

บทที่ 19 ฟิสิกส์อะตอม

19.1 สมมุติฐานของพลังค์และทฤษฎีอะตอมของโบว์

19.1.1 การแผ่รังสีของวัตถุดำ

วัตถุทุกชนิดไม่ว่าจะร้อนหรือเย็นจะมีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา โดยทั่วไปเราเข้าใจว่า วัตถุร้อนเท่านั้นที่จะแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา เพราะเรามักจะพบคลื่นแสงแผ่ออกมาจากวัตถุที่ร้อน เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ แสงจากการเผาถ่านไม้ หรือแสงจากไส้หลอดทั้งสแตน เป็นต้น แต่ความเป็นจริงแล้ววัตถุที่เย็นก็มีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาเช่นกัน เพียงแต่ความถี่ของคลื่นอยู่ในช่วงของแสงน้อยมาก ส่วนใหญ่จะอยู่ในย่านความถี่ของคลื่นอินฟราเรด หากเราเย็นอยู่ในห้องมีร่างกายเรามีอุณหภูมิประมาณ 310 เคลวิน จะแผ่รังสีของแสงมาน้อยไม่สามารถทำให้ห้องสว่างได้เพราะคลื่นที่แผ่ออกมาโดยส่วนใหญ่อยู่ในย่านอินฟราเรด เราเรียกวัตถุที่มีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ว่า **วัตถุดำ (Black Body)**

ปี ค.ศ. 1900 พลังค์ได้สร้างภาพจำลองในการแผ่รังสีของวัตถุดำโดยถือว่าวัตถุดำประกอบด้วย อะตอมกลุ่มมากมายและอะตอมทุกคู่จะมีการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติ เช่นเดียวกับการสั่นของมวลผูกปลายสปริง จึงทำให้มีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา โดยพลังงานที่แผ่ออกมาจากวัตถุดำแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดการสั่นของอะตอม จำนวนอะตอมในวัตถุ โดยมีขนาดของพลังงานเป็น $E = hf, 2hf, 3hf, \dots$ ซึ่งเราสามารถเขียนเป็นสมการได้

$$E = n(hf)$$

n แทน เป็นตัวเลขจำนวนเต็มบวก โดย $n = 1, 2, 3, \dots$

f แทน ความถี่ธรรมชาติการสั่นของอะตอมคู่ (Hz)

h แทน ค่านิจของพลังค์ ($h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s)

ดังนั้น ปริมาณ hf หมายถึง 1 ก้อนพลังงานแสง ซึ่งเรียกว่า 1 ควอนตัม หรือ 1 โฟตอน (1 เม็ดแสง) อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) เป็นหน่วยวัดพลังงานสำหรับอนุภาคขนาดเล็ก โดย $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19}$ จูล พลังงาน 1 eV จะเป็นพลังงานที่ได้จากการเร่งอิเล็กตรอนผ่านความต่างศักย์ 1 โวลต์ (เร่งอิเล็กตรอนผ่านความต่างศักย์ V โวลต์ จะทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานเป็น V อิเล็กตรอนโวลต์)

แบบฝึกทบทวน 19.1.1

1. จงหาควอนตัมของพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ 1×10^{15} เฮิรตซ์
2. จงหาควอนตัมของพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ 6×10^{14} เฮิรตซ์

3. แสงมีควอนตัมของพลังงาน 6.626×10^{-19} จูล จะมีความถี่เท่าใด

4. แสงมีควอนตัมของพลังงาน 3.313×10^{-19} จูล จะมีความถี่เท่าใด

5. แสงมีควอนตัมของพลังงาน 2 อิเล็กตรอนโวลต์ จะมีความถี่เท่าใด

6. แสงมีควอนตัมของพลังงาน 6 อิเล็กตรอนโวลต์ จะมีความถี่เท่าใด

7. แสงความถี่หนึ่งมีพลังงานต่ำสุดที่ 21.76×10^{-19} จูล จงหาพลังงานของแสงเมื่อมีจำนวนควอนตัม เป็น 2 3 และ 4

8. (เอ็นทรานซ์) การทดลองของพรังก์และเฮิร์ตซ์ ให้ผลสรุปที่สำคัญ ข้อใด
 1. อิเล็กตรอนชนกับอะตอมแบบยืดหยุ่นเป็นส่วนใหญ่
 2. อิเล็กตรอนชนกับอะตอมแบบไม่ยืดหยุ่น
 3. กระแสไฟฟ้าผ่านก๊าซที่ความดันต่ำได้
 4. อะตอมมีระดับพลังงานเป็นชั้น ๆ

19.1.2 ทฤษฎีอะตอมของโบร์

โบร์ได้เสนอแบบจำลองอะตอมของไฮโดรเจนว่า อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสในวงโคจรบางวงที่เรียกว่าวงจรรadia ได้โดยไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจรจะมีการรับหรือปล่อยพลังงานบางค่าออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีค่าตามสมมติฐานของพลังค์

ระดับพลังงานของอะตอม

ก. อิเล็กตรอนมีวงโคจรรอบนิวเคลียสเป็นชั้นๆ โดยในแต่ละวงโคจรจะมี

โมเมนตัมเชิงมุม ;
$$mvR = n\hbar$$
 เมื่อ $\hbar = \frac{h}{2\pi}$

ข. เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจรจะคายหรือดูดพลังงาน เป็น 1 ควอนตัม

$$\Delta E = |E_{n_i} - E_{n_f}| = hf$$

เมื่อ E_{n_i} แทน พลังงานของอิเล็กตรอนในวงโคจรก่อนเปลี่ยนแปลง

E_{n_f} แทน พลังงานของอิเล็กตรอนในวงโคจรหลังเปลี่ยนแปลง

ΔE แทน พลังงานที่อิเล็กตรอนได้รับ (ΔE เป็นลบ เปลี่ยนวงโคจรจากวงในไปวงนอก)

พลังงานที่อิเล็กตรอนปล่อยออกมา (ΔE เป็นบวก เปลี่ยนวงโคจรจากวงนอกไปวงใน)

จากทฤษฎีของโบร์ทำให้แสดงได้ว่า อะตอมไฮโดรเจน จะมี

1. รัศมีอะตอม ;
$$R_n = \frac{n^2 \hbar^2}{mke^2} = n^2 (5.3 \times 10^{-11}) \text{m}$$

2. อัตราเร็วของอิเล็กตรอน ;
$$v_n = \frac{ke^2}{n\hbar} = \frac{2.2 \times 10^6}{n} \text{ m/s}$$

3. พลังงานของอะตอม ;
$$E_n = -\frac{mk^2 e^4}{2n^2 \hbar^2} = \frac{-21.76 \times 10^{-19}}{n^2} \text{ จูล}$$

$$= -\frac{13.6}{n^2} \text{ อิเล็กตรอนโวลต์}$$

ระดับพลังงาน - 13.6 eV เป็นระดับพลังงานของอิเล็กตรอนอะตอมไฮโดรเจนวงในสุด เรียกว่า **สถานะพื้น (ground state)** ถ้าอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานสูงกว่าสถานะพื้นหรือในวงโคจรที่ $n \geq 2$ เรียกสภาวะนี้ว่า **สถานะกระตุ้น (excited state)**

สถานะพื้น (ground state) คือ สถานะปกติของอะตอมซึ่งจะมีพลังงานระดับต่ำสุดค่าหนึ่ง โดยปกติอิเล็กตรอนจะอยู่ในระดับพลังงานต่ำสุดค่านี้จนกว่าจะได้รับพลังงานจากภายนอกมากพอจึงจะขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่า

สถานะกระตุ้น (excited state) คือสภาพของอะตอมที่มีอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานสูงกว่าสถานะพื้น

อะตอมปกติอิเล็กตรอนจะมีพลังงานอยู่ใน สถานะพื้น (ground state) เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากภายนอกที่เหมาะสมจะขึ้นไปอยู่บนวงโคจรใหม่ตามระดับชั้นของพลังงาน เรียกว่า สถานะกระตุ้น (excited state) ทั้งนี้ (อิเล็กตรอนจะปฏิเสธการรับพลังงานที่มีปริมาณน้อยหรือเกินกว่าความเหมาะสมของชั้นพลังงาน) อิเล็กตรอนจะอยู่ในสถานะกระตุ้นไม่ได้และจะกระโดดกลับลงมาที่สถานะพื้น โดยปล่อยควอนตัมของพลังงานออกมาที่มีความถี่และความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆ กัน

สเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน จะเกิดจากการเปลี่ยนวงโคจรของอิเล็กตรอน คำนวณได้จาก ความสัมพันธ์จากสูตร

$$\Delta E = |E_{n_i} - E_{n_f}| = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

หรือใช้สูตร ΔE (หน่วยเป็น eV) กับ λ (หน่วยเป็นนาโนเมตร) จากสูตร

$$\lambda(\text{nm}) = \frac{1240}{\Delta E(\text{eV})}$$

สเปกตรัมจากอะตอมของแก๊ส

เมื่อเราใช้เกรตติงส่องดูแก๊สร้อนในหลอดบรรจุแก๊สชนิดต่างๆ เราจะพบเห็นว่าสเปกตรัมของแก๊สร้อนชนิดต่างๆ มีลักษณะเป็นเส้นๆ ไม่ต่อเนื่องกันแต่เส้นสว่างจะมีความยาวคลื่นเรียงกันเป็นกลุ่มอย่างมีระเบียบ เรียกว่า **อนุกรม (Series)** ความยาวคลื่นของสเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจนร้อนมี 5 อนุกรมโดยมีชื่อเรียกตามนักวิทยาศาสตร์ที่ค้นพบสเปกตรัมแต่ละเส้นในอนุกรมนั้น และสามารถคำนวณหาค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมแต่ละเส้นในอนุกรมต่างๆ ได้โดยใช้สมการ

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

เมื่อ λ แทน ความยาวคลื่นของสเปกตรัม (m)

R_H แทน ค่าคงที่ของริดเบิร์ก = $1.1 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

n_f แทน ชั้นตอนก่อน n_i แทน ชั้นตอนหลัง

ตารางที่ 19.1 แสดงอนุกรมของสเปกตรัมชุดต่างๆ ของไฮโดรเจน

ชื่ออนุกรม	ปีที่ค้นพบ	ส่วนกลับของความยาวคลื่น	n_f	n_i	ช่วงของรังสี
ไลมาน (Lyman)	1906-1914	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	1	2, 3, 4, ...	อัลตราไวโอเลต (UV)
บัลเมอร์ (Balmer)	1885	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	2	3, 4, 5, ...	แสงที่ตามองเห็นถึง UV
พาสเชน (Paschen)	1908	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	3	4, 5, 6, ...	อินฟราเรด (IR)
แบรคเกต (Bracket)	1922	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	4	5, 6, 7, ...	
พุนด์ (Pfund)	1924	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	5	6, 7, 8, ...	

แบบฝึกทบทวน 19.1.2

- (ม.เชิงงใหม่)จากการวิเคราะห์สเปกตรัมของธาตุไฮโดรเจน พบว่าชุดความถี่ของเส้นสเปกตรัมในช่วงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่านี้มีชื่อเรียกว่า
 1. Lyman series
 2. **Balmer series**
 3. Paschen series
 4. Brackett series
- (Ent) ในช่วงระดับพลังงานต่ำสุดสามระดับแรกของอะตอมไฮโดรเจน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ควรพบจะอยู่ในชุดความถี่ที่เรียกว่า
 1. **ชุดไลมานและชุดบาล์มเมอร์**
 2. ชุดไลมานและชุดพาเชน
 3. ชุดบาล์มเมอร์และชุดพาเชน
 4. ชุดไลมาน ชุดบาล์มเมอร์ และชุดพาเชน
- (เอ็นทรานซ์) ในแบบจำลองอะตอมของโบว์ รัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนในสถานะ $n = 4$ เป็นกี่เท่าของรัศมีวงโคจรในสถานะ $n = 1$
 1. 4 เท่า
 2. 8 เท่า
 3. **16 เท่า**
 4. 64 เท่า
- (เอ็นทรานซ์) อิเล็กตรอนตัวหนึ่งถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ 13.2 โวลต์ เข้าชนกับอะตอมของไฮโดรเจนที่อยู่ในสถานะพื้น การชนครั้งนี้จะสามารถทำให้อะตอมไฮโดรเจนอยู่ในระดับพลังงานสูงสุดในระดับ n เท่าใด (พลังงานงานสถานะพื้นของไฮโดรเจน = - 13.6 eV)
 1. 7
 2. 6
 3. **5**
 4. 4
- (เอ็นทรานซ์) ตามทฤษฎีอะตอมของโบว์ ระดับพลังงานของอะตอมไฮโดรเจนต่ำสุดเท่ากับ - 13.6 eV ถ้าอะตอมไฮโดรเจนถูกกระตุ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงสุดและกลับสู่สถานะพื้นที่มีพลังงานต่ำสุดโดยการปล่อยโฟตอนออกมาด้วยพลังงาน 10.20 eV แสดงว่าอะตอมไฮโดรเจนถูกกระตุ้นไปที่ระดับพลังงานที่ n เท่ากับเท่าใด
 1. **2**
 2. 4
 3. 8
 4. 16
- (เอ็นทรานซ์) พลังงานต่ำสุดของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนคือ - 13.6 eV ถ้าอิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจาก $n = 3$ ไปสู่สถานะ $n = 2$ จะให้แสงที่มีพลังงานควอนตัมเท่าใด
 1. 1.51 eV
 2. **1.89 eV**
 3. 3.40 eV
 4. 4.91 eV

7. (เอ็นทรานซ์) อะตอมไฮโดรเจน เมื่อเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะ $n = 3$ สู่อะตอมสถานะพื้นจะให้โฟตอนมีพลังงาน 19.34×10^{-19} จูล และเมื่อเปลี่ยนสถานะจาก $n = 2$ สู่อะตอมสถานะพื้นจะให้โฟตอนพลังงาน 16.33×10^{-19} จูล ถ้าต้องการกระตุ้นให้อะตอมไฮโดรเจนให้เปลี่ยนระดับพลังงานจาก $n = 2$ ไปยังสถานะ $n = 3$ จะต้องใช้แสงความถี่เท่าใด

1. 4.5×10^{14} Hz 2. 5.4×10^{14} Hz 3. 3.0×10^{15} Hz 4. 5.4×10^{15} Hz

8. (เอ็นทรานซ์) ในการกระตุ้นให้อะตอมของไฮโดรเจนที่มีระดับพลังงานต่ำสุด (-13.6 eV) ไปอยู่ที่ระดับพลังงาน $n = 4$ สเปกตรัมเส้นที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุดจะมีพลังงานเท่าใด

1. 0.66 eV 2. 0.85 eV 3. 10.20 eV 4. 12.75 eV

9. (เอ็นทรานซ์) อิเล็กตรอนอนุภาคหนึ่งมีพลังงานจลน์เท่ากับ 4 eV ถูกจับไว้ด้วยโมเลกุลที่เป็นไอออน ถ้าอิเล็กตรอนหลังถูกจับอยู่ในระดับพลังงาน -4 eV ในกระบวนการนี้จะมีรังสีความยาวคลื่นเท่าใดปล่อยออกมา

1. 145 nm 2. 155 nm 3. 245 nm 4. 255 nm

10. (เอ็นทรานซ์) สเปกตรัมสีน้ำเงิน ($\lambda = 440$ nm) จากหลอดปรอท มาจากระดับพลังงานสองระดับที่มีพลังงานต่างกันเท่าใด

1. 1.85 eV 2. 2.44 eV 3. 2.81 eV 4. 3.26 eV

11. (เอ็นทรานซ์) ความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนเส้นแรก (ที่มีความยาวคลื่นมากที่สุด) ในอนุกรมบัลเมอร์คือ 656 nm โฟตอนที่สามารถทำให้อะตอมไฮโดรเจน จากสถานะพื้นแตกตัวเป็นไอออนได้พอดี ควรจะต้องมีความยาวคลื่นเท่าใด

1. 151 nm 2. 121 nm 3. 91 nm 4. 71 nm

19.2 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Effect)

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก คือ ปรากฏการณ์ที่ฉายแสงที่มีความถี่สูงตกกระทบผิวโลหะแล้วทำให้เกิดประจุไฟฟ้าลบ(อิเล็กตรอน) หลุดออกมาจากโลหะได้ อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาเรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน ผลการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก สรุปได้ดังนี้

1. โฟโตอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้น เมื่อแสงที่ตกกระทบโลหะมีความถี่ไม่น้อยกว่าค่าความถี่ขีดเริ่มต้น เรียกว่า ค่าความถี่ขีดเริ่ม (f_0)

2. จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้น เมื่อแสงที่ใช้มีความเข้มแสงมากขึ้น

3. พลังงานจลน์สูงสุด $E_k(\max)$ ของอิเล็กตรอนไม่ขึ้นกับความเข้มแสง แต่ขึ้นกับค่าความถี่แสง

4. พลังงานจลน์สูงสุดมีค่าเท่ากับความต่างศักย์หยุดยั้ง

แสงมีสมบัติเป็นก้อนพลังงาน (photon) เมื่อกระทบกับผิวโลหะจะถ่ายโอนพลังงานให้กับอิเล็กตรอนของโลหะทั้งหมด hf พลังงานส่วนหนึ่ง (hf_0) ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะได้ ซึ่งเท่ากับพลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนของโลหะ เรียกว่า (work function) ใช้สัญลักษณ์ (W) และพลังงานที่เหลือเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนซึ่งเท่ากับพลังงานที่ใช้หยุดยั้งอิเล็กตรอนนั้น (eV_s) ตามสูตร

$$E = hf - W$$

โดยพลังงานของอิเล็กตรอนจะอยู่ในรูป $E = \frac{1}{2}mv^2$ หรืออาจวัดของความต่างศักย์หยุดยั้ง (V_s) คือความต่างศักย์ที่ใช้หยุดอิเล็กตรอนได้พอดี) ซึ่งจะได้ว่า $E = eV_s$ (จูล) = V_s (eV)

สมการของพลังงานโฟโตอิเล็กตรอนจึงเขียนได้เป็น

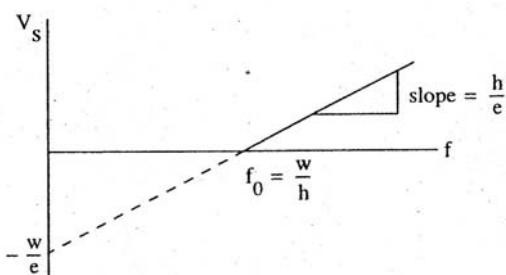
$$Ek_{\max} = eV_s = hf - W$$

$$eV_s = hf - hf_0 \quad \text{เมื่อ } W = hf_0$$

$$V_s = \left(\frac{h}{e}\right)f - \left(\frac{h}{e}\right)f_0$$

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

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



จะได้ ความชันกราฟ = $\frac{h}{e}$

จุดตัดแกนนอน = f_0 (ความถี่ขีดเริ่ม)

จุดตัดแกนตั้ง = $-\frac{W}{e}$

หมายเหตุ กรณีต้องการหาจำนวนของโฟตอนจะหาได้จาก

$$E = n(hf)$$

แบบฝึกทบทวน 19.2

- (เอ็นทรานซ์) จากการทดลองเพื่อศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ข้อสรุปต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง
 - พลังงานสูงสุดของอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงเท่านั้น
 - สำหรับแสงที่มีความถี่สูงกว่าความถี่ขีดเริ่ม จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจะเพิ่มมากขึ้นเป็นปกติกับความถี่ที่เพิ่มขึ้น
 - เนื่องจากแสงมีสมบัติเป็นคลื่นเมื่อมีความเข้มสูงก็จะมีพลังงานมาก ทำให้โฟโตอิเล็กตรอนมีพลังงานมากด้วย
 - เมื่อแสงที่ตกกระทบโลหะมีความถี่สูงกว่าความถี่ขีดเริ่มจะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนขึ้น
 - ข้อ 1 และ 3
 - ข้อ 2 และ 4
 - ข้อ 4 เท่านั้น**
 - คำตอบเป็นอย่างอื่น
- (ม.เชียงใหม่) จากการศึกษารายการปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก สรุปได้ว่า
 - เมื่อแสงมีความถี่เท่ากับความถี่ขีดเริ่ม ตกกระทบที่ผิวโลหะ จะไม่มีอิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะ
 - แสงที่มีความถี่ค่าเดียวตกกระทบผิวโลหะต่างชนิดกัน จะให้โฟโตอิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์สูงสุดเท่ากัน
 - เมื่อเพิ่มความเข้มแสงที่ตกกระทบผิวโลหะ กระแสโฟโตอิเล็กตรอนจะมีค่าเพิ่มขึ้น**
 - เมื่อเพิ่มความเข้มแสงที่ตกกระทบผิวโลหะ จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจะเท่าเดิมแต่มีพลังงานสูงขึ้น
- (ม.ขอนแก่น) เป็นที่ทราบกันแล้วว่า อิเล็กตรอนในโลหะสามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ และมักจะพบเสมอว่าอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่อยู่ตามบริเวณผิวของโลหะ เหตุที่อิเล็กตรอนไม่เคลื่อนที่ต่อไปในอากาศเพื่อหนีออกจากโลหะเพราะ
 - อากาศไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า
 - อิเล็กตรอนมีพลังงานน้อยกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของโลหะ**
 - อากาศมีแรงเสียดทานมาก
 - อิเล็กตรอนถูกอะตอมของโลหะยึดจับไว้
- (ม.เชียงใหม่) พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนนั้น
 - ไม่ขึ้นกับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ**
 - ขึ้นกับกำลังหนึ่งของความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ
 - ขึ้นกับกำลังสองของความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ
 - ขึ้นกับรากที่สองของความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ
- (ม.เชียงใหม่) กำหนดให้ฟังก์ชันงานของแท่นทาลัมและทองคำเป็น 4.2 eV และ 4.8 eV ตามลำดับ อยากราบว่าต้องการฉายแสงที่มีความยาวคลื่น 270 nm ลงไปบนวัตถุใดจึงจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
 - ไม่เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
 - แท่นทาลัม**
 - ทองคำ
 - แท่นทาลัมและทองคำ

6. (เอ็นทรานซ์) โลหะสามชนิดประกอบด้วย ซีเซียม (Cs) แบเรียม (Ba) และแคลเซียม (Ca) มีฟังก์ชันงานเป็น 1.8 , 2.5 และ 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ตามลำดับ ถ้ามีแสงความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ตกกระทบบนโลหะทั้งสาม โลหะชนิดใดจะแสดงปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

1. Cs 2. Cs และ Ba 3. Cs , Ba และ Ca 4. ไม่เกิดเลย

7. จงหาค่าความต่างศักย์ที่ใช้ในการหยุดโฟโตอิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์สูงสุดจากแผ่นโลหะแบเรียมเมื่อมีแสงความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ตกกระทบ กำหนดให้ฟังก์ชันงานของแบเรียมเป็น 2.5 อิเล็กตรอนโวลต์ และผลคูณระหว่างค่าคงตัวพลังค์กับความเร็วแสงในสุญญากาศ $1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}$

1. 0.6 โวลต์ 2. 2.5 โวลต์ 3. 3.1 โวลต์ 4. 5.6 โวลต์

8. (เอ็นทรานซ์) เมื่อฉายรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ไปที่ผิวโลหะชนิดหนึ่งที่มีค่าพลังงานยึดเหนี่ยว 1.8 eV โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะจะมีพลังงานจลน์เท่าใด

1. 0 eV 2. 0.5 eV 3. 1.3 eV 4. 1.8 eV

9. (เอ็นทรานซ์) โลหะชนิดหนึ่งมีค่าพลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับ 2.0 eV ถ้ามีแสงที่มีความยาวคลื่น 100 nm มากกระทบ พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนที่ออกมาจะมีค่าเท่าใด

1. 6.4 eV 2. 10.4 eV 3. 14.4 eV 4. 18.4 eV

10. (เอ็นทรานซ์) ในการทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ใช้แสงความถี่ $7 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ตกกระทบผิวโลหะที่มีค่าฟังก์ชันงานเท่ากับ 2.3 eV จงหาความต่างศักย์หยุดยั้งของโฟโตอิเล็กตรอนนี้

1. 0.6 โวลต์ 2. 2.3 โวลต์ 3. 2.9 โวลต์ 4. 5.2 โวลต์

11. (เอ็นทรานซ์) เมื่อให้แสงที่มีความยาวคลื่น 450 nm ตกกระทบผิวโลหะชนิดหนึ่ง ปรากฏว่าต้องใช้ความต่างศักย์ในการหยุดยั้งโฟโตอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.5 โวลต์ ถ้าต้องการให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะได้พอดี ต้องใช้แสงที่มีความยาวคลื่นเท่าใด

1. 330 nm 2. 660 nm 3. 990 nm 4. 1,220 nm

12. (เอ็นทรานซ์) กำหนดให้ฟังก์ชันงานของโลหะชนิดหนึ่ง 4.80 eV จะต้องฉายแสงที่มีความยาวคลื่นเท่าใดจึงจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากขั้วแคโทด ที่ทำจากโลหะดังกล่าวแล้วสามารถไปถึงขั้วแอโนดได้พอดี เมื่อศักย์ไฟฟ้าที่แอโนดต่ำกว่าแคโทดเท่ากับ 1.80 โวลต์

1. 125.50 nm 2. 156.50 nm 3. 167.50 nm 4. 187.50 nm

13. เมื่อฉายแสงความถี่ 5.48×10^{14} เฮิรตซ์ ลงบนโลหะชนิดหนึ่ง ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาด้วยพลังงานจลน์สูงสุด 0.79 อิเล็กตรอนโวลต์ เมื่อฉายแสงที่มีความถี่ 7.39×10^{14} เฮิรตซ์ ลงบนโลหะเดิม พบว่าอิเล็กตรอนที่หลุดออกมามีพลังงานจลน์สูงสุด 1.55 อิเล็กตรอนโวลต์ จากผลการทดลองนี้จะประมาณค่าคงตัวของพลังค์ได้เท่าใด (PAT52-1)

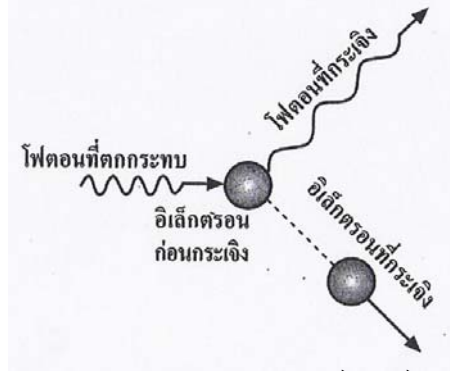
1. 3.98×10^{-34} จูล.วินาที 2. 6.37×10^{-34} จูล.วินาที
3. 6.51×10^{-34} จูล.วินาที 4. 6.63×10^{-34} จูล.วินาที

14. เมื่อฉายแสงความถี่ 5×10^{14} เฮิรตซ์ ลงบนโลหะชนิดหนึ่ง พบว่าอิเล็กตรอนที่หลุดออกมามีพลังงานจลน์สูงสุด 0.8 อิเล็กตรอนโวลต์ ถ้าฉายแสงที่มีความถี่ 10^{15} เฮิรตซ์ ลงบนโลหะเดิม อิเล็กตรอนที่หลุดออกมามีพลังงานจลน์สูงสุดกี่อิเล็กตรอนโวลต์ (PAT52-2)

1. 1.3 2. 2.5 3. 2.9 4. 4.1

ปรากฏการณ์คอมป์ตัน

คอมป์ตัน ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์และขนาดของมุมการกระเจิงกับความยาวคลื่นกระเจิงของรังสีเอกซ์ จากการฉายรังสีเอกซ์ให้ไปกระทบกับอิเล็กตรอนของแท่งแกรไฟต์ พบว่าความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาแปรผันกับมุมที่กระเจิง แต่ไม่ขึ้นกับความเข้มของรังสีเอกซ์ที่กระทบกับอิเล็กตรอน



รูป 19.2 ปรากฏการณ์คอมป์ตัน

จากปรากฏการณ์อธิบายโดยอาศัยหลักแนวคิดของไอน์สไตน์ได้อย่างเดียวว่าการชนระหว่างรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนของแกรไฟต์เป็นการชนระหว่างอนุภาคกับอนุภาค โดยเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงานและกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม ดังนี้

1. รังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาโดยมีความยาวคลื่นเท่าเดิม แสดงว่าโฟตอนของรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนของแท่งแกรไฟต์ชนกันแบบยืดหยุ่น
2. รังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาโดยมีความยาวคลื่นไม่เท่าเดิม แสดงว่า โฟตอนของรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนของแท่งแกรไฟต์ชนกันแบบไม่ยืดหยุ่น

19.3 ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค (Wave-Particle duality)

1. เราทราบว่าแสงแสดงคุณสมบัติเป็นคลื่นเพราะ แสดงการเลี้ยวเบนและการแทรกสอด
2. จากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ไอน์สไตน์คิดว่า โฟตอนเป็นอนุภาค
3. มิลลิแกนทดลองและสรุปว่า แสงเป็นอนุภาค
4. เดอ บรอยล์ (de Broglie) ให้แนวคิดว่า “ถ้าแสงแสดงคุณสมบัติคู่เป็นได้ทั้งอนุภาคและคลื่นแล้ว สสารทั้งหลายแสดงคุณสมบัติของคลื่นได้เนื่องจากสสารประกอบด้วยอนุภาค”

19.3.1 สมมติฐานของเดอ บรอยล์

ในปี ค. ศ. 1924 นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสชื่อหลุยส์ เดอบรอยล์ (Louis de Broglie) ได้ให้ความเห็นว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นได้ทั้งคลื่นแสงและอนุภาค กล่าวคือ ในกรณีที่แสงมีการเลี้ยวเบนและการแทรกสอด แสดงว่าขณะนั้นแสงประพฤติตัวเป็นคลื่น สำหรับกรณีแสงในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก แสดงว่าแสงเป็นอนุภาค ฉะนั้นสสารทั่วไปที่มีคุณสมบัติเป็นอนุภาคก็น่าจะมีคุณสมบัติทางด้านคลื่นด้วย เดอบรอยล์ได้พยายามหาความยาวคลื่นของคลื่นมวลสาร โดยทั่วไปเริ่มจากความยาวคลื่นของแสงก่อน ดังต่อไปนี้

ถ้าแสงมีความถี่ f จะให้พลังงานออกมาเป็นอนุภาคเรียกว่าโฟตอนซึ่งมีขนาด

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

จากความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับมวลของไอน์สไตน์

$$E = mc^2 \text{ และ } E = hf$$

เดอบรอยล์ หากความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมและความยาวคลื่นของแสงได้ดังนี้

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

เมื่อ P คือ โมเมนตัมของโฟตอน (N.s) λ คือ ความยาวคลื่นของโฟตอน (m)

จะได้ว่า

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

เมื่อ λ แทน ความยาวคลื่นของอนุภาค (m)

m แทน มวลของอนุภาค (kg)

P แทน โมเมนตัมของอนุภาค (N.s)

v แทน ความเร็วของอนุภาค (m/s)

ความยาวคลื่นของอนุภาคหรือความยาวคลื่นสสารนี้ เรียกว่า ความยาวคลื่น เดอ บรอยล์ นั่นเอง

แบบฝึกทบทวน 19.3.1

1. (เอ็นทรานซ์) รถยนต์คันหนึ่งมีมวล 1,000 กิโลกรัม แล่นด้วยความเร็ว 72 กม./ชม. ถ้าคิดว่ารถยนต์คันนี้เป็นคลื่นจะมีความยาวคลื่นเดออบรอยล์เท่าใด (กำหนดค่าคงที่ของพลังค์เท่ากับ 6.6×10^{-34} จูล-วินาที)

1. 0.92×10^{-38} m 2. 3.3×10^{-38} m 3. 0.33×10^{-38} m 4. 1.1×10^{-38} m

2. (เอ็นทรานซ์) อิเล็กตรอนตัวหนึ่งจะต้องเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่าใด จึงจะมีโมเมนตัม เป็นหนึ่งในสิบของโมเมนตัมของโฟตอนของแสงความถี่ 4.5×10^{14} เฮิรตซ์ (มวลอิเล็กตรอน = 9×10^{-31} kg)

1. 100 m/s 2. 110 m/s 3. 130 m/s 4. 150 m/s

3. (เอ็นทรานซ์) จงหาความยาวคลื่นของอิเล็กตรอน ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยพลังงาน 5 อิเล็กตรอนโวลต์

1. 0.55 nm 2. 0.85 nm 3. 0.95 nm 4. 1.10 nm

4. (เอ็นทรานซ์) อนุภาคมวล m มีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าของพลังงานจลน์เดิม ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอนุภาคนี้ในครั้งหลังจะเป็นกี่เท่าของความยาวคลื่นเดอบรอยล์ครั้งแรก
1. $\frac{1}{2}$ เท่า 2. 2 เท่า 3. 4 เท่า 4. 8 เท่า
5. (เอ็นทรานซ์) ไฮโดรเจนไอออน(H^+) และฮีเลียมไอออน (He^+) ถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า 10^6 โวลต์ ไฮโดรเจนไอออนจะมีความยาวคลื่นเดอบรอยล์เป็นกี่เท่าของฮีเลียมไอออน
1. $\sqrt{2}$ เท่า 2. $\frac{1}{2}$ เท่า 3. 2 เท่า 4. 4 เท่า
6. (เอ็นทรานซ์) ถ้ามวลของอนุภาค A เป็นครึ่งหนึ่งของมวลอนุภาค B เมื่ออนุภาคทั้งสองมีพลังงานเท่ากัน อนุภาค A จะประพฤติตัวเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นเป็นกี่เท่าของอนุภาค B
1. $\frac{1}{2}$ เท่า 2. $\frac{1}{\sqrt{2}}$ เท่า 3. $\sqrt{2}$ เท่า 4. 2 เท่า
7. (เอ็นทรานซ์) อนุภาค A มีมวลเป็น $\frac{1}{4}$ เท่าของอนุภาค B ถ้าอนุภาคทั้งสองมีพลังงานจลน์เท่ากัน ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอนุภาค A เป็นกี่เท่าของอนุภาค B
1. $\frac{1}{4}$ เท่า 2. $\frac{1}{2}$ เท่า 3. 2 เท่า 4. 4 เท่า
8. (Ent) จากทฤษฎีของ เดอ บรอยล์ เส้นรอบวงของวงโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสมีค่าเป็นเท่าใด
1. ค่านิจของแพลงก์หารด้วยความยาวคลื่นของอิเล็กตรอน
 2. ค่านิจของแพลงก์คูณด้วยเลขจำนวนเต็ม หารด้วย 2π
 3. ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนคูณด้วยเลขจำนวนเต็ม
 4. ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนหารด้วยความเร็วแสง

19.3.2 กลศาสตร์ควอนตัม (Quantum Mechanics)

1. **Quantum Mechanics** เป็นวิชาสำหรับอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ในระดับอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ๆ เท่ากับอะตอม เช่น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน เพราะกฎของนิวตันไม่สามารถให้รายละเอียดได้

2. **Quantum Mechanics** เป็นศาสตร์ของ Matter Waves ที่ให้หลักสมมุติในการศึกษาเรื่องอะตอมในปัจจุบัน

3. **Quantum Mechanics** จะกล่าวถึงโอกาสที่จะเป็นไปได้ ในการที่จะบอกว่า อิเล็กตรอนอยู่ที่ไหน หรือจะพบได้ที่ไหน ที่บริเวณหนึ่ง ๆ

4. ในการคิดค้นกลศาสตร์ควอนตัม โชรดิงเจอร์ (Erwin Schrodinger) นักฟิสิกส์ชาวออสเตรีย ได้คิดสมการของคลื่น โดยอาศัยหลักการของ de Broglie โดยใช้เทอมความยาวช่วงคลื่นของ ($\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$) ซึ่งสมการนี้เรียกว่า Schrodinger Equation สมการของโชรดิงเจอร์ มีความสำคัญในการอธิบายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในอะตอม โมเลกุลและในผลึก ได้อย่างถูกต้องและสามารถพิสูจน์ได้ว่าระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอม ไม่ต่อเนื่องกัน