

บทที่ 6

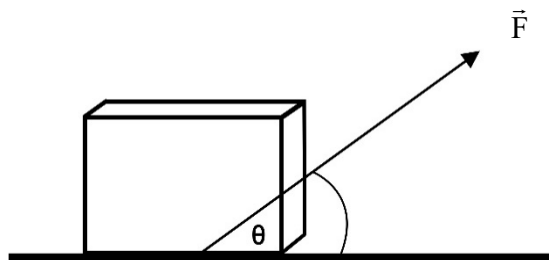
งานและพลังงาน

(Work and energy)

จากบทที่ผ่านมาเป็นการศึกษาเกี่ยวกับแรงที่กระทำกับวัตถุในรูปแบบของกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ซึ่งอธิบายถึงความสัมพันธ์ของแรง และการเคลื่อนที่ ในบทนี้เราจะศึกษาเกี่ยวกับงานและพลังงานในทางฟิสิกส์ ซึ่งงานในทางฟิสิกส์นั้นเกิดจากการที่มีแรงมากระทำกับวัตถุ แล้วทำให้เกิดการกระจัด โดยเราจะแบ่งงานออกเป็นงานที่เกิดจากแรงคงตัว กระทำ หมายถึงแรงที่เกิดขึ้นกับวัตถุจะมีค่าคงตัวตลอดเวลาที่พิจารณาและงานที่เกิดเนื่องจากแรงไม่คงตัว ส่วนเรื่องของพลังงานจะกล่าวถึงพลังงานศักย์ พลังงานจลน์ และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

6.1 งานที่เกิดเนื่องจากแรงคงตัวกระทำ (Work done by steady force)

จากประสบการณ์ของเราในชีวิตประจำวันทุกคนคงจะต้องคุ้นเคยกับคำว่างานเป็นอย่างดี แต่สำหรับงานในทางฟิสิกส์ที่เราจะได้ศึกษาจะมีความหมายแตกต่างจากงานที่เราคุ้นเคยกันในชีวิตประจำวัน พิจารณาภาพที่ 6.1



ภาพที่ 6.1 การเกิดงานเนื่องจากแรงคงตัว

จากภาพที่ 6.1 เมื่อมีแรง $\vec{F}$ ที่มีค่าคงตัว คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทางตลอดการเคลื่อนที่มากระทำกับวัตถุตามภาพที่ 6.1 โดยทิศของแรงนี้ทำมุม θ กับแนว

ระดับ ผลของแรงที่ทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ด้วยการกระจัด $\vec{S}$ ในทางฟิสิกส์ปริมาณนั้นก็คือ งาน นิยามงาน (Work, W) คือแรงที่กระทำในทิศขนานกับการกระจัดคูณกับระยะการกระจัดที่เกิดจากการกระทำของแรงนั้น จากนิยามของงานเบื้องต้น และพิจารณาจากภาพที่ 6.1 สามารถเขียนสมการของงานได้ดังนี้ คือ

$$W = \vec{F} \cdot \vec{S}$$

หรือ

$$W = FS \cos \theta \quad (6-1)$$

พิจารณาจากสมการที่ (6-1) และภาพที่ 6.3 (ก) สามารถสรุปลักษณะของงานได้ดังนี้

1) งานมีค่ามากที่สุดเมื่อแรงที่กระทำมีทิศขนานกับการเคลื่อนที่ซึ่งจะได้ $\cos \theta = 1$ หรือมุมระหว่างแรงที่กระทำกับทิศของการกระจัดมีค่าเท่ากับศูนย์องศา ($\cos 0^\circ = 1$) นั่นเอง ดังภาพที่ 6.2 แสดงถึงทิศการเคลื่อนที่กับทิศของแรงที่ขนานกัน

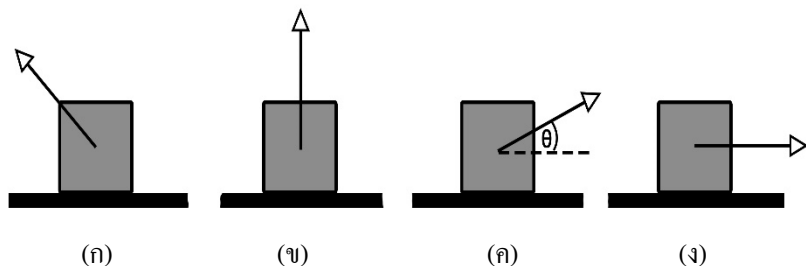


ภาพที่ 6.2 ทิศทางการเคลื่อนที่กับทิศของแรงขนานกัน

2) งานที่ได้จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อ แรงที่กระทำมีทิศตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ นั่นคือ $\cos \theta = 0$ หรือมุมระหว่างแรงที่กระทำกับทิศการกระจัดเท่ากับ 90 องศา นั่นเอง

3) งานที่ได้จะมีค่าเป็นลบ เมื่อมุมระหว่างแรงที่กระทำกับทิศของการกระจัดมีค่ามากกว่า 90 องศาซึ่งงานที่เป็นลบได้แก่งานที่เกิดจากแรงเสียดทานนั่นเอง

สำหรับหน่วยของงาน คือ นิวตัน-เมตร หรือที่นิยมใช้คือ จูล (J)



ภาพที่ 6.3 ทิศทางการเคลื่อนที่กับทิศของแรงในทิศที่แตกต่างกัน

ตัวอย่างที่ 6.1 ชายคนหนึ่งออกแรง 40 นิวตันในทิศทำมุม 60 องศา กับแนวระดับลากวัตถุ มวล 1 กิโลกรัมให้เคลื่อนที่ไปตามพื้นที่มีแรงเสียดทาน 10 นิวตัน ด้วยความเร็ว 20 เมตร ต่อวินาทีได้ระยะการกระจัด 10 เมตร จงหางานที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงที่เขากระทำ งาน เนื่องจากแรงเสียดทาน และงานสุทธิ

วิธีทำ

- 1) หางานที่เกิดจากแรง 40 นิวตันโดยใช้สมการที่ (6-1)

$$W = FS \cos \theta$$

แทนค่าของแรงการกระจัด และมุมจะได้

$$W = (40)(10) \cos 60^\circ$$

$$W = (400) \left(\frac{1}{2} \right)$$

$$W = 200 \text{ J}$$

- 2) หางานที่เกิดเนื่องจากแรงเสียดทาน เนื่องจากทิศของแรงเสียดทานมีทิศตรงข้ามกับการ กระจัด หรือทำมุม 180 องศา กับการกระจัดและจากสมการที่ (6-1)

$$W = FS \cos \theta$$

แทนค่าการกระจัด แรง และมุมจะได้

$$W = (10)(10)(\cos 180^\circ)$$

$$W = -100 \text{ J}$$

- 3) งานสุทธิ เท่ากับ งานเนื่องจากแรงที่กระทำ + งานเนื่องจากแรงเสียดทาน

$$= 200 - 100$$

$$= 100 \text{ J}$$

ตัวอย่างที่ 6.2 จากตัวอย่างที่ 6.1 ถ้าพื้นมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ 0.2 จงหางาน สุทธิ

วิธีทำ ตัวอย่างที่ 6.1 และ 6.2 แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นโดยที่ในตัวอย่างที่ 6.2 พื้นจะมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เข้ามาเกี่ยวข้องกับอาศัภาพที่ 6.2 และ 6.3 และข้อมูลจากตัวอย่างที่ 6.1

จาก

$$\mu_k = \frac{f_k}{N}$$

$$\mu_k N = f_k$$

$$f_k = (0.2)(171 \text{ N})$$

$$= 34.2 \text{ N}$$

งานที่ทำโดยแรงเสียดทานคือ

$$\begin{aligned}\Delta W &= F_{\parallel} \Delta S \\ W_{f_k} &= f_k (\cos 180^\circ) (\Delta S) \\ &= -f_k (\Delta S) \\ &= (-34.2 \text{ N})(4 \text{ m}) \\ &= -136.8 \text{ J}\end{aligned}$$

ดังนั้นงานที่กระทำโดยแรงเสียดทานเท่ากับ -136.8 จูล

ส่วนงานที่เกิดจากแรงต่างๆ จะมีค่าเท่ากับงานที่เกิดจากแรงในตัวอย่างที่ 6.1 นั่นคือ

$$\begin{aligned}\Delta W &= F_{\parallel} \Delta S \\ W_p &= 173.21 \text{ J} \quad ; \quad W_{F_N} = 0 \text{ J} \quad ; \quad W_{mg} = 0 \text{ J}\end{aligned}$$

ดังนั้นงานสุทธิที่กระทำต่อกระเป๋าเดินทางคือ

$$\begin{aligned}\Sigma W_t &= W_p + W_f + W_{F_N} + W_{mg} \\ &= 173.2 \text{ J} - 136.8 \text{ J} + 0 \text{ J} + 0 \text{ J} \\ &= 36.4 \text{ J}\end{aligned}$$

นั่นคืองานสุทธิมีค่าเท่ากับ 36.4 จูล

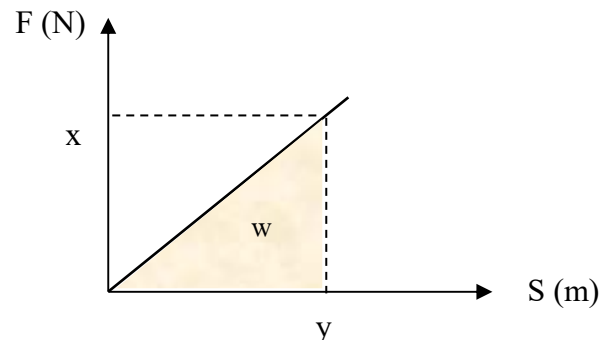
เป็นงานสุทธิซึ่งเกิดจากแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อกระเป๋าเดินทางทำให้กระเป๋าเดินทางเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง

6.2 งานที่เกิดจากแรงไม่คงตัวกระทำ (Work done by unsteady force)

จากหัวข้อที่ผ่านมา ในกรณีที่แรงที่กระทำมีค่าคงตัวเราสามารถที่จะใช้สมการที่ (6-1)

$$W = FS \cos \theta$$

สมการที่ (6-1) ใช้ในการหาค่าปริมาณของงานได้โดย แต่ในกรณีที่งานที่ได้ที่เนื่องจากแรงไม่คงตัวมากระทำ เราไม่สามารถใช้สมการที่ (6-1) คำนวณหาปริมาณของงานได้ ดังเช่นกรณีของกราฟ 6.4 และ 6.5



ภาพที่ 6.4 ลักษณะของแรงที่ไม่คงตัว

พิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ของวัตถุระหว่าง แรงกับการกระจัด ดังภาพที่ 6.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงกับการกระจัด ในกรณีนี้ลักษณะของกราฟจะเป็นเส้นตรง เราสามารถที่จะหาปริมาณของงานได้จาก พื้นที่ใต้กราฟดังนี้

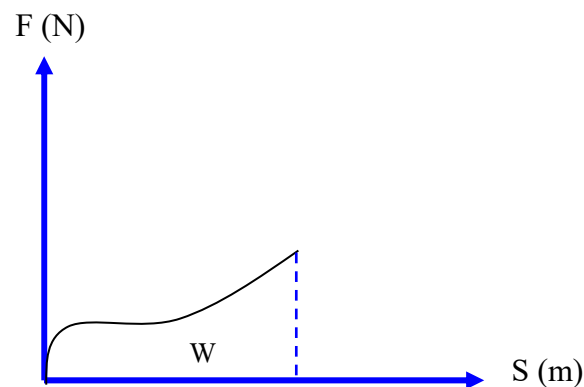
เมื่อให้ $W = \text{งาน}$

ดังนั้น $W = \text{พื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงและการกระจัด}$

จะเห็นว่าในกรณีนี้พื้นที่ใต้กราฟเป็นรูปสามเหลี่ยม ดังนั้น

$$W = \frac{1}{2}(x)(y) \quad (6-2)$$

สำหรับในกรณีกราฟที่ได้ ไม่เป็นกราฟเส้นตรง พิจารณาจากภาพที่ 6.5



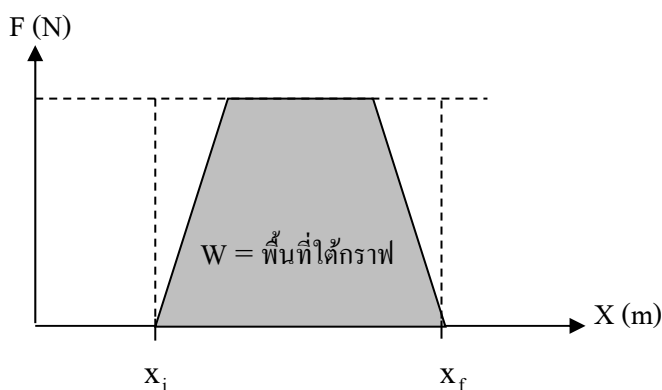
ภาพที่ 6.5 ลักษณะของงานที่เกิดจากแรงไม่คงตัวกระทำ

จากภาพที่ 6.5 เราสามารถที่จะคำนวณปริมาณของงานได้จากพื้นที่ใต้กราฟโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้ คือ

$$W = \lim_{x_i} \sum_{x_i}^{x_f} F \Delta x \quad (6-3)$$

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F dx \quad (6-4)$$

พิจารณากรณีของงานที่เกิดจากแรงไม่คงตัวกระทำจากภาพที่ 6.6 เราสามารถหางานได้จากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงกับการกระจัด ซึ่งในกรณีนี้เป็นพื้นที่ใต้กราฟเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู



ภาพที่ 6.6 งานที่เกิดเนื่องจากแรงกระทำไม่คงตัว

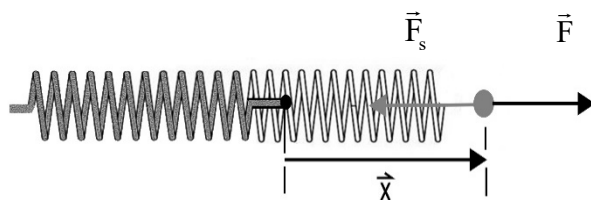
สำหรับตัวอย่างของงานที่เกิดเนื่องจากแรงไม่คงตัวกระทำ เช่น แรงเนื่องจากสปริง พิจารณาเมื่อเราออกแรงในการดึงสปริงอันหนึ่ง ซึ่งปลายด้านหนึ่งผูกติดกับผนัง และปลายอีกด้านหนึ่งผูกติดกับมวล และเมื่อเราออกแรงดึงสปริงนี้ด้วยแรง $\vec{F}$ พบว่าความสัมพันธ์ของแรงกับระยะการกระจัดเป็นไปตามกฎของ ฮุก (Hooke's Law) ดังนี้คือ

$$\vec{F} = k\vec{x} \quad (6-5)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงตัวของสปริง และ x คือระยะที่วัตถุยืดออกของสปริง ดังนั้นจะได้ปริมาณของงานเนื่องจากสปริงคือ

$$\begin{aligned} W &= \int_0^x kx dx \\ W &= \frac{1}{2} kx^2 \end{aligned} \quad (6-6)$$

ตัวอย่างที่ 6.3 นิสาออกแรงดึงสปริงในแนวราบทำให้สปริงยืดออกเป็นระยะทาง x ดังภาพที่ 6.7 จงหางานที่เกิดขึ้น โดยสปริง



ภาพที่ 6.7 แรงดึงในสปริง

วิธีทำ เมื่อออกแรงขนาด F ดึงสปริง สปริงจะออกแรงดึงกลับ F_s ซึ่งมีขนาดเท่ากันแต่ทิศทางตรงกันข้าม โดยแรงดึงกลับจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับ x ภาพที่ 6.7 งานที่กระทำโดยสปริง เมื่อ x คือระยะยืดหรือหดจากจุดสมดุล

$$F_s \propto x$$

$$\vec{F}_s = -k\vec{x}$$

เมื่อ k คือ ค่าคงตัวของสปริง (Spring constant)

ถ้าออกแรงดึงที่ปลายสปริงให้ยืดออกเป็นระยะทาง x จากกฎข้อสองของนิวตันจะได้ว่า

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

$$F - F_s = 0$$

$$F = F_s$$

$$F = kx$$

งานที่ใช้ในการดึงสปริง คือ

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{S}$$

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{x}$$

$$W = \int_0^x kx(dx)$$

$$= \frac{1}{2}kx^2$$

6.3 ทฤษฎีงานและพลังงานจลน์ (Work and kinetic energy theorem)

จากหัวข้อที่แล้วพิจารณางานสุทธิที่กระทำต่อวัตถุ แล้วทำให้วัตถุมีความเร่งพิจารณาจากคำจำกัดความของงานและอาศัยกฎข้อที่สองของนิวตันจะได้ว่า

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{S} \quad (6-7)$$

$$W_{\text{net}} = \int \sum \vec{F} \cdot d\vec{S}$$

$$\begin{aligned}
 &= \int m \vec{a} \cdot d\vec{S} \\
 &= m \int \vec{a} \cdot d\vec{S}
 \end{aligned} \tag{6-8}$$

จากคำจำกัดความของความเร่งและความเร็ว

$$\begin{aligned}
 W_{\text{net}} &= m \int \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{S} \\
 &= m \int d\vec{v} \cdot \frac{d\vec{S}}{dt} \\
 &= m \int d\vec{v} \cdot \vec{v} \\
 &= m \int v dv
 \end{aligned} \tag{6-9}$$

สมมติให้วัตถุมีความเร็วต้น v_0 และความเร็วยุติ v

$$\begin{aligned}
 W_{\text{net}} &= m \int_{v_0}^v dv \\
 &= \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}v_0^2
 \end{aligned} \tag{6-10}$$

นั่นคือ งานสุทธิที่กระทำต่อวัตถุ จะทำให้วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณหนึ่ง

เมื่อ $\frac{1}{2}mv^2$ เรียกว่า พลังงานจลน์

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 \tag{6-9}$$

ดังนั้นงานสุทธิที่กระทำต่อวัตถุสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$W_{\text{net}} = E_K - E_{K_0} \tag{6-10}$$

สมการนี้เรียกว่า ทฤษฎีงานและพลังงานจลน์ (Work and kinetic energy theorem)

ทฤษฎีงาน - พลังงาน

$$W_{\text{net}} = \Delta E_K \tag{6-11}$$

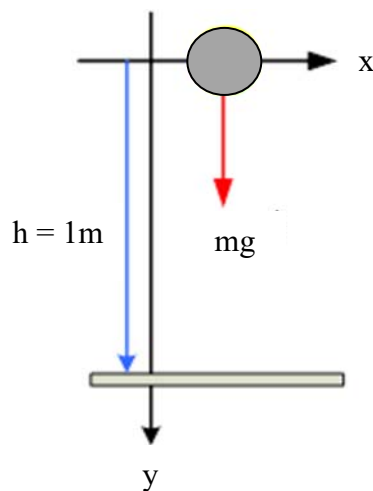
สรุปได้ว่างานสุทธิที่กระทำต่อวัตถุจะทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์

ตัวอย่างที่ 6.4 ปล่อยทรงกลมจากความสูง 1 เมตร ดังภาพที่ 6.8 จงคำนวณหาความเร็วขณะกระทบพื้น

วิธีทำ เนื่องจากการเคลื่อนที่แบบดิ่งอิสระสามารถคำนวณโดยใช้สมการการเคลื่อนที่จากบทที่แล้วก็ได้ทดสอบโดยการแปลงค่าจากทฤษฎีงาน - พลังงาน เมื่องานสุทธิที่เกิดขึ้นจากแรงโน้มถ่วง

จากคำจำกัดความของงาน

$$\begin{aligned} W &= \int \vec{F} \cdot d\vec{S} \\ W_{\text{net}} &= \int mg dy \\ &= mg \int_0^h dy \\ &= mgh \end{aligned}$$



ภาพที่ 6.8 ปล่อยวัตถุที่ความสูง h

จากทฤษฎีงาน - พลังงาน เมื่อมีการกระทำต่อวัตถุจะทำให้พลังงานจลน์ของวัตถุเปลี่ยนแปลง

$$\begin{aligned} W_{\text{net}} &= K - K_0 \\ mgh &= \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \\ 2gh &= v^2 - v_0^2 \\ v^2 &= v_0^2 + 2gh \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{แต่ } h = y \quad \text{ดังนั้น } v^2 &= v_0^2 + 2gy \\
 \text{จะได้ } v &= \sqrt{v_0^2 + 2gy} \\
 &= \sqrt{0 + 2(9.8 \text{ m/s}^2)(1\text{m})} \\
 &= 4.43 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

นั่นคือ ความเร็วก่อนกระทบพื้นเท่ากับ 4.43 เมตรต่อวินาที

6.4 กำลัง (Power)

หลังจากที่เข้าใจความหมายของคำว่างานไปแล้ว ไม่ว่าจะเป็นงานที่เกิดเนื่องจากแรงที่คงตัว หรืองานที่เกิดเนื่องจากแรงไม่คงตัวกระทำ จะสังเกตได้ว่างานที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงและผลของแรงที่เกิดขึ้น แต่หากใช้เวลาในการทำงานที่สูงก็จะทำให้ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นของงานมีค่าน้อยไปด้วย สำหรับในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาปริมาณอีกปริมาณหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับงานที่เกิดขึ้นโดยใช้เวลาในการทำงานมาพิจารณาด้วย นั่นก็คือ กำลัง

กำลัง (Power, P) หมายถึง ปริมาณของงานที่ทำได้ในหนึ่งหน่วยเวลา หรือเขียนเป็นสมการได้ คือ

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{dW}{dt} \\
 &= \frac{d(FS)}{dt} \\
 &= Fv
 \end{aligned}$$

หน่วยของกำลังเป็น J/s หรือวัตต์ (Watt) เขียนย่อ W

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{kg} \times \text{m}^2}{\text{s}^2}$$

นอกจากนี้หน่วยของกำลังยังเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กำลังม้า (Horse power) เขียนย่อเป็น hp

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

บางครั้งเขียนหน่วยของพลังงาน (หรืองาน) ในพจน์ของกำลังเป็น กิโลวัตต์ - ชั่วโมง (kWh) ซึ่งเป็นพลังงานที่เปลี่ยนรูปหรือสิ้นเปลืองนับเป็นกิโลวัตต์ในเวลา 1 ชั่วโมงโดย

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kWh} &= (10^3 \text{ W})(3,600 \text{ s}) \\
 &= 3.6 \times 10^6 \text{ J}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 6.5 รถยนต์คันหนึ่งเครื่องยนต์มีกำลัง 35 hp วิ่งด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมงภายในเวลา 15 วินาทีจงหา

ก. งานที่ทำโดยเครื่องยนต์

ข. แรงเสียดทานของรถยนต์

วิธีทำ ก. จาก

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{dW}{dt} \\
 dW &= P dt \\
 \int dW &= \int P dt \\
 W &= Pt \\
 P &= 35 \text{ hp} \left(\frac{746 \text{ W}}{\text{hp}} \right) \\
 &= 26.1 \text{ kW} \\
 t &= 15 \text{ min} \left(\frac{60 \text{ s}}{\text{min}} \right) \\
 &= 900 \text{ s} \\
 W &= (26.1 \times 10^3 \text{ W})(900 \text{ s}) \\
 &= 23.5 \times 10^6 \text{ J}
 \end{aligned}$$

งานที่ทำโดยเครื่องยนต์เท่ากับ 23.5×10^6 จูล

ข. จาก

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{dW}{dt} \\
 &= \frac{d(FS)}{dt} \\
 &= F \frac{dS}{dt} \\
 &= Fv \\
 v &= \left(\frac{80 \text{ km}}{\text{h}} \right) \left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \\
 &= 22.2 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

เมื่อรถวิ่งด้วยความเร็วคงตัว แรงสุทธิที่กระทำต่อรถจะมีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือแรงเสียดทานที่กระทำกับรถยนต์จะมีค่าเท่ากับแรงที่เครื่องยนต์จ่ายออกมาแต่ทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นกำลังที่จ่ายออกมาบางส่วนจะสูญเสียให้แก่แรงเสียดทาน

$$\begin{aligned}
 \text{จาก} \quad P &= \vec{F} \cdot \vec{v} \\
 &= Fv \\
 F &= \frac{P}{v} \\
 &= \frac{(26.1 \times 10^3 \text{ W})}{22.2 \text{ m/s}} \\
 &= 1.18 \times 10^3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

แรงเสียดทานของรถยนต์เท่ากับ 1.18×10^3 นิวตัน

6.5 พลังงาน (Energy)

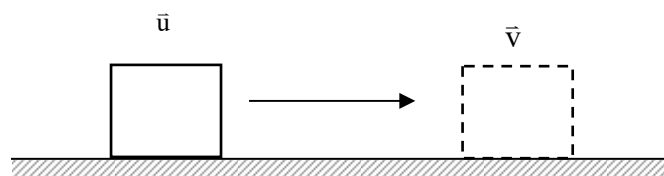
จากหัวข้อที่ผ่านมาเราได้ศึกษา เรื่องงานและกำลังมาแล้ว ซึ่งทำให้เราได้ทราบว่างานจะขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำ และระยะการกระจัดที่เป็นผลมาจากแรง ส่วนกำลังนั้นจะขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการทำงานด้วย และในหัวข้อต่อไปนี้จะศึกษางานในรูปแบบอีกรูปแบบหนึ่งที่เรียกว่า พลังงาน

พลังงานคือ การพิจารณางานในอีกรูปแบบหนึ่ง หรือเราอาจจะมองว่าพลังงานคืองานสุทธิ หรือความสามารถในการทำงานสำหรับหน่วยของพลังงานนั้นจะมีหน่วยเดียวกับงานก็คือ จูล โดยพลังงานในทางกลศาสตร์มีอยู่สองรูปแบบ ดังนี้คือ

6.5.1 พลังงานจลน์ (Kinetic energy)

พลังงานจลน์คือ พลังงานที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งจะทำให้วัตถุมีความเร็ว โดยที่พลังงานจลน์จะขึ้นอยู่กับความเร็วของวัตถุ

พิจารณาภาพที่ 6.9



ภาพที่ 6.9 การเกิดพลังงานจลน์

ขณะที่วัตถุมวล m กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วต้น u ในขณะเดียวกัน มีแรงกระทำกับวัตถุนี้ ทำให้วัตถุเปลี่ยนความเร็วสุดท้ายเป็น v สมมติว่าการกระทำที่ได้มีค่าเท่ากับ S เราหาทางได้ดังต่อไปนี้

จากสมการของงาน

$$W = \vec{F} \cdot \vec{S}$$

และ $\vec{F} = m\vec{a}$

จะได้ $W = (m\vec{a}) \cdot \vec{S} \quad (6-12)$

และจากสมการเรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุ

$$\vec{S} = \frac{(\vec{u} + \vec{v})}{2} t \quad (6-13)$$

และ $\vec{v} = \vec{u} + \vec{a}t \quad (6-14)$

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{u}}{t} \quad (6-15)$$

แทนสมการที่ (6-12) และ (6-14) ลงในสมการที่ (6-11) จะได้

$$\begin{aligned} W &= \frac{m(v-u)}{t} \cdot \frac{(u+v)t}{2} \\ W &= \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2 \end{aligned} \quad (6-16)$$

ในกรณีที่วัตถุเริ่มเคลื่อนที่จากจุดหยุดนิ่ง ($u = 0$) จะได้

$$W = \frac{1}{2}mv^2 \quad (6-17)$$

สำหรับปริมาณ $\frac{1}{2}mv^2$ เรียกว่าพลังงานจลน์ (E_k) นั้นเอง

เราสามารถสรุปได้อีกอย่างหนึ่งว่า ผลต่างของพลังงานจลน์หรือพลังงานจลน์สุทธิก็คือ ค่าของงานนั้นเองโดยเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$W = E_{kf} - E_{ki} \quad (6-18)$$

เมื่อ E_{ki} คือพลังงานจลน์ตอนเริ่มต้น และ E_{kf} คือพลังงานจลน์ตอนสุดท้าย

สำหรับค่าพลังงานจลน์ของวัตถุบางชนิดดังแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ค่าพลังงานจลน์บางชนิด

วัตถุ	มวล(กิโลกรัม)	อัตราเร็ว (เมตรต่อวินาที)	พลังงานจลน์ (จูล)
โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์	5.98×10^{24}	2.98×10^4	2.65×10^{33}
ดวงจันทร์โคจรรอบโลก	7.35×10^{22}	1.02×10^3	3.82×10^{28}
จรวดที่กำลังขึ้นโลก	500	1.12×10^4	3.14×10^{10}
รถยนต์วิ่ง	2,000	25	6.3×10^5
หยดน้ำฝน	3.5×10^{-5}	9	1.4×10^{-3}
โมเลกุลออกซิเจนในอากาศ	5.3×10^{-26}	500	6.6×10^{-21}

ตัวอย่างที่ 6.6 ออกแรง 10 นิวตัน ผลักมวล 5 กิโลกรัมให้เคลื่อนที่จากจุดหยุดนิ่งไปตามแนวระดับ ถ้าพื้นไม่มีความเสียดทาน จงหาความเร็วของกล่องเมื่อกล่องเคลื่อนที่ได้ 5 เมตร

วิธีทำ พิจารณาค่างานที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} W &= FScos\theta \\ W &= (10)(5)(1) \\ &= 50 \text{ จูล} \end{aligned}$$

และจากความสัมพันธ์ระหว่างงานและพลังงานจลน์ จะได้

$$\begin{aligned} W &= E_{kf} - E_{ki} \\ W &= \frac{1}{2}mv^2 - 0 \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความเร็ว

$$v = \sqrt{\frac{2W}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{(2)(50)}{5}}$$

$$= 4.47 \text{ m/s}$$

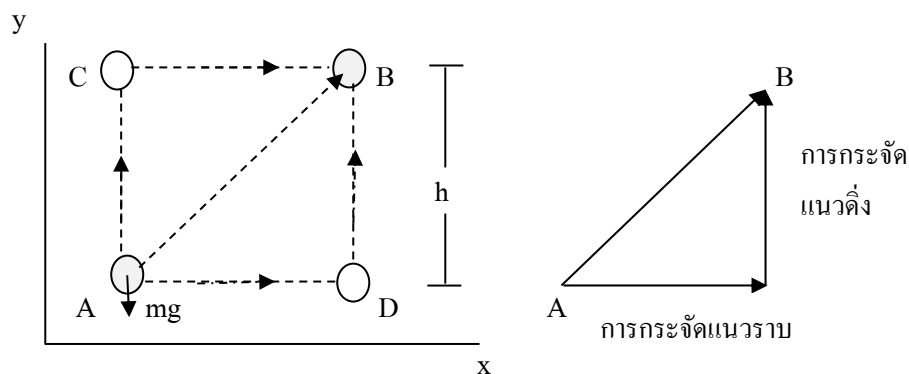
นั่นคือมีความเร็วเท่ากับ 4.47 เมตรต่อวินาที

6.5.2 พลังงานศักย์ (Potential energy)

พลังงานศักย์ คือพลังงานกลอีกรูปแบบหนึ่ง เป็นพลังงานที่สะสมอยู่ในวัตถุเมื่อวัตถุมีการเปลี่ยนตำแหน่งเปลี่ยนไป โดยพลังงานศักย์แบ่งออกเป็นดังนี้

(1) พลังงานศักย์โน้มถ่วง (Gravitational potential energy)

พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุมวล m ในสนามความโน้มถ่วงบริเวณใกล้ผิวโลกตามเส้นทางต่างๆ ในระนาบ XY จากจุด A ไปยังจุด B ซึ่งอยู่สูงกว่าจุด A เป็นระยะ h ดังภาพที่ 6.10



ภาพที่ 6.10 งานของแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อวัตถุที่เคลื่อนที่ระหว่าง 2 จุด ในสนามโน้มถ่วง

แรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อวัตถุเป็นแรงคงที่มีขนาดเป็น mg ทิศชี้ลงตามแนวดิ่ง จึงไม่มีงานของแรงโน้มถ่วงกระทำต่อวัตถุ ขณะที่วัตถุเกิดการกระจัดแนวราบ งานของแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อวัตถุเกิดขึ้นเฉพาะช่วงที่วัตถุมีการกระจัดแนวดิ่งเท่านั้น เนื่องจากการกระจัดแนวดิ่งของวัตถุจากจุด A ไปยังจุด B มีขนาดเป็น h ทิศชี้ขึ้นตามแนวดิ่ง ซึ่งมีทิศตรงกันข้ามกับแรงโน้มถ่วง ไม่ว่าวัตถุจะเคลื่อนที่ตามเส้นทาง ACB, ADB หรือเส้นทางโค้ง AB

งานของแรงโน้มถ่วงเมื่อวัตถุเคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B จึงมีค่าเป็น $W_g = -mgh = mg(y_f - y_i)$ ทั้งสามเส้นทาง งานของแรงโน้มถ่วงไม่ขึ้นอยู่กับเส้นทางในการเคลื่อนที่ของวัตถุและเป็นจริงไม่ว่าเส้นทางเคลื่อนที่ของวัตถุจะเป็นเส้นทาง 2 มิติ หรือ 3 มิติ แรงโน้มถ่วงจึงเป็นแรงอนุรักษ์ เนื่องจากงานของแรงโน้มถ่วงมีค่าเป็น

$$W_g = -mgh = mg(y_f - y_i) \quad (6.20)$$

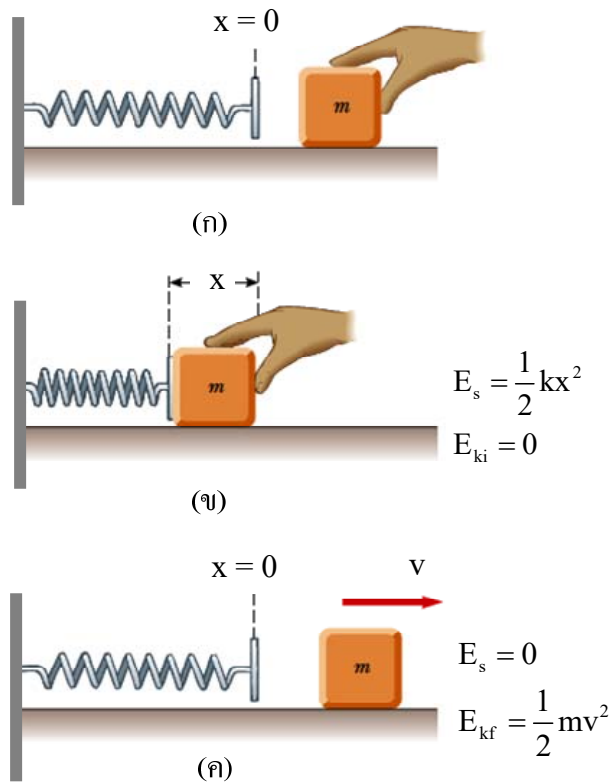
โดยที่งานของแรงอนุรักษ์มีค่าเป็น $W_C = -\Delta E_p$ และ $\Delta E_p = E_{pf} - E_{pi}$ จึงได้

$$W = E_{pi} - E_{pf} = -(E_{pf} - E_{pi}) = -\Delta E_p \quad (6-21)$$

โดยทั่วไปแล้วจะกำหนดค่า E_{pi} ให้เป็นเท่าใดก็ได้ เนื่องจากมีผลให้ค่า E_{pf} เปลี่ยนไปด้วย ค่าคงตัวค่าหนึ่งและค่าพลังงานศักย์ที่เปลี่ยนไปเท่านั้นที่มีความหมาย (สำคัญ) ในทางฟิสิกส์ จึงนิยมเลือกให้ $E_{pi} = 0$ ที่ระดับอ้างอิงศูนย์ y_i พลังงานศักย์โน้มถ่วงที่ระดับสูง y จากระดับอ้างอิงศูนย์จึงมีค่าเป็น $E_p = mgy$

(2) พลังงานศักย์ยืดหยุ่น (Elastic potential energy)

พลังงานศักย์ยืดหยุ่น หมายถึง พลังงานศักย์ที่สะสมอยู่ในวัตถุที่มีความยืดหยุ่น เช่น สปริง ยาง เป็นต้น พิจารณา ภาพที่ 6.11 (ก) เมื่อสปริงสมดุล, (ข) ออกแรงอัดสปริงจากจุดสมดุลด้วยมวล m และ (ค) วัตถุเคลื่อนที่ด้วยพลังงานจลน์ และสปริงกลับมาที่ตำแหน่งสมดุล



ภาพที่ 6.11 ออกแรงอัดสปริงเมื่อปล่อยมือพลังงานศักย์ยืดหยุ่นจะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์

จากสมการที่ (6-21) สามารถคำนวณหาค่าพลังงานศักย์ยืดหยุ่นได้จาก

$$W = E_{si} - E_{sf} \quad (6-22)$$

โดยงานที่ทำให้เกิดพลังงานศักย์ยืดหยุ่นจะเป็นงานเนื่องมาจากแรงอัดสปริงมีค่าขึ้นอยู่กับระยะยืดและค่าคงตัวของวัตถุที่มีความยืดหยุ่น ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\begin{aligned} W &= \int \vec{F} \cdot d\vec{S} \\ &= \int k\vec{x} \cdot d\vec{x} \\ W &= \frac{1}{2}kx_i^2 - \frac{1}{2}kx_f^2 \end{aligned} \quad (6-23)$$

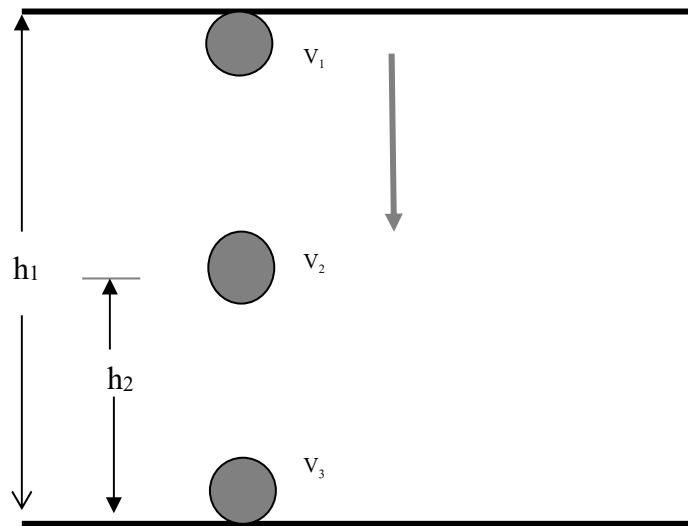
ดังนั้น จะได้พลังงานศักย์ยืดหยุ่นคือ

$$E_s = \frac{1}{2}kx^2 \quad (6-24)$$

6.6 กฎการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of energy)

กฎการอนุรักษ์พลังงานกล่าวไว้ว่า “ถ้าไม่มีแรงลัพธ์ภายนอกกระทำกับวัตถุ จะได้ผลรวมของพลังงานที่ตำแหน่งใดๆ มีค่าคงตัวเสมอ”

พิจารณาเมื่อปล่อยวัตถุให้ตกลงมาจากที่สูง ดังภาพที่ 6.12



ภาพที่ 6.12 ลักษณะของการอนุรักษ์พลังงาน

พิจารณาภาพที่ 6.12 เมื่อปล่อยวัตถุให้ตกลงมาจากความสูงที่ระดับ h_1 ในช่วงแรกนี้จะเป็นช่วงที่วัตถุมีความสูงมากที่สุด นั่นคือวัตถุจะมีพลังงานศักย์มากที่สุด และในช่วงแรกที่ปล่อยวัตถุ วัตถุจะมีความเร็ว v_1 ซึ่งจะมีความเร็วน้อยที่สุดทำให้พลังงานจลน์มีค่าน้อยที่สุดและเมื่อเวลาผ่านไป วัตถุจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นทำให้พลังงานจลน์มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่ความสูงก็จะลดลง ซึ่งจะทำให้พลังงานศักย์ลดลงตามไปด้วยที่จุดกึ่งกลางของการเคลื่อนที่วัตถุจะมีพลังงานจลน์เท่ากับพลังงานศักย์ จนกระทั่งถึงจุดสุดท้ายก่อนที่วัตถุจะเคลื่อนที่ถึงพื้นวัตถุจะมีความเร็วมากที่สุด ทำให้มีพลังงานจลน์มากที่สุด ในขณะที่พลังงานศักย์มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ของพลังงานจลน์ และพลังงานศักย์ จากกฎการอนุรักษ์พลังงานได้คือ

$$E_{ki} + E_{pi} = E_{kf} + E_{pf} \quad (6-25)$$

จากภาพที่ 6.12 จะได้ว่า

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 = \frac{1}{2}mv_3^2 + mgh_3$$

ตัวอย่างที่ 6.7 ปล่อยวัตถุที่มีมวล 1 กิโลกรัม จากระยะที่มีความสูง 50 เมตร โดยไม่คำนึงถึงแรงต้านอากาศ จงหาความเร็วของวัตถุที่ระยะความสูง 30 เมตร

วิธีทำ

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน

$$E_{ki} + E_{pi} = E_{kf} + E_{pf}$$

ที่ความสูงระยะแรกความเร็วต้นเป็นศูนย์ จะได้

$$0 + mgh_1 + 0 = \frac{1}{2}mv^2 + mgh_2$$

ดังนั้น

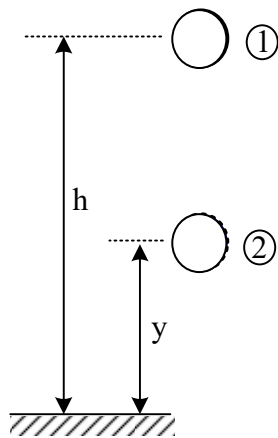
$$v^2 = 2mg(h_1 - h_2)$$

$$= 2(1)(9.8)(20)$$

$$= 392$$

$$v = 17.9 \text{ m/s}$$

ตัวอย่างที่ 6.8 ถ้าปล่อยวัตถุมวล m ให้ตกลงมาอย่างเสรี จากความสูง h ดังภาพที่ 6.13



ภาพที่ 6.13 วัตถุตกอย่างเสรี

(ก) จงหาอัตราเร็ว (v) ของวัตถุ ณ ตำแหน่ง y

(ข) ถ้าไม่ได้ปล่อยให้วัตถุตกลงมาเอง แต่ทุ่มวัตถุลงมาด้วยความเร็วต้น (v_0) จงหาอัตราเร็ว (v) ของวัตถุ ณ ตำแหน่ง y

วิธีทำ (ก) จากกฎการอนุรักษ์พลังงานจะได้

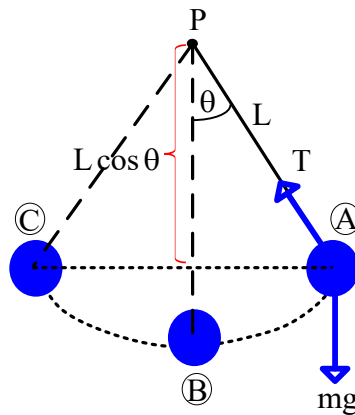
$$\sum E_i = \sum E_f$$

$$\begin{aligned}
 E_{ki} + E_{pi} &= E_{kf} + E_{pf} \\
 0 + mgh &= \frac{1}{2}mv_f^2 + mgy \\
 g(h-y) &= \frac{1}{2}v_f^2 \\
 v_f &= \sqrt{2g(h-y)}
 \end{aligned}$$

(ข) วัตถุตกลงมาด้วยความเร็วต้น (v_0) จากกฎการอนุรักษ์พลังงานจะได้

$$\begin{aligned}
 \Sigma E_i &= \Sigma E_f \\
 E_{ki} + E_{pi} &= E_{kf} + E_{pf} \\
 \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh &= \frac{1}{2}mv_f^2 + mgy \\
 g(h-y) + \frac{1}{2}v_0^2 &= \frac{1}{2}v_f^2 \\
 v_f &= \sqrt{v_0^2 + 2g(h-y)}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 6.9 ลูกตุ้มนาฬิกามวล m ผูกด้วยเชือกยาว L ดังภาพที่ 6.14



ภาพที่ 6.14 ลูกตุ้มนาฬิกา

จงหา (ก) อัตราเร็วของลูกตุ้มนาฬิกาขณะที่อยู่ที่จุดต่ำสุด

(ข) แรงตึงในเส้นเชือกขณะที่อยู่ที่จุดต่ำสุด

วิธีทำ (ก) อัตราเร็วของลูกตุ้มนาฬิกาขณะที่อยู่ที่จุดต่ำสุดจากกฎการอนุรักษ์พลังงานจะได้

$$\begin{aligned}
 \Sigma E_A &= \Sigma E_B \\
 E_{kA} + E_{pA} &= E_{kB} + E_{pB} \\
 0 + (-mgL \cos \theta) &= \frac{1}{2}mv^2 - mgL
 \end{aligned}$$

$$2gL(1-\cos\theta) = v_B^2$$

$$v_B = \sqrt{2gL(1-\cos\theta)}$$

อัตราเร็วของลูกตุ้มมาพิภพขณะที่อยู่ต่ำสุด $\sqrt{2gL(1-\cos\theta)}$

(ข) แรงตึงในเส้นเชือกขณะที่อยู่ต่ำสุดเท่ากับแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง

$$\Sigma F = \frac{mv^2}{r}$$

$$T_B - mg = \frac{mv_B^2}{r}$$

$$= m \frac{2gL(1-\cos\theta)}{L}$$

$$T_B = mg + 2mg(1-\cos\theta)$$

$$T_B = mg(3-2\cos\theta)$$

แรงตึงในเส้นเชือกขณะที่อยู่ต่ำสุด $mg(3-2\cos\theta)$

6.7 เครื่องกลอย่างง่าย (Simple mechanical system)

เครื่องกลอย่างง่ายคือ เครื่องมือที่ใช้ในการผ่อนแรงและ/หรือเพื่อช่วยให้การทำงานเกิดความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น เช่น รอก คาน ลิ่ม เป็นต้น เวลาที่มีการให้แรงกระทำหรือมีการทำงานเกิดขึ้นโดยทั่วไปแล้ว ผลที่เกิดจากการทำงานจะได้ผลไม่เท่ากับงานที่กระทำเนื่องจากระหว่างการทำงานนั้นมีการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้น โดยอาจเกิดจากเครื่องมือที่ทำงาน โดยค่างานที่ได้รับเราเรียกว่าประสิทธิภาพของเครื่องกล โดยประสิทธิภาพของเครื่องกล คำนวณได้จากสมการ

$$W_{ff} (\%) = \frac{W_{out}}{W_{in}} \quad (6.26)$$

เมื่อ W_{ff} คือ ประสิทธิภาพของเครื่องกล

W_{out} คือ งานที่ได้รับ

W_{in} คือ งานที่ทำ

โดยสามารถหาประสิทธิภาพในรูปของร้อยละได้จากสมการ

$$\% W_{ff} = \frac{W_{out}}{W_{in}} \times 100 \quad (6-27)$$

บทสรุป

เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่จะเกิดปริมาณของงานขึ้นซึ่งปริมาณของงานนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำและการกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ โดยวิธีการคำนวณหางานนั้นหาได้จากการนำการกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ที่อยู่ในแนวเดียวกันกับแรงคูณกับแรงที่กระทำต่อวัตถุนั้น นอกจากนี้การที่วัตถุเคลื่อนที่ก็จะทำให้เกิดพลังงานจลน์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของวัตถุ และพลังงานศักย์ซึ่งเป็นพลังงานที่สะสมในวัตถุขณะหยุดนิ่งอยู่กับที่ สำหรับพลังงานศักย์และพลังงานจลน์นั้นสามารถเปลี่ยนรูปกลับไปกลับมาได้เรียกว่า กฎการอนุรักษ์พลังงาน และกำลังคือ งานที่ได้ในหน่วยเวลา

กิจกรรมการทดลอง

แบบบันทึกกิจกรรมการทดลอง
เรื่อง การหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาแรงเสียดทาน และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมวลของวัตถุ มุมของพื้นเอียง และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

1. พื้นเอียงปรับมุมได้
2. ถูทรายขนาด 100 200 และ 300 กรัม

วิธีการทดลอง

1. นำถูทรายขนาด 100 กรัม วางบนพื้นเอียง ที่บริเวณ $\frac{1}{2}$ ของความยาวของพื้นเอียง
2. ยกพื้นเอียงให้เอียงขึ้นอย่างช้า ๆ จนถูเอียงเริ่มขยับ บันทึกมุมของพื้นเอียงที่จุดนี้ลงในตารางบันทึกผล
3. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนถูทรายเป็น 200 และ 300 กรัม ตามลำดับ

ผลการทดลอง

มวลถูทราย (กรัม)	มุม θ (องศา)	$Mg \cos \theta$	$Mg \sin \theta$	$\tan \theta$

วิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

.....

.....

.....

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ.....หน่วย.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบบันทึกกิจกรรมการทดลอง

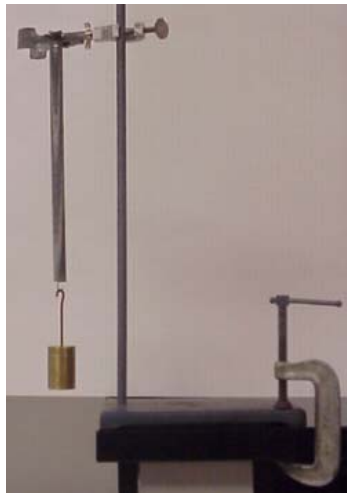
เรื่อง กฎของฮุก

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดและแรงดึงภายในสปริง
2. เพื่อวิเคราะห์หาค่าคงตัวของสปริงได้อย่างถูกต้อง

อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดอุปกรณ์การทดลอง เรื่อง การศึกษากฎของฮุก



รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์การทดลองกฎของฮุก

2. ตั้มน้ำหนักขนาดต่าง ๆ
3. สปริงที่มีลักษณะต่างกันสองชนิด

วิธีการทดลอง

1. จัดชุดอุปกรณ์โดยนำสปริงไปแขวนกับขาตั้งสปริง นำตัมน้ำหนักขนาด 1 กรัม แขวนที่ปลายสปริงดังรูปที่ 1

2. วัดระยะยี่ดของสปริงที่ยึดออกจากตำแหน่งเดิม ควรทำการทำการทดลองซ้ำอย่างละ 3 ครั้ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของระยะยี่ด บันทึกผลลงในตาราง
3. เปลี่ยนขนาดของค้ำน้ำหนักเป็น 2, 3, 4, กรัม และทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2-3
4. เปลี่ยนชนิดของสปริง และทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1-3
5. นำค่าที่ได้จากผลการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยี่ดกับแรงดึงภายในสปริง (ขนาดของค้ำน้ำหนักคิดเป็นหน่วยนิวตัน)
6. วิเคราะห์ผลจากกราฟเพื่อหาค่าคงตัวของสปริง

ผลการทดลอง

ค้ำน้ำหนัก คิดเป็นขนาดของแรง (นิวตัน)	ระยะยี่ด (เซนติเมตร)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
สปริงชนิดที่ 1				
สปริงชนิดที่ 2				

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง.....

สรุปผลการทดลอง

.....
.....
.....
.....

แบบฝึกหัด

1. ชายคนหนึ่งปาลูกเทนนิสบอลออกไปด้วยอัตราเร็ว 32 เมตรต่อวินาที ถ้าลูกเทนนิสมีมวล 0.145 กิโลกรัม โดยไม่คำนึงถึงแรงต้านอากาศ นี้ผู้ปาลูกเทนนิสทำงานเท่าใด
2. อนุภาคตัวหนึ่งกำลังเคลื่อนที่โดยมีพลังงานจลน์ E_k หลังจากที่ได้ทำงานสุทธิ W ต่ออิเล็กตรอน พบว่าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วหนึ่งในสี่ของค่าเดิมในทิศตรงกันข้าม จงหา W ในรูป E_k
3. ลูกฟุตบอลมวล 0.42 กิโลกรัม ลูกหนึ่งเดิมเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 2 เมตรต่อวินาที นักฟุตบอลคนหนึ่งเตะฟุตบอลนั้นด้วยแรงคงตัวขนาด 40 นิวตัน ในทิศเดียวกับการเคลื่อนที่ของลูกฟุตบอลเท้าของเขาต้องสัมผัสกับลูกฟุตบอลเป็นระยะทางเท่าใดเพื่อที่จะเพิ่มอัตราเร็วของลูกฟุตบอลเป็น 6 เมตรต่อวินาที
4. มานะออกแรงขนาด 160 นิวตัน ยึดสปริงชนิดหนึ่งออกได้เป็นระยะ 0.05 เมตร จากความยาวเดิมก่อนยึดออก จะต้องใช้แรงขนาดเท่าใดเพื่อยึดสปริงชนิดนี้ 0.015 เมตร จากความยาวเดิม และจะต้องใช้แรงขนาดเท่าใดเพื่อยึดสปริงชนิดนี้ให้หด 0.02 เมตร
5. ที่สวนน้ำแห่งหนึ่ง มีเครื่องเล่นที่พาผู้เล่นเคลื่อนที่ไปตามผิวดระดับลื่นโดยการปล่อยจากสปริงขนาดใหญ่ที่ถูกอัดไว้ ซึ่งมีค่าคงตัวสปริง $k = 4000$ นิวตันต่อตารางเมตร และมีมวลน้อยมากวางอยู่บนผิวดระดับลื่น หากปลายหนึ่งของสปริงยึดติดกับกำแพงซึ่งอยู่กับที่ และมีแคร่เลื่อนที่ผู้เล่นนั่งอยู่ซึ่งมีมวลรวมกัน 70 กิโลกรัม ถูกดันเข้ากับอีกปลายหนึ่งของสปริง โดยอัดสปริงเข้าไป 0.375 เมตร หลังจากนั้นก็ปล่อยแคร่เลื่อนให้เคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง จงหาอัตราเร็วของแคร่เลื่อนเมื่อสปริง
 - ก) กลับไปอยู่ตำแหน่งที่ยังถูกอัด
 - ข) ยังถูกอัดอยู่เป็นระยะ 0.2 เมตร
6. ทีมรถจักรยานี่สองคนต้องเอ ไว้ต้น เพื่อที่จะรักษาอัตราเร็วไว้ที่ 9 เมตร
ต่อวินาที จงหากำลังที่ต้องใช้ ให้สมมุติว่าแต่ละคนให้กำลังเท่ากัน ให้
ตอบในหน่วยวัตต์และกำลังม้า
7. เมื่อเครื่องยนต์ขนาด 75 กิโลวัตต์ (100 แรงม้า) ของเครื่องบินเล็กเครื่องยนต์เดียวมวล 700 กิโลกรัม ลำหนึ่งให้กำลังเต็มที่ เครื่องบินจะไต่ความสูงขึ้นที่อัตรา 2.5 เมตรต่อวินาที (150 เมตร/นาท) เครื่องบินใช้กำลังของเครื่องยนต์เป็นเศษส่วนเท่าใดในการไต่ความสูง (กำลังที่เหลือถูกใช้ในการเอาชนะแรงต้านอากาศและความไม่มีประสิทธิภาพในเครื่องขับและเครื่องยนต์)

เอกสารอ้างอิง

- ก่องกัญจน์ ภัทรากาญจน์ และชนกาญจน์ ภัทรากาญจน์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2552).
ฟิสิกส์ 1 ตัวอย่างและโจทย์พร้อมคำเฉลย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2549). ฟิสิกส์ 1. กรุงเทพฯ:
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เจริญโชค ศรขวัญ และคณะ, มหาวิทยาลัยมหิดล. (2546). ฟิสิกส์ทั่วไป 1. กรุงเทพฯ: คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ทวี นิมอ้อย, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (2541). ฟิสิกส์พื้นฐานระดับมหาวิทยาลัย 1.
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ปรเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก, มหาวิทยาลัยศรีปทุม. (2553). ปฏิบัติการฟิสิกส์ 1. กรุงเทพฯ: โรง
พิมพ์มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- 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.