



คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่



ฟิสิกส์ เล่ม ๔

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

๕



ตัวอักษรกรีก

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

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

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



คู่มือครู

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

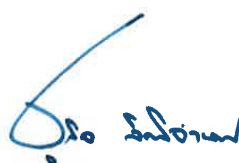
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้รับมอบหมายจากกระทรวงศึกษาธิการ ในการพัฒนามาตรฐานและตัวชี้วัดของหลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ และยังมีบทบาทหน้าที่ในการรับผิดชอบเกี่ยวกับการจัดทำหนังสือเรียน คู่มือครู แบบฝึกทักษะ กิจกรรม และสื่อการเรียนรู้ ตลอดจนวิธีการจัดการเรียนรู้และการวัดและประเมินผล เพื่อให้การจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ นี้ จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการใช้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ โดยครอบคลุมเนื้อหาตามผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ ในสาระฟิสิกส์ โดยมีตารางวิเคราะห์ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม เพื่อการจัดทำหน่วยการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ มีแนวการจัดการเรียนรู้ การให้ความรู้เพิ่มเติมที่จำเป็นสำหรับครูผู้สอน รวมทั้งการเฉลยถามและแบบฝึกหัดในหนังสือเรียน

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือครูเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ บุคลากรทางการศึกษาและหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้



(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อต้องการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติ เพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. ได้มีการจัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน และเพื่อให้ครูผู้สอนสามารถสอนและจัดกิจกรรมต่าง ๆ ตามหนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้จัดทำคู่มือครูสำหรับใช้ประกอบหนังสือเรียนดังกล่าว

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ นี้ ได้บอกแนวการจัดการเรียนการสอนตามเนื้อหาในหนังสือเรียนเกี่ยวกับ การเกิดและการเคลื่อนที่ของเสียง พฤติกรรมของเสียง การได้ยินเสียง ปรากฏการณ์เกี่ยวกับเสียง กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า การเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิต กฎของคูลอมบ์ สนามไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้าและความต่างศักย์ ตัวเก็บประจุ กระแสไฟฟ้าในตัวนำและลวดตัวนำ กฎของโอห์ม สภาพต้านทานและสภาพนำไฟฟ้า การต่อตัวต้านทาน พลังงานในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง การต่อแบตเตอรี่การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและเทคโนโลยีด้านพลังงาน ซึ่งครูผู้สอนสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ให้บรรลุจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยสามารถนำไปจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ตามความเหมาะสมและความพร้อมของโรงเรียน ในการจัดทำคู่มือครูเล่มนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สอน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้คู่มือครูเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ เล่ม ๔

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕

เวลา ๘๐ ชั่วโมง จำนวน ๒ หน่วยกิต

ศึกษาการเกิดเสียง การเคลื่อนที่ของเสียง การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบน ของคลื่นเสียง การได้ยินเสียง ความเข้มเสียง คุณภาพเสียง มลพิษทางเสียง คลื่นนิ่งของเสียง การสั่นพ้อง ของเสียง การเกิดบีต ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ คลื่นกระแทกของเสียง ธรรมชาติของไฟฟ้าสถิต การเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิต กฎของคูลอมบ์ สนามไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า ความต่างศักย์ ความจุและพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ การต่อตัวเก็บประจุ กระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ กฎของโอห์ม สภาพต้านทาน การต่อตัวต้านทาน อีเอ็มเอฟของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง พลังงานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า การต่อแบตเตอรี่ การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง การเปลี่ยนพลังงานทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้า และเทคโนโลยีด้านพลังงาน โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปราย และสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

๑. อธิบายการเกิดเสียง การเคลื่อนที่ของเสียง ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดของอนุภาค กับคลื่นความดัน ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ขึ้นกับอุณหภูมิในหน่วย องศาเซลเซียส การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด การเลี้ยวเบน ของคลื่นเสียง รวมทั้งคำนวณ ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
๒. อธิบายความเข้มเสียง ระดับเสียง องค์ประกอบของการได้ยิน คุณภาพเสียง และมลพิษทางเสียง รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
๓. ทดลอง และอธิบายการเกิดการสั่นพ้องของอากาศในท่อปลายเปิดหนึ่งด้าน รวมทั้งสังเกตและ อธิบายการเกิดบีต คลื่นนิ่ง ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ คลื่นกระแทกของเสียง คำนวณปริมาณ ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และนำความรู้เรื่องเสียงไปใช้ในชีวิตประจำวัน
๔. ทดลอง และอธิบายการทำวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าให้มีประจุไฟฟ้าโดยการขัดสีกันและการ เหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิต
๕. อธิบาย และคำนวณแรงไฟฟ้าตามกฎของคูลอมบ์

๖. อธิบาย และคำนวณสนามไฟฟ้าและแรงไฟฟ้าที่กระทำกับอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าที่อยู่ในสนามไฟฟ้า รวมทั้งหาสนามไฟฟ้าลัพท์เนื่องจากระบบจุดประจุโดยรวมกันแบบเวกเตอร์
๗. อธิบาย และคำนวณพลังงานศักย์ไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า และ ความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่งใด ๆ
๘. อธิบายส่วนประกอบของตัวเก็บประจุ ความสัมพันธ์ระหว่างประจุไฟฟ้า ความต่างศักย์ และความจุของตัวเก็บประจุ และอธิบายพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ และความจุสมมูล รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
๙. นำความรู้เรื่องไฟฟ้าสถิตไปอธิบายหลักการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิด และปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน
๑๐. อธิบายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระและกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำกับความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในลวดตัวนำและพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
๑๑. ทดลอง และอธิบายกฎของโอห์ม อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับความยาว พื้นที่หน้าตัด และสภาพต้านทานของตัวนำโลหะที่อุณหภูมิคงตัว และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้ง อธิบายและคำนวณความต้านทานสมมูลเมื่อนำตัวต้านทานมาต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน
๑๒. ทดลอง อธิบาย และคำนวณอีเอ็มเอฟของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง รวมทั้งอธิบายและคำนวณพลังงานไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า
๑๓. ทดลอง และคำนวณอีเอ็มเอฟสมมูลจากการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมและแบบขนาน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งประกอบด้วยแบตเตอรี่และตัวต้านทาน
๑๔. อธิบายการเปลี่ยนพลังงานทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งสืบค้นและอภิปรายเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่นำมาแก้ปัญหาหรือตอบสนองความต้องการทางด้านพลังงาน โดยเน้นด้านประสิทธิภาพและความคุ้มค่าด้านค่าใช้จ่าย

รวมทั้งหมด ๑๔ ผลการเรียนรู้

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้คู่มือครู

วิทยาศาสตร์มีความเกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการงานอาชีพต่าง ๆ รวมทั้งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผลผลิตต่าง ๆ ที่ใช้ในการอำนวยความสะดวกทั้งในชีวิต และการทำงาน 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 จริยธรรม และค่านิยมในการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างสร้างสรรค์

คู่มือครูเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นควบคู่กับหนังสือเรียน สำหรับให้ครูได้ใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนได้รับความรู้และมีทักษะที่สำคัญตามจุดประสงค์การเรียนรู้ในหนังสือเรียน ซึ่งสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ตามสาระการเรียนรู้ส่งเสริมให้บรรลุเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้อย่างไรก็ตาม ครูอาจพิจารณาตัดแปลงหรือเพิ่มเติมการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียนได้โดยคู่มือครูมีองค์ประกอบหลักดังต่อไปนี้

ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้เป็นผลลัพธ์ที่ควรเกิดกับนักเรียนทั้งด้านความรู้และทักษะ ซึ่งช่วยให้ครูได้ทราบเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ในแต่ละเนื้อหาและออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ได้ ทั้งนี้ครูอาจเพิ่มเติมเนื้อหาหรือทักษะตามศักยภาพของนักเรียน รวมทั้งอาจสอดแทรกเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับท้องถิ่น เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้นได้

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

การวิเคราะห์ความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 จิตวิทยาศาสตร์ ที่เกี่ยวข้องในแต่ละผลการเรียนรู้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้

ผังมโนทัศน์

แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคิดหลัก ความคิดรอง และความคิดย่อย เพื่อช่วยให้ ครูเห็นความเชื่อมโยงของเนื้อหาภายในบทเรียน

สรุปแนวความคิดสำคัญ

การสรุปเนื้อหาสำคัญของบทเรียน เพื่อช่วยให้ครูเห็นกรอบเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งลำดับของ เนื้อหาในบทเรียนนั้น

เวลาที่ใช้

เวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ ซึ่งครูอาจดำเนินการตามข้อเสนอแนะที่กำหนดไว้ หรืออาจปรับ เวลาได้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

ความรู้ก่อนเรียน

คำสำคัญหรือข้อความที่เป็นความรู้พื้นฐาน ซึ่งนักเรียนควรมีก่อนที่จะเรียนรู้เนื้อหาใน บทเรียนนั้น

การจัดการเรียนรู้ของแต่ละหัวข้อ

การจัดการเรียนรู้ในแต่ละข้ออาจมีองค์ประกอบแตกต่างกัน โดยรายละเอียดแต่ละองค์ประกอบ มีดังนี้

- จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่าน กิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งสามารถวัดและประเมินผลได้ ทั้งนี้ครูอาจตั้งจุดประสงค์ เพิ่มเติมจากที่ให้ไว้ ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

- ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

เนื้อหาที่นักเรียนอาจเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่พบบ่อย ซึ่งเป็นข้อมูลให้ครูได้พึงระวัง หรืออาจเน้นย้ำในประเด็นดังกล่าวเพื่อป้องกันการเกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้

- สิ่งที่คุณต้องเตรียมล่วงหน้า

สื่อการเรียนรู้ เช่น บัตรคำ คลิปวิดีโอ หรือ วัสดุและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการประกอบ การจัดการเรียนรู้ ซึ่งคุณควรเตรียมล่วงหน้าก่อนเริ่มการจัดการเรียนรู้

- แนวการจัดการเรียนรู้

แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยมีการนำเสนอทั้งใน ส่วนของเนื้อหาและกิจกรรมเป็นขั้นตอนอย่างละเอียด ทั้งนี้ครูอาจปรับหรือเพิ่มเติมกิจกรรม จากที่ให้ได้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

- กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของ บทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสาธิต การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่นๆ ซึ่งควรให้ นักเรียนลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง โดยองค์ประกอบของกิจกรรมมีรายละเอียด ดังนี้

• จุดประสงค์

เป้าหมายที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมนั้น

• วัสดุและอุปกรณ์

รายการวัสดุ อุปกรณ์ หรือสารเคมีที่ต้องใช้ในการทำกิจกรรม ซึ่งคุณควรเตรียมให้เพียงพอ สำหรับการจัดกิจกรรม

• สิ่งที่คุณต้องเตรียม

ข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่คุณต้องเตรียมล่วงหน้าสำหรับการจัดกิจกรรม เช่น การเตรียม สารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ การเตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิต

• ข้อเสนอแนะการทำกิจกรรม

ข้อมูลที่ให้คุณแจ้งต่อนักเรียนให้ทราบถึงข้อระวัง ข้อควรปฏิบัติ หรือข้อมูลเพิ่มเติมใน การทำกิจกรรมนั้น ๆ

• ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตัวอย่างผลการทดลอง การสาธิต การสืบค้นข้อมูลหรือกิจกรรมอื่น ๆ เพื่อให้ครูใช้เป็นข้อมูล สำหรับตรวจสอบผลการทำกิจกรรมของนักเรียน

- อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ตัวอย่างข้อมูลที่ควรได้จากการอภิปรายและสรุปผลการทำกิจกรรม ซึ่งครูอาจใช้คำถามท้ายกิจกรรมหรือคำถามเพิ่มเติมเพื่อช่วยให้นักเรียนอภิปรายในประเด็นที่ต้องการรวมทั้งช่วยกระตุ้นให้นักเรียนช่วยกันคิดและอภิปรายถึงปัจจัยต่างๆที่ทำให้ผลของกิจกรรมเป็นไปตามที่คาดหวัง หรืออาจไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง

นอกจากนี้ อาจมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับครู ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู เพื่อให้ครูมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องนั้น ๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งไม่ควรนำไปเพิ่มเติมให้นักเรียน เพราะเป็นส่วนที่เสริมจากเนื้อหาที่มีในหนังสือเรียน

- แนวการวัดและประเมินผล

แนวทางการวัดและประเมินผลที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ ซึ่งประเมินทั้งด้านความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ประเมินจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ควรเกิดขึ้นหลังจากได้เรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ผลที่ได้จากการประเมินจะช่วยให้ครูทราบถึงความสำเร็จของการจัดการเรียนรู้ รวมทั้งใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับนักเรียน

เครื่องมือวัดและประเมินผลมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น แบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ แบบประเมินทักษะ แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์ ซึ่งครูอาจเรียกใช้เครื่องมือสำหรับการวัดและประเมินผลจากเครื่องมือมาตรฐานที่มีผู้พัฒนาไว้ ดัดแปลงจากเครื่องมือที่ผู้อื่นทำไว้แล้ว หรือสร้างเครื่องมือใหม่ขึ้นเอง ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล ดังภาคผนวก

- แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ และเฉลยแบบฝึกหัด

แนวคำตอบของคำถามตรวจสอบความเข้าใจ และเฉลยแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ ทั้งนี้ครูควรใช้คำถามตรวจสอบความเข้าใจเรียนเพื่อตรวจสอบความรู้ความเข้าใจของนักเรียนก่อนเริ่มเนื้อหาใหม่ เพื่อให้สามารถปรับการจัดการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมต่อไป และให้แบบฝึกหัดเพื่อฝึกฝนทักษะการแก้ปัญหาและทักษะอื่น ๆ

- เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบท

ประกอบด้วยแนวคำตอบของคำถามท้ายบทเรียนในหนังสือเรียน รวมทั้ง เฉลยปัญหา และเฉลยปัญหาท้าทาย ซึ่งครูควรใช้คำถามและปัญหาในแบบฝึกหัดท้ายบทในการตรวจสอบว่าหลังจากที่นักเรียน เรียนจบบทเรียนแล้ว นักเรียนยังขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องใดเพื่อให้สามารถวางแผนการทบทวนหรือเน้นย้ำเนื้อหาให้กับนักเรียนก่อนการทดสอบได้ ส่วนปัญหาท้าทาย เป็นปัญหาสำหรับนักเรียนที่มีศักยภาพสูง และต้องการโจทย์ท้าทายเพิ่มเติม

12

เสียง

ผลการเรียนรู้	1
การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	1
ผังมโนทัศน์ เสียง	5
สรุปแนวความคิดสำคัญ	6
เวลาที่ใช้	8
ความรู้ก่อนเรียน	8
12.1 ธรรมชาติของเสียง	8
12.1.1 การเคลื่อนที่ของเสียง	10
12.1.2 อัตราเร็วเสียง	16
12.1.3 พฤติกรรมของเสียง	23
12.2 การได้ยินเสียง	34
12.2.1 ความเข้มเสียง	35
12.2.2 ระดับเสียงและความถี่เสียงกับการเริ่มได้ยิน	36
12.2.3 ระดับสูงต่ำของเสียงและคุณภาพเสียง	43
12.2.4 มลพิษทางเสียงและการป้องกัน	45
12.3 ปรากฏการณ์เกี่ยวกับเสียง	51
12.3.1 คลื่นนิ่งของเสียง	51
12.3.2 การสั่นพ้องของอากาศในท่อ	55
12.3.3 บีต	61
12.3.4 ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์	63
12.4 การประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องเสียง	80
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 12	82

13

ไฟฟ้าสถิต

ผลการเรียนรู้	113
การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	114
ผังมโนทัศน์ ไฟฟ้าสถิต	119
สรุปแนวความคิดสำคัญ	120
เวลาที่ใช้	123
ความรู้ก่อนเรียน	123
13.1 ธรรมชาติของไฟฟ้าสถิต	124
13.1.1 ประจุไฟฟ้าและกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า	124
13.1.2 การเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิต	128
13.2 กฎของคูลอมบ์	136
13.3 สนามไฟฟ้า	142
13.3.1 ความหมายสนามไฟฟ้า	142
13.3.2 สนามไฟฟ้าของจุดประจุ	143
13.3.3 สนามไฟฟ้าของระบบประจุ	144
13.3.4 เส้นสนามไฟฟ้า	145
13.3.5 แรงกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุ ในสนามไฟฟ้า	149
13.4 ศักย์ไฟฟ้าและความต่างศักย์	154
13.4.1 ความต่างศักย์เนื่องจากสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ	155
13.4.2 ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ	156
13.5 ตัวเก็บประจุ	161
13.5.1 หลักการทำงานของตัวเก็บประจุ	161
13.5.2 ความจุของตัวเก็บประจุ	164
13.5.3 พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ	166
13.5.4 การต่อตัวเก็บประจุ	167
13.6 การนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปใช้ประโยชน์	173
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 13	176

14

ไฟฟ้ากระแส

ผลการเรียนรู้	233
การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	234
ผังมโนทัศน์ ไฟฟ้ากระแส	239
สรุปแนวความคิดสำคัญ	240
เวลาที่ใช้	242
ความรู้ก่อนเรียน	242
14.1 กระแสไฟฟ้า	243
14.1.1 กระแสไฟฟ้าในตัวนำ	245
14.1.2 กระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ	251
14.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับ	
ความต่างศักย์	256
14.2.1 กฎของโอห์มและความต้านทาน	257
14.2.2 สภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้า	261
14.2.3 ตัวต้านทาน	265
14.2.4 การต่อตัวต้านทาน	266
14.3 พลังงานในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง	278
14.3.1 พลังงานไฟฟ้าและความต่างศักย์	279
14.3.2 พลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า	
ของเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง	286
14.4 แบตเตอรี่และวงจรไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น	291
14.4.1 การต่อแบตเตอรี่	291
14.4.2 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง	297
14.5 พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและเทคโนโลยี	
ด้านพลังงาน	303
14.5.1 พลังงานทดแทน	303
14.5.2 เทคโนโลยีด้านพลังงาน	312
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 14	315

สารบัญ	ภาคผนวก	
บทที่	เนื้อหา	หน้า

ภาคผนวก	ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล	378
	แบบทดสอบ	378
	แบบประเมินทักษะ	382
	แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาาสตร์	385
	การประเมินการนำเสนอผลงาน	388
	บรรณานุกรม	390
	คณะกรรมการจัดทำคู่มือครู	391

บทที่



ipst.me/8842

12

เสียง

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายการเกิดเสียง การเคลื่อนที่ของเสียง ความสัมพันธ์ระหว่างคลื่น การกระจัดของอนุภาค กับคลื่นความดัน ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ขึ้นกับอุณหภูมิ ในหน่วยของศาเซลเซียส สมบัติของคลื่นเสียง ได้แก่ การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด การเลี้ยวเบน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. อธิบายความเข้มเสียง ระดับเสียง องค์ประกอบของการได้ยิน คุณภาพเสียง และมลพิษทางเสียง รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
3. ทดลอง และอธิบายการเกิดการสั่นพ้องของอากาศในท่อปลายเปิดหนึ่งด้าน รวมทั้งสังเกตและ อธิบายการเกิดบีต คลื่นนิ่ง ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ คลื่นกระแทกของเสียง คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และนำความรู้เรื่องเสียงไปใช้ในชีวิตประจำวัน

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายการเกิดเสียง การเคลื่อนที่ของเสียง ความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นการกระจัดของอนุภาค กับคลื่นความดัน ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ขึ้นกับอุณหภูมิใน หน่วยของศาเซลเซียส สมบัติของคลื่นเสียง ได้แก่ การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด การเลี้ยวเบน รวมทั้ง คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการเกิดเสียงและการเคลื่อนที่ของเสียง
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นการกระจัดของอนุภาคกับคลื่นความดันขณะคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของเสียงในอากาศกับอุณหภูมิในหน่วยของศาเซลเซียส และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

4. สังเกตและอธิบายการสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอดของเสียง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
- การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและการกระจัดของคลื่นเสียง) - การใช้จำนวน (อัตราเร็วเสียงในอากาศที่ขึ้นกับอุณหภูมิ)	- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล) - ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	ความอยากรู้อยากเห็น

ผลการเรียนรู้

- อธิบายความเข้มเสียง ระดับเสียง องค์ประกอบของการได้ยิน คุณภาพเสียง และมลพิษทางเสียง รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับความเข้มเสียง
- อธิบายระดับเสียง ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงกับความเข้มเสียง และคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้อง
- อธิบายระดับเสียงและความถี่ที่มีผลต่อการได้ยิน
- อธิบายระดับสูงต่ำของเสียงและคุณภาพเสียง
- อธิบายมลพิษทางเสียงที่มีต่อสุขภาพและการป้องกัน

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การใช้จำนวน (ปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเสี่ยงและระดับความเสี่ยง)	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (มีการอ้างอิงแหล่งที่มาและการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลายได้อย่างสมเหตุสมผล การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล) 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความรอบคอบ

ผลการเรียนรู้

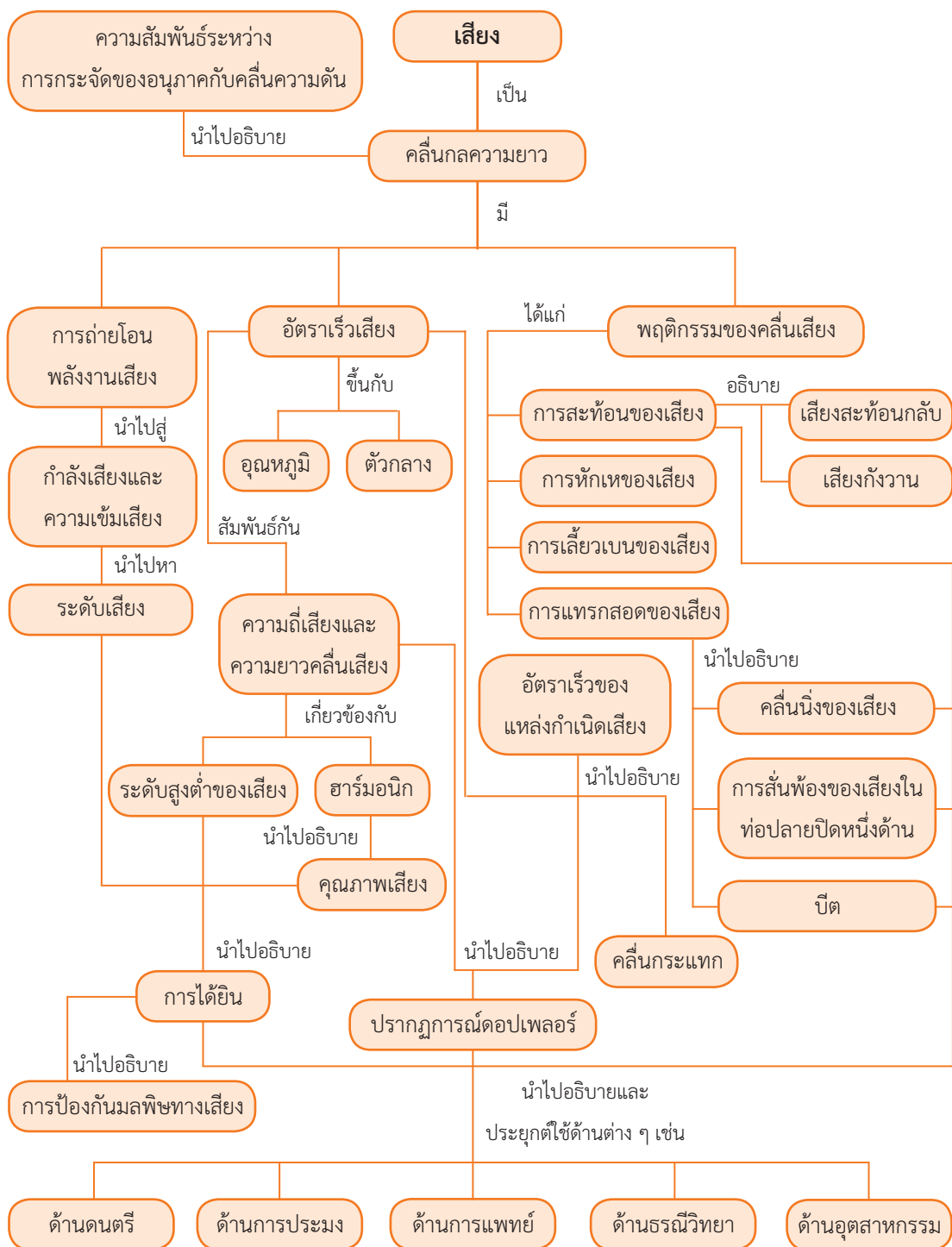
- ทดลองและอธิบายการเกิดการสั่นพ้องของอากาศในท่อปลายเปิดหนึ่งด้าน รวมทั้งสังเกตและอธิบายการเกิดบีต คลื่นนิ่ง ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ คลื่นกระแทกของเสียง คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และนำความรู้เรื่องเสียงไปใช้ในชีวิตประจำวัน

จุดประสงค์การเรียนรู้

- ทดลองและอธิบายการเกิดคลื่นนิ่งของเสียง
- อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการสั่นพ้องของอากาศในท่อปลายเปิดหนึ่งด้าน
- ทดลองการสั่นพ้องของอากาศและการวัดความยาวคลื่นของเสียงในอากาศ
- ทดลองและอธิบายการเกิดบีต
- อธิบายปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ และคลื่นกระแทกของเสียง
- นำความรู้เรื่องเสียงไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน

ทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การทดลอง 2. การตีความหมายข้อมูลและ ลงข้อสรุป (การสรุปผลการ ทดลอง) 3. การใช้จำนวน (ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดคลื่น นิ่งและการสั่นพ้องของเสียง ในท่อปลายเปิดหนึ่งด้าน)	1. การสื่อสารสารสนเทศและ การรู้เท่าทันสื่อ (มีการ อ้างอิงแหล่งที่มาและการ เปรียบเทียบความถูกต้อง ของข้อมูลจากแหล่งข้อมูล ที่หลากหลายได้อย่างสม เหตุสมผล การอภิปราย ร่วมกันและการนำเสนอ ผล) 2. ความร่วมมือ การทำงาน เป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. ความซื่อสัตย์

ผังมโนทัศน์ เสียง



สรุปแนวความคิดสำคัญ

คลื่นเสียง (sound wave) เป็นคลื่นกลตามยาว เกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง และถ่ายโอนพลังงานทำให้อนุภาคตัวกลางสั่น เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศ จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงการกระจัดของอนุภาคอากาศและมีการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศ โดยกราฟการกระจัดของอนุภาคอากาศกับตำแหน่ง และกราฟความดันอากาศที่เปลี่ยนแปลงกับตำแหน่งมีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ (sinusoidal wave) ที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา

อัตราเร็วเสียงหาได้จาก $v = f\lambda$ และ $v = \frac{d}{t}$ อัตราเร็วเสียงยังขึ้นอยู่กับสมบัติของตัวกลางนั้น ๆ ได้แก่ ความยืดหยุ่นและความหนาแน่น ในตัวกลางต่างกัน เสียงมีอัตราเร็วต่างกันโดยอัตราเร็วเสียงในตัวกลางที่เป็นของแข็งจะมากกว่าในของเหลวและในแก๊สตามลำดับ เมื่อเสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศ อัตราเร็วเสียงขึ้นกับอุณหภูมิของอากาศ หาได้จาก $v = 331 + 0.6T_C$

คลื่นเสียงแสดงพฤติกรรม 4 อย่าง ได้แก่ การสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบนและการแทรกสอด เช่นเดียวกับคลื่นอื่น ๆ เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปพบสิ่งกีดขวางแล้วจะเคลื่อนที่กลับมาในตัวกลางเดิม จะเกิดการสะท้อน ถ้าได้ยินเสียงสะท้อนหลังจากได้ยินเสียงครั้งแรกมีเวลาต่างกันมากกว่า 0.1 วินาที หูจะแยกเสียงทั้งสองครั้งได้ เสียงสะท้อนนี้ เรียกว่า **เสียงสะท้อนกลับ (echo)** แต่หากมีเวลาต่างกันน้อยกว่า 0.1 วินาที หูจะไม่สามารถแยกเสียงทั้งสองครั้งได้ เสียงที่ได้ยิน เรียกว่า **การก้องวาน (reverberation)** เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งเข้าไปในตัวกลางหนึ่งจะเกิดการหักเห เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปพบขอบสิ่งกีดขวางหรือผ่านช่องแคบจะเกิดการเลี้ยวเบน และเมื่อคลื่นเสียงสองคลื่นมาพบกันจะเกิดการแทรกสอด

พลังงานเสียงที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดเสียงในหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า **กำลังเสียง (power of a sound)** กำลังเสียงที่แหล่งกำเนิดเสียงส่งออกไปต่อหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง เรียกว่า **ความเข้มเสียง (sound intensity)** ซึ่งหาได้จาก $I = \frac{P}{A}$ ในกรณีแหล่งกำเนิดเสียงเป็นจุด $I = \frac{P}{4\pi r^2}$

ในการบอกความดังของเสียงพิจารณาจากสเกลลอการิทึม เรียกว่า **ระดับเสียง (sound level)** ตามสมการ $\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$

เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต่าง ๆ มีระดับสูงต่ำของเสียงและคุณภาพเสียงที่ต่างกัน **ระดับสูงต่ำของเสียง (pitch)** สัมพันธ์กับความถี่ของเสียง เสียงที่มีความถี่สูง เรียกว่า เสียงสูงหรือเสียงแหลม เสียงที่มีความถี่ต่ำ เรียกว่า เสียงต่ำหรือเสียงทุ้ม ส่วน**คุณภาพเสียง (quality of sound)** เป็นลักษณะเฉพาะของเสียงที่ทำให้ผู้ฟังจำแนกเสียงนั้น ๆ เสียงที่มีคุณภาพเสียงต่างกันมีรูปแบบของเสียงแตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะเสียงแต่ละรูปแบบเกิดจากผลรวมของหลายฮาร์โมนิกและแอมพลิจูดแต่ละฮาร์โมนิกที่แตกต่างกัน

เสียงรบกวนเป็นเสียงที่ดังหรือมีระดับเสียงสูง และก่อให้เกิดความรำคาญ ถือว่าเป็นมลพิษทางเสียง (noise pollution) อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพและจิตใจ การลดหรือควบคุมระดับเสียง อาจทำได้ 3 วิธี คือ การควบคุมที่แหล่งกำเนิดเสียง การควบคุมทางผ่านของเสียง และการควบคุมที่ผู้รับฟังเสียง

ปรากฏการณ์ทางเสียง ได้แก่ คลื่นนิ่ง การสั่นพ้อง บีต (beats) ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler effect)

คลื่นนิ่งของเสียงเกิดจากการแทรกสอดของคลื่นเสียงอาพันธ์สองขบวนเคลื่อนที่สวนทางกัน ทำให้ได้ยินเสียงดัง-ค่อยตลอดเวลาตามตำแหน่งปฏิบัติความดัน-บัพความดัน ตามลำดับ โดยสองตำแหน่งที่มีเสียงดังถัดกันหรือมีเสียงค่อยถัดกัน มีระยะห่างเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น

การสั่นพ้องของเสียงเกิดจากลำอากาศในท่อถูกทำให้สั่นด้วยเสียงที่มีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของลำอากาศในท่อ ลำอากาศจะสั่นมากที่สุด และได้ยินเสียงดังที่สุด ความถี่ที่ทำให้เกิดการสั่นพ้องเรียกว่า ความถี่สั่นพ้อง หรือ ความถี่เรโซแนนซ์ (resonant frequency) สำหรับท่อปลายปิดหนึ่งด้าน ความถี่สั่นพ้องมีความสัมพันธ์กับความยาวของลำอากาศในท่อ ตามสมการ

บีตของเสียงเกิดจากการรวมกันของคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง 2 แหล่งที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อยทำให้ได้ยินเสียงดังค่อยสลับกันไปเป็นจังหวะคงตัว โดยหูจะได้ยินเสียงของการบีตเมื่อเสียงทั้งสองมีความถี่ต่างกันไม่เกิน 7 เฮิรตซ์ จำนวนครั้งที่ได้ยินเสียงดังในหนึ่งวินาที เรียกว่า ความถี่บีต (beat frequency) ซึ่งหาได้จาก $f_n = \frac{nv}{4L}$

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียงเป็นปรากฏการณ์ที่ผู้ฟังได้ยินเสียงมีความถี่เปลี่ยนไปจากความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงหรือผู้ฟังเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน

เมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงมีอัตราเร็วมากกว่าอัตราเร็วเสียงทำให้หน้าคลื่นเสียงอัดตัวกัน เกิดคลื่นกระแทก (shock wave) และเรียกหน้าคลื่นว่า หน้าคลื่นกระแทก โดยหน้าคลื่นกระแทกมีพลังงานสูงทำให้ผู้ที่อยู่ ณ ตำแหน่งขณะหน้าคลื่นกระแทกเคลื่อนที่ผ่านได้ยินเสียงดังมาก เรียกว่า โซนิคบูม (sonic boom) โดยแนวหน้าคลื่นกระแทกทำมุมกับแนวการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิด เรียกว่า มุมมัค (Mach angle)

ความรู้เกี่ยวกับเสียงนำไปอธิบายและประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น การแปลงเสียงของมนุษย์ การทำงานของเครื่องดนตรี การปรับเทียบเสียงเครื่องดนตรี การประมง การแพทย์ ธรณีวิทยา อุตสาหกรรม

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 23 ชั่วโมง

12.1 ธรรมชาติของเสียง	5	ชั่วโมง
12.2 การได้ยินเสียง	4	ชั่วโมง
12.3 ปรัชญาการณเกี่ยวกับเสียง	12	ชั่วโมง
12.4 การประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องเสียง	2	ชั่วโมง



ความรู้ก่อนเรียน

การสั่น คลื่น การกระจัด ความดัน แอมพลิจูด ความยาวคลื่น ความถี่ อัตราเร็ว พฤติกรรมคลื่น กำลัง คลื่นนิ่ง การสะท้อนพ้อง

ครูนำเข้าสู่บทที่ 12 โดยให้นักเรียนยกตัวอย่างเสียงที่ประทับใจ ที่มีผลต่ออารมณ์ พร้อมทั้งให้เหตุผลหรือถ่ายทอดประสบการณ์โดยใช้เสียงของตนเอง แล้วให้นักเรียนสรุปประจำบท แล้วแสดงความรู้สึกเกี่ยวกับเสียงกลองที่นักเรียนเคยได้ยินมา และตอบคำถามได้สรุปประจำบท โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความรู้สึก และตอบคำถามอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูชี้แจงคำถามสำคัญที่นักเรียนจะต้องตอบได้หลังจากการเรียนรู้บทที่ 12 และหัวข้อต่าง ๆ ที่นักเรียนจะได้เรียนรู้ในบทที่ 12

12.1 ธรรมชาติของเสียง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการเกิดเสียงและการเคลื่อนที่ของเสียง
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นการกระจัดของอนุภาคกับคลื่นความดันขณะคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของเสียงในอากาศกับอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียสและคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
4. สังเกตและอธิบายการสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอดของเสียง

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

อุปกรณ์สำหรับกิจกรรมที่เลือกให้นักเรียนศึกษา เช่น ส้อมเสียงและค้อนยาง กีตาร์พร้อมสายกีตาร์ แอปพลิเคชันเสียง เช่น แอปพลิเคชัน frequency sound generator ทั้งในระบบ android และ ios หรือแอปพลิเคชันอื่น ๆ หรือแหล่งกำเนิดเสียงที่สามารถผลิตความถี่ได้ทั้ง 3 ช่วง เช่น นกหวีดฝึกสุนัขสำหรับช่วงความถี่ของคลื่นเหนือเสียง สปริงสำหรับช่วงความถี่ของคลื่นใต้เสียง

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 12.1 โดยเลือกให้นักเรียนทำกิจกรรมต่อไปนี้

1. ให้นักเรียนทุกคนเอามือจับที่ลำคอขณะเปลี่ยนเสียง แล้วสังเกตการสั่นของเส้นเสียง
2. ให้นักเรียนเคาะส้อมเสียง แล้วนำขาส้อมเสียงไปแตะผิวน้ำในอ่างน้ำที่เตรียมไว้
3. ตัดสายเครื่องดนตรี (เช่น สายกีตาร์) ให้สั้น แล้วจับสายกีตาร์ให้หยุดทันที (เมื่อจับสายกีตาร์ให้หยุดสั้น เสียงจะเงียบทันที)



แนวคำตอบชวนคิด

การสั่นทุกชนิดทำให้เกิดเสียงที่มนุษย์ได้ยินหรือไม่

แนวคำตอบ การสั่นบางชนิดทำให้เกิดเสียงที่มนุษย์ได้ยิน และการสั่นบางชนิดไม่ทำให้เกิดเสียงที่มนุษย์ได้ยิน ตัวอย่างการสั่นที่บางครั้งที่มนุษย์ไม่ได้ยินเสียง เช่น การสั่นของสปริง การเดินของซีพาร์ การสั่นของถนนเมื่อรถบรรทุกวิ่งผ่าน

จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่า เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุ (แหล่งกำเนิดเสียง) และอภิปรายต่อจนได้ว่า คลื่นเสียงเป็นคลื่นกลชนิดหนึ่งที่อยู่ตัวกลางในการเคลื่อนที่ และมีการถ่ายโอนพลังงาน

ครูถามคำถามชวนคิดในหน้า 3 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูนำอภิปรายว่าการสั่นของวัตถุทุกชนิด ไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดเสียง จากนั้นครูอาจสาธิตหรืออาจให้นักเรียนทำกิจกรรมโดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เปิดแอปพลิเคชันเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิร์ตซ์ ระหว่าง 20-20000 เฮิร์ตซ์ และมากกว่า 20000 เฮิร์ตซ์ หรือใช้แหล่งกำเนิดเสียงทั้ง 3 ช่วง ให้นักเรียนสังเกตเสียงที่ได้ยินแล้วครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า คลื่นเสียงที่มนุษย์ได้ยินเรียกว่า เสียง และจำแนกคลื่นเสียงตามการได้ยินของมนุษย์ได้แก่ คลื่นที่ได้ยินหรือเสียง คลื่นใต้เสียง และคลื่นเหนือเสียง ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

จากนั้น ครูตั้งคำถามว่า เสียงเคลื่อนที่ได้อย่างไร และมีปัจจัยใดที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของเสียงบ้าง โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

12.1.1 การเคลื่อนที่ของเสียง

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. การเคลื่อนที่ของเสียง อนุภาคตัวกลางเคลื่อนที่ไปกับคลื่นเสียง	1. อนุภาคตัวกลางไม่ได้เคลื่อนที่ไปกับคลื่นเสียง เพราะอนุภาคตัวกลางสั่นกลับไปกลับมา และถ่ายโอนพลังงานให้กับอนุภาคที่อยู่ติดกันต่อเนื่องกันไป
2. จากกราฟการกระจัดกับตำแหน่ง แกนการกระจัดตั้งฉากกับแกนตำแหน่ง แสดงว่าอนุภาคตัวกลางสั่นในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียง จึงเป็นคลื่นตามขวาง	2. การที่แกนกราฟตั้งฉากกันไม่ได้หมายถึงปริมาณมีทิศตั้งฉากกัน ค่าบวก (ลบ) ของการกระจัด จะบอกถึง การกระจัดในทิศทางเดียว (ทิศทางตรงข้าม) กับทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียง เสียงจึงเป็นคลื่นตามยาว
3. ทั้งสัน (ด้านบวก) และท้อง (ด้านลบ) ของคลื่น ความดันในกราฟ ความดันที่เปลี่ยนแปลงกับตำแหน่ง เป็นความดันที่มากที่สุดที่มากกว่าความดันปกติ	3. ค่าบวก (ค่าลบ) บอกค่าความดันที่มากกว่า (น้อยกว่า) ความดันปกติ สันคลื่นในกราฟ ความดันที่เปลี่ยนแปลงกับตำแหน่ง เป็นความดันที่มากกว่าความดันปกติ ที่มากที่สุดส่วนท้องคลื่นเป็นความดันที่น้อยกว่าความดันปกติ ที่น้อยที่สุด

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

อุปกรณ์สำหรับทำกิจกรรม ดังนี้ 1. ส้อมเสียงและค้อนยาง 2. ถังน้ำที่บรรจุน้ำ หรือวิดิทัศน์เรื่องการเคลื่อนที่ของเสียง

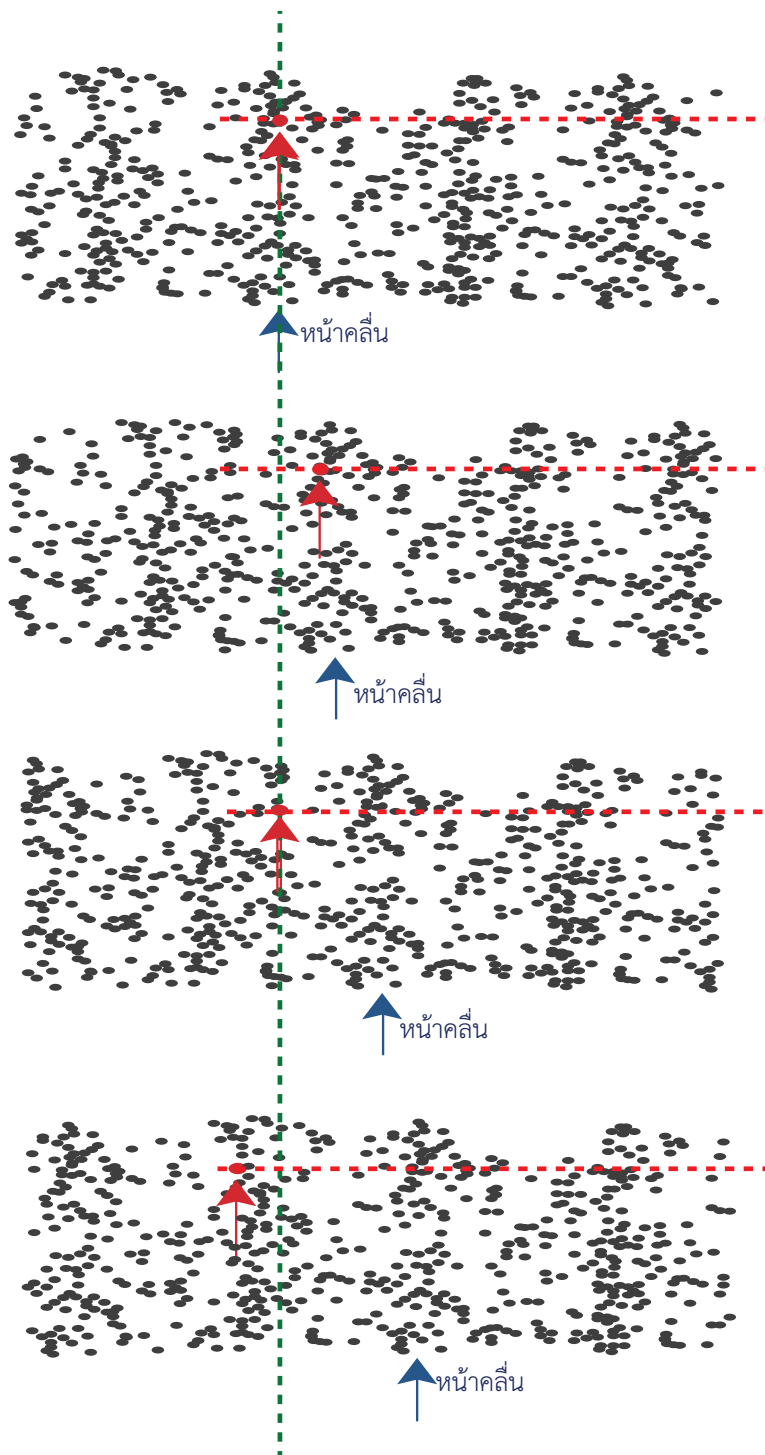
แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 1 และ 2 ของหัวข้อ 12.1 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 12.1.1 โดยให้นักเรียนทำกิจกรรม โดยเคาะส้อมเสียงด้วยค้อนยาง แล้วให้นักเรียนสังเกตปลายส้อมเสียงขณะอยู่ในอากาศ จากนั้นเคาะส้อมเสียงด้วยค้อนยางอีกครั้ง นำไปสัมผัสผิวน้ำ แล้วให้นักเรียนสังเกตผิวน้ำ จากนั้นครูนำอภิปรายการถ่ายโอนพลังงานของการสั่นของส้อมเสียงไปสู่ น้ำ แล้วเชื่อมโยงไปสู่ตัวกลางซึ่งเป็นอากาศที่อยู่บริเวณรอบปลายส้อมเสียงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร จนได้แนวคิดที่ว่า เมื่อเคาะส้อมเสียงปลายส้อมเสียงมีการสั่นไป-มา ทำให้อากาศบริเวณปลายส้อมเสียงสั่นด้วย แล้วให้อภิปรายต่อเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงที่เกิดจากการเคาะส้อมเสียง ตามรูป 12.1 ก.-จ. ในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่าเสียงเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง โดยทำให้ความดันอากาศเปลี่ยนแปลง ประกอบด้วยส่วนอัดซึ่งมีความดันอากาศสูงกว่าปกติ และส่วนขยายซึ่งมีความดันอากาศต่ำกว่าปกติ เคลื่อนที่ไปในตัวกลางตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียง

ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของอนุภาคอากาศขณะคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน ตามรูป 12.2 ก.-จ. (การเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงและการสั่นของอนุภาคอากาศ) ในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า อนุภาคอากาศแต่ละอนุภาคเคลื่อนที่กลับไปกลับมารอบตำแหน่งสมดุลในแนวเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง โดยไม่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับคลื่นเสียง แสดงว่า เสียงเป็นคลื่นตามยาว

ครูให้นักเรียนเขียนกราฟระหว่างการกระจัดของอนุภาคอากาศหนึ่ง (แทนด้วยจุดสีแดง) กับเวลา โดยใช้ข้อมูลในรูป 12.2 ก-จ ครูอธิบายว่า การกระจัดของอนุภาคหนึ่งตัว ที่เวลาตั้งแต่ $0-T$ จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยที่เวลา $t=0$ การกระจัดเป็นศูนย์ (อนุภาคอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล) ที่เวลา $t=\frac{T}{4}$ อนุภาคมีการกระจัดมากที่สุดไปทางขวา (เป็นบวก) ที่เวลา $t=\frac{T}{2}$ อนุภาคกลับมาอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล ที่เวลา $t=\frac{3T}{4}$ อนุภาคมีการกระจัดมากที่สุดไปทางซ้าย (เป็นลบ) และที่เวลา $t=T$ อนุภาคกลับมาอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล เป็นการเคลื่อนที่ครบหนึ่ง รอบ เมื่อลงจุดการกระจัดและเวลา และเขียนกราฟแนวโน้มนที่ผ่านจุด จะได้กราฟระหว่างการกระจัดของอนุภาคหนึ่งตัวกับเวลา มีลักษณะคล้ายรูปไซน์เช่นเดียวกับการสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของรถทดลอง ดังรูป 12.1



รูป 12.1 กราฟการกระจัดของอนุภาคหนึ่งตัวกับเวลา ตั้งแต่เวลา $t = 0$ ถึง $t = T$

ครูควรเน้นว่า กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ เพราะข้อมูลที่นำไปลงจุด (plot) น้อยเกินไป จึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่า เป็นรูปไซน์ เพียงแค่รูปร่างคล้ายรูปไซน์

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 7 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง ซึ่งกรณีที่ครูให้นักเรียนทำกิจกรรมเพื่อตอบคำถามชวนคิด ควรบันทึกวิถีทัศนในขณะทำกิจกรรมไว้ เพื่อนำกลับมาดูซ้ำระหว่างการอภิปราย



แนวคำตอบชวนคิด

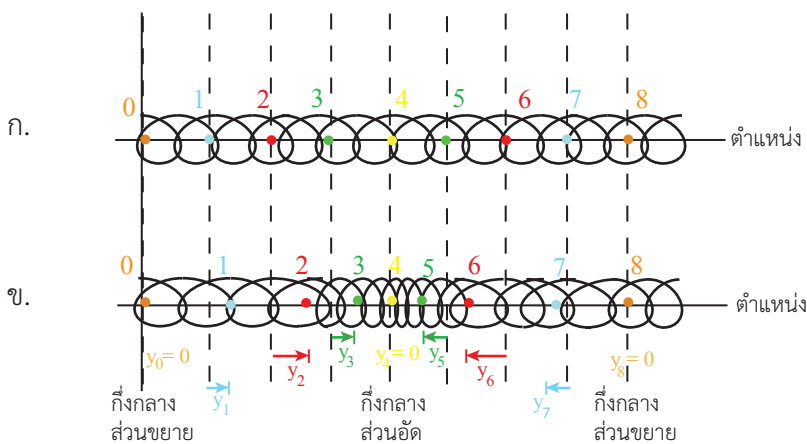
หลายคนคงเคยเห็นการสร้างคลื่นมนุษย์ในเทศกาลสงกรานต์ที่ถนนข้าวเหนียว ในจังหวัดขอนแก่น ประชาชนร่วมกันลุกขึ้นยืน-นั่ง-ยืนอย่างต่อเนื่องเป็นทางยาว ทำให้เกิดรูปคลื่นตามขวาง เป็นไปได้หรือไม่ที่จะสร้างคลื่นมนุษย์ที่เป็นคลื่นตามยาวเหมือนคลื่นเสียง

แนวคำตอบ เป็นไปได้ เช่น ให้นักเรียนเข้าแถวหน้ากระดาน แขนแต่ละข้างคล้องกับแขนคนด้านข้าง แล้วเอนตัวไปด้านข้างเล็กน้อยและเอนตัวกลับอย่างช้า ๆ เป็นจังหวะ โดยเริ่มจากหัวแถว อย่าให้แขนที่คล้องหลุดจากกัน คล้ายกับการโยกตัวเมื่อร้องเพลงสามัคคีชุมนุมรอบกองไฟ จะเกิดคลื่นตามยาวได้เมื่อเข้าแถวหน้ากระดาน

ครูให้นักเรียนศึกษารูป 12.3 ก. ในหนังสือเรียน ซึ่งแสดงการกระจายตัวของอนุภาคอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ขณะคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน แล้วครูนำอภิปรายการเปลี่ยนแปลงการจัดของอนุภาคอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน จนได้กราฟรูป 12.3 ข. และอภิปรายต่อเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน จนได้กราฟรูป 12.3 ค. จากนั้นให้นักเรียนสังเกตข้อแตกต่างระหว่างกราฟการจัดของอนุภาคอากาศกับตำแหน่งและกราฟความดันอากาศที่เปลี่ยนไปกับตำแหน่งโดยใช้กราฟรูป 12.3 ข.-ค. แล้วอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่ากราฟทั้งสองแบบมีเฟสต่างกัน 90 องศา

ครูควรเน้นว่า กราฟทั้งสองเป็นกราฟ ณ ระยะเวลาหนึ่ง และมีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ จึงเรียกการเปลี่ยนแปลงการกระจัดของอนุภาคอากาศกับตำแหน่ง ว่า คลื่นการกระจัดของเสียง และเรียกความดันอากาศที่เปลี่ยนไปกับตำแหน่งว่า คลื่นความดันของเสียง

ครูเชื่อมโยงการเกิดคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงและการถ่ายโอนพลังงานเสียงให้กับอนุภาคตัวกลาง กับการกระจัดจากตำแหน่งเดิมกับตำแหน่งบนขดลวดสปริงในรูป 12.3 ง ในหนังสือเรียน โดยใช้รูป 12.2 ประกอบดังนี้



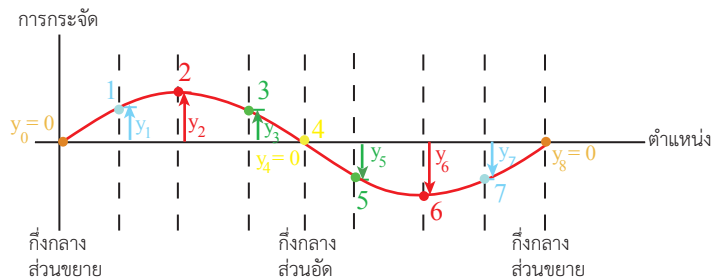
รูป 12.2 ลักษณะคลื่นตามยาวบนขดลวดสปริงที่ระยะเวลาหนึ่ง

จุด 1, 2, 3... ในรูป 12.2 ก ซึ่งเป็นตำแหน่งสมมติบนขดลวดสปริง ขณะที่สปริงยังไม่เกิดคลื่นอัดตามยาว เมื่อเกิดคลื่นตามยาวบนขดลวดสปริงจะมีส่วนอัดและขยายทำให้จุด 1, 2, 3... เปลี่ยนตำแหน่งไปดังรูป 12.2 ข การกระจัดจากตำแหน่งเดิมของขดลวดสปริงแต่ละขดก็คือ $y_1, y_2, \dots$ นั่นเอง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางส่วนอัด (จุด 4) และกึ่งกลางส่วนขยาย (จุด 0 และ 8) การกระจัดจากตำแหน่งเดิมของขดลวดสปริงจะเป็นศูนย์ ส่วนที่จุด 1, 2 และ 3 การกระจัดจากตำแหน่งเดิมของขดลวดสปริงจะไปทางขวาโดยจุดที่ 2 จะมีการกระจัดมากที่สุด 5, 6 และ 7 การกระจัดจากตำแหน่งเดิมของขดลวดสปริงจะไปทางซ้าย โดยจุดที่ 6 จะมีการกระจัดมากที่สุด

ครูควรเน้นว่า กราฟระหว่างการกระจัดกับเวลา และกราฟระหว่างการกระจัดกับตำแหน่ง มีความแตกต่างกันดังนี้ กราฟการกระจัดกับเวลา เป็นกราฟการกระจัดของอนุภาคหนึ่งตัวที่เวลาต่าง ๆ เช่น ที่เวลา $t=0, t=\frac{T}{4}, t=\frac{T}{2}, \dots$ ส่วนกราฟการกระจัดกับตำแหน่ง เป็นกราฟการกระจัดของอนุภาคอากาศแต่ละตัว ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะเวลาหนึ่ง เช่น ที่เวลา $t=\frac{T}{4}$

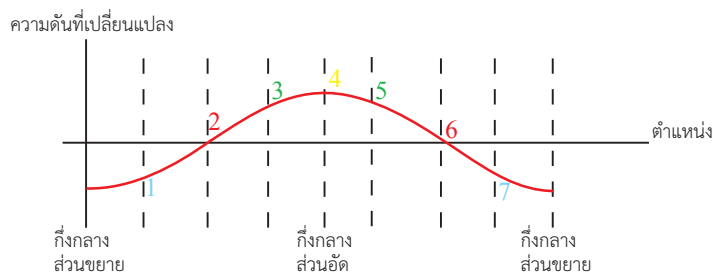
ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.1 ข้อ 1 ถึง 4 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

เมื่อพิจารณาการกระจัดของอนุภาคอากาศที่ขณะเวลาหนึ่ง จากรูป 12.2 จะได้กราฟการกระจัดของอนุภาคกับตำแหน่ง ที่มีลักษณะคล้ายคลื่นรูปไซน์ ดังรูป 12.3



รูป 12.3 กราฟการกระจัดของอนุภาคกับตำแหน่งที่ขณะเวลาหนึ่ง

เมื่อพิจารณาความดันอากาศที่เปลี่ยนแปลงที่ขณะเวลาหนึ่ง จะได้กราฟความดันอากาศที่เปลี่ยนแปลงกับตำแหน่ง ที่มีลักษณะคล้ายคลื่นรูปไซน์เช่นกัน ดังรูป 12.4



รูป 12.4 กราฟความดันที่เปลี่ยนแปลงกับตำแหน่งที่ขณะเวลาหนึ่ง

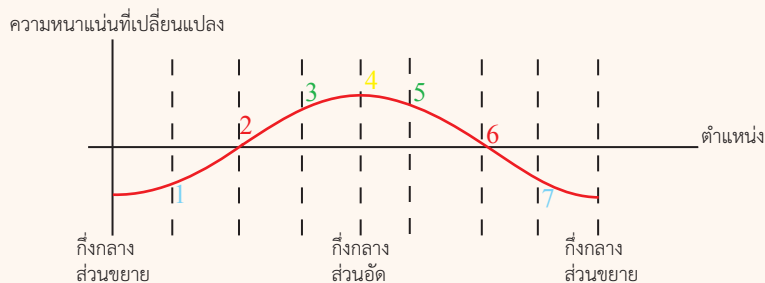
ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 8 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

ขณะที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศ ความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร แสดงในรูปกราฟระหว่างความหนาแน่นกับตำแหน่ง

แนวคำตอบ



รูป กราฟความหนาแน่นที่เปลี่ยนแปลงกับตำแหน่งที่ขณะเวลาหนึ่ง

จากนั้นครูตั้งคำถามว่า ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วของเสียงมีอะไรบ้าง โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

12.1.2 อัตราเร็วเสียง

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. อัตราเร็วเสียงในอากาศหาได้จาก $v = 331 + 0.6T_C$ มีความถูกต้องสำหรับทุกค่าอุณหภูมิ	1. อัตราเร็วเสียงในอากาศที่หาได้จาก $v = 331 + 0.6T_C$ ได้ค่าที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยเฉพาะในช่วงอุณหภูมิ -50 ถึง 50 องศาเซลเซียส
2. ในตัวกลางหนึ่ง อัตราเร็วเสียงเปลี่ยนแปลงเมื่อความถี่หรือความยาวคลื่นเปลี่ยนไป	2. ในตัวกลางหนึ่ง อัตราเร็วเสียงขึ้นอยู่กับสมบัติของตัวกลางนั้น ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงความถี่หรือความยาวคลื่น

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

อุปกรณ์สำหรับทำกิจกรรม ดังนี้ 1. แหล่งกำเนิดเสียง 2. เทอร์มอมิเตอร์

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 3 ของหัวข้อ 12.1 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 12.1.2 โดยทบทวนความรู้ว่า อัตราเร็วของคลื่นมีความสัมพันธ์ตามสมการ $v = f\lambda$ แต่ไม่ได้ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงความถี่หรือความยาวคลื่น แล้วให้ความรู้ว่าเป็นคลื่นจึงมีอัตราเร็วสัมพันธ์กับความถี่และความยาวคลื่นตามสมการ $v = f\lambda$ เช่นกัน จากนั้นครูตั้งคำถามว่าความสัมพันธ์ $v = f\lambda$ ได้มาอย่างไร ครูให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายทบทวนจนแสดงให้เห็นได้ว่า $v = f\lambda$ มาจาก $v = \frac{d}{t}$

ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับอัตราเร็วเสียงขึ้นอยู่กัสมบัติของตัวกลาง ได้แก่ สภาพยืดหยุ่นและความหนาแน่นของตัวกลาง แล้วให้ศึกษาจากตาราง 12.1 ในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่าอัตราเร็วเสียงในตัวกลางต่างกัน มีค่าต่างกัน จากนั้นครูตั้งคำถามเหตุใดคนสมัยก่อนแนบหูกับพื้นดินหรือรางรถไฟเพื่อฟังเสียงว่ามีคน สัตว์ หรือรถไฟเคลื่อนที่อยู่ แล้วนำอภิปราย จนสรุปได้ว่า เสียงจะถ่ายโอนพลังงานผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งได้ดีที่สุด รองลงมาคือของเหลว และแก๊สตามลำดับ

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 10 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

1. คลื่นเสียงที่เดินทางได้ระยะทางเท่ากับสามเท่าของความยาวคลื่น ใช้เวลาเป็นกี่เท่าของคาบ
แนวคำตอบ สามเท่าของคาบ
2. คลื่นเสียงที่ได้ยินมีความถี่ระหว่าง 20 เฮิรตซ์ ถึง 20000 เฮิรตซ์ ช่วงความยาวคลื่นของคลื่นที่ได้ยิน ในอากาศอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีค่าประมาณเท่าใด
แนวคำตอบ ความยาวคลื่นมีค่าประมาณระหว่าง 0.017 ถึง 17 เมตร
3. เมื่อเคาะส้อมเสียงอันหนึ่งในอากาศ เกิดคลื่นเสียงที่มีความถี่ 225 เฮิรตซ์ ถ้าเคาะส้อมเสียงนั้นในแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ความถี่ของคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนไปหรือไม่
แนวคำตอบ ส้อมเสียงเป็นแหล่งกำเนิดที่มีความถี่คงตัว ไม่ขึ้นกับตัวกลาง ความถี่จึงไม่เปลี่ยน มีค่าเท่ากับ 225 เฮิรตซ์ เช่นเดิม สิ่งที่เปลี่ยนคือความยาวคลื่นและอัตราเร็วเสียง
4. อัตราเร็วของคลื่นดลของคลื่นเสียงสามารถหาได้อย่างไร
แนวคำตอบ สามารถหาได้จากการวัดระยะทางและเวลาที่คลื่นดลของเสียงเคลื่อนที่ และหาอัตราเร็วจาก $v = \frac{d}{t}$

ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า สมบัติยืดหยุ่นและความหนาแน่นของตัวกลางขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ทำให้อัตราเร็วเสียงยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย แล้วอภิปรายต่อจนได้ว่า อัตราเร็วเสียงในอากาศมีค่าขึ้นกับอุณหภูมิของอากาศ (ในหน่วยองศาเซลเซียส) ตามสมการ $v = 331 + 0.6T_C$ ครูเน้นข้อสังเกตเกี่ยวกับสมการ $v = 331 + 0.6T_C$ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูอาจให้นักเรียนหาอัตราเร็วเสียงในอากาศ ณ ขณะนั้น โดยใช้เทอร์มอมิเตอร์วัดอุณหภูมิของอากาศ แล้วหาอัตราเร็วเสียงจาก $v = 331 + 0.6T_C$

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 12.1 และ 12.2 โดยมีครูเป็นผู้แนะนำ จากนั้น ตรวจสอบความเข้าใจนักเรียน โดยให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 12.1 ข้อ 1-3 และข้อ 5-6 ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 12 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

เมื่ออุณหภูมิในตัวกลางเปลี่ยน การเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วเสียงในตัวกลางทำให้เกิดการเปลี่ยนความยาวคลื่นหรือความถี่ อย่างไร

แนวคำตอบ เมื่ออุณหภูมิในตัวกลางเปลี่ยน อัตราเร็วเสียงจะมีการเปลี่ยนแปลง แต่ความถี่ยังมีค่าเท่าเดิม ทำให้ความยาวคลื่นเปลี่ยน เช่น เมื่ออุณหภูมิในตัวกลางสูงขึ้น อัตราเร็วเสียงจะเพิ่มขึ้น โดยความถี่ยังมีค่าเท่าเดิม ทำให้ความยาวคลื่นมีค่ามากขึ้น

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

1. อัตราเร็วของคลื่นเสียงในตัวกลางสถานะต่าง ๆ

อัตราเร็วของคลื่นเสียงในตัวกลางสถานะต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับสมบัติของตัวกลาง ได้แก่ สภาพยืดหยุ่น และความหนาแน่นของตัวกลาง ดังนี้

อัตราเร็วของเสียงในของแข็ง

อัตราเร็วของเสียงในของแข็ง ขึ้นอยู่กับมอดูลัสของยัง (Young's modulus) และความหนาแน่นของของแข็ง ตามสมการ

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

เมื่อ v เป็นอัตราเร็วของเสียงในของแข็ง มีหน่วยเมตรต่อวินาที

ρ เป็นความหนาแน่นของของแข็ง มีหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Y เป็นมอดูลัสของยัง มีหน่วยนิวตันต่อตารางเมตร

โดยหา Y ได้จาก $Y = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}}$

อัตราเร็วของเสียงในของไหล

อัตราเร็วของเสียงในของไหล ขึ้นอยู่กับมอดูลัสเชิงปริมาตร (bulk modulus) และความหนาแน่นของของไหล ตามสมการ

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

เมื่อ v เป็นอัตราเร็วเสียงในของไหล มีหน่วยเมตรต่อวินาที

ρ เป็นความหนาแน่นของของไหล มีหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

B เป็นมอดูลัสเชิงปริมาตร มีหน่วยนิวตันต่อตารางเมตร

โดยหา B ได้จาก $B = \frac{\Delta P}{\frac{\Delta V}{V}} = \frac{\text{การเปลี่ยนแปลงความดัน}}{\text{อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตร}}$

อัตราเร็วของเสียงในแก๊สอุดมคติ

อัตราเร็วของเสียงในแก๊สอุดมคติ (ideal gas) มีการอัดและขยายตัวของแก๊สเป็นไปตามกระบวนการอเดียเบติก (adiabatic process) โดย

$$B = \gamma P$$

$$\text{เมื่อ } \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\text{ความจุความร้อนของแก๊สที่ความดันคงตัว}}{\text{ความจุความร้อนของแก๊สที่ปริมาตรคงตัว}}$$

B เป็นมอดุลัสเชิงปริมาตร มีหน่วยนิวตันต่อตารางเมตร

P เป็นความดันของแก๊ส มีหน่วยนิวตันต่อตารางเมตร

$$\begin{aligned} \text{จากอัตราเร็วของเสียงในของไหล} \quad v &= \sqrt{\frac{B}{\rho}} \\ \text{แทน } B = \gamma P \text{ จะได้} \quad v &= \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \end{aligned} \quad (a)$$

ดังนั้นอัตราเร็วของเสียงในแก๊สจึงมีค่าขึ้นอยู่กับ γ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของความจุความร้อนที่ความดันคงตัว (C_p) ต่อความจุความร้อนที่ปริมาตรคงตัว (C_v) ความดันของแก๊ส P และความหนาแน่นของแก๊ส ρ

$$\text{แต่จากกฎของแก๊ส} \quad PV = nRT$$

เนื่องจาก $n = \frac{m}{M}$ เมื่อ n เป็นจำนวนโมล m เป็นมวลของแก๊ส และ M เป็นมวลโมลาร์

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad PV &= \left(\frac{m}{M} \right) RT \\ P \left(\frac{V}{m} \right) &= \frac{RT}{M} \\ \frac{P}{\rho} &= \frac{RT}{M} \end{aligned} \quad (b)$$

$$\text{แทน (a) ลงใน (b) จะได้} \quad v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

เมื่อ R เป็นค่าคงตัวแก๊ส มีค่า 8.314 จูลต่อโมลต่อเคลวิน

M เป็นมวลโมลาร์ของแก๊ส (หรือมวลของแก๊สหนึ่งโมล) มีหน่วยกิโลกรัมต่อโมล

T เป็นอุณหภูมิ มีหน่วยเคลวิน

v เป็นอัตราเร็วของเสียงในแก๊สอุดมคติ มีหน่วยเมตรต่อวินาที

สำหรับแก๊สหนึ่ง ๆ γ , R และ M มีค่าคงตัว จะได้ $v \propto \sqrt{T}$

หมายเหตุ สำหรับแก๊ส ถ้าเปรียบเทียบอัตราเร็วของเสียงในแก๊สอุดมคติ จะได้ว่า $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$

2. อัตราเร็วเสียงในอากาศ

การทดลองเรื่องอัตราเร็วเสียงในอากาศ พบว่า อุณหภูมิ 273 เคลวิน (องศาเซลเซียส) เสียงในอากาศมีอัตราเร็ว 331 เมตรต่อวินาที เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น โดยอัตราเร็วเสียง เป็นสัดส่วนตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ T ดังนี้

$$v \propto \sqrt{T} \quad (a)$$

เมื่อ v เป็นอัตราเร็วเสียงในอากาศ มีหน่วย เมตรต่อวินาที

T เป็นอุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศ มีหน่วย เคลวิน

จาก (a) จะได้
$$v = k\sqrt{T} \quad (b)$$

แต่เนื่องจากหน่วยของอุณหภูมิที่นิยมใช้คือ องศาเซลเซียส เราอาจแปลงสมการ (b) ที่มีอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน ให้มีหน่วยองศาเซลเซียส โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ T ในหน่วยเคลวิน และอุณหภูมิ T_c ในหน่วยเซลเซียส ดังนี้

$$T = 273 + T_c$$

จาก (b) เมื่ออุณหภูมิอากาศเป็น T_c จะได้
$$v = k(273 + T_c)^{\frac{1}{2}} \quad (c)$$

เมื่ออุณหภูมิอากาศเป็น 0°C จะได้
$$v_0 = k(273 + 0)^{\frac{1}{2}} \quad (d)$$

$$\frac{(c)}{(d)} \quad \frac{v}{v_0} = \left(\frac{273 + T_c}{273 + 0} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{v}{v_0} = \left(1 + \frac{T_c}{273} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$v = 331 \left(1 + \frac{T_c}{273} \right)^{\frac{1}{2}}$$

จากคณิตศาสตร์
$$(1 \pm x)^n = 1 \pm nx + \frac{n(n-1)}{2!}x^2 \pm \frac{n(n-1)(n-2)}{3!}x^3 + \dots$$

ถ้า $n = \frac{1}{2}$ และ x เป็นบวก จะได้
$$(1+x)^{\frac{1}{2}} = 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 + \dots$$

เมื่อ $x < 1$ ดังนั้น $x^2 \ll 1, x^3 \ll 1, \dots$ หรือประมาณว่ามีค่าเป็นศูนย์ จะได้

$$(1+x)^{\frac{1}{2}} \cong 1 + \frac{1}{2}x$$

ดังนั้น จาก (e) จะได้

$$\begin{aligned} v &= 331 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{T_C}{273} \right) \right] \\ v &= 331 + \frac{331}{2(273)} T_C \\ v &= 331 + 0.6 T_C \end{aligned} \quad (f)$$

หากนำสมการ (e) $v = 331 \left(1 + \frac{T_C}{273} \right)^{\frac{1}{2}}$ และสมการ (f) $v = 331 + 0.6 T_C$ ไปหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิเดียวกัน ผลที่ได้จะเป็นอย่างไร พิจารณาได้ดังตาราง

ตาราง เปรียบเทียบอัตราเร็วเสียงที่คำนวณได้ในช่วง -100 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของอากาศ ($^{\circ}\text{C}$)	$v = 331 \left(1 + \frac{T_C}{273} \right)^{\frac{1}{2}}$ (m/s)	$v = 331 + 0.6 T_C$ (m/s)
-100	263.5	271
-50	299.2	301
-25	315.5	316
0	331.0	331
25	345.8	346
30	348.7	349
50	360.0	361
75	373.7	376
100	386.9	391

จากผลการคำนวณ จะพบว่าสมการ (e) และ (f) ให้ผลที่ใกล้เคียงกันเมื่ออุณหภูมิของอากาศมีค่าระหว่าง -50°C ถึง 50°C แต่เมื่ออุณหภูมิของอากาศเกิน 50°C หรือต่ำกว่า -50°C อัตราเร็วของเสียงที่หาได้จาก $v = 331 + 0.6 T_C$ จะมีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น

จากนั้นครูตั้งคำถามว่า คลื่นเสียงสามารถแสดงพฤติกรรมต่าง ๆ เช่นเดียวกับคลื่นอื่นได้หรือไม่ โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

12.1.3 พฤติกรรมของเสียง

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. พฤติกรรมของคลื่นเสียง มีเฉพาะการเลี้ยวเบน การแทรกสอด	1. พฤติกรรมของคลื่นเสียงมี 4 อย่าง ได้แก่ การสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด เช่นเดียวกับคลื่นอื่น ๆ
2. เสียงก้องต้องเกิดในห้องปิด แต่ไม่เกี่ยวข้องกับเวลาการได้ยินเสียง	2. เสียงก้องไม่จำเป็นต้องเกิดในห้องปิด สามารถเกิดในที่โล่ง ที่มีวัตถุทำให้เสียงสะท้อนมายังผู้ฟังได้ แต่ปัจจัยที่สำคัญคือเวลาที่ผู้ฟังได้ยินเสียงเดิมและเสียงสะท้อนมีเวลาต่างกัน น้อยกว่า 0.1 วินาที จึงจะเกิดเสียงก้อง
3. เมื่อเสียงเดินทางกระทบรอยต่อของตัวกลางสองชนิด จะเกิดการสะท้อนหรือการหักเห อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น	3. เมื่อเสียงเดินทางกระทบรอยต่อของตัวกลางสองชนิด โดยทั่วไปแล้ว อาจเกิดได้ทั้งการสะท้อนและการหักเห โดยส่วนที่เคลื่อนที่กลับตัวกลางเดิมเกิดการสะท้อน และส่วนที่เคลื่อนที่ผ่านรอยต่อเกิดการหักเห แต่เมื่อเสียงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่เสียงมีอัตราเร็วช้ากว่า ไปสู่ตัวกลางที่เสียงมีอัตราเร็วมากกว่า เสียงอาจเกิดการสะท้อนกลับหมดได้ โดยไม่มีการหักเห เมื่อมุมตกกระทบมีค่ามากพอ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 4 ของหัวข้อ 12.1 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 12.1.3 โดยอภิปรายเกี่ยวกับพฤติกรรมคลื่นเสียงจนสรุปได้ว่า เสียงเป็นคลื่นชนิดหนึ่ง จึงมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับคลื่นอื่น ได้แก่ การสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด จากนั้นให้นักเรียนศึกษาแต่ละพฤติกรรมของเสียงตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่ความรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมของการสะท้อนของเสียงโดยอภิปรายการได้ยินเสียงที่ตะโกนออกไป แล้วได้ยินเสียงนั้นซ้ำอีกครั้งหรือหลาย ๆ ครั้ง จนสรุปได้ว่า

1. การได้ยินเสียงที่เราตะโกนออกไปแล้วได้ยินอีกครั้งหนึ่งหรือหลาย ๆ ครั้ง เกิดจากเสียงที่เราตะโกนไปกระทบวัตถุ เช่น ผนังห้อง เพดาน แล้วเกิดการสะท้อนของเสียงกลับมาที่หูเรา
2. ปกติหูคนจะแยกเสียงที่ตะโกนกับเสียงที่สะท้อนได้เมื่อได้ยินเสียงตะโกนกับเสียงสะท้อนห่างกันเท่ากับหรือมากกว่า 0.1 วินาที โดยเรียกเสียงสะท้อนที่ได้นี้ว่า เสียงสะท้อนกลับ
3. เมื่อได้ยินเสียงตะโกนกับเสียงสะท้อนห่างกันน้อยกว่า 0.1 วินาที เราจะไม่สามารถแยกเสียงทั้งสองออกจากกันได้ แต่ได้ยินเสียงมีลักษณะต่างออกไป โดยเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การกังวาน

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 13 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้

ครูให้นักเรียนสืบค้นเกี่ยวกับการนำความรู้เรื่องการสะท้อนของเสียงไปประยุกต์ใช้ และความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นเสียงและขนาดของวัตถุที่คลื่นเสียงตกกระทบตามรายละเอียดในหนังสือเรียน



แนวคำตอบชวนคิด

ขนาดของห้องที่ทำให้ไม่ได้ยินเสียงสะท้อนกลับ ควรมีขนาดความกว้างหรือความยาวอย่างมากประมาณเท่าใด และขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นใดได้บ้าง

แนวคำตอบ ขนาดความกว้างและความยาวของห้องที่ทำให้ไม่ได้ยินเสียงสะท้อนกลับ อย่างมากประมาณ 17.3 เมตร [$(346 \text{ m/s}) (0.05 \text{ s}) = 17.3 \text{ m}$] (โดยผู้ฟังยืนชิดผนังห้องด้านหนึ่ง) แต่เมื่อความกว้างหรือความยาวของห้องมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 17.3 เมตร ผู้ฟังจะสามารถแยกแยะระหว่างเสียงตะโกนและเสียงสะท้อนได้จึงได้ยินเสียงสะท้อนกลับ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการได้ยินเสียงสะท้อนกลับ เช่น ผิวของวัสดุที่สะท้อนเสียง โดยพื้นผิวแข็งจะสะท้อนเสียงได้ดีกว่าผิวอ่อนนุ่ม ความดังของเสียงจะต้องมากพอที่จะได้ยินเสียงที่สะท้อนกลับมา

ครูอธิบายให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 12.3 และ 12.4 โดยมีครูเป็นผู้แนะนำ จากนั้น ตรวจสอบความเข้าใจนักเรียนโดยให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 12.1 ข้อ 4 ทั้งนี้อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 14 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

ในการวินิจฉัยเนื้อเยื่อ แพทย์ใช้คลื่นเหนือเสียงที่มีความถี่ในช่วง 1–10 เมกะเฮิร์ตซ์ เนื้อเยื่อที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจพบได้มีขนาดเท่าใด โดยอัตราเร็วของคลื่นเสียงในเนื้อเยื่อของร่างกายมนุษย์มีค่า 1540 เมตรต่อวินาที

แนวคำตอบ เนื่องจากการสะท้อนของเสียงเกิดได้ดีเมื่อความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าขนาดวัตถุ จากสมการ $v = f\lambda$ คำนวณความยาวคลื่นของคลื่นเหนือเสียงที่ใช้ในการวินิจฉัยได้อยู่ในช่วง 0.154–1.54 มิลลิเมตร ดังนั้นขนาดเนื้อเยื่อที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจพบได้มีขนาด 0.154 มิลลิเมตร

ครูนำเข้าสู่ความรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมการหักเหของเสียงโดยอภิปรายจนสรุปได้ว่าเสียงเกิดการหักเหเมื่อเปลี่ยนอัตราเร็ว เนื่องจากคลื่นที่เปลี่ยนตัวกลาง พร้อมทั้งยกสถานการณ์ที่เกิดฟ้าแลบแต่ไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ซึ่งแสดงว่าเสียงมีการหักเห

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 15 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่จากอากาศเข้าสู่ น้ำ ความถี่และความยาวคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่จากอากาศเข้าสู่ น้ำ ความถี่ของคลื่นเสียงไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความยาวคลื่นมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะความถี่ของเสียงเกี่ยวข้องกับความถี่จากแหล่งกำเนิดเสียง จึงมีค่าเท่าเดิม แต่อัตราเร็วเสียงในน้ำมากกว่าอัตราเร็วเสียงในอากาศ ความยาวคลื่นเสียงจึงมีค่าเพิ่มขึ้น

ครูนำเข้าสู่ความรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมการเลี้ยวเบนของเสียงโดยอภิปรายเกี่ยวกับสถานการณ์ที่เราไม่เห็นแหล่งกำเนิดเสียง แต่ได้ยินเสียงผ่านทางช่องหน้าต่างหรือช่องประตู ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นได้อย่างไร ครูอาจให้นักเรียนหาคำตอบจากการทำกิจกรรมลองทำดู การเลี้ยวเบนของเสียง



กิจกรรมลองทำดู การเลี้ยวเบนของเสียง

จุดประสงค์

ศึกษาความสัมพันธ์ของการเลี้ยวเบนของเสียงกับตำแหน่ง

เวลาที่ใช้ 30 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|-----------------------------|-----------|
| 1. เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง | 1 เครื่อง |
| 2. ลำโพง | 1 ตัว |
| 3. สายไฟ | 2 เส้น |

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. ลำโพงควรอยู่ห่างจากประตูประมาณ 30 เซนติเมตร และผู้ฟังควรอยู่ห่างจากบานประตูประมาณ 70 เซนติเมตร
2. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มผลัดเปลี่ยนกันทำกิจกรรม เนื่องจากในห้องเรียนมีประตู 2-3 ประตู แต่ถ้าจะทำกิจกรรมพร้อมกันอาจเปลี่ยนตัวกันจากประตูเป็นอย่างอื่น เช่น โต๊ะเรียน โต๊ะครู โดยแต่ละกลุ่มต้องห่างกันพอสมควร เพื่อเสียงที่เกิดขึ้นขณะทดลองของแต่ละกลุ่มจะได้ไม่รบกวนกัน
3. ปรับความดังของเสียงให้พอเหมาะ โดยได้ยินเฉพาะในกลุ่ม และในการทำกิจกรรม นักเรียนต้องเงียบ เพื่อให้เปรียบเทียบเสียงที่ได้ยินจากลำโพงที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้ชัดเจน

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตำแหน่งที่รับฟังเสียง	ลักษณะความดังค่อยของเสียง	ระดับเสียง (dB)
ตำแหน่ง A ตำแหน่ง B ตำแหน่ง C	เสียงค่อยที่สุด เสียงดังกว่าที่ตำแหน่ง A เสียงดังที่สุด	กรณี โรงเรียนมีเครื่องวัดระดับเสียง ควรให้นักเรียนทดลองวัด หรือใช้แอปพลิเคชันในการวัดเสียง(สามารถดาวน์โหลดแอปพลิเคชันในการวัดเสียง sound experiment ของ สสวท. ได้จาก QR code ประจำบท)



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ณ ตำแหน่ง A, B และ C จะได้ยินเสียงดังแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ จะได้ยินเสียงดังแตกต่างกัน โดยตำแหน่ง A เสียงค่อยที่สุด ตำแหน่ง B เสียงดังกว่าตำแหน่ง A แต่ดังน้อยกว่า C และตำแหน่ง C เสียงดังที่สุด

- ถ้าเสียงจากลำโพงเคลื่อนที่ไปถึงบานประตู ไม่อ้อมขอบบานประตู จะได้ยินเสียง ณ ตำแหน่ง A และ B หรือไม่

แนวคำตอบ ไม่ได้ยินเสียง ณ ตำแหน่ง A และ B

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรมจนสรุปได้ว่า

1. เมื่อรับฟังเสียงที่ตำแหน่ง A, B, และ C จะพบว่าที่ A เสียงค่อยที่สุด ที่ B เสียงดังขึ้น และที่ C เสียงดังที่สุด
2. การได้ยินเสียงที่ตำแหน่ง A และ B ซึ่งอยู่ด้านหลังสิ่งกีดขวางได้ แสดงว่าเสียงสามารถเคลื่อนที่อ้อมสิ่งกีดขวางได้
3. การได้ยินเสียงที่ตำแหน่ง A ค่อยที่สุด เพราะพลังงานเสียงไปถึงตำแหน่ง A ลดลง
4. เสียงแสดงพฤติกรรมการเลี้ยวเบนได้

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 17 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

เสียงความถี่ต่ำกับเสียงความถี่สูง เสียงความถี่ใดสามารถเลี้ยวเบนได้ดีกว่ากัน

แนวคำตอบ เนื่องจากเสียงที่มีความยาวคลื่นมาก จะเลี้ยวเบนได้ดีกว่าเสียงที่มีความยาวคลื่นน้อย ดังนั้นเสียงความถี่ต่ำซึ่งมีความยาวคลื่นมาก จะเลี้ยวเบนได้ดีกว่าเสียงความถี่สูงซึ่งมีความยาวคลื่นน้อย

ครูนำเข้าสู่ความรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมของการแทรกสอดของเสียงโดยยกตัวอย่างสถานการณ์ที่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดสองแหล่ง บางตำแหน่งได้ยินเสียงชัดเจน แต่บางตำแหน่งได้ยินเสียงไม่ชัดเจน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นได้อย่างไร ครูอาจให้นักเรียนหาคำตอบจากการทำกิจกรรมลองทำดู การแทรกสอดของเสียง



กิจกรรมลองทำดู การแทรกสอดของเสียง

จุดประสงค์

ศึกษาการแทรกสอดของเสียง

เวลาที่ใช้ 30 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | | |
|-----------------------------|---|---------|
| 1. เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง | 1 | เครื่อง |
| 2. ลำโพง | 1 | ตัว |
| 3. สายไฟ | 4 | เส้น |

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. ในการทำกิจกรรมของแต่ละกลุ่มควรห่างกันพอสมควร เพื่อไม่ให้เสียงที่เกิดขณะทดลองรบกวนกัน
2. ในการรับฟังเสียงตามตำแหน่งต่าง ๆ ใช้มือปิดหูข้างหนึ่งแล้วใช้หูอีกข้างหนึ่งรับฟัง เสียงที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยเข้าฟังทีละคน (คนอื่น ๆ ควรอยู่ห่างจากลำโพงพอสมควร เพื่อไม่ให้เกิดเสียงสะท้อนไปรบกวนเสียงจากลำโพง)
3. ระยะห่างระหว่างลำโพง 2 ตัว ควรอยู่ในช่วง 50-80 เซนติเมตร
4. ควรปรับความดังของเสียงให้พอเหมาะ พอได้ยินในกลุ่มเท่านั้น

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

เสียงที่ได้ยินจากลำโพง 2 ตัว ต่อฟังกัน พบว่า บางตำแหน่งจะได้ยินเสียงดัง บางตำแหน่งจะได้ยินเสียงค่อย



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ความถี่ของเสียงจากลำโพงทั้งสองตัว แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ ไม่แตกต่างกัน เพราะเป็นเสียงจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงเดียวกัน

- ความดังของเสียงที่ได้ยิน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อใช้ลำโพง 2 ตัว เป็นอย่างไร และจะอธิบายได้อย่างไร

แนวคำตอบ บางตำแหน่งได้ยินเสียงดัง บางตำแหน่งได้ยินเสียงค่อย ตำแหน่งที่ได้ยินเสียงดังเกิดจากการรวมกันแบบเสริม และตำแหน่งที่ได้ยินเสียงค่อยเกิดจากการรวมกันแบบหักล้าง

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรมจนได้ข้อสรุปดังนี้

1. ลำโพง 2 ตัวเป็นแหล่งกำเนิดเสียงอาพันธ์ (มีความถี่เท่ากันเพราะเป็นเสียงจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงเดียวกัน)
2. เมื่อรับฟังเสียงจากลำโพง 2 ตัว ที่ส่งเสียงพร้อมกันที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวขนานกับขอบโต๊ะที่บางตำแหน่งจะได้ยินเสียงดัง ที่บางตำแหน่งจะได้ยินเสียงค่อย ถ้าเลื่อนตำแหน่งที่รับฟังไปเรื่อย ๆ ตามแนวเส้นตรงที่ขนานกับขอบโต๊ะ จะได้ยินเสียงดังค่อย สลับกันไป
3. การได้ยินเสียงดังบางตำแหน่ง และเสียงค่อยบางตำแหน่ง ตามข้อ 2 นั้น เกิดจากการแทรกสอดของเสียงจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์ 2 แหล่ง ตำแหน่งที่เสริมกันของเสียงจะได้ยินเสียงดัง และตำแหน่งที่หักล้างกันของเสียงจะได้ยินเสียงค่อย
4. เสียงแสดงพฤติกรรมแทรกสอดได้

ครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันและสรุปความรู้เกี่ยวกับการเกิดเสียง การเคลื่อนที่ของเสียง และพฤติกรรมของเสียง

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการเกิดเสียง และการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง และพฤติกรรมของคลื่นเสียง จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.1 และแบบฝึกหัด 12.1
2. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและการกระจัดของคลื่นเสียง และจากกิจกรรมลองทำดู ทักษะการใช้จำนวน จากการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับอัตราเร็วเสียงในแบบฝึกหัด 12.1 ทักษะด้านการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผลและทักษะด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการทำกิจกรรมร่วมกัน
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น จากการอภิปรายและการทำกิจกรรมร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.1

1. เสียงเกิดขึ้นได้อย่างไร และแผ่ออกไปได้อย่างไร

แนวคำตอบ เสียงเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง โดยทำให้ความดันอากาศเปลี่ยนแปลง ประกอบด้วยส่วนอัดซึ่งมีความดันอากาศสูงกว่าปกติ และส่วนขยายซึ่งมีความดันอากาศต่ำกว่าปกติ และเสียงแผ่ออกไปโดยเคลื่อนที่ไปในตัวกลางตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียง

2. ยาน A และยาน B อยู่ในอวกาศที่เป็นสุญญากาศ ถ้ายาน A กระแทกกับยาน B คนในยานทั้งสองจะได้ยินเสียงหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ไม่ได้ยิน เพราะเสียงเป็นคลื่นกล ซึ่งต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงาน

3. ขณะเกิดคลื่นเสียงในอากาศ ปริมาณต่อไปนี้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

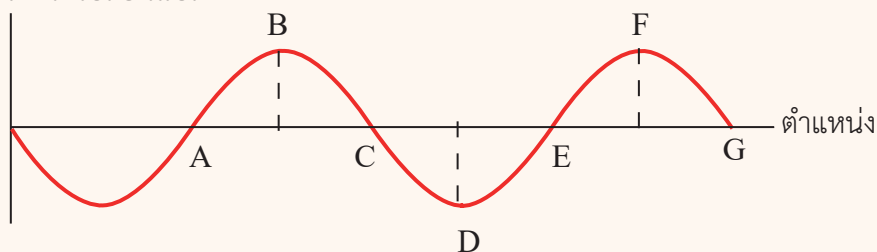
ก. การกระจัดของอนุภาคของอากาศ

ข. ความดันของอากาศ

แนวคำตอบ ขณะเกิดคลื่นเสียง อนุภาคตัวกลางมีการสั่นในแนวเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง ทำให้การกระจัดของอนุภาคและความดันของอากาศที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านมีการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

- ก. อนุภาคแต่ละตัวมีการกระจัดรอบตำแหน่งสมดุล โดยมีการกระจัดจากตำแหน่งสมดุลไปในทิศทางหนึ่ง (สมมติการกระจัดเป็นบวก) แล้วเคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งสมดุล (การกระจัดเป็นศูนย์) จากนั้นมีการกระจัดในทิศทางตรงข้าม (การกระจัดเป็นลบ) และกลับสู่ตำแหน่งสมดุล (การกระจัดเป็นศูนย์) เป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมารอบตำแหน่งสมดุล ไม่เคลื่อนที่ไปกับคลื่น
- ข. ส่วนความดันของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงทั้งมากกว่าปกติ เท่าเดิมและน้อยกว่าปกติ โดยบริเวณที่เป็นส่วนอัด (การกระจัดเป็นศูนย์) ความดันของอากาศจะสูงกว่าปกติ (การเปลี่ยนแปลงความดันเป็นบวก) บริเวณที่อนุภาคของอากาศอยู่ห่างกันสม่ำเสมอ บริเวณนั้นความดันของอากาศไม่มีการเปลี่ยนแปลง (ขนาดการกระจัดมากที่สุด) ส่วนบริเวณที่เป็นส่วนขยาย (ขนาดการกระจัดมากที่สุด) ความดันของอากาศจะต่ำกว่าปกติ (การเปลี่ยนแปลงความดันเป็นลบ)
4. กราฟระหว่างความดันอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของอนุภาคของอากาศกับตำแหน่งตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง เป็นดังรูป

ความดันที่เปลี่ยนแปลง



รูป ประกอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.1 ข้อ 4

- ก. ตำแหน่งใดบ้าง ที่ขนาดการกระจัดของอนุภาคของอากาศมีค่ามากที่สุด
- ข. ตำแหน่งใดบ้าง ที่เป็นตำแหน่งกึ่งกลางส่วนอัดของอนุภาคของอากาศ
- ค. ตำแหน่งใดบ้าง ที่เป็นตำแหน่งกึ่งกลางส่วนขยายของอนุภาคของอากาศ

แนวคำตอบ

- ก. ตำแหน่งที่ความดันอากาศเท่ากับความดันปกติ การกระจัดของโมเลกุลของอากาศ จะห่างจากตำแหน่งเดิมมากที่สุด คือ A, C, E, G
- ข. ตำแหน่งกึ่งกลางส่วนอัด จะมีความดันสูงกว่าความดันปกติมากที่สุด คือ B, F
- ค. ตำแหน่งกึ่งกลางส่วนขยาย จะมีความดันต่ำกว่าความดันปกติมากที่สุด คือ D



เฉลยแบบฝึกหัด 12.1

1. เสียงความถี่ 1000 เฮิรตซ์ และความยาวคลื่น 1.5 เมตร เคลื่อนที่ผ่านน้ำ อัตราเร็วเสียงในน้ำมีค่าเท่าใด
วิธีทำ

$$\begin{aligned} v &= f\lambda \\ &= (1000 \text{ Hz})(1.5 \text{ m}) \\ &= 1500 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ตอบ อัตราเร็วของเสียงในน้ำเท่ากับ 1500 เมตรต่อวินาที

2. ถ้าอุณหภูมิของอากาศ 30 องศาเซลเซียส อัตราเร็วเสียงในอากาศมีค่าเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned} v &= 331 + 0.6T_C \\ &= 331 \text{ m/s} + (0.6 \text{ m/s/}^\circ\text{C})(30^\circ\text{C}) \\ &= 331 \text{ m/s} + 18 \text{ m/s} \\ &= 349 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ตอบ อัตราเร็วของเสียงในอากาศมีค่าเท่ากับ 349 เมตรต่อวินาที

3. ถ้าอัตราเร็วเสียงในอากาศเท่ากับ 347.2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของอากาศขณะนั้นมีค่าเท่าใด

วิธีทำ หาอุณหภูมิอากาศจาก

$$v = 331 + 0.6T_C$$

แทนค่า

$$347.2 \text{ m/s} = 331 \text{ m/s} + (0.6 \text{ m/s})T_C$$

$$T_C = 27^\circ\text{C}$$

ตอบ อุณหภูมิของอากาศขณะนั้นมีค่าเท่ากับ 27 องศาเซลเซียส

4. ประบมือ 1 ครั้ง หน้าผั่งตึกซึ่งอยู่ห่างออกไป 15 เมตร จะได้ยินเสียงสะท้อนจากการประบมือหรือไม่ เพราะเหตุใด กำหนด อัตราเร็วเสียงในอากาศเท่ากับ 350 เมตรต่อวินาที และแยกเสียงได้ ถ้าช่วงเวลาห่างมากกว่า 0.1 วินาที

วิธีทำ การประบมือ 1 ครั้ง ผู้ประบจะได้ยินเสียงประบมือและเสียงที่สะท้อนจากผั่ง โดยผู้ประบมือสามารถแยกสองเสียงออกจากกัน เมื่อเวลาที่เสียงทั้งสองที่มาถึงหูต่างกัน 0.1 วินาทีขึ้นไป ให้ t เป็นเวลาเสียงเคลื่อนที่ไปและกลับ

$$\begin{aligned} t &= \frac{d}{v} \\ &= \frac{15 \text{ m} + 15 \text{ m}}{350 \text{ m/s}} \\ &= 0.086 \text{ s} \end{aligned}$$

ปกติเสียงที่ผ่านไปยังสมองจะติดประสาทหูอยู่ประมาณ 0.1 วินาที ดังนั้นจะไม่ได้ยินเสียงสะท้อน
ตอบ จะไม่ได้ยินเสียงสะท้อนจากการปรบมือ เพราะหูไม่สามารถแยกเสียงปรบมือกับเสียง
 ที่สะท้อนออกจากกันได้

5. นาย ก กดแตรในที่โล่ง หลังจากนั้นนาน 1.5 วินาที นาย ข ซึ่งอยู่ห่างออกไป ได้ยินเสียงแตร
 นาย ข อยู่ห่างจาก นาย ก เป็นระยะเท่าใด
 กำหนด อุณหภูมิของอากาศขณะนั้นเป็น 20 องศาเซลเซียส

วิธีทำ หาระยะทางระหว่างนาย ก และนาย ข จาก $d = vt$

หา v จาก

$$v = 331 + 0.6T_C$$

แทนค่า

$$v_{20^\circ\text{C}} = (331 \text{ m/s}) + [(0.6 \text{ m/s/}^\circ\text{C})(20^\circ\text{C})]$$

$$v_{20^\circ\text{C}} = 343 \text{ m/s}$$

จาก

$$d = vt$$

แทนค่า

$$d = (343 \text{ m/s})(1.5 \text{ s})$$

$$d = 514.5 \text{ m}$$

ตอบ นาย ข อยู่ห่างนาย ก เป็นระยะ 514.5 เมตร

6. แหล่งกำเนิดคลื่นเสียงให้เสียงที่มีความยาวคลื่น 0.70 เมตร ถ้าอุณหภูมิของอากาศขณะนั้น
 เป็น 40 องศาเซลเซียส ความถี่ของเสียงมีค่าเท่าใด

วิธีทำ หาอัตราเร็วของเสียง จากสมการ $v = 331 + 0.6T_C$

$$v = 331 \text{ m/s} + (0.6 \text{ m/s/}^\circ\text{C})(40^\circ\text{C})$$

$$v = 355 \text{ m/s}$$

หาความถี่ของเสียงจากสมการ $v = f\lambda$ จะได้

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

$$= \frac{355 \text{ m/s}}{0.70 \text{ m}}$$

$$f = 507.1 \text{ Hz}$$

ตอบ ความถี่ของเสียงมีค่า 507.1 เฮิรตซ์

12.2 การได้ยินเสียง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับความเข้มเสียง
2. อธิบายระดับเสียง ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงและความเข้มเสียง และคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้อง
3. อธิบายระดับเสียงและความถี่ที่มีผลต่อการได้ยิน
4. อธิบายระดับสูงต่ำของเสียงและคุณภาพเสียง
5. อธิบายมลพิษทางเสียงที่มีต่อสุขภาพและการป้องกัน

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

อุปกรณ์สำหรับสร้างเสียงเพลงสำหรับกิจกรรมนำเข้าสู่หัวข้อ 12.2 เช่น อุปกรณ์เล่นเพลงลักษณะต่าง ๆ จากคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่

แนวจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 12.2 โดยเปิดเสียงเพลงให้นักเรียนฟังและมีการปรับเปลี่ยนความดังของเสียง แล้วให้นักเรียนสังเกตว่าเสียงที่ได้ยินมีเสียงจากแหล่งกำเนิดอะไรบ้าง และเสียงที่ได้ยินให้ความรู้สึกอย่างไรบ้าง จากนั้นครูตั้งคำถามว่า มีปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อการได้ยิน โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

จากนั้น ครูตั้งคำถามว่า การที่เราได้ยินเสียงดังเสียง-ค่อย ขึ้นอยู่กับพลังงานของเสียงที่ส่งมาถึงหูอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นให้นักเรียนศึกษาความเข้มของเสียงในหัวข้อถัดไป

12.2.1 ความเข้มเสียง

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ความเข้มเสียงมีความหมายเดียวกับพลังงานเสียง	1. ความเข้มเสียงมีความสัมพันธ์กับพลังงานเสียง แต่ไม่ได้มีความหมายเดียวกับพลังงานเสียง กล่าวคือ ความเข้มเสียงหมายถึง กำลังเสียงที่แหล่งกำเนิดเสียงส่งออกไปต่อหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง ส่วนพลังงานเสียงเป็นผลคูณระหว่างกำลังเสียงที่แหล่งกำเนิดเสียงส่งออกไปกับเวลา

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 5 ของหัวข้อ 12.2 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 12.2.1 โดยน่านักเรียนทำกิจกรรม โดยเปิดเสียงดนตรีให้นักเรียนฟัง แล้วทำการลดและเพิ่มความดังของเสียง พร้อมทั้งตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายว่าการได้ยินเสียงดังค่อยขึ้นกับปริมาณใดบ้าง โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบอภิปรายอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง ครูและนักเรียนร่วมอภิปราย จนสรุปได้ว่า การได้ยินเสียงดังค่อยขึ้นกับพลังงานของคลื่นเสียง โดยพลังงานของคลื่นเสียงขึ้นกับแอมพลิจูดของคลื่นเสียง จากนั้นครูใช้รูป 12.8 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า เสียงที่มีแอมพลิจูดมากกว่าจะมีความดันอากาศเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูตั้งประเด็นคำถามว่า การได้ยินเสียงดังค่อยขึ้นกับพลังงานของคลื่นเสียงอย่างไร โดยให้นักเรียนคนหนึ่งออกมาหน้าชั้นเรียนส่งเสียงเบากับเสียงดัง แล้วให้นักเรียนในห้องสังเกตความดังของเสียงที่ได้ยิน จากนั้นอภิปรายจนได้ข้อสรุป การได้ยินเสียงดังหรือค่อยขึ้นอยู่กับกำลังเสียงจากแหล่งกำเนิด ถ้าระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเท่ากัน

ครูให้นักเรียนศึกษาความเข้มเสียง แล้วอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า ความเข้มเสียงเป็นกำลังเสียงที่แหล่งกำเนิดส่งออกไปต่อหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง ตามสมการ

$I = \frac{P}{A}$ และ แหล่งกำเนิดเสียงเป็นจุดแผ่คลื่นออกมาทุกทิศทาง ความเข้มเสียง ณ ตำแหน่งที่อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงเป็นระยะ r หาได้จาก $I = \frac{P}{4\pi r^2}$ จากนั้นให้นักเรียนเปรียบเทียบความ

เข้มเสียง เมื่ออยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเป็นระยะ r $2r$ และ $3r$ โดยใช้รูป 12.9 ประกอบ จนสรุปความเข้มเสียงได้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 12.5 โดยมีครูเป็นผู้แนะนำ จากนั้น ตรวจสอบความเข้าใจนักเรียน โดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.2 ข้อ 1 และทำแบบฝึกหัด 12.2 ข้อ 1-2 ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

จากนั้นครูตั้งคำถามว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการได้ยินมีอะไรบ้าง โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

12.2.2 ระดับเสียงและความถี่เสียงกับการเริ่มได้ยิน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เดซิเบลเป็นหน่วยวัดความดังของเสียง	1. เดซิเบลเป็นหน่วยวัดระดับเสียง ส่วนความดังของเสียงขึ้นอยู่กับการรับรู้ของแต่ละคน มีหน่วยเป็นฟอน
2. เมื่อมีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงหลายแหล่ง ระดับเสียงรวมเท่ากับผลรวมของระดับเสียงย่อย	2. เมื่อมีเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงหลายแหล่ง ระดับเสียงรวมไม่เท่ากับผลรวมของระดับเสียงย่อย แต่ระดับเสียงรวมคิดจากลอการิทึมของผลรวมของความเข้มเสียงย่อย
3. การได้ยินเสียงขึ้นอยู่กับระดับเสียงเพียงอย่างเดียว	3. การได้ยินเสียงนอกจากจะขึ้นอยู่กับระดับเสียงแล้วยังขึ้นอยู่กับความถี่เสียงด้วย เช่น เสียงความถี่ 1000 เฮิรตซ์ เริ่มได้ยินที่ระดับเสียง 0 เดซิเบล ขณะที่เสียงความถี่ 100 เฮิรตซ์ เริ่มได้ยินที่ระดับเสียงประมาณ 35 เดซิเบล

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

อุปกรณ์สำหรับทำกิจกรรม ดังนี้ 1. เครื่องวัดระดับเสียง 2. เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงพร้อมลำโพง

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 6 และ 7 ของหัวข้อ 12.2 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 12.2.2 โดยให้นักเรียนสังเกตเสียงเพลงที่ได้ยิน โดยครูเปิดเพลงไว้น่าชั้นเรียน ให้ดังระดับหนึ่ง แล้วให้นักเรียนทุกคนเงียบและฟังเสียงเพลง และเปรียบเทียบกับเสียงเพลงที่ได้ยินเมื่อครูปรับความดังให้ลดลง จากนั้นครูให้นักเรียนอภิปรายเปรียบเทียบว่า ความเข้มเสียงที่ได้ยินทั้งสองครั้งต่างกันอย่างไร และความรู้สึกได้ยินเสียงดัง-ค่อย ต่างกันอย่างไร และสรุปได้ว่า ความเข้มเสียงมีผลต่อความดังของเสียงที่ได้ยิน โดยความเข้มเสียงมาก ได้ยินเสียงดังกว่าขณะความเข้มเสียงน้อย

ครูให้นักเรียนศึกษาระดับเสียงและความถี่เสียงกับการเริ่มได้ยิน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แล้วครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า เสียงเบาที่สุดที่คนปกติสามารถได้ยินมีความเข้มเสียงต่างกัน ขึ้นอยู่กับความถี่เสียง เช่น ที่ความถี่ 1000 เฮิรตซ์ เสียงเบาที่สุดที่มนุษย์สามารถได้ยิน มีความเข้มเสียง 10^{-12} วัตต์ต่อตารางเมตร ทำนองเดียวกัน ที่ความถี่ 1000 เฮิรตซ์ เสียงดังที่สุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อแก้วหู มีความเข้มเสียง 1 วัตต์ต่อตารางเมตร ครูชี้ให้นักเรียนเห็นว่า เมื่อนำความเข้มเสียงสูงสุดและต่ำสุดที่มนุษย์ปกติรับฟังได้ที่ความถี่เสียง 1000 เฮิรตซ์ มาเปรียบเทียบกับกัน จะได้ดังนี้

$$\frac{\text{ความเข้มเสียงสูงสุดที่มนุษย์ปกติรับฟังได้}}{\text{ความเข้มเสียงต่ำสุดที่มนุษย์ปกติรับฟังได้}} = \frac{1 \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2} = 10^{12}$$

นั่นคือความเข้มเสียงสูงสุดมีค่า 10^{12} เท่าของความเข้มเสียงต่ำสุด ซึ่งเป็นช่วงที่ห่างมากระหว่างความเข้มเสียงทั้งสอง ด้วยเหตุนี้ในทางปฏิบัติจึงกำหนดปริมาณที่ใช้สเกลลอการิทึม และเรียกปริมาณนี้ว่า **ระดับเสียง** มีหน่วยเดซิเบล ใช้บอกความดังของเสียงที่ได้ยินแทนความเข้มเสียง

ครูนำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเสียงและระดับเสียงตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยปริมาณทั้งสองสัมพันธ์กันตามสมการ (12.4) $\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$

ครูให้นักเรียนศึกษาระดับเสียงของแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ตามตาราง 12.2 ในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนใช้สมการ (12.4) หากระดับเสียงต่ำสุดที่มนุษย์ได้ยิน และระดับเสียงสูงสุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อหู สำหรับเสียงความถี่ 1000 เฮิรตซ์ ซึ่งควรสรุปได้ว่า สำหรับเสียงความถี่ 1000 เฮิรตซ์ ระดับเสียงที่มนุษย์ได้ยินและไม่เป็นอันตรายต่อหูอยู่ในช่วง 0-120 เดซิเบล จากนั้น ครูอาจนำเครื่องวัดระดับเสียงมาสาธิต แล้วให้นักเรียนได้ใช้เครื่องวัดนี้วัดระดับเสียงของเสียงต่าง ๆ

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 12.6 โดยมีครูเป็นผู้แนะนำ จากนั้น ตรวจสอบความเข้าใจนักเรียน โดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.2 ข้อ 2 และทำแบบฝึกหัด 12.2 ข้อ 3-4 ทั้งนี้อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 25 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

ถ้าเสียงในตัวอย่าง 12.6 มีความเข้มเสียงลดลงครึ่งหนึ่ง ระดับเสียงจะเปลี่ยนไปอย่างไร
แนวคำตอบ ความเข้มเสียงเหลือ $1.6 \times 10^{-7} \text{ W/m}^2$ คิดเป็นระดับเสียงเท่ากับ 51.99 เดซิเบล
 ดังนั้นระดับเสียงลดลงประมาณ 3.01 เดซิเบล

ครูตั้งคำถาม การได้ยินเสียงขึ้นอยู่กับระดับเสียงเพียงอย่างเดียวหรือไม่ เพื่อให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบอภิปรายอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูอาจสาธิตความถี่ของเสียง โดยต่อลำโพงกับเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง ปรับความถี่ของเสียง ให้นักเรียนสังเกตเสียงที่ได้ยิน ซึ่งควรสรุปได้ว่า การได้ยินเสียงของเรามีขอบเขต เราไม่ได้ยินเสียงทุกความถี่

ครูให้ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ โดยใช้รูป 12.10 ในหนังสือเรียน รวมทั้งการอธิบายขีดเริ่มเปลี่ยนของการได้ยินและขีดเริ่มเปลี่ยนของการเจ็บปวด ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูตั้งคำถามว่า จากความรู้ที่ทราบแล้วว่า เราได้ยินเสียงที่มีความถี่ช่วงหนึ่ง และเราก็สามารถผลิตเสียงได้ด้วย เสียงที่เราผลิตมีความถี่ในช่วงเดียวกับเสียงที่ได้ยินหรือไม่ สัตว์ต่าง ๆ ได้ยินเสียงและผลิตเสียงที่แตกต่างจากมนุษย์หรือไม่ อย่างไร ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบอภิปรายอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษา รูป 12.11 แผนภาพแสดงช่วงความถี่เสียงที่สัตว์-มนุษย์ผลิตและช่วงความถี่ที่มนุษย์-สัตว์ได้ยิน ก่อนให้นักเรียนศึกษา ครูเน้นว่าสเกลบนแกนนอนซึ่งเป็นสเกลลอการิทึมของความถี่ จากนั้นครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกัน จนสรุปได้ดังนี้

การได้ยินนอกจากจะขึ้นอยู่กับความเข้มเสียง และระดับเสียงแล้วยังขึ้นอยู่กับความถี่ของเสียงด้วย

1. มนุษย์ได้ยินเสียงที่อยู่ในช่วงความถี่หนึ่งเท่านั้น คือ อยู่ระหว่างความถี่ 20-20000 เฮิรตซ์
2. คลื่นใต้เสียงเป็นคลื่นที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ และคลื่นเหนือเสียงเป็นคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 20000 เฮิรตซ์ มนุษย์ไม่ได้ยินคลื่นใต้เสียงและคลื่นเหนือเสียง
3. สัตว์แต่ละชนิดจะได้ยินเสียงในช่วงความถี่แตกต่างกัน
4. สำหรับมนุษย์ สามารถแปลงเสียงในช่วง 100-8000 เฮิรตซ์

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 27 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

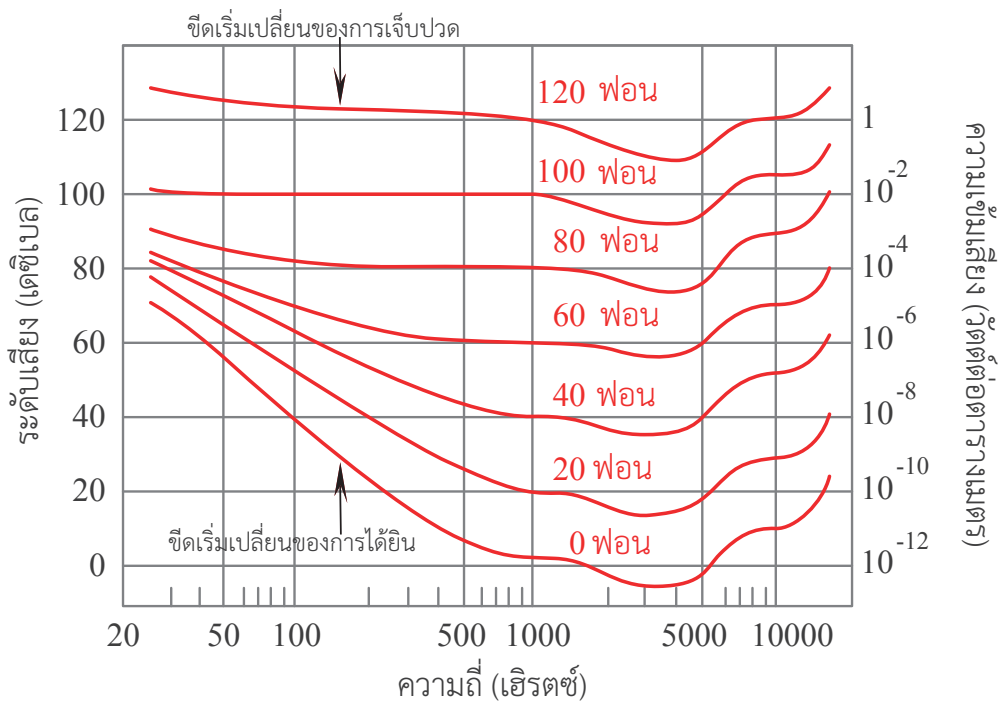
มนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่มีระดับเสียงต่ำกว่า 0 เดซิเบล ได้หรือไม่

แนวคำตอบ ได้ ขึ้นอยู่กับความถี่ของเสียง เช่น เสียงความถี่ประมาณ 1800-5300 เฮิรตซ์

มนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่มีระดับเสียงเกินกว่า 120 เดซิเบล โดยไม่เจ็บปวด ได้หรือไม่

แนวคำตอบ ได้ ขึ้นอยู่กับความถี่ของเสียง เช่น เสียงความถี่ประมาณ 20-720 เฮิรตซ์ และ เสียงความถี่สูงกว่าประมาณ 10000 เฮิรตซ์

ครูอาจให้ความรู้กับนักเรียนเกี่ยวกับความดังตามรายละเอียดของความรู้เพิ่มเติมเรื่องในหนังสือเรียนหน้า 27 โดยความดังมีหน่วยเป็นฟอน และที่เสียงความเข้มเท่ากัน อาจมีความดังไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความถี่ของเสียง ซึ่งความดังของเสียงอ้างอิงกับระดับความเข้มเสียงที่ความถี่ 1000 เฮิรตซ์ ดังรูป 12.5 ครูเน้นว่า เส้นสีแดงแต่ละเส้นบอกถึงความดังของเสียงในแต่ละความถี่ที่มนุษย์รู้สึก



รูป 12.5 เส้นแสดงความดัง ในกราฟระดับเสียงกับความถี่

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 28 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

เสียงความถี่ 100 เฮิรตซ์ ที่ระดับเสียง 60 เดซิเบล มีความดังประมาณกี่ฟอน

แนวคำตอบ มีความดังประมาณ 36 ฟอน

หมายเหตุ ชวนคิดข้อนี้เป็นส่วนหนึ่งของความรู้เพิ่มเติมเรื่อง ความดัง

ครูตรวจสอบความเข้าใจนักเรียนโดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.2 ข้อ 2-3 และทำแบบฝึกหัด 12.2 ข้อ 3-4 ทั้งนี้อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ครูอาจใช้ตารางในการอธิบายความหมายของระดับเสียง ดังนี้

ตาราง ความเข้มเสียงกับระดับเสียง

ความเข้มเสียง ณ จุดรับฟัง หน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร	อัตราส่วนระหว่างความเข้มเสียง ณ จุดรับฟังกับความเข้มเสียง ที่น้อยที่สุดที่มนุษย์ปกติรับ ฟังได้	ระดับเสียง	
		หน่วย เบล	หน่วย เดซิเบล
10^{-12}	$\frac{10^{-12}}{10^{-12}} = 10^0$ (เท่ากับ 1)	0	0
10^{-11}	$\frac{10^{-11}}{10^{-12}} = 10^1$	1	10
10^{-10}	$\frac{10^{-10}}{10^{-12}} = 10^2$	2	20
10^{-9}	$\frac{10^{-9}}{10^{-12}} = 10^3$	3	30
.....			
10^{-1}	$\frac{10^{-1}}{10^{-12}} = 10^{11}$	11	110
10^0	$\frac{10^0}{10^{-12}} = 10^{12}$	12	120

ระดับเสียง เป็นปริมาณที่นักวิทยาศาสตร์สร้างขึ้นมาเพื่อบอกความดังของเสียงให้ใกล้เคียงกับความรู้สึกของคนมากขึ้น เนื่องจากความเข้มเสียงที่มนุษย์ได้ยินอยู่ในช่วงกว้างมากตั้งแต่ 10^{-12} วัตต์ต่อตารางเมตร ถึง 1 วัตต์ต่อตารางเมตร เพื่อความสะดวกในการจัดลำดับความเข้มเสียง จึงกำหนดความเข้มเสียงใหม่เป็น ระดับเสียง ใช้สัญลักษณ์ β

ระดับเสียง เป็นการเปรียบเทียบความเข้มเสียงนั้นกับความเข้ม 10^{-12} วัตต์ต่อตารางเมตร และพิจารณาเป็นค่า log

$$\alpha = \log\left(\frac{I}{I_o}\right) \quad \text{เมื่อ } \alpha \text{ คือระดับเสียง มีหน่วย เบล}$$

$$\beta = 10 \log\left(\frac{I}{I_o}\right) \quad \text{เมื่อ } \beta \text{ คือระดับเสียง มีหน่วย เบล}$$

ข้อสังเกต มนุษย์ปกติรับฟังเสียงได้อย่างน้อยเสียงต้องมีความเข้ม 10^{-12} วัตต์ต่อตารางเมตร มากที่สุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อหู มีความเข้มเสียงไม่เกิน 1 วัตต์ต่อตารางเมตร

เทียบเป็นระดับเสียงค่อนที่สุด

$$\beta = 10 \log\left(\frac{I}{I_o}\right)$$

$$\beta = 10 \log\left(\frac{10^{-12} \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2}\right)$$

$$= 0 \text{ dB}$$

เทียบเป็นระดับเสียงดังที่สุด

$$\beta = 10 \log\left(\frac{1 \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2}\right)$$

$$\beta = 10 \log 10^{12}$$

$$= 120 \text{ dB}$$

มนุษย์ปกติฟังเสียงได้ในช่วงระดับเสียง 0 เดซิเบล ถึง 120 เดซิเบล โดยไม่เป็นอันตรายต่อหู

จากนั้นครูตั้งคำถามว่า การที่มนุษย์ได้ยินเสียงสูงเสียงต่ำขึ้นอยู่กับสิ่งใดของเสียง และมนุษย์สามารถจำแนกเสียงที่ได้ยินจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ต่างกันได้อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

12.2.3 ระดับสูงต่ำของเสียงและคุณภาพเสียง

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ระดับสูงต่ำของเสียงขึ้นอยู่กับความสูงต่ำของแอมพลิจูดของคลื่นเสียง	1. ระดับสูงต่ำของเสียงไม่ขึ้นอยู่กับความสูงต่ำของแอมพลิจูดของคลื่นเสียง แต่ระดับสูงต่ำของเสียงเป็นความรู้สึกที่มนุษย์ได้ยินเสียง โดยขึ้นกับความถี่เสียง กล่าวคือ เสียงที่มีความถี่สูง มีระดับสูงต่ำของเสียงสูง เรียกว่า เสียงสูง หรือเสียงแหลม เสียงที่มีความถี่ต่ำ มีระดับสูงต่ำของเสียงต่ำ เรียกว่า เสียงต่ำหรือเสียงทุ้ม
2. คุณภาพเสียงเป็นสิ่งที่บอกความไพเราะน่าฟังของเสียง	2. คุณภาพเสียงไม่ได้บอกความไพเราะน่าฟังของเสียง แต่บอกลักษณะเฉพาะของเสียงที่ทำให้ผู้ฟังจำแนกเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต่าง ๆ ได้ แม้จะเป็นเสียงที่มีระดับสูงต่ำของเสียงเดียวกัน เพราะรูปคลื่นเสียงแตกต่างกัน จึงมีคุณภาพเสียงต่างกัน

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

อุปกรณ์สำหรับทำกิจกรรม ดังนี้ 1. ขวดแก้วขนาดเท่ากันบรรจุน้ำให้ระดับน้ำต่างกัน 2. ล้อมเสียงที่มีความถี่ต่างกัน หรือ แอปพลิเคชัน sound experiment (โหลดได้จาก QR code ประจำบท) 3. เครื่องดนตรีพื้นบ้าน 2-3 ชิ้น

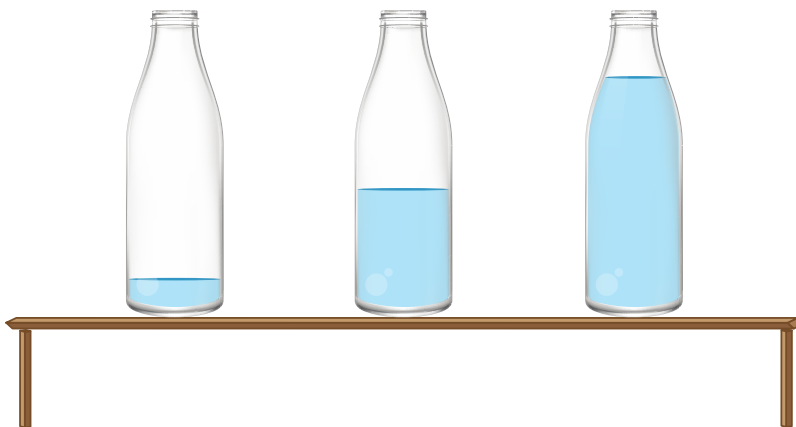
แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 8 ของหัวข้อ 12.2 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 12.2.3 โดยครูยกสถานการณ์การฟังเสียงเพลง แล้วให้นักเรียนอภิปรายว่า เพลงที่ได้ฟังประกอบด้วยเสียงอะไรบ้าง และได้ยินแตกต่างกันอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูนำเข้าสู่การเรียนรู้เรื่องระดับสูงต่ำของเสียง โดยนักเรียนทำกิจกรรมโดยนำน้ำใส่ขวดแก้วหลาย ๆ ขวดโดยให้ระดับน้ำไม่เท่ากัน แล้ววางเรียงกันไว้ตามระดับของน้ำจากน้อยไปมาก ดังรูป 12.6

ให้นักเรียนคาดคะเนว่า เมื่อเคาะข้างขวดใดขวดหนึ่งทำให้เกิดเสียง แล้วเคาะข้างขวดใบถัดไป เสียงที่ได้ยินจะสูงหรือต่ำกว่าเสียงที่ได้ยินจากขวดใบแรก จากนั้นให้นักเรียนเคาะข้างขวด ซึ่งนักเรียนควรสังเกตได้ว่าขวดที่มีน้ำน้อยจะให้เสียงที่มีระดับสูงต่ำของเสียงสูงกว่าขวดที่มีน้ำมาก



รูป 12.6 ขวดแก้วที่มีน้ำในระดับที่ไม่เท่ากัน

ครูนำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับระดับสูงต่ำของเสียง ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต่าง ๆ มีระดับสูงต่ำของเสียงแตกต่างกัน ขึ้นกับความถี่เสียง โดยเสียงที่มีระดับสูงต่ำของเสียงสูง เป็นเสียงที่มีความถี่สูง เรียกว่า เสียงสูงหรือเสียงแหลม เสียงที่มีระดับสูงต่ำของเสียงต่ำ เป็นเสียงที่มีความถี่ต่ำ เรียกว่า เสียงต่ำหรือเสียงทุ้ม (สำหรับโรงเรียนที่มีสื่อเสียงความถี่ต่างกัน อาจใช้สื่อเสียง หรือใช้แอปพลิเคชัน sound experiment ในการทำกิจกรรมแสดงให้เห็นว่า เสียงที่มีความถี่สูงจะทำให้ได้ยินเสียงแหลม และเสียงที่มีความถี่ต่ำ จะทำให้ได้ยินเสียงทุ้ม) จากนั้นครูนำอภิปรายโดยใช้รูป 12.12. ในหนังสือเรียนประกอบ จนสรุปได้ว่า เสียงความถี่สูงมีความยาวคลื่นสั้นกว่า เสียงที่มีความถี่ต่ำ

ครูนำเข้าสู่การเรียนรู้เรื่องคุณภาพเสียง โดยเปิดเสียงเครื่องดนตรีที่บันทึกไว้แล้วหรือเล่นเครื่องดนตรีทีละชนิด เช่น ขลุ่ย แคน ซอ โดยเล่นโน้ตตัวเดียวกัน และไม่ให้นักเรียนเห็นเครื่องดนตรี แล้วให้นักเรียนทำนายว่าเป็นเสียงจากเครื่องดนตรีชนิดใด ทราบได้อย่างไร ทำไมเสียงจากเครื่องดนตรีต่างชนิดกันจึงให้เสียงที่แตกต่างกัน

ครูนำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่าเสียงจากเครื่องดนตรีชนิดใดชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยเสียงหลาย ๆ ความถี่มารวมกัน โดยเสียงความถี่ต่ำสุด เรียกว่า ความถี่มูลฐาน หรือ ฮาร์โมนิกที่หนึ่ง หรือ f_1 ส่วนเสียงความถี่อื่น ๆ ซึ่งเป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่มูลฐาน เช่น สองเท่า สามเท่า เรียกว่า ฮาร์โมนิกที่สอง หรือ f_2 ฮาร์โมนิกที่สาม หรือ $3f_1$ ตามลำดับ ขณะที่แหล่งกำเนิดเสียงสั่น จะให้เสียงซึ่งมี

ความถี่มูลฐานและฮาร์โมนิกต่าง ๆ ออกมาพร้อมกัน ฮาร์โมนิกเหล่านี้มีแอมพลิจูด (หรือความเข้มเสียง) ต่างกัน จะรวมกัน ทำให้ลักษณะของรูปคลื่นเสียงแตกต่างกัน เป็นลักษณะเฉพาะตัวของเสียงแต่ละแหล่งกำเนิด ดังรูป 12.13 ในหนังสือเรียน

ครูนำนักเรียนอภิปรายโดยพิจารณารูปคลื่นของเสียงขลุ่ยไทยและเสียงทรัมเปต ดังรูป 12.14 ในหนังสือเรียน ซึ่งมีรูปร่างต่างกัน จนสรุปได้ว่าเสียงขลุ่ยไทยและเสียงทรัมเปต แม้จะมีระดับสูงต่ำของเสียงเดียวกันแต่จะมีความแตกต่างกัน สาเหตุที่รูปคลื่นแตกต่างกันเนื่องจากมีจำนวนฮาร์โมนิกและแอมพลิจูดของแต่ละฮาร์โมนิกแตกต่างกัน คลื่นรวมกันเป็นเสียงขลุ่ยไทยและเสียงทรัมเปตจึงมีความแตกต่างกัน ทำให้เราได้ยินเสียงทั้งสองนั้นแตกต่างกัน ลักษณะที่ต่างกันของเสียงที่กล่าวมานี้เราเรียกว่ามี คุณภาพเสียงแตกต่างกัน

จากนั้นครูนำนักเรียนอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า เสียงที่ได้ยินมีลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างกัน เรียกว่ามีคุณภาพเสียงแตกต่างกัน ทำให้ผู้ฟังจำแนกเสียงเหล่านั้นได้

ครูตรวจสอบความเข้าใจนักเรียนโดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.2 ข้อ 4-5 และทำแบบฝึกหัด 12.2 ข้อ 5 ทั้งนี้อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

จากนั้นครูตั้งคำถามว่า เมื่อมนุษย์อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีระดับเสียงและความถี่เสียงไม่เหมาะสมกับการได้ยินของมนุษย์ จะเกิดผลอย่างไรบ้าง โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

12.2.4 มลพิษทางเสียงและการป้องกัน

ความเข้าใจตลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจตลาดเคลื่อนที่	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. มลพิษทางเสียง คือเสียงรบกวนที่มีระดับเสียงสูงเท่านั้น อาจเป็นอันตรายต่อการได้ยิน	1. มลพิษทางเสียง คือ เสียงรบกวนที่มีระดับเสียงสูง และเสียงรบกวนที่ก่อให้เกิดความรำคาญ หรือเสียงที่ไม่ต้องการ อาจเป็นอันตรายต่อผู้ฟัง ทั้งอันตรายต่อการได้ยิน และอันตรายต่อสุขภาพและจิตใจ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 9 หัวข้อ 12.2 ตามหนังสือเรียน

ครูใช้คำถามให้นักเรียนอภิปรายว่า เสียงประเภทใดที่เป็นเสียงที่นักเรียนไม่ต้องการได้ยิน และเสียงนั้น ๆ มีผลต่อนักเรียนอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบอภิปรายอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูนำนักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับมลพิษของเสียงตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า เสียงที่มีระดับเสียงสูงและเสียงที่ก่อให้เกิดความรำคาญ เสียงดังกล่าวเป็นเสียงรบกวน และเป็นมลพิษทางเสียง ถ้ารับฟังติดต่อกันเป็นเวลานาน อาจเป็นอันตราย ทั้งอันตรายต่อการได้ยินและอันตรายต่อสุขภาพและจิตใจ อาจทำให้ประสาทหูของผู้ฟังเสื่อม ปวดศีรษะ หงุดหงิด ซึ่งเป็นผลทำให้บุคลิกภาพเปลี่ยนไป

ครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับระดับเสียงรบกวนในชุมชน และเสียงรบกวนในสถานประกอบการที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย โดยองค์การอนามัยโลก และมาตรฐานระดับเสียงที่เกี่ยวข้องกับสถานประกอบการโดยกระทรวงมหาดไทย ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

จากนั้นตั้งคำถามเกี่ยวกับแนวทางการลดมลพิษทางเสียง โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วอภิปรายร่วมกันจนสรุปแนวทางการลดมลพิษทางเสียง ได้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับมาตรการของหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภายในประเทศและนอกประเทศที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมมลพิษทางเสียง และนวัตกรรมปัจจุบันที่ช่วยในการลดมลพิษทางเสียงจากนั้นให้นักเรียนนำเสนอผล

ครูอาจมอบหมายให้นักเรียนสำรวจแหล่งกำเนิดเสียงที่อาจก่อให้เกิดมลพิษทางเสียงในชุมชน และหาวิธีลดมลพิษทางเสียงนั้น ๆ

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 33 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำถามชวนคิด

1. เสียงที่มีความถี่สูง จัดเป็นมลพิษทางเสียงหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ เป็น เพราะเสียงที่มีความถี่สูงที่หูได้ยินเป็นเวลานาน จะก่อให้เกิดความรำคาญ และนอกจากนี้ยังมีพลังงานสูงจึงส่งผลต่อเนื้อเยื่อของอวัยวะที่ได้รับพลังงานเสียง ทำให้เกิดความเสียหายได้ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับเสียงและระยะเวลาที่ได้ยินเสียงนั้น

2. รถจักรยานยนต์หรือรถยนต์ที่ถอดท่อเก็บเสียงออก หรือดัดแปลงท่อไอเสียเพื่อทำให้เกิดเสียงดังมาก รถดังกล่าวไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในเขตชุมชนเพราะเหตุใด
- แนวคำตอบ** ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในชุมชน เพราะรถดังกล่าวทำให้เกิดเสียงที่ดังมากกว่าที่มาตรฐานกำหนด ก่อให้เกิดความรำคาญต่อผู้อยู่อาศัยในชุมชน และทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ

ครูตรวจสอบความเข้าใจนักเรียนโดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.2 ข้อ 6 ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

จากนั้นครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันและสรุปความรู้เกี่ยวกับความเข้มเสียง ระดับเสียง ระดับสูงต่ำของเสียง คุณภาพของเสียง มลพิษทางเสียงและการป้องกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับความเข้มเสียง ระดับเสียง ระดับสูงต่ำของเสียง คุณภาพเสียง มลพิษทางเสียง และการป้องกัน จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.2 และแบบฝึกหัด 12.2
2. ทักษะการใช้จำนวน จากการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับความเข้มเสียงและระดับเสียง ในแบบฝึกหัด 12.2 ทักษะด้านการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการมีการอ้างอิงแหล่งที่มา และการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลายได้อย่างสมเหตุสมผล การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล ทักษะด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการทำกิจกรรมร่วมกัน
3. จิตวิทยาาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็นจากการอภิปรายร่วมกัน และด้านความรอบคอบ จากการตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.2 และทำแบบฝึกหัด 12.2



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.2

1. กำลังเสียงและความเข้มเสียงมีความสัมพันธ์กันอย่างไร และเกี่ยวข้องความดังของเสียงที่เราได้ยินหรือไม่

แนวคำตอบ กำลังเสียงที่แหล่งกำเนิดเสียงส่งออกไปตกตั้งฉากกับหนึ่งหน่วยพื้นที่ เรียกว่า ความเข้มเสียง $\left(I = \frac{P}{A}\right)$ และปริมาณทั้งสองมีผลต่อความดังของเสียงที่เราได้ยิน ถ้ากำลังเสียงและความเข้มเสียงเพิ่มมากขึ้น เสียงที่เราได้ยินจะดังขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความถี่เสียงด้วย

2. ในการอ้างอิงหรือการใช้งานในชีวิตประจำวัน นิยมใช้ ระดับเสียง เป็นสิ่งบอกความดังของเสียงแทนความเข้มเสียง เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ความเข้มเสียงบ่งบอกความดังของเสียงได้ แต่เสียงที่เบาที่สุดที่มนุษย์ได้ยินและเสียงดังที่สุดที่มนุษย์สามารถฟังได้โดยไม่ได้รับอันตราย ในรูปของความเข้มเสียงมีค่าต่างกันถึง 10^{12} เท่า การเปลี่ยนความเข้มเสียงให้อยู่ในรูปของระดับเสียงโดยอาศัยสเกลลอการิทึม ทำให้ความต่างดังกล่าวเหลือ 0–120 เท่านั้น

3. ในบางครั้งเราอาจเรียกสุนัขด้วยการเป่านกหวีดชนิดพิเศษที่คนไม่ได้ยินเสียง นกหวีดชนิดนี้ควรให้เสียงความถี่เป็นอย่างไร

แนวคำตอบ เนื่องจากมนุษย์ได้ยินเสียงในช่วง 20–20000 เฮิรตซ์ และสุนัขได้ยินเสียง ในช่วง 15–50000 เฮิรตซ์ ดังนั้นการสร้างนกหวีดเรียกสุนัขโดยให้นกหวีดมีเสียงอยู่ในช่วง 20000 ถึง 50000 เฮิรตซ์ มนุษย์จึงไม่ได้ยินเสียงนี้แต่สุนัขได้ยิน

4. เล่นไวโอลินและกีตาร์ด้วยเสียง A ความถี่ 440 เฮิรตซ์ แต่เสียงที่ออกมาจากเครื่องดนตรีทั้งสองมีคุณภาพเสียงต่างกัน เป็นเพราะเหตุใด

แนวคำตอบ เพราะจำนวนฮาร์โมนิกและแอมพลิจูดของแต่ละฮาร์โมนิกของเสียงจากไวโอลินและกีตาร์แตกต่างกัน เป็นผลทำให้เกิดคลื่นรวมมีลักษณะแตกต่างกัน เสียงทั้งสองจึงมีคุณภาพเสียงต่างกัน

5. ความถี่ต่ำสุดที่เกิดจากเครื่องดนตรีมีชื่อเรียกว่าอย่างไร

แนวคำตอบ ความถี่ต่ำสุดที่เกิดจากเครื่องดนตรีชนิดหนึ่ง เรียกว่า ความถี่มูลฐานหรือฮาร์โมนิกที่หนึ่ง

6. รถที่วิ่งบนทางด่วนสายหนึ่ง ทำให้เกิดเสียงรบกวนที่มีระดับเสียงเฉลี่ย 80 เดซิเบล ที่ระยะห่างจากถนน 20 เมตร ถ้าท่านมีบ้านในบริเวณดังกล่าว จะมีวิธีการอย่างไรจึงจะทำให้ได้ยินเสียงนี้โดยมีระดับเสียงลดลง

แนวคำตอบ วิธีการที่ทำให้ระดับเสียงลดลง เช่น

1. สร้างกำแพงที่ทำด้วยวัสดุดูดกลืนเสียง
2. ปลุกต้นไม้จำนวนมาก เพราะใบไม้มีส่วนที่จะดูดกลืนพลังงานของเสียงและทำให้เสียงผ่านได้ยากอีกด้วย
3. ใช้ที่ครอบหู หรือใช้สำลีอุดหู



เฉลยแบบฝึกหัด 12.2

1. หวดในโรงงานมีกำลังเสียง 20 วัตต์ ถ้าคลื่นเสียงจากหูดแผ่หน้าคลื่นออกไปเป็นรูปทรงกลม จงหาความเข้มเสียงที่ผิวทรงกลม ซึ่งอยู่ห่างจากหูด 150 เมตร

วิธีทำ

$$I = \frac{P}{A}$$

$$I = \frac{20 \text{ W}}{(4\pi)(150 \text{ m})^2} = 7.07 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$$

ตอบ ความเข้มเสียงที่ผิวทรงกลมเท่ากับ 7.1×10^{-5} วัตต์ต่อตารางเมตร

2. เครื่องเสียงเครื่องหนึ่ง ในเวลา 5 วินาที ส่งพลังงานออกไป 750π จูล ที่ระยะห่างจากเครื่องเสียง 50 เมตร มีความเข้มเสียงเท่าใด

วิธีทำ ความเข้มเสียง หมายถึงพลังงานคลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ตั้งฉาก 1 ตารางเมตร ในเวลา 1 วินาที

$$I = \frac{W}{t(4\pi R^2)}$$

แทนค่า

$$I = \frac{(750\pi) \text{ J}}{(5 \text{ s})(4\pi)(50 \text{ m})^2}$$

จะได้

$$I = 1.5 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$$

ตอบ ความเข้มเสียงเท่ากับ 1.5×10^{-2} วัตต์ต่อตารางเมตร

3. เสียงที่มีความเข้มเสียง 4.9×10^{-7} วัตต์ต่อตารางเมตร จะมีระดับเสียงเท่าใด

วิธีทำ

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

แทนค่า

$$\beta = 10 \log \frac{4.9 \times 10^{-7} \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2}$$

$$\beta = 10 \log(4.9 \times 10^5)$$

$$\beta = 10 [\log 4.9 + \log 10^5]$$

$$\beta = 10 [0.690 + 5]$$

$$= 56.9 \text{ dB}$$

ตอบ ระดับเสียงเท่ากับ 56.9 เดซิเบล

4. เสียงที่เกิดจากอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งขณะทำงานมีระดับเสียง 50 เดซิเบล จะมีความเข้มเสียงเท่าใด

วิธีทำ

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

แทนค่า

$$50 = 10 \log \frac{I}{10^{-12} \text{ W/m}^2}$$

$$5 = \log \frac{I}{10^{-12} \text{ W/m}^2}$$

$$\frac{I}{10^{-12} \text{ W/m}^2} = 10^5$$

$$I = 10^{-7} \text{ W/m}^2$$

ตอบ ความเข้มเสียงเท่ากับ 10^{-7} วัตต์ต่อตารางเมตร

5. ขลุ่ยไทยเล่นโน้ต “เร” ความถี่มูลฐาน 289 เฮิรตซ์ ถ้า 4 ฮาร์โมนิกแรกที่เกิดขึ้น ได้แก่ ฮาร์โมนิกที่หนึ่ง ฮาร์โมนิกที่สาม ฮาร์โมนิกที่ห้า และฮาร์โมนิกที่เจ็ด แต่ละฮาร์โมนิกมีความถี่เท่าใด

วิธีทำ หาความถี่ได้จาก

$$f_n = n f_1 \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

ฮาร์โมนิกที่หนึ่ง

$$f_1 = 289 \text{ Hz}$$

ฮาร์โมนิกที่สาม

$$f_3 = 3 f_1 = 3(289 \text{ Hz}) = 867 \text{ Hz}$$

ฮาร์โมนิกที่ห้า

$$f_5 = 5 f_1 = 5(289 \text{ Hz}) = 1445 \text{ Hz}$$

ฮาร์โมนิกที่เจ็ด

$$f_7 = 7 f_1 = 7(289 \text{ Hz}) = 2023 \text{ Hz}$$

12.3 ปรากฏการณ์เกี่ยวกับเสียง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายการเกิดคลื่นนิ่งของเสียง
2. อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการสั่นพ้องของอากาศในท่อปลายปิดหนึ่งด้าน
3. ทดลองการสั่นพ้องของอากาศในท่อปลายปิดหนึ่งด้านและการวัดความยาวคลื่นของเสียงในอากาศ
4. ทดลองและอธิบายการเกิดบีต
5. อธิบายปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ และคลื่นกระแทกของเสียง

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

วีดิทัศน์เกี่ยวกับ “การทำอัลตราซาวด์” เช่น <https://www.youtube.com/watch?v=9bRJyh53WVo>

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 12.3 โดยเปิดวีดิทัศน์เกี่ยวกับ “การทำอัลตราซาวด์” ในการตรวจความสมบูรณ์ของทารกในครรภ์ จากนั้นครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับคลื่นเสียงที่ใช้ในกระบวนการนี้ และการได้รับรู้เกี่ยวกับคลื่นเสียงอื่น ๆ ของมนุษย์ตั้งแต่เกิดมา ว่ามีอะไรบ้าง โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

จากนั้น ครูตั้งคำถามว่า การที่เราได้ยินเสียงดนตรีจากเครื่องดนตรีประเภทต่าง ๆ เช่น กีตาร์ ขลุ่ย กลอง เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ของเสียงอย่างไรบ้าง โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นให้นักเรียนศึกษาคลื่นนิ่งของเสียงในหัวข้อถัดไป

12.3.1 คลื่นนิ่งของเสียง

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. คลื่นนิ่งของเสียงเกิดจากการรวมกันของคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดใด ๆ สองขบวน	1. คลื่นนิ่งของเสียงเกิดจากการรวมกันของคลื่นเสียงสองขบวน ที่มีแอมพลิจูด ความถี่ และความยาวคลื่นเท่ากัน (คลื่นอาพันธ์)
2. คลื่นนิ่งของเสียงเป็นคลื่นที่อนุภาคอากาศตัวไม่เคลื่อนไหว	2. คลื่นนิ่งของเสียงเป็นคลื่นที่ไม่มีการเคลื่อนที่แต่อนุภาคตัวกลางที่ตำแหน่งปฏิบัติการกระจัด สั่นมากที่สุด ส่วนอนุภาคตัวกลางที่ตำแหน่งปฏิบัติการกระจัดอยู่นิ่ง

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 10 ของหัวข้อ 12.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 12.3.1 โดยอภิปรายการซ้อนทับของคลื่นสองขบวนที่มีแอมพลิจูด ความถี่ และความยาวคลื่นเท่ากัน เคลื่อนที่ในทิศสวนทางกัน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยใช้รูป 12.16 ประกอบจนสรุปได้ว่า ณ ตำแหน่งบัพการกระจัดของคลื่นลัพธ์ อนุภาคตัวกลางอยู่นิ่ง และ ณ ตำแหน่งปฏิบัพการกระจัด อนุภาคตัวกลางสั่นไปมาด้วยแอมพลิจูดสูงสุด เนื่องจากคลื่นลัพธ์ที่เกิดขึ้นมีตำแหน่งบัพและตำแหน่งปฏิบัพพอยุ่กับที่ คลื่นลัพธ์นี้จึงไม่มีการเคลื่อนที่ไปตามการเคลื่อนที่ของคลื่นทั้งสอง และเรียกว่าคลื่นนิ่ง

ครูให้ตัวอย่างการเกิดคลื่นนิ่งของคลื่นในเส้นเชือก โดยใช้รูป 12.17 ในหนังสือเรียน ครูเน้นว่า ณ ตำแหน่งบัพการกระจัดของคลื่นนิ่งในเส้นเชือก อนุภาคเส้นเชือกจะอยู่นิ่ง ส่วน ณ ตำแหน่งปฏิบัพการกระจัด อนุภาคเชือกจะสั่นด้วยแอมพลิจูดมากที่สุด และคลื่นนิ่งไม่มีการเคลื่อนที่ จากนั้นครูตั้งคำถามว่า คลื่นนิ่งของเสียงสามารถเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับคลื่นนิ่งในเส้นเชือกหรือไม่ และจะสังเกตได้อย่างไร



กิจกรรม 12.1 คลื่นนิ่งของเสียง

จุดประสงค์

ศึกษาคลื่นนิ่งของเสียง

เวลาที่ใช้ 30 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|-----------------------------|-----------|
| 1. เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง | 1 เครื่อง |
| 2. ชุดขาตั้งพร้อมตัวยึด | 1 ชุด |
| 3. ชุดท่อรับฟังเสียง | 1 ชุด |
| 4. ลำโพง | 1 ตัว |
| 5. สายไฟ | 4 เส้น |

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. ให้ลำโพงเสียงอยู่ห่างจากพื้นโต๊ะประมาณ 50–70 เซนติเมตร และต้องจับลำโพงให้อยู่นิ่ง
2. พื้นโต๊ะควรแข็งและเรียบ
3. ถักรับฟังเสียงระหว่างลำโพงกับพื้นโต๊ะไม่ชัดเจนควรปรับตำแหน่งลำโพง

ครูชี้ให้เห็นว่า จากกิจกรรม 12.1 การเกิดคลื่นนิ่งของคลื่นเสียงนี้ เป็นการซ้อนทับของคลื่นที่มาจากแหล่งกำเนิดเดียวกันไปสะท้อนที่พื้นโต๊ะแล้วเคลื่อนที่สวนทางกัน จึงมีความถี่เท่ากัน ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับการเกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่ถูกตรึงปลายข้างหนึ่งไว้ เกิดเป็นตำแหน่งบัพและปฏิบัพสลับกันไป โดยปฏิบัพเกิดจากการแทรกสอดแบบเสริมของคลื่น ส่วนบัพเกิดจากการแทรกสอดแบบหักล้างของคลื่น เราจึงเรียกคลื่นลัพธ์ที่เกิดจากการซ้อนทับของคลื่นเสียงนี้ว่าเป็นคลื่นนิ่งเช่นกัน โดยเน้นว่า ตำแหน่งพื้นโต๊ะเป็นปฏิบัพความดันหรือบัพของการกระจัด

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 38 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

1. ขณะที่เกิดคลื่นนิ่งของเสียง ระยะระหว่างบัพความดันคู่หนึ่งที่อยู่ติดกันมีค่าเท่าใด เมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของคลื่นเสียง

แนวคำตอบ ขณะที่เกิดคลื่นนิ่งของเสียง ระยะระหว่างบัพความดันคู่หนึ่งที่อยู่ติดกันมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเสียง เช่นเดียวกับการเกิดคลื่นนิ่งทั่วไป

2. วางลำโพงหันหน้าเข้าหากำแพง ขณะที่ลำโพงให้เสียงออกมาอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ ผู้ที่เดินในแนวระหว่างลำโพงกับกำแพงจะได้ยินเสียงที่มีความดังไม่สม่ำเสมอ ปรากฏการณ์นี้เกิดจากพฤติกรรมใดของเสียง

แนวคำตอบ การแทรกสอดของเสียงระหว่างคลื่นที่ออกจากลำโพง และคลื่นที่สะท้อนจากกำแพง

จากนั้นครูตั้งคำถามว่า หากวัตถุถูกกระตุ้นด้วยความถี่เท่ากับหรือใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของวัตถุ วัตถุก็จะเกิดการสั่นพ้อง ปรากฏการณ์เดียวกันนี้สามารถเกิดขึ้นกับลำอากาศในท่อที่ถูกกระตุ้นด้วยคลื่นเสียงได้หรือไม่ โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

12.3.2 การสั่นพ้องของอากาศในท่อ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. การสั่นพ้องของอากาศในท่อเกิดจากการรวมกันของคลื่นเสียงอาพันธ์ความถี่ใด ๆ สองขบวน	1. การสั่นพ้องของอากาศในท่อเกิดจากการรวมกันของคลื่นเสียงอาพันธ์สองขบวน โดยคลื่นจะต้องมีความถี่ เท่ากับความถี่ธรรมชาติของอากาศในท่อ

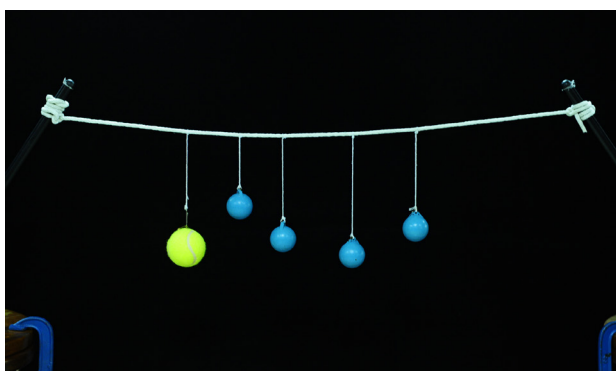
สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

อุปกรณ์สำหรับทำกิจกรรม ได้แก่ ภาพการจัดอุปกรณ์ในกิจกรรม 8.3

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 11 และ 12 หัวข้อ 12.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 12.3.2 โดยทบทวนความรู้เรื่อง ความถี่ธรรมชาติและการสั่นพ้อง และกิจกรรม 8.3 ความถี่ธรรมชาติและการสั่นพ้องของวัตถุ ที่ได้ศึกษามาแล้วในบทที่ 8 โดยใช้รูปการจัดวางอุปกรณ์ประกอบ ดังรูป 12.7



รูป 12.7 การจัดวางอุปกรณ์การทำการทดลอง 8.3

จากนั้นครูตั้งคำถามว่า เมื่อแกว่งลูกตุ้มขนาดใหญ่ การแกว่งของลูกตุ้มขนาดเล็กเป็นอย่างไร แล้วให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน จนสรุปได้ว่า ลูกตุ้มขนาดเล็กทุกลูกมีการแกว่ง โดยลูกตุ้มขนาดเล็กที่ผูกด้วยเชือกที่มีความยาวเท่ากับความยาวของเชือกที่ผูกลูกตุ้มขนาดใหญ่ มีแอมพลิจูดกว้างกว่าลูกตุ้มลูกอื่น ๆ ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า การสั่นพ้อง ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อวัตถุถูกกระตุ้นให้สั่นหรือแกว่งด้วยความถี่ที่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของวัตถุนั้น ความถี่นี้เรียกว่า ความถี่สั่นพ้อง

ครูตั้งคำถามว่า จากความรู้ที่ว่าวัตถุต่าง ๆ มีความถี่ธรรมชาติและเกิดการสั่นพ้องได้ อากาศซึ่งเป็นตัวกลางของคลื่นเสียงจะมีความถี่ธรรมชาติและเกิดการสั่นพ้องได้หรือไม่ และการสั่นพ้องของอากาศแสดงให้เราทราบในรูปแบบอย่างไร หาคำตอบได้จากกิจกรรม 12.2 การสั่นพ้องของอากาศในหลอดเรโซแนนซ์



กิจกรรม 12.2 การทดลองการสั่นพ้องของอากาศในหลอดเรโซแนนซ์

จุดประสงค์

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับตำแหน่งของการสั่นพ้องของเสียงที่เกิดจากท่อปลายปิดหนึ่งด้าน

เวลาที่ใช้ 30 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|--|-----------|
| 1. เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง | 1 เครื่อง |
| 2. ลำโพง | 1 ตัว |
| 3. หลอดเรโซแนนซ์ | 1 ชุด |
| (ท่อปลายปิดหนึ่งด้านที่ปรับความยาวของลำอากาศในท่อ) | |
| 4. สายไฟ | 4 เส้น |

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

- ตรวจสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดเสียงและลำโพงว่า ให้เสียงที่มีความดังและความถี่สม่ำเสมอหรือไม่ ถ้าไม่สม่ำเสมอ ควรตรวจหัวเลียบหรือรอยต่อของสายไฟว่าแน่นหรือไม่ ปุ่มปรับความดังอยู่ที่ตำแหน่งเหมาะสมหรือไม่
- ตรวจสอบหลอดสั่นพ้องว่า ลูกสูบกับตัวหลอดสั่นพ้องกระชับพอดีหรือไม่ ถ้ามีช่องว่างระหว่างลูกสูบกับตัวหลอดมากให้เปลี่ยนลูกสูบหรือเสริมลูกสูบโดยตัดกระดาษแข็งเป็นวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอด มาปิดที่ลูกสูบแทน
- การวางลำโพงที่ปากหลอดสั่นพ้อง ครูแนะนำว่าควรวางห่างจากปากหลอดประมาณ 1–3 เซนติเมตร

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

เมื่อเลื่อนลูกสูบจากปากหลอดจะได้ยินเสียงดังค่อยสลับกัน ถ้าเปลี่ยนความถี่ของเสียงจากแหล่งกำเนิดไปตำแหน่งที่ได้ยินเสียงดังก็จะเปลี่ยนไป โดยเมื่อความถี่ของเสียงสูงขึ้น ตำแหน่งแรกที่ได้ยินเสียงดัง ลูกสูบจะห่างจากปากหลอดน้อยกว่าเมื่อทดลองกับเสียงความถี่ต่ำ และระยะห่างที่ได้ยินเสียงดังก็จะน้อยกว่าด้วย ดังตาราง

ตาราง ตัวอย่างผลการทำกิจกรรมการสั่นพ้องของอากาศในท่อเรโซแนนซ์

ความถี่เสียง (kHz)	ตำแหน่งจากปากหลอดที่ได้ยินเสียงดัง (cm)		
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
1	8.62	26.01	43.15
2	4.30	13.00	21.63
3	2.86	8.70	14.30



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ความดังของเสียงที่ได้ยินเมื่อเลื่อนลูกสูบไปอยู่ที่ตำแหน่งต่าง ๆ แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
แนวคำตอบ ความดังของเสียงที่ตำแหน่งต่าง ๆ แตกต่างกัน โดยจะได้ยินเสียงดังค่อยสลับกัน
- เมื่อความถี่ของเสียงเปลี่ยนไปตำแหน่งที่ได้ยินเสียงดังมีความสัมพันธ์กับความถี่อย่างไร
แนวคำตอบ ความถี่ของเสียงเปลี่ยนไป ตำแหน่งที่ได้ยินเสียงดังเปลี่ยนไป มีความสัมพันธ์กับความถี่โดยความถี่ของเสียงเพิ่มขึ้น ตำแหน่งที่ได้ยินเสียงดังจะใกล้ปากหลอดยิ่งขึ้น และระยะห่างที่ได้ยินเสียงดังติดกันจะลดลง

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรมจนได้ข้อสรุปดังนี้

1. ความดังของเสียงที่ได้ยินเมื่อเลื่อนลูกสูบไปตำแหน่งต่าง ๆ จะแตกต่างกันบางตำแหน่ง เสียงค่อย บางตำแหน่งเสียงดัง ตำแหน่งของลูกสูบที่ทำให้ได้ยินเสียงดังที่สุดมีหลายตำแหน่งขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงที่ใช้

2. เมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งหนึ่ง จะได้ยินเสียงดังที่สุดนั้น เนื่องจากความถี่ของเสียงจากลำโพง มีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของลำอากาศในหลอดพอดิ เป็นผลให้อนุภาคอากาศสั่นแรงที่สุดปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า การสั่นพ้องของเสียง

ครูชี้ให้เห็นว่า จากกิจกรรม 12.2 ขณะที่เกิดการสั่นพ้องของอากาศในหลอดเรโซแนนซ์ ระยะทางระหว่างตำแหน่งของลูกสูบขณะได้ยินเสียงดังที่สุดซึ่งอยู่ติดกันมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นเสียงที่ใช้ทดลองได้อย่างไร หากคำตอบได้จากกิจกรรม 12.3 การทดลองการวัดความยาวคลื่นของเสียงต่อไปนี้



กิจกรรม 12.3 การทดลองการวัดความยาวคลื่นของเสียง

จุดประสงค์

ศึกษาวิธีการวัดความยาวคลื่นเสียงโดยอาศัยปรากฏการณ์การสั่นพ้องของเสียง

เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|--------------------------------|-----------|
| 1. ชุดเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง | 1 เครื่อง |
| 2. ลำโพง | 1 ตัว |
| 3. หลอดเรโซแนนซ์ | 1 ชุด |
| 4. สายไฟ | 4 เส้น |
| 5. เทอร์มอมิเตอร์ | 1 อัน |

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตอนที่ 1 ความยาวคลื่นของเสียงจากการคำนวณ

อุณหภูมิของอากาศขณะที่ทำการทดลอง 28°C

อัตราเร็วของเสียงในอากาศ

$$v = 331 \text{ m/s} + (60 \text{ m/s}/^{\circ}\text{C})(28^{\circ}\text{C})$$

$$= 348 \text{ m/s}$$

ตาราง ตัวอย่างผลการทำกิจกรรมการวัดความยาวคลื่นเสียง ตอนที่ 1

ความถี่ f (Hz)	ความยาวคลื่นเสียง $\lambda = \frac{v}{f}$ (cm)	$\frac{\lambda}{2}$ (cm)
1000	34.8	17.4
2000	17.4	8.7
3000	11.6	5.8

ตอนที่ 2 ความยาวคลื่นของเสียงจากการสั่นพ้อง

ตาราง ตัวอย่างผลการทำกิจกรรมการวัดความยาวคลื่นเสียง ตอนที่ 2

ความถี่ (Hz)	ตำแหน่งของลูกสูบขณะเกิดการสั่นพ้อง			ระยะห่างของลูกสูบขณะเกิดการสั่นพ้อง 2 ครั้งติดกัน		ค่าเฉลี่ย (cm)
	x_1 (cm)	x_2 (cm)	x_3 (cm)	$x_2 - x_1$ (cm)	$x_3 - x_2$ (cm)	
1000	8.5	26.5	-	18.0	-	18.0
2000	4.5	13.5	22.0	9.0	8.5	8.3
3000	2.9	8.5	14.0	5.6	5.5	5.6



ข้อสังเกต

1. สำหรับความถี่ของเสียง 1000 เฮิรตซ์ บันทึกตำแหน่ง x ได้ 2 ค่า
2. สำหรับความถี่ของเสียงอื่น ๆ บันทึก x ได้ 3 ค่า



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ระยะระหว่างตำแหน่งของลูกสูบขณะได้ยินเสียงดังที่สุดสองครั้ง โดยตำแหน่งทั้งสองอยู่ติดกัน จะเปลี่ยนไปหรือไม่ เมื่อความถี่ของเสียงเปลี่ยนไป

แนวคำตอบ ระยะระหว่างตำแหน่งของลูกสูบเปลี่ยนไป

- ระยะเฉลี่ยระหว่างตำแหน่งของลูกสูบ ขณะได้ยินเสียงดังที่สุดสองครั้งติดกันกับครึ่งหนึ่งของ ความยาวคลื่นเสียงที่คำนวณได้จากตอนที่ 1 มีค่าเท่ากันหรือไม่

แนวคำตอบ มีค่าเท่ากัน (โดยประมาณ)

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรม จนได้ข้อสรุปดังนี้

1. ระยะระหว่างตำแหน่งของลูกสูบที่อยู่ติดกัน เมื่อได้ยินเสียงดังที่สุดจะมีค่าเปลี่ยนไป ถ้าความถี่เปลี่ยนไป
2. เปรียบเทียบความยาวคลื่นที่ได้จากการคำนวณในตอนที่ 1 กับการหาโดยการสั้นพ้องของเสียงเมื่อความถี่เท่ากันจะได้ว่า ระยะระหว่างลูกสูบที่อยู่ติดกันเมื่อได้ยินเสียงดังเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเสียง

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยใช้รูป 12.19 (การเกิดการสั้นพ้องครั้งแรกในท่อปลายปิดหนึ่งด้าน) และ 12.20 (การเกิดการสั้นพ้องครั้งที่สองในท่อปลายปิดหนึ่งด้าน) ประกอบการอภิปราย ซึ่งควรสรุปได้ ดังนี้

- ขณะที่เกิดการสั้นพ้อง (ได้ยินเสียงดังที่สุด) นั้น จะเกิดการแทรกสอดระหว่างคลื่นเสียงจากลำโพง และเสียงที่สะท้อนจากลูกสูบ
- ขณะที่เกิดการสั้นพ้องของเสียงในหลอด อนุภาคอากาศที่อยู่ติดกับลูกสูบไม่เคลื่อนที่ เป็นบัพของการกระจัด ส่วนอนุภาคอากาศที่อยู่บริเวณปากหลอดจะสั้นไปมาออกจากตำแหน่งเดิมได้ระยะทางมากที่สุด เป็นปฏิบัพของการกระจัด มีการกระจัดสูงสุดเท่ากับแอมพลิจูดของเสียงที่ได้ยินขณะนั้น

จากนั้นครูอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงกับความยาวของลำอากาศในท่อ ขณะเกิดการสั้นพ้องครั้งแรกและครั้งที่สอง ในกรณีความยาวของท่อปลายปิดมีค่าคงตัว ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยใช้รูป 12.21 ประกอบ จนได้ความสัมพันธ์ตามสมการ (12.5) $f_n = n \frac{v}{4L}$

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 12.7 และ 12.8 โดยมีครูเป็นผู้แนะนำ จากนั้น ตรวจสอบความเข้าใจนักเรียนโดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.3 ข้อ 1 และทำแบบฝึกหัด 12.3 ข้อ 1, 4-7 และ 9 ทั้งนี้อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับคลื่นนิ่ง แล้วถามนักเรียนว่า เมื่อคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดสองแหล่งที่มีความถี่ต่างกันมาพบกัน เสียงที่ได้ยินในแต่ละตำแหน่งเป็นอย่างไร จะมีลักษณะเช่นเดียวกับคลื่นนิ่งหรือไม่ โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

12.3.3 ปิด

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ความถี่บีตหาได้จากจำนวนครั้งที่ได้ยินทั้งเสียงดังและเสียงค่อยรวมกัน ในหนึ่งวินาที	1. ความถี่บีตหาได้จากจำนวนครั้งที่ได้ยินเฉพาะเสียงดังหรือเฉพาะเสียงค่อยในหนึ่งวินาที ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการ $f_b = f_1 - f_2 $

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 13 ของหัวข้อ 12.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 12.3.3 โดยนำทบทวนความรู้เกี่ยวกับการแทรกสอดของเสียงว่า เมื่อคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงสองแหล่งที่มีความถี่เท่ากัน เคลื่อนที่มาพบกันจะซ้อนทับกันและเกิดการแทรกสอด จากนั้นตั้งคำถามว่า ถ้าคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงทั้งสองมีความถี่ต่างกัน เคลื่อนที่มาพบกัน เสียงที่ได้ยินจะเป็นอย่างไร ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบอภิปรายอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนอภิปรายว่า ถ้าคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงทั้งสองมีความถี่ต่างกันเล็กน้อย เคลื่อนที่มาพบกัน เสียงที่ได้ยินจะดัง-ค่อยสลับกันเป็นจังหวะคงตัว เรียกว่า การบีตของเสียง หรือเสียงบีต โดยจำนวนเสียงดัง-ค่อยที่ได้ยินในหนึ่งวินาที (จำนวนครั้งที่ยินเสียงดัง หรือ จำนวนครั้งที่ได้ยินเสียงค่อยในหนึ่งวินาที) เรียกว่า ความถี่บีต หาได้จากสมการ (12.6) $f_b = |f_1 - f_2|$

ครูให้นักเรียนศึกษาการเกิดเสียงบีตจากรูป 12.22 ในหนังสือเรียน โดยครูอาจใช้คำถาม ดังนี้

- เสียงความถี่ f_1 และ f_2 แตกต่างกันอย่างไรร
- เมื่อเสียงความถี่ f_1 และ f_2 มาซ้อนทับกันจะได้เสียงเป็นอย่างไร

จากนั้นใช้คำถามว่า เมื่อเสียงบีตมีความถี่ไม่เกิน 7 เฮิรตซ์ เสียงบีตที่ได้ยินจะเป็นอย่างไร หาคำตอบได้จากกิจกรรม 12.4 การบีตของเสียง



กิจกรรม 12.4 การบิดของเสียง

จุดประสงค์

ศึกษาผลของการซ้อนทับระหว่างคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง 2 แหล่งที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อย

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|--------------------------------|-----------|
| 1. ชุดเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง | 2 เครื่อง |
| 2. ลำโพง | 1 ตัว |
| 3. สายไฟ | 4 เส้น |

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. ลำโพงไม่ควรวางห่างกันเกิน 30 เซนติเมตร
2. ครูให้นักเรียนทดลองฟังเสียงจากลำโพงแต่ละตัวก่อนว่า เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง และ ลำโพงแต่ละตัวเมื่อหมุนปุ่มปรับความถี่จาก 0.9–1.0 กิโลเฮิรตซ์แล้ว เสียงที่ได้ยินจะดังสม่ำเสมอ ไม่ขาดเป็นช่วงๆ
3. แต่ละกลุ่มที่ทำการทดลองควรอยู่ห่างกัน เพื่อไม่ให้เกิดเสียงรบกวน ปรับความดังของเสียงให้เหมาะสมพอได้ยินในกลุ่มเท่านั้น

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

เสียงที่ได้ยินจากแหล่งกำเนิดเสียงสองแหล่งที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อยจะเป็นเสียงที่ดังและค่อยสลับกันเป็นจังหวะคงตัว



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- เสียงที่ได้ยินจากแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งเดียวกับเสียงที่ได้ยินจากแหล่งกำเนิดเสียงสองแหล่งที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อย แตกต่างกันอย่างไรร

แนวคำตอบ เสียงที่ได้ยินจากแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งเดียวจะเป็นเสียงดังสม่ำเสมอต่อเนื่องกัน ส่วนเสียงที่ได้ยินจากแหล่งกำเนิดเสียงสองแหล่งที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อย จะเป็นเสียงดังและค่อยสลับกันเป็นจังหวะ

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรมจนได้ข้อสรุปดังนี้

1. การที่ได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงสองแหล่งที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อยเป็นเสียงดังค่อยสลับกันไป เรียกว่า การปิดของเสียง
2. ปกติมนุษย์จะสามารถจำแนกเสียงปิดที่ได้ยินเป็นจังหวะซึ่งมีความถี่ไม่เกิน 7 เฮิร์ตซ์

ครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างเสียงดังค่อยในเสียงปิดและเสียงดังค่อยจากการแทรกสอดของเสียง ซึ่งควรสรุปได้ว่า เสียงดังค่อยในเสียงปิดจะเป็นจังหวะเปลี่ยนตามเวลา ส่วนเสียงดังค่อยในการแทรกสอดของเสียงแบบคลื่นนิ่งจะเปลี่ยนตามตำแหน่งที่รับฟัง

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 12.9 โดยมีครูเป็นผู้แนะนำ จากนั้น ตรวจสอบความเข้าใจนักเรียนโดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.3 ข้อ 2-3 และทำแบบฝึกหัด 12.3

ข้อ 2-3 และ 8 ทั้งนี้อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

จากนั้นครูตั้งคำถามว่า ปรากฏการณ์ทางเสียงต่าง ๆ ที่ได้ศึกษามาแล้วนั้น ทั้งแหล่งกำเนิดเสียงและผู้ฟังต่างอยู่หนึ่ง หากแหล่งกำเนิดเสียงและผู้ฟังเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน เสียงที่ได้ยินจะเป็นอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

12.3.4 ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียงเป็นปรากฏการณ์ที่รับรู้ได้เฉพาะมนุษย์เท่านั้น	1. ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียงเป็นปรากฏการณ์ที่รับรู้ได้ทั้งมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น เช่น ค้างคาว
2. คลื่นกระแทกเกิดขึ้นได้เฉพาะในตัวกลางที่เป็นอากาศเท่านั้น	2. คลื่นกระแทกอาจเกิดในตัวกลางต่าง ๆ ได้ เช่น น้ำ อากาศ โดยคลื่นกระแทกเกิดขึ้นเมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นมีอัตราเร็วมากกว่าอัตราเร็วคลื่นในตัวกลางนั้น ๆ ทำให้หน้าคลื่นอัดตัวกันและมีพลังงานเพิ่มขึ้น

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

อุปกรณ์สำหรับทำกิจกรรม ได้แก่ ถาดคลื่น

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 14 หัวข้อ 12.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 12.3.4 โดยใช้คำถามเกี่ยวกับการได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่หนึ่ง และที่กำลังเคลื่อนที่ เช่น เสียงไซเรนของรถกู้ภัยที่กำลังแล่นใกล้เข้ามาและผ่านไป เสียงที่ได้ยินแตกต่างกันหรือไม่ จนสรุปได้ว่า ผู้สังเกตจะได้ยินเสียงมีความถี่เปลี่ยนไปจากความจริง เนื่องจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกต เรียกว่า ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์

ครูให้นักเรียนอภิปรายว่าปรากฏการณ์ดอปเพลอร์แบ่งได้ 3 กรณี ได้แก่ 1. แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ ผู้สังเกตอยู่นิ่ง 2. แหล่งกำเนิดเสียงอยู่นิ่ง ผู้สังเกตเคลื่อนที่ และ 3. แหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกตต่างเคลื่อนที่สัมพัทธ์ในแนวเดียวกันกับแนวการเคลื่อนที่ของเสียง ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า

1. เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต ผู้สังเกตจะได้ยินเสียงที่มีความถี่มากขึ้น แต่เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต ผู้สังเกตจะได้ยินเสียงความถี่น้อยลง
2. เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงอยู่นิ่ง ผู้สังเกตที่เคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียง จะได้ยินเสียงที่มีความถี่มากขึ้น แต่เมื่อผู้สังเกตเคลื่อนที่ออกจาก แหล่งกำเนิดเสียง จะได้ยินเสียงความถี่น้อยลง
3. เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกตที่เคลื่อนที่เข้าหากัน ผู้สังเกตจะได้ยินเสียงที่มีความถี่มากขึ้น แต่เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกตเคลื่อนที่ออกจากกัน ผู้สังเกตจะได้ยินเสียงความถี่น้อยลง

เพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ยิ่งขึ้น ครูอาจสาธิตปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของคลื่นน้ำโดยใช้ถาดคลื่น โดยใช้ปลายดินสอดำจุ่มลงบนผิวน้ำเป็นแหล่งกำเนิดคลื่น ทำให้เกิดคลื่นน้ำอย่างต่อเนื่อง แล้วให้นักเรียนสังเกตลักษณะของหน้าคลื่นที่เกิดขึ้นในขณะที่แหล่งกำเนิดคลื่นอยู่นิ่งและกำลังเคลื่อนที่ ให้นักเรียนอภิปรายถึงข้อแตกต่างของหน้าคลื่นทั้งสองกรณี ซึ่งควรบอกได้ว่า ขณะที่แหล่งกำเนิดคลื่นอยู่นิ่ง ความยาวคลื่นที่ด้านหน้าและด้านหลังของแหล่งกำเนิดคลื่นมีค่าเท่ากัน ขณะที่แหล่งกำเนิดคลื่นกำลังเคลื่อนที่ ความยาวคลื่นที่ด้านหน้าสั้นกว่าความยาวคลื่นด้านหลังของแหล่งกำเนิดคลื่นและไม่เท่ากับ ความยาวคลื่นจากแหล่งกำเนิดที่อยู่นิ่ง จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า เมื่ออัตราเร็วของคลื่นคงตัว ความยาวคลื่นด้านหน้าสั้นกว่าความยาวคลื่นด้านหลังของแหล่งกำเนิดคลื่น แสดงว่าความถี่ปรากฏของคลื่นด้านหน้าสูงกว่าความถี่ด้านหลังของแหล่งกำเนิดคลื่น

ครูให้นักเรียนอภิปรายเปรียบเทียบคลื่นน้ำในถาดคลื่นกับคลื่นเสียง และแหล่งกำเนิดคลื่นน้ำกับแหล่งกำเนิดเสียง จนสรุปได้ว่า เราจะได้ยินเสียงที่ด้านหน้าและด้านหลังของแหล่งกำเนิดเสียงที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความถี่ที่แตกต่างกัน คือ ได้ยินเสียงมีความถี่สูงขึ้นหรือต่ำลงกว่าเดิม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียง

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 54 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

1. ความถี่ของเสียงที่ผู้สังเกตได้ยินในกรณีต่อไปนี้จะมากขึ้น เท่าเดิม หรือลดลง เพราะเหตุใด
 - (ก) เมื่อผู้สังเกตเคลื่อนที่อยู่ด้านหน้าของแหล่งกำเนิดเสียง โดยเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน
 - (ข) เมื่อผู้สังเกตเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับแหล่งกำเนิดเสียงแต่ตามหลังแหล่งกำเนิด

แนวคำตอบ

(ก) มีแนวทางได้ 3 กรณี

- ในกรณีที่ผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดเสียงมีอัตราเร็วเท่ากัน ความถี่ของเสียงที่ได้ยินจะเท่าเดิม เพราะ ผู้สังเกตอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเท่าเดิม คล้ายกับกรณีผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดเสียงอยู่นิ่ง
- ในกรณีที่ผู้สังเกตมีอัตราเร็วมากกว่าแหล่งกำเนิดเสียง ความถี่ของเสียงที่ได้ยินจะลดลง เพราะ ผู้สังเกตจะเคลื่อนที่ไกลออกจากแหล่งกำเนิด คล้ายกับกรณีผู้สังเกตเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง
- ในกรณีที่ผู้สังเกตมีอัตราเร็วน้อยกว่าแหล่งกำเนิดเสียง ความถี่ของเสียงที่ได้ยินจะเพิ่มขึ้น เพราะ ผู้สังเกตจะเคลื่อนที่เข้าใกล้แหล่งกำเนิด คล้ายกับกรณีผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง

(ข) มีแนวทางได้ 3 กรณี

- ในกรณีที่ผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดเสียงมีอัตราเร็วเท่ากัน ความถี่ของเสียงที่ได้ยินจะเท่าเดิม เพราะ ผู้สังเกตอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเท่าเดิม คล้ายกับกรณีผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดเสียงอยู่นิ่ง
- ในกรณีที่ผู้สังเกตมีอัตราเร็วมากกว่าแหล่งกำเนิดเสียง ความถี่ของเสียงที่ได้ยินจะเพิ่มขึ้น เพราะ ผู้สังเกตจะเคลื่อนที่เข้าใกล้แหล่งกำเนิด คล้ายกับกรณีผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง
- ในกรณีที่ผู้สังเกตมีอัตราเร็วน้อยกว่าแหล่งกำเนิดเสียง ความถี่ของเสียงที่ได้ยินจะลดลง เพราะ ผู้สังเกตจะเคลื่อนที่ไกลออกจากแหล่งกำเนิด คล้ายกับกรณีผู้สังเกตเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง

2. แหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกตอยู่นิ่ง ถ้ามีลมพัดด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอจากผู้สังเกตเข้าหาแหล่งกำเนิดเสียง จะเกิดปรากฏการณ์ดอปเพลอร์หรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ไม่ เนื่องจากลมพัดด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอจากผู้สังเกตเข้าหาแหล่งกำเนิด ทำให้อัตราเร็วเสียงเมื่อเทียบกับผู้สังเกตลดลง แต่ความถี่ของเสียงจากแหล่งกำเนิดมีค่าเท่าเดิม จึงไม่เกิดปรากฏการณ์ดอปเพลอร์

ครูนำนักเรียนอภิปรายว่าปรากฏการณ์ดอปเพลอร์เกิดได้กับคลื่นทุกชนิด รวมทั้งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้ เช่น การใช้เรดาร์ในการตรวจวัดความเร็วของยานพาหนะ หรือการศึกษาทางฟิสิกส์ดาราศาสตร์ (astrophysics) เช่น การตรวจวัดอัตราเร็วของดาวฤกษ์และกาแล็กซี

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

1. ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียง

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียงอาจเกิดได้ 3 กรณี ดังนี้ 1 แหล่งกำเนิดเสียงอยู่นิ่ง ผู้สังเกตเคลื่อนที่ 2 แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ ผู้สังเกตอยู่นิ่ง และ 3 แหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกตต่างเคลื่อนที่ในแนวเดียวกัน

- ให้ f_s แทน ความถี่เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง
 v_s แทน อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียงปรากฏต่อผู้สังเกต
 v_o แทน อัตราเร็วของผู้สังเกต
 v แทน อัตราเร็วเสียงในอากาศ

ความถี่เสียงปรากฏต่อผู้สังเกต f_s ในแต่ละกรณีมีค่าดังนี้

กรณี 1 แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ ผู้สังเกตอยู่นิ่ง

$$\text{แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต} \quad f_o = \frac{v}{(v - v_s)} f_s \quad (g1)$$

$$\text{แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต} \quad f_o = \frac{v}{(v + v_s)} f_s \quad (g2)$$

กรณี 2 แหล่งกำเนิดเสียงอยู่นิ่ง ผู้สังเกตเคลื่อนที่

$$\text{ผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง} \quad f_o = \left(1 + \frac{v_o}{v}\right) f_s \quad (\text{h1})$$

$$\text{ผู้สังเกตเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง} \quad f_o = \left(1 - \frac{v_o}{v}\right) f_s \quad (\text{h2})$$

กรณี 3 แหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกตต่างเคลื่อนที่ในแนวเดียวกัน

ในกรณีนี้อาจมีสถานการณ์เกิดขึ้นได้ 4 แบบ ดังนี้

$$1. \text{ ผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหากัน} \quad f_o = \left(\frac{v + v_o}{v - v_s}\right) f_s \quad (\text{i1})$$

$$2. \text{ ผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ออกจากกัน} \quad f_o = \left(\frac{v - v_o}{v + v_s}\right) f_s \quad (\text{i2})$$

$$3. \text{ ผู้สังเกตเคลื่อนที่ตามแหล่งกำเนิดเสียง} \quad f_o = \left(\frac{v + v_o}{v + v_s}\right) f_s \quad (\text{i3})$$

$$4. \text{ แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ตามผู้สังเกต} \quad f_o = \left(\frac{v - v_o}{v - v_s}\right) f_s \quad (\text{i4})$$

2. ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของแสง

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์เกิดได้กับคลื่นทุกชนิด รวมทั้งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงกล่าวได้ว่า ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์เป็นปรากฏการณ์ที่ความถี่ของคลื่นที่ปรากฏต่อผู้สังเกตเปลี่ยนไปจากความถี่ของคลื่นจากแหล่งกำเนิด ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างผู้สังเกตกับแหล่งกำเนิดคลื่น

จากปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียง กรณี 1 แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ ผู้สังเกตหยุดนิ่ง จากสมการ (g1) และ (g2)

$$f_o = \left(\frac{v}{v \pm v_s}\right) f_s \quad (\text{j})$$

$$\text{จัดสมการใหม่ (j)} \quad f_o = \left(1 \mp \frac{v_s}{v}\right)^{-1} f_s \quad (\text{k})$$

$$\text{จากคณิตศาสตร์} \quad (1 \pm x)^n = 1 \pm nx + \frac{n(n-1)}{2!} x^2 \pm \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} x^3 + \dots$$

$$\text{ถ้า } n = -1 \text{ จะได้} \quad (1 \pm x)^{-1} = 1 \mp x + x^2 \mp \dots$$

เมื่อ $x < 1$ ดังนั้น $x^2 \ll 1$ หรือประมาณว่า $x^2 \cong 0$ จะได้

$$(1 \mp x)^{-1} \cong 1 \mp x$$

จัดสมการ (k) ใหม่
$$f_o \cong \left(1 \mp \frac{v_s}{v}\right) f_s \quad (l)$$

จากสมการ (l) ปรับใช้กับแสงได้เป็น $f' = f_s \left(1 \mp \frac{u}{c}\right)$ (m1)

เมื่อ f' เป็นความถี่ของแสงที่วัดได้หรือความถี่แสงปรากฏ

f_s เป็นความถี่ของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง เช่น ดาวฤกษ์หรือกาแล็กซี

u เป็นอัตราเร็วแหล่งกำเนิดแสงสัมพัทธ์กับผู้วัด

c เป็นอัตราเร็วแสง

จากสมการ (m1)
$$f' - f_s \cong \pm \frac{u}{c} f_s \quad (n1)$$

$$\frac{f' - f_s}{f_s} \cong \pm \frac{u}{c}$$

$$\frac{\Delta f}{f_s} \cong \pm \frac{u}{c}$$

โดยที่ ($u \ll c$)

สำหรับปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของแสงในวิชาฟิสิกส์ดาราศาสตร์ จะพิจารณาความยาวคลื่นแสงแทนความถี่ เพราะ การวัดความยาวคลื่นทำได้ง่ายกว่า

ให้ λ เป็นความยาวคลื่นของสเปกตรัมของแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดที่สังเกต

และ λ' เป็นความยาวคลื่นของสเปกตรัมของแสงที่วัดได้ (เปลี่ยนไปจากเดิม คือ λ)

เขียนสมการ (m1) ใหม่โดยใช้ $\lambda' f' = \lambda f_s = c$ จะได้

$$\lambda' = \lambda \left(1 \pm \frac{u}{c}\right) \quad (m2)$$

ดังนั้น

$$\lambda' - \lambda = \left(\pm \frac{u}{c}\right) \lambda$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \pm \frac{u}{c}$$

$$(u \ll c) \quad (n2)$$

$\Delta \lambda$ คือความยาวคลื่นดอปเพลอร์ที่เลื่อนไป (Doppler wavelength shift)

ถ้า $\Delta \lambda$ เป็นบวก (+) แสดงว่า λ' มีค่ามากกว่า λ หรือ f' มีค่าน้อยกว่า f ดังนั้นสเปกตรัมของแสงที่ปรากฏจะขยับไปทางสีแดง เรียกว่า การเลื่อนไปทางแดง (red shift) เพราะแสงสีแดงมีความถี่ต่ำ หมายความว่า ระยะทางระหว่างผู้สังเกต (ผู้วัด) กับแหล่งกำเนิดมีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือแหล่งกำเนิดแสงกำลังเคลื่อนที่ออกห่างออกไป ดังรูป



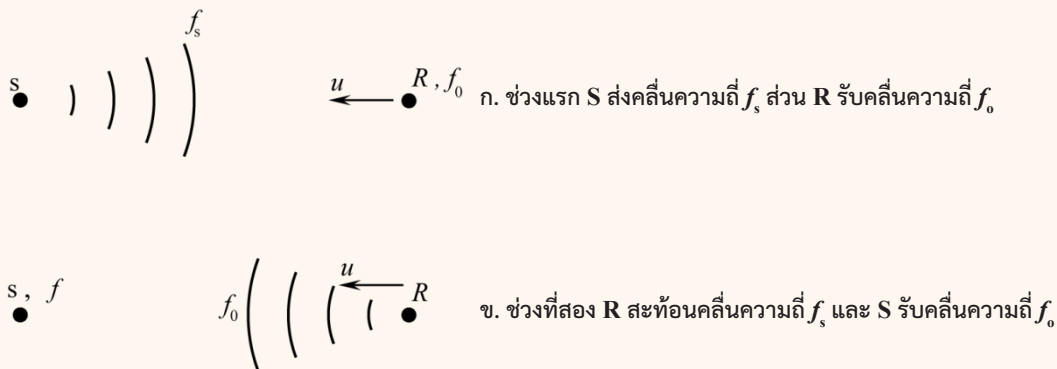
รูป ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของแสง

ถ้า $\Delta\lambda$ เป็นบวก (-) แสดงว่า λ' มีค่ามากกว่า λ หรือ f' มีค่ามากกว่า f ดังนั้นสเปกตรัมของแสงที่ปรากฏจะขยับไปทางสีน้ำเงิน เรียกว่า การเลื่อนไปทางน้ำเงิน (blue shift) เพราะแสงสีน้ำเงินมีความถี่สูง หมายความว่า ระยะทางระหว่างผู้สังเกต (ผู้วัด) กับแหล่งกำเนิดมีค่าลดลง นั่นคือแหล่งกำเนิดแสงกำลังเคลื่อนที่เข้าใกล้

3. การวัดอัตราเร็วโดยใช้เรดาร์

เรดาร์ (radar : radio detection and ranging) เป็นระบบที่ใช้คลื่นวิทยุในการตรวจหาพิสัย ทิศทางและอัตราเร็วของวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เช่น เครื่องบิน เรือ ขีปนาวุธ รถ รวมทั้งพายุที่กำลังก่อตัว โดยเครื่องส่ง (radar transmitter) ของเรดาร์ปล่อยคลื่นวิทยุ (เรียกว่าสัญญาณเรดาร์) ในทิศทางที่คาดว่ามิ้ววัตถุที่กำลังตรวจหา เมื่อคลื่นวิทยุไปกระทบวัตถุ จะสะท้อนกลับไปยังเครื่องรับ (radar receiver) ซึ่งไม่จำเป็นต้องอยู่ที่เดียวกับเครื่องส่ง สัญญาณเรดาร์จะสะท้อนได้ดีกับวัตถุที่เป็นโลหะ โดยคลื่นที่รับได้จะมีความถี่เปลี่ยนไปเล็กน้อย (Δf) ตามหลักการของปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่า วัตถุนั้นอยู่ที่ตำแหน่งใด กำลังเคลื่อนที่ไกลออกไปหรือใกล้เข้ามา ในทิศทางใด และมีอัตราเร็วเท่าใด การหาความถี่เปลี่ยนไปเล็กน้อย (Δf) ของสัญญาณเรดาร์ ทำได้ดังนี้

จากรูป การทำงานของเรดาร์ ซึ่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุที่อยู่นิ่ง (S) วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ (R) วัตถุนี้จะเป็นตัวสะท้อนคลื่นวิทยุ



รูป การทำงานของเรดาร์

การวิเคราะห์หาความถี่ที่เปลี่ยนไป แบ่งเป็น 2 ช่วง

ช่วงแรก แหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุ S ส่งคลื่นความถี่ f_s ส่วนวัตถุ R รับคลื่นความถี่ f_o จะสะท้อนคลื่นที่มีความถี่ f_o

ในกรณีเสียง ผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง $f_o = \left(1 + \frac{v_o}{v}\right) f_s$

ปรับใช้กับคลื่นวิทยุ จะได้ $f_o = \left(1 + \frac{u}{c}\right) f_s$

เมื่อ u เป็นอัตราเร็วของวัตถุ R และ เป็นอัตราเร็วของคลื่นวิทยุ

ช่วงที่สอง วัตถุ R (เป็นแหล่งกำเนิด) สะท้อนคลื่นความถี่ f_o ส่วนแหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุ S (เป็นผู้สังเกต) ได้รับความถี่ f

ในกรณี แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกตที่อยู่นิ่ง $f_o = \left(\frac{v}{v - v_s}\right) f_s$

ปรับใช้กับคลื่นวิทยุ จะได้ $f = \left(\frac{c}{c - u}\right) f_o$

$$f = \left(\frac{1}{1 - \frac{u}{c}}\right) f_o = \left(1 - \frac{u}{c}\right)^{-1} f_o$$

แทน f_o จาก (o) จะได้

$$f = \left(1 - \frac{u}{c}\right)^{-1} \left(1 + \frac{u}{c}\right) f_o \quad (p)$$

เนื่องจาก $\left(1 - \frac{u}{c}\right)^{-1} = 1 + \frac{u}{c} + \frac{u^2}{c^2} + \dots$

$$\left(1 - \frac{u}{c}\right)^{-1} \cong 1 + \frac{u}{c} \text{ เมื่อ } \frac{u^2}{c^2} \ll 1 \text{ หรือประมาณว่า } \frac{u^2}{c^2} \cong 0$$

จะเขียนสมการ (p) ได้ดังนี้

$$f \cong \left(1 + \frac{u}{c}\right) \left(1 + \frac{u}{c}\right) f_s$$

$$f \cong \left(1 + 2\frac{u}{c} + \frac{u^2}{c^2}\right) f_s$$

$u \ll c$ ดังนั้น $\left(\frac{u}{c}\right)^2 \cong 0$ จะได้ $f \cong \left(1 + 2\frac{u}{c}\right) f_s$

$$\frac{f - f_s}{f_s} \cong \frac{2u}{c}$$

นั่นคือ อัตราส่วนระหว่างความถี่ที่เปลี่ยนไปต่อความถี่เดิม ซึ่งความถี่ที่เปลี่ยนไปอาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ ดังนั้น (i) เขียนได้เป็น

$$\frac{\Delta f}{\Delta f_s} \simeq \pm \frac{2u}{c}$$

พิจารณาการตรวจจذبรถยนต์ที่ใช้อัตราเร็วกว่ากำหนดดังนี้

ตำรวจจราจรใช้เครื่องตรวจจذبอัตราเร็วรถยนต์ซึ่งปล่อยคลื่นวิทยุความถี่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ไปยังรถยนต์คันหนึ่ง พบว่า ได้รับคลื่นที่มีความถี่ลดลง 18 เฮิร์ตซ์ ถ้าถนนสายนี้จำกัดอัตราเร็วที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผู้ขับได้จذبรถยนต์เร็วกว่าอัตราเร็วที่กำหนดไว้หรือไม่

จาก $\frac{\Delta f}{f_2} = \frac{2u}{c}$ ดังนั้น $u = \frac{(\Delta f)c}{2f_s}$ จะได้ $u = \frac{(18\text{Hz})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{2(100 \times 10^6 \text{ m/s})} = 27 \text{ m/s}$
หรือ 97.2 km/h

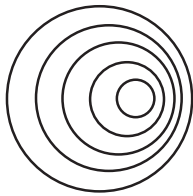
แสดงว่า ผู้ขับได้จذبรถยนต์เร็วกว่าอัตราเร็วที่กำหนดไว้ คือ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

หลักการเรดาร์ยังใช้ได้กับโซนาร์ (sonar : sound navigation and ranging) ซึ่งใช้คลื่นเหนือเสียง (ultrasonics)

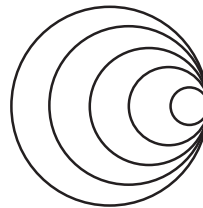
จากนั้นครูตั้งคำถามว่า ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียงที่ได้ศึกษามา แหล่งกำเนิดเสียงมีอัตราเร็วน้อยกว่าอัตราเร็วเสียง หากแหล่งกำเนิดเสียงมีอัตราเร็วมากกว่าอัตราเร็วเสียง จะเกิดอะไรขึ้น โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูสาธิตการเกิดคลื่นกระแทก โดยใช้หลอดคลื่นเช่นเดิม แต่เปลี่ยนเป็นลากปลายดินสอโดยมีอัตราเร็วใน 4 กรณี ดังนี้ ก.อัตราเร็วในการลากปลายดินสอน้อยกว่าอัตราเร็วคลื่น ข.อัตราเร็วในการลากปลายดินสอประมาณหรือเท่ากับอัตราเร็วคลื่น ค.อัตราเร็วในการลากปลายดินสอมากกว่าอัตราเร็วคลื่น และ ง.อัตราเร็วในการลากปลายดินสอมากกว่าอัตราเร็วคลื่นมาก ดังรูป 12.8

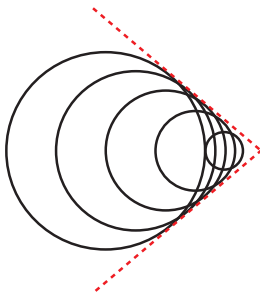
ทิศทางการลากปลายดินสอ



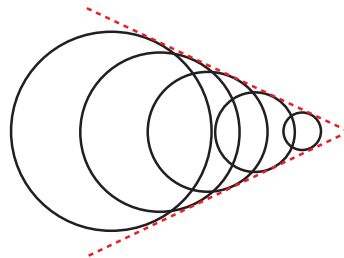
ก. ปลายดินสอเคลื่อนที่ช้ากว่าคลื่นน้ำ



ข. ปลายดินสอเคลื่อนที่ประมาณหรือเท่ากับคลื่นน้ำ



ค. ปลายดินสอเคลื่อนที่เร็วกว่าคลื่นน้ำ



ง. ปลายดินสอเคลื่อนที่เร็วกว่าคลื่นน้ำมาก

รูป 12.8 ลักษณะหน้าคลื่นน้ำเมื่อปลายดินสอซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วต่าง ๆ

ให้นักเรียนสังเกตลักษณะของหน้าคลื่นน้ำแต่ละกรณี จากนั้นร่วมกันอภิปราย จนสรุปได้ว่า เมื่ออัตราเร็วของแหล่งกำเนิดคลื่นมากกว่าอัตราเร็วของคลื่น แหล่งกำเนิดคลื่นจะเคลื่อนที่ผ่านพ้นหน้าคลื่นทุกหน้าคลื่นที่อัดตัวออกไป หน้าคลื่นจะอัดตัวกันในลักษณะที่เป็นหน้าคลื่นวงกลมซ้อนเรียงตัวกันไปตามแนวการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดดังรูป 12.25 ในหนังสือเรียน แนวหน้าคลื่นที่อัดตัวกันมีลักษณะเป็นรูปปมมแหลม เรียกว่า หน้าคลื่นกระแทก พลังงานแต่ละหน้าคลื่นจะไปเสริมกันบนหน้าคลื่นกระแทก ด้วยเหตุนี้คลื่นกระแทกจึงมีพลังงานมาก

ครูให้นักเรียนสืบค้นและนำเสนอเกี่ยวกับคลื่นกระแทกที่พบในชีวิตประจำวัน เช่น คลื่นกระแทกที่เกิดการแล่นของเรือในน้ำ คลื่นกระแทกที่เกิดจากเครื่องบินที่บินเร็วกว่าเสียง คลื่นกระแทกที่เกิดจากลูกกระสุนที่วิ่งผ่านอากาศ

ครูตรวจสอบความเข้าใจนักเรียนโดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.3 ข้อ 4 ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับคลื่นนิ่งของเสียง การสั่นพ้องของอากาศในท่อ การบิตของเสียง และปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.3 และแบบฝึกหัด 12.3
2. ทักษะการทดลองและการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป จากการทำกิจกรรม 12.1–12.4 ทักษะการใช้จำนวน จากการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับการเกิดคลื่นนิ่งและการสั่นพ้องของเสียงในท่อปลายปิดหนึ่งด้านและเปิด ในแบบฝึกหัด 12.3 ทักษะด้านการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการมีการอ้างอิงแหล่งที่มาและการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย ได้อย่างสมเหตุสมผล การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล ทักษะด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ จากการทำกิจกรรมร่วมกัน
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความซื่อสัตย์ จากการทำกิจกรรม 12.1–12.4



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.3

1. การสั่นพ้องของเสียงเกิดขึ้นได้อย่างไร

แนวคำตอบ วัตถุทั้งหลายมีความถี่ธรรมชาติเฉพาะตัวค่าหนึ่ง ถ้าวัตถุนี้ถูกกระตุ้นด้วยความถี่เดียวกับความถี่ธรรมชาติ จะเกิดการสั่นด้วยแอมพลิจูดที่มากขึ้น เรียกว่า การสั่นพ้อง สำหรับอากาศที่อยู่ในภาชนะ เช่น ลำอากาศในท่อมี่ความถี่ธรรมชาติค่าหนึ่ง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่ธรรมชาติ ลำอากาศในท่อจะเกิดการสั่นพ้อง ทำให้ได้ยินเสียงดังที่สุด

2. แหล่งกำเนิดเสียงสองตัวให้เสียงความถี่ 438 และ 440 เฮิรตซ์ พร้อมกัน จะเกิดปรากฏการณ์ใดของเสียง

แนวคำตอบ เกิดการบิตของเสียงโดยคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดทั้งสองมีความถี่ต่างกันไม่เกิน 7 เฮิรตซ์ เมื่อซ้อนทับกัน จะทำให้ได้ยินเสียงดังและค่อยสลับกันเป็นจังหวะคงตัว

3. เรือลำหนึ่งกำลังแล่นเข้าหาหน้าผา กับต้นเรือเปิดหวูดส่งสัญญาณเสียงด้วยความถี่คงตัว โดยเปิดสัญญาณอย่างต่อเนื่อง พบว่า ผู้ฟังบนเรือได้ยินเสียงบีต เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ขณะที่เรือเคลื่อนที่เข้าหาหน้าผาพร้อมกับเปิดหวูดที่ให้คลื่นเสียงต่อเนื่อง เสียงหวูดเคลื่อนที่ไปตกกระทบหน้าผาและสะท้อนกลับมาสู่เรืออีก ผู้ฟังบนเรือจะได้ยินเสียงสะท้อนที่มีความถี่ปรากฏมากกว่าเดิมเล็กน้อย เนื่องจากปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ ดังนั้นผู้ฟังบนเรือจึงได้ยินเสียงสองเสียง คือ เสียงหวูดที่สะท้อน กับเสียงหวูดเดิม เสียงทั้งสองซึ่งมีความถี่ต่างกันเล็กน้อยเกิดการรวมกันทำให้เกิดคลื่นลัพธ์ที่เป็นเสียงบีต ผู้ฟังบนเรือจึงได้ยินเสียงบีต

4. เด็กคนหนึ่งยืนที่ป้ายรถเมล์ ได้ยินเสียงไซเรนของรถพยาบาลซึ่งกำลังแล่นบนถนนตรงมายังตนเองด้วยอัตราเร็วคงตัว จนกระทั่งผ่านไป จึงเปรียบเทียบความถี่เสียงปรากฏต่อเด็กกับความถี่เสียงไซเรน

ก. ขณะที่รถยังไม่ผ่านเด็ก ข. ขณะที่รถกำลังผ่านเด็ก ค. ขณะที่รถผ่านเด็กไปแล้ว

แนวคำตอบ สถานการณ์นี้เกิดปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ในกรณี ก. คือ แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกตที่อยู่นิ่ง และในกรณี ค. คือ แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกตที่อยู่นิ่ง

ก. ขณะที่รถยังไม่ผ่านเด็ก ความถี่เสียงปรากฏต่อเด็กมีค่ามากกว่าความถี่เสียงไซเรน

ข. ขณะที่รถกำลังผ่านเด็ก ความถี่เสียงปรากฏต่อเด็กเท่ากับความถี่เสียงไซเรน

ค. ขณะที่รถผ่านเด็กไปแล้ว ความถี่เสียงปรากฏต่อเด็กน้อยกว่าความถี่เสียงไซเรน

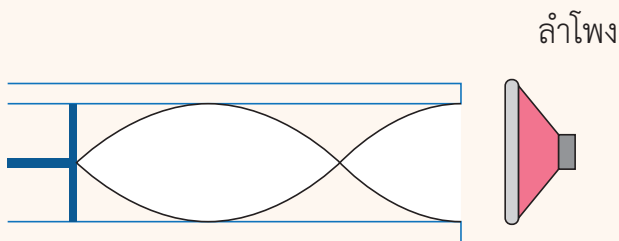


เฉลยแบบฝึกหัด 12.3

ข้อตกลง

ในกรณีที่ไม่ได้กำหนดเป็นค่าอื่น ให้อัตราเร็วเสียงในอากาศเท่ากับ 346 เมตรต่อวินาที

1. ท่อปลายปิดหนึ่งด้าน เกิดการสั่นพ้องกับลำโพงที่มีความถี่ 2400 เฮิรตซ์ เกิดคลื่นนิ่งของเสียงในท่อ ดังรูป



รูป ประกอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.3 ข้อ 1

ความถี่มูลฐานที่จะทำให้เกิดการสั่นพ้องได้มีค่าเท่าใด

วิธีทำ จากรูป ความถี่ของเสียงที่ใช้เป็น 3 เท่าความถี่มูลฐาน f_1

$$f_3 = 3f_1$$

$$2400 \text{ Hz} = 3f_1$$

$$f_1 = 800 \text{ Hz}$$

ตอบ ความถี่มูลฐานของเสียงมีค่า 800 เฮิรตซ์

2. ส้อมเสียงสามอันมีความถี่ 396 เฮิรตซ์ 400 เฮิรตซ์ และ 403 เฮิรตซ์ ส้อมเสียงชุดนี้ทำให้เกิดความถี่บีตกี่ค่า เท่าใดบ้าง

วิธีทำ ผลต่างของความถี่ของส้อมเสียงแต่ละคู่มีดังนี้

ส้อมเสียงความถี่ 396 เฮิรตซ์ กับส้อมเสียงความถี่ 400 เฮิรตซ์ ผลต่างของความถี่เท่ากับ 4 เฮิรตซ์

ส้อมเสียงความถี่ 396 เฮิรตซ์ กับส้อมเสียงความถี่ 403 เฮิรตซ์ ผลต่างของความถี่เท่ากับ 7 เฮิรตซ์

ส้อมเสียงความถี่ 400 เฮิรตซ์ กับส้อมเสียงความถี่ 403 เฮิรตซ์ ผลต่างของความถี่เท่ากับ 3 เฮิรตซ์

เนื่องจากผลต่างของความถี่ส้อมเสียงแต่ละคู่ มีค่าไม่เกิน 7 เฮิรตซ์ จึงสามารถเกิดบีตได้ทุกคู่

ตอบ ส้อมเสียงชุดนี้ทำให้เกิดความถี่บีตได้ 3 ค่า ได้แก่ 3 เฮิรตซ์ 4 เฮิรตซ์ และ 7 เฮิรตซ์

3. นักดนตรีไทยสองคนกำลังเปรียบเทียบขลุ่ย ขลุ่ยเลาแรกให้เสียงที่มีความถี่ 353 เฮิรตซ์ เมื่อเป่าขลุ่ยทั้งสองพร้อมกัน ปรากฏว่าเกิดเสียงดังค่อยเป็นจังหวะ 2 ครั้งต่อวินาที เสียงจากขลุ่ยเลาที่สองมีค่าเท่าใด

วิธีทำ เมื่อเป่าขลุ่ยเลาแรกให้เสียงมีความถี่ 353 เฮิรตซ์ กับขลุ่ยเลาที่สอง ปรากฏว่าเกิดเสียงดัง-ค่อยเป็นจังหวะ 2 ครั้งต่อวินาที แสดงว่าความถี่บีตมีค่าเท่ากับ 2 เฮิรตซ์

$$f_b = |f_1 - f_2|$$

ให้ f_1 เป็นความถี่ของเสียงจากขลุ่ยเลาแรก

f_2 เป็นความถี่ของเสียงขลุ่ยเลาที่สอง

f_b เป็นความถี่บีตเท่ากับ 2 Hz

$$2 \text{ Hz} = |353 \text{ Hz} - f_2|$$

f_2 มี 2 ค่า คือ

$$f_2 = 353 \text{ Hz} - 2 \text{ Hz} = 351 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 353 \text{ Hz} + 2 \text{ Hz} = 355 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 351 \text{ Hz หรือ } 355 \text{ Hz}$$

ตอบ ความถี่ของเสียงจากขลุ่ยเลาที่สองมีค่าเท่ากับ 351 เฮิรตซ์ หรือ 355 เฮิรตซ์

4. จงหาความถี่มูลฐานและความถี่ฮาร์โมนิกที่สามของขวดที่สูง 0.20 เมตร

วิธีทำ ความถี่การสั่นพ้องในท่อปลายปิดหนึ่งด้านมีค่าเป็นจำนวนคี่เท่าของความถี่มูลฐาน หรือ

$$f_n = nf_1 = n \left(\frac{v}{4L} \right) \text{ โดยในกรณีนี้ } L = 0.20 \text{ m}$$

ความถี่มูลฐานคือ f_1 จะได้

$$f_1 = (1) \frac{v}{4L}$$

$$f_1 = \frac{346 \text{ m/s}}{4(0.20 \text{ m})} = 433 \text{ Hz}$$

ความถี่ฮาร์โมนิกที่สามคือ f_3 จะได้ $f_3 = (3) \frac{v}{4L}$

$$f_3 = \frac{3(346 \text{ m/s})}{4(0.20 \text{ m})} = 1298 \text{ Hz}$$

ตอบ ความถี่มูลฐานและฮาร์โมนิกที่สามเท่ากับ 433 เฮิรตซ์ และ 1298 เฮิรตซ์ ตามลำดับ

5. ท่อปลายปิดหนึ่งด้านให้เสียงฮาร์โมนิกที่ห้ามีความถี่ 1250 เฮิรตซ์ ท่อนี้ยาวเท่าใด

วิธีทำ เสียงฮาร์โมนิกที่ห้า คือ เสียงที่มีความถี่การสั่นพ้องเป็นห้าเท่าของความถี่มูลฐาน หรือ

$$f_5 = (5)f_1 = (5) \left(\frac{v}{4L} \right) \text{ โดยในกรณีนี้ } f_5 = 1250 \text{ Hz}$$

$$1250 \text{ Hz} = \frac{5(346 \text{ m/s})}{4(L)}$$

$$L = \frac{5(346 \text{ m/s})}{4(1250 \text{ Hz})}$$

$$= 0.35 \text{ m}$$

ตอบ ท่อนี้ยาว 0.35 เมตร

6. ท่อทรงกระบอกปลายปิดข้างหนึ่งยาว 2.40 เมตร ถ้าเสียงมีอัตราเร็ว 343 เมตรต่อวินาที เสียงจากท่อนี้จะมีความถี่ต่ำสุดเท่าใด

วิธีทำ ถ้า f เป็นความถี่ต่ำสุดที่เกิดการสั่นพ้อง

λ เป็นความยาวคลื่นเสียง

ดังนั้น

$$\frac{\lambda}{4} = 2.40 \text{ m}$$

$$\lambda = 9.60 \text{ m}$$

$$v = \lambda f$$

จาก

$$343 \text{ m/s} = (9.60 \text{ m}) f$$

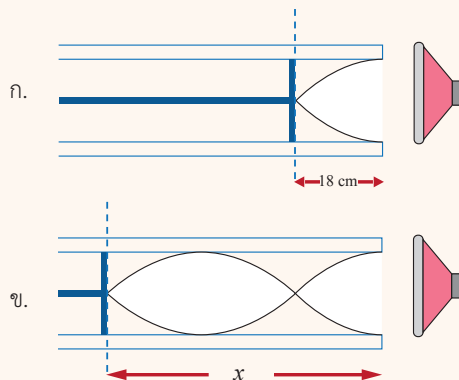
$$f = \frac{343 \text{ m/s}}{9.60 \text{ m}}$$

$$f = 35.7 \text{ Hz}$$

ตอบ ความถี่ต่ำสุดเท่ากับ 35.7 เฮิรตซ์

7. ในการทดลองการสั่นพ้องของอากาศ ขณะเกิดการสั่นพ้องครั้งแรก ลูกสูบอยู่ห่างจากปากหลอดเรโซแนนซ์ 18 เซนติเมตร และเมื่อเกิดการสั่นพ้องครั้งถัดไปจะต้องดึงลูกสูบห่างจากปากหลอดเรโซแนนซ์กี่เซนติเมตร

วิธีทำ ขณะเกิดการสั่นพ้องครั้งแรก ลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่ง ดังรูป ก.



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับแบบฝึกหัด ข้อ 7

ดังนั้น

$$\frac{\lambda}{4} = 18 \text{ cm}$$

$$\lambda = 18 \text{ cm}$$

$$\lambda = 72 \text{ cm}$$

ขณะเกิดการสั่นพ้องครั้งถัดไป ลูกสูบอยู่ห่างจากปากหลอดเท่ากับ x ดังรูป ข.

เพราะฉะนั้น

$$x = \frac{3}{4} \lambda$$

$$= \frac{3}{4} (72 \text{ cm})$$

$$x = 54 \text{ cm}$$

ตอบ ต้องดึงลูกสูบห่างจากปากหลอดเรโซแนนซ์ 54 เซนติเมตร

8. นักดนตรีผู้หนึ่งดีดกีตาร์ทำให้เกิดเสียงความถี่ f ขณะเดียวกับที่มีเสียงออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียงอื่น ทำให้เกิดการบีบอัดความถี่ 5 เฮิร์ตซ์ เมื่อเขาปรับความถี่ของเสียงจากสายกีตาร์ลดลงเป็น 329.6 เฮิร์ตซ์ ปรากฏว่าได้ยินเสียงที่มีระดับสูงต่ำของเสียงเดียวกัน จงหาความถี่ f วิธีทำ เมื่อปรับเสียงจากกีตาร์ให้มีความถี่ลดลงเป็น 329.6 เฮิร์ตซ์ แล้วเสียงบีบหายไป แสดงว่า $f_1 > f_2$

จาก

$$\text{ความถี่บีบ} = |f_1 - f_2|$$

$$5 \text{ Hz} = f_1 - 329.6 \text{ Hz}$$

$$f_1 = 334.6 \text{ Hz}$$

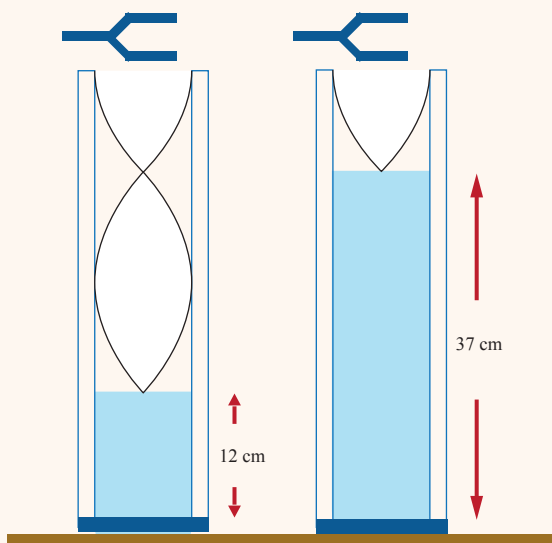
ตอบ ความถี่ f_1 เท่ากับ 334.6 เฮิร์ตซ์

9. หลอดแก้วรูปทรงกระบอกปลายปิดข้างหนึ่งถ้านำมาใส่น้ำให้มีระดับต่าง ๆ กันแล้วนำส้อมเสียงที่กำลังสั่นให้เกิดเสียงไปไว้ใกล้ปากหลอดจะพบว่ามีความสูงของน้ำในหลอดแก้ว 2 ค่าที่ทำให้เกิดเสียงดังกว่าเดิม ครั้งแรกมีน้ำในหลอดแก้วสูง 12 เซนติเมตร ครั้งที่ 2 มีน้ำในหลอดแก้วสูง 37 เซนติเมตร ถ้าส้อมเสียงสั่นด้วยความถี่ 682 เฮิร์ตซ์ อัตราเร็วเสียงในอากาศขณะนั้นมีค่าเท่าใด

วิธีทำ กำหนดให้ λ เป็นความยาวของคลื่นเสียง

v เป็นอัตราเร็วของเสียงในอากาศ

เมื่อมีการสั่นพ้อง 2 ครั้งติดกัน จะได้ดังรูป



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับแบบฝึกหัด ข้อ 9

เพราะฉะนั้น

$$\frac{\lambda}{2} = 37 \text{ cm} - 12 \text{ cm}$$

$$\lambda = 50 \text{ cm} = 0.5 \text{ m}$$

จาก

$$v = f\lambda$$

$$v = (682 \text{ s}^{-1})(0.5 \text{ m})$$

$$v = 341 \text{ m/s}$$

ตอบ อัตราเร็วของเสียงในอากาศเท่ากับ 341 เมตรต่อวินาที

12.4 การประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องเสียง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. นำความรู้เรื่องเสียงไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 15 ของหัวข้อ 12.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 12.4 โดยตั้งคำถามว่า จากความรู้เรื่องเสียงที่ได้ศึกษามา นักเรียนคิดว่าสามารถนำมาอธิบายหรือประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันหรือสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างไร ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษาการแปลงเสียงของมนุษย์และการประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องเสียงตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แล้วนำมาอภิปรายร่วมกันหน้าชั้นเรียน โดยครูอาจอธิบายเพิ่มเติม

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการประยุกต์ความรู้เรื่องเสียงในด้านต่าง ๆ ที่นอกเหนือจากที่ได้ศึกษาในหนังสือเรียนมาสรุปเป็นรายงานหรือนำมาอภิปรายร่วมกัน

ครูตรวจสอบความเข้าใจนักเรียนโดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.4 ข้อ 1-3 ทั้งนี้อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องเสียง จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.4
2. ทักษะด้านการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการมีการอ้างอิงแหล่งที่มาและการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลายได้อย่างสมเหตุสมผล การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 12.4

1. เป็นไปได้หรือไม่ ที่จะใช้คลื่นเหนือเสียงทำความสะอาดภาชนะที่สกปรกด้วยฟຸ່ນละอองคราบไขมัน จงอธิบายเหตุผล

แนวคำตอบ เป็นไปได้ เพราะคลื่นเหนือเสียงที่มีความถี่สูงกว่าประมาณ 50 กิโลเฮิรตซ์ จะทำให้อนุภาคของฟຸ່ນละอองและไขมันเกิดการสั่นพ้องจนหลุดจากภาชนะ แต่ภาชนะจะไม่สั่น เพราะความถี่ธรรมชาติของภาชนะกับฟຸ່ນละอองหรือไขมันต่างกันมาก

2. จงอธิบายการนำหลักการสะท้อนของเสียงไปใช้ในการระบุตำแหน่งของฝูงปลาในทะเล

แนวคำตอบ คลื่นเสียงความถี่สูงจากเครื่องโซนาร์ถูกปล่อยออกจากเรือไปสู่ก้นทะเล เมื่อไปกระทบฝูงปลาก็จะสะท้อนกลับมาที่ตัวรับสัญญาณบนเรือ แล้วแปลผลเพื่อระบุตำแหน่งของฝูงปลาจากเวลาที่คลื่นเสียงใช้ในการเดินทาง

3. การประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องเสียงนอกจากที่กล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีการประยุกต์ด้านอื่น ๆ อีกให้ยกตัวอย่างพร้อมรายละเอียดมา 1 อย่าง

แนวคำตอบ การประยุกต์ด้านอื่น ๆ เช่น ด้านสถาปัตยกรรมอาศัยความรู้เรื่องการสะท้อนของเสียงในการออกแบบโรงภาพยนตร์หรือโรงละครที่ไม่มีเสียงก้องวาน หรือด้านธุรกิจอัญมณีอาศัยความรู้เรื่องการสั่นพ้องในการทำความสะอาดอัญมณีหรือเครื่องประดับด้วยคลื่นเหนือเสียง

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 12

??? | คำถาม

1. ขณะเกิดคลื่นเสียงในอากาศ การกระจัดของอนุภาคและความดันของอากาศมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

แนวคำตอบ ขณะเกิดคลื่นเสียงในอากาศ อนุภาคอากาศมีการสั่นกลับไปกลับมารอบตำแหน่งสมดุลในแนวเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ แต่ไม่เคลื่อนที่ไปกับคลื่น ทำให้การกระจัดของอนุภาคและความดันของอากาศ (หรือตัวกลาง) ที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านมีการเปลี่ยนแปลง

- ณ ตำแหน่งที่ความดันมีค่าสูงสุด (บริเวณตรงกลางของส่วนอัด) การกระจัดของโมเลกุลอากาศจะน้อยที่สุด (เป็นศูนย์)
- ณ ตำแหน่งที่ความดันมีค่าต่ำสุด (บริเวณตรงกลางของส่วนขยาย) การกระจัดของโมเลกุลอากาศจะน้อยที่สุด (เป็นศูนย์)
- ณ ตำแหน่งที่ความดันมีค่าปกติ การกระจัดของโมเลกุลอากาศจะมากที่สุด

2. ขณะเกิดคลื่นเสียงในอากาศ ทั้งการกระจัดของอนุภาคและความดันของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณใดมีผลต่อความดังของเสียง (การได้ยิน) มากกว่ากัน

แนวคำตอบ การเปลี่ยนแปลงความดันของอากาศทำให้หูชั้นในเกิดการสั่น แล้วทำให้เกิดการได้ยิน ความดันจึงมีผลต่อความดังของเสียงมากกว่าการกระจัด

3. อัตราเร็วเสียงในตัวกลางต่าง ๆ กับสถานะของตัวกลางมีความสัมพันธ์กันหรือไม่

แนวคำตอบ มีความสัมพันธ์กัน อัตราเร็วของเสียงมีค่าจากมากไปน้อย ในตัวกลางที่เป็นของแข็งของเหลว และแก๊ส ตามลำดับ

4. การประมาณว่าฟ้าแลบอยู่ห่างเท่าใด โดยการนับเวลาเป็นวินาทีตั้งแต่เห็นฟ้าแลบจนได้ยินเสียงฟ้าร้อง แล้วหารด้วย 3 ผลที่ได้คือระยะทางที่มีหน่วยกิโลเมตร วิธีการนี้เป็นไปได้เพียงใด ให้เหตุผลประกอบ

แนวคำตอบ วิธีการนี้เป็นไปได้ เนื่องจากอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศมีค่าประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที หรือเท่ากับ 300000 กิโลเมตรต่อวินาที ส่วนอัตราเร็วเสียงในอากาศมีค่าประมาณ 346 เมตรต่อวินาที หรือประมาณ $\frac{1}{3}$ กิโลเมตรต่อวินาที ซึ่งมีค่าแตกต่างกันมาก ดังนั้นเมื่อฟ้าแลบและฟ้าร้องเกิดขึ้น จะสามารถประมาณได้ว่าแสงจากฟ้าแลบเคลื่อนที่มาถึงผู้

สังเกตในทันที และได้ยินเสียงฟ้าร้องหลังจากเห็นฟ้าแลบ Δt วินาที แสดงว่า เสียงของฟ้าร้องเคลื่อนที่เป็นระยะทาง $(\Delta t s) \left(\frac{1}{3} \text{ km/s} \right) = \frac{\Delta t}{3} \text{ km}$ ก่อนมาถึงผู้สังเกต วิธีการนี้จึงสามารถใช้ประมาณว่าฟ้าแลบอยู่ห่างจากผู้สังเกตเท่าใด แต่อาจมีความคลาดเคลื่อนได้

5. ถ้าปรบมือหลังห้องประชุมที่มีความยาว 30 เมตร จะได้ยินเสียงสะท้อนกลับหรือไม่

แนวคำตอบ จะได้ยินเสียงสะท้อนกลับ เพราะเสียงใช้เวลาเดินทางเท่ากับ $\frac{2 \times (30 \text{ m})}{346 \text{ m/s}} = 0.17 \text{ s}$ ซึ่งมากกว่า 0.1 วินาที จึงได้ยินเสียงสะท้อนกลับ

6. เครื่องดนตรีชนิดเดียวกัน เมื่อเล่นโน้ตตัวเดียวกันมีคุณภาพเสียงต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ เมื่อเล่นโน้ตตัวเดียวกันมีคุณภาพเสียงไม่ต่างกัน ฮาร์โมนิกต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น จะเหมือนกัน เมื่อรวมกันจะได้คลื่นเสียงที่เหมือนกัน คุณภาพเสียงจึงไม่ต่างกัน

7. ถ้าระดับสูงต่ำของเสียงหนึ่งเพิ่มขึ้น ปริมาณใดต่อไปนี้มีเปลี่ยนแปลง

ก. ความถี่ ข. ความยาวคลื่น ค. อัตราเร็วของคลื่น ง. แอมพลิจูดของคลื่น

แนวคำตอบ ก. ความถี่ มีการเปลี่ยนแปลงโดยตรง

8. ยกตัวอย่างเสียงรบกวนจากบ้านใกล้เคียง และจากภายในบ้าน

แนวคำตอบ ตัวอย่างเสียงรบกวนจากบ้านข้างเคียง เช่น การเล่นดนตรี ร้องเพลง หรือเปิดโทรทัศน์เสียงดัง เสียงคนทะเลาะกัน และตัวอย่างเสียงรบกวนจากภายในบ้าน เช่น เสียงเครื่องดูดฝุ่น เสียงเครื่องปรับอากาศที่ชำรุด

9. ถ้าต้องการหาความถี่ของเสียงจากส้อมเสียงอันหนึ่ง โดยใช้ปรากฏการณ์การสั่นพ้องของเสียง จะมีวิธีการทดลองอย่างไร

แนวคำตอบ หาความถี่ของเสียงจากส้อมเสียงอันหนึ่ง โดยใช้ปรากฏการณ์การสั่นพ้องของเสียง โดยการเคาะส้อมเสียง แล้วนำไปไว้บริเวณปากท่อปลายปิดหนึ่งด้าน เช่น ท่อทรงกระบอกที่เติมน้ำ จากนั้นปรับความยาวของอากาศในท่อจนทำให้เกิดเสียงดังสองครั้งติดกัน เช่น เปลี่ยนระดับความสูงของน้ำ การที่เกิดเสียงดังมาจากการสั่นพ้องของลำอากาศในท่อเนื่องจากเสียงที่มีความถี่เดียวกับความถี่ส้อมเสียง โดยผลต่างความยาวของอากาศในท่อที่ทำให้เกิดเสียงดังสองครั้งติดกัน มีค่าเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$ จากนั้นนำค่า λ ไปคำนวณหาความถี่ของส้อมเสียงร่วมกับอัตราเร็วของเสียงที่คำนวณจากอุณหภูมิของอากาศ

10. ขณะที่เกิดการสั่นพ้อง ความดันของอากาศ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของหลอดเรโซแนนซ์เป็นอย่างไร เมื่อเทียบกับความดันปกติ

แนวคำตอบ ณ ตำแหน่งปากหลอดเรโซแนนซ์ (ปฏิบัติการกระจัด หรือบัพความดัน) จะมีความดันอากาศ เท่ากับความดันปกติ ณ ตำแหน่งปลายปิดของหลอดหลอดเรโซแนนซ์ (บัพการกระจัด หรือปฏิบัติการความดัน) จะมีความดันอากาศเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับความดันปกติ คือ มีความดันมากกว่าความดันปกติที่สุด (ส่วนอัด) และ มีความดันน้อยกว่าความดันปกติที่สุด

11. นางสาว ก ยืนกับที่และถือแหล่งกำเนิดเสียงที่ให้เสียงที่ไดยินซึ่งมีความถี่ f_s ส่วนนาย ข กำลังเคลื่อนที่ออกจากด้วยอัตราเร็วคงตัว ดังรูป

$$f_s = 530 \text{ Hz}$$



รูป ประกอบคำถาม ข้อ 11

ก และ ข จะไดยินเสียงที่มีความถี่เท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ก และ ข จะไดยินเสียงที่มีความถี่ไม่เท่ากัน ก ไดยินเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงที่มีความถี่ f_s ข ไดยินเสียงที่มีความถี่น้อยกว่า f_s เพราะ นางสาว ก และแหล่งกำเนิดเสียงอยู่นิ่ง นางสาว ก จึงไดยินเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ตนเองถือ ที่มีความถี่ f_s ส่วน นาย ข เคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียง เกิดปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ จึงไดยินเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ นางสาว ก ถือ โดยความถี่ที่ นาย ข ไดยินมีค่าน้อยกว่า f_s

12. อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียงที่กำลังเคลื่อนที่เข้าหาหรือออกจากผู้สังเกตที่อยู่นิ่ง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของเสียงที่ผู้สังเกตได้ยินหรือไม่ อย่างไร

ก. เมื่ออัตราเร็วคงตัว ข. เมื่ออัตราเร็วไม่คงตัว

แนวคำตอบ อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียงที่กำลังเคลื่อนที่ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของเสียงที่ผู้สังเกตได้ยินที่อยู่นิ่ง ดังนี้

- ก. ถ้าอัตราเร็วคงตัว ผู้สังเกตจะได้ยินเสียงที่มีความถี่ค่าหนึ่งที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต หรือมีค่าลดลงเมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต
- ข. ถ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ผู้สังเกตจะได้ยินเสียงที่มีความถี่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาแบบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต หรือแบบมีค่าลดลงเมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต

13. การออกหาอาหารของค้างคาวในตอนกลางคืนโดยส่งคลื่นเหนือเสียงแล้วรับคลื่นที่สะท้อนกลับ สถานการณ์นี้เกิดปรากฏการณ์ดอปเพลอร์หรือไม่

แนวคำตอบ เกิดปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ เนื่องจากค้างคาวและเหยื่อมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน

🔍 | ปัญหา

1. หอนาฬิกาอยู่ห่างออกไป 500 เมตร ถ้าอาศัยเสียงตีของนาฬิกาจากหอนาฬิกาในการตั้งเวลาของนาฬิกาข้อมือ เราจะตั้งเวลาได้ตรงกับนาฬิกาของหอนาฬิกาหรือไม่ จงอธิบาย กำหนดอัตราเร็วเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 350 เมตรต่อวินาที

วิธีทำ เสียงจากแหล่งกำเนิดเดินทางในอากาศได้ด้วยอัตราเร็วค่าหนึ่ง

หอนาฬิกาตั้งห่างออกไปประมาณ 500 m และเสียงมีอัตราเร็ว 350 m/s

ดังนั้น เวลาที่ใช้เดินทางหาได้จากความสัมพันธ์ $v = \frac{s}{t}$ หรือ $t = \frac{s}{v}$

นั่นคือ เวลาที่เสียงเดินทางจากหอนาฬิกาถึงเรา $t = \frac{500 \text{ m}}{350 \text{ m/s}} = 1.43 \text{ s}$

หรือประมาณ 2 วินาที

แสดงว่าขณะเราได้ยินเสียงนาฬิกา เวลาของนาฬิกาบนหอนาฬิกาเลื่อนไปแล้ว 1.43 วินาที

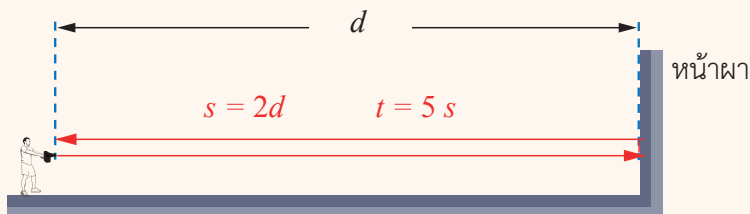
ตอบ เราไม่สามารถตั้งเวลาได้ตรงกับนาฬิกาบนหอนาฬิกา เนื่องจากเสียงต้องใช้เวลาในการเดินทาง ถ้าเวลาตามเสียงที่ได้ยินนาฬิกาข้อมือจะช้ากว่า ประมาณ 1.43 วินาที

2. ชายคนหนึ่งยืนอยู่ห่างจากหน้าผา ยิงปืนและได้ยินเสียงกังวานหลังจากยิงปืนแล้ว 5 วินาที ต่อมาเดินเข้าหาหน้าผาอีก 340 เมตร แล้วยิงปืนอีกครั้งหนึ่ง คราวนี้เขาได้ยินเสียงกังวานหลังจากยิง 3 วินาที อัตราเร็วเสียงขณะนั้นเป็นเท่าใด และในการยิงปืนครั้งแรกชายคนนั้นอยู่ห่างจากหน้าผาเท่าใด

วิธีทำ การได้ยินเสียงกังวานเกิดจากเสียงจากแหล่งกำเนิดไปกระทบสิ่งกีดขวางแล้วสะท้อนกลับ

เข้าหูผู้ฟัง โดยใช้เวลามากกว่า $\frac{1}{10}$ วินาที

การยิงปืนครั้งแรก



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาข้อ 2 รูปที่ 1

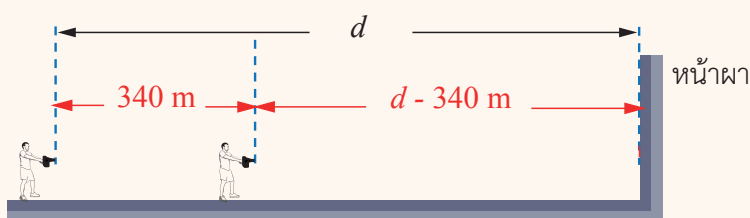
ครั้งแรก ชายคนนี้อยู่ห่างจากหน้าผาเป็นระยะ d ระยะทางที่เสียงเดินทางไป-กลับเป็น $2d$ และได้ยินเสียงกังวานในเวลา 5 วินาที อัตราเร็วของเสียง v หาได้จากความสัมพันธ์

$$v = \frac{s}{t}$$

ดังนั้น

$$v = \frac{2d}{5s} \quad (1)$$

การยิงปืนครั้งที่สอง



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาข้อ 2 รูปที่ 2

ครั้งหลัง ชายคนนี้ได้เดินเข้าหาหน้าผา 340 เมตร ได้ยินเสียงกังวานในเวลา 3 วินาที

ดังนั้น ระยะทางที่ห่างจากหน้าผาเหลือเป็น $d - 340 \text{ m}$

ระยะทางที่เสียงเดินทางไป-กลับถึงหูผู้ฟัง $s = 2(d - 340 \text{ m})$

เวลาที่ใช้ 3 วินาที

ดังนั้น

$$v = \frac{2(d - 340 \text{ m})}{3 \text{ s}} \quad (2)$$

จาก (1) และ (2) ได้ $v = 340 \text{ m/s}$ และ $d = 850 \text{ m}$

ตอบ อัตราเร็วเสียงเท่ากับ 340 เมตรต่อวินาที และชายคนนี้อยู่ห่างจากหน้าผา 850 เมตร

3. ในขณะหนึ่งอากาศมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส คลื่นเสียงความถี่ 2000 เฮิรตซ์ เคลื่อนที่ไปในอากาศ ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางส่วนอัด และกึ่งกลางส่วนขยายของอนุภาคอากาศมีค่าเท่าใด

วิธีทำ ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางส่วนอัดและกึ่งกลางส่วนขยายมีค่าเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$ หา λ ได้จาก

$$v = f\lambda$$

หา v จาก

$$v = 331 + 0.6T_c$$

แทนค่า

$$v_{25^\circ\text{C}} = (331 \text{ m/s}) + [(0.6 \text{ m/s}^\circ\text{C})(25^\circ\text{C})]$$

$$= 346 \text{ m/s}$$

หา λ จาก

$$v = f\lambda$$

แทนค่า

$$346 \text{ m/s} = (2000 \text{ Hz})\lambda$$

$$\lambda = 0.173 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 &= 17.3 \text{ m} \\
 \text{ระยะระหว่างกึ่งกลางส่วนอัดถึงกึ่งกลางส่วนขยาย} &= \frac{\lambda}{2} \\
 &= \frac{17.3 \text{ cm}}{2} \\
 &= 8.65 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

ตอบ ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางส่วนอัดและกึ่งกลางส่วนขยายมีค่า 8.65 เซนติเมตร

4. เป่าขลุ่ยให้เกิดเสียงความถี่ 266 เฮิร์ตซ์ เสียงเดียว เมื่อความดันอากาศสูงสุดที่เกิดจากเสียงนี้มาถึงเยื่อแก้วหู ความดันอากาศสูงสุดที่อยู่ถัดไปจะอยู่ห่างจากเยื่อแก้วหูเท่าใด กำหนด อุณหภูมิของอากาศขณะนั้นเป็น 25 องศาเซลเซียส

วิธีทำ ระยะห่างจากความดันอากาศสูงสุดครั้งแรกถึงความดันอากาศสูงสุดถัดไปเท่ากับ

ความยาวคลื่นของเสียง และอัตราเร็วเสียงในอากาศขึ้นกับอุณหภูมิ

อัตราเร็วเสียงในอากาศหาได้จากความสัมพันธ์ $v = 331 + 0.6T_C$

$$\begin{aligned}
 T_C = 25^\circ\text{C} \text{ ดังนั้น} \quad v &= 331 \text{ m/s} + (0.6 \text{ m/s}/^\circ\text{C})(25^\circ\text{C}) \\
 &= 346 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\text{จากความสัมพันธ์} \quad v = \lambda f$$

$$\text{เนื่องจาก } f = 266 \text{ Hz} \text{ และ } v = 346 \text{ m/s}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad 346 \text{ m/s} = \lambda(266 \text{ s}^{-1})$$

$$\lambda = 1.3 \text{ m}$$

ตอบ ความดันอากาศสูงสุดถัดไปอยู่ห่างจากเยื่อแก้วหู 1.3 เมตร

5. ความเข้มเสียงที่ตกกระทบบนพื้นที่ 2 ตารางเมตร มีค่า 10^{-4} วัตต์ต่อตารางเมตร พลังงานเสียงที่ตกกระทบบนพื้นที่นั้นในเวลา 1 นาที มีค่าเท่าใด

วิธีทำ หาพลังงานเสียงที่ตกกระทบพื้นที่ในเวลา t ได้จาก $W = Pt$

$$\text{เนื่องจาก } P = IA \text{ ดังนั้น} \quad W = IAt$$

$$\text{แทนค่า} \quad W = (10^{-4} \text{ W/m}^2)(2\text{m})^2 (60\text{s})$$

$$\text{จะได้} \quad W = 1.2 \times 10^{-2} \text{ J}$$

ตอบ พลังงานเสียงที่ตกกระทบพื้นที่นี้มีค่า 1.2×10^{-2} จูล

6. ตำแหน่งที่ห่างจากลำโพง 100 เมตร มีความเข้มเสียงได้ 1.0×10^{-6} วัตต์ต่อตารางเมตร ลำโพงมีกำลังเสียงเท่าใด

วิธีทำ ให้ลำโพงมีกำลังเสียง P หาได้จาก $I = \frac{P}{4\pi R^2}$ หรือ $P = (4\pi R^2)I$

$$\text{จาก} \quad P = (4\pi R^2)I$$

$$\text{แทนค่า} \quad P = (4\pi)(100 \text{ m})^2 (10^{-6} \text{ W/m}^2)$$

$$P = 0.04\pi \text{ W}$$

ตอบ ลำโพงเสียงมีกำลัง 0.04π วัตต์

7. ผู้ฟังคนที่ 1 อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง 2 เมตร วัดความเข้มเสียงได้ 10^{-4} วัตต์ต่อตารางเมตร ถ้าผู้ฟังคนที่ 2 อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง 20 เมตร กำหนดความเข้มเสียงอ้างอิงที่มนุษย์ได้ยินเท่ากับ 10^{-12} วัตต์ต่อตารางเมตร จงหา

ก. ความเข้มเสียง ณ ตำแหน่งผู้ฟังคนที่ 2

ข. ระดับเสียง ณ ตำแหน่งผู้ฟังคนที่ 2

วิธีทำ ก. เนื่องจากแหล่งกำเนิดเป็นแหล่งกำเนิดเดียว ดังนั้นกำลังเสียงมีค่าคงตัว จะได้ว่า

$$I \propto \frac{1}{R^2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(R_2)^2}{(R_1)^2}$$

$$\frac{10^{-4} \text{ W/m}^2}{I_2} = \frac{(20 \text{ m})^2}{(2 \text{ m})^2}$$

$$I_2 = (10^{-2})(10^{-4} \text{ W/m}^2)$$

$$= 10^{-6} \text{ W/m}^2$$

ความเข้มเสียง ณ ตำแหน่งผู้ฟังคนที่ 2 เท่ากับ 10^{-6} วัตต์ต่อตารางเมตร

ข. จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มเสียงและระดับเสียง

$$\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

$$\beta_2 = 10 \log \left(\frac{10^{-6} \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2} \right)$$

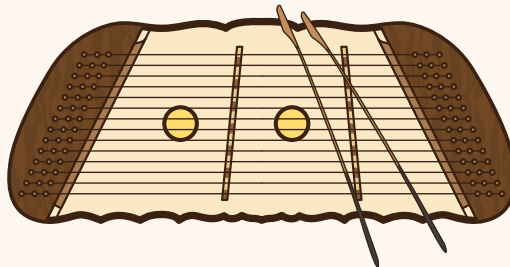
$$= 10 \log 10^6$$

$$= 10(6)$$

$$= 60 \text{ dB}$$

ตอบ ระดับเสียง ณ ตำแหน่งผู้ฟังคนที่ 2 เท่ากับ 60 เดซิเบล

8. ขิมเป็นเครื่องดนตรีที่มีลวดหลายเส้นเรียงกัน โดยมีจุดค่าเส้นละ 2 จุด ดังรูป



รูป ประกอบปัญหา ข้อ 8

ถ้าตีลวดเส้นหนึ่งที่ได้ยินเสียงที่มีความถี่ 512 เฮิรตซ์ โดยลวดเส้นนี้มีระยะห่างระหว่างจุดค่าเท่ากับ 30 เซนติเมตร จงหาอัตราเร็วของคลื่นบนลวด

วิธีทำ เนื่องจากความยาวของลวดระหว่างจุดตรึง 2 จุดมีค่าเท่ากับ 30 เซนติเมตร ดังนั้นจุดนี้จึงเป็นจุดที่มีความถี่ต่ำที่สุด จะได้ $30 = \frac{\lambda}{2}$

$$\lambda = 60 \text{ เซนติเมตร}$$

จาก

$$v = f\lambda$$

$$= (512 \text{ Hz})(0.6 \text{ m})$$

$$= 307.2 \text{ m/s}$$

ตอบ อัตราเร็วของคลื่นบนลวดมีค่าเท่ากับ 307.2 m/s

9. ท่อปลายปิดด้านหนึ่งยาว 34 เซนติเมตร เมื่อใส่น้ำลงไปแล้วเป่าลมผ่านปากท่อจะทำให้เกิดเสียงต่างกันเมื่อระดับน้ำในท่อต่างกัน จะต้องเติมน้ำให้สูงจากก้นท่อเท่าใด เมื่อเป่าลมผ่านปากท่อจึงจะเกิดเสียงที่มีความถี่ 420 เฮิรตซ์

กำหนด อัตราเร็วของเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 340 เมตรต่อวินาที

วิธีทำ การเกิดเสียงจากการเป่าลมผ่านปากท่อปลายปิดด้านหนึ่ง แสดงว่าเกิดการสั่นพ้องของเสียงกับอากาศในท่อโดยการสั่นพ้องครั้งแรกเกิดขึ้นขณะลำอากาศมีความยาว $\frac{\lambda}{4}$

$$\text{เสียงที่ต้องการได้ยินมีความถี่} \quad f = 420 \text{ Hz}$$

$$\text{และอัตราเร็วเสียงขณะนั้น} \quad v = 340 \text{ m/s}$$

จากสมการ $v = \lambda f$ หรือ $\lambda = \frac{v}{f}$

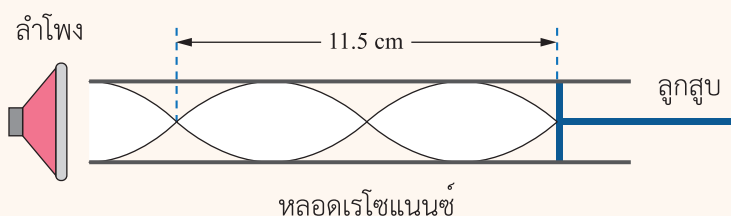
ดังนั้น ความยาวคลื่น $\lambda = \frac{340 \text{ m/s}}{420 \text{ Hz}} = 0.81 \text{ m}$

ลำอากาศในท่อต้องมีความยาว $\frac{\lambda}{4} = \frac{0.81 \text{ m}}{4} = 0.20 \text{ m}$
 $= 20 \text{ cm}$

เนื่องจากท่อสูง 34 cm ดังนั้น ต้องเติมน้ำลงไปสูง $= 34 \text{ cm} - 20 \text{ cm} = 14 \text{ cm}$

ตอบ ต้องเติมน้ำให้สูงจากก้นท่อ 14 เซนติเมตร

10. ในการทดลองโดยใช้หลอดเรโซแนนซ์กับลำโพงที่มีความถี่ 3 กิโลเฮิร์ตซ์ เมื่อเลื่อนลูกสูบในหลอดเรโซแนนซ์จนเกิดการสั่นพ้องของอากาศในหลอด ดังรูป



รูป ประกอบปัญหา ข้อ 10

อัตราเร็วเสียงในอากาศมีค่าเท่าใด

วิธีทำ ระยะทางระหว่างตำแหน่งถัดกันของลูกสูบเมื่อได้ยินเสียงดังที่สุดสองครั้งจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น

จากรูป $11.5 \text{ cm} = \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2} = \lambda$

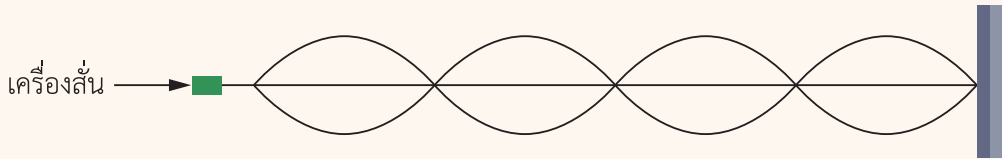
จาก $v = f\lambda$

แทนค่า $v = (3 \times 10^3 \text{ Hz})(11.5 \times 10^{-2} \text{ m})$

$v = 345 \text{ m/s}$

ตอบ อัตราเร็วเสียงในอากาศมีค่า 345 เมตรต่อวินาที

11. เชือกเส้นหนึ่งซึ่งตึงโดยปลายด้านหนึ่งติดกับเครื่องสั่นที่มีความถี่ 1000 เฮิร์ตซ์ เกิดคลื่นนิ่งดังรูป



รูป ประกอบปัญหา ข้อ 11

ต่อมา ลดความถี่ของเครื่องสั่นเป็น 250 เฮิร์ตซ์ จงเขียนรูปคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้น

วิธีทำ อัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือกมีค่าคงตัว เมื่อเชือกมีความถี่ 1000 เฮิร์ตซ์ และ 250 เฮิร์ตซ์ อัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือกทั้งสองกรณียังมีค่าเท่ากัน ดังสมการ $v = f_1 \lambda_1 = f_2 \lambda_2$

$$f_1 \lambda_1 = f_2 \lambda_2$$

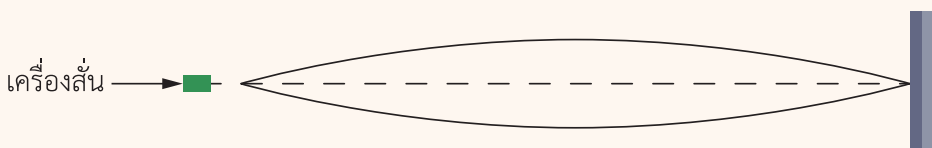
แทนค่า $(1000 \text{ Hz}) \lambda_1 = (250 \text{ Hz}) \lambda_2$

$$\lambda_2 = 4 \lambda_1$$

จากโจทย์ เชือกสั่นด้วยความถี่ 1000 Hz เกิดคลื่นนิ่ง 4 วง

ดังนั้น เมื่อเชือกสั่นด้วยความถี่ 250 Hz จะเกิดคลื่นนิ่ง 1 วง

ตอบ เขียนรูปคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้น จะได้ดังรูป



12. ส้อมเสียง ก ข และ ค มีความถี่การสั่นต่างกัน โดยที่ส้อมเสียง ก มีความถี่สูงสุด และ ส้อมเสียง ค มีความถี่ต่ำสุด เท่ากับ 640 เฮิร์ตซ์ เมื่อเคาะส้อมเสียง ก และ ข พร้อมกัน ได้ยินเสียงความถี่บีต 3 เฮิร์ตซ์ เมื่อเคาะส้อมเสียง ข และ ค พร้อมกัน ได้ยินเสียงความถี่บีต 4 เฮิร์ตซ์ ความถี่ของส้อมเสียง ก มีค่าเท่าใด

วิธีทำ ความถี่บีตหาได้จาก $\Delta f = |f_1 - f_2|$

เมื่อเคาะส้อมเสียง ก และ ข $3 \text{ Hz} = f_g - f_x$ (1)

เมื่อเคาะส้อมเสียง ข และ ค $4 \text{ Hz} = f_x - f_c$ (2)

$$(1) + (2)$$

$$f_n - f_c = 7 \text{ Hz}$$

จะได้

$$f_n = 640 \text{ Hz} + 7 \text{ Hz} = 647 \text{ Hz}$$

ตอบ ส้อมเสียง ก มีความถี่ 647 เฮิรตซ์

13. ลำโพงสองตัวอยู่ที่ตำแหน่ง A และ B วางห่างกัน 2 เมตร ในที่โล่ง ผู้ฟังยืนที่จุด P ห่างจาก A และ B เป็นระยะ 4 และ 3 เมตร ตามลำดับ จงหาความถี่ของเสียงต่ำสุดที่ทำให้ผู้ฟังที่จุด P ได้ยินเสียงค่อยที่สุด กำหนดให้อัตราเร็วเสียงในอากาศเท่ากับ 344 เมตรต่อวินาที

วิธีทำ เสียงจากลำโพงที่ A และ B จะเกิดการแทรกสอดกัน โดยที่ผู้ฟังที่จุด P จะได้ยินเสียงค่อยที่สุดเมื่อผลต่างของระยะทางที่เสียงเดินทางเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$

$$|AP - BP| = \frac{\lambda}{2}$$

$$|4 \text{ m} - 3 \text{ m}| = \frac{\lambda}{2}$$

$$\lambda = 2 \text{ m}$$

หาความถี่ของเสียงจาก

$$v = f\lambda$$

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

$$= \frac{344 \text{ m/s}}{2}$$

$$f = 172 \text{ Hz}$$

ตอบ ความถี่ของเสียงต่ำสุดที่ทำให้ผู้ฟังที่จุด P ได้ยินเสียงค่อยที่สุดเท่ากับ 172 เฮิรตซ์

14. เมื่อเคาะที่ปลายข้างหนึ่งของท่อเหล็กยาว L ผู้ฟังที่อยู่ปลายอีกข้างจะได้ยินเสียงดังสองครั้ง เป็นเวลาต่างกันเท่าใด

กำหนด อัตราเร็วเสียงในอากาศเป็น v และอัตราเร็วเสียงในเหล็กเป็น $17v$

วิธีทำ ผู้ฟังได้ยินเสียง 2 เสียง เสียงแรกเป็นเสียงที่เดินทางตามท่อเหล็ก เสียงที่สองเป็นเสียงที่เดินทางในอากาศ เวลาที่เสียงใช้ในการเดินทางหาได้จาก $t = \frac{S}{v}$

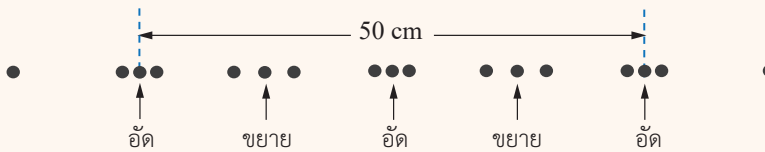
$$t_{\text{อากาศ}} = \frac{L}{v}$$

$$t_{\text{เหล็ก}} = \frac{L}{17v}$$

$$\begin{aligned}
 (1) - (2) \quad t_{\text{อากาศ}} - t_{\text{เหล็ก}} &= \frac{L}{v} - \frac{L}{17v} \\
 &= \frac{16L}{17v}
 \end{aligned}$$

ตอบ ผู้ฟังจะได้ยินเสียงดังสองครั้งเป็นเวลาที่ต่างกัน $\frac{16L}{17v}$

15. คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศ ทำให้อนุภาคอากาศเกิดส่วนอัดและส่วนขยาย ดังแสดงในแผนภาพด้านล่าง



รูป ประกอบปัญหา ข้อ 15

ความถี่ของเสียงมีค่าเท่าใด

กำหนดให้ อัตราเร็วเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 350 เมตรต่อวินาที

วิธีทำ ระยะห่างระหว่างส่วนอัดถึงส่วนอัดที่ติดกัน = λ

จากรูป $2\lambda = 50 \text{ cm}$

$$\lambda = 25 \text{ cm}$$

$$= 0.25 \text{ m}$$

จากสมการ $v = f(0.25 \text{ m})$

แทนค่า $350 \text{ m/s} = f(0.25 \text{ m})$

$$f = 1400 \text{ Hz}$$

ตอบ ความถี่ของเสียงมีค่า 1400 เฮิรตซ์

16. นายตันยืนในที่โล่งห่างจากลำโพง 100 เมตร วัดระดับเสียงได้ 60 เดซิเบล ลำโพงมีกำลังเสียงเท่าใด (ให้คำตอบติดค่า π)

วิธีทำ ให้ลำโพงมีกำลังเสียง P หาค่าได้จาก $I = \frac{P}{4\pi R^2}$ หรือ $P = (4\pi R^2)I$

หาความเข้มเสียง I จาก $\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$

แทนค่า $60 = 10 \log \left(\frac{I}{10^{-12} \text{ W/m}^2} \right)$

$$\log 10^6 = \log \left(\frac{I}{10^{-12} \text{ W/m}^2} \right)$$

$$I = 10^{-6} \text{ W/m}^2$$

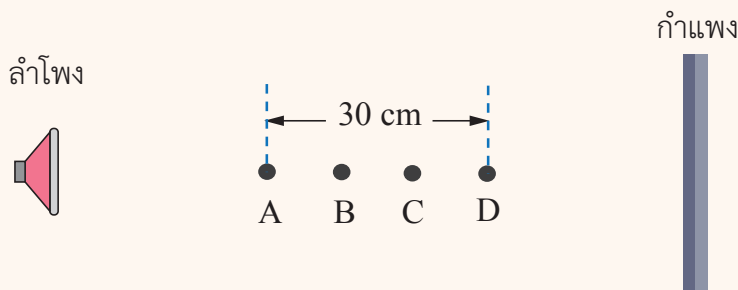
จาก $P = (4\pi R^2)I$

แทนค่า $P = (4\pi)(100 \text{ m})^2(10^{-6} \text{ W/m}^2)$

$$P = 400\pi \text{ W}$$

ตอบ ลำโพงเสียงมีกำลัง 400π วัตต์

17. หันลำโพงเข้าหากำแพง ฟังเสียงที่ตำแหน่งต่าง ๆ ระหว่างลำโพงกับกำแพง ได้ยินเสียงดังที่สุดที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ดังรูป



รูป ประกอบปัญหา ข้อ 17

ถ้า AD เท่ากับ 30 เซนติเมตร ลำโพงให้เสียงความถี่เท่าใด

กำหนดให้ อัตราเร็วเสียงในอากาศเท่ากับ 350 เมตรต่อวินาที

วิธีทำ ระยะทางระหว่างตำแหน่งถัดกันเมื่อได้ยินเสียงดังที่สุดสองครั้งจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น หรือ $\frac{\lambda}{2}$

จากรูป A, B, C และ D เป็นตำแหน่งที่เสียงดังที่สุด และ $AD = 30 \text{ cm}$

$$AD = 3 \left(\frac{\lambda}{2} \right) = 30 \text{ cm}$$

$$\lambda = 20 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.2 \text{ m} \\
 \text{จาก} \quad &v = f\lambda \\
 \text{แทนค่า} \quad &350 \text{ m/s} = f(0.2 \text{ m}) \\
 &f = 1750 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

ตอบ ลำโพงให้เสียงความถี่เท่ากับ 1750 เฮิร์ตซ์

| ปัญหาท้าทาย

18. ในการหาความสูงของหน้าผา โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับการตกแบบเสรีและพฤติกรรมของเสียง เมื่อวัดเวลาตั้งแต่ปล่อยก้อนหินจากหน้าผา จนได้ยินเสียงก้อนหินกระทบพื้นได้เท่ากับ 3 วินาที และวัดอุณหภูมิของอากาศขณะนั้นได้ 15 องศาเซลเซียส จงหาความสูงของหน้าผา

วิธีทำ หาระยะทางที่ก้อนหินตกจากหน้าผาลงสู่พื้น $s_1 = \frac{1}{2}gt_0^2$

และระยะทางที่เสียงเคลื่อนที่จากพื้นถึงจุดปล่อยก้อนหิน $s_2 = v(t - t_0)$

โดยที่ t_0 เป็นเวลาที่ก้อนหินใช้ในการเคลื่อนที่

$(t - t_0)$ เป็นเวลาที่เสียงใช้ในการเคลื่อนที่

และ v เป็นอัตราเร็วของเสียง

หาได้จากสมการ

$$v = 331 + 0.6T_c$$

จะได้

$$= 331 \text{ m/s} + (0.6 \text{ m/s/}^\circ\text{C})(15^\circ\text{C})$$

$$v = 340 \text{ m/s}$$

$$s_1 = s_2$$

$$\frac{1}{2}gt_0^2 = v(t - t_0)$$

$$t = 3 \text{ s} \text{ จะได้ } \frac{1}{2}gt_0^2 = v(3 \text{ s} - t_0)$$

$$\frac{1}{2}(9.8 \text{ m/s}^2)t_0^2 = (340 \text{ m/s})(3 \text{ s}) - (340 \text{ m/s})(t_0)$$

$$(4.9 \text{ m/s}^2)t_0^2 + (340 \text{ m/s})t_0 - 1020 \text{ m/s} = 0$$

$$t_0 = 2.88 \text{ s}, -309 \text{ s}$$

นำไปหาระยะทาง (s_2) จาก

$$s_2 = v(t - t_0)$$

$$= (340 \text{ m/s})(3 \text{ s} - 2.88 \text{ s})$$

$$s_2 = 40.8 \text{ m}$$

ตอบ ความสูงของหน้าผาเท่ากับ 40.8 เมตร

19. การแสดงดนตรีในสถานที่แห่งหนึ่งที่มีการติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียง ผู้ชมการแสดงคนหนึ่งอยู่ห่างจากผู้เล่นดนตรีเป็นระยะทาง r ถ้าต้องการได้ยินเสียงที่มีความเข้มเสียงเป็นสองเท่า ผู้ชมจะต้องเปลี่ยนที่นั่งให้อยู่ห่างผู้เล่นเป็นระยะทางเท่าใด

วิธีทำ ความเข้มเสียง $I \propto \frac{1}{r^2}$ ถ้าต้องการให้เสียงมีความเข้มเสียงเป็นสองเท่า ($2I$) จะต้องปรับระยะทางจากผู้เล่นให้ลดลงจาก r เป็น x

ที่ระยะทาง r มีความเข้มเสียง I จะได้
$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (1)$$

ที่ระยะทาง x มีความเข้มเสียง $2I$ จะได้
$$2I = \frac{P}{4\pi x^2} \quad (2)$$

$$\frac{(2)}{(1)} \quad 2 = \frac{r^2}{x^2}$$

$$x = \frac{r}{\sqrt{2}} = 0.71r$$

ตอบ ผู้ชมจะต้องเปลี่ยนที่นั่งให้อยู่ห่างผู้เล่นเป็นระยะทางเท่ากับ $0.71r$

20. โรงงานแห่งหนึ่งมีเครื่องจักรสามเครื่อง เครื่องที่หนึ่งและสองให้เสียงที่มีระดับเสียงเท่ากันคือ 70 เดซิเบล ส่วนเครื่องที่สามให้เสียงที่มีระดับเสียง 90 เดซิเบล จงหาระดับเสียง

ก. เมื่อเครื่องจักรสองเครื่องแรกทำงานพร้อมกัน

ข. เมื่อเครื่องจักรเครื่องแรกและเครื่องที่สามทำงานพร้อมกัน

วิธีทำ

ก. ระดับเสียงของเครื่องจักรที่หนึ่ง
$$70 = 10 \log \frac{I_1}{I_0}$$

$$\frac{I_1}{I_0} = 10^7$$

$$I_1 = 10^7 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

จะได้

$$\beta = 10 \log \frac{I_1 + I_2}{I_0} = 10 \log \frac{2I_1}{I_0}$$

$$= 10 \log \frac{2 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2}$$

$$= 10 \log(2 \times 10^7)$$

$$= 10 \log 2 + 10 \log 10^7$$

$$= 10(0.301) + 10(7)$$

$$= 73.01 \text{ dB}$$

ข. ระดับเสียงของเครื่องจักรที่สาม $90 = 10 \log \frac{I_3}{I_0}$ จะได้ $I_1 = 10^{-3} \text{ W/m}^2$

ระดับเสียงของเครื่องจักรเครื่องแรกและเครื่องที่สาม

$$\begin{aligned}\beta &= 10 \log \frac{I_1 + I_3}{I_0} \\ &= 10 \log \frac{(10^{-5} \text{ W/m}^2) + 10^{-3} \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2} \text{ dB} \\ &= 10 \log [(0.01 \times 10^9) + 10^9] \text{ dB} \\ &= 10 \log (1.01 \times 10^9) \text{ dB} \\ &= [10 \log 1.01 + 10 \log 10^9] \text{ dB} \\ &= [10(4.3 \times 10^{-3}) + 90] \text{ dB} \\ &= 90.043 \text{ dB}\end{aligned}$$

ตอบ ก. ระดับเสียงของเครื่องจักรสองเครื่องเท่ากับ 73.01 เดซิเบล

ข. ระดับเสียงของเครื่องจักรสามเครื่องเท่ากับ 90.04 เดซิเบล

21. เสียงเชียร์กีฬาของผู้ชมหนึ่งคนมีระดับเสียง 60 เดซิเบล เสียงเชียร์แบบเดียวกันของผู้ชมจำนวน 40 000 คน จะทำให้เกิดเสียงที่มีระดับเสียงเกิน 120 เดซิเบล หรือไม่

วิธีทำ ระดับเสียงของผู้ชมแต่ละคน $60 = 10 \log \frac{I}{I_0}$ จะได้ $I = 10^{-6} \text{ W/m}^2$

ระดับเสียงของผู้ชม n คน คือ $\beta = 10 \log \frac{nI}{I_0}$

$$\begin{aligned}n &= 4 \times 10^4 \text{ จะได้} \quad \beta = 10 \log \frac{(4 \times 10^4)(10^{-6} \text{ W/m}^2)}{10^{-12} \text{ W/m}^2} \\ &= 10 \log (2^2)(10^{10}) \\ &= 10 [2 \log 2 + 10 \log 10] \\ &= 10 [2(0.301) + 10(1)] \\ \beta &= 106.02 \text{ dB}\end{aligned}$$

ระดับเสียงของผู้ชมเท่ากับ 106 เดซิเบล ซึ่งไม่เกิน 120 เดซิเบล

ตอบ ระดับเสียงไม่เกิน 120 เดซิเบล

22. คนส่วนมากสามารถแยกเสียงที่มีระดับเสียงที่ต่างกัน 1 เดซิเบลได้ อัตราส่วนระหว่างความเข้มเสียงที่มีระดับเสียงต่างกัน 1 เดซิเบล เป็นเท่าใด

วิธีทำ

$$\beta_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0}$$

$$\beta_2 = 10 \log \frac{I_2}{I_0}$$

$$\beta_1 - \beta_2 = 1 = 10 \log \frac{I_2}{I_1}$$

$$\log \frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{10} \text{ จะได้ } \frac{I_2}{I_1} = 10^{\frac{1}{10}} = \sqrt[10]{10}$$

$$\log \frac{I_2}{I_1} = 1.0 - 0.9$$

$$= \log 10 - \log 7.94 = \log \frac{10}{7.94} = \log 1.259$$

$$\frac{I_2}{I_1} = 1.259$$

ตอบ อัตราส่วนระหว่างความเข้มเสียงที่มีระดับเสียงต่างกัน 1 เดซิเบล เท่ากับ $\sqrt[10]{10}$ หรือ 1.259

23. เสียงที่เกิดจากอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งขณะทำงานมีระดับเสียง 48 เดซิเบล จะมีความเข้มเสียงเท่าใด

วิธีทำ

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

แทนค่า

$$48 = 10 \log \frac{I}{10^{-12} \text{ W/m}^2}$$

$$4.8 = \log \frac{I}{10^{-12} \text{ W/m}^2}$$

$$\frac{I}{10^{-12} \text{ W/m}^2} = 10^{4.8} = 6.3 \times 10^4$$

$$I = 6.3 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$$

ตอบ ความเข้มเสียงเท่ากับ 6.3×10^{-8} วัตต์ต่อตารางเมตร

ข้อเสนอแนะสำหรับครู : การหา $10^{4.8}$

ให้ $N = 10^{4.8}$ ดังนั้น

$$\begin{aligned}\log N &= 4.8 \\ &= 4.0 + 0.8\end{aligned}$$

จากสมบัติของลอการิทึมสามัญ $4.0 = \log 10^4$ และจากตารางลอการิทึมสามัญ $0.8 = \log 6.3$

$$\begin{aligned}\log N &= \log 10^4 + \log 6.3 \\ &= \log(6.3 \times 10^4) \\ N &= 6.3 \times 10^4\end{aligned}$$

24. เสียงที่มีระดับเสียงเท่ากับ 63.4 เดซิเบล จะมีความเข้มเสียงเท่าใด

วิธีทำ

แทนค่า

$$\begin{aligned}\beta &= 10 \log \frac{I}{I_0} \\ 63.4 &= 10 \log \frac{I}{10^{-12} \text{ W/m}^2} \\ 6.34 &= \log \frac{I}{10^{-12} \text{ W/m}^2} \\ \frac{I}{10^{-12} \text{ W/m}^2} &= 10^{6.34} = 2.2 \times 10^6 \\ I &= 2.2 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2\end{aligned}$$

ตอบ ความเข้มเสียงเท่ากับ 2.2×10^{-6} วัตต์ต่อตารางเมตร

ข้อเสนอแนะสำหรับครู : การหา $10^{6.34}$

ให้ $N = 10^{6.34}$ ดังนั้น

$$\begin{aligned}\log N &= 6.34 \\ &= 6.0 + 0.38\end{aligned}$$

จากสมบัติของลอการิทึมสามัญ $6.0 = \log 10^6$ และจากตารางลอการิทึมสามัญ $0.34 = \log 2.2$

$$\begin{aligned}\log N &= \log 10^6 + \log 2.2 \\ &= \log(2.2 \times 10^6) \\ N &= 2.2 \times 10^6\end{aligned}$$

25. ในการยิงพลูขึ้นฟ้า หลังจากพลุระเบิดตำแหน่งที่อยู่ห่างจากตำแหน่งพลุระเบิด 100 เมตร และ 1000 เมตร จะมีระดับเสียงต่างกันกี่เดซิเบล

วิธีที่ 1 หาความเข้มเสียงและระดับเสียงจาก $I = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right)$ และ $\beta = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right)$

ตามลำดับ

ที่ตำแหน่งพลุระเบิด 100 เมตร $I_1 = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right)$

$$\beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right)$$

$$\beta_1 = 10 \log \left(\frac{P}{\frac{4\pi(100 \text{ m})^2}{I_0}} \right) \quad (1)$$

ทำนองเดียวกัน ที่ตำแหน่งพลุระเบิด 1000 เมตร จะได้

$$\beta_2 = 10 \log \left(\frac{P}{\frac{4\pi(1000 \text{ m})^2}{I_0}} \right) \quad (2)$$

ความต่างระดับเสียงที่ตำแหน่งทั้งสอง หาได้จาก (2) - (1) จะได้

$$\begin{aligned} \beta_1 - \beta_2 &= 10 \log \left(\frac{P}{\frac{4\pi(1000 \text{ m})^2}{I_0}} \right) - 10 \log \left(\frac{P}{\frac{4\pi(100 \text{ m})^2}{I_0}} \right) \\ &= 10 \log \left(\frac{P}{\frac{4\pi(1000 \text{ m})^2}{I_0}} \right) - 10 \log \left(\frac{I_0}{\frac{P}{4\pi(100 \text{ m})^2}} \right) \\ &= 10 \log \left[\frac{(100 \text{ m})^2}{(1000 \text{ m})^2} \right] = 10 \log \left[\frac{1^2}{10} \right] \\ &= 20 [\log 10 - \log 10] \\ &= 20(0 - 1) \\ &= -20 \end{aligned}$$

ตอบ ระดับเสียงต่างกัน 20 เดซิเบล

วิธีที่ 2 ความเข้มเสียง I แปรผกผันกับระยะห่างยกกำลังสอง จึงสามารถหา $\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2$ แล้วนำไปหาระดับเสียงต่างกันจากสมการ $\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1}\right)$

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า} \quad \frac{I_2}{I_1} &= \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \\ \beta_2 - \beta_1 &= 10 \log \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \\ &= 20 \log \left(\frac{R_1}{R_2}\right) \\ &= 20 \log \left(\frac{100 \text{ m}}{1000 \text{ m}}\right) \\ &= 20 [\log 1 - \log 10] \\ &= 20(0 - 1) \\ \beta_2 - \beta_1 &= -20 \text{ dB}\end{aligned}$$

ตอบ ระดับเสียงต่างกัน 20 เดซิเบล

26. เมื่อได้ยินเสียงที่ระดับเสียง 60 เดซิเบล และ 70 เดซิเบล พร้อมกัน ระดับเสียงรวมที่ได้ยินจะมีค่าเท่าใด

วิธีทำ ให้ I_1 เป็นความเข้มเสียงที่ระดับเสียง $\beta_1 = 60 \text{ dB}$

I_2 เป็นความเข้มเสียงที่ระดับเสียง $\beta_2 = 70 \text{ dB}$

ระดับเสียงรวมที่ได้ยินจะมีค่า $\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0}\right)$

เมื่อ $I = I_1 + I_2$

หา I_1 ได้จาก $\beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0}\right)$

$$60 \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0}\right)$$

จะได้ $I_1 = 10^6 I_0$

หา I_2 ได้จาก

$$\beta_2 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right)$$

$$70 \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right)$$

$$I_2 = 10^7 I_0$$

แทนค่า I ลงในสมการ (ก) จะหาระดับเสียงรวมได้

$$\beta = 10 \log \left(\frac{(11 \times 10^6) I_0}{I_0} \right)$$

$$= 10 \log 11 + 10 \log 10^6$$

$$= 70.41 \text{ dB}$$

ตอบ ระดับเสียงรวมเท่ากับ 70.41 เดซิเบล

27. เปิดลำโพง 1 ตัว ที่ระยะห่างจากลำโพง 100 เมตร มีระดับเสียง 50 เดซิเบล

ก. ลำโพงมีกำลังเสียงเท่าใด

ข. ถ้าเปิดลำโพง 10 ตัว ระดับเสียงที่ตำแหน่งเดียวกันจะเป็นเท่าใด

ค. ถ้าผู้ฟังเดินห่างออกไปจนกระทั่งห่างลำโพงเป็นระยะ 1000 เมตร ระดับเสียงที่ได้ยินจะมีค่าเท่าใด

วิธีทำ

ก. ลำโพงหนึ่งตัวกำเนิดเสียง 50 dB ที่ระยะห่าง 100 เมตร

$$\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

$$50 = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

$$\frac{I}{I_0} = 10^5$$

$$I = 10^5 (1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2)$$

$$I = 1 \times 10^{-7} \text{ W/m}^2$$

หากำลังเสียงที่ปล่อยออกจากลำโพงได้จาก

$$P = IA = I(4\pi r^2)$$

$$P = (1 \times 10^{-7} \text{ W/m}^2)(4\pi)(100 \text{ m})^2$$

$$P = 4\pi(1 \times 10^{-3} \text{ W})$$

ข. ถ้าเปิดลำโพง 10 ตัวพร้อมกัน ระดับเสียงที่ตำแหน่งเดียวกันจะมีค่า

$$\beta = 10 \log \left(\frac{10I}{I_0} \right)$$

เมื่อ $I = 10^5 I_0$

$$\begin{aligned} \beta &= 10 \log \left(\frac{10(10^5 I_0)}{I_0} \right) \\ &= 10 \log 10^6 \\ &= 60 \text{ dB} \end{aligned}$$

ดังนั้นระดับเสียงจากลำโพง 10 ตัว ที่ระยะห่าง 100 เมตร เป็น

ค. ถ้าผู้ฟังเดินห่างออกไป จนกระทั่งมีระยะห่างจากลำโพง 10 ตัว เท่ากับ 1000 เมตร หาระดับเสียงได้จาก

$$\beta = 10 \log \left(\frac{10I_1}{I_0} \right)$$

ความเข้มเสียง I_1 ที่ระยะห่างลำโพง 1000 เมตรมีค่า

$$I_1 = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

แทนกำลังเสียง P จากลำโพง 1 ตัว และระยะห่าง 1000 เมตร จะได้

$$I_1 = \frac{4\pi(1 \times 10^{-3} \text{ W})}{4\pi(1000 \text{ m})^2} = 1 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2$$

ระดับเสียงที่ระยะห่าง 1000 เมตร จากลำโพง 10 ตัว จึงเป็น

$$\begin{aligned} \beta &= 10 \log \left(\frac{10^{-8} \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2} \right) \\ &= 40 \text{ dB} \end{aligned}$$

ตอบ ระดับเสียงจากลำโพง 10 ตัวที่ระยะห่าง 100 เมตร มีค่า 60 เดซิเบล และระดับเสียงจากลำโพง 10 ตัว ที่ระยะห่าง 1000 เมตร มีค่า 40 เดซิเบล

28. สำหรับแหล่งกำเนิดเสียงเดียวกัน ตำแหน่ง 1 มีความเข้มเสียงเป็น I_1 ที่ตำแหน่ง 2 มีความเข้มเสียงเป็น I_2 จงแสดงว่า ตำแหน่งทั้งสองมีระดับเสียงต่างกัน $10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$

วิธีทำ จากสมการ $\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$

จะได้

$$\beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right)$$

$$\beta_2 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right)$$

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right) - 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right)$$

$$= 10 \log \left[\frac{\left(\frac{I_2}{I_0} \right)}{\left(\frac{I_1}{I_0} \right)} \right]$$

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$$

ตอบ ตำแหน่งทั้งสองมีระดับเสียงต่างกัน $10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$

29. ตำแหน่งหนึ่งมีความเข้มเสียงเป็น 40 เท่าของความเข้มเสียงอีกตำแหน่งหนึ่ง ตำแหน่งทั้งสองมีระดับเสียงต่างกันกี่เดซิเบล

วิธีทำ

$$\beta_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0}$$

$$\beta_2 = 10 \log \frac{I_2}{I_0}$$

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \frac{I_2}{I_1}$$

แทนค่า $\frac{I_2}{I_1} = 40$ จะได้

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \log 40$$

$$= 10 \log (2^2)(10)$$

$$= 10[2 \log 2 + \log 10]$$

$$= 10[2(0.3) + 1]$$

$$\beta_2 - \beta_1 = 16 \text{ dB}$$

ตอบ ตำแหน่งทั้งสองมีระดับเสียงต่างกัน 16 เดซิเบล

30. ส้อมเสียง x ไม่ทราบความถี่ธรรมชาติและส้อมเสียง A ที่มีความถี่ธรรมชาติ 90 เฮิรตซ์ เมื่อทำการเทียบเสียงส้อมเสียงทั้งสองกับสายกีตาร์เส้นหนึ่งพบว่าเกิดบีต 5 ครั้งต่อวินาทีเหมือนกัน แต่เมื่อทำการเทียบเสียงส้อมเสียงทั้งสองกับหลอดเรโซแนนซ์ พบว่าตำแหน่งที่เกิดการสั่นพ้องครั้งแรกของส้อมเสียง x ลูกสูบจะต่ำจากปากหลอดมากกว่าตำแหน่งการเกิดการสั่นพ้องครั้งแรกของส้อมเสียง A ส้อมเสียง x มีความถี่ธรรมชาติเท่าใด

วิธีทำ ความถี่บีตหาได้จาก $|f_1 - f_2|$ ระยะทางระหว่างตำแหน่งถัดกันของลูกสูบเมื่อได้ยินเสียงดังที่สุดสองครั้งจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเสียง หรือ $\frac{\lambda}{2}$

หาความถี่ของเสียงจากสายกีตาร์ f_G

เสียงจากสายกีตาร์กับส้อมเสียง A ที่มีความถี่ 90 Hz (f_A) ทำให้เกิดบีตที่มีความถี่บีต 5 ครั้งต่อวินาที จะได้ $5 \text{ Hz} = |f_G - 90 \text{ Hz}|$ ดังนั้นความถี่ของเสียงจากสายกีตาร์อาจเป็น 85 Hz หรือ 95 Hz

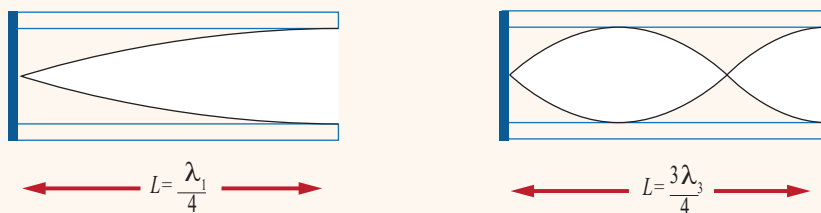
หาความถี่ธรรมชาติของส้อมเสียง x f_x

สายกีตาร์เกิดบีต 5 ครั้งต่อวินาทีกับส้อมเสียง x แสดงว่าความถี่ของส้อมเสียง x ต่างจากความถี่ของสายกีตาร์ 5 Hz จะได้ $5 \text{ Hz} = |f_x - 85 \text{ Hz}|$ และ $5 \text{ Hz} = |f_x - 95 \text{ Hz}|$ ดังนั้นความถี่ของส้อมเสียง x อาจเป็น 80 Hz หรือ 90 Hz หรือ 100 Hz จากการทดลองการสั่นพ้องพบว่า การสั่นพ้องครั้งแรกของส้อมเสียง x ลูกสูบอยู่ต่ำจากปากหลอดมากกว่าส้อมเสียง A แสดงว่า λ_x ยาวกว่า λ_A นั่นคือ f_x น้อยกว่า f_A ดังนั้น $f_x = 80 \text{ Hz}$

ตอบ ส้อมเสียง x มีความถี่ธรรมชาติเท่ากับ 80 เฮิรตซ์

31. ในการเป่าอากาศผ่านปากหลอดทรงกระบอกปลายปิดข้างหนึ่ง ถ้าหลอดยาว 0.10 เมตร และอุณหภูมิของอากาศขณะนั้นเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ความถี่มูลฐานและความถี่ฮาร์โมนิกที่สามของเสียงจากหลอดนี้มีค่าเท่าใด

วิธีทำ หาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากอุณหภูมิ แล้วนำไปหาความถี่มูลฐานและความถี่ฮาร์โมนิกที่ 3 ได้จากสมการ $f = \frac{v}{\lambda}$ และพิจารณาการกระจัดขณะเกิดการสั่นพ้องของลำอากาศในหลอดที่มีความถี่ต่ำสุดและความถี่ถัดมา ดังรูป



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาท้าทายข้อ 31

หาความยาวคลื่น λ_1 จาก $L = \frac{\lambda_1}{4}$ และ λ_3 จาก $L = \frac{3\lambda_3}{4}$ ได้

$\lambda_1 = 4L = 0.4 \text{ m}$ เป็นความยาวคลื่นที่ความถี่มูลฐาน

และ $\lambda_3 = \frac{4L}{3} = \frac{0.4}{3} \text{ m}$ เป็นความยาวคลื่นที่ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 3

หาอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ 25°C ได้

$$v = 331 \text{ m/s} + (0.6 \text{ m/s } ^\circ\text{C})(25^\circ\text{C})$$

$$v = 346 \text{ m/s}$$

นำไปหาความถี่มูลฐาน (f_1) และความถี่ฮาร์โมนิกที่ 3 (f_3) จะได้

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{v}{\lambda_1} \\ &= \frac{346 \text{ m/s}}{0.4 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$f_1 = 865 \text{ Hz}$$

ความถี่มูลฐานของเสียงเท่ากับ 865 เฮิรตซ์

$$\begin{aligned} \text{และ} \quad f_3 &= \frac{v}{\lambda_3} \\ &= \frac{346 \text{ m/s}}{(0.4 \text{ m})/3} \\ &= 2595 \text{ Hz} \end{aligned}$$

หรือ

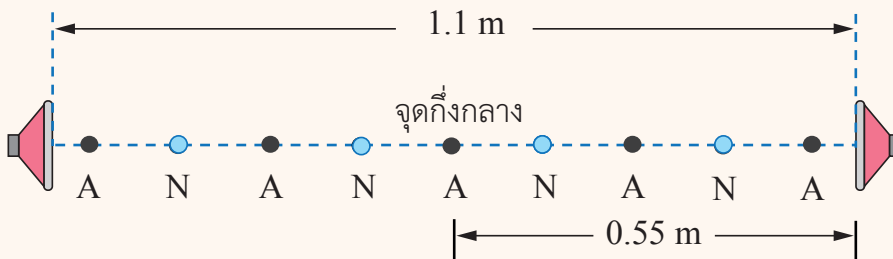
$$\begin{aligned} f_3 &= 3f_1 \\ f_3 &= 2595 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ความถี่ฮาร์โมนิกที่สาม เท่ากับ 2595 เฮิรตซ์

ตอบ ความถี่มูลฐานมีค่าเท่ากับ 865 เฮิรตซ์ และความถี่ฮาร์โมนิกที่สามมีค่าเท่ากับ 2595 เฮิรตซ์

32. ลำโพง 2 ตัวต่อกับเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงความถี่ 700 เฮิรตซ์ จัดลำโพงหันหน้าเข้าหากัน ห่างกัน 1.1 เมตร ทำให้เกิดคลื่นนิ่งระหว่างลำโพงทั้งสอง ตำแหน่งในแนวเส้นตรงระหว่างลำโพงทั้งสองมีความดันเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดกี่ตำแหน่ง ถ้าอัตราเร็วของเสียงในบริเวณนั้นเท่ากับ 350 เมตรต่อวินาที

วิธีทำ ให้ N เป็นตำแหน่งที่มีความดันเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด หรือบัพความดัน และ A เป็นตำแหน่งที่มีความดันเปลี่ยนแปลงมากที่สุด หรือปฏิบัพความดัน โดย ณ จุดกึ่งกลางระหว่างลำโพงทั้งสองเป็นตำแหน่งปฏิบัพความดัน และตำแหน่งบัพความดันจะอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางไปในทิศทางหนึ่ง ๆ เป็นระยะ $\frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \dots$ ดังรูป



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาท้าทายข้อ 32

หาความยาวคลื่นจากสมการ $v = f\lambda$ จะได้

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{350 \text{ Hz}}{700 \text{ Hz}}$$

$$\lambda = 0.500 \text{ m}$$

ตำแหน่งที่มีความดันเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด N จะอยู่ทางซ้ายและทางขวาของตำแหน่งกึ่งกลางห่างจากจุดกึ่งกลาง

ตำแหน่งที่หนึ่ง $\frac{\lambda}{4} = \frac{0.500 \text{ m}}{4}$

$$\frac{\lambda}{4} = 0.125 \text{ m}$$

และตำแหน่งที่สอง $\frac{3\lambda}{4} = \frac{3(0.500 \text{ m})}{4}$

$$\frac{3\lambda}{4} = 0.375 \text{ m}$$

ตำแหน่งถัดไป ถ้ามีจะอยู่ในตำแหน่ง $\frac{5\lambda}{4} = 0.625 \text{ m} > 0.550 \text{ m}$ ซึ่งเกินจากตำแหน่งของลำโพงออกไป

แสดงว่ามีตำแหน่งบัพความดันทางซ้ายและทางขวาของจุดกึ่งกลางข้างละ 2 ตำแหน่ง เมื่อรวมทั้งข้างซ้ายและข้างขวา จึงมีจำนวนตำแหน่งบัพความดัน หรือ ตำแหน่งที่มีความดันเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ทั้งหมด 4 ตำแหน่ง

ตอบ ในแนวเส้นตรงระหว่างลำโพงทั้งสองมีตำแหน่งที่มีความดันเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ทั้งหมด 4 ตำแหน่ง

33. แหล่งกำเนิดเสียงส่งคลื่นเสียงความถี่ 2000 เฮิรตซ์ ไปกระทบตัวสะท้อนอันหนึ่ง เมื่อใช้เครื่องรับฟังเสียงเคลื่อนไป ตามแนวตรงระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับตัวสะท้อนได้ยินเสียงดังค่อยสลับกัน ถ้าต้องการให้ตำแหน่งเสียงดังสองตำแหน่งที่อยู่ติดกันอยู่ห่างกันมากกว่าเดิม 2 เซนติเมตร แหล่งกำเนิดเสียงจะต้องส่งเสียงความถี่เท่าใดไปกระทบตัวสะท้อน ถ้าอัตราเร็วของเสียงในอากาศเท่ากับ 340 เมตรต่อวินาที

วิธีทำ

การที่ได้ยินเสียงดัง ค่อย สลับกันตามแนวเส้นตรงจากแหล่งกำเนิดเสียงไปยังตัวสะท้อน แสดงว่าเกิดคลื่นนิ่ง

ดังนั้น ระยะทางของสองตำแหน่งที่เสียงดัง 2 ครั้งติดกัน =

ถ้าระยะระหว่างตำแหน่งที่เสียงดังสองครั้งติดกัน = x $\frac{\text{ความยาวคลื่นเสียง}^2}{2}$

$$\lambda = \frac{\text{ความยาวคลื่นเสียง}^2}{2}$$

$$x = \frac{\lambda}{2}$$

$$\lambda = 2x$$

จากสูตร $v = \lambda f$

เมื่อ $v = 340 \text{ m/s}$ และ $f = 2000 \text{ Hz}$

$$340 \text{ m/s} = (2000 \text{ s}^{-1})(2x)$$

$$x = 0.085 \text{ m}$$

เมื่อเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดใหม่ที่มีความถี่ f แล้วระยะระหว่างตำแหน่งที่เสียงดังสองครั้งติดกันเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก 0.02 เมตร

$$\begin{aligned} \text{ระยะระหว่างตำแหน่งที่เสียงดังสองครั้งติดกันจึงมีค่า} &= 0.085 \text{ m} + 0.02 \text{ m} \\ &= 0.105 \text{ m} \end{aligned}$$

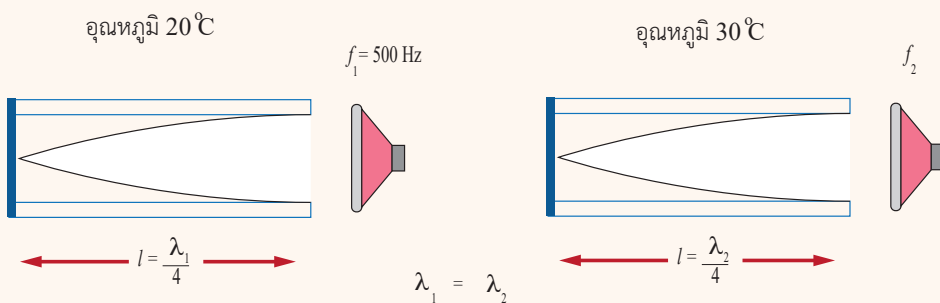
ดังนั้นความยาวคลื่นเสียงของแหล่งกำเนิดใหม่ λ_1 หาได้จาก

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= 2(0.105 \text{ m}) \\ &= 0.21 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } f = 1619.05 \text{ Hz}$$

ตอบ แหล่งกำเนิดเสียงจะต้องส่งเสียงความถี่ประมาณ 1619.05 เฮิรตซ์

34. เมื่อให้เสียงความถี่ 500 เฮิรตซ์ ผ่านเข้าไปในหลอดเรโซแนนซ์ ขณะอุณหภูมิอากาศเป็น 20 องศาเซลเซียส จะเกิดการสั่นพ้องของอากาศ ถ้าอุณหภูมิอากาศเป็น 30 องศาเซลเซียส คลื่นเสียงจะต้องมีความถี่เท่าใดจึงจะเกิดการสั่นพ้องของอากาศได้อีกครั้งหนึ่ง
- วิธีทำ



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาท้าทายข้อ 34

ที่อุณหภูมิ 20 °C คลื่นเสียงมีอัตราเร็ว v_1

$$v_1 = 331 \text{ m/s} + (0.6 \text{ m/s}^\circ\text{C})(20^\circ\text{C})$$

$$v_1 = 343 \text{ m/s}$$

เสียงที่มีความถี่ $f_1 = 500 \text{ Hz}$ จะหาความยาวคลื่นเสียง (λ_1) ของเสียงได้จาก

$$\lambda_1 = \frac{v_1}{f_1}$$

$$\lambda_1 = \frac{343 \text{ m/s}}{500 \text{ s}^{-1}}$$

เสียงที่มีความถี่ 500 เฮิรตซ์ เมื่อเกิดการสั่นพ้องด้วยหลอดสั่นพ้องที่มีความยาวคงตัว

l จะได้ว่า

$$l = \frac{\lambda_1}{4}$$

เพราะฉะนั้น

$$l = \frac{343 \text{ m/s}}{4(500 \text{ s}^{-1})}$$

ที่อุณหภูมิ 30°C คลื่นเสียงมีอัตราเร็ว v_2

$$v_2 = 331 \text{ m/s} + (0.6 \text{ m/s } ^\circ\text{C})(30^\circ\text{C})$$

$$v_2 = 349 \text{ m/s}$$

ใช้เสียงที่มีความถี่ f_2 และความยาวคลื่น λ_2 เกิดการสั่นพ้องกับหลอดเรโซแนนซ์เดิม

เพราะฉะนั้น

$$l = \frac{\lambda_2}{4}$$

หรือ

$$\lambda_2 = 4l$$

$$= 4 \left[\frac{343 \text{ m/s}}{4(500 \text{ s}^{-1})} \right] = \frac{343 \text{ m/s}}{500 \text{ s}^{-1}}$$

จาก

$$v_2 = f_2 \lambda_2$$

$$f_2 = \frac{v_2}{\lambda_2}$$

$$= 349 \text{ m/s} \left(\frac{500 \text{ s}^{-1}}{343 \text{ m/s}} \right)$$

$$= 508.7 \text{ Hz}$$

ตอบ ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงเท่ากับ 508.7 เฮิรตซ์

บทที่



ipst.me/8843

13

ไฟฟ้าสถิต

ผลการเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายการทำวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าให้มีประจุไฟฟ้าโดยการขัดสีกันและการเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิต
2. อธิบายและคำนวณแรงไฟฟ้าตามกฎของคูลอมบ์
3. อธิบายและคำนวณสนามไฟฟ้าและแรงไฟฟ้าที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าที่อยู่ในสนามไฟฟ้า รวมทั้งหาสนามไฟฟ้าลัทธิเนื่องจากระบบจุดประจุโดยรวมกันแบบเวกเตอร์
4. อธิบายและคำนวณพลังงานศักย์ไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า และ ความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่งใด ๆ
5. อธิบายส่วนประกอบของตัวเก็บประจุ ความสัมพันธ์ระหว่างประจุไฟฟ้า ความต่างศักย์ และความจุของตัวเก็บประจุ และอธิบายพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ และความจุสมมูล รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
6. นำความรู้เรื่องไฟฟ้าสถิตไปอธิบายหลักการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิด และปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

1. ทดลองและอธิบายการทำวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าให้มีประจุไฟฟ้าโดยการขัดสีกันและการเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิต

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการทำวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าให้มีประจุไฟฟ้าโดยการขัดสีกัน
2. อธิบายกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า
3. อธิบายการเกิดแรงระหว่างประจุไฟฟ้าขึ้นกับชนิดของประจุไฟฟ้า
4. อธิบายและทดลองการทำวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าให้มีประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต (แรงดึงดูดและแรงผลักรันของวัตถุที่มีประจุไฟฟ้า) 2. การทดลอง 3. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (การสรุปผลการทดลอง)	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล) 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความรอบคอบ

ผลการเรียนรู้

2. อธิบายและคำนวณแรงไฟฟ้าตามกฎของคูลอมบ์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและคำนวณแรงที่กระทำต่อกันระหว่างจุดประจุ ตามกฎของคูลอมบ์
2. อธิบายและคำนวณแรงไฟฟ้าลัทธิที่กระทำต่อจุดประจุ

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การใช้จำนวน (แรงไฟฟ้าระหว่างจุดประจุ)	1. การสื่อสารสารสนเทศ และ การรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกัน และการนำเสนอผล) 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	-

ผลการเรียนรู้

3. อธิบายและคำนวณสนามไฟฟ้าและแรงไฟฟ้าที่กระทำกับอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าที่อยู่ในสนามไฟฟ้า รวมทั้งหาสนามไฟฟ้าลัทธิเนื่องจากระบบจุดประจุโดยรวมกันแบบเวกเตอร์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายสนามไฟฟ้าและเส้นสนามไฟฟ้าของจุดประจุ ตัวนำทรงกลม และแผ่นโลหะคู่ขนาน
2. คำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับสนามไฟฟ้าของจุดประจุ
3. อธิบายและคำนวณสนามไฟฟ้าลัทธิของระบบจุดประจุ
4. อธิบายแรงไฟฟ้าที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุที่อยู่ในสนามไฟฟ้า และคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้อง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต (จากการทำกิจกรรมการแผ่กระจายของต่างแท่งแท่ง) 2. การใช้จำนวน (ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแรงไฟฟ้าที่กระทำกับอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าที่อยู่ในสนามไฟฟ้า สนามไฟฟ้าของจุดประจุและระบบจุดประจุ) 3. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (จากการทำกิจกรรมและการอภิปรายร่วมกัน)	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล) 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. ความอยากรู้อยากเห็น

ผลการเรียนรู้

4. อธิบายและคำนวณพลังงานศักย์ไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า และความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่งใด ๆ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายพลังงานศักย์ไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า และคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้อง
2. อธิบายความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่งใด ๆ และคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้อง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การใช้จำนวน (พลังงาน คักย์ไฟฟ้า คักย์ไฟฟ้า งานในการเคลื่อนประจุ สนามไฟฟ้า และความต่างคักย์)	1. การสื่อสารสารสนเทศ และการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกัน) 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความรอบคอบ

ผลการเรียนรู้

- อธิบายส่วนประกอบของตัวเก็บประจุ ความสัมพันธ์ระหว่างประจุไฟฟ้า ความต่างคักย์ และความจุของตัวเก็บประจุ และอธิบายพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ และความจุสมมูล รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายส่วนประกอบของตัวเก็บประจุ
- อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างประจุไฟฟ้า ความต่างคักย์ และความจุของตัวเก็บประจุ
- อธิบายพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ และความจุสมมูล
- คำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับตัวเก็บประจุ และความจุสมมูล

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การใช้จำนวน (การคำนวณ ความจุของตัวเก็บประจุ และปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ และค่าความจุสมมูล)	1. การสื่อสารสารสนเทศ และการรู้เท่าทันสื่อ (มีการอ้างอิงแหล่งที่มา และการเปรียบเทียบ ความถูกต้องของข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย)	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความรอบคอบ

2. ความร่วมมือ การทำงาน เป็นทีมและภาวะผู้นำ	หลายได้อย่างสมเหตุสม ผล การอภิปรายร่วมกัน และการนำเสนอผล) 2. ความร่วมมือ การทำงาน เป็นทีมและภาวะผู้นำ	
--	---	--

ผลการเรียนรู้

6. นำความรู้เรื่องไฟฟ้าสถิตไปอธิบายหลักการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิด และ
ปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ยกตัวอย่างการนำความรู้เรื่องไฟฟ้าสถิตไปอธิบายหลักการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า
บางชนิด
2. อธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันโดยใช้ความรู้เรื่องไฟฟ้าสถิต

ทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
-	1. การสื่อสารสารสนเทศ และการรู้เท่าทันสื่อ (มี การอ้างอิงแหล่งที่มา และการเปรียบเทียบ ความถูกต้องของข้อมูล จากแหล่งข้อมูลที่หลากหลายได้อย่างสมเหตุสม ผล การอภิปรายร่วมกัน และการนำเสนอผล) 2. ความร่วมมือ การทำงาน เป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความรอบคอบ

ไฟฟ้าสถิต



สรุปแนวความคิดสำคัญ

วัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้า เมื่อนำมาขัดสีกันสามารถทำให้เป็นวัตถุมีประจุไฟฟ้าได้ เนื่องจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างวัตถุที่นำมาขัดสีกัน วัตถุที่มีการสูญเสียอิเล็กตรอนจะมีประจุสุทธิเป็นบวก ส่วนวัตถุที่รับอิเล็กตรอนจะมีประจุสุทธิเป็นลบ โดยวัตถุใดจะทำหน้าที่รับหรือให้อิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับวัตถุนั้นมีสมบัติจะรับหรือให้อิเล็กตรอนอย่างใดมากกว่า ซึ่งประจุไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือทำลายได้ ดังนั้นในการเปลี่ยนแปลงใดๆ ผลรวมของประจุของระบบก่อนการเปลี่ยนแปลงต้องเท่ากับผลรวมของประจุหลังการเปลี่ยนแปลง เรียกว่า **กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า (conservation law of charge)**

ประจุไฟฟ้ามี 2 ชนิด คือ ประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบ ถ้าประจุทั้งสองมีประจุชนิดเดียวกันจะเกิดแรงผลักกันและหากประจุทั้งสองมีประจุต่างชนิดกันจะเกิดแรงดึงดูดกัน การนำวัตถุที่มีประจุเข้าใกล้ตัวนำใดๆ จะทำให้ปรากฏประจุชนิดตรงข้ามบนตัวนำด้านที่อยู่ใกล้และเกิดประจุชนิดเดียวกันบนตัวนำด้านที่อยู่ไกล เรียกว่า **การเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิต (electrostatic induction)** โดยอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบประจุไฟฟ้า เรียกว่า **อิเล็กโทรสโคป (electroscope)**

การต่อสายดิน (grounding) เป็นการทำให้วัตถุที่มีประจุไฟฟ้า มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า โดยต่อวัตถุนั้นกับวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้า เช่น โลก

แรงระหว่างจุดประจุเป็นไปตามกฎของคูลอมบ์ ตามสมการ
$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

รอบประจุไฟฟ้าหนึ่ง ๆ จะมี**สนามไฟฟ้า (electric field)** ที่แผ่ออกไปทั่ว**อวกาศ (space)** เมื่อประจุไฟฟ้าอีกประจุหนึ่งอยู่ในสนามไฟฟ้าของประจุดังกล่าวก็จะรับรู้ถึงแรงไฟฟ้าที่ประจุนั้นกระทำได้ มีค่าเท่ากับแรงที่กระทำต่อจุดประจุบวกขนาดหนึ่งหน่วย ซึ่งวาง ณ ตำแหน่งนั้น ๆ ตามสมการ
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{+q}$$

สนามไฟฟ้าของจุดประจุ ณ ตำแหน่งซึ่งห่างจากประจุดันกำเนิด Q เป็นระยะทาง r หาได้จาก $E = \frac{kQ}{r^2}$ สนามไฟฟ้ามีทิศพุ่งออกจากประจุดันกำเนิดที่เป็นประจุบวกและพุ่งเข้าหาประจุดันกำเนิดที่เป็นประจุลบ สนามไฟฟ้าของระบบประจุที่ตำแหน่งใด ๆ มีค่าเท่ากับผลรวมแบบเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุแต่ละประจุ

เส้นสนามไฟฟ้าเป็นเส้นต่อเนื่องแสดงทิศทางของสนามไฟฟ้า ซึ่งพิจารณาได้ว่าเส้นสนามไฟฟ้าในบริเวณรอบจุดประจุมีทิศอยู่ในแนวพุ่งออกจากประจุบวกเข้าหาประจุลบตามแนวรัศมี ณ ตำแหน่งหนึ่งๆ มีเส้นสนามไฟฟ้าผ่านได้เส้นเดียว ความหนาแน่นของเส้นสนามไฟฟ้าในบริเวณหนึ่ง ๆ แสดงถึงขนาดของสนามไฟฟ้าในบริเวณนั้นๆ ตำแหน่งที่สนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ จะไม่มีเส้นสนามไฟฟ้าผ่านเรียกว่า **จุดสะเทิน (neutral point)**

สำหรับตัวนำทรงกลมประจุไฟฟ้าจะกระจายอย่างสม่ำเสมอบริเวณผิวตัวนำและสนามไฟฟ้าภายในตัวนำเป็นศูนย์ สนามไฟฟ้าของตัวนำทรงกลม มีทิศตั้งฉากกับผิวตัวนำต่อเนื่องออกไปจากผิวในแนวรัศมีทรงกลม หาได้เช่นเดียวกับสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุที่มีประจุ Q เท่ากัน แต่อยู่ที่จุดศูนย์กลางของตัวนำทรงกลม ตามสมการ $E = \frac{kQ}{r^2}$

เมื่อนำประจุ q มวล m วางในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า E จะมีแรงไฟฟ้าทำให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเนื่องจากแรงไฟฟ้า ตามสมการ $\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$

เมื่อนำประจุไปอยู่ ณ ตำแหน่งหนึ่งในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดพลังงานศักย์ไฟฟ้า U ของประจุนั้น เมื่อประจุเคลื่อนที่ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ไฟฟ้าและพลังงานจลน์ของประจุเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

เมื่อประจุ q อยู่ในสนามไฟฟ้า ทำให้มีพลังงานศักย์ไฟฟ้า U ของประจุ จะมีพลังงานศักย์ไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยประจุ ณ ตำแหน่งนั้น เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้า (electric field) ตามสมการ $V = \frac{U}{q}$

ความต่างศักย์ หมายถึง ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งหนึ่งเทียบกับอีกตำแหน่งหนึ่ง ความต่างศักย์ที่ตำแหน่ง B เทียบกับตำแหน่ง A หาได้จาก $V_B - V_A = \Delta V = \frac{\Delta U}{q}$ ซึ่งมีค่าเท่ากับงานเนื่องจากแรงไฟฟ้าในการเคลื่อนที่หนึ่งหน่วยประจุบวก จาก A ไป B ตามสมการ $V_B - V_A = -\frac{W_{A \rightarrow B}}{q}$

ความต่างศักย์เนื่องจากสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอระหว่างสองตำแหน่งที่ห่างกันเป็นระยะ d ในแนวขนานสนามไฟฟ้า หาได้จาก $\Delta V = -Ed$

ศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุ ณ ตำแหน่งซึ่งห่างจากประจุต้นกำเนิด Q เป็นระยะทาง r หาได้จาก $V = \frac{kQ}{r}$ ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุบวกมีค่าเป็นบวกและศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุลบมีค่าเป็นลบ

ศักย์ไฟฟ้าของระบบประจุที่ตำแหน่งใด ๆ มีค่าเท่ากับผลรวมแบบสเกลาร์ของศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุแต่ละประจุ

ตัวเก็บประจุ (capacitor) คือ อุปกรณ์ทางไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่เก็บสะสมและคายประจุไฟฟ้า มีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย ตัวนำสองชิ้นที่คั่นด้วยฉนวน

เมื่อนำตัวเก็บประจุไปต่อกับแบตเตอรี่ ทำให้แผ่นตัวนำแต่ละแผ่นมีประจุสะสม $-Q$ และ $+Q$ ถือว่าตัวเก็บประจุมีประจุสะสมเท่ากับ Q ซึ่งเรียกว่า การประจุ (charging)

เมื่อนำตัวเก็บประจุที่ผ่านการประจุแล้วไปต่อเข้าเป็นวงจรกับเครื่องใช้ไฟฟ้า ทำให้มีการถ่ายโอนประจุไฟฟ้าจากตัวเก็บประจุผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า การคายประจุ (discharging) และหยุดถ่ายโอนเมื่อประจุไฟฟ้าที่สะสมเท่ากับศูนย์

ความจุ (capacitance) เป็น ความสามารถในการเก็บประจุของตัวเก็บประจุ หาได้จากอัตราส่วนของประจุไฟฟ้าต่อความต่างศักย์ ตามสมการ $C = \frac{Q}{\Delta V}$

พลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุพิจารณาได้จากงานที่กระทำต่อประจุให้เคลื่อนที่ไปสะสมบนตัวเก็บประจุ ซึ่งเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟระหว่างความต่างศักย์กับประจุที่สะสมบนตัวเก็บประจุ ตามสมการ

$$U = \frac{1}{2} Q \Delta V$$

ความจุที่ได้จากการต่อตัวเก็บประจุหลายตัวเรียกว่า **ความจุสมมูล (equivalent capacitance)**

การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม (capacitors in series) ทำให้ความจุสมมูลลดลง หาได้จากสมการ $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$

การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน (capacitors in parallels) ทำให้ความจุสมมูลมีค่าเพิ่มขึ้น หาได้จากสมการ $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$

ความรู้ทางไฟฟ้าสถิต สามารถนำไปอธิบายหลักการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิด เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องพิมพ์เลเซอร์สี เครื่องเคลือบสีฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต เครื่องฟอกอากาศและเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต นอกจากนี้ ความรู้ทางไฟฟ้าสถิตยังสามารถนำไปอธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน เช่น ฟาผ่า ฟาแลบ การเกิดประกายไฟจากการเสียดสีกัน ซึ่งช่วยให้สามารถหาแนวทางป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 28 ชั่วโมง

13.1 ธรรมชาติของไฟฟ้าสถิต	6 ชั่วโมง
13.2 กฎของคูลอมบ์	3 ชั่วโมง
13.3 สนามไฟฟ้า	6 ชั่วโมง
13.4 ศักย์ไฟฟ้าและความต่างศักย์	5 ชั่วโมง
13.5 ตัวเก็บประจุ	5 ชั่วโมง
13.6 การนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปใช้ประโยชน์	3 ชั่วโมง

| ความรู้ก่อนเรียน

เวกเตอร์และสเกลาร์ ประจุไฟฟ้า อะตอมและโมเลกุล กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน งานและพลังงาน กฎการอนุรักษ์พลังงาน

ครูนำเข้าสู่บทที่ 13 โดยยกตัวอย่างปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิต เช่น ครูอาจเล่านิทานพื้นบ้านเรื่องเมขลา-รามสูร เชื่อมโยงปรากฏการณ์ฟ้าแลบและฟ้าผ่าตามความเชื่อโบราณ หรือตัวอย่างปรากฏการณ์ที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน เช่น การหวีผมในฤดูหนาว เสื้อผ้าแนบตัว ครูตั้งคำถามเกี่ยวกับตัวอย่างปรากฏการณ์ดังกล่าวอธิบายด้วยหลักวิทยาศาสตร์ได้อย่างไร ให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระโดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง ครูให้นักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่าเป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับประจุไฟฟ้า

ครูชี้แจง คำถามสำคัญที่นักเรียนจะต้องตอบได้ หลังจากเรียนรู้บทที่ 13 และชี้แจงหัวข้อต่าง ๆ ที่นักเรียนจะได้เรียนในบทนี้

13.1 ธรรมชาติของไฟฟ้าสถิต

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการทำวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าให้มีประจุไฟฟ้าโดยการขัดสีกัน
2. อธิบายกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า
3. สังเกตและอธิบายการเกิดแรงระหว่างประจุไฟฟ้าขึ้นกับชนิดของประจุไฟฟ้า
4. อธิบายและทดลองการทำวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าให้มีประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 13.1 โดยครูนำอภิปรายทบทวนเกี่ยวกับแรงพื้นฐานในธรรมชาติ และให้ความรู้เพิ่มเติมว่าแรงไฟฟ้าเป็นส่วนหนึ่งของแรงแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน ซึ่งจะได้ศึกษาต่อไป

13.1.1 ประจุไฟฟ้าและกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. วัตถุที่มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า คือ วัตถุที่ไม่มีประจุไฟฟ้า	1. วัตถุที่มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า คือ วัตถุที่มีประจุบวกและประจุลบเท่ากัน
2. เราสามารถทำให้วัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าเป็นวัตถุมีประจุไฟฟ้าได้ โดยการถ่ายโอนประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบเข้าหรือออกจากวัตถุนั้น	2. เราสามารถทำให้วัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าเป็นวัตถุมีประจุไฟฟ้าได้ โดยการถ่ายโอนประจุลบเข้าหรือออกจากวัตถุนั้น สำหรับวัตถุที่มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า เมื่อสูญเสียประจุลบไป จะมีประจุเป็นบวก ส่วนวัตถุที่รับประจุลบจะมีประจุเป็นลบ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 1 - 3 ของหัวข้อ 13.1 ตามหนังสือเรียน

นำเข้าสู่หัวข้อที่ 13.1.1 โดยครูตั้งคำถามเพื่อให้นักเรียนยกตัวอย่างปรากฏการณ์ธรรมชาติของไฟฟ้า เช่น เมื่อเราจับลูกบิดโลหะของประตู บางครั้งอาจรู้สึกเหมือนถูกไฟฟ้าดูด หรือเมื่อหิวผมที่แห้งจะรู้สึกว้าว

ครูสาธิตโดยนำผ้าขนสัตว์หรือผ้าสักหลาดมาถูที่ปลายข้างหนึ่งของท่อพีวีซี แล้วนำเข้าใกล้เศษกระดาษชิ้นเล็ก ๆ จะเห็นว่าเศษกระดาษถูกดูดติดปลายของท่อพีวีซี (ก่อนสาธิตครูควรทำความสะอาดท่อพีวีซี และเศษผ้าหรือผ้าสักหลาดให้แห้ง และกิจกรรมนี้ควรทำในห้องที่ความชื้นต่ำ หรือในห้องปรับอากาศ) ครูตั้งคำถามว่าเหตุการณ์นี้เกิดขึ้นได้อย่างไร

จากนั้นครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับประจุไฟฟ้าในอะตอมว่า วัตถุที่มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าคือภายในอะตอมจะมีจำนวนโปรตอนและอิเล็กตรอนเท่ากัน ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า ท่อพีวีซีสามารถดูดเศษกระดาษเล็ก ๆ ที่เกิดจากการถูท่อพีวีซีด้วยผ้าขนสัตว์จะเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างวัตถุทั้งสอง โดยวัตถุที่ได้รับอิเล็กตรอน จะมีประจุเป็นลบ และวัตถุที่สูญเสียอิเล็กตรอนไปจะมีประจุเป็นบวก และการถ่ายโอนประจุไฟฟ้าเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า โดยจำนวนอิเล็กตรอนที่ถ่ายโอนทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้าเป็นจำนวนเต็มเท่าของประจุอิเล็กตรอน ตามสมการ $q = Ne$ ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 13.1 โดยครูเป็นผู้แนะนำ

ครูยกตัวอย่างการนำวัสดุในตาราง 13.1 มาขัดสีกัน เช่น ท่อพีวีซีกับผ้าสักหลาด แล้วตั้งคำถามว่าท่อพีวีซีมีประจุชนิดใด และดูดเศษกระดาษได้อย่างไร จากนั้นครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า ท่อพีวีซีดึงดูดเศษกระดาษเนื่องจากมีแรงกระทำกับเศษกระดาษ ขณะเดียวกันก็มีแรงดึงดูดระหว่างเศษกระดาษแต่ละชิ้นด้วย แรงดังกล่าวเป็นผลมาจาก ประจุไฟฟ้า เรียกแรงนี้ว่า แรงระหว่างประจุไฟฟ้า เราสามารถทำให้วัตถุที่มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าเป็นวัตถุมีประจุไฟฟ้าได้ โดยการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเข้าหรือออกจากวัตถุนั้น วัสดุใดจะทำหน้าที่ให้หรือรับอิเล็กตรอนนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุจะสูญเสียอิเล็กตรอนได้มากกว่า ตามตาราง 13.1 โดยประจุไม่ได้ถูกสร้างหรือถูกทำลายในระบบโดดเดี่ยว นั่นคือ ผลรวมของประจุไฟฟ้าในระบบมีค่าคงเดิม ซึ่งเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า

ครูให้นักเรียนศึกษาชนิดของประจุไฟฟ้า แรงระหว่างประจุไฟฟ้า การทำให้วัตถุที่มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้ามีประจุไฟฟ้าจากกิจกรรม 13.1



กิจกรรม 13.1 ชนิดของแรงระหว่างประจุไฟฟ้า

จุดประสงค์

1. สังเกตและบอกชนิดของแรงระหว่างประจุไฟฟ้า
2. สังเกตและอธิบายชนิดแรงระหว่างประจุไฟฟ้าขึ้นกับชนิดของประจุไฟฟ้า

เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|--------------------|--------|
| 1. แผ่นพีวีซี | 2 อัน |
| 2. แผ่นเปอร์สเปกซ์ | 2 แผ่น |
| 3. ผ้าสักหลาด | 1 ผืน |
| 4. ขาตั้ง | 1 อัน |
| 5. เส้นด้าย | 1 เมตร |

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. นำแผ่นพีวีซี และแผ่นเปอร์สเปกซ์ไปล้างให้สะอาดด้วยน้ำผสมน้ำยาทำความสะอาด เช็ดและผึ่งแดดให้แห้ง
2. สำหรับผ้าสักหลาดทำความสะอาดหรือสับฝุ่นออกให้หมด แล้วนำไปผึ่งแดด
3. สำหรับแผ่นพีวีซีและแผ่นเปอร์สเปกซ์ที่แขวนไว้และยังไม่ได้แขวน ให้ทำเครื่องหมายไว้ที่ปลายข้างหนึ่งของแผ่น โดยครุ่นเห็นว่า ในการทดลองให้จับด้านปลายที่ทำเครื่องหมายไว้เท่านั้น
4. ในการถูแผ่นพีวีซี หรือแผ่นเปอร์สเปกซ์ด้วยผ้าสักหลาด ให้ถูที่ปลายด้านตรงกันข้ามกับที่ได้ทำเครื่องหมายไว้
5. ก่อนนำปลายที่มีประจุเข้าใกล้กัน ควรตรวจสอบก่อนว่า แผ่นพีวีซีกับแผ่นเปอร์สเปกซ์ที่ถูกับผ้าสักหลาดมีประจุ โดยทดสอบแล้วสามารถดูดกระดาษชิ้นเล็กๆ ได้
6. เมื่อตรวจสอบแล้วว่าแผ่นพีวีซีหรือแผ่นเปอร์สเปกซ์มีประจุ ต้องรีบทำการทดลองทันที ต้องระวังไม่ให้ปลายที่ถูแล้วสัมผัสกับสิ่งอื่น ๆ (ถ้าทิ้งไว้นานเกินไป แผ่นพีวีซีหรือแผ่นเปอร์สเปกซ์อาจเป็นกลางทางไฟฟ้า ทำให้ผลการทดลองผิดพลาด)

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ชนิดของวัตถุที่มีประจุ	ชนิดของแรง
พีวีซี กับ พีวีซี	แรงผลัก
เปอร์สเปกซ์ กับ เปอร์สเปกซ์	แรงผลัก
พีวีซี กับ เปอร์สเปกซ์	แรงดึงดูด



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- แรงระหว่างแผ่นพีวีซีกับแผ่นพีวีซีในข้อ 4 เป็นแรงดึงดูดหรือแรงผลัก
แนวคำตอบ แรงผลัก
- แรงระหว่างแผ่นเปอร์สเปกซ์กับแผ่นเปอร์สเปกซ์ในข้อ 5 เป็นแรงดึงดูดหรือแรงผลัก
แนวคำตอบ แรงผลัก
- แรงระหว่างแผ่นพีวีซีกับแผ่นเปอร์สเปกซ์ในข้อ 6 เป็นแรงดึงดูดหรือแรงผลัก
แนวคำตอบ แรงดึงดูด
- การถูผ้าสักหลาดกับแผ่นพีวีซี และผ้าสักหลาดกับแผ่นเปอร์สเปกซ์ แผ่นพีวีซีและแผ่นเปอร์สเปกซ์มีประจุไฟฟ้าชนิดใด
แนวคำตอบ ประจุลบ ประจุบวก ตามลำดับ
- ชนิดของแรงระหว่างประจุขึ้นกับชนิดของประจุไฟฟ้าอย่างไร
แนวคำตอบ แรงระหว่างประจุชนิดเดียวกันจะเป็นแรงผลักกัน ส่วนแรงระหว่างประจุต่างชนิดกันจะเป็นแรงดึงดูดกัน

อภิปรายหลังทำกิจกรรม

ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยใช้ผลการทำกิจกรรมและคำถามท้ายกิจกรรม จนสรุปได้ดังนี้

1. แรงระหว่างประจุไฟฟ้ามี 2 ชนิด คือ แรงดึงดูดและแรงผลัก
2. แรงระหว่างประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันเป็นแรงผลัก และแรงระหว่างประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันเป็นแรงดึงดูด

ข้อแนะนำเพิ่มเติมสำหรับครู

ครูอาจให้นักเรียนเปลี่ยนชนิดวัตถุที่นำมาถูกัน โดยถ้านำวัตถุนั้นไปถูกับวัตถุต่างชนิดกัน ประจุไฟฟ้าบนวัตถุนั้นอาจจะเป็นประจุต่างชนิดกับครั้งแรกก็ได้ เช่น ครั้งแรกถูพริชกับผ้าสักหลาด ครั้งที่สองถูพริชกับผ้าไหม ประจุที่เกิดขึ้นบนพริชจากการถูทั้งสองครั้งอาจไม่ใช่ชนิดเดียวกันก็ได้ การเกิดชนิดของประจุจากการถูวัสดุคู่หนึ่งเป็นไปตามตาราง 13.1 ในหนังสือเรียน

13.1.2 การเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิต

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อต่อสายดินกับวัตถุที่มีประจุ โปรตอนและอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ จนกว่าวัตถุจะเป็นกลางทางไฟฟ้า	1. เมื่อต่อสายดินกับวัตถุที่มีประจุ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ จนกว่าวัตถุจะเป็นกลางทางไฟฟ้า

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 4 ของหัวข้อ 13.1 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 13.1.2 โดยอภิปรายทบทวนความรู้เกี่ยวกับตัวนำไฟฟ้าและฉนวนไฟฟ้า จนสรุปได้ว่า วัสดุที่อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้อย่างอิสระ เรียกว่าตัวนำไฟฟ้า และวัสดุที่อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เรียกว่า ฉนวนไฟฟ้า จากนั้นครูตั้งคำถามว่า เมื่อนำวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเข้าใกล้ตัวนำจะเกิดผลอย่างไร แล้วให้นักเรียนค้นหาคำตอบ โดยให้นักเรียนศึกษารายละเอียดจากหนังสือเรียน จากนั้นครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า

เมื่อนำวัตถุที่มีประจุเข้าใกล้ตัวนำไฟฟ้าจะทำให้เกิดประจุชนิดตรงข้ามบนด้านใกล้ของตัวนำและเกิดประจุชนิดเดียวกันบนด้านไกลของตัวนำ วิธีทำให้เกิดประจุในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิต

ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิต จะทำให้วัตถุที่มีประจุดึงดูดวัตถุที่ถูกเหนี่ยวนำนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบประจุไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า อิเล็กโตรสโคป

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 85 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

เมื่อนำวัตถุเข้าใกล้ลูกพิท หากลูกพิทเบนออกจากวัตถุสามารถสรุปเกี่ยวกับประจุไฟฟ้าได้อย่างไร
แนวคำตอบ วัตถุและลูกพิทมีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกัน

ครูใช้รูป 13.7 ในหนังสือเรียน ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับส่วนประกอบและการทำงานของอิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

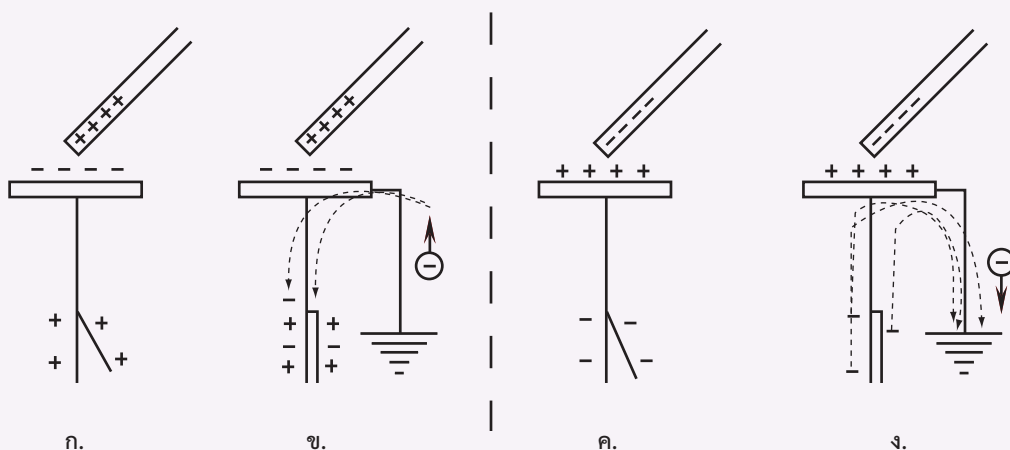
ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 86 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

ถ้านำวัตถุที่มีประจุบวกเข้าหาจานโลหะของอิเล็กโทรสโคปที่เป็นกลาง จะอธิบายการกางของแผ่นโลหะได้อย่างไร

แนวคำตอบ เมื่อนำวัตถุที่มีประจุบวกเข้าใกล้จานโลหะของอิเล็กโทรสโคป ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ ดังรูป ก. ในการต่อสายดินนั้น ประจุลบจากโลกจะเคลื่อนที่ผ่านสายดินเข้าสู่อิเล็กโทรสโคป ทำให้แผ่นโลหะของอิเล็กโทรสโคปหุบลง ดังรูป ข.



รูป เมื่อต่อสายดินกับจานโลหะของอิเล็กโทรสโคป

ครูตั้งคำถามว่า สามารถทำอิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะที่เป็นกลางทางไฟฟ้ามีประจุไฟฟ้า โดยการเหนี่ยวนำได้อย่างไร ให้นักเรียนทำกิจกรรม 13.2



กิจกรรม 13.2 การทำให้อิเล็กโทรสโคปมีประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ

จุดประสงค์

1. บอกขั้นตอนการทำให้อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะที่เป็นกลางมีประจุไฟฟ้า
2. อธิบายการเหนี่ยวนำให้อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะที่เป็นกลางให้มีประจุไฟฟ้า

เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|-------------------------------|-------|
| 1. อิเล็กโทรสโคปแผ่นโลหะ | 1 ชุด |
| 2. ท่อพีวีซี ยาว 30 เซนติเมตร | 1 อัน |
| 3. ผ้าสักหลาด | 1 ผืน |

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

1. นำผ้าถูกับท่อพีวีซี และนำเข้าไปใกล้อิเล็กโทรสโคป
ผลที่ได้ดังรูป



2. เอนิ้วมือแตะจานโลหะ ผลที่ได้ดังรูป



3. เอนิ้วมือออกจากจานโลหะ ผลที่ได้ดังรูป



4. เอาท่อนพีวีซีออกจากอิเล็กทรอนิกส์ ผลที่ได้ดังรูป





แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ในวิธีทำข้อ 1 ท่อพีวีซีและจานโลหะมีประจุชนิดใด

แนวคำตอบ ท่อพีวีซีมีประจุลบ จานโลหะมีประจุบวก

- ในวิธีทำข้อ 2, 3 และ 4 แผ่นโลหะบางมีการกางหรือหุบ และสรุปเกี่ยวกับประจุบนแผ่นโลหะบางได้อย่างไร

แนวคำตอบ ในข้อ 2 แผ่นโลหะบางหุบ เนื่องจากเมื่อนำนิ้วแตะที่จานโลหะอิเล็กตรอนบริเวณแผ่นโลหะจะเคลื่อนที่ไปยังนิ้วมือและร่างกายเสมือนต่อสายดิน บริเวณแผ่นโลหะบางจึงมีประจุลบ น้อยลงจนมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า ในข้อ 3 เมื่อยกนิ้วออกจากจานโลหะ โดยท่อพีวีซียังคงอยู่ที่เดิม แผ่นโลหะบางยังคงหุบเนื่องจากยังคงมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า ในข้อ 4 เมื่อนำท่อพีวีซีออก แผ่นโลหะบางกางออก เนื่องจากอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปบริเวณจานโลหะ ทำให้แกนและแผ่นโลหะบางมีประจุบวกและกางออก

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยใช้ผลการทำกิจกรรมและคำถามท้ายกิจกรรม จนสรุปได้ดังนี้ เมื่อนำท่อพีวีซีมาใกล้จานโลหะมีประจุตรงข้ามกัน หลังจากทำตามขั้นตอนแล้ว อิเล็กโตรสโคปจะมีประจุตรงข้ามกับท่อพีวีซี

จากนั้นครูใช้รูป 13.8 ในหนังสือเรียน ครูนำนักเรียนอภิปรายจนสรุปเกี่ยวกับขั้นตอนและอธิบายการเหนี่ยวนำอิเล็กโตรสโคปแผ่นโลหะให้มีประจุไฟฟ้าได้ดังนี้

- การเหนี่ยวนำให้อิเล็กโตรสโคปมีประจุไฟฟ้ามีขั้นตอน คือ
 1. นำวัตถุที่มีประจุเข้าใกล้จานโลหะอิเล็กโตรสโคป
 2. ต่อสายดินหรือใช้นิ้วมือแตะจานโลหะอิเล็กโตรสโคป
 3. นำสายดินออกหรือดึงมือออก ขณะที่วัตถุมีประจุยังอยู่ใกล้จานโลหะอิเล็กโตรสโคป
 4. นำวัตถุมีประจุออกจากจานโลหะอิเล็กโตรสโคป
- การเหนี่ยวนำอิเล็กโตรสโคปให้มีประจุอธิบายได้ว่า เมื่อนำวัตถุที่มีประจุเข้าใกล้จานโลหะอิเล็กโตรสโคป จะทำให้จานโลหะมีประจุชนิดตรงข้าม เมื่อต่อสายดินหรือใช้นิ้วมือแตะจานโลหะประจุลบจะถ่ายโอนระหว่างอิเล็กโตรสโคปกับสายดินหรือนิ้วมือ ทำให้ประจุบนอิเล็กโตรสโคปที่เหมือนกับประจุนำวัตถุที่มาเหนี่ยวนำหมดไป เมื่อนำสายดินหรือนิ้วมือออก แล้วนำวัตถุมีประจุออกจากจานโลหะ ทำให้บนอิเล็กโตรสโคปเหลือประจุชนิดตรงข้ามกับประจุนำวัตถุที่มาเหนี่ยวนำ

จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาข้อสังเกตในหน้า 90 โดยครูนำอภิปรายจนสรุปได้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.1 และทำแบบฝึกหัด 13.1 โดยครูอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการทำให้วัตถุมีประจุโดยการขัดสีและการเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิต จากการอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.1 และแบบฝึกหัด 13.1
2. ทักษะการสังเกต การทดลอง การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป จากการสรุปผลการทดลอง
3. ทักษะด้านการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล และทักษะด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการทำกิจกรรมร่วมกัน
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความซื่อสัตย์ ความมุ่งมั่นอดทน จากการอภิปรายและการทำกิจกรรมร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.1

1. แห้งแก้วถูกับผ้าไหมและแท่งพีวีซีถูกับผ้าสักหลาด เมื่อแขวนแท่งทั้งสองใกล้กัน จะเกิดอะไรขึ้น เพราะอะไร

แนวคำตอบ จากตาราง 13.1 เมื่อนำแท่งแก้วถูกับผ้าไหม แท่งแก้วจะมีประจุเป็นบวกเพราะมีลำดับการสูญเสียอิเล็กตรอนที่มากกว่า ส่วนแท่งพีวีซีถูกับผ้าสักหลาด แท่งพีวีซีจะมีประจุเป็นลบเพราะมีลำดับการสูญเสียอิเล็กตรอนที่น้อยกว่าผ้าสักหลาด และเมื่อนำแท่งทั้งสองมาแขวนใกล้กันจะเกิดแรงดึงดูดเข้าหากัน

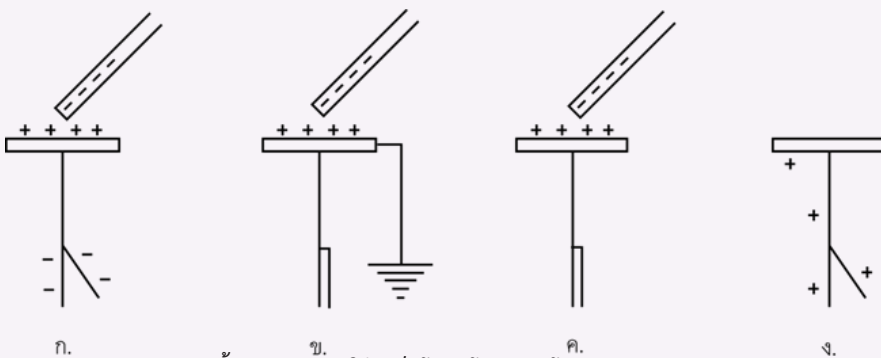
2. จงบอกลักษณะของฉนวนและตัวนำที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อต่าง ๆ ในตาราง

แนวคำตอบ

ความแตกต่างของตัวนำและฉนวน	ฉนวน	ตัวนำ
การเคลื่อนที่ของประจุอิสระ	อิเล็กตรอนอิสระ ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ อย่างอิสระ	อิเล็กตรอนอิสระสามารถ เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ
ความสามารถในการนำไฟฟ้า	ต่ำ	สูง
วิธีการทำให้เกิดประจุ	การขัดสี	การเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิต
ตัวอย่าง	แก้ว, ผ้าไหม	เหล็ก, ตะกั่ว, แกรไฟต์

3. ถ้าต้องการให้อิเล็กโตรสโคปแผ่นโลหะมีประจุบวกโดยการเหนี่ยวนำไฟฟ้า จะต้องทำอย่างไร

แนวคำตอบ ให้นำเอาวัตถุที่มีประจุลบเข้ามาใกล้จานโลหะของอิเล็กโตรสโคป แล้วใช้นิ้วแตะ (ต่อสายดิน) ที่จานโลหะ เมื่อเอานิ้ว (สายดิน) ออก แล้วเอาวัตถุที่มีประจุลบออก จะมีผลทำให้อิเล็กโตรสโคปมีประจุบวก สังเกตได้ คือ แผ่นโลหะของอิเล็กโตรสโคปกางออก ดังรูป ก. ข. ค. และ ง.



รูป ขั้นตอนการให้อิเล็กโตรสโคปแผ่นโลหะมีประจุบวก

4. ถ้าต้องการให้วัตถุที่มีประจุ มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า จะต้องทำอย่างไร

แนวคำตอบ ใช้นิ้วแตะหรือต่อสายดินที่วัตถุนั้น



เฉลยแบบฝึกหัด 13.1

1. A, B, C เป็นแผ่นวัตถุสามชนิดที่ทำให้มีประจุโดยการขัดสี ซึ่งได้ผลดังนี้

A และ B ดึงกัน A และ C ผลักกัน ข้อความต่อไปนี้ ข้อใดไม่ถูกต้อง

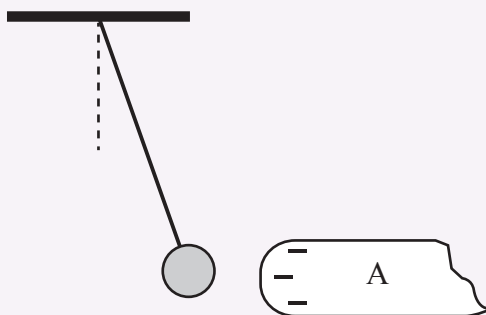
- ก. A และ C มีประจุบวก แต่ B มีประจุลบ
- ข. A และ B มีประจุลบ แต่ C มีประจุบวก
- ค. A และ C มีประจุลบ แต่ B มีประจุบวก
- ง. B และ C มีประจุลบ แต่ A มีประจุบวก

แนวคำตอบ A และ B มีประจุชนิดตรงข้ามกัน A และ C มีประจุชนิดเดียวกัน ข้อ ข. และ ง. จึงไม่ถูกต้อง

2. ถ้ามีลูกฟิฟจำนวน 3 ลูก เมื่อทดลองนำลูกฟิฟเข้าใกล้กันทีละคู่จนครบ 3 คู่ ปรากฏว่าแรงกระทำระหว่างลูกฟิฟทั้ง 3 คู่ เป็นแรงดึงดูด ประจุบนลูกฟิฟแต่ละลูกเป็นชนิดใด

แนวคำตอบ มีประจุบวก 1 ลูก เป็นกลางทางไฟฟ้า 1 ลูก และประจุลบ 1 ลูก ซึ่งวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าสามารถดึงดูดวัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าได้

3. นำวัตถุ A ที่มีประจุลบเข้าใกล้ลูกฟิฟที่มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า ทำให้ลูกฟิฟเบนเข้าหาวัตถุ A ดังรูป ถ้าใช้วัตถุ B ซึ่งมีจำนวนประจุเท่ากับวัตถุ A แต่เป็นประจุต่างชนิดกัน วางแทนที่วัตถุ A ลูกฟิฟจะเบนในลักษณะใด



แนวคำตอบ ลูกฟิฟเบนเข้าหาวัตถุ B ในลักษณะเดิม

13.2 กฎของคูลอมบ์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและคำนวณแรงที่กระทำต่อกันระหว่างจุดประจุ ตามกฎของคูลอมบ์
2. อธิบายและคำนวณแรงไฟฟ้าลัทธิที่กระทำต่อจุดประจุ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ประจุที่ใช้ในกฎของคูลอมบ์เป็นประจुरुปทรงใด ๆ	1. ประจุที่ใช้ในกฎของคูลอมบ์ต้องเป็นจุดประจุเท่านั้น
2. แรงลัทธิที่กระทำต่อประจุหนึ่ง ๆ ในระบบประจุ หาได้จากผลรวมขนาดของแรงไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุนั้น โดยไม่สนใจทิศทาง	2. แรงลัทธิที่กระทำต่อประจุหนึ่ง ๆ ในระบบประจุ หาได้จากผลรวมเวกเตอร์ของแรงไฟฟ้าทุกแรงที่กระทำต่อประจุนั้น

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

รูปภาพเครื่องมือทดลอง หรือ วิดีทัศน์จำลองการทดลองของคูลอมบ์

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 5 และ 6 ของหัวข้อ 13.2 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 13.2 โดยตั้งคำถามว่า แรงระหว่างประจุไฟฟ้า เกี่ยวข้องกับปริมาณใดบ้าง อย่างไรให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระโดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูอาจให้นักเรียนชมวิดีโอที่จำลองการทดลองกฎของคูลอมบ์ แล้วให้นักเรียนศึกษาแรงระหว่างประจุตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า ขนาดของแรงระหว่างประจุไฟฟ้าทั้งสอง มีค่าแปรผันตามผลคูณขนาดประจุแต่ละตัว และแปรผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างประจุทั้งสอง เรียกว่า กฎของคูลอมบ์ ตามสมการ $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$

ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับสภาพยอมในสุญญากาศ จากนั้นใช้รูป 13.9 และ 13.10 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า แรงระหว่างประจุเป็นแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตันและอยู่ในแนวเส้นตรงเชื่อมระหว่างประจุทั้งสอง

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 13.2 โดยครูเป็นผู้แนะนำ จากนั้นให้นักเรียนศึกษาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุใดประจุหนึ่งในระบบหลายประจุ แล้วร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่าแรงไฟฟ้าลัพธ์ที่กระทำต่อประจุนั้นหาได้จากผลรวมแบบเวกเตอร์ของแรงไฟฟ้าทุกแรงที่กระทำต่อประจุนั้น

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 13.3 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ แล้วจึงให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.2 และทำแบบฝึกหัด 13.2 โดยครูอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับแรงไฟฟ้าตามกฎของคูลอมบ์ และผลของแรงไฟฟ้าที่กระทำต่อจุดประจุ จากการอภิปรายร่วมกัน คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.2 และแบบฝึกหัด 13.2
2. ทักษะการใช้จำนวน ในการหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวกับแรงไฟฟ้าตามกฎของคูลอมบ์จากแบบฝึกหัด 13.2
3. ทักษะด้านการสื่อสารสารสนเทศและความร่วมมือ จากการอภิปรายร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.2

1. จงอธิบายกฎของคูลอมบ์

แนวคำตอบ แรงระหว่างประจุไฟฟ้าทั้งสอง มีค่าแปรผันตามขนาดประจุแต่ละตัว และแปรผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างประจุทั้งสอง โดยทิศทางของแรงที่ประจุกระทำต่อกันจะอยู่ในแนวเส้นตรงที่ลากเชื่อมต่อระหว่างประจุนั้น ๆ ถ้าประจุทั้งสองเป็นชนิดเดียวกัน (บวกทั้งคู่หรือลบทั้งคู่) แรงที่กระทำต่อประจุทั้งสองเป็นแรงผลัก และมีทิศออกจากกันในแนวเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างประจุทั้งสอง แต่ถ้าประจุทั้งสองเป็นชนิดละชนิด (บวกและลบ) แรงที่กระทำต่อประจุทั้งสองเป็นแรงดึงดูด และมีทิศทางชี้เข้าหากันในแนวเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างประจุทั้งสอง

2. จงอธิบายแรงระหว่างประจุไฟฟ้า 2 ประจุ $\vec{F}_{12}$ และ $\vec{F}_{21}$ เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

แนวคำตอบ $\vec{F}_{12}$ และ $\vec{F}_{21}$ เป็นแรงตามกฎของคูลอมบ์ โดยแรงที่ประจุ q_2 กระทำต่อประจุ q_1 เรียก $\vec{F}_{12}$ และ แรงที่ประจุ q_1 กระทำต่อประจุ q_2 เรียก $\vec{F}_{21}$ แรงที่ทั้งสองมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน จึงเป็นแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยาตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน



เฉลยแบบฝึกหัด 13.2

1. ลูกพิทสองลูก แต่ละลูกมีประจุ 1.0 ไมโครคูลอมบ์ เมื่อศูนย์กลางของลูกพิทอยู่ห่างกัน 1.0 เมตร ขนาดของแรงระหว่างประจุที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเท่าใด

วิธีทำ จากสมการ
$$F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$$

เมื่อ $Q_1 = Q_2 = 1.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ และ $r = 1.0 \text{ m}$

แทนค่าในสมการ
$$F = \frac{(9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2)(1.0 \times 10^{-6} \text{ C})(1.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(1.0 \text{ m})^2}$$

เพราะฉะนั้น
$$= 9.0 \times 10^{-3} \text{ N}$$

ตอบ ขนาดของแรงระหว่างประจุที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเท่ากับ 9.0×10^{-3} นิวตัน

2. เมื่อวางลูกพิทที่มีประจุห่างกัน 10.0 เซนติเมตร ปรากฏว่ามีแรงกระทำต่อกัน 10^{-6} นิวตัน ถ้าวางลูกพิททั้งสองห่างกัน 2.0 เซนติเมตร จะมีแรงกระทำระหว่างกันเท่าใด

วิธีทำ จากสมการ
$$F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$$

เมื่อ $F = 10^{-6} \text{ N}$ และ $r = 10^{-1} \text{ m}$

แทนค่าในสมการ
$$10^{-6} \text{ N} = \frac{kQ_1Q_2}{(10^{-1} \text{ m})^2}$$

เพราะฉะนั้น
$$kQ_1Q_2 = 10^{-8} \text{ Nm}^2$$

เมื่อวางลูกพิทห่างกัน
$$2.0 \text{ cm} = 2.0 \times 10^{-2} \text{ m}$$

ดังนั้น
$$F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$$

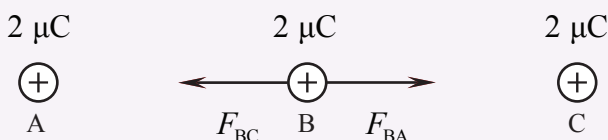
$$= \frac{10^{-8} \text{ Nm}^2}{(2.0 \times 10^{-2} \text{ m})^2}$$

$$= 2.5 \times 10^{-5} \text{ N}$$

ตอบ ลูกพิททั้งสองมีแรงกระทำต่อกันเท่ากับ 2.5×10^{-5} นิวตัน

3. จุดประจุขนาด 2 ไมโครคูลอมบ์ 3 จุดประจุ วางเรียงกันเป็นแนวเส้นตรงห่างกันช่วงละ 30 เซนติเมตร จงหาขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุตรงจุดกึ่งกลาง เมื่อ
- จุดประจุทั้งสามเป็นประจุบวก
 - จุดประจุที่ปลายทั้งสองข้างเป็นประจุบวกและที่ตรงจุดกึ่งกลางเป็นประจุลบ
 - จุดประจุที่ปลายข้างหนึ่งเป็นประจุลบและตรงจุดกึ่งกลางกับปลายอีกข้างหนึ่งเป็นประจุบวก

วิธีทำ ก.



รูปสำหรับปัญหาข้อ 3 ก.

ให้ประจุทั้ง 3 อยู่ที่ตำแหน่ง A B และ C ดังรูป

F_{BA} เป็นแรงเนื่องจากประจุที่ A กระทำต่อประจุที่ B

F_{BC} เป็นแรงเนื่องจากประจุที่ C กระทำต่อประจุที่ B

จากสมการ
$$F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$$

เมื่อ $k = 9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$, $r = 3 \times 10^{-1} \text{ m}$

ประจุที่จุด A, B และ C มีขนาดเท่ากันและเท่ากับ $2 \times 10^{-6} \text{ C}$

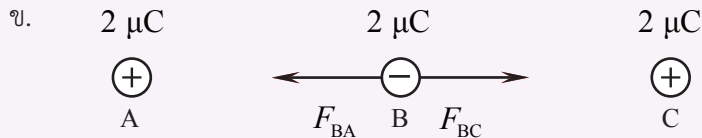
$$F_{BA} = \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2)(2 \times 10^{-6} \text{ C})(2 \times 10^{-6} \text{ C})}{(3 \times 10^{-1})^2 \text{ m}^2}$$

$$= 4 \times 10^{-1} \text{ N}$$

$$F_{BC} = \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2)(2 \times 10^{-6} \text{ C})(2 \times 10^{-6} \text{ C})}{(3 \times 10^{-1})^2 \text{ m}^2}$$

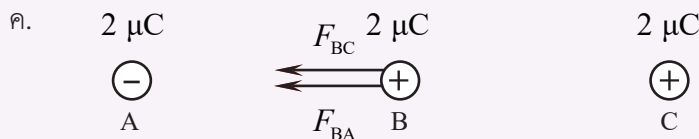
$$= 4 \times 10^{-1} \text{ N}$$

จะเห็นว่าขนาดของแรง F_{BA} เท่ากับขนาดของแรง F_{BC} แต่มีทิศทางตรงข้าม
ดังนั้น แรงลัพธ์ที่กระทำต่อจุดประจุตรงกึ่งกลาง (B) เท่ากับศูนย์



รูป สำหรับปัญหาข้อ 3 ข.

เนื่องจากประจุที่จุด A B และ C ขนาดเท่าเดิม และระยะทาง AB และ BC เท่าเดิม จะได้ขนาดของแรง $F_{AB} = F_{CB}$ แต่ทิศทางตรงข้าม ดังนั้น แรงลัพธ์ที่กระทำต่อจุดประจุตรงจุดกึ่งกลาง (B) เท่ากับศูนย์

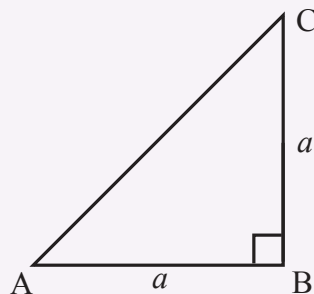


รูป สำหรับปัญหาข้อ 3 ค.

ขนาดของ F_{AB} และ F_{BC} เท่าเดิม แต่มีทิศทางเดียวกัน แรงลัพธ์ที่กระทำที่จุด B จึงเท่ากับ $4 \times 10^{-1}\text{ N} + 4 \times 10^{-1}\text{ N} = 8 \times 10^{-1}\text{ N}$ ทิศทางพุ่งเข้าหาประจุลบ

- ตอบ** ก. ขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อจุดประจุตรงกึ่งกลาง (B) เท่ากับศูนย์
 ข. ขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อจุดประจุตรงกึ่งกลาง (B) เท่ากับศูนย์
 ค. ขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อจุดประจุตรงกึ่งกลาง (B) เท่ากับ 8×10^{-1} นิวตัน มีทิศทางพุ่งเข้าหาประจุลบ

4. ABC เป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก มีด้านประกอบมุมฉากยาวด้านละ a ดังรูป



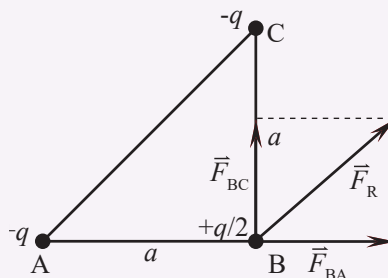
ถ้าที่จุด A, B และ C มีประจุไฟฟ้า $+q$, $+\frac{q}{2}$ และ $-q$ ตามลำดับ ขนาดของแรงที่กระทำต่อประจุที่ B มีค่าเท่าใด

วิธีทำ พิจารณานขนาดของแรงที่กระทำต่อประจุที่ B

$$F_{BA} = \frac{k(q)(q/2)}{a^2} = \frac{kq^2}{2a^2}$$

$$F_{BC} = \frac{k(q)(q/2)}{a^2} = \frac{kq^2}{2a^2}$$

ทิศของ $\vec{F}_{BA}$ และ $\vec{F}_{BC}$ แสดงดังรูป



จะได้

$$\begin{aligned} F_R &= \sqrt{F_{BA}^2 + F_{BC}^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{kq^2}{2a^2}\right)^2 + \left(\frac{kq^2}{2a^2}\right)^2} \\ F_R &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{kq^2}{a^2} \end{aligned}$$

ตอบ ขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าที่ B มีค่า $\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{kq^2}{a^2}$

13.3 สนามไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายสนามไฟฟ้าและเส้นสนามไฟฟ้าของจุดประจุ ตัวนำทรงกลม และแผ่นโลหะคู่ขนาน
2. คำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับสนามไฟฟ้าของจุดประจุ
3. อธิบายและคำนวณสนามไฟฟ้าลัทธิของระบบจุดประจุ
4. อธิบายแรงไฟฟ้าที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุที่อยู่ในสนามไฟฟ้า และคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้อง

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 13.3 โดยนำอภิปรายทบทวนการพิจารณาสนามโน้มถ่วงจากแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อมวล จากนั้นอภิปรายต่อเกี่ยวกับการพิจารณาสนามไฟฟ้าจากแรงไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าตามแนวคิดของไมเคิล ฟาราเดย์ เกี่ยวกับสนาม ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า รอบประจุไฟฟ้าหนึ่งๆ จะมีสนามไฟฟ้าที่แผ่ออกไปทั่วอวกาศ (space) เมื่อประจุไฟฟ้าอีกประจุหนึ่งอยู่ในสนามไฟฟ้าของประจุดังกล่าว ก็จะได้รับรู้ถึงแรงไฟฟ้าที่ประจุนั้น ๆ กระทำได้ โดยครูควรชี้ให้เห็นว่าประจุนำไปวางในสนามไฟฟ้าเป็นประจุที่ถูกแรงกระทำ ส่วนประจุที่ให้สนามไฟฟ้าเป็นประจุออกแรงกระทำ

ครูอาจให้นักเรียนศึกษาข้อสังเกตในหนังสือเรียนหน้า 99 โดยครูคอยให้คำแนะนำ

13.3.1 ความหมายสนามไฟฟ้า

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อวางประจุไฟฟ้าในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าจะมีแรงกระทำต่อประจุทดสอบ โดยแรงมีทิศเดียวกับทิศทางของสนามไฟฟ้าเสมอ	1. เมื่อวางประจุไฟฟ้าในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าจะมีแรงกระทำต่อประจุนั้น ในทิศทางเดียวกันกับสนามไฟฟ้าหรือทิศทางตรงข้ามกับสนามไฟฟ้าก็ได้ขึ้นอยู่กับประจุนั้นเป็นประจุบวกหรือประจุลบ ตามลำดับ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 7 ของหัวข้อ 13.3 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสนามไฟฟ้าตามหนังสือเรียน ครุณาเข้าสู่หัวข้อที่ 13.3.1 โดยนำอภิปรายเกี่ยวกับสนามไฟฟ้า โดยใช้รูป 13.12 ก. และ ข. ในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า หากต้องการทราบว่าบริเวณหนึ่งมีสนามไฟฟ้าหรือไม่ ทำได้โดยการนำประจุ $+q$ ที่เรียกว่า ประจุทดสอบ ไปวาง ณ ตำแหน่งนั้น หากมีแรงไฟฟ้า ($\vec{F}$) กระทำต่อประจุทดสอบ แสดงว่ามีสนามไฟฟ้า ($\vec{E}$) ที่ตำแหน่งนั้นและสนามไฟฟ้าหาได้จากสมการ (13.5)

ครุณาอภิปรายจนสรุปได้ว่า การทดสอบสนามไฟฟ้าควรใช้ประจุทดสอบที่มีค่าประจุน้อย ๆ เพื่อจะไม่ไปเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าในบริเวณที่พิจารณา สนามไฟฟ้าเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศทางเดียวกับทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุบวก ($+q$) ที่ใช้ทดสอบ แต่สนามไฟฟ้ามีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของแรงกระทำต่อประจุลบ ($-q$) ที่วางในสนามไฟฟ้า

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 13.4 โดยครูเป็นผู้แนะนำ

13.3.2 สนามไฟฟ้าของจุดประจุ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ประจุ $-q$ วางอยู่ในสนามไฟฟ้าที่เกิดจากจุดประจุบวก ทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุ $-q$ จะมีทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า	1. ประจุ $-q$ วางอยู่ในสนามไฟฟ้าที่เกิดจากจุดประจุบวกหรือลบก็ตาม ทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุ $-q$ ยังคงมีทิศทางตรงข้ามกับสนามไฟฟ้าเสมอ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 7 และ 8 ของหัวข้อ 13.3 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสนามไฟฟ้าของจุดประจุตามหนังสือเรียน

ครุณาเข้าสู่หัวข้อที่ 13.3.2 โดยตั้งคำถามว่า แรงไฟฟ้าที่กระทำระหว่างสองจุดประจุเกี่ยวข้องกับสนามไฟฟ้าอย่างไร ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า แรงไฟฟ้าที่กระทำระหว่างสองจุดประจุเกิดจากจุดประจุหนึ่งอยู่ในสนามไฟฟ้าของอีกจุดประจุหนึ่ง

ครุณาอภิปรายเกี่ยวกับการหาสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ q ที่ตำแหน่งห่างจากจุดประจุต้นกำเนิด Q เป็นระยะ r ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนได้สมการ (13.6) จากนั้นครุณานักเรียนอภิปรายต่อจนสรุปได้ว่า ขนาดสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุต้นกำเนิด Q แปรผันตรงกับค่าประจุไฟฟ้า Q และแปรผกผันกับกำลังสองของระยะห่างจากจุดประจุต้นกำเนิด Q โดยสนามไฟฟ้ามีค่ามากเมื่ออยู่ใกล้ประจุต้นกำเนิด

และมีค่าลดลงเมื่ออยู่ไกลออกไป สามารถเขียนกราฟระหว่างสนามไฟฟ้ากับระยะห่างจากประจุต้นกำเนิดได้ดังรูป 13.13 ในหนังสือเรียน

ครูตั้งคำถามว่า ทิศทางของสนามไฟฟ้าจากประจุต้นกำเนิด $+Q$ และ $-Q$ เป็นอย่างไร ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า สนามไฟฟ้าของประจุต้นกำเนิดมีทิศทางออกจากประจุต้นกำเนิดที่เป็นประจุบวกและเข้าหาประจุต้นกำเนิดที่เป็นประจุลบดังรูป 13.14 ในหนังสือเรียน

ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า เมื่อมีประจุ $+q$ วางอยู่ในสนามไฟฟ้า ทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุ $+q$ จะมีทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า แต่ถ้าให้ประจุ $-q$ อยู่ในสนามไฟฟ้างดกล่าว ทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุ $-q$ จะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของสนามไฟฟ้า จากนั้นให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 13.5 โดยครูเป็นผู้แนะนำ

13.3.3 สนามไฟฟ้าของระบบประจุ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. สนามไฟฟ้าลัพธ์ที่ตำแหน่งหนึ่ง ๆ ในระบบประจุหาได้จากผลรวมขนาดของสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุนั้น โดยไม่สนใจทิศทาง	1. สนามไฟฟ้าเป็นปริมาณเวกเตอร์ สนามไฟฟ้าลัพธ์ที่ตำแหน่งหนึ่ง ๆ ในระบบประจุ หาได้จากผลรวมแบบเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุแต่ละประจุ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 9 ของหัวข้อ 13.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 13.3.3 โดยยกสถานการณ์ระบบประจุ แล้วให้นักเรียนอภิปรายการหาสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งใด ๆ ที่เกิดจากระบบประจุ จนสรุปได้ว่า สนามไฟฟ้าลัพธ์ที่ตำแหน่งหนึ่ง ๆ มีค่าเท่ากับผลรวมแบบเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าแต่ละจุดประจุ ตามสมการ (13.7) แล้วให้นักเรียนศึกษาการหาสนามไฟฟ้าของระบบสองประจุจากรูป 13.15 ในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 13.6 และ 13.7 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

13.3.4 เส้นสนามไฟฟ้า

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เส้นสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งหนึ่ง แสดงทั้งขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งนั้น	1. เส้นสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งหนึ่ง แสดงเฉพาะทิศทางของสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งนั้น ส่วนขนาดของสนามไฟฟ้าพิจารณาจากความหนาแน่นของเส้นสนามไฟฟ้าในบริเวณที่พิจารณา

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

กรณีครูสาธิตการจำลองสนามไฟฟ้าเตรียมอุปกรณ์ ดังนี้

- เกล็ดต่างทึบที่บดให้ละเอียดพอควร
- กระดาษกรองขนาด 15×15 เซนติเมตร² ชุบน้ำแล้วผึ่งให้พอหมาดๆ หรือใช้กระบอกฉีดยาน้ำฉีดให้ทั่วแผ่น
- เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูง
- แผ่นกระจกสำหรับรองแผ่นกระดาษกรอง
- ขั้วไฟฟ้า 3 แบบ ได้แก่ ขั้วไฟฟ้าโลหะปลายแหลม 1 คู่ ขั้วไฟฟ้าแผ่นโลหะคู่ขนาน 2 แผ่น ขั้วไฟฟ้าแผ่นโลหะตัวนำวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน 2 วง

กิจกรรมสาธิต การจำลองเส้นสนามไฟฟ้าโดยใช้ต่างทึบ

จุดประสงค์

1. สังเกตการแผ่กระจายของผงต่างทึบบริเวณโลหะปลายแหลม แผ่นโลหะคู่ขนาน และแผ่นโลหะวงกลมสองอันวางซ้อนกัน เพื่อจำลองเส้นสนามไฟฟ้า

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|---|-----------|
| 1. เกล็ดต่างทึบที่บดให้ละเอียด | 1 ชุด |
| 2. กระดาษกรองเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร | 3 แผ่น |
| 3. เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูง | 1 เครื่อง |

- | | | |
|---|---|-----|
| 4. แผ่นกระจกสำหรับรองแผ่นกระดาษกรอง | 1 | อัน |
| 5. ขั้วไฟฟ้าโลหะปลายแหลม | 1 | คู่ |
| 6. ขั้วไฟฟ้าแผ่นโลหะคู่ขนาน | 2 | อัน |
| 7. ขั้วไฟฟ้าแผ่นตัวนำวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน | 2 | อัน |

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. ครูควรฝึกการโรยผงต่างทับทมให้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เมื่อทดลองแล้วจะให้เห็นเส้นสนามไฟฟ้าได้ชัด
2. เมื่อโรยผงต่างทับทมลงบนกระดาษกรอง ในตอนแรกจะมองไม่ชัด ถ้าทิ้งไว้ประมาณ 1 – 2 นาที จะเห็นแนวเส้นชัด แต่ถ้าทิ้งไว้อีกระยะหนึ่ง ผงต่างทับทมจะซึมเลอะมองเห็นเส้นไม่ชัด
3. ในขณะที่กำลังสาธิต อย่าจับเครื่องจ่ายไฟตรงโวลต์สูง

วิธีการสาธิต

เส้นสนามไฟฟ้าจากโลหะปลายแหลม

1. ก่อนการสาธิตควรเตือนนักเรียนว่า **อย่าแตะขั้วไฟฟ้า ขณะเครื่องจ่ายไฟตรงโวลต์สูงทำงาน** เพราะจะเป็นอันตรายได้
2. ในการสาธิตนั้น ตอนแรกเป็นการหาสนามไฟฟ้าโลหะปลายแหลม โดยใช้ขั้วไฟฟ้าโลหะปลายแหลมวางลงบนกระดาษกรองที่เปียกน้ำหมาด ๆ ที่วางไว้บนแผ่นกระจกราบ โดยให้ส่วนปลายแหลมของขั้วทั้งสองห่างกันประมาณ 3 – 5 เซนติเมตร ดังรูป 13.16 ในหนังสือเรียน
3. เสียบปลั๊กให้เครื่องจ่ายไฟตรงโวลต์สูงทำงาน แล้วโรยผงต่างทับทมที่เตรียมไว้ให้กระจายอย่างสม่ำเสมอรอบขั้วไฟฟ้า ครูแนะนำให้นักเรียนสังเกตการแผ่กระจายของผงสีม่วงขณะที่โรยลงไปในตอนแรก เมื่อเวลาผ่านไป 1 – 2 นาที ขณะที่เสียบปลั๊กอยู่
4. ให้นักเรียนเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นบนกระดาษกรองกับรูป 13.17 ในหนังสือเรียน

เส้นสนามไฟฟ้าจากแผ่นโลหะคู่ขนาน

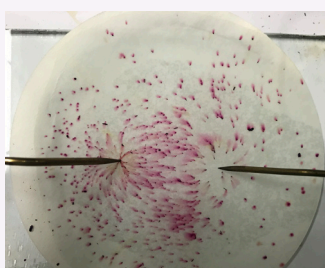
1. เปลี่ยนขั้วไฟฟ้าจากโลหะปลายแหลมเป็นแผ่นโลหะคู่ขนาน เพื่อสาธิตการแสดงเส้นสนามไฟฟ้าที่เกิดจากประจุต่างชนิดกันของแผ่นตัวนำที่วางขนานกัน โดยวางแผ่นกระดาษกรองที่เปียกน้ำหมาด ๆ ไว้บนแผ่นกระจกราบ จัดกระดาษให้เรียบ

2. วางแผ่นโลหะคู่ขนานทั้งสองให้ห่างกันประมาณ 5 เซนติเมตร ให้ตอนล่างของแผ่นโลหะทั้งสองทับบนกระดาษกรองให้แนบสนิท แล้วต่อแผ่นโลหะทั้งสองเข้ากับเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูง จากนั้นเปิดเครื่องจ่ายไฟฟ้าตรงโวลต์สูงให้ทำงาน และโรยเกล็ดต่างัฒบิฑให้สัฒาเสมอระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง
3. ให้นักเรียนสังเกตผลที่เกิดขึ้นบนแผ่นกระดาษกรองทันทีที่โรยผงต่างัฒบิฑ และเมื่อเวลาผ่านไป 1 – 2 นาที โดยเปรียบเทียบกับรูป 13.19 ก. ในหนังสือเรียน

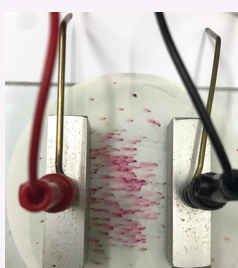
เส้นสนามไฟฟ้าจากแผ่นโลหะวงกลม

1. เปลี่ยนขั้วไฟฟ้าจากแผ่นโลหะคู่ขนานเป็นแผ่นโลหะวงกลม เพื่อสาธิตเส้นสนามไฟฟ้าของแผ่นโลหะวงกลม โดยใช้วงกลมโลหะขนาดต่างกัน 2 อันนั้น ให้วางวงกลมทั้งสองลงบนกระดาษกรองที่เปียกน้ำหมาด ๆ ที่วางอยู่บนแผ่นกระดาษ โดยให้ศูนย์กลางของวงกลมทั้งสองอยู่ที่เดียวกัน ต้องให้ตอนล่างของวงกลมโลหะแตะกระดาษกรองให้แนบสนิท ใช้สายไฟที่ปลายข้างหนึ่งเป็นปากคิฑ คิฑวงแหวนโลหะทั้งสองไว้ แล้วนำไปต่อกับเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูง เมื่อเสียบปลั๊กให้ทำงาน โรยผงต่างัฒบิฑให้กระจายสัฒาเสมอระหว่างวงแหวนโลหะทั้งสองและในที่ว่างภายในวงแหวนเล็ก
2. ให้นักเรียนสังเกตผลที่เกิดขึ้นบนแผ่นกระดาษกรองเมื่อเวลาผ่านไป 1 – 2 นาที โดยเปรียบเทียบกับรูป 13.22 ก. ในหนังสือเรียน

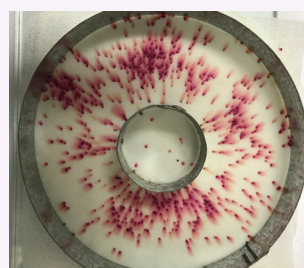
ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม



ก. โลหะปลายแหลม



ข. แผ่นโลหะคู่ขนาน



ค. แผ่นโลหะวงกลม

รูป การแผ่กระจายของต่างัฒบิฑ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 7 ของหัวข้อ 13.3 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเส้นสนามไฟฟ้า

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 13.3.4 โดยนำอภิปรายเกี่ยวกับเส้นสนามไฟฟ้า จนสรุปได้ว่า เส้นต่อเนื่องที่แสดงทิศทางสนามไฟฟ้าในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า เรียกว่า เส้นสนามไฟฟ้า (electric field line)

ครูอาจสาธิตลักษณะเส้นสนามไฟฟ้าจากขั้วโลหะปลายแหลมด้วยต่างแท็บทิมหรือยกสถานการณ์ดังกล่าวตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการแผ่กระจายของผงต่างแท็บทิมบนกระดาษกรอง จนสรุปได้ว่า เมื่อผงต่างแท็บทิมละลายน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนบวกที่ไม่มีสี (K^+) และเป็นไอออนลบที่มีสีม่วง (MnO_4^-) เมื่อเวลาผ่านไปจะปรากฏเส้นสีม่วงแผ่กระจายเป็นแนวจากขั้วลบไปยังขั้วบวก โดยแนวเส้นสีม่วงมีลักษณะดังรูป 13.17 ในหนังสือเรียน และสามารถเขียนแสดงลักษณะเส้นสนามไฟฟ้าจากจุดประจุสองจุดประจุที่ต่างกันดังรูป 13.18 ในหนังสือเรียน

ครูอาจสาธิตลักษณะเส้นสนามไฟฟ้าจากขั้วแผ่นโลหะคู่ขนานด้วยต่างแท็บทิมหรือยกสถานการณ์ดังกล่าวตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการแผ่กระจายของผงต่างแท็บทิมบนกระดาษกรอง จนสรุปได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไปจะปรากฏเส้นสีม่วงแผ่กระจายเป็นแนวจากแผ่นโลหะขั้วลบไปยังขั้วบวก โดยแนวเส้นสีม่วงมีลักษณะดังรูป 13.19 ก. ในหนังสือเรียน และสามารถเขียนแสดงลักษณะเส้นสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนานดังรูป 13.19 ข. ในหนังสือเรียน

ครูนำอภิปรายโดยใช้รูป 13.14 ในหนังสือเรียนเกี่ยวกับเส้นสนามไฟฟ้า จนสรุปได้ว่า เส้นสนามไฟฟ้าของจุดประจุมีทิศทางพุ่งออกจากประจุบวกตามแนวรัศมีดังรูป 13.20 ก. ในหนังสือเรียน และพุ่งเข้าหาประจุลบตามแนวรัศมีดังรูป 13.20 ข. ในหนังสือเรียน ซึ่งหากพิจารณาาระบบประจุสองประจุต่างชนิดกัน เส้นสนามไฟฟ้าจะพุ่งออกจากประจุบวกเข้าหาประจุลบดังรูป 13.18 ในหนังสือเรียน ครูตั้งคำถามว่า ณ ตำแหน่งหนึ่ง ๆ มีเส้นสนามไฟฟ้ากี่เส้นและตัดกันได้หรือไม่ ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า เส้นสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งหนึ่ง ๆ มีเส้นสนามไฟฟ้าผ่านได้เส้นหนึ่ง นั่นคือ เส้นสนามไฟฟ้าจะไม่ตัดกัน

ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับความหนาแน่นเส้นสนามไฟฟ้า จนสรุปได้ว่า ความหนาแน่นเส้นสนามไฟฟ้าหมายถึง จำนวนเส้นสนามไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า และถามต่อว่า ความหนาแน่นเส้นสนามไฟฟ้าสัมพันธ์กับขนาดสนามไฟฟ้าอย่างไร ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า ความหนาแน่นของเส้นสนามไฟฟ้าในบริเวณหนึ่ง ๆ แสดงถึงขนาดสนามไฟฟ้า ณ บริเวณนั้น ๆ โดยความหนาแน่นของเส้นสนามไฟฟ้าบริเวณใดมาก แสดงถึงขนาดสนามไฟฟ้าบริเวณนั้นมีค่ามาก

ครูตั้งคำถามว่า เส้นสนามไฟฟ้าของระบบสองประจุที่เหมือนกันจะมีลักษณะเป็นอย่างไร จากนั้นครูนำอภิปรายโดยใช้รูป 13.21 ในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า กรณีระบบสองประจุเป็นประจุบวกเหมือนกัน เส้นสนามไฟฟ้าจะออกจากประจุบวกทั้งสองประจุ โดยโค้งแยกออกจากกันทำให้เกิดตำแหน่งที่ไม่มีเส้นสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งนั้นสนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ เรียกว่า จุดสะเทิน

ครูอาจสาธิตลักษณะเส้นสนามไฟฟ้าจากขั้วแผ่นโลหะวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกันสองวง ด้วยต่างแท็บทิมหรือยกสถานการณ์ดังกล่าวตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการแผ่กระจายของผงต่างแท็บทิมบนกระดาษกรอง จนสรุปได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไปภายในของวงกลมวงในไม่มีการแผ่กระจายของผงสีม่วงออกเป็นเส้น ๆ แสดงว่าภายในตัวนำวงกลมวงในไม่มีสนามไฟฟ้า ส่วนในบริเวณระหว่างวงกลมทั้งสองมีการแผ่กระจายของผงสีม่วงตามแนวรัศมี โดยแนวเส้นสีม่วงดังกล่าวมีลักษณะดังรูป 13.22 ก. ในหนังสือเรียน แสดงลักษณะเส้นสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกันสองวงดังรูป 13.22 ข. ในหนังสือเรียน

ครูตั้งคำถามว่า ถ้าตัวนำวงกลมที่มีประจุมีเพียงวงเดียวจะพิจารณาสนามไฟฟ้าได้อย่างไร ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า สนามไฟฟ้าของตัวนำวงกลมวงเดียวพิจารณาได้ทำนองเดียวกับตัวนำวงกลมสองวงวางซ้อนกัน โดยที่ตัวนำวงกลมวงนอกมีรัศมีมากกว่าวงในมาก ๆ สนามไฟฟ้าภายในและภายนอกตัวนำวงในยังมีลักษณะเช่นเดิม ซึ่งถือว่าเป็นลักษณะสนามไฟฟ้าของตัวนำวงกลมใด ๆ ที่มีประจุไฟฟ้า

ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมที่มีประจุไฟฟ้า จนสรุปได้ว่า ตัวนำทรงกลมจะมีประจุไฟฟ้ากระจายอย่างสม่ำเสมอบนผิวตัวนำทรงกลมและมีสนามไฟฟ้าภายในตัวนำเป็นศูนย์ สนามไฟฟ้าบนตัวนำมีทิศทางตั้งฉากกับผิวตัวนำนั้น และต่อเนื่องออกไปจากผิวในแนวรัศมีทรงกลม ดังรูป 13.23 ในหนังสือเรียน และสนามไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมที่มีประจุ Q ที่ตำแหน่งใด ๆ ตั้งแต่ผิวตัวนำทรงกลมออกไป ซึ่งห่างจากจุดศูนย์กลางตัวนำทรงกลมเป็นระยะ r หาได้จากสมการ $E = \frac{kQ}{r^2}$

13.3.5 แรงกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุในสนามไฟฟ้า

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 10 ของหัวข้อ 13.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 13.3.5 โดยตั้งคำถามว่าหากนำประจุ $+q$ วางในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ $\vec{E}$ จะมีแรงใดบ้างกระทำต่อประจุนี้ ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า มีแรง 2 แรงกระทำต่อประจุ ได้แก่ แรงไฟฟ้าและแรงโน้มถ่วง ดังรูป 13.24 ในหนังสือเรียน จะเห็นว่า ในกรณีมวลของประจุไฟฟ้ามีค่าน้อยมาก จนทำให้แรงโน้มถ่วงมีค่าน้อยกว่าแรงไฟฟ้ามาก ๆ จึงไม่พิจารณาแรงโน้มถ่วง โดยพิจารณาเพียงแรงไฟฟ้านำไปหาความเร่งได้จากสมการ (13.8) จากนั้นครูนำอภิปรายโดยใช้รูป 13.25 ในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ความเร่งมีค่าคงตัว ส่วนทิศทางของความเร่งจะมีทิศเดียวกับสนามไฟฟ้าหรือมีทิศทางตรงข้ามกับสนามไฟฟ้าขึ้นกับชนิดของประจุไฟฟ้าเป็นบวกหรือลบ ตามลำดับ จากนั้นให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 13.8 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.3 และทำแบบฝึกหัด 13.3 โดยครูอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับแรงไฟฟ้าที่กระทำกับอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าที่อยู่ในสนามไฟฟ้า สนามไฟฟ้าของจุดประจุและระบบจุดประจุ และเส้นสนามไฟฟ้า จากการอภิปรายร่วมกัน คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.3 และแบบฝึกหัด 13.3
2. ทักษะการใช้จำนวน ในการหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับแรงไฟฟ้าตามกฎของคูลอมบ์จากแบบฝึกหัด 13.3 ทักษะด้านการสังเกต การใช้จำนวน การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป จากการสังเกตกิจกรรมการจำลองเส้นสนามไฟฟ้าและการอภิปรายร่วมกัน ด้านการสื่อสารสารสนเทศ ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการอภิปรายร่วมกัน
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น และด้านความรอบคอบ จากการอภิปรายร่วมกันและ การตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.3 และทำแบบฝึกหัด 13.3



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.3

1. สมการหาสนามไฟฟ้า $E = \frac{F}{q}$ และ $E = \frac{kQ}{r^2}$ สองสมการใช้ต่างกันอย่างไร

แนวคำตอบ

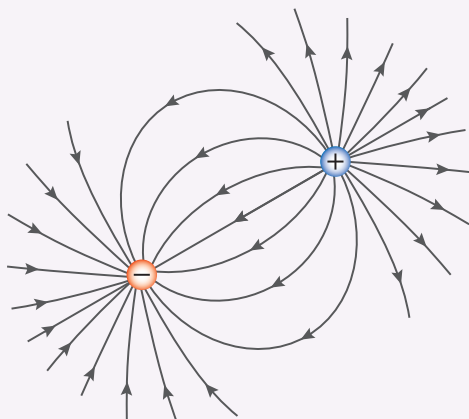
สมการ $E = \frac{F}{q}$ ใช้หาสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งหนึ่ง ๆ ($\vec{E}$) โดยการนำประจุทดสอบ $+q$ ไปวางบริเวณนั้น โดยไม่สนใจประจุดันกำเนิดสนามไฟฟ้า $\vec{E}$

สมการ $E = \frac{kQ}{r^2}$ ใช้หาสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งเนื่องจากประจุดันกำเนิด Q ที่ตำแหน่งหนึ่ง ๆ ห่างจากประจุดันเป็นระยะทาง r

2. จงเขียนเส้นสนามไฟฟ้าของจุดประจุที่วาง ดังรูป



แนวคำตอบ



3. เส้นสนามไฟฟ้าเป็นเส้นตรงขนานกัน แสดงว่าสนามไฟฟ้ามีขนาดและทิศทางเป็นอย่างไร และถ้ามีจุดประจุไฟฟ้าอยู่ในบริเวณนั้น แรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้านั้น จะมีค่าคงตัวหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ เส้นสนามไฟฟ้าแสดงสนามไฟฟ้าบริเวณระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนานเป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ เนื่องจากเส้นที่เขียนแทนเส้นสนามไฟฟ้ามีขนาดและระยะห่างเท่ากัน ซึ่งแสดงว่าสนามไฟฟ้ามีขนาดคงตัวและทิศทางเดียวกัน หากมีประจุไฟฟ้าในบริเวณนี้จะมีแรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุที่มีค่าคงตัว ซึ่งมีเพียงแรงเดียว คือ แรงไฟฟ้า ซึ่งมีค่า qE (ไม่คิดแรงโน้มถ่วง)



เฉลยแบบฝึกหัด 13.3

1. ประจุลบขนาด 2.5 ไมโครคูลอมบ์ อยู่ในสนามไฟฟ้า เกิดแรงกระทำต่อประจุนี้ขนาด 1.2×10^5 นิวตัน ทิศทางไปทางซ้าย ขนาดของสนามไฟฟ้ามีค่าเท่าใด และมีทิศทางใด

วิธีทำ จากสมการ
$$E = \frac{F}{q}$$

เมื่อ F คือ ขนาดแรงไฟฟ้า $= 1.2 \times 10^5 \text{ N}$

q คือ ขนาดของประจุไฟฟ้า $= 2.5 \times 10^{-6} \text{ C}$

ดังนั้น
$$E = \frac{1.2 \times 10^5 \text{ N}}{2.5 \times 10^{-6} \text{ C}}$$

$$E = 4.8 \times 10^{10} \text{ N/C}$$

ตอบ สนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 4.8×10^{10} นิวตันต่อคูลอมบ์ มีทิศทางไปทางขวา

2. ที่ตำแหน่งซึ่งห่างจากจุดประจุเป็นระยะ 2.0 เซนติเมตร มีขนาดของสนามไฟฟ้าเป็น 1.0×10^5 นิวตันต่อคูลอมบ์ จงหาขนาดของจุดประจุสนามไฟฟ้าที่ห่างจากจุดประจุนี้ 1.0 เซนติเมตร

วิธีทำ จากสมการ
$$E = \frac{kQ}{r^2}$$

เมื่อ E คือ ขนาดของสนามไฟฟ้า = 1.0×10^5 N/C

$$k = 9.0 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2$$

Q คือ ขนาดของประจุไฟฟ้าที่ทำให้มีสนามไฟฟ้า E

r คือ ระยะทางระยะห่างจากจุดประจุ = 2.0×10^{-2} m

ดังนั้น
$$1.0 \times 10^5 \text{ N/C} = \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2) Q}{(2.0 \times 10^{-2})^2 \text{ m}^2}$$

$$Q = \frac{1.0 \times 10^5 \times 4.0 \times 10^{-4}}{9.0 \times 10^9} \text{ C}$$

โจทย์ให้หา E เมื่อตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ห่างจากประจุ = 1.0×10^{-2} m

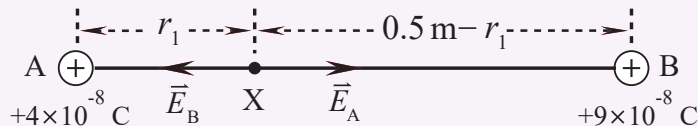
$$E = \frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2) \left(\frac{1.0 \times 10^5 \times 4.0 \times 10^{-4} \text{ C}}{9.0 \times 10^9} \right)}{(1.0 \times 10^{-2})^2 \text{ m}^2}$$

$$= 4.0 \times 10^5 \text{ N/C}$$

ตอบ ณ ตำแหน่งที่ห่างจากประจุนี้ 1.0 เซนติเมตร สนามไฟฟ้ามีค่า 4.0×10^5 นิวตันต่อคูลอมบ์

3. จุดประจุ $+4 \times 10^{-8}$ คูลอมบ์ และ $+9 \times 10^{-8}$ คูลอมบ์ อยู่ห่างกัน 0.5 เมตร จงหาตำแหน่งที่สนามไฟฟ้าลัพธ์มีค่าเป็นศูนย์จะอยู่ตำแหน่งใด

วิธีทำ



รูปสำหรับปัญหาข้อ 3 แสดงทิศทางของสนามไฟฟ้า

สมมติให้สนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ ณ ตำแหน่ง X ซึ่งอยู่ห่างจากจุด A เป็นระยะ r_1 และระยะห่างระหว่างจุด X และ B เป็นระยะ $0.5 \text{ m} - r$

$\vec{E}_A$ คือ สนามไฟฟ้าที่ x เนื่องจากประจุที่ A

$\vec{E}_B$ คือ สนามไฟฟ้าที่ x เนื่องจากประจุที่ B

โจทย์กำหนดให้ $\vec{E}_A + \vec{E}_B = 0$ นั่นคือ ขนาดของ $E_A = E_B$ แต่มีทิศทางตรงกันข้าม

จากสมการ
$$E = \frac{kQ}{r^2}$$

ได้
$$E_A = k \frac{(4 \times 10^{-8} \text{ C})}{r_1^2}$$

ได้
$$E_B = k \frac{(9.0 \times 10^{-8} \text{ C})}{(0.5 \text{ m} - r_1)^2}$$

แต่
$$E_A = E_B$$

ดังนั้น
$$k \frac{(4 \times 10^{-8} \text{ C})}{r_1^2} = k \frac{(9.0 \times 10^{-8} \text{ C})}{(0.5 \text{ m} - r_1)^2}$$

$$\frac{(0.5 \text{ m} - r_1)^2}{r_1^2} = \frac{9}{4}$$

$$\frac{0.5 \text{ m} - r_1}{r_1} = \frac{3}{2}$$

$$\begin{aligned} r_1 &= \frac{1}{5} \text{ m} \\ &= 0.2 \text{ m} \end{aligned}$$

ตอบ ตำแหน่งบนเส้นตรงที่มีขนาดสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์ อยู่ห่างจากจุดประจุ $+4 \times 10^{-8}$ คูลอมบ์ เป็นระยะทาง 0.2 เมตร

13.4 ศักย์ไฟฟ้าและความต่างศักย์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายพลังงานศักย์ไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า และคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้อง
2. อธิบายความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่งใด ๆ และคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้อง

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 11 ของหัวข้อ 13.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 13.4 โดยครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์โน้มถ่วงเนื่องจากงานของแรงโน้มถ่วง จนสรุปได้ว่า งานของแรงโน้มถ่วงเท่ากับพลังงานศักย์โน้มถ่วงของวัตถุที่ลดลง และเท่ากับพลังงานจลน์ของวัตถุที่เพิ่มขึ้น ตามสมการ (13.9) แล้วอภิปรายต่อเกี่ยวกับงานของแรงไฟฟ้า และการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ไฟฟ้าของประจุ $+q$ ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอเนื่องจากงานของแรงไฟฟ้า จนสรุปได้ว่า งานของแรงไฟฟ้าเป็นไปตามสมการ (13.10) และงานของแรงไฟฟ้าเท่ากับพลังงานศักย์ไฟฟ้าของประจุ $+q$ ที่ลดลงเท่ากับพลังงานจลน์ของประจุ $+q$ ที่เพิ่มขึ้นตามสมการ (13.11) ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงข้างต้นเป็นไปตามกฎอนุรักษ์พลังงานกลตามสมการ (13.12)

ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับศักย์ไฟฟ้า จนสรุปได้ว่า เมื่อประจุ q อยู่ในสนามไฟฟ้า จะเกิดพลังงานศักย์ไฟฟ้า (U) โดยพลังงานศักย์ไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยประจุ ณ ตำแหน่งนั้น เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้า (V) ตามสมการ $V = \frac{U}{q}$ จากนั้น ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับความต่างศักย์และการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ไฟฟ้า โดยใช้สมการ (13.11) และความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับพลังงานศักย์ไฟฟ้าจนสรุปได้เป็นสมการ (13.13) และ (13.14) ดังนี้

จากสมการ (13.11) และ $V = \frac{U}{q}$ พิจารณาได้ว่า

$$\begin{aligned} W_{A \rightarrow B} &= -\Delta E_p \\ &= -\Delta U \\ &= q(-\Delta V) \end{aligned}$$

นั่นคือ

$$\begin{aligned} V_B - V_A &= -\frac{W_{A \rightarrow B}}{q} \\ &= -\frac{q(-\Delta V)}{q} \\ &= \Delta V \end{aligned}$$

และ

$$V_B - V_A = \frac{\Delta U}{q} = \Delta V$$

โดย $V_B - V_A$ หมายถึง ความต่างศักย์ระหว่างตำแหน่ง B เทียบกับตำแหน่ง A แทนด้วย ΔV

13.4.1 ความต่างศักย์เนื่องจากสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ระยะห่าง d ในสมการ $V_B - V_A = -Ed$ คือ ระยะห่างที่วัดในแนวเส้นตรงระหว่างตำแหน่ง A กับตำแหน่ง B ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ	1. ระยะห่าง d ในสมการ $V_B - V_A = -Ed$ คือ ระยะห่างระหว่างตำแหน่ง A กับตำแหน่ง B ที่วัดในแนวขนานกับสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 11 และ 12 ของหัวข้อ 13.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 13.4.1 โดยยกสถานการณ์ประจุไฟฟ้า $+q$ ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ $\vec{E}$ ดังรูป 13.28 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปราย จนสรุปได้ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอตามสมการ (13.15) ควรให้นักเรียนศึกษาข้อสังเกตในหนังสือเรียนหน้า 117 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำเพิ่มเติม

ครูเสริมความเข้าใจโดยยกตัวอย่างแผ่นโลหะคู่ขนานดังรูป 13.29 ในหนังสือเรียน ให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย จนสรุปได้ตามสมการ (13.16)

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 118 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

ถ้าใช้แรงภายนอกเคลื่อนที่ประจุ $+q$ ในทิศทางตรงข้ามกับสนามไฟฟ้า พลังงานศักย์ไฟฟ้าของประจุ $+q$ มีค่าเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ สนามไฟฟ้ามีทิศทางจากตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ หรือชี้ไปทางตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าลดลง ดังนั้นถ้าใช้แรงภายนอกเคลื่อนที่ประจุไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูง พลังงานศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น

จากนั้นให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 13.9 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

13.4.2 ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ตำแหน่งที่อยู่ใกล้ประจุนำเน็ดจะมีศักย์ไฟฟ้ามากกว่าตำแหน่งที่อยู่ไกลกว่า	1. ตำแหน่งที่อยู่ใกล้ประจุนำเน็ดจะมีศักย์ไฟฟ้ามากกว่าหรือน้อยกว่าตำแหน่งที่อยู่ไกลกว่าก็ได้ ขึ้นกับชนิดของประจุนำเน็ดเป็นประจุบวกหรือลบ ตามลำดับ
2. ประจุไฟฟ้าจะถูกแรงไฟฟ้าทำให้เคลื่อนที่ในทิศทางจากศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าไปยังศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าเสมอ	2. ประจุไฟฟ้าจะถูกแรงไฟฟ้าทำให้เคลื่อนที่ในทิศทางจากศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าไปยังศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า หรือจากศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าไปสูงกว่าก็ได้ ขึ้นกับชนิดของประจุนำเน็ดเป็นประจุบวกหรือลบ ตามลำดับ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 11 และ 12 ของหัวข้อ 13.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 13.4.2 โดยยกสถานการณ์การเคลื่อนที่ประจุไฟฟ้า $+q$ ภายในสนามไฟฟ้าของประจุนำเน็ด $+Q$ โดยใช้รูป 13.30 ในหนังสือเรียน นำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับงานที่เกิดกับประจุ $+q$ เนื่องจากแรงไฟฟ้าของสนามไฟฟ้าจากประจุนำเน็ด $+Q$ จนสรุปได้ว่า เป็นงานของแรงไม่คงตัว ซึ่งหาได้โดยแบ่งการทำงานเป็นช่วงเล็ก ๆ ที่สามารถพิจารณาได้ว่าแรงในช่วงเล็ก ๆ นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน จนถือว่าแรงคงตัว และผลรวมของงานย่อย ๆ จะเท่ากับงานทั้งหมด เมื่อพิจารณากราฟของแรงไฟฟ้ากับระยะห่างจากประจุนำเน็ดดังรูป 13.31 ในหนังสือเรียน สามารถหางานได้โดยแบ่งพื้นที่ใต้กราฟเป็นพื้นที่เล็ก ๆ แทนงานย่อย งานของแรงไฟฟ้าที่เกิดจากการเคลื่อนที่ประจุเท่ากับผลรวมพื้นที่ใต้กราฟเล็ก ๆ

ครูนำนักเรียนอภิปรายเพื่อหางานของแรงไฟฟ้าไม่คงตัวจากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่ง ด้วยวิธีแบ่งพื้นที่ใต้กราฟเป็นพื้นที่เล็ก ๆ โดยใช้รูป 13.31 และ 13.32 ในหนังสือเรียนตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ดังนี้

- การหางานของแรงไฟฟ้าไม่คงตัวได้ตามสมการ (13.17) (13.18)
- ความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่งเนื่องจากจุดประจุ Q ตามสมการ (13.19)
- ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งห่างจากจุดประจุ Q เป็นระยะ r ตามสมการ (13.20)

ครูตั้งคำถามว่า ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่าง ๆ จากจุดประจุต้นกำเนิดที่ตำแหน่งต่างๆ เปลี่ยนแปลงอย่างไร ครูนำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า กรณีจุดประจุ Q เป็นประจุบวก ศักย์ไฟฟ้ามีค่ามากเมื่ออยู่ใกล้จุดประจุ แต่ขนาดลดลงเมื่ออยู่ไกลออกไปจากจุดประจุ โดยศักย์ไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ที่ระยะอนันต์ และสำหรับจุดประจุ Q เป็นประจุลบ ศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุลบมีค่าเป็นลบมากเมื่ออยู่ใกล้จุดประจุแต่มีค่าเป็นลบน้อยลง เมื่อไกลจากจุดประจุและศูนย์ที่ระยะอนันต์ โดยสามารถเขียนกราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับระยะห่างจากจุดประจุต้นกำเนิดได้ ดังรูป 13.33 ก. และ 13.33 ข. ในหนังสือเรียน ครูควรให้นักเรียนศึกษาข้อสังเกตในหนังสือเรียนหน้า 123 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำเพิ่มเติม

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 13.12 โดยครูเป็นผู้แนะนำ แล้วให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.4 และทำแบบฝึกหัด 13.4 โดยครูอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับพลังงานศักย์ไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้าของจุดประจุและระบบจุดประจุ จากการอภิปรายร่วมกัน คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.4 และแบบฝึกหัด 13.4
2. ทักษะการใช้จำนวน ในการหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างงานในการเคลื่อนประจุไฟฟ้ากับความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่ง ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้ากับความต่างศักย์ระหว่างสองตำแหน่งภายในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ จากแบบฝึกหัด 13.4 ทักษะด้านการสื่อสารสารสนเทศ ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการอภิปรายร่วมกัน
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็นจากการอภิปรายร่วมกัน และด้านความรอบคอบจากการตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.4 และทำแบบฝึกหัด 13.4



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.4

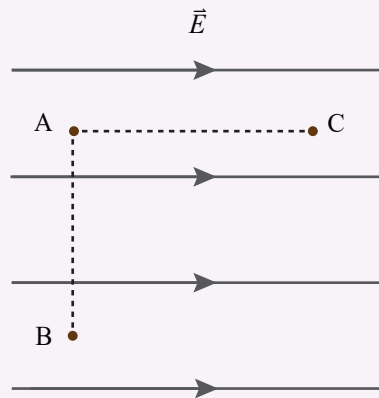
1. ความต่างศักย์ระหว่างตำแหน่ง A กับ B มีค่า 8 โวลต์ หมายความว่าอย่างไร

แนวคำตอบ ศักย์ไฟฟ้าที่จุด A มีค่าสูงกว่าศักย์ไฟฟ้าที่จุด B เท่ากับ 8 โวลต์

2. สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ($\vec{E}$) จุด A, B และ C อยู่ที่ตำแหน่ง ดังรูป จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้ ข้อใดถูกต้อง

ก) ศักย์ไฟฟ้าที่จุด A มีค่าสูงกว่าศักย์ไฟฟ้าที่จุด B

ข) ศักย์ไฟฟ้าที่จุด A มีค่าสูงกว่าศักย์ไฟฟ้าที่จุด C



แนวคำตอบ ก) ผิด เนื่องจาก ศักย์ไฟฟ้าที่จุด A เท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่จุด B

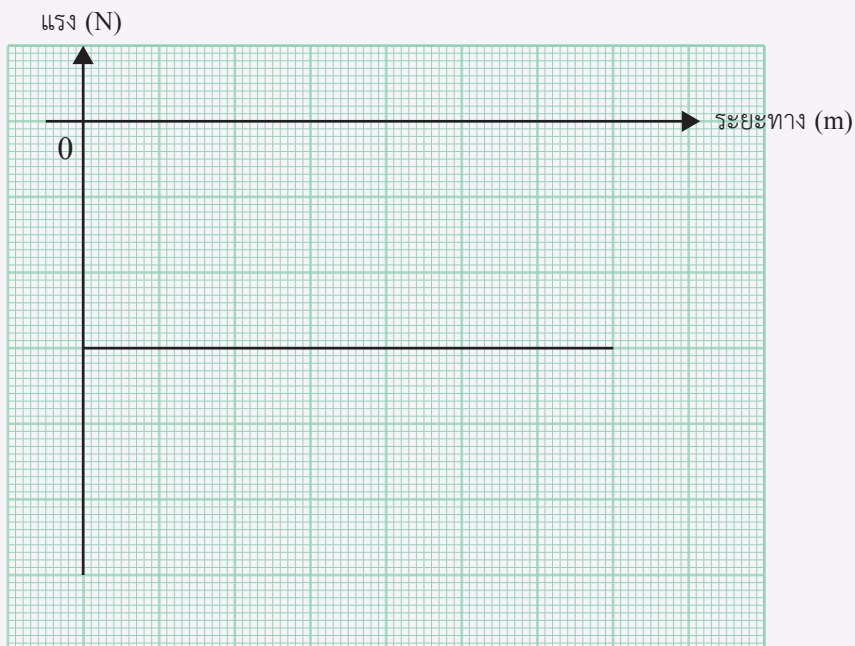
ข) ถูก เนื่องจาก สนามไฟฟ้ามีทิศทางจากตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ



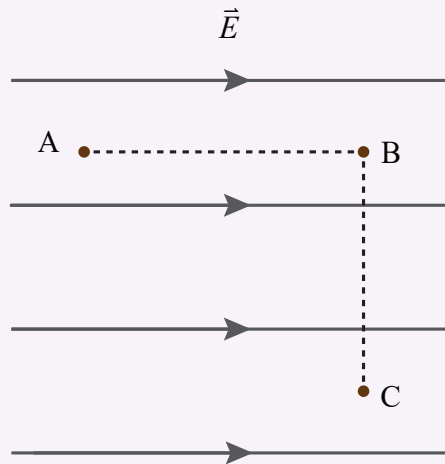
เฉลยแบบฝึกหัด 13.4

- ประจุ $-Q$ เคลื่อนที่จากแผ่นโลหะที่มีศักย์ไฟฟ้าบวก ไปยังแผ่นโลหะที่มีศักย์ไฟฟ้าลบตามแนวเส้นตรง ถ้าเขียนกราฟระหว่างแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ $-Q$ กับระยะทางที่ประจุ $-Q$ เคลื่อนที่ได้ จะได้กราฟลักษณะอย่างไร

แนวคำตอบ



- ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ดังรูป ข้อความใดต่อไปนี้ ข้อความใดถูกต้อง
 - สนามไฟฟ้าที่จุด A, B และ C มีขนาดเท่ากัน
 - แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ $+q$, $-q$, $-q$ เมื่อประจุอยู่ที่ตำแหน่ง A, B และ C ตามลำดับ มีขนาดเท่ากัน
 - ศักย์ไฟฟ้าที่ A มากกว่าศักย์ไฟฟ้าที่ B และศักย์ไฟฟ้าที่ B มากกว่าศักย์ไฟฟ้าที่ C

**แนวคำตอบ**

ข้อ ก. ถูก เนื่องจากประจุอยู่ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขนาดของสนามไฟฟ้าเท่ากับ $\frac{F}{q}$

ข้อ ข. ถูก ขนาดของแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าหาได้จาก qE จากโจทย์สนามไฟฟ้าเป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ แรงที่กระทำกับประจุในแต่ละตำแหน่งจึงมีขนาดเท่ากัน

ข้อ ค. ผิด เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าที่ B มีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ C

3. ในการนำประจุ 5.0×10^{-4} คูลอมบ์ จากระยะอนันต์ มาอยู่ที่จุดหนึ่งในสนามไฟฟ้าต้องทำงาน 5.0×10^{-2} จูล จุดนั้นมีศักย์ไฟฟ้าเท่าใด

แนวคำตอบ หาศักย์ไฟฟ้าจาก

$$V = \frac{E_p}{q}$$

เมื่อ $E_p = 5.0 \times 10^{-2} \text{ J}$ และ $q = 5.0 \times 10^{-4} \text{ C}$

ได้

$$\begin{aligned} V &= \frac{5.0 \times 10^{-2} \text{ J}}{5.0 \times 10^{-4} \text{ C}} \\ &= 1.0 \times 10^2 \text{ V} \end{aligned}$$

จุดนั้นมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 1.0×10^2 โวลต์

13.5 ตัวเก็บประจุ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายส่วนประกอบของตัวเก็บประจุ
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างประจุไฟฟ้า ความต่างศักย์ และความจุของตัวเก็บประจุ
3. อธิบายพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ และความจุสมมูล
4. คำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับตัวเก็บประจุ และความจุสมมูล

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. รูปหรือคลิปวิดีโอทัศนของแผงวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่มีตัวเก็บประจุเป็นส่วนประกอบ
2. ตัวอย่างหรือรูปของตัวเก็บประจุชนิดต่าง ๆ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 13.5 โดยใช้รูปหรือคลิปวิดีโอทัศน เพื่อแสดงให้เห็นแผงวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่มีตัวเก็บประจุเป็นส่วนประกอบ แล้วตั้งคำถามว่า นักเรียนรู้จักชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ใดบ้าง และแต่ละชิ้นทำหน้าที่อะไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูชี้ให้นักเรียนดูว่า ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ใดเป็นตัวเก็บประจุ จากนั้น ให้นักเรียนสังเกตตัวอย่างหรือรูปของตัวเก็บประจุชนิดต่าง ๆ พร้อมนำอภิปรายสรุปเกี่ยวกับความหมายของตัวเก็บประจุ โครงสร้าง พื้นฐานของตัวเก็บประจุ ตัวเก็บประจุแผ่นคู่ขนาน และสัญลักษณ์ที่ใช้แทนตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้า ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนหน้า 129

ครูตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า ตัวเก็บประจุสามารถเก็บสะสมประจุไฟฟ้าได้อย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

13.5.1 หลักการทำงานของตัวเก็บประจุ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ตัวเก็บประจุมีประจุสะสมอยู่ข้างในตลอดเวลา	1. ตัวเก็บประจุอาจมีหรือไม่มีประจุสะสมอยู่ข้างในก็ได้ การที่ตัวเก็บประจุจะมีประจุสะสมต้องได้รับการประจุ (charging) ก่อน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
2. ตัวเก็บประจุคือแบตเตอรี่ชนิดหนึ่ง	2. ตัวเก็บประจุไม่ใช่แบตเตอรี่ ตัวเก็บประจุสะสมพลังงานไฟฟ้าจากประจุไฟฟ้าสามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้ในช่วงเวลานั้น ๆ ในขณะที่แบตเตอรี่สะสมพลังงานเคมี และเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า สามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้ต่อเนื่องเป็นเวลานาน
3. ขณะที่มิประจุสะสมบนตัวเก็บประจุแผ่นคู่ขนาน แผ่นตัวนำแต่ละแผ่นของตัวเก็บประจุมีประจุเท่ากันแต่เครื่องหมายตรงข้ามกัน แสดงว่า ประจุที่สะสมบนตัวเก็บประจุมีค่าเป็นศูนย์	3. ขณะที่มิประจุสะสมบนตัวเก็บประจุแผ่นคู่ขนาน แผ่นตัวนำแต่ละแผ่นของตัวเก็บประจุแสดงว่า ประจุที่สะสมบนตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับประจุที่สะสมบนแผ่นตัวนำแต่ละแผ่น โดยไม่พิจารณาชนิดของประจุ ประจุที่สะสมบนตัวเก็บประจุจะมีค่าเป็นศูนย์ เฉพาะตอนที่แผ่นตัวนำแต่ละแผ่นไม่มีประจุ

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. ถ้ามีการทำกิจกรรมเสนอแนะ เกี่ยวกับการทำงานของตัวเก็บประจุ ให้เตรียมอุปกรณ์สำหรับการทำกิจกรรม ได้แก่ ตัวเก็บประจุ สวิตช์ หลอดไฟ แบตเตอรี่ สายไฟ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 13 ของหัวข้อ 13.5 ตามหนังสือเรียน

กิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู

เพื่อเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการทำงานของตัวเก็บประจุ ก่อนให้นักเรียนศึกษาตามรายละเอียดในหนังสือ ครูควรนำเข้าสู่หัวข้อนี้โดยการสาธิตหรือให้นักเรียนทำกิจกรรมการประจุ (charging) และการคายประจุ (discharging) ของตัวเก็บประจุ โดยในตอนแรก นำตัวเก็บประจุที่ยังไม่ได้รับการประจุมาต่อกับแบตเตอรี่ และสวิตช์ แล้วตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายก่อนการประจุว่า ถ้าเปิดสวิตช์แล้ว จะเกิดอะไรขึ้น จากนั้น เปิดสวิตช์ ให้นักเรียนสังเกตผลที่เกิดขึ้น

ในตอนที่สอง ต่อตัวเก็บประจุที่ผ่านการประจุแล้วกับหลอดไฟและสวิตช์ แล้วตั้งคำถามว่า เมื่อเปิดสวิตช์ จะเกิดอะไรขึ้น หลังการอภิปราย เปิดสวิตช์ ให้นักเรียนสังเกตผลที่เกิดขึ้น

ครูอาจให้นักเรียนทำกิจกรรมเสนอแนะสำหรับครูในข้างต้น เพื่อให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับหลักการทำงานของตัวเก็บประจุ ในหัวข้อ 13.5.1 ในหนังสือเรียน เพื่อตอบประเด็นคำถาม ต่อไปนี้

1. ตัวเก็บประจุมีประจุสะสมอยู่ข้างในเสมอหรือไม่ จงอธิบาย
2. ตัวเก็บประจุเหมือนหรือแตกต่างจากแบตเตอรี่อย่างไร
3. เมื่อรวมประจุที่สะสมบนแผ่นตัวนำแต่ละแผ่นของตัวเก็บประจุแผ่นคู่ขนาน ค่าที่ได้เท่ากับหรือแตกต่างจากประจุที่สะสมบนตัวเก็บประจุ

ให้นักเรียนตอบประเด็นคำถามด้วยคำอธิบายสั้น ๆ จากนั้น ร่วมกันอภิปรายจนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับการประจุและการคายประจุของตัวเก็บประจุตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ครูควรเน้นว่า ปริมาณประจุที่สะสมบนตัวเก็บประจุเท่ากับปริมาณประจุที่สะสมบนตัวนำแต่ละแผ่นของตัวเก็บประจุ โดยไม่พิจารณาชนิดของประจุ

ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.5 โดยเลือกเฉพาะข้อที่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบและหลักการทำงานของตัวเก็บประจุ ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับส่วนประกอบของตัวเก็บประจุ จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.5 โดยเลือกเฉพาะข้อที่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบของตัวเก็บประจุ
2. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล จากการอภิปรายร่วมกัน

13.5.2 ความจุของตัวเก็บประจุ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ความจุของตัวเก็บประจุ คือ ปริมาณประจุที่มากที่สุดที่ตัวเก็บประจุสามารถเก็บสะสมไว้ได้	1. ความจุของตัวเก็บประจุ ไม่ใช่ปริมาณประจุที่มากที่สุดที่ตัวประจุสามารถเก็บสะสมไว้ได้ แต่ความจุของตัวเก็บประจุเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณประจุที่ตัวเก็บประจุสามารถเก็บสะสมไว้ได้กับความต่างศักย์ระหว่างปลายตัวเก็บประจุ นั่นคือ ปริมาณประจุที่ตัวเก็บประจุสามารถเก็บสะสมไว้ได้ขึ้นกับความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุ
2. การนำตัวเก็บประจุไปใช้งาน สามารถนำไปใช้โดยไม่ต้องคำนึงถึงความต่างศักย์	2. การนำตัวเก็บประจุไปใช้งาน ต้องพิจารณาความต่างศักย์ที่นำตัวเก็บประจุไปต่อเข้ากับวงจร ถ้าความต่างศักย์มากกว่าค่าที่ระบุไว้บนตัวเก็บประจุ จะทำให้ตัวเก็บประจุชำรุดเสียหายและอาจเกิดอันตรายได้
3. การนำตัวเก็บประจุไปใช้งาน สามารถนำไปใช้โดยไม่ต้องคำนึงถึงขั้วของตัวเก็บประจุ	3. ตัวเก็บประจุบางชนิดมีการระบุขั้วบวกและลบสำหรับต่อเข้าในวงจร ถ้าต่อตัวเก็บประจุไม่ถูกต้องกับขั้วที่ระบุไว้บนตัวเก็บประจุ จะทำให้ตัวเก็บประจุเสียหายได้

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 14 ของหัวข้อ 13.5 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 13.5.2 โดยตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่าปริมาณประจุที่ตัวเก็บประจุสามารถสะสมไว้ได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณใด และเราจะบอกความสามารถในการเก็บประจุของตัวเก็บประจุอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

จากนั้น ให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับความจุของตัวเก็บประจุ ในหัวข้อ 13.5.2 ในหนังสือเรียนหน้า 131 เพื่อตอบประเด็นคำถามดังนี้

1. ความจุของตัวเก็บประจุเป็นปริมาณประจุที่เก็บสะสมได้มากที่สุดหรือไม่ อย่างไร
2. ความจุของตัวเก็บประจุขึ้นอยู่กับปริมาณใดบ้าง
3. ความจุของตัวเก็บประจุเป็นค่าคงตัวหรือไม่ อย่างไร

ให้นักเรียนตอบประเด็นคำถามด้วยคำอธิบายสั้น ๆ จากนั้น ร่วมกันอภิปรายจนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับความจุของตัวเก็บประจุ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 131 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

ความจุของตัวเก็บประจุเหมือนหรือแตกต่างอย่างไรกับความจุของภาชนะใส่น้ำ

แนวคำตอบ ความจุของตัวเก็บประจุแตกต่างจากความจุของภาชนะใส่น้ำ เนื่องจาก ความจุของตัวเก็บประจุคือปริมาณประจุที่ตัวเก็บประจุจะสามารถเก็บสะสมไว้ได้เมื่อเทียบกับความต่างศักย์ค่าหนึ่ง แต่ความจุของภาชนะใส่น้ำ คือ ปริมาณน้ำที่ภาชนะจะสามารถจุได้

ครูให้นักเรียนศึกษา ตัวอย่าง 13.13 โดยมีครูแนะนำ จากนั้น ครูอาจให้นักเรียนทำ **กิจกรรมลองทำดูตัวเก็บประจุอย่างง่าย** ตามแต่เวลาจะอำนวย โดยอาจตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่กิจกรรมว่า ตัวเก็บประจุที่มีรูปทรงกระบอก มีโครงสร้างแตกต่างจากตัวเก็บประจุแผ่นคู่ขนานอย่างไร โดยหลังการทำกิจกรรม ให้มีการอภิปรายเกี่ยวกับข้อดีของการสร้างตัวประจุให้มีรูปทรงกระบอก ซึ่งควรสรุปได้ว่า การสร้างตัวเก็บประจุรูปทรงกระบอกช่วยให้มีพื้นที่ของแผ่นตัวนำสำหรับเก็บประจุมาก และมีระยะระหว่างแผ่นตัวนำน้อย ทำให้สามารถเก็บประจุต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรได้มาก

ครูให้นักเรียนอภิปรายจนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับ สิ่งที่จะบุไว้บนตัวเก็บประจุ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน หน้า 134 ทั้งนี้ ครูอาจมอบหมายให้นักเรียนไปศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเทคโนโลยีในปัจจุบันที่มีการใช้หลัก การของตัวเก็บประจุในการทำงาน เช่น จอสัมผัสเชิงความจุ (capacitive touch screen) เครื่องสแกนลาย นิ้วมือเชิงความจุ (capacitive fingerprint scanner) หรือ เครื่องกระตุกหัวใจด้วยไฟฟ้า (defibrillator) นอกเวลาเรียน แล้วมานำเสนอในชั่วโมงถัดไป

ให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัด 13.5 โดยเลือกเฉพาะข้อที่เกี่ยวข้อง กับความจุของตัวเก็บประจุ ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

13.5.3 พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 15 และ 16 ของหัวข้อ 13.5 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 13.5.3 โดยตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า ตัวเก็บประจุเมื่อเก็บสะสม ประจุแล้ว ทำให้เกิดพลังงานสะสมได้อย่างไร และพลังงานนี้เกี่ยวข้องกับปริมาณใดบ้าง โดยเปิดโอกาสให้ นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน หน้า 135 จากนั้น ครูให้นักเรียนอภิปรายโดยเปรียบเทียบการเก็บสะสมพลังงานศักย์ของสปริงกับการเก็บสะสม พลังงานไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ โดยการทำให้สปริงมีพลังงานศักย์สะสม จะต้องทำงานเพื่อให้สปริงยืด เปรียบได้กับการที่ทำให้ตัวเก็บประจุมีพลังงานไฟฟ้าสะสม จะต้องทำงานเพื่อให้ประจุเคลื่อนที่ไปสะสม บนตัวเก็บประจุ จนสรุปได้ว่า พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุเกิดจากงานที่ทำให้ประจุเคลื่อนที่ไปสะสมบน ตัวเก็บประจุ ซึ่งพลังงานนี้หาได้ตามสมการ 13.23

ครูให้นักเรียนศึกษา ตัวอย่าง 13.14 โดยมีครูแนะนำ จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบ ความเข้าใจและทำแบบฝึกหัด 13.5 โดยเลือกเฉพาะข้อที่เกี่ยวข้องกับพลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

13.5.4 การต่อตัวเก็บประจุ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. การนำตัวเก็บประจุมาต่อกันแบบอนุกรม ประจุไฟฟ้าสุทธิที่สะสมได้ จะเท่ากับผลบวกของประจุไฟฟ้าที่สะสมบนตัวเก็บประจุแต่ละตัว	1. การนำตัวเก็บประจุมาต่อกันแบบอนุกรม ประจุไฟฟ้าสุทธิที่สะสมได้ จะเท่ากับประจุไฟฟ้าที่สะสมบนตัวเก็บประจุแต่ละตัว
2. การนำตัวเก็บประจุมาต่อกันแบบอนุกรม จะทำให้ได้ความจุสมมูลเพิ่มขึ้น	2. การนำตัวเก็บประจุมาต่อกันแบบอนุกรม จะทำให้ได้ความจุสมมูลลดลง
3. การนำตัวเก็บประจุมาต่อกันแบบอนุกรม และแบบขนาน จะมีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านตัวเก็บประจุแต่ละตัวในปริมาณเท่ากัน	3. การนำตัวเก็บประจุมาต่อกันแบบอนุกรม และแบบขนาน ประจุไฟฟ้าจะไม่เคลื่อนที่ผ่านตัวเก็บประจุแต่ละตัว แต่จะถูกเหนี่ยวนำ ทำให้มีการสะสมประจุบนตัวเก็บประจุ
4. การนำตัวเก็บประจุมาต่อกันแบบขนาน ประจุไฟฟ้าสุทธิที่สะสมได้ จะเท่ากับประจุไฟฟ้าที่สะสมบนตัวเก็บประจุแต่ละตัว	4. การนำตัวเก็บประจุมาต่อกันแบบขนาน ประจุไฟฟ้าสุทธิที่สะสมได้ จะเท่ากับผลบวกของประจุไฟฟ้าที่สะสมบนตัวเก็บประจุแต่ละตัว
5. การนำตัวเก็บประจุมาต่อกันแบบขนาน จะทำให้ได้ความจุสมมูลลดลง	5. การนำตัวเก็บประจุมาต่อกันแบบขนาน จะทำให้ได้ความจุสมมูลเพิ่มขึ้น

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. ถ้ามีให้นักเรียนทำกิจกรรมเสนอแนะเกี่ยวกับการต่อตัวเก็บประจุ ให้เตรียมอุปกรณ์สำหรับการทำกิจกรรม ได้แก่ ตัวเก็บประจุ 2 ตัว สายไฟ เครื่องวัดความจุของตัวเก็บประจุ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 15 และ 16 ของหัวข้อ 13.5 ตามหนังสือเรียน

กิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู

สำหรับโรงเรียนที่มีเครื่องวัดความจุ ก่อนการอภิปรายเกี่ยวกับการต่อตัวเก็บประจุตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ครูควรนำเข้าสู่หัวข้อนี้โดยการสาธิตหรือให้นักเรียนทำกิจกรรมการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรมและแบบขนาน โดยมีการใช้เครื่องวัดความจุของตัวเก็บประจุแต่ละตัว (ใช้ 2 ตัว) แล้ววัดความจุสมมูลของตัวเก็บประจุที่ต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน แล้วให้นักเรียนสังเกตค่าที่วัดได้

จากนั้น ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 13.5.4 โดยอาจทำกิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู หรือ ตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า ถ้านำตัวเก็บประจุมากกว่าหนึ่งตัวมาต่อกัน ความจุที่ได้จะแตกต่างไปจากเดิมอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับการต่อตัวเก็บประจุ ในหัวข้อ 13.5.4 เพื่อตอบประเด็นคำถามต่อไปนี้ ในการนำตัวเก็บประจุหลายตัวมาต่อกันแบบอนุกรม และ แบบขนาน

1. ประจุสะสมที่ตัวเก็บประจุแต่ละตัว แตกต่างจากประจุสุทธิที่เข้าและออกจากแบตเตอรี่อย่างไร
2. ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุแต่ละตัว แตกต่างจากความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่อย่างไร
3. จากคำตอบข้างต้น ความจุสมมูลของการต่อตัวเก็บประจุ แตกต่างจากความจุของตัวเก็บประจุแต่ละตัวอย่างไร และมีค่าเท่าใด

ครูให้นักเรียนตอบประเด็นคำถามด้วยคำอธิบายสั้น ๆ แล้วนำอภิปรายจนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับความจุสมมูลของการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรมและแบบขนานดังสมการ (13.24) และ สมการ (13.25)

ครูให้นักเรียนศึกษา ตัวอย่าง 13.15 โดยมีครูแนะนำ จากนั้น ให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัด 13.5 โดยเลือกเฉพาะข้อที่เกี่ยวข้องกับการต่อตัวเก็บประจุ ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับ ส่วนประกอบของตัวเก็บประจุ ความจุของตัวเก็บประจุ พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ และการต่อตัวเก็บประจุ จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.5
2. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการแก้โจทย์ปัญหาและการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับ ความจุของตัวเก็บประจุ พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ และความจุสมมูลของการต่อตัวเก็บประจุ ในแบบฝึกหัด 13.5
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล จากการอภิปรายร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.5

1. ตัวเก็บประจุมีส่วนประกอบสำคัญคืออะไร

แนวคำตอบ ส่วนประกอบสำคัญของตัวเก็บประจุ คือ ตัวนำสองชิ้นที่คั่นด้วยฉนวน

2. ถ้าต้องการเพิ่มปริมาณประจุที่สะสมบนตัวเก็บประจุ ควรเพิ่มหรือลดความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุ

แนวคำตอบ ควรเพิ่มความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุ เพราะ ความจุของตัวเก็บประจุเป็นค่าคงตัว แต่ปริมาณประจุที่สะสมบนตัวเก็บประจุแปรผันตรงกับความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุ

3. พลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุตัวใดตัวหนึ่ง แปรผันตรงกับปริมาณใด หรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ พลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุตัวใดตัวหนึ่ง แปรผันตรงกับปริมาณประจุที่สะสมบนตัวเก็บประจุ และความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุ

4. การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม ความจุสมมูลมีค่าเป็นอย่างไร

แนวคำตอบ ลดลง

5. การต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน ความจุสมมูลมีค่าเป็นอย่างไร

แนวคำตอบ เพิ่มขึ้น



เฉลยแบบฝึกหัด 13.5

1. ตัวเก็บประจุมีความจุ 6 ไมโครฟารัด เมื่อนำมาต่อกับความต่างศักย์ 1.5 โวลต์ ประจุที่สะสมในตัวเก็บประจุมีค่าเท่าใด

วิธีทำ ประจุสะสมที่มีในตัวเก็บประจุ หาได้จาก $Q = C\Delta V$
 แทนค่า จะได้ $Q = (6 \mu\text{F})(1.5 \text{ V})$
 $= 9 \mu\text{C}$

ตอบ ประจุสะสมที่มีในตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ 9 ไมโครคูลอมบ์

2. เมื่อต่อตัวเก็บประจุกับความต่างศักย์ 500 โวลต์ จะมีพลังงานสะสม 4.0×10^{-3} จูล จงหาความจุของตัวเก็บประจุ

วิธีทำ พลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ $U = \frac{1}{2}C(\Delta V)^2$
 ในที่นี้ $\Delta V = 500 \text{ V}$, $U = 4.0 \times 10^{-3} \text{ J}$
 แทนค่า $4.0 \times 10^{-3} \text{ J} = \frac{1}{2}C(500 \text{ V})$
 จะได้ $C = 16 \times 10^{-6} \text{ F}$
 $= 16 \mu\text{F}$

ตอบ ตัวเก็บประจุมีความจุ 16 ไมโครฟารัด

3. ตัวเก็บประจุแบบแผ่นตัวนำคู่ขนานมีความจุ 50 ไมโครฟารัด เริ่มต้นไม่มีพลังงานสะสมอยู่ ถ้าต้องการให้มีพลังงานสะสม 0.36 จูล ต้องนำไปต่อกับความต่างศักย์เท่าใด

วิธีทำ พลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ $U = \frac{1}{2}C(\Delta V)^2$
 ในที่นี้ $C = 50 \times 10^{-6} \text{ F}$, $U = 0.36 \text{ J}$
 แทนค่า $0.36 \text{ J} = \frac{1}{2}(50 \times 10^{-6} \text{ F})V^2$
 จะได้ $V = 120 \text{ V}$

ตอบ ต้องนำตัวเก็บประจุไปต่อกับความต่างศักย์ 120 โวลต์

4. ตัวเก็บประจุ 4 และ 12 ไมโครฟารัด จะมีความจุสมมูลเป็นเท่าใด เมื่อนำมาต่อกัน

ก. แบบอนุกรม

ข. แบบขนาน

ก. **วิธีทำ** เมื่อต่อตัวเก็บประจุทั้งสองแบบอนุกรม หาความจุสมมูล C จากสมการ $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

$$\text{แทนค่า จะได้} \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{4 \mu\text{F}} + \frac{1}{12 \mu\text{F}}$$

$$C = \frac{12}{4} \mu\text{F}$$

$$= 3 \mu\text{F}$$

ตอบ เมื่อนำตัวเก็บประจุทั้งสองมาต่อแบบอนุกรม จะได้ความจุสมมูลเท่ากับ 3 ไมโครฟารัด

ข. **วิธีทำ** เมื่อต่อตัวเก็บประจุทั้งสองแบบขนาน หาความจุสมมูล C จากสมการ $C = C_1 + C_2$

$$\text{แทนค่า จะได้} \quad C = 4 \mu\text{F} + 12 \mu\text{F}$$

$$= 16 \mu\text{F}$$

ตอบ เมื่อนำตัวเก็บประจุทั้งสองมาต่อแบบขนาน จะได้ความจุสมมูลเท่ากับ 16 ไมโครฟารัด

5. ตัวเก็บประจุ 4 ไมโครฟารัด ต่อแบบอนุกรมกับตัวเก็บประจุ 6 ไมโครฟารัด แล้วต่อเข้ากับ ความต่างศักย์ 500 โวลต์ ประจุที่สะสมบนตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่าใด

วิธีทำ เมื่อต่อตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรมกันกับความต่างศักย์ ΔV ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีประจุ สะสมเท่ากัน สมมติให้เท่ากับ Q ซึ่งหา Q ได้จาก $Q = C\Delta V$

$$\text{หาความจุสมมูล } C \text{ จาก} \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\text{แทนค่า} \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{4 \mu\text{F}} + \frac{1}{6 \mu\text{F}}$$

$$\text{จะได้} \quad C = \frac{12}{5} \mu\text{F}$$

$$\text{หาประจุสะสม} \quad Q = C\Delta V$$

$$\text{แทนค่า} \quad Q = \left(\frac{12}{5} \times 10^{-6} \text{ F} \right) (500 \text{ V})$$

$$\text{จะได้} \quad Q = 1200 \times 10^{-6} \text{ C} \\ = 1200 \mu\text{C}$$

ตอบ ประจุไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุแต่ละตัวเท่ากันเท่ากับ 1200 ไมโครคูลอมบ์

6. ตัวเก็บประจุ 1 ไมโครฟารัด ต่อแบบขนานกับตัวเก็บประจุ 3 ไมโครฟารัด แล้วต่อเข้ากับ ความต่างศักย์ 800 โวลต์ ประจุที่สะสมบนตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่าใด

วิธีทำ หาประจุไฟฟ้าที่สะสมบนตัวเก็บประจุที่ต่อกันแบบขนานจากสมการ $Q = C\Delta V$ โดยประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแต่ละตัว มีค่าเป็น $Q_1 = C_1\Delta V_1$ และ $Q_2 = C_2\Delta V_2$ เมื่อนำตัวเก็บประจุสองตัวมาต่อกันแบบขนาน หาความจุสมมูลจากสมการ $C = C_1 + C_2$ แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned} C &= 1\mu\text{F} + 3\mu\text{F} \\ &= 4\mu\text{F} \end{aligned}$$

ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุที่ต่อกันแบบขนาน ΔV_1 และ ΔV_2 จะเท่ากับ ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุ ΔV ดังสมการ $\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V$

แทนค่า จะได้ $\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V = 800\text{ V}$

หาประจุไฟฟ้าที่สะสมบนตัวเก็บประจุขนาด 1 ไมโครฟารัด

$$\begin{aligned} Q_1 &= C_1\Delta V_1 \\ Q_1 &= (1\mu\text{F})(800\text{ V}) \\ &= 800\mu\text{C} \end{aligned}$$

แทนค่า จะได้

หาประจุไฟฟ้าที่สะสมบนตัวเก็บประจุขนาด 3 ไมโครฟารัด

$$\begin{aligned} Q_2 &= C_2\Delta V_2 \\ Q_2 &= (3\mu\text{F})(800\text{ V}) \\ &= 2400\mu\text{C} \end{aligned}$$

แทนค่า จะได้

ตอบ ประจุไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุ 1 ไมโครฟารัด และตัวเก็บประจุ 3 ไมโครฟารัด มีค่า 800 ไมโครคูลอมบ์ และ 2400 ไมโครคูลอมบ์ ตามลำดับ

13.6 การนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปใช้ประโยชน์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ยกตัวอย่างการนำความรู้เรื่องไฟฟ้าสถิตไปอธิบายหลักการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิด
2. อธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันโดยใช้ความรู้เรื่องไฟฟ้าสถิต

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. สายล่อฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ฟ้าผ่ามีแนวโน้มที่จะผ่ามาที่สายล่อฟ้ามากกว่าที่ตึกหรือสิ่งก่อสร้างที่มีสายล่อฟ้าติดตั้งอยู่	1. สายล่อฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ประจุไฟฟ้าจากก้อนเมฆถ่ายโอนผ่านสายล่อฟ้า ช่วยลดปริมาณประจุไฟฟ้าในบรรยากาศรอบ ๆ ทำให้ไม่เกิดฟ้าผ่าตึกหรือสิ่งก่อสร้างที่มีสายล่อฟ้าติดตั้งอยู่

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. รูปหรือคลิปวิดีโอที่เกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้ความรู้เรื่องไฟฟ้าสถิต เช่น การทำงานของเครื่องถ่ายเอกสาร การทำงานของเครื่องพิมพ์เลเซอร์สี การเคลือบสีฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต เครื่องฟอกอากาศ เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต
2. รูปหรือคลิปวิดีโอที่เกี่ยวกับปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าสถิต เช่น การเกิดฟ้าแลบและฟ้าผ่า การทำงานของสายล่อฟ้า อุบัติเหตุเพลิงไหม้ที่มีต้นเหตุจากไฟฟ้าสถิต

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อ 17 – 18 ของหัวข้อ 13.6 ตามหนังสือเรียน

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับประจุไฟฟ้าและแรงระหว่างประจุไฟฟ้า จากนั้นให้นักเรียนดูรูปหรือคลิปวิดีโอที่เกี่ยวกับการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้ความรู้เรื่องไฟฟ้าสถิต หรือ รูปหรือคลิปวิดีโอที่เกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าสถิต ที่ครูเตรียมมา โดยก่อนเริ่มดู ครูให้นักเรียนพิจารณาว่า เครื่องใช้ไฟฟ้าหรือปรากฏการณ์ดังกล่าวมีไฟฟ้าสถิตเกี่ยวข้องอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

จากนั้น แบ่งกลุ่มให้นักเรียนทำกิจกรรมศึกษา สืบค้น และนำเสนอ การประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตในการอธิบายการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าและปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ โดยเลือกจากหัวข้อตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ดังนี้

- ก. เครื่องถ่ายเอกสาร และเครื่องพิมพ์เลเซอร์
- ข. การเคลือบสีฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต
- ค. เครื่องฟอกอากาศ และเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต
- ง. การอธิบายปรากฏการณ์ฟ้าผ่า และฟ้าแลบ
- จ. การใช้สายรัดข้อมือของช่างอิเล็กทรอนิกส์
- ฉ. การเติมน้ำมัน

ก่อนให้นักเรียนสืบค้น ครูกำหนดให้แต่ละกลุ่มต้องนำเสนอประเด็นหลัก คือ การนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตมาประยุกต์ใช้ และในกรณีที่มีอันตรายเกี่ยวข้อง ให้นำเสนอแนวทางการป้องกันอันตรายที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าสถิตด้วย

ทั้งนี้ ในการนำเสนอของนักเรียน อาจมีการแนะนำให้นักเรียนสร้างสรรค์วิธีการนำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ และเมื่อจบการนำเสนอ เปิดโอกาสให้ถาม ตอบ และวิจารณ์ โดยครูและนักเรียนร่วมกันประเมินให้คะแนนการนำเสนอของแต่ละกลุ่ม จากนั้น ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายจนได้ข้อสรุปตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจท้ายหัวข้อ 13.6 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปใช้ประโยชน์ จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.6
2. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการนำเสนอ การอภิปราย และการอ้างอิงแหล่งที่มาของข้อมูลที่น่าเสนอ
3. ทักษะความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการร่วมกับสมาชิกภายในกลุ่มสืบค้น และนำเสนอเกี่ยวกับการนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปใช้ประโยชน์
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น จากการอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับการนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปใช้ประโยชน์
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความรอบคอบ จากสื่อที่ใช้นำเสนอ



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 13.6

1. ขั้นตอนการทำงานของเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์ขั้นตอนใด ที่สามารถอธิบายได้โดยใช้ความรู้ทางไฟฟ้าสถิต

แนวคำตอบ ขั้นตอนที่ผงหมึกถูกแรงดึงดูดทางไฟฟ้าให้ยึดติดกับผิวของดรัม ซึ่งผงหมึกและผิวของดรัมมีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกัน รวมทั้ง ขั้นตอนที่ผงหมึกถูกแรงดึงดูดทางไฟฟ้าให้ยึดติดกับแผ่นกระดาษเปล่า ซึ่งผงหมึกและกระดาษเปล่ามีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกัน

2. การพ่นสีโดยอาศัยไฟฟ้าสถิต มีข้อดีอย่างไร

แนวคำตอบ ช่วยให้สีเกาะติดชิ้นงานได้ดี และประหยัดปริมาณสี เนื่องจากละอองสีไม่ฟุ้งกระจาย

3. เครื่องฟอกอากาศและเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตใช้ความรู้ทางไฟฟ้าสถิตอย่างไรในการกำจัดมลพิษ

แนวคำตอบ เครื่องฟอกอากาศและเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตทำให้อนุภาคมลพิษมีประจุไฟฟ้าชนิดตรงข้ามกับแผ่นกรอง จึงสามารถดักจับอนุภาคมลพิษไว้ได้

4. เพราะเหตุใดปรากฏการณ์ฟ้าผ่าและฟ้าแลบจึงมักเกิดในช่วงก่อนหรือระหว่างมีฝนตก

แนวคำตอบ เนื่องจากในช่วงก่อนหรือระหว่างมีฝนตก มีก้อนเมฆจำนวนมาก ทำให้มีโอกาของการเสียดสีกันระหว่างโมเลกุลของน้ำและอากาศในก้อนเมฆมากกว่าเวลาปกติ ซึ่งการเสียดสีดังกล่าว ส่งผลให้เกิดการสะสมประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆ

5. จงระบุวิธีการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าสถิตมา 2 วิธี

แนวคำตอบ

1. มีการใช้ตัวนำสำหรับถ่ายโอนประจุไฟฟ้าลงดิน
2. ในเวลาฝนตก ฟ้าร้อง ไม่เข้าใกล้บริเวณที่เสี่ยงต่อการเกิดฟ้าผ่า เช่น ใต้ต้นไม้ หรือเสาที่มีส่วนประกอบของโลหะ

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 13

?? | คำถาม

1. ลูกพิทลูกหนึ่งสูญเสียอิเล็กตรอนไป 10^4 ตัว ลูกพิทนี้มีประจุไฟฟ้าเท่าใด ถ้าเดิมลูกพิทเป็นกลางทางไฟฟ้า

แนวคำตอบ เนื่องจากลูกพิทเป็นกลางทางไฟฟ้า เมื่อสูญเสียอิเล็กตรอนไป 10^4 ตัว จึงมีโปรตอนมากกว่าอิเล็กตรอน 10^4 ตัว แต่โปรตอน 1 ตัว มีประจุไฟฟ้า $+1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น ลูกพิทมีประจุไฟฟ้า} &= (1.6 \times 10^{-19}) \times 10^4 \text{ C} \\ &= 1.6 \times 10^{-15} \text{ C}\end{aligned}$$

ดังนั้น ลูกพิทมีประจุไฟฟ้าเท่ากับ 1.6×10^{-15} คูลอมบ์

2. เมื่อนำวัตถุที่มีประจุลบเข้าใกล้โลหะทรงกลมสองอันที่มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าวางสัมผัสกัน ดังรูป



รูป ประกอบคำถามข้อ 2

เมื่อแยกทรงกลมทั้งสองออกจากกันทรงกลมทางซ้ายและขวามีประจุชนิดใด

แนวคำตอบ บวกและลบ ตามลำดับ

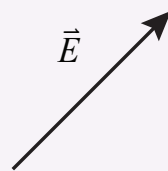
3. ถ้าให้ทรงกลมตัวนำ A มีประจุเป็น Q_1 ทรงกลมตัวนำ B มีประจุเป็น Q_2 โดย Q_1 มากกว่า Q_2 แรงระหว่างประจุที่กระทำต่อ A และ B มีขนาดเท่ากันหรือไม่

แนวคำตอบ จากกฎของคูลอมบ์ขนาดของแรงระหว่างประจุหาได้จาก $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$

จะเห็นว่าแรง F_{AB} และ F_{BA} เป็นแรงแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา เพราะฉะนั้นแรงระหว่างประจุที่กระทำต่อ A และ B มีขนาดเท่ากัน

4. ณ บริเวณหนึ่งมีค่าสนามไฟฟ้าเท่ากับ E และมีทิศทางการดังรูป

ถ้าวางประจุ $+q$ และ $-q$ ในบริเวณดังกล่าว แรงที่กระทำต่อประจุแต่ละตัวมีขนาดเท่าใด และมีทิศทางใด



รูป ประกอบคำถามข้อ 4

แนวคำตอบ เมื่อวางประจุไฟฟ้าในที่มีสนามไฟฟ้า ขนาดของแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุหาได้จาก $F = qE$

เมื่อประจุไฟฟ้าที่นำไปวางเป็นประจุบวก ทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุจะมีทิศเดียวกันกับสนามไฟฟ้า ในทางกลับกันหากประจุที่นำไปวางเป็นประจุลบ แสดงว่าแรงกระทำต่อประจุมีทิศทางตรงข้ามกับสนามไฟฟ้า

ดังนั้น ขนาดของแรงที่กระทำต่อประจุ $+q$ และ $-q$ เท่ากับ qE ทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุ $+q$ มีทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้า และทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุ $-q$ มีทิศทางตรงข้ามกับสนามไฟฟ้า

5. ที่ตำแหน่งห่างจากจุดประจุหนึ่งเป็นระยะ 2.0 เซนติเมตร มีขนาดของสนามไฟฟ้าเป็น 10^5 นิวตันต่อคูลอมบ์ จงหาขนาดของสนามไฟฟ้าที่ห่างจากจุดประจุนี้ 1.0 เซนติเมตร

แนวคำตอบ ขนาดสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุหาได้จาก $E = \frac{kq}{r^2}$

$$E = \frac{kq}{r^2}$$

$$10^5 \text{ N/C} = \frac{(9 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2)(q)}{(2 \times 10^{-2} \text{ m})^2}$$

$$q = 4.44 \times 10^{-9} \text{ C}$$

ขนาดสนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุหาได้

$$E = \frac{kq}{r^2}$$

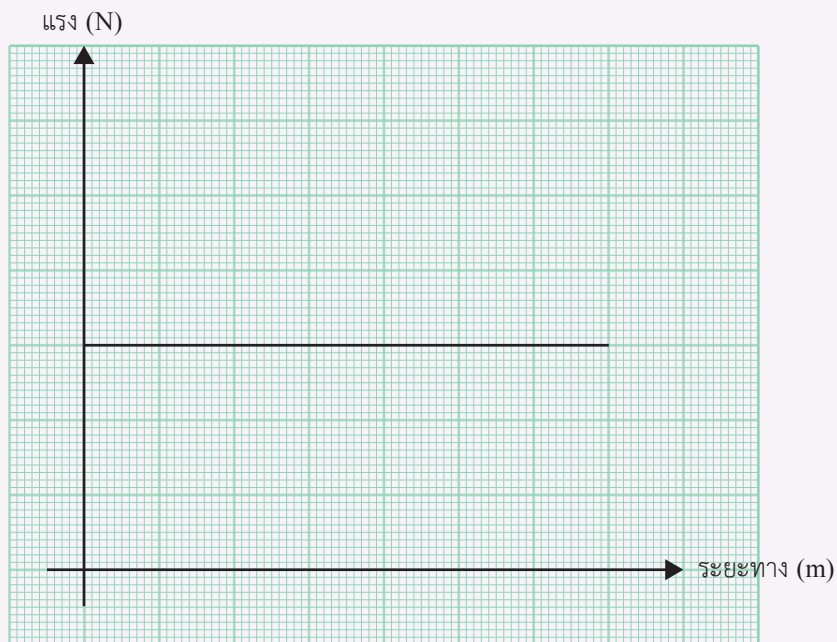
$$= \frac{(9 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2)(4.44 \times 10^{-9} \text{ C})}{(1.0 \times 10^{-2} \text{ m})^2}$$

$$= 3.99 \times 10^5 \text{ N/C}$$

ดังนั้น ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ห่างจากจุดประจุนี้ 1.0 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 4.0×10^5 นิวตันต่อคูลอมบ์

6. ประจุ $+Q$ เคลื่อนที่จากแผ่นโลหะที่มีประจุบวกไปยังแผ่นโลหะที่มีประจุลบตามแนวเส้นตรง จงเขียนกราฟระหว่างแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ $+Q$ กับระยะทางที่ประจุ $+Q$ เคลื่อนที่ได้ กราฟที่ได้จะเป็นอย่างไร

แนวคำตอบ สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนานเป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ขนาดของแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ $+Q$ หาได้จาก $F = QE$ ซึ่งมีขนาดคงตัว เขียนกราฟระหว่างแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ $+Q$ กับระยะทางที่ประจุ $+Q$ เคลื่อนที่ได้ ดังรูป



7. แผ่นโลหะขนานสองแผ่น วางห่างกันเป็นระยะ x แต่ละแผ่นมีประจุไฟฟ้าชนิดตรงกันข้าม อนุภาคมวล m มีประจุไฟฟ้า $-Q$ หลุดออกจากแผ่นโลหะที่มีประจุลบเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง a ไปยังแผ่นโลหะที่มีประจุบวก แผ่นโลหะทั้งสองมีความต่างศักย์เท่าใด

แนวคำตอบ เมื่ออนุภาคมวล m เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง a แสดงว่าแรงลัพธ์กระทำกับอนุภาคมีค่า $F = ma$

โดยที่อนุภาคมีประจุ $-Q$ แสดงว่ามีสนามไฟฟ้าในบริเวณอนุภาคเคลื่อนที่เป็น

$$E = \frac{F}{(-Q)} = -\frac{ma}{Q}$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับสนามไฟฟ้าในกรณีแผ่นโลหะขนานสองแผ่น

$$\Delta V = -Ed$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า จะได้} \quad \Delta V &= \left(-\frac{ma}{Q}\right)x \\ &= \frac{max}{Q} \end{aligned}$$

นั่นคือ แผ่นโลหะทั้งสองมีความต่างศักย์ $\frac{max}{Q}$

8. ตัวเก็บประจุแผ่นคู่ขนานสามารถเก็บประจุได้อย่างไร

แนวคำตอบ เมื่อนำตัวเก็บประจุแผ่นคู่ขนานไปต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า เช่น แบตเตอรี่ จะทำให้มีการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าเข้าและออกจากแบตเตอรี่ ทำให้มีประจุชนิดตรงข้ามกันสะสมบนแผ่นตัวนำแต่ละแผ่นของตัวเก็บประจุ และเมื่อนำแหล่งกำเนิดไฟฟ้าออก ประจุไฟฟ้าจะยังคงสะสมอยู่บนแผ่นตัวนำแต่ละแผ่น

9. ถ้าความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

ก. ปริมาณประจุที่ตัวเก็บประจุเก็บได้จะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร

ข. พลังงานศักย์ที่สะสมในตัวเก็บประจุจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ ก. เนื่องจาก $Q = C\Delta V$

เริ่มต้นตัวเก็บประจุมีประจุ $Q_1 = C\Delta V_1$

ถ้าความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

หรือ $\Delta V_2 = 2\Delta V_1$

เนื่องจาก ความจุมีค่าคงที่ จะได้ $Q_2 = C\Delta V_2$

$$= C(2\Delta V_1)$$

$$= 2(C\Delta V_1)$$

แต่ $Q_1 = C\Delta V_1$ ดังนั้น $Q_2 = 2Q_1$

นั่นคือ ปริมาณประจุที่สะสมจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

แนวคำตอบ ข. เนื่องจาก $U = \frac{1}{2}C(\Delta V)^2$

เริ่มต้นตัวเก็บประจุมีพลังงานศักย์สะสม $U_1 = \frac{1}{2}C(\Delta V_1)^2$

ถ้าความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

หรือ $\Delta V_2 = 2\Delta V_1$

เนื่องจาก ความจุมีค่าคงที่ จะได้ $U_2 = \frac{1}{2}C(\Delta V_2)^2$

$$= \frac{1}{2}C(2\Delta V_1)^2$$

$$= 4\left[\frac{1}{2}C(\Delta V_1)^2\right]$$

$$= 4U_1$$

นั่นคือ พลังงานศักย์ที่สะสมจะเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า

10. ตัวเก็บประจุ 3 ตัวเดิมที่ต่อกันแบบอนุกรม ถ้าเปลี่ยนไปต่อกันแบบขนาน ความจุสมมูลจะแตกต่างกันอย่างไร

แนวคำตอบ ความจุสมมูลของตัวเก็บประจุ 3 ตัวที่ต่อกันแบบอนุกรม C_s มีค่าตามสมการ

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

ความจุสมมูลของตัวเก็บประจุ 3 ตัวที่ต่อกันแบบขนาน C_p มีค่าตามสมการ

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3$$

สมมติให้ตัวเก็บประจุทั้งสามที่มีความจุเท่ากัน จะได้ว่า

$$C_s = \frac{C}{3} \quad \text{และ} \quad C_p = 3C$$

นั่นคือ เมื่อนำตัวเก็บประจุ 3 ตัวที่เดิมที่ต่อแบบอนุกรมไปต่อแบบขนาน ถ้าตัวเก็บประจุทั้งสามมีความจุเท่ากัน ความจุสมมูลจะมีค่าเพิ่มขึ้น 9 เท่า

11. เครื่องพิมพ์เลเซอร์ใช้หลักการไฟฟ้าสถิตในการทำงานอย่างไร

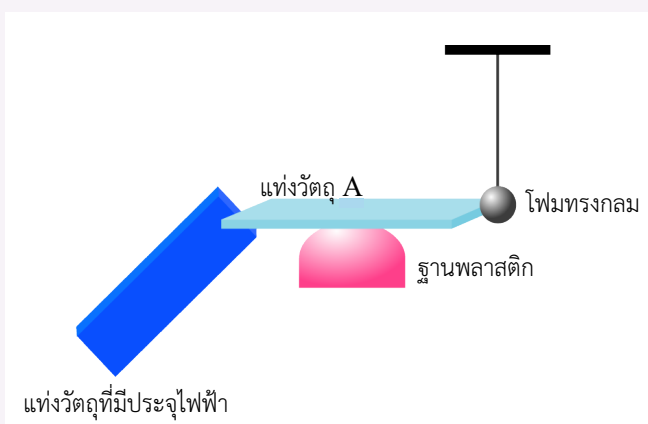
แนวคำตอบ เครื่องพิมพ์เลเซอร์ทำให้ผงหมึกมีประจุไฟฟ้าชนิดตรงข้ามกับดรัมและกระดาษ ทำให้ผงหมึกยึดติดกับผิวของดรัม และผิวของกระดาษ ในรูปแบบที่สอดคล้องกับตัวอักษร หรือภาพที่อยู่บนต้นฉบับ

12.อันตรายจากไฟฟ้าสถิตส่วนใหญ่ เกิดขึ้นจากสาเหตุใด

แนวคำตอบ เกิดจากการถ่ายโอนประจุอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้เกิดความร้อนและประกายไฟที่สามารถก่อให้เกิดความเสียหายกับชีวิตและทรัพย์สินได้

Ⓕ | ปัญหา

1. โฟมทรงกลมห่อหุ้มด้วยโลหะ ไปแขวนกับด้ายแขวนในแนวดิ่งโดยผิวของทรงกลมสัมผัสกับแท่งวัตถุ A ที่วางอยู่บนฐานพลาสติก จากนั้นนำแท่งวัตถุที่มีประจุไฟฟ้า มาแตะปลายอีกด้านของวัตถุ A ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 1

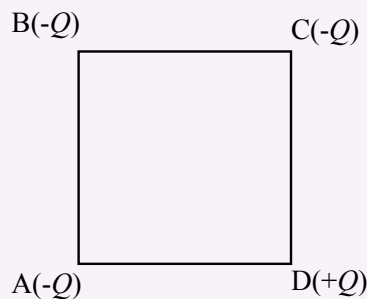
โฟมทรงกลมจะวางตัวอย่างไร ถ้า

- ก. วัตถุ A เป็นตัวนำ
- ข. วัตถุ A เป็นฉนวน

ตอบ ก. ทรงกลมจะเบนออกจาก A

ข. ทรงกลมจะวางตัวเช่นเดิม

2. ประจุไฟฟ้า $-Q$ จำนวน 3 ประจุ วางอยู่ที่มุม A B และ C ของสี่เหลี่ยมจัตุรัส และมีประจุไฟฟ้า $+Q$ วางอยู่ที่มุม D ดังรูป

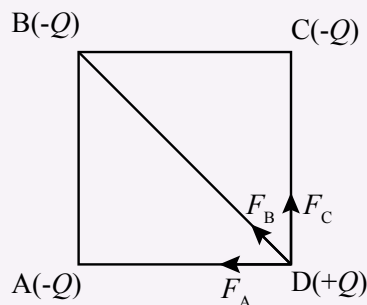


รูป ประกอบปัญหาข้อ 2

แรงไฟฟ้าลัพธ์ที่กระทำต่อประจุ $+Q$ มีทิศทางใด

วิธีทำ แรงระหว่างประจุต่างชนิดกันเป็นแรงดึงดูด มีขนาดแรง $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$

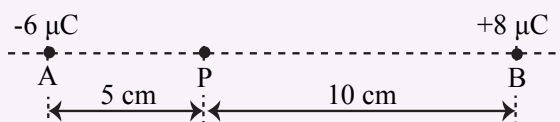
เขียน F ที่เกิดจากประจุแต่ละคู่ลงในรูป ให้แรงระหว่างประจุที่จุด A B และ C กระทำต่อประจุที่จุด D เป็น F_A F_B และ F_C มีทิศทาง ดังรูป



เนื่องจากขนาด $F_A = F_C$ แรงลัพธ์ของผลบวกเวกเตอร์ของแรง F_A กับ F_C มีทิศทางเดียวกับ F_B ดังนั้นแรงลัพธ์ของผลรวมแบบเวกเตอร์ของแรง F_A กับ F_C จึงมีทิศทางจากจุด D ไปจุด B ซึ่งก็คือ แรงไฟฟ้าลัพธ์ที่กระทำต่อประจุ $+Q$ มีทิศทางจากจุด D ไปจุด B

ตอบ แรงไฟฟ้าลัพธ์ที่กระทำต่อประจุ $+Q$ มีทิศทางจากจุด D ไปจุด B

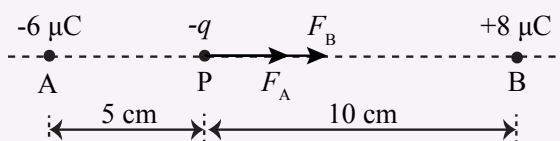
3. ประจุ -6 และ $+8$ ไมโครคูลอมบ์ วางไว้ที่จุด A และ B ตามลำดับ โดยระยะ AB เท่ากับ 15 เซนติเมตร และระยะ AP เท่ากับ 5 เซนติเมตร ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 3

ถ้านำประจุ $-q$ ไปวางที่จุด P ทำให้เกิดแรงไฟฟ้าที่กระทำต่อประจุ $-q$ เท่ากับ 57.6 นิวตัน ประจุ $-q$ มีค่าเท่าใด

วิธีทำ หาประจุ $-q$ จาก F ที่กระทำต่อ $-q$ ที่จุด P โดยใช้สมการ $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$
เขียนแรงที่กระทำต่อประจุ $-q$ ที่จุด P ได้ดังรูป



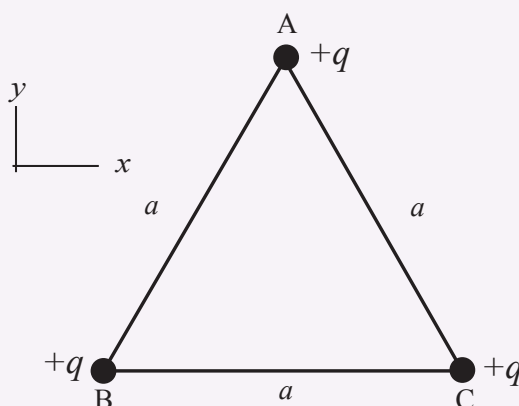
$$\sum F_P = F_A + F_B$$

$$57.6 \text{ N} = \left[\frac{(9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2)(6 \times 10^{-6} \text{ C})(q)}{(5 \times 10^{-2} \text{ m})^2} \right] + \left[\frac{(9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2)(8 \times 10^{-6} \text{ C})(q)}{(10 \times 10^{-2} \text{ m})^2} \right]$$

$$q = 2.13 \mu\text{C}$$

ตอบ ประจุ $-q$ มีค่าเท่ากับ 2 ไมโครคูลอมบ์

4. สามเหลี่ยมด้านเท่า ABC ยาวด้านละ a ที่แต่ละมุมมีจุดประจุ $+q$ ดังรูป

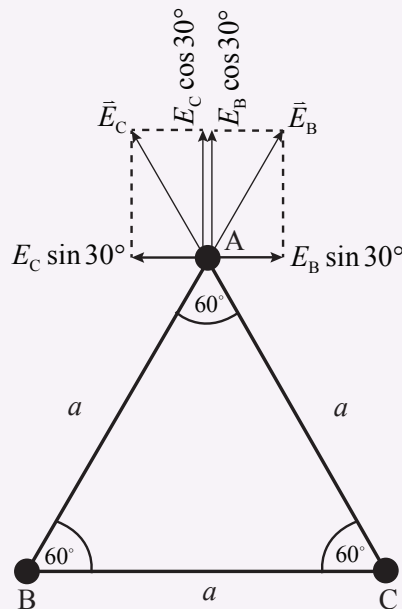


รูป ประกอบปัญหาข้อ 4

ก. หาขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าลัพท์ที่ตำแหน่ง A

ข. สนามไฟฟ้าลัพท์เนื่องจากจุดประจุทั้งสามมีค่าเป็นศูนย์ที่ตำแหน่งใด

วิธีทำ ก. เราสามารถแยกสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง A เป็นองค์ประกอบในแนวแกน x และในแนวแกน y องค์ประกอบในแนวแกน x จะหักล้างกัน เหลือเฉพาะองค์ประกอบในแนวแกน y ดังรูป

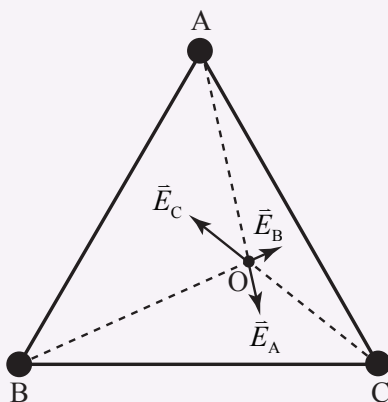


ดังนั้น ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง A มีค่าดังนี้

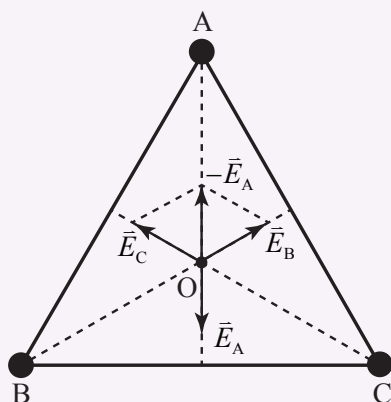
$$\begin{aligned}
 E_A &= E_B \cos 30^\circ + E_C \cos 30^\circ \\
 &= \left(k \frac{q}{a^2} \right) \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right) + \left(k \frac{q}{a^2} \right) \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \\
 E_A &= \sqrt{3} k \frac{q}{a^2}
 \end{aligned}$$

ข. สมมุติมีประจุทดสอบ +1 หน่วยอยู่ที่ตำแหน่งใด ๆ O ในสามเหลี่ยม ABC

สนามไฟฟ้าที่ O เนื่องจาก $+q_A$, $+q_B$ และ $+q_C$ คือ $\vec{E}_A$, $\vec{E}_B$ และ $\vec{E}_C$ จะมีขนาดและทิศทางต่าง ๆ กัน สนามไฟฟ้าลัพท์ที่ O จะไม่เป็นศูนย์ ดังรูป



ถ้าขยับ O ไปมากก็มีโอกาสที่ $\vec{E}_A$, $\vec{E}_B$ และ $\vec{E}_C$ มีขนาดเท่ากันแต่ทิศทางต่างกัน เมื่อรวมกัน (แบบเวกเตอร์) จะได้สนามไฟฟ้าลัพธ์เป็นศูนย์ ดังรูป



จากรูป ABC เป็นสามเหลี่ยมด้านเท่า O เป็นตำแหน่งที่ $AO = BO = CO$ ทำให้ขนาดของ $\vec{E}_A = \vec{E}_B = \vec{E}_C$ ทำให้สนามไฟฟ้าลัพธ์ของสองสนามใด ๆ (เช่น $\vec{E}_B$ และ $\vec{E}_C$) มีขนาดเท่ากันแต่ทิศทางตรงข้ามกับสนามที่เหลือ ($\vec{E}_A$)

ในวิชาเรขาคณิต เส้นที่ลากจากมุมของสามเหลี่ยมใด ๆ ไปยังจุดกึ่งกลางของด้านตรงข้าม เส้นนี้เรียกว่า มัธยฐาน (median) ทุกสามเหลี่ยมมีมัธยฐาน 3 เส้นตัดกันที่จุดหนึ่ง เรียกว่า เซนทรอยด์ (centroid) สำหรับสามเหลี่ยมด้านเท่า เซนทรอยด์อยู่ห่างจากมุมทั้งสามเป็นระยะเท่ากัน จากรูปข้างต้น O เป็นเซนทรอยด์

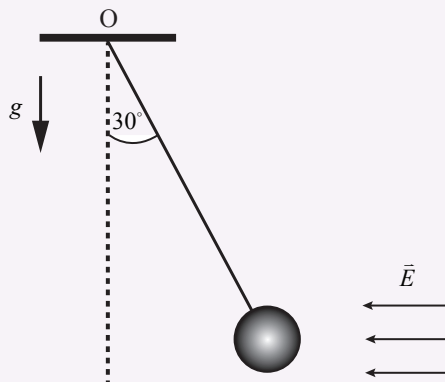
$$\text{และ } AO = BO = CO = \frac{2}{3} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} a \right) = \frac{\sqrt{3}}{3} a \text{ พิจารณาร่วมกับความสมมาตร}$$

ที่ O สนามไฟฟ้าลัพธ์ $E = 0$ นั่นคือ O เป็นจุดสะเทิน]

ตอบ ก. สนามไฟฟ้าลัพธ์ที่ตำแหน่ง A มีขนาดเท่ากับ $\sqrt{3}k \frac{q}{a^2}$ มีทิศทาง +y

ข. จุดที่เส้นมัธยฐานทั้งสามเส้นของสามเหลี่ยมด้านเท่าตัดกันมีสนามไฟฟ้าลัพธ์เป็นศูนย์

5. ทรงกลมขนาดเล็กมีมวล $\sqrt{3}$ กรัมแขวนด้วยเชือกเบาที่เป็นฉนวน อีกปลายตรึงไว้ที่จุด O เมื่อทรงกลมหยุดนิ่งในสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอขนาด 2×10^5 นิวตันต่อคูลอมบ์ ซึ่งมีทิศทางในแนวระดับ ปรากฏว่าเชือกเอียงทำมุม 30 องศา กับแนวตั้ง ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 5

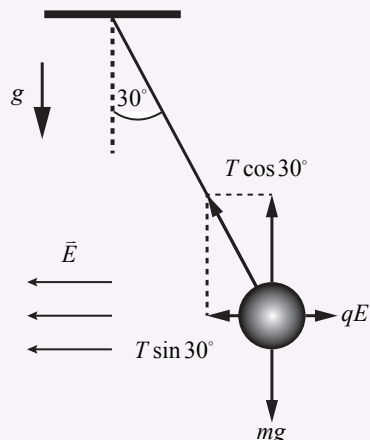
ประจุของทรงกลมเป็นชนิดใด และมีขนาดเท่าใด

วิธีทำ จากรูป แรงกระทำต่อประจุของทรงกลม มีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของสนามไฟฟ้า แสดงว่าประจุของทรงกลมเป็นประจุลบ แผนภาพแรงที่กระทำต่อวัตถุเป็นดังรูป

ให้เชือกออกแรงดึงทรงกลมด้วยแรง T ให้ q เป็นประจุของทรงกลม ทรงกลมหยุดนิ่งในสนามไฟฟ้า แสดงว่าแรงลัพธ์เป็นศูนย์ หมายถึง

$$T \cos 30^\circ = mg \quad (1)$$

$$T \sin 30^\circ = qE \quad (2)$$



(2)
(1) จะได้

$$\tan 30^\circ = \frac{qE}{mg}$$

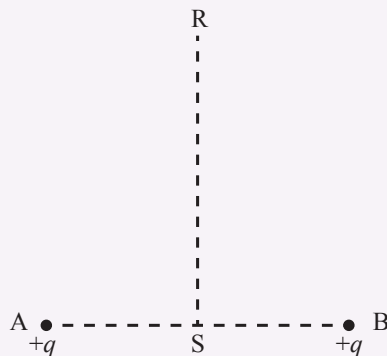
แทนค่า

$$\frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{q(2 \times 10^5 \text{ N/C})}{(\sqrt{3} \times 10^{-3} \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)}$$

$$q = 4.9 \times 10^{-8} \text{ C}$$

ตอบ ประจุของทรงกลมเป็นประจุลบ และมีขนาดเท่ากับ 4.9×10^{-8} คูลอมบ์

6. วางจุดประจุขนาดเท่ากันและชนิดเดียวกันที่ตำแหน่ง A และ B ให้ RS เป็นเส้นตรงที่ลากแบ่งครึ่งและตั้งฉากกับเส้นตรงที่ต่อเชื่อมระหว่างจุด A และ B ที่จุด S ดังรูป



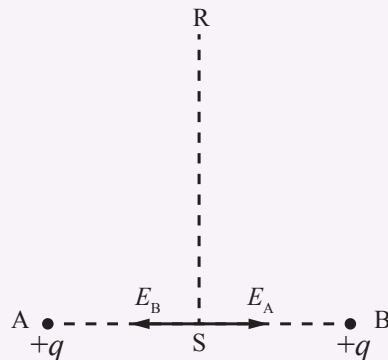
รูป ประกอบปัญหาข้อ 6

ข้อความต่อไปนี้ ถูกต้องหรือไม่ เพราะเหตุใด

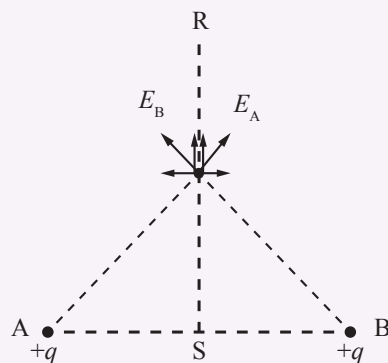
- ตำแหน่ง S เป็นจุดสะเทิน
- ทุกจุดบนเส้นตรง RS มีทิศทางของสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับแนว AB
- ทุกจุดบนเส้นตรง RS มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์

วิธีทำ สมมติที่ A และ B มีประจุ $+q$ เหมือนกัน

- ก. ที่ S ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางระหว่าง A และ B สนามไฟฟ้าเนื่องจาก $+q$ ที่ A และสนามไฟฟ้าเนื่องจาก $+q$ ที่ B มีขนาดเท่ากันและทิศทางตรงข้ามกัน ดังรูป สนามไฟฟ้าที่ S จึงหักล้างกันหมด ตำแหน่ง S จึงเป็นจุดสะเทิน



- ข. สนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนเส้นตรง RS ซึ่งตั้งฉากกับแนว AB จะมีเฉพาะในแนว RS เนื่องจากองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า E เนื่องจาก $+q$ ที่ A และ B ในแนวตั้งฉากกับ RS หักล้างกันหมด เหลือแต่องค์ประกอบในแนว RS ดังรูป



- ค. ที่ A และ B มีประจุชนิดเดียวกันและศักย์ไฟฟ้าเป็นปริมาณสเกลลาร์ ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่าง ๆ บน AB อันเนื่องมาจากประจุที่ A และ B มีค่าเป็นบวกทั้งคู่จึงไม่มีโอกาสเป็นศูนย์

- ตอบ ก. ถูกต้อง เพราะที่ตำแหน่ง S เป็นจุดสะท้อน เนื่องจากมีขนาดสนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุที่ A และ B มีค่าเท่ากันแต่ทิศทางตรงข้าม สนามไฟฟ้าจึงหักล้างกันหมด
- ข. ถูกต้อง เพราะสนามไฟฟ้าที่เกิดบนแนว RS เราสามารถแยกสนามไฟฟ้าที่เกิดเป็นองค์ประกอบในแนวแกน x และในแนวแกน y องค์ประกอบในแนวแกน x จะหักล้างกัน เพราะมีขนาดเท่ากันแต่ทิศทางตรงข้ามกัน เหลือเฉพาะองค์ประกอบในแนวแกน y เพราะมีทิศทางเดียวกัน
- ค. ไม่ถูกต้อง เพราะศักย์ไฟฟ้าที่เกิดบนแนว RS เป็นผลรวมทางพีชคณิตของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจาก ประจุที่ A และ B ซึ่งเป็นประจุบวกทั้งคู่

7. ถ้าต่อตัวเก็บประจุตัวหนึ่งเข้ากับความต่างศักย์ 9.0 โวลต์ จะมีประจุบนตัวเก็บประจุ 6.0 ไมโครคูลอมบ์ ถ้าต่อตัวเก็บประจุนี้เข้ากับความต่างศักย์ 12.0 โวลต์ จะมีประจุบนตัวเก็บประจุเท่าใด

วิธีทำ จาก $C = \frac{Q}{\Delta V}$ เนื่องจาก ความจุ C ของตัวเก็บประจุมีค่าคงตัว ดังนั้น

$$C = \frac{Q_1}{\Delta V_1} \quad (1)$$

$$C = \frac{Q_2}{\Delta V_2} \quad (2)$$

$$\frac{(1)}{(2)} \text{ จะได้}$$

$$Q_2 = \frac{\Delta V_2}{\Delta V_1} Q_1$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned} Q_2 &= \left(\frac{12.0 \text{ V}}{9.0 \text{ V}} \right) (6.0 \text{ } \mu\text{C}) \\ &= 8.0 \text{ } \mu\text{C} \end{aligned}$$

ตอบ ตัวเก็บประจุมีประจุบนตัวเก็บประจุเท่ากับ 8.0 ไมโครคูลอมบ์

8. ตัวเก็บประจุแบบแผ่นคู่ขนาน เมื่อต่อเข้ากับความต่างศักย์ 500 โวลต์ จะมีพลังงานถูกเก็บไว้ 4.0×10^{-3} จูล จงหาความจุของตัวเก็บประจุ

วิธีทำ พลังงานที่ถูกเก็บไว้ในตัวเก็บประจุหาได้จากสมการ $U = \frac{1}{2}C(\Delta V_1)^2$

$$\text{แทนค่า จะได้} \quad 4.0 \times 10^{-3} \text{ J} = \frac{1}{2}C(500 \text{ V})^2$$

$$C = 32 \times 10^{-9} \text{ F}$$

$$= 32 \text{ nF}$$

ตอบ ตัวเก็บประจุมีความจุเท่ากับ 32×10^{-9} ฟารัด หรือ 32 นาโนฟารัด

9. ตัวเก็บประจุตัวหนึ่งมีความจุ 40 ไมโครฟารัด เดิมมีความต่างศักย์เป็นศูนย์ ถ้าต้องการให้มีความต่างศักย์เป็น 100 โวลต์ งานที่ต้องทำในการใส่ประจุเข้าไปมีค่าเท่าใด

วิธีทำ งานที่ต้องทำ = พลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ U โดย $U = \frac{1}{2}C(\Delta V_1)^2$

ในที่นี้ $C = 40 \times 10^{-6} \text{ F}$ และ $\Delta V = 100 \text{ V}$

$$\text{แทนค่า จะได้} \quad U = \frac{1}{2}(40 \times 10^{-6} \text{ F})(100 \text{ V})^2$$

$$= 0.2 \text{ J}$$

ตอบ งานที่ต้องทำในการใส่ประจุเข้าไปมีค่าเท่ากับ 0.2 จูล

10. ตัวเก็บประจุ 3 ตัว มีความจุ 6 ไมโครฟารัดเท่ากัน ต่อตัวเก็บประจุทั้งสามแบบอนุกรม แล้วต่อกับความต่างศักย์ ΔV ถ้าพลังงานที่เก็บไว้ในตัวเก็บประจุตัวหนึ่งเท่ากับ 3×10^{-4} จูล

จงหา ก. ความต่างศักย์ ΔV

ข. ประจุสะสมบนตัวเก็บประจุแต่ละตัว

วิธีทำ ก. ถ้า ΔV_1 เป็นความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุตัวที่หนึ่งซึ่งมีความจุ C_1 และ U_1 เป็นพลังงานที่เก็บไว้ในตัวเก็บประจุตัวที่หนึ่ง จะได้

$$U = \frac{1}{2}C(\Delta V_1)^2$$

$$\text{แทนค่า จะได้} \quad 3 \times 10^{-4} \text{ J} = \frac{1}{2}(6 \times 10^{-6} \text{ F})(\Delta V_1)^2$$

$$(\Delta V_1)^2 = (10 \text{ V})^2$$

$$\Delta V_1 = 10 \text{ V}$$

เนื่องจากการต่อตัวเก็บประจุเป็นการต่อแบบอนุกรม ดังนั้น

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3$$

จะได้

$$\begin{aligned}\Delta V &= 3(\Delta V_1) \\ &= 30 \text{ V}\end{aligned}$$

ตอบ ความต่างศักย์ ΔV เท่ากับ 30 โวลต์

วิธีทำ ข. ถ้า Q_1 เป็นประจุบนตัวเก็บประจุตัวหนึ่ง

$$\begin{aligned}Q_1 &= C_1 \Delta V_1 \\ &= (6 \mu\text{F})(10 \text{ V}) \\ &= 60 \mu\text{C}\end{aligned}$$

การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม จะได้ $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$
ดังนั้น มีประจุบนตัวเก็บประจุแต่ละตัวเท่ากับ 60 ไมโครคูลอมบ์

ตอบ ประจุบนตัวเก็บประจุแต่ละตัวเท่ากับ 60 ไมโครคูลอมบ์

11. ตัวเก็บประจุ 2 ตัว มีความจุ 4 และ 6 ไมโครฟารัด ตามลำดับ ถ้าต่อตัวเก็บประจุทั้งสองแบบอนุกรมได้ความจุรวม C_s และถ้าต่อตัวเก็บประจุแบบขนานได้ความจุรวม C_p จงหาอัตราส่วนระหว่าง C_s ต่อ C_p

วิธีทำ ถ้าต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรม ความจุสมมูลมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}\frac{1}{C_s} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \\ \frac{1}{C_s} &= \frac{1}{4 \mu\text{F}} + \frac{1}{6 \mu\text{F}} \\ &= \frac{6+4}{24 \mu\text{F}} \\ C_s &= \frac{24 \mu\text{F}}{10} \\ &= 2.4 \mu\text{F}\end{aligned}$$

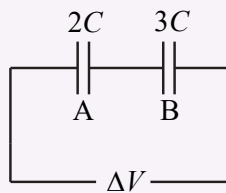
จะได้

ถ้าต่อตัวเก็บประจุแบบขนาน ความจุสมมูลมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} C_p &= C_1 + C_2 \\ &= 4 \mu\text{F} + 6 \mu\text{F} \\ &= 10 \mu\text{F} \\ \frac{C_s}{C_p} &= \frac{2.4 \mu\text{F}}{10 \mu\text{F}} \\ &= 0.24 \end{aligned}$$

ตอบ อัตราส่วนระหว่าง C_s ต่อ C_p เท่ากับ 0.24

12. ตัวเก็บประจุ A และ B มีความจุ $2C$ และ $3C$ ตามลำดับ เริ่มต้นไม่มีประจุไฟฟ้า นำมาต่ออนุกรม และต่อกับความต่างศักย์ ΔV ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 12

อัตราส่วนของพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ A ต่อ B มีค่าเท่าใด

วิธีทำ วิธีที่ 1.

เมื่อนำตัวเก็บประจุ A และ B มาต่ออนุกรม จะทำให้ประจุของตัวเก็บประจุแต่ละตัว

มีค่าเท่ากัน ($Q_A = Q_B$) และพลังงานในตัวเก็บประจุ หาได้จากสมการ $U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$

สำหรับตัวเก็บประจุ A พลังงานในตัวเก็บประจุ A คือ

$$U_A = \frac{1}{2} \frac{Q_A^2}{C_A} \quad (1)$$

สำหรับตัวเก็บประจุ B พลังงานในตัวเก็บประจุ B คือ

$$U_B = \frac{1}{2} \frac{Q_B^2}{C_B} \quad (2)$$

$$\frac{(1)}{(2)} \quad \frac{U_A}{U_B} = \frac{C_B}{C_A} \frac{Q_A^2}{Q_B^2}$$

ในที่นี้ $Q_A = Q_B$, $C_A = 2C$ และ $C_B = 3C$

แทนค่า
$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{C_B}{C_A} = \frac{3C}{2C} = \frac{3}{2}$$

วิธีที่ 2.

เมื่อนำตัวเก็บประจุ A และ B มาต่ออนุกรม จะทำให้ประจุของตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน ($Q_A = Q_B$) ความต่างศักย์ V ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุแต่ละตัว

หาได้จาก $Q = C\Delta V$ และพลังงานในตัวเก็บประจุ หาได้จากสมการ $U = \frac{1}{2}Q\Delta V$ สำหรับตัวเก็บประจุ A พลังงานในตัวเก็บประจุ A คือ

$$U_A = \frac{1}{2}Q_A\Delta V_A \quad (1)$$

สำหรับตัวเก็บประจุ B พลังงานในตัวเก็บประจุ B คือ

$$U_B = \frac{1}{2}Q_B\Delta V_B \quad (2)$$

$$\frac{(1)}{(2)} \quad \frac{U_A}{U_B} = \frac{Q_A\Delta V_A}{Q_B\Delta V_B}$$

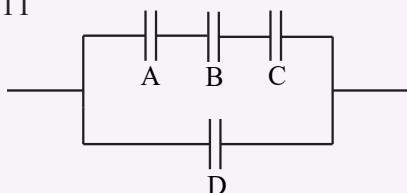
ในที่นี้ $Q_A = Q_B$, $\Delta V_A = \frac{Q_A}{C_A}$ และ $\Delta V_B = \frac{Q_B}{C_B}$

แทนค่า
$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{C_B}{C_A}$$

$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{3C}{2C} = \frac{3}{2}$$

ตอบ อัตราส่วนพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ A ต่อ B เท่ากับ 3:2

13. ตัวเก็บประจุ A, B, C และ D มีความจุ C , $2C$, $3C$ และ $4C$ ตามลำดับ เมื่อนำมาต่อกัน ดังรูป ได้ความจุสมมูลเท่ากับ $\frac{250}{11}$ ไมโครฟารัด



รูป ประกอบปัญหาข้อ 13

ตัวเก็บประจุ A มีความจุเท่าใด

วิธีทำ หาความจุของ A, B และ C ซึ่งต่ออนุกรม จากสมการ $\frac{1}{C_{ABC}} = \frac{1}{C_A} + \frac{1}{C_B} + \frac{1}{C_C}$

หาความจุสมมูล $C_{\text{สมมูล}}$ โดย C_{ABC} ต่อขนานกับ C_D จาก $C_{\text{สมมูล}} = C_{ABC} + C_D$

$$\frac{1}{C_{ABC}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{2C} + \frac{1}{3C} = \frac{11}{6C}$$

$$C_{ABC} = \frac{6C}{11}$$

$$= \frac{6C}{11} + 4C = \frac{50C}{11}$$

แต่ความจุสมมูล $C_{\text{สมมูล}}$ มีค่า $\frac{250}{11} \mu\text{F}$

ดังนั้น $\frac{250}{11} \mu\text{F} = \frac{50C}{11}$

$$C = 5 \mu\text{F}$$

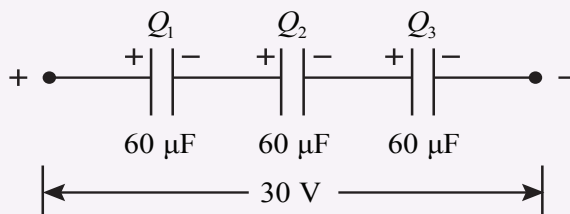
ตอบ ตัวเก็บประจุ A มีความจุเท่ากับ 5 ไมโครฟารัด

14. ตัวเก็บประจุ 3 ตัว แต่ละตัวมีความจุ 60 ไมโครฟารัด เมื่อนำตัวเก็บประจุทั้งสามต่อแบบอนุกรม แล้วต่อเข้ากับความต่างศักย์ 30 โวลต์ ต่อมา นำตัวเก็บประจุทั้งสามมาต่อแบบขนานแล้วต่อเข้ากับความต่างศักย์ 30 โวลต์ จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. ในการต่อแบบอนุกรม จะมีประจุบนตัวเก็บประจุแต่ละตัวเท่าใด

ข. ในการต่อแบบขนาน จะมีประจุบนตัวเก็บประจุแต่ละตัวเท่าใด

วิธีทำ ก. ถ้าต่อตัวเก็บประจุทั้งสามแบบอนุกรม แล้วต่อเข้ากับความต่างศักย์ 30 โวลต์ ดังรูป



ถ้า C เป็นความจุสมมูล และ Q เป็นประจุสุทธิ จะได้

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{60 \mu\text{F}} + \frac{1}{60 \mu\text{F}} + \frac{1}{60 \mu\text{F}}$$

$$= \frac{3}{60 \mu\text{F}}$$

$$C = 20 \mu\text{F}$$

จาก

$$Q = C\Delta V$$

จะได้

$$Q = (20 \mu\text{F})(30 \text{ V})$$

$$= 600 \mu\text{C}$$

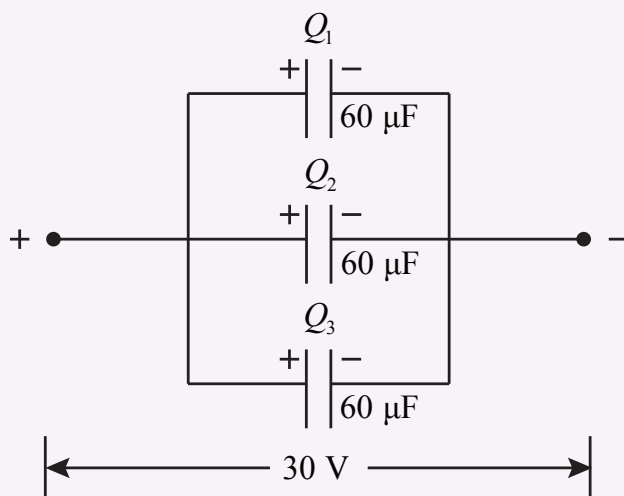
ถ้า Q_1 , Q_2 และ Q_3 เป็นประจุที่เกิดขึ้นบนตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะได้

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$$

$$\text{ดังนั้น } Q_1 = Q_2 = Q_3 = 600 \mu\text{C}$$

ตอบ การต่อแบบอนุกรม มีประจุบนตัวเก็บประจุแต่ละตัวเท่ากับ 600 ไมโครคูลอมบ์

วิธีทำ ข. ถ้าต่อตัวเก็บประจุทั้งสามแบบขนาน แล้วต่อเข้ากับขั้วที่มีความต่างศักย์ 30 V ดังรูป



ถ้า ΔV_1 , ΔV_2 และ ΔV_3 เป็นความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุแต่ละตัว โดย Q_1 , Q_2 และ Q_3 เป็นประจุที่สะสมบนตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะได้

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V_3 = 30 \text{ V}$$

$$\text{จาก } Q = C\Delta V$$

จะได้

$$Q_1 = C_1\Delta V_1$$

$$Q_2 = C_2\Delta V_2$$

และ

$$Q_3 = C_3\Delta V_3$$

แต่

$$C_1 = C_2 = C_3 = 60 \mu\text{F}$$

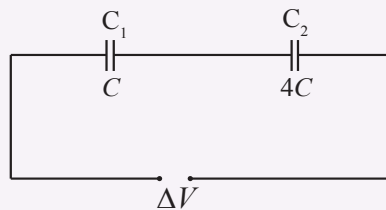
ดังนั้น

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = (60 \mu\text{F})(30 \text{ V})$$

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = 1800 \mu\text{C}$$

ตอบ การต่อแบบขนาน มีประจุบนตัวเก็บประจุแต่ละตัวเท่ากับ 1800 ไมโครคูลอมบ์

15. ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 มีความจุ C และ $4C$ ตามลำดับ ต่ออนุกรมกันแล้วต่อกับความต่างศักย์ ΔV ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 15

ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุ C_1 มีค่าเท่าใด

วิธีทำ ความต่างศักย์ ΔV ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุ หาได้จากอัตราส่วนระหว่างประจุ

$$\text{ต่อความจุตามสมการ } \Delta V = \frac{Q}{C}$$

$$\text{หาความจุสมมูลของตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรม จากสมการ } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

แทนค่า

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C} + \frac{1}{4C}$$

$$C = \frac{4C}{5}$$

หาประจุรวมในวงจรตัวเก็บประจุ จากสมการ $Q = C\Delta V$

แทนค่า

$$Q = \left(\frac{4C}{5}\right)\Delta V$$

พิจารณาตัวเก็บประจุ C_1

การต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรมทำให้ประจุของตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน คือ

$\left(\frac{4C}{5}\right)\Delta V$ และความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุ C_1 หาได้จากสมการ

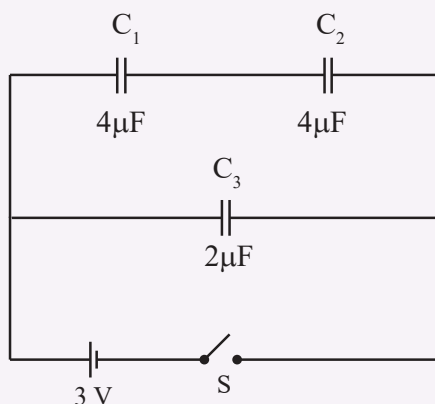
$$Q_1 = C_1 \Delta V_1$$

แทนค่า
$$\left(\frac{4C}{5}\right)\Delta V = C\Delta V_1$$

$$\Delta V_1 = \frac{4\Delta V}{5}$$

ตอบ ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวเก็บประจุ C_1 มีค่า $\frac{4\Delta V}{5}$

16. ตัวเก็บประจุ C_1 , C_2 และ C_3 มีความจุ 4 ไมโครฟารัด 4 ไมโครฟารัด และ 2 ไมโครฟารัด ตามลำดับ แบตเตอรี่ 3 โวลต์ และสวิตช์ S ต่อกันเป็นวงจร ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 16

ถ้าขณะวงจรเปิด ตัวเก็บประจุยังไม่มีประจุ เมื่อสับสวิตช์ S ลงให้ครบวงจร จะเกิดการประจุเข้าตัวเก็บประจุ

ก. ตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีประจุเท่าใด

ข. พลังงานไฟฟ้าที่สะสมในตัวเก็บประจุ C_3 มีค่าเท่าใด

วิธีทำ ก. ประจุของตัวเก็บประจุ หาได้จาก $Q = C\Delta V$

หาประจุของตัวเก็บประจุ C_3 จากสมการ $Q = C\Delta V$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned} Q_3 &= (2 \mu\text{F})(3 \text{ V}) \\ &= 6 \mu\text{C} \end{aligned}$$

หาความจุสมมูลของตัวเก็บประจุแถวบนที่ต่ออนุกรม จากสมการ $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned} \frac{1}{C_{12}} &= \frac{1}{4 \mu\text{F}} + \frac{1}{4 \mu\text{F}} \\ C_{12} &= 2 \mu\text{F} \end{aligned}$$

ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ที่ต่ออนุกรม ทำให้ประจุของตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน
ดังนั้น $Q_1 = Q_2 = (2 \mu\text{F})(3 \text{ V}) = 6 \mu\text{C}$

ตอบ ตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีประจุเท่ากันมีค่า 6 ไมโครคูลอมบ์

วิธีทำ ข. พลังงานไฟฟ้าที่สะสมในตัวเก็บประจุ C_3 หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{2} C (\Delta V)^2 \\ &= \frac{1}{2} (2 \mu\text{F})(3 \text{ V})^2 \\ &= 9 \mu\text{J} \end{aligned}$$

ตอบ พลังงานไฟฟ้าที่สะสมในตัวเก็บประจุ C_3 มีค่า 9 ไมโครจูล

ปัญหาท้าทาย

17. มีทรงกลมตัวนำ 2 ลูก ลูกหนึ่งมีรัศมี 3.0 เซนติเมตร และมีประจุ -20 นาโนคูลอมบ์ อีกลูกหนึ่งมีรัศมี 5.0 เซนติเมตร และมีประจุ 100 นาโนคูลอมบ์ ใช้ลวดตัวนำแต่ละที่ผิวทรงกลมตัวนำทั้งสองลูก จะมีการถ่ายโอนประจุจากทรงกลมหนึ่งไปยังอีกทรงกลมหนึ่ง เมื่อประจุหยุดถ่ายโอน จงหาประจุบนทรงกลมตัวนำแต่ละลูก

วิธีทำ เมื่อนำทรงกลมตัวนำที่มีประจุ $Q_1 = -20$ nC มาแตะกับทรงกลมตัวนำที่มีประจุ $Q_1 = 100$ nC จะมีการถ่ายโอนประจุจากทรงกลมไปยังอีกทรงกลมหนึ่ง เมื่อประจุหยุดถ่ายโอน ศักย์ไฟฟ้าที่แต่ละทรงกลมตัวนำมีค่าเท่ากัน

$$V_1' = V_2'$$

ถ้าไม่มีประจุสะสมบนลวดและทรงกลมทั้งสองอยู่ห่างกันมาก

$$\text{หรือ} \quad k \frac{Q_1'}{r_1} = k \frac{Q_2'}{r_2} \quad (1)$$

ใช้หลักการถ่ายโอนประจุแรกจะมีประจุ Q_1' ส่วนทรงกลมที่สองมีประจุ Q_2' จากกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า

$$\text{จะได้} \quad Q_1' + Q_2' = Q_1 + Q_2 \quad (2)$$

จากสมการ (1) และ (2) จะได้

$$Q_1' = \frac{r_1}{r_1 + r_2} (Q_1 + Q_2)$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad Q_1' &= \frac{3.0 \text{ cm}}{3.0 \text{ cm} + 5.0 \text{ cm}} (-20 \text{ nC} + 100 \text{ nC}) \\ &= 30 \text{ nC} \end{aligned}$$

ประจุบนทรงกลมตัวนำ Q_1' มีค่า 30 นาโนคูลอมบ์

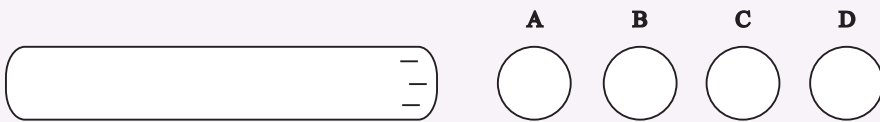
และสำหรับทรงกลมตัวนำลูกที่สอง จะมีประจุ

$$\begin{aligned} Q_2' &= \frac{r_2}{r_1 + r_2} (Q_1 + Q_2) \\ Q_2' &= \frac{5.0 \text{ cm}}{3.0 \text{ cm} + 5.0 \text{ cm}} (-20 \text{ nC} + 100 \text{ nC}) \\ &= 50 \text{ nC} \end{aligned}$$

ประจุบนทรงกลมตัวนำ Q_2' มีค่า 50 นาโนคูลอมบ์

ตอบ ประจุบนทรงกลมตัวนำ Q_1' มีค่า 30 นาโนคูลอมบ์ และประจุบนทรงกลมตัวนำ Q_2' มีค่า 50 นาโนคูลอมบ์

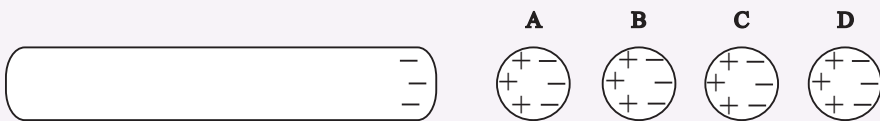
18. นำแท่งวัตถุที่มีประจุลบมาไว้ใกล้ๆ ทรงกลมตัวนำ A B C และ D ที่มีขนาดเท่ากันและเป็นกลาง ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 18

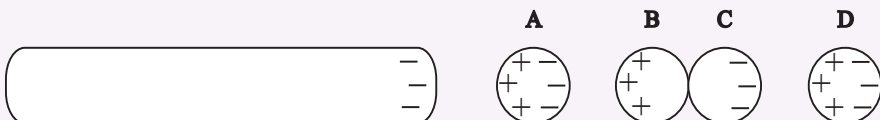
หลังจากนั้นเลื่อนทรงกลม B และทรงกลม C มาสัมผัสกันสักครู่ แล้วแยกทรงกลม B และทรงกลม C ออกมาไว้ที่เดิม ต่อจากนั้นนำแท่งวัตถุที่มีประจุลบออก ทรงกลมตัวนำ A B C และ D จะมีประจุชนิดใด

วิธีทำ เมื่อนำแท่งวัตถุที่มีประจุลบมาไว้ใกล้ๆ ทรงกลมตัวนำ A B C และ D จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดประจุบวกและลบบนทรงกลมตัวนำ ดังรูป ก.



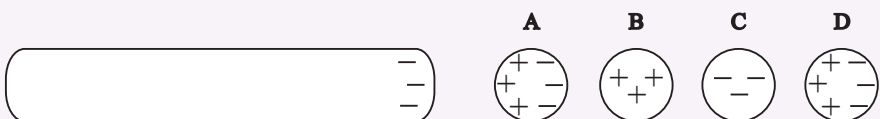
รูป ก.

เมื่อนำทรงกลม B และทรงกลม C มาสัมผัสกัน ประจุลบที่อยู่ด้านขวาของทรงกลม B จะเคลื่อนที่ไปรวมกับประจุบวกที่อยู่ทางซ้ายของทรงกลม C จนเป็นกลาง ดังรูป ข.



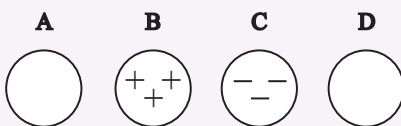
รูป ข.

เมื่อแยกทรงกลม B และทรงกลม C มาไว้ที่เดิม ทรงกลม B จะมีประจุบวก และทรงกลม C จะมีประจุลบ ดังรูป ค. ส่วนทรงกลม A และทรงกลม D ยังคงมีประจุเหมือนเดิม



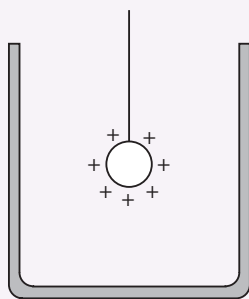
รูป ค.

เมื่อนำแท่งวัตถุที่มีประจุลบออกไป ประจุบวกและลบบนทรงกลม A และทรงกลม D จะรวมกันเป็นกลาง ส่วนทรงกลม B มีประจุบวก และทรงกลม C มีประจุลบ ดังรูป ง.



รูป ง.

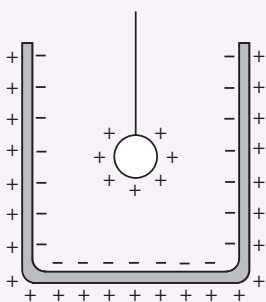
19. เมื่อย่นทรงกลมตัวนำที่มีประจุบวกลงไปในไว้ที่ตำแหน่งกลางของกระป๋องโลหะ ดังรูป



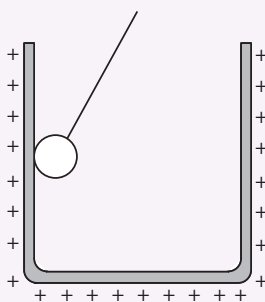
รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 19

ในขณะหนึ่ง ถ้าทรงกลมตัวนำเอียงไปแตะผนังด้านในของกระป๋องโลหะ แล้ววกกลับมาอยู่ที่ตำแหน่งเดิม ประจุบนทรงกลมตัวนำและกระป๋องโลหะเป็นประจุชนิดใด

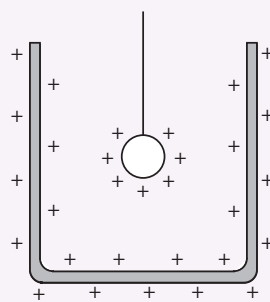
วิธีทำ



รูป ก.



รูป ข.



รูป ค.

เมื่อหย่อนกระป๋องทรงกลมตัวนำที่มีประจุบวกไปอยู่ตรงกลางของกระป๋องโลหะ จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดประจุลบที่ผิวด้านในและผลักประจุบวกไปอยู่ที่ผิวด้านนอกของกระป๋องโลหะดังรูป ก. เมื่อเลื่อนทรงกลมตัวนำที่มีประจุบวกไปแตะผิวในด้านซ้ายของกระป๋องโลหะ ประจุลบที่ผิวด้านในของกระป๋องโลหะจะเคลื่อนที่ไปรวมกับประจุบวกบนทรงกลมตัวนำจนเป็นกลางทั้งทรงกลมตัวนำและผิวด้านในของกระป๋องโลหะดังรูป ข. หลังจากนั้นประจุบวกที่ผิวนอกของกระป๋องโลหะจะกระจายไปอยู่ที่ผิวในของกระป๋องโลหะ และบนผิวทรงกลมตัวนำ เมื่อประจุอยู่ในสมดุล จะมีแรงผลักจากประจุบนผิวด้านในของกระป๋องโลหะกระทำต่อทรงกลมตัวนำ ทำให้ทรงกลมตัวนำไปอยู่ตรงกลางของกระป๋องโลหะเหมือนเดิม ดังรูป ค.

ตอบ กระป๋องโลหะและทรงกลมตัวนำมีประจุบวก

20. ในการเกิดฟ้าผ่าครั้งหนึ่ง มีอิเล็กตรอนถ่ายโอนจากก้อนเมฆไปยังพื้นดินจำนวน 2.50×10^{19} ตัว ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลา 160 ไมโครวินาที ถ้าประจุของอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.60×10^{-19} คูโลมบ์ จงหาอัตราการถ่ายโอนประจุระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน

วิธีทำ

$$Q = 2.50 \times 10^{19} \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$= 4.00 \text{ C}$$

$$t = 160 \times 10^{-6} \text{ s}$$

$$\frac{Q}{t} = \frac{4.00 \text{ C}}{160 \times 10^{-6} \text{ s}}$$

$$= 25\,000 \text{ C/s}$$

ตอบ อัตราการถ่ายโอนประจุระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดินเท่ากับ 25 000 คูโลมบ์ต่อวินาที

21. ลูกพิท 2 ลูกมีประจุ Q_1 และ Q_2 ตามลำดับ ถ้าลูกพิททั้งสองวางห่างกัน 20 เซนติเมตร จะเกิดแรงระหว่างลูกพิทมีขนาด F ถ้าต้องการให้แรงระหว่างลูกพิทมีขนาด $4F$ ต้องวางลูกพิทห่างกันเท่าใด

วิธีทำ จากกฎของคูลอมบ์

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

ให้ลูกพิทห่างกัน 20 cm ขนาดของแรงระหว่างลูกพิทเป็น F

$$\text{จะได้} \quad F = k \frac{Q_1 Q_2}{(0.2 \text{ m})^2} \quad (1)$$

เมื่อลูกพิทห่างกัน a ขนาดของแรงระหว่างลูกพิทเป็น $4F$

$$\text{จะได้} \quad 4F = k \frac{Q_1 Q_2}{a^2} \quad (2)$$

แทน F จาก (1) ใน (2) จะได้

$$4k \frac{Q_1 Q_2}{(0.2 \text{ m})^2} = k \frac{Q_1 Q_2}{a^2}$$

$$\frac{4}{(0.2 \text{ m})^2} = \frac{1}{a^2}$$

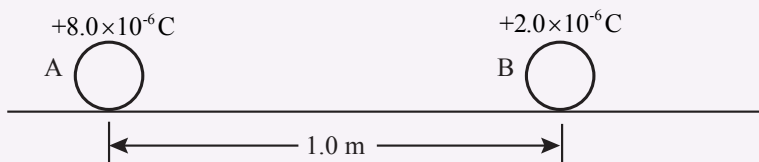
$$\frac{2}{0.2 \text{ m}} = \frac{1}{a}$$

$$a = 0.10 \text{ m}$$

$$= 10 \text{ cm}$$

ตอบ ต้องวางลูกพิทห่างกัน 10 เซนติเมตร

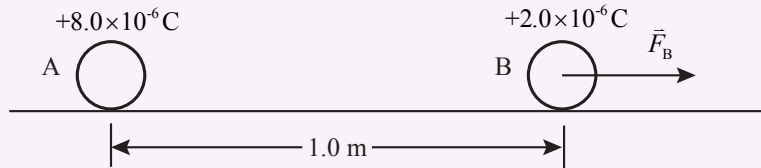
22. ทรงกลมตัวนำขนาดเล็ก A และ B มีประจุ $+8.0 \times 10^{-6}$ คูลอมบ์ และ $+2.0 \times 10^{-6}$ คูลอมบ์ ตามลำดับ วางทรงกลมทั้งสองบนโต๊ะฉนวนลื่นห่างกัน 1.0 เมตร ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 22

ถ้าทรงกลม B มีมวล 1.0 กรัม และถูกแรงผลักจากทรงกลม A ทำให้เคลื่อนที่ ทรงกลม B จะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเริ่มต้นเท่าใด

วิธีทำ ให้ F_B เป็นขนาดของแรงที่ทรงกลม A ผลักทรงกลม B ดังรูป



จากกฎของคูลอมบ์

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

พิจารณาทรงกลมตัวนำ B

$$\begin{aligned} F_B &= k \frac{Q_A Q_B}{r^2} \\ &= (9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2) \frac{(8.0 \times 10^{-6} \text{ C})(2.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(1.0 \text{ m})^2} \\ &= 0.144 \text{ N} \end{aligned}$$

จากสมการ

$$\sum F = ma$$

จะได้

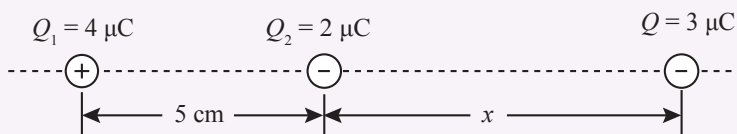
$$F_B = m_B a_B$$

$$0.144 \text{ N} = (1.0 \times 10^{-3} \text{ kg}) a_B$$

$$a_B = 1.44 \times 10^2 \text{ m/s}^2$$

ตอบ ทรงกลม B จะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเริ่มต้น 144 เมตรต่อวินาที²

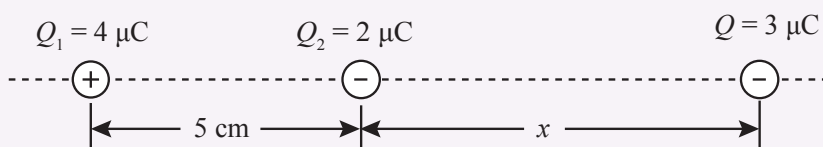
23. จุดประจุ Q_1 , Q_2 และ Q วางในแนวเส้นตรง ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 23

จงหาค่าของ x ที่ทำให้แรงลัพธ์ที่กระทำต่อจุดประจุ Q เป็นศูนย์ ในหน่วยเซนติเมตร

วิธีทำ ให้ $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ เป็นแรงระหว่าง Q_1 กับ Q และ Q_2 กับ Q ตามลำดับ โดยที่ $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ มีทิศดังแสดงในรูป



จากกฎของคูลอมบ์

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

ถ้าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุ Q เป็นศูนย์ จะได้

$$F_1 = F_2$$

$$k \frac{Q_1 Q}{r_1^2} = k \frac{Q_2 Q}{r_2^2}$$

$$\frac{Q_1}{r_1^2} = \frac{Q_2}{r_2^2}$$

ถ้า Q_1 และ Q_2 มีหน่วย μC และ r_1 มีหน่วย cm จะได้ $r_2 = x$ มีหน่วย cm ดังนี้

$$\frac{4\mu\text{C}}{(5\text{ cm} + x)^2} = \frac{2\mu\text{C}}{x^2}$$

$$2x^2 = 25 + 10x + x^2$$

$$x^2 - 10x - 25 = 0$$

$$x = \frac{10 \pm \sqrt{100 - 4(1)(-25)}}{2}$$

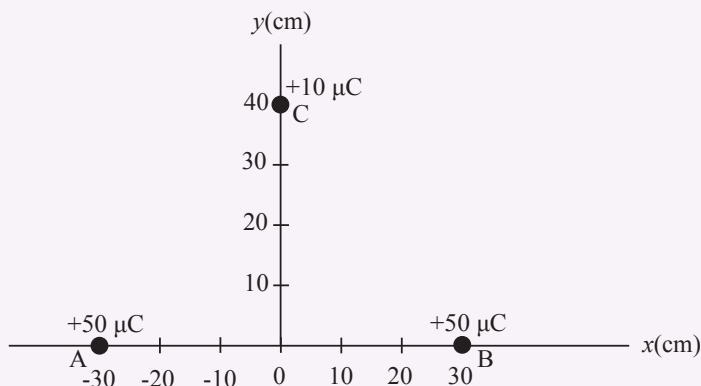
$$= \frac{10 \pm 10\sqrt{2}}{2}$$

$$= \frac{10 + 14.14}{2}$$

$$= 12.07\text{ cm}$$

ตอบ x เท่ากับ 12.07 เซนติเมตร

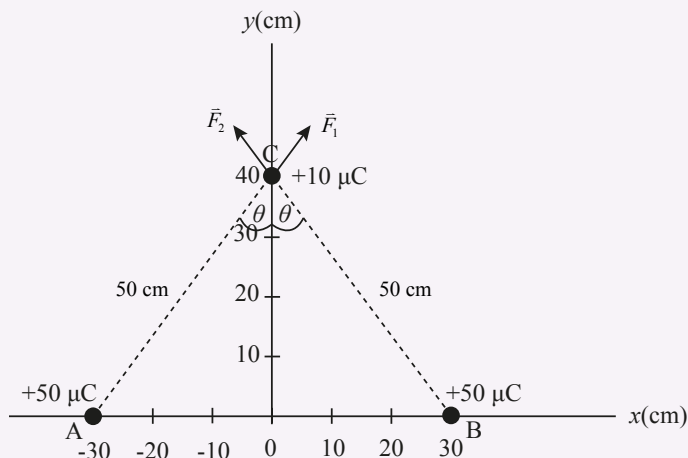
24. จุดประจุ $+50$ ไมโครคูลอมบ์ 2 จุดประจุ วางอยู่บนแกน x ที่จุด A และ B ตามลำดับ ส่วนจุดประจุ $+10$ ไมโครคูลอมบ์ วางอยู่บนแกน y ที่จุด C ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 24

จงหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อจุดประจุที่จุด C

วิธีทำ ให้ $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ เป็นแรงระหว่างจุดประจุที่จุด A และ B กระทำต่อจุดประจุที่ C ซึ่งมีทิศดังรูป



จากกฎของคูลอมบ์

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

เนื่องจากจุดประจุที่จุด A และจุด B มีขนาดเท่ากันและอยู่ห่างจากจุด C เท่ากัน ดังนั้น

$\vec{F}_1$ จึงมีขนาดเท่ากับ $\vec{F}_2$

$$F_1 = (9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2) \frac{(50 \times 10^{-6} \text{ C})(50 \times 10^{-6} \text{ C})}{(50 \times 10^{-2} \text{ m})^2}$$

$$= 90 \text{ N}$$

ซึ่ง $F_1 = F_2$ ดังนั้น $F_2 = 90 \text{ N}$

แยก $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ ออกเป็นองค์ประกอบในแนวขนานกับแกน x และแกน y จะได้
 แกน x $F_1 \sin \theta$ และ $F_2 \sin \theta$ ซึ่งมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงข้าม จึงหักล้างกัน
 แกน y $F_1 \cos \theta$ และ $F_2 \cos \theta$ ซึ่งมีทิศเดียวกัน

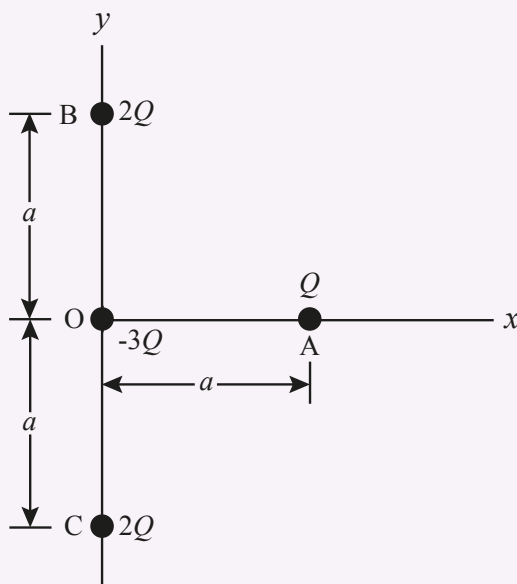
ให้ $\sum F$ เป็นขนาดของแรงลัพธ์ จะได้

$$\begin{aligned} \sum F &= F_1 \cos \theta + F_2 \cos \theta \\ &= (90 \text{ N}) \left(\frac{4}{5} \right) + (90 \text{ N}) \left(\frac{4}{5} \right) \\ &= 144 \text{ N} \end{aligned}$$

ตอบ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อจุดประจุที่จุด C มีขนาดเท่ากับ 144 นิวตัน มีทิศทาง +y

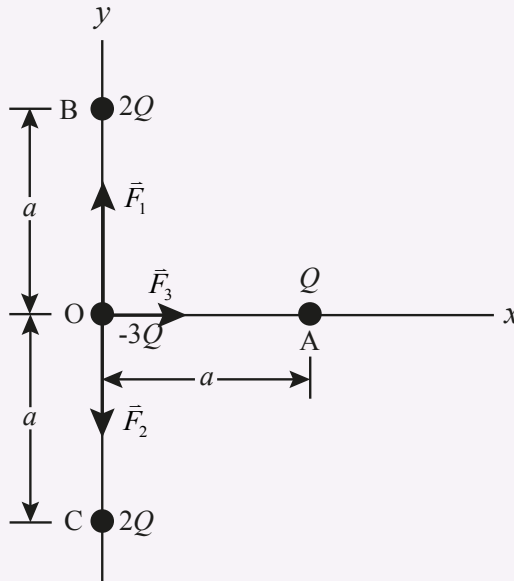
25. จุดประจุ Q , $2Q$, $2Q$ และ $-3Q$ ที่จุด A B C และ O ดังรูป

จงหาขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อจุดประจุ $-3Q$ ในเทอมของ k Q และ a พร้อมระบุทิศทางของแรงลัพธ์



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 25

วิธีทำ ให้ $\vec{F}_1$ $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$ เป็นแรงที่จุดประจุ $2Q$ $2Q$ และ Q กระทำต่อจุดประจุ $-3Q$ ตามลำดับ



จากกฎของคูลอมบ์

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

จะได้

$$F_1 = k \frac{(2Q)(3Q)}{a^2}$$

$$F_2 = k \frac{(2Q)(3Q)}{a^2}$$

$$F_3 = k \frac{(Q)(3Q)}{a^2}$$

เนื่องจาก $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามจึงหักล้างกัน

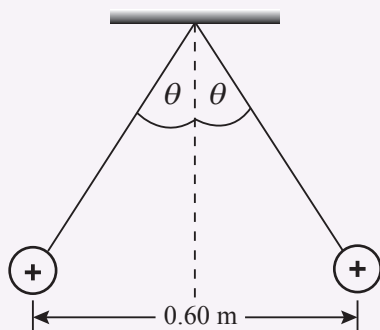
ถ้า $\sum F$ เป็นแรงลัพธ์ที่กระทำต่อจุดประจุ $-3Q$ ที่จุด O

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \sum F &= F_3 \\ &= 3k \frac{Q^2}{a^2} \end{aligned}$$

ตอบ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประจุ $-3Q$ มีขนาด $3k \frac{Q^2}{a^2}$ และมีทิศทาง +x

26. ทรงกลมตัวนำขนาดเล็ก 2 ลูก มีมวล 10 กรัมเท่ากัน ผูกทรงกลมทั้งสองกับเส้นด้ายยาว 1.00 เมตร แล้วแขวนจุดกึ่งกลางไว้ที่จุด ๆ หนึ่ง เมื่อให้ประจุบวกจำนวนเท่ากันแก่ทรงกลมตัวนำทั้งสองลูก แรงผลักระหว่างประจุไฟฟ้า ทำให้ทรงกลมตัวนำอยู่ห่างกัน 0.60 เมตร และเส้นด้ายเอียงทำมุม θ กับแนวดิ่ง ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 26

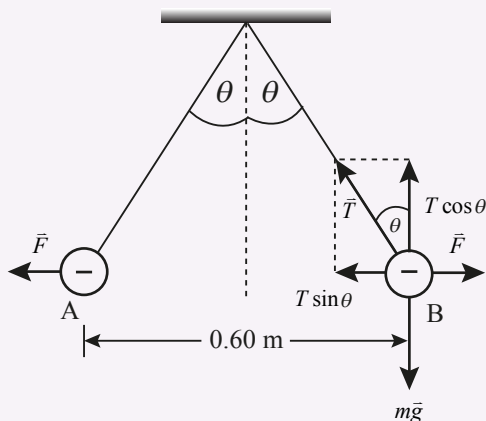
จงหาปริมาณประจุบนทรงกลมตัวนำแต่ละลูก

วิธีทำ ให้ Q เป็นปริมาณประจุบนทรงกลมตัวนำแต่ละลูก

F เป็นขนาดของแรงผลักระหว่างประจุบนทรงกลมตัวนำ

m เป็นมวลของทรงกลมตัวนำแต่ละลูก

T เป็นขนาดของแรงตึงในเส้นด้าย



พิจารณาทรงกลมตัวนำทางขวา เมื่อทรงกลมตัวนำอยู่ในสมดุล

$$T \sin \theta = F$$

$$T \sin \theta = k \frac{Q^2}{r^2} \quad (1)$$

$$T \cos \theta = mg \quad (2)$$

$$\frac{(1)}{(2)} \quad \tan \theta = \frac{kQ^2}{mgr^2}$$

$$\frac{0.30 \text{ m}}{0.40 \text{ m}} = \frac{(9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2)Q^2}{(10 \times 10^{-3} \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(0.60 \text{ m})^2}$$

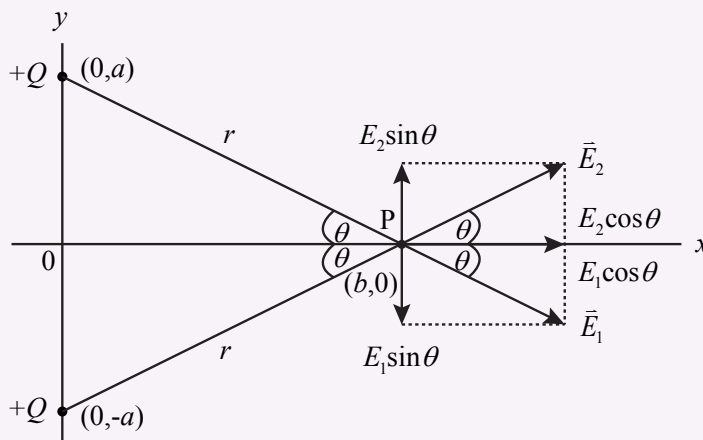
$$Q^2 = 2.94 \times 10^{-12} \text{ C}^2$$

$$Q = 1.71 \times 10^{-6} \text{ C}$$

ตอบ ประจุบนตัวนำแต่ละลูกเท่ากับ 1.71×10^{-6} คูลอมบ์

27. จุดประจุ $+Q$ สองจุดประจุ วางบนแกน y ที่ตำแหน่ง $(0, a)$ และ $(0, -a)$ จงหาขนาดของสนามไฟฟ้าลัพท์ที่จุด P ซึ่งอยู่ตำแหน่ง $(b, 0)$ ในเทอม k Q a และ b พร้อมทั้งระบุทิศทางของสนามไฟฟ้าลัพท์

วิธีทำ จุดประจุ $+Q$ ทั้งสองจุดประจุบนแกน y อยู่ห่างจากจุด P เป็นระยะ r เท่ากัน สนามไฟฟ้า E_1 และ E_2 เนื่องจากประจุทั้งสองที่ผ่านจุด P จึงมีขนาดเท่ากันและมีทิศ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 27

จากรูป

$$r = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

$$E_1 = E_2$$

$$= k \frac{Q}{a^2 + b^2}$$

ถ้า θ เป็นมุมที่ $\vec{E}_1$ และ $\vec{E}_2$ ทำกับแกน x

แยก $\vec{E}_1$ และ $\vec{E}_2$ ออกเป็นองค์ประกอบแนวแกน x และ y ตามลำดับ องค์ประกอบแนวแกน x จะได้

$$\begin{aligned} E_1 \cos \theta &= E_2 \cos \theta \\ &= \left(k \frac{Q}{a^2 + b^2} \right) \cos \theta \end{aligned}$$

ซึ่งมีทิศเดียวกัน

องค์ประกอบแนวแกน y จะได้

$$\begin{aligned} E_1 \sin \theta &= E_2 \sin \theta \\ &= \left(k \frac{Q}{a^2 + b^2} \right) \sin \theta \end{aligned}$$

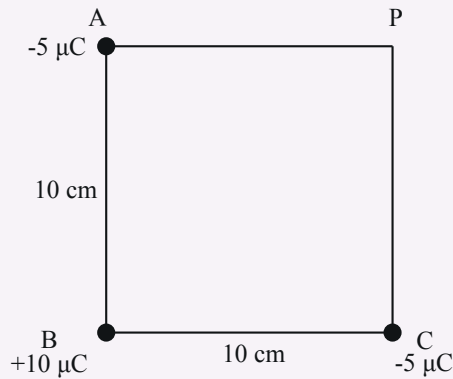
ซึ่งมีทิศตรงข้าม จึงหักล้างกัน

ถ้า $\sum F$ เป็นขนาดของสนามไฟฟ้าลัพธ์ที่จุด P จะได้

$$\begin{aligned} \sum E &= E_1 \cos \theta + E_2 \cos \theta \\ &= 2k \frac{Q}{a^2 + b^2} \cos \theta \\ &= 2k \frac{Q}{a^2 + b^2} \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \\ &= 2k \frac{Qb}{(a^2 + b^2)^{3/2}} \end{aligned}$$

ตอบ สนามไฟฟ้าที่จุด P มีขนาดเท่ากับ $2k \frac{Qb}{(a^2 + b^2)^{3/2}}$ และมีทิศทาง $+x$

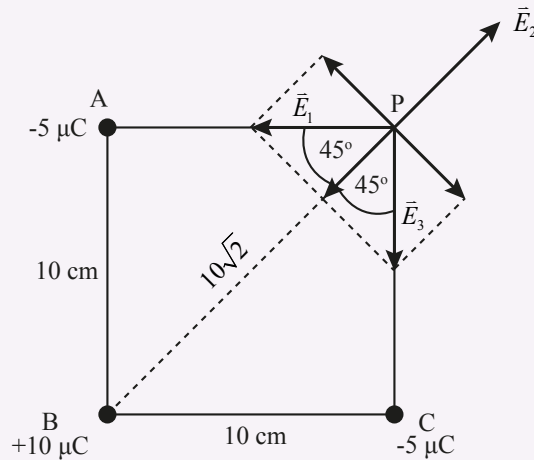
28. จุดประจุ -5 $+10$ และ -5 ไมโครคูลอมบ์ อยู่บนมุมทั้งสามของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีด้านยาว 10 เซนติเมตร ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 28

จงหาขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าลัพธ์ที่จุด P

วิธีทำ ขนาดของสนามไฟฟ้า E_1 และ E_3 ที่จุด P เนื่องจากประจุ $-5 \mu\text{C}$ มีทิศพุ่งเข้าหาประจุ $-5 \mu\text{C}$ และขนาดของสนามไฟฟ้า E_2 ที่จุด P เนื่องจากประจุ $+10 \mu\text{C}$ มีทิศพุ่งออกจากประจุ $+10 \mu\text{C}$ ดังรูป



จากสมการ

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

จะได้

$$E_1 = E_3$$

$$= (9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2) \left(\frac{5 \times 10^{-6} \text{ C}}{(10 \times 10^{-2} \text{ m})^2} \right)$$

$$= 45 \times 10^5 \text{ N/C}$$

และ

$$E_2 = (9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2) \left(\frac{10 \times 10^{-6} \text{ C}}{(10\sqrt{2} \times 10^{-2} \text{ m})^2} \right)$$

$$= 45 \times 10^5 \text{ N/C}$$

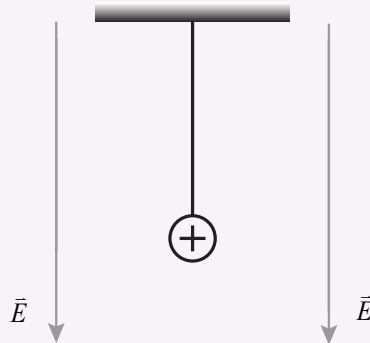
แยก E_1 และ E_2 ออกเป็น 2 องค์ประกอบดังนี้
 องค์ประกอบแนวเดียวกับ BP จะได้ $E_1 \cos 45^\circ$ และ $E_3 \cos 45^\circ$ ซึ่งมีขนาดเท่ากัน
 และทิศเดียวกัน องค์ประกอบในทิศตั้งฉากกับ BP จะได้ $E_1 \sin 45^\circ$ และ $E_3 \sin 45^\circ$
 ซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้าม จึงหักล้างกัน

ถ้า $\sum F$ เป็นขนาดของสนามไฟฟ้าลัพธ์ที่จุด P จะได้

$$\begin{aligned} \sum E &= (E_1 \cos 45^\circ + E_3 \cos 45^\circ) - E_2 \\ &= (45 \times 10^5 \text{ N/C} + 45 \times 10^5 \text{ N/C}) \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) - 45 \times 10^5 \text{ N/C} \\ &= 45 \times 10^5 \text{ N/C} (\sqrt{2}) - 45 \times 10^5 \text{ N/C} \\ &= 45 \times 10^5 \text{ N/C} (\sqrt{2} - 1) \\ &= 1.86 \times 10^6 \text{ N/C} \end{aligned}$$

ตอบ สนามไฟฟ้าลัพธ์ที่จุด P เท่ากับ 1.86×10^6 นิวตันต่อคูลอมบ์ ทิศพุ่งเข้าหาประจุ
 +10 ไมโครคูลอมบ์

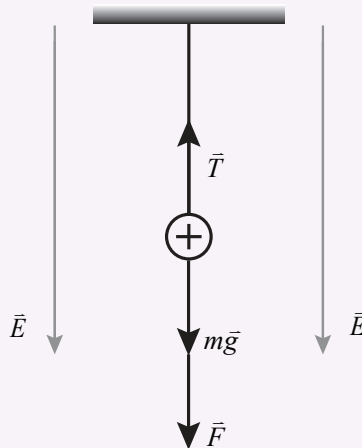
29. ทรงกลมขนาดเล็กมวล 0.50 กรัม มีประจุ $+6.0 \times 10^{-6}$ คูโลมบ์แขวนอยู่ในแนวดิ่งด้วยเส้นด้าย และอยู่ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขนาด 400 นิวตันต่อคูโลมบ์ มีทิศพุ่งลงในแนวดิ่ง ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 29

จงหาแรงตึงในเส้นด้าย

วิธีทำ ลูกกลมมวล m ประจุ $+q$ เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอจะมีแรง F เนื่องจากสนามไฟฟ้า กระทำต่อลูกกลมในทิศเดียวกับสนามไฟฟ้า ดังรูป



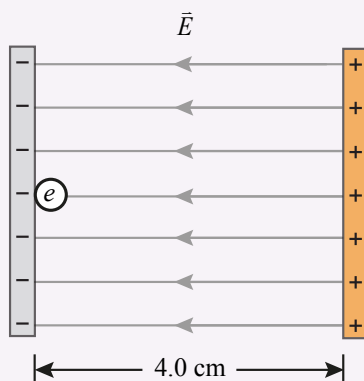
ถ้า T เป็นขนาดของแรงดึงในเส้นด้าย

เมื่อลูกกลมอยู่ในสมดุล จะได้

$$\begin{aligned} T &= F + mg \\ &= qE + mg \\ &= (6.0 \times 10^{-6} \text{ C})(400 \text{ N/C}) + (0.50 \times 10^{-3} \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2) \\ &= (24.0 \times 10^{-4} \text{ N}) + (49.0 \times 10^{-4} \text{ N}) \\ &= 7.30 \times 10^{-3} \text{ N} \end{aligned}$$

ตอบ แรงดึงในเส้นด้ายเท่ากับ 7.30×10^{-3} นิวตัน

30. แผ่นตัวนำขนานที่วางห่างกัน 4.0 เซนติเมตร ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมีขนาด 45.5 นิวตันต่อคูลอมบ์ มีทิศดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 30

ถ้าอิเล็กตรอนหลุดจากแผ่นลบแล้วเคลื่อนที่ไปยังแผ่นบวก จงหาความเร็วของอิเล็กตรอนขณะกระทบแผ่นบวก (ไม่คิดแรงเนื่องจากน้ำหนักของอิเล็กตรอน) กำหนด อิเล็กตรอนมีมวลเท่ากับ 9.1×10^{-31} กิโลกรัม และประจุเท่ากับ 1.60×10^{-19} คูลอมบ์

วิธีทำ อิเล็กตรอนจะได้รับแรงจากสนามไฟฟ้า ทำให้เคลื่อนที่แนวเส้นตรงด้วยความเร่ง a ไปยังแผ่นบวก เมื่ออิเล็กตรอนไปถึงแผ่นบวกจะมีความเร็ว v ดังรูป

จากสมการ

$$F = qE$$

และ

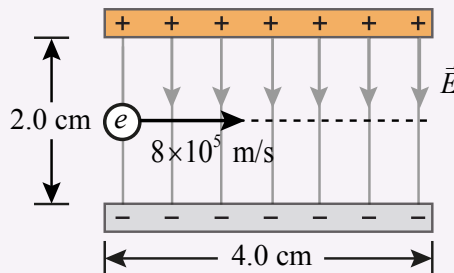
$$F = ma$$

จะได้

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{qE}{m} \\
 &= \frac{(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(45.5 \text{ N/C})}{9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}} \\
 &= 8.0 \times 10^{12} \text{ m/s}^2 \\
 v^2 &= u^2 + 2as \\
 &= 0 + 2(8.0 \times 10^{12} \text{ m/s}^2)(4.0 \times 10^{-2} \text{ m}) \\
 &= 64 \times 10^{10} \text{ m}^2/\text{s}^2 \\
 v &= 8.0 \times 10^5 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

ตอบ ความเร็วของอิเล็กตรอนเท่ากับ 8.0×10^5 เมตรต่อวินาที

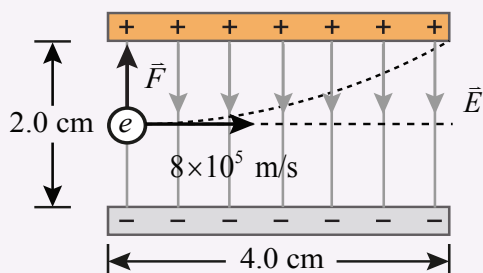
31. แผ่นตัวนำคู่ขนานยาว 4.0 เซนติเมตร วางห่างกัน 2.0 เซนติเมตร และมีประจุต่างชนิดกันกระจายอย่างสม่ำเสมอ ถ้าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 8×10^5 เมตรต่อวินาที จากจุดกึ่งกลางระหว่างแผ่นตัวนำในทิศขนานกับแผ่นตัวนำ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 31

อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าที่ขอบของแผ่นตัวนำพอดี จงหาขนาดของสนามไฟฟ้า

วิธีทำ จากรูปที่กำหนดให้ สนามไฟฟ้า มีทิศพุ่งลงในแนวดิ่ง แรง F ที่อิเล็กตรอนได้รับจากสนามไฟฟ้า E มีทิศตรงข้ามกับสนามไฟฟ้า แรงนี้ทำให้อิเล็กตรอนมีความเร่ง a ในทิศเดียวกับแรง ของสนามไฟฟ้า ขณะที่อิเล็กตรอนมีความเร็วในแนวระดับ และมีแรงกระทำในทิศพุ่งขึ้นในแนวดิ่ง ดังนั้นเส้นทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจึงเป็นเส้นโค้งพาราโบลา ดังรูป



จากสมการ

จะได้

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

$$y = 0 + \frac{1}{2} a t^2$$

$$y = \frac{1}{2} a t^2 \quad (1)$$

จากสมการ

จะได้

$$x = u_x t$$

$$t = \frac{x}{u_x}$$

$$t = \frac{x}{u} \quad (2)$$

จากสมการ

และ

จะได้

$$F = qE$$

$$F = ma$$

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

แทนค่า t จาก (2) และ a จาก (3) ใน (1) จะได้

$$y = \frac{1}{2} \left(\frac{qE}{m} \right) \left(\frac{x}{u} \right)^2$$

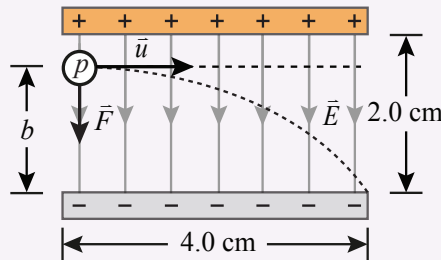
$$= \frac{1}{2} \frac{qEx^2}{mu^2}$$

$$1.0 \times 10^{-2} \text{ m} = \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(E)(4.0 \times 10^{-2} \text{ m})^2}{(9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})(8 \times 10^5 \text{ m/s})^2}$$

$$E = 45.5 \text{ N/C}$$

ตอบ สนามไฟฟ้ามีขนาด 45.5 นิวตันต่อคูลอมบ์

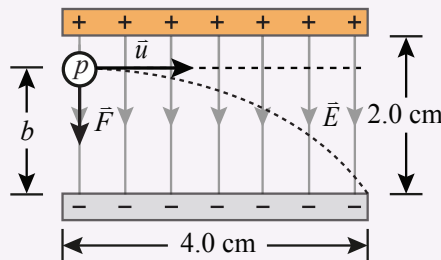
32. แผ่นตัวนำขนานยาว 4.0 เซนติเมตร วางห่างกัน 2.0 เซนติเมตร และมีประจุต่างชนิดกันกระจายอย่างสม่ำเสมอ ถ้าโปรตอนเคลื่อนที่เข้าไปในสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคู่ขนานจากจุดที่เหนือแผ่นลบเป็นระยะ b ด้วยความเร็ว $\vec{u}$ ขนาด 6.0×10^5 เมตรต่อวินาที ในทิศขนานกับแผ่นคู่ขนาน ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 32

ถ้าสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ $\vec{E}$ มีขนาด 7.0×10^4 นิวตันต่อคูลอมบ์ โปรตอนจะเคลื่อนที่ออกจากสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นตัวนำที่ขอบของแผ่นลบพอดี จงหาค่าของ b ในหน่วยเซนติเมตร

วิธีทำ สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคู่ขนาน $\vec{E}$ มีทิศพุ่งลงในแนวดิ่ง ถ้าโปรตอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว u ในแนวระดับ โปรตอนจะได้รับแรง F จากสนามไฟฟ้า E มีทิศเดียวกับสนามไฟฟ้า ทำให้มีความเร่งในทิศเดียวกับ F เส้นทางการเคลื่อนที่ของโปรตอนจะเป็นเส้นโค้งพาราโบลาเข้าหาแผ่นลบ ดังรูป



จากสมการ $y = u_y t + \frac{1}{2} a t^2$

$$x = u_x t$$

$$= ut$$

จากสมการ $F = qE$

$$F = ma$$

และ $u_y = 0$

$$\begin{aligned}
 \text{จะได้} \quad y &= \frac{1}{2} \frac{qEx^2}{mu^2} \\
 \text{ดังนั้น} \quad b &= \frac{1}{2} \frac{(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(7.0 \times 10^4 \text{ N/C})(4.0 \times 10^{-2} \text{ m})^2}{(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})(6.0 \times 10^5 \text{ m/s})^2} \\
 &= 0.1490 \text{ m} \\
 &= 1.49 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

ตอบ b มีค่าเท่ากับ 1.49 เซนติเมตร

33. จงหางานในการนำจุดประจุ 4.0×10^{-6} คูโลมบ์ จากจุด A ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ขึ้นไปยังจุด B ที่มีศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ ด้วยความเร็วคงตัว

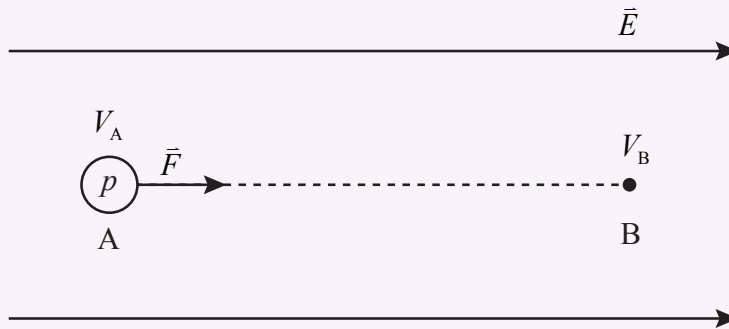
วิธีทำ ถ้า V_A เป็นศักย์ไฟฟ้าที่จุด A ซึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์และ V_B เป็นศักย์ไฟฟ้าที่จุด B ซึ่งมีค่า 100 โวลต์ งานที่ต้องทำในการนำจุดประจุจาก A ไปยัง B ด้วยความเร็วคงตัวมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}
 W_{A \rightarrow B} &= q(V_B - V_A) \\
 W_{A \rightarrow B} &= (4.0 \times 10^{-6} \text{ C})(100 \text{ V} - 0 \text{ V}) \\
 W_{A \rightarrow B} &= 4.0 \times 10^{-4} \text{ J}
 \end{aligned}$$

ตอบ งานในการนำจุดประจุ 4.0×10^{-6} คูโลมบ์ จากจุด A ไปยังจุด B เท่ากับ 4.0×10^{-4} จูล

34. โปรตอนเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งขนานกับสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอในแนวระดับจากจุด A ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้า 4.0×10^5 โวลต์ไปยังจุด B ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้า 6.6×10^4 โวลต์ จงหาอัตราเร็วของโปรตอนขณะผ่านจุด B กำหนด โปรตอนมีมวล 1.67×10^{-27} กิโลกรัม และประจุเท่ากับ $+1.60 \times 10^{-19}$ คูโลมบ์

วิธีทำ ถ้าโปรตอนเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งขนานกับสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ E จากจุด A ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้า V_A ไปยังจุด B ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้า V_B ดังรูป



แรงที่กระทำต่อโปรตอนคือ $\vec{F}$ เป็นแรงที่โปรตอนได้รับจากสนามไฟฟ้า $\vec{E}$ ซึ่งมีทิศเดียวกับทิศของสนามไฟฟ้าและไม่จัดเป็นแรงภายนอก จึงสามารถใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานได้

$$(E_k + E_p)_B = (E_k + E_p)_A$$

$$\frac{1}{2}mv_B^2 + qV_B = 0 + qV_A$$

$$\frac{1}{2}mv_B^2 = q(V_A - V_B)$$

$$\frac{1}{2}(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})v_B^2 = (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(4.0 \times 10^5 \text{ V} - 0.66 \times 10^5 \text{ V})$$

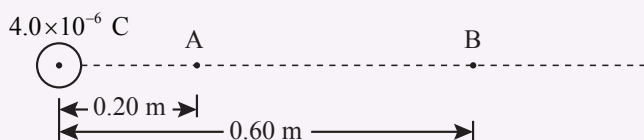
$$\frac{1}{2}(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})v_B^2 = (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(3.34 \times 10^5 \text{ V})$$

$$v_B^2 = 64 \times 10^{12} \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$v_B = 8.0 \times 10^6 \text{ m/s}$$

ตอบ อัตราเร็วของโปรตอนขณะผ่านจุด B เท่ากับ 8.0×10^6 เมตรต่อวินาที

35.A และ B เป็นจุดที่อยู่ห่างจากศูนย์กลางของประจุ 4.0×10^{-6} คูลอมบ์ เป็นระยะ 0.20 เมตร และ 0.60 เมตร ตามลำดับ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 35

ถ้าปล่อยลูกพิทมวล 0.030 มิลลิกรัม ประจุ 2.0×10^{-8} คูลอมบ์ จากจุด A เมื่อลูกพิทวิ่งผ่านจุด B จะมีอัตราเร็วเท่าใด

วิธีทำ เมื่อปล่อยลูกพิทที่มีประจุ 2.0×10^{-8} คูลอมบ์ ที่จุด A จะถูกแรงผลักจากประจุ 4.0×10^{-6} คูลอมบ์ ทำให้เคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B แรงระหว่างประจุไฟฟ้าไม่จัดเป็นแรงภายนอก จึงสามารถใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกลได้

$$\begin{aligned}(E_k + E_p)_B &= (E_k + E_p)_A \\ \frac{1}{2}mv_B^2 + qV_B &= \frac{1}{2}mv_A^2 + qV_A \\ &= 0 + qV_A \\ \frac{1}{2}mv_B^2 &= q(V_A - V_B) \quad (1)\end{aligned}$$

เมื่อ V_A และ V_B เป็นศักย์ไฟฟ้าที่จุด A และ B ตามลำดับ คำนวณ V_A และ V_B จาก

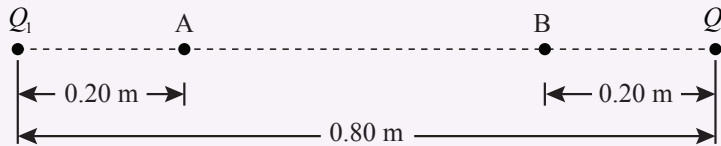
$$\begin{aligned}\frac{kQ}{r} \quad V_A - V_B &= k\frac{Q}{r_A} - k\frac{Q}{r_B} \\ V_A - V_B &= (9 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2)(4.0 \times 10^{-6} \text{ C})\left(\frac{1}{0.20 \text{ m}} - \frac{1}{0.60 \text{ m}}\right) \\ V_A - V_B &= 120 \times 10^3 \text{ V}\end{aligned}$$

แทนค่า $V_A - V_B$ ในสมการ (1) จะได้

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}(0.030 \times 10^{-6} \text{ kg})v_B^2 &= (2.0 \times 10^{-8} \text{ C})(120 \times 10^3 \text{ V}) \\ v_B^2 &= 16.0 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}^2 \\ v_B &= 4.0 \times 10^2 \text{ m/s}\end{aligned}$$

ตอบ ลูกพิทวิ่งผ่านจุด B ด้วยอัตราเร็ว 4.0×10^2 เมตรต่อวินาที

36. จุดประจุ Q_1 เท่ากับ 2.0 นาโนคูลอมบ์ และ Q_2 เท่ากับ -3.0 นาโนคูลอมบ์ อยู่ห่างกันเป็นระยะ 0.80 เมตร A และ B เป็นจุดที่อยู่บนเส้นตรงที่ลากจาก Q_1 ไปยัง Q_2 โดยจุด A และ B อยู่ห่างจาก Q_1 และ Q_2 เป็นระยะ 0.20 เมตร ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 36

ถ้าต้องการให้จุดประจุ q เท่ากับ 200 ไมโครคูลอมบ์ เคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B ด้วยความเร็วคงตัว งานที่ต้องทำมีค่าเท่าใด

วิธีทำ จุดประจุ q เคลื่อนที่จากจุด A ไปยังจุด B เนื่องจากมีแรงผลักจาก Q_1 และมีแรงดึงดูดจาก Q_2 รวมกันเป็นแรง $\vec{F}$ ดังรูป



แรง $\vec{F}$ ทำให้จุดประจุ q เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ถ้าต้องการให้จุดประจุ q เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวจะต้องมีแรงภายนอก $\vec{F}'$ ขนาดเท่า $\vec{F}$ แต่มีทิศตรงข้ามกระทำต่อจุดประจุ q งานที่ต้องทำในการย้ายประจุ q จากจุด A ไปยังจุด B หาได้จากสมการ

$$W_{A \rightarrow B} = q(V_B - V_A)$$

หา V_A และ V_B จาก

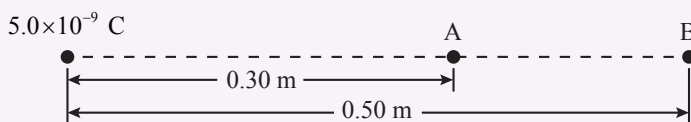
$$\begin{aligned} V_A &= (9 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2) \left(\frac{2.0 \times 10^{-9} \text{ C}}{0.20 \text{ m}} - \frac{3.0 \times 10^{-9} \text{ C}}{0.60 \text{ m}} \right) \\ &= 45 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_B &= (9 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2) \left(\frac{2.0 \times 10^{-9} \text{ C}}{0.60 \text{ m}} - \frac{3.0 \times 10^{-9} \text{ C}}{0.20 \text{ m}} \right) \\ &= -105 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad W_{A \rightarrow B} &= (200 \times 10^{-6} \text{ C}) [(-105 \text{ V}) - 45 \text{ V}] \\ &= -30 \times 10^{-3} \text{ J} \\ &= -30 \text{ mJ} \end{aligned}$$

ตอบ งานที่ต้องทำเท่ากับ -30 มิลลิจูล

37.A และ B เป็นจุดที่อยู่ห่างจากจุดประจุ 5.0×10^{-9} คูโลมบ์ เป็นระยะ 0.30 และ 0.50 เมตร ตามลำดับ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 37

จงหาความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B

วิธีทำ ถ้า V_A และ V_B เป็นศักย์ไฟฟ้าที่จุด A และ B ตามลำดับ $V_A - V_B$ คือความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B

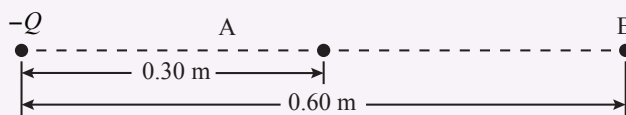
$$V_A - V_B = k \frac{Q}{r_A} - k \frac{Q}{r_B}$$

$$V_A - V_B = (9 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2) (5.0 \times 10^{-9} \text{ C}) \left(\frac{1}{0.30 \text{ m}} - \frac{1}{0.50 \text{ m}} \right)$$

$$V_A - V_B = 60 \text{ V}$$

ตอบ ความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B เท่ากับ 60 โวลต์

38.A และ B เป็นจุดที่อยู่ห่างจากจุดประจุ $-Q$ เป็นระยะ 0.30 และ 0.60 เมตร ตามลำดับ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 38

ถ้า A มีศักย์ไฟฟ้า V_A เท่ากับ -180 โวลต์ จงหาความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B

วิธีทำ จาก V_A เท่ากับ -180 โวลต์ จะได้ว่า

$$V_A = k \frac{(-Q)}{r_A}$$

$$-Q = \frac{V_A r_A}{k}$$

$$-Q = \frac{(-180 \text{ V})(0.30 \text{ m})}{(9 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2)}$$

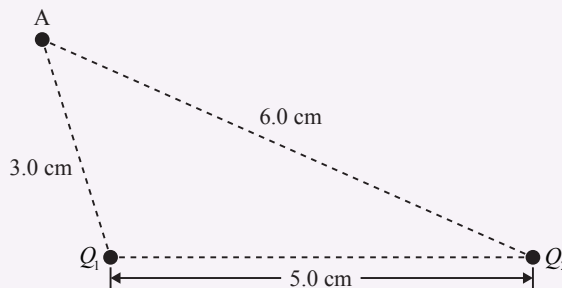
$$Q = 6.0 \times 10^{-9} \text{ C}$$

ถ้า V_A และ V_B เป็นศักย์ไฟฟ้าจุด A และ B ตามลำดับ $V_A - V_B$ คือความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B

$$\begin{aligned} V_A - V_B &= k \frac{Q}{r_A} - k \frac{Q}{r_B} \\ &= (9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2)(-6.0 \times 10^{-9} \text{ C}) \left(\frac{1}{0.30 \text{ m}} - \frac{1}{0.60 \text{ m}} \right) \\ &= -90 \text{ V} \end{aligned}$$

ตอบ ความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B เท่ากับ -90 โวลต์

39. จุดประจุ Q_1 และ Q_2 ห่างกัน 5.0 เซนติเมตร A เป็นจุดที่อยู่ห่างจุดประจุ Q_1 และ Q_2 เป็นระยะ 3.0 และ 6.0 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 36

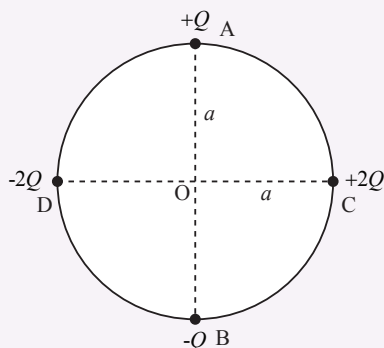
ถ้าศักย์ไฟฟ้าที่จุด A เนื่องจากประจุ Q_1 และ Q_2 มีขนาดเท่ากัน จงหาอัตราส่วนของ Q_1 ต่อ Q_2

วิธีทำ ให้ V_1 และ V_2 เป็นศักย์ไฟฟ้าที่จุด A เนื่องจากจุดประจุ Q_1 และ Q_2

$$\begin{aligned} V_1 &= V_2 \\ k \left(\frac{Q_1}{r_1} \right) &= k \left(\frac{Q_2}{r_2} \right) \\ \frac{Q_1}{Q_2} &= \frac{r_1}{r_2} \\ &= \frac{3.0 \text{ cm}}{6.0 \text{ cm}} \\ &= \frac{1}{2} \end{aligned}$$

ตอบ อัตราส่วนของ Q_1 ต่อ Q_2 เท่ากับ $1 : 2$

40. ประจุ $+Q$ $-Q$ $+2Q$ และ $-2Q$ อยู่บนเส้นรอบวงของวงกลมรัศมี a ที่จุด A B C และ D ตามลำดับ ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 38

จงหางานที่ต้องทำในการนำประจุเหล่านี้ไปยังระยะอนันต์ ในเทอม k Q และ a

วิธีทำ ในการย้ายประจุ q จากตำแหน่ง 1 ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้า V_1 ไปยังตำแหน่ง 2 ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้า V_2 งานที่ต้องทำมีค่าดังนี้

$$W_{1 \rightarrow 2} = q(V_2 - V_1)$$

ถ้าตำแหน่ง 2 คือระยะอนันต์ $V_2 = V_\infty = 0$ ดังนั้น

$$W_{1 \rightarrow \infty} = -qV_1$$

ในการย้ายประจุ $q = Q$ จากจุด A ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้า V_A เนื่องจากประจุที่จุด B C และ D ไปยังระยะอนันต์ งานที่ต้องทำมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} W_{1 \rightarrow \infty} &= -QV_A \\ &= -Q \sum k \frac{Q}{r} \\ &= -Qk \left(\frac{2Q}{a\sqrt{2}} - \frac{Q}{2a} - \frac{2Q}{a\sqrt{2}} \right) \\ &= k \frac{Q^2}{2a} \end{aligned}$$

ในการย้ายประจุ $q = -Q$ จากจุด B ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้า V_B เนื่องจากประจุที่จุด C และ D ไปยังระยะอนันต์ งานที่ต้องทำมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} W_{B \rightarrow \infty} &= -(-Q) \sum k \frac{Q}{r} \\ &= Qk \left(\frac{2Q}{a\sqrt{2}} - \frac{2Q}{a\sqrt{2}} \right) \\ &= 0 \end{aligned}$$

ในการย้ายประจุ $q = 2Q$ จากจุด C ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้า V_C เนื่องจากประจุที่จุด D ไปยังระยะอนันต์ งานที่ต้องทำมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} W_{C \rightarrow \infty} &= -(2Q)k \left(\frac{-2Q}{2a} \right) \\ &= 2k \frac{Q^2}{a} \end{aligned}$$

ในการย้ายประจุ $q = -2Q$ จากจุด D ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้า V_D ไปยังระยะอนันต์ งานที่ต้องทำมีค่าดังนี้

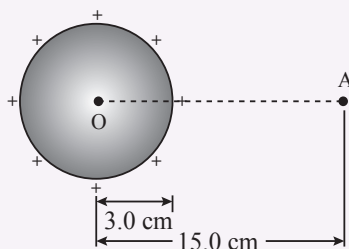
$$W_{D \rightarrow \infty} = -(2Q)V_D$$

เนื่องจากประจุที่จุด A B และ C ถูกย้ายออกไปแล้ว V_D เท่ากับ 0 ดังนั้น $W_{D \rightarrow \infty}$ เท่ากับ 0 ถ้า W เป็นงานทั้งหมดที่ต้องทำในการย้ายประจุที่ A B C และ D ไปยังระยะอนันต์

$$\begin{aligned} W &= W_{A \rightarrow \infty} + W_{B \rightarrow \infty} + W_{C \rightarrow \infty} + W_{D \rightarrow \infty} \\ &= k \frac{Q^2}{2a} + 0 + 2k \frac{Q^2}{a} + 0 \\ &= \frac{5kQ^2}{2a} \end{aligned}$$

ตอบ งานที่ต้องทำมีค่า $\frac{5kQ^2}{2a}$

41. ทรงกลมตัวนำรัศมี 3.0 เซนติเมตร มีประจุ 5.0 นาโนคูลอมบ์ ถ้า A เป็นจุดที่อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลาง O ของทรงกลมตัวนำ 15.0 เซนติเมตร ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 41

จงหาความต่างศักย์ระหว่างจุด O และ A

วิธีทำ ศักย์ไฟฟ้าที่จุด O มีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ผิวทรงกลมตัวนำ

$$\begin{aligned} V_O &= V_{\text{Surface}} \\ &= k \frac{Q}{r} \\ &= (9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2) \left(\frac{5.0 \times 10^{-9} \text{ C}}{3.0 \times 10^{-2} \text{ m}} \right) \\ &= 1.5 \times 10^3 \text{ V} \end{aligned}$$

ถ้า V_A เป็นศักย์ไฟฟ้าที่จุด A

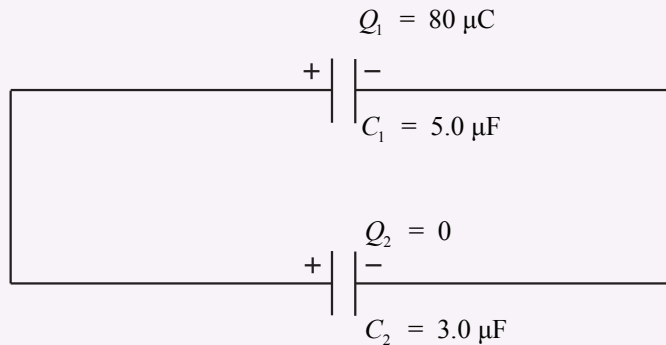
$$\begin{aligned} V_A &= k \frac{Q}{r} \\ &= (9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2) \left(\frac{5.0 \times 10^{-9} \text{ C}}{15.0 \times 10^{-2} \text{ m}} \right) \\ &= 3 \times 10^2 \text{ V} \end{aligned}$$

$$V_O - V_A = 12 \times 10^2 \text{ V}$$

$$= 1.2 \times 10^3 \text{ V}$$

ตอบ ความต่างศักย์ระหว่างจุด O และ A เท่ากับ 1.2×10^3 โวลต์

42. ตัวเก็บประจุตัวหนึ่งมีความจุ C_1 เท่ากับ 5.0 ไมโครฟารัด และมีประจุ Q_1 เท่ากับ 80 ไมโครคูลอมบ์ ต่อกับตัวเก็บประจุอีกตัวหนึ่งที่มีความจุ C_2 เท่ากับ 3.0 ไมโครฟารัด และมีประจุ Q_2 เท่ากับ 0 ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 42

เมื่อประจุหยุดถ่ายโอน จงหาประจุบนตัวเก็บประจุแต่ละตัว

วิธีทำ วิธีที่ 1 เมื่อต่อตัวเก็บประจุที่มีประจุ $Q_1 = 80 \mu\text{C}$ กับตัวเก็บประจุที่มีประจุ $Q_1 = 0$ ดังรูปที่กำหนด ประจุบนตัวเก็บประจุตัวหนึ่งจะหยุดถ่ายโอนให้แก่ตัวเก็บประจุตัวที่สอง เมื่อตัวเก็บประจุทั้งสองมีความต่างศักย์เท่ากัน ดังนั้นตัวเก็บประจุทั้งสองต่อแบบขนาน ได้ความจุสมมูล

$$\begin{aligned} C &= C_1 + C_2 \\ &= 5.0 \mu\text{F} + 3.0 \mu\text{F} \\ &= 8.0 \mu\text{F} \end{aligned}$$

หาความต่างศักย์จากสมการ $\Delta V = \frac{Q}{C}$

จะได้
$$\Delta V = \frac{80 \mu\text{C}}{8.0 \mu\text{F}} = 10 \text{ V}$$

กำหนดให้เมื่อหยุดการถ่ายโอนประจุ Q'_1 และ Q'_2 เป็นประจุบนตัวเก็บประจุ C_1 และตัวเก็บประจุ C_2 ตามลำดับ

ดังนั้น
$$\begin{aligned} Q'_1 &= C_1 \Delta V \\ &= (5.0 \mu\text{F})(10 \text{ V}) \\ &= 50 \mu\text{C} \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned} Q'_2 &= C_2 \Delta V \\ &= (3.0 \mu\text{F})(10 \text{ V}) \\ &= 30 \mu\text{C} \end{aligned}$$

วิธีที่ 2

$$\Delta V'_1 = \Delta V'_2$$

หรือ

$$\frac{Q'_1}{C_1} = \frac{Q'_2}{C_2} \quad (1)$$

และเมื่อประจุอยู่ในสมดุลประจุบนตัวเก็บประจุตัวที่หนึ่งจะเปลี่ยนจาก Q_1 เป็น Q'_1 และประจุบนตัวเก็บประจุตัวที่สองจะเปลี่ยนจาก Q_2 เป็น Q'_2 จากกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้าจะได้

$$Q'_1 + Q'_2 = Q_1 + Q_2 \quad (2)$$

จาก (1) และ (2) จะได้

$$Q'_1 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} (Q_1 + Q_2)$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} Q'_1 &= \frac{5.0 \mu\text{F}}{5.0 \mu\text{F} + 3.0 \mu\text{F}} (80 \mu\text{C} + 0) \\ &= 50 \mu\text{C} \end{aligned}$$

ทำนองเดียวกัน

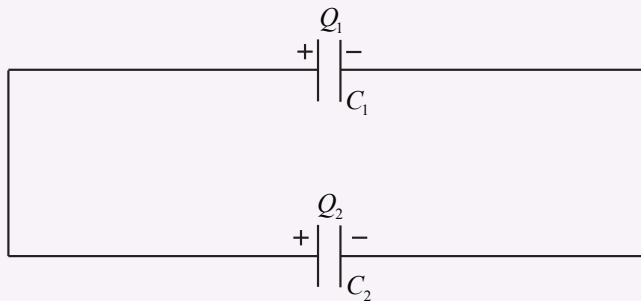
$$Q'_2 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} (Q_1 + Q_2)$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} Q'_2 &= \frac{3.0 \mu\text{F}}{5.0 \mu\text{F} + 3.0 \mu\text{F}} (80 \mu\text{C} + 0) \\ &= 30 \mu\text{C} \end{aligned}$$

ตอบ ประจุบนตัวเก็บประจุ Q_1 มีค่า 50 ไมโครคูลอมบ์ และ Q_2 มีค่า 30 ไมโครคูลอมบ์

43. ถ้ามีตัวเก็บประจุ 2 ตัว ตัวเก็บประจุตัวหนึ่งมีความจุ C_1 เท่ากับ 2 ไมโครฟารัด และมีประจุ Q_1 เท่ากับ 50 ไมโครคูลอมบ์ ส่วนตัวเก็บประจุอีกตัวหนึ่งมีความจุ C_2 เท่ากับ 8 ไมโครฟารัด และมีประจุ Q_2 เท่ากับ 110 ไมโครคูลอมบ์ ถ้าใช้ลวดตัวนำ 2 เส้น ต่อแผ่นที่มีประจุเหมือนกัน เข้าด้วยกันดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 43

เมื่อประจุหยุดถ่ายโอน จงหาประจุบนตัวเก็บประจุแต่ละตัว

วิธีทำ วิธีที่ 1 เมื่อต่อตัวเก็บประจุที่มีประจุ $Q_1 = 50 \mu\text{C}$ กับตัวเก็บประจุที่มีประจุ $Q_2 = 110 \mu\text{C}$ ดังรูปที่กำหนด ประจุบนตัวเก็บประจุตัวหนึ่งจะหยุดถ่ายโอนให้แก่ตัวเก็บประจุตัวที่สอง เมื่อตัวเก็บประจุทั้งสองมีความต่างศักย์เท่ากัน ดังนั้นตัวเก็บประจุทั้งสองต่อแบบขนาน

หาประจุรวม

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 \\ &= 50 \mu\text{C} + 110 \mu\text{C} \\ &= 160 \mu\text{C} \end{aligned}$$

ได้ความจุสมมูล

$$\begin{aligned} C &= C_1 + C_2 \\ &= 2.0 \mu\text{F} + 8.0 \mu\text{F} \\ &= 10.0 \mu\text{F} \end{aligned}$$

หาความต่างศักย์จากสมการ $\Delta V = \frac{Q}{C}$

จะได้

$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{160 \mu\text{C}}{10.0 \mu\text{F}} \\ &= 16 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} Q'_1 &= C_1 \Delta V \\ &= (2.0 \mu\text{F})(16 \text{ V}) \\ &= 32 \mu\text{C} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} Q'_2 &= C_2 \Delta V \\ &= (8.0 \mu\text{F})(16 \text{ V}) \\ &= 128 \mu\text{C} \end{aligned}$$

วิธีที่ 2

$$\Delta V'_1 = \Delta V'_2$$

หรือ

$$\frac{Q'_1}{C_1} = \frac{Q'_2}{C_2} \quad (1)$$

ประจุจะหยุดถ่ายโอน ทำให้ประจุบนตัวเก็บประจุที่หนึ่งเปลี่ยนจาก Q_1 เป็น Q'_1 และประจุบนตัวเก็บประจุที่สองเปลี่ยนจาก Q_2 เป็น Q'_2 จากกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้าจะได้

$$Q'_1 + Q'_2 = Q_1 + Q_2 \quad (2)$$

จาก (1) และ (2) จะได้

$$Q'_1 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} (Q_1 + Q_2)$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} Q'_1 &= \frac{2.0 \mu\text{F}}{2.0 \mu\text{F} + 8.0 \mu\text{F}} (50 \mu\text{C} + 110 \mu\text{C}) \\ &= 32 \mu\text{C} \end{aligned}$$

ทำนองเดียวกัน

$$Q'_2 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} (Q_1 + Q_2)$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} Q'_2 &= \frac{8.0 \mu\text{F}}{2.0 \mu\text{F} + 8.0 \mu\text{F}} (50 \mu\text{C} + 110 \mu\text{C}) \\ &= 128 \mu\text{C} \end{aligned}$$

ตอบ ประจุบนตัวเก็บประจุ Q'_1 เท่ากับ 32 ไมโครคูลอมบ์ และ Q'_2 เท่ากับ 128 ไมโครคูลอมบ์

บทที่

14

ไฟฟ้ากระแส



ipst.me/8844

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระและกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำกับความเร็วย่อยเฉลี่ยของอิเล็กตรอนอิสระ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในลวดตัวนำและพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. ทดลอง และอธิบายกฎของโอห์ม อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับความยาว พื้นที่หน้าตัดและสภาพต้านทานของตัวนำโลหะที่อุณหภูมิคงตัว และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งอธิบายและคำนวณความต้านทานสมมูล เมื่อนำตัวต้านทานมาต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน
3. ทดลอง อธิบายและคำนวณอีเอ็มเอฟของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง รวมทั้งอธิบายและคำนวณพลังงานไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า
4. ทดลองและคำนวณอีเอ็มเอฟสมมูลจากการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมและแบบขนาน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งประกอบด้วยแบตเตอรี่และตัวต้านทาน
5. อธิบายการเปลี่ยนพลังงานทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งสืบค้นและอภิปรายเกี่ยวกับเทคโนโลยี ที่นำมาแก้ปัญหาหรือตอบสนองความต้องการทางด้านพลังงานไฟฟ้า โดยเน้นด้านประสิทธิภาพและความคุ้มค่าด้านค่าใช้จ่าย

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

- อธิบายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระและกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำกับความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในลวดตัวนำและพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายกระแสไฟฟ้าในตัวนำ
- อธิบายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระและกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ
- อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำกับความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในลวดตัวนำ และพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การใช้จำนวน (การคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ)	1. การสื่อสาร (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล)	1. ด้านความมีเหตุผล ความรอบคอบ (จากการอภิปรายร่วมกันและการคำนวณ)

ผลการเรียนรู้

- ทดลอง และอธิบายกฎของโอห์ม อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับความยาว พื้นที่หน้าตัด และสภาพต้านทานของตัวนำโลหะที่อุณหภูมิคงตัว และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้ง อธิบายและคำนวณความต้านทานสมมูล เมื่อนำตัวต้านทานมาต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดลองเพื่ออธิบายและสรุปกฎของโอห์ม รวมทั้งนำความเข้าใจเกี่ยวกับกฎของโอห์มไปคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. บอกความหมายของความต้านทาน สภาพต้านทานไฟฟ้า และสภาพนำไฟฟ้า
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับความยาว พื้นที่หน้าตัด และสภาพต้านทานของตัวนำโลหะที่อุณหภูมิคงตัว รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
4. อ่านความต้านทานของตัวต้านทานจากแถบสีบนตัวต้านทาน
5. คำนวณความต้านทานสมมูลเมื่อนำตัวต้านทานมาต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การวัด (กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์) 2. การใช้จำนวน (การคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับกฎของโอห์มและการคำนวณความต้านทานสมมูล) 3. การทดลอง (การลงมือทำการทดลอง) 4. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (การเขียนกราฟและบรรยายความสัมพันธ์) 5. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (จากการอธิบายและสรุปผลการทดลอง)	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การอธิบายร่วมกันและการนำเสนอผลการทดลอง) 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ (การร่วมมือกันทำการทดลอง)	1. ด้านความซื่อสัตย์ ความรอบคอบ และความเชื่อมั่นต่อหลักฐาน จากรายงานผลการทดลอง 2. ด้านความพยายามมุ่งมั่น ความรับผิดชอบ และความร่วมมือช่วยเหลือจากการทำการทดลองและการอธิบายร่วมกัน 3. ความอยากรู้อยากเห็นจากการอธิบายร่วมกัน

ผลการเรียนรู้

3. ทดลอง อธิบายและคำนวณอีเอ็มเอฟของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง รวมทั้งอธิบายและคำนวณพลังงานไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดลองเพื่อบอกความแตกต่างและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่กับความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่
2. อธิบายและคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับอีเอ็มเอฟของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากสถานการณ์ที่กำหนดให้

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การวัด (ความต่างศักย์) 2. การใช้จำนวน (การคำนวณพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า) 3. การทดลอง (การลงมือทำการทดลอง) 4. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (การเขียนกราฟและบรรยายความสัมพันธ์) 5. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (จากการอภิปรายและสรุปผลการทดลอง)	1. การสื่อสารสารสนเทศ และการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผลการทดลอง) 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ (การร่วมมือกันทำการทดลอง)	1. ด้านความซื่อสัตย์ ความรอบคอบ และความเชื่อมั่นต่อหลักฐาน จากรายงานผลการทดลอง 2. ด้านความพยายามมุ่งมั่น ความรับผิดชอบ และความร่วมมือช่วยเหลือจากการทำการทดลอง และการอภิปรายร่วมกัน 3. ความอยากรู้อยากเห็น จากการอภิปรายร่วมกัน

ผลการเรียนรู้

- ทดลองและคำนวณอีเอ็มเอฟสมมูลจากการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมและแบบขนาน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งประกอบด้วยแบตเตอรี่และตัวต้านทาน

จุดประสงค์การเรียนรู้

- ทดลองเพื่ออธิบายอีเอ็มเอฟสมมูลและความต้านทานภายในสมมูล เมื่อต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมและแบบขนาน
- คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งประกอบด้วยแบตเตอรี่และตัวต้านทาน

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
- การวัด (อีเอ็มเอฟ กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์) - การใช้จำนวน (การคำนวณความต้านทานภายในสมมูล และปริมาณต่าง ๆ ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง) - การทดลอง (การลงมือทำการทดลอง) - การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (จากการอภิปรายและสรุปผลการทดลอง)	- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผลการทดลอง) - ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ (การร่วมมือกันทำการทดลอง)	- ด้านความซื่อสัตย์ ความรอบคอบ และความเชื่อมั่นต่อหลักฐาน จากรายงานผลการทดลอง - ด้านความพยายามมุ่งมั่น ความรับผิดชอบ และความร่วมมือช่วยเหลือจากการทำการทดลองและการอภิปรายร่วมกัน - ความอยากรู้อยากเห็นจากการอภิปรายร่วมกัน

ผลการเรียนรู้

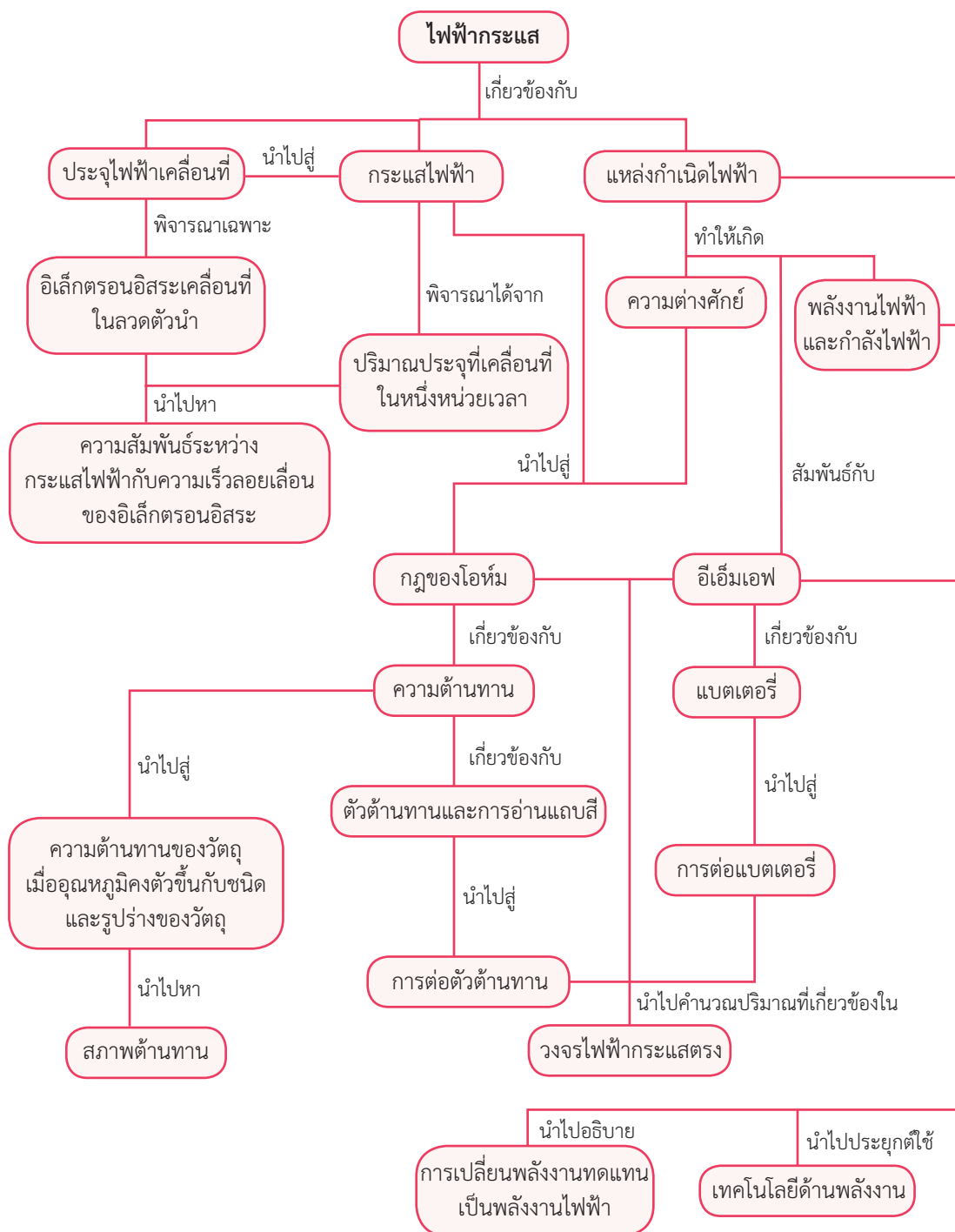
- อธิบายการเปลี่ยนพลังงานทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งสืบค้นและอภิปรายเกี่ยวกับเทคโนโลยี ที่นำมาแก้ปัญหาหรือตอบสนองความต้องการทางด้านพลังงานไฟฟ้า โดยเน้นด้านประสิทธิภาพและความคุ้มค่าด้านค่าใช้จ่าย

จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายการเปลี่ยนพลังงานทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้า
- อธิบายประสิทธิภาพของพลังงานทดแทน
- ประเมินความคุ้มค่าด้านค่าใช้จ่ายของพลังงานทดแทน
- สืบค้นและยกตัวอย่างเทคโนโลยีที่นำมาแก้ปัญหาหรือตอบสนองความต้องการด้านพลังงาน

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
-	- การสื่อสารสารสนเทศ และ การรู้เท่าทันสื่อ (การสืบค้นข้อมูล การอ้างอิง แหล่งที่มาของข้อมูล การเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูล การอภิปรายร่วมกัน) - ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	- ด้านการใช้วิจารณ์ญาณจากข้อมูลที่น่าเสนอและการนำเสนอ - ด้านความยอมรับความต่าง ความใจกว้าง และการเห็นความสำคัญและคุณค่าของวิทยาศาสตร์ จากการอภิปรายร่วมกัน - ด้านความพยายามมุ่งมั่น ความรับผิดชอบ และความร่วมมือช่วยเหลือจากการทำการทดลอง และการอภิปรายร่วมกัน

ผังมโนทัศน์ ไฟฟ้ากระแส



สรุปแนวความคิดสำคัญ

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าในตัวกลางเรียกว่ามีการนำไฟฟ้า (electrical conduction) ในตัวกลางนั้นและเรียกตัวกลางนั้นว่า **ตัวนำไฟฟ้า** (electrical conductor) หรือ เรียกสั้น ๆ ว่า ตัวนำ

เมื่อมีประจุไฟฟ้าลัทธิเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในตัวนำไฟฟ้า เรียกว่า **มีกระแสไฟฟ้า** (electric current) ในตัวนำนั้น ในกรณีที่ตัวนำไฟฟ้าเป็นโลหะ ในสภาวะปกติ อิเล็กตรอนอิสระในตัวนำโลหะจะเคลื่อนที่อย่างไร้ระเบียบโดยมีความเร็วเฉลี่ยเป็นศูนย์ แต่เมื่อมีสนามไฟฟ้าภายในตัวนำโลหะจะทำให้ให้อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยไม่เป็นศูนย์ ซึ่งเรียกว่า **ความเร็วลอยเลื่อน** (drift velocity) ทำให้เกิด**กระแสอิเล็กตรอน** (electron current) และมีประจุไฟฟ้าลัทธิเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในตัวนำโลหะ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของกระแสอิเล็กตรอน

ค่าของกระแสไฟฟ้าพิจารณาได้จากประจุไฟฟ้าที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของตัวนำในหนึ่งหน่วยเวลา เขียนเป็นสมการได้เป็น $I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{Nq}{\Delta t}$ เมื่อ N เป็นจำนวนอนุภาคที่มีประจุ q เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของตัวนำในเวลา Δt

กระแสไฟฟ้าในตัวนำมีทิศทางเดียวกับทิศทางของสนามไฟฟ้า หรือมีทิศทางจากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า

กระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำมีค่าขึ้นกับจำนวนอิเล็กตรอนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร n ความเร็วลอยเลื่อน v_d ของอิเล็กตรอนอิสระ และขนาดพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ A รวมทั้งประจุของอิเล็กตรอน e เขียนแทนด้วยสมการได้ว่า $I = nev_d A$

กฎของโอห์ม (Ohm's law) มีใจความว่า ถ้าอุณหภูมิคงตัว กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะจะแปรผันตรงกับความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวนำนั้น เขียนในรูปสมการได้เป็น $I = \left(\frac{1}{R}\right)\Delta V$ เมื่อ R เป็นค่าคงตัวซึ่งเป็นความต้านทานไฟฟ้า (หรือความต้านทาน) ของลวดตัวนำนั้น ทั้งนี้ จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า กฎของโอห์มเป็นจริงสำหรับตัวนำและอุปกรณ์บางชนิดเท่านั้น

ความต้านทาน (resistance) แทนด้วยสัญลักษณ์ R โดยความต้านทานของวัตถุขึ้นอยู่กับชนิดและรูปร่างของวัตถุ สำหรับลวดตัวนำยาว l พื้นที่หน้าตัด A ที่อุณหภูมิคงตัว ความต้านทานของลวดตัวนำเป็นไปตามสมการ $R = \rho\left(\frac{l}{A}\right)$ เมื่อ ρ เป็น**สภาพต้านทานไฟฟ้า** (electrical resistivity)

ส่วนกลับของสภาพต้านทานไฟฟ้าเรียกว่า **สภาพนำไฟฟ้า** (electrical conductivity) แทนด้วยสัญลักษณ์ σ

ตัวต้านทาน (resistor) เป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในวงจรไฟฟ้าให้พอเหมาะกับการใช้งานต่าง ๆ โดยตัวต้านทานที่ใช้ทั่วไปในวงจรไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นชนิดที่เรียกว่า **ตัวต้านทานค่าคงตัว** (fixed resistor)

การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม (series combination) n ตัว จะได้ความต้านทานสมมูล (equivalent resistance) R มีค่าเพิ่มขึ้นตามสมการ $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$

การต่อตัวต้านทานแบบขนาน (parallel combination) n ตัว จะได้ความต้านทานสมมูล R มีค่าลดลงตามสมการ $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$

พลังงานไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้าได้รับต่อหนึ่งหน่วยประจุไฟฟ้าเมื่อเคลื่อนที่ผ่านแหล่งกำเนิดไฟฟ้า เรียกว่า **อีเอ็มเอฟ** (emf หรือ electromotive force) แทนด้วยสัญลักษณ์ $\mathcal{E}$ ซึ่งในบริบทอื่นอาจเรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือ แรงดันไฟฟ้า

อีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่ $\mathcal{E}$ มีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ ΔV กระแสไฟฟ้าในวงจร I และ ความต้านทานภายใน (internal resistance) ของแบตเตอรี่ r ตามสมการ $\mathcal{E} = \Delta V + Ir$

พลังงานไฟฟ้า (electrical energy) เป็นพลังงานที่ประจุไฟฟ้าได้รับจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแล้วนำไปถ่ายโอนให้กับส่วนต่าง ๆ ของวงจร โดยพลังงานไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้าหนึ่งหน่วยถ่ายโอนให้ส่วนต่าง ๆ ของวงจรเรียกว่า **ความต่างศักย์** (potential difference) แทนด้วยสัญลักษณ์ ΔV

พลังงานไฟฟ้า W ที่ถูกใช้ไปในเครื่องใช้ไฟฟ้าในเวลา Δt มีค่าเป็น $W = I\Delta t\Delta V$

กำลังไฟฟ้า (power) P เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้าถ่ายโอนให้กับส่วนต่าง ๆ ของวงจรในหนึ่งหน่วยเวลา หรือ พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้ไปในหนึ่งหน่วยเวลา มีค่าเป็น $P = I\Delta V$

การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม n ก้อน จะได้**อีเอ็มเอฟสมมูล** (equivalent emf) แทนด้วยสัญลักษณ์ $\mathcal{E}$ และ**ความต้านทานภายในสมมูล** (equivalent internal resistance) แทนด้วยสัญลักษณ์ r มีค่าเพิ่มขึ้นตามสมการ $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_n$ และ $r = r_1 + r_2 + \dots + r_n$ ตามลำดับ

การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน n ก้อน จะได้**อีเอ็มเอฟสมมูล** $\mathcal{E}$ มีค่าคงเดิม และ**ความต้านทานภายในสมมูล** r มีค่าลดลงตามสมการ $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \dots = \mathcal{E}_n$ และ $\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}$ ตามลำดับ

กระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงที่ประกอบด้วยแบตเตอรี่และตัวต้านทาน มีค่าเป็น $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$

พลังงานที่นำมาใช้ทดแทนแหล่งพลังงานหลัก เรียกว่า **พลังงานทดแทน** (alternative energy) เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล พลังงานลม

เซลล์สุริยะ (solar cell) คือ อุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า เซลล์สุริยะที่ใช้ทั่วไปทำจาก**สารกึ่งตัวนำ** (semiconductor) ที่แตกต่างกันสองชนิด เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์สุริยะที่ต่อกับเครื่องใช้ไฟฟ้า จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในวงจร ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถทำงานได้

พลังงานนิวเคลียร์ (nuclear energy) เป็นพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากนิวเคลียสของอะตอมเมื่อนิวเคลียสมีการเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่า **ปฏิกิริยานิวเคลียร์** (nuclear reaction) ซึ่งการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์อย่างต่อเนื่อง เรียกว่า **ปฏิกิริยาลูกโซ่** (chain reaction)

โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ (nuclear power plant) เปลี่ยนพลังงานนิวเคลียร์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัย**เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์** (nuclear reactor) ที่ทำหน้าที่สร้างและควบคุมปฏิกิริยาลูกโซ่ เพื่อให้มีการปลดปล่อยพลังงานนิวเคลียร์ในปริมาณที่เหมาะสมสำหรับนำไปถ่ายโอนให้กับน้ำเพื่อทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำที่สามารถนำไปหมุนกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

แบตเตอรี่ วัสดุฉนวนความร้อน เครื่องใช้ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน เซลล์เชื้อเพลิง เป็นตัวอย่างของเทคโนโลยีด้านพลังงานที่นำมาใช้แก้ปัญหาหรือตอบสนองความต้องการทางด้านพลังงาน การพิจารณาเลือกเทคโนโลยีมาช่วยแก้ปัญหาพลังงาน ไม่เพียงควรคำนึงถึงประสิทธิภาพในการใช้งานเท่านั้น แต่ควรคำนึงถึงความคุ้มค่าด้านค่าใช้จ่าย ขนาดที่เหมาะสม และความจำเป็นต่อการใช้งานจริง ๆ

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 29 ชั่วโมง

14.1 กระแสไฟฟ้า	2	ชั่วโมง
14.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า กับความต่างศักย์	7	ชั่วโมง
14.3 พลังงานในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง	5	ชั่วโมง
14.4 แบตเตอรี่และวงจรไฟฟ้ากระแสตรง เบื้องต้น	9	ชั่วโมง
14.5 พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน และเทคโนโลยีด้านพลังงาน	6	ชั่วโมง



ความรู้ก่อนเรียน

ประจุไฟฟ้า แรงไฟฟ้า สนามไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า ความต่างศักย์ พลังงาน กำลัง
การต่อวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น

ครูนำเข้าสู่บทที่ 14 โดยจัดกิจกรรม หรือ ใช้สื่อต่าง ๆ เช่น ภาพนิ่ง หรือ คลิปวิดีโอ เพื่อแสดงให้เห็นความสำคัญของไฟฟ้าในชีวิตประจำวัน โดยอาจเน้นในส่วนของการคมนาคมที่จะเริ่มมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้ามาใช้งาน รวมทั้งเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าในการทำงาน จากนั้น อภิปรายเชื่อมโยงถึงปัญหาที่จะต้องเผชิญเมื่อแหล่งพลังงานหลักสำหรับใช้ผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยใกล้จะหมดไป

ครูชี้แจงคำถามสำคัญที่นักเรียนจะต้องตอบได้หลังจากการเรียนรู้บทที่ 14 รวมทั้งหัวข้อหลักและหัวข้อย่อยต่าง ๆ ทั้งหมดที่นักเรียนจะได้เรียนรู้ในบทที่ 14

14.1 กระแสไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายกระแสไฟฟ้าในตัวนำ
2. อธิบายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระและกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำกับความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในลวดตัวนำ และพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ความเข้าใจตลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการสาธิต ได้แก่
 - ถาดอะลูมิเนียม
 - เทป 2 หน้า
 - กระดาษเยื่อ (กระดาษทิชชู)
 - หลอดดูด
 - แผ่นใส
 - หลอดนํ้าอ่อน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 14.1 โดยทบทวนเกี่ยวกับความรู้เรื่องไฟฟ้าสถิตที่ได้เรียนรู้มา จากนั้น ตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า ถ้าประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่จะเกิดอะไรขึ้น ทั้งนี้ ครูอาจใช้กิจกรรมอิเล็กโทรฟอรัส เพื่อสาธิตให้เห็นการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่

กิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู อิเล็กโทรฟอรัส

เวลาที่ใช้ 20 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

1. ถาดอะลูมิเนียม
2. หลอดดูด
3. เทป 2 หน้า
4. แผ่นใส
5. กระดาษเยื่อ (กระดาษทิชชู)
6. หลอดนํ้าร้อน
7. กรรไกร



วิธีทำกิจกรรม

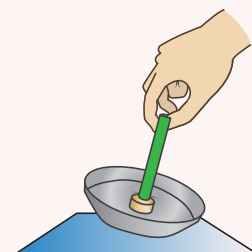
1. ตัดเทป 2 หน้าเป็นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ $1.5 \times 1.5 \text{ cm}^2$ แล้วนำไปติดไว้ตรงกลางถาดอะลูมิเนียม จากนั้น ติดหลอดดูดไว้กับเทป 2 หน้า เพื่อให้หลอดดูดเป็นที่จับ ดังรูป ก.
2. ถูกระดาษเยื่อกับแผ่นใส ดังรูป ข.
3. วางถาดอะลูมิเนียมลงบนแผ่นใสบริเวณที่ถูกถู ดังรูป ค.
4. จับที่ขาหลอดนํ้าร้อนขาหนึ่งแล้วนำขาที่เหลือของหลอดไปแตะที่ขอบถาดด้านบน สังเกตผล
5. จับหลอดดูดเพื่อยกถาดให้ขึ้นจากแผ่นใส และนำขาหลอดนํ้าร้อนไปแตะที่ถาดอีกครั้งหนึ่ง สังเกตผล



ก.



ข.



ค.



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

□ หลอดนีออนสว่างได้อย่างไร

แนวคำตอบ หลอดนีออนสว่างได้เพราะมีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่จากกัฏอะลูมิเนียมไปยังหลอดไฟ ทำให้มีการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้า และเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสง

จากการอภิปรายควรสรุปได้ว่า ประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่สามารถนำพลังงานไปถ่ายโอนให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ ดังจะเห็นได้จากกิจกรรมหรือจากการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน เช่น หลอดไฟ โทรศัพท์เคลื่อนที่ คอมพิวเตอร์ นาฬิกา

จากนั้น ครูตั้งคำถามว่า ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้อย่างไร และมีความสัมพันธ์กับพลังงานไฟฟ้าอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

14.1.1 กระแสไฟฟ้าในตัวนำ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. กระแสไฟฟ้าคือกระแสของพลังงานไฟฟ้า	1. กระแสไฟฟ้าเป็นการเคลื่อนที่ของของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งนำพลังงานไฟฟ้าไปถ่ายโอนให้กับเครื่องใช้หรืออุปกรณ์ไฟฟ้า
2. กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นได้ในตัวนำโลหะเท่านั้น	2. กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นได้ในตัวกลางต่าง ๆ เช่น โลหะ อิเล็กโทรไลต์ แก๊สในบางสภาวะ สารกึ่งตัวนำ รวมทั้งสุญญากาศ
3. กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นได้เมื่อมีการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุบวกหรือลบ ชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น	3. กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นได้เมื่อมีการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุบวก หรือ ลบ หรือทั้งสองชนิดพร้อมกัน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
4. เมื่อมีสนามไฟฟ้าในตัวนำที่เป็นโลหะการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในตัวนำเป็นแนวตรงตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่	4. เมื่อมีสนามไฟฟ้าในตัวนำโลหะ การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในตัวนำ มีทิศทางไม่แน่นอน โดยมีความเร็วเฉลี่ยในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของสนามไฟฟ้า ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับทิศทางของแรงไฟฟ้าที่กระทำต่ออิเล็กตรอน
5. กระแสไฟฟ้ามีทิศทาง แสดงว่า กระแสไฟฟ้าเป็นปริมาณเวกเตอร์	5. กระแสไฟฟ้าเป็นปริมาณสเกลาร์ การกำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าเป็นการบอกทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า
6. กระแสไฟฟ้าทำให้อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ในตัวนำโลหะ	6. การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในตัวนำโลหะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า นั่นคือ ทั้งสองอย่างเกิดขึ้นพร้อมกัน
7. กระแสไฟฟ้าเริ่มเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งในวงจรไปตามตัวนำจนถึงเครื่องใช้ไฟฟ้า	7. กระแสไฟฟ้าเริ่มเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งวงจร เมื่อมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นในตัวนำ

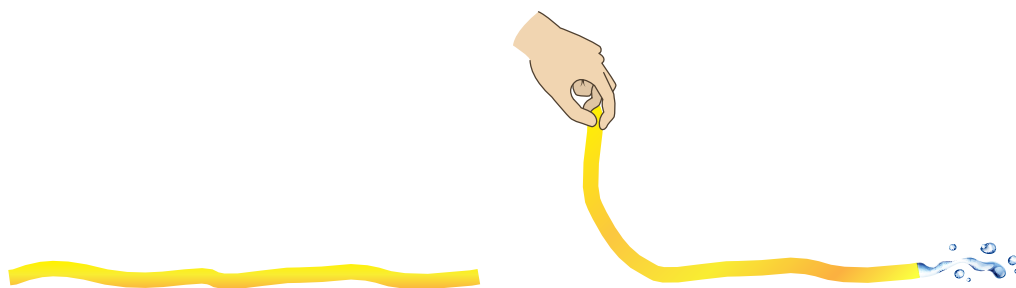
แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 1 ของหัวข้อ 14.1 ตามหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับความหมายของการนำไฟฟ้า ตัวนำไฟฟ้า อิเล็กตรอนอิสระในตัวนำที่เป็นโลหะ และแหล่งกำเนิดไฟฟ้าในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนนำเสนอ โดยครูสะท้อนผลการนำเสนอ และตั้งคำถามให้มีการอภิปรายส่วนที่นักเรียนยังไม่เข้าใจเพิ่มเติม จนได้ข้อสรุปว่า “กระแสไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าที่ทำให้มีประจุไฟฟ้าลัทธิผ่านตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งซึ่งอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในตัวนำจะเคลื่อนที่ตามแรงลัทธิที่กระทำเนื่องจากมีสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากความต่างศักย์ระหว่างจุด 2 จุดในตัวนำ”

ครูควรเน้นว่า กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นได้ทั้งในกรณีที่มีประจุลบหรือประจุบวก หรือ ประจุทั้งสองชนิดเคลื่อนที่ ครูอาจใช้ตัวอย่างที่เป็นรูปธรรม เช่นการไหลของน้ำในสายยางที่มีน้ำอยู่เต็มตลอดสาย เพื่อเชื่อมโยงไปสู่การอธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าจากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างกัน ดังนี้

ในสายยางที่มีน้ำอยู่เต็มและระดับปลายสายเสมอกัน ดังรูป 14.1 ก. น้ำจะไม่ไหล เปรียบได้กับจุด 2 จุดของตัวนำที่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากันหรือไม่มีความต่างศักย์ จึงไม่มีการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้านั่นคือ ไม่มีกระแสไฟฟ้า แต่ถ้ามีการยกปลายสายทางด้านหนึ่งให้ยกสูงขึ้น ทำให้ปลายทั้งสองมีพลังงานศักย์โน้มถ่วงต่างกัน ดังรูป 14.1 ข. น้ำจะไหลจากปลายด้านที่มีพลังงานศักย์สูงกว่าไปยังปลายที่มีพลังงานศักย์ต่ำกว่า เปรียบได้กับปลายของตัวนำที่ถูกทำให้มีศักย์ไฟฟ้าต่างกันหรือมีความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสอง อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในตัวนำจะเคลื่อนที่จากปลายด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง



รูป 14.1 ก. สายยางที่มีปลายเสมอกัน น้ำจะไม่ไหลออกจากสายยาง

ข. สายยางที่มีปลายด้านหนึ่งยกสูงขึ้น ทำให้น้ำไหลออกที่ปลายอีกด้าน

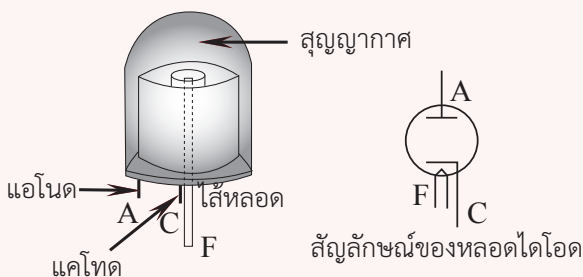
ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

เราได้ศึกษาการนำไฟฟ้าในตัวนำโลหะ นอกจากนี้ ยังมีการนำไฟฟ้าในตัวกลางต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

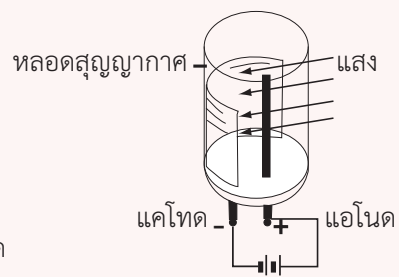
การนำไฟฟ้าในหลอดสุญญากาศ

หลอดสุญญากาศเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในยุคแรก ๆ หลอดสุญญากาศมีหลายแบบ เช่น หลอดไดโอด หลอดโฟโตอิเล็กทริก เมื่อต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงกับขั้วแอโนดและแคโทดของหลอดไดโอด ดังรูป ก. โดยให้ศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วแอโนดสูงกว่าแคโทด แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าจะทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากแคโทดเนื่องจากถูกทำให้ร้อนเคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศไปแอโนด จึงมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น ปัจจุบันมีการใช้หลอดไดโอดน้อย เนื่องจากมีเทคโนโลยีทางอิเล็กทรอนิกส์แบบใหม่ที่มีคุณภาพดีกว่า

หลอดไฟโตอิเล็กทริก เป็นหลอดสุญญากาศที่มี 2 ขั้ว คือขั้วแอโนดและแคโทด ดังรูป ข. เมื่อต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงกับขั้วแอโนดและแคโทด โดยให้ศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วแอโนดสูงกว่าแคโทด แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า จะทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดจากแคโทดเนื่องจากมีแสงตกกระทบ เคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศไปยังแอโนดจึงมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น ในอดีตมีการใช้หลอดไฟโตอิเล็กทริกเป็นส่วนประกอบของเครื่องฉายภาพยนตร์ ซึ่งปัจจุบัน มีการใช้หลอดไฟโตอิเล็กทริกน้อยเช่นเดียวกับหลอดไดโอด



รูป ก. หลอดไดโอด

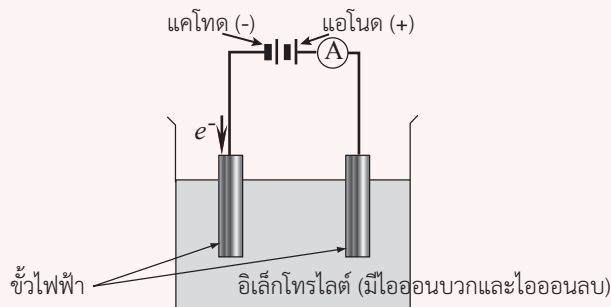


รูป ข. หลอดไฟโตอิเล็กทริก

การนำไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลต์

อิเล็กโทรไลต์เป็นสารละลายที่สามารถนำไฟฟ้าได้ ซึ่งอาจเป็นสารละลายของกรด เบส หรือเกลือ ตัวอย่างเช่น สารละลายกำมะถัน สารละลายเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายเกลือคอปเปอร์ซัลเฟต เป็นต้น โดยกระแสไฟฟ้าในสารละลายเกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนที่เกิดจากการแตกตัวของกรด เบส หรือเกลือ การนำไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลต์ ทำให้เกิดขึ้นได้โดยจุ่มแผ่นโลหะ 2 แผ่นลงในอิเล็กโทรไลต์ แล้วต่อเข้ากับขั้วของแบตเตอรี่ โดยมีแอมมิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าในวงจรด้วยดังรูป ค. จะพบว่าเข็มของแอมมิเตอร์เบนไปจากตำแหน่งเดิม แสดงว่ามีกระแสไฟฟ้าผ่านอิเล็กโทรไลต์

อิเล็กโทรไลต์เป็นส่วนประกอบสำคัญของแบตเตอรี่ การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า และการเคลื่อนที่รณยานต์

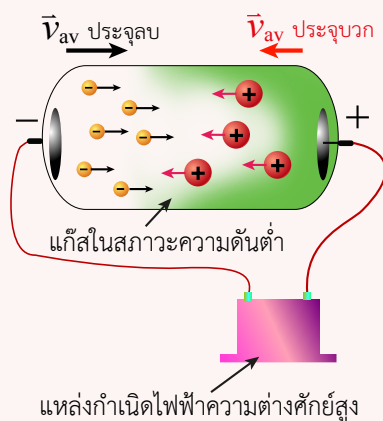


รูป ค. การนำไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลต์

การนำไฟฟ้าในหลอดบรรจุแก๊ส

แก๊สในภาวะปกติจะนำไฟฟ้าและแตกตัวเป็นไอออนได้ยาก แต่ถ้าทำให้แก๊สอยู่ในสภาวะความดันต่ำ (ต่ำกว่าความดันบรรยากาศประมาณ 15 – 30 เท่า) และอยู่ในสนามไฟฟ้ามีค่าสูง จะแตกตัวเป็นไอออนได้ง่ายและนำไฟฟ้า ในสภาวะดังกล่าว จะมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระและไอออนบวกซึ่งทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในหลอดบรรจุแก๊สที่มีสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระเป็นหลัก เนื่องจากประจุบวกเคลื่อนที่ช้ากว่าอิเล็กตรอนอิสระมาก ดังรูป ง.

หลอดบรรจุแก๊ส นิยมใช้ทำหลอดโฆษณาสินค้า ปัจจุบัน มีการใช้หลอดแอลอีดีแทน

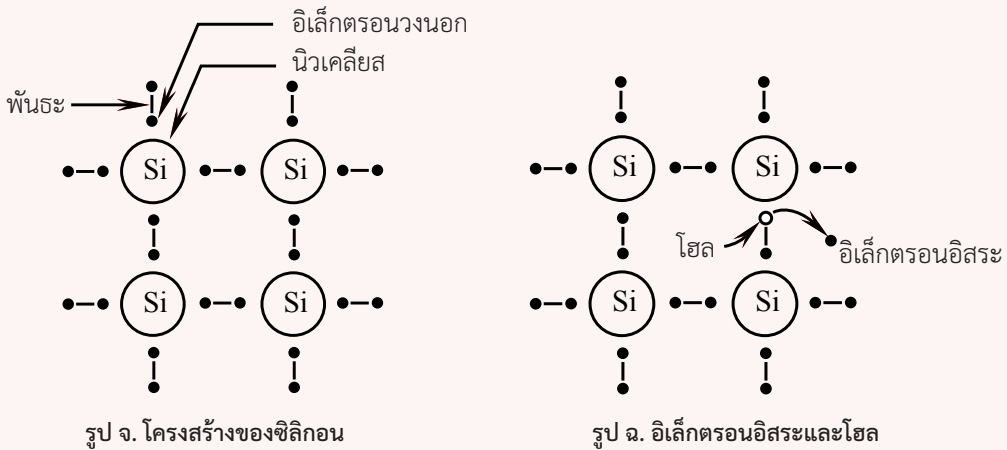


รูป ง. การนำไฟฟ้าในหลอดบรรจุแก๊ส

การนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำ

สารกึ่งตัวนำเป็นสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าระหว่างตัวนำและฉนวน เช่น ซิลิกอน เจอร์เมเนียม ซึ่งเป็นธาตุที่มีเวเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัว โดยมีโครงสร้างเวเลนซ์อิเล็กตรอนแต่ละอะตอม ดังรูป จ. ซึ่งไม่มีอิเล็กตรอนอิสระที่ทำให้เกิดการนำไฟฟ้าได้ แต่ถ้ามีสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มมากพอผ่านเข้าไป จะทำให้อิเล็กตรอนบางตัวในพันธะ หลุดออกมากลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ และเกิดที่ว่างเรียกว่า โฮล ดังรูป ฉ. โฮลจะมีพฤติกรรมคล้ายประจุไฟฟ้าบวก แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระทำต่ออิเล็กตรอนและโฮลจะมีทิศทางตรงข้ามกัน อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ในทิศตรงกันข้ามกับสนามไฟฟ้า ส่วนโฮลเคลื่อนที่ในทิศเดียวกับสนามไฟฟ้า ดังนั้นการนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำจึงเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระและโฮล ทั้งนี้ การเคลื่อนที่ของโฮลเกิดจากตำแหน่งที่เกิดโฮลเปลี่ยนไปในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ

สารกึ่งตัวนำใช้สำหรับสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ไอซี ไมโครโปรเซสเซอร์ รวมทั้ง เซลล์สุริยะ



ครูตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า จากความเข้าใจเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าที่ได้ข้อสรุปข้างต้น นักเรียนจะหาค่าของกระแสไฟฟ้าในตัวนำได้อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการหาค่าของกระแสไฟฟ้าตามรายละเอียดในหนังสือเรียน หน้า 173 จนได้ความสัมพันธ์ตามสมการ $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{Nq}{\Delta t}$ ทั้งนี้ อาจเปรียบเทียบการหาค่าของกระแสไฟฟ้ากับการหาอัตราการไหลของน้ำในสายยาง หรือ การหาจำนวนลูกปัดในหลอดดูด หรือ จำนวนลูกแก้วในสายยางที่เคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในหนึ่งหน่วยเวลา

ครูควรเน้นเกี่ยวกับทิศทางของกระแสไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบกับทิศทางของสนามไฟฟ้าและทิศทางของกระแสอิเล็กตรอนในตัวนำ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน และควรเน้นด้วยว่า **กระแสไฟฟ้าเป็นปริมาณสเกลาร์** แต่ต้องกำหนดทิศทางเป็นการบอกทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าในวงจร ทั้งนี้ ครูอาจให้นักเรียนศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับ อองแตร์-มารี แอมแปร์ นอกเวลาเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 14.1 โดยมีครูเป็นผู้แนะนำ จากนั้น ตรวจสอบความเข้าใจนักเรียนโดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 14.1 เฉพาะข้อที่เกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าในตัวนำ ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

14.1.2 กระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ ความเข้าใจตลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจตลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกตั้ง
1. อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ในสายไฟ เป็นอนุภาคที่มีประจุบวก	1. อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ในสายไฟ เป็นอนุภาคที่มีประจุลบ นั่นคือ อิเล็กตรอน
2. การเปิดสวิตช์แล้วอุปกรณ์ทำงานทันที แสดงว่า อิเล็กตรอนในสายไฟ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว สูงมาก	2. ขณะเกิดกระแสไฟฟ้า อิเล็กตรอนในสายไฟ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่น้อยกว่าความเร็วของ วัตถุทั่วไปในชีวิตประจำวัน เรียกความเร็ว ดังกล่าวว่า ความเร็วลอยเลื่อน สาเหตุที่ เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานได้ทันที เพราะกระแส ไฟฟ้าเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งวงจร
3. กระแสไฟฟ้ามีทิศทางเดียวกับทิศทาง การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ	3. กระแสไฟฟ้ามีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของ ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

ถ้ามีการแสดงวิดิทัศน์หรือสาธิตการถ่ายโอนพลังงานของอิเล็กตรอนอิสระในลวดตัวนำ ให้เตรียม วิดิทัศน์ วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการสาธิต ได้แก่ ลูกแก้วใสในท่อใส่ให้เต็มท่อ หรือ ลูกปัดใสในหลอดดูดใส่ ให้เต็มหลอด

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 2 และ 3 ของหัวข้อ 14.1 ตามหนังสือเรียน จากนั้น ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 14.1.2 โดยตั้งคำถามว่า จากความรู้เกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าที่ได้เรียนมาในหัวข้อ 14.1.1 ถ้า ตัวนำไฟฟ้ามีลักษณะเส้นยาวทรงกระบอก เช่น ลวดทองแดงในสายไฟ ค่าของกระแสไฟฟ้าจะเกี่ยวข้องกับ ปริมาณใดบ้าง โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำในหัวข้อ 14.1.2 ในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนนำเสนอ โดยครูสะท้อนผลการนำเสนอและตั้งคำถามให้มีการอภิปรายส่วนที่นักเรียนยังไม่เข้าใจเพิ่มเติม จนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับทิศทางของกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ และ สมการ 14.1 ทั้งนี้ ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 176 ระหว่างการอภิปราย



แนวคำตอบชวนคิด

เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในลวดตัวนำแล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า จำนวนอิเล็กตรอนในลวดตัวนำจะลดลงหรือไม่

แนวคำตอบ อิเล็กตรอนในลวดตัวนำมีจำนวนเท่าเดิม เพราะเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในวงจร จะมีอิเล็กตรอนที่อยู่ถัดไปเข้ามาแทนที่

ครูให้นักเรียนศึกษาตาราง 14.1 จากนั้น ครูถามคำถามให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับขนาดของความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนในลวดตัวนำเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดความเร็วของวัตถุทั่วไปที่เคลื่อนที่ในชีวิตประจำวัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 14.2 โดยมีครูเป็นผู้แนะนำ จากนั้น ร่วมกันอภิปรายโดยให้นักเรียนเปรียบเทียบคำตอบของตัวอย่าง 14.2 กับขนาดความเร็วของวัตถุต่าง ๆ ที่นักเรียนคุ้นเคย เช่น รถจักรยานยนต์ รถยนต์ จนได้ข้อสรุปว่า อิเล็กตรอนอิสระในลวดตัวนำมีความเร็วที่ช้ากว่าปกติมาก

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 179 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง



แนวคำตอบชวนคิด

ขณะมีกระแสไฟฟ้าในสายไฟ อิเล็กตรอนในสายไฟมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วลอยเลื่อน ซึ่งค่อนข้างช้ามากเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ของวัตถุต่าง ๆ ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เหตุใดเมื่อเปิดสวิตช์แล้วหลอดไฟซึ่งอยู่ไกลจากสวิตช์จึงสว่างทันที

แนวคำตอบ อิเล็กตรอนในสายไฟมีอยู่ทั่วตลอดทั้งเส้น ตั้งแต่บริเวณปลายที่ต่อกับสวิตช์ไฟจนถึงปลายที่ต่อกับหลอดไฟ เมื่อเปิดสวิตช์ไฟแล้ว จะทำให้เกิดความต่างศักย์ ซึ่งทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าพร้อมกันทั้งวงจร กล่าวคือ อิเล็กตรอนตัวที่อยู่ปลายที่ต่อกับหลอดไฟเคลื่อนที่ผ่านหลอดไฟทันที พร้อมกับถ่ายโอนพลังงานให้กับหลอดไฟ หลอดไฟจึงสว่างทันทีที่เปิดสวิตช์

ในการอธิบายแนวคำตอบขบวนการคิดหน้า 179 ครูอาจใช้การสาธิต หรือแสดงคลิปวิดีโอที่บันทึกแบบจำลองการถ่ายโอนพลังงานของอิเล็กตรอนอิสระในลวด ตัวนำประกอบ ตัวอย่างเช่น นำลูกแก้วใส่ในท่อใส่ (หรือลูกปัดในหลอดดูดใส) จนเต็มตลอดความยาวของท่อใส่ แล้วบอกนักเรียนว่า ให้ลูกแก้วแต่ละลูกแทนอิเล็กตรอน ส่วนท่อใส่แทนลวดตัวนำ จากนั้น เพิ่มลูกแก้วในท่อที่ปลายของท่อด้านใดด้านหนึ่ง ให้นักเรียนสังเกตการขยับของลูกแก้วภายในท่อ ซึ่งพบว่าลูกแก้วทุกลูกในท่อขยับพร้อมกันจนถึงปลายท่ออีกด้านหนึ่ง ทำให้ลูกแก้วบริเวณปลายอีกด้านหนึ่งหลุดออกจากท่อ ชี้ให้นักเรียนเห็นว่า ลูกแก้วแต่ละลูกในท่อกำลังเคลื่อนที่ด้วยระยะเพียงเล็กน้อย แต่พลังงานที่ถ่ายโอนจากลูกแก้วที่เพิ่มขึ้นมา ส่งผลอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับอิเล็กตรอนอิสระในลวดตัวนำ ถึงแม้จะเคลื่อนที่ได้เพียงเล็กน้อย แต่ผลจากความต่างศักย์ระหว่างปลายของลวดตัวนำ ทำให้พลังงานมีการถ่ายโอนไปอย่างรวดเร็ว

ทั้งนี้ ครูอาจชี้ให้เห็นความแตกต่างระหว่างแบบจำลองดังกล่าว กับ การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในตัวนำ เช่น อิเล็กตรอนไม่ได้เคลื่อนที่ในแนวตรงเหมือนลูกแก้ว อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยแรงไม่สัมผัส และความเร็วในการเคลื่อนที่เป็นค่าเฉลี่ย ส่วนลูกแก้วเคลื่อนที่ด้วยแรงสัมผัส

ครูให้นักเรียนอภิปรายเพิ่มเติมเกี่ยวกับชนิดของกระแสไฟฟ้า และเหตุผลที่เริ่มต้นศึกษาไฟฟ้ากระแสตรง ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนหน้า 179 จากนั้น ให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัด 14.1 โดยเลือกเฉพาะข้อที่เกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าในตัวนำจากคำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัด 14.1
2. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการแก้โจทย์ปัญหาและการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าในตัวนำ ในแบบฝึกหัด 14.1
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล จากการอภิปรายร่วมกัน และด้านความรอบคอบจากการทำแบบฝึกหัด 14.1



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 14.1

1. อะไรเป็นสาเหตุทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้า

แนวคำตอบ สาเหตุที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้า คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดในตัวนำ ซึ่งทำให้มีสนามไฟฟ้าและแรงไฟฟ้ากระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าให้เคลื่อนที่โดยเฉลี่ยไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง โดยความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากการต่อปลายของตัวนำไฟฟ้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

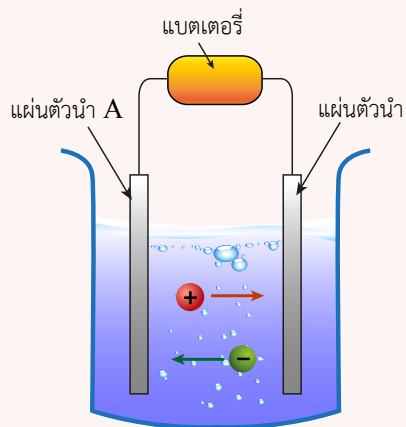
2. กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะเกิดจากการเคลื่อนที่ของอะไร

แนวคำตอบ อิเล็กตรอนอิสระ

3. จากรูปการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบวกและลบในสารละลายนำไฟฟ้าที่ต่อกับแบตเตอรี่ด้วยสายไฟให้ตอบคำถามต่อไปนี้

ก. แผ่นตัวนำใดมีศักย์ไฟฟ้าสูง

แนวคำตอบ แผ่นตัวนำ A เนื่องจากอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบวกเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ ดังนั้น จากรูปประจุไฟฟ้าบวกเคลื่อนที่ออกจากแผ่นตัวนำ A แผ่นนี้จึงเป็นแผ่นที่มีศักย์ไฟฟ้าสูง



รูป ประกอบคำถามตรวจสอบ
ความเข้าใจ 14.1 ข้อ 3

ข. กระแสไฟฟ้าในสารละลายมีทิศทางจากแผ่นตัวนำใดไปแผ่นตัวนำใด

แนวคำตอบ กระแสไฟฟ้าในสารละลายมีทิศทางจากแผ่นตัวนำ A ไปแผ่นตัวนำ B เนื่องจากกระแสไฟฟ้ามีทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของประจุบวก

ค. อิเล็กตรอนอิสระในสายไฟมีทิศทางจากสายไฟที่ต่อกับแผ่นตัวนำใดไปแผ่นตัวนำใด

แนวคำตอบ อิเล็กตรอนอิสระในสายไฟมีทิศทางจากสายไฟที่ต่อกับแผ่นตัวนำ A ไปยังแผ่นตัวนำ B เนื่องจากในสารละลาย อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากแผ่นตัวนำ B ไปแผ่นตัวนำ A ดังนั้น ในสายไฟ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ต่อ ผ่านสายไฟที่ต่อกับแผ่นตัวนำ A ผ่านแบตเตอรี่ไปยังแผ่นตัวนำ B

4. ความเร็วลอยเลื่อนคืออะไร มีค่ามากหรือน้อยเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ของวัตถุทั่ว ๆ ไปในชีวิตประจำวัน

แนวคำตอบ ความเร็วลอยเลื่อนคือ ความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอนอิสระ หรือ อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ที่เคลื่อนที่ในตัวนำเนื่องจากสนามไฟฟ้า ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่ทั่ว ๆ ไปในชีวิตประจำวัน



เฉลยแบบฝึกหัด 14.1

1. ลวดตัวนำมีพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางมิลลิเมตร ถ้าอิเล็กตรอนอิสระในลวดตัวนำเคลื่อนที่จนกระทั่งทำให้มีประจุไฟฟ้าลัพธ์ขนาด 0.05 คูลอมป์ ผ่านพื้นที่หน้าตัดในเวลา 10 วินาที จะมีกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำขนาดเท่าใด

วิธีทำ กระแสไฟฟ้าในตัวนำหาได้จากปริมาณประจุไฟฟ้าที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของตัวนำนั้น

$$\begin{aligned} \text{ในหนึ่งหน่วยเวลา ดังสมการ } I &= \frac{Q}{\Delta t} \\ \text{แทนค่า จะได้} \quad I &= \frac{0.05 \text{ C}}{10 \text{ s}} \\ &= 0.005 \text{ A} \\ &= 5 \text{ mA} \end{aligned}$$

ตอบ มีกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ 5 มิลลิแอมแปร์

2. ลวดตัวนำมีพื้นที่หน้าตัด 1.0 ตารางมิลลิเมตร มีกระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์ โดยโลหะที่ใช้ทำลวดตัวนำนี้มีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระ 4.0×10^{28} ต่อลูกบาศก์เมตร จงหาความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ

วิธีทำ กระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ หาได้จากความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระ (n) ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน (e) ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอน (v_d) และพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ (A) ดังสมการ $I = nev_d A$
ดังนั้น ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระหาได้จากสมการ

$$v_d = \frac{I}{neA}$$

$$\begin{aligned}
 \text{แทนค่า จะได้} \quad v_d &= \frac{0.5 \text{ A}}{(4.0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3})(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2)} \\
 &= 0.0781 \times 10^{-3} \text{ m/s} \\
 &= 7.81 \times 10^{-5} \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

ตอบ ขนาดความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระในลวดตัวนำนี้เท่ากับ 7.81×10^{-5} เมตรต่อวินาที

3. ถ้ามีกระแสไฟฟ้า 1.25 แอมแปร์ ในเส้นลวดโลหะเส้นหนึ่ง ประจุไฟฟ้าทั้งหมดที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดโลหะเส้นนั้นในเวลา 5.0 นาที จะมีค่าเท่าใด

วิธีทำ กระแสไฟฟ้าในตัวนำหาได้จากปริมาณประจุไฟฟ้าที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของตัวนำนั้น

$$\text{ในหนึ่งหน่วยเวลา ดังสมการ } I = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$\text{จัดรูปสมการเพื่อหาปริมาณประจุไฟฟ้าได้เป็น } Q = I \Delta t$$

$$\begin{aligned}
 \text{แทนค่า จะได้} \quad Q &= (1.25 \text{ A}) (5.0 \times 60 \text{ s}) \\
 &= 375 \text{ C}
 \end{aligned}$$

ตอบ ประจุไฟฟ้าทั้งหมดที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดโลหะเท่ากับ 375 คูลอมบ์

14.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดลองเพื่ออธิบายและสรุปกฎของโอห์ม รวมทั้งนำความเข้าใจเกี่ยวกับกฎของโอห์มไปคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. บอกความหมายของความต้านทาน สภาพต้านทาน และสภาพนำไฟฟ้า
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับความยาว พื้นที่หน้าตัด และสภาพต้านทานของตัวนำโลหะที่อุณหภูมิคงตัว รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
4. อ่านความต้านทานของตัวต้านทานจากแถบสีบนตัวต้านทาน
5. คำนวณความต้านทานสมมูลเมื่อนำตัวต้านทานมาต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการสาธิต ดังนี้

- แบตเตอรี่ขนาด 1.5 โวลต์ จำนวน 4 ก้อนพร้อมกระเบ 1 ชุด
- หลอดไฟ
- สายไฟพร้อมปากหนีบ 2 เส้น
- วัสดุที่ทำจากโลหะ เช่น ซ้อนอะลูมิเนียม แผ่นทองแดง ลวดเหล็ก ลวดนิโครม

ก่อนเข้าสู่หัวข้อ 14.2 ครูอาจสาธิตการเปลี่ยนจำนวนแบตเตอรี่ที่ต่ออนุกรมกันและต่อกับหลอดไฟ และสาธิตการเปลี่ยนสายไฟที่ต่อระหว่างแบตเตอรี่กับหลอดไฟเป็นตัวนำโลหะชนิดอื่น เช่น ซ้อนอะลูมิเนียม แผ่นทองแดง ลวดเหล็ก หรือ ลวดนิโครม แล้วตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน ดังนี้

- สำหรับวงจรไฟฟ้าที่มีชุดแบตเตอรี่ต่อกับหลอดไฟ เมื่อเพิ่มหรือลดจำนวนแบตเตอรี่ หลอดไฟจะให้ความสว่างแตกต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด
- สำหรับวงจรไฟฟ้าที่กำหนดให้จำนวนแบตเตอรี่เท่าเดิม ถ้าเปลี่ยนสายไฟเป็นตัวนำโลหะชนิดอื่น กระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดไฟเปลี่ยนแปลงหรือไม่ เพราะเหตุใด

ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้น ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 14.2.1 โดยใช้คำถามว่า จำนวนแบตเตอรี่มีความสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำอย่างไร และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำลวดตัวนำส่งผลอย่างไรกับกระแสไฟฟ้าในวงจร

14.2.1 กฎของโอห์มและความต้านทาน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ตัวนำไฟฟ้าทุกชนิดมีความต้านทานเป็นไปตามกฎของโอห์ม	1. ตัวนำไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดมีความต้านทานไม่เป็นไปตามกฎของโอห์ม เช่น อิเล็กโทรไลต์ สารกึ่งตัวนำ หลอดไดโอด หลอดฟลูออเรสเซนต์
2. ความต้านทานของวัตถุชิ้นหนึ่ง ๆ มีค่าคงตัวเสมอ	2. ความต้านทานของวัตถุชิ้นหนึ่ง ๆ มีค่าเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. วัสดุและอุปกรณ์สำหรับกิจกรรม 14.1

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 4 ของหัวข้อ 14.2 ตามหนังสือเรียน

จากนั้น ครูอาจสาธิตการวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ 1 2 3 และ 4 ก่อนที่ต่อกันแบบอนุกรมอยู่ในกระเบะ โดยใช้โวลต์มิเตอร์ให้นักเรียนสังเกตความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนไปแล้วให้นักเรียนอภิปราย จนสรุปได้ว่า ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่เปลี่ยนไป ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดไฟเปลี่ยนแปลง จากนั้น ตั้งคำถามว่า กระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดไฟมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์ระหว่างปลายของหลอดไฟอย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง และให้นักเรียนหาคำตอบจากการทำกิจกรรม 14.1



กิจกรรม 14.1 การทดลองเรื่องกฎของโอห์ม

จุดประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวดตัวนำกับความต่างศักย์ระหว่างปลายของลวดตัวนำ

เวลาที่ใช้ 60 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|---|-----------|
| 1. แบตเตอรี่ขนาด 1.5 V 4 ก้อน พร้อมกระเบะ | 1 ชุด |
| 2. แอมมิเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 3. สายไฟพร้อมปากหนีบ | 4 เส้น |
| 4. โวลต์มิเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 5. ลวดนิโครมยาวประมาณ 50 เซนติเมตร | 1 เส้น |
- (หรือตัวต้านทานขนาด 8-15 โอห์ม)

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

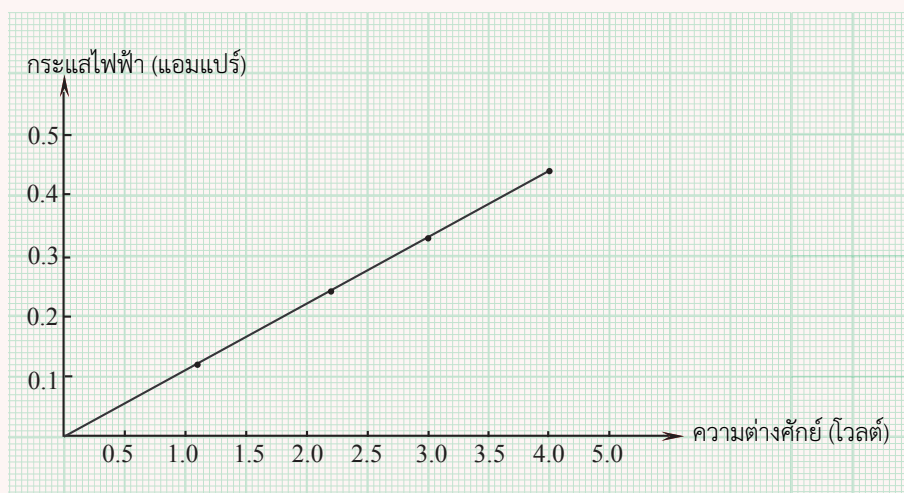
- การใช้แอมมิเตอร์จะต้องต่ออนุกรมกับลวดนิโครม โดยให้ขั้วเสียบสายไฟที่มาจากขั้วบวกของแอมมิเตอร์ต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ และย้ำว่าแอมมิเตอร์จะต้องต่ออนุกรมในวงจร ในกรณีที่หาลวดนิโครมไม่ได้ ให้ใช้ตัวต้านทานขนาด 8 – 15 โอห์ม แทนได้

2. โวลต์มิเตอร์จะต้องต่อขนานกับลวดนิโครม โดยขั้วบวกของโวลต์มิเตอร์ต่อกับปลายลวดที่มีศักย์ไฟฟ้าสูง (หรือ ต่อไปทางขั้วบวกของแบตเตอรี่) ขั้วลบต่อกับปลายลวดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ (หรือ ต่อไปทางขั้วลบของแบตเตอรี่)
3. เมื่ออ่านกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์แต่ละครั้งได้แล้ว ให้ดึงขั้วเสียบออกจากแบตเตอรี่ หากทิ้งไว้จะทำให้ลวดนิโครมร้อน ทำให้ความต้านทานของลวดนิโครมเพิ่มขึ้น

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

จำนวนแบตเตอรี่	ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (A)
1 ก้อน	1.1	0.12
2 ก้อน	2.2	0.24
3 ก้อน	3.0	0.33
4 ก้อน	4.0	0.44

เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลอง มาเขียนกราฟระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จะได้กราฟดังรูป 14.2



รูป 14.2 กราฟระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จากผลการทดลอง



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- กราฟระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์มีลักษณะอย่างไร
แนวคำตอบ เป็นกราฟเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด
- จากกราฟที่ได้ กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์มีความสัมพันธ์กันอย่างไร
แนวคำตอบ กระแสไฟฟ้าแปรผันตรงกับความต่างศักย์ระหว่างปลายของลวดตัวนำ

อภิปรายหลังทำกิจกรรม

กราฟที่ได้เป็นกราฟเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด แสดงให้เห็นว่า กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์มีความสัมพันธ์กันในลักษณะแปรผันตามกัน

นั่นคือ $I \propto \Delta V$ หรือ $I = k\Delta V$ เมื่อ k เป็นค่าคงตัว

ในการทดลองนี้ ใช้ลวดนิโครมซึ่งเป็นตัวนำโลหะ ค่า k นี้ควรเกี่ยวข้องกับสมบัติทางไฟฟ้าของลวดนิโครมเส้นนี้ โดยถ้าค่า k มีค่ามาก แสดงว่ากระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำนั้นได้ดี หรือตัวนำนั้นมีความต้านทานน้อย และถ้าค่า k มีค่าน้อย แสดงว่า กระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำนั้นได้ไม่ดี นั่นคือ ตัวนำนั้นมีความต้านทานมาก

$$\text{ถ้ากำหนดให้} \quad k = \frac{1}{R}$$

$$\text{จะได้} \quad I = \left(\frac{1}{R}\right)\Delta V$$

ค่าคงตัว R นี้เรียกว่า ความต้านทาน (resistance) ของลวดนิโครมที่ใช้ในการทำกิจกรรม

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับ กฎของโอห์ม ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยครูชี้ให้เห็นว่า ขณะทำกิจกรรม 14.1 อุณหภูมิของลวดนิโครมที่ใช้ในการทำกิจกรรมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จนถือว่า มีค่าคงตัว

ครูอาจให้นักเรียนหาความชันของกราฟ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับความต้านทานของลวดนิโครมที่วัดด้วยเครื่องมือวัด ซึ่งควรจะได้ค่าเท่ากันหรือใกล้เคียง

จากนั้น ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในตัวนำไฟฟ้าชนิดอื่น ที่ไม่ใช่โลหะ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า สำหรับตัวนำและอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิด แม้อุณหภูมิคงตัว แต่ความต้านทานไม่คงตัว ซึ่งไม่เป็นไปตามกฎของโอห์ม

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 14.3 โดยมีครูแนะนำ จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัด 14.2 เฉพาะข้อที่เกี่ยวข้องกับกฎของโอห์ม ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

นิโครมเป็นโลหะผสมระหว่างนิกเกิลกับโครเมียม มีความต้านทานสูงกว่าโลหะทั่วไป จึงนิยมใช้ทำเป็นเส้นลวดในเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ให้ความร้อน เพราะสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนได้ดี

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับกฎของโอห์มและความต้านทานจากคำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 14.2
2. ทักษะการวัด การทดลอง การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการอภิปรายร่วมกันและรายงานการทดลอง
3. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปรายร่วมกัน
4. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการหาความชันของกราฟ การแก้โจทย์ปัญหาและการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับกฎของโอห์ม ในแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 14.2
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล ความมุ่งมั่นอดทน และด้านความรอบคอบ จากการอภิปรายร่วมกัน และการทำกิจกรรม 14.1
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความซื่อสัตย์ จากรายงานผลการทดลอง

14.2.2 สภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้า

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ที่อุณหภูมิคงตัว ความต้านทานของวัตถุขึ้นกับชนิดของวัสดุเพียงอย่างเดียว	1. ที่อุณหภูมิคงตัว ความต้านทานของวัตถุ นอกจากจะขึ้นกับชนิดของวัสดุแล้ว ยังขึ้นกับรูปร่างของวัตถุนั้นด้วย

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
2. ตัวนำไฟฟ้า เช่น ลวดทองแดงในสายไฟ และ อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น เต้าเสียบ เต้ารับ สวิตช์ ไม่มีความต้านทาน	2. ตัวนำไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า รวมทั้งวัสดุทุกชนิดมีความต้านทานเสมอ แต่จะมีมากหรือน้อย ขึ้นกับสภาพต้านทานไฟฟ้า และ รูปร่าง เช่น รูปร่างลวดทองแดงหมายถึง ความยาวและพื้นที่หน้าตัด

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 5 และ 6 ของหัวข้อ 14.2 ตามหนังสือเรียน

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ โดยตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า หากพิจารณาลวดนิโครมที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน ถ้าเปลี่ยนความยาวและพื้นที่หน้าตัดของลวดนิโครม กระแสไฟฟ้าจะมีค่าแตกต่างออกไปหรือไม่ อย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

จากนั้น ครูสาธิตโดยนำลวดนิโครมที่มีความยาวและพื้นที่หน้าตัดแตกต่างกันมาต่อเป็นวงจรกับแบตเตอรี่ แล้วแสดงให้เห็นว่า ความยาวและขนาดเส้นลวดตัวนำมีผลต่อกระแสไฟฟ้าในวงจร

อภิปรายเพื่อนำไปสู่ความหมายของสภาพนำไฟฟ้า (σ) สภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) และข้อสรุปว่า ความต้านทาน (R) ของลวดตัวนำที่ทำจากโลหะชนิดหนึ่ง ๆ จะแปรผันตรงกับความยาวของลวดตัวนำ และแปรผกผันกับพื้นที่ที่ตัดขวาง (A) ของลวดตัวนำนั้น ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยครูควรเน้นว่า สภาพต้านทานไฟฟ้าของสารชนิดเดียวกันมีค่าเท่ากัน แต่ความต้านทานของสารชนิดเดียวกันอาจแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวและพื้นที่หน้าตัดของสารนั้น

ครูให้นักเรียนศึกษาตาราง 14.2 เพื่อหาคำตอบที่ได้ถามไว้ในช่วงเริ่มต้น เกี่ยวกับการเปลี่ยนสายไฟที่ต่อระหว่างแบตเตอรี่กับหลอดไฟเป็นตัวนำโลหะชนิดอื่น มีผลอย่างไรกับกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดไฟ และสามารถอธิบายได้อย่างไร ทั้งนี้ ครูอาจนำนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุสำหรับทำสายไฟ โดยใช้ข้อมูลในตาราง 14.2

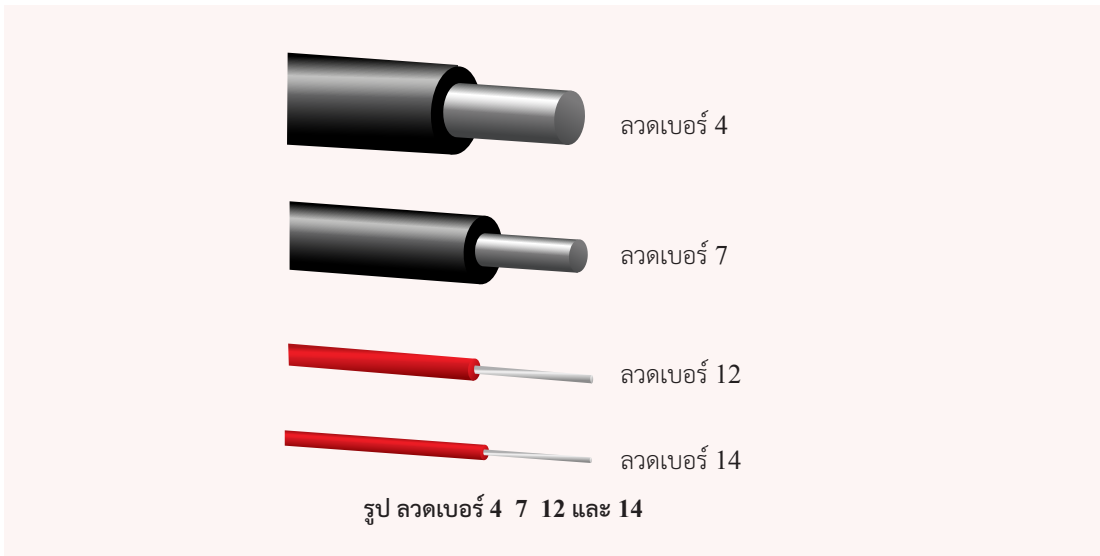
ให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 14.4 โดยมีครูแนะนำ จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ และทำแบบฝึกหัด 14.2 โดยเลือกเฉพาะข้อที่เกี่ยวข้องกับสภาพนำไฟฟ้าและสภาพต้านทานไฟฟ้า และอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ในการระบุขนาดของลวดตัวนำมีการใช้มาตรฐาน 2 มาตรฐาน คือ AWG กับ SWG ซึ่งย่อมาจาก American Wire Gauge กับ Standard Wire Gauge ตามลำดับ โดยลวดตัวนำที่เบอร์ตามมาตรฐาน AWG หรือ SWG มาก แสดงว่า ลวดนั้นยังมีขนาดเล็ก และมีความต้านทานมาก ดังตัวอย่างในตารางด้านล่าง

ตาราง เบอร์ลวดและขนาดตามมาตรฐาน AWG และ SWG

เบอร์ลวด	มาตรฐาน AWG		มาตรฐาน SWG	
	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความต้านทานต่อเมตร (สำหรับลวดทองแดง) ($\times 10^{-3} \Omega / m$)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความต้านทานต่อเมตร (สำหรับลวดทองแดง) ($\times 10^{-3} \Omega / m$)
4	5.189	0.815	5.893	2.07
5	4.621	1.028	5.385	2.48
6	4.115	1.296	4.877	3.03
7	3.665	1.634	4.470	3.60
8	3.264	2.061	4.064	4.36
9	2.906	2.599	3.658	5.38
10	2.588	3.277	3.251	6.81
11	2.305	4.132	2.946	8.30
12	2.053	5.211	2.642	10.3
13	1.828	6.571	2.337	13.2
14	1.628	8.286	2.032	17.4



แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับ สภาพนำไฟฟ้าและสภาพต้านทานไฟฟ้า จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 14.2
2. ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับความยาว พื้นที่หน้าตัด และสภาพต้านทานของตัวนำโลหะที่อุณหภูมิคงตัว จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 14.2
3. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการแก้โจทย์ปัญหาและการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับความต้านทาน สภาพนำไฟฟ้าและสภาพต้านทานไฟฟ้า ในแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 14.2
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล จากการอภิปรายร่วมกัน และด้านความรอบคอบจากการทำแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 14.2

14.2.3 ตัวต้านทาน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ตัวต้านทานที่ไม่มีแถบสีความคลาดเคลื่อน แสดงว่า ไม่มีความคลาดเคลื่อน	1. ความต้านทานของตัวต้านทานทุกชนิดมีความคลาดเคลื่อน ถ้าไม่มีการระบุแถบสีความคลาดเคลื่อน แสดงว่ามีความคลาดเคลื่อนมากกว่าที่ระบุแถบสี
2. ตัวต้านทานไม่ใช่ตัวนำไฟฟ้า	2. ตัวต้านทานเป็นตัวนำไฟฟ้าที่รู้ค่าความต้านทานชัดเจน

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. ตัวต้านทานขนาดและชนิดต่าง ๆ สำหรับแสดงให้นักเรียนสังเกต โดยอาจเป็นตัวต้านทานที่ต่ออยู่ในแผงวงจร

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 7 ของหัวข้อ 14.2 ตามหนังสือเรียน

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับความต้านทานในหัวข้อ 14.2.1 จากนั้น อาจแสดงรูปหรือนำตัวต้านทานขนาดและชนิดต่าง ๆ มาให้นักเรียนสังเกต โดยอาจเป็นตัวต้านทานที่ต่ออยู่ในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แล้วอธิบายว่า สำหรับวงจรไฟฟ้าโดยทั่วไป มีการใช้ชิ้นส่วนที่รู้ความต้านทานชัดเจน เรียกว่า ตัวต้านทาน เพื่อการควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในวงจรไฟฟ้าให้เหมาะสมกับวงจรไฟฟ้านั้น ๆ ครูควรเน้นว่า ตัวต้านทานสามารถนำไฟฟ้าได้

ครูตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า แถบสีและสัญลักษณ์ต่าง ๆ บนตัวต้านทานหมายถึงอะไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับสัญลักษณ์ของตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้าและวิธีการอ่านความต้านทานจากรหัสสีตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนนำเสนอ โดยครูสะท้อนผลการนำเสนอและตั้งคำถามให้มีการอภิปรายส่วนที่นักเรียนยังไม่เข้าใจเพิ่มเติม จนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับ วิธีการอ่านความต้านทานจากรหัสสี

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 14.5 โดยมีครูแนะนำ โดยเน้นว่า ความต้านทานของตัวต้านทานที่อ่านได้มีค่าอยู่ในช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่ระบุด้วยแถบสีบนตัวต้านทาน ถ้าตัวต้านทานใด ไม่มีการระบุแถบสี แสดงว่า ตัวต้านทานนั้นมีความต้านทานความคลาดเคลื่อนมากกว่าที่ระบุด้วยแถบสี จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัด 14.2 โดยเลือกเฉพาะข้อที่เกี่ยวข้องกับการอ่านแถบสีบนตัวต้านทาน ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

ครูให้นักเรียนสืบค้นเพิ่มเติมเกี่ยวกับตัวต้านทานชนิดที่ 5 แถบสีนอกเวลาเรียน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับตัวต้านทานและวิธีการอ่านแถบสีบนตัวต้านทานจากคำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัด 14.2
2. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการแก้โจทย์ปัญหาและการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับวิธีการอ่านแถบสีบนตัวต้านทาน ในแบบฝึกหัด 14.2
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล จากการอภิปรายร่วมกัน

14.2.4 การต่อตัวต้านทาน

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. วัสดุและอุปกรณ์สำหรับกิจกรรมสาธิต
 - ตัวต้านทานที่มีความต้านทานเท่ากัน 2 ตัว
 - โวลต์มิเตอร์ 1 เครื่อง

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 8 ของหัวข้อ 14.2 ตามหนังสือเรียน

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับตัวต้านทานในหัวข้อที่ผ่านมา จากนั้น ตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า ถ้านำตัวต้านทานมากกว่า 1 ตัวมาต่อกันแบบอนุกรมและแบบขนาน จะได้ผลลัพธ์อย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

จากนั้น ครูอาจสาธิตการต่อตัวต้านทานที่มีความต้านทานเท่ากัน 2 ตัว แบบอนุกรมและแบบขนาน โดยมีการใช้เครื่องฉายภาพทาบแสง (visualizer) ช่วยให้นักเรียนสังเกตผลการทำกิจกรรมได้ชัดเจน แล้ววัดความต่างศักย์ด้วยโวลต์มิเตอร์ แล้วนำผลที่ได้มาอภิปรายร่วมกัน

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับสาเหตุที่ต้องนำตัวต้านทานมากกว่าหนึ่งตัวมาต่อกัน ความหมายของความต้านทานสมมูล และวิธีการต่อตัวต้านทาน 2 วิธี ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และความต้านทานสมมูลของการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนานตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 14.6 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ ก่อนจะให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัด 14.2 โดยเลือกเฉพาะข้อที่เกี่ยวข้องกับการต่อตัวต้านทาน ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

ครูให้นักเรียนสืบค้นเพิ่มเติมเกี่ยวกับตัวต้านทานชนิดอื่น ๆ นอกเวลาเรียน

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

วัสดุอิเล็กทรอนิกส์และการใช้งานทางวิทยาศาสตร์

เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องอำนวยความสะดวกต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องปรับอากาศ โทรทัศน์ วิทยุ โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ เครื่องซักผ้า เตารีดไมโครเวฟ นอกจากจะใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงานแล้ว ยังมีส่วนควบคุมที่สามารถกำหนดเงื่อนไขการทำงานได้ตามต้องการ เช่น เวลาปิดเปิด การควบคุมเหล่านี้สามารถกระทำได้โดยการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และอิเล็กทรอนิกส์

วิชาอิเล็กทรอนิกส์เกิดขึ้นจากความรู้ฟิสิกส์ทางด้านของแข็ง (solid-state physics) ไฟฟ้ากระแส ไฟฟ้าแม่เหล็ก และฟิสิกส์ควอนตัม ทำให้มีวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เกิดขึ้นมากมาย เช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ไอซี (ซึ่งเป็นวงจรไฟฟ้าเล็ก ๆ จำนวนมากรวมอยู่ด้วยกัน) ตัวรับรู้ (sensor) ฯลฯ เมื่อนำวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ มาสร้างเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ก็เกิดเป็นเทคโนโลยีทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถนำมาช่วยในการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้ โดยเฉพาะในด้านเครื่องมือเครื่องวัดปริมาณต่าง ๆ

เครื่องมือ เครื่องวัดปริมาณต่าง ๆ ทางวิทยาศาสตร์ในระดับที่นักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ใช้งานนั้น จะมีเทคโนโลยีทางอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาเกี่ยวข้องเสมอ ดังนั้นเราจึงควรจะศึกษาและทำความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์

หน้าที่สำคัญของอิเล็กทรอนิกส์ในงานวิทยาศาสตร์

1. ใช้เป็นตัวรับรู้
2. ใช้ในการวิเคราะห์และตัดสินใจ
3. ใช้ในการควบคุม

1. วัสดุอิเล็กทรอนิกส์ใช้สำหรับเป็นตัวรับรู้

ความหมายของตัวรับรู้ทางไฟฟ้า คือ วัสดุหรือสารที่มีการตอบสนองต่อปริมาณทางกายภาพ การตอบสนองนี้มีผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวรับรู้มีการเปลี่ยนแปลง สามารถนำตัวรับรู้มาสร้างเป็นเครื่องวัดปริมาณทางกายภาพได้

ตัวอย่างของการใช้วัสดุอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับรู้

ปริมาณกายภาพ

แสง

อุณหภูมิ

ความดัน

สนามแม่เหล็ก

แรง

ความชื้นเสียง

กัมมันตภาพรังสี

รังสีอินฟราเรด

ตัวรับรู้

LDR, Photodiode

Thermistor, IC LM 335

Piezoelectric, Strain gauge

Reed relay, Hall effect, Induction coil

Piezoelectric, Strain gauge

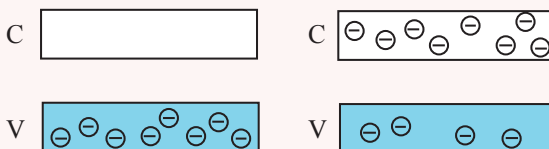
Condenser microphone

Geiger Muller Counter

IR Photodiode

การวัดปริมาณแสง

สามารถทำได้หลายแบบ หลายวิธี แต่ในบทเรียนนี้จะนำเสนอการวัดปริมาณแสงด้วย LDR (Light Dependent Resistor) ที่ทำมาจาก CdS (Cadmium sulfide) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง เมื่อถูกแสงจะทำให้อิเล็กตรอนของ CdS ที่เดิมอยู่ในช่วงพลังงานแถบวาเลนซ์ (valence band) พลังงานจากแสงจะทำให้อิเล็กตรอนบางตัวของ CdS มีพลังงานสูงขึ้นไปอยู่ในระดับ conducting band ทำให้ CdS สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ นั่นคือเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าเมื่อถูกแสง



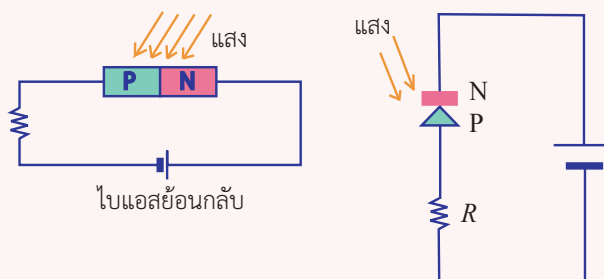
เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากแสง จะเคลื่อนที่ขึ้นไปอยู่ที่แถบการนำมากขึ้น

C = conduction band (แถบการนำ)

V = valence band (แถบเวเลนซ์)

รูป แสดงช่วงพลังงาน valence band และ conduction band ของ CdS

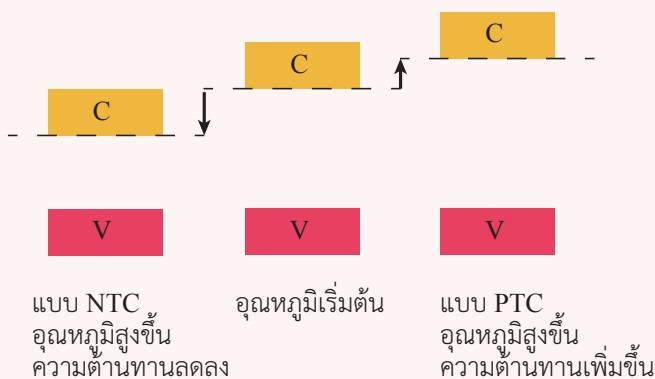
สำหรับการใช้ photo-diode วัดแสงนั้น พลังงานแสงที่ตกกระทบผิวหน้าของ photo-diode จะทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าตรงรอยต่อเชื่อมระหว่างแผ่น P และแผ่น N ของสารกึ่งตัวนำที่นำมาทำเป็นไดโอดมีการเปลี่ยนแปลง เป็นผลให้มีอิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อเชื่อมนี้ได้ง่ายขึ้น สามารถนำหลักการนี้ไปวัดปริมาณแสงได้ แต่ในบทเรียนนี้ได้ให้ทำกิจกรรม photo diode วัดแสง



รูป แสดงรอยต่อเชื่อมระหว่าง แผ่น P และแผ่น N

การใช้ Thermistor วัดอุณหภูมิ

Thermistor ทำจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งจะมีช่องว่างของพลังงาน (energy gap) ระหว่างแถบวาเลนซ์ (valence band) และแถบการนำ (conduction band) เช่นเดียวกับ LDR พลังงานความร้อนจะทำให้ช่องว่างของพลังงานของ Thermistor มีการเปลี่ยนแปลง เป็นผลทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยน การเปลี่ยนของความต้านทานไฟฟ้านี้มี 2 แบบ คือ แบบบวก PTC (positive temperature coefficient) หมายความว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วย (Thermistor ประเภทนี้ทำจากแบเรียมไททาเนต BaTiO_3) ส่วนแบบลบ NTC (Negative temperature coefficient) หมายความว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานไฟฟ้าจะลดลง (Thermistor ประเภทนี้ทำจากเจอร์มาเนียม Ge)



รูป แสดง energy gap

การใช้ Reed switch ตรวจสอบสนามแม่เหล็ก

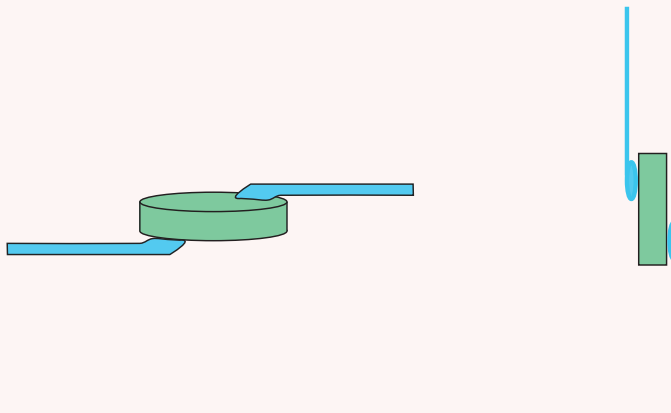
Reed switch ทำจากโลหะ 2 แท่ง ที่ทำจากสารแม่เหล็ก บรรจุอยู่ภายในหลอดแก้วเล็กๆ เมื่อนำแท่งแม่เหล็กถาวรเข้าไปใกล้จะทำให้แท่งโลหะทั้งสองติดกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ สามารถนำไปใช้เป็นสวิตช์ปิดเปิดที่ควบคุมโดยสนามแม่เหล็ก ในทำนองเดียวกันสามารถนำไปใช้เปรียบเทียบค่าของสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวร 2 แท่ง



รูป แสดง Reed switch

การวัดความดันและแรงโดยใช้หลักการ Piezoelectric

ใช้หลักการที่ว่าสารหรือผลึกบางชนิดเมื่อมีแรงกระทำที่ผิวจะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากแรงดังกล่าวไปทำให้โครงสร้างของผลึกบิดเบี้ยวไปจากเดิม และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้านี้ยังขึ้นกับขนาดของแรงกระทำ จึงสามารถนำสาร Piezoelectric ไปออกแบบทำเครื่องวัดแรง รวมทั้งวัดความดันได้ เพราะ ความดัน = แรงต่อพื้นที่



รูป แสดงตัวรับรู้ที่ทำจากสาร Piezoelectric

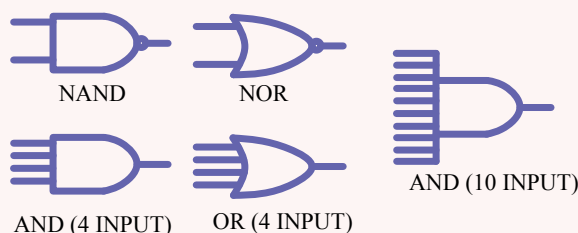
การวัดความดันและแรงโดยใช้ Strain gauge

ใช้หลักการที่ความยาวของตัวนำเปลี่ยนแปลง เมื่อมีแรงกระทำให้เกิดการบิดเบี้ยวหรือโค้งงอ เป็นผลให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงและเนื่องจากความดันเท่ากับแรงต่อพื้นที่ จึงสามารถนำ Strain gauge ไปออกแบบทำเครื่องวัดความดันได้

2. วัสดุอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการวิเคราะห์และตัดสินใจ

นอกจากจะสามารถใช้วัสดุอิเล็กทรอนิกส์ในการวัดปริมาณทางกายภาพแล้ว ยังใช้ในการวิเคราะห์และตัดสินใจได้ ตัวอย่างเช่น ให้ไฟสว่างตามถนนทำงานเมื่อพระอาทิตย์ตก ปริมาณแสงจากดวงอาทิตย์จะตกกระทบที่ LDR เมื่อปริมาณแสงมีค่าลดลง ถึงระดับที่ตั้งไว้ สวิตช์จะเปิดให้ไฟสว่างทำงาน

เพื่อให้การวิเคราะห์และตัดสินใจของวงจรไฟฟ้าทำงานได้ถูกต้องยิ่งขึ้น จึงได้มีการออกแบบวัสดุอิเล็กทรอนิกส์กลุ่มหนึ่งไว้สำหรับทำหน้าที่ตัดสินใจทางตรรกะ คือพวก LOGIC gate ต่าง ๆ



รูป แสดงสัญลักษณ์ LOGIC gate แบบต่าง ๆ

ในการใช้ IC กลุ่มวิเคราะห์และตัดสินใจนั้น ยังมีตรรกะต่าง ๆ อีกมากมาย เช่น NAND NOR ฯลฯ ซึ่งผู้สนใจสามารถศึกษาต่อได้ในวิชาวิศวกรรมศาสตร์ เพราะวงจรตรรกะเหล่านี้เป็นพื้นฐานที่สำคัญในการทำงานของคอมพิวเตอร์

3. วัสดุอิเล็กทรอนิกส์ใช้ในการควบคุม

โดยทั่วไปสัญญาณไฟฟ้าที่ผ่านออกมาจากวงจรตรรกะนั้นจะมีกำลัง (power) ต่ำ ไม่สามารถทำให้หลอดไฟที่มีวัตต์สูงสว่างได้ หรือไม่อาจจะควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ในกิจกรรมนั้น เพียงแต่ทำให้ LED สว่างเท่านั้น ยังไม่อาจไปใช้งานจริง

นอกจากนั้นสัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาจากตัวรับรู้ต่าง ๆ มักจะมีกำลังต่ำเช่นกัน ไม่เพียงพอที่จะป้อนเข้า input ของวงจรตรรกะ ดังนั้นการจัดกระทำกับสัญญาณไฟฟ้า จึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้สัญญาณไฟฟ้ามีกำลังสูงพอจะทำงานได้ตามที่เราต้องการ

สรุป

สรุปขั้นตอนงานทางอิเล็กทรอนิกส์จะมีลักษณะเป็น 3 รูปแบบคือ



รูป แสดงขั้นตอนต่าง ๆ ของงานทางอิเล็กทรอนิกส์

ส่วนที่เป็น INPUT ซึ่งได้แก่สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากตัวรับรู้ เช่น ตัวรับรู้ความเข้มแสง ความเข้มเสียง อุณหภูมิ ความดัน ลักษณะการเต้นของหัวใจ ฯลฯ ส่วนที่เป็น PROCESS คือ การจัดการกระทำกับสัญญาณไฟฟ้าที่เข้ามา ซึ่งอาจมีการขยายสัญญาณไฟฟ้า การวิเคราะห์และตัดสินใจ เช่น เปิดไฟแสงสว่างของถนน เมื่อความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ลดลง ส่วนสุดท้ายคือ OUTPUT ซึ่งอาจมีได้หลายแบบ เช่น การควบคุมและการแสดงผล (display)

ตัวอย่างของการควบคุมคือ ควบคุมสวิทช์รีเลย์ ควบคุมมอเตอร์

ตัวอย่างของการแสดงผล คือ ทำให้หน้าปัดแสดงตัวเลข ทำให้เข็มมาตรไฟฟ้าเบนไป หรือมีเสียงเตือน ฯลฯ เป็นต้น



รูป แสดงหน้าปัดของมิเตอร์

จะเห็นว่างานอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมากได้เข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเรา ไม่ว่าจะเป็นเครื่องปรับอากาศ โทรทัศน์ วิทยุ โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ เครื่องซักผ้า เต้าไมโครเวฟ ระบบการควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ เครื่องตรวจจับประจำตัวเจ้าหน้าที่ ตรวจบัตรธนาคาร และงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ การแพทย์ โทรคมนาคม สารสนเทศ ฯลฯ

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการต่อตัวต้านทานจากคำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัด 14.2
2. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการแก้โจทย์ปัญหาและการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับการต่อตัวต้านทาน ในแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 14.2
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล จากการอภิปรายร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 14.2

- อัตราส่วนระหว่างความต่างศักย์ระหว่างปลายของลวดตัวนำกับกระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวดตัวนำ บอกถึงปริมาณใดของลวดตัวนำ

แนวคำตอบ ความต้านทานของลวดตัวนำ

- พิจารณาข้อความต่อไปนี้ ข้อใดถูก ข้อใดผิด

ก. ที่อุณหภูมิคงตัว ความต้านทานของตัวนำโลหะมีค่าคงตัว

แนวคำตอบ ถูก เพราะจากกฎของโอห์ม ที่อุณหภูมิคงตัว กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะจะแปรผันตรงกับความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวนำนั้น แสดงว่า ความต้านทานคงตัว

ข. ถ้าลวดตัวนำมีความยาวมากขึ้น ความต้านทานของลวดตัวนำจะมากขึ้น

แนวคำตอบ ถูก เพราะความต้านทานแปรผันตรงกับความยาว แต่แปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ

ค. ถ้าลวดตัวนำมีพื้นที่หน้าตัดมากขึ้น ความต้านทานของลวดตัวนำจะน้อยลง

แนวคำตอบ ถูก เพราะความต้านทานแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำ

ง. สภาพต้านทานไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความยาวและพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ

แนวคำตอบ ผิด สภาพต้านทานไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ทำวัสดุและอุณหภูมิ

- ตัวต้านทานทำหน้าที่อะไรในวงจรไฟฟ้า

แนวคำตอบ ตัวต้านทานทำหน้าที่ควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในวงจรไฟฟ้าให้พอเหมาะกับการใช้งาน

- แถบสีที่ 4 ของตัวต้านทานค่าคงตัวแบบมีแถบสี 4 แถบ แทนค่าอะไร

แนวคำตอบ ค่าความคลาดเคลื่อน

- เมื่อต่อตัวต้านทานจำนวนหนึ่งแบบอนุกรม กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวจะเป็นอย่างไร

แนวคำตอบ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวจะเท่ากัน และเท่ากับกระแสไฟฟ้าในวงจร

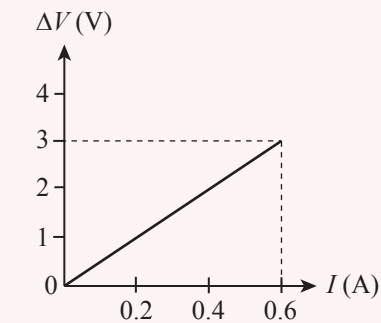
- เมื่อต่อตัวต้านทานจำนวนหนึ่งแบบขนาน ความต้านทานสมมูลจะแตกต่างจากความต้านทานของตัวต้านทานแต่ละตัวอย่างไร

แนวคำตอบ ความต้านทานสมมูลของตัวต้านทานที่ต่อแบบขนานจะน้อยกว่าความต้านทานของตัวต้านทานแต่ละตัว



เฉลยแบบฝึกหัด 14.2

1. จากการทดลองวัดความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานซึ่งต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าได้กราฟ ดังรูป จงหาความต้านทานของตัวต้านทาน



รูป ประกอบแบบฝึกหัด 14.2 ข้อ 1

วิธีทำ จากกราฟจะได้ความชัน
$$= \frac{\Delta V}{I}$$

$$= \frac{3.0 \text{ V}}{0.6 \text{ A}}$$

$$R = 5.0 \Omega$$

ตอบ ตัวต้านทานมีความต้านทาน 5 โอห์ม

2. ต่อหลอดไฟที่มีความต้านทาน 3.0 โอห์มกับแบตเตอรี่ขนาด 1.5 โวลต์ จะมีกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดไฟเท่าใด

วิธีทำ จากกฎของโอห์ม
$$I = \frac{\Delta V}{R}$$

แทนค่า จะได้
$$I = \frac{1.5 \text{ V}}{3.0 \Omega}$$

$$= 0.5 \text{ A}$$

ตอบ มีกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดไฟ 0.5 แอมแปร์

3. ลวดเงินยาว 5.0 เมตร พื้นที่หน้าตัด 2.0 ตารางมิลลิเมตร ลวดเงินเส้นนี้มีความต้านทานเท่าใด กำหนด สภาพนำไฟฟ้าของเงินเท่ากับ 6.14×10^7 (โอห์ม เมตร)⁻¹

วิธีทำ ใช้ความสัมพันธ์ $R = \frac{\rho l}{A}$ และ $\rho = \frac{1}{\sigma}$

จะได้
$$R = \frac{l}{\sigma A}$$

แทนค่า
$$R = \frac{(5.0 \text{ m})}{(6.14 \times 10^7 (\Omega \text{ m})^{-1})(2.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2)}$$

จะได้
$$R = 4.07 \times 10^{-2} \Omega$$

ตอบ ลวดเงินเส้นนี้มีความต้านทาน 4.07×10^{-2} โอห์ม

4. ลวดโลหะชนิดหนึ่ง มีสภาพต้านทานไฟฟ้า 6×10^{-8} โอห์ม เมตร มีพื้นที่หน้าตัด 0.5 ตารางมิลลิเมตร ต้องใช้ลวดยาวเท่าใดจึงจะได้ความต้านทาน 2.5 โอห์ม

วิธีทำ ใช้ความสัมพันธ์ $R = \frac{\rho l}{A}$ จัดรูปสมการเพื่อหาความยาวลวดจะได้ $l = \frac{RA}{\rho}$

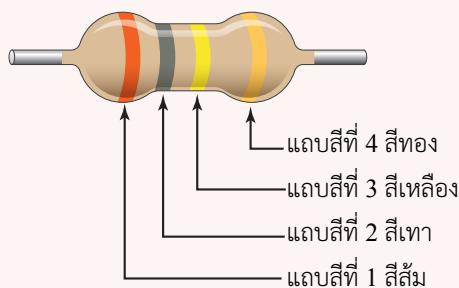
แทนค่า
$$l = \frac{(2.5 \Omega)(0.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2)}{(6 \times 10^{-8} \Omega \text{ m})}$$

จะได้
$$= 0.2083 \times 10^2 \text{ m}$$

$$= 20.83 \text{ m}$$

ตอบ ต้องใช้ลวดยาว 20.83 เมตร

5. ตัวต้านทานมีแถบสีดังรูป มีความต้านทานเท่าใด



รูป ประกอบแบบฝึกหัด 14.2 ข้อ 5

วิธีทำ แทนแถบสีต่าง ๆ ด้วยตัวเลขตามรหัสสีในตาราง 14.3 จากนั้น นำไปแทนค่าลงในสมการความต้านทาน = [(เลขแถบสีที่ 1 เลขแถบสีที่ 2) $\times 10^{\text{เลขแถบสีที่ 3}}$] $\pm$ เลขแถบสีที่ 4 แถบที่หนึ่งสีส้มแทนด้วยเลข 3 แถบที่สองสีเทาแทนด้วยเลข 8 แถบที่สามสีเหลืองแทนด้วยเลข 4 แถบที่สี่สีทองแทนความคลาดเคลื่อนเป็น ± 5

$$\begin{aligned}\text{จะได้} \quad \text{ความต้านทาน} &= [(38) \times 10^4 \Omega] \pm 5\% \\ &= 3.8 \times 10^5 \Omega \pm 5\% \\ &= 380 \text{ k } \Omega \pm 5\%\end{aligned}$$

ตอบ ตัวต้านทานที่มีแถบสีดังรูป มีความต้านทาน 380 กิโลโอห์ม และมีความคลาดเคลื่อน 5%

6. จะต้องต่อตัวต้านทาน 1.0 เมกะโอห์ม กับความต่างศักย์เท่าใด จึงจะมีกระแสไฟฟ้า 1.0 มิลลิแอมแปร์ ผ่านตัวต้านทานดังกล่าว

วิธีทำ จาก $\Delta V = IR$

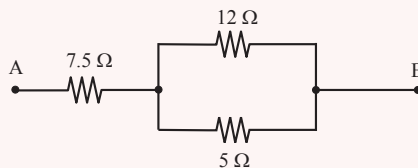
เมื่อ $I = 1.0 \times 10^{-3} \text{ A}$, $R = 1.0 \times 10^6 \Omega$

แทนค่า $\Delta V = (1.0 \times 10^{-3} \text{ A})(1.0 \times 10^6 \Omega)$

$$\begin{aligned}&= 1.0 \times 10^3 \text{ V} \\ &= 1 \text{ kV}\end{aligned}$$

ตอบ จะต้องใช้ความต่างศักย์ 1 กิโลโวลต์

7. จากรูป ถ้าความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทานขนาด 12Ω เท่ากับ 18 โวลต์ จงหาความต่างศักย์ระหว่าง A กับ B



รูป ประกอบแบบฝึกหัด 14.2 ข้อ 7

วิธีทำ จากกฎของโอห์ม $I = \frac{\Delta V}{R}$

สำหรับตัวต้านทาน 12 โอห์ม $R_1 = 12 \Omega$, $\Delta V_1 = 18 \text{ V}$

แทนค่า $I_1 = \frac{18 \text{ V}}{12 \Omega}$

$$= 1.5 \text{ A}$$

เนื่องจากตัวต้านทาน 5 โอห์มต่อขนานกับตัวต้านทาน 12 โอห์ม ดังนั้น
จะได้ $R_2 = 5\Omega$, $\Delta V_2 = 18V$

แทนค่า

$$I_2 = \frac{18V}{5\Omega}$$

$$= 3.6 A$$

ในการต่อตัวต้านทานแบบขนาน กระแสไฟฟ้าที่ผ่านวงจรจะเท่ากับผลบวกของกระแสไฟฟ้า
ที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว ดังนั้น

$$I = I_1 + I_2$$

$$= 1.5 A + 3.6 A$$

$$= 5.1 A$$

เนื่องจาก ชุดตัวต้านที่ต่อกันแบบขนานต่อแบบอนุกรมกับตัวต้านทานขนาด 7.5 โอห์ม
ดังนั้น กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานตัวนี้จึงเท่ากับ 5.1 แอมแปร์ เท่ากัน

และจาก

$$\Delta V = IR$$

แทนค่าเพื่อหาความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทานขนาด 7.5 โอห์ม

จะได้

$$\Delta V = (5.1 A)(7.5\Omega)$$

$$= 38.25 V$$

ความต่างศักย์ระหว่าง A กับ B เท่ากับผลรวมของความต่างศักย์ระหว่างปลาย
ตัวต้านทานขนาด 7.5 โอห์ม กับ ความต่างศักย์ระหว่างปลายของชุดตัวต้านทานที่ต่อกัน
แบบขนาน

ดังนั้น จะได้

$$\Delta V_{AB} = 18 V + 38.25 V$$

$$= 56.25 V$$

ตอบ ความต่างศักย์ระหว่าง A กับ B เท่ากับ 56.25 โวลต์

8. ตัวต้านทาน 3 ตัว มีความต้านทาน 30 โอห์ม 60 โอห์มและ X โอห์ม ถ้าต่อตัวต้านทานทั้งสามแบบขนาน จะได้ความต้านทานสมมูล $\frac{120}{7}$ โอห์ม จงหาค่าของ X

วิธีทำ ถ้าต่อตัวต้านทานที่มีความต้านทาน R_1 R_2 และ R_3 แบบขนาน จะได้ความต้านทานสมมูล R มีค่าดังสมการ

$$\begin{aligned}\frac{1}{R} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \\ \text{แทนค่า} \quad \frac{1}{(120/7 \, \Omega)} &= \frac{1}{30 \, \Omega} + \frac{1}{60 \, \Omega} + \frac{1}{X} \\ \frac{1}{X} &= \frac{1}{(120/7 \, \Omega)} - \frac{1}{30 \, \Omega} - \frac{1}{60 \, \Omega} \\ &= \frac{1}{120 \, \Omega} \\ X &= 120 \, \Omega\end{aligned}$$

ตอบ X มีค่าเท่ากับ 120 โอห์ม

14.3 พลังงานในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดลองเพื่อบอกความแตกต่างและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่กับความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่
2. อธิบายและคำนวณปริมาณต่างๆที่เกี่ยวข้องกับอีเอ็มเอฟของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากสถานการณ์ที่กำหนดให้

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 14.3 โดยอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับการต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากับหลอดตัวนำและอุปกรณ์เป็นวงจรไฟฟ้า การเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า การถ่ายโอนพลังงานจากประจุไฟฟ้าให้อุปกรณ์ทำงานได้ จนสรุปได้ว่าพลังงานที่ประจุถ่ายโอนให้กับส่วนต่าง ๆ ของวงจร คือ พลังงานไฟฟ้า จากนั้นครูใช้คำถาม เกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับปริมาณใด และพลังงานไฟฟ้าส่วนที่ประจุได้รับจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากับส่วนที่ประจุถ่ายโอนให้กับวงจร มีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบคำถามอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

14.3.1 พลังงานไฟฟ้าและความต่างศักย์

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ก็คืออีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่ เพราะมีหน่วยเป็นโวลต์เหมือนกัน	1. ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ไม่ใช่อีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่ เพราะความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่เป็นพลังงานที่ประจุหนึ่งหน่วยใช้เคลื่อนที่ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ผ่านอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ ส่วนอีเอ็มเอฟเป็นพลังงานที่แบตเตอรี่ให้กับประจุหนึ่งหน่วยที่เคลื่อนที่ผ่านแบตเตอรี่ ซึ่งทั้งคู่มีหน่วยเป็นโวลต์เหมือนกัน
2. อีเอ็มเอฟ คือ แรงที่ผลักให้อิเล็กตรอนในวงจรไฟฟ้าเคลื่อนที่	2. อีเอ็มเอฟคือพลังงานไฟฟ้าที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจ่ายให้กับประจุไฟฟ้าหนึ่งหน่วยที่เคลื่อนที่ผ่าน
3. อีเอ็มเอฟ แรงดันไฟฟ้า และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นปริมาณที่ต่างกัน	3. อีเอ็มเอฟ แรงดันไฟฟ้า และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นปริมาณเดียวกัน เพียงแต่ ในบางบริบทมีการใช้คำต่างกัน เช่น ในบริบททางวิศวกรรมไฟฟ้าจะใช้คำว่า แรงดันไฟฟ้าหรือในตำราฟิสิกส์บางเล่ม จะใช้คำว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้า

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อ 9 และ 10 ของหัวข้อ 14.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 14.3.1 โดยให้นักเรียนยกตัวอย่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่นักเรียนรู้จัก และอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับตัวอย่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และสัญลักษณ์ที่ใช้แทนแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงในวงจรไฟฟ้า ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูยกสถานการณ์การต่อแบตเตอรี่กับหลอดไฟดังรูป 14.19 แล้วตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า การเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าและการถ่ายโอนพลังงานจากแบตเตอรี่ให้กับหลอดไฟทำให้เกิดขึ้นอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ให้นักเรียนศึกษารายละเอียดและกราฟรูป 14.20 ตามหนังสือเรียน ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า เมื่อประจุไฟฟ้าเคลื่อนออกจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจะมีพลังงานไฟฟ้าจำนวนหนึ่ง เมื่อเคลื่อนผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้าจะเสียพลังงานไฟฟ้าให้เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานจำนวนหนึ่ง เมื่อเคลื่อนที่วนกลับมาผ่านแหล่งกำเนิดไฟฟ้าก็จะได้รับพลังงานทดแทนส่วนที่เสียให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า กลับมามีพลังงานเท่าเดิมอีกครั้ง

ครูให้นักเรียนเปรียบเทียบการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าของประจุไฟฟ้าให้กับหลอดไฟ กับ การถ่ายโอนพลังงานจลน์ของน้ำให้กับกังหัน ตามรายละเอียดจากหนังสือเรียนหน้า 203

จากนั้นครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า หลังจากน้ำเคลื่อนผ่านและหมุนกังหันแล้ว น้ำจะสามารถไหลกลับมาหมุนกังหันได้อีกครั้ง จะต้องได้รับพลังงานกลจากปั๊ม โดยเมื่อน้ำผ่านเครื่องปั๊มจะให้น้ำมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ ประจุไฟฟ้าเมื่อผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า แล้วต้องได้รับพลังงานจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า จึงจะสามารถเคลื่อนที่ครบวงจรกลับมาผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้าซ้ำได้อีก

ทั้งนี้ ครูอาจถามคำถามชวนคิด หน้า 203 แล้วให้นักเรียนอภิปรายเพื่อหาคำตอบร่วมกัน



แนวคำถามชวนคิด

เมื่อเปรียบเทียบการไหลของน้ำในท่อที่มีน้ำเต็ม กับ กระแสไฟฟ้าในตัวนำ มีข้อเหมือนและแตกต่างกันอย่างไร

แนวคำตอบ

ข้อเหมือน ในท่อที่มีน้ำเต็มเมื่อน้ำที่ตำแหน่งหนึ่งในท่อขยับเคลื่อนที่ จะดันให้น้ำทุก ๆ ตำแหน่งในท่อนั้นเคลื่อนที่หรือไหลพร้อมกันทุกตำแหน่ง เช่นเดียวกับประจุไฟฟ้าในตัวนำที่มีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้น ประจุไฟฟ้าทุก ๆ ตำแหน่งในตัวนำจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน ด้วยแรงไฟฟ้า หรือเกิดกระแสไฟฟ้าในตัวนำพร้อมกันทุกตำแหน่ง

ข้อแตกต่าง การไหลของน้ำในท่อเกิดจากแรงดัน คือ แรงสัมผัส ขณะที่การเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าเกิดจากแรงไฟฟ้า คือ แรงไม่สัมผัส

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับ อีเอ็มเอฟ แรงดันไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า และ ความต่างศักย์ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้น ให้นักเรียนนำเสนอ โดยครูสะท้อนผลการนำเสนอและตั้งคำถาม ให้มีการอภิปรายส่วนที่นักเรียนยังไม่เข้าใจเพิ่มเติม จนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าและความต่างศักย์ ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ทั้งนี้ ครูควรเน้นว่า อีเอ็มเอฟของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงในบริบทอื่น ๆ อาจมีการใช้คำว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือ แรงดันไฟฟ้า ซึ่งมาจากคำในภาษาอังกฤษคำเดียวกัน คือ *electromotive force* ทั้งนี้ อีเอ็มเอฟ หรือ แรงดันไฟฟ้า หรือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า ไม่ใช่ แรง ในความหมายเดียวกับ แรงที่มีหน่วยเป็น นิวตัน แต่การที่มีการใช้คำว่า แรง เนื่องจาก ในอดีต ก่อนที่นักวิทยาศาสตร์จะ เข้าใจหลักการทำงานของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าได้ดี ได้มีการใช้คำว่า *electromotive force* จนเป็นที่นิยม และยังคงใช้มาจนกระทั่งปัจจุบัน

ครูยกตัวอย่าง อีเอ็มเอฟของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ในชีวิตประจำวัน เช่น ถ่านไฟฉายหรือแบตเตอรี่ หนึ่งก้อนมีอีเอ็มเอฟ 1.5 โวลต์ แบตเตอรี่จักรยานยนต์มีอีเอ็มเอฟ 6.0 โวลต์ แบตเตอรี่รถยนต์มีอีเอ็มเอฟ 12 โวลต์ แล้วถามนักเรียนว่าตัวเลขเหล่านี้บอกให้ทราบอะไร และควรได้แนวคำตอบว่า ประจุไฟฟ้า ที่เคลื่อนได้รับพลังงานไฟฟ้า 1.5 6.0 และ 12 จูล ต่อ 1 คูลอมบ์ เมื่อเคลื่อนที่ผ่านแบตเตอรี่เหล่านั้น

ครูยกสถานการณ์มีประจุไฟฟ้า Q เคลื่อนที่ผ่านแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไปในวงจรไฟฟ้า โดยให้นักเรียน ศึกษาเกี่ยวกับพลังงานที่ประจุ Q ได้รับ ความต่างศักย์กับการถ่ายโอนพลังงานให้กับส่วนต่าง ๆ ของวงจร ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนแล้วอภิปรายร่วมกัน จนสรุปได้ว่า

- ประจุไฟฟ้า Q เคลื่อนที่ผ่านแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีอีเอ็มเอฟเท่ากับ $\mathcal{E}$ จะมีพลังงานไฟฟ้า เท่ากับ $Q\mathcal{E}$
- พลังงานไฟฟ้าที่ถ่ายโอนให้ส่วนต่าง ๆ ของวงจรต่อหนึ่งหน่วยประจุไฟฟ้า เรียกว่า ความต่างศักย์ ΔV
- ประจุไฟฟ้า Q เคลื่อนที่ผ่านส่วนต่าง ๆ ของวงจรที่มีความต่างศักย์ระหว่างปลายเป็น ΔV พลังงานไฟฟ้าที่ประจุถ่ายโอนให้กับส่วนนั้นจะเท่ากับ $Q\Delta V$

ครูถามนักเรียนเกี่ยวกับ พลังงานที่ประจุไฟฟ้าถ่ายโอนให้กับวงจรไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าในวงจรมี ความสัมพันธ์กันอย่างไร เปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วให้นักเรียนทำกิจกรรม 14.2



กิจกรรม 14.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่กับกระแสไฟฟ้าในวงจร

จุดประสงค์

1. ทดลองเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่และกระแสไฟฟ้าในวงจร

เวลาที่ใช้ 100 นาที

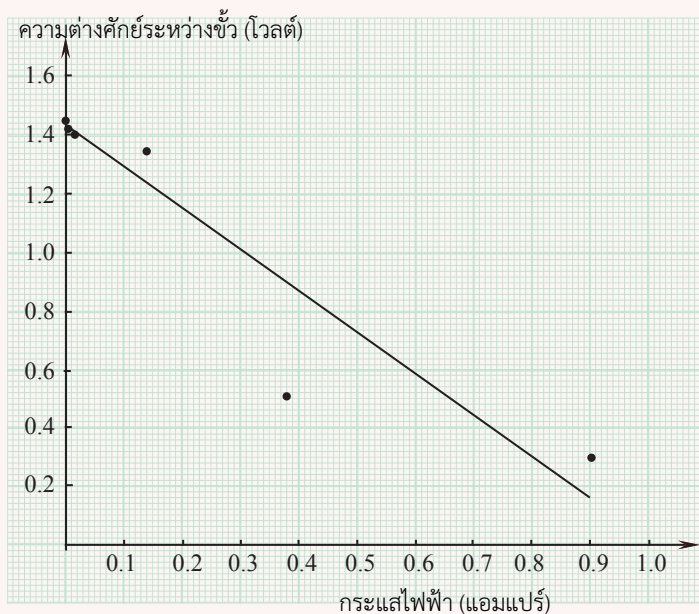
วัสดุและอุปกรณ์

1. ตัวต้านทาน $1\ \Omega$, $3.3\ \Omega$, $10\ \Omega$, $100\ \Omega$ และ $1\ \text{k}\Omega$ อย่างละ 1 ตัว
2. แบตเตอรี่ 1 ก้อนพร้อมกระบะ 1 ชุด
3. โวลต์มิเตอร์ 1 เครื่อง
4. สายไฟพร้อมปากหนีบ 4 เส้น

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ความต้านทานที่ต่อกับ แบตเตอรี่ (Ω)	ความต่างศักย์ระหว่าง ขั้วแบตเตอรี่ (V)	กระแสไฟฟ้า (A)
∞ (ไม่ต่อกับตัวต้านทาน)	1.45	0
1.0	0.30	0.90
3.3	0.57	0.38
10	1.35	0.14
100	1.40	0.014
1k	1.42	0.0014

จากข้อมูลในตาราง เขียนกราฟระหว่าง ได้ดังรูป 14.3



รูป 14.3 กราฟระหว่างความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่กับกระแสไฟฟ้า

ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้ามีแนวโน้มเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น สามารถเขียนความสัมพันธ์ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้เป็น $y = -1.33x + 1.39$ นั่นคือ ความชันของกราฟเท่ากับ -1.33 โอห์ม และ กราฟตัดแกน y ที่ $y = 1.39$ V



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ในขณะที่ยังไม่ต่อสายไฟ X กับตัวต้านทาน ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่และกระแสไฟฟ้าในวงจรมีค่าแตกต่างจากเมื่อต่อสายไฟ X กับตัวต้านทานอื่น ๆ อย่างไร
- แนวคำตอบ** ในขณะที่ยังไม่ต่อสายไฟ X กับตัวต้านทาน ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่มีค่ามากที่สุด แต่กระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์

- เมื่อต่อสายไฟ X กับตัวต้านทานที่มีค่าเพิ่มขึ้น ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ และกระแสไฟฟ้าในวงจรมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
- แนวคำตอบ** เมื่อต่อสายไฟ X กับตัวต้านทานที่มีค่าเพิ่มขึ้น ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ มีค่าเพิ่มขึ้น แต่กระแสไฟฟ้ามีค่าลดลง
- กราฟระหว่างความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่กับกระแสไฟฟ้า มีลักษณะอย่างไร และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสองได้อย่างไร
- แนวคำตอบ** กราฟมีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชันเป็นลบ ซึ่งอธิบายได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสองเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ลดลง เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรมโดยใช้คำถามท้ายกิจกรรม 14.2 จนได้ข้อสรุปดังนี้

1. ขณะยังไม่ต่อตัวต้านทานระหว่างขั้วแบตเตอรี่ ถือว่า ระหว่างขั้วแบตเตอรี่มีความต้านทานสูงมากเป็นอนันต์ และเมื่อวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ จะได้ค่ามากที่สุดและใกล้เคียงกับอีเอ็มเอฟแบตเตอรี่
2. เมื่อต่อตัวต้านทานระหว่างขั้วแบตเตอรี่ ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่มีค่าลดลง แต่กระแสไฟฟ้ามีค่ามากขึ้น โดยเมื่อต่อกับตัวต้านทานที่มีความต้านทานน้อยความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่มีค่าน้อย แต่กระแสไฟฟ้ามีค่ามาก
3. ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่กับกระแสไฟฟ้า เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยความต่างศักย์ระหว่างขั้วเพิ่มขึ้นแต่กระแสไฟฟ้าลดลง

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายโอนพลังงานในวงจรไฟฟ้าในหนังสือเรียนหน้า 207 โดยใช้รูป 14.23 และรูป 14.24 ประกอบ แล้วอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ตามความสัมพันธ์ตามสมการ (14.6) โดยครูควรเน้นว่า ปริมาณ Ir เป็นพลังงานที่ประจุไฟฟ้าหนึ่งหน่วยสูญเสียให้กับความต้านทานภายในแบตเตอรี่ ซึ่งรวมทั้งหมด พลังงานที่ถ่ายโอนให้กับความต้านทานภายในจะเท่ากับ $Q\Delta V_r$ ทั้งนี้ ครูอาจถามคำถามชวนคิด หน้า 209 เพื่อให้นักเรียนอภิปรายเพื่อหาคำตอบร่วมกัน

ครูให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับ กราฟเส้นตรงที่ได้จากกิจกรรม 14.2 กับสมการ 14.6 จนสรุปได้ว่า ความชันของกราฟเส้นตรงที่ได้จากกิจกรรม 14.2 คือ ค่าติดลบของความต้านทานภายใน และ จุดตัดแกน คือ จุดที่ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่เท่ากับอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่



แนวคำตอบชวนคิด

ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ มีค่าคงตัวหรือไม่

แนวคำตอบ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่มีค่าคงตัวในช่วงเวลาหนึ่ง เนื่องจากความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ r มีค่าเท่ากับค่าติดลบของความชันของกราฟเส้นตรงตามสมการ $\Delta V = \mathcal{E} - Ir$ ซึ่งเป็นกราฟเส้นตรง แต่เมื่อแบตเตอรี่เก่ามากขึ้น ความต้านทานภายในจะมีค่ามากขึ้นด้วย

ครูอาจให้นักเรียนศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับแนวทางการใช้แบตเตอรี่ที่ปลอดภัย มีประสิทธิภาพ และช่วยให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานได้นาน แล้วนำมาเสนอและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 14.7 โดยมีครูแนะนำ จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัด 14.3 โดยเลือกเฉพาะข้อที่เกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้าและความต่างศักย์ของวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับพลังงานและความต่างศักย์ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 14.3
2. ทักษะการวัด การทดลอง การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการอภิปรายร่วมกันและรายงานผลการทำกิจกรรม 14.2
3. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปรายร่วมกัน
4. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการหาความชันของกราฟ การแก้โจทย์ปัญหาและการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับพลังงานและความต่างศักย์ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ในการทำกิจกรรม 14.2 และในแบบฝึกหัด 14.3
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล ความมุ่งมั่นอดทน และด้านความรอบคอบ จากการอภิปรายร่วมกัน และการทำกิจกรรม 14.2
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความซื่อสัตย์ จากรายงานผลการทดลอง

14.3.2 พลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กับอีเอ็มเอฟหรือ แรงดันไฟฟ้าเดียวกัน เครื่องใช้ที่มีความต้านทานไฟฟ้ามากจะมีกำลังไฟฟ้ามากกว่า	1. เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความต้านทานมากกว่าจะมีกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า
2. กำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ระบุไว้บนฉลาก เป็นกำลังไฟฟ้าที่ได้ออกมาจากเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น	2. กำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ระบุไว้บนฉลาก โดยทั่วไปจะหมายถึงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. มอบหมายให้นักเรียนแต่ละคนนำใบแจ้งค่าไฟฟ้าที่บ้านของนักเรียนมา โดยเป็นใบแจ้งค่าไฟฟ้าของเดือนที่ผ่านมา

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 11 ของหัวข้อ 14.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 14.3.2 โดยนำอภิปรายทบทวนเกี่ยวกับความรู้เรื่อง งาน พลังงาน และ กำลังที่ได้เรียนรู้ในหัวข้อนานและพลังงาน ที่ผ่านมา จากนั้นครูถามนักเรียนว่า พลังงานไฟฟ้า และ กำลังไฟฟ้า หมายถึงอะไร และสามารถหาค่าได้อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า ในหนังสือเรียนหน้า 210 - 211 แล้วอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้สมการ (14.7) และ (14.8) โดยครูควรเน้นว่า กำลังไฟฟ้าคือพลังงานที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้ไปในหนึ่งหน่วยเวลา

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 14.8 และ 14.9 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ จากนั้น ครูตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายว่า หน่วยวัดพลังงานไฟฟ้าที่บ้านของนักเรียนใช้ไปซึ่งปรากฏในใบแจ้งค่าไฟฟ้า ที่ใช้มีหน่วยเป็นอะไร เพราะเหตุใด แล้วครูนำอภิปรายจนสรุปได้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนหน้า 213 ทั้งนี้ครูอาจให้นักเรียนคำนวณพลังงานไฟฟ้าในหน่วยจูลจากใบแจ้งค่าไฟฟ้าที่นำมา และอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่บ้านนักเรียนใช้ไปรวมทั้งแนวทางการใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยลง เพื่อให้นักเรียนตระหนักถึงการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

ครูตรวจสอบความเข้าใจนักเรียนโดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัด 14.3 เฉพาะข้อที่เกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 14.3
2. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการแก้โจทย์ปัญหาและการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับพลังงานในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ในแบบฝึกหัด 14.3
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล จากการอภิปรายร่วมกัน และด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด 14.3



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 14.3

1. อีเอ็มเอฟคืออะไร

แนวคำตอบ อีเอ็มเอฟคือพลังงานจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้าได้รับต่อหนึ่งหน่วยประจุเมื่อเคลื่อนที่ผ่านแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

2. สำหรับวงจรไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่และตัวต้านทาน การถ่ายโอนพลังงานจากแบตเตอรี่ไปยังตัวต้านทานเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงานหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ ถ้าพิจารณาเฉพาะแบตเตอรี่กับตัวต้านทาน ถือว่าไม่เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน เพราะมีพลังงานส่วนหนึ่งสูญเสียไปกับความต้านทานภายในแบตเตอรี่ โดยพลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายออกมาจะมากกว่าผลรวมพลังงานไฟฟ้าที่ตัวต้านทานในวงจรได้รับ แต่ถ้าพิจารณาทั้งวงจร ถือว่าเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน ตามสมการ $\mathcal{E} = \Delta V + Ir$

3. เพราะเหตุใด เมื่อใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ จึงทำให้แบตเตอรี่ร้อน

แนวคำตอบ เพราะแบตเตอรี่มีความต้านทานภายใน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าในวงจร จะมีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ จึงใช้พลังงานไฟฟ้าไปจำนวนหนึ่ง เปลี่ยนเป็นความร้อน ทำให้แบตเตอรี่ร้อนซึ่งเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไป

4. ถ้านำโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นใหม่ที่ประหยัดพลังงานกว่ารุ่นเก่า มาใช้กับแบตเตอรี่ขนาดเท่าเดิม กระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ให้กับโทรศัพท์รุ่นใหม่จะมากขึ้นหรือลดลง จงอธิบาย

แนวคำตอบ โทรศัพท์ที่ประหยัดพลังงานกว่า แสดงว่ามีกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า เมื่อใช้กับแบตเตอรี่ที่มีอีเอ็มเอฟเท่ากัน จะใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่า ตามสมการ $P = I\Delta V$

5. การพิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเครื่องหนึ่งใช้ไปในช่วงเวลาหนึ่ง ให้พิจารณาจากปริมาณอะไรที่ระบุบนฉลากของเครื่องใช้ไฟฟ้า

แนวคำตอบ กำลังไฟฟ้า หรือ ผลคูณระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ ตามสมการ $P = I\Delta V$

6. กิโลวัตต์ ชั่วโมง เป็นหน่วยของปริมาณใด

แนวคำตอบ พลังงานไฟฟ้า



เฉลยแบบฝึกหัด 14.3

1. แบตเตอรี่มีอีเอ็มเอฟ 3 โวลต์ และความต้านทานภายใน 1 โอห์ม ต่อกับตัวต้านทานแล้วพบว่า มีกระแสไฟฟ้าในวงจร 0.5 แอมแปร์ จงหาความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน

วิธีทำ ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน คือ ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์ตามสมการ $\mathcal{E} = \Delta V + Ir$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \Delta V &= \mathcal{E} - Ir \\ \text{แทนค่า จะได้} \quad \Delta V &= 3\text{ V} - (0.5\text{ A})(1\Omega) \\ &= 3\text{ V} - 0.5\text{ V} \\ &= 2.5\text{ V} \end{aligned}$$

ตอบ ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน เท่ากับ 2.5 โวลต์

2. แบตเตอรี่มีอีเอ็มเอฟ 6 โวลต์ ต่อใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าพบว่าความต่างศักย์ที่เครื่องใช้ไฟฟ้าได้รับมีค่า 4.5 โวลต์ จงหา

ก. ความต่างศักย์ที่ความต้านทานภายในเป็นเท่าใด

ข. ถ้าในวงจรไฟฟ้ามีกระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่มีค่าเท่าใด

วิธีทำ ก. ความต่างศักย์ที่ความต้านทานภายในเท่ากับ Ir ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์ตามสมการ $\mathcal{E} = \Delta V + Ir$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad & Ir = \mathcal{E} - \Delta V \\ \text{แทนค่า จะได้} \quad & Ir = 6\text{ V} - 4.5\text{ V} \\ & = 1.5\text{ V} \end{aligned}$$

ตอบ ความต่างศักย์ที่ความต้านทานภายในเท่ากับ 1.5 โวลต์

วิธีทำ ข. หาความต้านทานภายในจากความต่างศักย์ที่ความต้านทานภายใน Ir ที่ได้จากข้อ ก. ดังนั้น

$$\begin{aligned} 1.5\text{ V} &= Ir \\ &= (0.5\text{ A})r \\ r &= 3\Omega \end{aligned}$$

ตอบ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เท่ากับ 3 โอห์ม

3. หลอดไฟของไฟฉายมีกำลังไฟฟ้า 20 วัตต์ ใช้กับแบตเตอรี่ที่มีอีเอ็มเอฟ 9 โวลต์ จงหา

ก. กระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดไฟ

ข. ถ้าใช้งานไฟฉายเป็นเวลานาน 10 นาที ไฟฉายนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าไปกี่จูล

วิธีทำ ก. โจทย์ไม่ได้กำหนดความต้านทานภายในแบตเตอรี่ ดังนั้น จากความสัมพันธ์

$\mathcal{E} = \Delta V + Ir$ จะได้ว่า ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ที่หลอดไฟได้รับเท่ากับอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่ หรือ $\mathcal{E} = \Delta V$

หากระแสไฟฟ้าผ่านหลอดไฟจากความสัมพันธ์ $P = I\Delta V$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า จะได้} \quad 20\text{ W} &= I(9\text{ V}) \\ I &= \frac{20\text{ W}}{9\text{ V}} \\ &= 2.22\text{ A} \end{aligned}$$

ตอบ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดไฟ เท่ากับ 2.22 แอมแปร์

วิธีทำ ข. พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปหาได้จากความสัมพันธ์ $W = P\Delta t$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า จะได้} \quad W &= (20\text{ W})(10 \times 60\text{ s}) \\ &= 1200\text{ J} \\ &= 12\text{ kJ} \end{aligned}$$

ตอบ ในเวลานาน 10 นาที ไฟฉายนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าไป 12 กิโลจูล

4. เมื่อต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับวงจรไฟฟ้าพบว่า ความต่างศักย์ระหว่างขั้วของมอเตอร์มีค่า 10 โวลต์ และมีกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า 2 แอมแปร์ มอเตอร์นี้มีกำลังไฟฟ้ากี่วัตต์

วิธีทำ กำลังไฟฟ้ามอเตอร์หาได้จากความสัมพันธ์ $P = I\Delta V$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned} P &= (2\text{A})(10\text{V}) \\ &= 20\text{W} \end{aligned}$$

ตอบ มอเตอร์นี้มีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 20 วัตต์

5. เตารีดเครื่องหนึ่ง ใช้ไฟฟ้า 1400 วัตต์ เมื่อต่อใช้งานกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 โวลต์ จงหา

- กระแสไฟฟ้าที่ผ่านเตารีด
- ความต้านทานของวงจรไฟฟ้าเตารีด
- พลังงานไฟฟ้าที่เตารีดใช้ไปเมื่อใช้งานเป็นเวลา 10 นาที

วิธีทำ ก. กระแสไฟฟ้าเตารีดหาได้จากความสัมพันธ์ $P = I\Delta V$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned} 1400\text{ W} &= I(220\text{ V}) \\ I &= \frac{1400\text{ W}}{220\text{ V}} \\ &= 6.36\text{ A} \end{aligned}$$

ตอบ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านเตารีด เท่ากับ 6.36 แอมแปร์

วิธีทำ ข. ความต้านทานของวงจรไฟฟ้าของเตารีด หาได้จากความสัมพันธ์ $P = \frac{(\Delta V)^2}{R}$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned} 1400\text{ W} &= \frac{(220\text{ V})^2}{R} \\ R &= \frac{(220\text{ V})^2}{1400\text{ W}} \\ &= 34.57\Omega \end{aligned}$$

ตอบ ความต้านทานของวงจรไฟฟ้าของเตารีด เท่ากับ 34.57 โอห์ม

วิธีทำ ค. พลังงานไฟฟ้าที่เตารีดใช้ไปหาได้จากความสัมพันธ์ $W = P\Delta t$

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น} \quad W &= (1\,400)(10 \times 60 \text{ s}) \\ &= 840\,000 \text{ J} \\ &= 840 \text{ kJ}\end{aligned}$$

ตอบ ในเวลานาน 10 นาที พลังงานไฟฟ้าที่เตารีดใช้ไปเท่ากับ 840 000 จูล หรือ 840 กิโลจูล

14.4 แบตเตอรี่และวงจรไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดลองเพื่ออธิบายอิเอ็มเอฟสมมูลและความต้านทานภายในสมมูล เมื่อต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมและแบบขนาน
2. คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งประกอบด้วยแบตเตอรี่และตัวต้านทาน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 14.4 โดยให้นักเรียนยกตัวอย่างการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่หลาย ๆ ก้อน เช่น ไฟฉาย ของเล่น แบตเตอรี่สำรอง และถามนักเรียนต่อว่าแบตเตอรี่เหล่านั้นต่อกันแบบใด และเพราะเหตุใดจึงต้องต่อเช่นนั้น โดยให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

14.4.1 การต่อแบตเตอรี่

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 12 ของหัวข้อ 14.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 14.4.1 โดยให้นักเรียนศึกษาลักษณะการต่อแบตเตอรี่ในรูป 14.27 และ 14.28 แล้วอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับลักษณะการต่อแบตเตอรี่ จนสรุปได้ว่าการต่อแบตเตอรี่มี 2 ลักษณะ คือ

1. การต่อแบบอนุกรม เป็นการต่อแบบนำขั้วลบต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่เรียงกันไป
2. การต่อแบบขนาน เป็นการนำขั้วบวกของแบตเตอรี่แต่ละก้อนมาต่อรวมกัน และนำขั้วลบของทุกแบตเตอรี่แต่ละก้อนมาต่อรวมกัน

แบตเตอรี่ที่ต่อกันแล้ว จะเสมือนเป็นแบตเตอรี่ก้อนใหม่เพียงก้อนเดียวที่มีอีเอ็มเอฟสมมูลและความต้านทานภายในสมมูลค่าหนึ่ง

ให้นักเรียนศึกษาการหาอีเอ็มเอฟสมมูลและความต้านทานภายในสมมูลจากการทำกิจกรรม 14.3 ในหนังสือเรียน



กิจกรรม 14.3 อีเอ็มเอฟสมมูลและความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่

จุดประสงค์

1. หาอีเอ็มเอฟสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรมและแบบขนาน
2. หาคความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรม
3. หาคความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบขนาน

เวลาที่ใช้ 120 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|--|-----------|
| 1. แบตเตอรี่ขนาด 1.5 โวลต์ 1 ก้อน พร้อมกระเบ | 2 ชุด |
| 2. แอมมิเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 3. ตัวต้านทานขนาด 10 - 100 Ω | 1 ตัว |
| 4. โวลต์มิเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 5. สายไฟพร้อมปากหนีบ | 8 เส้น |

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตอนที่ 1

แบตเตอรี่	อีเอ็มเอฟ
ก้อนที่ 1	$\mathcal{E}_1 = 1.50 \text{ V}$
ก้อนที่ 2	$\mathcal{E}_2 = 1.51 \text{ V}$
แบตเตอรี่ 2 ก้อนที่ต่อแบบ	อีเอ็มเอฟสมมูล
อนุกรม	$\mathcal{E}_s = 3.03 \text{ V}$
ขนาน	$\mathcal{E}_p = 1.50 \text{ V}$



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ในการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม อีเอ็มเอฟสมมูลแตกต่างจากอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่แต่ละก้อนหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ แตกต่างกัน การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม อีเอ็มเอฟสมมูลเพิ่มขึ้นและใกล้เคียงจนถึงได้ค่าเท่ากับผลบวกอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่ที่นำมาต่อกัน

- ในการต่อแบตเตอรี่แบบขนาน อีเอ็มเอฟสมมูลแตกต่างจากอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่แต่ละก้อนหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ ไม่แตกต่างกัน การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน อีเอ็มเอฟสมมูลเท่ากับอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่แต่ละก้อน

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรมตอนที่ 1 จากนั้นครูนำนักเรียนอภิปรายโดยใช้คำตอบจากคำถามท้ายกิจกรรม จนได้ข้อสรุปว่า การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมทำให้อิเอ็มเอฟสมมูลเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าเท่ากับผลบวกอิเอ็มเอฟของแบตเตอรี่ที่นำมาต่อกัน ส่วนการต่อแบตเตอรี่แบบขนาน อิเอ็มเอฟสมมูลจะมีค่าเท่ากับอิเอ็มเอฟของแบตเตอรี่แต่ละก้อน

ตอนที่ 2

แบตเตอรี่	กระแสไฟฟ้า	ความต่างศักย์	ความต้านทานภายใน $r = \frac{1}{I}(\mathcal{E} - \Delta V)$
แบตเตอรี่ก้อนที่ 1	$I_1 = 78.2 \text{ mA}$	$\Delta V_1 = 1.39 \text{ V}$	$r_1 = 1.41 \ \Omega$
แบตเตอรี่ก้อนที่ 2	$I_2 = 76.7 \text{ mA}$	$\Delta V_2 = 1.46 \text{ V}$	$r_2 = 1.04 \ \Omega$
แบตเตอรี่ 2 ก้อนที่ต่อแบบอนุกรม	$I = 78.8 \text{ mA}$	$\Delta V_{\text{ce}} = 2.83 \text{ V}$	$r = 2.54 \ \Omega$



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ในการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม กระแสไฟฟ้า I_1 , I_2 และ I ต่างกันหรือไม่ และผลรวมของ ΔV_1 และ ΔV_2 เท่ากับ ΔV_{ce} หรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม $I_1 = I_2 = I$ และ ผลรวมของ ΔV_1 กับ ΔV_2 ใกล้เคียงจนถือได้ว่าเท่ากับ ΔV_{ce}

- ในการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม ผลรวมของ r_1 และ r_2 เท่ากับ r หรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม ผลรวมของ r_1 และ r_2 ใกล้เคียงจนถือได้ว่าเท่ากับ r

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรมตอนที่ 2 จากนั้นครูนำนักเรียนอภิปรายร่วมกันจนได้ข้อสรุปว่า การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรมกันเท่ากับ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านแบตเตอรี่แต่ละก้อน และความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรมกัน มีค่าเท่ากับผลบวกความต้านทานภายในของแบตเตอรี่แต่ละก้อน

ตอนที่ 3

แบตเตอรี่	กระแสไฟฟ้า	ความต่างศักย์	ความต้านทานภายใน $r = \frac{1}{I}(\mathcal{E} - \Delta V)$
แบตเตอรี่ก้อนที่ 1	$I_1 = 21.13 \text{ mA}$	$\Delta V_1 = 1.47 \text{ V}$	$r_1 = 1.42$
แบตเตอรี่ก้อนที่ 2	$I_2 = 21.58 \text{ mA}$	$\Delta V_2 = 1.51 \text{ V}$	$r_2 = 1.39$
แบตเตอรี่ 2 ก้อนที่ต่อแบบอนุกรม	$I = 41.85 \text{ mA}$	$\Delta V_{\text{ef}} = 1.47 \text{ V}$	$r = 0.72 \Omega$



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ในการต่อแบตเตอรี่แบบขนาน ผลรวมของกระแสไฟฟ้า I_1 I_2 เท่ากับ I หรือไม่ และ ความต่างศักย์ ΔV_1 ΔV_2 และ ΔV_{ef} ต่างกันหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน ผลรวมของกระแสไฟฟ้า I_1 กับ I_2 ใกล้เคียงจนถึงได้ว่าเท่ากับ I และ ความต่างศักย์ $\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V_{\text{ef}}$

- ในการต่อแบตเตอรี่แบบขนาน ผลรวมของส่วนกลับของ r_1 กับส่วนกลับของ r_2 เท่ากับส่วนกลับของ r หรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน ผลรวมของส่วนกลับของ r_1 กับส่วนกลับของ r_2 ใกล้เคียงจนถึงได้ว่าเท่ากับส่วนกลับของ r

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรมตอนที่ 3 จากนั้นครูนำนักเรียนอภิปรายร่วมกันจนได้ข้อสรุปว่า การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่ต่อขนานกันเท่ากับผลบวกของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านแบตเตอรี่แต่ละก้อน และความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ที่ต่อขนานกัน เท่ากับความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่แต่ละก้อน ส่วนกลับความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ที่ต่อขนานกันเท่ากับผลบวกของส่วนกลับของความต้านทานภายในของแบตเตอรี่แต่ละก้อน

หลังจากสรุปผลการทำกิจกรรม 14.3 ครบทั้ง 3 ตอน ครูและนักเรียนอภิปรายทบทวนเพื่อวิเคราะห์ความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อกันแบบอนุกรมและแบตเตอรี่ที่ต่อกันแบบขนานตามรายละเอียดในหนังสือเรียนหน้า 221 - 223 จนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับอีเอ็มเอฟสมมูลและความต้านทานภายในสมมูลของการต่อแบตเตอรี่จำนวน n ก้อนแบบอนุกรมและแบบขนาน ตามสมการ (14.9a) (14.9b) (14.10a) และ (14.10b)

จากนั้น ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับประโยชน์ของการใช้งานในการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมและแบบขนานจนสรุปได้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 14.10 และ 14.11 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ แล้วให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัด 14.4 โดยเลือกเฉพาะข้อที่เกี่ยวข้องกับการต่อแบตเตอรี่ ทั้งนี้อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการต่อแบตเตอรี่ อีเอ็มเอฟสมมูล และความต้านทานภายในสมมูล จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 14.4
2. ทักษะการวัด การทดลอง การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการอภิปรายร่วมกันและรายงานผลการทำกิจกรรม 14.3
3. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผลการทำกิจกรรม 14.3
4. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับอีเอ็มเอฟสมมูลและความต้านทานภายในสมมูลและการแก้โจทย์ปัญหาในการทำกิจกรรม 14.3 และ ในแบบฝึกหัด 14.4
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล ความมุ่งมั่นอดทน และด้านความรอบคอบ จากการอภิปรายร่วมกัน และการทำกิจกรรม 14.3
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความซื่อสัตย์ จากรายงานผลการทดลอง

14.4.2 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 13 ของหัวข้อ 14.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 14.4.2 โดยยกตัวอย่างวงจรไฟฟ้ากระแสตรง เช่น รูป 14.23 และ รูป 14.24 ในหนังสือเรียนหน้า 207 หรือวงจรอื่นที่เหมาะสม ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกัน จนสรุปได้ว่าวงจรไฟฟ้ากระแสตรงเป็นวงจรที่ประกอบด้วยเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือตัวต้านทานที่ต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และสามารถคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวงจร เช่น อีเอ็มเอฟสมมูล ความต้านทานภายในสมมูล กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ และ พลังงานไฟฟ้า โดยใช้ความรู้ที่เรียนมา เช่น กฎของโอห์ม การต่อตัวต้านทาน การต่อแบตเตอรี่ พลังงานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และกฎการอนุรักษ์พลังงานกับวงจรไฟฟ้า

จากนั้น ให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 14.12 – 14.15 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ แล้วตรวจสอบความเข้าใจนักเรียนโดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 14.4 เฉพาะข้อที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง ทั้งนี้อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 14.4

- เมื่อต่อแบตเตอรี่ที่เหมือนกันจำนวนหนึ่งแบบอนุกรมกับตัวต้านทานให้ครบวงจร ปริมาณใดต่อไปนี้ของแบตเตอรี่แต่ละก้อนมีค่าเท่ากัน
 - กระแสไฟฟ้าที่ผ่านแบตเตอรี่
 - ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่
 - อีเอ็มเอฟ
 - ความต้านทานภายใน

แนวคำตอบ

- กระแสไฟฟ้าที่ผ่านแบตเตอรี่แต่ละก้อนมีค่าเท่ากัน
- ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่แต่ละก้อนมีค่าเท่ากัน
- อีเอ็มเอฟแบตเตอรี่แต่ละก้อนมีค่าเท่ากัน
- ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่แต่ละก้อนมีค่าเท่ากัน

2. ถ้าต้องการต่อแบตเตอรี่ให้มีอีเอ็มเอฟสูงขึ้น จะต้องต่อแบตเตอรี่แบบใด และเมื่อนำไปใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้า จะมีผลดีและผลเสียอย่างไร

แนวคำตอบ ต้องต่อแบบอนุกรม ผลดีคือได้อีเอ็มเอฟสูงขึ้นตามต้องการ ผลเสียคือมีความต้านทานภายในสูงขึ้นด้วย ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่มากขึ้นด้วย

3. การต่อแบตเตอรี่แบบขนานมีผลอย่างไร ให้ระบุนมา 2 ข้อ

แนวคำตอบ มีผลดีคือ 1. ใช้งานได้นานขึ้น 2. มีความต้านทานภายในลดลง ทำให้สูญเสียพลังงานในแบตเตอรี่น้อยลง 3. แบตเตอรี่จะร้อนน้อยลง

4. ในวงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วยแบตเตอรี่อีเอ็มเอฟ $\mathcal{E}$ และตัวต้านทาน R มีกระแสไฟฟ้าในวงจร I ดังรูป ให้ตอบคำถามต่อไปนี้

- ก. ขั้วของแบตเตอรี่ที่ต่อกับจุด a เป็นขั้วบวกหรือลบ

แนวคำตอบ ขั้วบวก

- ข. กระแสไฟฟ้าที่ผ่านแต่ละจุด มีค่าแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ ไม่แตกต่างกัน กระแสไฟฟ้าที่ผ่านแต่ละจุดมีค่าเท่ากัน

- ค. ความต่างศักย์ระหว่างจุด a กับ b และระหว่างจุด c กับ d มีค่าแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ ความต่างศักย์ระหว่างจุด a กับ b และระหว่างจุด c กับ d มีค่าไม่แตกต่างกัน โดยศักย์ไฟฟ้าที่จุด a เท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่จุด c และศักย์ไฟฟ้าที่จุด b เท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่จุด d

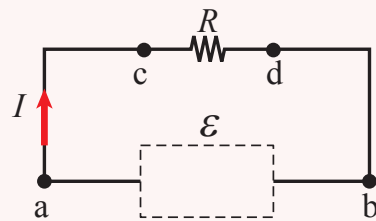
5. ในวงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วยแบตเตอรี่อีเอ็มเอฟ $\mathcal{E}$ ที่มีความต้านทานภายในเป็นศูนย์และตัวต้านทานที่มีความต้านทาน R_1 ถ้ามีการต่อตัวต้านทานที่มีความต้านทาน R_2 เพิ่มอีกตัวแบบอนุกรม โดยที่ R_2 เท่ากับ R_1 ให้ตอบคำถามต่อไปนี้

- ก. กระแสไฟฟ้าที่ผ่าน R_1 เปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ เนื่องจากความต้านทานภายในแบตเตอรี่เป็นศูนย์ การต่อตัวต้านทาน 2 ตัวแบบอนุกรม จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่าน R_1 มีค่าลดลง

- ข. ความต่างศักย์ระหว่างปลาย R_1 เปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ ความต่างศักย์ระหว่างปลาย R_1 มีค่าลดลง



รูป คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 14.4
ข้อ 4



เฉลยแบบฝึกหัด 14.4

1. นำแบตเตอรี่ขนาด 1.5 โวลต์ ความต้านทานภายใน 0.2 โอห์ม จำนวน 4 ก้อนมาต่อแบบอนุกรม สำหรับนำไปเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า จงหา

ก. อีเอ็มเอฟสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรม

ข. ความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรม

วิธีทำ ก. หาอีเอ็มเอฟสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรมได้จากสมการ

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_n$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}\mathcal{E} &= 1.5\text{ V} + 1.5\text{ V} + 1.5\text{ V} + 1.5\text{ V} \\ &= 6.0\text{ V}\end{aligned}$$

ตอบ อีเอ็มเอฟสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรม เท่ากับ 6.0 โวลต์

วิธีทำ ข. หาความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรมได้จากสมการ

$$r = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}r &= 0.2\,\Omega + 0.2\,\Omega + 0.2\,\Omega + 0.2\,\Omega \\ &= 0.8\,\Omega\end{aligned}$$

ตอบ ความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรมเท่ากับ 0.8 โอห์ม

2. นำแบตเตอรี่ขนาด 3 โวลต์ ความต้านทานภายใน 0.3 โอห์ม จำนวน 3 ก้อนมาต่อแบบขนาน สำหรับนำไปเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า จงหา

ก. อีเอ็มเอฟสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบขนาน

ข. ความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบขนาน

วิธีทำ ก. หาอีเอ็มเอฟสมมูลของการต่อแบตเตอรี่ที่ต่อแบบขนานจากสมการ

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_n$$

แทนค่า จะได้

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_3 = 3\text{ V}$$

ตอบ อีเอ็มเอฟสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบขนาน เท่ากับ 3 โวลต์

วิธีทำ ข. หาความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบขนาน จากสมการ

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}$$

แทนค่า จะได้

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{0.3\Omega} + \frac{1}{0.3\Omega} + \frac{1}{0.3\Omega}$$

$$= \frac{3}{0.3\Omega}$$

$$r = 0.1\Omega$$

ตอบ อีเอ็มเอฟสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบขนาน เท่ากับ 0.1 โห์ม

3. เมื่อนำแบตเตอรี่สี่ก้อนซึ่งต่อกันแบบอนุกรมไปต่อกับตัวต้านทานขนาด 5.6 โห์ม กระแสไฟฟ้าในวงจรจะมีค่าเท่าใด ถ้าแบตเตอรี่แต่ละก้อนมีอีเอ็มเอฟ 1.5 โวลต์ และความต้านทานภายใน 0.1 โห์ม

วิธีทำ แบตเตอรี่สี่ก้อนที่ต่อแบบอนุกรม จะได้อีเอ็มเอฟสมมูล $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}\mathcal{E} &= 1.5\text{V} + 1.5\text{V} + 1.5\text{V} + 1.5\text{V} \\ &= 6.0\text{V}\end{aligned}$$

ความต้านทานภายในสมมูลของการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมได้จากสมการ

$$r = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}r &= 0.1\Omega + 0.1\Omega + 0.1\Omega + 0.1\Omega \\ &= 0.4\Omega\end{aligned}$$

หากระแสไฟฟ้าได้จากสมการ $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}I &= \frac{6\text{V}}{5.6\Omega + 0.4\Omega} \\ &= \frac{6\text{V}}{6\Omega} \\ &= 1\text{A}\end{aligned}$$

ตอบ กระแสไฟฟ้าในวงจรเท่ากับ 1.0 แอมแปร์

4. ตัวต้านทานสามตัวมีความต้านทาน 1 โอห์ม 100 โอห์ม และ 1000 โอห์ม ถ้านำตัวต้านทานแต่ละตัวไปต่อกับแบตเตอรี่ที่มีอีเอ็มเอฟ 3 โวลต์ และความต้านทานภายใน 0.5 โอห์ม ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทานเป็นเท่าใด และความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทานใด มีค่าใกล้เคียงอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่มากกว่า เพราะเหตุใด

วิธีทำ หากกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานที่ต่อกับแบตเตอรี่ได้จากสมการ $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ จากนั้น หาความต่างศักย์ระหว่างปลายตัวต้านทานจาก $\Delta V = IR$ สำหรับตัวต้านทานที่มีความต้านทาน 1 โอห์ม

$$\begin{aligned}\text{หากระแสไฟฟ้าได้จาก} \quad I_1 &= \frac{3.0 \text{ V}}{1\Omega + 0.5\Omega} \\ &= 2.0 \text{ A}\end{aligned}$$

หาความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน

$$\begin{aligned}\Delta V_1 &= (2.0 \text{ A})(1\Omega) \\ &= 2.0 \text{ V}\end{aligned}$$

ทำนองเดียวกัน สำหรับตัวต้านทานที่มีความต้านทาน 100 โอห์ม

$$\begin{aligned}\text{หากระแสไฟฟ้าได้จาก} \quad I_{100} &= \frac{3.0 \text{ V}}{100\Omega + 0.5\Omega} \\ &= 0.02985 \text{ A}\end{aligned}$$

หาความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน

$$\begin{aligned}\Delta V_{100} &= (0.02985 \text{ A})(100\Omega) \\ &= 2.985 \text{ V}\end{aligned}$$

ทำนองเดียวกัน สำหรับตัวต้านทานที่มีความต้านทาน 1000 โอห์ม

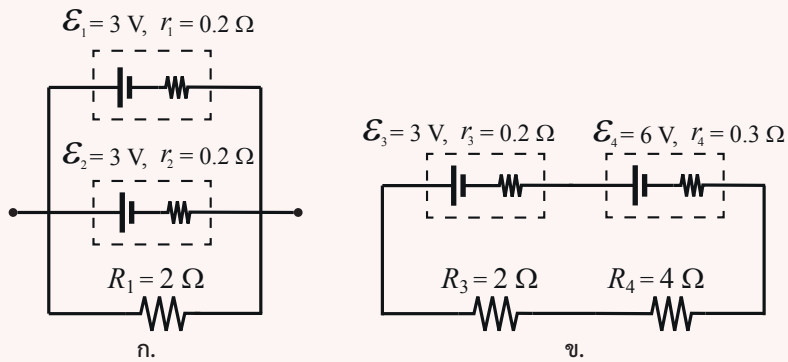
$$\begin{aligned}\text{หากระแสไฟฟ้าได้จาก} \quad I_{1000} &= \frac{3.0 \text{ V}}{1000\Omega + 0.5\Omega} \\ &= 0.002999 \text{ A}\end{aligned}$$

หาความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน

$$\begin{aligned}\Delta V_{1000} &= (0.002999 \text{ A})(1000\Omega) \\ &= 2.999 \text{ V}\end{aligned}$$

ตอบ ความต่างศักย์ระหว่างปลายตัวต้านทานที่มีความต้านทาน 1 โอห์ม 100 โอห์ม และ 1000 โอห์ม เท่ากับ 2.0 โวลต์ 2.985 โวลต์ และ 2.999 โวลต์ ตามลำดับ โดยความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทานขนาด 1000 โอห์ม มีค่าใกล้เคียงอีเอ็มเอฟมากที่สุด เพราะเมื่อความต้านทานมีค่ามาก กระแสไฟฟ้าจะมีค่าน้อย ทำให้ Ir มีค่าน้อยกว่าจึงได้ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทานมากกว่า

5. ในวงจรไฟฟ้า ดังรูป ก. และ ข.



รูป ประกอบแบบฝึกหัด 14.4 ข้อ 5

กระแสไฟฟ้าผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวเท่าใด

วิธีทำ หากกระแสไฟฟ้าได้จากสมการ $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$

รูป ก. แบตเตอรี่ต่อกันแบบขนาน จะได้

$$I = \frac{3 \text{ V}}{2 \Omega + \left[\frac{0.2 \Omega}{2} \right]}$$

$$= 1.429 \text{ A}$$

รูป ข. ต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม และ ตัวต้านทานต่อกันแบบอนุกรม จะได้

$$I = \frac{3 \text{ V} + 6 \text{ V}}{(2 \Omega + 4 \Omega) + (0.2 \Omega + 0.3 \Omega)}$$

$$= \frac{9 \text{ V}}{6 \Omega + 0.5 \Omega}$$

$$= 1.385 \text{ A}$$

ตอบ มีกระแสผ่านตัวต้านทานที่มีความต้านทาน 2 โอห์ม ในรูป ก. เท่ากับ 1.43 แอมแปร์
มีกระแสผ่านตัวต้านทานที่มีความต้านทาน 2 โอห์ม และ 4 โอห์ม ในรูป ข. เท่ากัน
และเท่ากับ 1.39 แอมแปร์

14.5 พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและเทคโนโลยีด้านพลังงาน

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการเปลี่ยนพลังงานทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้า
2. อธิบายประสิทธิภาพของพลังงานทดแทน
3. ประเมินความคุ้มค่าด้านค่าใช้จ่ายของพลังงานทดแทน
4. สืบค้นและยกตัวอย่างเทคโนโลยีที่นำมาแก้ปัญหาหรือตอบสนองความต้องการด้านพลังงาน

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. รูปหรือคลิปวีดิทัศน์การทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 14.5 โดยให้นักเรียนพิจารณารูปหรือคลิปวีดิทัศน์การทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันที่ใช้พลังงานไฟฟ้า แล้วให้ระบุแหล่งของพลังงานในการผลิตไฟฟ้าที่ใช้กับกิจกรรมในรูปหรือคลิปวีดิทัศน์ จากนั้น ครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า แหล่งพลังงานหลักของประเทศไทยที่ใช้ผลิตไฟฟ้าคือ แหล่งพลังงานชนิดใด และ ในอนาคตจะมีแหล่งพลังงานนั้นใช้เพียงพอหรือไม่ โดยใช้รูป 14.30 ประกอบ และถ้าไม่เพียงพอ นักเรียนจะมีแนวทางแก้ปัญหาอย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

14.5.1 พลังงานทดแทน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ในปัจจุบัน แหล่งพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย คือพลังงานน้ำ และ ถ่านหิน	1. ในปัจจุบัน แหล่งพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยคือ ชากดักดาบรพ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และน้ำมัน
2. การใช้เซลล์สุริยะกับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน สามารถต่อเซลล์สุริยะเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดได้โดยตรง	2. เนื่องจากเซลล์สุริยะให้กระแสไฟฟ้าที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรง แต่เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ก่อนใช้ จำเป็นต้องมีการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์สุริยะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
3. การใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะสามารถใช้ได้เฉพาะเวลาที่มีแสงแดดเท่านั้น	3. การใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะ นอกจากสามารถใช้ได้ในช่วงเวลาที่แสงแดดแล้ว ยังสามารถกักเก็บไว้ในแบตเตอรี่ สำหรับใช้ในเวลามีแสงแดดน้อย หรือเวลากลางคืน
4. น้ำหรือไอน้ำที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์เป็นของเสียและมีสารกัมมันตรังสีปนเปื้อน	4. น้ำหรือไอน้ำที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ไม่มีสารกัมมันตรังสีปนเปื้อน เพราะมาจากส่วนระบายความร้อนของโรงไฟฟ้า ซึ่งไม่มีการสัมผัสกับสารกัมมันตรังสี

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. รูปหรือคลิปวิดีโอเกี่ยวกับยานพาหนะ อุปกรณ์ หรือ เครื่องใช้ไฟฟ้า ที่เปลี่ยนพลังงานทดแทนชนิดต่าง ๆ เป็นพลังงานไฟฟ้า
2. ก่อนเรียนหัวข้อ 14.5 หนึ่งวัน ให้ครูบอกให้นักเรียนนำใบแจ้งค่าไฟฟ้าที่บ้านนักเรียนมา สำหรับใช้ในการทำกิจกรรม 14.4

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 14 - 16 ของหัวข้อ 14.5 ตามหนังสือเรียน

จากนั้นครูนำเข้าสู่หัวข้อ 14.5.1 โดยให้นักเรียนดูรูปหรือคลิปวิดีโอเกี่ยวกับการนำพลังงานชนิดต่าง ๆ มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า เช่น การใช้เซลล์สุริยะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า การเปลี่ยนพลังงานชีวมวลเป็นพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล หรือการใช้กังหันลมเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า พร้อมตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายว่า พลังงานเหล่านี้สามารถนำมาใช้ทดแทนแหล่งพลังงานหลักที่ใช้อยู่อย่างเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ได้หรือไม่ อย่างไร จนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับความหมายของพลังงานทดแทน และศักยภาพของประเทศไทยในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานชีวมวลเป็นพลังงานทดแทน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

จากนั้น ครูให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า การนำพลังงานทดแทนเหล่านี้มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ามีหลักการอย่างไร โดยครูให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์สุริยะจากหนังสือเรียนหน้า 235 – 236 และอาจสืบค้นเพิ่มเติมจากแหล่งเรียนรู้อื่น ๆ โดยมีครูให้คำแนะนำ จากนั้น ให้นักเรียนนำเสนอ โดยครูสะท้อนผลการนำเสนอและตั้งคำถามให้มีการอภิปรายส่วนที่นักเรียนยังไม่เข้าใจเพิ่มเติม จนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับหลักการที่เซลล์สุริยะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูอาจให้นักเรียนทำ **กิจกรรมลองทำดู ปัจจัยที่มีผลต่อพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์สุริยะ** ตามแต่เวลาจะอำนวย โดยอาจตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่กิจกรรมว่า การที่เซลล์สุริยะที่ติดตั้งบนหลังคาบ้านหรือในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีการจัดวางในลักษณะเอียงทำมุมกับแนวระดับ มีความเกี่ยวข้องกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์สุริยะหรือไม่ อย่างไร



กิจกรรมลองทำดู ปัจจัยที่มีผลต่อพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์สุริยะ

จุดประสงค์

1. บอกความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์สุริยะกับมุมที่แหล่งกำเนิดแสงทำกับระนาบของแผ่นเซลล์สุริยะ และปริมาณฝุ่นละอองบนผิวหน้าของเซลล์สุริยะ
2. บอกความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์สุริยะหลายเซลล์ที่ต่อกันแบบขนานและต่อกันแบบอนุกรม

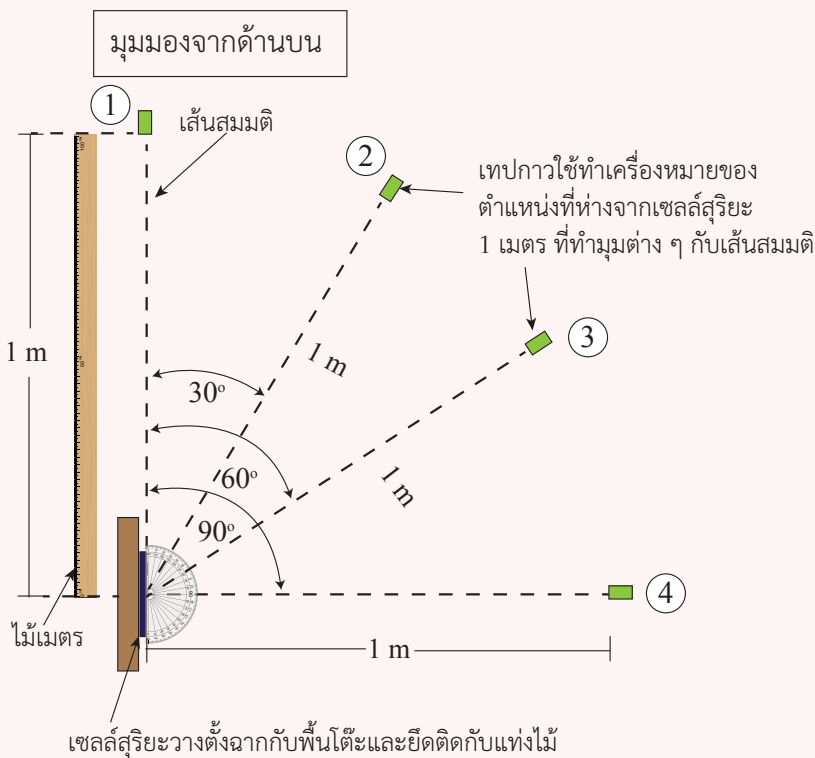
วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|--------------------------------|-----------|
| 1. เซลล์สุริยะ ขนาด 3 โวลต์ | 2 เซลล์ |
| 2. มัลติมิเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 3. สายไฟพร้อมปากหนีบสีแดงและดำ | 3 คู่ |
| 4. ไฟฉาย | 1 อัน |
| 5. นาฬิกาจับเวลา | 1 เครื่อง |
| 6. เครื่องวงกลมวัดองศา | 1 อัน |
| 7. แป้งฝุ่น | 1 กระปุก |
| 8. เทปกา | 1 ม้วน |
| 9. กรรไกร | 1 เล่ม |

วิธีการทำกิจกรรม

ตอนที่ 1

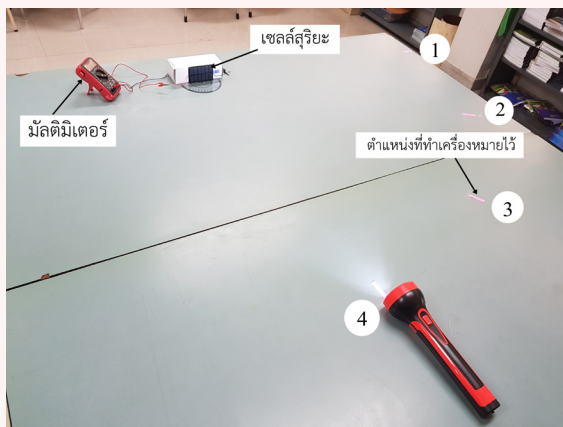
1. จัดเซลล์สุริยะ 1 เซลล์ให้มีระนาบตั้งฉากกับพื้นโต๊ะ โดยอาจนำไปติดกับกำแพงหรือวัตถุที่มีลักษณะเป็นกล่อง
2. วัดระยะห่างจากจุดกึ่งกลางของเซลล์สุริยะไปในแนวระดับตามแนวเส้นสมมติเป็นระยะ 1 เมตร ทำเครื่องหมายโดยใช้เทปกาวยึดรูป จากนั้น ใช้เครื่องวงกลมวัดมุมจากเส้นสมมติเป็นมุม 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ โดยแต่ละมุมให้ใช้ไม้เมตรวัดระยะจากจุดกึ่งกลางของเซลล์สุริยะไปยังตำแหน่งที่ห่างออกไป 1 เมตร และทำเครื่องหมายแต่ละตำแหน่งบนพื้นโต๊ะโดยใช้เทปกาวยึดรูป ดังรูป



รูป ตัวอย่างการทำเครื่องหมายบนโต๊ะตามตำแหน่งที่ทำมุม 0 30 60 และ 90 องศา กับเส้นสมมติ และห่างจากจุดกึ่งกลางของเซลล์สุริยะเป็นระยะทาง 1 เมตร

3. นำไฟฉายไปวางไว้ที่ตำแหน่งที่ 1 และเปิดสวิตช์ของไฟฉายเพื่อให้ลำแสงจากไฟฉายไปตกกระทบเซลล์สุริยะ

4. เลือกย่านการวัดของมัลติมิเตอร์เป็นย่านการวัดความต่างศักย์ของไฟฟ้ากระแสตรง ในช่วงที่เหมาะสม จากนั้นต่อมัลติมิเตอร์เข้ากับเซลล์สุริยะ ดังรูป



รูป การจัดวางอุปกรณ์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์สุริยะกับมุมที่แหล่งกำเนิดแสงทำกับระนาบของแผ่นเซลล์สุริยะ

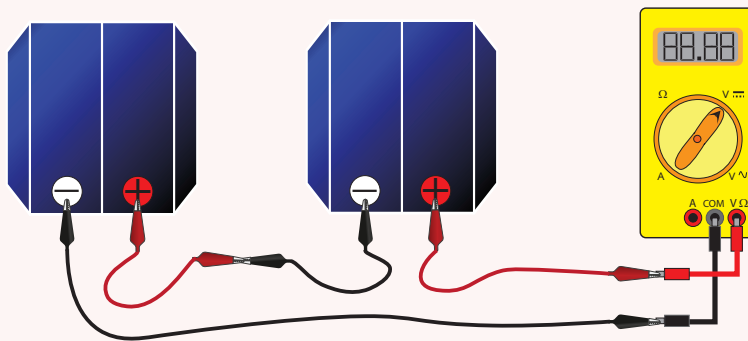
5. เปิดสวิตช์ไฟฉาย เพื่อให้แสงจากไฟฉายไปตกกระทบบนเซลล์สุริยะ จากนั้นบันทึกความต่างศักย์ที่อ่านได้จากมัลติมิเตอร์ และค่ามุมของตำแหน่งที่วางไฟฉาย
6. ปิดไฟฉาย จากนั้น เปลี่ยนตำแหน่งของไฟฉายเป็นตำแหน่งที่ 2, 3 และ 4 แล้วทำซ้ำข้อ 5.
7. อภิปรายและสรุปเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่แสงตกกระทบบนเซลล์สุริยะกับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์สุริยะ

ตอนที่ 2

1. จัดเซลล์สุริยะให้มีระนาบขนานกับพื้น โดยให้ด้านที่รับแสงของเซลล์สุริยะหงายขึ้น
2. เลือกย่านการวัดของมัลติมิเตอร์เป็นย่านการวัดความต่างศักย์ของไฟฟ้ากระแสตรง ในช่วงที่เหมาะสม ต่อมัลติมิเตอร์กับเซลล์สุริยะ จากนั้นฉายแสงจากไฟฉายไปตกกระทบบนเซลล์สุริยะ
3. โรยแป้งฝุ่นบนเซลล์สุริยะ พร้อมสังเกตความต่างศักย์ของไฟฟ้ากระแสตรงที่แสดงบนจอแสดงผลของมัลติมิเตอร์
4. อภิปรายและสรุปเกี่ยวกับผลของปริมาณฝุ่นละอองที่ผิวหน้าของเซลล์สุริยะกับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์สุริยะ

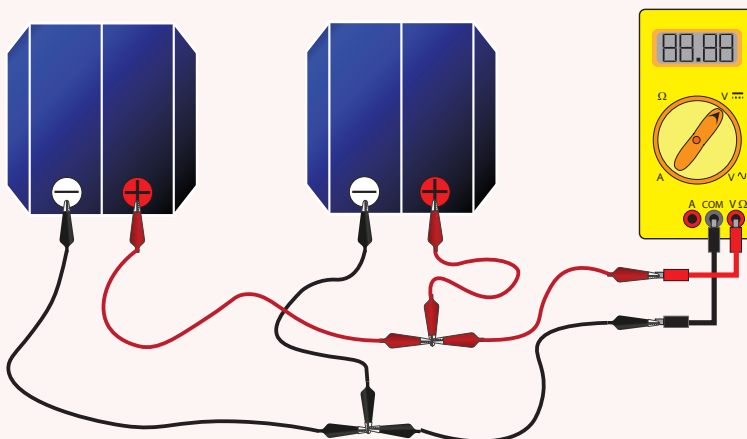
ตอนที่ 3

1. นำเซลล์สุริยะ 2 เซลล์มาต่อกันแบบอนุกรม โดยใช้สายไฟพร้อมปากหนีบสีแดงและสีดำช่วยในการต่อ
2. เลือกย่านการวัดของมัลติมิเตอร์เป็นย่านการวัดความต่างศักย์ของไฟฟ้ากระแสตรง ในช่วงที่เหมาะสม ต่อมัลติมิเตอร์กับเซลล์สุริยะทั้ง 2 ตามลักษณะดังรูป
3. เปิดสวิตช์ไฟฉาย สังเกตความต่างศักย์รวมบนจอมัลติมิเตอร์ บันทึกผล



รูป การต่อเซลล์สุริยะ 2 เซลล์แบบอนุกรม และการต่อกับมัลติมิเตอร์เพื่อวัดความต่างศักย์

4. ทำซ้ำข้อ 1. – 4. แต่เปลี่ยนการต่อเซลล์สุริยะ 2 เซลล์จากแบบอนุกรมเป็นแบบขนาน ดังรูป



รูป การต่อเซลล์สุริยะ 2 เซลล์แบบขนาน และการต่อกับมัลติมิเตอร์เพื่อวัดความต่างศักย์

5. อภิปรายและสรุปเกี่ยวกับความต่างศักย์รวมที่วัดได้จากการต่อเซลล์สุริยะแบบอนุกรม และแบบขนาน



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ☐ มุมที่ระนาบของเซลล์สุริยะทำต่อลำแสงของไฟฉายมีความสัมพันธ์อย่างไรกับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์สุริยะ
- ☐ ปริมาณผกผันที่บริเวณผิวหน้าของเซลล์สุริยะมีผลอย่างไรกับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์สุริยะ
- ☐ การต่อเซลล์สุริยะ 2 เซลล์ แบบอนุกรมและแบบขนาน ส่งผลอย่างไรกับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์สุริยะ

ครูนำเข้าสู่กิจกรรม 14.4 โดยตั้งคำถามว่าถ้าบ้านนักเรียนจะเปลี่ยนมาใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ นักเรียนคิดว่าจะคุ้มหรือไม่ โดยครูให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้น ให้นักเรียนทำกิจกรรม 14.4 บ้านพลังงานแสงอาทิตย์



กิจกรรม 14.4 บ้านพลังงานแสงอาทิตย์

จุดประสงค์

1. คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการนำเซลล์สุริยะมาใช้เป็นแหล่งให้พลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัย
2. ประเมินความคุ้มค่าของการใช้เซลล์สุริยะเป็นแหล่งให้พลังงานไฟฟ้าสำหรับที่พักอาศัย

เวลาที่ใช้ 60 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ช่วยในการคำนวณ เช่น เครื่องคิดเลข โทรศัพท์เคลื่อนที่
2. ใบแจ้งค่าไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านของนักเรียน

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม กรณีใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 170 หน่วยต่อเดือน

คำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวัน

- พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน 170 kWh
- พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวัน $(170 \text{ kWh} / 30 \text{ วัน}) = 5.67 \text{ kWh} = 5670 \text{ Wh}$

คำนวณพลังงานไฟฟ้าต่อวันที่ได้จากมอดูลเซลล์สุริยะ 1 มอดูล

- ถ้าในเวลา 1 วัน จำนวนชั่วโมงที่แสงอาทิตย์ที่มีความเข้มสูงพอนำมาผลิตไฟฟ้าได้ส่งมาบริเวณบ้านของนักเรียนเฉลี่ย 5 ชั่วโมง และถ้าเลือกใช้มอดูลเซลล์สุริยะขนาด 250 วัตต์ต่อมอดูล ในเวลา 1 วัน พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์สุริยะ คิดเป็น
 $250 \text{ W} \times 5 \text{ h} = 1250 \text{ Wh}$

คำนวณจำนวนมอดูลเซลล์สุริยะและค่าใช้จ่าย

- ถ้าเปลี่ยนมาใช้พลังงานจากเซลล์สุริยะเพียงอย่างเดียว และเลือกใช้มอดูลเซลล์สุริยะขนาด 250 วัตต์จำนวน $(5670 \text{ Wh} / 1250 \text{ Wh}) = 4.54$ มอดูล ซึ่งพิจารณาเป็นจำนวนเต็มได้ 5 มอดูล
- ถ้ามอดูลเซลล์สุริยะขนาด 250 วัตต์มีราคาพร้อมค่าติดตั้ง 9000 บาทต่อ 1 มอดูล การติดตั้งมอดูลเซลล์สุริยะจะต้องเสียค่าเซลล์สุริยะรวมกับค่าติดตั้งทั้งหมด
 $5 \text{ มอดูล} \times 9000 \text{ บาท} = 45000 \text{ บาท}$

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้าตามปกติกับการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะเพื่อหาระยะเวลาที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากัน

- ถ้าใช้ค่าไฟฟ้า 4 บาทต่อหน่วย
 ในเวลา 1 เดือน ต้องเสียค่าไฟฟ้า $170 \text{ หน่วย} \times 4 \text{ บาท} = 680 \text{ บาท}$
 ในเวลา 1 ปี ต้องเสียค่าไฟฟ้า $680 \text{ บาท} \times 12 \text{ เดือน} = 8160 \text{ บาท}$
- ถ้าติดตั้งมอดูลเซลล์สุริยะจำนวน 5 มอดูล จำนวนปีที่ค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายปกติจะเท่ากับค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเซลล์สุริยะ ต้องใช้เวลา $(45000 \text{ บาท} \div 8160 \text{ บาท}) = 5.51$ ปี หรือ ประมาณ 5 ปี 6 เดือน



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ☐ ในการเปลี่ยนมาใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะเพียงอย่างเดียว ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งเซลล์สุริยะน้อยหรือมากกว่าค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียในเวลา 1 ปี

แนวคำตอบ ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งเซลล์สุริยะมากกว่าค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียในเวลา 1 ปี

- ☐ การที่บ้านหลังหนึ่งจะเปลี่ยนมาใช้พลังงานจากเซลล์สุริยะเพียงอย่างเดียว มีความคุ้มค่าด้านค่าใช้จ่ายหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ ความคุ้มค่าขึ้นอยู่กับระยะเวลาการใช้งาน ถ้าเป็นการทำงานในระยะเวลาสั้น จะไม่คุ้มค่า เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเซลล์สุริยะสูง แต่จะคุ้มค่าเมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานานมากพอ และต้องคำนึงว่า ระหว่างใช้งาน ระบบเซลล์สุริยะยังมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูนำนักเรียนอภิปรายผลการทำกิจกรรมจนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องพิจารณาในการนำเซลล์สุริยะมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าในที่พักอาศัย ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

หลังจากกิจกรรม 14.4 ครูแบ่งกลุ่มให้นักเรียนศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำพลังงานทดแทนชนิดอื่น ได้แก่ พลังงานชีวมวล พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานนิวเคลียร์ มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยกำหนดให้แต่ละกลุ่มต้องนำเสนอในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

- หลักการสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนพลังงานทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้า
- ประสิทธิภาพ
- ความคุ้มค่าด้านค่าใช้จ่าย

โดยให้นักเรียนได้มีการนำเสนอหน้าชั้นเรียน ร่วมกับการถาม-ตอบ จากนั้น ครูนำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจท้ายหัวข้อ 14.5 โดยเลือกเฉพาะข้อที่เกี่ยวข้องกับพลังงานทดแทน ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนพลังงานทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้า ประสิทธิภาพของพลังงานทดแทน และความคุ้มค่าด้านค่าใช้จ่ายของพลังงานทดแทน จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 14.5
2. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับพลังงานและค่าใช้จ่ายในการใช้เซลล์สุริยะเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าภายในที่พักอาศัย ในการทำกิจกรรม 14.4
3. ทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ความร่วมมือและการทำงานเป็นทีมจากการสืบค้นข้อมูล และการนำเสนอผลการทำกิจกรรม 14.4 และการนำเสนอเกี่ยวกับพลังงานทดแทน
4. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ การสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสื่อสาร จากข้อมูลที่นำเสนอและการนำเสนอ
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล ความมุ่งมั่นอดทน ความร่วมมือ และการทำงานเป็นทีม จากการทำกิจกรรม 14.4
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านการเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ จากการอภิปรายร่วมกัน และการนำเสนอ

14.5.2 เทคโนโลยีด้านพลังงาน

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. รูป คลิปวิดีโอ หรือ อุปกรณ์สาธิต เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่หรือเซลล์เชื้อเพลิง

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 17 ของหัวข้อ 14.5 ตามหนังสือเรียน จากนั้น ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 14.5.2 โดยให้นักเรียนทำกิจกรรมอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือ ทั้งหมด ดังนี้

- ชมรูป คลิปวิดีโอ หรือ การสาธิตอุปกรณ์ เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่หรือเซลล์เชื้อเพลิง เช่น การทำงานของรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ หรือ รถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิง
- สืบค้นรูปหรือคลิปวิดีโอในอินเทอร์เน็ตเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้แบตเตอรี่หรือเซลล์เชื้อเพลิง แล้วมานำเสนอ โดยให้มีการลงคะแนนเลือกรูปหรือคลิปวิดีโอที่นักเรียนชื่นชอบ

สำหรับแต่ละกิจกรรม ครูตั้งคำถามว่า แบตเตอรี่ หรือ เซลล์เชื้อเพลิง สามารถช่วยแก้ปัญหาด้านพลังงานได้หรือไม่ อย่างไร โดยให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ และไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นแบ่งกลุ่มให้นักเรียนทำกิจกรรมอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือ ทั้งหมด ดังนี้

1. กิจกรรมให้นักเรียนออกแบบที่อยู่อาศัยโดยใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานต่าง ๆ แล้วออกมานำเสนอในประเด็นการเปลี่ยนรูปพลังงาน การนำเทคโนโลยีนั้น ๆ มาใช้ในการช่วยแก้ปัญหาด้านพลังงาน และประสิทธิภาพ
2. กิจกรรมสืบค้นและนำเสนอ โดยให้นักเรียนเลือกศึกษา สืบค้น และนำเสนอเกี่ยวกับเทคโนโลยีด้านพลังงานดังนี้
 - ก. แบตเตอรี่
 - ข. เซลล์เชื้อเพลิง
 - ค. เทคโนโลยีด้านพลังงานในอาคารและที่พักอาศัย
 - ง. เทคโนโลยีด้านพลังงานอื่น ๆ ที่นักเรียนสนใจ

โดยกำหนดให้แต่ละกลุ่มต้องนำเสนอเทคโนโลยีนั้น ๆ ในประเด็น การนำเทคโนโลยีนั้น ๆ มาใช้ในการช่วยแก้ปัญหาด้านพลังงานอย่างไร

การนำเสนอของนักเรียน อาจมีการแนะให้นักเรียนสร้างสรรค์วิธีการนำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ และเมื่อจบการนำเสนอ เปิดโอกาสให้ถาม ตอบ และวิจารณ์ โดยครูและนักเรียนร่วมกันประเมินให้คะแนนการนำเสนอของแต่ละกลุ่ม จากนั้น ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายจนสรุปรายละเอียดเกี่ยวกับเทคโนโลยีด้านพลังงานได้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจท้ายหัวข้อ 14.5 โดยอาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีด้านพลังงานจากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 14.5
2. ทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ความร่วมมือและการทำงานเป็นทีมจากการสืบค้นข้อมูล และการนำเสนอ
3. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ การสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสื่อสาร จากข้อมูล ที่นำเสนอและการนำเสนอ
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น ความใจกว้าง และ ความมีเหตุผล จากการอภิปราย ร่วมกัน และการนำเสนอ
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความร่วมมือช่วยเหลือ จากความร่วมมือและการทำงานเป็นทีมในการสืบค้น ข้อมูลและการนำเสนอ
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านการเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ จากการอภิปรายร่วมกัน และการนำเสนอ



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 14.5

1. เซลล์สุริยะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างไร

แนวคำตอบ เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนเซลล์สุริยะ พลังงานจากแสงอาทิตย์จะถ่ายโอนพลังงานให้กับอิเล็กตรอนบางตัวในเซลล์สุริยะ ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานมากพอและประพุดิตนเป็น อิเล็กตรอนอิสระ และถ้ามีการต่อเซลล์สุริยะกับวงจรไฟฟ้า จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระดังกล่าว เคลื่อนที่ไปตามสายไฟ ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าและการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า ในวงจร ช่วยให้เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานได้

2. ประสิทธิภาพของเซลล์สุริยะสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาณใด

แนวคำตอบ อัตราส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์สุริยะกับพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ตกกระทบบนเซลล์สุริยะทั้งหมด

3. การนำพลังงานน้ำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า มีลำดับการเปลี่ยนพลังงานอย่างไร

แนวคำตอบ เริ่มจากพลังงานศักย์ของมวลน้ำที่สะสมอยู่ในระดับสูงกว่าพื้นที่ด้านล่าง เปลี่ยนเป็น พลังงานจลน์เมื่อถูกปล่อยให้น้ำไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ จากนั้น พลังงานจลน์เปลี่ยนเป็นพลังงาน ไฟฟ้าเมื่อมวลน้ำเคลื่อนที่ไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มีหน้าที่หลักคืออะไร

แนวคำตอบ สร้างและควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง หรือ ปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ให้เกิดขึ้นในอัตราที่เหมาะสม

5. โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ใช้พลังงานนิวเคลียร์ไปผลิตไฟฟ้าได้อย่างไร

แนวคำตอบ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์นำพลังงานนิวเคลียร์ที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในรูปของพลังงานความร้อนไปถ่ายโอนให้กับน้ำ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนกระทั่งกลายเป็นไอน้ำที่มีแรงดันสูงมาก ซึ่งไอน้ำที่ได้จะถูกส่งต่อไปหมุนกังหันขนาดใหญ่ที่มีเพลลาเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุน เกิดการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า

6. เหตุใดโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ส่วนใหญ่จึงต้องตั้งอยู่ใกล้แหล่งน้ำ

แนวคำตอบ เพราะ ไอน้ำแรงดันสูงที่ใช้ผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ต้องใช้น้ำจากแหล่งน้ำมาระบายความร้อนเพื่อให้ไอน้ำแรงดันสูงเปลี่ยนกลับเป็นน้ำ สำหรับกลับไปรับการถ่ายโอนพลังงานความร้อนจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ได้อีกเรื่อย ๆ

7. แบตเตอรี่เปลี่ยนพลังงานชนิดใดเป็นพลังงานไฟฟ้า

แนวคำตอบ พลังงานเคมี

8. ยกตัวอย่างเทคโนโลยีที่ช่วยลดการถ่ายโอนความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ภายในอาคารหรือที่พักอาศัยมา 2 ชนิด

แนวคำตอบ

1. วัสดุฉนวนความร้อนที่ผนังหรือใต้หลังคา
2. กระจกสีเขียวตัดแสง
3. พิล์มกันความร้อนสำหรับติดกระจก

9. เซลล์เชื้อเพลิงใช้อะไรเป็นเชื้อเพลิงและได้ผลผลิตคืออะไร

แนวคำตอบ เซลล์เชื้อเพลิงใช้ออกซิเจนกับไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง และได้ผลผลิตเป็น พลังงานไฟฟ้า ความร้อนและน้ำ

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 14

??? | คำถาม

1. เพราะเหตุใด การทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำจึงต้องอาศัยแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

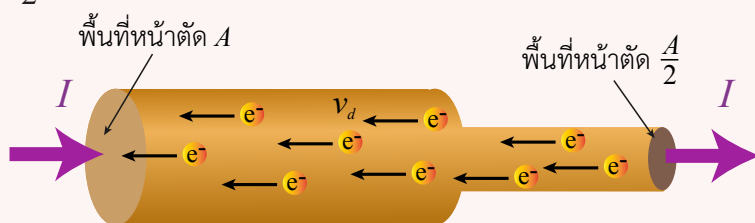
แนวคำตอบ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเกิดจากการมีประจุไฟฟ้าลัพท์เคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง ซึ่งการที่ประจุไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ได้ จะต้องมีความต่างศักย์ไฟฟ้ากระทำต่อประจุ และแรงไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า และสนามไฟฟ้าจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีความต่างศักย์ระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่งในตัวนำ

แหล่งกำเนิดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่งของลวดตัวนำอย่างต่อเนื่อง

2. กระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำที่ต่อกับแบตเตอรี่ มีทิศทางขั้วใดเข้าสู่ขั้วใดของแบตเตอรี่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ มีทิศทางขั้วบวกเข้าสู่ขั้วลบของแบตเตอรี่ เพราะกระแสไฟฟ้ามีทิศทางจากบริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังบริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ

3. ถ้าลวดตัวนำเส้นหนึ่งมีขนาดไม่สม่ำเสมอ โดยในส่วนแรกมีพื้นที่หน้าตัด A และส่วนที่สองมีพื้นที่หน้าตัด $\frac{A}{2}$ ดังรูป



รูป ประกอบคำถามข้อ 3

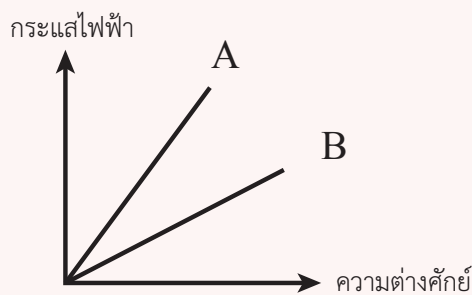
ถ้ามีกระแสไฟฟ้าขนาด I ผ่านลวดตัวนำเส้นนี้ ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนในส่วนแรกจะแตกต่างกับส่วนที่สองอย่างไร

แนวคำตอบ ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอน v_d แปรผกผันกับกระแสไฟฟ้า แต่แปรผันตรงกับพื้นที่หน้าตัด จำนวนอิเล็กตรอนอิสระต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร และประจุของอิเล็กตรอน ดังนั้น ถ้าลวดตัวนำมีพื้นที่หน้าตัดเล็กลงครึ่งหนึ่ง ความเร็วลอยเลื่อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า อิเล็กตรอนอิสระในลวดตัวนำส่วนที่สองจึงมีความเร็วลอยเลื่อนเป็นสองเท่าของอิเล็กตรอนอิสระในลวดตัวนำส่วนแรก

4. ถ้าให้กระแสไฟฟ้าขนาด I ผ่านลวดตัวนำขนาดเท่ากันสองเส้น โดยเส้นหนึ่งที่ทำจากเหล็กและอีกเส้นหนึ่งทำจากทองแดง ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระในลวดตัวนำทั้งสองจะแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร จงอธิบาย

แนวคำตอบ ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอน แปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้า แต่แปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัด จำนวนอิเล็กตรอนอิสระต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร และประจุของอิเล็กตรอน ซึ่งจากตาราง 14.1 จะเห็นว่า เหล็กมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระ เท่ากับ 17.0×10^{28} ต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนทองแดงมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระ เท่ากับ 8.47×10^{28} ต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้น ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระในเหล็กจึงมีค่าน้อยกว่าในทองแดงประมาณครึ่งหนึ่ง

5. เส้นตรง A และ B ในรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในตัวนำสองชนิดตัวนำใด (A หรือ B) มีความต้านทานมากกว่า



รูป ประกอบคำถามข้อ 5

แนวคำตอบ เนื่องจากความต้านทานของตัวนำ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ ตามกฎของโอห์ม ดังนี้

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

ถ้านำความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้ามาเขียนกราฟ ให้แกนตั้งเป็นกระแสไฟฟ้า แกนนอนเป็นความต่างศักย์ ความชันของกราฟ หาได้ดังนี้

$$\text{ความชัน} = \frac{I}{\Delta V} = \frac{1}{R}$$

ซึ่งเท่ากับส่วนกลับของความต้านทานของตัวนำนั่นเอง จากรูปจะเห็นว่ากราฟ A ชันกว่ากราฟ B ดังนั้น ความต้านทานของตัวนำ A น้อยกว่าความต้านทานของตัวนำ B

6. ถ้าความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวนำชนิดหนึ่งเพิ่มเป็นสองเท่า พบว่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำเพิ่มเป็นสามเท่า ตัวนำนี้มีพฤติกรรมที่เป็นไปตามกฎของโอห์มหรือไม่ อธิบาย

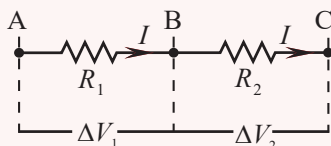
แนวคำตอบ ไม่เป็นไปตามกฎของโอห์ม หากเป็นไปตามกฎของโอห์มแล้ว กระแสที่ผ่านตัวนำนั้นจะต้องแปรผันตรงกับความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของตัวนำนั้น หรือหมายความว่า ถ้า I เพิ่ม 2 เท่า ΔV ก็ต้องเพิ่ม 2 เท่าเช่นกัน หรือถ้า ΔV เพิ่ม 3 เท่า I ก็ต้องเพิ่ม 3 เท่าด้วย

7. เมื่อต่อตัวต้านทานจำนวนหนึ่งแบบ ก. อนุกรม และ ข. ขนาน สำหรับตัวต้านทานแต่ละตัวปริมาณใดต่อไปนี้มีค่าเท่ากัน ความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า

แนวคำตอบ

- ก. ต่อแบบอนุกรม

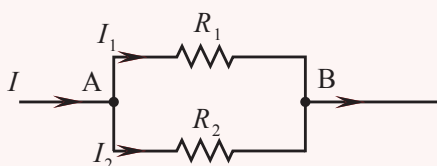
สำหรับตัวต้านทานแต่ละตัว จะมีกระแสไฟฟ้าผ่านเท่ากัน และถ้าแต่ละตัวมีความต้านทานเท่ากัน ทุกตัวจะมีกำลังไฟฟ้าเท่ากันด้วย แต่ถ้าความต้านทานต่างกัน กำลังไฟฟ้าก็จะต่างกัน (พิจารณาได้จากความสัมพันธ์ $P = I^2 R$) ในกรณีความต่างศักย์ ความต่างศักย์ระหว่างจุด A กับ C จะเท่ากับผลรวมของความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน R_1 และ R_2 หรือ $\Delta V_{AC} = \Delta V_1 + \Delta V_2$



- ข. ต่อแบบขนาน

ตัวต้านทานแต่ละตัวจะมีความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองเท่า ๆ กัน ถ้าตัวต้านทานแต่ละตัวมีความต้านทานเท่ากันจะทำให้แต่ละตัวมีกำลังไฟฟ้าเท่ากันด้วย แต่ถ้ามีความต้านทานต่างกัน กำลังไฟฟ้าของตัวต้านทานแต่ละตัวจะไม่เท่ากัน

ตามรูปที่จุดแยกของกระแส (จุด A) จะได้ $I = I_1 + I_2$ ที่จุดรวมของกระแส (จุด B) สมการนี้ก็ใช้ได้เช่นกัน



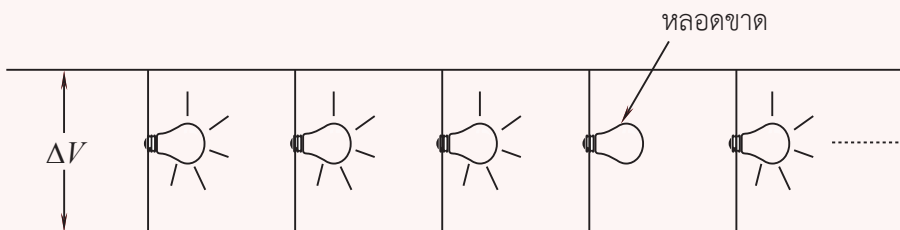
8. ต่อหลอดไฟกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 6 โวลต์โดยใช้สายต่อสั้น จะให้ความสว่างมากกว่าเมื่อต่อด้วยสายต่อที่ยาวมาก หรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ เนื่องจากสายไฟมีความต้านทาน เมื่อต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายของสายไฟ ถ้าสายไฟยาวมาก ความต้านทานก็จะมาก ($R = \rho \frac{l}{A}$) ทำให้ความต่างศักย์ที่ระหว่างปลายของสายไฟเพิ่มขึ้น ($\Delta V = IR$) ความต่างศักย์ที่ระหว่างปลายของหลอดไฟจะลดลง ความสว่างก็จะลดลง ดังนั้นสายต่อที่สั้นจะทำให้หลอดไฟสว่างมากกว่าสายต่อที่ยาว

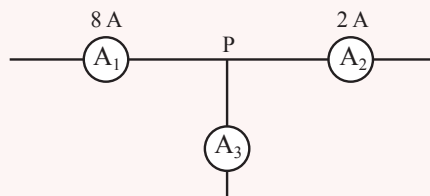
อย่างไรก็ตามเนื่องจาก ρ ของโลหะของสายไฟ (เช่น ทองแดง) ต่ำมาก ดังนั้นโดยทั่วไป R ของสายไฟจะน้อยมาก ถ้าจะให้เห็นความแตกต่างของความสว่างของหลอดไฟ ต้องใช้สายไฟที่มีความยาวมาก ๆ

9. รวบรวมหลอดไฟที่ประดับตามต้นไม้ รั้วและอาคาร เมื่อหลอดหนึ่งขาด หลอดอื่นๆ ยังสว่าง จะอธิบายได้อย่างไร

แนวคำตอบ แสดงว่าหลอดไฟต่าง ๆ เหล่านี้ต่อแบบขนานเข้ากับวงจร ดังนั้น เมื่อหลอดใดหลอดหนึ่งขาด หลอดอื่นๆ ก็จะสามารถทำงานได้ ดังรูป หลอดที่ไม่ขาดจะสว่างหมด



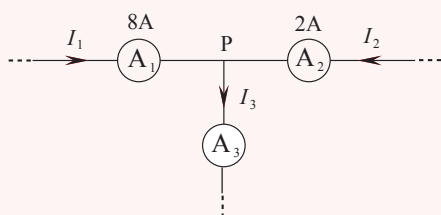
10. A_1 , A_2 และ A_3 เป็นแอมมิเตอร์ที่ต่อไว้ใกล้จุด P และเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้า ดังรูป ถ้าแอมมิเตอร์ A_1 อ่านได้ 8 แอมแปร์ แอมมิเตอร์ A_2 อ่านได้ 2 แอมแปร์ แอมมิเตอร์ A_3 จะอ่านได้เท่าใด



รูป ประกอบคำถามข้อ 10

แนวคำตอบ

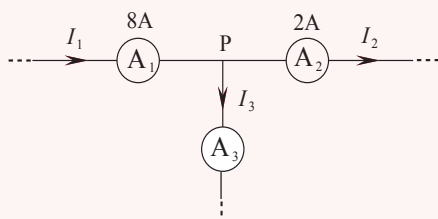
กรณีที่ 1



ถ้าทิศของกระแสเป็นดังรูป

$$\begin{aligned} I_3 &= I_1 + I_2 \\ &= 8 + 2 \\ &= 10 \text{ A} \end{aligned}$$

กรณีที่ 2



ถ้าทิศของกระแสเป็นดังรูป

$$\begin{aligned} I_1 &= I_2 + I_3 \\ 8 \text{ A} &= 2 \text{ A} + I_3 \\ I_3 &= 6 \text{ A} \end{aligned}$$

สรุป A_3 อาจจะอ่านได้ 2 ค่า คือ 10 A หรือ 6 A แล้วแต่ทิศทางของกระแส I_1 , I_2 และ I_3

11. อีเอ็มเอฟแตกต่างจากความต่างศักย์อย่างไร

แนวคำตอบ อีเอ็มเอฟคือพลังงานที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจ่ายให้กับประจุไฟฟ้าหนึ่งหน่วยที่เคลื่อนที่ผ่าน ส่วนความต่างศักย์ระหว่าง 2 จุดใด ๆ ในวงจรที่มีกระแสไฟฟ้า คือพลังงานไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้าหนึ่งหน่วยถ่ายโอนให้กับส่วนต่าง ๆ ของวงจร หรือ พลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยประจุที่สูญเสียไประหว่าง 2 จุดนั้น กรณีที่ไม่ได้ต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับวงจร (ไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน) ความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจะเท่ากับอีเอ็มเอฟ

12. ภายใต้เงื่อนไขใดที่ความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่จะเท่ากับอีเอ็มเอฟ และความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่จะมีค่ามากกว่าอีเอ็มเอฟได้หรือไม่

แนวคำตอบ จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน พลังงานไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้าได้รับจากแบตเตอรี่จะเท่ากับพลังงานไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้าใช้ไปในวงจร

หรือ

$$\begin{aligned} Q\mathcal{E} &= Q\Delta V_R + Q\Delta V_r \\ \mathcal{E} &= \Delta V_R + \Delta V_r \end{aligned} \quad (1)$$

โดย $\mathcal{E}$ เป็นอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่

ΔV_R คือความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทานซึ่งจะเท่ากับความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่

ΔV_r คือความต่างศักย์เนื่องจากความต้านทานภายในของแบตเตอรี่
จากกฎของโอห์มจะเขียน (1) ใหม่ได้ดังนี้

$$\mathcal{E} = IR + Ir$$

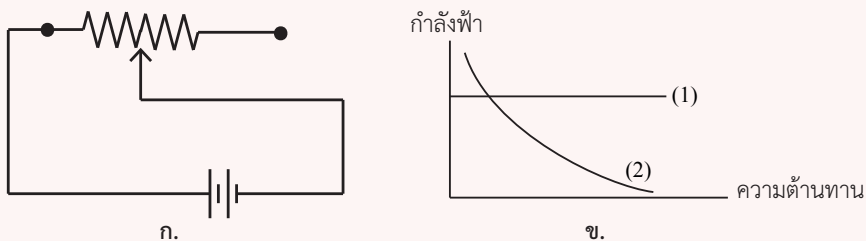
หรือ

$$\mathcal{E} = \Delta V + Ir$$

$$\Delta V = \mathcal{E} - Ir \quad (2)$$

ในกรณีที่ $\Delta V = \mathcal{E}$ หมายความว่า Ir จะต้องมิต้านทานน้อยมากหรือเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งกรณีนี้ ก็คือไม่ได้ต่อบatteryให้ครบวงจร หรือไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายออกมาจากแบตเตอรี่นั้น ดังนั้นความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่จะน้อยกว่าอีเอ็มเอฟเสมอ

13. ตัวต้านทานแปรค่าต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่มีความต้านทานภายใน ดังรูป ก.



รูป ประกอบคำถามข้อ 13

เมื่อปรับความต้านทานของตัวต้านทานแปรค่า กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าบนตัวต้านทานกับความต้านทานควรเป็นเส้นใดในรูป ข. อธิบาย

แนวคำตอบ เส้น (2) เพราะ จากสมการ $P = \frac{(\Delta V)^2}{R}$ เมื่อ ΔV คงตัว P มีค่าแปรผกผันกับ

R หรือ $P \propto \frac{1}{R}$ ดังนั้น เมื่อความต้านทาน R มีค่าเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้า P จะมีค่าลดลง

เส้นที่ (2) ถูกเพราะ เมื่อค่าของ R มากขึ้น P น้อยลง

เส้นที่ (1) ผิดเพราะ เมื่อค่าของ R มากขึ้น P มีค่าคงเดิม

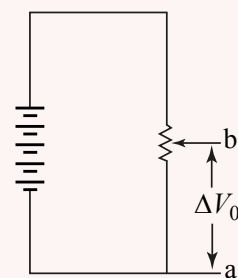
14. ถ้าภายในบ้านมีหลอดไฟขนาด 70 วัตต์ และ ขนาด 80 วัตต์ ต่อแบบขนานกับวงจรไฟฟ้าที่ให้ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 220 โวลต์ หลอดไฟหลอดใดมีกระแสไฟฟ้าผ่านมากกว่ากัน จงอธิบาย

แนวคำตอบ หลอดไฟขนาด 80 วัตต์จะมีกระแสไฟฟ้าผ่านมากกว่า เนื่องจาก ในการต่อหลอดไฟ แบบขนาน ความต่างศักย์ระหว่างปลายของหลอดไฟแต่ละหลอดจะเท่ากัน ส่วนกระแสไฟฟ้า ที่ผ่านหลอดไฟ จะมีความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าของหลอดไฟและความต่างศักย์ระหว่างปลาย ของหลอดไฟ ดังสมการ $P = I\Delta V$ ดังนั้น หลอดไฟที่มีกำลังไฟฟ้ามากกว่า จะมีกระแสไฟฟ้า ผ่านมากกว่า

15. เมื่ออุณหภูมิของหลอดไฟสูงขึ้น ความต้านทานของหลอดไฟจะเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้พลังงาน ไฟฟ้าที่หลอดไฟใช้ในช่วงเวลาเท่ากันเพิ่มขึ้นหรือลดลง เพราะเหตุใด

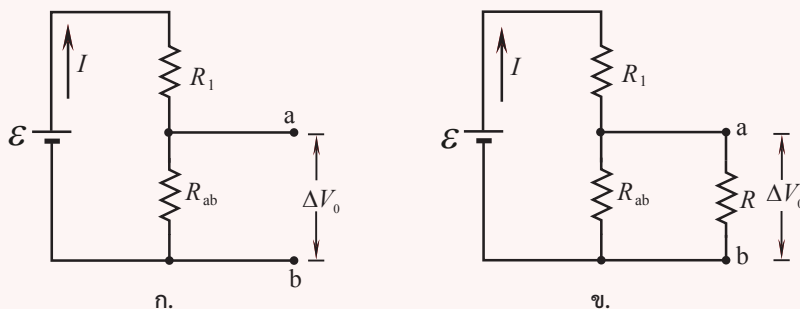
แนวคำตอบ พลังงานไฟฟ้าที่หลอดไฟใช้จะยิ่งเพิ่มขึ้น เพราะพลังงานไฟฟ้าที่หลอดไฟใช้ ไปแปรผันตรงกับความต้านทาน ดังสมการ $P = I^2 R$ ดังนั้น ยิ่งความต้านทานของหลอดไฟเพิ่มขึ้น พลังงานไฟฟ้าที่หลอดไฟใช้ไปในช่วงเวลาเท่ากัน จะยิ่งเพิ่มขึ้น

16. จากรูป ΔV_0 เป็นความต่างศักย์ระหว่าง จุด a และ b ขณะที่ต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าระหว่าง 2 จุดนี้ กับ เมื่อไม่ต่อกับเครื่องใช้ไฟฟ้าระหว่าง 2 จุด ดังกล่าว ค่า ΔV_0 จะเหมือนหรือแตกต่างกัน เพราะเหตุใด



รูป ประกอบคำถามข้อ 16

แนวคำตอบ จากรูปที่โจทย์กำหนด แบ่งตัวต้านทานเป็น 2 ส่วน คือ R_1 และ R_{ab} ได้ดังรูป ก.



รูป ประกอบแนวคำตอบคำถามข้อ 16

รูป ก. จะได้ $\Delta V_0 = \Delta V_{ab} = IR_{ab}$

เมื่อ I คือ กระแสในวงจร หา I ได้จาก

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_{ab}}$$

$$V_0 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_{ab}} \times R_{ab}$$

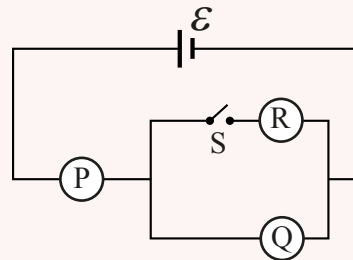
$$V_0 = \frac{\mathcal{E}}{1 + \frac{R_1}{R_{ab}}} \quad (1)$$

เมื่อต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความต้านทาน R กับจุด ab ดังรูป ข. ความต้านทานระหว่างจุด a และ b จะเปลี่ยนเป็น R'_{ab} ซึ่งประกอบด้วย R_{ab} เดิมต่อขนานกับ R

$$R'_{ab} = \left(\frac{1}{R_{ab}} + \frac{1}{R} \right)^{-1} \quad (2)$$

จะได้ว่า R'_{ab} จะมีค่าน้อยกว่า R_{ab} เมื่อพิจารณาจากสมการ (2) ΔV_0 จะมีค่าลดลง จึงสรุปได้ว่า ถ้ามีความต้านทานมาต่อระหว่าง a และ b ความต่างศักย์ระหว่าง 2 จุดนี้จะลด

17. P Q และ R เป็นหลอดไฟที่เหมือนกันทุกประการและนำมาต่อเป็นวงจรกับแบตเตอรี่ ดังรูป ถ้าสับสวิตช์ S ความสว่างของหลอดไฟ P และ Q จะเปลี่ยนแปลงอย่างไร

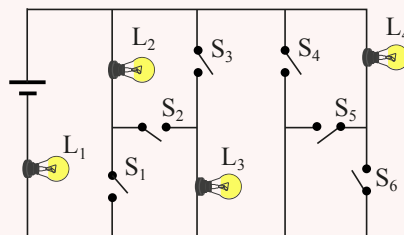


รูป ประกอบคำถามข้อ 17

แนวคำตอบ ก่อนสับสวิตช์ S หลอดไฟ P และ Q สว่างเท่ากัน หลอด R จะไม่สว่าง เพราะกระแสที่ผ่านเป็นกระแสเดียวกัน เมื่อสับสวิตช์ S หลอด R จะสว่าง กระแสในวงจรจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เพราะความต้านทานสมมูล ของวงจรลดลง หลอดไฟ P สว่างขึ้นเล็กน้อย แต่หลอดไฟ Q ความสว่างจะลดลง เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอด Q ลดลง เพราะมีการแบ่งกระแสไฟฟ้าแยกไปทางหลอด R ส่วนหนึ่ง

18. แบตเตอรี่ หลอดไฟสี่หลอด (L_1 , L_2 , L_3 และ L_4) สวิตช์ (S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_5 และ S_6) ต่อกันเป็นวงจรไฟฟ้า ดังรูป หลอดใดสว่างถ้า

- ก. สับสวิตช์ S_2 เท่านั้น
- ข. สับสวิตช์ S_3 เท่านั้น
- ค. สับสวิตช์ S_3 และ S_4 เท่านั้น

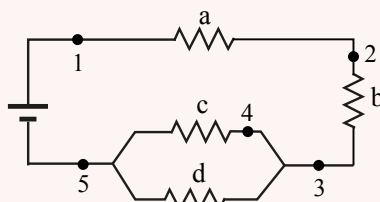


รูป ประกอบคำถามข้อ 18

- แนวคำตอบ ก. หลอดที่จะสว่างคือ L_1 , L_2 และ L_3 ส่วนหลอดอื่นกระแสไฟฟ้าไม่ผ่าน เพราะไม่ครบวงจร จึงไม่สว่าง
- ข. หลอดที่จะสว่างคือ L_1 และ L_3
- ค. หลอดที่จะสว่างคือ L_1 ส่วนหลอด L_3 ไม่สว่างเพราะ S_4 จะทำหน้าที่ลัดวงจร ทำให้กระแสไฟฟ้าไม่ผ่านหลอด L_3 นอกจากนี้หลอด L_4 ไม่ติด เพราะกระแสไฟฟ้าไม่ไหลผ่าน

19. วงจรไฟฟ้าดังรูป a b c และ d เป็นตัวต้านทาน มีความต้านทานเท่ากัน พิจารณา จุด 1, 2, 3, 4 และ 5 ซึ่งเป็นจุดในวงจร

- ก. จุดใดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านน้อยที่สุด
- ข. จุดใดที่มีความต่างศักย์เท่ากับศูนย์
- ค. จุดใดที่มีความต่างศักย์มากที่สุด



รูป ประกอบคำถามข้อ 19

แนวคำตอบ ก. 4 ข. 3, 4 ค. 1, 5

Ⓕ | ปัญหา

1. หลอดบรรจุแก๊สหลอดหนึ่ง ในเวลา 10 วินาที มีอนุภาคประจุบวกจำนวน 10^{16} อนุภาค และอนุภาคประจุลบจำนวน 10^{18} อนุภาค เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของหลอดทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าผ่านเท่าใด (อิเล็กตรอนมีประจุไฟฟ้าขนาด 1.6×10^{-19} คูโลมบ์)

วิธีทำ กระแสไฟฟ้าในหลอดเกิดจากการเคลื่อนที่ทั้งประจุบวกและลบ

ให้ q_+ เป็นปริมาณประจุบวก และ q_- ปริมาณประจุลบ

$$\text{จากสมการ} \quad I = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$\text{จะได้} \quad I = \frac{q_+ + q_-}{t}$$

$$\text{แทนค่า} \quad I = \frac{(10^{16} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}) + (10^{18} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{(10 \text{ s})}$$

$$= 16.16 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$= 16.16 \text{ mA}$$

$$\cong 16 \text{ mA}$$

ตอบ กระแสไฟฟ้าผ่านหลอดเท่ากับ 16 มิลลิแอมแปร์

2. ตัวนำมีพื้นที่หน้าตัด 2 ตารางมิลลิเมตร ถ้ามีประจุไฟฟ้า -7.8 คูโลมบ์เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่นี้ในเวลา 3.0 วินาที จงหากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำนี้

วิธีทำ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำเท่ากับประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านตัวนำในหนึ่งหน่วย

$$\text{เวลาตามสมการ} \quad I = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$\text{แทนค่า} \quad I = \frac{7.8 \text{ C}}{3.0 \text{ s}}$$

$$= 2.6 \text{ A}$$

ตอบ กระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำเท่ากับ 2.6 แอมแปร์

3. ลวดทองแดงพื้นที่หน้าตัด 0.5 ตารางมิลลิเมตร ยาว 50 เมตร เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวด ทำให้อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ด้วยความเร็วลอยเลื่อน 2 มิลลิเมตรต่อวินาที (จำนวนอิเล็กตรอนอิสระของทองแดงเท่ากับ 8.47×10^{28} ต่อลูกบาศก์เมตร) จงหาจำนวนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของลวดนี้แต่ละวินาที

วิธีทำ กระแสไฟฟ้าในลวดทองแดง มีความสัมพันธ์กับความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ (v_d) ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (n) ประจุของอิเล็กตรอน (e) และ พื้นที่หน้าตัด (A) ตามสมการ

$$I = nev_d A$$

แทนค่าปริมาณอื่น ๆ ในสมการ ยกเว้นประจุอิเล็กตรอน

$$I = (8.47 \times 10^{28} \text{ m}^{-3})e(2 \times 10^{-3} \text{ m/s})(0.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2)$$

$$= (8.47 \times 10^{19} \text{ s}^{-1})e$$

นั่นคือในหนึ่งวินาที มีประจุไฟฟ้า $(8.47 \times 10^{19})e$ คูลอมบ์ เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของลวดเส้นนี้

ดังนั้น จำนวนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดในแต่ละวินาทีเท่ากับ

$$\frac{(8.47 \times 10^{19})e}{e} = 8.47 \times 10^{19} \text{ อนุภาค}$$

ตอบ ในแต่ละวินาที มีอิเล็กตรอนจำนวน 8.47×10^{19} อนุภาค เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของลวดเส้นนี้เท่ากัน

4. ลวดตัวนำโลหะขนาดสม่ำเสมอมีพื้นที่หน้าตัด 1.0 ตารางมิลลิเมตร วัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านได้ 1.5 แอมแปร์ จะมีขนาดของความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระเท่าไร (กำหนดให้จำนวนอิเล็กตรอนอิสระ 4.0×10^{28} ต่อลูกบาศก์เมตร)

วิธีทำ กระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ มีความสัมพันธ์กับความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ (v_d) ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (n) ประจุของอิเล็กตรอน (e) และ พื้นที่หน้าตัด (A) ตามสมการ

$$I = nev_d A$$

จัดรูปสมการเพื่อหาความเร็วลอยเลื่อน จะได้ $v_d = \frac{I}{neA}$

$$\begin{aligned}
 \text{แทนค่า} \quad v_d &= \frac{1.5 \text{ A}}{(4.0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3})(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2)} \\
 &= 0.23 \times 10^{-3} \text{ m/s} \\
 &= 2.3 \times 10^{-4} \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

ตอบ อิเล็กตรอนอิสระมีความเร็วลอยเลื่อนเท่ากับ 2.3×10^{-4} เมตรต่อวินาที

5. ลวดโลหะเงินเส้นหนึ่งมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวน 5.86×10^{28} ต่อลูกบาศก์เมตร มีพื้นที่หน้าตัด 4 ตารางมิลลิเมตร เมื่ออิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วลอยเลื่อน 3.8×10^{-2} เมตรต่อวินาที ในช่วงเวลา 30 วินาที จำนวนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดเส้นลวดนี้มีปริมาณเท่าใด

วิธีทำ กระแสไฟฟ้าในตัวนำเป็นประจุไฟฟ้าที่ผ่านภาคตัดขวางของตัวนำนั้นในหนึ่งหน่วยเวลาหาได้จากปริมาณที่เกี่ยวข้อง ดังสมการ

$$I = \frac{Q}{\Delta t} = nev_d A$$

ดังนั้น จำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดเส้นลวดโลหะเงิน

$$\text{หาได้จากสมการ} \quad \frac{Q}{e} = nv_d A \Delta t$$

โจทย์กำหนด $n = 5.86 \times 10^{28}$, $A = 4 \times 10^{-6} \text{ m}^2$, $v_d = 3.8 \times 10^{-2} \text{ m/s}$,
 $t = 30 \text{ s}$ และ $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

$$\text{แทนค่า} \quad \frac{Q}{e} = (5.86 \times 10^{28} \text{ m}^{-3})(3.8 \times 10^{-2} \text{ m/s})(4 \times 10^{-6} \text{ m}^2)(30 \text{ s})$$

$$\text{จะได้} \quad \frac{Q}{e} = 2.67 \times 10^{23} \text{ อนุภาค}$$

ตอบ จำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดเส้นลวดโลหะเงินเท่ากับ 2.67×10^{23} อนุภาค

6. แบตเตอรี่ก้อนหนึ่ง เมื่อนำมาใช้งานสามารถทำให้มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านแบตเตอรี่ได้ทั้งสิ้น 5.0×10^4 คูโลมบ์ ถ้าใช้งานแบตเตอรี่นี้โดยมีกระแสไฟฟ้า 20 มิลลิแอมแปร์ อย่างสม่ำเสมอ จะสามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้นานกี่ชั่วโมง

วิธีทำ จาก
$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

เมื่อ $Q = 5.0 \times 10^4 \text{ C}$, $I = 20 \times 10^{-3} \text{ A} = 20 \times 10^{-3} \text{ C/s}$

จะได้
$$t = \frac{5.0 \times 10^4 \text{ C}}{20 \times 10^{-3} \text{ C/s}} = 2.5 \times 10^6 \text{ s}$$

$$= \frac{2.5 \times 10^6}{3600} \text{ hr}$$

$$= 694 \text{ hr}$$

ตอบ จะสามารถใช้แบตเตอรี่ได้นาน 694 ชั่วโมง

7. ลวดโลหะเส้นหนึ่งมีอิเล็กตรอนอิสระ 5.0×10^{28} ต่อลูกบาศก์เมตร ลวดมีพื้นที่หน้าตัด 2.5 ตารางมิลลิเมตร ถ้าอิเล็กตรอนแต่ละตัวเคลื่อนที่ด้วยขนาดความเร็วลอยเลื่อน 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที จะมีกระแสไฟฟ้าเท่าใดในลวดนี้

วิธีทำ จาก
$$I = nev_d A$$

เมื่อ $n = 5.0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$, $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, $v_d = 0.3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$,
 $A = 2.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$,

ดังนั้น
$$I = (5.0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3})(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(2.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2)(0.3 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1})$$

$$= 6.0 \text{ A}$$

ตอบ มีกระแสไฟฟ้า 6.0 แอมแปร์ ในลวดนี้

8. ถ้าใช้เตารีดไอน้ำที่มีความต้านทาน 55.0 โอห์ม กับความต่างศักย์ 220 โวลต์ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านเตารีดมีค่าเท่าใด

วิธีทำ จากกฎของโอห์ม
$$I = \left(\frac{1}{R}\right)\Delta V$$

แทนค่า $R = 55 \Omega$, $\Delta V = 220 \text{ V}$

จะได้
$$I = \frac{220 \text{ V}}{55.0 \Omega}$$

$$= 4.0 \text{ A}$$

ตอบ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านเตารีดเท่ากับ 4.0 แอมแปร์

9. จะต้องต่อตัวต้านทาน 1.0 เมกะโอห์ม กับความต่างศักย์เท่าใด จึงจะมีกระแสไฟฟ้า 1.0 มิลลิแอมแปร์ ผ่านตัวต้านทานดังกล่าว

วิธีทำ จาก $\Delta V = IR$

เมื่อ $I = 1.0 \times 10^{-3} \text{ A}$, $R = 1.0 \times 10^6 \text{ }\Omega$

$$\begin{aligned}\Delta V &= (1.0 \times 10^{-3} \text{ A})(1.0 \times 10^6 \text{ }\Omega) \\ &= 1.0 \times 10^3 \text{ V}\end{aligned}$$

ตอบ จะต้องใช้ความต่างศักย์ 1.0×10^3 โวลต์

10. สายไฟ 2 เส้น ทำด้วยโลหะ 2 ชนิด เส้นแรกมีสภาพต้านทานไฟฟ้าเป็น 4 เท่าของเส้นที่สอง ถ้าความยาวและความต้านทานเท่ากัน จงหาอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของเส้นที่หนึ่งต่อเส้นที่สอง

วิธีทำ จากความสัมพันธ์ $R = \rho \frac{l}{A}$

ลวดเส้นแรกมีพื้นที่หน้าตัด $A_1 = \rho_1 \frac{l_1}{R_1}$

ลวดเส้นที่สองมีพื้นที่หน้าตัด $A_2 = \rho_2 \frac{l_2}{R_2}$

ถ้า $\rho_1 = 4\rho_2$, $l_1 = l_2$ และ $R_1 = R_2$
จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\frac{A_1}{A_2} &= \frac{\rho_1}{\rho_2} \left(\frac{l_1}{l_2} \frac{R_2}{R_1} \right) \\ &= \frac{4\rho_2}{\rho_2} \left(\frac{l_2}{l_2} \frac{R_2}{R_2} \right) \\ &= 4\end{aligned}$$

ตอบ อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเส้นที่หนึ่งต่อเส้นที่สองเท่ากับ 4

11. ถ้ามีลวดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดลดลงไปครึ่งหนึ่ง ความต้านทานของเส้นลวดจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

วิธีทำ จากความสัมพันธ์ $R = \rho \frac{l}{A}$ ถ้าให้ d เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของลวด

พื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดหาได้จาก $A = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$

ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดลดลงไปครึ่งหนึ่ง พื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนไปเป็น

$$\begin{aligned} A' &= \pi \left(\frac{d}{2} \left(\frac{1}{2} \right) \right)^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \\ &= \frac{1}{4} A \end{aligned}$$

ดังนั้น ถ้าความยาวของลวดเท่าเดิม ความต้านทานจะเปลี่ยนไปเป็น

$$\begin{aligned} R' &= \rho \frac{l}{A'} \\ &= \rho \frac{l}{(A/4)} \\ &= 4R \end{aligned}$$

ตอบ ความต้านทานของเส้นลวดจะเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าของความต้านทานเดิม

12. ลวดตัวนำขนาดสม่ำเสมอเส้นหนึ่งยาว 2.0 เมตร มีความต้านทาน 0.5 โอห์ม ถ้าลวดตัวนำชนิดเดียวกัน แต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าเป็นครึ่งหนึ่ง หากต้องการให้มีความต้านทาน 2.0 โอห์ม จะต้องใช้ลวดยาวเท่าไร

วิธีทำ จากความสัมพันธ์ $R = \rho \frac{l}{A}$

แทนค่า $l = 2.0 \text{ m}$ และ $R = 0.5 \Omega$ จะได้

$$0.5 \Omega = \rho \frac{(2.0 \text{ m})}{A}$$

หรือ

$$\frac{A}{\rho} = \frac{2.0 \text{ m}}{0.5 \Omega} \quad (1)$$

ถ้าให้ d เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของลวด

พื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดหาได้จาก $A = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$

ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดลดลงไปครึ่งหนึ่ง พื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนไปเป็น

$$\begin{aligned} A' &= \pi \left(\frac{d}{2} \left(\frac{1}{2} \right) \right)^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \\ &= \frac{1}{4} A \end{aligned} \quad (2)$$

ความยาวของลวดที่เปลี่ยนไปหาได้จากสมการ

$$l' = R' \frac{A'}{\rho}$$

แทนค่าจาก (2) และความต้านทานของลวดเปลี่ยนเป็น 2 โอห์ม

จะได้
$$l' = (2.0 \Omega) \left(\frac{4A}{\rho} \right)$$

แทนค่าจาก (1) จะได้
$$l' = 4(2.0 \Omega) \left(\frac{2.0 \text{ m}}{0.5 \Omega} \right)$$

$$= 32 \text{ m}$$

ตอบ จะต้องใช้ลวดยาว 32 เมตร

13. ลวดโลหะเส้นหนึ่งมีความต้านทาน 8.0 โอห์ม ถ้านำลวดโลหะเส้นนี้มารีดทำเป็นลวดเส้นใหม่ให้ยาวเป็น 4 เท่าของความยาวเดิม ความต้านทานของลวดโลหะจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นเท่าใด

วิธีทำ ลวดที่นำมารีด มีปริมาตร $V = lA$ โดยที่ l เป็นความยาวของลวด A เป็นพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวด

เนื่องจากลวดที่นำมารีด ยังมีปริมาตรคงที่ ถึงแม้ความยาวและพื้นที่หน้าตัดจะเปลี่ยนไป ดังนั้น ถ้าให้ V' เป็นปริมาตรของลวดที่รีดแล้ว ส่วน l' เป็นความยาว และ A' เป็นพื้นที่หน้าตัดของลวดที่รีด จะได้

$$V = V' \quad (1)$$

นั่นคือ $lA = l'A'$ (1)

เมื่อ l มีความยาวเปลี่ยนไปเป็น $l' = 4l$ (2)

แทนใน (1) จะได้ $lA = 4lA'$

$$A' = \frac{A}{4} \quad (3)$$

ความต้านทานของลวดที่รีดจะเปลี่ยนไปเป็น

$$R' = \rho \frac{l'}{A'}$$

จาก (2) และ (3) จะได้

$$\begin{aligned} R' &= \rho \frac{4l}{(A/4)} \\ &= 16\rho \frac{l}{A} \\ &= 16R \end{aligned}$$

ตอบ ความต้านทานของลวดโลหะจะเพิ่มขึ้นเป็น 16 เท่า

14. ต้องการทำลวดสายไฟที่มีความต้านทาน 5.0 โอห์ม จากโลหะซึ่งมีสภาพต้านทาน $8.0 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ โดยมีปริมาตรของลวดเป็น 12.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ก. ลวดเส้นนี้มีความยาวเท่าไร

ข. ลวดเส้นนี้มีพื้นที่หน้าตัดเท่าไร

วิธีทำ ก. จากความสัมพันธ์ $R = \rho \frac{l}{A}$

จะได้
$$\frac{l}{A} = \frac{R}{\rho}$$

$$= \frac{5.0 \Omega}{8.0 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}}$$

$$\frac{l}{A} = 6.25 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \quad (1)$$

ปริมาตรของโลหะ $V = lA$ เท่ากับ 12.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ดังนั้น จะได้
$$lA = 12.0 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (2)$$

นำสมการ (1) คูณกับสมการ (2) จะได้

$$\begin{aligned} l^2 &= (6.25 \times 10^7 \text{ m}^{-1})(12.0 \times 10^{-6} \text{ m}^3) \\ &= 750.0 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น
$$l = 27.4 \text{ m}^2$$

ตอบ ลวดเส้นนี้จะต้องมีความยาว 27.4 เมตร

วิธีทำ ข. หาพื้นที่หน้าตัดของลวดโดยแทนความยาวลวดที่ได้จากข้อ ก. ลงในสมการ (2) จะได้

$$(27.4 \text{ m}) A = 12.0 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$A = \frac{12.0 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{27.4 \text{ m}}$$

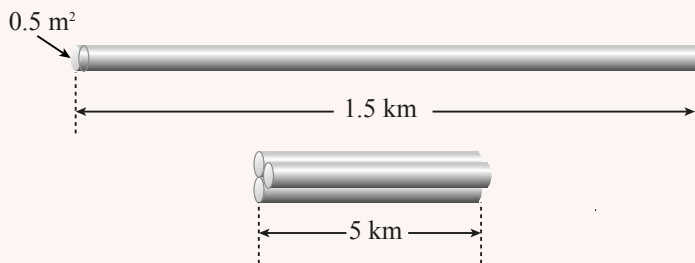
$$= 4.38 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

ตอบ ลวดเส้นนี้จะมีพื้นที่หน้าตัด 4.38×10^{-7} ตารางเมตร มีความยาว 1.5 กิโลเมตร และมีพื้นที่หน้าตัด 0.5 ตารางมิลลิเมตร ตารางเมตร หรือ 0.438 ตารางมิลลิเมตร

15. ลวดตัวนำในสายไฟฟ้าเส้นหนึ่งทำจากทองแดงซึ่งมีสภาพต้านทานไฟฟ้า $1.72 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ มีความยาว 1.5 กิโลเมตร และมีพื้นที่หน้าตัด 0.5 ตารางมิลลิเมตร

ก. จงหาค่าความต้านทานของลวดตัวนำเส้นนี้

ข. ถ้าตัดสายไฟฟ้าออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน แล้วนำมาต่อขนานกันดังรูป ความต้านทาน



รูป ประกอบปัญหาข้อ 15

จะเป็นเท่าใด

วิธีทำ ก. จากความสัมพันธ์ $R = \rho \frac{l}{A}$

แทนค่า จะได้

$$R = \frac{(1.72 \times 10^{-8} \Omega \text{ m})(1.5 \times 10^3 \text{ m})}{0.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$= 51.6 \Omega$$

ตอบ ลวดตัวนำเส้นนี้มีความต้านทาน 51.6 โอห์ม

วิธีทำ ข. ตัดลวดเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน โดยแต่ละส่วนมีความยาว $\frac{l}{3}$

นำลวดที่ตัดแล้วมาต่อแบบขนาน จะทำให้พื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า
ดังนั้น ความต้านทานที่เปลี่ยนไปจะเท่ากับ

$$\begin{aligned} R' &= \rho \frac{l'}{A'} \\ &= \rho \frac{(l/3)}{3A} \\ &= \frac{1}{9} \left[\rho \left(\frac{l}{A} \right) \right] \\ &= \frac{1}{9} R \\ R' &= \frac{51.6 \Omega}{9} \\ &= 5.73 \Omega \end{aligned}$$

แทนค่า จะได้

ตอบ ความต้านทานของลวดที่นำมาต่อกันเท่ากับ 5.73 โอห์ม

16. ตัวต้านทานขนาด 560 กิโลโอห์มและความคลาดเคลื่อน 5% จะมีแถบสีแบบสี่แถบ และแบบห้าแถบอย่างไร

วิธีทำ แทนตัวเลขในแต่ละหลักด้วยแถบสีตามรหัสในตาราง 14.3

สำหรับตัวต้านทานแบบสี่แถบสี

เลข 5 แทนด้วยแถบสีเขียว ซึ่งเป็นแถบสีที่หนึ่ง
เลข 6 แทนด้วยแถบสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นแถบสีที่สอง
เลข 1 ซึ่งเป็นเลขพหุคูณ แทนด้วยแถบสีน้ำตาล ซึ่งเป็นแถบสีที่สาม
ความคลาดเคลื่อน 5% แทนด้วยแถบสีทอง ซึ่งเป็นแถบสีที่สี่

ตอบ ดังนั้น ตัวต้านทานแบบมีสี่แถบสี จะมีแถบสีเขียว น้ำเงิน น้ำตาล และทองตามลำดับ

สำหรับตัวต้านทานแบบห้าแถบสี

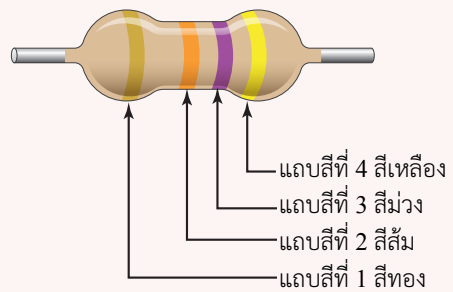
เลข 5 แทนด้วยแถบสีเขียว ซึ่งเป็นแถบสีที่หนึ่ง
 เลข 6 แทนด้วยแถบสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นแถบสีที่สอง
 เลข 0 แทนด้วยแถบสีดำ ซึ่งเป็นแถบสีที่สาม
 เลข 0 ซึ่งเป็นเลขพหุคูณ แทนด้วยแถบสีดำ ซึ่งเป็นแถบสีที่สี่
 ความคลาดเคลื่อน 5% แทนด้วยแถบสีทอง ซึ่งเป็นแถบสีที่ห้า

ตอบ ดังนั้น ตัวต้านทานแบบมีห้าแถบสี จะมีแถบสีเขียว น้ำเงิน ดำ ดำ และทอง ตามลำดับ

17. ตัวต้านทานหนึ่งมีแถบสีดังรูป มีความต้านทานเท่าไร

วิธีทำ ตัวต้านทานแบบสี่แถบสีนี้ ต้องอ่าน

แถบสีจากขวาไปซ้าย เนื่องจากแถบสีทอง
 ที่อยู่ห่างจากแถบสีอื่น ๆ เป็นแถบสีที่ระบุ
 ความคลาดเคลื่อนมาอยู่ด้านซ้ายมือสุด
 ดังนั้น แถบสีที่หนึ่งซึ่งเป็นสีเหลือง แทน
 ด้วยตัวเลข 4 ส่วนแถบสีที่สองสีม่วง
 แทนด้วยเลข 7 แถบสีที่สามสีส้ม
 แทนด้วยเลข 3 ส่วนแถบสีที่สี่ซึ่งเป็น
 สีทองแทนความคลาดเคลื่อน 5%



รูป ประกอบปัญหาข้อ 17

จาก ความต้านทาน = $[(\text{เลขแถบสีที่ 1 เลขแถบสีที่ 2}) \times 10^{\text{เลขแถบสีที่ 3}}] \pm \text{เลขแถบสีที่ 4}$
 แทนค่าจะได้ ความต้านทาน = $47 \times 10^3 \Omega \pm 5\%$

$$= 4.7 \times 10^4 \Omega \pm 5\%$$

$$= 47 \text{ k}\Omega \pm 5\%$$

ตอบ ตัวต้านทานที่มีแถบสีดังรูป มีความต้านทานได้ 47 กิโลโอห์ม และมีความคลาดเคลื่อน 5%

18. ตัวต้านทานตัวหนึ่งมีแถบสี ดังรูป

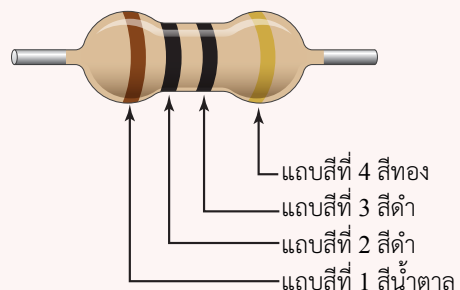
กำหนด รหัสแถบสี ดังนี้

ดำ แทนเลข ศูนย์

น้ำตาล แทนเลข 1

ทอง แทนความคลาดเคลื่อน

ตัวต้านทานนี้มีความต้านทานอยู่ในช่วงกี่โอห์ม



รูป ประกอบปัญหาข้อ 18

วิธีทำ อ่านแถบสีจากซ้ายไปขวา เนื่องจากแถบสีทอง

ที่อยู่ห่างจากแถบสีอื่น ๆ เป็นแถบสีที่ระบุความคลาดเคลื่อนอยู่ด้านขวามือสุด

จาก ความต้านทาน = $[(\text{เลขแถบสีที่ 1 เลขแถบสีที่ 2}) \times 10^{\text{เลขแถบสีที่ 3}}] \pm \text{เลขแถบสีที่ 4}$
แทนค่าจะได้ ความต้านทาน = $10 \times 10^0 \Omega \pm 5\%$

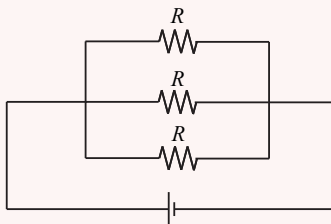
$$= 10 \Omega \pm 5\%$$

นั่นคือ ตัวต้านทานมีความต้านทานระหว่าง 9.5Ω ถึง 10.5Ω

ตอบ ตัวต้านทานที่มีแถบสีดังรูป มีความต้านทานอยู่ในช่วง 9.5Ω ถึง 10.5Ω

19. ตัวต้านทาน 3 ตัว มีความต้านทานเท่ากัน นำมาต่อกับแบตเตอรี่ ต้องนำตัวต้านทานมาต่ออย่างไร จึงทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจรมากที่สุด จงวาดรูป

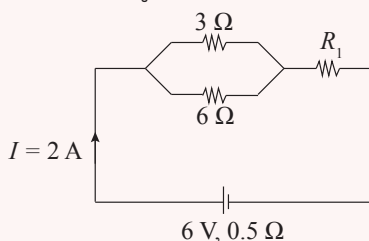
วิธีทำ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าในวงจรจะมีค่ามากที่สุดเมื่อความต้านทานในวงจรมีค่าน้อยที่สุด การต่อตัวต้านทานแบบขนานจะให้ความต้านทานสมมูลของวงจรน้อยที่สุด ดังรูป



ตอบ นำตัวต้านทานทั้งสามตัวมาต่อกันแบบขนาน

20. ตัวต้านทานที่มีความต้านทาน 3 โอห์ม และ 6 โอห์ม ต่อขนานกันและต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่มีความต้านทาน R_1 เมื่อนำมาต่อกับแบตเตอรี่ซึ่งมีอีเอ็มเอฟ 6 โวลต์ ความต้านทานภายใน 0.5 โอห์ม มีกระแสไฟฟ้าในวงจร 2 แอมแปร์ ความต้านทาน R_1 มีค่าเท่าใด

วิธีทำ จากโจทย์เขียนวงจรไฟฟ้าได้ดังรูป



หาความต้านทานสมมูล R จะได้

$$R = R_1 + \frac{(3\Omega)(6\Omega)}{3\Omega + 6\Omega}$$

$$= (R_1 + 2\Omega)$$

หาความต้านทาน R_1 จากสมการ

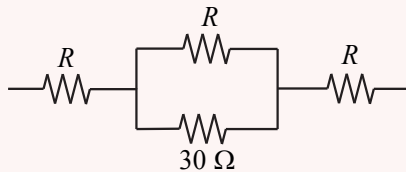
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

$$2\text{A} = \frac{6\text{V}}{(R_1 + 2\Omega) + 0.5\Omega}$$

$$R_1 = 0.5\Omega$$

ตอบ ความต้านทาน R_1 มีค่าเท่ากับ 0.5 โอห์ม

21. ตัวต้านทานสี่ตัวนำมาต่อกันดังรูป

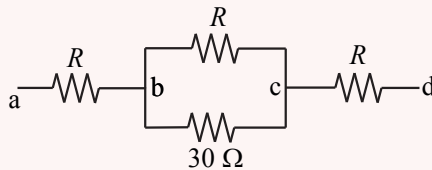


รูป ประกอบปัญหาข้อ 21

ถ้าความต้านทานสมมูลเป็น 40 โอห์ม ความต้านทาน R มีค่าเท่าใด

วิธีทำ หาความต้านทานสมมูลของการต่ออนุกรม จาก $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

หาความต้านทานสมมูลของการต่อขนาน จาก $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$



จากรูป

$$\frac{1}{R_{bc}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{30 \Omega}$$

$$R_{bc} = \frac{30R}{30 + R}$$

$$R_{ad} = R_{ab} + R_{bc} + R_{cd}$$

$$R_{ad} = R + \left(\frac{30R}{30 + R} \right) + R$$

$$R_{ad} = \frac{2R(30 + R) + 30R}{30 + R}$$

$$40 = \frac{90R + 2R^2}{30 + R}$$

$$R^2 + 25R - 600 = 0$$

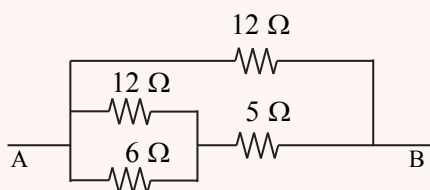
$$(R + 40)(R - 15) = 0$$

$$R = 15 \Omega, -40 \Omega$$

เลือกค่า $R = 15 \Omega$ เพราะความต้านทานของตัวต้านทานปกติมีค่าเป็นบวก

ตอบ ความต้านทาน R มีค่าเท่ากับ 15 โอห์ม

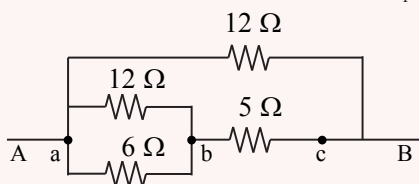
22. จากรูป จงหาความต้านทานระหว่าง A กับ B



รูป ประกอบปัญหาข้อ 22

วิธีทำ หาความต้านทานสมมูลของการต่ออนุกรม จาก $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

หาความต้านทานสมมูลของการต่อขนาน จาก $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$



จากรูป

$$\frac{1}{R_{ab}} = \frac{1}{12\Omega} + \frac{1}{6\Omega}$$

$$R_{ab} = \frac{12\Omega}{3}$$

จากนั้น หา

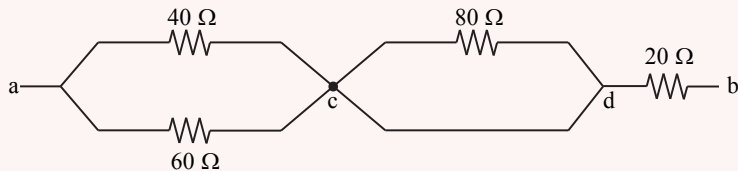
$$\begin{aligned} R_{ac} &= R_{ab} + R_{bc} \\ &= 4\Omega + 5\Omega \\ &= 9\Omega \end{aligned}$$

ถัดมา หา

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{AB}} &= \frac{1}{12\Omega} + \frac{1}{R_{ac}} \\ &= \frac{1}{12\Omega} + \frac{1}{9\Omega} \\ R_{AB} &= \frac{36\Omega}{7} \\ &= 5.14\Omega \end{aligned}$$

ตอบ ความต้านทานระหว่าง A กับ B มีค่าเท่ากับ 5.14 โอห์ม

23. นำตัวต้านทานมาต่อกันดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 23

วิธีทำ ความต้านทานสมมูลระหว่างปลาย a และ b $R_{ab} = R_{ac} + R_{cd} + R_{db}$

หา R_{ac} จากสมการ $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ และ $R_{cd} = 0$ เพราะมีลวดตัวนำต่ออยู่

$$\frac{1}{R_{ac}} = \frac{1}{40\Omega} + \frac{1}{60\Omega}$$

$$R_{ac} = 24\Omega$$

จาก

$$R_{ab} = R_{ac} + R_{cd} + R_{db}$$

แทนค่า

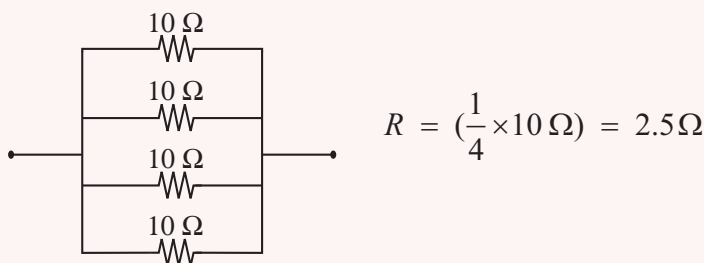
$$R_{ab} = 24\Omega + 0\Omega + 20\Omega$$

$$R_{ab} = 44\Omega$$

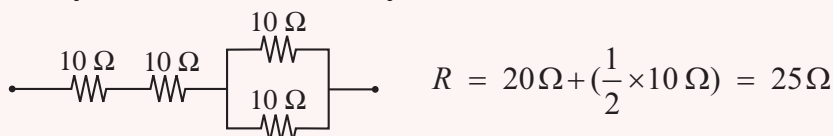
ตอบ ความต้านทานสมมูลมีค่าเท่ากับ 44 โอห์ม

24. ตัวต้านทานสี่ตัว แต่ละตัวมีความต้านทาน 10 โอห์ม จะต้องนำมาต่อกันอย่างไร จึงจะได้ความต้านทานสมมูล 2.5 โอห์ม และ 25 โอห์ม

วิธีทำ ถ้าต่อดังรูป ก. จะได้ความต้านทานสมมูล



ถ้าต่อดังรูป ข. จะได้ความต้านทานสมมูล



ตอบ ต้องต่อตัวต้านทานดังรูป ก. และ ข. จึงจะได้ความต้านทานสมมูล 2.5 โอห์ม และ 25 โอห์ม ตามลำดับ

25. กำหนดให้แบตเตอรี่มีอีเอ็มเอฟ 12 โวลต์ และความต้านทานภายใน 0.5 โอห์ม ถ้าประจุไฟฟ้า +1 คูลอมบ์เคลื่อนที่ผ่านแบตเตอรี่นี้ ประจุไฟฟ้าจะมีพลังงานไฟฟ้ากี่จูล

วิธีทำ อีเอ็มเอฟคือพลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ให้กับประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ที่เคลื่อนที่ผ่านแบตเตอรี่ ดังนั้น ประจุไฟฟ้า +1 คูลอมบ์เคลื่อนที่ผ่านแบตเตอรี่นี้ จะได้รับพลังงานไฟฟ้า 12 จูล

ตอบ 12 จูล

26. เมื่อนำหลอดไฟมาต่อกับแบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ ที่มีความต้านทานภายใน 2 โอห์ม พบว่ามีกระแสไฟฟ้าผ่านหลอด 0.7 แอมแปร์ และเมื่อเปลี่ยนเป็นหลอดไฟอีกหลอด พบว่ามีกระแสไฟฟ้าผ่าน 1.2 แอมแปร์ จงหาความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหลอดไฟแต่ละหลอด

วิธีทำ จากความสัมพันธ์ $\mathcal{E} = \Delta V + Ir$

จากหลอดไฟหลอดแรก $\mathcal{E} = 9 \text{ V}$, $I = 0.7 \text{ A}$ และ $r = 2 \Omega$

แทนค่า จะได้

$$9\text{ V} = \Delta V + (0.7\text{ A})(2\Omega)$$

$$\Delta V = 9\text{ V} - 1.4\text{ V}$$

$$= 7.6\text{ V}$$

เมื่อเปลี่ยนหลอดไฟอีกหลอด มีกระแสไฟฟ้าผ่าน 1.2 แอมแปร์

แทนค่า จะได้

$$9\text{ V} = \Delta V + (1.2\text{ A})(2\Omega)$$

$$\Delta V = 9\text{ V} - 2.4\text{ V}$$

$$= 6.6\text{ V}$$

ตอบ ความต่างศักย์ระหว่างขั้วหลอดไฟแต่ละหลอดเท่ากับ 7.6 โวลต์ และ 6.6 โวลต์ ตามลำดับ

27. เมื่อใช้โวลต์มิเตอร์วัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ พบว่าอ่านค่าได้ 6.0 โวลต์ เมื่อนำตัวต้านทานขนาด 12 โอห์มมาต่อกับแบตเตอรี่ พบว่า ความต่างศักย์ที่วัดได้ลดลงเป็น 5.6 โวลต์ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่มีค่าเท่าใด

วิธีทำ เมื่อใช้โวลต์มิเตอร์วัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ โดยไม่มีตัวต้านทาน

ความต่างศักย์ที่วัดได้ จะมีค่าประมาณเท่ากับอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่

เมื่อนำตัวต้านทานขนาด 12 โอห์มมาต่อกับแบตเตอรี่ พบว่า $\Delta V = 5.6\text{ V}$

จากกฎของโอห์ม $I = \left(\frac{1}{R}\right)\Delta V$

แทนค่า จะได้

$$I = \left(\frac{1}{12\Omega}\right)(5.6\text{ V})$$

$$= 0.47\text{ A}$$

จากความสัมพันธ์ $\mathcal{E} = \Delta V + Ir$

แทนค่า $\mathcal{E} = 6.0\text{ V}$, $\Delta V = 5.6\text{ V}$ และ $R = 12\Omega$

จะได้

$$6.0\text{ V} = 5.6\text{ V} + Ir$$

$$r = \frac{6.0\text{ V} - 5.6\text{ V}}{0.47\text{ A}}$$

$$= 0.9\Omega$$

ตอบ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่มีค่า 0.9 โอห์ม

28. แบตเตอรี่ก้อนหนึ่งมีอีเอ็มเอฟ 12.0 โวลต์ และความต้านทานภายใน 2.0 โอห์ม ต่อกับตัวต้านทาน 70 โอห์ม จงหาความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ ค่าที่คำนวณได้นี้จะแตกต่างกับค่าที่วัดด้วยโวลต์มิเตอร์ที่มีความต้านทานสูงมากโดยไม่มีตัวต้านทานต่ออยู่หรือไม่ เพราะเหตุใด

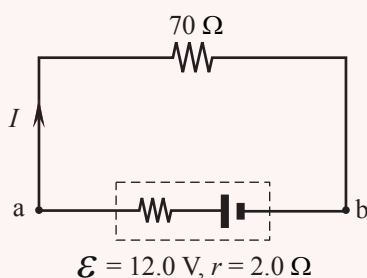
วิธีทำ จาก $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$

เมื่อ $\mathcal{E} = 12.0 \text{ V}$, $R = 70 \text{ } \Omega$ และ $r = 2.0 \text{ } \Omega$

จะได้ว่า

$$I = \frac{12.0 \text{ V}}{(70 \text{ } \Omega + 2.0 \text{ } \Omega)}$$

$$= \frac{1}{6} \text{ A}$$



จากรูป ถ้า ΔV_{ab} เป็นความต่างศักย์ที่ขั้วทั้งสองของแบตเตอรี่ จะได้ว่า

$$\Delta V_{ab} = IR$$

$$= \left(\frac{1}{6} \text{ A} \right) (70 \text{ } \Omega)$$

$$= 11.67 \text{ V}$$

ถ้านำโวลต์มิเตอร์ที่มีความต้านทานสูงมากไปวัดความต่างศักย์ที่ขั้วแบตเตอรี่โดยไม่มี ความต้านทานภายนอกต่ออยู่ (ในกรณีนี้ คือ ไม่มีความต้านทาน 70 Ω ต่ออยู่) สามารถ วิเคราะห์ค่าความต่างศักย์ที่วัดที่ขั้วของแบตเตอรี่ได้ ดังนี้

จาก $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$ (1)

ถ้า R คือความต้านทานของโวลต์มิเตอร์ซึ่งมีค่าสูงมาก ๆ กระแส I จะมีค่าน้อยจน เกือบเป็นศูนย์

จาก (1) จะได้ว่า

$$IR = \mathcal{E} - Ir$$

ให้

$$\Delta V_{ab} = IR$$

= ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่

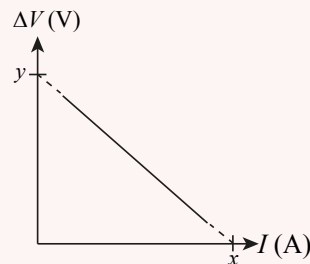
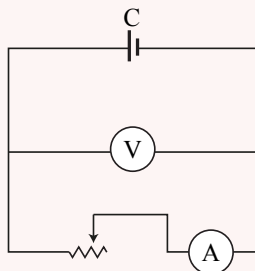
$$\Delta V_{ab} = \mathcal{E} - Ir$$

(2)

เมื่อ I มีค่าน้อยมาก ๆ (เกือบเป็นศูนย์) และความต้านทานภายใน r มีค่าน้อยอยู่แล้ว จะได้ $\mathcal{E} - Ir = \mathcal{E}$ หรือ $\Delta V_{ab} = \mathcal{E}$ นั่นคือ ถ้าใช้โวลต์มิเตอร์ที่มีความต้านทานสูงมาก (เช่น 10^8 โอห์ม) ไปวัดความต่างศักย์ที่ขั้วทั้งสองของแบตเตอรี่จะได้ค่าเท่ากับอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่

ตอบ ความต่างศักย์ที่ขั้วทั้งสองของแบตเตอรี่เท่ากับ 11.7 โวลต์ และต่างจากค่าที่วัดได้ด้วยโวลต์มิเตอร์ความต้านทานสูงที่วัดได้เกือบ 12 โวลต์ เพราะกระแสไฟฟ้าต่ำมาก การสูญเสียพลังงานให้กับความต้านทานภายในน้อยมาก

29. วงจรไฟฟ้าดังรูป แสดงการทดลองเพื่อหาอีเอ็มเอฟและความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ส่วนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ ΔV และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านแบตเตอรี่ I เมื่อความต้านทานเปลี่ยนไป เส้นกราฟมีแนวโน้มตัดแกนตั้งและแกนนอน ที่ค่า x และ y ตามลำดับ จงหาอีเอ็มเอฟและความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ C



รูป ประกอบปัญหาข้อ 29

วิธีทำ จากกราฟ ถ้า $I = 0$ โวลต์มิเตอร์จะอ่านค่า $\Delta V = \mathcal{E}$

นั่นคือแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ $\mathcal{E} = y$

จาก $\Delta V = \mathcal{E} - Ir$

จากกราฟ ถ้า $\Delta V = 0$, $I = x$; แทนค่า $\Delta V = y - Ir$

จะได้ $r = \frac{y}{x}$

ตอบ อีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่เท่ากับ y และความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เท่ากับ $\frac{y}{x}$

30. เครื่องเป่าผมเครื่องหนึ่งมีกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ใช้กับไฟฟ้าบ้าน 220 โวลต์ ถ้าใช้เครื่องเป่าผมนี้ 2 นาที ปริมาณประจุไฟฟ้าที่ผ่านเครื่องเป่าผมในเวลา 2 นาที มีค่าเท่าใด

วิธีทำ หากระแสไฟฟ้า I จาก $P = I\Delta V$

และหาปริมาณประจุไฟฟ้า Q จาก $I = \frac{Q}{\Delta t}$

จากสมการ $P = I\Delta V$

จะได้
$$800 \text{ W} = I(220 \text{ V})$$
$$= \frac{80}{22} \text{ A}$$

จากสมการ $I = \frac{Q}{\Delta t}$

จะได้
$$\frac{80}{22} \text{ A} = \frac{Q}{2 \times 60 \text{ s}}$$
$$Q = 436 \text{ C}$$

ตอบ ปริมาณประจุไฟฟ้าที่ผ่านเครื่องเป่าผมในเวลา 2 นาที เท่ากับ 436 คูลอมบ์

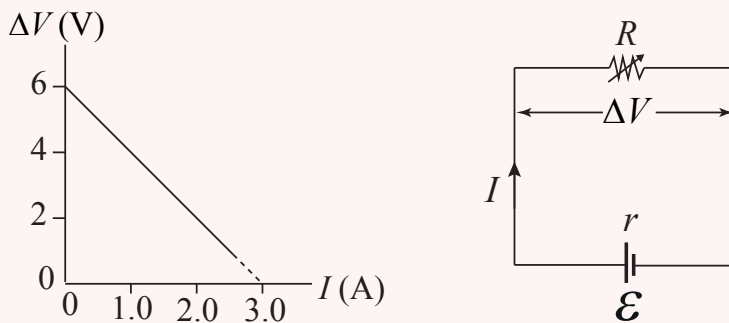
31. เตารีดไฟฟ้าเครื่องหนึ่ง เมื่อต่อกับความต่างศักย์ 220 โวลต์ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าผ่านเตารีด 6 แอมแปร์ มีผลทำให้เกิดความร้อนในเตารีดในเวลา 1 ชั่วโมง เท่าใด ถ้าร้อยละ 80 ของพลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

วิธีทำ ถ้า W เป็นพลังงานไฟฟ้า และ Q เป็นพลังงานความร้อนจากเตารีด โดย $W = \Delta VIt$

จะได้
$$Q = \left(\frac{80}{100} \right) W$$
$$= (0.80)(\Delta VIt)$$
$$= (0.80)(220 \text{ V})(6 \text{ A})(3600 \text{ s})$$
$$= 3.80 \times 10^6 \text{ J}$$

ตอบ ความร้อนจากเตารีดในเวลา 1 ชั่วโมงมีค่า 3.80×10^6 จูล

32. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านแบตเตอรี่ โดยใช้วงจรไฟฟ้า ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 32

ขณะที่วัดความต่างศักย์ที่ปลายของตัวต้านทาน R ได้ 5 โวลต์ จะเกิดกำลังไฟฟ้าในตัวต้านทาน R กี่วัตต์

วิธีทำ วิธีที่ 1

กำลังไฟฟ้าในตัวต้านทาน R หาได้จาก $P = I\Delta V$ โดย $\Delta V = 5\text{ V}$

ส่วน I หาได้จากกราฟ

กราฟ $\Delta V - I$ เป็นเส้นตรง เขียนในรูปสมการเส้นตรงได้เป็น

$$\Delta V = -Ir + \mathcal{E}$$

จะได้โอเอ็มเอฟของแบตเตอรี่

$$\mathcal{E} = \text{ระยะตัดแกน } \Delta V$$

$$\mathcal{E} = 6\text{ V}$$

ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ r = ความชันของกราฟ

$$= \frac{6\text{ V} - 0}{3.0\text{ A} - 0}$$

$$r = 2\ \Omega$$

หากระแสไฟฟ้าในวงจรเมื่อความต่างศักย์ที่ปลายของตัวต้านทาน R มีค่า 5 V

จากสมการ

$$\Delta V = -Ir + \mathcal{E}$$

แทนค่า

$$5\text{ V} = -(2\ \Omega)I + 6\text{ V}$$

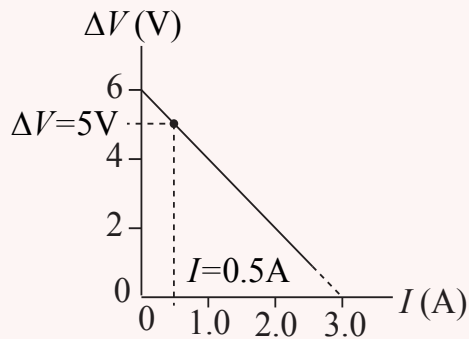
$$I = 0.5\text{ A}$$

หาค่ากำลังไฟฟ้า P ที่เกิดในตัวต้านทาน R

จากสมการ $P = I\Delta V$

แทนค่า $P = (0.5 \text{ A})(5 \text{ V})$
 $= 2.5 \text{ W}$

วิธีที่ 2 จากกราฟเมื่อ $\Delta V = 5 \text{ V}$ จะได้ $I = 0.5 \text{ A}$ ดังรูป

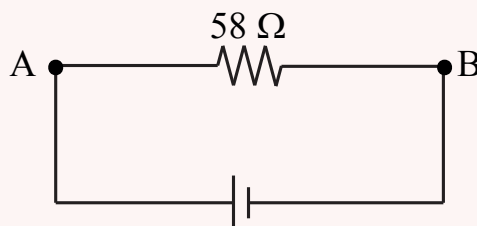


จากสมการ $P = I\Delta V$

จะได้ $P = (0.5 \text{ A})(5 \text{ V})$
 $= 2.5 \text{ W}$

ตอบ กำลังไฟฟ้าในตัวต้านทาน R มีค่า 2.5 วัตต์

33. เมื่อต่อแบตเตอรี่เข้ากับตัวต้านทาน 58 โอห์ม ในวงจรดังรูป ถ้าความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B มีค่า 11.6 โวลต์ อีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่มีค่าเท่าใด ถ้าความต้านทานภายในเท่ากับ 2.0 โอห์ม



รูป ประกอบปัญหาข้อ 33

วิธีทำ หา $\mathcal{E}$ จากสมการ $\mathcal{E} = I(R+r)$ และใช้ $\Delta V = IR$

หากระแสไฟฟ้า I ในวงจร

$$\Delta V_{AB} = IR$$

$$11.6 \text{ V} = I(58 \Omega)$$

$$I = 0.2 \text{ A}$$

หาอีเอ็มเอฟ $\mathcal{E}$

$$\mathcal{E} = I(R+r)$$

จะได้

$$\begin{aligned}\mathcal{E} &= (0.2 \text{ A})(58 \Omega + 2.0 \Omega) \\ &= 12.0 \text{ V}\end{aligned}$$

ตอบ อีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 12.0 โวลต์

34. เต้าไฟฟ้าเครื่องหนึ่งมีฉลากบอกกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ 600 วัตต์ 220 โวลต์ ถ้านำเต้าไฟฟ้านี้มาใช้กับความต่างศักย์ 200 โวลต์ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวดให้ความร้อนของเต้าไฟฟ้าจะลดลงร้อยละเท่าใด

วิธีทำ หากระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวดให้ความร้อนจากสมการ $P = I\Delta V$

ถ้า $P_1 = 600 \text{ W}$, $\Delta V_1 = 220 \text{ V}$ จะได้ I_1 มีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}I_1 &= \frac{P_1}{\Delta V_1} \\ &= \frac{600 \text{ W}}{220 \text{ V}} \\ &= 2.73 \text{ A}\end{aligned}$$

ถ้า $P_2 = 500 \text{ W}$, $\Delta V_2 = 200 \text{ V}$ จะได้ I_2 มีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}I_2 &= \frac{P_2}{\Delta V_2} \\ &= \frac{500 \text{ W}}{200 \text{ V}} \\ &= 2.50 \text{ A}\end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าลดลงคิดเป็นร้อยละดังนี้

$$\begin{aligned}\frac{I_1 - I_2}{I_1} \times 100\% &= \left(\frac{2.73 \text{ A} - 2.50 \text{ A}}{2.73 \text{ A}} \right) \times 100\% \\ &= 8.42\%\end{aligned}$$

ตอบ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวดให้ความร้อนของเต้าไฟฟ้าจะลดลงร้อยละ 8.42

35. ในวันหยุดราชการ บ้านหลังหนึ่ง ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 40 วัตต์ จำนวน 6 หลอด เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง ใช้เตารีดกำลังขนาด 1200 วัตต์ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ใช้เตาไฟฟ้าขนาด 1500 วัตต์ เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง และใช้เครื่องซักผ้าขนาด 1000 วัตต์ เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง จงหาพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านที่ใช้ในวันนั้น เป็นกิโลวัตต์ ชั่วโมง

วิธีทำ พลังงานไฟฟ้า (unit) = กำลังไฟฟ้า (kW) เวลา (h)

หรือ $W(\text{unit}) = P(\text{kW}) \times t(\text{h})$

$$\begin{aligned} \text{หลอดฟลูออเรสเซนต์} \quad W_1 &= (6)(40 \times 10^{-3} \text{ kW})(6 \text{ h}) \\ &= 1.44 \text{ unit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เตารีด} \quad W_2 &= (1.200 \text{ kW})(2 \text{ h}) \\ &= 2.40 \text{ unit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เตาไฟฟ้า} \quad W_3 &= (1.500 \text{ kW})(3 \text{ h}) \\ &= 4.50 \text{ unit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เครื่องซักผ้า} \quad W_4 &= (0.290 \text{ kW})(4 \text{ h}) \\ &= 1.16 \text{ unit} \end{aligned}$$

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในวันนั้น

$$\begin{aligned} W &= W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \\ &= 9.50 \text{ unit} \end{aligned}$$

ตอบ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 9.50 กิโลวัตต์ ชั่วโมง

36. นำแบตเตอรี่ขนาด 6 โวลต์ ความต้านทานภายใน 0.2 โอห์ม นำมาต่ออนุกรมกับแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ความต้านทานภายใน 0.3 โอห์ม อีเอ็มเอฟสมมูลและความต้านทานภายในสมมูลเป็นเท่าใด

วิธีทำ อีเอ็มเอฟสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรมมีหาได้จากสมการ

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_n$$

แทนค่าเพื่อหาอีเอ็มเอฟสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรม จะได้

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= 6 \text{ V} + 12 \text{ V} \\ &= 16 \text{ V} \end{aligned}$$

ความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรมหาได้จากสมการ

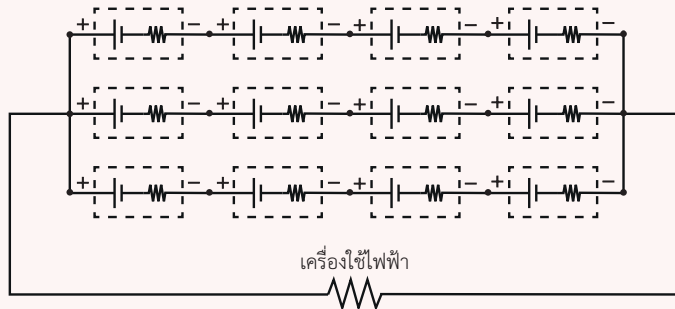
$$r = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

แทนค่าเพื่อหาความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรม จะได้

$$\begin{aligned} r &= 0.2\Omega + 0.3\Omega \\ &= 0.5\Omega \end{aligned}$$

ตอบ อีเอ็มเอฟสมมูลและความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่ที่นำมาต่อแบบอนุกรมนี้ เท่ากับ 16 โวลต์ และ 0.5 โอห์ม ตามลำดับ

37. นำแบตเตอรี่ขนาด 1.5 โวลต์ ความต้านทานภายใน 0.25 โอห์ม จำนวน 12 ก้อน มาต่อกัน เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยเริ่มจากนำแบตเตอรี่จำนวน 4 ก้อน มาต่อแบบอนุกรมให้ได้ 3 ชุด แล้วนำชุดแบตเตอรี่แต่ละชุดมาต่อแบบขนานดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 37

จงหา

ก. อีเอ็มเอฟสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อกันทั้งหมด

ข. ความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อกันทั้งหมด

วิธีทำ ก. อีเอ็มเอฟสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรมมีหาได้จากสมการ

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_n$$

แทนค่าเพื่อหาอีเอ็มเอฟสมมูลเมื่อนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกัน 4 ก้อน จะได้

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= 1.5\text{V} + 1.5\text{V} + 1.5\text{V} + 1.5\text{V} \\ &= 6.0\text{V} \end{aligned}$$

เมื่อนำแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรมกัน 4 ก้อนทั้ง 3 ชุดมาต่อขนานกัน

จะได้อีเอ็มเอฟสมมูลจากชุดแบตเตอรี่ เท่าเดิม ดังสมการ

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \dots = \mathcal{E}_n$$

นั่นคือ

$$\mathcal{E} = 6.0\text{V}$$

ตอบ อีเอ็มเอฟสมมูลของการต่อแบตเตอรี่ที่ต่อกันทั้งหมดนี้ เท่ากับ 6.0 โวลต์

วิธีทำ ข. ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่แต่ละตัวเท่ากับ 0.25Ω

การนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกัน 4 ก้อนจะได้ความต้านทานเท่ากับผลบวกของความต้านทานภายในของแต่ละแบตเตอรี่แต่ละก้อน ดังสมการ

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + r_4$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned} r &= 0.25 \Omega + 0.25 \Omega + 0.25 \Omega + 0.25 \Omega \\ &= 1.00 \Omega \end{aligned}$$

เมื่อนำตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมกัน 4 ตัวทั้ง 3 ชุดมาต่อกันแบบขนาน จะได้ความต้านทานสมมูล r' ดังสมการ

$$\begin{aligned} \frac{1}{r'} &= \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} \\ &= \frac{3}{r} \end{aligned}$$

จัดรูปและแทนค่าจะได้

$$\begin{aligned} r' &= \frac{1.00 \Omega}{3} \\ &= \frac{1}{3} \Omega \end{aligned}$$

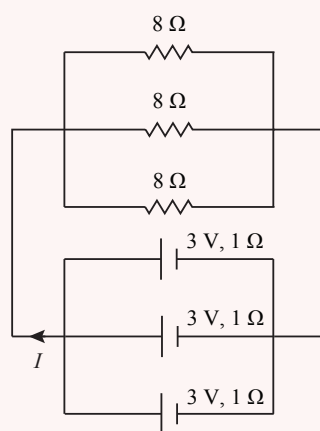
ตอบ ความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่ที่ต่อกันทั้งหมดนี้เท่ากับ $\frac{1}{3} \Omega$

38. แบตเตอรี่ 3 ก้อน แต่ละก้อนมีอีเอ็มเอฟ 3 โวลต์และความต้านทานภายใน 1Ω ต่อขนานกันแล้วต่อกับตัวต้านทาน 3Ω ตัวที่ต่อขนานกัน ดังรูป

จงหากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว

วิธีทำ ถ้า I เป็นกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่มีอีเอ็มเอฟ $\mathcal{E}$ ที่ต่อขนานกัน

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$



รูป ประกอบปัญหาข้อ 38

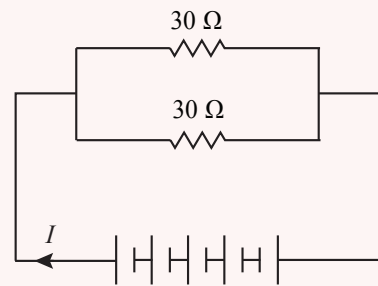
แทนค่า

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{3\text{V}}{\frac{8}{3}\Omega + \frac{1}{3}\Omega} \\
 &= \frac{3\text{V}}{3\Omega} \\
 &= 1\text{A}
 \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวเท่ากับ $\frac{I}{3}$ หรือ $\frac{1}{3}\text{ A}$

ตอบ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวเท่ากับ $\frac{1}{3}\text{ A}$

39. แบตเตอรี่ชุดหนึ่งประกอบด้วยแบตเตอรี่ 5 ก้อนที่ต่ออนุกรมกัน โดยมีการนำขั้วชนิดเดียวกันของแบตเตอรี่มาต่อกับตัวต้านทานภายนอกที่มีความต้านทานดังรูป ถ้าแบตเตอรี่แต่ละก้อนมีอีเอ็มเอฟ 2.0 โวลต์ และความต้านทานภายใน 1.0 โอห์ม จงหากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว



รูป ประกอบปัญหาข้อ 39

วิธีทำ ถ้า I เป็นกระแสไฟฟ้าจากชุดแบตเตอรี่ที่ต่ออนุกรมกัน

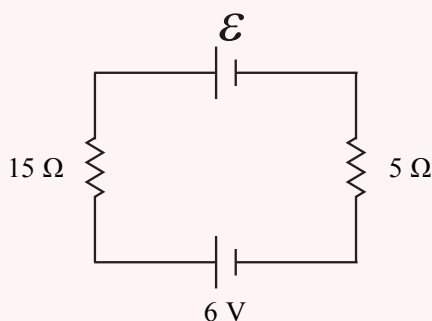
จากสมการ
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

จะได้
$$\begin{aligned}
 I &= \frac{(2.0 + 2.0 + 2.0 + 2.0 - 2.0)\text{V}}{\left(\frac{(30)(30)}{30 + 30}\right)\Omega + (5 \times 1.0)\Omega} \\
 &= 0.30\text{ A}
 \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าที่ผ่านความต้านทานแต่ละตัวเท่ากับ $\frac{I}{2}$ หรือ 0.15 A

ตอบ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวเท่ากับ 0.15 A

40. แบตเตอรี่ 2 ก้อนมีอีเอ็มเอฟ 6 โวลต์ และ $\mathcal{E}$ โดยไม่มีความต้านทานภายใน แบตเตอรี่ทั้งสองต่ออนุกรมกับความต้านทานภายนอก 15 และ 5 โอห์ม ดังรูป ถ้ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานมีค่า 0.60 แอมแปร์ จงหาค่าของ $\mathcal{E}$



รูป ประกอบปัญหาข้อ 40

วิธีทำ จากรูป วงจรไฟฟ้าเป็นวงจรที่มีการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม โดยใช้ขั้วที่เหมือนกันต่อกัน สามารถหาค่า $\mathcal{E}$ จากสมการ

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$$

แทนค่า

$$0.60 \text{ A} = \frac{\mathcal{E} - 6 \text{ V}}{20 \Omega + 0}$$

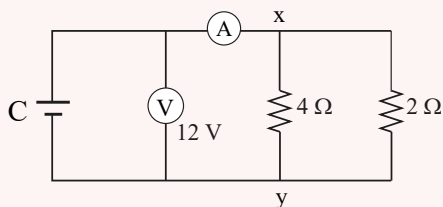
$$\mathcal{E} - 6 \text{ V} = 12 \text{ V}$$

$$\mathcal{E} = 18 \text{ V}$$

ตอบ $\mathcal{E}$ มีค่าเท่ากับ 18 โวลต์

41. วงจรไฟฟ้างดรูป C เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า A เป็นแอมมิเตอร์ V เป็นโวลต์มิเตอร์ และอ่านได้ 12 โวลต์ จงหา

- ความต้านทานรวมระหว่าง x และ y
- กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์ A
- กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน 4 โอห์ม
- อัตราของพลังงานไฟฟ้าที่สลับเปลี่ยนไปกับตัวต้านทานขนาด 4 โอห์ม
- พลังงานไฟฟ้าที่สลับเปลี่ยนไปในตัวต้านทานทั้งสองในวงจร ในเวลา 30 วินาที



รูป ประกอบปัญหาข้อ 41

วิธีทำ ก. จาก $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$

จะได้
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{4\Omega} + \frac{1}{2\Omega}$$

$$= \frac{3}{4\Omega}$$

$$R = \frac{4}{3} \Omega$$

ตอบ ความต้านทานสมมูลระหว่าง x และ y เท่ากับ $\frac{4}{3}$ โอห์ม

วิธีทำ ข. จาก $I = \frac{V_{xy}}{R_{xy}}$

จะได้
$$I = \frac{12\text{ V}}{(4/3)\Omega}$$

$$= 9\text{ A}$$

ตอบ กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์ A เท่ากับ 9 แอมแปร์

วิธีทำ ค. จาก $I = \frac{\Delta V}{R}$

จะได้
$$I_{4\Omega} = \frac{12\text{ V}}{4\Omega}$$

$$= 3\text{ A}$$

ตอบ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน 4 โอห์ม เท่ากับ 3 แอมแปร์

วิธีทำ ง. จาก กำลังไฟฟ้า $P = I^2 R$

ซึ่งเท่ากับอัตราของพลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองไป

เมื่อพิจารณาตัวต้านทานขนาด 4 โอห์ม และกระแสไฟฟ้าขนาด 3 แอมแปร์
ที่ผ่านตัวต้านทาน จะได้

$$P = (3\text{ A})^2 (4\Omega)$$

$$= 36\text{ W}$$

ตอบ อัตราของพลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองไปกับตัวต้านทาน ขนาด 4 โอห์มเท่ากับ 36 วัตต์

วิธีทำ จ. จาก $I = \frac{\Delta V}{R}$

แทนค่าเพื่อหากระแสไฟฟ้าที่ผ่าน 2Ω

$$\begin{aligned}\text{จะได้} \quad I_{2\Omega} &= \frac{12\text{ V}}{2\Omega} \\ &= 6\text{ A}\end{aligned}$$

อัตราของพลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองไปในตัวต้านทานทั้งสองในวงจรหาได้จาก

$$\sum P = I^2 R$$

แทนค่า จะได้

$$\sum P = I_{4\Omega}^2 (4\Omega) + I_{2\Omega}^2 (2\Omega)$$

พลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองไปในตัวต้านทานทั้งสอง ในเวลา 30 วินาที หาได้จาก

$$\sum W = (\sum P) \Delta t$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}\sum W &= [(3\text{ A})^2 (4\Omega) + (6\text{ A})^2 (2\Omega)] \times 30\text{ s} \\ &= 3240\text{ J}\end{aligned}$$

ตอบ พลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองไปในตัวต้านทานทั้งสองในวงจรในเวลา 30 วินาที เท่ากับ 3240 จูล

42. แบตเตอรี่วิทยุเครื่องหนึ่งมีอีเอ็มเอฟ 9 โวลต์ ขณะที่ให้กระแสไฟฟ้า 0.4 แอมแปร์ วัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ได้ 8.8 โวลต์ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่มีค่าเท่าใด

วิธีทำ จาก

$$\Delta V = \mathcal{E} - Ir$$

$$\text{เมื่อ} \quad \Delta V = 8.8\text{ V}, \mathcal{E} = 9\text{ V}, I = 0.4\text{ A}$$

แทนค่า

$$8.8\text{ V} = 9\text{ V} - (0.4\text{ A})r$$

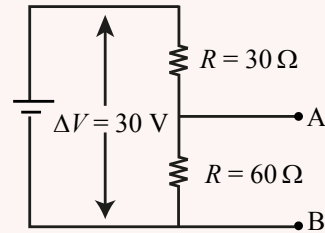
$$\begin{aligned}r &= \frac{0.2\text{ V}}{0.4\text{ A}} \\ &= 0.5\Omega\end{aligned}$$

ตอบ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่เท่ากับ 0.5 โอห์ม

43. จากรูป ความต่างศักย์ระหว่างจุด A กับ B มีค่าเท่าใด และเมื่อนำตัวต้านทาน 30 โอห์ม ต่อระหว่างจุด A และ B ความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B ในครั้งหลังนี้ จะมีค่าเท่าใด

วิธีทำ ตอนที่ 1 หา ΔV_{AB} ก่อนต่อตัวต้านทาน 30 Ω

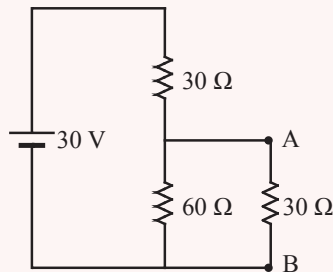
$$\begin{aligned}\Delta V_{AB} &= IR_{AB} \\ &= \frac{30 \text{ V}}{(30 + 60) \Omega} \times 60 \Omega \\ &= \frac{30 \text{ V}}{90 \Omega} \times 60 \Omega \\ &= 20 \text{ V}\end{aligned}$$



รูป ประกอบปัญหาข้อ 43

ตอบ ความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B เท่ากับ 20 โวลต์

วิธีทำ ตอนที่ 2 ถ้านำตัวต้านทาน 30 Ω มาต่อระหว่างจุด A กับ B ดังรูป



ให้ R เป็นความต้านทานสมมูล จะได้

$$\begin{aligned}R &= \left[\frac{1}{30 \Omega} + \frac{1}{60 \Omega} \right]^{-1} + 30 \Omega \\ &= 20 \Omega + 30 \Omega \\ &= 50 \Omega\end{aligned}$$

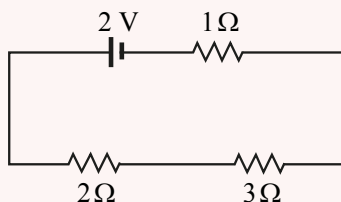
หาความต่างศักย์จากสมการ $\Delta V_{AB} = IR_{AB}$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}\Delta V_{AB} &= \frac{30 \text{ V}}{50 \Omega} \times 20 \Omega \\ &= 12 \text{ V}\end{aligned}$$

ตอบ ความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B เท่ากับ 12 โวลต์ เมื่อต่อตัวต้านทาน 30 โอห์ม

44. วงจรไฟฟ้า ดังรูป ถ้าแบตเตอรี่ไม่มีความต้านทานภายใน ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน 3 โอห์ม มีค่าเท่าใด



รูป ประกอบปัญหาข้อ 44

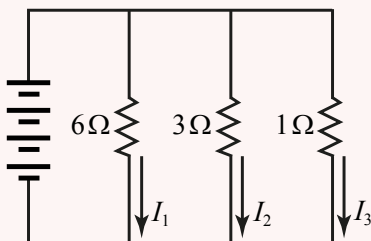
วิธีทำ จาก $\Delta V = IR$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}\Delta V &= \frac{2V}{1\Omega + 2\Omega + 3\Omega} \times 3\Omega \\ &= 1V\end{aligned}$$

ตอบ ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน 3 โอห์ม มีค่าเท่ากับ 1 โวลต์

45. วงจรไฟฟ้าดังรูป จงหาอัตราส่วนของกระแสไฟฟ้า $I_1 : I_2 : I_3$



รูป ประกอบปัญหาข้อ 45

วิธีทำ เนื่องจากความต้านทานทั้งสามต่อขนานกัน ดังนั้นความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองข้างของตัวต้านทานทุกตัวมีค่าเท่ากัน

นั่นคือ $\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V_3$

จาก $\Delta V = IR$

จะได้ $I_1 \times 6\Omega = I_2 \times 3\Omega = I_3 \times 1\Omega = k$

นั่นคือ $I_1 = \frac{k}{6}, I_2 = \frac{k}{3}, I_3 = k$

$$\begin{aligned}I_1 : I_2 : I_3 &= \frac{k}{6} : \frac{k}{3} : k \\ &= 1 : 2 : 6\end{aligned}$$

ตอบ อัตราส่วนของกระแสไฟฟ้า $I_1 : I_2 : I_3$ คือ 1 : 2 : 6



ปัญหาท้าทาย

46. เครื่องเร่งอนุภาคโดยใช้ความต่างศักย์สูงเร่งอนุภาคโปรตอน วัดกระแสโปรตอนได้ 2 มิลลิแอมแปร์ จำนวนโปรตอนที่กระทบเป้าต่อวินาที มีกี่อนุภาค

วิธีทำ กระแสโปรตอนเป็นจำนวนโปรตอนที่เคลื่อนที่ผ่านภาคตัดขวางในหนึ่งหน่วยเวลา

$$\text{ดังสมการ } I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{Nq}{\Delta t}$$

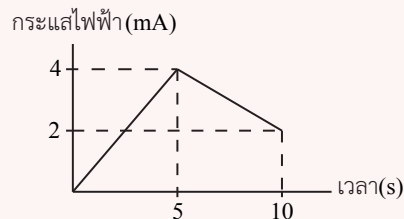
$$\text{จาก } I = \frac{Nq}{\Delta t}$$

$$\text{แทนค่า } 2 \times 10^{-3} \text{ A} = \frac{N(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{1 \text{ s}}$$

$$N = 1.25 \times 10^{16}$$

ตอบ จำนวนโปรตอนที่กระทบเป้าต่อวินาทีมี 1.25×10^{16} อนุภาค

47. กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำ ที่เวลาต่าง ๆ เป็นดังกราฟ ประจุไฟฟ้าที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของตัวนำนี้ ในเวลา 10 วินาที มีค่าเท่าใด



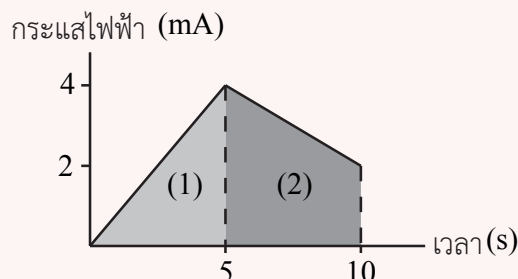
รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 47

วิธีทำ จากสมการ

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$Q = I \Delta t$$

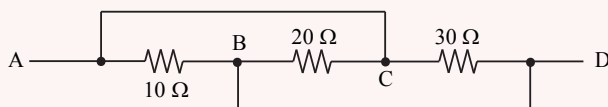
พื้นที่ใต้กราฟระหว่าง I กับ Δt เป็นค่าของประจุไฟฟ้า Q หาได้ดังนี้



$$\begin{aligned}
 Q &= \text{พื้นที่สามเหลี่ยม (1)} + \text{พื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมู (2)} \\
 &= \left[\frac{1}{2} (4 \times 10^{-3} \text{ A})(5 \text{ s}) \right] + \left[\frac{1}{2} (6 \times 10^{-3} \text{ A})(5 \text{ s}) \right] \\
 &= 2.5 \times 10^{-2} \text{ C}
 \end{aligned}$$

ตอบ ประจุไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำมีค่าเท่ากับ 2.5×10^{-2} คูลอมบ์

48. จากรูป

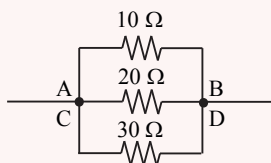


รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 48

ความต้านทานสมมูลของความต้านทานระหว่างปลาย A และ D มีค่าเท่าใด

วิธีทำ ระหว่างจุด A และ C มีลวดตัวนำต่ออยู่ ถือว่า A และ C เป็นจุดเดียวกัน

ระหว่างจุด B และ D มีลวดตัวนำต่ออยู่ ถือว่า B และ D เป็นจุดเดียวกัน ปรับรูปใหม่ได้ดังรูป

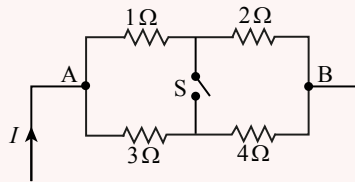


ได้ว่าระหว่างจุด A และ D มีตัวต้านทานสามตัว ต่อขนานกัน

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{R} &= \frac{1}{10 \, \Omega} + \frac{1}{20 \, \Omega} + \frac{1}{30 \, \Omega} \\
 R &= \frac{60}{11} \, \Omega
 \end{aligned}$$

ตอบ ความต้านทานสมมูลระหว่างปลาย A และ D มีค่า $\frac{60}{11}$ โอห์ม

49. จากรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 49

ความต้านทานสมมูลมีค่าเท่าใด เมื่อ ก. สวิตช์ S เปิด ข. สวิตช์ S ปิด

วิธีทำ ก. ถ้าสวิตช์ S เปิด

$$\begin{aligned}\frac{1}{R} &= \left[\frac{1}{3} + \frac{1}{7} \right] \frac{1}{\Omega} \\ R &= \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{7} \right)^{-1} \\ &= \frac{21}{10} \Omega\end{aligned}$$

ตอบ เมื่อสวิตช์ S เปิด ความต้านทานเท่ากับ 2.1 โอห์ม

วิธีทำ ข. ถ้าสวิตช์ S ปิด

$$\begin{aligned}R &= \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{3} \right)} + \frac{1}{\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \right)} \frac{1}{\Omega} \\ R &= \left(1 + \frac{1}{3} \right)^{-1} + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \right)^{-1} \Omega \\ &= \frac{25}{12} \Omega\end{aligned}$$

ตอบ เมื่อสวิตช์ S ปิด ความต้านทานเท่ากับ 2.08 โอห์ม

50. ความต้านทานของลวดเหล็กกล้าเส้นหนึ่งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร จะลดลงเหลือหนึ่งในสามเมื่อถูกเคลือบด้วยทองแดง จงหาความหนาของทองแดงที่เคลือบ กำหนดให้สภาพต้านทานของเหล็กกล้าและทองแดงเท่ากับ 9.71×10^{-8} และ 1.7×10^{-8} โอห์ม เมตร ตามลำดับ

วิธีทำ จาก $R = \rho \frac{l}{A}$ จัดรูปใหม่จะได้

$$\frac{1}{R} = \frac{A}{\rho l}$$

ถ้าให้ ρ_i สภาพต้านทานของลวดเหล็กกล้า

ρ_c สภาพต้านทานของทองแดง

L ความยาวลวดเหล็กกล้า

d ความหนาทองแดงที่เคลือบ

r รัศมีลวดเหล็กกล้า

เมื่อยังไม่เคลือบทองแดง

$$\frac{1}{R_1} = \frac{\pi r^2}{\rho_i L} \quad (1)$$

เมื่อเคลือบทองแดง

$$\frac{1}{R_2} = \frac{\pi r^2}{\rho_i L} + \frac{\pi(r+d)^2 - \pi r^2}{\rho_c L} \quad (2)$$

$$\frac{(2)}{(1)} \quad \frac{R_1}{R_2} = 1 + \left[\frac{(r+d)^2 - r^2}{r^2} \right] \left[\frac{\rho_i}{\rho_c} \right]$$

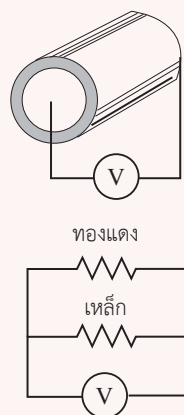
เนื่องจาก $R_2 = \frac{1}{3} R_1$ หรือ $\frac{R_1}{R_2} = 3$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } \frac{R_1}{R_2}, \quad 3 &= 1 + \left[\frac{r^2 + 2rd + d^2 - r^2}{r^2} \right] \left[\frac{\rho_i}{\rho_c} \right] \\ &= 1 + \left[\frac{2rd + d^2}{r^2} \right] \left[\frac{\rho_i}{\rho_c} \right] \end{aligned}$$

ได้

$$\frac{2rd + d^2}{r^2} = \frac{2\rho_c}{\rho_i}$$

$$2rd + d^2 = \frac{2\rho_c}{\rho_i} r^2$$



แทน $r = 0.5 \times 10^{-2} \text{ m}$, $\rho_c = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$, $\rho_i = 9.71 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$

$$2rd + d^2 = \frac{2 \times (0.5 \times 10^{-2} \text{ m})(1.7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m})}{(9.71 \times 10^{-8} \Omega \text{ m})}$$

$$d + d^2 = 0.0875 \text{ cm}^2$$

$$d^2 + d - 0.0875 = 0$$

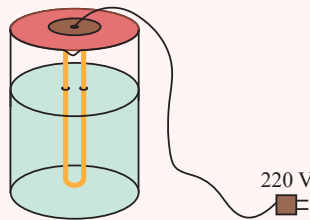
$$d = \frac{-1 \pm \sqrt{1^2 + 4(0.0875)}}{2}$$

$$= 0.0809 \text{ cm} \text{ หรือ } -1.08 \text{ cm}$$

เนื่องจากความหนามีเพียงได้เฉพาะค่าที่เป็นบวก ดังนั้น $d \approx 0.81 \text{ mm}$

ตอบ ทองแดงที่เคลือบหนา 0.81 มิลลิเมตร

51. เมื่อจุ่มตัวทำความร้อนที่ใช้ไฟฟ้าลงในน้ำที่บรรจุในปิกเกอร์ แล้วต่อกับความต่างศักย์ 220 โวลต์ มีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวทำความร้อน 5 แอมแปร์ ดังรูป ถ้าน้ำเดือดในเวลา 4 นาที จงหาพลังงานความร้อนที่ทำให้ น้ำเดือด ถ้าพลังงานไฟฟ้าถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนที่ให้แก่ น้ำที่บรรจุในปิกเกอร์ได้ร้อยละ 90



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 51

วิธีทำ ถ้า W เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ให้แก่ตัวทำความร้อนและ Q เป็นพลังงานความร้อนที่ใช้ต้มน้ำให้เดือด จากสมการ $W = VI\Delta t$ จะได้

$$\begin{aligned} Q &= \frac{90}{100} W \\ &= (0.90)(VI\Delta t) \\ &= (0.90)(220 \text{ V})(5.0 \text{ A})(4.0 \times 60 \text{ s}) \\ &= 237\,600 \text{ J} \text{ หรือ } 2.38 \times 10^5 \text{ J} \end{aligned}$$

ตอบ พลังงานความร้อนที่ทำให้ น้ำเดือดมีค่า 2.38×10^5 จูล

52. แบตเตอรี่ของรถยนต์มีอีเอ็มเอฟ 12 โวลต์ และความต้านทานภายใน 0.05 โอห์ม เมื่อสตาร์ทรถยนต์ มอเตอร์ของระบบสตาร์ทจะใช้กระแสไฟฟ้า 100 แอมแปร์ จงหา

ก. ความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่เมื่อมอเตอร์ของระบบสตาร์ทรถยนต์ทำงาน

ข. ถ้าหลอดไฟของไฟหน้าของรถยนต์มีขนาด 40 วัตต์ ความต้านทานของหลอดไฟนี้มีค่าเท่าใด

วิธีทำ ก. จาก $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$ เมื่อมอเตอร์ของระบบสตาร์ทรถยนต์ทำงาน

แทนค่า $\mathcal{E} = 12 \text{ V}$, $I = 100 \text{ A}$ และ $r = 0.05 \Omega$

$$\text{จะได้} \quad 100 \text{ A} = \frac{12 \text{ V}}{R + 0.05 \Omega}$$

$$R + 0.05 \Omega = \frac{12 \text{ V}}{100 \text{ A}}$$

$$R = 0.07 \Omega$$

จาก $\Delta V = IR$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า จะได้} \quad \Delta V &= (100 \text{ A})(0.07 \Omega) \\ &= 7 \text{ V} \end{aligned}$$

ตอบ ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่เมื่อมอเตอร์ทำงาน เท่ากับ 7 โวลต์

วิธีทำ ข. จาก $P = \frac{(\Delta V)^2}{R}$ หลอดไฟของไฟหน้าของรถยนต์มีขนาด 40 วัตต์ ใช้กับ

ความต่างศักย์ 7 โวลต์ แทนค่า $P = 40 \text{ W}$ และ $\Delta V = 7 \text{ V}$

$$\text{จะได้} \quad 40 \text{ W} = \frac{(7 \text{ V})^2}{R}$$

$$R = 1.3 \Omega$$

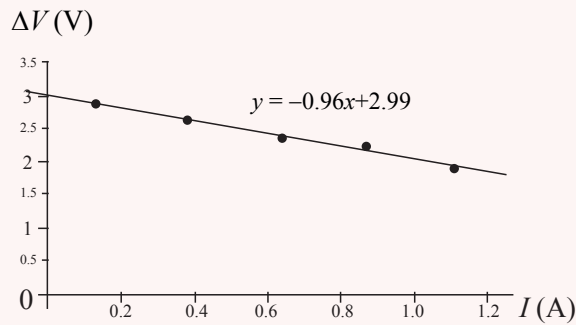
ตอบ ความต้านทานของหลอดไฟเท่ากับ 1.3 โอห์ม

53. จากการทดลองเพื่อหาอีเอ็มเอฟและความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ก้อนหนึ่ง ได้ผลดังตาราง

ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ (โวลต์)	2.87	2.62	2.36	2.23	1.89
กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	0.13	0.38	0.64	0.87	1.11

จงเขียนกราฟเพื่อหาอีเอ็มเอฟและความต้านภายในของแบตเตอรี่ก้อนนี้

วิธีทำ จากข้อมูลในตาราง นำไปเขียนกราฟโดยให้แกนตั้งเป็นความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ และแกนนอนเป็นกระแสไฟฟ้า ได้กราฟดังรูป



กราฟนี้ มีสมการของกราฟเป็น $y = -0.96x + 2.99$

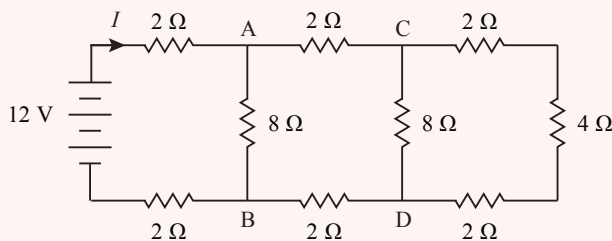
เมื่อลากเส้นไปตัดแกน y จะได้ $y = 2.99 \text{ V}$ ซึ่งเท่ากับอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่ โดยสามารถประมาณให้เท่ากับ 3 โวลต์

ส่วนความชันของกราฟคือความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ซึ่งจากสมการของกราฟ จะได้ ความชันเท่ากับ -0.96 โอห์ม

ตอบ อีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่เท่ากับ 3 โวลต์

ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เท่ากับ 0.96 โอห์ม

54. ในวงจรไฟฟ้า ดังรูป

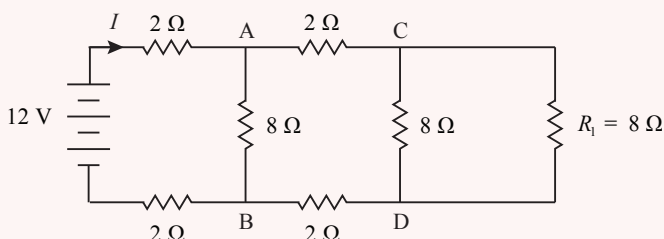


รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 54

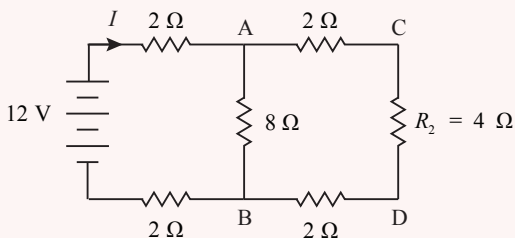
ถ้าแบตเตอรี่ไม่มีความต้านทานภายใน จงหา

- ก. ความต้านทานสมมูลทั้งวงจร
- ข. กระแสไฟฟ้าในวงจร I

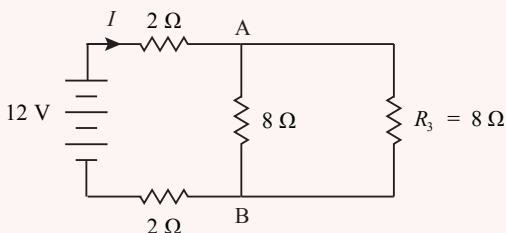
วิธีทำ ก. หาความต้านทานสมมูลที่ต่อกับแบตเตอรี่ แล้วจึงหาค่าของกระแสไฟฟ้าในวงจร I
ให้ R_1 เป็นความต้านทานสมมูลทางขวาของ C และ D จะได้ $R_1 = 8\ \Omega$



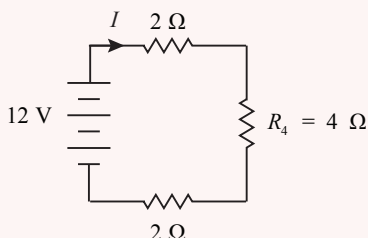
ให้ R_2 เป็นความต้านทานสมมูลของ R_1 ที่ต่อขนานกับความต้านทาน $8\ \Omega$ ระหว่าง C และ D จะได้ $R_2 = \frac{8}{2}\ \Omega = 4\ \Omega$



ให้ R_3 เป็นความต้านทานสมมูลทางขวาของ A และ B จะได้ $R_3 = 8\ \Omega$



ให้ R_4 เป็นความต้านทานสมมูลของ R_3 ที่ต่อขนานกับความต้านทาน $8\ \Omega$ ระหว่าง A และ B จะได้ $R_4 = \frac{8}{2}\ \Omega = 4\ \Omega$



ให้ R เป็นความต้านทานสมมูลของทั้งวงจร จะได้

$$R = 8\Omega$$

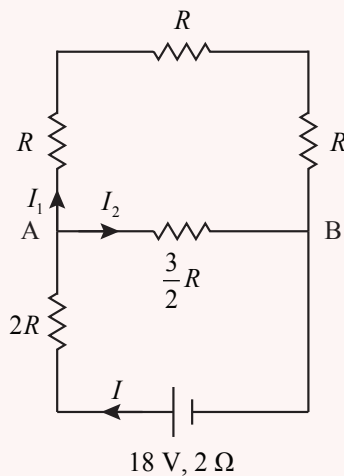
ตอบ ความต้านทานสมมูลทั้งวงจรเท่ากับ 8 โอห์ม

วิธีทำ ข. หากระแสไฟฟ้าในวงจรจากสมการ $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$ จะได้

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า จะได้} \quad I &= \frac{12\text{ V}}{8\Omega + 0} \\ &= 1.50\text{ A}\end{aligned}$$

ตอบ กระแสไฟฟ้าในวงจร I เท่ากับ 1.50 แอมแปร์

55. วงจรไฟฟ้า ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 55

ถ้า R เท่ากับ 6 โอห์ม จงหาค่าของกระแสไฟฟ้า I , I_1 และ I_2

วิธีทำ ให้ R_1 เป็นความต้านทานสมมูลของความต้านทาน R จำนวน 3 ตัว ซึ่งต่ออนุกรมดังนี้

$$R = R + R + R$$

$$R_1 = 3R$$

ให้ R_2 เป็นความต้านทานสมมูลของความต้านทาน R_1 ซึ่งต่อขนานกับความต้านทาน

$$\frac{3}{2}R \text{ จะได้}$$

$$R_2 = \frac{(3R)(\frac{3}{2}R)}{3R + \frac{3}{2}R}$$

$$= R$$

ถ้า R_3 เป็นความต้านทานสมมูลของความต้านทาน R_2 ซึ่งต่ออนุกรมกับ $2R$ จะได้

$$R_3 = R_2 + 2R$$

$$= R + 2R$$

$$= 3R$$

ถ้า I เป็นกระแสไฟฟ้าที่ออกจากเซลล์ไฟฟ้า

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_3 + r}$$

$$= \frac{18 \text{ V}}{3(6 \Omega) + 2\Omega}$$

$$= 0.90 \text{ A}$$

ถ้า I_1 และ I_2 เป็นกระแสไฟฟ้าที่ผ่านความต้านทาน R และ $\frac{3}{2}R$ ตามลำดับ และ ΔV_{AB} เป็นความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B จะได้

$$\Delta V_{AB} = I_1(3R)$$

$$= I_2(\frac{3}{2}R)$$

$$= I(R)$$

$$I_1 = \frac{I}{3}$$

$$= \frac{0.90 \text{ A}}{3}$$

$$= 0.30 \text{ A}$$

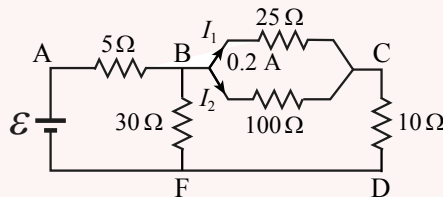
$$I_2 = \frac{2}{3}I$$

$$= \frac{2}{3}(0.90 \text{ A})$$

$$= 0.60 \text{ A}$$

ตอบ กระแสไฟฟ้า I , I_1 และ I_2 มีค่าเท่ากับ 0.90, 0.30 และ 0.60 แอมแปร์ ตามลำดับ

56. วงจรไฟฟ้าดังรูป จงหาอีเอ็มเอฟ $\mathcal{E}$ ของแบตเตอรี่ และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านแบตเตอรี่



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 56

วิธีทำ เนื่องจากความต้านทาน $25\ \Omega$ และ $100\ \Omega$ ต่อขนานกัน ดังนั้น ความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองข้างของตัวต้านทานมีค่าเท่ากัน นั่นคือ $\Delta V_{BC \text{ สายบน}} = \Delta V_{BC \text{ สายล่าง}}$

$$\text{จาก} \quad \Delta V = IR$$

$$\text{ดังนั้น} \quad I_1 R_{BC \text{ สายบน}} = I_2 R_{BC \text{ สายล่าง}}$$

$$\text{แทนค่า} \quad (0.2\text{ A})(25\ \Omega) = I_2(100\ \Omega)$$

$$I_2 = 0.05\text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{กระแสไฟฟ้าที่ผ่านจุด C} \quad I_1 + I_2 &= (0.2\text{ A}) + (0.05\text{ A}) \\ &= 0.25\text{ A} \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้านี้ผ่านความต้านทาน $10\ \Omega$ เช่นกัน

$$\begin{aligned} \text{เนื่องจาก} \quad \Delta V_{BD} &= \Delta V_{BC} + \Delta V_{CD} \\ &= (0.2\text{ A} \times 25\ \Omega) + (0.25\text{ A} \times 10\ \Omega) \\ &= 7.5\text{ V} \end{aligned}$$

จากรูป $\Delta V_{BF} = \Delta V_{BD}$ เพราะจุด F และ D มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน

หากระแสไฟฟ้าที่ผ่านความต้านทาน $30\ \Omega$ หรือ BF

$$\text{จาก} \quad \Delta V = IR$$

$$\text{จะได้} \quad 7.5\text{ V} = I \times 30\ \Omega$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{7.5\text{ V}}{30\ \Omega} \\ &= 0.25\text{ A} \end{aligned}$$

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ผ่านแบตเตอรี่เป็นกระแสไฟฟ้าที่ผ่าน BF รวมกับกระแสไฟฟ้าที่ผ่าน BD

$$\begin{aligned} \text{กระแสไฟฟ้าที่ผ่านแบตเตอรี่} &= (0.25\text{ A}) + (0.25\text{ A}) \\ &= 0.50\text{ A} \end{aligned}$$

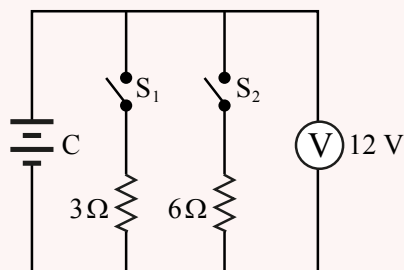
ดังนั้น อีเอ็มเอฟ

$$\begin{aligned}\mathcal{E} &= \Delta V_{AB} + \Delta V_{BF} \\ &= (I_{AB} R_{AB}) + 7.5 \text{ V} \\ &= (0.50 \text{ A} \times 5 \Omega) + 7.5 \text{ V} \\ &= 10 \text{ V}\end{aligned}$$

ตอบ อีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 10 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าที่ผ่าน แบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 0.5 แอมแปร์

57. วงจรไฟฟ้าดังรูป ประกอบด้วยสวิตช์ S_1 และ S_2 โวลต์มิเตอร์ V แบตเตอรี่ C และตัวต้านทานขนาด 3 โอห์ม และ 6 โอห์ม เมื่อสับสวิตช์ S_1 อย่างเดียว โวลต์มิเตอร์อ่านได้ 12 โวลต์ เมื่อสับสวิตช์ S_2 อย่างเดียวโวลต์มิเตอร์อ่านได้ 16 โวลต์

- ก. จงหาความต้านทานภายในของแบตเตอรี่
ข. ถ้ายังไม่ได้สับสวิตช์ S_1 และ S_2 โวลต์มิเตอร์อ่านได้เท่าใด



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 57

วิธีทำ ก. หาความต้านทานภายในแบตเตอรี่

เมื่อสับสวิตช์ S_1 โวลต์มิเตอร์อ่านได้ 12 V

จาก

$$\Delta V = IR$$

แทนค่า จะได้

$$12 \text{ V} = I_1 \times (3 \Omega)$$

$$I_1 = \frac{12 \text{ V}}{3 \Omega}$$

$$= 4 \text{ A}$$

เมื่อสับสวิตช์ S_2 อย่างเดียวโวลต์มิเตอร์อ่านได้ 16 V

แทนค่า จะได้

$$16 \text{ V} = I_2 \times (6 \Omega)$$

$$I_2 = \frac{16}{6}$$

$$= \frac{8}{3} \text{ A}$$

จาก
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}, \mathcal{E} \text{ เป็นอีเอ็มเอฟของ C}$$

ดังนั้น

กระแสผ่าน 3Ω ,
$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{3\Omega+r} = 4\text{A}$$

$$\mathcal{E} = (4\text{A})(3\Omega+r)$$

กระแสผ่าน 6Ω ,
$$I_2 = \frac{\mathcal{E}}{6\Omega+r} = \frac{8}{3}\text{A}$$

$$\mathcal{E} = \left(\frac{8}{3}\text{A}\right)(6\Omega+r)$$

ดังนั้น
$$(4\text{A})(3\Omega+r) = \left(\frac{8}{3}\text{A}\right)(6\Omega+r) = \mathcal{E}$$

จะได้
$$r = 3\Omega$$

ตอบ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 3 โอห์ม

วิธีทำ ข. หาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่โวลต์มิเตอร์อ่านได้ ถ้ายังไม่สับสวิตช์ S_1 และ S_2
แทนค่า $r = 3\Omega$ ใน (1)
จะได้
$$\mathcal{E} = (4\text{A})(3\Omega+3\Omega)$$

$$= 24\text{V}$$

ตอบ ถ้ายังไม่ได้สับสวิตช์ S_1 และ S_2 โวลต์มิเตอร์จะอ่านได้ 24 โวลต์

58. จุ่มลวดให้ความร้อนเส้นหนึ่งที่อยู่กับความต่างศักย์ 220 โวลต์ ลงในน้ำที่มีมวล 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าน้ำเดือดในเวลา 5 นาที จงหากำลังไฟฟ้าของลวดให้ความร้อน กำหนดให้ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 4.2 กิโลจูลต่อกิโลกรัม เคลวิน

วิธีทำ จาก
$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

พลังงานความร้อนที่ลวดให้กับน้ำเท่ากับ $W = mc\Delta T$

แทนค่า จะได้
$$P = \frac{mc\Delta T}{\Delta t}$$

$$= \frac{(1\text{kg})(4.2 \times 10^3 \text{ J/kg K})(373 \text{ K} - 303 \text{ K})}{5 \times 60 \text{ s}}$$

$$= 980 \text{ W}$$

ตอบ กำลังไฟฟ้าของลวดให้ความร้อนเท่ากับ 980 วัตต์

59. หลอดไฟ ระบุขนาด 24 วัตต์ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ ต้องการนำไปใช้กับแบตเตอรี่อีเอ็มเอฟ 18 โวลต์ที่มีความต้านทานภายในน้อยมาก ให้มีกำลังไฟฟ้าตามที่ระบุไว้ จะต้องใช้ตัวต้านทานเท่าใดมาต่ออย่างไรกับหลอดไฟและตัวต้านทานนี้ต้องทนกำลังไฟฟ้าได้อย่างน้อยกี่วัตต์

วิธีทำ จาก $P = \frac{(\Delta V)^2}{R}$

แทนค่าเพื่อหา R จะได้ $24\text{ W} = \frac{144\text{ V}^2}{R}$
 $R = 6\Omega$

เมื่อนำหลอดไฟไปใช้กับแบตเตอรี่ขนาด 18 โวลต์ ที่มีความต้านทานภายในน้อยมาก จะทำให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ประมาณเท่ากับอีเอ็มเอฟของแบตเตอรี่ ดังนั้น เพื่อให้ความต่างศักย์ลดลง จึงต้องมีการนำตัวต้านทานมาต่ออนุกรมเพิ่มเติม เพื่อแบ่งความต่างศักย์ให้เหลือ 12 โวลต์เท่าเดิม กำหนดให้ตัวต้านทานที่นำมาต่อแบบอนุกรมมีความต้านทานเท่ากับ R_2

ถ้าให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหลอดไฟที่ต่อกับแบตเตอรี่เหลือ 12 โวลต์ หากกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดไฟหาได้จากสมการ $I = \frac{\Delta V}{R}$

แทนค่า จะได้ $I = \frac{12\text{ V}}{6\Omega}$
 $= 2\text{ A}$

กระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดไฟนี้มีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าของวงจร

จากความสัมพันธ์ $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$ เมื่อ R เป็นความต้านทานสมมูล

แทนค่า จะได้ $2\text{ A} = \frac{18\text{ V}}{6\Omega + R_2}$
 $R_2 = 3\Omega$

กำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานนี้ต้องทนได้ หาได้จากความสัมพันธ์ $P = \frac{(\Delta V)^2}{R}$

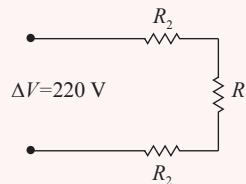
แทนค่า จะได้ $P = \frac{(6\text{ V})^2}{3\Omega}$
 $= 12\text{ W}$

ตอบ จะต้องใช้ตัวต้านทานขนาด 3 โอห์ม มาต่อแบบอนุกรมกับหลอดไฟและตัวต้านทานนี้ต้องทนกำลังไฟฟ้าได้อย่างน้อย 12 วัตต์

60. ลุงคำเป็นชาวสวน ต้องการต่อไฟฟ้าความต่างศักย์ 220 โวลต์จากในบ้าน ไปใช้กับเครื่องอบแห้ง ในสวนซึ่งอยู่ห่างบ้านออกไป 1 กิโลเมตร ด้วยสายไฟขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางมิลลิเมตร หากเครื่องอบแห้งมีกำลังไฟฟ้าปกติ 1.1 กิโลวัตต์ที่ 220 โวลต์ กำหนดสภาพต้านทานของทองแดงที่ใช้ทำลวดสายไฟเท่ากับ 1.72×10^{-8} โอห์ม เมตร ตอบคำถามต่อไปนี้

- เครื่องอบแห้งจะได้รับความต่างศักย์เท่าใด
- เครื่องอบแห้งมีกำลังเท่าใดเมื่อใช้งาน และคิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของกำลังไฟฟ้าปกติของเครื่องอบแห้ง
- ถ้าเครื่องอบแห้งกำหนดใช้งานได้กับไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ในช่วง 180-250 โวลต์ จะสามารถใช้งานเครื่องอบแห้งนี้ได้หรือไม่
- จากข้อมูลเครื่องอบแห้งตามข้อ ค. นักเรียนจะแนะนำลุงคำอย่างไร ให้สามารถใช้งานเครื่องอบแห้งได้

วิธีทำ ก. ให้ความต้านทานเครื่องอบเป็น R_1 ความต้านทานสายไฟแต่ละเส้นเป็น R_2 เขียนเป็นวงจรไฟฟ้าที่มีเครื่องอบแห้งได้ดังรูป



ความต่างศักย์ที่เครื่องอบได้รับ $\Delta V = 220 \text{ V}$

จากความสัมพันธ์
$$P = \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

จัดสมการเพื่อหาความต้านทานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง R_1 จะได้

$$R_1 = \frac{(\Delta V)^2}{P}$$

แทนค่า
$$R_1 = \frac{(220 \text{ V})^2}{1100 \text{ W}}$$

$$= 44 \Omega$$

ความต้านทานสายไฟ R_2 หาจากความสัมพันธ์ $R = \rho \frac{l}{A}$

แทนค่า
$$R = \frac{(1.72 \times 10^{-8} \Omega \text{ m})(1000 \text{ m})}{10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$= 17 \Omega$$

ความต้านทานสมมูลของวงจรหาได้จากผลรวมของความต้านทานของตัวต้านทานแต่ละตัวที่ต่อกันแบบอนุกรม ดังสมการ

$$R = R_1 + R_2 + R_1$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned} R &= 44\Omega + 17\Omega + 17\Omega \\ &= 78\Omega \end{aligned}$$

หากระแสไฟฟ้าในวงจร

$$\begin{aligned} I &= \frac{\Delta V}{R} \\ &= \frac{220\Omega}{78\Omega} \\ &= 2.82 \text{ V} \end{aligned}$$

เครื่องอบแห้งจะได้รับความต่างศักย์

$$\begin{aligned} \Delta V &= IR \\ \Delta V &= (2.82 \text{ A})(44\Omega) \\ &= 124 \text{ V} \end{aligned}$$

ตอบ ความต่างศักย์ที่เครื่องอบแห้งได้รับเท่ากับ 121 โวลต์

วิธีทำ ข. หากำลังไฟฟ้าของเครื่องอบจากความสัมพันธ์ $P = \frac{(\Delta V)^2}{R}$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า จะได้} \quad P &= \frac{(124 \text{ V})^2}{44\Omega} \\ &= 349.5 \text{ W} \end{aligned}$$

พิจารณาเทียบกับกำลังไฟฟ้าปกติของเครื่องอบแห้ง เป็นเปอร์เซ็นต์

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์} &= \frac{349.5 \text{ W}}{1100 \text{ W}} \times 100 \\ &= 31.75\% \end{aligned}$$

ตอบ เครื่องอบมีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 332.75 วัตต์ และคิดเป็น 30.25 เปอร์เซ็นต์ของกำลังปกติ

ค. แนวคำตอบ ถ้าเครื่องอบแห้งกำหนดใช้งานได้กับไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ในช่วง 180 - 250 โวลต์ จะไม่สามารถใช้งานได้เพราะเครื่องอบแห้งได้รับความต่างศักย์เพียง 121 โวลต์ซึ่งน้อยกว่า 180 โวลต์

วิธีทำ ง. จากข้อมูลเครื่องอบแห้งตามข้อ ค. เพื่อให้ลู่ดำสามารถใช้งานเครื่องอบแห้งได้ จะต้องทำให้เครื่องอบได้รับความต่างศักย์อย่างน้อย 180 โวลต์ขึ้นไป โดยจะต้องลดความต้านทานของสายไฟนั้นคือต้องเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายไฟ ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

สำหรับความต่างศักย์ 180 โวลต์ หากกระแสไฟฟ้าที่น้อยที่สุดที่ต้องผ่านเครื่องอบแห้งจากความสัมพันธ์ $I = \frac{\Delta V}{R}$

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า จะได้} \quad I &= \frac{180 \text{ V}}{44 \Omega} \\ &= \frac{45 \text{ V}}{11 \Omega}\end{aligned}$$

หาความต้านทานของลวดตัวนำในสายไฟได้จากความสัมพันธ์ $\Delta V = IR$

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า จะได้} \quad 220 \text{ V} &= \left(\frac{45}{11} \text{ A}\right)(2R_1 + 44 \Omega) \\ R_1 &= 4.89 \Omega\end{aligned}$$

ดังนั้นสายไฟต้องมีความต้านทานไม่เกิน 4.89 โอห์ม

หาขนาดพื้นที่หน้าตัดสายไฟได้จากความสัมพันธ์ $R = \rho \frac{l}{A}$

$$\text{จัดรูปสมการ จะได้} \quad A = \rho \frac{l}{R}$$

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า} \quad A &= \frac{(1.72 \times 10^{-8} \Omega \text{ m})(1000 \text{ m})}{4.89 \Omega} \\ &= 3.52 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \\ &= 3.52 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

ตอบ แนะนำให้ลู่ดำใช้สายไฟที่มีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น โดยมีขนาดตั้งแต่ 3.52 ตารางมิลลิเมตรขึ้นไป

61. หลอดไฟหลอดที่ 1 ขนาด 6 โวลต์ 9 วัตต์ หลอดที่ 2 ขนาด 6 โวลต์ 18 วัตต์ นำหลอดทั้งสองมาต่ออนุกรมกันแล้วนำไปต่อระหว่างขั้วแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ความต่างศักย์ระหว่างขั้วหลอดแต่ละหลอดและกำลังไฟฟ้าของแต่ละหลอดเป็นเท่าใด และหากใช้งานต่อไป หลอดใดมีโอกาสขาดเพราะเหตุใด

วิธีทำ หาความต้านทานของหลอดไฟแต่ละดวงจาก $R = \frac{(\Delta V)^2}{P}$

$$\begin{aligned} \text{ความต้านทานหลอดที่ 1} \quad R_1 &= \frac{(\Delta V)^2}{P} \\ &= \frac{(6\text{V})^2}{9\text{W}} \\ &= 4\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความต้านทานหลอดที่ 2} \quad R_2 &= \frac{(\Delta V)^2}{P} \\ &= \frac{(6\text{V})^2}{18\text{W}} \\ &= 2\Omega \end{aligned}$$

นำหลอดไฟทั้งสองมาต่อแบบอนุกรมกัน จะได้ความต้านทานสมมูล $R = R_1 + R_2$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า จะได้} \quad R &= 4\Omega + 2\Omega \\ &= 6\Omega \end{aligned}$$

เมื่อนำหลอดไฟทั้งสองไปต่อกับความต่างศักย์ขนาด 12 โวลต์ หากกระแสไฟฟ้าที่ผ่าน

$$\text{หลอดไฟหาได้จากสมการ} \quad I = \frac{\Delta V}{R}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า จะได้} \quad I &= \frac{12\text{V}}{6\Omega} \\ &= 2\text{A} \end{aligned}$$

กระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดไฟนี้มีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าของวงจร

หาความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหลอดไฟและกำลังไฟฟ้าจากความสัมพันธ์ $\Delta V = IR$

และ $P = I\Delta V$ ตามลำดับ

$$\begin{aligned} \text{หลอดไฟหลอดที่ 1 แทนค่า จะได้} \quad \Delta V_1 &= (2\text{A})(4\Omega) \\ &= 8\text{V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{กำลังไฟฟ้าของหลอดที่ 1 แทนค่า จะได้} \quad P_1 &= (2\text{A})(8\text{V}) \\ &= 16\text{W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หลอดไฟหลอดที่ 2 แทนค่า จะได้} \quad \Delta V_2 &= (2\text{A})(2\Omega) \\ &= 4\text{V} \end{aligned}$$

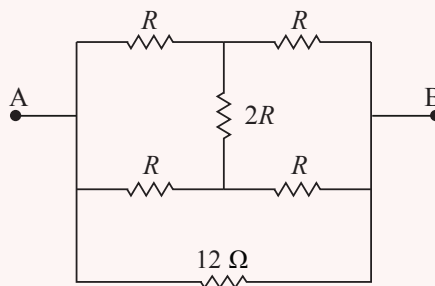
$$\begin{aligned} \text{กำลังไฟฟ้าของหลอดที่ 2 แทนค่า จะได้} \quad P_2 &= (2\text{A})(4\text{V}) \\ &= 8\text{W} \end{aligned}$$

เนื่องจากหลอดไฟหลอดที่ 1 มีขนาด 6 โวลต์ ซึ่งหมายถึง หลอดไฟนี้เหมาะกับการใช้กับ แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ให้ความต่างศักย์ 6 โวลต์ แต่จากการต่อกับแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหลอดไฟหลอดนี้เท่ากับ 8 โวลต์ หลอดไฟหลอดที่ 1 จึงมีโอกาสดา ในขณะที่หลอดไฟหลอดที่ 2 มีขนาด 6 โวลต์ แต่ความต่างศักย์ระหว่าง ขั้วเท่ากับ 4 โวลต์ ซึ่งน้อยกว่า หลอดที่ 2 จึงไม่มีโอกาสดา

ตอบ ความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหลอดที่ 1 และหลอดที่ 2 เท่ากับ 8 โวลต์ และ 4 โวลต์ ตามลำดับ

กำลังไฟฟ้าของหลอดที่ 1 และหลอดที่ 2 เท่ากับ 16 วัตต์ และ 8 วัตต์ ตามลำดับ และ หลอดไฟที่ 1 มีโอกาสดา เพราะได้รับความต่างศักย์เกินความต่างศักย์ที่ใช้งานปกติของหลอด

62. ตัวต้านทานต่อกันอยู่ระหว่างจุด A กับ B ดังรูป โดยมีความต้านทานระหว่างจุด A กับ B เป็น 3 โอห์ม หากปลดตัวต้านทาน 12 โอห์มออก ความต้านทานระหว่างจุด A กับ B จะเปลี่ยนเป็น เท่าใด



รูป ประกอบปัญหาท้าทายข้อ 62

วิธีทำ ให้ R_{AB} แทนความต้านทานระหว่าง AB ขณะปลดความต้านทาน 12 โอห์มออก จะได้ ความต้านทานในรูปเปรียบได้กับความต้านทาน R_{AB} ต่อขนานกับความต้านทาน 12 โอห์ม ซึ่งมีความต้านทานสมมูลเท่ากับ 3 โอห์ม

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น จะได้} \quad 3\Omega &= \frac{(R_{AB})(12\Omega)}{R_{AB} + 12\Omega} \\ R_{AB} &= 4\Omega \end{aligned}$$

ตอบ เมื่อปลดตัวต้านทานที่มีความต้านทาน 12 โอห์มออก ความต้านทานระหว่างจุด A กับ B จะเปลี่ยนเป็น 4 โอห์ม

63. นำหลอดไฟขนาด 12 วัตต์ 12 โวลต์ มาต่ออนุกรมกับหลอดขนาด 6 วัตต์ 6 โวลต์ แล้วนำไปต่อกับแบตเตอรี่ 9 โวลต์ ซึ่งมีความต้านทานภายในน้อยมาก จงหากำลังไฟฟ้ารวมของหลอดไฟทั้งสองหลอด

วิธีทำ หาความต้านทานของหลอดไฟแต่ละดวง จากความสัมพันธ์ $R = \frac{(\Delta V)^2}{P}$

$$\text{จะได้ความต้านทาน หลอดที่ 1} \quad R_1 = \frac{(12 \text{ V})^2}{12 \text{ W}}$$

$$= 12 \Omega$$

$$\text{และความต้านทาน หลอดที่ 2} \quad R_2 = \frac{(6 \text{ V})^2}{6 \text{ W}}$$

$$= 6 \Omega$$

การนำหลอดไฟทั้งสองมาต่อแบบอนุกรม จะได้ความต้านทานสมมูล $R = R_1 + R_2$

แทนค่า จะได้

$$R = 12 \Omega + 6 \Omega$$

$$= 18 \Omega$$

เมื่อนำหลอดไฟทั้งสองไปต่อกับแบตเตอรี่ที่มีความต่างศักย์ 9 โวลต์ หากำลังไฟฟ้าได้

$$\text{จาก} \quad P = \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

$$\text{แทนค่า จะได้} \quad P = \frac{(9 \text{ V})^2}{18 \Omega}$$

$$= 4.5 \text{ W}$$

ตอบ กำลังไฟฟ้ารวมของทั้งสองหลอดเท่ากับ 4.5 วัตต์

ภาคผนวก

ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล

แบบทดสอบ

การประเมินผลด้วยแบบทดสอบเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวัดผลสัมฤทธิ์ในการเรียนโดยเฉพาะด้านความรู้และความสามารถทางสติปัญญา ครูควรมีความเข้าใจในลักษณะของแบบทดสอบ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัดของแบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ เพื่อประโยชน์ในการสร้างหรือเลือกใช้แบบทดสอบให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด โดยลักษณะของแบบทดสอบ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัดของแบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ เป็นดังนี้

1) แบบทดสอบแบบที่มีตัวเลือก

แบบทดสอบแบบที่มีตัวเลือก ได้แก่ แบบทดสอบแบบเลือกตอบ แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด และแบบทดสอบแบบจับคู่ รายละเอียดของแบบทดสอบแต่ละแบบเป็นดังนี้

1.1) แบบทดสอบแบบเลือกตอบ

เป็นแบบทดสอบที่มีการกำหนดตัวเลือกให้หลายตัวเลือก โดยมีตัวเลือกที่ถูกเพียงหนึ่งตัวเลือก องค์ประกอบหลักของแบบทดสอบแบบเลือกตอบมี 2 ส่วน คือ คำถามและตัวเลือก แต่บางกรณีอาจมีส่วนของสถานการณ์เพิ่มขึ้นมาด้วย แบบทดสอบแบบเลือกตอบมีหลายรูปแบบ เช่น แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถามเดียว แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถามชุด แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถาม 2 ชั้น โครงสร้างดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเดียวที่ไม่มีสถานการณ์

คำถาม.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเดียวที่มีสถานการณ์

สถานการณ์.....

คำถาม.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเป็นชุด

สถานการณ์.....

คำถามที่ 1.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

คำถามที่ 2.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถาม 2 ชั้น

สถานการณ์.....

คำถามที่ 1.....

ตัวเลือก ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

คำถามที่ 2...(ถามเหตุผลของการตอบคำถามที่ 1)...

.....

.....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบมีข้อดีคือสามารถใช้ผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนได้ครอบคลุมเนื้อหาตามจุดประสงค์ สามารถตรวจให้คะแนนและแปลผลคะแนนได้ตรงกัน แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงออกอย่างอิสระจึงไม่สามารถวัดความคิดระดับสูง เช่น ความคิดสร้างสรรค์ได้ 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 และครอบคลุมเนื้อหา สามารถตรวจได้รวดเร็วและให้คะแนนได้ตรงกัน แต่นักเรียนมีโอกาสดำเนินการ และการสร้างข้อความเป็นจริงหรือเป็นเท็จโดยสมบูรณ์ในบางเนื้อหาได้ยาก

1.3) แบบทดสอบแบบจับคู่

ประกอบด้วยส่วนที่เป็นคำสั่ง และข้อความสองชุดที่ให้จับคู่กัน โดยข้อความชุดที่ 1 อาจเป็นคำถาม และข้อความชุดที่ 2 อาจเป็นคำตอบหรือตัวเลือก โดยจำนวนข้อความในชุดที่ 2 อาจมีมากกว่าในชุดที่ 1 ดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบจับคู่

คำสั่ง ให้นำตัวอักษรหน้าข้อความในชุดคำตอบมาเติมในช่องว่างหน้าข้อความในชุดคำถาม

ชุดคำถาม	ชุดคำตอบ
..... 1. ข้อความ.....	ก. ข้อความ.....
..... 2. ข้อความ.....	ข. ข้อความ.....
..... 3. ข้อความ.....	ค. ข้อความ.....
	ง. ข้อความ.....

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่าย ตรวจให้คะแนนได้ตรงกัน และเดาคำตอบได้ยาก เหมาะสำหรับวัดความสามารถในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคำหรือข้อความ 2 ชุด แต่ในกรณีที่นักเรียนจับคู่ผิดไปแล้วจะทำให้มีการจับคู่ผิดในคู่อื่น ๆ ด้วย

2) แบบทดสอบแบบเขียนตอบ

เป็นแบบทดสอบที่ให้นักเรียนคิดคำตอบเอง จึงมีอิสระในการแสดงความคิดเห็นและสะท้อนความคิดออกมาโดยการเขียนให้ผู้อ่านเข้าใจ โดยทั่วไป การเขียนตอบมี 2 แบบ คือ การเขียนตอบแบบเติมคำหรือการเขียนตอบอย่างสั้น และการเขียนตอบแบบอธิบาย รายละเอียดของแบบทดสอบที่มีการตอบแต่ละแบบเป็นดังนี้

2.1) แบบทดสอบเขียนตอบแบบเติมคำหรือตอบอย่างสั้น

ประกอบด้วยคำสั่งและข้อความที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะมีส่วนที่เว้นไว้เพื่อให้เติมคำตอบหรือข้อความสั้น ๆ เพื่อให้เติมคำตอบหรือข้อความสั้น ๆ ที่ทำให้ข้อความข้างต้นถูกต้องหรือสมบูรณ์ นอกจากนี้แบบทดสอบยังอาจประกอบด้วยสถานการณ์และคำถามที่ให้นักเรียนตอบโดยการเขียนอย่างอิสระ แต่สถานการณ์และคำถามจะเป็นสิ่งที่กำหนดคำตอบให้มีความถูกต้องและเหมาะสม

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่าย มีโอกาสเดาได้ยาก และสามารถวินิจฉัยคำตอบที่นักเรียนตอบผิด เพื่อให้ทราบถึงข้อบกพร่องทางการเรียนรู้หรือความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้ แต่การจำกัดคำตอบให้นักเรียนตอบเป็นคำ วลี หรือประโยคได้ยาก ตรวจให้คะแนนได้ยากเนื่องจากบางครั้งมีคำตอบถูกต้องหรือยอมรับได้หลายคำตอบ

2.2) แบบทดสอบเขียนตอบแบบอธิบาย

เป็นแบบทดสอบที่ต้องการให้นักเรียนตอบอย่างอิสระ ประกอบด้วยสถานการณ์และคำถามที่สอดคล้องกัน โดยคำถามเป็นคำถามแบบปลายเปิด

แบบทดสอบรูปแบบนี้ในการตอบจึงสามารถใช้วัดความคิดระดับสูงได้ แต่เนื่องจากนักเรียนต้องใช้เวลาในการคิดและเขียนคำตอบมาก ทำให้ถามได้น้อยข้อ จึงอาจทำให้วัดได้ไม่ครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งตรวจให้คะแนนยาก และการตรวจให้คะแนนอาจไม่ตรงกัน

แบบประเมินทักษะ

เมื่อนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมจริงจะมีหลักฐานร่องรอยที่แสดงไว้ทั้งวิธีการปฏิบัติและผลการปฏิบัติ ซึ่งหลักฐานร่องรอยเหล่านั้นสามารถใช้ในการประเมินความสามารถ ทักษะการคิด และทักษะปฏิบัติได้เป็นอย่างดี

การปฏิบัติการทดลองเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยทั่วไปประเมินได้ 2 ส่วน คือ ประเมินทักษะการปฏิบัติการทดลองและการเขียนรายงานการทดลอง โดยเครื่องมือที่ใช้ประเมินดังตัวอย่าง

ตัวอย่างแบบสำรวจรายการทักษะปฏิบัติการทดลอง

รายการที่ต้องสำรวจ	ผลการสำรวจ	
	มี (ระบุจำนวนครั้ง)	ไม่มี
การวางแผนการทดลอง		
การทดลองตามขั้นตอน		
การสังเกตการทดลอง		
การบันทึกผล		
การอภิปรายผลการทดลองก่อนลงข้อสรุป		

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
การทดลองตาม แผนที่กำหนด	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 เหมาะสมและจัดวางอุปกรณ์เป็นระเบียบ สะดวกต่อการใช้งาน 3.บันทึกผลการทดลองได้ถูกต้องและครบถ้วนสมบูรณ์	ระดับ 3 หมายถึง ปฏิบัติได้ทั้ง 3 ข้อ	ระดับ 2 หมายถึง ปฏิบัติได้ 2 ข้อ	ระดับ 1 หมายถึง ปฏิบัติได้ 1 ข้อ

ตัวอย่างแนวทางให้คะแนนการเขียนรายงานการทดลอง

คะแนน		
3	2	1
เขียนรายการตามลำดับขั้นตอน ผลการทดลองตรงตามสภาพจริงและสื่อความหมาย	เขียนรายงานการทดลองตามลำดับ แต่ไม่สื่อความหมาย	เขียนรายงานโดยลำดับขั้นตอน ไม่สอดคล้องกัน และสื่อความหมาย

แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์

การประเมินจิตวิทยาศาสตร์ไม่สามารถทำได้โดยตรง โดยทั่วไปทำโดยการตรวจสอบพฤติกรรมภายนอกที่ปรากฏให้เห็นในลักษณะของคำพูด การแสดงความคิดเห็น การปฏิบัติ หรือ พฤติกรรมบ่งชี้ที่สามารถสังเกตหรือวัดได้ และแปลผลไปถึงจิตวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นสิ่งที่ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมดังกล่าว เครื่องมือที่ใช้ประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์ ดังตัวอย่าง

ตัวอย่างแบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง จงทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับคุณลักษณะที่นักเรียนแสดงออก โดยจำแนกระดับพฤติกรรมการแสดงออกเป็น 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 นักเรียนจะลอกผลการทดลองของเพื่อนส่งครู 3. เมื่อครูมอบหมายให้ทำชิ้นงานส่งประดิษฐ์ นักเรียนจะประดิษฐ์ตามแบบที่ปรากฏอยู่ในหนังสือ				

รายการพฤติกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
ด้านความใจกว้าง 1. แม้ว่านักเรียนจะไม่เห็นด้วยกับการสรุปผลการทดลองในกลุ่ม แต่ก็ยอมรับผลสรุปของสมาชิกส่วนใหญ่ 2. ถ้าเพื่อนแย้งวิธีการทดลองนักเรียนและมีเหตุผลที่ดีกว่า นักเรียนพร้อมที่จะนำข้อเสนอแนะของเพื่อนไปปรับปรุงงานของตน 3. เมื่องานที่นักเรียนตั้งใจและทุ่มเททำถูกตำหนิหรือโต้แย้ง นักเรียนจะหมดกำลังใจ				
ด้านความรอบคอบ 1. นักเรียนสรุปผลการทดลองทันทีเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง 2. นักเรียนทำการทดลองซ้ำ ๆ ก่อนที่จะสรุปผลการทดลอง 3. นักเรียนตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ก่อนทำการทดลอง				
ด้านความมุ่งมั่นอดทน 1. ถึงแม้ว่างานค้นคว้าที่ทำอยู่มีโอกาสสำเร็จได้ยาก นักเรียนจะยังค้นคว้าต่อไป 2. นักเรียนล้มเลิกการทดลองทันที เมื่อผลการทดลองที่ได้ขัดจากที่เคยเรียนมา 3. เมื่อทราบว่าชุดการทดลองที่นักเรียนสนใจต้องใช้ระยะเวลาในการทดลองนาน นักเรียนก็เปลี่ยนไปศึกษาชุดการทดลองที่ใช้เวลาน้อยกว่า				

รายการพฤติกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
เจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ 1.นักเรียนนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ มาใช้ แก้ปัญหาในชีวิตประจำวันอยู่เสมอ 2.นักเรียนชอบทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับ วิทยาศาสตร์ 3.นักเรียนสนใจติดตามข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับ วิทยาศาสตร์				

วิธีการตรวจให้คะแนน

ตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์โดยกำหนดน้ำหนักของตัวเลขในช่องต่าง ๆ เป็น 4 3 2 1 ตามลำดับ
 ข้อความที่มีความหมายเป็นทางบวก กำหนดให้คะแนนแต่ละข้อความดังต่อไปนี้

ระดับพฤติกรรมการแสดงออก	คะแนน
มาก	4
ปานกลาง	3
น้อย	2
ไม่มีการแสดงออก	1

ส่วนข้อความที่มีความหมายเป็นทางลบ กำหนดให้คะแนนแต่ละข้อความมีลักษณะเป็นไปในแนวทางตรงข้ามกัน

การประเมินการนำเสนอผลงาน

การประเมินผลและให้คะแนนการนำเสนอผลงานอาจใช้แนวทางการประเมินเช่นเดียวกับการประเมินภาระงานอื่น 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	ดีมาก

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 ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบการสาธิตได้อย่างคล่องแคล่วและเสร็จทันเวลา 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

บรรณานุกรม

- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2555). **คู่มือครูรายวิชาพื้นฐาน ฟิสิกส์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนที่เน้นวิทยาศาสตร์** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค.ลาดพร้าว.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2555). **คู่มือครูรายวิชาพื้นฐาน วิทยาศาสตร์ พลังงาน** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). **คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3.** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2556). **คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 4.** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2547). **คู่มือครูสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 2.** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2548). **คู่มือครูสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3.** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- Giancoli, D. C. (2014). **Physics: Principles with Applications.** (7th ed). Pearson.
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2013). **Fundamentals of Physics.** (10th ed). John Wiley & Sons, Inc.
- McLaughlin, C. W., Thompson, M., Zike, D. (2011). **Physical Science.** Columbus, OH. Glencoe/Mcgraw-Hill.
- Serway, R. A., Faughn, J. S. (2009). **Holt Physics.** Holt, Rinehart and Winston.
- Serway, R. A., Jewett, Jr., J. W. (2014). **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics.** (9th ed). Brooks/Cole.
- Young, H. D., Freedman, R. A. (2015). **Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics.** (14th ed). Pearson.

**คณะกรรมการจัดทำคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิลิกส์ เล่ม 4
ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551**

คณะที่ปรึกษา

- | | |
|------------------------------|---|
| 1. ศ.ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์ | ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 2. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ | ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

**คณะผู้จัดทำคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิลิกส์
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 4**

- | | |
|----------------------------|--|
| 1. นายรังสรรค์ ศรีสาคร | ผู้เชี่ยวชาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 2. นายบุญชัย ต้นไธ | ผู้ชำนาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 3. นายวัฒน์ะ มากชื่น | ผู้ชำนาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 4. นายโฆสิต สิงห์สุต | ผู้ชำนาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 5. นายรักษพล ธนานวงศ์ | นักวิชาการอาวุโส สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 6. ดร.กวิน เชื้อมกลาง | นักวิชาการอาวุโส สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 7. ดร.ปรีดา พัทธมณีปรกรณ์ | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 8. ดร.จำเริญตา ปริญญาธามาศ | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 9. นายสรจิตต์ อารีรัตน์ | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 10. นายจอมพรรค นวลดี | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

- | | |
|--------------------------|--|
| 11. นายเทพนคร แสงหัวช้าง | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 12. นายธนรัชต์ คั่นทักซ์ | นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

**คณะผู้ร่วมพิจารณาคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิลิกส์
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 4 (ฉบับร่าง)**

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1. ผศ.ดร.บุรินทร์ อัครพิภพ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. ผศ.ดร.สุชัย นพรัตน์แจ่มจำรัส | สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล จ.นครปฐม |
| 3. นายสุมิตร สวนสุข | โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร |
| 4. นายประสิทธิ์ สลัดทุกข์ | โรงเรียนย่านตาขาวรัฐชนูปถัมภ์ จ.ตรัง |
| 5. นายนิรณัน นิลพงษ์ | โรงเรียนศรีคุณวิทยบาลัลังก์ จ.อำนาจเจริญ |
| 6. นายอดิศักดิ์ ยงยุทธ | โรงเรียนมัธยมวัดหนองจอก กรุงเทพมหานคร |
| 7. นางสาวสายชล สุขโข | โรงเรียนจ่านกร้อง จ.พิษณุโลก |
| 8. นายชินทร์ วัฒนธีรางกูร | โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย จ.นครปฐม |
| 9. นายบุญโฮม สุขล้วน | โรงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภชลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร |
| 10. นายพลพิพัฒน์ วัฒนเศรษฐานุกุล | สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 2
กรุงเทพมหานคร |

คณะบรรณาธิการ

- | | |
|---------------------------|--|
| 1. นายวิศาล จิตต์วาริน | นักวิชาการอิสระ |
| 2. ดร.ศักดิ์ สุวรรณฉาย | มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ |
| 3. ดร.รังสรรค์ จอมทะรักษ์ | มหาวิทยาลัยสวนดุสิต |
| 4. นายรักษพล ชนานวงศ์ | นักวิชาการอาวุโส สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

ค่าคงตัวและข้อมูลทางกายภาพอื่น ๆ

ค่าคงตัว

ปริมาณ	สัญลักษณ์	ค่าประมาณ
อัตราเร็วของแสง	c, c_0	$3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
ค่าคงตัวโน้มถ่วง	G	$6.6726 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
ค่าคงตัวพลังค์	h	$6.6261 \times 10^{-34} \text{ J s}$
ประจุมูลฐาน	e	$1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$
ค่าคงตัวริดเบิร์ก	R_∞	$1.0974 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$
รัศมีโบร์	a_0	$5.2918 \times 10^{-11} \text{ m}$
มวลอิเล็กตรอน	m_e	$9.1094 \times 10^{-31} \text{ kg}$
มวลโปรตอน	m_p	$1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$
มวลนิวตรอน	m_n	$1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg}$
มวลดิวเทอรอน	m_d	$3.3436 \times 10^{-27} \text{ kg}$
ค่าคงตัวอาโวกาโดร	N_A, L	$6.0221 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
ค่าคงตัวมวลอะตอม	m_u	$1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$
ค่าคงตัวแก๊ส	R	$8.3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
ค่าคงตัวโบลต์ซมันน์	k_B	$1.3807 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

ข้อมูลทางกายภาพอื่น ๆ

ปริมาณ	ค่า
มวลของโลก	$5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$
มวลของดวงจันทร์	$7.36 \times 10^{22} \text{ kg}$
มวลของดวงอาทิตย์	$1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$
รัศมีของโลก (เฉลี่ย)	$6.38 \times 10^3 \text{ km}$
รัศมีของดวงจันทร์ (เฉลี่ย)	$1.74 \times 10^3 \text{ km}$
รัศมีของดวงอาทิตย์ (เฉลี่ย)	$6.96 \times 10^5 \text{ km}$
ระยะทางระหว่างโลกและดวงจันทร์ (เฉลี่ย)	$3.84 \times 10^5 \text{ km}$
ระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ (เฉลี่ย)	$1.496 \times 10^8 \text{ km}$



สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ