

ตอนที่ 2
สเปกโตรสโกปี
(Spectroscopy)

บทที่ 5

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับวิชาสเปกโทรสโกปี

เค้าโครงเรื่อง

1. สมบัติของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า
 - 1.1 สมบัติที่เป็นคลื่น
 - 1.2 สมบัติที่เป็นอนุภาค
2. สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า
3. อันตรกิริยาของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสาร
 - 3.1 การดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า
4. หน่วยที่ใช้ในวิชาสเปกโทรสโกปี

สาระสำคัญ

1. รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงสมบัติที่เป็นทั้งคลื่นและอนุภาคในขณะเดียวกัน
2. สเปกตรัมรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าตั้งแต่รังสีวิทยามีช่วงเป็นรังสีที่มีพลังงานสูงที่สุดไปจนถึงคลื่นวิทยุซึ่งมีรังสีที่มีพลังงานต่ำที่สุด
3. อันตรกิริยาของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสารอาจทำให้เกิดการดูดกลืนรังสีซึ่งมีผลนำไปให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ
4. หน่วยต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าและการเปลี่ยนหน่วยต่าง ๆ กลับไปม

จุดประสงค์การเรียนรู้

หลังจากศึกษาบทที่ 5 แล้วนักศึกษาควรสามารถ

1. อธิบายสมบัติที่เป็นคลื่นและอนุภาคของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า
2. บอกชนิดของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ประกอบกันขึ้นเป็นสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า และเรียงลำดับรังสีที่มีพลังงานมากไปหาน้อย
3. บอกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยาของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสาร
4. เปลี่ยนหน่วยต่าง ๆ ของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

ความนำ

เนื้อหาในบทที่ 5 จะทำให้นักศึกษาเข้าใจสมบัติของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า สมบัติของรังสีชนิดต่าง ๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดอันตรกิริยาของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสาร และการเปลี่ยนหน่วยต่าง ๆ ของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

สเปกโตรสโคปี (spectroscopy) เป็นวิชาที่วัดและวิเคราะห์รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ซึ่งสสารดูดกลืน (absorb) เข้าไปหรือเปล่ง (emit) ออกมา ในปัจจุบันวิชานี้ได้ครอบคลุมถึงการศึกษาการใช้เครื่องมือชนิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

ในตำราเล่มนี้จะกล่าวถึงเฉพาะสเปกโตรสโคปีที่มีประโยชน์ต่อวิชาเคมีอินทรีย์เพียง 4 ประเภทเท่านั้นคืออัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลสเปกโตรสโคปี (Ultraviolet and visible spectroscopy) อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Infrared spectroscopy) นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (Nuclear magnetic resonance spectroscopy) และแมสสเปกโตรเมตรี (Mass spectrometry) เนื่องจากสเปกโตรสโคปี 3 ประเภทแรกเกี่ยวข้องกับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นนักศึกษาจึงควรมีความรู้เกี่ยวกับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

1. สมบัติของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

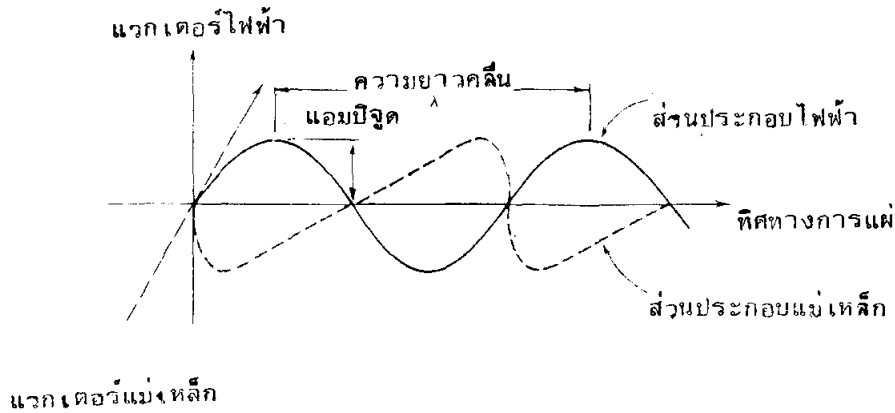
รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งถูกส่งผ่านอวกาศด้วยความเร็วสูง รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถอยู่ได้ในหลายรูปแบบ รูปแบบที่รู้จักกันมากคือแสงและความร้อน สำหรับรูปแบบอื่น ๆ คือรังสีแกมมา (gamma ray) รังสีเอกซ์ (X-ray) รังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet radiation) รังสีอินฟราเรด (infrared radiation) ไมโครเวฟ (microwave) และคลื่นวิทยุ (radiowave)

ตามกลศาสตร์ควอนตัมรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงสมบัติที่เป็นทั้งคลื่น (wave) และอนุภาค (particle) ในขณะเดียวกันปรากฏการณ์บางอย่างของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นการสะท้อน (reflection) การหักเห (refraction) เป็นตัวอย่างของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งแสดงสมบัติที่เป็นคลื่น แต่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปคลื่นไม่จำเป็นต้องใช้ตัวกลาง (medium) ในการส่งผ่าน ซึ่งเป็นลักษณะที่แตกต่างจากคลื่นชนิดอื่น ๆ เช่น เสียง ด้วยเหตุนี้รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจึงสามารถส่งผ่านอวกาศได้อย่างง่ายดาย อย่างไรก็ตามสมบัติที่เป็นคลื่นของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าไม่สามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการดูดกลืนหรือการเปล่งของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ในกระบวนการทั้งสองนี้เราจำเป็นต้องพิจารณารังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเสมือนลำของอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง (discrete particle) ไอน์สไตน์ (Einstein) ได้เคยเสนอว่ารังสีแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งถูกเรียกว่าโฟตอน (photon) โฟตอนจะมีพลังงานที่แน่นอนและจะเดินทางผ่านอวกาศด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของแสง

1.1 สมบัติที่เป็นคลื่น

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็น sine wave ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ตามความเป็นจริงแล้วคลื่นชนิดนี้จะประกอบด้วยส่วนประกอบไฟฟ้า (electric component) และส่วนประ-

กอบแม่เหล็ก (magnetic component) ส่วนประกอบทั้งสองนี้จะแกว่งกวัด (oscillate) ในระนาบ ซึ่งตั้งฉากกันและตั้งฉากกับทิศทางเคลื่อนที่ของรังสี อย่างไรก็ตามเฉพาะส่วนประกอบไฟฟ้าเท่านั้นที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทพลังงานเมื่อเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสาร



รูปที่ 5.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

โดยปกติคลื่นชนิดใดชนิดหนึ่งมักถูกบรรยายด้วยความยาวคลื่น (λ) หรือความถี่ (ν) ของคลื่นนั้น ความยาวคลื่นคือระยะทางระหว่างยอดของคลื่นที่อยู่ติดกันหรือระยะทางระหว่างท้องของคลื่นที่อยู่ติดกัน ส่วนความถี่คือจำนวนรอบของคลื่นที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งวินาที ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและความถี่จะเป็นไปตามสมการ (5.1)

$$\lambda = \frac{v}{\nu} \quad (5.1)$$

- เมื่อ λ คือความยาวคลื่น (ซม.)
- v คือความเร็วของคลื่น (ซม./วินาที)
- และ ν คือความถี่ของคลื่น (รอบ/วินาที)

ในสุญญากาศคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีความเร็วเท่ากับความเร็วของแสง (c) คือเท่ากับ 3.0×10^{10} ซม./วินาที ดังนั้นสำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศหรือในตัวกลางที่มีสมบัติเกือบเป็นสุญญากาศอาจเขียนสมการ (5.1) ได้ใหม่เป็น

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (5.2)$$

เนื่องจากความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศแตกต่างจากในสุญญากาศน้อยมาก ๆ (ก็น้อยกว่าร้อยละ 0.03) ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการ (5.2) กับอากาศเช่นเดียวกับในสุญญากาศ

นอกจากนี้ยังสามารถบรรยายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปเลขคลื่น (wave number, $\tilde{\nu}$) เลขคลื่นคือจำนวนของคลื่นต่อ ซม. ดังแสดงในสมการ (5.3)

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} \quad (5.3)$$

ในที่นี้ $\tilde{\nu}$ อยู่ในหน่วย ซม.⁻¹

1.2 สมบัติที่เป็นอนุภาค

เพื่ออธิบายอันตรกิริยาระหว่างรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสารจำเป็นต้องพิจารณารังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเสมือนลำของโฟตอน พลังงานของแต่ละโฟตอนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าตามสมการ (5.4)

$$E = h\nu \quad (5.4)$$

เมื่อ E คือพลังงานของโฟตอนในหน่วยเอิร์ก (erg)

ν คือความถี่ของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในหน่วยรอบต่อวินาที

h คือค่าคงตัวของพลังค์ (Planck's constant) $h = 6.624 \times 10^{-27}$ เอิร์ก-วินาที

ถ้าแทนค่า ν ในสมการ (5.2) ลงในสมการ (5.4) จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (5.5)$$

สมการ (5.4) และ (5.5) แสดงให้เห็นว่ารังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (หรือโฟตอน) ที่มีความถี่สูง (ความยาวคลื่นสั้น) จะมีพลังงานสูงกว่ารังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำ (ความยาวคลื่นยาว)

กิจกรรมการเรียนรู้ 1

1. จงบอกสมบัติของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

2. สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum)

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่นักเคมีสนใจจะเริ่มจากรังสีแกมมาซึ่งมีพลังงานสูงที่สุดไปจนถึงคลื่นวิทยุซึ่งมีพลังงานต่ำที่สุด ช่วงทั้งหมดของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้างกล่าวข้างต้นนี้มักถูกอ้างถึงว่าเป็นสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (รูปที่ 5.2)

Energy		Wavenumber, σ	Wavelength, λ	Frequency, ν	Type radiation	Type spectroscopy	Type quantum transition
kcal/mol	Electron volts, eV	cm ⁻¹	cm	Hz			
9.4×10^7	4.1×10^6	3.3×10^{10}	3×10^{-11}	10^{21}	Gamma ray	Gamma ray emission	Nuclear
9.4×10^5	4.1×10^4	3.3×10^8	3×10^{-9}	10^{19}	X-ray	X-ray absorption emission	Electronic (inner shell)
9.4×10^3	4.1×10^2	3.3×10^6	3×10^{-7}	10^{17}			
9.4×10^1	4.1×10^0	3.3×10^4	3×10^{-5}	10^{15}	Visible	Vac. UV absorption UV absorption emission, fluorescence	Electronic (outer shell)
9.4×10^{-1}	4.1×10^{-2}	3.3×10^2	3×10^{-3}	10^{13}		IR absorption, Raman	Molecular vibration
9.4×10^{-3}	4.1×10^{-4}	3.3×10^0	3×10^{-1}	10^{11}	Micro-wave	Microwave absorption	Molecular rotation
9.4×10^{-5}	4.1×10^{-6}	3.3×10^{-2}	3×10^1	10^9		Electron paramagnetic resonance	Magnetically induced spin states
9.4×10^{-7}	4.1×10^{-8}	3.3×10^{-4}	3×10^3	10^7	Radio	Nuclear magnetic resonance	

รูปที่ 5.2 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า

รูปที่ 5.2 แสดงสมบัติของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ชื่อของเทคนิคทางสเปกโตรสโคปีซึ่งเกี่ยวข้องกับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงและชนิดของการเปลี่ยนสถานะ, (transition) ของอะตอมหรือโมเลกุลเมื่อเกิดการดูดกลืนหรือการเปล่งของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงต่าง ๆ

กิจกรรมการเรียนรู้ที่ 2

1. จงเรียงลำดับของรังสีต่อไปนี้

ไมโครเวฟ รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีแกมมา รังสีวิทยุบีบ รังสีเอกซ์ รังสีอินฟราเรด

คลื่นวิทยุ

ก. จากรังสีที่มีพลังงานต่ำไปหารังสีที่มีพลังงานสูง

ข. จากรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นไปหารังสีที่มีความยาวคลื่นยาว

ค. จากรังสีที่มีความถี่ต่ำไปหารังสีที่มีความถี่สูง

3. อันตรกิริยาของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสาร

เมื่อรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางจากสุญญากาศเข้าไปยังพื้นผิวของสสาร ส่วนประกอบไปไฟฟ้านำรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดอันตรกิริยากับอะตอมและโมเลกุลของตัวกลาง อันตรกิริยาที่ก่อกำเนิดขึ้นขึ้นอยู่กับสมบัติของสสาร ซึ่งอาจทำให้เกิดการส่งผ่าน (transmission) การดูดกลืนหรือการกระเจิง (scattering) ของรังสีในตัวที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะการดูดกลืนรังสีเท่านั้น

3.1 การดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อเราแยกแยะจากรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีสมบัติ quantized ดังนั้นพลังงานของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งมาดูดกลืนเข้าไป (หรือปล่อยออกมา) จะต้องมามีค่าเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานที่สอดคล้องกันของสสารพอดี เมื่อสสารตัวอย่างดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ขึ้น การเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน (electronic transition) การเปลี่ยนการสั่นหรือการเปลี่ยนการหมุน เป็นต้น การดูดกลืนรังสีของสสารตัวอย่างยังมีผลทำให้อะตอมและโมเลกุลเคลื่อนไปอยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state) อย่างไรก็ตามอะตอมและโมเลกุลเหล่านี้สามารถจะกลับลงมายังสถานะที่ต่ำได้โดยการคายพลังงานออกมาในรูปความร้อนให้กลับสู่สภาวะดั้งเดิมหรือโดยการเปล่งรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาใหม่

โดยทั่วไปการดูดกลืนรังสีเอกซ์, รังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีวิทยุบีบจะทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนการสั่นและการเปลี่ยนการหมุนของโมเลกุลตามไปด้วย ส่วนการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดจะทำให้เกิดการเปลี่ยนการสั่นของโมเลกุลหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนการหมุนตามคู่กันไป เพราะรังสีอินฟราเรดมีพลังงานไม่มากพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน ส่วนรังสีอินฟราเรดไกล (far infrared radiation) และรังสีไมโครเวฟจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนการหมุนเท่านั้น การดูดกลืนคลื่นวิทยุจะสังเกตพบปรากฏการณ์ได้โดยยกเว้นกรณีได้สภาวะพิเศษเท่านั้นคือเมื่อนิวเคลียสถูกนำไปวางใน

สนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในกรณีนี้ถูกเรียกว่านิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (nuclear magnetic resonance)

ส่วนของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งไม่ถูกดูดกลืนโดยสสารอาจเกิดการกระเจิง, การสะท้อน หรืออาจเกิดการเปล่งรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาใหม่ก็ได้

รายละเอียดเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการที่สารอินทรีย์ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีซีบีเอล รังสีอินฟราเรดและคลื่นวิทยุอยู่ในบทที่ 6-8

กิจกรรมการเรียนรู้ที่ 3

1. จงบอกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อสสารดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงต่างๆ มาเพียงสั้น ๆ

4. หน่วยที่ใช้ในวิชาสเปกโตรสโกปี

เนื่องจากรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่น, ความถี่และพลังงานซึ่งแตกต่างกันมาก จึงมีการใช้หน่วยความยาวคลื่น, หน่วยความถี่และหน่วยพลังงานซึ่งแตกต่างกันหลายหน่วยขึ้นอยู่กับว่าอยู่ในช่วงใดของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ตัวอย่างเช่นความยาวคลื่นของรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์นิยมใช้ในหน่วยอังสตรอม (angstrom, Å) ขณะที่ความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีซีบีเอลนิยมใช้ในหน่วยมิลลิไมครอน (millimicron, mμ) หน่วยนี้ในปัจจุบันถูกเรียกว่านาโนเมตร (nanometre, nm) ส่วนรังสีอินฟราเรดและคลื่นวิทยุมักนิยมกล่าวถึงในรูปความถี่ในหน่วย ซม.⁻¹ และเฮิร์ตซ์ (hertz, Hz) ตามลำดับสรุปหน่วยที่ใช้กับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า มีดังนี้

1. หน่วยความยาวคลื่น
 - 1 อังสตรอม = 10^{-10} ม. = 10^{-8} ซม.
 - 1 นาโนเมตร = 10^{-9} ม. = 10^{-7} ซม.
2. หน่วยความถี่
 - 1 เฮิร์ตซ์ = 1 รอบ/วินาที
3. หน่วยพลังงาน
 - 1 จูล (joule, J) = 10^7 เอิร์ก
= 10^7 ไดน์-ซม.
 - 1 แคลอรี = 4.184 จูล
= 4.184×10^7 เอิร์ก

1 อิเล็กตรอนโวลต์ (electron-volt, eV) = 1.6021×10^{-19} จูล

4. หน่วยเลขคลื่น ซม.⁻¹

เพื่อความสะดวกในการแปลงระหว่างหน่วยต่าง ๆ ให้ดูในตารางที่ 1 ภาคผนวกที่ 1
ตัวอย่าง จงคำนวณความยาวคลื่นในหน่วยนาโนเมตรของรังสีที่มีพลังงาน 2 eV

$$E = (2 \text{ eV})(1.60 \times 10^{-12} \text{ เอิร์ก/eV}) \\ = 3.20 \times 10^{-12} \text{ เอิร์ก}$$

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

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

$$= \frac{(6.62 \times 10^{-27} \text{ เอิร์ก-วินาที})(3.00 \times 10^{10} \text{ ซม./วินาที})}{3.20 \times 10^{-12} \text{ เอิร์ก}}$$

$$= 0.62 \times 10^{-4} \text{ ซม.}$$

$$= \frac{0.62 \times 10^{-4}}{10^{-7}} = 620 \text{ nm}$$

หรือจากตารางที่ 1 ในภาคผนวกที่ 1 จะได้ว่า

$$\lambda = \frac{1.24 \times 10^{-4} \text{ ซม.}}{2}$$

$$= 0.62 \times 10^{-4} \text{ ซม.}$$

$$= 620 \text{ nm}$$

กิจกรรมการเรียนรู้ที่ 4

1. จงคำนวณต่อต่อไปนี้

ก. ความยาวคลื่นในหน่วยไมครอนของรังสีที่มีความถี่ 8.58×10^{13} รอบ/วินาที

ข. เลขคลื่นในหน่วย ซม.⁻¹ ของรังสีที่มีพลังงาน 4.41×10^{-13} เอิร์ก

ค. ความถี่ในหน่วยรอบ/วินาทีของรังสีที่มีความยาวคลื่น 700 nm

สรุป

1. สเปกโตรสโคปีเป็นวิชาที่ว่าด้วยการวัดและวิเคราะห์รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งสามารถเคลื่อนเข้าไปหรือเปล่งออกมา ในปัจจุบันวิชานี้ได้ครอบคลุมถึงการศึกษการใช้เครื่องมือชนิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

2. รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งถูกส่งผ่านอวกาศด้วยความเร็วสูง รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงสมบัติที่เป็นทั้งคลื่นและอนุภาคในขณะเดียวกัน

3. โฟตอนคืออนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งประกอบขึ้นเป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า โฟตอนมีพลังงานที่แน่นอนและเดินทางผ่านอวกาศด้วยความเร็วของแสง

4. คลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบขึ้นด้วยส่วนประกอบไฟฟ้าและส่วนประกอบแม่เหล็กซึ่งแกว่งกวัดในระนาบซึ่งตั้งฉากกันและตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของรังสี แต่เฉพาะส่วนประกอบไฟฟ้าเท่านั้นซึ่งเกี่ยวข้องกับอันตรกิริยาของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสาร

5. ความยาวคลื่น (λ) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสัมพันธ์กับความถี่ (ν) ดังนี้

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

เมื่อ c คือความเร็วของแสง $c = 3.0 \times 10^{10}$ ซม./วินาที

$$\text{และ } \bar{\nu} = \frac{1}{\lambda}$$

เมื่อ $\bar{\nu}$ คือเลขคลื่นมักอยู่ในหน่วย ซม.⁻¹

6. พลังงาน (E) ของแต่ละโฟตอนเป็นสัดส่วนกับความถี่ของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนี้

$$E = h\nu$$

เมื่อ h คือค่าคงตัวของพลังค์

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

7. สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบขึ้นด้วยรังสีแกมมา, รังสีเอกซ์, รังสีอัลตราไวโอเล็ต, รังสีซีบีล, รังสีอินฟราเรด, ไมโครเวฟและคลื่นวิทยุ โดยรังสีแกมมามีพลังงานสูงสุด ส่วนคลื่นวิทยุมีพลังงานต่ำที่สุดในสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับพลังงานของรังสีที่เหลือจะลดหลั่นลงไปตามลำดับที่เขียน ส่วนลำดับความยาวคลื่นหรือความถี่ของรังสีเหล่านี้พิจารณาจาก $E \propto \frac{1}{\lambda}$ และ $E \propto \nu$

8. อันตรกิริยาของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสารจะขึ้นอยู่กับสมบัติของสสารและอาจทำให้เกิดการส่งผ่าน การดูดกลืนหรือการกระเจิงของรังสี
9. การดูดกลืนรังสีของสสารจะทำให้อะตอมและโมเลกุลเคลื่อนไปอยู่ในสถานะกระตุ้น ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการดูดกลืนรังสีจะแตกต่างกันไปตามช่วงของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่สสารดูดกลืนเข้าไป
10. การดูดกลืนรังสีเอกซ์, รังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีวิทยุของสสารจะทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนพร้อมเกิดการเปลี่ยนการสั่นและการหมุนของโมเลกุลควบคู่ไปด้วย
11. การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของสสารจะทำให้เกิดการเปลี่ยนการสั่นของโมเลกุลพร้อมกับเกิดการเปลี่ยนการหมุนควบคู่กันไปด้วย
12. การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดไกลและรังสีไมโครเวฟของสสารจะทำให้เกิดการเปลี่ยนการหมุนของโมเลกุล
13. การดูดกลืนคลื่นวิทยุของสสารเมื่อนิวเคลียสถูกนำไปวางในสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงจะทำให้เกิดนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์
14. หน่วยที่ใช้กับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ามีหลายหน่วยขึ้นอยู่กับว่าเป็นช่วงใดของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 4) หน่วยเหล่านี้สามารถเปลี่ยนกลับไปมาอย่างง่ายดายโดยใช้ตารางที่ 1 ในภาคผนวกที่ 1

แบบฝึกหัดท้ายบท

- รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงใดที่มีพลังงานสูงกว่า
 - รังสี IR ที่ $1,500 \text{ ซม.}^{-1}$ หรือที่ $1,600 \text{ ซม.}^{-1}$
 - รังสี UV ที่ 200 nm หรือที่ 300 nm
 - คลื่นวิทยุที่ $60,000 \text{ Hz}$ หรือที่ $60,004 \text{ Hz}$
 - รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มี $\lambda = 10 \mu\text{m}$ หรือ $\lambda = 8 \text{ nm}$
 - รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ 60 Hz หรือที่ความถี่ 30 Hz
 - คลื่นวิทยุหรือรังสีซีบีดี
- จงเปลี่ยนหน่วยต่อไปนี้
 - $3,000 \text{ ซม.}^{-1}$ ไปเป็นหน่วย μm
 - $5.60 \mu\text{m}$ ไปเป็นหน่วย ซม.^{-1}
 - 30 Hz ไปเป็นหน่วย MHz
- จงคำนวณต่อต่อไปนี้
 - ความยาวคลื่นในหน่วย ซม. ของรังสีที่มีพลังงาน 7.95×10^{-12} เอิร์ก
 - พลังงานในหน่วยเอิร์กของรังสีที่มีความยาวคลื่น 380 nm
 - ความถี่ในหน่วย Hz ของรังสีไมโครเวฟที่มีความยาวคลื่น 0.250 ซม.
 - พลังงานในหน่วยกิโลแคลอรีต่อโมลของรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่น 4.2 \AA