



หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

ผู้เรียบเรียง

ดร.ธนา สุทธิบทม์พงศ์ ปร.ด. (ฟิสิกส์), วท.บ. (ฟิสิกส์)

ผู้ตรวจ

ดร.กนต์ธีร์ กิจเกียรติพงษ์ ปร.ด. (ฟิสิกส์), วท.ม. (ฟิสิกส์), วท.บ. (ฟิสิกส์)
ดร.เพราพิมพ์ ลิ้มสกุล ปร.ด. (ชีววิศวกรรม), วท.ม. (ฟิสิกส์), วท.บ. (ฟิสิกส์)
นายกฤษฎี มีเครือ วท.ม. (ฟิสิกส์), วท.บ. (ฟิสิกส์)

บรรณาธิการ

ดร.มนต์อมร ปรีชาวัฒน์ ปร.ด. (ฟิสิกส์), ประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง (การสอนวิทยาศาสตร์),
วท.บ. (ฟิสิกส์)

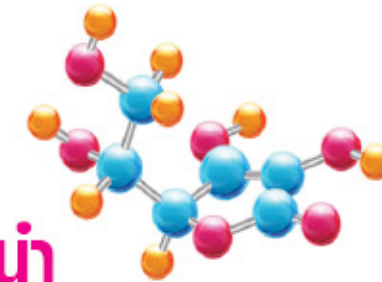
ปีที่พิมพ์ ๒๕๖๓ พิมพ์ครั้งที่ ๑ จำนวน ๕,๐๐๐ เล่ม ISBN : 978-616-07-2051-4

จัดพิมพ์โดย บริษัท สำนักพิมพ์เอมพันธ์ จำกัด

- ❖ ฝ่ายการตลาด, ฝ่ายการเงินและบัญชี, ฝ่ายผลิตและจัดส่ง :
๖๗/๑๐๙ หมู่ ๑ ซ.พระแม่กาบุญ ต.บ้านใหม่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี ๑๑๑๒๐
โทร. ๐ ๒๕๕๔ ๕๕๕๕, ๐ ๒๕๕๔ ๕๕๕๓, ๐ ๒๕๑๖ ๕๕๕๐-๒ โทรสาร ๐ ๒๕๑๑ ๕๕๕๓
- ❖ ฝ่ายวิชาการ :
๘๗/๑๒๒ ถ.เทศบาลสงเคราะห์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ ๑๐๓๐๐
โทร. ๐ ๒๕๕๔ ๕๕๕๔-๒๐, ๐ ๒๕๕๓ ๕๕๕๕-๕ โทรสาร ๐ ๒๕๕๐ ๒๕๕๓

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ ลิขสิทธิ์เป็นของบริษัท สำนักพิมพ์เอมพันธ์ จำกัด

คำนำ



หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี **ฟิสิกส์** ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒ ได้เรียบเรียงขึ้นตามผลการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้แบ่งออกเป็น ๓ หน่วยการเรียนรู้ ประกอบด้วย **งานและพลังงาน โมเมนตัมและการชน และสภาพสมดุลและสภาพยืดหยุ่น** นอกจากนี้ ในหนังสือยังมี QR Code (Quick Response Code)  ที่เข้าผ่านระบบ **LINE** หรือแอปพลิเคชันสำหรับอ่าน QR Code เพื่อให้นักเรียนได้เข้าถึงข้อมูลและสื่อการเรียนรู้อื่นๆ อีกด้วย

หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี **ฟิสิกส์** ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒ เล่มนี้ จะอำนวยความสะดวกต่อผู้สอนที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนได้พัฒนาเต็มตามศักยภาพและบรรลุตามเป้าหมายของหลักสูตรต่อไป



ฝ่ายวิชาการ บริษัท สำนักพิมพ์เอมพันธ์ จำกัด

 คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เวลา 60 ชั่วโมง จำนวน 1.5 หน่วยกิต

ศึกษาเกี่ยวกับงานของแรงคงตัว พลังงานจลน์และทฤษฎีบทงาน-พลังงาน พลังงานศักย์ แรงและโมเมนตัม การดลและแรงดล การอนุรักษ์พลังงานในการชนและการชนแบบยืดหยุ่น การชนแบบไม่ยืดหยุ่น เงื่อนไขสภาวะสมดุลและโจทย์ปัญหาสมดุลเสถียรและสมดุลไม่เสถียร

 ผลการเรียนรู้

1. วิเคราะห์และคำนวณงานของแรงคงตัวจากสมการและพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับตำแหน่ง รวมทั้งอธิบายและคำนวณกำลังเฉลี่ย
2. อธิบายและคำนวณพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ พลังงานกล ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานจลน์ ความสัมพันธ์ระหว่างกับพลังงานศักย์โน้มถ่วง ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงที่ได้ดึงสปริงกับระยะที่สปริงยืดออก และความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานศักย์ยืดหยุ่น รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างงานของแรงลัพธ์และพลังงานจลน์ และคำนวณงานที่เกิดขึ้นจากแรงลัพธ์
3. อธิบายกฎการอนุรักษ์พลังงานกล รวมทั้งวิเคราะห์ และคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในสถานการณ์ต่างๆ โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกล
4. อธิบายการทำงาน ประสิทธิภาพและการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องกลอย่างง่ายบางชนิด โดยใช้ความรู้เรื่องงานและสมดุลกล รวมทั้งคำนวณ

5. อธิบายและคำนวณโมเมนตัมของวัตถุ และการดลจากสมการและพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงลัพธ์กับเวลา รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงดลกับโมเมนตัม

6. ทดลอง อธิบาย และคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติ ทั้งแบบยืดหยุ่น ไม่ยืดหยุ่น และการตีตัวแยกจากกันในหนึ่งมิติซึ่งเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม

7. อธิบายสมดุลของวัตถุ โมเมนต์ และผลรวมของโมเมนต์ที่มีต่อการหมุน แรงคู่ควบ และผลของแรงคู่ควบที่มีต่อสมดุลของวัตถุ เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุอิสระเมื่อวัตถุอยู่ในสมดุล และคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งทดลองและอธิบายสมดุลของแรงสามแรง

8. สังเกตและอธิบายสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ เมื่อแรงที่กระทำต่อวัตถุผ่านศูนย์กลางมวลของวัตถุ และผลของศูนย์ถ่วงที่มีต่อเสถียรภาพของวัตถุ

สารบัญ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 5



งานและพลังงาน

1

งานของแรงคงตัว

2

พลังงานจลน์และทฤษฎีบทงาน – พลังงาน

6

พลังงานศักย์

8

การสูญเสียพลังงานกล

17

การได้เปรียบเชิงกล

23

กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้

28

หน่วยการเรียนรู้ที่ 6



โมเมนตัมและการชน

32

แรงและโมเมนตัม

34

การอนุรักษ์โมเมนตัม

37

การลดและแรงดล

41

การอนุรักษ์พลังงานในการชนและการชนแบบยืดหยุ่น

44

การชนแบบไม่ยืดหยุ่น

48

กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้

56

หน่วยการเรียนรู้ที่ 7



สภาพสมดุลและสภาพยืดหยุ่น

62

เงื่อนไขสภาวะสมดุลและโจทย์ปัญหา

63

สมดุลเสถียรและสมดุลไม่เสถียร

71

เครื่องกลและการได้เปรียบเชิงกล

72

สภาวะยืดหยุ่น ความเค้น ความเครียด

74

กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้

80

บรรณานุกรม

85

หน่วยการเรียนรู้ที่ 5



งานและพลังงาน

แนวคิด

งาน (work) ถูกนิยามใน 2 ความหมาย กล่าวคือ ความหมายทางคณิตศาสตร์ หมายถึง ผลคูณ (product) ระหว่างแรงกับการกระจัด กำหนดโดย $w = F \Delta x \cos \theta$ เป็นปริมาณสเกลาร์ และความหมายทางฟิสิกส์ หมายถึง ค่าแสดงผลของแรงซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่อย่างมีทิศทาง งานที่ทำได้ในหนึ่งหน่วยเวลาจะเรียกว่า กำลังเฉลี่ย (P_{av}) กำหนดโดยสมการ $P_{av} = \frac{W}{\Delta t}$ และงานยังสามารถนิยามได้อีกว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์ ($W = \Delta E_k$) ดังนั้น เมื่องานเกิดขึ้นจะสามารถหาค่าพลังงานจลน์ กำหนดโดย $E_k = \frac{1}{2} mv^2$ แต่สำหรับวัตถุที่ถูกสร้างไว้ชั่วคราวกันที่จะมีพลังงานที่เรียกว่า พลังงานศักย์โน้มถ่วง กำหนดโดย $E_p = mgh$ และในกรณีมวลถูกสร้างกับสปริงจะเรียก พลังงานศักย์ยืดหยุ่น กำหนดโดย $E_{ps} = \frac{1}{2} kx^2$ ด้วย จากความรู้ข้างต้นทำให้นักเรียนสามารถนำค่าของงานมาคำนวณประสิทธิภาพ และการได้เปรียบเชิงกลได้จากสูตร $\text{Efficiency} = \frac{W_{out}}{W_{in}} \times 100\%$ และ $M.A. = \frac{F_{out}}{F_{in}} = \frac{S_{in}}{S_{out}}$ ตามลำดับ

สาระการเรียนรู้

1. การคำนวณงานของแรงคงตัวจากสมการ การหาพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับตำแหน่ง และการคำนวณกำลังเฉลี่ย
2. การคำนวณพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ พลังงานกล การหาความสัมพันธ์ระหว่างงานของแรงลัพธ์กับพลังงานจลน์ หรือพลังงานศักย์โน้มถ่วง หรือพลังงานศักย์ยืดหยุ่น รวมทั้งการคำนวณแรงในสปริง และงานที่เกิดขึ้นจากแรงลัพธ์
3. กฎการอนุรักษ์พลังงานกล และการนำไปประยุกต์ใช้กับการเคลื่อนที่ของวัตถุ
4. การคำนวณประสิทธิภาพ และการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องกลอย่างง่ายบางชนิดโดยใช้ความรู้เรื่องงานและสมมูลกล

ผลการเรียนรู้

1. วิเคราะห์และคำนวณงานของแรงคงตัวจากสมการ และพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับตำแหน่ง รวมทั้งอธิบายและคำนวณกำลังเฉลี่ย
2. อธิบายและคำนวณพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ พลังงานกล ตลอดจนหาความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานจลน์ ความสัมพันธ์ระหว่างกับ พลังงานศักย์โน้มถ่วง ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงที่ได้ดึงสปริงกับระยะที่สปริงยืดออก และความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานศักย์ยืดหยุ่น รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างงานของแรงลัพธ์และพลังงานจลน์ และคำนวณงานที่เกิดขึ้นจากแรงลัพธ์
3. อธิบายกฎการอนุรักษ์พลังงานกล รวมทั้งวิเคราะห์ และคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในสถานการณ์ต่างๆ โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกล
4. อธิบายการทำงาน ประสิทธิภาพและการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องกลอย่างง่ายบางชนิด โดยใช้ความรู้เรื่องงานและสมมูลกล รวมทั้งคำนวณ ประสิทธิภาพและการได้เชิงกล

ในบทนี้จะนำเสนอมุมมองในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุแบบไม่มีการหมุน (translation) ในรูปแบบของงานและพลังงาน แนวความคิดที่สำคัญของพลังงาน คือ การที่พลังงานมีการอนุรักษ์ (conservation) ซึ่งหมายความว่าในกรณีทั่วๆ ไปพลังงานรวมจะมีค่าคงที่ และไม่มีการสูญสลาย มีเพียงแค่การเปลี่ยนรูปแบบของพลังงาน ซึ่งหลักการอนุรักษ์พลังงานสามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาโจทย์ทางฟิสิกส์ที่มีความซับซ้อนมากขึ้นเนื่องจากงาน (work) และพลังงาน (energy) ซึ่งเป็นปริมาณสเกลาร์ อยู่ในรูปทางคณิตศาสตร์ที่มีความเรียบง่ายกว่าความเร่ง และแรงซึ่งเป็นปริมาณเวกเตอร์นั่นเอง

1 งานของแรงคงตัว

ในทางฟิสิกส์ คำว่า งาน (work) คือ การที่แรงกระทำกับวัตถุแล้วส่งผลให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ที่ขนานกับแนวแรง ซึ่งในบทเรียนต่อไปเราจะพิจารณาเพียงการเคลื่อนที่แบบไม่มีการหมุน (translation) และสมมติว่าวัตถุที่เคลื่อนที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

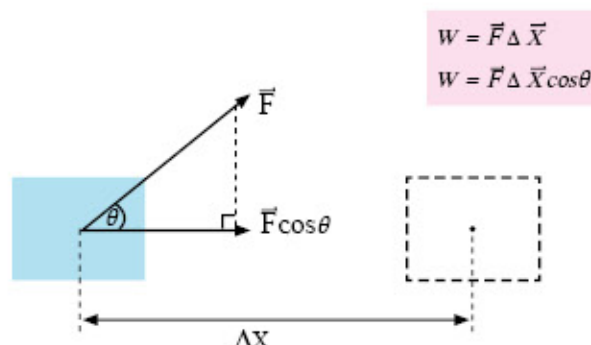
การที่แรง $\vec{F}$ กระทำต่อวัตถุ แล้วทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง $\vec{X}$ ในกรณีที่แรงเป็นแรงคงตัว ถ้ามุมระหว่างแรงกับทิศทางที่วัตถุเคลื่อนที่เป็น θ จะสามารถคำนวณงานได้จาก

W = งานที่เกิดจากแรงคงตัวมีหน่วยเป็นจูล (J)

$\vec{F}$ = ขนาดของแรงคงตัวมีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

$\vec{X}$ = ขนาดของการกระจัดมีหน่วยเป็น (M)

θ = มุมระหว่างแรงและการกระจัด



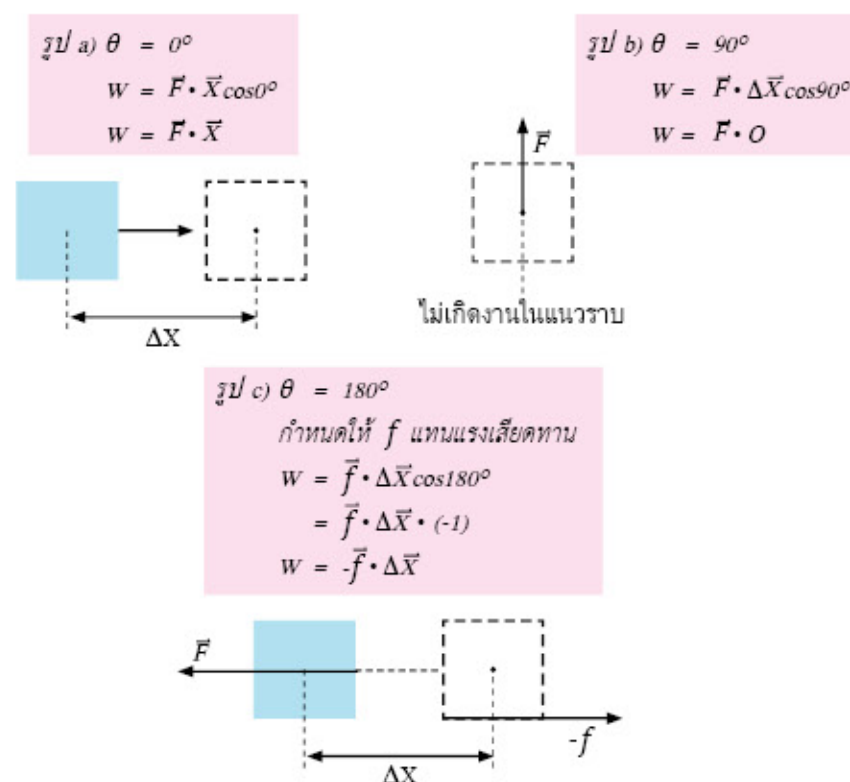
เมื่อ $\vec{F}$ เป็นขนาดของแรงคงที่ เทอม $\cos \theta$ มาจากการแตกองค์ประกอบของเวกเตอร์แรง $\vec{F}$ ให้ขนานกับเวกเตอร์การกระจัด $\vec{X}$ หรือ อาจเป็นการแตกองค์ประกอบของเวกเตอร์ การกระจัด $\vec{X}$ ให้ขนานกับเวกเตอร์แรง $\vec{F}$ ซึ่งสามารถทำให้เกิดกรณีพิเศษขึ้นดังนี้

งานและพลังงาน 3

a) แรงมีทิศขนานกับการเคลื่อนที่ ทำให้ $\cos \theta = \cos 0^\circ = 1$ และ $W = Fd$ งานที่แรงทำได้จะมีค่าสูงสุด เช่น การออกแรงขว้างลูกฟุตบอลที่ลูกฟุตบอลเคลื่อนที่ไปพร้อมกับมือที่ใช้ขว้าง (รูป a)

b) แรงมีทิศตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ ทำให้ $\cos \theta = \cos 90^\circ = 0$ และ $W = 0$ งานจะมีค่าเป็นศูนย์ เช่น การออกแรงในแนวตั้งฉากกับพื้น เพื่อดึงกระเป๋าแล้วเดินไปข้างหน้าบนพื้นราบจะไม่ทำให้เกิดงาน (รูป b)

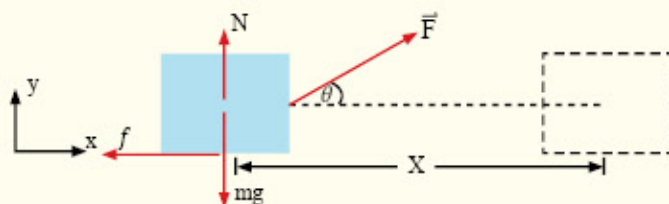
c) แรงมีทิศตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ ทำให้ $\cos \theta = \cos 180^\circ = -1$ และ $W = -\vec{F} \cdot \vec{X}$ งานจะมีค่าเป็นศูนย์ เช่น แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นขณะที่วัตถุมีการไถลทำงานที่มีค่าเป็นลบ (รูป c)



ความรู้เพิ่มเติม

หน่วย SI ของงาน คือ นิวตัน · เมตร (N · m) หรือจูล (Joule; J) ซึ่งตั้งให้เป็นเกียรติแก่ เจมส์ เพรสคอตต์ จูล (James Prescott Joule; 1818 - 1889) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษผู้คิดค้นนิยามของหลักการอนุรักษ์พลังงาน และสร้างผลงานวิจัยเกี่ยวกับความร้อนและพลังงานไว้มากมาย

ตัวอย่าง 5.1 “งานในการลากหีบไม้”



คนงานออกแรงลากหีบไม้มวล 50 กิโลกรัม ไปตามพื้นระดับเป็นระยะทาง 40 เมตร ด้วยแรงดึงคงที่ $F = 100$ นิวตัน ทำมุม $\theta = 37^\circ$ กับแนวระดับ พื้นผิวมีความฝืด และมีแรงเสียดทานขนาด $f = 50$ นิวตัน หางานที่ทำต่อหีบโดยแรงทั้งหมดและงานรวมที่ทำต่อหีบ

วิธีทำ

1. หางานที่ทำต่อหีบ

พิจารณาน้ำหนัก (mg) และแรงปฏิกิริยาดังฉาก (N) ที่กระทำต่อหีบ

เนื่องจากแรงทั้งสองมีทิศตั้งฉากกับแนวทางการเคลื่อนที่ มุม θ ระหว่างแรงกับแนวการเคลื่อนที่จะเป็น 90° ซึ่งทำให้ $\cos \theta = 0$ และทำให้งานเนื่องจากแรงโน้มถ่วง และแรงปฏิกิริยาดังฉากมีค่าเป็น $W_G = 0$ และ $W_N = 0$ ตามลำดับ ตอบ

งานที่เกิดขึ้นจากแรงดึง F ทำมุม $\theta = 37^\circ$ กับแนวการเคลื่อนที่ หาได้จาก

$$W_F = \vec{F} \cdot \vec{X} \cdot \cos \theta = (100 \text{ N})(40 \text{ m}) \cos 37^\circ = 3200 \text{ J} \quad \text{ตอบ}$$

งานที่ทำโดยแรงเสียดทาน f ซึ่งมีทิศตรงข้ามกับแนวการเคลื่อนที่ หรือทำมุม $\theta = 180^\circ$ กับแนวการเคลื่อนที่ สามารถหาได้จาก

$$W_f = \vec{f} \cdot \vec{X} \cdot \cos \theta = (50 \text{ N})(40 \text{ m}) \cos 180^\circ = -2000 \text{ J} \quad \text{ตอบ}$$

ซึ่งสังเกตได้ว่าการที่แรงมีทิศตรงข้ามกับแนวการเคลื่อนที่ ทำให้ $\cos 180^\circ = -1$ ซึ่งส่งผลให้งานเนื่องจากแรงเสียดทานมีค่าติดลบ

2. หางานรวม

สำหรับงานรวม เราสามารถหาได้ 2 วิธี ได้แก่

1) หาได้จากผลรวมของงานเนื่องจากแรงทุกแรงที่กระทำ นั่นคือ

$$W = W_G + W_N + W_F + W_f = 0 + 0 + 3200 - 2000 = 1200 \text{ J} \quad \text{ตอบ}$$

2) หาได้จากงานเนื่องจากองค์ประกอบของแรงลัพธ์ในทิศทางเดียวกันกับแนวการเคลื่อนที่ (แกน +x)

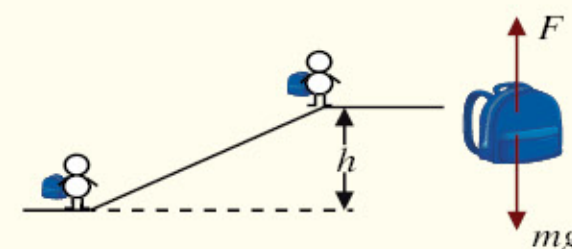
$$\begin{aligned} W &= (F_{\text{total}})_x \cdot X = (F \cos \theta - f)X \\ &= ((100 \text{ N}) \cos 37^\circ - 50 \text{ N})(40 \text{ m}) = 1200 \text{ J} \quad \text{ตอบ} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 5.2 “งานในการแบกเป้”

นักปีนเขาคนหนึ่งแบกกระเป๋าเป้มวล 15 กิโลกรัม ขึ้นเนินเขาที่มีระดับความสูง 10 เมตร โดยสมมติว่านักปีนเขาไต่ระดับด้วยอัตราที่คงที่ จงหา

- งานที่นักปีนเขาทำต่อกระเป๋าเป้ตลอดช่วงของการไต่ระดับ
- งานที่แรงโน้มถ่วงทำต่อกระเป๋าเป้ตลอดช่วงของการไต่ระดับ
- งานรวมที่ทำต่อกระเป๋าเป้

โดยกำหนดให้สนามโน้มถ่วงของโลกมีค่าเป็น $g = 10 \text{ m/s}^2$



วิธีทำ

เริ่มต้นพิจารณาแรงที่กระทำต่อวัตถุ คือ กระเป๋าเป้ ซึ่งประกอบด้วยแรงโน้มถ่วง $F_G = mg$ กระทำต่อวัตถุในทิศลง และแรงปฏิกิริยาดังฉากจากนักปีนเขา $F_N = mg$ กระทำต่อวัตถุในทิศขึ้น

a) งานที่นักปีนเขาทำต่อกระเป๋าเป้หาได้จาก

$$W_N = \vec{F}_N \cdot \vec{X} \cdot \cos \theta = mgh \cos 0 = (15 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)(10 \text{ m})(1) = 1500 \text{ จูล} \quad \text{ตอบ}$$

หมายเหตุ: การแทนค่าระยะเป็น h เป็นการพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบของการกระจัดในแนวนอนกับแรง F เท่านั้น

b) งานที่แรงโน้มถ่วงทำต่อกระเป๋าเป้หาได้จาก

$$W_G = \vec{F}_G \cdot \vec{X} \cdot \cos \theta = mgh \cos 180^\circ = (15 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)(10 \text{ m})(-1) = -1500 \text{ จูล} \quad \text{ตอบ}$$

c) งานรวม

$$W = W_N + W_G = (1500 \text{ จูล}) + (-1500 \text{ จูล}) = 0 \quad \text{ตอบ}$$



ชวนคิด

ดวงจันทร์โคจรรอบโลกด้วยเส้นทาง (trajectory) ที่เกือบจะเป็นวงกลม
โลกทำงานต่อดวงจันทร์หรือไม่?

2

พลังงานจลน์และทฤษฎีบทงาน-พลังงาน

พลังงาน ความหมายในเชิงกลศาสตร์ของพลังงาน คือ “ความสามารถในการทำงาน” สำหรับกรณีใดๆ ที่วัตถุมีการเคลื่อนที่ เราสามารถนิยามพลังงานจลน์ (kinetic energy) ว่าเป็น “พลังงานของการเคลื่อนที่” เนื่องจากวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่มีความสามารถในการทำงานให้กับวัตถุที่เข้าไปชนในขณะเดียวกัน การออกแรงเพื่อทำงานให้กับวัตถุชิ้นหนึ่งก็เป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับวัตถุเช่นกัน พิจารณากรณีการใช้แรง $\vec{F}$ เร่งวัตถุมวล m ให้เคลื่อนที่ใน 1 มิติ เป็นระยะ S ด้วยอัตราเร่งคงที่ ทำให้อัตราเร็วเพิ่มขึ้นจาก u เป็น v

ความเร่งสามารถหาได้จากสมการ $v^2 = u^2 + 2a\vec{x}$ ทำให้

$$a = \frac{v^2 - u^2}{2\vec{x}}$$

และงานเนื่องจากแรงคงที่สามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$W = F\vec{x} = m\vec{a}\vec{x} = m\left(\frac{v^2 - u^2}{2\vec{x}}\right)\vec{x} = m\left(\frac{v^2 - u^2}{2}\right) = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2$$

ถ้านิยาม**พลังงานจลน์ (kinetic energy)** เป็น

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

E_k คือ พลังงานจลน์ มีหน่วยเป็นจูล (J)
 m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)
 v คือ อัตราเร็วของวัตถุ มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

จะทำให้

$$W = \Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2$$

เรียกสมการนี้ว่า **ทฤษฎีบท งาน-พลังงาน (Work-Energy Theorem)** ซึ่งคือ การที่งานรวมที่แรงกระทำต่อวัตถุมีค่าเท่ากับผลต่างของพลังงานจลน์ หรือกล่าวคือ การทำงานเป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับวัตถุนั้นเอง



ตัวอย่าง 5.3 “งานในการเร่งเครื่อง”

จงหางานที่ต้องใช้ในการเร่งเครื่องยนต์มวล 1000 กิโลกรัม ให้เพิ่มอัตราเร็วจาก 20 เมตรต่อวินาทีเป็น 30 เมตรต่อวินาที

หมายเหตุ: ในโจทย์ข้อนี้ยังไม่มีการพิจารณาระบบของเครื่องยนต์ที่มีความซับซ้อนสูงมาก แต่จะสนใจงานที่เครื่องยนต์ทำโดยภาพรวมเท่านั้น

วิธีทำ

จากทฤษฎีบท งาน-พลังงาน งานที่ใช้ในการเพิ่มอัตราเร็วของรถยนต์ คือ งานส่วนที่ทำให้พลังงานจลน์เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถคิดได้จากผลต่างของพลังงานจลน์ คือ

$$\begin{aligned} W = \Delta E_k &= \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2 \\ &= \frac{1}{2}(1000)(30)^2 - \frac{1}{2}(1000)(20)^2 \text{ J} = 2.5 \times 10^5 \text{ J} \quad \text{ตอบ} \end{aligned}$$



ตัวอย่าง 5.4 “งานในการเบรก”

รถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เบรกออกแรงคงที่ในการหยุดรถได้ภายในระยะ $d=20$ เมตร ถ้ารถมีความเร็วเริ่มต้นเพิ่มเป็น 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เบรกออกแรงคงที่เท่าเดิมในการหยุดรถ จะสามารถหยุดรถได้ที่ระยะทางเท่าใด

วิธีทำ

แรง F ที่ใช้ในการเบรกกรณีทิศทางตรงข้ามกับแนวทางการเคลื่อนที่ ดังนั้น เราจึงสามารถเขียนงานเนื่องจากการเบรกให้อยู่ในรูปของ $W = -F\vec{x}$ และจากทฤษฎีบท งาน-พลังงาน

$$W = \Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2$$

พลังงานจลน์หลังจากการเบรกแล้วรถอยู่กับที่มีค่าเป็น 0 ดังนั้น

$$-F\vec{x} = 0 - \frac{1}{2}mv^2$$

นั่นคือ ระยะเบรค d แปรผันโดยตรงกับกำลังสองของอัตราเร็วต้น v_1 หรือ $d \propto v_1^2$
 ดังนั้น เมื่อเพิ่มอัตราเร็วต้นเป็น 2 เท่าจาก 60 เป็น 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะทำให้ระยะเบรค
 เพิ่มจาก 20 เป็น 80 เมตร ตอบ

3 พลังงานศักย์

พลังงานศักย์ (Potential Energy) คือ พลังงานที่เกิดหรือสะสมขึ้นจากแรงที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งหรือรูปร่างของวัตถุ และสามารถถูกปลดปล่อยเป็นพลังงานในรูปแบบอื่นได้ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดในชีวิตประจำวัน เช่น รถไถลาน ซึ่งผู้เฝ้าสามารถไถลานเพื่อเพิ่มพลังงานศักย์ที่อยู่ในสปริงภายในรถไถลาน เมื่อสปริงภายในรถไถลานคลายตัวออกก็จะเกิดงานขึ้น และแปรเปลี่ยนกลายเป็นพลังงานจลน์ที่ทำให้รถของเล่นเคลื่อนที่ไปได้ ในบทนี้เราจะกล่าวถึงพลังงานศักย์เนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก ที่บริเวณใกล้ผิวโลก และพลังงานศักย์ของสปริงที่เป็นไปตามกฎของฮุคส์ พลังงานศักย์ชนิดอื่นๆ ได้แก่ พลังงานศักย์ทางเคมี (chemical potential energy) พลังงานศักย์ไฟฟ้า (electrical potential energy) และพลังงานศักย์นิวเคลียร์ (nuclear potential energy) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์เมื่อวัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง หรือรูปร่างจะมีค่าเท่ากับ งานจากแรงภายนอก (work from external force) ที่ต้องใช้ในการเคลื่อนวัตถุจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง หรือการเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุ

พลังงานศักย์โน้มถ่วง (Gravitational Potential Energy)

การยกวัตถุก่อนหนึ่งให้มีตำแหน่งสูงขึ้นเป็นการเพิ่มพลังงานศักย์ให้กับวัตถุ เนื่องจากเป็นการเพิ่ม “ความสามารถในการทำงาน” เมื่อปล่อยวัตถุให้ตกอย่างอิสระเนื่องจากมีระยะที่เกิดจากการเคลื่อนที่ด้วยแรงโน้มถ่วงเพิ่มขึ้น



พิจารณากรณีในรูป การยกก้อนมวล m ในแนวตั้งฉากโดยใช้แรงยกที่มีขนาดเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ เราจะพิจารณาแรงที่ชั้ยกก้อนวัตถุว่าเป็นแรงภายนอก (external force; F_{ext}) ซึ่งงานเนื่องจากแรงภายนอกในการยกวัตถุจากจุด y_1 ขึ้นมาถึงจุด y_2 เป็นระยะ h คือ

$$W_{ext} = F_{ext} \vec{X} = mgh = mg(y_2 - y_1)$$

จากนั้น ปล่อยวัตถุให้ตกลงมาอย่างอิสระตามแรงโน้มถ่วงกลับลงมาเป็นระยะ h ถ้าคิดการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงด้วยอัตราเร่งคงที่ g จะทำให้ได้อัตราเร็วปลายกำลังสองในรูป $v^2 = 2gh$ คูณความสัมพัทธ์ดังกล่าวด้วย $\frac{1}{2}m$ จะได้ว่า $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ นั่นคือ พลังงานจลน์ตอนปลายมีค่าเท่ากับงานที่ถูกถ่ายทอดให้ในช่วงแรก ดังนั้น เราจึงสามารถเขียนพลังงานศักย์โน้มถ่วงเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งได้ คือ

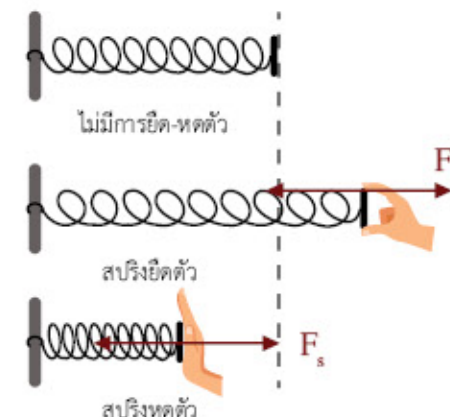
E_p คือ พลังงานศักย์โน้มถ่วง มีหน่วยเป็น จูล (J)

m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

g คือ ความเร่งโน้มถ่วงของโลก มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที² (m/s²)

h คือ ความสูงที่วัดจากตำแหน่งอ้างอิง มีหน่วยเป็น เมตร (m)

รูป 4



พลังงานศักย์ยืดหยุ่น (Elastic Potential Energy) พลังงานศักย์ในรูปแบบนี้เกิดจากการที่สปริง หรือวัสดุชนิดอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติความยืดหยุ่น เช่น ยาง มีการยืดตัว หรือหดตัวจากสภาวะปกติดังแสดงในรูป ที่มีการออกแรงภายนอกให้ขดลวดสปริงเกิดการยืดตัวหรือหดตัว ในที่นี้เราจะพิจารณาสปริงอย่างง่ายที่เป็นไปตามกฎของฮุค (Hooke's Law) คือ

แรงภายนอกที่กระทำต่อสปริงทั้งการดึง และการผลักแปรผันตรงกับระยะยืด หรือระยะหดของสปริง ดังสมการ

$$F_{ext} = kx$$

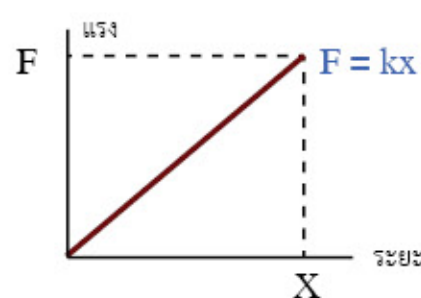
โดยที่ k เป็นค่าคงที่เรียกว่าค่าคงที่ของสปริง มีหน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร (N/m) เป็นค่าที่ใช้วัดความแข็ง (stiffness) ของสปริง

ขณะที่แรงภายนอกกระทำต่อสปริง สปริงก็มีการออกแรงปฏิกิริยา F_s ในทิศทางตรงข้ามกัน นั่นคือ

$$F_s = -kx$$



เรียกแรง F_s ว่าแรงสปริง (spring force) หรือแรงคืนกลับ (restoring force)



ทั้งแรงสปริงและแรงภายนอกที่ใช้ดึงสปริงเป็นแรงที่มีค่าขึ้นอยู่กับรูปร่าง กล่าวคือ การยืด-หด ของสปริง ดังนั้น เราจึงสามารถที่จะนิยามพลังงานศักย์ของสปริงว่าเป็นงานที่ใช้ในการยืด-หด ของสปริงได้ พิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงสปริงกับระยะยืด-หดของสปริงเชิงเส้นในรูป งานเนื่องจากแรงที่ไม่คงที่สามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟ $F-x$ นั่นคือ

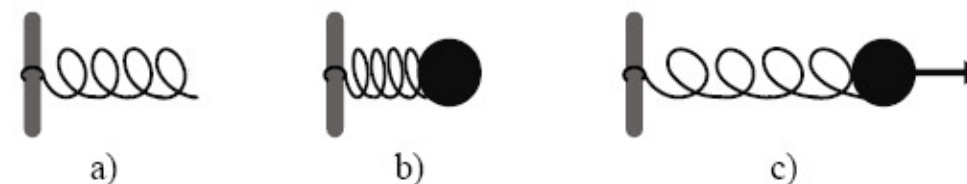
$$W = \text{พื้นที่สามเหลี่ยม} = \frac{1}{2} F_s x = \frac{1}{2} (kx)x = \frac{1}{2} kx^2$$

จึงสามารถเขียนพลังงานศักย์สปริง E_{ps} เป็นฟังก์ชันของการยืด-หด ของสปริงได้คือ

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

E_{ps} คือ พลังงานศักย์ยืดหยุ่น มีหน่วยเป็น จูล (J)
 k คือ ค่าคงตัวสปริง มีหน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร (kg)
 x คือ ระยะยืดหรือหดของสปริงจากตำแหน่งสมดุล มีหน่วยเป็น เมตร (m)

โดยที่ x เป็นขนาดของการกระจัดของการยืด-หดของสปริง เมื่อเทียบกับสปริงที่จุดสมดุล หรือจุดที่ไม่มีการยืด-หด และ k เป็นค่าคงตัวของสปริง



เช่นเดียวกันกับพลังงานศักย์โน้มถ่วง ที่การปล่อยวัตถุให้ตกลงมาจากที่สูงเป็นการปล่อยให้แรงโน้มถ่วงทำงานจากพลังงานศักย์ที่ถูกเก็บสะสมไว้ ทำให้อยู่ในรูปของการเพิ่มพลังงานจลน์ของวัตถุตามทฤษฎีบทงาน-พลังงาน สำหรับพลังงานศักย์ของสปริงในรูป a) ที่ถูกเก็บสะสมจากการอัดสปริงด้วยลูกบอลดังรูป b) สามารถถูกใช้ในการที่สปริงจะทำงานเพื่อเพิ่มพลังงานจลน์ในการเคลื่อนที่ให้กับลูกบอลได้ในขณะที่ลูกบอลถูกดีดออกไปดังแสดงในรูป c)

4 การอนุรักษ์พลังงานกล (Conservation of Mechanical Energy)

พิจารณางานจากแรงอนุรักษ์ เช่น การที่แรงโน้มถ่วงหรือแรงสปริงทำงานในการที่จะทำให้อัตถุเคลื่อนที่ตกสู่พื้น และการที่จะทำให้อัตถุคืนสภาพ พบว่า ในขณะที่มีการทำงานจากแรงอนุรักษ์ ระบบมีการเปลี่ยนสภาพไปในทิศทางที่พลังงานศักย์มีค่าลดลง เช่น วัตถุที่ตกลงสู่พื้นอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำทำให้พลังงานศักย์มีค่าต่ำลง และสปริงที่คืนสภาพกลับสู่ความยาวเดิมก็จะมีพลังงานศักย์ที่ลดลง ทำให้เราสามารถเขียนความสัมพันธ์แสดงทฤษฎีบทงาน-พลังงาน สำหรับงานจากแรงอนุรักษ์ (conservative force; W_C) กับพลังงานศักย์ได้ดังสมการ

$$W_C = -\Delta E_p$$

และเมื่องาน W_C ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์ตามทฤษฎีบทงาน-พลังงาน ของพลังงานจลน์ จะได้ว่า

$$W_C = -\Delta E_p = \Delta E_k \text{ และ } \Delta E_k + \Delta E_p = 0 \text{ หรือ } E_{total} = E_k + E_p = \text{ค่าคงที่}$$

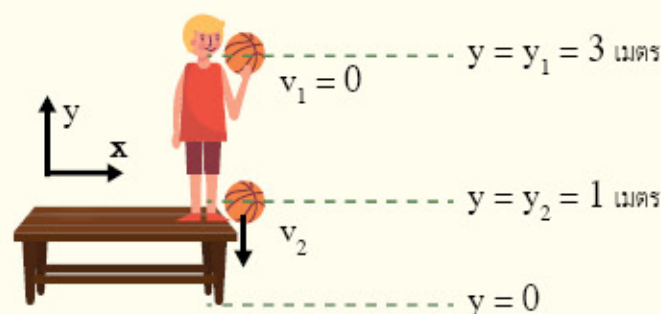
$$\text{หรือ } E_{total} = E_{before} + E_{after}$$

คือ การที่พลังงานกลรวม (total mechanical force; E_{total}) หรือ “ผลรวมของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อคิดเฉพาะผลจากแรงอนุรักษ์ แต่พลังงานจลน์สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานศักย์และพลังงานศักย์ก็สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานจลน์ได้”

จากสมการใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์ และพลังงานศักย์ในกรณีที่มีเพียงผลจากแรงอนุรักษ์ ในส่วนของผลเนื่องจากแรงเสียดทานซึ่งเป็นแรงไม่อนุรักษ์ (non-conservative force) จะมีการกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

💡 ตัวอย่าง 5.5 “ก้อนหินตก”

ชายคนหนึ่งถือหินอยู่ที่ตำแหน่งสูง $y_1 = 3$ เมตร จากพื้น ก่อนที่จะปล่อยหินให้ตกอย่างอิสระ จงหาอัตราเร็วของหินที่ตำแหน่งสูง $y_2 = 1$ เมตร จากพื้น



วิธีทำ

จากสมการการอนุรักษ์พลังงานกล

$$E_{before} = E_{after}$$

ให้เลข 1 แทนสถานะของระบบก่อนปล่อยหิน และ 2 แทนสถานะของระบบหลังจากการปล่อยหินตกลงมาเป็นระยะ h เราสามารถเขียนสมการข้างต้นใหม่ในรูปผลรวมของพลังงานจลน์ และพลังงานศักย์

$$\frac{1}{2} mv_1^2 + mgy_1 = \frac{1}{2} mv_2^2 + mgy_2$$

จัดรูปสมการใหม่โดยที่ $v_1 = 0$ เนื่องจากเริ่มปล่อยวัตถุจากจุดหยุดนิ่ง จะได้ว่า

$$gy_1 = \frac{1}{2} v_2^2 + gy_2$$

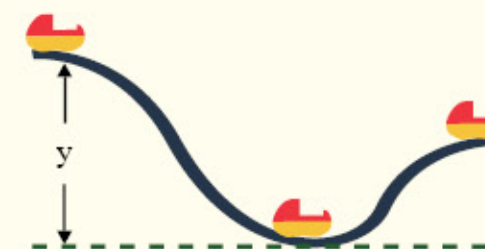
$$v_2 = \sqrt{2g(y_1 - y_2)} = \sqrt{2(10 \text{ ms}^{-2})(3-1 \text{ m})} = 6.3 \text{ ms}^{-1} \text{ ตอบ}$$

💡 ตัวอย่าง 5.6 “คำนวณอัตราเร็วของรถไฟเหาะ”

รถไฟเหาะถูกปล่อยจากหยุดนิ่งที่ความสูง 40 เมตร เมื่อวัตถุจากจุดต่ำสุด แล้วเคลื่อนที่ไปตามรางที่มีแรงเสียดทานน้อยมาก

- จงหาอัตราเร็วที่จุดต่ำสุด
- ที่ความสูงระดับใดรถไฟเหาะจะมีอัตราเร็วเป็นครึ่งหนึ่งของอัตราเร็วที่จุดต่ำสุด

กำหนดให้ค่าสนามโน้มถ่วงของโลกเป็น 9.8 เมตรต่อวินาที 2



วิธีทำ

- จากหลักการอนุรักษ์พลังงานของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วง

$$\frac{1}{2} mv_1^2 + mgy_1 = \frac{1}{2} mv_2^2 + mgy_2$$

กำหนดให้จุดต่ำสุดเป็นตำแหน่งอ้างอิง และกำหนดให้เลข 1 และ 2 แทนสถานะของวัตถุที่ตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งต่ำสุดตามลำดับ ซึ่งทำให้ $y_2 = 0$ และจากการปล่อยวัตถุจากจุดหยุดนิ่ง จะได้ว่า $v_1 = 0$ เช่นกัน ดังนั้น เราสามารถหาอัตราเร็ว v_2 ที่จุดต่ำสุดได้จาก

$$v_2 = \sqrt{2gy_1} = \sqrt{2(9.8 \text{ ms}^{-2})(40 \text{ m})} = 28 \text{ ms}^{-1} \text{ ตอบ}$$

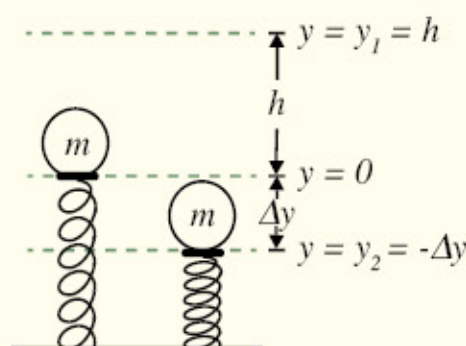
b) ในข้อนี้เราต้องการหาค่าของ y_2 ที่ไม่ทราบค่า ภายใต้เงื่อนไขที่ v_2 มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของอัตราเร็วที่จุดต่ำสุด จากหลักการอนุรักษ์พลังงานของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วง จากการปล่อยวัตถุจากจุดหยุดนิ่ง จะได้ว่า $v_1 = 0$ และทำให้

$$gy_1 = \frac{1}{2} v_2^2 + gy_2$$

$$y_2 = y_1 - \frac{v_2^2}{2g} = 40 \text{ m} - \frac{(14 \text{ ms}^{-1})^2}{2(9.8 \text{ ms}^{-2})} \quad \text{ตอบ}$$

ตัวอย่าง 5.7 “วัตถุตกลงบนสปริง”

ลูกบอลมวล m ตกลงมาเป็นระยะ h ก่อนที่จะสัมผัสกับขดลวดสปริงแล้วกดให้สปริงหดลงเป็นระยะ Δy ก่อนที่สปริงจะตึงกลับ จงเขียนค่าคงที่ของสปริง k ในรูปของมวล m ระยะ h และระยะ Δy



วิธีทำ

จากหลักการอนุรักษ์พลังงานของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วง และแรงยืดหยุ่นของสปริง

$$\frac{1}{2} m v_1^2 + m g y_1 + \frac{1}{2} k (\Delta y_1)^2 = \frac{1}{2} m v_2^2 + m g y_2 + \frac{1}{2} k (\Delta y_1)^2$$

กำหนดให้จุดสัมผัสระหว่างลูกบอลกับสปริงเป็นตำแหน่งอ้างอิง และกำหนดให้เลข 1 และ 2 แทนสถานะของวัตถุที่ตำแหน่งเริ่มต้นก่อนการปล่อย และตำแหน่งที่สปริงถูกกดต่ำสุดตามลำดับ ซึ่งทำให้ $v_1 = 0$ เนื่องจากการปล่อยวัตถุจากจุดหยุดนิ่ง และ $y_1 = h$ เป็นตำแหน่งเริ่มต้นที่อยู่สูงกว่าตำแหน่งอ้างอิง

$v_1 = 0$ เนื่องจากวัตถุถูกสปริงหยุดการเคลื่อนที่ก่อนที่จะตึงกลับ และ $y_2 = \Delta y_2 = -\Delta y$ เป็นตำแหน่งที่สปริงถูกกดต่ำกว่าจุดอ้างอิง

$\Delta y_1 = 0$ เนื่องจากในจังหวะที่ปล่อยสปริงยังไม่ถูกบีบอัด แทนค่าดังกล่าวลงในสมการการอนุรักษ์พลังงาน จะได้ว่า

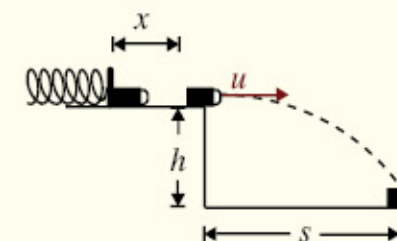
$$mgh = mg(-\Delta y) + \frac{1}{2} k(\Delta y)^2$$

ซึ่งเมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้ค่าคงที่ของสปริง k ในรูปของมวล m ระยะ h และระยะ Δy คือ

$$k = \frac{2mg(h + \Delta y)}{(\Delta y)^2} \quad \text{ตอบ}$$

ตัวอย่าง 5.8 “สปริงกับโพรเจกไทล์”

วางก้อนยางลบมวล m ไว้ที่ริมโต๊ะสูง h จากพื้นระดับ ติดกับสปริงที่มีค่าคงที่ k ทำการกดก้อนยางลบเข้าไปในสปริงเป็นระยะ x แล้วปล่อยให้ก้อนยางลบเริ่มเคลื่อนที่ในแนวระดับออกจากขอบโต๊ะ ก่อนที่จะตกลงสู่พื้นในระยะ s จากขอบโต๊ะ จงหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะตก s กับระยะการอัดตัวของสปริง x



พิจารณาพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ของระบบ ก่อนและหลังการปล่อยสปริง จากหลักการอนุรักษ์พลังงาน

$$E_{\text{before}} = E_{\text{after}}$$

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$$

ก่อนการปล่อยสปริงวัตถุไม่มีการเคลื่อนที่ทำให้พลังงานจลน์ $E_{k1} = 0$ และพลังงานศักย์คิดได้จากการบีบอัดสปริงเป็นระยะ x ซึ่งทำให้ $E_{p1} = \frac{1}{2} kx^2$ ในขณะที่หลังจากการปล่อยสปริง $E_{p2} = 0$ และวัตถุมีการเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วต้นค่าหนึ่งซึ่งจะสมมติให้เป็น u ทำให้พลังงานจลน์มีค่าเท่ากับ $E_{k2} = \frac{1}{2} mu^2$ ดังนั้น เราจึงสามารถเขียนสมการข้างต้นใหม่ได้เป็น

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

$$u = \sqrt{\frac{k}{m}} x$$

พิจารณาการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ วัตถุมีเพียงแค่ความเร็วต้นในแนวราบ ดังนั้น $u_y = 0$ และองค์ประกอบของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งเป็นไปตามความสัมพันธ์

$$s_y = u_y t - \frac{1}{2} gt^2$$

แทนค่า $u_y = 0$ และ $s_y = -h$ เป็นระยะในแนวตั้งที่วัตถุตก ดังนั้น

$$h = \frac{1}{2} gt^2 \text{ และ } t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

เป็นเวลาที่ใช้วัตถุใช้ในการตกถึงพื้นนับตั้งแต่การปล่อยสปริง จากนั้นกลับมาพิจารณาองค์ประกอบของการเคลื่อนที่ในแนวระดับซึ่งมีอัตราเร็วต้น คือ $u_x = u = \sqrt{\frac{k}{m}} x$ ไปเป็นระยะ $s_x = s$ จะได้ว่า

$$s_x = u_x t = \left(\sqrt{\frac{k}{m}} x\right) \left(\sqrt{\frac{2h}{g}}\right)$$

$$s = \sqrt{\frac{2kh}{mg}} x$$

เป็นความสัมพันธ์ระหว่างระยะตก s กับระยะการอัดตัวของสปริง x ตอบ

5 การสูญเสียพลังงานกล

พลังงานศักย์สามารถเกิดขึ้นได้จากแรงที่เป็น**แรงอนุรักษ์ (Conservative Forces)** ซึ่งงานที่ใช้เคลื่อนวัตถุภายใต้แรงอนุรักษ์จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งสุดท้ายเท่านั้น (เช่น ขึ้นอยู่กับความสูงของตำแหน่งก่อนและหลังการตกของวัตถุ) ไม่ขึ้นอยู่กับเส้นทางการเคลื่อนที่ทำให้สามารถที่จะนิยามพลังงานศักย์ให้เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งหรือรูปร่างได้ ในขณะที่งานจากแรงไม่อนุรักษ์ (Non-conservative Forces) เช่น แรงเสียดทาน ขึ้นอยู่กับเส้นทางการเคลื่อนที่ (ว่าจะมีการสัมผัสพื้นผิวและเกิดการไถลหรือไม่ และขึ้นอยู่กับการสัมผัสตลอดเส้นทางว่าจะมีระยะทางเป็นเท่าใด) ซึ่งเราไม่สามารถที่จะนิยามพลังงานศักย์ให้เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งหรือรูปร่างได้ พิจารณางานรวมของระบบทั้งที่เกิดจากงาน W_C ของแรงอนุรักษ์ (Conservative Forces) และงาน W_{NC} ของแรงไม่อนุรักษ์ (Non-conservative Forces)

$$W = W_C + W_{NC}$$

ซึ่งงานรวม W ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์ตามทฤษฎีบทงาน-พลังงาน $W = \Delta E_K$ ซึ่งถ้าพิจารณาการลดลงของพลังงานศักย์เนื่องจากการทำงานของแรงอนุรักษ์ตามสมการ $W_C = -\Delta E_P$ ด้วยแล้ว ทำให้เราสามารถเขียนผลรวมของแรงทั้งสองใหม่ได้เป็น

$$\Delta E_K = -\Delta E_P + W_{NC} \text{ และ } W_{NC} = \Delta E_K + \Delta E_P$$

เราสามารถตีความสมการ ได้ว่างานเนื่องจากแรงไม่อนุรักษ์ส่งผลให้พลังงานกลของระบบเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ในกรณีของแรงเสียดทานที่งานมีค่าติดลบเนื่องจากแรงมีทิศตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ ก็จะทำให้พลังงานกลเกิดการสูญเสียจากการเปลี่ยนรูปเป็นความร้อนที่เกิดจากการเสียดสี



Trick Box การแก้ปัญหาโจทย์

เมื่อเราได้เรียนรู้เกี่ยวกับนิยามของงาน พลังงานจลน์ พลังงานศักย์ และงานจากแรงไม่อนุรักษ์ เช่น แรงเสียดทานแล้ว เราสามารถสรุปวิธีการแก้โจทย์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับงาน-พลังงานได้ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 นิยามระบบ

เริ่มต้นจากการวาดภาพของสถานการณ์ที่เรากำลังสนใจในรูปแบบของ Free-Body Diagram แล้วกำหนดสิ่งที่เป็นวัตถุ รวมทั้งแรงทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับงานและพลังงานของระบบ

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดตำแหน่งอ้างอิงสำหรับฟังก์ชันพลังงานศักย์

สำหรับระบบสปริง เรามักกำหนดให้พลังงานศักย์เป็นศูนย์ที่ระยะสมดุลซึ่งไม่มีการยืดหรือหด ส่วนระบบที่มีพลังงานศักย์โน้มถ่วงเข้ามาเกี่ยวข้อง เราสามารถกำหนดตำแหน่งที่พลังงานศักย์เป็น 0 ณ ที่ใดก็ได้ที่ทำให้การคำนวณสะดวกที่สุด โดยอาจจะเป็นตำแหน่งที่พื้นหรือจุดต่ำสุด

ขั้นตอนที่ 3 ตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้าย

เราอาจใช้ตัวเลขห้อย 1 และ 2 ในการแทนสถานะเริ่มต้นและสุดท้ายของระบบตามลำดับ จากนั้นจึงทำการดึงข้อมูลที่มาจากเงื่อนไขที่กำหนดในโจทย์

ขั้นตอนที่ 4 หลักการอนุรักษ์พลังงาน

กรณีไม่มีการสูญเสียพลังงานจากแรงไม่อนุรักษ์ เช่น แรงเสียดทาน ใช้สมการการอนุรักษ์พลังงาน

$$E_{\text{before}} = E_{\text{after}}$$

$$E_{K1} + E_{P1} = E_{K2} + E_{P2}$$

แต่ถ้ามีการสูญเสียพลังงาน ให้คิดผลจากแรงไม่อนุรักษ์ ตามสมการ

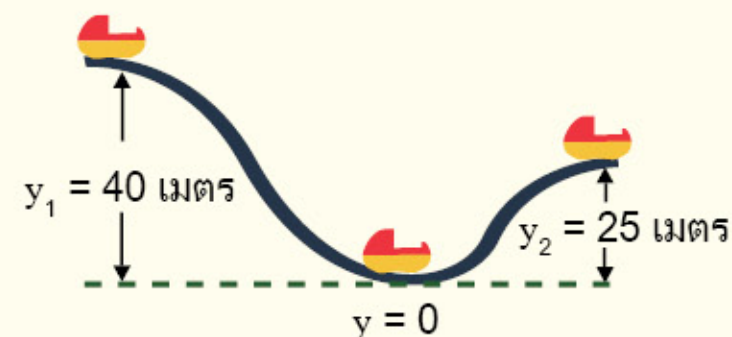
$$W_{NC} = \Delta E_K + \Delta E_P \quad \text{เมื่อ } W_{NC} \text{ เป็นงานที่ทำโดยแรงไม่อนุรักษ์}$$

ขั้นตอนที่ 5 แทนค่าเงื่อนไขจากตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้าย และแก้สมการจนได้คำตอบที่ต้องการ



ตัวอย่าง 5.9 “ความเสียดทานบนรางรถไฟเหาะ”

พิจารณาการเคลื่อนที่ของรถไฟเหาะบนรางที่มีแรงเสียดทาน ปล่อยรถจากความสูง 40 เมตร วัดจากจุดต่ำสุด รถเคลื่อนที่ผ่านจุดต่ำสุดเป็นระยะทางรวม 400 เมตร แล้วไปหยุดที่ความสูง 25 เมตร ก่อนที่จะตกกลับลงมา ถ้ารถมีมวล 1000 กิโลกรัม จงหาพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเสียดสี **โดยสมมติให้แรงเสียดทานมีค่าคงที่ตลอดการเคลื่อนที่**



วิธีทำ เราเริ่มพิจารณาปัญหาตามขั้นตอนต่อไปนี้

นิยามระบบ

วัตถุที่เราพิจารณา คือ รถ แรงที่กระทำต่อระบบ ได้แก่ แรงโน้มถ่วง แรงเสียดทาน และแรงปฏิกิริยาของรางรถ แต่แรงปฏิกิริยามีทิศตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่จึงไม่ทำให้เกิดงาน และไม่ส่งผลต่อพลังงาน ส่วนแรงโน้มถ่วงซึ่งเป็นแรงอนุรักษ์ทำให้เราต้องพิจารณาพจน์ของพลังงานศักย์โน้มถ่วง และแรงเสียดทาน f เป็นแรงไม่อนุรักษ์มีทิศตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ สามารถเขียนอยู่ในรูป $W = -fd$

กำหนดตำแหน่งอ้างอิงสำหรับฟังก์ชันพลังงานศักย์

โดยปกติเราสามารถเลือกตำแหน่งอ้างอิงเป็นตำแหน่งใดก็ได้ แต่ในที่นี้เราจะเลือกจุดต่ำสุดของรางเป็นตำแหน่งอ้างอิงและกำหนดให้ $y = 0$ และพลังงานศักย์โน้มถ่วง $E_{PG} = 0$ ที่ตำแหน่งนั้น

ตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้าย

กำหนดให้เลข 1 แทนสถานะเริ่มต้นของระบบที่วัตถุหยุดนิ่งที่ความสูง 40 เมตร จากจุดอ้างอิง ดังนั้น $y_1 = 40$ เมตร และ $v_1 = 0$ เมตรต่อวินาที

กำหนดให้เลข 2 แทนสถานะสุดท้ายของระบบที่วัตถุหยุดนิ่งที่ความสูง 25 เมตร จากจุดอ้างอิง ดังนั้น $y_2 = 25$ เมตร และ $v_2 = 0$ เมตรต่อวินาที

หลักการอนุรักษ์พลังงาน (กรณีที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทาน)

$W_{NC} = \Delta E_K + \Delta E_P$ เมื่อ W_{NC} เป็นงานที่ทำโดยแรงเสียดทาน $W_{NC} = -fd$

$$-fd = \left(\frac{1}{2} mv_2^2 - \frac{1}{2} mv_1^2\right) + (mgy_2 - mgy_1)$$

แทนค่าเงื่อนไขจากตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้าย และแก้สมการ จะได้ว่า

$$-fd = (0-0) + (mgy_2 - mgy_1)$$

$$f = \frac{mg(y_1 - y_2)}{d} = \frac{375 \text{ นิวตัน}}{\frac{(1000 \text{ kg})(10 \text{ ms}^{-2})(40-25 \text{ m})}{400 \text{ m}}} \quad \text{ตอบ}$$

6 กำลัง (Power)

กำลัง (Power) มีนิยาม คือ “อัตราในการทำงานเทียบกับเวลา” หรือ “อัตราในการเปลี่ยนรูปของพลังงาน” กำลังเฉลี่ย P สามารถหาได้จากปริมาณของงาน หรือการเปลี่ยนรูปของพลังงานทั้งหมดหารด้วยเวลาที่ใช้ทั้งหมด

$$P_{av} = \frac{W}{\Delta t}$$

P_{av} คือ กำลังเฉลี่ย มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

W คือ งานที่ทำได้ มีหน่วยเป็น จูล (J)

Δt คือ เวลา มีหน่วยเป็น วินาที (t)

ในหน่วย SI กำลังมีหน่วยเป็น จูลต่อวินาที หรือ **วัตต์ (Watt; W)** เพื่อเป็นเกียรติแก่ เจมส์ วัตต์ (James Watt; 1736-1819) นักประดิษฐ์ชาวสกอต ผู้พัฒนาเครื่องจักรไอน้ำขึ้นในช่วงเวลาของการปฏิวัติอุตสาหกรรม ซึ่งหน่วยวัตต์เป็นหน่วยการวัดที่เราอาจจะคุ้นเคยจากการสังเกตฉลากของหลอดไฟฟ้าหรือเครื่องเสียง เป็นการบ่งบอกอัตรากำลังของการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าให้กลายเป็นแสงหรือเสียง

สำหรับอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เช่น รถยนต์ มักใช้หน่วยของกำลังเป็น **แรงม้า (horsepower; hp)** ซึ่ง 1 แรงม้า มีค่าประมาณ 750 วัตต์



ตัวอย่าง 5.10 “กำลังในการวิ่งขึ้นบันได”

นักวิ่งมวล 60 กิโลกรัม วิ่งขึ้นบันไดด้วยอัตราเร็วคงที่ในระยะเวลา 4 วินาที ทำให้ได้ระดับความสูงขึ้นไปได้ 4.5 เมตร

a) จงคำนวณหาอัตรากำลังที่ได้ในหน่วยวัตต์และแรงม้า (กำหนดให้ 1 แรงม้า มีค่าประมาณ 750 วัตต์)

b) ต้องใช้พลังงานเท่าใด

วิธีทำ

a) การวิ่งขึ้นบันไดเป็นการวิ่งที่สวนทิศทางของแรงโน้มถ่วง ดังนั้น งานที่ทำจึงมีค่าเป็น $W = mgy$ กำลังเฉลี่ยจึงสามารถหาได้จากงานต่อเวลา

$$P = \frac{W}{t} = \frac{mgy}{t} = \frac{(60 \text{ kg})(10 \text{ ms}^{-2})(4.5 \text{ m})}{4 \text{ s}} = 675 \text{ วัตต์} = 0.9 \text{ แรงม้า} \quad \text{ตอบ}$$

b) งานที่ต้องทำสามารถคำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานศักย์ได้โดยตรง หรืออาจคำนวณจากผลคูณระหว่างกำลังเฉลี่ยกับเวลา

$$W = Pt = mgy = 2700 \text{ จูล} \quad \text{ตอบ}$$

หมายเหตุ: ในการออกกำลังกาย กำลังที่ได้มักจะมีค่าน้อยกว่ากำลังที่เกิดจากการออกแรง เนื่องจากมักมีการสูญเสียพลังงานไปกับความร้อน

ตัวอย่าง 5.11 “แรงม้าในการขับเคลื่อน”

จงหากำลังเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์มวล 1500 กิโลกรัม ในการเร่งความเร็วบนพื้นระดับ จาก 90 เป็น 108 กิโลเมตรต่อชั่วโมงภายในเวลา 5 วินาที เพื่อที่จะแซงรถอีกคันหนึ่ง กำหนดให้แรงต้าน f ของรถยนต์มีค่าคงที่เท่ากับ 500 นิวตัน

วิธีทำ

ในการเร่งความเร็วจาก 25 เป็น 30 เมตรต่อวินาที (มีค่าเท่ากับเร่งจาก 90 เป็น 108 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ภายในเวลา 5 วินาที จะต้องทำความเร่งเฉลี่ยเท่ากับ

$$W = \frac{(30-25) \text{ ms}^{-1}}{5 \text{ s}} = 1 \text{ ms}^{-2}$$

แรงที่กระทำต่อระบบประกอบด้วยแรงลาก หรือแรงขับเคลื่อน F จากเครื่องยนต์ และแรงต้านรวม f จากกฎข้อที่สองของนิวตัน

$$\begin{aligned}\Sigma F &= ma \\ F - f &= m\bar{a} \\ F &= f + m\bar{a} = 500 + 1500 = 2000 \text{ นิวตัน}\end{aligned}$$

เนื่องจากกำลังเฉลี่ย $P = Fv$ เมื่อ v คืออัตราเร็วเฉลี่ย จะได้ว่าเครื่องยนต์จะต้องใช้กำลังในการเร่งเป็น

$$P = (2000 \text{ N}) \frac{(25+30) \text{ ms}^{-1}}{4 \text{ s}} = 675 \text{ วัตต์} = 0.9 \text{ แรงม้า ตอบ}$$

7 การได้เปรียบเชิงกล

แนวความคิดของหลักการอนุรักษ์พลังงานสามารถนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องกลและเครื่องผ่อนแรง เช่น ระบบรอกเคลื่อนที่ในตัวอย่างที่ 12 ซึ่งมีแรงพยายาม $F_{\text{พยายาม}}$ ในการดึงเชือกที่ส่งผลต่อแรงต้านทาน $F_{\text{ต้านทาน}}$ ที่มาจากน้ำหนักของวัตถุ ในกรณีที่ไม่มีการสูญเสียพลังงาน หรือกรณีที่เครื่องกลมีประสิทธิภาพ 100% งานจากแรงพยายามจะมีขนาดเท่ากับงานที่ทำต่อวัตถุที่มีแรงต้านทานตามหลักการอนุรักษ์พลังงานดังสมการ

$$\begin{aligned}W_{\text{พยายาม}} &= W_{\text{ต้านทาน}} \\ F_{\text{พยายาม}} d_{\text{พยายาม}} &= F_{\text{ต้านทาน}} d_{\text{ต้านทาน}}\end{aligned}$$

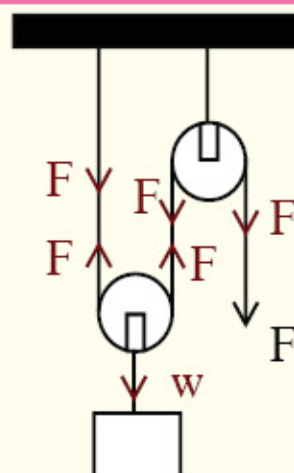
โดยที่ $d_{\text{พยายาม}}$ และ $d_{\text{ต้านทาน}}$ เป็นระยะทางที่เกิดการเคลื่อนที่ตามแนวของแรงพยายาม และแรงต้านทานตามลำดับ ซึ่งการได้เปรียบเชิงกลสามารถนิยามได้จากสัดส่วนของขนาดแรงต้านทานต่อแรงพยายามดังสมการ โดยที่ $d_{\text{พยายาม}}$ และ $d_{\text{ต้านทาน}}$ เป็นระยะทางที่เกิดการเคลื่อนที่ตามแนวของแรงพยายาม และแรงต้านทานตามลำดับ ซึ่งการได้เปรียบเชิงกลสามารถนิยามได้จากสัดส่วนของขนาดแรงต้านทานต่อแรงพยายามดังสมการ

$$\text{การได้เปรียบเชิงกล} = \frac{F_{\text{ต้านทาน}}}{F_{\text{พยายาม}}} = \frac{d_{\text{พยายาม}}}{d_{\text{ต้านทาน}}}$$

จากสมการข้างต้นเราสามารถตีความได้ว่า ถ้าเครื่องกลมีค่าการได้เปรียบเชิงกลที่สูง การออกแรงพยายามเพียงปริมาณน้อยสามารถที่จะเอาชนะแรงต้านทานที่มากได้ เราจึงสามารถที่จะใช้ในการผ่อนแรงได้ แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องออกแรงพยายามเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่มากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งเราจะกล่าวถึงรายละเอียดของเครื่องกลชนิดต่างๆ ในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับสมดุลกลต่อไป

ตัวอย่าง 5.12 “การได้เปรียบเชิงกลของระบบรอกเคลื่อนที่”

จงหาค่าการได้เปรียบเชิงกลของระบบรอกเคลื่อนที่ดังรูป โดยกำหนดให้รอกเบาและมีแรงเสียดทานน้อยมาก



วิธีทำ

พิจารณาน้ำหนักของมวล แรง F ที่ใช้ดึงเชือก และแรงตึงในเส้นเชือกทุกเส้นภายใต้เงื่อนไขสมดุล จะได้ว่า

$$F = \frac{W}{2}$$

ซึ่งในระบบรอกเราจะตีความว่าแรงพยายาม คือ แรง F ที่ใช้ดึงเชือกและแรงต้านทาน คือ น้ำหนัก W ของมวล ดังนั้น เราสามารถคำนวณการได้เปรียบเชิงกลได้จาก

$$\frac{\text{แรงต้านทาน}}{\text{แรงพยายาม}} = \frac{W}{F} = 2 \quad \text{ตอบ}$$

การที่ระบบรอกดังกล่าวมีค่าการได้เปรียบเชิงกลที่ 2 คือ การที่เราสามารถออกแรงเพียงครึ่งเดียวของน้ำหนักวัตถุเพื่อยกวัตถุขึ้นด้วยอัตราเร็วคงที่ได้

กิจกรรม “ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยัดกับระยะตกของหนังสติก”

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะยัดของสปริงกับกับระยะตกของโปรเจกไทล์
2. เพื่อประมาณค่าคงที่สปริงของหนังสติก

อุปกรณ์การทดลอง

1. หนังสติก
2. ก้อนยางลบ
3. เครื่องชั่งมวล
4. โต๊ะ
5. ไม้บรรทัด สายวัด
6. สี หมึก

วิธีการทดลอง

1. ทำการวัดค่าความสูง h ของโต๊ะ และชั่งมวล m ของก้อนยางลบ เคลื่อนก้อนยางลบด้วยสีหรือหมึก
2. ทดลองดึงหนังสติกถอยหลังจากขอบโต๊ะเป็นระยะ x ค่าต่างๆ วัดค่าระยะดึงด้วยไม้บรรทัด
3. ปล่อยหนังสติกให้ก้อนยางลบเคลื่อนที่จากขอบโต๊ะแล้วตกลงยังพื้น วัดระยะ s จากขอบโต๊ะไปยังจุดตก
4. ทำซ้ำข้อ 2-3 บันทึกค่าระยะการดึงหนังสติก x กับระยะตก s ลงในตารางและสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง s กับ x
5. วิเคราะห์หาความชันของกราฟแล้ววิเคราะห์หาค่าคงที่ของสปริงจากความสัมพันธ์ในตัวอย่าง 8

ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลอง

ระยะดึง X (cm)	ระยะตก S (cm)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3



เรื่อง “งานและพลังงาน”

งาน (Work) คือ การที่แรง F กระทำต่อวัตถุ แล้วทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง d ในกรณีที่แรงเป็นแรงคงตัว ถ้ามุมระหว่างแรงกับทิศทางที่วัตถุเคลื่อนที่เป็น θ จะสามารถคำนวณงานได้จาก

$$W = Fd \cos \theta \quad (1)$$

พลังงาน (Energy) คือ ความสามารถในการทำงาน โดยที่หน่วย SI ของงานและพลังงาน คือ หน่วยจูล (J) ซึ่ง 1 จูลมีค่าเท่ากับ 1 นิวตัน เมตร

พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) คือ พลังงานของวัตถุที่เคลื่อนที่ สำหรับวัตถุมวล m ที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว v จะมีพลังงานจลน์ในการเคลื่อน หรือ translational kinetic energy เป็น

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 \quad (2)$$

ทฤษฎีบท งาน-พลังงาน (Work-Energy Theorem) คือ การทำงานรวมที่แรงกระทำต่อวัตถุมีค่าเท่ากับผลต่างของพลังงานจลน์ หรือกล่าวคือ การทำงานเป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับวัตถุ ดังสมการ

$$W = \Delta E_k = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{2} mu^2 \quad (3)$$

พลังงานศักย์ (Potential Energy) คือ พลังงานที่เกิดหรือสะสมขึ้นจากแรงที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งหรือรูปร่างของวัตถุ และสามารถถูกปลดปล่อยเป็นพลังงานในรูปแบบอื่นได้ ได้แก่

พลังงานศักย์โน้มถ่วง (Gravitational Potential Energy) สามารถเขียนเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งได้คือ

$$E_{PG} = mgh \quad (4)$$

โดยที่ y เป็นความสูงของตำแหน่งวัตถุมวล m จากจุดอ้างอิง

พลังงานศักย์ยืดหยุ่น (Elastic Potential Energy) หรือพลังงานศักย์สปริง สามารถเขียนเป็นฟังก์ชันของการยืด-หด ของสปริงได้คือ

$$E_{PS} = \frac{1}{2} kx^2 \quad (5)$$

โดยที่ x เป็นขนาดของการกระจัดของการยืด-หดของสปริง เมื่อเทียบกับสปริงที่จุดสมดุลหรือจุดที่ไม่มีการยืด-หด และ k เป็นค่าคงที่ของสปริง

หลักการอนุรักษ์พลังงาน (Principle of Conservation of Energy) กล่าวว่าพลังงานสามารถเปลี่ยนรูปแบบได้โดยที่พลังงานรวมจะต้องมีค่าคงที่ ซึ่งเป็นจริงแม้ในกรณีของแรงเสียดทานซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานก็จัดได้ว่าเป็นการถ่ายเทพลังงานในรูปแบบหนึ่ง ดังนั้น ถ้าในระบบมีเพียงแรงอนุรักษ์ เราสามารถเขียนพลังงานเชิงกลรวม (Total Mechanical Energy) ในรูปของ

$$E_{total} = E_k + E_p = \text{ค่าคงที่ และ} \quad (6)$$

$$\text{หรือ } E_{total} = E_{before} + E_{after}$$

และเมื่อแรงไม่อนุรักษ์เช่นแรงเสียดทานเข้ามามีบทบาท เราจึงพิจารณาว่าเกิดจากแรงไม่อนุรักษ์ในรูปของการเปลี่ยนแปลงพลังงานเชิงกลรวม

$$W_{NC} = \Delta E_k + \Delta E_p \quad (7)$$

เมื่อ W_{NC} เป็นงานที่ทำโดยแรงไม่อนุรักษ์

กำลัง (Power) นิยามโดยอัตราการทำงานเทียบกับเวลา หรืออัตราการเปลี่ยนรูปและการถ่ายเทพลังงาน โดยที่กำลังเฉลี่ยสามารถเขียนอยู่ในรูปของ

$$P_{av} = \frac{W}{\Delta t} \quad (8)$$

หน่วย SI ของกำลังคือจูลต่อวินาที หรือ วัตต์ (Watts; W)