

สรุปนิวเคลียสและกัมมันตรังสี

กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)

พ.ศ. 2439 Henri Becquerel พบว่า สารประกอบของยูเรเนียม (Potassium Uranyl Nitrate Crystals) สามารถแผ่รังสีออกมาได้เองตลอดเวลา โดยไม่ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมใด ๆ เลย โดยรังสีเหล่านี้มีคุณสมบัติ

1. สามารถทะลุผ่านวัตถุต่าง ๆ ได้ดีกว่า X-rays
2. ทำให้สารเรืองแสง เกิดการเรืองแสงได้
3. ทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออน
4. ทำปฏิกิริยากับฟิล์มถ่ายภาพได้

ปีแอร์ (Pierre Curie) และ มารี คูรี (Marie Curie)

ใช้อิเล็กทรอนิกส์วัดปริมาณรังสีที่ออกมาพบว่า เป็นรังสีต่อเนื่อง
เรียกธาตุที่แผ่รังสีว่า ธาตุกัมมันตรังสี (Radioactive element)

รังสีที่ต่อเนื่องนี้เรียกว่า กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) และพบว่ารังสีที่ปล่อยออกมาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอะตอมของธาตุยูเรเนียมที่มีอยู่ในก้อนทั้งหมด

Rutherford

ปี พ.ศ. 2442 พบกัมมันตภาพรังสีของยูเรเนียม มี 2 ชนิด คือ

1. รังสี α มีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ (เบี่ยงเบนได้ใน $\vec{E}$ และ $\vec{B}$) ต่อมาจึงพบว่า α -ray = นิวเคลียสของ He มีมวล 4u มีประจุ +2e มีพลังงานประมาณ 6 MeV
2. รังสี β มีอำนาจทะลุทะลวงสูงกว่ารังสี α (เบี่ยงเบนได้ใน $\vec{E}$ และ $\vec{B}$) ต่อมาจึงพบว่า รังสีนี้มีประจุไฟฟ้า -1e และมีมวลเท่ากับอิเล็กตรอน หรือ β - rays = อิเล็กตรอน ที่มาจากการสลายตัวในนิวเคลียส ไม่ใช่ (e) ที่วิ่งรอบนิวเคลียส มีพลังงาน 1 MeV และต่อมามีการค้นพบโพสิตรอน (positron) คือ β^+ มีประจุ = +1e

Paul Villard

ปี พ.ศ. 2443 พบรังสีที่มาจากธาตุกัมมันตรังสีอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งให้ชื่อว่า รังสีแกมมา γ -rays มีอำนาจทะลุทะลวงสูงมาก และไม่เบี่ยงเบนใน $\vec{E}$ และ $\vec{B}$ มีพลังงานประมาณ 0.01 MeV

สรุป

$$\begin{aligned} * \alpha - \text{ray} &= {}^4_2\text{He} \\ m_\alpha &= 4u \\ q_\alpha &= +2e \\ * \beta - \text{ray} &= e^- = {}^0_{-1}e \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
m_\beta &= m_e \\
q_\beta &= -e \\
\beta^+ &= e^+ = {}^0_{+1}e \\
* \gamma\text{-ray} &= {}^0_0r \\
m_r &= 0 \\
q_r &= 0 \\
* 1u &= \frac{1}{12} m({}^{12}\text{C}) \approx 1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg}
\end{aligned}$$

นิวคลีออน คือ อนุภาคทั้งหมดที่รวมกับอยู่ในนิวเคลียส ซึ่งประกอบด้วย โปรตอนและนิวตรอน

$$\therefore A = p + n = \text{mass Number}$$

ลักษณะการเขียนสัญลักษณ์ธาตุ คือ

$${}_Z^AX \text{ หรือ } X-A$$

$$\text{โดย } A = p + n$$

$$Z = p = e$$

$$\text{เช่น } {}_{92}^{238}\text{U} \text{ หรือ } \text{U}-238 \quad \text{เป็นต้น}$$

การเปลี่ยนสภาพนิวเคลียส

จากการทดลองพบว่าภายหลังการแผ่รังสีแอลฟาหรือรังสีเบต้าออกมา จะเกิดมีธาตุใหม่เกิดขึ้นเสมอ การเปลี่ยนแปลงของมวลของธาตุ 1 atom ใด ๆ จึงเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงมวลของนิวเคลียส โดยที่มวลของอิเล็กตรอนมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมวลของโปรตอน ดังนั้น อาจสรุปว่าทุกครั้งที่นิวเคลียสมีการแผ่รังสีแอลฟา, เบต้าหรือแกมมา จะทำให้มวลของนิวเคลียสเปลี่ยนไป

องค์ประกอบของนิวเคลียส

เนื่องจากนิวเคลียสของธาตุไฮโดรเจน ซึ่งเป็นธาตุที่เบาที่สุดน่าจะเป็นองค์ประกอบของธาตุอื่น ๆ ได้ Rutherford ได้เสนอความคิดจากการทดลองว่านิวเคลียสของไฮโดรเจน คือ โปรตอน (proton)

การค้นพบนิวตรอน

จากสมมุติฐาน โปรตอน-อิเล็กตรอนแสดงว่า อิเล็กตรอนไม่สามารถอยู่ในนิวเคลียสได้ ดังนั้น ในปี พ.ศ. 2463 Rutherford ได้เสนอความคิดใหม่ว่า อิเล็กตรอนและโปรตอนในนิวเคลียสอาจรวมกันเป็นอนุภาคที่มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า เรียกว่า นิวตรอน (Neutron) James Chadwick ได้วิเคราะห์การยิงอนุภาคแอลฟา เข้าชนนิวเคลียสของธาตุเบริลเลียม (Be) คือ นิวตรอน ${}_2^4\text{He} + {}_4^9\text{Be} \rightarrow {}_6^{12}\text{C} + {}_0^1n$

จากสมมุติฐาน “ โปรตอน-นิวตรอน ” กล่าวว่า นิวเคลียสจะประกอบด้วย โปรตอนและนิวตรอน ซึ่งรวมเรียกว่า นิวคลีออน (Nucleon)

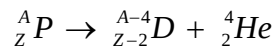
$$m_p + m_n = \text{เลขมวล (mass number} = A)$$

$$\therefore \text{อนุภาคนิวตรอน คือ } {}_0^1n$$

การสลายกัมมันตรังสี

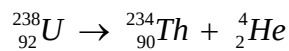
ขบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี โดยมีธาตุใหม่เกิดขึ้น และมีการปลดปล่อยรังสีและอนุภาคออกมาเรียกว่า การสลายกัมมันตรังสี (Radioactive Decay) หรือเรียกง่าย ๆ ว่า การสลายตัว ตัวอย่างเช่น

1. การสลายตัวปลดปล่อยอนุภาคแอลฟา (Alpha Decay)

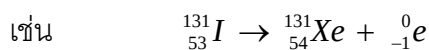
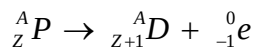


P = สารตั้งต้น, D = สารใหม่ที่เกิดขึ้น

${}_2^4 He$ = อนุภาคแอลฟา เช่น



2. การสลายตัวปลดปล่อยอนุภาค เบต้า (Beta Decay)

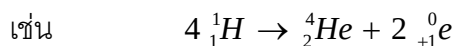
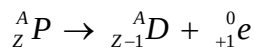


${}_{-1}^0 e$ = อนุภาคเบต้า

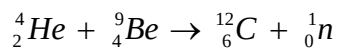
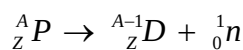
${}_{53}^{131} I$ = นิวเคลียสของไอโอดีน

${}_{54}^{131} Xe$ = นิวเคลียสของซีนอน

3. การสลายตัวปลดปล่อยอนุภาคเบต้าบวก (Positive Beta Decay หรือ Positron Decay)

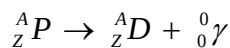


4. การสลายตัวปลดปล่อยอนุภาค นิวตรอน (Neutron Decay)



${}_0^1 n$ = อนุภาคนิวตรอน

1. การสลายตัวปลดปล่อยรังสีแกมมา (Gamma ray Emission)



รังสีแกมมา จะออกมาในรูปของพลังงานรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

หลักการที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัว

จากการศึกษาการสลายตัวพบว่า ธาตุกัมมันตรังสี จะมีอัตราการสลายตัวต่างกันเมื่อเป็นธาตุต่างกัน ซึ่งการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี จะมีกฎเกณฑ์ที่เหมือนกัน โดยจากสมมุติฐานของ Rutherford และซอดดี้ (F. Soddy) กล่าวว่า

1. การสลายตัวของนิวเคลียสธาตุกัมมันตรังสี จะมีการปลดปล่อย α -particle หรือ β -particle หรือ γ -particle อย่างใดอย่างหนึ่งหรือมากกว่า 1 รายการ
2. ธาตุกัมมันตรังสี จะสลายตัวให้ธาตุใหม่ และธาตุใหม่นี้จะเป็นธาตุกัมมันตรังสีหรือไม่ก็ได้
3. การสลายตัวของนิวเคลียสธาตุกัมมันตรังสี ไม่ขึ้นอยู่กับสภาวะภายนอกนิวเคลียส
4. อัตราการสลายตัวของนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีแปรผันตามนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ขณะนั้น

$$\Delta N = \text{จำนวนนิวเคลียสที่สลายไปในช่วงเวลาสั้น ๆ } \Delta t \text{ (คือ จาก } t \text{ ถึง } t + \Delta t)$$

$$N = \text{จำนวนนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ ณ เวลา } t$$

$$\therefore \frac{\Delta N}{\Delta t} \propto N$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \text{ค่าคงที่ } N$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$$

λ = ค่าคงที่ในการสลายตัว (Decay Constant) (เครื่องหมาย ลบ แสดงว่า กำลังลดลง)
หรือ เป็นค่าบอกถึงโอกาสการสลายตัวของนิวเคลียสกัมมันตรังสีใน 1 หน่วยเวลา

$$\therefore \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

$$\text{หรือ} \quad -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

ให้ A = กัมมันตภาพ (Activity) ความสามารถในการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสีในขณะใด
ขณะหนึ่ง

$$= -\frac{dN}{dt}$$

$$= \lambda N$$

$$\therefore A = \lambda N$$

A มีหน่วยเป็น (S^{-1}) หรือ Bq (แบคเคอเรล)

โดยที่ $3.7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 1 \text{ Ci}$ (คูรี)

$$\text{จาก } A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

$$\text{จะได้ } N = N_0 e^{-\lambda t}$$

โดยที่ N = จำนวนนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีที่เหลืออยู่ เมื่อเวลาผ่านไป t

N_0 = จำนวนนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี ณ เวลาเริ่มต้น ($t = 0$)

e = ค่าคงที่ ≈ 2.718

$$\begin{aligned}\therefore A &= -\frac{dN}{dt} = \lambda N \\ A &= -\frac{dN}{dt} = \lambda(N_0 e^{-\lambda t}) \\ &= (\lambda N_0) e^{-\lambda t}\end{aligned}$$

$$\boxed{A = A_0 e^{-\lambda t}} \quad (A_0 = \lambda N_0)$$

A_0 = กัมมันตภาพรังสีของธาตุกัมมันตรังสี ณ เวลา $t = 0$

Half life (ครึ่งชีวิต)

หมายถึงช่วงเวลาที่จำนวนนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี ธาตุหนึ่งลดลงจนเหลือครึ่งหนึ่งของจำนวนเดิมที่มีอยู่

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{N_0}{2} \quad (= 1 \text{ ช่วงครึ่งชีวิต})$$

$$2T_{\frac{1}{2}} = \frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2}$$

$$3T_{\frac{1}{2}} = \frac{N_0}{8} = \frac{N_0}{2^3}$$

$$\therefore nT_{\frac{1}{2}} = \frac{N_0}{2^n}$$

$$\text{ให้ } t = nT_{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore N_0 = 2^n t$$

$$\text{เมื่อเวลาผ่านไป } t \text{ หน่วย} = nT_{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore \text{นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีจะเหลือ} = N$$

$$\boxed{N = \frac{N_0}{2^n}}$$

$$\begin{aligned}\text{หรือ } 2^n &= \frac{N_0}{N} \\ &= \frac{N_0}{N_0 e^{-\lambda t}}\end{aligned}$$

$$\therefore e^{-\lambda t} = \frac{1}{2^n}$$

$$\begin{aligned}\text{ถ้า } n &= 1 \quad \therefore t = T_{\frac{1}{2}} \\ e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}} &= \frac{1}{2^1} = 2^{-1}\end{aligned}$$

$$\therefore e^{\lambda T_{\frac{1}{2}}} = 2$$

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

หรือ

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}}$$

ถ้า

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \quad \therefore N = \frac{N_0}{2^n}$$

และ

$$N = \frac{N_A m(\text{กรัม})}{A}$$

$N_A = 6.02 \times 10^{23}$ โมลกุล, m = มวลมีหน่วยเป็นกรัม

A = Atomic mass Number

$$\therefore N \propto m$$

$$\therefore \frac{N}{N_0} = \frac{m}{m_0} = 2^n$$

สภาพสมดุล

เมื่อธาตุกัมมันตรังสี A สลายตัวไปเป็นธาตุกัมมันตรังสี B ปริมาณของธาตุ A จะลดลง ในขณะที่ปริมาณของธาตุ B สลายตัวต่อไปเป็นธาตุ C ต่อไป จะมีช่วงขณะหนึ่งที่ปริมาณของธาตุ B คงที่ เพราะ

อัตราเพิ่มของธาตุ B = อัตราการลดของธาตุ A

หรือ อัตราการสลายตัวของ A = อัตราการสลายตัวของ B

$$\therefore \lambda_A N_A = \lambda_B N_B$$

จะได้

$$\frac{N_A}{N_B} = \frac{\lambda_B}{\lambda_A} = \frac{T_{\frac{1}{2}}(A)}{T_{\frac{1}{2}}(B)} = \frac{m_A A_B}{m_B A_A}$$

ไอโซโทป (Isotope)

หมายถึงกลุ่มอะตอมของธาตุชนิดเดียวกัน ซึ่งมีเลขอะตอมเท่ากับแต่เลขมวลต่างกัน

${}_Z^{A_1}X, {}_Z^{A_2}X, {}_Z^{A_3}X$

เช่น ${}_1^1H, {}_1^2H, {}_1^3H$ เป็นไอโซโทป

${}_1^1H$ และ ${}_1^2H$ เป็นไอโซโทปที่เสถียร ส่วน ${}_1^3H$ ไม่เสถียร

Mass – Spectro – meter

เป็นเครื่องวิเคราะห์มวลของไอโซโทป โดยแบ่งการทำงานเป็น 3 ส่วน

1. ส่วนเร่งประจุ $E_k = eV$

2. ส่วนคัดเล็อกความเร็ว $v = \frac{E}{B_1}$

3. ส่วนวิเคราะห์ไฮโซโทป $R = \frac{mv}{qB_2} = \frac{mE}{qB_1B_2}$ และ $m = \frac{qB_1B_2R}{E}$

เสถียรภาพของนิวเคลียส

โดยทั่วไป (ยกเว้น H²) นิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอน

โดย แรงระหว่างประจุ $F_E = \frac{ke^2}{r^2} \approx 230N$

แรงดึงดูดระหว่างมวล $F_G = \frac{G'Mn}{R^2} \approx 10^{-33} N$

แสดงว่า ต้องมีแรงยึดเหนี่ยวภายในนิวเคลียสอีกแรงซึ่งเรียกว่า แรงนิวเคลียร์ (Nuclear force) เป็นแรงที่ไม่เกี่ยวข้องกับประจุไฟฟ้า โดยการพิจารณาเฉพาะภายในนิวเคลียสเท่านั้น และสรุปได้ว่า

1. นิวเคลียส มีลักษณะเป็นทรงกลม

2. $R \propto A^{\frac{1}{3}}$ (A = Atomic mass Number)

$\therefore R = r_0 A^{\frac{1}{3}}$

$r_0 = a_0 =$ รัศมีนิวเคลียสของ H₂ = $1.2 \times 10^{-15} m$

3. ปริมาตรทรงกลม = $\frac{4}{3}\pi R^3$

$$= \frac{4}{3}\pi \left(r \cdot A^{\frac{1}{3}} \right)^3$$

$$= \frac{4}{3}\pi r_0^3 A$$

นิวเคลียส = $1.12 \times 10^{-45} A m^3$

4. ความหนาแน่นไม่ว่าจะเป็นนิวเคลียสของธาตุใด ๆ ก็ตาม

$\rho = \frac{m}{v} = 2.3 \times 10^{27} kg/m^3$ เท่ากันหมด

พลังงานยึดเหนี่ยว (Nuclear Binding Energy = B.E)

การให้พลังงานแก่นิวเคลียสเพื่อทำให้นิวคลีออนแยกจากกัน พลังงานที่พอดีทำให้นิวคลีออนแยกออกจากกันได้เรียก พลังงานยึดเหนี่ยว (B.E)

B.E = hf_0

$F_0 = \frac{B.E}{h}$ -----*

มวล 1 a.m.u = $1.66 \times 10^{-27} kg$ มีพลังงาน = 931 MeV (931.44 MeV)

จากการทดลองพบว่า มวลของนิวเคลียสจะน้อยกว่า ผลบวกของมวลของอนุภาคต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของนิวเคลียส มวลที่หายไปเรียกว่า มวลบกพร่อง (Mass defect = Δm)

จาก $E = mc^2$

$$E = \Delta mc^2$$

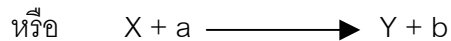
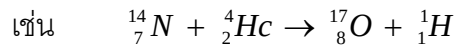
ถ้า Δm มีหน่วยเป็น amu. $E = (\Delta m) \cdot 931 \text{ MeV}$ -----*

$$\Delta m = Zm_H + (A - Z)m_n - M \text{ (อะตอม)} \text{ -----*}$$

พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน = $\frac{B.E}{A} = \frac{\Delta m \times 931}{A} \text{ MeV}$ -----*

ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Nuclear Reactions)

NR คือขบวนการที่นิวเคลียสเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ หรือระดับพลังงาน



การเกิดปฏิกิริยานิวเคลียส

1. หลักการคงที่ของนิวคลีออน
($\sum$ เลขมวลก่อนปฏิกิริยา = $\sum$ เลขมวลหลังปฏิกิริยา)
2. หลักการคงที่ของประจุไฟฟ้า
($\sum$ ประจุไฟฟ้าก่อนปฏิกิริยา = $\sum$ ประจุไฟฟ้าหลังปฏิกิริยา)
3. หลักการคงที่ของมวลและพลังงาน
4. หลักการคงที่ของโมเมนตัม

พลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์

พลังงานที่ดูดเข้า หรือคายออกจากปฏิกิริยา นิวเคลียร์ = Q

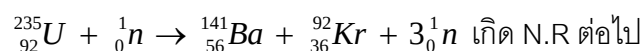
ถ้า $Q > 0$ แสดงว่า คายพลังงาน

$Q < 0$ แสดงว่า ดูดพลังงาน

Q จากปฏิกิริยานิวเคลียร์หาได้ 2 แบบ คือ

1. หาจาก Δm
 $Q(\text{amu}) = m_1 - m_2$
 $Q(\text{MeV}) = (m_1 - m_2) \cdot 931$
 $m_1 =$ ผลรวมมวลของนิวเคลียสและอนุภาคก่อนปฏิกิริยา
 $m_2 =$ ผลรวมมวลของนิวเคลียสและอนุภาคหลังปฏิกิริยา
2. หาจาก B.E
 $Q = BE_2 - BE_1$

Fission (ฟิชชัน) ธาตุใหญ่แตกออกเป็น 2 ธาตุ มวลใกล้เคียงกัน โดยมี $\frac{B.E}{A}$ เพิ่มขึ้น เช่น



Fussion (ฟิวชั่น) นิวเคลียสธาตุเล็ก ๆ 2 นิวเคลียสรวมกันได้ นิวเคลียสของธาตุใหม่ B.E สูงขึ้น และมี
การปล่อย B.E ออกมา