หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔

ฟิสิกส์
เล่ม ๒

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

ตัวอย่าง

๙๗.-

ตัวอักษรกรีก

ตัวอักษรเล็ก	ตัวอักษรใหญ่	ชื่อ	
α	A	alpha	แอลฟา
β	B	beta	บีตา
γ	Γ	gamma	แกมมา
δ, ∂	Δ	delta	เดลตา
ε	E	epsilon	เอปไซลอน
ζ	Z	zeta	ซีตา
η	H	eta	อีตา
θ	Θ	theta	ทีตา
ι	I	iota	ไอโอตา
κ	K	kappa	แคปปา
λ	Λ	lambda	แลมบ์ดา
μ	M	mu	มิว

ตัวอักษรเล็ก	ตัวอักษรใหญ่	ชื่อ	
ν	N	nu	นิว
ξ	Ξ	xi	ไซ
o	O	omicron	โอไมครอน
π	Π	pi	พาย
ρ	P	rho	โร
σ	Σ	sigma	ซิกมา
τ	T	tau	เทา
υ	Y	upsilon	อิปไซลอน
ϕ	Φ	phi	ฟาย, ฟี
χ	X	chi	ไค
ψ	Ψ	psi	ซาย
ω	Ω	omega	โอเมกา

ราชบัณฑิตยสถาน ศัพท์คณิตศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พิมพ์ครั้งที่ ๙ แก้ไขเพิ่มเติม กรุงเทพ : ราชบัณฑิตยสถาน, ๒๕๔๙.

ตัวอย่าง

หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

จัดทำเป็นฉบับ e-book ครั้งที่ ๒ พ.ศ. ๒๕๖๖

มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

ตัวอย่าง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียน ฉบับ e-book นี้ขึ้น โดยมีเนื้อหาเช่นเดียวกับหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒ ฉบับสื่อสิ่งพิมพ์ ที่จัดทำตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ ทุกประการ เพื่อให้นักเรียน ครู ผู้ปกครอง นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป เข้าถึงได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว รวมทั้งสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับจุดประสงค์ต่าง ๆ ทั้งนี้ สสวท. ขอสงวนสิทธิ์ในหนังสือเรียน ฉบับ e-book นี้ ตามกฎหมายลิขสิทธิ์ ห้ามผู้ใดทำซ้ำ คัดลอก ดัดแปลง เลียนแบบ จำหน่าย หรือ เผยแพร่ โดยมิได้รับอนุญาต

สามารถเข้าถึงสื่อดิจิทัลต่าง ๆ ของ สสวท. ได้ที่ http://www.ipst.ac.th/ebook-resource/

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อต้องการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไปนี้โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒ นี้ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๒ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ เล่ม ๑ - เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ - ๖ แล้วจะสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๒ ได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ เล่ม ๒ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นที่ต้องเรียนประกอบด้วยเรื่องสมดุลกล งานและพลังงาน โมเมนตัมและการชน และการเคลื่อนที่แนวโค้ง ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคการแพทย์ วิศวกรรม สถาปัตยกรรม วัสดุศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดียิ่งจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบัน และสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ เล่ม ๒ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

CD ตัวอย่าง

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ เล่ม ๒ **กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**

(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ **เวลา ๘๐ ชั่วโมง จำนวน ๒ หน่วยกิต**

ศึกษาหลักการของกลศาสตร์ในเรื่องสมดุลกลและเงื่อนไขที่ทำให้วัตถุหรือระบบอยู่ในสมดุลกล ศูนย์กลางมวลของวัตถุและผลของศูนย์ถ่วงที่มีต่อเสถียรภาพของวัตถุ งาน พลังงาน ความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานจลน์ ความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานศักย์โน้มถ่วง และความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงที่ใช้ดึงสปริงกับระยะที่สปริงยืดออก แรงอนุรักษ์ กฎการอนุรักษ์พลังงาน กำลัง เครื่องกลอย่างง่าย ประสิทธิภาพและการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องกลอย่างง่ายบางชนิด โมเมนตัม การดล แรงดล กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม และ การชนและการดีดตัวแยกจากกันของวัตถุในหนึ่งมิติ การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และการเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบระดับ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปราย และสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

๑. อธิบายสมดุลกลของวัตถุ โมเมนต์และผลรวมของโมเมนต์ที่มีต่อการหมุน แรงคู่ควบและผลของแรงคู่ควบที่มีต่อสมดุลของวัตถุ เขียนแผนภาพวัตถุอิสระเมื่อวัตถุอยู่ในสมดุลกล และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งทดลองและอธิบายสมดุลของแรงสามแรง

๒. สังเกตและอธิบายสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ เมื่อแรงที่กระทำต่อวัตถุผ่านศูนย์กลางมวลของวัตถุ และผลของศูนย์ถ่วงที่มีต่อเสถียรภาพของวัตถุ

๓. วิเคราะห์ และคำนวณงานของแรงคงตัว จากสมการและพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับตำแหน่ง รวมทั้งอธิบายและคำนวณกำลังเฉลี่ย

๔. อธิบายและคำนวณพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ พลังงานกล ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานจลน์ ความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานศักย์โน้มถ่วง ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงที่ใช้ดึงสปริงกับระยะที่สปริงยืดออก และความสัมพันธ์ระหว่างงานกับพลังงานศักย์ยืดหยุ่น รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างงานของแรงลัพธ์และพลังงานจลน์ และคำนวณงานที่เกิดขึ้นจากแรงลัพธ์

๕. อธิบายกฎการอนุรักษ์พลังงานกล รวมทั้งวิเคราะห์ และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในสถานการณ์ต่าง ๆ โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกล

๖. อธิบายการทำงาน ประสิทธิภาพและการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องกลอย่างง่ายบางชนิด โดยใช้ความรู้เรื่องงานและสมดุลกล รวมทั้งคำนวณประสิทธิภาพและการได้เปรียบเชิงกล

๗. อธิบาย และคำนวณโมเมนตัมของวัตถุ และการดลจากสมการและพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงลัพธ์กับเวลา รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงดลกับโมเมนตัม

๘. ทดลอง อธิบายและคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติทั้งแบบยืดหยุ่นไม่ยืดหยุ่น และการดีดตัวแยกจากกันในหนึ่งมิติซึ่งเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม

๙. อธิบาย วิเคราะห์ และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และทดลองการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

๑๐. ทดลอง และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงสู่ศูนย์กลาง รัศมีของการเคลื่อนที่ อัตราเร็วเชิงเส้น อัตราเร็วเชิงมุม และมวลของวัตถุในการเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบระดับ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และประยุกต์ใช้ความรู้การเคลื่อนที่แบบวงกลมในการอธิบายการโคจรของดาวเทียม

รวมทั้งหมด ๑๐ ผลการเรียนรู้

ร่างที่ ๒

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญและเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน จะช่วยให้นักเรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

- คำถามสำคัญ
- จุดประสงค์การเรียนรู้
- ความรู้ก่อนเรียน
- ข้อสังเกต
- ชวนคิด
- กิจกรรม
- คำถามท้ายกิจกรรม
- กิจกรรมลองทำดู
- ความรู้เพิ่มเติม
- รู้หรือไม่
- สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน
- แบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ
- แบบฝึกหัดท้ายบท

คำถามสำคัญ

คำถามประจำบทที่นักเรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งนักเรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว

จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งนักเรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ

ความรู้ก่อนเรียน

คำสำคัญหรือข้อความสั้น ๆ ที่เกี่ยวกับความรู้ที่นักเรียนควรมีสำหรับเป็นพื้นฐานของการศึกษาความรู้ใหม่ในแต่ละบท

ข้อสังเกต

ความรู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้นักเรียนเห็นแนวคิดสำคัญและความเชื่อมโยงของเนื้อหา

ตัวอย่าง

ชวนคิด

คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา

กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง

คำถามท้ายกิจกรรม

คำถามที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมนั้น ๆ ช่วยเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ อภิปรายและสรุปผลการทำกิจกรรม

กิจกรรมลองทำดู

การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมที่ลงมือปฏิบัติในห้องเรียนหรือนอกเวลาเรียนได้

ความรู้เพิ่มเติม

ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล

รู้หรือไม่

ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

ตัวอย่าง

แบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ

ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

คำถามตรวจสอบความเข้าใจ

คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง

แบบฝึกหัด

แบบฝึกหัดระหว่างเรียนที่ช่วยฝึกทักษะการคิด การคำนวณ และการแก้ปัญหาเบื้องต้น โดยใช้ความรู้ในหัวข้อนั้น ๆ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบความเข้าใจของเนื้อหาและฝึกฝนตนเองให้มีทักษะที่จำเป็นตามจุดประสงค์การเรียนรู้ได้

แบบฝึกหัดท้ายบท

ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

คำถาม

คำถามที่เน้นให้นักเรียนตอบโดยการเขียนบรรยายแสดงความเข้าใจจนถึงการวิเคราะห์

ปัญหา

ปัญหาที่มีความซับซ้อนน้อยจนถึงปานกลาง เน้นให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการคำนวณและการแก้ปัญหา

ปัญหาท้าทาย

ปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก เน้นให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการคิดระดับสูงในการคำนวณและการแก้ปัญหา

ตัวอย่าง

สารบัญ

บทที่ 4-5

บทที่	เนื้อหา	หน้า
4	**สมดุลกล**	
	4.1 สมดุลกล	3
	4.2 ศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วง	5
	4.3 สมดุลต่อการเลื่อนที่	11
	4.4 สมดุลต่อการหมุน	25
	4.4.1 โมเมนต์ของแรง	25
	4.4.2 โมเมนต์ของแรงคู่ควบ	28
	4.5 เสถียรภาพของวัตถุ	40
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	45
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4	47
5	**งานและพลังงาน**	
	5.1 งานเนื่องจากแรงคงตัว	64
	5.2 งานเนื่องจากแรงไม่คงตัว	76
	5.3 กำลัง	84
	5.4 พลังงานกล	87
	5.4.1 พลังงานจลน์	87
	5.4.2 พลังงานศักย์	93
	5.5 การอนุรักษ์พลังงานกล	108
	5.5.1 งานเนื่องจากแรงอนุรักษ์	108
	5.5.2 กฎการอนุรักษ์พลังงานกล	109
	5.6 เครื่องกล	116
	5.6.1 ประสิทธิภาพของเครื่องกล	116
	5.6.2 หลักการของงานกับเครื่องกลอย่างง่าย	117
	5.6.3 หลักการของสมดุลกลกับเครื่องกลอย่างง่าย	125
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	133
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5	135

ตัวอย่าง

สารบัญ

บทที่ 6-7

บทที่	เนื้อหา	หน้า
6	**โมเมนตัมและการชน**	
	6.1 โมเมนตัม	151
	6.2 แรงและการเปลี่ยนโมเมนตัม	156
	6.3 การดล	161
	6.4 การอนุรักษ์โมเมนตัม	174
	6.5 การชนและการดีดตัวแยกจากกัน	178
	6.5.1 การชนของวัตถุในหนึ่งมิติ	178
	6.5.2 การดีดตัวแยกจากกันของวัตถุในหนึ่งมิติ	182
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	195
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6	196
7	**การเคลื่อนที่แนวโค้ง**	
	7.1 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์	209
	7.2 การเคลื่อนที่แบบวงกลม	224
	7.2.1 การเคลื่อนที่แบบวงกลมสม่ำเสมอ	228
	7.2.2 การเคลื่อนที่ของดาวเทียม	236
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	246
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7	248

บทที่	เนื้อหา	หน้า
ภาคผนวก	**ภาคผนวก ก** คณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์	260
	ภาคผนวก ข ระบบหน่วยระหว่างชาติ	270
	ภาคผนวก ค ตารางฟังก์ชันตรีโกณมิติ	273
	ภาคผนวก ง ตารางเลขกำลังสอง รากที่สองและส่วนกลับ	274
	ภาคผนวก จ ตัวอย่างการบันทึกการทดลอง	275
	คำศัพท์	278
	บรรณานุกรม	279
	ที่มาของรูป	280
	คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน	281

ตัวอย่าง

บทที่ 4 สมดุลกล

ipst.me/7665

สะพานภูมิพล เป็นสะพานข้ามแม่น้ำเจ้าพระยาที่เชื่อมระหว่างเขตยานนาวา กรุงเทพมหานคร กับอำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ โดยโครงสร้างของสะพานแตกต่างจากสะพานทั่วไป ซึ่งประกอบด้วยตอม่อจำนวนมาก แต่สะพานนี้ประกอบด้วยเสาสูงเพียงสองต้นกับเคเบิลจำนวนมาก ในแต่ละช่วง ทำหน้าที่รับน้ำหนักของสะพานที่ข้ามแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงที่มีความกว้างประมาณ 300 - 400 เมตรให้อยู่ในสมดุลกลได้ การที่สะพานหรือวัตถุต่าง ๆ สามารถอยู่ในสมดุลกลได้ ต้องมีเงื่อนไขอะไรเกี่ยวข้องบ้าง จะศึกษาได้ในบทนี้

คำถามสำคัญ

- การที่วัตถุอยู่ในสมดุลกลได้ต้องมีเงื่อนไขอะไรบ้าง
- ความเข้าใจเกี่ยวกับเงื่อนไขของการอยู่ในสมดุลกลนำไปประยุกต์ใช้อธิบายการรักษาสภาพการเคลื่อนที่ของสิ่งต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันได้อย่างไร

จุดประสงค์การเรียนรู้

4.1 สมดุลกล

1. บอกความหมายและยกตัวอย่างของสมดุลกล สมดุลสถิต และสมดุลจลน์
2. บอกความหมายของสมดุลต่อการเลื่อนที่และสมดุลต่อการหมุน

4.2 ศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วง

3. บอกความหมายของศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วงของวัตถุ
4. สังเกตและอธิบายสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ เมื่อแรงที่กระทำต่อวัตถุผ่านศูนย์กลางมวลของวัตถุ

4.3 สมดุลต่อการเลื่อนที่

5. อภิปรายเพื่อสรุปเงื่อนไขที่ทำให้วัตถุอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่และอยู่นิ่งเมื่อมีแรงสองแรงกระทำต่อวัตถุ
6. ทดลอง วิเคราะห์ และอภิปรายเพื่อสรุปเงื่อนไขของแรงสามแรงที่กระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่และอยู่นิ่ง
7. เขียนแผนภาพวัตถุอิสระ วิเคราะห์ และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่และอยู่นิ่ง โดยใช้วิธีการแยกแรง

4.4 สมดุลต่อการหมุน

8. บอกความหมายและคำนวณโมเมนต์ของแรง
9. อภิปรายเพื่อสรุปเงื่อนไขที่ทำให้วัตถุสมดุลต่อการหมุน
10. เขียนแผนภาพวัตถุอิสระ วิเคราะห์ และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเมื่อวัตถุอยู่ในสมดุลต่อการหมุน
11. บอกความหมายของแรงคู่ควบและลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุเมื่อมีแรงคู่ควบหนึ่งคู่กระทำต่อวัตถุ

ตัวอย่าง

4.5 เสถียรภาพของวัตถุ

12. สังเกตและอธิบายผลของศูนย์ถ่วงที่มีต่อเสถียรภาพของวัตถุ
13. นำความเข้าใจเกี่ยวกับศูนย์ถ่วงของวัตถุไปอธิบายเสถียรภาพของวัตถุต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน

ความรู้ก่อนเรียน

แผนภาพวัตถุอิสระ ปริมาณเวกเตอร์ การหาแรงลัพธ์โดยวิธีเขียนเวกเตอร์ของแรงและวิธีคำนวณ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน โมเมนต์ของแรง

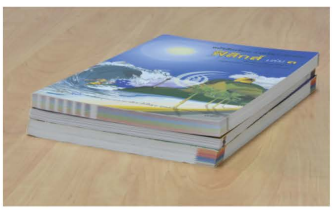
จากการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่และแรงที่ผ่านมา เป็นการพยายามวิเคราะห์และทำความเข้าใจสถานการณ์ที่วัตถุมีการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่เมื่อถูกแรงกระทำ แต่ถ้าเราพิจารณาสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเรา เช่น อาคาร สะพาน ป้ายโฆษณา หรือ เสาสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ล้วนเป็นวัตถุที่อยู่นิ่ง การที่วัตถุสามารถรักษาสภาพการเคลื่อนที่ให้อยู่นิ่งได้นั้น มีเงื่อนไขอะไรเกี่ยวข้องบ้าง และความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างไร จะได้ศึกษาต่อไปในบทเรียนนี้

4.1 สมดุลกล

ในวิชาฟิสิกส์ การที่วัตถุต่าง ๆ ที่พบเห็นในชีวิตประจำวันมีการรักษาสภาพการเคลื่อนที่ให้คงเดิมไว้ได้เรียกว่าวัตถุนั้นอยู่ใน **สมดุลกล (mechanical equilibrium)** หรือเรียกสั้น ๆ ว่า **สมดุล (equilibrium)** ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็นสองแบบคือ สมดุลสถิตและสมดุลจลน์

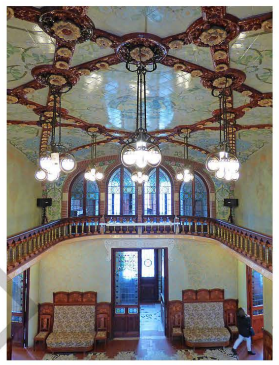
วัตถุอยู่ใน**สมดุลสถิต (static equilibrium)** คือ วัตถุที่อยู่นิ่ง เช่น หนังสือวางนิ่งอยู่บนโต๊ะ บันไดวางไว้นิ่งพิงกำแพง โคมไฟที่แขวนนิ่งในแนวดิ่ง ดังรูป 4.1 ก. ข. และ ค. ส่วนวัตถุที่อยู่ใน**สมดุลจลน์ (kinetic equilibrium)** คือ วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เช่น รถยนต์วิ่งในทางตรงด้วยความเร็วคงตัว ดังรูป 4.2 ก. นอกจากนี้ การที่วัตถุอยู่ในสมดุลจลน์ ยังหมายถึงวัตถุที่มีการหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัว เช่น พัดลมที่ใบพัดกำลังหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัว หรือ ชิงช้าสวรรค์ที่กำลังหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัว ดังรูป 4.2 ข. และ ค. ตามลำดับ

ความเร็วเชิงมุม เป็นความเร็วของการหมุนของวัตถุรอบแกน และมีค่าเท่ากับมุมที่กวาดไปได้ในหนึ่งหน่วยเวลา



ก.

ข.



ค.

รูป 4.1 วัตถุอยู่ในสมดุลสถิต

ก.

ข.

ค.

รูป 4.2 วัตถุอยู่ในสมดุลจลน์

การจำแนกสมดุลของวัตถุ นอกจากจะพิจารณาตามสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุแล้ว ถ้าพิจารณาลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งอาจเป็นการเลื่อนที่หรือการหมุน สามารถแบ่งสมดุลของวัตถุออกได้อีกสองแบบ คือ สมดุลต่อการเลื่อนที่และสมดุลต่อการหมุน โดยวัตถุที่อยู่ใน**สมดุลต่อการเลื่อนที่** (translational equilibrium) คือ วัตถุที่รักษาสภาพการเลื่อนที่ ซึ่งอาจอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ส่วนวัตถุที่อยู่ใน**สมดุลต่อการหมุน** (rotational equilibrium) คือ วัตถุที่รักษาสภาพการหมุน ซึ่งอาจไม่มีการหมุนหรือ หมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัว

คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 4.1

1. การยืนนิ่งโดยมือข้างหนึ่งถือกระเป๋าเป็นการอยู่ในสมดุลกลหรือไม่ เพราะเหตุใด
2. ยกตัวอย่างวัตถุที่อยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่มา 2 ตัวอย่าง พร้อมอธิบาย
3. ยกตัวอย่างวัตถุที่อยู่ในสมดุลต่อการหมุนมา 2 ตัวอย่าง พร้อมอธิบาย
4. นักกรีฑาที่กำลังวิ่งแข่ง 100 เมตร อยู่ในสมดุลกลหรือไม่ เพราะเหตุใด
5. เป็นไปได้หรือไม่ ที่วัตถุหนึ่งจะอยู่ในสมดุลจลน์และสมดุลต่อการเลื่อนที่พร้อมกัน ให้ยกตัวอย่างประกอบ พร้อมอธิบาย

4.2 ศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วง

ในการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ผ่านมา เราพิจารณาให้วัตถุเป็นจุดและให้มวลของวัตถุทั้งหมดเสมือนว่ามารวมกันที่จุดนี้ ดังนั้น แรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อวัตถุจึงเป็นแรงที่กระทำผ่านจุดนี้ ซึ่งทำให้ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ได้ศึกษามาก่อนหน้านี้เป็นเพียงการเปลี่ยนตำแหน่ง หรือ การเลื่อนที่ (translation) เท่านั้น แต่ในความเป็นจริง วัตถุมีทั้งขนาดและรูปทรง การออกแรงกระทำต่อวัตถุบางครั้งอาจทำให้วัตถุมีการหมุน (rotation) ได้ด้วย เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น ศึกษาได้จากกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 4.1 ศูนย์กลางมวลกับสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ

จุดประสงค์

1. สังเกตสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ เมื่อแนวของแรงที่กระทำผ่านตำแหน่งต่าง ๆ ของวัตถุ
2. หาจุดตัดของแนวแรงที่กระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุมีการเลื่อนที่โดยไม่หมุน

วัสดุและอุปกรณ์

1. ดินสอ	2 แท่ง
2. หนังสือ	1 เล่ม
3. กระดาษขาว	1 แผ่น
4. ไม้บรรทัด	1 อัน
5. เทปใส	1 ม้วน

วิธีทำกิจกรรม

1. ใช้เทปใสติดแผ่นกระดาษสีขาวบนหน้าปกของหนังสือ
2. วางหนังสือบนพื้นโต๊ะราบลื่น แล้วใช้มือจับดินสอดันขอบหนังสือที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังรูป สังเกตสภาพการเคลื่อนที่ของหนังสือ

ก. ข.

รูป ตัวอย่างการใช้ดินสอดันขอบหนังสือในกิจกรรม 4.1

3. หาตำแหน่งที่เมื่อใช้ดินสอดันขอบหนังสือแล้วทำให้หนังสือมีการเลื่อนที่โดยไม่หมุน เมื่อพบตำแหน่งดังกล่าว ให้ใช้ดินสออีกแท่งและไม้บรรทัดขีดเส้นบนกระดาษขาวจากตำแหน่งนั้นไปยังขอบอีกด้านหนึ่งของหนังสือ
4. ทำซ้ำข้อ 3. แต่เปลี่ยนเป็นใช้ดินสอดันขอบหนังสืออีกสามด้านที่เหลือ

คำถามท้ายกิจกรรม

- ☐ เมื่อใช้ดินสอดันขอบหนังสือที่ที่ตำแหน่งต่าง ๆ สภาพการเคลื่อนที่ของหนังสือแตกต่างกันอย่างไร
- ☐ แนวของเส้นที่ขีดบนกระดาษขาวแต่ละเส้นตัดกันหรือไม่ อย่างไร

ตัวอย่าง

จากกิจกรรม 4.1 เมื่อใช้ดินสอดันขอบหนังสือให้แนวดินสอผ่านที่ประมาณจุดกึ่งกลางของหนังสือ จะพบว่าหนังสือมีการเลื่อนที่โดยไม่เกิดการหมุน แต่ถ้าตำแหน่งที่ดันหนังสือมีแนวดินสอไม่ผ่านจุดกึ่งกลางของหนังสือ หนังสือจะมีการเลื่อนที่และหมุนไปพร้อมกัน

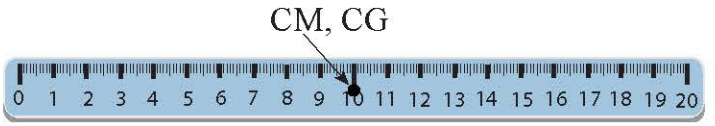
เมื่อขีดเส้นบนกระดาษขาวจากตำแหน่งที่ใช้ดินสอดันขอบหนังสือแล้วทำให้หนังสือเลื่อนที่โดยไม่หมุน ไปยังขอบอีกด้านของหนังสือ พบว่า เส้นแต่ละเส้นมาตัดกันที่จุด ๆ หนึ่ง จุดนี้เป็นจุดที่เมื่อมีแรงกระทำผ่านแล้วทำให้วัตถุมีการเลื่อนที่เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการหมุน ซึ่งเป็นเสมือนจุดที่มวลของวัตถุทั้งก้อนมารวมกัน เรียกว่า **ศูนย์กลางมวล** (center of mass, CM) ของวัตถุ ซึ่งไม่เปลี่ยนตำแหน่งและไม่ขึ้นกับสถานที่ที่วัตถุนั้นอยู่

ศูนย์กลางมวลของวัตถุมักเป็นจุดเดียวกับจุดที่แรงลัพธ์ของแรงดึงดูดที่โลกกระทำต่อวัตถุ เรียกว่า **ศูนย์ถ่วง** (center of gravity, CG) ดังตัวอย่างในรูป 4.3

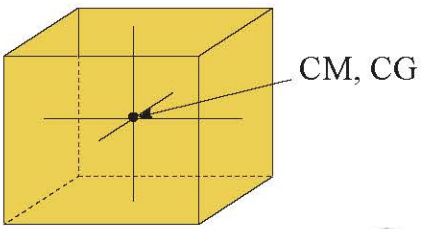
รูป 4.3 ศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วงของ ก. ค้อน ข. ล้อรถยนต์

สำหรับวัตถุที่อยู่ในบริเวณที่สนามโน้มถ่วงมีค่าสม่ำเสมอ ศูนย์ถ่วงของวัตถุเป็นตำแหน่งเดียวกับศูนย์กลางมวลของวัตถุ แต่สำหรับวัตถุที่มีความสูงมาก ๆ เช่น อาคารสูง ศูนย์ถ่วงของวัตถุจะอยู่คนละตำแหน่งกับศูนย์กลางมวล เนื่องจากสนามโน้มถ่วงของโลกมีค่าลดลงตามความสูง ซึ่งเนื้อหาในระดับนี้จะพิจารณาเฉพาะกรณีที่วัตถุอยู่ในบริเวณที่สนามโน้มถ่วงมีค่าสม่ำเสมอเท่านั้น กล่าวคือศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วงของวัตถุเป็นจุดเดียวกัน

การหาศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วงของวัตถุที่มีรูปร่างสมมาตรและมีมวลสม่ำเสมอตลอดเนื้อวัตถุสามารถทำได้โดยหาจุดกึ่งกลางตามความกว้าง ยาว และสูงของวัตถุ เช่น ศูนย์กลางมวลของไม้บรรทัดที่มีมวลสม่ำเสมออยู่ที่จุดกึ่งกลางของไม้บรรทัด ดังรูป 4.4 ก. หรือ ศูนย์กลางมวลของกล่องที่มีมวลสม่ำเสมอจะอยู่ที่จุดตัดระหว่างเส้นสมมติที่ลากผ่านกึ่งกลางตามแนวยาว เส้นที่ลากผ่านกึ่งกลางตามแนวกว้าง และเส้นที่ลากผ่านกึ่งกลางความหนา ดังรูป 4.4 ข.



ก.



ข.

รูป 4.4 ศูนย์กลางมวลของและศูนย์ถ่วงของ ก. ไม้บรรทัด ข. กล่อง

ในกรณีที่วัตถุมีรูปร่างไม่สมมาตร การหาศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วงของวัตถุสามารถทำได้อย่างไร ศึกษาได้จากกิจกรรมลองทำดู

กิจกรรมลองทำดู การหาศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วงของวัตถุ

จุดประสงค์

หาศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วงของวัตถุที่มีรูปร่างไม่สมมาตรด้วยวิธีการลากเส้นตามแนวของแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อวัตถุ

วัสดุและอุปกรณ์

1.	แผ่นทำจากวัสดุแข็ง รูปร่างไม่สมมาตร และได้มีการเจาะรูบริเวณขอบไว้แล้ว	1 แผ่น
2.	ดินสอ	1 แท่ง
3.	ไม้บรรทัด	1 อัน
4.	นอต	1 ตัว
5.	ขาตั้งพร้อมที่ยึดหลอดทดลอง	1 อัน
6.	เชือกยาวประมาณ 50 เซนติเมตร	1 เส้น

วิธีทำกิจกรรม

1. นำแผ่นวัสดุแข็งมาแขวนกับที่ยึดหลอดทดลองซึ่งติดตั้งไว้บนขาตั้ง โดยให้รูใดรูหนึ่งบนแผ่นวัสดุแข็งสวมเข้ากับปลายของที่ยึดหลอดทดลอง ปล่อยให้แผ่นวัสดุแข็งห้อยอย่างอิสระ
2. ผูกปลายเชือกด้านหนึ่งกับที่ยึดหลอดทดลอง โดยให้ตำแหน่งที่ผูกใกล้กับรูของแผ่นวัสดุแข็งที่แขวน
3. ผูกปลายอีกด้านหนึ่งของเชือกกับนอต จากนั้นปล่อยให้เชือกห้อยลงมาอย่างอิสระ โดยไม่ให้นอตแตะพื้น ดังรูป

รูป การจัดอุปกรณ์สำหรับกิจกรรมลองทำดู

4. ใช้ไม้บรรทัดทาบบนแผ่นวัสดุแข็งตามแนวของเส้นเชือก จากนั้นใช้ดินสอลากเส้นลงบนแผ่นวัสดุแข็งตามแนวของเชือก โดยให้ลากจากรูที่ใช้แขวนจนถึงขอบอีกด้านหนึ่งของแผ่นวัสดุแข็ง
5. ทำซ้ำข้อ 1.–3. แต่เปลี่ยนรูที่ใช้แขวนเป็นรูที่เหลืออีก 2 รู

คำถามท้ายกิจกรรม

- ☐ เส้นลากด้วยดินสอทั้งสามเส้นมีการตัดกันกี่จุด
- ☐ จุดที่เส้นดินสอตัดกันคือจุดอะไร จงอธิบาย

ข้อสังเกต

ตำแหน่งศูนย์กลางมวลอาจไม่อยู่ภายในเนื้อของวัตถุก็ได้ เช่น ศูนย์กลางมวลของวงแหวนสม่ำเสมออยู่ที่จุดศูนย์กลางของระนาบวงแหวน ดังรูป

รูป ศูนย์กลางมวลของวงแหวน

หลังจากที่ได้เข้าใจแนวคิดของศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วงแล้ว การศึกษาสมดุลแบบต่าง ๆ จะสามารถทำความเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งในลำดับถัดไป จะเป็นการพิจารณาเงื่อนไขที่ทำให้วัตถุหรือระบบอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่ สมดุลต่อการหมุน และเสถียรภาพของวัตถุ ตามลำดับ

คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 4.2

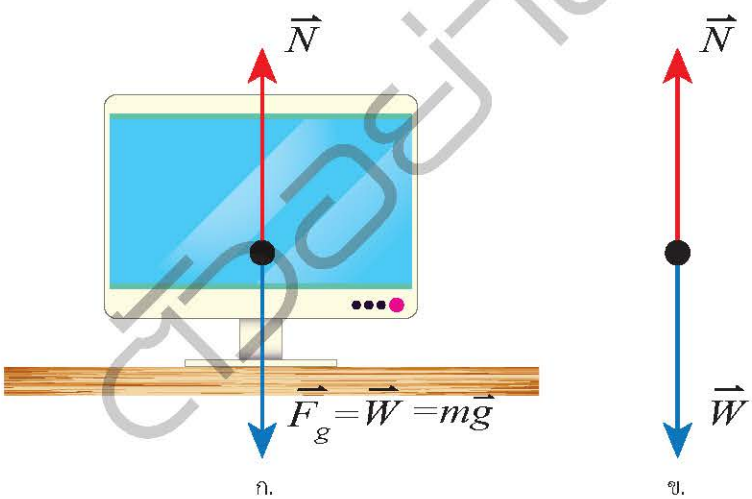
1. วัตถุมวลสม่ำเสมอวางบนพื้นโลก ศูนย์ถ่วงกับศูนย์กลางมวลจะเป็นตำแหน่งเดียวกันหรือไม่
2. แขวนวัตถุทรงกระบอกที่ปลายเชือกด้านหนึ่ง ปลายเชือกอีกปลายหนึ่งแขวนไว้กับเพดาน จะต้องแขวนวัตถุทรงกระบอกที่ปลายเชือกอย่างไร ให้วัตถุนั้นวางตัวในแนวระดับพอดี
3. ศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วงของวัตถุหนึ่งบนผิวโลกอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน ถ้าวัตถุนี้อยู่บนดวงจันทร์ ศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วงของวัตถุก้อนนี้จะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
4. ยกตัวอย่างวัตถุที่ศูนย์ถ่วงอยู่ภายนอกเนื้อวัตถุมา 2 ตัวอย่าง

4.3 สมดุลต่อการเลื่อนที่

วัตถุที่จะอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่คือ วัตถุที่อยู่นิ่งหรือมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว สอดคล้องกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน นั่นคือ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ เขียนแทนด้วยสมการได้ว่า $\sum \vec{F} = 0$ ในหัวข้อนี้จะพิจารณาดังนี้

กรณีมีแรงสองแรงกระทำ

ในกรณีที่มีแรงสองแรงกระทำต่อวัตถุ แล้ววัตถุอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่และอยู่นิ่ง เช่น แรงที่กระทำต่อจอภาพของคอมพิวเตอร์ที่วางอยู่บนโต๊ะ ดังรูป 4.5 ก. มีสองแรง ได้แก่แรงโน้มถ่วงที่โลกกระทำต่อจอภาพหรือน้ำหนักของจอภาพ ($\vec{F}_g = \vec{W} = m\vec{g}$) ซึ่งมีทิศลงในแนวดิ่ง และแรงแนวฉากที่โต๊ะกระทำต่อจอภาพ ($\vec{N}$) ซึ่งมีทิศตั้งฉากกับผิวสัมผัสระหว่างโต๊ะกับจอภาพหรือมีทิศขึ้นในแนวดิ่ง จะเห็นได้ว่าแรงทั้งสองนี้ ผ่านศูนย์กลางมวล อยู่ในแนวเดียวกันและมีทิศตรงข้ามกัน



รูป 4.5 ก. จอภาพของคอมพิวเตอร์ที่อยู่นิ่งและอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่ ข. แรงที่กระทำต่อจอภาพมีสองแรงคือ $\vec{N}$ และ $\vec{W}$ ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกันและมีทิศทางตรงข้ามกัน

จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน เมื่อวัตถุอยู่นิ่ง $\sum \vec{F} = 0$
พิจารณาจากรูป 4.5 จะได้ว่า

$$\vec{N} + \vec{W} = 0$$

หรือ

$$\vec{N} = -\vec{W}$$

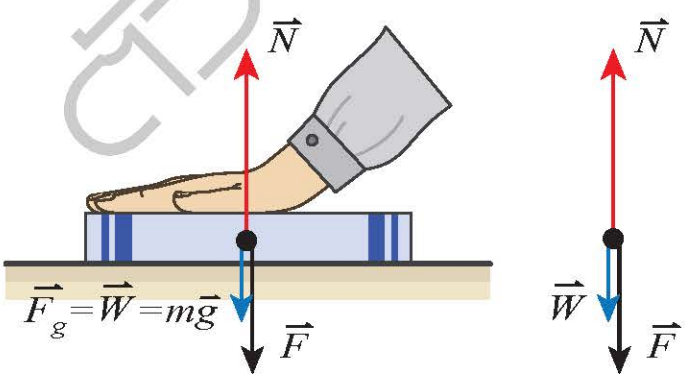
เครื่องหมายลบข้างหน้า $\vec{W}$ หมายถึง $\vec{W}$ มีทิศตรงข้ามกับ $\vec{N}$ หรือกล่าวได้ว่า แรงแนวฉากมีขนาดเท่ากับน้ำหนัก แต่มีทิศตรงข้ามกัน ดังนั้น ในกรณีที่วัตถุอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่และอยู่นิ่ง โดยมีแรงสองแรงกระทำ แรงทั้งสองจะมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงข้ามกัน และกระทำผ่านศูนย์กลางมวล

กรณีมีแรงสามแรงกระทำ

ในกรณีที่มีแรงสามแรงกระทำต่อวัตถุ แล้ววัตถุอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่และอยู่นิ่ง แบ่งการพิจารณาออกเป็นสองกรณี ดังนี้

<u>กรณีที่แรงอยู่ในแนวเดียวกัน</u>

พิจารณากรณีที่หนังสือที่วางอยู่นิ่งบนโต๊ะแล้วมีแรง $\vec{F}$ กดหนังสือในทิศตั้งฉากกับหนังสือ ดังรูป 4.6 ในกรณีนี้ มีแรงสามแรงกระทำต่อหนังสือ ได้แก่ น้ำหนักของหนังสือ ($\vec{F}_g = \vec{W} = m\vec{g}$) ซึ่งมีทิศลง แรงแนวฉากที่โต๊ะกระทำต่อหนังสือ ($\vec{N}$) ซึ่งมีทิศขึ้น และ แรงกด ($\vec{F}$) ซึ่งมีทิศลง



รูป 4.6 ก. หนังสือที่วางนิ่งอยู่บนโต๊ะและถูกกดด้วยมือ ข. แรงที่กระทำต่อหนังสือมีสามแรง คือ $\vec{N}$ $\vec{F}$ และ $\vec{W}$ ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกัน

จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน เมื่อวัตถุอยู่นิ่ง $\sum \vec{F} = 0$

พิจารณารูป 4.6 จะได้ว่า

$$\vec{N} + \vec{W} + \vec{F} = 0$$

หรือ

$$\vec{N} = -\vec{W} - \vec{F}$$

นั่นคือ ผลรวมของแรงที่มีทิศขึ้นมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงที่มีทิศลง กล่าวคือวัตถุถูกแรงที่อยู่ในแนวเดียวกันสามแรงกระทำ จะอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่และอยู่นิ่งเมื่อผลรวมของแรงที่มีทิศตรงข้ามกันมีขนาดเท่ากัน ซึ่งในกรณีที่มีแรงมากกว่าสามแรง โดยแรงเหล่านั้นอยู่แนวเดียวกัน จะได้ข้อสรุปเช่นเดียวกันเนื่องจากใช้แนวทางการพิจารณาเดียวกัน

<u>กรณีที่แรงไม่อยู่ในแนวเดียวกันแต่อยู่ในระนาบเดียวกัน</u>

พิจารณากรณีที่มีแรงสามแรงที่ไม่อยู่แนวเดียวกันแต่อยู่ในระนาบเดียวกันกระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่และอยู่นิ่ง จะมีเงื่อนไขอะไรบ้างที่เกี่ยวข้อง ศึกษาได้จากกิจกรรม 4.2

กิจกรรม 4.2 การทดลองเรื่องสมดุลของแรงสามแรง

จุดประสงค์

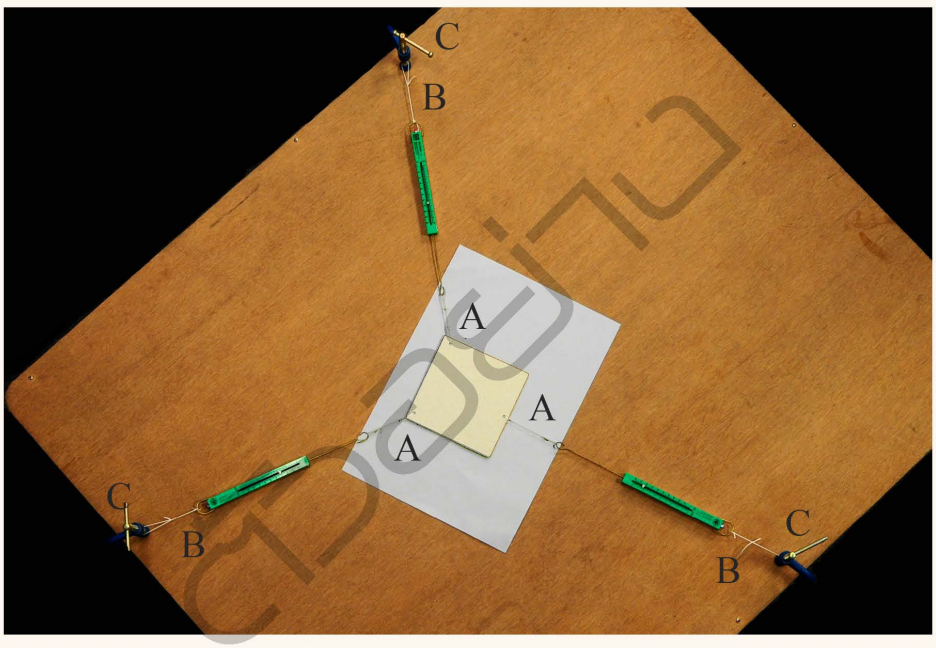
1. ทดลอง วิเคราะห์ และอภิปรายเกี่ยวกับแนวของแรงและขนาดของแรงสามแรงที่กระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่และอยู่นิ่ง
2. หาแรงลัพธ์ของแรงสามแรงด้วยวิธีการเขียนเวกเตอร์แบบหางต่อหัว

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งสปริง	3 เครื่อง
2. เชือก	6 เส้น
3. กระดาษขาว	1 แผ่น
4. กระดาษแข็ง	1 แผ่น
5. ตัวหนีบยึด	3 อัน

วิธีทำกิจกรรม

1. ผูกเชือก A จำนวนสามเส้น ที่ขอบกระดาษแข็งด้านละหนึ่งเส้น อีกปลายของเชือก A ทำเป็นบ่วงคล้องกับปลายเครื่องชั่งสปริงสามตัว
2. ผูกเชือก B จำนวนสามเส้น เข้าที่ปลายอีกด้านหนึ่งของเครื่องชั่งสปริงด้านละหนึ่งเส้น
3. ดึงปลายของเชือก B ทั้งสามไปในสามทิศทางพร้อมกับยึดติดกับตัวหนีบยึด C ที่ขอบโต๊ะสอดกระดาษขาวใต้กระดาษแข็ง ดังรูป



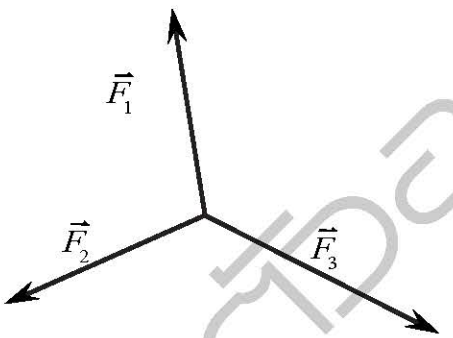
รูป การจัดอุปกรณ์สำหรับกิจกรรม 4.2

4. เขียนแนวของเส้นเชือกทั้งสามแทนแนวแรงบนกระดาษขาว
5. อ่านแรงดึงในเส้นเชือก A ทั้งสามจากเครื่องชั่งสปริง บันทึกผล
6. นำกระดาษขาวออก แล้วเขียนต่อแนวของเส้นเชือกแต่ละเส้นบนกระดาษขาว
7. ใช้กระดาษขาวอีกแผ่นเขียนเวกเตอร์ของแรงสามแรง โดยใช้ทิศทางและขนาดของแรงดึงในเส้นเชือกในข้อ 5. มาทำเป็นอัตราส่วนในการกำหนดความยาวของเวกเตอร์ และเขียนให้หางของเวกเตอร์หนึ่งต่อกับหัวของอีกเวกเตอร์หนึ่งจนครบ

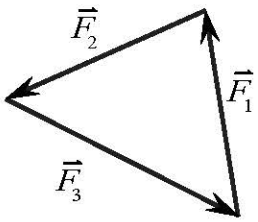
คำถามท้ายกิจกรรม

- ☐ ขณะกระดาษแข็งอยู่นิ่ง แรงลัพธ์ที่กระทำต่อกระดาษแข็งมีค่าเท่าใด
- ☐ แนวของเส้นเชือกแต่ละเส้นที่เขียนต่อบนกระดาษขาว จะพบกันหรือไม่ อย่างไร
- ☐ เมื่อเขียนให้หางของเวกเตอร์หนึ่งต่อกับหัวของอีกเวกเตอร์หนึ่งจนครบ จะได้ภาพที่มีลักษณะเป็นอย่างไร

จากกิจกรรม 4.2 เมื่อกระดาษแข็งอยู่นิ่ง ถ้าต่อแนวแรงดึงที่เส้นเชือกดึงกระดาษแข็งทั้งสามแรงไปบนแผ่นกระดาษขาว จะพบว่า แนวแรงทั้งสามพบกันที่จุด ๆ หนึ่ง ดังรูป 4.7 ก. จึงสรุปได้ว่า เมื่อมีแรงสามแรงกระทำต่อวัตถุที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยแนวแรงทั้งสามไม่ขนานกัน แต่อยู่ในระนาบเดียวกันและวัตถุอยู่นิ่ง แนวแรงทั้งสามต้องพบกันที่จุด ๆ หนึ่ง



ก. เวกเตอร์แทนแรงดึงในเส้นเชือก



ข. การรวมเวกเตอร์ของแรงดึงในเส้นเชือก โดยเขียนหางต่อหัวเวกเตอร์

รูป 4.7 แนวแรงดึงในเส้นเชือกที่ผูกกับกระดาษแข็งเมื่อแผ่นกระดาษแข็งหยุดนิ่ง ถ้าให้ $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$ เป็นแรงกระทำต่อกระดาษแข็งที่อ่านค่าได้จากเครื่องชั่งสปริง 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ถ้านำเวกเตอร์แทนแรงทั้งสามจากรูป 4.7 ก. มาเขียนต่อกัน โดยให้ความยาวของเวกเตอร์เป็นอัตราส่วนกับขนาดของแรงดึงในเส้นเชือกที่อ่านได้ และให้หางของเวกเตอร์หนึ่งต่อกับหัวของอีกเวกเตอร์หนึ่งจนครบ จะพบว่า หัวเวกเตอร์สุดท้ายจะมาพบหางของเวกเตอร์แรกพอดี และได้เป็น**รูปสามเหลี่ยมปิด** ดังรูป 4.7 ข. ซึ่งหมายความว่า ผลรวมของเวกเตอร์ทั้งสามเป็นศูนย์ นั่นคือ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อกระดาษแข็งมีค่าเป็นศูนย์นั่นเอง เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \quad = 0$$

ซึ่งผลที่ได้นี้ สอดคล้องกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน เพราะแผ่นกระดาษแข็งอยู่นิ่ง แรงลัพธ์ที่กระทำต่อกระดาษแข็งมีค่าเป็นศูนย์

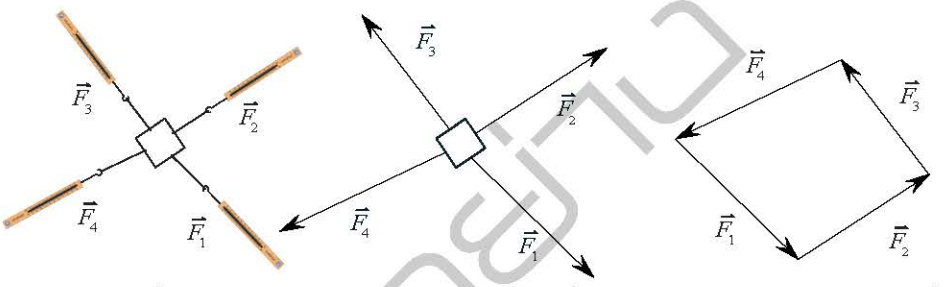
ในทำนองเดียวกัน พิจารณากรณีที่มีแรงหลายแรง $\vec{F}_1+\vec{F}_2+\vec{F}_3+\vec{F}_4+\ldots+\vec{F}_n$ กระทำต่อวัตถุ ทำให้วัตถุสมดุลต่อการเลื่อนที่และอยู่นิ่ง จะสามารถสรุปได้ว่า แรงลัพธ์ของแรงหลายแรงนั้นเป็นศูนย์ ดังสมการ

$$\vec{F}_1+\vec{F}_2+\vec{F}_3+\vec{F}_4+\ldots+\vec{F}_n = 0$$

หรือ

$$\sum\vec{F}=0 \qquad (4.1)$$

ถ้านำแรงเหล่านี้ สมมติว่าเป็น $\vec{F}_1,\vec{F}_2,\vec{F}_3$ และ $\vec{F}_4$ ดังรูป 4.8 ก. มาหาแรงลัพธ์โดยการสร้างรูปและใช้ความยาวที่เป็นอัตราส่วนกับขนาดของแรง ดังรูป 4.8 ข. จะได้เป็นรูปหลายเหลี่ยมปิด ดังรูป 4.8 ค.



ก. แนวแรงดึงที่กระทำต่อวัตถุ ข. เวกเตอร์แทนแรงดึงที่กระทำต่อวัตถุ ค. การรวมเวกเตอร์ของแรงดึงที่กระทำต่อวัตถุโดยเขียนหางต่อหัวเวกเตอร์

รูป 4.8 การรวมเวกเตอร์แทนแรงที่กระทำต่อวัตถุที่อยู่ในสมดุลได้เป็นรูปหลายเหลี่ยมปิด

นอกจากจะใช้วิธีการเขียนหางต่อหัวเวกเตอร์ในการพิจารณาแรงลัพธ์ของแรงสามแรงหรือมากกว่าที่กระทำต่อวัตถุ การหาแรงลัพธ์ยังสามารถหาได้โดย**การแยกแรงเป็นแรงองค์ประกอบตามแกน x และ y ที่ตั้งฉากกัน แล้วรวมแรงองค์ประกอบเหล่านั้นในแต่ละแกน** จะได้องค์ประกอบของแรงลัพธ์ คือ

$$\sum\vec{F}_x=\vec{F}_{1x}+\vec{F}_{2x}+\vec{F}_{3x}+\vec{F}_{4x}+\ldots+\vec{F}_{nx}$$

และ

$$\sum\vec{F}_y=\vec{F}_{1y}+\vec{F}_{2y}+\vec{F}_{3y}+\vec{F}_{4y}+\ldots+\vec{F}_{ny}$$

ในกรณีที่วัตถุอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนที่และอยู่นิ่ง ผลรวมของแรงที่กระทำต่อวัตถุต้องเท่ากับศูนย์ ดังนั้น ผลรวมของแรงองค์ประกอบของแรงกระทำต่าง ๆ ในแนวแกน x และแกน y จะต้องเป็นศูนย์ด้วย นั่นคือ

$$\sum\vec{F}_x=0 \quad \text{และ} \quad \sum\vec{F}_y=0 \qquad (4.2)$$