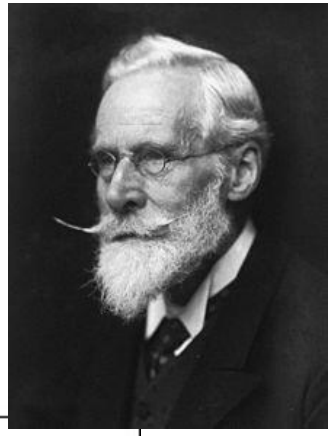
ฟิสิกส์ของอะตอมและนิวเคลียส

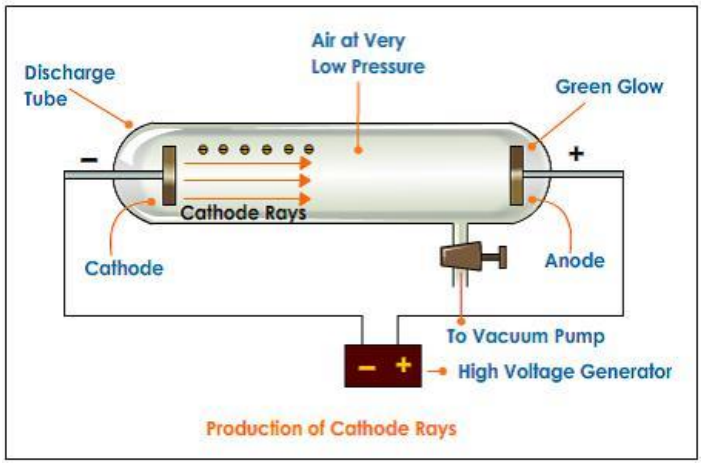
อ. อาจารีย์ ทองอ่อน

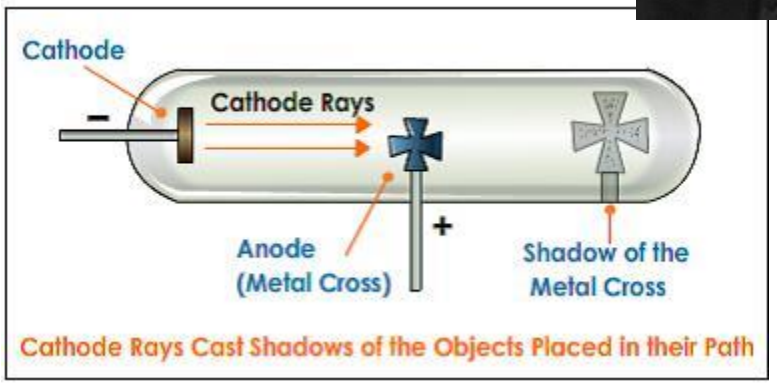
การค้นพบอิเล็กตรอน

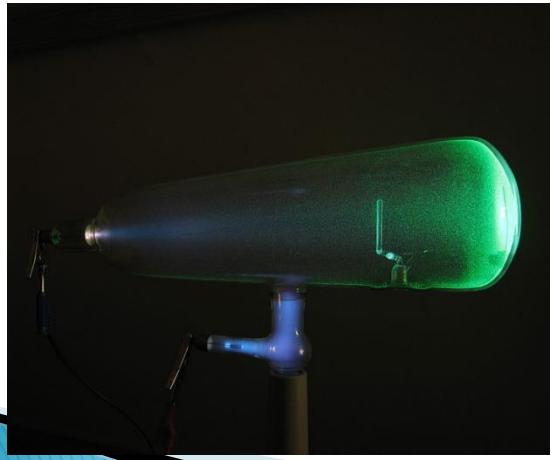
- การทดลอง
  - การทดลองของครูกส์
  - การทดลองของทอมสัน
  - การทดลองของมิลลิแกน
- แบบจำลองอะตอม
  - แบบจำลองของทอมสัน
  - แบบจำลองของรัทเทอร์ฟอร์ด
  - แบบจำลองของโบร์
- กัมมันตภาพรังสี
  - ชนิดของนิวเคลียส
  - ชนิดของกัมมันตภาพรังสี
  - การสลายกัมมันตรังสี

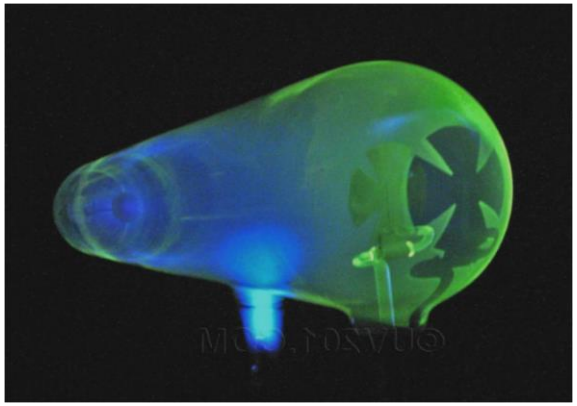
การทดลองของครูกส์ (William Crookes)







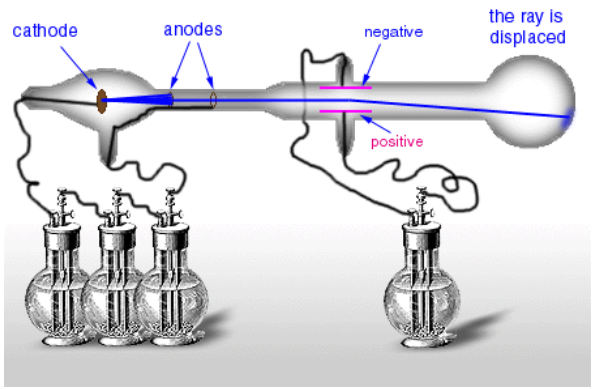




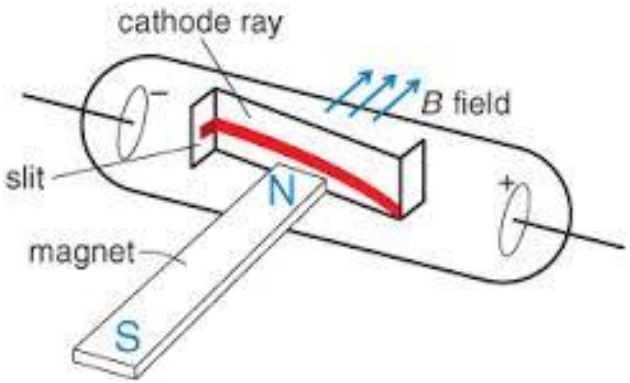
การทดลองของครูกส์ (William Crookes)

- ข้อสังเกตที่ได้จากการทดลอง
  - รังสีแคโทดเดินทางในแนวเส้นตรง เนื่องจากการเกิดเงาของแผ่นโลหะปรากฏบนผนังหลอด
  - รังสีแคโทดมีประจุไฟฟ้า เนื่องจากเบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้าได้ แต่ยังสรุปไม่ได้ว่าเป็นประจุบวกหรือประจุลบ

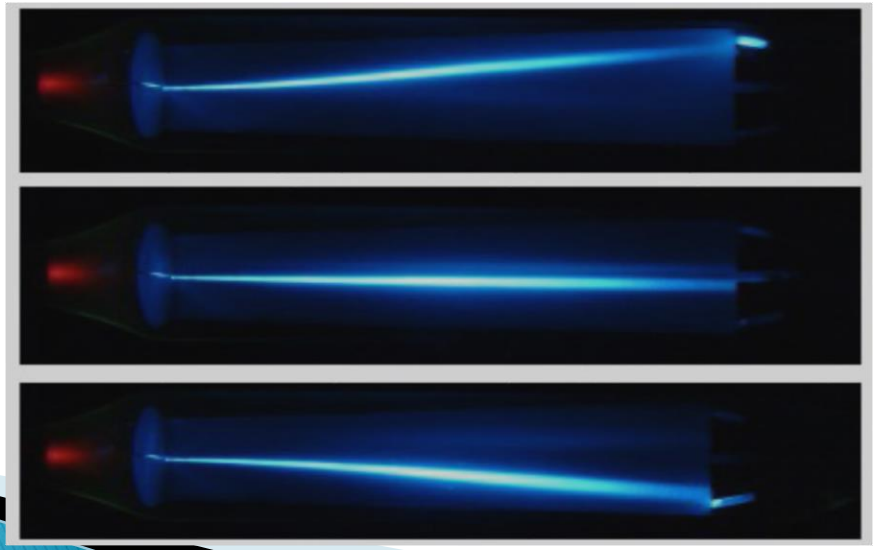
การทดลองของทอมสัน (Joseph J. Thomson)



Electric field



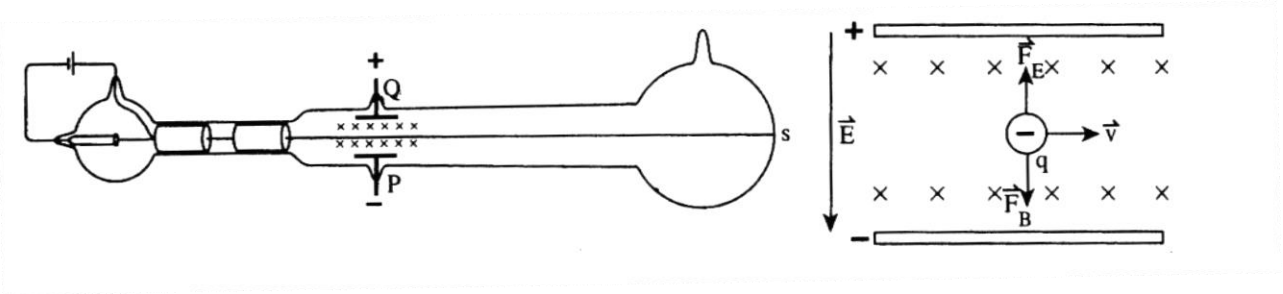
Magnetic field



การทดลองของทอมสัน (Joseph J. Thomson)

- ข้อสังเกตที่ได้จากการทดลอง
  - เนื่องจาก $F_B = qvB$ และ $F_C = \frac{mv^2}{R}$ จะได้ $qvB = \frac{mv^2}{R}$ ดังนั้น $\frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$
  - ทอมสันได้ทำการทดลองวัด $\frac{q}{m}$ ซ้ำหลายครั้งโดยเปลี่ยนชนิดของโลหะที่ใช้ทำขั้วแคโทด ปรากฏว่า $\frac{q}{m}$ ที่ได้มีค่าเท่ากันทุกครั้งคือ 1.76×10^{11} คูลอมป์ต่อกิโลกรัม และอนุภาครังสีแคโทดต่อมาถูกเรียกใหม่ว่า “**อิเล็กตรอน (Electron)**” และถือว่า **ทอมสันเป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่ค้นพบอิเล็กตรอน**

การทดลองของทอมสัน (Joseph J. Thomson)



- ใส่สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

จากการทดลอง $F_E = F_B$

จะได้ว่า $qE = qvB$

ดังนั้น $v = \frac{E}{B}$

และจาก $V = Ed$, เมื่อ d เป็นระยะห่างระหว่างเพลต

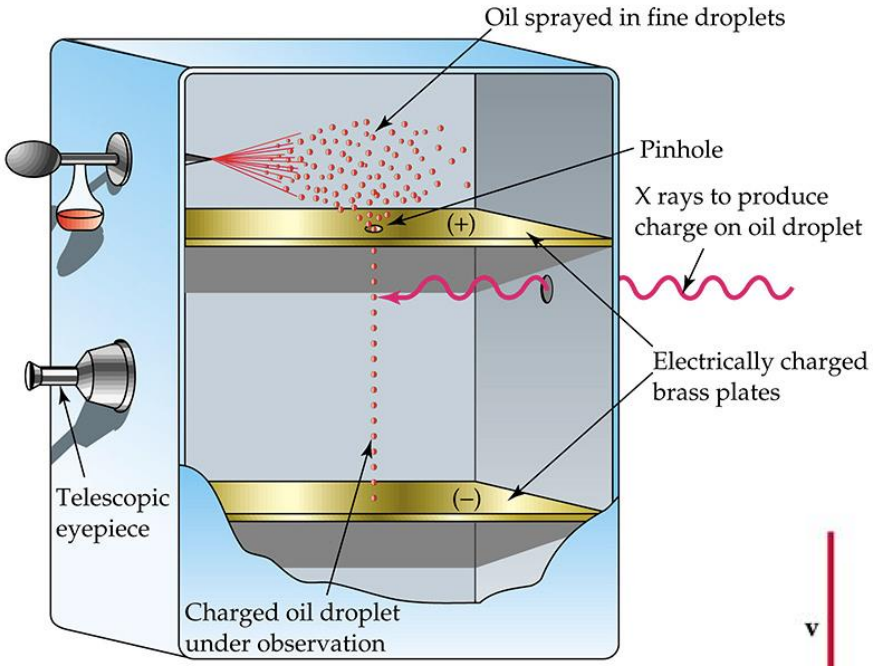
ดังนั้น $v = \frac{V}{dB}$

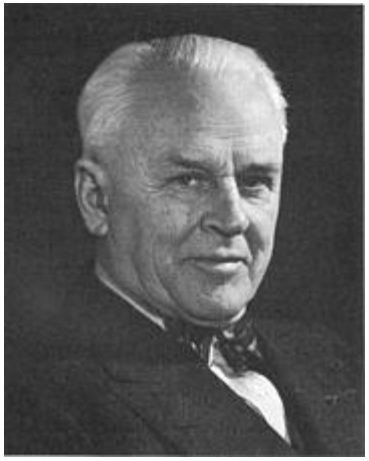
Ex.1 ในการทดลองหาอัตราเร็วอิเล็กตรอน ถ้าใช้สนามแม่เหล็กความเข้ม $1x10^{-3}$ เทสลา และใช้สนามไฟฟ้าที่เกิดจากเพลตสองเพลตที่อยู่ห่างกัน 0.01 เมตร และ มีความต่างศักย์ 200 โวลต์ ทำให้รังสีแคโทดเป็นเส้นตรง พอดี จงหาความเร็วของอนุภาครังสีแคโทด

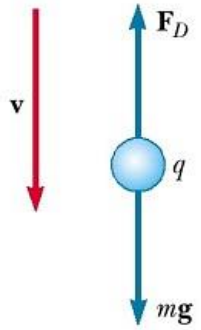
Ex.2 ถ้าต้องการเร่งอนุภาคมวล 4 x 10–12 กิโลกรัม ที่มีประจุ 8 x 10–9 คูลอมป์ จากสภาพหยุดนิ่งให้มีอัตราเร็ว 100 เมตร/วินาที จะต้องใช้ความต่างศักย์เท่าใด

เมื่อ $E_p = qV$

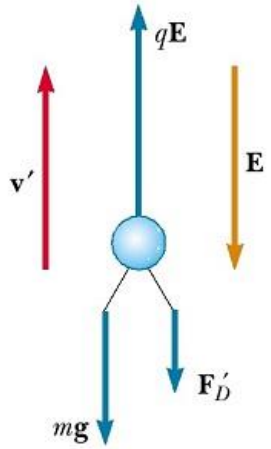
การทดลองของมิลลิแกน (Robert A. Millikan)







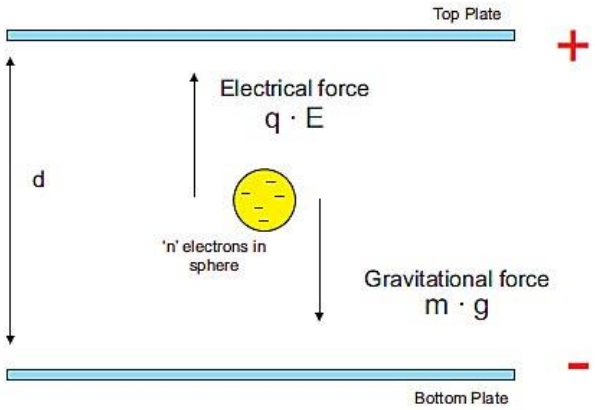
(a) Field off



(b) Field on

F_D คือ แรงต้านอากาศ

การทดลองของมิลลิแกน (Robert A. Millikan)



- เมื่อปรับความต่างศักย์ไฟฟ้าให้มีค่าพอเหมาะแล้วจะพบว่าจะมีหยดน้ำมันบางหยดลอยนิ่งอยู่กับที่ หรืออยู่ในสภาพสมดุล

จากสูตรสมดุล $\sum F = 0$

แรงขึ้น $=$ แรงลง

$$qE = mg$$

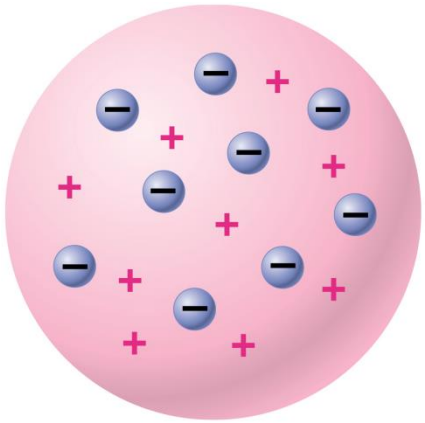
ดังนั้น $$q = \frac{mg}{E}$$

Ex.3 ในการทดลองของมิลลิแกนเมื่อทำให้หยดน้ำมันมวล 1.6×10^{-14} กิโลกรัม ลอยหยุดนิ่งระหว่างแผ่นโลหะขนานซึ่งวางห่างกัน 1 ซม. โดยแผ่นบนมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าแผ่นล่างเท่ากับ 392 โวลต์ ถ้าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกเท่ากับ 9.8 m/s^2 และอิเล็กตรอนมีประจุ 1.6×10^{-19} คูลอมป์ จงคำนวณหาว่าหยดน้ำมันนี้มีอิเล็กตรอนแฝงอยู่กี่ตัว

แบบจำลองอะตอมของทอมสัน (Joseph J. Thomson)

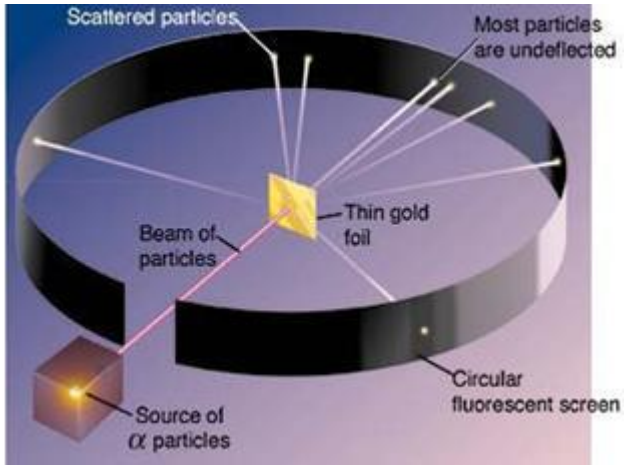
แนวคิดเกี่ยวกับแบบจำลองอะตอม

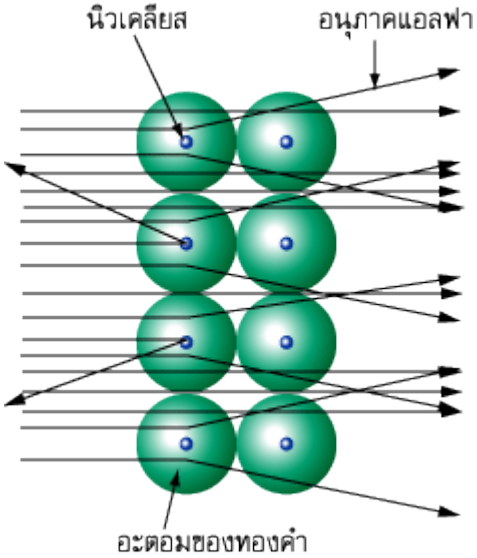
- อะตอมเป็นรูปทรงกลมประกอบด้วยเนื้ออะตอมที่มีประจุบวก และมีอิเล็กตรอนที่มีประจุไฟฟ้าลบกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในอะตอม



แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด (Ernest Rutherford)

รัทเทอร์ฟอร์ดได้ทำการทดลองยิงอนุภาคแอลฟาไปยังแผ่นทองคำบาง ปรากฏว่าอนุภาคแอลฟาทะลุแผ่นทองคำบางเกือบทั้งหมด แต่มีน้อยมากที่มีการกระเจิง

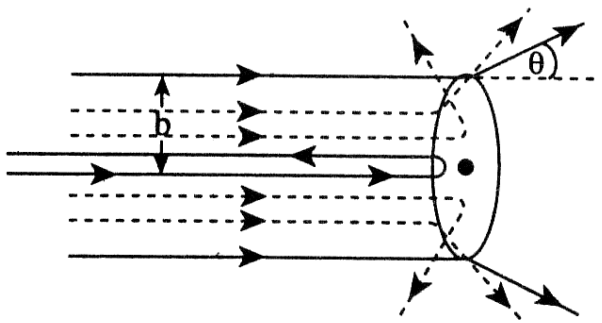




แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด (Ernest Rutherford)

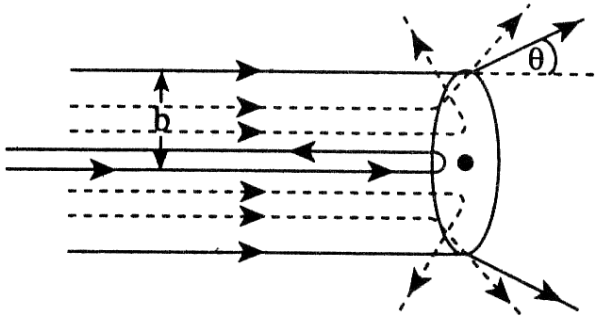
แนวคิดเกี่ยวกับแบบจำลองอะตอม

1. อะตอมประกอบไปด้วยประจุไฟฟ้าบวกที่รวมกันอยู่ที่จุดศูนย์กลาง เรียกว่า “นิวเคลียส” ซึ่งถือว่าเป็นที่รวมมวลเกือบทั้งหมดของอะตอม โดยมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบๆ นิวเคลียสที่ระยะห่างจากนิวเคลียสมาก
2. การกระเจิงของอนุภาคแอลฟาจะขึ้นอยู่กับว่าอนุภาคแอลฟาเข้าใกล้นิวเคลียสมากน้อยเพียงใด



แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด (Ernest Rutherford)

2. การกระเจิงของอนุภาคแอลฟาจะขึ้นอยู่กับว่าอนุภาคแอลฟาเข้าใกล้นิวเคลียสมากน้อยเพียงใด



ถ้าอนุภาคแอลฟาพุ่งเข้านิวเคลียสแบบตรงๆ แล้ว อนุภาคแอลฟาจะถูกผลักออกมาในแนวเดิม

$$E_k = E_p$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{kq_1q_2}{r}$$

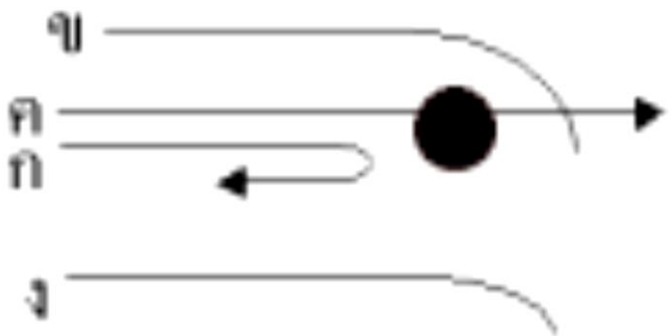
เมื่อ m แทนมวลของอนุภาคแอลฟา, v แทนความเร็วสูงสุด, k แทนค่าคงตัวของคูลอมป์, q_1 แทนประจุไฟฟ้าของอนุภาคแอลฟา และ q_2 แทนประจุไฟฟ้าของทองคำ

แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด (Ernest Rutherford)

ข้อบกพร่องของแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

1. ไม่สามารถอธิบายได้ว่า ทำไมประจุบวกจึงรวมกันอยู่ในนิวเคลียสได้ โดยที่ไม่ออกแรงผลักกันให้กระจายออก
2. ไม่สามารถอธิบายได้ว่าทำไมอิเล็กตรอนจึงสามารถโคจรรอบนิวเคลียสได้ ทั้งๆ ที่การโคจรรอบนิวเคลียสจะเกิดความเร่งสู่ศูนย์กลาง จากความรู้เรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ว่าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่โดยมีความเร่งจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ดังนั้นอิเล็กตรอนจะสูญเสียพลังงานจลน์ ทำให้อิเล็กตรอนวิ่งช้าลงและวนเข้าไปรวมกับนิวเคลียสในที่สุด

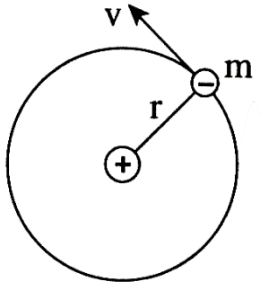
Ex.4 ถ้ายิงอนุภาคแอลฟาเข้าไปในนิวเคลียสของโลหะทางเดินของอนุภาคแอลฟาที่เป็นไปได้ คือ



แบบจำลองอะตอมของโบร์ (Niels Bohr)

โบร์ได้ปรับปรุงแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด โดยตั้งสมมติฐานขึ้นใหม่ 2 ข้อ คือ

สมมติฐานข้อที่ 1 อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบนิวเคลียสจะมีวงโคจรพิเศษที่อิเล็กตรอนไม่แผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา และมีโมเมนตัมเชิงมุม L คงตัว และโมเมนตัมเชิงมุมนี้มีค่าเป็นจำนวนเท่าของค่างคงตัวมูลฐานค่าหนึ่ง คือ $\bar{h} = \frac{h}{2\pi}$ เมื่อ h แทนค่าคงตัวของพลังค์ (Planck Constant) มีค่าเท่ากับ 6.63×10^{-34}

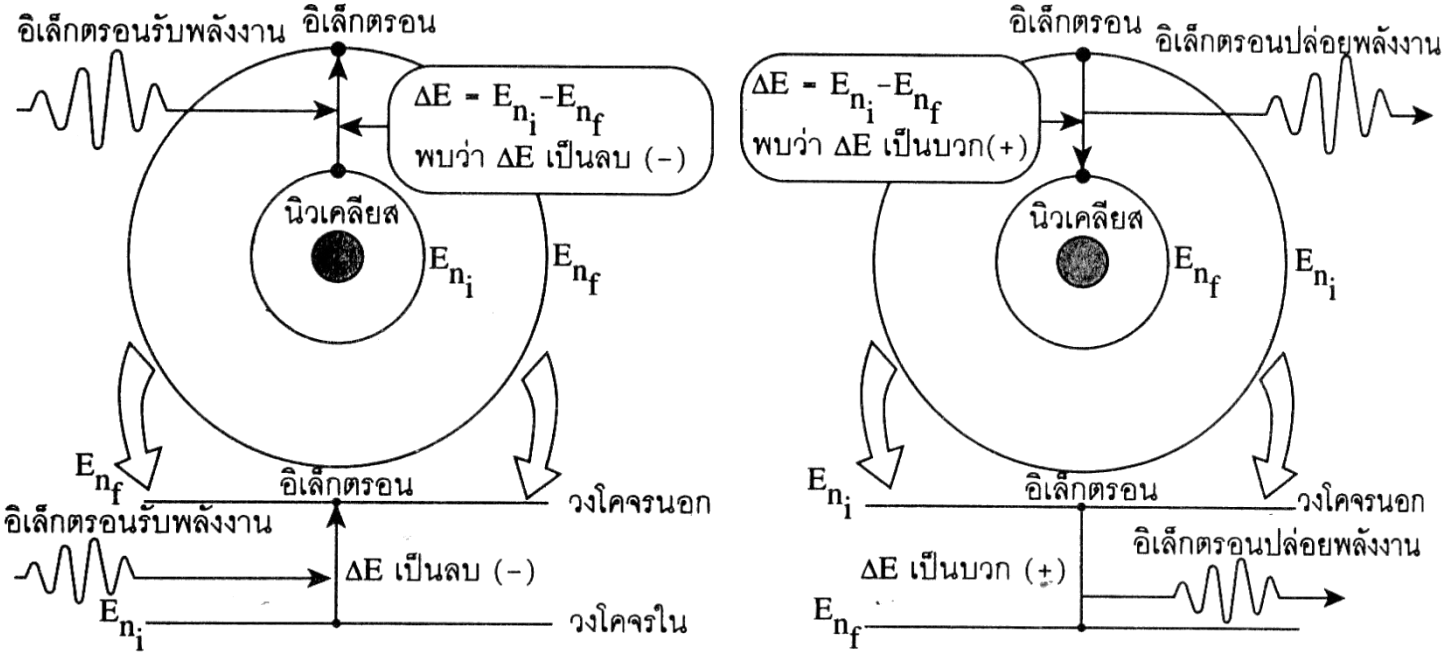


$$L = mvr = n\bar{h} = n\left[\frac{h}{2\pi}\right]$$

เมื่อ m แทนมวลของอิเล็กตรอน, v แทนอัตราเร็วของอิเล็กตรอนในวงโคจรพิเศษ, n แทนเลขจำนวนเต็มบวก 1, 2, 3, … ซึ่งถูกเรียกว่า **“เลขควอนตัม (Quantum Number) ของวงโคจร”**

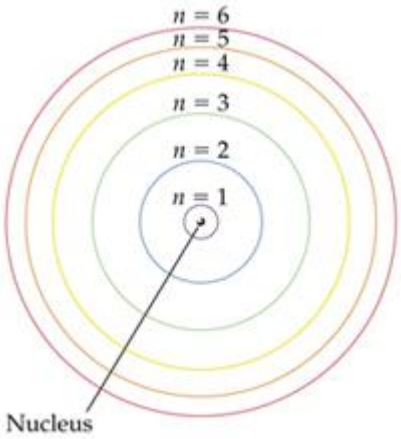
แบบจำลองอะตอมของโบร์ (Niels Bohr)

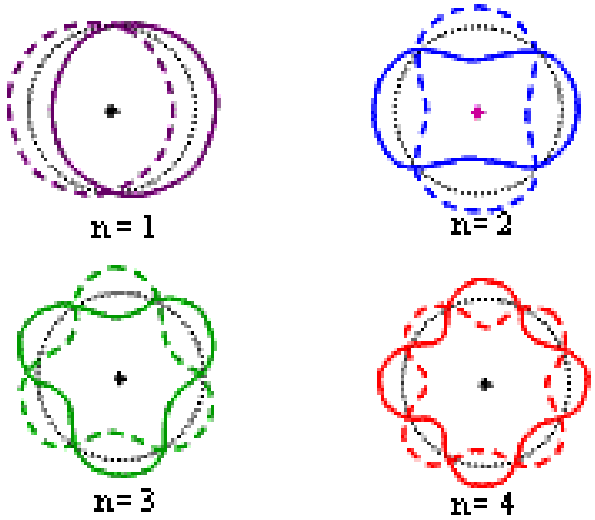
สมมติฐานข้อที่ 2 อิเล็กตรอนจะรับหรือปล่อยพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนวงโคจรพิเศษ



แบบจำลองอะตอมของโบร์ (Niels Bohr)

ภาพแบบจำลองอะตอมของโบร์





แบบจำลองอะตอมของโบร์ (Niels Bohr)

พลังงานที่อิเล็กตรอนรับเข้าไปหรือปล่อยออกมาสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

สำหรับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่รับเข้าหรือปล่อยออกมา สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$hf = \left| E_{n_i} - E_{n_f} \right|$$

โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้หน่วยของพลังงานในรูปของ “อิเล็กตรอนโวลต์” ซึ่งถูกเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ “eV” สามารถเปรียบหน่วยอิเล็กตรอนโวลต์กับหน่วยจูลได้ดังนี้

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

แบบจำลองอะตอมของโบร์ (Niels Bohr)

จากสมมติฐานของโบร์ สามารถคำนวณหาค่าต่างๆ ของอะตอมไฮโดรเจนได้ ดังนี้

1. รัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนในวงโคจรต่างๆ $r_n = \frac{n^2\bar{h}^2}{mke^2}$ หรือ $r_n = n^2 r_1$
2. อัตราเร็วเชิงเส้นของอิเล็กตรอนในวงโคจรต่างๆ $v_n = \frac{ke^2}{n\bar{h}}$ หรือ $v_n = \frac{v_1}{n}$
3. พลังงานรวมของอิเล็กตรอนในวงโคจรต่างๆ $E_n = -\frac{1}{2}\frac{mk^2e^4}{\bar{h}^2}$ หรือ $E_n = \frac{E_1}{n^2}$

ข้อตกลง

1. **สถานะพื้น (Ground State)** คือสภาวะของอะตอมที่อิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานต่ำสุด (n = 1) ซึ่งเป็นสภาวะที่อะตอมมีความเสถียรมากที่สุด
2. **สถานะกระตุ้น (Excited State)** คือสถาวะของอะตอมที่อิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าสถานะพื้น นั่นคือ n = 2 ขึ้นไป

หมายเหตุ ถ้าอิเล็กตรอนอยู่ในวงโคจรนอกสุด (n = ∞) แล้วพลังงานของอะตอมจะเป็นศูนย์ และอิเล็กตรอนจะไม่ถูกยึดไว้กับนิวเคลียสอีกต่อไป

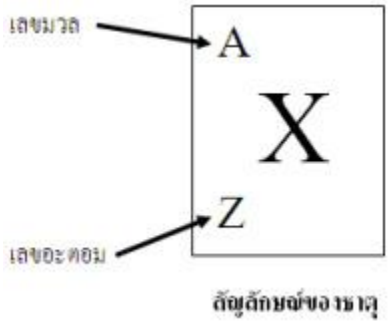
Ex.5 ในแบบจำลองอะตอมไฮโดรเจนของโบร์รัศมี วงโคจรของอิเล็กตรอนในสถานะ n = 4 เป็นกี่เท่าของรัศมีวงโคจรในสถานะ n = 1

ชนิดของนิวเคลียส

นิวเคลียสของอะตอม คือ อนุภาคแกนกลางของอะตอม

นิวคลีออน (Nucleon) คือ อนุภาคที่เป็นองค์ประกอบของนิวเคลียส ได้แก่ โปรตอน (Proton) และนิวตรอน (Neutron)

สัญลักษณ์ของนิวเคลียสของธาตุใดๆ สามารถเขียนได้ดังนี้



สัญลักษณ์ของธาตุ

เมื่อ X แทนธาตุใดๆ, A แทนเลขมวล และ Z แทนเลขอะตอม

หมายเหตุ A - Z คือ จำนวนนิวตรอน

Ex.6 ดีบุกมีเลขอะตอม = 50 และ เลขมวล 120 จะมีจำนวนนิวคลีออนเท่าไร

Ex.7 ธาตุ A มีจำนวนอิเล็กตรอน และนิวตรอนเท่ากัน 13 และ 14 ตามลำดับ ธาตุ A มีเลขอะตอม และเลขมวลเท่าไร

ชนิดของนิวเคลียส

นิวเคลียสแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

1. นิวเคลียสเสถียร

   1.1 เป็นนิวเคลียสที่มีขนาดไม่ใหญ่ ($Z < 83$)

   1.2 มีจำนวนนิวตรอนเท่ากับจำนวนโปรตอน

   1.3 มีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมาก

2. นิวเคลียสไม่เสถียร

   2.1 เป็นนิวเคลียสที่มีขนาดใหญ่ ($Z \geq 83$)

   2.2 มีจำนวนนิวตรอนไม่เท่ากับจำนวนโปรตอน

   2.3 นิวเคลียสอยู่ในสถานะกระตุ้น

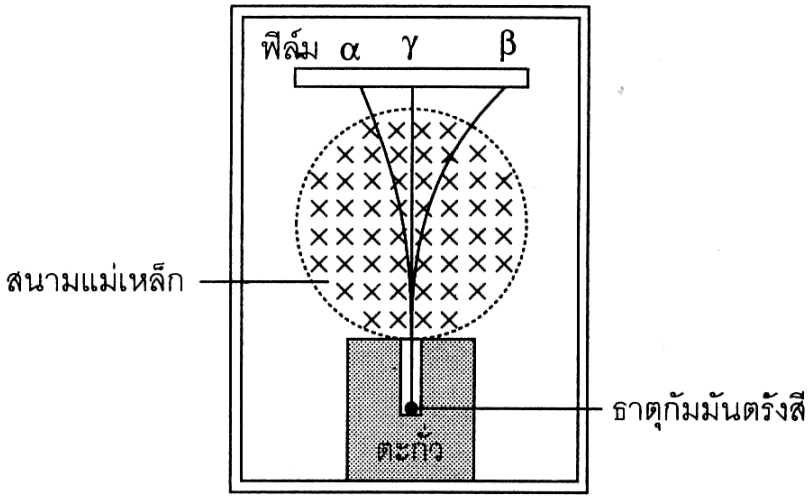
หมายเหตุ ถ้านิวเคลียสอยู่ในสถานะกระตุ้น มักจะใช้เครื่องหมาย “*” กำกับไว้ในสัญลักษณ์ของนิวเคลียส เช่น $^{214}_{83}\mathrm{Bi}^{*}$

ชนิดของกัมมันตภาพรังสี

ธาตุกัมมันตรังสี (Radioactive Element) คือ ธาตุที่มีนิวเคลียสไม่เสถียร สามารถแผ่รังสีได้เอง

กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) คือ รังสีที่แผ่ออกมาจากการเปลี่ยนสภาพนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี

ชนิดของกัมมันตภาพรังสี มีอยู่ 3 ชนิดคือ รังสีแอลฟา (Alpha Ray), รังสีบีต้า (Beta Ray) และรังสีแกมมา (Gamma Ray)



ชนิดของกัมมันตภาพรังสี

ตารางแสดงลักษณะเฉพาะของรังสีแอลฟา, บีต้า และแกมมา

ลักษณะเฉพาะ	แอลฟา	บีตา	แกมมา
สัญลักษณ์	α หรือ ${}^{4}_{2}He$	β หรือ ${}^{0}_{-1}e$	γ
องค์ประกอบ	นิวเคลียสฮีเลียม	อิเล็กตรอนความเร็วสูง	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง
ประจุไฟฟ้า	$+2e = +3.2\times10^{-19}C$	$-1e = -1.6\times10^{-19}C$	0
มวล	4.0015 U	0.0005 U	0
พลังงาน	ประมาณ 6 MeV	ประมาณ 1 MeV	ประมาณ 0.01 MeV
ความเร็ว	ประมาณ 0.05 c	ประมาณ 0.3 - 0.9 c	c
ความสามารถในการทำให้ให้อากาศแตกตัวเป็นไอออน	2500	100	1
อำนาจทะลุผ่านในอากาศ	5 cm	0.5 m	มากกว่าแอลฟาและบีตา
การเบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็ก	เบี่ยงเบนเล็กน้อย	เบี่ยงเบนมากกว่าและไปในทิศตรงข้ามกับ β	ไม่เบี่ยงเบนเลย

การสลายกัมมันตรังสี (Radioactive Decay)

การสลายกัมมันตรังสี เป็นกระบวนการเปลี่ยนสภาพนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี จะพบว่า มีนิวเคลียสใหม่เกิดขึ้นพร้อมกับปล่อยรังสีหรืออนุภาคออกมา

สมการการสลายกัมมันตรังสี มีหลักการดังนี้

1. ผลรวมของเลขอะตอมก่อนการสลายเท่ากับผลรวมของเลขอะตอมหลังการสลาย

$$\sum Z_{\text{ก่อน}} = \sum Z_{\text{หลัง}}$$

2. ผลรวมของเลขมวลก่อนสลายเท่ากับผลรวมของเลขมวลหลังการสลาย

$$\sum A_{\text{ก่อน}} = \sum A_{\text{หลัง}}$$

การสลายกัมมันตรังสี (Radioactive Decay)

สัญลักษณ์เกี่ยวกับอนุภาคบางอย่างที่ควรทราบ

1. ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ แทนอนุภาคแอลฟา
2. ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$ แทนอนุภาคบีตา
3. ${}^{0}_{+1}\mathrm{e}$ แทนอนุภาคโปสิตรอน
4. ${}^{1}_{0}\mathrm{n}$ แทนอนุภาคนิวตรอน
5. ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$ แทนอนุภาคโปรตอน
6. ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$ แทนอนุภาคดิวเทอรอน
7. ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$ แทนอนุภาคตริเตียม
8. γ แทนรังสีแกมมา

การสลายกัมมันตรังสี (Radioactive Decay)

หลักการการสลายกัมมันตรังสี

1. ถ้าผลของการสลายมีการปล่อยรังสีแอลฟา หรือรังสีบีตาออกมาแล้ว จะมีนิวเคลียสของธาตุใหม่เกิดขึ้น เช่น

$$^{238}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{TH} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

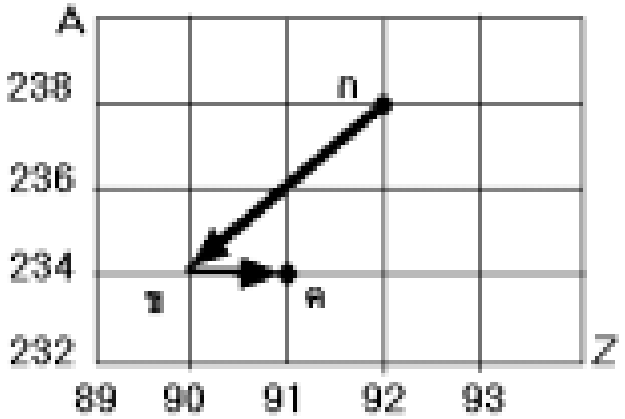
$$^{131}_{53}\mathrm{I} \longrightarrow {}^{131}_{54}\mathrm{TH} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$$

2. ถ้าผลของการสลายมีการปล่อยรังสีแกมมาแล้ว จะไม่มีนิวเคลียสของธาตุใหม่เกิดขึ้น เนื่องจากเลขมวลและเลขอะตอมของนิวเคลียสไม่เปลี่ยนแปลง เช่น

$$^{214}_{83}\mathrm{Bi}^{*} \longrightarrow {}^{214}_{83}\mathrm{Bi} + \gamma$$

3. นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี จะมีการสลายตัวโดยการปล่อยรังสีไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ธาตุสุดท้ายเป็น ธาตุเสถียร (Stable Element)

Ex.8 จากรูปเป็นแผนภาพแสดงบางส่วนของอนุกรมการสลายของนิวเคลียสธาตุหนัก ในที่นี้นิวเคลียส ก. สลายเป็นนิวเคลียส ข. และนิวเคลียส ข. สลายเป็นนิวเคลียส ค. ในระหว่างการสลายตัวจากนิวเคลียส ก⟶ข⟶ค จะปล่อยอนุภาคอะไรบ้างตามลำดับ



การสลายกัมมันตรังสี (Radioactive Decay)

สมการการสลายของธาตุกัมมันตรังสี สามารถหาได้จาก

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \text{ หรือ } N = N_0 2^{\frac{-t}{T_{1/2}}}$$

เมื่อ N_0 แทนจำนวนนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้น

N แทนจำนวน นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีที่เหลืออยู่เมื่อเวลาผ่านไป t

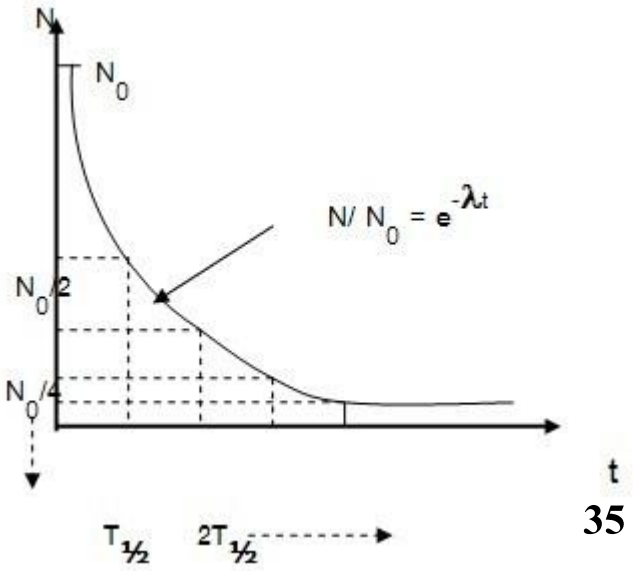
λ แทนค่าคงตัวการสลาย (Decay Constant) มีค่า

ขึ้นอยู่กับชนิดของนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี

t แทนช่วงเวลาที่ใช้

และ $T_{1/2}$ แทนครึ่งชีวิต (Half life) ของธาตุกัมมันตรังสี

โดย $\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$ หรือ $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$



Ex.9 ค่าคงตัวของการสลายของธาตุกัมมันตรังสีซึ่งเริ่มต้นมีจำนวนอะตอม 24×10^{18} อะตอม เมื่อเวลาผ่านไป 90 วัน จะเหลือ 3×10^{18} อะตอม คือ