 ถุง



แถบกระดาษที่ได้จากการตกของถุงทราย 2 ถุง



แถบกระดาษที่ได้จากการตกของถุงทราย 3 ถุง

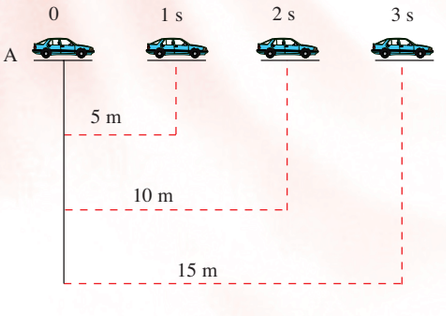
## กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่างๆ

การเคลื่อนที่ของวัตถุอธิบายได้ด้วยปริมาณต่างๆ ดังที่เราทราบมาแล้ว เช่น ระยะทาง การกระจัด อัตราเร็ว ความเร็ว และความเร่ง ถ้าเรานำปริมาณต่างๆ ในการเคลื่อนที่ของวัตถุกับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่มาเขียนเป็นกราฟ เราจะได้กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณดังกล่าวในลักษณะต่างๆ ซึ่งเราสามารถใช้กราฟดังกล่าวหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่นั้นได้

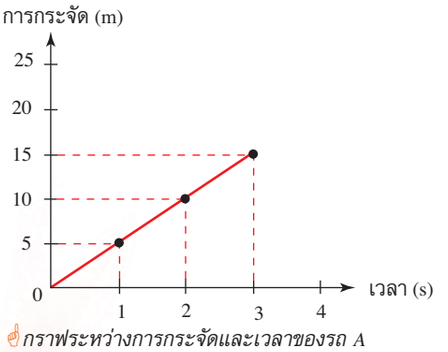
## กราฟการกระจัดกับเวลา

ถ้ารถคันหนึ่งเคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง เช่น 40 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 3 วินาที นักเรียนจะเขียนกราฟระหว่างการกระจัดกับเวลาของรถคันนี้ได้อย่างไร และจะหาความชันของกราฟได้อย่างไร ความชันของกราฟที่หาได้จะแทนปริมาณอะไรของการเคลื่อนที่นั้น

ให้นักเรียนพิจารณาการเคลื่อนที่ของรถในรูปข้างล่างนี้




*การกระจัดที่รถ A เคลื่อนที่ในแต่ละวินาที*




*กราฟระหว่างการกระจัดและเวลาของรถ A ที่มีความเร็วคงที่ 5 m/s*

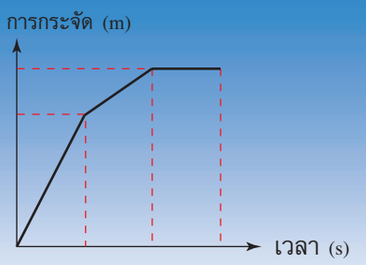
จากกราฟระหว่างการกระจัดกับเวลาในการเคลื่อนที่ของรถ พบว่าเป็นกราฟเส้นตรงเฉียงขึ้น แสดงว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการกระจัดที่รถเคลื่อนที่ได้จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยในอัตราคงที่หรือแปรผันตรงซึ่งกันและกัน เมื่อหาความชันของกราฟในช่วงเวลา 0 - 3 วินาที จะได้

$$\text{ความชันของกราฟ} = \frac{15 - 0}{3 - 0} = 5 \text{ m/s}$$

นักเรียนจะเห็นว่าค่าของความชันของกราฟระหว่างการกระจัดกับเวลาที่เราหาได้ก็คือ ความเร็วของรถมีค่าเท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที

**คำถาม**

➲ ให้นักเรียนพิจารณากราฟระหว่างการกระจัดกับเวลาดังรูปต่อไปนี้และอธิบายเกี่ยวกับความเร็วในการเคลื่อนที่เป็นแนวตรงของวัตถุตามกราฟนี้ได้ว่าอย่างไร




☝ *กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลา*

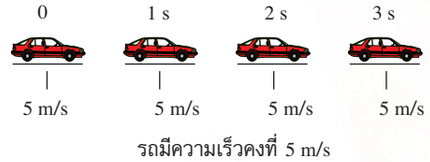
## ข้อสรุปเกี่ยวกับกราฟการกระจัดกับเวลา

1. ความชันของกราฟการกระจัดกับเวลาแทนความเร็วในการเคลื่อนที่
2. เมื่อความเร็วคงที่ ความเร็วเฉลี่ยเท่ากับความเร็วขณะหนึ่ง
3. การหาความเร็วเฉลี่ยระหว่าง 2 จุดใดๆ หาจากความชันของเส้นตรงที่ลากจากจุดทั้งสองบนกราฟตรงช่วงเวลานั้น ความชันจะแทนความเร็วเฉลี่ยและแทนความเร็วขณะหนึ่งตรงจุดกึ่งกลางช่วงเวลานั้นด้วย

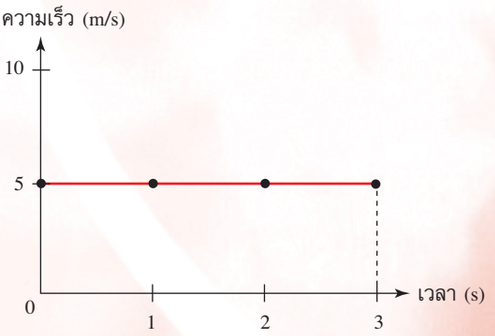
## กราฟระหว่างความเร็วกับเวลา

ถ้ารถคันหนึ่งเคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร็วคงที่ 10 เมตรต่อวินาที ไปทางทิศตะวันออก นักเรียนจะเขียนกราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันนี้ได้อย่างไร ลักษณะของกราฟจะเป็นอย่างไร และเมื่อหาความชันของกราฟค่าที่ได้จะแทนปริมาณอะไรของการเคลื่อนที่

ให้นักเรียนพิจารณาการเคลื่อนที่ของรถที่มีความเร็วคงที่ 5 เมตรต่อวินาที และกราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของรถคันนี้ในรูปต่อไปนี้




☝ *การเคลื่อนที่ของรถที่มีความเร็วคงที่ 5 m/s กับเวลาของรถ*




☝ *กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา*

จากกราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ของรถในรูปข้างต้น เราจะเห็นว่ากราฟระหว่างความเร็วกับเวลาขนานกับแกนเวลา นั่นคือ ค่าบนแกนความเร็วของรถไม่มีการเปลี่ยนแปลง เราทราบแล้วว่าถ้าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าวัตถุนั้นไม่ได้เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง หรือความเร่งของวัตถุเป็น 0 ซึ่งจากกราฟจะพบว่าความชันของกราฟเป็น 0 แสดงว่าความชันของกราฟบ่งบอกถึงความเร่งของการเคลื่อนที่ และเมื่อนักเรียนหาพื้นที่ใต้กราฟออกมา ซึ่งหาได้จาก

พื้นที่ใต้กราฟ = พื้นที่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า = กว้าง×ยาว = 5×3 = 15 เมตร

พื้นที่ใต้กราฟจะมีค่าเท่ากับขนาดของการกระจัดที่รถยนต์คันนี้เคลื่อนที่ได้ในเวลา 3 วินาทีนั่นเอง

เนื่องจาก $\vec{v} = \frac{\Delta\vec{s}}{\Delta t}$

จะได้ว่า $\vec{s} = \vec{v}\Delta t$

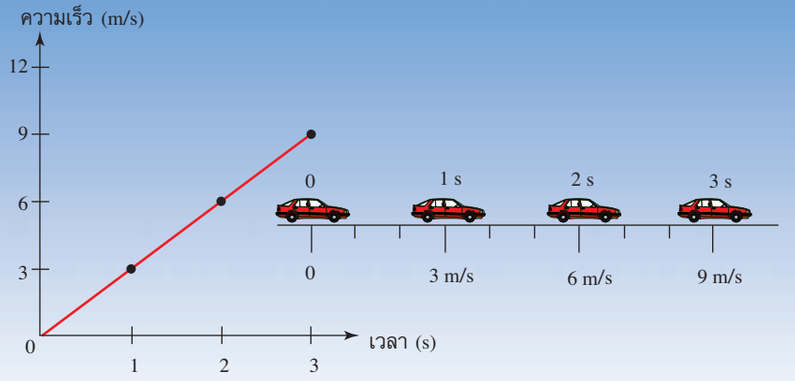
หรือขนาดของการกระจัด $s = v\Delta t$

โดย $v$ คือ ความกว้างของสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$\Delta t$ คือ ความยาวของสี่เหลี่ยมผืนผ้า

**คำถาม**

จากกราฟดังรูปเป็นกราฟแสดงการเคลื่อนที่เป็นแนวตรงของรถที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ ความชันของกราฟจะมีค่าเท่าไร ค่าความชันที่นักเรียนหาได้แสดงถึงปริมาณใดของรถคันนี้ พื้นที่ใต้กราฟมีค่าเท่าใด แสดงถึงปริมาณอะไรของรถ

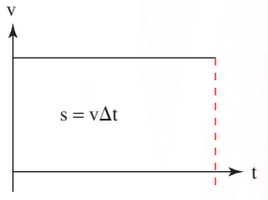



*กราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของรถที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่*

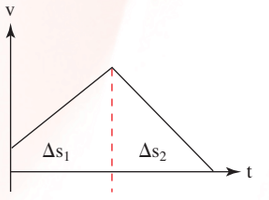
**ข้อสรุปเกี่ยวกับกราฟความเร็วกับเวลา**

1. ความชันของกราฟความเร็วกับเวลาเป็นค่าความเร่ง
2. เมื่อความเร่งคงที่ ความเร่งเฉลี่ยเท่ากับความเร่งขณะหนึ่ง
3. การหาความเร็วขณะหนึ่งตรงตำแหน่งเวลาใด หาจากความชันของเส้นตรงที่ลากสัมผัสกับกราฟตรงตำแหน่งเวลานั้น

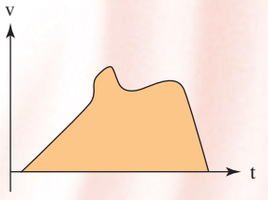
พื้นที่ใต้กราฟระหว่างความเร่งกับเวลากรณีที่เป็นการเคลื่อนที่ในแนวตรงโดยไม่เปลี่ยนทิศทาง พื้นที่ใต้กราฟนี้จะแทนได้ทั้งการกระจัดและระยะทาง ให้นักเรียนพิจารณากราฟรูปต่างๆ ดังต่อไปนี้




*รูป ก.*



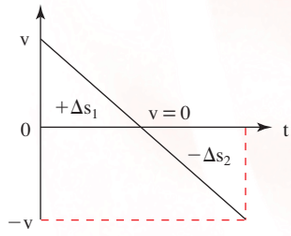

*รูป ข.*




*รูป ค.*

ในกราฟ 3 รูปแบบนี้ถือว่าวัตถุเคลื่อนที่ไปทางเดียวกันตลอด รูป ก. เคลื่อนที่แบบความเร็วคงที่ รูป ข. ขนาดของการกระจัดรวมหรือระยะทางรวมเท่ากับ ($\Delta s$) = $\Delta s_1 + \Delta s_2$ ในรูป ค. วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วและความเร่งไม่คงที่ การหาพื้นที่ใต้กราฟอาจจะใช้วิธีแบ่งเป็นรูปสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมเล็กๆ หรืออาจใช้วิธีทางแคลคูลัสจึงจะหาพื้นที่ใต้กราฟได้

**ในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงแต่มีการกลับทิศ** ระยะทางจะไม่เท่ากับขนาดการกระจัด พื้นที่ใต้กราฟแต่ละส่วนจะเป็นระยะทางหรือขนาดการกระจัดในแต่ละทิศทางเท่านั้น ดังรูป



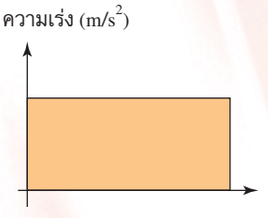

จากรูป วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต้น v หรือ v เป็นบวก ความเร็วลดลงในอัตราคงที่จนความเร็วเป็นศูนย์ ได้ระยะทางหรือการกระจัดขนาดหนึ่งจากพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่เป็นบวก (กรณีนี้ ได้แก่ การโยนวัตถุขึ้นข้างบน จะต้องโยนขึ้นด้วยความเร็วต้น v ค่าหนึ่ง หลังจากนั้นความเร็วจะลดลงเรื่อยๆ จนเป็นศูนย์ ก็จะได้การกระจัดค่าหนึ่ง) จากนั้นจึงเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางเดิมโดยมีความเร็วเพิ่มขึ้นในทิศทางลบได้ระยะทางหรือการกระจัดอีกขนาดหนึ่ง (กรณีนี้คือ เมื่อวัตถุขึ้นสูงสุด ความเร็วเป็นศูนย์ก็จะตกลงมา

ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทบพื้นดินด้วยความเร็ว v ก็จะได้การกระจัดอีกขนาดหนึ่ง)

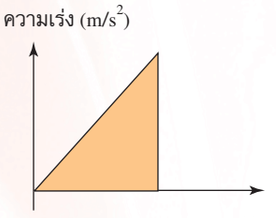
ระยะทางทั้งหมด = ขนาดพื้นที่ คือ $\Delta s_1 + \Delta s_2$

ขนาดของการกระจัด = ขนาดผลต่างของพื้นที่ คือ $\Delta s_1 - \Delta s_2 = 0$

## กราฟระหว่างความเร่งกับเวลา



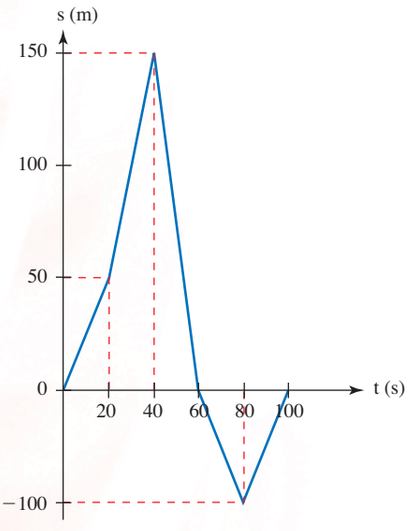

รูป a ความเร่งคงที่




รูป b ความเร่งเพิ่มอย่างคงที่

**ตัวอย่างที่ 3.9** วัตถุอันหนึ่งเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาดังรูป

1. จงหาความเร็วเฉลี่ยและอัตราเร็วเฉลี่ยตลอดเวลาการเคลื่อนที่ 100 วินาที
2. หาความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลา 20 - 40 วินาที และ 40 - 60 วินาที




**วิธีทำ** 1. การหาความเร็วเฉลี่ยและอัตราเร็วเฉลี่ย ต้องทราบระยะทางและการกระจัดของการเคลื่อนที่ทั้งหมดกับเวลาในการเคลื่อนที่ทั้งหมด จากกราฟ

ช่วงเวลา 0 - 20 วินาที ได้ระยะทาง = 50−0 = 50 เมตร

ช่วงเวลา 20 - 40 วินาที ได้ระยะทาง = 150−50 = 100 เมตร

ช่วงเวลา 40 - 60 วินาที ได้ระยะทาง = 0−150 = −150 เมตร

(เดินทางย้อนกลับทางเดิม)

ช่วงเวลา 60 - 80 วินาที ได้ระยะทาง = −100−0 = −100 เมตร

(เดินทางย้อนกลับทางเดิม)

ช่วงเวลา 80 - 100 วินาที ได้ระยะทาง = 0−(−100) = 100 เมตร

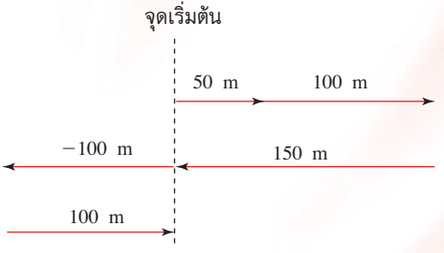
ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในเวลา 100 วินาที

= 50+100+150+100+100

= 500 เมตร

การกระจัดของวัตถุ = 50+100+(−150)+(−100)+100 = 0 เมตร

(กลับถึงจุดเริ่มต้น)




20 วินาทีแรกเคลื่อนที่ไปทางขวามือได้ระยะทาง 50 เมตร

20 วินาทีต่อมาเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 100 เมตร แล้วเคลื่อนที่กลับ 150 เมตร (ผ่านจุดเริ่มต้น 0) และเดินทางต่อไปทางซ้ายมือของจุดเริ่มต้นอีก 100 เมตร และเดินกลับอีก 100 เมตร มาอยู่ที่จุดเริ่มต้นตามเดิม ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ใน 100 วินาที เท่ากับ 500 เมตร

ดังนั้น อัตราเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ใน 100 วินาที

$$= \frac{500}{100} = 5 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

ความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ใน 100 วินาที

$$= \frac{0}{100} = 0 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

2. ความเร็วเฉลี่ยในช่วง 20 - 40 วินาที หาจากความชันของกราฟในช่วงเวลา 20 - 40 วินาที

ความชันของกราฟ $= \frac{150 - 50}{40 - 20} = 5$ เมตรต่อวินาที

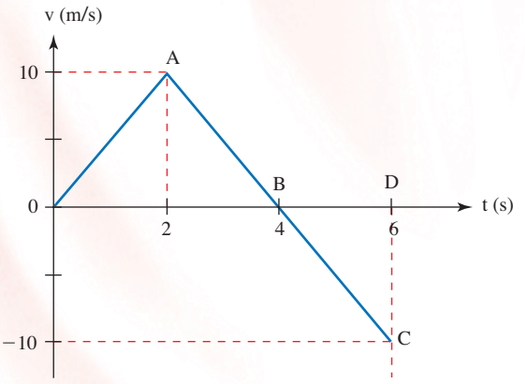
ความเร็วในช่วงนี้ 5 เมตรต่อวินาที **ตอบ**

ความเร็วเฉลี่ยในช่วง 40 - 60 วินาที หาจากความชันของกราฟในช่วงเวลา 40 - 60 วินาที

ความชันของกราฟ $= \frac{0 - 150}{60 - 40} = -7.5$ เมตรต่อวินาที ติดลบเพราะทิศความเร็วย้อนกลับ

ความเร็วในช่วงนี้ $-7.5$ เมตรต่อวินาที **ตอบ**

**ตัวอย่างที่ 3.10** ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุชิ้นหนึ่ง โดยเขียนกราฟความเร็วกับเวลาได้ดังรูป




จงหา

1) ขนาดความเร่งเฉลี่ยช่วงเวลา 0 - 2 วินาที
2) ขนาดความเร่งขณะวินาทีที่ 1
3) ระยะทางทั้งหมด
4) ขนาดการกระจัดทั้งหมด
5) อัตราเร็วเฉลี่ยทั้งหมด
6) ขนาดความเร็วเฉลี่ยทั้งหมด

**วิธีทำ** 1) ขนาดความเร่งเฉลี่ยช่วงเวลา 0 - 2 วินาที หาจากความชันของกราฟช่วง 0 - 2 วินาที

ขนาดของความเร่งช่วง 0 - 2 วินาที $= \frac{10 - 0}{2 - 0} = 5$ เมตรต่อวินาที$^2$

**ตอบ**

2) ขนาดความเร่งขณะวินาทีที่ 1 หาจากความชันของกราฟ ณ จุด $t = 1$ วินาที

ขนาดของความเร่ง $= \frac{10 - 0}{2 - 0}$

$= 5$ เมตรต่อวินาที$^2$

**ตอบ**

3) ระยะทางทั้งหมดหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด

พื้นที่ใต้กราฟบนแกน x $= \frac{1}{2} \times 4 \times 10 = 20$ เมตร

พื้นที่ใต้กราฟล่างแกน x $= \frac{1}{2} \times 2 \times (-10) = -10$ เมตร

เพราะฉะนั้น ระยะทางของการเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ 30 เมตร **ตอบ**

4) การกระจัดทั้งหมด หาจากพื้นที่ใต้กราฟโดยคิดเครื่องหมายด้วย

การกระจัด $= 20 + (-10) = 10$ เมตร **ตอบ**

5) อัตราเร็วเฉลี่ยทั้งหมด หาจาก

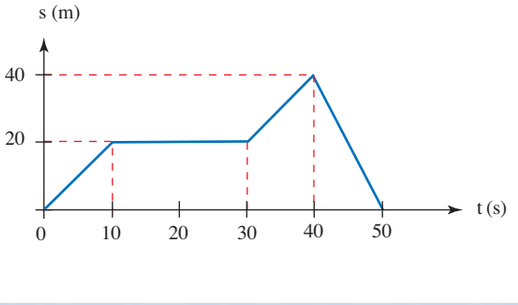
$v_{av} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{30}{6} = 5$ เมตรต่อวินาที **ตอบ**

6) ความเร็วเฉลี่ยทั้งหมด หาจาก $\vec{v}_{av} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$

ขนาดของความเร็วเฉลี่ย $= \frac{10}{6} = 1.67$ เมตรต่อวินาที **ตอบ**

## ⇨ ลองทำดู

1. วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงมีกราฟการกระจัดกับเวลาดังรูป



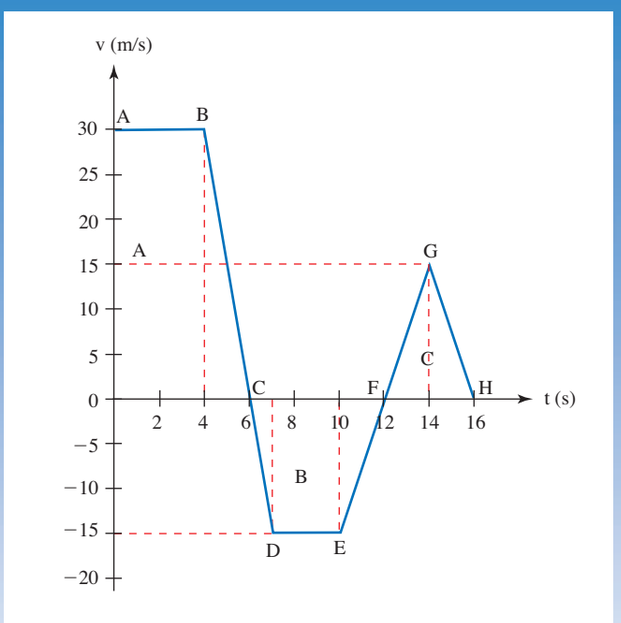

จงหา

1) ความเร็วที่วินาทีที่ 5 และ 45

2) ความเร็วเฉลี่ยใน 50 วินาที

3) อัตราเร็วเฉลี่ยใน 50 วินาที

2. จากกราฟความเร็วกับเวลา




จงหา

1) ระยะทางและการกระจัดทั้งหมด
2) ความเร่งสูงสุดและความหน่วงสูงสุด
3) อัตราเร็วเฉลี่ยในช่วง 4 - 6 วินาที

# การเคลื่อนที่แบบต่างๆ

## การเคลื่อนที่ในแนวตรง

วัตถุหนึ่งกำลังเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง ถ้าแรงที่กระทำอยู่ในทิศทางเดียวกับที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่อยู่จะส่งผลให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่อยู่ในทิศทางเดิมและมีความเร็วเพิ่มขึ้น แต่ถ้าแรงที่มากระทำต่อวัตถุมีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของวัตถุจะส่งผลให้วัตถุเคลื่อนที่ในทิศทางเดิมและมีความเร็วลดลง ถ้าแรงกระทำอยู่นานก็สามารถทำให้วัตถุเคลื่อนที่กลับทิศได้ การเคลื่อนที่ในลักษณะเช่นนี้เราเรียกว่า การเคลื่อนที่ใน 1 มิติ หรือ**การเคลื่อนที่แนวตรง (linear motion)** นั่นเอง

การเคลื่อนที่ในแนวตรงจะมีปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องที่เราศึกษาผ่านมาแล้วได้แก่ ระยะทาง การกระจัด อัตราเร็ว ความเร็ว และความเร่ง ซึ่งเป็นปริมาณพื้นฐานที่สำคัญมากในการศึกษาการเคลื่อนที่ในรูปแบบต่างๆ ต่อไป การเคลื่อนที่ในแนวตรงอาจแยกพิจารณาได้เป็น 2 แนวได้แก่

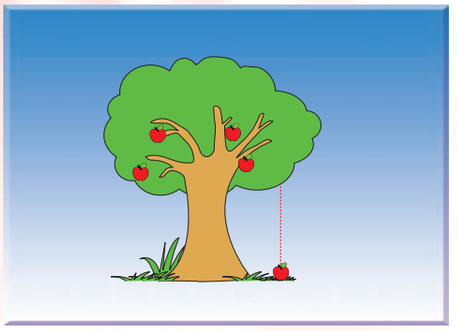
## การเคลื่อนที่แนวตรงในแนวระดับ

การเคลื่อนที่แนวตรงในแนวระดับนั้น การเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุขึ้นอยู่กับแรงภายนอกที่มากระทำว่าจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วเป็นอย่างไร ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่และไม่มีการเปลี่ยนทิศทางก็จะทำให้ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้กับการกระจัดของวัตถุมีค่าเท่ากัน ความเร่งของวัตถุจะเป็นศูนย์ ระยะทางหรือการกระจัดจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอตามที่เราศึกษาผ่านมา แต่ถ้าวัตถุเคลื่อนที่โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนทิศทางแต่ความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้กับการกระจัดของวัตถุจะมีค่าเท่ากันเช่นเดิมแต่ความเร่งของวัตถุจะไม่เป็นศูนย์ ซึ่งเราสามารถหา ความเร่งของวัตถุได้จากการหาอัตราเปลี่ยนแปลงความเร็ว และในอีกกรณีหนึ่ง ถ้าการเคลื่อนที่ในแนวตรงนั้นมีการเปลี่ยนทิศทาง วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง เราสามารถหาความเร่งได้จากอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วเช่นเดิม และในกรณีนี้วัตถุจะมีความเร็วและอัตราเร็วที่ไม่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะเมื่อมีการเปลี่ยนทิศทาง ระยะทางกับการกระจัดมีค่าไม่เท่ากันนั่นเอง

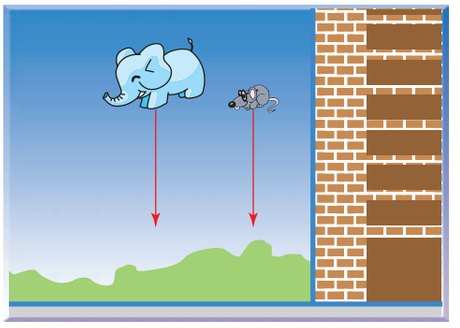
*การเคลื่อนที่ในแนวตรงที่เราพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน*

## การเคลื่อนที่แนวตรงในแนวดิ่ง

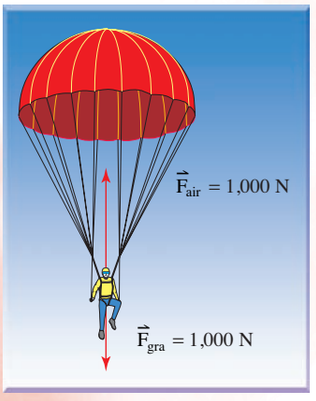
การเคลื่อนที่แนวตรงในแนวดิ่งเป็นการเคลื่อนที่ภายใต้แรงดึงดูดของโลก ซึ่ง**กาลิเลโอ กาลิเลอี (Galileo Galilei : ค.ศ 1564 - 1642)** นักวิทยาศาสตร์คนสำคัญของโลก ได้ทำการทดลองให้เห็นว่าวัตถุที่ตกลงสู่พื้นโลกอย่างอิสระจะเคลื่อนที่ภายใต้แรงดึงดูดของโลกด้วยความเร่งขนาดเดียวกัน คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ต่อมาเซอร์ไอแซก นิวตัน ได้สังเกตว่าทำไมผลแอปเปิลจึงตกสู่พื้นดิน ทำไมดวงจันทร์ไม่ลอยหลุดไปจากโลก นิวตันได้ทำการศึกษาค้นคว้า จนในที่สุดก็สามารถพิสูจน์ในเรื่องกฎแห่งการดึงดูดของมวลได้ พบว่าโลกและดวงจันทร์ต่างมีแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน และผลแอปเปิลกับโลกก็มีแรงดึงดูดระหว่างกัน ผลแอปเปิลเมื่อหลุดจากขั้วจึงเคลื่อนที่อย่างอิสระตามแรงดึงดูดของโลก การตกอย่างอิสระนี้ วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ซึ่งเรียกว่า **ความเร่งโน้มถ่วง (gravitational acceleration)** ของโลก หรือ $\vec{g}$ ซึ่งมีค่าประมาณ 9.8 เมตรต่อวินาที$^2$



การตกอย่างอิสระของลูกแอปเปิล



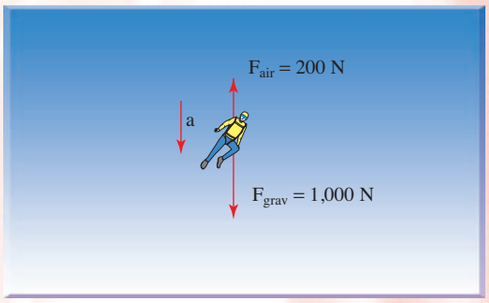
การตกอย่างอิสระของสิ่งต่างๆถ้าไม่คิดแรงต้านของอากาศ ไม่ว่าวัตถุจะมีขนาดเท่าใดจะตกถึงพื้นพร้อมกัน



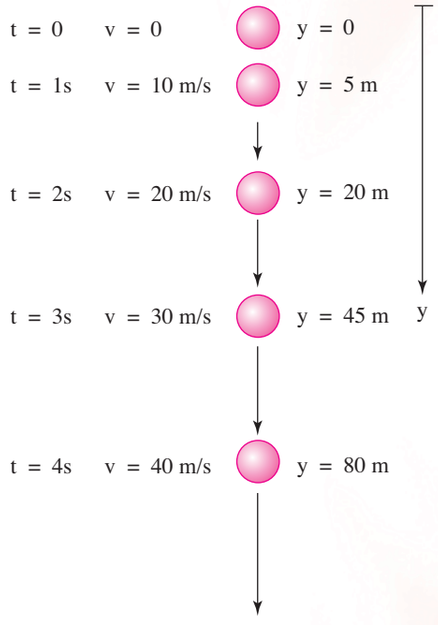

ถ้าแรงต้านของอากาศเท่ากับแรงดึงดูดของโลก วัตถุจะมีความเร่งเป็น 0 $m/s^2$

เมื่อเราทดลองปล่อยวัตถุให้ตกสู่พื้นอย่างอิสระ เช่น การทดลองปล่อยถุงทรายจำนวน 1 ถุง 2 ถุง และ 3 ถุง ตามลำดับที่ผ่านมา จะพบว่าถุงทรายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น แสดงว่าถุงทรายมีความเร่ง เมื่อพิจารณาจุดที่เกิดขึ้นบนแถบกระดาษ พบว่าถุงทรายทั้งหมดไม่ว่าจะมีมวลมากหรือน้อยตกลงมาด้วยความเร่งเท่ากัน นั่นคือวัตถุเคลื่อนที่ภายใต้แรงดึงดูดของโลกเพียงแรงเดียวไม่คิดแรงต้านของอากาศ เรียกว่า **การตกอย่างอิสระ (free fall)** หากเราปล่อยวัตถุให้ตกจากที่สูงในระดับเดียวกัน จะตกลงสู่พื้นพร้อมกันด้วยความเร่ง โดยมีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางของโลก (ทิศลงในแนวดิ่ง) ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ไม่ว่าวัตถุนั้นจะมีมวลมากหรือน้อยก็ตาม เมื่อวัตถุมีการตกอย่างอิสระวัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งขนาดเท่ากัน

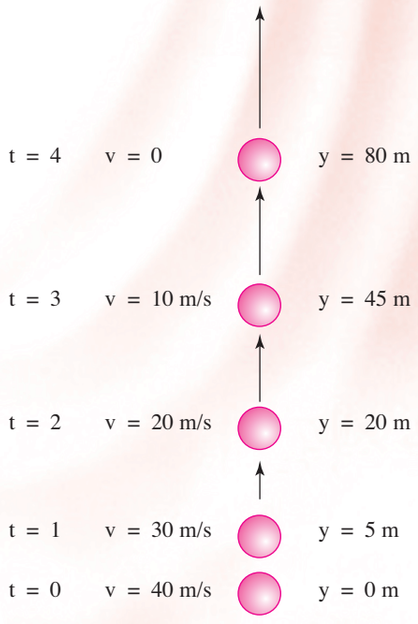
จึงสรุปได้ว่า วัตถุใดก็ตามที่ตกอย่างอิสระ ณ บริเวณหนึ่งจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งโน้มถ่วงของโลกที่มีค่าเดียวกัน เพื่อความสะดวกในการคำนวณเรามักนิยมใช้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที$^2$ นั่นหมายความว่า เมื่อวัตถุตกอย่างอิสระวัตถุจะเคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง (a) เท่ากับ g ถ้า g เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที$^2$ แสดงว่าวัตถุจะเคลื่อนที่ลงมาด้วยความเร็วเพิ่มขึ้นวินาทีละ 10 เมตรต่อวินาที




*ถ้ามีแรงต้านของอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง ความเร่งของวัตถุไม่เท่ากับ 10 m/s$^2$*




*ความเร็วของวัตถุขณะตกลงอย่างอิสระ*




*ความเร็วของวัตถุขณะเคลื่อนที่ขึ้นอย่างอิสระ*

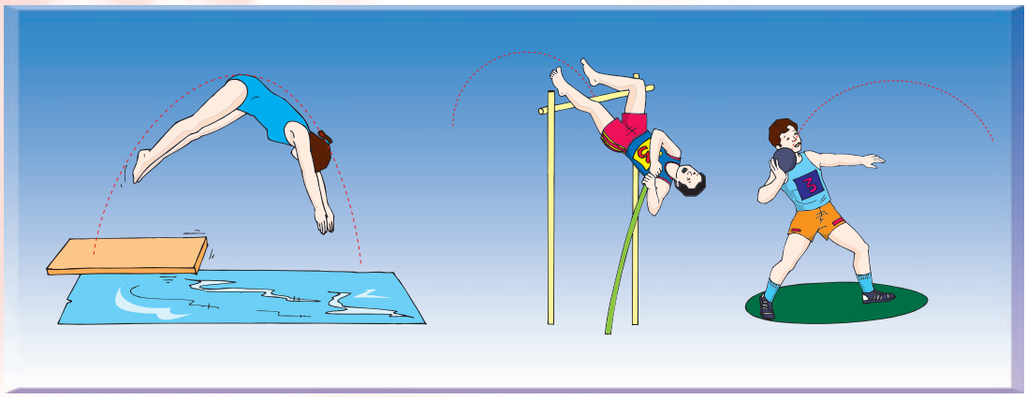
**⇨ ลองทำดู**

- น้องพลับโยนก้อนหินขึ้นในแนวดิ่งด้วยความเร็ว 30 เมตรต่อวินาที เมื่อเวลาผ่านไป 2 วินาที วัตถุจะมีความเร็วเท่าใด และวัตถุจะใช้เวลานานกี่วินาทีจึงจะเคลื่อนที่ไปถึงจุดสูงสุด

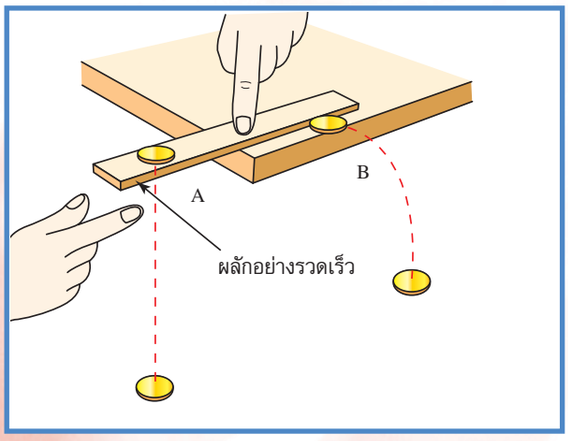
## การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (projectile motion) เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุอย่างอิสระอีกรูปแบบหนึ่ง มีแนวการเคลื่อนที่เป็นวิถีโค้งซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ใน 2 มิติ โดยที่แรงลัพธ์ในแนวระดับเป็นศูนย์ ทำให้วัตถุมีความเร็วคงที่ ส่วนแรงลัพธ์ที่กระทำในแนวดิ่งคือแรงดึงดูดของโลกซึ่งจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งด้วยความเร่งคงที่ ผลรวมของการเคลื่อนที่ทั้งสองแนวจะส่งผลให้แนวทางการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นวิถีโค้ง ซึ่งเรียกว่า การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ เช่น การขว้างลูกบอลออกไปในอากาศ ในแนวเอียงทำมุมกับแนวระดับ การเตะลูกฟุตบอลในแนวเฉียง การตีลูกเทนนิส

จากการศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบโพรเจกไทล์พบว่าวัตถุจะมีการเคลื่อนที่ในแนวระดับและแนวดิ่งไปพร้อมๆ กัน ทำให้เกิดการกระจัดในแนวระดับและการกระจัดในแนวดิ่ง ความเร็วในแนวระดับและความเร็วในแนวดิ่ง เช่น การดีดเหรียญ A และเหรียญ B ให้ตกจากระดับความสูงจากพื้นเท่ากัน ดังรูป



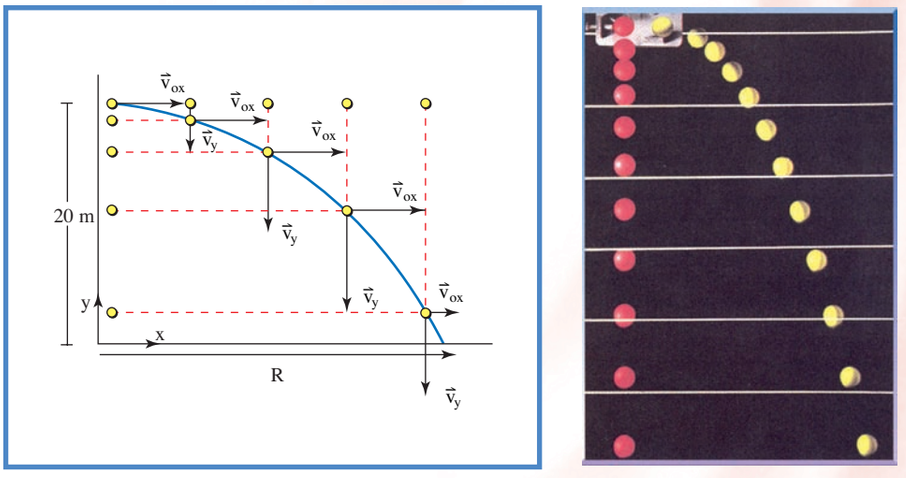
การเคลื่อนที่อย่างอิสระเป็นแนวโค้งแบบโพรเจกไทล์ในกีฬาประเภทต่างๆ




การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และการตกอิสระของเหรียญ

จากการทดลอง พบว่าเหรียญ 2 อัน เริ่มต้นเคลื่อนที่พร้อมกันจากระดับความสูงเท่ากัน เหรียญ A จะเคลื่อนที่อย่างอิสระในแนวดิ่งส่วนเหรียญ B จะเคลื่อนที่อย่างอิสระ

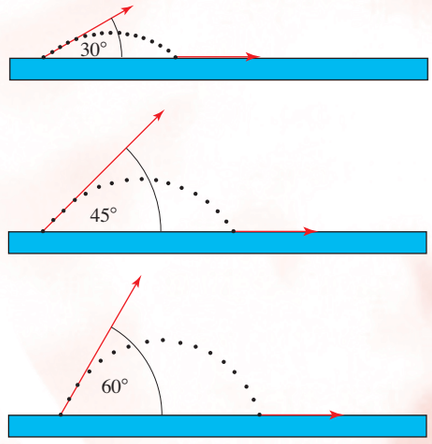
แบบโพรเจกไทล์ เพราะเหรียญ B ได้รับแรงในแนวระดับจากการปัดไม้บรรทัด ทำให้มีความเร็วในแนวระดับ และเมื่อพ้นขอบโต๊ะ เหรียญ B จะถูกแรงดึงดูดของโลกกระทำในแนวดิ่ง ในขณะที่ความเร่งในแนวระดับเป็น 0 จึงทำให้ความเร็วในแนวดิ่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเหรียญทั้งสองจะตกสู่พื้นพร้อมกัน โดยเหรียญ A จะเกิดการกระจัดเฉพาะแนวดิ่ง ส่วนเหรียญ B จะเกิดการกระจัดทั้งแนวดิ่งและแนวระดับพร้อมกัน จากการบันทึกภาพการทดลองเช่นเดียวกันกับการทดลองข้างต้นอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่เริ่มเคลื่อนที่ได้ผลดังรูป




*การเคลื่อนที่ของวัตถุสองชิ้นพร้อมกันในแนวดิ่งและแนวโค้งโพรเจกไทล์*

จากการเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของวัตถุทั้งสอง พบว่าวัตถุที่ตกในแนวดิ่ง มีการกระจัดในแนวดิ่งเพียงแนวเดียว ส่วนวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวโค้งโพรเจกไทล์ จะมีการกระจัดทั้งแนวดิ่งและแนวระดับไปพร้อมๆ กัน และในช่วงเวลาเท่ากัน วัตถุทั้งสองจะมีการกระจัดในแนวดิ่งเท่ากันตลอดการเคลื่อนที่และตกถึงพื้นพร้อมกัน ซึ่งอธิบายได้ว่าวัตถุทั้งสองถูกแรงดึงดูดของโลกกระทำเพียงแรงเดียว ดังนั้นจึงมีความเร่งในแนวดิ่งเท่ากันคือ g

จากการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ตามรูปพบว่า การกระจัดในแนวระดับและแนวดิ่งจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับมุมของความเร็วต้นที่กระทำต่อแนวระดับ มุมที่ทำให้วัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์มีการกระจัดในแนวระดับมากที่สุดคือ มุม 45 องศา




*การกระจัดในแนวราบเมื่อความเร็วต้นทำมุมต่างๆ กับแนวระดับ*

07.htm

## กิจกรรมที่ 3.5 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

### จุดประสงค์

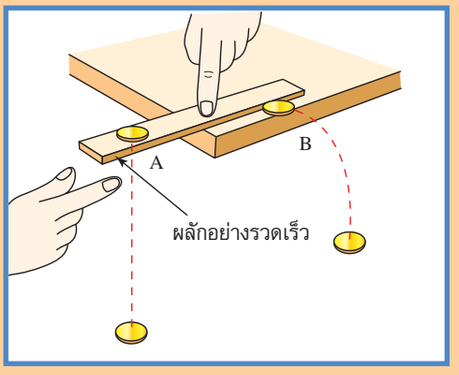
1. เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบโพรเจกไทล์
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่อย่างอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกในแนวดิ่งและแบบโพรเจกไทล์ของวัตถุ 2 ชนิด ที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ จากระดับความสูงเดียวกันว่ามีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

### อุปกรณ์

1. เหรียญ 5 บาท หรือเหรียญ 10 บาท ที่มีขนาดและลักษณะเหมือนกัน 2 เหรียญ
2. ไม้บรรทัดเหล็ก 1 อัน

### วิธีการทดลอง

1. วางไม้บรรทัดให้ส่วนหนึ่งโผล่บนโต๊ะมาประมาณครึ่งหนึ่ง ใช้มือกดไม้บรรทัดเพื่อไม่ให้ตก แล้ววางเหรียญไว้บนโต๊ะตรงบริเวณขอบโต๊ะ 1 เหรียญใกล้กับไม้บรรทัด ส่วนอีกเหรียญหนึ่งวางไว้บนไม้บรรทัดส่วนที่โผล่พ้นโต๊ะ ดังรูป




2. ออกแรงผลักไม้บรรทัดด้วยมืออย่างรวดเร็วดังรูป สังเกตการเคลื่อนที่ของเหรียญทั้งสอง และการตกกระทบพื้นของเหรียญทั้งสอง บันทึกผลการทดลอง
3. ทำการทดลองเช่นเดิมแต่ออกแรงผลักไม้บรรทัดด้วยแรงที่มากขึ้นกว่าเดิม สังเกตการเคลื่อนที่ของเหรียญทั้งสอง และการตกกระทบพื้นของเหรียญทั้งสอง บันทึกผลการทดลอง
4. สรุปผลการทดลอง

### คำถามหลังการทดลอง

1. เหรียญทั้งสองมีแนวการเคลื่อนที่แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
2. เหรียญทั้งสองได้รับแรงที่แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
3. เมื่อเราเพิ่มแรงที่ผลักไม้บรรทัดให้มากขึ้น ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของเหรียญทั้งสองหรือไม่ อย่างไร
4. การเพิ่มแรงผลักไม้บรรทัดให้มากขึ้น เหรียญทั้งสองจะตกถึงพื้นแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
5. นักเรียนคิดว่าอะไรเป็นสาเหตุให้เหรียญทั้งสองมีลักษณะการเคลื่อนที่แตกต่างกัน
6. นักเรียนอธิบายได้หรือไม่ว่าทำไมเหรียญถึงตกพื้นพร้อมกัน
7. นักเรียนจะสรุปผลการทดลองได้ว่าอย่างไร

## กิจกรรมที่ 3.6 การยิงวัตถุ

### จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการกระจัดในแนวระดับ ที่เกิดขึ้นจากการยิงวัตถุที่มีขนาดต่างกันในทิศทำมุมกับแนวระดับเท่ากันของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการกระจัดในแนวระดับ ที่เกิดขึ้นจากการยิงวัตถุที่มีขนาดเท่ากันในทิศทำมุมกับแนวระดับแตกต่างกันของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

### อุปกรณ์

1. เครื่องยิงวัตถุในทิศทำมุมต่างๆ
2. ไม้เมตรหรือตลับเมตร

### วิธีการทดลอง

1. ใส่ลูกกลมโลหะขนาดเล็กของเครื่องยิงวัตถุในกระบอกยิง ดึงคันยิงออกไปที่ระยะหนึ่ง แล้วยิงลูกกลมโลหะออกไปในแนวระดับ สังเกตการเคลื่อนที่ของลูกกลมโลหะ และวัดระยะที่สั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้นในการยิงไปยังจุดที่ลูกกลมโลหะตกกระทบพื้น บันทึกผล
2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 แต่เปลี่ยนขนาดของลูกกลมโลหะให้ใหญ่ขึ้น สังเกตการเคลื่อนที่ของลูกกลมโลหะและวัดระยะที่สั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้นในการยิงไปยังจุดที่ลูกกลมโลหะตกกระทบพื้น บันทึกผล
3. เลือกลูกกลมโลหะมา 1 ลูก ดึงคันยิงออกไปที่ระยะหนึ่ง แล้วยิงลูกกลมโลหะออกไปในแนวทำมุม 30 องศา 45 องศา และ 60 องศากับแนวระดับ สังเกตการเคลื่อนที่ของลูกกลมโลหะ และวัดระยะที่สั้นที่สุด จากจุดเริ่มต้นในการยิงไปยังจุดที่ลูกกลมโลหะตกกระทบพื้น บันทึกผล
4. สรุปผลการทดลอง

### ตารางบันทึกผลการทดลอง

***ตารางที่ 1 การยิงลูกกลมโลหะขนาดไม่เท่ากันด้วยแรงและมุมการยิงเท่ากัน***

| ขนาดของลูกกลมโลหะที่ใช้ยิง | ระยะที่สั้นที่สุดที่วัดได้จากจุดเริ่มต้นการยิงไปยังจุดที่ลูกกลมโลหะตกกระทบพื้น (cm) |
|---|---|
| ลูกกลมโลหะขนาดเล็ก | |
| ลูกกลมโลหะขนาดใหญ่ | |

*ตารางที่ 2 การยิงลูกกลมโลหะขนาดเท่ากัน แรงยิงเท่ากันในลักษณะทำมุมต่างกัน*

| มุมที่ใช้ในการยิงลูกกลมโลหะ | ระยะที่สั้นที่สุดที่วัดได้จากจุดเริ่มต้นการยิงไปยังจุดที่ลูกกลมโลหะตกกระทบพื้น (cm) |
|---|---|
| 30° | |
| 45° | |
| 60° | |

**คำถามหลังการทดลอง**

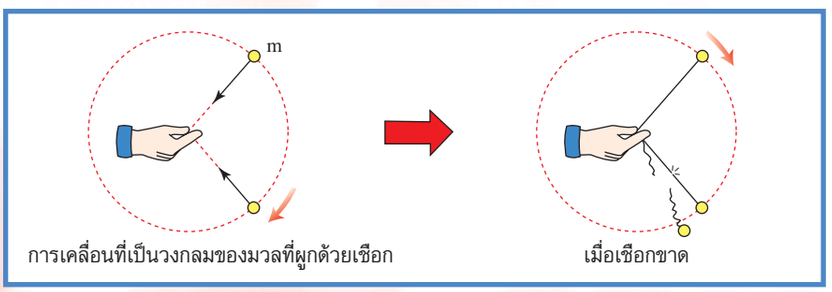
1. เมื่อนักเรียนยิงลูกกลมโลหะ เหตุใดลูกกลมโลหะจึงเคลื่อนที่เป็นแนวโค้ง
2. การยิงลูกกลมโลหะขนาดไม่เท่ากันด้วยแรงที่เท่ากัน และมุมในการยิงเหมือนกัน ให้ผลแตกต่างกันหรือไม่
3. เมื่อนักเรียนยิงลูกกลมโลหะขนาดเท่ากันด้วยแรงที่เท่ากันออกไปจากจุดเดียวกันด้วยมุมที่ทำกับแนวระดับต่างๆ ให้ผลการทดลองแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
4. นักเรียนจะสรุปผลการทดลองได้ว่าอย่างไร

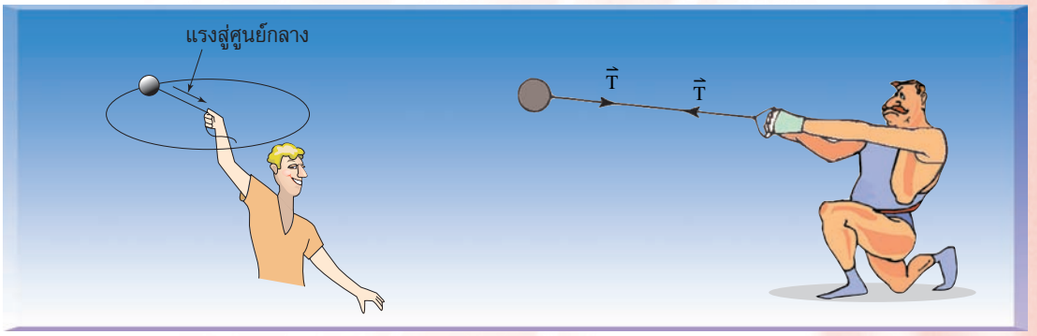
**ลองสืบค้นและอภิปราย**

ถ้านักเรียนได้รับคัดเลือกให้เป็นนักทุ่มน้ำหนักของโรงเรียน นักเรียนจะนำความรู้ในเรื่องการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ไปประยุกต์ใช้กับการเล่นกีฬาประเภทนี้อย่างไร จงอภิปราย

## การเคลื่อนที่เป็นวงกลม

**การเคลื่อนที่เป็นวงกลม** เป็นการเคลื่อนที่อีกลักษณะหนึ่งที่นักเรียนพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน เช่น เมื่อเราใช้เชือกผูกวัตถุก้อนหนึ่งแล้วจับปลายเชือกให้วัตถุแกว่งไปรอบๆ ตัวเรา เราจะพบว่าวัตถุนั้นจะเคลื่อนที่เป็นวงกลม และรู้สึกว่าเชือกดึงมือเรา ถ้าเชือกขาดหรือเราปล่อยปลายเชือกด้านที่ถือไว้ วัตถุจะเคลื่อนที่ออกจากตัวเราไปทันทีและจะไม่เคลื่อนที่เป็นวงกลม






*การเคลื่อนที่เป็นวงกลมที่มีแรงดึงเชือกเป็นแรงสู่ศูนย์กลาง*

ดังนั้นวัตถุถูกแรงบังคับให้มีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบจุดศูนย์กลาง แรงนี้เราเรียกว่า **แรงสู่ศูนย์กลาง ($F_c$)** แรงสู่ศูนย์กลางมีทิศทางจากวัตถุเข้าหาจุดศูนย์กลางการเคลื่อนที่ตามแนวรัศมี เป็นแรงที่ใช้ในการดึงวัตถุให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม การเคลื่อนที่เป็นวงกลมเป็นการเคลื่อนที่ใน 2 มิติ ขนาดของแรงสู่ศูนย์กลางขึ้นอยู่กับขนาดของมวลวัตถุ อัตราเร็วของวัตถุ และระยะห่างของวัตถุไปยังจุดศูนย์กลางการหมุน โดยเขียนได้ดังสมการ

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

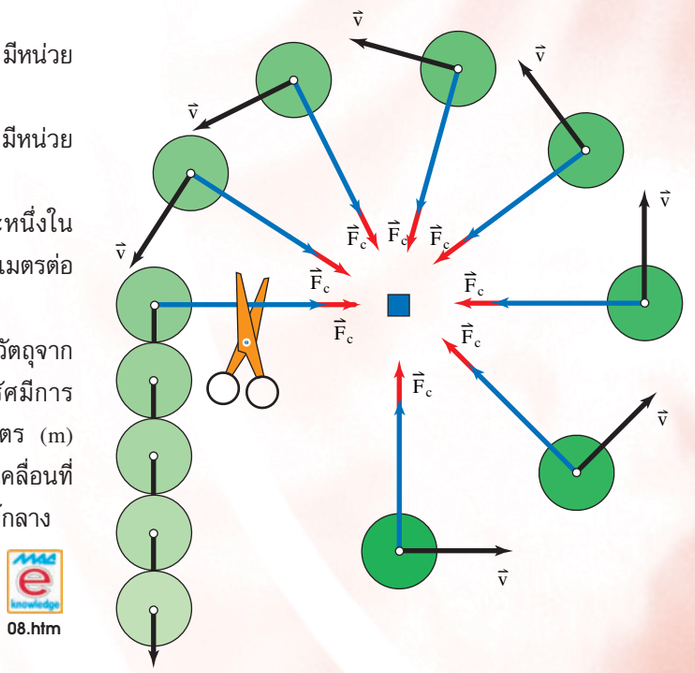
เมื่อ $F_c$ คือ แรงสู่ศูนย์กลาง มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

v คือ อัตราเร็วขณะหนึ่งในการเคลื่อนที่ของวัตถุ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

R คือ ระยะห่างของวัตถุจากจุดศูนย์กลางการเคลื่อนที่ หรือรัศมีการเคลื่อนที่ของวัตถุ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

ถ้าเชือกถูกตัดขาดวัตถุจะไม่เคลื่อนที่เป็นวงกลม เนื่องจากไม่มีแรงสู่ศูนย์กลาง



*ทิศทางของแรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลม*

08.htm

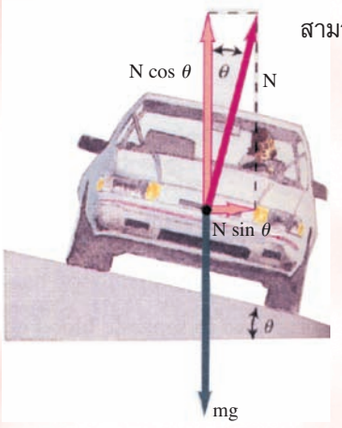
การเคลื่อนที่เป็นวงกลมแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

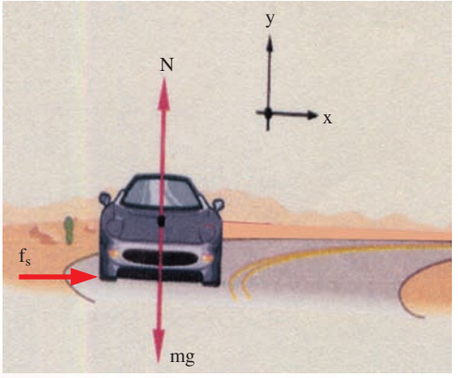
**1. การเคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบระดับ** เช่น การเลี้ยวรถยนต์บนถนนราบ การเลี้ยวรถจักรยานบนถนนราบ การเคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบระดับยังแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

● **การเลี้ยวโค้งบนถนนราบที่มีความหยาบหรือแรงเสียดทาน**

ขณะรถเลี้ยวโค้งบนถนนที่มีผิวราบ ซึ่งมีแนวทางการเคลื่อนที่เป็นส่วนโค้งของวงกลมดังรูป เมื่อพิจารณาแรงกระทำต่อรถในแนวระดับพบว่าขณะเลี้ยวรถไม่ไถลออกจากโค้ง เพราะแรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อล้อรถในทิศทางพุ่งเข้าในแนวผ่านจุดศูนย์กลางความโค้งซึ่งทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง

จากการเลี้ยวรถบนถนนทางโค้งราบพบว่า รถจะเลี้ยวได้เร็วหรือช้าอย่างปลอดภัยขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างพื้นกับล้อ ถ้ามีมากรถเลี้ยวได้ด้วยอัตราเร็วสูง แต่ถ้ามีน้อย รถเลี้ยวด้วยอัตราเร็วต่ำ และถ้าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงกับล้อเป็นศูนย์ รถไม่สามารถเลี้ยวโค้งได้เลย



● **การเลี้ยวโค้งบนถนนลื่น**

ในกรณีที่ถนนลื่นหรือพื้นถนนไม่มีแรงเสียดทาน รถไม่สามารถเลี้ยวโค้งได้ ดังนั้นจึงมีการแก้ไขโดยทำให้ถนนเป็นพื้นเอียง เพื่ออาศัยแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อรถเป็นแรงสู่ศูนย์กลาง โดยไม่อาศัยแรงเสียดทาน ดังรูป แรงสู่ศูนย์กลาง คือ $N \sin \theta$

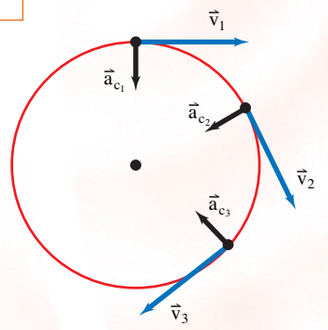
**ลองคิดลองตอบ**

นักเรียนเคยสังเกตหรือไม่ว่า เวลาเราขับรถบนทางโค้งเอียง ที่มีป้ายกำหนดอัตราเร็วไว้ว่าให้ขับไม่เกิน 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่เรากลับสังเกตเห็นความเร็วของรถขณะเลี้ยวโค้งที่หน้าปัดบอกอัตราเร็วสูงกว่า 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่รถก็ยังสามารถเลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัย นักเรียนลองให้เหตุผลประกอบว่าเป็นเพราะเหตุใด

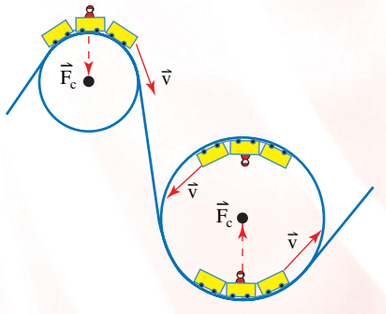
**2. การเคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบดิ่ง** เช่น การเคลื่อนที่ของรถไฟตีลังกา

วัตถุที่มีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมจะมีความเร็วขณะหนึ่ง อยู่ในแนวของเส้นสัมผัส ความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลม มีทิศทางเปลี่ยนไปตลอดเวลา ดังนั้นถึงแม้ว่าอัตราเร็วของวัตถุจะคงที่แต่ความเร็วของวัตถุจะเปลี่ยนไปทุกขณะ การเคลื่อนที่ในแนววงกลมทุกแบบจึงเป็นการเคลื่อนที่ที่มีความเร่ง โดยความเร่งมีทิศพุ่งเข้าหาจุดศูนย์กลางการเคลื่อนที่หรือจุดศูนย์กลางของวงกลม เรียกว่า ***ความเร่งสู่ศูนย์กลาง*** ($a_c$) ซึ่งความเร่งนี้จะมีค่ามากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของวัตถุ (v) และรัศมีการเคลื่อนที่ของวัตถุ (R) ดังสมการ

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




*ความเร่งสู่ศูนย์กลางการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมในแนวระนาบดิ่ง*




*การเคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบดิ่งที่มีแรงปฏิกิริยาทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลางที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน*

**ตัวอย่างที่ 3.11** วัตถุอันหนึ่งมวล 2 กิโลกรัม ผูกด้วยเชือกยาว 2 เมตร ถูกทำให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบระดับด้วยอัตราเร็ว 10 เมตรต่อวินาที จงหาขนาดของแรงสู่ศูนย์กลางและขนาดของความเร่งสู่ศูนย์กลาง

**วิธีทำ** จากโจทย์ทราบมวลของวัตถุคือ 2 กิโลกรัม รัศมีของการเคลื่อนที่แบบวงกลมคือ 2 เมตร อัตราเร็วของการเคลื่อนที่แบบวงกลมคือ 10 เมตรต่อวินาที ต้องการทราบแรงสู่ศูนย์กลางและความเร่ง

จาก $F_c = \frac{mv^2}{R}$

$F_c = \frac{2 \times 10^2}{2} = 100 \text{ N}$ **ตอบ**

จาก $a_c = \frac{v^2}{R}$

$a_c = \frac{10^2}{2} = 50 \text{ m/s}^2$ **ตอบ**

**⇨ ลองคิดดู**

1. ชายคนหนึ่งจับปลายเชือกเส้นหนึ่งแกว่งวัตถุมวล 0.5 กิโลกรัมให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม ในระนาบระดับด้วยรัศมี 1 เมตร ทำให้วัตถุแกว่งด้วยอัตราเร็ว 2 เมตรต่อวินาที จงหาความเร่งสู่ศูนย์กลางของวัตถุนี้
2. แกว่งวัตถุมวล 1.5 กิโลกรัม ให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็ว 4 เมตรต่อวินาที ปรากฏว่ามีแรงสู่ศูนย์กลางขนาด 40 นิวตัน จงหารัศมีของการเคลื่อนที่นี้

**กิจกรรมที่ 3.7** **การเคลื่อนที่เป็นวงกลม**

**จุดประสงค์**

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบแรงดึงในเส้นเชือก ซึ่งทำหน้าที่เป็นแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ในแนววงกลม เมื่อน้ำหนักหรือมวลของวัตถุที่เคลื่อนที่แตกต่างกัน
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบแรงดึงในเส้นเชือก ซึ่งทำหน้าที่เป็นแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ในแนววงกลม เมื่อความยาวของเชือกที่ผูกวัตถุที่เคลื่อนที่ยาวแตกต่างกัน
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบแรงดึงในเส้นเชือก ซึ่งทำหน้าที่เป็นแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ในแนววงกลม เมื่อความยาวของเชือกที่ผูกวัตถุที่เคลื่อนที่เท่ากันแต่แกว่งด้วยอัตราเร็วที่ไม่เท่ากัน

**อุปกรณ์**

1. ถุงทรายหนัก 1 กิโลกรัม จำนวน 2 ลูก
2. ถุงทรายหนัก 1.5 กิโลกรัม จำนวน 1 ลูก
3. เชือกยาวประมาณ 1.20 เมตร จำนวน 1 เส้น และเชือกยาว 1 เมตร 1 เส้น

**วิธีการทดลอง**

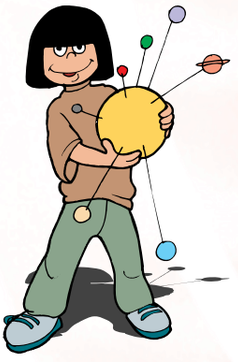
1. ตัดเชือกยาวประมาณ 60 เซนติเมตร จำนวน 2 เส้น ผูกกับถุงทรายหนัก 1 กิโลกรัม และถุงทรายหนัก 1.5 กิโลกรัม

2. ทำให้ถุงทรายหนักทั้งสองเคลื่อนที่เป็นวงกลมในแนวระดับในลักษณะที่เชือกตึงในแนวระดับด้วยอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ใกล้เคียงกัน สังเกตแรงดึงในเส้นเชือกที่กระทำกับมือ บันทึกผลการสังเกต

3. นำถุงทรายหนัก 1 กิโลกรัมอีกลูกหนึ่งมาผูกด้วยเชือกที่ยาว 100 เซนติเมตร จากนั้น ทำให้ถุงทรายหนัก 1 กิโลกรัมเคลื่อนที่ด้วยเชือกที่ยาว 60 เซนติเมตร และ 100 เซนติเมตร ด้วยอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ที่ใกล้เคียงกัน สังเกตแรงดึงในเส้นเชือกที่กระทำกับมือ บันทึกผลการสังเกต

4. นำถุงทรายหนัก 1 กิโลกรัมที่ผูกด้วยเชือกยาว 100 เซนติเมตร มาทำให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน สังเกตแรงดึงในเส้นเชือกที่กระทำกับมือ บันทึกผลการสังเกต

5. สรุปผลการทดลอง



**ตารางบันทึกผลการทดลอง**

| การทดลอง | ผลการสังเกตแรงดึงเชือกที่กระทำกับมือที่ใช้แกว่งถุงทรายให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม |
|---|---|
| เมื่อทำให้ถุงทรายหนัก 1 และ 1.5 กิโลกรัม เคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วและความยาวเชือกเท่ากัน | |
| เมื่อทำให้ถุงทรายหนัก 1 กิโลกรัมเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยเชือกที่มีความยาวต่างกันด้วยอัตราเร็วในการเคลื่อนที่เท่ากัน | |
| เมื่อทำให้ถุงทรายหนักเท่ากัน ความยาวเชือกเท่ากัน เคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน | |

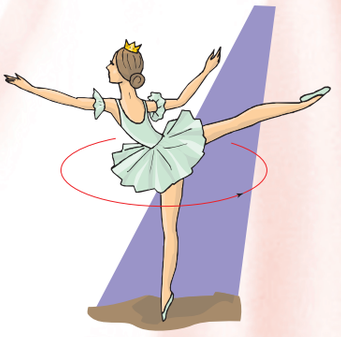
**คำถามหลังการทดลอง**

1. ความยาวเชือกที่เราใช้ผูกถุงทรายให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม แทนปริมาณอะไรของการเคลื่อนที่เป็นวงกลม
2. แรงที่เชือกดึงมือข้างที่เราใช้ทำให้ถุงทรายเคลื่อนที่ แทนปริมาณอะไรของการเคลื่อนที่เป็นวงกลม
3. น้ำหนักของถุงทรายมีผลต่อแรงดึงเชือกที่กระทำต่อมือข้างที่ทำให้ถุงทรายเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร ถ้าเราทำให้ถุงทรายเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่ากันและใช้เชือกที่มีความยาวเท่ากัน
4. ความยาวของเชือกที่ใช้ผูกถุงทรายมีผลต่อแรงดึงเชือกที่กระทำต่อมือข้างที่ทำให้ถุงทรายเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร เมื่อเราใช้ถุงทรายที่มีขนาดเท่ากันและทำให้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่ากัน
5. อัตราเร็วในการทำให้ถุงทรายเคลื่อนที่มีผลต่อแรงดึงเชือกที่กระทำต่อมือข้างที่แกว่งถุงทรายหรือไม่ อย่างไร เมื่อเราใช้ถุงทรายหนักขนาดเท่ากันและผูกด้วยความยาวเชือกเท่ากัน

## การเคลื่อนที่แบบหมุน

ในชีวิตประจำวัน เราจะพบเห็นการเคลื่อนที่ของวัตถุในอีกลักษณะหนึ่ง เช่น การหมุนของใบพัดพัดลม การหมุนของล้อรถ การหมุนของชิงช้าสวรรค์ การหมุนของลูกข่าง การหมุนตัวของนักเต้นบัลเล่ต์ นักเรียนคิดว่าการเคลื่อนที่ในลักษณะนี้ มีความแตกต่างจากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมที่เรียนผ่านมาอย่างไร

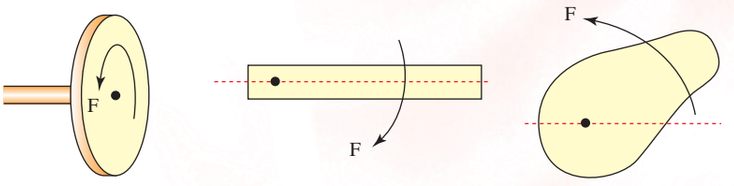
**การเคลื่อนที่แบบหมุน (rotational motion)** เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุแข็งเกร็ง (rigid body) หมุนรอบตัวเองรอบจุดใดจุดหนึ่ง หรือแกนใดแกนหนึ่งที่ผ่านวัตถุนั้น หรืออาจหมุนรอบศูนย์กลางมวล เช่น การเคลื่อนที่ของลูกข่าง พัดลม ล้อรถ ลูกฟุตบอล ลูกปิงปอง บางครั้งวัตถุอาจจะหมุนไปด้วยและเลื่อนตำแหน่งไปด้วย ก็ยังถือว่าวัตถุนั้นมีการเคลื่อนที่แบบหมุน เช่น ลูกบอลที่ถูกเตะออกไปจะมีทั้งการหมุนและเลื่อนตำแหน่งไปพร้อมกันด้วย การหมุนของวัตถุจะเกิดขึ้นเมื่อแรงที่กระทำต่อวัตถุนั้นไม่ผ่าน**จุดศูนย์กลางมวล** (จุด C.M. (center of mass) คือจุดที่เสมือนมวลของวัตถุทั้งก้อนไปรวมกัน) ซึ่งจะส่งผลให้วัตถุเกิดการหมุนรอบแกนคงที่หรือรอบศูนย์กลางมวลอย่างอิสระ



การหมุนตัวของนักเต้นบัลเล่ต์

การหมุนของล้อรถจักรยาน

*การเคลื่อนที่แบบหมุนที่พบในชีวิตประจำวัน*



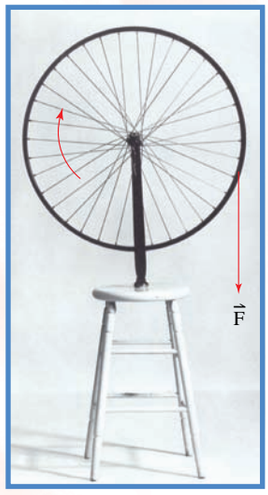

*แรงกระทำต่อวัตถุแข็งเกร็งที่ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่แบบหมุน*

นักเรียนทราบหรือไม่ว่า วัตถุที่มีมวลมาก เมื่อต้องการจะทำให้เปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่จะทำได้ยากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อยๆ เช่น การออกแรงผลักเก้าอี้ให้เคลื่อนที่ ย่อมทำได้ง่ายกว่าการออกแรงผลักโต๊ะให้เคลื่อนที่ ทั้งนี้เพราะโต๊ะมีมวลมากกว่าเก้าอี้ เราจึงจัดวัตถุที่มีมวลมากเป็นวัตถุที่มีความเฉื่อยมาก

ในการหมุนก็เช่นเดียวกัน วัตถุที่มีมวลมากจะมีความเฉื่อยแบบหมุนมาก เวลาเราจะทำให้มันเกิดการหมุนก็ทำได้ยาก เช่น การทำให้ล้อรถยนต์ที่หยุดนิ่งเกิดการหมุน และทำให้หยุดหมุนจะทำได้ยากกว่าการทำให้ล้อจักรยานที่หยุดนิ่งเกิดการหมุนและหยุดหมุน นอกจากความเฉื่อยแบบหมุนของวัตถุจะ

ขึ้นอยู่กับมวลแล้ว ยังขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของมวลด้วย กล่าวคือ วัตถุที่มีขนาดใหญ่มีการกระจายของมวลมาก เวลาเราจะทำให้มันหมุนจะทำได้ยากกว่าวัตถุที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากมวลย่อยของวัตถุที่มีขนาดใหญ่จะอยู่ห่างจากศูนย์กลางหรือแกนหมุนมาก ทำให้มีความเฉื่อยแบบหมุนมากกว่ามวลที่อยู่ใกล้ศูนย์กลางหรือใกล้แกนหมุน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วัตถุจะเคลื่อนที่แบบหมุนได้ต้องมีแรงที่มากพอไปกระทำต่อวัตถุนั้น ในลักษณะที่ไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลนั่นเอง




*วัตถุเคลื่อนที่แบบหมุนรอบแกนหมุน*

## กิจกรรมที่ 3.8 การเคลื่อนที่แบบหมุน

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสภาพการหมุนของวัตถุที่มีมวลรวมเท่ากัน แต่มีลักษณะการกระจายของมวลที่ห่างจากแกนหมุนแตกต่างกัน และการรักษาสภาพการหมุนของวัตถุที่มีความเร็วของการหมุนเท่ากันแต่การกระจายของมวลต่างกัน
2. เพื่อศึกษาการรักษาสภาพการหมุนของวัตถุที่มีความเร็วในการหมุนแตกต่างกัน

### อุปกรณ์

1. กระดาษกล่อง
2. เทปใส
3. วงเวียน
4. กรรไกร
5. ปากกาปากแหลมที่ใช้หมดแล้วชนิดเดียวกันจำนวน 2 แท่ง หรือใช้ดินสอก็ได้

**วิธีการทดลอง**

1. ตัดกระดาษกล่องเป็นรูปวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 20 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร จำนวน 4 แผ่น
2. ใช้ปากกาหรือดินสอปลายแหลมปักที่จุดศูนย์กลางของวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร เพื่อเป็นแกนหมุน และนำวงกลมเล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร มาซ้อนกัน แล้วใช้ปากกาหรือดินสอปลายแหลมอีกด้ามหนึ่งปักที่จุดศูนย์กลางของวงกลมเพื่อใช้เป็นแกนหมุน
3. ให้นักเรียนปั่นปากกาหรือดินสอตรงบริเวณเดียวกันของแผ่นกระดาษทั้งสองชุดให้หมุนด้วยแรงขนาดเท่ากัน สังเกตลักษณะการหมุนของกระดาษทั้งสองแผ่นจนกระทั่งหยุด บันทึกผลการทดลอง
4. นำชุดทดลองที่ประกอบด้วยกระดาษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร 4 แผ่น ซ้อนกันมาหมุนด้วยอัตราเร็วแตกต่างกัน 2 ค่าคือ หมุนช้ากับหมุนเร็ว สังเกตผลการหมุนของแผ่นกระดาษจนกระทั่งหยุดนิ่ง บันทึกผลการทดลอง

**คำถามหลังการทดลอง**

1. กระดาษวงกลมใหญ่ 1 แผ่นมีพื้นที่เท่ากับกระดาษวงกลมเล็ก 4 แผ่นรวมกันหรือไม่ อย่างไร
2. เมื่อหมุนกระดาษแผ่นใหญ่และกระดาษแผ่นเล็ก 4 แผ่นซ้อนกันด้วยแรงขนาดเท่ากัน สภาพการหมุนของกระดาษทั้งสองชุดแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
3. จากคำถามข้อ 2 แผ่นกระดาษทั้งสองชุดหยุดหมุนพร้อมกันหรือไม่ อย่างไร
4. การกระจายของมวลของกระดาษแผ่นใหญ่และกระดาษแผ่นเล็กจากแกนหมุน (ดินสอ) แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
5. นักเรียนคิดว่า การกระจายของมวลดังกล่าวเกี่ยวข้องกับสภาพการหมุนของแผ่นกระดาษหรือไม่ อย่างไร
6. เมื่อหมุนแผ่นกระดาษที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน สภาพการหมุนแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร อันไหนหยุดหมุนช้ากว่ากัน
7. นักเรียนจะสรุปผลการทดลองได้ว่าอย่างไร

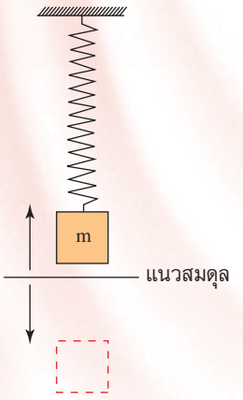
**⇨ลองคิดลองอภิปราย**

นักเรียนคงเคยเห็นการแสดงกีฬาบัลเล่ต์ จงใช้ความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบหมุนอภิปรายว่าเหตุใดเมื่อนักบัลเล่ต์หุบแขน การหมุนตัวของนักบัลเล่ต์จึงแตกต่างจากกรณีที่นักบัลเล่ต์กางแขน

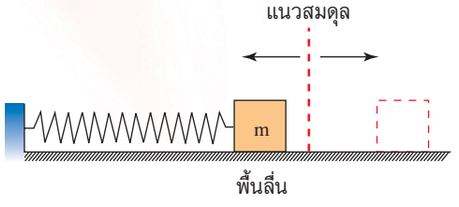
## การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

นักเรียนคงเคยเห็นการแกว่งของวัตถุบางอย่าง เช่น การแกว่งของตุ้มน้ำหนักที่ติดกับโมบาย การแกว่งของชิงช้า การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ติดอยู่ที่ปลายสปริง การสั่นของเชือกที่ปลายทั้งสองถูกตรึง การเคลื่อนที่ในลักษณะนี้จะแตกต่างจากการเคลื่อนที่ที่เราเรียนผ่านมาอย่างไร นักเรียนบอกได้หรือไม่

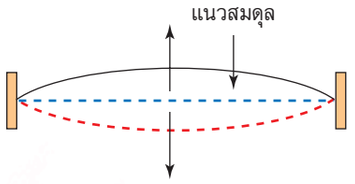
**การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (simple harmonic motion)** เป็นการเคลื่อนที่กลับไปมาซ้ำรอยเดิม โดยผ่านแนวสมดุลด้วยช่วงการแกว่งที่แคบๆ ระยะกระจัดสูงสุดและเวลาในการเคลื่อนที่ครบรอบคงที่



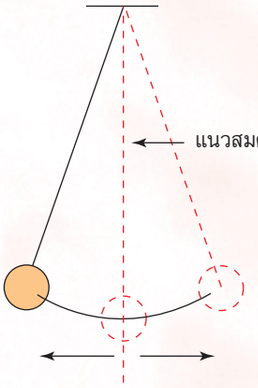

การแกว่งของมวลติดสปริงในแนวขึ้น - ลงจากแนวสมดุล




การแกว่งของสปริงในแนวซ้ายขวาจากแนวสมดุล




การแกว่งของเชือกที่ถูกตรึงปลายสองด้านขึ้น-ลงจากแนวสมดุล

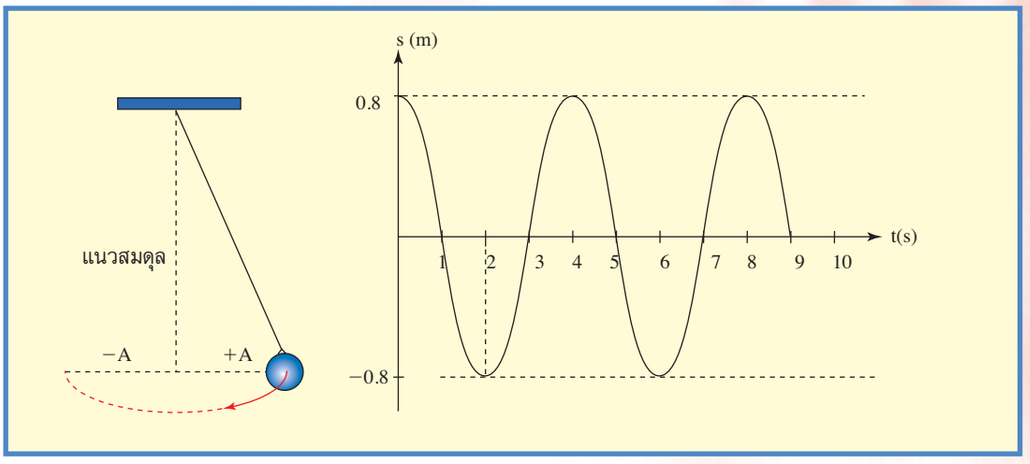



การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาไปทางซ้าย-ขวา จากแนวสมดุล

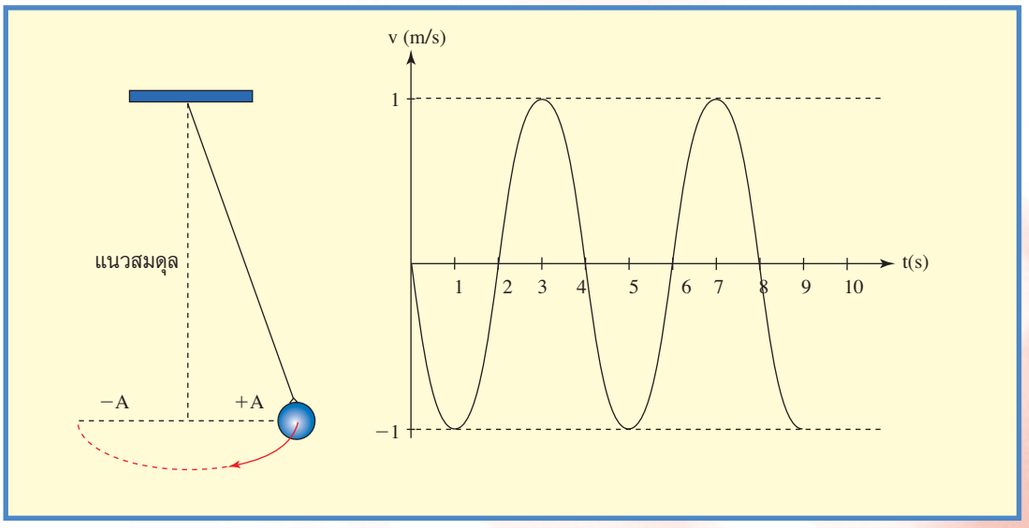
*ลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย*

ในการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายนี้ จะมีแนวสมดุล ซึ่งก็คือแนวที่แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์โดยวัตถุจะถูกทำให้เคลื่อนที่ออกไปจากแนวสมดุล จนไปถึงปลายสุดด้านหนึ่ง แล้วจะเคลื่อนที่กลับมายังแนวสมดุล แล้วผ่านเลยไปจนถึงปลายสุดอีกด้านหนึ่งของแนวสมดุล จากนั้นก็จะเคลื่อนที่ย้อน

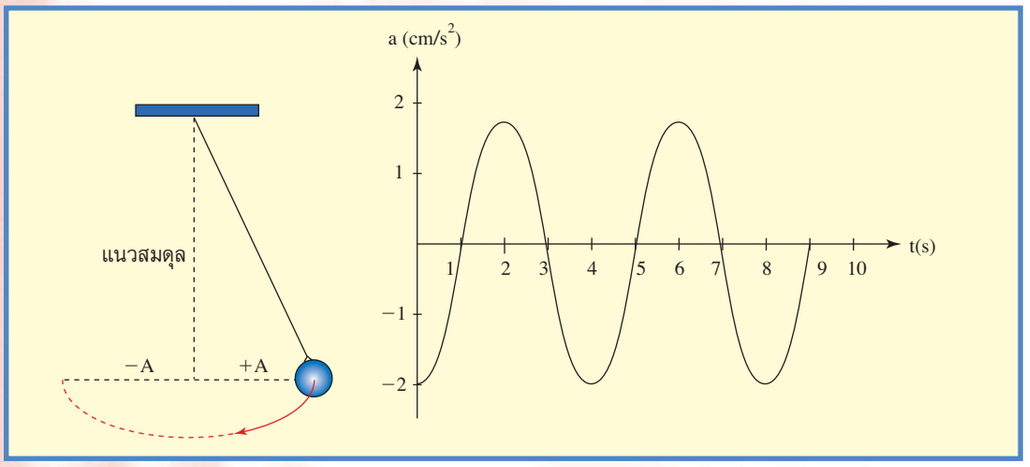
กลับมาตามแนวเดิมซ้ำไปซ้ำมา โดยทั่วไปเมื่อทำให้วัตถุสั่น วัตถุนั้นจะสั่นอยู่ในช่วงเวลาหนึ่ง ค่าแอมพลิจูดหรือช่วงกว้างของการสั่น (การกระจัดสูงสุด) จะลดลงเรื่อยๆ จนหยุดในที่สุด ทั้งนี้เพราะวัตถุจะเกิดการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากความฝืดต่างๆ และแรงต้านการเคลื่อนที่จากอากาศ แต่ถ้าเราพิจารณาการสั่นของวัตถุ โดยไม่คิดถึงแรงต้านทานจากความฝืดต่างๆ และแรงต้านของอากาศ หรือพิจารณาการสั่นของวัตถุในช่วงเวลาสั้นๆ เราอาจถือว่าพลังงานรวมของวัตถุคงที่ นั่นคือวัตถุจะมีแอมพลิจูดของการสั่นคงที่ ซึ่งถือเป็นลักษณะสำคัญของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย และยังพบอีกว่าความเร็วของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเคลื่อนที่ผ่านจุดสมดุลในขณะที่ความเร่งจะมีค่าเป็นศูนย์ตรงตำแหน่งนี้




ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาของการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกา




ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกา




ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

**กิจกรรมที่ 3.9** **การเคลื่อนที่แบบต่างๆ ในชีวิตประจำวัน**

**คำชี้แจงในการปฏิบัติกิจกรรม**

ให้นักเรียนสืบค้นและสำรวจตรวจสอบการเคลื่อนที่ของสิ่งต่างๆ ที่นักเรียนพบเห็นในชีวิตประจำวันให้ได้มากที่สุด แล้วนำมาจัดประเภทของการเคลื่อนที่ตามที่นักเรียนได้ศึกษาผ่านมาแล้วในรูปของผังความคิด (mind mapping) และตกแต่งให้สวยงาม นำเสนอผลการสืบค้นหน้าชั้นเรียน ซึ่งนักเรียนอาจใช้การวาดรูปในการสื่อความหมาย

## กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

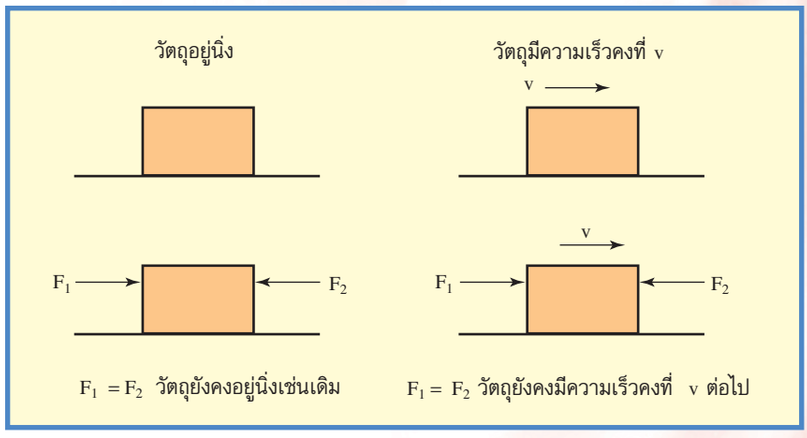
จากการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ เราทราบว่าวัตถุจะเคลื่อนที่ได้จะต้องมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุในปริมาณที่มากพอ จึงจะส่งผลให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งหรือมีการเคลื่อนที่นั่นเอง ซึ่งจะมีปริมาณต่างๆ ที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุตามที่เราศึกษาผ่านมาไม่ว่าจะเป็นระยะทาง การกระจัด อัตราเร็ว ความเร็ว และความเร่ง

**เซอร์ไอแซก นิวตัน (Sir Isaac Newton : ค.ศ. 1643 - 1727)** นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้ศึกษาธรรมชาติของแรงที่มีผลต่อสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุและได้ตั้งกฎการเคลื่อนที่ 3 ข้อ เพื่ออธิบายถึงสภาพการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ ดังต่อไปนี้

10.htm

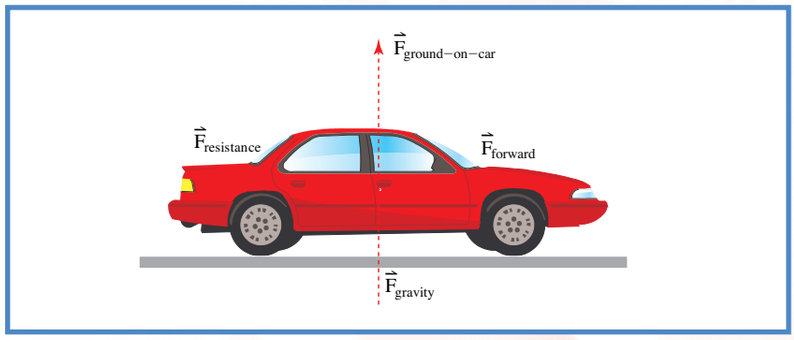
## กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน

ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตันให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุไว้ว่า ถ้ามีวัตถุวางนิ่งอยู่บนพื้นราบแล้วไม่มีแรงภายนอกอื่นมากระทำต่อวัตถุ วัตถุจะยังคงอยู่นิ่งเช่นนั้นต่อไป หรือถ้าให้แรง 2 แรงมากระทำต่อวัตถุโดยแรงทั้งสองมีขนาดเท่ากันและมีทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งเป็นผลให้แรงลัพธ์มีค่าเป็นศูนย์ พบว่าวัตถุจะยังคงสภาพหยุดนิ่งเช่นเดิม




*ความสัมพันธ์ของแรงที่กระทำกับสภาพของวัตถุตามกฎข้อที่ 1 ของนิวตัน*

ดังนั้น เราจึงสามารถสรุปได้ว่า “ถ้ามีแรงลัพธ์ภายนอกมากระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ วัตถุจะไม่เปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ กล่าวคือ ถ้าเดิมวัตถุอยู่นิ่งก็จะอยู่นิ่งต่อไป แต่ถ้าเดิมวัตถุกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ก็จะยังคงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ต่อไป”



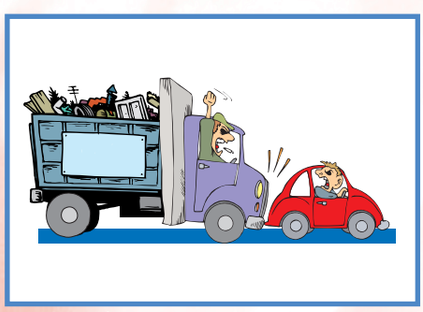

*แรงลัพธ์ที่เป็นศูนย์ที่กระทำต่อวัตถุตามกฎข้อที่ 1 ของนิวตัน*

นิวตัน จึงได้สรุปเกี่ยวกับการรักษาสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุทั้งสภาพอยู่นิ่งและสภาพการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ เป็นกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน มีใจความว่าวัตถุจะคงสภาพอยู่นิ่ง หรือสภาพเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ถ้าไม่มีแรงภายนอกมากระทำ ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า **กฎความเฉื่อย (inertia law)** หมายความว่าวัตถุจะพยายามรักษาสภาพเดิมของมันเอาไว้คือรักษาสภาพหยุดนิ่ง ถ้าเดิมเคลื่อนที่อยู่ด้วยความเร็วคงที่เท่าใดก็จะพยายามรักษาสภาพการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่เท่านั้น

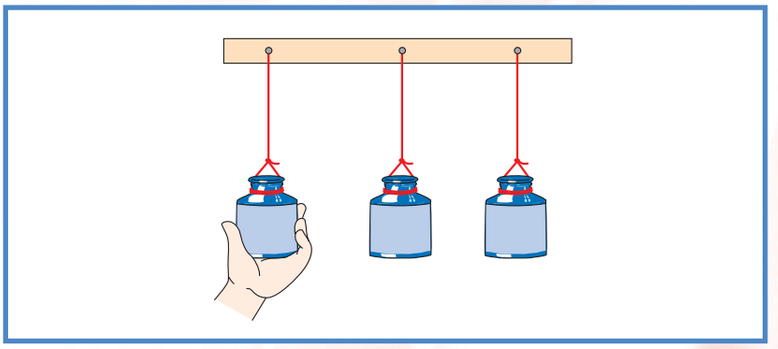
*แรงลัพธ์ที่เป็นศูนย์จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่*

## ความเฉื่อยของวัตถุคืออะไร

เราทราบแล้วว่าแรงสามารถทำให้วัตถุเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ คือ เปลี่ยนตำแหน่งหรือเปลี่ยนรูปร่างได้ แต่ในการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ นอกจากจะขึ้นอยู่กับแรงแล้ว ยังขึ้นอยู่ปริมาณอื่นอีก ซึ่งเราสามารถตรวจสอบได้โดยการนำขวดขนาดเท่ากันมา 3 ใบ ขวดใบแรกเป็นขวดเปล่าไม่ใส่อะไรเลย ขวดที่สองใส่ทรายไปประมาณครึ่งขวด และขวดที่สามใส่ทรายให้เต็มขวด จากนั้นใช้กระดาษสีปิดให้มิดชิด นำขวดทั้งสามไปแขวนไว้ในแนวดิ่ง ดังรูป



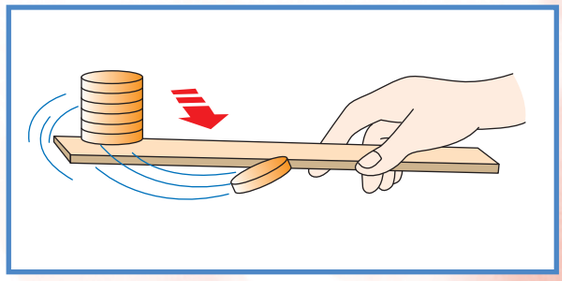
*วัตถุที่มีมวลมากจะทำให้หยุดได้ยากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อยกว่า*



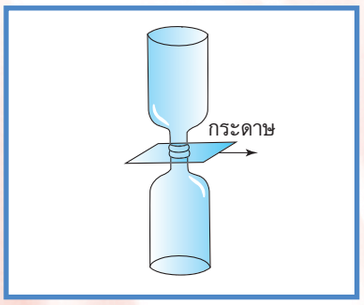
การขยับขวดที่มีมวลต่างกันซึ่งจะรักษาสภาพเดิมได้แตกต่างกัน

จากนั้นลองขยับขวดทั้ง 3 ใบในแนวระดับด้วยแรงขนาดเท่ากัน จะพบว่าขวดแต่ละใบจะต้านมือแตกต่างกัน การต้านมือของขวดเป็นความรู้สึกว่า เมื่อออกแรงกระทำต่อขวดแล้วขวดไม่ค่อยเคลื่อนที่ หรือถ้าเราให้ขวดทั้ง 3 ใบแกว่งแล้วใช้มือต้านให้หยุด ความยากง่ายหรือแรงที่ใช้ต้านการเคลื่อนที่ก็ต่างกัน โดยขวดที่มีทรายอยู่เต็มจะทำให้หยุดได้ยาก ส่วนขวดที่มีทรายอยู่ครึ่งหนึ่งและขวดเปล่าจะทำให้หยุดได้ง่ายกว่า ตามลำดับ สมบัติของวัตถุที่ต้านต่อการเปลี่ยนสภาพเดิมของวัตถุนั้น เราเรียกว่า ความเฉื่อยของวัตถุ และปริมาณที่บอกให้ทราบว่าวัตถุใดมีความเฉื่อยมากหรือน้อย คือ มวลของวัตถุ กล่าวคือ การบอกว่าวัตถุไหนมีมวลมาก วัตถุไหนมีมวลน้อย เราดูจากการรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมของวัตถุนั้นว่ามันสามารถรักษาสภาพเดิมได้มากน้อยเพียงใด วัตถุใดที่สามารถรักษาสภาพเดิมได้ดี ถือว่าวัตถุนั้นมีมวลมากหรือมีความเฉื่อยมาก วัตถุใดรักษาสภาพเดิมได้ไม่ดีก็จัดว่ามีมวลน้อยหรือมีความเฉื่อยน้อย

เหตุการณ์ที่พิสูจน์ให้เราทราบว่าวัตถุจะพยายามรักษาสภาพเดิม เช่น เมื่อเรานำเหรียญหลายๆ เหรียญมาซ้อนกันประมาณ 10 เหรียญ จากนั้นลองใช้ไม้บรรทัดปัดเหรียญที่อยู่ล่างสุดอย่างรวดเร็ว นักเรียนจะพบว่าเหรียญที่จะเคลื่อนที่ไปตามแรงของไม้บรรทัดก็คือเหรียญที่อยู่ล่างสุดเพียงเหรียญเดียว ส่วนเหรียญอื่นจะรักษาสภาพเดิมคืออยู่ตำแหน่งเดิม แต่เนื่องจากเหรียญอันที่อยู่ล่างสุดหายไป และแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อเหรียญที่ซ้อนกันอยู่ทำให้เหรียญที่เหลืออยู่ทั้งชุดเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่ง



*การรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมของเหรียญ*




การรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมของขวด

หรือในกรณีที่เราวางขวด 2 ใบให้ปากขวดประกบกันและมีกระดาษกั้นระหว่างปากขวดทั้ง 2 ใบ ถ้านักเรียนดึงกระดาษอย่างรวดเร็ว ขวดทั้ง 2 ใบจะยังคงรักษาสภาพเดิมเอาไว้ได้โดยที่ไม่ล้มลง

### ⇨ ลองทำดู

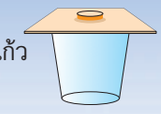
**จุดประสงค์**

เพื่อศึกษาการรักษาสภาพเดิมของวัตถุ

**อุปกรณ์**

1. แก้วน้ำ 1 ใบ
2. กระดาษหนาปานกลาง 1 แผ่น
3. เหรียญ 5 บาท 1 เหรียญ

**วิธีการทดลอง**



1. วางกระดาษและเหรียญบนปากแก้วดังรูป
2. ดึงกระดาษออกอย่างรวดเร็ว สังเกตผลที่เกิดขึ้น และอภิปรายผล

### ⇨ สืบค้นและนำเสนอ

ให้นักเรียนจับกลุ่มกันกลุ่มละ 4 - 5 คน สืบค้นเกี่ยวกับเหตุการณ์ กิจกรรมการทดลอง และสื่อการเรียนรู้ที่สามารถอธิบายได้โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน จากนั้นนำผลการสืบค้นมานำเสนอหน้าชั้นเรียน

## กิจกรรมที่ 3.10 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน

**วัตถุประสงค์**

1. เพื่ออธิบายถึงสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ เมื่อไม่มีแรงมากระทำ
2. เพื่ออธิบายถึงสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ เมื่อมีแรงภายนอกขนาดเท่ากัน มากระทำในทิศทางตรงกันข้าม
3. เพื่ออธิบายถึงสมบัติของการรักษาสภาพการเคลื่อนที่เดิมของวัตถุที่มีมวลต่างกัน

**อุปกรณ์**

1. รถทดลองชนิด 3 ล้อ 1 คัน
2. กระป๋องน้ำอัดลม 2 กระป๋อง ที่บรรจุทรายไว้ภายในขนาดไม่เท่ากัน

**วิธีการทดลอง**

1. นำรถทดลองวางไว้บนโต๊ะทดลอง สังเกตสภาพการเคลื่อนที่ของรถ เมื่อไม่มีแรงมากระทำ บันทึกผล

2. ให้แรงกระทำกับรถทดลอง ขนาดเท่ากันทิศทางตรงกันข้ามดังรูป สังเกตสภาพการเคลื่อนที่ของรถ บันทึกผลการทดลอง

3. นำกระป๋องน้ำอัดลมที่ใส่ทรายในปริมาณที่ไม่เท่ากัน ไปวางบนโต๊ะทดลองครั้งละกระป๋อง แล้ว ออกแรงผลักรถทดลองด้วยแรงขนาดเท่ากัน สังเกตสภาพการเคลื่อนที่ของกระป๋องแต่ละครั้งที่ออกแรง บันทึกผลการทดลอง

4. สรุปผลการทดลอง

**ตารางผลการทดลอง**

| การทดลอง | ผลการสังเกต |
|---|---|
| วางรถทดลองไว้บนโต๊ะทดลองโดยที่ไม่ออกแรงกระทำต่อรถทดลอง | |
| ออกแรงกระทำต่อรถทดลองในขนาดเท่ากันแต่ทิศทางตรงกันข้าม | |
| เมื่อวางกระป๋องน้ำอัดลมที่บรรจุทรายในปริมาณที่ไม่เท่ากันบนรถทดลองแล้วผลักด้วยแรงขนาดเท่ากัน | |

**คำถามหลังการทดลอง**

1. สภาพการเคลื่อนที่ของรถทดลองเมื่อไม่มีแรงกระทำ แตกต่างจากกรณีที่มีแรง 2 แรงมากระทำโดยแรงทั้งสองที่มากระทำมีขนาดเท่ากันและมีทิศทางตรงข้ามกันหรือไม่ อย่างไร เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
2. เหตุใดเมื่อเราวางกระป๋องน้ำอัดลมที่บรรจุทรายในปริมาณไม่เท่ากันวางไว้บนรถทดลองแล้วผลักด้วยแรงขนาดเท่ากัน จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน
3. ปริมาณทรายที่บรรจุในกระป๋องน้ำอัดลมทำให้ปริมาณใดของกระป๋องทรายทั้งสองแตกต่างกัน
4. นักเรียนจะสรุปผลการทดลองได้ว่าอย่างไร

จากความรู้เกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน สามารถใช้อธิบายเกี่ยวกับสภาพสมดุลกลของวัตถุ (mechanical equilibrium) ได้เนื่องจากวัตถุที่อยู่ในสภาพสมดุลกล แรงลัพธ์ที่มากระทำต่อวัตถุจะมีค่าเป็น 0 ทำให้วัตถุอยู่ในสภาพนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ

**1. สมดุลสถิต (static equilibrium)** เป็นสมดุลของวัตถุที่อยู่นิ่ง เช่น หนังสือวางอยู่บนโต๊ะ ลูกบอลที่วางอยู่บนพื้น กระเป๋าที่วางอยู่บนพื้น

**2. สมดุลจลน์ (kinetic equilibrium)** เป็นสมดุลของวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ เช่น การเคลื่อนที่ของรถที่แล่นบนถนนตรงด้วยอัตราเร็วคงที่ ลิฟต์ที่เคลื่อนที่ขึ้นลงด้วยอัตราเร็วคงที่ รวมถึงวัตถุที่หมุนรอบแกนหมุนด้วยอัตราเร็วคงที่ด้วย

หรืออาจจำแนกเป็น

**1. สมดุลต่อการเลื่อนตำแหน่ง (translational equilibrium)** วัตถุที่อยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนตำแหน่งคือวัตถุอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ เช่น หนังสือวางนิ่งบนโต๊ะ รถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

**2. สมดุลต่อการหมุน (rotational equilibrium)** คือ การที่วัตถุไม่มีการหมุนหรือหมุนด้วยอัตราเร็วเชิงมุมคงที่ เช่น คานที่อยู่นิ่งในแนวระดับ ป้ายโฆษณาที่แขวนอยู่ พัดลมหมุนด้วยอัตราเร็วคงที่

จากความหมายของสมดุลทำให้ทราบว่าวัตถุที่อยู่ในสภาพสมดุล จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน กล่าวคือ เมื่อวัตถุอยู่ในสภาพสมดุลต่อการเลื่อนตำแหน่ง แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุต้องมีค่าเป็นศูนย์ เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

$$\Sigma\vec{F} = 0$$

## กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน

*รถไฟจอดนิ่งกับที่ได้ เนื่องจากอยู่ในสภาพสมดุลกล*

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน ทำให้เราทราบว่าถ้าไม่มีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุ หรือแรงลัพธ์ที่มากระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ วัตถุจะรักษาสภาพเดิมคืออยู่นิ่ง หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ นักเรียนคิดว่าถ้าวัตถุถูกแรงภายนอกที่มีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำวัตถุจะมีสภาพเป็นเช่นไร

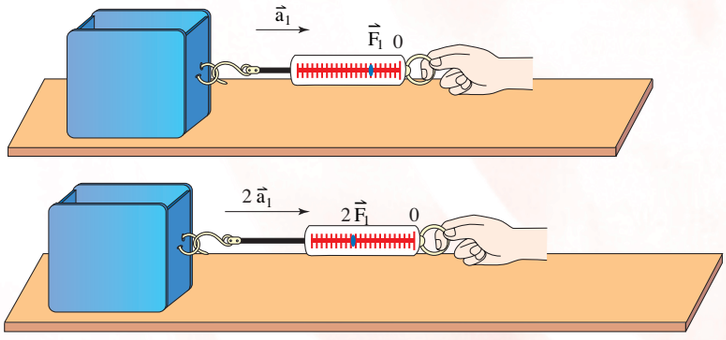
จากการศึกษา พบว่าเมื่อวัตถุถูกแรงภายนอกที่มีค่าไม่เป็นศูนย์ที่มีค่ามากพอมากระทำ จะทำให้วัตถุเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่จากเดิม เช่น เดิมหยุดนิ่งจะส่งผลให้วัตถุเคลื่อนที่ หรือเดิมเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่เร็วขึ้นหรือช้าลง หรือหยุดนิ่ง หรือเปลี่ยนทิศทางก็ได้ ซึ่งการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่เดิมของวัตถุจะมากหรือน้อยจึงขึ้นอยู่กับปริมาณแรงภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุและขนาดของมวลของวัตถุ

นิวตันได้ให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุไว้ว่า ถ้าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าไม่เป็นศูนย์ วัตถุจะเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ กล่าวคือ ความเร็วของวัตถุอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงหรืออาจเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ ซึ่งเรียกว่า “วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง”

*เมื่อแรงลัพธ์ที่กระทำมีค่าไม่เป็นศูนย์จะเกิดการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่*

จากรูปข้างบน จะเห็นว่าแรงรวมทางด้านขวามือมีค่ามากกว่าแรงรวมทางด้านซ้ายมือ จึงทำให้ปมเชือกเคลื่อนที่ไปทางขวามือด้วยความเร่งค่าหนึ่ง โดยความเร่งนี้จะมีค่ามากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุและมวลของวัตถุ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

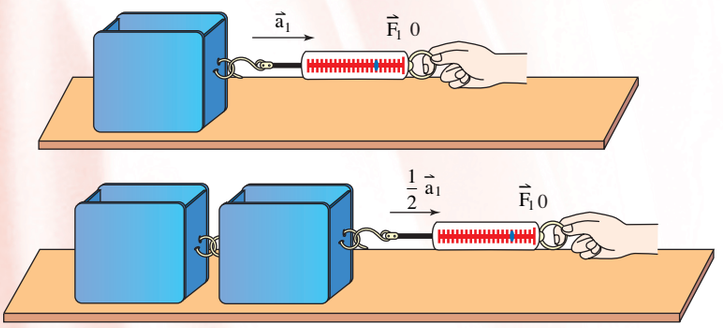
1. เมื่อมวล (m) มีค่าคงตัว พบว่าเมื่อขนาดของแรงลัพธ์มีค่ามากขึ้น วัตถุจะมีความเร่งเพิ่มขึ้นดังรูป




*แรงที่ไม่เท่ากันกระทำต่อวัตถุที่มีมวลเท่ากัน วัตถุที่ได้รับแรงมากจะมีความเร่งมาก*

จึงสรุปได้ว่า ขนาดของความเร่งของวัตถุจะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ

2. เมื่อแรงลัพธ์ ($\vec{F}$) มีค่าคงที่ แต่เปลี่ยนมวลของวัตถุให้มากขึ้น ความเร่งของวัตถุจะลดลง




*แรงที่เท่ากันกระทำต่อวัตถุที่มีมวลต่างกัน วัตถุที่มีมวลมากจะมีความเร่งน้อย*

จึงสรุปได้ว่า ขนาดของความเร่งของวัตถุจะแปรผกผันกับมวลของวัตถุ

จากความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่งข้างต้น สามารถสรุปเป็นกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตันได้ว่า เมื่อมีแรงลัพธ์ซึ่งมีขนาดไม่เป็นศูนย์มากระทำต่อวัตถุ จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งในทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ที่มากระทำ และขนาดของความเร่งจะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ และจะแปรผกผันกับมวลของวัตถุ

ถ้าให้ m = มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

$\vec{F}$ = แรงที่กระทำต่อวัตถุ มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

$\vec{a}$ = ความเร่งของวัตถุ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที$^2$ ($m/s^2$)

ความสัมพันธ์ระหว่าง แรง มวล และความเร่งจะเป็นตามสมการ

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

*การเคลื่อนที่แบบมีความเร่งของวัตถุที่ตกในแนวดิ่งโดยมีแรงต้านอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง วัตถุจะตกมาด้วยความเร่งค่าหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากมีแรงลัพธ์ที่ไม่เป็นศูนย์ไปกระทำ*

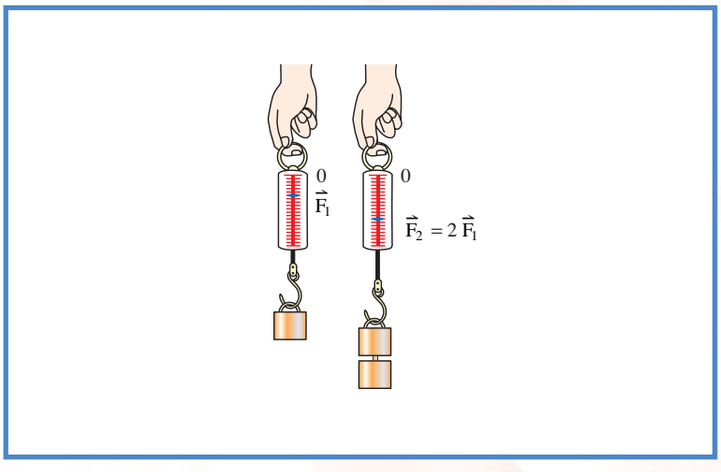
จากการศึกษาเกี่ยวกับความเร่งของวัตถุที่ตกภายใต้แรงดึงดูดของโลก พบว่าวัตถุทุกชนิดจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่คือ 9.8 เมตรต่อวินาที$^2$ เมื่อไม่คิดแรงต้านอากาศหรือแรงเสียดทาน โดยแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อวัตถุจะขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุ และพบว่าโลกดึงดูดวัตถุที่มีมวล 1 กิโลกรัม ด้วยแรงขนาด 9.8 นิวตัน ซึ่งถ้าเราปล่อยวัตถุมวล 1 กิโลกรัมให้ตกลงมาอย่างอิสระ มวลนี้จะถูกโลกดึงดูดให้ตกลงมาด้วยแรงขนาด 9.8 นิวตันและเคลื่อนที่ลงมาด้วยความเร่ง 9.8 เมตรต่อวินาที$^2$

## น้ำหนักของวัตถุคืออะไร

ในการตกอย่างอิสระของวัตถุใกล้ผิวโลก เราพบว่าวัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ ถ้าเราใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตันมาอธิบายจะสามารถสรุปได้ว่าในขณะที่วัตถุตกจะต้องมีแรงกระทำต่อวัตถุ แรงที่ว่านี้ก็คือ แรงดึงดูดของโลก จึงทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งและความเร่งนี้ก็คือความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกที่มีค่า 9.8 เมตรต่อวินาที$^2$ และเรายังพบว่าแรงดึงดูดที่โลกกระทำต่อวัตถุจะแปรผันตรงกับมวลของวัตถุดังรูป

จากรูป จะเห็นว่าเมื่อเราเพิ่มมวลให้มากขึ้น เข็มของเครื่องชั่งสปริงจะอ่านค่าได้มากขึ้น ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริงก็คือ แรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อวัตถุที่แขวนอยู่นั่นเอง ดังนั้นแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อวัตถุจึงขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุ ซึ่งเราเรียกว่า **น้ำหนัก** ($\vec{W}$) ของวัตถุ โดย

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




*เมื่อมวลมากแรงดึงดูดที่โลกกระทำต่อวัตถุจะมากตามดูได้จากเข็มของเครื่องชั่งสปริง*

เมื่อให้ W คือ น้ำหนักของวัตถุหรือแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อวัตถุ มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

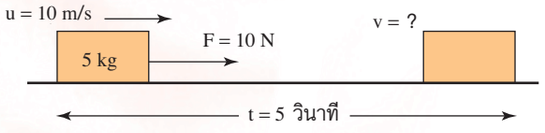
m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก มีค่าเท่ากับ 9.8 เมตรต่อวินาที$^2$ หรือประมาณ 10 เมตรต่อวินาที$^2$

น้ำหนักจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์มีทิศเดียวกับความเร่ง g ดังนั้นน้ำหนักจึงมีทิศทางพุ่งเข้าหาจุดศูนย์กลางโลก โดยมีหน่วยวัดเป็นนิวตัน (N) น้ำหนักของวัตถุมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของมวลและค่า g ซึ่งมวลของวัตถุใดๆ จะมีค่าคงที่เสมอไม่ว่าอยู่ ณ ที่ใด แต่ค่า g ณ บริเวณต่างๆ ของโลกจะมีค่าแตกต่างกันไป เช่น ที่เส้นศูนย์สูตร g มีค่าเท่ากับ 9.78 เมตรต่อวินาที$^2$ หรือที่ขั้วโลกมีค่า g เท่ากับ 9.83 เมตรต่อวินาที$^2$ ดังนั้นน้ำหนักของวัตถุเดียวกัน เมื่อชั่งในสถานที่แตกต่างกันอาจมีค่าแตกต่างกันได้ แต่ถ้าพิจารณาบริเวณผิวโลกเราจะกำหนดให้ค่า g เท่ากับ 9.8 เมตรต่อวินาที$^2$ หรือประมาณ 10 เมตรต่อวินาที$^2$

**ตัวอย่างที่ 3.12** วัตถุมวล 5 กิโลกรัมถูกแรงขนาด 10 นิวตัน กระทำในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งขณะที่ออกแรงกระทำต่อวัตถุนั้น วัตถุมีความเร็วอยู่แล้ว 10 เมตรต่อวินาที อยากทราบว่าอีก 5 วินาทีต่อมาวัตถุจะมีความเร็วเปลี่ยนไปเป็นเท่าใด

**วิธีทำ**




จาก $\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$ และ $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{u}}{t}$

ดังนั้น ขนาดของ $\Sigma F = m\left(\frac{v - u}{t}\right)$

$10 = 5\left(\frac{v - 10}{5}\right)$

$\therefore$ ขนาดของ $v = 20$ เมตรต่อวินาที **ตอบ**

**ตัวอย่างที่ 3.13** จากตัวอย่างที่ 3.12 ถ้าแรงที่มากระทำต่อวัตถุมีทิศตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ อยากทราบว่าอีกนานเท่าใดวัตถุจึงจะเริ่มเคลื่อนที่ย้อนกลับ

**วิธีทำ** ทราบ u = 10 m/s, F = 10 N วัตถุจะเริ่มเคลื่อนที่กลับ ความเร็วสุดท้ายจะเป็น 0 ต้องการหาเวลา

จาก $\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$ และ $\vec{a} = \frac{\vec{v}-\vec{u}}{t}$

ดังนั้น ขนาดของ $\Sigma F = m\left(\frac{v-u}{t}\right)$

$-10 = 5\left(\frac{0-10}{t}\right)$

$\therefore \quad t = 5$ วินาที **ตอบ**

**ตัวอย่างที่ 3.14** สุชาติมีมวล 40 กิโลกรัม ถ้าสุชาติขึ้นไปอยู่บนดวงจันทร์ซึ่งมีแรงดึงดูดเป็น 1 ใน 6 ของความเร่ง เนื่องจากแรงดึงดูดที่ผิวโลก (g = 10 $m/s^2$) น้ำหนักของสุชาติบนดวงจันทร์กับบนโลกจะแตกต่างกันเท่าใด

**วิธีทำ** จากโจทย์ทราบ มวลของวัตถุ = 40 kg,

$g_{โลก} = 10 \text{ m/s}^2$

$g_{ดวงจันทร์} = \frac{10}{6} \text{ m/s}^2$

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

$\therefore$ ขนาดของน้ำหนัก $W_{บนโลก} = 40\times10 = 400$ N

หาน้ำหนักที่ชั่งบนดวงจันทร์ จาก

$\vec{W} = m\vec{g}_{ดวงจันทร์}$

$\therefore$ ขนาดของน้ำหนัก $W_{ดวงจันทร์} = 40\times\frac{10}{6}$

$= 66.67$ N

น้ำหนักของสุชาติบนดวงจันทร์กับบนโลกต่างกัน = 333.33 นิวตัน **ตอบ**

## กิจกรรมที่ 3.11 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน

### จุดประสงค์

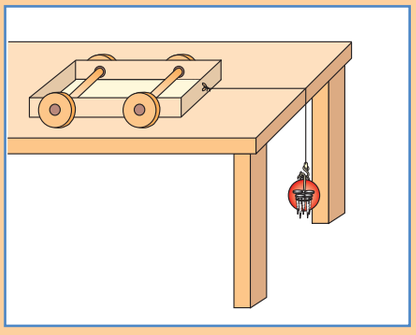
1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่งของวัตถุ
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่งของวัตถุ

### อุปกรณ์

1. รถทดลอง 1 คัน
2. ถุงทราย 3 ถุง
3. เชือกลื่น
4. ขอเกี่ยวน้ำหนัก
5. นอต 20 ตัว

### วิธีการทดลอง

1. วางรถทดลองไว้ตรงกลางของโต๊ะทดลอง ผูกเชือกลื่นเข้ากับด้านหน้าของรถทดลองโดยให้ปลายเชือกยาวเลยขอบโต๊ะลงไป ด้านข้างสูงจากพื้นประมาณ 50 เซนติเมตร ผูกปลายด้านนี้ของเชือกเข้ากับขอเกี่ยวน้ำหนัก



2. ใช้นอตจำนวน 5 ตัวใส่ที่ขอเกี่ยวน้ำหนัก จากนั้นปล่อยให้รถเคลื่อนที่อย่างอิสระด้วยแรงเนื่องจากน้ำหนักของนอต สังเกตสภาพการเคลื่อนที่ของรถ บันทึกผล

3. ทำการทดลองเช่นเดิมแต่เพิ่มจำนวนนอตเป็น 10 ตัว 15 ตัว และ 20 ตัว ตามลำดับ สังเกตสภาพการเคลื่อนที่ของรถ บันทึกผล

4. จัดรถทดลองเช่นเดียวกับข้อที่ 1 ใส่นอตที่ขอเกี่ยวน้ำหนักจำนวน 10 ตัว จากนั้นนำถุงทรายวางบนรถทดลองจำนวน 1 ถุง ปล่อยให้รถทดลองเคลื่อนที่ สังเกตสภาพการเคลื่อนที่ของรถ บันทึกผล

5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อที่ 4 แต่เพิ่มจำนวนถุงทรายเป็น 2 และ 3 ถุงตามลำดับ สังเกตสภาพการเคลื่อนที่ของรถ บันทึกผล

**ตารางบันทึกผลการทดลอง**

| การทดลอง | ผลการสังเกตการเคลื่อนที่ของรถทดลอง |
|---|---|
| เมื่อใส่นอตที่ขอเกี่ยวน้ำหนัก 5 ตัว | |
| เมื่อใส่นอตที่ขอเกี่ยวน้ำหนัก 10 ตัว | |
| เมื่อใส่นอตที่ขอเกี่ยวน้ำหนัก 15 ตัว | |
| เมื่อใส่นอตที่ขอเกี่ยวน้ำหนัก 20 ตัว | |
| เมื่อวางถุงทรายบนรถทดลอง 1 ถุง | |
| เมื่อวางถุงทรายบนรถทดลอง 2 ถุง | |
| เมื่อวางถุงทรายบนรถทดลอง 3 ถุง | |

**คำถามหลังการทดลอง**

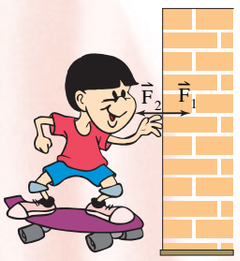
1. เมื่อเพิ่มจำนวนนอตที่ขอเกี่ยวน้ำหนักมากขึ้นโดยที่ไม่ได้เพิ่มมวลของรถทดลอง การเคลื่อนที่ของรถทดลองแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร เพราะเหตุใด
2. เมื่อเพิ่มน้ำหนักของถุงทรายที่วางอยู่บนรถทดลอง โดยไม่เพิ่มจำนวนนอตที่ขอเกี่ยวน้ำหนัก การเคลื่อนที่ของรถทดลองแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร เพราะเหตุใด
3. จำนวนนอตที่เราใส่ไปที่ขอเกี่ยวน้ำหนักแทนปริมาณใด
4. จำนวนถุงทรายที่เราวางทับไปบนรถทดลองแทนปริมาณใด
5. นักเรียนจะสรุปผลการทดลองได้ว่าอย่างไร

**ลองคิดดู**

1. สมชายต้องการลากรถมวล 5 กิโลกรัม บรรจุของมวล 55 กิโลกรัม ด้วยแรงขนาด 120 นิวตัน ถ้าพื้นไม่มีความฝืดสมชายจะลากรถไปได้ไกลเท่าใดในเวลา 3 วินาที
2. ลากวัตถุก้อนหนึ่งซึ่งมีมวล 20 กิโลกรัมด้วยแรงขนาด 120 นิวตัน ปรากฏว่าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง 4 เมตรต่อวินาที$^2$ การลากวัตถุนี้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่เท่าใด

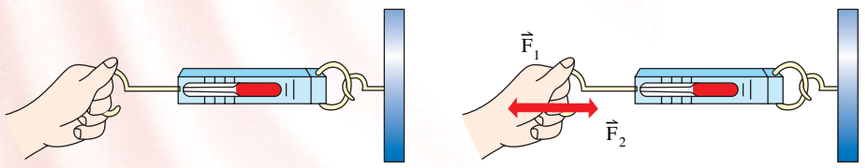
## กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน

ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 และ 2 ของนิวตันเป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ นอกจากนี้นิวตันยังพบว่าในขณะที่มีแรงกระทำต่อวัตถุ วัตถุจะออกแรงโต้ตอบต่อแรงที่มากระทำนั้นโดยทันทีทันใด เช่น ถ้าเรายืนบนสเกตหันหน้าเข้าฝาผนังแล้วออกแรงผลักฝาผนัง เราจะเคลื่อนที่ออกจากฝาผนัง อันเนื่องจากมีแรงจากฝาผนังกระทำต่อเรา ถ้าเราผลักฝาผนังด้วยขนาดแรงมากขึ้น แรงที่ฝาผนังก็จะกระทำกับเรามากขึ้นตามไปด้วย

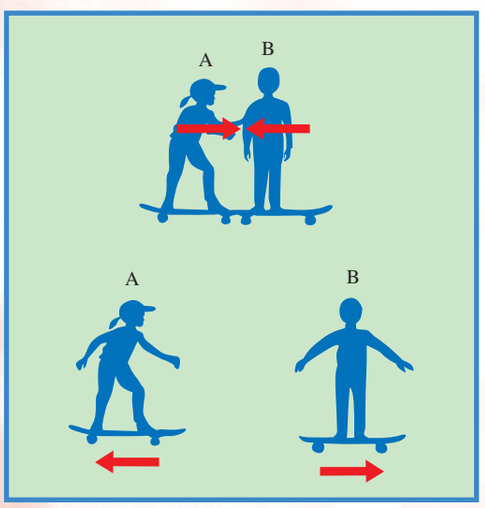



*เกิดแรงโต้ตอบแรงที่เรากระทำต่อกำแพง ซึ่งส่งผลให้เราเคลื่อนที่ออกจากกำแพงได้*

หรือเมื่อเราออกแรงดึงเครื่องชั่งสปริง เราจะมีความรู้สึกว่าเครื่องชั่งสปริงก็ดึงมือเราด้วย และถ้าเราดึงเครื่องชั่งสปริงด้วยแรงมากเท่าใดเครื่องชั่งสปริงก็จะดึงเรากลับมากตามไปด้วย โดยจะมีขนาดเท่ากับแรงที่เราดึงแต่มีทิศทางตรงกันข้าม



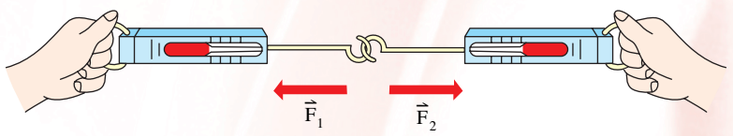

*การเกิดแรงโต้ตอบแรงที่เราใช้ดึงเครื่องชั่งสปริง*



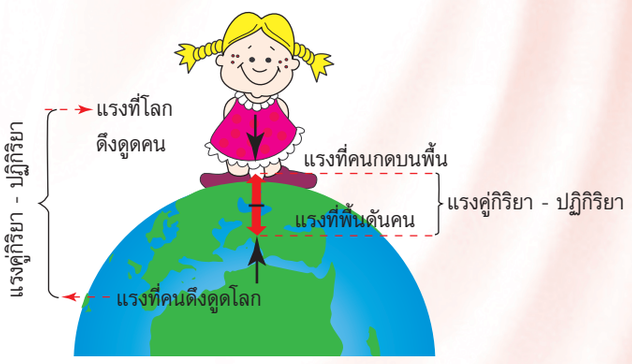

*การเกิดแรงโต้ตอบกันเมื่อยืนอยู่บนสเกตบอร์ด*

จากตัวอย่างและลักษณะการเกิดแรงกระทำระหว่างวัตถุดังรูปข้างต้น ทำให้ได้ข้อสรุปว่า เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุหนึ่ง วัตถุนั้นจะออกแรงโต้ตอบในทิศตรงข้ามกับแรงที่มากระทำ แรงทั้งสองนี้จะเกิดขึ้นพร้อมกันเสมอ เราเรียกแรงที่มากระทำต่อวัตถุว่า ***แรงกิริยา*** ***(action force)*** และเรียกแรงที่วัตถุโต้ตอบต่อแรงที่มากระทำว่า ***แรงปฏิกิริยา*** ***(reaction force)*** แรงทั้งสองนี้รวมเรียกว่า แรงคู่กิริยา - ปฏิกิริยา (action - reaction pairs)

จากการศึกษาพบว่า แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยามีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้ามเสมอ นิวตันได้สรุปความสัมพันธ์ระหว่างแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาไว้เป็นกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน ซึ่งมีใจความว่า *"ทุกแรงกิริยาจะต้องมีแรงปฏิกิริยาที่มีขนาดเท่ากันและทิศตรงข้ามเสมอ"*




*แรงคู่ปฏิกิริยาตามกฎข้อที่ 3 ของนิวตันที่เกิดจากการใช้มือดึงเครื่องชั่งสปริงที่เกี่ยวกัน*




*แรงคู่กิริยา - ปฏิกิริยาที่กระทำระหว่างคนและโลก เมื่อคนยืนอยู่บนผิวโลก*

จากรูปข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า

1. แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาจะเกิดพร้อมๆ กันเสมอ
2. แรงคู่กิริยา - ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ทั้งกรณีวัตถุสัมผัสกันหรือไม่สัมผัสกันก็ได้

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน จึงสามารถนำมาใช้อธิบายในเรื่องของแรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุอยู่ในสภาพต่างๆ ได้อย่างเป็นเหตุเป็นผล

## กิจกรรมที่ 3.12 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน

### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงกิริยากับขนาดของแรงปฏิกิริยา

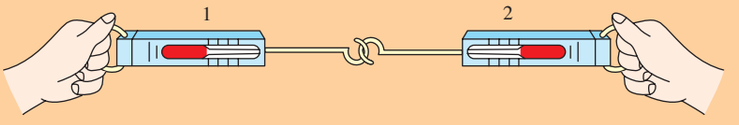
### อุปกรณ์

เครื่องชั่งสปริง 2 อัน

### วิธีทำการทดลอง

1. ให้นักเรียนใช้มือทั้ง 2 ข้างมาดึงกัน สังเกตและบันทึกผลการทดลอง

2. ใช้เครื่องชั่งสปริง 2 อันมาเกี่ยวกันแล้วใช้มือทั้งสองดึงที่ปลายทั้งสองของเครื่องชั่งสปริง ดังรูป สังเกตเข็มของเครื่องชั่งสปริงทั้ง 2 อัน บันทึกผล




### คำถามหลังการทดลอง

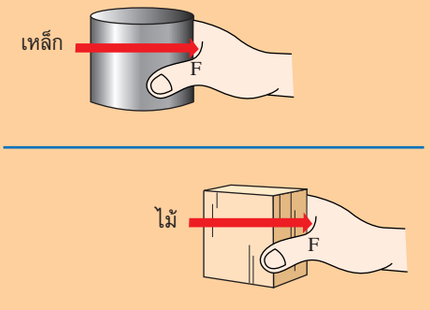
1. เมื่อนักเรียนใช้มือทั้ง 2 ข้างมาดึงกัน มือมีการเคลื่อนที่หรือไม่ เพราะเหตุใด

2. เมื่อใช้เครื่องชั่งสปริง 2 อันมาเกี่ยวกันแล้วดึง เข็มชี้ของเครื่องชั่งสปริงทั้งสองอยู่ที่ตำแหน่งแตกต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด

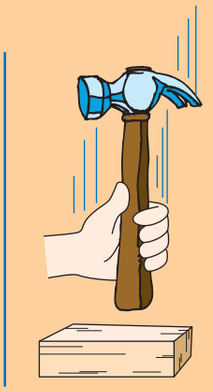
3. นักเรียนจะสรุปผลการทดลองได้ว่าอย่างไร

# แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนประจำหน่วย

1. จงอธิบายและยกตัวอย่างการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้สนามโน้มถ่วงของโลกที่นักเรียนพบเห็นในชีวิตประจำวันมา 1 ตัวอย่าง
2. จงอธิบายและยกตัวอย่างการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมา 1 ตัวอย่าง
3. นักเรียนคิดว่า ลูกบอลลูนที่นิยมปล่อยขึ้นไปลอยบนท้องฟ้าในงานเทศกาลต่างๆ จะตกลงสู่พื้นโลกหรือไม่ เพราะเหตุใด จงอธิบาย
4. ระยะทางและการกระจัดแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
5. ความเร็วและอัตราเร็วแตกต่างกันอย่างไร เรามีวิธีการหาอัตราเร็วและความเร็วของวัตถุได้อย่างไร
6. วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ เมื่อเราเขียนกราฟระหว่างการกระจัดกับเวลาและความเร่งกับเวลาจะได้กราฟมีลักษณะเป็นอย่างไร
7. การเคลื่อนที่แบบอิสระภายใต้แรงดึงดูดของโลกมีลักษณะสำคัญอย่างไร จงอธิบาย
8. เหตุใดเราจึงจัดให้การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เป็นการเคลื่อนที่แบบอิสระภายใต้แรงดึงดูดของโลก
9. ถ้าเรายิงกระสุนออกไปพร้อมกัน แต่ลูกหนึ่งยิงด้วยมุม 45 องศา อีกลูกหนึ่งยิงด้วยมุม 60 องศา ลูกกระสุนทั้งสองจะตกถึงพื้นพร้อมกันหรือไม่ อย่างไร
10. จากรูปข้างล่างนี้ให้นักเรียนอธิบายการกระทำในภาพโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน




*การออกแรงย้ายก้อนไม้ และก้อนเหล็กจากตำแหน่งเดียวกัน*



*การใส่ด้ามค้อนโดยการตอกกับท่อนไม้*

11. วัตถุชิ้นหนึ่งถูกแรงขนาด 200 นิวตันกระทำ ทำให้เกิดความเร่งขนาด 10 เมตรต่อวินาที$^2$ ถ้าเราลดแรงที่กระทำต่อวัตถุให้เหลือเพียง 150 นิวตัน วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งขนาดเท่าใดและวัตถุก้อนนี้มีมวลขนาดเท่าใด

12. กล่องใบหนึ่งมีมวล 8 กิโลกรัม ออกแรงผลักขนาด 40 นิวตัน จากหยุดนิ่ง อยากทราบว่าอีก 4 วินาที ต่อมาวัตถุนี้จะมีความเร็วเท่าใด และถ้าลดมวลเป็น 4 กิโลกรัมโดยออกแรงกระทำเท่าเดิม กล่องจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งขนาดเท่าใด
13. ให้นักเรียนอธิบายรูปต่อไปนี้โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน

*ภาพที่ 1*

*ภาพที่ 2*

*ภาพที่ 3*

*ภาพที่ 4*

## แนวทางการประเมินผลการเรียนรู้

1. ประเมินผลจากการสังเกตพฤติกรรมในการเรียน พฤติกรรมการทำงาน การอภิปราย การสืบค้นข้อมูล การตอบคำถาม
2. ประเมินผลจากนำเสนอผลการเรียนรู้ การสรุปบทเรียน
3. ประเมินผลจากการสร้างสื่อการเรียนรู้
4. ประเมินผลจากรายงานการทดลอง การสรุปผลการทดลอง การตอบคำถามหลังการทดลองได้ถูกต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 80
5. ประเมินผลจากการตอบคำถามท้ายเรื่องได้ถูกต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 80
6. ประเมินผลจากการตอบแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนประจำหน่วยได้ถูกต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 80

## แบบประเมินตนเอง

ให้นักเรียนประเมินตนเองจากผลที่ได้จากการศึกษาเรื่องการเคลื่อนที่ โดยเขียนเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับระดับความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อผลการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ

| รายการประเมิน | ระดับความพึงพอใจ | | |
|---|---|---|---|
| | มาก | ปานกลาง | น้อย |
| 1. การเคลื่อนที่ของวัตถุหรืออนุภาคในสนามโน้มถ่วง<br>2. การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก<br>3. ปริมาณต่างๆ ของการเคลื่อนที่<br>4. การหาปริมาณต่างๆ ของการเคลื่อนที่จากกราฟ<br>5. การเคลื่อนที่ในแนวตรง<br>6. การเคลื่อนที่ในแนวโค้งแบบโพรเจกไทล์<br>7. การเคลื่อนที่ในแนววงกลม<br>8. การเคลื่อนที่แบบหมุน<br>9. การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย<br>10. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน | | | |
| *การประเมินตนเองของนักเรียนนี้นำผลการประเมินไปใช้ในการซ่อมเสริม ไม่ได้นำไปใช้ในการตัดสินระดับผลการเรียน* | | | |