

บทที่ 4

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

เมษายน ค.ศ. 1974 นายจอร์น แมสสิส สามารถใช้พลังกำลังของตัวเองในการลากโบกี้รถไฟ โดยเขาใช้ปากจับเชือกที่ผูกไว้กับโบกี้รถไฟแล้วก็ดึงตู้โบกี้ทั้งตู้ไปตามราง ปกติตู้โบกี้จะมีน้ำหนักประมาณ 70 ตัน จะเห็นว่าแรงที่เขาต้องใช้มีค่ามหาศาลมาก ทุกคนคงจะมีคำถามอยู่ในใจว่า นายจอร์น แมสสิสเป็นซูเปอร์แมนหรือไม่? และฟันของเขาสามารถทนแรงมากมายขนาดนี้ได้อย่างไร [อ่านต่อครับ](#) 🌟



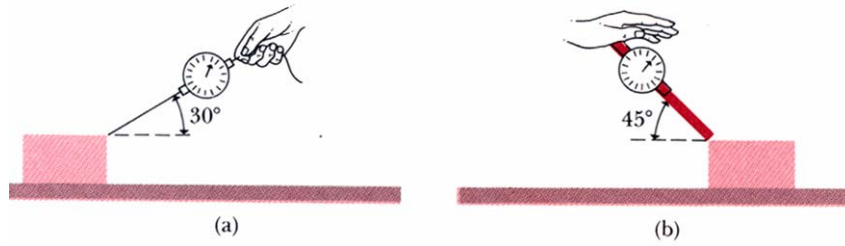
เราได้ศึกษาการเคลื่อนที่ใน 1 มิติ และใน 2 มิติไปแล้ว ในบทนี้เราจะศึกษาถึงสาเหตุที่ทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ ขอบเขตของการศึกษาใหม่นี้มีชื่อว่า **พลศาสตร์** ซึ่งครอบคลุมจลศาสตร์อีกที่ เราจึงจำเป็นต้องขยายแนวคิด โดยนิยามแรงและมวลเพิ่มขึ้น ในบทนี้จะทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีขนาดใหญ่พอที่จะมองเห็นด้วยตาเปล่าได้และอัตราเร็วในการเคลื่อนที่น้อยกว่าอัตราเร็วของแสงมาก ๆ โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ในกรณีที่ว่าวัตถุมีขนาดเล็กมาก ๆ ในระดับอะตอมหรือโมเลกุลหรือวัตถุมีการเคลื่อนที่เร็วใกล้เคียงกับอัตราเร็วของแสง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันจะไม่สามารถใช้อธิบายการเคลื่อนที่ได้

4-1 แรง

แรงเป็นหัวใจสำคัญของวิชาฟิสิกส์ เป็นปริมาณเวกเตอร์ ดังนั้น ถ้าจะอธิบายแรงหนึ่ง ๆ จะต้องเขียนบอกทั้งขนาดและทิศทางจึงจะสมบูรณ์ หน่วยสากลของแรงคือนิวตัน (N) โดย แรงสุทธิ 1 นิวตัน คือ แรงที่ทำให้มวล 1 กิโลกรัม มีความเร่ง 1 เมตรต่อวินาที² ($1 \text{ N} = 1 \text{ Kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

แรงพื้นฐานในธรรมชาติมีทั้งหมด 4 ประเภท คือ

1. แรงโน้มถ่วง (gravitational force) ขึ้นกับขนาดของมวล และระยะทางกำลังสองผกผัน
2. แรงแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic force) เป็นแรงระหว่างประจุไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับขนาดของประจุไฟฟ้าและระยะทางกำลังสองผกผัน
3. แรงนิวเคลียร์ (nuclear force) เป็นแรงที่ยึดนิวคลีออนในนิวเคลียส ทำให้นิวเคลียสคงสภาพอยู่ได้
4. แรงอย่างอ่อน (weak force) เป็นแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคพื้นฐาน เพื่อประกอบกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ และเป็นสาเหตุของการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีบางชนิด



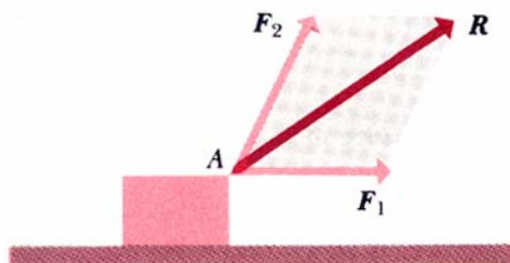
รูป 4-1 แรงที่กระทำบนกล่อง (a) แรงดึง (b) แรงผลัก

ออกแรงดึงหรือผลักกล่องผ่านเครื่องชั่งสปริง ดังรูป 4-1 แรงดึงหรือแรงผลักแทนด้วยลูกศรเวกเตอร์ ดังรูป 4-2 มาตรฐานที่กำหนดขึ้นต้องให้ตรงกับขนาดของแรง เช่น 1 cm แทน 10 N ถ้าออกแรง 40 N ก็ให้ลากลูกศรนี้ยาว 4 cm

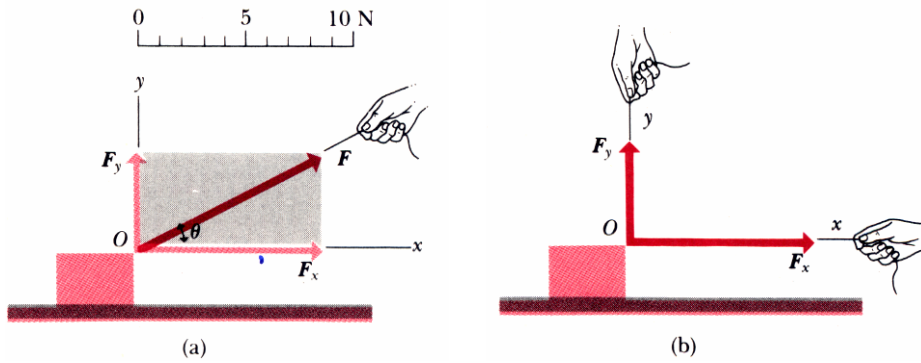


รูป 4-2 แผนภาพแทนแรงที่กระทำบนกล่อง

แรง F_1 และ F_2 กระทำพร้อมกันที่ตำแหน่งเดียวกัน ดังรูป 4-3 เราสามารถรวมแรงทั้งสองเป็นแรงลัพธ์แรงเดียว R โดยใช้หลักการรวมแรงเหมือนกับการบวกเวกเตอร์ธรรมดา ดังนั้น ถึงแม้ว่าจะมีแรงมากกว่า 2 แรง ก็ใช้หลักการบวกเวกเตอร์ในบทที่แล้วได้ทั้งสิ้น



รูป 4-3 R คือเวกเตอร์ลัพธ์ของเวกเตอร์ F_1 และ F_2 กระทำพร้อมกันที่ตำแหน่งเดียวกัน



รูป 4-4 แรงดึง F ทำมุม θ กับแกน x สามารถแตกแรงออกเป็นแรงย่อย 2 แรง
แรงในแนวแกน x และในแนวแกน y

ออกแรง F กระทำกับกล่องที่จุด O ในระบบพิกัดฉาก xy ดังรูป 4-4 (a) แรง F สามารถแตก
ออกเป็นแรงย่อย 2 แรง แรงในแนวแกน x คือ F_x และแรงในแนวแกน y คือ F_y ที่จุด O จึงเสมือนกับมีแรง
2 แรงนี้มากระทำ

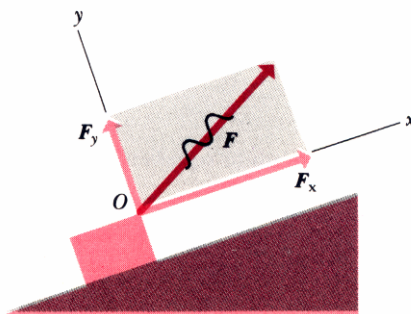
กำหนดให้ $F = 10.0 \text{ N}$, $\theta = 30^\circ$

$$F_x = F \cos\theta = (10.0 \text{ N})(0.866) = 8.66 \text{ N}$$

$$F_y = F \sin\theta = (10.0 \text{ N})(0.500) = 5.00 \text{ N}$$

นั่นคือแรง F 10 N สามารถแตกออกเป็นแรงย่อย 2 แรง คือแรงในแนวแกน x = 8.66 N
และแรงใน แนวแกน y = 5.00 N

ข้อสังเกต การกำหนดระบบพิกัดฉาก xy ไม่จำเป็นว่าจะต้องอยู่ในแนวระดับและแนวตั้งเท่านั้น
ดังรูป 4-5 ออกแรงดึงกล่องขึ้นบนพื้นเอียง ด้วยแรง 2 แรงคือ F_x และ F_y ซึ่งแกน x
และ y จะมีทิศทางขนานและตั้งฉากกับพื้นเอียง



รูป 4-5 F_x และ F_y คือส่วนประกอบย่อยของแรง F ตามแนวแกน x และ y

การรวมแรงหลายแรงเพื่อจะหาแรงลัพธ์เพียงแรงเดียว นิยมใช้สัญลักษณ์ Σ (ซิกมา) แทน
เพื่อรวมผลบวกที่มีแรงหลาย ๆ ค่า เช่น แรง F_1, F_2, F_3, \dots กระทำพร้อม ๆ กันที่จุดเดียวกันดังนั้นแรงลัพธ์
คือ

$$R = F_1 + F_2 + F_3 + \dots = \Sigma F \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

ถ้าแยกแรงออกเป็นส่วนประกอบย่อยบนแกน x และ y จะได้ว่า

$$R_x = \sum F_x, R_y = \sum F_y \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

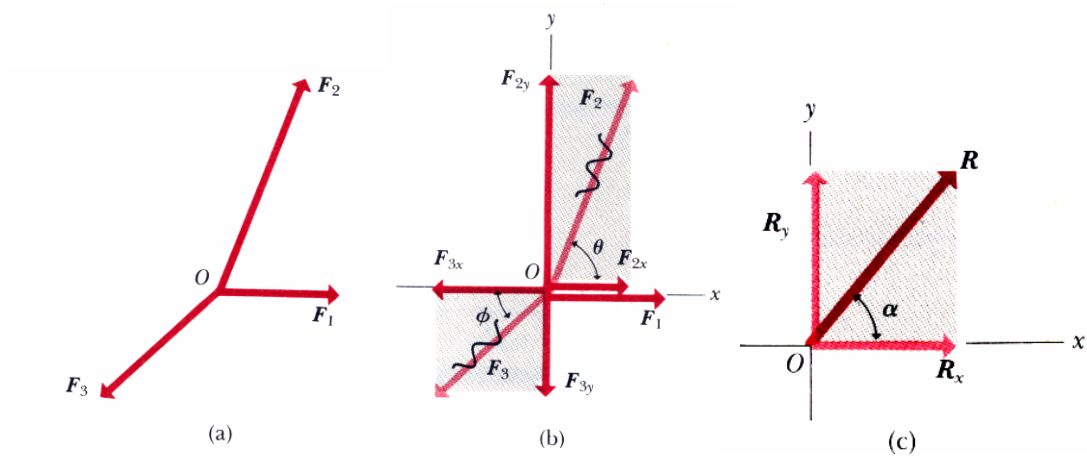
ขนาดของ R หาได้จาก

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

มุมของ R เทียบกับแกน x แทนด้วย α หาได้จาก

$$\tan \alpha = \frac{R_y}{R_x}$$

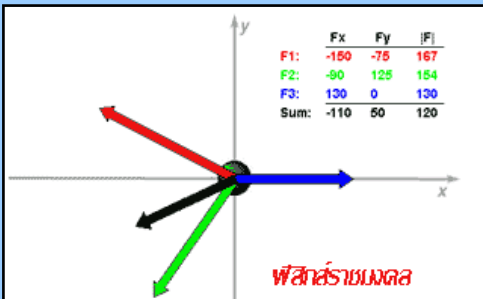
R_y และ R_x อาจจะมีค่าเป็นบวกหรือลบ ขึ้นอยู่กับทิศทางของแรงที่กระทำซึ่งจะทำให้ทราบ
ว่า มุม α อยู่ในพิภักัดฉาก xy ส่วนใด



รูป 4-6 เวกเตอร์ผลลัพธ์ R คือแรงรวมของเวกเตอร์ F_1 , F_2 และ F_3

ส่วนประกอบย่อยของ R ตามแกน x, $R_x = \sum F_x$ และแกน y, $R_y = \sum F_y$

การทดลองเสมือนจริง



การรวมเวกเตอร์ของแรงให้เป็นแรงลัพธ์

[กดที่นี่เพื่อเข้าสู่การทดลอง](#) 🔥

ตัวอย่าง 4-1 รูป 4-6 แรงแ F_1, F_2, F_3 อยู่บนระนาบเดียวกัน กระทำร่วมกันบนจุด O ให้ $F_1 = 120 \text{ N}, F_2 = 200 \text{ N}, F_3 = 150 \text{ N}$ $\theta = 60^\circ$ และ $\phi = 45^\circ$ จงคำนวณหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ R หลักการคำนวณ

แรง	มุม	ส่วนประกอบแกน x	ส่วนประกอบแกน y
$F_1 = 120$	0	$+ 120 \text{ N}$	0
$F_2 = 200$	60°	$+ 100 \text{ N}$	$+ 173 \text{ N}$
$F_3 = 150$	45°	$- 106 \text{ N}$	$- 106 \text{ N}$

$$R_x = \Sigma F_x = + 114 \text{ N} \quad ; \quad R_y = \Sigma F_y = + 67 \text{ N}$$

$$R = \sqrt{(114 \text{ N})^2 + (67 \text{ N})^2} = 132 \text{ N}$$

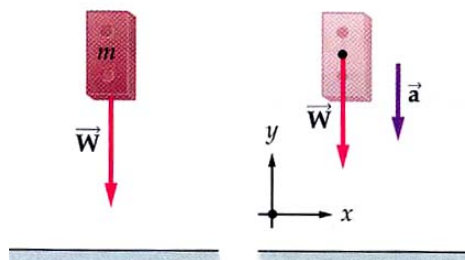
$$\alpha = \tan^{-1} \frac{67 \text{ N}}{114 \text{ N}} = \tan^{-1} 0.588 = 30.4^\circ$$

ขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ R คือ 132 N ในทิศ 30.4° ตามลำดับ

4-2 มวลและน้ำหนัก

มวล (mass) เป็นสมบัติของก้อนสสารที่บ่งบอกถึงค่าความต้านทานในการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ หรือเป็นปริมาณที่แปรผันตรงกับค่าความต้านทานต่อการเกิดความเร่งเมื่อถูกแรงกระทำ หรือ มวล m ของวัตถุ หมายถึง ความเฉื่อยต่อการเคลื่อนที่ มวลมีหน่วยเป็นกิโลกรัม

น้ำหนัก (Weight) หมายถึง แรงที่เกิดจากความเร่งโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุ ดังนั้น ถ้าปล่อยให้อัตุมวล m ตกลงมาอย่างอิสระ แรงสุทธิที่กระทำต่อวัตถุคือ น้ำหนักของมวล m คูณกับความเร่งโน้มถ่วงของโลก g นั่นเอง น้ำหนักมีหน่วยเป็น นิวตัน จาก $F = ma$ จะได้

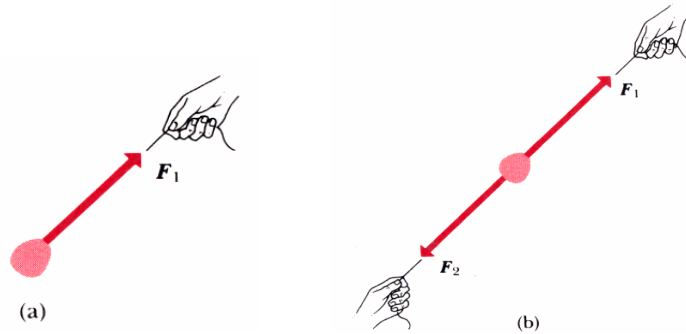


รูป 4-7 มวลและน้ำหนัก

$$w = mg \quad \dots\dots\dots (4-3)$$

4-3 กฎข้อที่หนึ่งของนิวตัน

กฎข้อที่หนึ่งของนิวตันหรือ กฎของความเฉื่อย กล่าวไว้ว่า “ วัตถุจะรักษาสภาพอยู่นิ่ง หรือสภาวะเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอในแนวเส้นตรง นอกจากมีแรงลัพธ์มากระทำ” ขยายความได้ว่า ถ้าวัตถุหนึ่งนิ่งอยู่ไม่เคลื่อนไหวก็ยังคงนิ่งอยู่อย่างนั้น แต่ถ้าวัตถุหนึ่งกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ($a = 0$) ก็ยังคงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ต่อไปตราบใดที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำ



รูป 4-8 แรงกระทำบนวัตถุ

พิจารณาก่อนน้ำแข็งวางอยู่เฉย ๆ บนพื้นที่ยื่นออกไป ถ้ามีแรง F_1 กระทำตามรูป 4-8 (a) น้ำแข็งจะเคลื่อนที่เลื่อนตำแหน่งไป เราเรียกว่า น้ำแข็งไม่ได้อยู่ในสภาวะสมดุล ถ้าเราให้แรง F_2 พร้อมกับแรง F_1 โดย F_2 มีขนาดเท่ากับแรง F_1 แต่ทิศตรงข้าม ดังรูป 4-8 (b) วัตถุจะรักษาสภาพอยู่นิ่งหรือถ้ากำลังเคลื่อนที่ก็เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ เนื่องจากแรงทั้งสองเท่ากันแต่ทิศตรงข้าม ดังนั้น

$$F_2 = -F_1$$

เวกเตอร์ลัพธ์ R ซึ่งเป็นผลรวมของเวกเตอร์ทั้งสองจะเท่ากับศูนย์

$$R = F_1 + F_2 = 0$$

เมื่อวัตถุอยู่ในสภาวะสมดุล ผลรวมของเวกเตอร์ลัพธ์ R ของแรงทั้งหมดจะต้องเท่ากับศูนย์

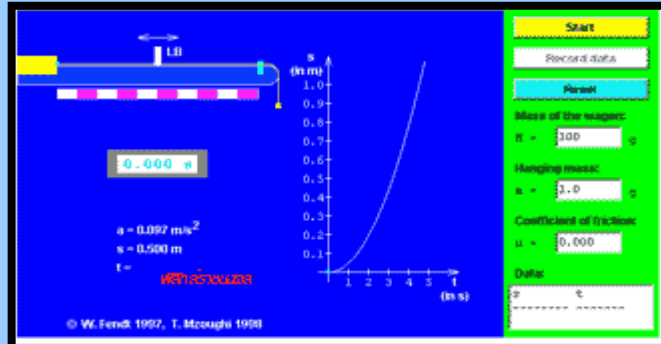
$$R = \sum F = 0 \quad \text{หรือ}$$

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0 \quad \dots\dots\dots (4-4)$$

นิวตันบรรยายกฎข้อที่หนึ่งว่า “วัตถุจะรักษาสภาพหยุดนิ่ง หรือสภาวะเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอในแนวเส้นตรงนอกจากมีแรงลัพธ์มากระทำ” กฎของเขาค่อนข้างจะขัดแย้งกับความจริงที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน คุณลองออกแรงผลักหนังสือบนโต๊ะ ถ้าไม่ออกแรงต่อ หนังสือจะเคลื่อนที่ต่อไปชั่วขณะ และหยุดการเคลื่อนที่ ถ้าต้องการให้เคลื่อนที่ต่อก็ต้องออกแรงดันต่อ สาเหตุมาจากแรงเสียดทานบนผิวของโต๊ะ ซึ่งสวนกับการเคลื่อนที่ของหนังสือ ถ้าพื้นผิวของโต๊ะลื่นแรงเสียดทานก็น้อย การเคลื่อนที่ของหนังสือก็ไปได้ไกล แต่ถ้าแรงเสียดทานมาก การเคลื่อนที่ของหนังสือก็ไปได้สั้น

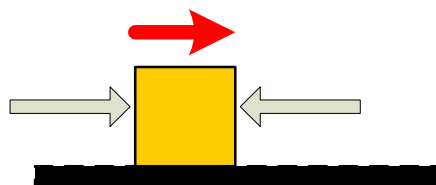
4-4 กฎข้อที่สองของนิวตัน

การทดลองเสมือนจริง



การทดลองนี้เป็นการศึกษากฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตันเรื่องการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงด้วยความเร่งคงที่ เรากำหนดให้ความเร่งของโลก $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ และสามารถเปลี่ยนค่ามวลและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานได้ [คลิกที่นี่เพื่อเข้าสู่การทดลอง](#) 🌟

กฎข้อที่ 2 ของนิวตันบางที่เรียกว่า กฎความเร่ง กฎข้อนี้กล่าวว่า " ความเร่งของอนุภาคเป็นปฏิภาคโดยตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่ออนุภาค โดยมีทิศทางเดียวกัน และเป็นปฏิภาคผกผันกับมวลของอนุภาค "



รูป 4-9 วัตถุถูกกระทำด้วยแรงลัพธ์ไม่เป็นศูนย์ ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งไปในทิศเดียวกับแรงลัพธ์

ตากฎข้อที่ 2 ของนิวตัน เนื่องจากความเร่งเป็นสัดส่วนตรงกับแรง ดังนั้น อัตราส่วนของแรงกับความเร่งจะเป็นค่าคงที่ ซึ่งตรงกับมวล m ของวัตถุ เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

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

หรือ $F = ma$ (4-5)

ถ้าแรง F กระทำกับมวล m_1 วัตถุความเร่งได้ a_1 และออกแรงเท่ากันกับมวล m_2 วัตถุความเร่งได้ a_2 จากสมการ 4-5

$$m_1 a_1 = m_2 a_2$$

หรือ

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{a_1}{a_2} \quad \dots\dots\dots (4-6)$$

อัตราส่วนของมวลจะเป็นสัดส่วนกลับกับอัตราส่วนของความเร่ง สรุปว่าแรงขนาดเดียวกัน ถ้าทำกับมวลที่มีขนาดใหญ่ จะได้ความเร่งน้อย แต่ถ้าให้กับมวลที่มีขนาดเล็ก จะได้ความเร่งมาก

ในกรณีที่มีแรงหลาย ๆ แรงกระทำบนอนุภาคที่ตำแหน่งเดียวกัน ความเร่งคำนวณได้จากแรงลัพธ์ ซึ่งได้มาจากการรวมแรงทั้งหลาย ซึ่งใช้วิธีการรวมแบบเวกเตอร์ ถ้าแยกแรงออกเป็นแรงย่อยบนแกน xy จะได้

แรงรวมบนแกน x $\Sigma F_x = m a_x$ $\dots\dots\dots (4-7)$

แรงรวมบนแกน y $\Sigma F_y = m a_y$ $\dots\dots\dots (4-8)$

แรงลัพธ์ $\Sigma F = m a$ $\dots\dots\dots (4-9)$

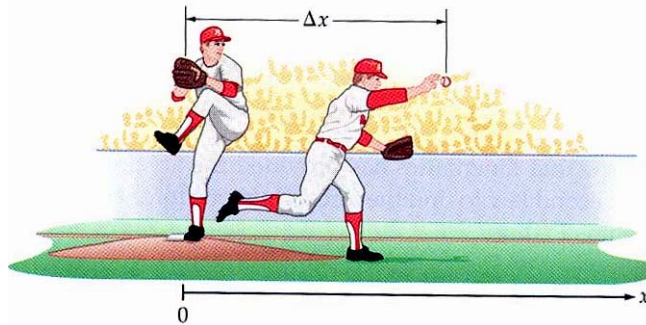
ΣF เป็นแรงลัพธ์สุทธิที่กระทำบนวัตถุ

ในระบบ 2 มิติ $\Sigma F = \Sigma F_x + \Sigma F_y$

ในระบบ 3 มิติ $\Sigma F = \Sigma F_x + \Sigma F_y + \Sigma F_z$

ตัวอย่าง 4-2 นักกีฬาเบสบอลขว้างลูกเบสบอลน้ำหนัก 0.15 กิโลกรัมไปข้างหน้า ลูกเบสบอลมีความเร็ว 90 ไมล์ต่อชั่วโมง จงหาแรงที่นักกีฬาใช้ขว้างบอล เมื่อ $\Delta x = 2$ m

รูป 4-10



หลักการคำนวณ

$$v = 90 \text{ mi/h} = 1.5 \text{ mi/min} = \frac{2400m}{60s} = 40 \text{ m/s}$$

$$a_x = \frac{v^2 - v_0^2}{2\Delta x} = \frac{(40m/s)^2 - 0}{2(2.0m)} = 400 \text{ m/s}^2$$

$$F_x = m a_x = (0.15\text{kg})(400 \text{ m/s}^2) = 60 \text{ N}$$

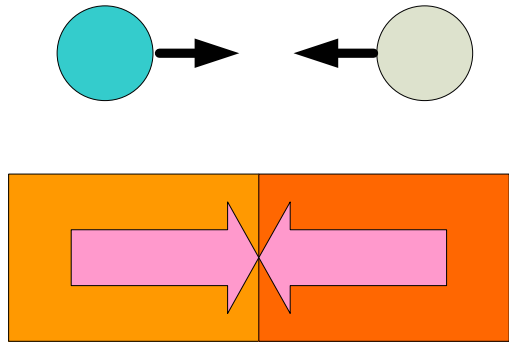
แรงที่นักกีฬาใช้ขว้างบอลคือ 60 นิวตัน

4-5 กฎข้อที่สามของนิวตัน

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตันกล่าวว่า “ทุกแรงกิริยาย่อมมีแรงปฏิกิริยาซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกันเสมอ กฎข้อนี้เรียกว่า กฎของกิริยาและปฏิกิริยา (Law of action and reaction)

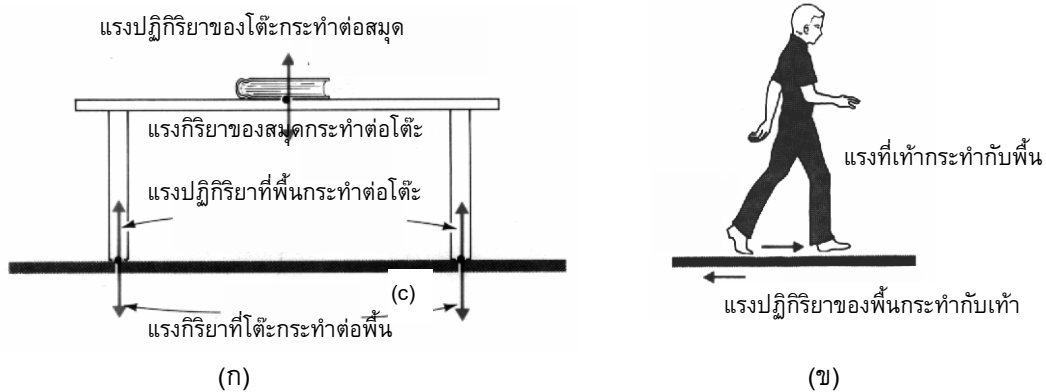
แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาหมายถึง แรงกระทำและแรงกระทำตอบ โดยเป็นแรงซึ่งกระทำต่อมวลที่ต่างกัน และเกิดขึ้นพร้อมกันเป็นคู่เสมอ โดยที่มวลอาจไม่สัมผัสกัน ดังรูปที่ 4-9 และถือว่าแรงหนึ่งแรงใดเป็นแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาก็ได้ จากรูป F_{AB} คือแรงที่ A กระทำบน B และ F_{BA} คือ แรงที่ B กระทำบน A

$$F_{AB} = - F_{BA} \quad \dots\dots\dots (4-10)$$



รูป 4-11 แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา

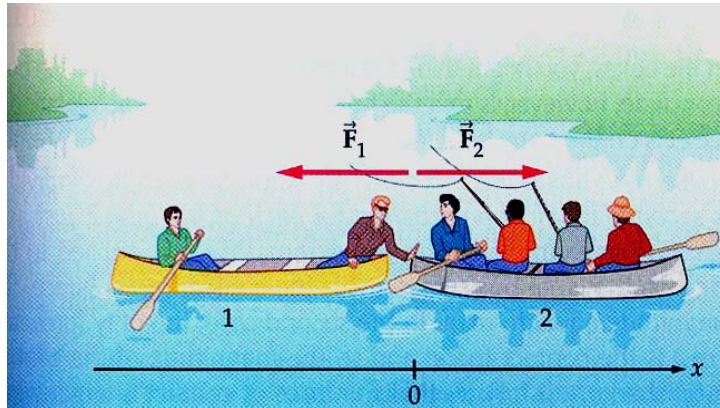
ลองพิจารณาแรงต่าง ๆ ดังรูปที่ 4-12 ซึ่งแสดงแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาตามกฎข้อที่ 3 ของนิวตัน ซึ่งเราจะพบว่าเมื่อใดที่มีแรงกิริยาจะมีแรงปฏิกิริยาเกิดขึ้นเสมอ



รูป 4-12 แรงกิริยาใด ๆ จะต้องมีแรงคู่ปฏิกิริยากระทำสวนมาในทิศตรงข้ามเสมอ

ตัวอย่าง 4-3 คนบนเรือแคนู 2 กลุ่มมาเจอกันที่กลางแม่น้ำ หลังจากที่หักท่ายกันแล้ว ชายบนเรือแคนู 1 ได้ผลักเรือแคนู 2 ด้วยแรง 46 นิวตันให้เรือแยกจากกัน ถ้ามวลเรือและคนบนเรือแคนู 1 คือ 150 กิโลกรัม เช่นกันมวลเรือและคนบนเรือแคนู 2 คือ 250 กิโลกรัม

- ก) จงหาความเร่งที่กระทำซึ่งกันและกันระหว่างเรือแคนู
- ข) ระยะห่างระหว่างเรือแคนูเป็นเท่าไรหลังจากที่ผลักเรือไปแล้ว 1.2 วินาที



รูป 4-13

หลักการคำนวณ

ก) ใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตันหาความเร่ง

$$a_{1,x} = \frac{\sum F_{1,x}}{m_1} = \frac{-46 \text{ N}}{150 \text{ kg}} = -0.31 \text{ m/s}^2$$

$$a_{2,x} = \frac{\sum F_{2,x}}{m_2} = \frac{46 \text{ N}}{250 \text{ kg}} = 0.18 \text{ m/s}^2$$

ข) ใช้ สมการ $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2$ หาตำแหน่งของเรือแคนูทั้งสอง

เราทราบว่าที่ตำแหน่งเริ่มต้น $x_0 = 0$ เรือแคนูหยุดนิ่ง $v_{0x} = 0$

ดังนั้นตำแหน่งของเรือแคนู 2 คือ

$$x_2 = \frac{1}{2}a_{2x}t^2 = \frac{1}{2}(0.18 \text{ m/s}^2)(1.2 \text{ s})^2 = 0.13 \text{ m}$$

ตำแหน่งของเรือแคนู 1 คือ

$$x_1 = \frac{1}{2}a_{1x}t^2 = \frac{1}{2}(-0.31 \text{ m/s}^2)(1.2 \text{ s})^2 = -0.22 \text{ m}$$

ระยะห่างระหว่างเรือแคนูเป็นหลังจากที่ผลักเรือไปแล้ว 1.2 วินาที

$$x_2 - x_1 = 0.13 \text{ m} - (-0.22 \text{ m}) = 0.35 \text{ m}$$

ตัวอย่าง 4-4 ชิ้นส่วนของเครื่องจักรชิ้นหนึ่งมีมวล 5 kg เคลื่อนที่ไปบนรางระดับ เขียนตำแหน่งเป็น

ฟังก์ชันกับเวลาได้ดังนี้ $x = (18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2})t^2 - (3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-3})t^3$

ก) แรงที่กระทำบนเครื่องจักร ณ เวลาใด ๆ

ข) แรงที่กระทำ ณ เวลา $t = 5 \text{ s}$

ค) เวลาที่แรงมีเครื่องหมายเป็นบวก , ลบ และศูนย์

หลักการคำนวณ

ก) ความเร่งหาได้จากอนุพันธ์ลำดับที่ 2 ของ x

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = 36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} - (18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-3})t$$

$$\begin{aligned} \text{จากกฎข้อที่ 2 } F &= ma \\ &= (5 \text{ kg})[36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} - (18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-3})t] \\ &= [180 - (90 \text{ s}^{-1})t] \text{ N} \end{aligned}$$

ข) แรงที่กระทำ ณ เวลา $t = 5 \text{ s}$

$$\begin{aligned} F &= [180 - (90 \text{ s}^{-1})(5 \text{ s})] \\ &= -270 \text{ N} \end{aligned}$$

ค) แรงจะมีค่าเป็นศูนย์ก็ต่อเมื่อ

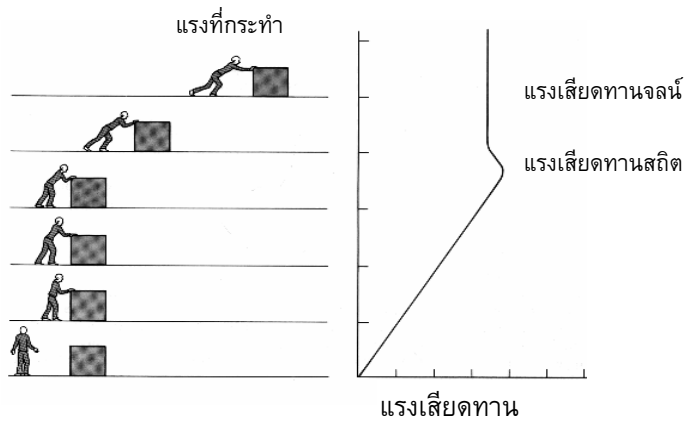
$$\begin{aligned} 36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} - (18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-3})t &= 0 \\ t &= 2 \text{ s} \end{aligned}$$

เมื่อ $t < 2 \text{ s}$ แรงมีเครื่องหมายบวก และ $t > 2 \text{ s}$ มีเครื่องหมายเป็นลบ

4-6 แรงเสียดทาน

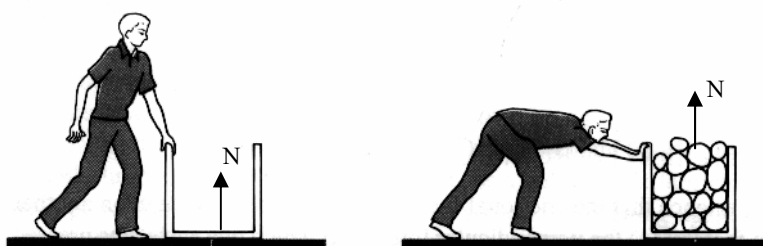
เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่บนพื้นผิวเราจะพบว่ามีความเสียดทานระหว่างพื้นผิวเกิดขึ้นเสมอ โดยแรงเสียดทานเป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ กระทำในแนวผิวสัมผัสของวัตถุทั้งสอง ถ้าออกแรงผลักวัตถุ มวล m และปล่อยให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต้น v_0 ตามแนวราบของโต๊ะ ไปได้สักระยะหนึ่งวัตถุจะหยุดนิ่ง ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากเกิดแรงเสียดทานซึ่งสวนทางกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้น แรงเสียดทานมีประโยชน์ในการดำรงชีวิตประจำวัน เพราะถ้าไม่มีแรงเสียดทานทุกพื้นผิวจะลื่นหมด เราจะไม่สามารถเดินไปตามพื้นหรือขับรถไปตามท้องถนนได้

รูป 4-14 ถ้าเราผลักกล่องบนพื้นแนวระดับ ขณะเริ่มต้นออกแรง กล่องยังคงอยู่กับที่ เพราะว่าพื้นมีแรงเสียดทาน ถ้าออกแรงเพิ่มขึ้นแรงเสียดทานก็จะเพิ่มขึ้นเท่ากับแรงที่เราผลัก จนกระทั่งเพิ่มแรงขึ้นไปจนถึงระดับหนึ่งกล่องจะเริ่มเคลื่อนที่แรงเสียดทานจะลดลงเป็นแรงเสียดทานจลน์และจะคงที่ตลอดการเคลื่อนที่



รูป 4-14 กราฟแสดงแรงเสียดทานเมื่อ ผลักกล่องบนพื้นแนวระดับ

ถ้าเราออกแรงมากกว่าค่าสูงสุดของแรงเสียดทาน แรงสุทธิที่เหลือหลังจากลบแรงเสียดทานออกไป จะทำให้กล่องเคลื่อนที่ แรงเสียดทานจะลดลงและน้อยกว่าแรงเสียดทานสูงสุดก่อนเคลื่อนที่ แรงเสียดทานก่อนการเคลื่อนที่มีชื่อเรียกว่า **แรงเสียดทานสถิต** ส่วนแรงเสียดทานขณะกำลังเคลื่อนที่ เรียกว่า **แรงเสียดทานจลน์** ขนาดของแรงเสียดทานขึ้นอยู่กับตัวประกอบ 2 ตัวคือ **แรงในแนวตั้งฉากที่กดระหว่างผิวสัมผัส (N) และ ชนิดของผิวสัมผัส** ยกตัวอย่างเช่น ต้องใช้แรง 3 เท่า เพื่อผลักกล่องไม้ไปบนพื้นไม้ เมื่อเทียบกับผลักกล่องเหล็กบนพื้นเหล็ก น่าสังเกตว่าพื้นที่ระหว่างผิวสัมผัสไม่มีผลกับแรงเสียดทาน



รูป 4-15 แรงกดในแนวตั้ง N มีค่ามากขึ้นเท่าไร แรงเสียดทานก็ยิ่งมีค่ามากขึ้นเท่านั้น สมการของแรงเสียดทาน

$$f = \mu N \quad \dots\dots\dots (4-11)$$

μ คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ขึ้นอยู่กับชนิดของผิวสัมผัส

N คือ แรงกดแนวตั้งฉากระหว่างผิวสัมผัส

จากการทดลองพบว่า แรงเสียดทานสถิตเป็นสัดส่วนตรงกับแรงที่กดระหว่างผิวสัมผัส

$$f_s = \mu_s N \quad \dots\dots\dots (4-12)$$

f_s = แรงเสียดทานสถิต

μ_s = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

N = แรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉาก

กรณีวัตถุเคลื่อนที่แล้ว แรงเสียดทานจลน์จะได้

$$f_k = \mu_k N$$

..... (4-13)

f_k = แรงเสียดทานจลน์

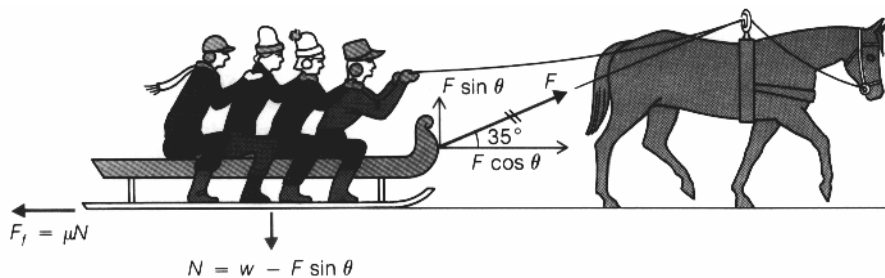
μ_k = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์

N = แรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉาก

ตาราง 4-1 μ_s และ μ_k สำหรับพื้นผิวสัมผัสแบบต่าง ๆ

ชนิดของผิวสัมผัส	μ_s	μ_k
เหล็กบนเหล็ก	0.74	0.57
อลูมิเนียมบนเหล็ก	0.61	0.47
ทองแดงบนเหล็ก	0.53	0.36
ทองเหลืองบนเหล็ก	0.51	0.44
สังกะสีบนเหล็กหล่อ	0.85	0.21
ทองแดงบนเหล็กหล่อ	1.05	0.29
แก้วบนแก้ว	0.94	0.40
ทองแดงบนแก้ว	0.68	0.53
ยางบนผิวคอนกรีต (แห้ง)	1.00	0.80
ยางบนผิวคอนกรีต (เปียก)	0.30	0.25

ตัวอย่าง 4-5 จุดลากเลื่อนมวล 300 kg ด้วยม้า เชือกลากทำมุม 35° กับแนวระดับ ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน = 0.10 จงหาขนาดของแรงจุดที่น้อยที่สุดที่ทำให้เลื่อนเคลื่อนที่



รูป 4-16 ม้าลากเลื่อน

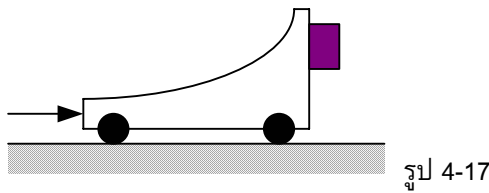
หลักการคำนวณ

แรงในแนวระดับ $F \cos \theta$ จะต้องมีค่ามากกว่าแรงเสียดทานจึงจะทำให้เลื่อนเคลื่อนที่ ส่วนแรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉากจะเท่ากับน้ำหนัก mg ลบกับแรงที่ยกขึ้นในแนวตั้ง $F \sin \theta$

$$\begin{aligned} \text{จะได้แรงลากเลื่อนในแนวระดับ} &= \text{แรงเสียดทาน} \\ F \cos \theta &= \mu (mg - F \sin \theta) \end{aligned}$$

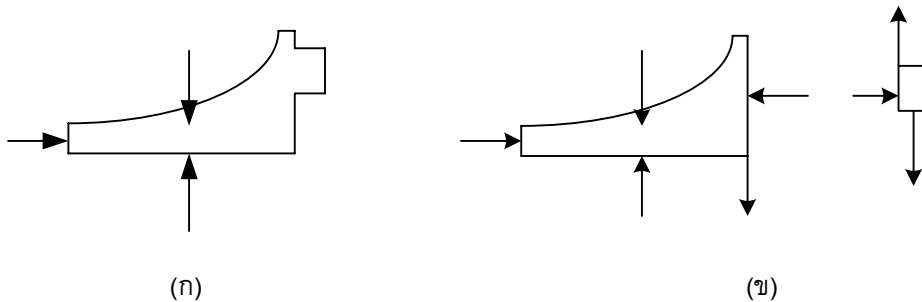
$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad F &= \frac{\mu mg}{\mu \sin\theta + \cos\theta} \\ &= \frac{(0.10)(300 \text{ kg})(9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2})}{(0.10)\sin 35^\circ + \cos 35^\circ} = 335 \text{ N} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 4-6 จงหาแรง F ที่น้อยที่สุดที่ทำให้มวล m ติดอยู่กับมวล M ได้ โดยไม่ทำให้เส้นไถลตกลงมาดังรูป กำหนดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวที่มวลทั้งสองสัมผัสกับเป็น μ และจงหาว่าขณะนั้นมวลทั้งสองมีความเร่งเท่าใด



หลักการคำนวณ

เขียน FBD รวมของ m และ M ได้ดังรูป (ก) และ FBD แยกของแต่ละก้อนดังรูป (ข)



คิดที่รูป (ก) FBD รวม

จาก $\sum F_x = ma_x$
 จะได้ $F = (m + M)a$ (1)

คิดที่รูป (ข) โดยคิดที่มวล m

จาก $\sum F_x = ma_x$
 จะได้ $N = ma$ (2)

และ $\sum F_y = ma_y$
 จะได้ $\mu N - mg = 0$ (3)

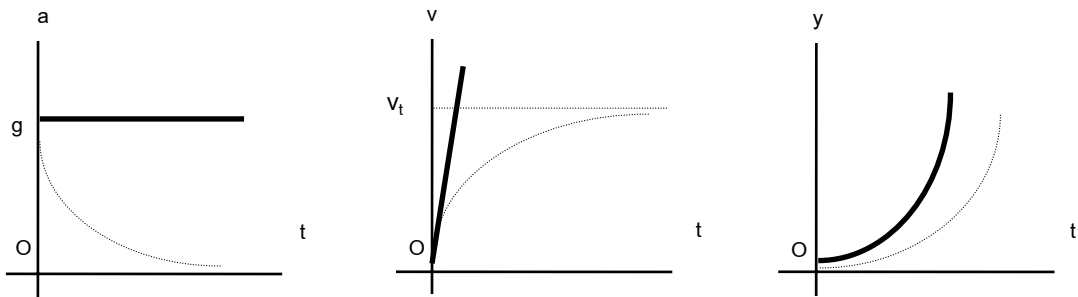
แทน (2) ใน (3) ได้ $a = g / \mu$

บางกรณีแรงเสียดทานอาจจะไม่คงที่ ตัวอย่างเช่น แรงต้านอากาศ หรือแรงต้านของของเหลว ขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านของเหลวที่มีความหนืด แรงต้านการเคลื่อนที่หรือแรงเสียดทาน (f) เป็นสัดส่วนตรงกับความเร็วยังเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$f = kv \quad \dots\dots\dots (4-14)$$

k เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุ และคุณสมบัติความหนืดของของเหลว หน่วยของ k คือ $N \cdot s^2 \cdot m^{-2}$ หรือ $kg \cdot m^{-1}$ จากกฎข้อที่สอง แรงสุทธิในแนวตั้งคือ

$$mg - kv = ma$$



รูป 4-18 กราฟ ความเร่ง ความเร็ว และตำแหน่งของอนุภาคกับเวลา
เส้นประแสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ตกลงในของเหลวที่มีความหนืด
ส่วนกราฟเส้นทึบเป็นการตกของวัตถุแบบอิสระ

ขณะที่วัตถุเริ่มตกลงในของเหลวหนืด ความเร็วต้น = 0 , a = g ความเร็วจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น แรงต้านก็จะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน จนกระทั่งมีค่าเท่ากับน้ำหนัก ณ จุดนี้ ความเร่ง = 0 ดังนั้น สมการการเคลื่อนที่จะเป็น $mg - kv_t = 0$ เราจะได้

$$v_t = \frac{mg}{k} \quad \dots\dots\dots (4-15)$$

v_t คือความเร็วสุดท้ายหลังจากที่วัตถุอยู่ในสภาวะสมดุลและจะคงที่และไม่เพิ่มขึ้นอีก ก่อนถึงจุดสมดุล เราสามารถหาความเร็ว v ณ เวลาใด ๆ ได้จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$\frac{mdv}{dt} = mg - kv$$

จัดรูปสมการบนเสียใหม่ โดยแทน $\frac{mg}{k}$ ด้วย v_t จะได้

$$\frac{dv}{v - v_t} = \frac{kdt}{m}$$

อินทิเกรตทั้งข้างซ้ายและข้างขวาของสมการ กำหนดให้เวลาเริ่มต้น = 0 ความเร็วเริ่มต้น = 0 และความเร็วมเวลา t ใด ๆ = v จะได้

$$\ln\left(\frac{v_t - v}{v_t}\right) = -\frac{kt}{m}, \text{ หรือ } 1 - \frac{v}{v_t} = e^{-\left(\frac{k}{m}\right)t}$$

จัดรูปใหม่

$$v = v_t \left(1 - e^{-\left(\frac{k}{m}\right)t}\right) \quad \dots\dots\dots (4-16)$$

จากสมการของความเร็ว สามารถหาความเร่ง (หาอนุพันธ์ของความเร็วเทียบกับเวลา) และ ตำแหน่งของวัตถุ (อินทิเกรต) ณ เวลาใด ๆ ได้ ดังนี้

$$a = ge^{-\left(\frac{k}{m}\right)t}$$

$$y = v_t \left[t - \frac{m}{k} \left(1 - e^{-\left(\frac{k}{m}\right)t}\right) \right] \quad \dots\dots\dots (4-17)$$

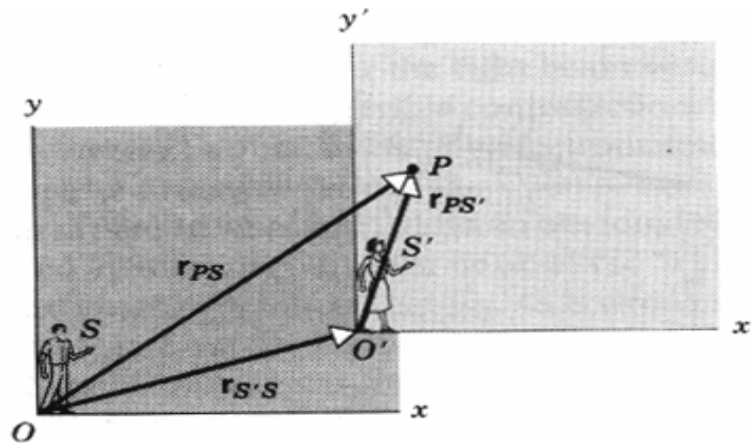
การเคลื่อนที่ผ่านอากาศที่ความเร็วสูง ๆ แรงต้านการเคลื่อนที่จะเป็นสัดส่วนกับความเร็ว ยกกำลังสอง (v^2) มากกว่า v ตัวอย่างเช่น การตกลงมาของเม็ดฝน การเคลื่อนที่ของเครื่องบิน และรถยนต์ ณ ความเร็วสูง ๆ สมการ (4-14) จะเปลี่ยนเป็น $f = kv^2$ ผู้อ่านทดลองคำนวณหาความเร็วสุดท้าย จะ ได้

$$v_t = \sqrt{\frac{mg}{k}} \quad \dots\dots\dots (4-18)$$

การทดลองเสมือนจริง

การกระโดดร่มเป็นตัวอย่างหนึ่งของกรณี การตกของวัตถุกับแรงต้านอากาศ [คลิก](#) [ที่นี่เพื่อเข้าสู่การทดลอง](#)

4-7 กรอบอ้างอิงเฉื่อย



รูป 4-19 กรอบ s และ s' กำลังเคลื่อนที่ โดยมีผู้สังเกตบนกรอบทั้งสอง วัดการเคลื่อนที่ของอนุภาค p พร้อมกัน ระยะจากผู้สังเกตบนกรอบ s ถึงอนุภาค คือ r_{ps} ระยะจากผู้สังเกตบนกรอบ s' ถึงอนุภาคคือ $r_{ps'}$ และระยะระหว่างผู้สังเกตทั้งสอง คือ $r_{s's}$

การเคลื่อนที่ของอนุภาค p ถูกวัดโดยผู้สังเกต 2 คน คนแรกอยู่บนกรอบ s และคนที่สองอยู่บนกรอบ s' (ตัวอย่างเช่น คนแรกอยู่บนรถเบนซ์ คนที่สองอยู่บนรถบีเอ็ม เป็นต้น) จากรูป 4-19 เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของเวกเตอร์ทั้งสามได้ดังนี้

$$r_{ps} = r_{s's} + r_{ps'} = r_{ps'} + r_{s's} \quad \dots\dots\dots (4-19)$$

หาอนุพันธ์สมการ 4-19 เทียบกับเวลา

$$\frac{dr_{ps}}{dt} = \frac{dr_{ps'}}{dt} + \frac{dr_{s's}}{dt}$$

อัตราการเปลี่ยนแปลงระยะกระจัดต่อเวลาคือความเร็ว

$$v_{ps} = v_{ps'} + v_{s's} \quad \dots\dots\dots (4-20)$$

- กรอบทั้งสองกำลังเคลื่อนที่ โดยมีผู้สังเกตบนกรอบทั้งสองวัดการเคลื่อนที่ของอนุภาค p พร้อมกัน
- v_{ps} คือ ความเร็วของอนุภาค p สัมพัทธ์กับกรอบ s
 - $v_{ps'}$ คือ ความเร็วของอนุภาค p สัมพัทธ์กับกรอบ s'
 - $v_{s's}$ คือ ความเร็วของกรอบ s' สัมพัทธ์กับกรอบ s

หาอนุพันธ์สมการ (4-20) เทียบกับเวลา

$$\frac{dv_{ps}}{dt} = \frac{dv_{ps'}}{dt} + \frac{dv_{s's}}{dt}$$

อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วต่อเวลา คือความเร่ง

$$a_{ps} = a_{ps'} + a_{s's} \quad \dots\dots\dots (4-21)$$

a_{ps} คือ ความเร่งของอนุภาค p สัมพัทธ์กับกรอบ s

$a_{ps'}$ คือ ความเร่งของอนุภาค p สัมพัทธ์กับกรอบ s'

$a_{s's}$ คือ ความเร่งของกรอบ s' สัมพัทธ์กับกรอบ s

ถ้าระหว่างกรอบทั้งสองมีความเร่งสัมพัทธ์ต่อกัน ผู้สังเกตบนกรอบทั้งสองจะวัดความเร่งของ

อนุภาค p ได้แตกต่างกัน แต่ถ้า $\frac{dv_{s's}}{dt} = a_{s's} = 0$ หมายความว่า ความเร่งสัมพัทธ์ระหว่างกรอบ

ทั้งสองคงที่ทั้งขนาดและทิศทาง (ตัวอย่างเช่น รถเบนซ์ขับตามบีเอ็ม ทั้งระยะห่างเท่ากัน) ผู้สังเกตบนกรอบทั้งสองจะวัดความเร่งของอนุภาค p ได้เท่ากัน เพราะสาเหตุนี้กรอบอ้างอิงเฉื่อยจึงต้องถูกกำหนดขึ้น เป็นกรอบที่ปราศจากความเร่งอย่างแท้จริง ไม่เช่นนั้นกฎข้อที่ 1 ของนิวตันจะใช้ไม่ได้ถ้าผู้สังเกตเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง เช่น ผู้ที่นั่งอยู่ในรถไฟหรือรถยนต์ที่มีความเร็วไม่คงที่ จะเห็นต้นไม้และสิ่งของข้างทางเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่คงที่เช่นกัน หรือลองผูกลูกตุ้มกับเพดานรถ ถ้ารถยนต์ยังไม่ได้เคลื่อนที่ ลูกตุ้มจะห้อยลงมาในแนวตั้ง ขับรถด้วยความเร็วคงที่ ลูกตุ้มก็ยังคงห้อยลงมาในแนวตั้ง แต่ถ้าคุณเหยียบคันเร่งเพิ่มความเร่ง ลูกตุ้มจะเบี่ยงออกจากแนวตั้ง ดังนั้น กรอบที่มีความเร่งจะไม่ใช้กรอบเฉื่อย กรอบเฉื่อยจะต้องไม่มีความเร่ง

4-8 กฎของนิวตันกับการประยุกต์

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันสามารถนำไปประยุกต์แก้ปัญหาโจทย์ และใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ในหัวข้อนี้จะแก้ปัญหาโจทย์ทางพลศาสตร์อย่างง่าย ในบทถัดไปจะขยายขอบเขตไปถึงการเคลื่อนที่แบบวงกลม และศึกษาแบบเจาะลึกในรายละเอียดเรื่องความเร่งโน้มถ่วงเพื่อทำความเข้าใจแนวคิดเกี่ยวกับน้ำหนักให้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น

ประยุกต์กฎข้อหนึ่งของนิวตัน

ถ้าไม่มีแรงสุทธิกระทำกับอนุภาค หรือแรงสุทธิรวมเป็นศูนย์ ก็กล่าวได้ว่า อนุภาคอยู่ในสภาวะสมดุล ตามกฎข้อที่หนึ่งของนิวตัน อนุภาคไม่จำเป็นต้องอยู่นิ่งเท่านั้น แต่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่โดยไม่มี ความเร่งก็ได้ แรงสุทธิรวมเป็นศูนย์

$$\Sigma F = 0 \quad \dots\dots\dots (4-22)$$

สภาวะสมดุลในระบบ 2 มิติ แรงกระทำบนอนุภาคบนระนาบ xy สามารถแตกออกเป็นแรงย่อย F_x และ F_y สมการ (4-21) จะถูกแทนด้วย

$$\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0 \quad \dots\dots\dots (4-23)$$

ตัวอย่าง4-7 ชาวสวนดอกไม้ได้ทำการแขวนกระถางดอกไม้หน้าหนัก 6.20 กิโลกรัมโดยใช้ลวด 2 เส้น เส้นหนึ่งซึ่งติดกำแพงบ้านและอีกเส้นหนึ่งซึ่งติดกับเพดานบ้านทำมุม 40° จงหาแรงดึงของลวดแต่ละเส้น

หลักการคำนวณ

คำนวณแรงกระทำบนกระถางในแนวแกน x และ y

$$\begin{aligned} T_{1,x} &= T_1 & T_{1,y} &= 0 \\ T_{2,x} &= -T_2 \cos \theta & T_{2,y} &= T_2 \sin \theta \\ W_x &= 0 & W_y &= -mg \end{aligned}$$

ให้ผลรวมในแนวแกน x และ y เป็น 0

$$\begin{aligned} \sum F_x &= T_{1,x} + T_{2,x} + W_x \\ &= T_1 + (-T_2 \cos \theta) + 0 = 0 \end{aligned}$$

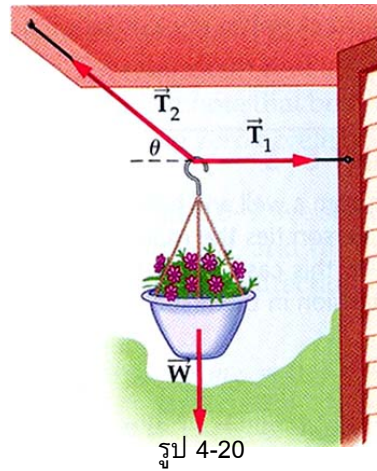
$$T_1 = T_2 \cos \theta \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sum F_y &= T_{1,y} + T_{2,y} + W_y \\ &= 0 + (T_2 \sin \theta) + (-mg) = 0 \end{aligned}$$

$$T_2 \sin \theta = mg \quad (2)$$

จากสมการ (2) จะได้ว่า $T_2 = \frac{mg}{\sin \theta} = \frac{(6.20 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2)}{\sin 40^\circ} = 94.6 \text{ N}$

แทน T_2 ใน (1) จะได้ $T_1 = (94.6 \text{ N}) \cos 40^\circ = 72.5 \text{ N}$



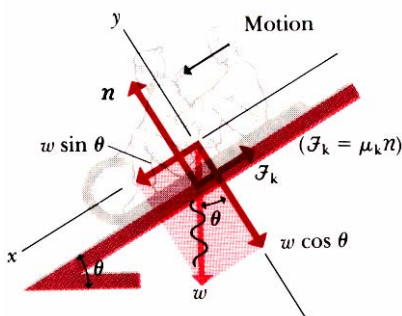
รูป 4-20

ตัวอย่าง 4-8 เลื่อนไถลลงมาตามพื้นเอียง ที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน $= \mu_k$ พื้นเอียงจะต้องทำมุมกับระดับเท่าไร เลื่อนจึงจะเคลื่อนลงด้วยความเร็วคงที่

หลักการคำนวณ

พื้นเอียงทำมุม θ กับระดับ ให้ x และ y ขนานและตั้งฉากกับพื้นเอียง ในสภาวะสมดุลจะได้

$$\begin{aligned} \sum F_x &= w \sin \theta - f_k \\ &= w \sin \theta - \mu_k N \\ &= 0 \\ \sum F_y &= N - w \cos \theta \\ &= 0 \end{aligned}$$



รูป 4-21 แรงต่าง ๆ บนเลื่อนขณะที่ไถลลงมาตามพื้นเอียงด้วยความเร็วคงที่

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } \mu_k N &= w \sin \theta \\ \text{และ } N &= w \cos \theta \end{aligned}$$

เทอมแรกหารด้วยเทอมที่สอง จะได้

$$\mu_k = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan \theta$$

เลื่อนไถลลงมาด้วยความเร็วคงที่ ถ้า $\tan \theta$ เท่ากับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์

ประยุกต์กฎข้อที่สองของนิวตัน

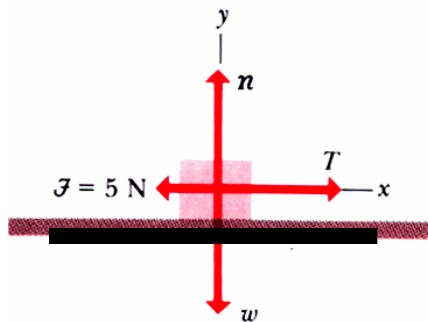
หัวข้อนี้เป็นการแก้ปัญหาโจทย์ทางด้านพลศาสตร์ ซึ่งจะต้องใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน

สมการหลักที่ใช้คือ $\Sigma F = ma$ (4-24)

แยกเป็นส่วนประกอบย่อยบนแกน x และ y ดังนี้

$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= ma_x \\ \Sigma F_y &= ma_y \end{aligned} \quad \text{..... (4-25)}$$

ตัวอย่าง 4-9 ก้อนน้ำแข็ง มวล 10 kg วางอยู่บนพื้นระดับ จงหาแรง T ที่ทำให้ก้อนน้ำแข็งมีความเร็ว $4.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ในเวลา 2.0s



รูป 4-22 แผนภาพแทนแรงของก้อนน้ำแข็ง

หลักการคำนวณ

ก้อนน้ำแข็งเริ่มต้นจากหยุดนิ่ง กำหนดให้แรงเสียดทานระหว่างก้อนน้ำแข็งกับพื้น = 5.0 N แรง T กระทำผ่านจุดศูนย์กลางมวลของก้อนน้ำแข็ง ทำให้น้ำแข็งไม่หมุน ความเร็วของก้อนน้ำแข็งเปลี่ยนแปลงว่ามีความเร่ง ความเร่งแกนตั้งเป็นศูนย์ ($a_y = 0$) มีแต่ความเร่งแกน x ซึ่งหาได้จากสมการการเคลื่อนที่ ดังนี้

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{v - v_0}{t} \\ &= \frac{4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} - 0}{2\text{s}} = 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} \end{aligned}$$

ผลรวมของแรงตามแนวแกน x และ y คือ

$$\Sigma F_x = T - f$$

$$\Sigma F_y = N - w$$

แรงเสียดทาน (f) = 5 N มีทิศต้านการเคลื่อนที่ที่อยู่บนแกน - x

จากกฎข้อที่สอง แรงสุทธิ $\Sigma F = ma$

จะได้ $T - f = ma_x$

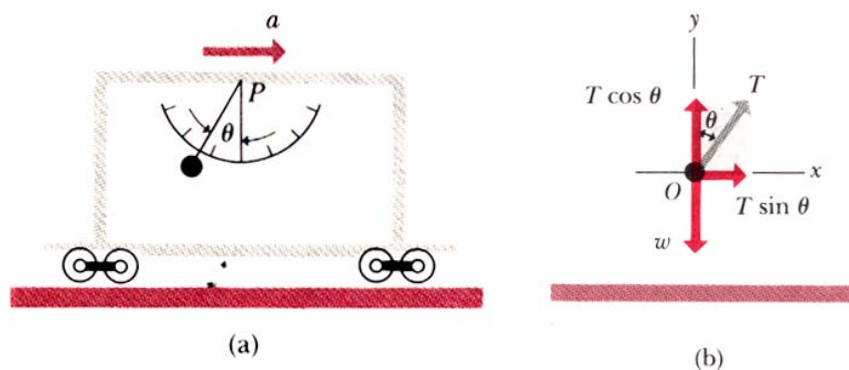
และ $N - w = ma_y = 0$

สมการข้างขวาจะได้ $N = w = mg$
 $= (10.0 \text{ kg})(9.80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2})$
 $= 98.0 \text{ N}$

$$\begin{aligned}
\text{สมการข้างซ้ายจะได้} \quad T &= f + ma_x \\
&= 5.0 \text{ N} + (10.0 \text{ kg})(2.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}) \\
&= 25 \text{ N}
\end{aligned}$$

แรง T ที่ทำให้ก้อนน้ำแข็งมีความเร็ว $4.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ในเวลา 2.0s คือ 25 N

ตัวอย่าง 4-10 เครื่องวัดความเร่งอย่างง่าย ประกอบด้วยลูกตุ้ม สามารถแกว่งได้อย่างอิสระบนจุดหมุน P ถ้าเราต้องการทราบความเร่ง ก็ให้นำเครื่องมือนี้ไปตั้งไว้ในระบบที่กำลังเคลื่อนที่ สมมติว่าถ้าระบบมีความเร่ง a ไปทางขวา ลูกตุ้มเบนไปทางซ้ายทำมุม θ กับแกนตั้ง จงหาค่าความเร่ง a



รูป 4-23 (ก) เครื่องวัดความเร่งอย่างง่าย
(ข) น้ำหนัก w และแรงตึง T บนลูกตุ้ม

หลักการคำนวณ

$$\begin{aligned}
\text{แรงสุทธิบนแกน } x \text{ คือ} \quad \Sigma F_x &= T \sin\theta \\
\text{แรงสุทธิบนแกน } y \text{ คือ} \quad \Sigma F_y &= T \cos\theta - mg
\end{aligned}$$

ระบบมีแต่ความเร่งในแนวระดับ (x) = a ส่วนความเร่งในแนวตั้ง (y) เป็นศูนย์ จากกฎข้อที่สองของนิวตัน

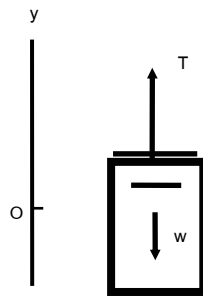
$$\begin{aligned}
\text{แรงสุทธิ} \quad \Sigma F_x &= ma_x \\
&\Sigma F_y &= ma_y \\
\text{จะได้} \quad T \sin\theta &= ma \\
T \cos\theta &= mg
\end{aligned}$$

สมการแรกหารด้วยสมการสอง จะได้

$$a = g \tan\theta$$

ความเร่ง a เป็นสัดส่วนตรงกับ $\tan\theta$ ถ้าระบบไม่มีความเร่ง $\theta = 0$, $a = 0$ อย่างไรก็ตามมุม θ จะไม่มีทางขึ้นไปถึง 90° เพราะ a มีค่ามากจนเป็นอนันต์ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ

ตัวอย่าง 4-11 ลิฟต์ส่งของ มีมวลทั้งหมด 800 kg จงหาแรงดึง T ของสายเคเบิล ถ้าลิฟต์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วเริ่มต้น $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ และถูกหน่วงให้หยุดนิ่งเป็นระยะทาง 25 m



รูป 4.24

หลักการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักของลิฟท์ } w &= mg \\ &= (800 \text{ kg})(9.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}) = 7,840 \text{ N} \end{aligned}$$

จากสมการการเคลื่อนที่

$$\begin{aligned} v^2 &= v_0^2 + 2a(y - y_0) \\ a &= \frac{v^2 - v_0^2}{2(y - y_0)} \end{aligned}$$

ความเร็วเริ่มต้น (ทิศลงแกน y)

$$v_0 = -10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\text{ความเร็วสุดท้าย } v = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

ให้ระยะเริ่มต้น $y_0 = 0$ เมตร และระยะสุดท้ายที่ถูกหน่วงจนหยุดนิ่ง = -25 เมตร

$$\text{จะได้ } a = \frac{0 - (-10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1})^2}{2(-25\text{m})} = 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

จากแผนภาพแยกแรง

$$\text{แรงสุทธิคือ } \Sigma F = T - w = T - 7,840 \text{ N}$$

จากกฎข้อที่สองแรงสุทธิจะทำให้เกิดความเร่ง $\Sigma F = ma$

$$T - 7,840 = (800 \text{ kg})(2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}) = 1,600 \text{ N}$$

$$T = 9,440 \text{ N}$$

ตัวอย่าง 4-11 จากตัวอย่าง 4-10 แรงปฏิกิริยาของพื้นที่ทำกับผู้ที่ยืนอยู่ในลิฟท์เท่ากับเท่าใด ถ้าผู้ยืนมีมวล = 80.0 kg

หลักการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักของผู้ยืน} &= (80.0 \text{ kg})(9.80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}) \\ &= 784 \text{ N} \end{aligned}$$

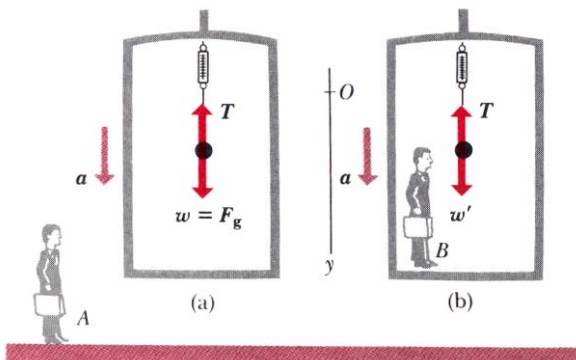
ให้ F คือแรงปฏิกิริยาของพื้น จากกฎข้อที่สองของนิวตัน

$$F - 784 \text{ N} = (80.0 \text{ Kg})(2.00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2})$$

$$= 160 \text{ N}$$

$$F = 944 \text{ N}$$

ตัวอย่าง 4-12 แขนงมวล m กับตาชั่งสปริงที่ปลายข้างหนึ่งผูกติดกับเพดานบนลิฟท์ ตาชั่งสปริงจะอ่านค่าได้เท่าไร ถ้าลิฟท์มีความเร่ง a (ลง) สัมพัทธ์กับโลก ให้โลกเป็นแกนอ้างอิงเฉื่อย



รูป 4-25

- ก) ผู้สังเกต A เห็นลิฟท์และวัตถุเคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง a จากกฎข้อที่สองของนิวตัน จะได้ $w - T = ma$
- ข) ผู้สังเกต B ยืนอยู่บนลิฟท์ เห็นวัตถุอยู่นิ่ง $a = 0$ ส่วนลิฟท์ยังคงเคลื่อนลง ด้วยความเร่ง a จากกฎข้อที่สองของนิวตัน จะได้ $w' = T$

หลักการคำนวณ

แรงตึง T เป็นค่าที่อ่านได้บนตาชั่งสปริง ผู้สังเกต A เห็นลิฟท์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง a จากกฎข้อที่สอง โดยผู้สังเกต A เป็นหลัก จะได้

$$w - T = ma$$

$$T = w - ma = m(g - a)$$

ตาชั่งสปริงจะอ่านค่าได้เท่ากับ $m(g - a)$

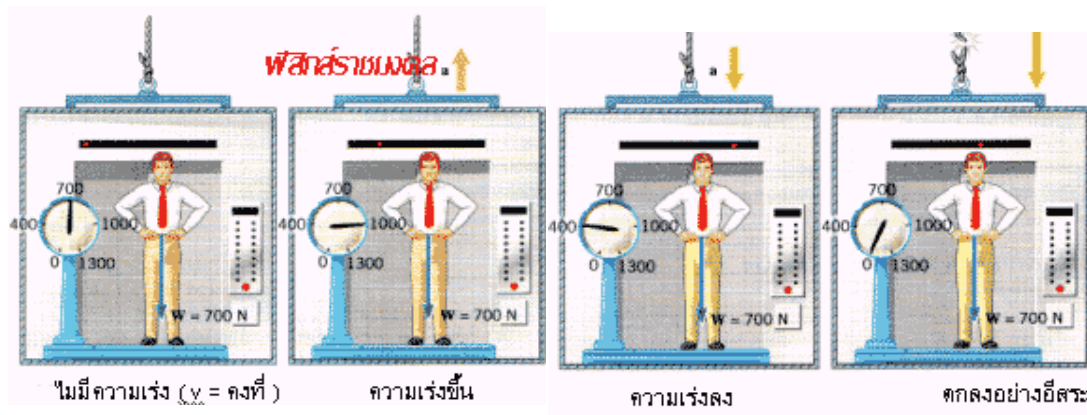
รูป 4-25 ก) ผู้สังเกต B อยู่บนลิฟท์ ที่เคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง a จากกฎข้อที่สองโดยผู้สังเกต B เป็นหลัก จะได้

$$w' = T$$

$$w' = w - ma = m(g - a) \quad \dots\dots\dots (4-26)$$

ดังนั้น ไม่ว่าจะสังเกตตรงจุดไหนตาชั่งสปริงอ่านค่าได้เท่ากัน

รูป 4-26 ชายคนหนึ่งหนัก 70 นิวตัน ได้เข้าไปชั่งน้ำหนักทั้งในขณะที่ลิฟท์เคลื่อนที่ขึ้นและลงพบว่า ถ้าลิฟท์เคลื่อนที่โดยไม่มีมีความเร่ง เครื่องชั่งจะแสดงน้ำหนักจริงของชายคนนี้ ($W = 700\text{ N}$) แสดงดังรูป (a) เมื่อลิฟท์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง น้ำหนักปรากฏของชายคนนี้คือ 1000 N มากกว่าน้ำหนักจริง ดังรูป (b) เมื่อลิฟท์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง น้ำหนักปรากฏของชายคนนี้คือ 400 N น้อยกว่าน้ำหนักจริง และน้ำหนักปรากฏของชายคนนี้จะป็นศูนย์ ถ้าลิฟท์นี้ตกลงอย่างอิสระ ถ้าเชือกที่ผูกลิฟท์ไว้ขาด



รูป 4-26 (a) (b) (c) (d)

บรรยายลงในกระดานฟิสิกส์ราชมงคล



A

ฟิสิกส์ราชมงคล

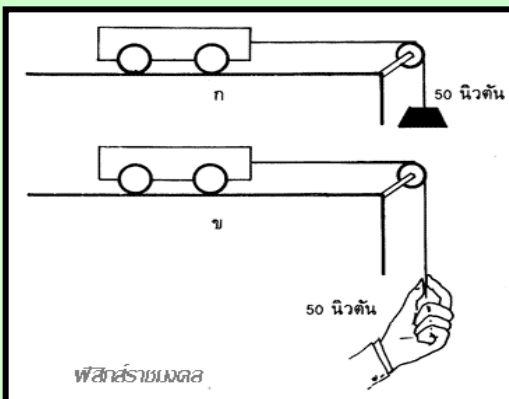
B

จากกฎข้อที่สามของนิวตันที่ว่า แรงที่ทีม A กระทำกับทีม B จะเท่ากับแรงที่ทีม B กระทำกับทีม A แต่มีทิศตรงกันข้าม อย่างนั้นเกมชักกะเย่อนี้จะมีผู้ชนะได้อย่างไร

คลิก

[เข้าสู่กระดานฟิสิกส์ราชมงคลใหม่](#)

บรรยายลงในกระดานฟิสิกส์ราชมงคล



รถลากขนาดเล็ก 2 คันมีมวลเท่ากัน ออกแรงดึงขนาด 50 นิวตัน เท่ากันแต่ปรากฏว่ารถคัน ข มีความเร็วกว่ารถคัน ก การออกแรงดึงเท่ากันต่อมวลเท่ากัน ทำไมความเร็วไม่เท่ากัน ไม่ขัดกับกฎข้อที่สองของนิวตันหรือคลิกเข้าสู่

[กระดานฟิสิกส์ราชมงคลใหม่](#)

ทดสอบก่อนและหลังเรียน

วิธีทำให้ใส่ชื่อ สกุล เลือกวิชาที่สอบ และจำนวนข้อ แต่ต้องไม่เกินจากที่กำหนดไว้ เช่น กำหนดไว้ 10 ข้อ เวลาเลือกจำนวนข้อ ให้เลือก 5 และ 10 ข้อไม่เกินจากนี้ เป็นต้นเมื่อทำเสร็จสามารถดูคะแนนจากรายละเอียดผู้ทำข้อสอบได้ทันที

เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

คลิกเข้าสู่การ[ทดสอบก่อนและหลังเรียน](#)

แบบฝึกหัดท้ายบทพร้อมเฉลย

[แบบฝึกหัดท้ายบทพร้อมเฉลยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันคลิกครับ](#) 🌟

[แบบฝึกหัดท้ายบทพร้อมเฉลยการประยุกต์กฎของนิวตัน คลิกครับ](#) 🌟

วิดีโอเพื่อการศึกษา



การสร้างสภาวะไร้แรงโน้มถ่วงบนเครื่องบิน ทำได้โดยการนำเครื่องบินไต่ระดับขึ้นสูง 30000 ฟุต และปีกหัวดิ่งลง ทำให้ทุกอย่างภายในเครื่องบินที่ไม่ได้จับยึดไว้ลอยขึ้นเหมือนกับไม่มีน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 20 วินาที ใช้สำหรับฝึกนักบินอวกาศก่อนจะไปสู่อวกาศจริง [คลิกครับ](#) 🌟

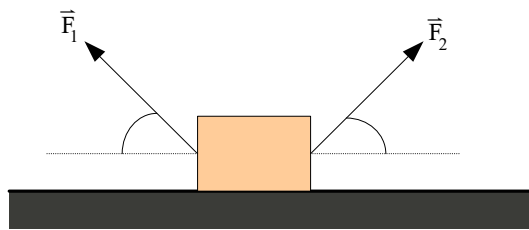
วิดีโอเพื่อการศึกษา



นักเสียดายเดียวมฤตยูคนเดียวในโลกที่กล้าใช้ปีกติดกับตัวเองและร่อนแข่งความเร็วกับเครื่องบิน เป็นระยะทางกว่า 5 ไมล์ การแข่งขันที่น่าตื่นตาตื่นใจนี้ ต้องใช้ความเร็วกว่า 260 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เขาจะชนะหรือไม่ อยู่ในวิดีโอชุดนี้ [คลิกครับ](#) 🌟

แบบฝึกหัดเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

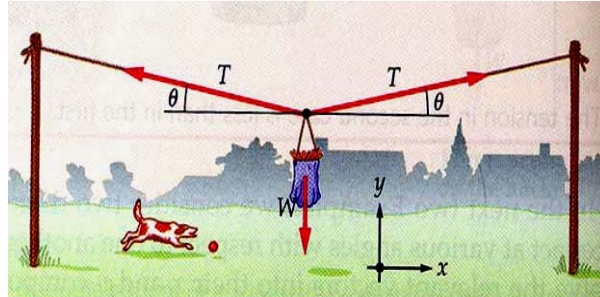
1. ใช้แรงขนาดคงที่ 2 นิวตัน กระทำในแนวระดับ ลากมวลก้อนหนึ่งขนาด 4 กิโลกรัม ซึ่งวางนิ่งอยู่บนพื้นระดับราบผิวเกลี้ยง ความเร่งของมวลนี้เป็นเท่าใด [ตอบ 0.5 m/s^2]
2. รถยนต์คันหนึ่งมวล 1500 กิโลกรัมและกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง เมื่อเหยียบเบรคไปแล้ว 1.2 นาทีรถยนต์จึงหยุดนิ่ง จงหาแรงที่กระทำต่อรถยนต์คันนี้ [ตอบ 347 N]
3. ปล่อยกล่องจากยอดของพื้นเอียงที่ไม่มีความเสียดทาน ยาว 2 เมตร ทำมุม 10° กับแนวระดับ จงหา
 - ก) ความเร่งของกล่องหลังจากการปล่อย [ตอบ 1.7 m/s^2]
 - ข) เวลาที่กล่องเคลื่อนที่ลงมาถึงจุดปลายล่างของพื้นเอียง [ตอบ 1.5 s]
 - ค) อัตราเร็วของกล่อง ณ จุดปลายล่างของพื้นเอียง [ตอบ 2.6 m/s]
4. มวล 20 กิโลกรัมวางบนพื้นลื่นมีแรง \vec{F}_1 และ \vec{F}_2 ขนาด $10\sqrt{2}$ และ $20\sqrt{2}$ นิวตันกระทำดังรูป ความเร่งของมวลและแรงที่พื้นกระทำต่อมวลมีค่าเท่าใด (กำหนดให้ $g = 10 \text{ m/s}^2$) [ตอบ 0.5 m/s^2 , 170 N]



รูป 4-27

5. แท่งเหล็กมวล 10 กิโลกรัม วางนิ่งบนพื้นระดับราบ อยากทราบว่าต้องใช้แรงคงที่ขนาด T ในแนวระดับเท่าไร กระทำต่อแท่งเหล็กจึงจะทำให้มีความเร็ว 4 เมตร/วินาที ในเวลา 2 วินาทีจากอยู่นิ่ง โดยแรงเสียดทานระหว่างแท่งเหล็กกับผิวระดับราบมีค่าคงที่เท่ากับ 5 นิวตัน [ตอบ 25 N]
6. ออกแรง 10 นิวตัน ดันวัตถุก้อนหนึ่งเคลื่อนที่ไปตามพื้นราบ การขจัดเป็นไปตามสมการ $s = 4 + 2t + 10t^2$ เมื่อ s มีหน่วยเป็น เมตร และ t มีหน่วยเป็น วินาที จงหาน้ำหนักของวัตถุก้อนนี้ [ตอบ 4.9 N]
7. ดอกตะปูเกลี้ยง A และ B บนผนังกำแพงแนวดิ่งโดยให้แนว AB เอียงทำมุม 30 องศา กับแนวระดับและ A อยู่สูงกว่า B ฝากปลายล่างของเชือกด้วยน้ำหนัก 10 นิวตัน ปลายบนของเชือกไปผูกที่ A และเชือกพาดตะปู B จงหาแรง F_A ที่เชือกดึง A และหาแรง F_B ที่เชือกกด B [ตอบ $F_A = 10 \text{ N}$, $F_B = 10 \text{ N}$]

8. ถูบไปหนึ่งหนัก 1.84 กิโลกรัม แขนงไวตรงกึ่งกลางของลวดตากผ้า ทำให้ลวดตากผ้าถูกน้ำหนักของถูบดึงลงทำมุม 3.50° กับแนวระดับดังรูป จงหาแรงดึงของลวดตากผ้า [ตอบ 148 N]



รูป 4-28

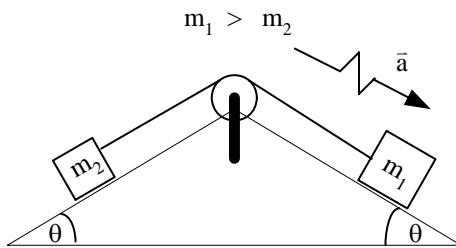
9. ปีเตอร์ลากเลื่อนน้ำหนัก 4.60 กิโลกรัม ไปบนพื้นน้ำแข็งเส้นแรงที่กระทำกับเลื่อนคือ 6.20 นิวตัน ทำมุม 35° กับแนวระดับดังรูป ถ้าเลื่อนเริ่มจากหยุดนิ่ง ความเร็วของเลื่อนเป็นเท่าไรหลังจากถูกลากไป 1.15 วินาที [ตอบ 1.27 m/s]



รูป 4-29

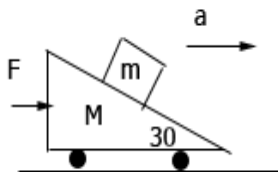
10. ลิฟท์และน้ำหนักบรรทุกทุกในลิฟท์หนักรวมกัน 4900 นิวตัน จงหาแรงดึง T ในสายเคเบิลเมื่อลิฟท์ในขณะที่กำลังเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็ว 6 เมตร/วินาที แล้วถูกดึงให้หยุดโดยสายเคเบิลด้วยความเร่งคงที่ในระยะ 15 เมตร ใช้ $g = 9.8$ เมตร/วินาที² [ตอบ 5500 N]
11. คนงานชนเครื่องมือเข้าในลิฟท์ที่อยู่ชั้นบนของตัวตึก ปรากฏว่าน้ำหนักของเครื่องมือมากเกินไป ทำให้สายเคเบิลดึงลิฟท์ขาด มวลของลิฟท์พร้อมกับเครื่องมือขณะนั้น 1600 กิโลกรัม ขณะที่ลิฟท์ตกลงมาโครงการรอบเหล็กให้แรงเสียดทานคงที่ 3700 นิวตันกับลิฟท์ จงคำนวณหาอัตราเร็วของลิฟท์เมื่อตกกระทบชั้นล่าง ระยะต่ำลงมา 72 เมตร [ตอบ 32.8 m/s]
12. วัตถุมวล 2 กิโลกรัม มีความเร็วต้น 0.4 เมตร/วินาที เคลื่อนที่ไปทางขวาบนโต๊ะระดับราบ ปรากฏว่าเคลื่อนที่ได้ 1 เมตร ก็หยุดนิ่ง จงหาขนาดและทิศทางของแรงเสียดทาน [ตอบ 0.16 N ไปทางซ้าย]
13. สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตระหว่างล้อรถและถนนแห้งมีค่า 0.62 ถ้ามวลของรถ 1500 กิโลกรัม แรงห้ามล้อสูงสุดที่มีได้มีค่าเท่าใดเมื่อ
 ก) บนถนนระดับ [ตอบ 9.1 kN]
 ข) ทางลง 8.6° [ตอบ 9.0 kN]

14. ถนนราบโค้งมีรัศมีความโค้ง 100 เมตร ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับถนนของรถคันหนึ่งมีค่าเท่ากับ 0.4 รถคันนี้จะเลี้ยวโค้งได้ด้วยความเร็วสูงสุดกี่กิโลเมตร/ชั่วโมงจึงจะไม่ไถลออกนอกโค้ง [ตอบ 72 kr/hr]
15. แท่งเหล็ยมวล 0.2 กิโลกรัม เคลื่อนที่ขึ้นไปบนพื้นระนาบเอียงทำมุม 30 องศา กับแนวระดับด้วยความเร็วต้น 12 เมตร/วินาที ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงกับแท่งเหล็กเป็น 0.16 แท่งเหล็กจะเคลื่อนที่ไปบนพื้นเอียงได้ไกลที่สุดเท่าไร ใช้ $g = 9.8$ เมตร/วินาที² [ตอบ 11.5 m]
16. มวล m_1 และ m_2 ผูกต่อกันด้วยเชือกเบา คล้อยผ่านรอกเบาที่ไม่มีความเสียดทาน ดังรูป ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างมวลแต่ละอัน กับพื้นเอียงเป็น μ และ $m_1 > m_2$ จงหาความเร่งของระบบ และความตึงของเชือก
[ตอบ $a = \frac{(m_1 - m_2)g \sin \theta - (m_1 + m_2)\mu g \cos \theta}{m_1 + m_2}$, $T = \frac{2m_1 m_2 g \sin \theta}{m_1 + m_2}$]



รูป 4-30

17. มวล m วางอยู่บนมวล M ดังรูป ถ้าไม่มีแรงเสียดทานระหว่าง m และ M และระหว่าง M กับพื้นราบ
- ก) จงหาว่ามวล M จะต้องเคลื่อนที่ในแนวราบด้วยความเร่งเท่าใด จึงจะไม่ทำให้มวล m ไถล [ตอบ $g \cot 60^\circ$]
- ข) ต้องใช้แรงตามแนวราบกระทำต่อระบบนี้เท่าใดจึงจะเกิดผลตามข้อ ก) [ตอบ $(M + m) g \cot 60^\circ$]

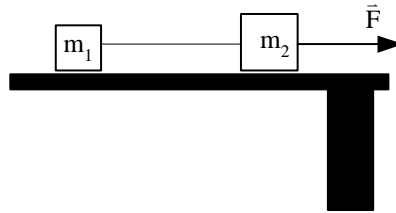


รูป 4-32

18. มวล m_1 และ m_2 วางอยู่บนพื้นราบขรุขระ โดยที่มวลทั้งสองผูกต่อกันด้วยเชือกเบาดังรูป สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างแต่ละกล่องกับพื้นเท่ากับ μ ถ้าออกแรง \vec{F} กระทำไปทางขวาทำให้ระบบเคลื่อนที่ จงหา

ก) ความเร่งของแต่ละกล่อง [ตอบ $\frac{F}{m_1 + m_2} - \mu g$]

ข) ความตึงในเส้นเชือก [ตอบ $\frac{m_1 F}{m_1 + m_2}$]



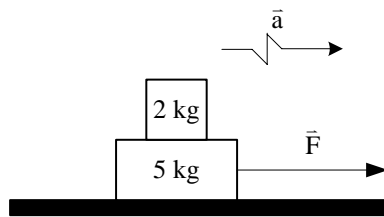
รูป 4-33

19. มวล 2 กิโลกรัม ทับอยู่บนมวล 5 กิโลกรัม ดังรูป สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างมวล 5 กิโลกรัม กับพื้นราบ เท่ากับ 0.05

ก) แรง \vec{F} ที่ทำให้ระบบมวลเคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยความเร่ง 3 เมตร / (วินาที)² [ตอบ 24.4 N]

ข) หาแรงที่เร่งให้มวล 2 กิโลกรัม เร็วเพิ่มขึ้น [ตอบ 6.0 N]

ค) หาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มีค่าน้อยที่สุด ระหว่างมวลทั้งสอง ที่ทำให้มวล 2 กิโลกรัม ไม่เคลื่อน เมื่อระบบมวลเคลื่อนที่ด้วยแรงตามข้อ (ก) [ตอบ 0.31]



รูป 4-34

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุ(ไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คดีปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

● การเรียนการสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต ●	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
● การเรียนการสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต ●	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
● การเรียนการสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต ●	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

