



หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๔

ISBN 978-616-576-364-6

จำนวน ๑๒๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๖

จัดจำหน่ายโดย

องค์การค้าของ สกสค. พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว

๒๒๔๙ ถนนลาดพร้าว วังทองหลาง กรุงเทพมหานคร

❖ มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ



ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลาง การศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้ว อนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๕ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๗

ว่าที่ร้อยตรี

(ธนุ วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาหลักสูตร วิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภทที่ใช้ประกอบ การเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จัดทำขึ้นตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ เพื่อให้สถานศึกษาพิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรสถานศึกษา และพิจารณาเลือกใช้ หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ตามความเหมาะสม

กระทรวงศึกษาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐาน การศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

ว่าที่ร้อยตรี

(ธนุ วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติ เพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๒ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ เล่ม ๑ – เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖ แล้วจะสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๒ ได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้ หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ เล่ม ๑ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นที่ต้องเรียน ประกอบด้วยเรื่อง ธรรมชาติและพัฒนาการทางฟิสิกส์ การเคลื่อนที่แนวตรง แรงและกฎการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ วิศวกร สถาปนิก นักอุตุนิยมวิทยา นักธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบันและสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ เล่ม ๑ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง



(รองศาสตราจารย์ธีระเดช เจียรสุขสกุล)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

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

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



คำถามสำคัญ

คำถามประจำบทที่นักเรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งนักเรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว



จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งนักเรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ



ความรู้ก่อนเรียน

คำสำคัญหรือข้อความสั้น ๆ ที่เกี่ยวกับความรู้ที่นักเรียนควรมีสำหรับเป็นพื้นฐานของการศึกษาความรู้ใหม่ในแต่ละบท



ข้อสังเกต

ความรู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้นักเรียนเห็นแนวคิดสำคัญและความเชื่อมโยงของเนื้อหา



ชวนคิด

คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา



กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง



คำถามท้ายกิจกรรม

คำถามที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมนั้น ๆ ช่วยเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ อภิปรายและสรุปผลการทำกิจกรรม



กิจกรรมลองทำดู

การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมที่ลงมือปฏิบัติในห้องเรียนหรือนอกเวลาเรียนได้



ความรู้เพิ่มเติม

ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล



รู้หรือไม่

ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน



สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

แบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ

ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ

คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง



แบบฝึกหัด

แบบฝึกหัดระหว่างเรียนที่ช่วยฝึกทักษะการคิด การคำนวณ และการแก้ปัญหาเบื้องต้น โดยใช้ความรู้ในหัวข้อนั้น ๆ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบความเข้าใจของเนื้อหา และฝึกฝนตนเองให้มีทักษะที่จำเป็นตามจุดประสงค์การเรียนรู้ได้

แบบฝึกหัดท้ายบท

ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้



คำถาม

คำถามที่เน้นให้นักเรียนตอบโดยการเขียนบรรยายแสดงความเข้าใจจนถึงการวิเคราะห์



ปัญหา

ปัญหาที่มีความซับซ้อนน้อยจนถึงปานกลาง เน้นให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการคำนวณ และการแก้ปัญหา



ปัญหาท้าทาย

ปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก เน้นให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการคิดระดับสูงในการคำนวณ และการแก้ปัญหา

สารบัญ	บทที่ 1-2	
บทที่	เนื้อหา	หน้า
1	ธรรมชาติและพัฒนากาทางฟิสิกส์	
	1.1 ธรรมชาติของฟิสิกส์	4
	1.1.1 การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์	5
	1.1.2 พัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์	6
	1.1.3 ผลของพัฒนากาทางฟิสิกส์ที่มีต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยี	8
	1.2 การวัดและการบันทึกผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์	10
	1.2.1 ระบบหน่วยระหว่างชาติ	11
	1.2.2 สัญกรณ์วิทยาศาสตร์	14
	1.2.3 ความไม่แน่นอนในการวัด	15
	1.2.4 เลขนัยสำคัญ	15
	1.2.5 การบันทึกผลการคำนวณ	17
	1.3 การทดลองทางฟิสิกส์	20
	1.3.1 การรายงานความคลาดเคลื่อน	21
	1.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	23
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	28
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1	30
2	การเคลื่อนที่แนวตรง	
	2.1 ตำแหน่ง	37
	2.2 การกระจัดและระยะทาง	39
	2.3 อัตราเร็วและความเร็ว	44
	2.3.1 อัตราเร็วเฉลี่ยและความเร็วเฉลี่ย	44
	2.3.2 อัตราเร็วขณะหนึ่งและความเร็วขณะหนึ่ง	48
	2.4 ความเร่ง	56
	2.4.1 ความเร่งเฉลี่ย	56
	2.4.2 ความเร่งขณะหนึ่ง	60
	2.5 กราฟของการเคลื่อนที่แนวตรง	63

สารบัญ	บทที่ 3	
บทที่	เนื้อหา	หน้า
3	2.5.1 กราฟระหว่างตำแหน่งกับเวลา	63
	2.5.2 กราฟระหว่างความเร็วกับเวลา	
	และกราฟระหว่างความเร่งกับเวลา	70
	2.6 สมการสำหรับการเคลื่อนที่แนวตรง	81
	2.6.1 การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว	81
	2.6.2 การเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว	83
	2.7 การตกแบบเสรี	89
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	101
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2	104
	แรงและกฎการเคลื่อนที่	
	3.1 แรง	118
	3.1.1 ลักษณะของแรง	118
	3.1.2 แผนภาพวัตถุอิสระ	124
	3.1.3 แรงบางชนิดที่ควรรู้	127
	3.2 การหาแรงลัพธ์	134
	3.2.1 การหาแรงลัพธ์โดยวิธีเขียนเวกเตอร์ของแรง	135
	3.2.2 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์โดยการคำนวณ	137
	3.3 มวล แรง และกฎการเคลื่อนที่	143
	3.3.1 มวลและความเฉื่อย	143
	3.3.2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	144
	3.4 แรงเสียดทาน	152
	3.5 แรงดึงดูดระหว่างมวล	163
	3.5.1 กฎความโน้มถ่วงสากล	163
	3.5.2 สนามโน้มถ่วง แรงโน้มถ่วงและน้ำหนัก	166
	3.6 การประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่	170
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	181
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3	183

สารบัญ	ภาคผนวก	
บทที่	เนื้อหา	หน้า
ภาคผนวก		
	ภาคผนวก ก คณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์	198
	ภาคผนวก ข ระบบหน่วยระหว่างชาติ	208
	ภาคผนวก ค ตารางฟังก์ชันตรีโกณมิติ	211
	ภาคผนวก ง ตารางเลขกำลังสอง	
	รากที่สองและส่วนกลับ	212
	ภาคผนวก จ ตัวอย่างการบันทึกการทดลอง	213
	คำศัพท์	216
	บรรณานุกรม	217
	ที่มาของรูป	218
	คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน	219

ฟิสิกส์ เล่ม 1

บทที่ 1 | ธรรมชาติและพัฒนาการทางฟิสิกส์

1

ธรรมชาติและพัฒนาการทางฟิสิกส์



ipst.me/7662



ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เป็นผลผลิตจากสติปัญญาของมนุษย์ที่ทำให้ได้รู้เกี่ยวกับกลไกการทำงานของธรรมชาติว่า ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติ เช่น อาทิตย์ทรงกลด เกิดขึ้นได้อย่างไร การได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีหลากหลายทางด้วยกัน เช่น การสังเกต การรวบรวมข้อมูล การทดลอง และการคิดหาเหตุผล เป็นต้น ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่ง ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับอะไร มีวิธีการที่ได้มาซึ่งความรู้และมีการพัฒนาความรู้อย่างไร รวมทั้งมีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์และพัฒนาเทคโนโลยีอย่างไร จะศึกษาได้ในบทนี้



คำถามสำคัญ

- การค้นหาความรู้ทางฟิสิกส์มีพัฒนาการอย่างไร และมีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์และพัฒนาทางเทคโนโลยีอย่างไร
- การวัดและการทดลองมีความสำคัญต่อการศึกษาด้านฟิสิกส์อย่างไร



จุดประสงค์การเรียนรู้

1.1 ธรรมชาติทางฟิสิกส์

1. อธิบายและยกตัวอย่างการค้นหาความรู้ทางฟิสิกส์
2. อธิบายและยกตัวอย่างประวัติความเป็นมารวมทั้งพัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์
3. อธิบายและยกตัวอย่างความรู้ทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์และพัฒนาเทคโนโลยี

1.2 การวัดและการบันทึกผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์

4. ระบุหน่วยฐานและตัวอย่างหน่วยอนุพัทธ์ของระบบเอสไอ
5. ยกตัวอย่างปริมาณทางฟิสิกส์และหน่วยในระบบเอสไอของปริมาณนั้น ๆ ได้
6. ใช้คำนำหน้าหน่วยเปลี่ยนหน่วยให้ใหญ่ขึ้นหรือเล็กลง
7. อธิบายสัญลักษณ์วิทยาศาสตร์และเขียนจำนวนหรือปริมาณในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์
8. อธิบายความสำคัญของการเลือกใช้เครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด
9. บอกได้ว่าธรรมชาติของการวัดมีความคลาดเคลื่อนเสมอ ขึ้นกับเครื่องมือวัด วิธีการวัด และประสบการณ์ของผู้วัด รวมทั้งสภาพแวดล้อม
10. อธิบายความหมายและบอกเลขนัยสำคัญของจำนวนหรือปริมาณจากการวัดได้
11. บันทึกผลการวัดปริมาณได้อย่างเหมาะสมประกอบด้วยค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดและค่าประมาณ
12. บันทึกปริมาณและจำนวนในรูปแบบสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ที่มีเลขนัยสำคัญตามที่กำหนดได้
13. บันทึกผลการคำนวณจากการบวก ลบ คูณและหาร จำนวนหรือปริมาณที่มีเลขนัยสำคัญต่างกัน

1.3 การทดลองทางฟิสิกส์

14. บอกความสำคัญของการทดลองและรายงานผลการทดลอง
15. บันทึกผลการวัดโดยใช้ค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย
16. อธิบายความสำคัญของการสมการเชิงเส้น และสามารถจัดการสมการที่ไม่อยู่ในรูปเชิงเส้นให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น พร้อมทั้งเขียนกราฟและหาค่าของปริมาณจากกราฟเส้นตรงได้



ความรู้ก่อนเรียน

วิทยาศาสตร์แขนงต่าง ๆ ปริมาณและหน่วยการวัด การบันทึกผลการวัด

ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น กลางวันกลางคืน ไฟแลบ พายุ รุ้ง สุริยุปราคา จันทรุปราคา พระอาทิตย์ทรงกลด การเปลี่ยนตำแหน่งของดวงดาวบนท้องฟ้า เป็นต้น เป็นสิ่งที่มนุษย์ให้ความสนใจและพยายามอธิบายการเกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติดังกล่าวมาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยในอดีต มนุษย์เชื่อว่าปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติเหล่านี้ เกิดขึ้นจากการกระทำของเทพเจ้า หรือภูติผีปีศาจ ดังตัวอย่างจากนิยายปรัมปราของแต่ละชาติ ความพยายามที่จะเข้าใจสิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติทำให้มนุษย์พัฒนาระบบความคิดอย่างมีเหตุผลและสร้างเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการศึกษามาวิเคราะห์หรือสร้างแบบจำลองทางความคิดเพื่อสรุปเป็นแนวคิด ทฤษฎี หลักการ หรือกฎในการอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ



ชวนคิด

ในสมัยโบราณ คนไทยมีการสร้างเรื่องราวเกี่ยวกับกระทำของเทพเจ้า หรือภูติผีปีศาจ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติต่าง ๆ เช่น พายุ รุ้ง ไฟผ่า แผ่นดินไหว และจันทรุปราคา อย่างไร

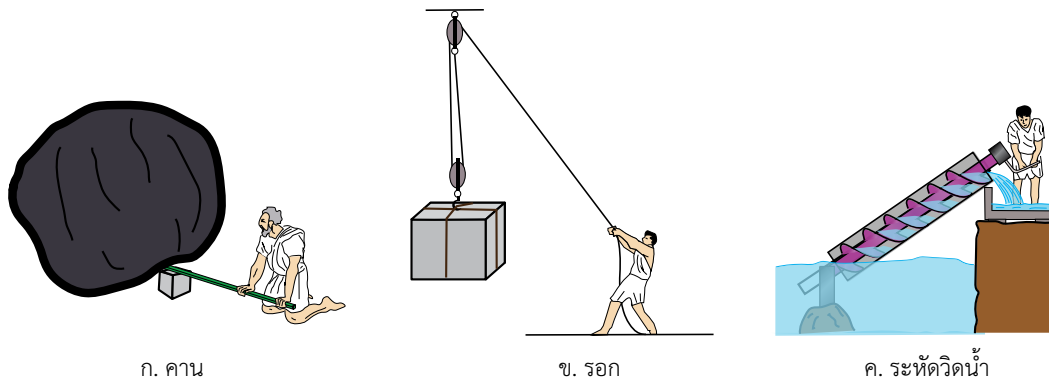
ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ศึกษาค้นคว้าเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ในธรรมชาติ เช่น เหตุใดวัตถุจึงตกสู่พื้นโลก สสารเปลี่ยนสถานะได้อย่างไร รุ้งเกิดขึ้นได้อย่างไร เหตุใดดวงอาทิตย์จึงมีสีแดงเมื่อจะลับขอบฟ้า เป็นต้น แนวคิด ทฤษฎี หลักการหรือกฎทางฟิสิกส์ มีการพัฒนาสะสมกันมานานหลายศตวรรษ จำแนกได้เป็นสาขาต่าง ๆ เช่น กลศาสตร์ คลื่น เสียง แสง ไฟฟ้าและแม่เหล็ก ความร้อน ฟิสิกส์อะตอม ฟิสิกส์นิวเคลียร์ และฟิสิกส์อนุภาค ความรู้ทางฟิสิกส์นำไปสู่ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสสาร พลังงาน อันตรกิริยาระหว่างสสารกับพลังงาน และแรงพื้นฐานในธรรมชาติ ซึ่งจะได้ศึกษาในบทต่อ ๆ ไป ส่วนการศึกษา

ในบทนี้ จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติทางฟิสิกส์ การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ ประวัติความเป็นมา และพัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และพัฒนาการทางเทคโนโลยี นอกจากนี้จะได้ศึกษาเกี่ยวกับการวัดและการบันทึกผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ รวมทั้งการทดลองทางฟิสิกส์

1.1 ธรรมชาติทางฟิสิกส์

ความต้องการในการแสวงหาความรู้เพื่อความเข้าใจธรรมชาติด้วยเหตุผลมากกว่าความเชื่อปรากฏการณ์ธรรมชาติเกิดจากการกระทำของเทพเจ้าหรือภูติผีปีศาจ นำไปสู่การศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติด้วยเหตุและผล โดยในยุครีกโบราณ เรียกการศึกษาหาความรู้ทางด้านนี้ว่า **ปรัชญาธรรมชาติ (natural philosophy)** ซึ่งต่อมาเรียกว่า **วิทยาศาสตร์ (science)** โดยแขนงหนึ่งของวิชานี้ คือ **ฟิสิกส์ (physics)** ที่มาจากคำในภาษากรีกซึ่งมีความหมายว่า ธรรมชาติ

ฟิสิกส์ในยุคแรก ๆ นั้น ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติที่สัมพันธ์กับการดำรงชีวิต เช่น การเปลี่ยนแปลงของฤดูเพื่อใช้เตรียมการเพาะปลูก การเคลื่อนที่ของดวงดาวเพื่อใช้บอกทิศสำหรับการเดินทางเพื่อสำรวจสถานที่ใหม่ ๆ หรือขยายอาณาเขต การผ่อนแรงเพื่อใช้ในการขนย้ายสิ่งของและการก่อสร้าง เป็นต้น



รูป 1.1 เครื่องผ่อนแรงแบบต่าง ๆ

ในการหาคำอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ในธรรมชาติ นักฟิสิกส์จึงให้ความสำคัญเกี่ยวกับการทำการทดลองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผลจนได้มาซึ่งคำอธิบายที่มีเหตุผลและมีหลักฐานเชิงประจักษ์ เป็นผลให้มีการสร้างและพัฒนาเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับการสังเกต และเก็บรวบรวมข้อมูล เช่น กล้องโทรทรรศน์เพื่อใช้ในการสังเกตดวงดาวของกาลิเลโอ (Galileo) บารอมิเตอร์เพื่อวัดความดันบรรยากาศของทอร์ริเซลลี (Torricelli) แคลอริมิเตอร์เพื่อวัดพลังงานความร้อนโดยลาวัชีเออร์ (Lavoisier) และลาปลาซ (Laplace)

การศึกษาทางฟิสิกส์ทำให้เกิดการสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นนวัตกรรมใหม่ ๆ เพื่อให้การดำรงชีวิตดียิ่งขึ้นนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมที่สำคัญในอดีต เช่น ความรู้เกี่ยวกับความร้อน นำสู่การพัฒนาเครื่องจักรไอน้ำที่ทำให้เกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรมที่เปลี่ยนระบบการผลิตสินค้าจากแรงงานมนุษย์เป็นเครื่องจักรกลที่สามารถผลิตสินค้าได้ปริมาณมากในเวลาทีน้อยลง นอกจากนี้ การศึกษาปรากฏการณ์ธรรมชาติทางฟิสิกส์ทำให้เกิดการค้นพบแนวคิดและสิ่งใหม่ ๆ เช่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กัมมันตภาพรังสี ปฏิกิริยานิวเคลียร์ และอนุภาคมูลฐาน นำมาซึ่งการสร้างและพัฒนาเทคโนโลยีในการดำรงชีวิตปัจจุบัน

ในหัวข้อต่อไปนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ การพัฒนาของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์ และผลของพัฒนาการทางฟิสิกส์ที่มีต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยี

1.1.1. การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์

การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ อาจกล่าวได้ว่า มี 2 แนวทาง ได้แก่

แนวทางที่ 1 การสังเกต การทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อสรุปเป็นแนวคิดหลักการ หรือกฎ เช่น การสังเกตและบันทึกข้อมูลของบราห์ (Brahe) เกี่ยวกับตำแหน่งต่าง ๆ ของดาวเคราะห์ ทำให้เคปเลอร์ (Kepler) นำข้อมูลนั้นมาสรุปได้เป็นกฎการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ เรียกว่า กฎของเคปเลอร์ ซึ่งสามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้อง การทดลองของคูลอมบ์ (Coulomb) เกี่ยวกับแรงระหว่างประจุไฟฟ้าโดยนำข้อมูลจากการทดลองมาวิเคราะห์สรุปได้เป็นกฎที่เรียกว่า กฎของคูลอมบ์ ที่สามารถนำไปใช้คำนวณหาขนาดของแรงระหว่างประจุไฟฟ้าได้

แนวทางที่ 2 การสร้างแบบจำลองทางความคิดเพื่อสรุปเป็นทฤษฎีที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ รวมทั้งทำนายสิ่งที่จะเกิดขึ้น เช่น แมกซ์เวลล์ (Maxwell) ได้นำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็กมาสรุปเป็นสมการของแมกซ์เวลล์นำไปสร้างแบบจำลองทางความคิด เสนอเป็นทฤษฎีที่เรียกว่า ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ ซึ่งนำไปใช้อธิบายว่า แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และทำนายว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีสมบัติอย่างไร ทั้งนี้ ทฤษฎี คำอธิบาย และคำทำนายดังกล่าวถูกสร้างขึ้นโดยยังไม่มี การทดลองใด ๆ มาสนับสนุน จนกระทั่งในเวลาต่อมาเฮิร์ตซ์ (Hertz) ได้สร้างอุปกรณ์ส่งและรับ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นการยืนยันความถูกต้องของทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ รวมทั้งได้ทำการทดลองแสดงให้เห็นว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วแสง และแสงเป็น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามแนวคิดของแมกซ์เวลล์

จากคำกล่าวข้างต้น จึงกล่าวได้ว่า การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ได้มาจากการสังเกต การทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์หรือจากการสร้างแบบจำลองทางความคิด เพื่อสรุปเป็น ทฤษฎี หลักการหรือกฎ ความรู้เหล่านี้สามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติหรือทำนายสิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งกระบวนการค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ดังกล่าว ไม่ได้เกิดขึ้นจากการสังเกตและ บันทึกข้อมูลของนักฟิสิกส์เพียงคนเดียว แต่เป็นการสรุปข้อมูลสะสมไว้เป็นจำนวนมากตั้งแต่ในอดีต ถึงปัจจุบัน พัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์เป็นมาอย่างไร ศึกษาได้จากหัวข้อถัดไป

1.1.2. พัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์

พัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์มีพื้นฐานจากการสะสมข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การทดลองตั้งแต่ในอดีตถึงปัจจุบัน ซึ่งในบางครั้งได้นำข้อมูลเหล่านั้นมาพิจารณาเพิ่มเติมจากการพัฒนาเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น หรือนำมาตีความหมายใหม่ จากมุมมองที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการพัฒนาทฤษฎี หลักการ หรือกฎขึ้นมาใหม่ ทำให้ได้คำอธิบายที่เป็นความรู้ใหม่

ในบางครั้ง นักฟิสิกส์จำเป็นที่จะต้องเผชิญกับแรงกดดันจากสังคมในการนำเสนอแนวคิดใหม่ ที่ขัดแย้งกับความเชื่อเดิมของคนส่วนใหญ่ในสังคม ดังเช่นในกรณีการพัฒนาแนวคิดที่ได้แย้งกับความเชื่อดั้งเดิมที่คนส่วนใหญ่ในยุคนั้นเชื่อว่า โลกเป็นศูนย์กลางของเอกภพที่มีดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์และดาวเคราะห์อื่น ๆ โคจรรอบโลก ทำให้กาลิเลโอ หนึ่งในนักวิทยาศาสตร์ที่พยายามพิสูจน์ว่า โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ ถูกคัดค้านและต่อต้านจากกลุ่มคนที่ไม่เห็นด้วย และห้ามเผยแพร่เอกสารทั้งหมดที่เขาเขียนขึ้นก่อนหน้านี้ จนเมื่อเวลาผ่านไป มีนักฟิสิกส์หลาย ๆ คน ได้ค้นพบและเผยแพร่ข้อมูลที่สนับสนุนแนวคิดดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น จนทำให้ในปัจจุบัน คนในสังคมส่วนใหญ่มองรับว่า แนวคิดเรื่องโลกเป็นศูนย์กลางของเอกภพนั้นเป็นความเชื่อที่ไม่ถูกต้อง

รู้หรือไม่

ตั้งแต่สมัยโบราณ คนส่วนใหญ่มีความเชื่อตามแนวคิดของปโตเลมี (Ptolemy) ว่า โลกเป็นศูนย์กลางของเอกภพโดยมีดาวอื่น ๆ โคจรรอบโลก เรียกว่า **ระบบโลกเป็นศูนย์กลาง (geocentric system)** จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1543 หรือ พ.ศ. 2086 โคเปอร์นิคัส (Copernicus) ได้เสนอแนวคิดใหม่จากการสังเกตและการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ว่าดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางที่มีโลกและดาวเคราะห์อื่น ๆ โคจรโดยรอบ เรียกว่า **ระบบดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลาง (heliocentric system)** ซึ่งต่อมาได้พิสูจน์โดยการสร้างกฎเพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ของเคปเลอร์และการสังเกตผ่านกล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอ

นอกจากกาลิเลโอจะการใช้การสังเกตและการทดลองในการหาความรู้ใหม่แล้ว เขายังได้นำคณิตศาสตร์มาใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แนวตรงและการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

จากแนวคิดเกี่ยวกับการเคลื่อนที่และแรง การใช้คณิตศาสตร์ของกาลิเลโอดังกล่าว ได้กลายมาเป็นพื้นฐานที่สำคัญให้นิวตัน (Newton) นำไปใช้ในการพัฒนาความรู้ทางฟิสิกส์สาขากลศาสตร์ เสนอเป็นกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน นอกจากนี้ นิวตันได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วง เพื่ออธิบายเหตุผล

เกี่ยวกับการโคจรของโลกและดาวเคราะห์อื่น ๆ รอบดวงอาทิตย์ที่เป็นไปตามกฎของเคปเลอร์ ปัจจุบันถือว่า**แรงโน้มถ่วง (gravitational force)** เป็นหนึ่งในแรงพื้นฐานในธรรมชาติ

จากที่กล่าวข้างต้น เป็นตัวอย่างพัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์สาขากลศาสตร์สำหรับสาขาอื่น ๆ ก็มีพัฒนาการเช่นกัน และการได้มาซึ่งความรู้ส่วนใหญ่สอดคล้องกับแนวทางที่ได้กล่าวในหัวข้อ 1.1.1 เช่นกัน ทั้งจากการสังเกต การทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อสรุปเป็นแนวคิด หลักการ หรือกฎ และจากแบบจำลองทางความคิดเพื่อสรุปเป็นทฤษฎีที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ รวมทั้งทำนายสิ่งที่อาจจะเกิดขึ้น ในที่นี้จะกล่าวเป็นตัวอย่างพัฒนาการอีก 2 สาขา ดังต่อไปนี้

ด้านความร้อน หลังจากมีผู้ประดิษฐ์เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิแล้ว จึงมีการนำมาใช้หาความรู้ใหม่เกี่ยวกับด้านความร้อน รวมทั้งความพยายามที่จะพัฒนาเครื่องจักรความร้อนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้มีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับความร้อนและพฤติกรรมของแก๊สที่ได้รับพลังงานความร้อนเพิ่มมากขึ้น เกิดการสร้างแนวคิดเกี่ยวกับความร้อนแฝงและความจุความร้อนเพื่อคำนวณหาปริมาณความร้อน รวมทั้งการทดลองเกี่ยวกับแก๊สในภาชนะปิด ซึ่งจากการค้นพบของนักฟิสิกส์ต่าง ๆ เช่น บอยล์ (Boyle) ชาร์ล (Charles) และเกย์-ลุสแซก (Gay-Lussac) ทำให้ได้กฎของแก๊สอุดมคติที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ปริมาตร อุณหภูมิ และจำนวนโมเลกุลของแก๊สอุดมคติได้ ส่วนความเชื่อในอดีตที่ว่า ความร้อนเป็นของไหล ได้มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการทดลองของทอมป์สัน (Benjamin Thompson) และสรุปได้ว่า ความร้อนเป็นพลังงาน พัฒนาไปสู่แนวคิดอุณหภูมิลัมบอร์นที่เสนอโดยเคลวิน (Kelvin) และกฎอุณหพลศาสตร์ เป็นพื้นฐานนำไปอธิบายหลักการและแนวคิดต่าง ๆ ทางความร้อน เช่น ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊ส

ด้านไฟฟ้าและแม่เหล็ก ในอดีตนั้น การศึกษาเรื่องไฟฟ้าและแม่เหล็กถือเป็นเรื่องที่ไม่เกี่ยวข้องกัน จนกระทั่ง โวลตา (Volta) สามารถประดิษฐ์แบตเตอรี่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสได้สำเร็จ ทำให้เออร์สเตด (Oersted) นำไปใช้ในการทดลองและค้นพบโดยบังเอิญว่า เข็มทิศเกิดการเบนไปจากเดิมขณะ



ความรู้เพิ่มเติม

กาลิเลโอ กาลิเลอี
(Galileo Galilei)

ค.ศ. 1564 - 1642

หรือ พ.ศ. 2107

- 2185) ชาวอิตาลี



รูป กาลิเลโอ กาลิเลอี

ผู้เสนอแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการสังเกต การทดลอง และการพิสูจน์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ส่งผลต่อการพัฒนาความรู้แขนงต่าง ๆ ทั้งทางด้านฟิสิกส์และดาราศาสตร์ เช่น การค้นพบว่าวัตถุที่ตกแบบเสรีจากระดับความสูงเดียวกัน จะตกถึงพื้นพร้อมกันโดยไม่ขึ้นกับมวลของวัตถุ หรือการประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์เพื่อส่องดูวัตถุบนท้องฟ้า พบดวงจันทร์ของดาวพฤหัสบดีจำนวน 4 ดวง นำมาสู่แนวคิดที่ว่าโลกไม่ใช่ศูนย์กลางของจักรวาล แต่โลกและดาวเคราะห์อื่น ๆ ต่างโคจรรอบดวงอาทิตย์

อยู่ใกล้เส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้า เป็นการพบวิธีใช้กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ชักนำให้ฟาราเดย์ (Faraday) เกิดความคิดหาวิธีทดลองการใช้สนามแม่เหล็กทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า สร้างความรู้ใหม่เกี่ยวกับการเกิดอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำจากการทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงผ่านขดลวด ซึ่งต่อมาความรู้นี้ได้รับการยอมรับให้เป็นกฎ เรียกว่า กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ นอกจากนี้ ยังได้มีการทดลองอีกมากมายที่ยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าและแม่เหล็ก เกิดความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นเป็นพื้นฐานให้แมกซ์เวลล์ได้นำมาใช้ในการสร้างสมการของแมกซ์เวลล์ที่อธิบายการเกิดสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ารวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ซึ่งใช้ในการแสดงในเชิงทฤษฎีว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ถือว่าเป็นการรวมกันของความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้า แม่เหล็ก และแสง นำไปสู่แนวคิดเกี่ยวกับแรงพื้นฐานในธรรมชาติอีกหนึ่งแรง คือ **แรงแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic force)**

ปัจจุบัน นักฟิสิกส์ได้พัฒนาความรู้โดยต่อยอดจากความรู้เดิมไปไกลมากจนยากที่จะจินตนาการได้ เช่น การคิดค้นสมการเพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีความเร็วมาก ๆ ใกล้เคียงความเร็วแสง ซึ่งจะทำให้วัตถุนั้นมีขนาดที่แตกต่างจากในขณะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่อย ๆ การสร้างเครื่องเร่งอนุภาคพลังงานสูงเพื่อศึกษาผลที่เกิดจากการชนกันของอนุภาคและหาคำตอบว่า ภายในอนุภาคมีส่วนประกอบของอะไรบ้าง เป็นที่มาของการค้นพบว่าภายในโปรตอนและนิวตรอนประกอบด้วยอนุภาคมูลฐานคือ ควาร์ก และยังมีมีการค้นพบอนุภาคมูลฐานอื่น ๆ อีก เช่น มิวออน นิวตริโน และฮิกส์โบซอน รวมทั้งค้นพบคลื่นความโน้มถ่วง นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาทฤษฎีเกี่ยวกับอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคจนพบว่า มีแรงพื้นฐานในธรรมชาติที่ใช้อธิบายการรวมหรือการสลายของอนุภาคในนิวเคลียสอีก 2 แรง ได้แก่ **แรงเข้ม (strong force)** และ **แรงอ่อน (weak force)**

การค้นพบและการพัฒนาความรู้ใหม่ ๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นมีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ ๆ เพื่อตอบคำถามที่ในอดีตและปัจจุบันยังไม่สามารถให้คำตอบได้ การพัฒนากายทางฟิสิกส์มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และการพัฒนาทางเทคโนโลยีอย่างไร จะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

1.1.3. ผลของพัฒนากายทางฟิสิกส์ที่มีต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยี

พัฒนากายทางฟิสิกส์ นอกจากมีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ ยังมีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ๆ และการพัฒนาเทคโนโลยี ดังตัวอย่างต่อไปนี้

เคมี ส่วนหนึ่งของความรู้เคมีเกี่ยวกับโครงสร้างอะตอม พันธะเคมี อาศัยพื้นฐานจากฟิสิกส์อะตอมและฟิสิกส์นิวเคลียร์ นอกจากนี้เทคนิคและเครื่องมือต่าง ๆ ที่พัฒนาความรู้ทางฟิสิกส์ยังนำมาใช้ศึกษาทางเคมีด้วย เช่น การใช้รังสีเอกซ์หาเลขอะตอมของธาตุ การใช้แมสสเปกโตรกราฟีหาไอโซโทปของธาตุ การใช้สเปกโตรมิเตอร์วิเคราะห์ธาตุ รวมทั้งใช้ความรู้ทางฟิสิกส์สร้างเครื่องวัดความนำไฟฟ้าของสารละลาย เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส เป็นต้น

ชีววิทยา ส่วนหนึ่งของความรู้ชีววิทยา อาศัยความรู้ฟิสิกส์ในการศึกษา เช่น ปรากฏการณ์การเคลื่อนย้ายประจุในระดับเซลล์ การถ่ายโอนพลังงาน การลำเลียงน้ำในต้นไม้ การสังเคราะห์ด้วยแสงในส่วนของการมีอิมัลชันการใช้ความรู้ทางฟิสิกส์สร้างเครื่องมือต่าง ๆ เพื่อใช้ศึกษาในทางชีววิทยา เช่น

กล้องจุลทรรศน์ ทั้งกรณีกล้องจุลทรรศน์แสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เครื่องควบคุมแสงสว่าง เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น

เทคโนโลยีด้านพลังงาน เริ่มจากใช้ความรู้ฟิสิกส์สาขากลศาสตร์และความร้อน ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรไอน้ำ พัฒนาการสู่การประดิษฐ์เครื่องจักรสันดาปภายใน พัฒนาต่อมาเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีน เครื่องยนต์ดีเซล เครื่องจักรกังหันไอน้ำ พื้นฐานการใช้ความรู้ฟิสิกส์สาขาไฟฟ้าและแม่เหล็ก นำไปสู่การประดิษฐ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า รวมทั้งสิ่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหรือการใช้พลังงานไฟฟ้าในลักษณะต่าง ๆ ตามมามากมาย การใช้ความรู้ฟิสิกส์เป็นพื้นฐานในการสร้างอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานต่าง ๆ อย่างที่ปรากฏในปัจจุบัน เช่น กังหันน้ำและกังหันลมที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เซลล์เชื้อเพลิง เซลล์สุริยะ และเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เป็นต้น

เทคโนโลยีด้านสื่อสารโทรคมนาคม มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นเป็นลำดับโดยเริ่มจากการใช้ความรู้ฟิสิกส์สาขาไฟฟ้าแม่เหล็กประดิษฐ์อุปกรณ์สื่อสารระบบโทรเลข ใช้รับส่งข่าวสารในรูปของสัญญาณไฟฟ้าผ่านเส้นลวด ต่อมาพัฒนาเป็นโทรศัพท์ซึ่งมีพื้นฐานมาจากความรู้ฟิสิกส์เกี่ยวกับการเกิดเสียงและการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดการส่งสัญญาณเสียงไปตามสายโทรศัพท์ หลังจากมีการสร้างอุปกรณ์ส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้สำเร็จ จึงได้มีการประดิษฐ์และพัฒนาเครื่องมือสื่อสารในรูปคลื่นวิทยุ ทำให้เกิดการค้นพบความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์เพิ่มขึ้นจนแยกได้เป็นอีกสาขาหนึ่งได้แก่ อิเล็กทรอนิกส์ ความรู้จากฟิสิกส์สาขานี้ ได้ใช้เป็นพื้นฐานในการประดิษฐ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์หลายชนิด เช่น หลอดสุญญากาศ สารกึ่งตัวนำ ทรานซิสเตอร์ ไอซี ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งนำไปใช้ในการสร้างอุปกรณ์สื่อสารที่สามารถส่งสัญญาณเสียงและภาพไปพร้อมกับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น โทรศัพท์ไร้สาย โทรศัพท์มือถือ นอกจากนี้ความรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ยังนำไปใช้ในการสร้างและพัฒนาเครื่องวัดและเครื่องควบคุมต่าง ๆ รวมทั้งคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์

จากตัวอย่างดังที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่า พัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยี และจากการศึกษาในหัวข้อ 1.1.2 เราได้ทราบแล้วว่า พัฒนาการของหลักการและแนวคิดฟิสิกส์เกี่ยวข้องกับการทดลอง รวมทั้งกระบวนการวัดด้วยเครื่องมือหรือเครื่องวัดต่าง ๆ ซึ่งในปัจจุบันมีความก้าวหน้าถึงระดับนำคอมพิวเตอร์มาใช้ประกอบกับเครื่องวัดและเครื่องควบคุมต่าง ๆ ในการค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ นั่นคือ ฟิสิกส์ยังมีการพัฒนาต่อไปควบคู่กับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี



ในปัจจุบัน นักฟิสิกส์เชื่อว่า แรงพื้นฐานในธรรมชาติ เป็นแรงที่ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางธรรมชาติได้ มีทั้งหมดกี่แรง ประกอบด้วยแรงอะไรบ้าง



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 1.1

1. มนุษย์พัฒนาความรู้ของตนเองด้วยวิธีการใดเพื่อให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติได้
2. เราสามารถนำความรู้ทางฟิสิกส์ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันอย่างไรบ้าง
3. ความรู้ทางฟิสิกส์ก่อให้เกิดการพัฒนาทางเทคโนโลยีด้านใดบ้าง

1.2 การวัดและการบันทึกผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์

ปริมาณทางฟิสิกส์เป็นปริมาณที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือโดยตรงหรือโดยอ้อม เป็นปริมาณที่มีความหมายเฉพาะเจาะจงอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น ปริมาตร มวล น้ำหนัก แรง ความเร็ว ความดัน กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ อุณหภูมิ เป็นต้น ปริมาณเหล่านี้นอกจากจะมีการระบุตัวเลขเพื่อบอกปริมาณแล้วยังจำเป็นที่จะต้องบอกหน่วยกำกับจึงจะมีความหมายชัดเจน เช่น ปริมาตร นอกจากจะระบุในหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร ลูกบาศก์เมตร หรือลูกบาศก์ฟุต ยังสามารถใช้หน่วย ลิตร ถัง หรือแกลลอน อีกด้วย เพื่อให้การใช้หน่วยเป็นมาตรฐานเดียวกันทั่วโลกโดยเฉพาะในวงการวิทยาศาสตร์ จึงมีการกำหนดระบบหน่วยมาตรฐานที่เรียกว่า **ระบบหน่วยระหว่างชาติ** (The International System of Units) หรือ **ระบบเอสไอ** (SI) ให้ทุกประเทศใช้เป็นมาตรฐาน



ความรู้เพิ่มเติม

SI เป็นตัวย่อของ Le Système international d'unités ซึ่งเป็นภาษาฝรั่งเศส



1.2.1 ระบบหน่วยระหว่างชาติ

ระบบเอสไอประกอบด้วยหน่วยฐาน (base units) และหน่วยอนุพัทธ์ (derived units) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

หน่วยฐาน

หน่วยฐานเป็นหน่วยที่ถูกกำหนดขึ้นมาเป็นหน่วยหลักในการใช้วัดปริมาณฐาน มีทั้งหมด 7 หน่วย ดังตาราง 1.1

ตาราง 1.1 ชื่อและสัญลักษณ์ของหน่วยฐาน

ปริมาณฐาน (base quantities)	ชื่อหน่วย (units)	สัญลักษณ์ (symbol)
length ความยาว	meter เมตร	m
mass มวล	kilogram กิโลกรัม	kg
time เวลา	second วินาที	s
electric current กระแสไฟฟ้า	ampere แอมแปร์	A
thermodynamic temperature อุณหภูมิอุณหพลวัต	kelvin เคลวิน	K
amount of substance ปริมาณของสาร	mole โมล	mol
luminous intensity ความเข้มของการส่องสว่าง	candela แคนเดลา	cd

หน่วยอนุพัทธ์

หน่วยอนุพัทธ์เป็นหน่วยที่ประกอบด้วยหน่วยฐาน ซึ่งได้จากการคำนวณตามความสัมพันธ์ของปริมาณฐานที่เกี่ยวข้อง เช่น แรงคือผลคูณของมวล (kg) กับความเร่ง (m/s^2) หน่วยจึงมีหน่วยเป็น กิโลกรัม เมตรต่อวินาที² หรือ kg m/s^2 ให้ชื่อว่า นิวตัน (newton, N) ซึ่งเป็นชื่อที่ให้เกียรติกับ เซอร์ ไอแซก นิวตัน สังเกตว่าเมื่อนำชื่อนักวิทยาศาสตร์มาเป็นหน่วย การเขียนชื่อหน่วยในภาษาอังกฤษใช้ตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด แต่สัญลักษณ์ย่อของหน่วยใช้ตัวพิมพ์ใหญ่ คือ N สำหรับหน่วยของพลังงานให้ใช้หน่วย ชื่อ จูล (joule, J) ซึ่งเป็นชื่อนักวิทยาศาสตร์เช่นกัน หน่วยจูลเทียบเท่ากับ นิวตัน เมตร (Nm) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยฐาน คือ กิโลกรัม เมตร²ต่อวินาที² หรือ $\text{kg m}^2/\text{s}^2$

นอกจากนี้ ระบบเอสไอยังได้กำหนดคำนำหน้าหน่วย (prefix) เพื่อให้หน่วยที่ใช้เล็กลงหรือใหญ่ขึ้น มีผลให้เขียนปริมาณที่มีค่ามาก ๆ หรือค่าน้อย ๆ ได้กะทัดรัด เกิดความสะดวกและรวดเร็ว คำนำหน้าหน่วยที่ถูกใช้บ่อยแสดงดังตาราง 1.2

ตาราง 1.2 คำนำหน้าหน่วย

คำนำหน้าหน่วย	ชื่อภาษาไทย	สัญลักษณ์ย่อ	ตัวคูณที่เทียบเท่า
pico-	พิโก	p	10^{-12}
nano-	นาโน	n	10^{-9}
micro-	ไมโคร	μ	10^{-6}
milli-	มิลลิ	m	10^{-3}
centi-	เซนติ	c	10^{-2}
deci-	เดซิ	d	10^{-1}
kilo-	กิโล	k	10^3
mega-	เมกะ	M	10^6
giga-	จิกะ	G	10^9
tera-	เทระ	T	10^{12}

ตัวอย่างการใช้คำนำหน้าหน่วยกับหน่วย เช่น ความยาวคลื่นของแสง เท่ากับ 0.000000620 เมตร หรือ 620×10^{-9} เมตร เขียนใหม่ได้สั้น ๆ เป็น 620 นาโนเมตร (nanometer, nm) ระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่บนถนน เท่ากับ 94000 เมตร หรือ 94×10^3 เมตร เขียนใหม่เป็น 94 กิโลเมตร (kilometer, km) เป็นต้น

รายละเอียดเพิ่มเติมสำหรับหน่วยในระบบเอสไอและหน่วยอื่นปรากฏอยู่ในภาคผนวก ข

ตัวอย่าง 1.1 จงแปลงหน่วยของปริมาณต่อไปนี้

- ก. รัศมีของนิวเคลียสของทองคำมีค่าประมาณ 7.0×10^{-15} เมตร (m) ให้เป็นนาโนเมตร (nm)
 ข. กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าขนาด 5.4×10^8 วัตต์ (W) ให้เป็นเมกะวัตต์ (MW)
 ค. พื้นที่ผิวทรงกลมขนาด 1.75×10^2 ตารางมิลลิเมตร (mm^2) ให้เป็นตารางเมตร (m^2)
 ง. มวลของวัตถุขนาด 74000 มิลลิกรัม (mg) ให้เป็นกิโลกรัม (kg)

ก. แนวคิด แปลงหน่วยรัศมีของนิวเคลียสของทองคำจาก เมตร เป็น นาโนเมตร

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

วิธีทำ รัศมีของนิวเคลียสของทองคำ = $7.0 \times 10^{-15} \text{ m}$

$$= 7.0 \times 10^{-15} \times 10^9 \text{ nm}$$

$$= 7.0 \times 10^{(-15+9)} \text{ nm}$$

$$= 7.0 \times 10^{-6} \text{ nm}$$

ตอบ รัศมีของนิวเคลียสทองคำเท่ากับ 7.0×10^{-6} นาโนเมตร

ข. แนวคิด แปลงกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าจาก วัตต์ เป็น เมกะวัตต์

$$\text{จาก } 1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W} \text{ ดังนั้น } 1 \text{ W} = 10^{-6} \text{ MW}$$

วิธีทำ กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า = $5.4 \times 10^8 \text{ W}$

$$= 5.4 \times 10^8 \times 10^{-6} \text{ MW}$$

$$= 5.4 \times 10^{(8-6)} \text{ MW}$$

$$= 5.4 \times 10^2 \text{ MW}$$

ตอบ กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าเท่ากับ 5.4×10^2 เมกะวัตต์ หรือ 540 เมกะวัตต์

ค. แนวคิด แปลงพื้นที่ผิวทรงกลมจาก ตารางมิลลิเมตร เป็น ตารางเมตร

$$\text{จาก } 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m} \text{ ดังนั้น } 1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2$$

วิธีทำ พื้นที่ผิวทรงกลม = $1.75 \times 10^2 \text{ mm}^2$

$$= 1.75 \times 10^2 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$= 1.75 \times 10^{(2-6)} \text{ m}^2$$

$$= 1.75 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

ตอบ พื้นที่ผิวทรงกลมเท่ากับ 1.75×10^{-4} ตารางเมตร

ง. **แนวคิด** แปลงมวลของวัตถุจาก มิลลิกรัม เป็น กิโลกรัม

มีค่านำหน้าหน่วยทั้งสองกรณี จึงต้องแปลงจากมิลลิกรัมให้เป็นกรัมก่อน
หลังจากนั้นจึงแปลงจากกรัมให้เป็นกิโลกรัม

จาก $1 \text{ mg} = 10^{-3} \text{ g}$ และ $1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}$

ดังนั้น $1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$

วิธีทำ

$$\begin{aligned}\text{มวลของวัตถุ} &= 74000 \text{ mg} \\ &= 7.4 \times 10^4 \text{ mg} \\ &= 7.4 \times 10^4 \times 10^{-3} \text{ g} \\ &= 7.4 \times 10^4 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \text{ kg} \\ &= 7.4 \times 10^{(4-3-3)} \text{ kg} \\ &= 7.4 \times 10^{-2} \text{ kg}\end{aligned}$$

ตอบ มวลของวัตถุเท่ากับ 7.4×10^{-2} กิโลกรัม

1.2.2 สัญกรณ์วิทยาศาสตร์

ในบางครั้ง ปริมาณทางฟิสิกส์อาจมีค่ามากหรือน้อยกว่าหนึ่งมาก ๆ ปริมาณที่มีตัวเลขหลายตัว จะเกิดความยุ่งยากในการนำไปใช้งาน จึงนิยมเขียนตัวเลขในรูปการคูณของเลขยกกำลังที่มีฐานเป็นสิบและ เลขชี้กำลังเป็นจำนวนเต็ม มีรูปทั่วไปคือ $A \times 10^n$ เมื่อ $1 \leq A < 10$ และ n เป็นจำนวนเต็ม การเขียนปริมาณ แบบนี้เรียกว่า **สัญกรณ์วิทยาศาสตร์** (scientific notation) เช่น อัตราเร็วแสงมีค่าประมาณ 300000000 เมตรต่อวินาที เขียนได้เป็น 3.00×10^8 เมตรต่อวินาที รัศมีอะตอมของไฮโดรเจน เท่ากับ 0.00000000053 เมตร เขียนได้เป็น 5.3×10^{-11} เมตร

ตัวอย่าง 1.2 เขียนปริมาณต่อไปนี้ 14000 เมตร และ 0.0047 กิโลกรัม ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์

แนวคิด สัญกรณ์วิทยาศาสตร์เป็นการเขียนจำนวนให้อยู่ในรูปของจำนวนเต็มหนึ่งตำแหน่งตามด้วย เลขทศนิยม แล้วคูณด้วยเลขสิบยกกำลังบวกหรือลบ

วิธีทำ

เนื่องจาก $14000 \text{ m} = 1.4 \times 10000 \text{ m}$
ดังนั้น $14000 \text{ m} = 1.4 \times 10^4 \text{ m}$
และ $0.0047 \text{ kg} = 4.7 \times 0.001 \text{ kg}$
ดังนั้น $0.0047 \text{ kg} = 4.7 \times 10^{-3} \text{ kg}$

ตอบ 14000 เมตร เท่ากับ 1.4×10^4 เมตร และ 0.0047 กิโลกรัม เท่ากับ 4.7×10^{-3} กิโลกรัม

1.2.3 ความไม่แน่นอนในการวัด

การวัดปริมาณต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือวัดย่อมมีความแม่นยำอยู่ในช่วงจำกัด เพราะไม่มี เครื่องมือวัดใดที่สามารถวัดได้ละเอียดทุกช่วง เช่น หากเราใช้ไม้บรรทัดเพื่อวัดความยาวของดินสอ ก็นับว่า มีความเหมาะสมโดยมีความละเอียดหรือความแม่นยำในระดับมิลลิเมตร แต่หากจะใช้ไม้บรรทัดเพื่อวัดขนาด ของเส้นผม ก็นับว่าไม่เหมาะสมอย่างยิ่ง เนื่องจากเส้นผมมีขนาดเล็กกว่าความละเอียดสุดที่อ่านได้จาก ไม้บรรทัด ในกรณีนี้การใช้ไมโครมิเตอร์ซึ่งสามารถวัดได้ละเอียดถึงระดับ 0.01 มิลลิเมตร จะเหมาะสมกว่า นอกจากนี้ หากเราต้องการวัดความยาวของดินสอให้มีความละเอียดที่เล็กกว่ามิลลิเมตร ก็อาจใช้ เวอร์เนียแคลิเปอร์ซึ่งสามารถวัดได้ละเอียดถึงระดับ 0.1 มิลลิเมตร แทนไม้บรรทัด



รูป 1.2 เครื่องมือวัดความยาวแบบต่าง ๆ

ดังนั้น ในการวัดแต่ละครั้งควรเลือกใช้เครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัดเพื่อให้ค่า ที่ได้จากการวัดมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อยที่สุด โดยจะขึ้นอยู่กับเครื่องมือวัดและวิธีการที่ใช้วัด รวมทั้งขึ้นอยู่กับความสามารถและประสบการณ์ของผู้วัดด้วย

ในการวัดจะต้องมีการบันทึกผลของการวัด ซึ่งจะต้องบันทึกผลตามความละเอียดของเครื่องมือ วัดพร้อมแสดงความไม่แน่นอนในการวัด จะได้ศึกษาในหัวข้อ 1.2.4 และ 1.3.1

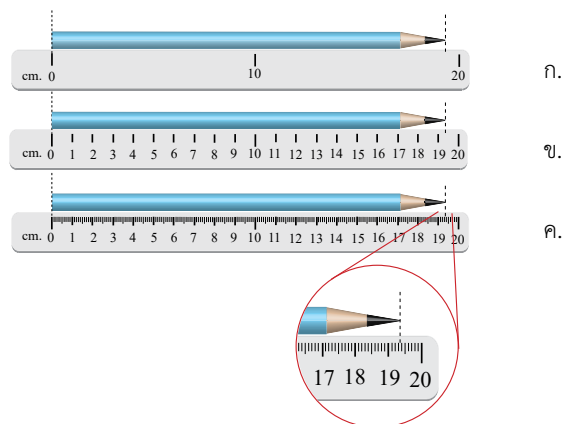
1.2.4 เลขนัยสำคัญ

เลขนัยสำคัญ (significant figures) คือตัวเลขที่ได้จากการวัด จำนวนเลขนัยสำคัญขึ้นกับ ความละเอียดของเครื่องมือวัดที่ใช้ เลขนัยสำคัญมีความสำคัญต่อปริมาณที่จะต้องนำมาคำนวณ เช่น วัดมวล แท่งโลหะแท่งหนึ่งได้ 0.012 กิโลกรัม ถือว่ามีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ซึ่งเท่ากับ 12 กรัม แต่ถ้าเขียน 0.0120 กิโลกรัม จะมีเลขนัยสำคัญถึง 3 ตัว เหมือนกับ 12.0 กรัม การเขียน 12 กรัม และ 12.0 กรัม จึงมีความหมายต่างกัน การเขียน 12.0 กรัม มักหมายถึงค่ามวลที่วัดได้ผิดพลาดไม่เกิน 0.05 กรัม แต่การเขียน 12 กรัม อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดจากการวัดได้ถึง 0.5 กรัม

หลักการนับจำนวนเลขนัยสำคัญ

- ตัวเลข 1-9 ให้นับทุกตัว เช่น 2156 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 ตัว 32.8672 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 6 ตัว
- เลข 0 มีวิธีการนับดังนี้
 - เลข 0 ที่อยู่หน้าตัวเลขอื่นไม่นับ เช่น 0.0003 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 1 ตัว 0.0047 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 2 ตัว
 - เลข 0 ที่อยู่ระหว่างตัวเลขอื่นให้นับทุกตัว เช่น 1003 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 ตัว 0.40807 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 5 ตัว
 - เลข 0 ที่อยู่หลังตัวเลขอื่นและที่เป็นเลขทศนิยมให้นับทุกตัว เช่น 0.000300 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 3 ตัว 14000.0 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 6 ตัว
 - เลข 0 ที่อยู่หลังตัวเลขอื่นที่เป็นจำนวนเต็ม อาจจะไม่นับหรือไม่นับขึ้นกับความละเอียดของเครื่องวัด ดังนั้นจึงควรเขียนแบบสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ เช่น ตัวเลข 14000 ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ให้เขียนเป็น 1.40×10^4 แต่ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ให้เขียนเป็น 1.4×10^4
- ค่าคงตัวทั้งหลาย เช่น π และเลข 2 ใน $2\pi R$ ไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ

ในการบันทึกข้อมูลจากการวัดด้วยจำนวนเลขนัยสำคัญที่เหมาะสมจะพิจารณาจากความละเอียดของสเกลเครื่องมือวัดโดยจะต้องแสดงค่าที่ได้จากการประมาณตามสเกลละเอียดสุดเพิ่มอีกหนึ่งตำแหน่งโดยการแบ่งสเกลละเอียดสุดออกเป็น 10 ส่วน แต่ในกรณีที่ไม่สามารถประมาณด้วยสายตาได้เนื่องจากสเกลละเอียดสุดมีขนาดเล็กให้ประมาณเป็นครึ่งหนึ่งหรือ 5 ใน 10 ส่วนของสเกลละเอียดสุด เช่น การบันทึกข้อมูลจากการวัดความยาวของดินสอโดยใช้ไม้บรรทัดที่มีความละเอียดแตกต่างกัน ดังรูป



รูป 1.3 การวัดความยาวของดินสอ

จากรูป ในกรณี 1.3 ก. ไม้บรรทัดมีการแบ่งช่องสเกลที่ความละเอียด 10 เซนติเมตร ค่าที่อ่านได้จากสเกลของเครื่องมือ คือ 10 เซนติเมตร และส่วนที่เกินประมาณค่าได้ 9 ใน 10 ส่วนของสเกลละเอียดสุด จึงได้ค่าจากการประมาณ 9 เซนติเมตร ดังนั้น จะอ่านค่าความยาวของดินสอได้ประมาณ 19 เซนติเมตร

ในกรณี 1.3 ข. ไม้บรรทัดมีการแบ่งช่องสเกลที่ความละเอียด 1 เซนติเมตร ค่าที่ได้จากการวัดตามสเกลของเครื่องมือ คือ 19 เซนติเมตร และส่วนที่เกินประมาณค่าได้ 4 ใน 10 ส่วนของสเกลละเอียดสุด จึงได้ค่าจากการประมาณ 0.4 เซนติเมตร ดังนั้น จะอ่านค่าความยาวของดินสอได้ประมาณ 19.4 เซนติเมตร

ในกรณี 1.3 ค. ไม้บรรทัดมีการแบ่งช่องสเกลที่ความละเอียด 0.1 เซนติเมตร ค่าที่ได้จากการวัดตามสเกลของเครื่องมือ คือ 19.3 เซนติเมตร เนื่องจากสเกลละเอียดสุดมีขนาดเล็กยากต่อการประมาณค่าด้วยสายตา จึงใช้การประมาณค่าเป็นครึ่งหนึ่งหรือ 5 ใน 10 ส่วนของสเกลละเอียดสุด จึงได้ค่าจากการประมาณ 0.05 เซนติเมตร ดังนั้น จะอ่านค่าความยาวของดินสอได้ประมาณ 19.35 เซนติเมตร

ถ้าปลายดินสออยู่ตรงขีดสเกล 20 เซนติเมตรพอดี ความยาวของดินสอที่วัดได้จากไม้บรรทัดตามความละเอียดของเครื่องมือวัดดังรูป 1.3 ก. ข. และ ค. จะได้เป็น 20 เซนติเมตร 20.0 เซนติเมตร และ 20.00 เซนติเมตร ตามลำดับ



ชวนคิด

ความละเอียดของเครื่องมือวัดมีความสัมพันธ์กับจำนวนเลขนัยสำคัญหรือไม่ อย่างไร

1.2.5 การบันทึกผลการคำนวณ

ในการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ เราไม่เพียงแต่ใช้ข้อมูลที่ได้โดยตรงเท่านั้น เรายังมีการนำข้อมูลที่ได้อ่านมาคำนวณเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไปอีก การนำเอาจำนวนที่มีตัวเลขนัยสำคัญต่างกันได้จากเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดต่างกันมาบวก ลบ คูณ และหารกันจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ได้มีตัวเลขนัยสำคัญและความละเอียดมากเกินไป ดังนั้นการบันทึกผลการคำนวณจำเป็นที่จะต้องพิจารณาจากตัวเลขนัยสำคัญและความละเอียดให้เหมาะสม

ในกรณีการนำเอาจำนวนมาบวกหรือลบกันจะพิจารณาจากตำแหน่งทศนิยมของจำนวนดังกล่าว โดยบันทึกผลให้มีตำแหน่งทศนิยมเท่ากับจำนวนที่มีตำแหน่งทศนิยมน้อยที่สุดเป็นหลัก เช่น ในการชั่งมวลของภาชนะใบหนึ่งด้วยเครื่องชั่งเครื่องหนึ่งอ่านค่าได้ 75.25 กรัม เมื่อใส่ทรายลงไปจำนวนหนึ่งแล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียดน้อยกว่าอ่านค่าได้ 250.4 กรัม เมื่อนำมาลบกัน จะได้ปริมาณทรายที่เติมลงไปเท่ากับ $250.4 \text{ กรัม} - 75.25 \text{ กรัม} = 175.15 \text{ กรัม}$ ถ้าบันทึกว่าทรายมีมวล 175.15 กรัม จะเป็นการบันทึกที่ละเอียดเกินไป เนื่องจากในกรณีนี้ จำนวนที่นำมาลบกันมีตำแหน่งทศนิยมน้อยที่สุดเพียงตำแหน่งเดียว ผลลัพธ์ที่เหมาะสมควรมีทศนิยมตำแหน่งเดียวด้วย ดังนั้น ในกรณีนี้จึงบันทึกมวลของทรายที่เติมลงไปเป็น 175.2 กรัม

ในกรณีการนำเอาจำนวนมาคูณหรือหารกันจะพิจารณาจากจำนวนเลขนัยสำคัญของจำนวนดังกล่าว โดยบันทึกผลให้มีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับจำนวนที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญที่น้อยที่สุดเป็นหลัก เช่น ทองเหลืองแท่งหนึ่งมวล 26.5 กรัม มีปริมาตร 3.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งหาความหนาแน่นของทองเหลืองได้จากมวลหารด้วยปริมาตร นั่นคือ $26.5 \text{ กรัม} \div 3.0 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร} = 8.833 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร}$ จะเห็นได้ว่าการคูณหรือหาร อาจจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญมากขึ้น ในกรณีเช่นนี้ เราจะใช้การพิจารณาจำนวนเลขนัยสำคัญที่น้อยที่สุดเป็นหลัก โดย 26.5 มีตัวเลขเลขนัยสำคัญ 3 ตัว และ 3.0 มีตัวเลขเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ดังนั้น ผลลัพธ์ที่เหมาะสมจึงควรมีจำนวนเลขนัยสำคัญเพียง 2 ตัว นั่นคือ บันทึกความหนาแน่นของทองเหลืองเป็น 8.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ในบางครั้งการนำจำนวนมาคูณหรือหารกัน ถ้าได้ผลลัพธ์ที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญที่มากเกินไป การบันทึกผลลัพธ์ด้วยจำนวนเลขนัยสำคัญที่เหมาะสมอาจบันทึกในรูปสัญกรณ์ทางวิทยาศาสตร์แทนได้ ดังตัวอย่าง

ตัวอย่าง 1.5 แผ่นโลหะรูปวงกลม วัดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 50.0 เซนติเมตร จงหาพื้นที่ของแผ่นโลหะ

แนวคิด หาพื้นที่ของแผ่นโลหะได้จากพื้นที่วงกลมซึ่งมีค่าเท่ากับ πR^2 โดยผลลัพธ์ที่ได้

จะต้องพิจารณาจำนวนเลขนัยสำคัญที่น้อยที่สุดเป็นหลักซึ่งในที่นี้ คือ จำนวนเลขนัยสำคัญของ R

วิธีทำ จาก $\text{พื้นที่วงกลม} = \pi R^2$

$$\text{เมื่อ } \pi = 3.1416 \text{ และ รัศมี } (R) = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลาง}}{2}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } \text{พื้นที่ของแผ่นโลหะรูปวงกลม} &= (3.1416) \left(\frac{50.0 \text{ cm}}{2} \right)^2 \\ &= 1963.5 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

ในที่นี้ π และ 2 เป็นค่าคงตัว ไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางมีจำนวนเลขนัยสำคัญ 3 ตัว จำนวนเลขนัยสำคัญที่ได้จากการคูณให้พิจารณาจากตัวเลขที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด ดังนั้น ควรบันทึกพื้นที่ของแผ่นโลหะรูปวงกลมมีจำนวนเลขนัยสำคัญ 3 ตัว แต่เนื่องจากปริมาณที่คำนวณได้เท่ากับ 1963.5 ตารางเซนติเมตร เพื่อแสดงจำนวนเลขนัยสำคัญ 3 ตัว จึงบันทึกในรูปสัญกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ ได้เป็น 1.96×10^3 ตารางเซนติเมตร

ตอบ พื้นที่ของแผ่นโลหะรูปวงกลมเท่ากับ 1.96×10^3 ตารางเซนติเมตร



ชวนคิด

จำนวนเลขนัยสำคัญของปริมาณหนึ่งเปลี่ยนหรือไม่ เมื่อ

- คูณปริมาณนั้นด้วยค่าคงตัว
- เปลี่ยนหน่วยของปริมาณนั้น
- ถอดรากที่สองของปริมาณนั้น



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 1.2

- จงระบุหน่วยของปริมาณต่อไปนี้ในระบบเอสไอ
 - ความสูง
 - พื้นที่
 - ปริมาตร
 - ความหนาแน่น
 - พลังงาน
- จงเขียนเวลา 18 000 วินาทีให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์
- ถ้านักเรียนต้องการวัดความหนาของแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ จะใช้เครื่องมืออะไรในการวัดจึงจะได้ค่าที่ละเอียดดีพอ
- จงบอกว่าเครื่องมือวัดต่าง ๆ ที่ให้ผลการวัดดังนี้ มีช่องสเกลที่ความละเอียดเท่าใด
 - 15.000 m
 - 0.250 g
 - 3.45 N
 - 27.5 °C
- จำนวนต่อไปนี้ มีเลขนัยสำคัญกี่ตัว ได้แก่ตัวเลขอะไรบ้าง
 - 1.879
 - 2.1
 - 0.00512
 - 186 000
 - 0.100439
- ถ้าวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและส่วนสูงของวัตถุทรงกระบอกได้ผลเป็นจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 ตัว และ 3 ตัว ตามลำดับ การรายงานผลการคำนวณหาปริมาตรของวัตถุทรงกระบอก จะมีจำนวนเลขนัยสำคัญกี่ตัว



แบบฝึกหัด 1.2

- จงเปลี่ยนหน่วยของปริมาณต่อไปนี้
 - 0.567 เมตร ให้มีหน่วยเป็นกิโลเมตรและมิลลิเมตร
 - ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร
- จงเขียนปริมาณต่อไปนี้ โดยใช้คำนำหน้าหน่วย
 - มวล 46 000 กรัม ให้มีหน่วย กิโลกรัม
 - กระแสไฟฟ้า 0.155 แอมแปร์ ให้มีหน่วย มิลลิแอมแปร์
 - เวลา 0.000014 วินาที ให้มีหน่วย ไมโครวินาที
 - ความยาว 0.000000025 เมตร ให้มีหน่วย นาโนเมตร
- เด็กคนหนึ่งวิ่งด้วยอัตราเร็ว 2.0 เมตรต่อวินาที คิดเป็นอัตราเร็วเท่าใด ในหน่วยกิโลเมตรต่อชั่วโมง
- จงเขียนปริมาณต่อไปนี้ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์
 - ความยาวคลื่นเลเซอร์เท่ากับ 0.0000006328 เมตร
 - อุณหภูมิใจกลางดาวฤกษ์ดาวหนึ่งมีค่าสี่สิบล้านเคลวิน
- สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล พบว่าอายุคาดเฉลี่ยของคนไทยในปี 2560 เป็น 75.4 ปี ถ้าแสดงปริมาณนี้ในหน่วยเมกะวินาที และจิกะวินาที จะเขียนได้อย่างไร (กำหนดให้ 1 ปี เท่ากับ 365.25 วัน)

1.3 การทดลองทางฟิสิกส์

การทดลองทางฟิสิกส์ที่จะได้ทำในบทเรียนต่าง ๆ ต่อไป แม้จะไม่ใช่ว่าเรื่องใหม่ แต่การได้ลงมือปฏิบัติจะเป็นการฝึกฝนวิธีการทำการทดลองตามแนวทางซึ่งเป็นที่ยอมรับในวงการฟิสิกส์ การทำการทดลองถือเป็นส่วนสำคัญในการฝึกทักษะและคิดหาเหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์

เป็นการยากที่จะวางกฎเกณฑ์แน่ชัดสำหรับการทดลองทุก ๆ เรื่อง เนื่องจากในการทดลองแต่ละเรื่อง อาจมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ในการทำการทดลองมักจะทำเพื่อตอบคำถาม หรือหาความรู้บางอย่าง ซึ่งก็คือจุดประสงค์ของการทดลอง การให้ได้มาซึ่งคำตอบ จึงต้องคิดวิธีการทดลองที่เหมาะสมและสอดคล้องกับอุปกรณ์ที่มี ทำการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลต่าง ๆ จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสรุปเป็นคำตอบ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำเป็นสำหรับการทดลอง

คำตอบที่เราได้จะทำให้ผู้อื่นเชื่อถือหรือไม่ เราต้องสามารถแสดงทุกขั้นตอนของการทดลองได้เหมาะสม และสอดคล้องกับเรื่องเรื่องที่ศึกษา ดังนั้น จึงมีการเขียนรายงานการทดลอง โดยยึดหลักการที่ว่าจะเขียนรายงานการทดลองให้ผู้อ่านเข้าใจได้ง่าย กะทัดรัด ครบถ้วน และข้อมูลมีความชัดเจน โดยทั่วไปนิยมใช้รูปหรือแผนภาพประกอบและมีการเสนอข้อมูลเป็นตารางเพื่อให้ดูง่าย นอกจากนี้ ควรแสดงการวิเคราะห์และ

การสรุปผลการทดลอง จากนั้นตามด้วยข้อวิจารณ์หรือความคิดเห็นของตนเองเพิ่มเติมไว้ ดังตัวอย่างการบันทึกผลการทดลองในภาคผนวก จ ท้ายเล่ม ซึ่งสิ่งต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นเป็นสิ่งที่ทุกคนควรฝึกทำในทุกการทดลอง

1.3.1 การรายงานความคลาดเคลื่อน

การวัดปริมาณต่าง ๆ จะมีความคลาดเคลื่อนเสมอขึ้นอยู่กับเครื่องมือ วิธีการวัด ประสิทธิภาพของผู้วัด รวมทั้งสภาพแวดล้อม ในการทดลองหนึ่ง ๆ เรามักจะมีการวัดซ้ำหรือทดลองซ้ำหลายครั้ง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนสามารถแสดงในรายงานผลทั้งในรูปแบบตัวเลขและกราฟ ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะความคลาดเคลื่อนในเชิงสถิติเท่านั้นและเขียนรายงานผลการทดลองในรูป ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย หรือ $\bar{x} \pm \Delta\bar{x}$ โดยค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ หาได้จาก

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_N}{N}$$

ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย $\Delta\bar{x}$ มีหลายวิธี เช่น อาจหาได้จาก

$$\Delta\bar{x} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}$$

เมื่อ $x_{\max}$ และ $x_{\min}$ คือ ค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุดที่วัดได้ ตามลำดับ

ทั้งนี้ การคำนวณดังกล่าวใช้ได้ในกรณีที่ค่าที่วัดได้ไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับในกรณีค่าที่วัดได้บางค่าแตกต่างจากส่วนใหญ่มาก ๆ จะไม่นำมาใช้ในการหาค่าเฉลี่ย อย่างไรก็ตาม ค่าดังกล่าวยังคงมีการบันทึกไว้ในรายงานเพื่อประกอบการพิจารณาหาสาเหตุที่ทำให้ได้ค่าที่แตกต่างออกไป ซึ่งในบางครั้งอาจนำไปสู่การค้นพบใหม่ ๆ ทางฟิสิกส์

ตัวอย่าง 1.6 จงเขียนรายงานผลการวัดความยาวของวัตถุชิ้นหนึ่ง (ในหน่วยมิลลิเมตร) ซึ่งทำการวัด 6 ครั้ง และได้ผลดังนี้ 23.1 22.8 22.7 33.2 23.0 22.6

แนวคิด การรายงานผลการวัดความยาวของวัตถุจะต้องหาค่าเฉลี่ยของความยาวของวัตถุและค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย โดยพิจารณาเฉพาะข้อมูลที่แตกต่างจากส่วนใหญ่มาก ๆ จึงไม่นำค่าความยาว 33.2 มาใช้ในการหาค่าเฉลี่ย

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{ค่าเฉลี่ย } \bar{x} &= \frac{23.1 + 22.8 + 22.7 + 23.0 + 22.6}{5} \\ &= \frac{114.2}{5} \\ &= 22.84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย } \Delta \bar{x} &= \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2} \\ &= \frac{23.1 - 22.6}{2} \\ &= 0.25\end{aligned}$$

ในระดับขั้นนี้ เราจะบันทึกค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยด้วยจำนวนเลขนัยสำคัญ 1 ตัว เท่านั้น (ในกรณีนี้คือ 0.3) และบันทึกค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้ให้มีจำนวนทศนิยมเท่ากับจำนวนทศนิยมของค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย ดังนั้น เราจะรายงานผลการวัดความยาวของวัตถุนี้ เป็น 22.8 ± 0.3 มิลลิเมตร

ตอบ ความยาวของวัตถุนี้เท่ากับ 22.8 ± 0.3 มิลลิเมตร

ความรู้เพิ่มเติม

ในการบันทึกค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยด้วยตัวเลขนัยสำคัญ 1 ตัว หากพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยมีความละเอียดน้อยกว่าความละเอียดของค่าเฉลี่ย เช่น ถ้าชุดข้อมูลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.84 มิลลิเมตร และมีค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 มิลลิเมตร การรายงานผลการวัดจึงจำเป็นต้องบันทึกค่าเฉลี่ยเป็น 23 มิลลิเมตร นั่นคือ จะรายงานผลเป็น 23 ± 1 มิลลิเมตร

ชวนคิด

จากการวัดมวลของก้อนหินซ้ำหลายครั้ง ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของมวลได้เป็น (75.5 ± 0.1) กรัม ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละเท่าใด

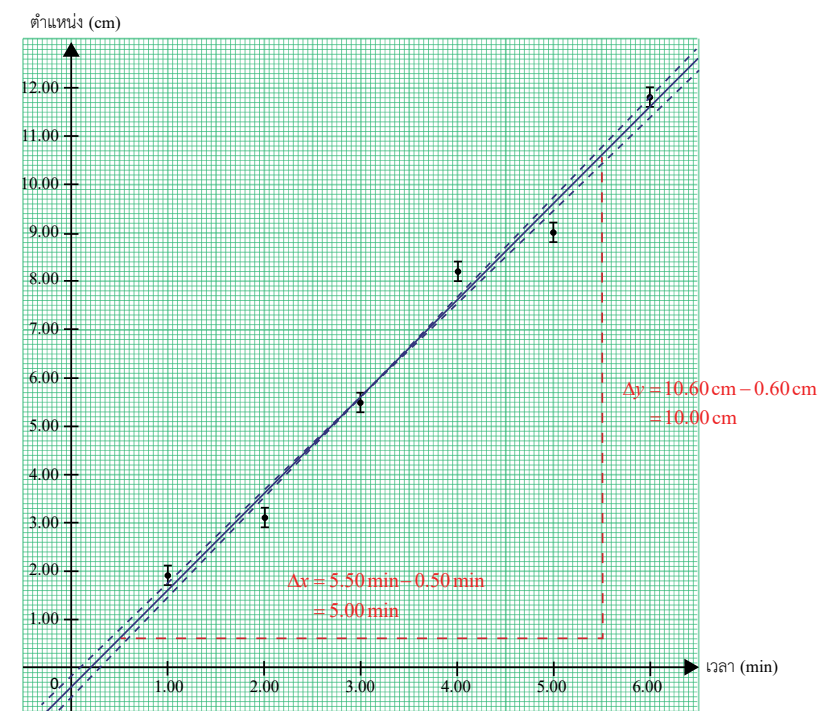
1.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เพื่อให้มองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองให้นำผลการทดลองมาเขียนกราฟ โดยทั่วไปนิยมใช้ตัวแปรต้นเป็นแกนนอนและตัวแปรตามเป็นแกนตั้ง เช่น ผลการทดลองวัดตำแหน่งของทากตัวหนึ่งที่เคลื่อนที่ในแนวตรง ดังตาราง

ตาราง 1.3 ผลการทดลองวัดตำแหน่งของทากตัวหนึ่งที่เคลื่อนที่ในแนวตรง

เวลา (นาทิจ)	ตำแหน่ง (เซนติเมตร)
1.00	1.90 ± 0.20
2.00	3.10 ± 0.20
3.00	5.50 ± 0.20
4.00	8.20 ± 0.20
5.00	9.00 ± 0.20
6.00	11.80 ± 0.20

เมื่อนำผลการทดลองข้างต้นมาเขียนกราฟโดยให้เวลาเป็นแกนนอน และตำแหน่งเป็นแกนตั้ง จะได้ดังรูป 1.4



รูป 1.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลาของทากตัวหนึ่ง

การลงจุดข้อมูลในกราฟควรแสดงค่าความคลาดเคลื่อนด้วย **แท่งความคลาดเคลื่อน (error bar)** เสมอในกรณีที่สามารระบุค่าความคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งโดยทั่วไป ค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละจุดข้อมูลอาจไม่เท่ากันก็ได้ นอกจากนี้ หากมีค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรต้น ก็สามารถแสดงด้วยแท่งความคลาดเคลื่อนในแนวนอนได้เช่นกัน

จากการพิจารณาจุดข้อมูลในกราฟพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลามีแนวโน้มเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น สามารถเขียนความสัมพันธ์ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้เป็น $y=mx+c$ เมื่อ m คือ **ความชัน (slope)** ซึ่งหาได้จากผลต่างของจุดสองจุดในแกนตั้ง Δy หารด้วยผลต่างของจุดสองจุดในแกนนอน Δx และ c คือจุดที่เส้นกราฟตัดแกน y ในกรณีเช่นนี้ สามารถหาเส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวได้โดยการลากเส้นตรงให้ผ่านชุดข้อมูล (ที่รวมค่าความคลาดเคลื่อนแล้ว) ให้มากที่สุด ซึ่งในตัวอย่างข้างต้นคือเส้นทึบสีน้ำเงิน นอกจากนี้ ยังสามารถหาค่าความชันของกราฟเส้นตรงได้ดังนี้

$$\text{ความชันของกราฟเส้นตรง} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{10.00 \text{ cm}}{5.00 \text{ min}} = 2.00 \text{ cm/min}$$

ข้อสังเกตเกี่ยวกับการหาค่าความชันของกราฟเส้นตรง

1. เลือก 2 จุดที่อยู่บนเส้นตรงที่สามารถอ่านค่าจากกราฟได้ง่ายและแม่นยำ ไม่ควรเลือกจุดข้อมูลจากตารางผลการทดลอง เนื่องจากจุดข้อมูลที่เลือกมานั้นอาจไม่ได้อยู่บนเส้นตรงที่ลากขึ้นมา
2. ควรเลือก 2 จุดบนเส้นตรงที่ให้สามเหลี่ยมที่มีด้าน Δx และด้าน Δy ที่ใหญ่พอสมควรเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการอ่านค่าจากกราฟ

หากต้องการหาค่าความคลาดเคลื่อนของความชันที่คำนวณได้จากกราฟและค่าความคลาดเคลื่อนของจุดตัดแกนตั้ง สามารถทำได้โดยการลากเส้นตรงเพิ่มอีก 2 เส้น ให้ผ่านชุดข้อมูลเช่นกัน แต่ลากเส้นหนึ่งให้มีความชันน้อยกว่าความชันของเส้นตรงที่ดีที่สุด (สอดคล้องกับข้อมูลมากที่สุด) และอีกเส้นหนึ่งให้มีความชันมากกว่าความชันของเส้นตรงที่ดีที่สุด ดังแสดงด้วยเส้นประสีน้ำเงินในกราฟ หาค่าความชันของเส้นตรงทั้งสอง ค่าความคลาดเคลื่อนของความชันหาได้จากครึ่งหนึ่งของผลต่างของความชันของเส้นตรงทั้งสองนี้ จากกราฟข้างต้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{ค่าความคลาดเคลื่อนของความชัน} &= \frac{1}{2} (\text{ความชันมาก} - \text{ความชันน้อย}) \\ &= \frac{(2.07 - 1.93) \text{ cm/min}}{2} \\ &= 0.07 \text{ cm/min} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความชันของกราฟเส้นตรงที่ดีที่สุดคือ $2.00 \pm 0.07 \text{ cm/min}$

ส่วนความคลาดเคลื่อนของจุดตัดแกนตั้งนั้นสามารถหาได้จากครึ่งหนึ่งของผลต่างของจุดตัดของเส้นตรงทั้งสอง จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{ค่าความคลาดเคลื่อนของจุดตัดแกนตั้ง} &= \frac{1}{2} (\text{จุดตัดสูง} - \text{จุดตัดต่ำ}) \\ &= \frac{[(-0.20) - (-0.60)] \text{ cm}}{2} \\ &= 0.20 \text{ cm} \end{aligned}$$

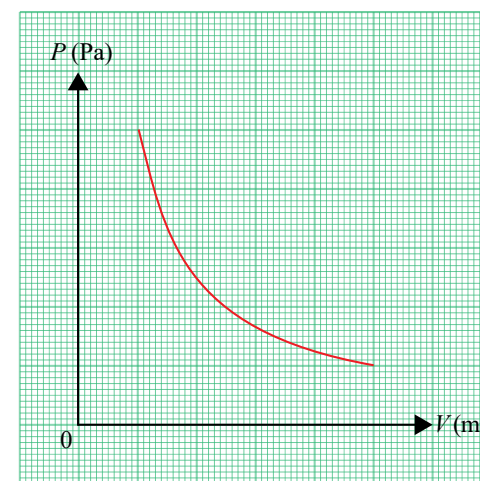
ดังนั้น จุดตัดแกนตั้งของกราฟเส้นตรงที่ดีที่สุดของเราคือ $-(0.40 \pm 0.20)$ เซนติเมตร

จากผลการทดลองวัดตำแหน่งของทากตัวหนึ่ง ณ เวลาต่าง ๆ สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลาได้ด้วยสมการเส้นตรง

$$x = (2.00 \pm 0.07 \text{ cm/min})t - (0.40 \pm 0.20 \text{ cm})$$

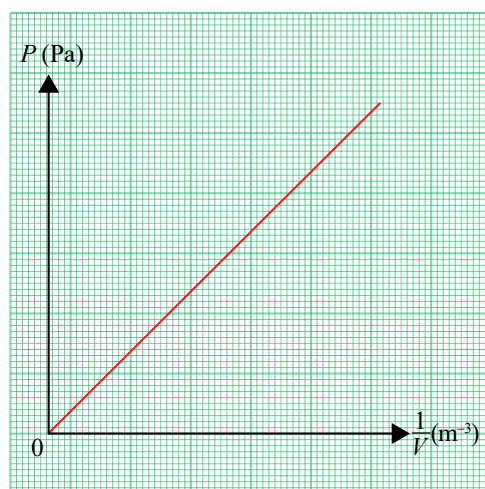
เมื่อ x แทนตำแหน่งของทากในหน่วยเซนติเมตร และ t แทนเวลาในหน่วยนาที่

ความสัมพันธ์ระหว่างสองปริมาณอาจจะอยู่ในรูปอื่น ๆ เช่น ความสัมพันธ์ของความดันแก๊สกับปริมาตรแก๊สในภาชนะปิด ถ้าเขียนกราฟระหว่างความดันแก๊สกับปริมาตรของแก๊ส จะไม่สามารถบอกความสัมพันธ์ได้ เนื่องจากได้กราฟเป็นเส้นโค้ง ดังรูป 1.5



รูป 1.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันแก๊สกับปริมาตรแก๊ส

แต่ถ้าเขียนกราฟระหว่างความดันกับส่วนกลับของปริมาตรแก๊ส จะได้เป็นกราฟเส้นตรง ดังรูป 1.6



รูป 1.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับส่วนกลับของปริมาตรแก๊ส

จากรูป 1.6 แสดงว่า P แปรผันตาม $\frac{1}{V}$ นั่นก็คือ $P = \frac{k}{V}$ โดยที่ k คือ ค่าคงตัว ซึ่งอาจเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น $PV = \text{ค่าคงตัว}$

ความสัมพันธ์ระหว่างสองปริมาณอาจจะอยู่ในรูป $y = \frac{k}{x}$, $y = \frac{k}{x^2}$, $y = \log x$, $y = \frac{1}{\log x}$, $y = \sin x$, $y = \tan x$, $y = kx^2$ เป็นต้น หากเราต้องการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสองปริมาณให้อยู่ในรูปของกราฟเส้นตรง เราจะต้องเลือกเขียนกราฟระหว่างปริมาณที่เหมาะสม เช่น ถ้าต้องการเขียนกราฟ $y = \frac{k}{x^2}$ ให้อยู่ในรูปกราฟเส้นตรง เราจะต้องเขียนกราฟระหว่าง y กับ $\frac{1}{x^2}$ แทนที่จะเขียนกราฟระหว่าง y กับ x เป็นต้น

นอกจากนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณบางคู่ไม่สามารถสรุปเป็นความสัมพันธ์ของกราฟเส้นตรง ในกรณีนี้ เราไม่อาจใช้สมการทางคณิตศาสตร์ของกราฟเส้นตรงมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้

ดังนั้น ก่อนที่จะสรุปความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ จากกราฟ ต้องพิจารณาถึงเนื้อเรื่องที่เกี่ยวข้องด้วย เพราะความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ จากกราฟไม่จำเป็นต้องเป็นกราฟเส้นตรงอย่างเดียวเท่านั้น



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 1.3

1. เพราะเหตุใด การวัดปริมาณหนึ่ง ๆ ต้องวัดซ้ำหลายครั้ง และการรายงานผลการวัดจะอยู่ในรูปแบบใด
2. ถ้าการทดลองหนึ่งได้ข้อมูลสองชุดคือ (4.65 ± 0.01) มิลลิกรัม และ (4.65 ± 0.02) มิลลิกรัม ตามลำดับ ผลการทดลองใดมีความน่าเชื่อถือกว่า เพราะเหตุใด

3. ในการทดลองเพื่อหาความยาวโฟกัสของเลนส์นูน ได้รายงานผลการวัดดังนี้
ความยาวโฟกัสของเลนส์นูน เท่ากับ $15.0\text{cm} \pm 1\text{mm}$
การรายงานผลการวัดดังกล่าวเหมาะสมหรือไม่ ถ้าไม่จะต้องรายงานผลอย่างไร
4. สมการเส้นตรงมีความสำคัญต่อการศึกษาด้านฟิสิกส์อย่างไร
5. การทดลองและการรายงานผลการทดลองทางฟิสิกส์มีความสำคัญอย่างไร



แบบฝึกหัด 1.3

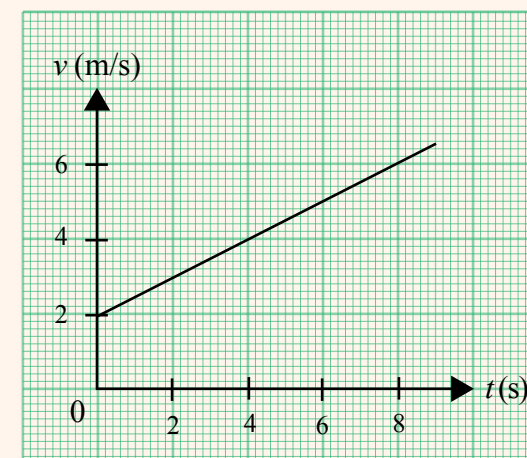
1. ในการวัดเวลาของการตกแบบเสรีของวัตถุจากที่สูง 20 เมตร จำนวน 6 ครั้ง ได้ผลการวัดดังนี้

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

ก. จงหาค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนี้

ข. จงแสดงผลการบันทึกผลการทดลองหาเวลาของการตกแบบเสรีของวัตถุ

2. สมการ $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบ T และความยาวเชือก l โดย g และ π เป็นค่าคงตัว จงแสดงว่าสมการนี้เป็นสมการเชิงเส้น จากนั้นหาความชันและจุดตัดแกนตั้ง
3. กราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุ เป็นดังรูป



รูป ประกอบแบบฝึกหัด 1.3 ข้อ 3

ความเร่งของวัตถุ ซึ่งหาได้จากความชันของกราฟมีค่าเท่าใด



สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1.1 ธรรมชาติทางฟิสิกส์

- ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ศึกษาเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ในธรรมชาติ
- การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ทำได้โดยการสังเกต การทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูล มาวิเคราะห์ หรือการสร้างแบบจำลองทางความคิด เพื่อสรุปเป็นทฤษฎี หลักการหรือกฎ
- ความรู้ทางฟิสิกส์สามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติหรือทำนายสิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต
- พัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์เป็นพื้นฐานในการแสวงหาความรู้ใหม่เพิ่มเติม
- ความรู้ทางฟิสิกส์เป็นพื้นฐานในการพัฒนาเทคโนโลยีทำให้คุณภาพชีวิตของมนุษย์ดีขึ้น ในทางกลับกันเทคโนโลยีที่ทันสมัยก็มีบทบาทสำคัญที่ทำให้มีการค้นพบความรู้ใหม่ ๆ ทางวิทยาศาสตร์ด้วย

1.2 การวัดและการบันทึกผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์

- ปริมาณทางฟิสิกส์เป็นปริมาณที่ได้จากการวัดประกอบด้วยค่าที่เป็นตัวเลขและหน่วย
- ระบบหน่วยระหว่างชาติ หรือระบบเอสไอเป็นระบบหน่วยมาตรฐานของปริมาณต่าง ๆ ระบบเอสไอประกอบด้วยหน่วยฐานและหน่วยอนุพัทธ์ หน่วยฐาน มี 7 หน่วย ได้แก่ เมตร (m) กิโลกรัม (kg) วินาที (s) แอมแปร์ (A) เคลวิน (K) โมล (mol) และแคนเดลา (cd) หน่วยอนุพัทธ์เป็นหน่วยที่เกิดจากหน่วยฐานหลายหน่วย
- สัญกรณ์วิทยาศาสตร์เป็นการเขียนปริมาณที่มีค่ามากหรือน้อยให้อยู่ในรูปจำนวนเต็มหนึ่งตำแหน่งตามด้วยเลขทศนิยม แล้วคูณด้วยเลขยกกำลังที่มีฐานเป็นสิบ และเลขชี้กำลังเป็นจำนวนเต็ม มีรูปทั่วไป $A \times 10^n$ เมื่อ $1 \leq A < 10$ และ n เป็นจำนวนเต็ม
- ความไม่แน่นอนในการวัด ค่าที่ได้จากการวัดมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นกับเครื่องมือและวิธีการวัดที่เหมาะสม รวมทั้งขึ้นกับความสามารถและประสบการณ์ของผู้วัด
- เลขนัยสำคัญเป็นตัวเลขที่ได้จากการวัด จำนวนเลขนัยสำคัญขึ้นกับความละเอียดของเครื่องมือวัด
- การบันทึกผลการวัดจะต้องบันทึกเฉพาะตัวเลขที่ให้ความหมายหรือที่เชื่อถือได้เท่านั้น ตัวเลขที่เชื่อถือได้นี้ เรียกว่า เลขนัยสำคัญ ซึ่งประกอบด้วยตัวเลขที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องมือวัด และตัวเลขจากการประมาณค่า
- การบันทึกผลการคำนวณจะต้องบันทึกผลโดยคำนึงถึงเลขนัยสำคัญของข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณ โดยในการบวกและลบ จะพิจารณาจากความละเอียดของเครื่องมือวัดหรือทศนิยมที่น้อยที่สุด ส่วนการคูณและหาร จะพิจารณาจากจำนวนเลขนัยสำคัญที่น้อยที่สุด

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ เล่ม ๑

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔

เวลา ๖๐ ชั่วโมง จำนวน ๑.๕ หน่วยกิต

ศึกษาการค้นหาคำความรู้ทางฟิสิกส์ ประวัติความเป็นมา รวมทั้งพัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยี การวัดและการรายงานผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ หลักการของกลศาสตร์ในเรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตรง แรง การหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน การเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน กฎความโน้มถ่วงสากล แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ ในกรณีที่วัตถุหยุดนิ่งและวัตถุเคลื่อนที่ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปราย และสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิด และการแก้ปัญหา ด้านการสื่อสาร สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

๑. สืบค้น และอธิบายการค้นหาคำความรู้ทางฟิสิกส์ ประวัติความเป็นมา รวมทั้งพัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยี
๒. วัด และรายงานผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ได้ถูกต้องเหมาะสม โดยนำความคลาดเคลื่อนในการวัดมาพิจารณาในการนำเสนอผล รวมทั้งแสดงผลการทดลองในรูปของกราฟ วิเคราะห์และแปลความหมายจากกราฟเส้นตรง
๓. ทดลอง และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง การกระจัด ความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตรงที่มีความเร่งคงตัวจากกราฟและสมการ รวมทั้งทดลองหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
๔. อธิบายแรง รวมทั้ง ทดลองและอธิบายการหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน
๕. เขียนแผนภาพวัตถุอิสระ ทดลองและอธิบายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันและการใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันกับสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ รวมทั้ง คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
๖. อธิบายกฎความโน้มถ่วงสากลและผลของสนามโน้มถ่วงที่ทำให้วัตถุมีน้ำหนัก รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
๗. วิเคราะห์ อธิบาย และคำนวณแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ ในกรณีที่วัตถุหยุดนิ่งและวัตถุเคลื่อนที่ รวมทั้งทดลองหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ และนำความรู้เรื่องแรงเสียดทานไปใช้ในชีวิตประจำวัน

รวมทั้งหมด ๗ ผลการเรียนรู้