



คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่



ฟิสิกส์

เล่ม ๖

๖

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑



ตัวอักษรกรีก

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

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



คู่มือครู

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๖

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

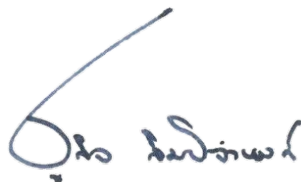
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้รับมอบหมายจากกระทรวงศึกษาธิการในการพัฒนามาตรฐานและตัวชี้วัดของหลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และยังมีบทบาทหน้าที่ในการรับผิดชอบเกี่ยวกับการจัดทำหนังสือเรียน คู่มือครู แบบฝึกทักษะ กิจกรรม และสื่อการเรียนรู้ ตลอดจนวิธีการจัดการเรียนรู้และการวัดและประเมินผล เพื่อให้การจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๖ นี้ จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการใช้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๖ โดยครอบคลุมเนื้อหาตามผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ ในสาระฟิสิกส์ โดยมีตารางวิเคราะห์ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้ เพื่อการจัดทำหน่วยการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีแนวทางการจัดการเรียนรู้ การให้ความรู้เพิ่มเติมที่จำเป็นสำหรับครูผู้สอน รวมทั้งการเฉลยคำถามและแบบฝึกหัดในหนังสือเรียน

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือครูเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิบุคลากรทางการศึกษาและหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้



(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อต้องการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้อย่างกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลายมีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. ได้มีการจัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน และเพื่อให้ครูสามารถสอนและจัดกิจกรรมต่าง ๆ ตามหนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้จัดทำคู่มือครูสำหรับใช้ประกอบหนังสือเรียนดังกล่าว

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๖ นี้ ได้บอกแนวการจัดการเรียนการสอนตามเนื้อหาในหนังสือเรียนประกอบด้วยเรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ฟิสิกส์อะตอม ฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์อนุภาค ซึ่งครูสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ให้บรรลุจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยสามารถนำไปจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ตามความเหมาะสมและความพร้อมของโรงเรียน ในการจัดทำคู่มือครูเล่มนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ รวมทั้งครู นักวิชาการ จากทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๖ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สอน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้คู่มือครูเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้งสสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ เล่ม ๖

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖

เวลา ๘๐ ชั่วโมง จำนวน ๒ หน่วยกิต

ศึกษาการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สมมติฐานของพลังค์ ทฤษฎีอะตอมของโบร์ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค เสถียรภาพของนิวเคลียส กัมมันตภาพรังสี ปฏิกิริยานิวเคลียร์ พลังงานนิวเคลียร์และฟิสิกส์อนุภาค โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปราย และสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา ด้านการสื่อสาร สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

- อธิบายการเกิดและลักษณะเฉพาะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงไม่โพลาไรส์ แสงโพลาไรส์เชิงเส้น และแผ่นโพลาไรซ์ รวมทั้งอธิบายการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้ และหลักการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
- สืบค้นและอธิบายการสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการส่งผ่านสารสนเทศ และเปรียบเทียบการสื่อสารด้วยสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณดิจิทัล
- อธิบายสมมติฐานของพลังค์ ทฤษฎีอะตอมของโบร์ และการเกิดเส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกและคำนวณพลังงานโฟตอน พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอนและฟังก์ชันงานของโลหะ
- อธิบายทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค รวมทั้งอธิบายและคำนวณความยาวคลื่นเดอบรอยล์
- อธิบายกัมมันตภาพรังสีและความแตกต่างของรังสีแอลฟา บีตาและแกมมา
- อธิบายและคำนวณกัมมันตภาพของนิวเคลียสกัมมันตรังสี รวมทั้งทดลอง อธิบาย และคำนวณจำนวนนิวเคลียสกัมมันตรังสีที่เหลือจากการสลายและครึ่งชีวิต
- อธิบายแรงนิวเคลียร์ เสถียรภาพของนิวเคลียส และพลังงานยึดเหนี่ยว รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- อธิบายปฏิกิริยานิวเคลียร์ ฟิชชัน และฟิวชัน รวมทั้งคำนวณพลังงานนิวเคลียร์
- อธิบายประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์และรังสี รวมทั้งอันตรายและการป้องกันรังสีในด้านต่าง ๆ
- อธิบายการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค แบบจำลองมาตรฐาน และการใช้ประโยชน์จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคในด้านต่าง ๆ

รวมทั้งหมด ๑๑ ผลการเรียนรู้

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้คู่มือครู

วิทยาศาสตร์มีความเกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการทำงานอาชีพต่าง ๆ รวมทั้งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผลผลิตต่าง ๆ ที่ใช้ในการอำนวยความสะดวกทั้งในชีวิต และการทำงาน นอกจากนี้วิทยาศาสตร์ยังช่วยพัฒนาวิธีคิดและทำให้มีทักษะที่จำเป็นในการตัดสินใจและแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ การจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนมีความรู้และทักษะที่สำคัญตามเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จึงมีความสำคัญยิ่ง ซึ่งเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มีดังนี้

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

คู่มือครูเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นควบคู่กับหนังสือเรียน สำหรับให้ครูได้ใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนได้รับความรู้และมีทักษะที่สำคัญตามจุดประสงค์การเรียนรู้ในหนังสือเรียน ซึ่งสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ตามสาระการเรียนรู้ ส่งเสริมให้บรรลุเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้ อย่างไรก็ตาม 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 หรือวัสดุและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการประกอบ การจัดการเรียนรู้ ซึ่งคุณควรเตรียมล่วงหน้าก่อนเริ่มการจัดการเรียนรู้

- แนวการจัดการเรียนรู้

แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยมีการนำเสนอทั้งใน ส่วนของเนื้อหาและกิจกรรมเป็นขั้นตอนอย่างละเอียด ทั้งนี้ครูอาจปรับหรือเพิ่มเติมกิจกรรม จากที่ให้ได้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

- กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของ บทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสาธิต การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่นๆ ซึ่งควรให้ นักเรียนลงมือปฏิบัติด้วยตนเองโดยองค์ประกอบของกิจกรรมมีรายละเอียด 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 การสืบค้นข้อมูลหรือกิจกรรมอื่นๆ เพื่อให้ครูใช้เป็นข้อมูล สำหรับตรวจสอบผลการทำกิจกรรมของนักเรียน

- อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการอภิปรายและสรุปผลการทำกิจกรรม ซึ่งครูอาจใช้คำถามท้ายกิจกรรมหรือคำถามเพิ่มเติมเพื่อช่วยให้นักเรียนอภิปรายในประเด็นที่ต้องการรวมทั้งช่วยกระตุ้นให้นักเรียนช่วยกันคิดและอภิปรายถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ผลของกิจกรรมเป็นไปตามที่คาดหวัง หรืออาจไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง

นอกจากนี้ อาจมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับครู ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู เพื่อให้ครูมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องนั้น ๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งไม่ควรนำไปเพิ่มเติมให้กับนักเรียน เพราะเป็นส่วนเสริมจากเนื้อหาที่มีในหนังสือเรียน

- แนวการวัดและประเมินผล

แนวทางการวัดและประเมินผลที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ ซึ่งประเมินทั้งด้านความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ประเมินจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ควรเกิดขึ้นหลังจากได้เรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ผลที่ได้จากการประเมินจะช่วยให้ครูทราบถึงความสำเร็จของการจัดการเรียนรู้ รวมทั้งใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับนักเรียน

เครื่องมือวัดและประเมินผลมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น แบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ แบบประเมินทักษะ แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์ ซึ่งครูอาจเรียกใช้เครื่องมือสำหรับการวัดและประเมินผลจากเครื่องมือมาตรฐานที่มีผู้พัฒนาไว้ ดัดแปลงจากเครื่องมือที่ผู้อื่นทำไว้แล้ว หรือสร้างเครื่องมือใหม่ขึ้นเอง ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล ดังภาคผนวก

- แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ และเฉลยแบบฝึกหัด

แนวคำตอบของคำถามตรวจสอบความเข้าใจ และเฉลยแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ ทั้งนี้ครูควรใช้คำถามตรวจสอบความเข้าใจเรียนเพื่อตรวจสอบความรู้ความเข้าใจของนักเรียนก่อนเริ่มเนื้อหาใหม่เพื่อให้สามารถปรับการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมต่อไป และให้แบบฝึกหัดเพื่อฝึกฝนทักษะการแก้ปัญหาและทักษะอื่น ๆ

- เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบท

ประกอบด้วยแนวคำตอบของคำถามท้ายบทเรียนในหนังสือเรียน รวมทั้งเฉลยปัญหาและเฉลยปัญหาท้าทาย ซึ่งครูควรใช้คำถามและปัญหาในแบบฝึกหัดท้ายบทในการตรวจสอบว่าหลังจากที่นักเรียนเรียนจบบทเรียนแล้ว นักเรียนยังขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องใดเพื่อให้สามารถวางแผนการทบทวนหรือเน้นย้ำเนื้อหาให้กับนักเรียนก่อนการทดสอบได้ ส่วนปัญหาท้าทายเป็นปัญหาสำหรับนักเรียนที่มีศักยภาพสูงและต้องการโจทย์ท้าทายเพิ่มเติม

18

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ผลการเรียนรู้	1
การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	1
ผังมโนทัศน์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	4
สรุปแนวความคิดสำคัญ	5
เวลาที่ใช้	7
ความรู้ก่อนเรียน	7
18.1 การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	8
18.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	11
18.2.1 คลื่นวิทยุ	11
18.2.2 ไมโครเวฟ	14
18.2.3 รังสีใต้แดงหรือรังสีอินฟราเรด	15
18.2.4 แสง	17
18.2.5 รังสีเหนือม่วงหรือรังสีอัลตราไวโอเล็ต	17
18.2.6 รังสีเอกซ์	19
18.2.7 รังสีแกมมา	19
18.3 โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	21
18.4 การประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	26
18.4.1 เครื่องฉายรังสีเอกซ์	26
18.4.2 เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์	27
18.4.3 เครื่องควบคุมระยะไกล	27
18.4.4 เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก	28
18.4.5 เครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องของแม่เหล็ก	31
18.5 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	33
18.5.1 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นวิทยุ	34
18.5.2 การสื่อสารโดยอาศัยไมโครเวฟ	35
18.5.3 การสื่อสารโดยอาศัยแสง	35
18.5.4 สัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล	36
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 18	38

19

ฟิสิกส์อะตอม

ผลการเรียนรู้	43
การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	43
ผังมโนทัศน์ ฟิสิกส์อะตอม	46
สรุปแนวความคิดสำคัญ	47
เวลาที่ใช้	49
ความรู้ก่อนเรียน	49
19.1 สมมติฐานของพลังค์และทฤษฎีอะตอมของโบร์	50
19.1.1 การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุดำ	50
19.1.2 ทฤษฎีอะตอมของโบร์	53
19.2 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก	69
19.2.1 ควอนตัมของแสงและโฟตอน	69
19.2.2 ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน	70
19.3 ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค	77
19.3.1 สมมติฐานของเดอบรอยล์	77
19.3.2 กลศาสตร์ควอนตัมและการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์	79
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 19	83

20

ฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์อนุภาค

ผลการเรียนรู้	106
การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	106
ผังมโนทัศน์ ฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์อนุภาค	112
สรุปแนวความคิดสำคัญ	113
เวลาที่ใช้	116
ความรู้ก่อนเรียน	116
20.1 เสถียรภาพของนิวเคลียส	117

สารบัญ		บทที่ 20 - ภาคผนวก
บทที่	เนื้อหา	หน้า
	20.1.1 แร่งนิวเคลียร์	117
	20.1.2 พลังงานยึดเหนี่ยว	122
	20.2 กัมมันตภาพรังสี	130
	20.2.1 การค้นพบกัมมันตภาพรังสี	130
	20.2.2 รังสีจากธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสี	132
	20.2.3 การสลายและสมการการสลาย	135
	20.2.4 กัมมันตภาพ	144
	20.2.5 ครึ่งชีวิต	155
	20.3 ปฏิกิริยานิวเคลียร์และพลังงานนิวเคลียร์	169
	20.3.1 ฟิชชัน	170
	20.3.2 ฟิวชัน	176
	20.4 ประโยชน์และการป้องกันอันตรายจากรังสี	185
	20.4.1 การนำรังสีไปใช้ประโยชน์	188
	20.4.2 รังสีในธรรมชาติและ การป้องกันอันตรายจากรังสี	194
	20.5 ฟิสิกส์อนุภาค	204
	20.5.1 อนุภาคมูลฐาน	204
	20.5.2 แบบจำลองมาตรฐาน	204
	20.5.3 ประโยชน์จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค	204
	เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 20	224

ภาคผนวก

ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล	270
แบบทดสอบ	271
แบบประเมินทักษะ	275
แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์	278
การประเมินการนำเสนอผลงาน	281
บรรณานุกรม	283
คณะกรรมการจัดทำคู่มือครู	285

บทที่

18

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



ipst.me/11454

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายการเกิดและลักษณะเฉพาะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงไมโครเวฟ แสงโพลาไรซ์ แสงโพลาไรซ์เชิงเส้น และแผ่นโพลาไรซ์ รวมทั้งอธิบายการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้และหลักการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
2. สืบค้นและอธิบายการสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการส่งผ่านสารสนเทศ และเปรียบเทียบการสื่อสารด้วยสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณดิจิทัล

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายการเกิดและลักษณะเฉพาะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงไมโครเวฟ แสงโพลาไรซ์ แสงโพลาไรซ์เชิงเส้น และแผ่นโพลาไรซ์ รวมทั้งอธิบายการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้และหลักการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. อธิบายลักษณะเฉพาะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
3. อธิบายความหมายของสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
4. อธิบายการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้
5. อธิบายโพลาไรเซชันของแสง แสงไมโครเวฟและแสงโพลาไรซ์เชิงเส้น
6. สังเกตความสว่างของแสงเมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่น
7. ยกตัวอย่างและอธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์บางชนิดที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
-	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล มีการอ้างอิงแหล่งที่มาและการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลายได้อย่างสมเหตุสมผล) 2. ความร่วมมือการทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความรอบคอบ

ผลการเรียนรู้

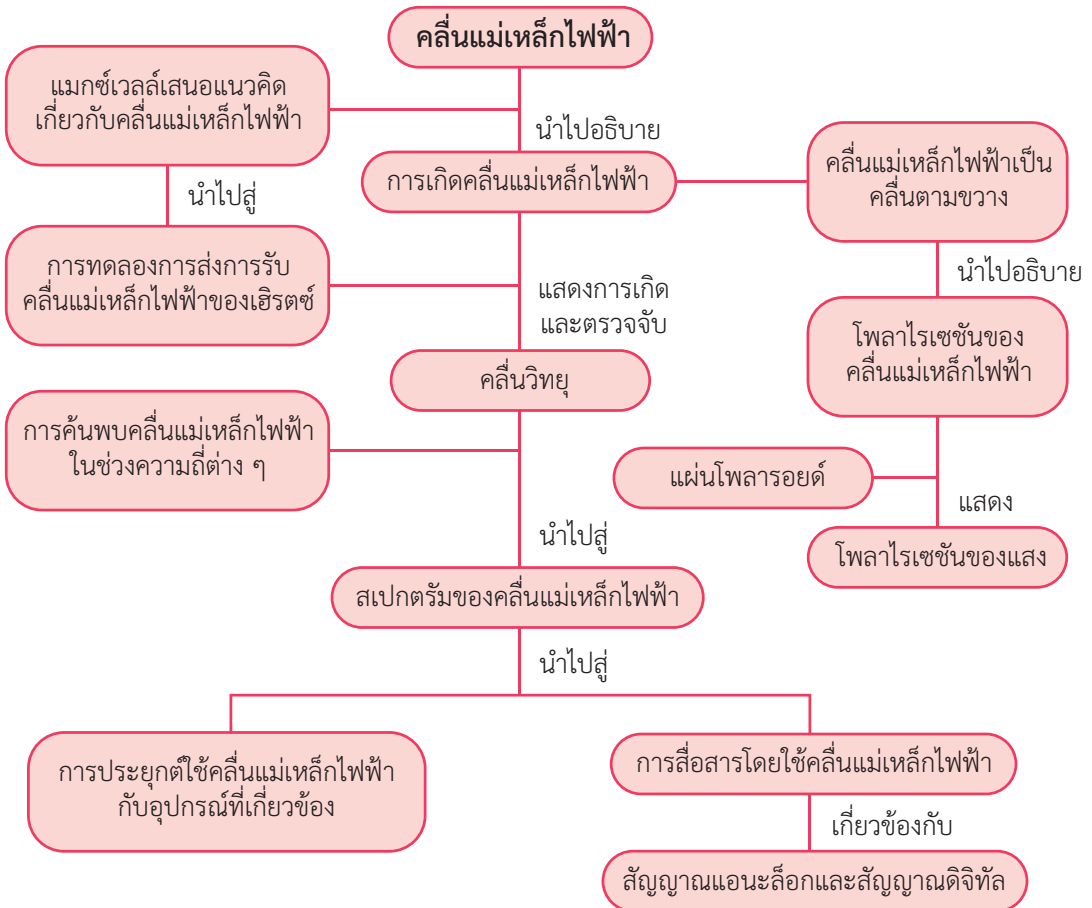
2. สืบค้นและอธิบายการสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการส่งผ่านสารสนเทศ และเปรียบเทียบการสื่อสารด้วยสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณดิจิทัล

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นและอธิบายการสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. เปรียบเทียบการสื่อสารด้วยสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณดิจิทัล

ทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
-	- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล มีการอ้างอิงแหล่งที่มาและการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลายได้อย่างสมเหตุสมผล) - ความร่วมมือการทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	- ความอยากรู้อยากเห็น - ความรอบคอบ

ผังมโนทัศน์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



สรุปแนวความคิดสำคัญ

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องระหว่างสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า กล่าวคือ สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ในขณะที่ตัวกันสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาก็ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงประกอบด้วย สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยทั้งสองสนามมีทิศทางตั้งฉากกันและตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวางที่ไม่อาศัยตัวกลาง สามารถแผ่ออกไปได้ในสุญญากาศด้วยอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วแสงหรือประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที และมีอัตราเร็วน้อยลงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง โดยจะมีอัตราเร็วไม่เท่ากันในตัวกลางต่าง ๆ ขึ้นกับตัวกลางและชนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเข้ากับสายอากาศที่ประกอบด้วยท่อนโลหะที่อยู่ในแนวตั้ง อิเล็กตรอนในสายอากาศจะเคลื่อนที่กลับไปมาด้วยความเร่งในแนวตั้ง ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกรอบสายอากาศทุกทิศทาง ยกเว้นทิศทางที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกับสายอากาศ

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่ต่าง ๆ มากมายต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้าง เรียกรวมกันว่า **สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า** สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วย คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด แสง รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา ในปัจจุบันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดถูกนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงทิศทางกลับไปมาในระนาบเดียว เรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลักษณะนี้ว่า **คลื่นโพลาไรส์เชิงเส้น**

แหล่งกำเนิดคลื่นแสงทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น ดวงอาทิตย์ หลอดไฟ รวมทั้งแสงจะสะท้อนจากสิ่งต่าง ๆ รอบตัว จะมีสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงกลับไปมาอยู่ในหลายระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่แสงจากแหล่งกำเนิดแสงดังกล่าวจึงเป็น**แสงไม่โพลาไรส์**

เมื่อแสงไม่โพลาไรส์ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ สนามไฟฟ้าของแสงที่มีทิศทางตั้งฉากกับแนวโพลาไรส์ของแผ่นโพลาไรซ์จะถูกดูดกลืน แต่สนามไฟฟ้าของแสงที่มีทิศทางขนานกับแนวโพลาไรส์จะผ่านแผ่นโพลาไรซ์ได้ ทำให้ความสว่างลดลงเมื่อเทียบกับขณะไม่มีแผ่นโพลาไรซ์กั้น แสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ออกมาจึงเป็นแสงโพลาไรส์เชิงเส้น สมบัติของแสงลักษณะนี้เรียกว่า **โพลาไรเซชัน**

ตัวอย่างอุปกรณ์ ที่ประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องฉายรังสีเอกซ์สร้างภาพสองมิติ อวัยวะภายใน เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ใช้รังสีเอกซ์สร้างภาพตัดขวางอวัยวะภายในร่างกาย และสามารถสร้างเป็นภาพสามมิติได้ เครื่องควบคุมระยะไกลใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นวิทยุควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลกใช้ไมโครเวฟ เครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กใช้คลื่นวิทยุสร้างภาพสามมิติอวัยวะภายในร่างกาย

การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อส่งผ่านสารสนเทศจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง สารสนเทศจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปสัญญาณสำหรับส่งไปยังปลายทาง โดยที่ปลายทางจะแปลงสัญญาณกลับมาเป็นสารสนเทศที่เหมือนเดิม สัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารมีสองชนิดคือ แอ่นะล็อก และดิจิทัล การส่งผ่านสารสนเทศด้วยสัญญาณดิจิทัลสามารถส่งผ่านได้โดยมีความผิดพลาดน้อยกว่าสัญญาณแอนะล็อก

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 22 ชั่วโมง

18.1 การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	4	ชั่วโมง
18.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	5	ชั่วโมง
18.3 โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	4	ชั่วโมง
18.4 การประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	4	ชั่วโมง
18.5 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	5	ชั่วโมง



ความรู้ก่อนเรียน

สมบัติของคลื่น คลื่นกล ไฟฟ้าสถิต ไฟฟ้ากระแส แม่เหล็กและไฟฟ้า

ครูนำเข้าสู่บทที่ 18 โดยอาจใช้ภาพนำบทตั้งคำถามว่า ในภาพเป็นอุปกรณ์ใช้ทำอะไร ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่าเป็นเสาอากาศที่ใช้ส่งวิทยุกระจายเสียงหรือใช้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ จากนั้นตั้งคำถามว่าการสื่อสารโดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่มีหลักการทำงานอย่างไร เหมือนกับการกระจายสัญญาณเสียงของสถานีวิทยุหรือไม่ ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า การสื่อสารโดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่และการกระจายสัญญาณเสียงของสถานีวิทยุ อาศัยคลื่นวิทยุซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการส่งสารสนเทศจากผู้ส่งไปยังผู้รับ ครูชี้แจงคำถามสำคัญที่นักเรียนจะต้องตอบได้หลังจากเรียนรู้บทที่ 18 และหัวข้อต่าง ๆ ที่จะได้เรียนรู้ในบทนี้

18.1 การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. อธิบายลักษณะเฉพาะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่จะเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเสมอ	1. เมื่อประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร่งจึงจะเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอาศัยอากาศเป็นตัวกลางในการส่งผ่านพลังงาน	2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่อาศัยตัวกลางในการส่งผ่านพลังงาน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 1 และ 2 ของหัวข้อ 18.1 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.1 โดยใช้คำถามเพื่อทบทวนการเกิดคลื่นกลและการส่งผ่านพลังงานของคลื่นกล จากนั้นตั้งคำถามว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นได้อย่างไร และส่งผ่านพลังงานออกไปโดยไม่อาศัยตัวกลางได้อย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูนำอภิปรายทบทวนความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า จากนั้นตั้งคำถามว่าถ้ามีการเหนี่ยวนำซึ่งกันและกันระหว่างสนามแม่เหล็กกับสนามไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง เกี่ยวข้องกับการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างไร จากนั้นนำอภิปรายเกี่ยวกับแนวคิดของแมกซ์เวลล์ จนสรุปได้ว่าสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทำให้เกิดสนามไฟฟ้า การเหนี่ยวนำซึ่งกันและกันนี้ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกไปด้วยอัตราเร็ว 3×10^8 เมตรต่อวินาที ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูใช้รูป 18.1 นำอภิปรายตัวอย่างการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศ จนสรุปได้ว่ามีอิเล็กตรอนในสายอากาศเคลื่อนที่กลับไปมาด้วยความเร่งในแนวตั้ง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วย เกิดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกรอบสายอากาศทุกทิศทางในแนวรัศมี ยกเว้นในแนวตั้งซึ่งเป็นแนวเส้นตรงเดียวกับสายอากาศ

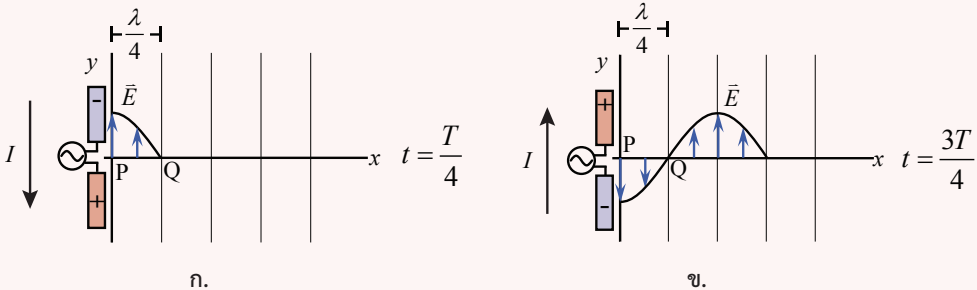
ครูนำอภิปรายทบทวนความรู้เกี่ยวกับสนามไฟฟ้าของประจุไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กของกระแสไฟฟ้า จากนั้นนำอภิปรายเกี่ยวกับการแผ่สนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังรูป 18.2 และการแผ่

สนามแม่เหล็กของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังรูป 18.3 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่าการต่อสายอากาศกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับข้างต้น ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำต่อเนื่องระหว่างสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า เกิดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกจากสายอากาศ การเปลี่ยนแปลงสนามทั้งสองมีเฟสตรงกัน กล่าวคือมีค่าเป็นศูนย์พร้อมกัน และมีค่าสูงสุดพร้อมกัน

จากนั้นใช้รูป 18.4 นำอภิปรายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของสนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก และทิศทางความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จนสรุปได้ว่าทิศทางของความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหาได้โดยใช้มือขวา ชี้นิ้วทั้งสี่ไปตามทิศทางของสนามไฟฟ้า จากนั้นนิ้วทั้งสี่ไปหาทิศทางของสนามแม่เหล็ก นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศทางของความเร็ว ดังนั้นทิศทางสนามไฟฟ้าและทิศทางสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับทิศทางความเร็ว คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเป็นคลื่นตามขวาง

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การพิจารณากระแสไฟฟ้าในสายอากาศและสนามไฟฟ้าที่แผ่ออกจากสายอากาศเมื่อต่อสายอากาศกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ



รูป ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในสายอากาศและสนามไฟฟ้าที่แผ่ออก

ทิศทางกระแสไฟฟ้าในตัวนำมีทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้าในตัวนำ แต่จากรูป ก. และ รูป ข. จะสังเกตเห็นว่าทิศทางของกระแสไฟฟ้า I มีทิศทางตรงข้ามกับสนามไฟฟ้า E ที่แผ่ออกจากตัวนำที่ตำแหน่ง P ทั้งนี้เนื่องจากกระแสไฟฟ้าในสายอากาศ เกิดจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจากรูป 18.3 ก. กระแสไฟฟ้า I มีทิศทางลง ทำให้โลหะท่อนล่างมีประจุบวก ขณะที่โลหะท่อนบนมีประจุลบ ที่ตำแหน่ง P ใกล้เคียงสายอากาศจึงเกิดสนามไฟฟ้า E แผ่ออกภายนอกสายอากาศมีทิศทางขึ้น จากรูป ข. พิจารณาได้ในทำนองเดียวกัน กระแสไฟฟ้า I มีทิศทางขึ้น สนามไฟฟ้า E ที่ตำแหน่ง P มีทิศทางลง เนื่องจากแหล่งกำเนิดเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจึงทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสายอากาศมีลักษณะเป็นการเคลื่อนที่แบบสั่นกลับไปกลับมา

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการเกิดและลักษณะเฉพาะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 18.1
2. จิตวิทยาศาสตร์ความอยากรู้อยากเห็นจากการอภิปรายร่วมกัน



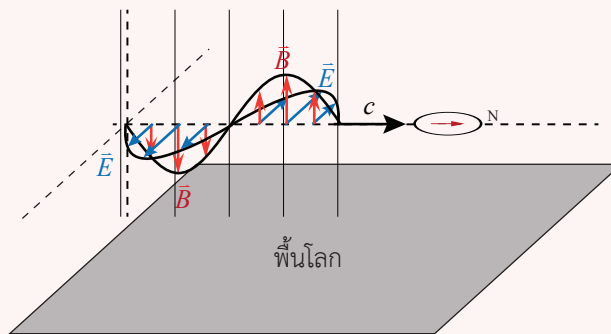
แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 18.1

1. หน้าที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านสายไฟฟ้าที่ต่อระหว่างแบตเตอรี่กับหลอดไฟฟ้าจะเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกมาจากสายไฟฟ้านั้นหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ไม่เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกมาจากสายไฟฟ้า เพราะกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่ผ่านสายไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งมีค่าคงตัว จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

2. ชายคนหนึ่งอยู่ที่เส้นศูนย์สูตรของโลก ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ขนานกับพื้นไปทางทิศเหนือ และตรวจพบว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกไปนั้นมีการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าอยู่ในแนวทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กจะอยู่ในแนวใด

แนวคำตอบ การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กอยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้น ดังรูป ซึ่งหาได้โดยใช้มือขวา



รูป ประกอบแนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจข้อ 2

3. จงระบุความแตกต่างระหว่างคลื่นกลและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แนวคำตอบ คลื่นกลส่งผ่านพลังงานโดยอาศัยตัวกลาง แต่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผ่านพลังงานโดยไม่อาศัยตัวกลาง

18.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกความหมายของสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. อธิบายการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นความถี่ต่าง ๆ มีพฤติกรรมของคลื่นแตกต่างกัน	1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกช่วงความถี่มีพฤติกรรมของคลื่นเหมือนกัน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 18.2 โดยตั้งคำถามว่า นอกจากแสงยังมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดใดอีกบ้าง แต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีหลายชนิด เช่น แสง คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ รังสีเอกซ์และรังสีแกมมา แต่ละชนิดแตกต่างกันขึ้นกับความถี่

ครูตั้งคำถามว่า การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบจะเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกไปที่ลูกคลื่น ใช้เวลาเท่าใด จากนั้นนำอภิปรายจนสรุปความสัมพันธ์อัตราเร็ว ความยาวคลื่น และความถี่ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เช่นเดียวกับคลื่นกล ตามสมการ $v = f\lambda$

ครูใช้รูป 18.5 นำอภิปรายจนสรุปได้ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่ต่อเนื่องเป็นช่วงกว้าง ประกอบด้วยแต่ละช่วงความถี่ที่มีชื่อเรียกแตกต่าง เรียกรวมกันว่า สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยพลังงานของคลื่นจะขึ้นอยู่กับความถี่ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงจะมีพลังงานสูง จากนั้นครูตั้งคำถามว่า คลื่นแต่ละความถี่นำไปใช้ประโยชน์อย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาในหัวข้อต่อไป

18.2.1 คลื่นวิทยุ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. สัญญาณที่จะส่งไปกับคลื่นวิทยุ คือ คลื่นเสียงที่เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าเท่านั้น	1. สัญญาณที่จะส่งไปกับคลื่นวิทยุ คือ เสียง ภาพ และสารสนเทศที่เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 3 และ 4 ของหัวข้อ 18.2 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับคลื่นวิทยุ ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.2.1 โดยตั้งคำถามว่าคลื่นวิทยุสามารถใช้ส่งสารสนเทศที่เป็นเสียงหรือเป็นภาพได้อย่างไร นำอภิปรายจนสรุปได้ว่าคลื่นวิทยุสามารถใช้สารสนเทศได้ทั้งเสียงและภาพ โดยแปลงเสียงหรือภาพเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วผสมสัญญาณไฟฟ้ากับคลื่นวิทยุเป็นคลื่นผสม จากนั้นส่งสัญญาณคลื่นผสมเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีส่งไปยังผู้รับ

ครูใช้คลิปเสียงหรือยกตัวอย่างสถานการณ์ คำพูดของผู้จัดรายการวิทยุ “ที่นี่สถานีวิทยุเอเอ็ม.....กิโเลเฮิร์ตซ์” หรือ “ที่นี่สถานีวิทยุเอฟเอ็ม.....เมกะเฮิร์ตซ์” แล้วตั้งคำถามว่า เอฟเอ็ม เอเอ็ม คืออะไร ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่าเป็นวิธีผสมสัญญาณไฟฟ้าของเสียงหรือภาพกับคลื่นวิทยุแบบเอเอ็มและแบบเอฟเอ็ม

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

1. สายอากาศเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องส่ง และสายอากาศยังรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าเครื่องรับ สายอากาศต้องออกแบบมาให้เหมาะสมกับการรับ-ส่งคลื่นวิทยุ ความถี่ช่วงใดช่วงหนึ่งได้ ระบบการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุและโทรทัศน์ในปัจจุบัน มีสายอากาศหลายรูปแบบ เช่น เป็นเส้นตรง เส้นโค้ง จานพาราโบลา ขึ้นอยู่กับประเภทของการสื่อสาร สายอากาศของเครื่องรับวิทยุที่ใช้กันทั่วไปมีหลายแบบ เช่น แบบเส้นตรง แบบทำเป็นบ่วง สายอากาศแบบเส้นตรงจะรับสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สายอากาศชนิดนี้จะรับสัญญาณวิทยุได้ดีที่สุดเมื่อสายอากาศอยู่ในแนวขนานกับสนามไฟฟ้าของคลื่นวิทยุที่เข้ามา ส่วนสายอากาศแบบบ่วงจะรับสัญญาณสนามแม่เหล็กของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สายอากาศชนิดนี้จะรับสัญญาณวิทยุได้ดีที่สุดเมื่อระนาบบ่วงของสายอากาศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กของคลื่นวิทยุที่เข้ามา
2. ความยาวสายอากาศจะขึ้นกับความยาวคลื่นวิทยุ จึงต้องผสมสัญญาณไฟฟ้าของเสียงเข้ากับคลื่นวิทยุ เรียกว่า การมอดูเลต เหตุที่ไม่ใช้คลื่นวิทยุที่มีความถี่ต่ำเพราะว่าถ้าใช้คลื่นวิทยุที่มีความถี่ต่ำ จะมีความยาวคลื่นมาก ทำให้ต้องใช้สายอากาศที่ยาวมาก ตามสมการ $\lambda = \frac{v}{f}$ เช่น ถ้าใช้ช่วงความถี่ 1 000 Hz สายอากาศจะต้องส่ง-รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 300 km ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{v}{f} \\
 &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{1000 \text{ Hz}} \\
 &= 3 \times 10^5 \text{ m} \\
 &= 300 \text{ km}
 \end{aligned}$$

หมายความว่า สายอากาศของทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ จะต้องมีความยาวมาก ซึ่งเป็นไปไม่ได้ที่จะทำสายอากาศมีความยาวขนาดนั้น แต่ถ้าใช้คลื่นวิทยุที่มีความถี่สูง เช่น 10^7 เฮิรตซ์ ซึ่งมีความยาวคลื่น 30 เมตร สามารถจะทำสายอากาศส่ง – รับ คลื่นที่มีความยาวคลื่นขนาดนี้ได้

3. บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์เป็นบรรยากาศชั้นที่โมเลกุลของอากาศอยู่ในสภาพแตกตัวเป็นไอออน ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าอิสระมากมาย เมื่อคลื่นวิทยุที่ส่งจากพื้นโลกกระทบบรรยากาศชั้นนี้ สนามไฟฟ้าจากคลื่นวิทยุจะส่งแรงกระทำกับประจุ ทำให้ประจุอิสระเหล่านั้นสั่นไปมาเนื่องจากดูดกลืนพลังงานไว้ ผลของการสั่นของประจุไฟฟ้าทำให้อิเล็กตรอนมีความเร่ง จึงปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาโดยมีความถี่เท่ากัน จึงมีผลเหมือนกับว่าคลื่นวิทยุขึ้นไปบนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แล้วสะท้อนกลับลงมา

18.2.2 ไมโครเวฟ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ไมโครเวฟใช้สำหรับอุ่นอาหารและเครื่องต้มเท่านั้น	1. ไมโครเวฟนอกจากใช้ในการอุ่นอาหารและเครื่องต้มแล้ว ยังใช้ในการสื่อสารได้ด้วย
2. เตาไมโครเวฟ จะทำให้โมเลกุลอาหารเปลี่ยนแปลงเกิดเป็นสารอันตรายต่อร่างกายได้	2. เตาไมโครเวฟทำให้โมเลกุลของน้ำสั่นจนเกิดความร้อน ทำให้อาหารร้อนได้ จึงไม่เกิดเป็นสารอันตรายต่อร่างกาย
3. ไมโครเวฟจะสะสมตกค้างในอาหารที่ใช้กับเตาไมโครเวฟ	3. ไมโครเวฟไม่สะสมหรือตกค้างในอาหารที่ใช้กับเตาไมโครเวฟ
4. ไมโครเวฟที่ใช้อุ่นอาหารใช้ทุกความถี่	4. ไมโครเวฟที่ใช้อุ่นอาหารใช้เฉพาะความถี่ประมาณ 2.45 GHz

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 3 และ 4 ของหัวข้อ 18.2 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับไมโครเวฟ ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.2.2 โดยยกสถานการณ์การทำให้อาหารร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ จากนั้นตั้งคำถามว่าอาหารร้อนขึ้นได้อย่างไร และเหตุใดจึงเรียกว่าเตาไมโครเวฟ ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นนำอภิปรายเกี่ยวกับสมบัติเบื้องต้นของไมโครเวฟตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า เตาไมโครเวฟจะผลิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ไมโครเวฟออกมา โดยความถี่ของคลื่นดังกล่าวจะพอเหมาะให้โมเลกุลของน้ำสั่น จนทำให้น้ำที่เป็นส่วนประกอบของอาหารอุณหภูมิสูงขึ้นจนเดือดได้

ครูตั้งคำถามว่า ไมโครเวฟนอกจากใช้ทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์อะไรได้อีก ให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วนำอภิปรายเกี่ยวกับตัวอย่างของการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงไมโครเวฟไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น การส่งสัญญาณเสียงและภาพ ระบบเรดาร์ ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ข้อควรระวังในการใช้เตาไมโครเวฟ

ห้ามนำโลหะเข้าไปในเตาไมโครเวฟ เพราะโลหะจะไปทำให้ไมโครเวฟที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดคลื่น เกิดการสะท้อนกลับ ทำให้แหล่งกำเนิดคลื่นเกิดความเสียหายได้นอกจากนี้ถ้าโลหะมีลักษณะบางหรือมีปลายแหลมอาจหลอมละลายและทำให้เกิดประกายไฟขึ้นในเตาไมโครเวฟ



รูป เตาไมโครเวฟ

เรดาร์

เรดาร์ เป็นการตรวจหาตำแหน่งของวัตถุโดยวิธีส่งไมโครเวฟออกไป ในลักษณะเป็นคลื่นดลประมาณ 200 ถึง 300 ครั้ง ภายใน 1 วินาที ในทิศทางที่ต้องการตรวจสอบ เมื่อคลื่นกระทบวัตถุสะท้อนกลับมามีจะทำให้ทราบตำแหน่งและความเร็วของวัตถุได้ ตัวอย่างการใช้งานเรดาร์ เช่น ใช้ในการควบคุมการจราจรทางอากาศ การหาตำแหน่งของเรือ รวมทั้งการตรวจสอบสภาพอากาศ

18.2.3 รังสีใต้แดงหรือรังสีอินฟราเรด

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. รังสีอินฟราเรดมีความยาวคลื่นน้อยกว่าแสงสีแดง	1. รังสีอินฟราเรดมีความยาวคลื่นมากกว่าแสงสีแดง
2. รังสีอินฟราเรดมีพลังงานสูงกว่าแสง	2. รังสีอินฟราเรดมีพลังงานต่ำกว่าแสง

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

การใช้ภาพหรือวิดีโอที่สนับสนุนประกอบกับการใช้คำถามนำเข้าสู่หัวข้อ

- ภาพถ่ายหรือวิดีโอที่สนับสนุนในเวลากลางคืนจากกล้อง
- ถ่ายภาพในที่มืดหรือกล้องวงจรปิด
- ภาพถ่ายการคัดกรองผู้ป่วยเมื่อเข้าประเทศด้วยกล้องอินฟราเรด

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 3 และ 4 ของหัวข้อ 18.2 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับรังสีใต้แดงหรือรังสีอินฟราเรด ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.2.3 โดยใช้รูป 18.6 หรือใช้ภาพถ่ายหรือวิดีโอที่บันทึกในเวลากลางคืนจากกล้องถ่ายภาพในที่มืดหรือกล้องวงจรปิด หรือภาพถ่ายการคัดกรองผู้ป่วยเมื่อเข้าประเทศด้วยกล้องอินฟราเรด แล้วตั้งคำถามว่ากล้องดังกล่าวถ่ายภาพในที่มืดได้อย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

นำอภิปรายจนสรุปได้ว่าการถ่ายภาพในที่มืดเป็นการใช้รังสีอินฟราเรด ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับตัวอย่างของการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงรังสีอินฟราเรดไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น เครื่องควบคุมการทำงานของอุปกรณ์บางชนิด

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ร่างกายมนุษย์มีอุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียสจึงสามารถแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปของรังสีอินฟราเรด การใช้ **infrared thermometer** วัดอุณหภูมิของร่างกายได้โดยไม่ต้องให้เครื่องวัดสัมผัสกับร่างกาย การวัดอุณหภูมิวิธีเช่นนี้มีข้อดี คือ ไม่มีการทำให้เครื่องวัดปนเปื้อนสิ่งสกปรก ต่างจากการใช้เทอร์มอมิเตอร์ที่ต้องสัมผัสร่างกาย

การอ่านข้อมูลของแผ่นซีดีในช่วงแรกใช้อินฟราเรด โดยมี **infrared laser diode** เป็นตัวส่งรังสีอินฟราเรดความเข้มสูงไปกระทบผิวหน้าของแผ่นซีดีจากนั้นจะมี **infrared photodiode** เป็นตัวอ่านสัญญาณอินฟราเรดที่สะท้อนมา ทำให้ทราบรหัส 0 หรือ 1 ที่บันทึกบนแผ่นซีดี

สำหรับการบันทึก จะใช้ **infrared laser diode** กำลังสูง ทำให้เกิดรอยรหัส 0 หรือ 1 บนแผ่นซีดี

18.2.4 แสง

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

กรณีครูสาธิตกิจกรรมแยกแสงขาวด้วยปริซึม

- ปริซึม

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 3 และ 4 ของหัวข้อ 18.2 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับแสง ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.2.4 โดยครูใช้ปริซึมแยกแสงขาวให้นักเรียนเห็นสเปกตรัมของแสง จากนั้นใช้คำถามว่าแสงที่นักเรียนรู้จักมีความถี่และความยาวคลื่นอยู่ในช่วงใดและมีแสงสีอะไรบ้าง ปรากฏการณ์อะไรบ้างที่ทำให้รู้ว่าแสงประกอบด้วยสีต่าง ๆ แสงสีใดมีความยาวคลื่นมากที่สุดและน้อยที่สุด และใช้ประโยชน์จากแสงในด้านใดบ้าง ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับแสงและการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากแสง จนสรุปได้ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูใช้คำถามว่าเลเซอร์คืออะไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นนำอภิปรายเกี่ยวกับการพัฒนาแหล่งกำเนิดแสงความถี่เดียวที่เรียกว่าเลเซอร์ และการใช้ประโยชน์จากเลเซอร์ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

18.2.5 รังสีเหมืองหรือรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. รังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นรังสีที่ตามองเห็นได้	1. รังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นรังสีที่ตามองไม่เห็น
2. แสงสีม่วงที่มองเห็นจากหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต คือรังสีอัลตราไวโอเล็ต	2. แสงสีม่วงที่มองเห็นจากหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ไม่ใช่รังสีอัลตราไวโอเล็ต

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

- บรรจุภัณฑ์ครีมนันแดดพร้อมฉลาก หรือภาพฉลากของครีมนันแดด

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 3 และ 4 ของหัวข้อ 18.2 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับรังสีเหนือม่วงหรือรังสีอัลตราไวโอเล็ต ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.2.5 โดยนำบรรจุภัณฑ์ครีมกันแดดพร้อมฉลาก หรือภาพฉลากของครีมกันแดดให้นักเรียนสังเกต แล้วตั้งคำถามว่าอักษร “UV...” บนฉลากเกี่ยวข้องกับอะไรและมีผลกระทบกับมนุษย์อย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นนำอภิปรายจนสรุปเกี่ยวกับรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระโดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วอภิปรายจนสรุปได้ว่าสามารถประยุกต์ใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตได้หลายด้าน เช่น ด้านการแพทย์ การเกษตร การตรวจสอบเอกสาร ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

รังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยทั่วไปที่ได้จากแสงอาทิตย์มีความยาวคลื่นประมาณ 100 nm - 400 nm ซึ่งเป็นรังสีที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์มากที่สุด ปริมาณรังสีที่ได้รับมากเกินไปจะทำให้ผิวหนังมีสีคล้ำขึ้น นอกจากนี้ยังทำลายเนื้อเยื่อคอลลาเจนและอีลาสติก เป็นเหตุให้เกิดริ้วรอยเหี่ยวย่นหรือผิวแก่ก่อนวัย

จึงมีการคิดค้นครีมป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต เพื่อลดปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านไปถึงผิวหนัง โดยพิจารณาจากค่าการปกป้องแสงแดด (sun protection factor : SPF) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกระดับการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตปีที่ตกกระทบผิวหนังที่ทำให้ผิวหนังแดงคล้ำ ตัวเลขที่ระบุแสดงจำนวนเท่าของเวลาที่ผิวหนังทนต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตปีได้ เมื่อทาครีมป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้ว ปกติผิวหนังที่ไม่ได้ทาครีมป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ประมาณ 20 - 30 นาที ดังนั้นถ้าทาครีมป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีค่า SPF 15 ผิวหนังจะทนต่อแสงแดดได้ $20 \times 15 = 300$ นาที หรือ 5 ชั่วโมง ข้อควรระวังคือสารเคมีในครีมป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตนั้นอาจจะคายเคืองต่อผิวหนังได้

ธนาคารพาณิชย์จะใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตช่วยในการตรวจสอบลายมือชื่อในสมุดบัญชีธนาคาร ถ้าลายมือชื่อนั้นมีการขีดขีดหรือลบ รังสีอัลตราไวโอเล็ตจะช่วยให้เห็นร่องรอยเหล่านั้นชัดเจนขึ้น ตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็นรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้โดยตรง แต่รังสีที่ไปกระทบกระดาษจะถ่ายโอนพลังงานทำให้กระดาษเรืองแสงขึ้น

18.2.6 รังสีเอกซ์

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

- ฟิล์มเอกซ์เรย์

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 3 และ 4 ของหัวข้อ 18.2 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับรังสีเอกซ์ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.2.6 โดยใช้รูป 18.7 หรือฟิล์มเอกซ์เรย์ หรือยกตัวอย่างสถานการณ์อื่นที่เกี่ยวข้อง ตั้งคำถามว่าภาพในรูป 18.7 ในหนังสือเรียน หรือภาพบนฟิล์มเอกซ์เรย์เกิดจากอะไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วนำอภิปรายเพื่อตอบคำถามจนสรุปได้ว่าภาพข้างต้นเกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ แล้วนำอภิปรายเกี่ยวกับสมบัติของรังสีเอกซ์และการนำรังสีเอกซ์ไปประยุกต์ใช้ด้านอื่น ๆ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

18.2.7 รังสีแกมมา

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 3 และ 4 ของหัวข้อ 18.2 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับรังสีแกมมาตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.2.7 โดยตั้งคำถามว่าจากสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นชนิดใดมีช่วงความถี่สูงสุด มีสมบัติอย่างไร และอันตรายอย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วให้นักเรียนศึกษาจากหนังสือเรียนหรือสืบค้นจากแหล่งความรู้อื่นและนำมาใช้ตอบคำถามข้างต้น จากนั้นครูนำอภิปรายเกี่ยวกับช่วงความถี่ สมบัติเบื้องต้น และอันตรายของรังสีแกมมา รวมทั้งตัวอย่างของการนำรังสีแกมมาไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น ด้านอุตสาหกรรม ด้านการแพทย์ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

หัวข้อ 18.2 เรื่อง สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าครูอาจใช้วิธีแบ่งกลุ่ม โดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มสืบค้นเกี่ยวกับช่วงความถี่หรือความยาวคลื่น คุณสมบัติ อันตราย และการประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดแล้วให้นักเรียนนำเสนอผลการสืบค้นตามรูปแบบที่เหมาะสม จากนั้นครูนำอภิปรายสรุปเกี่ยวกับสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงต่าง ๆ จากการอภิปรายร่วมกันและคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 18.2
2. ทักษะด้านการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปรายร่วมกัน
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น จากการอภิปรายร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 18.2

1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงใดที่ประสาทสัมผัสของมนุษย์รับรู้ได้
แนวคำตอบ แสงที่ตามองเห็นสามารถรับรู้ได้ด้วยการมองเห็น และรังสีอินฟราเรดสามารถรับรู้ได้ด้วยกายสัมผัส
2. ไมโครเวฟใช้ปรุงอาหารให้สุกเมื่อนำมาใช้ในการสื่อสารระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเกิดอันตรายต่อผู้ใช้หรือไม่ เพราะอะไร
แนวคำตอบ ไม่เป็นอันตราย ถ้าหากผู้ใช้รับคลื่นนี้ที่มีความเข้มข้นน้อย เพราะไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อ หรือโครงสร้างของดีเอ็นเอได้ แต่ถ้าผู้ใช้รับคลื่นนี้ที่มีความเข้มข้นมาก ๆ เป็นเวลานาน อาจเป็นอันตรายได้ หากบริเวณที่ได้รับเป็นอวัยวะสำคัญ
3. จงยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์และผลกระทบจากรังสีเหนือม่วงที่มีต่อมนุษย์
แนวคำตอบ ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของรังสีเหนือม่วง เช่น นำไปประยุกต์เป็นหลักการประดิษฐ์หลอดฟลูออเรสเซนต์เพื่อให้แสงสว่างหรือหลอดผลิตรังสีเหนือม่วงสำหรับทำให้สารบางชนิดเรืองแสงหรือใช้ฆ่าเชื้อโรค นอกจากนี้รังสีเหนือม่วงเมื่อตกกระทบผิวหนังของมนุษย์ ทำให้ร่างกายสามารถสร้างวิตามินดีได้อีกด้วย
 ตัวอย่างผลกระทบจากรังสีเหนือม่วง เช่น หากได้รับรังสีเหนือม่วงมากเกินไป จะทำให้ผิวหนังระคายเคือง เกิดความเสียหายกับเซลล์ผิวหนังได้และอาจนำไปสู่การเป็นมะเร็งผิวหนัง

4. นอกจากการใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์แล้ว เรายังใช้ประโยชน์จากรังสีเอกซ์ในด้านใดได้บ้าง
- แนวคำตอบ** ด้านความปลอดภัยในท่าอากาศยานใช้ในการตรวจหาวัตถุอันตรายในกระเป๋าเดินทาง โดยไม่ต้องเปิดกระเป๋า

18.3 โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายโพลาริเซชันของแสง แสงไม่โพลาไรส์และแสงโพลาไรส์เชิงเส้น
- สังเกตความสว่างของแสงเมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. แนวการเรียงตัวของโมเลกุลที่ใช้ทำแผ่นโพลาไรซ์คือแนวโพลาไรส์ของแผ่นโพลาไรซ์	1. แนวการเรียงตัวของโมเลกุลที่ใช้ทำแผ่นโพลาไรซ์ตั้งฉากกับแนวโพลาไรส์ของแผ่นโพลาไรซ์
2. แสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์เป็นแสงโพลาไรส์ที่มีเฉพาะสนามไฟฟ้า	2. แสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์เป็นแสงโพลาไรส์ที่มีทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 5 และ 6 ของหัวข้อ 18.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.3 โดยใช้รูป 18.8 ตั้งคำถามว่าทิศทางการเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกไปตามแนวแกนใด ทิศทางการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าอยู่ในแนวแกนใด และระนาบการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าอยู่ในระนาบใดและมีกี่ระนาบ ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ไปตามแกน x สนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางการกลับป้อนกลับมาอยู่ในแนวแกน y แนวเดียว มีระนาบการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าอยู่ในระนาบ xy ระนาบเดียว และเรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงในระนาบเดียวนี้อาคลื่นโพลาไรส์เชิงเส้น ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

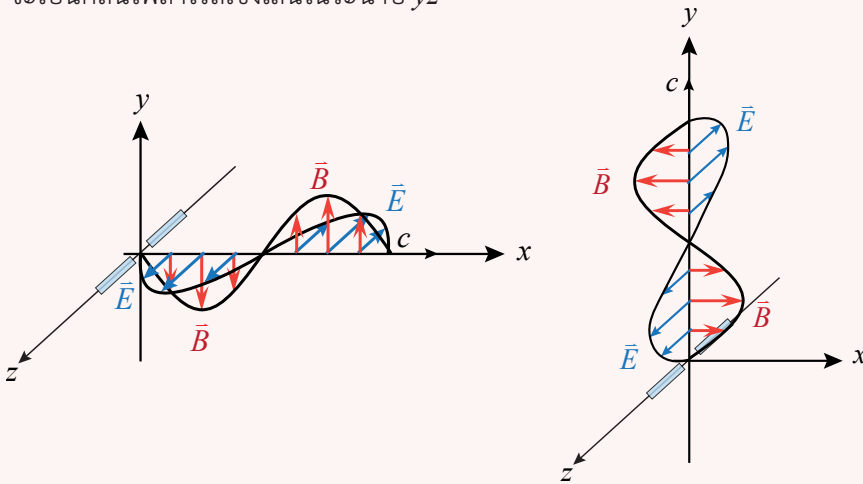
ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 23 แล้วให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ จากนั้นครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

กรณีสายอากาศอยู่ในแนวระดับ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเป็นคลื่นโพลาไรส์เชิงเส้นในแนวใด

แนวคำตอบ กรณีสายอากาศอยู่ในแนวระดับ สนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางกลับไปมาตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ ซึ่งจะโพลาไรส์ได้หลายแนวขึ้นอยู่กับทิศทางการเคลื่อนที่แต่ยังคงเปลี่ยนแปลงอยู่ในระนาบเดียว เช่น ถ้าเสาอากาศอยู่ในแนวแกน z พิจารณาเฉพาะคลื่นที่เคลื่อนที่ในแนวระดับและตั้งฉากกับเสาอากาศในแนวแกน x จะเป็นคลื่นโพลาไรส์เชิงเส้นในระนาบ xz ถ้าพิจารณาเฉพาะคลื่นที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งและตั้งฉากกับเสาอากาศในแนวแกน y จะเป็นคลื่นโพลาไรส์เชิงเส้นในระนาบ yz



ครูตั้งคำถามว่า แสงจากแหล่งกำเนิดทั่วไป เช่น ดวงอาทิตย์ หลอดไฟ เป็นแสงโพลาไรส์หรือไม่ เปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วนำอภิปรายจนสรุปได้ว่าแสงที่ประกอบไปด้วยสนามไฟฟ้าในแนวต่าง ๆ หลายแนว ดังรูป 18.9 เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟ เป็นแสงไม่โพลาไรส์ แล้วนำเข้าสู่กิจกรรม 18.1 ความสว่างของแสงเมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์ในหนังสือเรียน



กิจกรรม 18.1 ความสว่างของแสงเมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสว่างของแสงเมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์

เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|---------------------|------------|
| 1. แผ่นโพลาไรซ์ | 2. แผ่น |
| 2. หม้อแปลงโวลต์ต่ำ | 1. เครื่อง |
| 3. สายไฟ | 2. เส้น |
| 4. กล่องแสง | 1. กล่อง |

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. การใช้แผ่นโพลาไรซ์ ให้จับที่กรอบกระดาษแข็ง ไม่แตะต้องโพลาไรซ์ เพื่อป้องกันไม่ให้โพลาไรซ์เสื่อมคุณภาพได้ง่าย
2. ให้นักเรียนมองแสงจากหลอดไฟด้วยตาเปล่าก่อน แล้วจึงมองแสงจากหลอดไฟผ่านแผ่นโพลาไรซ์ เพื่อเปรียบเทียบความสว่าง
3. นักเรียนสามารถใช้แผ่นโพลาไรซ์มองแสงจากหลอดไฟที่ติดบนเพดานห้องเรียน แทนการมองแสงจากกล่องแสงได้
4. นักเรียนต้องใช้ความรู้เรื่องแนวโพลาริซ์ช่วยอธิบายในการทำกิจกรรม

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

1. แสงเมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์จะสว่างน้อยกว่าแสงขณะไม่มีแผ่นโพลาไรซ์
2. เมื่อมองผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่น แล้วหมุนจนครบ 1 รอบ มีความสว่างคงตัว
3. แสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่น เมื่อหมุนแผ่นโพลาไรซ์แผ่นที่สองไปจนครบ 1 รอบ แสงจะมีความสว่างไม่คงตัว โดยความสว่างเปลี่ยนแปลงมากที่สุด (ระหว่างสว่างมากที่สุดกับสว่างน้อยที่สุด) เมื่อหมุนไปเป็นมุม 90 องศา



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ความสว่างของแสงซึ่งผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่น ต่างจากความสว่างของแสงขณะไม่มีแผ่นโพลาไรซ์กั้นหรือไม่

แนวคำตอบ แตกต่างกัน (มองผ่านแผ่นโพลาไรซ์สว่างน้อยกว่า)

- เมื่อหมุนแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่นไปจนครบ 1 รอบ ความสว่างของแสงที่ผ่านออกมา แต่ละขณะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ ไม่เปลี่ยนแปลง โดยมีความสว่างคงตัว

- เมื่อหมุนโพลาไรซ์แผ่นที่ 2 ไปจนครบ 1 รอบ ความสว่างของแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่น แต่ละขณะ เปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ เมื่อหมุนโพลาไรซ์แผ่นที่ 2 ไปจนครบ 1 รอบ ความสว่างของแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่นจะมีการเปลี่ยนแปลง ระหว่างสว่างมากที่สุดกับสว่างน้อยที่สุด

- มุมระหว่างตำแหน่งของแผ่นโพลาไรซ์แผ่นที่ 2 ที่แสงมีความสว่างมากที่สุด กับแสงมีความสว่างน้อยที่สุด เป็นมุมเท่าใด

แนวคำตอบ เป็นมุม 90 องศา

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

หลังจากให้นักเรียนตอบคำถามท้ายกิจกรรม ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรม 18.1 จนสรุปได้ว่า แสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่น ความสว่างจะลดลง เมื่อหมุนแผ่นโพลาไรซ์ยังมีความสว่างคงตัว เมื่อนำแผ่นโพลาไรซ์อีกหนึ่งแผ่นมาซ้อนแล้วหมุน ตำแหน่งของแผ่นโพลาไรซ์ที่ 2 ที่แสงมีความสว่างมากที่สุด กับตำแหน่งที่แสงมีความสว่างน้อยที่สุด เป็นมุมต่างกัน 90 องศา

ครูตั้งคำถามว่าเพราะเหตุใดจึงสังเกตเห็นแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่น มีความสว่างลดลง ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วให้นักเรียนศึกษาจากหนังสือเรียนหรือสืบค้นจากแหล่งความรู้อื่น และนำเสนอผลการศึกษา จากนั้นครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่าแผ่นโพลาไรซ์เป็นแผ่นพลาสติกที่มีโมเลกุลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยดูดกลืนองค์ประกอบสนามไฟฟ้าของแสงในแนวขนานกับแนวการเรียงตัวของโมเลกุล แต่ไม่ดูดกลืนองค์ประกอบสนามไฟฟ้าของแสง

ในแนวตั้งฉากกับแนวการเรียงตัวของโมเลกุล เรียกแนวที่ตั้งฉากกับแนวการเรียงตัวของโมเลกุลว่า แนวโพลาไรส์ของแผ่นโพลาไรซ์ ทำให้แสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่น มีความสว่างลดลง และเป็นแสงโพลาไรส์เชิงเส้น เรียกสมบัติของแสงลักษณะนี้ว่าโพลาไรเซชัน และ เมื่อแสงผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่น ความสว่างของแสงจะมากที่สุดขณะที่แนวโพลาไรส์ของแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองแผ่นขนานกัน และความสว่างของแสงจะน้อยที่สุดขณะที่แนวโพลาไรส์ของแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองตั้งฉากกัน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน และครูควรย้ำว่าแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ยังคงประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางตั้งฉากกันและตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วเสมอ

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 27 แล้วให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ จากนั้นครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

แสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่นแล้ว มีสนามไฟฟ้าอยู่ในแนวระดับ ยังมีสนามแม่เหล็กอยู่หรือไม่ และหากมีจะอยู่ในแนวใด

แนวคำตอบ ยังมีสนามแม่เหล็กอยู่ โดยสนามแม่เหล็กอยู่ในแนวตั้ง

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับโพลาไรเซชันของแสง แสงไม่โพลาไรส์และแสงโพลาไรส์เชิงเส้นจากคำถาม ตรวจสอบความเข้าใจ 18.3
2. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ และความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการอภิปรายร่วมกัน และการทำกิจกรรม
3. จิตวิทยาศาสตร์ความรอบคอบจากการอภิปรายร่วมกัน และการทำกิจกรรม



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 18.3

1. จากกิจกรรม 18.1 ในการส่องดูแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไม่โพลาไรส์ด้วยแผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่น ซ้อนกัน หากเปลี่ยนเป็นหมุนแผ่นโพลาไรซ์แผ่นแรก ไปจนครบ 1 รอบ ความสว่างของแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสอง ออกมาจะมีการเปลี่ยนแปลง หรือไม่เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ความสว่างเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการหมุนแผ่นโพลาไรซ์ที่ 2 เพราะทำให้แนวโพลาไรส์ของแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสอง เปลี่ยนแปลงระหว่างอยู่ในแนวเดียวกัน (สว่างมากที่สุด) และอยู่ในแนวตั้งฉากกัน(สว่างน้อยที่สุด)

18.4 การประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ยกตัวอย่างและอธิบายหลักการทำงานอุปกรณ์บางชนิดที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ของหัวข้อ 18.4 ครุ่นำเข้าสู่หัวข้อ 18.4 โดยครูให้นักเรียนยกตัวอย่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนยกตัวอย่างโดยอิสระ จากนั้นครุ่นำอภิปรายเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในด้านต่าง ๆ เช่น การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสื่อสาร การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทางการแพทย์ การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้านความปลอดภัย ซึ่งจะได้ศึกษาต่อไป

18.4.1 เครื่องฉายรังสีเอกซ์

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 7 ของหัวข้อ 18.4 ตามหนังสือเรียน

ครุ่นำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.4.1 โดยตั้งคำถามว่าใครเคยถ่ายภาพด้วยเครื่องฉายรังสีเอกซ์ ถ้าเคยถ่ายภาพให้ตอบต่อว่าเพื่ออะไร และมีวิธีการอย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระโดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วให้นักเรียนศึกษาจากหนังสือเรียนหรือสืบค้นจากแหล่งความรู้อื่นและนำเสนอผลการศึกษา จากนั้นครุ่นำนักเรียนอภิปรายจนสรุปส่วนประกอบของเครื่องฉายรังสีเอกซ์ได้ดังรูป 18.12 และ 18.13 และภาพเอกซ์เรย์เป็นภาพขาวดำ ดังรูป 18.14 เกิดได้ดังนี้ รังสีเอกซ์จากหลอดรังสีเอกซ์เคลื่อนที่ผ่านร่างกาย เนื้อเยื่อและกระดูกจะดูดกลืนรังสีในปริมาณที่ต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณรังสีเอกซ์ที่ไปตกกระทบอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีแตกต่างกัน โดยบริเวณที่ดูดกลืนรังสีได้มากนั้นจะได้ภาพสีขาว และบริเวณที่ดูดกลืนรังสีได้น้อยจะได้ภาพสีดำ ทำให้สามารถสร้างภาพอวัยวะภายในร่างกายเพื่อแพทย์จะใช้ประกอบการวินิจฉัยเกี่ยวกับอวัยวะนั้น ๆ ได้ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

18.4.2 เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

แนวทางการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 7 ของหัวข้อ 18.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.4.2 โดยครูนำตัวอย่างภาพถ่ายด้วยเครื่องฉายรังสีเอกซ์รูป 18.14 ข. จากนั้นตั้งคำถามว่า หากต้องการเห็นภาพเฉพาะอวัยวะภายในที่ถูกอวัยวะอื่นบัง เช่น กระดูกสันหลัง ให้ชัดเจนขึ้น ทำได้หรือไม่ อย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า ภาพถ่ายด้วยเครื่องฉายรังสีเอกซ์จะปรากฏภาพทุกอวัยวะซ้อนกัน ทำให้ขาดความชัดเจน โดยในปัจจุบันได้พัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่มีคุณภาพมากขึ้น เรียกว่า เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

จากนั้นให้นักเรียนศึกษาจากหนังสือเรียนหรือสืบค้นจากแหล่งความรู้อื่น และนำเสนอผลการศึกษาครูนานักเรียนอภิปรายจนสรุปส่วนประกอบของเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ หรือเรียกสั้น ๆ ว่า ซีทีสแกน ดังรูป 18.15 โดยมีหลักการทำงานดังนี้ แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์จะหมุนรอบร่างกาย พร้อมกับฉายรังสีเอกซ์ผ่านร่างกายบริเวณอวัยวะที่ต้องการตรวจสอบความผิดปกติในแนวต่าง ๆ จนรอบอวัยวะนั้น ไปยังอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีที่อยู่ในทิศทางตรงกันข้าม ดังรูป 18.16 สัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีจะถูกสร้างเป็นภาพภาคตัดขวางด้วยระบบคอมพิวเตอร์เป็นภาพขาวดำ ดังรูป 18.17 และสามารถสร้างภาพ 3 มิติ ได้ โดยสีของภาพแต่ละจุดขึ้นกับการดูดกลืนรังสีเอกซ์ของเนื้อเยื่อแต่ละชนิด ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

18.4.3 เครื่องควบคุมระยะไกล

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

แนวทางการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 7 ของหัวข้อ 18.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.4.3 โดยครูสาธิตการทำงานเครื่องควบคุมระยะไกล เช่น การเปิดปิดเครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องปรับอากาศ โดยใช้รีโมท หรือ อัจฉริยะสถานการณ์การเปิดปิดโดยไม่สัมผัสเครื่องรับโทรทัศน์ ทำได้โดยใช้อุปกรณ์ใด หลังจากนักเรียนตอบคำถามครูนานักเรียนสรุปได้ว่าอุปกรณ์ดังกล่าวเรียกว่าเครื่องควบคุมระยะไกล หรือ รีโมทคอนโทรลเลอร์ หรือ เรียกสั้น ๆ ว่า รีโมท

ให้นักเรียนศึกษาส่วนประกอบและหลักการทำงานจากหนังสือเรียนหรือสื่อบันทึกจากแหล่งความรู้อื่น และนำเสนอผลการศึกษา จากนั้นครูนำอภิปรายโดยใช้รูป 18.18 อธิบายส่วนประกอบ และใช้รูป 18.19 อธิบายหลักการทำงานของรีโมทตั้งนี้ รีโมทจะทำหน้าที่ประมวลผลการกดปุ่มเป็นรหัสคำสั่งแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่งสัญญาณเป็นอินฟราเรดไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้า ส่วนรับสัญญาณที่อยู่ในเครื่องใช้ไฟฟ้า จะแปลงกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่งต่อไปยังส่วนต่าง ๆ ของเครื่องให้ทำงานตามคำสั่งจากรีโมทตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูตั้งคำถามว่า เครื่องควบคุมระยะไกล นอกจากใช้อินฟราเรดยังสามารถใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่นได้หรือไม่ เปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นนำอภิปรายเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่นในการควบคุมระยะไกล เช่น คีย์บอร์ดไร้สาย เมาส์ไร้สาย และเครื่องควบคุมโดรน โดยอุปกรณ์ดังกล่าวอาจใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่นในการส่งและรับสัญญาณ ตามความเหมาะสมของการใช้งาน

18.4.4 เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

ความเข้าใจตลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 7 ของหัวข้อ 18.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.4.4 โดยยกสถานการณ์เกี่ยวกับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ในการบอกตำแหน่งของนักเรียนให้เพื่อนรู้ จากนั้นตั้งคำถามว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่ สามารถบอกตำแหน่งของนักเรียนได้ด้วยระบบอะไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้องร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่า โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบุตำแหน่งได้ด้วยระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกหรือจีพีเอส

จากนั้นตั้งคำถามว่าจีพีเอสหลักการทำงานอย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วให้นักเรียนศึกษาจากหนังสือเรียนหรือสื่อบันทึกจากแหล่งความรู้อื่น และนำเสนอผลการศึกษา จากนั้นครูนำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า GPS คือระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกโดยใช้สัญญาณไมโครเวฟสื่อสารระหว่างเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลกกับดาวเทียมประกอบด้วยศูนย์ควบคุมภาคพื้นดิน เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก และดาวเทียมส่งสัญญาณอย่างน้อย 4 ดวง หาตำแหน่งบนพื้นโลก ณ เวลานั้น ๆ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

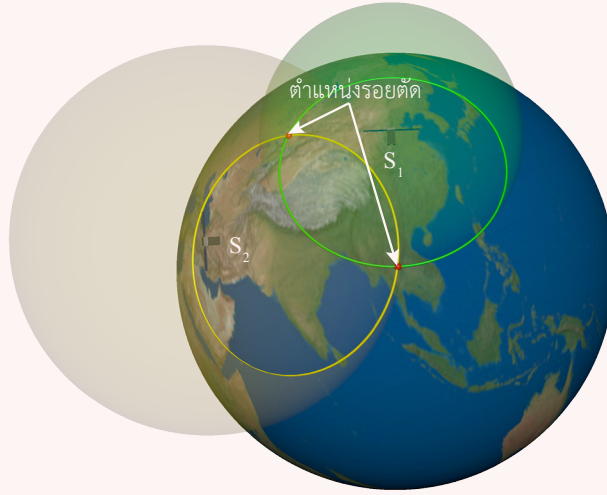
การประมวลผลหาตำแหน่งบนพื้นโลก

เมื่อเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลกได้รับสัญญาณจากดาวเทียมดวงที่ 1 (S_1) แล้วคำนวณระยะห่างระหว่างดาวเทียมดวงที่ 1 กับตำแหน่งของเครื่องระบุตำแหน่ง ซึ่งจะได้ตำแหน่งของเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลกเป็นตำแหน่งใด ๆ บนผิวทรงกลมสีเขียวที่มีดาวเทียมดวงที่ 1 เป็นศูนย์กลาง และเมื่อผิวทรงกลมตัดกับผิวโลกตำแหน่งของเครื่องระบุตำแหน่งอยู่ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนเส้นรอบวงสีเขียวบนผิวโลก ดังรูป ก.



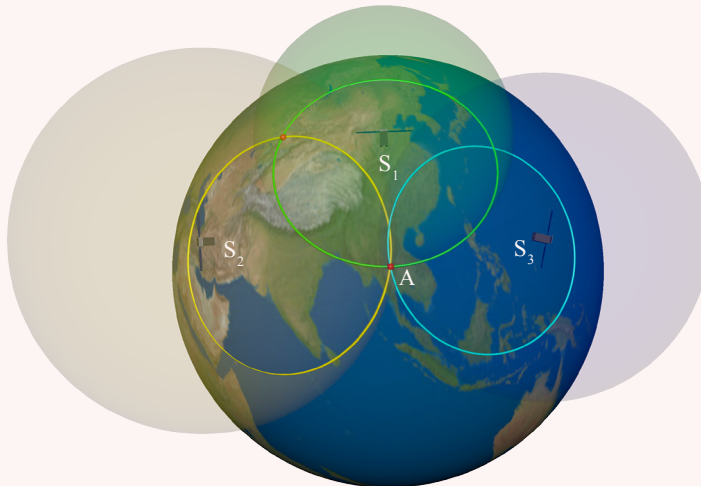
รูป ก. ดาวเทียม 1 กับโลก

ขณะเดียวกันเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลกได้รับสัญญาณจากดาวเทียมดวงที่ 2 (S_2) เช่นกัน และคำนวณระยะห่างระหว่างดาวเทียมดวงที่ 2 กับตำแหน่งของเครื่องระบุตำแหน่งได้เป็นผิวทรงกลมสีเหลืองที่มีดาวเทียมดวงที่ 2 เป็นศูนย์กลาง ตำแหน่งของเครื่องระบุตำแหน่งจะอยู่ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของรอยตัดระหว่างผิวทรงกลมของดาวเทียมทั้ง 2 ดวง บนผิวโลก ซึ่งมี 2 ตำแหน่ง ดังรูป ข.



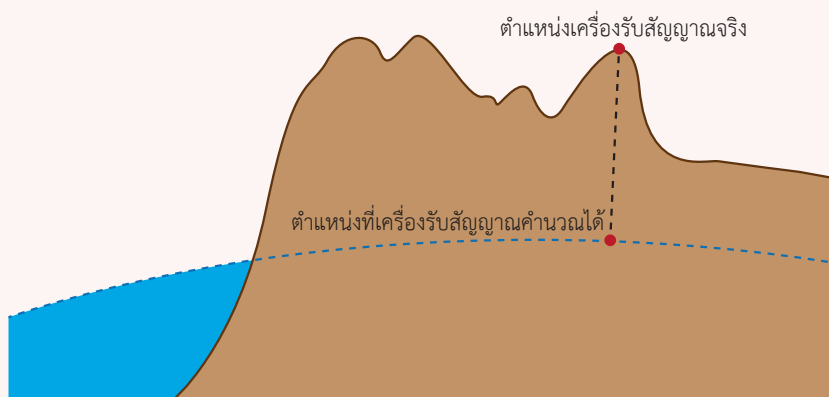
รูป ข. ดาวเทียม 1, 2 กับโลก

และในทำนองเดียวกันเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลกได้รับสัญญาณจากดาวเทียมดวงที่ 3 (S_3) ด้วย และคำนวณระยะห่างระหว่างดาวเทียมดวงที่ 3 กับเครื่องระบุตำแหน่งได้เป็นผิวทรงกลมสีฟ้าที่มีดาวเทียมดวงที่ 3 เป็นศูนย์กลาง ตำแหน่งของเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลกจะเป็นตำแหน่งที่เกิดจากการตัดของผิวทรงกลมของดาวเทียมทั้ง 3 ดวง บนผิวโลก ซึ่งจะเหลือตำแหน่งเพียง 1 ตำแหน่ง ดังนั้นถ้าเราใช้ข้อมูลจากดาวเทียมทั้งสามบวกกับตำแหน่งของโลกที่มีลักษณะคล้ายทรงกลมเรา นำมาประมวลผลได้ตำแหน่งของเครื่องระบุตำแหน่งที่จุด A ดังรูป ค.



รูป ค. ดาวเทียม 1, 2, 3 กับโลก

แต่เนื่องจากโลกไม่ได้มีลักษณะเป็นผิวเรียบซึ่งมีทั้งภูเขาและหุบเหว ดังนั้นตำแหน่งของเครื่องระบุตำแหน่ง อาจไม่ได้อยู่บนพื้นราบของโลก ดังรูป ง.



รูป ง. ตำแหน่งของเครื่องระบุตำแหน่ง อาจไม่ได้อยู่บนผิวโลกจริง

เพื่อให้เกิดความแม่นยำเราจึงใช้ดาวเทียมดวงที่ 4 ทหาระยะห่างระหว่างเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลกกับดาวเทียมดวงที่ 4 จะทำให้ตำแหน่งของเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลกอยู่บนผิวทรงกลมที่มีดาวเทียมดวงที่ 4 เป็นศูนย์กลาง และตำแหน่งที่ติดกับผิวทรงกลมดวงที่ 1 2 และ 3 จะเป็นตำแหน่งของเครื่องระบุตำแหน่งจริง ณ เวลานั้น ๆ

18.4.5 เครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็ก

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 7 ของหัวข้อ 18.4 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.4.5 โดยครูอาจนำภาพของเครื่อง MRI ขนาดขยายหรือภาพเครื่อง MRI ดังรูป 18.22 ในหนังสือเรียนให้นักเรียนดูแล้วตั้งคำถามว่านักเรียนรู้จักเครื่องมือชนิดนี้หรือไม่ เครื่องมือนี้มีไว้สำหรับทำอะไรและมีวิธีการใช้อย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระโดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง แล้วให้นักเรียนศึกษาจากหนังสือเรียนหรือสืบค้นจากแหล่งความรู้อื่นและนำเสนอผลการศึกษา จากนั้นครูให้นักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่าเครื่องมือดังกล่าวเป็นเครื่องถ่ายภาพตัดขวางของอวัยวะและสร้างภาพเป็น 3 มิติ โดยใช้คลื่นวิทยุความถี่เหมาะสมกับความถี่สั่นพ้อง

ของนิวเคลียสไฮโดรเจนในเนื้อเยื่อที่ต้องการถ่ายภาพ เรียกเครื่องมือดังกล่าวว่าเครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็ก โดยอาศัยสมบัติความเป็นแม่เหล็กของนิวเคลียสไฮโดรเจน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญภายในร่างกายมนุษย์ เครื่องมือนี้มีลักษณะเป็นอุโมงค์ที่มีส่วนประกอบสำคัญ ดังรูป 18.22 มีแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กหลักสร้างสนามแม่เหล็กความเข้มสูง จัดระเบียบนิวเคลียสของไฮโดรเจนของในเนื้อเยื่อ มีขดลวดเกรเดียนท์สร้างสนามแม่เหล็กความเข้มน้อยเพื่อให้ได้ข้อมูลในการสร้างภาพสามมิติ ขดลวดความถี่คลื่นวิทยุ สร้างคลื่นวิทยุความถี่สั่นพ้องกับนิวเคลียสไฮโดรเจนในเนื้อเยื่อเพื่อให้พลังงานกับนิวเคลียสของไฮโดรเจน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ส่งไปวิเคราะห์เพื่อสร้างภาพ 3 มิติ ดังรูป 18.23 คลื่นวิทยุที่ใช้ในการทำงานนี้ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ แตกต่างจากการตรวจด้วยการใช้รังสีเอกซ์ อย่างไรก็ตามสตรีมีครรภ์ควรปรึกษาแพทย์ก่อนเข้ารับการตรวจ

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

แนวการจัดการเรียนรู้ 18.4.1 – 18.4.5

ในการสอนหัวข้อ 18.4.1 – 18.4.5 ครูอาจเลือกดำเนินการสอนดังต่อไปนี้

- สอนตามลำดับหัวข้อย่อยในหนังสือเรียน โดยการแบ่งกลุ่มนักเรียนให้สืบค้นการประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละอุปกรณ์ในหัวข้อย่อยนั้นๆ และให้นักเรียนนำเสนอผลการสืบค้น จากนั้นครูนำอภิปรายสรุปเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอุปกรณ์ชนิดนั้น ๆ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
- สอนรวมทุกหัวข้อย่อย โดยกำหนดหัวข้อการสืบค้นตามชนิดอุปกรณ์ 5 ชนิด ตามหนังสือเรียน แบ่งกลุ่มนักเรียนโดยให้แต่ละกลุ่มสืบค้นการประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างน้อย 1 ชนิด และให้นักเรียนนำเสนอผลการสืบค้น จากนั้นครูนำอภิปรายสรุปเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละอุปกรณ์แต่ละชนิด ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับหลักการทำงานอุปกรณ์บางชนิดที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 18.4
2. ทักษะด้านการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปรายร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 18.4

1. ภาพที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แตกต่างจากภาพที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปอย่างไร

แนวคำตอบ เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สามารถใช้ในการสร้างภาพภาคตัดขวางต่อเนื่อง และนำมาวางต่อกันสร้างเป็นภาพ 3 มิติ ได้ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปจะเป็นภาพ 2 มิติเท่านั้น

2. เครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดใดในการสร้างภาพของอวัยวะภายในร่างกาย และคลื่นนั้นมีผลกับร่างกายผู้ป่วยหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ เครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็ก ใช้คลื่นวิทยุในการสร้างภาพของอวัยวะภายในร่างกาย โดยคลื่นวิทยุที่ไม่อันตรายใด ๆ ต่อร่างกายมนุษย์ แต่สตรีมีครรภ์ควรปรึกษาแพทย์ก่อนเข้ารับการรักษา

3. เพราะเหตุใด การถ่ายภาพด้วยเครื่องถ่ายภาพสั่นพ้องแม่เหล็กจึงมีอันตรายน้อยกว่าการถ่ายภาพด้วยเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

แนวคำตอบ เพราะเครื่องถ่ายภาพสั่นพ้องแม่เหล็กใช้คลื่นวิทยุซึ่งมีความถี่ต่ำกว่ารังสีเอกซ์ที่ใช้ในเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

4. ปัจจัยใดบ้าง ที่มีผลต่อความแม่นยำของการระบุตำแหน่งของเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

แนวคำตอบ ความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศ ความชื้น อุณหภูมิ การหักเหของคลื่นสัญญาณ ทำให้ความแม่นยำลดลง

18.5 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นและอธิบายการสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. เปรียบเทียบการสื่อสารด้วยสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณดิจิทัล

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 18.5 โดยตั้งคำถามว่าให้นักเรียนยกตัวอย่างการสื่อสารโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และระบุคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการสื่อสาร รวมทั้งมีการใช้สัญญาณในการสื่อสารแบบใดบ้าง ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหลายชนิดที่ใช้ในการสื่อสารเช่น คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ แสงที่ตามองเห็น และมีการใช้สัญญาณในการสื่อสารแบบแอนะล็อกและดิจิทัล จากนั้นให้นักเรียนศึกษาหัวข้อต่อไป

18.5.1 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นวิทยุ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. คลื่นที่ส่งมาจากสถานีวิทยุเป็นคลื่นเสียง	1. คลื่นที่ส่งมาจากสถานีวิทยุเป็นคลื่นวิทยุ ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แนวทางการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 8 ของหัวข้อ 18.5 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.5.1 โดยตั้งคำถามว่าการสื่อสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าข้างต้นมีขั้นตอนอย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า การสื่อสารโดยใช้คลื่นวิทยุมีหลายแบบ แต่ในหัวข้อนี้จะกล่าวเฉพาะ 3 แบบ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นให้นักเรียนศึกษาการกระจายสัญญาณเสียงของสถานีวิทยุ ครูให้นักเรียนศึกษาจากหนังสือเรียนหรือจากแหล่งความรู้อื่น และนำเสนอผลการศึกษา

ครูใช้รูป 18.24 นำอภิปรายจนสรุปได้ว่า การกระจายสัญญาณเสียงของสถานีวิทยุจะแปลงคลื่นเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นนำไปสมกับคลื่นวิทยุ ส่งเป็นสัญญาณเสียงกระจายออกจากสถานีวิทยุไปยังเครื่องรับ เครื่องรับจะแยกสัญญาณไฟฟ้าออกจากคลื่นวิทยุ แล้วแปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นคลื่นเสียง ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นครูตั้งคำถามว่าการผสมสัญญาณไฟฟ้ากับคลื่นวิทยุทำได้กี่แบบ ให้นักเรียนศึกษาจากหนังสือเรียน ครูใช้รูป 18.25 นำอภิปรายการผสมสัญญาณไฟฟ้ากับคลื่นวิทยุ จนสรุปได้ว่าการผสมสัญญาณมี 2 แบบ คือ ระบบวิทยุเอเอ็ม และระบบวิทยุเอฟเอ็ม และแต่ละแบบต่างก็มีข้อดีและข้อด้อย ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูใช้รูป 18.26 นำอภิปรายจนสรุปได้ว่า การส่งและรับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่มีขั้นตอนคล้ายการกระจายสัญญาณเสียงของสถานีวิทยุ แต่มีความแตกต่างที่การแบ่งขอบเขตพื้นที่การรับและส่งสัญญาณหรือ เซลล์ (cell) ออกเป็นพื้นที่ไม่กว้างมาก โดยแต่ละเซลล์มีสถานีฐาน (base station) ที่ทำหน้าที่รับและส่งต่อสัญญาณระหว่างกัน เมื่อส่งสัญญาณถึงโทรศัพท์ของผู้รับ สัญญาณจะถูกแปลงเป็นสัญญาณเสียงหรือข้อมูลให้ผู้รับ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการส่งและรับสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบไร้สายจนสรุปได้ว่า การส่งและรับสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบไร้สายคล้ายกับการส่งและรับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ แต่จะใช้คลื่นความถี่แตกต่างจากความถี่ของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนของสัญญาณ

18.5.2 การสื่อสารโดยอาศัยไมโครเวฟ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ไมโครเวฟถูกนำไปใช้เฉพาะกับเตาไมโครเวฟ	1. ไมโครเวฟถูกนำมาประยุกต์ใช้กับเตาไมโครเวฟ และใช้ในการสื่อสาร

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.5.2 โดยตั้งคำถามว่า ไมโครเวฟนอกจากใช้กับเตาไมโครเวฟแล้ว สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านสื่อสารได้หรือไม่ อย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระโดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นให้นักเรียนศึกษาจากหนังสือเรียนหรือสืบค้นจากแหล่งความรู้อื่น และนำเสนอผลการศึกษา จากนั้นครูให้นักเรียนอภิปรายการสื่อสารโดยใช้ไมโครเวฟจนสรุปได้ว่าไมโครเวฟสามารถนำมาใช้สื่อสารได้เช่นเดียวกับคลื่นวิทยุ ผ่านชั้นบรรยากาศได้ดีกว่าคลื่นวิทยุ แต่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีเท่าคลื่นวิทยุ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

18.5.3 การสื่อสารโดยอาศัยแสง

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.5.3 โดยตั้งคำถามว่า ในการสื่อสารโดยใช้แสง มีการใช้อุปกรณ์ใดในการรับและส่งสัญญาณแสง ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระโดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการใช้เส้นใยนำแสงในการรับส่งสัญญาณ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

แนวการจัดการเรียนรู้ 18.5.1 – 18.5.3

ในการสอนหัวข้อ 18.5.1 – 18.5.3 ครูอาจเลือกดำเนินการสอนดังต่อไปนี้

- สอนตามลำดับหัวข้อย่อยในหนังสือเรียน โดยการแบ่งกลุ่มนักเรียนให้สืบค้นการสื่อสารโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในหัวข้อย่อยนั้น ๆ และให้นักเรียนนำเสนอผลการสืบค้น จากนั้นครูนำอภิปรายสรุปเกี่ยวกับการสื่อสารโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน
- สอนรวมทุกหัวข้อย่อย โดยกำหนดหัวข้อการสืบค้นการใช้คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ และแสงในการสื่อสาร ตามหนังสือเรียน แบ่งกลุ่มนักเรียนโดยให้แต่ละกลุ่มสืบค้นการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสื่อสารอย่างน้อย 1 หัวข้อย่อย และให้นักเรียนนำเสนอผลการสืบค้น จากนั้นครูนำอภิปรายสรุปเกี่ยวกับการสื่อสารโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

18.5.4 สัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. สัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณที่มีค่าต่อเนื่อง	1. สัญญาณแอนะล็อกมีค่าต่อเนื่อง แต่สัญญาณดิจิทัลมีเพียงสองสถานะเท่านั้น

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 9 ของหัวข้อ 18.5 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อที่ 18.5.4 โดยตั้งคำถามว่า สัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัลแตกต่างกันอย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ โดยไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง ครูให้นักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่าสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณที่มีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ส่วนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงสองสถานะ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ครูให้นักเรียนศึกษาจากหนังสือเรียนหรือสืบค้นจากแหล่งความรู้อื่น และนำเสนอผลการศึกษา จากนั้นครูใช้รูป 18.30 นำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า สัญญาณแอนะล็อก เป็นสัญญาณที่มีค่าต่างๆ ของสัญญาณเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตามเวลา แต่สัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณที่มีค่าต่างๆ ของสัญญาณเปลี่ยนแปลงเพียงสองสถานะ เช่น มีหรือไม่มี เปิดหรือปิด โดยในปัจจุบันสัญญาณดิจิทัลได้รับความนิยมเพราะทำให้เกิดความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล น้อยกว่าสัญญาณแอนะล็อก ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างการสื่อสารด้วยสัญญาณดิจิทัลกับสัญญาณแอนะล็อก รวมทั้งเปรียบเทียบการสื่อสารด้วยสัญญาณทั้งสองประเภท จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 18.5
2. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ และ ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการนำเสนอ และอภิปรายร่วมกัน
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น และความรอบคอบ จากการอภิปรายร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 18.5

1. ในการสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ก่อนที่สัญญาณไฟฟ้าของข้อมูลจะถูกส่งออกจากผู้ส่งไปยังผู้รับ จะต้องผ่านกระบวนการใดก่อน

แนวคำตอบ ต้องนำไปผสมกับคลื่นวิทยุ

2. การฝากสัญญาณเสียงไปกับคลื่นในระบบวิทยุแบบเอฟเอ็ม คลื่นวิทยุที่ได้จะมีลักษณะอย่างไร

แนวคำตอบ คลื่นวิทยุที่ได้มีความถี่เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณไฟฟ้าที่นำมาผสม โดยแอมพลิจูดของคลื่นวิทยุไม่เปลี่ยนแปลง

3. สัญญาณแอนะล็อกแตกต่างจากสัญญาณดิจิทัลอย่างไร

แนวคำตอบ สัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณที่มีค่าต่าง ๆ เช่น สนามไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตามเวลา ส่วนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณที่มีค่าต่าง ๆ เช่น สนามไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงเพียง 2 สถานะ เช่น มีหรือไม่มี เปลี่ยนแปลงอย่างไม่ต่อเนื่องตามเวลา

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 18



คำถาม

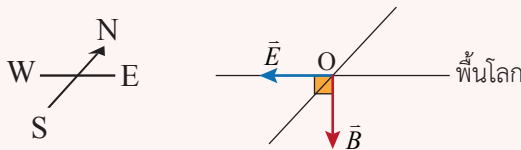
1. ใช้ลวดตัวนำต่อกับแบตเตอรี่และหลอดไฟจนครบวงจร ขณะกระแสไฟฟ้าสม่ำเสมอ ลวดตัวนำนี้ปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ไม่ได้ เพราะขณะกระแสไฟฟ้าสม่ำเสมอ สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ารอบลวดตัวนำไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

2. "คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดมีอัตราเร็วเท่ากันในทุกตัวกลาง เท่ากับอัตราเร็วของแสง" คำกล่าวข้างต้นนี้ถูกต้องหรือไม่ จงอธิบาย

แนวคำตอบ ไม่ถูกต้อง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดมีอัตราเร็วเท่ากันเฉพาะในสุญญากาศ ส่วนในตัวกลางต่าง ๆ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดรวมทั้งแสงมีอัตราเร็วต่างกันและน้อยกว่าอัตราเร็วแสงในสุญญากาศ

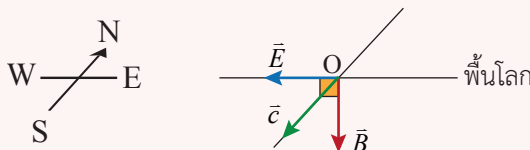
3. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขณะหนึ่ง ณ ตำแหน่ง O มีสนามไฟฟ้าขนานกับพื้นโลกชี้ไปทางทิศตะวันตก และสนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับพื้นโลก ดังรูป



รูป ประกอบคำถามข้อ 3

แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้อยู่ทางทิศใดของตำแหน่ง O

แนวคำตอบ ทิศเหนือ เพราะเมื่อหาทิศการเคลื่อนที่ด้วยมือขวาจะได้ทิศเคลื่อนที่ไปทางใต้ของจุด O แสดงว่าแหล่งกำเนิดอยู่ที่ทิศเหนือของจุด O ดังรูป



รูป ประกอบแนวคำตอบคำถามข้อ 3

4. การใช้ดาวเทียมสำรวจการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลก ต้องใช้เซนเซอร์หรือตัวรับรู้ที่ตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงใด เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ อินฟราเรด เพราะวัตถุต่าง ๆ จะแผ่รังสีอินฟราเรดตลอดเวลา และสามารถผ่านเมฆหมอกได้ดี

5. ดาวฤกษ์สีน้ำเงินกับดาวฤกษ์สีเหลือง ดาวฤกษ์ดวงใดมีอุณหภูมิสูงกว่ากัน

แนวคำตอบ ดาวฤกษ์ที่มีสีน้ำเงินจะมีอุณหภูมิสูงกว่าดาวฤกษ์ที่มีสีเหลือง เพราะพลังงานของแสงจะขึ้นอยู่กับความถี่ โดย พลังงานของแสงที่มีความถี่สูงจะมีค่ามาก ความถี่ของแสงสีน้ำเงินสูงกว่าความถี่ของแสงสีเหลือง ดาวฤกษ์ที่มีสีน้ำเงินให้แสงสีน้ำเงินซึ่งมีพลังงานสูงจึงมีอุณหภูมิสูงกว่าดาวฤกษ์ที่มีสีเหลือง

6. ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดใดในการรับส่งสารสนเทศ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิด คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ แสง เพราะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดังกล่าวสามารถนำมาผสมกับสัญญาณไฟฟ้าในการรับส่งสารสนเทศได้

Ⓕ | ปัญหา

- จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้ ข้อใดไม่ถูกต้อง
 - การเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กทำให้เกิดสนามไฟฟ้า
 - สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีเฟสต่างกัน 90 องศา
 - สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีทิศตั้งฉากซึ่งกันและกัน และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นด้วย
 - ในตัวกลางเดียวกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกความถี่มีความเร็วเท่ากัน

วิธีทำ ข้อ ข. ไม่ถูกต้อง เพราะสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศมีเฟสตรงกัน

ข้อ ง. ไม่ถูกต้อง เพราะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกความถี่มีความเร็วเท่ากัน เฉพาะในสุญญากาศ

ตอบ ข้อ ข. และ ง.

- แสงที่คนเรามองเห็นมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400 นาโนเมตร ถึง 700 นาโนเมตร จงหาช่วงความถี่ของแสงที่ตามองเห็น

วิธีทำ หาความถี่ได้จากสมการ $f = \frac{v}{\lambda}$ โดยความเร็วแสงในสุญญากาศเท่ากับ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

หาความถี่ของแสง $\lambda = 400 \text{ nm}$ จาก

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

แทนค่า

$$f = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{400 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$= 7.50 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

หาความถี่ของแสง $\lambda = 700 \text{ nm}$ จาก

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

$$f = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{700 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$= 4.29 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

ตอบ ช่วงความถี่ของแสงที่คนมองเห็นคือ 4.29×10^{14} เฮิรตซ์ ถึง 7.50×10^{14} เฮิรตซ์

3. ถ้าดวงจันทร์อยู่ห่างจากโลกเป็นระยะทาง 384 000 กิโลเมตร จงหาระยะเวลาที่แสงเคลื่อนที่จากดวงจันทร์ถึงโลก

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

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad t &= \frac{384\,000 \times 10^3 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \\ &= 1.28 \text{ s} \end{aligned}$$

ตอบ ระยะเวลาที่แสงเคลื่อนที่จากดวงจันทร์ถึงโลก คือ 1.28 วินาที

4. แสงเคลื่อนที่จากดาวซีริอัสถึงโลกใช้เวลา 8.61 ปี จงหาระยะทางจากดาวซีริอัสถึงโลกในหน่วยกิโลเมตร

วิธีทำ หาระยะทางจากดาวซีริอัสถึงโลกจากสมการ $s = vt$

จากเวลาที่แสงเดินทางจากดาวซีริอัสถึงโลก คือ 8.61 ปี

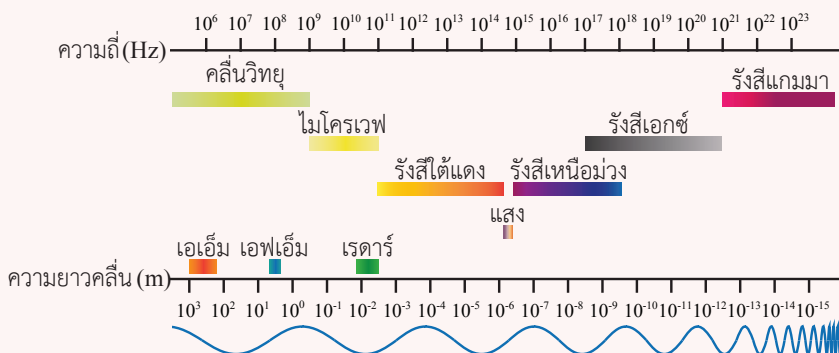
หรือเท่ากับ $8.61 \text{ ปี} \times 365 \text{ วันต่อปี} \times 24 \text{ ชั่วโมงต่อวัน} \times 60 \text{ นาทีต่อชั่วโมง} \times 60 \text{ วินาทีต่อนาที}$ ซึ่งเท่ากับ 271 524 960 วินาที

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad s &= (3 \times 10^8 \text{ m/s})(271\,524\,960 \text{ s}) \\ &= 8.15 \times 10^{13} \text{ km} \end{aligned}$$

ตอบ ระยะทางจากดาวซีริอัสถึงโลกคือ 8.15×10^{13} กิโลเมตร

5. จงเรียงลำดับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อไปนี้ รังสีเอกซ์ อินฟราเรด ไมโครเวฟ วิทยุ รังสีอัลตราไวโอเลต ตามความถี่จากมากไปน้อย

วิธีทำ จากรูป 18.5 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตามหนังสือเรียน



สามารถเรียงลำดับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามความถี่จากมากไปน้อยได้ดังนี้ รังสีเอกซ์ รังสีอัลตราไวโอเลต อินฟราเรด ไมโครเวฟ วิทยุ

ตอบ รังสีเอกซ์ รังสีอัลตราไวโอเลต อินฟราเรด ไมโครเวฟ วิทยุ

6. รังสีเอกซ์กับรังสีแกมมามีข้อเหมือนกันและข้อที่ต่างกันอย่างไรบ้าง

ตอบ ข้อที่เหมือนกัน คือ

ก. เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง

ข. มีพลังงานสูง มีอำนาจทะลุผ่านสูง มีอันตรายต่อระบบทางชีวภาพมาก

ค. ไม่เป็นอันตรายในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า

ข้อที่ต่างกัน คือ รังสีเอกซ์เกิดจากการเปลี่ยนความเร็วของอิเล็กตรอนแล้วปลดปล่อยพลังงานในรูปรังสีเอกซ์หรืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปชนอะตอมของธาตุที่เป็นเป้า ทำให้อะตอมของเป้าปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ แต่รังสีแกมมาเกิดจากการสลายของธาตุกัมมันตรังสี

7. เพราะเหตุใด โทรศัพท์ที่ใช้ระบบรับสัญญาณแบบดิจิทัล จึงให้ภาพและเสียงที่คมชัดกว่าโทรศัพท์ที่ใช้ระบบสัญญาณแอนะล็อก

ตอบ เนื่องจากการส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบดิจิทัลถูกรบกวนจากสัญญาณจากสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการส่งด้วยสัญญาณแอนะล็อก

บทที่

19

ฟิสิกส์อะตอม



ipst.me/11455

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายสมมติฐานของพลังค์ ทฤษฎีอะตอมของโบร์ และการเกิดเส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกและคำนวณพลังงานโฟตอน พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน และฟังก์ชันงานของโลหะ
3. อธิบายทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค รวมทั้งอธิบาย และคำนวณความยาวคลื่นเดอบรอยล์

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายสมมติฐานของพลังค์ ทฤษฎีอะตอมของโบร์ และการเกิดเส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายสมมติฐานของพลังค์
2. อธิบายทฤษฎีอะตอมของโบร์และการเกิดเส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน
3. คำนวณรัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอน พลังงานอะตอมของไฮโดรเจน และความยาวคลื่นของแสงในสเปกตรัมแบบเส้นตามทฤษฎีอะตอมของโบร์

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การใช้จำนวน (ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับอะตอมไฮโดรเจนตามทฤษฎีอะตอมของโบร์)	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล มีการอ้างอิงแหล่งที่มาและการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลที่หลากหลายได้อย่างสมเหตุสมผล) 2. ความร่วมมือการทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความรอบคอบ

ผลการเรียนรู้

- อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกและคำนวณพลังงานโฟตอน พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน และฟังก์ชันงานของโลหะ

จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
- อธิบายและคำนวณพลังงานโฟตอน พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน และฟังก์ชันงานของโลหะ

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
- การตีความข้อมูลและลงข้อสรุป (การวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์หยุดยั้งกับความถี่ของแสง) - การใช้จำนวน (ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก)	- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล) - ความร่วมมือการทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	-

ผลการเรียนรู้

- อธิบายทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค รวมทั้งอธิบาย และคำนวณความยาวคลื่นเดอบรอยล์

จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายและคำนวณความยาวคลื่นเดอบรอยล์
- อธิบายทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
การใช้จำนวน (ความยาวคลื่นเดอบรอยล์)	- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกัน มีการอ้างอิงแหล่งที่มาและการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลายได้อย่างสมเหตุสมผล) - ความร่วมมือการทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	ความอยากรู้อยากเห็น

ผังมโนทัศน์ ฟิสิกส์อะตอม



สรุปแนวความคิดสำคัญ

วัตถุดำ (blackbody) เป็นวัตถุที่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างสมบูรณ์ พลังค์ได้ตั้งสมมติฐานเพื่ออธิบายการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุดำ เรียกว่า **สมมติฐานของพลังค์ (Planck's hypothesis)** ซึ่งมีใจความว่า พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัตถุดำดูดกลืนหรือแผ่ออกมามีค่าได้เฉพาะบางค่าเท่านั้น และค่านี้เป็นจำนวนเต็มเท่าของ hf เรียกว่า **ควอนตัมของพลังงาน (quantum of energy)** ตามสมการ $E = nhf$

สเปกตรัมของแก๊ส เช่น ไฮโดรเจนและนีออน ในช่วงที่ตามองเห็น มีลักษณะเป็นเส้นแยกออกจากกัน เรียกว่า **สเปกตรัมแบบเส้น (line spectrum)** โบร์อธิบายสเปกตรัมแบบเส้นของแก๊สไฮโดรเจน โดยเสนอทฤษฎีอะตอมของไฮโดรเจนมีใจความว่า อิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสโดยไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น จะอยู่ในวงโคจรเฉพาะบางค่า ที่มีโมเมนตัมเชิงมุมตามสมการ $mvr = nh$ ทำให้มีรัศมีวงโคจรตามสมการ $r_n = \left(\frac{\hbar^2}{mke^2} \right) n^2$ และมีพลังงานรวมของอิเล็กตรอนในวงโคจรตามสมการ $E_n = -\frac{1}{2} \frac{mk^2e^4}{\hbar^2} \left(\frac{1}{n^2} \right)$ เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจร จะมีการรับหรือปล่อยพลังงานบางค่าออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตามสมมติฐานของพลังค์ ตามสมการ $hf = E_i - E_f$

ทฤษฎีอะตอมของโบร์สามารถใช้คำนวณหาพลังงานของอะตอมไฮโดรเจนที่สถานะพื้นมีค่า $E_1 = -21.76 \times 10^{-19} \text{ J}$ หรือ -13.6 eV พลังงานที่สถานะถูกกระตุ้น ตามสมการ $E_n = -\frac{21.76 \times 10^{-19} \text{ J}}{n^2}$ $= -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2}$ เมื่อ $n = 2, 3, 4, \dots$ และนำไปใช้คำนวณหาความยาวคลื่นของสเปกตรัมชุดต่างๆ ของไฮโดรเจน ตามสมการ $\frac{1}{\lambda} = R_H \left[\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right]$

เมื่อแสงที่มีความถี่เหมาะสมตกกระทบผิวโลหะ จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะนั้นได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า **ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect)** โดยเรียกอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะว่า **โฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron)** ซึ่งจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสงที่ตกกระทบ โอนส์ไตน์ได้เสนอแนวความคิดเพื่ออธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกโดยอาศัยสมมติฐานของพลังค์ว่า แสงมีลักษณะเป็นก้อนพลังงานหรือควอนตัมของพลังงาน ซึ่งเรียกว่า **โฟตอน (photon)** มีพลังงาน hf และปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกจะเกิดขึ้นได้ จะต้องใช้แสงที่มีความถี่มากกว่าหรือเท่ากับความถี่ค่าหนึ่งที่เรียกว่า **ความถี่ขีดเริ่ม (threshold frequency)** ซึ่งเป็นความถี่ของโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับพลังงานที่โลหะยึดอิเล็กตรอนไว้ เรียกว่า **ฟังก์ชันงาน (work function)** ตามสมการ $W = hf_0$ จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน จะได้พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนตามสมการ $E_{k_{\max}} = hf - W$ พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนหาได้จากการทดลองด้วยการต่อความต่างศักย์ไฟฟ้าต้านโฟโตอิเล็กตรอน จนกระแสโฟโตอิเล็กตรอนเป็นศูนย์พอดี เรียก ความต่างศักย์หยุดยั้ง V_s สัมพันธ์กับพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน ตามสมการ $E_{k_{\max}} = eV_s$

เดอ เบรีย ได้เสนอสมมติฐานว่า อนุภาคสามารถแสดงสมบัติของคลื่นได้ โดยมีความยาวคลื่น ซึ่งเรียกว่า **ความยาวคลื่นเดอเบรีย** และสมมติฐานนี้เรียกว่า **สมมติฐานของเดอเบรีย**

จากแนวคิดของไอน์สไตน์และเดอ เบรีย ทำให้สรุปได้ว่า คลื่นแสดงสมบัติของอนุภาคได้และอนุภาคแสดงสมบัติของคลื่นได้ สมบัตินี้เรียกว่า **ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค (wave-particle duality)** ซึ่งเป็นรากฐานในการพัฒนา **กลศาสตร์ควอนตัม (quantum mechanics)** ที่เป็นสาขาหนึ่งของวิชาฟิสิกส์ ที่ศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติในระดับอะตอมและเล็กกว่าได้อย่างกว้างขวาง นำประยุกต์ใช้ประโยชน์ในหลากหลายด้าน

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 28 ชั่วโมง

19.1 สมมติฐานของพลังค์ และทฤษฎีอะตอมของโบร์	12	ชั่วโมง
19.2 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก	10	ชั่วโมง
19.3 ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค	6	ชั่วโมง



ความรู้ก่อนเรียน

การเคลื่อนที่แบบวงกลม กฎการอนุรักษ์พลังงาน กฎคูลอมบ์ ไฟฟ้าและแม่เหล็ก
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สเปกตรัมแสงของอะตอม แบบจำลองอะตอม

ครูนำเข้าสู่บทที่ 19 โดยใช้รูปนำบทหรือสื่ออื่น ๆ เกี่ยวกับอนุภาคขนาดเล็ก เช่น เปรียบเทียบภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน หรือ ภาพการเลี้ยวเบนของแสงทั่วไปกับการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอน แล้วตั้งคำถามว่า สามารถใช้ความรู้ของฟิสิกส์แบบฉบับอธิบายได้หรือไม่อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็น และตอบคำถามอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า การศึกษาเกี่ยวกับอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ระดับอะตอม นักวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาวิชา ฟิสิกส์ควอนตัม เพื่อศึกษาและอธิบายธรรมชาติในระดับอะตอมและเล็กกว่า จนสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูง เลเซอร์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ครูชี้แจงคำถามสำคัญที่นักเรียนจะต้องตอบได้หลังจากการเรียนรู้บทที่ 19 และหัวข้อต่าง ๆ ที่นักเรียนจะได้เรียนรู้ในบทที่ 19

19.1 สมมติฐานของพลังค์ และทฤษฎีอะตอมของโบร์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายสมมติฐานของพลังค์
2. อธิบายทฤษฎีอะตอมของโบร์และการเกิดเส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน
3. คำนวณรัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอน พลังงานอะตอมของไฮโดรเจน และความยาวคลื่นของแสงในสเปกตรัมแบบเส้นตามทฤษฎีอะตอมของโบร์

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 19.1 โดยตั้งคำถามว่า วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงหรือวัตถุร้อนแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้บ้างเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและสมบัติของผิววัตถุอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็น และตอบคำถามอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่าความรู้จากฟิสิกส์แบบฉบับไม่สามารถอธิบายการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุร้อนได้ ครูชี้แจงนักเรียนว่าการอธิบายการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุร้อนได้อย่างไร ศึกษาได้จากหัวข้อต่อไปนี้

19.1.1 การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุดำ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงจะแผ่เฉพาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นเท่านั้น	1. วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งความยาวคลื่นยาวและความยาวคลื่นสั้น แต่มีความเข้มที่แตกต่างกัน วัตถุยิ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความเข้มสูงสุดจะมีความยาวคลื่นสั้นลง
2. วัตถุที่แผ่แสงสีแดงมีอุณหภูมิสูงกว่าวัตถุที่แผ่แสงสีน้ำเงิน	2. วัตถุที่แผ่แสงสีแดงมีอุณหภูมิต่ำกว่าวัตถุที่แผ่แสงสีน้ำเงิน
3. วัตถุดำคือวัตถุที่มีสีดำสนิท	3. วัตถุดำไม่จำเป็นต้องมีสีดำ แต่เป็นวัตถุในอุดมคติที่ดูดกลืนและแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างสมบูรณ์

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ของข้อที่ 1 หัวข้อ 19.1 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 19.1.1 โดยใช้รูป 19.1 ในหนังสือเรียน หรือวีดิทัศน์ที่มีการทำวัตถุให้ร้อนที่อุณหภูมิสูง เช่น การทำดาบหรือมีดด้วยความร้อน แล้วตั้งคำถามว่า เมื่อเผาวัตถุให้ร้อน นักเรียนสังเกตเห็นสีของวัตถุที่เปลี่ยนไปอย่างไร แต่ละบริเวณของวัตถุร้อนมีสีอะไรบ้าง นักเรียนคิดว่าที่บริเวณใดวัตถุมีอุณหภูมิสูงที่สุด และวัตถุอื่น ๆ ที่ร้อนจะมีพฤติกรรมเช่นเดียวกันหรือไม่ โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายจนสรุปได้ว่า วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 เคลวิน มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเสมอ เรียกว่า การแผ่รังสีความร้อน โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมามีความถี่ต่อเนื่อง เรียกว่า สเปกตรัมต่อเนื่อง และความยาวคลื่นที่มีความเข้มสูงสุดขึ้นกับอุณหภูมิของวัตถุนั้น และมีสีเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของวัตถุ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูนำอภิปรายโดยใช้รูป 19.2 ในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า วัตถุที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ จะแผ่รังสีความร้อนโดยมีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสูงสุดกับความยาวคลื่น เช่น วัตถุที่มีอุณหภูมิ 3000 เคลวินจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเข้มสูงสุดในช่วงอินฟราเรด เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอีก ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมามากที่สุดจะมีความยาวคลื่นลดลง ตามแนวเส้นประในรูป 19.2 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูถามคำถามชวนคิดในหน้า 55 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

ในวิชาศิลปะ เรามักบอกว่าสีโทนเย็นคือพวกสีฟ้า สีน้ำเงิน ส่วนสีโทนร้อนคือพวกสีส้ม สีแดง นักเรียนคิดว่า เบลวไฟจากแก๊สหุงต้มที่ใช้ตามครัวเรือน ส่วนของเปลวไฟที่เป็นสีฟ้าน้ำเงิน หรือส่วนที่เป็นสีส้มแดง ส่วนใดจะร้อนมากกว่ากัน

แนวคำตอบ เบลวไฟที่เป็นสีฟ้าน้ำเงินจะร้อนมากกว่า (อุณหภูมิสูงกว่า) ส่วนที่เป็นสีส้มแดง

จากนั้นครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากวัตถุ ตามรูป 19.2 ในหนังสือเรียน ไม่สามารถอธิบายได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์โดยใช้ฟิสิกส์แบบฉบับ เนื่องจากฟิสิกส์แบบฉบับทำนายว่า ยิ่งวัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้นมากเท่าใด ก็ยิ่งแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นสั้นออกมามากเท่านั้น จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความยาวคลื่นที่แผ่ออกมาจากวัตถุที่มีอุณหภูมิค่าหนึ่ง นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ มักซ์ พลังค์ ได้เสนอสมมติฐานเกี่ยวกับการแผ่รังสีของวัตถุดำ ตามผลการทดลองในรูป 19.3 ในหนังสือเรียน ซึ่งสามารถอธิบายการแผ่รังสีของ

วัตถุทั่วไปตามรูป 19.2 และครูอธิบายเพิ่มเติมว่า การที่วัตถุสามารถแผ่และดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างสมบูรณ์นั้นหมายถึง ไม่มีการส่งผ่าน (transmission) และ การสะท้อน (reflectoin) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุดำ มีเพียงการแผ่ (emission) และการดูดกลืน (absorption) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุดำเท่านั้น โดยเกิดขึ้นกับทุกความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ครูให้นักเรียนสืบค้นแนวคิดของพลังค์เกี่ยวกับการแผ่รังสีของวัตถุดำ และนำเสนอผลการสืบค้น จากนั้นครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ว่า พลังงานที่วัตถุดูดกลืนหรือแผ่ออกมามีค่าได้เฉพาะบางค่าเท่านั้น และค่านี้จะเป็นจำนวนเต็มเท่าของ hf เรียกว่า ควอนตัมของพลังงาน โดยแสงความถี่ f จะมีพลังงานที่ดูดกลืนหรือแผ่ออกมา ตามสมการ 19.1 ในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 19.1 - 19.3 โดยมีครูเป็นผู้แนะนำ จากนั้น ตรวจสอบความเข้าใจนักเรียน โดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 19.1 ข้อ 1 และทำแบบฝึกหัด 19.1 ข้อ 1 และ 2 ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

ครูตั้งคำถามว่า จากการที่พลังค์เสนอสมมติฐานที่เปรียบเสมือนเป็นการเบี่ยงทางในการแก้ปัญหาที่ไม่สามารถอธิบายด้วยฟิสิกส์แบบฉบับแล้ว สมมติฐานดังกล่าวสามารถนำมาต่อยอดในการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมของอนุภาคขนาดเล็ก เช่น อนุภาคในระดับอะตอมได้หรือไม่ อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการใช้สมมติฐานของพลังค์นอกจากใช้อธิบายการแผ่รังสีของวัตถุดำตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

19.1.2 ทฤษฎีอะตอมของโบร์

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ตามทฤษฎีอะตอมของโบร์ รัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสสามารถมีค่าใด ๆ ก็ได้	1. ตามทฤษฎีอะตอมของโบร์ รัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสสามารถมีค่าได้เฉพาะบางค่า
2. อิเล็กตรอนในอะตอม สามารถเปลี่ยนระดับพลังงาน โดยการดูดกลืนหรือปล่อยพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบเป็นค่าใด ๆ ก็ได้	2. อิเล็กตรอนในอะตอม สามารถเปลี่ยนระดับพลังงาน โดยการดูดกลืนหรือปล่อยพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบเป็นค่าได้เฉพาะบางค่า
3. ทฤษฎีอะตอมของโบร์สามารถอธิบายอะตอมใด ๆ ได้ถูกต้องทุกประการ	3. ทฤษฎีอะตอมของโบร์ไม่สามารถอธิบายอะตอมที่มีหลายอิเล็กตรอน
4. พลังงานรวมของอิเล็กตรอนในอะตอมมีค่าติดลบมาก แสดงว่าอิเล็กตรอนถูกอะตอมยึดไว้ด้วยพลังงานน้อย	4. พลังงานรวมของอิเล็กตรอนในอะตอมมีค่าติดลบมาก แสดงว่าอิเล็กตรอนถูกอะตอมยึดไว้ด้วยพลังงานมาก

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ของข้อที่ 2 และ 3 ของหัวข้อ 19.1 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 19.1.2 โดยนำอภิปรายเกี่ยวกับอะตอมในวิชาเคมี การทดลองของทอมสันเพื่อหาค่าประจุต่อมวลของอิเล็กตรอน การทดลองมิลลิแกนเพื่อหาค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นการพัฒนาแบบจำลองอะตอมเพื่อใช้อธิบายโครงสร้างอะตอม ตั้งแต่แบบจำลองอะตอมของทอมสันจนถึงแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด แล้วให้นักเรียนนำเสนอผลการสืบค้น และร่วมกันอภิปรายโดยใช้รูป 19.4 ในหนังสือเรียน จนได้ข้อสรุปตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูอาจสาธิตหรือให้นักเรียนทำกิจกรรมลงทำดูในหนังสือเรียนเพื่อให้นักเรียนทำความเข้าใจผลการทดลองของไกเกอร์และมาร์สเดน เกี่ยวกับแนวการเบนของอนุภาคแอลฟาที่ปล่อยให้ตกกระทบแผ่นทองคำบาง จนนำมาสู่การเสนอแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด จากการทำกิจกรรมลงทำดูการเปรียบเทียบการกระเจิงของอนุภาคแอลฟา



กิจกรรมลองทำดู การเปรียบเทียบลักษณะการกระเจิงของอนุภาคแอลฟา

จุดประสงค์

1. สังเกตการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กเปรียบเทียบกับลักษณะกับการกระเจิงของอนุภาคแอลฟา

เวลาที่ใช้ 30 นาที

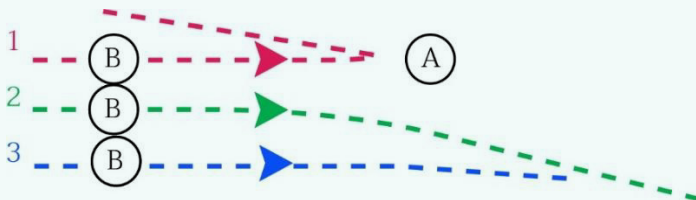
วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|-------------------------------|-------|
| 1. แม่เหล็กแผ่นกลมขนาดเท่ากัน | 5 อัน |
| 2. ถาดลดแรงเสียดทาน | 1 ถาด |
| 3. เม็ดพลาสติก | 1 ถุง |

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. เน้นกับนักเรียนว่า แรงที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมลองทำดูนี้เป็นแรงแม่เหล็ก แตกต่างจากแรงที่นิวเคลียสกระทำต่ออนุภาคแอลฟาในการทดลองจริง ซึ่งเป็นแรงไฟฟ้า
2. ฝึกซ้อมในการใช้แรงผลักแม่เหล็ก B จนได้ขนาดแรงที่เหมาะสม สามารถสังเกตเห็นแนวการเบนของแม่เหล็ก B เมื่อเคลื่อนที่เข้าหาแม่เหล็ก A ถ้าใช้ขนาดแรงมากเกินไป อาจทำให้แม่เหล็ก A หรือ B พลิกกลับด้าน และทำให้ผลการทำกิจกรรม ไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์กิจกรรม
3. ชี้แจงกับนักเรียนว่า กิจกรรมนี้กับการทดลองจริงมีสิ่งที่แตกต่างกัน คือ ขนาดและความเร็วของแท่งแม่เหล็กไม่ได้แสดงสัดส่วนจริงกับขนาดและความเร็วของอนุภาคแอลฟาและนิวเคลียส

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม



รูป ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- การเคลื่อนที่ของแม่เหล็ก B เป็นอย่างไร ขณะเคลื่อนที่เข้าหาแท่งแม่เหล็ก A ในแต่ละแนว
แนวคำตอบ เมื่อผลักแม่เหล็ก B ให้เคลื่อนที่เข้าหาแม่เหล็ก A ตามแนวที่ 1 แม่เหล็ก B มีแนวการเคลื่อนที่ย้อนกลับในแนวเดิมหรือย้อนกลับเบนออกจากแนวเดิม
 เมื่อผลักแม่เหล็ก B ให้เคลื่อนที่เข้าหาแม่เหล็ก A ตามแนวที่ 2 แม่เหล็ก B ไม่ย้อนกลับทางเดิมแต่เคลื่อนที่เบนออกจากแนวเดิม
 เมื่อผลักแม่เหล็ก B ให้เคลื่อนที่เข้าหาแม่เหล็ก A ตามแนวที่ 3 แม่เหล็ก B ไม่ย้อนกลับทางเดิมแต่เคลื่อนที่เบนออกจากแนวเดิมเล็กน้อยโดยน้อยกว่าแนวที่ 2

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

หากครูให้นักเรียนทำกิจกรรมนี้ ให้ตอบคำถามท้ายกิจกรรม จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรม จนสรุปได้ว่า

1. แรงระหว่างแม่เหล็ก B กับแม่เหล็ก A เป็นแรงแบบไม่สัมผัส และเป็นแรงผลักกระทำต่อกัน โดยแรงในกิจกรรมนี้เป็นแรงแม่เหล็ก แตกต่างจากการกระเจิงของอนุภาคแอลฟาซึ่งเป็นแรงไฟฟ้า
2. การวางให้ขั้วแม่เหล็กของแม่เหล็ก A และ แม่เหล็ก B ให้เหมือนกันเพื่อให้แม่เหล็ก A และ B ผลักกัน เปรียบได้กับแรงผลักระหว่างนิวเคลียสของอะตอมกับอนุภาคแอลฟาซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกเหมือนกัน
3. เส้นทางเคลื่อนที่ของแม่เหล็ก B เปรียบได้กับเส้นทางเคลื่อนที่ของอนุภาคแอลฟาเมื่อผ่านอะตอมของโลหะในแนวต่าง ๆ

ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า แม้แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดสามารถอธิบายผลการทดลองของไกเกอร์ และมาร์สเดนได้ แต่ไม่สามารถอธิบายเกี่ยวกับเสถียรภาพของอะตอม เนื่องจากตามแนวคิดฟิสิกส์แบบฉบับ ขณะอิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียส จะมีความเร่งทำให้อิเล็กตรอนแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เกิดการสูญเสียพลังงานอย่างต่อเนื่อง ทำให้รัศมีของวงโคจรลดลงอย่างต่อเนื่อง จนอิเล็กตรอนถูกดึงดูดเข้าไปรวมกับนิวเคลียส ซึ่งอะตอมในภาวะปกติ ไม่เกิดเหตุการณ์ดังกล่าว เพราะในภาวะปกติอะตอมไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยนักเรียนจะได้ศึกษาแนวคิดที่สามารถอธิบายเสถียรภาพของอะตอมต่อไป

ครูชี้แจงอีกปัญหาหนึ่งที่แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดไม่สามารถอธิบายได้เกี่ยวกับการที่แก๊สร้อนแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาบางความถี่เท่านั้น จากนั้นครูทบทวนเกี่ยวกับสีของเปลวไฟเมื่อเผาสารต่าง ๆ หรืออาจสาธิต หรือให้นักเรียนดูวิดีโอ การเผาสารต่าง ๆ แล้วให้เปลวไฟที่มีสีต่างกัน เช่น ลิเทียมคลอไรด์ให้เปลวไฟสีแดง โซเดียมคลอไรด์ให้เปลวไฟสีเหลือง หรือโพแทสเซียมคลอไรด์ให้เปลวไฟสีม่วง และตั้งคำถามว่าเหตุใดเมื่อเผาสารต่าง ๆ จึงได้เปลวไฟที่มีสีต่างกัน โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง ครูให้นักเรียนสืบค้น หรือศึกษาจากกิจกรรมการศึกษาศเปกตรัมของแก๊สร้อน จากนั้นนำเสนอผล แล้วร่วมกันอภิปราย จนสรุปได้ว่าการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแก๊สร้อนที่แผ่ออกมามีเฉพาะบางค่าความถี่ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน



กิจกรรม 19.1 การศึกษาศเปกตรัมของแก๊สร้อน

จุดประสงค์

1. ศึกษาศเปกตรัมที่เกิดจากแก๊สร้อน

เวลาที่ใช้ 50 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | | |
|--|---|---------|
| 1. ชุดสเปกตรัม | 1 | เครื่อง |
| 2. หลอดบรรจุแก๊สไฮโดรเจน | 1 | หลอด |
| 3. หลอดบรรจุแก๊สฮีออน | 1 | หลอด |
| 4. เกรตติง (อย่างน้อย 5300 เส้นต่อเซนติเมตร) | 1 | อัน |
| 5. ไม้เมตร | 1 | อัน |

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. ใช้หลอดบรรจุแก๊สอย่างระมัดระวัง เนื่องจากเปราะบาง แตกง่ายและมีราคาสูง
2. เมื่อเปิดสวิตช์ ห้ามแตะที่ขั้วหลอด เนื่องจากในชุดสเปกตรัมใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้า ความต่างศักย์สูง จึงอาจเกิดอันตรายได้
3. สเปกตรัมที่เกิดจากหลอดบรรจุแก๊สนั้นมีความสว่างน้อย จึงควรทำกิจกรรมในที่ซึ่งมีความสว่างน้อย หรือทำให้บริเวณที่ตั้งชุดสเปกตรัมมืด โดยใช้กระดาษดำที่ครูเตรียมไว้ให้กั้นด้านหลังและด้านข้างของหลอด
4. ทหาระยะ d ในหน่วยเซนติเมตร ที่ใช้ในสมการ $\lambda = d \sin \theta$ จาก $d = 1$ / จำนวนช่องต่อเซนติเมตร

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

เมื่อใช้เกรตติงที่มีจำนวน 5300 ช่องต่อเซนติเมตร ($d = 1.886 \times 10^{-4}$ เซนติเมตร) และจัดอุปกรณ์ให้เห็นแถบสว่างกึ่งกลางอยู่ที่ระยะ 50 เซนติเมตร

แหล่งกำเนิด	สีของเส้นสเปกตรัม	เส้นสเปกตรัมทางขวา		เส้นสเปกตรัมทางซ้าย		ระยะเฉลี่ย $\bar{x}$ (cm)	$\sqrt{D^2 + \bar{x}^2}$ (cm)	$\sin \theta = \frac{\bar{x}}{\sqrt{D^2 + \bar{x}^2}}$	$\lambda = d \sin \theta$ (cm)
		ตำแหน่ง (cm)	ระยะ x (cm)	ตำแหน่ง (cm)	ระยะ x (cm)				
ไฮโดรเจน*	สีแดง	88.0	38.0	14.0	36.0	37.0	106.6	0.35	6.6×10^{-5}
	สีฟ้า	77.0	27.0	23.0	27.0	27.0	103.6	0.26	4.9×10^{-5}
	สีน้ำเงิน	73.0	23.0	26.0	24.0	23.5	102.7	0.23	4.3×10^{-5}
นีออน	สีแดง	87.0	37.0	13.0	37.0	37.0	106.6	0.35	6.6×10^{-5}
	สีส้ม	85.5	35.5	14.5	35.5	35.5	106.1	0.33	6.2×10^{-5}
	สีเหลือง	83.5	33.5	16.0	34.0	33.75	105.5	0.32	6.0×10^{-5}

*หมายเหตุ แสงสีม่วงสำหรับแก๊สไฮโดรเจนอาจสังเกตเห็นได้ยาก



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- สเปกตรัมจากหลอดบรรจุแก๊สมีลักษณะเหมือนกับสเปกตรัมจากหลอดไฟฟ้าทั่วไปหรือไม่อย่างไร

แนวคำตอบ สเปกตรัมจากหลอดบรรจุแก๊สแตกต่างจากสเปกตรัมจากหลอดไฟฟ้าทั่วไป โดยสเปกตรัมจากหลอดบรรจุแก๊สเป็นสเปกตรัมแบบเส้น แต่สเปกตรัมหลอดไฟฟ้าทั่วไปเป็นสเปกตรัมต่อเนื่อง

- สเปกตรัมจากหลอดบรรจุแก๊สแต่ละชนิดมีลักษณะเหมือนและต่างกันอย่างไร

แนวคำตอบ สเปกตรัมของแสงจากหลอดบรรจุแก๊สไฮโดรเจน กับหลอดบรรจุแก๊สนีออน มีลักษณะเป็นสเปกตรัมแบบเส้นเหมือนกัน แต่มีลักษณะต่างกัน คือ ประกอบด้วยจำนวนเส้นและแสงสีต่างกัน เช่น แก๊สไฮโดรเจนจะเห็นสีแดง ฟ้ำ และน้ำเงิน ส่วนแก๊สนีออนจะเห็นสีแดง ส้ม และเหลือง และเส้นสเปกตรัมมีระยะห่างจากหลอดบรรจุแก๊สต่างกัน

- สเปกตรัมจากหลอดบรรจุแก๊สไฮโดรเจน ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นเท่าใดบ้าง

แนวคำตอบ สเปกตรัมจากหลอดบรรจุแก๊สไฮโดรเจน ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 430, 490 และ 660 นาโนเมตร

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ให้ตอบคำถามท้ายกิจกรรม จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรม จนสรุปได้ว่า สเปกตรัมของแก๊สร้อนมีลักษณะเป็นเส้น ๆ แยกจากกัน เรียกว่า สเปกตรัมแบบเส้น ซึ่งแตกต่างจากสเปกตรัมของแสงจากหลอดไฟฟ้าซึ่งเป็นสเปกตรัมแบบต่อเนื่อง โดยแก๊สแต่ละชนิดจะมีชุดสเปกตรัมแบบเส้นที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด

ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับแบบจำลองอะตอมของโบร์โดยตั้งคำถามว่า เหตุใดอะตอมของไฮโดรเจนจึงปล่อยพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเฉพาะบางความยาวคลื่นหรือสเปกตรัมแบบเส้น โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นเพื่อหาคำตอบและนำเสนอผลการสืบค้น แล้วครูนำอภิปรายจนได้ทฤษฎีอะตอมของโบร์และสมการ (19.2) และ (19.3) ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูตั้งคำถามว่า จากทฤษฎีอะตอมของโบร์ อิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียสได้อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูนำอภิปรายจนสรุปได้

ว่ามีแรงไฟฟ้าระหว่างอิเล็กตรอนกับโปรตอนในนิวเคลียส เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง และจากทฤษฎีอะตอมของโบร์ ทำให้สามารถหารัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนได้ตามสมการ (19.4) ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูตั้งคำถามว่า ขณะอิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียส อิเล็กตรอนมีพลังงานอะไรบ้าง โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า อิเล็กตรอนมีพลังงานจลน์ในการเคลื่อนที่ และพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากโปรตอนในนิวเคลียส และหาพลังงานรวมของอิเล็กตรอนในวงโคจรแต่ละวงได้ตามสมการ (19.5) ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูตั้งคำถามว่า ความรู้เรื่องระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจน สามารถอธิบายการเกิดสเปกตรัมแบบเส้นของอะตอมไฮโดรเจนได้อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า อะตอมไฮโดรเจนปล่อยพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่ออิเล็กตรอนในอะตอมเปลี่ยนระดับพลังงาน และมีความยาวคลื่นสเปกตรัมของอะตอม ตามสมการ (19.6) ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 19.4 โดยมีครูเป็นผู้แนะนำ จากนั้น ตรวจสอบความเข้าใจนักเรียนโดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 19.1 ข้อ 2 - 3 และทำแบบฝึกหัด 19.1 ข้อ 3 - 6 ทั้งนี้อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 77 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

สเปกตรัมแบบเส้นที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $n = 7$ ไปยัง $n = 2$ ของอะตอมไฮโดรเจน เป็นแสงที่ตามองเห็นได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ไม่สามารถมองเห็นได้ เพราะเมื่อคำนวณความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสมการ

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \text{ จะได้}$$

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{7^2} \right) = (1.0974 \times 10^7 \text{ m}^{-1}) \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{49} \right) = 0.25195 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

หรือ ความยาวคลื่นเท่ากับ $\lambda = 396.90 \times 10^{-9} \text{ m} = 396.90 \text{ nm}$ ซึ่งอยู่ในช่วงรังสีเหนือม่วง

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

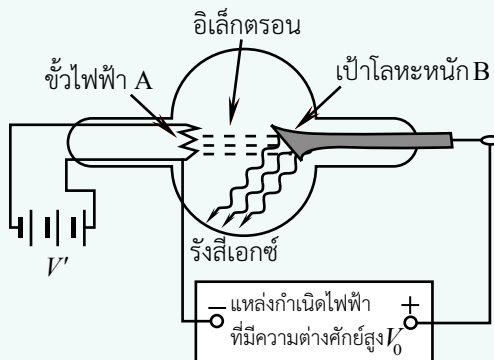
ประวัติการค้นพบรังสีเอกซ์

ในปี พ.ศ. 2438 วินเฮล์ม คอนราด เรินต์เกน (Wilhelm Konrad Roentgen) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้พบรังสีชนิดหนึ่งโดยบังเอิญ ขณะศึกษาการนำกระแสไฟฟ้าผ่านแก๊ส (gaseous discharge) ในหลอดรังสีแคโทดโดยขณะที่เขาใช้กระดาดำคลุมหลอดรังสีแคโทดในห้องทดลองที่มีดสนิท เขาสังเกตว่าแร่แบเรียมแพลทินอไซยาไนด์ที่วางอยู่ห่างจากหลอดรังสีแคโทดประมาณหนึ่งเมตร เกิดการเรืองแสงขึ้น ซึ่งขณะนั้นนักวิทยาศาสตร์ทราบว่าจะเรืองแสงได้เมื่อรับรังสีอัลตราไวโอเลตเท่านั้น แต่ขณะทดลองไม่มีแหล่งกำเนิดรังสีอัลตราไวโอเลต และรังสีแคโทดก็ไม่สามารถเดินทางจากหลอดสูญญากาศไปยังก้อนแร่ได้เพราะรังสีแคโทดทะลุผ่านอากาศได้ไกลเพียง 2–3 เซนติเมตรเท่านั้น

เรินต์เกนจึงสรุปว่า สิ่งที่ทำให้ก้อนแร่ดังกล่าวเรืองแสงจะต้องเป็นรังสีบางอย่างที่ยังไม่มีใครรู้จักมาก่อน และรังสีนี้ต้องมาจากหลอดรังสีแคโทด และมีอำนาจทะลุผ่านสูงจนสามารถผ่านกระดาดำไปยังก้อนแร่ได้ เรินต์เกน เรียกรังสีนี้ว่า **รังสีเอกซ์ (X-rays)** การทดลองในเวลาต่อมาทำให้ทราบว่า รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก สามารถทะลุผ่านวัตถุที่ไม่หนาจนเกินไปและมีความหนาแน่นน้อยได้ เช่น กระดาษ ไม้ เนื้อเยื่อของคนและสัตว์

การผลิตรังสีเอกซ์

ในการผลิตรังสีเอกซ์ ปกติใช้ลวดอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงพุ่งชนอะตอมของโลหะหนักที่เป็นเป้า ดังรูป โดยขั้วไฟฟ้า A ถูกทำให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าจากความต่างศักย์ V' อิเล็กตรอนที่หลุดจากขั้วไฟฟ้า A จะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ V_0 เข้าชนเป้าโลหะหนัก B ทำให้เกิดรังสีเอกซ์

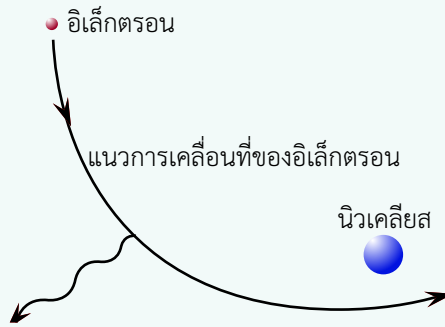


รูป หลอดรังสีเอกซ์

การเกิดรังสีเอกซ์มีสองกระบวนการดังนี้

ก. การเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง

อิเล็กตรอนพลังงานสูงวิ่งเข้าใกล้นิวเคลียสของโลหะหนักที่เป็นเป้า แรงทางไฟฟ้าจากนิวเคลียส จะทำให้อิเล็กตรอนมีความเร็วเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว พลังงานของอิเล็กตรอนที่ลดลง จะปลดปล่อยออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงรังสีเอกซ์ ดังรูป



รูป การเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง

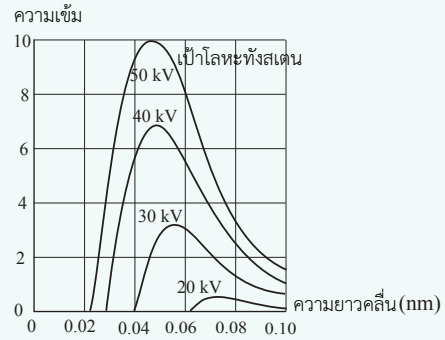
เนื่องจากในกระบวนการเกิดรังสีเอกซ์ เกิดจากการสูญเสียพลังงานของอิเล็กตรอนจำนวนมากพร้อมกัน ทำให้ได้รังสีเอกซ์ที่มีพลังงานขนาดต่าง ๆ จึงทำให้ความยาวคลื่นมีค่าต่อเนื่อง เรียกว่า รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง (continuous X-rays) โดยรังสีเอกซ์ต่อเนื่องนี้มีพลังงานมากที่สุดเท่ากับพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน ซึ่งพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนหาได้จากการเร่งอิเล็กตรอนด้วยความต่างศักย์ V_0 ความยาวคลื่นต่ำสุดเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน คือ

$$\begin{aligned} E_{k_{\max}} &= eV_0 \\ &= hf_{\max} \\ &= \frac{hc}{\lambda_{\min}} \\ \text{ดังนั้น} \quad \lambda_{\min} &= \frac{hc}{eV_0} \end{aligned}$$

เมื่อ c คือ อัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ

$\lambda_{\min}$ คือ ความยาวคลื่นต่ำสุดของรังสีเอกซ์

ความสัมพันธ์นี้แสดงว่า รังสีเอกซ์นอกจากจะมีความยาวคลื่นหลายค่าซึ่งขึ้นกับพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนแล้ว ยังมีความยาวคลื่นต่ำสุดซึ่งคำนวณได้จากสมการด้านบนด้วย และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความยาวคลื่น เป็นดังรูป



ข. การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว

รูป กราฟแสดงความเข้มของรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง

ในกระบวนการน็ออิเล็กตรอนที่ถูกเร่งจนมีพลังงานสูง จะเข้าไปในอะตอมและชนกับอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นในของอะตอมที่เป็นเป้า จนอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นในหลุดออกไป อิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นถัดออกมาซึ่งมีระดับพลังงานสูงกว่าวงโคจรชั้นในจะเข้าไปแทนที่พร้อมกับปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินที่มีความยาวคลื่นเฉพาะค่าออกมาในรูปรังสีเอกซ์ ทำนองเดียวกับการเกิดสเปกตรัมเส้นของอนุกรมบัลเมอร์หรืออนุกรมไลมานของอะตอมไฮโดรเจน ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะมีค่าเฉพาะและแตกต่างกันไปตามชนิดของโลหะที่ใช้ทำเป้า เรียกกระบวนการเกิดรังสีเอกซ์วิธีนี้ว่า **การเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence)** และเรียกรังสีเอกซ์นี้ว่า **รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic X-rays)** รังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เกิดขึ้นจะมีพลังงานเท่ากับผลต่างระหว่างระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจรคือ

$$E = E_i - E_f$$

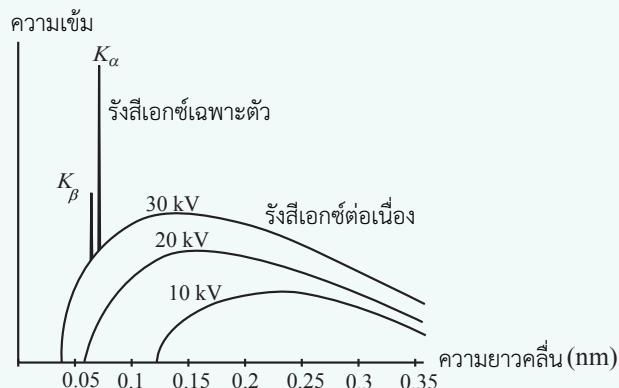
หรือ $hf = E_i - E_f$

เมื่อ E คือ พลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะตัว

E_i คือ พลังงานของอิเล็กตรอนในวงโคจรเดิม

E_f คือ พลังงานของอิเล็กตรอนในวงโคจรใหม่

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ต่อเนื่องและรังสีเอกซ์เฉพาะตัวเป็นดังรูป



รูป กราฟแสดงรังสีเอกซ์เฉพาะตัวซ้อนอยู่บนรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง

ถึงแม้จะมีการพบรังสีเอกซ์ก่อนที่พลังค์จะตั้งสมมติฐานและโบร์จะเสนอทฤษฎีอะตอม แต่ก็ไม่มีใครในขณะนั้นสามารถอธิบายที่มาของรังสีเอกซ์โดยใช้ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีอยู่ จนกระทั่งพลังค์ได้ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับควอนตัมของพลังงาน และโบร์ได้เสนอทฤษฎีอะตอม จึงสามารถอธิบายที่มาของรังสีเอกซ์ได้อย่างถูกต้อง กล่าวคือ การเกิดรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นเฉพาะค่าเป็น การยืนยันความถูกต้องของแนวคิดของโบร์ที่ว่า อะตอมมีระดับพลังงานเป็นชั้น ๆ

ครูตั้งคำถามว่า ทฤษฎีอะตอมของโบร์ใช้อธิบายพฤติกรรมของอิเล็กตรอนในอะตอมอื่น ๆ นอกจากอะตอมของไฮโดรเจนได้หรือไม่ อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า ถึงแม้ทฤษฎีของอะตอมของโบร์สามารถอธิบายเสถียรภาพของอะตอมและการเกิดสเปกตรัมแบบเส้นของอะตอมไฮโดรเจนได้ แต่ก็ยังไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมของอิเล็กตรอนในอะตอมอื่น ๆ ได้อย่างถูกต้อง

ครูตั้งคำถามว่า มีแบบจำลองอะตอมแบบใดซึ่งเป็นที่ยอมรับมากที่สุดในปัจจุบันที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของอิเล็กตรอนในอะตอมได้สมบูรณ์กว่าทฤษฎีอะตอมของโบร์ ให้นักเรียนสืบค้นเกี่ยวกับแบบจำลองอะตอมตามหลักกลศาสตร์ควอนตัม จากนั้นอภิปรายจนสรุปได้ว่า อิเล็กตรอนในอะตอมไม่ได้โคจรรอบนิวเคลียสโดยมีวงโคจรที่แน่นอนตามทฤษฎีอะตอมของโบร์ แต่จะทราบได้เพียงความน่าจะเป็นที่จะพบอิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงานหนึ่ง ๆ ว่า อยู่ในบริเวณใด เปรียบเทียบได้กับลักษณะของกลุ่มหมอก ตามรูป 19.13 ในหนังสือเรียน ซึ่งการอธิบายฟิสิกส์ของอนุภาคหรือระบบที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ในระดับอะตอมหรือเล็กกว่า ได้ถูกพัฒนาโดยนักฟิสิกส์หลายท่านจนเกิดเป็นวิชากลศาสตร์ควอนตัม ที่นักเรียนอาจได้ศึกษาในระดับสูงต่อไป

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุดำ สมมติฐานของพลังค์ และทฤษฎีอะตอมของโบร์ จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 19.1 และแบบฝึกหัด 19.1
2. ทักษะด้านการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปรายร่วมกัน ทักษะการใช้จำนวน จากการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับอะตอมไฮโดรเจนตามทฤษฎีอะตอมของโบร์ และทักษะด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการทำกิจกรรมร่วมกัน
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น และความรอบคอบ จากการอภิปรายและการทำกิจกรรมร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 19.1

1. จงอธิบายเลขควอนตัมสำหรับอะตอมไฮโดรเจน และยกตัวอย่างประกอบ

แนวคำตอบ เลขควอนตัมสำหรับอะตอมไฮโดรเจนเป็นตัวเลขที่บอกระดับชั้นของวงโคจรของอิเล็กตรอนหรือบอกระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอม โดยมีค่าบางค่าไม่ต่อเนื่องและเป็นจำนวนเต็มบวก ตัวอย่างเช่น ตามทฤษฎีอะตอมของโบร์ สำหรับอะตอมไฮโดรเจนจะมีเลขควอนตัม n เป็น $1, 2, 3, \dots$ ซึ่งหมายความว่า อิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจน จะอยู่ได้เฉพาะวงโคจรแต่ละชั้นตามค่า n โดยที่ $n = 1$ อยู่ในวงโคจรที่ใกล้นิวเคลียสที่สุด

2. จงอธิบายความแตกต่างระหว่างแบบจำลองอะตอมของทอมสันและแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

แนวคำตอบ แบบจำลองอะตอมของทอมสัน เสนอว่า อะตอมมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม ประกอบด้วยเนื้ออะตอมที่เป็นประจุบวกและมีอิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบอยู่กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอในเนื้ออะตอม โดยจำนวนประจุไฟฟ้าลบและประจุไฟฟ้าบวกมีปริมาณเท่ากัน ส่วนแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด เสนอว่า อะตอมประกอบด้วยประจุไฟฟ้าบวกรวมกันที่ศูนย์กลาง เรียกว่า นิวเคลียส และเป็นที่รวมของมวลเกือบทั้งหมดของอะตอมถัดจากนิวเคลียสออกมาเป็นว่าง โดยมีอิเล็กตรอนซึ่งมีมวลน้อยมากเคลื่อนที่อยู่รอบ ๆ นิวเคลียส

3. จงอธิบายความแตกต่างระหว่างสเปกตรัมแบบเส้นและสเปกตรัมต่อเนื่อง พร้อมกับยกตัวอย่างปรากฏการณ์ของการเกิดสเปกตรัมในแต่ละแบบ

แนวคำตอบ สเปกตรัมแบบเส้นที่สังเกตได้จะเป็นเส้นสีต่างๆ ส่วนสเปกตรัมต่อเนื่อง (ปรากฏไม่เป็นเส้น) ที่สังเกตได้จะเป็นแถบสีต่างๆ เรียงต่อเนื่องกันจากสีม่วงไปถึงสีแดง (หรือจากสีแดงไปถึงสีม่วง) สเปกตรัมแบบเส้นเกิดจากอะตอมของแก๊สปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาเป็นบางค่า เช่น ไฮโดรเจนความดันต่ำในหลอดบรรจุแก๊ส สเปกตรัมต่อเนื่องเกิดจากการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุดำอุณหภูมิสูง เช่น ไส้หลอดของหลอดไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน หรือดวงอาทิตย์ เป็นต้น



เฉลยแบบฝึกหัด 19.1

1. แสงที่มีความถี่ 5.0×10^{14} เฮิรตซ์ ควอนตัมพลังงานมีค่าเท่าใด

วิธีทำ คำนวณควอนตัมของพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจาก $\varepsilon = hf$
แทนค่า f ที่ได้

$$\begin{aligned}\varepsilon &= hf \\ &= (6.626 \times 10^{-34} \text{ J s})(5.0 \times 10^{14} \text{ Hz}) \\ &= 3.3 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{(3.3 \times 10^{-19} \text{ J})}{(1.60 \times 10^{-19} \text{ J/eV})} \\ &= 2.1 \text{ eV}\end{aligned}$$

ตอบ 2.1 อิเล็กตรอนโวลต์

2. พลังงาน 1.00×10^{-3} จูล ได้จากแสงความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร มีจำนวนควอนตัมพลังงานของแสงเท่าใด

วิธีทำ หาความถี่จาก

$$\begin{aligned}f &= \frac{c}{\lambda} \\ \text{แทนค่าจะได้} \\ f &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{650 \times 10^{-9} \text{ m}} \\ &= 4.615 \times 10^{14} \text{ Hz}\end{aligned}$$

หาจำนวนควอนตัมพลังงาน (n) ของแสงได้จากสมการ $E = nhf$

$$\begin{aligned}\text{แทนค่าจะได้ } 1.00 \times 10^{-3} \text{ J} &= n (6.626 \times 10^{-34} \text{ J s})(4.615 \times 10^{14} \text{ Hz}) \\ n &= 3.27 \times 10^{15}\end{aligned}$$

ตอบ จำนวนควอนตัมพลังงานของแสงเท่ากับ 3.27×10^{15}

3. จงหาอัตราเร็วของอิเล็กตรอนในวงโคจรที่ n

$$\begin{aligned}\text{วิธีทำ คำนวณอัตราเร็วของอิเล็กตรอนจาก } v_n^2 &= \frac{ke^2}{mr_n} \text{ และ } r_n = (0.529 \times 10^{-10} \text{ m}) n^2 \\ \text{โดยแทนค่า } v_n^2 &= \frac{ke^2}{mr_n} \\ &= \frac{ke^2}{m(0.529 \times 10^{-10} \text{ m}) n^2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น} \quad v_n &= \sqrt{\frac{k}{m(0.529 \times 10^{-10} \text{ m})}} \frac{e}{n} \\
 &= \sqrt{\frac{(8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \text{C}^{-2})}{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(0.529 \times 10^{-10} \text{ m})}} \frac{(1.602 \times 10^{-19} \text{ C})}{n} \\
 &= \frac{(1.366 \times 10^{25} \text{ m s}^{-1} \cdot \text{C}^{-1})(1.602 \times 10^{-19} \text{ C})}{n} \\
 &= \frac{2.19 \times 10^6}{n} \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

ตอบ อัตราเร็วของอิเล็กตรอนที่วงโคจร n มีค่าเท่ากับ $\frac{2.19 \times 10^6}{n}$ เมตรต่อวินาที

4. จะต้องใช้พลังงานอย่างน้อยที่สุดกี่อิเล็กตรอนโวลต์ในการทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรที่สอง ($n = 2$) หลุดออกจากอะตอมไฮโดรเจนเป็นอิเล็กตรอนอิสระ

วิธีทำ คำนวณพลังงานของระดับพลังงานที่ $n = 2$ จาก $E_n = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2}$

$$\begin{aligned}
 E_n &= -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2} \\
 &= -3.40 \text{ eV}
 \end{aligned}$$

หากต้องการให้อิเล็กตรอนนี้หลุดออกจากอะตอมเป็นอิเล็กตรอนอิสระ จะต้องใช้พลังงานอย่างน้อยที่สุดเท่ากับพลังงานยึดเหนี่ยวในวงโคจรรันซึ่งเท่ากับ 3.40 อิเล็กตรอนโวลต์

ตอบ จะต้องใช้พลังงานอย่างน้อยที่สุด 3.40 อิเล็กตรอนโวลต์

5. ระดับพลังงาน 3 ระดับของอะตอมหนึ่ง แสดงดังรูป

n	พลังงาน
3	----- -1eV
2	----- -3eV
1	----- -7eV

ถ้าอะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น $n = 2$ จะสามารถปล่อยโฟตอนที่มีพลังงานเท่าใด

วิธีทำ อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น $n = 2$ เมื่อกลับสู่สถานะพื้น $n = 1$ จะปล่อยโฟตอนที่มีพลังงาน $\Delta E = E_2 - E_1 = -3 \text{ eV} - (-7 \text{ eV}) = 4 \text{ eV}$ ดังนั้นโฟตอนมีพลังงานเท่ากับ 4 อิเล็กตรอนโวลต์

ตอบ 4 อิเล็กตรอนโวลต์

6. อิเล็กตรอนตัวหนึ่งโคจรรอบนิวเคลียสของอะตอมไฮโดรเจน โดยมี $n = 3$ จงหา

ก. รัศมีของวงโคจร

ข. ถ้าอิเล็กตรอนกลับสู่สถานะพื้น จะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นเท่าใด

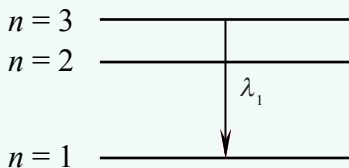
วิธีทำ ก. หารัศมีของวงโคจรจาก $r_n = a_0 n^2$

a_0 คือรัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนเมื่ออะตอมอยู่ ณ สถานะพื้นเท่ากับ $0.529 \times 10^{-10} \text{ m}$

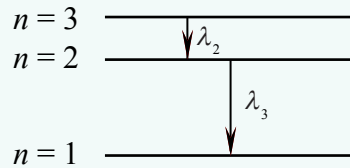
$$r_3 = (0.529 \times 10^{-10} \text{ m})(3^2) = 4.78 \times 10^{-10} \text{ m}$$

นั่นคือเมื่อ $n = 3$ รัศมีวงโคจรเท่ากับ 4.78×10^{-10} เมตร

ข. หาความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกปลดปล่อยเมื่ออิเล็กตรอนกลับสู่สถานะพื้นจาก $n = 3$ การกลับสู่สถานะพื้น มีได้ 2 แบบ ดังรูป



แบบที่หนึ่ง



แบบที่สอง

แบบที่หนึ่ง จาก $n = 3$ ไป $n = 1$ ปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น λ_1

แบบที่สอง จาก $n = 3$ ไป $n = 2$ ปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น λ_2

และ $n = 2$ ไป $n = 1$ ปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น λ_3

จาก $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

ในที่นี้ E คือพลังงานที่ถูกปล่อยจากอะตอม

จากรูปแสดงระดับพลังงานของไฮโดรเจน พลังงานที่อะตอมปลดปล่อย หาได้ดังนี้

จาก $n = 3$ ไป $n = 1$ ปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงาน $E_3 - E_1$ โดย

$$\begin{aligned} E_n &= -\frac{21.76 \times 10^{-19} \text{ J}}{n^2} \\ E_3 - E_1 &= -\frac{21.76 \times 10^{-19} \text{ J}}{(3)^2} - \left(-\frac{21.76 \times 10^{-19} \text{ J}}{(1)^2} \right) \\ &= (-2.42 \times 10^{-19} \text{ J}) - (-21.76 \times 10^{-19} \text{ J}) \\ &= 19.34 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } \lambda_1 = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3.00 \times 10^8 \text{ m/s})}{19.34 \times 10^{-19} \text{ J}} = 1.03 \times 10^{-7} \text{ m} = 103 \text{ nm}$$

จาก $n = 3$ ไป $n = 2$ ปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงาน

$$E_3 - E_2 = (-2.42 \times 10^{-19} \text{ J}) - (-5.44 \times 10^{-19} \text{ J}) = 3.02 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{ดังนั้น } \lambda_2 = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3.00 \times 10^8 \text{ m/s})}{3.02 \times 10^{-19} \text{ J}} = 6.59 \times 10^{-7} \text{ m} = 659 \text{ nm}$$

จาก $n = 2$ ไป $n = 1$ ปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงาน

$$E_2 - E_1 = (-5.43 \times 10^{-19} \text{ J}) - (-21.76 \times 10^{-19} \text{ J}) = 16.33 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{ดังนั้น } \lambda_3 = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3.00 \times 10^8 \text{ m/s})}{16.33 \times 10^{-19} \text{ J}} = 1.22 \times 10^{-7} \text{ m} = 122 \text{ nm}$$

ตอบ ก. รัศมีของวงโคจรมีค่าเท่ากับ $4.8 \times 10^{-10} \text{ m}$

ข. ความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมาามีค่าเท่ากับ 103 661 และ 122 นาโนเมตร

19.2 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
2. อธิบายและคำนวณพลังงานโฟตอน พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน และฟังก์ชันงานของโลหะ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 19.2 โดยนำอภิปรายเกี่ยวกับปรากฏต่าง ๆ ของแสงที่แสดงว่าแสงเป็นคลื่น จากนั้นชี้แจงว่า มีปรากฏการณ์เกี่ยวกับแสงที่ไม่สามารถอธิบายด้วยความรู้แสงเป็นคลื่นตามแนวคิดฟิสิกส์แบบฉบับ ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาในหัวข้อต่อไป

19.2.1 ควอนตัมของแสงและโฟตอน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ความถี่ขีดเริ่มของแสงที่ใช้สำหรับการทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน ไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ แต่ขึ้นกับความเข้มแสง	1. ความถี่ขีดเริ่มของแสงที่ใช้สำหรับการทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ แต่ไม่ขึ้นกับความเข้มแสง
2. การเกิดโฟโตอิเล็กตรอนสำหรับโลหะชนิดหนึ่ง ๆ ขึ้นอยู่กับความเข้มแสง แต่ไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ของแสง	2. การเกิดโฟโตอิเล็กตรอนสำหรับโลหะชนิดหนึ่ง ๆ ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสง แต่ขึ้นอยู่กับความถี่ของแสง
3. สำหรับโลหะชนิดหนึ่ง ๆ พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับความเข้มแสง	3. สำหรับโลหะชนิดหนึ่ง ๆ พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับความถี่ของแสง
4. จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนแปรผันตรงกับความถี่ของแสง	4. จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนแปรผันตรงกับความเข้มแสง

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

สื่อเกี่ยวกับปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก เช่น <http://physics.ipst.ac.th/?p=2023>

แนวทางการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ของข้อที่ 4 หัวข้อ 19.2 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 19.2.1 โดยใช้รูป 19.14 แล้วตั้งคำถามว่า เมื่อฉายแสงที่มีความถี่เหมาะสมลงบนผิวโลหะ จะเป็นอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า ตามรูป 19.14 เป็นปรากฏการณ์ที่แสงทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากโลหะ ซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก และอิเล็กตรอนที่หลุดออกมา เรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน โดยจะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนทันทีเมื่อแสงมีความถี่เหมาะสม แม้แสงจะมีความเข้มต่ำมาก ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ซึ่งครูอาจใช้สื่ออื่นๆ (ถ้ามี) ประกอบการอภิปราย

จากนั้นครูตั้งคำถามว่า จากสมมติฐานของพลังค์สามารถอธิบายการแผ่ของวัตถุดำ การแผ่ของแก๊สร้อน และโครงสร้างของอะตอมได้อย่างถูกต้อง ในขณะที่ฟิสิกส์แบบฉบับไม่สามารถอธิบายได้ นั้นสมมติฐานของพลังค์สามารถนำมาอธิบายการเกิดโฟโตอิเล็กทริกได้หรือไม่อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูชี้แจงว่า การอธิบายโฟโตอิเล็กทริกศึกษาได้ในหัวข้อต่อไป

19.2.2 ฟังก์ชันงานและพลังงานสูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ความถี่ต่ำสุดของแสงที่ใช้สำหรับทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน ไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ	1. ความถี่ต่ำสุดของแสงที่ใช้สำหรับทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ

แนวทางการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ของข้อที่ 5 หัวข้อ 19.2 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 19.2.2 โดยให้นักเรียนสืบค้นนักวิทยาศาสตร์ท่านใดสามารถอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกและให้คำอธิบายไว้อย่างไร ให้นักเรียนนำเสนอผลการสืบค้น แล้วครูนำอภิปรายร่วมกัน โดยใช้รูป 19.15 จนสรุปได้ว่า โอนส์ไตน์ใช้สมมติฐานควอนตัมพลังงานแสงของพลังค์ อธิบายว่า แสงแสดงสมบัติเป็นอนุภาค เรียกว่า ควอนตัมของแสง ซึ่งต่อมาเรียกว่า โฟตอน โดยแต่ละโฟตอนมีพลังงานเท่ากับ hf เมื่อโฟตอน 1 โฟตอน ตกกระทบบนผิวโลหะ จะถ่ายโอนพลังงานทั้งหมดให้กับอิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอน ถ้าความถี่ของแสงที่ใช้มีค่าเท่ากับความถี่ขีดเริ่ม f_0 ก็จะทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะพอดี และพลังงานของโฟตอนจะเท่ากับฟังก์ชันงานของโลหะ หากความถี่ของแสงที่ใช้มีค่ามากกว่าความถี่ขีดเริ่ม อิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะจะมีพลังงานจลน์ตามสมการ (19.7) ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

จากนั้นครูถามนักเรียนว่า จากสมการ (19.7b) หากเปลี่ยนค่าความถี่ของแสงที่กระทบโลหะใดโลหะหนึ่ง จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนกับความถี่แสงมีลักษณะอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูใช้รูป 19.16 นำนักเรียนอภิปรายจนสรุปได้ว่า กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนกับความถี่เป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับค่าคงตัวของพลังค์ เมื่อเขียนกราฟของโลหะต่างชนิด ความชันของกราฟจะมีค่าเท่ากัน แต่จะได้จุดตัดกราฟต่างกัน เป็นความถี่ขีดเริ่มและฟังก์ชันงานของโลหะแต่ละชนิด และหาฟังก์ชันงานได้ตามสมการ (19.8) และให้นักเรียนศึกษาฟังก์ชันงาน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 86 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

เมื่อแสงกระทบผิวโลหะ 3 ชนิด ได้แก่ โซเดียม ทองแดง และทองคำ ถ้าแสงที่ตกกระทบมีพลังงานเท่ากับ 6 อิเล็กตรอนโวลต์ จงเรียงลำดับพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนของโลหะทั้งสามจากน้อยไปมาก โดยใช้ข้อมูลจากตาราง 19.2

แนวคำตอบ จากสมการ $E_{k\max} = hf - W$ และ $\varepsilon = hf$ จะได้ $E_{k\max} = \varepsilon - W$ โดย ε เป็นควอนตัมของพลังงานของแสงหรือโฟตอน ซึ่งกรณีนี้มีค่า $\varepsilon = 6.0 \text{ eV}$ และ W คือฟังก์ชันงานของโลหะแต่ละชนิด จากตาราง 19.2 ฟังก์ชันงานของโซเดียม ทองแดง และทองคำ มีค่า 2.4 4.8 และ 5.3 eV ตามลำดับ

พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนจากโซเดียม $E_{k\max} = 6.0 \text{ eV} - 2.4 \text{ eV} = 3.6 \text{ eV}$

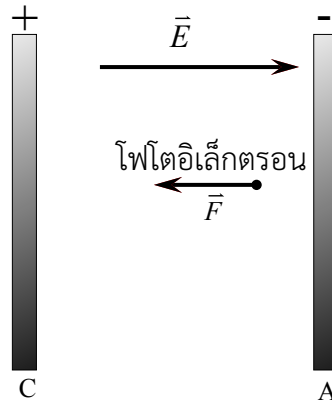
พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนจากทองแดง $E_{k\max} = 6.0 \text{ eV} - 4.8 \text{ eV} = 1.2 \text{ eV}$

พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนจากทองคำ $E_{k\max} = 6.0 \text{ eV} - 5.3 \text{ eV} = 0.7 \text{ eV}$

ดังนั้น พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนของโลหะทั้งสามเรียงจากน้อยไปมาก ได้แก่ ทองคำ ทองแดง และโซเดียม ตามลำดับ

ครูใช้รูป 19.17 นำอภิปรายจนสรุปว่า การวัดพลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน ทำได้โดยการต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้า P ที่ปรับความต่างศักย์ได้ ทำให้ศักย์ไฟฟ้าของขั้วแอโนด เป็นลบเมื่อเทียบกับขั้วแคโทด ดังรูป 19.17 ในหนังสือเรียน โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ในวงจรนี้ A จะทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอน เนื่องจากบริเวณระหว่างแผ่นโลหะขนาน A และ C มีสนามไฟฟ้าทำให้เกิดแรงไฟฟ้ากระทำต่ออิเล็กตรอนในทิศทางจากขั้วแอโนดไปขั้วแคโทด ดังรูป 19.1



รูป 19.1 ทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้า P

- ถ้าสนามไฟฟ้านี้มีค่ามากพอ อิเล็กตรอนที่หลุดจากโลหะ C จะเคลื่อนที่กลับก่อนที่จะไปถึง A ดังรูป 19.17 ในหนังสือเรียน ดังนั้นการที่อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปถึง C ได้หรือไม่ ขึ้นกับว่าอิเล็กตรอนหลุดออกจาก C ด้วยความเร็วต้นหรือพลังงานจลน์เริ่มต้นมากเพียงใด
- จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน ถ้าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่ออกจาก C มากกว่าผลต่างระหว่างพลังงานศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กตรอนที่ A และที่ C แล้ว อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ถึง A ได้ แต่ถ้าพลังงานดังกล่าวน้อยกว่า อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่กลับก่อนที่จะไปถึง A โดยวิธีนี้จะสามารถวัดพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนได้ โดยการเพิ่มความต่างศักย์จนกระทั่งไม่มีกระแสโฟโตอิเล็กตรอน และจะได้กราฟดังรูป 19.18 ในหนังสือเรียน ซึ่งหมายความว่า อิเล็กตรอนตัวที่มีพลังงานจลน์มากที่สุดเคลื่อนที่เกือบถึง A แต่ไม่ถึง และในกรณีนี้พลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนจะเท่ากับผลต่างระหว่างพลังงานศักย์ไฟฟ้าพอดี นั่นคือ พลังงานศักย์ไฟฟ้าที่ศักย์หยุดยังมีค่าเท่ากับพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน และศักย์ไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับวงจรในขณะนั้น คือ ศักย์หยุดยั้ง
- ถ้าทำการทดลองโดยใช้แสงความถี่เท่าเดิม แต่เพิ่มความเข้มแสงที่ตกกระทบ จะพบว่ากระแสไฟฟ้าในวงจรเพิ่มขึ้น แต่ศักย์หยุดยั้งมีค่าเท่ากัน สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ได้ดังรูป 19.19 ในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 19.5 - 19.6 โดยมีครูเป็นผู้แนะนำ จากนั้น ตรวจสอบความเข้าใจนักเรียน โดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 19.2 ข้อ 1 - 4 และทำแบบฝึกหัด 19.2 ข้อ 1 - 5 ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมกับนักเรียนเกี่ยวกับปรากฏการณ์คอมป์ตันตามรายละเอียดในหนังสือเรียน ซึ่งปรากฏการณ์นี้ สามารถอธิบายได้ด้วยการชนแบบยืดหยุ่นระหว่างอนุภาคของแสงหรือโฟตอนกับอิเล็กตรอนในอะตอมของแกรไฟต์ ซึ่งเป็นการยืนยันว่า คลื่นแสงสามารถแสดงพฤติกรรมของอนุภาคได้

ครูนำอภิปรายได้ข้อสรุปว่า ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก สามารถอธิบายโดยใช้สมมติฐานของพลังค์ โดยควอนตัมพลังงานของแสง หรือโฟตอน มีพลังงานเท่ากับ hf ดังนั้นคลื่นแสงจึงสามารถแสดงพฤติกรรมของอนุภาคได้

แนวการวัดและประเมินผล

1. พลังงานของโฟตอน ฟังก์ชันงาน และพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 19.2 และแบบฝึกหัด 19.2
2. ทักษะด้านการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล ทักษะการใช้จำนวน จากการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการอภิปรายร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 19.2

1. ค่าพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนมีค่าคงตัวหรือไม่ สำหรับโลหะแต่ละชนิด
แนวคำตอบ ไม่ พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนมีค่าไม่คงตัวขึ้นอยู่กับความถี่ของโฟตอนที่ตกกระทบโลหะนั้น
2. ในการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ความเข้มของแสงที่ตกกระทบผิวโลหะมีผลต่อความต่างศักย์หยุดยั้งหรือไม่ จงอธิบาย
แนวคำตอบ ความเข้มของแสงที่ฉายลงบนโลหะนั้นไม่มีผลต่อความต่างศักย์หยุดยั้ง เนื่องจากความต่างศักย์หยุดยั้งนั้นขึ้นกับพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนซึ่งขึ้นกับความถี่ของแสง แต่ความเข้มของแสงนั้นจะมีผลต่อจำนวนโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมา
3. ในช่วงการหาค่าความต่างศักย์หยุดยั้ง ขณะที่ยังอ่านได้ค่ากระแสไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของโฟโตอิเล็กตรอนในวงจร หากนำค่าความต่างศักย์ขณะนั้น มาหาค่าของพลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน เพื่อสามารถหาค่าฟังก์ชันงานที่เป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องในสมการโฟโตอิเล็กทริกได้หรือไม่

แนวคำตอบ จากสมการโฟโตอิเล็กทริก $E_{k_{\max}} = hf - W$ ค่าพลังงานจลน์ในสมการจะต้องเป็นค่าพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นสมการที่แสดงว่าพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะเท่ากับพลังงานของแสงที่ตกกระทบผิวโลหะลบด้วยฟังก์ชันงานของโลหะซึ่งเป็นพลังงานน้อยที่สุดที่ทำให้โฟโตอิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม หากในวงจร กระแส

ไฟฟ้ายังไม่เป็นศูนย์ ค่าความต่างศักย์ที่ได้จะยังไม่ใช่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าหยุดยัง หากนำมาคำนวณตามสมการ $E_{k_{\max}} = eV_s$ เพื่อนำไปแทนค่าลงในสมการโฟโตอิเล็กทริก ค่าพลังงานที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าพลังงานจลน์สูงสุด ทำให้การหาค่าฟังก์ชันงานเกิดข้อผิดพลาด

4. ในการทดลองโฟโตอิเล็กทริก ผู้ทดลองฉายแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะค่าหนึ่งไปตกกระทบผิวโลหะ พบว่าอิเล็กตรอนจำนวนหนึ่งหลุดออกจากผิวโลหะ ถ้าต้องการให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากผิวโลหะนี้มีจำนวนเพิ่มขึ้น และพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนแต่ละอนุภาคเพิ่มขึ้น ผู้ทดลองควรทำอย่างไร

แนวคำตอบ ถ้าต้องการให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากผิวโลหะนี้มีจำนวนเพิ่มขึ้น จะต้องฉายแสงที่มีความเข้มมากขึ้น และถ้าต้องการให้พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนแต่ละอนุภาคเพิ่มขึ้น จะต้องฉายแสงที่มีความถี่มากขึ้น



เฉลยแบบฝึกหัด 19.2

1. ฉายแสงความถี่ค่าหนึ่งตกกระทบผิวโลหะทองแดงซึ่งมีฟังก์ชันงาน 4.8 อิเล็กตรอนโวลต์ พบว่าความถี่นี้เป็นความถี่ขีดเริ่มของโลหะทองแดง ถ้าฉายแสงนี้ไปบนโลหะโซเดียม พบว่าความต่างศักย์หยุดยั้งมีค่า 2.4 โวลต์ โลหะโซเดียมมีฟังก์ชันงานเท่าใด

วิธีทำ เมื่อฉายแสงความถี่นี้ตกกระทบผิวโลหะโซเดียม พบว่าความต่างศักย์หยุดยั้ง V_s มีค่า 2.4 โวลต์แสดงว่า พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนมีค่าเป็น

$$E_{k_{\max}} = eV_s = 2.4 \text{ eV}$$

เมื่อฉายแสงความถี่นี้ตกกระทบผิวโลหะทองแดง พบว่าความถี่นี้เป็นความถี่ขีดเริ่มของโลหะทองแดง แสดงว่าควอนตัมของพลังงานของแสงนี้ $\varepsilon = hf$ มีค่าเท่ากับฟังก์ชันงานของโลหะทองแดง W_{cu}

$$\varepsilon = hf = W_{\text{cu}}$$

ดังนั้นสำหรับโลหะโซเดียมซึ่งมีฟังก์ชันงาน W_{Na} จะมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$E_{k_{\max}} = hf = W_{\text{Na}}$$

หรือเขียนได้เป็น $E_{k_{\max}} = W_{\text{cu}} - W_{\text{Na}}$

$$\begin{aligned} W_{\text{Na}} &= W_{\text{cu}} - E_{k_{\max}} \\ &= 4.8 \text{ eV} - 2.4 \text{ eV} \\ &= 2.4 \text{ eV} \end{aligned}$$

โลหะโซเดียมมีฟังก์ชันงานเท่ากับ 2.4 อิเล็กตรอนโวลต์

ตอบ 2.4 อิเล็กตรอนโวลต์

2. ฉายแสงที่มีความยาวคลื่น 3.0×10^{-7} เมตร ตกบนผิวโพแทสเซียมที่มีฟังก์ชันงาน

2.3 อิเล็กตรอนโวลต์ โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมามีพลังงานจลน์สูงสุดเท่าใด

วิธีทำ พลังงานจลน์สูงสุดหาได้จากสมการ $E_{k_{\max}} = hf - W$ หรือ $E_{k_{\max}} = h\frac{c}{\lambda} - W$
 ในที่นี้ $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$, $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$

$$\text{และ } W = (2.3 \text{ eV})(1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}) \\ = 3.68 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{จะได้ } E_{k_{\max}} = (6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}) \left(\frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{3.0 \times 10^{-7} \text{ m}} \right) - (3.68 \times 10^{-19} \text{ J})$$

$$E_{k_{\max}} = (6.626 \times 10^{-19} \text{ J}) - (3.68 \times 10^{-19} \text{ J})$$

$$E_{k_{\max}} = 2.95 \times 10^{-19} \text{ J}$$

โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมามีพลังงานจลน์สูงสุดเท่ากับ 2.95×10^{-19} จูล

ตอบ 2.95×10^{-19} จูล

3. ฉายแสงที่มีความถี่ 1.10×10^{15} เฮิรตซ์ ไปที่ผิวโลหะหนึ่ง ถ้าความถี่ขีดเริ่มมีค่าเป็น 5.69×10^{14} เฮิรตซ์ จงหา

ก. ฟังก์ชันงานของโลหะนั้น

ข. พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน

วิธีทำ ก. หาฟังก์ชันงาน จากสมการ $W = hf_0$

$$\text{ในที่นี้ } h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s และ } f_0 = 5.69 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\text{จะได้ } W = (6.626 \times 10^{-34} \text{ J s})(5.69 \times 10^{14} \text{ Hz})$$

$$W = 3.77 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{หรือ } W = 2.36 \text{ eV}$$

ฟังก์ชันงานของโลหะนั้นมีค่าเท่ากับ 2.36 อิเล็กตรอนโวลต์

ข. หาพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน จากสมการ $E_{k_{\max}} = hf - W$

$$\text{ในที่นี้ } h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}, f = 1.10 \times 10^{15} \text{ Hz และ } W = 3.77 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{จะได้ } E_{k_{\max}} = (6.626 \times 10^{-19} \text{ J s})(1.10 \times 10^{15} \text{ Hz}) - (3.77 \times 10^{-19} \text{ J})$$

$$E_{k_{\max}} = 3.52 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{หรือ } E_{k_{\max}} = 2.20 \text{ eV}$$

พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 2.20 อิเล็กตรอนโวลต์

ตอบ ก. 3.77×10^{-19} จูล หรือ 2.36 อิเล็กตรอนโวลต์

ข. 3.52×10^{-19} จูล หรือ 2.20 อิเล็กตรอนโวลต์

4. แสงความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ตกกระทบผิวโพแทสเซียมที่มีฟังก์ชันงาน 2.3 อิเล็กตรอนโวลต์ จะมีอิเล็กตรอนหลุดออกมาหรือไม่ ถ้ามี พลังงานของโฟโตอิเล็กตรอนเหล่านี้มีค่าเท่าใด และถ้าไม่มี พลังงานที่ต้องเพิ่มมีค่าน้อยเท่าใด

วิธีทำ อิเล็กตรอนจะหลุดจากผิวโพแทสเซียมก็ต่อเมื่อโฟตอนของแสงมีพลังงานมากกว่าฟังก์ชัน

$$\text{งานความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร มีพลังงาน } E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\text{จะได้ } E = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ J s})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{600 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$\begin{aligned} E &= 3.315 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{3.315 \times 10^{-19} \text{ J}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}} \\ &= 2.07 \text{ eV} \end{aligned}$$

พลังงานของโฟตอนที่ตกกระทบผิวโพแทสเซียมมีค่าน้อยกว่าฟังก์ชันงาน

$2.30 \text{ eV} - 2.07 \text{ eV} = 0.23 \text{ eV}$ จึงไม่มีอิเล็กตรอนหลุดออกมา และพลังงานที่ต้องเพิ่มมีค่าน้อยเท่ากับ 0.17 อิเล็กตรอนโวลต์

ตอบ ไม่มี พลังงานที่ต้องเพิ่มมีค่าน้อย 0.17 อิเล็กตรอนโวลต์

5. ในการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก เมื่อฉายแสงตกกระทบผิวโลหะชนิดหนึ่ง พบว่าความต่างศักย์หยุดยั้งที่ใช้เท่ากับ 3.7 โวลต์ พลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนมีค่าเท่าใด ในหน่วยจูล และในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์

วิธีทำ ความต่างศักย์หยุดยั้ง V_s สัมพันธ์กับพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน $E_{k_{\max}}$

ตามสมการ $E_{k_{\max}} = eV_s$ ในที่นี้ $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ และ $V_s = 3.7 \text{ V}$ จะได้

$$\begin{aligned} E_{k_{\max}} &= (1.6 \times 10^{-19} \text{ J})(3.7 \text{ V}) \\ &= 3.7 (1.6 \times 10^{-19} \text{ J}) \\ &= 5.92 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ $5.92 \times 10^{-19} \text{ จูล}$

ในหน่วยของอิเล็กตรอนโวลต์ โดย $V_s = 3.7 \text{ V}$ จะได้ $E_{k_{\max}} = 3.7 \text{ eV}$

พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 3.7 อิเล็กตรอนโวลต์

ตอบ $5.92 \times 10^{-19} \text{ จูล}$ และ 3.7 อิเล็กตรอนโวลต์

19.3 ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและคำนวณความยาวคลื่นเดอบรอยล์
2. อธิบายทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค

19.3.1 สมมติฐานของเดอบรอยล์

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. พฤติกรรมของอิเล็กตรอนในระดับอะตอม เป็นไปตามฟิสิกส์แบบฉบับ คือ มีเส้นทางการเคลื่อนที่ที่สามารถระบุได้ชัดเจน จึงไม่แสดงพฤติกรรมของคลื่น	1. พฤติกรรมของอิเล็กตรอนในระดับอะตอม เป็นไปตามฟิสิกส์ควอนตัม คือ มีเส้นทางการเคลื่อนที่ที่ไม่สามารถระบุได้ชัดเจน จึงแสดงพฤติกรรมของคลื่นได้
2. อิเล็กตรอนเป็นอนุภาค ไม่แสดงสมบัติเป็นคลื่น	2. อิเล็กตรอนนอกจากเป็นอนุภาค ยังแสดงสมบัติเป็นคลื่นได้

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ของข้อที่ 6 และ 7 หัวข้อ 19.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 19.3.1 โดยนำอภิปรายเกี่ยวกับปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ซึ่งแสดงว่า คลื่นแสงแสดงพฤติกรรมของอนุภาคได้ จากนั้นตั้งคำถามว่า อนุภาคสามารถแสดงพฤติกรรมของคลื่นได้หรือไม่ โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูนำอภิปรายว่า จนสรุปว่า เดอ เบรย นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสได้เสนอสมมติฐานว่า อนุภาค เช่น อิเล็กตรอนสามารถแสดงสมบัติของคลื่นได้ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นของอนุภาคกับโมเมนตัม เป็นไปตามสมการ 19.10 ในหนังสือเรียน สมมติฐานดังกล่าวเรียกว่าสมมติฐานของเดอบรอยล์

ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการเลี้ยวเบนของคลื่นผ่านช่องแคบที่แสดงว่า พฤติกรรมการเลี้ยวเบนของคลื่นผ่านช่องแคบสังเกตได้ง่าย เมื่อความยาวคลื่นมีค่ามากกว่าหรือใกล้เคียงกับขนาดความกว้างของช่องแคบ และนำอภิปรายเกี่ยวกับการทดลองของเดวิสสันและเจอร์เมอร์จนสรุปว่า อิเล็กตรอนแสดงสมบัติของคลื่นโดยการเลี้ยวเบนผ่านช่องว่างระหว่างอะตอมในผลึกนิกเกิล ปรากฏเป็นปรากฏการณ์การแทรกสอดในลักษณะคล้ายกับสวดลายการแทรกสอดของคลื่นแสง ตามรูป 19.20 ในหนังสือเรียน ซึ่งความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนในการทดลองนี้ (ประมาณ 0.364 นาโนเมตร) มีค่าใกล้เคียงกับระยะห่างระหว่าง

อะตอมในฟลักกิกเกิล (ประมาณ 0.352 นาโนเมตร) และเป็นการสนับสนุนสมมติฐานของเดอบรอยล์

ครูตั้งคำถามว่า วัตถุที่เราพบเห็นทั่วไปในชีวิตประจำวันสามารถแสดงสมบัติของคลื่นได้หรือไม่ และสามารถสังเกตได้หรือไม่ โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 19.7-19.8 โดยมีครูเป็นผู้แนะนำ แล้วครูนำอภิปรายเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้จากทั้งสองตัวอย่าง เพื่อให้นักเรียนเห็นความแตกต่างของความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอนุภาคในระดับอะตอม เช่น อิเล็กตรอน กับความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของวัตถุทั่วไปที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน จนได้ข้อสรุปตามข้อสังเกตในหนังสือเรียน

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 96 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ แล้วครูนำอภิปรายจนได้แนวคำตอบดังนี้



แนวคำตอบชวนคิด

จงเปรียบเทียบความยาวคลื่นเดอบรอยล์ระหว่างอิเล็กตรอน ($m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$) และโปรตอน ($m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$) ในกรณีต่อไปนี้

- ก. อัตราเร็วเท่ากัน
- ข. โมเมนตัมเท่ากัน
- ค. พลังงานจลน์เท่ากัน

แนวคำตอบ ก. เมื่ออนุภาคทั้งสองมีอัตราเร็วเท่ากันแต่อิเล็กตรอนมีมวลน้อยกว่าดังนั้นอิเล็กตรอนจะมีโมเมนตัมน้อยกว่าโปรตอนจากสมการ $\lambda = \frac{h}{p}$ จะได้ว่าความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนมีค่ามากกว่าความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของโปรตอน

ข. เมื่ออนุภาคทั้งสองมีโมเมนตัมเท่ากัน จากสมการ $\lambda = \frac{h}{p}$ จะได้ว่าความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของโปรตอน

ค. เมื่ออนุภาคทั้งสองมีพลังงานจลน์เท่ากัน จาก $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ และ $p = mv$ จะได้ $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \frac{(mv)^2}{m} = \frac{1}{2} \frac{p^2}{m}$ แสดงว่าอิเล็กตรอนซึ่งมีมวลน้อยกว่า จะมีโมเมนตัมน้อยกว่าโปรตอน จากสมการ $\lambda = \frac{h}{p}$ จะได้ว่าความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนมีค่ามากกว่าความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของโปรตอน

ครูตรวจสอบความเข้าใจนักเรียนโดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 19.3 ข้อ 1 - 4 และทำแบบฝึกหัด 19.3 ข้อ 1 - 6 ทั้งนี้อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันจนสรุปว่า อนุภาคสามารถแสดงสมบัติของคลื่น ในทางกลับกัน คลื่นก็สามารถแสดงสมบัติของอนุภาคได้ สมบัตินี้เรียกว่า ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค ซึ่งเป็นรากฐานในการพัฒนาฟิลิกส์ควอนตัม เพื่ออธิบายพฤติกรรมของอนุภาคในระดับอะตอมหรือเล็กกว่าอะตอม

19.3.2 กลศาสตร์ควอนตัม และการนำไปประยุกต์ใช้

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

-

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 19.3.2 โดยนำอภิปรายเกี่ยวกับความรู้ที่ได้ศึกษาผ่านมาในบทที่ 19 จากนั้นให้นักเรียนสืบค้นประวัติการค้นพบการทดลองและแนวคิดใหม่ในการพัฒนากลศาสตร์ควอนตัม ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายจนได้ข้อสรุปตามแนวทางในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาการประยุกต์ความรู้ด้านกลศาสตร์ควอนตัมในการพัฒนาเทคโนโลยีตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นครูให้นักเรียนสืบค้นการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากความรู้ด้านกลศาสตร์ควอนตัมในด้านต่าง ๆ ที่นอกเหนือจากที่ได้ศึกษาในหนังสือเรียน มาสรุปเป็นรายงานหรือนำมาอภิปรายร่วมกัน

ครูตรวจสอบความเข้าใจนักเรียนโดยให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 19.3 ข้อ 5 ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับสมมติฐานของเดอบรอยล์ ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ และทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 19.3 และแบบฝึกหัด 19.3
2. ทักษะการใช้จำนวน จากการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับความยาวคลื่นเดอบรอยล์ ทักษะด้านการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผล และทักษะด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการอภิปรายร่วมกัน
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น จากการอภิปรายร่วมกัน



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 19.3

1. ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ขึ้นอยู่กับปริมาณใด

แนวคำตอบ โมเมนตัมเชิงเส้น

2. วัตถุขนาดใหญ่ที่เราพบเห็นในชีวิตประจำวันจะแสดงสมบัติคลื่นให้สังเกตได้หรือไม่ อธิบาย

แนวคำตอบ วัตถุขนาดใหญ่ขณะเคลื่อนที่สามารถประพจน์ตัวเสมือนเป็นคลื่นได้ ตามสมมติฐานของเดอบรอยล์ แต่คลื่นที่เกิดขึ้นสังเกตได้ยาก เพราะมีความยาวคลื่นเดอบรอยล์น้อยมากจนไม่อาจวัดได้ด้วยเครื่องมือใด ๆ ที่มนุษย์สร้างขึ้นขณะนี้

3. ตามสมมติฐานของเดอบรอยล์ อิเล็กตรอนเป็นอนุภาคที่มีประจุและกำลังเคลื่อนที่สามารถแสดงสมบัติเป็นคลื่นได้ กรณีนิวตรอนซึ่งเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุและกำลังเคลื่อนที่ จะแสดงสมบัติเป็นคลื่นได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ นิวตรอนที่กำลังเคลื่อนที่สามารถแสดงสมบัติเป็นคลื่นได้ และแสดงปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนและการแทรกสอดได้

4. อิเล็กตรอนสามารถแสดงสมบัติความเป็นคลื่นหรืออนุภาคได้พร้อมกัน หรือไม่ อธิบาย

แนวคำตอบ อิเล็กตรอนไม่สามารถแสดงสมบัติความเป็นคลื่นหรืออนุภาคได้พร้อม ๆ กัน เนื่องจากปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในอะตอม อิเล็กตรอนจะแสดงสมบัติที่เด่นชัดว่าเป็นคลื่นหรืออนุภาคเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ซึ่งเราสามารถบอกได้ว่าอิเล็กตรอนเป็นคลื่นหรืออนุภาคเมื่อมีการทดลองให้อิเล็กตรอนแสดงพฤติกรรมออกมาเท่านั้น

5. จงยกตัวอย่างการประยุกต์ความรู้ทางกลศาสตร์ควอนตัมในการนำมาใช้ประโยชน์ 2 ข้อ

แนวคำตอบ การประดิษฐ์ตัวนำยิ่งยวด (superconductor) ซึ่งเป็นสารที่จะมีสภาพต้านทานไฟฟ้าเป็นศูนย์เมื่อมีอุณหภูมิต่ำกว่าค่าหนึ่ง โดยใช้กลศาสตร์ควอนตัมในการอธิบาย และเทคโนโลยีสารสนเทศควอนตัม (Quantum Information Technology) เป็นการนำสมบัติเชิงควอนตัมของอนุภาคตามหลักกลศาสตร์ควอนตัมมาประยุกต์เข้ากับการพัฒนาการใช้งานทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศให้มีความรวดเร็วและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น



เฉลยแบบฝึกหัด 19.3

1. โปรตอนที่มีมวล 1.67×10^{-27} กิโลกรัม และกำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 5.00×10^7 เมตรต่อวินาที มีความยาวคลื่นเดอบรอยล์เท่าใด

วิธีทำ ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอนุภาค หาได้จากความสัมพันธ์ $\lambda = \frac{h}{p}$ และ $p = mv$
จะได้ $\lambda = \frac{h}{mv}$ โดย $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$, $m = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

$$\text{และ } v = 5.00 \times 10^7 \text{ m/s}$$

$$\text{ดังนั้น } \lambda = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}}{(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})(5.00 \times 10^7 \text{ m/s})}$$

$$\lambda = 7.94 \times 10^{-15} \text{ m}$$

ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของโปรตอนเท่ากับ 7.94×10^{-15} เมตร

ตอบ 7.94×10^{-15} เมตร

2. รถแข่งที่มีมวล (รวมผู้ขับ) 650 กิโลกรัม ขณะกำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 300 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีความยาวคลื่นเดอบรอยล์เท่าใด

วิธีทำ ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอนุภาค หาได้จากความสัมพันธ์ $\lambda = \frac{h}{p}$ และ $p = mv$
จะได้ $\lambda = \frac{h}{mv}$ โดย $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$ และ $m = 650 \text{ kg}$

$$\text{และ } v = 300 \text{ km/hr} = 83.3 \text{ m/s}$$

$$\text{ดังนั้น } \lambda = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}}{(650 \text{ kg})(83.3 \text{ m/s})}$$

$$\lambda = 1.22 \times 10^{-38} \text{ m}$$

ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของรถแข่งเท่ากับ 1.22×10^{-38} เมตร

ตอบ 1.22×10^{-38} เมตร

3. ยุงกำลังบินด้วยอัตราเร็ว 0.05 เมตรต่อวินาที ถ้าความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของยุงมีค่าเท่ากับ 2.60×10^{-27} เมตร ยุงตัวนี้มีมวลเท่าใด (ตอบในหน่วยมิลลิกรัม)

วิธีทำ ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอนุภาค หาได้จากความสัมพันธ์ $\lambda = \frac{h}{p}$ และ $p = mv$

$$\text{จะได้ } m = \frac{h}{v\lambda} \text{ โดย } \lambda = 2.60 \times 10^{-27} \text{ m และ } h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$\text{และ } v = 0.05 \text{ m/s}$$

$$\text{ดังนั้น } m = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}}{(2.60 \times 10^{-27} \text{ m})(0.05 \text{ m})}$$

$$= 5.1 \times 10^{-6} \text{ kg}$$

$$m = 5.1 \text{ mg}$$

bung ตัวนี้มีมวล 5.1 มิลลิกรัม

ตอบ 5.1 มิลลิกรัม

4. ลูกบอลลูกหนึ่งมีมวล 0.40 กิโลกรัม กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 10 เมตรต่อวินาที

ก. จงหาความยาวคลื่นเดอบรอยล์

ข. ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของลูกบอลนี้จะวัดในห้องทดลองได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

วิธีทำ ก. จากความยาวคลื่นเดอบรอยล์ $\lambda = \frac{h}{mv}$

ในที่นี้ ลูกบอลมีมวล $m = 0.40 \text{ kg}$ และ $v = 10 \text{ m/s}$

$$\text{แทนค่าจะได้ } \lambda = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{(0.40 \text{ kg})(10 \text{ m/s})} = 1.7 \times 10^{-34} \text{ m}$$

ตอบ ก. ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของลูกบอลเท่ากับ 1.7×10^{-34} เมตร

ข. ไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากยังไม่มีเครื่องมือใดๆ ที่สามารถตรวจสอบคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นขนาดนี้ได้

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 19

?? | คำถาม

1. จากแนวความคิดการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุดำ นักเรียนไม่สามารถมองเห็นสิ่งของต่างๆ ในห้องเรียนที่ปิดมิดชิด และไม่มีแสงสว่าง เพราะสิ่งของภายในห้องเรียนนั้น ไม่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ข้อความดังกล่าวถูกต้องหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ไม่ถูกต้อง เพราะวัตถุดำอุณหภูมิสูงกว่า 0 เคลวิน จะมีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเสมอแต่ที่ไม่สามารถมองเห็น อาจเพราะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมามีความเข้มข้นน้อยเกินไป หรือมีความถี่ที่ไม่อยู่ในช่วงที่ตามองเห็น

2. จากการทดลองปล่อยอนุภาคแอลฟาซึ่งมีประจุบวกไปยังแผ่นทองคำบาง พบว่าอนุภาคแอลฟาบางส่วนเบี่ยงเบนไปจากแนวเดิม และบางส่วนสะท้อนกลับออกมา เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ เพราะอนุภาคแอลฟาได้รับแรงผลักจากอนุภาคที่มีประจุบวกที่รวมกันเป็นนิวเคลียส โดยอนุภาคแอลฟาที่เคลื่อนที่เข้าใกล้หรือเฉียดนิวเคลียสจะได้รับแรงผลักทำให้เบี่ยงเบนไปจากแนวเดิม ส่วนอนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่เข้าหานิวเคลียสโดยตรงจะได้รับแรงผลักที่มีค่ามาก ทำให้สะท้อนกลับออกมา

3. สมมติให้ระดับพลังงานต่าง ๆ ของอะตอม เป็นดังรูป

เลขควอนตัม n

$n=4$ _____

$n=3$ _____

$n=2$ _____

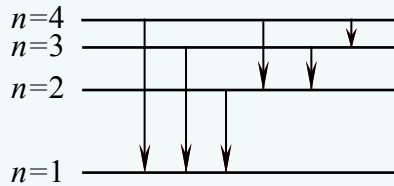
$n=1$ _____

รูป ประกอบคำถามข้อ 2

จงบอกจำนวนเส้นสเปกตรัมทั้งหมดที่อะตอมนี้สามารถเปล่งออกมาได้ เมื่ออะตอมอยู่ในสถานะถูกกระตุ้น

แนวคำตอบ 6 เส้น โดยอะตอมที่ถูกกระตุ้น สามารถปลดปล่อยพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความถี่แตกต่างกัน แล้วลดพลังงานลงสู่ระดับพลังงานที่มีค่าน้อยกว่า จาก $n > 1$ ไปยัง $n = 1$ ดังรูป

เลขควอนตัม n



4. แสงที่มีความถี่และความเข้มค่าหนึ่งตกกระทบผิวโลหะชนิดหนึ่ง จะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนหลุดออกมา เมื่อเพิ่มความถี่ของแสง ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้อง เพราะเหตุใด
- ก. จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น

ข. พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น

ค. ทั้งจำนวนและพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น

แนวคำตอบ ข้อ ข. ถูกต้อง เพราะ พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนสำหรับผิวโลหะชนิดหนึ่ง ขึ้นกับความถี่ของแสงที่ตกกระทบตามสมการ $E_{k_{\max}} = hf - W$

5. แสงที่มีความถี่และความเข้มค่าหนึ่งตกกระทบผิวโลหะชนิดหนึ่ง จะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนหลุดออกมา เมื่อเพิ่มความเข้มของแสง ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้อง เพราะเหตุใด
- ก. จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น

ข. พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น

ค. ทั้งจำนวนและพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น

แนวคำตอบ ข้อ ก. ถูกต้อง เพราะ จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับความเข้มแสงที่ตกกระทบ

6. แสงความถี่ค่าหนึ่งตกกระทบผิวโลหะต่างชนิดกัน จะให้โฟโตอิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์สูงสุดเท่ากันหรือไม่ เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

แนวคำตอบ จะให้โฟโตอิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์สูงสุดไม่เท่ากัน เพราะโลหะต่างชนิดกัน จะมีค่าความถี่ขีดเริ่มที่ต่างกัน ฟังก์ชันงานจึงมีค่าต่างกัน ตามสมการ $W = hf_0$ ทำให้พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน ตามสมการ $E_{k_{\max}} = hf - W$ ต่างกัน

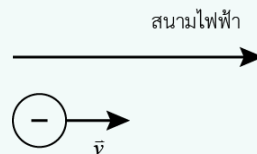
7. ในการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ความเข้มของแสงที่ตกกระทบผิวโลหะมีผลต่อความต่างศักย์หยุดยั้งหรือไม่ อธิบาย

แนวคำตอบ ความเข้มของแสงที่ฉายลงบนโลหะนั้นไม่มีผลต่อความต่างศักย์หยุดยั้ง เนื่องจากความต่างศักย์หยุดยั้ง V_0 นั้นขึ้นกับพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน ตามสมการ $E_{k_{\max}} = eV_0$ ซึ่งขึ้นกับความถี่ของแสง ตามสมการ $E_{k_{\max}} = hf - W$ แต่ความเข้มของแสงนั้นจะมีผลต่อจำนวนโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมา

8. โฟโตอิเล็กตรอน สมการโฟโตอิเล็กทริกและฟังก์ชันงาน มีความสัมพันธ์กันอย่างไรในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก จงอธิบาย

แนวคำตอบ ในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก เมื่อมีแสงที่มีความถี่เหมาะสมตกกระทบผิวโลหะ จะมีอิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะ อิเล็กตรอนที่หลุดออกมา เรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน โดยพลังงานจลน์สูงสุด $E_{k_{\max}}$ ของโฟโตอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับความถี่ f ของแสงที่ตกกระทบและฟังก์ชันงาน W ของโลหะ ตามสมการ $E_{k_{\max}} = hf - W$ เรียกว่า สมการโฟโตอิเล็กทริก ซึ่งเป็นสมการที่แสดงว่าพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะเท่ากับพลังงานของแสงที่ตกกระทบผิวโลหะลบด้วยฟังก์ชันงานของโลหะซึ่งเป็นพลังงานน้อยที่สุดที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม และเป็นค่าเดียวกับพลังงานน้อยที่สุดที่ยึดอิเล็กตรอนให้อยู่ในอะตอม

9. อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้า ดังรูป ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร



รูป ประกอบคำถามข้อ 9

แนวคำตอบ มีการเปลี่ยนแปลง โดยความยาวคลื่นเดอบรอยล์จะมีค่ามากขึ้น เพราะ อัตราเร็วของอิเล็กตรอนมีค่าลดลง (ในขณะที่อิเล็กตรอนยังคงเคลื่อนที่ในทิศดังรูป) โดยมวลของอิเล็กตรอนไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้น ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนนี้ จึงมีการเปลี่ยนแปลง โดยมีค่า

มากขึ้น ตามสมการ $\lambda = \frac{h}{mv}$

Ⓕ | ปัญหา

1. ถ้าควอนตัมของพลังงานของแสงที่ตามองเห็นได้มีพลังงาน 3.62×10^{-19} จูล แสงที่เห็นนี้มีสีอะไร

วิธีทำ ควอนตัมของพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอน มีควอนตัมของพลังงานตาม

$$\text{สมการ } \varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\text{ในที่นี้ } \varepsilon = 3.62 \times 10^{-19} \text{ J}, h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js และ } c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{จะได้ } 3.62 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{\lambda}$$

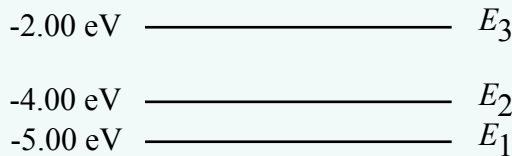
$$\lambda = 549 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$= 549 \text{ nm}$$

ความยาวคลื่นนี้อยู่ในช่วงของแสงสีเขียว

ตอบ แสงสีเขียว

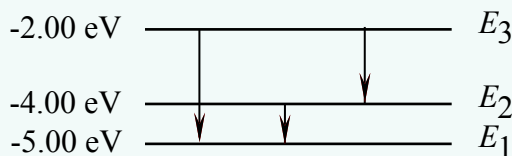
2. อะตอมหนึ่ง มีระดับพลังงาน ดังรูป



รูป ประกอบปัญหาข้อ 2

เมื่อถูกกระตุ้นแล้ว จะปลดปล่อยพลังงานออกมา ทำให้เกิดสเปกตรัมแบบเส้นจำนวน 3 เส้น
จงระบุค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมทั้งสามเส้น

วิธีทำ จากแผนภาพระดับพลังงานของอะตอม อะตอมที่ถูกกระตุ้น สามารถปล่อยโฟตอนที่มีพลังงาน 1.00 อิเล็กตรอนโวลต์ 2.00 อิเล็กตรอนโวลต์ และ 3.00 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งเปล่งออกมาเมื่ออิเล็กตรอนในอะตอมกลับสู่สถานะพื้น ทำให้เกิดเส้นสเปกตรัมทั้งหมด 3 เส้น ดังรูป



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาข้อ 2

ความยาวคลื่นสเปกตรัมหาได้จากสมการ $\varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda}$

โฟตอนที่มีพลังงาน 1.00 อิเล็กตรอนโวลต์ เมื่อคำนวณความยาวคลื่น

$$\text{จะได้ } 1.00 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{\lambda}$$

$$\lambda = 1.24 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$= 1.24 \text{ } \mu\text{m}$$

โฟตอนที่มีพลังงาน 2.00 อิเล็กตรอนโวลต์ เมื่อคำนวณความยาวคลื่น

$$\text{จะได้ } 2.00 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{\lambda}$$

$$\lambda = 621 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$= 621 \text{ nm}$$

โฟตอนที่มีพลังงาน 3.00 อิเล็กตรอนโวลต์ เมื่อคำนวณความยาวคลื่น

$$\text{จะได้ } 3.00 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{\lambda}$$

$$\lambda = 414 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$= 414 \text{ nm}$$

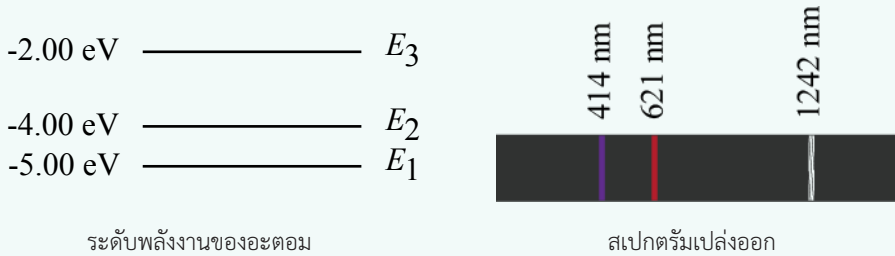
ตอบ ความยาวคลื่นของสเปกตรัมทั้งสามเส้นมีค่า 1.24 ไมโครเมตร 621 นาโนเมตร และ 414 นาโนเมตร ตามลำดับ

3. ถ้าอิเล็กตรอนในแบบจำลองอะตอมไฮโดรเจนของโบร์อยู่ห่างจากนิวเคลียสเป็นระยะ 25 เท่าของรัศมีโบร์ แสดงว่าอิเล็กตรอนนี้อยู่ที่ระดับพลังงานเท่าใด

วิธีทำ ในแบบจำลองอะตอมไฮโดรเจนของโบร์ รัศมีวงโคจรต่าง ๆ มีค่าตามสมการ $r_n = a_0 n^2$ เมื่อ a_0 คือรัศมีโบร์ ดังนั้นเมื่อ $r_n = 25a_0$ จะได้ $n^2 = 25$ หรือ $n = 5$ แสดงว่าอิเล็กตรอนอยู่ที่ระดับพลังงาน

ตอบ อิเล็กตรอนนี้อยู่ที่ระดับพลังงาน $n = 5$

4. อะตอมหนึ่ง มีระดับพลังงาน ทำให้เกิดสเปกตรัมเปล่งออก 3 เส้น ที่มีความยาวคลื่น ดังรูป



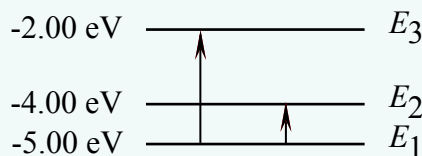
รูป ประกอบปัญหาข้อ 4

ถ้าต้องการกระตุ้นอะตอมนี้ จากสถานะพื้นไปยังสถานะถูกกระตุ้น จะต้องใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นเท่าใด

วิธีทำ จากแผนภาพระดับพลังงานของอะตอม ถ้าต้องการกระตุ้นอะตอมนี้จากสถานะพื้นให้อยู่ในระดับพลังงาน E_2 และ E_3 จะต้องใช้พลังงาน 1.00 อิเล็กตรอนโวลต์ และ 3.00 อิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ ซึ่งได้รับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ 1242 nm และ 414 nm ตามลำดับ

$$\lambda = \frac{hc}{\varepsilon} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{1.00 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}} = 1242 \text{ nm}$$

และ $\lambda = \frac{hc}{\varepsilon} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{3.00 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}} = 414 \text{ nm}$ ตามลำดับ



รูป ประกอบวิธีสำหรับปัญหาข้อ 4

ตอบ จะต้องใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 414 นาโนเมตร และ 1242 นาโนเมตร

5. จงหาความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนหรือเปล่งออกมาจากอะตอมไฮโดรเจน เมื่ออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $n = 1$ ไปยัง $n = 3$ และจาก $n = 6$ ไปยัง $n = 3$

วิธีทำ คำนวณความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาโดยใช้สมการ $\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$

เมื่ออะตอมเปลี่ยนจากระดับพลังงานจาก $n_i = 1$ ไปยัง $n_f = 3$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\lambda} &= R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \\
 &= R_H \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{1^2} \right) \\
 &= (1.0974 \times 10^7 \text{ m}^{-1}) \left(\frac{1}{9} - 1 \right) \\
 &= -0.97547 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \\
 \lambda &= -102.52 \times 10^{-9} \text{ m} \\
 &= -102.52 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

เครื่องหมายเป็นลบหมายถึงการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และคำนวณหาความถี่จาก

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{c}{\lambda} \\
 f &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{102.52 \times 10^{-9} \text{ m}} \\
 &= 2.9263 \times 10^{15} \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

เมื่ออะตอมเปลี่ยนจากระดับพลังงานจาก $n_i = 6$ ไปยัง $n_f = 3$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\lambda} &= R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \\
 &= R_H \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{6^2} \right) \\
 &= (1.0974 \times 10^7 \text{ m}^{-1}) \left(\frac{1}{9} - \frac{1}{36} \right) \\
 &= 0.9145000 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \\
 \lambda &= 1093.5 \times 10^{-9} \text{ m} \\
 &= 1093.5 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

เครื่องหมายเป็นบวกหมายถึงการเปล่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และคำนวณหาความถี่จาก

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{c}{\lambda} \\
 f &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{1093.5 \times 10^{-9} \text{ m}} \\
 &= 0.27435 \times 10^{15} \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

ตอบ เมื่ออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $n = 1$ ไปยัง $n = 3$ จะดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่ 2.9263×10^{15} เฮิรตซ์

เมื่ออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจาก $n = 6$ ไปยัง $n = 3$ จะเปล่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่ 0.27435×10^{15} เฮิรตซ์

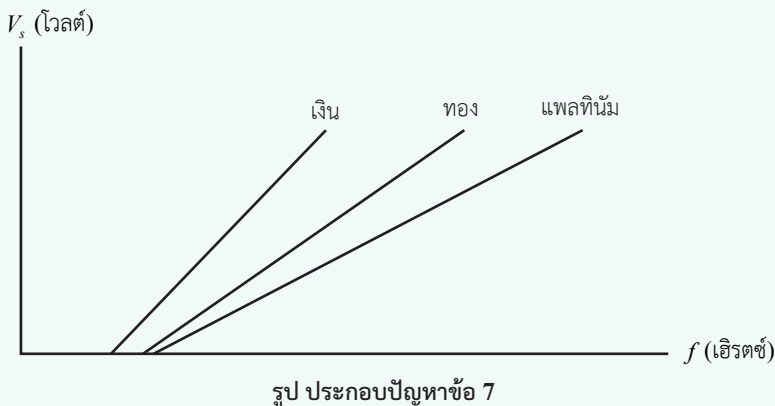
6. ฉายแสงที่มีความยาวคลื่น 2.5×10^{-7} เมตร ตกบนผิวซีเซียมที่มีฟังก์ชันงาน 2.1 อิเล็กตรอนโวลต์ โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมามีพลังงานจลน์สูงสุดเท่าใด

วิธีทำ หาพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนจากสมการ $E_{k_{\max}} = hf - W = \frac{hc}{\lambda} - W$

$$\begin{aligned} E_{k_{\max}} &= \frac{hc}{\lambda} - W \\ &= (6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}) \left(\frac{3.0 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.5 \times 10^{-7} \text{ m}} \right) - (2.1 \text{ eV}) (1.60 \times 10^{-19} \text{ J/eV}) \\ &= (7.9512 \times 10^{-19} \text{ J}) - (3.3600 \times 10^{-19} \text{ J}) \\ &= 4.5912 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{4.5912 \times 10^{-19} \text{ J}}{1.60 \times 10^{-19} \text{ J/eV}} \\ &= 2.8695 \text{ eV} \end{aligned}$$

ตอบ พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนเท่ากับ 4.6×10^{-19} จูล หรือเท่ากับ 2.9 อิเล็กตรอนโวลต์

7. ในการทดลองโฟโตอิเล็กทริก พบว่าได้ผลการทดลอง ดังรูป



ผลการทดลองนี้ถูกต้องหรือไม่ เพราะเหตุใด

วิธีทำ จากสมการโฟโตอิเล็กทริก เมื่อเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์หยุดยั้งกับความถี่

ของคลื่นแสง จะได้ว่า

$$V_s = \frac{h}{e} f - \frac{W}{e}$$

แสดงให้เห็นว่าความชันของกราฟแต่ละเส้นมีค่า $\frac{h}{e}$ เท่ากัน

ดังนั้น กราฟในโจทย์จึงไม่ถูกต้อง เพราะกราฟแต่ละเส้นมีความชันไม่เท่ากัน

ตอบ ไม่ถูกต้อง เพราะความชันของกราฟแต่ละเส้นมีค่าไม่เท่ากัน

8. กำหนดให้ โลหะ A , B และ C มีค่าฟังก์ชันงานเท่ากับ 1.035 อิเล็กตรอนโวลต์ 2.070 อิเล็กตรอนโวลต์ และ 4.140 อิเล็กตรอนโวลต์

ก. จงหาความถี่ขีดเริ่มของโลหะทั้ง 3 ชนิด

ข. วาดกราฟระหว่างความต่างศักย์หยุดยั้งกับความถี่ของโฟตอนที่ตกกระทบแผ่นโลหะ โดยระบุชนิดของโลหะและความถี่ขีดเริ่ม ลงในกราฟแต่ละเส้น

วิธีทำ

ก. จากสมการ $W = hf_0$

$$\text{สำหรับโลหะ A จะได้ } f_0 = \frac{W}{h} = \frac{(1.035 \text{ eV})(1.60 \times 10^{-19} \text{ J/eV})}{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})} = 0.25 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$$\text{สำหรับโลหะ B จะได้ } f_0 = \frac{W}{h} = \frac{(2.070 \text{ eV})(1.60 \times 10^{-19} \text{ J/eV})}{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})} = 0.50 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$$\text{สำหรับโลหะ C จะได้ } f_0 = \frac{W}{h} = \frac{(4.140 \text{ eV})(1.60 \times 10^{-19} \text{ J/eV})}{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})} = 1.00 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

ข. จากสมการโฟโตอิเล็กทริก $E_{k_{\max}} = hf - W$

$$\text{แต่ } E_{k_{\max}} = eV_s$$

$$\text{จะได้ว่า } eV_s = hf - W$$

$$\text{หรือ } V_s = \frac{h}{e} f - \frac{W}{e}$$

โดยความชันของกราฟมีค่า $\frac{h}{e}$ และจุดตัดแกน y หรือ V_s มีค่า $-\frac{W}{e}$

สำหรับโลหะ A จะได้

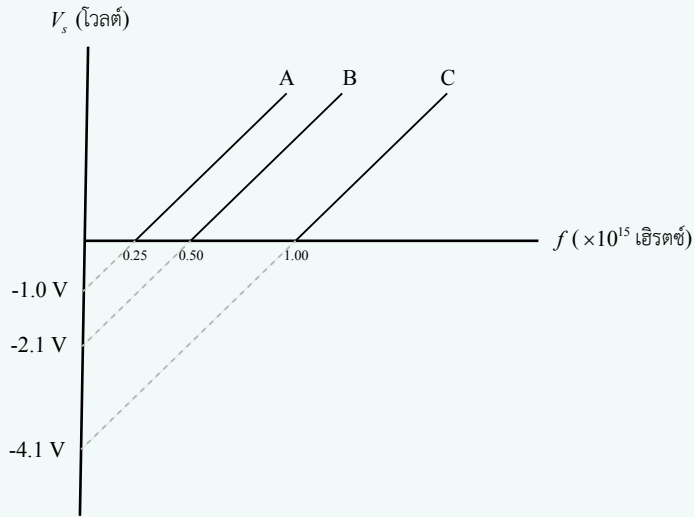
$$V_s = -\frac{W}{e} = -\frac{1.035 \text{ eV}}{e} = -1.0 \text{ V}$$

สำหรับโลหะ B จะได้

$$V_s = -\frac{W}{e} = -\frac{2.070 \text{ eV}}{e} = -2.1 \text{ V}$$

สำหรับโลหะ C จะได้
$$V_s = -\frac{W}{e} = -\frac{4.140\text{eV}}{e} = -4.1\text{ V}$$

เมื่อนำข้อมูล f_0 ของโลหะทั้งสามและจุดตัดแกน y ไปเขียนกราฟจะได้กราฟเส้นตรงที่ขนานกัน โดยความชันของเส้นกราฟทั้งสามมีค่าเท่ากัน ดังรูป



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาข้อ 8 ข.

ตอบ ก. 0.25×10^{15} เฮิร์ตซ์ 0.50×10^{15} เฮิร์ตซ์ 1.00×10^{15} เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ

ข. กราฟระหว่างความต่างศักย์หยุดยั้งกับความถี่ของโฟตอน ดังรูปประกอบวิธีทำ

9. เมื่อฉายแสงที่มีความถี่ 8.15×10^{14} เฮิร์ตซ์ ไปที่ธาตุต่อไปนี้

ธาตุ	ฟังก์ชันงาน $W(\text{eV})$
แบเรียม	2.6
อะลูมิเนียม	4.2
เงิน	4.6
ทองคำ	5.3

จะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกกับธาตุใด

วิธีทำ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อพลังงานของโฟตอนมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าฟังก์ชันงานของธาตุโฟตอนของแสงที่มีความถี่ 8.15×10^{14} Hz จะมีพลังงาน $E = hf$ จะได้

$$E = (6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(8.15 \times 10^{14} \text{ Hz})$$

$$E = 5.40 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$= \frac{5.40 \times 10^{-19} \text{ J}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}}$$

$$E = 3.38 \text{ eV}$$

เมื่อพิจารณาจากตารางฟังก์ชันงานของแต่ละธาตุ พบว่าพลังงานของโฟตอนมากกว่าฟังก์ชันงานของแบเรียมเพียงธาตุเดียว ดังนั้นธาตุที่เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้คือ แบเรียม

ตอบ แบเรียม

10. ในการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ถ้าโลหะที่ใช้มีฟังก์ชันงานเท่ากับ 1.10×10^{-19} จูล โฟตอนของแสงที่มีความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะนี้มีความเร็วสูงสุดเท่าใด และความต่างศักย์หยุดยั้งของการทดลองนี้มีค่าเท่าใด

วิธีทำ หาความเร็วสูงสุดของอิเล็กตรอน จากสมการ $hf = W + E_{k_{\max}}$

เนื่องจาก $c = f\lambda$ และ $E_{k_{\max}} = \frac{1}{2}mv_{\max}^2$

เมื่อแทนค่าใน $hf = W + E_{k_{\max}}$ จะได้ $\frac{hc}{\lambda} = W + \frac{1}{2}mv_{\max}^2$

ในที่นี้ $\lambda = 600 \text{ nm} = 6.00 \times 10^{-7} \text{ m}$ และ $W = 1.1 \times 10^{-19} \text{ J}$

เมื่อแทนค่าใน $\frac{hc}{\lambda} = W + \frac{1}{2}mv_{\max}^2$

$$\frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3.00 \times 10^8 \text{ m/s})}{600 \times 10^{-9} \text{ m}} = (1.10 \times 10^{-19} \text{ J}) + \frac{1}{2}(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})v_{\max}^2$$

หาค่า $v_{\max}$ ได้ $v_{\max} = 6.97 \times 10^5 \text{ m/s}$

หาความต่างศักย์หยุดยั้งจาก $\frac{hc}{\lambda} = W + eV_s$

เมื่อแทนค่า จะได้

$$\frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3.00 \times 10^8 \text{ m/s})}{600 \times 10^{-9} \text{ m}} = (1.10 \times 10^{-19} \text{ J}) + (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})V_s$$

หาค่า V_s ได้ $V_s = 1.38 \text{ V}$

ตอบ ความเร็วสูงสุดเท่ากับ 6.97×10^5 เมตรต่อวินาที และความต่างศักย์หยุดยั้งเท่ากับ 1.38 โวลต์

11. คนที่อยู่กลางแจ้งในตอนกลางวันเป็นเวลานานๆจะทำให้ผิวหนังคล้ำจากการศึกษาพบว่าพลังงานโฟตอนของแสงแดดที่ทำให้ผิวหนังคล้ำ มีค่าประมาณ 3.50 อิเล็กตรอนโวลต์ จงหาความยาวคลื่นของโฟตอนและความยาวคลื่นของโฟตอนที่คำนวณได้นี้ อยู่ในช่วงรังสีชนิดใดในสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

วิธีทำ หาความยาวคลื่นของโฟตอนจาก $\lambda = \frac{hc}{E}$
แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3.00 \times 10^8 \text{ m/s})}{3.50 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}} \\ &= 3.55 \times 10^{-7} \text{ m} \\ &= 355 \text{ nm}\end{aligned}$$

ความยาวคลื่น 355 นาโนเมตร อยู่ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ตอบ ความยาวคลื่นของโฟตอนเท่ากับ 355 นาโนเมตร อยู่ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต

12. ฟังก์ชันงานของโลหะชนิดหนึ่งมีค่า 3.3×10^{-19} จูล

ก. จงหาความถี่ต่ำสุดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกกับโลหะนี้

ข. เมื่อให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อไปนี้ตกกระทบโลหะจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกหรือไม่

(1) คลื่นที่มีความยาวคลื่น 5.0×10^{-7} เมตร

(2) คลื่นที่มีความถี่ 4.0×10^{14} เฮิรตซ์

วิธีทำ ก. ความถี่ต่ำสุดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

$$\text{จากสมการ } W = hf_0 \text{ หรือ } f_0 = \frac{W}{h}$$

$$\text{เนื่องจากฟังก์ชันงานของโลหะ } W = 3.3 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{ดังนั้น ความถี่ขีดเริ่มของโลหะนี้ } f_0 = \frac{3.3 \times 10^{-19} \text{ J}}{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}} = 5.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

ข. (1) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่น $\lambda = 5.0 \times 10^{-7} \text{ m}$

$$\text{จะมีความถี่ } f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{5.0 \times 10^{-7} \text{ m}} = 6.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

ซึ่งมีความถี่สูงกว่าความถี่ขีดเริ่ม จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

(2) คลื่นที่มีความถี่ 4.0×10^{14} เฮิรตซ์ ไม่ทำให้เกิดเพราะความถี่ต่ำกว่าความถี่ขีดเริ่ม ไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

ตอบ ก. ความถี่ขีดเริ่มของโลหะเท่ากับ 5.0×10^{14} เฮิร์ตซ์

ข. (1) คลื่นที่มีความยาวคลื่น 5.0×10^{-7} เมตร นี้ เมื่อกระทบโลหะจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้

(2) คลื่นที่มีความถี่ 4.0×10^{14} เฮิร์ตซ์ ต่ำกว่าความถี่ขีดเริ่ม เมื่อกระทบโลหะจะไม่เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

13. โฟตอนของรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่น 30 พิโกเมตร จะมีความถี่และพลังงานเท่าใด

วิธีทำ จากสมการ $f = \frac{c}{\lambda}$

เนื่องจากความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ $\lambda = 30 \times 10^{-12} \text{ m}$

ดังนั้น ความถี่ของรังสีเอกซ์ $f = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{30 \times 10^{-12} \text{ m}} = 1.0 \times 10^{19} \text{ Hz}$

เนื่องจากพลังงานโฟตอน

$$E = hf$$

ดังนั้น พลังงานโฟตอนของรังสีเอกซ์

$$E = (6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}) (1.0 \times 10^{19} \text{ Hz})$$

$$E = 6.626 \times 10^{-15} \text{ J}$$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-15} \text{ J}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}}$$

$$E = 41.4 \text{ KeV}$$

ตอบ โฟตอนของรังสีเอกซ์มีความถี่เท่ากับ 1.0×10^{19} เฮิร์ตซ์ และ

มีพลังงานเท่ากับ 6.626×10^{-15} จูล หรือ 41.4 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

14. โฟตอนของรังสีชนิดหนึ่งมีพลังงาน 24.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ จะมีความถี่และความยาวคลื่นเท่าใด

วิธีทำ จากสมการ $E = hf$ หรือ $f = \frac{E}{h}$

เนื่องจากพลังงานของโฟตอน $= 24.8 \times 10^3 \text{ eV} = (24.8 \times 10^3 \text{ eV}) (1.60 \times 10^{-19} \text{ J/eV})$

ดังนั้น ความถี่ของรังสี $f = \frac{24.8 \times 10^3 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}}{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}} = 5.98 \times 10^{18} \text{ Hz}$

จากสมการ

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

$$\lambda = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{5.98 \times 10^{18} \text{ Hz}} = 1.00 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.10 \text{ nm}$$

ตอบ โฟตอนของรังสีมีความถี่เท่ากับ 5.98×10^{18} เฮิร์ตซ์ และมีความยาวคลื่นเท่ากับ 0.10 นาโนเมตร

15. พลังงานของทองคำเท่ากับ 5.3 อิเล็กตรอนโวลต์ จงหาความถี่ขีดเริ่มของแสงที่ทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนจากทองคำ แสงที่ตามองเห็นจะทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนจากทองคำได้หรือไม่
วิธีทำ หาความถี่ขีดเริ่มจากสมการ $W = hf_0$

$$f_0 = \frac{W}{h}$$

พลังงานของทองคำ $W = (5.3 \text{ eV}) \times (1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}) = 8.5 \times 10^{-19} \text{ J}$

ความถี่ขีดเริ่มของทองคำ $f_0 = \frac{8.5 \times 10^{-19} \text{ J}}{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}} = 1.3 \times 10^{15} \text{ Hz}$

แสงที่ตามองเห็นมีความถี่ 3.8×10^{14} เฮิรตซ์ -9.5×10^{14} เฮิรตซ์ ส่วนทองคำมีความถี่ขีดเริ่มเท่ากับ 1.3×10^{15} เฮิรตซ์ ซึ่งสูงกว่าความถี่สูงสุดของแสงที่ตามองเห็น

ตอบ แสงที่ตามองเห็นจะไม่ทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนจากทองคำได้

16. พิจารณา โปรตอน อิเล็กตรอน และนิวเคลียสของฮีเลียม ที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่ากัน จงเรียงลำดับความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอนุภาคทั้งสามจากน้อยไปมาก

วิธีทำ ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ (λ) สามารถหาได้จาก

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

ดังนั้น เมื่ออัตราเร็วของแต่ละอนุภาคมีค่าเท่ากัน และมวลของนิวเคลียสของฮีเลียม โปรตอน และ อิเล็กตรอน ที่มีค่า 6.68×10^{-27} กิโลกรัม 1.67×10^{-27} กิโลกรัม และ 9.10×10^{-31} กิโลกรัม ตามลำดับ จะได้ว่า ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของนิวเคลียสของฮีเลียมมีค่าน้อยที่สุด และ ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนมีค่ามากที่สุด

ตอบ นิวเคลียสของฮีเลียม โปรตอน และอิเล็กตรอน มีความยาวคลื่นเดอบรอยล์จากน้อยไปมากตามลำดับ

17. โฟตอนและอิเล็กตรอนที่ประพัตต์ตัวเป็นคลื่นมีความยาวคลื่น 0.20 นาโนเมตร จะมีโมเมนตัมและพลังงานเท่าใด

วิธีทำ โฟตอนและอิเล็กตรอนที่มีความยาวคลื่นเท่ากันจึงมีโมเมนตัมเท่ากัน ซึ่งหาได้จาก

สมการ $p = \frac{h}{\lambda}$

ในที่นี้ $\lambda = 0.20 \text{ nm} = 0.20 \times 10^{-9} \text{ m}$, $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$

จะได้ $p = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}}{0.20 \times 10^{-9} \text{ m}}$
 $p = 3.31 \times 10^{-24} \text{ kg m/s}$

พลังงานของโฟตอนหาได้จาก $E = \frac{h}{\lambda}c$ เมื่อ c เป็นอัตราเร็วของแสง

ในที่นี้ $p = 3.31 \times 10^{-24} \text{ kg m/s}$ และ $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad E &= \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ kg m/s})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{(0.2 \times 10^{-9} \text{ m})} \\ &= 9.94 \times 10^{-16} \text{ J} \end{aligned}$$

$$\text{หรือ} \quad E = 6.2 \text{ keV}$$

พลังงานของโฟตอนมีค่า 6.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

พลังงานของอิเล็กตรอนหาได้จากสมการ $E = \frac{p^2}{2m}$ เมื่อ m เป็นมวลของอิเล็กตรอน

ในที่นี้ $p = 3.31 \times 10^{-24} \text{ kg m/s}$ และ $m = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad E &= \frac{(3.31 \times 10^{-24} \text{ kg m/s})^2}{2(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})} \\ &= 6.01 \times 10^{-18} \text{ J} \end{aligned}$$

$$\text{หรือ} \quad E = 37.6 \text{ eV}$$

พลังงานของอิเล็กตรอนมีค่า 37.6 อิเล็กตรอนโวลต์

ตอบ โฟตอนและอิเล็กตรอนมีโมเมนตัม 3.31×10^{-24} กิโลกรัมเมตรต่อวินาที

โฟตอนมีพลังงาน 6.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ อิเล็กตรอนมีพลังงาน 37.6 อิเล็กตรอนโวลต์

18. ร่างกายมนุษย์สามารถแผ่รังสีอินฟราเรดได้ ถ้าความยาวคลื่นสูงสุดของอินฟราเรดที่แผ่ออกมามีค่า 9350 นาโนเมตร ควอนตัมของพลังงานของอินฟราเรดที่ร่างกายมนุษย์แผ่ออกมามีพลังงานเท่าใด

วิธีทำ ควอนตัมของพลังงาน (หรือโฟตอน) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีพลังงานตามสมการ $E = hf$

ควอนตัมของพลังงานของอินฟราเรดที่ร่างกายมนุษย์แผ่ออกมามีพลังงาน $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$

ในที่นี้ $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ และ $\lambda = 30 \times 10^{-12} \text{ m}$

$$\text{จะได้} \quad E = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{9.35 \times 10^{-6} \text{ m}}$$

$$E = 0.213 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{หรือ} \quad E = 0.133 \text{ eV}$$

ควอนตัมของพลังงานของอินฟราเรดที่ร่างกายมนุษย์สามารถแผ่ออกมามีพลังงานเท่ากับ

$$2.13 \times 10^{-20} \text{ จูล หรือ } 0.133 \text{ อิเล็กตรอนโวลต์}$$

ตอบ 2.13×10^{-20} จูล หรือ 0.133 อิเล็กตรอนโวลต์

19. อิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนอยู่ในสถานะพื้น ตามทฤษฎีอะตอมของโบร์ สถานะนี้จะมีพลังงาน -13.6 อิเล็กตรอนโวลต์ พลังงานจลน์และพลังงานศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กตรอนที่ระดับพลังงานนี้มีค่าเท่าใด

วิธีทำ จากทฤษฎีอะตอมของโบร์ พลังงานจลน์หาได้จาก

$$\begin{aligned} F &= F_c \\ \frac{ke^2}{r^2} &= m \frac{v^2}{r} \\ mke^2 &= \frac{m^2 v^2 r^2}{r} \end{aligned}$$

จาก
$$E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

ดังนั้น
$$E_k = \frac{1}{2} \frac{ke^2}{r} \quad (1)$$

พลังงานศักย์หาได้จากพลังงานศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กตรอนในวงโคจร

$$E_p = -\frac{ke^2}{r} \quad (2)$$

จากสมการ (1) และ (2) จะได้

$$E_p = -2E_k \quad (3)$$

ดังนั้นพลังงานรวม E ของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนที่อยู่ในสถานะพื้น หาได้จาก

$$\begin{aligned} E &= E_k + E_p \\ &= -E_k \end{aligned} \quad (4)$$

$$= \frac{1}{2} E_p \quad (5)$$

ถ้าพลังงานรวมของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนที่อยู่ในสถานะพื้นมีค่า $E = -13.6 \text{ eV}$ จากสมการ (4) และ (5) พบว่า พลังงานจลน์มีค่า $E_k = -E = 13.6 \text{ eV}$ และพลังงานศักย์มีค่า $E_p = 2E = -27.2 \text{ eV}$ ตามลำดับ

ตอบ 13.6 อิเล็กตรอนโวลต์ และ -27.2 อิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ



ปัญหาท้าทาย

20. รังสีอัลตราไวโอเล็ตความเข้ม 0.0500 วัตต์ต่อตารางเมตร ตกกระทบบนแผ่นฟิล์มโลหะชนิดหนึ่งที่มีฟังก์ชันงาน 5.30 อิเล็กตรอนโวลต์ และโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาเมื่ออัตราเร็วสูงสุด 4.20×10^5 เมตรต่อวินาที โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ทุก 1 วินาที มีจำนวนเท่าใด (สมมติว่าโฟตอนของรังสีอัลตราไวโอเล็ตถูกดูดกลืนทั้งหมด)

วิธีทำ หา hf จากสมการโฟโตอิเล็กทริก

$$E_{k\max} = hf - W$$

$$\frac{1}{2}mv_{\max}^2 = hf - W$$

$$hf = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 + W$$

ในที่นี้ $m = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $v = 4.2 \times 10^5 \text{ m/s}$

และ $W = (5.30 \text{ eV})(1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}) = 8.48 \times 10^{-19} \text{ J}$

จะได้ $hf = \frac{1}{2}(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(4.20 \times 10^5 \text{ m/s})^2 + (5.30 \text{ eV})(1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV})$

$$hf = 9.28 \times 10^{-19} \text{ J}$$

เมื่อ I เป็นพลังงานของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกกระทบบนแผ่นฟิล์มโลหะต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลาหาได้จากสมการ $I = \frac{E}{tA}$

จะได้ $E = ItA$

ในที่นี้ $I = 0.0500 \text{ W/m}^2$, $t = 1 \text{ s}$ และ $A = 1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$

จะได้ $E = (0.0500 \text{ W/m}^2)(1 \text{ s})(10^{-4} \text{ m}^2)$

$$E = 5.00 \times 10^{-6} \text{ J}$$

เมื่อ E เป็นพลังงานทั้งหมดของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกกระทบบนแผ่นฟิล์มโลหะจากสมการ $E = nhf$

ในที่นี้ $E = 5.00 \times 10^{-6} \text{ J}$ และ $hf = 9.28 \times 10^{-19} \text{ J}$

จะได้ $5.00 \times 10^{-6} \text{ J} = n(9.28 \times 10^{-19} \text{ J})$

$$n = 5.39 \times 10^{12}$$

จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรทุก 1 วินาที เท่ากับ 5.39×10^{12} อนุภาค

ตอบ 5.39×10^{12} อนุภาค

21. โฟตอนความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร ตกกระทบผิวโพแทสเซียมที่มีฟังก์ชันงาน 2.30 อิเล็กตรอนโวลต์ จะมีอิเล็กตรอนหลุดออกมาหรือไม่ ถ้ามี พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนมีค่าเท่าใด และ ถ้าไม่มีพลังงานที่ต้องเพิ่มมีค่าเท่าใด

แนวคิด อิเล็กตรอนจะหลุดจากผิวโพแทสเซียมก็ต่อเมื่อโฟตอนของแสงที่ไปตกกระทบมีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าฟังก์ชันงานของโพแทสเซียม

โฟตอนความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร มีพลังงานตามสมการ $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$

ในที่นี้ $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$ $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ และ $\lambda = 320 \times 10^{-9} \text{ m}$

$$\text{จะได้} \quad E = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{320 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$E = 6.212 \times 10^{-19} \text{ J}$$

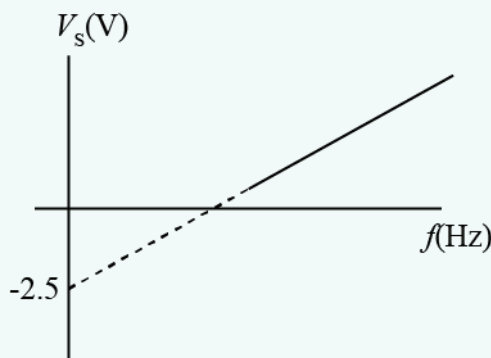
$$\text{หรือ} \quad E = 3.88 \text{ eV}$$

พลังงานของโฟตอนที่ตกกระทบผิวโพแทสเซียมมีค่ามากกว่าฟังก์ชันงาน

$3.88 \text{ eV} - 2.30 \text{ eV} = 1.58 \text{ eV}$ จึงมีอิเล็กตรอนหลุดออกมา โดยมีพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.58 อิเล็กตรอนโวลต์

ตอบ 1.58 อิเล็กตรอนโวลต์

22. ในการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก โดยการฉายแสงความถี่ f ไปตกกระทบผิวโลหะชนิดหนึ่ง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์หยุดยั้ง (V_s) กับความถี่แสง (f) เป็นดังรูป



รูป ประกอบปัญหาท้าทาย ข้อ 22

เมื่อโฟตอนพลังงาน 3.6×10^{-19} จูล ตกกระทบแผ่นโลหะ จะมีอิเล็กตรอนหลุดออกมาหรือไม่
วิธีทำ อิเล็กตรอนจะหลุดจากผิวโลหะเมื่อพลังงานของแสงที่ไปตกกระทบมีค่ามากกว่าฟังก์ชันงาน

$$\text{จากสมการ} \quad E_{k \max} = hf - W$$

$$eV_s = hf - W$$

จากสมการ $V_s = \left(\frac{h}{e}\right)f - \frac{W}{e}$ โดย $-\frac{W}{e}$ เป็นระยะตัดแกนตั้ง

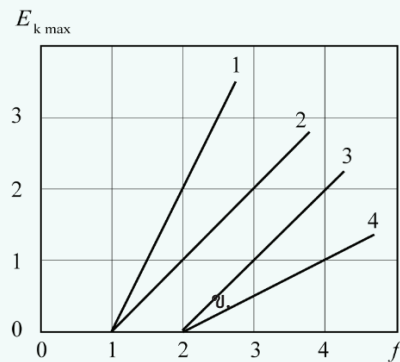
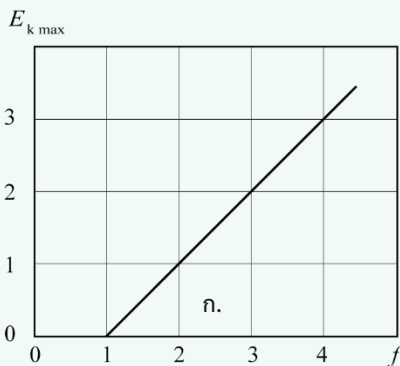
จากกราฟ จะได้ $\frac{W}{e} = 2.5 \text{ V}$

จะได้ ฟังก์ชันงาน $W = e(2.5 \text{ V}) = (1.6 \text{ eV})(2.5 \text{ V}) = 4.0 \times 10^{-19} \text{ J}$

จะเห็นว่า พลังงานโฟตอนมีค่าน้อยกว่าฟังก์ชันงาน ดังนั้นจึงไม่มีอิเล็กตรอนหลุดออกมา

ตอบ ไม่มีอิเล็กตรอนหลุดออกมา

23. ในการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกโดยให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเข้มคงตัว I_0 แต่มีความถี่ต่าง ๆ ตกกระทบโลหะชนิดหนึ่ง พบว่าพลังงานจลน์สูงสุด $E_{k \text{ max}}$ ของโฟโตอิเล็กตรอน และความถี่ f ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบ มีความสัมพันธ์ดังกราฟรูป ก. จงใช้กราฟรูป ข. (ซึ่งมีสเกลเดียวกับรูป ก.) ตอบคำถามต่อไปนี้



รูป ประกอบปัญหาท้าทาย ข้อ 23

- ก. ถ้าความเข้มเพิ่มเป็น $2I_0$ ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_{k \text{ max}}$ และ f จะเป็นเส้นใด
 ข. ถ้าความเข้มเป็น I_0 เท่าเดิม แต่เคลือบผิวโลหะเดิมด้วยโลหะใหม่ที่มีฟังก์ชันงานเป็น 2 เท่าของโลหะเดิม ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_{k \text{ max}}$ และ f จะเป็นเส้นใด

วิธีทำ ก. จากสมการโฟโตอิเล็กทริก

$$E_{k \text{ max}} = hf - W$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน และความถี่ จะพบว่าความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่มีความเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ดังกล่าว ดังนั้นถ้าความเข้มเพิ่มเป็น $2I_0$ กราฟ เส้นกราฟที่ถูกต้องในรูป ข. จะต้องมีความชันและจุดตัดแกนเช่นเดียวกับเส้นกราฟในรูป ก. คำตอบจึงเป็นเส้นกราฟที่ 2

ข. จากสมการโฟโตอิเล็กทริก

$$E_{k \max} = hf - W$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน และความถี่ จะพบว่าความชันจะมีค่าเท่ากับ h เช่นเดิม สำหรับจุดตัดแกน x พิจารณาเมื่อ

$$E_{k \max} = 0$$

หรือ

$$0 = hf_0 - W$$

$$f_0 = \frac{W}{h}$$

จุดตัดแกน x จึงมีค่าเท่ากับฟังก์ชันงานของโลหะนั้น ๆ

ถ้าเคลือบผิวโลหะเดิมด้วยโลหะใหม่ที่มีฟังก์ชันงานเป็น 2 เท่าของโลหะเดิม

$W_{\text{new}} = 2W$ ดังนั้น $f_{0 \text{ new}} = 2f_0$ จุดตัดแกน x ของเส้นกราฟที่ถูกต้องในรูป ข.

จะมีค่าเป็น 2 เท่าของจุดตัดแกน x ในรูป ก. คำตอบจึงเป็นเส้นกราฟที่ 3

ตอบ ก. เส้นที่ 2 เพราะพลังงานจลน์สูงสุดขึ้นอยู่กับความถี่ของแสงไม่ได้ขึ้นกับความเข้มแสง

ข. เส้นที่ 3 เพราะกราฟเส้น 3 มีฟังก์ชันงานเป็น 2 เท่าของกราฟในรูป ก และมีความถี่ขีดเริ่มเป็น 2 เท่าของกราฟในรูป ก ด้วย

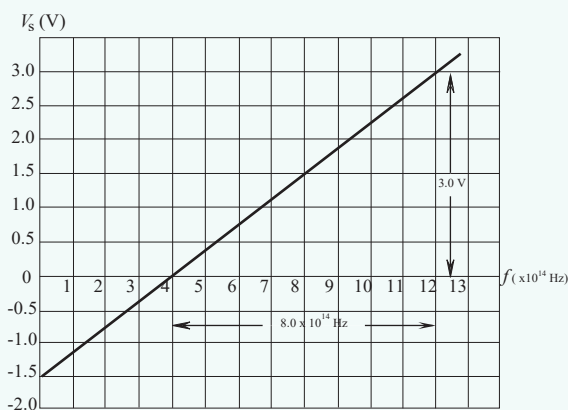
24. ในการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ผู้ทดลองได้บันทึกความถี่ f และความต่างศักย์หยุดยั้ง V_s ดังตาราง

$f (\times 10^{14} \text{ Hz})$	12.0	9.5	8.2	5.5
$V_s (\text{V})$	3.00	2.10	1.60	0.50

ก. เขียนกราฟระหว่าง f กับ V_s โดยให้ f อยู่บนแกนนอนและ V_s อยู่บนแกนตั้ง

ข. จากกราฟในข้อ ก. ความถี่ขีดเริ่ม ค่าคงตัวพลังค์และฟังก์ชันงานมีค่าประมาณเท่าใด

วิธีทำ ก. จากข้อมูลในตารางเขียนกราฟระหว่าง V_s กับ f ได้ดังนี้



รูป ประกอบวิธีทำสำหรับปัญหาท้าทาย ข้อ 24 ก.

ข. จาก

$$eV_s + W = hf$$

$$V_s = \frac{hf}{e} - \frac{W}{e}$$

จะได้ว่า ความชัน $= \frac{h}{e}$ และ จุดตัดแกน $y = -\frac{W}{e}$

จากรูป กราฟตัดแกนนอนที่ $4.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ดังนั้น ความถี่ขีดเริ่ม $f_0 = 4.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$

จากรูป ความชันของเส้นกราฟ $= \frac{3.0 \text{ V}}{8.0 \times 10^{14} \text{ Hz}} = 3.75 \times 10^{-15} \text{ Vs}$

แต่ความชันของกราฟ $= \frac{h}{e} = 3.75 \times 10^{-15} \text{ Vs}$

จะได้ $h = (3.75 \times 10^{-15} \text{ Vs})(1.60 \times 10^{-19} \text{ C}) = 6.0 \times 10^{-34} \text{ Js}$

จากรูป กราฟตัดแกนตั้งที่ -1.5 V ดังนั้น $-\frac{W}{e} = -1.5 \text{ V}$

จะได้ $W = (1.5 \text{ V})(1.60 \times 10^{-19} \text{ C}) = 2.4 \times 10^{-19} \text{ J} = 1.5 \text{ eV}$

ตอบ ความถี่ขีดเริ่ม ค่าคงตัวพลังค์และฟังก์ชันงานมีค่าประมาณ 4.0×10^{14} เฮิรตซ์ , 6.0×10^{-34} จูลวินาที และ 2.4×10^{-19} จูล (หรือ 1.5 อิเล็กตรอนโวลต์) ตามลำดับ

25. จงเปรียบเทียบความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนและนิวเคลียสไฮโดรเจนที่ถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้า 300 โวลต์ เท่ากัน กำหนดให้มวลของนิวเคลียสไฮโดรเจนเท่ากับ 1.67×10^{-27} กิโลกรัม

วิธีทำ หาความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอน จาก

$$\lambda_e = \frac{h}{m_e v_e} \quad (1)$$

ในที่นี้ อิเล็กตรอนมีมวล $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg และ v_e หาได้ดังนี้
อิเล็กตรอนที่ถูกเร่งผ่านความต่างศักย์ V จะมีพลังงานจลน์เป็น

$$\frac{1}{2} m_e v_e^2 = eV$$

$$\frac{1}{2} (9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}) v_e^2 = (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(300 \text{ V})$$

$$v_e = 1.027 \times 10^7 \text{ m/s}$$

แทนค่า m_e และ v_e ใน (1) จะได้

$$\begin{aligned} \lambda_e &= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(1.027 \times 10^7 \text{ m/s})} \\ &= 7.082 \times 10^{-11} \text{ m} \end{aligned}$$

หาความยาวคลื่นของนิวเคลียสไฮโดรเจน จาก

$$\lambda_H = \frac{h}{m_H v_H} \quad (2)$$

ในที่นี้ นิวเคลียสไฮโดรเจนมีมวล $m_H = 1.67 \times 10^{-27}$ kg และ v_H หาได้ดังนี้
นิวเคลียสไฮโดรเจนที่ถูกเร่งผ่านความต่างศักย์ V มีพลังงานจลน์เป็น

$$\frac{1}{2} m_H v_H^2 = qV$$

$$\frac{1}{2} (1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}) v_H^2 = (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(300 \text{ V})$$

$$v_H = 2.398 \times 10^5 \text{ m/s}$$

แทนค่า m_H และ v_H ใน (2) จะได้

$$\begin{aligned} \lambda_H &= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})(2.398 \times 10^5 \text{ m/s})} \\ &= 1.655 \times 10^{-12} \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{\lambda_e}{\lambda_H} = \frac{7.082 \times 10^{-11} \text{ m}}{1.655 \times 10^{-12} \text{ m}}$$

$$\lambda_e = 42.8 \lambda_H$$

หรือวิธีเปรียบเทียบความยาวคลื่น จากสมการ $\lambda = \frac{h}{p}$ $p = \sqrt{2mE_k}$
และ $E_k = qV$

เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและไฮโดรเจนมีขนาดประจุเท่ากัน และเคลื่อนที่ผ่าน
ความต่างศักย์ไฟฟ้า V เท่ากัน จึงมีพลังงานจลน์เท่ากัน เมื่อจัดรูป

$$\begin{aligned}\frac{\lambda_e}{\lambda_H} &= \frac{h / p_e}{h / p_H} \\ &= \frac{p_H}{p_e} \\ &= \frac{\sqrt{2m_H E_k}}{\sqrt{2m_e E_k}} \\ &= \sqrt{\frac{m_H}{m_e}}\end{aligned}$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}\frac{\lambda_e}{\lambda_H} &= \sqrt{\frac{1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}}{9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}}} \\ &= 42.8 \\ \lambda_e &= 42.8 \lambda_H\end{aligned}$$

ตอบ ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอิเล็กตรอนมีค่าประมาณ 42.8 เท่าของความยาวคลื่น
เดอบรอยล์ ของนิวเคลียสไฮโดรเจน

บทที่



ipst.me/11456

20

ฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์อนุภาค

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายแรงนิวเคลียร์ เสถียรภาพของนิวเคลียส และพลังงานยึดเหนี่ยว รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. อธิบายกัมมันตภาพรังสีและความแตกต่างของรังสีแอลฟา บีตาและแกมมา
3. อธิบาย และคำนวณกัมมันตภาพของนิวเคลียสกัมมันตรังสี รวมทั้ง ทดลอง อธิบาย และคำนวณ จำนวนนิวเคลียสกัมมันตภาพรังสีที่เหลือจากการสลาย และครึ่งชีวิต
4. อธิบายปฏิกิริยานิวเคลียร์ ฟิชชัน และฟิวชัน รวมทั้งคำนวณพลังงานนิวเคลียร์
5. อธิบายประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์ และรังสี รวมทั้ง อันตรายและการป้องกันรังสีในด้านต่าง ๆ
6. อธิบายการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค แบบจำลองมาตรฐาน และการใช้ประโยชน์จากการ ค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคในด้านต่าง ๆ

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายแรงนิวเคลียร์ เสถียรภาพของนิวเคลียส และพลังงานยึดเหนี่ยว รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายธรรมชาติของแรงนิวเคลียร์
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงนิวเคลียร์กับเสถียรภาพของนิวเคลียส
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานยึดเหนี่ยวกับส่วนพร่องมวล
4. คำนวณพลังงานยึดเหนี่ยวและพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน
5. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานยึดเหนี่ยวกับเสถียรภาพของนิวเคลียส

ทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การใช้จำนวน (การคำนวณ ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับ พลังงานยึดเหนี่ยว และ พลังงานยึดเหนี่ยวต่อ นิวคลีออน)	1. การแก้ปัญหา (การทำ แบบฝึกหัด)	1. ด้านความมีเหตุผล ความ รอบคอบ (จากการอภิปราย ร่วมกันและการทำ แบบฝึกหัด)

ผลการเรียนรู้

- อธิบายกัมมันตภาพรังสีและความแตกต่างของรังสีแอลฟา บีตาและแกมมา

จุดประสงค์การเรียนรู้

- บอกความหมายของกัมมันตภาพรังสี ธาตุกัมมันตรังสี และ ไอโซโทปกัมมันตรังสี
- ระบุชนิดและบอกสมบัติของรังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสี
- เขียนสมการของการสลายให้รังสีแอลฟา บีตา และ แกมมา

ทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การจำแนกประเภท (การ จำแนกชนิดของรังสี) 2. การจัดกระทำและสื่อ ความหมายข้อมูล (การเขียน สมการการสลาย) 3. การใช้จำนวน (การคำนวณ ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับ เลขมวล เลขอะตอม และ ประจุไฟฟ้า)	1. การสื่อสาร (การอภิปราย ร่วมกันและการนำ เสนอผล)	1. ด้านความมีเหตุผล ความ รอบคอบ (จากการอภิปราย ร่วมกันและการทำ แบบฝึกหัด)

ผลการเรียนรู้

- อธิบาย และคำนวณกัมมันตภาพของนิวเคลียสกัมมันตรังสี รวมทั้ง ทดลอง อธิบาย และคำนวณจำนวนนิวเคลียสกัมมันตภาพรังสีที่เหลือจากการสลาย และครึ่งชีวิต

จุดประสงค์การเรียนรู้

- บอกความหมายและคำนวณกัมมันตภาพ
- ทดลองเพื่ออธิบายการสลายของนิวเคลียสกัมมันตรังสีและครึ่งชีวิต
- คำนวณจำนวนนิวเคลียสกัมมันตรังสีที่เหลือจากการสลายและครึ่งชีวิต

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
- การใช้จำนวน (การคำนวณกัมมันตภาพ ครึ่งชีวิต และปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวกับการสลาย) - การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (การเขียนกราฟ และบรรยายความสัมพันธ์) - การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (จากการอภิปราย และสรุปผลการทดลอง)	- การแก้ปัญหา (การทำให้แบบฝึกหัด) - การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอผลการทดลอง) - ความร่วมมือการทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ (การร่วมมือกันทำการทดลอง)	- ด้านความซื่อสัตย์ ความรอบคอบ และความเชื่อมั่นต่อหลักฐาน จากรายงานผลการทดลอง - ด้านความพยายามมุ่งมั่น ความรับผิดชอบและความร่วมมือช่วยเหลือ จากการทำการทดลอง และการอภิปรายร่วมกัน - ความอยากรู้อยากเห็น จากการอภิปรายร่วมกัน

ผลการเรียนรู้

4. อธิบายปฏิกิริยานิวเคลียร์ ฟิชชัน และฟิวชัน รวมทั้งคำนวณพลังงานนิวเคลียร์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกความหมายของปฏิกิริยานิวเคลียร์
2. อธิบายฟิชชันและความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากฟิชชัน
3. คำนวณพลังงานนิวเคลียร์ที่ปลดปล่อยออกจากฟิชชัน
4. อธิบายฟิวชันและความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากฟิวชัน
5. คำนวณพลังงานนิวเคลียร์ที่ปลดปล่อยออกจากฟิวชัน

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การใช้จำนวน (การคำนวณ ส่วนพร่องมวล และพลังงาน นิวเคลียร์ที่ปลดปล่อยออกมาจากฟิชชันและฟิวชัน) 2. การจำแนกประเภท (การจำแนกปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบ ฟิชชันกับฟิวชัน)	1. การสื่อสารสารสนเทศ และการรู้เท่าทันสื่อ (การ อภิปรายร่วมกันและการ นำเสนอ) 2. ความร่วมมือการทำงาน เป็นทีมและภาวะผู้นำ (การ ร่วมมือกันทำกิจกรรม) 3. การแก้ปัญหา (การทำ แบบฝึกหัด)	1. ด้านความมีเหตุผล ความ รอบคอบ (จากการอภิปราย ร่วมกันและการทำแบบ ฝึกหัด) 2. ความอยากรู้อยากเห็น (จากการอภิปรายร่วมกัน)

ผลการเรียนรู้

5. อธิบายประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์ และรังสี รวมทั้ง อันตรายและการป้องกันรังสีในด้านต่าง ๆ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกแนวทางการนำพลังงานนิวเคลียร์ไปใช้ประโยชน์
2. ยกตัวอย่างการนำรังสีไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ
3. ยกตัวอย่างอันตรายจากรังสีที่มีต่อร่างกาย
4. บอกวิธีการป้องกันอันตรายจากรังสี

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
-	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การสืบค้นข้อมูล การอ้างอิงแหล่งที่มาของข้อมูล การเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลการอภิปรายร่วมกัน และการนำเสนอ) 2. ความร่วมมือการทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ (การร่วมมือกันสืบค้น จัดกระทำและนำเสนอผลการสืบค้น)	1. ด้านการใช้วิจารณญาณ (จากข้อมูลที่น่าเสนอและการนำเสนอ) 2. ด้านความยอมรับความเห็นต่าง ความใจกว้าง (จากการอภิปรายร่วมกัน) 3. ด้านการเห็นความสำคัญและคุณค่าของวิทยาศาสตร์ (จากการอภิปรายร่วมกัน)

ผลการเรียนรู้

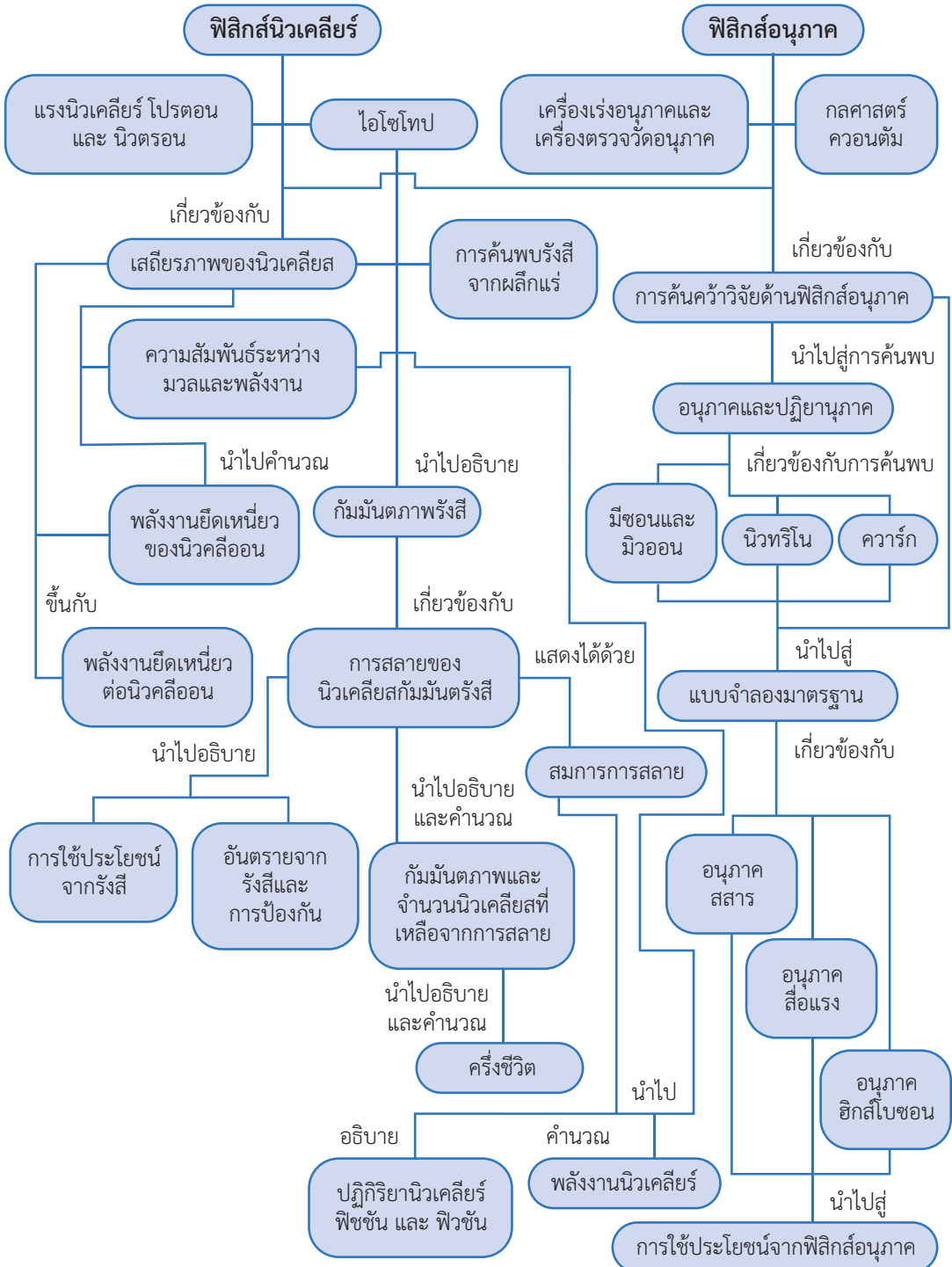
- อธิบายการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค แบบจำลองมาตรฐาน และการใช้ประโยชน์จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคในด้านต่าง ๆ

จุดประสงค์การเรียนรู้

- ยกตัวอย่างการค้นคว้าวิจัยที่ค้นพบอนุภาคมูลฐาน
- ระบุชนิดและสมบัติของอนุภาคมูลฐาน
- อธิบายพฤติกรรมและอันตรกิริยาของอนุภาคมูลฐานโดยอาศัยแบบจำลองมาตรฐาน
- ยกตัวอย่างประโยชน์ที่ได้จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การจำแนกประเภท (การจำแนกอนุภาคมูลฐานกับอนุภาคที่มีองค์ประกอบภายใน การจัดกลุ่มอนุภาคตามแบบจำลองมาตรฐาน)	- การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ (การสืบค้นข้อมูล การอ้างอิงแหล่งที่มาของข้อมูล การเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูล การอภิปรายร่วมกันและการนำเสนอ) - ความร่วมมือการทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ (การร่วมมือกันสืบค้นจัดทำและนำเสนอผลการสืบค้น) - การสร้างสรรค์และนวัตกรรม (สื่อประกอบการนำเสนอ)	- ด้านการใช้วิจารณ์ญาณ (จากข้อมูลที่นำเสนอและการนำเสนอ) - ด้านความยอมรับความต่าง ความใจกว้าง และ การเห็นความสำคัญและคุณค่าของวิทยาศาสตร์ (จากการอภิปรายร่วมกัน) - ด้านความพยายามมุ่งมั่น ความรับผิดชอบ และความร่วมมือช่วยเหลือ (จากการร่วมมือสืบค้น จัดทำสื่อประกอบการนำเสนอ และการนำเสนอ)

ผังมโนทัศน์ ฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์อนุภาค



สรุปแนวความคิดสำคัญ

ภายในนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอนซึ่งมีประจุบวกและนิวตรอนซึ่งเป็นกลางทางไฟฟ้า เรียกอนุภาคทั้งสองว่า **นิวคลีออน (nucleon)** การที่นิวคลีออนอยู่รวมกันได้ในนิวเคลียสเนื่องจากมี **แรงนิวเคลียร์ (nuclear force)** ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงผลักทางไฟฟ้ายึดเหนี่ยวนิวคลีออนไว้ แรงนิวเคลียร์เป็นแรงดึงดูดที่ส่งผลเฉพาะในระยะใกล้มาก ไม่ขึ้นกับประจุและมวลของนิวคลีออน การที่นิวเคลียสของธาตุและไอโซโทปของธาตุหลายชนิดมีเสถียรภาพหรือไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เนื่องจากมีแรงนิวเคลียร์ที่มากพอ

การให้นิวคลีออนแยกออกจากกัน ต้องให้พลังงานแก่นิวเคลียส โดยพลังงานที่พอที่จะทำให้นิวคลีออนทั้งหมดในนิวเคลียสแยกออกจากกัน เรียกว่า **พลังงานยึดเหนี่ยว (binding energy หรือ nuclear binding energy, E)** พลังงานยึดเหนี่ยวมีค่าเทียบเท่ากับส่วนของมวลที่แตกต่างระหว่างมวลของนิวเคลียสกับมวลรวมของนิวคลีออนทั้งหมดในนิวเคลียส เรียกว่า **ส่วนพร่องมวล (mass defect, Δm)** ตามสมการ $E = (\Delta m)c^2$

การพิจารณาเสถียรภาพของนิวเคลียสสามารถพิจารณาได้จาก พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนของนิวเคลียสของธาตุหรือไอโซโทปของธาตุนั้น เขียนสมการได้เป็น
$$\frac{E}{A} = \frac{(\Delta m)c^2}{A}$$

ธาตุที่มีนิวเคลียสไม่เสถียรจะแผ่รังสีออกมาได้เองอย่างต่อเนื่อง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า **กัมมันตภาพรังสี (radioactivity)** โดยไอโซโทปของธาตุที่สามารถแผ่รังสีได้เองเรียกว่า **ไอโซโทปกัมมันตรังสี (radioactive isotope)** ส่วนธาตุที่ทุกไอโซโทปเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี เรียกว่า **ธาตุกัมมันตรังสี (radioactive element)**

รังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีส่วนใหญ่มี 3 ชนิด ได้แก่ **รังสีแอลฟา (alpha ray) รังสีบีตา (beta ray) และรังสีแกมมา (gamma ray)** ซึ่งรังสีแต่ละชนิดมีองค์ประกอบ ประจุไฟฟ้า มวล อำนาจทะลุผ่าน และ สมบัติอื่น ๆ แตกต่างกัน

การแผ่รังสีของธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีมีสาเหตุมาจากการที่นิวเคลียสไม่เสถียรมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้มีเสถียรภาพมากกว่าเดิม โดยอาจเปลี่ยนไปเป็นนิวเคลียสชนิดใหม่หรือเปลี่ยนไปอยู่ในระดับพลังงานต่ำกว่าเดิม เรียกกระบวนการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า **การสลายกัมมันตรังสี (radioactive decay) หรือ การสลาย (decay)**

นิวเคลียสที่ไม่เสถียรและมีการสลายเรียกว่า **นิวเคลียสกัมมันตรังสี (radioactive nucleus)** โดยกระบวนการที่นิวเคลียสกัมมันตรังสีมีการสลายแล้วให้อนุภาคแอลฟา อนุภาคบีตา หรือ รังสีแกมมา ออกมา เรียกว่า **การสลายให้แอลฟา (alpha decay) การสลายให้บีตา (beta decay) และ การสลายให้แกมมา (gamma decay)** ตามลำดับ ซึ่งแต่ละกระบวนการ สามารถอธิบายได้ด้วย สมการการสลาย ที่ผลรวมของเลขอะตอมและผลรวมของเลขมวลก่อนและหลังการสลายมีค่าเท่ากัน ดังนี้

การสลายให้แอลฟา	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4\text{He}$
การสลายให้บีตาลบ	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0\text{e} + \bar{\nu}_e$
การสลายให้บีตาบวก	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY + {}_{+1}^0\text{e} + \nu_e$
การสลายให้แกมมา	${}_Z^AX^* \rightarrow {}_Z^AX + \gamma$

อัตราการสลาย หรือ อัตราการแผ่รังสีออกมาในขณะหนึ่งของธาตุกัมมันตรังสี เรียกว่า **กัมมันตภาพ (activity)** ซึ่งมีค่าแปรผันตรงกับจำนวนนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในขณะนั้น ตามสมการ $A = \lambda N$ โดย λ คือค่าคงตัวการสลาย (decay constant)

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีที่เหลือหลังการสลายกับเวลา เป็นไปตามสมการ $N = N_0 e^{-\lambda t}$ ซึ่งช่วงเวลาที่นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีสลายจนเหลือจำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนเริ่มต้น เรียกว่า **ครึ่งชีวิต (half-life)** ของธาตุกัมมันตรังสี เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $T_{\frac{1}{2}}$ โดยครึ่งชีวิตของธาตุหรือไอโซโทปกัมมันตรังสีขึ้นอยู่กับค่าคงตัวการสลาย ตามสมการ $T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

กระบวนการที่นิวเคลียสมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในเมื่อได้รับการกระตุ้น เรียกว่า **ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (nuclear reaction)** ซึ่งปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่นิวเคลียสรวมมากแยกออกเป็นนิวเคลียสที่มีมวลน้อยกว่า เรียกว่า **ฟิชชัน (fission)** ส่วนปฏิกิริยาที่นิวเคลียสที่มีมวลน้อยรวมกันเป็นนิวเคลียสที่มีมวลมาก เรียกว่า **ฟิวชัน (fusion)**

พลังงานที่ปล่อยออกมาจากฟิชชันและฟิวชัน เรียกว่า **พลังงานนิวเคลียร์ (nuclear energy)** ซึ่งมีค่าเทียบเท่าส่วนของมวลที่หายไปหลังการเกิดฟิชชันและฟิวชัน ตามสมการ $E = (\Delta m)c^2$

พลังงานนิวเคลียร์จากฟิชชัน สามารถนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีอุปกรณ์สำคัญคือ **เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (nuclear reactor)** ที่ใช้สร้างและควบคุมให้เกิดฟิชชันอย่างต่อเนื่องที่เรียกว่า **ปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction)** เพื่อการปล่อยพลังงานนิวเคลียร์ในปริมาณที่เหมาะสม ส่วนพลังงานนิวเคลียร์จากฟิวชัน ยังอยู่ในขั้นตอนการศึกษาวิจัยเพื่อการนำมาใช้ประโยชน์

รังสีจากธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายด้าน เช่น ด้านการแพทย์ ด้านเกษตรกรรม ด้านอุตสาหกรรม ด้านความปลอดภัย แต่ในขณะเดียวกัน ต้องมีการป้องกันอันตรายจากรังสีที่อาจเกิดขึ้น

ถึงแม้ร่างกายของมนุษย์จะได้รับรังสีจากสิ่งแวดล้อมตลอดเวลา แต่มีปริมาณไม่มาก จึงไม่ทำให้เกิดอันตราย ถ้าทราบว่ามีแหล่งกำเนิดรังสี หรือ จำเป็นต้องทำงานเกี่ยวกับรังสี ควรป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากรังสีโดยมีหลักการสำคัญคือ การพยายามอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีให้มากที่สุด การพยายามใช้เวลาที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดรังสีให้น้อยที่สุด และ มีการใช้วัสดุกำบังรังสีในกรณีที่ต้องทำงานเกี่ยวกับรังสี

ในการศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานของสสาร นอกจาก โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน นักฟิสิกส์ยังได้มีการค้นพบอนุภาคอื่น ๆ อีกเป็นจำนวนมาก โดยอาศัยเครื่องมือที่สำคัญ 2 ชนิด คือ **เครื่องเร่งอนุภาค** (particle accelerator) และ **เครื่องตรวจจับอนุภาค** (particle detector) เช่น การใช้เครื่องตรวจจับอนุภาคห้องหมอก (cloud chamber) ค้นพบโพสิตรอน (positron) ซึ่งเป็นปฏิยานุภาค (antiparticle) ของอิเล็กตรอน หรือ การใช้เครื่องเร่งอนุภาคแนวตรงที่ยาวกว่า 3.2 กิโลเมตรค้นพบควาร์ก (quark)

อนุภาคที่นักฟิสิกส์ค้นพบ มีทั้งอนุภาคที่ไม่มีองค์ประกอบภายใน เรียกว่า **อนุภาคมูลฐาน** (elementary particle) และ อนุภาคที่มีองค์ประกอบภายใน ซึ่ง สาขาทางฟิสิกส์ที่ศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติของอนุภาคต่าง ๆ และอันตรกิริยาที่อนุภาคเหล่านี้มีต่อกัน เรียกว่าสาขา **ฟิสิกส์อนุภาค** (particle physics)

แนวคิดและทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้อธิบายพฤติกรรมและอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคต่าง ๆ ได้รวบรวมไว้ในแบบจำลองที่เรียกว่า **แบบจำลองมาตรฐาน** (the Standard Model) ซึ่งได้แบ่งอนุภาคมูลฐานออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ **อนุภาคสสาร** (matter particle) **อนุภาคสื่อแรง** (force-carrier particle) และ **อนุภาคฮิกส์โบซอน** (Higgs boson)

ในแบบจำลองมาตรฐาน ภายในโปรตอนและนิวตรอนประกอบด้วย**ควาร์ก** (quark) ที่มีการแลกเปลี่ยน**กลูออน** (gluon) ระหว่างกัน ทำให้เกิด**แรงเข้ม** (strong force) ที่ยึดเหนี่ยวให้ควาร์กอยู่รวมกัน โดยผลข้างเคียงของแรงเข้มระหว่างควาร์กทำให้มี**แรงนิวเคลียร์ที่ยึดเหนี่ยวนิวคลีออน**ให้อยู่รวมกันในนิวเคลียส ส่วนการสลายให้บีตาเป็นกระบวนการที่ควาร์กในนิวคลีออนมีการเปลี่ยนชนิด โดยมี**แรงอ่อน** (weak force) มาเกี่ยวข้อง ทั้งนี้ แรงอ่อนมี**ดับเบิลยูโบซอน** (W-boson) และ**ซีโบซอน** (Z-boson) เป็นอนุภาคสื่อแรง

การค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค ได้นำไปสู่การประยุกต์ใช้ในด้าน ๆ ต่าง เช่น ด้านการแพทย์ ด้านอุตสาหกรรม ด้านความปลอดภัย และ ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ 30 ชั่วโมง

20.1 เสถียรภาพของนิวเคลียส	5	ชั่วโมง
20.2 กัมมันตภาพรังสี	12	ชั่วโมง
20.3 ปฏิกิริยานิวเคลียร์และพลังงานนิวเคลียร์	4	ชั่วโมง
20.4 ประโยชน์ และการป้องกันอันตรายจากรังสี	3	ชั่วโมง
20.5 ฟิสิกส์อนุภาค	6	ชั่วโมง



ความรู้ก่อนเรียน

แรง พลังงาน ไฟฟ้าสถิต แม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โครงสร้างอะตอม

ครูนำเข้าสู่บทที่ 20 โดยใช้รูปนำบท หรือ สื่อต่าง ๆ เช่น ภาพนิ่ง หรือ คลิปวิดีโอที่แสดงให้เห็นประโยชน์ของรังสีทางฟิสิกส์นิวเคลียร์หรือประโยชน์ที่ได้จากความรู้ทางฟิสิกส์นิวเคลียร์ เช่น การใช้รังสีในด้านอุตสาหกรรมอณูมณีที่ช่วยเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ หรือ การใช้รังสีในการตรวจวินิจฉัยและรักษาโรคมะเร็ง จากนั้น ตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า รังสีทางฟิสิกส์นิวเคลียร์แตกต่างจากรังสีที่นักเรียนเคยได้เรียนรู้อย่างไร รังสีเกี่ยวข้องกับนิวเคลียสของอะตอมหรือไม่ อย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายเพิ่มเติมเพื่อเชื่อมโยงถึงความรู้เดิมที่นักเรียนเคยได้ศึกษามาเกี่ยวกับโครงสร้างอะตอมและพฤติกรรมของอะตอม เช่น ในนิวเคลียสมีโครงสร้างอย่างไร และพฤติกรรมต่าง ๆ ของนิวเคลียส จะเหมือนหรือแตกต่างจากพฤติกรรมของอะตอมหรือไม่ โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูชี้แจงคำถามสำคัญที่นักเรียนจะต้องตอบได้หลังจากการเรียนรู้บทที่ 20 รวมทั้งหัวข้อหลักต่าง ๆ ทั้งหมดที่นักเรียนจะได้เรียนรู้ในบทที่ 20

20.1 เสถียรภาพของนิวเคลียส

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายธรรมชาติของแรงนิวเคลียร์
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงนิวเคลียร์กับเสถียรภาพของนิวเคลียส
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานยึดเหนี่ยวกับส่วนพร่องมวล
4. คำนวณพลังงานยึดเหนี่ยวและพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน
5. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานยึดเหนี่ยวกับเสถียรภาพของนิวเคลียส

แนวทางการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 20.1 โดยทบทวนความรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบภายในนิวเคลียส ที่นักเรียนได้เรียนรู้มา จากนั้น ตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า เพราะเหตุใด โปรตอนที่มีประจุไฟฟ้าบวกหลายอนุภาคจึงอยู่รวมกันได้ภายในนิวเคลียส โดยไม่แยกออกจากกันด้วยแรงผลัทางไฟฟ้า โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูชี้แจงว่า ในหัวข้อนี้นักเรียนจะได้เรียนเกี่ยวกับ แรงนิวเคลียร์และพลังงานยึดเหนี่ยวของนิวเคลียส ที่เกี่ยวข้องกับความเสถียรภาพของนิวเคลียส

20.1.1 แรงนิวเคลียร์

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. แรงนิวเคลียร์ส่งผลได้ไกลเหมือนแรงไฟฟ้าและแรงโน้มถ่วง	1. แรงนิวเคลียร์เป็นแรงที่ส่งผลกระทบในระยะใกล้มาก
2. แรงนิวเคลียร์เป็นแรงดึงดูดระหว่างโปรตอนกับโปรตอนเท่านั้น	2. แรงนิวเคลียร์เป็นแรงดึงดูดระหว่างโปรตอนกับโปรตอน นิวตรอนกับนิวตรอน และโปรตอนกับนิวตรอน
3. แรงนิวเคลียร์ขึ้นกับขนาดของประจุไฟฟ้าและมวล	3. แรงนิวเคลียร์ไม่ขึ้นกับขนาดของประจุไฟฟ้าและไม่ขึ้นกับมวล

4. แรงนิวเคลียร์ทำให้ธาตุและไอโซโทปของธาตุทุกชนิดมีเสถียรภาพ	4. แรงนิวเคลียร์ทำให้ธาตุและไอโซโทปของธาตุประมาณ 270 ชนิด มีเสถียรภาพ ยังมีธาตุและไอโซโทปของธาตุอีกหลายร้อยชนิดที่ถึงแม้จะมีแรงนิวเคลียร์ แต่ไม่มีเสถียรภาพ
5. นิวเคลียสที่มีจำนวนนิวตรอนมากกว่าโปรตอน จะมีเสถียรภาพ	5. นิวเคลียสที่มีจำนวนนิวตรอนมากกว่าโปรตอน ในจำนวนที่เหมาะสม จึงมีเสถียรภาพ ถ้ามีนิวตรอนมากเกินไปหรือน้อยเกินไป นิวเคลียสจะไม่มีเสถียรภาพ
6. แรงนิวเคลียร์เกิดขึ้นขณะเกิดระเบิดนิวเคลียร์เท่านั้น	6. แรงนิวเคลียร์มีอยู่ในนิวเคลียสตลอดเวลา ทำให้นิวเคลียสมีเสถียรภาพ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 1 และ 2 ของหัวข้อ 20.1 ตามหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาการพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับทฤษฎีเกี่ยวกับแรงนิวเคลียร์ และ ธรรมชาติของแรงนิวเคลียร์ ในหนังสือเรียน จากนั้น ครูนำอภิปรายโดยใช้รูป 20.1 ประกอบ จนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับแรงนิวเคลียร์ดังนี้

- แรงนิวเคลียร์เป็นแรงดึงดูดระหว่างโปรตอนกับโปรตอน นิวตรอนกับนิวตรอน และ โปรตอนกับนิวตรอน ในนิวเคลียส
- แรงนิวเคลียร์ไม่ขึ้นกับประจุและมวลของนิวคลีออน แรงนิวเคลียร์ระหว่างคู่ นิวคลีออนเหล่านี้ จึงมีค่าเท่ากัน
- แรงนิวเคลียร์ส่งผลกระทบในระยะใกล้มาก (very short-range force) จึงเป็นแรงที่กระทำระหว่างนิวคลีออนที่อยู่ติดกันเท่านั้น ไม่ส่งผลต่อนิวคลีออนอื่น ๆ ที่อยู่ถัดออกไป
- แรงนิวเคลียร์ทำให้นิวเคลียสของธาตุและไอโซโทปของธาตุประมาณ 270 ชนิด มีเสถียรภาพ

ครูให้นักเรียนศึกษาตาราง 20.1 โดยครูอาจทบทวนความรู้เกี่ยวกับไอโซโทปและสัญลักษณ์นิวเคลียร์เพิ่มเติม แล้วตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า จำนวนโปรตอนกับจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียส มีความสัมพันธ์กับเสถียรภาพของนิวเคลียสหรือไม่ โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูอาจให้นักเรียนทำกิจกรรมลองทำดู โดยให้วาดจุดสีดำที่แสดงกับจำนวนนิวตรอน (N) และจำนวนโปรตอน (Z) ของนิวเคลียสเสถียรของไอโซโทปลงบนกราฟระหว่างจำนวนนิวตรอน และจำนวนโปรตอน โดยใช้ข้อมูลในตาราง 20.1 จากนั้นให้ลากเส้นสีแดงที่ $N = Z$ ลงบนกราฟแล้วให้นักเรียนสังเกตและอภิปรายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนนิวตรอนกับจำนวนโปรตอนของนิวเคลียสที่เสถียรโดยไม่คาดหวังผลสรุปที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนดูรูป 20.2 ในหนังสือเรียน แล้วตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยอาจใช้คำถามดังนี้

- ก. สำหรับไอโซโทปที่มีมวลน้อย นิวเคลียสที่เสถียรคือนิวเคลียสที่มีจำนวนนิวตรอนกับจำนวนโปรตอนเป็นอย่างไร

แนวคำตอบ สำหรับไอโซโทปที่มีมวลน้อย หรือมีจำนวนโปรตอนน้อยกว่า 20 ($Z < 20$) นิวเคลียสที่เสถียรคือนิวเคลียสที่มีจำนวนนิวตรอนประมาณเท่ากับจำนวนโปรตอน

- ข. สำหรับไอโซโทปที่มีมวลมาก นิวเคลียสที่เสถียรคือนิวเคลียสที่มีจำนวนนิวตรอนกับจำนวนโปรตอนเป็นอย่างไร

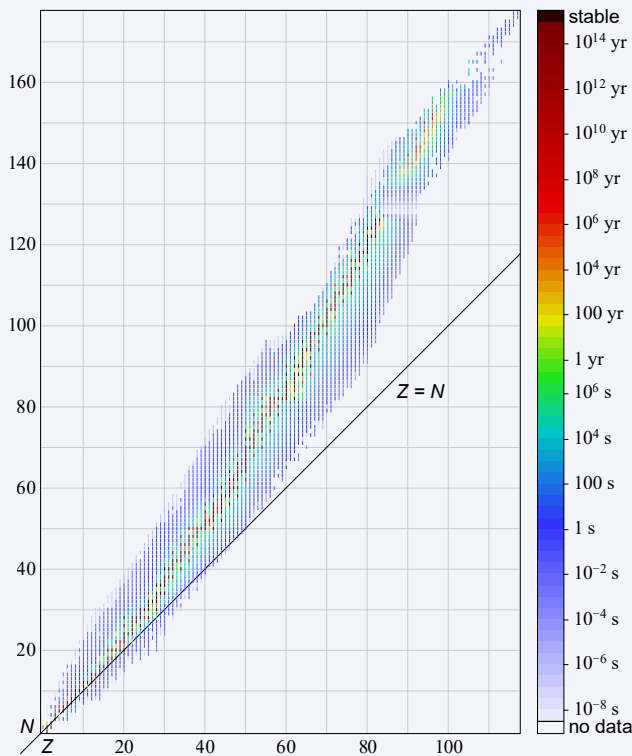
แนวคำตอบ สำหรับไอโซโทปที่มีจำนวนโปรตอนมากกว่า 20 ($Z > 20$) นิวเคลียสที่เสถียรคือนิวเคลียสที่มีจำนวนนิวตรอนมากกว่าโปรตอน ($N > Z$) เนื่องจาก จำนวนนิวตรอนที่เพิ่มขึ้นอย่างเหมาะสมทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวทางนิวเคลียร์มากพอสำหรับการทำให้นิวเคลียสมีเสถียรภาพ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณากราฟระหว่างจำนวนโปรตอนและจำนวนนิวตรอนของไอโซโทปทั้งหมด จะพบว่าสำหรับไอโซโทปที่มีจำนวนโปรตอนมากกว่า 83 ($Z > 83$) ไม่มีนิวเคลียสที่มีเสถียรภาพ

ครูควรเน้นว่า การมีจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียสอย่างเหมาะสม ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวทางนิวเคลียร์มากพอที่จะชดเชยแรงผลัทางไฟฟ้าระหว่างโปรตอน นิวเคลียสจึงมีเสถียรภาพ แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียสมีมากเกินไป ทำให้นิวเคลียสไม่เสถียรได้

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

กราฟระหว่างจำนวนนิวตรอนกับจำนวนโปรตอน

กราฟระหว่างจำนวนนิวตรอนกับจำนวนโปรตอนของธาตุและไอโซโทปที่ได้รับการค้นพบหรือสังเคราะห์ได้ในห้องปฏิบัติการทั้งหมด มีลักษณะดังรูป



รูป กราฟระหว่างจำนวนโปรตอนและจำนวนนิวตรอนของไอโซโทปทั้งหมด

ส่วนของกราฟที่มีลักษณะเป็นแถบยาวสีดำเป็นกลุ่มของจุดที่แทนนิวเคลียสที่เสถียร เรียกว่า แถบเสถียรภาพ (belt of stability)

ส่วนบริเวณที่จำนวนโปรตอนมากกว่า 83 เป็นบริเวณที่ไม่มีนิวเคลียสที่เสถียรโดยนิวเคลียสเหล่านี้มีแนวโน้มที่สลายให้แอลฟา (alpha decay) เพื่อเปลี่ยนไปเป็นนิวเคลียสชนิดใหม่ที่มีจำนวนโปรตอนและจำนวนนิวตรอนลดลงและมีเสถียรภาพมากกว่า

ส่วนบริเวณที่อยู่เหนือแถบเสถียรภาพ เป็นบริเวณที่นิวเคลียสมีสัดส่วนของจำนวนนิวตรอนต่อจำนวนโปรตอนมากเกินไป และมีแนวโน้มจะสลายให้บีตาลบ (beta-minus decay) เพื่อเปลี่ยน

ไปเป็นนิวเคลียสชนิดใหม่ที่มีจำนวนโปรตอนเพิ่มขึ้นแต่จำนวนนิวตรอนลดลง และมีเสถียรภาพมากกว่า ส่วนบริเวณที่อยู่ใต้แถบเสถียรภาพ เป็นบริเวณที่นิวเคลียสมีสัดส่วนของจำนวนนิวตรอนต่อจำนวนโปรตอนน้อยเกินไป และมีแนวโน้มจะสลายให้บีตาบวก (beta-plus decay) เพื่อเปลี่ยนไปเป็นนิวเคลียสชนิดใหม่ที่มีจำนวนโปรตอนลดลงแต่จำนวนนิวตรอนเพิ่มขึ้น และมีเสถียรภาพมากกว่า

รัศมีของนิวเคลียส

นิวเคลียสของอะตอมส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นทรงกลมและมีรัศมีโดยเฉลี่ยขึ้นกับเลขมวลตามสมการ

$$r = aA^{\frac{1}{3}}$$

โดยที่ $a = 1.2 \times 10^{-15}$ เมตร และ A คือ เลขมวล

ดังนั้น อะตอมไฮโดรเจน ซึ่งมีเลขมวลเท่ากับ 1 จะมีรัศมีของนิวเคลียสประมาณ 1.2×10^{-15} เมตร ส่วนทองคำซึ่งมีเลขมวลเท่ากับ 197 มีรัศมีของนิวเคลียสประมาณ 7.0×10^{-15} เมตร

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่า 10^{-15} เมตร หรือ 1 เฟมโตเมตร เป็นค่าที่ใช้กันบ่อยในการศึกษาทางด้านฟิสิกส์นิวเคลียร์ ดังนั้น เพื่อความสะดวก จึงได้มีการเรียกชื่อปริมาณดังกล่าวด้วยคำสั้น ๆ ว่า แฟร์มี ตามชื่อของ เอนรีโก แฟร์มี (Enrico Fermi) ซึ่งเป็นนักฟิสิกส์ชาวอิตาลีที่มีผลงานสำคัญทางด้านฟิสิกส์นิวเคลียร์ โดยกำหนดให้

$$1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$$

โดยทั่วไป รัศมีของนิวเคลียสของธาตุต่าง ๆ จะมีค่าในระดับแฟร์มี ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดของอะตอมซึ่งมีค่าประมาณ 10^{-10} เมตร หรือ 1 อังสตรอม (Å)

อังสตรอม (Å) เป็นหน่วยที่ตั้งขึ้นตามชื่อของ อังเดร โจนาส อังสตรอม (Anders Jonas Ångström) นักฟิสิกส์ชาวสวีเดน ผู้ที่ศึกษาสเปกตรัมของดวงอาทิตย์และได้เสนอให้ใช้หน่วยของความยาวคลื่นของสเปกตรัมของดวงอาทิตย์เป็นจำนวนเท่าของ 10^{-10} เมตรซึ่งต่อมาหน่วยดังกล่าวได้รับการเรียกตามชื่อของเขา

ในการพิจารณาขนาดของอะตอม เนื่องจากอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่อยู่รอบนิวเคลียสของอะตอมไม่มีตำแหน่งที่แน่นอน จึงไม่สามารถระบุขอบเขตที่ชัดเจนของอะตอมได้ อีกทั้ง โดยทั่วไป อะตอมจะไม่อยู่เป็นอะตอมเดี่ยว แต่จะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมอื่นไว้ตั้งแต่ 1 อะตอมขึ้นไป ดังนั้นขนาดของอะตอมจึงบอกด้วย รัศมีอะตอม (atomic radius) ซึ่งกำหนดให้มีค่าครึ่งหนึ่งของระยะระหว่างนิวเคลียสของอะตอม 2 อะตอมที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมไว้ด้วยกันหรืออยู่ชิดกัน ซึ่งโดยทั่วไปอะตอมมีรัศมีประมาณ 1 - 2 อังสตรอม

20.1.2 พลังงานยึดเหนี่ยว

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. พลังงานยึดเหนี่ยวของนิวเคลียสมีค่าเท่ากับ พลังงานที่พอดีทำให้นิวคลีออนบางนิวคลีออนในนิวเคลียสแยกออกจากกัน	1. พลังงานยึดเหนี่ยวของนิวเคลียสมีค่าเท่ากับ พลังงานที่พอดีทำให้นิวคลีออนทั้งหมดในนิวเคลียสแยกออกจากกัน
2. นิวเคลียสเสถียรที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวมากเป็นนิวเคลียสที่มีเสถียรภาพสูง	2. นิวเคลียสเสถียรที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมาก จะเป็นนิวเคลียสที่มีเสถียรภาพสูง
3. นิวเคลียสใด ๆ ที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมาก เป็นนิวเคลียสที่เสถียร	3. นิวเคลียสใด ๆ ที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมาก อาจเป็นนิวเคลียสที่เสถียรหรือไม่เสถียรก็ได้

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 3 - 5 ของหัวข้อ 20.1 ตามหนังสือเรียน จากนั้น ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 20.1.2 โดยตั้งคำถามว่า จากการศึกษาเกี่ยวกับฟิสิกส์ของอะตอมในบทที่ผ่านมา เราทราบว่าถ้ามีการให้พลังงานกับอะตอมมากพอ สามารถทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากอะตอมได้ แล้วถ้ามีการให้พลังงานกับนิวเคลียสมากพอ จะทำให้นิวคลีออนแยกออกจากกันได้หรือไม่ โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับพลังงานยึดเหนี่ยว และการทดลองฉายรังสีแกมมาไปยังดิวเทรียมตามรายละเอียดในหนังสือเรียน หรือครูอาจจัดกิจกรรมสาธิต โดยแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่มละ 3 คน แล้วให้นักเรียนคนแรกเป็นโปรตอน คนที่สองเป็นนิวตรอน โดยให้ทั้งสองจับมือกันไว้ด้วยระดับความกระชับแตกต่างกัน 3 - 4 ระดับ เปรียบได้กับโปรตอนกับนิวตรอนในนิวเคลียสที่มีแรงนิวเคลียร์ยึดเหนี่ยวกันไว้แตกต่างกัน จากนั้น ในการจับมือแต่ละครั้ง ให้นักเรียนคนที่สามพยายามวิ่งเข้าแทรกเพื่อทำให้มือของนักเรียนสองคนแรกแยกออกจากกัน

หลังกิจกรรมสาธิต ครูให้นักเรียนอภิปรายโดยตั้งคำถามว่า ถ้าเปรียบเทียบพลังงานที่ต้องทำให้มือของนักเรียนที่จับกันไว้แยกออกจากกันเป็นพลังงานที่ต้องทำให้นิวคลีออนในนิวเคลียสแยกออกจากกัน

นิวคลีออนที่มีแรงยึดเหนี่ยวมาก จะต้องใช้พลังงานมากหรือน้อยจึงสามารถทำให้นิวคลีออนในนิวเคลียสแยกออกจากกัน

ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า ยิ่งนิวคลีออนในนิวเคลียสมีแรงยึดเหนี่ยวกันมาก ยิ่งต้องให้พลังงานมากเพื่อทำให้นิวคลีออนแยกจากกัน

ครูนำอภิปรายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลต่างระหว่างมวลของนิวคลีออนกับผลรวมมวลของโปรตอนกับนิวตรอนในนิวคลีออน และ การหาพลังงานที่เทียบเท่าส่วนต่างของมวลดังกล่าว โดยการพิจารณาพลังงานที่เทียบเท่ามวล 1 u ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า

- ในธรรมชาติ นิวเคลียสของธาตุและไอโซโทปของธาตุทุกชนิด มีมวลน้อยกว่ามวลรวมของนิวคลีออนที่อยู่ภายในนิวเคลียส เนื่องจาก การที่นิวคลีออนจะมารวมกันอยู่ได้ในนิวเคลียสต้องมีการเปลี่ยนมวลบางส่วนเป็นพลังงาน สำหรับใช้ในการยึดเหนี่ยวให้อยู่ร่วมกันเพื่อทำให้นิวเคลียสมีเสถียรภาพ
- ส่วนของมวลที่แตกต่างระหว่างมวลรวมของนิวคลีออนทั้งหมดในนิวเคลียสกับมวลของนิวคลีอนนี้ เรียกว่า **ส่วนพร่องมวล** (mass defect, Δm) ซึ่งเทียบเท่าพลังงานยึดเหนี่ยว (E) ของนิวเคลียสตามสมการ (20.1a) และ (20.1b) ในหนังสือเรียน

ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการหาส่วนพร่องมวลจากมวลอะตอม ตามรายละเอียดในหนังสือเรียนจนสรุปได้ว่า ส่วนพร่องมวลหาได้จาก ผลต่างระหว่างมวลรวมขององค์ประกอบอะตอมกับมวลอะตอมตามสมการ (20.2a) – (20.2c) จากนั้น ให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 20.1 และ 20.2 โดยมีครูเป็นผู้แนะนำ

ครูตั้งคำถามให้นักเรียนพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างเสถียรภาพของนิวเคลียสที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวมากกับเสถียรภาพของนิวเคลียสที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวน้อย โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่าง 20.1 และ ตัวอย่าง 20.2 ประกอบการอภิปราย

ให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพของนิวเคลียสกับพลังงานยึดเหนี่ยวจนสรุปได้ว่า พลังงานยึดเหนี่ยวมีค่ามากขึ้นตามจำนวนนิวคลีออนในนิวเคลียสที่มากขึ้น แต่เสถียรภาพของนิวเคลียสไม่ได้ขึ้นกับพลังงานยึดเหนี่ยวเท่านั้น แต่ขึ้นกับ พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน ซึ่งเป็นพลังงานเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการทำให้นิวคลีออนแต่ละอนุภาคในนิวเคลียสแยกออกจากกัน มีค่าตามสมการ (20.3a) และ (20.3b) ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นให้นักเรียนศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน ($\frac{E}{A}$) กับเลขมวล (A) จากกราฟในรูป 20.4 ในหนังสือเรียน โดยครูอาจตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับกราฟ ดังนี้

ก. นิวเคลียสที่มีเลขมวลอยู่ระหว่างค่าใดมีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนสูงกว่านิวเคลียสในช่วงเลขมวลอื่น ๆ

แนวคำตอบ นิวเคลียสที่มีเลขมวลอยู่ในช่วงระหว่าง 56 - 72 เป็นนิวเคลียสที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมากกว่านิวเคลียสในช่วงเลขมวลอื่น ๆ (ครูอาจชี้แจงเพิ่มเติมว่า ในความเป็นจริงแล้ว ธาตุที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนสูงกว่าธาตุอื่นจะมีเลขมวลอยู่ระหว่าง 55 - 70)

ข. นิวเคลียสใดมีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนน้อยที่สุด

แนวคำตอบ นิวเคลียสของดิวเทอเรียม หรือ ดิวเทอรอน เป็นนิวเคลียสที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนน้อยที่สุด

ค. นิวเคลียสใดมีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมากที่สุด

แนวคำตอบ นิวเคลียสของนิกเกิล ($^{62}_{28}\text{Ni}$) เป็นนิวเคลียสที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมากที่สุด

ครูอาจถามคำถามชวนคิดในหน้า 128 ให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง



แนวคำตอบชวนคิด

จากกราฟในรูป 20.4 การทำให้นิวคลีออนของเหล็ก ($^{56}_{26}\text{Fe}$) แยกออกจากกันง่ายหรือยากกว่าการทำให้นิวคลีออนของโซเดียม ($^{23}_{11}\text{Na}$) แยกออกจากกัน เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ การทำให้นิวคลีออนของเหล็กแยกออกจากกันยากกว่าการทำให้นิวคลีออนของโซเดียมแยกออกจากกัน เพราะนิวเคลียสของเหล็กมีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมากกว่านิวเคลียสของโซเดียม

ครูควรเน้นว่า นิวเคลียสที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมาก อาจเป็นนิวเคลียสที่เสถียรหรือไม่เสถียรก็ได้ เนื่องจากมีปัจจัยอื่น ๆ เกี่ยวข้องอีก เช่น นิวเคลียสของยูเรเนียม-238 ถึงแม้จะมีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนประมาณ 7.57 MeV/nucleon แต่เป็นนิวเคลียสที่ไม่เสถียร เมื่อเทียบกับ He หรือ N ที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน 6.82 MeV/nucleon และ 7.47 MeV/nucleon ตามลำดับ แต่ทั้ง 2 นิวเคลียสนี้ มีเสถียรภาพมากกว่ายูเรเนียม-238

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 20.3 ในหนังสือเรียนโดยมีครูเป็นผู้แนะนำ จากนั้น ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัด 20.1

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติของแรงนิวเคลียร์ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงนิวเคลียร์และพลังงานยึดเหนี่ยวกับเสถียรภาพของนิวเคลียส และ ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานยึดเหนี่ยวกับส่วนพร่องมวล จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจและแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 20.1
2. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการแก้โจทย์ปัญหาและการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับส่วนพร่องมวลและพลังงานยึดเหนี่ยว ในแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 20.1
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล จากการอภิปรายร่วมกัน และด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ 20.1



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 20.1

1. เพราะเหตุใดแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างโปรตอนในนิวเคลียสจึงไม่สามารถทำให้โปรตอนแยกออกจากกัน

แนวคำตอบ เพราะระหว่างโปรตอนมีแรงนิวเคลียร์ที่มีขนาดมากกว่าแรงไฟฟ้า ยึดเหนี่ยวให้โปรตอนอยู่รวมกันอยู่ในนิวเคลียส

2. เพราะเหตุใดนิวเคลียสของไอโซโทปที่เสถียรและมีเลขอะตอมระหว่าง 20 ถึง 83 จึงมีจำนวนนิวตรอนมากกว่าจำนวนโปรตอน

แนวคำตอบ เพราะการมีจำนวนนิวตรอนมากกว่าจำนวนโปรตอนในปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้มีแรงนิวเคลียร์มากพอที่จะชดเชยแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างโปรตอน ทำให้นิวเคลียสมีเสถียรภาพ

3. จงให้ความหมายของพลังงานยึดเหนี่ยวและส่วนพร่องมวล

แนวคำตอบ

พลังงานยึดเหนี่ยว คือ พลังงานที่พอดีทำให้นิวคลีออนทั้งหมดในนิวเคลียสแยกออกจากกัน ส่วนพร่องมวล คือ ส่วนของมวลที่แตกต่างระหว่างมวลรวมของนิวคลีออนทั้งหมดในนิวเคลียสกับมวลของนิวเคลียส

4. พลังงานยึดเหนี่ยวมีความสัมพันธ์กับส่วนพร่องมวลอย่างไร

แนวคำตอบ พลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับพลังงานที่เทียบเท่าส่วนพร่องมวลตามสมการความสัมพันธ์มวลกับพลังงาน $E = (\Delta m)c^2$

5. พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนของนิวเคลียสมีความสัมพันธ์กับเสถียรภาพของนิวเคลียสอย่างไร

แนวคำตอบ สำหรับนิวเคลียสที่เสถียร นิวเคลียสที่มีเสถียรภาพมากจะมีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมาก แต่สำหรับนิวเคลียสที่ไม่เสถียร พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนไม่สัมพันธ์กับเสถียรภาพของนิวเคลียส



เฉลยแบบฝึกหัด 20.1

คำถามต่อไปนี้ กำหนดให้

- มวล 1 u เท่ากับ 1.66×10^{-27} กิโลกรัม ซึ่ง เทียบเท่ากับพลังงาน 931.5 MeV
- พลังงาน 1 อิเล็กตรอนโวลต์ เท่ากับ 1.66×10^{-19} จูล
- มวลของโปรตอนเท่ากับ 1.007276 u มวลของนิวตรอนเท่ากับ 1.008665 u และ มวลของอิเล็กตรอนเท่ากับ 0.000549 u

1. กำหนดมวลอะตอมของยูเรเนียม-238 ($^{238}_{92}\text{U}$) เท่ากับ 238.050788 u จงหาปริมาณต่อไปนี้ (คำตอบเป็นตัวเลขทศนิยม 6 ตำแหน่ง)

- ก. ส่วนพร่องมวลของ $^{238}_{92}\text{U}$
- ข. พลังงานยึดเหนี่ยวของ $^{238}_{92}\text{U}$
- ค. พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนของ $^{238}_{92}\text{U}$

วิธีทำ ก. อะตอมของยูเรเนียม-238 ประกอบด้วยโปรตอน 92 โปรตอน

นิวตรอน 146 นิวตรอน และ อิเล็กตรอน 92 อิเล็กตรอน

มวลรวมขององค์ประกอบของอะตอม $^{238}_{92}\text{U}$

$$\begin{aligned} &= 92m_p + 146m_n + 92m_e \\ &= 92(1.007276 \text{ u}) + 146(1.008665 \text{ u}) + 92(0.000549 \text{ u}) \\ &= 239.984990 \text{ u} \end{aligned}$$

หาส่วนพร่องมวล (Δm) จากผลต่างระหว่างมวลรวมขององค์ประกอบของอะตอม กับมวลอะตอม ดังนี้

$$\begin{aligned} \Delta m &= \text{มวลรวมขององค์ประกอบอะตอม } ^{238}_{92}\text{U} - \text{มวลอะตอม } ^{238}_{92}\text{U} \\ &= 239.984990 \text{ u} - 238.050788 \text{ u} \\ &= 1.934202 \text{ u} \\ &= (1.934202 \text{ u})(1.66 \times 10^{-27} \text{ kg/u}) \\ &= 3.210775 \times 10^{-27} \text{ kg} \end{aligned}$$

ข. หาพลังงานยึดเหนี่ยวที่เทียบเท่ากับส่วนพร่องมวลโดยใช้สมการ

$$E = \Delta m(931.5 \text{ MeV/u})$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned} E &= (1.934202 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 1801.709 \text{ MeV} \end{aligned}$$

$$= 1.801709 \times 10^3 \text{ MeV}$$

ค. นิวเคลียสของยูเรเนียม-238 มีจำนวนนิวคลีออน 238 นิวคลีออน

ดังนั้น พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน ($\frac{E}{A}$) เท่ากับ

$$\frac{E}{A} = \frac{1801.709 \text{ MeV}}{238 \text{ nucleons}}$$

$$= 7.570206 \text{ MeV/nucleon}$$

ตอบ ก. ส่วนพหุคูณมวลของยูเรเนียม-238 เท่ากับ 1.934202 u

หรือ 3.210775×10^{-27} กิโลกรัม

ข. พลังงานยึดเหนี่ยวของนิวเคลียสของยูเรเนียม-238 เท่ากับ

$$1.801709 \times 10^3 \text{ เมกะอิเล็กตรอนโวลต์}$$

ค. พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนของยูเรเนียม-238 เท่ากับ

$$7.570206 \text{ เมกะอิเล็กตรอนโวลต์}$$

2. กำหนดมวลของอะตอมของแคลเซียม (${}^{40}_{20}\text{Ca}$) เท่ากับ 39.962591 u จงหาปริมาณต่อไปนี้ (คำตอบเป็นตัวเลขทศนิยม 6 ตำแหน่ง)

ก. ส่วนพหุคูณมวลของ ${}^{40}_{20}\text{Ca}$

ข. พลังงานยึดเหนี่ยวของ ${}^{40}_{20}\text{Ca}$

ค. พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนของ ${}^{40}_{20}\text{Ca}$

วิธีทำ ก. อะตอมของแคลเซียมประกอบด้วยโปรตอน 20 โปรตอน นิวตรอน 20 นิวตรอน และอิเล็กตรอน 20 อิเล็กตรอน

มวลรวมขององค์ประกอบของอะตอม ${}^{40}_{20}\text{Ca}$

$$= 20m_p + 20m_n + 20m_e$$

$$= 20(1.007276 \text{ u}) + 20(1.008665 \text{ u}) + 20(0.000549 \text{ u})$$

$$= 40.329800 \text{ u}$$

หาส่วนพหุคูณมวล (Δm) จากผลต่างระหว่างมวลรวมขององค์ประกอบของอะตอมกับมวลอะตอม ดังนี้

$$\Delta m = \text{มวลรวมขององค์ประกอบอะตอม } {}^{40}_{20}\text{Ca} - \text{มวลอะตอม } {}^{40}_{20}\text{Ca}$$

$$= 40.329800 \text{ u} - 39.962591 \text{ u}$$

$$= 0.367209 \text{ u}$$

$$= (0.367209 \text{ u})(1.66 \times 10^{-27} \text{ kg/u})$$

$$= 6.095669 \times 10^{-28} \text{ kg}$$

ข. หาพลังงานยึดเหนี่ยวที่เทียบเท่ากับส่วนพร่องมวลโดยใช้สมการ

$$E = \Delta m(931.5 \text{ MeV/u})$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned} E &= (10.367209 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 342.0552 \text{ MeV} \\ &= 3.420552 \times 10^2 \text{ MeV} \end{aligned}$$

ค. นิวเคลียสของแคลเซียม มีจำนวนนิวคลีออน 40 นิวคลีออน

ดังนั้น พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน ($\frac{E}{A}$) เท่ากับ

$$\begin{aligned} \frac{E}{A} &= \frac{342.0552 \text{ MeV}}{40 \text{ nucleons}} \\ &= 8.551380 \text{ MeV/nucleon} \end{aligned}$$

ตอบ ก. ส่วนพร่องมวลของแคลเซียม เท่ากับ 0.367209 u หรือ 6.095669×10^{-28} กิโลกรัม

ข. พลังงานยึดเหนี่ยวของนิวเคลียสของแคลเซียม เท่ากับ

$$3.420552 \times 10^2 \text{ เมกะอิเล็กตรอนโวลต์}$$

ค. พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนของแคลเซียม เท่ากับ

$$8.551380 \text{ เมกะอิเล็กตรอนโวลต์}$$

3. จากข้อ 1. และ ข้อ 2. นิวเคลียสของธาตุใดมีเสถียรภาพมากกว่า เพราะเหตุใด

วิธีทำ พิจารณาเสถียรภาพจากพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนของนิวเคลียส ถ้านิวเคลียสใดมีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมาก แสดงว่า นิวเคลียสนั้น มีเสถียรภาพมากกว่า ซึ่งในที่นี้ นิวเคลียสของแคลเซียม มีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนเท่ากับ 8.551380 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งมากกว่า นิวเคลียสของยูเรเนียม-238 ซึ่งมีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนเท่ากับ 7.570206 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ดังนั้น นิวเคลียสของแคลเซียม จึงมีเสถียรภาพมากกว่า

ตอบ นิวเคลียสของแคลเซียมมีเสถียรภาพมากกว่านิวเคลียสของยูเรเนียม-238 เพราะมีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมากกว่า

4. พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนของนิวเคลียสของฮีเลียม (${}^4_2\text{He}$) มีค่าเท่ากับ 6.82 MeV/nucleon จงหาส่วนพร่องมวลของฮีเลียม

วิธีทำ นิวเคลียสของฮีเลียม มีจำนวนนิวคลีออนเท่ากับ 4 นิวคลีออน
ดังนั้น นิวเคลียสของฮีเลียมมีพลังงานยึดเหนี่ยว

$$E = (4 \text{ nucleon}) (6.82 \text{ MeV/nucleon}) \\ = 27.28 \text{ MeV}$$

หาส่วนพร่องมวล โดยใช้สมการ $E = \Delta m(931.5 \text{ MeV/u})$

$$\text{จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น } \Delta m = \frac{E}{931.5 \text{ MeV/u}}$$

$$\text{แทนค่า จะได้ } \Delta m = \frac{27.28 \text{ MeV}}{931.5 \text{ MeV/u}} \\ = 0.029 \text{ u}$$

ตอบ นิวเคลียสของฮีเลียม มีส่วนพร่องมวลเท่ากับ 0.029 u

5. โปรตอนแต่ละอนุภาคที่อยู่ในนิวเคลียสของลิเทียม (${}^7_3\text{Li}$) ถูกยึดเหนี่ยวไว้ด้วยพลังงานเฉลี่ยเท่าไร กำหนดให้มวลอะตอมของลิเทียมเท่ากับ 7.016005 u

วิธีทำ หาพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนของลิเทียม (${}^7_3\text{Li}$) โดยเริ่มจาก หาส่วนพร่องมวล
อะตอมของลิเทียมประกอบด้วยโปรตอน 3 โปรตอน นิวตรอน 4 นิวตรอน และ
อิเล็กตรอน 3 อิเล็กตรอน หาส่วนพร่องมวลจากสมการ

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n + Zm_e] - m_{\text{Li-7}}$$

แทนค่าจะได้

$$\Delta m = [3(1.007276 \text{ u}) + 4(1.008665 \text{ u}) + 3(0.000549 \text{ u})] - 7.016005 \text{ u} \\ = 0.042130 \text{ u}$$

หาพลังงานยึดเหนี่ยวที่เทียบเท่ากับส่วนพร่องมวล

$$E = (0.04213 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ = 39.244095 \text{ MeV}$$

หาพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน เท่ากับ

$$\frac{E}{A} = \frac{39.244095 \text{ MeV}}{7 \text{ nucleons}} \\ = 5.606299 \text{ MeV/nucleon}$$

ตอบ โปรตอนแต่ละอนุภาคในนิวเคลียสของลิเทียม ถูกยึดเหนี่ยวไว้ด้วยพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 5.606299 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

20.2 กัมมันตภาพรังสี

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกความหมายของกัมมันตภาพรังสี ธาตุกัมมันตรังสี และ ไอโซโทปกัมมันตรังสี
2. ระบุชนิดและบอกสมบัติของรังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสี
3. เขียนสมการของการสลายให้อัลฟา บีตา และ แกมมา
4. บอกความหมายและคำนวณกัมมันตภาพ
5. ทดลองเพื่ออธิบายการสลายของนิวเคลียสกัมมันตรังสีและครึ่งชีวิต
6. คำนวณจำนวนนิวเคลียสกัมมันตรังสีที่เหลือจากการสลายและครึ่งชีวิต

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 20.2 โดยตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า จากการศึกษาที่ผ่านมา เป็นการศึกษเกี่ยวกับนิวเคลียสที่เสถียร ถ้านิวเคลียสไม่เสถียร จะทำให้ธาตุหรือไอโซโทปมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูชี้แจงว่า ในหัวข้อนี้นักเรียนจะได้เรียนเกี่ยวกับการค้นพบกัมมันตภาพรังสี รังสีชนิดต่าง ๆ ต้นเหตุของกัมมันตภาพรังสี และปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสี เช่น อัตราการแผ่รังสี และ ครึ่งชีวิต

20.2.1 การค้นพบกัมมันตภาพรังสี

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. กัมมันตภาพรังสี คือ วัตถุที่แผ่รังสีได้เองอย่างต่อเนื่อง	1. กัมมันตภาพรังสี คือ ปรากฏการณ์ที่ธาตุหรือไอโซโทปของธาตุแผ่รังสีได้เองอย่างต่อเนื่อง
2. ไอโซโทปของธาตุทุกไอโซโทป เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี สามารถแผ่รังสีได้เสมอ	2. ไอโซโทปของธาตุบางไอโซโทปเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี บางไอโซโทปเป็นไอโซโทปเสถียร

3. กัมมันตภาพรังสีและกัมมันตรังสีมีความหมายเหมือนกัน ใช้แทนกันได้	3. คำว่า “กัมมันตภาพรังสี” เป็นคำนาม หมายถึงปรากฏการณ์ชนิดหนึ่ง แต่คำว่า “กัมมันตรังสี” เป็นคำคุณศัพท์ใช้ขยายคำอื่น ๆ เช่น “ไอโซโทปกัมมันตรังสี” คือ ไอโซโทปที่แผ่รังสีได้เอง หรือ “นิวเคลียส กัมมันตรังสี” คือ นิวเคลียสที่สลายได้เองตามธรรมชาติ
--	--

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 6 ของหัวข้อ 20.2 ตามหนังสือเรียน จากนั้น ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับการค้นพบกัมมันตภาพรังสีของเบ็กเกอเรล ในหัวข้อ 20.2.1 ในหนังสือเรียน แล้วตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยอาจใช้คำถามดังนี้

ก. การทดลองของเบ็กเกอเรล มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาในเรื่องใด

แนวคำตอบ การทดลองของเบ็กเกอเรล มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการเรืองแสงและปล่อยรังสีเอกซ์ของสารเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงแดด

ข. เหตุใดเบ็กเกอเรล จึงใส่ฟิล์มถ่ายรูปไว้ในช่องกระดาษสีดำ ขณะที่ทำการทดลองกลางแดด

แนวคำตอบ การใส่ฟิล์มถ่ายรูปไว้ในช่องกระดาษ เพื่อป้องกันไม่ให้แสงแดดตกกระทบแผ่นฟิล์มซึ่งทำให้ฟิล์มมีรอยดำและผลการทดลองคลาดเคลื่อน

ค. เหตุผลใดเบ็กเกอเรลจึงสรุปว่า สารประกอบยูเรเนียมปล่อยรังสีชนิดหนึ่งออกมาโดยไม่เกี่ยวข้องกับแสงแดด

แนวคำตอบ ในการทดลองกับสารประกอบของยูเรเนียม ถึงแม้เบ็กเกอเรลจะเก็บชุดอุปกรณ์ไว้ในลิ้นชักซึ่งไม่ถูกแสงแดดเป็นเวลาหลายวัน แต่เมื่อนำฟิล์มที่เก็บไว้ไปล้างพบว่า เกิดรอยดำบนแผ่นฟิล์มมีสีเข้มกว่า เมื่อครั้งที่ทดลองกับแสงแดด

ง. รังสีที่ได้จากสารประกอบยูเรเนียม มีสมบัติเหมือนและแตกต่างจากรังสีเอกซ์อย่างไร

แนวคำตอบ รังสีที่แผ่ออกมาจากสารประกอบของยูเรเนียม มีสมบัติบางประการคล้ายรังสีเอกซ์ เช่น สามารถทะลุผ่านวัตถุทึบแสง ทำให้อากาศที่รังสีนี้ผ่านแตกตัวเป็นไอออน แต่รังสีที่ได้จากสารประกอบของยูเรเนียมเกิดขึ้นเองตลอดเวลา ในขณะที่รังสีเอกซ์เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติไม่ได้ ต้องผ่านการกระตุ้น

ครูควรชี้ให้เห็นว่า การค้นพบปรากฏการณ์แผ่รังสีของเบ็กเกอเรล แม้จะเป็นการบังเอิญ แต่เพราะความเป็นคนช่างสังเกต ช่างคิด ประกอบกับการมีความรู้และประสบการณ์ในเรื่องที่ศึกษามาพอสมควร จึงทำให้เบ็กเกอเรลสามารถค้นพบปรากฏการณ์ครั้งประวัติศาสตร์ที่ได้เป็นแรงผลักดันให้นักวิทยาศาสตร์อีกหลาย ๆ คน เช่น ปีแอร์ กูรี และ มารี กูรี ได้ทำการทดลองและศึกษาเพิ่มเติม จนทำให้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีก้าวหน้าไปอย่างมาก ดังนั้น นักเรียนจึงควรพิจารณานำไปเป็นแบบอย่าง เมื่อทำการทดลองในวิชาฟิสิกส์หรือเมื่อต้องศึกษาเรื่องใดเรื่องหนึ่ง

ครูให้นักเรียนศึกษาความหมายของกัมมันตภาพรังสี ไอโซโทปกัมมันตรังสี และ ธาตุกัมมันตรังสี ตามรายละเอียดในบทเรียน และให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อเปรียบเทียบการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสีกับการให้แสงกับหลอดไฟ โดยครูควรเน้นความแตกต่างระหว่างสถานการณ์ทั้งสอง เช่น การแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสีไม่สามารถควบคุมได้ แต่การให้แสงของหลอดไฟสามารถควบคุมได้ด้วยสวิตช์ หรือการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสีเกิดขึ้นได้เอง แต่การให้แสงของหลอดไฟต้องมีกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดไฟ

ครูควรเน้นเกี่ยวกับความแตกต่างของการใช้คำว่า กัมมันตภาพรังสี กับคำว่า กัมมันตรังสี ซึ่งคำแรกเป็นคำนามที่หมายถึงปรากฏการณ์ชนิดหนึ่ง ส่วนอีกคำ เป็นคำคุณศัพท์ ที่ใช้ขยายคำอื่น ๆ เพื่อบอกถึงสมบัติการแผ่รังสีได้เอง เช่น ไอโซโทปกัมมันตรังสี ธาตุกัมมันตรังสี

20.2.2 รังสีจากธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสี

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อรังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุกัมมันตรังสี เคลื่อนที่ผ่านอากาศและไปตกกระทบวัตถุใดวัตถุหนึ่ง จะทำให้อากาศที่อยู่รอบ ๆ และวัตถุนั้นปนเปื้อนรังสี	1. รังสีที่แผ่ออกจากธาตุกัมมันตรังสี เป็นอนุภาคหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อรังสีแผ่ออกจากแหล่งกำเนิด จะถ่ายโอนพลังงานให้สิ่งแวดล้อม และเมื่อรังสีตกกระทบวัตถุใดวัตถุหนึ่ง พลังงานจากรังสีจะถ่ายโอนให้กับวัตถุนั้น ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลหรืออะตอมของวัตถุ แต่ไม่ทำให้วัตถุนั้นหรืออากาศที่อยู่รอบ ๆ มีการปนเปื้อนรังสี

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
2. รังสีแอลฟามีมวลมากที่สุด จึงสามารถทะลุผ่านวัตถุได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับรังสีอื่น	2. รังสีแอลฟามีมวลมากที่สุด เมื่อเคลื่อนที่ผ่านวัสดุต่าง ๆ จะสูญเสียพลังงานได้มากที่สุด จึงทะลุผ่านวัตถุได้น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับรังสีอื่น
3. รังสีบีตา คือ อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง	3. รังสีบีตา เมื่อจำแนกอย่างละเอียด มีทั้งรังสีบีตาลบ ที่เป็น อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง และ รังสีบีตาบวก ที่เป็น โพซิตรอนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง
4. รังสีบีตาคือรังสีแคโทด	4. รังสีบีตาไม่ใช่รังสีแคโทด เพราะรังสีบีตาเกิดจากการสลายของธาตุกัมมันตรังสี แต่รังสีแคโทด คือ ลำอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ในหลอดรังสีแคโทด ซึ่งมีพลังงานต่ำกว่ารังสีบีตา
5. รังสีที่แผ่จากธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีมีเพียง 3 ชนิด เท่านั้น คือ รังสีแอลฟา บีตา และ แกมมา	5. รังสีที่แผ่จากธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีส่วนใหญ่มี 3 ชนิด คือ รังสีแอลฟา บีตา และ แกมมา นอกจากนี้ ยังมีรังสีชนิดอื่น ๆ อีกที่แผ่ออกจากธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสี เช่น รังสีนิวตรอน รังสีโปรตอน
6. รังสีจากธาตุกัมมันตรังสีเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเท่านั้น	6. รังสีจากธาตุกัมมันตรังสีมีทั้งที่เป็นอนุภาค เช่น อนุภาคแอลฟา อนุภาคบีตา และที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ รังสีแกมมา

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 7 ของหัวข้อ 20.2 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 20.2.2 โดยอภิปรายทบทวนความรู้เกี่ยวกับการค้นพบกัมมันตภาพรังสี จากนั้นครูตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า รังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีแตกต่างจากรังสีที่นักเรียนเคยได้เรียนรู้มาหรือไม่ อย่างไร และ รังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุกัมมันตรังสี มีรังสีชนิดใดบ้าง โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูทบทวนความรู้เดิมของนักเรียนเกี่ยวกับรังสีแคโทด โดยการตั้งคำถามเกี่ยวกับการเบนของรังสีแคโทดและอนุภาคมีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก จากที่ได้เรียนมาในบทที่ 15 จากนั้น ให้นักเรียนศึกษาผลการศึกษการเบนของรังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสี เมื่อให้ผ่านเข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก ดังรูป 20.7 ในหนังสือเรียน แล้วอาจใช้คำถามชวนคิดให้นักเรียนอภิปรายเพื่อหาคำตอบร่วมกัน



แนวคำตอบชวนคิด

จากแนวการเบนของรังสีในรูป 20.7 สามารถสรุปได้ว่ามีรังสีแตกต่างกันอย่างน้อยก็ชนิด และ รังสีแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกันอย่างไร

แนวคำตอบ จากความเข้าใจเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก การเบนของรังสีในสนามแม่เหล็ก 3 แนว สามารถวิเคราะห์ได้ว่า รังสีมีประจุไฟฟ้าแตกต่างกัน 3 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วยรังสีที่มีประจุไฟฟ้าบวก ประจุไฟฟ้าลบ และ เป็นกลางทางไฟฟ้า



แนวคำตอบชวนคิด

จากรูป 20.7 แนวการเบนของรังสีแนวใด เป็นรังสีแอลฟา บีตา และ แกมมา ตามลำดับ

แนวคำตอบ แนวที่ 1 เป็นแนวของรังสีแอลฟา แนวที่ 2 เป็นแนวของรังสีแกมมา และ แนวที่ 3 เป็นแนวของรังสีบีตา

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับชนิดและสมบัติของรังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แล้วอภิปรายร่วมกันจนสรุปได้ตามข้อมูลในตาราง 20.2

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

มวลที่แตกต่างกันของรังสีทั้ง 3 ชนิด ทำให้อำนาจทะลุผ่านวัสดุแตกต่างกันเพราะรังสีที่มีมวลมาก เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง จะชนกับอนุภาคของตัวกลางและสูญเสียพลังงานได้มากกว่า รังสีที่มีมวลน้อย รังสีที่มีมวลมากจึงมีอำนาจทะลุผ่านต่ำกว่ารังสีที่มีมวลน้อยกว่า

การที่รังสีทั้ง 3 ชนิด สามารถทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนได้แตกต่างกันเพราะความสามารถในการทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออน ขึ้นกับขนาดของประจุไฟฟ้าของรังสี ดังนั้น รังสีแอลฟาที่มีประจุไฟฟ้า $+2e$ จึงสามารถทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรังสีบีตาที่มีประจุ $-1e$ ส่วนรังสีแกมมาที่เป็นกลางทางไฟฟ้าสามารถทำให้อากาศแตกตัวได้ เพราะมีพลังงานสูง

ครูควรชี้ให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาอย่างละเอียด รังสีบีตามี 2 ชนิด ได้แก่ รังสีบีตาบวก และ รังสีบีตาลบ แต่โดยส่วนใหญ่ ธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีจะแผ่รังสีบีตาลบ ดังนั้น เมื่อกล่าวถึงรังสีบีตาจึงมักหมายถึง รังสีบีตาลบ นอกจากนี้ ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมอีกว่า ถึงแม้รังสีบีตาและรังสีแคโทดจะเป็นลำของอนุภาคอิเล็กตรอนเหมือนกัน แต่รังสีบีตาไม่ใช้รังสีแคโทด เพราะอิเล็กตรอนของรังสีบีตาเป็นอิเล็กตรอนที่มีความเร็วสูงกว่ารังสีแคโทดมาก

ครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่า นอกจากรังสีทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวถึง ธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสียังมีการแผ่รังสีชนิดอื่นอีก เช่น รังสีนิวตรอน รังสีโปรตอน แต่เกิดขึ้นในธรรมชาติน้อยมาก ส่วนใหญ่ รังสีนิวตรอนที่ใช้ทางอุตสาหกรรมจะมาจาก เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์หรือการเร่งอนุภาค ส่วนรังสีโปรตอนมาจากการเร่งอนุภาคเช่นกัน

ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 20.2 ข้อ 1. และ 2. ในหนังสือเรียน

20.2.3 การสลายและสมการการสลาย

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อธาตุหรือไอโซโทปกัมมันตรังสีมีการแผ่รังสี ปริมาณเนื้อสารจะหายไปทีละน้อยจนกระทั่งหมดไป	1. เมื่อธาตุหรือไอโซโทปกัมมันตรังสีมีการแผ่รังสี ปริมาณเนื้อสารทั้งหมดไม่ได้หายไป เพียงแต่มีการเปลี่ยนไปเป็นธาตุอีกชนิดหนึ่ง

2. การแผ่รังสีของธาตุหรือไอโซโทป กัมมันตรังสี เกิดจากการคายพลังงานของ อะตอมที่ไม่เสถียร	2. การแผ่รังสีของธาตุหรือไอโซโทป กัมมันตรังสี เกิดจากการคายพลังงานของ นิวเคลียสที่ไม่เสถียร
3. นิวเคลียสกัมมันตรังสีเป็นนิวเคลียสของ ธาตุที่มีเลขอะตอมสูง ๆ เท่านั้น	3. นิวเคลียสของธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำ ๆ บาง ธาตุเป็นนิวเคลียสกัมมันตรังสีเช่น ทริทอน หรือ นิวเคลียสของคาร์บอน-14

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. ถ้ามีการทำกิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู เกมจับคู่ หรือ เกมใบ้คำ เพื่อทบทวนคำศัพท์เกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสี ให้เตรียมวัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทบทวนคำศัพท์ เช่น บัตรคำและบัตรภาพสำหรับกิจกรรมจับคู่ บัตรคำและบัตรบอกความหมายสำหรับกิจกรรมใบ้คำ

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 8 ของหัวข้อ 20.2 ตามหนังสือเรียน

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสี โดยอาจเลือกทำกิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู เช่น เกมจับคู่ หรือ เกมใบ้คำ เพื่อให้นักเรียนทบทวนคำศัพท์เกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสี



กิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู เกมจับคู่

จุดประสงค์

1. บอกความหมายของคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับกัมมันตภาพรังสี

เวลาที่ใช้ 10 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

1. บัตรคำ เรื่อง กัมมันตภาพรังสี 1 ชุด
2. บัตรภาพ เรื่อง กัมมันตภาพรังสี 1 ชุด

(ดาวน์โหลดบัตรคำและบัตรภาพได้จาก QR Code ประจำบทที่ 20

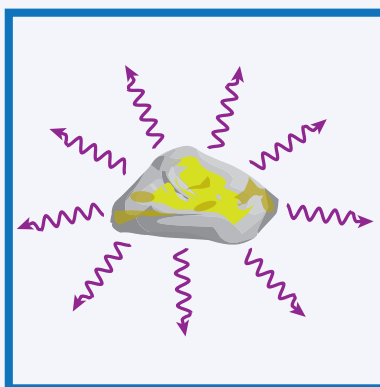
หรือที่ลิงค์ <http://ipst.me/11456>)

วิธีทำกิจกรรม

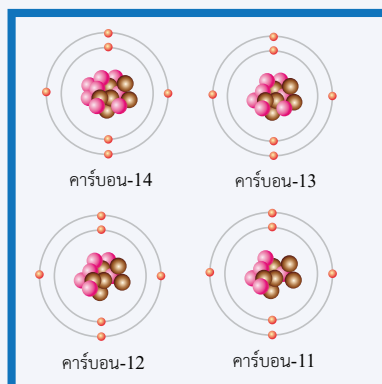
1. คละบัตรคำและบัตรภาพแล้วคว่ำบัตรลง จากนั้นแจกให้นักเรียนคนละ 1 ใบ (ถ้าจำนวนนักเรียนในห้องเป็นจำนวนคี่ ผู้สอนอาจร่วมทำกิจกรรมด้วย)
2. ให้นักเรียนทุกคนยืนขึ้น แล้วหยายบัตรคำและบัตรภาพที่ถืออยู่พร้อมกัน
3. ให้นักเรียนหาเพื่อนร่วมชั้นที่มีบัตรคำหรือบัตรภาพที่สอดคล้องกับบัตรที่ตนเองถืออยู่ เมื่อพบแล้วให้จับคู่กันแล้วนั่งลง โดยคู่ที่นั่งลงก่อนจะได้นำเสนอก่อน
4. เมื่อนักเรียนทุกคนจับคู่ได้ครบแล้ว ให้นักเรียนคู่แรกที่นั่งลงยืนขึ้น แล้วแสดงบัตรคำและบัตรภาพของตัวเองให้นักเรียนคู่อื่น ๆ เห็น เพื่อพิจารณาว่า คำและภาพที่ได้สอดคล้องกันหรือไม่
5. ถ้านักเรียนที่ยืนขึ้นจับคู่ภาพกับคำศัพท์ได้ถูกต้อง ให้นักเรียนคนใดคนหนึ่งอ่านคำศัพท์ดัง ๆ แล้วนักเรียนอีกคนบอกความหมายของคำ โดยใช้ภาพในบัตรภาพประกอบ จากนั้นให้นั่งลง
6. ถ้านักเรียนที่ยืนขึ้นจับคู่ภาพกับคำศัพท์ได้ไม่ถูกต้อง ให้หาคู่ที่ถูกต้อง แล้วให้นักเรียนคู่ในลำดับถัด ๆ ไปนำเสนอ ก่อน จนกระทั่งนักเรียนได้นำเสนอครบทุกคู่

ตัวอย่างบัตรคำและบัตรภาพ เรื่อง กัมมันตภาพรังสี
(บัตรควรมีขนาดใหญ่พอสมควร เพื่อให้นักเรียนทั้งห้องมองเห็นชัดเจน)

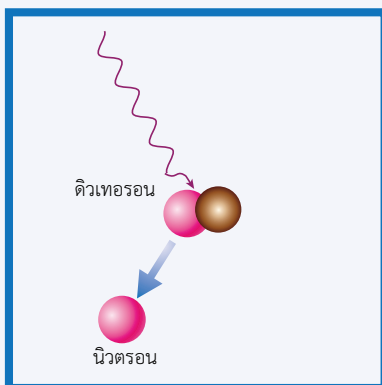
กัมมันตภาพรังสี
(Radioactivity)



ไอโซโทป
(Isotope)

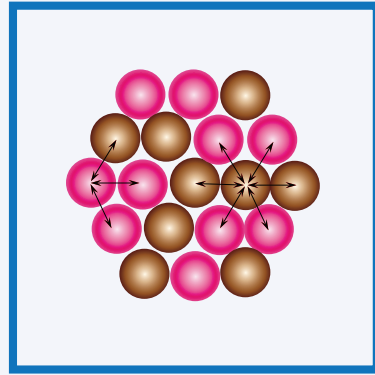


พลังงานยึดเหนี่ยว
(Binding Energy)

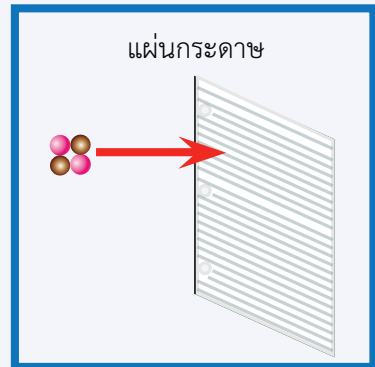


รูป ตัวอย่างบัตรคำสำหรับกิจกรรมทบทวนคำศัพท์เกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสี

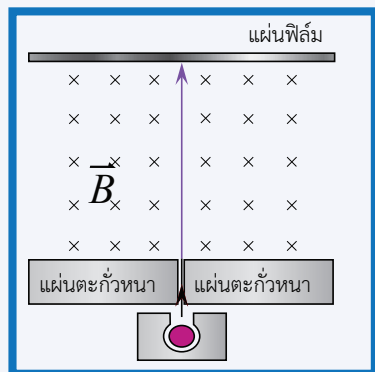
แรงนิวเคลียร์
(Nuclear force)



รังสีแอลฟา
(Alpha rays)



รังสีแกมมา
(Gamma rays)



รูป ตัวอย่างบัตรคำสำหรับกิจกรรมทบทวนคำศัพท์เกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสี



กิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู เกมใบ้คำ

จุดประสงค์

1. บอกความหมายของคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับกัมมันตภาพรังสี

เวลาที่ใช้ 10 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

1. บัตรคำ เรื่อง กัมมันตภาพรังสี 1 ชุด
(ดาวน์โหลดบัตรคำและบัตรภาพได้จาก QR Code ประจำบทที่ 20
หรือที่ลิงค์ <http://ipst.me/11456>)

วิธีทำกิจกรรม

1. แบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่มละ 3 – 4 คน ให้แต่ละกลุ่มเลือกตัวแทน 1 คน ที่จะทำหน้าที่ใบ้คำ
2. ให้ตัวแทนกลุ่มแรก ออกมาหน้าชั้นเรียน แล้วหันหน้าหานักเรียนคนอื่น ๆ โดยให้ผู้ใบ้คำอยู่ตำแหน่งที่มองเห็นบัตรคำที่ครูแสดงได้ชัดเจน
3. เมื่อมีสัญญาณให้เริ่มเล่นเกม ให้ผู้ใบ้คำที่อยู่บนบัตรคำที่ครูถืออยู่ แล้วพยายามอธิบายความหมายของคำให้นักเรียนคนอื่น ๆ ทาย โดยไม่พูดคำนั้นหรือส่วนหนึ่งของคำนั้นออกมา ถ้าพูดให้ผ่านคำนั้นไปและไม่ได้คะแนน
4. นักเรียนที่เป็นผู้ทาย ให้พยายามบอกคำศัพท์ที่มีความหมายสอดคล้องกับคำอธิบายที่ผู้ใบ้คำบอก โดยสามารถบอกคำได้เพียง 2 คำ ถ้าเป็นคำที่ตรงกับที่อยู่ในบัตรคำ ให้กลุ่มนั้นได้คะแนน 1 คะแนน แต่ถ้าทั้ง 2 คำไม่ตรงกับที่อยู่ในบัตรคำ กลุ่มนั้นไม่ได้คะแนน ส่วนผู้ใบ้คำจะได้ 1 คะแนน เมื่อนักเรียนที่ทาย สามารถทายได้ถูกใน 2 คำแรก
5. หลังจากการใบ้คำผ่านไป 1 คำ ผลัดให้ตัวแทนกลุ่มในลำดับถัดไปออกมาใบ้คำหน้าชั้นเรียน และทำตามขั้นตอนที่ 2 – 4 จนครบทุกกลุ่ม หรือ หมดคำในชุดบัตรคำ

ตัวอย่างบัตรคำสำหรับเกมใบ้คำ เรื่อง กัมมันตภาพรังสี
(บัตรควรมีขนาดใหญ่พอสมควร เพื่อให้นักเรียนทั้งห้องมองเห็นชัดเจน)

กัมมันตภาพรังสี
(Radioactivity)

ไอโซโทป
(Isotope)

พลังงานยึดเหนี่ยว
(Binding Energy)

แรงนิวเคลียร์
(Nuclear force)

รังสีแอลฟา
(Alpha rays)

รังสีบีตา
(Beta rays)

รังสีแกมมา
(Gamma rays)

ธาตุกัมมันตรังสี
(Radioactive Element)

ไอโซโทปกัมมันตรังสี
(Radioactive isotope)

นิวเคลียสเสถียร
(Stable nucleus)

รูป ตัวอย่างบัตรคำสำหรับกิจกรรมทบทวนคำศัพท์เกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสี

ครูตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายว่า ถ้าธาตุกัมมันตรังสีมีการแผ่รังสีออกมา นิวเคลียสของธาตุจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูใช้รูป 20.9 ประกอบการอภิปรายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จนสรุปได้ว่า การแผ่รังสีเกิดจากการเปลี่ยนสภาพของนิวเคลียสที่ไม่เสถียร และปล่อยพลังงานออกมาในรูปของอนุภาคความเร็วสูงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง เพื่อเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะที่มีเสถียรภาพมากกว่า

ครูร่วมกับนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับความหมายของ การสลายของนิวเคลียสที่ไม่เสถียร จนสรุปได้ดังนี้

- การสลายกัมมันตรังสี หรือเรียกสั้น ๆ ว่า การสลาย คือกระบวนการที่นิวเคลียสไม่เสถียรเปลี่ยนไปเป็นนิวเคลียสชนิดใหม่หรือนิวเคลียสเดิมที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าเดิมโดยธรรมชาติ
- การสลายให้อนุภาคแอลฟา หรือ อนุภาคบีตา หรือ รังสีแกมมา ออกมา เรียกว่า การสลายให้แอลฟา การสลายให้บีตา และ การสลายให้แกมมา ตามลำดับ
- ผลรวมของเลขอะตอมและผลรวมของเลขมวลของนิวเคลียสและอนุภาคต่าง ๆ ก่อนและหลังการสลายมีค่าเท่ากัน

ครูให้นักเรียนศึกษา การสลายให้แอลฟา บีตา และ แกมมา ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน โดยอาจแบ่งกลุ่มให้ศึกษาการสลายแต่ละชนิด แล้วให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ จากนั้น ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกัน จนสรุปเกี่ยวกับการสลายและสมการการสลาย (20.4) – (20.7) ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 20.4 และ 20.5 จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 20.2 ข้อ 3 และ 4 และทำแบบฝึกหัด 20.2 ข้อ 1 2 และ 3

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

อนุกรมการสลายของธาตุกัมมันตรังสี

นักวิทยาศาสตร์พบว่า การสลายของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติมีทั้งสิ้น 4 อนุกรม คือ

1. อนุกรมทอเรียม (thorium series) ประกอบด้วยนิวเคลียสของธาตุเริ่มต้น คือ ทอเรียม-232 ($^{232}_{90}\text{Th}$) นิวเคลียสของธาตุสุดท้าย คือ ตะกั่ว-208 ($^{208}_{82}\text{Pb}$) และ เลขมวลของธาตุต่าง ๆ ในอนุกรมนี้เป็น $4n$
2. อนุกรมเนปทูเนียม (neptunium series) ประกอบด้วยนิวเคลียสของธาตุเริ่มต้น คือ พลูโทเนียม-241 ($^{241}_{94}\text{Pu}$) นิวเคลียสของธาตุสุดท้ายคือ บิสมัท-209 ($^{209}_{83}\text{Bi}$) และเลขมวลของธาตุต่าง ๆ ในอนุกรมนี้เป็น $4n + 1$

3. อนุกรมยูเรเนียม (uranium series) ประกอบด้วยนิวเคลียสของธาตุเริ่มต้น คือ ยูเรเนียม-238 นิวเคลียสของธาตุสุดท้ายคือ ตะกั่ว-206 ($^{206}_{82}\text{Pb}$) และเลขมวลของธาตุต่าง ๆ ในอนุกรมนี้เป็น $4n + 2$

4. อนุกรมแอกทิเนียม (actinium series) ประกอบด้วยนิวเคลียสของธาตุเริ่มต้น คือ แอกทิโนยูเรเนียม (actinouranium) ซึ่งเป็นไอโซโทปของยูเรเนียมที่มีเลขมวล 235 ($^{235}_{92}\text{U}$) นิวเคลียสของธาตุสุดท้ายคือ ตะกั่ว-207 ($^{207}_{82}\text{Pb}$) และเลขมวลของธาตุต่าง ๆ ในอนุกรมนี้เป็น $4n + 3$

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ตาราง อนุกรมการสลายของธาตุกัมมันตรังสี

ชื่อ	เลขมวล	นิวเคลียส แม่	นิวเคลียส สุดท้าย	นิวเคลียสที่มี ครึ่งชีวิตนาน ที่สุด	ครึ่งชีวิตของ นิวเคลียสที่มีครึ่งชีวิต ยาวนานที่สุด (ปี)
อนุกรมทอเรียม	$4n$	$^{232}_{90}\text{Th}$	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$^{232}_{90}\text{Th}$	1.39×10^{10}
อนุกรมเนปทูเนียม	$4n + 1$	$^{241}_{94}\text{Pu}$	$^{209}_{83}\text{Bi}$	$^{237}_{93}\text{Np}$	2.25×10^6
อนุกรมยูเรเนียม	$4n + 2$	$^{238}_{92}\text{U}$	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$^{238}_{92}\text{U}$	4.51×10^9
อนุกรมแอกทิเนียม	$4n + 3$	$^{235}_{92}\text{U}$	$^{207}_{82}\text{Pb}$	$^{235}_{92}\text{U}$	7.07×10^8

ข้อสังเกต จะเห็นว่า ในอนุกรมหนึ่ง ๆ เลขมวลของธาตุในอนุกรมนั้น ๆ จะมีค่าเป็นไปตามสมการ $A = 4n + a$ เมื่อ a แทน 0 1 2 และ 3 การแบ่งการสลายของธาตุกัมมันตรังสีจึงมีแค่ 4 อนุกรม เท่านั้น เนื่องจากการสลายที่ให้อนุภาคแอลฟา เลขมวลจะลดลง 4 เสมอ ส่วนการสลายที่ให้อนุภาคบีตาและแกมมา เลขมวลจะไม่เปลี่ยน ดังนั้นถ้าพิจารณานิวเคลียส แล้วจัดให้เลขมวลของนิวเคลียสอยู่ในรูป $4n + a$ แล้วพิจารณาค่าของ a มีค่าเท่าไร เพื่อจัดเข้าในอนุกรม หนึ่ง เมื่อนำเลขมวลหารด้วย 4 แล้ว จะพบว่า มีเศษได้ 0 1 2 และ 3 เท่านั้น ทำให้สามารถบอกได้ว่า นิวเคลียสใดนิวเคลียสหนึ่งอยู่ในอนุกรมใด เช่น นิวเคลียสที่มีเลขศูนย์ จะถูกจัดอยู่ในอนุกรมทอเรียม หรือ นิวเคลียสที่มีเศษ 1 จะถูกจัดอยู่ในอนุกรมเนปทูเนียม

20.2.4 กัมมันตภาพ

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. อัตราการแผ่รังสีของธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสี เป็นค่าคงตัว	1. อัตราการแผ่รังสีของธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีชนิดใดชนิดหนึ่ง เปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนนิวเคลียสของธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีชนิดนั้น ที่มีอยู่
2. การแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสี ขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ แสงแดด ความดัน	2. การแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสี ไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอก
3. การสลายของนิวเคลียสกัมมันตรังสีมีรูปแบบที่แน่นอน สามารถระบุนิวเคลียสที่จะสลายได้	3. การสลายของนิวเคลียสกัมมันตรังสีเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแบบสุ่ม ไม่สามารถระบุนิวเคลียสที่จะสลายได้

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. คลิปวิดีโอเกี่ยวกับการใช้เครื่องนับรังสีแบบไกเกอร์มิลเลอร์ ให้เตรียมคลิปล่วงหน้า โดยอาจใช้คลิปจากลิงค์ต่อไปนี้
 - 1.1. คลิปวิดีโอ Radiation Now ตอน ทำพิสูจน์รังสี มีอยู่จริง โดย สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.) <https://youtu.be/0lxDZXJasV4>
 - 1.2. คลิปวิดีโอ แก๊สกัมมันตรังสีจากร้านขายของชำใกล้บ้าน (Radioactive salt from your local grocery store) <https://youtu.be/80uW4fwCRfA>
 - 1.3. คลิปวิดีโอ โพแทสเซียม-40 กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ (Potassium K-49 radioactivity in nature) <https://youtu.be/3iy6torpZzI>
 - 1.4. คลิปวิดีโอ โพแทสเซียมกัมมันตรังสีในธรรมชาติ (Naturally occurring radioactive potassium) <https://youtu.be/H8Xsu-YqB9A>

2. ถ้ามีการสาธิต การใช้เครื่องนับไกเกอร์ ให้เตรียมวัสดุอุปกรณ์ดังนี้

2.1 เครื่องนับไกเกอร์

2.2 ตัวอย่างวัตถุที่มีกัมมันตภาพรังสีต่ำ เช่น ลวดเชื่อมทั้งสแตน ไส้ตะเกียงเจ้าพายุ ลวดเชื่อมทั้งสแตนที่มีทอเรียม-232 เปลือกบางยี่ห้อ ก้อนหินบางชนิด จานกระเบื้องสีส้มบางชนิด

3. วัสดุและอุปกรณ์สำหรับกิจกรรม 20.1

3.1 กล่องใส่ลูกบาศก์ 1 กล่อง

3.2 ลูกบาศก์ 6 หน้า แต้มสี 1 หน้า 50 ลูก

3.3 ถาดหรือภาชนะรองรับลูกบาศก์ 1 อัน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 9 ของหัวข้อ 20.2 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 20.2.4 ทบทวนความเกี่ยวกับ กัมมันตภาพรังสี รังสี และการสลาย โดยนำอภิปรายหรือจัดกิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู เกมจับคู่ หรือ เกมใบ้คำ จากนั้น ครูตั้งคำถามว่า ธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีมีการแผ่รังสีออกมาแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร และถ้าจะทำการวัดปริมาณรังสีที่แผ่ออกมา จะมีวิธีการอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า ธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีมีการแผ่รังสีออกมาแตกต่างกัน โดยอัตราการแผ่รังสีในขณะหนึ่ง เรียกว่า **กัมมันตภาพ** (activity) ซึ่งการวัดกัมมันตภาพ ทำได้ด้วยการอาศัยเครื่องมือหลายชนิด โดยหนึ่งในเครื่องมือที่นิยมใช้คือ เครื่องนับรังสีแบบไกเกอร์มิลเลอร์

ครูอาจสาธิตหรือนำเสนอคลิปวิดีโอเกี่ยวกับการใช้เครื่องนับรังสีแบบไกเกอร์มิลเลอร์วัดรังสีจากวัตถุที่มีอัตราการแผ่รังสีน้อย เช่น ตะกั่วบัดกรี ก้อนหินบางชนิด หรือ จานกระเบื้องบางใบ โดยในการสาธิตหรือชมคลิปวิดีโอ ครูเน้นให้นักเรียนสังเกตเสียงที่ได้ยินจากเครื่องนับรังสี แล้วอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับลักษณะของเสียงที่ได้ยิน ซึ่งควรสรุปได้ว่า เสียงที่ได้ยินเกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ แสดงว่า การสลายของนิวเคลียสของธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแบบสุ่ม

ข้อเสนอแนะการทำกิจกรรม

- ในการทำกิจกรรมสาธิตการวัดรังสีด้วยเครื่องนับไกเกอร์ วัตถุที่ใช้ควรเป็นวัตถุที่มีอัตราการแผ่รังสีน้อย เพราะ ถ้าวัตถุอัตราการแผ่รังสีมากเกินไป จำนวนครั้งที่ได้ยินเสียงจากเครื่องนับต่อวินาทีจะถี่มาก จนทำให้สังเกตหรือนับได้ยาก อีกทั้ง วัตถุที่มีอัตราการแผ่รังสีมากอาจเป็นอันตรายกับนักเรียน
- เพื่อไม่ให้เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อน ครูควรอธิบายว่า ความถี่ของจำนวนครั้งที่ได้ยินเสียงจากเครื่องนับไกเกอร์ต่อหนึ่งหน่วยเวลาสามารถใช้บอกได้ว่า ปริมาณรังสีที่แผ่ออกมาจากวัตถุที่วัดมีมากหรือน้อย แต่ไม่สามารถระบุค่ากัมมันตภาพจากความถี่ของจำนวนครั้งที่ได้ยินเสียงจากเครื่องนับไกเกอร์

ครูให้นักเรียนศึกษาหลักการทำงานของเครื่องนับรังสีแบบไกเกอร์มิลเลอร์ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้น ครูตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า ถ้าจะศึกษาเชิงปริมาณเกี่ยวกับรังสี จะมีวิธีการอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

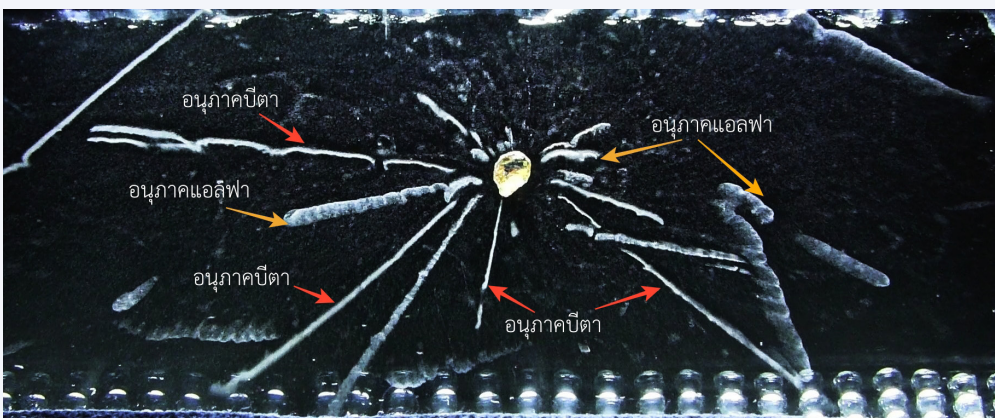
ครูตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายว่า การสลายของนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีเป็นแบบสุ่ม จะเทียบกับการโยนเหรียญหรือทอดลูกบาทค์ได้อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูนำเข้าสู่กิจกรรม 20.1 โดยตั้งคำถามว่า ถ้าเปรียบเทียบทอดลูกบาทค์กับการสลายของนิวเคลียส กัมมันตรังสี จะมีวิธีการอย่างไร

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

เครื่องวัดรังสี

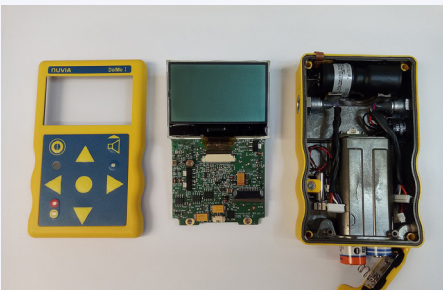
การวัดปริมาณรังสีทำได้โดยอาศัยการวัดปริมาณไอออนของแก๊สที่แตกตัว ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อรังสีผ่านเครื่องวัด เช่น ในกรณีของ เครื่องตรวจจับอนุภาคแบบห้องหมอก (cloud chamber) ปริมาณรังสีขึ้นอยู่กับจำนวนรอยทาง (track) ที่สังเกตได้ ดังรูป ก. ซึ่งแสดงรอยทางของอนุภาคแอลฟาและบีตาที่ปล่อยออกมาจากสารประกอบทอเรียมที่วางอยู่ข้างในเครื่อง จำนวนของรอยทางที่เกิดขึ้นนี้จะแปรผันตรงกับปริมาณรังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุกัมมันตรังสี



รูป ก. ภาพถ่ายของรอยทางของอนุภาคแอลฟาและบีตาในห้องหมอก

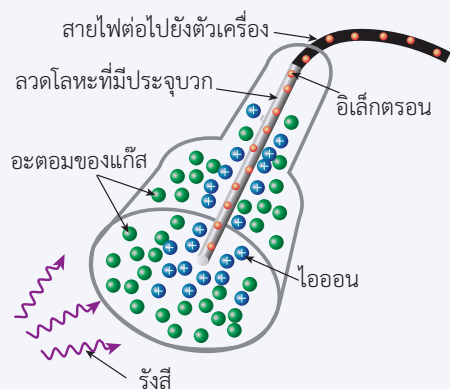
เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้วัดรังสีโดยทั่วไปสะดวกต่อการวัดและเป็นแบบที่ง่ายที่สุดได้แก่ เครื่องนับรังสีแบบไกเกอร์มิลเลอร์ (Geiger-Müller Counter) หรือ เครื่องนับไกเกอร์ (GM counter)

มีหัววัดทำด้วยโลหะ (ทองแดงหรือทองเหลือง) หรือหลอดแก้วที่มีโลหะฉาบผิวด้านใน ดังรูป ข. มีเส้นลวดอยู่ตรงกลางหลอดเป็นอิเล็กโทรดที่ต่อกับแบตเตอรี่ เพื่อให้มีความต่างศักย์ระหว่างตัวหลอดและเส้นลวด ภายในหลอดแก้วบรรจุแก๊สเฉื่อย (เช่น นีออน) ที่มีความดันต่ำ (ประมาณ 0.1 บรรยากาศ) ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในช่วง 500 – 1000 โวลต์



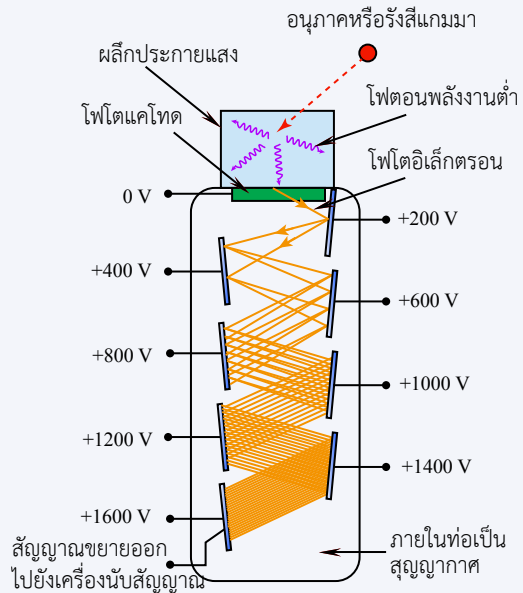
รูป ข. เครื่องนับรังสีไกเกอร์แบบต่าง ๆ

เมื่ออนุภาคที่มีประจุผ่านไปในหัววัด จะทำให้เกิดแก๊สเฉื่อยภายในหลอดแตกตัวเป็นไอออน ไอออนบวกจะเคลื่อนไปยังผิวของหลอดซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าลบ ส่วนอิเล็กตรอนจะวิ่งเข้าสู่เส้นลวดซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าบวก ดังรูป ค. ดังนั้นแก๊สที่อยู่ในหลอดจะทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าทำให้สัญญาณไฟฟ้าอยู่ในวงจร ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องขยายและเครื่องนับสัญญาณ เครื่องนับนี้จะวัดปริมาณของรังสีได้



รูป ค. เครื่องนับรังสีไกเกอร์แบบต่าง ๆ

เครื่องวัดรังสีอีกแบบหนึ่งที่มีความไวมากกว่าเครื่องนับไกเกอร์ และนิยมใช้วัดรังสีแกมมาคือ เครื่องนับประกายแสง(scintillation counter) ซึ่งใช้หลักการเปลี่ยนพลังงานของรังสีแกมมาซึ่งเป็นโฟตอนพลังงานสูงให้อยู่ในรูปโฟตอนพลังงานต่ำ เมื่อโฟตอนเข้าไปในหลอดตรวจวัดแสงแบบทวีคูณ (photomultiplier tube) จะไปตกกระทบผลึกประกายแสง (scintillation crystal) ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (sodium iodide) จะทำให้อะตอมในผลึกถูกกระตุ้นแล้วมีการปล่อยโฟตอนออกมาโฟตอนจะไปตกกระทบอิเล็กโทรด (electrode) แผ่นแรกซึ่งมีศักย์ไฟฟ้า 200 โวลต์ ทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอน ดังรูป ง. โฟโตอิเล็กตรอน 2 นี้จะถูกเร่งผ่านความต่างศักย์ 200 โวลต์ ไปตกกระทบอิเล็กโทรดแผ่นที่ 2 ที่มีศักย์ไฟฟ้า 400 โวลต์



รูป ง. เครื่องนับประกายแสงโดย
ใช้ผลึกโซเดียมไอโอไดด์

ทำให้มีโฟโตอิเล็กตรอน 4 อิเล็กตรอนหลุดออกมา เมื่อโฟโตอิเล็กตรอนนี้ถูกเร่งผ่านความต่างศักย์ 200 โวลต์ไปตกกระทบอิเล็กโทรดแผ่นที่ 3 4 5... จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจะเป็น 8 16 32... จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจึงเป็นแบบทวีคูณ ในที่สุดเมื่อโฟโตอิเล็กตรอนไปตกกระทบอิเล็กโทรดแผ่นที่ 10 จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาเป็น 1024 อิเล็กตรอน ซึ่งเป็น 512 หรือประมาณ 500 เท่าของจำนวนโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากอิเล็กโทรดแผ่นแรก เมื่อต่อสัญญาณขาออก (output signal) จากแผ่นอิเล็กโทรดสุดท้ายไปยังเครื่องนับสัญญาณ เครื่องนับนี้จะวัดปริมาณของรังสีได้

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

(เรียบเรียงจาก หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 2 ตามผลการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551)

ความน่าจะเป็น

ความน่าจะเป็นคือ จำนวนที่บ่งบอกโอกาสที่เหตุการณ์หนึ่งจะเกิดขึ้น ซึ่งในทางคณิตศาสตร์มีคำศัพท์และคำอธิบายที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. การทดลองสุ่มและเหตุการณ์

การทดลองสุ่ม (random experiment) คือ การทดลองที่ผู้ทดลองทราบว่า จะเกิดผลลัพธ์อะไรได้บ้าง แต่ไม่สามารถบอกได้อย่างแน่นอนว่า ในแต่ละครั้งที่ทดลอง ผลที่เกิดขึ้นจะเป็นอะไรในจำนวนผลลัพธ์ที่อาจเป็นไปได้เหล่านั้น เช่น ในการทอดลูกบาศก์ที่มี 6 หน้า 1 ครั้ง หน้าที่ยกอาจเป็นหน้าที่แต้มสีไว้ 1 2 3 4 5 หรือ 6 จุด แต่ไม่สามารถบอกได้อย่างแน่นอนว่าจะหงายหน้าใด เรียกการทอดลูกบาศก์ดังกล่าวว่า การทดลองสุ่ม

2. เหตุการณ์

ผลลัพธ์ที่สนใจจากการทดลองสุ่ม เรียกว่า เหตุการณ์ (event) เช่น การทอดลูกบาศก์ 1 ลูก 1 ครั้ง ถ้าสนใจหน้าที่แต้มสีไว้ 6 จุด การที่ลูกบาศก์หงายหน้าแต้มสี 6 จุด คือ เหตุการณ์ หรือ ถ้าสนใจเฉพาะหน้าที่แต้มสีไว้มากกว่า 3 จุด เหตุการณ์คือ การที่ลูกบาศก์หงายหน้าแต้มสี 4 5 และ 6 จุด

3. ความน่าจะเป็น

ถ้าต้องการหาโอกาสที่เหตุการณ์ที่สนใจจะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด เช่น โอกาสที่เหรียญที่เที่ยงตรง 1 เหรียญจะขึ้นหัวเมื่อถูกโยนหนึ่งครั้ง หรือ โอกาสที่ลูกบาศก์ 1 ลูกที่เที่ยงตรงจะหงายหน้าแต้มสีหกจุดเมื่อถูกทอดหนึ่งครั้ง วิธีหนึ่งที่ใช้หาคำตอบคือ ทำการทดลองสุ่มนั้นซ้ำหลาย ๆ ครั้ง เช่น ในการหาโอกาสที่เหรียญ 1 เหรียญจะขึ้นหัว อาจโยนเหรียญ 100 ครั้ง และถ้าพบว่ามีเหรียญขึ้นหัว 55 ครั้ง และขึ้นก้อย 45 ครั้ง อัตราส่วน $\frac{55}{100}$ ซึ่งเท่ากับ 0.55 หรือ 55% เป็นตัวเลขที่บอกให้ทราบว่าเหรียญมีโอกาสจะขึ้นหัวมากน้อยเพียงใดและเมื่อทำการทดลองมากขึ้นอัตราส่วนที่ได้จะน่าเชื่อถือมากขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่สามารถบอกได้แน่นอนว่าควรทำการทดลองสุ่มจำนวนกี่ครั้งจึงจะเหมาะสม อีกทั้ง การทำ การทดลองสุ่มหลาย ๆ ครั้ง ย่อมเสียเวลามาก และไม่สะดวก จึงใช้วิธีคำนวณจากอัตราส่วน ระหว่างจำนวนเหตุการณ์ที่สนใจหารด้วยผลลัพธ์ที่เป็น

ไปได้ทั้งหมดจากการทดลองสุ่มทั้งนี้ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะต้องเป็นผลลัพธ์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้เท่ากัน เท่านั้น เรียกอัตรส่วนดังกล่าวว่า ความน่าจะเป็น (probability) ของเหตุการณ์

ความน่าจะเป็น คือ จำนวนที่บอกให้ทราบว่า เหตุการณ์ที่สนใจมีโอกาสเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด ตัวอย่างเช่น ในการทอดลูกบาศก์ที่เที่ยงตรง 2 ลูก 1 ครั้ง ถ้าสนใจเหตุการณ์ที่ผลบวกของจำนวนจุดที่แต้มสีเป็น 5 จะพบว่า เหตุการณ์ที่เป็นไปได้คือ ลูกที่หนึ่งหงายหน้าที่แต้มสี 1 2 3 และ 4 จุด ส่วนลูกที่สองหงายหน้าที่แต้มสี 4 3 2 และ 1 จุด ตามลำดับ นั่นคือจำนวนเหตุการณ์ที่สนใจมีทั้งหมด 4 เหตุการณ์ ในขณะที่ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมดมีจำนวน $6 \times 6 = 36$ ดังนั้น โอกาสที่ลูกบาศก์ทั้ง 2 ลูก จะหงายหน้าที่ทำให้ผลบวกจำนวนจุดที่แต้มสีของหน้าที่หงายเป็น 5 จึงเท่ากับ $\frac{4}{36} = \frac{1}{9}$

ทั้งนี้ การหาความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นการหาความน่าจะเป็นโดยใช้ ความน่าจะเป็นเชิงทฤษฎี (theoretical probability) หรือ ความน่าจะเป็นทางคณิตศาสตร์ ภายใต้สมมติฐานว่าผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีโอกาสเกิดขึ้นได้เท่ากันเท่านั้นแต่อย่างไรก็ดีเหตุการณ์หลายเหตุการณ์ในชีวิตจริง ไม่สามารถใช้วิธีการที่กล่าวมาคำนวณหาความน่าจะเป็นได้ เช่น การหาความน่าจะเป็นที่จะมีฝนตกในแต่ละเดือนของปี ซึ่งในแต่ละเดือน โอกาสที่ฝนตกไม่เท่ากัน หรือ การหาความน่าจะเป็นที่คนคนหนึ่งจะเป็นโรคมะเร็งปอด ซึ่งโอกาสที่แต่ละคนจะเป็นโรคมะเร็งปอดไม่เท่ากัน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับว่า บุคคลนั้นอยู่ในกลุ่มเสี่ยงหรือไม่ เช่น เป็นผู้สูบบุหรี่เป็นประจำหรือไม่ ดังนั้น ในการหาความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ดังกล่าว อาจต้องใช้วิธีการอื่น เช่น ใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้ง หรือ ใช้การสุ่มตัวอย่าง ยกตัวอย่างในกรณีการหาความน่าจะเป็นที่สินค้าที่ผลิตไม่ได้มาตรฐาน จากการที่บริษัทผลิตสินค้าได้วันละ 100000 ชิ้น อาจใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างเพื่อหาว่าจากสินค้าที่สุ่มมา 100 ชิ้น มีสินค้าที่ไม่ได้มาตรฐานกี่ชิ้น ถ้าพบว่า มีสินค้า 3 ชิ้นที่ไม่ได้มาตรฐาน อาจสรุปได้ว่า ความน่าจะเป็นที่สินค้าจะไม่ได้มาตรฐานเท่ากับ หรือ 3% ความน่าจะเป็นชนิดนี้เรียกว่า ความน่าจะเป็นเชิงการทดลอง (experimental probability) ซึ่งจะมีความถูกต้องแม่นยำเพียงใด ขึ้นอยู่กับขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่เลือกมา รวมถึงการสุ่มตัวอย่าง การทดลองซ้ำเพื่อให้เกิดความมั่นใจ โดยมักพบความน่าจะเป็นเชิงการทดลองในการสำรวจความคิดเห็นของประชากร การทดสอบผลของยา การทดสอบคุณภาพสินค้า



กิจกรรม 20.1 สถานการณ์จำลองการสลายของนิวเคลียสกัมมันตรังสี

จุดประสงค์

- อธิบายค่าคงตัวการสลายของนิวเคลียสกัมมันตรังสีเปรียบเทียบกับอัตราการทอลูกบาศก์

เวลาที่ใช้ 60 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- กล่องใส่ลูกบาศก์ 1 กล่อง
- ลูกบาศก์ 6 หน้า แต้มสี 1 หน้า 50 ลูก
- ถาดหรือภาชนะรองรับลูกบาศก์ 1 อัน

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

จำนวนลูกบาศก์ ที่ทอ	จำนวนลูกบาศก์ที่หงายหน้าแต้มสี ของการทอครั้งที่					ค่าเฉลี่ย	ความ น่าจะเป็น
	1	2	3	4	5		
30	5	7	4	4	3	4.60	0.15
40	10	6	6	3	11	7.20	0.18
50	8	9	10	5	13	9.00	0.18



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ความน่าจะเป็น ที่ลูกบาศก์จะหงายหน้าแต้มสีจากการทอลูกบาศก์จำนวน 30 40 และ 50 ลูก แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ ความน่าจะเป็นที่ลูกบาศก์จะหงายหน้าแต้มสีจากการทอลูกบาศก์จำนวน 30 40 และ 50 ลูก ใกล้เคียงกัน

- ถ้าเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นที่ลูกบาศก์จะหงายหน้าแต้มสีทางคณิตศาสตร์ ค่าที่ได้จากการทำกิจกรรมเป็นอย่างไร

แนวคำตอบ ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าความน่าจะเป็นทางคณิตศาสตร์ คือ $\frac{1}{6}$ หรือ 0.166

- ถ้าเพิ่มจำนวนครั้งที่ทอดเป็น 100 ครั้ง หรือ เพิ่มจำนวนลูกบาศก์เป็น 1000 ลูก ความน่าจะเป็นที่ได้จากการทำกิจกรรมจะแตกต่างไปจากเดิมหรือไม่ อย่างไร

แนวคำตอบ ความน่าจะเป็นแตกต่างจากเดิมโดยมีแนวโน้มที่จะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับความน่าจะเป็นทางคณิตศาสตร์มากยิ่งขึ้น

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรม โดยใช้คำถามท้ายกิจกรรม 20.1 จนสรุปได้ว่า

- ถ้าลูกบาศก์มี 6 หน้า และมีหน้าที่แต้มสีหนึ่งหน้า โอกาสที่ลูกบาศก์แต่ละลูกจะหงายหน้าแต้มสีจะใกล้เคียงกับค่าความน่าจะเป็นทางคณิตศาสตร์ คือ 1 ใน 6
- จำนวนลูกบาศก์ที่หงายหน้าแต้มสีของการทอดแต่ละครั้ง ขึ้นอยู่กับจำนวนลูกบาศก์ทั้งหมดที่ทอดในครั้งนั้น ๆ หลักการดังกล่าวนี้เป็นเช่นเดียวกับการสลายของนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี กล่าวคือทุก ๆ นิวเคลียสมีโอกาสในการสลายเท่ากัน และจำนวนนิวเคลียสที่สลายในขณะหนึ่ง ๆ จะขึ้นอยู่กับจำนวนนิวเคลียสทั้งหมดที่มีอยู่ในขณะนั้น
- ความน่าจะเป็น หรือโอกาสที่ลูกบาศก์จะหงายหน้าแต้มสีในการทอดแต่ละครั้ง เปรียบได้กับ ความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่นิวเคลียสจะเกิดการสลายในหนึ่งหน่วยเวลา

ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับค่าคงตัวการสลาย จนสรุปได้ว่า ค่าคงตัวการสลายเป็นค่าเฉพาะของนิวเคลียสแต่ละชนิด นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีใดมีค่าคงตัวการสลายมาก แสดงว่า นิวเคลียสนั้นมีโอกาสมากที่จะสลายในหนึ่งหน่วยเวลา ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูอาจถามคำถามชวนคิด แล้วอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง



แนวคำตอบชวนคิด

ถ้ามีลูกเหลี่ยม 20 หน้า โดยแต่ละหน้ามีโอกาสหงายได้เท่า ๆ กัน และมีหน้าที่แต้มสีไว้ 1 หน้า หลังทอดลูกเหลี่ยมนี้ออกไป จงหาโอกาสที่ลูกเหลี่ยมนี้จะหงายหน้าที่แต้มสีไว้

แนวคำตอบ โอกาสที่ลูกเหลี่ยมนี้จะหงายหน้าแต้มสี 1 หน้า คือ $1/20$

ครูให้นักเรียนศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างกัมมันตภาพกับค่าคงตัวการสลาย จากนั้น อภิปรายร่วมกันจนสรุปได้สมการ (20.8) ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 20.6 และ 20.7 จากนั้น ให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 20.2 ข้อ 5 6 7 และ 8 และทำแบบฝึกหัด 20.2 ข้อ 4. ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

หน่วยวัดรังสี

การพิจารณาว่า รังสีจากธาตุกัมมันตรังสีจำนวนหนึ่งมีปริมาณของมากน้อยเพียงใด อาจพิจารณาได้ 2 วิธี วิธีแรกคือ พิจารณาจากอัตราการสลายหรือที่เรียกว่า กัมมันตภาพ (activity) ของธาตุกัมมันตรังสีจำนวนนั้น ธาตุจำนวนหนึ่งที่มีกัมมันตภาพสูง ย่อมให้ปริมาณรังสีมากกว่าธาตุอีกจำนวนหนึ่งที่มีกัมมันตภาพต่ำในช่วงเวลาเท่ากัน อีกวิธีหนึ่งพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมหรือสิ่งมีชีวิตเมื่อได้รับรังสี เช่น เมื่อให้รังสีนั้นผ่านเข้าไปในอากาศจะทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนมากน้อยเพียงใด วิธีนี้จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่ธาตุกัมมันตรังสีนั้นแผ่ออกมาโดยตรง จึงเรียกว่า ปริมาณการได้รับรังสี (radiation dose) หน่วยการวัดปริมาณรังสีจึงจำแนกออกเป็น 2 หน่วยคือ

ก. หน่วยของกัมมันตภาพ (activity units) ได้แก่

คูรี (Ci) เป็นหน่วยแรกที่ใช้วัดกัมมันตภาพ กำหนดว่า 1 คูรี คือ กัมมันตภาพของเรเดียม-226 มวล 1 กรัม ซึ่งมีการสลาย 3.7×10^{10} นิวเคลียสต่อวินาที

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$$

เบ็กเคอเรล (Bq) เป็นหน่วยมาตรฐานในระบบ เอสไอ กำหนดว่า 1 เบ็กเคอเรลเท่ากับอัตราการสลายของนิวเคลียส 1 นิวเคลียสต่อวินาที หรือ 1 disintegration per second (dps)

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ dps}$$

ข. หน่วยของปริมาณการได้รับรังสี (radiation dose units) อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัว (exposure dose) เป็นหน่วยที่กำหนดขึ้นโดยการวัดปริมาณการแตกตัวเป็นไอออนของอากาศเมื่อได้รับรังสี ซึ่งในอดีต หน่วยที่ใช้คือ เรินต์เกน (R) โดยกำหนดว่า 1 เรินต์เกนคือปริมาณรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาที่สามารถทำให้อากาศแห้งปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ S.T.P แตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุไฟฟ้า 3.33×10^{-10} คูลอมบ์ ในปัจจุบันในระบบเอสไอ หน่วยที่ใช้ระบุปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัว คือ คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม (C/kg)

2. ปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน (absorbed dose) เป็นหน่วยที่กำหนดขึ้น โดยการวัดปริมาณพลังงานของรังสีที่ธาตุหรือวัตถุดูดกลืนไว้ ซึ่งในอดีต หน่วยที่ใช้คือ แรด (radiation absorbed dose, rad) โดยกำหนดว่า 1 แรด คือ ปริมาณรังสีที่ทำให้วัตถุได้รับพลังงาน 0.01 จูลต่อมวล 1 กิโลกรัมของวัตถุนั้น

ในปัจจุบัน ในระบบเอสไอ หน่วยที่ใช้ระบุปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน คือ เกรย์ (Gy)

3. ปริมาณรังสีสมมูล (equivalent dose) หรือ RBE (relative biological effective ness) dose เป็นหน่วยที่กำหนดขึ้น โดยการวัดปริมาณรังสีที่มนุษย์ได้รับโดยเปรียบเทียบผลทางชีววิทยา ซึ่งในอดีต หน่วยที่ใช้คือ เรม (roentgen equivalent man, rem) โดยกำหนดว่า 1 เรม คือ ปริมาณรังสีใดๆ ที่สามารถก่อให้เกิดผลทางชีววิทยาต่อร่างกาย เทียบเท่ากับเมื่อได้รับรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา 1 เรินต์เกน

ในปัจจุบัน ในระบบเอสไอ หน่วยที่ใช้ระบุปริมาณรังสีสมมูลคือ ซีเวิร์ต (Sv)

หน่วยของการวัดรังสี ในอดีตและในระบบเอสไอ ดังแสดงในตารางด้านล่าง

ปริมาณ	หน่วยเดิม	หน่วยเอสไอ			
		ชื่อ	สัญลักษณ์	ในรูปหน่วยฐาน	ในรูปหน่วยอื่น
กัมมันตภาพ (activity)	คูรี (Ci)	เบ็กเคอเรล (Becquerel)	Bq	s^{-1}	-
รังสีที่ทำให้อากาศการแตกตัวเป็นไอออน (exposure)	เรินต์เกน (R)	คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม (coulomb per kilogram)	C/kg	$kg^{-1}s A$	-
รังสีที่ถูกดูดกลืนรังสี (absorbed dose)	แรด (rad)	เกรย์ (gray)	Gy	m^2s^{-2}	J/kg
รังสีสมมูล (dose equivalent)	เรม (rem)	ซีเวิร์ต (Sievert)	Sv	m^2s^{-2}	J/kg

20.2.5 ครึ่งชีวิต

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ครึ่งชีวิต คือ ครึ่งหนึ่งของช่วงเวลาที่ธาตุกัมมันตรังสีจะสลายไปจนหมด	1. ครึ่งชีวิต คือ ช่วงเวลาที่ธาตุกัมมันตรังสีจะสลายไปเหลือปริมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม
2. ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสี ขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความดัน ภาชนะที่บรรจุธาตุกัมมันตรังสี	2. ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสี ไม่ขึ้นกับปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความดัน ภาชนะ แต่ขึ้นกับชนิดของธาตุกัมมันตรังสีเท่านั้น
3. ธาตุกัมมันตรังสีจะเริ่มแผ่รังสีเมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับครึ่งชีวิตเท่านั้น	3. ธาตุกัมมันตรังสีมีการแผ่รังสีตลอดเวลา
4. ธาตุกัมมันตรังสีจะสลายจนหมดไป เมื่อเวลาผ่านไปเป็นสองเท่าของครึ่งชีวิต	4. ธาตุกัมมันตรังสีจะสลายจนเหลือ 1 ใน 4 เท่าของปริมาณเริ่มต้น เมื่อเวลาผ่านไปเป็นสองเท่าของครึ่งชีวิต

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. วัสดุและอุปกรณ์สำหรับกิจกรรม 20.2

- | | | |
|---------------------------------|----|-------|
| - กล่องใส่ลูกบาศก์ | 1 | กล่อง |
| - ลูกบาศก์ 6 หน้า แต้มสี 1 หน้า | 40 | ลูก |
| - ปากกาเมจิกหรือชอล์กสี | 1 | ด้าม |
| - ถาดหรือภาชนะรองรับลูกบาศก์ | 1 | อัน |

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 10 และ 11 ของหัวข้อ 20.2 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 20.2.5 โดยทบทวนความรู้เกี่ยวกับการสลาย และ กัมมันตภาพ ด้วยการอภิปรายหรือใช้กิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู เกมจับคู่ หรือ เกมใบ้คำ ดังตัวอย่างที่ได้เสนอมาแล้ว จากนั้น ครูตั้ง

คำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า การพิจารณาว่า ธาตุกัมมันตรังสีได้มีการสลายช้าหรือเร็ว จะพิจารณาจากปริมาณใดบ้าง โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษาความหมายของ ครึ่งชีวิต ในหนังสือเรียน จากนั้น ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า ครึ่งชีวิต คือ ช่วงเวลาที่ธาตุกัมมันตรังสีสลายจนกระทั่งลดลงเหลืออยู่ครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้น ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสี มีความสัมพันธ์กับปริมาณใดบ้าง โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 20.2



กิจกรรม 20.2 สถานการณ์จำลองครึ่งชีวิต

จุดประสงค์

1. อธิบายครึ่งชีวิตของนิวเคลียสกัมมันตรังสีเปรียบเทียบกับ การทอดลูกบาศก์
2. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนลูกบาศก์ที่เหลือกับจำนวนครั้งที่ทอดลูกบาศก์
3. หาคึ่งชีวิตจากกราฟของลูกบาศก์ที่แต้มสีหนึ่งหน้าและแต้มสีสองหน้า

เวลาที่ใช้ 60 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | | |
|----------------------------------|----|-------|
| 1. กล่องใส่ลูกบาศก์ | 1 | กล่อง |
| 2. ลูกบาศก์ 6 หน้า แต้มสี 1 หน้า | 40 | ลูก |
| 3. ปากกาเมจิกหรือชอล์กสี | 1 | อัน |
| 4. ถาดหรือภาชนะรองรับลูกบาศก์ | 1 | อัน |

แนะนำก่อนทำการทำกิจกรรม

1. สำหรับกิจกรรม 20.2 ตอนที่ 2 ควรใช้สีเมจิกหรือชอล์กสีที่ล้างออกได้ง่ายแต้มที่หน้าลูกบาศก์ หน้าตรงข้ามกับหน้าที่แต้มสีหน้าแรก เหมือนกันทุกลูก
2. การเขียนกราฟที่ใช้ค่าเฉลี่ยของจำนวนลูกบาศก์ที่เหลือกับจำนวนครั้งที่ทอดทั้ง 2 ตอน ให้เขียนบนกราฟเดียวกัน นั่นคือ ให้กราฟทั้ง 2 ใช้แกนตั้งและแกนนอนเดียวกัน เพื่อสะดวกในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

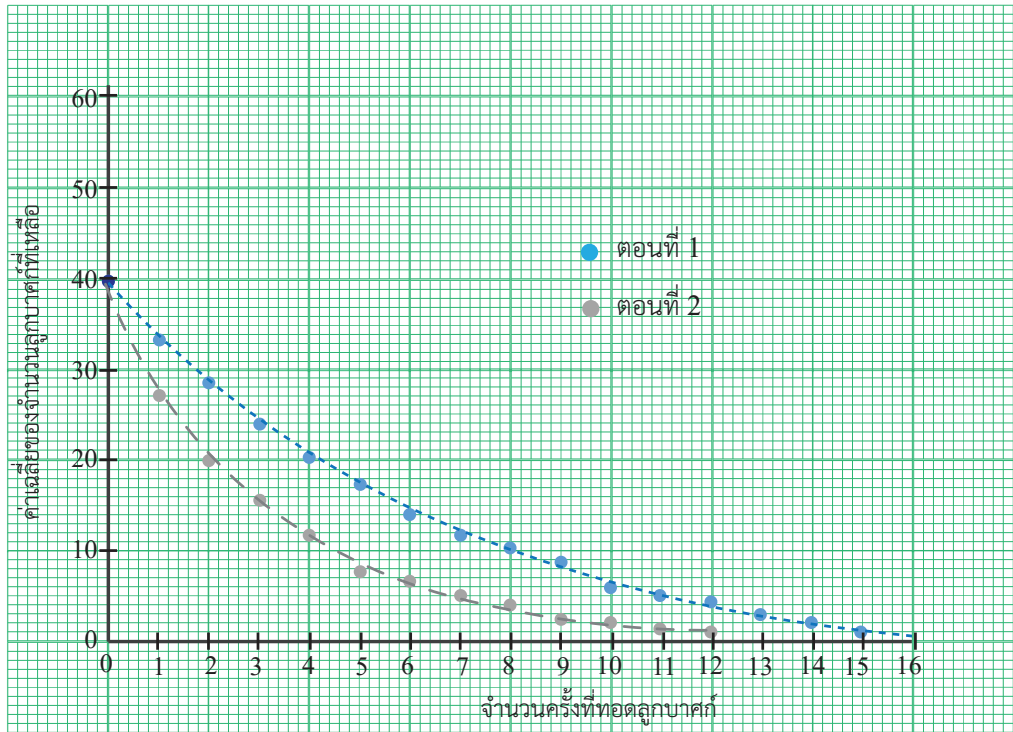
ตอนที่ 1 ลูกบาศก์แต้มสี 1 หน้า

จำนวน ครั้งที่ ทอด	จำนวนลูกบาศก์ที่เหลือของ การทอดครั้งที่			
	1	2	3	เฉลี่ย
0	40	40	40	40.00
1	34	32	34	33.33
2	29	28	29	28.67
3	25	24	23	24.00
4	21	21	19	20.33
5	18	19	15	17.33
6	15	16	11	14.00
7	12	13	10	11.67
8	11	11	9	10.33
9	10	8	8	8.67
10	7	5	6	6.00
11	5	4	6	5.00
12	4	4	5	4.33
13	2	3	4	3.00
14	2	1	3	2.00
15	1	1	1	1.00

ตอนที่ 2 ลูกบาศก์แต้มสี 2 หน้า

จำนวน ครั้งที่ ทอด	จำนวนลูกบาศก์ที่เหลือของ การทอดครั้งที่			
	1	2	3	เฉลี่ย
0	40	40	40	40.00
1	29	28	25	27.33
2	22	20	18	20.00
3	17	16	14	15.67
4	14	10	11	11.67
5	10	7	6	7.67
6	8	6	6	6.67
7	6	4	5	5.00
8	5	3	4	4.00
9	3	2	2	2.33
10	2	2	2	2.00
11	1	2	1	1.33
12	1	1	1	1.00

ตัวอย่างกราฟที่ได้จากผลการทำกิจกรรม



แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

- ครึ่งชีวิตของนิวเคลียสกัมมันตรังสีเปรียบได้กับปริมาณใดในการทอดลูกบาศก์
แนวคำตอบ จำนวนครั้งที่ทอดลูกบาศก์แล้วทำให้มีลูกบาศก์เหลืออยู่ครึ่งหนึ่งของจำนวนเริ่มต้น
- กราฟที่ได้จากกิจกรรมทั้ง 2 ตอน มีลักษณะเหมือนและแตกต่างกันอย่างไร
แนวคำตอบ กราฟที่ได้จากกิจกรรมทั้ง 2 ตอน มีลักษณะเหมือนกันคือ เป็นเส้นโค้งและตัดแกน y แต่มีลักษณะแตกต่างกันคือ กราฟในตอนที่ 2 จำนวนครั้งที่ทอดแล้วทำให้มีจำนวนลูกบาศก์ลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง น้อยกว่าตอนที่ 1
- จำนวนครั้งที่ทอดลูกบาศก์แล้วทำให้ลูกบาศก์ลดลงจาก 40 ลูก เหลือ 20 ลูก จาก 20 ลูก เหลือ 10 ลูก และ จาก 10 ลูก เหลือ 5 ลูก ในกิจกรรมตอนที่ 1 และตอนที่ 2 มีค่าประมาณเท่าใดบ้าง และมีค่าเป็นสัดส่วนกันอย่างไร

แนวคำตอบ จากกราฟในการทดลองทำให้ลูกบาศก์ลดลงจาก 40 ลูก เหลือ 20 ลูก จาก 20 ลูก เหลือ 10 ลูก และ จาก 10 ลูก เหลือ 5 ลูก มีจำนวนครั้งโดยประมาณในตอนที่ 1 และ 2 คือ 4 และ 2 ครั้งตามลำดับ สรุป ในตอนที่ 2 ใช้จำนวนครั้งเป็นครึ่งหนึ่งของตอนที่ 1 โดยประมาณ

อภิปรายหลังการทำกิจกรรม

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทำกิจกรรม โดยใช้คำถามท้ายกิจกรรม 20.2 จนสรุปได้ว่า

- จำนวนครั้งที่ทอดลูกบาศก์แล้วทำให้มีลูกบาศก์เหลืออยู่ครึ่งหนึ่งของจำนวนเริ่มทอดเปรียบได้กับ ช่วงเวลาที่นิวเคลียสสลายจนกระทั่งเหลือนิวเคลียสอยู่ครึ่งหนึ่งของจำนวนเริ่มต้น หรือ ครึ่งชีวิตของนิวเคลียสกัมมันตรังสี
- การที่กราฟของตอนที่ 1 มีความโค้งน้อยกว่ากราฟตอนที่ 2 เปรียบได้กับ นิวเคลียสกัมมันตรังสีในตอนที่ 1 มีครึ่งชีวิตมากกว่าในตอนที่ 2 ซึ่งในกิจกรรมพบว่า ครึ่งชีวิตของนิวเคลียสกัมมันตรังสีในตอนที่ 1 มีค่ามากกว่าครึ่งชีวิตในตอนที่ 2 ประมาณ 2 เท่า

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ครูควรชี้แจงข้อแตกต่างระหว่างการเปรียบเทียบการสลายของนิวเคลียส กับ กิจกรรมการทอดลูกบาศก์ โดยเฉพาะ การเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นว่า นิวเคลียสแม่ที่สลายจะได้หายไป ซึ่งแนวคิดที่ถูกต้องคือ นิวเคลียสแม่ที่สลาย จะเปลี่ยนไปเป็นนิวเคลียสลูก ที่มีองค์ประกอบหรือระดับพลังงานแตกต่างไปจากเดิม

ครูให้นักเรียนศึกษา กราฟของฟังก์ชันเอกโพเนนเชียลเปรียบเทียบกับกราฟการสลายของนิวเคลียสในรูป 20.18 ในหนังสือเรียน แล้วครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการหาจำนวนนิวเคลียสที่เหลือจากการสลาย กัมมันตภาพ และ มวลของธาตุหรือไอโซโทปกัมมันตรังสี เมื่อเวลาผ่านไป t ใด ๆ จนได้สมการ (20.9a) (20.9b) และ (20.9c) ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่า ในบางกรณีที่เวลาที่ผ่านไปเป็นจำนวนเท่าของครึ่งชีวิตของธาตุหรือไอโซโทปกัมมันตรังสี เราสามารถหาปริมาณต่าง ๆ ได้อีกวิธีหนึ่ง จากนั้นให้นักเรียนศึกษากราฟระหว่างจำนวนนิวเคลียสที่เหลืออยู่กับเวลาในรูป 20.20 และการหาจำนวนนิวเคลียสที่เหลืออยู่เมื่อ

เวลาผ่านไป ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แล้วนำอภิปรายจนสรุปได้สมการ $N = \frac{N_0}{2^n}$
 $A = \frac{A_0}{2^n}$ และ $m = \frac{m_0}{2^n}$

ครูตั้งคำถามให้นักเรียนพิจารณาว่า จำนวนนิวเคลียสที่เวลาครึ่งชีวิต เมื่อแทนค่าลงในสมการ (20.9a) จะได้ผลเป็นอย่างไร จากนั้น ครูนำนักเรียนอภิปราย จนได้ สมการ (20.10a) และ (20.10b) และข้อสรุปที่ว่า ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีมีค่าเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าคงตัวการสลาย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทำกิจกรรม 20.2

ครูให้นักเรียนศึกษาครึ่งชีวิตของธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีบางชนิดในตาราง 20.3 โดยอาจตั้งคำถามให้นักเรียนพิจารณาความแตกต่างระหว่างครึ่งชีวิตของธาตุและไอโซโทปแต่ละชนิด

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 20.8 และ 20.9 โดยมีครูแนะนำ จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 20.2 ข้อ 9 และทำแบบฝึกหัด 20.2 ข้อ 5 6 7 และ 8 ทั้งนี้ อาจมีการเฉลยคำตอบและอภิปรายคำตอบร่วมกัน

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสี รังสี การสลาย กัมมันตภาพ และ ครึ่งชีวิต จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 20.2
2. ทักษะการทดลอง การใช้จำนวน การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการทำกิจกรรม 20.1 และ 20.2
3. ทักษะการแก้ปัญหา จากการแก้โจทย์ปัญหาและการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับสมการการสลาย กัมมันตภาพ และ ครึ่งชีวิต ในแบบฝึกหัด 20.2
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล ความมุ่งมั่นอดทน และด้านความรอบคอบ จากการอภิปรายร่วมกัน และการทำกิจกรรม 20.1 และ 20.2
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความซื่อสัตย์ จากรายงานผลการทำกิจกรรม



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 20.2

1. บอกความหมายของคำต่อไปนี้

- ก. กัมมันตภาพรังสี
- ข. ไอโซโทปกัมมันตรังสี
- ค. รังสี
- ง. การแผ่รังสี

แนวคำตอบ ก. กัมมันตภาพรังสี หมายถึง ปรากฏการณ์ที่ธาตุแผ่รังสีได้เอง

ข. ไอโซโทปกัมมันตรังสี หมายถึง ไอโซโทปของธาตุที่สามารถแผ่รังสีได้เอง

ค. รังสีในทางฟิสิกส์นิวเคลียร์ หมายถึง อนุภาคความเร็วสูงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงที่เคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิด ส่วนรังสีในอีกความหมายหนึ่ง หมายถึง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอาจมีความถี่ต่ำหรือสูง เช่น รังสีอินฟราเรด รังสีอัลตราไวโอเลต

ง. การแผ่รังสี หมายถึง กระบวนการที่มีการปล่อยรังสีออกมาอย่างต่อเนื่อง

2. ข้อใดเป็นสมบัติของรังสีแอลฟา บีตา และแกมมา

- ก. มีอำนาจทะลุผ่านน้อยที่สุด
- ข. มีความสามารถในการทำให้แก๊สแตกตัวเป็นไอออนได้ดีที่สุด
- ค. ต้องใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นมากที่สุดในการกั้นรังสีชนิดนั้น
- ง. ไม่เบี่ยงเบนเมื่อผ่านเข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก
- จ. เมื่อเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก แนวการเคลื่อนที่จะเป็นแนวโค้งที่มีรัศมีความโค้งมากที่สุด
- ฉ. อัตราส่วนระหว่างประจุไฟฟ้าต่อมวลมีค่ามากที่สุด

แนวคำตอบ ข้อ ก. ข. และ จ. เป็นสมบัติของรังสีแอลฟา

ข้อ ฉ. เป็นสมบัติของรังสีบีตา

ข้อ ค. และ ง. เป็นสมบัติของรังสีแกมมา

ทั้งนี้ในการพิจารณารัศมีความโค้ง แนวการเคลื่อนที่ที่มีการโค้งน้อยหรือเบนออกจากแนวกึ่งกลางน้อย จะเป็นแนวการเคลื่อนที่ที่มีรัศมีความโค้งมาก ดังนั้น แนวทางการเคลื่อนที่ของแอลฟาที่เบนออกจากแนวกึ่งกลางน้อยกว่ารังสีบีตา จึงเป็นอนุภาคตามสมบัติในข้อ จ.

3. ธาตุกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งสลายให้บีตา เลขอะตอมและเลขมวลของธาตุใหม่เปลี่ยนไปจากธาตุเดิมเท่าใด

แนวคำตอบ ธาตุกัมมันตรังสีที่สลายให้บีตาจะมีเลขอะตอมเพิ่มขึ้น 1 แต่เลขมวลเท่าเดิม

4. เมื่อนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งสลายให้แกมมาแล้ว นิวเคลียสนั้นจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร

แนวคำตอบ เมื่อนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีสลายให้แกมมา นิวเคลียสนั้นจะมีระดับพลังงานลดลง โดยเลขมวลและเลขอะตอมคงเดิม

5. ข้อความใดต่อไปนี้เป็นธรรมชาติการสลายของธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสี

ก. หลังการสลายของนิวเคลียสแม่ นิวเคลียสลูกที่ได้อาจเป็นนิวเคลียสที่เสถียรหรือสลายต่อไปได้อีก

ข. ธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีมีการสลายให้รังสีไม่มีวันหมด

ค. เฉพาะการสลายให้แอลฟาหรือบีตาทำให้ได้นิวเคลียสของธาตุใหม่

ง. จำนวนนิวเคลียสที่สลายในหนึ่งหน่วยเวลาขึ้นอยู่กับจำนวนนิวเคลียสที่มีอยู่ทั้งหมดขณะนั้น

จ. การเพิ่มอุณหภูมิสามารถเพิ่มอัตราการสลายได้

แนวคำตอบ ข้อ ก. ค. และ ง. เป็นธรรมชาติของการสลายของธาตุกัมมันตรังสี

6. กัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสีคืออะไร และในทางปฏิบัติสามารถวัดได้อย่างไร

แนวคำตอบ กัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี คือ อัตราการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสีในขณะหนึ่ง ซึ่งสามารถวัดได้โดยอาศัยเครื่องมือหลายชนิด เช่น เครื่องนับรังสีแบบไกเกอร์

7. ถ้าเปรียบเทียบให้ลูกบาศก์ 6 หน้าเป็นนิวเคลียสกัมมันตรังสี และการหงายหน้าแต้มสี่เปรียบได้กับการสลาย ค่าคงตัวการสลายเปรียบได้กับปริมาณใดในการทอดลูกบาศก์

แนวคำตอบ ค่าคงตัวการสลายเปรียบได้กับความน่าจะเป็นที่ลูกบาศก์จะหงายหน้าแต้มสี่จากการทอดแต่ละครั้ง

8. เริ่มต้น มีนิวเคลียสกัมมันตรังสี X และ Y อย่างละ 1 ล้านนิวเคลียส เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง นิวเคลียส X เหลืออยู่จำนวน 550 000 นิวเคลียส ส่วนนิวเคลียส Y เหลืออยู่ 500 000 นิวเคลียส นิวเคลียสใดมีค่าคงตัวการสลายมากกว่ากัน อธิบาย

แนวคำตอบ เมื่อเวลาผ่านไปเท่ากัน นิวเคลียส Y มีการสลายไปมากกว่านิวเคลียส X ดังนั้นความน่าจะเป็นที่นิวเคลียส Y จะสลายในหนึ่งหน่วยเวลา จึงมากกว่าของนิวเคลียส X ค่าคงตัวการสลายของนิวเคลียส Y จึงมากกว่าของนิวเคลียส X

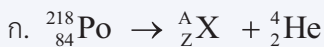
9. ไอโซโทปกัมมันตรังสี W มีครึ่งชีวิตน้อยกว่า ครึ่งชีวิตของไอโซโทปกัมมันตรังสี Z แสดงว่า ไอโซโทปชนิดใดสลายได้เร็วกว่ากัน อธิบาย

แนวคำตอบ ครึ่งชีวิตคือ เวลาที่ไอโซโทปกัมมันตรังสีสลายจนเหลือปริมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้น ดังนั้น ถ้าไอโซโทป W มีครึ่งชีวิตน้อยกว่าไอโซโทป Z แสดงว่า ไอโซโทป W ใช้เวลาสั้นกว่าไอโซโทป Z ในการสลายจนเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้น ดังนั้น ไอโซโทป W เป็นไอโซโทปที่สลายได้เร็วกว่าไอโซโทป Z



เฉลยแบบฝึกหัด 20.2

1. จงเขียนเลขอะตอมและเลขมวลในสมการการสลายต่อไปนี้



วิธีทำ ก. ในสมการการสลาย ผลรวมของเลขอะตอมและผลรวมของเลขมวลก่อนและหลังการสลายมีค่าเท่ากัน ดังนั้น หาเลขอะตอมและเลขมวลของแต่ละข้อได้ดังนี้

พิจารณาเลขอะตอม

จะได้ว่า $84 = Z - 2$

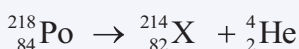
ดังนั้น $Z = 84 - 2$
 $= 82$

พิจารณาเลขมวล

จะได้ว่า $218 = A + 4$

ดังนั้น $A = 218 - 4$
 $= 214$

เขียนเลขอะตอมและเลขมวลในสมการการสลายได้ดังนี้



ข. พิจารณาเลขอะตอม

จะได้ว่า $92 = Z - 1$

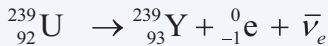
ดังนั้น $Z = 92 + 1$
 $= 93$

พิจารณาเลขมวล

$$\text{จะได้ว่า} \quad 239 = A + 0$$

$$\text{ดังนั้น} \quad A = 239$$

เขียนเลขอะตอมและเลขมวลในสมการการสลายได้ดังนี้



ค. พิจารณาเลขอะตอม

$$\text{จะได้ว่า} \quad 91 = Z + 0$$

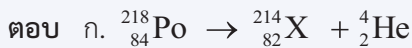
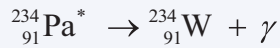
$$\text{ดังนั้น} \quad Z = 91$$

พิจารณาเลขมวล

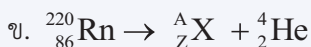
$$\text{จะได้ว่า} \quad 234 = A + 0$$

$$\text{ดังนั้น} \quad A = 234$$

เขียนเลขอะตอมและเลขมวลในสมการการสลายได้ดังนี้



2. จากสมการการสลายต่อไปนี้ให้ระบุว่า X เป็นธาตุใด และมี A กับ Z เท่าใด



วิธีทำ ก. ในสมการการสลาย ผลรวมของเลขอะตอมและผลรวมของเลขมวลก่อนและหลังการสลายมีค่าเท่ากัน ดังนั้น หา A และ Z ของแต่ละข้อได้ดังนี้

$$A = 210 + 0 = 210$$

$$Z = 83 - 1 = 82$$

X มีเลขอะตอมเท่ากับ 82 จากตารางธาตุ แสดงว่า X คือ ตะกั่ว (Pb)

ข. หา A และ Z ของแต่ละข้อได้ดังนี้

พิจารณาเลขมวล

$$\text{จะได้ว่า} \quad 220 = A + 4$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad A &= 220 - 4 \\ &= 216 \end{aligned}$$

พิจารณาเลขอะตอม

$$\text{จะได้ว่า} \quad 86 = Z + 2$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad Z &= 86 - 2 \\ &= 84 \end{aligned}$$

X มีเลขอะตอมเท่ากับ 84 จากตารางธาตุ แสดงว่า X คือ พอลอเนียม (Po)

ตอบ ก. X คือ ตะกั่ว โดย A เท่ากับ 210 และ Z เท่ากับ 82

ข. X คือ พอลอเนียม โดย A เท่ากับ 216 และ Z เท่ากับ 84

3. นิวเคลียสของทอเรียม-232 ($^{232}_{90}\text{Th}$) สลายให้แอลฟาแล้วเป็นนิวเคลียสของไอโซโทป X ซึ่งมีการสลายต่อให้บีตาแล้วเป็นนิวเคลียสของไอโซโทป Y จงเขียนสมการการสลายที่ระบุเลขอะตอมและเลขมวล

วิธีทำ หา A และ Z ของ X ได้ดังนี้

$$A = 232 - 4 = 228$$

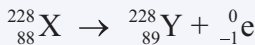
$$Z = 90 - 2 = 88$$

หา A และ Z ของ Y ได้ดังนี้

$$A = 228 - 0 = 228$$

$$Z = 88 + 1 = 89$$

ตอบ ดังนั้น สมการการสลายคือ



4. ตะกั่ว-214 ($^{214}_{82}\text{Pb}$) จำนวน 8.44×10^{10} อะตอม มีกัมมันตภาพ 1 มิลลิคูรี จงหาค่าคงตัวการสลาย

วิธีทำ จำนวนอะตอมของตะกั่ว-214 (N) เท่ากับ 8.44×10^{10} อะตอม

กัมมันตภาพ (A) 1 คูรี เท่ากับ 3.7×10^{10} เบ็กเคอเรล หรือ ต่อวินาที

ดังนั้น กัมมันตภาพ 1 มิลลิคูรี เท่ากับ 3.7×10^{10} เบ็กเคอเรล

แทนค่า N และ A ลงในสมการ $A = \lambda N$ จะได้

$$3.7 \times 10^{10} \text{ Bq} = \lambda (8.44 \times 10^{10})$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{3.7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}}{8.44 \times 10^{10}} \\ &= 4.38 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

ตอบ ค่าคงตัวการสลายของตะกั่ว-214 เท่ากับ 4.38×10^{-4} ต่อวินาที

5. ฟอสฟอรัส-32 ($^{32}_{15}\text{P}$) มีครึ่งชีวิต 14 วัน จะใช้เวลานานเท่าใด จึงจะเหลือฟอสฟอรัส-32 ร้อยละ 25 ของจำนวนเดิม

วิธีทำ

วิธีที่ 1 หาค่าคงตัวการสลายจากสมการ $T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ ซึ่งจัดรูปใหม่ได้เป็น $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}$

$$\text{แทนค่า } T_{\frac{1}{2}} = 14 \text{ day} \text{ จะได้ } \lambda = \frac{\ln 2}{14 \text{ day}}$$

ให้ N_0 เป็นจำนวนนิวเคลียสเริ่มต้นของฟอสฟอรัส -32

N เป็นจำนวนนิวเคลียสของฟอสฟอรัส -32 เมื่อเวลาผ่านไป t

จากสมการ $N = N_0 e^{-\lambda t}$ ถ้าที่เวลา t ฟอสฟอรัส -32 ลดลงเหลือร้อยละ 25 ของ

จำนวนเดิมหรือ $N = \frac{25}{100} N_0$ จะได้

$$\frac{25}{100} N_0 = N_0 e^{-(\frac{\ln 2}{14 \text{ day}})t}$$

$$e^{-(\frac{\ln 2}{14 \text{ day}})t} = 4$$

$$\left(\frac{\ln 2}{14 \text{ day}} \right) t = 2 \ln 2$$

$$t = 28 \text{ day}$$

วิธีที่ 2 ให้ N_0 เป็นจำนวนนิวเคลียสเริ่มต้นของฟอสฟอรัส-32

N เป็นจำนวนนิวเคลียสของฟอสฟอรัส-32 เมื่อเวลาผ่านไป t

การสลายของฟอสฟอรัส-32 จนเหลือ ร้อยละ 25 ของปริมาณเดิม

$$\text{จะได้ } N = \frac{25}{100} N_0$$

$$N = \frac{N_0}{2^2}$$

เนื่องจากจำนวนนิวเคลียสที่เหลือเป็นสัดส่วน 2^2 ของจำนวนนิวเคลียสเริ่มต้น

ดังนั้น เวลาที่ผ่านไปจึงต้องเป็นจำนวนเต็ม 2 เท่าของครึ่งชีวิต นั่นคือ

$$\begin{aligned} t &= 2T_{\frac{1}{2}} \\ &= 2(14 \text{ day}) \\ &= 28 \text{ day} \end{aligned}$$

ตอบ ใช้เวลานาน 28 วัน

6. ธาตุกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งมีครึ่งชีวิต 10 นาที มีจำนวนนิวเคลียสเริ่มต้นเท่ากับ 8×10^{20} นิวเคลียส จงหาว่า

ก. เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที มีนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีสลายไปกี่นิวเคลียส

ข. เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที มีนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีเหลือเท่าใด

วิธีทำ ก. เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ซึ่งเท่ากับครึ่งชีวิต ธาตุกัมมันตรังสีจะสลายไปครึ่งหนึ่งของจำนวนเริ่มต้น ดังนั้น จะมีจำนวนนิวเคลียสที่สลายไปเท่ากับ

$$\frac{1}{2} 8 \times 10^{20} = 4.0 \times 10^{20}$$

ข. เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ซึ่งเท่ากับ 3 เท่าของครึ่งชีวิต ธาตุกัมมันตรังสีจะสลายไปจนเหลือจำนวน $\frac{1}{2^3}$ เท่าของจำนวนเริ่มต้น ดังนั้น จะมีจำนวนนิวเคลียสที่เหลืออยู่เท่ากับ

$$\frac{1}{2^3} 8 \times 10^{20} = 1.0 \times 10^{20}$$

ตอบ ก. เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที มีนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีสลายไป 4×10^{20} นิวเคลียส

ข. เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที มีนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีเหลืออยู่ 1×10^{20} นิวเคลียส

7. ไอโอดีน-131 ($^{131}_{53}\text{I}$) มีจำนวนนิวเคลียส 3.69×10^{10} นิวเคลียส และมีกัมมันตภาพ 1 ไมโครคูรี จงหาครึ่งชีวิตของไอโอดีน -131

วิธีทำ ให้ A_0 เป็นกัมมันตภาพเริ่มต้นของไอโอดีน-131

N_0 เป็นจำนวนนิวเคลียสเริ่มต้นของไอโอดีน-131

λ เป็นค่าคงตัวการสลายของไอโอดีน -131

หาครึ่งชีวิตของไอโอดีน-131 ได้จากสมการ $A_0 = \lambda N_0$ และ $\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$

จาก

$$A_0 = \lambda N_0$$

$$A_0 = \left(\frac{0.693}{T_{1/2}} \right) N_0$$

จะได้

$$T_{1/2} = \frac{0.693 N_0}{A_0}$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} T_{1/2} &= \frac{(0.693)(3.69 \times 10^{10} \text{ nucleus})}{(1 \times 10^{-6} \text{ Ci}) \left(\frac{3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}}{1 \text{ Ci}} \right)} \\ &= 6.911 \times 10^5 \text{ s} \end{aligned}$$

ตอบ ครึ่งชีวิตของไอโอดีน-131 เท่ากับ 6.91×10^5 วินาที (หรือ 8 วัน)

8. พอลโลเนียม-210 ($^{210}_{84}\text{Po}$) มีครึ่งชีวิต 140 วัน เริ่มต้นมีจำนวน 20.0 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 120 วัน จะเหลือพอลโลเนียม -210 อยู่กี่กรัม กำหนด $e^{-0.594}$ เท่ากับ 0.552

วิธีทำ ถ้า m_0 เป็นมวลเริ่มต้นของโพโลเนียม-210 และ m เป็นมวลของโพโลเนียม-210

ที่เวลา t ใดๆ มหมวลของโพโลเนียมที่เหลือจากสมการ $m = m_0 e^{-\lambda t}$ และ $\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$

$$\text{จาก} \quad m = m_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

$$\text{หา } \lambda t \text{ จากสมการ} \quad \lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

$$\begin{aligned} \lambda t &= \left(\frac{0.693}{T_{1/2}} \right) t \\ &= \left(\frac{0.693}{140 \text{ day}} \right) (120 \text{ day}) \\ &= 0.594 \end{aligned} \quad (2)$$

แทนค่า λt จากสมการ (2) ในสมการ (1) จะได้

$$\begin{aligned} m &= m_0 e^{-\lambda t} \\ &= (20.00 \text{ g})(0.552) \\ &= 11.04 \text{ g} \end{aligned}$$

ตอบ พอลโลเนียม -210 เหลืออยู่เท่ากับ 11.0 กรัม

20.3 ปฏิกริยานิวเคลียร์และพลังงานนิวเคลียร์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกความหมายของปฏิกริยานิวเคลียร์
2. อธิบายฟิชชันและความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากฟิชชัน
3. คำนวณพลังงานนิวเคลียร์ที่ปลดปล่อยออกมาจากฟิชชัน
4. อธิบายฟิวชันและความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากฟิวชัน
5. คำนวณพลังงานนิวเคลียร์ที่ปลดปล่อยออกมาจากฟิวชัน
6. บอกแนวทางการนำพลังงานนิวเคลียร์ไปใช้ประโยชน์

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. เตรียมคลิปวิดีโอทัศน์หรือภาพของข่าวเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์ โดยอาจใช้คลิปวิดีโอ ดังนี้
 - คลิปโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เช่น คลิปที่ลิงค์ <https://youtu.be/MDcJTdUi9DE> หรือ https://youtu.be/_AdA5d_8Hm0
 - คลิปเรือขนาดใหญ่ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานนิวเคลียร์ เช่น คลิปที่ลิงค์ <https://youtu.be/6G9B1fyqV4g>
2. ถ้ามีการจัดกิจกรรมได้วาที เกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย ให้เตรียมแหล่งสืบค้นข้อมูลให้พร้อม และอาจติดต่อครูสอนวิชาภาษาไทย ในการร่วมจัดกิจกรรมและประเมินการได้วาที
3. ถ้ามีการทำกิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู แบบจำลองฟิชชันและฟิวชัน ให้เตรียมวัสดุอุปกรณ์ให้พร้อมได้แก่

- ลูกปัดสี หรือ ลูกแก้ว ที่มีสีแตกต่างกันอย่างน้อย 2 สี	30 อัน
- ไหมพรมสีแตกต่างกันอย่างน้อย 2 สี	1 ม้วน
- กาว	1 หลอด
- กระดาษเทาขาวแผ่นใหญ่	1 แผ่น
- สีเมจิก	1 ชุด
- กระดาษโน้ตสี	1 ชุด

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 20.3 โดยให้นักเรียนชมคลิปวิดีโอทัศน์หรือรูปเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์ เช่น โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ หรือ เรือขนาดใหญ่ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานนิวเคลียร์ จากนั้น ตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า พลังงานนิวเคลียร์ที่นำมาใช้ประโยชน์นี้เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของอะไร อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบคำถามอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า พลังงานนิวเคลียร์เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียส จากนั้น ครูทบทวนเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสในหัวข้อที่ผ่านมา ซึ่งเป็นการสลายที่นิวเคลียสมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบตามธรรมชาติ ไม่ขึ้นกับปัจจัยภายนอก เช่น ความดัน อุณหภูมิ หรือการกระทำของมนุษย์ จากนั้น ครูตั้งคำถามว่า ถ้านิวเคลียสได้รับการกระตุ้นจากการกระทำของมนุษย์ นิวเคลียสจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้หรือไม่ อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบคำถามอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษา การทดลองปล่อยอนุภาคแอลฟาไปชนกับนิวเคลียสของไนโตรเจน-14 ของรัทเทอร์ฟอร์ด และผลการวิเคราะห์ของเบ็กเกต ตามรูป 20. 21 ในหนังสือเรียนรวมทั้ง ความหมายของปฏิกิริยานิวเคลียร์ ในหนังสือเรียน จากนั้น ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายสิ่งที่ได้จากการศึกษา

ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับการเปลี่ยนนิวเคลียสของธาตุหนึ่งเป็นนิวเคลียสของธาตุอื่น เช่นทองคำ นำไปสู่การค้นพบธาตุใหม่ ๆ ที่ไม่มีในธรรมชาติ รวมทั้งการค้นพบปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่ให้พลังงานออกมา ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้น นำนักเรียนเข้าสู่หัวข้อ 20.3.1 ฟิชชัน

20.3.1 ฟิชชัน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. นิวตรอนที่ใช้กระตุ้นทำให้เกิดฟิชชันเป็นนิวตรอนมีพลังงานสูง	1. นิวตรอนที่ทำให้เกิดฟิชชัน มีพลังงานต่ำ เรียกว่า slow neutron หรือ thermal neutron
2. ฟิชชันเกิดจากนิวตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงไปชนกับนิวเคลียส ทำให้นิวเคลียสแตกออก เหมือนกระสุนปืนถูกยิงไปที่วัตถุทรงกลม แล้วทำให้วัตถุนั้นแตกออก	2. ฟิชชันเกิดขึ้นเมื่อ นิวตรอนที่มีพลังงานต่ำเคลื่อนที่ไปพบกับนิวเคลียส ทำให้นิวเคลียสดูดซับนิวตรอนไว้ กลายเป็นนิวเคลียสที่ไม่เสถียร จึงเกิดการแยกออกจากกัน
3. ปฏิกิริยาลูกโซ่เกิดขึ้นได้เมื่อมีนิวตรอนพลังงานสูงจากฟิชชันครั้งแรก พุ่งชนกับนิวเคลียสอื่น ๆ ของธาตุหนักที่อยู่รอบ ๆ	3. ปฏิกิริยาลูกโซ่ เกิดขึ้นได้ เมื่อนิวตรอนจากฟิชชันครั้งแรกถูกหน่วงให้มีความเร็วลดลงเป็นนิวตรอนพลังงานต่ำ แล้วเคลื่อนที่ไปพบกับนิวเคลียสอื่น ๆ ของธาตุหนักที่อยู่รอบ ๆ ทำให้เกิดฟิชชัน ครั้งต่อ ๆ ไป

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อ 12 - 14 ของหัวข้อ 20.3 ตามหนังสือเรียน

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 20.3.1 โดยให้นักเรียนศึกษาการทดลองของแฟรมีที่ปล่อยนิวตรอนไปพบกับนิวเคลียสของธาตุต่าง ๆ การวิเคราะห์หาชนิดของธาตุของธาตุนั้นกับสตราสมันน์ และการอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยไมท์เนอร์และฟริช ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้น ให้ครูนำอภิปรายสรุปเกี่ยวกับฟิชชัน โดยครูควรเน้น ดังนี้

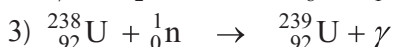
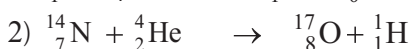
- การค้นพบฟิชชัน เกิดจากความพยายามของนักวิทยาศาสตร์ที่พยายามจะผลิตธาตุใหม่
- การที่นักวิทยาศาสตร์ใช้นิวตรอนเป็นอนุภาคที่ปล่อยไปพบกับนิวเคลียสของยูเรเนียม เพราะนิวตรอนไม่มีประจุไฟฟ้า สามารถเคลื่อนที่เข้าไปพบนิวเคลียสของยูเรเนียมที่มีประจุบวกได้ง่ายกว่าอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า
- การเกิดฟิชชัน เกิดขึ้นกับนิวเคลียสของธาตุหนักและทำให้ได้นิวเคลียสใหม่ที่แตกต่างกัน

ครูอาจตั้งคำถามให้มีการอภิปรายเพิ่มเติม เช่น

ก. ฟิชชันเกิดขึ้นได้กับนิวเคลียสของธาตุแบบใด

แนวคำตอบ ธาตุหนัก (หรือ ธาตุที่มีเลขมวลมากกว่า 150)

ข. ปฏิกิริยานิวเคลียร์ต่อไปนี้ เป็นฟิชชันหรือไม่



แนวคำตอบ ปฏิกิริยานิวเคลียร์ทั้ง 1) 2) และ 3) นี้ไม่จัดเป็นฟิชชัน เนื่องจากปฏิกิริยา 1) และ 2) มีแต่ธาตุเบา ไม่มีธาตุหนักเกี่ยวข้อง ส่วนปฏิกิริยา 3) ถึงแม้จะมีธาตุหนักเกี่ยวข้อง แต่นิวเคลียสของธาตุตั้งต้นไม่ได้แยกออกเป็นนิวเคลียสใหม่ 2 นิวเคลียสที่มีมวลใกล้เคียงกัน

ค. ผลผลิตที่ได้จากฟิชชันของยูเรเนียม-235 มีอะไรบ้าง และเหมือนกันทุกครั้งหรือไม่

แนวคำตอบ ผลผลิตที่ได้จากฟิชชัน ได้แก่ พลังงาน นิวตรอนไม่เกิน 3 นิวตรอน และนิวเคลียสใหม่ 2 นิวเคลียส ที่มีเลขอะตอมและเลขมวลน้อยกว่านิวเคลียสตั้งต้น โดยผลรวมของเลขอะตอมของนิวเคลียสใหม่ทั้งสองจะเท่ากับเลขอะตอมของนิวเคลียสตั้งต้น ทั้งนี้ ชนิดของสองนิวเคลียสใหม่ที่ได้จากฟิชชันแต่ละครั้ง อาจแตกต่างกันได้หลายแบบ

ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับตัวอย่างการเกิดฟิชชันของยูเรเนียม-235 ตามรูป 20.22 ในหนังสือเรียน และสมการแทนการเกิดฟิชชัน รวมทั้ง พลังงานนิวเคลียร์ และ ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานนิวเคลียร์กับมวลที่ลดลงหลังการเกิดฟิชชัน จนสรุปได้สมการ (20.11) ทั้งนี้ ครูควรเน้นว่า ในการเขียนสมการแสดงปฏิกิริยานิวเคลียร์ ผลรวมของเลขมวลและผลรวมของเลขอะตอมก่อนและหลังปฏิกิริยามีค่าเท่ากัน

ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมว่า ส่วนของมวลที่ลดลงหลังการเกิดฟิชชันนี้ สามารถเรียกว่า **ส่วนพร่องมวล** (mass defect) ได้เช่นเดียวกับกรณีหวัข้อพลังงานยึดเหนี่ยว นอกจากนี้ พลังงานส่วนใหญ่ที่ปลดปล่อยออกมาจากฟิชชัน (ประมาณ 84%) เป็นพลังงานจลน์ของนิวเคลียส 2 นิวเคลียสที่แยกออกมา ส่วนที่เหลือจะเป็นพลังงานจลน์ของนิวตรอน พลังงานของรังสีแกมมาและอนุภาคอื่น ๆ

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 20.10 โดยมีครูแนะนำ จากนั้นครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับการเปรียบเทียบพลังงานนิวเคลียร์ที่ได้จากฟิชชันของนิวเคลียสยูเรเนียม 1 นิวเคลียส กับพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีของการเผาไหม้คาร์บอน 1 อะตอม ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้น ครูนำอภิปราย โดยใช้รูป 20.23 – 20.24 หรือสื่ออื่นที่ครูจัดหา มา เพื่อศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาลูกโซ่ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ และการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ โดยอาจใช้คำถามต่อไปนี้

- ก. ถ้าในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ไม่มีตัวหน่วงความเร็วนิวตรอน จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้หรือไม่
แนวคำตอบ ไม่ได้ เพราะตัวหน่วงความเร็วนิวตรอน ช่วยให้นิวตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจากฟิชชันมีความเร็วลดลง เหมาะสมกับการทำให้เกิดฟิชชันในครั้งต่อไป
- ข. ถ้าการเกิดฟิชชันของนิวเคลียสชนิดหนึ่ง มีการปล่อยนิวตรอนออกมาเพียงอนุภาคเดียวในแต่ละครั้ง เราสามารถนำนิวเคลียสชนิดนี้ไปสร้างปฏิกิริยาลูกโซ่อย่างทวีคูณได้หรือไม่
แนวคำตอบ ไม่ได้ เพราะการเกิดฟิชชันแต่ละครั้ง จะได้นิวตรอนเพียงอนุภาคเดียว ที่ทำให้เกิดฟิชชันอีกครั้ง และเป็นเช่นนี้ ต่อเนื่องกันไป จึงเป็นฟิชชันแบบต่อเนื่อง แต่ไม่ทวีคูณ
- ค. แท่งควบคุม ช่วยในการควบคุมปฏิกิริยาลูกโซ่อย่างไร
แนวคำตอบ แท่งควบคุมดูดซับนิวตรอนที่ปล่อยออกมาจากฟิชชัน ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ลดลง
- ง. ไอน้ำหรือน้ำที่ปล่อยออกมาจากส่วนระบายความร้อนของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ มีอันตรายหรือไม่อย่างไร
แนวคำตอบ ไอน้ำหรือน้ำที่ปล่อยออกมาจากส่วนระบายความร้อน อยู่ในระบบท่อส่งน้ำที่แยกออกจากระบบท่อส่งน้ำในส่วนผลิตไฟฟ้าและส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนั้น ไอน้ำหรือน้ำที่ปล่อยออกมาจึงไม่อันตราย

ข้อแนะนำเพิ่มเติมสำหรับครู

ครูอาจจัดกิจกรรมโต้วาทีในหัวข้อที่เกี่ยวกับการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย เช่น หัวข้อจะเป็นผลดีถ้าไทยมีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์กับการแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยในการโต้วาที ครูสามารถประเมินทักษะอื่น ๆ ที่สำคัญ เช่น ทักษะการสื่อสาร สารสนเทศ และการรู้เท่าทันสื่อ ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา ทักษะด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ

ทั้งนี้ ครูอาจพิจารณาบูรณาการกิจกรรมนี้กับวิชาภาษาไทย โดยอาจเชิญครูภาษาไทยมาเป็นกรรมการที่ปรึกษา เช่น การปรึกษาในการตั้งหัวข้อ กำหนดกติกา ควบคุมการโต้เถียง และให้ข้อคิดเห็นกับข้อเสนอแนะ

หลังการโต้เถียง ครูนำอภิปรายและสรุป ซึ่งมีตัวอย่างผลการสรุปการโต้เถียงการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย ดังนี้

ข้อดี (ฝ่ายเสนอ)

- สามารถช่วยแก้ปัญหาด้านพลังงานได้ เพราะไม่ใช่เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์
- ช่วยลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ เพราะโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ไม่มีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
- มีต้นทุนของการผลิตต่ำเมื่อคิดในระยะยาว
- สร้างความมั่นคงด้านพลังงาน เพราะโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง

ข้อจำกัด (ฝ่ายค้าน)

- ทำให้เกิดกากกัมมันตรังสี ที่อาจมีปัญหาเรื่องการจัดการเรื่องการเก็บ
- ถ้าเกิดอุบัติเหตุขึ้น อาจทำให้เกิดความเสียหายที่รุนแรงและยาวนาน
- ต้องใช้เงินลงทุนสูงในช่วงเริ่มต้น

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

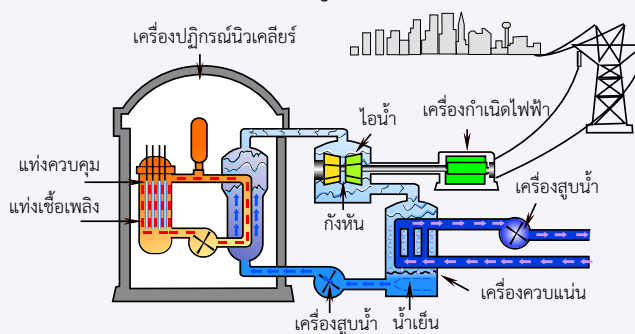
ประเภทของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

(เรียบเรียงจาก โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย

โดย ดร.สมพร จอคำ และ คุณอารีรัตน์ คอนดวงแก้ว)

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในปัจจุบัน แบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

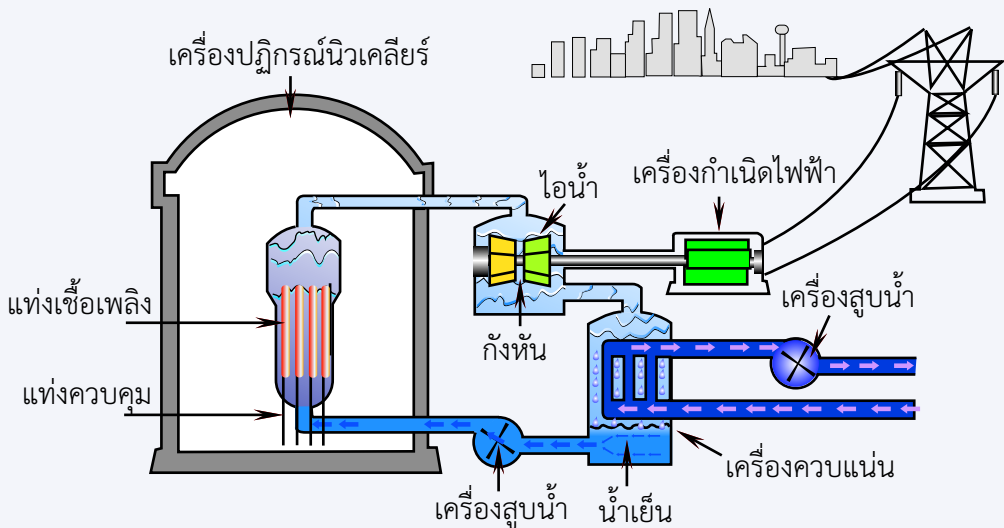
1. โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำความดันสูง



รูป โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำความดันสูง

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำความดันสูง (Pressurized Water Reactor : PWR) โรงไฟฟ้าชนิดนี้จะถ่ายโอนความร้อนจากแท่งเชื้อเพลิงให้น้ำ จนมีอุณหภูมิสูงประมาณ 320 องศาเซลเซียส ภายในถังขนาดใหญ่จะอัดความดันสูงประมาณ 15 เมกะพาสคัล (MPa) หรือประมาณ 150 เท่าของความดันบรรยากาศไว้ เพื่อไม่ให้น้ำเดือดกลายเป็นไอ และนำน้ำส่วนนี้ไปถ่ายโอนความร้อนให้แก่ น้ำหล่อเย็นอีกระบบหนึ่ง เพื่อให้เกิดการเดือดและกลายเป็นไอน้ำออกมา เป็นการป้องกันไม่ให้น้ำในถังปฏิกรณ์ ซึ่งมีสารรังสีเจือปนอยู่แพร่กระจายไปยังอุปกรณ์ส่วนอื่น ๆ ตลอดจนป้องกันการรั่วของสารกัมมันตรังสีสู่สิ่งแวดล้อม

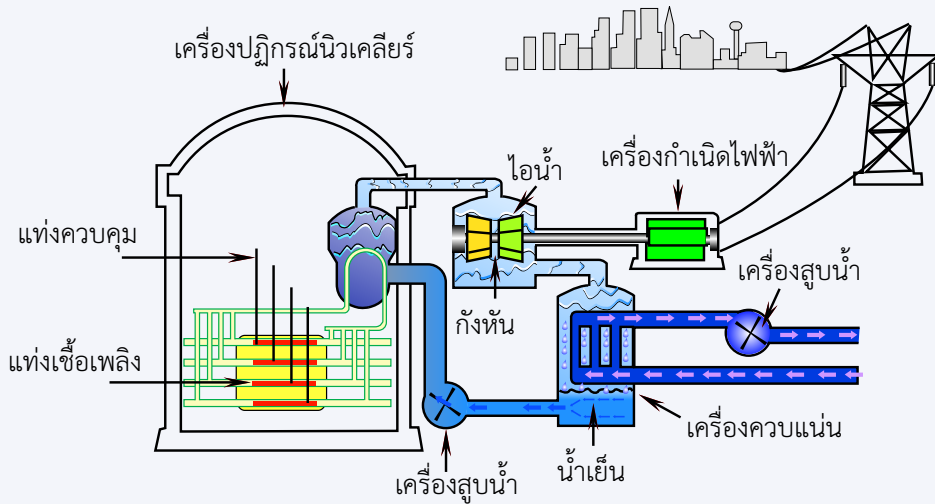
2. โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำเดือด



รูป โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำเดือด

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำเดือด (Boiling Water Reactor : BWR) สามารถผลิตไอน้ำได้โดยตรงจากการต้มน้ำภายในถังซึ่งควบคุมความดันภายใน (ประมาณ 7 MPa) ต่ำกว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบแรก (PWR) ดังนั้น ความจำเป็นในการใช้เครื่องผลิตไอน้ำ และแลกเปลี่ยนความร้อน ป้อนและอุปกรณ์ช่วยอื่น ๆ ก็ลดลง แต่จำเป็นต้องมีการก่อสร้างอาคารป้องกันรังสีไว้ในระบบอุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ ของโรงไฟฟ้า เนื่องจากไอน้ำจากถังปฏิกรณ์ จะถูกส่งผ่านไปยังอุปกรณ์เหล่านั้นโดยตรง

3. โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำมวลหนักความดันสูง



รูป โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำมวลหนักความดันสูงหรือแบบแคนดู

โรงไฟฟ้าแบบน้ำมวลหนักความดันสูง (Pressurized Heavy Water Reactor : PHWR) โรงไฟฟ้าแบบนี้ ประเทศแคนาดาเป็นผู้พัฒนา จึงมักเรียกชื่อว่า “CANDU” ซึ่งย่อมาจาก Canadian Deuterium Uranium มีการทำงานคล้ายกับแบบ PWR แต่แตกต่างกันที่ มีการจัดแกนปฏิกรณ์ในแนวระนาบ และมีการต้มน้ำภายในท่อขนาดเล็กจำนวนมากที่มีเชื้อเพลิงบรรจุอยู่ แทนการต้มน้ำภายในถังปฏิกรณ์ขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถผลิตได้ง่ายกว่าการผลิตถังขนาดใหญ่ โดยใช้น้ำมวลหนัก (heavy water, D_2O) มาเป็นตัวระบายความร้อนจากแกนปฏิกรณ์ นอกจากนี้ยังมีการแยกระบบใช้น้ำมวลหนักเป็นตัวหน่วงความเร็วของนิวตรอนด้วย เนื่องจากน้ำมวลหนักมีการดูดกลืนนิวตรอนน้อยกว่าน้ำธรรมดา ทำให้ปฏิกิริยานิวเคลียร์เกิดขึ้นได้ง่าย จึงสามารถใช้เชื้อเพลิงยูเรเนียมที่สกัดมาจากธรรมชาติ ซึ่งมียูเรเนียม-235 ประมาณร้อยละ 0.7 ได้โดยไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้ปริมาณผลผลิตจากการแตกตัว (fission product) ที่เกิดในแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว มีน้อยกว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบใช้น้ำธรรมดา

20.3.2 ฟิวชัน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. การเกิดฟิวชัน ไม่มีธาตุหรือไอโซโทปกัมมันตรังสีมาเกี่ยวข้อง	1. การเกิดฟิวชันมีธาตุหรือไอโซโทปกัมมันตรังสีมาเกี่ยวข้อง เช่น ฟิวชันระหว่างดิวเทรียมกับทริเทียม ซึ่งทริเทียมเป็นนิวเคลียสของทริเทียมที่เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี และ ฟิวชันบางชนิดทำให้เกิดนิวเคลียสของไอโซโทปกัมมันตรังสี
2. มวลรวมของอนุภาคต่าง ๆ หลังเกิดฟิวชันมากกว่า มวลรวมก่อนเกิดฟิวชัน	2. มวลรวมของอนุภาคต่าง ๆ หลังเกิดฟิวชันน้อยกว่า มวลรวมก่อนเกิดฟิวชัน เพราะมีการปลดปล่อยพลังงาน
3. ฟิวชันให้พลังงานมากกว่าฟิชชันเสมอ	3. ฟิวชันให้พลังงานต่อมวลมากกว่าฟิชชัน แต่มีบางกรณีที่ฟิวชันให้พลังงานต่อมวลน้อยกว่าฟิชชัน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 15 และ 16 ของหัวข้อ 20.3 ตามหนังสือเรียน จากนั้น ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 20.3.2 โดยนำอภิปรายทบทวนเกี่ยวกับปฏิกิริยานิวเคลียร์และฟิชชัน ถัดมา ครูตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า ถ้านิวเคลียสที่มีมวลน้อยมารวมกันเป็นนิวเคลียสที่มีมวลมาก จะเกิดขึ้นได้หรือไม่ และจะมีการให้หรือรับพลังงาน อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษาการพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับฟิวชัน ความหมายของฟิวชัน และ พลังงานนิวเคลียร์จากฟิวชัน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แล้วอภิปรายร่วมกันจนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับการเกิดฟิวชันและความสัมพันธ์ระหว่างส่วนของมวลที่ลดลงกับพลังงานนิวเคลียร์ที่ปลดปล่อยออกมาจากฟิวชันตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมว่า ในบางกรณี พลังงานต่อมวลที่ได้จากฟิวชัน อาจน้อยกว่า พลังงานต่อมวลที่ได้จากฟิชชัน

ครูควรชี้ให้เห็นว่า เงื่อนไขสำคัญที่ทำให้เกิดฟิวชันบนดวงอาทิตย์และดาวฤกษ์ได้นั้น เป็นเพราะอุณหภูมิของดวงอาทิตย์และดาวฤกษ์สูงมาก ทำให้นิวเคลียสของธาตุเบามีความเร็วสูงมากจนสามารถเคลื่อนที่เข้ามาหลอมรวมกันได้ ถึงแม้จะมีแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างนิวเคลียส

ครูอาจถามคำถามชวนคิดให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยครูเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง



แนวคำตอบชวนคิด

การที่ดวงอาทิตย์ปลดปล่อยพลังงานออกมาตลอดเวลาส่งผลต่อมวลของดวงอาทิตย์อย่างไร

แนวคำตอบ พลังงานที่ดวงอาทิตย์ปลดปล่อยออกมา มาจากฟิวชัน ซึ่งมีมวลบางส่วนของนิวเคลียสของธาตุบนดวงอาทิตย์ที่เกิดฟิวชันเปลี่ยนไปเป็นพลังงาน ดังนั้นการปลดปล่อยพลังงานออกมาตลอดเวลาของดวงอาทิตย์ จะทำให้มวลของดวงอาทิตย์ลดลงเรื่อย ๆ



กิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู แบบจำลองฟิชชันและฟิวชัน

จุดประสงค์

1. สร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายฟิชชันและฟิวชัน

เวลาที่ใช้ 30 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|---|--------|
| 1. ลูกปัดสี หรือ ลูกแก้ว
ที่มีสีแตกต่างกันอย่างน้อย 2 สี | 30 อัน |
| 2. โหมมพรมสีแตกต่างกันอย่างน้อย 2 สี | 1 ม้วน |
| 3. กาว | 1 หลอด |
| 4. กระดาษเทาขาวแผ่นใหญ่ | 1 แผ่น |
| 5. สีเมจิก | 1 ชุด |
| 6. กระดาษไนต์สี | 1 ชุด |

วิธีทำกิจกรรม

แนวทางที่ 1

1. แบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละประมาณ 11 คน (หรือมากกว่า) โดยให้สมาชิกในกลุ่มแทนอนุภาคในนิวเคลียส และอาจใช้อุปกรณ์อื่น ๆ รอบตัวแทนพลังงาน
2. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มปรึกษากันเพื่ออุปมาอุปไมยแสดงการเกิดฟิชชันของนิวเคลียสของธาตุที่มีเลขมวล 230 - 240 และฟิวชันระหว่างนิวเคลียสของธาตุที่มีเลขมวล 2 - 4 ด้วยการแสดงของนักเรียนในกลุ่ม จากนั้นให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ
3. หลังการนำเสนอ ให้นักเรียนในกลุ่มอื่นวิจารณ์การแสดง

แนวทางที่ 2

1. แบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 3 - 4 คน จากนั้น ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มสร้างแบบจำลองการเกิดฟิชชันและฟิวชันของนิวเคลียสของธาตุบางชนิดบนกระดาษเทาขาวแผ่นใหญ่ โดยใช้ลูกปัดสี หรือ ลูกแก้ว หรือ กระดาษตัดเป็นวงกลมที่มีสีแตกต่างกัน แทนนิวตรอนและโปรตอน ใช้ไหมพรมเป็นเส้นระบุลำดับการเกิดกระบวนการ
2. หลังจากทีแต่ละกลุ่มสร้างแบบจำลองเสร็จแล้ว ให้นำผลงานไปติดที่ผนังห้อง
3. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเดินหมุนเวียนพิจารณาผลงานของนักเรียนกลุ่มอื่น และเขียนแสดงความคิดเห็นลงในกระดาษโน้ตสีแล้วติดไว้ข้างผลงานของแต่ละกลุ่ม

ครูให้นักเรียนศึกษาตัวอย่าง 20.11 โดยครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ จากนั้น ครูให้นักเรียนพิจารณาการเปรียบเทียบระหว่างพลังงานต่อมวลที่ปลดปล่อยออกมาจากฟิชชันของยูเรเนียม-235 กับพลังงานต่อมวลที่ปลดปล่อยออกมาจากฟิวชันระหว่างดิวเทอเรียมกับทริเทียม ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แล้วอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับข้อดีและข้อจำกัด หากสามารถนำพลังงานนิวเคลียร์จากฟิวชันมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งควรสรุปได้ดังนี้

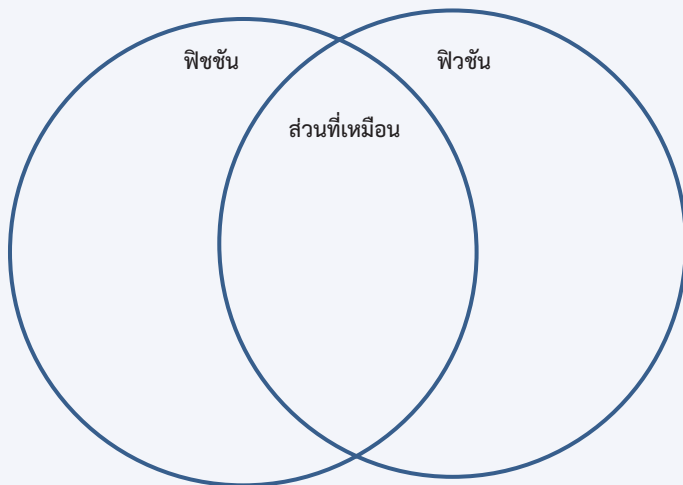
- พลังงานต่อมวลที่ได้จากฟิวชันระหว่างดิวเทอเรียมกับทริเทียมมีมากกว่าพลังงานต่อมวลที่ได้จากฟิชชันของยูเรเนียม-235 ประมาณ 4 - 5 เท่า
- หากสามารถนำพลังงานนิวเคลียร์จากฟิวชันระหว่างดิวเทอเรียมกับทริเทียมมาใช้ประโยชน์ได้ จะมีข้อดีและข้อจำกัด ดังนี้
 - ข้อดี
 - สามารถช่วยแก้ปัญหาด้านพลังงานได้ เพราะใช้น้ำเป็นวัตถุดิบ
 - ช่วยลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ เพราะพลังงานนิวเคลียร์จากฟิวชันไม่มีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
 - กากกัมมันตรังสีอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

ข้อจำกัด

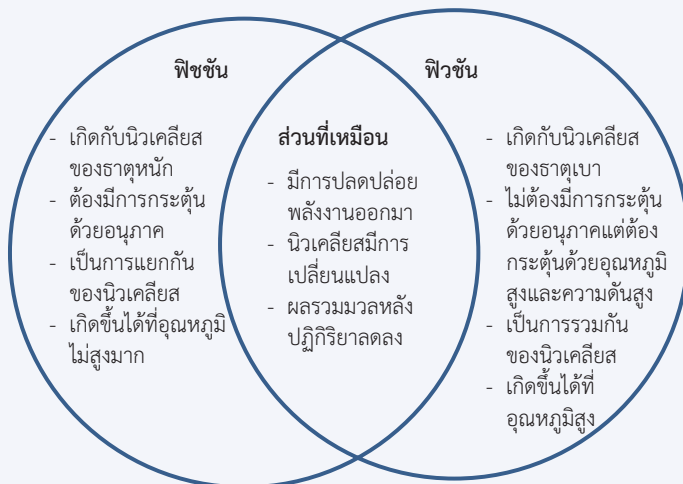
- มีค่าใช้จ่ายสูงในการสร้างสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดฟิวชัน

ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและทำแบบฝึกหัด 20.3 ทั้งนี้ ครูอาจให้นักเรียนเขียนแผนภาพ เพื่อเปรียบเทียบส่วนที่เหมือนและส่วนที่แตกต่างระหว่างฟิชชันกับฟิวชัน ดังตัวอย่างแผนภาพด้านล่าง

ตัวอย่างแผนภาพแสดงการเปรียบเทียบฟิชชันกับฟิวชัน



ตัวอย่าง แนวคำตอบ



แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับปฏิกิริยานิวเคลียร์ ฟิชชัน ฟิวชัน และ พลังงานนิวเคลียร์ จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 20.3
2. ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการแก้โจทย์ปัญหาและการคำนวณปริมาณต่าง ๆ เกี่ยวกับ ฟิชชัน ฟิวชัน และ พลังงานนิวเคลียร์ ในแบบฝึกหัด 20.3
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล จากการอภิปรายร่วมกัน และด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด 20.3



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 20.3

1. จงให้ความหมายของปฏิกิริยานิวเคลียร์

แนวคำตอบ ปฏิกิริยานิวเคลียร์ คือ กระบวนการที่นิวเคลียสมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในเมื่อได้รับการกระตุ้น

2. ในการเกิดฟิชชัน นิวเคลียสมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

แนวคำตอบ นิวเคลียสของธาตุหนักถูกจับนิวตรอนไว้ กลายเป็นนิวเคลียสที่อยู่ในสถานะกระตุ้น จากนั้น จะแยกออกเป็นนิวเคลียส 2 นิวเคลียสที่มีเลขอะตอมและมวลน้อยลง

3. นิวเคลียสที่เกิดฟิวชันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

แนวคำตอบ นิวเคลียสของไฮโดรเจนที่เกิดฟิวชันมีการรวมกันเป็นนิวเคลียสที่มีมวลมากขึ้น

4. พลังงานนิวเคลียร์ที่ได้จากฟิชชันและฟิวชัน มาจากอะไร

แนวคำตอบ มาจากมวลที่ลดลงหลังการเกิดฟิชชันและฟิวชัน ซึ่งส่วนของมวลที่ลดลงนี้ได้เปลี่ยนไปเป็นพลังงาน ตามความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับพลังงานของไอน์สไตน์

5. จงยกตัวอย่าง ธาตุหรือไอโซโทปของธาตุ ที่สามารถทำให้เกิดฟิวชันได้มา 3 ชนิด

แนวคำตอบ ไฮโดรเจน ดิวเทอเรียม ทริเทียม

6. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ช่วยให้สามารถนำพลังงานนิวเคลียร์จากฟิชชันมาผลิตไฟฟ้าได้อย่างไร

แนวคำตอบ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์สามารถสร้างและควบคุมปฏิกิริยาลูกโซ่ให้เกิดขึ้นในอัตราที่เหมาะสม สามารถถ่ายโอนพลังงานนิวเคลียร์ให้กับน้ำ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงจนกลายเป็นไอน้ำ ซึ่งจะถูกนำไปใช้หมุนกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับการผลิตไฟฟ้าต่อไป

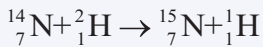


เฉลยแบบฝึกหัด 20.3

คำถามต่อไปนี้ กำหนดให้

- มวล 1 u เท่ากับ 1.66×10^{-27} กิโลกรัม โดยมวล 1 u เทียบเท่ากับพลังงาน 931.5 MeV
- พลังงาน 1 อิเล็กตรอนโวลต์ เท่ากับ 1.66×10^{-19} จูล และ 1 โมลอะตอม เท่ากับ 6.02×10^{23} อะตอม

1. จงคำนวณพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ต่อไปนี้



กำหนด มวลอะตอม $m_{{}^{14}_7\text{N}}$ เท่ากับ 14.003074u $m_{{}^2_1\text{H}}$ เท่ากับ 2.014102u
 $m_{{}^{15}_7\text{N}}$ เท่ากับ 15.000108u $m_{{}^1_1\text{H}}$ เท่ากับ 1.007825u

วิธีทำ หามวลรวมก่อนเกิดปฏิกิริยา (m_1)

$$\begin{aligned} m_1 &= m_{{}^{14}_7\text{N}} + m_{{}^2_1\text{H}} \\ &= 14.003074 \text{ u} + 2.014102 \text{ u} \\ &= 16.017176 \text{ u} \end{aligned}$$

หามวลรวมหลังเกิดปฏิกิริยา (m_2)

$$\begin{aligned} m_2 &= m_{{}^{15}_7\text{N}} + m_{{}^1_1\text{H}} \\ &= 15.000108 \text{ u} + 1.007825 \text{ u} \\ &= 16.007933 \text{ u} \end{aligned}$$

หาผลต่างระหว่างมวลก่อนกับหลังเกิดปฏิกิริยา

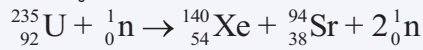
$$\begin{aligned} \Delta m &= m_2 - m_1 \\ &= 16.007933 \text{ u} - 16.017176 \text{ u} \\ &= 0.009243 \text{ u} \end{aligned}$$

หาพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ จากพลังงานที่เทียบเท่าผลต่างระหว่างมวลก่อนกับหลังการเกิดปฏิกิริยา โดยมวล 1 u เทียบเท่าพลังงาน 931.5 MeV

$$\begin{aligned} E &= (\Delta m)(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= (0.009243 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 8.609855 \text{ MeV} \end{aligned}$$

ตอบ พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์นี้เท่ากับ 8.610 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

2. จากสมการการเกิดฟิชชันของยูเรเนียม-235



ถ้ามีพลังงานถูกปล่อยออกมา 200 MeV จงคำนวณพลังงานที่ได้จากการเกิดฟิชชันของ ยูเรเนียม-235 มวล 1 กรัม กำหนดมวลอะตอมของยูเรเนียม-235 เท่ากับ 235.043930 u

วิธีทำ แปลงมวลอะตอมของยูเรเนียม-235 ($m_{{}_{92}^{235}\text{U}}$) ในหน่วย u ให้อยู่ในหน่วยกรัม โดยมวล 1 u เท่ากับ 1.66×10^{-27} กิโลกรัม จะได้

$$\begin{aligned} m_{{}_{92}^{235}\text{U}} &= (235.043930 \text{ u})(1.66 \times 10^{-27} \text{ kg/u}) \\ &= 3.901729 \times 10^{-25} \text{ kg} \end{aligned}$$

พิจารณา อัตราส่วนพลังงานที่ได้จากฟิชชัน 200 MeV ต่อมวลยูเรเนียม-235

3.901729×10^{-25} กิโลกรัม เท่ากับ อัตราส่วนพลังงานที่ได้จากฟิชชัน E ต่อมวลของ ยูเรเนียม-235 1 กรัม หรือ 1×10^{-3} กิโลกรัม ดังนั้น

$$\begin{aligned} E &= \left(\frac{200 \text{ MeV}}{3.901729 \times 10^{-25} \text{ kg}} \right) (1 \times 10^{-3} \text{ kg}) \\ &= 5.125933 \times 10^{23} \text{ MeV} \end{aligned}$$

ตอบ พลังงานที่ได้จากการเกิดฟิชชันของยูเรเนียม-235 มวล 1 กรัม เท่ากับ

$$5.13 \times 10^{23} \text{ เมกะอิเล็กตรอนโวลต์}$$

3. การเกิดฟิวชันของนีออน-20 (${}_{10}^{20}\text{Ne}$) 2 นิวเคลียส ทำให้ได้แคลเซียม (${}_{20}^{40}\text{Ca}$)

ดังสมการ



จงหาพลังงานที่ถูกปล่อยออกมา กำหนดมวลอะตอมของ ${}_{10}^{20}\text{Ne}$ และ ${}_{20}^{40}\text{Ca}$ เท่ากับ 19.992436 u และ 39.962591 u ตามลำดับ

วิธีทำ หาพลังงานที่ถูกปล่อยออกมา (E) ได้จากพลังงานที่เทียบเท่าผลต่างระหว่างมวลรวม ก่อนฟิวชันลบด้วยมวลรวมหลังฟิวชัน (Δm)

หาผลต่างระหว่างมวลก่อนกับหลังฟิวชัน

$$\begin{aligned} \Delta m &= (19.992436 \text{ u} + 19.992436 \text{ u}) - 39.962591 \text{ u} \\ &= 0.022281 \text{ u} \end{aligned}$$

หาพลังงานที่เทียบเท่าผลต่างระหว่างมวลจากสมการ

$$E = (\Delta m)(931.5 \text{ MeV/u})$$

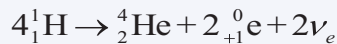
แทนค่า จะได้

$$E = (0.022281 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u})$$

$$= 20.75 \text{ MeV}$$

ตอบ พลังงานที่ถูกปล่อยออกมาเท่ากับ 20.75 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

4. ฟิวชันบนดวงอาทิตย์และดวงดาวส่วนมาก เกิดจากการรวมกันของนิวเคลียสของไฮโดรเจน (${}^1_1\text{H}$) จำนวน 4 นิวเคลียส กลายเป็นนิวเคลียสของฮีเลียม (${}^4_2\text{He}$) จำนวน 1 นิวเคลียส ดังสมการ



จงหาพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากฟิวชันนี้

กำหนด มวลอะตอม ${}^1_1\text{H}$ ${}^4_2\text{He}$ และ ${}^0_{+1}\text{e}$ เท่ากับ 1.007825 u 4.002603 u และ 0.000549 u ตามลำดับ และมวลของนิวตริโนมีค่าน้อยมาก

วิธีทำ หาพลังงานที่ถูกปล่อยออกมา (E) ได้จากพลังงานที่เทียบเท่าผลต่างระหว่างมวลรวมก่อนฟิวชันลบด้วยมวลรวมหลังฟิวชัน (Δm)

หาผลต่างระหว่างมวลก่อนกับหลังฟิวชัน

$$\begin{aligned}\Delta m &= 4(1.007825 \text{ u}) - 4.002603 \text{ u} - 2(0.000549 \text{ u}) \\ &= 0.027599 \text{ u}\end{aligned}$$

หาพลังงานที่เทียบเท่าผลต่างระหว่างมวลจากสมการ

$$E = (\Delta m)(931.5 \text{ MeV/u})$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}E &= (0.027599 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 25.7 \text{ MeV}\end{aligned}$$

พลังงานปฏิกิริยาเท่ากับ 25.7 MeV

ตอบ พลังงานที่ได้จากฟิวชันเท่ากับ 25.7 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

5. โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แห่งหนึ่ง ใช้เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่มียูเรเนียม-235 (${}^{235}_{92}\text{U}$) เป็นองค์ประกอบ จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. ถ้าเริ่มต้นมียูเรเนียม-235 มวล 100 มิลลิกรัม หลังการเกิดฟิชชัน มวลของยูเรเนียม-235 หายไป 0.20% พลังงานนิวเคลียร์ที่ได้จากฟิชชันของยูเรเนียมมีค่าเท่าใด

ข. ถ้าเปรียบเทียบกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ใช้ น้ำมันเตา เพื่อให้ได้ความร้อนเท่ากับ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ จะต้องใช้น้ำมันเตากี่ตัน

กำหนด การเผาไหม้ น้ำมันเตา 1 ตัน ได้ความร้อน 8.40×10^9 จูล

วิธีทำ ก. ให้ Δm เป็นมวลของยูเรเนียม-235 ที่หายไปหลังการเกิดฟิชชัน และ E เป็นพลังงานนิวเคลียร์ที่ได้จากฟิชชันของยูเรเนียม

หลังการเกิดฟิชชัน มวลของยูเรเนียมหายไป 0.20% ของ 100 มิลลิกรัม หรือ

$$\begin{aligned}\Delta m &= \frac{0.20}{100} \times 100 \text{ mg} \\ &= 0.2 \text{ mg} \\ &= 2 \times 10^{-6} \text{ kg}\end{aligned}$$

หาพลังงานนิวเคลียร์ในหน่วยจูลที่เทียบเท่ามวลที่หายไปได้โดยใช้สมการ

$$E = (\Delta m)c^2$$

แทนค่า $\Delta m = 2 \times 10^{-6} \text{ kg}$ และ $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ จะได้

$$\begin{aligned}E &= (2 \times 10^{-6} \text{ kg})(3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \\ &= 1.80 \times 10^{11} \text{ J}\end{aligned}$$

ข. เปรียบเทียบพลังงานนิวเคลียร์ที่ได้จากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์กับพลังงานความร้อนที่ได้จากในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน

พิจารณา อัตราส่วน ความร้อน 8.40×10^9 จูล ต่อมวลน้ำมันเตาที่ใช้ 1 ตัน

เท่ากับ อัตราส่วนความร้อน 1.80×10^{11} จูล ต่อมวลน้ำมันเตาที่ใช้ x ตัน

ดังนั้น

$$\begin{aligned}x &= \frac{(1.80 \times 10^{11} \text{ J})(1 \text{ ตัน})}{84 \times 10^8 \text{ J}} \\ &= 21.43 \text{ ตัน}\end{aligned}$$

ตอบ ก. พลังงานนิวเคลียร์ที่ได้เท่ากับ 1.80×10^{11} จูล

ข. จะต้องใช้น้ำมันเตา 21.4 ตัน

20.4 ประโยชน์และการป้องกันอันตรายจากรังสี

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ยกตัวอย่างการนำรังสีไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ
2. ยกตัวอย่างอันตรายของรังสีที่มีต่อร่างกาย
3. บอกวิธีการป้องกันอันตรายจากรังสี

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. เตรียมคลิปวิดีโอที่เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากรังสี ควรเตรียมไว้ให้พร้อม เช่น
 - คลิปเครื่องมือรังสีรักษา เช่น คลิปที่ลิงค์
 - <https://youtu.be/WRZWNP8w1nc>
 - https://youtu.be/IhuJd_76QLo
 - คลิปการหาอายุของวัตถุโบราณด้วยเทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ เช่น คลิปที่ลิงค์
 - https://youtu.be/bPzUk_DQwzg
 - <https://youtu.be/puauHNj-1RU>
2. ถ้ามีการทำกิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู เกมจับคู่ เกมใบ้คำ หรือ เกมบิงโก ฟิลิกส์นิวเคลียร์ ให้เตรียมวัสดุอุปกรณ์สำหรับกิจกรรม ได้แก่ กระดาษ A4 ตามจำนวนนักเรียน พร้อมทั้ง บัตรคำศัพท์และคำถามที่จะใช้ในการทำกิจกรรม
3. ถ้ามีการให้นักเรียนจัดทำสื่อสำหรับการนำเสนอ ให้เตรียมวัสดุอุปกรณ์สำหรับการจัดทำสื่อให้พร้อม เช่น กระดาษฟลิปชาร์ต สีเมจิก

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 20.4 โดยทบทวนความรู้เกี่ยวกับ กัมมันตภาพรังสี และ ปฏิกิริยานิวเคลียร์ โดยอาจจัดกิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู เกมจับคู่ หรือ เกมใบ้คำ ตามที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อ 20.2 หรือ อาจจัดกิจกรรม เกมบิงโก ที่แสดงตัวอย่างในหน้าถัดไป จากนั้น ตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า เราสามารถนำความรู้เข้าใจเกี่ยวกับธาตุกัมมันตรังสีและรังสี ไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ให้นักเรียนชมคลิปวิดีโอที่เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากรังสี เช่น การสร้างภาพ 3 มิติของอวัยวะภายในร่างกายผู้ป่วยโดยใช้เครื่องฉายรังสีสำหรับการตรวจวินิจฉัยและรักษาโรค การหาอายุของวัตถุโบราณโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับไอโซโทปกัมมันตรังสี หรือ การศึกษาการดูดซึมปุ๋ยของพืชโดยใช้ไอโซโทปกัมมันตรังสี



กิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู เกมบิงโก ฟิสิกส์นิวเคลียร์

จุดประสงค์

1. บอกความหมายของคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับกัมมันตภาพรังสีและปฏิกิริยานิวเคลียร์

เวลาที่ใช้ 10 - 15 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

1. แผ่นบิงโก ตามจำนวนนักเรียน
(หรือดาวน์โหลดแผ่นบิงโกได้จาก QR Code ประจำบทที่ 20 หรือที่ลิงค์
<http://ipst.me/11456>)
2. ดินสอ หรือ ปากกา 1 ด้าม
3. ใบรายการคำศัพท์ 1 ใบ

วิธีทำกิจกรรม

1. แจกแผ่นบิงโกที่มีตารางขนาด $3\text{cm} \times 3\text{cm}$ จำนวน 16 ช่อง และใบรายการคำศัพท์ให้กับนักเรียนคนละใบ
2. ให้นักเรียนสุ่มเลือกคำศัพท์เกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสีและปฏิกิริยานิวเคลียร์ ในรายการด้านล่างตารางบิงโกในแผ่นบิงโกที่ครูแจก แล้วเขียนลงไปในตารางช่องละคำ โดยไม่เรียงลำดับจนครบ 16 ช่อง
3. ครูชี้แจงวิธีการเล่นเกม โดยครูจะอ่านคำถามทีละคำถาม แล้วให้นักเรียนพิจารณาคำตอบ ถ้าในช่องใดของตารางมีคำที่เป็นคำตอบของคำถาม ให้กากบาทช่องนั้น แต่ถ้าไม่มีคำที่เป็นคำตอบ ให้รอฟังคำถามต่อไป โดยไม่ต้องเขียนอะไรลงไปตาราง
4. ถ้านักเรียนคนใดกากบาทได้ 4 ช่องเรียงกันในแนวตั้ง แนวนอน หรือ แนวทแยง ใดๆ อย่างหนึ่ง ให้พูดดัง ๆ ว่า บิงโก แล้วนำผลการกากบาทมาตรวจคำตอบกับครู
5. นักเรียนได้ช่องที่กากบาท 4 ช่อง เรียงกันและได้คำตอบถูกต้องทั้ง 4 ช่อง เป็นผู้ชนะ โดยครูอาจพิจารณาให้รางวัลนักเรียนที่ได้บิงโก 3 - 4 รางวัลและอาจอ่านคำถามที่เหลือจนหมด เพื่อเป็นการทบทวนความรู้ร่วมกันในห้อง

ตัวอย่างคำศัพท์ในใบรายการคำศัพท์ ที่นักเรียนเลือกเขียนลงในช่องของตาราง

กัมมันตภาพ	ครึ่งชีวิต	ค่าคงตัวการสลาย	การสลายให้อัลฟา
การสลายให้บีตา	การสลายให้แกมมา	ปฏิกิริยานิวเคลียร์	ฟิชชัน
ฟิวชัน	พลังงานนิวเคลียร์	ส่วนพร่องมวล	ปฏิกิริยาลูกโซ่
พลังงานยึดเหนี่ยว	กัมมันตภาพรังสี	ดิวเทรอน	อิเล็กตรอน

ตัวอย่างคำถามสำหรับครู

1. การสลายให้บีตา เป็นการสลายที่ให้อนุภาคอะไร
2. การรวมกันของนิวเคลียสของธาตุเบาแล้วมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาเป็นปฏิกิริยาอะไร
3. กระบวนการที่นิวเคลียสได้รับการกระตุ้นด้วยอนุภาคชนิดหนึ่ง แล้วมีการแยกออกเป็นนิวเคลียสใหม่เป็นปฏิกิริยาอะไร
4. ช่วงเวลาที่ธาตุกัมมันตรังสีสลายจนกระทั่งลดลงเหลืออยู่ครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้นเรียกว่าอะไร
5. นิวเคลียสของไอโซโทปที่เป็นวัตถุดิบสำหรับการสร้างฟิวชัน คืออะไร
6. อัตราการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสี เรียกว่าอะไร
7. ความน่าจะเป็นที่นิวเคลียสจะเกิดการสลายในหนึ่งหน่วยเวลา คืออะไร
8. การสลายที่นิวเคลียสมีเลขมวลลดลง 4 และเลขอะตอมลดลง 2 เป็นการสลายให้อนุภาคอะไร
9. การสลายที่เกิดขึ้นแล้ว นิวเคลียสยังเป็นนิวเคลียสชนิดเดิม คือการสลายให้อะไร

10. กระบวนการที่นิวเคลียสมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในเมื่อได้รับการกระตุ้น เรียกว่าอะไร
11. พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ เรียกว่าอะไร
12. กระบวนการที่นิวเคลียสมีการแยกออกจากกันจำนวนมาก อย่างต่อเนื่อง เรียกว่าอะไร
13. ส่วนของมวลที่แตกต่างระหว่างมวลรวมของนิวคลีออนทั้งหมดในนิวเคลียสกับมวลของนิวเคลียส เรียกว่าอะไร
14. พลังงานที่สะสมในนิวเคลียสซึ่งมีความสัมพันธ์กับเสถียรภาพของนิวเคลียส คือพลังงานใด
15. ปฏิกิริยาการแผ่รังสีที่ออกมาอย่างต่อเนื่อง เรียกว่าอะไร
16. การสลายที่เลขอะตอมของนิวเคลียสถูกเพิ่มขึ้น 1 คือการสลายแบบใด

20.4.1 การนำรังสีไปใช้ประโยชน์

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อร่างกายผ่านการฉายรังสีเพื่อวินิจฉัยหรือรักษาโรค จะทำให้มีรังสีตกค้างอยู่ในร่างกาย	1. รังสีที่ใช้ตรวจวินิจฉัยหรือรักษาโรค ถ่ายโอนพลังงานให้กับส่วนของร่างกายที่ถูกฉาย เมื่อหยุดฉายรังสี จะไม่มีรังสีตกค้างในร่างกาย
2. การหาอายุของวัตถุโบราณหรือซากสิ่งมีชีวิตโดยใช้วิธีการหาปริมาณของคาร์บอน-14 สามารถใช้ได้กับวัตถุหรือสิ่งมีชีวิตทุกช่วงอายุ	2. การหาอายุของวัตถุโบราณที่มีซากสิ่งมีชีวิตประกอบโดยใช้วิธีการหาปริมาณของคาร์บอน-14 สามารถใช้ได้กับวัตถุที่มีซากสิ่งมีชีวิตเป็นส่วนประกอบที่มีอายุไม่เกิน 70 000 ปี

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
3. การหาอายุของวัตถุโบราณโดยใช้วิธีการหาปริมาณของคาร์บอน -14 สามารถใช้ได้กับวัตถุทุกชนิด	3. การหาอายุของวัตถุโบราณโดยใช้วิธีการหาปริมาณของคาร์บอน -14 สามารถใช้ได้กับวัตถุที่มีส่วนของสิ่งมีชีวิตเป็นองค์ประกอบเช่น วัตถุที่มีส่วนของพืช หรือส่วนของสัตว์ สำหรับการหาอายุของหิน จะใช้วิธีการหาปริมาณของไอโซโทปกัมมันตรังสีชนิดอื่น เช่น โพแทสเซียม หรือ รูบิเดียม
4. การปรับปรุงพันธุ์พืชด้วยวิธีการฉายรังสี ทำให้พันธุ์พืชมีลักษณะและสมบัติบางอย่างดีขึ้นเสมอ	4. การปรับปรุงพันธุ์พืชด้วยวิธีการฉายรังสี อาจทำให้พันธุ์พืชมีลักษณะและสมบัติทั้งดีและไม่ดี จำเป็นต้องมีการคัดเลือกเพื่อให้ได้เฉพาะพันธุ์ที่ดี

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 17 ของหัวข้อ 20.4 ตามหนังสือเรียน จากนั้นครูแบ่งกลุ่มนักเรียน และให้แต่ละกลุ่มเลือกศึกษา สืบค้นข้อมูล และนำเสนอเกี่ยวกับการนำรังสีไปใช้ประโยชน์ในด้านใดด้านหนึ่งต่อไปนี้

1. ด้านการแพทย์
2. ด้านโบราณคดีและธรณีวิทยา
3. ด้านเกษตรกรรม
4. ด้านอุตสาหกรรม
5. ด้านความปลอดภัย

โดยกำหนดประเด็นหลักในการนำเสนอต่อไปนี้

- ตัวอย่างการใช้ประโยชน์
- ชนิดของรังสีหรือไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ใช้
- หลักการที่เกี่ยวข้อง

ทั้งนี้ นักเรียนอาจเลือกหัวข้ออื่นที่กลุ่มของนักเรียนสนใจนอกจาก 5 หัวข้อข้างต้น และถ้าในห้องเรียนมีจำนวนนักเรียนมาก บางกลุ่มอาจเลือกหัวข้อที่ซ้ำกันได้ แต่รวมทุกกลุ่ม ต้องมีการเสนอครอบคลุมทั้ง 5 หัวข้อ

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลในหัวข้อที่เลือก โดยเริ่มจากหนังสือเรียนและควรสืบค้นเพิ่มเติมจากแหล่งเรียนรู้อื่น เช่น อินเทอร์เน็ต นิตยสาร แล้วให้นักเรียนอภิปรายและสรุปภายในกลุ่ม พร้อมกับเตรียมตัวนำเสนอ โดยอาจมีการให้ทำสื่อประกอบการนำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ ตามความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียน เช่น การวาดรูปบนกระดาษแผ่นใหญ่ หรือ การนำเสนอเป็นภาพนิ่ง แอนิเมชัน หรือ คลิปวิดีโอ สำหรับแสดงผ่านเครื่องฉายหรือโทรทัศน์ ตามแต่เวลาจะอำนวย

ครูให้นักเรียนนำเสนอผลการสืบค้น โดยอาจมีการให้นักเรียนกลุ่มอื่น ๆ ประเมินกลุ่มที่นำเสนอ รวมทั้งอาจมีการประเมินตนเอง และเมื่อจบการนำเสนอ ทั้งนี้ ครูอาจยกตัวอย่างวิธีการคำนวณอายุของวัตถุโบราณหรือซากดึกดำบรรพ์จากปริมาณของคาร์บอน-14 ประกอบ ให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้น ดังแสดงในหน้าถัดไป

จากนั้น ครูนำอภิปรายเพื่อสรุปเกี่ยวกับการนำรังสีไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ โดยครูควรเน้นการแก้ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น ตามที่ระบุในตารางความเข้าใจคลาดเคลื่อนของหัวข้อ 20.4.1

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

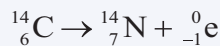
คาร์บอน-14 มาจากไหน

คาร์บอนเป็นธาตุชนิดหนึ่งที่มีหลายไอโซโทป เช่น $^{11}_6\text{C}$ $^{12}_6\text{C}$ $^{13}_6\text{C}$ และ $^{14}_6\text{C}$ โดย $^{12}_6\text{C}$ และ $^{13}_6\text{C}$ เป็นไอโซโทปเสถียรที่มีอยู่ในธรรมชาติร้อยละ 98.90 และร้อยละ 1.10 ตามลำดับ ส่วน $^{11}_6\text{C}$ และ $^{14}_6\text{C}$ เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีมีครึ่งชีวิต 20.39 นาที และ 5730 ปี ตามลำดับ

คาร์บอน-14 มีปริมาณน้อยมากโดยเกิดจากนิวตรอนในรังสีคอสมิก (อนุภาคจากอวกาศ) ชนกับนิวเคลียสของไนโตรเจนในบรรยากาศ ทำให้เกิดคาร์บอน-14 และโปรตอน ดังสมการ



คาร์บอน-14 ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยานิวเคลียร์ข้างต้นจะสลายให้ไนโตรเจน-14 ดังสมการ



ดังนั้นการผลิตคาร์บอน-14 จึงสมดุลกับการสลายของคาร์บอน-14

ขณะที่พืชยังมีชีวิตจะดูดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากอากาศ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อโดยคาร์บอนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของคาร์บอน-14 และคาร์บอน-12 สัตว์ที่กินพืชจึงได้รับคาร์บอนทั้งสองไอโซโทปด้วย เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างคาร์บอน-14 และคาร์บอน-12 มีค่าประมาณ 1.3×10^{-12} เกือบคงตัวตลอดเวลา ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างไอโซโทปทั้งสองในร่างกายของสิ่งมีชีวิตจึงคงตัวด้วยเมื่อสิ่งมีชีวิตตายการรับคาร์บอนเข้าสู่ร่างกายจะสิ้นสุดและคาร์บอน-14 จะค่อย ๆ สลายไป คาร์บอน-14 ที่อยู่ในซากนั้นจะลดลงเรื่อย ๆ ถ้าวิเคราะห์เพื่อหาอายุของซาก

สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง แล้วพบว่ามีการคาร์บอน-14 เหลืออยู่เพียงครึ่งหนึ่ง ก็แสดงว่าสิ่งมีชีวิตนั้นตายมาแล้ว ประมาณ 5730 ปี และเมื่อเวลาผ่านไปอีก 5730 ปี จำนวนคาร์บอน-14 จะหายไปอีกครึ่งหนึ่งของที่เหลืออยู่ และจะเป็นเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่งคาร์บอน-14 เหลือน้อยมาก จนไม่สามารถวัดปริมาณที่เหลือได้ถูกต้อง จึงใช้หาอายุของซากสิ่งมีชีวิตหรือวัตถุโบราณที่มีอายุไม่เกิน 70 000 ปี ถ้าอายุมากกว่านั้น จะต้องใช้วิธีอื่น

การหาอายุวัตถุและซากโบราณ

การหาอายุวัตถุและซากโบราณโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับคาร์บอน-14 ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 1 ตัวอย่างเศษกระดูกของสัตว์ชนิดหนึ่งในบริเวณแหล่งสำรวจทางโบราณคดีแห่งหนึ่งมีคาร์บอน 100 กรัม และวัดกัมมันตภาพ C-14 ได้เท่ากับ 15 เบ็กเคอเรล กระดูกชิ้นนี้มีอายุเท่าใด กำหนดให้ เมื่อสัตว์ยังมีชีวิตอยู่ อัตราส่วนระหว่าง C-14 กับ C-12 เท่ากับ 1.3×10^{-12}

แนวคิด ใช้อัตราส่วนระหว่าง C-14 กับ C-12 เมื่อสัตว์ยังมีชีวิตอยู่หาจำนวนนิวเคลียสของ C-14 ในกระดูกที่มีคาร์บอนมวล 100 กรัม โดยใช้สมการ (20.9a) จากนั้น ใช้ครึ่งชีวิตของ C-14 5730 ปี หาค่าคงตัวการสลายโดยใช้สมการ (20.10b) โดยแปลงให้อยู่ในหน่วยวินาที และนำตัวเลข N_0 และ λ ที่ได้ รวมทั้งค่ากัมมันตภาพ 15 เบ็กเคอเรล ไปแทนค่าในสมการ (20.8) เพื่อหาอายุของชิ้นกระดูก

วิธีทำ เมื่อสัตว์ยังมีชีวิต อัตราส่วนระหว่าง C-14 กับ C-12 ในชิ้นกระดูก เท่ากับ 1.3×10^{-12} และหาจำนวนนิวเคลียสของ C-14 ในคาร์บอน 100 กรัม ขณะยังมีชีวิต มีค่าดังนี้

$$N_0 = \left(\frac{6.02 \times 10^{23}}{14 \text{ g}} \right) (100 \text{ g}) (1.3 \times 10^{-12})$$

$$= 5.6 \times 10^{12}$$

จากสมการ (20.10b) ค่าคงตัวการสลาย

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

$$= \frac{0.693}{(5730 \text{ year})(3.156 \times 10^7 \text{ s/year})}$$

$$= 3.83 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}$$

จากสมการ (20.8) กัมมันตภาพ $A = \lambda N$

และจากสมการ (20.9a) จำนวนนิวเคลียสที่เหลืออยู่ $N = N_0 e^{-\lambda t}$

แทน N จากสมการ (20.9a) ลงในสมการ (20.8) จะได้

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$e^{\lambda t} = \frac{\lambda N_0}{A}$$

$$\lambda t = \ln\left(\frac{\lambda N_0}{A}\right)$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{\lambda N_0}{A}\right)$$

แทนค่าจะได้

$$t = \left(\frac{1}{3.83 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}}\right) \ln\left(\frac{(3.83 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1})(5.6 \times 10^{12})}{15 \text{ s}^{-1}}\right)$$

$$= 9.34 \times 10^{10} \text{ s}$$

$$= 2962 \text{ ปี}$$

เวลานี้เป็นเวลาตั้งแต่สัตว์ตัวนี้ตายถึงปัจจุบัน

ตอบ กระดูกชิ้นนี้มีอายุประมาณ 3.0×10^3 ปี

ตัวอย่าง 2 เมื่อนำชิ้นไม้จากซากเรือโบราณไปทำการวัดกัมมันตภาพของ C-14 พบว่า วัดได้เท่ากับ 13 เบ็กเคอเรล อายุของซากเรือโบราณมีค่าเท่าใด ถ้าไม้ชนิดเดียวกับที่ทำเรือโบราณขณะที่มีชีวิตอยู่ในปัจจุบัน วัดกัมมันตภาพของ C-14 ได้เท่ากับ 16 เบ็กเคอเรล

แนวคิด ขณะยังมีชีวิต ปริมาณ C-14 ในสิ่งที่มีชีวิตจะมีค่าคงตัว ดังนั้นจึงพิจารณาได้ว่า ก่อนที่ชิ้นไม้จะถูกตัดมาทำเรือจะต้องมีปริมาณ C-14 เท่ากับต้นไม้อายุปัจจุบัน นั่นคือ ถ้าทำการวัดกัมมันตภาพของ C-14 ในชิ้นไม้ในเวลานั้น จะต้องได้ 16 เบ็กเคอเรลด้วย ดังนั้น สามารถใช้สมการ (20.9b) หาอายุของไม้ โดยใช้กัมมันตภาพและครึ่งชีวิต

ของ C-14

วิธีทำ ถ้ากำหนดให้

A เป็นกัมมันตภาพของ C-14 ที่วัดจากชิ้นไม้ของเรือโบราณ ซึ่งเท่ากับ 13 เบ็กเคอเรล

A_0 เป็นกัมมันตภาพของ C-14 ในชิ้นไม้ปัจจุบัน ซึ่งเท่ากับ 16 เบ็กเคอเรล

t เป็นอายุของชิ้นไม้นั้น

จากสมการ (20.9b) $A = A_0 e^{-\lambda t}$

จะได้ $t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{A_0}{A}\right)$

จาก $\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$

$$\begin{aligned}
 \text{แทนค่าจะได้ } t &= \left(\frac{T_{1/2}}{0.693} \right) \ln \left(\frac{16 \text{ Bq}}{13 \text{ Bq}} \right) \\
 &= \left(\frac{5730 \text{ y}}{0.693} \right) (0.2076) \\
 &= 1717 \text{ year}
 \end{aligned}$$

ตอบ อายุของชิ้นไม้ประมาณ 1717 ปี

ตัวอย่าง 3 ในการหาอายุของเครื่องใช้ไม้เก่าอันหนึ่ง พบว่าอัตราส่วนระหว่าง C-14 กับ C-12 มีอยู่เพียงร้อยละ 12.5 ในไม้ที่ยังมีชีวิตอยู่ ถ้าครึ่งชีวิตของ C-14 เท่ากับ 5730 ปี จงหาอายุของเครื่องใช้ไม้แก่นั้น

แนวคิด ใช้อัตราส่วนระหว่าง C-14 กับ C-12 หาอายุของเครื่องใช้ไม้เก่าโดยใช้สมการ (20.9a)

วิธีทำ จากสมการ (20.9a) $N = N_0 e^{-\lambda t}$ จัดรูปใหม่ จะได้

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{N_0}{N} \right) \\
 \text{ในที่นี้ } N &= \frac{12.5}{100} N_0 \text{ และ } \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \\
 \text{แทนค่าจะได้ } t &= \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \ln \left(\frac{N_0}{\frac{12.5}{100} N_0} \right) \\
 &= \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \ln 8 \\
 &= \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \ln 2^3 \\
 t &= 3T_{1/2} \\
 &= 3(5730 \text{ year}) \\
 &= 17190 \text{ year}
 \end{aligned}$$

ตอบ อายุของเครื่องใช้ไม้เท่ากับ 17190 ปี

20.4.2 รังสีในธรรมชาติและการป้องกันอันตรายจากรังสี

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

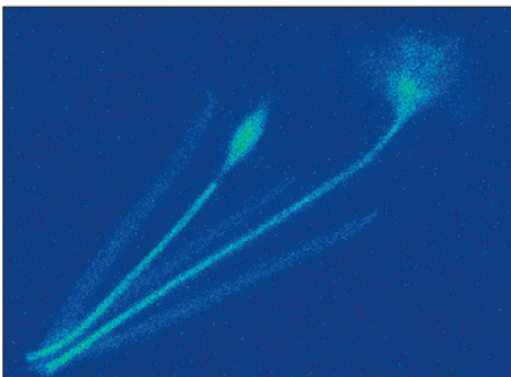
ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. ปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับจากการตรวจร่างกายด้วยการฉายรังสีเอกซ์ 1 ครั้ง เป็นอันตรายกับร่างกาย	1. ปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับจากการตรวจร่างกายด้วยการฉายรังสีเอกซ์ 1 ครั้ง ประมาณ 0.1×10^{-3} ซีเวิร์ต น้อยกว่าเกณฑ์ของปริมาณรังสีที่ประชาชนทั่วไปควรได้รับ ซึ่งมีค่าประมาณ 1×10^{-3} ซีเวิร์ตต่อปี

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. เตรียมคลิปวิดีโอทัศน์หรือภาพเกี่ยวกับรังสีในธรรมชาติ หรือ ข่าวเกี่ยวกับอันตรายจากรังสีไว้ล่วงหน้า

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 18 และ 19 ของหัวข้อ 20.4 ตามหนังสือเรียน จากนั้น ครูให้นักเรียนดูคลิปวิดีโอทัศน์หรือรูปของพืช อาหาร หรือ สิ่งก่อสร้าง ที่แสดงรังสีที่แผ่ออกมา ตัวอย่างเช่นรูป 20.3 แสดงดอกไม้ชนิดหนึ่ง ที่มีการแผ่รังสีบีตา เนื่องจากมีส่วนประกอบของโพแทสเซียม-40



ก. รังสีบีตาที่แผ่ออกมาจากดอกนาร์ซิสซัส (narcissus) เนื่องจากโพแทสเซียม-40

ข. ดอกนาร์ซิสซัสในสภาวะปกติ

รูป 20.1 ดอกนาซิสซัส

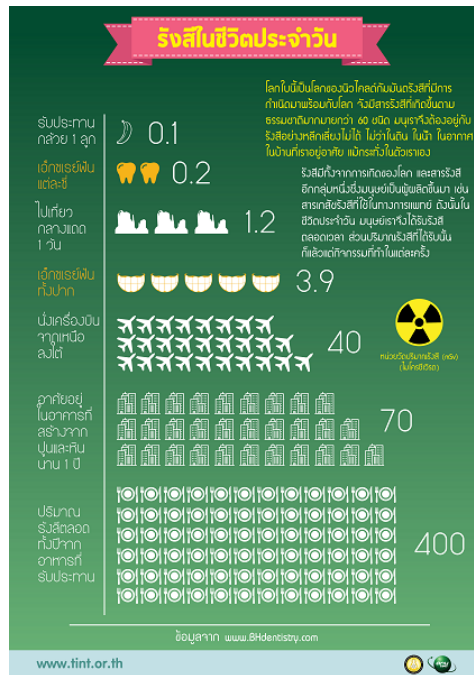
ครูตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า รอบ ๆ ตัวเรา มีอะไรบ้างที่ปล่อยรังสีออกมา แล้วรังสีเหล่านี้เป็นอันตรายหรือไม่ โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติ ตามหัวข้อ 20.4.2 และหน่วยของปริมาณรังสีในหนังสือเรียน จากนั้น ครูให้นักเรียนเรียงลำดับแหล่งกำเนิดรังสีในสิ่งแวดล้อมที่แผ่รังสีออกมาจากปริมาณที่น้อยที่สุดไปมากที่สุด โดยครูอาจให้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีและวัตถุต่าง ๆ ดังข้อมูลในตาราง 20.1

ตาราง 20.1 ปริมาณรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีและกิจกรรมต่าง ๆ

กิจกรรมหรือแหล่งกำเนิดรังสี	ปริมาณรังสีเฉลี่ย (mSv)
การตรวจบริเวณทรวงอกด้วยการฉายรังสีเอกซ์ 1 ครั้ง	0.10
การเดินทางโดยเครื่องบินระหว่างเมืองโตเกียวกับเมืองนิวยอร์ก ไปและกลับ 1 ครั้ง	0.19
การตรวจร่างกายโดยใช้เครื่องฉายภาพเอกซ์เรย์คอมพิวเตอร์ หรือ CT scan 1 ครั้ง	6.9
ปริมาณรังสีที่คนหนึ่งคนที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อมต่อ 1 ปี (ค่าเฉลี่ยทั่วโลก)	2.2
การอาศัยอยู่บริเวณที่ห่างจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ประมาณ 80 กิโลเมตร เป็นเวลา 1 ปี	0.05
ระดับปริมาณรังสีสูงสุดที่สาธารณชนไม่ควรได้รับเกินภายใน 1 ปี	5
ระดับปริมาณรังสีสูงสุดที่อนุญาตให้ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีได้รับเกินภายใน 1 ปี	50
ปริมาณรังสีที่ได้รับในครั้งเดียวที่สามารถทำให้เกิดอาการเจ็บป่วยทางรังสี	1000

ครูอาจให้นักเรียนแบ่งกลุ่มเพื่อจัดทำแผนภาพ กราฟ หรือ อินโฟกราฟิก (infographic) สำหรับนำเสนอการเปรียบเทียบปริมาณรังสีจากแหล่งกำเนิดและกิจกรรมต่าง ๆ ดังตัวอย่างด้านล่าง



รูป 20.2 ตัวอย่างการทำภาพประกอบข้อมูลแบบอินโฟกราฟิกเกี่ยวกับรังสีแบบที่ 1 (ที่มา: www.tint.or.th)



รูป 20.3 ตัวอย่างการทำภาพประกอบข้อมูลแบบอินโฟกราฟิกเกี่ยวกับรังสีแบบที่ 2 (ที่มา: Thainuclearclub. (2014, Dec 06). รังสีในชีวิตประจำวัน [Twitter post]Retrieved from <https://twitter.com/ThaiNuclearclub/status/540923487464869888>)

ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับรังสีจากสิ่งแวดล้อมจนสรุปได้ว่า รังสีมีอยู่ในสิ่งต่าง ๆ รอบ ๆ ตัวเรา หรือแม้แต่ร่างกายของเรามีการรังสีแผ่ออกมาตลอดเวลา แต่ปริมาณรังสีที่ได้รับ ไม่อยู่ในระดับที่เป็นอันตราย

ให้นักเรียนสืบค้นข้อมูล โดยตั้งประเด็นว่า ถ้าร่างกายได้รับรังสีในปริมาณที่มากเกินไป ร่างกายจะมีอาการอย่างไร และถ้าบังเอิญไปอยู่ในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับรังสีที่เป็นอันตราย จะมีแนวทางป้องกันอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้นักเรียนดูคลิปวิดีโอทัศน์หรืออ่านข้อความที่เกี่ยวข้องกับอันตรายจากรังสี โดยอาจเลือกสถานการณ์ในข้อต่อไปนี้

1. ข่าวในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 ที่มีชาวบ้านกลุ่มหนึ่ง ชี้อัตราพลังงานไปแกว่งในน้ำแล้วดื่มหรือไปแปะตามร่างกาย เพราะเชื่อว่า มีสรรพคุณในการรักษาอาการปวดเมื่อย ซึ่งจากการตรวจสอบโดยสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (ปส.) พบว่า บัตรมีระดับรังสีสูงกว่าขีดจำกัดการได้รับปริมาณรังสีสำหรับประชาชนทั่วไปกว่า 350 เท่า
 - คลิปข่าว
 - o https://youtu.be/a1ONKzmJ_q0
 - o <https://youtu.be/l2VDgRbuokE>
 - ลิงค์ข่าว
 - o <https://news.mthai.com/special-report/737706.html>
2. ข่าวการพบกล่องโลหะบรรจุสาร อิริเดียม-192 ในสำนักงานร้าง ซ.พหลโยธิน 24 กรุงเทพมหานคร เมื่อปี พ.ศ. 2559
 - คลิปข่าว <https://youtu.be/qICLzHF7Cp8>
 - ลิงค์ข่าว <https://www.thairath.co.th/content/619586>
3. สารคดีเกี่ยวกับอุบัติเหตุทางรังสีที่จังหวัดสมุทรปราการ เมื่อปี พ.ศ. 2543
 - คลิปข่าว <https://youtu.be/umERjn6-j9w>
 - ลิงค์ข่าว <https://www.thairath.co.th/content/45126>

จากนั้น ครูตั้งคำถามให้นักเรียนอภิปรายร่วมกัน โดยอาจใช้คำถามดังนี้

- ก. เราจะสังเกตได้อย่างไรว่าวัตถุที่สงสัยอาจมีรังสีอันตราย
- ข. เราควรปฏิบัติอย่างไร เมื่อพบว่าวัตถุที่สงสัยอาจมีการแผ่รังสีที่เป็นอันตราย

ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดกับร่างกายเมื่อได้รับรังสีในปริมาณที่มากเกินไป และแนวทางการป้องกันรังสี ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน รวมทั้งให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับแนวทางการปฏิบัติตัวในกรณีพบวัตถุที่ต้องสงสัยว่ามีอันตรายจากรังสี จากนั้น ให้นักเรียนนำเสนอ

ครูนำอภิปรายเพื่อสรุปเกี่ยวกับผลกระทบของรังสีต่อร่างกาย แนวทางการป้องกันอันตรายจากรังสี และคำตอบคำถามข้างต้น ซึ่งควรได้คำตอบดังนี้

- ก. **แนวคำตอบ** การที่จะบอกได้ว่าวัตถุที่สงสัย อาจมีรังสีที่เป็นอันตราย สังเกตได้จากสัญลักษณ์ดังรูป 20.4 ก. หมายความว่า วัตถุนั้นบรรจุหรือเป็นแหล่งกำเนิดรังสีที่แผ่รังสีออกมาโดยรอบ แต่ถ้ามีสัญลักษณ์ดังรูป 20.4 ข. หมายความว่า วัตถุนั้นบรรจุหรือเป็นแหล่งกำเนิดรังสีที่เป็นอันตรายมาก



ก



ข

รูป 20.4 ตัวอย่างการทำภาพประกอบข้อมูลแบบอินโฟกราฟิกแบบที่ 1

- ข. **แนวคำตอบ** เมื่อพบว่าวัตถุที่สงสัยอาจมีการแผ่รังสีที่เป็นอันตราย ต้องรีบออกห่างจากวัตถุนั้นให้มากที่สุด แล้วแจ้งผู้ใหญ่ เช่น ครู ผู้ปกครอง เจ้าหน้าที่ตำรวจ หรือ เจ้าหน้าที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (ปส.) กลุ่มประสานงานกรณีฉุกเฉินทางนิวเคลียร์และรังสี ซึ่งมีช่องทางในการติดต่อดังนี้ โทรศัพท์เคลื่อนที่ 089-200-6243 (ติดต่อได้ตลอด 24 ชั่วโมง)

โทรศัพท์สายตรง 02-596-7699 (ติดต่อได้เฉพาะเวลาราชการ)

ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 20.4 โดยอาจมีการเฉลยและอภิปรายแนวคำตอบร่วมกัน

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับครู

เพื่อการสร้างความเข้าใจที่ดียิ่งขึ้น และเป็นการเชื่อมโยงสิ่งที่ได้เรียนรู้กับการประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน ครูอาจพานักเรียนไปทัศนศึกษาหน่วยงานต่าง ๆ ที่ทำงานเกี่ยวกับรังสี เช่น แผนกเวชศาสตร์นิวเคลียร์ในโรงพยาบาล สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (ปส.) หรือ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.)

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (Office of Atoms for Peace)

เลขที่ 16 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 0 2596 7600

เว็บไซต์ <http://www.oap.go.th>

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) สำนักงานใหญ่

(Thailand Institute of Nuclear Technology, Public Organization)

เลขที่ 9/9 หมู่ที่ 7 ต. ทราয়มูล อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

โทรศัพท์ 0 2401 9889, 0 2401 9885

เว็บไซต์ <http://www.tint.or.th>

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ปลอดภัยกับรังสีและพลังงานนิวเคลียร์

(จาก อยู่ปลอดภัยกับอะตอม “อะตอม...เพื่ออนาคต” สื่อความรู้เรื่องพลังงานนิวเคลียร์ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ)

1. ปริมาณรังสีเท่าใดจึงจะปลอดภัย

คำว่า ปลอดภัย ในที่นี้หมายถึง ปริมาณรังสีที่ได้รับแล้วไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และไม่ทำให้เกิดความผิดปกติในร่างกาย

หน่วยที่ใช้วัดปริมาณการได้รับรังสี เรียกว่า **ซีเวิร์ต (sievert, Sv)**

คณะกรรมการว่าด้วยการป้องกันรังสีระหว่างประเทศ (International Commission on Radiological Protection หรือ ICRP) ได้กำหนดขีดจำกัดปริมาณรังสี (dose limit) หรือค่ากำหนดสูงสุดของปริมาณรังสียังผลที่บุคคลอาจได้รับจากการดำเนินกิจกรรมทางรังสี สำหรับอวัยวะต่าง ๆ ดังนี้

ร่างกาย/อวัยวะ	สำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสี	สำหรับประชาชนทั่วไป
ปริมาณรังสียังผล ที่ร่างกายได้รับ เฉลี่ยต่อปี	ไม่เกิน 20 มิลลิซีเวิร์ต เฉลี่ยระยะเวลา 5 ปี ติดต่อกันโดยในปีใดปีหนึ่งต้องได้รับปริมาณ รังสียังผลไม่เกิน 50 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี	1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี
เลนส์ตา อวัยวะ สืบพันธุ์ ไชกระดูก	ไม่เกิน 150 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี	1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี
ผิวหนัง ไทรอยด์ มือ แขน ขา	ไม่เกิน 400 มิลลิซีเวิร์ต	50 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี

การเอกซเรย์กระเพาะอาหารที่โรงพยาบาลแต่ละครั้ง จะได้รับรังสีประมาณ 15 ไมโครซีเวิร์ต

2. ปริมาณรังสีเท่าใดจึงจะปลอดภัย

หากร่างกายไม่ว่าอวัยวะส่วนใดก็ตาม ได้รับปริมาณรังสีเกินกำหนด จะเกิดอาการทั้งต่อร่างกายของเราโดยตรงและแบบที่ส่งผลไปทางพันธุกรรมได้

ผลที่เกิดกับส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกาย (somatic effect) ยังขึ้นอยู่กับว่า การรับรังสีนั้นเป็นแบบเฉียบพลัน (acute exposure) หรือแบบเรื้อรัง (chronic exposure)

□ ได้รับรังสีแบบเฉียบพลัน เช่น กรณีได้รับอุบัติเหตุจากรังสี ผลคือจะทำให้เกิดความผิดปกติเกี่ยวกับระบบต่าง ๆ ในร่างกายโดยมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย ร่วมด้วย และอาจถึงขั้นช็อก ผิวหนังเสื่อมสภาพ อาจเสียชีวิตภายใน 3 วัน

□ ได้รับรังสีแบบเรื้อรัง ร่างกายจะได้รับรังสีไม่สูงเท่าแบบเฉียบพลัน แต่จะได้รับรังสีสะสมอยู่เรื่อยๆเช่นการรับรังสีของพนักงานเกี่ยวกับรังสีผลคือจะทำให้เกิดโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาวมะเร็งต่าง ๆ ต้อกระจก เป็นต้น

ผลที่เกิดขึ้นกับทางพันธุกรรม (genetic effect) หมายถึงผลที่เกิดขึ้นในเซลล์สืบพันธุ์ โดยจะทำให้เป็นหมัน หรือเกิดมิวเทชัน (mutation) ซึ่งความผิดปกตินี้จะไปปรากฏในรุ่นลูกหลานได้

3. อาการป่วยเนื่องจากรังสี

อาการป่วยเนื่องจากรังสีแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ

1. ระยะเตือนล่วงหน้า เป็นอาการที่แสดงออกให้เห็นภายหลังจากถูกรังสีในไม่กี่ชั่วโมง ได้แก่ อาการคลื่นเหียน อาเจียน หายใจไม่สะดวก เพื่อย หดแรงทรงตัว ผิวหนังแดง

2. ระยะแอบแฝง เป็นระยะที่สงบ ไม่แสดงออก กำหนดช่วงเวลาไม่ได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ได้รับ
3. ระยะป่วยจริง เป็นอาการต่อจากระยะแอบแฝง ได้แก่ มีไข้ เบื่ออาหาร น้ำหนักลด เลือดออกผอมร่วง ซ็อก จำอะไรไม่ได้ หมดความรู้สึก และอาจเสียชีวิต

4. การแบ่งระดับความรุนแรงของอุบัติเหตุทางรังสีในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency, IAEA) ซึ่งเป็นหน่วยงานด้านนิวเคลียร์ระดับนานาชาติ อยู่ภายใต้การกำกับของสหประชาชาติ ได้จัดทำมาตรฐานระหว่างประเทศว่าด้วยเหตุการณ์ทางนิวเคลียร์ (International Nuclear Event Scale, INES) โดยแบ่งระดับความรุนแรงของอุบัติเหตุทางรังสีไว้ 8 ระดับดังนี้

ระดับ 0 การเบี่ยงเบน (deviation)

เหตุการณ์ที่คลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากการเดินเครื่องโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ตามปกติ ไม่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยต่าง ๆ

ระดับ 1 เหตุผิดปกติ (anomaly)

เหตุการณ์ที่แตกต่างจากเงื่อนไขตามข้อกำหนดให้เดินเครื่องโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ โดยไม่มีผลกระทบต่อความปลอดภัย ไม่มีการปนเปื้อนสารกัมมันตรังสี หรือผู้ปฏิบัติงานไม่ได้รับปริมาณรังสีเกินกำหนด

ระดับ 2 เหตุขัดข้อง (incident)

เหตุการณ์ซึ่งส่งผลกระทบต่อความปลอดภัย แต่ระบบการป้องกันอื่นๆ ยังสามารถควบคุมสถานะผิดปกติอื่น ๆ ได้ และ/หรือ เหตุการณ์ที่ทำให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับปริมาณรังสีเกินกำหนด และ/หรือ เหตุการณ์ที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีภายในบริเวณโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ซึ่งไม่ได้รับการออกแบบรองรับไว้ และต้องดำเนินการมาตรการแก้ไข

ระดับ 3 เหตุขัดข้องรุนแรง (serious incident)

เหตุการณ์ที่ใกล้ต่อการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งเหลือเพียงระบบป้องกันขั้นสุดท้ายที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีภายในบริเวณโรงไฟฟ้านิวเคลียร์อย่างรุนแรง หรือผู้ปฏิบัติงานได้รับปริมาณรังสีในระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัย และ/หรือมีการแพร่กระจายสารกัมมันตรังสีปริมาณเล็กน้อยออกสู่ภายนอกโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ (กลุ่มบุคคลที่ล่อแหลมต่อเหตุการณ์ได้รับปริมาณรังสีในช่วงเป็นเศษส่วนในสิบของมิลลิซีเวิร์ต)

ระดับ 4 อุบัติเหตุที่ไม่มีนัยสำคัญต่อ (ผลกระทบ) ภายนอกโรงไฟฟ้า

(accident without significant off-site risk)

อุบัติเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสถานปฏิบัติการนิวเคลียร์ในระดับสำคัญ เช่น

แกนเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์หลอมละลายบางส่วน และ/หรือผู้ปฏิบัติงานได้รับปริมาณรังสีเกินเกณฑ์กำหนด ทำให้มีโอกาสเสียชีวิตจากเหตุการณ์ดังกล่าวเป็นไปได้สูง และ/หรือมีการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีออกสู่ภายนอกโรงไฟฟ้า ยังผลให้บุคคลที่ล่อแหลมต่อเหตุการณ์ได้รับปริมาณรังสีในช่วง 2 – 3 มิลลิซีเวิร์ต

ระดับ 5 อุบัติเหตุที่มีผลกระทบถึงภายนอกโรงไฟฟ้า (accident with off-site risk)

อุบัติเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงต่อสถานปฏิบัติการนิวเคลียร์ และ/หรือมีการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีออกสู่ภายนอกโรงไฟฟ้าในระดับเทียบเท่ากับกัมมันตภาพของไอโอดีน-131 ในช่วง 100 – 1000 เทระเบ็กเคอเรล ทำให้ต้องมีการใช้แผนฉุกเฉินบางส่วน

ระดับ 6 อุบัติเหตุระดับรุนแรง (serious accident)

อุบัติเหตุที่ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีออกสู่ภายนอกโรงไฟฟ้าในปริมาณมากในระดับเทียบเท่ากับกัมมันตภาพของไอโอดีน-131 ในช่วง 1000 – 10 000 เทระเบ็กเคอเรลและต้องดำเนินการตามแผนฉุกเฉินเต็มรูปแบบ

ระดับ 7 อุบัติเหตุระดับรุนแรงที่สุด / อุบัติเหตุใหญ่หลวง (major accident)

อุบัติเหตุที่ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีออกสู่ภายนอกโรงไฟฟ้าในปริมาณมหาศาลในระดับเทียบเท่ากับกัมมันตภาพของไอโอดีน-131 ที่มากกว่า 10 000 เทระเบ็กเคอเรล มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย และสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง

ในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินทางรังสี เจ้าหน้าที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (ปส.) กลุ่มประสานงานกรณีฉุกเฉินทางนิวเคลียร์และรังสี ซึ่งมีช่องทางในการติดต่อดังนี้

โทรศัพท์เคลื่อนที่ 089-200-6243 (ติดต่อได้ตลอด 24 ชั่วโมง)

โทรศัพท์สายตรง 02-596-7699 (ติดต่อได้เฉพาะเวลาราชการ)

ครูอาจสืบค้นข้อมูล ติดต่อสอบถาม และขอเอกสารเกี่ยวกับรังสีและเทคโนโลยีนิวเคลียร์จากหน่วยงานต่อไปนี้

- สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ <http://www.oap.go.th>
- สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ <http://www.tint.or.th>
- ฝ่ายวิศวกรรมนิวเคลียร์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
<http://www.ned.egat.co.th>
- กระทรวงพลังงาน <http://www.energy.go.th>

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการนำรังสีไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อันตรายจากรังสีที่มีต่อร่างกาย และวิธีการป้องกันอันตรายจากรังสี จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 20.4
2. ทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ความร่วมมือและการทำงานเป็นทีมจากการสืบค้นข้อมูล และการนำเสนอ
3. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ การสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสื่อสาร จากข้อมูลที่นำเสนอและการนำเสนอ
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น ความใจกว้าง และ ความมีเหตุผล จากการอภิปรายร่วมกัน และการนำเสนอ
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความร่วมมือช่วยเหลือ จากความร่วมมือและการทำงานเป็นทีมในการสืบค้นข้อมูลและการนำเสนอ
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านการเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ จากการอภิปรายร่วมกัน และการนำเสนอ



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 20.4

1. จงยกตัวอย่างการนำรังสีจากไอโซโทปกัมมันตรังสีไปใช้ประโยชน์ในการแพทย์อย่างน้อย 2 ตัวอย่าง

แนวคำตอบ การใช้รังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ในการรักษามะเร็ง และ การใช้รังสีแกมมาจากโซเดียม-24 ในการติดตามการหมุนเวียนของเลือดในผู้ป่วย

2. นักโบราณคดีใช้ความรู้ด้านไอโซโทปกัมมันตรังสีในการหาอายุของวัตถุโบราณอย่างไร

แนวคำตอบ นักโบราณคดีหาอายุของวัตถุโบราณโดยการวัดปริมาณหรือกัมมันตภาพของไอโซโทปกัมมันตรังสีที่อยู่ในวัตถุโบราณชิ้นนั้น แล้วคำนวณเปรียบเทียบกับปริมาณหรือกัมมันตภาพของไอโซโทปกัมมันตรังสีของสิ่งมีชีวิตนั้นในปัจจุบัน เช่น วัดปริมาณกัมมันตรังสีของคาร์บอน-14 ในซากสิ่งมีชีวิต เปรียบเทียบกับปริมาณกัมมันตรังสีของคาร์บอน-14 ที่สิ่งมีชีวิตนั้นมีอยู่

3. จงยกตัวอย่างการนำรังสีจากไอโซโทปกัมมันตรังสีไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมอย่างน้อย 2 ตัวอย่าง

แนวคำตอบ การฉายรังสีแกมมาไปยังน้ำยางหรือพอลิเมอร์ของพลาสติก ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางหรือพลาสติกมีสมบัติบางอย่างดีขึ้น และการฉายรังสีไปยังอัญมณี ทำให้อัญมณีมีมูลค่าเพิ่มขึ้น

4. การฉายรังสีให้กับส่วนของพืช ชักนำให้พืชเกิดมิวเทชันได้อย่างไร

แนวคำตอบ เมื่อฉายรังสีให้กับส่วนของพืช เช่น เหง้าหรือหน่อ ทำให้อำนาจทะลุผ่าน สามารถทะลุผ่านเนื้อเยื่อไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับยีนของพืช ชักนำให้พืชเกิดมิวเทชันได้

5. ในชีวิตประจำวัน เราได้รับรังสีจากไอโซโทปกัมมันตรังสี จากแหล่งใดบ้าง ให้ระบุมาอย่างน้อย 3 อย่าง

แนวคำตอบ น้ำ ดิน หิน อากาศ อาหาร

6. ถ้าร่างกายได้รับรังสีจากไอโซโทปกัมมันตรังสีมากเกินไป จะมีอาการเริ่มต้นที่สังเกตได้อย่างไร

แนวคำตอบ มีอาการคลื่นเหียนและอ่อนเพลีย

7. ถ้าจำเป็นต้องอยู่ใกล้บริเวณที่มีรังสีจากไอโซโทปกัมมันตรังสี ควรปฏิบัติอย่างไร

แนวคำตอบ ควรพยายามใช้เวลาอยู่ใกล้บริเวณนั้นให้น้อยที่สุดและควรใช้วัสดุกำบัง กันรังสีนั้น ๆ

8. ชุดหรืออุปกรณ์ที่นำมาสวมใส่เพื่อป้องกันรังสีจากไอโซโทปกัมมันตรังสี ควรทำจากวัสดุชนิดใด

แนวคำตอบ ควรทำจากวัสดุที่รังสีทะลุผ่านได้ยาก เช่น ตะกั่ว

20.5 ฟิสิกส์อนุภาค

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ยกตัวอย่างการค้นคว้าวิจัยที่ค้นพบอนุภาคมูลฐาน
2. ระบุชนิดและสมบัติของอนุภาคมูลฐาน
3. อธิบายพฤติกรรมและอันตรกิริยาของอนุภาคมูลฐานโดยอาศัยแบบจำลองมาตรฐาน
4. ยกตัวอย่างประโยชน์ที่ได้จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. คลิปวิดีโอหรือรูปเกี่ยวกับการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค โดยอาจใช้คลิปวิดีโอ ดังนี้
 - คลิปสารคดี มหัทศกรรย์งานสร้าง เครื่องเร่งอนุภาคแอลเอชซี
<https://youtu.be/enw-59IiYuc>
 - คลิปข่าวการเดินเครื่องเร่งอนุภาคขนาดใหญ่อีกครั้งของเซิร์น
<https://youtu.be/dwT7D9GdUN8>
 - คลิปจำลองการเร่งอนุภาคโปรตอนมาชนกันที่พลังงานสูง
<https://youtu.be/NhXMXiXOWAA>

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูนำเข้าสู่หัวข้อ 20.5 โดยให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับอนุภาคต่าง ๆ ที่นักเรียนเคยได้เรียนรู้มา จากนั้น ตั้งคำถามว่า อนุภาคที่เล็กที่สุดของอะตอมคืออะไรและอนุภาคเหล่านี้ยังมีองค์ประกอบภายในหรือไม่ อย่างไร และถ้ามี จะมีแนวทางการศึกษาอย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่า ในปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์มีการศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานของสสารและพลังงานในเอกภพในสาขาที่เรียกว่า ฟิสิกส์อนุภาค โดยอาศัยเครื่องมือสำคัญ 2 ชิ้นคือ เครื่องเร่งอนุภาค และเครื่องตรวจจับอนุภาค ดังตัวอย่างในรูป 20.42 ในหนังสือเรียน

ครูให้นักเรียนดูคลิปวิดีโอหรือรูปเกี่ยวกับการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคที่เตรียมมา จากนั้น ชี้แจงว่า อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาอนุภาคขนาดเล็กในปัจจุบันมีขนาดใหญ่ และต้องใช้เทคโนโลยีที่ซับซ้อน แต่ในอดีต นักวิทยาศาสตร์ได้สร้างเครื่องมือที่ใช้ตรวจจับอนุภาคแบบที่นักเรียนสามารถสร้างขึ้นเองได้ในชั้นเรียน เรียกว่า เครื่องตรวจจับอนุภาคแบบห้องหมอก (cloud chamber) จากนั้น ครูอาจทำกิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู การตรวจจับอนุภาคด้วยเครื่องตรวจจับอนุภาคแบบห้องหมอก โดยอาจทำเป็นกิจกรรมสาธิต หรือ กิจกรรมกลุ่ม

ครูตั้งคำถามเพื่อนำเข้าสู่การเรียนรู้หัวข้อ 20.5.1 – 20.5 ว่า จากอดีตจนถึงปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์ค้นพบอนุภาคอะไรอีกบ้าง ที่เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของสสารและพลังงานในเอกภพ และอนุภาคเหล่านั้นมีสมบัติอย่างไร อีกทั้ง ความรู้ที่ได้จากการศึกษาอนุภาคเหล่านี้ นำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้อย่างไร



กิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู กิจกรรมสาธิตการตรวจวัดอนุภาคด้วยเครื่องตรวจวัดอนุภาคแบบห้องหมอก

จุดประสงค์

1. สังเกตรอยทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในห้องหมอก

เวลาที่ใช้ 60 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | | |
|---|-----|----------|
| 1. ตู้ปลาขนาดเล็ก (ประมาณ 25cm × 13cm × 20 cm) | 1 | ตู้ |
| 2. ผ้าสักหลาดหรือฟองน้ำขนาดพอดีกับพื้นของตู้ปลา | 1 | ชิ้น |
| 3. เทปกาวยใส | 1 | ม้วน |
| 4. ไฟฉาย LED | 1 | กระบอก |
| 5. น้ำแข็งแห้ง | 1 | กิโลกรัม |
| 6. ไอโซโพรพานอล (isopropanol) หรือ
ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) 90% | 0.5 | ลิตร |
| 7. ขวดสเปรย์ | 1 | ขวด |
| 8. ดินน้ำมันสีดำขนาด 100 กรัม | 5 | ก้อน |
| 9. ถาดอะลูมิเนียมหรือถาดโลหะสีดำขนาดใหญ่กว่าพื้นตู้ปลาเล็กน้อย | 1 | ถาด |
| 10. ถาดพลาสติกขนาดใหญ่กว่าถาดอะลูมิเนียม สำหรับใส่น้ำแข็งแห้ง | 1 | ถาด |
| 11. ถุงมือผ้า | 1 | คู่ |
| 12. แว่นตานิรภัย | 1 | อัน |
| 13. กรรไกร | 1 | คู่ |
| 14. แหล่งกำเนิดรังสี เช่น ลวดเชื่อมทั้งสแตนเลสที่มีท่อเตรียม -232 ใส่ตะเกียงเจ้าพายุ หินบางชนิด | | |

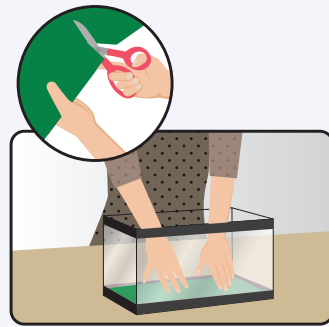
แนะนำก่อนทำกิจกรรม

1. อาจใช้ตู้พลาสติกใสขนาดใหญ่พอสมควร แทนตู้ปลา
2. การจัดหาไอโซโพรพานอล หรือ ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 90% อาจติดต่อครูวิชาเคมีเกี่ยวกับ
ข้อมูลการสั่งซื้อ
3. ระมัดระวังไม่ให้ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์สัมผัสผิวหนัง เข้าปากหรือเข้าตา ถ้าสัมผัสให้ล้างออก
ด้วยน้ำทันที

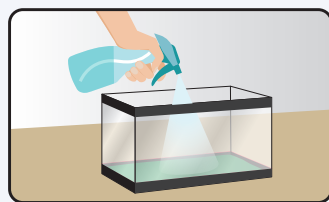
4. ถาดอะลูมิเนียมหรือถาดโลหะที่ใช้ ควรมีสีดำ แต่ถ้าหาถาดสีดำไม่ได้ อาจใช้เทปสีดำหรือใช้สีพ่นด้านในถาด เพื่อการสังเกตรอยทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่เป็นสีขาวให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น
5. ในกรณีที่ไม่สามารถสังเกตรอยทางอนุภาคได้ชัดเจน ให้ใช้แหล่งกำเนิดรังสีวางตรงกลางถาด แล้วจึงทำการสังเกตรอยทางอีกครั้ง
6. การสังเกตรอยทางของอนุภาค ต้องทำให้ห้องที่ทำกิจกรรมมืดพอสมควร อีกวิธีหนึ่งคือการใช้ผ้าสีดำคลุมชุดอุปกรณ์ และให้นักเรียนสังเกตภายใต้ผ้าที่คลุมอยู่
7. ระวังไม่สัมผัสน้ำแข็งแห้งด้วยมือเปล่า ควรใช้ถุงมือหรืออุปกรณ์อื่นหยิบจับ

วิธีทำกิจกรรม

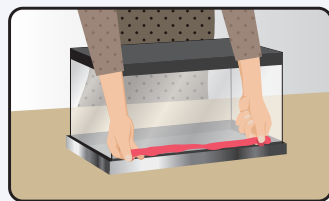
1. ครูอธิบายหลักการที่อนุภาคทำให้เกิดรอยทางในห้องหมอกที่สังเกตได้ จากนั้น ให้นักเรียนทำนายว่า รอยทางของอนุภาคที่ปล่อยมาจากธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสีในห้องหมอกจะมีลักษณะอย่างไร พร้อมให้เหตุผลประกอบ
2. ให้นักเรียนหาคำตอบจากการสังเกตรอยทางของอนุภาคในห้องหมอก
3. ในการสร้างห้องหมอก เริ่มต้นด้วยวางผ้าสักหลาดไว้ที่พื้นด้านในของตู้ปลา ติดด้วยเทปกาวยึดเพื่อไม่ให้หลุด ดังรูป ก.
4. ฉีดหรือพรมแอลกอฮอล์ลงบนผ้าสักกะหลาดที่กั้นตู้ปลาจนชุ่ม ดังรูป ข.
5. คว่ำตู้ปลาลงบนถาดอะลูมิเนียมให้ขอบของปากตู้ปลาสัมผัสกับพื้นถาดแบบแนบสนิท จากนั้น ใช้ดินน้ำมันหรือเทปกาวยึดรอยต่อระหว่างตู้ปลากับถาดอะลูมิเนียมให้สนิท ดังรูป ค. เพื่อป้องกันการระเหยของแอลกอฮอล์ออกจากตู้ปลา



รูป ก.

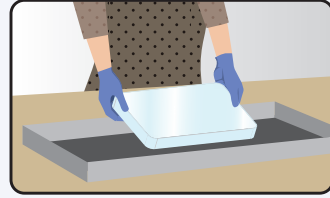


รูป ข.

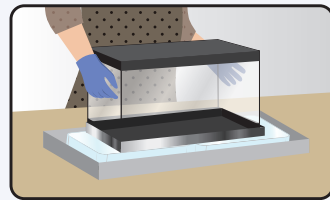


รูป ค.

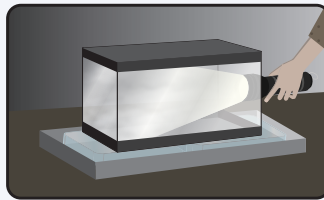
6. ใส่น้ำแข็งแห้งลงในภาดพลาสติกที่เตรียมไว้ดังรูป ง. ระวังไม่สัมผัสน้ำแข็งแห้งโดยตรง ควรใช้ถุงมือ หรือ ซ้อนดัก
7. นำตุ้ปลาที่ติดกับภาดอะลูมิเนียมไปวางไว้บนน้ำแข็งแห้งที่อยู่ในกระบะพลาสติก โดยให้ด้านภาดอะลูมิเนียมสัมผัสกับน้ำแข็งแห้ง ดังรูป จ.
8. รอให้แอลกอฮอล์ระเหยประมาณ 10 - 15 นาที ถ้าตุ้ปลาขนาดใหญ่ อาจใช้เวลานานขึ้น
9. ปิดไฟและจัดให้ห้องมืดสนิท จากนั้นใช้ไฟฉาย LED ฉายลำแสงไปที่บริเวณที่มีพื้นผิวสีดำของภาดในตุ้ปลา ดังรูป ฉ. สังเกตสิ่งที่เกิดขึ้น อภิปราย



รูป ง.



รูป จ.



รูป ฉ.

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับครู

ในกรณีที่ไม่สามารถสังเกตรอยทางของอนุภาคจากรังสีคอสมิกได้ชัดเจน ครูอาจใช้แหล่งกำเนิดรังสีที่ได้เตรียมไว้ โดยให้วางแหล่งกำเนิดรังสีลงบริเวณตรงกลางของภาดอะลูมิเนียม ในขั้นตอนที่ 3 และใช้เทปกาวยึดให้แหล่งกำเนิดรังสีให้ไม่ขยับไปมา ก่อนทำตามขั้นตอนที่ 4 – 8 ต่อไป



กิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู กิจกรรมกลุ่มสร้างเครื่องตรวจวัดอนุภาคแบบห้องหมอก

จุดประสงค์

1. สร้างเครื่องตรวจวัดอนุภาคแบบห้องหมอก
2. สังเกตรอยทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในห้องหมอก
3. อธิบายการเกิดรอยทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในห้องหมอก

เวลาที่ใช้ 60 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

- | | | |
|--|-----|-----------|
| 1. กระปุกแก้วหรือพลาสติกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร | 1 | อัน |
| 2. ไฟฉาย LED | 1 | กระบอก |
| 3. น้ำแข็งแห้ง ขนาดใหญ่กว่าปากของกระปุกใส | 1 | ก้อน |
| 4. หลอดบรรจุไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 90% | 200 | มิลลิลิตร |
| 5. หลอดหยด | 1 | หลอด |
| 6. ฟองน้ำหนาประมาณ 1 cm | 1 | แผ่น |
| 7. แผ่นอะลูมิเนียมหรือสังกะสีขนาด A4 | 1 | แผ่น |
| 8. แผ่นกาวอะลูมิเนียม | 1 | ม้วน |
| 9. จุกคอร์กพลาสติก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 cm | 1 | ถาด |
| 10. กรรไกร | 1 | ด้าม |
| 11. ถุงมือผ้า | 1 | คู่ |
| 12. ถาดพลาสติกขนาดใหญ่กว่าปากกระปุกใส | 1 | ถาด |
| 13. แหล่งกำเนิดรังสี | 1 | อัน |
| 14. เทปกาว 2 หน้า | 1 | ม้วน |

แนะนำก่อนทำกิจกรรม

ควรปฏิบัติในแนวทางเดียวกับกิจกรรมสาธิตการตรวจวัดอนุภาคด้วยเครื่องตรวจวัดอนุภาคแบบห้องหมอก

สิ่งที่ครุต้องเตรียม

1. เตรียมฟองน้ำและแผ่นอะลูมิเนียมสำหรับทำกิจกรรม โดยตัดให้เป็นแผ่นดิสก์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของปากกระปุกแก้วเล็กน้อยแล้วพ่นหรือทาสีดำด้านใดด้านหนึ่ง ดังรูป



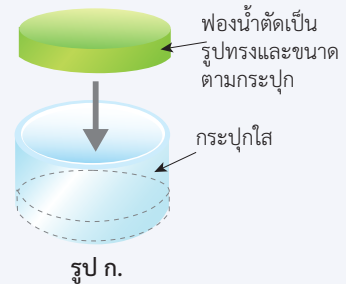
รูป การเตรียมวัสดุก่อนทำกิจกรรม

2. ใช้เทปใส ติดแหล่งกำเนิดรังสีให้ยึดติดกับบริเวณตรงกลางของแผ่นอะลูมิเนียม

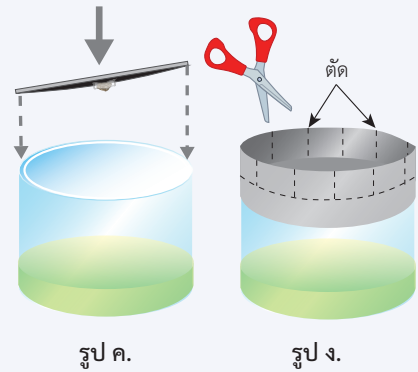


วิธีทำกิจกรรม

1. ใส่ฟองน้ำที่ตัดไว้แล้วที่พื้นด้านในของกระปุกใส ติดด้วยเทปกาว 2 หน้าเพื่อไม่ให้หลุด ดังรูป ก.
2. ใช้หลอดหยดดูดไอโซโทปฟอสฟอรัส-32 จากขวดบรรจุแล้วนำไปหยดลงบนฟองน้ำที่อยู่ในกระปุกใส ดังรูป ข.

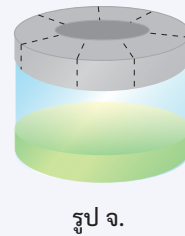


3. นำแผ่นอะลูมิเนียมหรือแผ่นสังกะสีที่ตัดเป็นวงกลมขนาดพอดีกับปากของกระปุกใส ไปปิดปากกระปุกใส ดังรูป ค. (ถ้าใช้แหล่งกำเนิด รังสีให้ติดแหล่งกำเนิดรังสีบนแผ่นอะลูมิเนียมด้วยเทปใสก่อน แล้วจึงนำไปปิดปากกระปุกใส)
4. ติดแผ่นกาวอะลูมิเนียมติดรอบ ๆ ปากของกระปุกใสเพื่อยึดติดแผ่นอะลูมิเนียมให้ปิดปากของกระปุกใสจนสนิท ดังรูป ง. และ จ.
5. นำน้ำแข็งแห้งวางลงในภาตพลาสติก จากนั้น นำกระปุกใสไปวางบนน้ำแข็งแห้ง โดยคว่ำให้ด้านที่มีแผ่นอะลูมิเนียมติดกับน้ำแข็งแห้ง ดังรูป ฉ.
6. รอให้แอลกอฮอล์ระเหยประมาณ 5 - 10 นาที
7. ปิดไฟและจัดให้ห้องมืดสนิท หรือ อาจใช้ผ้าสีดำคลุมชุดอุปกรณ์ จากนั้นใช้ไฟฉาย LED ฉายลำแสงไปที่กระปุกใส ดังรูป ช. สังเกตสิ่งที่เกิดขึ้น อภิปราย

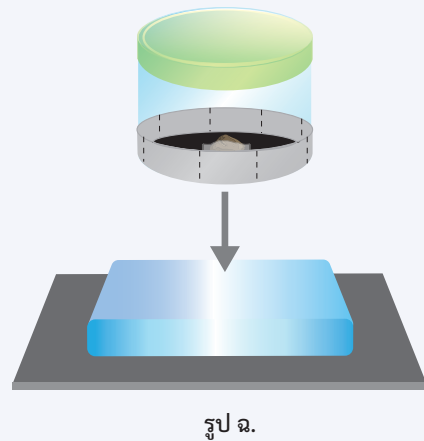


รูป ค.

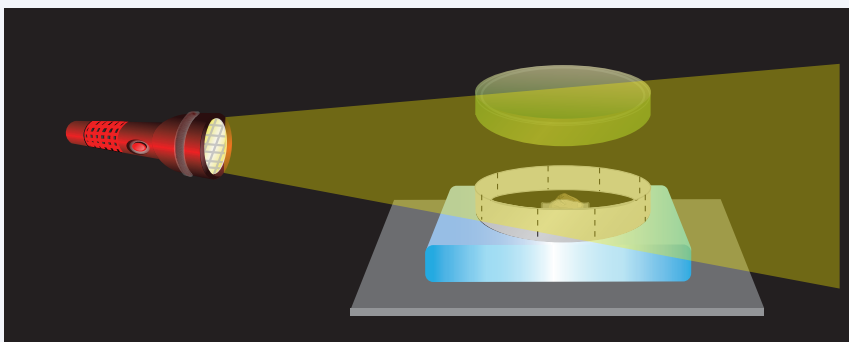
รูป ง.



รูป จ.



รูป ฉ.



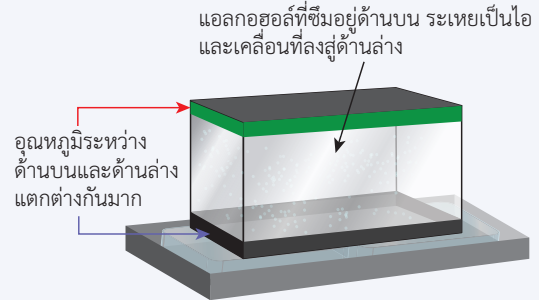
รูป ช.

ตัวอย่างใบบันทึกกิจกรรม

เครื่องตรวจวัดอนุภาคแบบห้องหมอก

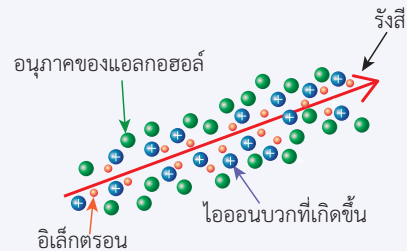
อนุภาคที่มีแหล่งกำเนิดจากปรากฏการณ์ในอวกาศเคลื่อนที่ผ่านโลกของเราตลอดเวลา บางอนุภาคพุ่งเข้าชนกับอนุภาคในชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดอนุภาคอีกหลากหลายชนิดเคลื่อนที่มายังพื้นโลก อนุภาคเหล่านี้ไม่เป็นอันตรายแต่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเครื่องตรวจวัดอนุภาคแบบห้องหมอก หรือ เรียกสั้น ๆ ว่า ห้องหมอก (cloud chamber) เป็นเครื่องมือที่สามารถช่วยให้เรามองเห็นรอยทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคเหล่านี้ได้

ในห้องหมอก อุณหภูมิบริเวณด้านบนกับด้านล่างจะต่างกันมาก โดยบริเวณด้านบนจะมีแอลกอฮอล์ที่ซึมอยู่ในวัสดุดูดซับ ซึ่งไอของแอลกอฮอล์ที่ระเหยออกมาจะเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ ลงสู่ด้านล่างซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า ไอของแอลกอฮอล์ในสภาวะนี้พร้อมที่จะควบแน่นไปเป็นละอองแอลกอฮอล์ที่อยู่ในสถานะของเหลว ดังรูป 1



รูป 1

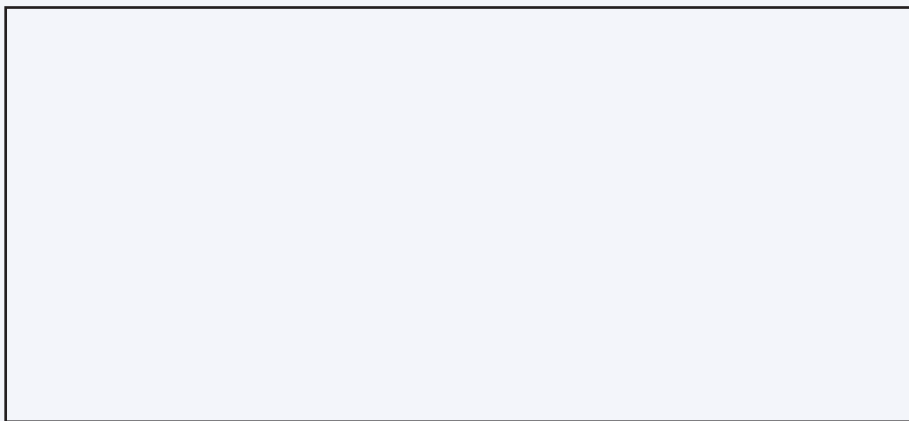
เมื่ออนุภาคที่เกิดจากรังสีคอสมิกเคลื่อนที่ผ่านเข้ามาในห้องหมอก อนุภาคเหล่านี้จะไปชนกับโมเลกุลของอากาศภายในห้องหมอก ทำให้อิเล็กตรอนของโมเลกุลของอากาศหลุดออกมา เกิดเป็นไอออนที่อนุภาคของแอลกอฮอล์รอบ ๆ เข้าไปจับ ทำให้เกิดการควบแน่นของไอแอลกอฮอล์เป็นละอองตามรอยทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่สังเกตเห็นเป็นรอยทางของกลุ่มควันภายในห้องหมอก ดังรูป 2



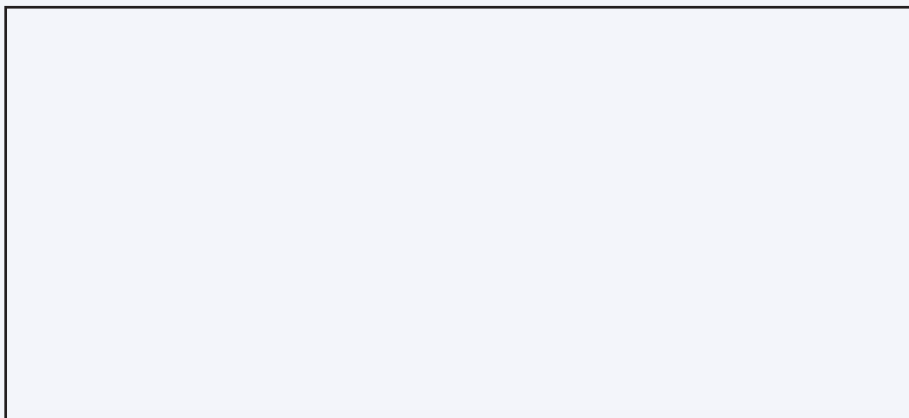
รูป 2

แบบบันทึกผลการทำกิจกรรม

1. ถ้าอนุภาคที่ผ่านเข้าไปในห้องหมอกมีเพียง อนุภาคแอลฟา อนุภาคบีตา และ รังสีแกมมา ให้วาดลักษณะของรอยทางอนุภาคแต่ละชนิดที่คาดว่า จะสังเกตได้จากห้องหมอก



2. จากการสังเกตรอยทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในห้องหมอก ให้วาดลักษณะของรอยทางที่สังเกตได้





แนวคำตอบคำถามท้ายกิจกรรม

1. รอยทางของละอองแอลกอฮอล์ที่สังเกตเห็นได้ มีลักษณะอย่างไร

แนวคำตอบ บางรอยเป็นเส้นตรง บางและยาว บางรอยเป็นเส้นตรง หนา และ สั้น

2. เพราะเหตุใด อนุภาคแตกต่างกันจึงทำให้รอยทางที่เคลื่อนที่ผ่านห้องหมอกมีลักษณะแตกต่างกัน

แนวคำตอบ เพราะอนุภาคแต่ละชนิดมีสมบัติเช่น ประจุ มวล และ ความเร็ว ทำให้รอยทางที่เคลื่อนที่ผ่านห้องหมอกมีลักษณะแตกต่างกัน เช่น อนุภาคบีตาหรืออิเล็กตรอน เป็นอนุภาคที่มีมวลน้อยกว่าอนุภาคแอลฟา เมื่อเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในห้องหมอกจะมีการชนกับอนุภาคอื่น ๆ และสูญเสียพลังงานน้อยกว่าอนุภาคแอลฟา รอยทางของอนุภาคบีตาในห้องหมอกจึงมีลักษณะยาวกว่ารอยทางของอนุภาคแอลฟา

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม



รูป รอยทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคบีตาและแอลฟาในห้องหมอก

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

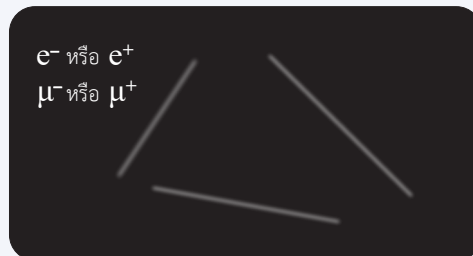
จากลักษณะรอยทางที่แตกต่างกันของอนุภาคที่เคลื่อนที่ผ่านห้องหมอก เราสามารถวิเคราะห์เพื่อระบุชนิดของอนุภาค ดังนี้ (รอยทางบางลักษณะ อาจไม่ปรากฏในการทำกิจกรรมในชั้นเรียน)

1. ถ้ารอยทางเป็นเส้นคดเคี้ยวและไม่ตรง แสดงว่า อนุภาคที่เคลื่อนที่ผ่านห้องหมอก เป็นอิเล็กตรอน (e^-) หรือ โพซิตรอน (e^+) ที่มีความเร็วต่ำ เนื่องจากอิเล็กตรอนและโพซิตรอนเป็นอนุภาคที่มีมวลน้อยเมื่อเทียบกับอนุภาคอื่น ๆ เมื่อเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในห้องหมอก จะมีการชนกับอนุภาคอื่น ๆ และเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ได้ง่าย



รูป ลักษณะของรอยทางที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน
หรือโพซิตรอนความเร็วต่ำภายในห้องหมอก

2. ถ้ารอยทางเป็นเส้นตรงและยาวพอสมควร แสดงว่า อนุภาคที่เคลื่อนที่ผ่านห้องหมอก เป็นอิเล็กตรอนหรือโพซิตรอนที่มีความเร็วสูงหรืออาจเป็นมิวออนความเร็วสูงเนื่องจากความเร็วของอนุภาคทำให้อากาศรอบ ๆ แนวทางที่เคลื่อนที่ผ่านมีการแตกตัว โดยอนุภาคไม่มีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่



รูป ลักษณะของรอยทางที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนโพซิตรอน
หรือ มิวออน ความเร็วสูง ภายในห้องหมอก

3. ถ้าวรอยทางเป็นเส้นตรง สั้น และหนากว่ารอยทางอื่น ๆ อย่างที่สังเกตเห็นได้ชัด แสดงว่าอนุภาคที่เคลื่อนที่ผ่านห้องหมอกนั้น เป็นอนุภาคแอลฟา เนื่องจากอนุภาคแอลฟามีมวลมากกว่าอนุภาคอื่น ๆ มาก จึงทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่สั้นกว่าอนุภาคอื่น ๆ



รูป ลักษณะของรอยทางของการเคลื่อนที่ของอนุภาคแอลฟาภายในห้องหมอก

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับครู

ในการสังเกตและศึกษาอนุภาคด้วยห้องหมอก นักเรียนจะได้เรียนรู้หลักการพื้นฐานสำคัญของเครื่องตรวจจับอนุภาค แต่มีบางครั้ง ที่อาจเกิดปัญหาในขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งในที่นี้ เป็นตัวอย่างปัญหาและคำถามที่พบบ่อย พร้อมกับคำอธิบายแนวทางการแก้ปัญหา

ปัญหา หรือ คำถาม	แนวทางแก้ไข หรือ คำตอบ
นักเรียนไม่เห็นรอยทางของอนุภาคในห้องหมอก	- ปรับมุมการฉายลำแสงของไฟฉายให้ฉายไปที่มุมอื่น ๆ โดยบริเวณที่มีโอกาสสังเกตเห็นรอยทางของอนุภาคได้ชัดที่สุดคือ บริเวณอยู่เหนือด้านล่างของห้องหมอกประมาณ 1 เซนติเมตร - พิจารณาเพิ่มปริมาณแอลกอฮอล์ในขั้นตอนการพ่นหรือหยดแอลกอฮอล์ลงบนวัสดุดูดซับ - ตรวจสอบว่า ตู้ปลาหรือกระป๋องใส ปิดสนิทหรือไม่

ปัญหา หรือ คำถาม	แนวทางแก้ไข หรือ คำตอบ
นักเรียนสังเกตเห็นเพียงแต่หมอกสีขาว ๆ	- อาจต้องรออีกระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งโดยส่วนใหญ่ต้องรอให้แอลกอฮอล์ระเหยประมาณ 5 นาที จึงจะเริ่มสังเกตเห็นรอยทางของอนุภาค - ตรวจสอบว่า ใช้แอลกอฮอล์ถูกชนิดหรือไม่ควรเป็นไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นมากกว่า 90%
นักเรียนสังเกตเห็นกลุ่มหมอกหนาบริเวณขอบด้านล่างของห้องหมอก	- ขอบของภาชนะที่ใช้ทำเป็นห้องหมอกอาจถูกปิดไม่สนิท ให้ปิดปากของภาชนะด้วยแผ่นอะลูมิเนียมกาวหรือดินน้ำมันให้สนิท
บริเวณพื้นด้านล่างของห้องหมอกมีหมอกสีขาวหนาเต็มไปหมด	- อาจเนื่องจากเว้นระยะระหว่างการปิดขอบของภาชนะที่ใช้ทำห้องหมอกด้วยแผ่นอะลูมิเนียมกับการคว่ำลงแล้วนำไปวางบนน้ำแข็งแห้งนานเกินไป อาจต้องเริ่มต้นวางห้องหมอกบนน้ำแข็งแห้งใหม่อีกครั้ง

ครูให้นักเรียนศึกษาหัวข้อ 20.5.1 อนุภาคมูลฐาน 20.5.2 แบบจำลองมาตรฐาน และ 20.5.3 ประโยชน์จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิลิกส์อนุภาค โดยการสืบค้นและนำเสนอตามแนวการจัดการเรียนรู้ต่อไปนี้

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. โปรตอนและนิวตรอนเป็นอนุภาคมูลฐาน	1. โปรตอนและนิวตรอนไม่เป็นอนุภาคมูลฐาน เพราะประกอบด้วยควาร์ก ซึ่งเป็นอนุภาคมูลฐาน
2. ปฏิยานุภาคของอนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้า มีสมบัติเหมือนคู่อนุภาคทุกประการ	2. ปฏิยานุภาคของอนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้า ยังคงเป็นกลางทางไฟฟ้าเช่นเดียวกัน แต่มีสมบัติทางควอนตัมบางอย่าง ที่แตกต่างจากคู่อนุภาค
3. แรงเข้มคือแรงนิวเคลียร์	3. แรงเข้มไม่ใช่แรงนิวเคลียร์ แต่เป็นแรงที่ยึดเหนี่ยวควาร์กให้อยู่รวมกันในนิวคลีออน ส่วนแรงนิวเคลียร์เป็นแรงยึดเหนี่ยวให้นิวคลีออนอยู่รวมกันในนิวเคลียส โดยแรงนิวเคลียร์เป็นผลข้างเคียงที่เกิดจากแรงเข้ม
4. แรงอ่อนเป็นแรงนิวเคลียร์ชนิดหนึ่ง	4. แรงอ่อนไม่เป็นแรงนิวเคลียร์ เพราะไม่เกี่ยวข้องกับการยึดเหนี่ยวกันระหว่างนิวคลีออนในนิวเคลียส แต่เป็นแรงที่เกี่ยวข้องกับการสลายให้บีตา
5. แรงโน้มถ่วงเป็นแรงที่มีค่าความแรงมากที่สุด ในแรงพื้นฐานทั้ง 4 แรง	5. แรงเข้มเป็นแรงที่มีค่าความแรงมากที่สุดในแรงพื้นฐานทั้ง 4 แรง

สิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้า

1. รูป คลิปวีดิทัศน์ หรือ อุปกรณ์สาธิต เกี่ยวกับการจัดแสดงนิทรรศการในพิพิธภัณฑ์ หรือ แหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ โดยอาจใช้ส่วนหนึ่งของคลิปวีดิทัศน์ต่อไปนี้
 - 1.1 คลิปมหกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 2562 เมืองแห่งธาตุ
<https://youtu.be/5-8XfJntJQM>
 - 1.2 คลิปมหกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 2562 วิทยาศาสตร์ดีดถ้ำ
<https://youtu.be/pxFd5Q9KRDo>
2. ถ้ามีการทำกิจกรรมเสนอแนะสำหรับครู ให้เตรียมวัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทำกิจกรรมให้พร้อม โดยกิจกรรมสาธิตให้เตรียมสำหรับการสาธิต 1 ชุด แต่ถ้าเป็นกิจกรรมกลุ่ม ให้เตรียมให้ครบตามจำนวนกลุ่มของนักเรียน

แนวการจัดการเรียนรู้

ครูชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 21 - 24 ของหัวข้อ 20.5 ตามหนังสือเรียน จากนั้นครูตั้งคำถามว่า นอกจากอนุภาคอิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน แล้วยังมีอนุภาคอื่นอีกหรือไม่ นักวิทยาศาสตร์ค้นพบอนุภาคชนิดอื่น ๆ ได้อย่างไร โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบคำถามอย่างอิสระ ไม่คาดหวังคำตอบที่ถูกต้อง

ครูชี้แจงหัวข้อที่นักเรียนจะได้เรียนรู้ในหัวข้อ 20.5 ทั้ง 3 หัวข้อ จากนั้น ตั้งคำถามว่า โปรตอนและนิวตรอนเป็นอนุภาคมูลฐานหรือไม่ ครูนำอภิปรายจนสรุปได้ว่า อนุภาคมูลฐานหมายถึงอนุภาคที่ไม่ได้ประกอบขึ้นจากอนุภาคชนิดอื่น ๆ และไม่มีโครงสร้างหรือองค์ประกอบภายใน แต่โปรตอนและนิวตรอนมีองค์ประกอบภายใน จึงไม่เป็นอนุภาคมูลฐาน จากนั้น ครูใช้รูป 20.43 นำอภิปรายเกี่ยวกับช่วงเวลาของการค้นพบอนุภาคมูลฐานต่าง ๆ

ครูแบ่งกลุ่มให้นักเรียนสืบค้นเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาค โดยให้นักเรียนเลือกศึกษาหัวข้อใดหัวข้อหนึ่งต่อไปนี้

- ก. ประวัติการค้นพบและสมบัติของอนุภาคมูลฐานอย่างน้อย 5 อนุภาค
- ข. การจัดกลุ่มของอนุภาคมูลฐานในแบบจำลองมาตรฐาน และการอธิบายพฤติกรรมและอันตรกิริยาของอนุภาคมูลฐานโดยอาศัยแบบจำลองมาตรฐาน
- ค. ประโยชน์ที่ได้จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค อย่างน้อย 5 ตัวอย่าง

ทั้งนี้ ถ้าในห้องเรียนมีจำนวนนักเรียนมาก บางกลุ่มอาจเลือกหัวข้อที่ซ้ำกันได้ แต่รวมทุกกลุ่มต้องมีการเสนอครอบคลุมทั้ง 3 หัวข้อ

เพื่อการสร้างรูปแบบการนำเสนอที่สร้างสรรค์ น่าสนใจ และ เข้าใจง่าย ครูให้นักเรียน ชมคลิปวิดีโอ หรือรูปเกี่ยวกับตัวอย่างของการจัดแสดงนิทรรศการให้ความรู้ในพิพิธภัณฑ์หรือแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ เช่น การจัดแสดงให้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในงานมหกรรมวิทยาศาสตร์ หรือ การจัดแสดงเพื่อให้ความรู้ทางประวัติศาสตร์ในแหล่งเรียนรู้ ทั้งในและต่างประเทศ จากนั้น ครูนำอภิปรายจนสรุปได้เกี่ยวกับรูปแบบการนำเสนอและการจัดแสดงนิทรรศการ ที่น่าสนใจและผู้เข้าชมเข้าใจง่าย ได้ความรู้

ครูชี้แจงว่า นักเรียนสามารถนำเสนอผลการสืบค้นในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ป้ายแสดงนิทรรศการ คลิปวิดีโอ ละครเวที อาจแต่งเพลงประกอบดนตรี แต่งกลอนประกอบการอธิบาย หรือ สื่ออื่น ๆ โดยให้คำนึงถึงลักษณะของสื่อที่ดีที่ได้อภิปรายและสรุปร่วมกัน ทั้งนี้ ก่อนให้นักเรียนเริ่มการสืบค้น ครูควรชี้แจงเกณฑ์ที่จะใช้ประเมินการนำเสนอของนักเรียน โดยอาจให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการกำหนดเกณฑ์และเป็น ผู้ประเมินขณะ เป็นผู้เข้าชมด้วย

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลในหัวข้อที่เลือก แล้วให้นักเรียนอภิปรายและสรุปภายในกลุ่ม แล้วเตรียมตัวนำเสนอ จากนั้น ให้นักเรียนนำเสนอผลการสืบค้น โดยครูอาจจัดให้มีการนำเสนอในห้องเรียน หรือ การเสนอเป็นงานนิทรรศการของโรงเรียน ตามความเหมาะสม

ภายหลังการนำเสนอของแต่ละกลุ่ม ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปเกี่ยวกับการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค อนุภาคมูลฐาน แบบจำลองมาตรฐาน และประโยชน์ที่ได้จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้น ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจท้ายหัวข้อ 20.5

ข้อแนะนำเพิ่มเติมสำหรับครู

เพื่อการสร้างความเข้าใจที่ดียิ่งขึ้น และเป็นการเชื่อมโยงสิ่งที่ได้เรียนรู้กับชีวิตประจำวัน ครูอาจพานักเรียนไปทัศนศึกษาหน่วยงานต่าง ๆ ที่ทำงานเกี่ยวกับการใช้เครื่องเร่งอนุภาค หรือ ค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค เช่น สถาบันแสงซินโครตรอน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี หรือ โรงพยาบาลที่มีการใช้เครื่องเร่งอนุภาค

สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)
(Synchrotron Light Research Institute)

อาคารสิรินธรวิซัย 111 ถ. มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

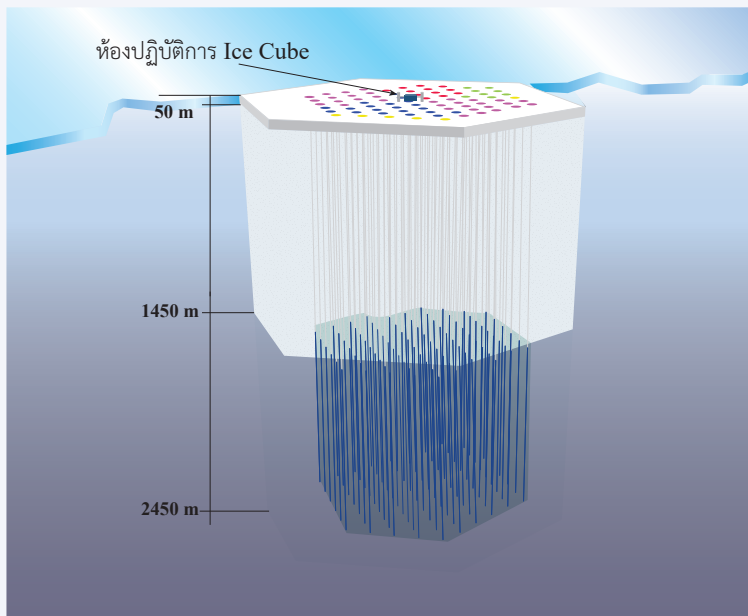
โทรศัพท์: 0-4421-7040 ต่อ 1333, 1444, 1446, 1542

เว็บไซต์ <http://www.slri.or.th>

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับนิวทริโน

นิวทริโนเป็นอนุภาคมูลฐานที่นักฟิสิกส์เชื่อว่ามีจำนวนมากเป็นอันดับสองในเอกภพรองจากโฟตอน โดยในทุกพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรบนร่างกายของเรา มีนิวทริโนประมาณ 1 แสนล้านอนุภาคเคลื่อนที่ผ่านในทุก 1 วินาที แต่เนื่องจากนิวทริโนเป็นอนุภาคที่มีอันตรกิริยากับอนุภาคอื่น ๆ ได้ยากมาก ทำให้การตรวจวัดและศึกษานิวทริโนทำได้ยากมากเช่นกัน นิวทริโนจึงเป็นอนุภาคที่นักฟิสิกส์มีความเข้าใจน้อยที่สุด การพยายามศึกษาธรรมชาติของนิวทริโนจึงยังดำเนินการอยู่ในห้องปฏิบัติทั่วโลกจนกระทั่งปัจจุบัน เช่น โครงการไอซ์คิวบ์ (IceCube หรือ IceCube Neutrino Observatory) ที่ทวีปแอนตาร์กติกาในขั้วโลกใต้ ดังรูป

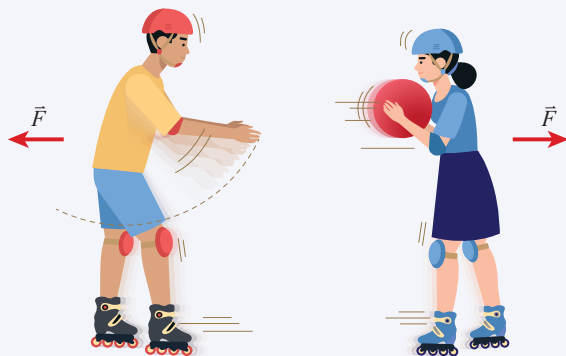


รูป เครื่องตรวจวัดนิวทริโนของโครงการ IceCube ติดตั้งตัวรับรู้ (sensor) กว่า 5 พันชิ้นภายในหลุมที่เจาะลงไปใต้ผืนน้ำแข็งกว่า 2.45 กิโลเมตร จำนวน 86 หลุม

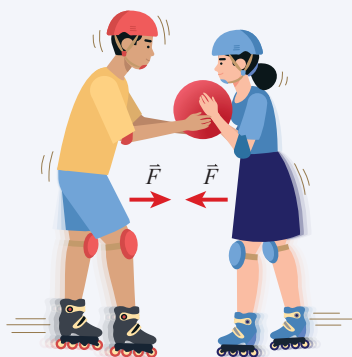
แนวคิดเกี่ยวกับอนุภาคสื่อแรง

แนวคิดที่อนุภาคหนึ่งสามารถรับรู้ถึงแรงที่อนุภาคหนึ่งกระทำโดยการแลกเปลี่ยนอนุภาคสื่อแรง (force-carrier particle หรือ force carrier) เป็นรากฐานในการพัฒนาทฤษฎีทางฟิสิกส์อนุภาคในปัจจุบัน ซึ่งอุปมาอุปไมยได้กับการที่คนใส่รองเท้าสเก็ตสองคนแทนอนุภาคสอง

อนุภาคโยนลูกบอลซึ่งแทนอนุภาคสื่อของแรงให้กันไปมา ทำให้เกิดแรงผลักดันระหว่างคนทั้งสอง ให้เคลื่อนที่ห่างออกจากกัน ดังรูป ก. และถ้าคนสองคนนั้นพยายามแย่งลูกบอลที่อยู่ในมืออีกคน จะทำให้เกิดแรงดึงดูดทำให้ทั้งสองเคลื่อนที่เข้าหากัน ดังรูป ข.



รูป ก. การโยนและรับลูกบอลระหว่างคนใส่รองเท้าสเก็ตสองคนเปรียบเสมือนการแลกเปลี่ยนอนุภาคสื่อแรงที่ทำให้เกิดแรงผลักดันระหว่างอนุภาค



รูป ข. การแย่งลูกบอลระหว่างคนใส่รองเท้าสเก็ตสองคนเปรียบเสมือนการแลกเปลี่ยนอนุภาคสื่อแรงที่ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างอนุภาค

ดังนั้น ในกรณีแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างโปรตอนกับโปรตอนที่มีประจุบวก เป็นผลมาจากการแลกเปลี่ยนโฟตอนระหว่างโปรตอนด้วยกันในลักษณะดังรูป ก. แต่ในกรณีแรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างอิเล็กตรอนที่มีประจุลบกับโปรตอนที่มีประจุบวก เป็นผลมาจากการแลกเปลี่ยนโฟตอนระหว่างอิเล็กตรอนกับโปรตอนในลักษณะดังรูป ข.

แนวการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค อนุภาคมูลฐาน แบบจำลองมาตรฐาน และประโยชน์ที่ได้จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค จากคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 20.5
2. ทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ความร่วมมือและการทำงานเป็นทีมจากการสืบค้นข้อมูล และการนำเสนอ
3. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ การสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสื่อสาร จากข้อมูลที่นำเสนอและการนำเสนอ
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น ความใจกว้าง และ ความมีเหตุผล จากการอภิปรายร่วมกัน และการนำเสนอ
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความร่วมมือช่วยเหลือ จากความร่วมมือและการทำงานเป็นทีมในการสืบค้นข้อมูลและการนำเสนอ
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านการเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ จากการอภิปรายร่วมกัน และการนำเสนอ



แนวคำตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 20.5

1. โปรตอนและนิวตรอนเป็นอนุภาคมูลฐานหรือไม่ จงอธิบาย

แนวคำตอบ โปรตอนและนิวตรอนไม่เป็นอนุภาคมูลฐาน เพราะโปรตอนและนิวตรอนต่างประกอบไปด้วยควาร์ก โดยโปรตอนประกอบไปด้วยควาร์กอัพ 2 อนุภาค และควาร์กดาวน์ 1 อนุภาค ส่วนนิวตรอนประกอบด้วยควาร์กอัพ 1 อนุภาค และควาร์กดาวน์ 2 อนุภาค

2. หลักฐานที่ยืนยันการค้นพบปฏิยานุภาคของอิเล็กตรอนคืออะไร

แนวคำตอบ หลักฐานที่ยืนยันการค้นพบโพซิตรอน ซึ่งเป็นปฏิยานุภาคของอิเล็กตรอน คือภาพแสดงรอยทางของการเคลื่อนที่ของโพซิตรอนในเครื่องตรวจจับอนุภาคแบบห้องหมอก ซึ่งมีลักษณะเป็นแนวโค้ง

3. เพราะเหตุใดนักฟิสิกส์จึงทำนายว่ามีนิวทริโนอยู่ในธรรมชาติ

แนวคำตอบ เพราะในการสลายให้บีตา มีพลังงานส่วนหนึ่งหายไป นักฟิสิกส์จึงได้ทำนายว่ามีอนุภาคชนิดใหม่ นำพลังงานส่วนนี้ออกไป ซึ่งอนุภาคชนิดใหม่นี้ ได้รับการให้ชื่อเรียกว่า นิวทริโน

4. ในแบบจำลองมาตรฐาน มีการจัดกลุ่มอนุภาคมูลฐานออกเป็นกี่กลุ่ม อะไรบ้าง

แนวคำตอบ ในแบบจำลองมาตรฐาน ได้จัดกลุ่มอนุภาคมูลฐานออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ อนุภาคสสาร อนุภาคสื่อแรง และ อนุภาคฮิกส์โบซอน

5. การยึดเหนี่ยวกันของควาร์กเกี่ยวข้องกับอนุภาคสื่อแรงชนิดใดและแรงพื้นฐานแรงใด

แนวคำตอบ การยึดเหนี่ยวกันของควาร์กเกี่ยวข้องกับอนุภาคสื่อแรงชื่อกลูออน และ เกี่ยวข้องกับแรงเข้ม

6. ในแบบจำลองมาตรฐาน การสลายให้บีตาทำให้ควาร์กมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และเกี่ยวข้องกับอนุภาคสื่อแรงชนิดใด

แนวคำตอบ ในแบบจำลองมาตรฐาน การสลายให้บีตาทำให้ควาร์กมีการเปลี่ยนชนิด จากควาร์กดาวนเปลี่ยนไปเป็นควาร์กอัพ ซึ่งเกี่ยวข้องกับอนุภาคสื่อแรงชื่อดับเบิลยูโบซอนลบ

7. จงยกตัวอย่างประโยชน์ที่ได้จากค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคอย่างน้อย 2 ตัวอย่าง

แนวคำตอบ

1. การใช้โปรตอนพลังงานสูงในการรักษาโรคมะเร็งที่เรียกว่าการบำบัดด้วยโปรตอน
2. การใช้เครื่องเร่งอนุภาคในการผลิตชิปในคอมพิวเตอร์ให้มีคุณภาพดีขึ้น

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 20



คำถาม

1. แรงแวนเดอวาล์วเป็นแรงที่กระทำระหว่างอนุภาคคู่ใดบ้าง

แนวคำตอบ แรงแวนเดอวาล์วเป็นแรงที่กระทำระหว่างโปรตอนกับโปรตอน นิวตรอนกับนิวตรอน และ โปรตอนกับนิวตรอน

2. นิวเคลียสของไอโซโทปของธาตุเดียวกัน ที่มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน มีเสถียรภาพต่างกันหรือไม่อย่างไร

แนวคำตอบ นิวเคลียสของไอโซโทปที่มีจำนวนนิวตรอนมากกว่า มีเสถียรภาพมากกว่านิวเคลียสของไอโซโทปที่มีจำนวนนิวตรอนน้อยกว่า เพราะจำนวนนิวตรอนที่เพิ่มขึ้น ทำให้นิวเคลียสมีแรงแวนเดอวาล์วเพิ่มขึ้น การขัดเซยแรงผลักทางไฟฟ้าด้วยแรงแวนเดอวาล์วจึงมีมากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม จำนวนนิวตรอนที่เพิ่มขึ้น ถ้ามากเกินไป จะทำให้นิวเคลียสไม่มีเสถียรภาพ

3. เพราะเหตุใด มวลของนิวเคลียสจึงน้อยกว่ามวลรวมของนิวคลีออนในนิวเคลียส

แนวคำตอบ เพราะการที่นิวคลีออนจะสามารถรวมกันอยู่ได้ภายในนิวเคลียส ต้องมีการเปลี่ยนมวลบางส่วนเป็นพลังงาน สำหรับการยึดเหนี่ยวให้อยู่รวมกัน เพื่อทำให้นิวเคลียสมีเสถียรภาพ

4. นิวเคลียสที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวสูงจะมีเสถียรภาพมากกว่านิวเคลียสที่มีพลังงานยึดเหนี่ยวต่ำกว่าหรือไม่ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ไม่ เพราะพลังงานยึดเหนี่ยวขึ้นกับจำนวนนิวคลีออนในนิวเคลียส ยิ่งนิวเคลียสมีย่านวนนิวคลีออนมาก ยิ่งมีพลังงานยึดเหนี่ยวมาก การพิจารณาเสถียรภาพของนิวเคลียสต้องพิจารณาพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน

5. ใช้สมบัติต่อไปนี้เรียงลำดับของรังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุกัมมันตรังสีจากมากไปน้อย

- ก. มวล
ข. อำนาจทะลุผ่าน
ค. ความสามารถในการทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออน

แนวคำตอบ ก. เรียงลำดับจากรังสีที่มีมวลมากไปน้อย

รังสีแอลฟา รังสีบีตา รังสีแกมมา

ข. เรียงลำดับจากรังสีที่มีอำนาจทะลุผ่านมากไปน้อย

รังสีแกมมา รังสีบีตา รังสีแอลฟา

ค. เรียงลำดับรังสีที่มีความสามารถในการทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนมากไปน้อย

รังสีแอลฟา รังสีบีตา รังสีแกมมา

6. นำธาตุกัมมันตรังสี 3 ชนิดใส่กล่องตะกั่วหมายเลข 1 2 และ 3 กล่องละ 1 ชนิด จากนั้นทดลองให้รังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุกัมมันตรังสีผ่านแผ่นกระดาษและผ่านสนามแม่เหล็ก ได้ผลการทดลองดังตาราง

รังสีจากกล่อง ตะกั่ว	การทะลุผ่าน	การเบน
1	ผ่านกระดาษได้	ไม่เบนในสนามแม่เหล็ก
2	ผ่านกระดาษไม่ได้	เบนในสนามแม่เหล็ก
3	ผ่านกระดาษได้	เบนในสนามแม่เหล็ก

ถ้าธาตุในกล่องตะกั่วแต่ละใบแผ่รังสีเพียงชนิดเดียว ธาตุกัมมันตรังสีในกล่องแต่ละใบแผ่รังสีชนิดใด อธิบาย

แนวคำตอบ ธาตุกัมมันตรังสีในกล่องที่ 1 แผ่รังสีแกมมา เพราะรังสีแกมมาเป็นกลางทางไฟฟ้า จึงไม่เบนในสนามแม่เหล็ก และสามารถทะลุผ่านแผ่นกระดาษได้
 ธาตุกัมมันตรังสีในกล่องที่ 2 แผ่รังสีแอลฟา เพราะรังสีแอลฟาไม่สามารถผ่านแผ่นกระดาษได้ และรังสีแอลฟามีประจุไฟฟ้า จึงเบนในสนามแม่เหล็ก
 ธาตุกัมมันตรังสีในกล่องที่ 3 แผ่รังสีบีตา เพราะรังสีบีตาสามารถผ่านแผ่นกระดาษได้ และรังสีบีตามีประจุไฟฟ้า จึงเบนในสนามแม่เหล็ก

7. เมื่อนิวเคลียสมีการสลายและให้อนุภาคหรือรังสีต่อไปนี้ จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

- ก. อนุภาคแอลฟา
- ข. อนุภาคบีตา
- ค. รังสีแกมมา

แนวคำตอบ ก. นิวเคลียสที่สลายให้อนุภาคแอลฟา จะมีเลขมวลลดลง 4 และเลขอะตอมลดลง 2
 ข. นิวเคลียสที่สลายให้อนุภาคบีตา จะมีเลขมวลเท่าเดิม แต่เลขอะตอมเพิ่มขึ้น 1
 ค. นิวเคลียสที่สลายให้รังสีแกมมา จะมีเลขมวลและเลขอะตอมเท่าเดิม แต่มีระดับพลังงานลดลง

8. สำหรับการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสี ข้อความต่อไปนี้ ข้อใดถูกต้อง

- ก. ธาตุกัมมันตรังสีเมื่อแผ่รังสีและกลายเป็นธาตุใหม่ ธาตุใหม่นี้อาจเป็นธาตุกัมมันตรังสีหรือเป็นธาตุเสถียรก็ได้
- ข. ธาตุกัมมันตรังสีมีการแผ่รังสีแอลฟา รังสีบีตา และแกมมา ออกมาพร้อมกัน
- ค. รังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุกัมมันตรังสีทุกชนิดจะเปี่ยงเบนในสนามแม่เหล็ก
- ง. ธาตุที่เกิดภายหลังการแผ่รังสีจะมีเลขอะตอมลดลง

แนวคำตอบ

ข้อ ก. ถูกต้อง

ข้อ ข. ไม่ถูกต้อง เพราะธาตุกัมมันตรังสีหลายธาตุสามารถสลายได้หลายทาง โดยอาจสลายให้รังสีชนิดเดียว หรือ อาจสลายให้รังสี 2 ชนิดพร้อมกัน

ข้อ ค. ไม่ถูกต้อง รังสีที่แผ่ออกมาจากธาตุกัมมันตรังสีไม่เปี่ยงเบนในสนามแม่เหล็ก เช่น รังสีแกมมา

ข้อ ง. ไม่ถูกต้อง เพราะธาตุที่เกิดภายหลังการแผ่รังสีบางชนิด มีเลขอะตอมเพิ่มขึ้น เช่น ธาตุที่เกิดภายหลังการแผ่รังสีบีตา

9. นิวเคลียส $^{216}_{84}\text{Po}$ สลายเป็น $^{212}_{82}\text{Pb}$ และ นิวเคลียส $^{198}_{79}\text{Au}$ สลายเป็น $^{198}_{80}\text{Hg}$

ก. ในการสลายของแต่ละนิวเคลียสมียอนุภาคใดถูกปล่อยออกมา

ข. จงเขียนสมการการสลายของนิวเคลียสแต่ละนิวเคลียส

แนวคำตอบ ก. ในการสลายของ $^{216}_{84}\text{Po}$ มีการปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา เนื่องจากเลขมวลของ $^{212}_{82}\text{Pb}$ น้อยกว่าเลขมวลของ $^{216}_{84}\text{Po}$ อยู่ 4

ส่วนในการสลายของนิวเคลียส $^{198}_{79}\text{Au}$ มีการปล่อยอนุภาคบีตาลบออกมา เนื่องจากเลขอะตอมของ $^{198}_{80}\text{Hg}$ มากกว่าเลขอะตอมของ $^{198}_{79}\text{Au}$ อยู่ 1



10. โรงพยาบาลต่าง ๆ ใช้โคบอลต์ -60 ($^{60}_{27}\text{Co}$) ในการฉายรังสีรักษามะเร็ง เมื่อโคบอลต์-60 แผ่รังสีแล้วจะกลายเป็นนิกเกิล -60 ($^{60}_{28}\text{Ni}$) ซึ่งจะแผ่รังสีแกมมาต่อไปอีก

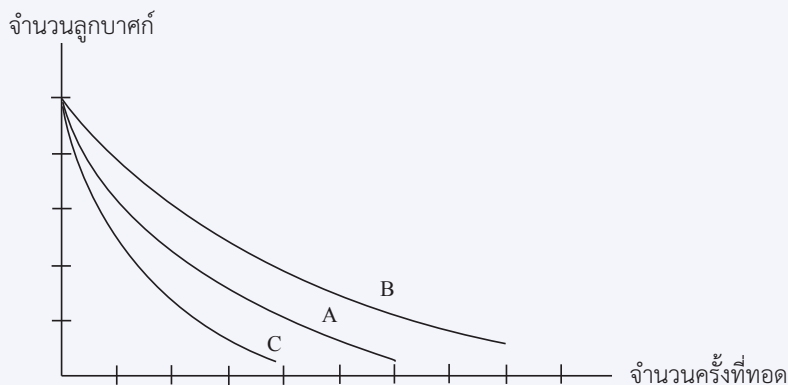
ก. จงเขียนสมการนิวเคลียร์แสดงการสลายของโคบอลต์ -60 ไปเป็นนิกเกิล -60

ข. รังสีที่ได้จากการแผ่รังสีของโคบอลต์ -60 คือรังสีใด และมีสมบัติอย่างไร



ข. รังสีที่ได้จากการแผ่รังสีของโคบอลต์ -60 คือรังสีบีตา มีประจุไฟฟ้า $-1e$ มีอำนาจทะลุผ่านแผ่นกระดาษบาง ๆ ได้ แต่ทะลุผ่านแผ่นโลหะบางไม่ได้ นอกจากนี้ยังสามารถทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนได้อีกด้วย

11. ในกิจกรรมจำลองการสลายของนิวเคลียสกัมมันตรังสีด้วยการทอดลูกบาศก์ โดยใช้ลูกบาศก์ 6 หน้าแต้มสีไว้ 2 หน้า เมื่อเขียนกราฟระหว่างจำนวนลูกบาศก์ที่เหลือกับจำนวนครั้งที่ทอดจะได้กราฟ A ถ้าลูกบาศก์นั้นแต้มสีไว้เพียงหน้าเดียว กราฟที่ได้จะเป็นกราฟ B หรือ C จงอธิบาย



รูป ประกอบคำถามข้อ 11

แนวคำตอบ กราฟ B เพราะโอกาสที่ลูกบาศก์จะหงายหน้าแต้มสีน้อยลง การลดลงของ จำนวน ลูกบาศก์ที่เหลืออยู่จึงลดลงในอัตราที่ช้ากว่าในกรณีที่แต้มสีไว้ 2 หน้า

12. ถ้าเปรียบเทียบให้ลูกบาศก์ 6 หน้าเป็นนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี และการหงายหน้าแต้มสีเปรียบ ได้กับการสลายของนิวเคลียส จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีเปรียบได้กับปริมาณใดในการทอดลูกบาศก์

ข. ถ้าลูกบาศก์ชุดหนึ่งมีการแต้มสี 2 หน้า ส่วนอีกชุดมีการแต้มสี 3 หน้า ลูกบาศก์ชุดใด มีครึ่งชีวิต มากกว่า เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ก. ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีเปรียบได้กับจำนวนครั้งที่ทอดลูกบาศก์แล้วทำให้ เหลือลูกบาศก์อยู่จำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนเริ่มต้น

ข. ลูกบาศก์ชุดที่มีการแต้มสี 2 หน้า มีครึ่งชีวิตมากกว่าลูกบาศก์ชุดที่มีการแต้มสี 3 หน้า เพราะลูกบาศก์ชุดที่มีการแต้มสี 2 หน้ามีโอกาสที่จะสลายน้อยกว่า ลูกบาศก์ชุดที่มีการแต้มสี 3 หน้า อัตราการสลายจึงช้ากว่า ทำให้เวลาที่ใช้ใน การลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของจำนวนเริ่มต้นมากกว่า

13. ถ้าเปรียบเทียบให้เหรียญ 1 บาทเป็นนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี และการหงายด้านก้อยเปรียบ ได้กับการสลาย ให้ตอบคำถามต่อไปนี้

ก. ค่าคงตัวการสลายหาได้จากปริมาณใด

ข. ค่าคงตัวการสลาย มีค่าเท่าใด

แนวคำตอบ ก. ค่าคงตัวการสลายหาได้จากโอกาสที่เหรียญจะหงายด้านก้อยเมื่อโยนเหรียญ ซึ่งเท่ากับจำนวนหน้าที่หงายด้านก้อยหารด้วยจำนวนหน้าทั้งหมดของเหรียญ

ข. ค่าคงตัวการสลาย มีค่า $1/2$ หรือ 0.5

14. กัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี มีความสัมพันธ์กับครึ่งชีวิตอย่างไร

แนวคำตอบ ยิ่งธาตุกัมมันตรังสีมีกัมมันตภาพมาก ยิ่งมีครึ่งชีวิตสั้น เนื่องจาก การมีกัมมันตภาพ มากแสดงว่ามีอัตราการแผ่รังสีมาก ดังนั้น จึงใช้เวลาในการแผ่รังสีจนลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของ ปริมาณเดิมได้เร็ว

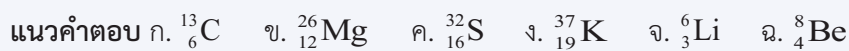
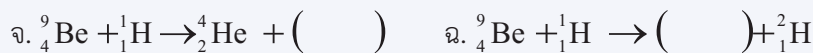
15. ระบุปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสีชนิดใดชนิดหนึ่ง

แนวคำตอบ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสีชนิดใดชนิดหนึ่งคือ ค่าคงตัว การสลายและจำนวนนิวเคลียสที่มีอยู่ในขณะนั้น

16. จงอธิบายความแตกต่างระหว่างฟิวชันกับฟิวชั่น

แนวคำตอบ ฟิวชันเป็นการแยกออกจากกันของนิวเคลียสของธาตุหนัก ส่วนฟิวชั่นเป็นการรวมกันของนิวเคลียสของธาตุเบา ทั้งนี้ ฟิวชั่นต้องได้รับการกระตุ้นจากอนุภาคอื่น ๆ และสามารถเกิดขึ้นได้ในสภาวะอุณหภูมิและความดันปกติ ส่วนฟิวชันไม่ต้องอาศัยอนุภาคอื่นมากระตุ้น แต่ต้องอาศัยสภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันสูงมาก

17. จงเติมสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ ไอโซโทปของธาตุ หรืออนุภาคที่เหมาะสมลงในวงเล็บ เพื่อให้ปฏิกิริยานิวเคลียร์สมดุล



18. พลังงานนิวเคลียร์ต่อมวลที่ได้จากฟิวชันระหว่างดิวเทรอนกับทริทอนแตกต่างจากพลังงานนิวเคลียร์ต่อมวลที่ได้จากฟิวชันของยูเรเนียม -235 อย่างไร

แนวคำตอบ พลังงานนิวเคลียร์ต่อมวลที่ได้จากฟิวชันระหว่างดิวเทรอนกับทริทอน มีค่ามากกว่าพลังงานนิวเคลียร์ต่อมวลที่ได้จากฟิวชันของยูเรเนียม -235 ประมาณ 4 เท่า

19. เหตุใด การทำให้เกิดฟิวชันขึ้นบนโลก จึงยากกว่า ฟิวชัน

แนวคำตอบ เพราะการทำให้เกิดฟิวชัน ต้องสร้างสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงหลายล้านองศาเซลเซียส หรือมีความดันมหาศาลมากกว่าความดันบรรยากาศหลายล้านเท่า จึงสามารถทำให้นิวเคลียสของธาตุเบาเคลื่อนที่เข้าหากันและรวมกันได้ ในขณะที่ การทำให้เกิดฟิวชัน สามารถทำได้ในสภาวะอุณหภูมิและความดันปกติ

20. ถ้ามนุษย์สามารถควบคุมพลังงานนิวเคลียร์จากฟิวชันให้เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบที่ใช้ประโยชน์ได้ จะช่วยแก้ปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมได้อย่างไร

แนวคำตอบ เนื่องจากการสร้างฟิวชัน ใช้วัตถุดิบที่หาได้จากส่วนประกอบของน้ำ ปัญหาการขาดแคลนแหล่งพลังงานจึงได้รับการแก้ไข อีกทั้ง ฟิวชันไม่มีการปล่อยแก๊สเรือนกระจก มลพิษ หรือกากกัมมันตรังสี จึงสามารถช่วยแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ได้

21. อาหารที่ผ่านการฉายรังสี มีอันตรายหรือไม่ อธิบาย

แนวคำตอบ อาหารที่ผ่านการฉายรังสีไม่มีอันตราย เพราะเมื่อรังสีตกกระทบอาหาร จะถ่ายโอนพลังงานให้กับโมเลกุลของอาหาร ไม่มีการตกค้างหรือปนเปื้อน เนื่องจากอาหารไม่มีการสัมผัสกับธาตุหรือไอโซโทปกัมมันตรังสี

22. รังสีที่มากเกินไป ทำให้เกิดความเสียหายทางชีวภาพกับร่างกายมนุษย์อย่างไร

แนวคำตอบ รังสีที่มากเกินไป สามารถไปทำลายโครงสร้างโมเลกุลของดีเอ็นเอในร่างกาย ซึ่งส่งผลให้ดีเอ็นเอผิดปกติหรืออาจทำให้เซลล์ตายได้

23. ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ฉีดเข้าไปในร่างกายเพื่อการตรวจวินิจฉัยของแพทย์ ควรมีสมบัติที่สำคัญอย่างไร ระบุมา 2 ข้อ

แนวคำตอบ ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ฉีดเข้าไปในร่างกาย ควรมีสมบัติดังนี้

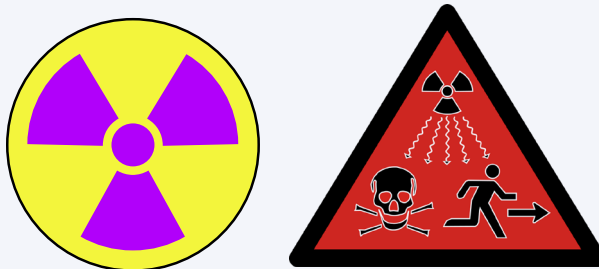
1. มีอัตราการแผ่รังสีน้อย ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย
2. มีครึ่งชีวิตที่สั้นไม่เกิน 2 – 3 วัน เพื่อที่จะสลายไปจนหมดภายในกวัน และไม่มีการตกค้างภายในร่างกาย

24. จงบอกแนวทางป้องกันอันตรายจากรังสีอย่างน้อย 3 แนวทาง

แนวคำตอบ

1. เมื่อจำเป็นต้องอยู่ในบริเวณที่มีแหล่งกำเนิดรังสี ให้ใช้เวลาให้สั้นที่สุด
2. เมื่อทราบว่า มีแหล่งกำเนิดรังสีในบริเวณใกล้เคียง ให้พยายามอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้
3. ถ้าจำเป็นต้องอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดรังสีเป็นเวลานาน ควรใช้วัสดุที่รังสีทะลุผ่านได้ยากมาเป็นอุปกรณ์กำบังรังสี

25. สัญลักษณ์เตือนภัยจากรังสีทั้งสองดังรูป มีความหมายแตกต่างกันอย่างไร



รูป ประกอบคำถามข้อ 25

แนวคำตอบ รูปด้านซ้ายมือ แจ้งให้ผู้พบเห็นทราบว่า มีแหล่งกำเนิดรังสีหรือรังสีในบริเวณนั้น
ควรระมัดระวังปฏิบัติตามแนวทางป้องกันรังสี ส่วนรูปด้านขวามือ แจ้งให้ผู้พบเห็นทราบว่า มี
แหล่งกำเนิดรังสีที่เป็นอันตรายสูงอยู่ในบริเวณนั้น ควรรีบออกห่างทันที

26. ให้อธิบายถึงความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องเร่งอนุภาคในการศึกษาอนุภาคมูลฐาน โดยใช้แนวคิดทวิภาวะ
ของคลื่นและอนุภาคของเดอบรอยล์

แนวคำตอบ การที่อนุภาคได้รับการเร่งให้มีความเร็วสูง จะทำให้อนุภาคมีโมเมนตัมสูง และจาก
สมการความยาวคลื่นเดอบรอยล์ $\lambda = \frac{h}{p}$ อนุภาคที่มีโมเมนตัมสูงจะมีความยาวคลื่นสั้นมาก
จึงทำให้สามารถใช้ศึกษาองค์ประกอบที่เล็กมากยิ่งขึ้นได้

27. อนุภาคใดต่อไปนี้ เป็นอนุภาคมูลฐาน

ก. บีตาลบ ข. ดิวเทอรอน ค. โปรตอน ง. เลปตอน จ. มีซอน ฉ. ดับเบิลยูโบซอน

แนวคำตอบ ก. และ ฉ. เป็นอนุภาคมูลฐาน ส่วน ง. เป็นชื่อของกลุ่มอนุภาคมูลฐาน

28. แรงแวนเดอวาลส์เป็นแรงพื้นฐานหรือไม่ จงอธิบาย

แนวคำตอบ แรงแวนเดอวาลส์ไม่เป็นแรงพื้นฐาน เนื่องจากแรงแวนเดอวาลส์เป็นแรงระหว่างนิวคลีออน
ในนิวเคลียส ซึ่งไม่ใช่อนุภาคมูลฐาน แรงแวนเดอวาลส์เป็นผลข้างเคียงที่เกิดจากแรงเข้มระหว่าง
ควาร์กภายในนิวคลีออน

29. ในแบบจำลองมาตรฐาน อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคมูลฐานเกิดขึ้นได้อย่างไร

แนวคำตอบ อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคมูลฐานเกิดจากการแลกเปลี่ยนอนุภาคสื่อแรง

30. อันตรกิริยาต่อไปนี้เกี่ยวข้องกับอนุภาคสื่อแรงชนิดใด

ก. การยึดเหนี่ยวกันของควาร์กในโปรตอน
ข. การที่ควาร์กเปลี่ยนชนิดในการสลายให้บีตาลบ
ค. การผลักรันระหว่างอนุภาคแอลฟากับนิวเคลียส
ง. การยึดเหนี่ยวกันระหว่างนิวคลีออนในนิวเคลียส

แนวคำตอบ ก. กลูออน

ข. ดับเบิลยูโบซอนลบ

ค. โฟตอน

ง. มีซอน

31. การรักษามะเร็งด้วยวิธีการบำบัดด้วยโปรตอน มีข้อดีอย่างไร ให้ระบุมา 2 ข้อ

แนวคำตอบ การรักษามะเร็งด้วยวิธีการบำบัดด้วยโปรตอนทำให้น้ำเนื้อเยื่อบริเวณใกล้เคียงเซลล์มะเร็งได้รับผลข้างเคียงน้อยกว่า และเนื้อเยื่อส่วนที่ได้รับรังสีมีปริมาณน้อยกว่า การรักษาด้วยรังสีเอกซ์

32. ยกตัวอย่าง ประโยชน์ที่ได้จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคในด้านอุตสาหกรรมและด้านความปลอดภัยมาอย่างน้อยด้านละ 1 ตัวอย่าง

แนวคำตอบ ด้านอุตสาหกรรม เช่น การผลิตชิปในคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นแต่ราคาต่ำลง ส่วนด้านความปลอดภัย เช่น การตรวจวัตถุอันตรายด้วยรังสีเอกซ์ที่กำหนดมาจากการเร่งอนุภาค

Ⓕ | ปัญหา

กำหนดให้

- มวล 1 u เท่ากับ 1.66×10^{-27} กิโลกรัม
- มวล 1 u เทียบเท่ากับพลังงาน 931.5 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์
- พลังงาน 1 อิเล็กตรอนโวลต์ เท่ากับ 1.6×10^{-19} จูล
- มวลอะตอมของไฮโดรเจนเท่ากับ 1.007825 u
- มวลของโปรตอนเท่ากับ 1.007276 u
- มวลของนิวตรอนเท่ากับ 1.008665 u
- มวลของอิเล็กตรอนเท่ากับ 0.000549 u
- กำหนด 1 ปี เท่ากับ 3.15×10^7 วินาที
- ค่าคงตัวอวาโวกาโดร N_A มีค่าเท่ากับ 6.023×10^{23} อะตอมต่อโมล
- กัมมันตภาพ 1 คูรีเท่ากับ 3.7×10^{10} เบ็กเคอเรล

1. จงคำนวณส่วนพร่องมวล พลังงานยึดเหนี่ยว และ พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน ของนิวเคลียสของธาตุและไอโซโทปต่อไปนี้

ก. ลิเทียม-7 (${}^7_3\text{Li}$) มวลอะตอมเท่ากับ 7.016005 u

ข. โพแทสเซียม-39 (${}^{39}_{19}\text{K}$) มวลอะตอมเท่ากับ 38.963710 u

ค. แคดเมียม-114 (${}^{114}_{48}\text{Cd}$) มวลอะตอมเท่ากับ 113.903361 u

วิธีทำ ก. อะตอมของ ${}^7_3\text{Li}$ ประกอบด้วยโปรตอน 3 โปรตอน อิเล็กตรอน 3 อิเล็กตรอน และ นิวตรอน 4 นิวตรอน

หาส่วนพร่องมวลจากสมการ

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n + Zm_e] - m_{\text{Li-7}}$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}\Delta m &= [3(1.007276 \text{ u}) + 4(1.008665 \text{ u}) + 3(0.000549 \text{ u}) - 7.016005 \text{ u}] \\ &= 0.042130 \text{ u}\end{aligned}$$

หาพลังงานยึดเหนี่ยวที่เทียบเท่ากับส่วนพร่องมวล

$$\begin{aligned}E &= (0.04213 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 39.244095 \text{ MeV}\end{aligned}$$

นิวเคลียสของลิเทียมมีนิวคลีออน (A) เท่ากับ 7

ดังนั้นพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนเท่ากับ

$$\begin{aligned}\frac{E}{A} &= \frac{39.244095 \text{ MeV}}{7 \text{ nucleons}} \\ &= 5.606299 \text{ MeV/nucleons}\end{aligned}$$

ข. อะตอมของ ${}^{39}_{19}\text{K}$ ประกอบด้วยโปรตอน 19 โปรตอน อิเล็กตรอน 19 อิเล็กตรอน และ นิวตรอน 20 นิวตรอน

หาส่วนพร่องมวลจากสมการ

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n + Zm_e] - m_{\text{K-39}}$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}\Delta m &= [19(1.007276 \text{ u}) + 20(1.008665 \text{ u}) + 19(0.000549 \text{ u}) - 38.963710 \text{ u}] \\ &= 0.347834 \text{ u}\end{aligned}$$

หาพลังงานยึดเหนี่ยวที่เทียบเท่ากับส่วนพร่องมวล

$$\begin{aligned}E &= (0.347834 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 324.0074 \text{ MeV}\end{aligned}$$

นิวเคลียสของโพแทสเซียมมีนิวคลีออน (A) เท่ากับ 39

ดังนั้นพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนเท่ากับ

$$\begin{aligned}\frac{E}{A} &= \frac{324.0074 \text{ MeV}}{39 \text{ nucleons}} \\ &= 8.308 \text{ MeV/nucleons}\end{aligned}$$

ค. อะตอมของ $^{114}_{48}\text{Cd}$ ประกอบด้วยโปรตอน 48 โปรตอน อิเล็กตรอน 48 อิเล็กตรอน และนิวตรอน 66 นิวตรอน

หาส่วนพร่องมวลจากสมการ

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n + Zm_e] - m_{\text{Cd-114}}$$

แทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}\Delta m &= [48(1.007276 \text{ u}) + 66(1.008665 \text{ u}) + 48(0.000549 \text{ u}) - 113.903361 \text{ u}] \\ &= 114.947490 \text{ u} - 113.903361 \text{ u} \\ &= 1.044129 \text{ u}\end{aligned}$$

หาพลังงานยึดเหนี่ยวที่เทียบเท่าส่วนพร่องมวล

$$\begin{aligned}E &= (1.044129 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 972.606635 \text{ MeV}\end{aligned}$$

นิวเคลียสของแคดเมียมมีนิวคลีออน (A) เท่ากับ 114

ดังนั้นพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนเท่ากับ

$$\begin{aligned}\frac{E}{A} &= \frac{972.6061635 \text{ MeV}}{114 \text{ nucleon}} \\ &= 8.53 \text{ MeV/nucleons}\end{aligned}$$

ตอบ ก. ลิเทียม-7 มีส่วนพร่องมวล 0.042130 u มีพลังงานยึดเหนี่ยว 39.24 MeV และ พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน 5.606 MeV ต่อนิวคลีออน

ข. โพแทสเซียม-39 มีส่วนพร่องมวล 0.347834 u พลังงานยึดเหนี่ยว 324.0 MeV และ พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน 8.308 MeV ต่อนิวคลีออน

ค. แคดเมียม-114 มีส่วนพร่องมวล 1.044129 u พลังงานยึดเหนี่ยว 972.6 MeV และ พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน 8.53 MeV ต่อนิวคลีออน

2. นิวเคลียสของนิกเกิล-60 ($^{60}_{28}\text{Ni}$) มีพลังงานยึดเหนี่ยว 526.80 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ จงหามวลอะตอมนิกเกิล-60

วิธีทำ ถ้า E_B เป็นพลังงานยึดเหนี่ยวของ $^{60}_{28}\text{Ni}$ และ Δm เป็นส่วนพร่องมวล จะได้

$$E_B = \Delta m (931.5 \text{ MeV/u})$$

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น } \Delta m &= \frac{526.80 \text{ MeV}}{931.5 \text{ MeV/u}} \\ &= 0.565539 \text{ u}\end{aligned}$$

ถ้า M เป็นมวลอะตอมของ $^{60}_{28}\text{Ni}$ จะได้

$$\begin{aligned}\Delta m &= \text{มวลขององค์ประกอบของอะตอม } {}^{60}_{28}\text{Ni} - M \\ 0.565539 \text{ u} &= 28(1.044129 \text{ u}) + (60-28)(1.008665 \text{ u}) + 28(0.0005498 \text{ u}) - M \\ M &= 28.203728 \text{ u} + 32.27728 \text{ u} + 0.015372 \text{ u} - 0.565539 \text{ u} \\ &= 59.930841 \text{ u}\end{aligned}$$

ตอบ มวลอะตอม ${}^{60}_{28}\text{Ni}$ เท่ากับ 59.930841 u

3. พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนของนิวเคลียสแมกนีเซียม-24 (${}^{24}_{12}\text{Mg}$) เท่ากับ 8.26 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ต่อนิวคลีออน จงหาส่วนพร่องมวลของนิวเคลียสแมกนีเซียม-24

วิธีทำ นิวเคลียสของแมกนีเซียม-24 มีนิวคลีออน (A) เท่ากับ 24

ดังนั้น นิวเคลียสของแมกนีเซียม-24 มีพลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับ

$$\begin{aligned}E &= (8.26 \text{ MeV/nucleon})(24) \\ &= 198.24 \text{ MeV}\end{aligned}$$

หาพลังงานยึดเหนี่ยวที่เทียบเท่าส่วนพร่องมวลจากสมการ

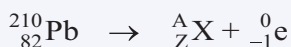
$$E = (\Delta m)(931.5 \text{ MeV/u})$$

จัดรูปใหม่ และแทนค่า จะได้

$$\begin{aligned}\Delta m &= \frac{198.24 \text{ MeV}}{931.5 \text{ MeV/u}} \\ &= 0.212828 \text{ u}\end{aligned}$$

ตอบ ส่วนพร่องมวลของนิวเคลียสแมกนีเซียม-24 เท่ากับ 0.213 u

4. สมการต่อไปนี้แสดงการสลายของตะกั่ว-210



ก. A และ Z มีค่าเท่าใด

ข. X เป็นนิวเคลียสของธาตุใด

วิธีทำ ก. จากสมการ ${}^{210}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^A_Z\text{X} + {}^0_{-1}\text{e}$

เนื่องจากผลรวมของเลขมวลก่อนปฏิกิริยาและหลังปฏิกิริยาเท่ากัน

$$\text{ดังนั้น} \quad 210 = A + 0$$

$$A = 210$$

และผลรวมของเลขอะตอมก่อนปฏิกิริยาและหลังปฏิกิริยาเท่ากัน

$$\text{ดังนั้น} \quad 82 = Z - 1$$

$$Z = 83$$

ข. จากตารางธาตุ X เป็นนิวเคลียสของธาตุบิสมัท $^{210}_{83}\text{Bi}$
 X เป็นนิวเคลียสของธาตุบิสมัท

ตอบ ก. A เท่ากับ 210 และ Z เท่ากับ 83

ข. X เป็นนิวเคลียสของธาตุบิสมัท

5. ในการสลายของนิวเคลียสยูเรเนียม-238 ($^{238}_{92}\text{U}$) ได้นิวเคลียสสุดท้ายที่เสถียรคือ นิวเคลียสของตะกั่ว ซึ่งการสลายของนิวเคลียสยูเรเนียม-238 นี้จะได้อนุภาคแอลฟา 8 อนุภาคและอนุภาคบีตา 6 จงหาเลขอะตอมและเลขมวลของนิวเคลียสตะกั่วที่ได้จากการสลายของนิวเคลียสยูเรเนียม-238

วิธีทำ ถ้านิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีสลายให้แอลฟา (^4_2He) จะทำให้นิวเคลียสนั้นมีเลขอะตอมลดลง 2 ส่วนเลขมวลลดลง 4 ส่วนนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีที่สลายให้บีตา ($^0_{-1}\text{e}$) จะทำให้นิวเคลียสนั้นมีเลขอะตอมเพิ่มขึ้น 1 ส่วนเลขมวลคงเดิม ดังนั้นนิวเคลียสยูเรเนียม-238 สลายให้อนุภาคแอลฟา 8 อนุภาค และอนุภาคบีตา 6 อนุภาค แล้วได้นิวเคลียสเสถียรคือตะกั่วให้ Z และ A เป็นเลขอะตอมและเลขมวลของตะกั่วตามลำดับ จะได้

$$\begin{aligned} Z &= 92 - (8 \times 2) + 6 \\ &= 82 \end{aligned}$$

เลขอะตอมของตะกั่วเท่ากับ 82

$$\begin{aligned} A &= 238 - (8 \times 4) + 0 \\ &= 206 \end{aligned}$$

เลขมวลของตะกั่วเท่ากับ 206

สัญลักษณ์ของนิวเคลียสสุดท้ายก็คือ

ตอบ เลขอะตอมและเลขมวลของตะกั่วเท่ากับ 82 และ 206 ตามลำดับ

6. ในอนุกรมการสลายของยูเรเนียม-238 ($^{238}_{92}\text{U}$) มีทั้งการสลายให้แอลฟา บีตาและแกมมา จนได้ธาตุสุดท้ายเป็นตะกั่ว-206 ($^{206}_{82}\text{Pb}$) ถ้าในอนุกรมการสลาย พบว่ามีการปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา 8 อนุภาค การสลายนี้จะมีอนุภาคบีตาออกมาก็อนุภาค

วิธีทำ ในการปล่อยอนุภาคแอลฟา 1 อนุภาค (^4_2He) เลขมวล (A) หรือจำนวนนิวคลีออนจะลดลง 4 และเลขอะตอม (Z) หรือจำนวนโปรตอนจะลดลง 2 ส่วนการปล่อยอนุภาคบีตา 1 อนุภาค ($^0_{-1}\text{e}$) จะมีเลขอะตอม (Z) หรือจำนวนโปรตอนเพิ่มขึ้น 1 ถ้าการสลายของยูเรเนียม -238 ตลอดอนุกรมมีการปล่อยอนุภาคแอลฟา 8 อนุภาค ซึ่งแต่ละครั้งจะมีจำนวนโปรตอนลดลง 2 โปรตอน

ดังนั้น จำนวนโปรตอนทั้งหมดที่ลดลง = $8 \times 2 = 16$ ตัว

หลังจากยูเรเนียม-238 ปลดปล่อยอนุภาคแอลฟา 8 อนุภาค

จะเหลือโปรตอน = $92 - 16 = 76$ อนุภาค

แต่ธาตุสุดท้ายเป็นตะกั่ว-206 ($^{206}_{82}\text{Pb}$) ซึ่งมีจำนวนโปรตอน 82 อนุภาค

แสดงว่าในการเปลี่ยนเป็นตะกั่ว-206 ต้องมีจำนวนโปรตอนเพิ่มขึ้น

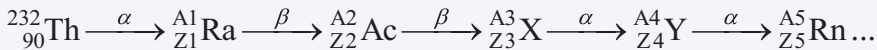
$82 - 76 = 6$ อนุภาค

นั่นคือ ต้องมีการปลดปล่อยอนุภาคบีตา 6 อนุภาค

ในอนุกรมการสลายนี้จะมีการปลดปล่อยอนุภาคบีตา 6 อนุภาค

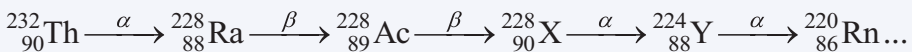
ตอบ การสลายนี้จะมีการปล่อยอนุภาคบีตาออกมา 6 อนุภาค

7. สมการการสลายต่อไปนี้ เป็นบางส่วนของอนุกรมการสลายของทอเรียม-232



จงหา ค่า A1 ถึง A5 และ Z1 ถึง Z5 พร้อมทั้งระบุว่า X และ Y เป็นนิวเคลียสของธาตุใด

วิธีทำ การสลายให้อนุภาคแอลฟา เลขอะตอมลดลง 2 และเลขมวลลดลง 4 ส่วนการสลายให้อนุภาคบีตา เลขอะตอมเพิ่มขึ้น 1 และเลขมวลไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจากสมการการสลายข้างต้นจะได้



จากตารางธาตุ ธาตุที่มีเลขอะตอม 90 และ 88 คือทอเรียม (Th) และเรเดียม (Ra) ตามลำดับ ดังนั้น X คือ นิวเคลียสของธาตุทอเรียม และ Y คือ นิวเคลียสของธาตุเรเดียม

ตอบ A1 เท่ากับ 228 A2 เท่ากับ 228 A3 เท่ากับ 228
A4 เท่ากับ 224 A5 เท่ากับ 220
Z1 เท่ากับ 88 Z2 เท่ากับ 89 Z3 เท่ากับ 90
Z4 เท่ากับ 88 Z5 เท่ากับ 86
X เป็นนิวเคลียสของธาตุทอเรียม และ Y เป็นนิวเคลียสของธาตุเรเดียม

8. ในการทดลองอุปมาอุปไมยการทอดลูกบาศก์กับการสลายของนิวเคลียสกัมมันตรังสี ถ้าลูกบาศก์มี 20 หน้า และมีหน้าที่แต้มสีไว้ 3 หน้า

ก. จงหาโอกาสที่ลูกบาศก์จะหงายหน้าที่แต้มสีไว้

ข. ถ้าใช้ลูกบาศก์เดียวกันนี้จำนวน 200 ลูกมาทดลอง แล้วคัดลูกบาศก์ที่หงายหน้าแต้มสีออก จงหาจำนวนครั้งของการทอดที่ทำให้ลูกบาศก์เหลือประมาณ 50 ลูก

วิธีทำ ก. โอกาสที่ลูกบาศก์จะหงายหน้าที่แต้มสีได้จากอัตราส่วนระหว่างจำนวนหน้าที่แต้มสีกับจำนวนหน้าทั้งหมดของลูกบาศก์ ดังนั้น โอกาสที่ลูกบาศก์จะหงายหน้าที่แต้มสีเท่ากับ $\frac{3}{20}$

ข. ถ้าเดิมมีลูกบาศก์ N_0 ลูก

ทอดครั้งแรก ลูกบาศก์ที่ถูกคัดออกประมาณ $\frac{3}{20} N_0$

ทอดไป 1 ครั้ง เหลือลูกบาศก์ประมาณ $\frac{17}{20} N_0$

ทอดครั้งที่สอง ลูกบาศก์ที่ถูกคัดออกประมาณ $\left(\frac{3}{20}\right)\left(\frac{17}{20}\right) N_0$

ทอดไป 2 ครั้ง เหลือลูกบาศก์ประมาณ $\frac{17}{20} N_0 - \left(\frac{3}{20}\right)\left(\frac{17}{20}\right) N_0 = \left(\frac{17}{20}\right)^2 N_0$

ดังนั้น ทอดไป t ครั้ง เหลือลูกบาศก์ประมาณ $N = \left(\frac{17}{20}\right)^t N_0$ (a)

หาจำนวนครั้งของการทอดที่ทำให้ลูกบาศก์เหลือประมาณ 50 ลูก

$$\text{ซึ่ง } 50 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 200$$

จะเห็นว่า ถ้าให้ $T_{1/2}$ เป็นจำนวนครั้งที่ทอดแล้วทำให้เหลือลูกบาศก์ประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนที่เริ่มทอด หรือ $\frac{N_0}{2}$

การทอดลูกบาศก์เป็นจำนวน $2T_{1/2}$ ครั้ง โดยที่เริ่มต้นมีลูกบาศก์ 200 ลูก จะทำให้เหลือลูกบาศก์ประมาณ $\left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}\right) \times 200 = 50$ ลูก

หา $T_{1/2}$ โดยใช้สมการ (a)

ถ้าทอดไป $T_{1/2}$ ครั้ง ทำให้เหลือลูกบาศก์ประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนที่เริ่มทอด $\frac{N_0}{2}$ แทนลงในสมการ (a) จะได้

$$\frac{N_0}{2} = \left(\frac{17}{20}\right)^{T_{1/2}} N_0$$

$$\left(\frac{20}{17}\right)^{T_{1/2}} = 2$$

$$T_{1/2} \log\left(\frac{20}{17}\right) = \log 2$$

$$T_{1/2} = \frac{\log 2}{\log 20 - \log 17}$$

$$T_{1/2} = 4.265$$

ดังนั้น จำนวนครั้งที่ทอดที่ทำให้ลูกบาศก์เหลือประมาณ 50 ลูก

$$\begin{aligned} t &= 2T_{1/2} \\ &= 2(4.265) = 8.5 \text{ ครั้ง} \end{aligned}$$

ตอบ ก. โอกาสที่ลูกบาศก์หงายหน้าที่แต้มสีไว้นั้นเท่ากับ $\frac{3}{20}$

ข. โดยเฉลี่ยต้องทอดลูกบาศก์ 9 ครั้ง จึงจะเหลือลูกบาศก์ประมาณ 50 ลูก

9. ในการทดลองหาครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีโดยใช้เครื่องนับไกเกอร์วัดกัมมันตภาพได้ผลการทดลองดังข้อมูลในตาราง

เวลาวัดจากเริ่มต้น (นาทิจ)	0	2	4	6	8	10	12
กัมมันตภาพที่วัดได้ (ต่อวินาที)	116	96	80	69	58	50	44

ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีนี้มีค่าประมาณเท่าใด และเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที จะตรวจวัดกัมมันตภาพได้ประมาณเท่าใด

วิธีทำ เริ่มต้นที่เวลา $t = 0 \text{ s}$ กัมมันตภาพ $A_0 = 116 \text{ s}^{-1}$

เมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับครึ่งชีวิต $t = T_{1/2}$ กัมมันตภาพจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของ

กัมมันตภาพเริ่มต้น หรือ $A = \frac{A_0}{2}$ ซึ่งในที่นี้ $A = \frac{116 \text{ s}^{-1}}{2} = 58 \text{ s}^{-1}$

จากตาราง กัมมันตภาพที่วัดได้เหลือ 58 ต่อวินาที เมื่อเวลาผ่านไป 8 นาที

ดังนั้น ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีนี้คือ 8 นาที

และเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที หากกัมมันตภาพได้โดยพิจารณาได้ดังนี้

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (\text{a})$$

หาค่าคงตัวการสลาย จากสมการ $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{8 \text{ min}} \quad (\text{b})$$

แทน $t = 20 \text{ min}$ และ λ จาก (b) ลงใน (a) จะได้

$$\begin{aligned} A &= (116 \text{ s}^{-1}) \left(e^{-\left(\frac{\ln 2}{8 \text{ min}}\right)(20 \text{ min})} \right) \\ &= (116 \text{ s}^{-1}) (e^{-(0.693)(2.5)}) \\ &= (116 \text{ s}^{-1}) (e^{-1.7325}) \\ &= (116 \text{ s}^{-1}) (0.176842) \end{aligned}$$

$$= 20.5136 \text{ s}^{-1}$$

ตอบ ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีนี้คือ 8 วินาที และเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที จะตรวจวัดกัมมันตภาพได้ประมาณ 20.5 ต่อวินาที

10. นำลูกบาศก์ที่มีหน้า 10 หน้า โดยมีหน้าแต้มสี 2 หน้า จำนวน 60 ลูก มาทอดแล้วคัดลูกที่หงายหน้าแต้มสีออก จะต้องทอดลูกบาศก์ประมาณกี่ครั้งจึงเหลือลูกบาศก์ประมาณ $\frac{1}{4}$ ของจำนวนลูกบาศก์เริ่มต้น

วิธีทำ เนื่องจากลูกเหลี่ยมมี 10 หน้า แต่แต้มสีไว้เพียง 2 หน้า ดังนั้นโอกาสในการหงายหน้าที่มีแต้มสีเท่ากับ $\frac{2}{10}$ นั่นคือ ค่าคงตัวการสลาย $\lambda = 0.2$

จากสมการ
$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

จะได้
$$T_{1/2} = \frac{0.693}{0.2}$$

$$= 3.5$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนิวเคลียสที่เหลืออยู่ (N) กับจำนวนนิวเคลียสเริ่มต้น (N_0) เมื่อเวลาผ่านไป $t = nT_{1/2}$

$$N = \frac{N_0}{2^n}$$

เมื่อทอดลูกบาศก์จนเหลือลูกบาศก์ประมาณ $\frac{1}{4}$ จะได้

$$\frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^n}$$

$$n = 2$$

ดังนั้น

$$t = nT_{1/2}$$

$$= 2(3.5)$$

$$= 7$$

จะต้องทอดลูกเหลี่ยมชนิด 10 หน้า 7 ครั้ง จึงเหลือลูกเหลี่ยม $\frac{1}{4}$ ของจำนวนลูกเหลี่ยมเริ่มต้น

ตอบ 7 ครั้ง

11. การฉายรังสีเพื่อรักษาโรคมะเร็งต้องใช้โคบอลต์-60 ($^{60}_{27}\text{Co}$) ที่มีกัมมันตภาพ 0.1 มิลลิคูรี จงหามวลของ โคบอลต์-60 กำหนดครึ่งชีวิตของโคบอลต์-60 เท่ากับ 5.26 ปี

วิธีทำ หาค่าคงตัวการสลายของโคบอลต์ -60 จากสมการ $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$
จัดรูปสมการ และแทนค่า $T_{1/2} = 5.26$ ปีจะได้

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \\ &= \frac{0.693}{5.26 \text{ year}} \\ &= \frac{0.693}{(5.26 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60) \text{ s}} \\ &= 4.2 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}\end{aligned}$$

โคบอลต์-60 มีกัมมันตภาพ A เท่ากับ $0.1 \text{ mCi} = 3.7 \times 10^6 \text{ Bq}$

จากสมการ $A = \lambda N$

ในที่นี้ $A = 3.7 \times 10^6 \text{ Bq}$, $\lambda = 4.2 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$

แทนค่าจะได้ $3.7 \times 10^6 \text{ s}^{-1} = (4.2 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}) N$

$$N = 8.81 \times 10^{14}$$

จากค่าคงตัวอวาโวกาโดร $N = 6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

ดังนั้นโคบอลต์-60 จำนวน 1 โมล หรือ 6.023×10^{23} อนุภาค มีมวล 60 กรัม

หรือ $60 \times 10^{-3} \text{ kg}$

นั่นคือ ถ้าโคบอลต์-60 จำนวน 8.81×10^{14} อนุภาค จะมีมวล (m) เท่ากับ

$$\begin{aligned}m &= \frac{(8.81 \times 10^{14})(60 \times 10^{-3} \text{ kg})}{6.023 \times 10^{23}} \\ &= 8.78 \times 10^{-11} \text{ kg} \\ &= 8.78 \times 10^{-8} \text{ g}\end{aligned}$$

ตอบ มวลของโคบอลต์-60 เท่ากับ 8.78×10^{-8} กรัม

12. เรดอน-222 ($^{222}_{86}\text{Rn}$) มีครึ่งชีวิต 3.82 วัน ถ้าเริ่มต้นมีเรดอน-222 ปริมาณ 1.0 มิลลิกรัม กัมมันตภาพของเรดอนมีค่าเท่าใด

วิธีทำ เรดอน-222 1 โมล มีมวล 222 กรัม และจำนวนอะตอม 6.023×10^{23}

ดังนั้น เรดอน-222 1 มิลลิกรัม จะมีจำนวนอะตอม

$$N = \frac{(6.023 \times 10^{23})(1 \times 10^{-6} \text{ kg})}{222 \times 10^{-3} \text{ kg}}$$

$$= 2.71 \times 10^{18}$$

หาค่าคงตัวการสลายจาก $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$

แทนค่า $T_{1/2} = 3.82$ วัน โดยแปลงให้อยู่ในหน่วยวินาทีจะได้

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

$$= \frac{0.693}{(3.82 \times 24 \times 60 \times 60) \text{ s}}$$

จากสมการ $A = \lambda N$

แทนค่า $N = 2.71 \times 10^{18}$ และ λ ข้างต้น จะได้

$$A = \frac{0.693}{(3.82 \times 24 \times 60 \times 60) \text{ s}} (2.71 \times 10^{18})$$

$$= 5.69 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$$

$$= 5.69 \times 10^{12} \text{ Bq}$$

ตอบ กัมมันตภาพของเรดอนมีค่า 5.7×10^{12} เบ็กเคอเรล

13. ธาตุกัมมันตรังสีปริมาณหนึ่ง เมื่อทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง พบว่าสลายไป $\frac{31}{32}$ เท่าของปริมาณเดิม จงหาครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีนี้

วิธีทำ หากครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีเมื่อเวลาผ่านไป t ใด ๆ จากสมการ $t = nT_{1/2}$

ให้ N_0 เป็นจำนวนนิวเคลียสกัมมันตรังสีในตอนเริ่มต้น

$$\Delta N \text{ เป็นนิวเคลียสที่สลาย } \Delta N = \frac{31}{32}(N_0)$$

N เป็นจำนวนนิวเคลียสเหลืออยู่ เมื่อเวลาผ่านไป t

จะได้

$$N = N_0 - \Delta N$$

$$= N_0 - \frac{31}{32}(N_0)$$

$$N = \frac{1}{32}(N_0) \quad (\text{a})$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ} \quad N &= \frac{N_0}{2^n} \\
 \text{แทนค่า } N \text{ จาก (a) จะได้} \quad \frac{1}{32}(N_0) &= \frac{N_0}{2^n} \\
 \frac{N_0}{2^5} &= \frac{N_0}{2^n} \\
 \text{ดังนั้น} \quad n &= 5 \\
 \text{จากสมการ} \quad t &= nT_{1/2} \\
 \text{ในที่นี้ } t = 6 \text{ h}, n = 5 \\
 \text{แทนค่า จะได้} \quad 6 &= 5(T_{1/2}) \\
 T_{1/2} &= 1.2 \text{ h} \\
 &= (1.2 \text{ h})\left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}\right) \\
 &= 72 \text{ min}
 \end{aligned}$$

ตอบ ครึ่งชีวิตของสารกัมมันตรังสีเท่ากับ 72 นาที

14. ธาตุกัมมันตรังสี X มีจำนวนอะตอม 8×10^{13} อะตอม และมีครึ่งชีวิต 10 ปี สลายไปเป็นธาตุ Y ที่เสถียร หลังจากเริ่มสลายไปแล้ว 30 ปี ธาตุ X และ Y จะมีจำนวนอะตอมเป็นเท่าใด

วิธีทำ ครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสี X คือ 10 ปี หรือ $T_{1/2} = 10$ ปี

เมื่อเวลาผ่านไป (t) 30 ปี ซึ่งเท่ากับ 3 เท่าของครึ่งชีวิตของธาตุ X

จะได้ $t = 3T_{1/2}$

หาจำนวนอะตอมที่เหลือเมื่อเวลาผ่านไป n เท่าของครึ่งชีวิตจากสมการ

$$N = \frac{N_0}{2^n}$$

แทนค่า $N = 8 \times 10^{13}$ อะตอม และ $n = 3$ จะได้

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{8 \times 10^{13}}{2^3} \\
 &= 1 \times 10^{13} \text{ อะตอม}
 \end{aligned}$$

นั่นคือ ธาตุ X มีจำนวนอะตอมเหลือ 1×10^{13} อะตอม

ดังนั้น มีธาตุ Y เกิดขึ้นจำนวน $8 \times 10^{13} - 1 \times 10^{13} = 7 \times 10^{13}$

ตอบ หลังจากสลายไป 30 ปี มีธาตุกัมมันตรังสี X เหลือ 1×10^{13} อะตอม
มีธาตุ Y เกิดขึ้น 7×10^{13} อะตอม

15. ซีโนน-135 ($^{135}_{54}\text{Xe}$) เป็นธาตุกัมมันตรังสีซึ่งมีครึ่งชีวิต 9 ชั่วโมง เมื่อเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมง จะเหลือจำนวนนิวเคลียสซีโนน-135 เท่าใดของจำนวนเริ่มต้น กำหนด $e^{-0.77}$ เท่ากับ 0.463

วิธีทำ ถ้า N_0 เป็นจำนวนนิวเคลียสซีโนน-135 ตอนเริ่มต้น และ N เป็นจำนวนนิวเคลียส ซีโนน-135 หลังการสลาย

จากสมการการสลาย $N = N_0 e^{-\lambda t}$ จะได้

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \quad (\text{a})$$

จากสมการ
$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

จะได้
$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{0.693}{T_{1/2}} \\ &= \frac{0.693}{9\text{h}} \\ &= 0.077\text{ h}^{-1} \end{aligned}$$

และ
$$\begin{aligned} \lambda t &= (0.077\text{ h}^{-1})(10\text{h}) \\ &= 0.77 \end{aligned}$$

แทนค่า λt ในสมการ (a) จะได้

$$\begin{aligned} \frac{N}{N_0} &= e^{-0.77} \\ N &= 0.463 \\ &= 0.463 N_0 \end{aligned}$$

ตอบ จะเหลือจำนวนนิวเคลียสซีโนน-135 เท่ากับ 0.463 เท่าของจำนวนเริ่มต้น

16. ธาตุกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งมีครึ่งชีวิต 10 ชั่วโมง เริ่มต้นมีจำนวนนิวเคลียส N_0 และเมื่อเวลาผ่านไป t นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีนี้จะสลายให้นิวเคลียสใหม่ ถ้า N เป็นจำนวนนิวเคลียสที่เหลือ

ก. จงหาอัตราส่วนระหว่าง $\frac{N}{N_0}$ เมื่อเวลาผ่านไป 0, 10, 20, 30 และ 40 ชั่วโมง

ข. จงเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{N}{N_0}$ กับ t เมื่อเวลาผ่านไปนาน 40 ชั่วโมง

ค. จากกราฟที่ได้ในข้อ ก. จงประมาณเวลาที่ทำให้ $\frac{N}{N_0} = 0.40$

วิธีทำ ก. เมื่อเวลา $t = 0$ ชั่วโมง $\frac{N}{N_0} = 1$

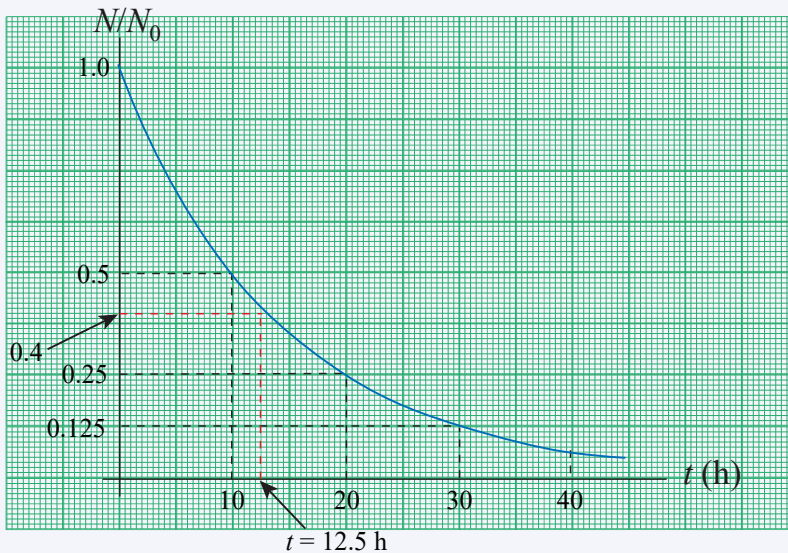
$t = 10$ ชั่วโมง $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2} = 0.5$

$t = 20$ ชั่วโมง $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{4} = 0.25$

$t = 30$ ชั่วโมง $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{8} = 0.125$

และ $t = 40$ ชั่วโมง $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{16} = 0.0625$

ข. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{N}{N_0}$ กับ t ได้ดังนี้



ค. จากกราฟ เวลาที่ทำให้ $\frac{N}{N_0} = 0.40$ มีค่าประมาณ 12.5 ชั่วโมง

ตอบ ก. 1, 0.5, 0.25, 0.125 และ 0.0625

ข. เขียนกราฟได้ดังรูป

ค. 12.5 ชั่วโมง

17. โพแทสเซียม-44 ($^{44}_{19}\text{K}$) มีครึ่งชีวิต 20 นาที สลายให้แคลเซียม-44 ($^{44}_{20}\text{Ca}$) ซึ่งเป็นไอโซโทปเสถียร ถ้ามีโพแทสเซียม-44 ปริมาณ 10.0 มิลลิกรัม จงหาว่า

ก. มีโพแทสเซียม-44 กี่นิวเคลียส

ข. เริ่มต้น โพแทสเซียม-44 มีกัมมันตภาพเท่าใด

ค. เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง โพแทสเซียม-44 มีกัมมันตภาพเท่าใด

ง. เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างอะตอมโพแทสเซียม-44 ต่ออะตอมแคลเซียม-44 เป็นเท่าใด

วิธีทำ ก. โพแทสเซียม-44 จำนวน 1 โมล มีมวล 44 g และจำนวนนิวเคลียส 6.023×10^{23} ดังนั้นโพแทสเซียม-44 ปริมาณ 10×10^{-6} kg มีจำนวนนิวเคลียส

$$N = \frac{(6.023 \times 10^{23})(10 \times 10^{-6} \text{ kg})}{44 \times 10^{-3} \text{ kg}}$$

$$= 1.37 \times 10^{20}$$

ข. จากสมการ $A = \lambda N$

$$\begin{aligned} \text{ณ เวลาเริ่มต้น } A_0 &= \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N_0 \\ &= \frac{0.693}{20 \times 60 \text{ s}} (1.37 \times 10^{20}) \\ &= 7.91 \times 10^{16} \text{ Bq} \end{aligned}$$

ค. เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง หรือ 60 นาที จะได้

$$\begin{aligned} t &= 3 \times 20 \text{ นาที} \\ &= 3T_{1/2} \end{aligned}$$

หาจำนวนนิวเคลียสที่เหลืออยู่ (N) เมื่อเวลาผ่านไปเป็น n เท่าของครึ่งชีวิตได้จาก

$$N = \frac{N_0}{2^n}$$

แทนค่า $n = 3$ และ $N = 1.37 \times 10^{20}$ จะได้

$$\begin{aligned} N &= \frac{1.37 \times 10^{20}}{2^3} \\ &= 0.17 \times 10^{20} \end{aligned}$$

หาค่าคงตัวการสลาย $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ โดย $T_{1/2}$ เท่ากับ 20 นาที

$$\text{แทนค่า จะได้ } \lambda = \frac{0.693}{20 \times 60 \text{ s}}$$

หากัมมันตภาพเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที จากสมการ $A = \lambda N$
แทนค่า จะได้

$$A = \left(\frac{0.693}{20 \times 60 \text{ s}} \right) (0.17 \times 10^{20})$$

$$= 9.82 \times 10^{15} \text{ Bq}$$

ง. วิธีที่ 1 จากข้อ ค. เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง อะตอมโพแทสเซียมที่เหลือเท่ากับ
 0.17×10^{20} ดังนั้น อะตอมแคลเซียมซึ่งเกิดขึ้นใหม่มีจำนวน

$$(1.37 \times 10^{20} - 0.17 \times 10^{20}) = 1.20 \times 10^{20}$$

นั่นคือ อัตราส่วนระหว่างอะตอมโพแทสเซียมต่ออะตอมแคลเซียมเท่ากับ

$$\frac{0.17 \times 10^{20}}{1.20 \times 10^{20}} \cong \frac{1}{7}$$

วิธีที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงหรือ $3T_{1/2}$ จะได้

$$N = \frac{N_0}{2^3} = \frac{N_0}{8}$$

แสดงว่าอะตอมแคลเซียมที่เกิดขึ้นใหม่หรือ

$$N_{\text{Ca}} = N_0 - \frac{N_0}{8} = \frac{7}{8} N_0$$

นั่นคือ อัตราส่วนระหว่างอะตอมโพแทสเซียมต่ออะตอมแคลเซียมเท่ากับ

$$\frac{\left(\frac{N_0}{8} \right)}{\left(\frac{7}{8} N_0 \right)} = \frac{1}{7}$$

ตอบ ก. มีโพแทสเซียม-44 จำนวน 1.37×10^{20} นิวเคลียส

ข. เริ่มต้น โพแทสเซียม-44 มีกัมมันตภาพ 7.91×10^{16} เบ็กเคอเรล

ค. เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง โพแทสเซียม-44 มีกัมมันตภาพ 9.82×10^{15} เบ็กเคอเรล

ง. เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างอะตอมโพแทสเซียมต่ออะตอมแคลเซียม
เท่ากับ $\frac{1}{7}$

18. ไอโอดีน-125 ($^{125}_{53}\text{I}$) เป็นไอโซโทปที่ใช้มากในทางการแพทย์ มีครึ่งชีวิต 60 วัน และ ถ้าเริ่มต้น ไอโอดีน-125 มีกัมมันตภาพ 4 เมกะเบ็กเคอเรล จะต้องใช้เวลานานเท่าใดเพื่อให้ไอโอดีน-125 จึงสลายไปร้อยละ 75 ของปริมาณเริ่มต้น

วิธีทำ เมื่อจำนวนนิวเคลียสที่เหลือเป็นจำนวน n เท่าของจำนวนเริ่มต้น สามารถหา

$$\text{กัมมันตภาพได้จากสมการ } A = \frac{A_0}{2^n}$$

ให้ A_0 เป็นกัมมันตภาพของไอโอดีน-125 ในตอนเริ่มต้น

A เป็นกัมมันตภาพที่เหลืออยู่ เมื่อเวลาผ่านไป t

$$\text{จะได้ } A = \frac{25}{100}(A_0)$$

$$\text{แทนค่าในสมการ } A = \frac{A_0}{2^n}$$

$$\text{จะได้ } \frac{25}{100}(A_0) = \frac{A_0}{2^n}$$

$$n = 2$$

สามารถหาเวลาที่ใช้ในการสลายของสารกัมมันตรังสีหาได้จากสมการ $t = nT_{1/2}$

หาเวลาที่ไอโอดีน-125 ใช้ในการสลาย จากสมการ

$$t = nT_{1/2}$$

ในที่นี้ $T_{1/2} = 60$ วัน และ $n = 2$

$$\text{จะได้ } t = 2(60 \text{ d})$$

$$t = 120 \text{ d}$$

ตอบ ไอโอดีน-125 ใช้เวลาในการสลายนาน 120 วัน

19. ยูเรเนียม-238 ($^{238}_{92}\text{U}$) มวล 1 กิโลกรัม แผ่รังสีแอลฟา โดยมีครึ่งชีวิต 4.5×10^9 ปี จงหา กัมมันตภาพของยูเรเนียม-238 นี้

วิธีทำ $^{238}_{92}\text{U}$ 1 นิวเคลียส มีมวล $238 \text{ u} = 238(1.66 \times 10^{-27} \text{ kg})$

ดังนั้น $^{238}_{92}\text{U}$ มวล 1 กิโลกรัม มีจำนวนนิวเคลียส

$$N = \frac{1}{238(1.66 \times 10^{-27})}$$

$$= 2.53 \times 10^{24} \text{ นิวเคลียส}$$

$^{238}_{92}\text{U}$ มีครึ่งชีวิต 4.5×10^9 ปี

$$\text{จาก } \lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า จะได้} \quad \lambda &= \frac{0.693}{4.5 \times 10^9 \times 365 \times 24 \times 3600} \text{ s}^{-1} \\ &= 4.883 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}\end{aligned}$$

$$\text{จากสมการ} \quad A = \lambda N$$

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า จะได้} \quad A &= (4.883 \times 10^{-18})(2.53 \times 10^{24} \text{ s}^{-1}) \\ &= 1.24 \times 10^7 \text{ s}^{-1}\end{aligned}$$

ตอบ กัมมันตภาพของ $^{238}_{92}\text{U}$ เท่ากับ 1.2×10^7 ต่อวินาที หรือ 1.2×10^7 เบ็กเคอเรล

20. ทอเรียม-230 ($^{230}_{90}\text{Th}$) มีมวล 0.1 มิลลิกรัม และกัมมันตภาพ 7.20×10^4 เบ็กเคอเรล ครึ่งชีวิตของทอเรียม-230 มีค่ากี่ปี

วิธีทำ เนื่องจากทอเรียม-230 ปริมาณ 1 โมล มีมวลประมาณ 230 กรัม และ

มีจำนวนนิวเคลียส 6.023×10^{23}

ดังนั้น ถ้ามีทอเรียม-230 มวล 0.1 มิลลิกรัม จะมีจำนวนนิวเคลียส N ดังนี้

$$N = \frac{(6.023 \times 10^{23})(0.1 \times 10^{-3} \text{ g})}{(230 \text{ g})}$$

$$N = 2.62 \times 10^{17}$$

$$\text{จากสมการ } A = \lambda N \text{ และ } \lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} \text{ จะได้}$$

$$A = \left(\frac{0.693}{T_{1/2}} \right) N$$

$$\text{ในที่นี้ } A = 7.20 \times 10^4 \text{ Bq และ } N = 2.62 \times 10^{17}$$

แทนค่า จะได้

$$7.20 \times 10^4 \text{ Bq} = \left(\frac{0.693}{T_{1/2}} \right) (2.62 \times 10^{17})$$

$$T_{1/2} = 2.52 \times 10^{12} \text{ s}$$

$$T_{1/2} = 8.0 \times 10^4 \text{ year}$$

ตอบ ครึ่งชีวิตของทอเรียม-230 เท่ากับ 8×10^4 ปี

21. ถ้าแคลเซียม-45 ($^{45}_{20}\text{Ca}$) แผ่รังสีบีตาแล้วกลายเป็นสแกนเดียม-45 ($^{45}_{21}\text{Sc}$) โดยเริ่มต้น แคลเซียม-45 มีกัมมันตภาพ 20 มิลลิคูรี เมื่อเวลาผ่านไป 100 วัน จะมีกัมมันตภาพเหลือ 13.14 มิลลิคูรี จงหาครึ่งชีวิตของแคลเซียม-45 กำหนด $\ln(0.657)$ เท่ากับ -0.42
- วิธีทำให้ A_0 เป็นกัมมันตภาพเริ่มต้นของ ^{45}Ca

A เป็นกัมมันตภาพเมื่อเวลาผ่านไป t

หาค่าคงตัวการสลายของไอโซโทปกัมมันตรังสีจากสมการ $A = A_0 e^{-\lambda t}$ และ

$$\text{หาครึ่งชีวิตจากสมการ} \quad T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

จากสมการ $A = A_0 e^{-\lambda t}$ เมื่อเวลาผ่านไป (t) 100 วัน กัมมันตภาพเริ่มต้น (A)

ลดลงจาก 20 มิลลิคูรี เหลือกัมมันตภาพ (A_0) 13.14 มิลลิคูรี แทนค่า จะได้

$$13.14 \text{ mCi} = (20 \text{ mCi}) e^{-\lambda(100 \text{ d})}$$

$$e^{-\lambda(100 \text{ d})} = 0.657$$

$$-\lambda(100 \text{ d}) = \ln(0.657)$$

$$= -0.42$$

$$\lambda = 4.2 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$$

(a)

$$\text{จากสมการ} \quad T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \text{ จะได้}$$

$$\text{แทนค่า } \lambda \text{ จาก (a) จะได้} \quad T_{1/2} = \frac{0.693}{4.2 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}}$$

$$= 165 \text{ d}$$

ตอบ ครึ่งชีวิตของแคลเซียม-45 เท่ากับ 165 วัน

22. ทองคำ-198 ($^{198}_{79}\text{Au}$) มีครึ่งชีวิต 2.7 วัน และมีกัมมันตภาพเริ่มต้น 50 ไมโครคูรี จงหาจำนวน นิวเคลียสของทองคำ-198 ที่สลายไปในช่วงเวลา 10 – 15 ชั่วโมง
- กำหนด $e^{-0.1069}$ เท่ากับ 0.8986 และ $e^{-0.16035}$ เท่ากับ 0.8518

วิธีทำให้ A_0 เป็นกัมมันตภาพเริ่มต้น เมื่อเวลา $t = 0$

N_0 เป็นจำนวนนิวเคลียส เมื่อเวลา $t = 0$

λ เป็นค่าคงตัวการสลายของ $^{198}_{79}\text{Au}$

หาจำนวนนิวเคลียสของ $^{198}_{79}\text{Au}$ เมื่อเวลาผ่านไป t จากสมการ $A_0 = \lambda N_0$ และ

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \text{ โดยเริ่มจากหาค่าคงตัวการสลายจากสมการ } \lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

แทนค่าครึ่งชีวิต 2.7 วัน วัน โดยแปลงเป็นหน่วยวินาที จะได้

$$\lambda = \frac{0.693}{2.7 \text{ day} \times (24 \times 60 \times 60) \text{ s}} = 2.97 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1} \quad (\text{a})$$

หรือ ในหน่วยต่อชั่วโมง จะได้ $\lambda = 1.069 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1} \quad (\text{b})$

แทนค่า λ จาก (a) และกัมมันตภาพเริ่มต้น (A_0) 50 ไมโครคูรี ใน $A_0 = \lambda N_0$ โดยแปลงหน่วยไมโครคูรีเป็นเบ็กเคอเรล จะได้

$$(50 \times 10^{-6} \text{ Ci}) \left(\frac{3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}}{1 \text{ Ci}} \right) = (2.97 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}) N_0$$

$$N_0 = 6.23 \times 10^{12} \quad (\text{c})$$

จากสมการ

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

ที่เวลา $t_1 = 10 \text{ h}$ จะเหลือนิวเคลียส $^{198}_{79}\text{Au}$ คือ N_1

จาก (b) และ (c) จะได้

$$N_1 = (6.23 \times 10^{12}) e^{-(1.069 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1})(10 \text{ h})}$$

$$= (6.23 \times 10^{12}) e^{(-0.1069)}$$

$$= (6.23 \times 10^{12})(0.8986)$$

$$= 5.598 \times 10^{12}$$

ที่เวลา $t_2 = 15 \text{ h}$ จะเหลือนิวเคลียส $^{198}_{79}\text{Au}$ คือ N_2 ดังนี้

จาก (b) และ (c) จะได้

$$N_2 = (6.23 \times 10^{12}) e^{-(1.069 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1})(15 \text{ h})}$$

$$= (6.23 \times 10^{12}) e^{(-0.16035)}$$

$$= (6.23 \times 10^{12})(0.8518)$$

$$= 5.307 \times 10^{12}$$

จำนวนนิวเคลียส ^{198}Au ที่สลายในช่วงเวลา 10 – 15 h

$$N_1 - N_2 = 2.91 \times 10^{11} \text{ นิวเคลียส}$$

ตอบ ในช่วงเวลา 10 – 15 ชั่วโมง จำนวนนิวเคลียสที่สลายไปเท่ากับ 2.9×10^{11} นิวเคลียส

23. เรเดียม-224 ($^{224}_{88}\text{Ra}$) มีครึ่งชีวิต 3.5 วัน และมีอัตราการสลาย 2.4×10^2 เบ็กเคอเรล เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน เรเดียม-224 มีกัมมันตภาพเท่าใดในหน่วยไมโครคูรี

วิธีทำ ให้ A_0 เป็นกัมมันตภาพเริ่มต้นของเรเดียม-224 และ

A เป็นกัมมันตภาพของเรเดียม-224 เมื่อเวลาผ่านไป t

ในที่นี้ เวลาที่ผ่านไปเท่ากับ 21 วัน และครึ่งชีวิตของเรเดียม-224 เท่ากับ 3.5 วัน จะได้

$$\frac{t}{T_{1/2}} = \frac{21 \text{ d}}{3.5 \text{ d}} = 6$$

เมื่อเวลาที่ผ่านไปเป็นจำนวนเท่าของครึ่งชีวิต หรือ $t = nT_{1/2}$

หา กัมมันตภาพของเรเดียมได้จากสมการ

$$A = \frac{A_0}{2^n}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } A_0 \text{ และ } n \text{ จะได้ } A &= \frac{(2.4 \times 10^2 \text{ Bq})}{2^6} \\ &= 3.75 \text{ Bq} \\ &= 1.01 \times 10^{-4} \mu\text{Ci} \end{aligned}$$

ตอบ เรเดียม-224 มีกัมมันตภาพเท่ากับ 1.0×10^{-4} ไมโครคูรี

24. คาร์บอน-14 ($^{14}_6\text{C}$) มีครึ่งชีวิต 5730 ปี ถ้าเริ่มต้นมีคาร์บอน-14 จำนวน 2.00 ไมโครกรัม ขณะนั้น กัมมันตภาพของคาร์บอน-14 มีค่าเท่าใด

วิธีทำ ค่าคงตัวอวอกาโดร (N_A) = $6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

คาร์บอน-14 1 โมล มีมวล 14 g มีจำนวนนิวเคลียส 6.023×10^{23} นิวเคลียส

ดังนั้น ถ้ามีคาร์บอน-14 2×10^{-6} กรัม จะมีจำนวนนิวเคลียส N เท่ากับ

$$\begin{aligned} N &= \frac{(6.023 \times 10^{23})(2 \times 10^{-6} \text{ g})}{(14 \text{ g})} \\ &= 8.60 \times 10^{16} \end{aligned}$$

กัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี หาได้จากสมการ $A = \lambda N$

$$\text{แต่ } \lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} \quad \text{ดังนั้น } A = \left(\frac{0.693}{T_{1/2}} \right) N$$

ในที่นี้ $T_{1/2} = 5730 \text{ year}$ ซึ่งแปลงให้อยู่ในหน่วยวินาทีได้เป็น

$$T_{1/2} = (5730 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60) \text{ s}$$

$$= 1.807 \times 10^{11} \text{ s}$$

แทนค่า $T_{1/2} = 1.807 \times 10^{11} \text{ s}$ และ $N = 8.60 \times 10^{16}$ ในสมการ $A = \lambda N$ จะได้

$$A = \left(\frac{0.693}{(1.81 \times 10^{11} \text{ s})} \right) (8.60 \times 10^{16})$$

$$= 3.29 \times 10^5 \text{ Bq}$$

ตอบ คาร์บอน-14 มีกัมมันตภาพ 3.29×10^5 เบ็กเคอเรล

25. ธาตุกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งมีครึ่งชีวิต 80 ปี จะใช้เวลานานเท่าใด กัมมันตภาพจึงลดลงเหลือร้อยละ 25 จากปริมาณเริ่มต้น

วิธีทำ หากกัมมันตภาพเมื่อเวลาผ่านไป t จากสมการ $A = A_0 e^{-\lambda t}$

เมื่อเวลาผ่านไป t แล้วธาตุกัมมันตรังสีมีกัมมันตภาพลดลงเหลือร้อยละ 25 หรือ

$$A = \frac{25}{100} A_0$$

$$A = \frac{A_0}{4} \quad (a)$$

จากสมการ $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$

แทนค่า จะได้ $\lambda = \frac{0.693}{80 \text{ year}} \quad (b)$

แทน A จาก (a) และ λ จาก (b) ในสมการ จะได้

$$\frac{A_0}{4} = A_0 e^{-\left(\frac{0.693}{80 \text{ year}}\right)t}$$

$$e^{\left(\frac{0.693}{80 \text{ year}}\right)t} = 4$$

$$\left(\frac{0.693}{80 \text{ year}} \right) t = \ln 4$$

$$t = \left(\frac{80 \text{ year}}{0.693} \right) (1.3862)$$

$$= 160.02 \text{ year}$$

ตอบ ใช้เวลานาน 160 ปี

26. จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ ${}_2^4\text{He} + {}_4^9\text{Be} \rightarrow {}_6^{12}\text{C} + \text{X}$ จงหาว่า X คืออะไร

วิธีทำ ในปฏิกิริยานิวเคลียร์ ผลรวมของเลขมวลและเลขอะตอมของอนุภาคต่าง ๆ ก่อนและหลังเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์มีค่าเท่ากัน

ในที่นี้ ให้ A เป็นเลขมวลของ X

$$\text{เลขมวลก่อนปฏิกิริยาเท่ากับ } 4 + 9 = 13$$

$$\text{เลขมวลหลังปฏิกิริยาเท่ากับ } 12 + A$$

$$\text{ดังนั้น จะได้ } 13 = 12 + A$$

$$A = 1$$

ให้ Z เป็นเลขอะตอมของ X

$$\text{เลขอะตอมก่อนปฏิกิริยานิวเคลียร์ } 2 + 4 = 6$$

$$\text{เลขอะตอมหลังปฏิกิริยาเท่ากับ } 6 + Z$$

$$\text{ดังนั้น จะได้ } 6 = 6 + Z$$

$$Z = 0$$

X มีเลขมวลเท่ากับ 1 และเลขอะตอมเท่ากับ 0

ดังนั้น X คือนิวตรอน หรือ ${}_0^1\text{n}$

ตอบ X คือนิวตรอน หรือเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ${}_0^1\text{n}$

27. จากสมการปฏิกิริยานิวเคลียร์ ${}_{16}^{33}\text{S} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{15}^{33}\text{P} + {}_1^1\text{H}$ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ให้พลังงาน

0.533 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ถ้ามวลอะตอมของ ${}_{16}^{33}\text{S}$ มีค่า 32.97146 u มวลอะตอมของ ${}_{15}^{33}\text{P}$ มีค่าเท่าใด

วิธีทำ พลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์เท่ากับพลังงานที่เทียบเท่าผลต่างของมวลในปฏิกิริยา



$$\text{มวลรวมก่อนเกิดปฏิกิริยา} = \text{มวลอะตอมของ } {}_{16}^{33}\text{S} + \text{มวลของ } {}_0^1\text{n}$$

$$= 32.97146 \text{ u} + 1.008665 \text{ u}$$

$$= 33.980125 \text{ u}$$

$$\text{มวลรวมหลังเกิดปฏิกิริยา} = \text{มวลอะตอมของ } {}_{15}^{33}\text{P} + \text{มวลของ } {}_1^1\text{H}$$

$$= \text{มวลอะตอมของ } {}_{15}^{33}\text{P} + 1.007825 \text{ u}$$

หาส่วนพร่องมวล (Δm) จาก

$$\Delta m = \text{มวลรวมก่อนเกิดปฏิกิริยา} - \text{มวลรวมหลังเกิดปฏิกิริยา}$$

$$= 33.980125 \text{ u} - (\text{มวลอะตอมของ } {}_{15}^{33}\text{P} + 1.007825 \text{ u})$$

$$= 32.9723 \text{ u} - (\text{มวลอะตอมของ } {}_{15}^{33}\text{P})$$

พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ (E) เท่ากับ 0.533 MeV เทียบเท่าส่วนของมวลที่ลดลงซึ่งหาได้จากสมการ $E = (\Delta m)(931.5 \text{ MeV/u})$
แทนค่า จะได้

$$0.533 \text{ MeV} = [32.9723 \text{ u} - (\text{มวลอะตอมของ } {}^{33}_{15}\text{P})](931.5 \text{ MeV/u})$$

$$\text{มวลอะตอมของ } {}^{33}_{15}\text{P} = 32.97173 \text{ u}$$

ตอบ มวลอะตอมของ ${}^{33}_{15}\text{P}$ เท่ากับ 32.97173 u

28. ในการทดลองระเบิดนิวเคลียร์โดยใช้ยูเรเนียม-235 ทำให้เกิดฟิชชัน ได้พลังงานทั้งสิ้น 9.0×10^{12} จูล พลังงานจำนวนนี้เกิดจากส่วนพร่องมวลเท่าใด

วิธีทำ หาส่วนพร่องมวลได้จากสมการ $E = (\Delta m)c^2$

$$\text{ในที่นี้ } E = 9.0 \times 10^{12} \text{ J}, c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{แทนค่า จะได้ } 9.0 \times 10^{12} \text{ J} = (\Delta m)(3.0 \times 10^8 \text{ m/s})^2$$

$$\Delta m = 1 \times 10^{-4} \text{ kg}$$

$$= 0.1 \text{ g}$$

ตอบ ส่วนพร่องมวลมีค่า 0.1 กรัม

29. ระเบิดทีเอ็นที 1 ตัน เมื่อเกิดการระเบิดจะปล่อยพลังงานประมาณ 4.0 จิกะจูล ถ้าระเบิดปริมาณที่ทิ้งที่อิโรซิม่าได้จากฟิชชันของยูเรเนียม-235 ซึ่งปล่อยพลังงานเทียบได้กับระเบิดทีเอ็นที 2.0×10^4 ตัน จงคำนวณมวลของยูเรเนียม-235 ที่เปลี่ยนไปเป็นพลังงาน กำหนดให้การเกิดฟิชชัน 1 ครั้งของยูเรเนียม-235 ปลดปล่อยพลังงาน 173.20 MeV

วิธีทำ พลังงานที่ระเบิดปริมาณปล่อยออกมาเท่ากับ $(2 \times 10^4) \times 4 \text{ GJ} = 8 \times 10^{13} \text{ J}$

จากโจทย์ กำหนดให้ ยูเรเนียม -235 เกิดฟิชชันแล้ว ปลดปล่อยพลังงานออกมาประมาณ 173.20 MeV ซึ่งแปลงเป็นหน่วยจูลได้เท่ากับ

$$(173.20 \times 10^6 \text{ eV}) \times (1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}) = 2.77 \times 10^{-11} \text{ J}$$

ยูเรเนียม -235 มีมวลอะตอม 235 u ดังนั้น สามารถพิจารณาได้ว่า

พลังงาน 2.77×10^{-11} จูล เกิดจาก ยูเรเนียม-235 มวล 235 u

ดังนั้น พลังงาน 8×10^{13} จูล จะเกิดจาก ยูเรเนียม-235 คิดเป็นมวลเท่ากับ

$$\begin{aligned} \frac{(235 \text{ u})(8 \times 10^{13} \text{ J})}{2.77 \times 10^{-11} \text{ J}} &= 6.787 \times 10^{26} \text{ u} \\ &= (6.787 \times 10^{26} \text{ u})(1.66 \times 10^{-27} \text{ kg/u}) \\ &= 1.127 \text{ kg} \end{aligned}$$

ตอบ มวลของยูเรเนียม-235 ที่ใช้เท่ากับ 1.1 กิโลกรัม

30. ในการเกิดฟิชชันแต่ละครั้งของนิวเคลียสกำมันตรังสีชนิดหนึ่งที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ พบว่า ส่วนพร่องมวลมีค่า 0.025 u จะต้องเกิดฟิชชันกี่ครั้งต่อวินาที จึงจะได้กำลัง 1000 วัตต์

วิธีทำ ในการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์แต่ละครั้งพลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์มีค่าเท่ากับ พลังงานที่เทียบเท่ากับส่วนพร่องมวลหรือส่วนของมวลที่ลดลงในปฏิกิริยา ตามสมการ

$$E = (\Delta m)(931.5 \text{ MeV/u})$$

แทนค่า ส่วนพร่องมวล จะได้

$$E = (0.025 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u})$$

$$E = 23.288 \text{ MeV}$$

หรือ

$$E = (23.288 \times 10^6 \text{ eV}) \times (1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV})$$

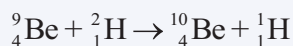
$$= 3.73 \times 10^{-12} \text{ MeV}$$

ให้ n เป็นจำนวนครั้งที่เกิดปฏิกิริยาในเวลา 1 วินาที เพื่อให้ได้กำลัง 1000 วัตต์

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad n &= \frac{1000 \text{ J/s}}{3.73 \times 10^{-12} \text{ J}} \\ &= 2.68 \times 10^{14} \text{ ครั้งต่อวินาที} \end{aligned}$$

ตอบ จำนวนปฏิกิริยานิวเคลียร์เกิดขึ้น 2.7×10^{14} ครั้งต่อวินาที

31. จงหาพลังงานปลดปล่อยออกมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ตามสมการ



กำหนดมวลอะตอมของเบริลเลียม-9 (${}^9_4\text{Be}$) เท่ากับ 9.012183 u และ มวลอะตอม ของเบริลเลียม-10 เท่ากับ 10.013535 u

วิธีทำ พลังงานจากปฏิกิริยา (E) หาได้จากพลังงานที่เทียบเท่าส่วนพร่องมวล Δm

$$\text{ตามสมการ } E = (\Delta m)(931.5 \text{ MeV/u})$$

ให้ Δm_1 เป็นส่วนพร่องมวลของสมการปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่กำหนดจะได้

$$\begin{aligned} \Delta m_1 &= (9.012183 \text{ u} + 2.014102 \text{ u}) - (10.013535 \text{ u} + 1.007825 \text{ u}) \\ &= 4.925 \times 10^{-3} \text{ u} \end{aligned}$$

หาพลังงานที่เทียบเท่าส่วนพร่องมวล Δm_1 จะได้

$$\begin{aligned} E &= (4.925 \times 10^{-3} \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 4.59 \text{ MeV} \end{aligned}$$

ตอบ ปฏิกิริยานิวเคลียร์ตามสมการที่กำหนดปลดปล่อยพลังงาน 4.59 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

32. จงคำนวณพลังงานที่ได้เมื่อดิวเทอเรียมมวล 1 กิโลกรัม เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ตามสมการ



กำหนด มวลของดิวเทอเรียม (${}^2_1\text{H}$) เท่ากับ 2.014102 u

มวลของฮีเลียม (${}^4_2\text{He}$) เท่ากับ 4.002604 u

วิธีทำ หามวลที่ลดลง Δm ในปฏิกิริยาตามสมการ จะได้

$$\begin{aligned}\Delta m &= 2m_{{}^2_1\text{H}} - m_{{}^4_2\text{He}} \\ &= 2(2.014102 \text{ u}) - 4.002604 \text{ u} \\ &= 0.025600 \text{ u}\end{aligned}$$

หาพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ (E) ที่เทียบเท่ามวลที่ลดลง Δm จะได้

$$\begin{aligned}E &= (0.025600 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 23.8464 \text{ MeV}\end{aligned}$$

หรือ

$$\begin{aligned}E &= (23.8464 \times 10^6 \text{ eV}) \times (1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}) \\ &= 3.82 \times 10^{-12} \text{ J}\end{aligned}$$

มวลของดิวเทอเรียม 2 อนุภาค เท่ากับ $2(2.014102 \text{ u}) = 4.028204 \text{ u}$

แปลงเป็นหน่วยกิโลกรัม จะได้

$$(4.028204 \times 10^{26} \text{ u})(1.66 \times 10^{-27} \text{ kg/u}) = 6.69 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

ดังนั้น มวลของดิวเทอเรียม 6.69×10^{-27} กิโลกรัม ทำให้ได้พลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์

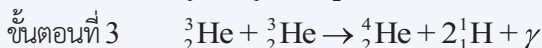
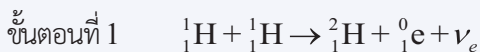
$3.82 \times 10^{14} \text{ J}$ ถ้ามีมวลของดิวเทอเรียม 1 kg จะได้พลังงานปฏิกิริยานิวเคลียร์เป็น E'

$$\begin{aligned}E' &= \frac{(3.82 \times 10^{-12} \text{ J})(1 \text{ kg})}{(6.69 \times 10^{-27} \text{ kg})} \\ &= 5.71 \times 10^{14} \text{ J}\end{aligned}$$

ตอบ พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ของดิวเทอเรียมมวล 1 กิโลกรัมมีค่าเท่ากับ

$$5.7 \times 10^{14} \text{ จูล}$$

33. ฟิวชันในดวงอาทิตย์และดาวฤกษ์ส่วนมาก เกิดจากการรวมกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม มีขั้นตอนดังนี้



จงหา

- ก. พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1
- ข. พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2
- ค. พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 3
- ง. พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาการรวมกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม (${}^4\text{He}$)

กำหนดมวลอะตอมของ ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_2\text{He}$, ${}^4_2\text{He}$ เท่ากับ 1.007825 u, 2.014102 u, 3.016029 u และ 4.002603 u ตามลำดับ

วิธีทำ ก. หาพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากปฏิกิริยาที่เทียบเท่ามวลที่ลดลง Δm

ให้ E_1 เป็นพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 ซึ่งหาได้จาก Δm_1

$$\begin{aligned}\Delta m_1 &= (1.007825 \text{ u} + 1.007825 \text{ u}) - 2.014102 \text{ u} - 0.000549 \text{ u} \\ &= 0.000999 \text{ u}\end{aligned}$$

หาพลังงานที่เทียบเท่ามวลที่ลดลง

$$\begin{aligned}E_1 &= (0.000999 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 0.930 \text{ MeV}\end{aligned}$$

ข. ให้ E_2 เป็นพลังงานของปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2 ซึ่งหาได้จาก Δm_2

$$\begin{aligned}\Delta m_2 &= (2.014102 \text{ u} + 1.007825 \text{ u}) - 3.016029 \text{ u} \\ &= 0.005898 \text{ u}\end{aligned}$$

หาพลังงานที่เทียบเท่ามวลที่ลดลง

$$\begin{aligned}E_2 &= (0.005898 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 5.49 \text{ MeV}\end{aligned}$$

ค. ให้ E_3 เป็นพลังงานของปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 3 ซึ่งหาได้จาก Δm_3

$$\begin{aligned}\Delta m_3 &= (3.016029 \text{ u} + 3.016029 \text{ u}) - (4.002603 \text{ u} + 2 \times 1.007825 \text{ u}) \\ &= 0.013805 \text{ u}\end{aligned}$$

หาพลังงานที่เทียบเท่ามวลที่ลดลง

$$\begin{aligned}E_3 &= (0.013805 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 12.86 \text{ MeV}\end{aligned}$$

- ง. ถ้า E เป็นพลังงานของปฏิกิริยาของการรวมกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม เนื่องจากในขั้นตอนที่ 3 ต้องมี ${}^3_2\text{He}$ ทำปฏิกิริยากันจำนวน 2 อนุภาค การเกิดปฏิกิริยาขั้นตอนที่ 1 และ 2 ต้องเกิดขึ้นจำนวน 2 ครั้ง

ดังนั้น พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาการรวมกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม เท่ากับ

$$\begin{aligned}
 E &= 2E_1 + 2E_2 + E_3 \\
 &= 2(0.930 \text{ MeV}) + 2(5.49 \text{ MeV}) + 12.86 \text{ MeV} \\
 &= 25.7 \text{ MeV}
 \end{aligned}$$

- ตอบ ก. พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 เท่ากับ 0.930 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์
 ข. พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2 เท่ากับ 5.49 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์
 ค. พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 3 เท่ากับ 12.86 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์
 ง. พลังงานของปฏิกิริยาของการรวมกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม
 เท่ากับ 25.7 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

34. ในโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหิน ต้องเผาถ่านหิน 1 ตัน จึงจะให้ความร้อน 3.20×10^{10} จูล สำหรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แห่งหนึ่ง ความร้อนมาจากฟิชชันของยูเรเนียม-235 ซึ่งการเกิดฟิชชันแต่ละครั้งจะให้ความร้อนประมาณ 200 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แห่งนี้ต้องมียูเรเนียม-235 ที่เกิดฟิชชันเป็นมวลเท่าใดในหน่วยกรัม จึงจะให้ความร้อนเท่ากับถ่านหิน 1 ตัน

วิธีทำ ถ้า m เป็นมวลในหน่วยกรัมของยูเรเนียม-235 ที่ต้องใช้ เพื่อให้ได้ความร้อนเท่ากับถ่านหิน 1 ตัน

ยูเรเนียม-235 มวล m จะมีจำนวนอะตอม n ดังนี้

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{m(6.023 \times 10^{23} \text{ atoms/mol})}{235 \text{ g/mol}} \\
 &= [m(2.56 \times 10^{21})] \text{ g}^{-1}
 \end{aligned}$$

การเกิดฟิชชันแต่ละครั้ง จะให้ความร้อนประมาณ 200 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

ถ้า E เป็นพลังงานที่เกิดจากฟิชชัน n อะตอมหรือ n ครั้ง จะได้

$$E = (200 \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J})[m(2.56 \times 10^{21}) \text{ g}^{-1}]$$

การเกิดฟิชชัน ที่ให้พลังงานเท่ากับถ่านหิน 1 ตัน ซึ่งให้ความร้อน 3.20×10^{10} จูล แทนค่า จะได้

$$3.20 \times 10^{10} \text{ J} = (200 \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J})[m(2.56 \times 10^{21}) \text{ g}^{-1}]$$

$$m = 0.390 \text{ g}$$

- ตอบ ต้องใช้ยูเรเนียม-235 มวลเท่ากับ 0.390 กรัม

35. โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็กแห่งหนึ่งผลิตไฟฟ้าได้ 10 เมกะวัตต์โดยใช้พลังงานจากฟิชชันของพลูโทเนียม-239 ถ้าพลังงานจากฟิชชันแต่ละครั้งมีค่า 3.3×10^{-11} จูล และถ้าเพียง 1 ใน 5 ของพลังงานที่ได้จากฟิชชันเท่านั้นที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ในแต่ละวันต้องมีพลูโทเนียม-239 เกิดฟิชชันกี่กรัม

กำหนดมวลอะตอมของพลูโทเนียม-239 เท่ากับ 239.052163 u

วิธีทำ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็กแห่งหนึ่งผลิตไฟฟ้าได้ 10 เมกะวัตต์ แสดงว่า

ในเวลา 1 วินาที พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 10 เมกะจูล หรือ 10×10^6 จูล
แต่พลังงานไฟฟ้า 10×10^6 จูล มาจาก $\frac{1}{5}$ ของพลังงานจากฟิชชัน

ดังนั้น ใน 1 วินาที ใช้พลังงานจากฟิชชันเท่ากับ $5(10 \times 10^6)$

นั่นคือ ใน 1 วัน ใช้พลังงานจากฟิชชันเท่ากับ

$$5(10 \times 10^6)(24 \times 60 \times 60 \text{ s}) = 4.32 \times 10^{12} \text{ J}$$

แต่พลูโทเนียม-239 จำนวน 1 นิวเคลียส ให้พลังงานเท่ากับ $3.2 \times 10^{-11} \text{ J}$

ดังนั้นต้องใช้จำนวนนิวเคลียสทั้งหมดเท่ากับ

$$\frac{4.32 \times 10^{12}}{3.2 \times 10^{-11}} = 1.35 \times 10^{23} \text{ นิวเคลียส}$$

เนื่องจากพลูโทเนียม 1 โมล หรือ 6.023×10^{23} นิวเคลียส มีมวล 239 กรัม

ดังนั้นพลูโทเนียม -239 จำนวน 1.35×10^{23} นิวเคลียส มีมวล

$$\frac{(239 \text{ g})(1.35 \times 10^{23})}{6.023 \times 10^{23}} = 53.6 \text{ g}$$

ตอบ ในแต่ละวันจะต้องใช้พลูโทเนียม-239 เท่ากับ 53.6 กรัม

36. ในอาคารใหญ่ ๆ มักจะติดตั้งเครื่องตรวจจับควันไฟที่เพดานห้องเพื่อระวังป้องกันอัคคีภัย ถ้าอาคารแห่งหนึ่งใช้เครื่องตรวจจับควันไฟแบบที่ใช้ธาตุกัมมันตรังสีอะเมริเซียม ($^{241}_{95}\text{Am}$) ที่แผ่รังสีแอลฟา

ก. จงเขียนสมการการแผ่รังสีแอลฟาของอะเมริเซียม-241

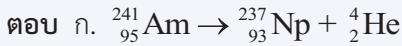
ข. จงอธิบายเหตุผลที่เครื่องตรวจจับควันไฟใช้ธาตุกัมมันตรังสีที่แผ่รังสีแอลฟา

วิธีทำ ก. อะเมริเซียม-241 มีเลขมวลเท่ากับ 241 และเลขอะตอมเท่ากับ 95

เมื่ออะเมริเซียม-241 สลายให้แอลฟา จะมีเลขมวลลดลง 4 เหลือ $241 - 4 = 237$

และเลขอะตอมลดลง 2 เหลือ $95 - 2 = 93$

ธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 93 คือ เนปทูเนียม ดังนั้น สมการการแผ่รังสีแอลฟาของอะเมริเซียม-241 เขียนได้ดังนี้ $^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow ^{237}_{93}\text{Np} + ^4_2\text{He}$



ข. ในสภาวะปกติที่ไม่มีควีนไฟ เครื่องตรวจจับควีนไฟจะแสดงจำนวนนับ (อนุภาคแอลฟา) ต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรืออัตราการนับ (count rate) ค่าหนึ่ง วงจรจะไม่ส่งสัญญาณเตือน แต่ถ้ามีควีนไฟลอยมาขวางบริเวณระหว่างแหล่งกำเนิดอนุภาคแอลฟากับเครื่องตรวจจับ อนุภาคในควีนไฟจะช่วยกระเจิงและดูดกลืนอนุภาคแอลฟา ทำให้อัตราการนับลดลงอย่างรวดเร็ว วงจรจึงแปลงการลดลงนี้เป็นสัญญาณเตือนว่ามีควีนไฟหรือไฟไหม้

37. พิวชันในดวงอาทิตย์เปลี่ยนไฮโดรเจนจำนวนมากให้เป็นพลังงานที่แผ่ออกมาทุก ๆ วินาที ถ้าแต่ละวินาทีพลังงานที่แผ่ออกมาเท่ากับ 3.90×10^{26} จูล มวลของดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงอย่างไร ด้วยอัตราเท่าใด

วิธีทำ ใน 1 วินาที ดวงอาทิตย์แผ่พลังงานออกมาเท่ากับ 3.90×10^{26} จูล

อัตราเร็วแสง (c) เท่ากับ 3.0×10^8 เมตรต่อวินาที

จากสมการ $E = mc^2$

แทนค่า จะได้ $3.90 \times 10^{26} \text{ J} = m (3.0 \times 10^8 \text{ m/s})^2$

$$m = 4.3 \times 10^8 \text{ kg}$$

ตอบ มวลของดวงอาทิตย์ลดลงในอัตรา $4.3 \times 10^8 \text{ kg}$ กิโลกรัมต่อวินาที

38. จงหาพลังงานที่เกิดจากการประลัยของคู่อนุภาคกับปฏิยานุภาคต่อไปนี้ โดยไม่พิจารณาพลังงานจลน์เริ่มต้น

ก. อิเล็กตรอนกับโพซิตรอน

ข. โปรตอนกับแอนติโปรตอน

วิธีทำ ก. อิเล็กตรอนมีมวลประมาณ 9.1×10^{-31} กิโลกรัม ซึ่งเท่ากับมวลของโพซิตรอน

เมื่ออิเล็กตรอนมาพบกับโพซิตรอน จะเกิดการประลัยที่ทำให้มวลทั้งหมดของอนุภาคทั้งสองเปลี่ยนไปเป็นพลังงานตามสมการ $E = mc^2$

ให้อัตราเร็วแสง (c) เท่ากับ 3.0×10^8 เมตรต่อวินาที แทนค่าในสมการจะได้

$$\begin{aligned} E &= (2 \times 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})(3.0 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \\ &= 1.6 \times 10^{-13} \text{ J} \end{aligned}$$

หรือในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์

$$\begin{aligned} E &= \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}} \\ &= 1 \times 10^6 \text{ eV} \\ &= 1 \text{ MeV} \end{aligned}$$

- ข. โปรตอนมีมวลประมาณ 1.67×10^{-27} กิโลกรัม ซึ่งเท่ากับมวลของแอนติโปรตอน พลังงานที่เกิดจากการประลัยระหว่างโปรตอนกับแอนติโปรตอน มีค่าตามสมการ $E = mc^2$ แทนค่าในสมการจะได้

$$E = (2 \times 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})(3.0 \times 10^8 \text{ m/s})^2$$

$$= 3.0 \times 10^{-10} \text{ J}$$

หรือในหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์

$$E = \frac{3.0 \times 10^{-10} \text{ J}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}}$$

$$= 1.878 \times 10^9 \text{ eV}$$

$$= 1878 \text{ MeV}$$

- ตอบ ก. พลังงานที่เกิดจากการประลัยของคู่อนุภาคอิเล็กตรอนกับโพซิตรอนเท่ากับ

$$1.6 \times 10^{-13} \text{ จูล หรือ } 1 \text{ MeV}$$

- ข. พลังงานที่เกิดจากการประลัยของคู่อนุภาคโปรตอนกับแอนติโปรตอนเท่ากับ

$$3.0 \times 10^{-10} \text{ จูล หรือ } 1.9 \text{ GeV}$$



ปัญหาท้าทาย

39. ถ้าธาตุ X มีจำนวนอะตอมเป็น 2 เท่าของธาตุ Y แต่มีกัมมันตภาพเป็น 3 เท่าของธาตุ Y ครึ่งชีวิตของธาตุ X จะเป็นกี่เท่าของธาตุ Y

วิธีทำ กัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี หาได้จากสมการ $A = \lambda N$ และ

$$\text{ค่าคงตัวการสลายมีค่าตามสมการ } T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

$$\text{ดังนั้น } A = \left(\frac{0.693}{T_{1/2}} \right) N$$

ให้ ธาตุ X มีจำนวนอะตอม $2N$ มีกัมมันตภาพ $3A$ และครึ่งชีวิตมีค่าเป็น T_x

ธาตุ Y มีจำนวนอะตอม N มีกัมมันตภาพ A และครึ่งชีวิตมีค่าเป็น T_y

$$\text{ดังนั้น สำหรับธาตุ X} \quad 3A = \left(\frac{0.693}{T_x} \right) (2N) \quad (1)$$

$$\text{และ สำหรับธาตุ Y} \quad A = \left(\frac{0.693}{T_y} \right) (N) \quad (2)$$

จาก (1) และ (2) จะได้
$$\frac{T_X}{T_Y} = \frac{2}{3}$$

ตอบ ครึ่งชีวิตของธาตุ X เป็น $\frac{2}{3}$ เท่าของธาตุ Y

40. ธาตุกัมมันตรังสี A มีครึ่งชีวิต 12 ชั่วโมง แปรสลายกลายเป็นธาตุกัมมันตรังสี B ซึ่งมีครึ่งชีวิต 20 ชั่วโมง จากนั้นธาตุกัมมันตรังสี B แปรสลายต่อกลายเป็นธาตุ C ที่เสถียร ในขณะที่กัมมันตภาพของ B คงตัว อัตราส่วนระหว่างจำนวนนิวเคลียสของธาตุ A ต่อ B เป็นเท่าใด

วิธีทำ กัมมันตภาพของธาตุกัมมันตรังสี หาได้จากสมการ $A = \lambda N$ และ

ค่าคงตัวการสลายมีค่าตามสมการ
$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

ดังนั้น
$$A = \left(\frac{0.693}{T_{1/2}} \right) N$$

ให้ A_A เป็นกัมมันตภาพของธาตุ A และ A_B เป็นกัมมันตภาพของธาตุ B

และให้ N_A เป็นจำนวนนิวเคลียสของธาตุ A และ

N_B เป็นจำนวนนิวเคลียสของธาตุ B

เมื่อกัมมันตภาพของธาตุ B คงตัว แสดงว่า N_B คงตัว เนื่องจาก $A_B = \lambda N_B$

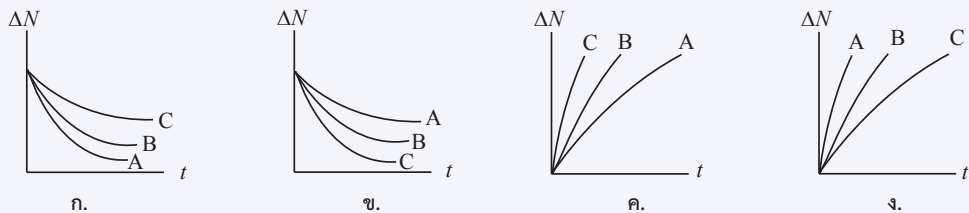
และ เนื่องจาก ธาตุ A สลายไปเป็นธาตุ B แสดงว่า $A_B = A_A$

ดังนั้น จะได้

$$\begin{aligned} \frac{A_A}{A_B} &= \frac{\lambda_A N_A}{\lambda_B N_B} \\ 1 &= \frac{(20 \text{ h}) N_A}{(12 \text{ h}) N_B} \\ \frac{N_A}{N_B} &= \frac{12 \text{ h}}{20 \text{ h}} \\ &= \frac{3}{5} \end{aligned}$$

ตอบ อัตราส่วนระหว่างจำนวนนิวเคลียสของธาตุ A ต่อธาตุ B เท่ากับ $\frac{3}{5}$

41. ถ้ามีธาตุกัมมันตรังสี 3 ชนิด ได้แก่ A B และ C โดยครึ่งชีวิตของ A มากกว่า ครึ่งชีวิตของ B และครึ่งชีวิตของ B มากกว่าครึ่งชีวิตของ C ถ้าที่เวลาเริ่มต้น ธาตุทั้ง 3 มีจำนวนนิวเคลียสเท่ากัน กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนิวเคลียสที่สลายไป (ΔN) กับเวลา (t) คือข้อใด



รูป ประกอบปัญหาท้าทาย ข้อ 41

วิธีทำ เริ่มต้น ธาตุทั้ง 3 มีจำนวนนิวเคลียสเท่ากัน เมื่อเวลาผ่านไป จำนวนนิวเคลียสที่สลายจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้น กราฟที่เป็นไปได้มีเพียงกราฟในข้อ ค. และ ข้อ ง.

จากนั้น พิจารณากราฟของธาตุที่มีอัตราการสลายสูง เป็นกราฟที่มีจำนวนนิวเคลียสที่สลายเพิ่มขึ้นเร็วกว่าธาตุที่มีอัตราการสลายต่ำ ดังนั้น กราฟของธาตุที่มีอัตราการสลายสูงควรมีความชันมากกว่าธาตุที่มีอัตราการสลายต่ำ

อัตราการสลายแปรผกผันกับครึ่งชีวิต ดังนั้น กราฟที่มีอัตราการสลายสูงคือกราฟของธาตุที่มีครึ่งชีวิตสั้น ซึ่งในที่นี้ได้แก่ ธาตุ C

ดังนั้น กราฟของธาตุ C ควรมีความชันมากที่สุดเมื่อเทียบกับกราฟของธาตุอื่น ส่วนกราฟของธาตุที่มีความชันน้อยที่สุด คือกราฟของธาตุที่มีครึ่งชีวิตมากที่สุด ซึ่งได้แก่ธาตุ A ดังนั้น กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนิวเคลียสที่สลายไปกับเวลาของธาตุทั้ง 3 คือ กราฟในข้อ ค.

ตอบ ข้อ ค.

42. ในอนุกรมการสลายของเรดอน-222 ($^{222}_{86}\text{Rn}$) มีทั้งการสลายให้แอลฟาและการสลายให้บีตาจนได้บิสมัท-214 ($^{214}_{83}\text{Bi}$) ในอนุกรมการสลายนี้ มีการปล่อยอนุภาคแอลฟาและอนุภาคบีตาออกมาอย่างละกี่อนุภาค

วิธีทำ ในการปล่อยอนุภาคแอลฟา 1 อนุภาค (^4_2He) เลขมวล (A) หรือจำนวนนิวคลีออนจะลดลง 4 และเลขอะตอม (Z) หรือจำนวนโปรตอนจะลดลง 2 ส่วนการปล่อยอนุภาคบีตา 1 อนุภาค ($^0_{-1}\text{e}$) จะมีเลขอะตอม (Z) หรือจำนวนโปรตอนเพิ่มขึ้น 1

ในการแผ่รังสีของเรดอน-222 ($^{222}_{86}\text{Rn}$) จะได้ จนได้บิสมัท-214 ($^{214}_{83}\text{Bi}$)

มีจำนวนนิวคลีออนลดลง $222 - 214 = 8$ นิวคลีออน

ดังนั้น อย่างน้อย ในอนุกรมการสลายนี้ ต้องมีการปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา

2 อนุภาค จึงทำให้จำนวนนิวคลีออนลดลง $8 = 2 \times 4$

แต่เมื่อมีการปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา 2 อนุภาค

จำนวนโปรตอนลดลง $2 \times 2 = 4$ โปรตอน

ทำให้ เลขอะตอมของธาตุเริ่มต้นลดลง $86 - 4 = 82$ ซึ่งยังไม่เท่ากับ 83 ที่เป็นเลขอะตอมของบิสมัท-214

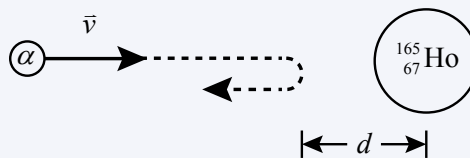
การที่อนุกรมการสลายจะให้ธาตุสุดท้ายเป็น บิสมัท-214 จะต้องเป็นการสลายที่ทำให้เลขอะตอมเพิ่มขึ้นอีก 1 ซึ่งเป็นการสลายให้บีตา 1 อนุภาค

ดังนั้น การสลายนี้จะมีการปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา 2 อนุภาค และปล่อยอนุภาคบีตาออกมา 1 อนุภาค

ตอบ การสลายของเรดอน-222 จนได้บิสมัท-214 ต้องมีการปลดปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา 2 อนุภาค และอนุภาคบีตา 1 อนุภาค

43. ถ้าให้อนุภาคแอลฟา (${}^4_2\text{He}$) มวล 4.002603 u และประจุ $+2e$ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.5×10^7 เมตรต่อวินาที ไปยังศูนย์กลางนิวเคลียสของโฮโลเนียม-165 (${}^{165}_{67}\text{Ho}$) ซึ่งถูกตรึงไว้ จงหาระยะที่อนุภาคแอลฟาเข้าใกล้นิวเคลียสของโฮโลเนียม-165 ได้มากที่สุด

วิธีทำ ถ้าย้อนอนุภาคแอลฟามวล m ประจุ Q_1 ด้วยความเร็ว $\vec{v}$ ไปยังศูนย์กลางของนิวเคลียสโฮโลเนียม ซึ่งมีประจุ Q_2 แรงผลักรังสีของนิวเคลียสโฮโลเนียม จะทำให้อนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่เข้าใกล้นิวเคลียสโฮโลเนียมเป็นระยะ d ก่อนที่จะวกกลับ ดังรูป



ที่ระยะห่าง d นี้ พลังงานจลน์เริ่มต้นของอนุภาคแอลฟามีค่าเท่ากับพลังงานศักย์ไฟฟ้า

$$\begin{aligned}
 E_k &= E_p \\
 \frac{1}{2}mv^2 &= k \frac{Q_1 Q_2}{r} \\
 r &= 2k \frac{Q_1 Q_2}{mv^2} \\
 d &= \frac{2(9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2)(2 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(67 \times 1.60 \times 10^{-19} \text{ C})}{(4.002603 \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg})(1.5 \times 10^7 \text{ m/s})^2} \\
 d &= 4.13 \times 10^{-14} \text{ m}
 \end{aligned}$$

ตอบ ระยะที่อนุภาคแอลฟาเข้าใกล้นิวเคลียสโฮโลเนียมมากที่สุดเท่ากับ 4.1×10^{-14} เมตร

44. ธาตุกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งแผ่รังสีแอลฟาโดยมีกัมมันตภาพ 3.2×10^9 เบ็กเคอเรล ถ้าอนุภาคแอลฟาแต่ละอนุภาคมีพลังงานเฉลี่ย 5.2 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ และอนุภาคแอลฟาจากธาตุนี้นั้นชนแผ่นอะลูมิเนียมบางซึ่งมีมวล 2×10^{-4} กิโลกรัม ซึ่งสามารถกั้นรังสีแอลฟาได้ทั้งหมด

- ก. จงหาพลังงานในหน่วยจูล ที่แผ่นอะลูมิเนียมดูดกลืนไว้ในแต่ละวินาที
 ข. หากพลังงานที่แผ่นอะลูมิเนียมได้รับ เป็นความร้อน เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที แผ่นอะลูมิเนียมมีอุณหภูมิสูงขึ้นกี่องศาเซลเซียส
 กำหนด ความร้อนจำเพาะของอะลูมิเนียม 900 จูลต่อกิโลกรัมเคลวิน

วิธีทำ ก. กัมมันตภาพบอกถึงจำนวนนิวเคลียสที่สลายใน 1 วินาที ซึ่งก็คือจำนวนอนุภาคแอลฟาที่แผ่ออกมาใน 1 วินาที ในที่นี้ A เท่ากับ 3.2×10^9 เบ็กเคอเรล นั่นคือ ใน 1 วินาที มีการปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมาจำนวน

$$N = 3.2 \times 10^9 \text{ อนุภาค}$$

ให้ E_1 เป็นพลังงานเฉลี่ยของแต่ละอนุภาค

$$\text{ในที่นี้} \quad E = 5.2 \text{ MeV}$$

$$\text{หรือ} \quad E = 5.2 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ดังนั้นใน 1 วินาที พลังงานที่ปล่อยทั้งหมด E มีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} E &= NE_1 \\ &= (3.2 \times 10^9)(5.2 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}) \\ &= 2.66 \times 10^{-3} \text{ J} \end{aligned}$$

- ข. อุณหภูมิของอะลูมิเนียมที่เปลี่ยนไปเมื่อได้รับพลังงานความร้อนหาได้จากสมการ

$$Q = mc\Delta T$$

ในที่นี้ $m = 2 \times 10^{-4} \text{ kg}$ $c = 900 \text{ J/kg K}$ และในเวลา 1 นาที

$$Q = (2.66 \times 10^{-3} \text{ J})(60)$$

แทนค่าในสมการ $Q = mc\Delta T$ จะได้

$$\begin{aligned} (2.66 \times 10^{-3} \text{ J})(60) &= (2 \times 10^{-4} \text{ kg})(900 \text{ J/kg K}) \Delta T \\ \Delta T &= 0.9 \text{ K หรือ } 0.9^\circ \text{C} \end{aligned}$$

- ตอบ** ก. พลังงานที่แผ่นอะลูมิเนียมดูดกลืนไว้ในแต่ละวินาทีเท่ากับ 2.66×10^{-3} จูล
 ข. เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที แผ่นอะลูมิเนียมมีอุณหภูมิสูงขึ้น 0.9°C

45. ในการสลายของธาตุกัมมันตรังสี เมื่อเวลาผ่านไป $t = nT_{1/2}$ จงแสดงให้เห็นว่า $A = \frac{A_0}{2^n}$ และ $m = \frac{m_0}{2^n}$ โดยที่ A_0 คือ กัมมันตภาพเริ่มต้น และ m_0 คือ มวลเริ่มต้น

วิธีทำ จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างกัมมันตภาพ A เมื่อเวลาผ่านไป t กับกัมมันตภาพเริ่มต้น A_0 ตามสมการ

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$\text{โดย } \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

เมื่อ $t = nT_{1/2}$ แทนค่า จะได้

$$A = A_0 e^{-\left(\frac{\ln 2}{T_{1/2}}\right)nT_{1/2}}$$

$$A = A_0 e^{-n \ln 2}$$

$$A = A_0 e^{\ln 2^{-n}}$$

เนื่องจาก $e^{\ln x} = x$

จะได้

$$A = \frac{A_0}{2^n}$$

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างมวลที่เหลืออยู่ m เมื่อเวลาผ่านไป t กับมวลเริ่มต้น m_0

ตามสมการ $m = m_0 e^{-\lambda t}$

เมื่อ $t = nT_{1/2}$ สามารถพิจารณาได้โดยใช้แนวทางเดียวกัน จะได้

$$m = \frac{m_0}{2^n}$$

46. ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เมื่อให้นิวตรอนไปชนกับนิวเคลียสของยูเรเนียม-235 ($^{235}_{92}\text{U}$) แล้วเกิดฟิชชัน จะมีพลังงานถูกปล่อยออกมา 200 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ต่อครั้ง ถ้าเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์นี้มีกำลัง 800 เมกะวัตต์ และมีประสิทธิภาพร้อยละ 25 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เครื่องนี้สามารถทำให้ยูเรเนียม-235 เกิดฟิชชันกี่ครั้งต่อวัน

วิธีทำ ถ้า W เป็นพลังงานที่ได้จากฟิชชันของยูเรเนียม-235 หนึ่งครั้งที่ถูกนำไปใช้ได้ ซึ่งมีเพียงร้อยละ 25 หรือ 0.25 เท่าของพลังงานที่ถูกปล่อยออกมา ดังนั้น

$$\begin{aligned} W &= (200 \times 1.60 \times 10^{-13} \text{ J})(0.25) \\ &= 8.0 \times 10^{-12} \text{ J} \end{aligned}$$

ถ้า P เป็นกำลังของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

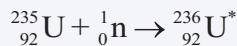
$$\begin{aligned} P &= 800 \times 10^6 \text{ W} \\ &= 800 \times 10^6 \text{ J/s} \end{aligned}$$

ถ้า n เป็นจำนวนครั้งที่เกิดฟิชชันต่อหนึ่งหน่วยเวลา จะได้

$$\begin{aligned} n &= \frac{P}{W} \\ &= \frac{800 \times 10^6 \text{ J/s}}{8.0 \times 10^{-12} \text{ J}} \\ &= (100 \times 10^{18} \text{ s}^{-1}) \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) \left(\frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}} \right) \\ &= 8.64 \times 10^{24} \text{ d}^{-1} \end{aligned}$$

ตอบ ยูเรเนียม-235 จะเกิดฟิชชัน 8.64×10^{24} ครั้งต่อวัน

47. ในการให้นิวตรอนไปชนกับนิวเคลียสของยูเรเนียม-235 ($^{235}_{92}\text{U}$) จะทำให้ได้นิวเคลียสของยูเรเนียม-236 ในสถานะกระตุ้น ($^{236}_{92}\text{U}^*$) ดังสมการ



จากนั้น นิวเคลียสของยูเรเนียม-236 จะเกิดฟิชชัน ทำให้ได้นิวเคลียสลูกคือโมลิบดีนัม-98 ($^{98}_{42}\text{Mo}$) และ ซีโนน-136 ($^{136}_{54}\text{Xe}$) พร้อมทั้งมีนิวตรอนถูกปล่อยออกมา 2 อนุภาค และบีตา 4 อนุภาค จงคำนวณพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาจากฟิชชันของยูเรเนียม-235 โดยไม่คิดพลังงานของอนุภาคบีตา

กำหนด มวลของ $^{235}_{92}\text{U}$ $^{98}_{42}\text{Mo}$ และ $^{136}_{54}\text{Xe}$ เท่ากับ 235.043925 u 97.905405 u และ 135.907220 u ตามลำดับ

วิธีทำ ถ้า E เป็นพลังงานที่ปล่อยออกมาจากฟิชชัน สามารถหา E ได้จากพลังงานที่เทียบเท่า ส่วนของมวลที่ลดลง Δm ตามสมการ

$$E = (\Delta m)(931.5 \text{ MeV/u})$$

จากฟิชชันที่เกิดขึ้น สามารถเขียนสมการได้เป็น



เมื่อไม่คิดพลังงานของอนุภาคบีตา หาส่วนของมวลที่ลดลงจากผลต่างระหว่างผลรวมมวลก่อนกับหลังเกิดฟิชชันได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \Delta m &= (235.043925 \text{ u} + 1.008665 \text{ u}) \\ &\quad - (97.905405 \text{ u} + 135.907220 \text{ u} + 2 \times 1.008665 \text{ u}) \\ &= 236.052590 \text{ u} - 235.829955 \text{ u} \\ &= 0.222635 \text{ u} \end{aligned}$$

หาพลังงานที่เทียบเท่าส่วนของมวลที่ลดลงจากสมการ

$$\begin{aligned} E &= (\Delta m)(931.5 \text{ MeV/u}) \\ \text{ดังนั้น} \quad E &= (0.222635 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= 207.384503 \text{ MeV} \end{aligned}$$

ตอบ พลังงานที่ถูกปล่อยออกมาจากฟิชชันของยูเรเนียม-235 เท่ากับ 207 MeV

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)...

.....

.....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบมีข้อดีคือ สามารถใช้ผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนได้ครอบคลุมเนื้อหาตามจุดประสงค์ สามารถตรวจให้คะแนนและแปลผลคะแนนได้ตรงกัน แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงออกอย่างอิสระจึงไม่สามารถวัดความคิดระดับสูง เช่น ความคิดสร้างสรรค์ได้ นอกจากนี้นักเรียนที่ไม่มีความรู้สามารถเดาคำตอบได้

1.2) แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด

เป็นแบบทดสอบที่มีตัวเลือกถูกและผิดเท่านั้นมีองค์ประกอบ 2 ส่วนคือ คำสั่งและข้อความให้นักเรียนพิจารณาว่าถูกหรือผิด ดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด

คำสั่ง ให้พิจารณาว่าข้อความต่อไปนี้ถูกหรือผิด แล้วใส่เครื่องหมาย ✓ หรือ ✗ หน้าข้อความ

..... 1. ข้อความ.....

..... 2. ข้อความ.....

..... 3. ข้อความ.....

..... 4. ข้อความ.....

..... 5. ข้อความ.....

แบบทดสอบรูปแบบนี้สามารถสร้างได้ง่าย รวดเร็ว และครอบคลุมเนื้อหา สามารถตรวจได้รวดเร็วและให้คะแนนได้ตรงกัน แต่นักเรียนมีโอกาสดำได้มาก และการสร้างข้อความเป็นจริงหรือเป็นเท็จโดยสมบูรณ์ในบางเนื้อหาทำได้ยาก

1.3) แบบทดสอบแบบจับคู่

ประกอบด้วยส่วนที่เป็นคำสั่ง และข้อความสองชุดที่ให้จับคู่กัน โดยข้อความชุดที่ 1 อาจเป็นคำถาม และข้อความชุดที่ 2 อาจเป็นคำตอบหรือตัวเลือก โดยจำนวนข้อความในชุดที่ 2 อาจมีมากกว่าในชุดที่ 1 ดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบจับคู่

คำสั่ง ให้นำตัวอักษรหน้าข้อความในชุดคำถามมาเติมในช่องว่างหน้าข้อความในชุดคำตอบ

ชุดคำถาม	ชุดคำตอบ
..... 1. ข้อความ.....	ก. ข้อความ.....
..... 2. ข้อความ.....	ข. ข้อความ.....
..... 3. ข้อความ.....	ค. ข้อความ.....
	ง. ข้อความ.....

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่าย ตรวจให้คะแนนได้ตรงกันและเดาคำตอบได้ยาก เหมาะสำหรับวัดความสามารถในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคำหรือข้อความ 2 ชุด แต่ในกรณีที่นักเรียนจับคู่ผิดไปแล้วจะทำให้มีการจับคู่ผิดในคู่อื่น ๆ ด้วย

2) แบบทดสอบแบบเขียนตอบ

เป็นแบบทดสอบที่ให้นักเรียนคิดคำตอบเอง จึงมีอิสระในการแสดงความคิดเห็นและสะท้อนความคิดออกมาโดยการเขียนให้ผู้อ่านเข้าใจ โดยทั่วไปการเขียนตอบมี 2 แบบ คือ การเขียนตอบแบบเติมคำหรือการเขียนตอบอย่างสั้น และการเขียนตอบแบบอธิบาย รายละเอียดของแบบทดสอบที่มีการตอบแต่ละแบบเป็นดังนี้

2.1) แบบทดสอบเขียนตอบแบบเติมคำหรือตอบอย่างสั้น

ประกอบด้วยคำสั่งและข้อความที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะมีส่วนที่เว้นไว้เพื่อให้เติมคำตอบหรือข้อความสั้นๆ เพื่อให้เติมคำตอบหรือข้อความสั้นๆ ที่ทำให้ข้อความข้างต้นถูกต้องหรือสมบูรณ์ นอกจากนี้แบบทดสอบยังอาจประกอบด้วยสถานการณ์และคำถามที่ให้นักเรียนตอบโดยการเขียนอย่างอิสระ แต่สถานการณ์และคำถามจะเป็นสิ่งที่กำหนดคำตอบให้มีความถูกต้องและเหมาะสม

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่าย มีโอกาสเดาได้ยาก และสามารถวินิจฉัยคำตอบที่นักเรียนตอบผิด เพื่อให้ทราบถึงข้อบกพร่องทางการเรียนรู้หรือความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้ แต่การจำกัดคำตอบให้นักเรียนตอบเป็นคำ วลี หรือประโยคได้ยาก ตรวจสอบให้คะแนนได้ยากเนื่องจากบางครั้งมีคำตอบถูกต้องหรือยอมรับได้หลายคำตอบ

2.2) แบบทดสอบเขียนตอบแบบอธิบาย

เป็นแบบทดสอบที่ต้องการให้นักเรียนตอบอย่างอิสระ ประกอบด้วยสถานการณ์และคำถามที่สอดคล้องกัน โดยคำถามเป็นคำถามแบบปลายเปิด

แบบทดสอบรูปแบบนี้ในการตอบจึงสามารถใช้วัดความคิดระดับสูงได้ แต่เนื่องจากนักเรียนต้องใช้เวลาในการคิดและเขียนคำตอบมาก ทำให้ถามได้น้อยข้อ จึงอาจทำให้วัดได้ไม่ครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งตรวจสอบให้คะแนนยาก และการตรวจสอบให้คะแนนอาจไม่ตรงกัน

แบบประเมินทักษะ

เมื่อนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมจริงจะมีหลักฐานร่องรอยที่แสดงไว้ทั้งวิธีการปฏิบัติและผลการปฏิบัติ ซึ่งหลักฐานร่องรอยเหล่านั้นสามารถใช้ในการประเมินความสามารถ ทักษะการคิด และทักษะปฏิบัติได้เป็นอย่างดี

การปฏิบัติการทดลองเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยทั่วไปประเมินได้ 2 ส่วน คือประเมินทักษะการปฏิบัติการทดลองและการเขียนรายงานการทดลอง โดยเครื่องมือที่ใช้ประเมินดังตัวอย่าง

ตัวอย่างแบบสำรวจรายการทักษะปฏิบัติการทดลอง

รายการที่ต้องสำรวจ	ผลการสำรวจ	
	มี (ระบุจำนวนครั้ง)	ไม่มี
การวางแผนการทดลอง		
การทดลองตามขั้นตอน		
การสังเกตการทดลอง		
การบันทึกผล		
การอธิบายผลการทดลองก่อนลงข้อสรุป		

ตัวอย่างแบบประเมินทักษะปฏิบัติการทดลอง
ที่ใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย

ทักษะปฏิบัติการ ทดลอง	คะแนน		
	3	2	1
การเลือกใช้อุปกรณ์ / เครื่องมือใน การทดลอง	เลือกใช้อุปกรณ์ / เครื่องมือในการทดลอง ได้ถูกต้องเหมาะสม กับงาน	เลือกใช้อุปกรณ์ / เครื่องมือในการทดลอง ได้ถูกต้องแต่ไม่เหมาะสม กับงาน	เลือกใช้อุปกรณ์ / เครื่องมือในการทดลอง ไม่ถูกต้อง
การใช้อุปกรณ์ / เครื่องมือใน การทดลอง	เลือกใช้อุปกรณ์ / เครื่องมือในการทดลอง ได้อย่างคล่องแคล่ว และถูกต้องตามหลัก การปฏิบัติ	ใช้อุปกรณ์ /เครื่องมือใน การทดลองได้ถูกต้องตาม หลักการปฏิบัติ แต่ไม่ คล่องแคล่ว	ใช้อุปกรณ์ /เครื่องมือใน การทดลองไม่ถูกต้อง
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

การประเมินจิตวิทยาศาสตร์ไม่สามารถทำได้โดยตรงโดยทั่วไปทำโดยการตรวจสอบพฤติกรรมภายนอกที่ปรากฏให้เห็นในลักษณะของคำพูด การแสดงความคิดเห็น การปฏิบัติหรือพฤติกรรมบ่งชี้ที่สามารถสังเกตหรือวัดได้ 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. เมื่อครูมอบหมายให้ทำชิ้นงานสิ่งประดิษฐ์ 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. เมื่อทราบว่าคุณสมบัติการทดลองที่นักเรียนสนใจต้องใช้ระยะเวลาในการทดลองนาน 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

ส่วนของข้อความที่มีความหมายเป็นทางลบ กำหนดให้คะแนนในแต่ละข้อความมีลักษณะตรงข้าม

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. (2554). **คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 4.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภา ลาดพร้าว.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). **คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 5.** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2562). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 2.** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข, สุชาติ พงษ์พัฒน์ และ กรรณิกา มณีวรรณ. (2550). **อยู่ปลอดภัยกับอะตอม.** กรุงเทพฯ : สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ.
- สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. (2552). **ศัพทานุกรมนิวเคลียร์.** กรุงเทพฯ : สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ.
- สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. (2546). **ศัพทวิทยาาสตร์อังกฤษ-ไทยไทย-อังกฤษ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน.** (พิมพ์ครั้งที่ 5 แก้ไขเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ : อรุณการพิมพ์.
- Charley, S. (2015). How to build your own particle detector. **Symmetry Magazine.** Retrieved January 30, 2020 from <https://www.symmetrymagazine.org/article/january-2015/how-to-build-your-own-particle-detector>
- 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.
- International Commission on Radiological Protection. (2007). **ICRP Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.** Retrieved January 15, 2019 from https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_37_2-4
- Sang, D., Jones, G., Chadha G., Woodside R. (2014). **Cambridge International AS and A Level Physics Coursebook.** (2th ed). Cambridge University Press.
- Serway, R. A., Jewett, Jr., J. W. (2014). **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics.** (10th ed.). Brooks/Cole.

Watanabe, Y., Shimada, M. Yamashita, K. (2015). **Let's Start Learning Radiation: Supplementary Material on Radiation for Secondary School Students.**

Japan Atomic Energy Agency.

Woithe, J. (2016). CLOUD CHAMBER. **Do-it-yourself manual.** Retrieved January 30, 2020 from https://scoollab.web.cern.ch/sites/scoollab.web.cern.ch/files/documents/SCoolLAB_CloudChamber_DIYManual_2018_v6.pdf.

**คณะกรรมการจัดทำคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิลิกส์
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 6
ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551**

คณะที่ปรึกษา

- | | |
|------------------------------|---|
| 1. ศ.ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์ | ผู้อำนวยการ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 2. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์ | ผู้ช่วยผู้อำนวยการ
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

**คณะผู้จัดทำคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิลิกส์
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 6**

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. นายบุญชัย ตันไถง | ผู้ชำนาญ สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 2. นายวัฒนะ มากขึ้น | ผู้ชำนาญ สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 3. นายโฆสิต สิงหสุต | ผู้ชำนาญ สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 4. นายสมิทร สวนสุข | โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร |
| 5. นายรักษพล ธนานุวงศ์ | นักวิชาการอาวุโส สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 6. ดร.กวิน เชื้อมงคล | นักวิชาการอาวุโส สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 7. ดร.ปรีดา พัทธมณีปกรณ์ | นักวิชาการ สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 8. ดร.จำเริญตา ปริญญาธารมาศ | นักวิชาการ สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 9. นายจอมพรรค นวลดี | นักวิชาการ สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 10. นายสรจิตต์ อาริรัตน์ | นักวิชาการ สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

11. นายธนะรัชต์ คัมภักษ์

นักวิชาการ สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้ร่วมพิจารณาหนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิลิกส์
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 6 (ฉบับร่าง)

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1. ผศ.ดร.บุรินทร์ อัครพิภพ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. นายประสิทธิ์ สลัดทุกข์ | ข้าราชการเกษียณ จ.ตรัง |
| 3. ดร.มิญช์ เมธีสุกุล | โรงเรียนกำเนิดวิทย์ จ.ระยอง |
| 4. นายพลพิพัฒน์ วัฒนเศรษฐานุกูล | สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 2 กรุงเทพฯ |
| 5. นายชรินทร์ มีแก้ว | โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย จ.นครปฐม |
| 6. นางสาวสายชล สุขโข | โรงเรียนจ่านกร้อง จ. พิษณุโลก |
| 7. นายสงกรานต์ บุตตะวงศ์ | โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย จ.เลย |
| 8. นายกชกร โยธาพิทย์ | โรงเรียนศรีมหาโพธิ จ.ปราจีนบุรี |
| 9. นายเทพนคร แสงหัวช้าง | นักวิชาการ สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 10. นางฤทัย เพลงวัฒนา | ผู้อำนวยการ สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 11. นายวินัย เลิศเกษมสันต์ | ผู้อำนวยการ สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 12. ดร.นันทน์ภัส ลัมสันติธรรม | ผู้อำนวยการ สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |

คณะบรรณาธิการ

- | | |
|---------------------------|---|
| 1. นายบุญชัย ตันโถง | ผู้อำนวยการ สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 2. นายวัฒนะ มากขึ้น | ผู้อำนวยการ สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 3. นายโฆสิต สิงห์สุต | ผู้อำนวยการ สาขาฟิลิกส์และวิทยาศาสตร์โลก
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| 4. นางกิ่งแก้ว คูอมรพัฒนะ | นักวิชาการอิสระ |
| 5. นายนที สามารถ | นักวิชาการอิสระ |
| 6. ดร.ศักดิ์ สุวรรณฉาย | นักวิชาการอิสระ |



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	$1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg}$
มวลดิวเทรอน	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