



คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่



ฟิสิกส์ เล่ม ๑

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

๔



ตัวอักษรกรีก

ตัวอักษรเล็ก	ตัวอักษรใหญ่	ชื่อ		ตัวอักษรเล็ก	ตัวอักษรใหญ่	ชื่อ	
α	A	alpha	แอลฟา	ν	N	nu	นิว
β	B	beta	บีตา	ξ	Ξ	xi	ไซ
γ	Γ	gamma	แกมมา	$\omicron$	O	omicron	โอไมครอน
δ, δ	Δ	delta	เดลตา	π	Π	pi	พาย
ϵ	E	epsilon	เอปไซลอน	ρ	P	rho	โร
ζ	Z	zeta	ซีตา	σ	Σ	sigma	ซิกมา
η	H	eta	อีตา	τ	T	tau	เทา
θ	Θ	theta	ทีตา	υ	Y	upsilon	อึปไซลอน
ι	I	iota	ไอโอตา	ϕ	Φ	phi	ฟาย, ฟี
κ	K	kappa	แคปปา	χ	X	chi	ไค
λ	Λ	lambda	แลมบ์ดา	ψ	Ψ	psi	ซาย
μ	M	mu	มิว	ω	Ω	omega	โอเมกา

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



คู่มือครู

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

วิชา

ฟิสิกส์ เล่ม ๑

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๔

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้รับมอบหมายจากกระทรวงศึกษาธิการ ในการพัฒนามาตรฐานและตัวชี้วัดของหลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ และยังมี บทบาทหน้าที่ในการรับผิดชอบเกี่ยวกับการจัดทำหนังสือเรียน คู่มือครู แบบฝึกทักษะ กิจกรรม และสื่อการเรียนรู้ ตลอดจนวิธีการจัดการเรียนรู้และการวัดและประเมินผล เพื่อให้การจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ นี้ จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการใช้ หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ โดยครอบคลุมเนื้อหาตามสาระ การเรียนรู้เพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตร แกนกลาง การศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ ในสาระฟิสิกส์ โดยมีตารางวิเคราะห์ผลการเรียนรู้และสาระ การเรียนรู้ เพื่อการจัดทำหน่วยการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติม มีแนวการจัดการเรียนรู้ การให้ความรู้เพิ่มเติมที่ จำเป็นสำหรับครูผู้สอน รวมทั้งการเฉลยคำตอบ และแบบฝึกหัดในหนังสือเรียน

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือครูเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ และเป็นส่วนสำคัญในการ พัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ บุคลากร ทางการศึกษาและหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้



(นางพรพรรณ ไวทยางกูร)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษา ขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อต้องการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไปโรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. ได้มีการจัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน และเพื่อให้ครูผู้สอนสามารถสอนและจัดกิจกรรมต่างๆ ตามหนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้จัดทำคู่มือครูสำหรับใช้ประกอบหนังสือเรียนดังกล่าว

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ นี้ ได้บอกแนวการจัดการเรียนการสอนตามเนื้อหาในหนังสือเรียนเกี่ยวกับ ธรรมชาติของฟิสิกส์ การวัดและการบันทึกผลการวัด การรายงานความคลาดเคลื่อนและการวิเคราะห์ผล การเคลื่อนที่แนวตรง แรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ แรงเสียดทาน แรงดึงดูดระหว่างมวล กฎความโน้มถ่วงสากล และสนามโน้มถ่วง ซึ่งครูผู้สอนสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ให้บรรลุจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยสามารถนำไปจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ตามความเหมาะสมและความพร้อมของโรงเรียน ในการจัดทำคู่มือครูเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สอน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้คู่มือครูเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วยจะขอบคุณยิ่ง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้คู่มือครู

วิทยาศาสตร์มีความเกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการทำงานอาชีพต่าง ๆ รวมทั้งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผลผลิตต่าง ๆ ที่ใช้ในการอำนวยความสะดวกทั้งในชีวิตและการทำงาน นอกจากนี้วิทยาศาสตร์ยังช่วยพัฒนาวิธีคิดและทำให้มีทักษะที่จำเป็นในการตัดสินใจและแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ การจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนมีความรู้และทักษะที่สำคัญตามเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จึงมีความสำคัญยิ่ง ซึ่งเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มีดังนี้

1. เพื่อให้เข้าใจหลักการและทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานของวิชาวิทยาศาสตร์
2. เพื่อให้เกิดความเข้าใจในลักษณะ ขอบเขต และข้อจำกัดของวิทยาศาสตร์
3. เพื่อให้เกิดทักษะที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. เพื่อพัฒนากระบวนการคิดและจินตนาการ ความสามารถในการแก้ปัญหาและการจัดการทักษะในการสื่อสารและความสามารถในการตัดสินใจ
5. เพื่อให้ตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี มวลมนุษย์และสภาพแวดล้อม ในเชิงที่มีอิทธิพลและผลกระทบซึ่งกันและกัน
6. เพื่อนำความรู้ความเข้าใจเรื่องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและการดำรงชีวิตอย่างมีคุณค่า
7. เพื่อให้มีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรม จริยธรรมและค่านิยมในการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างสร้างสรรค์

คู่มือครูเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นควบคู่กับหนังสือเรียน สำหรับให้ครูได้ใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนได้รับความรู้และมีทักษะที่สำคัญตามจุดประสงค์การเรียนรู้ในหนังสือเรียน ซึ่งสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ตามสาระและมาตรฐานการเรียนรู้ ส่งเสริมให้บรรลุเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้ อย่างไรก็ตามครูอาจพิจารณาตัดแปลงหรือเพิ่มเติมการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียนได้ โดยคู่มือครูมีองค์ประกอบหลักดังต่อไปนี้

ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้เป็นผลลัพธ์ที่ควรเกิดกับนักเรียนทั้งด้านความรู้และทักษะซึ่งช่วยให้ครูได้ทราบเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ในแต่ละเนื้อหาและออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ได้ทั้งนี้ครูอาจเพิ่มเติมเนื้อหาหรือทักษะตามศักยภาพของนักเรียน รวมทั้งอาจสอดแทรกเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับท้องถิ่น เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้นได้

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

การวิเคราะห์ความรู้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 จิตวิทยาศาสตร์ ที่เกี่ยวข้องในแต่ละผลการเรียนรู้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้

ผังมโนทัศน์

แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคิดหลัก ความคิดรอง และความคิดย่อย เพื่อช่วยให้ครูเห็นความเชื่อมโยงของเนื้อหาภายในบทเรียน

สรุปแนวความคิดสำคัญ

การสรุปเนื้อหาสำคัญของบทเรียน เพื่อช่วยให้ครูเห็นกรอบเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งลำดับของเนื้อหาในบทเรียนนั้น

เวลาที่ใช้

เวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ ซึ่งครูอาจดำเนินการตามข้อเสนอแนะที่กำหนดไว้ หรืออาจปรับเวลาได้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

ความรู้ก่อนเรียน

คำสำคัญหรือข้อความที่เป็นความรู้พื้นฐาน ซึ่งนักเรียนควรมีก่อนที่จะเรียนรู้เนื้อหาในบทเรียนนั้น

การจัดการเรียนรู้ของแต่ละหัวข้อ

การจัดการเรียนรู้ในแต่ละข้ออาจมีองค์ประกอบแตกต่างกัน โดยรายละเอียดแต่ละองค์ประกอบมีดังนี้

- จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งสามารถวัดและประเมินผลได้ ทั้งนี้ครูอาจตั้งจุดประสงค์เพิ่มเติมจากที่ให้ไว้ ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

- ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

เนื้อหาที่นักเรียนอาจเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่พบบ่อย ซึ่งเป็นข้อมูลให้ครูได้พึงระวัง

หรืออาจเน้นย้ำในประเด็นดังกล่าวเพื่อป้องกันการเกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้

- สื่อการเรียนรู้และแหล่งการเรียนรู้

สื่อการเรียนรู้และแหล่งการเรียนรู้ที่ใช้ประกอบการจัดการเรียนรู้ เช่น บัตรคำ วิดีทัศน์ เว็บไซต์ ซึ่งครูควรเตรียมล่วงหน้าก่อนเริ่มการจัดการเรียนรู้

- แนวการจัดการเรียนรู้

แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้โดยมีการนำเสนอทั้งในส่วนของเนื้อหาและกิจกรรมเป็นขั้นตอนอย่างละเอียดทั้งนี้ครูอาจปรับหรือเพิ่มเติมกิจกรรมจากที่ให้ได้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

กิจกรรม การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสาธิต การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่นๆ ซึ่งควรให้นักเรียนลงมือปฏิบัติด้วยตนเองโดยองค์ประกอบของกิจกรรมมีรายละเอียด ดังนี้

- จุดประสงค์

เป้าหมายที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมนั้น

- วัสดุและอุปกรณ์

รายการวัสดุ อุปกรณ์ หรือสารเคมีที่ต้องใช้ในการทำกิจกรรม ซึ่งครูควรเตรียมให้เพียงพอสำหรับการจัดกิจกรรม

- สิ่งที่ต้องเตรียมล่วงหน้า

ข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้าสำหรับการจัดกิจกรรม เช่น การเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ การเตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิต

- ข้อเสนอแนะสำหรับครู

ข้อมูลที่ให้ครูแจ้งต่อนักเรียนให้ทราบถึงข้อระวัง ข้อควรปฏิบัติ หรือข้อมูลเพิ่มเติมในการทำกิจกรรมนั้น ๆ

- ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตัวอย่างผลการทดลอง การสาธิต การสืบค้นข้อมูลหรือกิจกรรมอื่น ๆ เพื่อให้ครูใช้เป็นข้อมูลสำหรับตรวจสอบผลการทำกิจกรรมของนักเรียน

- อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ตัวอย่างข้อมูลที่ควรได้จากการอภิปรายและสรุปผลการทำกิจกรรม ซึ่งครูอาจใช้คำถามท้ายกิจกรรมหรือคำถามเพิ่มเติม เพื่อช่วยให้นักเรียนอภิปรายในประเด็นที่ต้องการรวมทั้งช่วยกระตุ้นให้นักเรียนช่วยกันคิดและอภิปรายถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ผลของกิจกรรมเป็นไปตามที่คาดหวัง หรืออาจไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง

นอกจากนี้อาจมีความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู เพื่อให้ครูมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องนั้น ๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งไม่ควรนำไปเพิ่มเติมให้นักเรียน เพราะเป็นส่วนที่เสริมจากเนื้อหาที่มีในหนังสือเรียน

- แนวทางการวัดและประเมินผล

แนวทางการวัดและประเมินผลที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ ซึ่งประเมินทั้งด้านความรู้ ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ประเมินจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ที่ควรเกิดขึ้นหลังจากได้เรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ผลที่ได้จากการประเมินจะช่วยให้ครูทราบถึงความสำเร็จของการจัดการเรียนรู้ รวมทั้งใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาการเรียนรู้นี้ให้เหมาะสมกับนักเรียน

เครื่องมือวัดและประเมินผลมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น แบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ แบบประเมินทักษะ แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์ ซึ่งครูอาจเรียกใช้เครื่องมือสำหรับการวัดและประเมินผลจากเครื่องมือมาตรฐานที่มีผู้พัฒนาไว้ แล้วดัดแปลงจากเครื่องมือผู้อื่นทำไว้แล้วหรือสร้างเครื่องมือใหม่ขึ้นเอง ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล ดังภาคผนวก

- เฉลยคำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัด

แนวคำตอบของคำถามระหว่างเรียน ซึ่งมีทั้งถามชวนคิด คำถามตรวจสอบความเข้าใจ และแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ ทั้งนี้ครูควรใช้คำถามระหว่างเรียนเพื่อตรวจสอบความรู้ความเข้าใจของนักเรียนก่อนเริ่มเนื้อหาใหม่เพื่อให้สามารถปรับการจัดการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมต่อไป

- เฉลยคำถาม

แนวคำตอบของคำถามท้ายบทเรียนในหนังสือเรียน เพื่อให้ครูใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบการตอบคำถามของนักเรียน

- เฉลยปัญหาและปัญหาท้าทาย

แนวคำตอบของปัญหาและปัญหาท้าทายในแบบฝึกหัดท้ายบท ซึ่งครูควรใช้โจทย์ปัญหาท้าทายบทเรียนเพื่อตรวจสอบว่าหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว นักเรียนยังขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องใด เพื่อให้สามารถวางแผนการทบทวนหรือเน้นย้ำเนื้อหาให้กับนักเรียนก่อนการทดสอบได้

สารบัญ		บทที่ 1-2
บทที่	เนื้อหา	หน้า
1	ธรรมชาติและ พัฒนาการทางฟิสิกส์	
	ผลการเรียนรู้	1
	การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	1
	ผังมโนทัศน์ ธรรมชาติและ พัฒนาการทางฟิสิกส์	4
	สรุปแนวความคิดสำคัญ	5
	เวลาที่ใช้	6
	ความรู้ก่อนเรียน	6
	1.1 ธรรมชาติทางฟิสิกส์	7
	1.2 การวัดและรายงานผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์	15
	1.3 การทดลองทางฟิสิกส์	25
	เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1	35
2	การเคลื่อนที่แนวตรง	
	ผลการเรียนรู้	53
	การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	53
	ผังมโนทัศน์ การเคลื่อนที่แนวตรง	55
	สรุปแนวความคิดสำคัญ	56
	เวลาที่ใช้	58
	ความรู้ก่อนเรียน	58
	2.1 ตำแหน่ง	59
	2.2 การกระจัดและระยะทาง	62
	2.3 อัตราเร็วและความเร็ว	66
	2.4 ความเร่ง	72
	2.5 กราฟของการเคลื่อนที่แนวตรง	77
	2.5.1 กราฟระหว่างตำแหน่งกับเวลา	77
	2.5.1 กราฟระหว่างความเร็วกับเวลา	
	และกราฟระหว่างความเร่งกับเวลา	82

สารบัญ	บทที่ 3	
บทที่	เนื้อหา	หน้า

2.6	สมการสำหรับการเคลื่อนที่แนวตรง	92
2.7	การตกแบบเสรี	97
	เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2	100

3

แรงและกฎการเคลื่อนที่

ผลการเรียนรู้

133

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

133

ผังมโนทัศน์ แรงและกฎการเคลื่อนที่

138

สรุปแนวความคิดสำคัญ

139

เวลาที่ใช้

140

ความรู้ก่อนเรียน

141

3.1 แรง

142

3.1.1 ลักษณะของแรง

142

3.1.2 แผนภาพวัตถุอิสระ

144

3.1.3 แรงบางชนิดที่ควรรู้

145

3.2 การหาแรงลัพธ์

149

3.2.1 การหาแรงลัพธ์โดยวิธีเขียนเวกเตอร์ของแรง

149

3.2.2 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์โดยวิธีคำนวณ

152

3.3 มวล แรง และกฎการเคลื่อนที่

157

3.3.1 มวลและความเฉื่อย

157

3.3.2 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์โดยวิธีคำนวณ

158

3.4 แรงเสียดทาน

174

3.5 แรงดึงดูดระหว่างมวล

184

3.6 การประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่

190

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3

192

สารบัญ	ภาคผนวก	
บทที่	เนื้อหา	หน้า

ภาคผนวก

ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล	251
แบบทดสอบ	252
แบบประเมินทักษะ	256
แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาาสตร์	259
การประเมินการนำเสนอผลงาน	262
คณะกรรมการจัดทำคู่มือครูคำศัพท์	264

บทที่

1

ธรรมชาติและการพัฒนาทางฟิสิกส์

goo.gl/718YfN

ผลการเรียนรู้:

1. สืบค้นและอธิบายการค้นหาคำรู้ทางฟิสิกส์ ประวัติความเป็นมา รวมทั้งพัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์ที่มีผลการแสวงหาคำรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยี
2. วัดและรายงานผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ได้ถูกต้องเหมาะสม โดยนำความคลาดเคลื่อนในการวัดมาพิจารณาในการนำเสนอผลด้วย รวมทั้งแสดงผลการทดลองในรูปของกราฟ วิเคราะห์และแปลความหมายจากกราฟเส้นตรง

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ กับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะแห่งศตวรรษที่ 21

ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นและอธิบายการค้นหาคำรู้ทางฟิสิกส์ ประวัติความเป็นมา รวมทั้งพัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์ที่มีผลการแสวงหาคำรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยี

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและยกตัวอย่างการค้นหาคำรู้ทางฟิสิกส์
2. อธิบายและยกตัวอย่างประวัติความเป็นมารวมทั้งพัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์
3. อธิบายและยกตัวอย่างความรู้ทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อการแสวงหาคำรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์และพัฒนาเทคโนโลยี

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต และการลงความเห็นจากข้อมูล	1. การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (การสืบค้นข้อมูล) 2. การคิดสร้างสรรค์ 3. การสื่อสาร 4. ความร่วมมือและการทำงานเป็นทีม	1. ความอยากรู้อยากเห็น (การอภิปรายร่วมกัน)

ผลการเรียนรู้

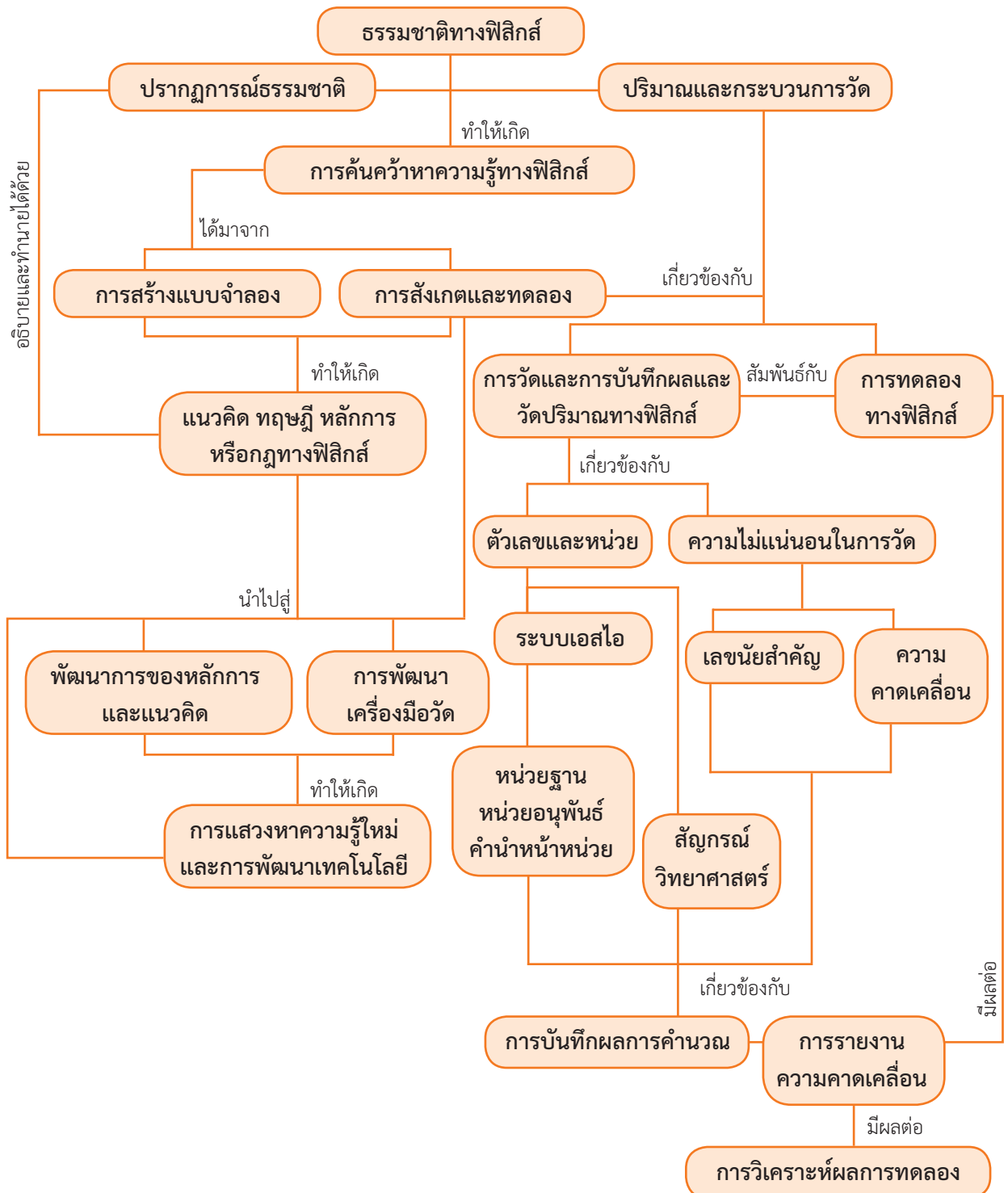
2. วัดและรายงานผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ได้ถูกต้องเหมาะสม โดยนำความคลาดเคลื่อนในการวัดมาพิจารณาในการนำเสนอผลด้วย รวมทั้งแสดงผลการทดลองในรูปของกราฟ วิเคราะห์และแปลความหมายจากกราฟเส้นตรง

จุดประสงค์การเรียนรู้

- ระบุหน่วยฐานและตัวอย่างหน่วยอนุพัทธ์ของระบบเอสไอ
- ยกตัวอย่างปริมาณทางฟิสิกส์และหน่วยในระบบเอสไอของปริมาณนั้น ๆ ได้
- ใช้คำนำหน้าหน่วยเปลี่ยนหน่วยให้ใหญ่ขึ้นหรือเล็กลง
- อธิบายสัญลักษณ์วิทยาศาสตร์และเขียนจำนวนหรือปริมาณในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์
- อธิบายความสำคัญของการเลือกใช้เครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด
- บอกได้ว่าธรรมชาติของการวัดมีความคลาดเคลื่อนเสมอ ขึ้นกับเครื่องวัด วิธีการวัด และประสบการณ์ของผู้วัด รวมทั้งสภาพแวดล้อม
- อธิบายความหมายและบอกเลขนัยสำคัญของจำนวนหรือปริมาณจากการวัดได้
- บันทึกผลการวัดปริมาณได้อย่างเหมาะสมประกอบด้วยค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดและค่าประมาณ
- บันทึกปริมาณและจำนวนในรูปแบบสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ที่มีเลขนัยสำคัญตามที่กำหนดได้
- บันทึกผลการคำนวณจากการบวก ลบ คูณและหาร จำนวนหรือปริมาณที่มีเลขนัยสำคัญต่างกัน
- บอกความสำคัญของการทดลองและรายงานผลการทดลอง
- บันทึกผลการวัดโดยใช้ค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย
- อธิบายความสำคัญของการสมการเชิงเส้น และสามารถจัดสมการที่ไม่อยู่ในรูปเชิงเส้นให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น พร้อมทั้งเขียนกราฟและหาค่าของปริมาณจากกราฟเส้นตรงได้

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต การวัด และการลงความเห็นจากข้อมูล 2. การใช้จำนวน (การคำนวณ ปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และการเขียนรายงานผลการวัด)	1. การแก้ปัญหา (การวัดและ รายงานผลการวัด) 2. การคิดสร้างสรรค์ 3. การสื่อสาร 4. ความร่วมมือและการ ทำงานเป็นทีม	1. ความอยากรู้อยากเห็น (การอภิปรายร่วมกัน) 2. ความรอบคอบ ความรับผิดชอบ และความร่วมมือช่วยเหลือ

ผังมโนทัศน์ ธรรมชาติและพัฒนการทางฟิสิกส์



สรุปแนวความคิดสำคัญ

ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ศึกษาเกี่ยวกับสสาร พลังงาน อันตรกิริยาระหว่างสสารกับพลังงาน และแรงพื้นฐานในธรรมชาติ การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ได้มาจากการสังเกต การทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์ หรือจากการสร้างแบบจำลองทางความคิด เพื่อสรุปเป็นทฤษฎี หลักการหรือกฎ ความรู้เหล่านี้สามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติหรือทำนายสิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ประวัติความเป็นมาและการพัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์เป็นพื้นฐานในการแสวงหาความรู้ใหม่เพิ่มเติม รวมถึงการพัฒนาและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีก็มีส่วนในการค้นหาคำตอบใหม่ทางวิทยาศาสตร์ด้วย

ความรู้ทางฟิสิกส์ส่วนหนึ่งได้จากการทดลองซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ซึ่งประกอบด้วยตัวเลขและหน่วยวัด ปริมาณทางฟิสิกส์สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือต่าง ๆ โดยตรงหรือทางอ้อม หน่วยที่ใช้ในการวัดปริมาณทางวิทยาศาสตร์คือ**ระบบหน่วยระหว่างชาติ (The International System of Units) เรียกว่า ระบบเอสไอ (SI)** ประกอบด้วยหน่วยฐานและหน่วยอนุพัทธ์ หน่วยฐานมี 7 หน่วย ได้แก่ เมตร (m) กิโลกรัม (kg) วินาที (s) แอมแปร์ (A) เคลวิน (K) โมล (mol) และแคนเดลา (cd) หน่วยอนุพัทธ์เป็นหน่วยที่เกิดจากหน่วยฐานหลายหน่วย ปริมาณทางฟิสิกส์ที่มีค่าน้อยกว่าหรือมากกว่า 1 มาก ๆ นิยมเขียนโดยใช้คำนำหน้าหน่วยของระบบเอสไอ เช่น kilo- แทนตัวคูณที่เทียบเท่า 10^3 nano- แทนตัวคูณที่เทียบเท่า 10^{-9} หรือเขียนในรูปของสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นการเขียนปริมาณที่มีค่ามากหรือน้อยให้อยู่ในรูปจำนวนเต็มหนึ่งตำแหน่งตามด้วยเลขทศนิยม แล้วคูณด้วยเลขสิบยกกำลัง มีรูปทั่วไป $A \times 10^n$ เมื่อ $1 \leq A \leq 10$ และ n เป็นจำนวนเต็ม

การทดลองทางฟิสิกส์เกี่ยวกับการวัดปริมาณต่างๆ ด้วยเครื่องมือวัดซึ่งมีความแม่นยำอยู่ในช่วงจำกัด การวัดควรเลือกใช้เครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด เช่นการวัดความยาวของวัตถุที่ต้องการความละเอียดสูงอาจใช้เวอร์เนียสแคลิเปอร์ หรือไมโครมิเตอร์ การวัดปริมาณต่าง ๆ จะมีความคลาดเคลื่อนเสมอ ขึ้นอยู่กับเครื่องมือวัด วิธีการวัด และประสบการณ์ของผู้วัด รวมทั้งสภาพแวดล้อมขณะทำการวัด ในการบันทึกปริมาณที่ได้จากการวัดจะต้องบันทึกผลตามความละเอียดของเครื่องมือวัดพร้อมแสดงความไม่แน่นอนในการวัด ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนสามารถแสดงในการรายงานผลทั้งในรูปแบบตัวเลขและกราฟ การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากการทดลองทางฟิสิกส์ทำได้โดยการวิเคราะห์และการแปลความหมายจากกราฟ เช่น การหาความชันจากกราฟเส้นตรง จุดตัดแกน พื้นที่ใต้กราฟ เป็นต้น

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 9 ชั่วโมง

3.1 ธรรมชาติทางฟิสิกส์	3	ชั่วโมง
3.2 การวัดและรายงานผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์	3	ชั่วโมง
3.3 การทดลองทางฟิสิกส์	3	ชั่วโมง



ความรู้ก่อนเรียน

วิทยาศาสตร์แขนงต่างๆ ปริมาณและหน่วยการวัด การบันทึกผลการวัด

นำเข้าสู่บทที่ 1

ครูนำเข้าสู่บทที่ 1 โดยให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับทฤษฎี หลักการหรือกฎทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติ และผลผลิตจากความรู้ด้านวิทยาศาสตร์มีอะไรบ้าง อาจยกตัวอย่างสิ่งรอบตัว เช่น ในการออกแบบและพัฒนาโทรศัพท์เคลื่อนที่จนเป็นสมาร์ตโฟนในปัจจุบันต้องใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์อะไรบ้าง ทั้งนี้ครูควรเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบอย่างอิสระและไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง ครูชี้แจงนักเรียนว่า ในบทที่ 1 นี้ นักเรียนจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ศึกษาค้นคว้าเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ในธรรมชาติ ซึ่งคือ วิชาฟิสิกส์ โดยจะศึกษาเกี่ยวกับ ธรรมชาติทางฟิสิกส์ การวัดและรายงานผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ และการทดลองทางฟิสิกส์ จากนั้นครูชี้แจงหัวข้อที่นักเรียนจะได้เรียนรู้ในบทที่ 1 และคำถามสำคัญที่นักเรียนจะต้องตอบได้หลังจากเรียนรู้บทที่ 1 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

1.1 ธรรมชาติทางฟิสิกส์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและยกตัวอย่างการค้นหาคำรู้ทางฟิสิกส์
2. อธิบายและยกตัวอย่างประวัติความเป็นมา รวมทั้งพัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์
3. อธิบายและยกตัวอย่างความรู้ทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์และพัฒนาเทคโนโลยี

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ความรู้และพัฒนาการทางฟิสิกส์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง 2. ฟิสิกส์ไม่มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์และพัฒนาเทคโนโลยี	1. ความรู้และพัฒนาการทางฟิสิกส์มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการค้นพบข้อมูลใหม่ๆ และมีการพัฒนาเครื่องมือวัดที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น 2. ฟิสิกส์มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์และพัฒนาเทคโนโลยี

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ของหัวข้อ 1.1 จากนั้น ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยการให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับที่มาของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ตั้งแต่ในอดีตถึงปัจจุบัน โดยอาจให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันในประเด็นต่อไปนี้

- ความรู้ ทฤษฎี หลักการ หรือกฎทางวิทยาศาสตร์ที่รู้จักมีอะไรบ้าง
- นักวิทยาศาสตร์มีวิธีการในการได้มาซึ่งความรู้ ทฤษฎี หลักการ หรือกฎทางวิทยาศาสตร์อย่างไร
- ความรู้ ทฤษฎี หลักการ หรือกฎทางวิทยาศาสตร์ มีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาอย่างไร
- ความรู้ ทฤษฎี หลักการ หรือกฎทางวิทยาศาสตร์ มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ๆ และการพัฒนาเทคโนโลยี อย่างไร

ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบคำถามอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้น ครูให้ความรู้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนเกี่ยวกับธรรมชาติของฟิสิกส์ การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ พัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์ และผลของพัฒนาการทางฟิสิกส์ที่มีต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยี โดยครูอาจให้นักเรียนทำกิจกรรมกล่องปริศนา (Mysterious boxes) เพื่อกระตุ้นความสนใจและสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของฟิสิกส์มากยิ่งขึ้น



กิจกรรมเสนอแนะ กล้องปริศนา

จุดประสงค์

เปรียบเทียบการทำกิจกรรมกล้องปริศนากับการได้มาซึ่งความรู้ ทฤษฎี หลักการหรือกฎทางวิทยาศาสตร์

เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

1. กล่องโลหะที่ปิดผนึกไม่สามารถเปิดออกได้ ภายในบรรจุวัตถุที่แตกต่างกันกล่องละ 1 ชิ้น เช่น ลวดเสียบกระดาษ ลูกแก้ว ลูกเต๋า ไม้จิ้มฟัน ถูซา ถูทราย



รูป 1.1 กล่องปริศนา

วิธีดำเนินกิจกรรม

1. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มรับกล่องปริศนา กลุ่มละ 1 กล่อง
2. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายร่วมกันเพื่อหาวิธีการที่จะบอกว่าวัตถุที่อยู่ข้างในกล่องปริศนา คืออะไรโดยไม่เปิดกล่องโลหะ เช่น การยกเพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักของวัตถุ การเขย่าเพื่อฟังเสียงที่วัตถุกระทบกับกล่องโลหะ การพลิกกลับไปกลับมาเพื่อสังเกตแรงที่เกิดจากการกระทบกันระหว่างวัตถุกับกล่องโลหะ การเอียงเพื่อสังเกตการกลิ้งหรือการไหลของวัตถุ
3. ครูให้นักเรียนบันทึกผลการสังเกต วิธีการที่ใช้ และการข้อสรุปของกลุ่มว่า วัตถุที่อยู่ในกล่องปริศนาคืออะไร

4. ครูให้นักเรียนเปลี่ยนกล่องปริศนากล่องใหม่ แล้วทำกิจกรรมข้อ 2 และ 3 ซ้ำ จนครบทุกกล่อง
5. ครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่าแต่ละกลุ่มมีวิธีการที่ใช้ในการสังเกต ผลของการสังเกต และข้อสรุปเกี่ยวกับวัตถุที่อยู่ในกล่องปริศนาแต่ละกล่องเหมือนกันหรือไม่อย่างไร
6. ครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า จะมีวิธีการใดในการบอกว่าวัตถุที่อยู่ในกล่องปริศนาคืออะไร โดยไม่ต้องเปิดกล่องโลหะ
7. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายและสรุปผลการทำกิจกรรมโดยเปรียบเทียบการทำกิจกรรมกล่องปริศนากับการได้มาซึ่งความรู้ ทฤษฎี หลักการ หรือกฎทางวิทยาศาสตร์

อภิปรายหลังทำกิจกรรม

กิจกรรมกล่องปริศนาเปรียบได้กับการได้มาซึ่งความรู้ ทฤษฎี หลักการ หรือกฎทางวิทยาศาสตร์ โดยวัตถุที่อยู่ในกล่องปริศนาเปรียบได้กับความรู้และคำอธิบายปรากฏการณ์ในธรรมชาติที่นักวิทยาศาสตร์ต้องการค้นพบ วิธีการที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับวัตถุในกล่องปริศนา เช่น การยก การเขย่า การพลิก และการเอียงกล่องปริศนา จากนั้นนำข้อมูลจากการสังเกตนำไปตีความหมายและลงข้อสรุปเกี่ยวกับวัตถุที่อยู่ในกล่องปริศนา วิธีการที่ใช้ในกิจกรรมดังกล่าวเปรียบได้กับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ เช่น การสังเกต การจำแนกประเภท การตั้งสมมติฐาน การตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป และการสร้างแบบจำลอง

วิธีการที่จะให้ได้คำตอบว่าวัตถุที่อยู่ในกล่องปริศนาคืออะไร โดยไม่เปิดกล่องปริศนา คือ การนำวัตถุที่คิดว่าเป็นคำตอบมาใส่ในกล่องโลหะที่มีลักษณะคล้ายกันกับกล่องปริศนา แล้วทำการเปรียบเทียบว่า เมื่อมีการกระทำต่อกล่องดังกล่าว เช่น การยก การเขย่า การพลิก และการเอียงกล่อง แล้วจะให้ผลที่คล้ายกับการกระทำต่อกล่องปริศนา โดยที่ผลการสังเกตออกมาคล้ายกัน แสดงว่าวัตถุที่นำมาใส่ในกล่องใบใหม่ อาจเป็นไปได้ที่จะเป็นวัตถุที่อยู่ในกล่องปริศนา ซึ่งกระบวนการดังกล่าว เปรียบได้กับการทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นการดำเนินการเพื่อเทียบเคียงกับการทำงานของธรรมชาติ โดยที่นักวิทยาศาสตร์ไม่สามารถรู้ได้ว่า การทำงานของธรรมชาติจริง ๆ นั้นเป็นเช่นไร แต่สามารถทำการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบที่ใกล้เคียงกับการทำงานของธรรมชาติมากที่สุด

ในการระบุคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัตถุที่อยู่ในกล่องปริศนา เช่น ถ้ามีเสียงดังเมื่อกระทบกับกล่องโลหะแสดงว่าวัตถุดังกล่าวมีความแข็ง ถ้าเอียงกล่องโลหะแล้วทำให้วัตถุกลิ้งแสดงว่าวัตถุดังกล่าวมีส่วนโค้งหรือมีลักษณะคล้ายทรงกลม รวมทั้งการลงข้อสรุปจากข้อมูลที่ได้ว่า วัตถุที่อยู่ในกล่องปริศนาคืออะไร เปรียบได้กับการสร้างกฎและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ขึ้นมาเพื่ออธิบาย

การทำงานของธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงคำตอบเกี่ยวกับวัตถุที่อยู่ในกล่องปริศนาเมื่อมีข้อมูลของวัตถุเพิ่มมากยิ่งขึ้น ก็เปรียบได้กับการพัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งกฎและทฤษฎีเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติอาจถูกล้มล้างก็ได้เมื่อมีทฤษฎีใหม่ที่มีความเหมาะสมและสามารถอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติได้ดีกว่าทฤษฎีเดิม ซึ่งจะเห็นได้ว่าข้อสรุปของแต่ละกลุ่มในการระบุวัตถุที่อยู่ในกล่องปริศนาคืออะไร อาจมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความรู้เดิมที่มี วิธีการที่ใช้ในการสังเกต การทดลอง และการลงข้อสรุป แสดงให้เห็นถึงความไม่แน่นอนของการทดสอบ จึงอาจจะต้องมีการทำซ้ำอีกหลายครั้งโดยอาจมีการปรับปรุงวิธีการเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เช่นเดียวกับการทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ ในช่วงท้ายของกิจกรรม ครูไม่ควรจะเฉลยคำตอบว่าวัตถุที่อยู่ในกล่องปริศนาคืออะไร หากนักเรียนต้องการที่จะรู้คำตอบจะต้องทำการทดสอบด้วยตนเอง เช่นเดียวกับนักวิทยาศาสตร์ที่ไม่สามารถเข้าใจปรากฏการณ์ธรรมชาติได้โดยทันทีทันใด แต่ต้องทำการทดลอง สร้างและพัฒนากฎและทฤษฎีต่าง ๆ ขึ้นมาเพื่อให้สามารถอธิบายการทำงานของธรรมชาติให้ใกล้เคียงมากที่สุด

กิจกรรมกล่องปริศนาจึงเป็นกิจกรรมที่ช่วยให้นักเรียนได้รู้จักกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ได้เข้าใจของทักษะและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และรู้สาเหตุที่นักวิทยาศาสตร์ต้องมีการทำการทดลอง และมี การตั้งกฎและทฤษฎีขึ้นมาเพื่ออธิบายการทำงานของธรรมชาติ ซึ่งกฎและทฤษฎีที่สร้างขึ้นมานั้นก็มีการเปลี่ยนแปลงได้หากมีกฎและทฤษฎีใหม่ที่สามารถอธิบายการทำงานของธรรมชาติได้ดีกว่าเดิม

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับครู

ครูอาจให้นักเรียนสืบค้นและอภิปรายเกี่ยวกับความหมายของ **ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (science process skills)** ซึ่งประกอบด้วย การสังเกต การวัด การลงความเห็นจากข้อมูล การใช้จำนวน การจำแนกประเภท การหาความสัมพันธ์ของสเปกกับเวลา การพยากรณ์ การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การตั้งสมมติฐาน การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การทดลอง การตีความหมายข้อมูลและข้อสรุป การทดลอง การกำหนดและควบคุมตัวแปร และการสร้างแบบจำลอง

นอกจากนี้ ครูอาจให้นักเรียนสืบค้นและอภิปรายเกี่ยวกับตัวอย่างเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับฟิสิกส์ในด้านต่างๆ โดยเลือกตามความเหมาะสมกับบริบทของพื้นฐานความรู้และความสนใจของนักเรียน และอาจใช้ตัวอย่างการประยุกต์ของวิชาฟิสิกส์ ดังต่อไปนี้

การประยุกต์ทางกลศาสตร์

- โครงสร้างรองรับน้ำหนักอาคาร บ้านเรือน สะพาน ถนน สระน้ำ เขื่อน เป็นต้น ซึ่งอาศัยความรู้เรื่องคาน (lever) และโมเมนต์ (moment)
- โครงสร้างเครื่องจักรกลแบบต่าง ๆ ซึ่งอาศัยความรู้เรื่องคาน โมเมนต์ ล้อกับเพล (whell & axle) พลศาสตร์การหมุน (rotational dynamics) และการเพิ่มหรือลดแรงเสียดทาน
- โครงสร้างยานพาหนะต่างๆ เช่น รถไฟ รถยนต์ รถจักรยานยนต์ เรือ เครื่องบิน เป็นต้น ซึ่งอาศัยความรู้ในเรื่องต่างๆ เช่นเดียวกับเครื่องจักรกลแล้วยังต้องมีความรู้เกี่ยวกับพลศาสตร์ของของไหล (fluid dynamics) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องอากาศพลศาสตร์ (aerodynamics)
- โครงสร้างเครื่องกลแบบต่างๆ สำหรับถ่ายโอนพลังงานกล เช่น ระบบรอก (puleys) ระบบเฟือง (gears) ระบบสายพานลำเลียง (conveyors) ระบบปั้นจั่น (cranes) ระบบไฮดรอลิก (hydraulic system) ระบบนิวแมติก (pneumatic system) เป็นต้น
- โครงสร้างอุปกรณ์ดูดซับแรงดล (impulsive force) ได้แก่ ระบบคานบิด (torsion bar), แหนบแผ่นหรือขดลวดสปริง (coil spring) ซึ่งใช้ร่วมกับตัวต้านทานการสั่นแบบไฮดรอลิกหรือแก๊ส (shock absorber)

การประยุกต์ทางอุณหพลศาสตร์

- เครื่องจักรความร้อน (heat engine) แบบต่าง ๆ เช่น เครื่องจักรไอน้ำ เครื่องยนต์แก๊สโซลีน เครื่องยนต์ดีเซล เครื่องยนต์กังหันเทอร์โบ เครื่องยนต์ไอพ่น เป็นต้น
- อุปกรณ์ระบายความร้อนและอุปกรณ์กันความร้อนแบบต่าง ๆ เช่น แบบขดลวดความร้อนจากไฟฟ้า แบบรังสีอินฟราเรด และแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงไมโครเวฟ เป็นต้น
- อุปกรณ์ประเภทสวิตช์อัตโนมัติทางความร้อน (thermal switch) ซึ่งจะต้องตัดหรือต่อวงจรไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิมีค่าระดับหนึ่งที่กำหนด ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ความรู้เกี่ยวกับการขยายตัวของสารเมื่อได้รับความร้อน
- เตาเผา เตาหลอม (furnance) และเตาอบ (oven) แบบต่าง ๆ รวมทั้งเครื่องอบไอน้ำเพื่อฆ่าเชื้อโรคและเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อน
- เครื่องสูบความร้อน (heat pump) แบบต่าง ๆ เช่น ตู้เย็น เครื่องทำน้ำแข็ง เครื่องปรับอากาศ เครื่องทำน้ำเย็น เป็นต้น

การประยุกต์ทางแสง

- ทัศนอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ เช่น แว่นตา กล้องส่องทางไกล กล้องโทรทรรศน์ กล้องจุลทรรศน์ กล้องถ่ายภาพนิ่ง กล้องถ่ายภาพยนตร์ เป็นต้น ซึ่งจะต้องอาศัยความรู้ในเรื่องระบบเลนส์เป็นหลัก
- फिल्मกรองแสงแบบต่าง ๆ เช่น แผ่นกรองแสงสี (colour filter) แผ่นกรองความเข้มแสงแบบโพลาไรซ์ फिल्मป้องกันการสะท้อนแสง เป็นต้น
- กระจกเงา (mirror) และกระจกฝ้า (translucent glass sheet) แบบต่าง ๆ ซึ่งอาศัยความรู้เกี่ยวกับการสะท้อนแสงและการกระเจิงของแสง (scattering)
- การใช้รังสีอัลตราไวโอเลตฆ่าเชื้อโรคในอากาศและน้ำดื่ม
- เครื่องมือวิเคราะห์สารจากสเปกตรัมของสารนั้นในแบบต่าง ๆ เช่น IR-spectrometer UV-spectrometer spectrophotometer polarimeter NWR spectrometer เป็นต้น
- เครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายจากการหักเหแสงและการบิดระนาบแสง (optical rotation) เช่น Abbe refractometer polarimeter เป็นต้น
- เครื่องตรวจสอบความเครียด (strain) ในส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างรับแสงโดยใช้แสงโพลาไรส์ เช่น polariscope

การประยุกต์ทางเสียง

- แผ่นวัสดุดูดกลืนเสียงเพื่อลดเสียงสะท้อน การออกแบบรูปลักษณะเพดานและผนังห้องประชุม เพื่อลดเสียงสะท้อน การติดตั้งไมโครโฟนและลำโพงเสียงในห้องประชุมโดยไม่เกิดการป้อนกลับทางบวก
- ท่อเก็บเสียงไอเสียจากเครื่องยนต์
- เครื่องดนตรีประเภทต่าง ๆ เช่น เครื่องสาย (string) เครื่องเป่า (brass & woodwind) เครื่องตี (percussion) เป็นต้น ซึ่งอาศัยความรู้เกี่ยวกับการสั่นพ้อง (resonance) ของเสียงในต้นกำเนิดเสียงแบบต่าง ๆ
- อัลตราซาวด์ (ultrasound) ทางการแพทย์ เช่น อัลตราซาวด์ตรวจโรคหัวใจ อัลตราซาวด์ตรวจทารกในครรภ์ เป็นต้น
- ระบบโซนาร์ (sonar) สำรวจพื้นผิวใต้ทะเล ระบบโซนาร์สำรวจฝูงปลา ระบบโซนาร์ในเรือดำน้ำ เป็นต้น
- คลื่นเหนือเสียง (ultrasonic wave) ในระบบทำความสะอาดอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ คลื่นเหนือเสียงในการไล่หนูและแมลงบางชนิด

- การออกแบบไมโครโฟนและลำโพงเสียง
- การออกแบบตู้ลำโพงเพื่อเพิ่มเสียงทุ้ม (bass-reflex)

การประยุกต์ทางไฟฟ้า-แม่เหล็ก

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบต่าง ๆ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งใช้เป็นส่วนใหญ่ในปัจจุบัน
- ระบบส่งพลังงานไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยสายส่งซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ฉนวนหุ้มสาย ระบบสวิตช์ตัด-ต่อวงจรไฟฟ้า หม้อแปลง ระบบป้องกันการลัดวงจรและขนาดกระแสเกินกำหนด ซึ่งอาศัยความรู้เบื้องต้นเรื่องกฎของโอห์มและหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพื้นฐาน
- อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าในระดับโรงงานและระดับบ้านเรือนที่อยู่อาศัยทั่วไป เช่น หลอดไฟฟ้าแบบต่าง ๆ หลอดรังสีอินฟราเรด เตารีดไฟฟ้า เตาไฟฟ้า ตู้เย็น พัดลม เครื่องทำน้ำอุ่น/น้ำร้อนด้วยไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ เตาไรต์ เครื่องดูดฝุ่น เครื่องปั้มน้ำ ฯลฯ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ความรู้เกี่ยวกับขดลวดทำความร้อน มอเตอร์ และเครื่องอัดแก๊สทำความเย็น (compressor)
- อุปกรณ์ประเภทรีเลย์ (relay) ซึ่งทำหน้าที่เปิดและปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า การประยุกต์ทางกลศาสตร์ควอนตัม ฟิสิกส์อะตอม และฟิสิกส์นิวเคลียร์
- เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ เครื่องตรวจวิเคราะห์ด้วย X-ray Scanning เครื่องถ่ายภาพโครงกระดูกและอวัยวะภายในด้วยรังสีเอกซ์ เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างด้วยสารรังสีเอกซ์
- เครื่องกำเนิดเลเซอร์ มีดผ่าตัดเลเซอร์
- การวิเคราะห์สารด้วยวิธีการ nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ การผลิตไอโซโทปกัมมันตรังสีเพื่อใช้ทางการแพทย์ อุตสาหกรรม และการเกษตร
- การตรวจสอบความหนาของแผ่นโลหะด้วยรังสี การตรวจสอบรอยเชื่อมโลหะด้วยรังสี
- การฉายรังสีให้กับอาหารและผลผลิตทางการเกษตรเพื่อยืดอายุและปรับปรุงพันธุ์ การประยุกต์ทางฟิสิกส์สถานะของแข็ง (solid-state physics)
- ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำ เช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ไอซี (integrated circuits, IC) ไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นต้น
- เครื่องวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เช่น แอมมิเตอร์ โอห์มมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ วัตต์มิเตอร์ เป็นต้น

- เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ออสซิลโลสโคป (oscilloscope) AF-Generator RF-Generator Function Generator เป็นต้น
- ระบบคอมพิวเตอร์ เช่น CPU keyboard monitor diskdrive printer เป็นต้น
- ระบบตรวจจับสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น หัววัดแสง หัววัดสนามแม่เหล็ก หัววัดเสียง หัววัดอุณหภูมิ หัววัดความร้อน ภาควิทยาสัญญาณ ภาควิเคราะห์รูปสัญญาณ ภาควิแสดงผล ภาควินิจฉัย เป็นต้น
- ระบบการสื่อสารแบบต่างๆ เช่น แบบส่งสัญญาณตามสาย และแบบส่งสัญญาณไร้สาย (wireless telecommunication)

แนวการวัดและการประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติทางฟิสิกส์ จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 1.1



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 1.1

1. มนุษย์พัฒนาความรู้ของตนเองด้วยวิธีการใดเพื่อให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติได้
แนวคำตอบ มนุษย์พัฒนาความรู้ของตนเองด้วยการสร้างและพัฒนาเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับการสังเกตและการทดลองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผลจนได้มาซึ่งคำอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ
2. เราสามารถนำความรู้ทางฟิสิกส์ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันอย่างไรบ้าง
แนวคำตอบ เราใช้ความรู้ทางฟิสิกส์ประดิษฐ์อุปกรณ์และเครื่องใช้ต่างๆ เพื่ออำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน เช่น เครื่องผ่อนแรงแบบต่างๆ เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องจักรกล ที่อยู่อาศัย เป็นต้น
3. ความรู้ทางฟิสิกส์ก่อให้เกิดการพัฒนาทางเทคโนโลยีด้านใดบ้าง
แนวคำตอบ การพัฒนาทางเทคโนโลยีที่ใช้ความรู้ทางฟิสิกส์ เช่น เทคโนโลยีด้านพลังงาน เทคโนโลยีด้านการสื่อสารโทรคมนาคม เทคโนโลยีการขนส่ง เทคโนโลยีทางการแพทย์ เทคโนโลยีทางการเกษตร เป็นต้น

1.2 การวัดและรายงานผลการวัดปริมาณทางฟิลิกส์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ระบุหน่วยฐานและตัวอย่างหน่วยอนุพัทธ์ของระบบเอสไอ
2. ยกตัวอย่างปริมาณทางฟิลิกส์และหน่วยในระบบเอสไอของปริมาณนั้น ๆ ได้
3. ใช้คำนำหน้าหน่วยเปลี่ยนหน่วยให้ใหญ่ขึ้นหรือเล็กลง
4. อธิบายสัญกรณ์วิทยาศาสตร์และเขียนจำนวนหรือปริมาณในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์
5. อธิบายความสำคัญของการเลือกใช้เครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด
6. บอกได้ว่าธรรมชาติของการวัดมีความคลาดเคลื่อนเสมอ ขึ้นกับเครื่องมือวัด วิธีการวัด และประสบการณ์ของผู้วัด รวมทั้งสภาพแวดล้อม
7. อธิบายความหมายและบอกเลขนัยสำคัญของจำนวนหรือปริมาณจากการวัดได้
8. บันทึกผลการวัดปริมาณได้อย่างเหมาะสมประกอบด้วยค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดและค่าประมาณ
9. บันทึกปริมาณและจำนวนในรูปแบบสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ที่มีเลขนัยสำคัญตามที่กำหนดได้
10. บันทึกผลการคำนวณจากการบวก ลบ คูณและหาร จำนวนหรือปริมาณที่มีเลขนัยสำคัญต่างกัน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
การวัดทางฟิลิกส์มีความถูกต้องและไม่มี ความคลาดเคลื่อน	ธรรมชาติของการวัดทางฟิลิกส์มีความคลาดเคลื่อน เสมอ ขึ้นกับเครื่องมือวัด วิธีการวัด และประสบการณ์ ของผู้วัด รวมทั้งสภาพแวดล้อม

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

ตัวอย่างเครื่องมือวัดความยาวที่มีความละเอียดต่างๆ เช่น ตลับเมตร ไม้บรรทัดและไม้เมตร เวอร์เนียร์ แคลิเปอร์ และไมโครมิเตอร์

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้นักเรียนวัดความกว้างและความยาวของสิ่งต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน เช่น สมุด หนังสือ โต๊ะ และกระดานดำ โดยเริ่มจากการวัดโดยใช้หน่วยคืบของนักเรียนแต่ละคน แล้วนำมาอภิปรายเพื่อสรุปว่า หน่วยการวัด 1 คืบของนักเรียนแต่ละคนมีความยาวไม่เท่ากัน จึงไม่สามารถใช้เป็นเครื่องมือวัดที่เป็นมาตรฐานได้ ดังนั้น การวัดสิ่ง ๆ หนึ่งเพื่อให้ทุกคนรับรู้ตรงกันจะต้องใช้เครื่องมือที่มีมาตรฐาน จากนั้น ครูให้นักเรียนใช้เครื่องมือวัดที่มีมาตรฐาน เช่น ไม้บรรทัด ไม้เมตร มาทำการวัดความยาวของวัตถุเดิม

อีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบผลการวัด แล้วอภิปรายร่วมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า การใช้เครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐาน ทำให้ผลของการวัดใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้น ครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อตอบคำถามว่า

- การวัดปริมาณใด ๆ มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอไปหรือไม่
- ปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนในการวัด
- ยกตัวอย่างผลกระทบอาจเกิดขึ้นได้จากความคลาดเคลื่อนในการวัด

ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบคำถามอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง โดยหลังจากนักเรียนตอบคำถามเสร็จแล้ว ครูอาจอภิปรายร่วมกับนักเรียนจนได้ข้อสรุปว่า การวัดปริมาณใด ๆ ด้วยเครื่องมือวัดย่อมมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นโดยความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเครื่องมือที่ใช้วัด วิธีการวัด ความสามารถและประสบการณ์ของผู้วัด ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้จะเกี่ยวข้องไปถึงการบันทึกผลการคำนวณเมื่อนำตัวเลขที่มีความไม่แน่นอนหลายปริมาณมาบวก ลบ คูณ และหารกัน ย่อมจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลงไปได้ จากนั้น ครูให้ความรู้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนเรื่องระบบหน่วยระหว่างชาติ สัญกรณ์วิทยาศาสตร์ ความไม่แน่นอนในการวัด เลขนัยสำคัญ และการบันทึกผลการคำนวณ โดยครูอาจให้นักเรียนฝึกใช้เครื่องมือวัดที่มีความละเอียดแตกต่างกันมาใช้สำหรับวัดความกว้าง ความยาว และความหนาของวัสดุต่าง ๆ เช่น เหล็ก อะลูมิเนียม และทองแดง เพื่อใช้คำนวณหาความหนาแน่นของวัสดุ ซึ่งคือ มวลต่อปริมาตร ที่มีหน่วยในระบบเอสไอ คือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน พร้อมอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับผลการหาความหนาแน่นของวัสดุเหมือนหรือแตกต่างกับค่ามาตรฐานหรือไม่ อย่างไร

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับครู

ครูอาจให้นักเรียนสืบค้นและอภิปรายร่วมกันในประเด็นต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดดังต่อไปนี้

- หน่วยการวัดของไทย

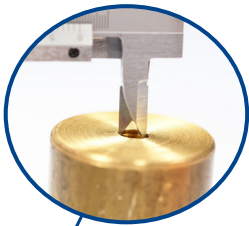
คนไทยได้มีการกำหนดมาตรฐานการวัดขึ้นมาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยบรรพบุรุษของเรารู้จักที่จะคิดหน่วยการวัดขึ้นมาใช้ได้เอง เช่น คืบ ศอก วา โยชน์ โดยที่ 2 คืบเป็น 1 ศอก, 4 ศอกเป็น 1 วา, 20 วาเป็น 1 เส้น, และ 400 เส้นเป็น 1 โยชน์ แต่ในเวลาต่อมาได้มีการติดต่อสัมพันธ์กับหลาย ๆ ประเทศ จึงจำเป็นต้องใช้หน่วยที่เป็นสากลเพื่อความสะดวกในการสื่อสารให้เข้าใจที่ตรงกัน

- การวัดความยาวด้วยเวอร์เนียร์แคลิเปอร์

เวอร์เนียร์แคลิเปอร์ (Vernier Calipers) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า เวอร์เนียร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความยาวหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของวัตถุ โดยสามารถวัดได้ละเอียดถึงระดับ 0.01 เซนติเมตร หรือ 0.1 มิลลิเมตร เหมาะสำหรับใช้ในงานที่ต้องการความละเอียดและความถูกต้องสูง เช่น งานกลึงหรืองานเจียระไนโลหะ ซึ่งโดยปกติแล้วเวอร์เนียร์สามารถใช้ในการวัดได้ทั้งความยาวภายนอกของวัตถุ ความยาวภายในของวัตถุ และความลึกของวัตถุ ดังรูป

ปากวัดภายใน (inside jaws)

ใช้วัดความยาวภายในของวัตถุ



สเกลหลัก (main scale)

ใช้สำหรับบอกค่าความยาวของวัตถุ
ที่ความละเอียดเท่ากับ 0.1 เซนติเมตร
เช่นเดียวกับไม้บรรทัด

สกรูล็อก (locking screw)

ใช้ล็อกสเกลเวอร์เนียร์ให้ยึดติดอยู่กับ
สเกลหลักขณะอ่านค่าความยาวของวัตถุ

สเกลเวอร์เนียร์ (vernier scale)

ใช้สำหรับบอกค่าความยาวของวัตถุ
ในกรณีนี้มีจำนวน 50 ช่อง ต่อความยาว 0.1 เซนติเมตร
หรือมีความละเอียดเท่ากับ 0.002 เซนติเมตร



ปากวัดภายนอก (outside jaws)

ใช้วัดความยาวภายนอกของวัตถุ

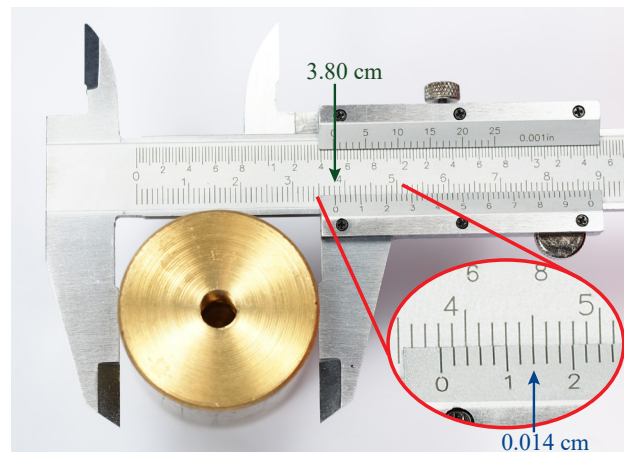
แกนวัดความลึก (depth probe)

ใช้วัดความลึกของวัตถุ



รูป 1.2 ส่วนประกอบของเวอร์เนียร์แคลิเปอร์

วิธีการวัดความยาวของวัตถุที่วัดได้โดยใช้เวอร์เนียแคลิเปอร์สามารถทำได้เช่น การวัดความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุโดยใช้ปากวัดภายนอก แสดงได้ดังรูป



รูป 1.3 การวัดความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุโดยใช้ปากวัดภายนอก

จากรูปสามารถอ่านค่าความยาวได้ โดยมีวิธีการดังนี้

1. อ่านค่าความยาวของวัตถุจากสเกลหลัก โดยใช้ขีดที่ 0 ของสเกลเวอร์เนียเป็นจุดสังเกต (ลูกศรสีแดง) ซึ่งในกรณีนี้จะอ่านค่าความยาวของวัตถุได้เป็น 3.80 cm
2. อ่านค่าความยาวของวัตถุจากสเกลเวอร์เนีย โดยดูจากขีดของสเกลเวอร์เนียที่อยู่ตรงกับขีดของสเกลหลักพอดี (ลูกศรสีเขียว) ซึ่งในกรณีนี้เป็นขีดที่ 7 จะอ่านค่าความยาวได้เป็น 7 ช่อง $\times 0.002$ เซนติเมตรต่อช่อง = 0.014 cm
3. ความยาวของวัตถุสามารถหาได้จากผลรวมระหว่างความยาวที่วัดได้จากสเกลหลักและสเกลเวอร์เนีย ซึ่งในกรณีนี้จะได้เป็น $3.80 \text{ cm} + 0.014 \text{ cm} = 3.814 \text{ cm}$

ดังนั้น ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุนี้เท่ากับ 3.814 เซนติเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าความยาวที่วัดได้จะละเอียดกว่าการวัดโดยใช้ไม้บรรทัดซึ่งจะอ่านค่าความยาวได้เป็น 3.80 เซนติเมตร เท่านั้น

- ความแม่นยำและความเที่ยงของการวัด

การบอกความสามารถในการวัดของเครื่องมือวัดนิยมบอกด้วย 2 ปริมาณด้วยกัน คือ ความแม่นยำ (accuracy) และความเที่ยง (precision) โดยที่ ความแม่นยำ หมายถึงความสามารถของเครื่องมือวัดในการแสดงค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด สำหรับ ความเที่ยง หมายถึงความสามารถของเครื่องมือวัดในการแสดงค่าเดิมเมื่อทำการวัดซ้ำเดิมหลายๆ ครั้ง ตัวอย่างเช่น

กรณีที่ 1 ในการวัดความยาวของวัตถุหนึ่งจำนวน 5 ครั้ง สามารถวัดได้แตกต่างกัน คือ 4.50 4.51 4.50 4.49 4.53 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ค่าดังกล่าวพบว่าส่วนใหญ่มีความใกล้เคียงกับความยาวของวัตถุที่แท้จริงซึ่งเท่ากับ 4.50 เซนติเมตร แสดงว่า เครื่องมือในการวัดนี้ มีความแม่นยำสูง แต่ความเที่ยงต่ำ

กรณีที่ 2 ในการวัดความยาวของวัตถุหนึ่งจำนวน 5 ครั้ง สามารถวัดได้ใกล้เคียงกัน คือ 4.23 4.22 4.23 4.22 4.22 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ค่าดังกล่าวมีความแตกต่างจากความยาวของวัตถุที่แท้จริงซึ่งเท่ากับ 4.50 เซนติเมตร แสดงว่า เครื่องมือในการวัดนี้ มีความเที่ยงสูง แต่ความแม่นยำต่ำ

กรณีที่ 3 ในการวัดความยาวของวัตถุหนึ่งจำนวน 5 ครั้ง สามารถวัดได้ใกล้เคียงกัน คือ 4.50 4.51 4.50 4.49 4.50 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวมีความใกล้เคียงกับความยาวของวัตถุที่แท้จริงซึ่งเท่ากับ 4.50 เซนติเมตร แสดงว่า เครื่องมือในการวัดนี้ มีความเที่ยงสูง และความแม่นยำสูง

การเปรียบเทียบความเที่ยงตรงและความแม่นยำของเครื่องมือวัด นิยมอธิบายด้วยการเปรียบเทียบกับ การปาลูกดอกเพื่อให้เข้าสู่ตรงกลางของเป้าจำนวนหลายๆ ดังรูป



รูป 1.4 ตัวอย่างความเที่ยงและความแม่นยำของผู้ปาลูกดอก

เครื่องมือวัดที่ดีจึงควรมีทั้งความเที่ยงและความแม่นยำ นั่นคือ แสดงค่าเท่าเดิมเมื่อทำการวัดซ้ำ และ ค่าที่วัดจากเครื่องมือวัดได้มีความใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด

- การเลือกใช้จำนวนตัวเลขนัยสำคัญในการคำนวณ

การนำเอาข้อมูลที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญต่างกันมาบวก ลบ คูณ และหารกัน จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีตัวเลขนัยสำคัญมากเกินไป ทำให้การบันทึกผลการคำนวณจำเป็นต้องพิจารณาจากตัวเลขนัยสำคัญ และความละเอียดที่เหมาะสม ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ทั้งนี้ เพื่อให้สะดวกในการวิเคราะห์จำนวนตัวเลขนัยสำคัญ ในการคำนวณจึงนิยมให้คงตัวเลขนัยสำคัญให้มีความละเอียดมากที่สุดจนกระทั่งใน

การแสดงคำตอบเพื่อรายงานผลลัพธ์จากการคำนวณจึงแสดงตัวเลขที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญที่เหมาะสม ทั้งนี้ เมื่อจำเป็นจะต้องมีการนำผลลัพธ์จากการคำนวณที่ได้ไปใช้ในการบวก ลบ คูณและหารกับตัวเลขอื่นอีกครั้ง ก็ควรจะเลือกใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณ เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดได้จากการปรับตัวเลขให้มีจำนวนเลขนัยสำคัญที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น การหาปริมาตรของวัตถุที่มีความกว้าง ยาว และสูง เท่ากับ 2.2 3.21 และ 1.25 เซนติเมตร ตามลำดับ สามารถหาได้จาก $2.2 \text{ cm} \times 3.25 \text{ cm} \times 1.24 \text{ cm} = 8.866 \text{ cm}^3$ เนื่องจากจำนวนเลขนัยสำคัญน้อยที่สุดในการคำนวณ คือ 2 ตัว ดังนั้น คำตอบเพื่อแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ คือ 8.9 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าวัตถุดังกล่าวมีมวล 26.19 กรัม เมื่อนำผลจากการคำนวณหาปริมาตรของวัตถุดังกล่าวมาหาความหนาแน่นซึ่งเท่ากับ มวลหารด้วยปริมาตร จะเป็นไปได้อย่างน้อย 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ใช้ตัวเลขจากคำตอบซึ่งมีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว จะได้ $26.19 \text{ g} \div 8.9 \text{ cm}^3 = 2.9427 \text{ g/cm}^3$ เนื่องจากจำนวนเลขนัยสำคัญน้อยที่สุดในการคำนวณ คือ 2 ตัว ดังนั้น วัตถุมีความหนาแน่นเท่ากับ 2.9 g/cm^3

กรณีที่ 2 ใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณ จะได้ $26.19 \text{ g} \div 8.866 \text{ cm}^3 = 2.95398 \text{ g/cm}^3$ ดังนั้น เนื่องจากจำนวนเลขนัยสำคัญน้อยที่สุดในการคำนวณหาปริมาตร คือ 2 ตัว ดังนั้น วัตถุมีความหนาแน่นเท่ากับ 3.0 g/cm^3

จะเห็นว่า ทั้ง 2 กรณีให้คำตอบที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ คำตอบที่เหมาะสมคือ 3.0 g/cm^3 ซึ่งเป็นการคำนวณในกรณีที่ 2 เพราะเป็นการเลือกใช้ค่าที่ยังไม่ได้มีการปรับตัวเลขนัยสำคัญให้เหมาะสม ตัวเลขในกรณีที่ 1 จึงมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการปรับตัวเลขนัยสำคัญทุกครั้งที่มีการคำนวณ ถ้าหากมีการนำตัวเลขดังกล่าวไปคำนวณด้วยวิธีการปรับตัวเลขนัยสำคัญต่อไปเรื่อย ๆ ก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้นซึ่งอาจจะส่งผลต่อการนำผลลัพธ์จากการคำนวณไปใช้งานที่ต้องการความถูกต้องสูงได้ ดังนั้น ในการคำนวณนอกจากจะต้องพิจารณาจำนวนตัวเลขนัยสำคัญให้เหมาะสมแล้ว จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงผลของการปรับจำนวนตัวเลขนัยสำคัญที่มีต่อความคลาดเคลื่อนของข้อมูลด้วย

แนวการวัดและการประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติทางฟิสิกส์ จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 1.2 และการทำแบบฝึกหัด 1.2
2. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการการระบุหน่วยและการเปลี่ยนหน่วย
3. จิตวิทยาศาสตร์/เจตคติด้านความมีเหตุผล และความรอบคอบ จากการอภิปรายร่วมกัน และจากการทำแบบฝึกหัด 1.2



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 1.2

1. จงระบุหน่วยของปริมาณต่อไปนี้ในระบบเอสไอ

ก. ความสูง ข. พื้นที่ ค. ปริมาตร ง. ความหนาแน่น จ. พลังงาน

แนวคำตอบ ก. เมตร (m) ข. ตารางเมตร (m^2) ค. ลูกบาศก์เมตร (m^3)

ง. กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) จ. จูล (J)

2. จงเขียนเวลา 18000 วินาที ให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์

แนวคำตอบ 1.8×10^4 วินาที

3. ถ้านักเรียนต้องการวัดความหนาของแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ จะใช้เครื่องมืออะไรในการวัดจึงจะได้ค่าที่ละเอียดดีพอ

แนวคำตอบ ไมโครมิเตอร์

4. จงบอกว่าเครื่องมือวัดต่าง ๆ ที่ให้ผลการวัด ดังนี้มีช่องสเกลที่ความละเอียดเท่าใด

ก. 15.000 m ข. 0.250 g ค. 3.45 N ง. $27.5^\circ C$ จ. 0.100439

แนวคำตอบ ก. 0.01 m ข. 0.01 g ค. 0.1 N ง. $1^\circ C$

5. จำนวนต่อไปนี้มีเลขนัยสำคัญกี่ตัว ได้แก่วัดเลขใดบ้าง

ก. 1.879 ข. 2.1 ค. 0.00512 ง. 186000 จ. 0.100439

แนวคำตอบ ก. 4 ตัว ได้แก่ 1, 8, 7 และ 9

ข. 2 ตัว ได้แก่ 2 และ 1

ค. 3 ตัว ได้แก่ 5, 1 และ 2

ง. ไม่สามารถระบุได้ เนื่องจากเลข 0 ที่อยู่หลังตัวเลขอื่นที่เป็นจำนวนเต็ม อาจจะนับหรือไม่นับขึ้นกับความละเอียดของเครื่องวัด อาจมีจำนวนเลขนัยสำคัญดังนี้

3 ตัว ได้แก่ 1, 8 และ 6

หรือ 4 ตัว ได้แก่ 1, 8, 6 และ 0 (ศูนย์ตัวแรกหลังเลข 6)

หรือ 5 ตัว ได้แก่ 1, 8, 6, 0 และ 0

หรือ 6 ตัว ได้แก่ 1, 8, 6, 0, 0 และ 0

จ. 6 ตัว ได้แก่ 1, 0, 0, 4, 3 และ 9

6. ถ้าวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและส่วนสูงของวัตถุทรงกระบอกได้ผลเป็นจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 ตัว และ 3 ตัว ตามลำดับ การรายงานผลการคำนวณหาปริมาตรของวัตถุทรงกระบอกจะมีจำนวนเลขนัยสำคัญกี่ตัว

แนวคำตอบ หาปริมาตรของทรงกระบอกจาก $\frac{1}{4}\pi d^2 h$ เมื่อ d เป็นเส้นผ่านศูนย์กลาง และ h เป็นความสูง ผลคูณของปริมาณที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญไม่เท่ากัน ในที่นี้ คือ 4 ตัว และ 3 ตัว ผลการคำนวณจะมีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับปริมาณที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด นั่นคือปริมาตรของทรงกระบอกจะมีจำนวนเลขนัยสำคัญ 3 ตัว



เฉลยแบบฝึกหัด 1.2

1. จงเปลี่ยนหน่วยของปริมาณต่อไปนี้

ก. 0.567 เมตร ให้มีหน่วยเป็นกิโลเมตรและมิลลิเมตร

ข. 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

วิธีทำ ก. จาก $1 \text{ km} = 10^3 \text{ m}$ ดังนั้น $1 \text{ m} = 10^{-3} \text{ km}$

จะได้ $0.567 \text{ m} = 0.567 \times 10^{-3} \text{ km}$

จาก $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ ดังนั้น $1 \text{ m} = 10^3 \text{ mm}$

จะได้ $0.567 \text{ m} = 0.567 \times 10^3 \text{ mm}$

ข. จาก $1 \text{ m} = 10^2 \text{ cm}$ ดังนั้น $1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$ นั่นคือ $1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$

จะได้ $2 \text{ cm}^3 = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

ตอบ ก. 0.567 เมตร เท่ากับ 0.000567 กิโลเมตร และ 567 มิลลิเมตร

ข. 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร เท่ากับ 0.000002 ลูกบาศก์เมตร

2. จงเขียนปริมาณต่อไปนี้ โดยใช้คำนำหน้าหน่วย

ก. มวล 46000 กรัม ให้มีหน่วย กิโลกรัม

ข. กระแสไฟฟ้า 0.155 แอมแปร์ ให้มีหน่วย มิลลิแอมแปร์

ค. เวลา 0.000014 วินาที ให้มีหน่วย ไมโครวินาที

ง. ความยาว 0.000000025 เมตร ให้มีหน่วย นาโนเมตร

วิธีทำ ก. มวล 46000 g

$$\begin{aligned} 46000 \text{ g} &= 46 \times 10^3 \text{ g} \\ &= 46 \text{ kg} \end{aligned}$$

ข. กระแสไฟฟ้า 0.155 A

$$\begin{aligned} 0.155 \text{ A} &= 155 \times 10^{-3} \text{ A} \\ &= 155 \text{ mA} \end{aligned}$$

ค. เวลา 0.000014 s

$$\begin{aligned} 0.000014 \text{ s} &= 14 \times 10^{-6} \text{ s} \\ &= 14 \mu\text{s} \end{aligned}$$

ง. จาก $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ดังนั้น $1 \text{ m} = 10^9 \text{ nm}$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ ความยาว } 0.000000025 \text{ m} &= 0.000000025 \times 10^9 \text{ nm} \\ &= 25 \text{ nm} \end{aligned}$$

ตอบ ก. มวล 46000 กรัม เท่ากับ 46 กิโลกรัม

ข. กระแสไฟฟ้า 0.155 แอมแปร์ เท่ากับ 155 มิลลิแอมแปร์

ค. เวลา 0.000 014 วินาที เท่ากับ 14 ไมโครวินาที

ง. ความยาว 0.000000025 เมตร เท่ากับ 25 นาโนเมตร

3. เด็กคนหนึ่งวิ่งด้วยอัตราเร็ว 2.0 เมตรต่อวินาที คิดเป็นอัตราเร็วเท่าใด ในหน่วยกิโลเมตรต่อชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{อัตราเร็ว } 2.0 \text{ m/s} &= 2.0 \left(\frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}} \right) \\ &= 2.0 \left(\frac{1 \times 10^{-3} \text{ km}}{\frac{1}{60 \times 60} \text{ h}} \right) \\ &= 2.0 \left(\frac{3600}{10^3} \frac{\text{km}}{\text{h}} \right) \\ &= 7.2 \text{ km/h} \end{aligned}$$

ตอบ อัตราเร็ว 2.0 เมตรต่อวินาที เท่ากับ 7.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

4. จงเขียนปริมาณต่อไปนี้ในรูปสัญลักษณ์วิทยาศาสตร์

ก. ความยาวคลื่นเลเซอร์เท่ากับ 0.0000006328 เมตร

ข. อุณหภูมิใจกลางดาวฤกษ์ดวงหนึ่งมีค่าสี่ล้านเคลวิน

วิธีทำ ก. หาความยาวคลื่นเลเซอร์

$$\begin{aligned}\text{ความยาวคลื่นเลเซอร์} &= 0.0000006328 \text{ m} \\ &= 6.328 \times 10^{-7} \text{ m}\end{aligned}$$

ข. หาอุณหภูมิใจกลางดาวฤกษ์ดวงหนึ่ง

$$\begin{aligned}\text{อุณหภูมิใจกลางดาวฤกษ์} &= 20000000 \text{ K} \\ &= 2 \times 10^7 \text{ K}\end{aligned}$$

ตอบ ก. ความยาวคลื่นเลเซอร์ เท่ากับ 6.328×10^{-7} เมตร

ข. อุณหภูมิใจกลางดาวฤกษ์ดวงหนึ่ง เท่ากับ 2×10^7 เคลวิน

5. สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล พบว่าอายุคาดเฉลี่ยของคนไทยในปี 2560 เป็น 75.4 ปี ถ้าแสดงปริมาณนี้ในหน่วยเมกะวินาที และจิกะวินาที จะเขียนได้อย่างไร (กำหนดให้ 1 ปี เท่ากับ 365.25 วัน)

วิธีทำ กำหนดให้ 1 ปี เท่ากับ 365.25 วัน

$$\begin{aligned}\text{อายุคาดเฉลี่ย} &\cong 74.4 \text{ y} \\ &\cong (75.4 \text{ y}) (365.25 \text{ d/y}) (24 \text{ h/d}) (60 \text{ min/h}) (60 \text{ s/min}) \\ &\cong 2379443040 \text{ s}\end{aligned}$$

หาอายุคาดเฉลี่ยในหน่วยเมกะวินาที

$$\begin{aligned}\text{อายุคาดเฉลี่ย} &\cong 2379 \times 10^6 \text{ s} \\ &\cong 2379 \text{ Ms}\end{aligned}$$

หาอายุคาดเฉลี่ยในหน่วยจิกะวินาที

$$\begin{aligned}\text{อายุคาดเฉลี่ย} &\cong 2379 \times 10^9 \text{ s} \\ &\cong 2.379 \text{ Gs}\end{aligned}$$

ตอบ อายุคาดเฉลี่ยประมาณ 2380 เมกะวินาที และ 2.38 จิกะวินาที

1.3 การทดลองทางฟิสิกส์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกความสำคัญของการทดลองและรายงานผลการทดลอง
2. บันทึกผลการวัดโดยใช้ค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย
3. อธิบายความสำคัญของสมการเชิงเส้น และสามารถจัดสมการที่ไม่อยู่ในรูปเชิงเส้นให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น พร้อมทั้งเขียนกราฟและหาค่าของปริมาณจากกราฟเส้นตรงได้

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
ฟิสิกส์เขียนกราฟเพื่อหาความชันเท่านั้น	การเขียนกราฟในวิชาฟิสิกส์มีการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย เช่น การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร การหาความชันของเส้นกราฟ การหาจุดตัดแกน x หรือแกน y การหาพื้นที่ใต้กราฟ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการทดลองทางวิทยาศาสตร์ในประเด็นต่อไปนี้

- การทดลองทางวิทยาศาสตร์มีความสำคัญอย่างไร
- การวิเคราะห์ผลการทดลองทางวิทยาศาสตร์ทำได้อย่างไร
- รายงานการทดลองทางวิทยาศาสตร์ที่ดีมีลักษณะอย่างไร

ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบคำถามอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้น ครูให้ความรู้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนเรื่องการทดลองทางฟิสิกส์ การรายงานความคลาดเคลื่อน และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

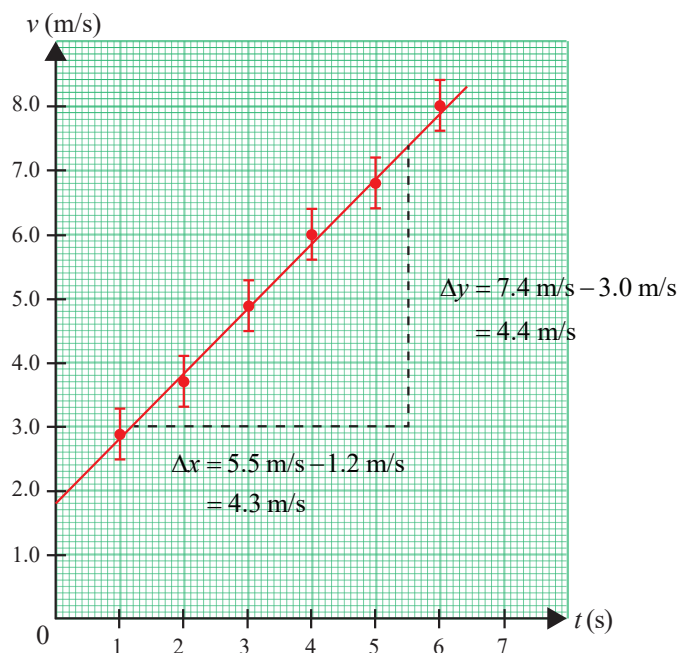
- ตัวอย่างการวิเคราะห์ผลการทดลอง

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว (v) กับเวลา (t) ในการเคลื่อนที่ของวัตถุสามารถบันทึกข้อมูลได้ดังตาราง

ตาราง 1.1 ผลการทดลองการวัดอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ

เวลา (s)	ความเร็ว (m/s)
1	2.9 ± 0.4
2	3.7 ± 0.4
3	4.9 ± 0.4
4	6.0 ± 0.4
5	6.8 ± 0.4
6	8.9 ± 0.4

เมื่อนำผลการทดลองข้างต้นมาเขียนกราฟโดยให้เวลาเป็นแกนนอน และอัตราเร็วเป็นแกนตั้ง จะได้ดังรูป



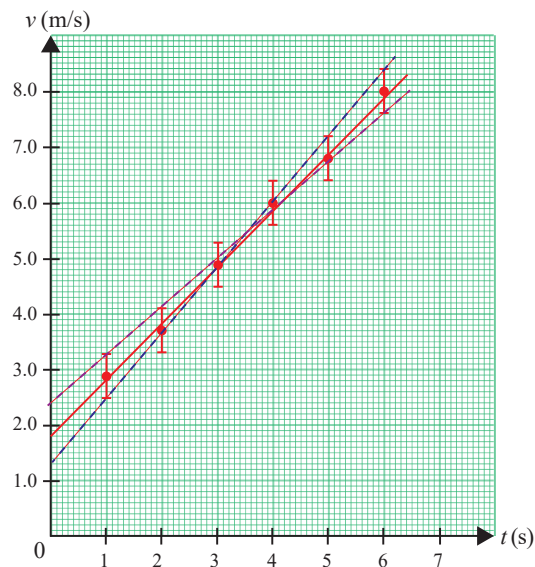
รูป 1.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว (v) กับเวลา (t) ในการเคลื่อนที่ของวัตถุ

พบว่า กราฟมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง จึงเขียนเส้นกราฟโดยเขียนเส้นตรงให้ผ่านชุดข้อมูล (รวมค่าคลาดเคลื่อน) ให้มากที่สุด โดยสามารถหาความชันจากกราฟและจุดตัดแกนได้ดังนี้

$$\text{ความชัน} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{4.4 \text{ m/s}}{4.3 \text{ s}} = 1.0233 \text{ m/s}^2$$

กราฟตัดแกนตั้งที่ $v = 1.8 \text{ m/s}$

ในการหาความคลาดเคลื่อนความชันสามารถเขียนเส้นตรงอีก 2 เส้น ที่มีความชันมากที่สุด และความชันน้อยสุด ในกรณีที่ข้อมูลกระจายมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง นอกจากใช้วิธีการลากเส้นให้ผ่านตำแหน่งค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดกับต่ำสุดของแถบคลาดเคลื่อนให้ได้มากที่สุดตามรายละเอียดในหนังสือเรียนแล้ว ยังสามารถใช้วิธีการลากเส้นตรงที่มีความชันมากที่สุดโดยใช้ค่าคลาดเคลื่อนต่ำสุดของข้อมูลชุดแรกกับค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดของข้อมูลชุดสุดท้าย และลากเส้นตรงที่มีความชันน้อยสุดโดยใช้ค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดของข้อมูลชุดแรกกับค่าคลาดเคลื่อนต่ำสุดของข้อมูลชุดสุดท้าย ดังรูป



รูป 1.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว (v) กับเวลา (t) ในการเคลื่อนที่ของวัตถุ

จากรูป พิจารณาเส้นประสีน้ำเงินซึ่งมีความชันมากที่สุด จะได้

$$\text{ความชันมากที่สุด} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{8.4 \text{ m/s} - 2.5 \text{ m/s}}{6 \text{ s} - 1 \text{ s}} = 1.18 \text{ m/s}^2$$

กราฟตัดแกนตั้งที่ $v = 2.40 \text{ m/s}$

พิจารณาเส้นประสีม่วงซึ่งมีความชันน้อยที่สุด จะได้

$$\text{ความชันน้อยที่สุด} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{7.6 \text{ m/s} - 3.3 \text{ m/s}}{6 \text{ s} - 1 \text{ s}} = 0.86 \text{ m/s}^2$$

$$\text{กราฟตัดแกนตั้งที่} \quad v = 1.30 \text{ m/s}$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad \text{ค่าคลาดเคลื่อนของความชัน} = \frac{1}{2} (\text{ความชันมาก} - \text{ความชันน้อย})$$

$$= \frac{(1.18 - 0.86) \text{ m/s}^2}{2}$$

$$= 0.16 \text{ m/s}^2$$

$$\text{ค่าคลาดเคลื่อนของจุดตัดแกนตั้ง} = \frac{1}{2} (\text{จุดตัดสูง} - \text{จุดตัดต่ำ})$$

$$= \frac{(2.40 - 1.30) \text{ m/s}}{2}$$

$$= 0.55 \text{ m/s}$$

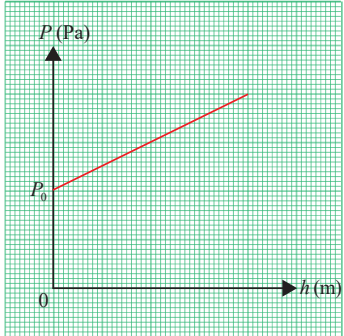
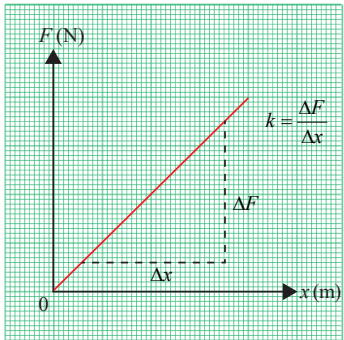
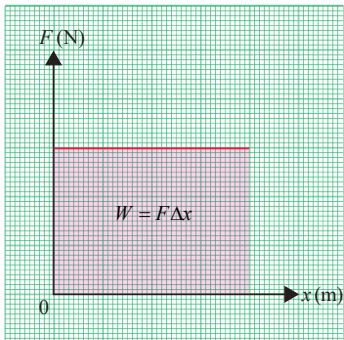
ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว (v) กับเวลา (t) ในการเคลื่อนที่ของวัตถุ สามารถแสดงได้ด้วยสมการเส้นตรง

$$v = (1.02 \pm 0.16 \text{ m/s}^2)t - (1.80 \pm 0.55 \text{ m/s})$$

- ตัวอย่างการวิเคราะห์กราฟทางฟิสิกส์

การวิเคราะห์กราฟทางฟิสิกส์นอกจากช่วยบอกความสัมพันธ์ในรูปของสมการเชิงเส้นแล้ว ยังมีการนำข้อมูลเกี่ยวกับกราฟไปใช้ประโยชน์อื่นๆ อีก เช่น จุดตัดแกน ความชัน และพื้นที่ใต้กราฟ ดังตาราง 1.2

ตาราง 1.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์กราฟทางฟิสิกส์

การวิเคราะห์	ตัวอย่างการวิเคราะห์	ตัวอย่างกราฟ
1. จุดตัดแกน	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำของของเหลว (P) กับระดับความลึกจากผิวของเหลว (h) จะได้เป็นกราฟเส้นตรงที่มีความสัมพันธ์คือ $P = P_0 + \rho gh$ เมื่อพิจารณาจุดที่กราฟตัดแกนตั้งจะมีค่าเท่ากับ P_0 ซึ่งคือ <u>ความดันบรรยากาศ</u>	
2. ความชัน	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ดึงสปริงที่ยืดออก (F) กับระยะยืดของสปริง Δx จะได้เป็นกราฟเส้นตรงที่มีความสัมพันธ์คือ $F = k\Delta x$ เมื่อพิจารณาความชันของเส้นกราฟจะมีค่าเท่ากับ<u>ค่าคงที่ของสปริง</u>ซึ่ง เป็นไปตามสมการ $k = \frac{F}{\Delta x}$	
3. พื้นที่ใต้กราฟ	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อวัตถุ (F) กับระยะทาง Δx จะได้เป็นกราฟเส้นตรง เมื่อพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟจะมีค่าเท่ากับ<u>งาน</u>เนื่องจากแรงที่กระทำด้วยวัตถุ ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ $W = F\Delta x$	

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติทางฟิสิกส์ จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 1.3 และการทำแบบฝึกหัด 1.3
2. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการการระบุหน่วยและการเปลี่ยนหน่วย
3. จิตวิทยาศาสตร์/เจตคติด้านความมีเหตุผล และความรอบคอบ จากการอภิปรายร่วมกันและจากการทำแบบฝึกหัด 1.3



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 1.3

1. เพราะเหตุใด การวัดปริมาณหนึ่ง ๆ ต้องวัดซ้ำหลายครั้ง และการรายงานผลการวัดจะอยู่ในรูปแบบใด

แนวคำตอบ การวัดปริมาณต่าง ๆ จะเกิดความคลาดเคลื่อนเสมอ จึงต้องวัดซ้ำหลายครั้ง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนให้เหลือน้อยที่สุด การรายงานผลการวัดจะอยู่ในรูป $\bar{x} \pm \Delta\bar{x}$ เมื่อ $\bar{x}$ เป็นค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นตัวแทนของผลการวัดชุดนั้น และ $\Delta\bar{x}$ เป็นความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นขอบเขตของความคลาดเคลื่อนของผลการวัดชุดนั้น

2. ถ้าการทดลองหนึ่งได้ข้อมูลสองชุดคือ (4.65 ± 0.01) mg และ (4.65 ± 0.02) mg ตามลำดับ ผลการทดลองใดมีความน่าเชื่อถือมากกว่า เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ผลการทดลองแรก มวลที่วัดได้อยู่ในขอบเขต 4.64 mg ถึง 4.66 mg ส่วนผลการทดลองที่สอง มวลที่วัดได้อยู่ในขอบเขต 4.63 mg ถึง 4.67 mg ดังนั้น ผลการทดลองแรกมีความน่าเชื่อถือมากกว่าเพราะผลการทดลองแรกมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าผลการทดลองที่สอง

3. ในการทดลองเพื่อหาความยาวโฟกัสของเลนส์นูน ได้รายงานผลการวัดดังนี้

ความยาวโฟกัสของเลนส์นูน เท่ากับ $15.0 \text{ cm} \pm 1 \text{ mm}$

การรายงานผลการวัดดังกล่าวเหมาะสมหรือไม่ ถ้าไม่จะต้องรายงานผลอย่างไร

แนวคำตอบ การรายงานผลการวัดความยาวโฟกัสของเลนส์นูน เป็น $15.0 \text{ cm} \pm 1 \text{ mm}$ จะเห็นว่า หน่วยทั้งสองไม่เหมือนกัน การรายงานผลการวัดดังกล่าวจึงไม่เหมาะสม ควรรายงานผลโดยให้ใช้หน่วยเดียวกัน ดังนี้ ความยาวโฟกัสของเลนส์นูน เท่ากับ $15.0 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$

4. สมการเส้นตรงมีความสำคัญต่อการศึกษาทางฟิสิกส์อย่างไร

แนวคำตอบ สมการเส้นตรงสามารถหาค่าคงตัวได้จากความชัน และระยะตัดแกนตั้ง ซึ่งสามารถนำไปแปลความหมายในทางฟิสิกส์ตามความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องได้ เช่น เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว v และเวลา t ได้เป็นกราฟเส้นตรง โดยความชันของกราฟ เมื่อแปลความหมายในทางฟิสิกส์คือความเร่ง a แสดงว่าวัตถุดังกล่าวเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว และจุดตัดแกนตั้ง คือ ความเร็วต้น u

5. การทดลองและการรายงานผลการทดลองทางฟิสิกส์มีความสำคัญอย่างไร

แนวคำตอบ การทดลองเป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำเพื่อตอบคำถาม หรือเพื่อหาความจริงบางอย่าง จำเป็นต้องคิดหาวิธีการทดลองที่เหมาะสม ทำการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลต่าง ๆ วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสรุปเป็นคำตอบ ส่วนการรายงานผลการทดลองทางฟิสิกส์เป็นการแสดงรายละเอียดของการทดลองและสรุปผลการทดลอง ดังนั้น การเขียนรายงานการทดลองจึงเป็นหลักฐานที่แสดงว่าการทดลองมีความน่าเชื่อถือเพียงใด



เฉลยแบบฝึกหัด 1.3

1. ในการวัดเวลาของการตกแบบเสรีของวัตถุจากที่สูง 20 เมตร จำนวน 6 ครั้ง ได้ผลการวัดดังนี้

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6
t (s)	2.2	2.1	1.9	2.1	1.8	2.0

ก. จงหาค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนี้

ข. จงแสดงผลการบันทึกผลการทดลองหาเวลาของการตกแบบเสรีของวัตถุ

วิธีทำ ก.

$$\begin{aligned}\bar{t} &= \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} \\ &= \frac{2.2 \text{ s} + 2.1 \text{ s} + 1.9 \text{ s} + 2.1 \text{ s} + 1.8 \text{ s} + 2.0 \text{ s}}{6}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{12.1 \text{ s}}{6} \\
 &= 2.02 \text{ s} \\
 \bar{t} &= 2.0 \text{ s} \text{ ถือว่าเป็นค่าเฉลี่ยของเวลาจากการวัด 6 ครั้ง} \\
 \Delta \bar{t} &= \frac{t_{\max} - t_{\min}}{2} \\
 &= \frac{2.2 \text{ s} - 1.8 \text{ s}}{2} \\
 \Delta \bar{t} &= 0.2 \text{ s} \text{ ถือว่าเป็นความคลาดเคลื่อนของเวลาจากการวัดทั้ง 6 ครั้ง}
 \end{aligned}$$

ข. ผลการทดลองหาเวลาของการตกแบบเสรีของวัตถุ แสดงได้ในรูป $\bar{t} \pm \Delta \bar{t}$
 จะได้ เวลาของการตกแบบเสรีของวัตถุ = $2.0 \text{ s} \pm 0.2 \text{ s}$

ตอบ ก. ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนี้ เท่ากับ 2.0 วินาที และความคลาดเคลื่อนของข้อมูลชุดนี้ เท่ากับ 0.2 วินาที

ข. เวลาของการตกแบบเสรีของวัตถุ เท่ากับ 2.0 ± 0.2 วินาที

2. สมการ $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบ T และความยาวเชือก l โดย g และ π เป็นค่าคงตัว จงแสดงสมการนี้ให้อยู่ในรูปสมการของกราฟเส้นตรง จากนั้นหาเทอมที่เป็นความชันและระยะตัดแกนตั้ง

วิธีทำ จัดสมการ $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ให้อยู่ในรูปสมการของกราฟเส้นตรง

จะได้
$$2\pi = \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

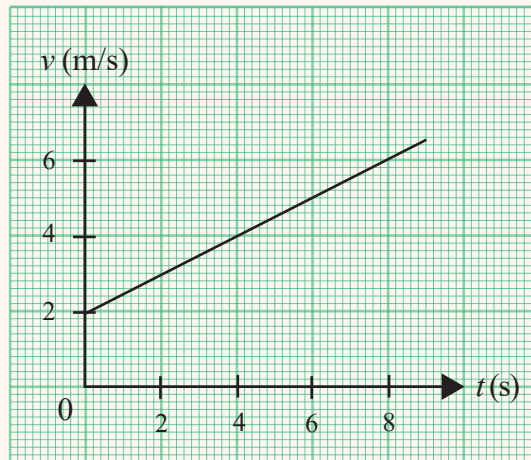
เทียบกับสมการของกราฟเส้นตรง $y = mx + c$

จะเห็นว่า (1) เป็นสมการของกราฟเส้นตรงที่มีความชัน $m = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}$

และจุดตัดแกนตั้ง $c = 0$

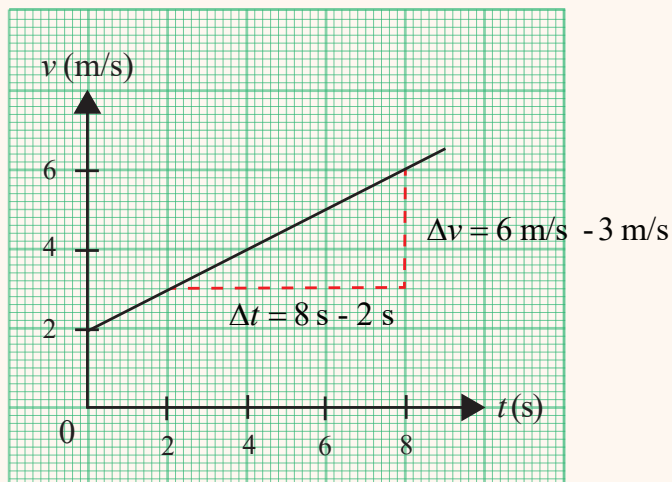
ตอบ สมการ $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ เป็นสมการเส้นตรงที่มีความชัน $\frac{2\pi}{\sqrt{g}}$ และจุดตัดแกนตั้ง $c = 0$

3. กราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุ เป็นดังรูป



รูปสำหรับแบบฝึกหัด 1.3 ข้อ 3

ความเร่งของวัตถุ ซึ่งหาได้จากความชันของกราฟมีค่าเท่าใด



วิธีทำ หาความชันของกราฟ ดังรูป

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้} \quad \text{ความชัน} &= \frac{\Delta y}{\Delta x} \\
 &= \frac{6 \text{ m/s} - 3 \text{ m/s}}{8 \text{ s} - 2 \text{ s}}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{3 \text{ m/s}}{6 \text{ s}}$$

$$= 0.5 \text{ m/s}^2$$

ดังนั้นวัตถุมีความเร่ง

ตอบ วัตถุมีความเร่ง 0.5 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1

?? | คำถาม

1. จงยกตัวอย่างความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ที่ถือว่าเป็นความรู้ทางฟิสิกส์

แนวคำตอบ การเคลื่อนที่ แรงลัพธ์และผลของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ กฎการอนุรักษ์พลังงาน สมดุลความร้อน พลังงานไฟฟ้า การต่อวงจรไฟฟ้า คลื่น สมบัติของคลื่น แสงทัศนอุปกรณ์

2. มนุษย์พัฒนาความรู้ของตนเองอย่างไรเพื่อให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติได้

แนวคำตอบ การพัฒนาความรู้เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ เริ่มจากความสงสัยและต้องการหาคำตอบ ทำให้มีการสังเกตและบันทึกข้อมูลสิ่งที่ต้องการศึกษา ทำการทดลองและรวบรวมข้อมูลจากการวัด และลงข้อสรุปจากข้อมูลที่ได้ รวมทั้งยังมีการสร้างแบบจำลองทางความคิดและการนำคณิตศาสตร์มาใช้ในการหาความรู้ ทำให้ค้นพบความรู้ใหม่ที่สามารถอธิบายและทำนายปรากฏการณ์ธรรมชาติได้ ซึ่งความรู้เหล่านี้ มนุษย์นำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวัน

3. จงยกตัวอย่างสิ่งประดิษฐ์ทางฟิสิกส์ โดยจำแนกตามการใช้งานในแต่ละหัวข้อต่อไปนี้

ก. การสื่อสาร ข. พลังงาน ค. การคมนาคมขนส่ง ง. การแพทย์

แนวคำตอบ ความรู้ทางฟิสิกส์มีส่วนทำให้เกิดสิ่งประดิษฐ์ที่มีประโยชน์ต่อมนุษยชาติในด้านต่าง ๆ มากมาย ดังตัวอย่าง

ก. การสื่อสาร เช่น โทรศัพท์ วิทยุ โทรทัศน์ โทรศัพท์

ข. พลังงาน เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เซลล์สุริยะ เซลล์เชื้อเพลิง

ค. การคมนาคมขนส่ง เช่น รถไฟความเร็วสูง รถยนต์ไฟฟ้า เรือ เครื่องบิน

ง. การแพทย์ เช่น เครื่องวัดความดันโลหิต เอกซเรย์ อัลตราซาวด์ เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เครื่องเอ็มอาร์ไอ

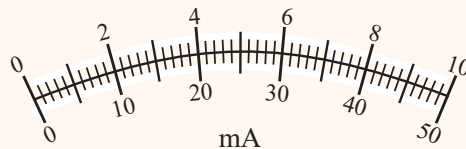
4. ความเร็วและพลังงานเป็นปริมาณฐานหรือปริมาณอนุพัทธ์ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ปริมาณฐานมี 7 ปริมาณ ได้แก่ ความยาว มวล เวลา กระแสไฟฟ้า ปริมาตร อุณหภูมิอุณหภูมิพลวัต และความเข้มของการส่องสว่างปริมาณนอกเหนือจากนี้เป็นปริมาณอนุพัทธ์ ดังนั้นความเร็วและพลังงานเป็นปริมาณอนุพัทธ์ โดยความเร็วมีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s) และพลังงานมีหน่วย จูล (J) ซึ่งไม่ใช่หน่วยฐาน

5. ปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อความถูกต้องในการวัด

แนวคำตอบ เครื่องมือวัด วิธีการวัด ประสบการณ์ของผู้วัด และสภาพแวดล้อม

6. รูปแสดงสเกลของแอมมิเตอร์ สเกลบนอ่านค่าได้สูงสุด 10 มิลลิแอมแปร์ สเกลล่างอ่านค่าได้สูงสุด 50 มิลลิแอมแปร์



รูปสำหรับคำถามข้อ 6

ถ้าการคำนวณกระแสไฟฟ้าในวงจรหนึ่ง พบว่ามีค่าประมาณ 5 มิลลิแอมแปร์ ในการวัดกระแสไฟฟ้าจริงในวงจรนั้น ควรเลือกใช้สเกลใด เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ สเกลบนมีความละเอียด 0.2 mA ส่วนสเกลล่างมีความละเอียด 1.0 mA จึงควรเลือกใช้สเกลบน เพราะค่าที่ได้จากการวัดมีความละเอียดมากกว่า

7. จำนวนต่อไปนี้ มีจำนวนเลขนัยสำคัญกี่ตัว ประกอบด้วยตัวเลขอะไรบ้าง

ก. 0 ข. 0.0 ค. 0.00 ง. 0.057 จ. 0.507 ฉ. 0.570

แนวคำตอบ ก. ไม่มี

ข. ไม่มี

ค. ไม่มี

ง. 2 ตัว ได้แก่ 5 และ 7

จ. 3 ตัว ได้แก่ 5, 0 และ 7

ฉ. 3 ตัว ได้แก่ 5, 7 และ 0

8. จงแปลงจำนวนต่อไปนี้ให้มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

ก. 17.93 ข. 645.40 ค. 4.8603

ง. 0.20007 จ. 8.465 ฉ. 2.011

แนวคำตอบ ก. 17.9 ข. 645 ค. 4.86

ง. 0.200 จ. 8.47 ฉ. 2.01

9. สมการ $v_t = v_0 + \alpha t$ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของเสียง v_t ในอากาศ และอุณหภูมิ t (ในหน่วยองศาเซลเซียส) และ v_0 เป็นค่าคงตัว α สมการนี้เป็นสมการเชิงเส้นหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ สมการ $v_t = \alpha t + v_0$ เป็นสมการเชิงเส้น เพราะ เมื่อจัดสมการเป็นจะอยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น $y = mx + c$ โดยมีความชัน $m = \alpha$ และระยะตัดแกนตั้ง $c = v_0$

Ⓕ | ปัญหา

1. จงเปลี่ยนหน่วยของปริมาณต่อไปนี้ให้อยู่ในหน่วยมิลลิเมตร

ก. 1.5 เมตร ข. 25.2 เซนติเมตร ค. 10 ไมโครเมตร ง. 0.5 เดซิเมตร

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{ก. } 1.5 \text{ m} &= 1.5 \times 10^3 \text{ mm} \\ &= 1500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ข. } 25.2 \text{ cm} &= 25.2 \times 10^{-2} \text{ m} \\ &= 25.2 \times 10^{-2} \times 10^3 \text{ mm} \\ &= 252 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค. } 10 \text{ } \mu\text{m} &= 10 \times 10^{-6} \text{ m} \\ &= 10 \times 10^{-6} \times 10^3 \text{ mm} \\ &= 0.01 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ง. } 0.5 \text{ dm} &= 0.5 \times 10^{-1} \text{ m} \\ &= 0.5 \times 10^{-1} \times 10^3 \text{ mm} \\ &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

ตอบ ก. 1.5 เมตร เท่ากับ 1500 มิลลิเมตร

ข. 25.2 เซนติเมตร เท่ากับ 252 มิลลิเมตร

ค. 10 ไมโครเมตร เท่ากับ 0.01 มิลลิเมตร

ง. 0.5 เดซิเมตร เท่ากับ 50 มิลลิเมตร

2. จงระบุจำนวนเลขนัยสำคัญของปริมาณต่อไปนี้ แล้วเขียนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ที่มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว และ 2 ตัว

ก. $10.23 \mu\text{s}$ ข. 384400 km ค. 3300Ω ง. 0.0120 V

ตอบ ก. มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว ได้แก่ 1, 0, 2 และ 3

$$\text{จาก } 10.23 \mu\text{s} = 10.23 \times 10^{-6} \text{ s}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } 10.23 \mu\text{s} &= 1.02 \times 10^{-5} \text{ s} \quad \text{มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ได้แก่ 1, 0 และ 2} \\ &= 1.0 \times 10^{-5} \text{ s} \quad \text{มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ได้แก่ 1 และ 0} \end{aligned}$$

ข. 384400 km มีเลขนัยสำคัญ 4 หรือ 5 หรือ 6 ตัว

$$\text{จาก } 384400 \text{ km} = 3.84400 \times 10^5 \text{ km}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } 384400 \text{ km} &= 3.84 \times 10^5 \text{ km} \quad \text{มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ได้แก่ 3, 8 และ 4} \\ &= 3.8 \times 10^5 \text{ km} \quad \text{มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ได้แก่ 3 และ 8} \end{aligned}$$

ค. 3300Ω มีเลขนัยสำคัญ 2 หรือ 3 หรือ 4 ตัว

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } 3300 \Omega &= 3.30 \times 10^3 \Omega \quad \text{มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ได้แก่ 3, 3 และ 0} \\ &= 3.3 \times 10^3 \Omega \quad \text{มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ได้แก่ 3 และ 3} \end{aligned}$$

ง. 0.0120 V มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ได้แก่ 1, 2 และ 0

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } 0.0120 \text{ V} &= 1.20 \times 10^{-2} \text{ V} \quad \text{มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ได้แก่ 1, 2 และ 0} \\ &= 1.2 \times 10^{-2} \text{ V} \quad \text{มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ได้แก่ 1 และ 2} \end{aligned}$$

3. จงหาผลลัพธ์ของการบวกและการลบต่อไปนี้ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์

ก. $(3.0 \times 10^4 \text{ m}) + (1.2 \times 10^4 \text{ m})$ ข. $(7.0 \times 10^4 \text{ m}) + (4.2 \times 10^4 \text{ m})$

ค. $(3.0 \times 10^{-6} \text{ kg}) - (2.8 \times 10^{-6} \text{ kg})$ ง. $(5.7 \times 10^{-6} \text{ s}) - (3.0 \times 10^{-5} \text{ s})$

วิธีทำ ก. $(3.0 \times 10^4 \text{ m}) + (1.2 \times 10^4 \text{ m}) = 4.2 \times 10^4 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{ข. } (7.0 \times 10^4 \text{ m}) + (4.2 \times 10^4 \text{ m}) &= 11.2 \times 10^4 \text{ m} \\ &= 1.12 \times 10^5 \text{ m} \\ &= 1.1 \times 10^5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค. } (3.0 \times 10^{-6} \text{ kg}) - (2.8 \times 10^{-6} \text{ kg}) &= 0.2 \times 10^{-6} \text{ kg} \\
 &= 2.0 \times 10^{-7} \text{ kg} \\
 \text{ง. } (5.7 \times 10^{-6} \text{ s}) - (3.0 \times 10^{-5} \text{ s}) &= (0.57 \times 10^{-5} \text{ s}) - (3.0 \times 10^{-5} \text{ s}) \\
 &= -2.43 \times 10^{-5} \text{ s} \\
 &= -2.4 \times 10^{-5} \text{ s}
 \end{aligned}$$

- ตอบ ก. $4.2 \times 10^4 \text{ m}$
 ข. $1.1 \times 10^5 \text{ m}$
 ค. $2.0 \times 10^{-7} \text{ kg}$
 ง. $-2.4 \times 10^{-5} \text{ s}$

4. จงหาผลลัพธ์ของการคูณและการหารต่อไปนี้ ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์

ก. $(3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})(5.0 \times 10^2 \text{ s})$ ข. $(5 \times 10^2 \text{ m})(1.2 \times 10^3 \text{ m}) (8.2 \times 10^{-1} \text{ m})$

ค. $\frac{3.0 \times 10^6 \text{ kg}}{6.0 \times 10^3 \text{ m}^3}$ ง. $\frac{7.0 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}}{3.5 \times 10^3 \text{ s}}$

วิธีทำ ก. $(3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})(5.0 \times 10^2 \text{ s}) = 15.0 \times 10^{10} \text{ m}$
 $= 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$
 ข. $(5 \times 10^2 \text{ m})(1.2 \times 10^3 \text{ m}) (8.2 \times 10^{-1} \text{ m}) = 49.2 \times 10^4 \text{ m}^3$
 $= 5 \times 10^5 \text{ m}^3$
 ค. $\frac{3.0 \times 10^6 \text{ kg}}{6.0 \times 10^3 \text{ m}^3} = 500 \text{ kg/m}^3$
 $= 5.0 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$
 ง. $\frac{7.0 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}}{3.5 \times 10^3 \text{ s}} = 200 \text{ m/s}^2$
 $= 2.0 \times 10^2 \text{ m/s}^2$

- ตอบ ก. $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$
 ข. $5 \times 10^5 \text{ m}^3$
 ค. $5.0 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$
 ง. $2.0 \times 10^2 \text{ m/s}^2$

5. จงหาผลลัพธ์ต่อไปนี้

ก. $10.5 \text{ s} + 1.27 \text{ s} + 0.006 \text{ s}$

ข. $12.54 \text{ s} - 4.207 \text{ s} - 1.2 \text{ s}$

ค. $(52.50 \text{ kg})(1.25 \text{ m/s})$

ง. $(5.80 \text{ V}) \div (0.10 \text{ A})$

วิธีทำ ก. $10.5 \text{ s} + 1.27 \text{ s} + 0.006 \text{ s} = 11.776 \text{ s}$
 $= 11.8 \text{ s}$

ข. $12.54 \text{ s} - 4.207 \text{ s} - 1.2 \text{ s} = 7.133 \text{ s}$
 $= 7.1 \text{ s}$

ค. $(52.50 \text{ kg})(1.25 \text{ m/s}) = 65.625 \text{ kg m/s}$
 $= 65.6 \text{ kg m/s}$

ง. $(5.80 \text{ V}) \div (0.10 \text{ A}) = 58 \text{ V/A}$

ตอบ ก. 11.8 s

ข. 7.1 s

ค. 65.6 kg m/s

ง. 58 V/A

6. โลกมีรัศมีประมาณ 6.37×10^6 เมตร จงหา

ก. เส้นรอบวงของโลกในหน่วยกิโลเมตร

ข. พื้นที่ผิวของโลกในหน่วยตารางกิโลเมตร

วิธีทำ ก. จาก เส้นรอบวงของโลก $= 2\pi r$
 แทนค่า เส้นรอบวงของโลก $= 2(3.1416)(6.37 \times 10^6 \text{ m})$
 $= 40.024 \times 10^6 \text{ m}$
 $= 4.00 \times 10^4 \text{ km}$

ข. จาก พื้นที่ผิวโลก $= 4\pi r^2$
 แทนค่า พื้นที่ผิวโลก $= 4(3.1416)(6.37 \times 10^6 \text{ m})^2$
 $= 509.906 \times 10^{12} \text{ m}^2$
 $= 5.10 \times 10^{14} \text{ m}^2$
 $= 5.10 \times 10^8 \text{ km}^2$

ตอบ ก. เส้นรอบวงของโลก เท่ากับ 4.00×10^4 กิโลเมตร

ข. พื้นที่ผิวของโลก เท่ากับ 5.10×10^8 ตารางกิโลเมตร

7. วัตถุทรงกระบอกตันทำมาจากทองแดงมีความสูง 20 มิลลิเมตร วัดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 115 มิลลิเมตร วัตถุนี้นี้มีมวลกี่กรัม (ความหนาแน่นของทองแดงเท่ากับ 8.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

วิธีทำ จาก มวล = ความหนาแน่น $\times$ ปริมาตร

$$\begin{aligned}\text{หรือ} \quad m &= \rho \pi r^2 h \\ &= \frac{\rho \pi d^2 h}{4}\end{aligned}$$

เมื่อ ความหนาแน่น $\rho = 8.93 \text{ g/cm}^3$

ความสูง $h = 20 \text{ mm}$

เส้นผ่านศูนย์กลาง $d = 115 \text{ mm}$

จะเห็นว่า หน่วยของ h และ d เป็น mm ต้องเปลี่ยนเป็น cm จะได้

$$h = 20 \text{ mm} = 2.0 \text{ cm}$$

$$d = 115 \text{ mm} = 11.5 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า} \quad m &= (8.93 \text{ g/cm}^3)(3.1416)\left(\frac{1}{4}\right)(11.5 \text{ cm})^2(2.0 \text{ cm}) \\ &= 1855.1 \text{ g} \\ &= 1.9 \times 10^3 \text{ g}\end{aligned}$$

ตอบ วัตถุนี้นี้มีมวล $1.9 \times 10^3 \text{ g}$ กรัม

8. ถังรูปทรงกระบอกใบหนึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 เซนติเมตร สูง 400 เซนติเมตร ถังใบนี้มีปริมาตรกี่ลูกบาศก์เมตร

วิธีทำ จาก ปริมาตรน้ำ = ปริมาตรถังรูปทรงกระบอก

$$\begin{aligned}\text{หรือ} \quad V &= \pi r^2 h \\ &= \frac{\pi d^2 h}{4}\end{aligned}$$

เมื่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง $d = 140 \text{ cm}$

ความสูงของถัง $h = 400 \text{ cm}$

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า} \quad V &= (3.1416)\left(\frac{1}{4}\right)(140 \text{ cm})^2(400 \text{ cm}) \\ &= 6157536 \text{ cm}^3 \\ &= 6157536 \times (10^{-2} \text{ m})^3 \\ &= 6157536 \times 10^{-6} \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$= 6.16 \text{ m}^3$$

ตอบ ถังใบนี้มีปริมาตร 6.16 ลูกบาศก์เมตร

9. อากาศมีความหนาแน่น 1.2×10^{-3} กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่าใดในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{ความหนาแน่นของอากาศ} &= 1.2 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3 \\ &= 1.2 \times 10^{-3} \left(\frac{1 \text{ g}}{1 \text{ cm}^3} \right) \\ &= 1.2 \times 10^{-3} \left(\frac{1 \times 10^{-3} \text{ kg}}{1 \times 10^{-6} \text{ m}^3} \right) \\ &= 1.2 \times 10^{-3} (10^3 \text{ kg/m}^3) \\ &= 1.2 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

ตอบ ความหนาแน่นของอากาศ เท่ากับ 1.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

10. ในการทดลองวัดคาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย ได้ผลดังตาราง

การวัดครั้งที่	1	2	3	4	5
คาบที่วัดได้ (s)	2.5	2.4	2.7	2.6	2.4

ก. จงหาค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย

ข. จงแสดงการบันทึกผลการทดลองวัดคาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ ก. จาก} \quad \bar{T} &= \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_N}{N} \\ \text{จะได้} \quad \bar{T} &= \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_5}{5} \\ &= \frac{2.5 \text{ s} + 2.4 \text{ s} + 2.7 \text{ s} + 2.6 \text{ s} + 2.4 \text{ s}}{5} \\ &= 2.52 \text{ s} \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของคาบจากการวัด 5 ครั้ง = 2.5 s

$$\text{จาก } \Delta \bar{T} = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } \Delta \bar{T} &= \frac{2.7 \text{ s} - 2.4 \text{ s}}{2} \\ &= 0.15 \text{ s} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความคลาดเคลื่อนของคาบจากการวัด 5 ครั้ง = 0.2 s

ข. ผลการทดลองวัดคาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายสามารถเขียนอยู่ในรูป $\bar{T} \pm \Delta \bar{T}$ ได้เป็น $2.5 \text{ s} \pm 0.2 \text{ s}$

ตอบ ก. ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนี้ เท่ากับ 2.5 วินาที

ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล เท่ากับ 0.2 วินาที

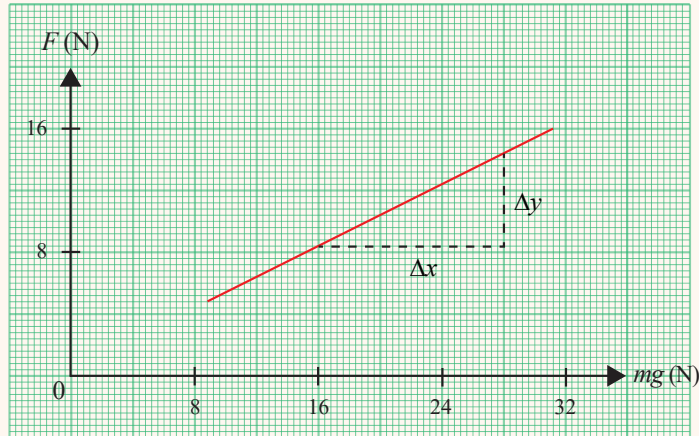
ข. คาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย เท่ากับ 2.5 ± 0.2 วินาที

11. จากกราฟเป็นข้อมูลการทดลองเรื่องการหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยแกนนอนเป็นน้ำหนักถ่วงทราย แกนตั้งเป็นแรง F ที่ทำให้แผ่นไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของการทดลองนี้ซึ่งหาได้จากความชันของกราฟมีค่าเท่าใด

วิธีทำ หาความชันของกราฟ ดังรูป



รูปสำหรับคำถามข้อ 11



จาก ความชัน $= \frac{\Delta y}{\Delta x}$

จะได้ ความชัน $= \frac{14.2 \text{ N} - 8.2 \text{ N}}{28.0 \text{ N} - 16.0 \text{ N}}$

$$= \frac{6.0 \text{ N}}{12.0 \text{ N}}$$

$$= 0.50$$

ดังนั้น สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของการทดลอง เท่ากับ 0.50

ตอบ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของการทดลอง เท่ากับ 0.50

12. สมการ $E_k = hf - W$ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ โดย f เป็นตัวแปรต้น E_k เป็นตัวแปรตาม h และ W เป็นค่าคงตัว

ก. สมการนี้เป็นสมการเชิงเส้นหรือไม่

ข. จงหาความชันของกราฟและจุดตัดแกนตั้ง

วิธีทำ ก. เมื่อเปรียบเทียบกับสมการเชิงเส้น $y = mx + c$

จะเห็นว่า สมการ $E_k = hf - W$ เป็นสมการเชิงเส้นที่มีตัวแปรต้น x คือ f และตัวแปรตาม y คือ E_k

ข. เมื่อเปรียบเทียบกับสมการเชิงเส้น $y = mx + c$

จะเห็นว่า ความชัน m คือ h และระยะตัดแกนตั้ง c คือ $-W$

- ตอบ ก. สมการ $E_k = hf - W$ เป็นสมการเชิงเส้น
 ข. h และ $-W$ เป็นความชันของกราฟและจุดตัดแกนตั้ง

| ปัญหาท้าทาย

13. ในการทดลองลูกตุ้มอย่างง่าย ที่ความยาวเชือกค่าหนึ่ง ๆ ผู้ทดลองวัดเวลาการแกว่งของลูกตุ้ม 3 ครั้ง ๆ ละ 10 รอบ โดยใช้นาฬิกาจับเวลา ได้ผลดังตาราง

ความยาวเชือก t (m)	เวลา 10 รอบ (s)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0.02	8.91	9.09	9.03
0.40	13.07	12.95	13.10
0.60	15.46	15.58	15.40
0.80	17.92	17.78	17.70
1.00	19.52	19.34	19.58

ถ้าคาบ (T) คือช่วงเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ จงเขียน

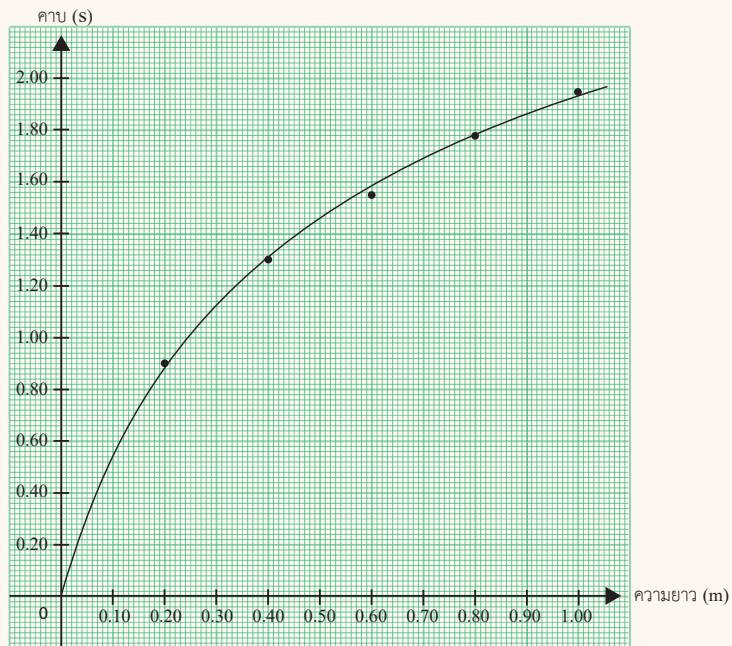
ก. กราฟระหว่างคาบการแกว่ง (T) และความยาว (l)

ข. กราฟระหว่างคาบการแกว่งยกกำลังสอง (T^2) และความยาว (l)

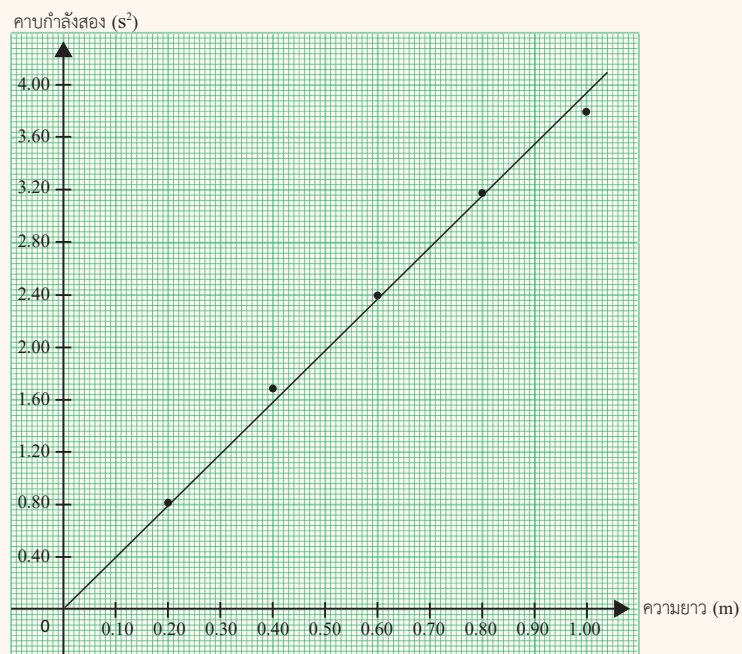
วิธีทำ หา (T) และ (T^2) ดังตาราง

ความยาวเชือก t (m)	เวลา 10 รอบ (s)				คาบ T (s)	T^2 (s ²)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0.02	8.91	9.09	9.03	9.01	0.90	0.81
0.40	13.07	12.95	13.10	13.04	1.30	1.70
0.60	15.46	15.58	15.40	15.48	1.55	2.40
0.80	17.92	17.78	17.70	17.80	1.78	3.17
1.00	19.52	19.34	19.58	19.48	1.95	3.80

ก. กราฟระหว่างคาบการแกว่ง (T) และความยาว (l) คือ



ข. กราฟระหว่างคาบการแกว่งยกกำลังสอง (T^2) และความยาว (l) คือ



14. ในการทดลองวัดความดัน p ของน้ำทะเล h ที่ความลึก ต่าง ๆ ได้ผลดังตาราง

ความลึก h (m)	5.0	10.1	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0
ความดัน h ($\times 10^5$ Pa)	1.4	1.9	2.5	2.9	3.5	3.9	4.6

ก. จงเขียนกราฟระหว่างความดัน p ของน้ำทะเล h และความลึก

ข. จงอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดัน p ของน้ำทะเล และความลึก h

ค. ถ้า $p = p_{\text{air}} + \rho gh$

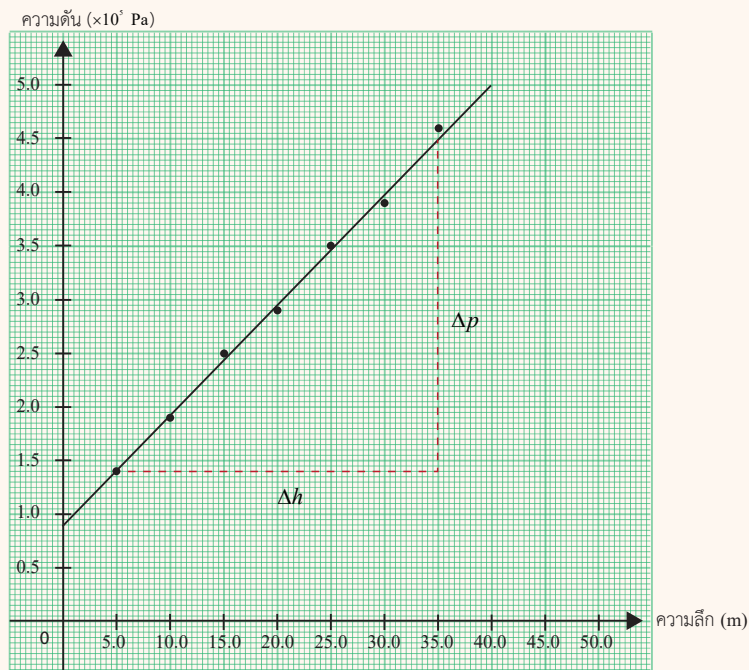
เมื่อ p เป็นความดันในของเหลวที่มีความหนาแน่น ρ ที่ความลึก h

p_{air} เป็นความดันบรรยากาศ

g เป็นความเร่งโน้มถ่วงมีค่า 9.8 m/s^2

จงหา p_{air} และ ρ

วิธีทำ ก. เขียนกราฟระหว่างความดัน p กับความลึก h ได้ดังนี้



ข. กราฟระหว่างความดัน p และความลึก h เป็นกราฟเส้นตรงที่มีจุดตัดแกนตั้ง เท่ากับ $0.9 \times 10^5 \text{ Pa}$ และความชัน หาได้จาก

$$\begin{aligned} m &= \frac{\Delta p}{\Delta h} \\ &= \frac{(4.5 - 1.4) \times 10^5 \text{ Pa}}{(35.0 - 5.0) \text{ m}} \\ &= 1.033 \times 10^4 \text{ Pa/m} \end{aligned}$$

ตอบ ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน p ของน้ำทะเล และความลึก h คือ

$$p = (1.033 \times 10^4 \text{ Pa/m})h + (0.9 \times 10^5 \text{ Pa})$$

ค. จากความสัมพันธ์ในข้อ ข. $p = (1.033 \times 10^4 \text{ Pa/m})h + (0.9 \times 10^5 \text{ Pa})$

เทียบกับความสัมพันธ์ $p = p_{\text{air}} + \rho gh$

แสดงว่าจุดตัดแกนตั้งคือ p_{air} ซึ่งเท่ากับ $0.9 \times 10^5 \text{ Pa}$

ส่วน ρ หาได้จาก

$$\begin{aligned} \rho g &= 1.033 \times 10^4 \text{ Pa/m} \\ \rho &= \frac{1.033 \times 10^4 \text{ Pa/m}}{9.8 \text{ m/s}^2} \\ &= 1.054 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

ตอบ p_{air} เท่ากับ $0.90 \times 10^5 \text{ Pa}$

ρ เท่ากับ $1.054 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

15. ในการทดลองหาคาบการแกว่ง T ของลูกตุ้มอย่างง่ายที่มีความยาว l เชือกต่าง ๆ กัน ได้ผลดังตาราง

$l \text{ (m)}$	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80
$T \text{ (s)}$	1.79 ± 0.05	2.00 ± 0.05	2.20 ± 0.05	2.40 ± 0.05	2.55 ± 0.05	2.70 ± 0.05

จงเขียน

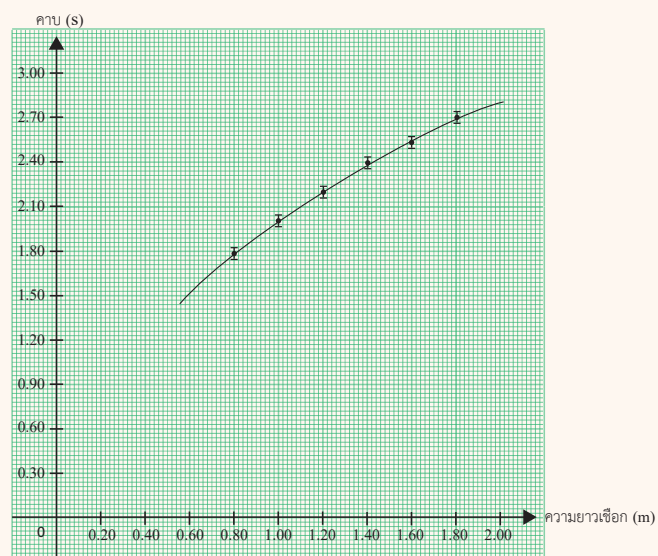
ก. กราฟระหว่างคาบและความยาวเชือก

ข. กราฟระหว่างคาบและรากที่สองของความยาวเชือก

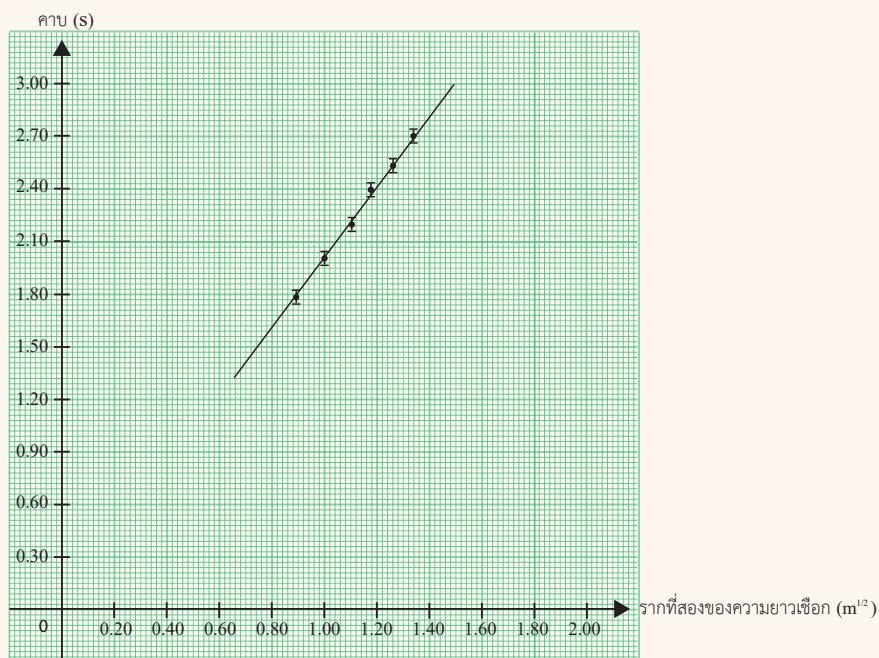
วิธีทำ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเชือก รากที่สองของความยาวเชือก และคาบ แสดงดังตาราง

ความยาวเชือก l (m)	รากที่สองของความยาวเชือก $\sqrt{l}$ ($\text{m}^{1/2}$)	คาบ T (s)
0.80	0.89	1.79 ± 0.05
1.00	1.00	2.00 ± 0.05
1.20	1.10	2.20 ± 0.05
1.40	1.18	2.40 ± 0.05
1.60	1.26	2.55 ± 0.05
1.80	1.34	2.70 ± 0.05

ก. กราฟระหว่างคาบ T และความยาวเชือก l ได้ดังนี้



ข. เขียนกราฟระหว่างคาบ T และรากที่สองของความยาวเชือก $\sqrt{l}$ ได้ดังนี้



16. สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และค่าคงตัว แสดงได้ดังตาราง

สมการที่	สมการที่	ตัวแปรตาม	ตัวแปรต้น	ค่าคงตัว
1	$v = \frac{d}{t}$	d	t	v
2	$v = u + at$	v	t	u, a
3	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	T	m	$2\pi, k$
4	$V = \frac{kQ}{r}$	V	r	k, Q

ก. สมการใด เมื่อเขียนกราฟระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรต้นแล้วได้กราฟเส้นตรงจากนั้นหาความชันและจุดตัดแกนตั้ง

ข. จากข้อ ก สมการที่เหลือ จะต้องจัดรูปตัวแปรตามและตัวแปรต้นอย่างไร จึงจะนำมาเขียนได้เป็นกราฟเส้นตรง จากนั้นหาความชันและจุดตัดแกนตั้ง

วิธีทำ ก. จัดสมการทั้ง 4 ใหม่ จะได้

$$\text{สมการที่ 1} \quad d = vt$$

$$\text{สมการที่ 2} \quad v = at + u$$

$$\text{สมการที่ 3} \quad T = \frac{2\pi}{\sqrt{k}} \left(m^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$\text{สมการที่ 4} \quad v = (kQ)r^{-1}$$

เมื่อเทียบกับสมการเชิงเส้น $y = mx + c$ ซึ่งตัวแปรต้น x และตัวแปรตาม y มีเลขชี้กำลังเป็น +1 ทั้งคู่ จะได้สมการที่ 1 และ 2 อยู่ในรูปแบบเดียวกับสมการเชิงเส้น

เมื่อนำสมการที่ 1 มาเขียนกราฟระหว่าง d และ t จะได้กราฟเส้นตรงมีความชัน v และจุดตัดแกนตั้ง O (ผ่านจุดกำเนิด)

เมื่อนำสมการที่ 2 มาเขียนกราฟระหว่าง v และ t จะได้กราฟเส้นตรงมีความชัน a และจุดตัดแกนตั้ง u

ข. จัดรูปตัวแปรตามและตัวแปรต้นของสมการที่ 3 และสมการที่ 4 ใหม่เพื่อให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น คือ

$$\text{สมการที่ 3} \quad T = \frac{2\pi}{\sqrt{k}} \left(m^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$\text{สมการที่ 4} \quad v = (kQ)(r^{-1})$$

เมื่อนำสมการที่ 3 มาเขียนกราฟระหว่าง T และ $m^{\frac{1}{2}}$ จะได้กราฟเส้นตรง ที่มีความชัน $\frac{2\pi}{\sqrt{k}}$ และจุดตัดแกนตั้ง O (ผ่านจุดกำเนิด)

เมื่อนำสมการที่ 4 มาเขียนกราฟระหว่าง v กับ r^{-1} จะได้กราฟเส้นตรง ที่มีความชัน kQ และจุดตัดแกนตั้ง O (ผ่านจุดกำเนิด)

ตอบ ก. สมการที่เขียนกราฟระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรต้นแล้วได้กราฟเส้นตรง คือ สมการที่ 1 และสมการที่ 2 โดยที่

- กราฟระหว่าง d และ t ของสมการที่ 1 เป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชัน v และจุดตัดแกนตั้ง O (ผ่านจุดกำเนิด)
- กราฟระหว่าง v และ t ของสมการที่ 2 เป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชัน a และจุดตัดแกนตั้ง u

ข. ต้องจัดรูปตัวแปรตามและตัวแปรต้นของสมการที่ 3 และสมการที่ 4 ใหม่เพื่อให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น ดังนี้

- จัดรูปสมการที่ 3 เป็น $\frac{2\pi}{\sqrt{k}} \left(m^{\frac{1}{2}} \right)$ โดยให้ T เป็นตัวแปรตาม และ $m^{\frac{1}{2}}$ เป็น

ตัวแปรต้น จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน v และจุดตัดแกนตั้ง O (ผ่านจุดกำเนิด)

- จัดรูปสมการที่ 4 เป็น $v = (kQ)(r^{-1})$ โดยให้ v เป็นตัวแปรตาม และ r^{-1} เป็นตัวแปรต้น จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน a และจุดตัดแกนตั้ง u

บทที่

goo.gl/8hknUr

2

การเคลื่อนที่แนวตรง

ผลการเรียนรู้:

1. ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง การกระจัด ความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตรงที่มีความเร่งคงตัวจากกราฟและสมการ รวมทั้งทดลองหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ กับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะแห่งศตวรรษที่ 21

ผลการเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง การกระจัด ความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตรงที่มีความเร่งคงตัวจากกราฟและสมการ รวมทั้งทดลองหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

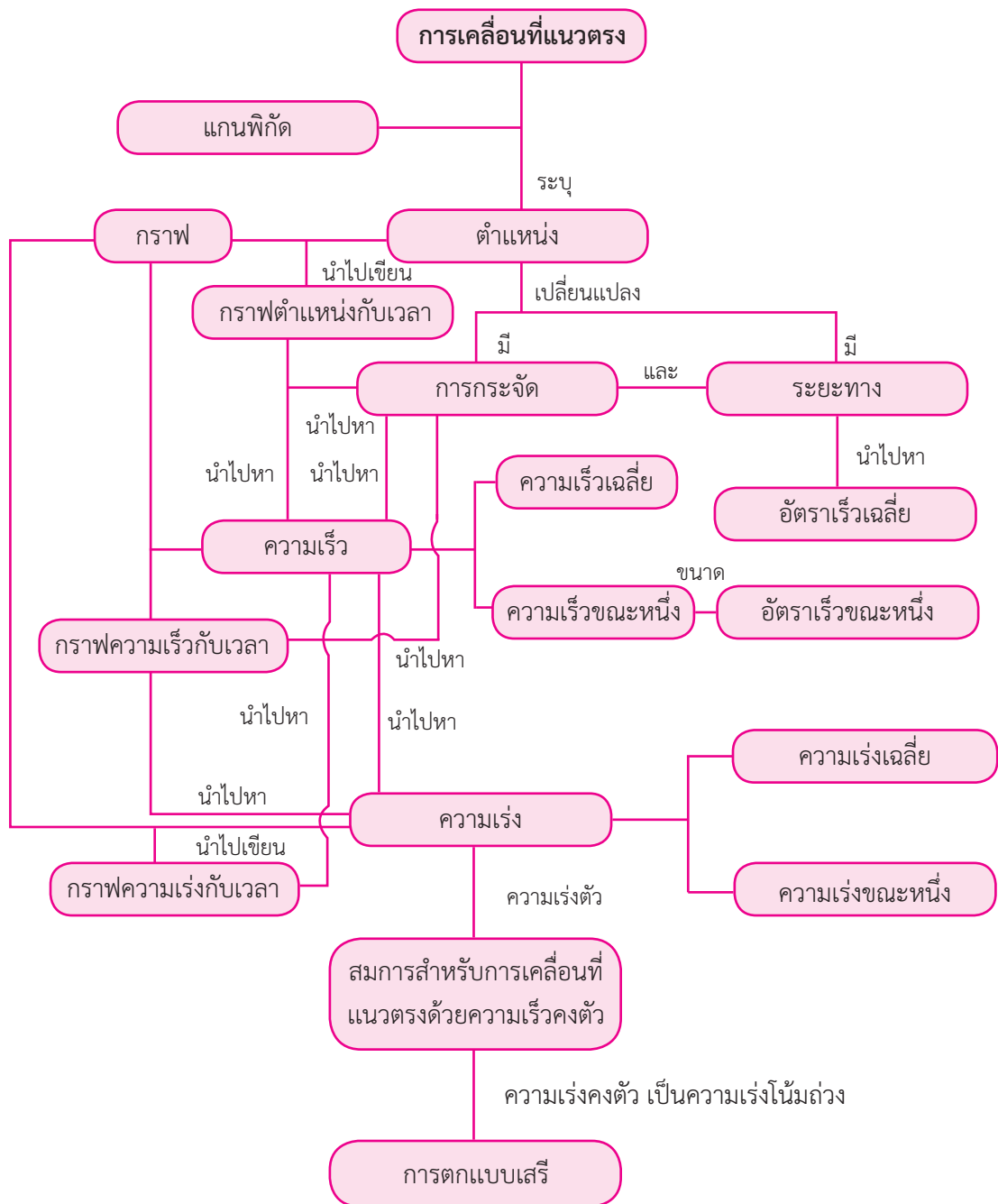
จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการระบุตำแหน่งของวัตถุ
2. อธิบายและคำนวณการกระจัดและระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ
3. อธิบายและคำนวณอัตราเร็วเฉลี่ย อัตราเร็วขณะหนึ่ง ความเร็วเฉลี่ย และความเร็วขณะหนึ่งของวัตถุ
4. ทดลองหาขนาดความเร็วเฉลี่ยและขนาดความเร็วขณะหนึ่งของวัตถุ
5. อธิบายและคำนวณความเร่งเฉลี่ย ความเร่งขณะหนึ่งของวัตถุ
6. อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แนวตรงของวัตถุจากกราฟตำแหน่งกับเวลา
7. อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แนวตรงของวัตถุจากกราฟความเร็วกับเวลา

8. อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แนวตรงของวัตถุจากกราฟความเร่งกับเวลา
9. อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แนวตรงด้วยความเร็วคงตัว
10. อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แนวตรงด้วยความเร่งคงตัว
11. อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการตกแบบเสรี
12. ทดลองหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การวัด (การวัดระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษ) 2. การใช้จำนวน (คำนวณความเร็ว ความเร่ง จากความชันของกราฟหรือสมการ) 3. การทดลอง 4. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (เขียนกราฟจากข้อมูลการเคลื่อนที่ของวัตถุ) 5. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (วิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลา)	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล) 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. ความซื่อสัตย์ 2. ความมุ่งมั่นอดทน 3. ความรอบคอบ

ผังมโนทัศน์ การเคลื่อนที่แนวตรง



สรุปแนวความคิดสำคัญ

การระบุตำแหน่ง (position) ของวัตถุในแนวตรงต้องบอกเทียบกับจุด ๆ หนึ่งในการเคลื่อนที่ เรียกว่า จุดอ้างอิง เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ ตำแหน่งของวัตถุนั้นจะเปลี่ยนไป การเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ เรียกว่า การกระจัด (displacement) Δx การกระจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่บอกทั้งขนาดและทิศทาง ส่วนความยาวตามเส้นทางที่วัตถุเคลื่อนที่ เรียกว่า ระยะทาง (distance) d

ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ นอกจากการกระจัดและระยะทางแล้ว ยังมีอัตราเร็ว ความเร็ว และความเร่งระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา จะหมายถึง อัตราเร็วเฉลี่ย (average speed)

$$v_{av} = \frac{d}{\Delta t}$$

การกระจัดต่อหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า ความเร็วเฉลี่ย (average velocity) หรือ $\vec{v}_{x,av} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$ ถ้า Δt เป็นช่วงเวลาสั้น ๆ จนเข้าใกล้ศูนย์ ความเร็วเฉลี่ยจะเป็น ความเร็วขณะหนึ่ง (instantaneous velocity) ใช้สัญลักษณ์ $\vec{v}$ โดยขนาดของความเร็วขณะหนึ่งคือ อัตราเร็วขณะหนึ่ง (instantaneous speed) ใช้สัญลักษณ์ v

ความเร็วที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า ความเร่ง (acceleration) สำหรับความเร่งในช่วงเวลาการเคลื่อนที่ใดๆ เรียกว่า ความเร่งเฉลี่ย $\vec{a}_{av}$ (average acceleration) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วที่เปลี่ยนไปทั้งหมดกับช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนความเร็ว นั้น $\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$

สำหรับ Δt เป็นช่วงเวลามีค่าน้อย ๆ จนเข้าใกล้ศูนย์ ความเร่งในช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็น ความเร่งขณะหนึ่ง (instantaneous acceleration) $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ เมื่อ Δt เข้าใกล้ศูนย์

วัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวตรง เมื่อเวลาผ่านไป การกระจัด ความเร็วและความเร่งของวัตถุอาจเปลี่ยนไปสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล่านี้กับเวลาในรูปกราฟของการเคลื่อนที่ได้แก่

1. กราฟระหว่างตำแหน่งกับเวลา โดยความชันของกราฟ คือ ความเร็ว
2. กราฟระหว่างความเร็วกับเวลา โดยความชันของกราฟ คือ ความเร่ง และพื้นที่ใต้กราฟคือ การกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้
3. กราฟระหว่างความเร่งกับเวลา โดยพื้นที่ใต้กราฟคือความเร็วที่เปลี่ยนไป

ในกรณีผู้สังเกตมีความเร็ว ความเร็วของวัตถุที่สังเกตได้เป็นความเร็วที่เทียบกับผู้สังเกต สมการสำหรับคำนวณหาปริมาณต่างๆ ของการเคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร่งคงตัวมี 4 สมการซึ่งแสดงได้ 2 รูปแบบ ดังตารางด้านล่าง

แบบที่ 1	แบบที่ 2
$v_{fx} = v_{ix} + a_x t$	$v_x = u_x + a_x t$
$\Delta x = \left(\frac{v_{ix} + v_{fx}}{2} \right) t$	$\Delta x = \left(\frac{u_x + v_x}{2} \right) t$
$\Delta x = v_{ix} t + \frac{1}{2} a_x t^2$	$\Delta x = u_x t + \frac{1}{2} a_x t^2$
$v_{fx}^2 = v_{ix}^2 + 2a_x \Delta x$	$v_x^2 = u_x^2 + 2a_x \Delta x$

โดยที่ สมการแบบที่ 1 ใช้สำหรับการพิสูจน์การเคลื่อนที่ในแนวตรง ที่มีการเคลื่อนที่ในแนว x ส่วนสมการแบบที่ 2 ปรับใช้เพื่อให้สะดวกสำหรับการคำนวณ

การตกแบบเสรี เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกเพียงแรงเดียว โดยไม่คิดแรงต้านหรือแรงเสียดทานของอากาศ ความเร่งในการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรี เรียกว่า ความเร่งโน้มถ่วงของโลก g

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 24 ชั่วโมง

2.1 ตำแหน่ง	1	ชั่วโมง
2.2 การกระจัดและระยะทาง	2	ชั่วโมง
2.3 อัตราเร็วและความเร็ว	6	ชั่วโมง
2.4 ความเร่ง	2	ชั่วโมง
2.5 กราฟของการเคลื่อนที่แนวตรง	5	ชั่วโมง
2.6 สมการสำหรับการเคลื่อนที่แนวตรง	4	ชั่วโมง
2.7 การตกแบบเสรี	4	ชั่วโมง

| ความรู้ก่อนเรียน

ตำแหน่ง ระยะทาง การกระจัด อัตราเร็ว ความเร็ว

นำเข้าสู่บทที่ 2

ครูนำเข้าสู่บทที่ 2 โดยนำนักเรียนสนทนาและซักถาม ให้นักเรียนบอกการเคลื่อนที่ของวัตถุ ลักษณะต่าง ๆ ที่นักเรียนรู้จักหรือเคยเห็น แล้วให้ความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่และแรงกระทำต่อวัตถุตามหนังสือเรียน

หลังจากนั้น ครูสนทนากับนักเรียนว่าในบทที่ 2 นี้จะเน้นเฉพาะการเคลื่อนที่ในแนวตรง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การเคลื่อนที่ในหนึ่งมิติ พร้อมทั้งชี้แจงหัวข้อที่นักเรียนจะได้เรียนรู้ในบทที่ 2 และคำถามสำคัญที่นักเรียนจะต้องตอบได้หลังจากเรียนรู้บทที่ 2 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

2.1 ตำแหน่ง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการระบุตำแหน่งของวัตถุ

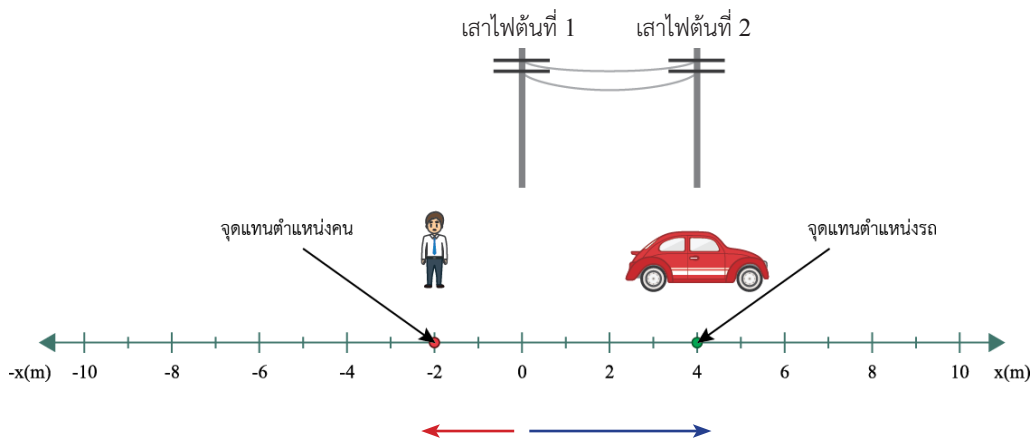
ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. การระบุตำแหน่งทำได้โดยไม่ต้องมีตำแหน่งอ้างอิง	1. การระบุตำแหน่งต้องมีตำแหน่งอ้างอิงเสมอ
2. เครื่องหมายบวก-ลบของเวกเตอร์ตำแหน่งเกี่ยวข้องกับขนาด	2. วัตถุที่กำลังหมุนอาจอยู่ในสมดุลต่อการหมุน ถ้าการหมุนนั้นเป็นการหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัว

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ของหัวข้อ 2.1 แล้วนำเข้าสู่หัวข้อ 2.1 โดยยกสถานการณ์ เช่น ให้นักเรียน 2 คนนำของไปซ่อนแล้วมาบอกเพื่อนให้ไปหา แล้วให้เปรียบเทียบว่าจะหาพบหรือไม่ แล้วถามว่า นักเรียนจะมีวิธีการบอกอย่างไร หรือ ครูไปเยี่ยมบ้านนักเรียน จะมีวิธีการบอกอย่างไรให้ครูไปถึงบ้านของนักเรียนได้ถูกต้อง อภิปรายร่วมกัน จนได้ข้อสรุปว่า การบอกตำแหน่งวัตถุหรือตำแหน่งบ้านนักเรียนต้องระบุตำแหน่งอ้างอิง โดยอาจทำแผนภาพ แล้วนำอภิปรายเกี่ยวกับการใช้ตำแหน่งอ้างอิง

ครูบทวนเรื่องปริมาณเวกเตอร์โดยใช้คำถามจนได้ข้อสรุปว่า เป็นปริมาณที่มีทั้งขนาดและทิศทาง ปริมาณเวกเตอร์เขียนแทนได้ด้วยลูกศร โดยความยาวของลูกศรแทนขนาดของเวกเตอร์ และหัวลูกศรแทนทิศทางของเวกเตอร์ หลังจากนั้นครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่าสามารถระบุตำแหน่งของวัตถุใด ๆ ด้วย เวกเตอร์ตำแหน่งที่บอกระยะทางและทิศทางเทียบกับจุดอ้างอิง ดังตัวอย่างตามรูป 2.1 เวกเตอร์ตำแหน่งของรถยนต์ (เส้นสีฟ้า) $\vec{x} = +4 \text{ m}$ และ เวกเตอร์ตำแหน่งของคน (เส้นสีแดง) $\vec{x} = -2 \text{ m}$ โดยใช้เสาไฟฟ้าต้นที่หนึ่งเป็นจุดอ้างอิงทั้งสองกรณี



รูป 2.1 การระบุตำแหน่งของรถยนต์และคน

ครูนำอภิปรายจนได้ข้อสรุปว่า การระบุตำแหน่งของวัตถุจำเป็นต้องมีตำแหน่งอ้างอิงและในกรณีการเคลื่อนที่แนวตรง เครื่องหมาย + (หรือ -) ที่ใส่เพื่อบอกค่าตัวแปรที่เป็นค่าบวก (หรือค่าลบ) เป็นการใส่เพื่อบอกทิศทางเวกเตอร์ตำแหน่งของวัตถุ รวมทั้งไม่จำเป็นต้องใส่เครื่องหมาย “-” บนตัวแปร

ครูควรเน้นว่า การบอกเวกเตอร์ตำแหน่งโดยทั่วไปกำหนดให้จุดอ้างอิงเป็นจุดกำเนิดของแกนพิกัด เช่น จากรูป 2.1 ถ้ามีเด็กยืนตรงกึ่งกลางระหว่างรถยนต์และคนทางซ้าย เวกเตอร์ตำแหน่งของเด็กคือ $\vec{x} = +1 \text{ m}$



ความรู้เพิ่มเติม

ส่วนการกำหนดให้จุดอื่นที่ไม่ใช่จุดกำเนิดของแกนพิกัดเป็นจุดอ้างอิง จะต้องมีสัญลักษณ์ตัวห้อย เช่น จากรูป 2.1 ในการบอกตำแหน่งรถ เทียบกับคนโดยไม่ใช้คนเป็นจุดกำเนิดของแกนพิกัด จะเขียนเป็น x_{AB} (เมื่อ B เป็นตำแหน่งรถ และ A เป็นตำแหน่งคน) และจะเขียนตำแหน่งของรถเทียบกับคนได้เป็น $x = +6 \text{ m}$ ซึ่งก็คือ ใช้คนเป็นจุดกำเนิดของแกนพิกัด

ครูตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อสรุปความรู้เกี่ยวกับตำแหน่งและการนำสิ่งที่ได้เรียนรู้ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับตำแหน่ง จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 2.1 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับตำแหน่ง ตำแหน่งอ้างอิง และเวกเตอร์ตำแหน่ง จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจระหว่างเรียนการสรุป การนำเสนอ คำถามตรวจสอบความเข้าใจท้ายหัวข้อ 2.1
2. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการนำเสนอ
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น และ ความมีเหตุผล จากการอภิปราย และ การนำเสนอ

**แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 2.1**

1. จากรูป 2.1 ถ้าใช้เสาไฟฟ้าต้นที่สองเป็นตำแหน่งอ้างอิง จงระบุตำแหน่งของรถยนต์และคน
แนวคำตอบ ใช้ตำแหน่งเสาไฟฟ้าต้นที่สอง เป็นจุดกำเนิดแกนพิกัด ตำแหน่งของรถยนต์คือ $x = 0$ และ ตำแหน่งของคนคือ $x = -6\text{m}$
2. จากรูป 2.1 ถ้าใช้คนเป็นตำแหน่งอ้างอิง จงระบุตำแหน่งของรถยนต์
แนวคำตอบ ใช้ตำแหน่งคนเป็นจุดกำเนิดแกนพิกัด ตำแหน่งของรถยนต์คือ $x = +6\text{m}$

2.2 การกระจัดและระยะทาง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและคำนวณการกระจัดและระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. การกระจัดกับระยะทางเป็นปริมาณเดียวกัน	1. การกระจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ ระยะทางเป็นปริมาณสเกลาร์
2. ขนาดของการกระจัดกับระยะทางมีค่าเท่ากันเสมอ	2. ขนาดของการกระจัดไม่จำเป็นต้องเท่ากับระยะทาง ปริมาณทั้งสองจะเท่ากันเมื่อเป็นการเคลื่อนที่แนวตรงที่ไม่กลับทิศ

แนวการจัดการเรียนรู้

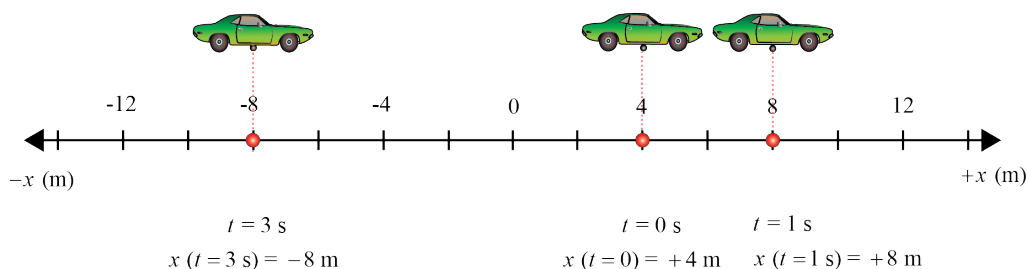
ครูนำเข้าบทเรียนโดยการสนทนา และใช้คำถามเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ เกี่ยวข้องกับสิ่งใดบ้าง จนได้ข้อสรุปว่า การเคลื่อนที่ของวัตถุเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนตำแหน่งเมื่อเวลาเปลี่ยนไป หลังจากนั้นครูถามเกี่ยวกับปริมาณการเคลื่อนที่ของวัตถุที่นักเรียนรู้จักมีอะไรบ้าง และพิจารณาอย่างไรโดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้หัวข้อ 2.2 แล้วนำเข้าสู่หัวข้อ 2.2 โดยให้นักเรียนคนหนึ่งมายืนหน้าชั้น จากนั้นให้เดินในแนวตรงจากผนังด้านหนึ่งของห้องเรียนไปถึงผนังอีกด้านหนึ่ง แล้วตั้งคำถามว่า การกระจัดและระยะทางที่มีค่าเท่ากันหรือไม่ จากนั้นให้นักเรียนคนเดิมเดินย้อนกลับมายังจุดตั้งต้น แล้วครูใช้คำถามว่า เมื่อเดินไปและกลับถึงตำแหน่งเดิม การกระจัดและระยะทางมีค่าเท่ากันหรือไม่อย่างไร ให้นักเรียนอภิปราย โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับ การกระจัด ซึ่งเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีทั้งขนาดและทิศทาง ส่วนระยะทางเป็นปริมาณสเกลาร์ที่มีเพียงขนาด จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการเปลี่ยนตำแหน่งของรถยนต์ ณ เวลาต่าง ๆ ในรูป 2.2

ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันจากความหมายของการกระจัดเท่ากับการเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุตามรายละเอียดในหนังสือเรียนจนได้สมการ (2.1) ตามหนังสือเรียน

$$\Delta x = x_f - x_i$$



รูป 2.2 การเคลื่อนที่ของรถยนต์ในแนวตรง

จากนั้น อภิปรายต่อจนได้ข้อสรุปว่าการเดินของนักเรียนในช่วงแรก การกระจัดและระยะทางมีค่าเท่ากันซึ่งเท่ากับระยะจากผนังห้องด้านหนึ่งถึงอีกด้านหนึ่ง ในขณะที่การเดินทั้งไปและกลับถึงตำแหน่งเดิม การกระจัดเท่ากับศูนย์แต่ระยะทางเท่ากับสองเท่าของระยะจากผนังห้องด้านหนึ่งถึงอีกด้านหนึ่ง

ครูเน้นกับนักเรียนว่าการกระจัด คือปริมาณเวกเตอร์มีทิศออกจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสุดท้าย มีขนาดเท่ากับระยะห่างระหว่างตำแหน่งเริ่มต้นกับตำแหน่งสุดท้าย ส่วนระยะทางคือความยาวของเส้นทางตลอดการเคลื่อนที่ตั้งแต่ตำแหน่งเริ่มต้นถึงตำแหน่งสุดท้าย เป็นปริมาณสเกลาร์ ระยะทางไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากับ ขนาดของการกระจัด

ครูอธิบายตัวอย่าง 2.1 เพื่อย้ำความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับการคำนวณการกระจัดและระยะทาง ให้นักเรียนอภิปรายเพื่อสรุปความรู้ที่ได้เกี่ยวกับการกระจัดและระยะทาง

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับการกระจัดและระยะทาง จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 2.2 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการกระจัดและระยะทาง จากการสรุป การนำเสนอ คำถามตรวจสอบความเข้าใจ และแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 2.2
2. การใช้จำนวนและการคิดวิเคราะห์ จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 2.2
3. จิตวิทยาศาสตร์/เจตคติ ด้านความมีเหตุผล จากการอภิปราย



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 2.2

1. เครื่องหมายบวกของการกระจัดหมายถึงอะไร

แนวคำตอบ เครื่องหมายบวกของการกระจัด หมายถึงมีทิศทางของการเปลี่ยนตำแหน่งไปตามทิศที่กำหนดไว้เป็นทิศอ้างอิง

2. การกระจัดเกี่ยวข้องกับตำแหน่งอย่างไร

แนวคำตอบ การกระจัดบอกการเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ ซึ่งในกรณีการเคลื่อนที่แนวตรง การกระจัดเท่ากับผลต่างตำแหน่งสุดท้ายกับตำแหน่งเริ่มต้น ดังสมการ $\Delta x = x_f - x_i$

3. การกระจัดและระยะทางแตกต่างกันอย่างไร

แนวคำตอบ การกระจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีค่าเท่ากับระยะห่างระหว่างตำแหน่งเริ่มต้นกับตำแหน่งสุดท้าย ตามสมการ $\Delta x = x_f - x_i$

ระยะทางเป็นปริมาณสเกลาร์ มีค่าเท่ากับความยาวตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสุดท้าย

4. เพราะเหตุใดในกรณีที่มีการเคลื่อนที่กลับทิศทาง ระยะทางการเคลื่อนที่และขนาดการกระจัด มีค่าไม่เท่ากัน

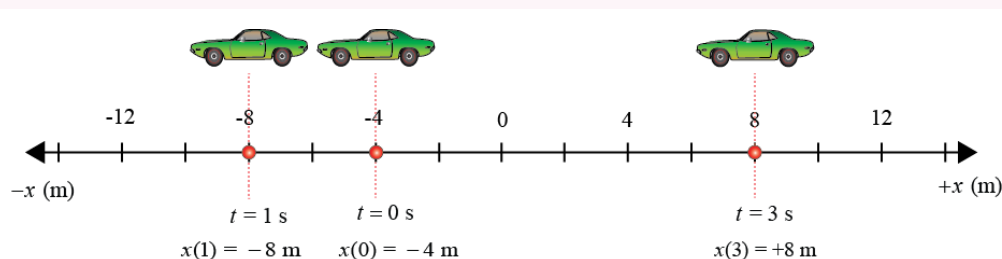
แนวคำตอบ เพราะการกระจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่เริ่มจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสุดท้าย โดยไม่สนใจเส้นทางที่เคลื่อนที่ แต่ระยะทางเป็นปริมาณสเกลาร์ที่วัดตามเส้นทางการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสุดท้าย ดังนั้นเมื่อมีการเคลื่อนที่กลับทิศทาง ระยะทางการเคลื่อนที่จะมีค่ามากกว่าขนาดการกระจัดเสมอ

5. เพราะเหตุใดในการหาระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ สามารถนำค่าที่ได้มาบวกกันถึงแม้ว่าในช่วงหลังของการเคลื่อนที่จะมีการเคลื่อนที่กลับทิศทาง

แนวคำตอบ เพราะระยะทางเป็นปริมาณสเกลาร์ที่วัดตามเส้นทางการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสุดท้าย ดังนั้นถึงแม้มีการเคลื่อนที่กลับทิศทาง ระยะทางการเคลื่อนที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเท่านั้น จึงสามารถนำค่าระยะทางทั้งช่วงที่เคลื่อนที่ไปและช่วงที่เคลื่อนที่กลับทิศทางมาบวกกันได้

แนวคำตอบแบบฝึกหัด 2.2

จงหาการกระจัดและระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ของรถยนต์ดังรูป ในช่วงเวลาต่อไปนี้



ก. เวลา $t = 1$ s ถึง $t = 3$ s

แนวคิด การกระจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ ขนาดของการกระจัดคือระยะห่างระหว่างตำแหน่งสุดท้ายกับตำแหน่งเริ่มต้น ทิศของการกระจัดคือทิศของเวกเตอร์ที่ชี้จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสุดท้าย หาได้จาก

$\Delta x = x_f - x_i = (+8\text{ m}) - (-8\text{ m}) = +16\text{ m}$ ส่วนระยะทางเป็นปริมาณสเกลาร์ มีค่าเท่ากับความยาวตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ จากรูปความยาวเส้นทางการเคลื่อนที่เท่ากับ 16 เมตร

ตอบ การกระจัด $\Delta x = +16\text{ m}$ ระยะทาง $d = 16\text{ m}$

ข. เวลา $t = 0$ ถึง $t = 3$ s

แนวคิด เหมือนข้อ ก.

ตอบ การกระจัด $\Delta x = +12\text{ m}$ ระยะทาง $d = 20\text{ m}$

2.3 อัตราเร็วและความเร็ว

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและคำนวณอัตราเร็วเฉลี่ย อัตราเร็วขณะหนึ่ง ความเร็วเฉลี่ย และความเร็วขณะหนึ่งของวัตถุ
2. ทดลองหาขนาดความเร็วเฉลี่ยและขนาดความเร็วขณะหนึ่งของวัตถุ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ความเร็วกับอัตราเร็วเป็นปริมาณเดียวกัน	1. ความเร็วเป็นปริมาณเวกเตอร์ อัตราเร็วเป็นปริมาณสเกลาร์
2. ความเร็วเฉลี่ยเท่ากับความเร็วขณะหนึ่งเสมอ	2. ความเร็วเฉลี่ยไม่จำเป็นต้องเท่ากับความเร็วขณะหนึ่ง
3. อัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากับอัตราเร็วขณะหนึ่งเสมอ	3. อัตราเร็วเฉลี่ยไม่จำเป็นต้องเท่ากับอัตราเร็วขณะหนึ่ง
4. ระยะระหว่างจุดสองจุดบนแถบกระดาษที่อยู่ติดกันไม่เท่ากัน แสดงว่าช่วงเวลาระหว่างจุดสองจุดนั้นไม่เท่ากัน	4. ช่วงเวลาระหว่างจุดสองจุดบนแถบกระดาษที่อยู่ติดกันเท่ากันเสมอ
5. อัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากับขนาดของความเร็วเฉลี่ย	5. อัตราเร็วเฉลี่ยไม่จำเป็นต้องเท่ากับขนาดของความเร็วเฉลี่ย

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

- 1) วิดีทัศน์ประกอบการสอนเกี่ยวกับความเร็ว เช่น การขับรถยนต์บนถนน หรือ การแข่งรถ
- 2) ชุดอุปกรณ์กิจกรรม 2.1 การหาขนาดของความเร็วเฉลี่ยและขนาดของความเร็วขณะหนึ่ง
- 3) ใบกิจกรรม
- 4) ถ้าจะมีการแจกแนวทางการให้คะแนนการประเมินทักษะต่าง ๆ จากการทำกิจกรรม ให้กับนักเรียน ให้จัดเตรียมเอกสารให้เพียงพอกับจำนวนนักเรียน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 2.3 โดยการเปิดวิดีโอเกี่ยวกับการขับรถหรือให้ความรู้ว่าการที่จะบอกถึงวัตถุใดเคลื่อนที่ได้เร็วหรือช้ากว่ากันเกี่ยวข้องกับปริมาณที่เรียกว่า อัตราเร็วและความเร็ว จากนั้นใช้คำถามนำเพื่อให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน เกี่ยวกับความเร็วและอัตราเร็วต่างกันอย่างไรจนได้ข้อสรุปว่าอัตราเร็วคิดจากระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา ขณะที่ความเร็วคิดจากการกระจัดที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา

ครูให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับอัตราเร็วเฉลี่ย จนได้ข้อสรุปว่า อัตราเร็วเฉลี่ยคืออัตราส่วนระหว่างระยะทางทั้งหมดของการเคลื่อนที่กับช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เป็นปริมาณสเกลาร์และเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ ดังสมการ 2.2

$$v_{av} = \frac{d}{\Delta t}$$

ครูให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับความเร็วเฉลี่ย จนได้ข้อสรุปว่า ความเร็วเฉลี่ยคืออัตราส่วนระหว่างการกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้กับช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศเดียวกับทิศของการกระจัดจากนั้นให้ความรู้เกี่ยวกับความเร็วเฉลี่ยในแนวแกน x ตามหนังสือเรียนจนได้ สมการ 2.3

$$v_{x,av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

ครูอธิบายตัวอย่าง 2.2 เพื่อให้เข้าใจถึงวิธีใช้สมการ 2.2 และ 2.3 พร้อมทั้งเน้นให้ทราบว่า โดยทั่วไปขนาดของความเร็วเฉลี่ย ไม่จำเป็นต้องเท่ากับอัตราเร็วเฉลี่ย จากนั้นครูเน้นเพิ่มเติมจากตัวอย่าง 2.1 และ 2.2 ว่า ในช่วงเวลาที่พิจารณา วัตถุเคลื่อนที่ในแนวตรงไม่กลับทิศดังข้อ ก. ขนาดการกระจัดเท่ากับระยะทาง ขนาดความเร็วเฉลี่ยมีค่าเท่ากับอัตราเร็วเฉลี่ย แต่เมื่อวัตถุเคลื่อนที่กลับทิศในช่วงเวลาที่พิจารณาดังข้อ ข. ขนาดของการกระจัดจะมีค่าน้อยกว่าระยะทาง ทำให้ขนาดของความเร็วเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่าอัตราเร็วเฉลี่ย

ครูอธิบายตัวอย่าง 2.3 พร้อมทั้งเน้นว่า ในกรณีที่มีการเคลื่อนที่เป็นช่วง ๆ โดยมีความเร็วแต่ละช่วงแตกต่างกัน อัตราเร็วเฉลี่ยไม่สามารถหาได้ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยทั่วไป แต่ต้องหาจาก อัตราส่วนระหว่างระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้กับช่วงเวลาที่ใช้

ครูอธิบายการหาความเร็วขณะหนึ่งและอัตราเร็วขณะหนึ่ง โดยเน้นว่า ความเร็วขณะหนึ่ง เป็นความเร็วของวัตถุ ณ เวลาขณะหนึ่ง ๆ ระหว่างการเคลื่อนที่และเป็นปริมาณเวกเตอร์

สำหรับอัตราเร็วขณะหนึ่งเป็นปริมาณสเกลาร์มีค่าเท่ากับขนาดของความเร็วขณะหนึ่ง จากนั้น ครูยกตัวอย่าง อัตราเร็วขณะหนึ่งที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวันเช่น ค่าบนมาตรอัตราเร็วบนหน้าปัดรถยนต์ หรือรถจักรยานยนต์ ซึ่งรถยนต์บางรุ่นอาจแสดงค่าอัตราเร็วเฉลี่ยด้วย ดังรูป 2.3



รูป 2.3 มาตรอัตราเร็วบนหน้าปัดรถยนต์

จากนั้นครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า ถ้า Δt มีค่าน้อยจนใกล้ศูนย์ ความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาสั้นๆ มีค่าเท่ากับความเร็วขณะหนึ่ง ส่วนอัตราเร็วขณะหนึ่งคือขนาดของความเร็วขณะหนึ่ง

ครูตั้งคำถามเกี่ยวกับการหาอัตราเร็วในกิจกรรมต่าง ๆ ในวิชาฟิสิกส์ เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรม 2.1 การทดลองเรื่องการหาขนาดของความเร็วเฉลี่ยและขนาดของความเร็วขณะหนึ่ง



กิจกรรม 2.1 การทดลองเรื่องการหาขนาดของความเร็วเฉลี่ยและขนาดของความเร็วขณะหนึ่ง

จุดประสงค์

หาขนาดความเร็วเฉลี่ยและขนาดความเร็วขณะหนึ่งของรถทดลอง

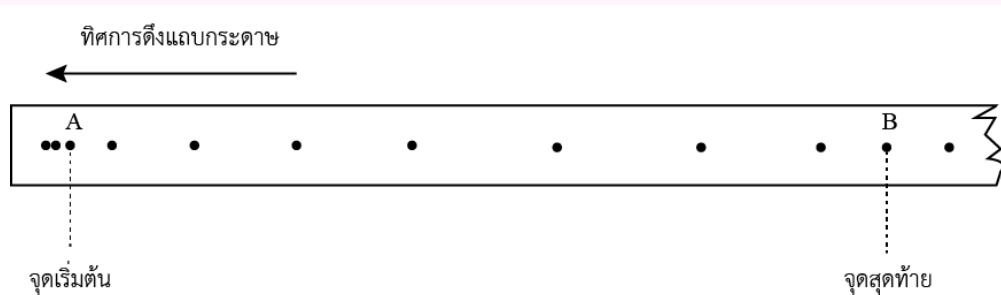
เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|----------------------------------|-----------|
| 1. เครื่องเคาะวาล์วสัญญาณเวลา | 1 ชุด |
| 2. รถทดลอง | 1 คัน |
| 3. แถบกระดาษ | 1 แถบ |
| 4. ลวดหนีบกระดาษ (หรือกระดาษกาว) | 3 อัน |
| 5. ไม้บรรทัด | 1 อัน |
| 6. หม้อแปลงโวลต์ต่ำ | 1 เครื่อง |
| 7. สายไฟ | 2 เส้น |

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตัวอย่างแถบกระดาษ



รูป ตัวอย่างแถบกระดาษที่ถูกดึงผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาและการหาขนาดของความเร็วเฉลี่ย

ขนาดการกระจัด เซนติเมตร

ช่วงเวลาเท่ากับ 8/50 วินาที

ขนาดความเร็วเฉลี่ย 8 ช่วงจุดเท่ากับ เซนติเมตร/วินาที

แถบกระดาษ ช่วงที่	เวลากึ่งกลาง แต่ละช่วง t (s)	ระยะทางใน 2 ช่วงจุด Δs (cm)	เวลา 2 ช่วงจุด Δt (s)	ขนาดความเร็วขณะ หนึ่งใน 2 ช่วงจุด v (cm/s)
1	1/50	2.30	2/50	57.5
2	3/50	2.55	2/50	63.8
3	5/50	1.82	2/50	45.5
4	7/50	1.60	2/50	40.0



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายเป็นเท่าใด และมีกี่ช่วงจุด

แนวคำตอบ จากตัวอย่างระยะทางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายเป็น 8.27 เซนติเมตร (ค่าดังกล่าวเปลี่ยนแปลงตามค่าที่วัดได้จริง) มีทั้งหมด 8 จุด

- ช่วงเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย เป็นเท่าใด

แนวคำตอบ ช่วงเวลาเริ่มต้นและสุดท้ายเท่ากับ 8/50 วินาที

- ขนาดของความเร็วเฉลี่ยของรถทดลองในช่วงดังกล่าว เป็นเท่าใด

แนวคำตอบ อัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากับ $(8.27)/(8/50) = 51.7$ เซนติเมตรต่อวินาที

- ระยะห่างระหว่างจุดที่ 4 และจุดที่ 6 จากจุดเริ่มต้นเป็นเท่าใด และมีกี่ช่วงจุด

แนวคำตอบ ระยะทางเท่ากับ 1.82 เซนติเมตร และมี 2 ช่วงจุด

- ช่วงเวลาระหว่างจุดที่ 4 และจุดที่ 6 จากจุดเริ่มต้นเป็นเท่าใด

แนวคำตอบ เวลาเท่ากับ 2/50 วินาที

- ขนาดของความเร็วขณะหนึ่งของรถทดลองที่เวลา $t = \frac{5}{50}$ s เป็นเท่าใด

แนวคำตอบ อัตราเร็วที่เวลา $t = \frac{5}{50}$ s เท่ากับ $(1.82)/(2/50) = 45.5$ เซนติเมตรต่อวินาที

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูนำนักเรียนอภิปรายผลการทดลองจนสรุปดังนี้

ลักษณะของจุดต่างๆ ที่ปรากฏบนแถบกระดาษบ่งบอกถึงการเคลื่อนที่ของรถทดลอง ถ้าช่วงจุดกว้างรถทดลองจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสูงกว่าในช่วงที่มีช่วงจุดแคบกว่า โดยแต่ละช่วงจุดใช้เวลาเท่ากัน คือ 1/50 วินาที ไม่ว่าช่วงจุดจะกว้างหรือแคบก็ตาม อัตราเร็วเฉลี่ยของรถทดลองตลอดการเคลื่อนที่ทำได้จากการนำระยะทางทั้งหมดหารด้วยเวลาที่ใช้ โดยในแต่ละช่วงจุดบนแถบกระดาษใช้เวลาเท่ากันคือ 1/50 วินาที ส่วนอัตราเร็วขณะหนึ่งของรถทดลองหาได้จากการนำระยะทาง 2 ช่วงจุดหารด้วยเวลาที่ใช้คือ 2/50 วินาที

เพื่อให้นักเรียนเข้าใจยิ่งขึ้น ครูอธิบายรายละเอียดตามหนังสือเรียน ที่ต่อจากคำถามท้ายกิจกรรม รวมทั้งอธิบายตัวอย่าง 2.4

ให้นักเรียนอภิปรายเพื่อสรุปความรู้ที่ได้เกี่ยวกับอัตราเร็วและความเร็ว รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ ประโยชน์ เช่น ความรู้เกี่ยวกับการขับขียานพาหนะ ความเร็วที่กำหนดในแต่ละพื้นที่หรือความเร็วที่ปรากฏจากกล้องตรวจจับความเร็วตามรายละเอียดในความรู้เพิ่มเติม

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับอัตราเร็วและความเร็ว จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 2.3 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการอัตราเร็วและความเร็ว จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจระหว่างเรียน การสรุป การนำเสนอ คำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 2.3
2. การใช้จำนวนการคิดวิเคราะห์ จากการแบบทดสอบและจากการทำกิจกรรม 2.1
3. การวัด จากการทำกิจกรรม 2.1
4. การสังเกต การทดลอง การจัดทำและสื่อความหมายข้อมูล การลงความเห็นจากข้อมูล และการคิดอย่างมีวิจารณญาณ จากการอภิปรายเกี่ยวกับผลการสังเกต และการสรุป
5. จิตวิทยาศาสตร์ความมีเหตุผล ความซื่อสัตย์ ความร่วมมือช่วยเหลือ จากข้อมูลที่สืบค้น การทดลอง การอภิปราย และ การนำเสนอ



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 2.3

1. อัตราเร็วเฉลี่ยกับความเร็วเฉลี่ยเป็นปริมาณที่แตกต่างกันอย่างไร

แนวคำตอบ อัตราเร็วเฉลี่ยเป็นปริมาณสเกลาร์ หาจากอัตราส่วนระหว่างระยะทางทั้งหมดของการเคลื่อนที่กับช่วงเวลาที่ใช้ ส่วนความเร็วเฉลี่ยเป็นปริมาณเวกเตอร์ หาจากอัตราส่วนระหว่างการกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้กับช่วงเวลาที่ใช้

2. อัตราเร็วเฉลี่ยกับขนาดของความเร็วเฉลี่ยของวัตถุหนึ่งมีค่าเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ อัตราเร็วเฉลี่ยกับขนาดของความเร็วเฉลี่ยของวัตถุมีค่าเท่ากัน เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ในแนวตรงไม่กลับทิศ แต่ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ต่างไปจากนี้ อัตราเร็วเฉลี่ยจะมากกว่าขนาดความเร็วเฉลี่ย

3. อัตราเร็วเฉลี่ยกับอัตราเร็วขณะหนึ่งของวัตถุหนึ่งมีค่าเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ อัตราเร็วเฉลี่ยกับอัตราเร็วขณะหนึ่งของวัตถุหนึ่งมีค่าเท่ากัน เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วขณะหนึ่งคงตัวตลอดการเคลื่อนที่ ส่วนในกรณีอัตราเร็วขณะหนึ่งไม่คงตัว ส่วนใหญ่จะมีค่าไม่เท่ากัน แต่บางขณะอาจมีค่าเท่ากันได้

2.4 ความเร่ง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและคำนวณความเร่งเฉลี่ย ความเร่งขณะหนึ่งของวัตถุ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ความเร่งทำให้วัตถุเคลื่อนที่เร็วขึ้นเท่านั้น	1. ความเร่งทำให้วัตถุเคลื่อนที่เร็วขึ้นหรือช้าลงก็ได้
2. วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัวไม่มีความเร่ง	2. วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว มีความเร่งได้ทั้งนี้เพราะ ความเร่งทำให้วัตถุเปลี่ยนทิศโดยไม่เปลี่ยนอัตราเร็วก็ได้
3. อัตราเร่งขณะหนึ่งเท่ากับขนาดความเร่งขณะหนึ่ง	3. อัตราเร่งไม่มีนิยามในทางฟิสิกส์ ทั้งในความหมายอัตราเร่งเฉลี่ย และอัตราเร่งขณะหนึ่ง จึงไม่ควรนำมาเทียบกับความเร่ง

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

- 1) วิดีทัศน์ประกอบการสอนเกี่ยวกับความเร่ง เช่น การใช้ห้ามล้อหยุดรถ
- 2) ชุดอุปกรณ์กิจกรรมลองทำดู ถ้ามีการให้ทำกิจกรรมลองทำดู

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 2.4 โดยการเปิดวิดีโอเกี่ยวกับการขับรถหรือให้ความรู้ว่าการที่วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเกิดจาก ความเร่ง จากนั้นตั้งคำถามว่าในชีวิตประจำวันสามารถพบเห็นการเปลี่ยนแปลงความเร็วได้อย่างไรบ้าง

ครูทบทวนความหมายของความเร็ว จากนั้นให้ความรู้เกี่ยวกับความเร่งเฉลี่ยตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า ความเร่งเฉลี่ยคือความเร็วที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา ดังสมการ 2.4

$$v_{x,av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

จากนั้นครูเน้นถึงความหมายของความเร่งในวิชาฟิสิกส์ตามข้อสังเกตในหนังสือเรียนว่า วัตถุที่มีความเร่งไม่ได้หมายถึงวัตถุที่เคลื่อนที่เร็วขึ้นเท่านั้น วัตถุที่เคลื่อนที่ช้าลง เราก็เรียกว่า วัตถุที่มีความเร่งเช่นกัน นั่น

คือ เมื่อวัตถุมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ไม่ว่าจะเร็วขึ้น ช้าลง หรือเร็วเท่าเดิมแต่เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ ล้วนแต่เป็นวัตถุที่มีความเร่งทั้งสิ้น ซึ่งต่างจากการใช้คำนี้ในชีวิตประจำวันที่เราใช้ “ความเร่ง” เมื่อวัตถุนั้นเคลื่อนที่เร็วขึ้น และใช้ “ความหน่วง” เมื่อวัตถุนั้นเคลื่อนที่ช้าลง ซึ่งในวิชาฟิสิกส์ ถือว่าเป็นการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง



แนวคำตอบชวนคิด

วัตถุที่มีความเร่งเป็นลบ คือวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ช้าลงหรือไม่ อย่างไร จงยกตัวอย่าง

แนวคำตอบ วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งเป็นลบ อาจเคลื่อนที่ช้าลงหรือเร็วขึ้นก็ได้ ขึ้นอยู่กับทิศของ ความเร่งมีทิศเดียวกันหรือทิศตรงข้ามกับความเร็ว เช่น ในกรณีขว้างวัตถุขึ้นในแนวดิ่ง เมื่อกำหนด ให้ทิศขึ้นเป็นบวก ในช่วงที่วัตถุเคลื่อนที่ขึ้น ความเร็วมีทิศขึ้นจะเป็นบวก ความเร่งมีทิศลงจะเป็นลบ กรณีนี้วัตถุเคลื่อนที่ช้าลง แต่ถ้าพิจารณาในช่วงที่วัตถุเคลื่อนที่ลง ความเร็วมีทิศลงจะเป็นลบ ความเร่งมีทิศลงจะเป็นลบ กรณีนี้วัตถุเคลื่อนที่เร็วขึ้น

ครูอธิบายตัวอย่าง 2.5 ในการหาความเร่งของวัตถุในกรณี ก.-ง. จากนั้น สรุปผลการคำนวณที่ได้ตาม ตารางดังนี้

ข้อ	เครื่องหมายของความเร็ว เริ่มต้น	เครื่องหมายของความเร่ง	การเคลื่อนที่
1	+	+	ไปทางขวา, เร็วขึ้น
2	+	-	ไปทางขวา, ช้าลง
3	-	-	ไปทางซ้าย, เร็วขึ้น
4	-	+	ไปทางซ้าย, ช้าลง

ครูใช้ตารางข้างต้นให้นักเรียนอภิปรายจนได้ข้อสรุปตามข้อสังเกตในหนังสือเรียน ได้แก่ เครื่องหมายของความเร็วและความเร่งว่ามาจากการกำหนดทิศทาง ดังนั้นแม้ความเร่งมีเครื่องหมายเป็นบวก ไม่จำเป็นว่า จะต้องมีความเร็วเพิ่มขึ้น โดยถ้าความเร็วเริ่มต้นและความเร่งมีเครื่องหมายเหมือนกัน (มีทิศเดียวกัน) วัตถุจะเคลื่อนที่เร็วขึ้น แต่ถ้าความเร็วเริ่มต้นและความเร่งมีเครื่องหมายต่างกัน (มีทิศตรงข้ามกัน) วัตถุจะเคลื่อนที่ช้าลง

ครูอธิบายตัวอย่าง 2.6 เพื่อให้นักเรียนเข้าใจการคำนวณความเร่งเฉลี่ย จากนั้นให้ความรู้เกี่ยวกับ

ความเร่งขณะหนึ่งว่า พิจารณาจากความเร่งเฉลี่ย โดยใช้ช่วงเวลาที่สั้นมาก ๆ ในกรณีคล้ายกับการพิจารณาความเร็วขณะหนึ่งจากความเร็วเฉลี่ย จากนั้นครูทบทวนความรู้ที่ได้จากกิจกรรม 2.1 และอาจให้นักเรียนทำกิจกรรมลองทำดูในหัวข้อ 2.4.2



กิจกรรมลองทำดู

การหาความเร่งเฉลี่ยและความเร่งขณะหนึ่งของรถทดลอง

จุดประสงค์

หาความเร่งเฉลี่ยและความเร่งขณะหนึ่งของรถทดลอง

เวลาที่ใช้ 35 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

แถบกระดาษที่ผ่านเครื่องเคาะสัญญาณจากกิจกรรม 2.1

แถบกระดาษ ช่วงที่	เวลาดึงกลาง แต่ละช่วง t (s)	ระยะทางใน 2 ช่วงจุด Δs (cm)	เวลา 2 ช่วงจุด Δt (s)	ขนาดความเร็วขณะ หนึ่ง ใน 2 ช่วงจุด v (cm/s)
1	1/50	2.30	2/50	57.5
2	3/50	2.55	2/50	63.8
3	5/50	1.82	2/50	45.5
4	7/50	1.60	2/50	40.0

ตัวอย่างการหาความเร่งเฉลี่ยและความเร่งขณะหนึ่งจากแถบกระดาษทดลอง

วิธีหาความเร่ง คำนวณความเร่งเฉลี่ยระหว่างช่วงเวลาตั้งแต่ 1/50 วินาทีถึง 7/50 วินาทีและความเร่งขณะหนึ่งบนแถบกระดาษที่เวลา 4/50 วินาที ดังนี้

ความเร่งเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ $1/50$ วินาทีถึง $7/50$ วินาที หาได้จากความเร็วที่เวลา $1/50$ วินาที และ $7/50$ วินาที มีค่าเท่ากับ $(40.0 - 57.5)/(7/50 - 1/50) = 146$ เซนติเมตรต่อวินาที²

ความเร่งขณะหนึ่งที่เวลา $4/50$ วินาที หาได้จากความเร็วที่เวลา $3/50$ วินาทีและ $5/50$ วินาที มีค่าเท่ากับ $(45.5 - 63.8)/(5/50 - 3/50) = 458$ เซนติเมตรต่อวินาที²

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูนำนักเรียนอภิปรายผลการทดลองจนสรุปได้ว่า

ความเร่งเฉลี่ยของรถทดลองตลอดการเคลื่อนที่หาได้จากผลต่างความเร็วที่เวลาสุดท้ายและเวลาเริ่มต้นหารด้วยเวลาที่ใช้ ส่วนความเร่งขณะหนึ่งของรถทดลองหาได้จากการนำความเร็วระหว่าง 2 ช่วงจุดหารด้วยเวลาที่ใช้คือ $2/50$ วินาที

ครูให้ความรู้ตามตัวอย่าง 2.7 เพื่อให้นักเรียนเข้าใจการคำนวณความเร่งขณะหนึ่ง จากนั้นให้นักเรียน อภิปรายเพื่อสรุปความรู้ที่ได้เกี่ยวกับความเร่งเฉลี่ยและความเร่งขณะหนึ่ง และการนำความรู้ไปประยุกต์ ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น การเพิ่มความเร็หรือลดความเร็วยานพาหนะ

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับความเร่ง จากนั้นครูให้นักเรียนตอบ คำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 2.4 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปราย คำตอบร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 2.4

- เมื่อเรากล่าวว่า “ความเร่ง” นั้นหมายถึงความเร่งเฉลี่ยหรือความเร่งขณะหนึ่ง
แนวคำตอบ ความเร่งขณะหนึ่ง
- การที่ความเร่งมีเครื่องหมายเป็นบวก หมายถึง วัตถุเคลื่อนที่เร็วขึ้นเสมอใช่หรือไม่อย่างไร
แนวคำตอบ ไม่ใช่ เครื่องหมายบวกบอกทิศทางของความเร่ง ถ้าความเร็วเดิมเป็นบวกวัตถุเคลื่อนที่เร็วขึ้น แต่ถ้าความเร็วเดิมเป็นลบ วัตถุเคลื่อนที่ช้าลง



เฉลยแบบฝึกหัด 2.4

1. รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่ในแนวตรงด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที ต่อมาคนขับได้เร่งเครื่องยนต์ทำให้รถยนต์มีความเร่ง 3 เมตรต่อวินาที² เป็นเวลา 5 วินาที จงหาความเร็วที่สิ้นสุดเวลา 5 วินาที

แนวคิด จากโจทย์จะได้ว่า $t_i = 0$, $t_f = 5\text{ s}$, $v(t_i) = 20\text{ m/s}$ และ $a_{x,\text{av}} = 3\text{ m/s}^2$ และสามารถหา $v(t_f)$ ได้จากสมการ

$$\begin{aligned} a_{x,\text{av}} &= \frac{\Delta v_x}{\Delta t} \\ &= \frac{v(t_f) - v(t_i)}{(t_f - t_i)} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$3\text{ m/s}^2 = \frac{v(5) - (20\text{ m/s})}{(5.0\text{ s} - 0)}$$

$$v(5) = (3\text{ m/s}^2)(5\text{ s}) + (20\text{ m/s}) = +35\text{ m/s}$$

ตอบ ความเร็วที่สิ้นสุดเวลา 5 วินาที มีค่าเท่ากับ +35 m/s

2. รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวระดับด้วยความเร็ว 30 เมตรต่อวินาที คนขับมองเห็นท่อนไม้ใหญ่ขวางถนนอยู่ จึงเหยียบเบรกเพื่อให้รถหยุดภายในเวลา 6 วินาที จงหาความเร่งที่เกิดขึ้น

แนวคิด จากโจทย์จะได้ว่า $t_i = 0$, $t_f = 6\text{ s}$, $v(t_i) = 30\text{ m/s}$ และ $v(t_f) = 0$ สามารถหาความเร่งเฉลี่ย $a_{x,\text{av}}$ ได้จากสมการ

$$\begin{aligned} a_{x,\text{av}} &= \frac{\Delta v_x}{\Delta t} \\ &= \frac{v(t_f) - v(t_i)}{(t_f - t_i)} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} a_{x,\text{av}} &= \frac{0 - (30\text{ m/s})}{(6\text{ s} - 0)} \\ &= -5\text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ตอบ ความเร่งที่เกิดขึ้น มีค่าเท่ากับ -5 m/s²

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับความเร่งเฉลี่ยและความเร่งขณะหนึ่ง จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจระหว่างเรียน การสรุปการนำเสนอ คำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 2.4
2. ทักษะการใช้จำนวน การคิดวิเคราะห์ จากการแบบทดสอบและจากการทำกิจกรรมลงทำดู
3. ทักษะการสังเกต การทดลอง การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การลงความเห็นจากข้อมูล และการคิดอย่างมีวิจารณญาณ จากการอภิปรายเกี่ยวกับผลการสังเกต และการสรุป
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล ความซื่อสัตย์ ความร่วมมือช่วยเหลือ จากข้อมูลที่สืบค้น การทำกิจกรรมการอภิปราย และ การนำเสนอ

2.5 กราฟของการเคลื่อนที่แนวตรง

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยทบทวนความรู้เกี่ยวกับปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ทั้งหมด ได้แก่ ตำแหน่ง การกระจัด ความเร็ว อัตราเร็ว และความเร่ง จากนั้นชี้ให้นักเรียนเห็นว่าการหาปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ นอกจากจะใช้วิธีตามที่ได้เรียนมาแล้ว ยังสามารถใช้ความรู้จากการวิเคราะห์กราฟ มาศึกษาปริมาณดังกล่าวได้เช่นกัน

ครูให้ความรู้กับนักเรียนว่า กราฟที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่หลัก ๆ มี 3 แบบได้แก่ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลา กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา

2.5.1 กราฟระหว่างตำแหน่งกับเวลา

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แนวตรงของวัตถุจากกราฟตำแหน่งกับเวลา

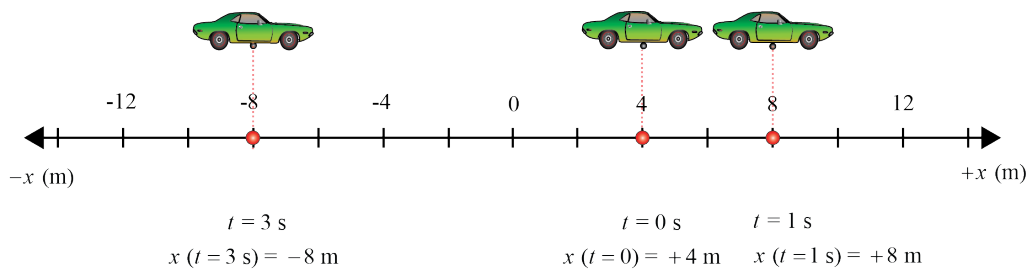
ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. พื้นที่ใต้กราฟมีแต่ค่าบวกเท่านั้น	1. พื้นที่ใต้กราฟมีได้ทั้งค่าบวกและลบ
2. ความชันของกราฟเส้นตรงหาจากจุด 2 จุดที่เป็นข้อมูล	2. ความชันของกราฟเส้นตรงต้องหาจากจุด 2 จุดบนเส้นกราฟเท่านั้น

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้หัวข้อ 2.5.1 แล้วให้ความรู้เกี่ยวกับการหาความชันของกราฟเส้นตรง ความชันเป็นบวก เป็นลบ และเป็นศูนย์ การเปลี่ยนแปลงความชันของเส้นสัมผัสกราฟ รวมถึงพื้นที่ใต้กราฟ ครูอธิบายการลงพิกัดการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในรูป 2.4

เราสามารถเขียนเป็นตารางแสดงตำแหน่งของรถยนต์ในเวลาต่าง ๆ ได้ดังนี้

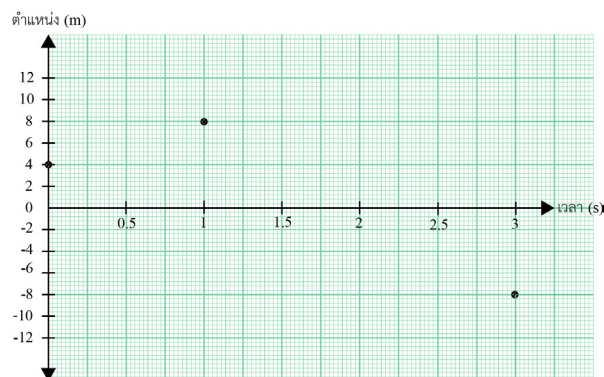


รูป 2.4 การเคลื่อนที่ของรถยนต์ในแนวตรง

เราสามารถเขียนเป็นตารางแสดงตำแหน่งของรถยนต์ในเวลาต่าง ๆ ได้ดังนี้

เวลา (วินาที)	ตำแหน่งของรถยนต์ (เมตร)
0	+4.0
1.0	+8.0
2.0	-8.0

เมื่อลงพิกัดความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของรถยนต์ กับเวลาจะได้ดังรูป 2.5



รูป 2.5 พิกัดความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของรถยนต์กับเวลา

ครูให้ความรู้กับนักเรียนว่า เมื่อเราทราบตำแหน่งของวัตถุ ณ เวลาต่าง ๆ ได้มากขึ้น จะทำให้เราทราบเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นได้ดียิ่งขึ้น และสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของรถยนต์กับเวลาได้ละเอียดขึ้น ตามรูป 2.8-2.10 ในหนังสือเรียน

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่า ความเร็วเฉลี่ยหาได้จากความชันของเส้นตรงที่ลากผ่านระหว่างจุดสองจุดในกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลา



แนวคำตอบชวนคิด

1. ความชันของเส้นตรงที่ลากผ่านจุด (1,8) และ (3,-8) มีค่าเท่าใด ค่าที่ได้นี้เท่ากับความเร็วเฉลี่ยที่คำนวณได้ในตัวอย่าง 2.2ก. หรือไม่ ในกรณีนี้ขนาดความเร็วเฉลี่ยเท่ากับอัตราเร็วเฉลี่ยหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ความชันของเส้นตรงมีค่าเท่ากับความเร็วเฉลี่ยที่คำนวณได้ และขนาดความเร็วเฉลี่ยเท่ากับอัตราเร็วเฉลี่ย เพราะวัตถุเคลื่อนที่ในแนวตรงและไม่มีการกลับทิศ

2. ความชันของเส้นตรงที่ลากผ่านจุด (0,4) และ (3,-8) มีค่าเท่าใด ค่าที่ได้นี้เท่ากับความเร็วเฉลี่ยที่คำนวณได้ในตัวอย่าง 2.2ข. หรือไม่ ในกรณีนี้ขนาดความเร็วเฉลี่ยเท่ากับอัตราเร็วเฉลี่ยหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ความชันของเส้นตรงมีค่าเท่ากับความเร็วเฉลี่ยที่คำนวณได้ แต่ขนาดความเร็วเฉลี่ยไม่เท่ากับอัตราเร็วเฉลี่ย เพราะวัตถุเคลื่อนที่มีการกลับทิศการเคลื่อนที่

ครูให้ความรู้กับนักเรียนว่า เครื่องหมายบวกหรือลบของความชันแสดงทิศทางของความเร็วเฉลี่ย ความชันที่เป็นบวก หมายถึงความเร็วเฉลี่ยเป็นบวกซึ่งมีทิศในแนว $+x$ ส่วนความชันที่เป็นลบ หมายถึงความเร็วเฉลี่ยเป็นลบซึ่งมีทิศในแนว $-x$ ถ้าความชันเป็นศูนย์ แสดงว่า ขนาดความเร็วเฉลี่ยเป็นศูนย์ และเมื่อพิจารณาความชันโดยไม่คิดเครื่องหมาย แสดงถึงขนาดของความเร็วเฉลี่ย



แนวคำตอบชวนคิด

1. วัตถุที่มีความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่งเป็นศูนย์ วัตถุไม่มีการเคลื่อนที่ใช่หรือไม่ อย่างไร
แนวคำตอบ ไม่ใช่ เพราะวัตถุอาจไม่มีการเคลื่อนที่หรือ วัตถุมีการเคลื่อนที่แต่เคลื่อนที่กลับมาที่จุดเดิม ทำให้การกระจัดในช่วงเวลาเป็นศูนย์ ความเร็วเฉลี่ยจึงเป็นศูนย์
2. วัตถุที่มีอัตราเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่งเป็นศูนย์ วัตถุไม่มีการเคลื่อนที่ใช่หรือไม่ อย่างไร
แนวคำตอบ ใช่ เพราะ อัตราเร็วเฉลี่ยหาจากระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ การที่อัตราเร็วเฉลี่ยเป็นศูนย์หมายถึงระยะทางเป็นศูนย์ แสดงว่าวัตถุไม่มีการเคลื่อนที่

ครูถามนักเรียนว่า การหาความเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลาใดๆ หาได้จากความชันเส้นตรงที่ลากผ่านระหว่างจุดสองจุด ของช่วงเวลานั้นๆ ในกราฟ หากช่วงเวลาน้อยเข้าใกล้ศูนย์ เส้นตรงดังกล่าวจะมีลักษณะอย่างไร หลังจากนั้น ครูให้ความรู้การหาความเร็วขณะหนึ่งจากความชันของเส้นสัมผัสกราฟที่เวลานั้น ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน



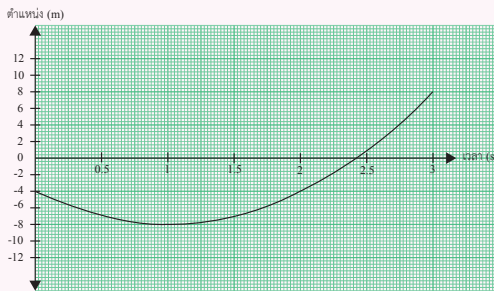
แนวคำตอบชวนคิด

1. ความชันของเส้นตรงที่สัมผัสเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลาเป็นศูนย์ หมายความว่า อย่างไร
แนวคำตอบ ความเร็วของวัตถุที่เวลานั้นเท่ากับศูนย์ โดยเส้นสัมผัสกราฟที่เวลานั้นอยู่ในแนวระดับ
2. วัตถุ A มีความเร็ว +10 เมตรต่อวินาที กับวัตถุ B มีความเร็ว -10 เมตรต่อวินาที วัตถุใดเคลื่อนที่เร็ว กว่ากัน เพราะเหตุใด
แนวคำตอบ เคลื่อนที่เร็วเท่ากัน เพราะมีขนาดความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที เท่ากัน



แนวคำตอบชวนคิด

จงวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากกราฟในรูป แต่ละช่วงเวลาต่อไปนี้



ก. ในช่วง $t = 0$ ถึง $t = 1.0$ s

ข. ในช่วง $t = 1.0$ s ถึงประมาณ $t = 2.4$ s

ค. ช่วงหลังประมาณ $t = 2.4$ s

แนวคำตอบ

ก. วัตถุเคลื่อนที่ไปทางซ้ายจากตำแหน่ง -4 เมตร ไปยังตำแหน่ง -8 เมตร เมื่อพิจารณาความชันในช่วงนี้พบว่า ขนาดของความชันมีค่าลดลง หมายถึงวัตถุมีขนาดของความเร็วลดลงเรื่อย ๆ จนวัตถุมีความเร็วเป็นศูนย์ที่ตำแหน่ง -8 เมตร

ข. วัตถุเคลื่อนที่กลับไปทางขวาจากตำแหน่ง -4 เมตร ไปยังตำแหน่ง 0 เมื่อพิจารณาความชันในช่วงนี้พบว่า ขนาดของความชันมีค่าเพิ่มขึ้น หมายถึงวัตถุมีขนาดของความเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

ค. วัตถุยังคงเคลื่อนที่จากตำแหน่ง 0 ไปทางขวา เมื่อพิจารณาความชันในช่วงนี้พบว่า ขนาดของความชันมีค่าเพิ่มขึ้น หมายถึงวัตถุมีขนาดความเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

2.5.2 กราฟระหว่างความเร็วกับเวลาและกราฟระหว่างความเร่งกับเวลา

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แนวตรงของวัตถุจากกราฟความเร็วกับเวลา
2. อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แนวตรงของวัตถุจากกราฟความเร่งกับเวลา

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. พื้นที่ใต้กราฟมีแต่ค่าบวกเท่านั้น	1. พื้นที่ใต้กราฟมีได้ทั้งค่าบวกและลบ
2. ความชันของกราฟเส้นตรงหาจากจุด 2 จุดที่เป็นข้อมูล	2. ความชันของกราฟเส้นตรงต้องหาจากจุด 2 จุดบนเส้นกราฟเท่านั้น

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูใช้คำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายตามรูป 2.13 ในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่าการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ความเร็วเฉลี่ยเท่ากับความเร็วขณะหนึ่ง และให้ความรู้ในการแปลงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลา เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา ดังรูป 2.14 ในหนังสือเรียน

หลังจากนั้นครูอภิปรายตามตัวอย่าง 2.8 ในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า การกระจัดของวัตถุในช่วงเวลาหนึ่ง หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาในช่วงเวลานั้น โดยเน้นกับนักเรียนว่าเครื่องหมายของพื้นที่ ที่คำนวณได้เกี่ยวข้องกับทิศทางของการกระจัด

ครูอภิปรายเกี่ยวกับการหาความเร่งเฉลี่ย และความเร่งขณะหนึ่งจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า ความเร่งเฉลี่ยหาได้จากความชันของเส้นตรงที่ลากผ่านระหว่างจุดสองจุดในกราฟ ส่วนความเร่งขณะหนึ่งหาได้จากความชันของเส้นสัมผัสกราฟที่เวลานั้น ต่อจากนั้นครูอภิปรายการหาการเปลี่ยนความเร็วจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา ตามตัวอย่าง 2.9 จนสรุปได้ว่า พื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา คือการเปลี่ยนความเร็ว แล้วอภิปรายตามตัวอย่าง 2.10

ให้นักเรียนอภิปรายเพื่อสรุปความรู้ที่ได้เกี่ยวกับกราฟของการเคลื่อนที่แนวตรง



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 2.5

1. ความเร็วเฉลี่ยและความเร็วขณะหนึ่งสามารถหาจากกราฟระหว่างตำแหน่งกับเวลาได้อย่างไร

แนวคำตอบ ความเร็วเฉลี่ยหาได้จากความชันของเส้นตรงที่ลากผ่านระหว่างจุดสองจุดในกราฟ ส่วนความเร็วขณะหนึ่งหาได้จากความชันของเส้นสัมผัสกราฟที่เวลานั้น

2. พื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาคือปริมาณใด

แนวคำตอบ ขนาดการกระจัดและระยะทางในช่วงเวลานั้น

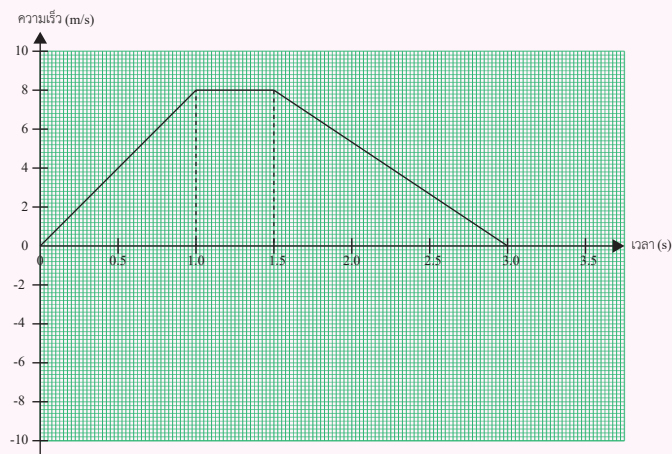
3. ความชันของเส้นตรงที่สัมผัสเส้นกราฟและพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา คือ ปริมาณใด

แนวคำตอบ ความชันของเส้นสัมผัสกราฟแทนขนาดความเร่งขณะหนึ่งที่เวลานั้น ส่วนพื้นที่ใต้กราฟแทนการเปลี่ยนเร็วในช่วงเวลานั้น



เฉลยแบบฝึกหัด 2.5

1. วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากกราฟในรูปแต่ละช่วงเวลาต่อไปนี้
 - ก. ในช่วง $t = 0$ ถึง $t = 1.0$ s
 - ข. ในช่วง $t = 1.0$ s ถึง $t = 1.5$ s
 - ค. ในช่วง $t = 1.5$ s ถึง $t = 3.0$ s



รูป กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา

จงหาการกระจัด ความเร็วเฉลี่ยและความเร่งในแต่ละช่วง

แนวคิด สำหรับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา การกระจัดหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟ ความเร็วเฉลี่ยหาได้จากอัตราส่วนของการกระจัดต่อช่วงเวลา และความเร่งหาได้จากความชัน

ก. วิธีทำ การกระจัดหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟ

$$\begin{aligned}\Delta x &= \frac{1}{2} (+8.0 \text{ m/s})(1.0 \text{ s}) \\ &= +4.0 \text{ m}\end{aligned}$$

ความเร็วเฉลี่ยหาได้จากอัตราส่วนของการกระจัดต่อช่วงเวลา

$$\begin{aligned}v_{x,\text{av}} &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ &= \frac{(+4.0 \text{ m})}{(1.0 \text{ s} - 0)} \\ &= +4.0 \text{ m/s}\end{aligned}$$

ความเร่งหาได้จากความชัน

$$\begin{aligned}a_{x,\text{av}} &= \frac{\Delta v}{\Delta t} \\ &= \frac{(8.0 \text{ m/s} - 0)}{(1.0 \text{ s} - 0)} \\ &= +8.0 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

ตอบ ในช่วง $t = 0$ ถึง $t = 1.0 \text{ s}$ การกระจัดมีค่าเท่ากับ $+4.0$ เมตร ความเร็วเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ $+4.0$ เมตรต่อวินาที ความเร่งมีค่าเท่ากับ $+8.0$ เมตรต่อวินาที²

ข. วิธีทำ การกระจัดหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟ

$$\begin{aligned}\Delta x &= (8.0 \text{ m/s})(1.5 \text{ s} - 1.0 \text{ s}) \\ &= +4.0 \text{ m}\end{aligned}$$

ความเร็วเฉลี่ยหาได้จากอัตราส่วนของการกระจัดต่อช่วงเวลา

$$\begin{aligned}v_{x,\text{av}} &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ &= \frac{(+4.0 \text{ m})}{(1.5 \text{ s} - 1.0 \text{ s})} \\ &= +8.0 \text{ m/s}\end{aligned}$$

ความเร่งหาได้จากความชัน

$$\begin{aligned}a_{x,\text{av}} &= \frac{\Delta v}{\Delta t} \\ &= \frac{(8.0 \text{ m/s} - 8.0 \text{ m/s})}{(1.5 \text{ s} - 1.0 \text{ s})} \\ &= 0\end{aligned}$$

ตอบ ในช่วง $t = 1.0 \text{ s}$ ถึง $t = 1.5 \text{ s}$ การกระจัดมีค่าเท่ากับ $+4.0$ เมตร ความเร็วเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ $+8.0$ เมตรต่อวินาที ความเร่งมีค่าเท่ากับศูนย์

ค. วิธีทำ การกระจัดหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟ

$$\begin{aligned}\Delta x &= \frac{1}{2} (+8.0 \text{ m/s})(3.0 \text{ s} - 1.5 \text{ s}) \\ &= +6.0 \text{ m}\end{aligned}$$

ความเร็วเฉลี่ยหาได้จากอัตราส่วนของการกระจัดต่อช่วงเวลา

$$\begin{aligned}v_{x,\text{av}} &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ &= \frac{(+6.0 \text{ m})}{(3.0 \text{ s} - 1.5 \text{ s})} \\ &= +4.0 \text{ m/s}\end{aligned}$$

ความเร่งหาได้จากความชัน

$$\begin{aligned} a_{x,av} &= \frac{\Delta v}{\Delta t} \\ &= \frac{(0 - 8.0 \text{ m/s})}{(3.0 \text{ s} - 1.5 \text{ s})} \\ &= -5.3 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ตอบ ในช่วง $t = 1.5 \text{ s}$ ถึง $t = 3.0 \text{ s}$ การกระจัดมีค่าเท่ากับ $+6.0$ เมตร ความเร็วเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ $+4.0$ เมตรต่อวินาที ความเร่งมีค่าเท่ากับ -5.3 เมตรต่อวินาที²

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ครูแนะนำให้นักเรียนใช้สื่อในการช่วยศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุ เช่น การใช้โปรแกรม แทร็กเกอร์ (tracker) ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุ

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับกราฟของการเคลื่อนที่แนวตรง จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 2.5 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา จากการนำเสนอ คำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 2.5
2. ทักษะการใช้จำนวน การคิดวิเคราะห์ จากการแบบทดสอบ
3. ทักษะการสังเกต การลงความเห็นจากข้อมูล และการคิดอย่างมีวิจารณญาณ จากการอภิปรายเกี่ยวกับผลการสังเกต และการสรุป
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล จากข้อมูลที่สืบค้น การอภิปราย และ การนำเสนอ

2.6 สมการสำหรับการเคลื่อนที่แนวตรง

ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยทบทวนความรู้เกี่ยวกับปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ทั้งหมด จากนั้นชี้ให้นักเรียนเห็นว่านอกจากจะใช้กราฟในการศึกษาปริมาณดังกล่าวแล้ว ยังสามารถใช้สมการในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ได้ โดยแยกพิจารณาเป็นสองกรณีได้แก่ กรณีที่ความเร็วคงตัวและความเร่งคงตัว

2.6.1 การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว

จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แนวตรงด้วยความเร็วคงตัว

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อวัตถุมีความเร่งเป็นศูนย์ วัตถุจะหยุดนิ่งเท่านั้น	1. เมื่อวัตถุมีความเร่งเป็นศูนย์ วัตถุอาจหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์ตามหัวข้อ 2.6.1 แล้วตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า การที่วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวนั้น ความเร่งจะต้องมีค่าอย่างไร จากนั้นครูเน้นถึงความหมายของความเร่ง จนสรุปได้ว่า วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวได้นั้น ความเร่งวัตถุต้องเป็นศูนย์ตลอดเวลา จากนั้นครูอภิปรายโดยใช้รายละเอียดในหนังสือเรียนจนได้ สมการ (2.6) และ (2.7)

$$x_f = x_i + v_x(t_f - t_i)$$

$$x_f = x_i + v_x t \quad \text{ในกรณีที่ } t_i = 0$$

ครูเปรียบเทียบสมการดังกล่าวกับสมการเส้นตรงตามหนังสือเรียน เพื่อแสดงให้เห็นว่าความชันของกราฟระหว่าง x กับ t คือ v_x

ครูให้ความรู้กับนักเรียนว่า สมการ (2.6) และ (2.7) ใช้ได้ในเฉพาะกรณีความเร่งเป็นศูนย์เท่านั้น และความเร็วเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับความเร็วขณะหนึ่ง หรือวัตถุมีความเร็วคงตัว

ครูอธิบายตัวอย่าง 2.11 เพื่อให้นักเรียนเข้าใจการหาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว จากนั้น ครูให้ข้อสังเกตกับนักเรียนว่า ในการระบุตำแหน่ง เราจะบอกตำแหน่งเทียบกับจุดกำเนิด แต่การกระจัดเป็นการหาผลต่างของตำแหน่งหลังเทียบกับตำแหน่งแรก โดยตำแหน่งแรกไม่จำเป็นต้องอยู่ที่จุดกำเนิด

2.6.2 การเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แนวตรงด้วยความเร่งคงตัว ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ในการคำนวณความเร่งจะต้องมีค่าเป็นบวกเสมอ	1. ในการคำนวณความเร่งสามารถมีค่าได้ทั้งบวก ลบหรือศูนย์ ขึ้นอยู่กับกรณี
2. ความเร่งทำให้วัตถุเคลื่อนที่เร็วขึ้นเท่านั้น	2. ความเร่งทำให้วัตถุเคลื่อนที่เร็วขึ้นหรือช้าลงก็ได้

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้หัวข้อ 2.6.2 แล้วตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว การเคลื่อนที่ของวัตถุจะเป็นอย่างไร จากนั้นครูนำอภิปรายการหาความสัมพันธ์ตามสมการสำหรับการเคลื่อนที่แนวตรงทั้ง 4 สมการ ได้แก่สมการ (2.16) - (2.19) ในหนังสือเรียน

แบบที่ 1	แบบที่ 2
$v_{fx} = v_{ix} + a_x t$	$v_x = u_x + a_x t$
$\Delta x = \left(\frac{v_{ix} + v_{fx}}{2} \right) t$	$\Delta x = \left(\frac{u_x + v_x}{2} \right) t$
$\Delta x = v_{ix} t + \frac{1}{2} a_x t^2$	$\Delta x = u_x t + \frac{1}{2} a_x t^2$
$v_{fx}^2 = v_{ix}^2 + 2a_x \Delta x$	$v_x^2 = u_x^2 + 2a_x \Delta x$

ครูให้ความรู้เพิ่มเติมกับนักเรียนว่าเมื่อความเร่งมีค่าคงตัว ความเร่งเฉลี่ยจะมีค่ากับความเร่งขณะหนึ่ง ครูให้ข้อสังเกตกับนักเรียนว่า สมการ (2.10) ในหนังสือเรียนใช้ได้ทั้งในกรณีที่ความเร่งคงตัวและไม่คงตัว แต่สมการ (2.7) ใช้ได้เฉพาะกับกรณีที่ความเร่งคงตัวเท่านั้น

ครูอภิปรายตัวอย่าง 2.12 เพื่อให้นักเรียนเข้าใจการใช้สมการ (2.16) ในการคำนวณ

ครูอภิปรายตัวอย่าง 2.13 เพื่อให้นักเรียนเข้าใจการใช้สมการ (2.17) ในการคำนวณ

ครูอภิปรายตัวอย่าง 2.14 เพื่อให้นักเรียนเข้าใจการใช้สมการ (2.16) (2.18) และ (2.19) ในการคำนวณ

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับสมการสำหรับการเคลื่อนที่แนวตรง จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 2.6 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับสมการในการคำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ในกรณีที่ความเร่งคงตัวจากการนำเสนอ คำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 2.6
2. ทักษะการใช้จำนวน การคิดวิเคราะห์ จากแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 2.6
3. ทักษะการสังเกต การลงความเห็นจากข้อมูล และการคิดอย่างมีวิจารณญาณ จากการอภิปรายเกี่ยวกับผลการสังเกต และการสรุป
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล จากข้อมูลที่สืบค้น การอภิปราย และ การนำเสนอ



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 2.6

กรณีของความเร่งคงตัว ความเร่งเฉลี่ยมีค่าเท่ากับความเร่งขณะหนึ่ง ใช่หรือไม่ เพราะเหตุใด
แนวคำตอบ ใช่ เพราะ ความเร่งหาได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา
 เมื่อความเร่งคงตัว กราฟจะเป็นเส้นตรงมีความชันเท่ากันทุกเวลา



เฉลยแบบฝึกหัด 2.6

1. รถยนต์คันหนึ่งวิ่งมาด้วยความเร็ว 40 เมตรต่อวินาที เมื่อผู้ขับสังเกตเห็นสิ่งกีดขวางที่อยู่ตรง
 ซึ่งห่างออกไป 100 เมตร จึงใช้ห้ามล้อ (เบรก) ทันที เพื่อให้รถเคลื่อนที่ช้าลงจนหยุด ถ้าสมมติว่าการ
 ใช้ห้ามล้อดังกล่าวทำให้เกิดความเร่ง 10 เมตรต่อวินาที² จงคำนวณว่ารถยนต์คันนี้ จะชนสิ่งกีดขวาง
 หรือไม่

แนวคิด ให้ทิศทางความเร็วเริ่มต้นขึ้นมีเครื่องหมายบวก ความเร่งซึ่งในกรณีนี้มีทิศสวนทางกับ
 ความเร็วเริ่มต้นจึงมีเครื่องหมายลบ

ดังนั้น จะได้ว่า $u_x = 40 \text{ m/s}$

ความเร่ง $a_x = -10.0 \text{ m/s}^2$

วิธีทำ หากการกระจัดที่รถยนต์เคลื่อนที่ได้ก่อนหยุด จากสมการ (2.19) เมื่อรถยนต์หยุดขึ้นจะมี
 ความเร็วเป็นศูนย์ ($v_x = 0$)

จากสมการ $v_x^2 = u_x^2 + 2a_x \Delta x$ จะได้

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{v_x^2 - u_x^2}{2a_x} \\ &= \frac{(0)^2 - (40 \text{ m/s})^2}{2(-10 \text{ m/s}^2)} \\ &= \frac{(-1600 \text{ m}^2/\text{s}^2)}{(-20 \text{ m/s}^2)} \\ &= 80 \text{ m} \end{aligned}$$

ตอบ การกระจัดที่รถยนต์เคลื่อนที่ได้ก่อนหยุดเท่ากับ 80 เมตร รถจึงไม่ชนสิ่งกีดขวาง

2. รถจักรยานยนต์วิ่งเป็นเส้นตรงจากหยุดนิ่ง ด้วยความเร่ง 3 เมตรต่อวินาที² เมื่อเวลาผ่านไป 10 วินาทีที่รถจักรยานยนต์คันนี้จะอยู่ห่างจากจุดเดิมเป็นกี่เมตร

แนวคิด ความเร็วเริ่มต้นขึ้นมีเป็นศูนย์ ความเร่งมีค่าเท่ากับ $a_x = +3 \text{ m/s}^2$

วิธีทำ หาการกระจัดที่รถจักรยานยนต์เคลื่อนที่ได้ จากสมการ (2.18) โดย $a_x = +3 \text{ m/s}^2$
 $u_x = 0$ และ $t = 10 \text{ s}$

$$\begin{aligned}\Delta x &= u_x t + \frac{1}{2} a_x t^2 \\ &= (0)(10 \text{ s}) + \frac{1}{2} (+3 \text{ m/s}^2)(10 \text{ s})^2 \\ &= (0) + (150 \text{ m}) \\ &= 150 \text{ m}\end{aligned}$$

ตอบ รถจักรยานยนต์คันนี้อยู่ห่างจากจุดเดิม 150 เมตร

2.7 การตกแบบเสรี

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการตกแบบเสรี
2. ทดลองหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. บริเวณผิวโลกวัตถุตกด้วยความเร็วคงตัว	1. บริเวณผิวโลกวัตถุตกด้วยความเร่งคงตัว
2. วัตถุที่มีมวลมากจะตกด้วยความเร่งที่มากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย	2. วัตถุที่มีมวลมากวัตถุที่มีมวลน้อยตกด้วยความเร่งเท่ากัน

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

- 1) ถุงทรายหรือวัสดุสำหรับการตกแบบเสรี
- 2) ชุดอุปกรณ์กิจกรรม 2.2 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรี
- 3) ใบกิจกรรม
- 4) ถ้าจะมีการแจกแนวทางการให้คะแนนการประเมินทักษะต่าง ๆ จากการทำกิจกรรมให้นักเรียน ให้จัดเตรียมเอกสารให้เพียงพอกับจำนวนนักเรียน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์ตามหัวข้อ 2.7 แล้วนำเข้าสู่บทเรียนโดยการตั้งคำถามให้อภิปรายร่วมกันว่า เหตุใดเมื่อปล่อยวัตถุจากที่สูง วัตถุจึงตกลงสู่พื้นโลก จากนั้นครูตั้งคำถามเพิ่มเติมว่า วัตถุต่าง ๆ ตกลงสู่พื้นโลกในลักษณะเดียวกันหรือไม่ และระหว่างวัตถุที่มีมวลต่างกันตกจากจุดเดียวกัน พร้อมๆ กัน จะตกลงถึงพื้นพร้อมกันหรือไม่ เพราะเหตุใด โดยไม่คำนึงคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นให้นักเรียนสังเกตการตกของถุงทราย 1 ถุง กับ 2 ถุง และ 1 ถุง กับ 3 ถุง จากที่สูงจากพื้นเท่ากัน เมื่อปล่อยพร้อมกันจะตกลงถึงพื้นพร้อมกันหรือไม่ แล้วครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า หากไม่คิดแรงต้านอากาศ วัตถุที่มีมวลต่างกันเมื่อปล่อยให้ตกจากระดับความสูงเดียวกัน วัตถุจะตกลงถึงพื้นพร้อมกัน หลังจากนั้นครูให้ความหมายของการตกแบบเสรี

จากนั้นครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 2.2 การตกแบบเสรี เพื่อหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก



กิจกรรม 2.2 การทดลองเรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรี

จุดประสงค์

หาความเร่งของวัตถุที่ตกแบบเสรี

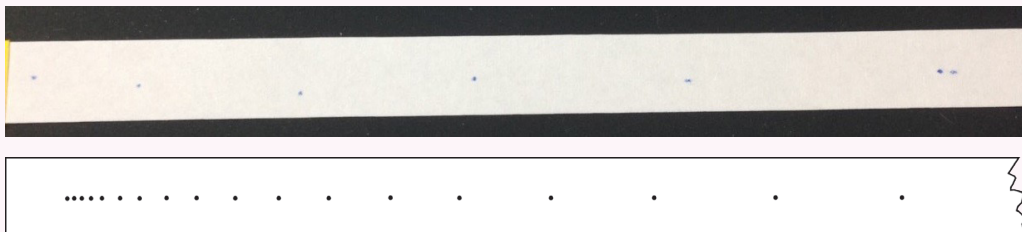
เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|----------------------------------|-----------|
| 1. เครื่องเคาะสัญญาณเวลา | 1 ชุด |
| 2. ลูกทรายมวล 500 กรัม | 1 ลูก |
| 3. แถบกระดาษ | 1 แถบ |
| 4. ลวดหนีบกระดาษ (หรือกระดาษกาว) | 1 อัน |
| 5. ไม้เมตร | 1 อัน |
| 6. หม้อแปลงโวลต์ต่ำ | 1 เครื่อง |
| 7. สายไฟ | 2 เส้น |

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตัวอย่างแถบกระดาษที่ผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

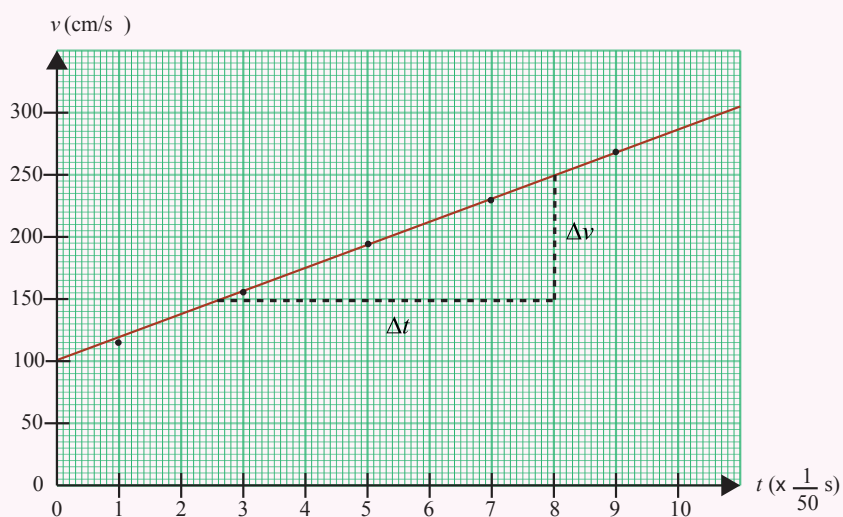


รูป ตัวอย่างแถบกระดาษจากกิจกรรม 2

ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทำกิจกรรม

สองช่วงจุดที่	ระยะทางใน 2 ช่วงจุด s (cm)	เวลา 2 ช่วงจุด (s)	ขนาดความเร็วขณะ หนึ่งใน 2 ช่วงจุด v (cm/s)	เวลาตรงกึ่ง กลาง แต่ละช่วง t (cm/s)
1	4.60	2/50	115.0	1/50
2	6.20	2/50	155.0	3/50
3	7.70	2/50	192.5	5/50
4	9.20	2/50	230.0	7/50
5	10.70	2/50	267.5	9/50

เมื่อเขียนกราฟระหว่างขนาดความเร็วขณะหนึ่ง v กับเวลา t จะได้ดังรูป 2.10



รูป 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา

$$\text{ความชันของกราฟ} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{100 \text{ cm/s}}{5.2 / 50 \text{ s}} = 962 \text{ cm/s}^2 = 9.6 \text{ m/s}^2$$



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

□ กราฟที่ได้มีลักษณะอย่างไร

แนวคำตอบ กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชันเป็นบวก

□ จากลักษณะของกราฟแสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความเร็วขณะหนึ่งกับเวลาเป็นอย่างไร

แนวคำตอบ ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความเร็วขณะหนึ่งกับเวลาเป็นเชิงเส้นกัน

□ ความชันของกราฟมีค่าเท่าใด และค่านี้แทนปริมาณอะไร

แนวคำตอบ ความชันมีค่าประมาณ 9.6 m/s^2 ค่านี้แทนขนาดความเร่ง

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูนำนักเรียนอภิปรายตามแนวคำถามในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า

1. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความเร็วขณะหนึ่ง (v) กับเวลา (t) มีลักษณะเป็นเส้นตรงแสดงว่าขนาดความเร็วขณะหนึ่งแปรผันตรงกับเวลา

2. ความชันของกราฟหาได้จาก $\frac{\Delta x}{\Delta y}$ ซึ่งคือ ความเร่งเฉลี่ย นั่นเอง

3. ความเร่งในการเคลื่อนที่ของลูกตุรยคือ ความเร่งโน้มถ่วงของโลก

ต่อจากนั้นครูชี้แจงเพิ่มเติมว่า ความเร่งโน้มถ่วงของโลกนี้มีค่าที่ยอมรับกันในปัจจุบัน คือ $9.8 \text{ เมตรต่อวินาที}^2$ ครูควรให้นักเรียนหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกจากผลการทดลองของนักเรียน แล้วอภิปรายหาความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดลอง ความชันของกราฟที่ได้จากตัวอย่างมีค่า $9.6 \text{ เมตรต่อวินาที}^2$ (ปรับให้สอดคล้องกับผลการทดลอง) ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ $\left[\frac{9.8 - 9.6}{9.8} \times 100 \right]$

นักเรียนคำนวณหาความคลาดเคลื่อนจากการทดลองของนักเรียนว่าคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ยอมรับกี่เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดลองนี้ถ้านักเรียนทำการทดลองอย่างระมัดระวัง ค่าความคลาด

เคลื่อนไม่ครบเกิน 10% หลังจากนั้นครูควรอภิปรายถึงสาเหตุที่ทำให้การทดลองคลาดเคลื่อน ซึ่งอาจจะมีสาเหตุดังนี้

ก. แลပ်กระดาศขณะที่เลื่อนลง จะครูดกับเหล็กที่บังคับแลပ်กระดาศและปลายคันเคาะขณะเคาะลงบนแลပ်กระดาศ หรือตอนปลายของแลပ်กระดาศสะบัดไปมาเนื่องจากไม่จับตรงปลายของแลပ်กระดาศให้อยู่ในแนวตั้ง ซึ่งมีผลทำให้อัตราเร็วขณะหนึ่งวัดได้มีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ค่าความเร่งที่ได้จึงน้อยกว่าค่าที่ยอมรับ

ข. การลากเส้นกราฟผ่านจุดต่างๆ ถ้าเบนจากแนวที่ควรจะเป็นเพียงเล็กน้อยจะสร้างความชันที่ได้คลาดเคลื่อนไป ซึ่งสาเหตุนี้อาจจะทำให้ความเร่งมากหรือน้อยกว่าค่าที่ยอมรับก็ได้

ค. ระยะห่างปลายเข็มของคันเคาะถึงกระดาศคาร์บอนไม่เหมาะสม ทำให้ช่วงเวลาในการเคาะแต่ละครั้งไม่สม่ำเสมอ จุดบนแลပ်กระดาศจะคลาดเคลื่อนไป

นอกจากสาเหตุทั้ง 3 ข้อที่กล่าวมาแล้วอาจมาจากสาเหตุอื่นๆ ได้อีก เช่น การวัดระยะทางระหว่างจุดการปิดเศษในการคำนวณ ฯลฯ

สำหรับเส้นกราฟที่ไม่ผ่านจุดกำเนิดนั้น ครูควรชี้แจงเพิ่มเติมว่า เป็นเพราะในการเขียนกราฟระหว่างขนาดความเร็วขณะหนึ่งกับเวลานั้นจุดที่เลือกให้เวลาเป็นศูนย์ ขณะนั้นวัตถุมีขนาดความเร็วไม่เท่ากับศูนย์

คำแนะนำเพิ่มเติมสำหรับครู

กิจกรรมนี้ทาง สสวท. มีสื่อประกอบการทำกิจกรรมในรูปแบบการทดลองเสมือนจริง (virtual experiment) เรื่อง การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรี

ครูโยงความรู้ที่ได้จากการทำกิจกรรมเพื่ออธิบายการตกแบบเสรีว่าเป็นการเคลื่อนที่ในแนวตั้งภายใต้ความเร่งโน้มถ่วง และสามารถอธิบายการตกแบบเสรีด้วยสมการการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง ความเร่งคงตัว (2.20) - (2.23) ในหนังสือเรียน

$$v_y = u_y + a_y t$$

$$\Delta y = \left(\frac{u_y + v_y}{2} \right) t$$

$$\Delta y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2$$

$$v_y^2 = u_y^2 + 2a_y \Delta y$$

ครูเน้นว่าวัตถุที่ตกแบบเสรีมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งโน้มถ่วง (g) มีค่าคงตัวและมีทิศลงในแนวดิ่ง เมื่อให้ทิศขึ้นมีเครื่องหมายเป็นบวก จะแทนค่าได้ $a_y = -g = -9.8 \text{ m/s}^2$

ครูอธิบายตัวอย่าง 2.15 และ 2.16 เพื่อให้นักเรียนเข้าใจการใช้สมการของการตกแบบเสรีในการแก้ปัญหา

ครูให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับ กรอบอ้างอิงเป็นกรอบที่ถือว่าอยู่นิ่งเช่น โลกหรือพื้นดิน ซึ่งการพิจารณาการเคลื่อนที่โดยทั่วไปจะใช้โลกหรือพื้นดินเป็นกรอบอ้างอิงซึ่งถือว่าอยู่นิ่ง ความเร็วของวัตถุเทียบกับผู้สังเกต เมื่อทั้งผู้สังเกตและวัตถุมีความเร็วเทียบกับกรอบอ้างอิง สามารถเขียนได้ดังสมการ (2.24) ในหนังสือเรียน

$$v_{BO} = v_B - v_O$$

เมื่อผู้สังเกตและวัตถุมีความเร็ว v_O และ v_B เทียบกับกรอบอ้างอิงตามลำดับ

จากนั้นครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อใช้ความรู้เกี่ยวกับการตกแบบเสรีในกรณีผู้สังเกตเคลื่อนที่ เช่น การปล่อยวัตถุจากบอลลู่นที่กำลังเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง จากนั้นครูอภิปรายตัวอย่าง 2.17

ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อสรุปความรู้ที่ได้เกี่ยวกับการตกแบบเสรีและการนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการตกแบบเสรี และการประยุกต์ใช้สมการการเคลื่อนที่แนวตรงกับการตกแบบเสรี จากการนำเสนอ คำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 2.7
2. ทักษะการใช้จำนวน การคิดวิเคราะห์ จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 2.7
3. ทักษะการวัด จากการทำกิจกรรม
4. ทักษะการสังเกต การทดลอง การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การลงความเห็นจากข้อมูล อย่างมีวิจารณญาณ จากการอภิปรายเกี่ยวกับผลการสังเกต และการสรุป
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล ความซื่อสัตย์ ความร่วมมือช่วยเหลือ จากข้อมูลที่สืบค้น การทดลอง การอภิปราย และ การนำเสนอ

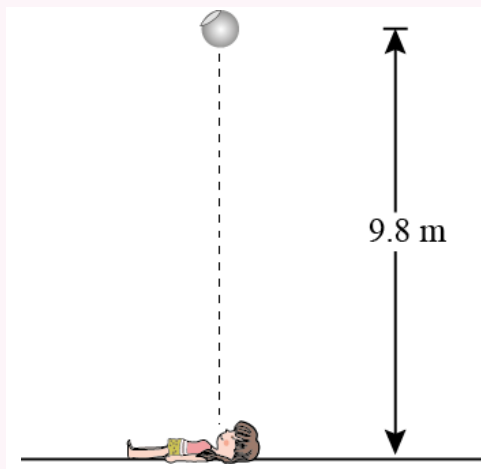
**แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 2.7**

1. วัตถุเคลื่อนที่ขึ้นตามแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ระยะสูงสุดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ขึ้นกับปริมาณใดบ้าง

แนวคำตอบ ขึ้นอยู่กับความเร็วต้นเพียงอย่างเดียว

**เฉลยแบบฝึกหัด 2.7**

1. เด็กหญิงคนหนึ่งนอนบนพื้น มองเห็นลูกบอลลอยลูกหนึ่งที่อยู่สูง 9.8 เมตร เริ่มหล่นพอดี จึงพลิกตัวทันที ถ้าเด็กหญิงใช้เวลาพลิกตัว 1.5 วินาที ลูกบอลลอยจะตกลงมากระทบเด็กหญิงคนนี้หรือไม่ เพราะเหตุใด



รูป ลูกบอลลอยหล่นลงมาจากที่สูง 9.8 เมตร

แนวคิด ลูกบอลลอยมีความเร็วเริ่มต้นเท่ากับศูนย์ ($u_y = 0$) และเด็กหญิงเริ่มพลิกตัวกับลูกบอลลอยเริ่มตกพร้อม ๆ กัน จึงใช้เวลา t เดียวกันในการคำนวณ

วิธีทำ จากสมการ (2.22) $\Delta y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2$ สามารถหาเวลาที่ลูกบอลลอยตกลงถึงพื้นได้ดังนี้

$$9.8 \text{ m} = 0 + \frac{1}{2} (9.8 \text{ m/s}^2) t^2$$

$$t^2 = 2 \text{ s}^2$$

$$t = 1.414 \text{ s}$$

ตอบ เด็กหญิงใช้เวลาพลิกตัว 1.5 s ซึ่งมากกว่าเวลาที่ลูกบอลลอยตกลงมา ดังนั้นลูกบอลลอยจึงตกลงมาก่อนเด็กคนนี้

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2

??? | คำถาม

1. เด็กคนหนึ่งเดินไปทางทิศตะวันออก 150 เมตร แล้วเดินกลับทางเดิม 30 เมตร ไปทางทิศตะวันตก

ก. ระยะทางทั้งหมดที่เด็กคนนั้นเดินได้เป็นเท่าใด

แนวคำตอบ ระยะทางที่เด็กเดินได้เป็น 180 เมตร

ข. การกระจัดของการเคลื่อนที่เป็นเท่าใด

แนวคำตอบ ระยะทางที่เด็กเดินได้เป็น 120 เมตร

2. รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่ได้ 30 กิโลเมตร ในครึ่งชั่วโมงแรก และเคลื่อนที่ได้ระยะทาง

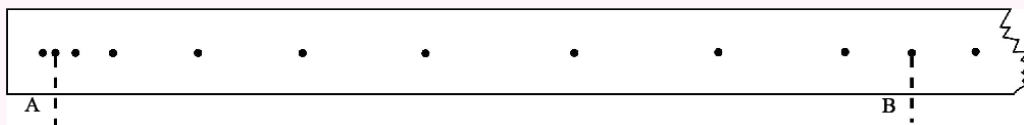
50 กิโลเมตร ในครึ่งชั่วโมงต่อมา อัตราเร็วเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมงมีค่าเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned} v_{av} &= \frac{d}{\Delta t} \\ &= \frac{(30 \text{ km} + 50 \text{ km})}{(0.5 \text{ h} + 0.5 \text{ h})} \\ &= 80 \text{ km / h} \end{aligned}$$

ตอบ อัตราเร็วเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมงมีค่า 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

3. ชายคนหนึ่งดึงแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาซึ่งเคาะ 50 ครั้งต่อวินาทีที่ปรากฏจุดบนแถบกระดาษดังรูป จงหาขนาดของความเร็วที่จุด A และ B โดยใช้ไม้บรรทัดวัดปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ



รูป ประกอบคำถามข้อ 3

วิธีทำ หาขนาดของความเร็วขณะหนึ่งที่จุด A โดยวัดระยะห่างระหว่างจุดที่อยู่ก่อนและจุดที่อยู่หลังจุด A ได้เท่ากับ $0.50 \times 10^{-2} \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{ขนาดของความเร็วที่จุด A} &= \frac{\text{ระยะห่างระหว่างจุดที่อยู่ก่อนและจุดที่อยู่หลังจุด A}}{\text{ช่วงเวลาที่ใช้}} \\ &= \frac{0.50 \times 10^{-2} \text{ m}}{\frac{2}{50} \text{ s}} \\ &= 0.125 \text{ m/s} \end{aligned}$$

หาขนาดของความเร็วขณะหนึ่งที่จุด A โดยวัดระยะห่างระหว่างจุดที่อยู่ก่อนและจุดที่อยู่หลังจุด A ได้เท่ากับ $1.80 \times 10^{-2} \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{ขนาดของความเร็วที่จุด B} &= \frac{\text{ระยะห่างระหว่างจุดที่อยู่ก่อนและจุดที่อยู่หลังจุด B}}{\text{ช่วงเวลาที่ใช้}} \\ &= \frac{1.80 \times 10^{-2} \text{ m}}{\frac{2}{50} \text{ s}} \\ &= 0.450 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ตอบ ขนาดของความเร็วที่จุด A และขนาดของความเร็วที่จุด B มีค่าเป็น 0.13 เมตรต่อวินาที และ 0.450 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ

4. ถ้าเราปล่อยก้อนหินก้อนหนึ่งให้ตกแบบเสรี ในขณะเดียวกับที่เราขว้างก้อนหินอีกก้อนหนึ่งลงตามแนวดิ่งก้อนหินก้อนไหนจะตกถึงพื้นก่อน

แนวคำตอบ ก้อนหินทั้งสองก้อนเคลื่อนที่ลงด้วยความเร่งเดียวกัน แต่ก้อนหินที่ถูกขว้างลงมาด้วยความเร็วเริ่มต้นทำให้ก้อนหินก้อนนี้มีขนาดของความเร็วสุดท้ายมากกว่าและตกถึงพื้นเร็วกว่า

5. ปล่อยลูกบอล A ให้ตกแบบเสรี ขณะที่ลูกบอล B ถูกโยนขึ้นในแนวดิ่งด้วยความเร็วต้นค่าหนึ่ง หลังจากทีลูกบอลทั้งสองเคลื่อนที่ออกจากมือ จงเปรียบเทียบความเร่งของลูกบอล ทั้งสองกรณี โดยถือว่าไม่มีแรงต้านอากาศ

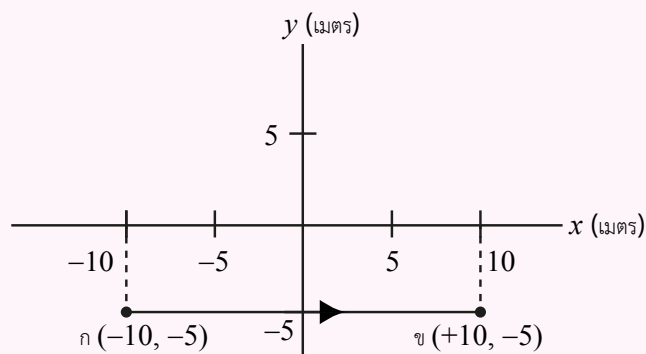
แนวคำตอบ เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่ออกจากมือ ลูกบอลทั้งสองลูกมีความเร่งที่เท่ากัน คือ ความเร่งโน้มถ่วงของโลก

6. ขณะวัตถุเคลื่อนที่ขึ้นหรือเคลื่อนที่ลงตามแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่และมีค่าคงตัว ได้แก่ ปริมาณใด

แนวคำตอบ จากสมการการเคลื่อนที่จะได้ว่าความเร่งของการเคลื่อนที่จะมีค่าคงตัวเนื่องจากความเร่งนั้น เป็นความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

🔍 | ปัญหา

1. วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่จากจุด ก ไปยังจุด ข ตามเส้นทาง ดังรูป



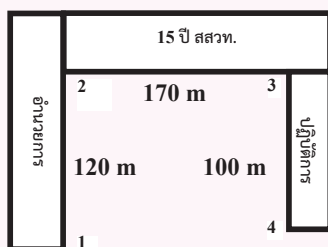
รูป ประกอบปัญหาข้อ 1

ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้มีค่าเท่าใด

วิธีทำ จากรูป ระยะทาง ก ไป ข = $10 \text{ m} + 10 \text{ m}$
 $= 20 \text{ m}$

คำตอบ ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้มีค่าเท่ากับ 20 เมตร

2. ถ้าเริ่มต้นเดินจากมุมตึกอาคารที่จุด 1 ไปยังตึก 15 ปี สสวท ลื่นสุดที่ปลายตึกอาคารปฏิบัติการ โดยผ่านจุดที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ ระยะทางมีค่าเท่าใด และการกระจัดมี ค่าประมาณเท่าใด



รูป ประกอบปัญหาข้อ 2

วิธีทำ ระยะทางคำนวณจากระยะตามเส้นทางจาก 1 ผ่านจุดที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ

$$\text{ระยะทาง} = (120 \text{ m}) + (170 \text{ m}) + (100 \text{ m}) = 390 \text{ m}$$

การกระจัดมีทิศชี้จากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 4 โดยขนาดหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{ขนาดของการกระจัด} &= \sqrt{(170 \text{ m}^2) + (20 \text{ m}^2)} \\ &= 171.1 \text{ m} \end{aligned}$$

คำตอบ ระยะทางมีค่าเท่ากับ 390 เมตร

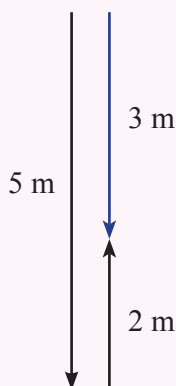
การกระจัดมีขนาดประมาณ 171 เมตร ทิศชี้จากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 4

3. จงหาการกระจัดจากจุดเริ่มต้นในกรณีต่อไปนี้

ก. เดินไปทางทิศใต้ 5 เมตร แล้วย้อนกลับมาทางทิศเหนือ 2 เมตร

วิธีทำ กำหนดให้ความยาวของเส้นตรง 1 เซนติเมตรแทนการกระจัด 1 เมตร เขียนเวกเตอร์

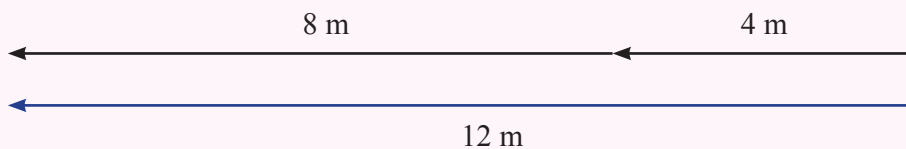
การกระจัดในแต่ละกรณี แล้ววัดการกระจัดจากจุดเริ่มต้น



ตอบ การกระจัด 3 เมตร ไปทางทิศใต้

ข. เดินไปทางทิศตะวันตก 4 เมตร แล้วเดินต่อไปในทิศเดิมอีก 8 เมตร

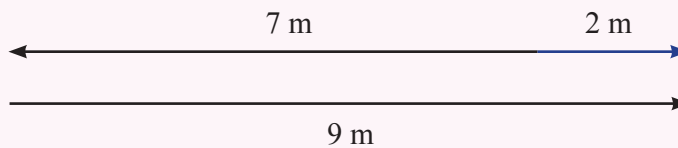
วิธีทำ



ตอบ การกระจัด 12 เมตร ไปทางทิศตะวันตก

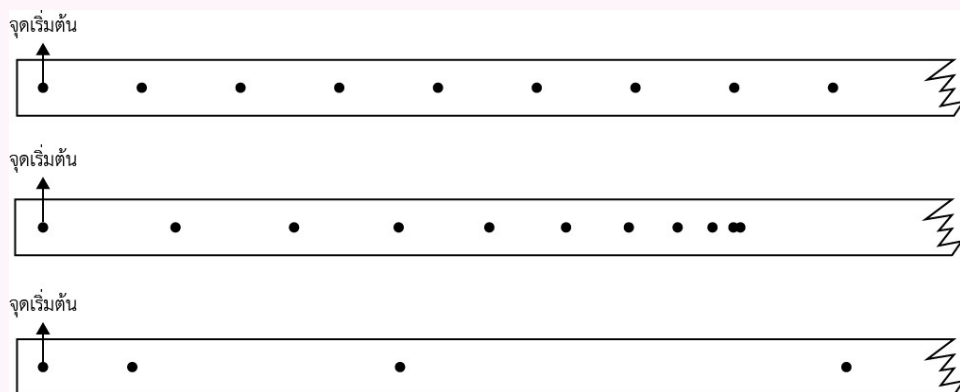
ค. เดินไปทางทิศตะวันตก 7 เมตร แล้วย้อนกลับมาทางทิศตะวันออก 9 เมตร

วิธีทำ



ตอบ การกระจัด 2 เมตร ไปทางทิศตะวันออก

4. แสดงจุดบนแถบกระดาษทั้ง 3 แถบที่ระบุหมายเลข 1 2 3 ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของรถทดลองที่ติดแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 4

จงตอบคำถามต่อไปนี้

- ก. จุดบนแถบกระดาษหมายเลขใดที่แสดงถึงอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ของรถทดลอง
- ข. จุดบนแถบกระดาษหมายเลขใดที่แสดงถึงอัตราเร็วสุดท้ายของรถทดลองเป็นศูนย์
- ค. จุดบนแถบกระดาษหมายเลขใดที่บอกถึงอัตราเร็วสม่ำเสมอของรถทดลอง

ตอบ ก. หมายเลข 3 ข. หมายเลข 2 ค. หมายเลข 1

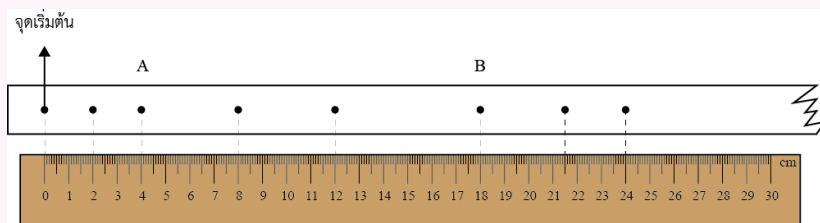
5. รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว ขนานกับรถไฟขบวนหนึ่งซึ่งมีความยาว 60 เมตร และจอดนิ่งบนรางตรง ถ้าเวลาที่รถยนต์ใช้เคลื่อนที่จากหัวขบวนถึงท้ายขบวนเท่ากับ 3 วินาที รถยนต์มีอัตราเร็วเท่าใด

วิธีทำ วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว อัตราเร็วมีค่าเท่ากับระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา

$$\begin{aligned} v_{av} &= \frac{d}{\Delta t} \\ &= \frac{60 \text{ m}}{3 \text{ s}} \\ &= 20 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ตอบ รถยนต์มีอัตราเร็ว 20 เมตรต่อวินาที

6. จากการดึงปลายด้านหนึ่งของแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาที่เคาะ 50 ครั้งต่อวินาที ได้จุดบนแถบกระดาษ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 6

ก. จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยระหว่างจุดเริ่มต้นไปจุด A

วิธีทำ อัตราเร็วเฉลี่ยระหว่างจุดเริ่มต้นไปจุด A หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} v_{av} &= \frac{d}{\Delta t} \\ &= \frac{(4.0 \times 10^{-2} \text{ m}) - (0)}{\frac{2}{50} \text{ s}} \\ &= 1.0 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ตอบ อัตราเร็วเฉลี่ยระหว่างจุดเริ่มต้นไปจุด A มีค่าเท่ากับ 1.0 m/s

ข. จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยระหว่างจุดเริ่มต้นไปจุด B

วิธีทำ อัตราเร็วเฉลี่ยระหว่างจุดเริ่มต้นไปจุด B หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} v_{av} &= \frac{d}{\Delta t} \\ &= \frac{(18.0 \times 10^{-2} \text{ m}) - (0)}{\frac{5}{50} \text{ s}} \\ &= 1.80 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ตอบ อัตราเร็วเฉลี่ยระหว่างจุดเริ่มต้นไปจุด B มีค่าเท่ากับ 1.80 m/s

ค. จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยระหว่างจุด A ไปจุด B

วิธีทำ อัตราเร็วเฉลี่ยระหว่างจุด A ไปจุด B หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} v_{av} &= \frac{d}{\Delta t} \\ &= \frac{(18.0 \times 10^{-2} \text{ m}) - (4.0 \times 10^{-2} \text{ m})}{\frac{3}{50} \text{ s}} \\ &= \frac{14.0 \times 10^{-2} \text{ m}}{\frac{3}{50} \text{ s}} \\ &= 2.33 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ตอบ อัตราเร็วเฉลี่ยระหว่างจุด A ไปจุด B มีค่าเท่ากับ 2.33 m/s

ง. จงหาอัตราเร็วที่จุด A และจุด B

วิธีทำ อัตราเร็วที่จุด A หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} v_A &= \frac{(8.0 \times 10^{-2} \text{ m}) - (2.0 \times 10^{-2} \text{ m})}{\frac{2}{50} \text{ s}} \\ &= \frac{6.0 \times 10^{-2} \text{ m}}{\frac{2}{50} \text{ s}} \\ &= 1.5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

อัตราเร็วที่จุด B หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} v_B &= \frac{(21.5 \times 10^{-2} \text{ m}) - (12.0 \times 10^{-2} \text{ m})}{\frac{2}{50} \text{ s}} \\ &= \frac{9.5 \times 10^{-2} \text{ m}}{\frac{2}{50} \text{ s}} \\ &= 2.38 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ตอบ อัตราเร็วที่จุด A มีค่าเท่ากับ 1.5 m/s และอัตราเร็วที่จุด B มีค่าเท่ากับ 2.4 m/s

จ. จงหาขนาดของความเร่งที่จุด A และจุด B

วิธีทำ ขนาดของความเร่งที่จุดก่อนจุด A หาได้จาก

$$\begin{aligned} v_1 &= \frac{(4.0 \times 10^{-2} \text{ m}) - (0)}{\frac{2}{50} \text{ s}} \\ &= 1.0 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ขนาดของความเร่งที่จุดหลังจุด A หาได้จาก

$$\begin{aligned} v_2 &= \frac{(12.0 \times 10^{-2} \text{ m}) - (4.0 \times 10^{-2} \text{ m})}{\frac{2}{50} \text{ s}} \\ &= 2.0 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ขนาดของความเร่งที่จุด A หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} a_A &= \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} \\ &= \frac{(2.0 \text{ m/s}) - (1.0 \text{ m/s})}{\frac{2}{50} \text{ s}} \\ &= 25 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ขนาดของความเร็วที่จุดก่อนจุด B หาได้จาก

$$\begin{aligned} v_3 &= \frac{(18.0 \times 10^{-2} \text{ m}) - (8.0 \times 10^{-2} \text{ m})}{\frac{2}{50} \text{ s}} \\ &= 2.5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ขนาดของความเร็วที่จุดหลังจุด B หาได้จาก

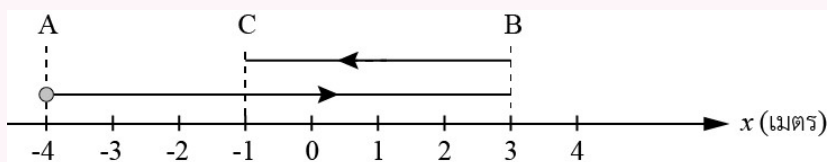
$$\begin{aligned} v_4 &= \frac{(24.0 \times 10^{-2} \text{ m}) - (18.0 \times 10^{-2} \text{ m})}{\frac{2}{50} \text{ s}} \\ &= 1.5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ขนาดของความเร่งที่จุด B หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} a_B &= \frac{v_4 - v_3}{\Delta t} \\ &= \frac{(1.5 \text{ m/s}) - (2.5 \text{ m/s})}{\frac{2}{50} \text{ s}} \\ &= -25 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ตอบ ขนาดของความเร่งที่จุด A มีค่าเท่ากับ 25 m/s^2 และขนาดของความเร่งที่จุด B มีค่าเท่ากับ -25 m/s^2

7. จากรูปแสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคหนึ่งในแนวแกน x เป็นดังรูป



อนุภาคเริ่มเคลื่อนที่จากจุด A ไป B ใช้เวลา 3 วินาที แล้วเคลื่อนที่ย้อนกลับจากจุด B ไปจุด C ใช้เวลา 2 วินาที

อัตราเร็วเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ทั้งหมดมีค่าเท่าใด

วิธีทำ อัตราเร็วเฉลี่ยมีค่าเท่ากับระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา

จากรูป

$$\begin{aligned}\text{ระยะ } AB &= 4 \text{ m} + 3 \text{ m} \\ &= 7 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{ระยะ } BC = 3 \text{ m} + 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}v_{av} &= \frac{d}{\Delta t} \\ &= \frac{(7 \text{ m} + 4 \text{ m})}{(3 \text{ s} + 2 \text{ s})} \\ &= \frac{11 \text{ m}}{5 \text{ s}} \\ &= 2.2 \text{ m/s}\end{aligned}$$

ความเร็วเฉลี่ยมีค่าเท่ากับการกระจัดในหนึ่งหน่วยเวลา

$$\begin{aligned}v_{x,av} &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ &= \frac{(-1 \text{ m}) - (-4 \text{ m})}{(3 \text{ s} + 2 \text{ s})} \\ &= \frac{+3 \text{ m}}{5 \text{ s}} \\ &= +0.6 \text{ m/s}\end{aligned}$$

ตอบ อัตราเร็วเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.2 เมตรต่อวินาที และความเร็วเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ +0.6 เมตรต่อวินาที

8. รถไฟฟ้าเคลื่อนที่ออกจากสถานขาลา เมื่อเวลาผ่านไป 10 วินาที รถไฟฟ้ามีขนาดของความเร็วเท่าใด ถ้ารถไฟฟ้ามีความเร่งคงตัว 1.50 เมตรต่อวินาที²

วิธีทำ เมื่อรถไฟฟ้าเคลื่อนที่ออกจากสถานขาลาด้วยความเร่ง ความเร็วหาได้จากสมการ

$$v_x = u_x + a_x t$$

โดย $t = 10\text{ s}$, $u_x = 0\text{ m/s}$, $a_x = +1.50\text{ m/s}^2$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} v_x &= (0) + (+1.50\text{ m/s}^2)(10\text{ s}) \\ &= +15\text{ m/s} \end{aligned}$$

ตอบ เมื่อเวลาผ่านไป 10 วินาที รถไฟฟ้ามีขนาดของความเร็วเท่ากับ 15 เมตรต่อวินาที

9. ชายคนหนึ่งขับรถยนต์ด้วยขนาดของความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที ไปตามถนนตรง ถ้าคนขับเบรกให้รถยนต์หยุดด้วยความเร่ง -4.0 เมตรต่อวินาที² นานเท่าใดรถยนต์จึงหยุด

วิธีทำ เวลาที่รถยนต์ใช้ก่อนจะหยุด หาได้จากสมการ

$$v_x = u_x + a_x t$$

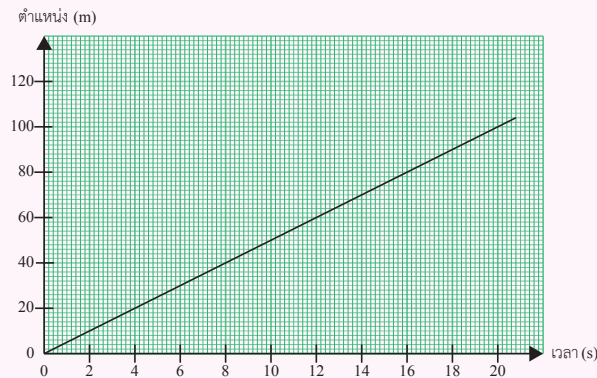
โดย $u_x = 20\text{ m/s}$, $v_x = 0$, $a_x = -4.50\text{ m/s}^2$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} 0 &= (20\text{ m/s}) + (-4.0\text{ m/s}^2)(t) \\ t &= \frac{(-20\text{ m/s})}{(-4.0\text{ m/s}^2)} \\ &= 5\text{ s} \end{aligned}$$

ตอบ รถยนต์เคลื่อนที่นาน 5 วินาทีจึงหยุด

10. กราฟระหว่างตำแหน่งกับเวลาของวัตถุหนึ่ง ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 10

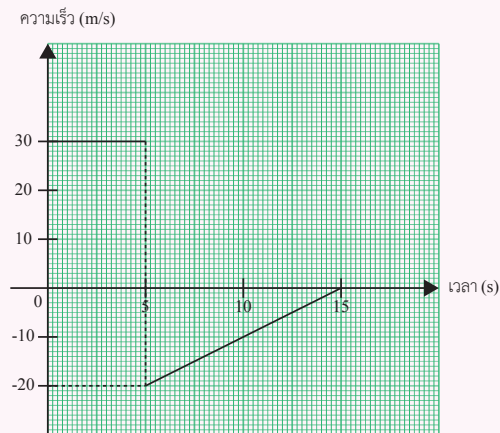
จงหาอัตราเร็วของวัตถุ

วิธีทำ จากกราฟพบว่าความชันมีค่าคงตัว ดังนั้นความเร็วเฉลี่ยเท่ากับความเร็วขณะหนึ่ง และขนาดของความความเร็วมีค่าเท่ากับอัตราเร็ว
ความเร็วของวัตถุหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} v_{x,av} &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ &= \frac{(40 \text{ m} - 0)}{(8 \text{ s} - 0)} \\ &= +5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ตอบ อัตราเร็วของวัตถุมีค่าเท่ากับ 5 m/s

11. วัตถุหนึ่งกำลังเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาแสดงได้ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 11

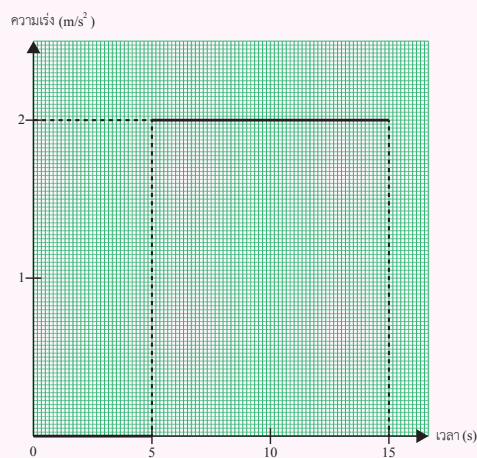
ก. เวลาใดที่ความเร็วของวัตถุเป็นศูนย์

ตอบ วินาทีที่ 15

ข. ที่เวลา 5-10 วินาที วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วจากเดิมหรือไม่ อย่างไร

ตอบ ความเร็วลดลงเรื่อย ๆ จากเดิมที่ 30 เมตรต่อวินาที จนเป็นศูนย์

12. กราฟระหว่างความเร่งของวัตถุกับเวลามีลักษณะดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 12

ความเร่งของวัตถุ ช่วงเวลา 0 - 5 วินาที และช่วงเวลา 5 - 15 วินาที มีค่าเท่าใด

วิธีทำ ช่วงเวลา 0 - 5 s ความเร่ง $a_1 = 0$

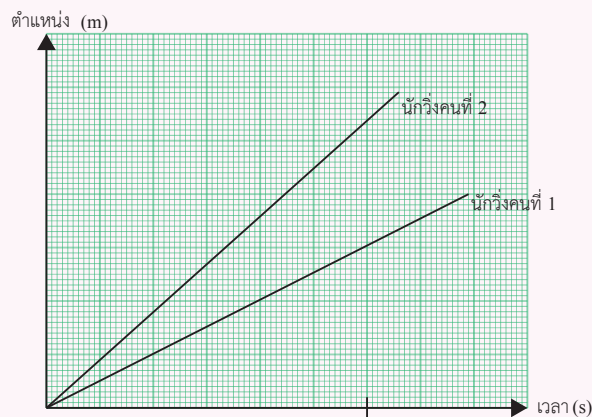
$$\text{ช่วงเวลา } 5 - 15 \text{ s ความเร่ง } a_2 = \frac{0 - (-20 \text{ m/s})}{15 \text{ s} - 5 \text{ s}}$$

$$a_2 = 2 \text{ m/s}^2$$

ตอบ ช่วงเวลา 0 - 5 วินาที วัตถุมีความเร่งเท่ากับ 0

ช่วงเวลา 5 - 15 วินาที วัตถุมีความเร่งเท่ากับ 2 เมตรต่อวินาที²

13. ในการวิ่งแข่งขันไปตามลู่วิ่งแนวตรงของนักวิ่ง 2 คน ในช่วงเวลาหนึ่ง พบว่ากราฟระหว่างตำแหน่งกับเวลาของนักวิ่ง เป็นดังรูป

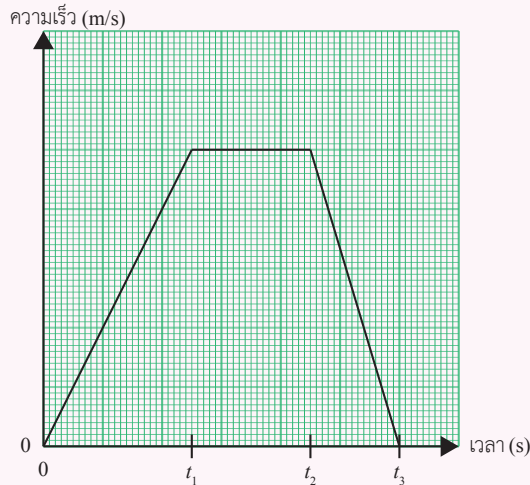


รูป ประกอบปัญหาข้อ 13

นักวิ่งคนใดมีอัตราเร็วเฉลี่ยมากกว่าเพราะเหตุใด

ตอบ นักวิ่งคนที่ 2 มีอัตราเร็วเฉลี่ยมากกว่า เพราะกราฟมีค่าความชันมากกว่า

14. วัตถุเคลื่อนที่ได้กราฟระหว่างความเร็วกับเวลา ดังรูป จงหาว่า เวลาใดที่วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว



รูป ประกอบปัญหาข้อ 14

ตอบ ช่วงเวลาที่ t_1 ถึง t_2 เพราะกราฟมีความเป็นศูนย์ในช่วงเวลานั้น

15. เครื่องบินลำหนึ่งเคลื่อนที่บนทางวิ่งที่มีความยาว 2.4 กิโลเมตร ก่อนขึ้นจากทางวิ่ง โดยนักบินเร่งเครื่องจากหยุดนิ่งด้วยความเร่งสม่ำเสมอ เมื่อเครื่องบินเคลื่อนที่สู่ปลายทางวิ่ง จะมีขนาดความเร็ว 160 เมตรต่อวินาที จังหวะขึ้นฟ้า จงหาความเร่งของเครื่องบินก่อนเห็นขึ้นฟ้า

วิธีทำ หาความเร่งของเครื่องบิน จากสมการ $v_x^2 = u_x^2 + 2a_x \Delta x$

โดย

$$(160 \text{ m/s})^2 = 0 + 2a_x (2.4 \times 10^3 \text{ m})$$

$$a_x = +5.3 \text{ m/s}^2$$

ตอบ ความเร่งของเครื่องบินก่อนเห็นขึ้นฟ้ามีค่าเท่ากับ +5.3 เมตรต่อวินาที²

16. เด็กคนหนึ่งเริ่มวิ่งจากหยุดนิ่ง ไปตามถนนตรงด้วยความเร่งคงตัว จงหาอัตราส่วนของขนาดของการกระจัดในวินาทีที่ 0 ถึง 1 กับวินาทีที่ 1 ถึง 2 ของการเคลื่อนที่

วิธีทำ จากสมการ $\Delta x = u_x t + \frac{1}{2} a_x t^2$ โดยที่ $u_x = 0$

ณ วินาทีที่ 0 เด็กอยู่ที่ตำแหน่ง 0

ณ วินาทีที่ 1 เด็กอยู่ที่ตำแหน่ง $\Delta x_1 = \frac{1}{2} a_x (1\text{s})^2$

ณ วินาทีที่ 2 เด็กอยู่ที่ตำแหน่ง $\Delta x_2 = \frac{1}{2} a_x (2\text{s})^2$

ดังนั้น อัตราส่วนของขนาดของการกระจัดในวินาทีที่ 0 ถึง 1 กับวินาทีที่ 1 ถึง 2 หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\Delta x_1 - 0}{\Delta x_2 - \Delta x_1} &= \frac{\frac{1}{2} a_x (1\text{s})^2 - 0}{\frac{1}{2} a_x (2\text{s})^2 - \frac{1}{2} a_x (1\text{s})^2} \\ &= \frac{\frac{a_x}{2}}{\frac{3a_x}{2}} \\ &= \frac{1}{3} \end{aligned}$$

ตอบ อัตราส่วนของขนาดของการกระจัดในวินาทีที่ 0 ถึง 1 กับวินาทีที่ 1 ถึง 2 มีค่าเท่ากับ 1/3

17. รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งไปตามถนนตรงด้วยความเร่งคงตัว และไปได้ไกล 75 เมตร ภายในเวลา 5 วินาที ขนาดของความเร่งของรถยนต์เป็นเท่าใด

วิธีทำ หาความเร่งของวัตถุ

จากสมการ

$$\Delta x = u_x t + \frac{1}{2} a_x t^2$$

แทนค่า

$$75\text{m} = 0 + \frac{1}{2} a_x (5\text{s})^2$$

จะได้

$$a_x = 6\text{m/s}^2$$

ตอบ ขนาดความเร่งรถยนต์เป็น 6 เมตรต่อวินาที²

18. รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่บนถนนตรงด้วยความเร็ว 15 เมตรต่อวินาที หลังจากนั้น 1 นาที รถยนต์มีความเร็ว 7 เมตรต่อวินาที ในทิศทางเดิม จงหาความเร่งเฉลี่ยของรถยนต์

วิธีทำ หาความเร่งเฉลี่ย

จากสมการ

$$v_x = u_x + a_x t$$

แทนค่า

$$7 \text{ m/s} = 15 \text{ m/s} + a_x (60 \text{ s})$$

จะได้

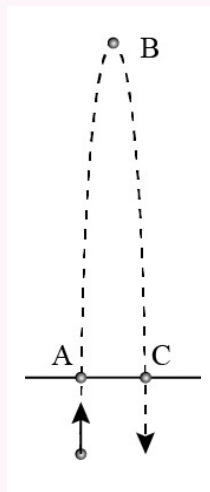
$$a_x = -0.13 \text{ m/s}^2$$

ตอบ ความเร่งเฉลี่ยของรถยนต์เป็น 0.13 เมตรต่อวินาที² ในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่

19. ถ้าขว้างวัตถุขึ้นตามแนวดิ่ง หากไม่คิดแรงต้านอากาศ วัตถุจะเคลื่อนที่เร็วขึ้นหรือช้าลง เพราะเหตุใด

ตอบ วัตถุจะเคลื่อนที่ช้าลงเนื่องจากความเร็วของวัตถุมีทิศทางตรงข้ามกับความเร่งโน้มถ่วง

20. โยนวัตถุก้อนหนึ่งขึ้นไปในแนวดิ่ง โดยวัตถุขึ้นไปถึงจุดสูงสุดที่ B ถ้า A และ C เป็นจุดที่อยู่ในระดับเดียวกันดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 20

ถ้าไม่คิดแรงต้านอากาศ ที่จุด A B และ C มีความเร่งเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

ตอบ ที่จุด A B และ C มีความเร่งเท่ากัน ทั้งขนาดและทิศทาง เพราะวัตถุเคลื่อนที่ภายใต้ความเร่งโน้มถ่วงของโลก

21. วัตถุ x และ y เคลื่อนที่ขึ้นตามแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก การกระจัดสูงสุดของวัตถุทั้งสองเท่ากับ 100 เมตร และ 200 เมตร ตามลำดับ อัตราส่วนระหว่างความเร็วต้นของ x และ y มีค่าเท่าใด

วิธีทำ ให้ u_{y1}, v_{y1} และ Δy_1 เป็นความเร็วเริ่มต้น ความเร็วสุดท้ายและการกระจัดของวัตถุ x และให้ u_{y2}, v_{y2} และ Δy_2 เป็นความเร็วเริ่มต้น ความเร็วสุดท้ายและการกระจัดของวัตถุ y

จากสมการ
$$v_y^2 = u_y^2 + 2a_y \Delta y$$

พิจารณาวัตถุ x จะได้ว่า

แทนค่า
$$0 = u_{y1}^2 + 2a_y \Delta y_1$$

จะได้ว่า
$$u_{y1}^2 = -2a_y \Delta y_1$$

พิจารณาวัตถุ y จะได้ว่า

แทนค่า
$$0 = u_{y2}^2 + 2a_y \Delta y_2$$

จะได้ว่า
$$u_{y2}^2 = -2a_y \Delta y_2$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \frac{u_{y1}^2}{u_{y2}^2} &= \frac{-2a_y \Delta y_1}{-2a_y \Delta y_2} \\ &= \frac{\Delta y_1}{\Delta y_2} \\ &= \frac{100}{200} \\ &= \frac{1}{2} \\ \frac{u_{y1}}{u_{y2}} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \end{aligned}$$

ตอบ อัตราส่วนระหว่างความเร็วต้นของ x และ y เป็น 1 ต่อ $\sqrt{2}$

22. ก้อนหินตกแบบเสรีจากที่สูงแห่งหนึ่ง จะใช้เวลานานเท่าใดความเร็วของก้อนหินจึงเป็น 4 เท่าของความเร็วเมื่อสิ้นวินาทีที่ 1 ของการเคลื่อนที่

วิธีทำ หาความเร็วของก้อนหินเมื่อสิ้นวินาทีที่ 1

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad & v_y = u_y + a_y t \\ \text{แทนค่า} \quad & v_y = 0 + (-9.8 \text{ m/s}^2)(1 \text{ s}) \\ \text{จะได้} \quad & v_y = -9.8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

หาเวลาที่ก้อนหินมีความเร็ว -39.2 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็น 4 เท่าของความเร็วของก้อนหินเมื่อสิ้นวินาทีที่ 1

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad & v_y = u_y + a_y t \\ \text{แทนค่า} \quad & -39.2 \text{ m/s} = 0 + (-9.8 \text{ m/s}^2) t \\ \text{จะได้} \quad & t = 4 \text{ s} \end{aligned}$$

ตอบ ก้อนหินตกลงมาใช้เวลา 4 วินาที จะมีความเร็วเป็น 4 เท่าของความเร็วเมื่อสิ้นวินาทีที่ 1

23. จรวดพุ่งออกจากรูปร่างปล่อยบนพื้นโลกตามแนวดิ่งด้วยความเร่งคงตัว เมื่อเวลาผ่านไป 10 วินาที จรวดมีความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 2 กิโลเมตรต่อวินาที จรวดนั้นมีความเร่งเท่าใด และขณะนั้นจรวดอยู่สูงจากพื้นดินเท่าใด

วิธีทำ หาความเร่ง a_y

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad & v_y = u_y + a_y t \\ \text{แทนค่า} \quad & 2 \text{ km/s} = 0 + a_y (10 \text{ s}) \\ \text{จะได้} \quad & a_y = 0.2 \text{ km/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หาความสูง } \Delta y \\ \text{จากสมการ} \quad & \Delta y = \left(\frac{u_y + v_y}{2} \right) t \\ \text{แทนค่า} \quad & \Delta y = \left(\frac{0 + 2 \text{ km/s}}{2} \right) (10 \text{ s}) \end{aligned}$$

$$\text{จะได้} \quad \Delta y = 10 \text{ km}$$

ตอบ จรวดมีความเร่ง 0.2 กิโลเมตรต่อวินาที² และขณะนั้นจรวดอยู่สูงจากรูปร่าง 10 กิโลเมตร

24. โยนก้อนหินขึ้นไปตามแนวตั้งด้วยความเร็วต้น 10 เมตรต่อวินาที (ไม่คิดแรงต้านอากาศ)
จงหา

ก. เมื่อใดที่ก้อนหินมีความเร็วเป็นศูนย์

วิธีทำ จากสมการ

$$v_y = u_y + a_y t$$

แทนค่า

$$0 = 9.8 \text{ m/s} + (-9.8 \text{ m/s}^2) t$$

จะได้

$$t = 1 \text{ s}$$

ตอบ ก้อนหินมีความเร็วเป็นศูนย์หลังจากโยนขึ้นไปนาน 1 วินาที

ข. ก้อนหินขึ้นไปได้สูงสุดเท่าใด

วิธีทำ จากสมการ

$$v_y^2 = u_y^2 + 2a_y \Delta y$$

แทนค่า

$$0 = (9.8 \text{ m/s})^2 + 2(-9.8 \text{ m/s}^2) \Delta y$$

$$\Delta y = \frac{-96.04 \text{ m}^2/\text{s}^2}{-19.6 \text{ m/s}^2}$$

$$= 4.9 \text{ m}$$

ตอบ ก้อนหินขึ้นไปได้สูงสุด 4.9 เมตร

ค. เป็นเวลานานเท่าใด ก้อนหินจึงจะตกลงมาถึงตำแหน่งเริ่มต้น

วิธีทำ จากสมการ

$$\Delta y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2$$

แทนค่า

$$0 = (9.8 \text{ m/s}) t + \frac{1}{2} (-9.8 \text{ m/s}^2) t^2$$

$$(4.9 \text{ m/s}^2) t^2 = (9.8 \text{ m/s}) t$$

$$t = 0 \text{ s}, 2 \text{ s}$$

ตอบ เป็นเวลานาน 2 วินาที ก้อนหินจึงจะตกลงมาถึงตำแหน่งเริ่มต้น

25. ขณะที่บอลลูกหนึ่งลอยขึ้นตรง ๆ ด้วยความเร็ว 4.9 เมตรต่อวินาที ขณะที่ลูกบอลลูกสูงจากพื้นดิน 29.4 เมตร ผู้ที่อยู่ในบอลลูกก็ปล่อยถุงทรายลงมา

ก. จงหาตำแหน่งของถุงทรายหลังจากที่ปล่อยไปแล้ว 1.0 และ 2.0 วินาที

วิธีทำ จากสมการ $\Delta y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } t = 1.0 \text{ s จะได้ว่า} \quad \Delta y &= (4.9 \text{ m/s})(1.0 \text{ s}) + \frac{1}{2}(-9.8 \text{ m/s}^2)(1.0 \text{ s})^2 \\ &= 4.9 \text{ m} - 4.9 \text{ m} \\ &= 0 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } t = 2.0 \text{ s จะได้ว่า} \quad \Delta y &= (4.9 \text{ m/s})(2.0 \text{ s}) + \frac{1}{2}(-9.8 \text{ m/s}^2)(2.0 \text{ s})^2 \\ &= 9.8 \text{ m} - 19.6 \text{ m} \\ &= -9.8 \text{ m} \end{aligned}$$

ตอบ หลังจากปล่อยถุงทรายไปแล้ว 1.0 วินาที การกระจัดถุงทรายเป็นศูนย์ นั่นคือ ถุงทรายตกลงมา ณ ตำแหน่งที่ปล่อยถุงทรายและถุงทรายจะอยู่สูงจากพื้น 29.4 เมตร และหลังจากปล่อยถุงทรายไปแล้ว 2.0 วินาที การกระจัดถุงทรายเป็น -9.8 เมตร นั่นคือ ถุงทรายอยู่ต่ำจากตำแหน่งที่ปล่อยถุงทราย 9.8 เมตร นั่นคือ ถุงทรายจะอยู่สูงจากพื้น 19.6 เมตร

ข. ถุงทรายจะตกถึงพื้นดินในเวลาเท่าใด

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ จากสมการ} \quad \Delta y &= u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2 \\ \text{แทนค่า} \quad -29.4 \text{ m} &= (4.9 \text{ m/s})t + \frac{1}{2}(-9.8 \text{ m/s}^2)t^2 \\ 6 &= t - t^2 \\ t^2 - t + 6 &= 0 \\ (t-3)(t+2) &= 0 \\ t &= 3 \text{ s และ } -2 \text{ s} \end{aligned}$$

ตอบ ถุงทรายตกถึงพื้นดินในเวลา 3 วินาที

ค. ขณะที่ถึงพื้นดินอุทราหยมมีความเร็วเท่าใด

วิธีทำ จากสมการ

$$v_y = u_y + a_y t$$

แทนค่า

$$v_y = 4.9 \text{ m/s} + (-9.8 \text{ m/s}^2)(3 \text{ s})$$

$$v_y = -24.5 \text{ m/s}$$

ตอบ ขณะที่ถึงพื้นดินอุทราหยมมีความเร็ว 24.5 เมตรต่อวินาทีที่มีทิศทาง

ง. จุดสูงสุดของอุทราหยมสูงจากพื้นดินเท่าใด

วิธีทำ จากสมการ

$$v_y^2 = u_y^2 + 2a_y \Delta y$$

แทนค่า

$$0 = (4.9 \text{ m/s})^2 + 2(-9.8 \text{ m/s}^2)s$$

$$\Delta y = 1.23 \text{ m}$$

ตอบ จุดสูงสุดของอุทราหยมอยู่สูงจากจุดปล่อย 1.23 เมตร หรืออยู่สูงจากพื้นดิน 30.63 เมตร

| ปัญหาท้าทาย

26. ยิงวัตถุขึ้นฟ้าในแนวตั้ง ด้วยความเร็วต้น 19.6 เมตรต่อวินาที วัตถุจะตกกลับมาถึงตำแหน่งเริ่มต้นในเวลาเท่าใด

วิธีทำ การเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นแบบเสรีตลอดการเคลื่อนที่ขึ้นและการเคลื่อนที่ลงใช้เวลาเท่ากัน หาเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ขึ้นถึงจุดสูงสุด

จากสมการ

$$v_y = u_y + a_y t$$

โดยแทน

$$a_y = -g = -9.8 \text{ m/s}^2, v_y = 0 \text{ และ } u_y = 19.6 \text{ m/s}$$

ได้

$$0 = (19.6 \text{ m/s}) + (-9.8 \text{ m/s}^2)t$$

แก้สมการได้

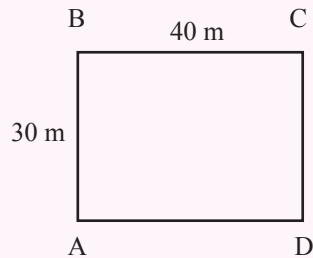
$$t = \frac{19.6 \text{ m/s}}{9.8 \text{ m/s}^2}$$

$$= 2 \text{ s}$$

นั่นคือเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ลงถึงตำแหน่งเริ่มต้นเท่ากับ 2 วินาที เท่ากับขาขึ้น ดังนั้น รวมเวลาตลอดการเคลื่อนที่กลับถึงตำแหน่งเริ่มต้นได้เท่ากับ 4 วินาที

ตอบ วัตถุจะตกกลับมาถึงตำแหน่งเริ่มต้นในเวลา 4 วินาที

27. ชายคนหนึ่งวิ่งสม่ำเสมอไปตามขอบสนามรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยเริ่มจากจุด A ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 27

ถ้าเขาวิ่งจาก A ไป B และ C โดยใช้เวลา 35 วินาที จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยและขนาดของความเร็วเฉลี่ยของชายคนนี้

วิธีทำ อัตราเร็วเฉลี่ยมีค่าเท่ากับระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา ในการเคลื่อนที่จาก A ไป B และ C

$$\begin{aligned}\text{ระยะทางที่เคลื่อนที่} &= 30 \text{ m} + 40 \text{ m} \\ &= 70 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่} = 35 \text{ s}$$

$$\text{ดังนั้น อัตราเร็วเฉลี่ย} = \frac{70 \text{ m}}{35 \text{ s}}$$

$$= 2.0 \text{ m/s}$$

ความเร็วเฉลี่ยมีค่าเท่ากับการกระจัดในหนึ่งหน่วยเวลา ในการเคลื่อนที่จาก A ไป B และ C

$$\text{ขนาดของการกระจัด} = AC$$

$$= \sqrt{(30 \text{ m})^2 + (40 \text{ m})^2}$$

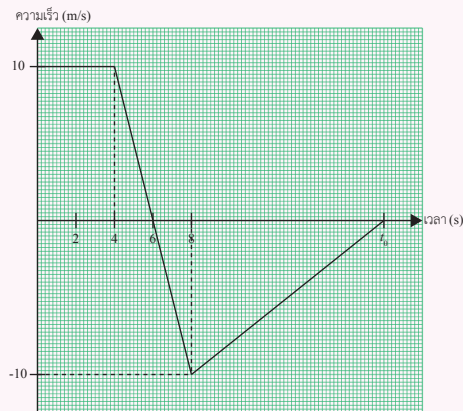
$$= 50 \text{ m}$$

$$\text{ขนาดของความเร็วเฉลี่ย} = \frac{50 \text{ m}}{35 \text{ s}}$$

$$= 1.43 \text{ m/s}$$

ตอบ อัตราเร็วเฉลี่ย 2.0 เมตรต่อวินาทีและขนาดของความเร็วเฉลี่ย 1.43 เมตรต่อวินาที

28. วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่ในแนวตรง ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา เป็นดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 28

ถ้าขนาดของการกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ไปทางหนึ่งและขนาดของการกระจัดที่เคลื่อนที่กลับทิศมีค่าเท่ากัน เวลา t_0 มีค่าเท่าใด

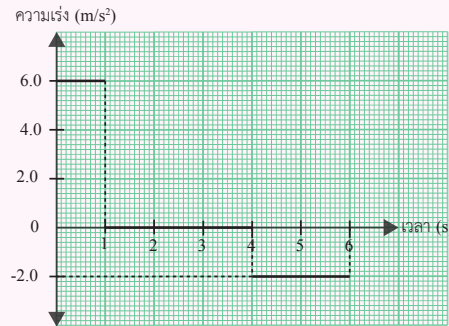
วิธีทำ พื้นที่ใต้เส้นกราฟความเร็วกับเวลา เป็นขนาดของการกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่
พื้นที่ที่สไล่มคางหมูเหนือแกน = พื้นที่สามเหลี่ยมใต้แกน

$$\frac{1}{2}(10 \text{ m/s})(6 \text{ s} + 4 \text{ s}) = \frac{1}{2}(10 \text{ m/s})(t_0 - 6 \text{ s})$$

$$t_0 = 16 \text{ s}$$

ตอบ เวลา t_0 มีค่า 16 วินาที

29. วัตถุเคลื่อนที่ในแนวตรงจากหยุดนิ่ง ได้กราฟความเร่งกับเวลา ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 29

ก. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา

วิธีทำ จากสมการ $a_{x,av} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}$ จะได้

ช่วงเวลา 0 - 1 s

จะได้

$$a_{x,av} = 6 \text{ m/s}^2$$

$$6 \text{ m/s}^2 = \frac{v_{x1} - v_{x0}}{t_1 - t_0}$$

$$= \frac{v_{x1} - 0}{1 \text{ s} - 0}$$

$$v_{x1} = 6 \text{ m/s}$$

ช่วงเวลา 1 - 4 s

$$a_{x,av} = 0 \text{ m/s}^2$$

$$v_{x2} = v_{x1}$$

$$v_{x2} = 6 \text{ m/s}$$

ช่วงเวลา 4 - 6 s

$$a_{x,av} = -2 \text{ m/s}^2$$

$$-2 \text{ m/s}^2 = \frac{v_{x3} - v_{x2}}{t_3 - t_2}$$

$$= \frac{v_{x3} - 6 \text{ m/s}}{6 \text{ s} - 4 \text{ s}}$$

$$v_{x3} = 2 \text{ m/s}$$

ตอบ เขียนกราฟความเร็วกับเวลา ได้ดังรูป



ข. จงหาความเร็วที่วินาทีที่ 5

วิธีทำ พิจารณากราฟความเร็วกับเวลาที่ได้จากข้อ ก. พบว่าที่เวลา $t = 5\text{ s}$ $v = 4\text{ m/s}$

ตอบ ความเร็วที่วินาทีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 4 เมตรต่อวินาที

ค. จงหาการกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ใน 6 วินาที

วิธีทำ การกระจัดหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟความเร็วกับเวลา ประกอบด้วยพื้นที่รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยม และรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

$$\begin{aligned}\Delta x &= \frac{1}{2}(6\text{ m/s})(1\text{ s}) + (6\text{ m/s})(3\text{ s}) + \frac{1}{2}(6\text{ m/s} + 2\text{ m/s})(2\text{ s}) \\ &= 3\text{ m} + 18\text{ m} + 8\text{ m} \\ &= 29\text{ m}\end{aligned}$$

ตอบ วัตถุเคลื่อนที่ได้ระยะทางทั้งหมด 29 เมตร

30. นักบินอวกาศทำการทดลองหาความเร่งโน้มถ่วงบริเวณผิวดาวเคราะห์ดวงหนึ่ง โดยการปล่อยวัตถุที่ตำแหน่งสูงจากพื้น 112 เมตร วัตถุตกถึงพื้นในเวลา 8 วินาที ความเร่งโน้มถ่วงบริเวณผิวดาวดวงนี้มีค่าเท่าใด

วิธีทำ กำหนดทิศทางลงเป็นบวก

จากสมการ

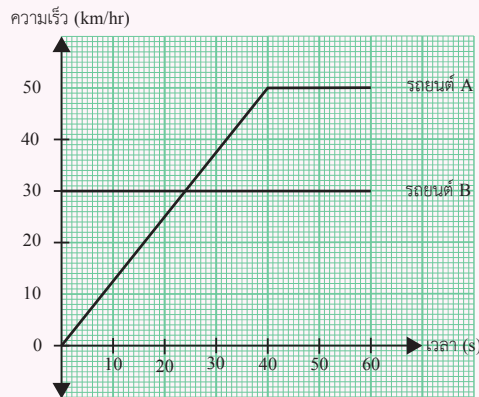
$$\begin{aligned}\Delta y &= u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2 \\ 112\text{ m} &= 0 + \frac{1}{2} a_y (8\text{ s})^2 \\ a_y &= 3.5\text{ m/s}^2\end{aligned}$$

ตอบ ความเร่งโน้มถ่วงบริเวณผิวดาวมีค่า 3.5 เมตรต่อวินาที²

31. รถยนต์ A หยุดอยู่ที่ไฟแดง เมื่อไฟสัญญาณเปลี่ยนเป็นไฟเขียว รถยนต์ A จึงเร่งเครื่องออกเดินทางต่อไปจนมีความเร็วคงตัว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในขณะที่รถ A เริ่มเคลื่อนที่นั้น รถยนต์ B วิ่งผ่านรถยนต์ A ด้วยความเร็วคงตัว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กราฟของความเร็วกับเวลาของรถยนต์ทั้งสองคันปรากฏดังรูป

ก. รถยนต์ A แล่นเป็นเวลานานเท่าใด จึงมีความเร็วเท่ากับรถยนต์ B

วิธีทำ จากจุดที่เส้นกราฟตัดกัน คือ จุดที่ความเร็วของรถทั้งสองเท่ากัน



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 31

จากกราฟจุดที่เส้นกราฟตัดกันอยู่ที่เวลา 24 วินาที

ตอบ รถยนต์ A แล่นเป็นเวลานาน 24 วินาที จึงมีความเร็วเท่ากับรถยนต์ B

ข. ก่อนที่รถยนต์ A จะแล่นทันรถยนต์ B รถทั้งสองอยู่ห่างกันมากที่สุดขณะมีความเร็วเป็นอย่างไร และห่างมากที่สุดเท่าใด

วิธีทำ รถยนต์ B จะอยู่ห่างจากรถยนต์ A มากที่สุดขณะที่มีความเร็วเท่ากัน เพราะหลังจากเวลานั้นรถยนต์ A จะมีความเร็วมักรถยนต์ B ทำให้เคลื่อนที่เข้าใกล้รถยนต์ B มากขึ้น ดังนั้นขณะที่รถยนต์ทั้งสองอยู่ห่างกันมากที่สุดจะมีความเร็วเท่ากันที่ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ณ เวลา 24 วินาที ตามข้อ ก.

เมื่อพิจารณากราฟความเร็วกับเวลา จะพบว่า พื้นที่ใต้กราฟมีค่าเท่ากับการกระจัดหาระยะทางที่รถยนต์ B เคลื่อนที่ได้ เมื่อเวลาผ่านไป 24 วินาที

จะได้ว่า ระยะทางที่รถยนต์ B เคลื่อนที่ได้ = กว้าง x ยาว

$$\begin{aligned}
 &= (30 \text{ km/h})(24 \text{ s}) \\
 &= \left(\frac{300 \times 10^3}{3600} \text{ m/s} \right) (24 \text{ s})
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ระยะทางที่รถยนต์ B เคลื่อนที่ได้ = 200 m

หาระยะทางที่รถยนต์ A เคลื่อนที่ได้ เมื่อเวลาผ่านไป 24 วินาที

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ว่า ระยะทางที่รถยนต์ A เคลื่อนที่ได้} &= \frac{1}{2} \times \text{ฐาน} \times \text{สูง} \\
 &= \frac{1}{2} (24 \text{ s}) (30 \text{ km/h}) \\
 &= \frac{1}{2} (24 \text{ s}) \left(\frac{30 \times 10^3}{3600} \text{ m/s} \right)
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ระยะทางที่รถยนต์ A เคลื่อนที่ได้ = 100

หาระยะทางที่รถยนต์ B อยู่หน้ารถยนต์ A เมื่อเวลาผ่านไป 24 วินาที = 200 m – 100 m
= 100 m

ตอบ รถยนต์ทั้งสองอยู่ห่างกันมากที่สุดเมื่อมีความเร็วเท่ากันซึ่งมีค่าเท่ากับ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมงและระยะห่างมีค่าเท่ากับ 100 เมตร

ค. ที่วินาทีที่ 40 รถยนต์คันใดอยู่หน้า เป็นระยะทางเท่าใด

วิธีทำ เมื่อพิจารณารกราฟความเร็วกับเวลา จะพบว่า พื้นที่ใต้กราฟมีค่าเท่ากับการกระจัด

หาระยะทางที่รถยนต์ B เคลื่อนที่ได้ เมื่อเวลาผ่านไป 40 วินาที

จะได้ว่า ระยะทางที่รถยนต์ B เคลื่อนที่ได้ = กว้าง × ยาว

$$\begin{aligned}
 &= (30 \text{ km/h})(40 \text{ s}) \\
 &= \left(\frac{30}{3600} \text{ km/s} \right) (40 \text{ s})
 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น ระยะทางที่รถยนต์ B เคลื่อนที่ได้} = \frac{6}{18} \text{ km}$$

หาระยะทางที่รถยนต์ A เคลื่อนที่ได้ เมื่อเวลาผ่านไป 40 วินาที

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ว่า ระยะทางที่รถยนต์ A เคลื่อนที่ได้} &= \frac{1}{2} \times \text{ฐาน} \times \text{สูง} \\
 &= \frac{1}{2} (40 \text{ s}) (50 \text{ km/h}) \\
 &= \frac{1}{2} (40 \text{ s}) \left(\frac{50}{3600} \text{ km/s} \right)
 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น ระยะทางที่รถยนต์ B เคลื่อนที่ได้} = \frac{5}{18} \text{ km}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะทางที่รถยนต์ B อยู่หน้ารถยนต์ A} &= \frac{6}{18} \text{ km} - \frac{5}{18} \text{ km} \\
 &= \frac{1}{18} \text{ km} \\
 &= \frac{1000}{18} \text{ m} \\
 &= 55.6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

ตอบ ที่วินาทีที่ 40 รถยนต์ B อยู่หน้ารถยนต์ A เป็นระยะ 55.6 เมตร

ง. เมื่อใดรถยนต์ A จึงจะแล่นทันรถยนต์ B

วิธีทำ ให้ที่เวลา T วินาที รถยนต์ A จะแล่นไปทันรถยนต์ B

หาระยะทางที่รถยนต์ B เคลื่อนที่ได้ เมื่อเวลาผ่านไป T วินาที
จะได้ว่า ระยะทางที่รถยนต์ B เคลื่อนที่ได้ = กว้าง $\times$ ยาว

$$\begin{aligned}
 &= (30 \text{ km/h})(Ts) \\
 &= \left(\frac{30}{3600} \text{ km/s} \right) (Ts)
 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น ระยะทางที่รถยนต์ B เคลื่อนที่ได้} = \frac{T}{120} \text{ km}$$

หาระยะทางที่รถยนต์ A เคลื่อนที่ได้ เมื่อเวลาผ่านไป T วินาที
จะได้ว่า

ระยะทางที่รถยนต์ A เคลื่อนที่ได้ = ระยะทางที่วินาทีที่ 40 + ระยะทางที่วินาทีที่ 40 ถึง วินาทีที่ T

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2}(40 \text{ s})(50 \text{ km/h}) + (Ts - 40 \text{ s})(50 \text{ km/h}) \\
 &= \frac{1}{2}(40 \text{ s})\left(\frac{50}{3600} \text{ km/s}\right) + (Ts - 40 \text{ s})\left(\frac{50}{3600} \text{ km/s}\right) \\
 &= \left[\frac{1}{2}(40 \text{ s}) + (Ts - 40 \text{ s})\right]\left(\frac{50}{3600} \text{ km/s}\right) \\
 &= [Ts - 20 \text{ s}]\left(\frac{50}{3600} \text{ km/s}\right) \\
 &= \frac{5T - 100}{360} \text{ km}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\text{ระยะทางที่รถยนต์ A เคลื่อนที่ได้} = \frac{5T - 100}{360} \text{ km}$$

เมื่อรถยนต์ A แล่นทันรถยนต์ B

พื้นที่ใต้กราฟของรถยนต์ A = พื้นที่ใต้กราฟของรถยนต์ B

$$\begin{aligned}
 \frac{5T - 100}{360} \text{ km} &= \frac{T}{120} \text{ km} \\
 12(5T - 100) &= 36T \\
 60T - 1200 &= 36T \\
 T &= 50 \text{ s}
 \end{aligned}$$

ตอบ ที่เวลา 50 วินาทีรถยนต์ A จึงจะแล่นทันรถยนต์ B

32. อิเล็กตรอนตัวหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.0×10^4 เมตรต่อวินาที เข้าสู่บริเวณสนามไฟฟ้า และถูกเร่งโดยสนามไฟฟ้าเป็นระยะทาง 1.0 เซนติเมตร เมื่อออกจากสนามไฟฟ้าอิเล็กตรอนมีความเร็ว 4.0×10^6 เมตรต่อวินาที จงหาความเร่งของอิเล็กตรอน

วิธีทำ จากสมการ

$$\begin{aligned}
 v_x^2 &= u_x^2 + 2a_x \Delta x \\
 (4.0 \times 10^6 \text{ m/s})^2 &= (1.0 \times 10^4 \text{ m/s})^2 + 2a_x (1.0 \times 10^{-2} \text{ m}) \\
 16.0 \times 10^{12} \text{ m}^2/\text{s}^2 &= 0.0001 \times 10^{12} \text{ m}^2/\text{s}^2 + 2a_x (1.0 \times 10^{-2} \text{ m}) \\
 a_x &= 8.0 \times 10^{14} \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

ตอบ ความเร่งของอิเล็กตรอนขณะอยู่ในสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 8.0×10^{14} เมตรต่อวินาที²

33. รถสองคันวิ่งตามกันมาบนถนนสายตรงด้วยความเร็วเท่ากันคือ 30 เมตรต่อวินาที และ อยู่ห่างกัน 40 เมตร ถ้าผู้ขับรถคันหน้าเริ่มจับเวลาเมื่อรถคันหลังเริ่มลดความเร็วด้วย ความเร่งคงตัว 3 เมตรต่อวินาที²

ก. รถคันหลังอยู่ห่างจากรถคันหน้าเท่าใด ที่เวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 วินาที

วิธีทำ

จากโจทย์จะได้ว่า $u_{x1} = u_{x2} = 30 \text{ m/s}$, $a_{x1} = -3 \text{ m/s}^2$, $a_{x2} = 0$, $x_0 = 40 \text{ m}$

กำหนดให้

Δx_1 คือ การกระจัดของรถคันหลัง

Δx_2 คือ การกระจัดของรถคันหน้า

Δx_3 คือ การกระจัดระหว่างรถทั้งสอง

จากสมการ

$$\Delta x = u_x t + \frac{1}{2} a_x t^2$$

สำหรับรถคันหน้า

$$x_2 - x_0 = u_{x2} t + \frac{1}{2} a_{x2} t^2$$

$$x_2 = x_0 + u_{x2} t + \frac{1}{2} a_{x2} t^2$$

แทนค่า

$$x_2 = (40 \text{ m}) + (30 \text{ m/s})t + 0$$

สำหรับรถคันหลัง

$$x_1 - 0 = u_{x1} t + \frac{1}{2} a_{x1} t^2$$

$$x_1 = u_{x1} t + \frac{1}{2} a_{x1} t^2$$

แทนค่า

$$x_1 = (30 \text{ m/s})t + \frac{1}{2} (-3 \text{ m/s}^2) t^2$$

การกระจัดระหว่างรถทั้งสอง หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \Delta x_3 &= x_2 - x_1 \\ &= (40 \text{ m}) + \left(\frac{3}{2} \text{ m/s}^2\right) t^2 \end{aligned}$$

ที่เวลา $t = 2, 4, 6, 8$ และ 10 วินาที สามารถหาค่า x_1 , x_2 และ Δx_3 ได้ ดังตาราง

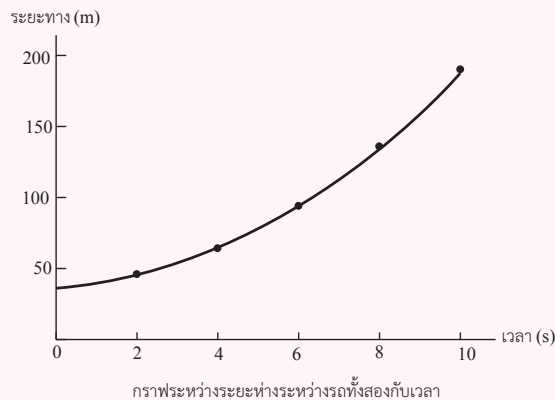
t (s)	2	4	6	8	10
x_1 (m)	54	96	126	144	150
x_2 (m)	100	160	220	280	340
Δx_3 (m)	46	64	94	136	190

ตอบ ที่เวลา 2, 4, 6, 8, 10 วินาที รถคันหลังอยู่ห่างจากรถคันแรก 46, 64, 94, 136 เมตร และ 190 เมตรตามลำดับ

ข. เขียนกราฟระหว่างระยะห่างระหว่างรถทั้งสองกับเวลา โดยให้ระยะห่างระหว่างรถทั้งสองเป็นแกนตั้ง เวลาเป็นแกนนอน

วิธีทำ ใช้ค่าที่ได้จากตารางในข้อ ก. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างรถทั้งสอง Δx_3 กับเวลา (t)

ตอบ



ค. อัตราเร็วของรถคันหลังเป็นเท่าใด ที่เวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 วินาที

วิธีทำ รถคันหลังแล่นด้วยความเร่งคงตัว 3 m/s^2 ดังนั้นจะหาอัตราเร็วที่เวลา t ได้จาก

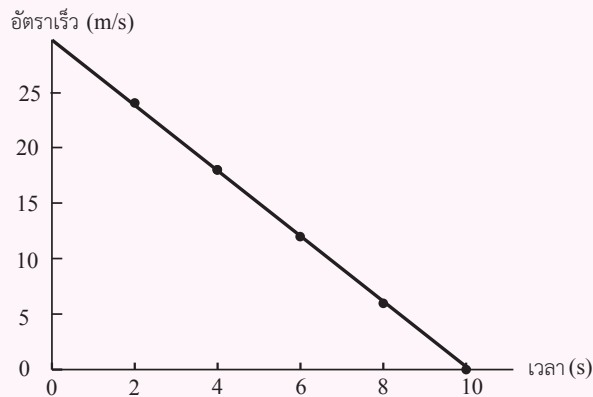
$$\begin{aligned} v_x &= u_x + a_x t \\ &= (30 \text{ m/s}) + (-3 \text{ m/s}^2)t \end{aligned}$$

ตอบ จากสมการนี้จะสามารถหาค่า v ที่เวลา 2, 4, 6, 8, 10 วินาทีได้ดังตารางต่อไปนี้

t (s)	2	4	6	8	10
v (m/s)	24	18	12	6	0

ง. เขียนกราฟระหว่างความเร็วกับเวลาจากข้อ ค. โดยให้ความเร็วเป็นแกนตั้ง เวลาเป็นแกนนอน
วิธีทำ สามารถเขียนกราฟได้โดยใช้ค่าตารางในข้อ ค. จะเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ
 อัตราเร็ว (v) กับเวลา (t) โดยให้อัตราเร็วเป็นแกนตั้งเวลาเป็นแกนนอน

ตอบ



34. เด็กคนหนึ่งโยนเหรียญขึ้นไปในแนวตั้ง เหรียญตกถึงพื้นที่อยู่ต่ำกว่าตำแหน่งมือที่โยนเหรียญ เป็นระยะทาง 80 เซนติเมตร ถ้าเหรียญอยู่ในอากาศเป็นเวลา 2 วินาที เด็กคนนั้น โยนเหรียญขึ้นไป ด้วยอัตราเร็วเท่าใด

วิธีทำ จากสมการ
 แทนค่า

$$\Delta y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2$$

$$-0.8 \text{ m} = u_y (2 \text{ s}) + \frac{1}{2} (-9.8 \text{ m/s}^2) (2 \text{ s})^2$$

$$-0.4 \text{ m/s} = u_y - 9.8 \text{ m/s}$$

$$u_y = 9.4 \text{ m/s}$$

ตอบ เหรียญมีความเร็วต้นเป็น 9.4 เมตรต่อวินาที

บทที่



goo.gl/939Jn3

3

แรงและกฎการเคลื่อนที่

ผลการเรียนรู้:

1. อธิบายแรงและผลของแรงลัพธ์ที่มีต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ รวมทั้งทดลองหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน
2. เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุอิสระ และอธิบายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันและการใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันกับสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ รวมทั้งทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ตามกฎข้อที่สองของนิวตัน
3. วิเคราะห์และอธิบายแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ ในกรณีที่วัตถุหยุดนิ่งและวัตถุเคลื่อนที่ รวมทั้งทดลองหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ และนำความรู้เรื่องแรงเสียดทานไปใช้ในชีวิตประจำวัน
4. อธิบายกฎความโน้มถ่วงสากลและผลของสนามโน้มถ่วงที่ทำให้วัตถุมีน้ำหนัก รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ กับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะแห่งศตวรรษที่ 21

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายแรงและผลของแรงลัพธ์ที่มีต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ รวมทั้งทดลองหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายความหมายของแรง
2. อธิบายความหมายเกี่ยวกับน้ำหนัก แรงสปริง แรงดึงเชือก แรงแนวฉาก และแรงเสียดทาน
3. อธิบายความหมายของแรงลัพธ์และแสดงการหาแรงลัพธ์โดยใช้วิธีเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัว วิธีสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานของแรงและวิธีคำนวณ
4. ทดลองหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1.การวัด (ขนาดของแรง จากเครื่องชั่งสปริง) 2.การใช้จำนวน (การหาขนาดของแรงลัพธ์) 3.การทดลอง 4.การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (การเขียนเวกเตอร์แทนแรงและการรวมเวกเตอร์) 5.การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (การสรุปผลการทดลอง)	1.การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การเขียนเวกเตอร์แทนขนาดและทิศทาง การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล) 2.ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1.ความอยากรู้อยากเห็น 2.ความซื่อสัตย์ 3.ความมุ่งมั่นอดทน 4.ความรอบคอบ

ผลการเรียนรู้

2.เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุอิสระ และอธิบายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันและการใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันกับสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ รวมทั้ง ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ตามกฎข้อที่สองของนิวตัน

จุดประสงค์การเรียนรู้

- 1.อธิบายและเขียนแผนภาพวัตถุอิสระในกรณีต่าง ๆ ได้
- 2.อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเฉื่อย
- 3.อธิบายกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน
- 4.อธิบายกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน
- 5.ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน
- 6.อธิบายกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน
- 7.ประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันในการแก้ปัญหาและคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การเคลื่อนที่ของวัตถุ

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การวัด (ความถูกต้องของการวัดและหน่วย) 2. การใช้จำนวน (ปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน) 3. การทดลอง 4. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง) 5. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (การสรุปผลการทดลอง)	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล) 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. ความซื่อสัตย์ 2. ความมุ่งมั่นอดทน 3. ความรอบคอบ

ผลการเรียนรู้

3. วิเคราะห์และอธิบายแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ ในกรณีที่วัตถุหยุดนิ่งและวัตถุเคลื่อนที่ รวมทั้งทดลองหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ และนำความรู้เรื่องแรงเสียดทานไปใช้ในชีวิตประจำวัน

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. วิเคราะห์และอธิบายแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ ในกรณีที่วัตถุหยุดนิ่งและในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่
2. ทดลองหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ
3. คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทาน
4. ประยุกต์ความรู้เรื่องแรงเสียดทานไปใช้ในชีวิตประจำวัน

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต (แรงดึงสูงสุดก่อนที่วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ และแรงดึงเมื่อวัตถุเคลื่อนที่) 2. การวัด (การอ่านค่าแรงจากเครื่องชั่งสปริง) 3. การใช้จำนวน (ปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทาน) 4. การทดลอง 5. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับน้ำหนัก) 6. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตมีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์)	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล) 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. ความซื่อสัตย์ 2. ความมุ่งมั่นอดทน 3. ความรอบคอบ

ผลการเรียนรู้

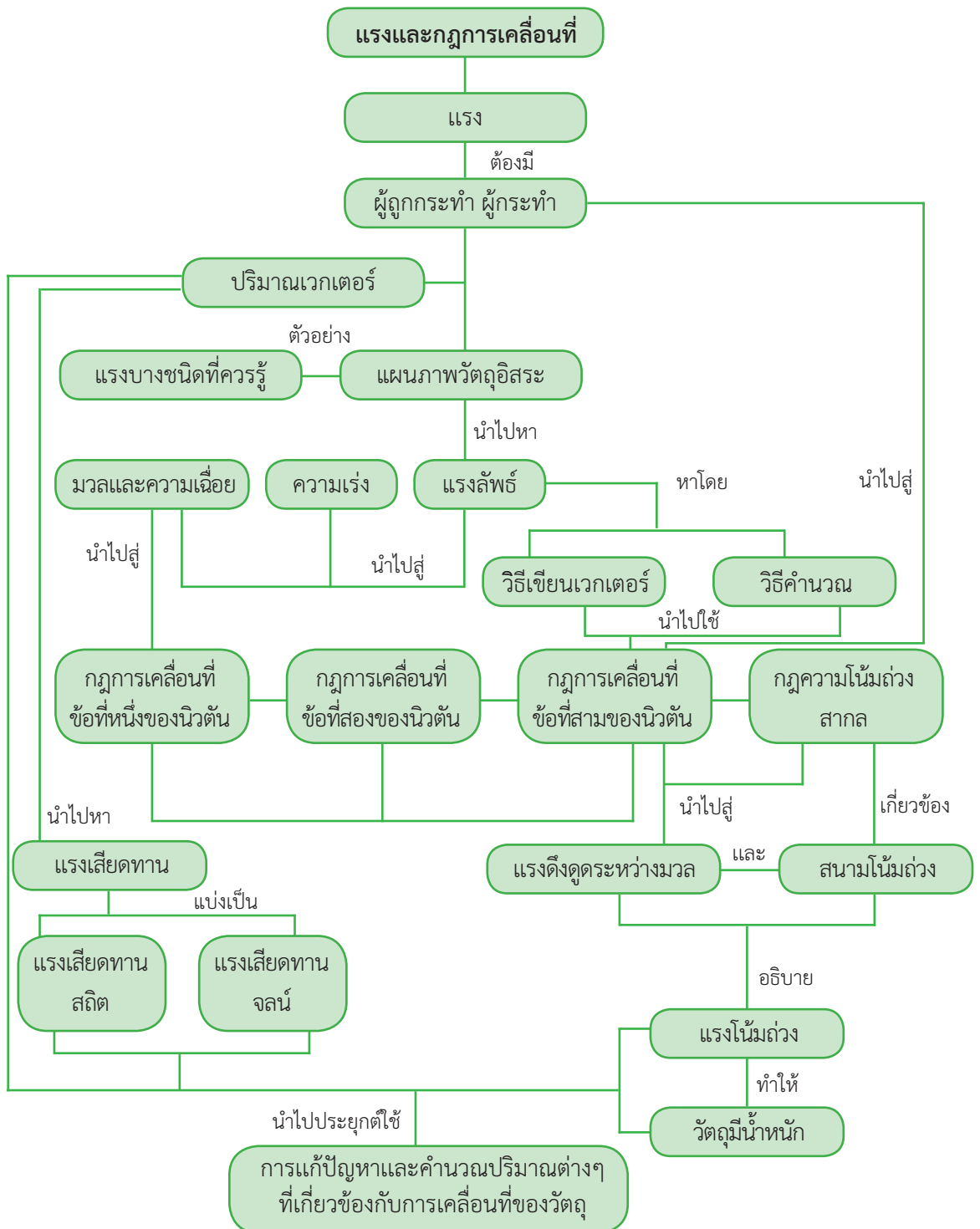
4. อธิบายกฎความโน้มถ่วงสากลและผลของสนามโน้มถ่วงที่ทำให้วัตถุมีน้ำหนัก รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายกฎความโน้มถ่วงสากล รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. อธิบายผลของสนามโน้มถ่วงโลกที่มีต่อน้ำหนักของวัตถุและคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การใช้จำนวน (ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกฎการโน้มถ่วงสากล สนามโน้มถ่วง และน้ำหนัก)	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (มีการอ้างอิงแหล่งที่มาและการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลายได้อย่างสมเหตุสมผล การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล) 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. การใช้วิจารณญาณ

ผังมโนทัศน์ แรงและกฎการเคลื่อนที่



สรุปแนวความคิดสำคัญ

การพิจารณาแรงนั้นจะนำสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุมาระบุแรงที่กระทำต่อวัตถุ โดยต้องรู้ว่าแรงใดเป็นของผู้กระทำ ผู้ถูกกระทำ มีทิศทางใด และเพื่อการพิจารณาได้ชัดเจนจะใช้แผนภาพวัตถุอิสระที่เขียนแรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุที่พิจารณาครบถ้วนและถูกต้อง มีแรง 5 แรงที่ควรรู้เป็นพื้นฐานคือ

- **น้ำหนักของวัตถุ (weight)** คือแรงที่โลกดึงดูดวัตถุ มีขนาดขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุ และมีทิศเข้าหาศูนย์กลางโลก

- **แรงสปริง (spring force)** เป็นแรงที่สปริงพยายามต้านกับแรงที่มากระทำต่อสปริง มีขนาดขึ้นกับความยาวของสปริงที่เปลี่ยนไป มีทิศทางที่ทำให้สปริงกลับสู่รูปร่างเดิม

- **แรงดึง (tension force)** เช่น แรงดึงเชือก เป็นแรงที่เชือกดึงวัตถุ มีทิศออกจากวัตถุ

- **แรงแนวฉาก (normal force)** เป็นแรงกระทำระหว่างผิววัตถุสองก้อนที่สัมผัสกัน มีทิศตั้งฉากกับแนวผิวสัมผัส

- **แรงเสียดทาน (frictional force)** เป็นแรงกระทำระหว่างผิววัตถุสองก้อนที่สัมผัสกัน พยายามต้านการเคลื่อนที่ระหว่างวัตถุ มีทิศในแนวผิวสัมผัส

เมื่อวัตถุก้อนหนึ่งมีแรงกระทำสองแรง ผลที่เกิดกับวัตถุนั้นจะเป็นไปตามแรงรวมของแรงทั้งสองที่ได้จากการรวมแบบเวกเตอร์ เรียกว่าแรงลัพธ์ (resultant force) การหาแรงลัพธ์ด้วยวิธีเขียนเวกเตอร์แบบหางต่อหัว โดยเขียนลูกศรเวกเตอร์แทนแรงทั้งสองให้หางต่อหัว เวกเตอร์ลัพธ์คือลูกศรจากหางเวกเตอร์แรกไปหัวเวกเตอร์สุดท้าย หรือวิธีการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน โดยเขียนเวกเตอร์แทนแรงทั้งสองให้หางมาต่อกัน แล้วประแนวจากหัวลูกศรเวกเตอร์ทั้งสองให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน เวกเตอร์ลัพธ์คือลูกศรจากมุมที่หางพบกันไปยังมุมตรงข้าม และการหาแรงลัพธ์ด้วยวิธีคำนวณ โดยคำนวณผลรวมแรงองค์ประกอบของแรงทั้งสองในแนว x และ ในแนว y แล้วคำนวณแรงลัพธ์ของแรงรวมในแนว x กับแรงรวมในแนว y จากทฤษฎีพีทาโกรัส

ความเฉื่อย (inertia) เป็นสมบัติที่วัตถุต้านการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ และ ปริมาณที่บอกให้ทราบถึงความเฉื่อยของวัตถุคือ มวล (mass)

แนวคิดเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นทั้งหมดของวิชากลศาสตร์นั้นมีพื้นฐานมาจาก กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's laws of motion) มีใจความดังนี้

- ข้อที่หนึ่ง “ในกรอบอ้างอิงเฉื่อย วัตถุจะยังคงรักษาสภาพการเคลื่อนที่ที่วัตถุนั้นอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ตราบเท่าที่ไม่มีแรงมากระทำต่อวัตถุนั้น”

- ข้อที่สอง “ความเร่งของวัตถุแปรผันตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุนั้นแต่จะแปรผกผันกับมวลของวัตถุ”

- ข้อที่สาม “เมื่อวัตถุสองก้อนมีปฏิกริยาต่อกัน แรงบนวัตถุก้อนหนึ่งจะเท่าและมีทิศตรงข้ามกับแรงบนวัตถุอีกก้อนหนึ่งเสมอ”

แรงเสียดทานเป็นแรงกระทำระหว่างผิววัตถุสองก้อนที่สัมผัสกัน พยายามต้านการเคลื่อนที่ระหว่างวัตถุ มีทิศในแนวผิวสัมผัส ในขณะที่วัตถุอยู่นิ่ง แรงเสียดทานที่กระทำกับวัตถุเรียกว่าแรงเสียดทานสถิต มีขนาดเท่ากับขนาดของแรงที่กระทำต่อวัตถุ และมีขนาดสูงสุดขณะวัตถุเริ่มจะเคลื่อนที่ ในขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่ แรงเสียดทานที่กระทำกับวัตถุเรียกว่าแรงเสียดทานจลน์ มีขนาดคงตัว โดยขนาดของแรงเสียดทานสถิตสูงสุดและขนาดของแรงเสียดทานจลน์ระหว่างผิวสัมผัสคู่หนึ่งแปรผันตรงกับขนาดของแรงแนวฉากระหว่างผิวสัมผัสนั้น ค่าคงตัวของการแปรผันเรียกว่า สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้ $f_s \leq \mu_s N$ และ $f_k = \mu_k N$

มวลมีแรงดึงดูดซึ่งกันและกันเสมอ เรียกว่า แรงดึงดูดระหว่างมวล โดยขนาดของแรงเป็นไปตามกฎความโน้มถ่วงสากล (Newton's law of universal gravitation) ดังสมการ

$$F_G = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

สนามโน้มถ่วง (gravitational field) ของวัตถุใด ทำให้เกิดแรงดึงดูดหรือแรงโน้มถ่วงของวัตถุนั้น กระทำต่อวัตถุอื่น ที่อยู่ ณ ตำแหน่งในสนามโน้มถ่วง เช่น ถ้าทราบสนามโน้มถ่วงของโลกที่ตำแหน่งใด จะสามารถหาแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อวัตถุที่ตำแหน่งนั้นหรือน้ำหนักของวัตถุได้

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 27 ชั่วโมง

3.1 แรง	2 ชั่วโมง
3.2 การหาแรงลัพธ์	4 ชั่วโมง
3.3 มวล แรง และการเคลื่อนที่	9 ชั่วโมง
3.4 แรงเสียดทาน	5 ชั่วโมง
3.5 แรงดึงดูดระหว่างมวล	3 ชั่วโมง
3.6 การประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่สำหรับการเคลื่อนที่	4 ชั่วโมง

| ความรู้ก่อนเรียน

ความเร็ว ความเร่ง มวล แรง น้ำหนัก การรวมเวกเตอร์ในหนึ่งมิติ

นำเข้าสู่บทที่ 3

ครูนำเข้าสู่บทที่ 3 โดยให้นักเรียนสนทนาและซักถาม ให้นักเรียนบอกการเคลื่อนที่ของวัตถุลักษณะต่าง ๆ แล้วให้อภิปรายเกี่ยวกับสาเหตุที่ทำให้วัตถุเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระและไม่คาดหวังความคิดเห็นที่ถูกต้อง

หลังจากนั้น ครูสนทนากับนักเรียนว่าในบทที่ 3 นี้จะกล่าวถึงแรง และความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุกับแรงที่กระทำต่อวัตถุ พร้อมทั้งชี้แจงหัวข้อที่นักเรียนจะได้เรียนรู้ในบทที่ 3 และคำถามสำคัญในหนังสือเรียน

3.1 แรง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายความหมายของแรง
2. อธิบายและเขียนแผนภาพวัตถุอิสระในกรณีต่าง ๆ
3. อธิบายความหมายเกี่ยวกับน้ำหนัก แรงสปริง แรงดึงเชือก แรงแนวฉาก และแรงเสียดทาน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ของหัวข้อ 3.1 และอธิบายความเป็นมาของความเข้าใจเกี่ยวกับแรงตั้งแต่สมัยอาริสโตเติลตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ตั้งคำถามกับนักเรียนว่าแรงเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุอย่างไรและมีลักษณะอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบคำถามอย่างอิสระและไม่คาดหวังความคิดเห็นที่ถูกต้อง เพื่อนำเข้าสู่หัวข้อ 3.1.1

3.1.1 ลักษณะของแรง

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. การที่วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว จะต้อง มีแรงกระทำต่อวัตถุ	1. การที่วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ไม่ต้องมีแรงกระทำต่อวัตถุ เพราะวัตถุจะมีความเร็วคงตัวเมื่อแรงลัพธ์เท่ากับศูนย์

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

อุปกรณ์สำหรับการสาธิต เช่น หนังสาย ตัวยัด

แนวการจัดการเรียนรู้

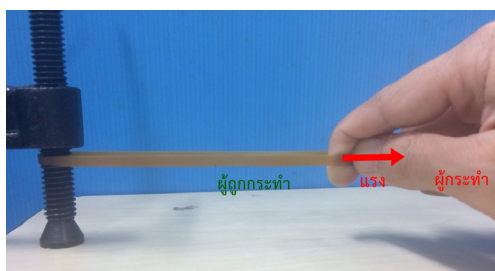
ครูทบทวนความรู้เรื่องแรงที่นักเรียนเคยเรียนมาแล้ว และตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับแรง ให้อภิปรายร่วมกันเพื่อให้เกิดแนวคิดที่ถูกต้อง แล้วตั้งคำถามโดยยกสถานการณ์หรือใช้สื่อเพื่อให้นักเรียนเกิดความอยากรู้อยากเห็นเกี่ยวกับแรงเพิ่มขึ้น เช่น

- ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า ยังมีแรงจากผู้นโยนกระทำต่อลูกโบว์ลิ่งอยู่หรือไม่ขณะลูกโบว์ลิ่งกำลังลื่นไถลบนรางหลังจากหลุดจากมือผู้นโยนแล้ว
- ให้นักเรียนสังเกตภาพหรือวิดีโอที่คนเกี่ยวกับยานอวกาศที่เคลื่อนที่ไปสำรวจดาวเคราะห์ขณะที่อยู่ในอวกาศและไม่มีการขับเคลื่อน ว่ามีแรงกระทำทำให้ยานเคลื่อนที่หรือไม่อย่างไร

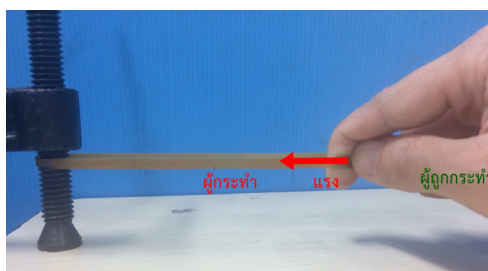
- ให้นักเรียนสังเกตแรงดึงมือ ในกรณีเมื่อยืนหัวของหนักเปรียบเทียบกับกรณีดึงปลายหนึ่งข้างว่าเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับลักษณะของแรงตามหัวข้อ 3.1.1 จนนักเรียนสามารถระบุลักษณะสำคัญของแรงว่า แรงต้องมีผู้กระทำ ผู้ถูกกระทำ และมีทิศ โดยใช้ลูกศรแทนแรง

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับแรงกระทำเป็นคู่ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นให้นักเรียนสังเกตว่ามีแรงอะไรบ้างเมื่อนักเรียนดึงหนึ่งข้างที่ปลายด้านหนึ่งยึดไว้ และให้นักเรียนวิเคราะห์เกี่ยวกับแรงกระทำเป็นคู่ ชักถามจนได้แนวคำตอบว่า เมื่อนักเรียนออกแรงดึงปลายหนึ่งข้าง มือของนักเรียนเป็นผู้กระทำ หนึ่งข้างเป็นผู้ถูกกระทำ ดังรูป 3.1 ก. ในขณะเดียวกันหนึ่งข้างจะออกแรงดึงกระทำต่อมือของนักเรียนด้วย โดยหนึ่งข้างเป็นผู้กระทำ มือของนักเรียนเป็นผู้ถูกกระทำ ดังรูป 3.1 ข. นั่นคือ มือของนักเรียนและหนึ่งข้างสลับกันเป็นผู้กระทำและผู้ถูกกระทำ



รูป 3.1 ก. มือเป็นผู้กระทำ หนึ่งข้างเป็นผู้ถูกกระทำ



รูป 3.2 ข. หนึ่งข้างเป็นผู้กระทำ มือเป็นผู้ถูกกระทำ

ครูให้ความรู้เกี่ยวกับการระบุแรงที่กระทำต่อวัตถุที่พิจารณา โดยชี้ให้นักเรียนสามารถพิจารณาได้ว่าอะไรคือระบบ อะไรคือสิ่งแวดล้อม ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน



แนวคำตอบชวนคิด

ชายคนหนึ่งดันกล่อง A ที่ติดกับกล่อง B ไปบนพื้นระดับลื่นดังรูป จงแสดงว่า



รูป สถานการณ์ที่มีผู้ชายดันกล่อง A และ B บนพื้นลื่น

ก. มีแรงอะไรกระทำต่อกล่อง A บ้าง

แนวคำตอบ แรงผลัก แรงที่กล่อง B ดันกล่อง A แรงที่พื้นดันกล่อง A และ น้ำหนักของกล่อง A

ข. มีแรงอะไรกระทำต่อกล่อง B บ้าง

แนวคำตอบ แรงที่กล่อง A ดันกล่อง B แรงที่พื้นดันกล่อง B และ น้ำหนักของกล่อง B

3.1.2 แผนภาพวัตถุอิสระ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. วัตถุที่ถูกขว้าง เตะ หรือยิงออกไป เมื่ออยู่ในอากาศจะยังได้รับแรงจากขว้าง เตะ หรือยิง	1. วัตถุที่ถูกขว้าง เตะ หรือยิงออกไป เมื่ออยู่ในอากาศ จะไม่มีแรงที่ขว้าง เตะ หรือยิงกระทำต่อวัตถุอีกแล้ว มีเพียงน้ำหนักของวัตถุเท่านั้น (ในกรณีไม่คิดแรงต้านอากาศ)

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูให้ความรู้เกี่ยวกับแผนภาพวัตถุอิสระเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แรงที่กระทำกับวัตถุ ตามขั้นตอนทั้ง 3 ข้อ ตามรายละเอียดหนังสือเรียนจากนั้นครูอธิบายการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระจากสถานการณ์ต่าง ๆ ในตาราง 3.2 และข้อสังเกตในหนังสือเรียน

3.1.3 แรงบางชนิดที่ควรรู้

ความเข้าใจตลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจตลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. มวลกับน้ำหนักของวัตถุเป็นสิ่งเดียวกัน	1. มวลเป็นปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการต้านการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง เป็นปริมาณสเกลาร์มีหน่วยเป็นกิโลกรัม ส่วนน้ำหนักของวัตถุเป็นแรงที่โลกดึงดูดวัตถุ มีขนาดเปลี่ยนไปตามระยะห่างจากผิวโลก เป็นปริมาณเวกเตอร์มีหน่วยเป็นนิวตัน

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

อุปกรณ์สำหรับการสาธิต เช่น สปริง ลูกทราย 3 ลูก เชือก ดินน้ำมัน เครื่องชั่งดิจิทัล กระดาษกระดาษทราย

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูทบทวนความหมายของแรง ลักษณะสำคัญของแรง และ แผนภาพวัตถุอิสระ แล้วให้นักเรียนแต่ละคนเสนอชื่อแรงต่าง ๆ ให้ได้มากที่สุด อภิปราย จัดกลุ่มแรงที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน และแรงที่มีคนเสนอมามากเพื่อ นำเข้าสู่การเรียนรู้ น้ำหนักของวัตถุ

แรงสปริง แรงดึง แรงแนวฉาก และ แรงเสียดทาน ดังนี้

- น้ำหนักของวัตถุ ให้นักเรียนสังเกตและวิเคราะห์เปรียบเทียบการชั่งลูกทรายด้วยเครื่องชั่งสปริงทั้งในหน่วยนิวตันและกรัม แล้วอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า ขนาดของน้ำหนักวัตถุจะขึ้นกับมวลของวัตถุนั้น และสำหรับวัตถุที่อยู่บริเวณผิวโลก สามารถแปลงค่าระหว่างน้ำหนักและมวล โดยใช้ตัวแปลงค่า $g = 9.8 \text{ N/kg}$ เขียนแทนด้วย $W = mg$ อภิปรายต่อจนสรุปได้ว่า น้ำหนักของวัตถุคือแรงที่โลกดึงดูดวัตถุ

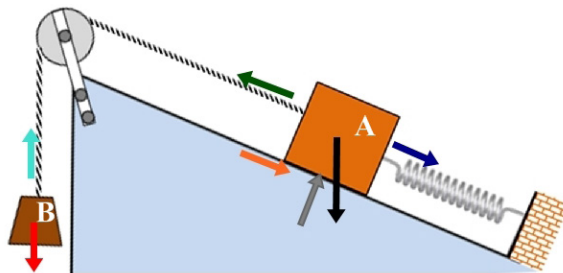
- แรงสปริง ให้นักเรียนสังเกตแรงที่มีมือดึงและดันสปริงที่ถูกยึดไว้ปลายหนึ่ง ที่ระยะยืดออกและดันเข้าต่าง ๆ กัน และนำลูกทราย 1 2 และ 3 ลูกมาห้อยสปริงที่ใช้ทำเครื่องชั่ง แล้ววัดระยะยืดออกและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแรงดึงสปริงกับระยะที่ยืดออก นำมาอภิปรายลักษณะของแรงสปริง

- แรงดึง ให้นักเรียนสังเกตแรงขณะที่มีมือทั้งสองดึงเชือกเส้นเดียวกันคนละปลาย แล้วอภิปรายว่ามีแรงอะไรบ้างกระทำต่ออะไร ทิศไปทางใด ร่วมกันเขียนแผนภาพวัตถุอิสระแสดงแรงที่กระทำต่อเชือก เพื่อสรุปเป็นแรงดึงในเส้นเชือก

- แรงแนวฉาก ให้นักเรียนสังเกตแรงที่กระทำต่อดินน้ำมันที่วางติดอยู่บนเครื่องชั่งดิจิทัลเพื่อชั่งน้ำหนัก อ่านค่าน้ำหนักที่ได้ อภิปรายแรงทั้งหมดที่กระทำต่อดินน้ำมัน ต่อจากนั้นให้นักเรียนเอียงเครื่องชั่งทำมุมกับแนวระดับ อ่านค่าน้ำหนักที่ได้ เปรียบเทียบกับที่อ่านได้กับตอนที่วางเครื่องชั่งอยู่ในแนวระดับ แล้วอภิปรายเพื่อสรุปเกี่ยวกับแรงแนวฉาก และยกตัวอย่างแรงแนวฉากในกรณีอื่นๆ

- แรงเสียดทาน ให้นักเรียนสังเกตแรงที่กระทำต่อถุงทรายที่ลากไปบนผิววัตถุต่างๆ เช่น กระดาษ กระดาษทราย พรมเช็ดเท้า เป็นต้น แล้วอภิปรายว่ามีแรงต้านแตกต่างกันอย่างไร แล้วเขียนแผนภาพวัตถุอิสระแสดงแรงที่กระทำต่อถุงทราย และระบุว่าแรงใดเป็นแรงเสียดทาน จากนั้นสรุปเกี่ยวกับแรงเสียดทานระหว่างผิววัตถุ

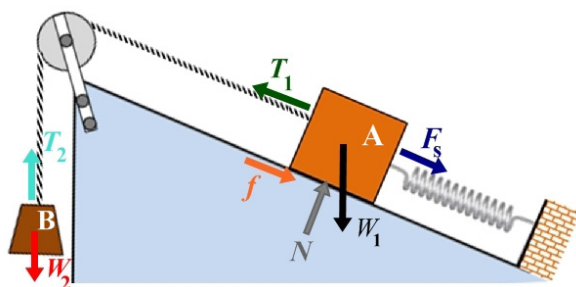
ประเมินผลการเรียนรู้โดย ครูเขียนภาพวัตถุ A และ B ดังรูป 3.2



รูป 3.2 แสดงแรงต่าง ๆ ที่กระทำกับวัตถุ A และ B

แล้วให้นักเรียนแต่ละคนเขียนรูปแล้วใส่ลูกศรแทนแรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุทั้งสองลงในรูปที่เขียน ให้นักเรียนระบุด้วยว่าแรงใดคือ น้ำหนัก แรงสปริง แรงดึง แรงแนวฉาก และแรงเสียดทาน

ครูใช้รูป 3.3 เป็นแนวคำตอบตามในการระบุประเภทของแรง โดย W_1 , W_2 เป็นน้ำหนักของวัตถุ



รูป 3.3 แสดงและระบุต่างๆ ที่กระทำต่อวัตถุ A และ B

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับแรง จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถาม ตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 3.1 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ จากการสรุป การทำแบบฝึกหัด
2. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล
3. จิตวิทยาศาสตร์การใช้วิจารณ์ญาณ จากการอภิปรายร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 3.1

1. แรงในชีวิตประจำวันมีลักษณะอย่างไร

แนวคำตอบ สิ่งที่จะเรียกว่า แรง มีลักษณะ 4 ประการ ได้แก่ แรงต้องมีผู้กระทำ แรงต้องมีผู้ถูกกระทำ แรงต้องมีทิศทาง และแรงจะเกิดเป็นคู่

2. เมื่อออกแรงกระทำต่อวัตถุหนึ่ง วัตถุนั้นจะออกแรงกระทำกลับ เสมอไปหรือไม่

แนวคำตอบ จากลักษณะของแรง ที่ว่า แรงจะเกิดเป็นคู่ คือแรงของผู้กระทำและแรงของผู้ถูกกระทำ ซึ่งมีขนาดเท่ากันแต่ทิศทางตรงข้าม ดังนั้นเมื่อออกแรงกระทำต่อวัตถุหนึ่ง วัตถุนั้นจะออกแรงกระทำกลับเสมอ

3. ยกตัวอย่างสถานการณ์ที่แรงกระทำต่อวัตถุ แล้วระบุว่า สิ่งใดคือระบบ สิ่งใดคือสิ่งแวดล้อม

แนวคำตอบ สถานการณ์ที่แรงกระทำต่อวัตถุ เช่น สัมลูกหนึ่งกลิ้งไปตามพื้น ถ้าพิจารณาว่ามีแรงอะไรบ้างกระทำต่อสัม ลัมคือระบบ พื้นคือสิ่งแวดล้อม

4. จงอธิบายแผนภาพวัตถุอิสระ

แนวคำตอบ แผนภาพวัตถุอิสระเป็นการเขียนแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อวัตถุหนึ่งเพียงวัตถุเดียว โดยไม่เขียนแรงที่วัตถุนั้นกระทำต่อวัตถุอื่น

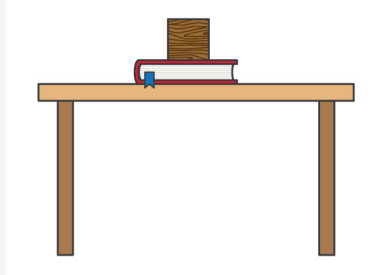
5. แรงที่พบเห็นบ่อยและเป็นพื้นฐาน ได้แก่ น้ำหนักวัตถุ แรงสปริง แรงดึง แรงแนวฉาก แรงเสียดทาน จงอธิบายแรงเหล่านี้

แนวคำตอบ น้ำหนักวัตถุเป็นแรงที่โลกดึงดูดวัตถุ ที่ทิศทางเข้าหาใจกลางโลก มักแทนด้วยแรงสปริงเป็นแรงที่สปริงกระทำต่อมือ เมื่อออกแรงดึงสปริงให้ยืดออกหรือดันสปริงให้สั้นลง มักแทนด้วย



เฉลยแบบฝึกหัด 3.1

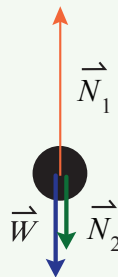
1. จงเขียนแผนภาพวัตถุอิสระของหนังสือที่วางบนโต๊ะที่มีแท่งไม้ทับอยู่ดังรูป



รูป หนังสือที่วางบนโต๊ะที่มีแท่งไม้ทับ

วิธีทำ แรงที่กระทำต่อหนังสือมี 3 แรง ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูดหนังสือ (น้ำหนักของหนังสือ) มีทิศทางลง $\vec{W}$ แรงที่โต๊ะดันหนังสือมีทิศทางขึ้น $\vec{N}_1$ และแรงที่แท่งไม้กดหนังสือ (ซึ่งมีขนาดเท่ากับขนาดน้ำหนักของแท่งไม้) มีทิศทางลง $\vec{N}_2$

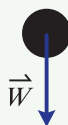
ตอบ



2. จงเขียนแผนภาพวัตถุอิสระของก้อนหินที่ถูกโยนขึ้นในอากาศ โดยเขียนแผนภาพวัตถุอิสระของก้อนหินในขณะที่ก้อนหินกำลังเคลื่อนที่ลง แต่ยังไม่ถึงพื้น (ไม่ต้องพิจารณาถึงแรงต้านอากาศ)

วิธีทำ ในขณะที่ก้อนหินกำลังเคลื่อนที่ลง มีแรงที่กระทำต่อก้อนหิน 1 แรง ได้แก่ แรงที่โลกดึงดูดก้อนหิน $\vec{W}$ ดังรูป

ตอบ



3.2 การหาแรงลัพธ์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายความหมายของแรงลัพธ์และแสดงการหาแรงลัพธ์โดยใช้วิธีเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัว วิธีสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานของแรงและวิธีคำนวณ
 2. ทดลองหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน
- ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ของหัวข้อ 3.2 และทบทวนความรู้เกี่ยวกับการรวมเวกเตอร์ที่ได้เรียนผ่านมา เช่น การหาการกระจัดลัพธ์ในบทที่ 2 จากนั้นตั้งคำถามกับนักเรียนว่า เมื่อมีแรงมากกว่าหนึ่งมากระทำกับวัตถุ เราจะสามารถหาแรงลัพธ์ได้โดยใช้วิธีการรวมเวกเตอร์ได้หรือไม่ โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบคำถามอย่างอิสระและไม่คาดหวังความคิดเห็นที่ถูกต้อง เพื่อยังเข้าสู่หัวข้อ 3.2.1

3.2.1 การหาแรงลัพธ์โดยวิธีเขียนเวกเตอร์ของแรง

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. การเขียนเวกเตอร์ของแรงไม่ต้องกำหนดทิศทาง	1. การเขียนเวกเตอร์ของแรงต้องกำหนดทิศทาง

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

- 1) อุปกรณ์สำหรับการสาธิต เชือก ถ้วยพลาสติก กระดาษโปสเตอร์
- 2) ชุดอุปกรณ์กิจกรรม 3.1 การหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน
- 3) ใบกิจกรรม
- 4) ถ้าจะมีการแจกแนวทางการให้คะแนนการประเมินทักษะต่าง ๆ จากการทำกิจกรรม ให้นักเรียนให้จัดเตรียมเอกสารให้เพียงพอกับจำนวนนักเรียน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูแบ่งนักเรียนเป็นกลุ่ม ๆ ละ ไม่เกิน 5 คน เล่นเกมเลือกตัวอักษรด้วยการเลื่อนถ้วยพลาสติก ที่ผูกโยงด้วยเชือกจำนวนเส้นเท่าจำนวนผู้เล่น นำถ้วยพลาสติกวางลงบนกระดาษโปสเตอร์ที่เขียนตัวอักษรไว้ ให้นักเรียนยืนล้อมกระดาษโปสเตอร์และถือปลายเชือกคนละเส้น เพื่อดึงเชือกให้ถ้วยเคลื่อนที่ไปยังตัวอักษรที่กำหนด ให้นักเรียนสังเกตการเคลื่อนที่ของถ้วยพลาสติกกับแรงที่ดึง เมื่อดึงถ้วยหนึ่งคน ดึงถ้วยพร้อมกันสองคน ดึงถ้วยพร้อมกันสามคน และพร้อมกันจนครบจำนวนผู้เล่น หลังเล่นเกมครูให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของถ้วยกับแรงที่ดึงหนึ่งแรง และหลายแรง

จากนั้นครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 3.1 การหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน เพื่อหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน



กิจกรรม 3.1 การทดลองเรื่องการหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมกัน

จุดประสงค์

หาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมกัน

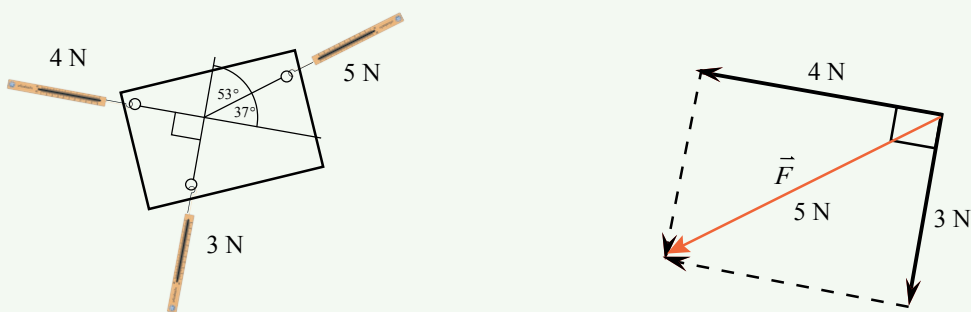
เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|---------------------|--------|
| 1. กระดาษแข็ง | 1 ชุด |
| 2. เครื่องชั่งสปริง | 3 อัน |
| 3. เชือกเบา | 3 เส้น |
| 4. ตัวยึด | 3 อัน |

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตัวอย่างการวางตัวของเครื่องชั่งสปริง และแรงลัพธ์จากรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานเป็นดังรูป 3.4



รูป 3.4 ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม 3.1



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- เวกเตอร์ของแรงลัพธ์มีทิศทางอย่างไร และมีทิศเดียวกันหรือตรงข้ามกันกับแรงจากเครื่องชั่งสปริงตัวที่สาม

แนวคำตอบ เวกเตอร์ของแรงลัพธ์มีทิศทางตามเส้นทแยงมุมของสี่เหลี่ยมด้านขนาน และตรงข้ามกับแรงจากเครื่องชั่งสปริงตัวที่สาม

- เวกเตอร์ของแรงลัพธ์มีขนาดเท่าใด และมีค่าเท่ากับค่าที่บันทึกได้จากข้อที่ 4 และ 7 หรือไม่อย่างไร

แนวคำตอบ ขนาดเวกเตอร์ของแรงลัพธ์ไม่จำเป็นต้องเท่ากับค่าที่วัดได้จากข้อ 4 แต่จะเท่ากับค่าที่วัดได้จากข้อ 7 และมีค่าเท่ากับค่าที่วัดได้จากเครื่องชั่งสปริงตัวที่สาม

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูให้นักเรียนอภิปรายตามแนวคำถามในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า

แรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน มีขนาดเท่ากับความยาวของเส้นทแยงมุมของรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีแรงทั้งสองเป็นด้านประกอบ และมีทิศทางตามเส้นทแยงมุมของสี่เหลี่ยมด้านขนาน โดยชี้ออกจากหางเวกเตอร์ของแรงทั้งสอง

คำแนะนำเพิ่มเติมสำหรับครู

กิจกรรมนี้ทาง สสวท. มีสื่อประกอบการทำกิจกรรมในรูปแบบการทดลองเสมือนจริง (virtual experiment) เรื่อง การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์

ครูให้ความรู้เกี่ยวกับการหาแรงลัพธ์ โดยวิธีการเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบทางต่อหัวและวิธีการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน ให้นักเรียนอภิปรายและวิเคราะห์ความเหมือนกันและความแตกต่างกันของวิธีทั้งสอง

3.2.2 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์โดยการคำนวณ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	
1. การหาแรงลัพธ์ด้วยวิธีที่ต่างกันจะได้ผลลัพธ์ที่ไม่เหมือนกัน	1. การหาแรงลัพธ์ไม่ว่าจะด้วยวิธีใดๆ เมื่อทำตามขั้นตอนอย่างถูกต้อง จะได้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับการหาแรงลัพธ์โดยวิธีเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัวและวิธีการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน

จากนั้นครูให้ความรู้เกี่ยวกับการหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์โดยการคำนวณในกรณีแรงทั้งสองตั้งฉากกัน ตามสมการ (3.1) และ (3.2) ในหนังสือเรียน และชี้ให้เห็นว่าแรงหนึ่งแรงสามารถแยกเป็นแรงสองแรงได้ ดังรูป 3.26 ก.- ง. ในหนังสือเรียน นักเรียนนำความเข้าใจนี้ไปพิจารณาตามรายละเอียดในหนังสือเรียนเพื่อสรุปเป็นหลักการหาแรงองค์ประกอบในแนว x และในแนว y ซึ่งเป็นพื้นฐานในการหาแรงลัพธ์ด้วยวิธีคำนวณ



แนวคำตอบชวนคิด

จากรูป 3.26 ก. ถึงรูป 3.26 ง. (ในหนังสือเรียน) ถ้า $\vec{F}$ มีค่าเท่ากัน แล้ว $\vec{F}_a + \vec{F}_b = \vec{F}_c + \vec{F}_d = \vec{F}_e + \vec{F}_f = \vec{F}_x + \vec{F}_y$ จะเป็นจริงหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ สมการดังกล่าวเป็นจริง แรงทุกคู่เป็นแรงองค์ประกอบซึ่งมีผลบวกเท่ากับแรง $\vec{F}$

ครูให้ความรู้เกี่ยวกับการหาแรงองค์ประกอบตั้งฉากของแรงใด ๆ ต่อจากนั้นจึงให้ความรู้การหาแรงลัพธ์จากแรงองค์ประกอบตั้งฉากโดยวิธีคำนวณด้วยตัวอย่าง 3.1 ของหนังสือเรียน

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับการหาแรงลัพธ์ จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 3.2 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ทั้งสามวิธี เมื่อมีแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน กระทำต่อวัตถุ จากรายงานผลการทดลอง การสรุป การทำแบบฝึกหัด
2. ทักษะการวัด การทดลอง การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการอภิปรายร่วมกัน การทำการทดลอง และรายงานผลการทดลอง
3. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล
4. ทักษะการใช้จำนวน ในการหาแรงลัพธ์เมื่อมีแรงมากกว่าหนึ่งแรง จากรายงานผลการทดลอง แบบฝึกหัดและแบบทดสอบ
5. จิตวิทยาศาสตร์ความซื่อสัตย์ และความรอบคอบ จากรายงานผลการทดลอง และความมุ่งมั่นอดทน จากการทดลองและการอภิปรายร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 3.2

1. จงอธิบายวิธีการหาแรงลัพธ์ของแรงสามแรงที่อยู่ในแนวเดียวกัน

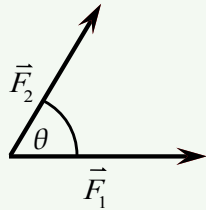
ก. โดยวิธีการสร้างรูป ข. โดยวิธีการคำนวณ

แนวคำตอบ

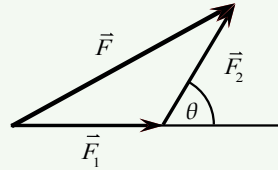
- ก. การหาแรงลัพธ์โดยนำแรงย่อยมาต่อแบบหางต่อหัวต่อเนื่องจนกระทั่งครบ 3 แรง โดยความยาวของลูกศรแทนขนาดแรง หาแรงลัพธ์คือ เวกเตอร์ที่ลากจากจุดเริ่มต้นของแรงย่อยแรก ไปยังหัวลูกศรของแรงย่อยที่สุดท้าย
- ข. กำหนด เครื่องหมาย บวกลบแทนทิศทางของแรงย่อยที่อยู่ในแนวเดียวกันหา แรงลัพธ์ตามหลักพีชคณิต

2. จงอธิบายการหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่กระทำมุมต่อกันโดยการเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัว

แนวคำตอบ การหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่กระทำมุมต่อกันดังรูป ก. โดยการเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัวนั้นสามารถทำได้โดยนำหางของเวกเตอร์แรง $\vec{F}_2$ ต่อกับหัวของเวกเตอร์แรง $\vec{F}_1$ จากนั้นลากเวกเตอร์จากหางของเวกเตอร์แรง $\vec{F}_1$ ไปยังหัวของเวกเตอร์แรง $\vec{F}_2$ ซึ่งก็คือ แรงลัพธ์ $\vec{F}$ ของแรงสองแรงที่กระทำมุมต่อกัน ดังรูป ข.

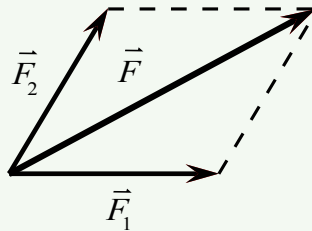


รูป ก.



รูป ข.

3. จงอธิบายการหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่กระทำมุมต่อกันโดยการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน
- แนวคำตอบ** ให้นำเส้นประขนาดและทิศทางเท่ากับเวกเตอร์แรง $\vec{F}_1$ ไปต่อกับหัวของเวกเตอร์แรง $\vec{F}_2$ จากนั้นนำเส้นประขนาดและทิศทางเท่ากับเวกเตอร์แรง $\vec{F}_2$ ไปต่อกับหัวของเวกเตอร์แรง จากนั้นลากเส้นจากจุดที่หางของเวกเตอร์ $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ ไปยังจุดที่เส้นประชนกันพอดี ซึ่งเวกเตอร์ที่ได้คือเวกเตอร์ลัพธ์ $\vec{F}$ ดังรูป

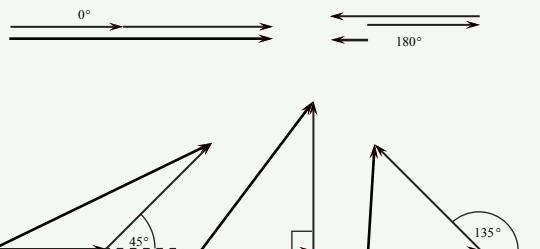


เฉลยแบบฝึกหัด 3.2

1. จงหาผลบวกของเวกเตอร์สองเวกเตอร์ขนาด 3 หน่วย และ 4 หน่วย ซึ่งทำมุม θ ต่อกัน โดยการเขียนรูป เมื่อ θ มีค่าเป็น $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ และ 180° องศา

วิธีทำ ใช้วิธีการเขียนเวกเตอร์แบบหางต่อหัวหรือการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน

ตอบ



2. จงหาแรงลัพธ์ของแรงต่อไปนี้

ก. 5 นิวตัน ไปทางทิศตะวันออก

ข. 3 นิวตัน ไปทางทิศเหนือ

ค. 4 นิวตัน ไปทางทิศใต้

ง. 6 นิวตัน ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

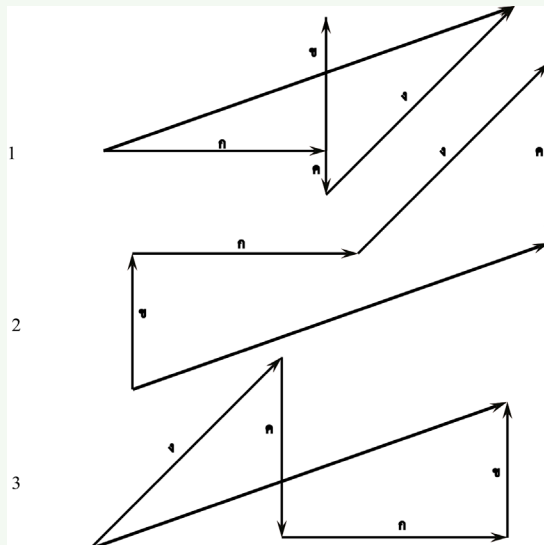
โดยการเขียนรูปเรียงลำดับดังนี้

1. ก ข ค ง 2. ข ก ง ค 3. ง ค ก ข

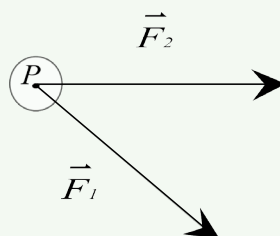
แรงลัพธ์ที่ได้ทั้งสามกรณีเหมือนกันหรือไม่

วิธีทำ ใช้วิธีการเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัวหรือการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน

ตอบ แรงลัพธ์ที่ได้ทั้งสามกรณีเท่ากัน

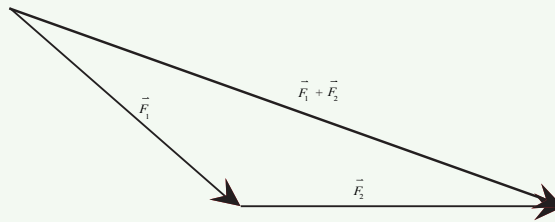


3. แรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ กระทำต่อวัตถุที่จุด P มีขนาดและทิศทางการดังรูป จงหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงทั้งสอง $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$



วิธีทำ ใช้วิธีการเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัวหรือการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน

ตอบ



4. เด็กคนหนึ่งออกแรง 100 นิวตัน ดึงรถให้เคลื่อนที่ไปตามแนวระดับ โดยแนวแรงของแรงดึง ทำมุม 42 องศา กับแนวระดับ จงหาองค์ประกอบของแรง 100 นิวตัน ในแนวระดับกับแนวตั้ง

วิธีทำ หาองค์ประกอบของแรง 100 นิวตัน ในแนวระดับ โดยจากตารางฟังก์ชันตรีโกณมิติ $\cos 42^\circ = 0.7431$

$$F_x = F \cos \theta$$

$$F_x = F \cos 42^\circ$$

$$F_x = (100 \text{ N})(0.7431)$$

$$F_x = 74.3 \text{ N}$$

หาองค์ประกอบของแรง 100 นิวตัน ในแนวตั้ง โดยจากตารางฟังก์ชันตรีโกณมิติ $\sin 42^\circ = 0.6691$

$$F_y = F \sin \theta$$

$$F_y = F \sin 42^\circ$$

$$F_y = (100 \text{ N})(0.6691)$$

$$F_y = 66.9 \text{ N}$$

ตอบ องค์ประกอบของแรง 100 นิวตัน ในแนวระดับมีค่า 74.3 นิวตัน และแนวตั้งมีค่า 66.9 นิวตัน

3.3 มวล แรง และกฎการเคลื่อนที่

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายความสัมพันธ์ของมวลและความเฉื่อย
2. อธิบายกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน
3. อธิบายกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน
4. ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน
5. อธิบายกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ของหัวข้อ 3.3 ทบทวนความรู้เกี่ยวกับมวลที่นักเรียนเคยได้ศึกษามา จากนั้นตั้งคำถามกับนักเรียนว่ามวลมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบคำถามอย่างอิสระและไม่คาดหวังความคิดเห็นที่ถูกต้อง เพื่อโยงเข้าสู่หัวข้อ 3.3.1

3.3.1 มวลและความเฉื่อย

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อไม่มีแรงมากระทำกับวัตถุ วัตถุจะหยุดนิ่งอยู่กับที่เท่านั้น	1. เมื่อไม่มีแรงมากระทำกับวัตถุ วัตถุจะยังคงสภาพการเคลื่อนที่เดิมต่อไป โดยอาจเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวหรือหยุดนิ่งก็ได้
2. ขณะวัตถุกำลังเคลื่อนที่ ต้องมีแรงกระทำต่อวัตถุเสมอ	2. ขณะวัตถุกำลังเคลื่อนที่ ไม่จำเป็นต้องมีแรงกระทำต่อวัตถุทุกครั้ง

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

อุปกรณ์สำหรับการสาธิต เช่น ขวดพลาสติก น้ำ เชือก วัตถุที่มีมวลแตกต่างกัน 2 ชิ้น ภาดลดแรงเสียดทาน

แนวทางการจัดการเรียนรู้

ครูให้นักเรียนสังเกตและเปรียบเทียบการออกแรงกระทำต่อวัตถุที่มีมวลมาก และ มวลน้อย ให้เคลื่อนที่โดยไม่มีแรงเสียดทาน เช่น ผลักขวดพลาสติก 2 ขวดที่แขวนอยู่ด้วยแรงที่เท่า ๆ กัน โดยขวดพลาสติกทั้งสองมีมวลแตกต่างกันอย่างชัดเจน หรือผลักวัตถุ 2 ชิ้นที่มีมวลต่างกันบนภาดลดแรงเสียดทาน ให้นักเรียนสังเกตแล้วอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า แรงเป็นสิ่งที่ทำให้วัตถุเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ รวมทั้งความหมายของมวล ความเฉื่อย ครูตั้งคำถามว่าแรงกระทำมีผลต่อการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุอย่างไร โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้องเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนอยากรู้อยากเห็น

3.3.2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ วัตถุจะมีความเร็วเป็นศูนย์	1. เมื่อแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ วัตถุจะมีความเร็วเป็นศูนย์หรือไม่ก็ได้ แต่ความเร่งเป็นศูนย์
2. แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา เป็นแรงที่มีขนาดเท่ากัน ทิศทางตรงข้ามกัน และกระทำต่อวัตถุชิ้นเดียวกัน	2. แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา เป็นแรงที่มีขนาดเท่ากัน ทิศทางตรงข้ามกัน แต่กระทำต่อวัตถุคนละชิ้น

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

- 1) อุปกรณ์สำหรับการสาธิต เช่น เชือก ถ้วยพลาสติก กระดาษโปสเตอร์
- 2) ชุดอุปกรณ์กิจกรรม 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวลและความเร่ง
- 3) ใบกิจกรรม
- 4) ถ้าจะมีการแจกแนวทางการให้คะแนนการประเมินทักษะต่าง ๆ จากการทำกิจกรรม ให้กับนักเรียน ให้จัดเตรียมเอกสารให้เพียงพอกับจำนวนนักเรียน

แนวการจัดการเรียนรู้

นำเข้าสู่บทเรียนโดยครูนำอภิปรายเกี่ยวกับสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ จนนักเรียนสรุปได้ว่าวัตถุเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่เมื่อมีความเร็วเปลี่ยนหรือมีความเร่ง

จากนั้นครูยกตัวอย่างสถานการณ์เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ เช่น การปล่อยวัตถุให้ตกในแนวตั้งจนกระทบพื้น ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อวัตถุ ขณะที่วัตถุอยู่ในมือ ขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่ ขณะที่วัตถุกระทบพื้น และขณะที่วัตถุหยุดนิ่ง จนสรุปได้ว่า แรงที่มากระทำต่อวัตถุจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง หลังจากนั้นครูให้ความรู้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่งตามสมการ 3.3 ในหนังสือเรียน

ครูให้ความรู้เกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่สามข้อของนิวตัน แล้วขยายความรู้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน รวมทั้งความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับกรอบอ้างอิงเฉื่อยในหนังสือเรียน

จากนั้นครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 3.2 เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวลและความเร่ง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อวัตถุ ความเร่งของวัตถุที่เกิดจากแรงนั้น และมวลของวัตถุ ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน



กิจกรรม 3.2 การทดลองเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวลและความเร่ง

จุดประสงค์

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อวัตถุ ความเร่งของวัตถุที่เกิดจากแรงนั้น และมวลของวัตถุ

เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|-------------------------------|-----------|
| 1. เครื่องเคาะวลัญญาณเวลา | 1 ชุด |
| 2. หม้อแปลงโวลต์ต่ำ | 1 เครื่อง |
| 3. รางไม้พร้อมแขนรางไม้ | 1 ชุด |
| 4. รถทดลอง | 1 คัน |
| 5. นอต | 5 ตัว |
| 6. สายไนลอนพร้อมขอกเกี่ยวโลหะ | 1 ชุด |
| 7. สายไฟ | 1 ชุด |
| 8. แถบกระดาษ | 10 แถบ |

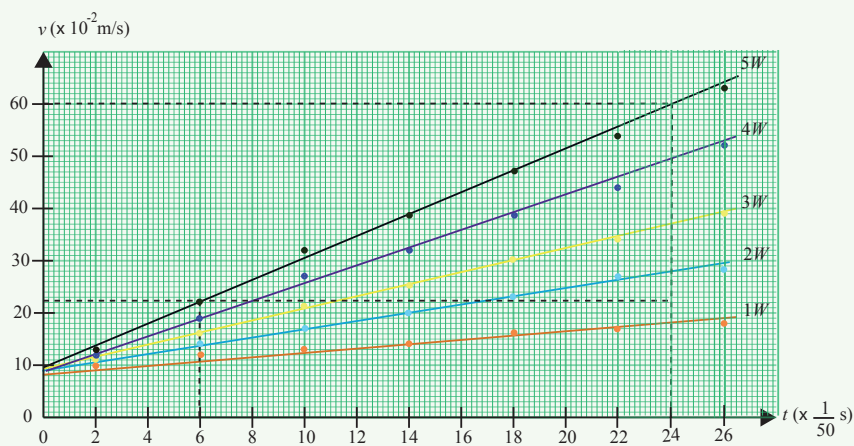
ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทำกิจกรรมดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ตารางบันทึกความเร็วกับเวลา

เวลา ($\times \frac{1}{50}$ s)	ความเร็วขณะหนึ่ง ($\times 10^{-2}$ m/s)				
	แรง 1 W	แรง 2 W	แรง 3 W	แรง 4 W	แรง 5 W
2	10	11	11	12	13
6	12	14	16	19	22
10	13	17	21	27	32
15	14	20	25	32	39
18	16	23	30	39	47
22	17	27	34	44	54
26	18	28	39	52	63

กราฟระหว่างความเร็วกับเวลาจากตาราง 3.1 แสดงได้ดังรูป 3.5



รูป 3.5 ตัวอย่างกราฟจากการทำกิจกรรม 3.2

กราฟระหว่างความเร่งกับแรงจากตาราง 3.2 แสดงได้ดังรูป 3.6

แนะนำการวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟ

จากกราฟความเร็วขณะหนึ่งกับเวลา หาความชันของกราฟแต่ละเส้น ซึ่งความชันของกราฟนี้คือความเร่ง (a) ของรถทดลอง แสดงตัวอย่างการหาความเร่งของกราฟ $5W$ จากความชันของกราฟความเร็วขณะใดขณะหนึ่งกับเวลา และในทำนองเดียวกันหาความเร่ง ของ $1W$ $2W$ $3W$ และ $4W$ นำความเร่งที่หา ได้ไปบันทึกในตาราง 3.2

จากรูป 3.5 เส้นกราฟของ $5W$ แสดงการหาความเร่งของรถทดลอง

$$\text{ความชัน (slope)} = a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(60 \times 10^{-2} \text{ m/s}) - (22 \times 10^{-2} \text{ m/s})}{(24 - 6) \times \frac{1}{50} \text{ s}} = 1.06 \text{ m/s}^2$$

เนื่องจากกราฟที่ได้เป็นกราฟเส้นตรง จะได้ความชันมีค่าคงตัว นั่นคือ

$$\text{ปริมาณบนแกนตั้ง} \propto \text{ปริมาณบนแกนนอน}$$

เช่น กราฟความเร็วกับเวลาแต่ละเส้นเป็นกราฟเส้นตรง จะได้

$$\text{ความชัน (slope)} = a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{คงที่}$$

จะได้

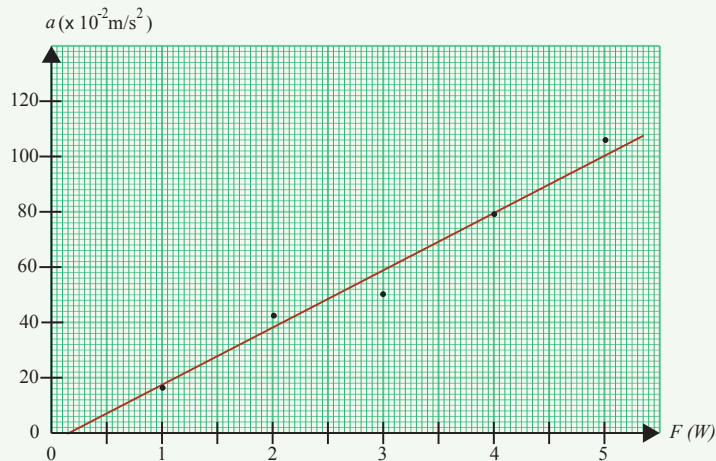
$$v \propto t$$

จากนั้นบันทึกความเร่งกับแรงของเส้นกราฟแต่ละเส้น ดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 ตารางบันทึกความเร่งกับแรง

F	$1W$	$2W$	$3W$	$4W$	$5W$
$a (\times 10^{-2} \text{ m/s}^2)$	16.7	41.7	50	79.2	106

กราฟระหว่างความเร่งกับแรงจากตาราง 3.2 แสดงได้ดังรูป 3.6



แนวคำตอบคำถามก่อนทำกิจกรรม

- ก่อนหมุนปลายรางไม้ข้างหนึ่งให้สูงขึ้น เมื่อผลักรถทดลองเบา ๆ เหตุใดรถทดลองเคลื่อนที่ไปแล้วหยุด

แนวคำตอบ เนื่องจากมีแรงเสียดทานด้านรถทดลอง

- จะทราบได้อย่างไรว่า รถทดลองแล่นด้วยความเร็วคงตัว และขณะที่รถทดลองแล่นด้วยความเร็วคงตัว แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถทดลองเป็นเท่าใด

แนวคำตอบ ตรวจสอบจากระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษว่ามีระยะห่างสม่ำเสมอ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถทดลองเป็นศูนย์



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- เมื่อใส่หลอดลงในขอกีวโลหะ ขณะรถทดลองเคลื่อนที่ มีแรงลัพธ์กระทำต่อรถทดลองหรือไม่

แนวคำตอบ มี (เพราะน้ำหนักหลอดที่แขวนไว้กับขอกีว)

□ กราฟระหว่างขนาดความเร่ง a กับขนาดของแรง F มีลักษณะอย่างไร

แนวคำตอบ เป็นกราฟเส้นตรง

□ จากลักษณะของกราฟขนาดความเร่ง a กับขนาดของแรง F มีความสัมพันธ์กันอย่างไร

แนวคำตอบ ขนาดความเร่ง a แปรผันตรงกับขนาดของแรง F

อภิปรายหลังการทำการกิจกรรม

จากผลการทำการกิจกรรม ครูอภิปรายร่วมกับนักเรียนตามแนวคำถามในหนังสือเรียนจนสรุปได้ว่า

1. ขณะที่รถเคลื่อนที่ลงตามรางไม้ด้วยความเร็วคงตัว แรงลัพท์ที่กระทำต่อรถมีค่าเป็นศูนย์
2. เมื่อแขวนนอตกับขอเกี่ยวโลหะ ปรับรางไม้เช่นเดียวกับข้อ 1 รถจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง เพราะมีแรงลัพท์กระทำต่อรถ

3. จากผลการทำการกิจกรรม กราฟระหว่าง a กับ F เมื่อมวลคงตัว

- ถ้าเส้นกราฟ ความเร่ง a กับ แรง F เป็นเส้นตรงและผ่านจุดกำเนิด แสดงว่า $a \propto F$
- ถ้าเส้นกราฟเป็นเส้นตรงที่ไม่ผ่านจุดกำเนิด ให้ครูใช้หัวข้อคำแนะนำเพิ่มเติมสำหรับครูในการอภิปรายร่วมกับนักเรียน

กิจกรรมเสนอแนะ

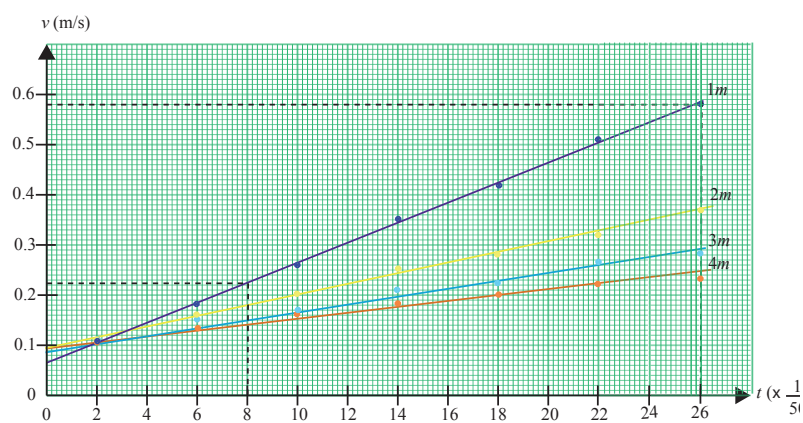
ครูอาจเสนอแนะต่อนักเรียนว่าถ้าสนใจและมีเวลาเพียงพอให้ลองใช้ชุดกิจกรรม 3.2 สร้างสถานการณ์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างมวล และความเร่งของการเคลื่อนที่ เมื่อกำหนดให้แรงคงตัว แต่มวลของรถทดลองเปลี่ยน โดยมีวิธีการทำการทดลอง ดังนี้

จัดตั้งอุปกรณ์ โดยให้รถทดลองเคลื่อนที่บนรางไม้ด้วยความเร็วคงตัว แล้วให้ใช้นอต 4 ตัวแขวนกับขอเกี่ยวโลหะเพื่อทำหน้าที่เป็นแรงดึง ($\vec{F}$) คงตัว ทำกิจกรรมเหมือนเดิมเพียงแต่เพิ่มมวลของรถโดยเพิ่มแท่งเหล็กมวล 500 กรัม ครั้งละ 1 แท่ง 3 ครั้ง ทุกครั้งที่เปลี่ยนมวลจะต้องจัดรางไม้เพื่อให้รถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวก่อนตามกิจกรรมตอนที่ 1 นำแถบกระดาษทั้ง 4 ที่บันทึกการเคลื่อนที่ของมวลที่เปลี่ยน เมื่อใช้แรงดึงคงตัว ไปหาความเร็วที่เวลาต่าง ๆ บันทึกผลลงในตาราง 3.3

ตาราง 3.3 ตารางบันทึกความเร็วกับเวลา

เวลา $\times \frac{1}{50}$ s	ความเร็วเมื่อใช้รถที่มีมวล (m/s)			
	มวล 1m	มวล 2m	มวล 3m	มวล 4m
2	0.11	0.12	0.12	0.11
6	0.18	0.16	0.15	0.13
10	0.26	0.20	0.17	0.16
15	0.35	0.25	0.21	0.18
18	0.42	0.28	0.21	0.20
22	0.51	0.32	0.26	0.22
26	0.58	0.37	0.28	0.23

กราฟระหว่างความเร็วกับเวลาจากตาราง 3.3 แสดงได้ดังรูป 3.7



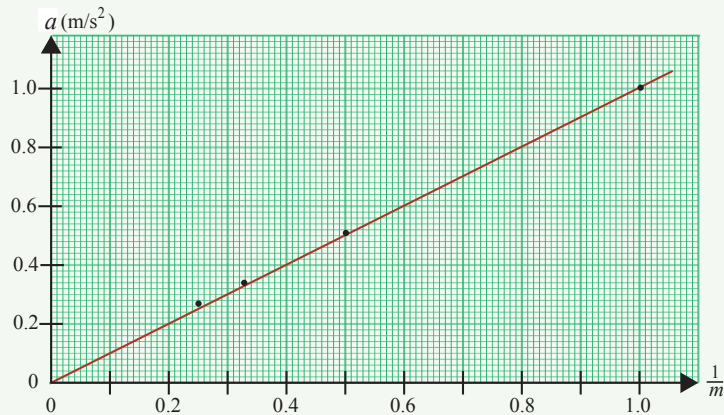
รูป 3.7 กราฟระหว่างความเร็วกับเวลาจากตาราง 3.3

จากกราฟหาความชันของกราฟแต่ละเส้น ค่าความชันที่ได้คือขนาดของความเร่ง (a) ของรถทดลอง และมวลรถโดยให้ $m=1$ $2m=2$ $3m=3$ $4m=4$ และ ตามลำดับแล้วบันทึกผลลงในตาราง 3.4

ตาราง 3.4 ตารางบันทึกความเร่งกับส่วนกลับของมวล

มวลของรถ m	4	3	2	1
$\frac{1}{m}$	0.25	0.33	0.50	1.00
$a \text{ (m/s}^2\text{)}$	0.27	0.37	0.51	1.00

กราฟระหว่างความเร่งกับส่วนกลับของมวลจากตาราง 3.4 แสดงได้ดังรูป 3.8



รูป 3.8 กราฟระหว่างความเร่งและส่วนกลับของมวลจากตาราง 3.4

อภิปรายหลังการทำการกิจกรรม

ครูให้นักเรียนอภิปรายเพิ่มเติมตามแนวทางในหนังสือเรียนดังนี้

เมื่อมวล m คงตัว ขนาดของความเร่ง a ของรถทดลองจะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ F

$$a \propto F \quad (a)$$

และเมื่อทำการทดลองต่อโดยเปลี่ยนมวล m ของรถทดลองและให้แรงลัพธ์ F มีขนาดคงตัว ขนาดของความเร่ง a ของรถจะแปรผันตรงกับส่วนกลับของมวล $\frac{1}{m}$ หรือกล่าวได้ว่า ขนาดของความเร่งแปรผกผันกับมวล m นั้นเอง

$$a \propto \frac{1}{m} \quad (b)$$

จากการแปรผันตาม (a) และ (b) จะสรุปได้ว่า

หรือ

$$F \propto ma$$

(c)

จากนั้นครูให้ความรู้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แล้วจึงอภิปรายร่วมกับนักเรียนต่อไปอีกตามรายละเอียดในหนังสือเรียนจนสรุปได้ว่า

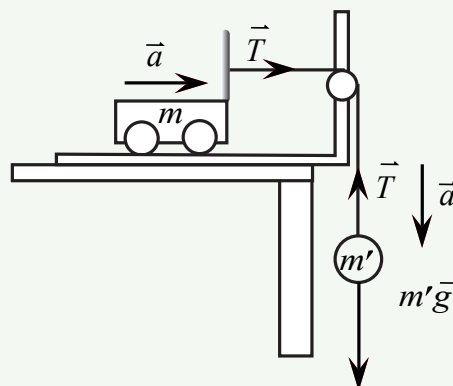
1. จากผลการทำกิจกรรมกับสถานการณ์ที่สร้างขึ้น เมื่อใช้ชุดการทำกิจกรรม 3.2 จะสรุปได้ว่า $\vec{F} = m\vec{a}$ คือกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน
2. ความเร่ง $\vec{a}$ มีทิศเดียวกับแรงลัพธ์ $\vec{F}$ เสมอ
3. ในการนำสมการ $\vec{F} = m\vec{a}$ ไปใช้นั้นจะต้องคำนึงถึงทิศของ $\vec{F}$ และ $\vec{a}$

สำหรับสมการ $F = ma$ เพื่อใช้หาขนาดของแรงและความเร่งเท่านั้น

ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่าการทำกิจกรรมมีหลายขั้นตอน แต่ละขั้นตอนต้องใช้เวลา ต้องใช้ความละเอียดรอบคอบในการทำกิจกรรมและในการบันทึกผลการทำกิจกรรม การทำกิจกรรมแต่ละครั้งมีโอกาสผิดพลาดมาก นักเรียนอาจยังไม่พร้อมที่จะทำกิจกรรม แต่ถ้าทำกิจกรรมอย่างละเอียดถี่ถ้วนรอบคอบ และมีเวลามากพอ ผลการทำกิจกรรมจะเป็นไปตามข้อสรุปตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ให้นักเรียนร่วมกันสรุปและอภิปรายผลการศึกษาในหัวข้อ เรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน ซึ่งแนวการสรุปจะเป็นไปตามกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน ดังนี้ “เมื่อมีแรงลัพธ์มากระทำและขนาดของความเร่งจะแปรผันตรงกับขนาดของแรงและแปรผกผันกับมวลของวัตถุ”

คำแนะนำเพิ่มเติมสำหรับครู



รูป 3.9 แรงที่ดึงรถคือแรงดึงในเส้นเชือก

1. ในการทดลองเราใช้น้ำหนักของนอต ซึ่งมีมวล m' ที่แขวนกับขอเกี่ยวโลหะแทนแรงดึงดูด $\vec{W} = m'\vec{g}$ แต่ความเป็นจริงแล้วแรงที่ดึงดูด คือ แรงดึง $\vec{T}$ ซึ่งไม่ใช่ $m'\vec{g}$ ดังแสดงในรูป 3.9 จะเห็นได้จากการวิเคราะห์ต่อไปนี้

สมการแสดงการเคลื่อนที่ของมวล m' ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

$$m'g - T = m'a \quad (d)$$

สมการการเคลื่อนที่ของมวล m ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

$$T = ma \quad (e)$$

จากสมการ (d) และ (e) หาขนาดความเร่ง จะได้

$$a = \frac{m'g}{m' + m}$$

และหาขนาดของแรงดึงในเส้นเชือก จะมีค่า

$$T = ma = \frac{mm'g}{m' + m}$$

หรือ

$$T = m'g \left(\frac{1}{1 + \frac{m'}{m}} \right)$$

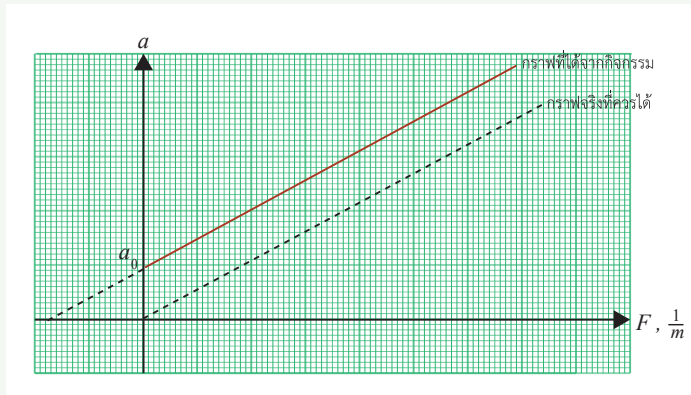
พิจารณาขนาดแรงดึงในเส้นเชือก T พบว่า

1.1 T มีค่าคงตัว เมื่อ m' m และ g มีค่าคงตัว แต่ในการทดลองเราต้องเปลี่ยนมวล m ตั้งแต่ 500 กรัม ถึง 2,000 กรัม ทำให้ T มีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 6.9 นิวตัน ถึง 7.7 นิวตัน เมื่อมวล $m' = 80$ กรัม แสดงว่ายิ่งมวล m มีค่ามากขึ้น ($m \gg m'$ จะได้ว่า $\frac{m'}{m} = 0$) ขนาดของแรง T จะมีค่าใกล้เคียง $m'g$ มากขึ้น ($m'g = 8.0$ นิวตัน)

1.2 จากผลการทำกิจกรรม กราฟระหว่าง a กับ F และ a กับ $\frac{1}{m}$

ปกติกราฟที่ได้จะต้องผ่านจุดกำเนิด สำหรับการทำการกิจกรรมของนักเรียนบางกลุ่มมักจะได้กราฟเส้นตรงที่ไม่ผ่านจุดกำเนิดที่เป็นเช่นนี้เพราะการชดเชยแรงเสียดทานไม่ถูกต้อง ซึ่งวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 เส้นกราฟตัดแกนความเร่ง (a) เหนือจุดกำเนิด ดังรูป 3.10



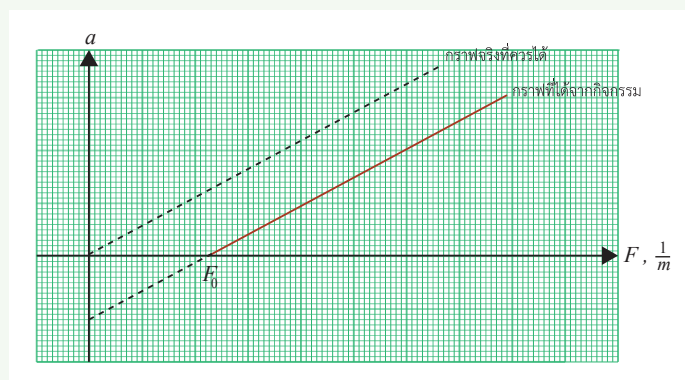
รูป 3.10 กราฟตัดแกน a เหนือจุดกำเนิด

พิจารณาเส้นกราฟที่ได้จากการทำกิจกรรม (เส้นทึบในรูป 3.10) จะเห็นว่าค่าที่ตัดบนแกน a อยู่ที่ตำแหน่ง a_0 แสดงว่า เมื่อไม่มีแรงมากระทำ ($F = 0$) แต่รถมวล m เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ($a = a_0$) หรือกล่าวได้ว่ายังไม่ได้แขวนนอตมวล m' ที่ขอยกยวโลหะ แต่รถมวล m เคลื่อนที่ตามรางไม่ได้ด้วยความเร่ง a_0 หมายความว่า ขนาดความเร่ง a_0 นี้เกิดจากการชดเชยแรงเสียดทานมาก

เกินไปสำหรับกราฟระหว่าง a กับ $\frac{1}{m}$ เมื่อ $\frac{1}{m} = 0$ พบว่ามวล m มีความเร่ง $a = a_0$

แสดงว่าเกิดจากการชดเชยแรงเสียดทานมากเกินไป เพราะ $\frac{1}{m} = 0$ หมายถึง m ต้องมีค่ามากๆ เข้าใกล้อนันต์ ($m = \infty$) ดังนั้นแรงขนาดมากเท่าไรก็ไม่สามารถทำให้มวล m เกิดความเร่งได้)

กรณีที่ 2 เส้นกราฟตัดแกนความเร่ง (a) ใต้จุดกำเนิด ดังรูป 3.11



รูป 3.11 กราฟตัดแกน a ใต้จุดกำเนิด

พิจารณาเส้นกราฟที่ได้จากการทดลอง (เส้นทึบในรูป 3.11) จะเห็นว่าเส้นกราฟที่ตัดบนแกน F ที่ตำแหน่ง F_0 แสดงว่า เมื่อแรงมีขนาดเท่ากับ F_0 วัตถุทำบนมวล m พบว่ารถไม่มีความเร่ง ($a=0$) หมายความว่า ขนาดของแรง เกิดจากการชดเชยแรงเสียดทานไม่เพียงพอ ซึ่งแรงส่วนนี้ จะนำไปใช้สำหรับต้านแรงเสียดทาน

เมื่อวิเคราะห์ผลการทำกิจกรรม 3.2 พร้อมทั้งผลของกิจกรรมเสนอแนะที่ใช้ชุดการทำกิจกรรม 3.2 มาวิเคราะห์ร่วมกันจนสรุปได้ว่า $F=ma$ หรือถ้าจะพิจารณาทิศ จะเขียนได้เป็น $\vec{F} = m\vec{a}$ ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

2. กิจกรรมนี้ทาง สสวท. มีสื่อประกอบการทำกิจกรรมในรูปแบบการทดลองเสมือนจริง (virtual experiment) เรื่อง การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์

ครูอธิบายการคำนวณสำหรับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันตามตัวอย่าง 3.2 ในหนังสือเรียน จากนั้นครูให้ความรู้เกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน แรงกิริยาและแรงปฏิกิริยา ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 3.3 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับความเฉื่อย กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันและสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ จากการอภิปรายร่วมกัน การสรุป การทำแบบฝึกหัด
2. ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุเมื่อแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุไม่เป็นศูนย์ จากการอภิปรายร่วมกัน และการสรุป
3. ทักษะการวัด การทดลอง การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการอภิปรายร่วมกัน การทำการทดลอง และรายงานผลการทดลอง
4. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล
5. ทักษะการใช้จำนวน ในการหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน จากรายงานผลการทดลอง การทำแบบฝึกหัด

6. จิตวิทยาศาสตร์ความซื่อสัตย์ และความรอบคอบ จากรายงานผลการทดลอง และความมุ่งมั่นอดทน จากการทำการทดลอง



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 3.3

1. อาศัยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน จงอธิบายว่า เมื่อรถหยุดอย่างกะทันหันเหตุใดคนในรถจึงพุ่งไปข้างหน้า

แนวคำตอบ เนื่องจากคนในรถพยายามรักษาสภาพการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว คนในรถพยายามรักษาสภาพการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวในแนวตรง

2. ผลักรถทดลองซึ่งอยู่บนรางไม้ที่ขุดเซยแรงเสียดทานแล้วปล่อย รถทดลองจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วอย่างไร เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ เมื่อรถทดลองหลุดพ้นจากการถูกผลักแล้ว รถทดลองจะเคลื่อนที่ไปบนพื้นราบเกลี้ยงในแนวตรงด้วยความเร็วคงตัว เพราะแรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถทดลองเป็นศูนย์ซึ่งเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน

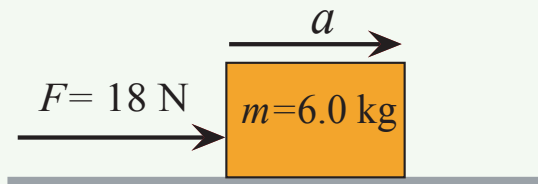
3. ถ้าจรวดพ่นแก๊สและเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ออกไป ทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนจรวดคงตัว (ปกติไม่คงตัว) ความเร่งของจรวดจะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน เมื่อมีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุ วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งซึ่งมีทิศเดียวกับทิศทางของแรงลัพธ์ ขนาดของความเร่งแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ เนื่องจากแรงขับเคลื่อนของจรวดคงตัว ซึ่งแรงขับเคลื่อนนี้คือแรงลัพธ์ที่กระทำต่อจรวด ซึ่งทำให้ความเร่งของจรวดคงตัวด้วย



เฉลยแบบฝึกหัด 3.3

1. แท่งไม้มวล 6.0 กิโลกรัม วางบนผิวดินที่ไม่มีแรงเสียดทาน มีแรงขนาด 18 นิวตัน มากระทำต่อแท่งไม้ในทิศทางขนานกับพื้นผิวดิน ให้หาขนาดและทิศทางของความเร่งของแท่งไม้
วิธีทำ ใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน หาขนาดและทิศทางของความเร่ง
เขียนรูปตามสถานการณ์ในโจทย์ได้ดังนี้



จาก แรง

$$F = 18 \text{ N}$$

แท่งไม้ มวล

$$m = 6.0 \text{ kg}$$

แทนในสมการ

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

ได้

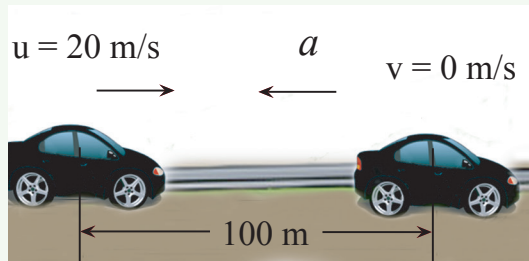
$$a = \frac{18 \text{ N}}{6.0 \text{ kg}}$$

$$a = 3.0 \text{ m/s}^2$$

ตอบ ขนาดความเร่งของแท่งไม้เท่ากับ 3.0 เมตรต่อวินาที² มีทิศทางเดียวกับแรงที่มากระทำ

2. รถยนต์คันหนึ่งมวล 800 กิโลกรัมกำลังเล่นบนถนนในแนวระดับด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาทีไปทางทิศตะวันออก เมื่อคนขับดับเครื่องยนต์ รถยนต์คันนี้แล่นต่อไปอีกเป็นระยะทาง 100 เมตร จึงหยุดนิ่ง จงหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถยนต์ (ให้ถือว่าแรงลัพธ์มีขนาดคงที่) รูปแนวคำตอบแบบฝึกหัด 3.3 ข้อ 1

วิธีทำ กำหนดให้ทิศทางที่มีเครื่องหมายบวก แล้วหาความเร่งจากสมการ $v_x^2 = u_x^2 + 2a\Delta x$ จากนั้นนำไปหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ เขียนรูปจามสถานการณ์ในโจทย์ได้ดังนี้



กำหนดให้ปริมาณเวกเตอร์ที่มีทิศทางไปทางทิศตะวันออก มีเครื่องหมายบวก
หาความเร่งของรถยนต์

จาก	$v_x^2 = u_x^2 + 2a\Delta x$
แทนค่า	$0 = (+20\text{ m/s})^2 + 2a(+100\text{ m})$
จะได้	$a = -2\text{ m/s}^2$

นั่นคือ รถยนต์แล่นด้วยความเร่ง 2 เมตรต่อวินาที² โดยทิศทางของความเร่งไปทางทิศตะวันตก หาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถยนต์คันนี้

จาก	$F = ma$
แทนค่า	$F = (800\text{ kg})(-2\text{ m/s}^2)$
จะได้	$F = -1600\text{ N}$

ตอบ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อรถยนต์มีขนาด 1600 นิวตัน ในทิศตะวันตกหรือตรงข้ามกับการเคลื่อนที่

3. ออกแรงกระทำต่อมวล 20 กิโลกรัม ซึ่งกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที ทำให้มีความเร็วเปลี่ยนเป็น 16 เมตรต่อวินาที ในเวลา 5.0 วินาที ถ้าใช้แรงนี้กระทำต่อมวล 10 กิโลกรัม จะทำให้มวลนี้มีความเร่งเท่าใด

วิธีทำ วิธีที่ 1 หาความเร่งของมวล 20 กิโลกรัม

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad v_x &= u_x + at \\ \text{จะได้} \quad 16 \text{ m/s} &= 10 \text{ m/s} + a(5.0 \text{ s}) \\ 6 \text{ m/s} &= a(5.0 \text{ s}) \\ a &= 1.2 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

หาแรงที่กระทำต่อมวล 20 กิโลกรัม โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad \sum F &= ma \\ \text{จะได้} \quad F &= (20 \text{ kg})(1.2 \text{ m/s}^2) \\ F &= 24 \text{ N} \end{aligned}$$

หาความเร่งของมวล 10 กิโลกรัม จากแรงที่กระทำต่อมวล 20 กิโลกรัม โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad \sum F &= ma \\ \text{จะได้} \quad 24 \text{ N} &= (10 \text{ kg})a \\ a &= 2.4 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

วิธีที่ 2 ให้ a_1 เป็นความเร่งของมวล 20 กิโลกรัม

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad v_x &= u_x + at \\ \text{จะได้} \quad 16 \text{ m/s} &= 10 \text{ m/s} + a_1(5.0 \text{ s}) \\ 6 \text{ m/s} &= a_1(5.0 \text{ s}) \\ a_1 &= 1.2 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

แรง $\sum F$ ทำให้มวล m_1 มีความเร่ง a_1 และมวล m_2 มีความเร่ง a_2 จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \sum F &= m_1 a_1 = m_2 a_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (20 \text{ kg})(1.2 \text{ m/s}^2) &= (10 \text{ kg})a_2 \\ a_2 &= 2.4 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ตอบ มวล 10 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง 2.4 เมตรต่อวินาที²

3.4 แรงเสียดทาน

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. วิเคราะห์และอธิบายแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ ในกรณีที่วัตถุหยุดนิ่งและในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่
2. ทดลองหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ
3. คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทาน
4. ประยุกต์ความรู้เรื่องแรงเสียดทานไปใช้ในชีวิตประจำวัน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. แรงเสียดทานมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุเท่านั้น	1. แรงเสียดทานมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของผิววัตถุหนึ่งเทียบกับผิวของอีกวัตถุหนึ่ง อาจจะมีทิศทางเดียวกับหรือตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุก็ได้ เช่น ขณะที่เราเดิน แรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อเท้ามีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของเท้าเทียบกับพื้น แต่แรงเสียดทานนี้มีทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของเรา

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

- 1) อุปกรณ์สำหรับการสาธิต
- 2) ชุดอุปกรณ์กิจกรรม 3.3 แรงเสียดทาน
- 3) ใบกิจกรรม
- 4) ถ้าจะมีการแจกแนวทางการให้คะแนนการประเมินทักษะต่าง ๆ จากการทำกิจกรรม ให้แก่นักเรียน ให้จัดเตรียมเอกสารให้เพียงพอกับจำนวนนักเรียน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ของหัวข้อ 3.4

จากนั้นนำเข้าสู่บทเรียนโดยทบทวนความรู้เรื่องแรงเสียดทานที่เคยเรียนมาแล้ว โดยยกสถานการณ์ให้

นักเรียนวิเคราะห์และอภิปรายเกี่ยวกับแรงเสียดทาน เช่น ฝนตกถนนลื่น รถเบรกไกลไม่หยุด ดอกยางล้อไม่เกาะถนน เด็กที่มีน้ำหนักมากไม่ไถลลงจากแผ่นไม้ลื่น เป็นต้น หลังจากนั้นทบทวนความรู้เกี่ยวกับการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ การหาแรงลัพธ์ด้วยวิธีคำนวณ

ให้นักเรียนออกแรงผลักวัตถุ แล้วสังเกตขนาดของแรงที่ใช้ผลักวัตถุ ในขณะที่วัตถุยังไม่เคลื่อนที่ ขณะที่วัตถุเริ่มจะเคลื่อนที่ และ ขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่ จากนั้นให้ความรู้เกี่ยวกับแรงเสียดทานสถิต และแรงเสียดทานจลน์ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

จากนั้นครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 3.3 เรื่องแรงเสียดทาน เพื่อศึกษาขนาดและทิศทางของแรงเสียดทาน และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานและแรงแนวฉาก



กิจกรรม 3.3 การทดลองเรื่องแรงเสียดทาน

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาขนาดและทิศทางของแรงเสียดทาน
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานและแรงแนวฉาก

เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|--------------------------------|-----------|
| 1. รางไม้ | 1 ชุด |
| 2. แผ่นไม้สี่เหลี่ยมมีขอเกี่ยว | 1 แผ่น |
| 3. เครื่องชั่งสปริง | 1 เครื่อง |
| 4. ถูทราย | 4 ถู |
| 5. เส้นด้ายยาว 30 เซนติเมตร | 1 เส้น |

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรมตอนที่ 1

- เมื่อออกแรงดึง 0.5 N , 1.0 N , และ 1.5 N แผ่นไม้ยังไม่เคลื่อนที่
- แผ่นไม้จะเริ่มเคลื่อนที่ เมื่อเพิ่มแรงดึงแผ่นไม้เป็น 2.9 N
- แผ่นไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เมื่อแรงที่ดึงแผ่นไม้มีค่าลดลงเหลือ 2.0 N



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรมตอนที่ 1

- ขณะออกแรงดึงแผ่นไม้ มีแรงเสียดทานกระทำต่อแผ่นไม้หรือไม่

แนวคำตอบ มี

- เมื่อออกแรงดึงแผ่นไม้แต่ละกรณี แรงลัพธ์ที่กระทำต่อแผ่นไม้มีค่าเท่าใด อธิบาย

แนวคำตอบ แรงลัพธ์มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากวัตถุคงสภาพการเคลื่อนที่เดิมของวัตถุ คือ หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว

- เมื่อออกแรงดึงแผ่นไม้แต่ละกรณี แรงเสียดทานมีขนาดเท่าใด และมีทิศทางอย่างไร

แนวคำตอบ แรงเสียดทานมีขนาดเท่ากับแรงที่ใช้ดึง แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน

- แรงเสียดทานในกรณีใดมีค่ามากกว่า

แนวคำตอบ แรงเสียดทานสถิตขณะแผ่นไม้เริ่มจะเคลื่อนที่ จะมีค่ามากกว่ากรณีอื่น ๆ

อภิปรายหลังการทำกิจกรรมตอนที่ 1

จากผลการทำการทดลองตอนที่ 1 และตอบคำถามตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายจนได้ข้อสรุปดังนี้

1. เมื่อวางแผ่นไม้(ที่มีถุงทรายทับ)บนรางไม้ ขณะที่ยังไม่ออกแรงดึง จะมีแรง 2 แรง กระทำต่อแผ่นไม้และถุงทราย ได้แก่ แรงเนื่องจากน้ำหนักของแผ่นไม้และถุงทราย และแรงของที่พื้นกระทำต่อวัตถุในแนวตั้งฉากกับพื้น ซึ่งแรงทั้งสองมีขนาดเท่ากัน อยู่ในแนวตั้งและมีทิศตรงกันข้าม ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุอยู่นิ่งตามกฎการเคลื่อนที่ข้อหนึ่งของนิวตัน มีผลทำให้แรงลัพธ์บนแผ่นไม้และถุงทรายเท่ากับศูนย์

2. เมื่อออกแรงดึงแผ่นไม้โดยแผ่นไมอยู่นิ่ง แสดงว่าแรงลัพธ์บนแผ่นไม้และถุงทรายมีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้แรงในแนวตั้งมีค่าเช่นเดียวกับข้อ 1. และแรงในแนวระดับ มี 2 แรง คือ แรงดึง และแรงต้านการเคลื่อนที่เป็นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของแผ่นไม้และพื้นราง เรียกว่า แรงเสียดทาน มีขนาดเท่ากับขนาดของแรงดึงและมีทิศตรงกันข้าม

3. เมื่อออกแรงดึงแผ่นไม้ด้วยขนาดของแรงมากขึ้น โดยแผ่นไม้ยังไม่เคลื่อนที่แสดงว่าแผ่นไม้ยังไม่ในสมดุล หมายความว่าแรงเสียดทานมีขนาดมากขึ้นด้วย และค่าเพิ่มมากขึ้นตามแรงดึงจนถึงค่าหนึ่งเมื่อแผ่นไม้เริ่มเคลื่อนที่เรียกแรงเสียดทานค่านี้ว่าแรงเสียดทานสถิตสูงสุด ($f_{s,max}$)

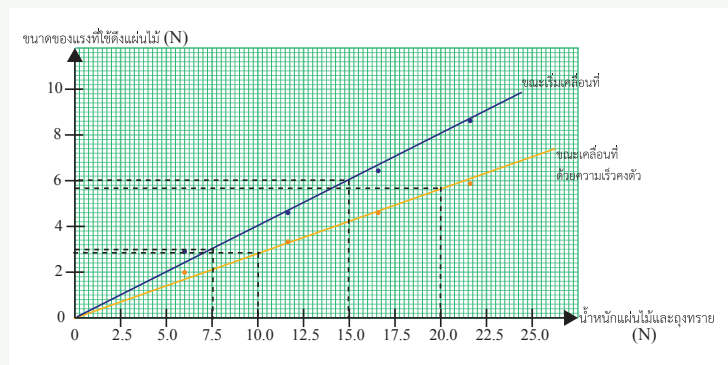
4. เมื่อแผ่นไม้เริ่มเคลื่อนที่ ออกแรงดึงต่อไปเพื่อให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวแสดงว่าแผ่นไม้อยู่ในสภาพสมดุล ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อหนึ่งของนิวตัน จะได้แรงลัพธ์ที่กระทำต่อแผ่นไม้เป็นศูนย์ได้ผลเช่นเดียวกับข้อ 2 แรงเสียดทานระหว่างแผ่นไม้กับพื้นไต่ขณะที่แผ่นไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวเรียกว่า แรงเสียดทานจลน์ (f_k) มีขนาดเท่ากับแรงดึงมีค่าคงตัวสำหรับผิวสัมผัสคู่หนึ่ง แรงนี้จะมีค่าน้อยกว่าแรงดึงสูงสุดที่ดึงแผ่นไม้ให้เริ่มเคลื่อนที่

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรมตอนที่ 2 และตอนที่ 3

ตาราง 3.5 ตารางบันทึกขนาดของแรงกับน้ำหนักของแผ่นไม้และถุงทราย

จำนวนถุงทราย (ถุง)	น้ำหนักแผ่นไม้และ ถุงทราย (N)	ขนาดของแรงที่ใช้ดึงแผ่นไม้ (N)	
		เริ่มจะเคลื่อนที่	เคลื่อนด้วยความเร็วคงตัว
1	6.6	2.9	2.0
2	11.6	4.6	3.3
3	16.6	6.4	4.6
4	21.36	8.5	5.9

กราฟระหว่างขนาดของแรงกับน้ำหนักของแผ่นไม้และถุงทรายจากตาราง 3.5 แสดงได้ดังรูป 3.12



รูป 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับน้ำหนักแผ่นไม้และถุงทราย

จากกราฟระหว่างแรงดึงกับน้ำหนักแผ่นไม้และถุงทรายขณะพอดีเคลื่อนที่

$$\begin{aligned}\text{ได้ค่าความชัน} &= \frac{6.0 \text{ N} - 3.0 \text{ N}}{15.0 \text{ N} - 7.5 \text{ N}} \\ &= \frac{3.0 \text{ N}}{7.5 \text{ N}} \\ &= 0.4\end{aligned}$$

จากกราฟระหว่างแรงดึงกับน้ำหนักแผ่นไม้และถุงทรายขณะกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว

$$\begin{aligned}\text{ได้ค่าความชัน} &= \frac{5.6 \text{ N} - 2.8 \text{ N}}{20.0 \text{ N} - 10.0 \text{ N}} \\ &= \frac{2.8 \text{ N}}{10.0 \text{ N}} \\ &= 0.28\end{aligned}$$



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรมตอนที่ 2

□ น้ำหนักของถุงทรายรวมกับแผ่นไม้มีความสัมพันธ์กับแรงแนวฉากที่กระทำต่อแผ่นไม้อย่างไร
แนวคำตอบ มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน

□ ขนาดน้ำหนักของถุงทรายรวมกับแผ่นไม้มีความสัมพันธ์กับแรงเสียดทานอย่างไร
แนวคำตอบ แปรผันตรงกัน

□ กราฟที่ได้จากกิจกรรมมีลักษณะอย่างไร
แนวคำตอบ เป็นกราฟเส้นตรง มีที่ความชันเป็นบวก

□ ความชันของกราฟคืออะไร
แนวคำตอบ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรมตอนที่ 3

- น้ำหนักของถุงทรายรวมกับแผ่นไม้มีความสัมพันธ์กับแรงแนวฉากที่กระทำต่อแผ่นไม้อย่างไร

แนวคำตอบ มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกัน

- ขนาดน้ำหนักของถุงทรายรวมกับแผ่นไม้มีความสัมพันธ์กับแรงเสียดทานอย่างไร

แนวคำตอบ แปรผันตรงกัน

- กราฟที่ได้จากกิจกรรมมีลักษณะอย่างไร

แนวคำตอบ เป็นกราฟเส้นตรง มีความชันเป็นบวก

- ความชันของกราฟคือค่าอะไร

แนวคำตอบ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์

- ความชันของเส้นกราฟจากกิจกรรมตอนที่ 2 และ 3 เท่ากันหรือไม่ ถ้าไม่เท่ากันกราฟใดมีความชันมากกว่า

แนวคำตอบ ไม่เท่ากัน ความชันของกราฟจากกิจกรรมตอนที่ 2 (แรงเสียดทานสถิตสูงสุด) มีความชันมากกว่า

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

จากผลการทดลองและการตอบคำถามในหนังสือเรียน ครูและนักเรียนช่วยกันอภิปรายจนได้ข้อสรุปดังนี้

1. ในแต่ละค่าของน้ำหนักแผ่นไม้รวมกับถุงทราย ขนาดของแรงที่ใช้ดึงแผ่นไม้ขณะแผ่นไม้เริ่มเคลื่อนที่ และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวตามลำดับ

2. เขียนกราฟระหว่างน้ำหนักแผ่นไม้รวมกับถุงทรายและแรงดึงทั้งสองค่า เป็นกราฟเส้นตรงที่ผ่านจุดกำเนิด แสดงว่า แรงดึงแปรผันตรงกับน้ำหนักแผ่นไม้รวมกับถุงทราย

3. กราฟระหว่างแรงดึงกับน้ำหนักแผ่นไม้รวมกับถุงทรายขณะแผ่นไม้เริ่มเคลื่อนที่มีความชันมากกว่าความชันของกราฟระหว่างแรงดึงกับน้ำหนักแผ่นไม้รวมกับถุงทรายขณะแผ่นไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ซึ่งความชันนี้คือ อัตราส่วนระหว่างแรงดึงกับน้ำหนักแผ่นไม้รวมกับถุงทราย เรียกว่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสคู่หนึ่ง

ครูให้นักเรียนพิจารณาความชันของกราฟทั้งสองเส้นเปรียบเทียบกับค่า μ_s และ μ_k และให้นักเรียนระบุว่าความชันของกราฟเส้นใดเป็นค่า μ_s และความชันของกราฟเส้นใดเป็น μ_k และนักเรียนควรสรุปได้ว่า $\mu_s > \mu_k$ สำหรับผิวสัมผัสคู่หนึ่ง

ครูอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงดึงดูดกับขนาดของแรงเสียดทาน

ตามความสัมพันธ์ของเส้นกราฟในรูป 3.31 ในหนังสือเรียน และยกตัวอย่างเพิ่มเติมจากรูป 3.32 ในหนังสือเรียน จากนั้นครูอธิบายการคำนวณเรื่องแรงเสียดทานตามตัวอย่าง 3.3 และ 3.4 ในหนังสือเรียน

แบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน จากนั้นให้นักเรียนค้นคว้าเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เรื่อง



แนวคำตอบชวนคิด

จากตัวอย่างข้างต้น ถ้าเราออกแรงดึงมากกว่า 20 นิวตัน พวงวัตถุเริ่มเคลื่อนที่แล้วเรลดขนาด ของแรงดึงลงเหลือ 19 นิวตันจะทำให้วัตถุหยุดการเคลื่อนที่หรือไม่

แนวคำตอบ ไม่ แต่วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวเนื่องจากขนาดของแรงดึงมีค่าเท่ากับขนาดของแรงเสียดทานจลน์

แรงเสียดทานไปใช้ในชีวิตประจำวัน อภิปรายร่วมกัน และสรุปผล โดยครูอาจยกตัวอย่างอธิบายให้กับนักเรียน เช่น การใช้ลูกปืนลดแรงเสียดทานในเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ การที่เราสามารถเดินบนพื้นได้เป็นผลจากแรงเสียดทาน หรือการที่ยานพาหนะที่ใช้ล้อสามารถเคลื่อนที่โดยมีความเร่งบนพื้นถนน (ในกรณีที่ล้อรถลื่นแต่ไม่ไถล) เป็นผลมาจากแรงเสียดทานที่พื้นถนนทำกับล้อ

จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 3.4 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับแรงเสียดทาน และปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จากการอภิปรายร่วมกัน การสรุป การทำแบบฝึกหัด
2. ความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์เรื่องแรงเสียดทานไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน จากการอภิปรายร่วมกัน
3. ทักษะการสังเกต การวัด การทดลอง การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การตีความหมายข้อมูล และลงข้อสรุป การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำจากการอภิปรายร่วมกัน การทำการทดลองและรายงานผลการทดลอง
4. ทักษะการใช้จำนวน ในการหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทาน จากการทำแบบฝึกหัดและแบบทดสอบ
5. จิตวิทยาศาสตร์ความอยากรู้อยากเห็น จากการอภิปรายร่วมกัน ความซื่อสัตย์ และความรอบคอบ จากรายงานผลการทดลอง ความมุ่งมั่นอดทน จากการทำการทดลองและการอภิปรายร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 3.4

1. แรงเสียดทานระหว่างผิวถนนกับพื้นรองเท้ามีผลต่อการเดินของคนอย่างไร และทิศทางของแรงเสียดทานอยู่ในทิศทางใด ขณะก้าวเดิน

แนวคำตอบ แรงเสียดทานระหว่างผิวถนนกับพื้นรองเท้ามีผลทำให้คนก้าวเดินไปข้างหน้าได้ หากไม่มีแรงเสียดทานระหว่างผิวถนนกับพื้นรองเท้า เราจะเคลื่อนที่ไปตามแรงที่เราออก ซึ่งก็คือเคลื่อนที่ถอยหลัง ในขณะที่ก้าวเดิน แรงเสียดทานที่พื้นถนนกระทำต่อรองเท้ามีทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่

2. การลดแรงเสียดทานสามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างไร จงยกตัวอย่าง

แนวคำตอบ

1. การใช้น้ำมันหล่อลื่นเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนของเครื่องจักร
2. การใช้ตัลบลูกปืนเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส ช่วยให้เครื่องจักรกลการสึกหรอ



เฉลยแบบฝึกหัด 3.4

1. วัตถุวางอยู่บนพื้นระดับ มีแรงดึง 20 นิวตัน กระทำในทิศทางทำมุม 60 องศา กับพื้นทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไปบนพื้นด้วยความเร็วคงตัว จงหาแรงเสียดทานที่กระทำต่อวัตถุ

วิธีทำ ดึงวัตถุในทิศทางทำมุม 60 องศา กับพื้น ให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นระดับด้วยความเร็วคงตัว แสดงว่า แรงดึงวัตถุในแนวพื้นระดับ ($F \cos \theta$) มีขนาดเท่ากับแรงเสียดทาน f จะได้

$$f = F \cos 30^\circ$$

$$f = (20 \text{ N}) \left(\frac{1}{2} \right)$$

$$f = 10 \text{ N}$$

ตอบ แรงเสียดทานจลน์ที่กระทำต่อวัตถุเท่ากับ 10 นิวตัน

2. วัตถุหนัก 1.25×10^3 นิวตัน เลื่อนลงตามพื้นเอียงด้วยความเร็วสม่ำเสมอ พื้นเอียงยาว 6.0 เมตร สูง 3.0 เมตร จงหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างวัตถุกับพื้นเอียง

วิธีทำ ให้มุมของพื้นเอียงเป็น θ

วัตถุเลื่อนลงตามพื้นเอียงด้วยความเร็วสม่ำเสมอ แสดงว่า แรงเนื่องจากน้ำหนักวัตถุตามพื้นเอียง ($mg \sin \theta$) มีขนาดเท่ากับแรงเสียดทาน ($f = \mu N$) จะได้

$$mg \sin \theta = \mu N$$

$$mg \sin \theta = \mu mg \cos \theta$$

$$\mu = \tan \theta$$

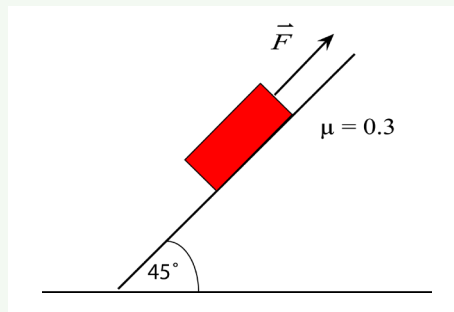
เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างความสูงและความยาวของพื้นเอียง $\frac{3 \text{ m}}{6 \text{ m}} = \frac{1}{2} = \sin 30^\circ$ ดังนั้น $\theta = 30^\circ$

$$\mu = \tan 30^\circ$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.58$$

ตอบ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างวัตถุกับพื้นเอียงเท่ากับ 0.58

3. วัตถุสีน้ำหนักร 20 นิวตัน วางอยู่บนพื้นเอียงซึ่งเอียงทำมุม 45 องศา กับแนวระดับ ถ้าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานจลน์ระหว่างวัตถุกับพื้นเท่ากับ 0.3 แรง $\vec{F}$ ที่กระทำต่อวัตถุมีแนวขนานกับพื้นเอียง ดังรูป

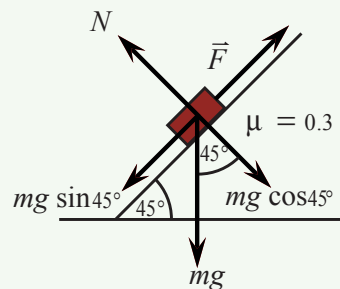


จงหาขนาดของแรงดึง $\vec{F}$ ที่ทำให้

ก. วัตถุเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว

ข. วัตถุเคลื่อนที่ลงพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว

วิธีทำ



ก. ขนาดแรงดึง ที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว

$$\begin{aligned}
 F &= (20 \text{ N}) \sin 45^\circ + f \\
 &= (20 \text{ N}) \sin 45^\circ + \mu N \\
 &= (20 \text{ N}) \sin 45^\circ + (0.3)(20 \text{ N}) \cos 45^\circ \\
 F &= 18.4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

ตอบ ขนาดแรงดึง $\vec{F}$ ที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว เท่ากับ 18.4 นิวตัน

ข. ขนาดแรงดึง $\vec{F}$ ที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ลงพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว
เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ลงพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว แรงเสียดทานจะมีทิศทางขึ้นไปตามพื้นเอียงความเร่ง
ของระบบมีค่าเท่ากับ 0

$$\begin{aligned} F &= (20 \text{ N}) \sin 45^\circ - f \\ &= (20 \text{ N}) \sin 45^\circ - \mu N \\ &= (20 \text{ N}) \sin 45^\circ - (0.3)(20 \text{ N}) \cos 45^\circ \\ F &= 9.9 \text{ N} \end{aligned}$$

ตอบ ขนาดแรงดึง $\vec{F}$ ที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ลงพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว เท่ากับ 9.9 นิวตัน

3.5 แรงดึงดูดระหว่างมวล

จุดประสงค์การเรียนรู้

- 1.อธิบายกฎความโน้มถ่วงสากล รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- 2.อธิบายผลของสนามโน้มถ่วงโลกที่มีต่อน้ำหนักของวัตถุและคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. น้ำหนักของวัตถุมีค่าคงตัวไม่ว่าจะอยู่สูงจากพื้นโลกเท่าใดก็ตาม	1. น้ำหนักของวัตถุมีค่าไม่คงตัว ขึ้นกับระยะห่างจากศูนย์กลางของโลก
2. ขนาดของแรงดึงดูดที่โลกกระทำต่อวัตถุ มีค่ามากกว่าขนาดของแรงดึงดูดที่วัตถุชิ้นนั้นกระทำต่อโลก	2. ขนาดของแรงดึงดูดที่โลกกระทำต่อวัตถุ มีค่าเท่ากับขนาดของแรงดึงดูดที่วัตถุชิ้นนั้นกระทำต่อโลก

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ของหัวข้อ 3.5

จากนั้นนำเข้าสู่บทเรียนโดยการทบทวนเกี่ยวกับการตกของวัตถุสู่พื้นที่เป็นผลมาจากแรงโน้มถ่วงของโลกดึงดูดวัตถุ จากนั้นทบทวนเกี่ยวกับแรงดึงดูดของโลก ความรู้เรื่องการโคจรของดวงจันทร์รอบโลก และการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ เพื่อให้นักเรียนอยากรู้ว่าแรงที่ดึงดูดสิ่งต่างๆ คืออะไร มีลักษณะอย่างไร อภิปรายร่วมกับนักเรียนเพื่อทบทวนความรู้เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน จากนั้นให้ความรู้เกี่ยวกับกฎความโน้มถ่วงสากลและยกตัวอย่างประกอบ เพื่อให้ทราบว่าแรงดึงดูดระหว่างมวลเป็นแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$F_G = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

ให้ความรู้และความหมายของสนามโน้มถ่วง (g) โดย $g = \frac{F_G}{m}$ จากนั้นตั้งคำถามเกี่ยวกับค่าสนามโน้มถ่วงในกรณีเมื่อวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งใด ๆ ห่างจากผิวโลก ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน จนสรุปได้ว่าค่าสนามโน้มถ่วงของโลกที่ตำแหน่งใดจะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางที่ตำแหน่งนั้นห่างจากศูนย์กลางของโลก ให้ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างมวลและน้ำหนักของวัตถุ อภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่าน้ำหนักเป็นแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อวัตถุ เป็นไปตามความสัมพันธ์

$$W = mg$$

ตั้งคำถามเกี่ยวกับน้ำหนักของวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่ที่ผิวโลกและห่างจากผิวโลกออกไป จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน จนสรุปได้ว่าน้ำหนักของวัตถุจะเปลี่ยนไปตามตำแหน่งที่ห่างจากศูนย์กลางโลก



แนวคำตอบชวนคิด

น้ำหนักของวัตถุก่อนเดียวกันที่บริเวณขั้วโลกและที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร มีค่าต่างกันหรือไม่เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ มีค่าต่างกัน เพราะที่บริเวณขั้วโลกอยู่ห่างจากศูนย์กลางโลกน้อยกว่าบริเวณเส้นศูนย์สูตรเล็กน้อย ขนาดสนามโน้มถ่วงทั้งสองบริเวณดังกล่าวจึงมีค่าต่างกัน ทำให้น้ำหนักของวัตถุต่างกันแต่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การสืบค้นเกี่ยวกับสนามโน้มถ่วงของดาวอื่น ๆ และน้ำหนักของวัตถุนั้น ๆ จากนั้นให้นักเรียนสืบค้น อภิปรายร่วมกัน และนำเสนอผล

ยกตัวอย่างการคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกฎความโน้มถ่วงสากล โดยให้นักเรียนร่วมกันเสนอแนวคิดและหลักการในการแก้ปัญหา ตามตัวอย่าง 3.5 และ 3.6 ในหนังสือเรียน

จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 3.5 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับกฎความโน้มถ่วงสากล จากการอภิปรายร่วมกัน การสรุป การทำแบบฝึกหัด
2. ความรู้เกี่ยวกับสนามโน้มถ่วง แรงโน้มถ่วงและน้ำหนักของวัตถุ กรณีที่วัตถุอยู่ที่ผิวโลกและที่ตำแหน่งใด ๆ ห่างจากผิวโลก ตลอดจนน้ำหนักของวัตถุนั้น ๆ จากการสรุป การทำแบบฝึกหัด
3. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล
4. ทักษะการใช้จำนวน ในการหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกฎความโน้มถ่วงสากล ค่าสนามโน้มถ่วงและน้ำหนักของวัตถุนั้น ๆ จากการทำแบบฝึกหัด
5. จิตวิทยาศาสตร์การใช้วิจารณญาณ จากการอภิปรายร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 3.5

1. จงอธิบายสนามโน้มถ่วง สนามโน้มถ่วงมีความสัมพันธ์กับแรงโน้มถ่วงอย่างไร

แนวคำตอบ วัตถุทั้งหลายมีสนามของแรงแผ่โดยรอบ เรียกว่า สนามโน้มถ่วง สนามโน้มถ่วงทำให้เกิดแรงดึงดูดกระทำต่อมวลของวัตถุทั้งหลาย เรียกว่า แรงโน้มถ่วง สนามโน้มถ่วงกับแรงโน้มถ่วงมีความสัมพันธ์ ดังสมการ $\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$ เมื่อ $\vec{g}$ เป็นสนามโน้มถ่วง $\vec{F}$ เป็นแรงโน้มถ่วง และ m เป็นมวลของวัตถุ

2. สมมติดาวเคราะห์ดวงหนึ่งมีดาวบริวารที่มีมวลเท่ากันสองดวง ดวงหนึ่งอยู่ใกล้ อีกดวงหนึ่งอยู่ไกล แรงที่ดาวเคราะห์ดึงดูดดาวบริวารทั้งสองมีขนาดแตกต่างกันอย่างไร

แนวคำตอบ แรงที่ดาวเคราะห์ดึงดูดดาวบริวารทั้งสองมีขนาดแตกต่างกัน ขึ้นกับระยะระหว่างดาวเคราะห์กับดาวบริวาร ถ้าระยะระหว่างดาวเคราะห์กับดาวบริวารมาก แรงที่ดาวเคราะห์ดึงดูดดาวบริวารจะมีค่าน้อยกว่า แรงที่ดาวเคราะห์ดึงดูดดาวบริวารที่อยู่ห่างกันน้อย ดังสมการ

$$F = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$$

3. วัตถุสองก้อนอยู่สูงจากพื้นเท่ากันก้อนหนึ่งมีมวลมากกว่าอีกก้อนหนึ่ง แรงที่โลกดึงดูดวัตถุทั้งสองก้อนแตกต่างกันอย่างไร

แนวคำตอบ แรงที่โลกดึงดูดวัตถุทั้งสองก้อนจะแตกต่างกัน เนื่องจากแรงที่โลกดึงดูดวัตถุจะขึ้นกับ มวลของวัตถุและระยะระหว่างวัตถุทั้งสอง ดังสมการ $F = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$ กรณีนี้ระยะระหว่างโลกกับวัตถุทั้งสองก้อนเท่ากัน แต่มวลวัตถุสองก้อนต่างกัน ทำให้แรงที่โลกดึงดูดวัตถุก็แตกต่างกันด้วย



เฉลยแบบฝึกหัด 3.5

1. แดงโมมวล 1.0 กิโลกรัม และมะพร้าวมวล 1.0 กิโลกรัม อยู่ห่างกัน 1.0 เมตร แรงดึงดูดระหว่างแดงโมและมะพร้าวมีค่าเท่าใด

วิธีทำ แรงดึงดูดระหว่างแดงโมและมะพร้าว หาได้จาก

$$F = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$$

$$F = \frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N m/kg}^2)(1.0 \text{ kg})(1.0 \text{ kg})}{(1.0 \text{ m})^2}$$

$$F = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N}$$

ตอบ แรงดึงดูดระหว่างแดงโมและมะพร้าวมีค่าเท่ากับ 6.7×10^{-11} นิวตัน

2. นักบินอวกาศมวล 80 กิโลกรัม อยู่บนสถานีอวกาศที่โคจรเหนือพื้นโลก ถ้าแรงดึงดูดที่โลกกระทำต่อนักบินอวกาศมีค่า 6.9×10^2 นิวตัน สนามโน้มถ่วงที่ตำแหน่งนั้นเป็นเท่าใด

วิธีทำ สนามโน้มถ่วงที่ตำแหน่งใด หาได้จาก

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

$$g = \frac{6.9 \times 10^2 \text{ N}}{80 \text{ kg}}$$

$$g = 8.6 \text{ N/kg}$$

ตอบ สนามโน้มถ่วงที่ตำแหน่งนั้นเท่ากับ 8.6 นิวตันต่อกิโลกรัม

3. จงคำนวณมวลของโลก เมื่อรัศมีโลกมีค่าเป็น 6.38×10^6 เมตร

วิธีทำ มวลของโลก หาได้จาก

$$F = \frac{Gmm_E}{R^2}$$

$$mg = \frac{Gmm_E}{R^2}$$

$$m_E = \frac{gR^2}{G}$$

$$m_E = \frac{(9.8 \text{ m/s}^2)(6.38 \times 10^6 \text{ m})(6.38 \times 10^6 \text{ m})}{6.67 \times 10^{-11} \text{ N m/kg}^2}$$

$$m_E = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$$

ตอบ มวลของโลกเท่ากับ 5.98×10^{24} กิโลกรัม

4. ถูทรายมวล 0.50 กิโลกรัม ตกแบบเสรีด้วยความเร่ง 9.8 เมตรต่อวินาที² ถูทรายนี้มีน้ำหนักเท่าใด ณ บริเวณที่ตก

วิธีทำ น้ำหนักของวัตถุที่ตำแหน่งใด หาได้จาก

$$W = mg$$

$$W = (0.50 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)$$

$$W = 4.9 \text{ kg m/s}^2 = 4.9 \text{ N}$$

ตอบ ถูทรายนี้มีน้ำหนัก 4.9 นิวตัน

3.6 การประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันในการแก้ปัญหาและคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ของหัวข้อ 3.6

จากนั้นนำเข้าสู่บทเรียนโดยการทบทวนความรู้เกี่ยวกับ แรงบางชนิดที่ควรรู้ การเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน แรงเสียดทาน แรงโน้มถ่วง

อธิบายตัวอย่าง 3.7 และ 3.8 ในหนังสือเรียนโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน การแยกแรงองค์ประกอบ แรงแนวฉากและน้ำหนักของวัตถุ

อธิบายตัวอย่าง 3.9 ในหนังสือเรียนโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน การแยกแรงองค์ประกอบ แรงแนวฉาก น้ำหนักของวัตถุ และแรงเสียดทาน

อธิบายตัวอย่าง 3.10 ในหนังสือเรียนโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน น้ำหนักของวัตถุ และแรงดึงเชือก

อธิบายตัวอย่าง 3.11 ในหนังสือเรียนโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน การแยกแรงองค์ประกอบ แรงแนวฉาก น้ำหนักของวัตถุ และแรงดึงเชือก

อธิบายตัวอย่าง 3.12 ในหนังสือเรียนโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน การแยกแรงองค์ประกอบ แรงแนวฉาก น้ำหนักของวัตถุ และแรงเสียดทาน

จากนั้นครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 3.6 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวทางการวัดและประเมินผล

- ทักษะการใช้จำนวน ในการหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของนิวตัน จากการทำแบบฝึกหัด
- จิตวิทยาศาสตร์การใช้วิจารณญาณ จากการอภิปรายร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 3.6

1. นักเทนนิสตีลูกเทนนิสอย่างแรง ขณะลูกเทนนิสกำลังเคลื่อนที่อยู่ในอากาศ มีแรงใดบ้างกระทำต่อลูกเทนนิส (ไม่คิดแรงต้านจากอากาศ)

แนวคำตอบ ขณะลูกเทนนิสกำลังเคลื่อนที่อยู่ในอากาศจะมีแรงดึงดูดของโลกกระทำต่อลูกเทนนิสเพียงแรงเดียว หากไม่คิดแรงต้านอากาศ

2. ผลักแท่งไม้ทรงสี่เหลี่ยมให้ไกลไปบนพื้นราบ แท่งไม้นี้จะเคลื่อนที่ไปได้ระยะทางหนึ่งแล้วหยุดนิ่ง ขณะแท่งไม้กำลังเคลื่อนที่ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อแท่งไม้และความเร่งของแท่งไม้อยู่ในทิศทางใด จงวาดรูปประกอบ

แนวคำตอบ ขณะแท่งไม้เคลื่อนที่将有แรงเสียดทานกระทำกับแท่งไม้ และความเร่งของแท่งไม้จะอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่

3. จากข้อความที่ว่า “จรวดไม่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นจากผิวดวงจันทร์ได้ เพราะไม่มีอากาศผลัก” คำกล่าวนี้นี้ถูกต้องหรือไม่ จงอธิบาย

แนวคำตอบ จากคำกล่าวนี้นี้ไม่ถูกต้อง เพราะการเคลื่อนที่ของจรวดเป็นการใช้ปฏิกิริยาของเชื้อเพลิงโดยไม่ต้องอาศัยการผลักของอากาศของดวงจันทร์

4. จงหาแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาของแรงต่อไปนี้

- ก. แรงกระทำต่อจรวดในขณะที่พ่นเชื้อเพลิงไปด้านหลัง
- ข. แรงกระทำต่อล้อรถจักรยานขณะรถจักรยานเคลื่อนที่บนถนนในแนวระดับไปข้างหน้า
- ค. แรงกระทำต่อล้อรถพ่วงในขณะรถพ่วงถูกลากให้เคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือ

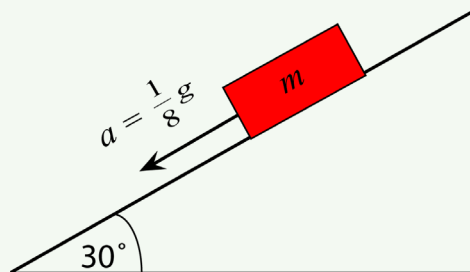
แนวคำตอบ

- ก. แรงกระทำต่อจรวดในขณะที่พ่นเชื้อเพลิงไปด้านหลัง
แรงที่ปฏิกิริยาของเชื้อเพลิงกระทำกับจรวด กับแรงที่จรวดกระทำต่อปฏิกิริยาของเชื้อเพลิง
- ข. แรงกระทำต่อล้อรถจักรยานขณะรถจักรยานเคลื่อนที่บนถนนในแนวระดับไปข้างหน้า
แรงที่ล้อกระทำต่อพื้นถนน กับแรงที่พื้นถนนกระทำต่อล้อ
- ค. แรงกระทำต่อล้อรถพ่วงในขณะรถพ่วงถูกลากให้เคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือ
แรงที่พื้นกระทำต่อล้อ กับแรงที่ล้อกระทำต่อพื้นถนน



เฉลยแบบฝึกหัด 3.6

1. มวล m วางบนพื้นเอียงซึ่งทำมุม 30° อดกับแนวระดับ ถ้าวัดได้ว่ามวลนั้นไถลงพื้นเอียง ด้วยความเร็ว $\frac{1}{8}g$ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างมวลนั้นกับพื้นจะเป็นเท่าใด



วิธีทำ

$$\sum F = ma$$

$$mg \sin 30^\circ - \mu N = m \left(\frac{1}{8}g \right)$$

$$mg \sin 30^\circ - \mu mg \cos 30^\circ = m \left(\frac{1}{8}g \right)$$

$$\mu = 0.43$$

ตอบ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างมวลนั้นกับพื้นจะเป็น 0.43

2. ลิฟต์ขนของมวล 200 กิโลกรัม เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง 2.2 เมตรต่อวินาที² ถ้าลวดที่แขวนลิฟต์ทนแรงดึงได้สูงสุด 7440 นิวตัน ลิฟต์จะบรรทุกสิ่งของได้มากที่สุดเท่าใด

วิธีทำ แรงที่มีทิศทางขึ้น ได้แก่ แรงดึงในลวด แรงที่มีทิศทางลง ได้แก่ น้ำหนักลิฟต์และน้ำหนักสิ่งของ โดยแรงที่มีทิศทางขึ้นมีขนาดมากกว่าแรงที่มีทิศทางลง ซึ่งทำให้ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง 2.2 เมตรต่อวินาที²

ให้ x เป็นมวลสิ่งของ จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน $\sum F = ma$ จะได้

$$7440 \text{ N} - [(200 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) + x(9.8 \text{ m/s}^2)] = (200 \text{ kg} + x)(2.2 \text{ m/s}^2)$$

$$7440 \text{ N} - 1960 \text{ N} - x(9.8 \text{ m/s}^2) = 440 \text{ N} + x(2.2 \text{ m/s}^2)$$

$$7440 \text{ N} - 2400 \text{ N} = x(12.0 \text{ m/s}^2)$$

$$x = 420 \text{ kg}$$

ตอบ ลิฟต์จะบรรทุกสิ่งของได้มากที่สุดเท่ากับ 420 กิโลกรัม

3. วัตถุก้อนหนึ่งเคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือด้วยความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที ในช่วง 5.0 วินาที ต่อมาพบว่า วัตถุนั้นกำลังเคลื่อนที่ไปทางทิศใต้ด้วยความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที

ก. วัตถุนั้นมีความเร็วเปลี่ยนไปในช่วง 5.0 วินาทีนั้น เท่าใด

ข. วัตถุมีความเร่งเฉลี่ยเท่าใด และทิศทางใด

ค. ทิศทางของแรงเฉลี่ยที่กระทำต่อวัตถุนั้นเป็นทิศทางใด

วิธีทำ

ก. หาความเร็วที่เปลี่ยนไปในช่วง 5.0 วินาที

$$v_i = +10 \text{ m/s}$$

$$v_f = -10 \text{ m/s}$$

ความเร็วที่เปลี่ยนไป

$$\Delta v_x = v_f - v_i$$

$$\Delta v_x = -10 \text{ m/s} - (+10 \text{ m/s})$$

$$\Delta v_x = -20 \text{ m/s}$$

ตอบ วัตถุนั้นมีความเร็วเปลี่ยนไปในช่วง 5.0 วินาทีนั้นเท่ากับ 20 เมตรต่อวินาที

ข. หาความเร่งเฉลี่ย และทิศทาง

$$a_{av} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}$$

$$a_{av} = \frac{-20 \text{ m/s}}{5.0 \text{ s}} = -4.0 \text{ m/s}^2$$

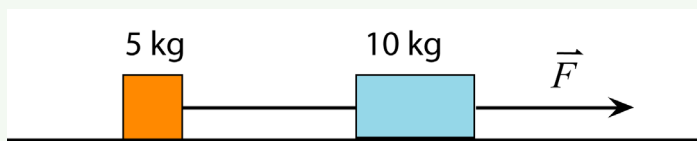
ตอบ วัตถุมีความเร่งเฉลี่ย 4 เมตรต่อวินาที² ทิศใต้

ค. หาทิศทางของแรงเฉลี่ยที่กระทำต่อวัตถุ

ตอบ ทิศทางของแรงเฉลี่ยที่กระทำต่อวัตถุนั้นเป็นทิศใต้

4. วัตถุมวล 5.0 และ 10.0 กิโลกรัม ผูกติดกันด้วยเชือกเบา วางอยู่บนพื้นราบที่ไม่มีความฝืด ตั้งรูปให้แรง $\vec{F}$ ซึ่งมีค่าคงตัว กระทำต่อวัตถุทั้งสองอยู่นาน 15 วินาที จนความเร็วของวัตถุเปลี่ยนไป 40 เมตรต่อวินาที จงหา $\vec{F}$ และแรงที่เชือกดึงมวล 5.0 กิโลกรัม

วิธีทำ พิจารณาทั้งระบบมวล $m = 5.0 \text{ kg} + 10.0 \text{ kg} = 15 \text{ kg}$



รูปสำหรับแบบฝึกหัดข้อ 4

$$u_x = 0$$

$$v_x = 40 \text{ m/s}$$

$$t = 15 \text{ s}$$

หา a ความเร่งของการเคลื่อนที่

จาก

$$v_x = u_x + a_x t$$

$$40 \text{ m/s} = 0 + a_x (15 \text{ s})$$

$$a_x = \frac{8}{3} \text{ m/s}^2$$

จาก

$$F = ma$$

$$F = (15 \text{ kg})\left(\frac{8}{3} \text{ m/s}^2\right)$$

$$F = 40 \text{ N}$$

ให้ T เป็นแรงดึงเชือกที่มีมวล 5.0 kg

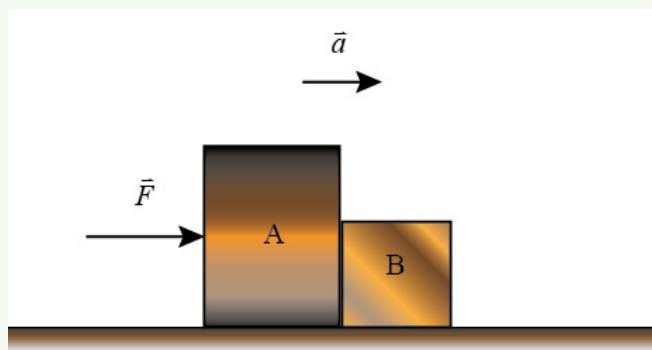
$$F = ma$$

$$T = (5.0 \text{ kg})\left(\frac{8}{3} \text{ m/s}^2\right)$$

$$T = 13.3 \text{ N}$$

ตอบ $\vec{F}$ และแรงที่เชือกดึงมวล 5.0 กิโลกรัม มีขนาดเท่ากับ 40 นิวตัน และ 13.3 นิวตัน ตามลำดับ

5. มวล A และ B วางอยู่บนพื้นราบเกลี้ยง ถ้ามีแรง $\vec{F}$ กระทำต่อมวล A ในแนวขนานกับพื้น ทำให้มวลทั้งสองเคลื่อนที่ติดกันไปด้วยความเร่ง $\vec{a}$ ดังรูป จงเปรียบเทียบแรงที่ A กระทำต่อ B และแรงที่ B กระทำต่อ A



วิธีทำ จากการวิเคราะห์ด้วยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน จะพบว่าแรงที่ A กระทำต่อ B และแรงที่ B กระทำต่อ A เป็นแรงกิริยา-ปฏิกิริยาคู่เดียวกัน ดังนั้นแรงทั้งสองจะมีขนาดเท่ากันเสมอ มีทิศทางตรงข้ามกัน และเกิดที่วัตถุคนละก้อนกัน

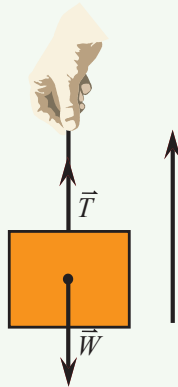
ตอบ แรงที่ A กระทำต่อ B และแรงที่ B กระทำต่อ A มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน และเกิดที่วัตถุคนละก้อนกัน

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3

?? | คำถาม

1. ผูกด้ายเย็บผ้าที่เหนียวพอประมาณกับถุงทราย 1 ถุง ดึงขึ้นอย่างช้า ๆ กับดึงขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลที่เกิดขึ้นคือ เมื่อดึงขึ้นอย่างช้า ๆ เชือกไม่ขาด แต่ดึงขึ้นอย่างรวดเร็วเชือกขาด จงให้เหตุผล

แนวคำตอบ เมื่อดึงถุงทรายอย่างรวดเร็วเชือกจะขาดเพราะแรงดึงเส้นเชือกมากเกินไปเกินค่าของแรงที่เส้นเชือกรับได้สูงสุด ($T_{\max} = mg$) ซึ่งอธิบายได้ดังนี้



แรงที่กระทำต่อถุงทรายจะมี 2 แรงคือแรงดึงเชือก $\sum F = m\vec{a}$ และน้ำหนักวัตถุ mg พิจารณาถุงทรายเคลื่อนที่ขึ้นอย่างช้า ๆ ถือว่าถุงทรายมีความเร็วคงตัว แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ จะได้ขนาดของแรงดึงขึ้นมีค่าเท่ากับขนาดของแรงดึงลง นั่นคือ

$$T = mg$$

พิจารณาเมื่อดึงถุงทรายอย่างรวดเร็ว ถุงทรายจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

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

ให้ทิศทางขึ้นด้วยเครื่องหมาย + และทิศทางลงแทนด้วยเครื่องหมาย - จะได้

$$T - mg = ma$$

$$T = ma + mg$$

จะเห็นว่า

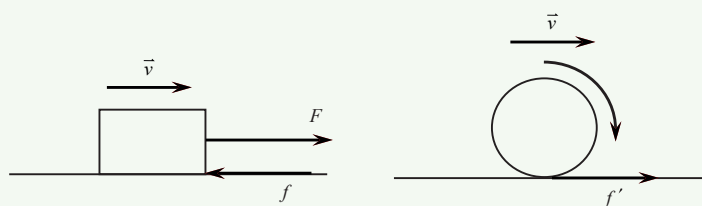
$$T > ma$$

2. เข็มขัดนิรภัยและที่พิงศีรษะที่ติดอยู่กับเบาะนั่งในรถยนต์มีไว้เพื่อประโยชน์อะไร จงอธิบาย

แนวคำตอบ ในกรณีที่คนขับรถต้องเหยียบห้ามล้ออย่างกะทันหันหรือขับรถชนรถคันหน้า อัตราเร็วของรถยนต์จะลดลงอย่างกะทันหันเป็นเหตุให้คนในรถยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยอัตราเร็วมากกว่ารถ ถ้าขณะที่เกิดอุบัติเหตุ คนในรถยนต์ไม่ได้คาดเข็มขัดนิรภัย คนในรถอาจจะพุ่งเข้าชนกระจกหน้ารถหรือส่วนหน้าของรถยนต์ทำให้เป็นอันตรายได้ ที่พิงศีรษะซึ่งติดอยู่กับเบาะนั่งจะช่วยป้องกันให้คอของคนในรถยนต์ได้รับอันตราย จากการคอเคล็ดหรือคอหัก เช่น กรณีที่คนขับเหยียบคันเร่งอย่างกะทันหันหรือรถยนต์ถูกชนทางด้านหลัง รถยนต์จะมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนคนในรถยนต์จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยอัตราเร็วน้อยกว่ารถยนต์ ศีรษะจึงเอนไปข้างหลังอย่างแรง ถ้าไม่มีที่พิงศีรษะช่วยยันไว้ อาจทำให้คอเคล็ดหรือคอหักได้

3. จงเปรียบเทียบทิศทางของแรงเสียดทานที่เกิดจากการลากกล่องไม้ไปบนพื้นถนนกับทิศทางของแรงเสียดทานที่เกิดจากล้อรถกับพื้นถนนขณะรถเคลื่อนที่

แนวคำตอบ ทิศทางของแรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อกกล่องที่เกิดจากการลากกล่องจะมทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของแรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อรถ (รถเคลื่อนที่โดยมีความเร็วในทิศทางเดียวกับแรงเสียดทาน) ดังรูป



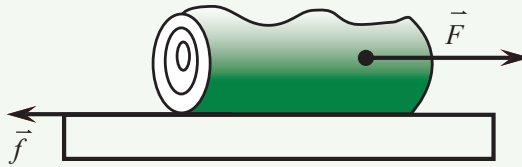
4. การเพิ่มแรงเสียดทานสามารถนำไปในชีวิตประจำวันได้อย่างไรบ้าง จงยกตัวอย่าง

แนวคำตอบ

- 1) การห้ามล้อของล้อรถยนต์
- 2) การขัดสีรถยนต์
- 3) การเพิ่มหน้ากว้างของยางรถยนต์เพื่อให้ล้อยึดเกาะผิวถนนได้ดี

5. เมื่อใช้ช้างลากซุง กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตันบอกเราว่า ชุงจะดึงช้างไว้เท่ากับแรงที่ช้างดึงซุง จงอธิบายว่าทำไมซุงจึงเคลื่อนที่ไปได้

แนวคำตอบ



พิจารณาที่ซุง แรงที่กระทำต่อซุงมี 2 แรง คือ แรงที่ช้างลากซุง F และแรงเสียดทานที่พื้นดันไว้ f ดังรูป ถ้าให้ซุงเคลื่อนที่ไปได้ แรงที่ช้างลากซุงจะต้องมีขนาดมากกว่าแรงที่พื้นดันไว้ ดังนั้นการที่ซุงเคลื่อนที่ไปได้เป็นเพราะแรงที่ช้างลากซุงมีขนาดมากกว่าแรงที่พื้นดันไว้ และซุงจะเคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ เมื่อซุงเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

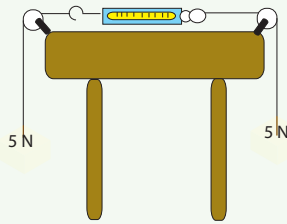
6. ในการเคลื่อนที่แนวตรง ถ้าระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่แปรผันตรงกับเวลา แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเท่าใด

แนวคำตอบ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากวัตถุเคลื่อนที่ในแนวตรงระยะทางแปรผันตรงกับเวลา แสดงว่าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ดังนั้นวัตถุนั้นมีความเร่งเป็นศูนย์ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุนี้จึงมีค่าเป็นศูนย์

7. “การที่ยานอวกาศลงบนดวงจันทร์ได้อย่างนิ่มนวล จะต้องใช้จรวดยิงความเร็ว” จงอธิบายว่าแรงที่จรวดยิงความเร็วควรเป็นอย่างไร

แนวคำตอบ ในขณะที่ยานอวกาศโคจรใกล้ถึงผิวดวงจันทร์จะมีการจุดจรวดขับเคลื่อนต้านแรงดึงดูดของดวงจันทร์เป็นระยะๆ โดยการประมวลผลด้วยระบบนำร่องของยานอวกาศจากข้อมูลต่าง ๆ ทั้งระยะห่างจากผิวดวงจันทร์ สนามความโน้มถ่วงของดวงจันทร์ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ฯลฯ ในการจุดจรวดเพื่อให้เกิดแรงขับเคลื่อนนั้น ขนาดของแรงขับเคลื่อนจะมีค่ามากกว่าขนาดน้ำหนักของยานอวกาศ (หรือแรงดึงดูดของดวงจันทร์ต่อตัวยานอวกาศ) ณ ตำแหน่งนั้น ๆ ดังนั้นความเร่งของยานอวกาศจะมีทิศทางสวนกับการเคลื่อนที่ของตัวยาน เป็นผลให้ความเร็วของยานอวกาศลดลงเรื่อย ๆ เมื่อยานอวกาศถึงผิวดวงจันทร์พอดี ความเร็วของตัวยานอวกาศจะมีค่าเป็นศูนย์พอดี ซึ่งแรงขับเคลื่อนจะถูกปรับให้มีขนาดเท่ากับแรงดึงดูดของดวงจันทร์พอดี และดับจรวดขับเคลื่อนพอดี

8. จากรูป รอกหมุนคล่อง เครื่องชั่งสปริงอ่านค่าได้เท่าใด เพราะเหตุใด

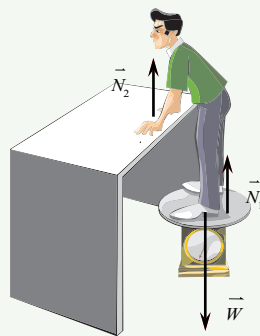


รูป ประกอบคำถามข้อ 8

แนวคำตอบ ถ้าไม่คิดน้ำหนักมวลของเชือก และรอกสั้นเครื่องชั่งสปริงจะอ่านค่าได้ 5 นิวตัน เนื่องจากระบบอยู่ในสถานะที่มีความเร่งเป็นศูนย์ขนาดของแรงดึงเชือกและขนาดของแรงที่ดึงตาชั่งสปริงมีค่าเท่ากับ 5 นิวตัน

9. ถ้าเรายืนชั่งน้ำหนักใกล้ๆ กับโต๊ะ แล้วใช้มือกดลงบนโต๊ะไว้ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ คนจะถูกแรงกระทำ 3 แรง คือ N_1 , N_2 และ W และขณะที่คนอยู่นิ่งบนเครื่องชั่งและใช้มือกดโต๊ะ โต๊ะจะออกแรงกระทำต่อฝ่ามือ N_2 ในทิศขึ้น ดังรูป



จาก

$$\sum F = ma$$

$$N_1 + N_2 - W = 0$$

$$N_1 = W - N_2$$

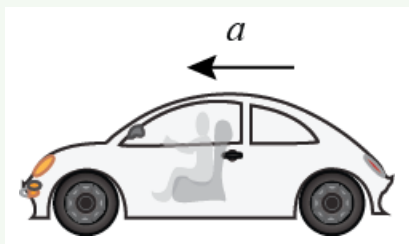
นั่นคือ น้ำหนักของคนที่อ่านได้จากเครื่องชั่งจะมีค่าลดลงกว่าน้ำหนักจริงของคน

10. “เมื่อออกแรงดันวัตถุก้อนหนึ่งให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นราบ แต่วัตถุนั้นไม่เคลื่อนที่ แสดงว่าการที่วัตถุไม่เคลื่อนที่นี้เกิดจากแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา ที่มีขนาดเท่ากันแต่ทิศตรงข้ามกระทำ” คำกล่าวนี้ถูกต้องตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ คำกล่าวนี้ไม่ถูกต้อง เนื่องจากแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาไม่ทำให้เกิดแรงลัพธ์บนวัตถุเป็นศูนย์

คำอธิบาย เมื่อออกแรงดันวัตถุให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นราบ แต่วัตถุนั้นไม่เคลื่อนที่ แสดงว่าแรงลัพธ์ในแนวราบที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน แต่แรงลัพธ์ที่มีค่าเป็นศูนย์นี้ ไม่ได้เกิดจากผลรวมของแรงคู่กิริยา เนื่องจากแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน เกิดบนวัตถุต่างชนิดกัน จึงไม่สามารถนำมาใช้หาแรงลัพธ์บนวัตถุได้

11. นักขับรถคนหนึ่งมีมวล m ขับรถยนต์มวล M ให้เคลื่อนที่ในแนวตรงบนพื้นราบด้วยความเร่ง a ดังรูป



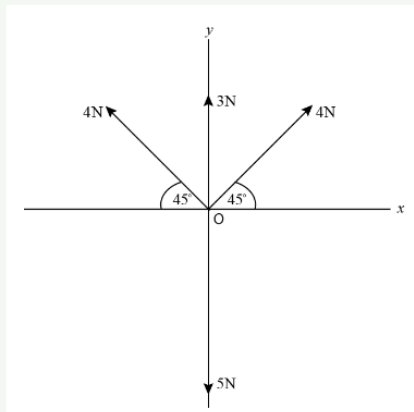
อยากทราบว่า พนักพิงของเก้าอี้ที่คนขับรถนั่งอยู่จะออกแรงดันคนขับเท่าใด

แนวคำตอบ ma

คำอธิบาย จากรูป ระบบ (ในที่นี้คือ M และ m) ถูกแรงกระทำเดียวกัน ทำให้มีความเร่ง a ดังนั้น แรงที่พนักพิงกระทำต่อคนขับรถโดยอาศัยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน จะมีค่าเท่ากับ ma

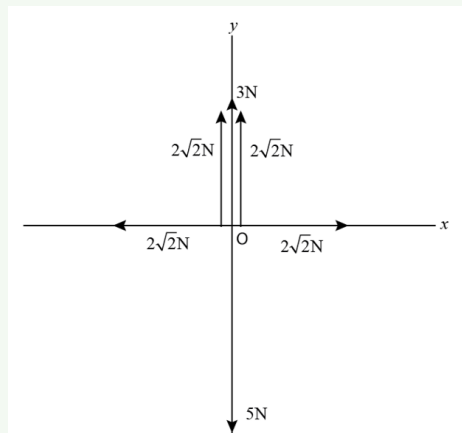
Ⓕ | ปัญหา

1. แรง 4 แรง กระทำร่วมกันที่จุด O บนระนาบ xy มีขนาดและทิศทาง ดังรูป แรงลัพธ์ที่จุด O มีขนาดเท่าใด ทิศทางใด



รูป ประกอบปัญหาข้อ 1

วิธีทำ แยกแรง 4 นิวตันออกเป็นองค์ประกอบในแนวแกน x และ y ดังรูป



แรงลัพธ์ในแนวแกน x ; $\sum F_x = 0$

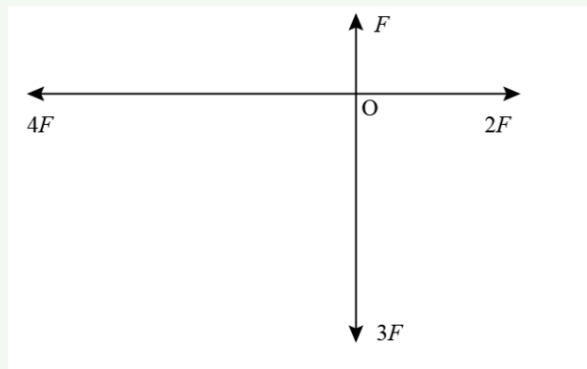
หาแรงลัพธ์ในแนวแกน y ให้เป็น $\sum F_y$ กำหนดทิศทางขึ้นเป็นบวก

$$\sum F_y = 3\text{ N} + 2\sqrt{2}\text{ N} + 2\sqrt{2}\text{ N} - 5\text{ N}$$

$$\sum F_y = 3.66\text{ N}$$

ตอบ แรงลัพธ์ที่จุด O มีขนาด 3.66 นิวตัน ทิศไปทางแกน y

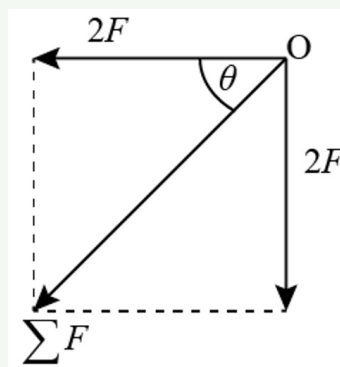
2. แรงขนาด F , $2F$, $3F$ และ $4F$ ต่างทำมุมฉากซึ่งกันและกัน และอยู่บนระนาบเดียวกัน กระทำร่วมกันที่จุด O ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 2

ต้องใช้แรงอีกแรงหนึ่งขนาดเท่าใด ทิศทางใด เพื่อให้แรงลัพธ์ที่จุด O มีค่าเป็นศูนย์

วิธีทำ หาแรงลัพธ์บนแนวแกนนอน และแกนตั้งได้ดังรูป



ให้ $\sum F$ เป็นแรงลัพธ์ของแรงทั้งสี่

$$\sum F = \sqrt{(2F)^2 + (2F)^2}$$

$$\sum F = 2\sqrt{2}F$$

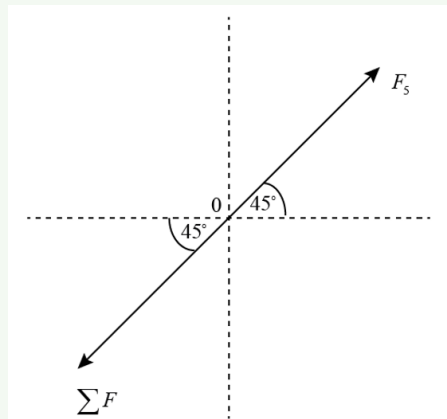
$$\tan \theta = \frac{2F}{2F}$$

$$= 1$$

$$= \tan 45^\circ$$

$$\theta = 45^\circ$$

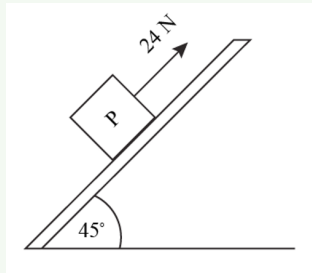
ให้ F_5 เป็นแรงที่ทำให้แรงลัพธ์มีค่าเป็นศูนย์



นั่นคือ F_5 ต้องมีขนาดเท่ากับ $\sum F$ และมีทิศทางตรงข้ามกับ $\sum F$

ตอบ ต้องใช้แรงขนาด $\sum F$ ทำมุม 45° อกศากับแรง F

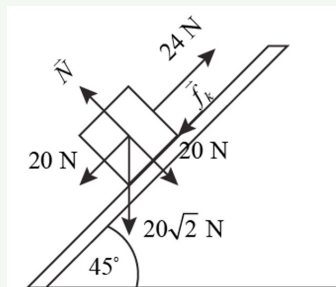
3. กล่อง Pหนัก $2\sqrt{2}$ นิวตัน วางบนแผ่นไม้ที่เอียงทำมุม 45° อดศากับแนวระดับ ต้องใช้แรงขนาด 24 นิวตัน ในแนวนอนกับพื้นเอียง เพื่อดึงกล่องให้เคลื่อนที่ขึ้นไปตามพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว



รูป ประกอบปัญหาข้อ 3

ถ้าวางแผ่นไม้ขนานกับแนวระดับ ต้องใช้แรงขนาดเท่าใดในทิศทางขนานกับพื้น เพื่อลากกล่อง P ให้เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วคงตัว

วิธีทำ แยกน้ำหนัก $2\sqrt{2}$ นิวตัน ออกเป็นองค์ประกอบในแนวนอนกับพื้นเอียงได้ 20 นิวตัน และแนวตั้งฉากกับพื้นเอียงได้ 20 นิวตัน ดังรูป



กล่องเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวในแนวนอนกับพื้นเอียง

$$f_k + 20 \text{ N} = 24 \text{ N}$$

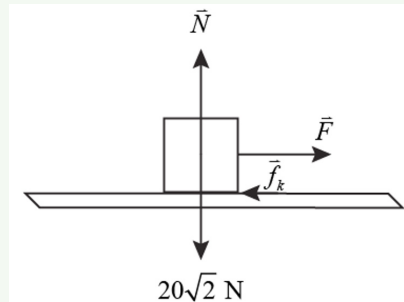
$$f_k = 4 \text{ N}$$

$$f_k = \mu_k N$$

$$4 \text{ N} = \mu_k (20 \text{ N})$$

$$\mu_k = 0.2$$

แรง F ที่ต้องใช้ลากกล่อง P ให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นระดับด้วยความเร็วคงตัว

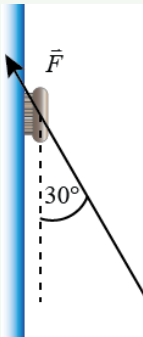


จะได้

$$\begin{aligned}
 F &= f_k \\
 &= \mu_k N \\
 F &= (0.2)(20\sqrt{2} \text{ N}) \\
 &= 4\sqrt{2} \text{ N} \\
 &= 5.7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

ตอบ ต้องใช้แรง 5.7 นิวตัน

4. คนล้าหน้าต่างกระจกดันแปรงขัดขึ้นไปตามบานหน้าต่างแนวดิ่งด้วยอัตราเร็วคงตัว โดยออกแรง ดังรูป

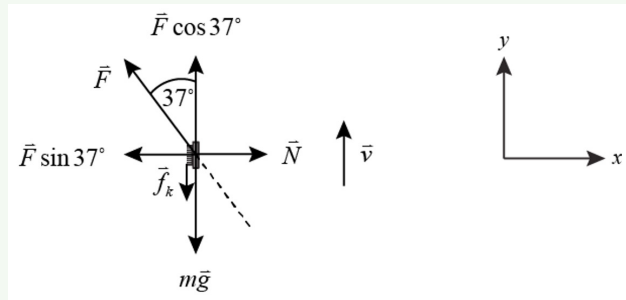


รูป ประกอบปัญหาข้อ 4

ถ้าแปรงหนัก $\frac{8}{3}$ นิวตัน ค้ำแปรงเบา และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างแปรงกับบาน

หน้าต่างมีค่า 1 แรง F มีขนาดเท่าใด

วิธีทำ แยกแรง F ออกเป็นองค์ประกอบในแนวแกน x และ y ดังรูป



พิจารณาแนวแกน x $\sum F_x = 0$ (แปรงขัดไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวระดับ)

$$N - F \sin 37^\circ = 0$$

$$N = F \sin 37^\circ$$

พิจารณาแนวแกน y $\sum F_y = 0$ (แปรงขัดเคลื่อนที่ในแนวตั้งด้วยอัตราเร็วคงตัว)

$$F \cos 37^\circ - f_k - mg = 0$$

$$F \cos 37^\circ - \mu_k F \sin 37^\circ = mg$$

$$F \left(\frac{4}{5} \right) - \left(\frac{1}{3} \right) F \left(\frac{3}{5} \right) = 8.0 \text{ N}$$

$$F = \frac{40}{3} \text{ N}$$

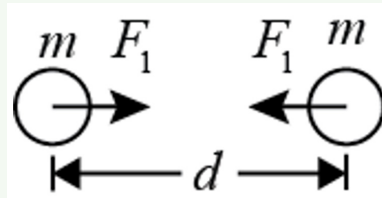
$$= 13.3 \text{ N}$$

ตอบ ขนาดของแรง มีค่าเท่ากับ 13.3 นิวตัน

5. วัตถุมวล m สองก้อน วางให้ศูนย์กลางห่างกันเป็นระยะ d จะมีขนาดแรงดึงดูดกระทำซึ่งกันและกันเป็น F_1 แต่ถ้ามวลก้อนหนึ่งเปลี่ยนเป็น $3m$ และระยะห่างเปลี่ยนเป็น $\frac{3}{2}d$ จะมีแรงดึงดูดกระทำซึ่งกันและกันเป็น F_2 จงหาว่า F_2 มีขนาดเป็นกี่เท่าของขนาด F_1

วิธีทำ จากกฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

ให้ F_1 เป็นแรงดึงดูดระหว่างมวล m สองก้อนซึ่งห่างกันเป็นระยะ d ดังรูป

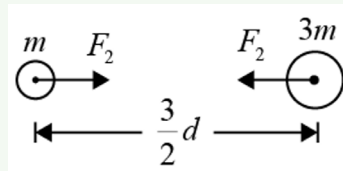


จะได้

$$F_1 = G \frac{mm}{d^2}$$

$$= G \frac{m^2}{d^2}$$

ให้ F_2 เป็นแรงดึงดูดระหว่างมวล m กับ $3m$ ซึ่งห่างกันเป็นระยะ $\frac{3}{2}d$ ดังรูป



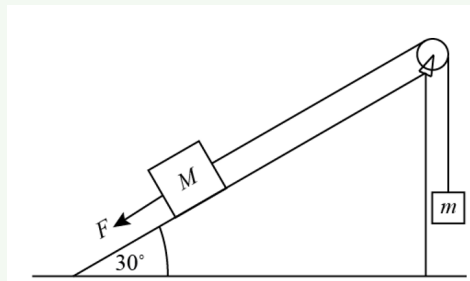
จะได้

$$F_2 = G \frac{m(3m)}{\left(\frac{3}{2}d\right)^2}$$

ดังนั้น $\frac{F_2}{F_1} = \frac{4}{3}$ หรือ $F_2 = \frac{4}{3}F_1$

ตอบ ขนาด F_2 เป็น $\frac{4}{3}$ เท่าของขนาด F_1

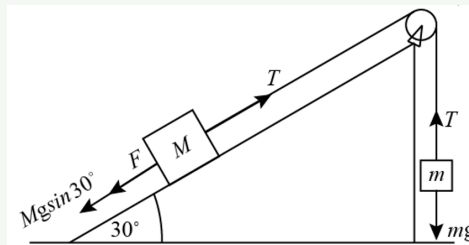
6. มวล M และมวล m ผูกโยงต่อกันด้วยเชือกเบาคล้องผ่านรอกกลิ้ง โดยมวล M วางบนพื้นเอียง ที่ไม่มีความฝืด ต้องใช้แรง ขนาด 24.5 นิวตัน ในแนวขนานกับพื้นเอียง เพื่อให้ระบบหยุดนิ่ง ถ้า M มีค่า 1.0 กิโลกรัมและพื้นเอียงทำมุม 30 องศา กับแนวระดับ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 6

มวล m มีค่า 1 กิโลกรัม

วิธีทำ คิดที่มวล M เขียนทุกแรงที่กระทำต่อ M ในแนวขนานกับพื้นเอียง โดย T เป็นแรงดึงเชือก



มวล M หยุดนิ่ง แรงลัพธ์ในแนวขนานกับพื้นเอียงเป็นศูนย์

$$\begin{aligned} T &= F + Mg \sin 30^\circ \\ &= (24.5 \text{ N}) + (1 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) \left(\frac{1}{2} \right) \\ &= 29.4 \text{ N} \end{aligned}$$

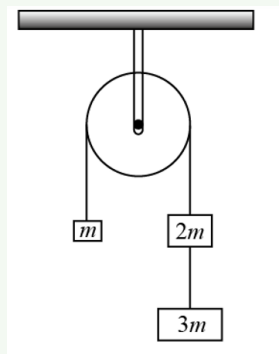
คิดที่มวล m

m หยุดนิ่ง แรงลัพธ์ในแนวตั้งเป็นศูนย์

$$\begin{aligned}
 mg &= T \\
 m(9.8 \text{ m/s}^2) &= 29.4 \text{ N} \\
 m &= 3.0 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

ตอบ มวล m มีค่า 3 กิโลกรัม

7. มวล m $2m$ และ $3m$ โยงต่อกันด้วยเชือก โดยคล้องผ่านรอกกลิ้ง ดังรูป



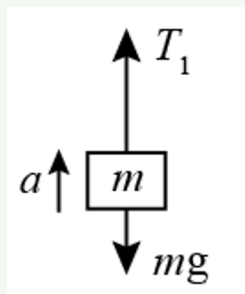
รูป ประกอบปัญหาข้อ 7

ขนาดความเร่ง a ของระบบ มีค่าเป็นกี่เท่าของขนาดความเร่งโน้มถ่วง

วิธีทำ ให้ T_1 เป็นแรงดึงเชือกที่โยงระหว่าง m และ $2m$

T_2 เป็นแรงดึงเชือกที่โยงระหว่าง $2m$ และ $3m$

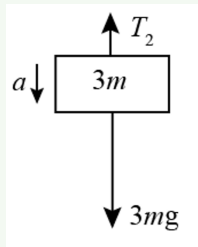
คิดที่มวล m



จากสมการ

$$\sum F = ma \quad (1)$$

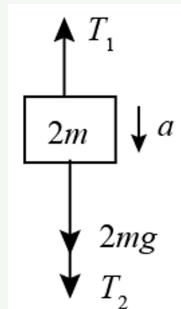
คิดที่มวล $3m$



$$3mg - T_2 = 3ma$$

$$T_2 = 3mg - 3ma \quad (2)$$

คิดที่มวล $2m$



$$T_2 - T_1 = 2ma - 2mg \quad (3)$$

นำ T_1 จาก (1) และ จาก (2) แทนลงใน (3)

$$(3mg - 3ma) - (ma + mg) = 2ma - 2mg$$

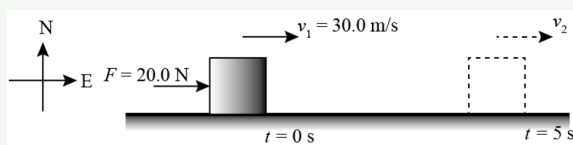
$$a = \frac{2}{3}g$$

ตอบ ความเร่ง a มีค่าเป็น $\frac{2}{3}$ เท่าขนาดความเร่งโน้มถ่วง g

8. แรงขนาด 20.0 นิวตัน กระทำต่อวัตถุมวล 4.0 กิโลกรัมที่กำลังเคลื่อนที่บนพื้นลื่น ถ้าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุมีค่า 30.0 เมตรต่อวินาที ไปทางทิศตะวันออก จงหาความเร็วของวัตถุที่เวลา 5.0 วินาที เมื่อแรงกระทำใน

ก. ทิศตะวันออก ข. ทิศตะวันตก

วิธีทำ ก . แรงกระทำในทิศตะวันออก



จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

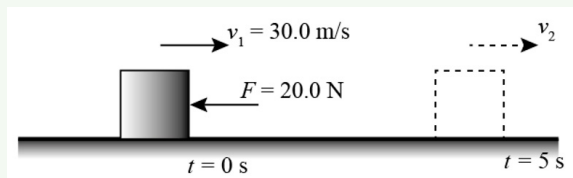
$$\begin{aligned}\sum F &= ma \\ &= m \left(\frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \right)\end{aligned}$$

จะได้

$$20.0 \text{ N} = (4.0 \text{ kg}) \left(\frac{v_2 - 30.0 \text{ m/s}}{5.0 \text{ s} - 0} \right)$$

$$\begin{aligned}v_2 &= (25.0 \text{ m/s}) + (30.0 \text{ m/s}) \\ &= 55 \text{ m/s}\end{aligned}$$

ข . แรงกระทำในทิศตะวันตก



จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

$$\begin{aligned}\text{จะได้} \quad -20.0 \text{ N} &= (4.0 \text{ kg}) \left(\frac{v_2 - 30.0 \text{ m/s}}{5.0 \text{ s} - 0} \right)\end{aligned}$$

$$v_2 = (-25.0 \text{ m/s}) + (30.0 \text{ m/s}) \\ = 5.0 \text{ m/s}$$

ตอบ ก. 55 เมตรต่อวินาทีในทิศตะวันออก ข. 5.0 เมตรต่อวินาทีในทิศตะวันออก

9. ชายคนหนึ่งขับรถยนต์ด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที ทันทีที่เห็นสิ่งกีดขวางเขาใช้เวลาในการตัดสินใจเบรก 1.2 วินาที และในการเบรกเพื่อให้รถหยุดตรงที่สิ่งกีดขวางพอดี ต้องใช้แรง 6000 นิวตัน ถ้าชายคนนี้มีมวลรวมกัน 1200 กิโลกรัม ชายคนนั้นเริ่มเห็นสิ่งกีดขวางขณะที่รถยนต์อยู่ห่างจากสิ่งกีดขวางเท่าใด

ให้ Δx_1 เป็นระยะคิด โดยรถมีความเร็วคงตัว

จากสมการ $\Delta x_1 = u_x \Delta t$

จะได้ $\Delta x_1 = (20 \text{ m/s})(1.2 \text{ s}) \\ = 24 \text{ m/s}$

ระยะเบรกจะหาได้ต้องรู้ความเร่ง a ก่อน ซึ่งหาได้จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

$$\sum F = ma \\ -6000 \text{ N} = (1200 \text{ kg}) a \\ a = -5.0 \text{ m/s}^2$$

ให้ Δx_2 เป็นระยะเบรก โดยรถมีความเร่งคงตัว

จากสมการ $v_x^2 = u_x^2 + 2a_x \Delta x_2$
จะได้ $0 = (20 \text{ m/s})^2 + 2(-5.0 \text{ m/s}^2) \Delta x_2$

$$\Delta x_2 = 40 \text{ m}$$

$$\Delta x_1 + \Delta x_2 = 24 \text{ m} + 40 \text{ m}$$

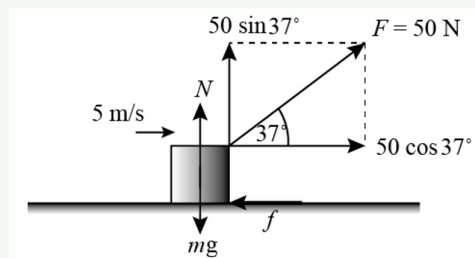
ระยะหยุด $\Delta x_1 + \Delta x_2 = 24 \text{ m} + 40 \text{ m} \\ = 64 \text{ m}$

ตอบ ชายคนนั้นเริ่มเห็นสิ่งกีดขวางขณะที่รถยนต์อยู่ห่างจากสิ่งกีดขวาง 64 เมตร

10. วัตถุหนึ่งมีมวล 10 กิโลกรัมกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5.0 เมตรต่อวินาที บนพื้นระดับที่มีสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานจลน์ 0.25 ถ้ามีแรงขนาด 50 นิวตัน กระทำต่อวัตถุในทิศทำมุม 37 องศา กับแนวระดับ เมื่อเวลาผ่านไป 10 วินาที วัตถุจะมีความเร็วเท่าใด

วิธีทำ แยกแรง $F = 50 \text{ N}$ ออกเป็นองค์ประกอบในแนวระดับคือ $F \cos 37^\circ$ และองค์ประกอบในแนวตั้ง คือ

ดังรูป



แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อวัตถุ

$$\begin{aligned} N &= mg - F \sin 37^\circ \\ &= (10 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) - (50 \text{ N})\left(\frac{3}{5}\right) \\ N &= 68 \text{ N} \end{aligned}$$

แรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่

$$\begin{aligned} f_k &= \mu_k N \\ &= (0.25)(68 \text{ N}) \\ &= 17 \text{ N} \end{aligned}$$

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

$$\begin{aligned} \sum F &= ma \\ F \cos 37^\circ - f_k &= ma \\ (50 \text{ N})\left(\frac{4}{5}\right) - 17 \text{ N} &= (10 \text{ kg})a \\ a &= 2.3 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

สำหรับการเคลื่อนที่ที่แนวตรงด้วยความเร่งคงตัว

จากสมการ

$$v_x = u_x + a_x \Delta t$$

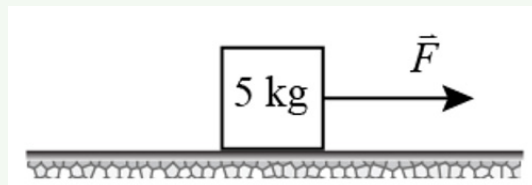
จะได้

$$v_x = 5.0 \text{ m/s} + (2.3 \text{ m/s}^2)(10 \text{ s})$$

$$v_x = 28.0 \text{ m/s}$$

ตอบ เมื่อเวลาผ่านไป 10 วินาที วัตถุจะมีความเร็ว 28.0 เมตรต่อวินาที

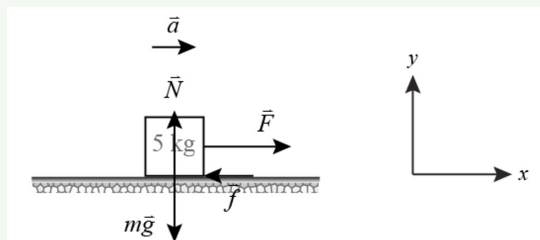
11. วัตถุมวล 5.0 กิโลกรัม วางบนพื้นที่มีความเสียดทาน เมื่อออกแรงดึงมีขนาดเท่ากับ 34.6 นิวตัน ในแนวระดับ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 11

วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเท่าใด กำหนดให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เท่ากับ 0.4 และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตเท่ากับ 0.6

วิธีทำ เขียนแรงที่กระทำต่อวัตถุได้ดังรูป



แรงเสียดทานสถิตสูงสุด

$$\begin{aligned} f_{s,\max} &= \mu_s N \\ &= \mu_s (mg) \\ &= (0.6)(5.0 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) \\ &= 29.4 \text{ N} \end{aligned}$$

แรงเสียดทานจลน์

$$\begin{aligned} f_k &= \mu_k N \\ &= \mu_k (mg) \\ &= (0.4)(5.0 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) \\ &= 19.6 \text{ N} \end{aligned}$$

จากโจทย์ แรงดึง F มีขนาดเท่ากับ 34.6 N มีขนาดมากกว่าแรงเสียดทานสถิตสูงสุด f_s ซึ่งมีค่าเท่ากับ 29.4 N แสดงว่าแรงดึงนี้ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร่งคงตัวค่าหนึ่งภายใต้แรงเสียดทานจลน์ f_k จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

จะได้

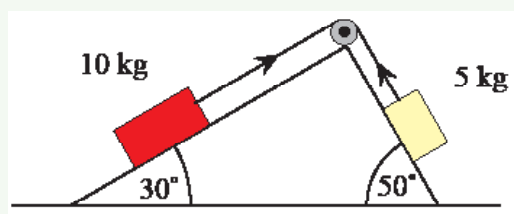
$$\begin{aligned} F - f_k &= ma \\ 34.6 \text{ N} - 19.6 \text{ N} &= (5.0 \text{ kg})a \\ 15.0 \text{ N} &= (5.0 \text{ kg})a \\ a &= 3.0 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ตอบ วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง 3.0 เมตรต่อวินาที²

12. วัตถุมวล 10.0 กิโลกรัม และ 5.0 กิโลกรัม ผูกติดกันด้วยเชือกเบา แล้วคล้องผ่านรอกเส้นและวางอยู่บนพื้นเอียงที่ไม่มีความเสียดทาน ดังรูป เมื่อปล่อยให้มวลทั้งสองเคลื่อนที่ จงหา

ก. ความเร่งของมวลทั้งสอง

ข. แรงดึงในเส้นเชือก



รูป ประกอบปัญหาข้อ 12

วิธีทำ เมื่อหาค่าประกอบย่อยของน้ำหนักทั้งสองก้อนเพื่อเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ

$$m_1 g \sin 30^\circ = (0.5)(10g) = 5g \quad (1)$$

จากตารางฟังก์ชันตรีโกณมิติ $\sin 50^\circ = 0.766$

$$m_2 g \sin 50^\circ = (0.766)(5g) = 3.83g \quad (2)$$

เนื่องจาก มากกว่า ทำให้ m_1 เคลื่อนที่ลงและเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง จะได้

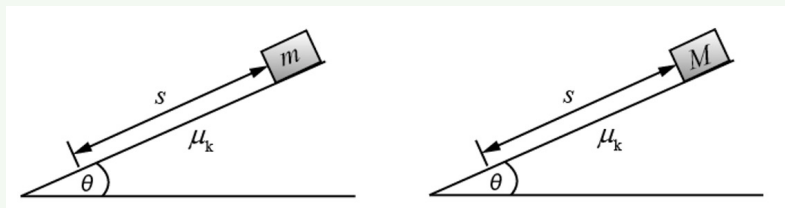
$$\begin{aligned} \text{ก.} \quad \sum F_x &= m_1 a \\ m_1 g \sin 30^\circ - m_2 g \sin 50^\circ &= (m_1 + m_2) a \\ a &= \frac{5g - 3.83g}{15} \\ &= \frac{1.17}{15} (9.8 \text{ m/s}^2) \\ &= 0.76 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ตอบ ความเร่งของมวลทั้งสอง 0.76 เมตรต่อวินาที²

$$\begin{aligned} \text{ข.} \quad \sum F_x &= m_1 a \\ m_1 g \sin 30^\circ - T &= m_1 a \\ T &= m_1 g \sin 30^\circ - m_1 a \\ T &= m_1 (g \sin 30^\circ - a) \\ T &= 44.6 \text{ N} \end{aligned}$$

ตอบ แรงดึงในเส้นเชือก 44.6 นิวตัน

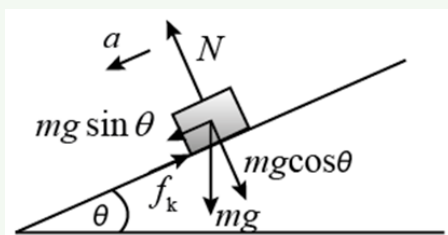
13. วัตถุมวล m และวัตถุมวล M วางบนพื้นเอียงฝืดที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ μ_k ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 13

อัตราเร็วของวัตถุทั้งสองขณะเคลื่อนที่ลงจากพื้นเอียงได้ระยะทาง มีค่าเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด

วิธีทำ พิจารณาแรงที่กระทำต่อมวล m ดังรูป



วัตถุเคลื่อนที่ลงจากพื้นเอียงจะมีแรงลัพธ์ในแนวนอนกับพื้น

$$\sum F = mg \sin \theta - f_k$$

นำไปหาความเร่งจากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

จะได้

$$\sum F = ma$$

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

$$= \frac{mg \sin \theta - f_k}{m}$$

$$a = g(\sin \theta - \mu_k \cos \theta) \quad (1)$$

แสดงว่าความเร่งมีค่าเท่ากัน ไม่ขึ้นกับมวล ความเร็วปลายจึงเท่ากัน

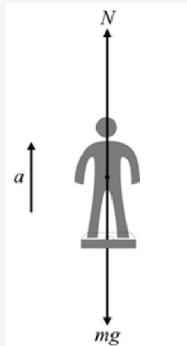
ตอบ อัตราเร็วของวัตถุทั้งสองขณะเคลื่อนที่ลงจากพื้นเอียงได้ระยะทาง s มีค่าเท่ากัน เนื่องจากเคลื่อนที่ลงจากพื้นเอียง โดยความเร่งไม่ขึ้นกับมวลของวัตถุ

14. เด็กคนหนึ่งยืนอยู่บนเครื่องชั่งน้ำหนักที่วางบนพื้นลิฟต์ ถ้าลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง 2.0 เมตรต่อวินาทีที่กำลังสอง เข็มของเครื่องชั่งชี้ตัวเลข 472 นิวตัน ถ้าลิฟต์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วคงตัว 2.0 เมตรต่อวินาที เข็มของเครื่องชั่งจะชี้ตัวเลขเท่าใด

วิธีทำ ให้มวลของเด็กเป็น m

ตัวเลขที่เครื่องชั่งเป็น N (ตัวเลขที่เครื่องชั่งเป็นแรงที่เด็กกดเครื่องชั่ง หรือเป็นแรงที่เครื่องชั่งกระทำต่อเด็ก)

พิจารณาแรงที่กระทำต่อเด็ก ถ้าลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่งจากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน



$$\sum F = ma$$

$$N - mg = ma$$

$$(472 \text{ N}) - m(9.8 \text{ m/s}^2) = m(2 \text{ m/s}^2)$$

$$m = 40 \text{ kg}$$

ถ้าลิฟต์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วคงตัว แรงลัพธ์ที่กระทำต่อเด็กเป็นศูนย์

$$\sum F = 0$$

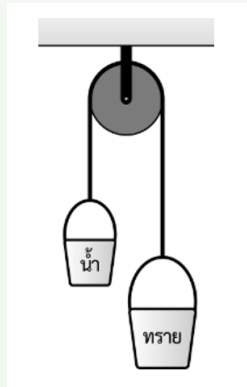
$$N = mg$$

$$= (40 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)$$

$$N = 392 \text{ N}$$

ตอบ เข็มของเครื่องชั่งจะชี้ตัวเลข 392 นิวตัน

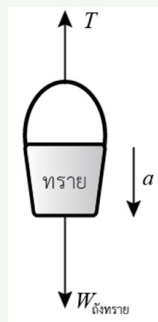
15. ถังทรายมวล 5.0 กิโลกรัม และถังน้ำโยงต่อกันด้วยเชือกไม่คิดน้ำหนักเชือกคล้องผ่านรอกเลื่อน ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 15

เมื่อปล่อยให้ระบบเคลื่อนที่อย่างอิสระ ถังทรายเคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง 3.0 เมตรต่อวินาที² ถังน้ำมีมวลเท่าใด

วิธีทำ ให้ถังทรายมีน้ำหนัก W_{sand} แรงตึงในเส้นเชือกเป็น T
คิดที่ถังทราย เขียนแผนภาพวัตถุอิสระ ได้ดังรูป

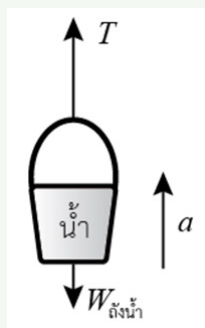


จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน $\sum F = ma$

จะได้ $W_{\text{sand}} - T = ma$

$$(5 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) - T = (5 \text{ kg})(3 \text{ m/s}^2)$$

$$T = 34 \text{ N}$$



คิดที่ถังน้ำ เขียนแผนภาพวัตถุอิสระดังนี้

จะได้

$$T - W_{\text{water}} = ma$$

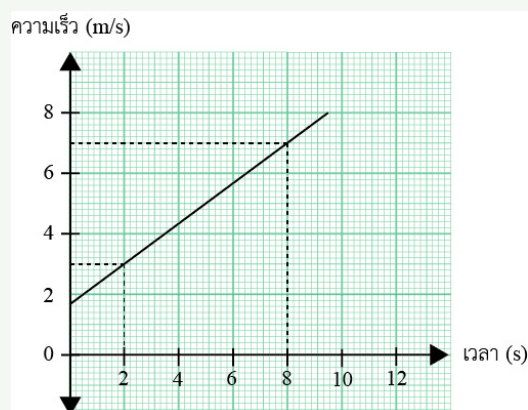
$$T - m(9.8 \text{ m/s}^2) = m(3 \text{ m/s}^2)$$

$$34 \text{ N} - m(9.8 \text{ m/s}^2) = m(3 \text{ m/s}^2)$$

$$m = 2.66 \text{ kg}$$

ตอบ ถังน้ำมีมวล 2.7 กิโลกรัม

16. มีแรงกระทำต่อวัตถุมวล 2.5 กิโลกรัม ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเปลี่ยนไป ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 16

แรงลัพธ์ที่กระทำต่อมวลนี้ มีขนาดเท่าใด

วิธีทำ ความชันของเส้นตรงของกราฟระหว่าง ความเร็วกับเวลา คือ ความเร่ง
จากสมการ

$$\begin{aligned} a &= \frac{\Delta v}{\Delta t} \\ &= \frac{(7 \text{ m/s}) - (3 \text{ m/s})}{(8 \text{ s}) - (2 \text{ s})} \\ a &= \frac{2}{3} \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

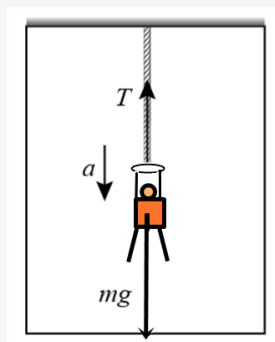
จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน $\sum F = ma$

$$\begin{aligned} \sum F &= (2.5 \text{ kg}) \left(\frac{2}{3} \text{ m/s}^2 \right) \\ &= \frac{5}{3} \text{ kg m/s}^2 \\ \sum F &= 1.67 \text{ N} \end{aligned}$$

ตอบ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อมวลนี้มีขนาด 1.7 นิวตัน

17. ชายคนหนึ่งมีมวล 72 กิโลกรัม โหนที่ปลายข้างหนึ่งของเชือกเบา ปลายอีกข้างของเชือกยึดติดเพดานลิฟต์ ถ้าลิฟต์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง 4.9 เมตรต่อวินาที² แรงที่ชายคนนี้ดึงเชือกมีขนาดเท่าใด

วิธีทำ ให้แรงที่คนดึงเชือกมีขนาดเป็น T แรงที่เชือกดึงคนมีขนาดเป็น T ด้วย
คิดที่คน ให้ทิศทางลงมีค่าเป็นบวก



จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน $\sum F = ma$

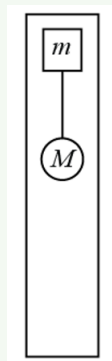
$$mg - T = ma$$

$$(72 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) - T = (72 \text{ kg})(4.9 \text{ m/s}^2)$$

$$T = 352.8 \text{ N}$$

ตอบ แรงที่ชายคนนี้ดึงเชือกมีขนาด 353 นิวตัน

18. ระบบประกอบด้วยมวล m และ M โยงต่อกันด้วยเชือกเบา ถ้าปล่อยให้ระบบเคลื่อนที่ลงในท่สุญญากาศที่อยู่นิ่ง ดังรูป

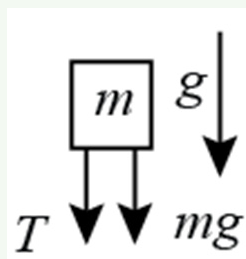


รูป ประกอบปัญหาข้อ 18

แรงดึงในเส้นเชือกมีค่าเท่าใด ให้ความเร่งโน้มถ่วงเป็น g

วิธีทำ เมื่อปล่อยมวล m และ M ในท่สุญญากาศ ระบบมีความเร่ง g

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน $\sum F = ma$

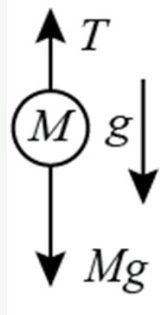


พิจารณา มวล m

$$T + mg = mg$$

$$T = 0$$

หรือ คิดที่มวล M



$$Mg - T = Mg$$

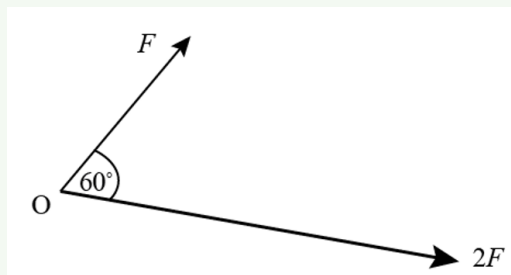
$$T = 0$$

ดังนั้น แรงดึงในเส้นเชือกเป็นศูนย์

ตอบ แรงดึงในเส้นเชือกเป็นศูนย์

ปัญหาท้าทาย

19. แรงขนาด F และ $2F$ ทำมุมกัน 60° องศา กระทำร่วมกันที่จุด O ดังรูป

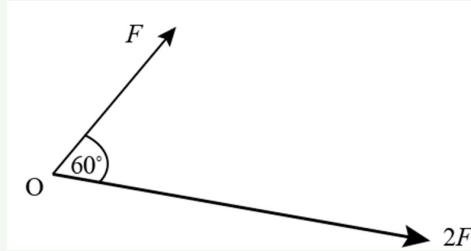


รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 19

ถ้าแรงลัพธ์ของแรงทั้งสองมีขนาด $20\sqrt{7}$ นิวตัน แรง F มีขนาดกี่นิวตัน

วิธีทำ

วิธีที่ 1 แยกแรง F ออกเป็นองค์ประกอบในแนวตั้งฉาก และแนวเดียวกับแรง $2F$

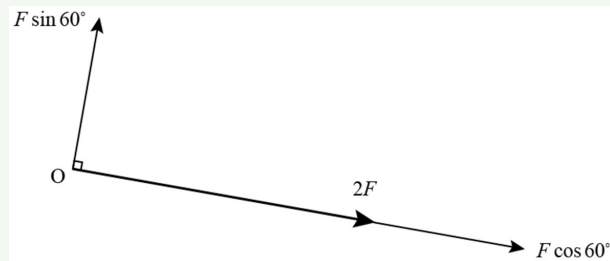


$$F \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} F$$

$$F \cos 60^\circ = \frac{1}{2} F$$

$$\frac{1}{2} F + 2F = \frac{5}{2} F$$

ใช้ทฤษฎีบทพีทาโกรัสจะได้



$$\Sigma F = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{2} F\right)^2 + \left(\frac{5}{2} F\right)^2}$$

$$20\sqrt{7} \text{ N} = \sqrt{7} F$$

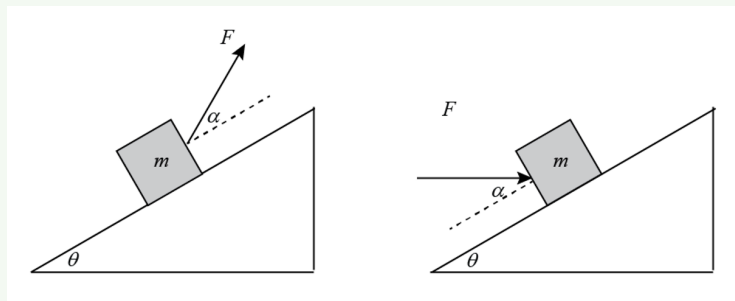
$$F = 20 \text{ N}$$

วิธีที่ 2 พิจารณาจากกฎของโคไซน์ จะได้

$$\begin{aligned}(\sum F)^2 &= (F)^2 + (2F)^2 + 2(F)(2F)\cos 60^\circ \\(20\sqrt{7}\text{ N})^2 &= 5(F)^2 + 2(F)^2 \\F &= 20\text{ N}\end{aligned}$$

ตอบ แรง F มีขนาด 20 นิวตัน

20. วัตถุมวล m วางบนพื้นเอียงทำมุม θ กับแนวระดับ ออกแรง F ดึงวัตถุทำมุม α ดังรูป ก แรงนี้พอดีทำให้มวล m เริ่มเคลื่อนที่

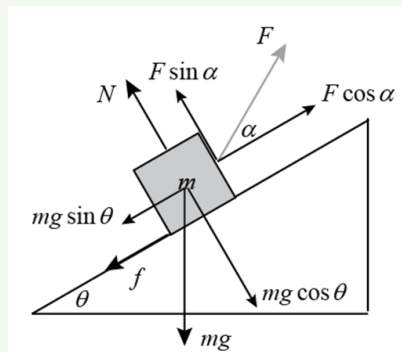


รูป ก.

รูป ข.

ถ้าออกแรงดัน F ทำมุม α ดังรูป ข มวล m จะเคลื่อนที่ขึ้นหรือไม่ เพราะเหตุใด กำหนดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตเท่ากับ μ_s

วิธีทำ จากรูป ก เมื่อออกแรง F ดึงวัตถุ แรงที่กระทำต่อวัตถุแสดงได้ดังรูป



วัตถุจะเริ่มเคลื่อนที่เมื่อ

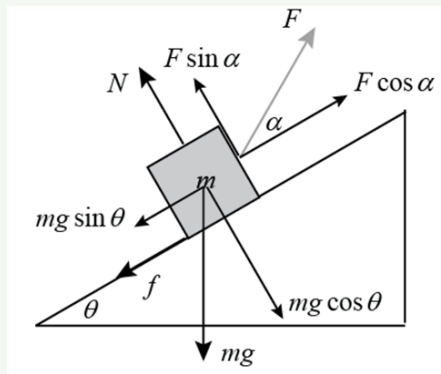
$$F \cos \alpha = mg \sin \theta + f$$

$$F \cos \alpha = mg \sin \theta + \mu_s (mg \cos \theta - F \sin \alpha)$$

นั่นคือ

$$F = \frac{mg \sin \theta + \mu_s mg \cos \theta}{\cos \alpha + \mu_s \sin \alpha}$$

จากรูป ข เมื่อออกแรง F ดันวัตถุ แรงที่กระทำต่อวัตถุแสดงได้ดังรูป



วัตถุจะเริ่มเคลื่อนที่เมื่อ

$$F \cos \alpha = mg \sin \theta + f$$

$$F \cos \alpha = mg \sin \theta + \mu_s (mg \cos \theta - F \sin \alpha)$$

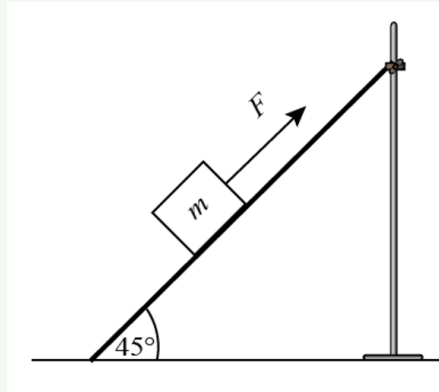
นั่นคือ

$$F = \frac{mg \sin \theta + \mu_s mg \cos \theta}{\cos \alpha + \mu_s \sin \alpha}$$

จากสมการทั้งสอง แสดงว่าแรง F ที่ใช้ดันวัตถุให้ขยับบนพื้นเอียง (รูป ข) ต้องใช้แรงที่มีค่ามากกว่าแรงที่ดึงวัตถุ (รูป ก)

ตอบ ถ้าออกแรงดัน F ทำมุม α มวล m จะไม่เคลื่อนที่ขึ้นเพราะถ้าออกแรงดัน F ทำมุม α ทำให้แรงกดระหว่างผิวในแนวตั้งฉากกับผิวเพิ่มขึ้นแรงเสียดทานสถิตมีค่าเพิ่มขึ้น

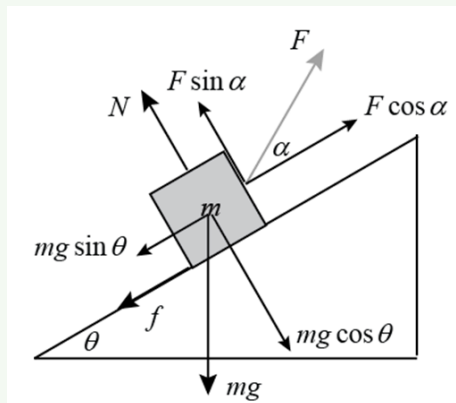
21. วัตถุมวล m วางบนพื้นเอียงซึ่งทำมุม 45° กับแนวระดับ มีแรง F กระทำต่อวัตถุในแนวขนานกับพื้นเอียง ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 21

ถ้าใช้แรง F ขนาด 15 นิวตัน ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว แต่ถ้าใช้แรง F ขนาด 8 นิวตัน ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ลงพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว จงหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างวัตถุกับพื้น

วิธีทำ เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ให้ความเร่งของวัตถุเป็นศูนย์ เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุได้ดังรูป



จากรูป

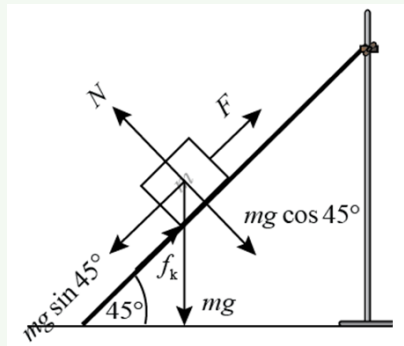
$$F = mg \sin 45^\circ + f_k$$

$$15 \text{ N} = mg \sin 45^\circ + \mu_k (mg \cos 45^\circ)$$

$$15 \text{ N} = mg(\sin 45^\circ + \mu_k \cos 45^\circ)$$

$$15 \text{ N} = \frac{1}{\sqrt{2}} mg(1 + \mu_k) \quad (1)$$

เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วคงตัว เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุได้ดังรูป



$$F = mg \sin 45^\circ - f_k$$

$$8 \text{ N} = mg \sin 45^\circ - \mu_k (mg \cos 45^\circ)$$

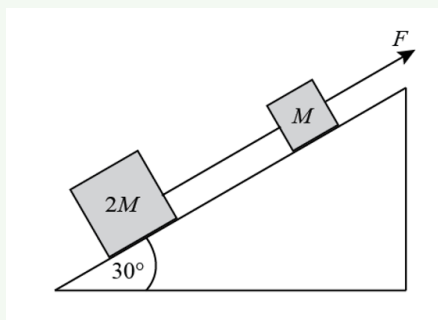
$$8 \text{ N} = mg(\sin 45^\circ - \mu_k \cos 45^\circ)$$

$$8 \text{ N} = \frac{1}{\sqrt{2}} mg(1 - \mu_k) \quad (2)$$

สมการ (1) และ (2) จะได้ $\mu_k = 0.30$

ตอบ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างวัตถุกับพื้นเท่ากับ 0.30

22. มวล M และ $2M$ โยงต่อกันด้วยเชือกเบา วางบนพื้นเอียงลื่นที่ทำมุม 30° องศากับแนวระดับ ใช้แรง F กระทำต่อมวล M ดังรูป



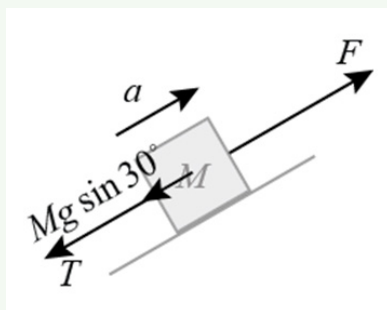
รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 22

ถ้าแรง F มีขนาดเป็น 4 เท่าของน้ำหนักมวล โดยมวล M ทั้งสองเคลื่อนที่ขึ้นตามแนวพื้นเอียง แรงตึงในเชือกเบาที่โยงระหว่างมวลทั้งสองมีค่าเท่าใดในเทอม M และ g เมื่อ g เป็นความเร่งโน้มถ่วง

วิธีทำ
วิธีที่ 1 คิดแต่ละมวล จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน $\sum F = ma$
คิดที่มวล M จะได้

$$F - Mg \sin 30^\circ - T = Ma$$

$$4Mg - \frac{1}{2}Mg - T = Ma \quad (1)$$



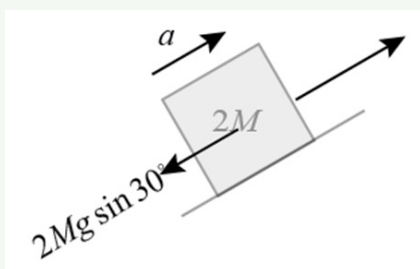
คิดที่มวล $2M$ จะได้

$$T - 2Mg \sin 30^\circ = 2Ma$$

$$\frac{1}{2}T - \frac{1}{2}Mg = Ma \quad (2)$$

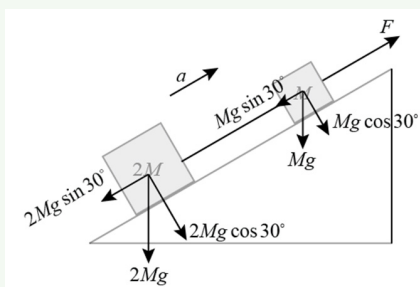
$$(1) - (2) \quad 4Mg - \frac{3}{2}T = 0$$

$$T = \frac{8}{3}Mg$$



วิธีที่ 2 ให้ a เป็นความเร่งของระบบ T เป็นแรงดึงเชือก

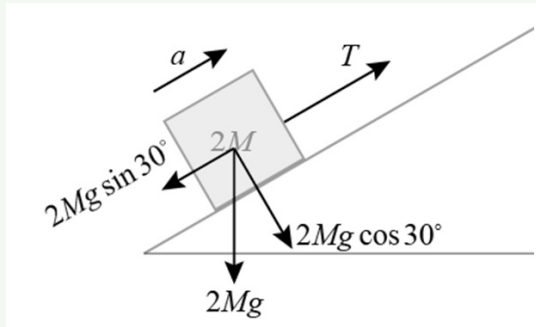
คิดทั้งระบบ จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน $\sum F = ma$



$$F - Mg \sin 30^\circ - 2Mg \sin 30^\circ = (M + 2M)a$$

$$4Mg - \frac{1}{2}Mg - Mg = 3Ma$$

คิดที่มวล $2M$ จะได้ $a = \frac{5}{6}g$



$$T - 2Mg \sin 30^\circ = 2Ma$$

$$T - 2Mg \sin 30^\circ = 2M \left(\frac{5}{6} g \right)$$

$$T = \frac{8}{3} Mg$$

ตอบ แรงตึงเชือกมีค่า $\frac{8}{3} mg$

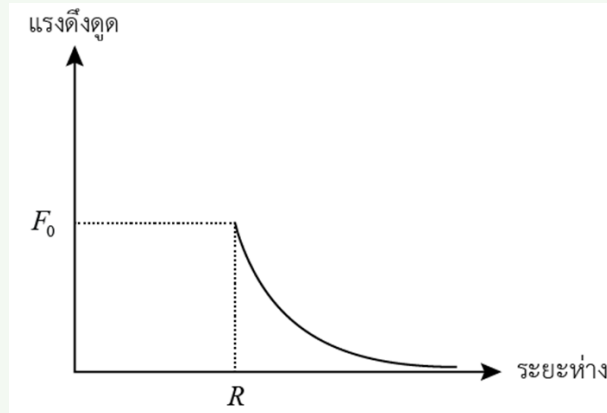
23. แรงดึงดูดระหว่างโลกและมวล m เป็นไปตามสมการ $F = G \frac{Mm}{r^2}$ โดยที่ r เป็นระยะห่างระหว่างศูนย์กลางโลกและวัตถุ ถ้าให้ R คือ รัศมีของโลกและ F_0 เป็นแรงดึงดูดที่ผิวโลก จงเขียนกราฟระหว่างแรงดึงดูดกับระยะห่างระหว่างมวลกับศูนย์กลางโลกเป็นระยะ r ใด ๆ โดย $r \geq R$
วิธีทำ พิจารณามวล m อยู่บนผิวโลกจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างโลกและมวล m ตามสมการ

$$F_0 = G \frac{Mm}{R^2}$$

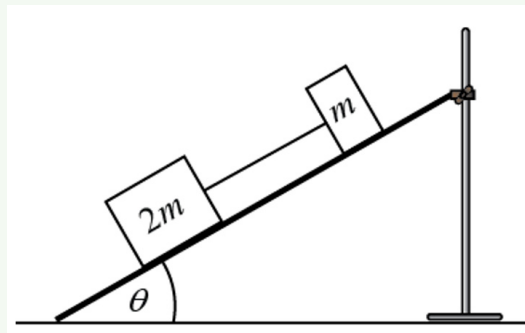
เมื่อมวล m ห่างจากศูนย์กลางโลกออกไปเรื่อยๆ เป็นระยะ r แรงดึงดูดของโลกคือ F จะลดลงเรื่อยๆ โดยเข้าใกล้ศูนย์ ตามสมการ

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่างแรงดึงดูดของโลกและมวล m กับระยะ r จะได้กราฟดังรูป



24. มวล $2m$ และ m โยงกันด้วยเชือกเบา วางบนพื้นเอียงที่ทำมุม θ กับแนวระดับ ดังรูป



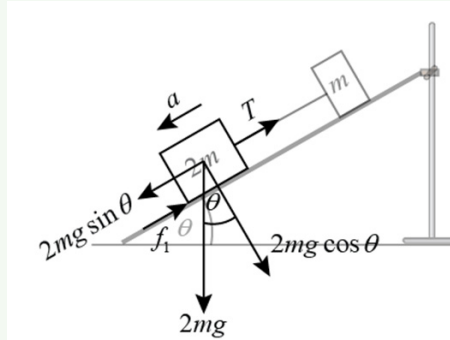
รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 24

โดยสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างมวล $2m$ และ m กับพื้นเอียงมีค่า μ และ 2μ ตามลำดับ ขณะที่มวลทั้งสองเคลื่อนที่ลงด้วยความเร่งเท่ากัน แรงดึงในเส้นเชือกมีขนาดเท่าใด ให้ g เป็นความเร่งโน้มถ่วง ในเทอม μ , mg และ θ

วิธีทำ ให้แรงดึงในเส้นเชือกเป็น T ความเร่งของระบบเป็น a

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน $\sum F = ma$

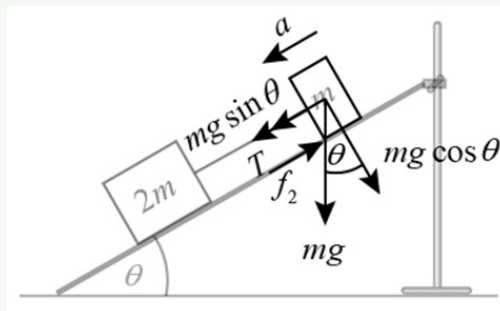
คิดที่มวล $2m$



$$2mg \sin \theta - f_1 - T = 2ma$$

$$2mg \sin \theta - \mu(2mg \cos \theta) - T = 2ma$$

(1)

คิดที่มวล m 

$$mg \sin \theta - f_2 + T = ma$$

$$mg \sin \theta - 2\mu(mg \cos \theta) + T = ma$$

(2)

(2) $\times 2$ จะได้

$$2mg \sin \theta - 4\mu mg \cos \theta + 2T = 2ma$$

(3)

(3) $\times (1)$

$$3T = 2\mu mg \cos \theta$$

$$T = \frac{2}{3} \mu mg \cos \theta$$

ตอบ แรงตึงในเส้นเชือกมีขนาด $\frac{2}{3} \mu mg \cos \theta$

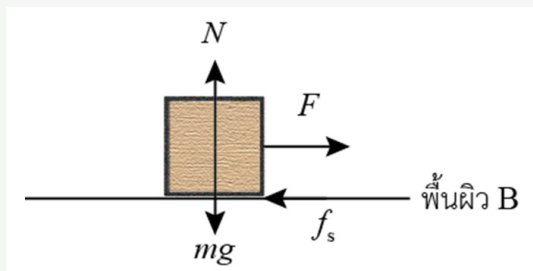
25. ออกแรงดึงวัตถุมวล 1.0 กิโลกรัม บนพื้นผิว A และ B ในแนวขนานกับพื้นด้วยเครื่องชั่งสปริง (ไม่คิดมวลของเครื่องชั่งสปริง) ขนาดของแรงดึงขณะที่วัตถุเริ่มเคลื่อนที่และวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวมีค่าดังตาราง

พื้นผิว	แรงดึงที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริง (นิวตัน)	
	วัตถุเริ่มเคลื่อนที่	วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว
A	5.4	4.6
B	4.2	3.8

จงหา

- สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างวัตถุกับพื้นผิว B
- สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างวัตถุกับพื้นผิว A
- ขนาดของแรงดึงวัตถุมวล 5.0 กิโลกรัมบนพื้นผิว B ให้เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง 2.0 เมตรต่อวินาที²

วิธีทำ ก. พิจารณาวัตถุเริ่มเคลื่อนที่บนพื้นผิว B
เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุ ได้ดังนี้



จากสมการ

$$f_s = F$$

$$\mu_s N = F$$

$$\mu_s (1.0 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) = 4.2 \text{ N}$$

$$\mu_s = 0.43$$

ตอบ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างวัตถุกับพื้นผิว B เท่ากับ 0.43

ข. พิจารณาวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวบนพื้นผิว A

จากสมการ

$$f_k = F$$

$$\mu_s N = F$$

$$\mu_k (1.0 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) = 4.6 \text{ N}$$

$$\mu_k = 0.47$$

ตอบ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างวัตถุกับพื้นผิว A เท่ากับ 0.47

ค. ดึงวัตถุมวล 5.0 กิโลกรัมบนพื้นผิว B ให้เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง 2.0 เมตรต่อวินาทีที่กำลังสอง พิจารณาวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวบนพื้นผิว B เพื่อหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์จาก

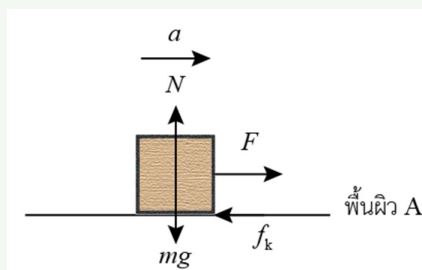
$$f_k = F$$

$$\mu_k N = F$$

$$\mu_k (1.0 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) = 3.8 \text{ N}$$

$$\mu_k = 0.39$$

พิจารณามวล 5.0 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร่งบนพื้นผิว B



จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน $\sum F = ma$

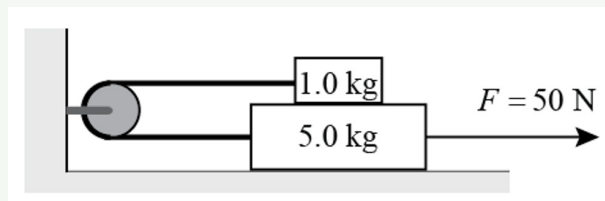
$$F - f_k = ma$$

$$F - \mu_k mg = ma$$

$$\begin{aligned}
 F &= m(a + \mu_k g) \\
 &= (5.0 \text{ kg})(2.0 \text{ m/s}^2 + (0.39)9.8 \text{ m/s}^2) \\
 &= (5.0 \text{ kg})(5.8 \text{ m/s}^2) \\
 &= 29 \text{ N}
 \end{aligned}$$

ตอบ ขนาดของแรงดึงวัตถุมวล 5.0 กิโลกรัมบนพื้นผิว B ให้เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง 2.0 เมตรต่อวินาที² เท่ากับ 29 นิวตัน

26. วัตถุมวล 1.0 กิโลกรัม ผูกโยงต่อด้วยเชือกเข้ากับแผ่นไม้มวล 5.0 กิโลกรัม เชือกคล้องผ่านรอกสั้น และแผ่นไม้วางบนพื้นราบมีแรง ขนาด 50.0 นิวตัน ดึงแผ่นไม้ในแนวระดับ ดังรูป



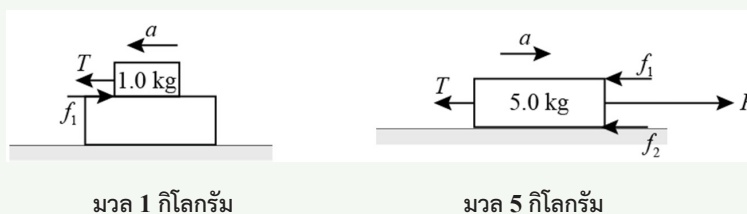
รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 26

ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างมวล 1.0 กิโลกรัม กับมวล 5.0 กิโลกรัมมีค่า 0.4 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างมวล 5.0 กิโลกรัม กับพื้นมีค่า 0.5

- เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อมวล 1.0 กิโลกรัม และ 5.0 กิโลกรัม
- แรงเสียดทานจลน์ระหว่างมวล 1.0 และ 5.0 กิโลกรัม มีค่าเท่าใด
- แรงเสียดทานจลน์ระหว่างมวล 5.0 กิโลกรัม กับพื้น มีค่าเท่าใด
- ความเร่งของระบบ มีค่าเท่าใด

วิธีทำ ก. แผนภาพของแรงที่กระทำต่อมวล 1.0 กิโลกรัม และ 5.0 กิโลกรัม ดังรูป

- ให้แรงเสียดทานจลน์ระหว่างมวล 1.0 และ 5.0 กิโลกรัม เป็น



จากสมการ

$$f_k = \mu_k N$$

$$= \mu_k (mg)$$

จะได้

$$f_1 = (0.4)(1.0 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)$$

$$f_1 = 3.92 \text{ N}$$

ตอบ แรงเสียดทานจลน์ระหว่างมวล 1.0 และ 5.0 กิโลกรัม มีค่า 3.92 นิวตัน

ค. ให้แรงเสียดทานจลน์ระหว่างมวล 5.0 กิโลกรัม กับพื้นเป็น f_2

แรงที่กดพื้นทั้งหมดเกิดจากน้ำหนักของมวลทั้งสองก้อน

$$f_2 = \mu_k N$$

$$= (0.5)(5.0 \text{ kg} + 1.0 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)$$

$$f_2 = 29.4 \text{ N}$$

ตอบ แรงเสียดทานจลน์ระหว่างมวล 5.0 กิโลกรัม กับพื้นมีค่า 29.4 นิวตัน

ง. ให้ความเร่งของระบบเป็น a แรงดึงในเส้นเชือกเป็น T เมื่อใช้แรง F 50.0 นิวตัน ดึงมวล 5.0 กิโลกรัม

คิดที่มวล 5.0 กิโลกรัม

ขณะที่แผ่นไม้มวล 5.0 กิโลกรัม เคลื่อนที่ไปทางขวา แรงเสียดทานจลน์ f_1 กับ f_2 มีทิศทางซ้าย จากแผนภาพของแรงที่กระทำต่อมวล 5.0 กิโลกรัม ในข้อก.

จากกฎข้อที่สองของนิวตัน $\sum F = ma$ ให้ทิศทางขวาเป็นบวก

$$F - f_1 - f_2 - T = (5.0 \text{ kg})(a)$$

คิดที่มวล 1.0 กิโลกรัม

ขณะที่แผ่นไม้มวล 5.0 กิโลกรัม เคลื่อนที่ไปทางขวา แรงดึงเชือก T จะดึงมวล 1.0 กิโลกรัม เคลื่อนที่ไปทางซ้าย แรงเสียดทาน f_1 มีทิศทางขวา จากแผนภาพของแรงที่กระทำต่อมวล 1.0 กิโลกรัม ก. จะได้

$$T - f_1 = (1.0 \text{ kg})(a) \quad (2)$$

(1) + (2)

$$F - 2f_1 - f_2 = (6.0 \text{ kg})(a)$$

จะได้

$$(50.0 \text{ N}) - (2)(3.92 \text{ N}) - (29.40 \text{ N}) = (6.0 \text{ kg})(a)$$

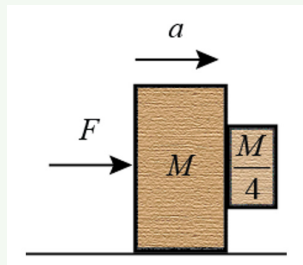
$$a = \frac{12.76 \text{ N}}{6 \text{ kg}}$$

$$a = 2.13 \text{ m/s}^2$$

ตอบ ความเร่งของระบบมีค่า 2.13 เมตรต่อวินาที²

27. ออกแรง F ในแนวระดับ ผลักมวล M ให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นลื่นด้วยความเร่ง a โดยมีกล่อง

มวล $\frac{M}{4}$ สัมผัสกับผิวมวล M ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 27

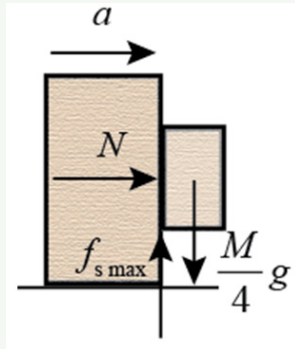
ถ้าขนาดของแรง F เป็นแรงที่น้อยที่สุดที่ทำให้มวล M เคลื่อนที่ โดยกล่องมวล M ไม่ไถลลง ให้ g เป็นความเร่งโน้มถ่วง สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างมวลทั้งสองมีค่าเท่าใด ในเทอม M , g และ F

วิธีทำ หาความเร่ง a ของระบบ จากกฎข้อที่สองของนิวตัน $\sum F = ma$

$$F = \left(M + \frac{M}{4} \right) a$$

$$a = \frac{4}{5} \frac{F}{M}$$

ให้ N เป็นแรงที่มวล M กระทำต่อมวล M ในแนวตั้งฉาก



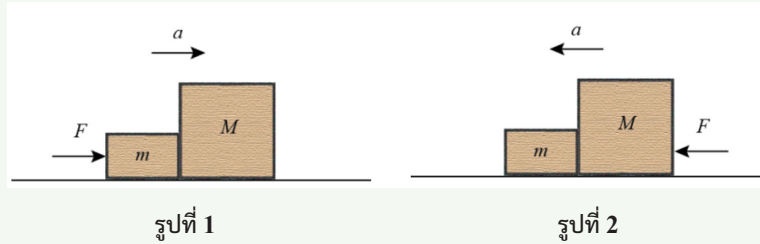
$$\begin{aligned}
 N &= \frac{M}{4} a \\
 &= \frac{M}{4} \left(\frac{4}{5} \frac{F}{M} \right) \\
 N &= \frac{F}{5}
 \end{aligned}$$

กล่องไม่ไถลลง แสดงว่า แรงเสียดทานสถิตสูงสุด $f_{s,\max}$ เท่ากับน้ำหนักกล่อง W

$$\begin{aligned}
 f_{s,\max} &= W \\
 \mu \left(\frac{F}{5} \right) &= \left(\frac{M}{4} \right) g \\
 \mu &= \frac{5}{4} \frac{Mg}{F}
 \end{aligned}$$

ตอบ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างผิวของมวลทั้งสองมีค่า $\frac{5}{4} \frac{Mg}{F}$

28. มวล m และ M วางอยู่บนพื้นราบผิวเกลี้ยง โดย M มีค่ามากกว่า m มีแรง F กระทำต่อมวล m ในแนวนอนกับพื้น ทำให้มวลทั้งสองเคลื่อนที่ติดกันไปด้วยความเร่ง a ดังรูป 1



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 28

ต่อมาให้แรง F กระทำต่อมวล M ทำให้มวลทั้งสองเคลื่อนที่ติดกันไปด้วยขนาดความเร่งเท่าเดิม แต่มีทิศทางตรงข้าม ดังรูป 2 จงแสดงว่าแรงที่มวล m และ M กระทำต่อกันทั้งสองกรณีมีค่าเท่ากันหรือไม่

วิธีทำ พิจารณารูป 1 ให้ R_1 เป็นแรงที่มวลทั้งสองกระทำต่อกัน

เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อมวล m และ M ได้ดังรูป



หาแรงกระทำระหว่างมวล จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

$$\sum F = ma$$

มวล m จะได้

$$F - R_1 = ma \quad (1)$$

มวล M จะได้

$$R_1 = Ma$$

$$a = \frac{R_1}{M} \quad (2)$$

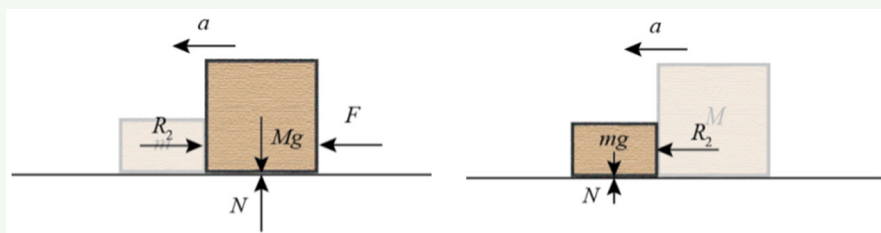
แทนค่า a จากสมการ (2) ใน (1) จะได้

$$F - R_1 = m \left(\frac{R_1}{M} \right)$$

$$MF - MR_1 = mR_1$$

$$R_1 = \left(\frac{M}{m + M} \right) F \quad (3)$$

พิจารณารูป 2 ให้ R_2 เป็นแรงที่มวลทั้งสองกระทำต่อกัน
เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อมวล m และ M ได้ดังรูป



ในทำนองเดียวกัน หาแรงกระทำระหว่างมวล จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันได้

$$F - R_2 = Ma \quad (4)$$

และ

$$R_2 = ma$$

$$a = \frac{R_2}{m} \quad (5)$$

แทนค่า a จากสมการ (5) ใน (4) จะได้

$$F - R_2 = M \frac{R_2}{m}$$

$$R_2 = \left(\frac{m}{m + M} \right) F \quad (6)$$

$$\frac{(3)}{(6)} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{M}{m}$$

จากสมการ (3) และ (6) จะได้ $R_1 > R_2$

ตอบ แรงที่มวล m และ M กระทำต่อกันทั้งสองกรณีมีค่าไม่เท่ากัน

29. วัตถุก้อนหนึ่งหนัก W อยู่บนพื้นลื่น ถูกแรง F กระทำในทิศทางทำมุม 30° องศา กับแนวระดับ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 29

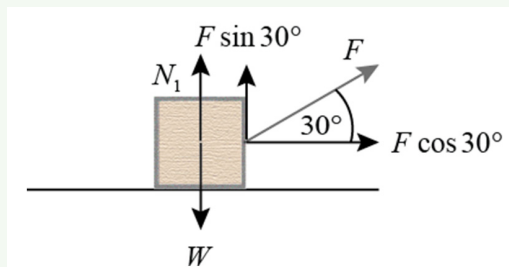
รูปที่ 1

รูปที่ 2

- ก. แรงปฏิกิริยาของพื้นที่ทำต่อวัตถุทั้งสองรูปในทิศทางตั้งฉากกับพื้นมีค่าเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด
- ข. ในกรณีพื้นที่มีความฝืด จะทำให้แรงปฏิกิริยาของพื้นที่ทำต่อวัตถุในทิศทางตั้งฉากกับพื้น เปลี่ยนแปลงหรือไม่ เพราะเหตุใด

วิธีทำ

- ก. ให้ N_1 และ N_2 เป็นแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อวัตถุในทิศทางตั้งฉาก เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุในรูป 1



หาแรง N_1 ได้จาก

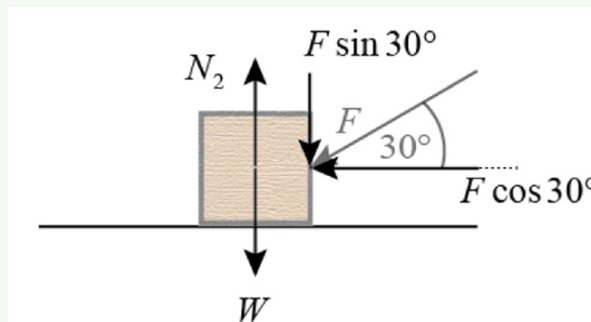
$$N_1 + F \sin 30^\circ = W$$

$$N_1 = W - F \sin 30^\circ$$

แรง N_1 มีค่า

$$N_1 = W - \frac{F}{2}$$

ดังนั้น รูป 1 แรงปฏิกิริยาของพื้นที่กระทำต่อวัตถุในทิศทางตั้งฉากกับพื้นมีค่าเท่ากับ $W - \frac{F}{2}$
พิจารณาจากแผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุในรูป 2



หาแรงปฏิกิริยาในทิศทางตั้งฉาก N_2 ได้

$$N_2 = W + F \sin 30^\circ$$

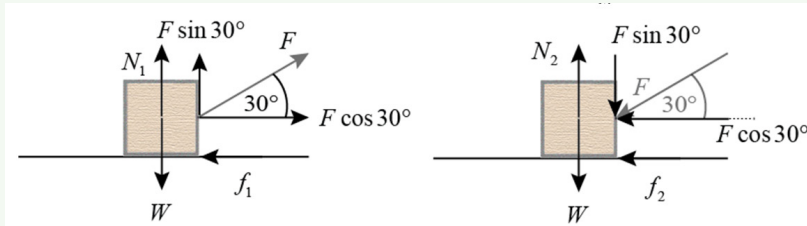
$$N_2 = W + \frac{F}{2}$$

รูป 2 แรงปฏิกิริยาของพื้นที่กระทำต่อวัตถุในทิศทางตั้งฉากกับพื้นมีค่าเท่ากับ $W + \frac{F}{2}$

ดังนั้น แรงปฏิกิริยา N_2 ที่พื้นกระทำต่อวัตถุรูป 2 มีค่ามากกว่ารูป 1

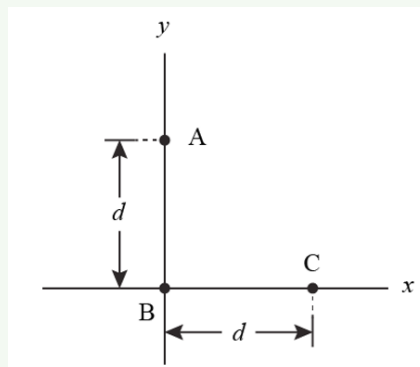
ตอบ แรงปฏิกิริยาของพื้นที่กระทำต่อวัตถุทั้งสองรูปในทิศทางตั้งฉากกับพื้นมีค่าไม่เท่ากัน

ข. เมื่อพื้นมีความฝืด จะไม่มีผลต่อค่า N_1 และ N_2 ซึ่งเป็นแรงปฏิกิริยาในทิศทางตั้งฉากกับพื้น



ตอบ ในกรณีพื้นที่มีความฝืด จะทำให้แรงปฏิกิริยาของพื้นที่กระทำต่อวัตถุในทิศทางตั้งฉากกับพื้น ไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากแรงปฏิกิริยาของพื้นที่กระทำต่อวัตถุอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของแรงเสียดทาน

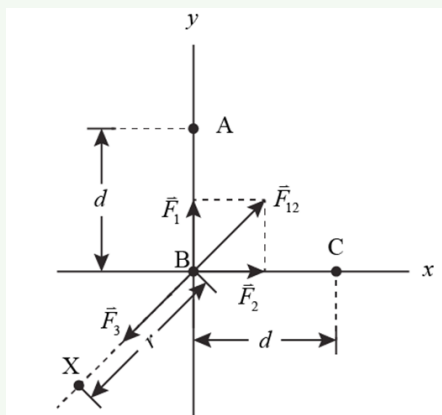
30. อนุภาค A B และ C มีมวลขนาดเท่ากัน วางไว้ที่ตำแหน่งดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 30

ถ้าต้องการทำให้แรงลัพธ์เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างมวลที่กระทำต่ออนุภาค B เป็นศูนย์ จะต้องวางอนุภาค X ซึ่งมีมวลเท่ากับสามอนุภาคแรกที่ตำแหน่งใด และห่างจากอนุภาค B เท่าใด

วิธีทำ ให้ F_1 และ F_2 เป็นแรงโน้มถ่วงที่อนุภาค A และ C กระทำต่ออนุภาค B ตามลำดับ F_{12} เป็นแรงลัพธ์ของแรง F_1 และ F_2 มีทิศทางดังรูป ถ้าต้องการให้แรงลัพธ์ที่กระทำต่ออนุภาค B เป็นศูนย์ จะต้องวางอนุภาค X ในแนวเดียวกับแรง F_{12} ห่างจากอนุภาค B เป็นระยะ r ในทิศทางตรงข้าม ดังรูป



ให้ F_3 เป็นแรงโน้มถ่วงที่อนุภาค X กระทำต่ออนุภาค B แรง F_1 จะต้องมีความขนาดเท่ากับขนาดของแรง F_{12} แต่มีทิศตรงข้าม

จากกฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ จะได้ F_1 F_2 และ F_{12} ดังนี้

$$F_1 = G \frac{mm}{d^2}$$

$$= G \frac{m^2}{d^2}$$

$$F_2 = G \frac{mm}{d^2}$$

$$= F_1$$

และ

$$F_3 = G \frac{mm}{r^2}$$

$$= G \frac{m^2}{r^2}$$

ขนาดของแรงลัพธ์ F_{12} มีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}
 F_{12} &= \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \\
 &= \sqrt{2F_1^2} \\
 &= F_1\sqrt{2} \\
 F_{12} &= G \frac{m^2}{d^2} \sqrt{2}
 \end{aligned}$$

โดย F_1 และ F_2 มีขนาดเท่ากัน ดังนั้น F_{12} ซึ่งเป็นแรงลัพธ์จึงทำมุม 45 องศา กับแกน +x

แต่

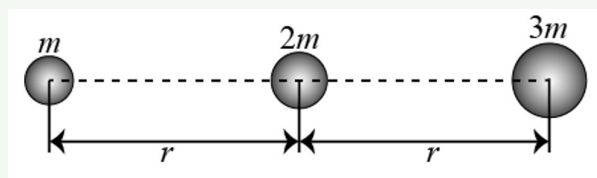
$$F_3 = F_{12}$$

$$\begin{aligned}
 G \frac{m^2}{r^2} &= G \frac{m^2}{d^2} \sqrt{2} \\
 r &= \frac{d}{2^{\frac{1}{4}}}
 \end{aligned}$$

ตอบ ต้องวางอนุภาค X ห่างจากอนุภาค B เป็นระยะ $\frac{d}{2^{\frac{1}{4}}}$ โดยทำมุม 45 องศา กับแกน -x

31. วัตถุ 3 ก้อน มีมวล m , $2m$ และ $3m$ อยู่ห่างเท่ากับ r ดังรูป

แรงดึงดูดระหว่างมวลที่เกิดกับมวล m มีขนาดเป็นเท่าใด ตอบในเทอม G , m และ r เมื่อ G เป็นค่าคงตัวโน้มถ่วงสากล

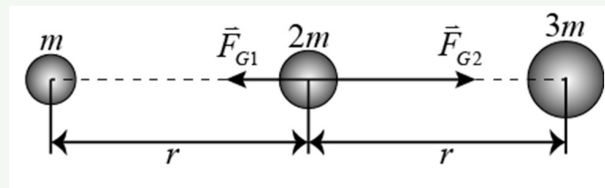


รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 31

วิธีทำ พิจารณาแรงดึงดูดระหว่างมวล m และ $3m$ ที่กระทำต่อมวล $2m$

ให้ F_{G1} แทนแรงดึงดูดระหว่างมวล m และ $2m$

F_{G2} แทนแรงดึงดูดระหว่างมวล $3m$ และ $2m$



จากกฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน

$$F = -G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

จะได้

$$\begin{aligned} F_{G1} &= -G \frac{(m)(2m)}{r^2} \\ &= -G \frac{2m^2}{r^2} \end{aligned}$$

และ

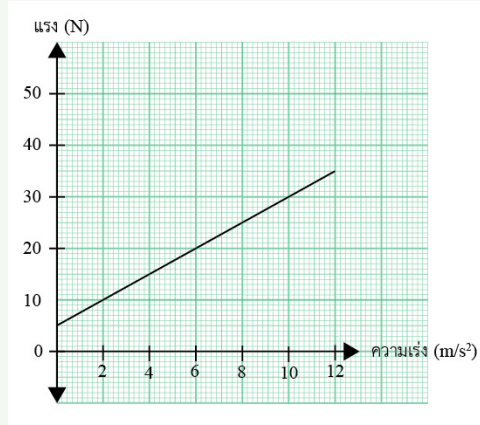
$$\begin{aligned} F_{G2} &= G \frac{(3m)(2m)}{r^2} \\ &= G \frac{6m^2}{r^2} \end{aligned}$$

ให้ F_G เป็นแรงลัพธ์ที่เกิดกับมวล $2m$

$$\begin{aligned} F_G &= \left(G \frac{6m^2}{r^2} \right) + \left(-G \frac{2m^2}{r^2} \right) \\ &= G \frac{4m^2}{r^2} \end{aligned}$$

ตอบ แรงดึงดูดระหว่างมวลที่เกิดกับมวล $2m$ มีขนาด $G \frac{4m^2}{r^2}$

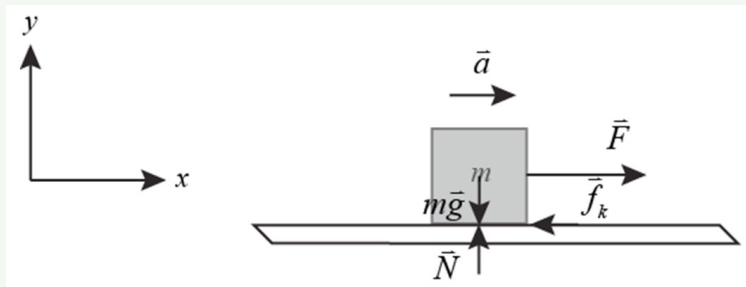
32. นักเรียนกลุ่มหนึ่งทดลองออกแรงขนานกับพื้นขนาดต่าง ๆ กระทำกับวัตถุที่วางบนพื้นราบ ได้ขนาดของแรงที่กระทำกับขนาดความเร่งของวัตถุดังกราฟ



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 32

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างวัตถุกับพื้นมีค่าเท่าใด

วิธีทำ เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อมวล m ได้ดังรูป



จากสมการ

$$\sum F_x = ma$$

จะได้

$$F - f_k = ma$$

$$F = ma + f_k$$

เป็นสมการเส้นตรงตามรูปแบบ $y = kx + c$

เมื่อ k คือ ความชันกราฟ และ c คือ จุดตัดแกน y

จะได้มวล m เท่ากับความชันของกราฟ และ f_k เท่ากับจุดตัดแกนแนวดิ่ง

$$m = \frac{35.0 \text{ N} - 5.0 \text{ N}}{12.0 \text{ m/s}^2 - 0}$$

$$m = 2.5 \text{ kg}$$

จากกราฟ

$$f_k = 5.0 \text{ N}$$

$$\mu_k N = 5.0 \text{ N}$$

$$\mu_k (mg) = 5.0 \text{ N}$$

$$\mu_k (2.5 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) = 5.0 \text{ N}$$

$$\mu_k = 0.20$$

ตอบ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างวัตถุกับพื้นมีค่า 0.20

ภาคผนวก

ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล

แบบทดสอบ

การประเมินผลด้วยแบบทดสอบเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวัดผลสัมฤทธิ์ในการเรียนโดยเฉพาะด้านความรู้และความสามารถทางสติปัญญาควบคู่ความเข้าใจในลักษณะของแบบทดสอบ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัดของแบบทดสอบรูปแบบต่างๆ เพื่อประโยชน์ในการสร้าง หรือเลือกใช้แบบทดสอบให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด โดยลักษณะของแบบทดสอบ รวมทั้งข้อดี และข้อจำกัดของแบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ เป็นดังนี้

1) แบบทดสอบแบบที่มีตัวเลือก

แบบทดสอบแบบที่มีตัวเลือก ได้แก่ แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบทดสอบแบบถูกหรือผิด และแบบทดสอบแบบจับคู่ รายละเอียดของแบบทดสอบแต่ละแบบเป็นดังนี้

1.1) แบบทดสอบแบบเลือกตอบ

เป็นแบบทดสอบที่มีการกำหนดตัวเลือกให้หลายตัวเลือก โดยมีตัวเลือกที่ถูกเพียงหนึ่งตัวเลือก องค์ประกอบหลักของแบบทดสอบแบบเลือกตอบมี 2 ส่วน คือ คำถามและตัวเลือก แต่บางกรณีอาจมีส่วนของสถานการณ์เพิ่มขึ้นมาด้วย แบบทดสอบแบบเลือกตอบมีหลายรูปแบบ เช่น แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถามเดียว แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถามชุด แบบทดสอบแบบ เลือกตอบคำถาม 2 ชั้น โครงสร้างดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบเลือกคำตอบคำถามเดียวที่ไม่มีสถานการณ์

คำถาม.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

แบบทดสอบแบบเลือกคำตอบคำถามเดียวที่มีสถานการณ์

สถานการณ์.....

คำถาม.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

แบบทดสอบแบบเลือกคำตอบเป็นชุด

สถานการณ์.....

คำถามที่ 1.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

คำถามที่ 2.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

แบบทดสอบแบบเลือกคำถาม 2 ชั้น

สถานการณ์.....

คำถามที่ 1.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

คำถามที่ 2...(ถามเหตุผลของการตอบคำถามที่ 1)...

.....

.....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบมีข้อดีคือ สามารถใช้ผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนได้ครอบคลุมเนื้อหาตามจุดประสงค์ สามารถตรวจให้คะแนนและแปลผลคะแนนได้ตรงกัน แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงออกอย่างอิสระจึงไม่สามารถวัดความคิดระดับสูง เช่น ความคิด สร้างสรรค์ได้ นอกจากนี้นักเรียนที่ไม่มีความรู้สามารถเดาคำตอบได้

1.2) แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด

เป็นแบบทดสอบที่มีตัวเลือก ถูกและผิด เท่านั้น มีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ คำสั่งและข้อความให้นักเรียนพิจารณาว่าถูกหรือผิด ดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด

คำสั่ง ให้พิจารณาว่าข้อความต่อไปนี้ถูกหรือผิด แล้วใส่เครื่องหมาย ✓ หรือ ✗ หน้าข้อความ

..... 1. ข้อความ.....

..... 2. ข้อความ.....

..... 3. ข้อความ.....

..... 4. ข้อความ.....

..... 5. ข้อความ.....

แบบทดสอบรูปแบบนี้สามารถสร้างได้ง่าย รวดเร็ว และครอบคลุมเนื้อหาสามารถตรวจได้รวดเร็วและให้คะแนนได้ตรงกัน แต่นักเรียนมีโอกาสดำเนินการ และการสร้างข้อความเป็นจริงหรือเป็นเท็จโดยสมบูรณ์ในบางเนื้อหาทำได้ยาก

1.3) แบบทดสอบแบบจับคู่

ประกอบด้วยส่วนที่เป็นคำสั่ง และข้อความสองชุด ที่ให้จับคู่กัน โดยข้อความชุดที่ 1 อาจเป็นคำถาม และข้อความชุดที่ 2 อาจเป็นคำตอบหรือตัวเลือก โดยจำนวนข้อความในชุดที่ 2 อาจมีมากกว่าในชุดที่ 1 ดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบจับคู่

คำสั่ง ให้นำตัวอักษรหน้าข้อความในชุดคำตอบมาเติมในช่องว่างหน้าข้อความในชุดคำถาม

ชุดคำถาม	ชุดคำตอบ
..... 1. ข้อความ.....	 1. ข้อความ.....
..... 2. ข้อความ.....	 2. ข้อความ.....
..... 3. ข้อความ.....	 3. ข้อความ.....

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่ายตรวจให้คะแนนได้ตรงกัน และเดาคำตอบได้ยาก เหมาะสำหรับวัดความสามารถในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคำหรือข้อความ 2 ชุด แต่ในกรณีที่นักเรียนจับคู่ผิดไปแล้วจะทำให้มีการจับคู่ผิดในคู่อื่น ๆ ด้วย

2) แบบทดสอบแบบเขียนตอบ

เป็นแบบทดสอบที่ให้นักเรียนคำตอบเอง จึงมีอิสระในการแสดงความคิดเห็นและสะท้อนความคิดออกมาโดยการเขียนให้ผู้อ่านเข้าใจ โดยทั่วไปการเขียนตอบมี 2 แบบ คือ การเขียนตอบแบบเติมคำหรือการเขียนตอบอย่างสั้นและการเขียนตอบแบบอธิบายรายละเอียดของแบบทดสอบ ที่มีการตอบแต่ละแบบเป็นดังนี้

2.1) แบบทดสอบเขียนตอบแบบเติมคำหรือตอบอย่างสั้น

ประกอบด้วยคำสั่งและข้อความที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะมีส่วนที่เว้นไว้เพื่อให้เติมคำตอบหรือข้อความสั้นๆ เพื่อให้เติมคำตอบหรือข้อความสั้นๆ ที่ทำให้ข้อความข้างต้นถูกต้องหรือสมบูรณ์ นอกจากนี้แบบทดสอบยังอาจประกอบ ด้วยสถานการณ์และคำถามที่ให้นักเรียนตอบโดยการเขียนอย่างอิสระ แต่สถานการณ์และคำถาม จะเป็นสิ่งที่กำหนดคำตอบให้มีความถูกต้องและเหมาะสม

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่าย มีโอกาสเดาได้ยาก และสามารถวินิจฉัยคำตอบที่นักเรียนตอบผิด เพื่อให้ทราบถึงข้อบกพร่องทางการเรียนรู้หรือความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้ แต่การจำกัดคำตอบให้นักเรียนตอบเป็นคำ วลี หรือประโยคได้ยาก ตรวจสอบให้คะแนนได้ยากเนื่องจากบางครั้งมีคำตอบถูกต้องหรือยอมรับได้หลายคำตอบ

2.2) แบบทดสอบเขียนตอบแบบอธิบาย

เป็นแบบทดสอบที่ต้องการให้นักเรียนตอบอย่างอิสระ ประกอบด้วยสถานการณ์และคำถามที่สอดคล้องกัน โดยคำถามเป็นคำถามแบบปลายเปิด

แบบทดสอบรูปแบบนี้ในการตอบจึงสามารถใช้วัดความคิดระดับสูงได้ แต่เนื่องจากนักเรียนต้องใช้เวลาในการคิดและเขียนคำตอบมาก ทำให้ถามได้น้อยข้อ จึงอาจทำให้วัดได้ไม่ครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งตรวจสอบให้คะแนนยาก และการตรวจสอบให้คะแนนอาจไม่ตรงกัน

แบบประเมินทักษะ

เมื่อนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมจริงจะมีหลักฐานร่องรอยที่แสดงไว้ทั้งวิธีการปฏิบัติและผลการปฏิบัติ ซึ่งหลักฐานร่องรอยเหล่านั้นสามารถใช้ในการประเมินความสามารถ ทักษะการคิด และทักษะปฏิบัติได้เป็นอย่างดี

การปฏิบัติการทดลองเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยทั่วไปประเมินได้ 2 ส่วน คือ ประเมินทักษะการปฏิบัติการทดลองและการเขียนรายงานการทดลอง โดยเครื่องมือที่ใช้ประเมินดังตัวอย่าง

ตัวอย่างแบบสำรวจรายการทักษะปฏิบัติการทดลอง

รายการที่ต้องสำรวจ	ผลการสำรวจ	
	มี (ระบุจำนวนครั้ง)	ไม่มี
การวางแผนการทดลอง		
การทดลองความขั้นตอน		
การสังเกตการทดลอง		
การบันทึกผล		
การอธิบายผลการทดลองก่อนลงข้อสรุป		

ตัวอย่างแบบประเมินทักษะปฏิบัติการทดลอง
ที่ใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย

ทักษะปฏิบัติการ ทดลอง	คะแนน		
	3	2	1
การเลือกใช้อุปกรณ์ /เครื่องมือใน การทดลอง	เลือกใช้อุปกรณ์ /เครื่องมือในการทดลอง ได้ถูกต้องเหมาะสม กับงาน	เลือกใช้อุปกรณ์ /เครื่องมือในการทดลอง ได้ถูกต้องแต่ไม่เหมาะสม กับงาน	เลือกใช้อุปกรณ์ /เครื่องมือในการทดลอง ไม่ถูกต้อง
การใช้อุปกรณ์ /เครื่องมือใน การทดลอง	เลือกใช้อุปกรณ์ /เครื่องมือในการทดลอง ได้อย่างคล่องแคล่ว และถูกต้องตามหลัก การปฏิบัติ	ใช้อุปกรณ์ /เครื่องมือใน การทดลองได้ถูกต้องตาม หลักการปฏิบัติ แต่ไม่ คล่องแคล่ว	ใช้อุปกรณ์ /เครื่องมือใน การทดลองไม่ถูกต้อง
การทดลองแผนที่ กำหนด	ทดลองตามวิธีการและ ขั้นตอนที่กำหนดไว้ อย่างถูกต้อง มีการปรับ ปรุงแก้ไขเป็นระยะ	ทดลองตามวิธีการและ ขั้นตอนที่กำหนดไว้ มี การปรับปรุงแก้ไขบ้าง	ทดลองตามวิธีการและ ขั้นตอนที่กำหนดไว้หรือ ดำเนินการข้ามขั้นตอน ที่กำหนดไว้ ไม่มีการ ปรับปรุงแก้ไข

ตัวอย่างแบบประเมินทักษะปฏิบัติการทดลอง
ที่ใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบมาตราประมาณค่า

ทักษะที่ประเมิน	ผลการประเมิน		
	ระดับ 3	ระดับ 2	ระดับ 1
1.วางแผนการทดลองอย่างเป็นขั้นตอน 2.ปฏิบัติการทดลองได้อย่างคล่องแคล่ว สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้อง เหมาะสมและจัดวางอุปกรณ์เป็นระเบียบสะดวกต่อการใช้งาน 3.บันทึกผลการทดลองได้ถูกต้องและครบถ้วนสมบูรณ์	ระดับ 3 หมายถึง ปฏิบัติได้ทั้ง 3 ข้อ	ระดับ 2 หมายถึง ปฏิบัติได้ทั้ง 2 ข้อ	ระดับ 1 หมายถึง ปฏิบัติได้ทั้ง 1 ข้อ

ตัวอย่างแนวทางให้คะแนนการเขียนรายงานการทดลอง

คะแนน		
3	2	1
เขียนรายการตามลำดับขั้นตอน ผลการทดลองตรงตามสภาพจริงและสื่อความหมาย	เขียนรายงานการทดลองตามลำดับ แต่ไม่สื่อความหมาย	เขียนรายงานโดยลำดับขั้นตอน ไม่สอดคล้องกัน และสื่อความหมาย

แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์

การประเมินจิตวิทยาศาสตร์ไม่สามารถทำได้โดยตรง โดยทั่วไปทำได้โดยการตรวจสอบพฤติกรรมภายนอกที่ปรากฏให้เห็นในลักษณะของคำพูด การแสดงความคิดเห็น การปฏิบัติหรือพฤติกรรมบ่งชี้ที่สามารถสังเกตหรือวัดได้ และแปลผลไปถึงจิตวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นสิ่งที่ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมดังกล่าว เครื่องมือที่ใช้ประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์ ดังตัวอย่าง

ตัวอย่างแบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง จงทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับคุณลักษณะที่นักเรียนแสดงออก โดยจำแนกระดับพฤติกรรม

การแสดงออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้

มาก	หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นอย่างสม่ำเสมอ
ปานกลาง	หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นเป็นครั้งคราว
น้อย	หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นน้อยครั้ง
ไม่มีการแสดงออก	หมายถึง นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นเลย

รายการพฤติกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
ด้านความอยากรู้อยากเห็น 1.นักเรียนสอบถามจากผู้รู้หรือไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม เมื่อเกิดความสงสัยในเรื่องราววิทยาศาสตร์ 2.นักเรียนชอบไปงานนิทรรศการวิทยาศาสตร์ 3.นักเรียนนำการทดลองที่สนใจไปทดลองต่อที่บ้าน				
ด้านความซื่อสัตย์ 1.นักเรียนรายงานผลการทดลองตามที่ทดลองได้จริง 2.เมื่อทำงานทดลองผิดพลาด นักเรียนจะลอกผลการทดลองของเพื่อส่งครู 3.เมื่อครูมอบหมายให้ทำชิ้นงานสิ้นประติษฐ์ นักเรียนจะประดิษฐ์ตามแบบที่ปรากฏอยู่ในหนังสือ				

รายการพฤติกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
ด้านความใจกว้าง 1.แม้ว่านักเรียนจะไม่เห็นด้วยกับการสรุปผลการทดลองในกลุ่ม แต่ก็ยอมรับผลสรุปของสมาชิกส่วนใหญ่ 2.ถ้าเพื่อนแย้งวิธีการทดลองนักเรียนและมีเหตุผลที่ดีกว่า นักเรียนพร้อมที่จะนำเสนอแนะของเพื่อนไปปรับปรุงงานของตน 3.เมื่องานที่นักเรียนตั้งใจและทุ่มเททำถูกตำหนิหรือโต้แย้ง นักเรียนจะหมดกำลังใจ				
ด้านความรอบคอบ 1.นักเรียนสรุปผลการทดลองทันทีเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง 2.นักเรียนทำการทดลองซ้ำๆ ก่อนที่จะสรุปผลการทดลอง 3.นักเรียนตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ก่อนทำการทดลอง				
ด้านความมุ่งมั่นอดทน 1.ถึงแม้ว่างานค้นคว้าที่ทำอยู่มีโอกาสสำเร็จได้ยาก นักเรียนจะยังค้นคว้าต่อไป 2.นักเรียนล้มเลิกการทดลองทันที เมื่อผลการทดลองที่ได้ขัดจากที่เคยเรียนมา 3.เมื่อทราบว่าชุดการทดลองที่นักเรียนสนใจต้องใช้ระยะเวลาในการทดลองนาน นักเรียนก็เปลี่ยนไปศึกษาชุดการทดลองที่ใช้เวลาน้อยกว่า				

รายการพฤติกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
เจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ 1.นักเรียนนำความรู้วิทยาศาสตร์ มาใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวันอยู่เสมอ 2.นักเรียนชอบทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ 3.นักเรียนสนใจติดตามข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์				

วิธีการตรวจให้คะแนน

ตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์โดยกำหนดน้ำหนักของตัวเลขในช่องต่าง ๆ เป็น 4 3 2 1 ข้อความที่มีความหมายเป็นทางบวก กำหนดให้คะแนนแต่ละข้อความดังต่อไปนี้

ระดับพฤติกรรมแสดงออก	คะแนน
มาก	4
ปานกลาง	3
น้อย	2
ไม่มีการแสดงออก	1
ส่วนของข้อความที่มีความหมายเป็นทางลบ การกำหนดให้คะแนนในแต่ละข้อความจะมีลักษณะเป็นตรงกันข้าม	

การประเมินการนำเสนอผลงาน

การประเมินผลและให้คะแนนการนำเสนอผลงานใช้แนวทางการประเมินเช่นเดียวกับการประเมิน ภาระงานอื่น คือ การใช้คะแนนแบบภาพรวม และการให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

1) **การให้คะแนนในภาพรวม** เป็นการให้คะแนนที่ต้องการสรุปภาพรวมจึงประเมินเฉพาะประเด็นหลักที่สำคัญ ๆ เช่น การประเมินความถูกต้องของเนื้อหา ความรู้และการประเมินสมรรถภาพด้านการเขียน โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบภาพรวม ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินความถูกต้องของเนื้อหาความรู้ (แบบภาพรวม)

รายการประเมิน	ระดับประเมิน
- เนื้อหาไม่ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่	ต้องปรับปรุง
- เนื้อหาถูกต้องแต่ให้สาระสำคัญน้อยมาก และระบุแหล่งที่มาของความรู้	พอใช้
- เนื้อหาถูกต้อง มีสาระสำคัญ แต่ยังไม่ครบถ้วน มีการระบุแหล่งที่มาของความรู้	ดี
- เนื้อหาถูกต้อง มีสาระสำคัญครบถ้วน และระบุแหล่งที่มาของความรู้ชัดเจน	ดีมาก

ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินสมรรถภาพด้านการเขียน (แบบภาพรวม)

รายการประเมิน	ระดับประเมิน
- เขียนสับสน ไม่เป็นระบบ ไม่บอกปัญหาและจุดประสงค์ ขาดการเชื่อมโยง เนื้อหาบางส่วนไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ ใช้ภาษาไม่เหมาะสมและสะกดคำไม่ถูกต้อง ไม่อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	ต้องปรับปรุง
- เขียนเป็นระบบแต่ไม่ชัดเจน บอกจุดประสงค์ไม่ชัดเจน เนื้อหาถูกต้องแต่มีรายละเอียดไม่เพียงพอ เนื้อหาบางตอนไม่สัมพันธ์กัน การเรียบเรียงเนื้อหาไม่ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	พอใช้
- เขียนเป็นระบบ แสดงให้เห็นโครงสร้างของเรื่อง บอกความสำคัญและที่มาของปัญหา จุดประสงค์ แนวคิดหลักไม่ครอบคลุมประเด็นสำคัญทั้งหมด เนื้อหาบางตอนเรียบเรียงไม่ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง มีการยกตัวอย่าง รูปภาพแผนภาพประกอบ อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	ดี
- เขียนเป็นระบบ แสดงให้เห็นโครงสร้างของเรื่อง บอกความสำคัญและที่มาของปัญหา จุดประสงค์ แนวคิดหลักได้ครอบคลุมประเด็นสำคัญทั้งหมด เรียบเรียงเนื้อหาได้ต่อเนื่องต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง ชัดเจนเข้าใจง่าย รูปภาพแผนภาพประกอบ อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	ดี

2) การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย เป็นการประเมินเพื่อต้องการนำผลการประเมินไปใช้พัฒนางานให้มีคุณภาพผ่านเกณฑ์ และพัฒนาคุณภาพให้สูงขึ้นกว่าเดิมอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เกณฑ์ย่อย ๆ ในการประเมินเพื่อให้รู้ทั้งจุดเด่นที่ควรส่งเสริมและจุดด้อยที่ควรแก้ไขปรับปรุงการทำงานในส่วนนั้น ๆ เกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย มีตัวอย่างดังนี้

ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินสมรรถภาพ (แบบแยกองค์ประกอบย่อย)

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
ด้านการวางแผน	
- ไม่สามารถออกแบบได้ หรือออกแบบได้แต่ไม่ตรงกับประเด็นปัญหาที่ต้องการเรียนรู้	ต้องปรับปรุง
- ออกแบบการได้ตามประเด็นสำคัญของปัญหาบางส่วน	พอใช้
- ออกแบบครอบคลุมประเด็นสำคัญของปัญหาเป็นส่วนใหญ่ แต่ยังไม่ชัดเจน	ดี
- ออกแบบได้ครอบคลุมประเด็นสำคัญของปัญหาอย่างเป็นขั้นตอนที่ชัดเจน และตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการ	ดีมาก
ด้านการดำเนินการ	
- ดำเนินการไม่เป็นไปตามแผน ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบถูกต้องแต่ไม่คล่องแคล่ว	ต้องปรับปรุง
- ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบถูกต้องแต่ไม่คล่องแคล่ว	พอใช้
- ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบการสาธิตได้อย่างคล่องแคล่วที่เสร็จทันเวลา ผลงานในบางขั้นตอนไม่เป็นไปตามจุดประสงค์	ดี
- ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบได้ถูกต้อง คล่องแคล่ว และเสร็จทันเวลา ผลงานทุกขั้นตอนเป็นไปตามจุดประสงค์	ดีมาก
ด้านการอธิบาย	
- อธิบายไม่ถูกต้อง ขัดแย้งกับแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์	ต้องปรับปรุง
- อธิบายโดยอาศัยแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ แต่การอธิบายเป็นแนวพรรณนาทั่วไป ซึ่งไม่คำนึงถึงการเชื่อมโยงกับปัญหาทำให้เข้าใจยาก	พอใช้
- อธิบายโดยอาศัยแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ ตรงตามประเด็นของปัญหา แต่ข้ามไปในบางขั้นตอน ใช้ภาษาได้ถูกต้อง	ดี
- อธิบายโดยอาศัยแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ ตรงตามประเด็นของปัญหาและจุดประสงค์ ใช้ภาษาได้ถูกต้องเข้าใจง่าย สื่อความหมายให้ชัดเจน	ดีมาก

**คณะกรรมการจัดทำคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ฟิลิกส์ เล่ม 1 ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551**

คณะที่ปรึกษา

- | | |
|------------------------------|---|
| 1. ดร.พรพรรณ ไชยทางกูร | ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 2. รศ.ดร.สัญญา มิตรเอม | รองผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 3. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ | ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

**คณะผู้จัดทำคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิลิกส์ เล่ม 1
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4**

- | | |
|---------------------------|--|
| 1. นายสุมิตร สวนสุข | โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย |
| 2. นายรังสรรค์ ศรีสาร | ผู้เชี่ยวชาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 3. นายบุญชัย ต้นไธ | ผู้ชำนาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 4. นายวัฒนะ มากขึ้น | ผู้ชำนาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 5. นายวินัย เลิศเกษมสันต์ | ผู้ชำนาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 6. นายรักษพล ธนานวงศ์ | นักวิชาการอาวุโส สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 7. ดร.กวิน เชื้อมกลาง | นักวิชาการอาวุโส สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 8. ดร.ปรีดา พัทธมณีปรกรณ์ | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 9. นายสรจิตต์ อารีรัตน์ | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 10. นายจอมพรรค นวลดี | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

- | | |
|---------------------------|--|
| 11. นายเทพนคร แสงหัวช้าง | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 12. นายธนระริษฐ์ คัมภักซ์ | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

คณะผู้ร่วมพิจารณาคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิลิกส์ เล่ม 1
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 (ฉบับร่าง)

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. นายวิศาล จิตต์วาริน | นักวิชาการอิสระ |
| 2. ดร.ศักดิ์ สุวรรณฉาย | มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ |
| 3. นายพลพิพัฒน์ วัฒนเศรษฐานุกูล | โรงเรียนมัธยมวัดบึงทองหลาง กรุงเทพมหานคร |
| 4. นายโฆสิต สิงห์สุต | โรงเรียนศึกษานารีวิทยา กรุงเทพมหานคร |
| 5. นางสาวปิยะมาศ บุญประกอบ | โรงเรียนวัดบวรนิเวศ กรุงเทพมหานคร |
| 6. นายอดิศักดิ์ ยงยุทธ | โรงเรียนมัธยมวัดหนองจอก กรุงเทพมหานคร |
| 7. นายบุญโฮม สุขล้วน | โรงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภชลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร |
| 8. นายเสน่ห์ เชื้อสูงเนิน | โรงเรียนมัธยมบ้านบางกะปิ กรุงเทพมหานคร |
| 9. นายอิศรชัย โชติผลไธย | โรงเรียนลาซาล กรุงเทพมหานคร |
| 10. นายณัฐวีร์ วุฒิกุล | โรงเรียนพระมารดานิจจานุเคราะห์ กรุงเทพมหานคร |
| 11. นางสาวสายชล สุขโข | โรงเรียนจ่านกร้อง จ.พิษณุโลก |
| 12. นางสาวศรีไพร แต่งอ่อน | โรงเรียนวังไกลกังวล จ.ประจวบคีรีขันธ์ |
| 13. นางศิริเพ็ญ ศรีตระกูล | โรงเรียนขอนแก่นวิทยายน จ.ขอนแก่น |
| 14. นางปาริชาติ อักษรภักดี | โรงเรียนสตรีทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช |
| 15. ดร.จำเริญตา ปริญญาธารมาศ | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

คณะบรรณาธิการ

- | | |
|----------------------------|--|
| 1. ผศ.ดร.บุรินทร์ อิศวพิภพ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. นายรังสรรค์ ศรีสาคร | ผู้เชี่ยวชาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 3. นายบุญชัย ต้นไธสง | ผู้อำนวยการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 4. นายวัฒน์ มากชื่น | ผู้อำนวยการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 5. ดร.ปรีดา พัทธมนีปรกรณ์ | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |