

## 4

# กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

## (Newton's Laws of Motion)

### จุดประสงค์การเรียนรู้

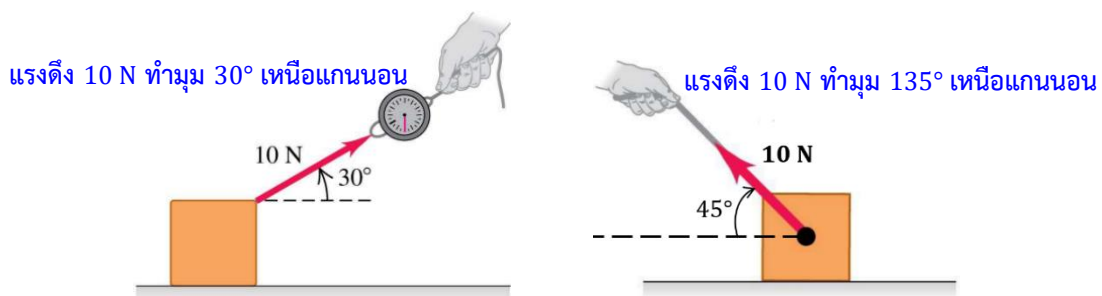
1. เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจความหมายของ “แรง” ในทางฟิสิกส์ และสามารถระบุแรงที่ทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุได้
2. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบายได้ว่าวัตถุจะรักษาสภาพเฉื่อยเมื่อแรงสุทธิที่กระทำกับวัตถุเป็นศูนย์
3. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถคำนวณหาความเร่งของวัตถุเมื่อแรงสุทธิที่กระทำกับวัตถุไม่เป็นศูนย์ได้
4. เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจความแตกต่างของ “มวล” และ “น้ำหนัก” ในทางฟิสิกส์
5. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของแรงที่วัตถุสองวัตถุกระทำต่อกันได้
6. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถสร้างแผนภาพวัตถุเสรีเพื่อช่วยในการวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อวัตถุได้
7. เพื่อให้ผู้เรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาการเคลื่อนที่โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันได้

ในบทที่ 2 และ 3 จะบรรยายการเคลื่อนที่ด้วยปริมาณจลศาสตร์ ซึ่งได้แก่ การกระจัด ความเร็ว และความเร่ง ปริมาณเหล่านี้จะบอกว่าวัตถุเคลื่อนที่อย่างไร แต่ในบทนี้จะศึกษาว่าอะไรทำให้วัตถุเคลื่อนที่ ซึ่งการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของวัตถุกับต้นเหตุที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นศาสตร์หนึ่งของกลศาสตร์ที่เรียกว่า “พลศาสตร์ (dynamics)”

### 4.1 แรงและอันตรกิริยา

จากประสบการณ์ในชีวิตประจำวันทำให้ทราบว่า การเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นผลโดยตรงจากอันตรกิริยา (interaction) ของตัววัตถุเองกับวัตถุอื่น ๆ รอบตัววัตถุนั้น ซึ่งอันตรกิริยานิยามพูดถึงในเชิงปริมาณด้วยคำคำศัพท์ที่เรียกว่า “แรง”

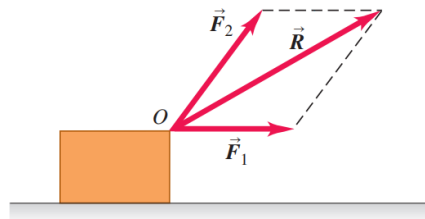
**แรง (Force) คือ การดันหรือการดึง** แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ ดังนั้นในการบรรยายแรง ต้องบรรยายทั้งทิศทางที่แรงกระทำ และ ขนาดของแรง ในระบบ SI หน่วยของแรงคือ นิวตัน (newton, N) อุปกรณ์สามัญที่ใช้ในการวัดแรงคือตาชั่งสปริง ซึ่งตาชั่งสปริงจะประกอบไปด้วยขดสปริงที่บรรจุอยู่ในกล่อง เมื่อมีแรงกระทำต่อปลายสปริงทั้งสองด้าน สปริงจะยืด ความยาวของสปริงที่ยืดออกแปรผันตรงกับแรงที่ทำ ในการวาดเวกเตอร์เพื่อแทนแรงที่กระทำกับวัตถุ จะวาดลูกศรโดยความยาวของลูกศรจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของแรง หรือสามารถระบุขนาดของแรงโดยการเขียนตัวเลขกำกับไว้ก็ได้ และลูกศรจะชี้ตามทิศทางที่แรงกระทำเพื่อระบุทิศของแรงด้วยดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุ [1]

จากรูปจะเห็นว่าแรงทั้งสองมีขนาดเท่ากัน แต่กระทำต่อวัตถุในทิศแตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่การระบุทิศจะระบุในรูปแบบของมุมที่กระทำกับแกนอ้างอิง ซึ่งแกนอ้างอิงที่นิยมใช้กันคือแกนนอน หรือแกนบวก x

และถ้ามีแรงมากกว่า 1 แรงมากกระทำกับวัตถุดังรูปที่ 4.2

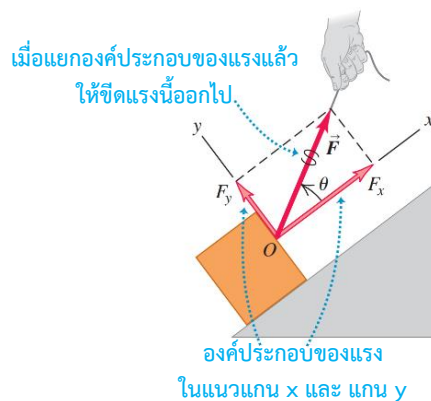


รูปที่ 4.2 การบวกแรง [1]

จากรูป เมื่อมีแรง 2 แรง ( $\vec{F}_1$  และ  $\vec{F}_2$ ) กระทำกับวัตถุขณะเวลาเดียวกันที่จุดเดียวกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่าแรงที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุมีค่าเท่ากับผลบวกเวกเตอร์ของแรงทั้งสองแรงนั้น ดังสมการ

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (4.1)$$

ทำให้ได้หลักการซ้อนทับของแรง (superposition of force) ที่ว่า “แรงจำนวนเท่าใดก็ตามที่กระทำต่อจุดหนึ่งบนวัตถุ มีค่าเท่ากับผลเนื่องจากแรงเดียวที่มีค่าเท่ากับผลบวกเวกเตอร์ของแรงเหล่านั้น” ความจริงนี้ทำให้สามารถแทนแรงด้วยเวกเตอร์องค์ประกอบเหมือนกับที่ทำการกระจัดได้ ดังเช่นในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เวกเตอร์องค์ประกอบของแรง  $\vec{F}$  ในการเคลื่อนที่บนระนาบ XY [1]

จากรูป  $F_x$  และ  $F_y$  คือองค์ประกอบของเวกเตอร์แรง  $\vec{F}$  กระทำต่อวัตถุหนึ่งจุด  $O$  และถ้ามีแรงขนาด  $F_x$  และ  $F_y$  กระทำกับวัตถุที่จุด  $O$  พร้อมกันในทิศดังรูป ผลที่ได้จะมีค่าเหมือนกับผลเนื่องจากแรง  $\vec{F}$  เดิม ทำให้สามารถแทนแรงใด ๆ ด้วยเวกเตอร์องค์ประกอบที่กระทำที่จุดเดียวกันได้

**ข้อน่าสนใจ:** แกนพิกัดไม่จำเป็นต้องเป็นแกนตั้งและแกนนอนเสมอ อาจเป็นแกนที่มีทิศทางหรือตั้งฉากกับผิวสัมผัสก็ได้ ดังในรูปที่ 4.3 แกน  $x$  จะขนานกับพื้นเอียง และ แกน  $y$  จะตั้งฉากกับพื้นเอียง

ผลบวกเวกเตอร์ (ผลลัพธ์) ของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุเรียกว่า “แรงสุทธิ (net force)” และจะใช้ตัวอักษรกรีกที่เรียกว่า “ซิกมา (sigma)” เป็นสัญลักษณ์แทนการบวก

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = \Sigma \vec{F} \quad (4.2)$$

โดยเรียก  $\Sigma \vec{F}$  ว่า “ผลบวกเวกเตอร์ของแรง” หรือ “แรงสุทธิ”

โดยสามารถเขียนแรงสุทธิในรูปขององค์ประกอบเป็น

$$R_x = \Sigma F_x \quad \text{และ} \quad R_y = \Sigma F_y \quad (4.3)$$

**ข้อควรระวัง:** แต่ละองค์ประกอบอาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ ดังนั้นให้ระวังเครื่องหมายในการคำนวณ

หลังจากได้  $R_x$  และ  $R_y$  แล้ว จะสามารถหาขนาดและทิศทางของแรงสุทธิ ( $\vec{R}$ ) ได้จาก

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad \text{และ} \quad \tan \theta = \frac{R_y}{R_x} \quad (4.4)$$

## 4.2 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันใช้ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุเมื่อมีแรงมากระทำกับวัตถุ แล้ววัตถุจะเคลื่อนที่อย่างไร ซึ่งกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันมีทั้งหมด 3 ข้อ โดยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันกล่าวไว้ว่า

**“วัตถุซึ่งไม่ถูกกระทำโดยแรงสุทธิจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว (อาจเป็นศูนย์) และด้วยความเร่งเท่ากับศูนย์”**

กฎข้อที่หนึ่งของนิวตันนี้หมายความว่า เมื่อไม่มีแรงสุทธิกระทำต่อวัตถุ วัตถุจะอยู่นิ่งต่อไป หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวในแนวเส้นตรงเช่นเดิม โดยหลังจากวัตถุถูกกระทำให้เคลื่อนที่แล้ว จะไม่จำเป็นต้องใช้แรงในการคงการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งแนวโน้มที่วัตถุจะคงการเคลื่อนที่ต่อไปหลังจากเคลื่อนที่แล้วเป็นสมบัติที่เรียกว่า **“ความเฉื่อย (inertia)”**

สิ่งสำคัญในกฎข้อที่หนึ่งของนิวตันคือแรงสุทธิ เมื่อไม่มีแรงใด ๆ กระทำต่อวัตถุหรือแรงสุทธิที่กระทำกับวัตถุเป็นศูนย์ จะกล่าวได้ว่า**วัตถุนั้นอยู่ในสภาวะสมดุล** ซึ่งในสภาวะสมดุล ถ้าวัตถุ**ไม่**อยู่นิ่ง วัตถุนั้นก็จะเคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร็วคงตัว ทำให้ได้ว่า

$$\Sigma \vec{F} = 0 \quad (\text{กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน}) \quad (4.5)$$

ดังนั้นในสภาวะสมดุล องค์ประกอบของแรงสุทธิต้องมีค่าเป็นศูนย์ สำหรับระบบพิกัดฉาก XYZ จะได้ว่า

$$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0 \quad \text{และ} \quad \Sigma F_z = 0 \quad (4.6)$$

**ข้อควรระวัง:** ในขณะนี้พิจารณาวัตถุเป็นอนุภาคจุด

**กรอบอ้างอิงเฉื่อย:**

การเคลื่อนที่เป็นเรื่องสัมพัทธ์ ดังนั้นต้องระบุว่าวัตถุที่กำลังพิจารณานั้นเคลื่อนที่เทียบกับใคร หรือเทียบกับอะไร ซึ่งกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่ของวัตถุสัมพัทธ์กับตัวผู้สังเกต และเรียกผู้สังเกตแต่ละคนพร้อมกับเครื่องมือวัดตำแหน่งและนาฬิกาจับเวลารวมกันว่า **“กรอบอ้างอิง (frame of reference)”** ดังนั้นกรอบอ้างอิงคือระบบพิกัดรวมกับสเกลเวลา โดยจะเรียกรอบอ้างอิงที่กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันเป็นจริงว่า **“กรอบอ้างอิงเฉื่อย (inertial frames of reference)”** ดังนั้นเมื่อเทียบกับกรอบอ้างอิงเฉื่อย วัตถุต้องอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ และในสภาวะเช่นนี้ผลบวกเวกเตอร์ของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ ซึ่งกรอบอ้างอิงเฉื่อยมีได้หลายกรอบ ถ้ามีกรอบอ้างอิงเฉื่อย A ที่กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันเป็นจริง กรอบอ้างอิง B ใด ๆ จะเป็นกรอบอ้างอิงเฉื่อยด้วย ถ้ากรอบอ้างอิง B เคลื่อนที่สัมพัทธ์กับกรอบอ้างอิง A ด้วย**ความเร็วคงตัว**

$$\vec{v}_{P/A} = \vec{v}_{P/B} + \vec{v}_{B/A} \quad (4.7)$$

เมื่อ  $P$  คือ อนุภาคที่กำลังทำการศึกษา

$\vec{v}_{P/A}$  คือ ความเร็วคงตัวของ  $P$  เทียบกับกรอบอ้างอิง A

$\vec{v}_{P/B}$  คือ ความเร็วคงตัวของ  $P$  เทียบกับกรอบอ้างอิง B

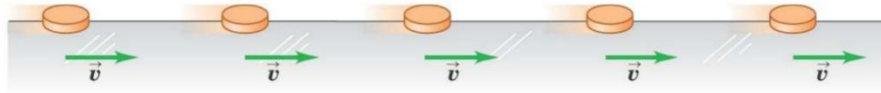
$\vec{v}_{B/A}$  คือ ความเร็วคงตัวของกรอบอ้างอิง B เทียบกับกรอบอ้างอิง A

## 4.3 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

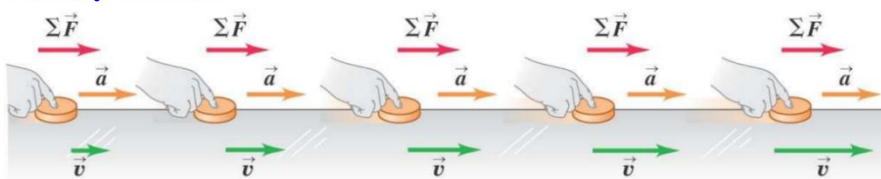
ในการพิจารณาการเคลื่อนที่ด้วยกฎข้อที่หนึ่งของนิวตัน จะกระทำได้อีกต่อเมื่อ**ไม่มี**แรงใด ๆ กระทำกับวัตถุ หรือ แรงสุทธิที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ ( $\Sigma \vec{F} = 0$ ) ซึ่งวัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวและความเร่งมีค่าเป็นศูนย์ **แต่จะเกิดอะไรขึ้นถ้าแรงสุทธิมีค่าไม่เป็นศูนย์ ( $\Sigma \vec{F} \neq 0$ )?** จากการทดลองสรุปได้ว่า **“แรงสุทธิที่ไม่เป็นศูนย์จะทำให้วัตถุนั้นมีความเร่งในทิศเดียวกันกับทิศของแรง และถ้าแรงสุทธิมีค่าคงตัวแล้ว ขนาดของความเร่งจะมีค่าคงตัวด้วย”** ยกตัวอย่างเช่น เมื่อออกแรงกระทำต่อลูกชอกกี้ดังรูปที่ 4.4 และพิจารณาลูกชอกกี้ที่กำลังไถลไปทางขวาด้วยอัตราเร็วคงตัวบนน้ำแข็งเปี้ยกที่มีแรงเสียดทานน้อยมากจนไม่ต้องพิจารณาแรงเสียดทาน รูปที่ 4.4 (a) เมื่อ**ไม่มี**แรงสุทธิกระทำกับลูกชอกกี้ ลูกชอกกี้ก็จะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่าเดิมในทิศทางเดิม แต่เมื่อมีแรงสุทธิค่าคงตัวกระทำต่อลูกชอกกี้ดัง

รูปที่ 4.4 (b) ซึ่งแรงสุทธินี้มีทิศเดียวกับการเคลื่อนที่ของลูกฮอกกี้ อัตราเร็วของลูกฮอกกี้จะเพิ่มขึ้น แสดงว่าลูกฮอกกี้กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร่งในทิศเดียวกับความเร่งของลูกฮอกกี้ และถ้ากลับทิศของแรงดังรูปที่ 4.4 (c) ลูกฮอกกี้จะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่ลดลงเรื่อย ๆ แสดงว่าลูกฮอกกี้มีความเร่ง แต่ความเร่งนี้มีทิศตรงกันข้ามกับความเร่งของลูกฮอกกี้ จึงสรุปได้ว่าเมื่อมีแรงสุทธิกระทำกับวัตถุ แรงสุทธิจะทำให้วัตถุมีความเร่ง ซึ่งความเร่งจะมีทิศเดียวกับทิศของแรงสุทธิที่กระทำกับวัตถุ และถ้าแรงสุทธินี้มีขนาดคงตัว ความเร่งก็จะมีขนาดคงตัวเช่นกัน

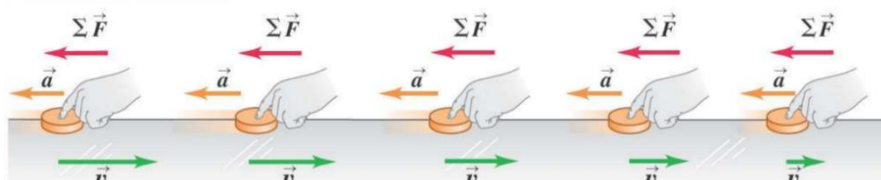
a) ถ้า  $\Sigma \vec{F} = 0$ : ความเร็วคงตัว และความเร่งเป็นศูนย์



b) ถ้า  $\Sigma \vec{F} \neq 0$  และอยู่ในทิศเดียวกันกับความเร็ว: อัตราเร็วเพิ่มขึ้น ดังนั้นความเร่งมีทิศเดียวกันกับความเร็ว



c) ถ้า  $\Sigma \vec{F} \neq 0$  และอยู่ในทิศตรงกันข้ามกับความเร็ว: ความเร่งมีทิศตรงกันข้ามกับความเร็ว



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งและแรงสุทธิที่กระทำต่อลูกฮอกกี้ [1]

สำหรับวัตถุใด ๆ อัตราส่วนของขนาดของแรงสุทธิต่อขนาดของความเร่งมีค่าคงตัวไม่ว่าแรงสุทธินั้นจะมีขนาดเป็นเท่าใด โดยเรียกอัตราส่วนนี้ว่ามวลเฉื่อย (inertial mass) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า “มวล (mass)” ของวัตถุนั้น ๆ ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์  $m$  ทำให้ได้

$$|\Sigma \vec{F}| = ma \quad (4.8)$$

มวลเป็นปริมาณสเกลาร์ที่แสดงถึงความเฉื่อยของวัตถุ ถ้าวัตถุมีมวลมากขึ้น วัตถุนั้นจะสามารถ “ต้าน” การถูกเร่งได้มากขึ้น ซึ่งหน่วยในระบบ SI ของมวลคือ กิโลกรัม (kilogram, kg) จากหน่วยของมวลนี้ ทำให้สามารถนิยามหน่วย “นิวตัน (newton, N)” ซึ่งเป็นหน่วยของแรงได้ว่า

“หนึ่งนิวตันคือปริมาณแรงสุทธิที่ทำให้มวลหนึ่งกิโลกรัมมีความเร่งขนาดหนึ่งเมตรต่อวินาทีกำลังสอง”

ซึ่งสามารถใช้สมการ  $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$  ในการเปรียบเทียบมวลก้อนหนึ่งกับมวลมาตรฐานได้ โดยสมมุติว่ามีแรงสุทธิคงตัวกระทำต่อวัตถุมวล  $m_1$  ซึ่งรู้ค่า และวัดความเร่งได้ว่ามีขนาด  $a_1$  แล้วหลังจากนั้นออกแรงเดียวกันนี้กับวัตถุมวล  $m_2$  ที่ไม่ทราบค่ามวล และวัดความเร่งของวัตถุก้อนที่สองนี้ได้เป็น  $a_2$  จะได้ว่า

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_1}{a_2} \quad ; \text{ เมื่อแรงสุทธิที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเท่ากัน } \quad (4.9)$$

และเมื่อผูกวัตถุสองชิ้น  $m_1$  และ  $m_2$  เข้าด้วยกัน มวลของวัตถุผสมมีค่าเป็น  $m_1 + m_2$  เสมอ ซึ่งเรียกว่าสมบัติการบวกของมวล

นิวตันได้สรุปความสัมพันธ์ของความเร่งและแรงสุทธิเป็นข้อความกระชับข้อความเดียวที่เรียกว่า “กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน” ที่ว่า

“ถ้ามีแรงสุทธิภายนอกกระทำต่อวัตถุ วัตถุนั้นจะมีความเร่ง โดยความเร่งมีทิศเดียวกับทิศของแรงสุทธิ และเวกเตอร์แรงสุทธิมีค่าเท่ากับมวลของวัตถุคูณกับความเร่งของวัตถุ”

ในรูปสัญลักษณ์

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (\text{กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน}) \quad (4.10)$$

กฎนี้กล่าวในอีกรูปแบบหนึ่งว่าความเร่งของวัตถุมีค่าเท่ากับผลบวกเวกเตอร์ของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุหารด้วยมวลของวัตถุ ซึ่งความเร่งที่ได้จะมีทิศเดียวกับแรงสุทธิ

**ข้อควรระวัง:**  $m\vec{a}$  ไม่ใช่แรง สมการข้างต้นบอกเพียงว่าเวกเตอร์  $m\vec{a}$  มีขนาดและทิศทางเดียวกับผลบวกเวกเตอร์ของแรงสุทธิที่กระทำต่อวัตถุ ( $\sum \vec{F}$ ) การคิดว่าความเร่งเป็นแรงเป็นสิ่งไม่ถูกต้อง ที่จริงแล้วความเร่งเป็นผลจากแรงสุทธิที่ไม่เป็นศูนย์

ลักษณะสำคัญของกฎข้อที่สองของนิวตันได้แก่

1.  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$  เป็นสมการเวกเตอร์ ทำให้แยกองค์ประกอบของแรงและความเร่งที่สอดคล้องกันได้เป็น

$$\sum F_x = m\vec{a}_x \quad \sum F_y = m\vec{a}_y \quad \text{และ} \quad \sum F_z = m\vec{a}_z \quad (4.11)$$

2. กฎข้อที่สองนี้พูดถึงแรงภายนอกเท่านั้น ซึ่งหมายถึงแรงที่วัตถุอื่น ๆ กระทำต่อวัตถุที่กำลังศึกษา ดังนั้น **อย่ารวมแรงที่วัตถุที่กำลังศึกษากระทำต่อวัตถุอื่น ๆ เด็ดขาด**
3. กฎข้อที่สองของนิวตันที่ว่า  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$  ใช้ได้ก็ต่อเมื่อมวลมีค่าคงตัวเท่านั้น
4. กฎข้อที่สองของนิวตันใช้ได้ในกรอบอ้างอิงเฉื่อยเท่านั้น โดยทั่วไปจะสมมติว่าบริเวณใกล้ผิวโลกเป็นกรอบอ้างอิงเฉื่อย แม้จะไม่ใช้กรอบอ้างอิงเฉื่อยที่แท้จริงก็ตาม เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเองและหมุนรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งการเคลื่อนที่ทั้งสองทำให้เกิดความเร่งสู่ศูนย์กลาง อย่างไรก็ตามที่บริเวณใกล้ผิวโลก ความเร่งดังกล่าวมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก

## 4.4 มวลและน้ำหนัก

ในภาษาพูดประจำวัน นิยมใช้คำว่า “มวล” กับ “น้ำหนัก” สลับกันแต่ในทางฟิสิกส์ปริมาณทั้งสองแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดย

**มวล (mass)** เป็นปริมาณที่บ่งบอกถึงสมบัติความเฉื่อยของวัตถุ ยิ่งมวลมากขึ้นก็ต้องใช้แรงมากขึ้นในการทำใหวัตถุมีความเร่งตามที่ต้องการ ซึ่งมวลเป็นปริมาณสเกลาร์

**น้ำหนัก (weight)** คือ แรงที่กระทำต่อวัตถุเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกหรือวัตถุขนาดใหญ่อื่น ๆ ซึ่งทำให้น้ำหนักเป็นปริมาณเวกเตอร์ โดยความเร่งเนื่องจากแรงที่ทำให้วัตถุตกอย่างเสรีบนโลกคือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $\vec{g}$ ) ในกรณีทั่วไปวัตถุที่มีมวล  $m$  จะมีน้ำหนักเป็น

$$\vec{w} = m\vec{g} \quad (4.13)$$

เนื่องจากขนาดของความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงโลก  $g$  มีค่าเป็นบวกเสมอ ดังนั้นขนาดของน้ำหนัก  $w$  จึงมีค่าเป็นบวกเสมอ ซึ่งน้ำหนักของวัตถุจะกระทำต่อวัตถุตลอดเวลาไม่ว่าวัตถุนั้นตกอย่างเสรีหรือไม่

ค่า  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  จะใช้สำหรับปัญหาการเคลื่อนที่บริเวณใกล้ผิวโลก ซึ่งแท้จริงแล้วค่า  $g$  อาจแปรเปลี่ยนเล็กน้อยจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งบนโลก เพราะว่าโลกไม่ได้เป็นทรงกลมสมบูรณ์ และผลจากการหมุนรอบตัวเองของโลกทำให้น้ำหนักของวัตถุแปรเปลี่ยนจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง แต่มวลไม่เปลี่ยน และถ้านำวัตถุหนึ่งไปที่ผิวดวงจันทร์ที่มีความเร่งของการตกอย่างเสรีไม่เท่ากับ  $g$  น้ำหนักของวัตถุนั้นจะเปลี่ยนไป แต่มวลไม่เปลี่ยน

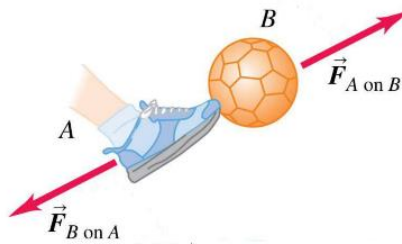
**ยกตัวอย่างเช่น** นักบินอวกาศมวล 80.0 กิโลกรัม มีน้ำหนักบนโลกเท่ากับ  $(80.0 \text{ kg})(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) = 784 \text{ N}$  แต่บนดวงจันทร์เขาจะมีน้ำหนักเพียง  $(80.0 \text{ kg})(1.62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) = 130 \text{ N}$  เนื่องจากความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของดวงจันทร์มีขนาดเท่ากับ 1.62 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง ซึ่งน้อยกว่าค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกมาก

**เพิ่มเติม:** จะเห็นได้ว่าหน่วย SI สำหรับมวลคือ กิโลกรัม (kg) และหน่วย SI สำหรับน้ำหนักคือ นิวตัน (N)



## 4.5 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน

แรงที่กระทำต่อวัตถุหนึ่งเป็นผลจากอันตรกิริยาของวัตถุนั้นกับวัตถุอื่นเสมอ ดังนั้นแรงจึงเกิดขึ้นเป็นคู่เสมอ ยกตัวอย่างเช่นในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แรงที่เกิดจากการเตะลูกบอล [1]

เมื่อนักฟุตบอลเตะลูกบอล แรงที่เท้ากระทำกับลูกบอลส่งลูกบอลเข้าสู่วิถีการเคลื่อนที่ ในขณะที่เดียวกันนักฟุตบอลก็จะรู้สึกถึงแรงที่ลูกบอลกระทำต่อเท้าของนักฟุตบอลกลับด้วย ในกรณีเช่นนี้แรงที่วัตถุที่กำลังศึกษากระทำต่อวัตถุอื่นจะมีทิศตรงข้ามกับแรงที่วัตถุนั้นกระทำต่อวัตถุที่กำลังศึกษา และจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อใดก็ตามที่วัตถุสองชิ้นกระทำต่อกัน แรงสองแรงที่วัตถุกระทำต่อกันมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้ามกันเสมอ ซึ่งความจริงนี้เรียกว่า “กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน” ซึ่งสมการทางคณิตศาสตร์ของกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน คือ

$$\vec{F}_{A \text{ on } B} = -\vec{F}_{B \text{ on } A} \quad (\text{กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน}) \quad (4.12)$$

ซึ่ง  $\vec{F}_{A \text{ on } B}$  คือแรงที่กระทำโดยวัตถุ A ต่อวัตถุ B และ  $\vec{F}_{B \text{ on } A}$  คือแรงที่กระทำโดยวัตถุ B ต่อวัตถุ A เมื่อเขียนเป็นคำพูดจะได้ว่า

“ถ้าวัตถุ A ออกแรงกระทำต่อวัตถุ B (แรงกิริยา) วัตถุ B ก็ออกแรงกระทำกับวัตถุ A (แรงปฏิกิริยา) ซึ่งแรงสองแรงนี้มีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงกันข้าม โดยแรงสองแรงนี้กระทำต่อวัตถุต่างชิ้นกัน”

โดยแรงสองแรงที่ตรงกันข้ามกันนี้ถูกเรียกว่าเป็นคู่แรงกิริยา-ปฏิกิริยา (action-reaction pair) ซึ่งสามารถพิจารณาแรงใดเป็นแรงกิริยา (action) ก็ได้ และอีกแรงหนึ่งจะเป็นแรงปฏิกิริยา (reaction)



รูปที่ 4.6 คู่แรงกิริยา-ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อช่างหิน (M) ดึงเชือก (R) ที่ผูกติดกับก้อนหิน (B) [1]

ถ้าดึงเชือกที่ผูกติดกับวัตถุตั้งเช่นรูปที่ 4.6 ไม่ว่าวัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพสมดุลหรือไม่ เชือกจะมีแรงดึงกระทำที่ปลายแต่ละข้าง ซึ่งกล่าวได้ว่า “เชือกอยู่ในสภาพตึง” ความตึงที่จุดใด ๆ คือขนาดของแรงที่กระทำที่ตำแหน่งนั้น ๆ จากรูปจะเห็นได้ว่าความตึงที่ปลายขวามือของเชือกคือขนาดของแรง  $\vec{F}_{M \text{ on } R}$  (หรือของแรง  $\vec{F}_{R \text{ on } M}$ ) และความตึงที่ปลายซ้ายมือของเชือกคือขนาดของแรง  $\vec{F}_{B \text{ on } R}$  (หรือของแรง  $\vec{F}_{R \text{ on } B}$ ) ถ้าเชือกอยู่ในสภาวะสมดุล ความตึงของเชือกที่ปลายทั้งสองข้างมีค่าเท่ากันและเท่ากันตลอดเส้น ดังนั้นถ้าขนาดของแรง  $\vec{F}_{B \text{ on } R}$  และ  $\vec{F}_{M \text{ on } R}$  ต่างมีค่า 50 N ความตึงในเส้นเชือกจะมีค่า 50 N (ไม่ใช่ 100 N) โดยเวกเตอร์แรงสุทธิ ( $\vec{F}_{B \text{ on } R} + \vec{F}_{M \text{ on } R}$ ) ที่ทำต่อเชือกในกรณีนี้มีค่าเป็นศูนย์

**ข้อควรระวัง:** แรงกิริยา และ แรงปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุต่างชิ้นกัน

## 4.6 การใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

เทคนิคในการใช้กฎทั้ง 3 ข้อของนิวตัน

1. จะใช้กฎข้อที่หนึ่งของนิวตัน ( $\Sigma \vec{F} = 0$ ) กับสถานการณ์สมดุล หรือปัญหาที่ความเร่งเป็นศูนย์
2. จะใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน ( $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$ ) กับสถานการณ์ไม่สมดุล หรือปัญหาที่มีความเร่ง
3. ในการใช้กฎข้อที่หนึ่งหรือข้อที่สอง ให้พุ่งความสนใจไปที่วัตถุใดวัตถุหนึ่งเสมอ และอย่าสับสนระหว่างแรงที่กระทำต่อวัตถุและแรงที่วัตถุนั้นกระทำกับวัตถุอื่น
4. เพื่อช่วยในการหาแรงที่เกี่ยวข้องกับวัตถุนั้น ๆ ให้วาดแผนภาพวัตถุเสรี

## 4.7 การสร้างแผนภาพวัตถุเสรี

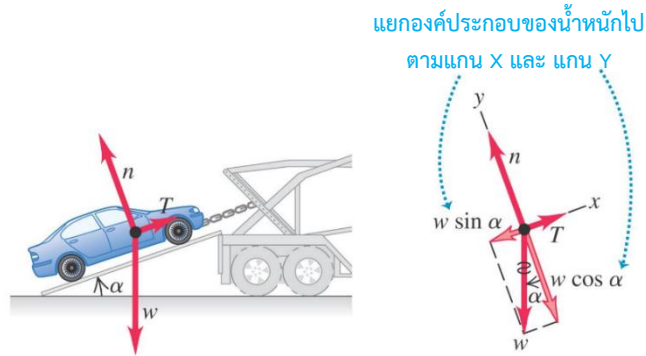
แผนภาพวัตถุเสรี (Free-Body Diagram, FBD) คือแผนภาพที่แสดงแต่วัตถุที่กำลังพิจารณาอย่างเดียวที่ “เสรี” จากสิ่งแวดล้อม พร้อมกับเวกเตอร์แสดงขนาดและทิศทางของแรงทั้งหมดที่วัตถุอื่นกระทำต่อวัตถุนั้น ถ้าในระบบที่กำลังศึกษามีวัตถุมากกว่าหนึ่งชิ้น โดยต้องแยกพิจารณาวัตถุทีละชิ้น และวาดแผนภาพวัตถุเสรีแยกกันสำหรับวัตถุแต่ละชิ้น รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างการวาดแผนภาพวัตถุเสรี



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างแผนภาพวัตถุเสรี : (ซ้าย) ลูกแอปเปิลหนึ่งวางอยู่บนโต๊ะ และ (ขวา) นักวิ่งในขณะที่ถีบดันบล็อกไปทางด้านหลังเพื่อให้ตัวเองมีความเร่งขนาดสูงไปข้างหน้าในตอนต้นของการแข่งขัน [1]

**ข้อควรระวัง :** ในการวาดแผนภาพวัตถุเสรีอย่ารวมแรงที่วัตถุนั้นกระทำกับวัตถุอื่นไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคู่แรงกิริยา-ปฏิกิริยาต้องไม่ปรากฏอยู่ในแผนภาพวัตถุเสรีเดียวกัน นอกจากนั้นต้องไม่รวมแรงที่วัตถุกระทำต่อตัวเอง เพราะแรงเหล่านี้ไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ

รูปข้างบนแสดงตัวอย่างการวาดแผนภาพเสรีสำหรับการเคลื่อนที่อย่างง่าย แต่ในหลาย ๆ สถานการณ์ การวาดแผนภาพวัตถุเสรีต้องอาศัยความเชี่ยวชาญ เช่น สถานการณ์ที่กำลังลากรถยนต์ขึ้นไปตามพื้นเอียงดังรูปที่ 4.8 จากรูปจะเห็นมีแรง 3 แรงกระทำกับรถยนต์ได้แก่ น้ำหนักของรถยนต์ แรงแนวฉากที่พื้นเอียงกระทำกับรถยนต์ และ แรงดึงเชือก ซึ่งหลักสำคัญในการแก้ปัญหาการเคลื่อนที่บนพื้นเอียงคือ ให้ตั้งแกน  $x$  ขนานกับพื้นเอียง และ แกน  $y$  ตั้งฉากกับพื้นเอียง เพื่อให้วัตถุเคลื่อนที่ในแนวแกน  $x$  อย่างเดียว เมื่อวาดแผนภาพวัตถุเสรีแล้ว จะมีแค่น้ำหนักของวัตถุเท่านั้นที่ไม่อยู่บนแกน  $x$  และ แกน  $y$  ดังนั้นจึงต้องแยกองค์ประกอบของน้ำหนักไปตามแกน  $x$  และ แกน  $y$  แล้วค่อยประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันในการแก้ปัญหาต่อไป



รูปที่ 4.8 (ซ้าย) แบบจำลองฟิสิกส์อย่างง่าย และ (ขวา) แผนภาพวัตถุเสรีของรถยนต์เมื่อกำลังอยู่บนพื้นเอียง [1]

**ข้อควรระวัง:** อย่าลืมขีดแรงที่แยกองค์ประกอบไปแล้วทิ้ง เพื่อให้ไม่เผลอเอาแรงนั้นพิจารณาซ้ำ

## สรุป

- \* แรงเป็นปริมาณที่วัดอันตรกิริยาที่วัตถุอื่นกระทำต่อวัตถุที่กำลังศึกษาเช่น การดึงหรือการดัน ซึ่งแรงส่งผลทำให้วัตถุเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ และแรงมีหน่วยเป็นนิวตัน (N)
  - \* แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ จึงสามารถแทนแรงด้วยเวกเตอร์องค์ประกอบได้
  - \* เมื่อมีแรงหลายแรงกระทำกับวัตถุหนึ่งจะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุเท่ากับผลเนื่องจากแรงเดียวที่มีค่าเท่ากับผลบวกเวกเตอร์ของแรงเหล่านั้น
  - \* กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันแสดงให้เห็นว่า เมื่อไม่มีแรงกระทำกับวัตถุหรือเมื่อผลบวกเวกเตอร์ของแรงทั้งหมดที่กระทำกับวัตถุ (แรงสุทธิ) เป็นศูนย์ วัตถุจะอยู่ในสมดุล ซึ่งถ้าเดิมวัตถุอยู่นิ่ง ( $v = 0$ ) วัตถุก็จะอยู่นิ่งต่อไป หรือถ้าวัตถุกำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วค่าหนึ่ง ( $v \neq 0$ ) วัตถุนั้นก็จะเคลื่อนที่ต่อไปด้วยอัตราเร็วเดิม ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น  $\Sigma \vec{F} = 0$  และกฎนี้ใช้ได้ในกรอบอ้างอิงเฉื่อยเท่านั้น
  - \* กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีแรงสุทธิค่าหนึ่งกระทำกับวัตถุ จะส่งผลทำให้วัตถุมีความเร่ง โดยทิศของความเร่งมีทิศเดียวกับแรงสุทธิ และขนาดของความเร่งแปรผันตรงกับขนาดของแรงสุทธิแต่แปรผกผันกับมวลของวัตถุ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น  $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$  และกฎนี้ใช้ได้ในกรอบอ้างอิงเฉื่อยเท่านั้น
  - \* จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน มวลเป็นปริมาณสเกลาร์ ที่บ่งบอกความเฉื่อยของวัตถุต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ โดยมวลของวัตถุมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับตำแหน่งของวัตถุและมีหน่วยเป็นกิโลกรัม แต่น้ำหนักเป็นปริมาณเวกเตอร์ ที่บ่งบอกแรงดึงดูดหรือแรงโน้มถ่วงที่โลกกระทำกับวัตถุ มีทิศพุ่งเข้าสู่จุดศูนย์กลางโลกเสมอ และมีหน่วยเป็นนิวตันเช่นเดียวกับแรงอื่น ๆ โดยสามารถหาน้ำหนักของวัตถุได้จากสมการ  $\vec{w} = m\vec{g}$  เมื่อ  $\vec{g}$  คือความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงโลก เนื่องจากค่า  $\vec{g}$  แปรผันตามตำแหน่งของวัตถุ ทำให้น้ำหนักของวัตถุขึ้นกับตำแหน่งของวัตถุด้วย
  - \* กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตันแสดงให้เห็นว่า เมื่อวัตถุสองวัตถุมีอันตรกิริยาระหว่างกัน วัตถุทั้งสองจะออกแรงกระทำต่อกัน โดยแรงทั้งสองจะมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม และเรียกแรงทั้งสองว่า “คู่แรงกิริยา-ปฏิกิริยา” โดยอย่าลืมนึกว่าแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุต่างกัน
  - \* แผนภาพวัตถุเสรีเป็นแผนภาพที่แสดงวัตถุที่กำลังศึกษาอยู่ทีละชิ้น รวมทั้งแสดงแรงทั้งหมดที่กระทำกับวัตถุนั้น ซึ่งมีข้อควรระวังอย่ารวมแรงที่วัตถุที่กำลังศึกษาอยู่กระทำต่อวัตถุอื่นเด็ดขาด ดังนั้นคู่แรงกิริยา-ปฏิกิริยาจะไม่ปรากฏในแผนภาพเสรีเดียวกัน
- ในการแก้โจทย์ปัญหาการเคลื่อนที่โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ให้รวมแรงทั้งหมดที่กระทำกับวัตถุ ถ้าแรงสุทธิที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ให้ใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน แต่ถ้าแรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุไม่เป็นศูนย์ให้ใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน



**บรรณานุกรม**

- [1] Young, H.D. & Freedman, R.A. (2016). University Physics with Modern Physics 14<sup>th</sup> Edition. London: Pearson.
- [2] Serway, R. & Jewett, J. (2018). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics 10<sup>th</sup> Edition. Boston: Cengage Learning.
- [3] Knight, R., Jones, B. & Field, S. (2018). College Physics: A Strategic Approach 4<sup>th</sup> Edition. London: Pearson.
- [4] ปิยพงษ์ สติธิคง, (2548). ฟิสิกส์ระดับอุดมศึกษา เล่ม 1. กรุงเทพมหานคร: Pearson Education Indochina.
- [5] ปิยพงษ์ สติธิคง, (2548). ฟิสิกส์ระดับอุดมศึกษา เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร: Pearson Education Indochina.
- [6] ประธาน บุรณศิริ และ กิรยุทธ์ ศรีนวลจันทร์. (2558). ฟิสิกส์ 1 - Physics For Scientists and Engineers I. กรุงเทพมหานคร: Cengage Learning Indochina.