บทที่ 19
ฟิสิกส์อะตอม

เนื้อหา

1. อะตอม
2. การค้นพบอิเล็กตรอน
3. แบบจำลองอะตอมของทอมสัน
4. แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด
5. การทดลองด้านสเปกตรัม
6. ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก
7. ทฤษฎีอะตอมของโบร์

เนื้อหา

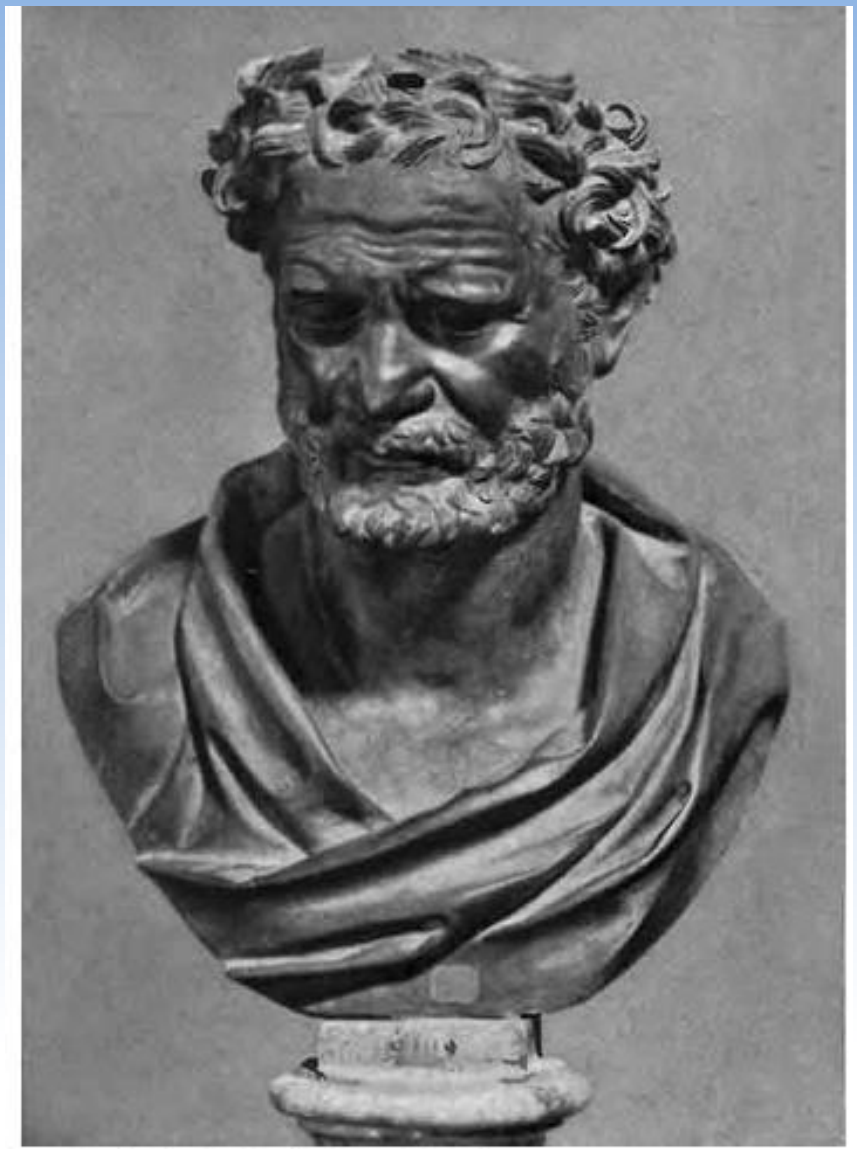
8. การทดลองของฟรังก์และเฮิรตซ์
9. รังสีเอกซ์
10. ความไม่สมบูรณ์ของทฤษฎีของโบร์
11. ทวิภาพของคลื่นและอนุภาค
12. กลศาสตร์ควอนตัม
13. เลเซอร์
14. ตัวนำ กึ่งตัวนำ และฉนวน

1. อะตอม

การพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสาร สามารถสรุป โดยย่อได้ดังนี้ คือ

1. ทฤษฎีอะตอมของเดโมคริตุส (พ.ศ. 83-173)

ดิโมคริตุส (Democritus) ได้เสนอโครงสร้างสสารเป็นครั้งแรก ซึ่งสรุปได้ว่า



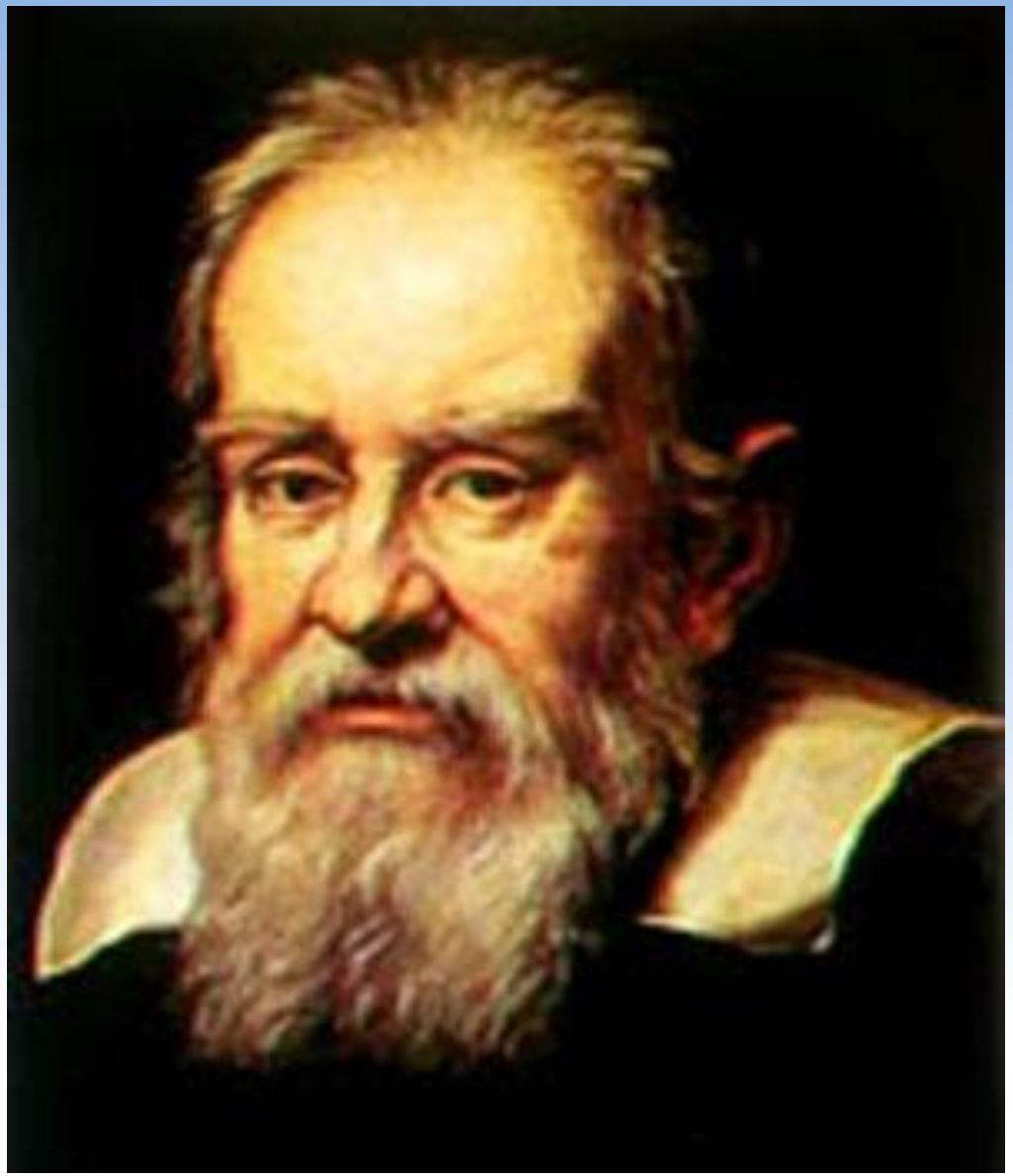
เดโมครีตุส ผู้ให้กำเนิดคำว่า อะตอม

ก. สสารทุกชนิดประกอบด้วยหน่วยที่ย่อยที่สุดซึ่งแบ่งแยกต่อไปอีกไม่ได้แล้ว เรียกว่า อะตอม ซึ่งไม่สูญหายไปและไม่เกิดใหม่

ข. อะตอมของสสารทุกชนิดเหมือนกันหมด แต่การจัดเรียงตัวต่างกันจึงเป็นสารต่างชนิดกัน

ค. ระหว่างอะตอมเป็นที่ว่าง ซึ่งอะตอมสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้

ง. การเปลี่ยนแปลงของสสารจากชนิดหนึ่งเป็นอีกชนิดหนึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอม



อาริโตเติล

2. โครงสร้างสสารของอาริโตเติล (พ.ศ. 159-221)

อาริสโตเติล (Aristotle) มีความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างสสารขัดแย้งกับดิโมคริตุส โดยเขาเสนอความคิดโดยสรุปได้ว่า

ก. สสารจะถูกแบ่งให้เล็กเท่าไรก็ได้โดยไม่สิ้นสุด

ข. สสารทุกชนิดเกิดจากองค์ประกอบมูลฐาน 4 ชนิด คือ ดิน น้ำ ลม ไฟ

ค. สสารชนิดเดียวกันจะมีองค์ประกอบมูลฐานเหมือนกัน

ง. การเปลี่ยนแปลงสสารเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบมูลฐาน

เนื่องจากสสารทุกชนิดมีองค์ประกอบมูลฐานเหมือนกัน จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์ในสมัยนั้นพยายามเปลี่ยนโลหะราคาถูกให้เป็นโลหะมีค่า เรียก ยุคนี้ว่า <u>ยุคเล่นแร่แปรธาตุ หรือ ยุคอัลเคมี</u>

ดอลตัน (John Dalton)

3. ทฤษฎีอะตอมของดอลตัน (พ.ศ. 2309-2387)

ดอลตัน (John Dalton) ได้สร้างแบบจำลองอะตอม โดยนำข้อมูลการทดลองของนักวิทยาศาสตร์หลาย ๆ คน เช่น บอยล์ คาเวนดิช ลาวัวซิเอ มาสรุปเป็นทฤษฎีอะตอมได้ดังนี้ คือ

ก. อะตอมเป็นหน่วยย่อยที่สุดของสสาร และจะแบ่งแยกต่อไปไม่ได้

ข. อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันเหมือนกัน อะตอมของธาตุต่างชนิดกันไม่เหมือนกัน

ค. อะตอมของธาตุหนึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นอะตอมของธาตุอื่นไม่ได้

ง. อะตอมจะรวมตัวเป็นโมเลกุลเกิดเป็นสารประกอบ

จ. ในปฏิกิริยาเคมีใด ๆ อะตอมจะไม่สูญหายไปหรือเกิดขึ้นใหม่

จากการพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของสสารจนถึงสมัย ของดอลตัน พอจะสรุปได้ว่า สสาร *ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่สุด คือ อะตอม และอะตอมนี้จะแบ่งแยกอีกไม่ได้*

แต่ในปัจจุบัน ทฤษฎีอะตอมของดอลตันถูกคัดค้านโดยความรู้สมัยใหม่และการค้นพบอนุภาคตัวใหม่ ๆ ทำให้แบบจำลองอะตอมเปลี่ยนไป คือ

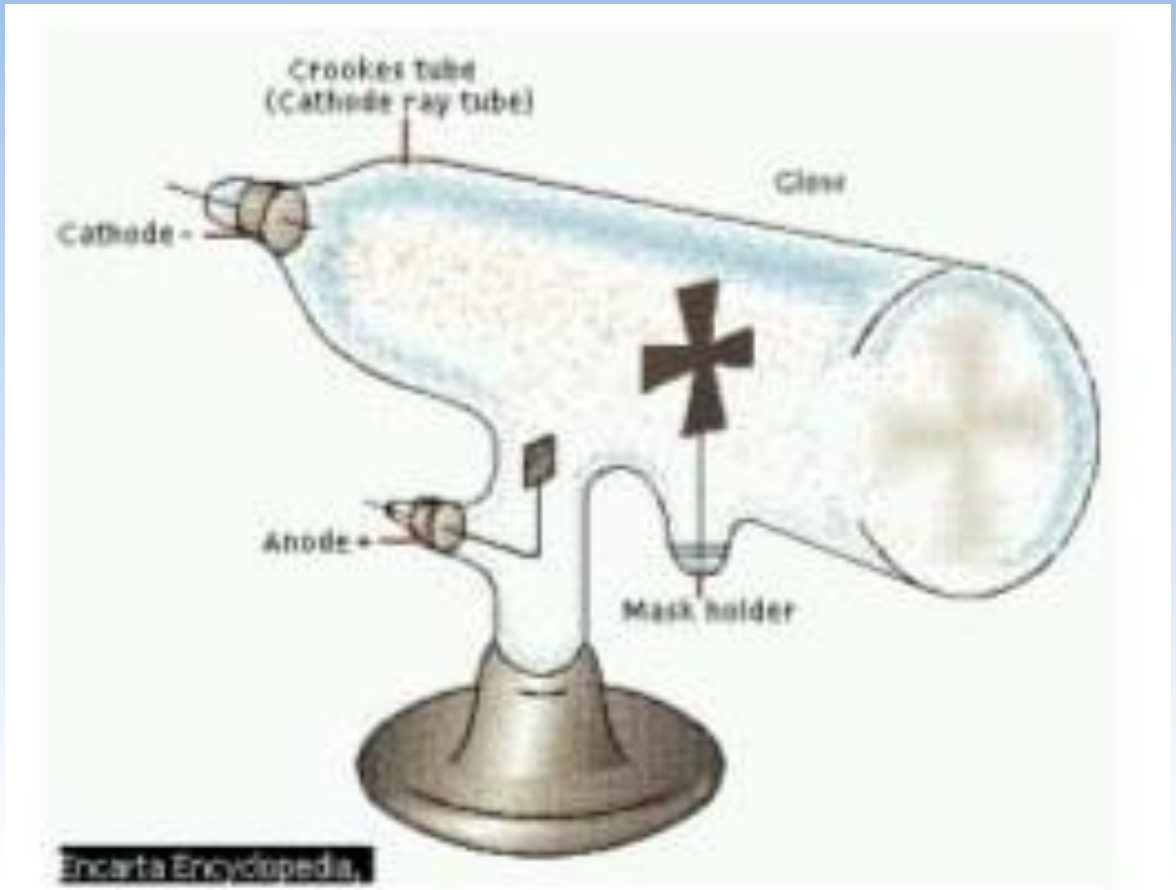
ก. อะตอมสามารถแบ่งให้เล็กลงไปได้อีก

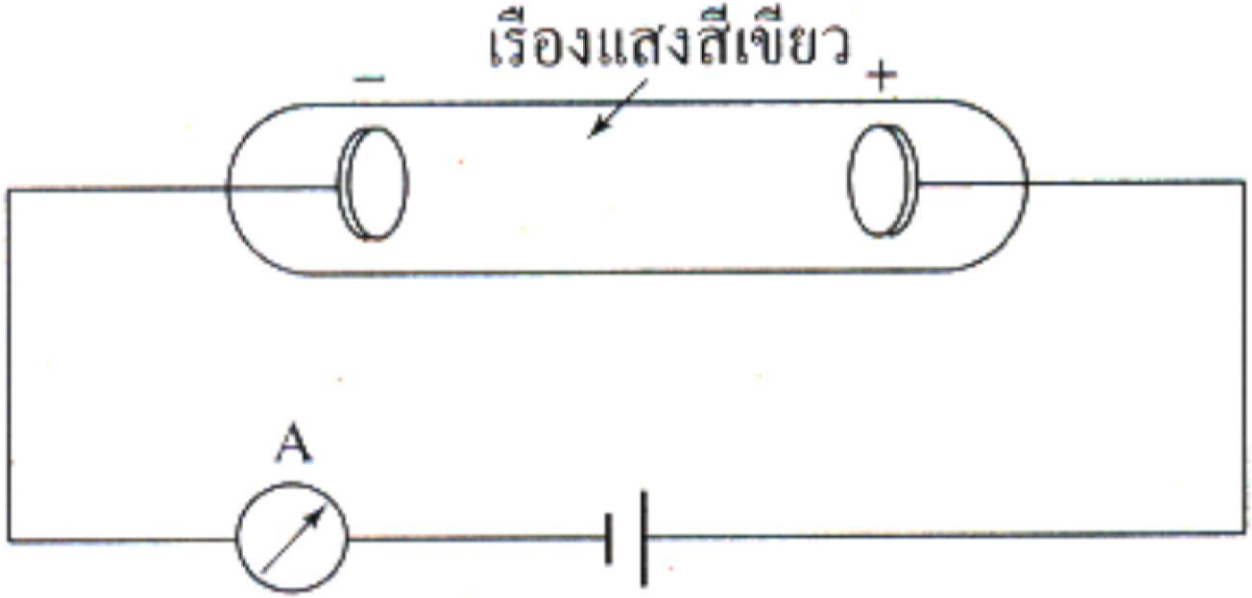
ข. อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันอาจต่างกันได้

ค. อะตอมของธาตุหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นอะตอมของธาตุอื่นได้

2. การค้นพบอิเล็กตรอน

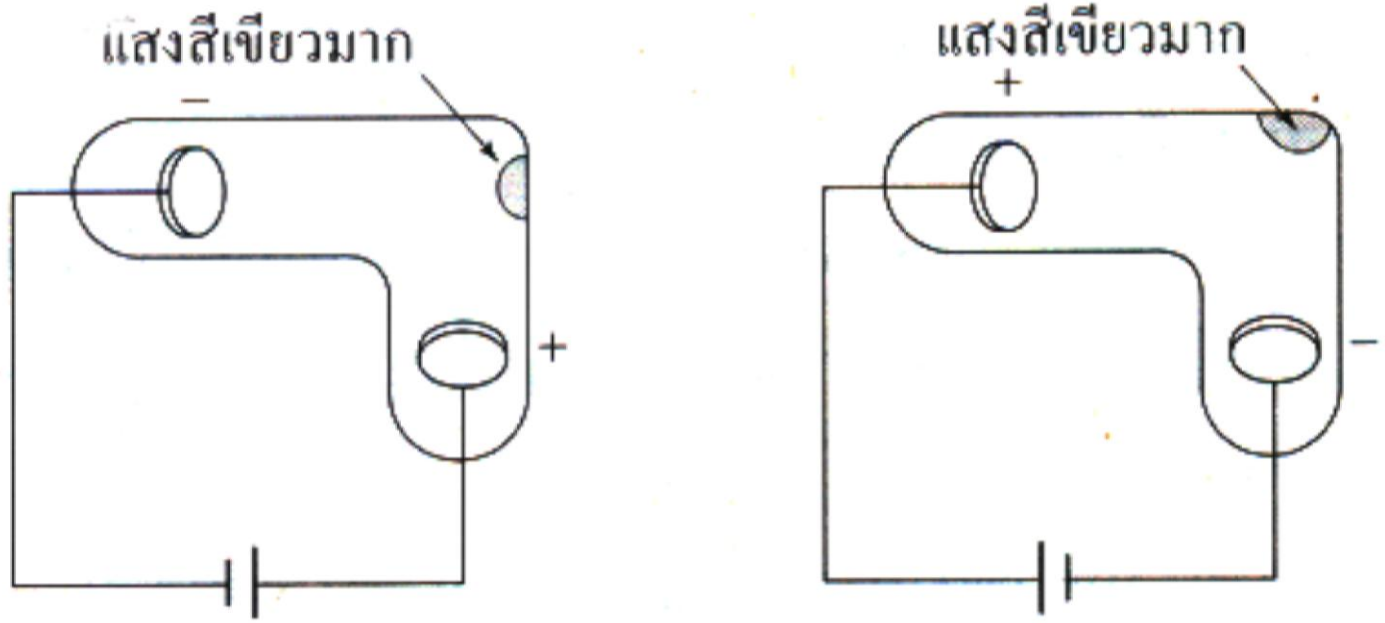
ในปี พ.ศ. 2398 ไกสส์เลอร์ (Heinrich Geissler) ได้ประดิษฐ์หลอดสุญญากาศ โดยลดความดันภายในหลอดเหลือเพียง 0.01 เปอร์เซ็นต์ของบรรยากาศปกติ และทำการทดลองต่อขั้วปลายหลอดแก้วทั้งสองด้วยความต่างศักย์สูง พบว่าจะมีกระแสไฟฟ้าไหลและเกิดการเรืองแสงเป็นสีเขียวที่ผนังหลอด


Crookes tube
(Cathode ray tube)
Glass
Cathode -
Anode +
Mask holder
Encarta Encyclopedia.



แสดงหลอดสุญญากาศเกิดการเรืองแสงสีเขียวที่ผนังหลอด

มาครูกส์ (Sir William Crookes, พ.ศ. 2375-2462) ได้ทำการทดลองงอหลอดแก้ว พบว่าการเรืองแสงจะเกิดมากที่สุดที่ผนังหลอดด้านที่อยู่ตรงข้ามกับขั้วลบ จึงเชื่อว่าน่าจะมีรังสีออกจากขั้วลบ และเรียนรังสีนี้ว่า **รังสีแคโทด** (cathode ray)



แสดงการงอหลอดความดันต่ำเพื่อตรวจสอบว่าแสงสีเขียวมาจากไหน

จากการศึกษาสมบัติของรังสีแคโทดสรุปว่า

ก. รังสีแคโทดเป็นลำอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ เรียกว่า **อนุภาครังสีแคโทด**

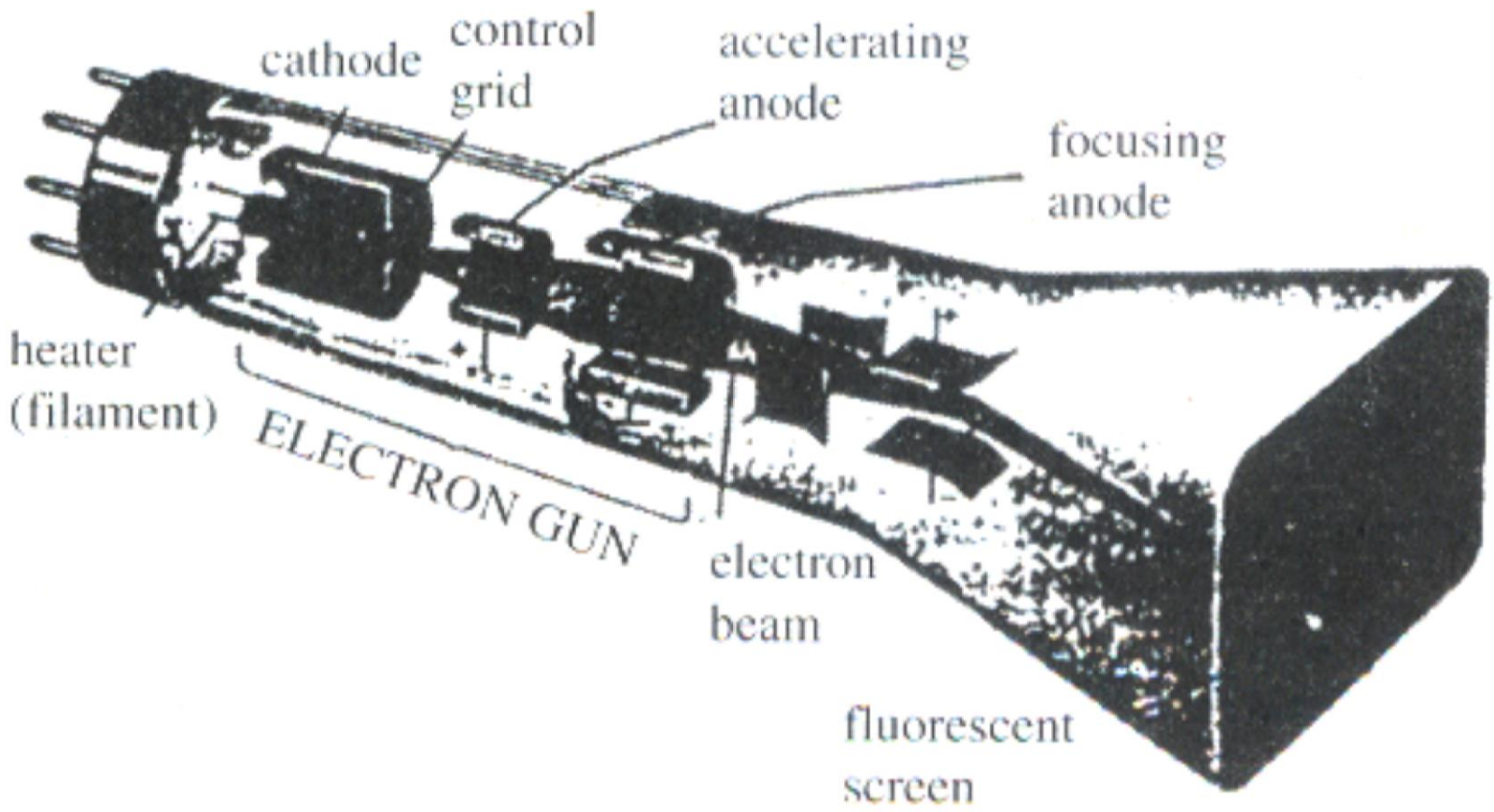
ข. รังสีแคโทดเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าได้

ค. ไม่สามารถผ่านแผ่นโลหะบาง ๆ จึงปรากฏเงาของแผ่นโลหะ

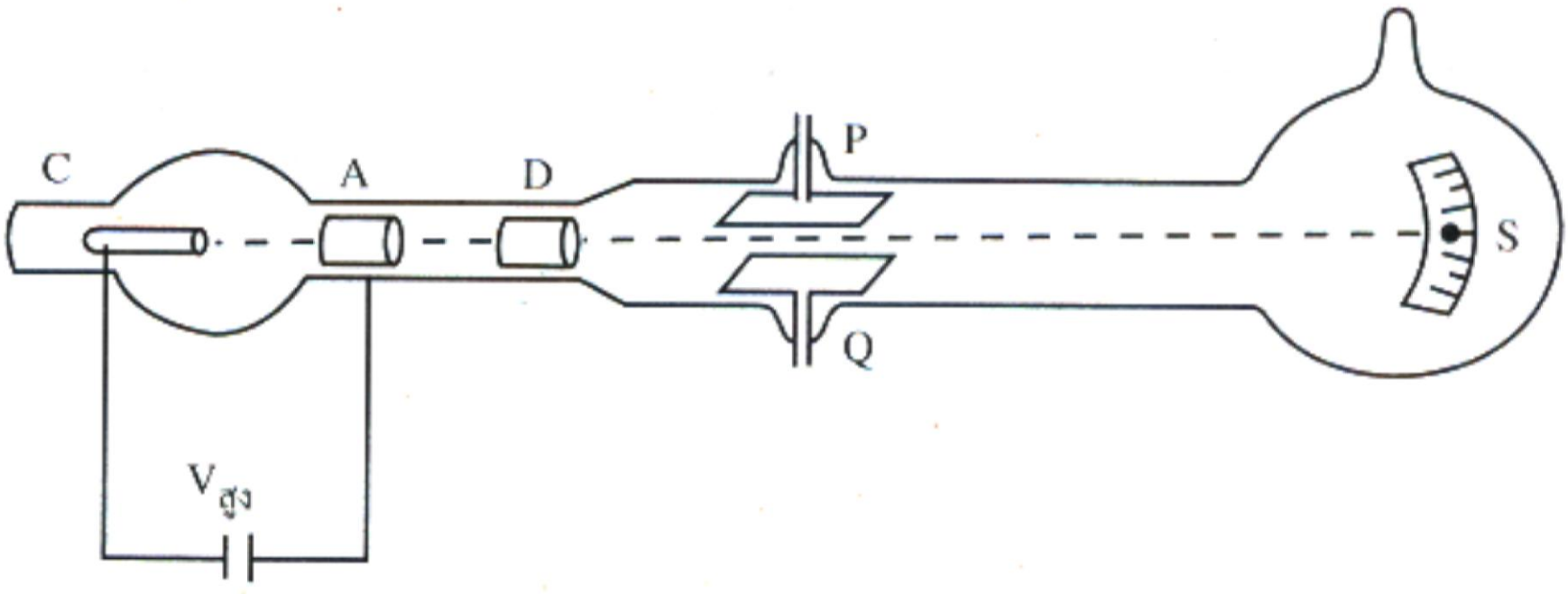
ง. ทำให้สารเรืองแสงเกิดการเรืองแสงได้

การทดลองของทอมสัน

ในปี พ.ศ. 2440 ทอมสัน (Sir Joseph John Thomson) ได้ทำการทดลองเพื่อวัดค่าประจุต่อมวลของอนุภาครังสีแคโทดจากหลอดรังสีแคโทด



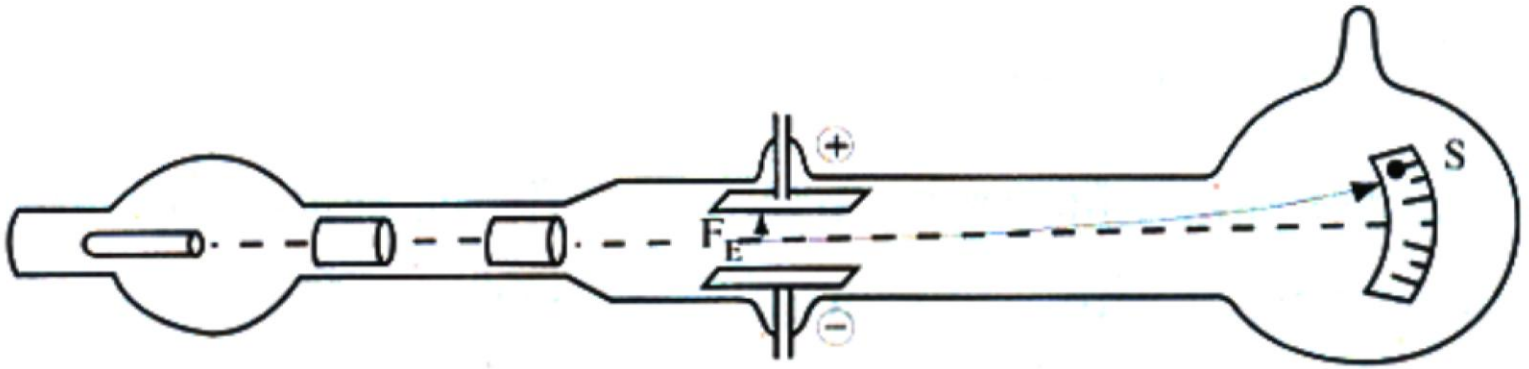
แสดงภาพถ่ายของหลอดรังสีแคโทด



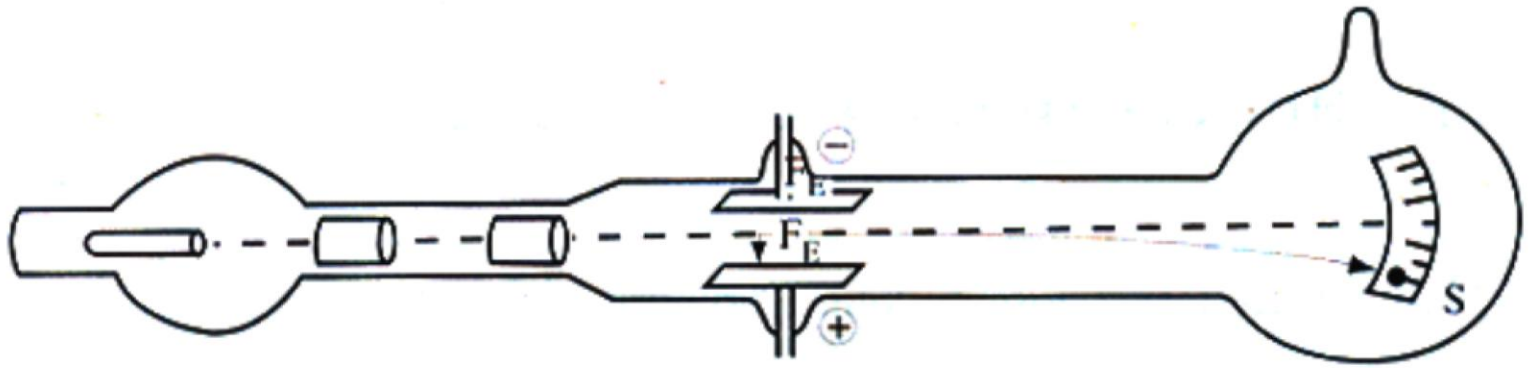
แสดงภาพจำลองของหลอดรังสีแคโทด

ให้ C เป็นขั้วแคโทด A เป็นขั้วแอโนด P และ Q เป็นแผ่นโลหะขนาน เมื่อต่อ C กับ A กับความต่างศักย์สูง ๆ ($V_{สูง}$) จะเกิดรังสีแคโทดปล่อยจากขั้ว C ลำรังสีนี้จะถูกเร่งในสนามไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงระหว่าง C กับ A ลำรังสีแคโทดจะเคลื่อนที่ไปยังแอโนด A และผ่านไปยังทรงกระบอก D ซึ่งเป็นทางบังคับทำให้ลำรังสีแคโทดพุ่งตรงไปกระทบสารเรืองแสงที่ฉาบไว้ที่จุด S

ในการทดลอง เมื่อใส่สนามไฟฟ้าและ/หรือสนามแม่เหล็ก จะมีผลดังต่อไปนี้



(ก) แรงกระทำในทิศขึ้น

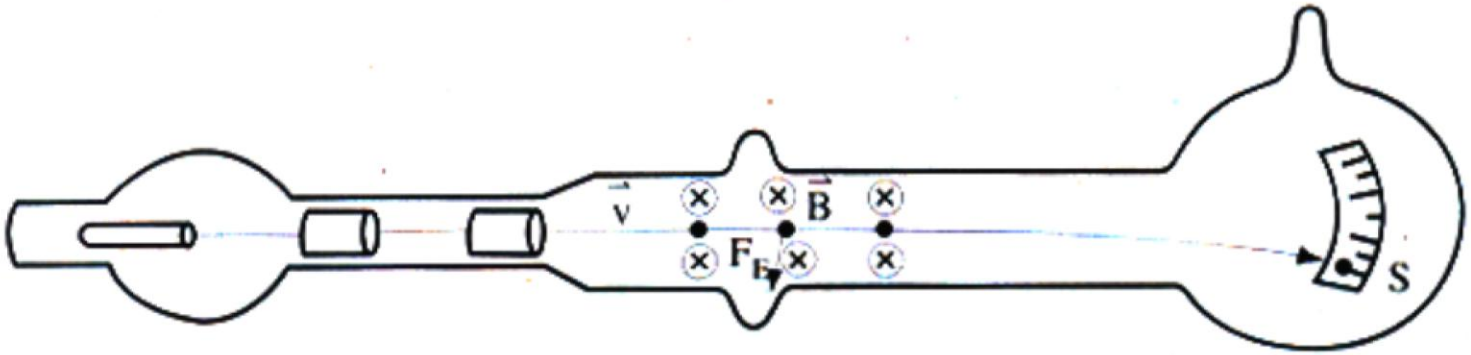


(ข) แรงกระทำในทิศลง

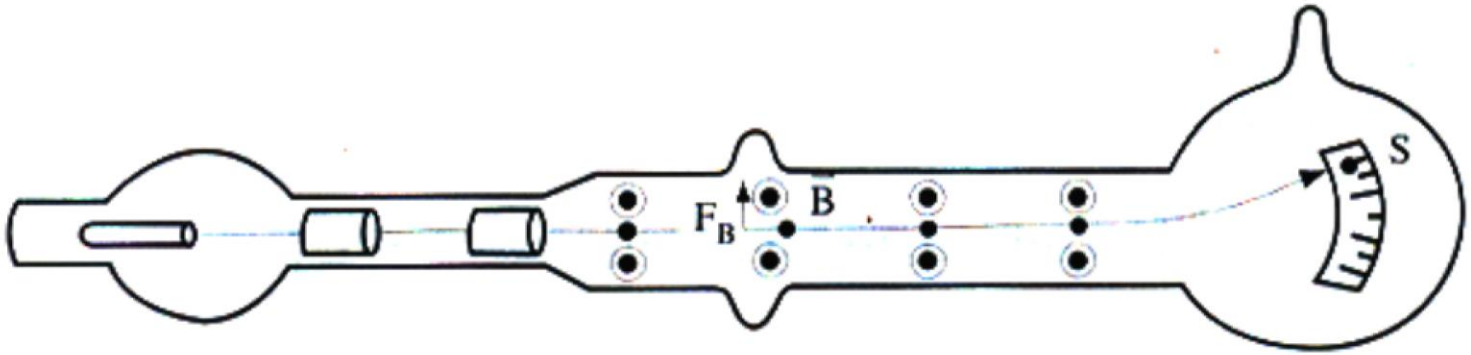
แสดงการเบี่ยงเบนของลำรังสีแคโทดในสนามไฟฟ้า ($\vec{E}$)

1. ถ้าใส่สนามไฟฟ้า ($\vec{E}$) ระหว่างแผ่นขนาน P และ Q กระทำโดยต่อแผ่นโลหะ P และ Q เข้ากับขั้วแบตเตอรี่จะพบว่าจุดสว่าง S เลื่อนไปจากเดิม แสดงว่ามีแรงกระทำกับลำรังสีแคโทดนี้ ($F_E = qE$)

2. ถ้าใส่สนามแม่เหล็ก $(\vec{B})$ ระหว่างแผ่นขนาน P และ Q จุดสว่าง S จะเลื่อนจากเดิม



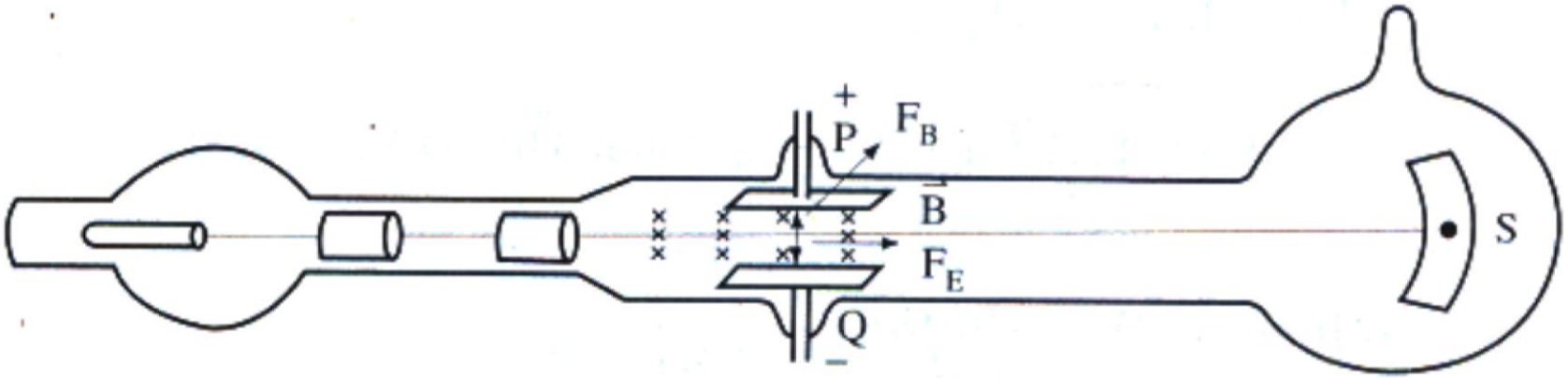
(ก) แรงกระทำในทิศลง



(ข) แรงกระทำในทิศขึ้น

แสดงการเบี่ยงเบนของลำรังสีแคโทดในสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$

3. ถ้าใส่สนามไฟฟ้า ($\vec{E}$) และสนามแม่เหล็ก ($\vec{B}$) พร้อม ๆ กันทั้ง 2 สนาม แล้วปรับให้ลำรังสีแคโทดไปปรากฏบนฉากที่เดิมในขณะไม่มีสนามทั้งสอง แสดงว่าแรงทางไฟฟ้า (F_E) เท่ากับแรงทางแม่เหล็ก (F_B)



แสดงแนวรังสีเมื่อใส่สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าพร้อมกัน 2 สนาม

$$\text{แรงทางไฟฟ้า}(F_E) = \text{แรงทางแม่เหล็ก}(F_B)$$

$$q\vec{E} = q\vec{v}\vec{B}$$

$$\text{สนามไฟฟ้า}(\vec{E}) = \frac{\text{ความต่างศักย์ระหว่างแผ่น } P \text{ และ } Q}{\text{ระยะห่างของแผ่น } P \text{ และ } Q}$$

$$= \frac{V_{\mathrm{PQ}}}{d}$$

สรุป ทอมสันได้ทำการทดลองตามขั้นตอนดังนี้

1. บริเวณเร่งอนุภาคจากแคโทด (C) ไปแอโนด (A)

พลังงานศักย์ไฟฟ้าที่ C = พลังงานจลน์ที่ A

$$qV_{CA} = \frac{1}{2}mv^2$$

2. บริเวณสนามแม่เหล็ก B

แรงสู่ศูนย์กลาง$\left(\vec{F}_C\right)$ = แรงทางแม่เหล็ก$\left(\vec{F}_B\right)$

$$\frac{mv^2}{R} = qvB$$

ดังนั้น $$\frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$$

3. หาค่าความเร็ว $\vec{v}$ ของลำรังสีแคโทดจาก

แรงสู่ศูนย์กลาง$\left(\vec{F}_C\right)$ = แรงทางแม่เหล็ก$\left(\vec{F}_B\right)$

$$F_E = F_B$$

$$Eq = qvB$$

$$\vec{v} = \frac{E}{\vec{B}}$$

4. ผลการทดลองของทอมสัน ไม่ว่าจะเปลี่ยนโลหะที่ปล่อยลำรังสีแคโทดจากโลหะชนิดใด จะได้ค่าประจุต่อมวลลำรังสีแคโทด

$$\frac{q}{m} = 1.76 \times 10^{11}$$ คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม

ตัวอย่าง 1 อิเล็กตรอนในหลอดโทรทัศน์ถูกเร่งจากสภาพหยุดนิ่งด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าขนาด 15000 โวลต์ เข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กขนาด 50 มิลลิเทสลา อิเล็กตรอนดังกล่าวจะมีความเร็วเท่าไร และเคลื่อนที่ด้วยขนาดรัศมีความโค้งเท่าไร

<u>วิธีทำ</u> ตอนแรกอิเล็กตรอนถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าจะมีความเร็วเท่ากับ

$$\frac{1}{2}mv^2 = qV$$

$$\frac{1}{2}9.1 \times 10^{-31}v^2 = 1.6 \times 10^{-19} \times 1500$$

$$v = 7.25 \times 10^7 \text{ เมตร/วินาที}$$

ตอนที่สองตีวงในสนามแม่เหล็ก

$$\frac{mv^2}{r} = qvB$$

$$r = \frac{mv}{Bq}$$

$$= \frac{9.1 \times 10^{-31} \times 7.25 \times 10^{7}}{50 \times 10^{-3} \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$r = 8.25 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

<u>ตัวอย่าง 2</u> อิเล็กตรอนตัวหนึ่งถูกยิงเข้าไปในระหว่างแผ่นขนานซึ่งอยู่ห่างกัน 2 เซนติเมตร มีความต่างศักย์ไฟฟ้าขนาด 200 โวลต์ และสนามแม่เหล็กขนาด 25×10^{-3} เทสลา อยู่โดยมีทิศของแนวทางเดิม สนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก ตั้งฉากกันทั้งหมด ถ้าปรากฏว่าลำอิเล็กตรอนไม่เบี่ยงเบน จงหาความเร็วของอิเล็กตรอน

<u>วิธีทำ</u> สนามไฟฟ้า $E = \frac{V}{d}$

$$E = \frac{200}{2 \times 10^{-2}}$$

$$= 1 \times 10^{4} \text{ โวลต์}$$

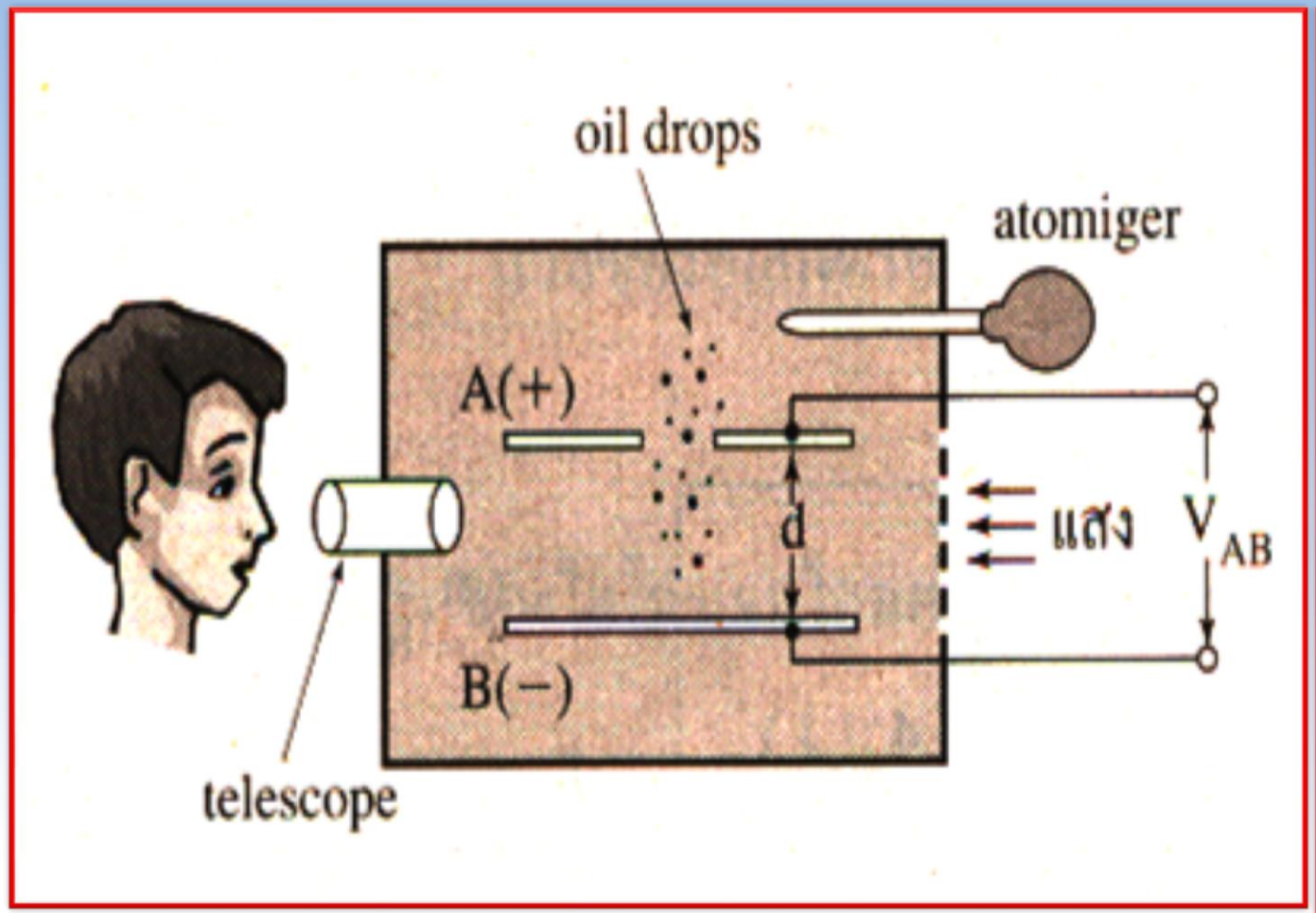
เมื่ออิเล็กตรอนไม่เบี่ยงเบน อัตราเร็ว

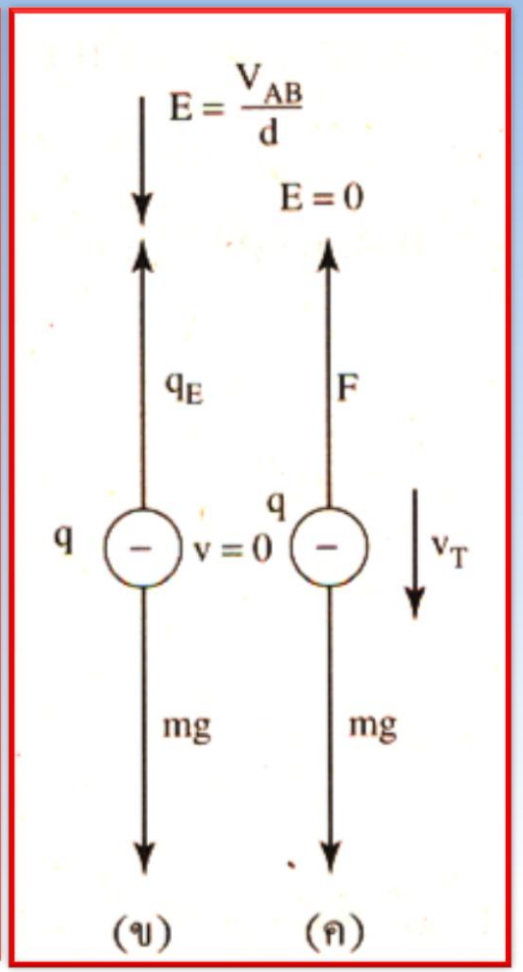
$$v = \frac{E}{B} = \frac{1 \times 10^{4}}{2.5 \times 10^{-3}}$$

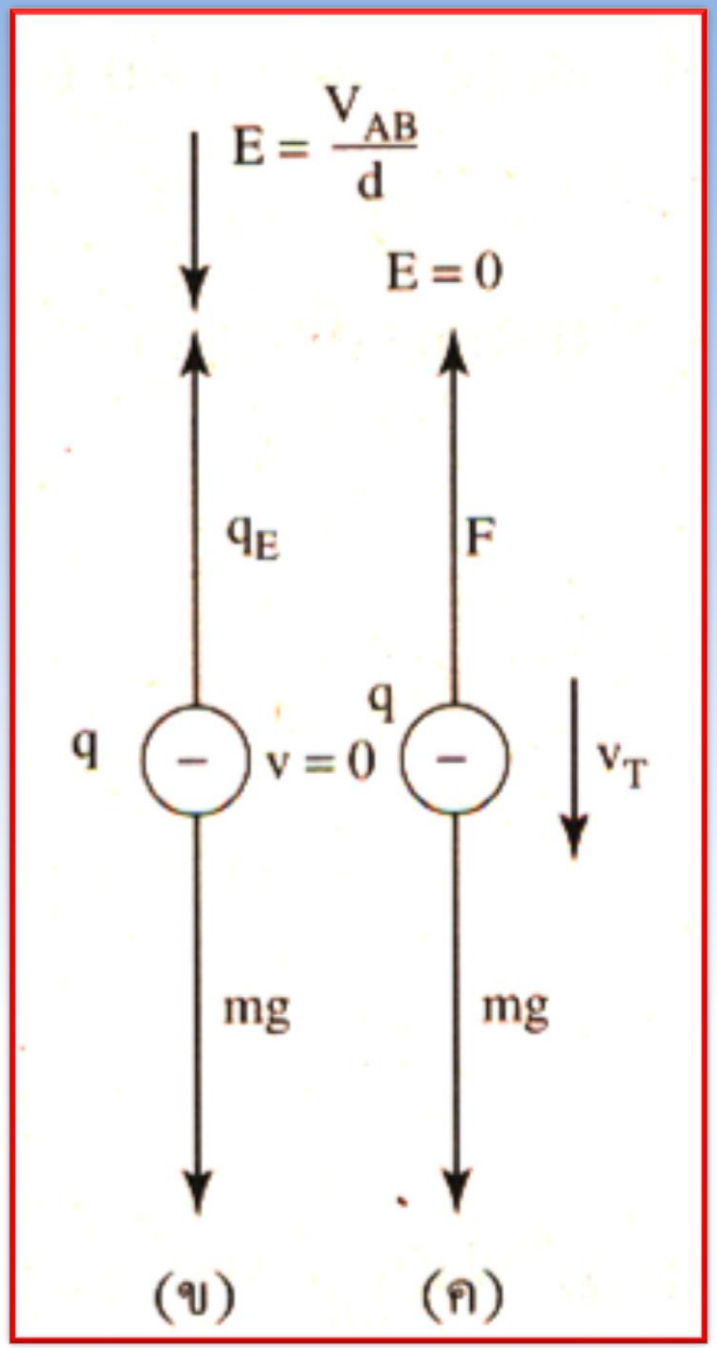
$$= 4 \times 10^{6} \text{ เมตร/วินาที}$$

การทดลองของมิลลิแกน

ในปี พ.ศ. 2454 มิลลิแกน (Robert Milikan) นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน ได้ทำการทดลองหาค่าประจุอิเล็กตรอนได้สำเร็จ โดยฉีดหยดน้ำมันลงไประหว่างแผ่นโลหะขนาน ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าเมื่อให้สนามไฟฟ้าที่เหมาะสมจะทำให้หยดน้ำมันลอยนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว


oil drops
atomiger
A(+)
d
แสง
V_{AB}
B(−)
telescope


$E = \frac{V_{AB}}{d}$
E = 0
q_E
F
q
v = 0
q
v_T
mg
mg
(ข)
(ค)


$E = \frac{V_{AB}}{d}$
E = 0
q_E
F
q
q
v = 0
v_T
mg
mg
(ข)
(ค)

เมื่อหยดน้ำมันหยุดนิ่งแสดงว่าแรงลัพธ์ที่หยดน้ำมันเป็นศูนย์

จาก $\Sigma F = 0$

$$F_E = Eq = mg$$

$$q = \frac{mg}{E}$$

แต่ $E = \frac{V}{d}$

$$q = \frac{mg}{E} = \frac{mgd}{V}$$

ตัวอย่าง 3 ในการทดลองของมิลลิแกนพบว่าหยดน้ำมันหยดหนึ่งลอยนิ่งระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนานห่างกัน 5 เซนติเมตร ถ้าหยดน้ำมันมวล 8×10^{-15} กิโลกรัม ได้รับประจุเพิ่มเข้าไป 2 ตัว จงหาว่าแผ่นคู่ขนานจะต้องต่อกับศักย์ไฟฟ้ากี่โวลต์

วิธีทำ

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

$$= \frac{8 \times 10^{-15} \times 10 \times 0.05}{2 \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= \frac{4 \times 10^{-15}}{3.2 \times 10^{-19}}$$

$$= 1.25 \times 10^{4}$$

$$= 12{,}500 \ V$$

ตอบ

แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

1. อะตอมจะมีรูปร่างเป็นทรงกลมคล้ายผลแตงโม เนื้อทรงกลมส่วนใหญ่จะเป็นประจุไฟฟ้าบวกซึ่งกระจายสม่ำเสมอ ส่วนเม็ดของทรงกลมจะเป็นประจุลบ

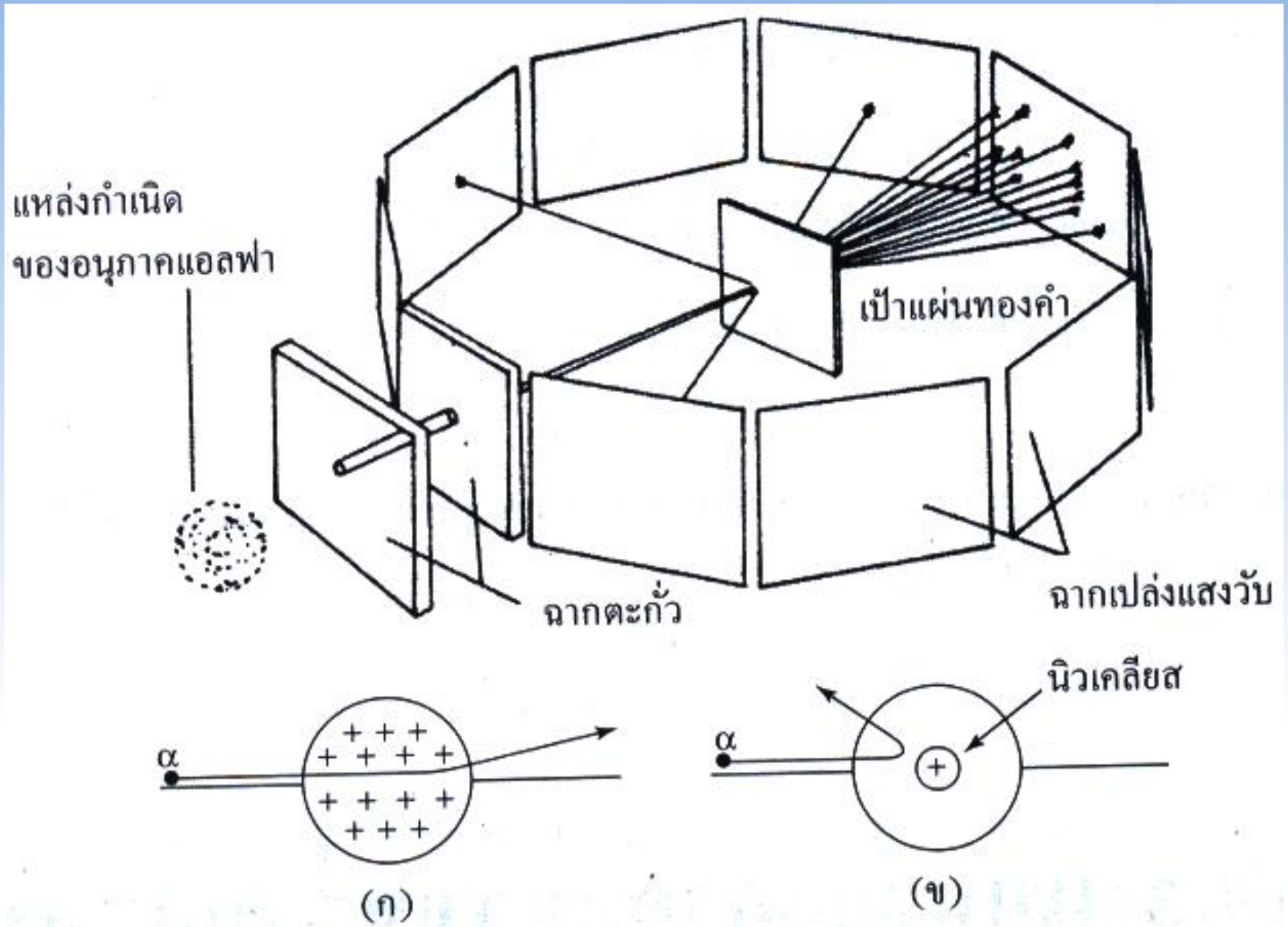
แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

2. ในสภาวะปกติอะตอมจะเป็นกลางทางไฟฟ้า โดยมีจำนวนประจุไฟฟ้าบวก และประจุไฟฟ้าลบเท่า ๆ กัน

แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

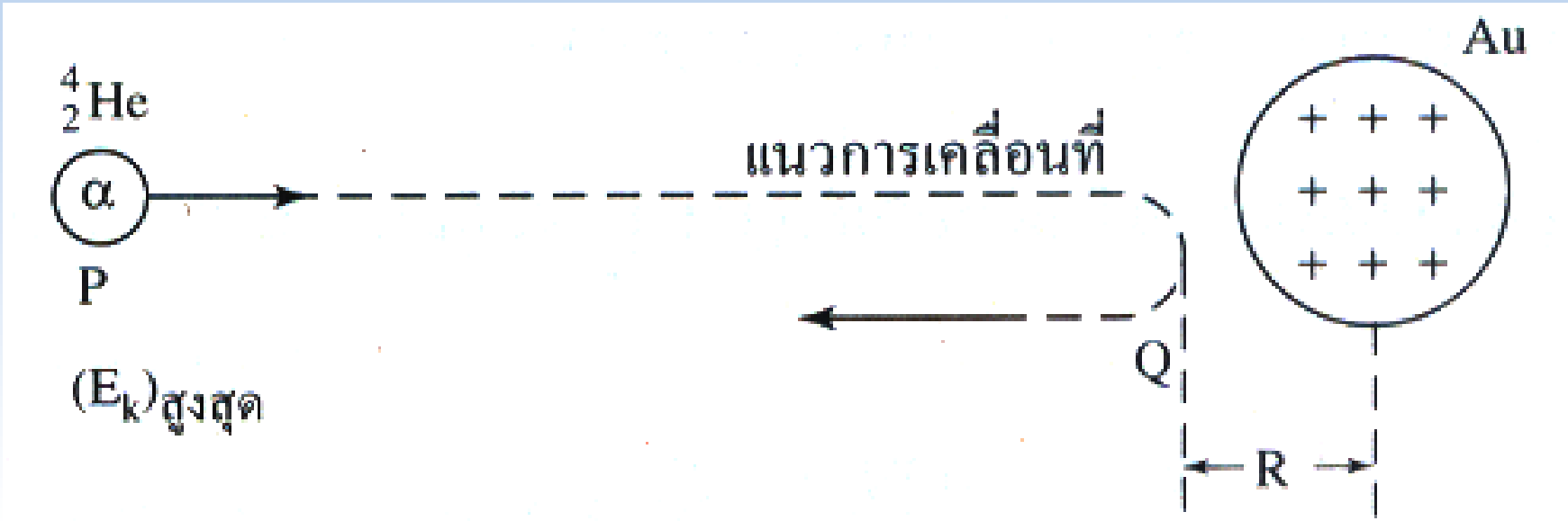
รัทเทอร์ฟอร์ดใช้อนุภาคแอลฟา จากธาตุพอโลเนียม ซึ่งมีความเร็วสูงประมาณ 10^7 เมตรต่อวินาที ยิงไปยังแผ่นทองคำบาง ๆ ซึ่งหนาประมาณ 400 อะตอม เพื่อศึกษาการเบนไปจากแนวเดิมของอนุภาคแอลฟา ผลการทดลองพบว่า

อนุภาคเกือบทั้งหมดทะลุผ่านแผ่นทองคำได้โดยมีการเบี่ยงเบนน้อยมาก แต่มีบางส่วนเบี่ยงเบนไปเป็นมุม 90-180 องศา

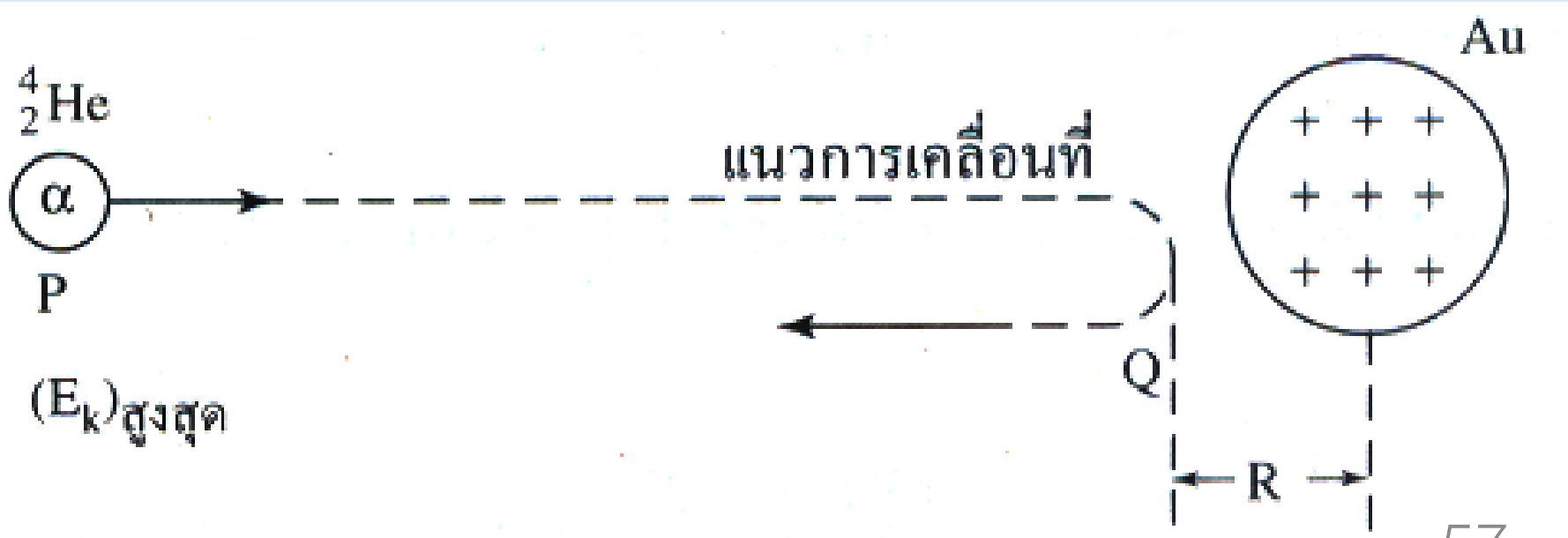

แหล่งกำเนิด
ของอนุภาคแอลฟา
เป้าแผ่นทองคำ
ฉากตะกั่ว
ฉากเปล่งแสงวับ
นิวเคลียส
α
α
(ก)
(ข)

จากการทดลอง ทำให้สรุปได้ว่า ภายในอะตอมมีที่ว่างมาก มวลส่วนใหญ่ของอะตอมรวมกันอยู่ที่ศูนย์กลางอะตอม โดยมีประจุไฟฟ้าบวก เรียกว่า นิวเคลียส และมีประจุไฟฟ้าลบ คือ อิเล็กตรอน วิ่งอยู่รอง ๆ ซึ่งขนาดของอะตอมก็ คือ รัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอน

การคำนวณหาระยะที่อนุภาคแอลฟาเข้าใกล้นิวเคลียสมากที่สุด



จากรูป ณ จุด P อนุภาคแอลฟามีพลังงานจลน์มากที่สุด (E_k สูงสุด) แล้วพลังงานจลน์จะลดลง โดยเปลี่ยนเป็นพลังงานศักย์ไฟฟ้าจนหมดที่จุด Q



จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน

$$\left(E_{k\ \text{สูงสุด}}\right) = \left(E_{p\ \text{สูงสุด}}\right)$$

$$\frac{1}{2}m_{\alpha}v^{2} = q_{\alpha}V_{Q}$$

$$\frac{1}{2}m_{\alpha}v^{2} = \frac{Kq_{\alpha}q_{AU}}{R}$$

m_α เป็นมวลของอนุภาคแอลฟา $= 4 \times 1.66 \times 10^{-27}$ กิโลกรัม

K เป็นค่าคงตัวจากกฎของคูลอมบ์

$= 9 \times 10^{9}$ นิวตัน-เมตร ต่อคูลอมบ์ $(N.m^2/C^2)$

q_α เป็นประจุไฟฟ้าของอนุภาคแอลฟา

$= 2 \times 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์ (C)

q_{AU} เป็นประจุไฟฟ้าของนิวเคลียสทองคำ

$= 79 \times 1.6 \times$ 10-19 คูลอมบ์

v เป็นความเร็วสูงสุดของอนุภาคแอลฟา

มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

R เป็นระยะทางจากศูนย์กลางนิวเคลียสทองคำถึงตำแหน่งที่อนุภาคแอลฟาใกล้นิวเคลียสที่สุด (ขนาดของนิวเคลียส)

ตัวอย่าง 4 ในการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด โดยยิงอนุภาคแอลฟาซึ่งมีพลังงานจลน์ 10 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ เข้าชนนิวเคลียสของทองคำ จงหาประมาณขนาดนิวเคลียสของทองคำ

วิธีทำ $$\left(E_{k\ \text{สูงสุด}}\right) = \frac{Kq_{\alpha}q_{AU}}{R}$$

พลังงานจลน์สูงสุดของแอลฟา = 10 MeV

$$\left(E_{k\ \text{สูงสุด}}\right) = 10 \times 10^{6} \times 1.6 \times 10^{-19}\ J$$

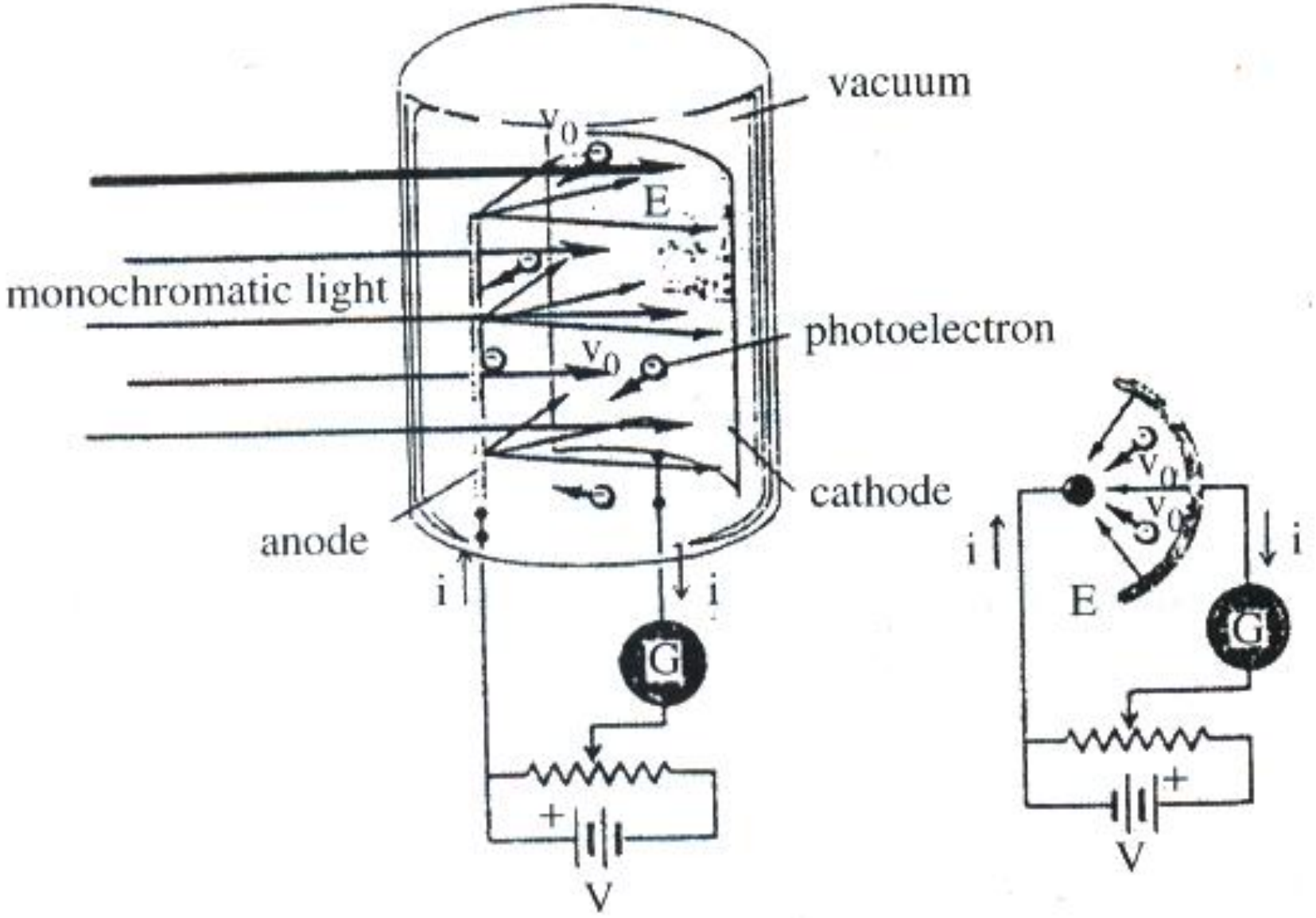
(1 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) = $1.6 \times 10^{-19}\ J$)

$$10 \times 10^{6} \times 1.6 \times 10^{-19} = \frac{9 \times 10^{9}(2 \times 1.6 \times 10^{-19})(79 \times 1.6 \times 10^{-19})}{R}$$

$$R = 2.27 \times 10^{-14}\ m$$

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อแสงที่มีความถี่สูงหรือความยาวคลื่นสั้นมาตกกระทบผิวโลหะในหลอดสุญญากาศ จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมของโลหะ


vacuum
v_0
E
monochromatic light
photoelectron
v_0
cathode
anode
i
i
G
+
V
v_0
v_0
v_0
i
i
E
G
+
V

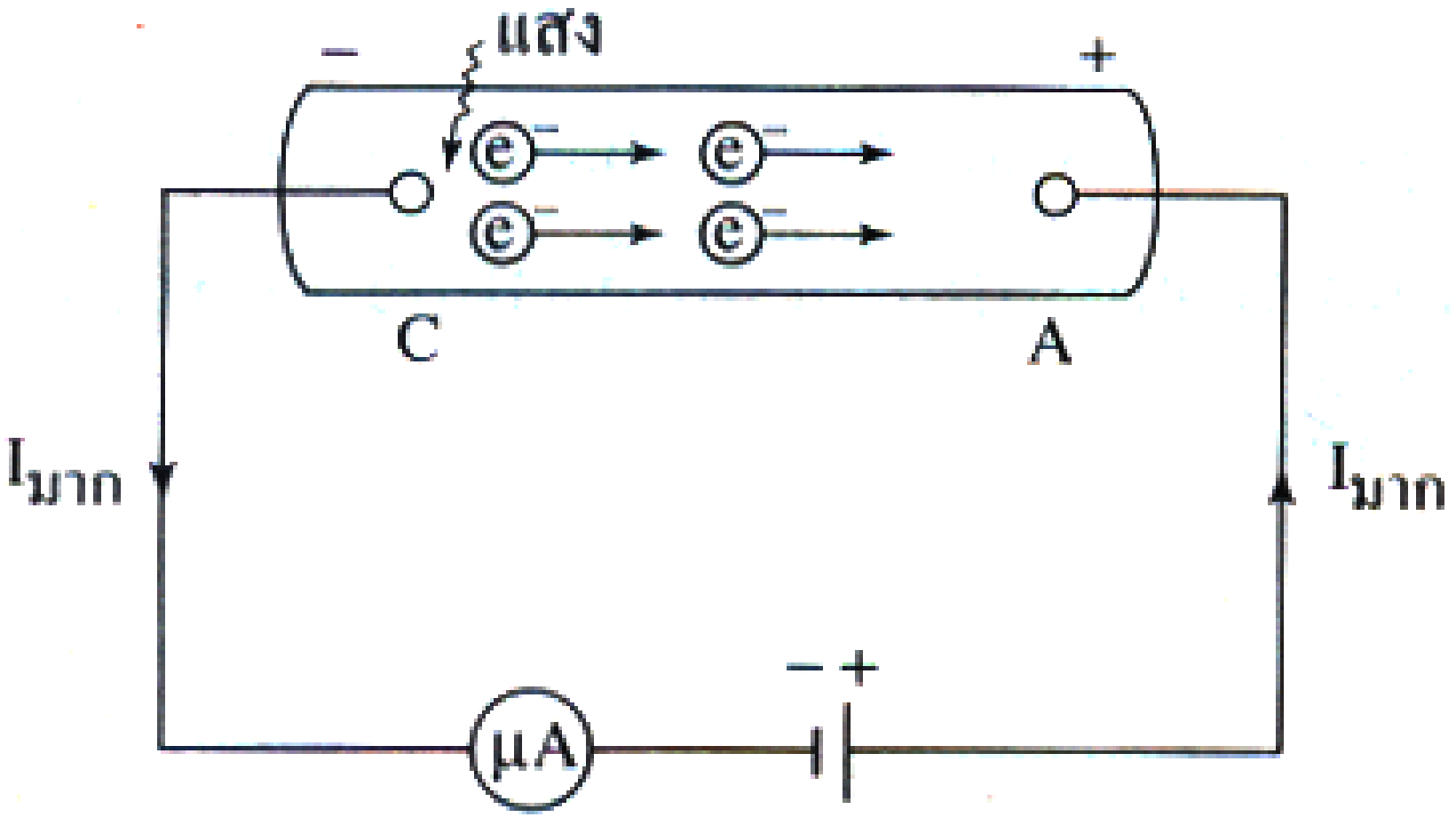
ในการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก จะศึกษาใน 2 ลักษณะ คือ

1. จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะขึ้นอยู่กับอะไร

2. พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่หลุดขึ้นอยู่กับอะไร

หลักการทำงานของหลอดโฟโตอิเล็กทริก

เมื่อแสงตกกระทบที่แผ่นโลหะ C (แคโทด) อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่มายังแผ่นโลหะ A (แอโนด) เกิดกระแสอิเล็กตรอน เรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน (photo electron) ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลแต่มีค่าน้อยมาก



แสดงวงจรเพื่อศึกษาจำนวนโฟโตอิเล็กตรอน

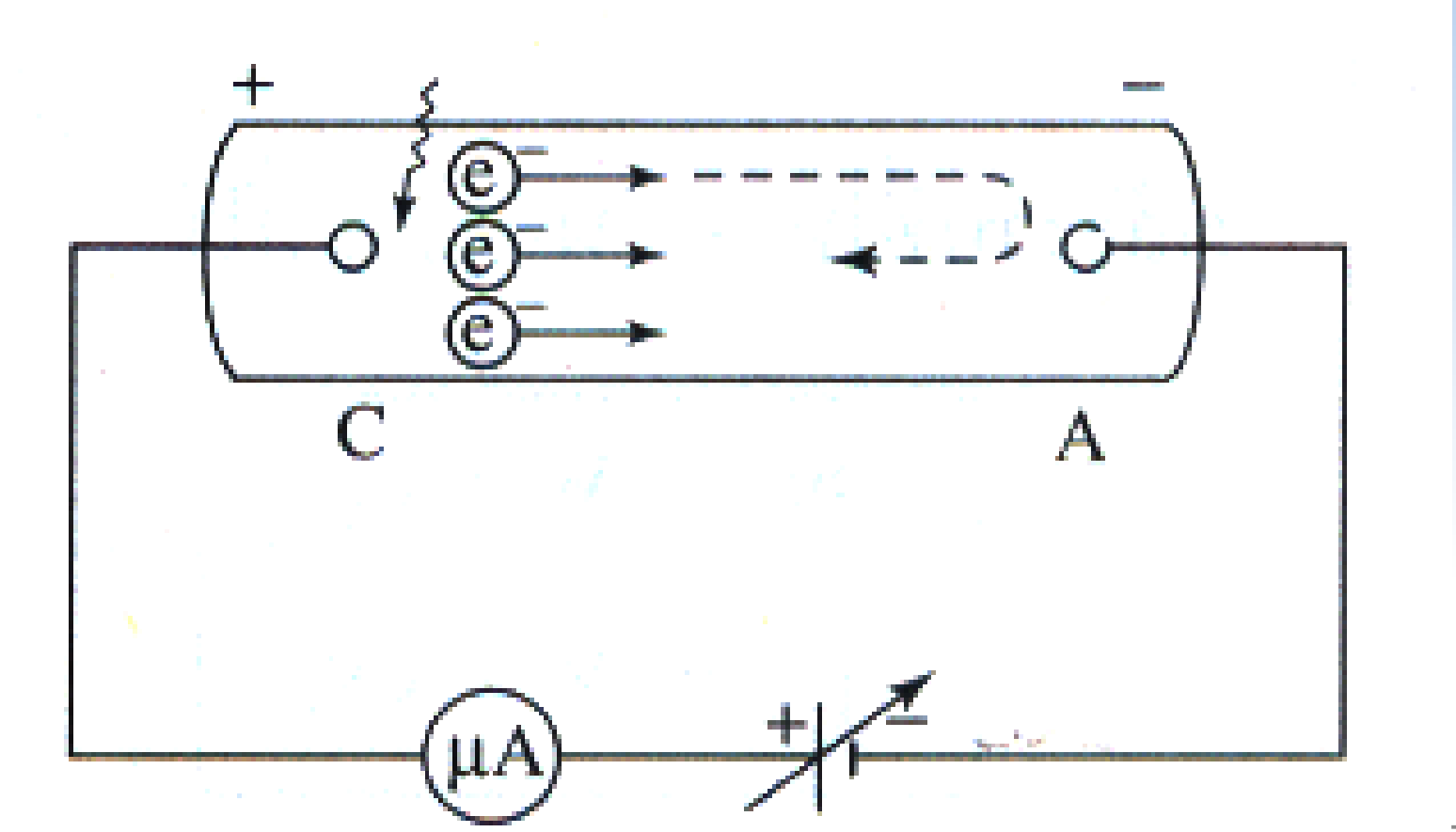
ถ้าเพิ่มเซลล์ไฟฟ้าทำให้ขั้ว C มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ (-) และขั้ว A มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก (+) จะเกิดสนามไฟฟ้าระหว่างขั้ว C และ A ทำให้มีจำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดไปถึง A มากขึ้นจึงมีกระแสไฟฟ้ามากขึ้น

1. ถ้าต้องการศึกษาว่า จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับความเข้มแสงหรือความถี่แสง

ก. ถ้าให้ความถี่แสงคงที่ (มากกว่าความถี่ขีดเริ่ม) แล้วเปลี่ยนความเข้มของแสง จำนวนกระแสโฟโตอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้น

ข. ถ้าให้ความเข้มของแสงคงที่ แล้วเปลี่ยนความถี่ของแส จำนวนกระแสโฟโตอิเล็กตรอนจะ ไม่เปลี่ยนแปลง

2. ถ้าต้องการศึกษาพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน



ใส่เซลล์ไฟฟ้าเพื่อให้เกิดสนามไฟฟ้าในทิศต้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน เมื่อฉายแสงแล้วอิเล็กตรอนหลุด จะมีพลังงานจลน์สูงสุด และพลังงานจลน์จะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานศักย์ไฟฟ้า เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ระหว่าง C กับ A จะทำให้กระแสไฟฟ้าลดลงจนเป็นศูนย์ แสดงว่ามีอิเล็กตรอนหลุดจาก C แต่วิ่งไม่ถึง ถึง A

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน พลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน (E_{kmax}) จะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานศักย์ไฟฟ้า (eVs)

$$E_{k\,max} = eV_s$$

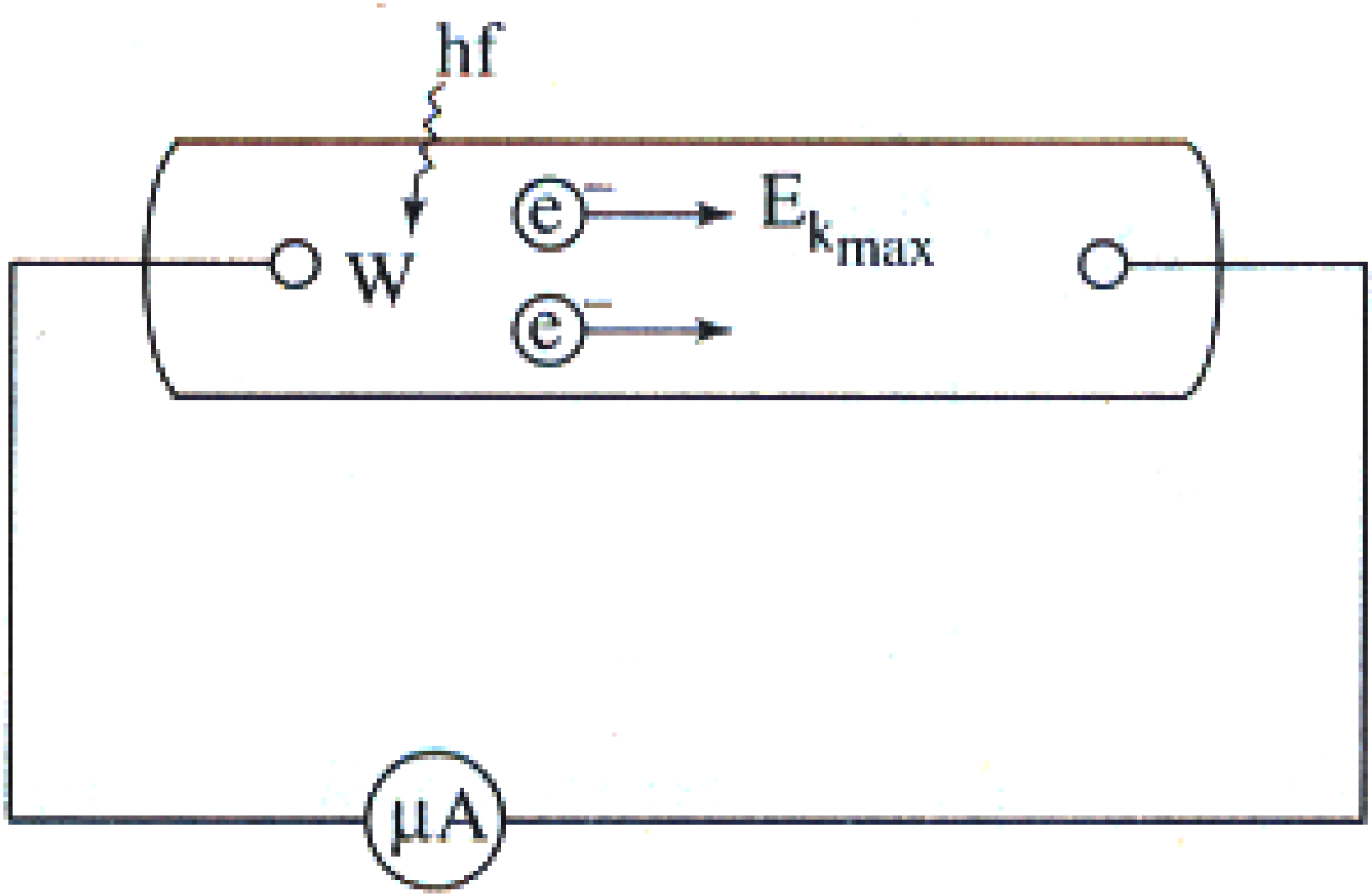
$$\frac{1}{2}mv^2{}_{max} = eV_s$$

เมื่อ V_s คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง C กับ A ที่ทำให้กระแสโฟโตอิเล็กตรอนหยุดพอดี เรียกความต่างศักย์นี้ว่า <u>ความต่างศักย์หยุดยั้ง</u>

(stopping potential)

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกของไอน์สไตน์

เมื่อโฟตอนตกกระทบผิวโลหะจะถ่ายโอนพลังงาน hf กับอิเล็กตรอนของโลหะ แต่อิเล็กตรอนจะหลุดจากผิวโลหะก็ต่อเมื่อได้รับพลังงานที่มีค่าอย่างต่ำเท่ากับพลังงานที่โลหะยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนไว้ (work function)



แสดงการฉายแสงพลังงาน ***hf*** บนแผ่นโลหะ

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน

$$hf = W + E_{k_{max}}$$

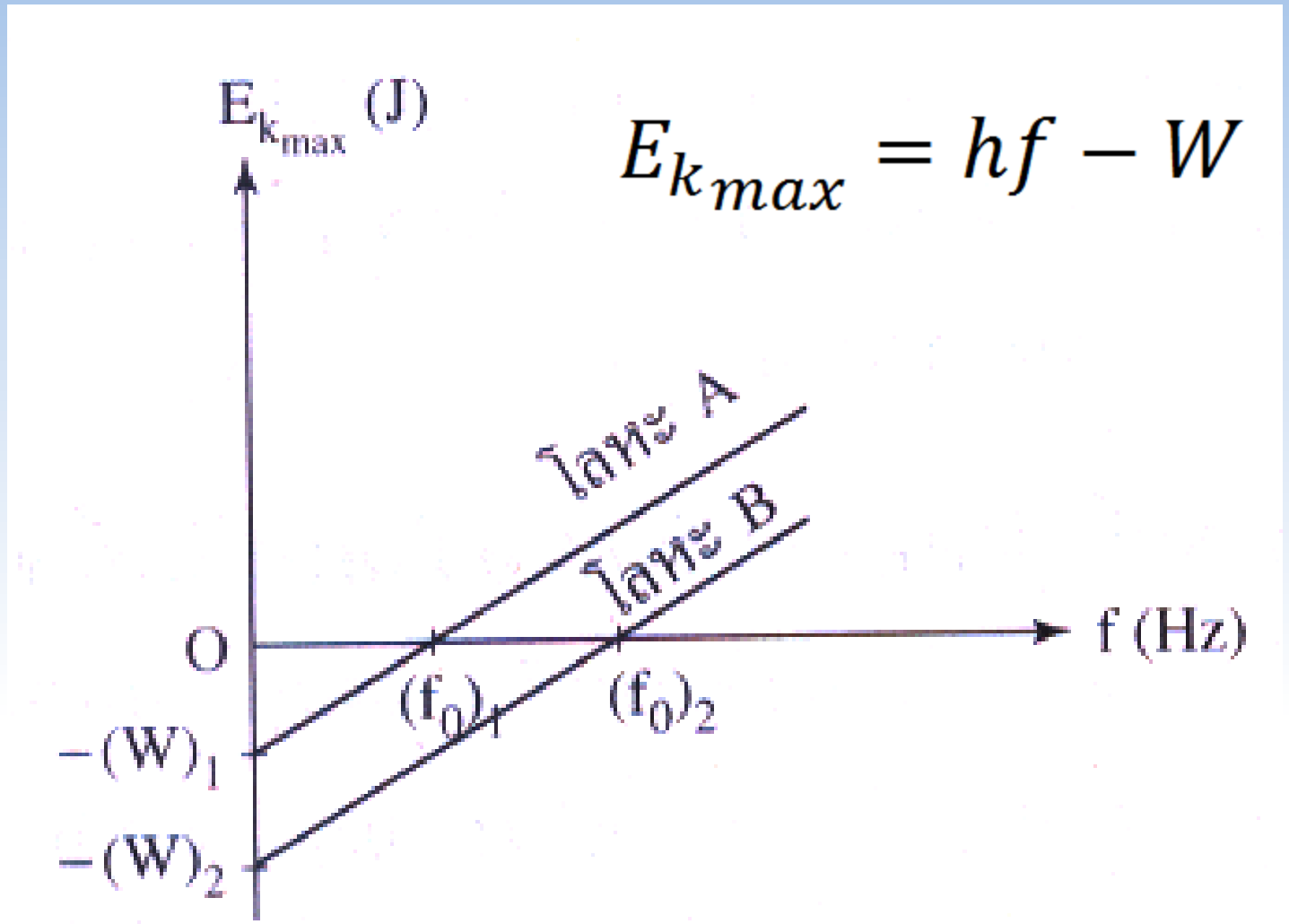
$$\frac{hc}{\lambda} = W + eV_s$$

ถ้าฉายแสงด้วยความถี่ขีดเริ่ม (f_0) นั่นคือ อิเล็กตรอนหลุดพอดี แต่ไม่มีความเร็ว ($E_{kmax} = 0$)

ดังนั้น

$$hf = hf_0 + E_{k_{max}}$$

กราฟของปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก



สรุปปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

1. แสงเป็นกลุ่มก้อนพลังงาน เรียกว่า โฟตอน
2. 1 โฟตอน $= hf = \frac{hc}{\lambda}$
3. ถ้าฉายแสงน้อยกว่าความถี่ขีดเริ่ม f_0 ; อิเล็กตรอนไม่หลุด

   ถ้าฉายแสงเท่ากับความถี่ขีดเริ่ม f_0 ; $hf_0 = w$

   ถ้าฉายแสงมากกว่าความถี่ขีดเริ่ม f_0 ; $hf = w + E_{k_{max}}$
4. E_{kmax} เป็นพลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอน= eV_s

ตัวอย่าง 5 พลังงานยึดเหนี่ยวของโฟแทสเซียมเท่ากับ 2.25 อิเล็กตรอนโวลต์ ถ้าแสงความยาวคลื่น 360 นาโนเมตรตกบนผิวโลหะ จงหา

ก. พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กทริก

ข. ความเร็วสูงสุดของโตอิเล็กทริก

ค. ความถี่ขีดเริ่ม

วิธีทำ จาก $E = \frac{1240}{\lambda(nm)} eV$

จากสมการโฟโตอิเล็กทริก $hf = W + E_{k_{max}}$

hf เป็นพลังงานที่แสงตกกระทบโลหะ $= \frac{1240}{360}$

$= 3.44\ eV$

W เป็นพลังงานยึดเหนี่ยว = 2.25 eV

หาพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กทริก

$$E_{k_{max}} = hf - W$$

$$E_{k_{max}} = 3.44 - 2.25$$

$$= 1.19\ eV$$

$$= 1.19 \times 1.6 \times 10^{-19}\ J$$ ตอบ

ข. จาก $E_{k_{max}} = \frac{1}{2}mv^2$

$$1.9 \times 10^{-19} = \frac{1}{2}(9.1 \times 10^{-19})v^2$$

$$v_{max} = 6.5 \times 10^5 \ m/s \quad \underline{\text{ตอบ}}$$

ค. จาก $E_{k_{max}} = eV_s$

$$= 1.19 \ eV \quad \underline{\text{ตอบ}}$$

ง. จาก $W = hf_0$

$$2.25 \times 1.6 \times 10^{-19} = 6.6 \times 10^{-34}\ f_0$$

$$f_0 = 5.45 \times 10^{14}\ Hz$$ ตอบ

ทฤษฎีอะตอมของโบร์

ในปี พ.ศ. 2456 โบร์ (Niels Bohr) นักฟิสิกส์ชาวเดนมาร์ก ได้เสนอทฤษฎีอะตอมโดยตั้งสมมติฐานว่า

1. มีวงพิเศษบางวงที่อิเล็กตรอนจะวนอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสโดยไม่ปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นอิเล็กตรอนจะไม่สูญเสียพลังงาน จึงไม่ชนนิวเคลียส

2. ในวงโคจรดังกล่าว อิเล็กตรอนจะวิ่งวนโดยมีโมเมนตัมเชิงมุมคงตัว และเป็นจำนวนเต็มเท่าของ h

$$L = mvr = n\bar{h}$$

เมื่อ n = เลขควอนตัม = 1,2,3…

$$\bar{h} = \frac{h}{2\pi} = 1.05459 \times 10^{-34}$$

จูล − วินาที $(J.s)$

3. อิเล็กตรอนจะรับหรือคายพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนวงโคจรเท่านั้น

$$\Delta E = E_i - E_f$$

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

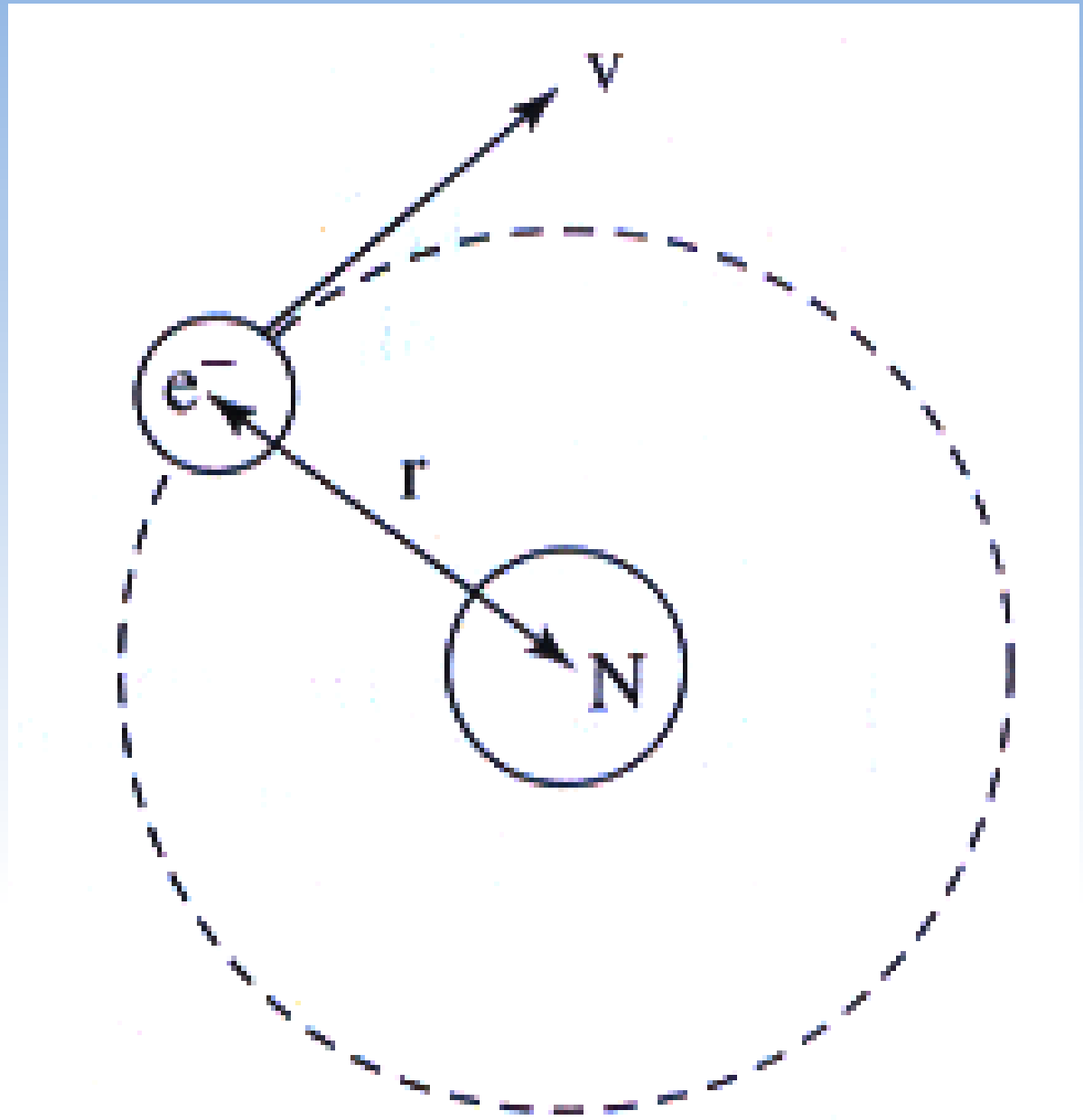
ถ้า ΔE เป็นบวก อิเล็กตรอนจะปลดปล่อยพลังงาน

ΔE เป็นลบ อิเล็กตรอนจะรับพลังงาน

จากสมมติฐาน 3 ข้อ ของโบร์ สามารถนำไปคำนวณหา รัศมีของวงโคจร อัตราเร็วในแต่ละชั้นของวงโคจร ความถี่ในแต่ละชั้นของวงโคจร และระดับพลังงานแต่ละชั้นของอิเล็กตรอนสำหรับอะตอมไฮโดรเจน ดังนี้

1. การหารัศมีของวงโคจรของอิเล็กตรอน

แรงที่กระทำกับอิเล็กตรอน คือ แรงทางไฟฟ้าจากกฎของคูลอมบ์ $\left(F_E = \frac{kq_e q_N}{r^2} = \frac{ke^2}{r^2} \right)$


v
e⁻
r
N

$$r_n = \frac{(n\bar{h})}{ke^2m}$$

$\bar{h} = 1.054 \times 10^{-34}\ J.s$

$k = 9 \times 10^9\ N.m^2/C^2$

$e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$

$m = 9.1 \times 10^{-31}\ kg$

$$r_n = (5.3 \times 10^{-11})\, n^2$$

$$r_n \propto n^2$$

เมื่อ r_n เป็นรัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนในชั้นที่ n ใด ๆ

ชั้นที่ 1 (n=1) อิเล็กตรอนห่างจากกึ่งกลางนิวเคลียส

$$(a_0) = 5.3 \times 10^{-11} \text{ เมตร}$$

ชั้นที่ 2 (n=2) อิเล็กตรอนห่างจากกึ่งกลางนิวเคลียส

$$= 4r_1$$

$$= 4 \times 5.3 \times 10^{-11} \text{ เมตร}$$

2. <u>การหาอัตราเร็วของอิเล็กตรอนในแต่ละชั้น</u>

สำหรับอะตอมไฮโดรเจน

จากสมการ $ke^2 = mv^2r$

$$v = \frac{ke^2}{mvr}$$

$$v_n = \frac{ke^2}{n\bar{h}}$$

เมื่อแทนค่าคงตัวต่าง ๆ จะได้

$$v_n = \frac{2.18 \times 10^6}{n}\ m/s$$

3. <u>การหาความถี่ของอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสในแต่ละชั้น</u>

จากสมการ $$v = 2\pi r f$$

ดังนั้น $$f_n = \frac{v_n}{2\pi r_n}$$

เมื่อแทนค่า v_n และ r_n จะได้

$$f_n = \frac{k^2 e^4 m}{2\pi n^3 h^3}$$

เมื่อแทนค่าคงตัว จะได้

$$f_n = \frac{6.65 \times 10^{15}}{n^3} \; Hz$$

4. <u>การหาระดับพลังงานในแต่ละชั้น</u> สำหรับอะตอมไฮโดรเจน

ในการพิจารณาโบร์ถือว่านิวเคลียสไม่เคลื่อนที่ และพลังงานรวมของอะตอมก็ คือ พลังงานรวมของอิเล็กตรอนรอบ ๆ นิวเคลียสนั่นเอง

พลังงานของอะตอม (E_n) = พลังงานรวมของอิเล็กตรอน

= พลังงานศักย์ไฟฟ้า (E_n) + พลังงานจลน์ (E_k)

พลังงานศักย์ของอิเล็กตรอนในสนามไฟฟ้าของนิวเคลียส

$$E_p = -\frac{ke^2}{r_n}$$

หาพลังงานจลน์ (E_k) จากแรงสู่ศูนย์กลาง (แรงทางไฟฟ้า)

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\frac{ke^2}{r_n}$$

$\therefore$ พลังงานของอะตอม (E_n)

$$= \left(-\frac{ke^2}{r_n}\right) + \left(\frac{1}{2}\frac{ke^2}{r_n}\right)$$

$$E_n = -\frac{1}{2}\frac{ke^2}{r_n}$$

แทนค่า r_n จะได้

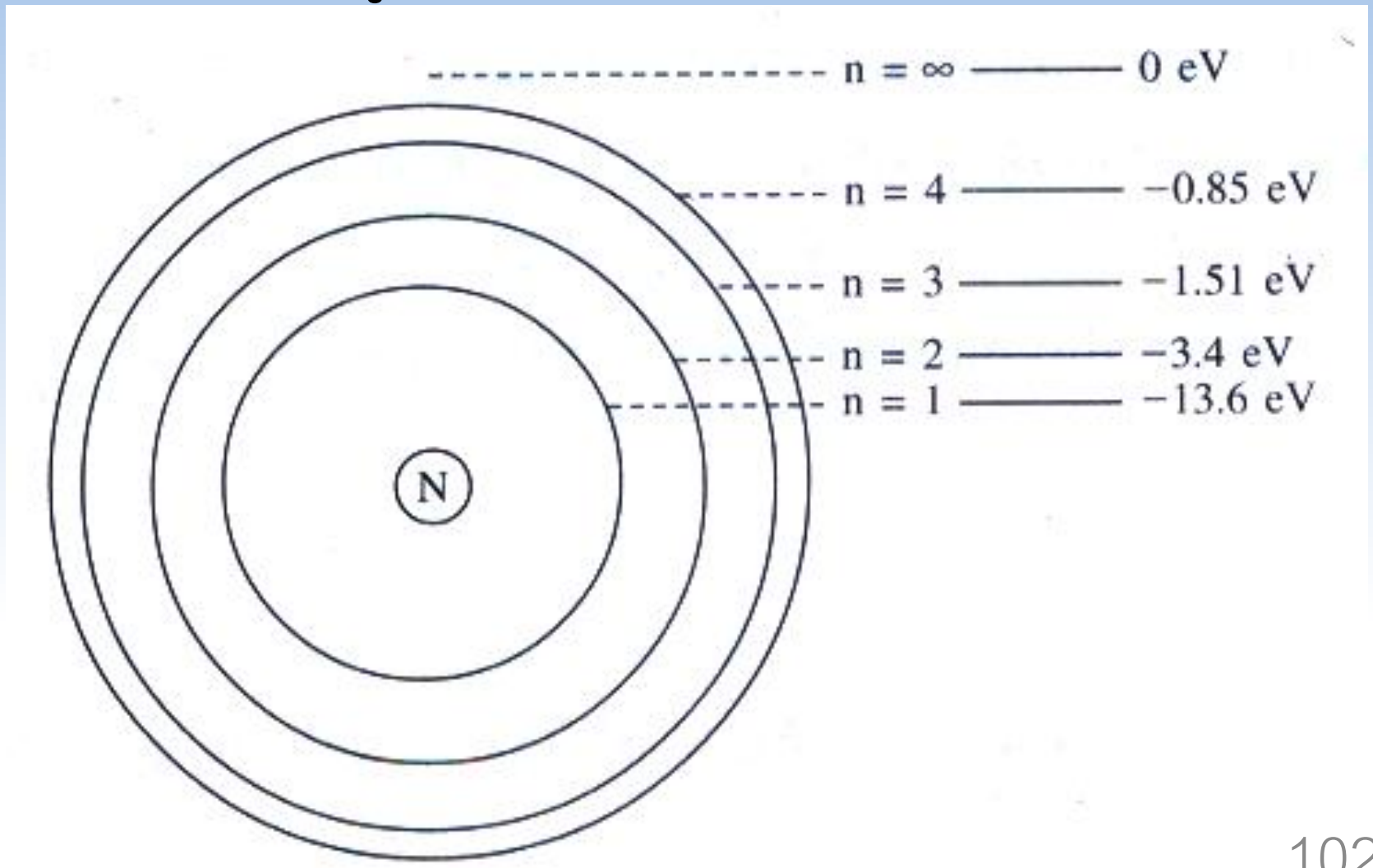
$$E_n = -\frac{1}{2}\frac{ke^4m}{(n\bar{h})^2}$$

แทนค่าคงตัวต่าง ๆ จะได้

$$E_n = -\left(\frac{21.76 \times 10^{-19}}{n^2}\right) J$$

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2}\ eV$$

สำหรับอะตอมไฮโดรเจน สามารถเขียนระดับชั้นพลังงานได้ดังรูป



การนำทฤษฎีของโบร์มาอธิบายการดูดกลืนและปลดปล่อยพลังงาน

1. อะตอมดูดกลืนพลังงานจากภายนอก เมื่ออะตอมรับพลังงานจากภายนอก อะตอมจะไม่เสถียร อิเล็กตรอนจะเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานจากสถานะพื้น(ground state) ชั้นที่ 1 ไปสู่สถานะกระตุ้น (excited state) ซึ่งสามารถหาพลังงานที่อะตอมดูดกลืนได้จากสมมติฐานข้อที่ 3 ของโบร์ คือ

$$\Delta E = E_i - E_f$$

- ถ้าอิเล็กตรอนเปลี่ยนจากชั้นที่ 1 ไปชั้นที่ 2 เรียกว่า สถานะกระตุ้นที่ 1

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

$$\Delta E = -13.6 - (-3.4)$$

$$= -10.2 \text{ eV}$$

- ถ้าอิเล็กตรอนเปลี่ยนจากชั้นที่ 1 ไปชั้นที่ 3 เรียกว่า สถานะกระตุ้นที่ 2

$$\Delta E = -13.6 - (-1.5)$$

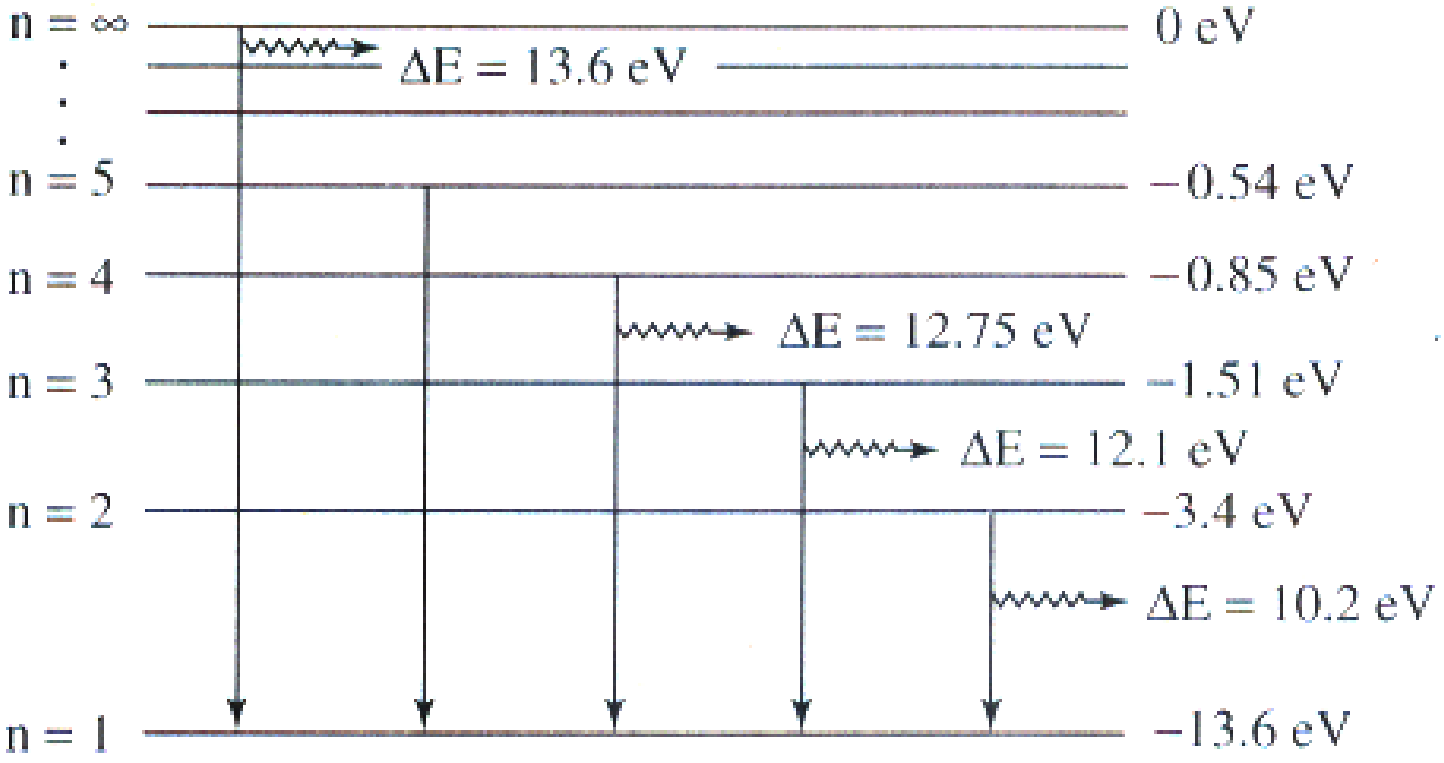
$$= -12.1 \text{ eV}$$

- ถ้าอิเล็กตรอนเปลี่ยนจากชั้นที่ 1 ไปชั้นที่ ∞ เรียกว่า ไอออไนเซชัน (ionization)

$$\Delta E = -13.6 - (0)$$

$$= -13.6 \text{ eV}$$

นั้น คือ ถ้าให้พลังงานกับอะตอม 13.6 eV อิเล็กตรอนจะหลุดเป็นอิสระ เรียนพลังงานนี้ว่า พลังงานไอออนไนเซชัน (ionization energy) สำหรับ ΔE ที่เป็นลบ (–) แสดงว่า <u>อะตอมรับพลังงาน</u>



แสดงการปลดปล่อยพลังงานจากอะตอมและอิเล็กตรอนกลับสู่ชั้นที่ 1

รังสี เอกซ์

เรินต์เกน (wilhelm Konrad Roengen) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ได้พบรังสีเอกซ์ โดยบังเอิญ ในปี พ.ศ. 2438 ขณะที่ทำการทดลองเกี่ยวกับหลอดรังสีแคโทด

รังสี เอกซ์มีสมบัติ ดังนี้

1. มีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ
2. ทำให้ก๊าซแตกตัวเป็นไอออนได้
3. ไม่เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก
4. เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก

รังสี เอกซ์มีสมบัติ ดังนี้

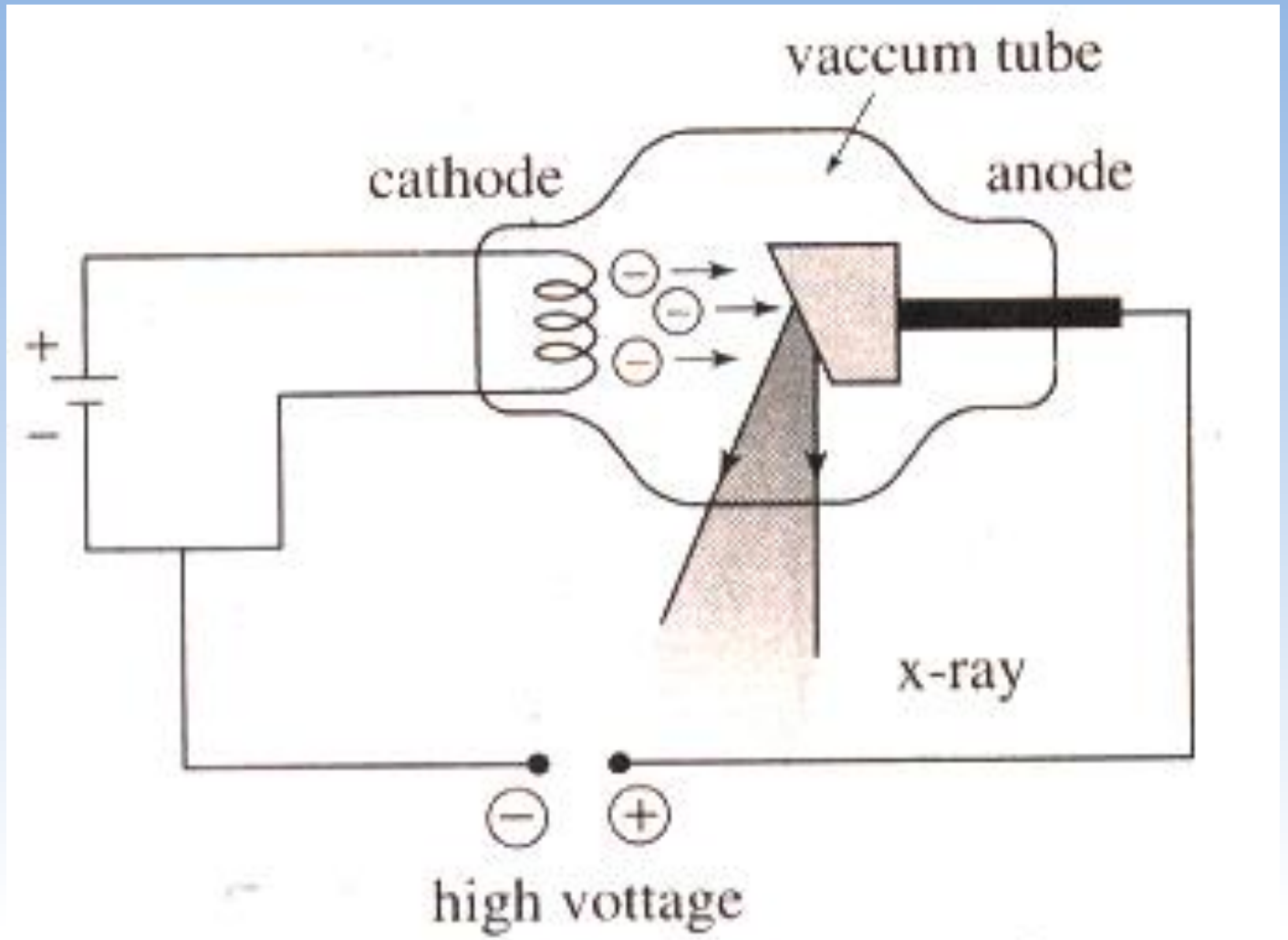
5. ทำให้สารเกิดการเรืองแสงได้
6. ทำปฏิกิริยากับแผ่นฟิล์ม
7. มีอันตรายและทำลายเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

ประโยชน์ของรังสีเอกซ์

1. ใช้ในการถ่ายภาพให้เห็นโครงสร้างภายในของร่างกาย เช่น โครงกระดูก
2. ใช้ในการหาโครงสร้างของผลึกต่าง ๆ โดยอาศัยการแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในผลึก

ประโยชน์ของรังสีเอกซ์

3. ใช้ในทางอุตสาหกรรมการตรวจสอบข้อบกพร่องหรือรอยร้าวของโครงสร้างของโครงสร้างต่าง ๆ
4. ใช้ตรวจหาอาวุธปืนและวัตถุระเบิด



แสดงวงจรหลอดรังสีเอกซ์

การเกิดรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง (continous spectrum)

เกิดจากอิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนอะตอมของเป้าทังสเตนแล้วหลุด จะปลดปล่อยรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงสุด หรือเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ช้าลงจะปลดปล่อยพลังงานค่าต่าง ๆ กัน

เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งชนอะตอมของเป้าแล้วหยุด พลังงานจลน์ทั้งหมดของอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปของรังสีเอกซ์

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

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

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

เมื่อ h = ค่าคงตัวพลังค์ = 6.63×10^{-34} จูล-วินาที

c = ความเร็วแสง = 3×10^{8} เมตรต่อวินาที

e = ประจุของอิเล็กตรอน = 1.6×10^{-19} คูลอมบ์

V = ความต่างศักย์ที่ใช้ในการเร่งอิเล็กตรอนเข้าชนเป้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

เมื่อแทนค่าคงตัวต่าง ๆ จะได้

$$\lambda_{min} = \frac{1240}{V}\ nm$$

ตัวอย่าง 1 ความต่างศักย์ที่คร่อมหลอดรังสีเอกซ์เป็น 200 กิโลโวลต์ จงคำนวณหา

ก. ความเร็วของอิเล็กตรอนที่มาถึงแอโนด ถ้าอิเล็กตรอนมีความเร็วต้นเป็นศูนย์

ข. ความยาวคลื่นที่น้อยที่สุดของรังสีเอกซ์

วิธีทำ ก. $E_{k_{max}} = eV$

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV$$

$$v^2 = \frac{2(1.6 \times 10^{-19})(200 \times 10^3)}{9.1 \times 10^{-3}}$$

$$= 7.03 \times 10^{16}$$

$$v = 2.65 \times 10^8 \, m/s$$ ตอบ

ข. $\lambda_{min} = \frac{1240}{V}\ nm$

$= \frac{1240}{200 \times 10^3}$

$= 6.2 \times 10^{-3}\ nm$ ตอบ

ตัวอย่าง 2 หลอดรังสีเอกซ์ทำให้เกิดรังสีเอกซ์แผ่ออกมา โดยมีความยาวคลื่น 1.5 นาโนเมตร จงหาศักย์ไฟฟ้าของรังสีเอกซ์

วิธีทำ

$$\lambda_{min} = \frac{1240}{V}\ nm$$

$$V = \frac{1240}{\lambda_{min}} = \frac{1240}{1.5}$$

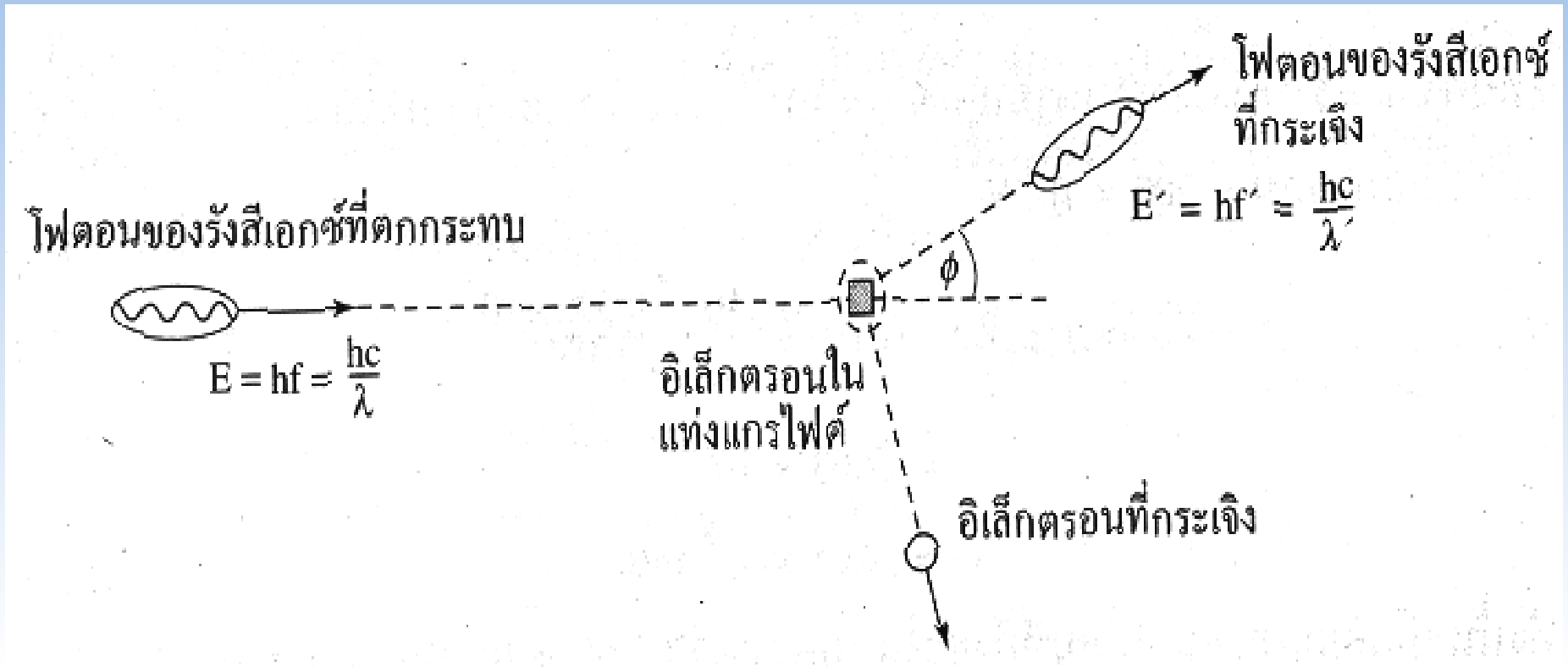
$$= 826.66\ nm$$

ตอบ

ทวิภาคของคลื่นและอนุภาค

ปรากฏการณ์คอมป์ตัม(Compton effect)

ในปี พ.ศ. 2466 คอมป์ตัม (Arthur H.Comptor) นักฟิสิกส์ชาวอเมริกา ได้ทดลองฉายรังสีเอกซ์ให้ตกกระทบอิเล็กตรอนในแท่งแกรไฟต์ ปรากฏว่า อิเล็กตรอนและรังสีเอกซ์กระเจิงออกจากกัน



แสดงการกระเจิงของอิเล็กตรอนและรังสีเอกซ์

เมื่อวัดความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมา พบว่าจะขึ้นอยู่กับมุมที่กระเจิง (ϕ) ถ้ามุมที่กระเจิงมีค่ามาก ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่กระเจิงจะมีค่ามาก และความยาวคลื่นที่เปลี่ยนไปนี้จะไม่ขึ้นกับความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบ

จากการเกิดปรากฏการณ์คอมป์ตัม ทำให้เกิดแนวความคิดที่ว่า รังสีเอกซ์ประกอบด้วยก้อนพลังงานที่เรียกว่า **โฟตอน**

ดังนั้นการชนกันระหว่างโฟตอนของรังสีเอกซ์กับอิเล็กตรอนในแท่งแกรไฟต์ จึงเหมือนกับการชนกันระหว่างอนุภาคกับอนุภาค คือ เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงานและกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม

ทำให้สรุปได้ว่า ปรากฏการณ์คอมป์ตันเป็นปรากฏการณ์ที่สนับสนุนแนวคิดของไอน์สไตน์ที่ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีสมบัติเป็นอนุภาคได้

สมมุติฐานของเดอบรอยล์

ในปี พ.ศ. 2467 เดอ บรอยล์ (Louis De Broglie) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและโมเมนตัมของโฟตอน โดยอาศัยทฤษฎีสัมพันธภาพของไอน์สไตน์

จากสมการ $E = mc^2$

สำหรับโฟตอน $E = hf$

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

ดังนั้น $\frac{hc}{\lambda} = mc^2$

แต่ mc = โมเมนตัมของโฟตอน = P

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

สำหรับอนุภาคมวล m เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v จะมีโมเมนตัม P = mv ดังนั้นความยาวคลื่นของอนุภาคหรือความยาวคลื่นสสาร เขียนความสัมพันธ์ได้

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

<u>ตัวอย่าง 1</u> จงคำนวณความยาวคลื่น เดอ บรอยล์ ของอนุภาคต่อไปนี้

ก. รถยนต์มวล 1 ตัน เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 100 เมตรต่อวินาที

ข. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.0×10^{6} เมตรต่อวินาที

<u>วิธีทำ</u> ก. จากสมการ $\lambda = \frac{h}{mv}$

รถยนต์มวล (m) = 1,000 kg , ความเร็ว (v) = 100 m/s

$$\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{(1000)(100)}$$

$$= 6.63 \times 10^{-39} \quad \#$$

<u>วิธีทำ</u> ข. อิเล็กตรอนมวล (m) = 9.1×10^{-31} kg

ความเร็ว (v) = 2.0×10^{6} m/s

$$\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{(9.1 \times 10^{-34})(2 \times 10^{6})}$$

$$= 3.64 \times 10^{-10} \quad m \quad \#$$

ตัวอย่าง 2 เร่งอนุภาคประจุไฟฟ้า q ด้วยความต่างศักย์ v โวลต์ อนุภาคประจุไฟฟ้าจะปล่อยคลื่น เดอบรอยล์ ความยาวคลื่นเท่าใด

<u>วิธีทำ</u> จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน

$$qV = \frac{1}{2}mv^2$$

$$2qV = \frac{m^2v^2}{m}$$

$$2m(qV) = P^2$$

$$P = \sqrt{2m(qV)}$$

จาก $$\lambda = \frac{h}{P}$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m(qV)}} \quad \#$$

<u>ตัวอย่าง 3</u> รถยนต์คันหนึ่งมีมวล 1,000 กิโลกรัม แล่นด้วยความเร็ว 72 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถ้าคิดว่ารถยนต์คันนี้เป็นคลื่นจะมีความยาวคลื่น เดอ บรอยด์ เท่าใด (กำหนดค่านิจของพลังค์ เท่ากับ 6.6×10^{-34} จูล/วินาที

วิธีทำ m = 1000 kg , v = 72 km/hr (20 m/s)

h = 6.63×10^{-34} J.s

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

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1000 \times 20}$$

$$= 3.3 \times 10^{-38} \quad m \quad \#$$

ตัวอย่าง 4 จงหาความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่ด้วยพลังงานจลน์ 5 อิเล็กตรอนโวลต์

<u>วิธีทำ</u> $E_k = 5\ eV = 5\times1.6\times10^{-19}\ J$

$m = 9\times10^{-31}\ kg$

จาก $$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$2E_k = mv^2$$

$$2E_k m = (mv)^2$$

$$mv = \sqrt{2E_k m}$$

จาก $\lambda = \frac{h}{mv}$

$$= \frac{h}{\sqrt{2E_k m}}$$

$$\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9 \times 10^{-31} \times 5 \times 1.6 \times 10^{-19}}}$$

$$= 0.55 \times 10^{-9} \quad m \ \#$$

<u>ตัวอย่าง 5</u> อนุภาคชนิดหนึ่งมีมวล 3.2×10^{-27} กิโลกรัม ประพฤติตัวเป็นคลื่นที่มีพลังงาน 1 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ความยาวคลื่นของอนุภาคนี้เท่ากับ เท่าใด (กำหนดค่านิจของพลังค์ เท่ากับ 6.6×10^{-34} จูล/วินาที)

วิธีทำ

จาก $$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2E_k m}}$$

$$\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 3.2 \times 10^{-27} \times 10^{6} \times 1.6 \times 10^{-19}}}$$

$$= 2.1 \times 10^{-14} \quad m \quad \#$$

ตัวอย่าง 6 อนุภาคมวล m มีพลังงานเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า ของพลังงานจลน์เดิม ความยาวคลื่นของ เดอ บรอยด์ ของอนุภาคนี้ ในครั้งหลังจะเป็นกี่เท่าของความยาวคลื่น เดอ บรอยด์ ครั้งแรก

วิธีทำ

$$E_{k(2)} = 4E_{k(1)}$$

จาก $$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2E_k m}}$$

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{h}{\sqrt{2mE_{k(2)}}} \cdot \frac{\sqrt{2mE_{k(1)}}}{h} = \sqrt{\frac{1}{4}}$$

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{1}{2}$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2}\lambda_1 \quad \#$$

ตัวอย่าง 7 ตามสมมติฐานของ เดอ บรอยต์ อนุภาคน่าจะแสดงสมบัติของคลื่นได้ ดังนั้น รังสีบีตา (ซึ่งมีประจุและมวลเท่ากับอิเล็กตรอน) ที่มีพลังงาน 858.50 keV น่าจะมีความยาวคลื่นเท่ากับ เท่าใด

วิธีทำ จาก $\lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2E_k m}}$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 858.5 \times 10^{3} \times 1.6 \times 10^{-19}}}$$

$$= 1.326 \times 10^{-16} \quad m \quad \#$$

<u>ตัวอย่าง 8</u> ไฮโดรเจนอะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้นมีพลังงานเท่ากับ -0.9×10^{-19} จูล ค่าความยาวคลื่น เดอ บรอยต์ ของอิเล็กตรอนในอะตอมนี้เท่ากับเท่าใด

วิธีทำ

จาก $E_{รวม} = -0.9 \times 10^{-19}\ J$

$$|E_{รวม}| = 0.9 \times 10^{-19}\ J$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2E_k m}}$$

$$\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 0.9 \times 10^{-19}}}$$

$$= 1.64 \times 10^{-9}\ \ m\ \ \#$$

ตัวอย่าง 9 ความยาวคลื่น เดอ บรอยล์ ของอิเล็กตรอนเท่ากับ 0.10 นาโนเมตร พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนมีค่าเท่าไร

วิธีทำ

จาก $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2E_k m}}$

$$\lambda^2 = \frac{h^2}{2E_k m}$$

$$E_k = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

$$E_k = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{2(9.1 \times 10^{-31})(0.1 \times 10^{-9})^2}$$

$$= 2.4 \times 10^{-17} \quad J \qquad \#$$

<u>ตัวอย่าง 10</u> ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และฮีเลียมไอออน (He^+) ถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า 10^6 โวลต์ ไฮโดรเจนไอออนจะมีความยาวคลื่นเดอ บรอยด์ เป็นกี่เท่าของฮีเลียมไอออน

<u>วิธีทำ</u>

$$m_{He} = 4m_H$$

จาก $$E_P = E_k$$

$$qV = \frac{1}{2}mv^2$$

$$2qV = mv^2$$

$$2qVm = (mv)^2$$

$$mv = \sqrt{2qVm}$$

จาก $\lambda = \frac{h}{mv} \cdot \frac{h}{\sqrt{2qVm}}$

$$\frac{\lambda_H}{\lambda_{He}} = \frac{h}{\sqrt{2qVm_H}} \cdot \frac{\sqrt{2qVm_{He}}}{h}$$

$$\frac{\lambda_H}{\lambda_{He}} = \sqrt{\frac{m_{He}}{m_e}} \cdot \sqrt{4}$$

$$\frac{\lambda_H}{\lambda_{He}} = 2$$

$$\lambda_H = 2\lambda_{He} \quad \#$$

ตัวอย่าง 11 ถ้ามวลของอนุภาค A เป็นครึ่งของอนุภาค B เมื่ออนุภาคทั้งสองมีพลังงานเท่ากัน อนุภาค A จะประพฤติตัวเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นเป็นกี่เท่าของอนุภาค B

วิธีทำ $m_A = \frac{1}{2} m_B \qquad E_A = E_B$

จาก $E_k = \frac{1}{2} m v^2$

$$2E_k = mv^2$$

$$2E_k m = m^2 v^2$$

$$mv = \sqrt{2E_k m}$$

จาก

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

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2E_k m}}$$

$$\lambda^2 = \frac{h^2}{2E_k m}$$

$$E_k = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

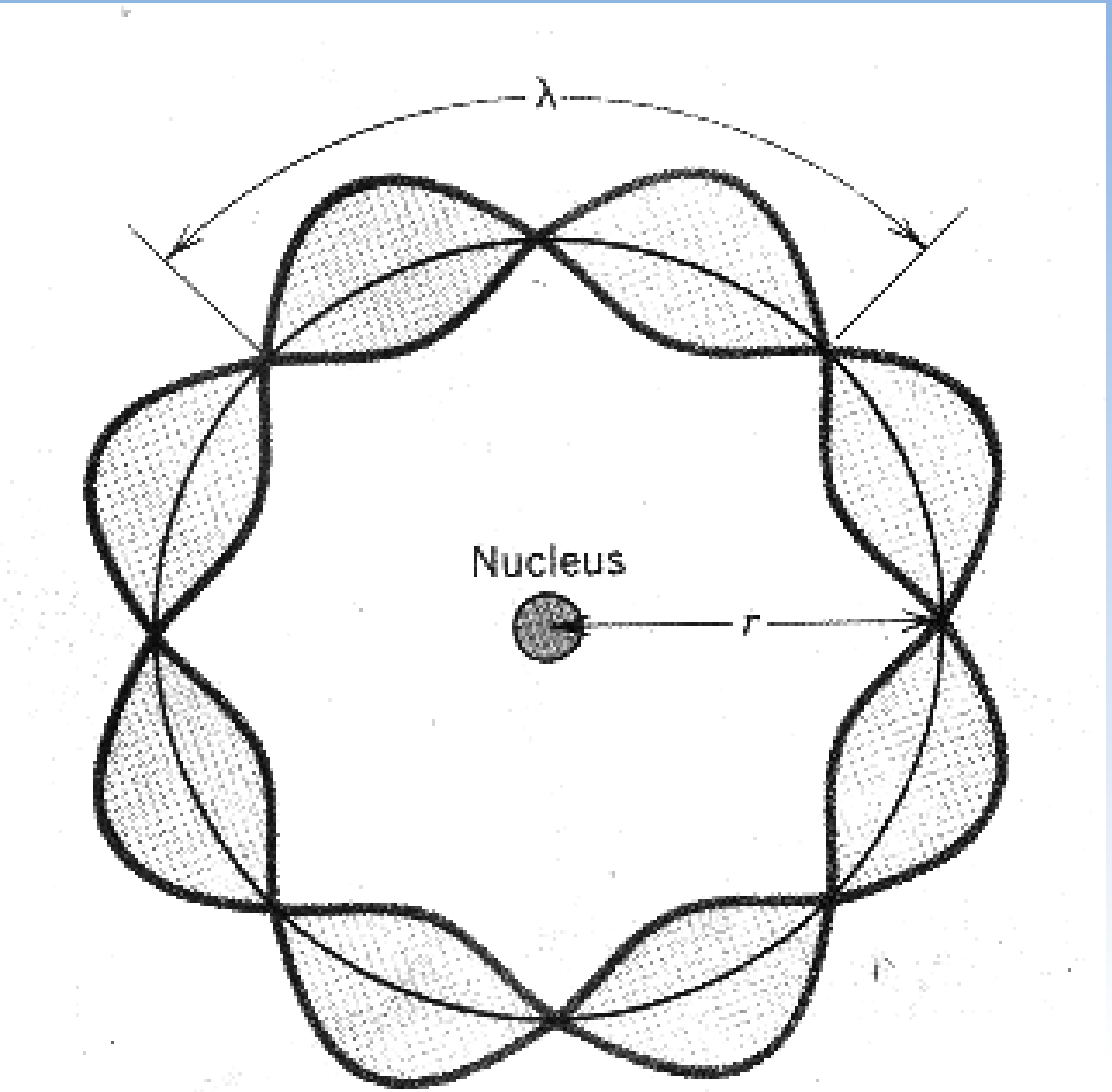
$$\frac{\lambda_A}{\lambda_B} = \frac{h}{\sqrt{2E_k m_A}} \cdot \frac{\sqrt{2E_k m_B}}{h}$$

$$\frac{\lambda_A}{\lambda_B} = \sqrt{\frac{m_B}{m_A}} = \sqrt{\frac{m_B}{\frac{1}{2}m_B}}$$

$$\frac{\lambda_A}{\lambda_B} = \sqrt{2} \quad \#$$

การอธิบายของ เดอ บรอยล์ เกี่ยวกับสมมติฐานของโบร์

เดอ บรอยล์ กล่าวว่า การที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียส โดยไม่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพราะอิเล็กตรอนแสดงสมบัติของคลื่นนิ่ง ซึ่งเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อเส้นรอบวงมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นของอิเล็กตรอน



คลื่นนิ่งของอิเล็กตรอนในอะตอม

ดังนั้น เส้นรอบวงของวงกลม $= n.\lambda$

$$2\pi r = \frac{nh}{mv}$$

$$mvr = \frac{nh}{2\pi} = n\bar{h}$$

เมื่ออิเล็กตรอนประพฤติเป็นคลื่นนิ่งรอบนิวเคลียส จะไม่มีการสูญเสียพลังงานออกมาภายนอก

<u>ตัวอย่าง 1</u> (Ent-47) ในอะตอมไฮโดรเจน ความยาวคลื่น เดอ บรอยล์ ของอิเล็กตรอนเป็นเท่าใด สำหรับอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรรัศมีโตเป็น 16 เท่า ของรัศมีโบร์ (a_0)

<u>วิธีทำ</u> จากสมมติฐานของ เดอ บรอยล์

$$n\lambda = 2\pi r$$

กำหนด $r = 16a_0$ และ $n = 4$

$$4(\lambda) = 2\pi 16 a_0$$

$$\lambda = 8\pi a_0 \ \#$$

<u>ตัวอย่าง 2</u> อนุภาคหนึ่งมวล m ขณะที่กำลังวิ่งด้วยความเร็ว v ดังนั้นอนุภาคนี้จึงมีพลังงานทั้งหมดเท่ากับ mc^2 สมมติว่าพลังงานนี้ มีค่าเป็น 5 เท่าของพลังงานของโฟตอนตัวหนึ่งที่มีโมเมนตัมเท่ากับโมเมนตัมของอนุภาคนี้พอดี อยากทราบว่าอัตราส่วน $\frac{v}{c}$ มีค่าเท่าไร

<u>วิธีทำ</u> พลังงานของมวล m = 5 เท่าของโฟตอน 1 ตัว

$$mc^2 = \frac{5hc}{\lambda}$$

$$mc = \frac{5h}{\lambda} \ldots\ldots\ldots (1)$$

และโมเมนตัมของมวล m = โมเมนตัมของโฟตอน

$$mv = \frac{h}{\lambda} \ldots\ldots\ldots (2)$$

$$(2)/(1) \qquad \frac{v}{c} = \frac{1}{5}$$

$$\therefore \text{ อัตราส่วน} \qquad \frac{v}{c} = \frac{1}{5} \quad \#$$

ตัวอย่าง 3 จงหาความยาวคลื่นของลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์ 100 eV

วิธีทำ จาก $E_k = 100\ eV = 100 \times 1.6 \times 10^{-19}$

$$\frac{1}{2}mv^2 = 1.6 \times 10^{-17}$$

$$mv^2 = 3.2 \times 10^{-17}$$

$$(mv)^2 = 3.2 \times 10^{-17} \times m$$

$$(mv)^2 = 3.2 \times 10^{-17} \times 9 \times 10^{-31}$$

$$= 28.8 \times 10^{-48}$$

$$mv = 5.37 \times 10^{-24} \quad kg - m/s$$

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

$$\lambda = \frac{6.6 \times 10^{-34}}{5.37 \times 10^{-24}}$$

$$= 1.2 \times 10^{-10} \quad m$$

$$\lambda = 1.2 \text{ Å} \quad \#$$

ตัวอย่าง 4 จงหาอัตราเร็วของอิเล็กตรอนซึ่งมีความยาวคลื่นอนุภาคเท่ากับ 0.1 นาโนเมตร และจงหาความต่างศักย์ที่ใช้เร่งอิเล็กตรอนนี้ด้วย

วิธีทำ

จาก $\lambda = \frac{h}{P}$ หรือ $P = \frac{h}{\lambda}$

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

$$v = \frac{h}{m\lambda}$$

จาก $\lambda = 0.1 \times 10^{-9}$, $\mathrm{m} = 9 \times 10^{-31}$

$\mathrm{h} = 6.6 \times 10^{-34}$

$$v = \frac{6.6 \times 10^{-34}}{9 \times 10^{-31} \times 0.1 \times 10^{-9}}$$

$$v = 7.33 \times 10^{6} \quad m/s$$

หาความต่างศักย์เร่งอิเล็กตรอน

จาก $$qV = \frac{1}{2}mv^2$$

$$V = \frac{mv^2}{2q}$$

$$= \frac{9 \times 10^{-31}(7.33 \times 10^6)^2}{2 \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$V = 151.1 \quad \text{โวลต์} \quad \#$$

กลศาสตร์ควอนตัม

กลศาสตร์ควอนตัม (quantum mechanics) เป็นแนววิชาใหม่ เกิดขึ้นประมาณปี พ.ศ. 2468 ซึ่งผู้บุกเบิกในวิชานี้มีแนวความคิด 2 แนว

1. แนวทางแรก กลศาสตร์คลื่น ชเรอดิงเงอร์ (Erwin Schrodinger) ได้วิเคราะห์ตามสมมติฐานของเดอ บรอยล์ คือ อนุภาคมีสมบัติเป็นคลื่นได้

2. แนวทางที่ 2 กลศาสตร์แมทริกซ์ ไฮเซนเบร์ก (Werner Heisenberg) ได้ให้แนวคิดพื้นฐานที่ว่า *เราไม่สามารถรู้ตำแหน่งและความเร็วที่แน่นอนของอนุภาคได้พร้อม ๆ กัน* ทำให้เกิดหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบร์กขึ้น

หลักความไม่แน่นอนและโอกาสที่จะเป็นไปได้

หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบร์ก (Heisenberg's uncertainty principle) หาได้จาก

$$(\Delta x)(\Delta p) \geq \bar{h}$$

Δx = ความไม่แน่นอนทางตำแหน่ง

Δp = ความไม่แน่นอนทางโมเมนตัม

ตัวอย่างที่ 1 ถ้าบอกความไม่แน่นอนทางตำแหน่งได้ละเอียดถึง 1 ไมโครเมตร จงหาความไม่แน่นอนทางความเร็วของอนุภาคต่อไปนี้

ก. อนุภาคมวล 1 กรัม

ข. อนุภาคอิเล็กตรอน

วิธีทำ

$$(\Delta x)(\Delta p) \geq \bar{h}$$

ก. อนุภาคมวล 1 กรัม

Δx โอกาสที่จะพบอนุภาคมวล 1 กรัม เท่ากับ 10^{-6}

$\Delta p = m\Delta v_x$ ความไม่แน่นอนทางโมเมนตัม

แทนค่า $(10^{-6})(10^{-3}\Delta v) \geq 1.05 \times 10^{-34}$

$$\Delta v \geq 1.05 \times 10^{-25} \ \ m/s \ \ \#$$

ข. อนุภาคอิเล็กตรอนมวล 9.1×10^{-31} kg

Δx โอกาสที่จะพบอิเล็กตรอน 10^{-6} m

$$(\Delta x)(\Delta p) \geq \bar{h}$$

$$(10^{-6})(9.1 \times 10^{-31})\Delta v \geq 1.05 \times 10^{-34}$$

$$\Delta v_x \geq 115.4 \quad m/s \ \#$$

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> อัตราเร็วของอิเล็กตรอนเท่ากับ 10^6 เมตรต่อวินาที ในการวัดความเร็วผิดไป 1 เปอร์เซ็นต์ อยากทราบว่าตำแหน่งผิดพลาดไปเท่าไร

วิธีทำ

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

$$\Delta x \geq \frac{\bar{h}}{m\Delta v}$$

$$\geq \frac{1.05 \times 10^{-34}}{(9.1 \times 10^{-31})\frac{10^{6}}{10^{2}}}$$

$$\geq 1.2 \times 10^{-8} \quad m \quad \#$$

ตัวอย่างที่ 3 ถ้าอนุภาคหนึ่งมวล 0.05 กรัม กำลังวิ่งไปตามแกน x ด้วยความเร็วประมาณ 20.5 เมตร/วินาที ถึง 20.7 เมตร/วินาที จงหาความไม่แน่นอนทางแกน x

วิธีทำ $\Delta x.\Delta p_x \geq \bar{h}$

$$\Delta p_x = m\Delta v = 0.05 \times 10^{-3}(20.7 - 20.5)$$

$$= 10^{-5} \quad kg - m/s$$

แทนค่า $\Delta x.10^{-5} \geq \frac{h}{2\pi}$

$$\Delta x \geq \frac{10^5 \times 6.6 \times 10^{-34}}{2\pi}$$

$$\Delta x \geq 1.05 \times 10^{-29} \quad \#$$

ตัวอย่างที่ 4 อนุภาคมวล m โคจรเป็นวงกลมรัศมี r ความไม่แน่นอนทางความเร็วของอนุภาคนี้อย่างน้อยต้องเท่ากับเท่าไร

<u>วิธีทำ</u> อนุภาค m โคจรเป็นวงกลมรัศมี r จะได้

$$\Delta S = 2\pi r$$

$$\Delta p.\Delta s \geq \bar{h}$$

$$\mathrm{m}\Delta v(2\pi r) \geq \bar{h}$$

$$\Delta v \geq \frac{\bar{h}}{2\pi mr} \quad \#$$

เอกสารอ้างอิง : คู่มือฟิสิกส์ 3 พื้นฐานและเพิ่มเติม ม.6
กรุงเทพฯ บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด