

บทที่ 19 ฟิสิกส์อะตอม

19.1 อะตอมและการค้นพบอิเล็กตรอน

แนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารในสมัยกรีกโบราณ

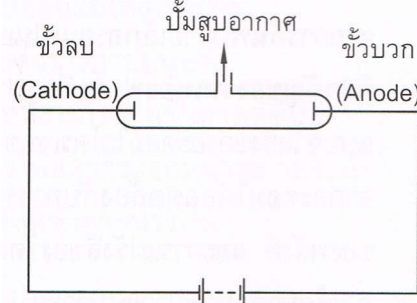
ดิโมคริตัส (ประมาณ พ.ศ. 83 – 173) นักปราชญ์ ชาวกรีก เสนอแนวคิดกับเรื่องโครงสร้างสสารว่า โลกประกอบด้วยสสารและที่ว่าง สสารประกอบด้วยอะตอมซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุด และแบ่งแยกต่อไปอีกไม่ได้ สสารแต่ละชนิดประกอบด้วยอะตอมที่มีเนื้อเหมือนกัน แต่มีขนาด รูปร่างและการจัดเรียงตัวต่างกัน จึงทำให้เกิดสสารต่างชนิดกัน การเปลี่ยนแปลงของสสารเกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอม

ทฤษฎีอะตอมของดอลตัน อธิบายว่า สสารประกอบด้วยอะตอมซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดและแบ่งแยกอีกต่อไปไม่ได้ ธาตุเดียวกันประกอบด้วยอะตอมชนิดเดียวกัน ธาตุต่างชนิดกันประกอบด้วยอะตอมที่ต่างกัน อะตอมของธาตุแต่ละชนิดจะมีรูปร่างและน้ำหนักเฉพาะตัว อะตอมชนิดหนึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นอะตอมชนิดอื่นไม่ได้ อะตอมของธาตุหนึ่งๆ อาจรวมกับอะตอมธาตุอื่นได้ในสัดส่วนคงตัว

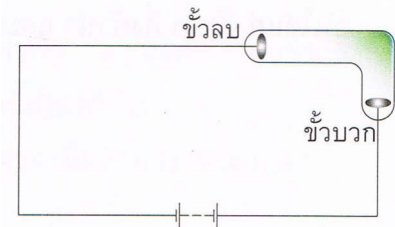
19.2 รังสีแคโทด

Sir Williams Crookes (พ.ศ. 2375 – 2462) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ทำการทดลองการนำกระแสไฟฟ้าในหลอดแก้วสุญญากาศที่โค้งงอเป็นมุมฉากพบว่าเกิดสารเรืองแสงสีเขียวที่ผนังหลอดด้านในตรงข้ามกับขั้วแคโทดซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าลบแสดงว่าเกิดรังสีออกมาจากขั้วแคโทดจึงเรียกว่า **รังสีแคโทด**

(Cathode Ray)

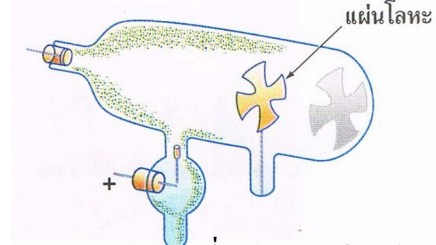


รูป 19.1 วงจรไฟฟ้าหลอดรังสีแคโทด



รูป 19.2 วงจรไฟฟ้าแบบครูกส์

ในเวลาต่อมาได้ศึกษาถึงธรรมชาติของรังสีแคโทด โดยใช้แผ่นโลหะบาง ๆ กันรังสีแคโทด ทำให้เกิดเงาของแผ่นโลหะบนผนังหลอดดังรูป 19.3 พบว่าปกติรังสีแคโทดเคลื่อนเป็นเส้นตรง แต่จะเบี่ยงเบนทิศทางสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก



รูป 19.3 แสดงเงาที่เกิดจากรังสี แคโทด

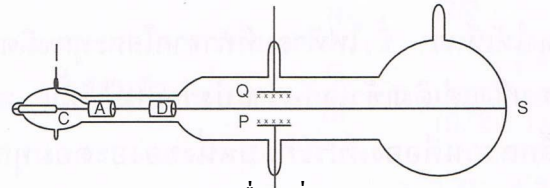
19.1.2 การค้นพบอิเล็กตรอนโดยการทดลองของทอมสัน

Sir Joseph J. Thomson (พ.ศ. 2399 - 2483) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ในปี พ.ศ. 2440 เจ เจ ทอมสัน ใช้หลอดรังสีแคโทดหาอัตราส่วนประจุต่อมวล (q/m) ของอนุภาคได้เท่ากับ 1.76×10^{11} คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม ซึ่งการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่ารังสีแคโทดประกอบด้วยอนุภาคที่มีมวลและอิเล็กตรอน คือ ส่วนประกอบที่สำคัญของอะตอม

สรุปผลการทดลองของ Thomson

1. ทอมสันได้ทำการทดลองโดยจัดขนาดและทิศทางของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กให้เท่ากัน จนกระทั่งรังสีแคโทดวิ่งเป็นเส้นตรง ดังรูป 19.4

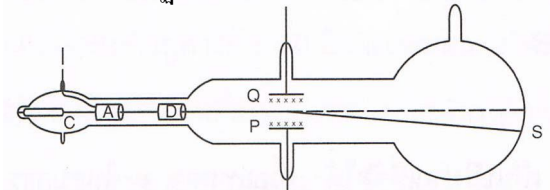
$$\begin{aligned} F_E &= F_B \\ qE &= qvB \\ v &= \frac{E}{B} = \frac{V}{dB} \end{aligned}$$



รูป 19.4 แนวทางการเคลื่อนที่ของอนุภาครังสีแคโทด ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเท่ากัน

2. ทอมสันตัดสนามไฟฟ้าออกเหลือแต่สนามแม่เหล็กปรากฏว่ารังสีแคโทดวิ่งเป็นเส้นโค้งรัศมี R ดังรูป 19.5

$$\begin{aligned} F_B &= F_C \\ qvB &= \frac{mv^2}{R} \\ \frac{q}{m} &= \frac{v}{BR} = \frac{E}{B^2 R} \end{aligned}$$



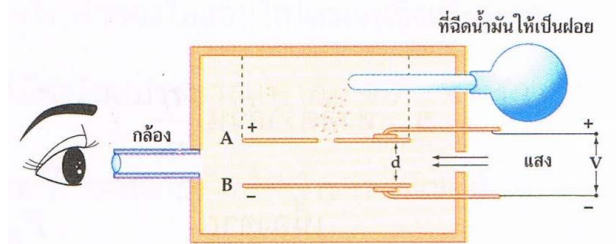
รูป 19.5 แนวทางการเคลื่อนที่ของอนุภาครังสีแคโทด ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก

ถ้ามีการเร่งประจุด้วยความต่างศักย์ หาประจุมวลจาก

$$\begin{aligned} E_k &= E_p \\ \frac{1}{2}mv^2 &= qV \\ \boxed{\frac{q}{m} = \frac{v^2}{2V} = \frac{E^2}{2B^2V}} \end{aligned}$$

19.1.3 การทดลองของมิลลิแกน

Robert Andrew Millikan (พ.ศ. 2411 - 2496) นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน ทำการทดลองและหาประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนได้สำเร็จ โดยการวัดปริมาณประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมันดังนี้



รูป 19.6 เครื่องมือทดลองของมิลลิแกน

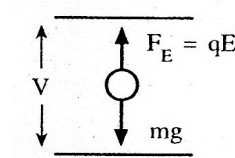
สรุปสาระสำคัญของการทดลองของมิลลิแกน

1. มิลลิแกนใช้กระบอกฉีดน้ำมัน โดยที่ปากกระบอกมีรูเล็ก หยดน้ำมันเล็กๆ ที่ถูกฉีดออกมาพบว่า มีประจุไฟฟ้า เพราะว่าการเสียดสีกับปากกระบอกฉีด หรือเสียดสีกับอากาศขณะเคลื่อนที่ บางหยดมีประจุไฟฟ้าเป็นบวกเพราะเสียอิเล็กตรอนไป บางหยดมีประจุไฟฟ้าเป็นลบเพราะได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามา

2. จากการทดลองถ้าจัดความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เหมาะสมจะมีหยดน้ำมันบางหยดลอยนิ่งอยู่ผู้ที่แสดงว่าแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าเท่ากับแรงโน้มถ่วงของโลก

$$F_E = mg$$

$$qE = mg$$



เมื่อ q แทน ปริมาณประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมัน (C)

E แทน ขนาดของสนามไฟฟ้า (V/m)

g แทน ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2) m แทน มวลของหยดน้ำมัน (kg)

จากการทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกนพบว่าปริมาณประจุที่วัดได้บนหยดน้ำมันเป็นจำนวนเท่าของค่าคงที่คือ 1.6×10^{-19} เสมอ จากการทดลอง มิลลิแกนสรุปว่าบนหยดน้ำมันแต่ละหยดที่มีประจุไฟฟ้าลบนั้นได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มเป็นจำนวนเท่าของ 1.6×10^{-19} คูอมบ์ เช่น ประจุ 2 ตัว มีประจุเท่ากับ 3.2×10^{-19} คูอมบ์ โดยประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนหนึ่งตัวมีค่าเท่ากับ -1.6×10^{-19} คูอมบ์ และนิยมใช้สัญลักษณ์ (e) แทนประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน

แบบฝึกหัดที่ 19.1

- ในปัจจุบันใช้ธาตุอะไรเป็นมาตรฐานสำหรับการกำหนดหน่วยทางมวลของอะตอม
 - ออกซิเจน
 - คาร์บอน**
 - ไฮโดรเจน
 - ยูเรเนียม
- องค์ประกอบอันดับแรกของอะตอมที่มนุษย์รู้จักคือข้อใด
 - โปรตอน
 - นิวตรอน
 - นิวเคลียส
 - อิเล็กตรอน**
- ในการทดลองวัดอัตราส่วนประจุต่อมวลของอิเล็กตรอนโดยวิธีของทอมสัน โดยครั้งแรกให้รังสีแคโทดเกิดการเบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็ก แต่เมื่อใส่สนามไฟฟ้าเข้าไปเพื่อหักล้างการเบี่ยงเบนของรังสีแคโทด กลับปรากฏว่ารังสีแคโทดกลับเบี่ยงเบนมากยิ่งขึ้นผู้ที่ทำการทดลองควรจะทำอย่างไร
 - กลับทิศทางของสนามไฟฟ้า**
 - ลดความเข้มของสนามไฟฟ้า
 - เพิ่มความเข้มของสนามไฟฟ้า
 - ลดความเข้มของสนามแม่เหล็ก
- ในการทดลองหาค่าประจุต่อมวลของทอมสันโดยใช้สนามแม่เหล็กที่มีความเข้ม 0.002 T ถ้าความต่างศักย์ระหว่างแผ่นขนานสองแผ่นห่างกัน 2 cm มีค่า 80 V ความเร็วของอิเล็กตรอนขณะเคลื่อนที่ผ่านแผ่นโลหะนี้มีค่าเท่าไร
 - 2×10^6 m/s**
 - 4×10^6 m/s
 - 6×10^6 m/s
 - 8×10^6 m/s
- ในการทดลองหาค่าประจุต่อมวลของอิเล็กตรอนโดยใช้หลอดคาโทด ได้จัดค่าความต่างศักย์ระหว่างแคโทดกับแอโนดรูปก้นกระทะเท่ากับ 180 V ถ้ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดโซลินอยด์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก 5×10^{-3} T และทราบว่าอิเล็กตรอนมีประจุ -1.6×10^{-19} C และมีมวล 9×10^{-31} kg อัตราเร็วของอิเล็กตรอนขณะวิ่งถึงแอโนดเป็นเท่าไร
 - 2×10^6 m/s
 - 4×10^6 m/s
 - 6×10^6 m/s
 - 8×10^6 m/s**

6. จากโจทย์ข้อที่ 5 ขณะถึงแอโนดอิเล็กตรอนจะวิ่งด้วยรัศมีความโค้งเท่าไร
 ก. $3 \times 10^{-3} \text{ m}$ ข. $5 \times 10^{-3} \text{ m}$ ค. $7 \times 10^{-3} \text{ m}$ ง. $9 \times 10^{-3} \text{ m}$
7. ในการทดลองหลอดตาแมว พบว่า ความเร็วของอนุภาครังสีแคโทดมีค่าเท่ากับ $9 \times 10^7 \text{ m/s}$ เมื่อนำหลอดโซลินอยด์ที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก 0.1 เทสลา ครอบลงบนหลอดตาแมว จงหาว่ารังสีแคโทดจะวิ่งเป็นเส้นโค้งด้วยรัศมีเท่าไร (กำหนด $\frac{e}{m}$ ของอนุภาครังสีแคโทดเท่ากับ $1.8 \times 10^{11} \text{ C/kg}$)
 ก. 0.05 ซม. ข. 0.5 ซม. ค. 2.5 ซม. ง. 5.0 ซม.
8. ในการทดลองตามแบบของมิลลิแกน พบว่าหยดน้ำมันหยดหนึ่งลอยนิ่งอยู่ได้ระหว่างแผ่นโลหะขนานสองแผ่น ซึ่งห่างกัน 0.8 cm โดยมีความต่างศักย์ระหว่างแผ่นเท่ากับ 12,000 V ถ้าหยดน้ำมันมีประจุไฟฟ้า $8 \times 10^{-19} \text{ C}$ จะมีน้ำหนักเท่าไร
 ก. $1.2 \times 10^{-12} \text{ N}$ ข. $2.2 \times 10^{-12} \text{ N}$ ค. $3.2 \times 10^{-12} \text{ N}$ ง. $4.2 \times 10^{-12} \text{ N}$
9. ในการทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกน หยดน้ำมันมีมวล $6.4 \times 10^{-14} \text{ kg}$ ลอยนิ่งอยู่ระหว่างแผ่นโลหะสองแผ่น ซึ่งมีความต่างศักย์ 10,000 V อยู่ห่างกัน 1 cm จำนวนอิเล็กตรอนซึ่งแฝงอยู่ในหยดน้ำมันมีจำนวนเท่าไร
 ก. 4 ตัว ข. 6 ตัว ค. 8 ตัว ง. 12 ตัว
10. ในการทดลองเรื่องหยดน้ำมันของมิลลิแกน ถ้าใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 โวลต์ หยดน้ำมันมีมวล $8 \times 10^{-16} \text{ kg}$ ระยะห่างระหว่างแผ่นขั้วโลหะเท่ากับ 0.8 เซนติเมตร ทำให้หยดน้ำมันอยู่นิ่ง หยดน้ำมันได้รับอิเล็กตรอนกี่ตัว
 ก. 1 ตัว ข. 2 ตัว ค. 4 ตัว ง. 8 ตัว
11. ในการทดลองเรื่องหยดน้ำมันของมิลลิแกน พบว่าถ้าต้องการใช้โวลต์ หยดน้ำมันซึ่งมีมวล $4.8 \times 10^{-15} \text{ kg}$ ลอยนิ่งอยู่ระหว่างแผ่นโลหะ 2 แผ่น ซึ่งวางขนานห่างกัน 1.0 เซนติเมตร ถ้าใช้ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะ 300 โวลต์ ถ้าอิเล็กตรอนมีประจุ $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ และความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกเท่ากับ 10 m/s^2 หยดน้ำมันจะมีอิเล็กตรอนเกาะอยู่ที่ตัว
 ก. 1 ตัว ข. 10 ตัว ค. 100 ตัว ง. 1,000 ตัว
12. ในการทดลองของมิลลิแกน เมื่อทำให้หยดน้ำมันมวล $1.8 \times 10^{-14} \text{ kg}$ ลอยหยุดนิ่งระหว่างแผ่นโลหะขนานซึ่งวางห่างกัน 1 ซม. โดยแผ่นบนมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าแผ่นล่างเท่ากับ 392 โวลต์ ถ้าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกเท่ากับ 9.8 m/s^2 และอิเล็กตรอนมีประจุ $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ จงคำนวณหาว่าหยดน้ำมันมีอิเล็กตรอนอิสระแฝงอยู่ที่ตัว
 ก. 25 ตัว ข. 50 ตัว ค. 250 ตัว ง. 500 ตัว

19.2 แบบจำลองอะตอม

19.2.1 แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

ในปีพ.ศ.2447 ทอมสัน เสนอว่าอะตอมมีรูปร่างเหมือนทรงกลม มีประจุบวกกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วอะตอม โดยอิเล็กตรอน(ประจุลบ)คละอยู่ด้วย และมีจำนวนเท่ากับประจุบวก อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า อะตอมแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเพราะอิเล็กตรอนสั่นแบบซิมเปิลฮาร์มอนิก

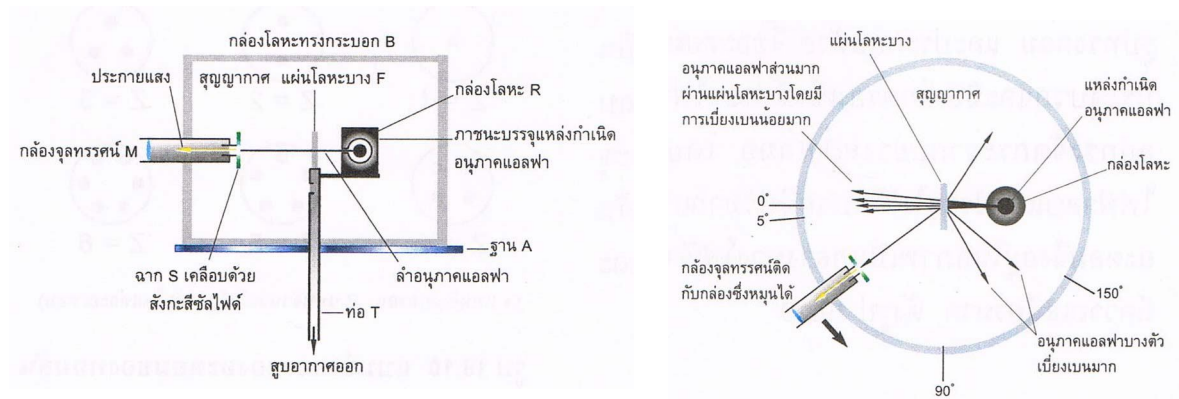
ข้อสังเกต ที่แบบจำลองอะตอมของทอมสันตอบไม่ได้ คือ

1. ทำไมประจุบวกรวมกันเป็นเนื้ออะตอมได้ทั้งที่ประจุบวกต้องออกแรงผลักกัน
2. ถ้าอิเล็กตรอนสั่นแบบซิมเปิลฮาร์มอนิกจะให้สเปกตรัมแบบต่อเนื่องแต่จากการทดลอง พบว่า

อะตอมให้สเปกตรัมแบบเส้น

19.2.2 แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

รัทเทอร์ฟอร์ด ทำการทดลองยิงรังสีแอลฟา ให้ทะลุผ่านแผ่นทองคำเปลว แล้ววัดการกระเจิงของรังสีแอลฟา พบว่าอนุภาครังสีแอลฟาเกือบทั้งหมดทะลุผ่านแผ่นทองคำเปลว โดยมีการเบี่ยงเบนน้อยมากมีอนุภาคส่วนน้อยที่เบนไปเป็นมุมได้ถึงขนาด 90 องศาหรือมากกว่า 90 องศา



รูป 19.7 เครื่องมือที่ไกเกอร์และมาร์สเดนใช้ตรวจสอบแนวคิดของรัทเทอร์ฟอร์ด

สรุปแบบจำลองรัทเทอร์ฟอร์ด

1. อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้าโดยที่มีประจุบวกอัดแน่นอยู่ตรงกลางเรียกว่านิวเคลียส และมีประจุลบคืออิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสและห่างจากนิวเคลียสมาก
2. รัทเทอร์ฟอร์ดคำนวณพบว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของนิวเคลียสมีค่าประมาณ $10^{-15} - 10^{-14}$ เมตร แต่อะตอมมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10^{-10} เมตร แสดงว่าอะตอมมีขนาดใหญ่กว่านิวเคลียสมาก
3. รัทเทอร์ฟอร์ดทดลองยิงอนุภาคแอลฟาเข้าไปตรง ๆ กับนิวเคลียสของทองคำพบว่าเกิดการสะท้อนกลับเป็นเส้นตรงแสดงว่าพลังงานจลน์เท่ากับพลังงานศักย์ไฟฟ้า

$$E_K = E_p$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{kQ_1Q_2}{R}$$

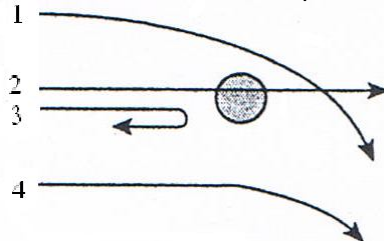
ปัญหาที่เกิดกับแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

1. เหตุใดอิเล็กตรอนวิ่งวนรอบนิวเคลียสได้โดยไม่สูญเสียพลังงาน

2. เหตุใดประจุไฟฟ้าบวกหลายประจุมักจะรวมกันอยู่ภายในนิวเคลียสได้ทั้งที่มีแรงผลักระหว่างประจุ

แบบฝึกหัด 19.2

- การที่รัทเธอร์ฟอร์ด ทำการทดลองยิงอนุภาคแอลฟาไปยังแผ่นทองคำบาง แล้วพบว่าโครงสร้างของอะตอมไม่เป็นไปตามแบบของทอมสัน เนื่องจากรัทเธอร์ฟอร์ด พบว่า
 - อนุภาคแอลฟาเบนไปจากแนวเดิมทุกทิศทางเท่า ๆ กัน
 - อนุภาคแอลฟาทั้งหมดวิ่งทะลุผ่านแผ่นทองคำไปในแนวเกือบเป็นเส้นตรง
 - อนุภาคแอลฟาบางส่วนเบนไปจากแนวเดิมเป็นมุมใด ๆ ทั้งที่ส่วนใหญ่ผ่านไปในแนวตรง
 - อนุภาคแอลฟาเกือบทั้งหมดเบนไปจากแนวเดิมเป็นมุมใด ๆ และบางที่มีการสะท้อนกลับ
- อนุภาคพลังงานจลน์เท่ากันในข้อใดที่วิ่งเข้าใกล้นิวเคลียสของยูเรเนียมแล้วมีโอกาสเบี่ยงเบนไปจากแนวเดิมน้อยที่สุด
 - โปรตอน
 - แอลฟา
 - อิเล็กตรอน
 - นิวตรอน
- ถ้ายิงอนุภาคแอลฟาเข้าไปในนิวเคลียสของโลหะ ทางเดินของอนุภาคแอลฟาที่เป็นไปได้คือ
 - 1 และ 4 เท่านั้น
 - 2 และ 3 เท่านั้น
 - 3 และ 4 เท่านั้น
 - 1, 2, 3 และ 4
- เมื่ออนุภาคแอลฟาวิ่งตรงเข้าสู่ นิวเคลียส อนุภาคแอลฟานั้นจะหยุดก็ต่อเมื่ออนุภาคนั้น
 - มีพลังงานรวมเป็นศูนย์
 - กระทบผิวนิวเคลียส
 - กระทบกับอิเล็กตรอนในชั้นใดชั้นหนึ่ง
 - มีพลังงานศักย์เท่ากับพลังงานจลน์เดิม



19.3 การทดลองด้านสเปกตรัม

19.3.1 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	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_i^2})$	1	2, 3, 4,...	อัลตราไวโอเลต (UV)
บัลเมอร์ (Balmer)	1885	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_i^2})$	2	3, 4, 5,...	แสงที่ตามองเห็นถึง UV
พาสเชน (Paschen)	1908	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n_i^2})$	3	4, 5, 6,...	อินฟราเรด (IR)
แบรคเกต (Bracket)	1922	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n_i^2})$	4	5, 6, 7,...	
พุนด์ (Pfund)	1924	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n_i^2})$	5	6, 7, 8,...	

19.3.2 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 ค่าคงที่ของพลังค์ ($h = 6.63 \times 10^{-34}$ J.s)

ดังนั้นปริมาณ hf หมายถึง 1 ก้อนพลังงานแสง ซึ่งเรียกว่า ควอนตัม หรือ 1 โฟตอน (1 เม็ดแสง)

อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) เป็นหน่วยวัดพลังงานสำหรับอนุภาคขนาดเล็กโดย $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19}$ จูล

พลังงาน 1 eV. จะเป็นพลังงานที่ได้จากการเร่งอิเล็กตรอนผ่านความต่างศักย์ 1 โวลต์ (เร่ง

อิเล็กตรอนผ่านความต่างศักย์ V โวลต์ จะทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานเป็น V อิเล็กตรอนโวลต์)

แบบฝึกหัด 19.3

- (ม.เชิงใหม่)จากการวิเคราะห์สเปกตรัมของธาตุไฮโดรเจน พบว่าชุดความถี่ของเส้นสเปกตรัมในช่วงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่านี้มีชื่อเรียกว่า
 ก. Lyman series **ข. Balmer series** ค. Paschen series ง. Brackett series
- (Ent) ในช่วงระดับพลังงานต่ำสุดสามระดับแรกของอะตอมไฮโดรเจน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ควพบจะอยู่ในชุดความถี่ที่เรียกว่า
ก. ชุดไลมานและชุดบาล์มเมอร์ ข. ชุดไลมานและชุดพาเชน
 ค. ชุดบาล์มเมอร์และชุดพาเชน ง. ชุดไลมาน ชุดบาล์มเมอร์ และชุดพาเชน

19.4 ทฤษฎีอะตอมของโบร์

โบร์ได้เสนอแบบจำลองอะตอมของไฮโดรเจนว่า อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสในวงโคจรบางวงที่เรียกว่าวงจรรกติได้โดยไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจรจะมีการรับหรือปล่อยพลังงานบางค่าออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีค่าตามสมมติฐานของพลังค์

19.4.1 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

อะตอมปกติอิเล็กตรอนจะมีพลังงานอยู่ในสถานะพื้น (ground state) เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากภายนอกที่เหมาะสมจะขึ้นไปอยู่บนวงโคจรใหม่ตามระดับชั้นของพลังงาน เรียกว่า สถานะกระตุ้น (excited state) ทันที (อิเล็กตรอนจะปฏิเสธการรับพลังงานที่มีปริมาณน้อยหรือเกินกว่าความเหมาะสมของชั้นพลังงาน) อิเล็กตรอนจะอยู่ในสถานะกระตุ้นไม่ได้และจะกระโดดกลับลงมาที่สถานะพื้นโดยปล่อยควอนตัมของพลังงานออกมาที่มีความถี่และความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆ กัน

สเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน จะเกิดจากการเปลี่ยนวงโคจรของอิเล็กตรอน คำนวณได้จาก ความ สัมพันธ์จากสูตร

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

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

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

แบบฝึกหัด 19.4.1

- (เอ็นทรานซ์) ในแบบจำลองอะตอมของไฮโดรเจนของโบว์ รัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนในสถานะ $n = 4$ เป็นกี่เท่าของรัศมีวงโคจรในสถานะ $n = 1$
ก. 4 เท่า ข. 8 เท่า ค. 16 เท่า ง. 64 เท่า
- (เอ็นทรานซ์) อิเล็กตรอนตัวหนึ่งถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ 13.2 โวลต์ เข้าชนกับอะตอมของไฮโดรเจนที่อยู่ในสถานะพื้นการชนครั้งนี้จะสามารถทำให้อะตอมไฮโดรเจนอยู่ในระดับพลังงานสูงสุดในระดับเท่าใด (พลังงานงานสถานะพื้นของไฮโดรเจน = - 13.6 eV)
ก. 7 ข. 6 ค. 5 ง. 4
- (เอ็นทรานซ์) ตามทฤษฎีอะตอมของโบว์ ระดับพลังงานของอะตอมไฮโดรเจนต่ำสุดเท่ากับ 13.6 eV ถ้าอะตอมไฮโดรเจนถูกกระตุ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงสุดและกลับสู่สถานะพื้นที่มีพลังงานต่ำสุดโดยการปล่อยโฟตอนออกมาด้วยพลังงาน 10.20 eV แสดงว่าอะตอมไฮโดรเจนถูกกระตุ้นไปที่ระดับพลังงานที่ n เท่ากับเท่าใด
ก. 2 ข. 4 ค. 8 ง. 16

4. (เอ็นทรานซ์) พลังงานต่ำสุดของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนคือ- 13.6 eV ถ้าอิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะจาก $n = 3$ ไปสู่สถานะ $n = 2$ จะให้แสงที่มีพลังงานควอนตัมเท่าใด
ก. 1.51 eV **ข. 1.89 eV** ค. 3.40 eV ง. 4.91 eV
5. (เอ็นทรานซ์) อะตอมไฮโดรเจน เมื่อเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะ $n = 3$ สู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนมีพลังงาน 19.34×10^{-19} จูล และเมื่อเปลี่ยนสถานะจาก $n = 2$ สู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนพลังงาน 16.33×10^{-19} จูล ถ้าต้องการกระตุ้นให้อะตอมไฮโดรเจนให้เปลี่ยนระดับพลังงานจาก $n = 2$ ไปยังสถานะ $n = 3$ จะต้องใช้แสงความถี่เท่าใด
ก. 4.5×10^{14} Hz ข. 5.4×10^{14} Hz ค. 3.0×10^{15} Hz ง. 5.4×10^{15} Hz
6. (เอ็นทรานซ์) ในการกระตุ้นให้อะตอมของไฮโดรเจนที่มีระดับพลังงานต่ำสุด (13.6 eV) ไปอยู่ที่ระดับพลังงาน $n = 4$ สเปกตรัมเส้นที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุดจะมีพลังงานเท่าใด
ก. 0.66 eV ข. 0.85 eV ค. 10.20 eV **ง. 12.75 eV**
7. (เอ็นทรานซ์) อิเล็กตรอนอนุภาคหนึ่งมีพลังงานจลน์เท่ากับ 4eV ถูกจับไว้ด้วยโมเลกุลที่เป็นไอออน ถ้าอิเล็กตรอนหลังถูกจับอยู่ในระดับพลังงาน -4 eV ในกระบวนการนี้จะมีรังสีความยาวคลื่นเท่าใดปล่อยออกมา
ก. 145 nm **ข. 155 nm** ค. 245 nm ง. 255 nm
8. (เอ็นทรานซ์) สเปกตรัมสีน้ำเงิน ($\lambda = 440$ nm) จากหลอดปรอท มาจากระดับพลังงานสองระดับที่มีพลังงานต่างกันเท่าใด
ก. 1.85 eV ข. 2.44 eV **ค. 2.81 eV** ง. 3.26 eV
9. (เอ็นทรานซ์) ความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนเส้นแรก (ที่มีความยาวคลื่นมากที่สุด) ในอนุกรมบัลเมอร์คือ 656 nm โฟตอนที่สามารทำให้อะตอมไฮโดรเจน จากสถานะพื้นแตกตัวเป็นไอออนได้พอดี ควรจะต้องมีความยาวคลื่นเท่าใด
ก. 151 nm ข. 121 nm **ค. 91 nm** ง. 71 nm
10. (เอ็นทรานซ์) สเปกตรัมเส้นสว่างของอะตอมไฮโดรเจน เส้นสว่างลำดับแรกที่เราเห็นชัดเจนมีความยาวคลื่นมากที่สุดคือ 656 nm ในอนุกรมบัลเมอร์เส้นสว่างลำดับที่สองจะมีความยาวคลื่นเท่าใด
ก. 356 nm ข. 386 nm ค. 456 nm **ง. 486 nm**

19.4.2 การทดลองของฟรังค์และเฮิร์ตซ์

1. ฟรังค์และเฮิร์ตซ์ได้ทำการทดลองเรื่องการชนกันของอะตอมต่างๆ โดยใช้ประจุอิเล็กตรอนกับอะตอมของปรอท
2. เมื่ออิเล็กตรอนชนกับอะตอมของปรอทจะทำให้เกิดการถ่ายพลังงานจากอิเล็กตรอนไปยังอะตอม และพลังงานที่อะตอมได้รับจะถ่ายทอดต่อไปยังอิเล็กตรอนในอะตอมอีกต่อหนึ่ง ถ้าพลังงานมากพอที่จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนหลุดออกมาเป็นอิสระแสดงว่าเกิดการ Ionization

3. จากการทดลองของฟรังค์และเฮิร์ตซ์ พบว่า

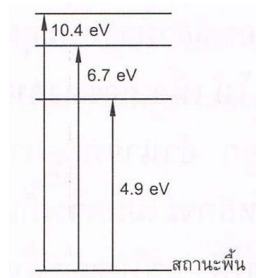
3.1 ถ้าพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนต่ำกว่า 4.9 eV (ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอิเล็กตรอนต่ำกว่า 4.9 V) การชนระหว่างอิเล็กตรอนและอะตอมของปรอทจะเป็นการชนแบบยืดหยุ่น (elastic collision) คือ E_k ก่อนชนเท่ากับ E_k หลังชนนั้น แสดงว่า อิเล็กตรอนไม่สามารถทำให้อะตอมของปรอทเปลี่ยนระดับพลังงานจาก Ground State ได้ เพราะอะตอมของปรอทไม่สามารถดูดกลืนพลังงานจลน์ที่ต่ำกว่า 4.9 eV ได้

3.2 เมื่อเพิ่มพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนเป็น 4.9 eV ทำให้อะตอมของปรอทเปลี่ยนระดับพลังงานจาก Ground State (E_1) ไปยัง Excited State (E_2) ครั้งแรกสุดของการกระตุ้นได้

3.3 ถ้าเพิ่มพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนขึ้นไปอีก ก็จะกระตุ้นอะตอมของปรอทให้อะตอมที่สอง และอะตอมที่สามได้อีกเรื่อยๆ แต่ทุกอะตอมของปรอทยังคงต้องการพลังงานจลน์ 4.9 eV เหมือนเดิม

3.4 ถ้าอะตอมของปรอทที่ถูกกระตุ้นไปอยู่ในระดับพลังงาน E_2 และจะเปลี่ยนระดับพลังงานเข้าสู่ระดับพลังงาน Ground State (E_1) จะต้องปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า Photon มีพลังงานเท่ากับ 4.9 eV

3.5 ฟรังค์และเฮิร์ตซ์ สรุปการทดลองว่า ในการชนระหว่างอิเล็กตรอนกับอะตอมจะดูดกลืนพลังงานได้เพียงบางจำนวนเท่านั้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่าระดับพลังงานของอะตอมไม่ต่อเนื่องกันเป็นไปตามทฤษฎีของโบร์ คือ 4.9, 6.7, และ 10.4 eV ดังรูป 19.8



รูป 19.8 การรับพลังงานของอะตอมของปรอท

แบบฝึกหัด 19.4.2

- (เอ็นทรานซ์) การทดลองของฟรังค์และเฮิร์ตซ์ ให้ผลสรุปที่สำคัญ ข้อใด
 - อิเล็กตรอนชนกับอะตอมแบบยืดหยุ่นเป็นส่วนใหญ่
 - อิเล็กตรอนชนกับอะตอมแบบไม่ยืดหยุ่น
 - อะตอมมีระดับพลังงานเป็นขั้น ๆ**
 - กระแสไฟฟ้าผ่านก๊าซที่ความดันต่ำได้
- (เอ็นทรานซ์) ตามการทดลองของฟรังค์และเฮิร์ตซ์ ข้อสรุปใด ไม่จริง
 - อิเล็กตรอนที่มีพลังงานน้อยกว่า 4.9 eV จะมีการชนแบบยืดหยุ่นกับอะตอมของไอปรอท
 - อิเล็กตรอนที่มีพลังงานมากกว่า 4.9 eV จะสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งให้กับอะตอมของไอปรอท
 - อะตอมของไอปรอทมีค่าพลังงานระดับพื้นเท่ากับ 49 eV**
 - อะตอมของไอปรอทมีค่าพลังงานเป็นขั้น ๆ ไม่ต่อเนื่อง

19.4.3 รังสีเอ็กซ์ (X – ray)

เรินต์เกน (Wilhelm Konrad Roentgen) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ได้พบรังสีเอ็กซ์ โดยบังเอิญ ในปี พ.ศ. 2438 (ค.ศ. 1895) ในขณะที่กำลังทดลองเกี่ยวกับรังสีแคโทด เรินท์เกน คลุมหลอดทดลองด้วยกระดาษดำในห้องทดลองที่มืด ขณะที่ประจุเคลื่อนที่ในหลอด เขาสังเกตเห็นแสงเรืองขึ้นบริเวณโต๊ะที่ทำการทดลอง แสดงว่าต้องมีรังสีบางชนิดที่มองไม่เห็นและสามารถทะลุออกมาจากหลอดแคโทด ซึ่งแสดงว่ามีอำนาจทะลุทะลวงสูง รังสีนี้เขาตั้งชื่อว่า **X – ray**

คุณสมบัติของรังสีเอ็กซ์

1. ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า
2. เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก
3. มีอำนาจทะลุทะลวงสูง
4. ทำให้ก๊าซแตกตัวเป็นไอออนได้
5. ทำให้สารเรืองแสงเกิดสารเรืองแสงได้
6. ทำปฏิกิริยากับแผ่นฟิล์ม
7. รังสีเอ็กซ์มีอันตรายและทำลายเซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้
8. เมื่อรังสีเอ็กซ์ กระแทบบนแผ่นโลหะสามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้

การเกิดรังสีเอ็กซ์

การเกิดรังสีเอ็กซ์เกิดจากอิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนอะตอมของเป้าทั้งสแตนด์แล้วหยุด จะปลดปล่อยรังสีเอ็กซ์ที่มีพลังงานสูงสุด หรือเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ช้าลงจะปลดปล่อยพลังงานค่าต่างๆ เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งชนอะตอมของเป้าแล้วหยุด พลังงานทั้งหมดของอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปของรังสีเอ็กซ์ ดังนั้น

$$E_{k_{\max}} = eV = hf_{\max}$$

$$eV = \frac{hc}{\lambda_{\min}}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV} \quad \text{หรือ} \quad \lambda_{\min} = \frac{1240}{V} \text{ nm}$$

เมื่อ $\lambda_{\min}$ แทน ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ (m)

h แทน ค่าคงตัวของแพลงค์ = 6.6×10^{-34} J/s

e แทน ประจุของอิเล็กตรอน = 1.6×10^{-19} C

V แทน ความต่างศักย์ที่ใช้เร่งประจุ (V)

c แทน ความเร็วแสง = 3.0×10^8 m/s

แบบฝึกหัด 19.4.3

1. (ม.เชิงใหม่) เมื่อผ่านรังสีเอ็กซ์เข้าไปในสนามแม่เหล็ก หรือสนามไฟฟ้าแล้ว รังสีเอ็กซ์
 - ก. ไม่มีการเบี่ยงเบนในทิศทางใด ๆ ในสนามนั้น ๆ
 - ข. เบี่ยงเบนเข้าหาขั้วบวกของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้านั้น
 - ค. เบี่ยงเบนเข้าหาขั้วลบของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้านั้น
 - ง. มีการเคลื่อนที่เป็นรูปคลื่นไซน์

2. (เอ็นทรานซ์)หลอดรังสีเอกซ์หลอดหนึ่ง มีความต่างศักย์ระหว่างขั้วแอโนดและแคโทด 11,000 โวลต์ จงหาว่ารังสีเอกซ์ที่ผลิตได้จะมีความยาวคลื่นสั้นที่สุดเท่าไร

ก. 0.11 nm ข. 0.22 nm ค. 0.33 nm ง. 0.44 nm

3. (ม.เชียงใหม่) อิเล็กตรอนถูกเร่งในหลอดโทรทัศน์ด้วยความต่างศักย์ประมาณ 10,000 โวลต์ เมื่ออิเล็กตรอนกระทบจอโทรทัศน์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากจอโทรทัศน์มีความยาวคลื่นได้สั้นที่สุดคือ

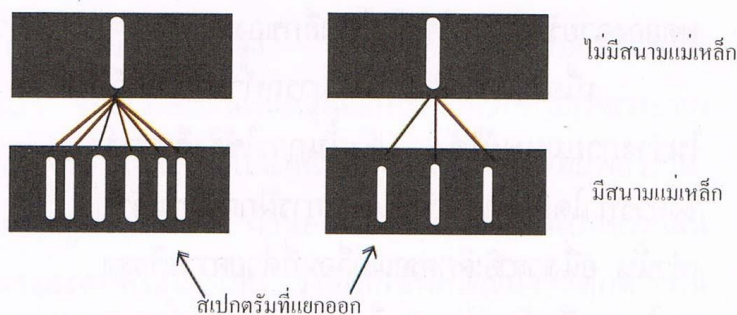
ก. 4.1×10^{-9} m ข. 1.2×10^{-10} m ค. 8.0×10^{-9} m ง. 2.4×10^{-18} m

4. (เอ็นทรานซ์) เครื่องมือผลิตรังสีเอกซ์เครื่องหนึ่งมีความต่างศักย์ระหว่างแคโทดและเป้าเป็น 18,000 โวลต์ ความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดของรังสีเอกซ์ที่ได้เท่าไร

ก. 4.9×10^{-11} m ข. 6.9×10^{-11} m ค. 8.9×10^{-11} m ง. 9.9×10^{-11} m

19.4.4 ความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีอะตอมของโบว์

1. ทฤษฎีอะตอมของโบว์สามารถอธิบายถึงการจัดเรียงอิเล็กตรอนและสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจนได้ แต่ไม่สามารถอธิบายการจัดเรียงอิเล็กตรอนและสเปกตรัมของอะตอมอื่นๆ ได้
2. ทฤษฎีอะตอมของโบว์ไม่สามารถอธิบายได้ว่าอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสด้วยความเร่ง เพราะสาเหตุใดไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา
3. ทฤษฎีอะตอมของโบว์ไม่สามารถอธิบายได้ว่า เพราะสาเหตุใดอะตอมที่อยู่ในสนามแม่เหล็กเส้นสเปกตรัมเส้นหนึ่งๆ แยกออกเป็นหลายเส้นได้ดังรูป



รูป 19.9 สเปกตรัมเส้นเมื่ออะตอมอยู่ในสนามแม่เหล็ก

19.5 ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค (Wave-Particle duality)

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

19.5.1 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Effect)

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก คือ ปรากฏการณ์ที่ฉายแสงที่มีความถี่สูงตกกระทบผิวโลหะแล้วทำให้เกิดประจุไฟฟ้าลบ(อิเล็กตรอน) หลุดออกมาจากโลหะได้ อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาเรียกว่าโฟโตอิเล็กตรอน 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) คือความต่างศักย์ที่ใช้หยุดอิเล็กตรอนได้พอดีซึ่งจะได้ว่า $E = eV_s$ (จูล) = V_s (eV)

สมการของพลังงานโฟโตอิเล็กตรอนจึงเขียนได้เป็น

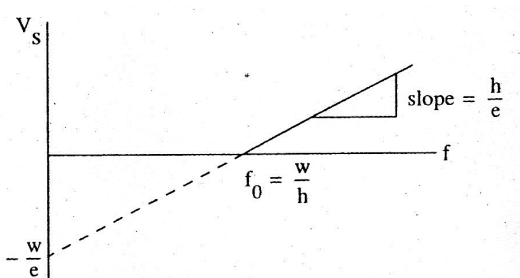
$$Ek_{\max} = eV_s = hf - W$$

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

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

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

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

$$E = n(hf)$$

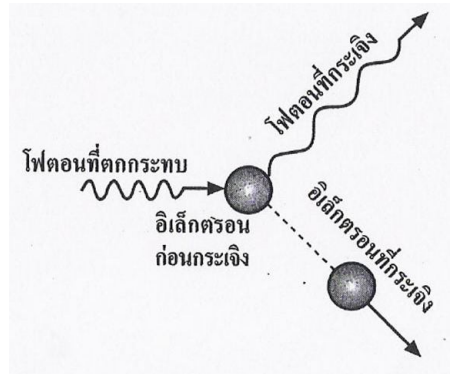
แบบฝึกหัด 19.5.1

- (เอ็นทรานซ์) จากการทดลองเพื่อศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ข้อสรุปต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง
 - พลังงานสูงสุดของอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงเท่านั้น
 - สำหรับแสงที่มีความถี่สูงกว่าความถี่ขีดเริ่ม จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจะเพิ่มมากขึ้นเป็นปฏิกากับความถี่ที่เพิ่มขึ้น
 - เนื่องจากแสงมีสมบัติเป็นคลื่นเมื่อมีความเข้มสูงก็จะมีพลังงานมาก ทำให้โฟโตอิเล็กตรอนมีพลังงานมากด้วย
 - เมื่อแสงที่ตกกระทบโลหะมีความถี่สูงกว่าความถี่ขีดเริ่มจะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนขึ้นก. ข้อ 1 และ 3 ข. ข้อ 2 และ 4 **ค. ข้อ 4 เท่านั้น** ง. คำตอบเป็นอย่างอื่น
- (ม.เชียงใหม่) จากการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก สรุปได้ว่า
 - เมื่อแสงมีความถี่เท่ากับความถี่ขีดเริ่ม ตกกระทบที่ผิวโลหะ จะไม่มีอิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะ
 - แสงที่มีความถี่ค่าเดียวตกกระทบผิวโลหะต่างชนิดกัน จะให้โฟโตอิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์สูงสุดเท่ากัน**ค. เมื่อเพิ่มความเข้มแสงที่ตกกระทบผิวโลหะ กระแสโฟโตอิเล็กตรอนจะมีค่าเพิ่มขึ้น**
ง. เมื่อเพิ่มความเข้มแสงที่ตกกระทบผิวโลหะจำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจะเท่าเดิมแต่มีพลังงานสูงขึ้น
- (ม.ขอนแก่น) เป็นที่ทราบกันแล้วว่า อิเล็กตรอนในโลหะสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ และมักจะพบเสมอว่าอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่อยู่ตามบริเวณผิวของโลหะ เหตุที่อิเล็กตรอนไม่เคลื่อนที่ต่อไปในอากาศเพื่อหนีออกจากโลหะเพราะ
 - อากาศไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า
 - อิเล็กตรอนมีพลังงานน้อยกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของโลหะ**
 - อากาศมีแรงเสียดทานมาก
 - อิเล็กตรอนถูกอะตอมของโลหะยึดจับไว้
- (ม.เชียงใหม่) พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนนั้น
 - ไม่ขึ้นกับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ**
 - ขึ้นกับกำลังหนึ่งของความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ
 - ขึ้นกับกำลังสองของความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ
 - ขึ้นกับรากที่สองของความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ
- (ม.เชียงใหม่) กำหนดให้ฟังก์ชันงานของแท่งทาลัมและทองคำเป็น 4.2 eV และ 4.8 eV ตามลำดับ อยากทราบว่าต้องการฉายแสงที่มีความยาวคลื่น 270 nm ลงไปบนวัตถุใดจึงจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
 - ไม่เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
 - แท่งทาลัม**
 - ทองคำ
 - แท่งทาลัมและทองคำ

6. (เอ็นทรานซ์) โลหะสามชนิดประกอบด้วย ซีเซียม (Cs) แบเรียม (Ba) และแคลเซียม (Ca) มีฟังก์ชันงานเป็น 1.8 , 2.5 และ 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ตามลำดับ ถ้ามีแสงความยาวคลื่น 400นาโนเมตร ตกกระทบบนโลหะทั้งสาม โลหะชนิดใดจะแสดงปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
- ก. Cs ข. Cs และ Ba ค. Cs , Ba และ Ca ง. ไม่เกิดเลย
7. จงหาความต่างศักย์ที่ใช้ในการหยุดโฟโตอิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์สูงสุดจากแผ่นโลหะแบเรียมเมื่อมีแสงความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ตกกระทบ กำหนดให้ฟังก์ชันงานของแบเรียมเป็น 2.5 อิเล็กตรอนโวลต์ และผลคูณระหว่างค่าคงตัวพลังค์กับความเร็วแสงในสุญญากาศ $1240\text{eV}\cdot\text{nm}$
- ก. 0.6 โวลต์ ข. 2.5 โวลต์ ค. 3.1 โวลต์ ง. 5.6 โวลต์
8. (เอ็นทรานซ์) เมื่อฉายรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ไปที่ผิวโลหะชนิดหนึ่งที่มีค่าพลังงานยึดเหนี่ยว 1.8eV โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะจะมีพลังงานจลน์เท่าใด
- ก. 0 eV ข. 0.5 eV ค. 1.3 eV ง. 1.8 eV
9. (เอ็นทรานซ์) โลหะชนิดหนึ่งมีค่าพลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับ 2.0eV ถ้ามีแสงที่มีความยาวคลื่น 100 nm มากระทบ พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนที่ออกมาจะมีค่าเท่าใด
- ก. 6.4 eV ข. 10.4 eV ค. 14.4 eV ง. 18.4 eV
10. (เอ็นทรานซ์) ในการทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ใช้แสงความถี่ $7\times 10^{14}\text{ Hz}$ ตกกระทบผิวโลหะที่มีค่าฟังก์ชันงานเท่ากับ 2.3 eV จงหาความต่างศักย์หยุดยั้งของโฟโตอิเล็กตรอนนี้
- ก. 0.6 โวลต์ ข. 2.3 โวลต์ ค. 2.9 โวลต์ ง. 5.2 โวลต์
11. (เอ็นทรานซ์) เมื่อให้แสงที่มีความยาวคลื่น 450 nm ตกกระทบผิวโลหะชนิดหนึ่ง ปรากฏว่าต้องใช้ความต่างศักย์ในการหยุดยั้งโฟโตอิเล็กตรอนเท่ากับ 1.5 โวลต์ ถ้าต้องการให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะได้พอดี ต้องใช้แสงที่มีความยาวคลื่นเท่าใด
- ก. 330 nm ข. 660 nm ค. 990 nm ง. 1,220 nm
12. (เอ็นทรานซ์) กำหนดให้ฟังก์ชันงานของโลหะชนิดหนึ่ง 4.80 eV จะต้องฉายแสงที่มีความยาวคลื่นเท่าใดจึงจะทำให้โฟโตอิเล็กตรอนหลุดจากขั้วแคโทด ที่ทำจากโลหะดังกล่าวแล้วสามารถไปถึงขั้วแอโนดได้พอดี เมื่อศักย์ไฟฟ้าที่แอโนดต่ำกว่าแคโทดเท่ากับ 1.80 โวลต์
- ก. 125.50 nm ข. 156.50 nm ค. 167.50 nm ง. 187.50 nm
13. (เอ็นทรานซ์) ลวดแมกนีเซียมมีพลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอน 3.79 eV ถูกฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเลตซึ่งมีความยาวคลื่น 300 nm โฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะมีพลังงานจลน์มากที่สุดเท่าใด (กำหนดให้ $h = 6.64 \times 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$)
- ก. 0.29 eV ข. 0.36 eV ค. 0.48 eV ง. 0.62 eV

19.5.2 ปรากฏการณ์คอมป์ตัน

คอมป์ตัน ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์และขนาดของมุมการกระเจิงกับความยาวคลื่นกระเจิงของรังสีเอกซ์ จากการฉายรังสีเอกซ์ให้ไปกระทบกับอิเล็กตรอนของแท่งแกรไฟต์ พบว่าความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาแปรผันกับมุมที่กระเจิง แต่ไม่ขึ้นกับความเข้มของรังสีเอกซ์ที่กระทบกับอิเล็กตรอน



รูป 19.10 ปรากฏการณ์คอมป์ตัน

จากปรากฏการณ์อธิบายโดยอาศัยหลักแนวคิดของไอน์สไตน์ได้อย่างเดียวว่าการชนระหว่างรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนของแกรไฟต์เป็นการชนระหว่างอนุภาคกับอนุภาค โดยเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงานและกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม ดังนี้

1. รังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาโดยมีความยาวคลื่นเท่าเดิม แสดงว่าโฟตอนของรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนของแท่งแกรไฟต์ชนกันแบบยืดหยุ่น
2. รังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาโดยมีความยาวคลื่นไม่เท่าเดิม แสดงว่า โฟตอนของรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนของแท่งแกรไฟต์ชนกันแบบไม่ยืดหยุ่น

19.5.3 สมมติฐานของเดอ บรอยล์

ในปี ค. ศ. 1924 นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสชื่อหลุยส์ เดอ บรอยล์ (Louis de Broglie) ได้ให้ความเห็นว่าแสงมีคุณสมบัติเป็นได้ทั้งคลื่นแสงและอนุภาค กล่าวคือในกรณีที่แสงมีการเลี้ยวเบนและการแทรกสอด แสดงว่าขณะนั้นแสงประพฤติตัวเป็นคลื่น สำหรับกรณีแสงในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก แสดงว่าแสงเป็นอนุภาค ฉะนั้นสารทั่วไปที่มีคุณสมบัติเป็นอนุภาคก็น่าจะมีคุณสมบัติทางด้านคลื่นด้วย เดอ บรอยล์ได้พยายามหาความยาวคลื่นของคลื่นมวลสาร โดยทั่วไปเริ่มจากความยาวคลื่นของแสงก่อนดังต่อไปนี้

ถ้าแสงมีความถี่ f จะให้พลังงานออกมาเป็นอนุภาคเรียกว่าโฟตอนซึ่งมีขนาด

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

จากความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับมวลของไอน์สไตน์

$$E = mc^2 \text{ และ } E = hf$$

เดอบรอยล์ หาความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมและความยาวคลื่นของแสงได้ดังนี้

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

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

แบบฝึกหัด 19.5.3

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

ก. 0.92×10^{-38} m ข. 3.3×10^{-38} m ค. 0.33×10^{-38} m ง. 1.1×10^{-38} m
- (เอ็นทรานซ์) อิเล็กตรอนตัวหนึ่งจะต้องเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่าใด จึงจะมีโมเมนตัม เป็นหนึ่งในสิบของโมเมนตัมของโฟตอนของแสงความถี่ 4.5×10^{14} เฮิรตซ์ (มวลอิเล็กตรอน = 9×10^{-31} kg)

ก. 100 m/s ข. 110 m/s ค. 130 m/s ง. 150 m/s
- (เอ็นทรานซ์) จงหาความยาวคลื่นของอิเล็กตรอน ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยพลังงาน 5 อิเล็กตรอนโวลต์

ก. 0.55 nm ข. 0.85 nm ค. 0.95 nm ง. 1.10 nm
- (เอ็นทรานซ์) อนุภาคมวล m มีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าของพลังงานจลน์เดิม ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอนุภาคนี้ ในครั้งหลังจะเป็นกี่เท่าของความยาวคลื่นเดอบรอยล์ครั้งแรก

ก. $\frac{1}{2}$ เท่า ข. 2 เท่า ค. 4 เท่า ง. 8 เท่า
- (เอ็นทรานซ์) ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และฮีเลียมไอออน (He^+) ถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า 10^6 โวลต์ ไฮโดรเจนไอออนจะมีความยาวคลื่นเดอบรอยล์เป็นกี่เท่าของฮีเลียมไอออน

ก. $\sqrt{2}$ เท่า ข. $\frac{1}{2}$ เท่า ค. 2 เท่า ง. 4 เท่า
- (เอ็นทรานซ์) ถ้ามวลของอนุภาค A เป็นครึ่งหนึ่งของมวลอนุภาค B เมื่ออนุภาคทั้งสองมีพลังงานเท่ากัน อนุภาค A จะประพฤติตัวเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นเป็นกี่เท่าของอนุภาค B

ก. $\frac{1}{2}$ เท่า ข. $\frac{1}{\sqrt{2}}$ เท่า ค. $\sqrt{2}$ เท่า ง. 2 เท่า
- (เอ็นทรานซ์) อนุภาค A มีมวลเป็น $\frac{1}{4}$ เท่าของอนุภาค B ถ้าอนุภาคทั้งสองมีพลังงานจลน์เท่ากัน ความยาวคลื่นเดอบรอยล์ของอนุภาค A เป็นกี่เท่าของอนุภาค B

ก. $\frac{1}{4}$ เท่า ข. $\frac{1}{2}$ เท่า ค. 2 เท่า ง. 4 เท่า

8. (Ent) จากทฤษฎีของ เดอ บรอยล์ เส้นรอบวงของวงโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสมีค่าเป็นเท่าใด
- ก. ค่านี้ของแฟลงค์หารด้วยความยาวคลื่นของอิเล็กตรอน
 - ข. ค่านี้ของแฟลงค์คูณด้วยเลขจำนวนเต็ม หารด้วย 2π
 - ค. ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนคูณด้วยเลขจำนวนเต็ม
 - ง. ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนหารด้วยความเร็วแสง

19.6 กลศาสตร์ควอนตัม (Quantum Mechanics)

1. **Quantum Mechanics** เป็นวิชาสำหรับอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ในระดับอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ๆ เท่ากับอะตอม เช่น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน เพราะกฎของนิวตันไม่สามารถให้รายละเอียดได้
2. **Quantum Mechanics** เป็นศาสตร์ของ Matter Waves ที่ให้หลักสมบูรณในการศึกษาเรื่องอะตอมในปัจจุบัน
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

19.6.1 หลักความไม่แน่นอนและโอกาสที่จะเป็นไปได้ (Uncertainty Principle)

1. ในการพิจารณาอิเล็กตรอน ตามหลักทวิภาพของคลื่นและอนุภาคพบว่า ถ้าอิเล็กตรอนเป็นอนุภาค เราคิดถึงอนุภาคในลักษณะที่มีขนาดแน่นอนและขนาดเล็กมาก ถ้าคิดว่าอิเล็กตรอนเป็นคลื่นขนาดและตำแหน่งของคลื่นย่อมกระจายอยู่ในอาณาเขตอันหนึ่ง แต่ไม่สามารถบอกได้ชัดว่าอยู่ที่ใด
2. ในการศึกษา Quantum Mechanics ไฮเซนเบิร์กได้ตั้งหลัก ความไม่แน่นอน กล่าวคือ ตำแหน่งและโมเมนตัมของอนุภาคไม่สามารถที่จะบอกได้ว่าอนุภาคอยู่ ณ ที่ใดที่หนึ่ง และมีค่าโมเมนตัมที่แน่นอนเท่าใด หลักการนี้ ปรากฏว่าใช้ได้ทั้งสสารแะโฟตอน กล่าวโดยสรุปหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์กเป็นความไม่แน่นอนทางตำแหน่ง และทางโมเมนตัมของอนุภาค เขียนเป็นสูตรได้

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \bar{h}$$

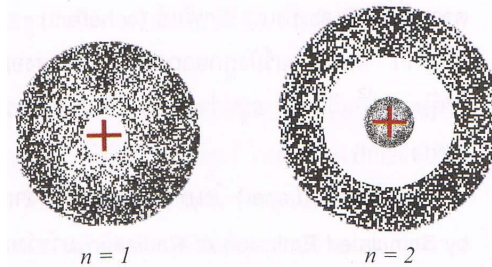
เมื่อ Δx แทน ความไม่แน่นอนในการบอกตำแหน่ง (m)

Δp แทน ความไม่แน่นอนในการบอกโมเมนตัม (kg.m/s)

$\bar{h}$ แทน $\frac{h}{2\pi} = 1.05 \times 10^{-34}$ J.s

19.6.2 โครงสร้างอะตอมตามทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม

ตามหลักความไม่แน่นอน เราไม่สามารถระบุได้ว่าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสอยู่ในตำแหน่งใดได้แน่นอน เราบอกได้เพียงแต่โอกาสจะพบอิเล็กตรอน ณ ตำแหน่งต่างๆ ว่าเป็นเท่าไหนดังนั้น โอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสจึงมีลักษณะเป็นกลุ่มหมอกทรงกลมห่อหุ้มนิวเคลียสในระดับชั้นพลังงานต่างๆ ดังรูป 19.11



รูป 19.11 ภาพแสดงกลุ่มหมอกของอะตอมไฮโดรเจนในระดับพลังงานต่าง ๆ

แนวคิดของกลศาสตร์ควอนตัมที่มีโอกาสจะพบอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสมีลักษณะเป็นกลุ่มหมอกสามารถอธิบายความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีของโบว์ ถึงการแยกเส้นสเปกตรัมหนึ่งเส้นเป็นหลายเส้นเมื่ออะตอมอยู่ในสนามแม่เหล็กได้

จะเห็นได้ว่าระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนในระดับต่างๆ จะได้จากกลศาสตร์ควอนตัมสอดคล้องกับทฤษฎีของโบว์แต่อะตอมใหญ่ๆ ระดับพลังงานที่ได้จากทฤษฎีทั้งสองต่างกัน แต่ผลที่ได้จากกลศาสตร์ควอนตัมถูกต้องกว่า

แบบฝึกหัด 19.6

- (เอ็นทรานซ์) หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก กล่าวว่า ผลคูณระหว่างความไม่แน่นอนทางตำแหน่งกับความไม่แน่นอนทางโมเมนตัม จะมีค่าอย่างไร
 - น้อยกว่าค่าของแฟลงค์หารด้วย 2π
 - เท่ากับค่าของแฟลงค์หารด้วย 2π
 - มากกว่าค่าของแฟลงค์หารด้วย 2π
 - มากกว่าหรือเท่ากับค่าของแฟลงค์หารด้วย 2π**
- นิวเคลียสของอะตอมรัศมีประมาณ 10^{-14} เมตร ถ้า e อยู่ในนิวเคลียสได้ความไม่แน่นอนในการวัดตำแหน่งของอิเล็กตรอน x ไม่ควรมีค่าเกิน 10^{-14} เมตร จากหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก โมเมนตัมของ e อย่างน้อยที่สุดมีค่าเท่าใด

ก. 1.05×10^{-14} kg. m/s	ข. 1.05×10^{-16} kg. m/s
ค. 1.05×10^{-18} kg. m/s	ง. 1.05×10^{-20} kg. m/s
- ถ้ำมวล 0.001 กรัม อยู่ในเขต 0.01 มิลลิเมตร จงหาความไม่แน่นอนของความเร็วของวัตถุนี้

ก. 1.05×10^{-18} m/s	ข. 1.05×10^{-20} m/s	ค. 1.05×10^{-23} m/s	ง. 1.05×10^{-25} m/s
-------------------------------	-------------------------------	---	-------------------------------