

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เวลา 60 ชั่วโมง จำนวน 1.5 หน่วยกิต

ศึกษาเกี่ยวกับ งาน กำลัง พลังงาน กฎการอนุรักษ์พลังงาน เครื่องกล โมเมนตัม แรงและการเปลี่ยนโมเมนตัม การดุลและแรงดุล การชน สภาพสมดุล เงื่อนไขของสมดุล โมเมนต์ของแรง โมเมนต์ของแรงคู่ควบ เสถียรภาพของสมดุล และหลักสมดุลกับชีวิตประจำวัน

โดยจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนได้ศึกษา ค้นคว้า นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตรประจำวันควบคู่ไปกับคุณธรรม และจริยธรรม และมีคุณลักษณะอันพึงประสงค์ ได้แก่ การใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้และการแก้ปัญหา มีความรอบคอบ มีความรับผิดชอบ พร้อมทั้งตระหนักว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ผลการเรียนรู้

- อธิบายสมดุลของวัตถุ โมเมนต์ และผลรวมของโมเมนต์ที่มีต่อการหมุน แรงคู่ควบและผลของแรงคู่ควบที่มีต่อสมดุลของวัตถุ เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุอิสระเมื่อวัตถุอยู่ในสมดุล และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องรวมทั้งทดลองและอธิบายสมดุลของแรงสามแรง
- สังเกต และอธิบายสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุเมื่อแรงที่กระทำต่อวัตถุผ่านศูนย์กลางมวลของวัตถุ และผลของศูนย์ถ่วงที่มีต่อเสถียรภาพของวัตถุ
- วิเคราะห์ และคำนวณงานของแรงคงตัว จากสมการและพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับตำแหน่ง รวมทั้งอธิบาย และคำนวณกำลังเฉลี่ย
- อธิบาย และคำนวณพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ พลังงานกล ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานจลน์ ความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานศักย์โน้มถ่วง ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงที่ใช้ดึงสปริงกับระยะที่สปริงยืดออกและความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานศักย์ยืดหยุ่น รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างงานของแรงลัพธ์ และพลังงานจลน์ และคำนวณงานที่เกิดขึ้นจากแรงลัพธ์
- อธิบายกฎการอนุรักษ์พลังงานกล รวมทั้งวิเคราะห์ และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในสถานการณ์ต่าง ๆ โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกล
- อธิบายการทำงาน ประสิทธิภาพและการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องกลอย่างง่ายบางชนิด โดยใช้ความรู้เรื่องงานและสมดุลกล รวมทั้งคำนวณประสิทธิภาพและการได้เปรียบเชิงกล
- อธิบาย และคำนวณโมเมนต์ของวัตถุและการดุลจากสมการและพื้นที่ใต้กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงลัพธ์กับเวลา รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงดุลกับโมเมนต์
- ทดลอง อธิบาย และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติ ทั้งแบบยืดหยุ่น ไม่ยืดหยุ่น และการติดตัวแยกจากกันในหนึ่งมิติซึ่งเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม

รวมทั้งหมด 8 ผลการเรียนรู้

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง ญัฐภัสสร เหล่าเนตร

ผู้ตรวจ รศ.มานัส มงคลสุข
ผศ.ปรีดา เพชรมีศรี
ดร.มรกต พุทธกาล

บรรณาธิการ ศ. ดร.พิเชษฐ สัมสุวรรณ

ផលិតករ

ตามผลการเขียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้ตรวจ รศ.มานัส มงคลสุข
ผศ.ปรีดา เพชรมีศรี
ดร.มรกต พุทธกาล

บรรณาธิการ ศ. ดร.พิเชษฐ ลี้มสุวรรณ

ISBN 978-616-345-151-4

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใด
ของหนังสือเล่มนี้ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร



พิมพ์ที่ : บริษัท ไฮเบอร์พรีนธ์กรุป จำกัด

คำชี้แจง

โดยหนังสือเรียนแต่ละหน่วยการเรียนรู้จะให้ผู้ให้หนังสือเรียนได้ทราบเป้าหมายการเรียนรู้ ในตอนต้นหน่วยการเรียนรู้ จากสาระการเรียนรู้และผลการเรียนรู้ และทุกหัวข้อหลักจะนำเสนอแนวคิดสำคัญเพื่อให้ทราบถึงสิ่งที่เป็นความรู้ ความคิดที่เป็นแก่นสำคัญที่ต้องเรียนรู้ให้ลึกซึ้ง และการเรียนรู้ที่ดี ผู้เรียนควรได้ตรวจสอบความรู้อย่างเข้าใจเป็นระยะ ๆ ก่อนเรียนเรื่องใหม่ ดังนั้น ในหนังสือเรียนจะมีการสอดแทรกกิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่สัมพันธ์กับเรื่องที่เรียนผ่านมา เพื่อให้ผู้เรียนได้ตรวจสอบ

ตนเอง หรือบางหัวข้ออาจเป็นการฝึกทักษะให้ชำนาญก่อน สิ่งเพิ่มเติมในหนังสือเรียนเล่มนี้คือ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา นำไปสู่การสร้างผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรม ซึ่งผู้สอนสามารถนำไปประยุกต์หรือดัดแปลงให้เหมาะสมกับบริบทของโรงเรียนและผู้เรียน การศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมโดยใช้เทคโนโลยี การสื่อสารและสารสนเทศ (ICT) เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องค้นคว้าเพิ่มเติม ดังนั้นในหนังสือเรียนเล่มนี้จึงได้มีการเสริมเนื้อหาเพิ่มเติมที่ได้ผ่านการคัดกรองมาแล้วว่าเหมาะสมกับการเรียนรู้ แทรกไว้ในเนื้อหาบางหน่วย โดยใช้สัญลักษณ์   ผู้เรียนสามารถใช้สมาร์ตโฟนสแกน QR Code หรือเปิดในเว็บไซด์ MACeducation.com เพื่อเข้ามาดู การศึกษาขั้นพื้นฐาน >>> MAC iLink และเลือกเปิดดูส่วนเสริมของบทเรียนในหนังสือเรียนแต่ละเล่มได้ ท้ายหน่วยการเรียนรู้ทุกหน่วยจะมีการสรุปบทเรียนสำหรับผู้เรียนได้ใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการตรวจสอบองค์ความรู้ที่ควรได้รับการพัฒนาหลังจากเสร็จสิ้นการเรียนรู้ หรือเป็นสาระสำคัญที่ควรจดจำและความเข้าใจให้ต้องแท้ ซึ่งนับว่าเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งในการปรับปรุงหนังสือเรียนครั้งนี้ที่ได้พัฒนาให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

บริษัท แม็คเอดดูเคชั่น จำกัด หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะมีคุณค่า มีประโยชน์ และช่วยส่งเสริมการปฏิรูปการศึกษา เพื่อเป็นรากฐานสำคัญที่จะช่วยให้ประเทศไทยก้าวสู่ประเทศที่มีการพัฒนาอย่างยั่งยืนด้วยการมีพลเมืองที่มีคุณภาพ มีความคิดสร้างสรรค์ ตามเจตนารมณ์ของการปรับปรุงหลักสูตรครั้งนี้ และนโยบายประเทศไทย 4.0

บริษัท แม็คเอดดูเคชั่น จำกัด

คำนำ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2 ได้พัฒนาและปรับปรุงเนื้อหา กิจกรรมการทดลอง ภาพประกอบ กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ให้ตรงตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียงได้ศึกษาผลการเรียนรู้ กระบวนการจัดการเรียนรู้ และแนวทางในการวัดและประเมินผล นำมาจัดทำโครงสร้างสำหรับหลักสูตร ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยเลือกเนื้อหา กระบวนการเรียนการสอน การทำกิจกรรม ทักษะการคิด การวัดผลและประเมินผล ผ่านการนำเสนอด้วยการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ (Active Learning) ที่เหมาะสมกับผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้ เข้าใจหลักการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ วิธีการสำรวจตรวจสอบข้อมูล การคิดแก้ปัญหา ตลอดจนการเสริมสร้างจิตวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนและพัฒนาให้เกิดทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่สำคัญ ด้วยกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ที่ช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง การคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การทำงานร่วมกัน นำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรมที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาและนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นคำตอบของการศึกษาวิชาชีพวิทยาศาสตร์

หนังสือเรียนเล่มนี้ประกอบด้วย 3 หน่วยการเรียนรู้ แต่ละหน่วยการเรียนรู้ได้สรุปสาระการเรียนรู้ ระบุผลการเรียนรู้ มีภาพและคำถามนำเข้าสู่บทเรียน แนวคิดหลักของหน่วยการเรียนรู้ แนวคิดสำคัญของแต่ละเรื่อง กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ บทสรุปเนื้อหา และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์เพื่อเป็นการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนตามแนวปฏิรูปการศึกษา และมีคุณภาพตรงตามผลการเรียนรู้ หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้เรียบเรียงขอน้อมรับคำแนะนำด้วยความขอบคุณยิ่ง

ณัฐภัสสร เหล่าเนตร

สารบัญ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 งานและพลังงาน 1

1. งาน	2
2. กำลัง	22
3. พลังงาน	26
3.1 พลังงานจลน์	27
3.2 พลังงานศักย์	36
4. กฎการอนุรักษ์พลังงาน	43
5. เครื่องกล	56
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	66

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 โมเมนตัมและการชน 69

1. โมเมนตัม	70
2. แรงและการเปลี่ยนโมเมนตัม	74
3. การดลและแรงดล	79
4. การชน	86
4.1 กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม	86
4.2 การชนใน 1 มิติ และ 2 มิติ	88
4.3 การระเบิดหรือการติดตัว	103
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	113

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 สภาพสมดุล 116

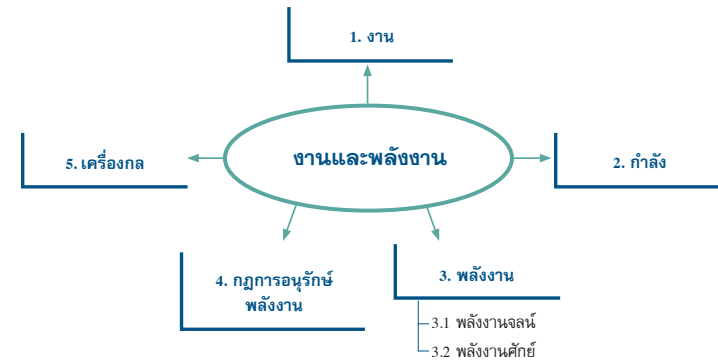
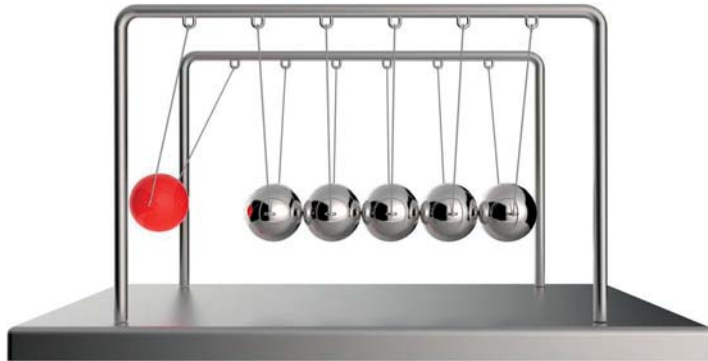
1. สภาพสมดุล	117
2. เงื่อนไขของสมดุล	121
2.1 วัตถุสมดุลด้วยแรง 2 แรง	122
2.2 วัตถุสมดุลด้วยแรง 3 แรง	124
3. โมเมนต์ของแรง	141

4. โมเมนต์ของแรงคู่ควบ	145
5. เสถียรภาพของสมดุล	159
6. หลักสมดุลกับชีวิตประจำวัน	167
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์	173

บรรณานุกรม 179

ดัชนี 181

งานและพลังงาน



ผลการเรียนรู้

- วิเคราะห์ และคำนวณของแรงคงตัวจากสมการและพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับตำแหน่ง รวมทั้งอธิบายและคำนวณกำลังเฉลี่ย
- อธิบายและคำนวณพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ พลังงานกล ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานจลน์ ความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานศักย์ไม่ต่าง ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงที่ใช้ดึงสปริงกับระยะที่สปริงยืดออก และความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานศักย์ยืดหยุ่น รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างงานของแรงลัพธ์และพลังงานจลน์ และคำนวณงานที่เกิดขึ้นจากแรงลัพธ์
- อธิบายกฎการอนุรักษ์พลังงานกล รวมทั้งวิเคราะห์ และคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในสถานการณ์ต่างๆ โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกล
- อธิบายการทำงาน ประสิทธิภาพและการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องกลอย่างง่ายบางชนิด โดยใช้ความรู้เรื่องงานและสมดุลกล รวมทั้งคำนวณประสิทธิภาพและการได้เปรียบเชิงกล

งานและพลังงานคืออะไร มีความสำคัญกับชีวิตประจำวันอย่างไร



แนวคิดหลัก

การทำกิจวัตรต่างๆ ในชีวิตประจำวันล้วนเกี่ยวข้องกับงานและพลังงานอยู่เสมอ โดยงานในทางฟิสิกส์นั้นจะขึ้นอยู่กับแรงและการกระจัดของวัตถุ งานและพลังงานมีความสัมพันธ์กัน โดยการทำงานในทางฟิสิกส์จะทำให้เกิดพลังงานได้ และพลังงานก็ทำให้เกิดงานได้เช่นกัน พลังงานจะไม่สามารถสร้างขึ้นหรือทำให้สูญหายได้ แต่สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานจากรูปหนึ่งไปสู่อีกรูปหนึ่งได้ตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน และหลักการของงานและพลังงานนั้นสามารถนำไปใช้สร้างเครื่องกลเพื่อช่วยผ่อนแรงในการทำงานหรือช่วยให้ทำงานได้สะดวกขึ้นได้

ชีวิตประจำวันเกี่ยวข้องกับสิ่งที่เรียกว่างานและพลังงานอยู่ตลอดเวลา แต่ในวิชาฟิสิกส์กำหนดความหมายของคำว่างานและพลังงาน ในลักษณะเฉพาะกว่าความหมายที่บุคคลทั่วไปเข้าใจกัน ในหน่วยการเรียนรู้นี้เราจะได้ศึกษาในมุมมองทางฟิสิกส์ว่างานและพลังงานคืออะไร มีความสัมพันธ์กันอย่างไร เพื่อให้เข้าใจงานและพลังงานมากขึ้น

1. งาน



แนวคิดสำคัญ

งาน เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุเกิดการกระจัด มีหน่วยเป็น จูล หากทิศทางของแรงตั้งฉากกับการกระจัดของวัตถุจะทำให้งานเป็นศูนย์ งานมีสมการเป็น $W = FS \cos \theta$ หรืออาจหาคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรง (F) กับการกระจัด (S)

ในชีวิตประจำวันมีกิจกรรมต่างๆ มากมาย ทั้งกิจกรรมที่ต้องใช้กำลังกล้ามเนื้อและไม่ใช้กล้ามเนื้อ ส่วนถือว่าเป็นการทำงานในความหมายทั่วไป แต่ในวิชาฟิสิกส์การทำงานมีความหมายเฉพาะตัวมากกว่างานในความหมายทั่วไป กล่าวคือ **งาน (work)** เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุเกิดการกระจัด ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า **งานทางกลศาสตร์** ถ้าแรงที่กระทำต่อวัตถุตั้งฉากกับทิศทางการกระจัดหรือไม่ทำให้วัตถุเกิดการกระจัด แรงนั้นจะไม่ทำให้เกิดงานทางกลศาสตร์ ดังรูปที่ 1.1 และ 1.2



ออกแรงผลักรถแต่รถไม่เคลื่อนที่



ออกแรงยกของแล้วขึ้นหนึ่ง



ออกแรงยกของแล้วเดินไปข้างหน้า

รูปที่ 1.1 การออกแรงที่ไม่ทำให้เกิดงานในทางฟิสิกส์กลศาสตร์



รูปที่ 1.2 การออกแรงที่ทำให้เกิดงานในทางฟิสิกส์กลศาสตร์

งาน (work) ในทางฟิสิกส์ หมายถึง การออกแรงกระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุเกิดการกระจัด โดยปริมาณงานที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำต่อวัตถุและการกระจัดของวัตถุ

พิจารณานิยามแรง F ที่มากระทำต่อวัตถุเป็นแรงคงตัวและการกระจัด S ของวัตถุอยู่ในแนวเดียวกัน แรง F ปริมาณงานที่เกิดขึ้นจากแรง F จะหาได้จากการคูณเวกเตอร์แบบผลคูณเชิงสเกลาร์ (scalar product) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$W = \vec{F} \cdot \vec{S} = FS \cos \theta \quad (1.1)$$

เมื่อ W คือ งาน มีหน่วยเป็น จูล (J) หรือนิวตัน-เมตร (N·m)

F คือ ขนาดของแรง มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

S คือ ขนาดของการกระจัดที่เกิดจากแรงกระทำต่อวัตถุ มีหน่วยเป็น เมตร (m)

θ คือ มุมระหว่างแรงและการกระจัดของวัตถุ

ความรู้เพิ่มเติม

การคูณเวกเตอร์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. **ผลคูณเชิงสเกลาร์ (scalar product)** เป็นการคูณเวกเตอร์กับเวกเตอร์ที่ให้ผลคูณเป็นปริมาณสเกลาร์ ถ้ากำหนดให้ $\vec{A}$ และ $\vec{B}$ เป็นปริมาณเวกเตอร์ใดๆ และ θ เป็นมุมระหว่าง $\vec{A}$ กับ $\vec{B}$ เมื่อ $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ จะได้ว่า

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \theta$$

2. **ผลคูณเชิงเวกเตอร์ (vector product)** เป็นการคูณเวกเตอร์กับเวกเตอร์ที่ให้ผลคูณเป็นปริมาณเวกเตอร์ ถ้ากำหนดให้ $\vec{A}$ และ $\vec{B}$ เป็นปริมาณเวกเตอร์ใดๆ และ θ เป็นมุมระหว่าง $\vec{A}$ กับ $\vec{B}$ เมื่อ $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ จะได้ว่า

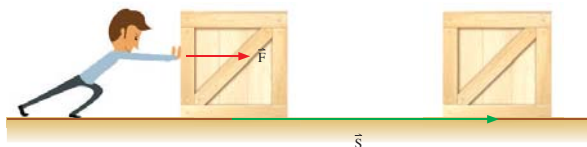
$$\vec{A} \times \vec{B} = \vec{C}$$

ทิศทางของ $\vec{C}$ หาได้จากกฎมือขวาและขนาดของ $\vec{C}$ หาได้จาก $|\vec{C}| = |\vec{A}| |\vec{B}| \sin \theta$

จากสมการที่ (1.1) ถ้าแรงและการกระจัดมีทิศทางเดียวกัน จะทำให้มุมระหว่างแรงและการกระจัดเท่ากับ 0 องศา จะได้ค่า $\cos 0^\circ = 1$ ดังนั้น จะเขียนสมการที่ (1.1) ใหม่ได้เป็น

$$W = FS \quad (1.2)$$

ดังนั้น เมื่อแรงและการกระจัดมีทิศทางเดียวกัน ปริมาณงานที่เกิดขึ้นจะเท่ากับผลคูณระหว่างขนาดของแรงและขนาดของการกระจัด ซึ่งงานของแรงคงตัวนี้จะมีเครื่องหมายเป็นบวก เช่น งานที่เกิดขึ้นจากการดันวัตถุให้เคลื่อนที่ ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 งานที่เกิดขึ้นเมื่อแรงและการกระจัดมีทิศทางเดียวกัน

ถ้าแรงและการกระจัดมีทิศทางตรงข้ามกัน จะทำให้มุมระหว่างแรงและการกระจัดเท่ากับ 180 องศา จะได้ค่า $\cos 180^\circ = -1$ ดังนั้น จะเขียนสมการที่ (1.1) ใหม่ได้เป็น

$$W = -FS \quad (1.3)$$

ดังนั้น เมื่อแรงและการกระจัดมีทิศทางตรงข้ามกัน งานของแรงคงตัวนี้จะมีเครื่องหมายเป็นลบ เช่น งานของแรงเสียดทาน และถ้าแรงมีทิศทางตั้งฉากกับทิศของการกระจัด จะทำให้มุมระหว่างแรงและการกระจัดเท่ากับ 90 องศา จะได้ค่า $\cos 90^\circ = 0$ ดังนั้น งานที่เกิดขึ้นจะมีค่าเป็นศูนย์จึงถือว่าไม่เกิดงานในทางฟิสิกส์ เช่น การออกแรงยกของแล้วเดินบนพื้นราบ

ความรู้เพิ่มเติม

เจมส์ เพรสคอตต์ จูล (James Prescott Joule; 1818–1889) เกิดที่เมืองแมนเชสเตอร์ ประเทศอังกฤษ ในตระกูลที่มั่งคั่ง วัยเด็กเขามีสุขภาพไม่แข็งแรง บิดาจึงให้เรียนหนังสือที่บ้าน และทำการทดลองในห้องทดลองที่บิดาสร้างให้ จูลมีความสนใจเรื่องการวัดปริมาณความร้อนและประสิทธิภาพการส่งผ่านความร้อน หลังจากที่ยูนิเวอร์ซิตี ค.ศ. 1833 เขาต้องดูแลกิจการของบิดา และยังทำการทดลองงานที่เขาสนใจต่อไป

เมื่อ ค.ศ. 1840 เขาได้พบความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่เกิดขึ้นในเส้นลวดกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน โดยความร้อนที่ได้รับสัมพันธ์กับความร้อนที่ลดลงในวัตถุ และได้เสนอหลักการของจลนศาสตร์ความร้อนขึ้น ต่อมาจูลได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ จะเกิดการเปลี่ยนกลับไปกลับมาระหว่างพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ แต่การทดลองยังไม่ได้ค่าถูกต้อง เนื่องจากมีพลังงานส่วนหนึ่งสูญหายไปเป็นพลังงานความร้อน อันเป็นผลมาจากแรงเสียดทานและแรงต้านอากาศ การค้นพบนี้นำไปสู่กฎการอนุรักษ์พลังงานที่ว่า พลังงานไม่สามารถทำให้เพิ่มขึ้นหรือสูญหายได้ แต่จะเกิดการถ่ายโอนพลังงานจากรูปหนึ่งไปสู่อีกรูปหนึ่ง

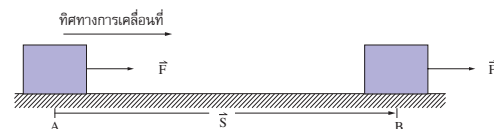


เจมส์ เพรสคอตต์ จูล

งานของแรงที่ทำมุมกับทิศทางการเคลื่อนที่

จากสมการ $W = FS \cos \theta$ เป็นสมการที่สามารถใช้คำนวณหาขนาดของแรงต่างๆ ได้ ไม่ว่าแรงนั้นจะทำมุมเท่าไรกับแนวการเคลื่อนที่ โดยที่ θ เป็นมุมระหว่างทิศของแรงที่กระทำกับการกระจัดของวัตถุ เพื่อให้เกิดความเข้าใจ และสามารถประยุกต์ใช้ความหมายของงานทางฟิสิกส์มากขึ้น เราจะพิจารณาปริมาณงานที่เกิดขึ้นในกรณีต่างๆ ดังนี้

1. งานที่เกิดจากแรงซึ่งมีทิศทางเดียวกับการกระจัด



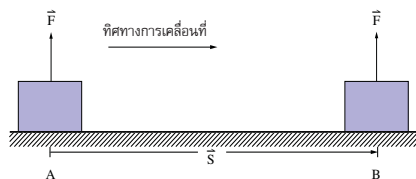
รูปที่ 1.4 แรงมีทิศเดียวกับการกระจัด

ในกรณีที่ให้มีแรงกระทำแล้วมีการกระจัดเกิดขึ้นในแนวเดียวกับแรงที่กระทำ ดังรูปที่ 1.4 จะได้สมการเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} W &= \vec{F} \cdot \vec{S} \\ &= FS \cos \theta \\ &= FS \cos 0^\circ \\ &= FS(1) \\ &= FS \end{aligned}$$

ดังนั้น งานจะมีค่าตามสมการ $W = FS$

2. งานที่เกิดจากแรงซึ่งมีทิศทางการตั้งฉากกับการกระจัด



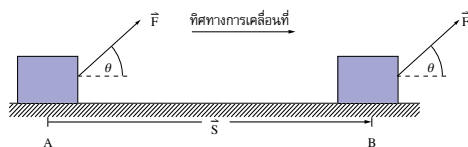
รูปที่ 1.5 แรงมีทิศตั้งฉากกับการกระจัด

ในกรณีที่ให้มีแรงกระทำตั้งฉากกับการกระจัดที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 1.5 จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน กล่าวได้ว่า การกระจัดที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดจากแรงนี้ ดังนั้น จึงไม่เกิดงานอันเนื่องมาจากแรงที่ตั้งฉากกับการกระจัด จะได้สมการดังนี้

$$\begin{aligned} W &= \vec{F} \cdot \vec{S} \\ &= FS \cos \theta \\ &= FS \cos 90^\circ \\ &= FS(0) \end{aligned}$$

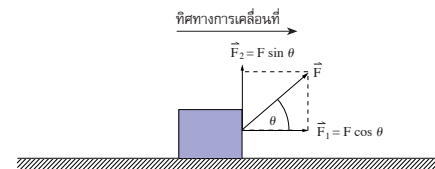
ดังนั้น $W = 0$

3. งานที่เกิดจากแรงซึ่งทำมุมใด ๆ กับการกระจัด



รูปที่ 1.6 แรงทำมุมใด ๆ กับการกระจัด

ถ้าวัตถุถูกลากด้วยแรงคงตัว $\vec{F}$ ในแนวทำมุมกับทิศการกระจัดของวัตถุ ดังรูปที่ 1.6 การกระจัดของวัตถุที่เกิดจากแรงคงตัวนี้จะอยู่คนละทิศทางกัน ในกรณีนี้จะหางานที่แรง $\vec{F}$ ทำได้โดยแยกแรง $\vec{F}$ ออกเป็นแรงองค์ประกอบที่ตั้งฉากกัน แล้วพิจารณาหาค่าของงานดังนี้



รูปที่ 1.7 การแยกแรง $\vec{F}$ ออกเป็นแรงองค์ประกอบสองแรงที่ตั้งฉากกัน

จากรูป 1.7 จะได้ F_1 เป็นแรงองค์ประกอบในแนวนอน จะเห็นได้ว่าแรงนี้มีทิศทางการกระจัดของวัตถุ หมายความว่า แรงนี้ทำให้เกิดงานทางฟิสิกส์ และ F_2 เป็นแรงองค์ประกอบในแนวตั้ง ซึ่งไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกันกับการกระจัดของวัตถุ และเป็นแรงที่มีทิศตั้งฉากกับการกระจัดของวัตถุ จึงไม่ทำให้เกิดงานในทางฟิสิกส์

ดังนั้น งานของแรง F_1 หาได้จากสมการ $F_1 S \cos 0^\circ$ ซึ่งในที่นี้ F_1 ทำมุมกับทิศของ S ที่เกิดขึ้น 0 องศา ดังนั้น $\cos 0^\circ = 1$ และจากรูปที่ 1.7 $F_1 = F \cos \theta$ จะได้ค่างานของแรง F_1 ดังนี้

$$\begin{aligned} W_{F_1} &= F_1 S \cos 0^\circ \\ W_{F_1} &= (F \cos \theta)(S)(1) \\ W_{F_1} &= FS \cos \theta \end{aligned}$$

ดังนั้น

ในกรณีนี้ F_2 ทำมุมกับทิศของ S ที่เกิดขึ้น 90 องศา ดังนั้น $\cos 90^\circ = 0$ และจากรูปที่ 1.7 $F_2 = F \sin \theta$

จะได้ค่างานของแรง F_2 ดังนี้

$$\begin{aligned} W_{F_2} &= F_2 S \cos 90^\circ \\ W_{F_2} &= (F \sin \theta)(S)(0) \\ W_{F_2} &= 0 \end{aligned}$$

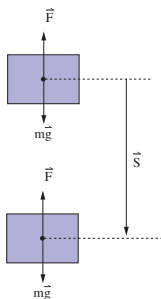
ดังนั้น

เพราะฉะนั้น งานของแรง $\vec{F}$ ในแนวทำมุมกับทิศการกระจัดของวัตถุ ดังรูปที่ 1.7 จึงมีค่าดังสมการ

$$\begin{aligned} W_F &= W_{F_1} + W_{F_2} \\ W_F &= FS \cos \theta + 0 \\ W_F &= FS \cos \theta \end{aligned}$$

ดังนั้น งานทางฟิสิกส์เกิดขึ้นเฉพาะกรณีที่แรงนั้นทำให้วัตถุเกิดการกระจัดตามแนวแรงเท่านั้น จึงสรุปได้ว่างานที่เกิดจากแรงกระทำซึ่งไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของวัตถุจะหาได้จากผลคูณระหว่างขนาดของแรงองค์ประกอบที่อยู่ในทิศเดียวกับการกระจัดกับขนาดของการกระจัดของวัตถุที่เกิดขึ้นในช่วงที่แรงนั้นกระทำ

ถ้าแรงที่กระทำกับวัตถุมีทิศตรงข้ามกับการกระจัด เช่น การหย่อนเชือกที่ผูกวัตถุให้เคลื่อนที่ลงในแนวตั้งใต้การกระจัด S ดังรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 หย่อนวัตถุลงด้วยความเร็วคงตัว

นอกจากแรงที่เชือกดึงวัตถุแล้ว ยังมีแรงที่กระทำต่อวัตถุอีกแรงหนึ่ง คือ แรงโน้มถ่วงของโลกที่พยายามดึงให้วัตถุตกลงมาสู่พื้นดิน แรงนี้คือน้ำหนักของวัตถุ เมื่อออกแรงดึงเชือกให้วัตถุอยู่นิ่ง หรือหย่อนวัตถุลงด้วยความเร็วคงตัว จะต้องออกแรงเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ (กรณีที่เชือกเบา)

ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ลงด้วยแรงโน้มถ่วงได้การกระจัด S ค่าของงานที่เกิดจากแรงเนื่องจากน้ำหนัก mg ซึ่งทำมุมกับการกระจัดของวัตถุ 0 องศา ($\theta = 0^\circ$) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} W_{mg} &= FS \cos \theta \\ &= (mg)(S)(\cos 0^\circ) \\ &= mgS \end{aligned}$$

งานของแรงเนื่องจากน้ำหนักมีเครื่องหมายเป็นบวก แต่ถ้าพิจารณางานเนื่องจากแรง F ที่เชือกดึงวัตถุ ทิศของแรงจะตรงข้ามกับทิศของการกระจัด หรือแรง F ทำมุม 180° กับทิศของการกระจัด ($\theta = 180^\circ$) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} W_F &= FS \cos \theta \\ &= (F)(S)(\cos 180^\circ) \\ &= -FS \end{aligned}$$

งานของแรง F จึงมีเครื่องหมายเป็นลบ และจะหาว่าค่างานทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้จาก

$$\begin{aligned} \text{งานทั้งหมด} &= \text{งานของแรงเนื่องจากน้ำหนัก} + \text{งานของแรง } F \\ \text{งานทั้งหมด} &= mgS + (-FS) \end{aligned}$$

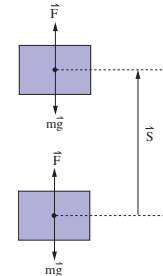
แต่ $F = mg$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{งานทั้งหมด} &= mgS + (-mgS) \\ \text{งานทั้งหมด} &= 0 \end{aligned}$$

หรือ

$$FS = mgS$$

ดังนั้น กรณีหย่อนวัตถุลงด้วยความเร็วคงตัว สรุปได้ว่า งานของแรง F จะมีค่าเท่ากับงานของแรงเนื่องจากน้ำหนักของวัตถุ กรณีนี้จะทำให้งานที่ทำได้ทั้งหมดมีค่าเป็นศูนย์ ให้นักเรียนพิจารณารูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 ดึงวัตถุขึ้นด้วยความเร็วคงตัว

สำหรับกรณีนี้ นักเรียนต้องพิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุด้วยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน ซึ่งวัตถุจะมีการเคลื่อนที่ไปตามแนวของแรง F และในขณะเดียวกันแรงเนื่องจากน้ำหนักของวัตถุ mg ก็ยังคงกระทำต่อวัตถุอยู่ตลอดแนวการเคลื่อนที่ จะหาว่างานทั้งหมดได้จากการพิจารณาทั้งสองแรงดังนี้

การหาค่าของแรง F ซึ่งค่าของแรง F จะต้องมากกว่า mg วัตถุจึงจะเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วคงตัวได้ และจากรูปที่ 1.9 จะเห็นว่า F ทำมุมกับทิศของการกระจัด 0 องศา งานของแรง F จึงหาได้จาก

$$\begin{aligned} W_F &= FS \cos \theta \\ &= (F)(S)(\cos 0^\circ) \\ &= FS \end{aligned}$$

พิจารณางานของแรงเนื่องจากน้ำหนักของวัตถุ mg ซึ่งมีขนาดน้อยกว่าแรง F แรงนี้ทำมุม 180 องศา กับทิศของการกระจัด ดังนั้น งานของแรง mg จะหาได้จาก

$$\begin{aligned} W_{mg} &= FS \cos \theta \\ &= (mg)(S)(\cos 180^\circ) \\ &= mgS(-1) \\ &= -mgS \end{aligned}$$

หาว่างานทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้จาก

$$\begin{aligned} \text{งานทั้งหมด} &= \text{งานของแรง } F + \text{งานของแรงเนื่องจากน้ำหนัก} \\ \text{งานทั้งหมด} &= FS + (-mgS) \end{aligned}$$

เนื่องจากงานของแรง F มากกว่างานของแรง mg ในกรณีนี้งานที่ทำได้ทั้งหมดจะไม่เป็นศูนย์ ซึ่งอาจพิจารณาการทำงานได้ในอีกแนวทางหนึ่งดังนี้

$$\Sigma W = (\Sigma F)(S) \cos \theta$$

เมื่อ ΣF คือ ขนาดของแรงลัพธ์ที่ทำให้เกิดงาน

S คือ ขนาดของการกระจัดในแนวเดียวกับ ΣF

θ คือ มุมที่แรง ΣF กระทำต่อทิศทางการกระจัด

สำหรับกรณีนี้จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\Sigma W &= (\Sigma F)(S) \cos \theta \\ \Sigma W &= (F - mg)(S) \cos 0^\circ \\ \Sigma W &= (F - mg)(S)\end{aligned}\quad (1.4)$$

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การหาพลังงานของแรงที่กระทำต่อวัตถุทำได้โดยพิจารณาแรงที่ทำให้วัตถุเกิดการกระจัด และการหาพื้นที่ทำทั้งหมดจะทำให้ได้นิยามของแรงที่เกิดขึ้นทั้งหมดมารวมกัน หรืออาจใช้วิธีหาแรงลัพธ์ทั้งหมดก่อน แล้วจึงหาพลังงานของแรงลัพธ์นั้น

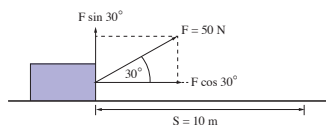
ในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่ในแนวตรงและไม่มีการกลับทิศ สามารถหาพลังงานได้เท่ากับผลคูณของขนาดของแรงในทิศเดียวกับการกระจัดกับขนาดของการกระจัด แต่ถ้าการเคลื่อนที่นั้นไม่เป็นเส้นตรงและไม่มีการกลับทิศ แสดงว่าแรงที่มากระทำเป็นแรงไม่คงตัว ให้พิจารณาพลังงานของแรงเหล่านั้นในแต่ละช่วงเวลาที่เราสนใจกระทำต่อวัตถุ

สำหรับงานของแรงตลอดการเคลื่อนที่ทั้งหมดหรืองานของแรงลัพธ์ สามารถหาได้จากผลรวมของงานในแต่ละช่วงเวลาที่เราสนใจกระทำต่อวัตถุ ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{งานทั้งหมด} \quad \Sigma W &= F_1 S_1 + F_2 S_2 + \dots \\ \text{หรือ} \quad \Sigma W &= \sum_{i=1}^n F_i S_i\end{aligned}\quad (1.5)$$

ตัวอย่างที่ 1.1 เด็กคนหนึ่งออกแรง 50 นิวตัน ลากกล่องไม้ในแนวทำมุม 30 องศา กับแนวระดับ ถ้าเขาลากกล่องไม้ไปได้ไกล 10 เมตร ด้วยอัตราเร็วคงตัว จงหางานที่เด็กคนนี้ทำ

วิธีทำ เขียนภาพประกอบและวิเคราะห์โจทย์ที่ได้ดังรูป



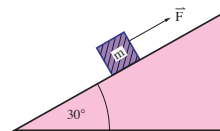
แรงที่ทำให้เกิดการกระจัดในแนวหรือทำให้เกิดงาน คือ $F \cos 30^\circ$ ซึ่งเป็นแรงที่ทำมุม 0 องศา กับการกระจัดของวัตถุ ส่วนแรง $F \sin 30^\circ$ ไม่ทำให้เกิดงาน ดังนั้นเราจะหาพลังงานได้จาก

$$W = FS = (F \cos 30^\circ)(S) = \left(50 \frac{\sqrt{3}}{2}\right)(10) = 250\sqrt{3} = 4.3 \times 10^2 \text{ J}$$

ดังนั้น งานที่เด็กคนนี้ทำมีค่าเท่ากับ 4.3×10^2 จูล

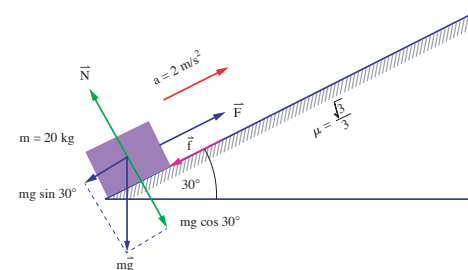
ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.2



วัตถุมวล 20 กิโลกรัม ถูกดึงให้เคลื่อนที่จากหยุดหนึ่งขึ้นไปตามพื้นเอียงซึ่งทำมุม 30 องศา กับแนวระดับ ด้วยความเร่งคงตัว 2 เมตรต่อวินาที² เป็นเวลา 5 วินาที ถ้าพื้นมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน $\frac{\sqrt{3}}{3}$ จงหาพลังงานที่ทำให้การดึงวัตถุนี้

วิธีทำ เขียนภาพประกอบและวิเคราะห์โจทย์ที่ได้ดังรูป



จากรูป แรงที่ทำให้เกิดงานมีมากกว่า 1 แรง วัตถุจะเคลื่อนที่ตามทิศทางของแรงลัพธ์ จึงต้องหาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุและการกระจัดของวัตถุตามแนวแรงลัพธ์ก่อน

$$\text{หาขนาดของแรงลัพธ์จาก} \quad \Sigma F = ma$$

$$F - mg \sin 30^\circ - f = ma$$

$$F - mg \sin 30^\circ - \mu mg \cos 30^\circ = ma$$

$$F - (20 \times 10 \times 0.5) - \left(\frac{\sqrt{3}}{3} \times 20 \times 10 \times \frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 20 \times 2$$

$$F - 100 - 100 = 40$$

$$F = 240 \text{ N}$$

หาขนาดของการกระจัดจาก

$$S = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$S = 0 + \left(\frac{1}{2} \times 2 \times 5^2\right)$$

$$S = 25 \text{ m}$$

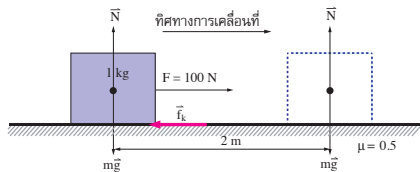
$$\text{จาก} \quad W = F \cdot S = 240 \times 25 = 6 \times 10^3 \text{ J}$$

ดังนั้น ในการดึงวัตถุขึ้นไปยังจะต้องทำงานทั้งหมด 6 กิโลจูล

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.3 กล้องโบนิ่งมวล 1 กิโลกรัม วางอยู่บนพื้นที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.5 ถ้าออกแรงดึงขนาด 100 นิวตัน แล้วทำให้กล้องเคลื่อนที่ได้การกระจัด 2 เมตร จงหา

- ก. งานของแรงดึง
ข. งานของแรงเสียดทาน



วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $m = 1$, $W = 10 \text{ N}$, $\mu = 0.5$, $F = 100 \text{ N}$ และ $S = 2 \text{ m}$

- ก. หางานของแรงดึง

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad & W_F = FS \\ \text{จะได้} \quad & W_F = 100(2) = 200 \text{ J} \\ \text{ดังนั้น งานของแรงดึงเท่ากับ} \quad & 200 \text{ จูล} \end{aligned}$$

ตอบ

- ข. หางานของแรงเสียดทาน

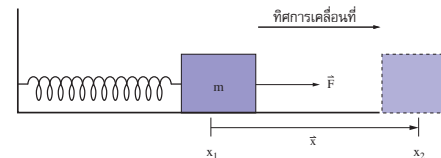
$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad & W_f = -fS \\ \text{และ} \quad & f = \mu N \\ \text{ดังนั้น} \quad & W_f = -(\mu N)(S) \\ & = -(0.5 \times 10)(2) \\ & = -10 \text{ J} \end{aligned}$$

ดังนั้น งานของแรงเสียดทานเท่ากับ -10 จูล

ตอบ

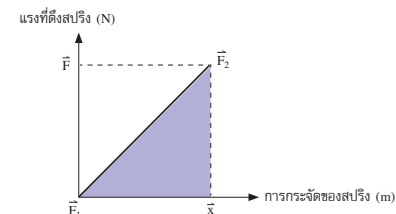
งานเนื่องจากแรงที่แปรค่าได้

ในการออกแรงกระทำต่อวัตถุบางชนิด เช่น สปริง ยางยืด พบว่า ถ้าต้องการให้สปริงยืดออกอย่างช้าๆ หรือยืดออกด้วยความเร็วคงตัว จะต้องออกแรงขนาดมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเมื่อพิจารณาแรงที่กระทำต่อสปริงในแต่ละตำแหน่งที่สปริงยืดออกไปจากเดิมจะมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งไม่เหมือนกับกรณีที่ออกแรงดึงหรือดันวัตถุให้เคลื่อนที่ไปในแนวราบ แรงที่เกิดจากวัตถุที่สามารถยืดหรือหดจากตำแหน่งเดิมได้ถือเป็นแรงที่ไม่คงตัว และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในช่วงที่วัตถุนั้นกำลังยืดหรือหดจากตำแหน่งเดิม โดยที่วัตถุจะกลับสู่สภาพเดิมและไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อหยุดออกแรงกระทำต่อวัตถุ เช่น ถ้าออกแรง $\vec{F}$ ค่อยๆ ดึงวัตถุที่ติดอยู่กับสปริงจากตำแหน่ง x_1 ไปยัง x_2 ดังรูปที่ 1.10



รูปที่ 1.10 แรงที่กระทำต่อวัตถุติดสปริง

ค่าของแรง $\vec{F}$ ในช่วงที่สปริงยืดออกจากตำแหน่ง x_1 ไปยังตำแหน่ง x_2 จะมีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง นั่นคือ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างสม่ำเสมอ ถ้าเราเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง ($\vec{F}$) กับการกระจัดของสปริงตามแนวแรงที่มากระทำ ($\vec{x}$) จะได้กราฟที่ 1.1



กราฟที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงสปริง ($\vec{F}$) กับการกระจัดของสปริง ($\vec{x}$)

จากกราฟที่ 1.1 จะสังเกตได้ว่า แรงที่ใช้ดึงสปริงจากความยาวเดิม ($x = 0$) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะที่สปริงยืดออก ดังนั้น การหาค่างานของแรง $\vec{F}$ ในกรณีนี้ จะต้องใช้แรงเฉลี่ยทั้งหมดในการดึงสปริงให้มีการกระจัด $\vec{x}$ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

พิจารณานขนาดของแรงบนกราฟขณะเริ่มต้น

$$F_1 = 0$$

เมื่อสปริงยืดออกไปได้ขนาดของการกระจัดเท่ากับ x

$$F_2 = F$$

ดังนั้น ขนาดของแรงเฉลี่ยที่ใช้ในการดึงสปริงให้ยืดออก x จึงหาได้จาก

$$F_{av} = \frac{F_1 + F_2}{2} = \frac{0 + F}{2} = \frac{F}{2}$$

งานของแรงที่ใช้ดึงสปริงให้ยืดออกเป็นระยะ x คืองานของแรงเฉลี่ย ดังนั้น จะหางานในการดึงสปริงให้ยืดออกเป็นระยะ x ได้จาก

$$W = F_{\text{สปริง}} S$$

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

$$W = \frac{1}{2} Fx$$

จากกราฟที่ 1.1 จะเห็นว่าขนาดของแรงที่ใช้ดึงสปริงจะแปรผันโดยตรงกับระยะที่สปริงยืดออกจากตำแหน่งสมดุล ดังสมการ

$$F \propto x$$

จะได้ $F = kx$

เมื่อ k เป็นค่าคงตัวของสปริง มีหน่วยเป็นนิวตันต่อเมตร (N/m)

จากสมการ $W = \frac{1}{2} Fx$

$$W = \frac{1}{2} (kx)x$$

$$W = \frac{1}{2} kx^2 \quad (1.6)$$

ตัวอย่างที่ 1.4 เมื่อออกแรงดึงสปริงอันหนึ่งให้ยืดออก 2 เซนติเมตร จะต้องใช้แรงดึง 12 นิวตัน ถ้าดึงสปริงให้ยืดออก 10 เซนติเมตร งานที่ใช้ในการดึงสปริงอันนี้มีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์กำหนดว่า เมื่อดึงสปริงอันหนึ่งให้ยืดออก 2 เซนติเมตร หรือ 0.02 เมตร จะต้องใช้แรงขนาด 12 นิวตัน ซึ่งถ้าเราหยุดออกแรง 12 นิวตัน สปริงอันนี้จะกลับสู่รูปร่างเดิม จะหาค่าคงที่ของสปริงอันนี้ได้จาก

$$F = kx$$

$$k = \frac{F}{x}$$

$$k = \frac{12}{0.02} = 600 \text{ N/m}$$

หาค่างานในการดึงสปริงอันนี้ในระยะ 10 เซนติเมตร หรือ 0.10 เมตร

จาก $W = \frac{1}{2} kx^2$

$$W = \frac{1}{2} (600)(0.10)^2$$

$$= 3.0 \text{ J}$$

ดังนั้น งานที่ใช้ในการดึงสปริงอันนี้มีค่า 3.0 จูล

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.5 สปริงอันหนึ่งเมื่อออกแรงกด 100 นิวตัน จะหดเข้าไป 0.75 เมตร จงหางานที่เกิดขึ้น เมื่อดึงสปริงยืดออก 0.30 เมตร จากสภาพสมดุล

วิธีทำ ต้องหาค่าคงตัวของสปริงก่อน จากโจทย์ เมื่อออกแรงกด 100 นิวตัน สปริงจะหดเข้าไป 0.75 เมตร หาค่าคงตัวของสปริงได้จาก

$$F = kx$$

$$k = \frac{F}{x}$$

$$k = \frac{100}{0.75} \text{ N/m}$$

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

$$= \frac{1}{2} \times \frac{100}{0.75} \times (0.30)^2$$

$$= 6.0 \text{ J}$$

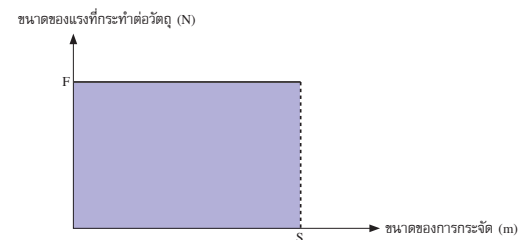
ดังนั้น งานที่เกิดขึ้นมีขนาดเท่ากับ 6.0 จูล

ตอบ

นอกจากจะงานจากผลคูณของแรงและการกระจัดแล้ว ยังสามารถหางานได้จากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงและการกระจัดได้อีกวิธีหนึ่ง โดยในกรณีแรงที่กระทำต่อวัตถุมีขนาดไม่คงตัว เช่น แรงที่ใช้ดึงสปริงให้ยืดออก แรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อยานอวกาศ ขณะเริ่มปล่อยยานออกจากฐานแรงจะมีขนาดไม่คงตัว ซึ่งแรงโน้มถ่วงที่โลกกระทำต่อยานอวกาศจะน้อยลงเมื่อยานอวกาศอยู่ระดับสูงขึ้น การหางานในกรณีดังกล่าวนี้จะทำได้ง่าย ๆ โดยหาจากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างขนาดของแรงและขนาดของการกระจัด การหางานจากพื้นที่ใต้กราฟใช้ได้ทั้งกรณีที่แรงกระทำมีค่าคงตัวและแรงกระทำมีค่าไม่คงตัว

การหางานจากพื้นที่ใต้กราฟ

1. กรณีแรงกระทำมีค่าคงตัว เมื่อมีแรงคงตัวมากระทำต่อวัตถุ แล้วทำให้อัตตนั้นเคลื่อนที่ตามแนวแรงที่กระทำ การหาพื้นที่ระหว่างขนาดของแรงที่กระทำต่อวัตถุกับขนาดของการกระจัดตามแนวแรงจะมีลักษณะดังนี้



กราฟที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงคงตัวที่กระทำต่อวัตถุกับขนาดของการกระจัดตามแนวแรง

การกระทำระหว่างขนาดของแรงที่กระทำต่อวัตถุกับขนาดของการกระจัดตามแนวแรงจะขนานกับแกน x เมื่อหาพื้นที่ใต้กราฟในส่วนที่แรงจะ จะได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{พื้นที่ใต้กราฟ} &= \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \\ &= FS\end{aligned}$$

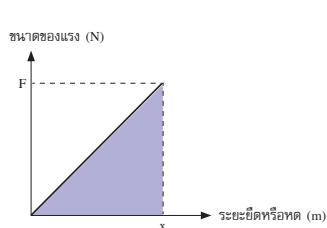
จะเห็นได้ว่า พื้นที่ใต้กราฟจะมีค่าเท่ากับงานของแรงคงตัวที่กระทำต่อวัตถุในระยะกระจัด S ดังนี้

$$\text{จาก} \quad W = FS \cos \theta ; \quad \theta = 0^\circ$$

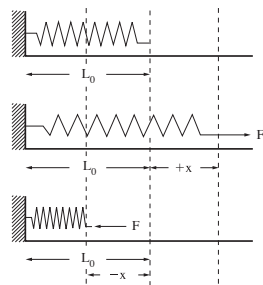
$$\text{จะได้} \quad W = FS$$

ซึ่งมีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟในส่วนที่แรง F นั้นเอง

2. กรณีแรงกระทำมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เมื่อสปริงเกิดการยืดหรือหดตัวจากสภาพปกติ จะทำให้เกิดแรงในตัวสปริง โดยขนาดของแรงจะแปรผันตามระยะยืดหรือหดของสปริง กำหนดให้สปริงมีความยาว L_0 เมื่อถูกดึงหรืออัดด้วยแรงที่มีขนาด F จะทำให้สปริงยืดออกหรือหดตัวเป็นระยะเท่ากับ x ดังรูปที่ 1.11



ก. กราฟระหว่างขนาดของแรงกับระยะยืดหรือหด



ข. การยืดหรือหดของสปริงเมื่อมีแรงกระทำ

รูปที่ 1.11 แรงดึงสปริงที่มีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

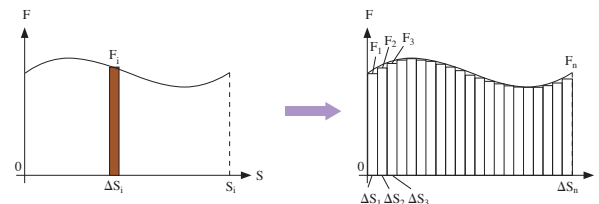
แรงที่ดึงสปริงให้ยืดออกในทิศเดียวกันกับการยืดออกของสปริง โดยมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างคงตัวจาก 0 ถึง F นิวตัน และทำให้สปริงยืดออกไปโดยมีการกระจัด x เมตร กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรง F กับระยะยืด x จะมีลักษณะดังรูปที่ 1.11 ก

เมื่อหาพื้นที่ใต้กราฟ จะได้

$$\begin{aligned}\text{พื้นที่ใต้กราฟ} &= \frac{1}{2} \times \text{ฐาน} \times \text{สูง} \\ &= \frac{1}{2} (x)(F) \\ &= \frac{1}{2} Fx\end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่า พื้นที่ใต้กราฟที่หาได้จะเท่ากับงานที่ทำในการดึงสปริงให้ยืดออกตามแนวแรง ซึ่งก็คือผลคูณของขนาดของแรงเฉลี่ยกับขนาดของการกระจัดนั่นเอง

3. กรณีแรงกระทำมีขนาดไม่สม่ำเสมอ ในกรณีแรงไม่คงตัวจะหางานด้วยสมการที่กล่าวมาข้างต้นไม่ได้ เพราะว่าการดังกล่าวจะใช้ได้กับแรงที่คงตัวเท่านั้น แต่สามารถหาค่างานได้จากพื้นที่ใต้กราฟ โดยแบ่งพื้นที่ใต้กราฟออกเป็นแถบสี่เหลี่ยมผืนผ้าเล็กๆ ดังกราฟที่ 1.3 โดยให้ ΔS_i มีขนาดเล็กมากพอที่จะกล่าวได้ว่า แรง F_i มีขนาดคงตัวตลอดช่วง ΔS_i นั้นๆ และสมมติว่า F_i กับ ΔS_i อยู่ในแนวเดียวกันตลอด



กราฟที่ 1.3 แรงกระทำที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอ

ถ้ารวมงานแต่ละช่วงแคบๆ จาก $i = 0$ ถึง $i = n$ ก็จะได้งานทั้งหมดที่กระทำด้วยแรงที่ไม่คงตัว จะได้ว่า

$$W = \sum_{i=0}^n F_i \Delta S_i \quad (1.7)$$

งานที่หาได้ตามสมการข้างต้นมีความถูกต้องโดยประมาณซึ่งจะขึ้นอยู่กับการแบ่งพื้นที่เล็กๆ ให้ ΔS_i มีขนาดเล็กได้มากที่สุด แต่ถ้าจะให้ถูกต้องสมบูรณ์ความกว้างของแถบ ΔS_i จะต้องแคบมากๆ จนเข้าใกล้ศูนย์ เราสามารถใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการหาค่างานได้ดังนี้

$$\begin{aligned}W &= \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \sum_{i=0}^n F_i \Delta S_i \\ W &= \int_0^{S_f} F \, dS \quad (1.8)\end{aligned}$$

โดยที่ W เป็นงานทั้งหมดที่เกิดจากแรง F กระทำต่อวัตถุในช่วงการกระจัดจาก 0 ถึง S_f ซึ่งถ้าเราทราบว่าแรง F มีการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันของตำแหน่งอย่างไร ก็นำมาแทนค่าในสมการ $W = \int_0^{S_f} F \, dS$ เพื่อรวมงานที่แรง F ทำในช่วง 0 ถึง S_f

ถ้าให้ F เป็นค่าเฉลี่ยของแรงกระทำในช่วง 0 ถึง S_f งานทั้งหมดอาจจะเขียนในรูป

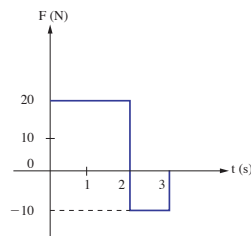
$$W = FS_f$$

กรณีที่ทิศของแรงและทิศของการกระจัดเปลี่ยนแปลง และทิศของแรงไม่ขนานกับทิศของการกระจัดเสมอไป สมการที่ (1.8) จะเปลี่ยนเป็นการคูณเวกเตอร์แบบผลคูณสเกลาร์ (dot product) จะได้

$$W = \int_0^{S_f} \vec{F} \cdot d\vec{S}$$

สมการนี้จะให้ผลที่ต้องสมบูรณ์สำหรับงานที่เกิดขึ้นจากแรงกระทำในทุกกรณี

ตัวอย่างที่ 1.6 วัตถุมวล 5 กิโลกรัม เริ่มเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งโดยการกระทำของแรงที่มีขนาดเปลี่ยนแปลงตามเวลาดังกราฟ ในช่วงเวลา 3 วินาที แรงนี้ทำงานได้ทั้งหมดกี่จูล



วิธีทำ การหาค่างานเราต้องทราบการกระจัดตามแนวแรง ซึ่งจากกราฟ แรงที่กระทำต่อวัตถุแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือในช่วงเวลา 2 วินาทีแรก วัตถุถูกกระทำด้วยแรงขนาด 20 นิวตัน ส่วนในช่วงเวลา 1 วินาทีหลัง วัตถุถูกแรงกระทำขนาด -10 นิวตัน

หาการกระจัดในช่วง 2 วินาทีแรก

$$\text{จาก } \Sigma F = ma$$

$$20 = 5a$$

$$a = 4 \text{ m/s}^2$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } S &= ut + \frac{1}{2}at^2 \\ &= 0 + \frac{1}{2}(4)(2)^2 \\ &= 8 \text{ m} \end{aligned}$$

จะได้การกระจัดในช่วงที่วัตถุถูกแรงขนาด 20 นิวตันกระทำเท่ากับ 8 เมตร
งานของแรง 20 นิวตัน หาได้จาก

$$\begin{aligned} W_1 &= FS \\ &= 20 \times 8 \\ &= 160 \text{ J} \end{aligned}$$

หาการกระจัดในช่วง 1 วินาทีหลัง

$$\begin{aligned} \text{จาก } \Sigma F &= ma \\ \text{จะได้ } -10 &= 5a \\ a &= -2 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ความเร็วต้นในช่วงที่ 2 คือความเร็วปลายในช่วงที่ 1 หาความเร็วปลายในช่วงที่ 1

$$\begin{aligned} \text{จาก } v &= u + at \\ v &= 0 + (4)(2) \\ &= 8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

จาก

$$\begin{aligned} S &= ut + \frac{1}{2}at^2 \\ &= (8)(1) + \frac{1}{2}(-2)(1)^2 \\ &= 8 - 1 \\ &= 7 \text{ m} \end{aligned}$$

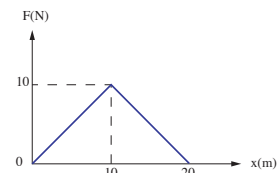
การกระจัดในช่วงที่วัตถุถูกแรงขนาด -10 นิวตันกระทำเท่ากับ 7 เมตร
งานของแรง -10 นิวตัน หาได้จาก

$$\begin{aligned} W_2 &= FS \\ &= -10 \times 7 \\ &= -70 \text{ J} \\ \text{งานทั้งหมด } \Sigma W &= W_1 + W_2 \\ &= 160 - 70 \\ &= 90 \text{ จูล} \end{aligned}$$

ดังนั้น งานทั้งหมดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 90 จูล

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.7 วัตถุมวล 8 กิโลกรัม เคลื่อนที่ไปตามแนวแกน x เมื่อถูกแรงลัพธ์ที่มีขนาดไม่คงที่กระทำไปตามแกน x ดังกราฟ โดยเริ่มต้นจากหยุดนิ่ง ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 20 เมตร จงหางานที่เกิดขึ้น



วิธีที่ 1 จากโจทย์ทราบ มวล = 8 kg และแรงไม่คงที่จึงต้องหางานจากแรงเฉลี่ย โดยแบ่งกราฟออกเป็น 2 ช่วง ช่วงที่ 1

จากกราฟ $F_1 = 0 \text{ N}, F_2 = 10 \text{ N}, S_1 = 10 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{จาก } F_{av1} &= \frac{F_1 + F_2}{2} \\ &= \frac{0 + 10}{2} \\ &= 5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } W_1 &= F_{av1} S \\ &= (5)(10) \\ &= 50 \text{ J} \end{aligned}$$

ช่วงที่ 2

จากกราฟ $F_1 = 10 \text{ N}, F_2 = 0 \text{ N}, S_2 = 10 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{จาก } F_{av2} &= \frac{F_1 + F_2}{2} \\ &= \frac{0 + 10}{2} \\ &= 5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } W_2 &= F_{av2} S_2 \\ &= (5)(10) \\ &= 50 \text{ J} \end{aligned}$$

งานที่เกิดขึ้นทั้งหมดเท่ากับ

$$W_1 + W_2 = 50 + 50 = 100 \text{ J}$$

ดังนั้น งานที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 100 จูล

ตอบ

วิธีที่ 2 หาค่างานจากพื้นที่ใต้กราฟ

$$\begin{aligned}\text{พื้นที่ใต้กราฟ} &= \frac{1}{2} \times \text{ฐาน} \times \text{สูง} \\ &= \frac{1}{2} \times 20 \times 10 \\ &= 100 \text{ J}\end{aligned}$$

ดังนั้น งานที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 100 จูล

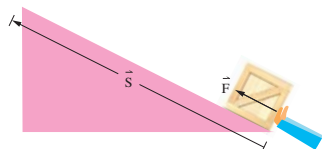
ตอบ



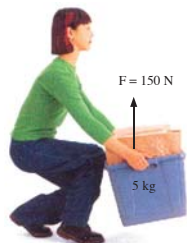
กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.1

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. ถ้าออกแรง F ขนาดคงตัวผลักวัตถุมวล m ในทิศขนานกับพื้นเอียง ทำให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่ขึ้นไปตามพื้นเอียงด้วยการกระจัด S ดังรูป งานที่ทำโดยแรง F มีค่าเท่าไร

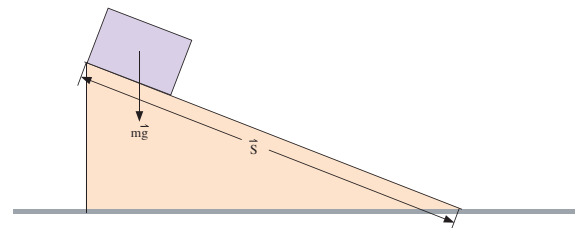


2. จากรูป ถ้าออกแรง F ขนาด 150 นิวตัน ยกวัตถุมวล 5 กิโลกรัม ให้สูงจากพื้น 2 เมตร จงหางานของแรง F และงานของแรงเนื่องจากน้ำหนักของวัตถุ งานของแรงทั้งสองเหมือนหรือแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

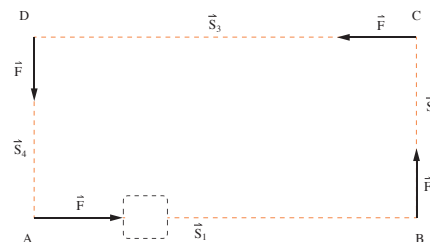


3. จากรูป ถ้าออกแรง F ขนาด 150 นิวตัน ยกวัตถุมวล 5 กิโลกรัม เดินไปทางขวามือ ในระยะทาง 2 เมตร จงหางานของแรง F และงานของแรงเนื่องจากน้ำหนักของวัตถุ งานของแรงทั้งสองเหมือนหรือแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

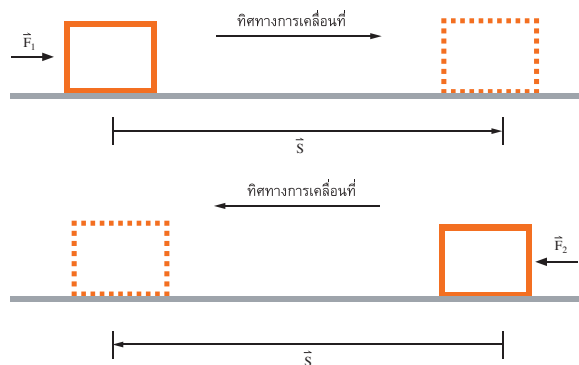
4. ให้นักเรียนหางานที่เกิดจากแรงเนื่องจากน้ำหนักของวัตถุ เมื่อปล่อยให้วัตถุไถลลงมาจากพื้นเอียงที่ลาดดังรูป



5. จากรูป กำหนดให้ขนาดของแรง F อยู่ในทิศเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุและมีค่าคงตัว งานทั้งหมดที่เกิดขึ้นตามแนว ABCD จะมีค่าเท่าไร



6. จากรูป แรงคงตัว $\vec{F}_1$ ที่มีทิศไปทางขวาในแนวราบและทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้การกระจัด $\vec{S}$ จากนั้น $\vec{F}_1$ หยุดกระทำต่อวัตถุแต่มีแรงคงตัว $\vec{F}_2$ มากระทำในทิศตรงข้ามกับ $\vec{F}_1$ ทำให้วัตถุเคลื่อนที่กลับไปที่จุดเดิม ให้นักเรียนหางานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการกระทำของแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ และเปรียบเทียบงานที่เกิดขึ้นจากการกระทำของแรงทั้งสองว่าเหมือนหรือต่างอย่างไร



7. ให้นักเรียนระบุความแตกต่างระหว่างงานในความหมายทั่วไปและงานในเชิงฟิสิกส์
8. มดแดงยกของขึ้นวางบนท้ายรถบรรทุก หมูแหม่มหิ้วกระเป๋าน้ำหนักเดินขึ้นสะพานลอย สิ่งทั้ง 2 คนปฏิบัติหน้าที่ให้เกิดงานในเชิงฟิสิกส์หรือไม่ อย่างไร

2. กำลัง

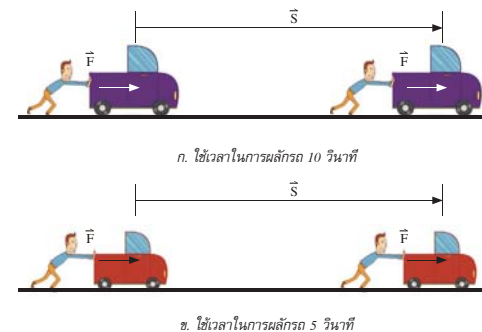


แนวคิดสำคัญ

กำลัง คือ อัตราการทำงาน หรือ งานที่ทำได้ในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น จูลต่อวินาที หรือ วัตต์ มีสมการเป็น $P = \frac{W}{t} = Fv$



ในหัวข้อที่ผ่านมา นักเรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับงานในเชิงฟิสิกส์ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับแรงและการกระจัด โดยเป็นผลมาจากแรงที่กระทำต่อวัตถุ ทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ตามแนวแรง แต่ถ้าแรงนั้นไม่ทำให้เกิดงาน การเคลื่อนที่ของวัตถุตามแนวแรงจะไม่ทำให้เกิดงานในชีวิตประจำวันนักเรียนจะพบกับการเกิดงานในเชิงฟิสิกส์ เช่น การลากวัตถุ การขนย้ายสิ่งของขึ้นไปที่สูง การเดิน การวิ่ง การทำงานดังตัวอย่างที่ยกมานั้นจะเห็นได้ว่าบางคนทำได้เร็ว บางคนก็ทำได้ช้า โดยให้นักเรียนพิจารณารูปที่ 1.12



รูปที่ 1.12 การผลักด้วยแรงขนาดเท่ากันในทิศทางเดียวกันและได้การกระจัดเท่ากัน

จากรูปที่ 1.12 ก และ ข จะเห็นได้ว่า งานที่เกิดจากการออกแรงคงตัว $\vec{F}$ ผลักรถให้เคลื่อนที่ไป ได้การกระจัด $\vec{S}$ ของชายในรูปจะเกิดขึ้นในปริมาณที่เท่ากัน แต่เวลาที่ใช้ในการทำงานไม่เท่ากัน ดังนั้น การผลักรถ 2 คันนี้จึงมีอัตราการทำงานที่ไม่เท่ากัน ซึ่งอัตราการทำงานหรือ **กำลัง (power : P)** คือ งานที่ทำได้ในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น จูลต่อวินาที (J/s) หรือวัตต์ (watt : W)

จากนิยามข้างต้น ถ้ากำหนดให้ W เป็นงานที่ทำได้ในช่วงเวลา t จะได้ค่าเฉลี่ยของงานที่ทำต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งเป็นกำลังเฉลี่ยดังนี้

$$\text{กำลังเฉลี่ย} = \frac{\text{งานที่ทำได้}}{\text{เวลาที่ใช้}}$$

$$P_{av} = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad (1.9)$$

ถ้า ΔW เป็นงานส่วนย่อยที่ทำได้ในช่วงเวลา Δt เส้นๆ จะได้ค่าของกำลังในช่วงเวลานั้น ซึ่งถ้า Δt สั้นมาก ค่าที่ได้จะเป็น กำลัง ณ ขณะนั้น มีค่าตามสมการ

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt} \quad (1.10)$$

ในกรณีการทำงาน 100 จูล ในเวลา 10 วินาที หมายความว่า การทำงานใช้กำลังเฉลี่ย $100/10 = 10$ วัตต์ และถ้าทำงาน 100 จูล ในเวลา 10 นาที จะหมายถึง การทำงานใช้กำลังเฉลี่ย $100/(10 \times 60) = 0.17$ วัตต์ ซึ่งเป็นกำลังเฉลี่ยที่น้อยกว่ามาก อย่างไรก็ตาม อัตราการทำงานในช่วง 10 นาทีนั้นอาจจะไม่สม่ำเสมอ มากบ้างน้อยบ้าง ค่ากำลังที่คำนวณได้จึงเป็นกำลังเฉลี่ย

เมื่อขนาดของแรง F อยู่ในทิศทางเดียวกับขนาดของการกระจัด S จะได้ว่า

$$\Delta W = F \cdot \Delta S$$

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

จะได้

$$P_{av} = F \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

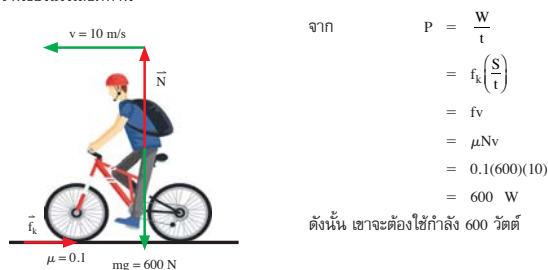
$$P_{av} = Fv$$

(1.11)

นอกจากนี้ หน่วยของกำลังที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ **กิโลวัตต์ม้า (horsepower : hp)** โดย 1 กิโลวัตต์ม้า (1 hp) จะมีค่าเท่ากับ 745.7 วัตต์ หรือ ประมาณ 746 วัตต์

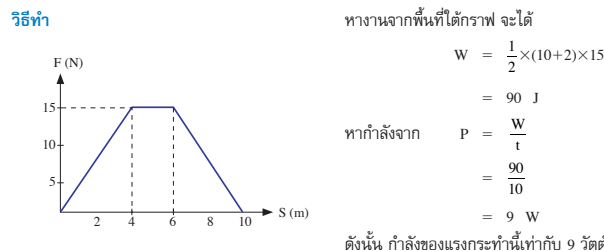
ตัวอย่างที่ 1.8 ชายคนหนึ่งขี่จักรยานด้วยความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที ไปบนพื้นถนนที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.1 ถ้าน้ำหนักตัวของเขาและจักรยานรวมกันเป็น 600 นิวตัน จงหาว่าเขาจะต้องใช้กำลังกี่วัตต์

วิธีทำ จากโจทย์ ต้องออกแรงปั่นจักรยานอย่างน้อยเท่ากับแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น ดังนั้น จะหาแรงที่ชายคนนี้ได้จากงานของแรงเสียดทาน



ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.9 จากกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อวัตถุกับระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ตามแนวแรง ถ้าในระยะทาง 10 เมตร ใช้เวลา 10 วินาที จงหาว่ากำลังของแรงกระทำนี้



ตอบ

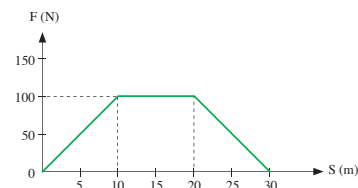
โดยปกติแล้วเมื่อพูดถึงงาน หลายคนจะนึกไปถึงพลังงานด้วย เนื่องจากพลังงานมีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเราอย่างมาก นักเรียนคิดว่า งานกับพลังงานมีความความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร



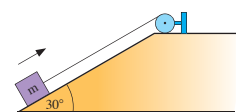
กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.2

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. เพราะเหตุใดการวิ่งขึ้นบันไดจึงใช้กำลังมากกว่าการเดินขึ้นบันได ทั้งที่การทำงานทั้งสองกรณีเท่ากัน
2. ในการแข่งขันยกน้ำหนักของกีฬาโอลิมปิกเมื่อ ค.ศ. 1976 นายวาลีรี อเล็กซีฟ ได้ทำให้โลกตื่นเต้นโดยการยกน้ำหนักขนาด 562 ปอนด์ (2,500 นิวตัน) ขึ้นเหนือศีรษะ สูงจากพื้นประมาณ 2 เมตร ทำลายสถิติโลก อย่างไรก็ตาม ย้อนหลังไปใน ค.ศ. 1957 นายพอล แอนเดอร์สัน ได้ยกน้ำหนักโดยใช้แผ่นผ้าคล้องผ่านเอว เขาสามารถยกน้ำหนักได้สูงสุด 6,270 ปอนด์ (27,900 นิวตัน) ขึ้นได้สูง 1 เซนติเมตร ดูจากตัวเลขแล้วนายแอนเดอร์สันยกน้ำหนักได้มากกว่า แต่ได้ระยะทางน้อยกว่า นักเรียนคิดว่าทั้ง 2 คนนี้ใครทำงานมากกว่ากัน และถ้าทั้งคู่สามารถยกน้ำหนักดังกล่าวขึ้นได้ในเวลา 2 วินาที นักเรียนคิดว่าใครมีกำลังมากกว่ากัน
3. ชายคนหนึ่งยกวัตถุมวล 5 กิโลกรัม ขึ้นบันไดไปได้สูง 4 เมตร ในเวลา 20 วินาที ชายคนนี้จะใช้กำลังไปเท่าไร
4. ลิฟต์มวล 2,000 กิโลกรัม ถูกจุดขึ้นด้วยอัตราเร่ง 4 เมตรต่อวินาที จากหยุดนิ่ง เมื่อลิฟต์มีความเร็ว 8 เมตรต่อวินาที จะมีกำลังเท่าไร
5. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อวัตถุชนิดหนึ่งกับระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ไปได้มีลักษณะดังกราฟ ถ้าวัตถุใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 20 วินาที งานและกำลังของวัตถุนี้มีค่าเท่าไร



6. รถไฟขบวนหนึ่งหนัก 200 ตัน เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถ้าวางไฟมีกำลัง 100 กิโลวัตต์ จงหาแรงต้านเฉลี่ยของรถไฟในหน่วยนิวตันต่อตัน (กำหนดให้ 1 กิโลวัตต์เท่ากับ 746 วัตต์)
7. รถยนต์คันหนึ่งมีมวล 1,000 กิโลกรัม สามารถเร่งอัตราเร็วจาก 10 เมตรต่อวินาที เป็น 20 เมตรต่อวินาที ด้วยอัตราเร่งคงที่ในเวลา 5 วินาที เครื่องยนต์จะต้องใช้กำลังเฉลี่ยอย่างน้อยเท่าไร
8. เครื่องยนต์จุดตุ้มมวล m เท่ากับ 100 กิโลกรัม ขึ้นไปตามพื้นเอียงผิวด้วยอัตราเร็วคงตัว 1 เมตรต่อวินาที ดังรูป ถ้าพื้นเอียงทำมุมกับแนวระดับ 30° และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เท่ากับ $\frac{1}{\sqrt{3}}$ เครื่องยนต์นี้จะมีกำลังเท่าไร



3. พลังงาน



แนวคิดสำคัญ

พลังงาน เป็นปริมาณที่บอกถึงความสามารถในการทำงาน พลังงานกลมี 2 รูปแบบ คือ พลังงานจลน์ เป็นพลังงานที่ขึ้นกับความเร็วของวัตถุ มีสมการเป็น $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ และพลังงานศักย์ เป็นพลังงานที่ขึ้นกับตำแหน่งของวัตถุ โดยพลังงานศักย์โน้มถ่วง มีสมการเป็น $E_p = mgh$ ส่วนพลังงานศักย์ยืดหยุ่น มีสมการเป็น $E_s = \frac{1}{2}kx^2$

นักเรียนรู้จักพลังงานหรือไม่ พลังงานมาจากไหน นักเรียนสามารถจับต้องพลังงานนั้นได้หรือไม่

ในชีวิตประจำวันมีพลังงานที่พบได้หลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานที่ใช้ในกิจกรรมประจำวันหรือการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งๆ ที่ไม่สามารถเห็นหรือจับต้องพลังงานได้ แต่สามารถรับรู้จากผลการกระทำของพลังงานได้ เช่น แสงช่วยให้มองเห็นสิ่งต่างๆ ได้ ผิวหนังจะมีความรู้สึกร้อนเมื่อเจอแสงแดด ตัวอย่างของพลังงานที่รู้จักและคุ้นเคย เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานเคมี พลังงานความร้อน ซึ่งพลังงานสามารถเปลี่ยนจากรูปแบบหนึ่งไปสู่อีกแบบหนึ่งได้ แต่จะไม่สามารถทำให้สูญสลายไปได้



รูปที่ 1.13 พลังงานในรูปแบบต่างๆ

พลังงานมีหลายรูปแบบ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานเคมี พลังงานความร้อน พลังงานแสง พลังงานเสียง พลังงานนิวเคลียร์ ซึ่ง **พลังงาน (energy)** เป็นปริมาณที่บอกถึงความสามารถในการทำงาน นั่นคือ เมื่อวัตถุมีพลังงาน วัตถุจะสามารถทำงานได้ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับวัตถุนั้น เช่น ทำให้วัตถุเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ มีการเปลี่ยนรูปพลังงานจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่ง หรือวัตถุอาจเปลี่ยนสถานะไปจากเดิม

ในการเรียนเนื้อหาเหล่านี้จะมุ่งทำความเข้าใจเกี่ยวกับพลังงานกลหรือพลังงานทางกลศาสตร์ พลังงานกลของวัตถุมี 2 รูป ได้แก่ พลังงานที่ขึ้นกับความเร็วของวัตถุ เรียกว่า **พลังงานจลน์ (kinetic energy)** และพลังงานที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของวัตถุเรียกว่า **พลังงานศักย์ (potential energy)**

3.1 พลังงานจลน์

เมื่อมีแรงคงตัวมากระทำต่อวัตถุ และแรงนั้นทำให้วัตถุเกิดการกระจัดตามแนวแรงก็จะมีการเกิดขึ้น วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่สามารถที่จะทำงานได้ เช่น การที่นักเรียนเตะลูกบอลให้ไปชนกับกระดานไม้ แล้วลูกบอลทำให้กระดานไม้ล้มลง แสดงว่า ลูกบอลที่กำลังเคลื่อนที่มีพลังงานแฝงอยู่ เรียกว่า **พลังงานจลน์ (kinetic energy : E_k)** เป็นพลังงานที่สะสมอยู่ในวัตถุอันเนื่องมาจากอัตราเร็วของวัตถุ วัตถุที่อยู่นิ่งจะไม่มีพลังงานจลน์ ดังรูปที่ 1.14 ก พลังงานจลน์ไม่ขึ้นกับทิศทางของการเคลื่อนที่ แต่ขึ้นกับอัตราเร็วกำลังสองและมวลของวัตถุ

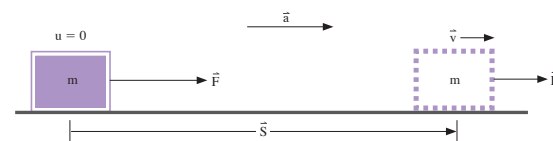


ก. ไม่มีพลังงานจลน์

ข. มีพลังงานจลน์

รูปที่ 1.14 พลังงานจลน์ของวัตถุ

วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่อยู่นั้นมีพลังงานจลน์อยู่เล็กน้อยเพียงใด สามารถหาได้จากการทำงานให้วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่อยู่นั้นไปทำงานอย่างหนึ่ง ปริมาณงานที่ทำได้ทั้งหมดจนกระทั่งวัตถุหยุดนิ่งจะเท่ากับพลังงานจลน์ของวัตถุนั้นเอง การวัดพลังงานจลน์จากงานที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ถึงอัตราเร็วที่กำหนด ทำได้โดยสมมติให้แรงคงตัวกระทำต่อวัตถุมวล m ที่อยู่นิ่งให้เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว ดังรูปที่ 1.15



รูปที่ 1.15 วัตถุมวล m ถูกแรงคงตัวกระทำให้เคลื่อนที่จากหยุดนิ่งด้วยความเร่งคงตัว

จากรูปที่ 1.15 มวล m เคลื่อนที่ด้วยความเร่งตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน คือ $F = ma$ ความเร่งอยู่ในแนวเส้นตรงตามที่ขีดของ แรง F กระทำเป็นเวลา t จนวัตถุมีความเร็วสุดท้าย v สามารถหาพลังงานจลน์ของวัตถุได้จากงานที่แรงคงตัวนั้นกระทำ

$$\begin{aligned}\text{จาก} \quad & W = FS \\ \text{และ} \quad & F = ma \\ \text{จะได้} \quad & W = maS\end{aligned}$$

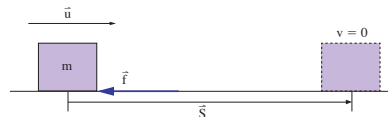
ดังนั้น งานทั้งหมดที่ทำให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากับ FS หรือ maS เมื่อ S เป็นขนาดของการกระจัดในการเคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งที่วัตถุอยู่นิ่ง เมื่ออาศัยความรู้ในเรื่องการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว วัตถุ m เคลื่อนที่จากความเร็วต้นเป็นศูนย์

$$\begin{aligned}\text{จาก} \quad & v^2 = u^2 + 2aS \\ \text{จะได้} \quad & v^2 = 0 + 2aS \\ & S = \frac{v^2}{2a} \\ \text{จาก} \quad & W = FS \\ \text{จะได้} \quad & W = ma \left(\frac{v^2}{2a} \right) \\ & W = \frac{1}{2}mv^2\end{aligned}$$

$$\text{พลังงานจลน์} \quad E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1.12)$$

พลังงานจลน์อาจหาได้จากงานด้านการเคลื่อนที่ของวัตถุจนอยู่นิ่งก็ได้ ซึ่งหมายความว่า วัตถุกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง วัตถุจะมีพลังงานจลน์ และถ้าเราต้องการทราบว่าวัตถุนี้มีพลังงานจลน์เท่าไร สามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

กำหนดให้วัตถุมวล m กำลังเคลื่อนที่บนพื้นระดับด้วยความเร็วต้น u ดังรูปที่ 1.16 พลังงานจลน์ของวัตถุมวล m หาได้จากงานด้านการเคลื่อนที่ของวัตถุจนกระทั่งวัตถุหยุดนิ่ง



รูปที่ 1.16 วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต้นค่าหนึ่งและกำลังถูกแรงเสียดทานด้านให้หยุดนิ่ง

จากสมการการเคลื่อนที่ในแนวตรง

$$\begin{aligned}v^2 &= u^2 + 2aS \\ 0 &= u^2 + 2aS \\ a &= \frac{-u^2}{2S}\end{aligned}$$

$$\text{จาก} \quad \Sigma F = ma$$

$$\text{จะได้} \quad f = m \left(\frac{-u^2}{2S} \right) = \frac{-mu^2}{2S}$$

แสดงว่าแรงเสียดทานมีทิศตรงข้ามกับความเร็วต้นและการกระจัด

$$\text{ขนาดของแรงเสียดทาน} \quad f = \frac{mu^2}{2S}$$

หาขนาดของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned}\text{จะได้} \quad & W_f = fS \\ & = \frac{mu^2}{2S} S \\ & = \frac{1}{2}mu^2\end{aligned}$$

$$\text{ถ้ากำหนดให้ } u = v \text{ จะได้ว่า} \quad W_f = \frac{1}{2}mv^2$$

ปริมาณงานที่ได้ทั้งหมดจะเท่ากับพลังงานจลน์ (E_k) ของวัตถุเช่นเดียวกัน

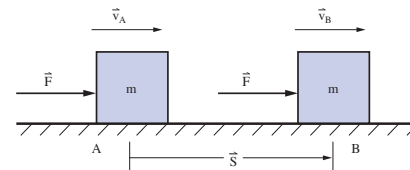
$$\text{ดังนั้น} \quad E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

จึงสรุปได้ว่า ปริมาณ $\frac{1}{2}mv^2$ คือ ค่าพลังงานจลน์ของวัตถุมวล m ที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v พลังงานจลน์เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็น $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ แต่เนื่องจาก $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 = \text{N}$ ดังนั้น $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$ หน่วยของพลังงานจึงมีหน่วยเป็นจูลเช่นเดียวกับหน่วยของงาน

จากการสังเกตวัตถุที่ตกอย่างอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก วัตถุจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่าวัตถุมีพลังงานจลน์ และเมื่อพิจารณาตามหลักทางกลศาสตร์ พบว่า มีงานเกิดขึ้นกับวัตถุ เนื่องจากมีแรงดึงดูดของโลกกระทำต่อวัตถุและมีการกระจัดตามแนวแรง ดังนั้นจึงเกิดงานเนื่องจากแรงโน้มถ่วงตลอดเวลาที่วัตถุตก และงานนั่นเองที่ทำให้วัตถุมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้นทุกๆ ขณะที่ตก

สรุปได้ว่า วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่จะมีพลังงานจลน์อยู่ในตัวมันเอง ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์จะเกิดงานขึ้นหรืออาจกล่าวได้ว่า งานทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์ ถ้าให้วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ไปทำงานอย่างหนึ่ง ปริมาณงานที่ได้ทั้งหมดจะแสดงถึงพลังงานของวัตถุ วัตถุที่มีพลังงานจลน์มากจะสามารถทำงานได้มาก ส่วนวัตถุที่มีพลังงานจลน์น้อยจะสามารถทำงานได้น้อย การวัดพลังงานจลน์จึงวัดจากงานที่เกิดขึ้นกับวัตถุ

กำหนดให้มวล m วางบนพื้นราบลื่นที่จุด A เมื่อถูกแรง F กระทำจนวัตถุเคลื่อนที่ไปถึงจุด B วัตถุมีความเร็วเปลี่ยนแปลง จากความเร็วต้น v_A เป็นความเร็ว v_B เคลื่อนที่ได้การกระจัด S ดังรูปที่ 1.17



รูปที่ 1.17 แรงกระทำต่อวัตถุทำให้ความเร็วเปลี่ยนแปลงในช่วงการกระจัด S

นักเรียนคิดว่าวัตถุที่ตกอย่างอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกจะมีพลังงานเกิดขึ้นหรือไม่อย่างไร

กรณีนี้สามารถหาทางที่เกิดขึ้นได้ ดังนี้

$$\text{จาก} \quad v^2 = u^2 + 2aS$$

$$\text{และ} \quad a = \frac{F}{m}$$

$$\text{จะได้} \quad v^2 = u^2 + 2\left(\frac{F}{m}\right)S$$

นำ $\frac{1}{2}m$ คูณตลอด จะได้

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mu^2 + FS$$

$$FS = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2$$

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2 \quad (1.13)$$

$$W = E_{k_2} - E_{k_1} = \Delta E_k \quad (1.14)$$

เมื่อ W คือ งานเนื่องจากแรง F ที่กระทำต่อวัตถุ

E_{k_1} คือ พลังงานจลน์เริ่มต้นของวัตถุ

E_{k_2} คือ พลังงานจลน์สุดท้ายของวัตถุ

ΔE_k คือ พลังงานจลน์ที่เปลี่ยนไปของวัตถุ

พลังงานของวัตถุที่เปลี่ยนไปตามสมการที่ (1.14) อาจจะเปลี่ยนไปทั้งในทางที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ขึ้นกับทิศของแรงที่กระทำ กล่าวคือ งานของแรงที่กระทำอาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ ในกรณีที่มีแรงมากกว่าหนึ่งแรงกระทำต่อวัตถุ งานที่จะทำให้พลังงานจลน์ของวัตถุเปลี่ยนไป จะเป็นงานของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเท่านั้น เช่น ถ้าออกแรง F ผลักวัตถุ m ให้เคลื่อนที่บนพื้นราบที่มีแรงเสียดทาน f งานที่ทำให้พลังงานจลน์เปลี่ยนแปลงจะต้องคิดจากแรง $F - f$ ซึ่งก็คือแรงลัพธ์นั่นเอง ให้นักเรียนศึกษาความเกี่ยวข้องระหว่างงานกับพลังงานจลน์จากกิจกรรมต่อไปนี้



กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.1 พลังงานจลน์

จุดประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานจลน์ของวัตถุ

คำถามก่อนกิจกรรม

เมื่อออกแรงให้วัตถุทำงานอย่างหนึ่ง งานที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับพลังงานจลน์ของวัตถุนั้นหรือไม่ อย่างไร

ทักษะที่ต้องการเน้น

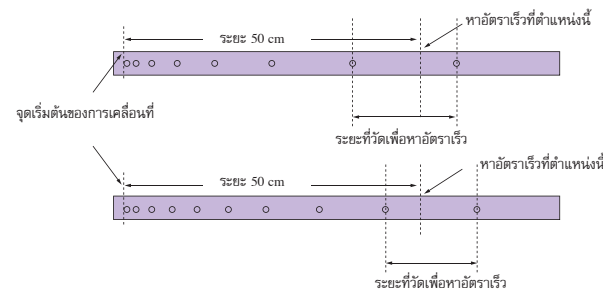
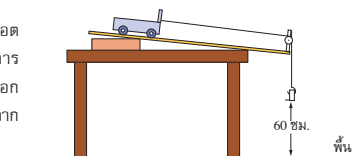
การควบคุมตัวแปร การตั้งสมมติฐาน การสังเกต การอธิบาย การตั้งคำถาม การวิเคราะห์และลงข้อสรุป การเขียนสรุป

วัสดุอุปกรณ์

- | | | | |
|--------------------------|-----------|--------------|-------|
| 1. เครื่องชั่งสปริง | 1 อัน | 2. รถทดลอง | 1 คัน |
| 3. นอต | 4 ตัว | 4. ไม้มัด | 1 อัน |
| 5. เซนรางไม้ | 1 อัน | 6. รางไม้ | 1 อัน |
| 7. เครื่องเคาะสัญญาณเวลา | 1 เครื่อง | 8. แถบกระดาษ | |
| 9. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ | 1 เครื่อง | | |

วิธีปฏิบัติ

- ให้นักเรียนชั่งมวลของรถทดลองและนอต แต่ละตัวแล้วบันทึกผลไว้ จัดอุปกรณ์การทดลอง โดยให้รถทดลองอยู่ห่างจากรอกประมาณ 60 เซนติเมตร และนอตอยู่สูงจากพื้นประมาณ 60 เซนติเมตร ดังรูป
- หมุนรางไม้ด้านที่ปล่อยรถให้สูงขึ้นเล็กน้อยเพื่อชดเชยแรงเสียดทาน ผลักรถทดลองเบาๆ เพื่อทดสอบว่าการชดเชยแรงเสียดทานพอดีหรือไม่ ถ้าพอดี รถจะแล่นด้วยความเร็วคงตัว ทดสอบอีกครั้งโดยใช้แถบกระดาษติดกับรถทดลองและสอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ผลักรถเบาๆ ให้เคลื่อนที่ สังเกตจุดบนแถบกระดาษ ถ้าจุดบนแถบกระดาษมีช่วงจุดสม่ำเสมอ แสดงว่าการชดเชยแรงเสียดทานพอดีแล้ว
- ทำการทดลองโดยเริ่มจากนอต 1 ตัว ใช้แถบกระดาษยาวประมาณ 1 เมตร ติดเข้ากับรถทดลองแล้วสอดแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาซึ่งวางอยู่ปลายรางถัดจากรอก ปล่อยรถทดลอง แล้วบันทึกจำนวนนอตที่ใช้ทดลองบนแถบกระดาษ
- นำแถบกระดาษที่ได้จากการทดลองมาหาความเร็วสุดท้ายของรถทดลองเมื่อเคลื่อนที่ได้การกระจัด 50 เซนติเมตร โดยวัดระยะบนแถบกระดาษจากจุดแรกที่เครื่องเคาะสัญญาณเวลาเคาะไปเป็นระยะ 50 เซนติเมตร แล้วหาความเร็วของรถทดลองที่ตำแหน่งนั้น บันทึกผลลงในตาราง



- ทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มนอตเป็น 2, 3 และ 4 ตัว ตามลำดับ พร้อมทั้งบันทึกจำนวนนอตที่ใช้ลงบนแถบกระดาษของการทดลองแต่ละครั้ง

6. คำนวณหาขนาดของแรง F ที่ทำให้รถทดลองเคลื่อนที่ในการทดลองแต่ละครั้ง โดยใช้สมการ $F = \frac{mm'}{m+m'} g$ เมื่อ m เป็นมวลของรถ และ m' เป็นมวลของนอต
7. คำนวณหางาน $F\Delta S$ ของการทดลองแต่ละครั้ง นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างงาน ($F\Delta S$) กับความเร็วสุดท้ายของรถทดลองยกกำลังสอง (v^2) โดยให้ $F\Delta S$ อยู่บนแกนตั้งและ v^2 อยู่บนแกนนอน

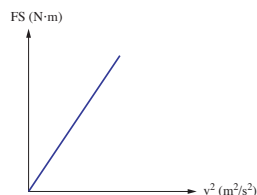
ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลอง

จำนวนนอต (ตัว)	m' (kg)	m (kg)	F (N)	S (m)	v (m/s)	v^2 (m/s) ²	$F\Delta S$ (J)
1	ให้นักเรียนบันทึกผลลงในสมุดประจำตัวนักเรียน						
2							
3							
4							
5							

คำถามท้ายกิจกรรม

- ในการทดลองครั้งนี้ เหตุใดจึงต้องกำหนดให้มีการชดเชยแรงเสียดทาน
- นักเรียนทราบได้อย่างไรว่าการชดเชยแรงเสียดทานนั้นพอดีแล้ว
- นักเรียนสังเกตเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นบนแถบกระดาษที่ได้จากการใช้จำนวนนอตต่างกันหรือไม่อย่างไร
- กราฟที่ได้มีลักษณะอย่างไร
- จากกราฟระหว่าง $F\Delta S$ กับ v^2 ความชันของกราฟคืออะไร

จากการทำกิจกรรม นักเรียนจะเห็นว่า งานและพลังงานจลน์มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน ผลจากการทดลองจะได้กราฟงานของแรงดึงรถ ($F\Delta S$) และอัตราเร็วสุดท้ายของรถยกกำลังสอง (v^2) เป็นกราฟเส้นตรงมีความชันคงตัว ดังนี้



กราฟที่ 1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างงาน ($F\Delta S$) กับอัตราเร็วยกกำลังสอง (v^2)

จากกราฟที่ 1.4 แสดงว่า งานที่ทำโดยแรงดึงรถจะแปรผันโดยตรงกับอัตราเร็วของรถทดลองยกกำลังสอง

$$F\Delta S \propto v^2$$

$$F\Delta S = kv^2 \quad (1.15)$$

เมื่อ k เป็นค่าคงที่ของการแปรผัน

ค่าคงที่ k นี้เป็นค่าความชันของกราฟ พิจารณาจากที่เกิดจากแรงดึง (F) กระทำต่อรถทดลองมวล (m) ทำให้รถทดลองเริ่มเคลื่อนที่จนมีความเร็วสุดท้าย (v) งานที่เกิดขึ้นจะเท่ากับพลังงานจลน์ของรถทดลองที่เปลี่ยนไป จากสมการที่ (1.14)

$$W = \Delta E_k$$

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

ถ้า $u = 0$,

$$F\Delta S = \frac{1}{2}mv^2$$

จากกราฟ

$$\text{ความชัน} = \frac{F\Delta S}{v^2} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{v^2} = \frac{1}{2}m$$

ดังนั้น ค่าความชัน $k = \frac{1}{2}m$ มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของมวลรถทดลองรวมกับมวลของนอต และจากสมการที่ (1.15) จะได้ว่า

$$F\Delta S = \frac{1}{2}mv^2$$

ตัวอย่างที่ 1.10 ก้อนหินมวล 10 กิโลกรัม ตกจากที่สูง 50 เมตร จากพื้นดิน จงหา

- ความเร็วของก้อนหินก่อนกระทบพื้น
- พลังงานจลน์ของก้อนหินก่อนกระทบพื้น

วิธีทำ ก. หาความเร็วของก้อนหินก่อนกระทบพื้นอาจคิดจากการตกอย่างอิสระในแนวตั้ง หรือคิดจากการเปลี่ยนรูปของงานกับพลังงานจลน์

- กรณีคิดการตกอย่างอิสระของวัตถุ

เราทราบความเร็วต้นของวัตถุ $u = 0$

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

และการกระจัด $S = 50$ เมตร

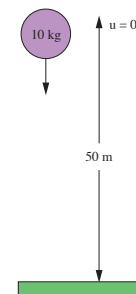
จากสมการ

$$v^2 = u^2 + 2gS$$

$$v^2 = 0 + (2)(10)(50)$$

$$= 1,000$$

$$v = 10\sqrt{10} \text{ m/s}$$



- กรณีคิดจากการเปลี่ยนรูปของงานเป็นพลังงานจลน์

วัตถุที่ตกอย่างอิสระจะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อวัตถุในทิศลง ดังนั้น แรงที่ทำให้เกิดงาน คือ แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุหรือแรงเนื่องจากน้ำหนักของวัตถุนั้นเอง และการกระจัดตามแนวแรง คือ ความสูงที่วัตถุนั้นตกลงมา

$$\text{จากสมการ} \quad W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad mgh &= \frac{1}{2}mv^2 - 0 \\ (10)(10)(50) &= \left(\frac{1}{2}\right)(10)(v^2) \\ v^2 &= 1,000 \\ v &= 10\sqrt{10} \text{ m/s} \end{aligned}$$

ดังนั้น ขนาดของความเร็วของก้อนหินก่อนกระทบพื้นเท่ากับ $10\sqrt{10}$ m/s

ข. หาพลังงานจลน์ของก้อนหินก่อนกระทบพื้น

ทราบมวลและความเร็วของวัตถุ ดังนั้น สามารถหาค่าพลังงานจลน์ได้จากสมการ

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2}mv^2 \\ \text{แทนค่า} \quad E_k &= \left(\frac{1}{2}\right)(10)(1,000) \\ &= 5 \times 10^3 \text{ J} \end{aligned}$$

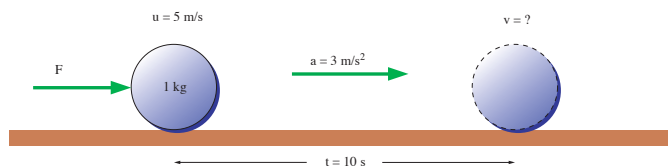
ดังนั้น พลังงานจลน์ของก้อนหินก่อนกระทบพื้นเท่ากับ 5 กิโลจูล

ตอบ

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.11 ลูกเหล็กทรงกลมมวล 1 กิโลกรัม กำลังเคลื่อนที่บนพื้นราบด้วยความเร็ว 5 เมตรต่อวินาที มีแรงมากระทำในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ ทำให้มีความเร่งคงตัว 3 เมตรต่อวินาที² ถ้าแรงนี้กระทำนาน 10 วินาที พลังงานจลน์ของลูกเหล็กมีค่าเท่าไร และงานที่วัตถุนี้กระทำได้ในเวลา 10 วินาทีมีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ วิเคราะห์สิ่งที่โจทย์กำหนดและวาดภาพประกอบได้ดังนี้



ต้องการหาพลังงานจลน์ของลูกเหล็ก พลังงานจลน์เกี่ยวข้องกับความเร็วของวัตถุ ดังนั้นจะต้องทราบความเร็วของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการกระทำของแรง F จากรูป หาคความเร็วสุดท้ายของวัตถุหลังจากถูกแรงกระทำเป็นเวลา 10 วินาที ได้จากสมการ

$$\begin{aligned} v &= u + at \\ v &= 5 + (3)(10) \\ &= 35 \text{ m/s} \end{aligned}$$

พลังงานจลน์ของวัตถุเมื่อเวลาผ่านไป 10 วินาที มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2}mv^2 \\ E_k &= \left(\frac{1}{2}\right)(1)(35^2) \\ &= 6.125 \times 10^2 \text{ J} \end{aligned}$$

ดังนั้น พลังงานจลน์ของลูกเหล็กหลังถูกแรงกระทำเท่ากับ 6.125×10^2 จูล

ตอบ

การหาพื้นที่ลูกกลมเหล็กกระทำในเวลา 10 วินาที สามารถทำได้ 2 วิธี

- **วิธีที่ 1** หาจากแรงที่กระทำต่อวัตถุ ซึ่งจะต้องทราบขนาดของแรงที่มากระทำและการกระจัดที่เกิดขึ้นจากแรงนี้ โดยหาค่าแรงได้จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \Sigma F &= ma \\ \Sigma F &= (1)(3) \\ &= 3 \text{ N} \end{aligned}$$

หาการกระจัดในเวลา 10 วินาที จาก

$$\begin{aligned} S &= ut + \frac{1}{2}at^2 \\ S &= (5)(10) + \frac{1}{2}(3)(10)^2 \\ &= 200 \text{ m} \end{aligned}$$

หาพื้นที่วัตถุกระทำได้จาก

$$\begin{aligned} W &= FS \\ W &= (3)(200) = 600 \text{ J} \end{aligned}$$

ดังนั้น งานที่วัตถุนี้กระทำมีค่าเท่ากับ 600 จูล

ตอบ

- **วิธีที่ 2** หาจากพลังงานจลน์ที่เปลี่ยนไปของวัตถุ

จากทฤษฎีงานและพลังงาน จะหาค่างานได้จากสมการ

$$\begin{aligned} W &= \Delta E_k = E_{k_2} - E_{k_1} \\ W &= \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2 \\ W &= \frac{1}{2}(1)(35)^2 - \frac{1}{2}(1)(5)^2 \\ W &= 612.5 - 12.5 \\ W &= 600 \text{ J} \end{aligned}$$

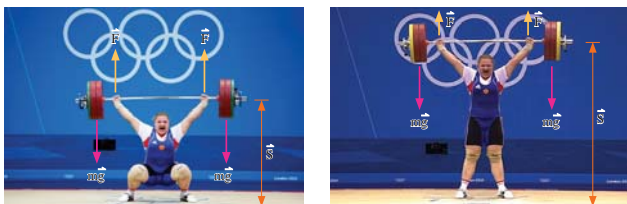
ดังนั้น งานที่วัตถุนี้กระทำมีค่าเท่ากับ 600 จูล

ตอบ

3.2 พลังงานศักย์

เมื่อมีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุและเกิดงานค่าเป็นบวก แสดงว่าวัตถุนั้นจะมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น แต่ถ้าให้นักเรียนออกแรงยกกระเป๋าขึ้นในแนวตั้งไปวางบนโต๊ะ นักเรียนคิดว่าเกิดงานขึ้นหรือไม่

การทำกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นการเดิน การวิ่ง การเล่นกีฬา การยกวัตถุหรือเคลื่อนที่ย้ายวัตถุต่างๆ ได้นั้น จะต้องออกแรงทำงานโดยใช้พลังงานในร่างกาย ให้นักเรียนพิจารณาการออกแรงทำงานของนักยกน้ำหนัก ดังรูปที่ 1.18



รูปที่ 1.18 การทำงานของนักยกน้ำหนัก

จากรูปที่ 1.18 นักกีฬาจะออกแรงยกก่อนน้ำหนักให้สูงขึ้นด้วยความเร็วคงตัว แรงที่นักกีฬาใช้จะเท่ากับน้ำหนักของมวลที่ยกขึ้น แรงลัพธ์จึงมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น แรงที่โยยกก่อนน้ำหนักจึงไม่ใช่แรงลัพธ์ ซึ่งไม่ทำให้พลังงานจลน์ของก่อนน้ำหนักเปลี่ยนแปลง แต่งานของแรงที่นักกีฬาโยยกก่อนน้ำหนักจะทำให้ก่อนน้ำหนักเปลี่ยนตำแหน่งไปอยู่ที่ระดับสูงขึ้น ซึ่งวัตถุจะมีพลังงานชนิดหนึ่งที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของวัตถุแฝงอยู่ เรียกว่า **พลังงานศักย์โน้มถ่วง (potential energy : E_p)** โดยพลังงานศักย์ที่ขึ้นอยู่กับความสูงของวัตถุจากระดับอ้างอิง เรียกว่า **พลังงานศักย์โน้มถ่วง (gravitational potential energy)** จากสถานการณ์นี้เมื่อนักกีฬายกก่อนน้ำหนักให้สูงขึ้น ก่อนน้ำหนักจะมีพลังงานศักย์โน้มถ่วงสะสมไว้ จากนั้นถ้านักกีฬาปล่อยก่อนน้ำหนักลงมา ก่อนน้ำหนักจะเคลื่อนที่ลงมาด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น นั่นคือ ก่อนน้ำหนักมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์โน้มถ่วงไปเป็นพลังงานจลน์นั่นเอง

สำหรับการกดสปริงให้หดสั้นลงหรือดึงสปริงให้ยืดออก เมื่อปล่อยมือสปริงจะมีการเคลื่อนที่ แสดงว่าเกิดการทำงานโดยสปริง และขณะกดสปริงให้หดสั้นหรือดึงให้ยืดออก จะมีพลังงานรูปหนึ่งสะสมอยู่ภายในสปริง พลังงานนี้คือพลังงานศักย์เช่นกัน พลังงานศักย์ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติการยืดหยุ่นของวัตถุ เรียกว่า **พลังงานศักย์ยืดหยุ่น (elastic potential energy)** ดังรูปที่ 1.19

รูปที่ 1.19 พลังงานศักย์ยืดหยุ่นที่พบได้ในชีวิตประจำวัน



พลังงานศักย์อาจอยู่ในรูปอื่นๆ เช่น พลังงานศักย์ไฟฟ้า พลังงานศักย์ของพันธะเคมี แต่ในที่นี้จะศึกษาเฉพาะพลังงานศักย์โน้มถ่วงและพลังงานศักย์ยืดหยุ่นเท่านั้น ดังนั้น วัตถุที่อยู่สูง ยางหรือสปริงขณะยืดออกจะสามารถทำงานได้ แสดงว่ามีพลังงานศักย์เกิดขึ้น

1. **พลังงานศักย์โน้มถ่วง (potential energy)** คือ พลังงานที่สะสมอยู่ในวัตถุ เกิดจากตำแหน่งของวัตถุที่อยู่สูงจากระดับอ้างอิง ดังรูปที่ 1.20



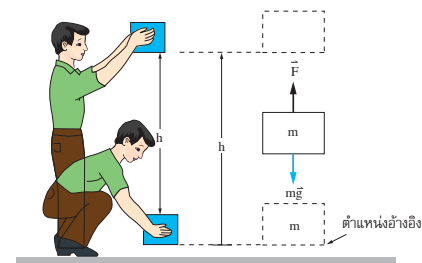
รูปที่ 1.20 วัตถุที่มีพลังงานศักย์โน้มถ่วง

ให้นักเรียนพิจารณากายกวัตถุมวล m ด้วยแรง F ซึ่งมีขนาดเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ (mg) ภายใต้การเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วคงตัว เดิมวัตถุอยู่ที่พื้นซึ่งกำหนดให้เป็นระดับอ้างอิงและยกวัตถุขึ้นไปยังระดับใหม่เป็นระยะ h วัตถุเปรียบกับพื้น ดังรูปที่ 1.21 งานที่ทำเพื่อยกวัตถุคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} W &= F \cdot S \\ &= FS \cos 0^\circ \\ &= FS \end{aligned}$$

เมื่อ $S = h$ และ $F = mg$
ดังนั้น

$$W = mgh$$



รูปที่ 1.21 การยกวัตถุมวล m ด้วยแรง F

จากรูปที่ 1.21 พบว่า งานที่ยกวัตถุให้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับระดับอ้างอิงเป็นระยะ h มีค่าเท่ากับ mgh ซึ่งมีปริมาณเท่ากับงานที่ทำโดยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งกระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุตกอย่างอิสระสู่พื้นดินในระยความสูง h เท่ากัน แต่จะมีค่าเป็นลบ เพราะแรงโน้มถ่วงของโลกมีทิศตรงข้ามกับการกระจัดของวัตถุ

สรุปได้ว่า ถ้าวัตถุอยู่ที่ระดับความสูง h เมื่อวัดเทียบกับระดับอ้างอิง วัตถุนั้นจะมีพลังงานสะสมที่สามารถทำให้เกิดงานได้เท่ากับ mgh เรียกว่า พลังงานศักย์โน้มถ่วง (E_p) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_p = mgh \quad (1.16)$$

เมื่อ E_p คือ พลังงานศักย์โน้มถ่วงของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม-เมตร² ต่อวินาที² ($\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$) หรือ J
 h คือ ความสูงจากระดับอ้างอิง มีหน่วยเป็น เมตร (m)
 m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)
 g คือ อัตราเร่งโน้มถ่วงของโลก มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที² (m/s^2)



กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.2 พลังงานศักย์โน้มถ่วง

จุดประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างงานและพลังงานศักย์โน้มถ่วงของวัตถุ

คำถามก่อนกิจกรรม

งานที่เกิดจากการออกแรงยกวัตถุให้สูงจากพื้น จะมีค่าเท่ากับพลังงานศักย์โน้มถ่วงที่สะสมอยู่ในวัตถุนั้นหรือไม่ อย่างไร

ทักษะที่ต้องการเน้น

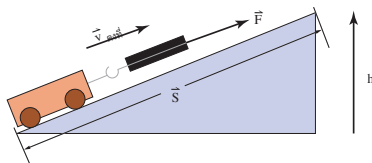
การควบคุมตัวแปร การตั้งสมมติฐาน การสังเกต การอธิบาย การตั้งคำถาม การวิเคราะห์และลงข้อสรุป การเขียนสรุป

วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งสปริง
2. รถทดลอง
3. รางไม้
4. หนังสือที่มีสันหนา
5. ไม้เมตรหรือตลับเมตร
6. ไม้โพรแทรกเตอร์

วิธีปฏิบัติ

1. วางรางไม้บนพื้นโต๊ะทดลอง แล้วนำหนังสือสันหนารองปลายรางไม้ด้านหนึ่งให้ยกขึ้น จากนั้นวางรถทดลองที่ปลายรางไม้ อีกด้านหนึ่ง ใช้เครื่องชั่งสปริงดึงรถทดลองขึ้นพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว แล้วอ่านค่าแรงที่ใช้ในการลากรถทดลอง ดังรูป



2. วัดระยะทางตามพื้นเอียง (S) และระยะความสูงของพื้นเอียง (h) บันทึกผลในตารางบันทึกผลการทดลองที่นักเรียนออกแบบเอง
3. เปลี่ยนมุมของพื้นเอียงโดยรองปลายรางไม้ให้สูงขึ้นอีก 3 ค่า ทำการทดลองเช่นเดิม แล้วบันทึกผลการทดลอง
4. เขียนกราฟระหว่าง FS และ h โดยให้ FS อยู่บนแกน y และ h อยู่บนแกน x แล้ววิเคราะห์กราฟและหาความสัมพันธ์ของกราฟ

คำถามหลังการทดลอง

1. ในการดึงรถขึ้นไปบนพื้นเอียง เกิดงานหรือไม่ เพราะเหตุใด
2. เมื่อนักเรียนเพิ่มมุมของพื้นเอียงให้มากขึ้น สิ่งที่นักเรียนสังเกตว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมคืออะไร เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
3. กราฟระหว่าง FS และ h มีลักษณะเป็นอย่างไร และผ่านจุดกำเนิด (0, 0) หรือไม่
4. ความสัมพันธ์ค่าเท่าไร และแทนปริมาณอะไร
5. จากกราฟ สามารถสรุปได้หรือไม่ว่างานและพลังงานศักย์โน้มถ่วงมีความสัมพันธ์กัน ถ้ามี ความสัมพันธ์จะเป็นอย่างไร

จากการทดลอง สรุปได้ว่า งานและพลังงานศักย์โน้มถ่วงมีความสัมพันธ์กัน งานที่เกิดจากแรงในการลากรถทดลองขึ้นไปตามรางไม้จะเท่ากับงานที่เกิดจากแรงที่ใช้ยกรถขึ้นไปตรงๆ ในแนวตั้งที่ระดับความสูงเดียวกัน หรือเท่ากับพลังงานศักย์โน้มถ่วงของรถที่เพิ่มขึ้น และพลังงานศักย์โน้มถ่วงของวัตถุจะเปลี่ยนไปเมื่อวัตถุเปลี่ยนระดับความสูงโดยไม่ขึ้นกับเส้นทางที่วัตถุเคลื่อนที่

นักเรียนอาจสงสัยว่า เหตุใดรถทดลองจึงไม่มีพลังงานจลน์ใดๆ ที่เราก่อแรงกระทำต่อรถทดลอง ประเด็นนี้สามารถอธิบายได้ว่า การลากรถขึ้นบนพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว หรือการยกวัตถุขึ้นไปวางบนโต๊ะอย่างช้าๆ งานที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานชนิดที่แฝงอยู่ในวัตถุ นั่นคือ พลังงานศักย์นั่นเอง

2. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น (elastic potential energy) เป็นพลังงานที่สะสมในวัตถุที่มีความยืดหยุ่น เช่น ยางรัดของ ยางยืด สปริง เมื่อออกแรงดึงสปริงหรือกดสปริง สปริงจะพยายามดึงกลับด้วยแรงคืนตัวทำให้สปริงกลับสู่ตำแหน่งเดิมซึ่งเรียกว่า ตำแหน่งสมดุล แรงดึงหรือดันของสปริงนี้จะมีขนาดเท่ากับแรงที่เมื่อเราดึงหรือกดสปริง ซึ่งเป็นแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

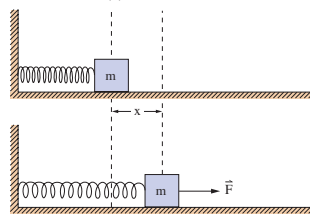
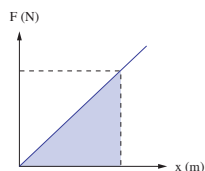
พลังงานที่สะสมอยู่ภายในตัวสปริงขณะที่มีการยืดออกหรือหดเข้าจากตำแหน่งสมดุล เรียกว่า พลังงานศักย์ยืดหยุ่น พลังงานศักย์ยืดหยุ่นในสปริงหาได้จากงานที่กระทำโดยแรงภายนอกที่ใช้ดึงหรือกดสปริง แรงที่ใช้ดึงหรือกดสปริงมีความสัมพันธ์กับระยะทางที่สปริงยืดหรือหดอย่างไร

จากการทดลอง โดยยึดปลายข้างหนึ่งของสปริงไว้ แล้วใช้เครื่องชั่งสปริงเกี่ยวปลายอีกข้างหนึ่ง วางสปริงและเครื่องชั่งสปริงอยู่ตรงศีรษะของไม้บรรทัด แล้วเพิ่มแรงดึงเครื่องชั่งสปริงให้สปริงยืดออกครั้งละเท่าๆ กัน ดังรูปที่ 1.22



รูปที่ 1.22 การทดลองวัดแรงที่ใช้ดึงสปริงให้ยืดออกในระนาบต่างๆ กัน

นักเรียนคิดว่าระยะยืดของสปริงกับแรงที่ใช้ดึงสปริงจะมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ถ้านักเรียนเขียนกราฟระหว่างขนาดของแรงดึง (F) กับระยะทางที่สปริงยืดออก (x) นักเรียนคิดว่ากราฟที่ได้จะเป็นอย่างไร

รูปที่ 1.23 แรง F ดึงสปริงให้ยืดออกจากจุดสมดุล

กราฟที่ 1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงดึงสปริงกับระยะยืด

จากรูปที่ 1.23 กำหนดให้มวลติดสปริงเบาบางจนพื้นราบเกลี้ยง ปลายอีกข้างหนึ่งของสปริงติดกับผนัง มีแรง F ดึงให้สปริงยืดออกจากตำแหน่งเดิมเป็นระยะ x เมื่อนำขนาดของแรงดึง F กับระยะยืด x มาเขียนกราฟ จะได้กราฟเส้นตรง ซึ่งแสดงว่าขนาดของแรงดึงแปรผันตรงกับระยะยืด จะได้ว่า

$$F \propto x$$

หรือ

$$F = kx$$

เมื่อ k คือ ค่าคงตัวของสปริง มีหน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร (N/m)

x คือ ระยะยืดหรือระยะหดของสปริงวัดเทียบกับตำแหน่งสมดุล มีหน่วยเป็น เมตร (m)

งานที่เกิดจากแรงยืดหรือหดของสปริงหาได้จากแรงเฉลี่ยที่ใช้ยืดหรือหดสปริง ทั้งนี้เพราะแรงในการดึงหรือกดสปริงที่ระยะต่างๆ จะมีค่าไม่เท่ากันเมื่อเราดึงสปริงให้ยืดมากต้องใช้แรงมาก จึงต้องใช้แรงเฉลี่ยในการคำนวณหาจำนวน และงานที่เกิดขึ้นนั้นก็คือพลังงานศักย์ยืดหยุ่นในสปริง ดังสมการ

$$E_p = W = F_s$$

$$E_p = \left(\frac{0 + F}{2} \right) (x)$$

$$E_p = \frac{F}{2} x$$

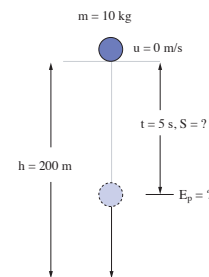
ดังนั้น

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2 \quad (1.17)$$

สมการที่ (1.17) คือ พื้นที่รูปสามเหลี่ยมใต้กราฟเส้นตรงระหว่าง F กับ x นั่นเอง พลังงานศักย์ยืดหยุ่นของสปริงมีค่าขึ้นอยู่กับค่าคงตัวของสปริงและระยะที่สปริงยืดออกหรือหดเข้า ในกรณีนี้สปริงไม่มีการยืดออกหรือหดเข้า หรือเป็นสปริงในสภาวะปกติ พลังงานศักย์ยืดหยุ่นของสปริงจะมีค่าเป็นศูนย์

ตัวอย่างที่ 1.12 ก้อนหินมวล 10 กิโลกรัม ตกจากที่สูง 200 เมตร เมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที จะมีพลังงานศักย์โน้มถ่วงเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์สามารถวิเคราะห์และวาดภาพประกอบได้ดังรูป



จากรูป จะต้องหาระยะทางที่ก้อนหินตกลงมาได้ใน 5 วินาทีก่อน เพื่อจะได้ทราบว่าก้อนหินอยู่สูงจากพื้นซึ่งเป็นระดับอ้างอิงเท่าไร เพื่อนำมาคิดหาพลังงานศักย์โน้มถ่วง

จาก

$$S = ut + \frac{1}{2}gt^2$$

$$S = 0 + \frac{1}{2}(10)(5^2)$$

$$S = 125 \text{ m}$$

$$\text{แสดงว่าก้อนหินอยู่สูงจากพื้น} = 200 - 125 = 75 \text{ m}$$

หาพลังงานศักย์โน้มถ่วง

จาก

$$E_p = mgh$$

$$E_p = (10)(10)(75)$$

$$E_p = 7,500 \text{ J}$$

ดังนั้น พลังงานศักย์โน้มถ่วงของก้อนหินเท่ากับ 7.5×10^3 จูล

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.13 ถ้าต้องการให้สปริงอันหนึ่งยืดออก 2 เซนติเมตร จะต้องใช้แรงดึง 12 นิวตัน ถ้าดึงสปริงให้ยืดออก 10 เซนติเมตร พลังงานศักย์ยืดหยุ่นในสปริงมีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ เมื่อสปริงยืดออก 2 เซนติเมตร ต้องใช้แรงดึง 12 นิวตัน เป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะที่สปริงยืดออกกับแรงที่ใช้ดึงสปริงหรือค่าคงตัวของสปริงนั้น

จาก

$$F = kx$$

$$k = \frac{F}{x} = \frac{12}{0.02}$$

$$k = 600 \text{ N/m}$$

หาพลังงานศักย์ยืดหยุ่นในสปริง

จาก

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

$$E_p = \frac{1}{2}(600)(0.1)^2$$

$$E_p = 3.0 \text{ J}$$

ดังนั้น พลังงานศักย์ยืดหยุ่นในสปริงมีค่า 3.0 จูล

ตอบ

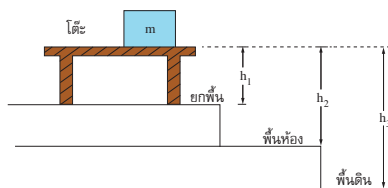


กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.3

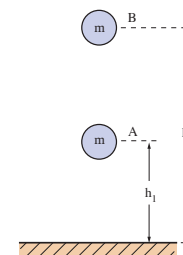
จดตอบคำถามต่อไปนี้

- ให้นักเรียนพิจารณาว่าสถานการณ์ต่อไปนี้มีพลังงานจลน์เกี่ยวข้องกับหรือไม่
 - ลูกมะพร้าวกำลังหล่นจากต้น
 - รถจักรยานยนต์กำลังวิ่ง แล้วถูกเบรกให้ช้าลง
 - โคมไฟแขวนไว้ที่เพดานห้อง
 - ลูกธนูพุ่งออกจากคันธนู
- พลังงานจลน์ของวัตถุก่อนหนึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณใดบ้าง
- ให้นักเรียนพิจารณารูปต่อไปนี้

จงอธิบายว่าพลังงานศักย์โน้มถ่วงของวัตถุมวล m เมื่อเทียบกับพื้นดิน พื้นห้อง และบริเวณยกพื้น พลังงานศักย์โน้มถ่วงของวัตถุนี้แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร



- วัตถุมวล m อยู่ที่ระดับ A สูงจากพื้น h_1 ออกแรง F ยกวัตถุด้วยแรงเท่ากับ mg ขึ้นไปที่ระดับ B ซึ่งสูงจากพื้น h_2 จงแสดงให้เห็นว่างานที่ใช้ยกวัตถุจาก A ไปยัง B มีค่าเท่ากับพลังงานศักย์ของวัตถุที่เพิ่มขึ้น



- ให้นักเรียนอธิบายว่า นักกีฬาขวานนักกีฬามีการเปลี่ยนรูปพลังงานในร่างกายไปเป็นพลังงานศักย์โน้มถ่วง โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกับพลังงานจลน์

4. กฎการอนุรักษ์พลังงาน



แนวคิดสำคัญ

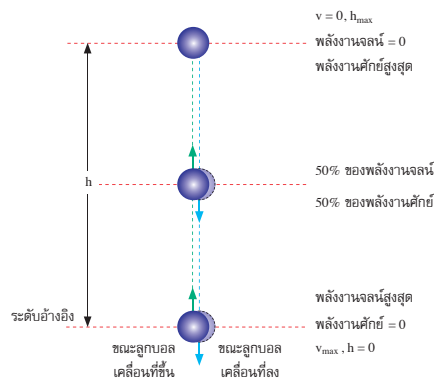
กฎการอนุรักษ์พลังงาน กล่าวว่า พลังงานไม่สามารถสร้างขึ้นหรือทำให้สูญหายได้ แต่สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานจากรูปหนึ่งไปสู่อีกรูปหนึ่งได้ ซึ่งพลังงานกลที่ตำแหน่งใด ๆ จะต้องเท่ากันเสมอ หรือกล่าวได้ว่า ผลรวมของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์จะคงที่ตลอดการเคลื่อนที่ โดยพลังงานจลน์และพลังงานศักย์จะสามารถเปลี่ยนรูปไปมาได้

”

ในหัวข้อที่ผ่านมา นักเรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับพลังงานกล ทั้งในส่วนของการงานจลน์และพลังงานศักย์ และเราได้ทราบแล้วว่างานกับพลังงานมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน อีกสิ่งหนึ่งที่จะได้เรียนรู้ในต่อไปคือพลังงานในแต่ละรูปแบบสามารถเปลี่ยนรูปไปมาได้หรือไม่ อย่างไร

“

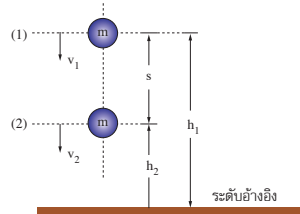
ให้นักเรียนลองวิเคราะห์สถานการณ์ ดังรูปที่ 1.24



รูปที่ 1.24 การเปลี่ยนรูปพลังงานของลูกบอลที่ถูกโยนขึ้นไปตรงๆ ในแนวตั้งและตกกลับมา

ขณะโยนลูกบอลขึ้นไปตรงๆ ในแนวตั้ง พลังงานในร่างกายบางส่วนจะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ของลูกบอล จึงทำให้ลูกบอลเคลื่อนที่ได้ เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่สูงขึ้น ความเร็วของลูกบอลจะลดลงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก นั่นคือ พลังงานจลน์ของลูกบอลจะลดลงโดยเปลี่ยนไปเป็นพลังงานศักย์โน้มถ่วง ซึ่งจะสังเกตได้จากความสูงของลูกบอลที่เพิ่มขึ้น และที่ตำแหน่งสูงสุดของการเคลื่อนที่ พลังงานจลน์ของลูกบอลจะเป็นศูนย์ ส่วนพลังงานศักย์โน้มถ่วงมีค่าสูงสุด จากนั้นลูกบอลจะเคลื่อนที่ลง ขณะที่ลูกบอลเคลื่อนที่ลงมาจะสังเกตได้ว่าความสูงของลูกบอลลดลงเรื่อยๆ ในขณะที่ความเร็วของลูกบอลเพิ่มขึ้น นั่นหมายความว่า พลังงานศักย์โน้มถ่วงที่ลดลงจะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อลูกบอลกระทบมือ ณ ตำแหน่งเริ่มต้น พลังงานจลน์จะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนและเสียง

พิจารณาการเคลื่อนที่ตกอย่างอิสระของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วง โดยไม่มีแรงอื่น ๆ มากระทำ ดังรูปที่ 1.25



รูปที่ 1.25 การตกของวัตถุภายใต้สนามโน้มถ่วงของโลก

จากรูปที่ 1.25 เมื่อปล่อยวัตถุมวล m ให้ตกอย่างอิสระในแนวตั้ง ขณะวัตถุอยู่สูงจากระดับอ้างอิง h_1 วัตถุมีอัตราเร็ว v_1 เมื่อวัตถุตกลงมาไ้ระยะทาง S วัตถุมีความสูงจากระดับอ้างอิง h_2 และมีอัตราเร็ว v_2 เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุจากตำแหน่งเริ่มต้น (1) ไปยังตำแหน่งสุดท้าย (2) อัตราเร็วของวัตถุจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก v_1 ไปเป็น v_2 ในขณะที่มีความสูงจากระดับอ้างอิงมีขนาดลดลง

$$\begin{aligned} \text{พิจารณาที่ตำแหน่งที่ (2) จาก} \quad v^2 &= u^2 + 2gs \\ \text{จะได้} \quad v_2^2 &= v_1^2 + 2gs \\ v_2^2 &= v_1^2 + 2g(h_1 - h_2) \end{aligned}$$

คูณด้วย $\frac{1}{2}m$ ทั้งสองข้างสมการ

$$\text{จะได้} \quad \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 - mgh_2$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 \quad (1.18)$$

จากสมการที่ (1.18) พบว่า ที่ระดับสูงจากพื้น h_2 วัตถุนี้จะมีพลังงาน 2 รูป คือ พลังงานศักย์และพลังงานจลน์ พลังงานจลน์ของวัตถุจะเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนรูปมาจากพลังงานศักย์โน้มถ่วงที่ลดลง ดังนั้น การเคลื่อนที่อย่างอิสระของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกโดยไม่มีแรงอื่น ๆ มากระทำ พลังงานกลรวมของวัตถุ ณ ตำแหน่งใดๆ ย่อมมีค่าคงตัวเสมอ ให้นักเรียนศึกษากิจกรรมต่อไปนี้



กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.3 กฎการอนุรักษ์พลังงาน

จุดประสงค์

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนรูปพลังงานกลตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน

คำถามก่อนกิจกรรม

เมื่อเราให้ลูกทรายเคลื่อนที่อย่างอิสระภายใต้สนามโน้มถ่วงของโลก พลังงานจลน์ของลูกทรายที่เพิ่มขึ้น จะเท่ากับพลังงานศักย์โน้มถ่วงของลูกทรายที่ลดลงหรือไม่ อย่างไร

ทักษะที่ต้องการเน้น

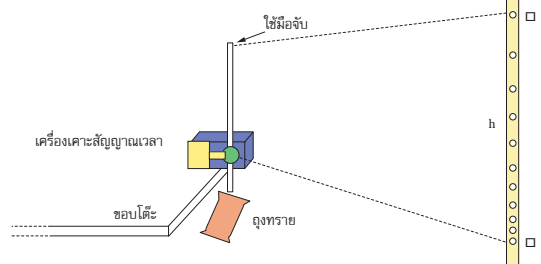
การควบคุมตัวแปร การตั้งสมมติฐาน การสังเกต การอธิบาย การตั้งคำถาม การวิเคราะห์ และลงข้อสรุป การเขียนสรุป

วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องเคาะสัญญาณเวลา 1 เครื่อง
2. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ 1 เครื่อง
3. ไม้มัด 1 อัน
4. แถบกระดาษ
5. ลูกทราย 1 ลูก

วิธีปฏิบัติ

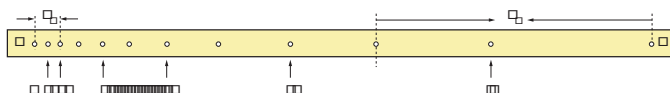
1. ให้นักเรียนวางเครื่องเคาะสัญญาณเวลาไว้ที่ขอบโต๊ะ ซึ่งอยู่สูงจากพื้นห้องประมาณ 1 เมตร ติดปลายด้านหนึ่งของแถบกระดาษไว้กับตุลทราย นำปลายอีกด้านหนึ่งสอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ดังรูป



2. เปิดสวิตช์ให้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาทำงาน แล้วปล่อยให้ตุลทรายตกถึงพื้น นำแถบกระดาษที่ได้มาศึกษาต่อไป
3. กำหนดจุดเริ่มต้นอยู่ที่ □ และใช้เป็นจุดอ้างอิง ดังนั้น □ อยู่ในระดับพลังงานศักย์สูงสุดและ □ อยู่ในระดับพลังงานศักย์ต่ำสุด (เนื่องจากกระดาษเคลื่อนลง)
4. ให้กำหนดจุดอื่นอีก 2-3 จุด วัดความสูง ณ จุดที่กำหนด โดยเทียบกับจุด □ เป็น $h_1, h_2, \dots$ ตามลำดับ
5. หาอัตราเร็วของตุลทราย ณ จุดเหล่านั้น แล้วนำไปคำนวณหาพลังงานศักย์โน้มถ่วงและพลังงานจลน์ของตุลทรายที่ตำแหน่งต่างๆ

คำแนะนำ

การกำหนดจุด a □ b □ c □ d □ e □ ควรกำหนดให้ตรงกับจุดบนแถบกระดาษที่เกิดจากเครื่องเคาะสัญญาณเวลา จุด a และ c จะต้องเป็นจุดที่สามารถหาอัตราเร็วได้ ดังรูป

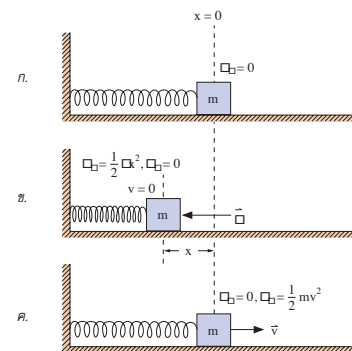


คำถามหลังการทดลอง

1. ในขณะที่ยตุลทรายตกลงมา มีงานเกิดขึ้นหรือไม่ อย่างไร
2. ขณะที่ตุลทรายตกลงมา ความเร็วของตุลทรายมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
3. ก่อนที่นักเรียนจะปล่อยตุลทรายลงมา ตุลทรายมีพลังงานหรือไม่ เพราะเหตุใด
4. ขณะที่ตุลทรายตกลงมา ในระยะหนึ่งมีพลังงานเกิดขึ้นหรือไม่ อย่างไร
5. ข้อมูลที่ได้ ณ ตำแหน่งต่างๆ พลังงานศักย์โน้มถ่วงและพลังงานจลน์ของตุลทรายจะเปลี่ยนไปอย่างไร
 - เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่งใดๆ พลังงานศักย์โน้มถ่วงของตุลทรายที่เปลี่ยนไปและพลังงานจลน์ของตุลทรายที่เปลี่ยนไปจะเท่ากันหรือไม่
 - ผลบวกของพลังงานศักย์โน้มถ่วงและพลังงานจลน์ของตุลทราย ณ ตำแหน่งใดๆ เท่ากันหรือไม่

จากการทดลอง พบว่า พลังงานกลทุกๆ ตำแหน่งที่พิจารณาจะมีค่าเท่ากัน โดยพลังงานศักย์โน้มถ่วงของตุลทรายจะลดลงในขณะที่พลังงานจลน์เพิ่มขึ้น เมื่อหาค่าพลังงานจลน์กับพลังงานศักย์มารวมกันแล้วจะมีค่าคงตัว และเท่ากับพลังงานที่จุดเริ่มต้น หมายความว่า ทุกๆ ตำแหน่งที่ตุลทรายตกลงมา พลังงานกลของตุลทรายจะมีค่าคงตัว แสดงว่า พลังงานศักย์โน้มถ่วงกับพลังงานจลน์สามารถเปลี่ยนรูปไปมาได้

ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุติดสปริงที่วางบนพื้นเกลี้ยง ดังรูปที่ 1.26



รูปที่ 1.26 การเปลี่ยนรูปพลังงานศักย์ยืดหยุ่นเป็นพลังงานจลน์บนพื้นเรียบ

จากรูปที่ 1.26 สปริงอยู่ในตำแหน่งสมดุล เมื่อกดสปริงให้หดเข้าไปจากตำแหน่งสมดุลเป็นระยะ x ดังรูปที่ 1.26 ข พลังงานศักย์ยืดหยุ่นจะมีค่ามากที่สุดและพลังงานจลน์จะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อปล่อยสปริง สปริงจะดีดกลับ ส่งผลให้พลังงานศักย์ยืดหยุ่นลดลงและพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น เนื่องจากพลังงานศักย์ยืดหยุ่นที่ลดลงจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ และเมื่อสปริงกลับมากที่ตำแหน่งสมดุล ดังรูปที่ 1.26 ค พลังงานจลน์ของสปริงจะมีค่ามากที่สุดและพลังงานศักย์ยืดหยุ่นจะมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งพลังงานรวมของสปริงจะมีค่าคงตัวตลอดการเคลื่อนที่เช่นเดียวกับการตกอย่างอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}kx_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}kx_2^2 \quad (1.10)$$

ดังนั้น การเคลื่อนที่ของวัตถุติดสปริงบนพื้นเกลี้ยงโดยไม่มีความเสียดทาน พลังงานกลรวมของวัตถุ ณ ตำแหน่งใดๆ ย่อมมีค่าคงตัวเสมอ

จากสถานการณ์ตัวอย่างและกิจกรรมการทดลอง สรุปได้ว่า การตกอย่างอิสระของวัตถุภายใต้สนามโน้มถ่วงของโลก โดยไม่มีแรงภายนอกกระทำ พลังงานกลรวมของวัตถุที่ตำแหน่งใดก็ตามย่อมมีค่าคงตัวเสมอ ขณะที่วัตถุตกลงมา พลังงานศักย์โน้มถ่วงจะลดลง ซึ่งค่าที่ลดลงจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ที่เพิ่มขึ้น เช่น ถ้าขว้างวัตถุจากพื้นดินให้เคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ ทุกๆ ช่วงที่วัตถุเคลื่อนที่จะมีพลังงานกลเข้ามามีเกี่ยวข้อง นั่นคือ พลังงานศักย์โน้มถ่วงและ

พลังงานจลน์ที่ตำแหน่งใดๆ จะคงตัวตลอดการเคลื่อนที่ ดังนั้น การเคลื่อนที่ภายใต้สนามโน้มถ่วงของโลกจะมีพลังงานกลรวมของระบบคงตัวตลอดการเคลื่อนที่เสมอ จึงเป็นการเคลื่อนที่ภายใต้แรงอนุรักษ์ ซึ่งแรงโน้มถ่วงของโลกจัดเป็นแรงอนุรักษ์ ดังนั้น สนามโน้มถ่วงของโลกจึงเป็นสนามอนุรักษ์

แรงของสปริงโดยเฉพาะสปริงที่มีคุณภาพ เมื่อยืดหรือหดในขอบเขตของการยืดหยุ่นจะมีการสูญเสียพลังงานในตัวเองน้อยมาก จึงประมาณได้ว่าแรงของสปริงก็เป็นแรงอนุรักษ์ งานที่ไม่อนุรักษ์ไม่สามารถคิดพลังงานศักย์ได้ ในกรณีของสปริงนั้น ถ้าสปริงถูกกดให้หดสั้น พลังงานกลของสปริงขณะนั้นมีค่าเท่ากับพลังงานศักย์ยืดหยุ่น เพราะพลังงานจลน์ขณะนั้นเป็นศูนย์ เมื่อปล่อยมือ สปริงจะดีดตัวกลับ โดยพลังงานศักย์ยืดหยุ่นจะลดลงแล้วเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ และเมื่อสปริงเคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งสมดุล พลังงานจลน์จะมีค่ามากที่สุด ในขณะที่พลังงานศักย์ยืดหยุ่นลดลงเป็นศูนย์ ดังนั้น ทุกขณะของการเคลื่อนที่ พลังงานกลรวมจะมีค่าคงตัว แต่สิ่งเหล่านี้จะเป็นจริงได้ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า ต้องไม่มีแรงภายนอกมาเกี่ยวข้อง เช่น แรงเสียดทาน แรงต้านอากาศ

ดังนั้น ในการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงหรือแรงยืดหยุ่นของสปริง พลังงานกลรวมของวัตถุมีค่าคงตัวเสมอ ซึ่งเป็นไปตาม **กฎอนุรักษ์พลังงานกล** (กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์) ที่กล่าวว่า “พลังงานกลรวมของวัตถุจะไม่สูญหาย แต่เปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้”

ให้นักเรียนศึกษาขั้นตอนของการกระโดดค้ำถ่อ ดังรูปที่ 1.20 มีการเปลี่ยนรูปพลังงานหรือไม่อย่างไร



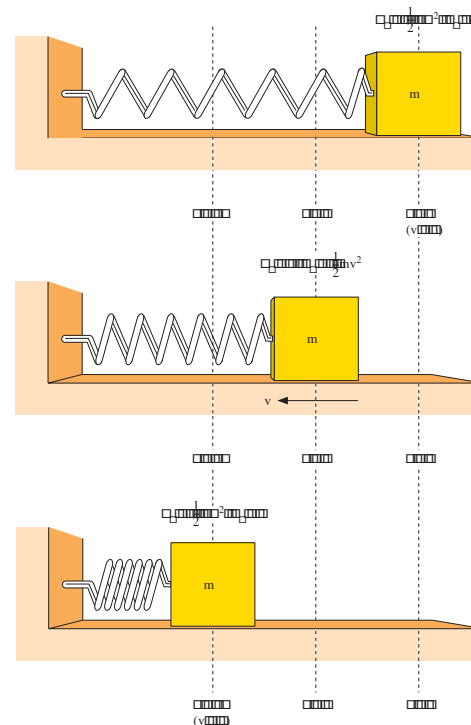
รูปที่ 1.27 การกระโดดค้ำถ่อ

ในสถานการณ์จริงของการกระโดดค้ำถ่อ มักพบว่า ผลรวมของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์มีค่าไม่คงตัว เนื่องจากระบบมีความเสียดทาน ความเสียดทานเหล่านี้จะไปต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุทำให้วัตถุเคลื่อนที่ช้าลง งานของแรงเสียดทานจะเปลี่ยนรูปกลายเป็นความร้อน และทำให้พลังงานกลของวัตถุหายไปส่วนหนึ่ง (เปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนที่ละน้อย) เมื่อรวมส่วนนี้เข้าด้วยกัน พลังงานก็รวมจะมีค่าคงตัว ดังนั้น เมื่อมีแรงเสียดทานเข้ามาเกี่ยวข้อง จะสรุปได้ว่า

$$\text{พลังงานรวมที่จุดเริ่มต้น} - \text{งานของแรงเสียดทาน} = \text{พลังงานรวมที่จุดสุดท้าย}$$

การประยุกต์กฎการอนุรักษ์พลังงานกล

กฎการอนุรักษ์พลังงานกลสามารถนำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจเรื่องนั้นๆ ได้ดีขึ้นเมื่อใช้หลักการของพลังงานกลมาวิเคราะห์ เช่น การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย การเคลื่อนที่แบบวงกลมในแนวตั้ง



รูปที่ 1.28 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของมวลติดสปริง

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของมวลติดสปริงบนพื้นเกลี้ยง ดังรูปที่ 1.28 สมมติให้มวลติดสปริงเริ่มต้นเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่มีการกระจัดมากที่สุด ซึ่งพลังงานศักย์ยืดหยุ่นจะมีค่ามากที่สุดและพลังงานจลน์เป็นศูนย์ จากนั้นพลังงานศักย์ยืดหยุ่นจะลดลง ส่วนที่ลดลงจะเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานจลน์ โดยพลังงานศักย์ยืดหยุ่นจะ

เปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ทั้งหมดขณะที่ผ่านตำแหน่งสมดุล ซึ่งพลังงานจลน์จะมีค่าสูงสุด เมื่อผ่านตำแหน่งสมดุลแล้ว พลังงานจลน์จะลดลง และทำให้พลังงานศักย์ยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น จนถึงตำแหน่งที่มีการกระจัดมากที่สุด ซึ่งเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงานกล ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า

พลังงานกลของระบบ ณ ตำแหน่งใดๆ = พลังงานศักย์ยืดหยุ่นตำแหน่งที่มีการกระจัดมากที่สุด

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kx^2 \quad (1.10)$$

เมื่อ m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

v คือ ขนาดความเร็วของวัตถุ ณ ตำแหน่งใดๆ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

x คือ ค่าคงตัวของสปริง มีหน่วยเป็น นิวตัน/เมตร (N/m)

x คือ ขนาดของการกระจัดของวัตถุ ณ ตำแหน่งใดๆ มีหน่วยเป็น เมตร (m)

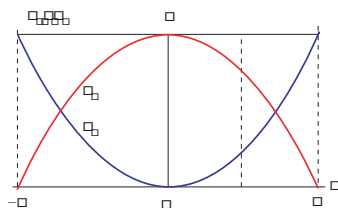
k คือ ขนาดของการกระจัดสูงสุดหรือแอมพลิจูดของวัตถุ มีหน่วยเป็น เมตร (m)

ความสัมพันธ์ในสมการที่ (1.20) สามารถแสดงได้ด้วยกราฟที่ 1.10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานรวม $\frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2$ เป็นค่าคงตัว และมีค่าเท่ากับค่าพลังงานศักย์ที่มีการกระจัดสูงสุด อาจเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและการกระจัดที่ตำแหน่งใดๆ ได้ว่า

$$v^2 = \omega^2(x^2 - x^2) \quad (1.11)$$

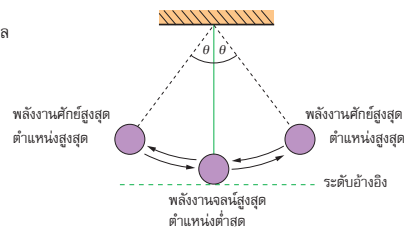
เมื่อ $\omega^2 = \frac{k}{m}$ เป็นกำลังสองของความถี่เชิงมุม

ดังนั้น จะได้ว่า ความเร็วสูงสุดหรือแอมพลิจูดของความเร็ว คือ $v_{\max} = \omega x$



กราฟที่ 1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ยืดหยุ่น และพลังงานรวมของระบบ

การประยุกต์กฎการอนุรักษ์พลังงานกล
เพื่อใช้อธิบายการแกว่งของลูกตุ้ม ดังรูปที่ 1.20



รูปที่ 1.29 การแกว่งของลูกตุ้ม

ในการแกว่งของลูกตุ้มจะมีการเปลี่ยนรูปพลังงานระหว่างพลังงานจลน์และพลังงานศักย์โน้มถ่วงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ณ จุดสูงสุดของการแกว่งของลูกตุ้ม ลูกตุ้มจะมีเฉพาะพลังงานศักย์โน้มถ่วงเท่านั้น เมื่อลูกตุ้มเริ่มแกว่งกลับมาย่อตราเร็วของลูกตุ้มจะเพิ่มขึ้น พลังงานศักย์โน้มถ่วงจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ ณ จุดต่ำสุดของการแกว่ง พลังงานที่มีอยู่ทั้งหมดคือพลังงานจลน์ และในขณะที่ลูกตุ้มแกว่งไปอีกด้านหนึ่งลูกตุ้มจะเคลื่อนที่ช้าลง เกิดการสูญเสียพลังงานจลน์ไป ในขณะเดียวกันก็จะกลับมามีพลังงานศักย์โน้มถ่วงอีกครั้ง ณ จุดสูงสุดของการแกว่ง ลูกตุ้มจะมีเพียงแค่พลังงานศักย์โน้มถ่วงเท่านั้น การเปลี่ยนรูปของพลังงานเช่นนี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง หากไม่มีการสูญเสียพลังงานให้กับสิ่งแวดล้อม



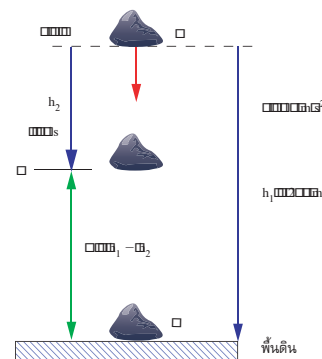
ตัวอย่างที่ 1.10 ก้อนหินมวล 10 กิโลกรัม ตกจากที่สูง 200 เมตร เหนือพื้นดิน จงหาพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของก้อนหิน (กำหนด $g = 10 \text{ m/s}^2$)

ก. ขณะก้อนหินเริ่มตก

ข. เมื่อเวลาผ่านไป 1 วินาที

ค. ขณะกระทบพื้น

วิธีทำ วิเคราะห์โจทย์และวาดภาพประกอบได้ดังรูป



ก. ขณะก้อนหินเริ่มตก ก้อนหินจะมีเฉพาะพลังงานศักย์โน้มถ่วง หาพลังงานศักย์ขณะก้อนหินเริ่มตก (จุด ๑)

$$\begin{aligned} \text{จาก } E_p &= mgh_1 \\ &= (10)(10)(200) \\ &= 1.2 \times 10^5 \text{ จูล} \end{aligned}$$

ส่วนพลังงานจลน์ขณะก้อนหินเริ่มตกเป็น 0 เนื่องจากอัตราเร็วต้นเป็น 0

ดังนั้น พลังงานศักย์และพลังงานจลน์เท่ากับ 1.2×10^5 จูล และ 0 จูล ตามลำดับ

ตอบ

ข. หาพลังงานจลน์และพลังงานศักย์เมื่อเวลาผ่านไป 1 วินาที ณ จุด □
การหาพลังงานศักย์เราจะต้องทราบระยะที่ก้อนหินตกลงมาในเวลา 1 วินาที (h_2)

$$\begin{aligned}\text{จาก } S &= u\Box + \frac{1}{2}g\Box^2 \\ h_2 &= 0 + \frac{1}{2}(10)(1)^2 = 5 \text{ m} \\ \Box &= 200 - 5 \\ &= 195 \text{ m}\end{aligned}$$

ดังนั้น พลังงานศักย์ ณ จุด □ ของก้อนหิน

$$\begin{aligned}\Box_{\Box} &= mg\Box \\ &= (10)(195) \\ &= 1.95 \times 10^3 \text{ J}\end{aligned}$$

หาพลังงานจลน์ของก้อนหิน ณ จุด □ เราจะต้องทราบอัตราเร็วของก้อนหิน ณ ขณะนั้นซึ่งสามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned}v &= u + g\Box \\ &= 0 + 10(1) \\ &= 10 \text{ m/s}\end{aligned}$$

พลังงานจลน์ ณ จุด □ ของก้อนหิน หาจาก

$$\begin{aligned}\Box_{\Box} &= \frac{1}{2}mv^2 \\ &= \frac{1}{2}(10)(10)^2 \\ &= 5 \times 10^2 \text{ J}\end{aligned}$$

ดังนั้น พลังงานศักย์และพลังงานจลน์เท่ากับ 1.95×10^3 จูล และ 5×10^2 จูล ตามลำดับ

ตอบ

ค. หาพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของก้อนหินขณะกระทบพื้น ณ จุด □ ขณะกระทบพื้นพลังงานศักย์ของก้อนหินมีค่าเป็น 0 เนื่องจากไม่มีความสูงจากระดับอ้างอิง จึงมีเฉพาะพลังงานจลน์ การหาพลังงานจลน์จะต้องทราบอัตราเร็วของก้อนหินขณะกระทบพื้น ซึ่งหาจาก

$$\begin{aligned}v^2 &= u^2 + 2gh_1 \\ &= 0 + 2(10)(200) \\ &= 4 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}^2\end{aligned}$$

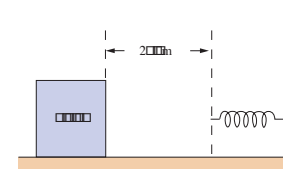
หาพลังงานจลน์ของก้อนหิน

$$\begin{aligned}\Box_{\Box} &= \frac{1}{2}mv^2 \\ &= \frac{1}{2}(10)(4000) \\ &= 2 \times 10^4 \text{ J}\end{aligned}$$

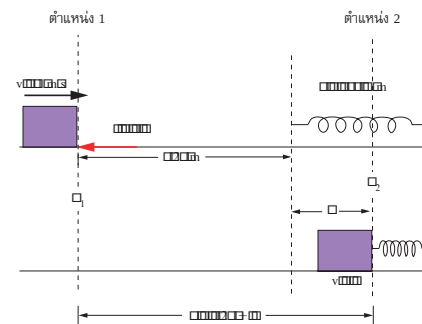
ดังนั้น พลังงานศักย์และพลังงานจลน์เท่ากับ 0 จูล และ 2×10^4 จูล ตามลำดับ

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.10 วัตถุมวล 4.4 กิโลกรัม อยู่ห่างจากปลายสปริง 25 เซนติเมตร เคลื่อนที่ไปแนวราบด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อวินาที สปริงซึ่งมีค่าคง 800 นิวตันต่อเมตร ถ้าแรงเสียดทานระหว่างพื้นกับมวลเป็น 4 นิวตัน สปริงจะหดสั้นที่สุดเท่าไร



วิธีทำ วิเคราะห์โจทย์และวาดภาพประกอบได้ดังรูป



จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน $\Box_1 = \Box_2$

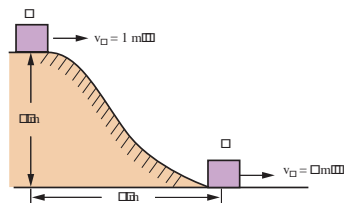
วัตถุเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 1 ไปตำแหน่งที่ 2 มีงานเนื่องจากแรงเสียดทาน ดังนั้น พลังงานจลน์ที่วัตถุมีอยู่จะเปลี่ยนไปเป็นงานของแรงเสียดทานและพลังงานศักย์ยืดหยุ่นในสปริง จะได้

$$\begin{aligned}\Box_1 - \Box_{\Box} &= \Box_2 \\ \frac{1}{2}mv^2 - \Box &= \frac{1}{2}kx^2 \\ \frac{1}{2}(4.4)(1)^2 - (4)(0.25 + x) &= \frac{1}{2}(800)(x)^2 \\ 2\Box - (1 + 4x) &= 400x^2 \\ 1\Box - 4x &= 400x^2 \\ 400x^2 + 4x - 1\Box &= 0 \\ 100x^2 + x - 0\Box &= 0 \\ x &= 0.05 \text{ m}\end{aligned}$$

ดังนั้น สปริงจะหดสั้นเข้าไปเท่ากับ 0.05 เมตร หรือ 5 เซนติเมตร

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.1 วัตถุซึ่งมีมวล 30 กิโลกรัม เคลื่อนที่ลงตามเนินโค้ง ดังรูป ถ้ากล่องมีอัตราเร็ว 1 เมตรต่อวินาที ที่ตำแหน่ง A และ B เมตรต่อวินาที ที่ตำแหน่ง B จงหางานของแรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อกล่องในช่วงการเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ไปยังตำแหน่ง B



วิธีทำ ที่ตำแหน่ง A วัตถุมีความสูงและความเร็ว จากกฎการอนุรักษ์พลังงานจะได้ว่า พลังงานที่ตำแหน่ง A เท่ากับ พลังงานที่ตำแหน่ง B แต่เนื่องจากพื้นระหว่างตำแหน่ง A ไปยังตำแหน่ง B มีแรงเสียดทาน ดังนั้นพลังงานจลน์และ พลังงานศักย์ของวัตถุที่จุด A ส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนรูปไปเป็นงานของแรงเสียดทาน

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน

$$\text{พลังงานที่ตำแหน่ง A} - \text{งานของแรงเสียดทาน} = \text{พลังงานที่ตำแหน่ง B}$$

$$(E_A + E_{pA}) - W_{fA \rightarrow B} = (E_B + E_{pB})$$

$$\frac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A - W_{fA \rightarrow B} = \frac{1}{2}mv_B^2$$

$$\frac{1}{2}(30)(1)^2 + 30(10)(3) - W_{fA \rightarrow B} = \frac{1}{2}(30)(3)^2$$

$$15 + 900 - W_{fA \rightarrow B} = 540$$

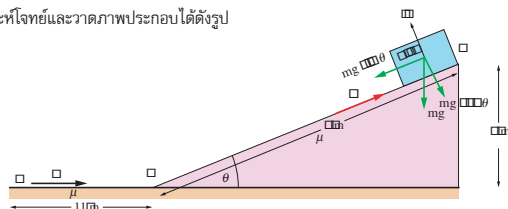
$$W_{fA \rightarrow B} = 365 \text{ จูล}$$

ดังนั้น งานของแรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อกล่องในช่วงการเคลื่อนที่จาก A ไปยัง B จะมีค่า 365 จูล

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.2 ปล่อยวัตถุมวล 5 กิโลกรัม ให้ไถลลงไปตามพื้นเอียงซึ่งยาว 5 เมตร และอยู่สูงจากพื้นราบ 3 เมตร ปรากฏว่าวัตถุยังสามารถไถลไปตามพื้นราบได้อีกเป็นระยะทาง 11 เมตร จึงหยุด ถ้าพื้นเอียงและพื้นราบมีสัมประสิทธิ์ ความเสียดทานจลน์เท่ากัน จงคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานนี้

วิธีทำ วิเคราะห์โจทย์และวาดภาพประกอบได้ดังรูป



ที่ตำแหน่งเริ่มต้น วัตถุมีความสูง ดังนั้นวัตถุจะมีพลังงานศักย์โน้มถ่วง เมื่อปล่อยวัตถุให้ไถลลงมา พลังงาน ศักย์โน้มถ่วงจะเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานจลน์และงานของแรงเสียดทาน เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่ง B จะหยุด เคลื่อนที่ แสดงว่า พลังงานทั้งหมดจะเปลี่ยนรูปไปเป็นงานของแรงเสียดทาน และพลังงานจลน์ที่ตำแหน่งนี้มีค่าเท่ากับ ศูนย์

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน พิจารณาจากตำแหน่ง A ไป B

$$\text{พลังงานที่ตำแหน่ง A} - \text{งานของแรงเสียดทาน} = \text{พลังงานที่ตำแหน่ง B}$$

$$mgh - W_{fA \rightarrow B} = \frac{1}{2}mv_B^2 \quad \dots (1)$$

พิจารณาจากตำแหน่ง A ไป C

$$\text{พลังงานที่ตำแหน่ง A} - \text{งานของแรงเสียดทาน} = \text{พลังงานที่ตำแหน่ง C}$$

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - W_{fA \rightarrow C} = \frac{1}{2}mv_C^2$$

$$\frac{1}{2}mv_B^2 = W_{fA \rightarrow C} \quad \dots (2)$$

นำสมการที่ (2) แทนค่าในสมการที่ (1) จะได้

$$mgh - W_{fA \rightarrow B} = W_{fA \rightarrow C}$$

$$mgh - (\mu mg \cos \theta)(S_{A \rightarrow B}) = (\mu mg)S_{B \rightarrow C}$$

$$5(10)(3) - \mu(5)(10)\left(\frac{4}{5}\right)(5) = \mu(5)(10)(11)$$

$$\mu = 0.2$$

ดังนั้น สัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีค่าเท่ากับ 0.2

ตอบ

กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.4

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. จากรูป ให้นักเรียนอธิบายการเปลี่ยนรูปของพลังงานในการกระโดดค้ำถ่อตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน



2. จงอธิบายการเปลี่ยนรูปพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปล่อยลูกบอลลงพื้นแล้วลูกบอลกระดอนกลับขึ้นมา เหตุใดครั้งที่ต่อไปลูกบอลจึงกระดอนกลับขึ้นมาที่ระดับต่ำกว่าเดิม
3. จงอธิบายการเปลี่ยนรูปพลังงานในการจุดไม้ขีดไฟ
4. รถไฟเหาะตีลังกามีมวล 50 กิโลกรัม อยู่บนยอดเนินซึ่งสูง 30 เมตร หากไม่คิดแรงเสียดทาน รถจะมีพลังงานจลน์เท่าไร ขณะอยู่ที่ตำแหน่งล่างสุดของราง

5. เครื่องกล



แนวคิดสำคัญ

เครื่องกล คือ เครื่องมือที่ช่วยในการทำงาน โดยอาศัยหลักการของงานและพลังงาน โดยงานที่ให้กับเครื่องกลจะมีค่าเท่ากับผลรวมของงานที่ได้รับจากเครื่องกลกับงานของแรงเสียดทาน โดยเครื่องกลที่มีประสิทธิภาพจะสูญเสียงานเนื่องจากแรงเสียดทานน้อย และเครื่องกลจะไม่ผ่อนงาน แต่สามารถผ่อนแรงได้ซึ่งเรียกว่า การได้เปรียบเชิงกล



เครื่องกล (mechanism) คือ เครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อ

ช่วยเหลือการทำงาน หรืออำนวยความสะดวกในการทำงาน เช่น ช่วยถ่ายทอดพลังงานจากที่แห่งหนึ่งไปยังอีกแห่งหนึ่ง ช่วยเปลี่ยนทิศทางการออกแรง ช่วยผ่อนแรง โดยเมื่อออกแรงพยายามเพียงเล็กน้อยก็สามารถเอาชนะแรงต้านทานหรือยกน้ำหนักซึ่งมีค่ามากกว่า ได้ ตัวอย่างเครื่องกลที่พบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น พลั่ว คีมตัดลวด กรรไกร



รูปที่ 1.30 ตัวอย่างเครื่องกล

เครื่องกลทุกชนิดจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อให้งานแก่เครื่องกลนั้นก่อน งานที่ได้รับจากเครื่องกลย่อมน้อยกว่างานที่ให้แก่เครื่องกลเสมอ ทั้งนี้เพราะงานที่ให้แก่เครื่องกลบางส่วนต้องสูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทานหรือความผิดของเครื่องกล ดังรูปที่ 1.31



รูปที่ 1.31 งานที่ให้กับพลั่วมีขนาดมากกว่างานที่ได้จากพลั่ว

เครื่องกลอย่างง่าย มี ๖ ประเภทด้วยกัน คือ คาน ล้อและเพลารอก พื้นเอียง สกรู และลิ้ม ในการศึกษาเรื่องเครื่องกลทุกชนิด จะพิจารณาเกี่ยวกับแรง 2 แรง คือ แรงพยายามและแรงต้านทาน

แรงพยายาม (F) คือ แรงที่เราให้กับเครื่องกล

แรงต้านทาน (R) คือ แรงต้านของวัตถุ เช่น แรงเนื่องจากน้ำหนักของวัตถุ

การอธิบายเครื่องกลต่างๆ จะอาศัยหลักการของงาน เนื่องจากงานและพลังงานเป็นปริมาณที่คงตัว ดังนี้

งานที่ให้กับเครื่องกล = งานที่เครื่องกลได้รับ + งานที่สูญเสียไปเนื่องจากความเสียดทาน

ถ้างานของแรงเสียดทานมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับงานที่ได้รับ จะถือว่างานของแรงเสียดทานมีค่าเป็นศูนย์ จะได้ความสัมพันธ์ใหม่ว่า

งานที่ให้กับเครื่องกล = งานที่ได้รับจากเครื่องกล

$$Q_1 = Q_2 \quad (1.00)$$

ดังนั้น เครื่องกลจะช่วยในการผ่อนแรงเท่านั้น แต่ไม่ได้ช่วยผ่อนงาน (หมายถึงไม่ได้ช่วยให้ทำงานลดลง)

ประสิทธิภาพของเครื่องกล

ประสิทธิภาพของเครื่องกล (efficiency) หมายถึง ความสามารถในการทำงานของเครื่องกล หรืออัตราส่วนระหว่างงานที่เครื่องกลทำออกมา (output) กับงานที่ให้แก่เครื่องกล (input) เครื่องกลที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูงย่อมดีกว่าเครื่องกลที่มีประสิทธิภาพการทำงานต่ำ ประสิทธิภาพของเครื่องกลนิยมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของเครื่องกล} = \frac{\text{งานที่ได้รับจากเครื่องกล}}{\text{งานที่ให้กับเครื่องกล}} \times 100\% \quad (1.01)$$

$$\text{หรือ} \quad \text{ประสิทธิภาพของเครื่องกล} = \frac{\text{กำลังที่ได้รับจากเครื่องกล}}{\text{กำลังที่ให้กับเครื่องกล}} \times 100\% \quad (1.00)$$

ในทางปฏิบัติ ระบบอาจมีการสูญเสียพลังงานไปบ้างเนื่องจากความเสียดทานภายในระบบของเครื่องกล โดยงานที่เอาชนะความเสียดทานไม่สามารถนำกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ ประสิทธิภาพจึงมีค่าน้อยกว่า 1 หรือน้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์เสมอ

การได้เปรียบเชิงกล

การได้เปรียบเชิงกล ($\square$) คือ อัตราส่วนระหว่างแรงต้านทาน ($\square$) กับแรงพยายาม ($\square$) หรือเป็นตัวเลขบ่งบอกว่า เครื่องกลนั้นผ่อนแรงได้มากหรือน้อยเพียงใด (ผ่อนเฉพาะแรงแต่ไม่ผ่อนงาน)

$$\text{การได้เปรียบเชิงกล} (\square) = \frac{\text{แรงต้านทาน}}{\text{แรงพยายาม}} = \frac{W}{E} \quad (1.00)$$

ถ้า $\square = 1$ แสดงว่าไม่ผ่อนแรง จะได้ว่า $\square = \square$

ถ้า $\square > 1$ แสดงว่าผ่อนแรง จะได้ว่า $\square > \square$

ถ้า $\square < 1$ แสดงว่าไม่ผ่อนแรง จะได้ว่า $\square < \square$

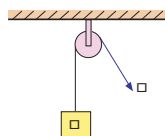
การได้เปรียบเชิงกลแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1.0 การได้เปรียบเชิงกลทางทฤษฎี ($\square$) หมายถึง การได้เปรียบเชิงกลที่ได้จากการคำนวณซึ่งไม่คิดค่าความเสียดทาน

□ การได้เปรียบเชิงกลทางปฏิบัติ ($\square$) หมายถึง การได้เปรียบเชิงกลที่เกิดขึ้นจริง ๆ แรงที่ใช้ต้องรวมแรงต้านเนื่องจากแรงเสียดทานด้วย ค่าการได้เปรียบเชิงกลในทางปฏิบัติจึงขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องกล และสมบัติของเครื่องกลชิ้นนั้น ๆ ด้วย

ตัวอย่างเช่น **รอก** ($\square$) เป็นเครื่องกลที่ใช้ช่วยในการทำงานและเปลี่ยนทิศทางการออกแรง ลักษณะของรอกเป็นล้อหมุนได้คล่องรอบแกน ที่ขอบของรอกมีร่องสำหรับคล้องเชือกเพื่อให้ยกของขึ้นที่สูงหรือหย่อนลงไปที่ต่ำได้

1. รอกเดี่ยวตายตัว ปลายเชือกด้านหนึ่งผูกกับของที่จะยกขึ้นหรือต้องการให้เคลื่อนที่ซึ่งเป็นแรงต้านทาน ($\square$) ปลายอีกด้านหนึ่งใช้เป็นที่ดึงหรือออกแรงพยายาม ($\square$) ดังรูปที่ 1.32

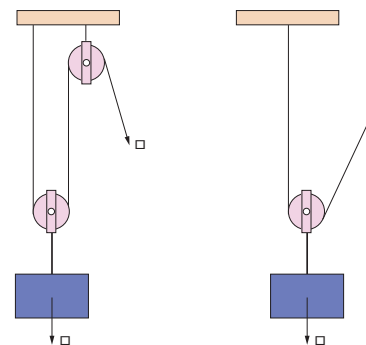


รูปที่ 1.32 รอกเดี่ยวตายตัว

รอกนี้ไม่ช่วยในการผ่อนแรง ($\square = \square$) แต่อำนวยความสะดวกในการทำงานและเปลี่ยนทิศทางของแรง กล่าวคือ เมื่อใช้รอกเดี่ยวตายตัวช่วยในการยกของขึ้นที่สูง จะสามารถยืนอยู่ที่พื้นแล้วดึงปลายเชือกลง ก็

ยกวัตถุขึ้นไปบนที่สูงได้ เช่น การชักธงชาติขึ้นสู่ยอดเสา การลำเลียงวัสดุก่อสร้างขึ้นไปบนที่สูง และไม่ว่าเชือกที่ออกแรง $\square$ จะเบนไปอย่างไร ก็จะไม่ออกแรงดึง $\square$ เท่ากับน้ำหนัก $\square$ เสมอ

□ รอกเดี่ยวเคลื่อนที่ ปลายเชือกด้านหนึ่งของรอกชนิดนี้จะผูกอยู่กับที่ แล้วร้อยเชือกเข้ากับรอก โดยผูกวัตถุที่ต้องการยกเข้ากับตัวรอกโดยตรง ดังรูปที่ 1.33



รูปที่ 1.33 รอกเดี่ยวเคลื่อนที่

จากรูปที่ 1.33 ถ้าออกแรง $\square$ ที่เชือกทำให้ปลายเชือกเคลื่อนที่ได้ระยะทาง S และทำให้วัตถุมวล m เคลื่อนที่ได้ระยะทาง h ดังนั้น ถ้าพิจารณาการทำงานของระบบรอก จะได้ว่า

งานที่ให้แก่ระบบรอก คือ $\square S$

ส่วนงานที่ได้จากระบบรอก คือ $\square h$

ในกรณีที่ไม่มี การสูญเสียพลังงานจากความเสียดทาน จากกฎการอนุรักษ์พลังงานจะได้ว่า

$$\square S = \square h$$

$$\text{เมื่อดึงเชือกเป็นระยะทาง } S \text{ วัตถุจะเคลื่อนขึ้นเป็นระยะ } h = \frac{S}{2}$$

$$\text{การได้เปรียบเชิงกล} = \frac{S}{h} = \frac{S}{\frac{S}{2}}$$

$$\frac{W}{F} = \frac{2}{1}$$

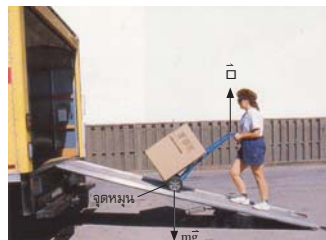
ดังนั้น รอกเดี่ยวเคลื่อนที่ที่จะมีการได้เปรียบเชิงกล คือ จะสามารถยกวัตถุที่มีน้ำหนักเป็น 2 เท่าของแรงที่ใช้ดึงเชือกได้ ($\square = 2\square$) แต่ถ้ากรณีที่รอกมีความเสียดทาน น้ำหนักของวัตถุที่ยกได้จะมีค่าน้อยกว่า 2 เท่าของแรงที่ใช้ดึงเชือก ($\square < 2\square$)

สำหรับเครื่องกลแบบอื่นๆ จะสามารถหาการได้เปรียบเชิงกล แรงที่ได้ แรงที่ต้องใช้ จากการพิจารณาแรงในสมดุลและหลักการที่พลังงานเป็นปริมาณอนุรักษ์ ดังรูปที่ 1.34

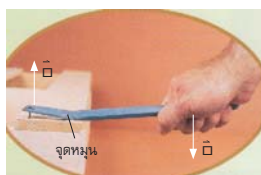




จุดหมุน



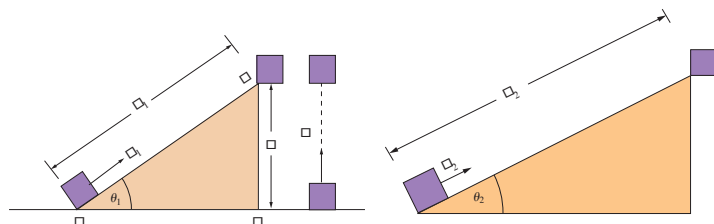
จุดหมุน



จุดหมุน

รูปที่ 1.34 ตัวอย่างเครื่องกลประเภทคานและพื้นเอียง

พื้นเอียงก็เป็นเครื่องกลประเภทหนึ่ง ในการยกของหนักๆ ขึ้นในแนวดิ่ง จะต้องออกแรงยกน้ำหนักนั้นเดิมทีซึ่งบางครั้งอาจไม่สามารถยกขึ้นไปได้ ดังนั้น เพื่ออำนวยความสะดวกและช่วยผ่อนแรง จึงใช้เครื่องกลประเภทพื้นเอียงช่วยยกของ การทำงานของพื้นเอียงจะใช้หลักของงานเช่นกัน พื้นเอียงยิ่งลาดมาก ระยะทางที่แรงพยายามเคลื่อนที่ก็ยิ่งยาวกว่าระยะที่แรงต้านทานเคลื่อนที่ ซึ่งก็ยิ่งจะทำให้พื้นเอียงนั้นผ่อนแรงได้มากขึ้น ดังรูปที่ 1.35



รูปที่ 1.35 งานของพื้นเอียง โดย $L_1 < L_2$ และ $E_1 > E_2$

ในการยกของหนัก $\square$ ขึ้นไปที่สูง $\square$ อาจทำได้โดยใช้พื้นเอียงยาว $\square$ และออกแรงพยายาม $\square$ จากหลักการของงาน ถ้าไม่มีความเสียดทานและไม่คำนึงน้ำหนักของตัวเครื่องกลแล้ว จะได้ว่า

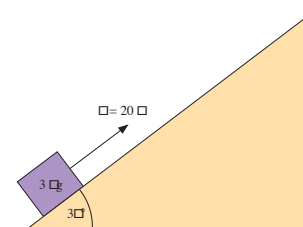
$$\text{งานที่กระทำ} = \text{งานที่ได้รับ}$$

$$\square \times \square = \square \times \square$$

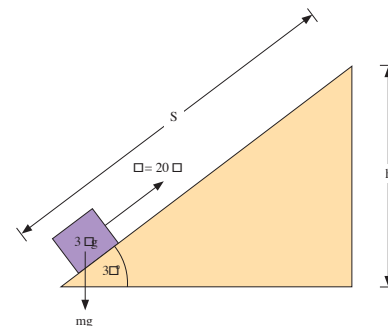
$$\text{การได้เปรียบเชิงกล} (\square \square) = \frac{\text{แรงต้านทาน}}{\text{แรงพยายาม}} = \frac{W}{E} = \frac{L}{H} \quad (1.00)$$

หากต้องการยกวัตถุหนักโดยใช้แรงเพียงเล็กน้อย อาจใช้คานช่วยจัดโดยใช้แขนข้างที่ยาว หรือถ้าต้องการยกวัตถุขึ้นที่สูง อาจใช้แรงที่น้อยกว่าการยกตรงๆ โดยการเข็นวัตถุขึ้นพื้นเอียง เครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกโดยใช้หลักการของเครื่องกล เช่น หัวค้อนที่ใช้ถอนตะปู กรรไกร คีมตัดเหล็ก แม่แรงยกรถ โชควง

ตัวอย่างที่ 1.18 จากรูป ออกแรง 20 นิวตัน จุดวัตถุมวล 3 กิโลกรัม ขึ้นพื้นเอียงซึ่งทำมุม 30 องศา กับแนวระดับ จงหาประสิทธิภาพการทำงานของพื้นเอียงนี้



วิธีทำ จากโจทย์



จากรูป หาความสูง h

จาก

$$\sin 30^\circ = \frac{h}{S}$$

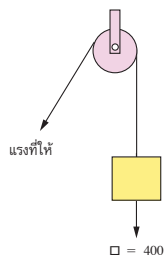
$$h = S \sin 30^\circ$$

$$\begin{aligned}
 \text{จาก} \quad \text{ประสิทธิภาพของเครื่องกล} &= \frac{\text{งานที่ได้รับจากเครื่องกล}}{\text{งานที่ให้กับเครื่องกล}} \times 100\% \\
 &= \frac{(mg)(h)}{(Q)(S)} \times 100\% \\
 &= \frac{(30)(S)(0.3)}{(20)(S)} \times 100\% \\
 &= \frac{(30)(0.6)}{(20)} \times 100\% = 90\%
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพของพื้นเอียงมีค่าเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.10 รอกสำหรับยกของมีลักษณะดังรูป ถ้ารอกนี้มีแรงเสียดทาน 120 นิวตัน โดยไม่ขึ้นกับขนาดของวัตถุที่ต้องยก จงคำนวณหาประสิทธิภาพของรอกเมื่อใช้ยกวัตถุหนัก 400 นิวตัน



วิธีทำ จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน

$$\text{งานที่ให้กับเครื่องกล} = \text{งานที่ได้จากเครื่องกล} + \text{งานของแรงเสียดทาน}$$

จากรูป รอกที่ใช้เป็นรอกเดี่ยวตายตัว จะต้องออกแรงเพื่อให้รอกทำงานเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ 400 นิวตัน เนื่องจากรอกไม่ได้ผ่อนแรงแต่อำนวยความสะดวกและมีแรงเสียดทานด้วย ดังนั้นขณะที่ออกแรงให้รอกทำงาน งานที่ได้จะเท่ากับงานที่ให้กับรอกบวกกับงานของแรงเสียดทาน

ถ้ายกวัตถุขึ้นมาได้สูง h ดังนั้น ประสิทธิภาพของเครื่องกลจะหาได้จาก

$$\begin{aligned}
 \text{ประสิทธิภาพของเครื่องกล} &= \frac{\text{งานที่ได้รับ}}{\text{งานที่ให้}} \times 100 \\
 \text{ประสิทธิภาพของเครื่องกล} &= \frac{400 \times h}{(120 \times h) + (400 \times h)} \times 100 \\
 \text{ประสิทธิภาพของเครื่องกล} &= \frac{400}{520} \times 100 = 76.92\% = 77\%
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพของรอกมีค่า 77 เปอร์เซ็นต์

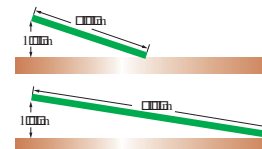
ตอบ



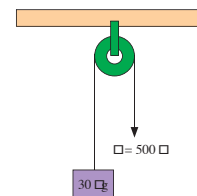
กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.5

จดตอบคำถามต่อไปนี้

1. จากรูป สมมติให้นักเรียนใช้พื้นเอียงนี้ในการขนของขึ้นรถบรรทุกที่สูง 1 เมตร ให้นักเรียนอธิบายว่าในการใช้พื้นเอียงทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างไรในแง่ของแรงที่นักเรียนจะต้องใช้ในการทำงาน งานที่นักเรียนได้รับ และการได้เปรียบเชิงกลในอุดมคติของพื้นเอียงทั้งสอง



2. ให้นักเรียนอธิบายว่า เครื่องกลช่วยให้นักเรียนทำงานได้ง่ายขึ้นอย่างไร ถ้าเครื่องกลนั้นไม่ได้ช่วยลดปริมาณงานที่นักเรียนต้องทำ
3. เหตุใดการได้เปรียบเชิงจริงของเครื่องกลจึงแตกต่างจากการได้เปรียบเชิงกลอุดมคติของเครื่องกลนั้น
4. ออกแรง 150 นิวตัน ลากวัตถุหนึ่งที่มีมวล 25 กิโลกรัม ขึ้นพื้นเอียงที่ทำมุม 30° กับแนวระดับ ประสิทธิภาพของเครื่องกลนี้มีค่าเท่าไร
5. จากรูป รอกมีประสิทธิภาพเท่าไร





กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ “กระดานลื่นแสนสนุก”

คำชี้แจง

1. ให้นักเรียนจัดกลุ่มๆ ละ ๓ คน และตั้งชื่อกลุ่ม
2. ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการทำกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์จากใบกิจกรรมที่กำหนดให้
3. ทำกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้
4. การทำกิจกรรมต้องระมัดระวังในการสืบค้นความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และความรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่น ๆ โดยนำมาบูรณาการสร้างผลงาน อภิปรายเพื่อแสดงความคิดเห็นโดยใช้เหตุผลในการโต้แย้งจากประจักษ์พยานที่พบตลอดการทำกิจกรรมเพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ โดยคำนึงถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากการทำกิจกรรม
5. เตรียมความพร้อมที่จะนำเสนอผลงานเพื่อการแลกเปลี่ยนเรียนรู้

สถานการณ์

นักเรียนได้รับมอบหมายให้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ในสนามเด็กเล่นหนึ่งชิ้น คือ กระดานลื่น โดยมีเงื่อนไขดังนี้

1. มีต้นทุนการผลิตไม่เกิน 200 บาท
2. กำหนดให้ใช้ลูกเทนนิสแทนผู้เล่นกระดานลื่น
3. กระดานลื่นต้องมีความลาดเอียงแตกต่างกัน 3 ระดับ
4. ทำให้ผู้เล่นอยู่บนกระดานลื่นได้นานที่สุดก่อนจะลงสู่พื้น
5. กระดานลื่นมีความแข็งแรง สวยงาม



สรุป

หลังจากศึกษาหน่วยการเรียนรู้แล้ว นักเรียนจะเกิดการเรียนรู้ครบทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ความรู้ (Knowledge) ทักษะ/กระบวนการ (Process) และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (Attribute) ดังนี้

K

- งาน คือ ผลของแรงที่กระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุเกิดการกระจัด หากทิศทางของแรงตั้งฉากกับการกระจัดของวัตถุจะทำให้งานเป็นศูนย์ งานหาได้จากสมการ $W = FS \cos \theta$
- กำลัง คือ อัตราการทำงาน หรือ งานที่ทำได้ในหนึ่งหน่วยเวลา มีสมการเป็น $P = \frac{W}{t} = Fv$
- พลังงาน เป็นปริมาณที่บอกถึงความสามารถในการทำงาน พลังงานกลมี 2 รูปแบบ คือ พลังงานจลน์ เป็นพลังงานที่ขึ้นกับความเร็วของวัตถุ ($E_k = \frac{1}{2}mv^2$) และพลังงานศักย์ เป็นพลังงานที่ขึ้นกับตำแหน่งของวัตถุ ประกอบด้วยพลังงานศักย์โน้มถ่วง ($E_p = mgh$) และพลังงานศักย์ยืดหยุ่น ($E_p = \frac{1}{2}kx^2$)
- กฎการอนุรักษ์พลังงาน กล่าวว่า พลังงานไม่สามารถสร้างขึ้นหรือทำให้สูญหายได้ แต่สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานจากรูปหนึ่งไปสู่อีกรูปหนึ่งได้ สำหรับการเคลื่อนที่ภายใต้แรงโน้มถ่วงหรือแรงยืดหยุ่นของสปริงซึ่งเป็นแรงอนุรักษ์ พลังงานกลที่ตำแหน่งใดๆ จะคงตัวเสมอ
- เครื่องกล คือ เครื่องมือที่ช่วยในการทำงาน งานที่ให้กับเครื่องกลจะมีค่าเท่ากับผลรวมของงานที่ได้รับจากเครื่องกลและงานของแรงเสียดทาน เครื่องกลที่สูญเสียงานเนื่องจากแรงเสียดทานน้อยจะมีประสิทธิภาพสูง และเครื่องกลจะไม่ผ่อนงานแต่สามารถผ่อนแรงได้ เรียกว่า การได้เปรียบเชิงกล

P

1. วิเคราะห์และคำนวณงานของแรงคงตัวจากสมการและพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงกับตำแหน่ง
2. คำนวณกำลังเฉลี่ยพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ พลังงานกล งานที่เกิดจากแรงลัพธ์ ประสิทธิภาพ และการได้เปรียบเชิงกล
3. ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานจลน์ งานกับพลังงานศักย์โน้มถ่วง ขนาดของแรงที่ใช้ดึงสปริงกับระยะที่สปริงยืดออก และงานกับพลังงานศักย์ยืดหยุ่น
4. วิเคราะห์และคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกล
5. มีทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

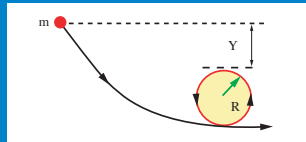
☒

1. มีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้และแสวงหาความรู้เพิ่มเติม
2. มีความมุ่งมั่นในการทำกิจกรรมการทดลองเพื่อให้ได้ผลสำเร็จ
3. มีความซื่อตรงต่อการรายงานผลการทดลอง

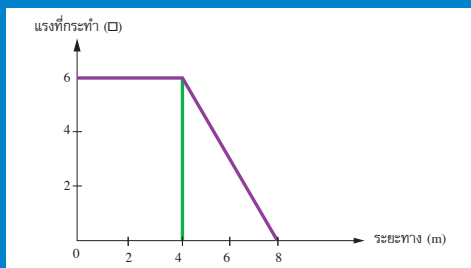


แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

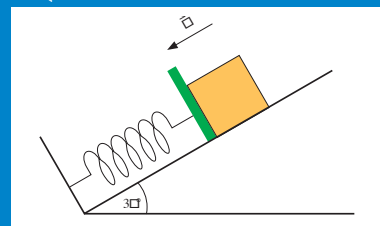
- มดแดงยีนสหายกระเป๋าน้ำดื่มไว้ที่ป่า มดแดงทำงานหรือไม่ จงอธิบาย
- ให้นักเรียนอธิบายความแตกต่างระหว่างพลังงานศักย์และพลังงานจลน์
- พิจารณาสถานการณ์ต่อไปนี้ นักเรียนคิดว่ามีพลังงานรูปใดมาเกี่ยวข้องบ้าง
 - ใบไม้ตกจากต้นไม้
 - เทียนไขที่กำลังลุกไหม้
 - หนังยางที่มีครอบหนังสือพิมพ์
- เมื่อนักเรียนเดินขึ้นบันได นักเรียนทำตามกฎการอนุรักษ์พลังงานอย่างไร
- จงหาความเร็วในหน่วยเมตรต่อวินาทีของมวล 20 กิโลกรัม ที่เคลื่อนที่เข้าชนสปริงในแนวระดับแล้วทำให้สปริงถูกกดเข้าไปเป็นระยะมากที่สุด 10 เซนติเมตร แต่ถ้าใช้มวล 2 กิโลกรัม แขนงที่ปลายสปริงอันนี้ในแนวตั้ง ทำให้สปริงยืดออก 10 เซนติเมตร
- วัตถุขนาดเล็กมวล m ไหลลงตามรางที่ไม่มีแรงเสียดทานจากสภาพหยุดนิ่ง โดยที่ปลายรางด้านล่างวนเป็นวงกลมรัศมี $\square$ ดังรูป คำน้อยที่สุดของระยะ $\square$ ที่วัตถุยังคงสัมผัสอยู่กับรางตลอดการเคลื่อนที่จะเป็นกี่เท่าของ $\square$



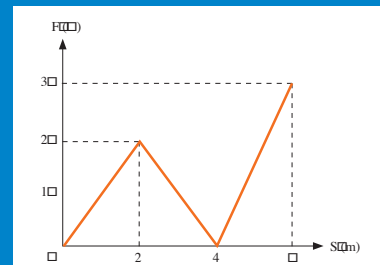
- จากกราฟ แสดงความสัมพันธ์ของวัตถุมวล 5 กิโลกรัม ซึ่งถูกแรงกระทำในแนว $\square$ องศา เทียบกับทิศของการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยขนาดของแรงกระทำเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง ดังรูป จงหางานที่เกิดจากแรงนี้



- ก้อนหินมวล 20 กิโลกรัม ตกจากที่สูง 40 เมตรเหนือพื้นดิน หลังจากปล่อยก้อนหินแล้วเป็นเวลานานเท่าไร ก้อนหินจึงจะมีพลังงานจลน์เท่ากับพลังงานศักย์ (ถือว่าพลังงานศักย์ที่พื้นดินเป็นศูนย์)
- วัตถุก้อนหนึ่งมีมวล 500 กรัม วางชิดกับแป้นที่มีสปริงยึดไว้และอยู่ปลายล่างของพื้นเอียงที่ทำมุม 30 องศา กับแนวระดับ ดังรูป ค่าคงตัวของสปริงมีค่า 2000 นิวตันต่อเมตร ยึดวัตถุนี้ให้ความยาวของสปริงหดสั้นเข้าไป 30 เซนติเมตร จากความยาวปกติ แล้วปล่อยเพื่อให้วัตถุนี้เคลื่อนที่ไปตามพื้นเอียง ถ้าสมมติว่าแรงเสียดทานระหว่างพื้นเอียงกับวัตถุมีค่า 0.2 วัตถุจะเคลื่อนที่ตามพื้นเอียงได้ไกลเท่าไร เมื่อวัตถุจากจุดเริ่มปล่อย



- งานของแรง F ซึ่งกระทำกับวัตถุหนึ่งมีความสัมพันธ์กับระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ S ดังรูป วัตถุใช้เวลาเคลื่อนที่ทั้งหมด 20 วินาที ในการทำงานของแรง F นี้ กำลังเฉลี่ยของแรง F เป็นเท่าไร

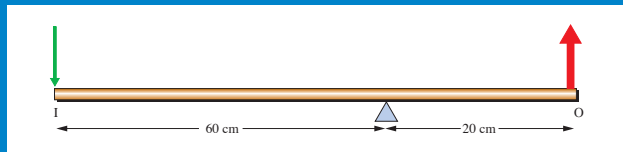


- ลิฟต์ตัวหนึ่งมีมวล 500 กิโลกรัม สามารถยกของมวล 500 กิโลกรัม ขึ้นไปสูง 20 เมตร ในเวลา 10 วินาที โดยใช้กำลัง 50 กิโลวัตต์ จะมีงานสูญเสียเท่าไร
- นักกายกรรมละครสัตว์โหนเชือก เริ่มต้นเชือกทำมุม 60 องศา กับแนวตั้ง เมื่อเชือกแกว่งทำให้ให้นักกายกรรมอยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุด นักกายกรรมจะต้องออกแรงยึดเป็นกี่เท่าของน้ำหนักตัวตามปกติ
- วัตถุตกจากโต๊ะสูง 10 เซนติเมตร ลงไปบนสปริงที่ตั้งอยู่ในแนวตั้ง คำน้อยที่สุดของสปริงเท่ากับ 200 นิวตัน ต่อตารางเมตร ความยาวของสปริงปกติ 24 เซนติเมตร แต่ถูกวัตถุกดลงเหลือความยาวต่ำสุด 10 เซนติเมตร มวลของวัตถุนี้กี่ค่าเท่ากับเท่าไร (กำหนด $g = 10 \text{ m/s}^2$)
- เครื่องกลแบบสกรูมีแขนยาว 10 เซนติเมตร และระยะเกลียวเท่ากับ 3 เซนติเมตร ถ้าออกแรงหมุนสกรู 35 นิวตัน จะสามารถยกก้อนน้ำหนักได้มากที่สุดเท่าไร

15. ระหว่างทางลาดซึ่งยาว 12 เมตร สูง 2 เมตร กับทางลาดซึ่งยาว ๑๐ เมตร สูง 2 เมตร ทางลาดใดมีค่าการได้เปรียบเชิงกลอุดมคติมากกว่า

1๐ เมื่อเปิดประตู นักเรียนจะผลักประตูตรงส่วนที่อยู่ไกลสุดจากบานพับ เหตุใดการผลักที่ตรงกลางของประตูจึงทำให้เปิดประตูได้ยากกว่า

1๑ จากรูป



แสดงระยะทางจากจุดหมุนไปยังแรงที่ให้ (จุด I และจากจุดหมุนไปยังแรงที่ได้รับ (O) ใช้ระยะทางเหล่านี้ในการคำนวณหาค่าการได้เปรียบเชิงกลอุดมคติของคานอันนี้ และค่าการได้เปรียบเชิงกลอุดมคติจะเป็นอย่างไร ถ้าระยะทางจากจุดหมุนไปยังแรงที่ให้คือ 20 cm และ ๖๐ เซนติเมตร ตามลำดับ

1๑ ให้นักเรียนอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานและประสิทธิภาพของเครื่องกล