บทที่ 8
รังสีแกมมาและการสลายโดยการส่งรังสีแกมมา
(GAMMA - RAYS AND GAMMA - DECAY)

รังสีแกมมาเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ มีลักษณะเป็นโฟตอนที่มีพลังงานสูง เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานภายในนิวเคลียส จากสภาวะที่ถูกกระตุ้นมายังสภาวะกราวน์

ไม่ว่าจะเป็นการส่งอนุภาคแอลฟาหรืออนุภาคเบตา มักจะทิ้งนิวเคลียสที่เกิดใหม่ไว้ในสภาวะที่ถูกกระตุ้น จึงมีการส่งรังสีแกมมาออกมา

8.1 การดูดกลืนรังสีแกมมา

เมื่อรังสีแกมมาเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง จะทำให้ความเข้มลดลง ปริมาณรังสีที่ผ่านออกมาจะลดลงเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล

จากการหาสูตรในหนังสือตำรา PH 424 สูตรสำหรับการดูดกลืนคือ

$$I = I_0 e^{-\mu x} \qquad \text{.....(8.1)}$$

เมื่อ μ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแกมมา (ซม$^{-1}$)

I คือความเข้มของรังสีแกมมาที่ผ่านออกมา $\left(\frac{\text{โฟตอน}}{\text{ซม.}^2 \text{ วินาที}}\right)$

I_0 คือความเข้มของรังสีแกมมาทั้งหมดก่อนผ่านตัวกลาง

ความหนาครึ่งชั้น (half value layer) คือ ความหนาของตัวกลางที่นำมากั้นรังสีแล้วทำให้ความเข้มที่ผ่านออกมาลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของความเข้มเดิม คือ

$$I = \frac{I_0}{2}$$

ความหนาที่สิบ (tenth value layer) คือ ความหนาของตัวกลางที่นำมากั้นรังสีแล้วทำให้ความเข้มที่ผ่านออกมาลดลงเหลือเพียง $\frac{1}{10}$ เท่าของความเข้มเดิม คือ

$$I = \frac{I_0}{10}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแกมมาที่ขึ้นกับมวล

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad \frac{\text{ซม.}^2}{\text{กรัม}} \qquad \text{.....(8.2)}$$

ในการคำนวณนั้น สังเกตว่า ค่า μx จะต้องไม่มีหน่วย

และหน่วยของ I จะต้องเหมือนกับ I_0

ถ้ารังสีแกมมามีพลังงาน E $\frac{\text{เอมอีวี}}{\text{โฟตอน}}$

พลังงานของรังสีแกมมาที่ผ่านออกมา = $IE \frac{\text{เอมอีวี}}{\text{ซม.}^2 \text{ วินาที}}$

8.2 ผลที่เกิดขึ้นเมื่อรังสีแกมมากระทบสาร

(1) เกิดการดูดกลืน ได้แก่ โฟโตอิเล็กตริกเอฟเฟค

เกิดกับโฟตอนที่มีพลังงานต่ำ เมื่อกระทบสารจะถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้แก่อิเล็กตรอนที่อยู่รอบนอกทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจร แล้ววิ่งไปด้วยความเร็วค่าหนึ่ง โดยมีพลังงานจลน์ E_e

$$E_e = E_\gamma - E_b \qquad \text{.....(8.3)}$$

เมื่อ E_γ คือพลังงานของรังสีแกมมา

E_b คือค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในอะตอม

อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเรียก โฟโตอิเล็กตรอน จะเกิดขึ้นมากหรือน้อย ขึ้นกับพลังงานของรังสีแกมมา และจำนวนอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส หรือเลขอะตอมของธาตุที่ใช้ดูดกลืน เมื่ออิเล็กตรอนหลุดออกไปจากวงโคจร จะมีอิเล็กตรอนในวงโคจรอื่นเข้ามาแทนที่ทำให้เกิดรังสีเอกซ์

(2) การกระเจิง ได้แก่ คอมป์ตันเอฟเฟค

เมื่อโฟตอนมีพลังงานสูงขึ้น การเกิดโฟโตอิเล็กตริคเอฟเฟคจะลดลง และมีคอมป์ตันเอฟเฟคเกิดมากขึ้น เป็นกระบวนการที่โฟตอนเสียพลังงานบางส่วนให้กับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจร มีพลังงานค่าหนึ่ง พลังงานของโฟตอนจะลดลงเหลือ E_γ'

$$E_\gamma' = E_\gamma - E_b \qquad \text{.....(8.4)}$$

การเกิดคอมป์ตันเอฟเฟค ขึ้นกับค่าเลขอะตอม Z ของสารที่ใช้กั้นรังสี และพลังงานของโฟตอน

(3) เกิดการเปลี่ยนแปลงจากโฟตอนของพลังงานกลายเป็นมวล ได้แก่การเกิดแพร์โพรดักชัน

เกิดกับโฟตอนที่มีพลังงานสูง สูงกว่า 1.022 เอมอีวี วิ่งเข้ามาในสนามไฟฟ้าของนิวเคลียส โฟตอนจะถูกทำลายไป และมีอิเล็กตรอนกับโพซิตรอนเกิดขึ้น ทั้งอิเล็กตรอนและโพซิตรอน จะวิ่งไปในตัวกลางจนพลังงานเหมาะสมก็จะถูกทำลายไป เกิดเป็นโฟตอน 2 กลุ่ม โฟตอน ที่มีพลังงานกลุ่มโฟตอนละ 0.511 เอมอีวี วิ่งไปในทิศทางตรงกันข้าม

แพร์โพรดักชัน จะต้องเกิดในสนามไฟฟ้าของนิวเคลียส เท่านั้น

แบบฝึกหัดบทที่ 8

ข้อ 8.1 **โจทย์** สาร ก. ส่งรังสีแกมมา 400 โฟตอน/ซม^2/วินาที แต่ละโฟตอนมีพลังงาน 100 เคอีวี เมื่อนำตะกั่วขนาดกว้าง 5 ซม. ยาว 10 ซม. หนัก 10 กรัม มาขวางลำรังสีแกมมา ถามว่า

(ก) ความเข้มของลำแสงที่ผ่านออกมามีค่าเท่าไร

(ข) พลังงานที่ส่งผ่านออกมามีค่าเท่าไร

(ค) ความเข้มของลำแสงที่ถูกดูดกลืนมีค่าเท่าไร

กำหนดค่า สัมประสิทธิ์การดูดกลืนที่ขึ้นกับมวล มีค่า 5 $\frac{\text{ซม}^2}{\text{กรัม}}$

เฉลย

(ก) $$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$= I_0 e^{-5 \frac{\text{ซม}^2}{\text{กรัม}} \times \frac{10 \text{ กรัม}}{5 \times 10 \text{ ซม}^2}}$$

$$= I_0 e^{-1}$$

$$= \frac{1}{e} \cdot I_0 = \frac{1}{2.718} I_0$$

$$= 0.3679\ I_0$$

ความเข้มของลำแสงที่ผ่านออกมา $= 0.3679 \times 400 = 147.16 \ \frac{\text{โฟตอน}}{\text{ซม}^2 \cdot \text{วินาที}}$

(ข) พลังงานที่ส่งออกมา $= 100 \times 147.16 = 1.47 \times 10^4 \ \frac{\text{เคอีวี}}{\text{ซม}^2 \cdot \text{วินาที}}$

(ค) ความเข้มของลำแสงที่ถูกดูดกลืน $= I_0 - I$

$$= I_0 - 0.3679\ I_0$$

$$= 0.6321\ I_0 = 63.21\% \text{ ของความเข้มเดิม}$$

ข้อ 8.2 **โจทย์** กำเนิดโคบอลต์ความแรง 1 คูรี วางอยู่ในอากาศ จงหาความเข้มของรังสีแกมมา ที่ระยะห่าง 1 เมตร

กำหนดค่า Mass attenuation coefficient สำหรับรังสีแกมมา พลังงาน 1.17 เอมอีวีในอากาศเท่ากับ 0.0270 $\frac{\text{ซม}^2}{\text{กรัม}}$ และที่พลังงาน 1.33 เอมอีวี เท่ากับ 0.0263 $\frac{\text{ซม}^2}{\text{กรัม}}$, ความหนาแน่นของอากาศ $= 0.001293 \ \frac{\text{กรัม}}{\text{ซม}^3}$

เฉลย

ความเข้มของตัวกำเนิด I_0 = 1 คูรี = 3.7×10^{10} $\frac{\text{โฟตอน}}{\text{วินาที}}$

$$I = I_0 e^{-\mu x} \qquad \text{.....(1)}$$

$$= 3.7\times10^{10} e^{-\frac{\mu}{\rho}\cdot\rho\cdot x} \qquad \text{.....(2)}$$

ถ้า E_1 = พลังงาน 1.17 เอมอีวี, $\frac{\mu}{\rho}$ = 0.027 $\frac{\text{ซม}^2}{\text{กรัม}}$

$$e^{-\frac{\mu}{\rho}\cdot\rho\cdot x} = e^{-0.027\times0.001293\times100}$$

$$= e^{-3.4911\times10^{-3}} = 0.9965$$

E_2 = พลังงาน 1.33 เอมอีวี, $\frac{\mu}{\rho}$ = 0.0263 $\frac{\text{ซม}^2}{\text{กรัม}}$

$$e^{-\frac{\mu}{\rho}\cdot\rho\cdot x} = e^{-0.0263\times0.001293\times100}$$

$$= e^{-3.4005\times10^{-3}} = 0.9966$$

จากสมการ (2), พลังงาน E_1, $I_1 = I_0\times0.9965$ $\frac{\text{โฟตอน}}{\text{วินาที}}$

พลังงาน E_2, $I_2 = I_0\times0.9966$ $\frac{\text{โฟตอน}}{\text{วินาที}}$

ข้อ 8.3 **โจทย์** ถ้าไม่คิดปริมาณรังสีที่ลดลงเมื่อวิ่งผ่านอากาศ กำหนดให้มีกำเนิดโคบอลต์-60 ความแรง 1 คูรี วางอยู่ในอากาศ จงหาความเข้มของรังสีแกมมา ที่ระยะห่าง 1 เมตร โดยกำหนดให้โคบอลต์-60 สลายโดยการส่งรังสีแกมมา 2 พลังงาน คือ 1.17 และ 1.33 เอมอีวี

และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของรังสีแกมมาที่ขึ้นกับมวลในอากาศ สำหรับรังสีแกมมา พลังงาน 1.17 และ 1.33 เอมอีวี เท่ากับ 0.0270 และ 0.0263 $\text{ซม}^2/\text{กรัม}$ ตามลำดับ

เฉลย

$$\text{ความเข้ม} = \frac{3.7\times10^{10}}{4\pi\times(100)^2}\ \frac{\text{โฟตอน}}{\text{วินาที}\cdot\text{ซม}^2}\times(1.17+1.33)\ \frac{\text{เอมอีวี}}{\text{โฟตอน}}$$

$$= 7.35\times10^{5}\ \frac{\text{เอมอีวี}}{\text{ซม}^2\cdot\text{วินาที}}$$

Dose rate ที่ระยะห่าง 1 เมตร

$$= \frac{3.7\times10^{10}}{4\pi(100)^2}\ \frac{\text{โฟตอน}}{\text{วินาที}\cdot\text{ซม}^2}\ (1.17\times0.0270+1.33\times0.0263)\ \frac{\text{เอมอีวี}}{\text{โฟตอน}}\times\frac{\text{ซม}^2}{\text{กรัม}}\ 3600\ \frac{\text{วินาที}}{\text{ชั่วโมง}}$$

$$= 70.5328\times10^{6}\ \frac{\text{เอมอีวี}}{\text{กรัม}\cdot\text{ชั่วโมง}}\ \frac{1\text{R}}{5.24\times10^{7}}\ \frac{\text{กรัม}}{\text{เอมอีวี}} \qquad \text{(ดูข้อ 8.6)}$$

$$= 1.346\ \frac{\text{R}}{\text{hr}}$$

ความแรงที่ระยะห่าง 1 เมตร คือ $1.35\ \frac{\text{รองเกน}}{\text{ชั่วโมง}}$

ข้อ 8.4 **โจทย์** ธาตุกัมมันตรังสีสลายโดยให้รังสีแกมมา 100 โฟตอน/ซม^2/วินาที แต่ละโฟตอนมีพลังงาน 1 เอมอีวี เมื่อนำเหล็กความหนาแน่น 7.8 กรัม/ซม^3, หนา 5 ซม. มาขวางลำรังสีแกมมา จะทำให้ลำแสงถูกดูดกลืนไปเท่าไร

กำหนดค่า Mass attenuation coefficient สำหรับรังสีแกมมาที่พลังงาน 1 เอมอีวี มีค่า $0.0595\ \frac{\text{ซม}^2}{\text{กรัม}}$ และ $e^{-2.3205} = 0.0982$

เฉลย

$$\frac{\mu}{\rho} = 0.0595\ ,\quad \mu = 0.0595\times7.8 = 0.4641$$

$$I = I_0e^{-\mu x}$$

$$= I_0e^{-0.0595\times7.8\times5}$$

$$= I_0e^{-2.3205}$$

รังสีที่ผ่านออกมา $= 100\times0.0982 = 9.82$ โฟตอน

รังสีที่ถูกดูดกลืน $= I_0 - I = 100 - 9.82 = 90.18$ โฟตอน $= 90.18\%$

ข้อ 8.5 **โจทย์** จงเปรียบเทียบความหนาของตะกั่วและคอนกรีตที่จะกั้นรังสีแกมมาพลังงาน 1 เอมอีวี กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแกมมาที่ขึ้นกับมวลสำหรับรังสีแกมมา พลังงาน 1 เอมอีวี กับตะกั่วมีค่าเท่ากับ 0.0402 $\frac{\text{ซม}^2}{\text{กรัม}}$ และสำหรับคอนกรีตเท่ากับ 0.0278 $\frac{\text{ซม}^2}{\text{กรัม}}$ ที่พลังงานเดียวกัน

เฉลย

$$I = I_0 e^{-\mu x} \qquad \text{.....(1)}$$

μx จะต้องเป็นค่าที่ไม่มีหน่วย

$\frac{\mu}{\rho}$ มีหน่วยเป็น $\frac{\text{ซม}^2}{\text{กรัม}}$, x จะต้องมีหน่วยเป็น $\frac{\text{กรัม}}{\text{ซม}^2}$

แทนค่าใน (1)

สำหรับตะกั่ว $I = I_0 e^{-0.0402 x_1}$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-0.0402 x_1}$$

$$\ln \frac{I_0}{I} = 0.0402\, x_1$$

$$x_1 = \frac{1}{0.0402} \ln \frac{I_0}{I} \qquad \text{.....(2)}$$

สำหรับคอนกรีต, $I = I_0 e^{-0.0278\, x_2}$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-0.0278\, x_2}$$

$$\ln \frac{I_0}{I} = 0.0278\, x_2$$

$$x_2 = \frac{1}{0.0278} \ln \frac{I_0}{I} \qquad \text{.....(3)}$$

เปรียบเทียบ $\frac{\text{ตะกั่ว}}{\text{คอนกรีต}} = \frac{x_1}{x_2} = \frac{0.0278}{0.0402} = 0.69$

ความหนาของตะกั่วจะเป็น 0.69 เท่าของคอนกรีต

ข้อ 8.6 **โจทย์** จงให้ความหมายของรองเกน และจงหาพลังงานที่เกิดจากรังสี 1 รองเกน

เฉลย

รังสี 1 รองเกน จะทำให้อากาศ 1 ลบ.ซม. ที่ NTP แตกตัวเกิดประจุไฟฟ้า 1 อีเอสยู

$$1\,R = \frac{1\ \text{อีเอสยู}}{\text{อากาศ 1 ซม}^3}$$

$$= 2.08\times10^{9}\ \frac{\text{อิออนแพร์}}{\text{อากาศ 1 ซม}^3} \times \frac{1\ \text{ซม}^3}{0.001293\ \text{กรัม}}$$

$$= 1.61\times10^{12}\ \frac{\text{อิออนแพร์}}{\text{อากาศ 1 กรัม}}$$

ถ้าอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในการเกิดอิออนแพร์มีพลังงานเฉลี่ย 32.5 อิเล็กตรอนโวลต์

$$1\,R = 6.77\times10^{4}\ \frac{\text{เอมอีวี}}{\text{อากาศ 1 ซม}^3}$$

$$= 6.77\times10^{4}\ \frac{\text{เอมอีวี}}{\text{อากาศ 1 ซม}^3} \times \frac{1\ \text{ซม}^3}{0.001293\ \text{กรัม}}$$

$$= 5.24\times10^{7}\ \frac{\text{เอมอีวี}}{\text{อากาศ 1 กรัม}}$$

ข้อ 8.7 **โจทย์** จงเปลี่ยน 1 รองเกน /วินาที เป็นหน่วย แอมแปร์/ซม^3 ของอากาศ

เฉลย

$$1\ \frac{R}{sec} = \frac{1}{3\times10^{9}}\ \frac{\text{คูลอมบ์}}{\text{วินาที}\cdot\text{ซม}^3\cdot\text{ของอากาศ}}$$

$$= 3.33\times10^{-10}\ \frac{\text{แอมแปร์}}{\text{อากาศ 1 ซม}^3}$$

$$\frac{1\ mR}{hr} = 9.26\times10^{-17}\ \frac{\text{แอมแปร์}}{\text{อากาศ 1 ซม}^3}$$