



ฟิสิกส์ 2 (Physics 2)

บทที่ 8

ฟิสิกส์นิวเคลียร์เบื้องต้น

ผู้สอน

อาจารย์ ดร.วุฒิชัย ไชยภักษา

สาขาฟิสิกส์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

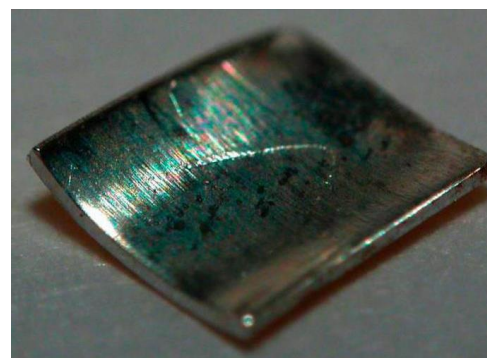


การสลายของธาตุกัมมันตรังสี

การศึกษาค้นคว้าขององตวน อองรี แบ็กเกอแรล (Antoine Henri Becquerel, 1852-1908) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ในปี ค.ศ. 1896 พบว่าธาตุบางชนิดที่มีอยู่ตามธรรมชาติจะไม่เสถียร และพยายามปรับตัวอยู่ในสภาพเสถียร โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพภายในของนิวเคลียสเองหรือปลดปล่อยอนุภาค (รังสี) บางอย่างออกมา ปรากฏการณ์นี้เรียกว่ากัมมันตภาพรังสี (radioactivity)



ธาตุยูเรเนียม



โปโลเนียม (polonium)

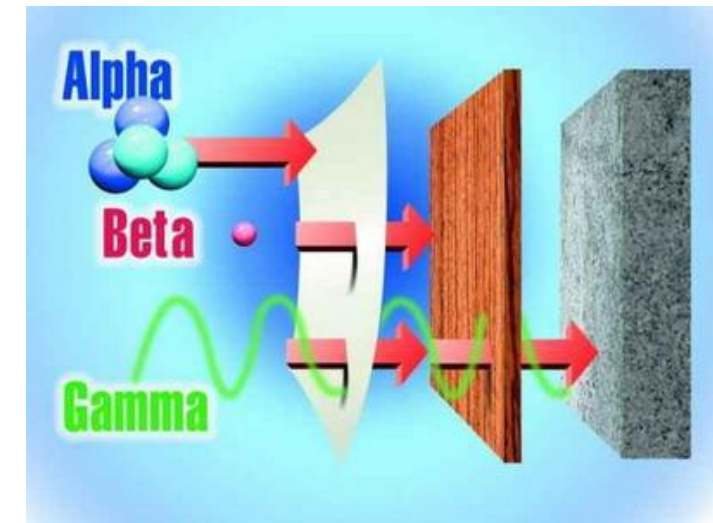
เรียกธาตุเหล่านี้ว่าธาตุกัมมันตรังสี (radioactive elements) กัมมันตภาพรังสีที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุกัมมันตรังสีที่สำคัญมี 3 ชนิด ประกอบด้วย



1. อนุภาคแอลฟา (α -particle) หรือรังสีแอลฟาหรือนิวเคลียสของธาตุฮีเลียม อนุภาคแอลฟาประกอบด้วยโปรตอน 2 ตัว และนิวตรอน 2 ตัว รังสีแอลฟามีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ สามารถกำบังได้ด้วยโลหะบางๆ เพราะสูญเสียพลังงานจลน์เนื่องจากการชนได้ง่าย แม้ว่าจะมีความเร็วอยู่ในระดับ 10^7 m.s^{-1} อนุภาคแอลฟาเบี่ยงเบนได้ในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ทำให้อะตอมของแก๊สที่อนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่ผ่านเกิดการแตกตัวเป็นไอออน

2. อนุภาคบีตา (β -particle) หรือรังสีบีตาหรืออิเล็กตรอนพลังงานสูง รังสีบีตาถ้ามีประจุบวกเรียกว่าโพสิตรอน รังสีบีตามีอำนาจทะลุทะลวงสูงกว่ารังสีแอลฟา แม้ว่าจะมีพลังงานจลน์น้อยกว่าเพราะมวลน้อยกว่ามาก รังสีบีตาเบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับรังสีแอลฟาและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเกือบเท่าความเร็วแสงคือ $0.9995 c$

3. รังสีแกมมา (γ -rays) รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงาน (ความถี่) สูงมีชื่อเรียกอีกอย่างว่าโฟตอนพลังงานสูง รังสีแกมมาไม่มีประจุจึงไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้า มีอำนาจทะลุทะลวงสูงสามารถผ่านตะกั่วหนาได้หลายเซนติเมตร รังสีแกมมามีอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วของแสง โดยทั่วไปแล้ว รังสีแกมมามักเกิดขึ้นภายหลังการสลายหรือภายหลังการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์





กฎการสลาย

การที่นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีไม่เสถียร แต่ปลดปล่อยอนุภาคต่างๆ ออกมาแล้วเปลี่ยนแปลงสภาพไปเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่เรียกว่าการสลาย (decay) อัตราการสลายของธาตุกัมมันตรังสีเรียกว่ากัมมันตภาพ (activity) อัตราการสลายของธาตุกัมมันตรังสีขึ้นกับจำนวนนิวเคลียสของธาตุตั้งเดิมในขณะนั้น

ถ้าให้ N แทนจำนวนนิวเคลียสไม่เสถียรชั่วขณะเวลาใดๆ
อัตราการสลายของนิวเคลียสจะเป็นไปในลักษณะลดลง นั่นคือ

$$-\frac{dN}{dt} \propto N$$

หรือ

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (8.3)$$

เมื่อ λ คือค่าคงตัวการสลาย (decay constant) หน่วย (วินาที)⁻¹

N_0 เป็นจำนวนนิวเคลียสตั้งเดิม เมื่อเวลาเริ่มต้น $t = 0$

โดยอาศัยการหาปริพันธ์ สมการ (8.3) กล่าวคือ

$$\int_{N_0}^N \frac{1}{N} dN = \int_0^t -\lambda dt$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

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

หรือ

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (8.4)$$

สมการ (8.4) เรียกว่ากฎการสลายของธาตุกัมมันตรังสี (law of radioactive decay)





ถ้าให้ $T_{1/2}$ แทนช่วงเวลาที่ธาตุกัมมันตรังสีสลายไปเหลือครึ่งหนึ่ง เรียกช่วงเวลานี้ว่า ครึ่งชีวิต (half life) แสดงดังภาพที่ 8.1 สมการ (8.4) เขียนได้ว่า

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

นั่นคือ

$$\lambda T_{1/2} = \ln 2$$

จะได้ครึ่งชีวิต

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (8.5)$$

หรือ

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} \quad (8.6)$$





การหาอายุโบราณวัตถุชิ้นหนึ่ง โดยการวัดปริมาณธาตุคาร์บอน-14 มีครึ่งชีวิต 5,570 ปี พบว่าปริมาณของธาตุคาร์บอน-14 เหลืออยู่ในปัจจุบันเท่ากับ $1/8$ เท่าของปริมาณที่มีอยู่ในตอนแรก อยากทราบว่าโบราณวัตถุชิ้นนี้มีอายุเท่าไร

วิธีทำ

จากสมการ

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$
$$= N_0 e^{-0.693t/T_{1/2}}$$

หรือ

จากโจทย์

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\frac{0.693}{T_{1/2}} t$$

$$\ln \frac{1}{8} = -\frac{0.693}{5,570} t$$

จะได้

$$t = 16,713.5 \text{ ปี}$$

นั่นคือโบราณวัตถุชิ้นนี้มีอายุ 16,713.5 ปี





N P R U

นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีถูกผลิตขึ้นมีอัตราคงตัวคือ n อนุภาคต่อวินาที โดยการระดมยิงเป้าด้วย อนุภาคนิวตรอน จงแสดงว่าจำนวนนิวเคลียส N ที่เวลา t

$$N = \frac{n}{\lambda} + (N_0 - \frac{n}{\lambda})e^{-\lambda t}$$

เมื่อ N_0 เป็นจำนวนนิวเคลียสธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้น

วิธีทำ

ธาตุกัมมันตรังสีมีอัตราการเพิ่ม n อัตราการลดลงเนื่องจากการสลายเท่ากับ λN

ดังนั้นจำนวนสุทธิคือ

$$\frac{dN}{dt} = n - \lambda N$$

จัดรูปใหม่แล้วหาปริพันธ์

นั่นคือ

$$\begin{aligned} \int_{N_0}^N \frac{1}{n - \lambda N} dN &= \int_0^t dt \\ -\frac{1}{\lambda} \int_{N_0}^N \frac{1}{n - \lambda N} d(n - \lambda N) &= \int_0^t dt \\ -\frac{1}{\lambda} \ln \frac{n - \lambda N}{n - \lambda N_0} &= t \\ \frac{n - \lambda N}{n - \lambda N_0} &= e^{-\lambda t} \end{aligned}$$

$$N = \frac{n}{\lambda} + (N_0 - \frac{n}{\lambda})e^{-\lambda t}$$





N P R U

^{215}At มีครึ่งชีวิต $100\mu\text{s}$ ถ้ามี ^{215}At มวล 6 mg จงหากัมมันตภาพที่เวลาเริ่มต้นและภายหลัง $200\mu\text{s}$





N P R U

จำนวนอะตอมของกัมมันตรังสีที่เวลาเริ่มต้น

$$N_0 = \frac{(6 \times 10^{-3} \text{ g})(6.02 \times 10^{23} \text{ atom.mol}^{-1})}{215 \text{ g.mol}^{-1}}$$
$$= 1.68 \times 10^{19} \text{ atom}$$

ค่าคงตัวการสลาย

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$
$$= \frac{0.693}{100 \times 10^{-6} \text{ s}}$$
$$= 6930 \text{ s}^{-1}$$

ดังนั้น กัมมันตภาพ ที่เวลาเริ่มต้น

$$A_0 = \lambda N_0$$
$$= (6930 \text{ s}^{-1})(1.68 \times 10^{19} \text{ atom})$$
$$= 1.16 \times 10^{23} \text{ Bq}$$

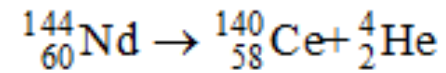
กัมมันตภาพ ที่เวลา $t = 200 \mu\text{s}$

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$
$$= (1.16 \times 10^{23} \text{ Bq}) e^{-(6930 \text{ s}^{-1})(200 \times 10^{-6} \text{ s})} = 2.9 \times 10^{22} \text{ Bq}$$





จงหาพลังงาน Q ของกระบวนการสลาย



วิธีทำ

จากตาราง ${}_{60}^{144}\text{Nd} = 143.95556 \text{ u}$, ${}_{58}^{140}\text{Ce} = 139.94977 \text{ u}$ และ ${}_2^4\text{He} = 4.00387 \text{ u}$

ส่วนพร้อมมวล

$$\begin{aligned} m &= 143.95556 \text{ u} - 139.94977 \text{ u} - 4.00387 \text{ u} \\ &= 0.00192 \text{ u} \end{aligned}$$

พลังงาน

$$\begin{aligned} Q &= mc^2 \\ &= (0.00192 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) = 1.79 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Q คือพลังงานที่ปล่อยออกมาจากการสลายของนิวเคลียส X เรียก Q ว่าพลังงานการสลาย

