

บทที่ 5

แรง และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

(Force and Newton's law of motion)

จากบทที่ผ่านมาตั้งแต่บทที่ 3 และ 4 เป็นศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยไม่สนใจสาเหตุของการการเคลื่อนที่ แต่เน้นถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรของการเคลื่อนที่ สำหรับบทที่ 5 เป็นต้นไป จะเน้นที่สาเหตุแห่งการเคลื่อนที่นั้น หรืออะไรที่ทำให้ปริมาณที่เกิดจากการเคลื่อนที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสิ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณจากการเคลื่อนที่ก็คือแรง สำหรับบทนี้จะศึกษาเรื่องราวที่เกี่ยวข้องกับแรง และการอธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุด้วยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน กฎความโน้มถ่วงของโลก รวมถึงกิจกรรมการทดลองที่ช่วยทำให้เข้าใจกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันมากยิ่งขึ้น และแบบฝึกหัดท้ายบทที่จะทำให้ผู้เรียนได้ฝึกการคิดแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับองค์ความรู้ในบทที่ 5 นี้

5.1 มวล (Mass)

เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุจะมีสิ่งหนึ่งที่พยายามต้านแรงนั้นไว้ แรงต้านนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณอย่างหนึ่งของวัตถุเรียกว่า มวล ซึ่งเป็นปริมาณที่บอกถึงความเฉื่อยของวัตถุ หรือเป็นลักษณะของสภาพที่ต้านทานการเคลื่อนที่ของวัตถุ เราสามารถที่จะพิจารณาว่าวัตถุใดมีความเฉื่อยมาก หรือน้อย โดยการออกแรงผลักเพื่อให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ หากวัตถุใดที่เราออกแรงผลักแล้วเคลื่อนที่ได้ยาก หรือต้องออกแรงมากในการที่จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ แสดงว่าวัตถุนั้นมีความเฉื่อยมาก และวัตถุนั้นก็จะมีมวลมากไปด้วย ในลักษณะเดียวกันถ้าวัตถุใดต้องออกแรงน้อยในการให้วัตถุเคลื่อนที่ก็แสดงว่าวัตถุนั้นมีความเฉื่อยน้อย แสดงว่ามีมวลน้อย

คำว่ามวลและน้ำหนัก ในชีวิตประจำวันอาจจะใช้ในความหมายเดียวกัน แต่ในทางฟิสิกส์แล้วคำว่ามวลและน้ำหนักจะมีความหมายที่แตกต่างกัน คือ

- มวลในทางฟิสิกส์ คือค่าที่บอกสภาพความเฉื่อยของวัตถุ โดยที่วัตถุไหนมีมวลมากแสดงว่ามีความเฉื่อยมาก ในขณะที่วัตถุไหนมีมวลน้อยก็จะมีความเฉื่อยน้อยด้วย
- น้ำหนักหมายถึงแรงที่โลกกระทำกับวัตถุ ซึ่งหาได้จากมวลคูณกับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก

5.2 แรง (Force)

ในชีวิตประจำวันเราคงจะคุ้นเคยกับคำว่าแรงกันเป็นอย่างดีอยู่แล้ว เช่น เมื่อเราออกแรงกระทำกับวัตถุก็จะทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งหรือเกิดการเคลื่อนที่ หรือในบางครั้งเมื่อเราออกแรงกระทำกับวัตถุก็จะทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ เช่น เกิดการหัก เป็นต้น

สำหรับในทางฟิสิกส์นั้น เราจะพบว่า มีแรงอยู่ในธรรมชาติ 4 ประเภท และแรงทุกประเภทล้วนมีสมบัติที่จะทำให้สภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุเปลี่ยนไป แรงในธรรมชาติ 4 แรงนั้นได้แก่ แรงโน้มถ่วง แรงทางไฟฟ้า แรงนิวเคลียร์แบบอ่อน และแรงนิวเคลียร์แบบแรง โดยในบทนี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะแรงนี้เนื่องจากความโน้มถ่วง

หน่วยของแรงนั้นมีค่าเป็นนิวตัน (N) และจากลักษณะของแรงที่พบทำให้เราแบ่งการพิจารณาคุณสมบัติของแรงได้เป็นดังนี้

1. สังเกตว่าเวลาเราออกแรงผลัก หรือออกแรงดึงวัตถุนั้นจะมีทั้งขนาดและทิศทางของแรง แสดงว่าแรงเป็นปริมาณเวกเตอร์นั่นคือ มีทั้งขนาดและทิศทาง
2. แรงที่กระทำจะปรากฏในลักษณะกระทำกันเป็นคู่ๆ และจะกระทำในลักษณะที่มีทิศตรงกันข้ามกัน เช่น เมื่อเราออกแรงผลักโต๊ะ โต๊ะก็จะออกแรงผลักเรา ซึ่งมีขนาดเท่ากันแต่ในทิศทางตรงกันข้ามกับแรงที่เรากระทำ
3. แรงทำให้วัตถุมีความเร็วเปลี่ยนไปนั่นก็คือ ทำให้วัตถุมีความเร่ง
4. แรงสามารถทำให้วัตถุเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้

จากลักษณะคุณสมบัติของแรงในกรณีข้างต้นนั้น สามารถที่จะศึกษาความสัมพันธ์ของแรงเหล่านี้ รวมทั้งหาคำตอบว่า แรงกับการเคลื่อนที่ทางกลศาสตร์นั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยการใช้กฎการเคลื่อนที่ทั้งสามข้อของนิวตันมาอธิบายได้

5.3 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's law of motion)

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันเป็นกฎที่อธิบายถึงความสัมพันธ์ของแรงที่มากระทำกับวัตถุที่อาจทำให้วัตถุเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนแปลงสภาพก็ได้โดยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันแบ่งออกเป็น 3 ข้อ ได้แก่

5.3.1 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน กล่าวไว้ว่า “เมื่อไม่มีแรงกระทำต่อวัตถุหรือแรงลัพธ์เท่ากับศูนย์ วัตถุจะรักษาสภาพเฉื่อย” ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อไม่มีแรงลัพธ์หรือผลรวมของแรงที่มีค่าเท่ากับศูนย์มากระทำกับวัตถุแล้วจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่แบ่งได้เป็นสองกรณี ดังนี้

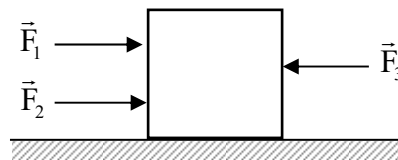
1. ถ้าในขณะนั้นวัตถุหยุดนิ่งก็จะหยุดนิ่งต่อไปโดยไม่มีการเคลื่อนที่
2. ถ้าในขณะนั้นวัตถุกำลังเคลื่อนที่ก็จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าเดิม หรือ ความเร่งเท่ากับศูนย์นั่นเอง

จากคำกล่าวข้างต้นนั้นเราสามารถที่จะเขียนสมการการเคลื่อนที่ ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันได้คือ

$$\Sigma \vec{F} = \vec{0} \quad (5-1)$$

พิจารณาจากภาพที่ 5.1

$v = 0$ หรือ คงตัว



ภาพที่ 5.1 ลักษณะแรงลัพธ์

จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่หนึ่ง เมื่อมีแรงมากระทำกับวัตถุดังภาพที่ 5.1 แล้วผลรวมของแรงลัพธ์ เท่ากับศูนย์ นั่นก็คือ $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 - \vec{F}_3 = \vec{0}$ แล้วถ้าหากกล่องนี้กำลังหยุดนิ่งก็จะยังคงหยุดนิ่งต่อไป และในขณะเดียวกันถ้าหากว่าวัตถุกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่าหนึ่งแล้ว วัตถุนี้ก็จะยังคงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่านี้ต่อไปหรือไม่มีความเร่งเกิดขึ้นนั่นเอง

สำหรับกฎข้อที่หนึ่งของนิวตันเป็นกฎที่กล่าวถึง การพยายามรักษาสภาพเดิมของวัตถุ ซึ่งหมายถึงคุณสมบัติความเฉื่อยของวัตถุ คือพยายามที่จะรักษาสภาพการเปลี่ยนแปลงของวัตถุบางที่เรียกกฎข้อที่หนึ่งของนิวตันว่า กฎแห่งความเฉื่อย นั่นเอง

สำหรับในชีวิตประจำวันเราคงจะเคยเห็นปรากฏการที่เป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน เช่น การวางอยู่กับพื้นของวัตถุ การเคลื่อนที่ของรถยนต์ด้วยความเร็วคงที่เป็นต้น

5.3.2 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่หนึ่งที่เราศึกษามาจากหัวข้อที่แล้ว เราได้ทราบว่าเมื่อมีแรงลัพธ์ที่เท่ากับศูนย์ มากระทำกับวัตถุแล้ว จะทำให้วัตถุมีความเร็วเท่าเดิม หรือมีความเร่งเท่ากับ

ศูนย์แล้ว สำหรับในหัวข้อนี้เราจะมาศึกษาในกรณีที่มีแรงมากระทำกับวัตถุ แล้วผลรวมของแรงหรือแรงลัพธ์ไม่เท่ากับศูนย์ นั่นก็คือกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันนั่นเอง

กฎข้อที่สองของนิวตันกล่าวไว้ว่า “เมื่อมีแรงลัพธ์ที่ไม่เท่ากับศูนย์ มากระทำกับวัตถุแล้วจะทำให้วัตถุนั้นมีความเร่ง” จากที่เราทราบว่าแรงที่กระทำต่อวัตถุจะแปรผันตรงกับมวลของวัตถุ

$$F \propto m$$

ซึ่งเราจะสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า $F = (\text{ค่าคงที่}) m$

หากเรากำหนดให้ ค่าคงที่ของสมการ คือ a และแรงที่กระทำกับวัตถุคือ แรงลัพธ์ เราจะได้ว่า

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a} \quad (5-2)$$

เมื่อ $\vec{a}$ คือ ความเร่งของวัตถุนั่นเอง

เมื่อมีแรงมากระทำกับวัตถุแล้วผลรวมของแรงที่มากระทำกับวัตถุหรือแรงลัพธ์ไม่เท่ากับศูนย์ จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันจะทำให้วัตถุนั้นมีความเร่ง

สำหรับปรากฏการณ์ที่เราพบเห็นเป็นประจำที่เป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันเช่น การที่เราออกแรงผลักวัตถุแล้วทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไปตามแรงที่เราผลัก หรือการที่เราขับรถยนต์ให้มีความเร็วเพิ่มขึ้น ทำให้มีความเร่ง เป็นต้น

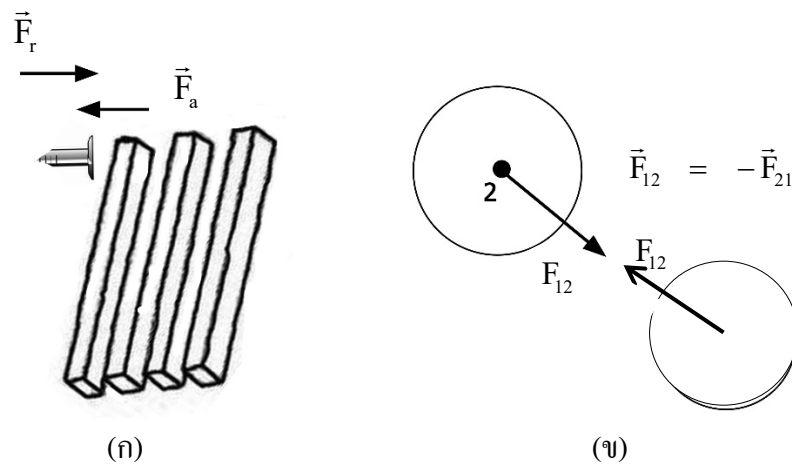
5.3.3 กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน

จากหัวข้อที่ผ่านมาเราได้ศึกษา กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่ง และข้อที่สองของนิวตัน ซึ่งเป็นกฎที่อธิบายเกี่ยวกับแรงมากระทำกับวัตถุ และสำหรับในหัวข้อนี้เราจะมาศึกษากฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน ซึ่งกล่าวว่า

“เมื่อมีแรงหนึ่งกระทำกับวัตถุอันหนึ่งเราเรียกแรงที่กระทำนี้ว่าแรงกิริยา (Action) ผลที่เกิดขึ้นคือจะมีแรงอีกแรงหนึ่งที่เกิดจากวัตถุที่ถูกแรงแรกมากระทำกระทำกลับไปกับ โดยแรงที่กระทำกลับไปจะมีขนาดเท่ากับแรงที่มากระทำแต่มีทิศตรงกันข้าม เรียกแรงนี้ว่า แรงปฏิกิริยา (Reaction)”

โดยสามารถที่จะเขียนเป็นสมการได้คือ $\vec{F}_a = -\vec{F}_r$

พิจารณาจากภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 การเกิดแรงกิริยา – ปฏิกิริยาตามกฎการเคลื่อนที่ข้อสามของนิวตัน
(ก) แรงกิริยา – ปฏิกิริยาของค้อนกับตะปู (ข) แรงกิริยา – ปฏิกิริยาของอนุภาค 2 อนุภาค

พิจารณาจากภาพที่ 5.2 (ก) เมื่อมีแรงที่เกิดจากวัตถุชนิดหนึ่งมากระทำกับก้อน ก็จะมีแรงจากก้อนกระทำกลับไปในทิศทางตรงข้ามแต่ขนาดเท่ากัน และ (ข) อนุภาค 1 ออกแรง (F_{12}) กระทำต่ออนุภาค 2 ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยา (F_{21}) ซึ่งเกิดจากอนุภาค 2 ออกแรงต้านแรงกิริยาจากอนุภาค 1 ซึ่งจากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตันเราจะได้ว่า

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (3-3)$$

โดยทั่วไปแล้ว แรงกิริยาและ แรงปฏิกิริยา จะเป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุคนละชนิดกันดังตารางที่ 5.1 แสดงตัวอย่างของแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา

สภาพการณ์	แรงกิริยา	แรงปฏิกิริยา
การตีเทนนิส	แรงที่ไม้กระแทกกับลูกเทนนิส	แรงที่ลูกเทนนิสกระแทกกับไม้
ดาวเทียมโคจรรอบโลก	แรงที่ดาวเทียมดึงดูดโลก	แรงที่โลกดึงดูดดาวเทียม
แม่เหล็กดูดตะปู	แรงที่แม่เหล็กกระทำกับตะปู	แรงที่ตะปูกระทำกับแม่เหล็ก
เราผลักเก้าอี้	แรงที่เรากระทำกับเก้าอี้	แรงที่เก้าอี้กระทำกับเรา

5.4 แรงเสียดทาน (Friction)

จากกฎการเคลื่อนที่ทั้งสามข้อของนิวตันที่ผ่านมา บางทีเราอาจจะสงสัยว่าเมื่อเราออกแรงกระทำกับวัตถุแล้วทำไมสิ่งๆ ที่ไม่มีแรงมากระทำกับเราในทิศตรงข้ามวัตถุก็ยังไม่มีการเคลื่อนที่ หรือเมื่อมีการเคลื่อนที่ก็ยังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว นั้นแสดงว่าต้องมีแรงที่พยายามที่จะต้านการเคลื่อนที่หรือต้านกับแรงที่เรากระทำ ซึ่งแรงนั้นจะต้องมีทิศตรงกันข้ามกับกับแรงที่เรากระทำ และแรงนั้นก็คือ แรงเสียดทานนั่นเอง

แรงเสียดทานคือ แรงที่พยายามจะรักษาสภาพเดิมของวัตถุ หรือเป็นแรงที่พยายามจะต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ ดังนั้นแรงเสียดทานจึงมีทิศตรงกันข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุ และแรงเสียดทานจะเกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสของวัตถุเสมอ

พิจารณาภาพ 5.3 เมื่อออกแรงลากหนังสือ ซึ่งวางอยู่บนพื้นผิวขรุขระในช่วงแรกจะเกิดแรงต้านในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่พยายามดันไม่ให้หนังสือมีการเคลื่อนที่ไป ดังภาพที่ 5.3(ก) ซึ่งเรียกว่าแรงเสียดทานสถิต หลังจากหนังสือเคลื่อนที่ไปก็ยังคงมีแรงต้านเกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสแต่มีค่าน้อยกว่าแรงเสียดทานสถิตซึ่งเราเรียกว่าแรงเสียดทานจลน์ ดังภาพที่ 5.3(ข)

จากการทดลองจะพบว่าสำหรับวัตถุๆ หนึ่งแล้ว แรงเสียดทานจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงปฏิกิริยาที่พื้นผิวสัมผัสกระทำกับวัตถุในแนวตั้งฉากซึ่งเราใช้สัญลักษณ์คือ N สำหรับแรงปฏิกิริยานี้จะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของวัตถุในกรณีที่วัตถุวางตั้งฉากกับพื้นผิวโลก และนอกจากนั้นแรงเสียดทานยังขึ้นอยู่กับผิวสัมผัสของวัตถุแต่ละชนิดด้วย โดยวัตถุที่มีพื้นผิวเรียบจะมีแรงเสียดทานน้อยกว่าวัตถุที่มีพื้นผิวขรุขระและเราสามารถที่จะเขียนเป็นสมการแรงเสียดทานได้คือ

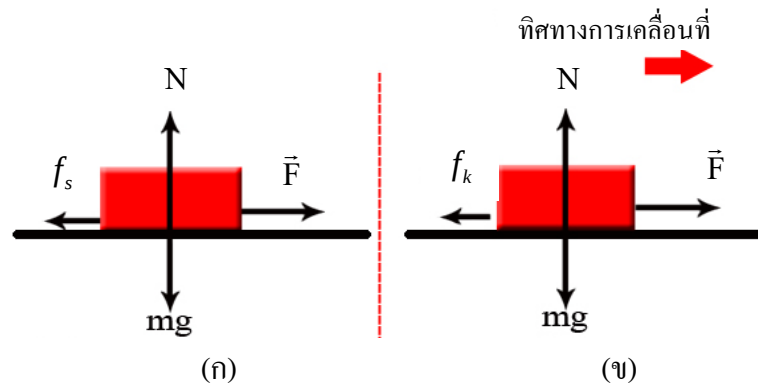
$$f \propto N$$

$$f = \mu N \quad (5-4)$$

เมื่อ f = แรงเสียดทาน

μ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (ที่ผิวสัมผัสวัตถุชนิดเดียวกันจะมีค่าเท่ากัน แต่ถ้าผิวขรุขระไม่เท่ากันค่านี้จะไม่เท่ากัน)

N = แรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส



ภาพที่ 5.3 แรงเสียดทาน (ก) แรงเสียดทานสถิต (ข) แรงเสียดทานจลน์

สำหรับแรงเสียดทานแบ่งได้เป็นสองชนิด คือ

5.4.1. แรงเสียดทานสถิต (Static friction, f_s)

แรงเสียดทานสถิต “ f_s ” คือแรงเสียดทานที่พยายามต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุขณะที่วัตถุยังไม่มีเคลื่อนที่หรือเป็นแรงที่ต้านการเคลื่อนที่ขณะที่วัตถุหยุดนิ่งนั่นเอง และถ้าหากว่าเราจะทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ได้เราต้องออกแรงอย่างน้อยเท่ากับ แรงเสียดทานสถิตสูงสุด “ $f_{s,max}$ ” ของวัตถุต่อพื้นผิวนั้นดังภาพที่ 5.3 (ก)

แรงเสียดทานสถิตสูงสุดจะแปรผันตรงกับผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต “ μ_s ” กับแรงที่พื้นผิวกระทำต่อวัตถุหรือแรงปกติ “ N ” เขียนเป็นสมการได้คือ

$$f_{s,max} = \mu_s N \quad (5-5)$$

5.4.2 แรงเสียดทานจลน์ (Kinetic friction, f_k)

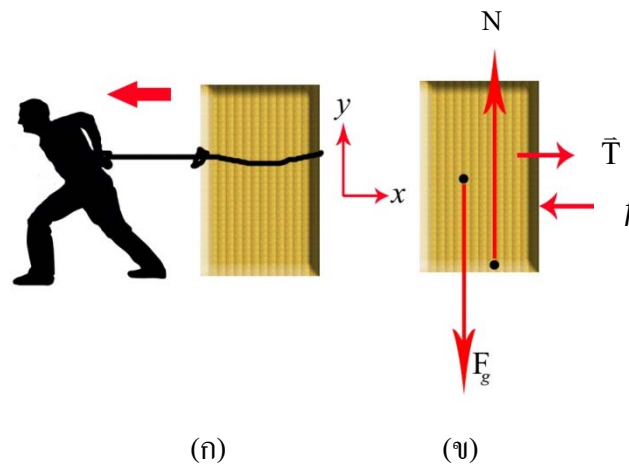
แรงเสียดทานจลน์ “ f_k ” คือแรงที่พยายามต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ ในขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่ ซึ่งแรงเสียดทานจลน์นี้จะเป็แรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ดังภาพที่ 5.3 (ข)

แรงเสียดทานจลน์จะแปรผันตรงกับผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ “ μ_k ” กับแรงที่พื้นผิวกระทำต่อวัตถุหรือแรงปกติ “ N ” เขียนเป็นสมการได้คือ

$$f_k = \mu_k N \quad (5-6)$$

ทันทีที่เริ่มการเคลื่อนที่แรงเสียดทานมักมีขนาดลดลง การทำให้วัตถุเคลื่อนที่ต่อไปง่ายกว่าการทำให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่ผิวสัมผัสจะมีค่าน้อยกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตเสมอ นั่นคือถ้าเริ่มจากไม่มีแรงใดๆ กระทำและค่อยๆ เพิ่มแรงขึ้น แรงเสียดทานจะมีค่าค่อนข้างเปลี่ยนแปลงไปบ้าง

ตัวอย่างที่ 5.1 มานะกำลังลากกล่องหนัก 500 N บน ดังภาพที่ 5.4 โดยดึงด้วยแรงในแนวระดับขนาด 230 N เพื่อให้กล่องขยับ หลังจากที่ถูกกล่องขยับ กล่องเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็วคงตัวได้ด้วยแรงเพียง 200 N จงหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์



ภาพที่ 5.4 ออกแรงดึงกล่องอุปกรณ์ออกกำลังกาย

(ก) มานะออกแรงลากวัตถุ (ข) แนวแรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุ

วิธีทำ ในขณะที่ลากกล่องกล่องจะเริ่มเคลื่อนที่ถ้าแรงที่ลากมีค่าเท่ากับแรงเสียดทานสถิตสูงสุด แรงเสียดทานสถิตมีค่าสูงสุดเท่ากับ $f_{s,\max} = \mu_s N$ ดังนั้นจากภาพที่ 5.4 (ข) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= 0 \\ T - f_{s,\max} &= 0 \\ 230\text{N} - f_{s,\max} &= 0 \\ f_{s,\max} &= 230\text{ N} \\ \Sigma F_y &= 0 \\ N - F_g &= 0\end{aligned}$$

$$N - 500 = 0$$

$$N = 500 \text{ นิวตัน}$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

$$\mu_s = \frac{f_{s,\max}}{N} = \frac{230 \text{ N}}{500 \text{ N}} = 0.46$$

หลังจากกล่องเคลื่อนที่ไปแล้ว จะได้ว่า

$$\Sigma F_x = 0$$

$$T - f_k = 0$$

$$200 \text{ N} - f_k = 0$$

$$f_k = 200 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N - F_g = 0$$

$$N - 500 = 0$$

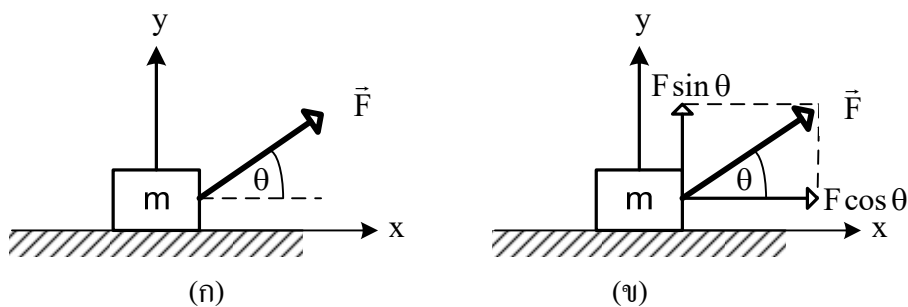
$$N = 500 \text{ นิวตัน}$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์

$$\mu_k = \frac{f_k}{N} = \frac{200 \text{ N}}{500 \text{ N}} = 0.40$$

5.5 การรวมแรง (Vector combination)

โดยทั่วไปแล้วถ้าแรงที่กระทำกับวัตถุมีทิศตามแนวราบหรือแนวตั้งเราสามารถคำนวณหาผลรวมของแรงได้โดยโดยใช้หลักการของเวกเตอร์ แต่ในกรณีที่แรงที่กระทำไม่ได้มีทิศตามแนวราบหรือตามแนวตั้ง เราสามารถที่จะรวมแรงเหล่านี้ได้โดยการแยกองค์ประกอบของแรงเข้าตามแนวระดับ และในแนวตั้งหลังจากนั้นก็เอาแรงแต่ละแนวรวมกัน ตามหลักการของเวกเตอร์



ภาพที่ 5.5 องค์ประกอบของแรงแรงเดียว (ก) แรงกระทำต่อวัตถุ (ข) องค์ประกอบของแรง

พิจารณาจากภาพที่ 5.5 (ก) เมื่อมีแรงกระทำกับวัตถุโดยทิศของแรงกับการเคลื่อนที่ทำมุม θ ต่อกัน ในการรวมแรงสามารถที่จะรวมได้โดยการแยกองค์ประกอบของแรงดังภาพที่ 5.5 (ข) ตามแกน x และแกน y ดังนั้นจะได้

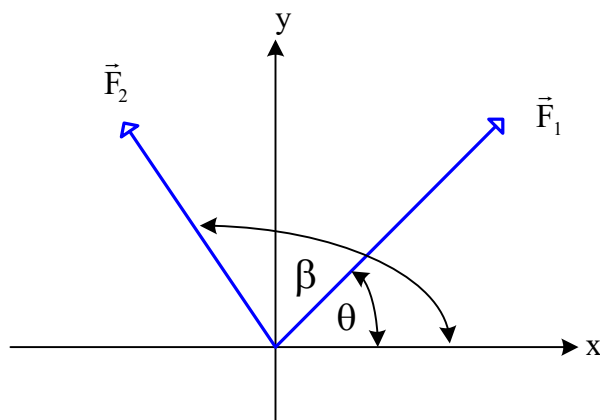
$$F_x = F \cos \theta \quad (5-7)$$

$$F_y = F \sin \theta \quad (5-8)$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (5-9)$$

ในกรณีที่มีแรงมากกว่าหนึ่งแรงมากระทำกับวัตถุ สามารถใช้หลักการรวมแรงตามหลักการของเวกเตอร์ คือ แยกแรงแต่ละแรงเข้าตามแกน x และแกน y หลังจากนั้นก็ใช้วิธีรวมแรงโดยเอาแรงตามแกน x รวมกับแกน x และแกน y รวมกับแกน y

พิจารณาจากภาพที่ 5.6



ภาพที่ 5.6 การรวมแรงหลายแรง

จากภาพใช้หลักการแยกแรงจะได้

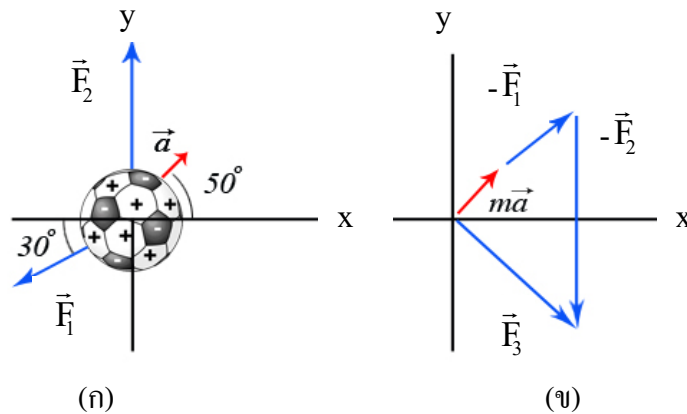
$$F_x = F_{x1} + F_{x2} = F_1 \cos \theta + F_2 \cos \beta \quad (5-10)$$

$$F_y = F_{y1} + F_{y2} = F_1 \sin \theta + F_2 \sin \beta \quad (5-11)$$

และ

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (5-12)$$

ตัวอย่างที่ 5.2 ลูกบอลลูกหนึ่งมีมวล 2.0 kg วางบนระนาบดังภาพที่ 5.7 ออกแรงดึงด้วยแรง 3 แรง ทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง 3.0 m/s^2 โดยที่แรงที่หนึ่ง $\vec{F}_1$ มีขนาด 10 N และแรงที่สอง $\vec{F}_2$ มีขนาด 20 N จงหาขนาดและทิศทางของแรงที่สาม $\vec{F}_3$



ภาพที่ 5.7 แรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ กระทำต่อวัตถุ

(ก) แรงสองแรงที่กระทำต่อวัตถุ (ข) องค์ประกอบของแรง

วิธีทำ พิจารณาองค์ประกอบของแรงในภาพที่ 5.7 (ข) จะได้ว่า

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = m\vec{a}$$

หรือ พิจารณาเฉพาะแรง $\vec{F}_3$ ที่ต้องการหา

$$\vec{F}_3 = m\vec{a} - \vec{F}_1 - \vec{F}_2$$

องค์ประกอบของแรง $\vec{F}_3$ ในแนวแกน x

$$F_{3,x} = ma_x - F_{1,x} - F_{2,x}$$

$$F_{3,x} = m(a \cos 50^\circ) - F_1 \cos(-150^\circ) - F_2 \cos 90^\circ$$

$$F_{3,x} = (2\text{kg})(3\text{m/s}^2) \cos 50^\circ$$

$$\text{แทนค่าจะได้} \quad - (10\text{N}) \cos(-150^\circ) - (20\text{N}) \cos 90^\circ$$

$$F_{3,x} = 12.5 \text{ N}$$

เช่นเดียวกัน องค์ประกอบของแรง $\vec{F}_3$ ในแนวแกน y

$$F_{3,y} = ma_y - F_{1,y} - F_{2,y}$$

$$F_{3,y} = m(a \sin 50^\circ) - F_1 \sin(-150^\circ) - F_2 \sin 90^\circ$$

แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned}
 F_{3,y} &= (2.0\text{kg})(3.0\text{m/s}^2)\sin 50^\circ \\
 &\quad - (10\text{N})\sin(-150^\circ) - (20\text{N})\sin 90^\circ \\
 F_{3,y} &= -10.4\text{N}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้องค์ประกอบของแรงและขนาดของแรง $\vec{F}_3$ เป็น

$$\begin{aligned}
 \vec{F}_3 &= F_{3,x}\hat{i} + F_{3,y}\hat{j} \\
 &= (12.5\text{N})\hat{i} + (-10.4\text{N})\hat{j} \\
 &= \sqrt{F_{3,x}^2 + F_{3,y}^2} = 16\text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\text{และทิศทางของแรง } \vec{F}_3 \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_{3,y}}{F_{3,x}}\right) = -40^\circ$$

5.6 การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Application of Newton's laws of motion)

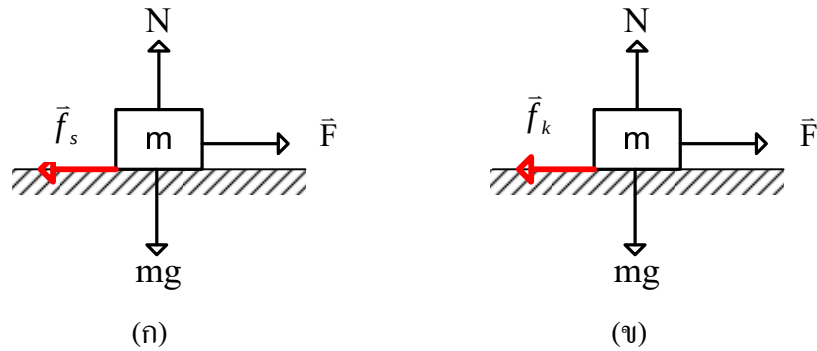
จากหัวข้อที่ผ่านมาเราได้ศึกษากฎการเคลื่อนที่ทั้งสามข้อของนิวตันมาแล้ว สำหรับในหัวข้อต่อไป เราจะมาศึกษาเกี่ยวกับการนำกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันทั้งสามข้อมาประยุกต์ใช้ หรือมาใช้ในการอธิบายเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เราพบเห็นในชีวิตประจำวันกันซึ่งจะต้องใช้แรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เช่นแรงเสียดทานมาใช้ในการอธิบายด้วย โดยแยกเป็นกรณีดังต่อไปนี้

5.6.1 สมดุลของแรง (Force equilibrium)

สมดุลของแรงเป็นการนำกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันมาอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ เราคงเคยสังเกตว่าวัตถุสิ่งของต่าง ๆ ทำไมถึงอยู่นิ่งได้ และทำไมถึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวได้ จากประสบการณ์ที่เรียนในหัวข้อที่ผ่านมาจึงทำให้ทราบได้ว่า การที่วัตถุมันมีพฤติกรรมเหมือนที่กล่าวไว้เบื้องต้น แสดงว่าต้องมีแรงมากระทำในลักษณะที่เป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน นั่นคือผลรวมของแรงหรือแรงลัพธ์เท่ากับศูนย์ นั่นเอง เราเรียกเหตุการณ์ที่แรงลัพธ์เท่ากับศูนย์นี้ว่า สมดุลของแรง สำหรับตัวอย่างของสมดุลของแรงที่นำมาพิจารณามีดังนี้

ในกรณีที่วัตถุวางอยู่บนพื้นราบแล้วออกแรงกระทำกับวัตถุ แบ่งเป็น 2 กรณี

- เมื่อวัตถุหยุดนิ่งอยู่กับที่
- เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว หรือความเร่งเป็นศูนย์



ภาพที่ 5.8 สมดุลของแรงขณะที่วัตถุไม่มีความเร่ง (ก) เมื่อวัตถุมวล m กำลังหยุดนิ่งจะมีแรงเสียดทานสถิต (ข) เมื่อวัตถุมวล m กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ จะมีแรงเสียดทานจลน์

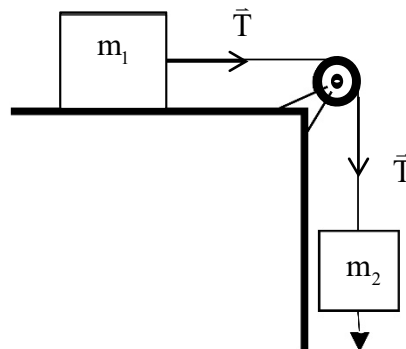
จากภาพที่ 5.8 (ก) ตามหลักสมดุลของแรงจะได้

$$F = f_s$$

จากภาพที่ 5.8 (ข) ตามหลักสมดุลของแรงจะได้

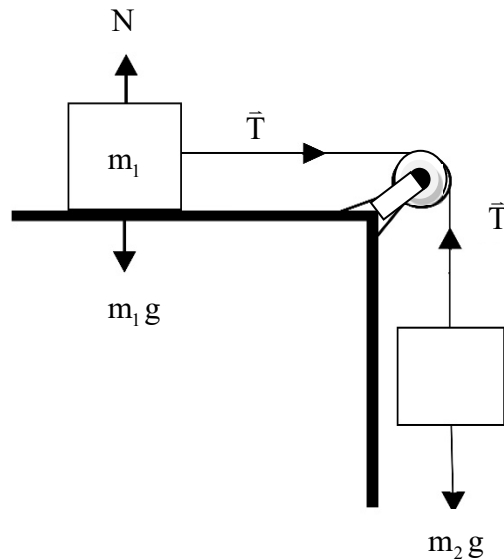
$$\begin{aligned} F &= f_k \\ N &= mg \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 5.3 กล้องไพบหนึ่งมีมวล $m_1 = 3.3$ กิโลกรัม วางนิ่งอยู่บนโต๊ะเก๋ียง (ไม่มีความเสียด) และมีกล้องอีกไพบมวล $m_2 = 2.1$ กิโลกรัม ผูกติดกันด้วยเชือกเบาคล้องผ่านรอก ดังในภาพที่ 5.9 ทำให้กล้องทั้งสองไพบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ จงคำนวณหาความตึงเชือก



ภาพที่ 5.9 แสดงเชือกมวลเบาคล้องผ่านรอก

วิธีทำ เขียนแผนภาพไดอะแกรมของแรงของกล่องแต่ละใบ



ภาพที่ 5.10 แผนภาพไดอะแกรมของแรง

พิจารณาองค์ประกอบของแรงในแนวแกน x โดย $\sum F_x = 0$ จะได้

$$\text{กล่องมวล } m_1 = 3.3 \text{ kg} \quad T = 0 \quad (1)$$

$$\text{กล่องมวล } m_2 = 2.1 \text{ kg} \quad m_2 g = T \quad (2)$$

พิจารณาองค์ประกอบของแรงในแนวแกน y โดย $\sum F_y = 0$ จะได้

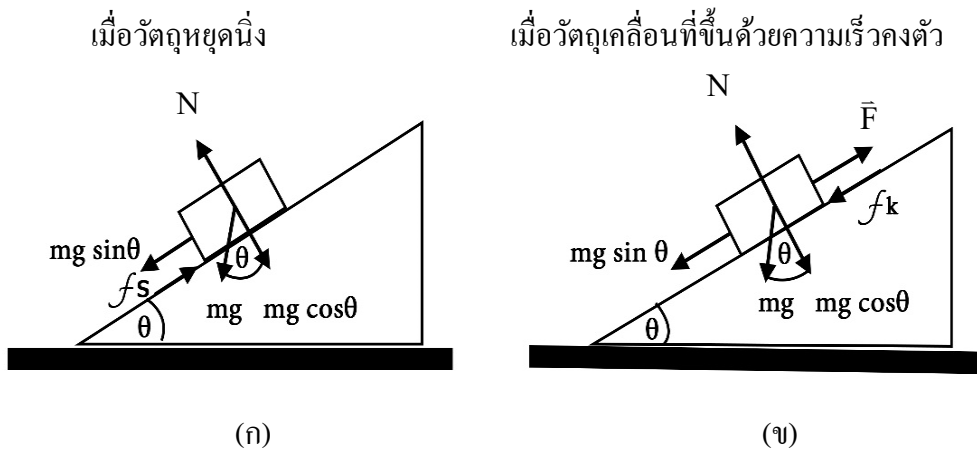
$$\text{กล่องมวล } m_1 = 3.3 \text{ kg} \quad N = m_1 g \quad (3)$$

แทนค่าในสมการที่ (2) จะได้ความตึงเชือกเท่ากับ

$$\begin{aligned} T &= (2.1 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) \\ &= 20.58 \text{ N} \end{aligned}$$

กรณีที่วัตถุวางอยู่บนพื้นเอียงแบ่งเป็น 2 กรณี

- เมื่อวัตถุหยุดนิ่งจะมีแรงเสียดทานสถิต
- เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ จะมีแรงเสียดทานจลน์ โดยจะแยกเป็น วัตถุเคลื่อนที่ขึ้นและลง



ภาพที่ 5.11 การสมดุลของแรงที่กระทำต่อวัตถุบนพื้นเอียง (ก) แผนภาพไคอะแกรมของแรงเมื่อวัตถุหยุดนิ่ง (ข) แผนภาพไคอะแกรมของแรงเมื่อความเร็วคงตัว

จากภาพ 5.11 ก ตามหลักสมดุลของแรงจะได้

$$mg \sin \theta = f_s$$

$$mg \cos \theta = N$$

จากภาพที่ 5.11 ข ตามหลักสมดุลของแรงจะได้

$$mg \sin \theta + f_k = F$$

$$mg \cos \theta = N$$

เมื่อ F = แรงผลักที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่

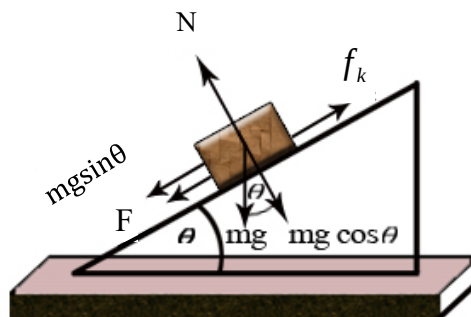
f_s = แรงเสียดทานสถิต

f_k = แรงเสียดทานจลน์

m = มวลของวัตถุ

N = แรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวสัมผัส

กรณีที่วัตถุเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วคงตัว



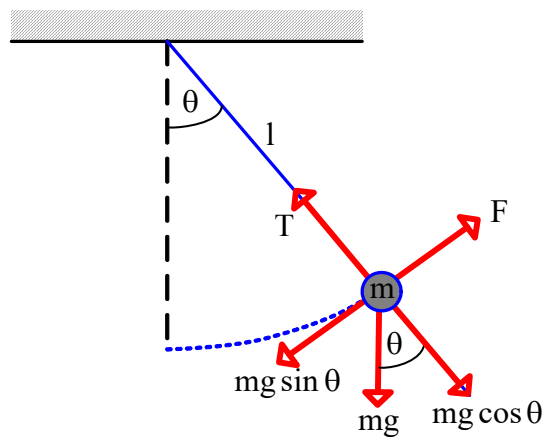
ภาพที่ 5.12 กรณีที่วัตถุเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วคงตัว

จากภาพที่ 5.12 ตามหลักสมดุลของแรงจะได้ว่า

$$F + mg\sin\theta = f_k$$

$$mg\cos\theta = N$$

กรณีที่วัตถุแขวนด้วยเส้นเชือก พิจารณาจากภาพที่ 5.13



ภาพที่ 5.13 ลักษณะการแยกแรง

พิจารณาจากภาพเมื่อวัตถุหยุดนิ่งตามหลักสมดุลของแรงจะได้ว่า

$$F = mg\sin\theta$$

$$T = mg\cos\theta$$

เมื่อ T คือ แรงตึงในเส้นเชือก

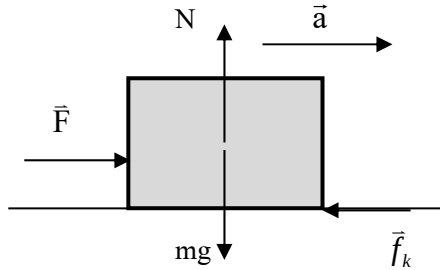
F คือ แรงดึง

m คือ มวลของลูกตุ้ม

5.6.2 การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

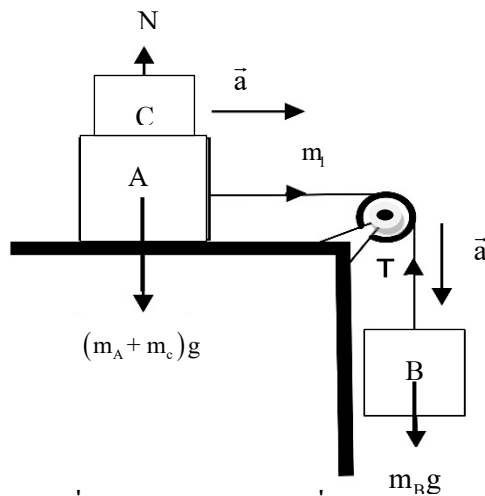
จากหัวข้อที่ผ่านมา เราได้ศึกษา การประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน ในลักษณะสมดุลของแรงมาแล้ว สำหรับหัวข้อนี้เราจะศึกษาเกี่ยวกับการนำกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันมาประยุกต์ใช้บ้าง ซึ่งเป็นการอธิบายต่อจากหัวข้อที่แล้ว ในกรณีที่แรงลัพธ์ไม่เท่ากับศูนย์มากระทำ นั่นก็คือจะทำให้วัตถุมีความเร่งหรือความเร็วเปลี่ยน โดยเราแบ่งการพิจารณาออกเป็นดังนี้

1. ในกรณีที่วัตถุวางอยู่บนพื้นราบ พิจารณาจากภาพที่ 5.14 ตัวอย่างที่ 5.4 และ 5.5



ภาพที่ 5.14 วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่

ตัวอย่างที่ 5.4 มวล A และ B ในภาพที่ 5.14 เท่ากับ 10 kg และ 5 kg ตามลำดับ สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานของ A กับโต๊ะเท่ากับ 0.20 จงหา



ภาพที่ 5.15 แสดงแนวแรงที่กระทำต่อมวล

- (ก) มวลของ C ที่น้อยที่สุดที่จะป้องกันไม่ให้ A เคลื่อนที่
(ข) ความเร่งของระบบถ้าเอา C ออกไป

วิธีทำ (ก) มวลของ C ที่น้อยที่สุดที่จะป้องกันไม่ให้ A เคลื่อนที่นั่นคือ ระบบไม่มีการเคลื่อนที่ซึ่งจะเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่ง

พิจารณามวล A และ C จากกฎข้อที่หนึ่งของนิวตัน $\sum \vec{F} = \vec{0}$ จะได้

$$\text{แกน } x \quad T = f = \mu N \quad (1)$$

$$\text{แกน } y \quad N = (m_A + m_c)g \quad (2)$$

พิจารณามวล B จากกฎข้อที่หนึ่งของนิวตัน $\sum \vec{F} = 0$ จะได้

$$\begin{aligned} \text{แกน } x \quad T &= (m_A + m_c)g \\ &= (5.0 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) \\ &= 49 \text{ N} \end{aligned} \quad (3)$$

จากสมการ (1) – (3) จะได้

$$\begin{aligned} T &= \mu(m_A + m_c)g \\ m_c &= \frac{T}{\mu g} - m_A \\ &= \frac{49 \text{ N}}{(0.2)(9.8 \text{ m/s}^2)} - 10 \text{ kg} \\ &= 15 \text{ kg} \end{aligned}$$

(ข) ความเร่งของระบบถ้าเอา C ออกไปจากกฎข้อที่สองของนิวตัน $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ จะได้

พิจารณามวล A จากกฎข้อที่สองของนิวตัน $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ จะได้

$$\text{แกน } x; \quad T - f = m_A a \quad (4)$$

$$\text{แกน } y; \quad N = m_A g \quad (5)$$

พิจารณามวล B จากกฎข้อที่สองของนิวตัน $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ จะได้

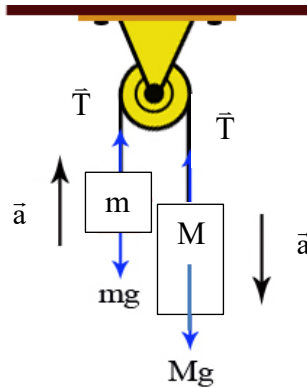
$$\text{แกน } x; \quad m_B g - T = m_B a \quad (6)$$

จากสมการ (4) – (6) จะได้

$$\begin{aligned} m_B g - \mu m_A g &= (m_A + m_B) a \\ a &= \frac{m_B g - \mu m_A g}{(m_A + m_B)} \\ &= \frac{(5.0 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) - (0.2)(10 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)}{(10 \text{ kg} + 5 \text{ kg})} \\ a &= 1.96 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 5.5 กล้อง 2 ใบผูกติดกันด้วยเชือกเบาค้างผ่านรอกที่ไม่มีความฝืด กล้องใบใหญ่มวล $M = 5 \text{ kg}$ กล้องอีกใบมวล $m = 4 \text{ kg}$ ดังภาพที่ 5.16 จงคำนวณหาความเร่งของระบบและแรงดึงในเส้นเชือก

วิธีทำ (ก) หาความเร่งของระบบ



ภาพที่ 5.16 แผนภาพไดอะแกรมของแรง

เขียนองค์ประกอบของแรงของมวล จะได้

$$T - mg = ma \quad (1)$$

$$Mg - T = Ma \quad (2)$$

จากสมการ (1) และ (2) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} Mg - mg &= (M + m)a \\ a &= \frac{(M - m)g}{M + m} \\ &= \frac{(5\text{kg} - 4\text{kg})(9.8\text{m/s}^2)}{5\text{kg} + 4\text{kg}} \\ a &= 1.09\text{m/s}^2 \end{aligned}$$

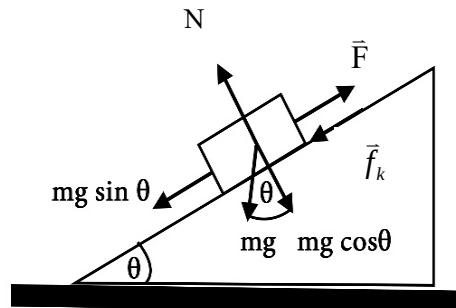
ความเร่งของระบบมีค่าเท่ากับ 1.09m/s^2

(ข) จากสมการ (1) จะได้แรงดึงในเส้นเชือกเป็น

$$\begin{aligned} T &= m(a + g) \\ T &= (4.0\text{kg})(1.09\text{m/s}^2 + 9.8\text{m/s}^2) \\ T &= 43.56\text{N} \end{aligned}$$

แรงดึงในเส้นเชือกของระบบมีค่าเป็น 43.56N

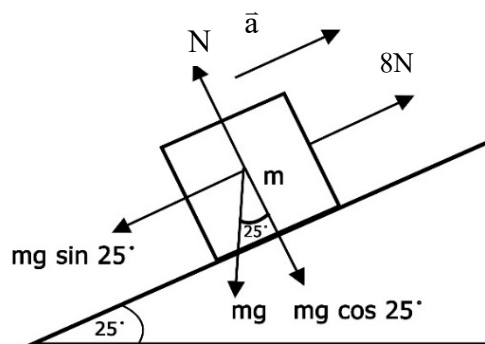
2. ในกรณีที่วัตถุวางอยู่บนพื้นเอียง เช่น วัตถุเคลื่อนที่ขึ้นจะมีแรงเสียดทานจลน์ ดังภาพที่ 5.17



ภาพที่ 5.17 วัตถุเคลื่อนที่บนระนาบเอียง วัตถุเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่งจะเกิดแรงเสียดทานจลน์

ตัวอย่างที่ 5.6 วัตถุมวล 1 kg อยู่บนระนาบเอียงเกลี้ยงไม่มีความฝืดที่เอียงทำมุม 30° กับแนวระดับ จงหาความเร่งของวัตถุถ้ามีแรง 8 N กระทำต่อวัตถุในทิศ (ก) ขึ้นบน และ (ข) ผลักลงตามระนาบเอียง

วิธีทำ (ก) ออกแรง 8 N ดึงวัตถุขึ้นบนระนาบเอียง



ภาพที่ 5.18 ดึงวัตถุขึ้นบนระนาบเอียง

พิจารณาองค์ประกอบของแรงในแนวแกน x ; $\sum F_x = ma_x$ จะได้

$$F - mg \sin 30^\circ = ma \quad (1)$$

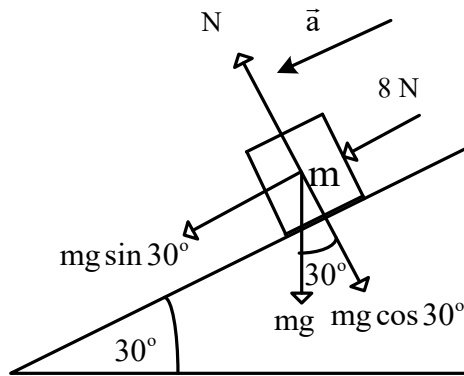
พิจารณาองค์ประกอบของแรงในแนวแกน y ; $\sum F_y = ma_y$ จะได้

$$N - mg \cos 30^\circ = 0 \quad (2)$$

หาความเร่งจากสมการ (1) จะได้

$$\begin{aligned} a &= \frac{F}{m} - g \sin 30^\circ \\ a &= \frac{8.0 \text{ N}}{1.0 \text{ kg}} - (9.8 \text{ m/s}^2) \sin 30^\circ \\ a &= 3.1 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

(ข) ออกแรง 8 N ผลักวัตถุลงตามระนาบเอียง



ภาพที่ 5.19 ผลักวัตถุลงตามระนาบเอียง

พิจารณาองค์ประกอบของแรงในแนวแกน x; $\sum F_x = ma_x$ จะได้

$$F + mg \sin 30^\circ = ma \quad (1)$$

พิจารณาองค์ประกอบของแรงในแนวแกน y; $\sum F_y = ma_y$ จะได้

$$N - mg \cos 30^\circ = 0 \quad (2)$$

หาความเร่งจากสมการ (1) จะได้

$$a = \frac{F}{m} + g \sin 30^\circ$$

$$a = \frac{8.0\text{N}}{1.0\text{kg}} + (9.8\text{m/s}^2)\sin 30^\circ$$

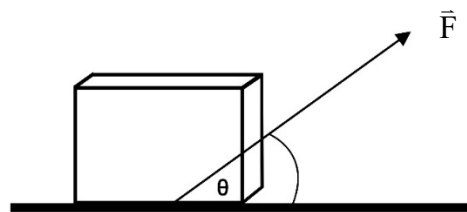
$$a = 12.9\text{m/s}^2$$

ตัวอย่างที่ 5.7 ชายคนหนึ่งลากกล่องมวล 10 kg ไปตามพื้นที่ไม่มีแรงเสียดทานด้วยแรง 40 N ในทิศทำมุม 30° กับแนวระดับจงหา

ก) ความเร่งของกล่อง

ข) ขนาดของแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อกล่อง

วิธีทำ พิจารณาจากภาพที่ 5.20



ภาพที่ 5.20 ลักษณะของแรง

เมื่อนำมาเขียนเป็นแนวแรงจะได้

ก) กล่องถูกลากไปตามแกน X ดังนั้นจะได้ว่า

$$\Sigma F_x = ma_x$$

$$F\cos\theta = ma$$

จะได้

$$a = \frac{F\cos 30^\circ}{m}$$

$$= \frac{40\cos 30^\circ}{10}$$

$$a = 3.5\text{ m/s}^2$$

ข) หาแรงปฏิกิริยา N

เนื่องจากตามแกน Y ไม่มีการเคลื่อนที่ดังนั้นจะได้ว่า

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N + F\sin\theta = mg$$

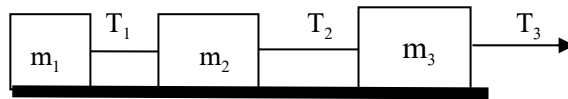
$$N = mg - F\sin\theta$$

$$= (10)(9.8) - (40)(1/2)$$

$$N = 75 \text{ นิวตัน}$$

นั่นคือแรงที่พื้นกระทำกับกล่องมีค่าเท่ากับ 78 นิวตัน

ตัวอย่างที่ 5.8 ในภาพที่ 5.21 นี้ถ้าออกแรงดึงกล่องทั้งสามกล่องที่ผูกติดกันด้วยเชือกขนาด $T_3 = 65 \text{ N}$ สมมติว่าไม่มีความเสียดทานระหว่างพื้นกับกล่อง ถ้ามวลกล่องแต่ละใบมีดังนี้ $m_1 = 12 \text{ kg}$, $m_2 = 24 \text{ kg}$, และ $m_3 = 31 \text{ kg}$, จงคำนวณหา (ก) ขนาดความเร่งของระบบ (ข) แรงดึงในเส้นเชือก T_1 และ (ค) แรงดึงในเส้นเชือก T_2



ภาพที่ 5.21 แสดงการออกแรงดึงกล่อง

วิธีทำ (ก) กำหนดให้ทิศ + x ไปทางขวามือ และพิจารณาว่ากล่องทั้งสามใบเป็นระบบเดียว จากกฎข้อที่สองของนิวตัน $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$ จะได้

$$\begin{aligned} T_3 &= m_{\text{sys}} a \\ 65 \text{ N} &= (67 \text{ kg})a \\ a &= \frac{65 \text{ N}}{67 \text{ kg}} \\ &= 0.97 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้นขนาดความเร่งของระบบมีค่าเท่ากับ 0.97 m/s^2

(ข) พิจารณาเฉพาะกล่องใบที่ 1 มวล $m_1 = 12 \text{ kg}$ จะได้

$$\begin{aligned} T_1 &= m_1 a \\ &= (12 \text{ kg})(0.97 \text{ m/s}^2) \\ &= 11.64 \text{ N} \end{aligned}$$

ดังนั้นแรงดึงในเส้นเชือก T_1 มีค่าเท่ากับ 11.64 N

(ค) เนื่องจากแรง T_2 ดึงกล่องใบที่ 1 และ 2 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} T_2 &= (m_1 + m_2) a \\ &= (12 \text{ kg} + 24 \text{ kg})(0.97 \text{ m/s}^2) \\ &= 34.92 \text{ N} \end{aligned}$$

ดังนั้นแรงดึงในเส้นเชือก T_2 มีค่าเท่ากับ 34.92 N

5.7 แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง (Centripetal force)

เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมโดยมีรัศมี R และเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวเรียก ลักษณะการเคลื่อนที่แบบนี้ว่าการเคลื่อนที่แบบวงกลมสม่ำเสมอโดยลักษณะของการเคลื่อนที่แบบวงกลมสม่ำเสมอนั้น ความเร่งจะมีทิศพุ่งเข้าหาจุดศูนย์กลางของวงกลมเสมอโดยสามารถหาขนาดของความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางได้จากสมการ

$$a_{\perp} = \frac{v^2}{R} \quad (5-13)$$

และเราสามารถหาเวลาที่ใช้การเคลื่อนที่ครบรอบหรือที่เรียกว่าคาบ T ได้จากสมการ

$$T = \frac{2\pi R}{v} \quad (5-14)$$

หรือ

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

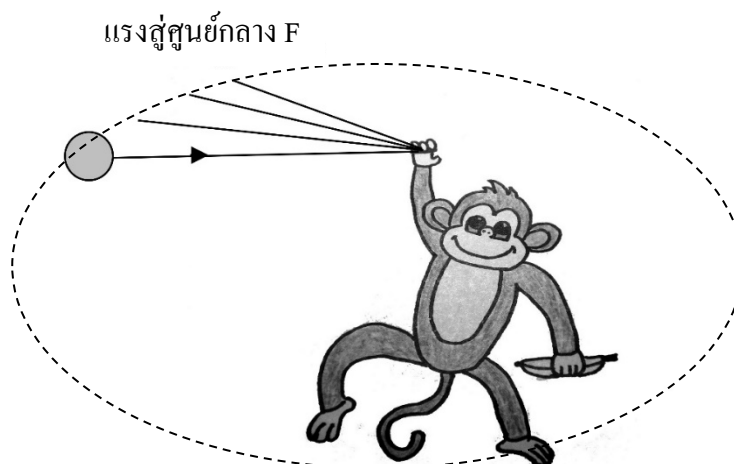
ดังนั้นจะได้

$$a_{\perp} = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \quad (5-15)$$

เราสามารถหาแรงเข้าสู่ศูนย์กลางได้จากสมการ

$$F = ma_{\perp} = \frac{mv^2}{R} \quad (5-16)$$

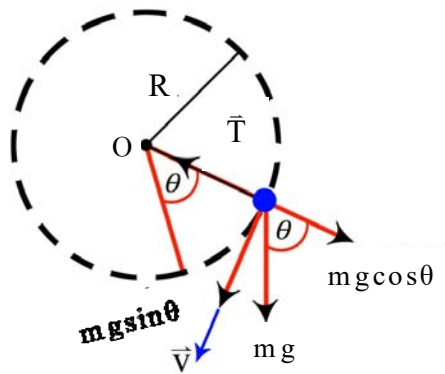
พิจารณาภาพที่ 5.22 เมื่อเราผู้เชือกกับวัตถุหลังจากนั้นหมุนให้เป็นวงกลมโดยให้ความเร็วมีค่าสม่ำเสมอ



ภาพที่ 5.22 ลักษณะการเคลื่อนที่ที่มีแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง

โดยแรงที่พยายามดึงวัตถุเข้าสู่จุดศูนย์กลางเราเรียกว่า แรงสู่ศูนย์กลางนั่นเอง

5.7.1 การเคลื่อนที่แบบวงกลมในแนวตั้ง



ภาพที่ 5.23 แรงของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมในแนวตั้งมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ O

พิจารณาจากภาพที่ 5.23 วัตถุมวล m ผูกติดกับเชือกยาว R หมุนเป็นวงกลมในแนวตั้ง สังเกตว่าความเร็วของลูกบอลเพิ่มขึ้นขณะที่หมุนลงและจะลดลงขณะที่หมุนขึ้นความเร็วจึงไม่สม่ำเสมอตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ดังนั้นความเร่งจึงมี 2 แนวคือแนวสัมผัส $a_{\parallel}$ กับแนวตั้งฉาก $a_{\perp}$ แรงลัพธ์แนวสัมผัส $F_{\parallel}$ และตั้งฉาก $F_{\perp}$ หาได้จาก

$$F_{\parallel} = mg \sin \theta \quad (5-19)$$

$$F_{\perp} = T - mg \cos \theta \quad (5-20)$$

จากกฎข้อที่สองของนิวตัน

$$a_{\perp} = \frac{F_{\perp}}{m} = T - mg \sin \theta \quad (5-21)$$

ข้อสังเกตความเร่งนี้มีค่าเท่ากับกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่ลงมาบนพื้นเอียงมุม θ ในกรณีที่ไม่มีแรงเสียด

จากกฎข้อที่สองของนิวตัน

$$\begin{aligned} a_{\perp} &= \frac{F_{\perp}}{m} = \frac{T - mg \cos \theta}{m} \\ &= \frac{v^2}{R} \end{aligned} \quad (5-22)$$

แรงตึง

$$T = m \left(\frac{v^2}{R} + g \cos \theta \right) \quad (5-23)$$

ที่จุดต่ำสุด $\theta = 0^\circ$, $\sin \theta = 0$ และ $\cos \theta = 1$ จะได้ $F_{\parallel} = 0$, $a_{\parallel} = 0$ เหลือแต่ความเร่งในแนวตั้งฉาก ดังนั้น

$$T_{\text{ต่ำสุด}} = m \left(\frac{v^2}{R} + g \right) \quad (5-24)$$

ที่จุดสูงสุด $\theta = 180^\circ$, $\sin \theta = 0$, $\cos \theta = -1$ จะได้ $F_T = 0$, $a_T = 0$ มีแต่ความเร่งในแนวตั้งฉาก ดังนั้น

$$T_{\text{สูงสุด}} = m \left(\frac{v^2}{R} - g \right) \quad (5-25)$$

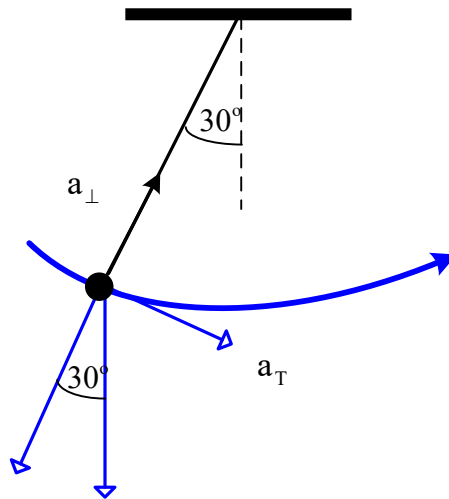
ความเร็วน้อยสุด v_c ที่จะทำให้ลูกบอลเคลื่อนที่เป็นวงกลมได้ต่อไปได้จากการแทนแรงตึง $T_{\text{สูงสุด}}$ ในสมการข้างบนให้เป็นศูนย์

$$0 = m \left(\frac{v_c^2}{R} - g \right) \quad (5-26)$$

$$v_c = \sqrt{Rg}$$

ตัวอย่างที่ 5.10 ลูกตุ้มมวล 0.1 kg ผูกกับเชือกยาว 1 m แกว่งไปมาในแนวตั้งขณะที่เชือกกำลังทำมุม 30° กับแนวตั้งลูกตุ้มมีความเร็ว 2 m/s จงหา

- ก) ความเร่งในแนวรัศมีและความเร่งในแนวสัมผัสเส้นทางการเคลื่อนที่แบบวงกลม
- ข) ขนาดและทิศทางของความเร่งลัพธ์



ภาพที่ 5.24 แสดงลักษณะของลูกตุ้ม

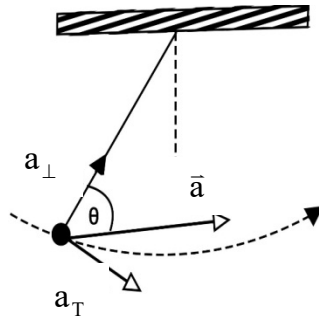
วิธีทำ ก) ความเร่งในแนวรัศมี

$$a_{\perp} = \frac{v^2}{R} = \frac{(2 \text{ m/s})^2}{1 \text{ m}} = 4 \text{ m/s}^2$$

ความเร่งในแนวสัมผัส

$$a_T = g \sin \theta = (9.8 \text{ m/s}^2) \sin 30^\circ = 4.8 \text{ m/s}^2$$

ข) ความเร่งในแนวสัมผัส, ความเร่งในแนวรัศมีและความเร่งลัพธ์มีทิศทางดังภาพที่ 5.25



ภาพที่ 5.25 การแกว่งลูกตุ้ม

ขนาดของความเร่งลัพธ์

$$\begin{aligned} a &= \sqrt{a_{\perp}^2 + a_T^2} \\ &= \sqrt{(4.8 \text{ m/s}^2)^2 + (4.0 \text{ m/s}^2)^2} \\ &= 6.33 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

มุม ϕ หาได้จาก

$$\begin{aligned} \phi &= \tan^{-1} \left(\frac{4.8 \text{ m/s}^2}{4.0 \text{ m/s}^2} \right) \\ &= 50.8^\circ \end{aligned}$$

ความเร่งลัพธ์มีทิศทำมุม 50.8° กับแนวรัศมี

5.8 แรงดึงดูดระหว่างมวล (Gravitational force)

เมื่อวัตถุตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปวางอยู่ใกล้กันจะเกิดแรงที่เกิดจากมวลของวัตถุเหล่านี้ดึงดูดกันเราเรียกว่าแรงดึงดูดระหว่างมวล ตัวอย่างของแรงดึงดูดระหว่างมวลที่น่าสนใจซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอด้วย ได้แก่การเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างมวลที่ทำให้วัตถุสามารถเคลื่อนที่หมุนรอบกันไปได้ คือแรงที่เกิดจากการดึงดูดระหว่างมวลของดวงอาทิตย์กับมวลของดาวเคราะห์ซึ่งสามารถอธิบายลักษณะของแรงที่เป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันได้เป็น

อย่างดี ตัวอย่างเช่น เมื่อดาวเคราะห์และดวงอาทิตย์มีระยะห่างกันเท่ากับ r เมื่อดาวเคราะห์หมุนรอบดวงอาทิตย์อันเนื่องมาจากแรงดึงดูดระหว่างดวงอาทิตย์และดาวเคราะห์ เราสามารถคำนวณหาแรงดึงดูดระหว่างมวลของดวงอาทิตย์กับดาวเคราะห์ได้จากสมการ

$$F = \frac{Gm_s m_p}{r^2} \quad (5-27)$$

m_s และ m_p คือ มวลของดวงอาทิตย์และดาวเคราะห์

r คือ ระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางมวลทั้งสอง

G คือ ค่าคงตัวโน้มถ่วงสากลเท่ากับ $6.673 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

เนื่องจากสมการ (5-27) ใช้ได้กับมวลทุกประเภทในจักรวาล ดังนั้นจึงเรียกสมการนี้ว่า กฎแรงโน้มถ่วงสากล ถ้าวางทรงกลม มวล m_1 และ m_2 ให้ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลเท่ากับ r แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างมวลจะเขียนได้เป็นดังสมการ

$$F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2} \quad (5.28)$$

ตัวอย่างที่ 5.11 วัตถุ 2 ก้อนมี มวล 8 g เท่ากัน วางห่างกันเป็นระยะทาง 200 cm จงหาอัตราส่วน F/W โดยให้ F เป็นแรงดึงดูดของวัตถุทั้งสอง และ W เป็นน้ำหนักของวัตถุทั้งสอง

วิธีทำ เปรียบเทียบว่าห่างกันมากเมื่อเทียบกับขนาดของเหรียญจึงประมาณได้ว่าเหรียญมีขนาดเล็ก

แรงดึงดูดหาได้จาก

$$F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2}$$

$$F = \frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)(0.008\text{kg})^2}{(2 \text{ m})^2}$$

$$F = 1.07 \times 10^{-15} \text{ N}$$

น้ำหนักของเหรียญแต่ละอัน

$$W = mg$$

$$= (0.008\text{kg})(9.8\text{m/s}^2)$$

$$= 0.0784 \text{ N}$$

ดังนั้นอัตราส่วนของ F/W จึงเท่ากับ 1.07×10^{-15} ต่อ 0.0784 นิวตัน

บทสรุป

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันเป็นกฎที่อธิบายถึงพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของวัตถุเมื่อมีแรงมากระทำโดยพิจารณาจากแรงลัพธ์โดยกฎข้อที่หนึ่งกล่าวไว้ว่าถ้าแรงลัพธ์เท่ากับศูนย์วัตถุจะเคลื่อนที่โดยไม่มีความเร่งหรือหยุดนิ่ง กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองกล่าวว่าถ้าแรงลัพธ์มากกว่าศูนย์วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง และกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามกล่าวไว้ว่าเมื่อแรงกระทำจะมีแรงปฏิกิริยาที่มีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงกันข้ามกระทำต่อต้านกำเนิดของแรงเสมอ เมื่อออกแรงกระทำกับวัตถุบนพื้นผิวต่างๆจะเกิดแรงเสียดทานในทิศตรงข้ามกับแรงที่มากระทำนั้น แรงเสียดทานมีสองชนิด ได้แก่ แรงเสียดทานสถิต และแรงเสียดทานจลน์

กิจกรรมการทดลอง

แบบบันทึกกิจกรรมการทดลอง
เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

วันที่.....เดือนพ ศ 25.....สาขาวิชา.....กลุ่มเรียน

ผู้ร่วมงานรหัส

ผู้ร่วมงานรหัส

ผู้ร่วมงานรหัส

ผู้ร่วมงานรหัส

ผู้ร่วมงานรหัส

วัตถุประสงค์

1. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเร่งได้
2. ใช้อุปกรณ์การทดลองได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม
3. เขียนกราฟและวิเคราะห์ปริมาณทางฟิสิกส์จากกราฟได้อย่างถูกต้อง

วัสดุและอุปกรณ์

ชุดอุปกรณ์การทดลองการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง ได้แก่ รางลมพร้อมติดตั้งรอกกลิ้ง รถทดลองบนรางลม และเครื่องตรวจจับอัตราเร็ว ความเร่ง และเวลาที่มีการบันทึกเวลาในการเคลื่อนที่

วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลองรางลมและเครื่องตรวจจับเวลา
2. ผูกเชือกที่ปลายรถทดลองและคล้องผ่านรอกที่ปลายรางลม โดยให้ปลายเชือกที่ห้อยผ่านรอกผูกติดกับตุ้มน้ำมวล 100 กรัม
3. เปิดรางลม และปล่อยรถทดลองที่มีตุ้มน้ำมวลคล้องผ่านรอกห้อยอยู่อีกข้าง ให้เคลื่อนที่ผ่านเครื่องตรวจจับความเร่ง บันทึกความเร่งที่ได้ลงในตารางบันทึกผล
4. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยของความเร่งที่ได้
5. ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนมวลตุ้มน้ำเป็น 200, 300, 400 กรัม
6. เขียนกราฟระหว่างน้ำหนักหรือแรงที่ดึงรถทดลอง กับความเร่งที่ได้ จากนั้นหาความความชันของกราฟ

7. วิเคราะห์โดยการคำนวณหาค่าความเร่งจากทฤษฎีโดยการประยุกต์ใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน และทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากกราฟ
8. วิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ผลการทดลอง

มวล (กรัม)	ความเร่งที่ได้จากการทดลอง (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100				
200				
300				
400				

กราฟระหว่างความเร่งกับน้ำหนัก

แสดงวิธีการหาค่าความชันของกราฟ

.....

ค่าความชันของกราฟเท่ากับ..... หน่วย.....

วิเคราะห์หาค่าความเร่งจากการประยุกต์ใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน

ภาพไดอะแกรมอิสระ

.....

.....

.....

.....

วิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

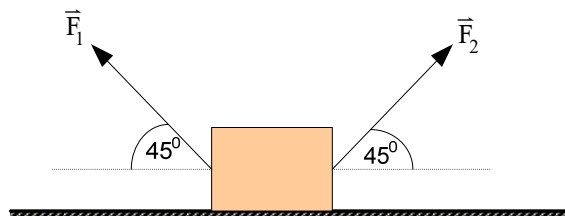
.....

.....

.....

แบบฝึกหัด

1. ออกแรงคงที่ 2 นิวตัน กระทำในแนวระดับ ลากมวลก้อนหนึ่งขนาด 4 กิโลกรัม ซึ่งวางนิ่งอยู่บนพื้นระดับที่ไม่มีความเสียดทาน ความเร่งของมวลนี้เป็นเท่าใด
2. ปิดคาลังขับเคลื่อนคันหนึ่งซึ่งมีมวล 1500 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง มีสุนัขวิ่งตัดหน้ารถเขาจึงเหยียบเบรก เมื่อปิดเหยียบเบรกไปแล้ว 1.2 นาที รถยนต์จึงหยุดนิ่ง จงหาแรงที่กระทำต่อรถยนต์คันนี้ในขณะเบรก
3. มวล 20 กิโลกรัมวางบนพื้นลื่นมีแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ ขนาด $10\sqrt{2}$ และ $20\sqrt{2}$ นิวตัน กระทำดังรูป ความเร่งของมวลและแรงที่พื้นกระทำต่อมวลมีค่าเท่าใด



4. กล้องสี่เหลี่ยมที่มีมวล 10 กิโลกรัม วางนิ่งบนพื้นระดับ จงหาว่าต้องใช้แรงคงตัวขนาด T ในแนวระดับเท่าไร กระทำต่อกล้องสี่เหลี่ยมจึงจะทำให้มีความเร็ว 4 เมตร/วินาที ในเวลา 2 วินาทีจากอยู่นิ่ง โดยแรงเสียดทานระหว่างกล้องสี่เหลี่ยมกับผิวระดับ มีค่าคงตัวเท่ากับ 5 นิวตัน
5. ออกแรงลากกระเป่า 4 ใบให้เคลื่อนที่ไปบนลานน้ำแข็ง (ไม่มีความเสียดทาน) โดยมวลของกล้อง 3 กล้อง และแรงดึงเชือก 2 เส้นมีค่าดังนี้ $m_1 = 12$ กิโลกรัม, $m_3 = 15$ กิโลกรัม, $m_4 = 20$ กิโลกรัม, $T_2 = 111$ นิวตัน, และ $T_4 = 222$ นิวตัน จงคำนวณหาผลของกล้องกล้องที่ 2
6. ลิฟท์และน้ำหนักบรรทุกทุกในลิฟท์หนักรวมกัน 4900 นิวตัน จงหาแรงดึง T ในสายเคเบิลเมื่อลิฟท์ในขณะกำลังเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็ว 6 เมตร/วินาที แล้วถูกดึงให้หยุดโดยสายเคเบิลด้วยความเร่งคงที่ในระยะ 15 เมตร
7. ออกแรงดึงกล้องทั้งสามกล้องที่ผูกเชื่อมกันด้วยเชือกขนาด $T_3 = 65$ นิวตัน ไม่มีความเสียดทาน ถ้ามวลกล้องแต่ละใบมีดังนี้ $m_1 = 12$ กิโลกรัม, $m_2 = 24$ กิโลกรัม, และ $m_3 = 31$ กิโลกรัม, จงคำนวณหา (ก) ขนาดความเร่งของระบบ (ข) แรงดึงเชือก T_1 และ (ค) แรงดึงเชือก T_2
8. ถนนโค้งเส้นหนึ่งมีรัศมีความโค้ง 100 เมตร ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับถนนของรถคันหนึ่งมีค่าเท่ากับ 0.4 รถคันนี้จะเลี้ยวโค้งได้ด้วยความเร็วสูงสุดกี่กิโลเมตร/ชั่วโมงจึงจะไม่ไถลออกนอกโค้ง

เอกสารอ้างอิง

- ก่องกัญจน์ ภัทรากาญจน์ และชนกาญจน์ ภัทรากาญจน์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2552). ฟิสิกส์ 1 ตัวอย่างและโจทย์พร้อมคำเฉลย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2549). ฟิสิกส์ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เชิญโชค ศรีขวัญ และคณะ, มหาวิทยาลัยมหิดล. (2546). ฟิสิกส์ทั่วไป 1. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ทวี นิมอ้อย, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (2541). ฟิสิกส์พื้นฐานระดับมหาวิทยาลัย 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ปรเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก, มหาวิทยาลัยศรีปทุม. (2553). ปฏิบัติการฟิสิกส์ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- สุชาติ สุภาพ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. (2558). ฟิสิกส์ทั่วไป. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น.
- Fraser, G. (2006). The New Physics for the Twenty-First Century. Cambridge: Cambridge University Press.
- Giambattista, A., Richardson, B.M., and Richardson, R.C. (2007). College Physics 2nd ed. Boston: Mc Graw Hill.
- Serway, R. A., and Jewett, J. W. (2014). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics 9th ed. Belmont: Brooks/Cole-Thomson Learning.
- Serway, R.A., Vuille, C., and Hughes, J. (2015). College Physics 10th ed. Stamford: Cengage Learning.
- Thornton, T.S., and Rex, A. (2013). Modern Physics for Scientists and Engineers 4th ed. Boston: Brooks/Cole- Cengage Learning.
- Young, H.D., and Freedman, R.A. (2016). Sear's & Zemansky's University Physics with Modern Physics 14th ed. Essex: Pearson Education Limited.