

4

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

(Newton's Laws of Motion)

จุดประสงค์การเรียนรู้

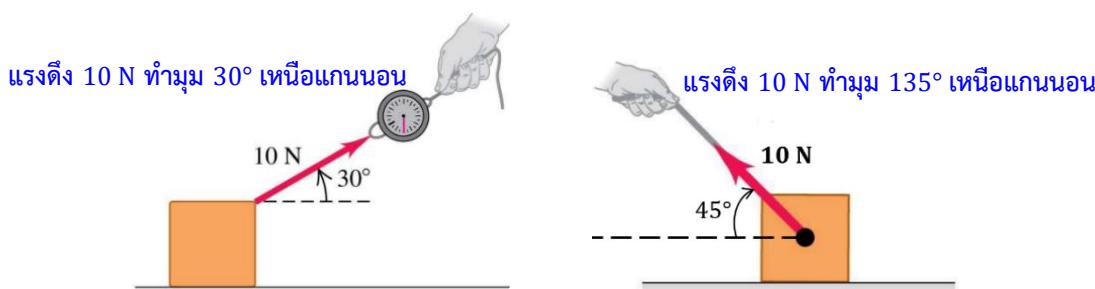
- เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจความหมายของ “แรง” ในทางพิสิกส์ และสามารถระบุแรงที่ทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุได้
- เพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบายได้ว่าวัตถุจะรักษาสภาพเดิมอยู่เมื่อแรงสูตริที่กระทำกับวัตถุเป็นศูนย์
- เพื่อให้ผู้เรียนสามารถคำนวณหาความเร่งของวัตถุเมื่อแรงสูตริที่กระทำกับวัตถุไม่เป็นศูนย์ได้
- เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจความแตกต่างของ “มวล” และ “น้ำหนัก” ในทางพิสิกส์
- เพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของแรงที่วัตถุสองวัตถุกระทำต่อกันได้
- เพื่อให้ผู้เรียนสามารถสร้างแผนภาพวัตถุเสรีเพื่อช่วยในการวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อวัตถุได้
- เพื่อให้ผู้เรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาการเคลื่อนที่โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันได้

ในบทที่ 2 และ 3 จะบรรยายการเคลื่อนที่ด้วยปริมาณจลนาศาสตร์ ซึ่งได้แก่ การกระจัด ความเร็ว และความเร่ง ปริมาณเหล่านี้จะบอกว่าวัตถุเคลื่อนที่อย่างไร แต่ในบทนี้จะศึกษาว่า เราทำให้วัตถุเคลื่อนที่ ซึ่งการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของวัตถุกับต้นเหตุที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นศาสตร์หนึ่งของจลนาศาสตร์ที่เรียกว่า “พลศาสตร์ (dynamics)”

4.1 แรงและอันตรกิริยา

จากประสบการณ์ในชีวิตประจำวันทำให้ทราบว่า การเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นผลโดยตรงจากการอันตรกิริยา (interaction) ของตัววัตถุเองกับวัตถุอื่น ๆ รอบตัววัตถุนั้น ซึ่งอันตรกิริยานิยมพูดถึงในเชิงปริมาณด้วยคำพท.ที่เรียกว่า “แรง”

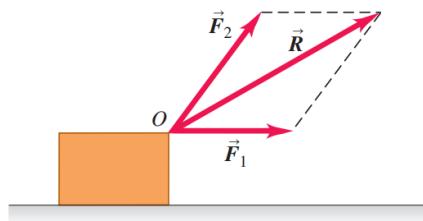
แรง (Force) คือ การดันหรือการดึง แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ ดังนั้นในการบรรยายแรง ต้องบรรยายทั้ง ทิศทางที่แรงกระทำ และ ขนาดของแรง ในระบบ SI หน่วยของแรงคือ นิวตัน (newton, N) อุปกรณ์สามัญที่ใช้ในการวัดแรงคือตาชั่งสปริง ซึ่งตาชั่งสปริงจะประกอบไปด้วยชุดสปริงที่บรรจุอยู่ในกล่อง เมื่อมีแรงกระทำต่อปลายสปริงทั้งสองด้าน สปริงจะยืด ความยาวของสปริงที่ยืดออกแพร่ผ่านร่องกับแรงที่ทำ ในการวัดเวกเตอร์เพื่อแทนแรงที่กระทำกับวัตถุ จะวัดลูกศรโดยความยาวของลูกศรจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของแรง หรือสามารถระบุขนาดของแรงโดยการเขียนตัวเลขกำกับไว้ก็ได้ และลูกศรจะชี้ตามทิศทางที่แรงกระทำเพื่อระบุทิศของแรงด้วยดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุ [1]

จากรูปจะเห็นว่าแรงทั้งสองมีขนาดเท่ากัน แต่กระทำต่อวัตถุในทิศแตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่การระบุทิศจะระบุในรูปแบบของมุมที่กระทำกับแกนอ้างอิง ซึ่งแกนอ้างอิงที่นิยมใช้กันคือแกนนอน หรือแกนบวก X

และถ้ามีแรงมากกว่า 1 แรงมากจะทำกับวัตถุดังรูปที่ 4.2

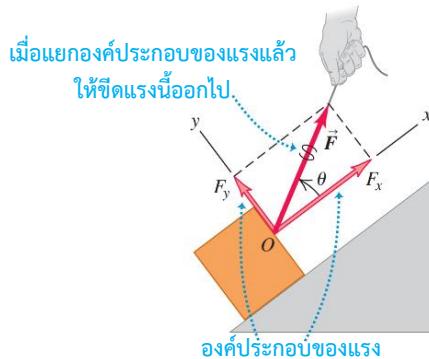


รูปที่ 4.2 การบวกแรง [1]

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

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

ทำให้ได้หลักการซ้อนทับของแรง (superposition of force) ที่ว่า “แรงจำนวนเท่าใดก็ตามที่ทำต่อจุดหนึ่งบนวัตถุ มีค่าเท่ากับผลเนื่องจากแรงเดียวที่มีค่าเท่ากับผลรวมเวกเตอร์ของแรงเหล่านั้น” ความจริงนี้ทำให้สามารถแทนแรงด้วยเวกเตอร์องค์ประกอบเหมือนกับที่ทำกับการกระจัดได้ ดังเช่นในรูปที่ 4.3



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

จากรูป F_x และ F_y คือองค์ประกอบของเวกเตอร์แรง \vec{F} กระทำต่อวัตถุหนึ่งที่จุด O และถ้ามีแรงขนาด F_x และ F_y กระทำกับวัตถุที่จุด O พร้อมกันในทิศดังรูป ผลที่ได้จะมีค่าเหมือนกับผลเนื่องจากแรง \vec{F} เดิม ทำให้สามารถแทนแรงได้ ๆ ด้วยเวกเตอร์องค์ประกอบที่กระทำที่จุดเดียวกันได้

ข้อผิดพลาด: แกนพิกัดไม่จำเป็นต้องเป็นแกนดิ่งและแกนนอนเสมอ อาจเป็นแกนที่มีทิศทางหรือตั้งฉากกับผิวสัมผัสก็ได้ ดังในรูปที่ 4.3 แกน x จะขนานกับพื้นเอียง และ แกน y จะตั้งฉากกับพื้นเอียง

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

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

โดยเรียก $\sum \vec{F}$ ว่า “ผลรวมเวกเตอร์ของแรง” หรือ “แรงสุทธิ”

โดยสามารถเขียนแรงสุทธิในรูปขององค์ประกอบเป็น

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

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

“วัตถุซึ่งไม่ถูกกระทำโดยแรงสูหิงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว (อาจเป็นศูนย์) และด้วยความเร่งเท่ากับศูนย์”

กฎข้อที่หนึ่งของนิวตันนี้หมายความว่า เมื่อไม่มีแรงสูหิงกระทำต่อวัตถุ วัตถุจะอยู่นิ่งต่อไป หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวในแนวเดียวกัน โดยหลังจากวัตถุถูกกระทำให้เคลื่อนที่แล้ว จะไม่จำเป็นต้องใช้แรงในการคงการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งแนวโน้มที่วัตถุจะคงการเคลื่อนที่ต่อไปหลังจากเคลื่อนที่แล้วเป็นสมบัติที่เรียกว่า “ความเฉื่อย (inertia)”

สิ่งสำคัญในกฎข้อที่หนึ่งของนิวตันคือแรงสูหิง เมื่อไม่มีแรงใด ๆ กระทำต่อวัตถุหรือแรงสูหิงที่กระทำกับวัตถุ เป็นศูนย์ จะกล่าวได้ว่าวัตถุนั้นอยู่ในสภาพะสมดุล ซึ่งในสภาพะสมดุล ถ้าวัตถุไม่อยู่นิ่ง วัตถุนั้นก็จะเคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร็วคงตัว ทำให้ได้ว่า

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

ดังนั้นในสภาพะสมดุล องค์ประกอบของแรงสูหิงที่ต้องมีค่าเป็นศูนย์ สำหรับระบบพิกัดฉาก XYZ จะได้ว่า

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

ข้อควรระวัง: ในขณะนี้พิจารณา วัตถุเป็นอนุภาค จุด

กรอบอ้างอิงเฉื่อย:

การเคลื่อนที่เป็นเรื่อง สัมพัทธ์ ดังนั้นต้องระบุว่าวัตถุที่กำลังพิจารณา นั้น เคลื่อนที่เทียบกับใคร หรือเทียบกับอะไร ซึ่งกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่ของวัตถุสัมพัทธ์กับตัวผู้สังเกต และเรียกผู้สังเกตแต่ละคนพร้อมกับเครื่องมือวัดตำแหน่งและนาฬิกาจับเวลารวมกันว่า “**กรอบอ้างอิง (frame of reference)**” ดังนั้นกรอบอ้างอิงคือระบบพิกัดรวมกับสเกลเวลา โดยจะเรียกรอบอ้างอิงที่กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันเป็นจริงว่า “**กรอบอ้างอิงเฉื่อย (inertial frames of reference)**” ดังนั้นเมื่อเทียบกับกรอบอ้างอิงเฉื่อย วัตถุต้องอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ และในสภาพะเช่นนี้ผลบวกเวกเตอร์ของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ ซึ่งกรอบอ้างอิงเฉื่อยมีได้หลายรอบ 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

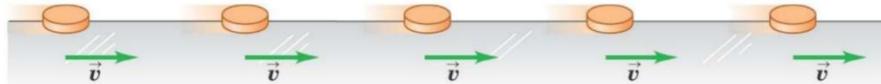
$\vec{v}_{B/A}$ คือ ความเร็วคงตัวของกรอบอ้างอิง B เทียบกับกรอบอ้างอิง A

4.3 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

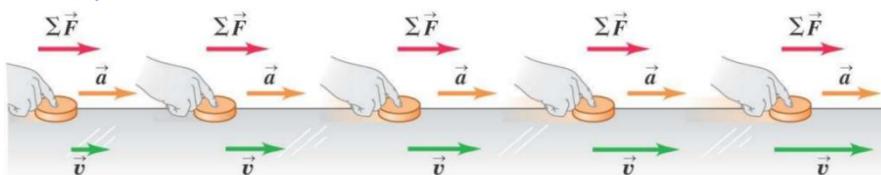
ในการพิจารณาการเคลื่อนที่ด้วยกฎข้อที่หนึ่งของนิวตัน จะกระทำได้ก็ต่อเมื่อ ไม่มีแรง ฯ กระทำกับวัตถุ หรือ แรงสูหิงที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ ($\sum \vec{F} = 0$) ซึ่งวัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวและความเร่งมีค่าเป็นศูนย์ **แต่จะเกิดอะไรขึ้นถ้าแรงสูหิงมีค่าไม่เป็นศูนย์ ($\sum \vec{F} \neq 0$)?** จากการทดลองสรุปได้ว่า “แรงสูหิงที่ไม่เป็นศูนย์จะทำให้วัตถุนั้นมีความเร่งในทิศเดียวกันกับทิศของแรง และถ้าแรงสูหิงมีค่าคงตัวแล้ว ขนาดของความเร่งจะมีค่าคงตัวด้วย” ยกตัวอย่าง เช่น เมื่ออ客แรกกระทำต่อลูกยกกีด้วยรูปที่ 4.4 และพิจารณาลูกยกกีดที่กำลังโถลงไปทางขวาด้วยอัตราเร็วคงตัวบนน้ำแข็งเปยกที่มีแรงเสียดทานน้อยมากจน ไม่ต้องพิจารณาแรงเสียดทาน รูปที่ 4.4 (a) เมื่อไม่มีแรงสูหิงกระทำกับลูกยกกีด ลูกยกกีดจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่าเดิมในทิศทางเดิม แต่เมื่อมีแรงสูหิงค่าคงตัวกระทำต่อลูกยกกีด

รูปที่ 4.4 (b) ซึ่งแรงสุทธินี้มีทิศเดียวกับการเคลื่อนที่ของลูกยกอกกี้ อัตราเร็วของลูกยกอกกี้จะเพิ่มขึ้น แสดงว่าลูกยกอกกี้กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร่งในทิศเดียวกับความเร็วของลูกยกอกกี้ และถ้ากลับทิศของแรงดังรูปที่ 4.4 (c) ลูกยกอกกี้จะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่ลดลงเรื่อยๆ แสดงว่าลูกยกอกกี้มีความเร่ง แต่ความเร่งนี้มีทิศตรงกันข้ามกับความเร็วของลูกยกอกกี้ จึงสรุปได้ว่าเมื่อมีแรงสุทธิกระทำกับวัตถุ แรงสุทธิจะทำให้วัตถุมีความความเร่ง ซึ่งความเร่งจะมีทิศเดียวกับทิศของแรงสุทธิที่กระทำกับวัตถุ และถ้าแรงสุทธินี้มีขนาดคงตัว ความเร่งก็จะมีขนาดคงตัวเช่นกัน

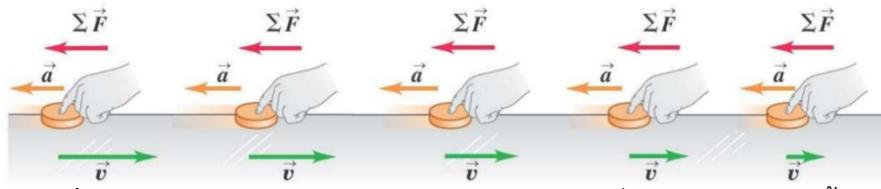
a) **ถ้า $\sum \vec{F} = 0$** : ความเร็วคงตัว และความเร่งเป็นศูนย์



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



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



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งและแรงสุทธิที่กระทำต่อลูกยกอกกี้ [1]

สำหรับวัตถุใดๆ อัตราส่วนของขนาดของแรงสุทธิต่อขนาดของความเร่งมีค่าคงตัวไม่ว่าแรงสุทธินี้จะมีขนาดเป็นเท่าใด โดยเรียกอัตราส่วนนี้ว่ามวลเลือย (inertial mass) หรือเรียกว่า “มวล (mass)” ของวัตถุนั้นๆ ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ m ทำให้ได้

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

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

“หนึ่งนิวตันคือปริมาณแรงสุทธิที่ทำให้มวลหนึ่งกิโลกรัมมีความเร่งขนาดหนึ่งเมตรต่อวินาทีกำลังสอง”

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

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

และเมื่อผู้กาวตัดส่องชิ้น m_1 และ m_2 เข้าด้วยกัน มวลของวัตถุผสานมีค่าเป็น $m_1 + m_2$ เสมอ ซึ่งเรียกว่าสมบัติการบวกของมวล

นิواتนได้สรุปความสัมพันธ์ของความเร่งและแรงสุทธิเป็นข้อความกระชับข้อความเดียวกันที่เรียกว่า “กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน” ที่ว่า

“ถ้ามีแรงสุทธิภายนอกกระทำต่อวัตถุ วัตถุนั้นจะมีความเร่ง โดยความเร่งมีทิศเดียวกับทิศของแรงสุทธิ และหากเตอร์แรงสุทธิมีค่าเท่ากับมวลของวัตถุคูณกับความเร่งของวัตถุ”

ในรูปสัญลักษณ์

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

กฎนี้กล่าวในอีกรูปแบบหนึ่งว่า ความเร่งของวัตถุมีค่าเท่ากับผลบวกเวกเตอร์ของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุหารด้วย มวลของวัตถุ ซึ่งความเร่งที่ได้จะมีทิศเดียวกับแรงสุทธิ

ข้อควรระวัง: $m\vec{a}$ ไม่ใช่แรง สมการข้างต้นบอกเพียงว่า เวกเตอร์ $m\vec{a}$ มีขนาดและทิศทางเดียวกับผลบวกเวกเตอร์ ของแรงสุทธิที่กระทำต่อวัตถุ ($\sum \vec{F}$) การคิดว่าความเร่งเป็นสิ่งไม่ถูกต้อง ที่จริงแล้วความเร่ง เป็นผลจากแรงสุทธิที่ ไม่เป็นศูนย์

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 $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ ใช้ได้ก็ต่อเมื่อมีค่าคงตัวเท่านั้น
4. กฎข้อที่สองของนิวตันใช้ได้ในกรอบอ้างอิงเดียวเท่านั้น โดยที่จะสมมุติว่าบริเวณไกล์พิวโโลกเป็นกรอบ อ้างอิงเดียว แม้จะไม่ใช่กรอบอ้างอิงเดียวที่แท้จริงก็ตาม เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเองและหมุนรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งการเคลื่อนที่ทั้งสองทำให้เกิดความเร่งสูญญากาศ อย่างไรก็ตามที่บริเวณไกล์พิวโโลก ความเร่ง ดังกล่าวมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก

4.4 มวลและน้ำหนัก

ในภาษาพูดประจำวัน นิยมใช้คำว่า “มวล” กับ “น้ำหนัก” สลับกันแต่ในทางพิสิกส์ปริมาณทั้งสองแตกต่าง กันอย่างชัดเจน โดย

มวล (mass) เป็นปริมาณที่บ่งบอกถึงสมบัติ ความถืออยู่ของวัตถุ ยิ่งมวลมากขึ้นก็ต้องใช้แรงมากขึ้นในการทำให้วัตถุมีความเร่งตามที่ต้องการ ซึ่งมวลเป็นปริมาณสเกลาร์

น้ำหนัก (weight) คือ แรงที่กระทำต่อวัตถุเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกหรือวัตถุขนาดใหญ่อื่น ๆ ซึ่งทำให้น้ำหนักเป็นปริมาณเวกเตอร์ โดยความเร่งนี้ของจักรแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนย่างเสรีบนโลกคือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ในกรณีที่ว่าไปรัฐที่มีมวล m จะมีน้ำหนักเป็น

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

เนื่องจากขนาดของความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงโลก g มีค่าเป็นบวกเสมอ ดังนั้นขนาดของน้ำหนัก w จึงมีค่าเป็นบวกเสมอ ซึ่งน้ำหนักของวัตถุจะกระทำต่อวัตถุตลอดเวลาไม่ว่าวัตถุนั้นตกลอย่างเสรีหรือไม่

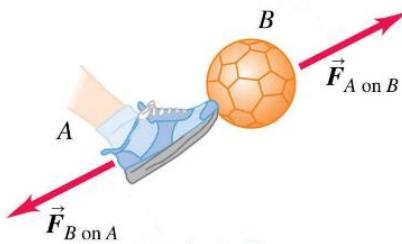
ค่า $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ จะใช้สำหรับปัญหาการเคลื่อนที่บริเวณไกล์พิวโโลก ซึ่งแท้จริงแล้วค่า g อาจแปรเปลี่ยนเล็กน้อยจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งบนโลก เพราะว่าโลกไม่ได้เป็นทรงกลมสมบูรณ์ และผลจากการหมุนรอบตัวเองของโลกทำให้น้ำหนักของวัตถุแปรเปลี่ยนจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง แต่มวลไม่แปรเปลี่ยน และถ้านำวัตถุหนึ่งไปที่ผิวดวงจันทร์ที่มีความเร่งของการตกอย่างเสรีไม่เท่ากับ g น้ำหนักของวัตถุนี้จะเปลี่ยนไป แต่มวลไม่แปรเปลี่ยน

ยกตัวอย่างเช่น นักบินอากาศมวล 80.0 กิโลกรัม มีน้ำหนักบนโลกเท่ากับ $(80.0 \text{ kg}) (9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) = 784 \text{ N}$ แต่บนดวงจันทร์เขาก็มีน้ำหนักเพียง $(80.0 \text{ kg}) (1.62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) = 130 \text{ N}$ 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 แรงที่เกิดจากการเคลื่อนตัว [1]

เมื่อนักฟุตบอลเตะลูกบอล แรงที่เท้ากระทำกับลูกบอลส่งลูกบอลเข้าสู่การเคลื่อนที่ ในขณะเดียวกันนักฟุตบอลก็จะรู้สึกถึงแรงที่ลูกบอลกระทำต่อเท้าของนักฟุตบอลกลับด้วย ในกรณีเช่นนี้แรงที่วัตถุที่กำลังศึกษาระทำต่อวัตถุอื่นจะมีทิศตรงข้ามกับแรงที่วัตถุนั้นกระทำต่อวัตถุที่กำลังศึกษา และจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อได้กําตามที่วัตถุสองชิ้นกระทำต่อกัน แรงสองแรงที่วัตถุกระทำต่อกันมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้ามเสมอ 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 ก็จะออกแรงกระทำกับวัตถุ A (แรงปฏิกิริยา)
ซึ่งแรงสองแรงนี้มีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางกันข้าม โดยแรงสองแรงนี้กระทำต่อวัตถุต่างชิ้นกัน”

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



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

ถ้าดึงเชือกที่ผูกติดกับวัตถุดังเช่นรูปที่ 4.6 ไม่ว่าวัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพสมดุลหรือไม่ เชือกจะมีแรงดึงกระทำที่ปลายแต่ละข้าง ซึ่งกล่าวได้ว่า “เชือกอยู่ในสภาพเดิง” ความตึงที่จุดใด ๆ คือขนาดของแรงที่กระทำที่ตำแหน่งนั้น ๆ จากรูปจะเห็นได้ว่าความตึงที่ปลายของเชือกคือขนาดของแรง $\vec{F}_{M \text{ on } R}$ (หรือของแรง $\vec{F}_{R \text{ on } M}$) และความตึงที่ปลายซ้ายมือของเชือกคือขนาดของแรง $\vec{F}_{B \text{ on } R}$ (หรือของแรง $\vec{F}_{R \text{ on } B}$) ถ้าเชือกอยู่ในสภาพสมดุล ความตึงของเชือกที่ปลายทั้งสองข้างมีค่าเท่ากันและเท่ากันตลอดเส้น ดังนั้นถ้าขนาดของแรง $\vec{F}_{B \text{ on } R}$ และ $\vec{F}_{M \text{ on } R}$ ต่างมีค่า 50 N ความตึงในเส้นเชือกจะมีค่า 50 N (ไม่ใช่ 100 N) โดยรวมต่อร่างกาย (合力) $(\vec{F}_{B \text{ on } R} + \vec{F}_{M \text{ on } R})$ ที่ทำต่อเชือกในกรณีนี้มีค่าเป็นศูนย์

ข้อควรระวัง: แรงกิริยา และ แรงปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุต่างชิ้นกัน

4.6 การใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

เทคนิคในการใช้กฎทั้ง 3 ข้อของนิวตัน

- จะใช้กฎข้อที่หนึ่งของนิวตัน ($\sum F = 0$) กับสถานการณ์สมดุล หรือปัญหาที่ความเร่งเป็นศูนย์
- จะใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน ($\sum F = ma$) กับสถานการณ์ไม่สมดุล หรือปัญหาที่มีความเร่ง
- ในการใช้กฎข้อที่หนึ่งหรือข้อที่สอง ให้พึงความสนใจไปที่วัตถุใดวัตถุหนึ่งเสมอ และอย่าสับสนระหว่างแรงที่กระทำต่อวัตถุและแรงที่วัตถุนั้นกระทำกับวัตถุอื่น
- เพื่อช่วยในการหาแรงที่เกี่ยวข้องกับวัตถุนั้น ๆ ให้วัดแผนภาพวัตถุเสรี

4.7 การสร้างแผนภาพวัตถุเสรี

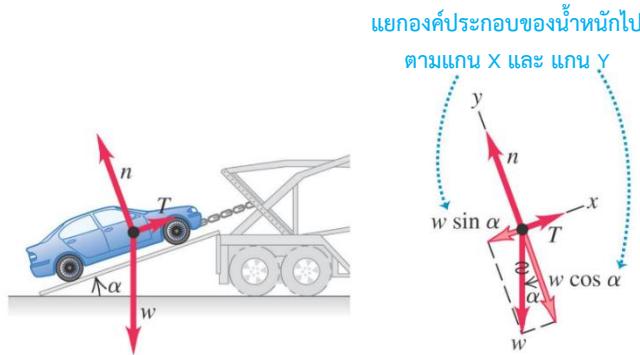
แผนภาพวัตถุเสรี (Free-Body Diagram, FBD) คือแผนภาพที่แสดงแต่วัตถุที่กำลังพิจารณาอย่างเดียวที่ “เสรี” จากสิ่งแวดล้อม พร้อมกับเวกเตอร์แสดงขนาดและทิศทางของแรงทั้งหมดที่วัตถุอื่นกระทำต่อวัตถุนั้น ถ้าในระบบที่กำลังศึกษามีวัตถุมากกว่าหนึ่งชิ้น โดยต้องแยกพิจารณาวัตถุที่ละชิ้น และวัดแผนภาพวัตถุเสรีแยกกันสำหรับวัตถุแต่ละชิ้น รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างการวัดแผนภาพวัตถุเสรี



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างแผนภาพวัตถุเสรี : (ซ้าย) ลูกเบิลลูกหนึ่งวางอยู่บนโต๊ะ และ (ขวา) นักวิ่งในขณะที่สิบสองนับล็อกไปทางด้านหลังเพื่อทำให้ตัวเองมีความเร่งขนาดสูงไปข้างหน้าในตอนต้นของการแข่งขัน [1]

ข้อควรระวัง : ในการวัดแผนภาพวัตถุเสรี อย่ารวมแรงที่วัตถุนั้นกระทำกับวัตถุอื่นไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคู่แรงกิริยา-ปฏิกิริยาต้อง ไม่ประยุกต์ ในแผนภาพวัตถุเสรีเดียวกัน นอกจากนั้นต้อง ไม่รวมแรงที่วัตถุกระทำต่อตัวเอง เพราะแรงเหล่านี้ ไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ

รูปข้างบนแสดงตัวอย่างการวัดแผนภาพเสรีสำหรับการเคลื่อนที่ของวัตถุ แต่ในหลาย ๆ สถานการณ์ การวัดแผนภาพวัตถุเสรีต้องอาศัยความเชี่ยวชาญ เช่น สถานการณ์ที่กำลังลากกรอบนัตชิ้นไปตามพื้นเอียงดังรูปที่ 4.8 จากรูป จะเห็นมีแรง 3 แรงกระทำกับกรอบนัตได้แก่ น้ำหนักของกรอบนัต แรงแนวจากที่พื้นเอียงกระทำกรอบนัต และ แรงตึงเชือก ซึ่งหลักสำคัญในการแก้ปัญหาการเคลื่อนที่บนพื้นเอียงคือ ให้ตั้งแกน x ขนานกับพื้นเอียง และ แกน y ตั้งฉากกับพื้นเอียง เพื่อให้วัตถุเคลื่อนที่ในแนวแกน x อย่างเดียว เมื่อวัดแผนภาพวัตถุเสรีแล้ว จะมีแค่น้ำหนักของวัตถุเท่านั้นที่ ไม่อยู่บนแกน x และ แกน y ดังนั้นจึงต้องแยกองค์ประกอบของน้ำหนักไปตามแกน x และ แกน y แล้วค่อยประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันในการแก้ปัญหาต่อไป



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

ข้อควรระวัง: อย่าลืมจัดแรงที่แยกองค์ประกอบไปแล้วทิ้ง เพื่อให้มั่นใจว่าแรงเหล่านี้พิจารณาซ้ำ

สรุป

- * แรงเป็นปริมาณที่วัดอันตรกิริยาที่วัตถุอื่นกระทำต่อวัตถุที่กำลังศึกษา เช่น การดึงหรือการดัน ซึ่งแรงส่งผลทำให้วัตถุเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ และแรงมีหน่วยเป็นนิวตัน (N)
- * แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ จึงสามารถแทนแรงด้วยเวกเตอร์ของค่าแรงได้
- * เมื่อมีแรงหลายแรงกระทำกับวัตถุหนึ่งจะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุเท่ากับผลเนื่องจากแรงเดียวที่มีค่าเท่ากับผลรวมเวกเตอร์ของแรงเหล่านั้น
- * กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันแสดงให้เห็นว่า เมื่อ ไม่มี แรงกระทำกับวัตถุหรือเมื่อผลรวมเวกเตอร์ของแรงทั้งหมดที่กระทำกับวัตถุ (แรงสุทธิ) เป็นศูนย์ วัตถุจะอยู่ในสมดุล ซึ่งถ้าเดิมวัตถุอยู่นิ่ง ($v = 0$) วัตถุก็จะอยู่นิ่ง ต่อไป หรือถ้าวัตถุกำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ ($v \neq 0$) วัตถุนั้นก็จะเคลื่อนต่อไปด้วยอัตราเร็วเดิม ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น $\sum \vec{F} = 0$ และกฎนี้ใช้ได้ในกรอบอ้างอิงเดียวกันนั้น
- * กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีแรงสุทธิค่าหนึ่งกระทำกับวัตถุ จะส่งผลทำให้วัตถุมีความเร่ง โดยทิศของความเร่งมีทิศเดียวกับแรงสุทธิ และขนาดของความเร่งแปรผันตรงกับขนาดของแรงสุทธิแต่แปรผกผันกับมวลของวัตถุ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ และกฎนี้ใช้ได้ในกรอบอ้างอิงเดียวกันนั้น
- * จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน **มวลเป็นปริมาณสเกลาร์ที่บ่งบอกความเรื่อยของวัตถุต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่** โดยมวลของวัตถุมีค่าคงที่ ไม่ เปลี่ยนไปตามตำแหน่งของวัตถุและมีหน่วยเป็นกิโลกรัม แต่น้ำหนักเป็น **ปริมาณเวกเตอร์ที่บ่งบอกแรงดึงดูดหรือแรงโน้มถ่วงที่โลกกระทำกับวัตถุ มีทิศพุ่งเข้าสู่จุดศูนย์กลางโลกเสมอ และมีหน่วยเป็นนิวตัน เช่นเดียวกับแรงอื่น ๆ โดยสามารถหาน้ำหนักของวัตถุได้จากการสมการ $\vec{F} = m\vec{g}$ เมื่อ \vec{g} คือความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงโลก เนื่องจากค่า \vec{g} แปรผันตามตำแหน่งของวัตถุ ทำให้น้ำหนักของวัตถุขึ้นกับตำแหน่งของวัตถุด้วย**
- * กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตันแสดงให้เห็นว่า เมื่อวัตถุสองวัตถุมีอันตรกิริยาระหว่างกัน วัตถุทั้งสองจะออกแรงกระทำต่อกัน โดยแรงทั้งสองจะมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม และเรียกแรงทั้งสองว่า “คู่แรงกิริยา-ปฏิกิริยา” โดยอย่าลืมว่าแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยากระทำต่อวัตถุต่างกัน
- * แผนภาพวัตถุเสรีเป็นแผนภาพที่แสดงวัตถุที่กำลังศึกษาอยู่ที่ล่องชั่น รวมทั้งแสดงแรงทั้งหมดที่กระทำกับวัตถุนั้น ซึ่งมีข้อควรระวังว่าอย่ารวมแรงที่วัตถุที่กำลังศึกษาอยู่กระทำต่อวัตถุอื่นเด็ดขาด ดังนั้นคู่แรงกิริยา-ปฏิกิริยาจะ ไม่ ปรากฏในแผนภาพเสรีเดียวกัน
- . ในการแก้โจทย์ปัญหาการเคลื่อนที่โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ให้รวมแรงทั้งหมดที่กระทำกับวัตถุ ถ้าแรงสุทธิที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ให้ใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน แต่ถ้าแรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุ ไม่ เป็นศูนย์ให้ใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

บรรณานุกรม

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