

## บทที่ 9 นิวตรอน (NEUTRON)

ในบทนี้จะกล่าวถึงการเกิดนิวตรอน ปฏิกริยาระหว่างนิวตรอนกับสาร ตลอดจน การลดพลังงานของนิวตรอน, ภาคตัดขวางจุลภาค และภาคตัดขวางมหภาคของนิวตรอน ซึ่งได้ศึกษามาบ้างแล้วในบทที่ 5 และรายละเอียดก็มีอยู่แล้วในหนังสือตำรา PH 424 จึงจะไม่นำมากล่าวซ้ำอีก

### 9.1 การคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อนิวตรอนกระทบเป้า

ในการอาบรังสี จะนำธาตุที่ไม่เป็นธาตุกัมมันตรังสีเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ ชั่วระยะเวลาหนึ่ง ธาตุนั้นก็จะเป็นธาตุกัมมันตรังสี ดังสมการ



ความแรงของธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น หาได้จากความแรงที่เกิดขึ้นมากที่สุด ลบด้วยความแรงของธาตุกัมมันตรังสี ที่เกิดขึ้นนั้นสลายไปในขณะอาบรังสี

$$A(T) = \Sigma\phi(1 - e^{-\lambda T}) \quad \dots\dots\dots(9.2)$$

เมื่อ T เป็นเวลาที่ใช้ในการอาบรังสี (วินาที)

A(T) เป็นความแรงเมื่ออาบรังสีนาน T มีหน่วยเป็น  $\frac{\text{อะตอม}}{\text{ซม}^3 \cdot \text{วินาที}}$

ถ้าปล่อยธาตุที่เป็นธาตุกัมมันตรังสีนั้น ไว้ในเครื่องปฏิกรณ์นานมาก จนไม่สลายอีกต่อไป ความแรงจะหาได้จาก

$$A = \Sigma\phi \quad \dots\dots\dots(9.3)$$

ความแรงที่ได้จะเป็นความแรงที่มีค่าสูงสุด  $A_{\max}$

เมื่อนำออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์นาน t แล้วจึงนำมาเข้าเครื่องวัด ความแรงที่วัดได้ จะลดลงเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล คือมีเทอม  $e^{-\lambda t}$  คุณเข้าไปด้วย ทั้งสมการที่ (9.2) และสมการที่ (9.3)

กรณีที่อาบรังสีนาน T แล้ววัดในเวลา t ต่อมา หลังจากนำออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์  
แล้ว

$$A = \Sigma \phi(1 - e^{-\lambda T})e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots(9.4)$$

บางทีโจทย์กำหนดค่าประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้วัดความแรง จะต้องคำนวณ  
ให้ได้ก่อนว่า จำนวนอะตอมกัมมันตรังสีที่สลายได้จริง มีค่าเท่าใด จึงจะนำมาใช้คำนวณได้

---

## แบบฝึกหัดบทที่ 9

ข้อ 9.1 โจทย์ นำแผ่นทอง-197 อายรังสีนิวตรอน ทำให้เกิดปฏิกิริยา  $\text{Au}^{197} (n, \gamma) \text{Au}^{198}$  ทอง-198 มีครึ่งชีวิต 2.7 วัน ภาคตัดขวางจุลภาคสำหรับการดูดกลืนนิวตรอนเท่ากับ 96 บาร์น ถ้านำทอง-197หนัก 0.05 กรัม อายรังสีเป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำออกมา แล้วทิ้งไว้นาน 2 ชั่วโมง พบว่า ทอง-198 ส่งอนุภาคเบตาด้วยอัตรา  $2 \times 10^4$  อนุภาคต่อนาที

(ก) จงหาฟลักซ์นิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์

(ข) ขณะนำออกมามีความแรงเท่าไร

(ค) ถ้าปล่อยทิ้งไว้ในเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลานานมาก ความแรงสูงสุดจะเป็นเท่าไร

กำหนด

$$e^{-0.0053} = 0.9946, \quad e^{-0.0213} = 0.9789$$

เฉลย

$$\text{Au} - 198, \quad \lambda = \frac{0.693}{2.7 \times 8.64 \times 10^4} = 2.97 \times 10^{-6} \text{ วินาที}^{-1}$$

$$A = \Sigma \phi (1 - e^{-\lambda T}) e^{-\lambda t}$$

$$\Sigma = N \sigma$$

$$= \frac{0.05}{197V} \times 0.602 \times 10^{24} \times 96 \times 10^{-24} = \frac{0.01466}{V} \text{ ซม}^{-1}$$

$$V \Sigma = 0.01466$$

$$A = V \Sigma \phi (1 - e^{-\lambda T}) e^{-\lambda t}$$

$$\frac{2 \times 10^4}{60} = 0.01466 \phi \left( 1 - e^{-\frac{0.693 \times 30}{2.7 \times 24 \times 60}} \right) e^{-\frac{0.693 \times 2}{2.7 \times 24}}$$

$$\frac{2 \times 10^4}{60} = 0.01466 \phi (1 - e^{-0.00534}) e^{-0.0213}$$

$$= 0.01466 \phi (1 - 0.9946) (0.9789)$$

$$= 0.01466 (0.0054 \times 0.9789) = 7.7176 \times 10^{-5} \phi$$

$$(ก) \text{ ฟลักซ์นิวตรอน } \phi = \frac{2 \times 10^4}{60 \times 7.71 \times 10^{-5}} = \frac{2 \times 10^4}{4.63 \times 10^{-3}}$$

$$= 4.31 \times 10^6 \frac{\text{นิวตรอน}}{\text{ซม}^2 \cdot \text{วินาที}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(ข) } \text{ขณะที่นำออกมาที่มีความแรง } A &= \Sigma\phi(1 - e^{-\lambda T}) \\
 &= 0.01466 \times 4.3 \times 10^6 (1 - e^{-0.00534}) \\
 &= 6.3 \times 10^4 \times (1 - 0.9946) \\
 &= 6.3 \times 10^4 \times 0.0054 = 3.39 \times 10^2 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(ค) } \text{ความแรงสูงสุด, } A_{\max} &= \Sigma\phi = 0.0146 \times 4.3 \times 10^6 \\
 &= 0.0627 \times 10^6 \\
 &= 6.27 \times 10^4 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}
 \end{aligned}$$

ข้อ 9.2 โจทย์ นำทอง-197 1 มิลลิกรัม อาบรังสีในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีฟลักซ์  $10^{12}$  นิวตรอนต่อ  $\text{cm}^2$  ต่อวินาที เป็นเวลานาน 1 วัน กำหนดให้ภาคตัดขวางจุลภาคสำหรับการจับนิวตรอนของทองที่พลังงานนี้มีค่า 98.8 บาร์น ครึ่งชีวิตของทอง-198 เท่ากับ 2.7 วัน

$$e^{-0.2566} = 0.7736, \quad e^{-0.77} = 0.4630$$

จงหา

- (ก) อัตราการสลายทันทีที่นำทอง-198 ออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์ (อะตอม/วินาที)
- (ข) อัตราการสลายเมื่อปล่อยทิ้งไว้ยาวนาน 3 วัน
- (ค) อัตราการสลายสูงสุดที่จะเกิดขึ้น
- (ง) จำนวนอะตอมของทอง-198 ขณะที่เกิดมากที่สุด

เฉลย

(ก) จำนวนอะตอมของทอง-197,

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{W \cdot N_a}{M} \\
 &= \frac{1 \times 10^{-3} \times 0.602 \times 10^{24}}{197} = 3.0558 \times 10^{18} \text{ อะตอม}
 \end{aligned}$$

$$\sigma = 98.8 \times 10^{-24} \text{ ซม}^2$$

$$\text{ทอง-198, } \lambda = \frac{0.693}{2.7} = 0.2566 \text{ วัน}^{-1} = 2.97 \times 10^{-6} \text{ วินาที}^{-1}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma &= N\sigma \\
 &= 3.05 \times 10^{-6} \times 98.8 = 301.916 \times 10^{-6} \text{ ซม}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A &= \Sigma\phi(1 - e^{-\lambda T}) \\
&= 301.91 \times 10^{-6} \times 10^{12} (1 - e^{-0.2566 \times 1}) \\
&= 301.9 \times 10^6 (1 - 0.7736) \\
&= 301.9 \times 10^6 \times 0.22637
\end{aligned}$$

ความแรงเมื่อนำออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์ =  $68.34 \times 10^6 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$

(ข)  $e^{-\frac{0.693}{2.7} \times 3} = e^{-0.77} = 0.4630$

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

ความแรงเมื่อทิ้งไว้นาน 3 วัน =  $68.34 \times 10^6 \times 0.4630 = 31.64 \times 10^6 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$

(ค) ความแรงสูงสุด  $A_{\max} = \Sigma\phi = 301.9 \times 10^6 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$

(ง) จำนวนอะตอม  $N = \frac{A_{\max}}{\lambda} = \frac{301.9 \times 10^6}{2.97 \times 10^{-6}} = 1.01 \times 10^{14}$  อะตอม

ข้อ 9.3 โจทย์ ทอง-197 ความหนาแน่น 19.3 กรัม/ซม<sup>3</sup> นำมาอบรังสี โดยใช้เทอร์มาลฟลักซ์ 10<sup>12</sup> นิวตรอน/ซม<sup>2</sup>/วินาที ค่าภาคตัดขวางจุลภาคสำหรับปฏิกิริยา Au<sup>197</sup>(n, γ)Au<sup>198</sup> เท่ากับ 94 บาร์น จงหา

(ก) ความแรงจำเพาะสูงสุดในหน่วย มิลลิคูรี/กรัม

(ข) ถ้านำแผ่นทองออกมาแล้ว 1 วัน จะมีความแรงเท่าไร ถ้ากำหนดครึ่งชีวิตของทองเท่ากับ 2.7วัน และ  $e^{-0.2567} = 0.7736$

---

\*อาจจะกำหนดมวลของทอง 1 มิลลิกรัม มีปริมาตร V ซม<sup>3</sup> ก่อน

เฉลย

$$N = \frac{19.3 \times 0.602 \times 10^{24}}{197} = 0.0589 \times 10^{24} \frac{\text{อะตอม}}{\text{ซม}^3}$$

$$\Sigma = N\sigma$$

$$= 0.0589 \times 10^{24} \times 94 \times 10^{-24} = 5.5438 \text{ ซม}^{-1}$$

(ก) ความแรงสูงสุด =  $\Sigma\phi$

$$= 5.5438 \times 10^{12} \frac{\text{อะตอม}}{\text{ซม}^3 \cdot \text{วินาที}}$$

แต่ความหนาแน่นของทอง-197 =  $19.3 \frac{\text{กรัม}}{\text{ซม}^3}$

$$\text{ความแรงจำเพาะสูงสุด} = 5.54 \times 10^{12} \frac{\text{อะตอม}}{\text{ซม}^3 \cdot \text{วินาที}} \cdot \frac{\text{ซม}^3}{19.3 \text{ กรัม}}$$

$$= 0.287 \times 10^{12} \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที} \cdot \text{กรัม}}$$

$$= \frac{0.287 \times 10^{12}}{3.7 \times 10^7}$$

$$= 0.0776 \times 10^5 \frac{\text{มิลลิวรี}}{\text{กรัม}}$$

$$= 7.76 \times 10^3 \frac{\text{มิลลิวรี}}{\text{กรัม}}$$

(ข) นำออกมาแล้ว 1 วัน จะมีความแรง A(t)

$$= A_0 e^{-\lambda t}$$

$$= 5.54 \times 10^{12} \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที} \cdot \text{ซม}^3} e^{-\frac{0.693 \times 1}{2.7}}$$

$$= 5.54 \times 10^{12} e^{-0.2567}$$

$$= 5.54 \times 10^{12} \times 0.7736 = 4.28 \times 10^{12} \frac{\text{อะตอม}}{\text{ซม}^3 \cdot \text{วินาที}}$$

$$\text{หรือ} = 7.76 \times 10^3 \frac{\text{มิลลิคูรี}}{\text{กรัม}} \times 0.7736$$

$$= 6.00179 \times 10^3 \frac{\text{มิลลิคูรี}}{\text{กรัม}}$$

ข้อ 9.4 โทกซ์ ทอง-197 หนัก 0.1 กรัม อาบรังสีนิวตรอนนาน 12 ชั่วโมง มีความแรง 0.90 คูรี กำหนดครึ่งชีวิตของทอง-198 เท่ากับ 64.8 ชั่วโมง

(ก) จงหาความแรงสูงสุดของทอง-198

(ข) นานเท่าไร จึงจะมีความแรง 80% ของค่าสูงสุด

$$\text{กำหนด } e^{-0.1283} = 0.8795, \quad \ln 0.2 = -1.6094$$

เฉลย

$$(ก) \quad A = \Sigma\phi(1 - e^{-\lambda T}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$0.90 \times 3.7 \times 10^{10} = \Sigma\phi(1 - e^{-\lambda T})$$

$$\text{ความแรงสูงสุด} = \Sigma\phi = \frac{0.9 \times 3.7 \times 10^{10}}{1 - e^{-\lambda T}} \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$$

$$\lambda T = \frac{0.693 \times 12}{64.8} = 0.1283, \quad e^{-\lambda T} = 0.8795$$

$$\Sigma\phi = \frac{0.9 \times 3.7 \times 10^{10}}{1 - 0.8795}$$

$$\text{ความแรงสูงสุด} = \frac{0.9 \times 3.7 \times 10^{10}}{0.12043} = 27.64 \times 10^{10} \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$$

$$(ข) \text{ 80\% ของค่าสูงสุด, } A = \frac{80}{100} \Sigma\phi$$

$$\text{จากสมการ (1), } \frac{80}{100} = 1 - e^{-\lambda T}$$

$$e^{-\lambda T} = 0.2$$

$$\lambda T = \ln 0.2$$

$$\frac{0.693}{64.8} T = -1.6094$$

$$\text{จะต้องใช้เวลานาน } T = 150.49 \text{ ชั่วโมง}$$

ข้อ 9.5 โจทย์ ทอง-197 ดูดกลืนนิวตรอนได้สูงสุดด้วยอัตรา  $10^{10}$  นิวตรอน/วินาที ในปฏิกิริยา  $\text{Au}^{197}(n, \gamma)\text{Au}^{198}$ ,  $\text{Au}^{198}$  มีครึ่งชีวิต 2.7 วัน จงหา

(ก) จำนวนอะตอมที่เกิดขึ้นในเวลา 3 วัน

(ข) ถ้าทองที่นำมาอบรังสีมีความหนาแน่น 19.32 กรัม/ซม<sup>3</sup> จงหาค่าฟลักซ์นิวตรอน กำหนดค่าภาคตัดขวางจุลภาคสำหรับปฏิกิริยา = 98.8 บาร์น

$$e^{-0.77} = 0.4630$$

เฉลย

(ก) ความแรงที่เกิดขึ้นในเวลา 3 วัน,

$$A(T) = A_0(1 - e^{-\lambda T}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$A_0 = 10^{10} \frac{\text{นิวตรอน}}{\text{วินาที}}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{2.7 \times 8.64 \times 10^4} = 0.0297 \times 10^{-4} \text{ วินาที}^{-1}$$

$$\lambda T = \frac{0.693}{2.7} \times 3 = 0.77$$

$$e^{-0.77} = 0.4630$$

จากสมการ (1),

$$\begin{aligned} A(T) &= 10^{10}(1 - 0.4630) \\ &= 10^{10} \times 0.537 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}} \end{aligned}$$

จำนวนอะตอม

$$\begin{aligned} N &= \frac{A}{\lambda} = \frac{0.537 \times 10^{10}}{0.0297 \times 10^{-4}} \\ &= 1.8 \times 10^{15} \text{ อะตอม} \end{aligned}$$

(ข) ความหนาแน่นของทอง  $\rho = 19.32 \frac{\text{กรัม}}{\text{ซม}^3}$

$$A_0 = N \sigma \phi \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$N = \frac{\rho \cdot N_a}{M} = \frac{19.32 \times 0.602 \times 10^{24}}{197} = 0.0590 \times 10^{24} \frac{\text{อะตอม}}{\text{ซม}^3}$$

$$\sigma = 98.8 \times 10^{-24} \text{ ซม}^2$$

จากสมการ (2),

$$10^{10} = 0.059 \times 10^{24} \times 98.8 \times 10^{-24} \phi$$



$$= 5.833 \phi$$

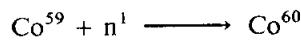
$$\phi = 1.71 \times 10^9 \frac{\text{นิวตรอน}}{\text{ซม}^2 \cdot \text{วินาที}}$$

$$\text{จำนวนอะตอม} = 1.8 \times 10^{15} \text{ อะตอม}$$

$$\text{ฟลักซ์นิวตรอน} = 1.71 \times 10^9 \frac{\text{นิวตรอน}}{\text{ซม}^2 \cdot \text{วินาที}}$$

ข้อ 9.6 โจทย์ แผ่นโคบอลต์บาง ๆ หนัก 0.1 กรัม วางในเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อจะหาเทอร์มาล-ฟลักซ์ ใช้เวลาอบรังสีนาน 1 ชั่วโมง ปรากฏว่าเกิดโคบอลต์-60 ครึ่งชีวิต 5.2 ปี มีการสลาย  $600 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$  จงหาเทอร์มาลฟลักซ์ของเครื่องปฏิกรณ์นี้ กำหนดค่าภาคตัดขวางจุลภาคสำหรับปฏิกิริยาของโคบอลต์-59 สำหรับเทอร์มาลนิวตรอนเท่ากับ 34 บาร์น,  $e^{-1.52 \times 10^{-5}} = 0.99998$

เฉลย



$$N = \frac{0.1}{59} \times 0.602 \times 10^{24} = 1.02 \times 10^{21} \text{ อะตอม}$$

ความแรงของโคบอลต์-60 หลังจากการอบรังสี 1 ชั่วโมงคือ  $600 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$

$$A = \Sigma \phi (1 - e^{-\lambda T}) \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$600 = N \sigma \phi (1 - e^{-\lambda T})$$

$$\Sigma = N \sigma = 1.02 \times 10^{21} \times 34 \times 10^{-24} = 0.03469 \text{ ซม}^2$$

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{5.2 \times 3.15 \times 10^7} = 0.0423 \times 10^{-7} \text{ วินาที}^{-1}$$

$$\lambda T = \frac{0.693}{5.2 \times 365 \times 24} = 1.5213 \times 10^{-5}$$

แทนค่าในสมการ (1)

$$600 = 0.03469 \phi (1 - e^{-1.52 \times 10^{-5}})$$

$$= 0.03469 \phi (1 - 0.99998)$$

$$600 = 0.03469 \times 0.0001 \phi$$

$$\text{เทอร์มาลฟลักซ์ } \phi = \frac{600}{3.46 \times 10^{-6}} = 1.72 \times 10^8 \frac{\text{นิวตรอน}}{\text{ซม}^2 \cdot \text{วินาที}}$$

\*อาจจะกำหนดมวลของโคบอลต์ 0.1 กรัม มีปริมาตร V ซม<sup>3</sup> ก่อน

ข้อ 9.7 โจทย์ แผ่นโคบอลต์บาง ๆ ความหนาแน่น 8.8 กรัม/ซม<sup>3</sup> วางในเครื่องปฏิกรณ์เพื่อจะหาเทอร์มาลฟลักซ์ โดยใช้เวลาอบรังสีนาน 3 วัน ปรากฏว่าเกิดโคบอลต์-60 ครึ่งชีวิต 5.2 ปี ความแรง 1 มิลลิวรีต่อ ซม<sup>3</sup>

กำหนด ค่าภาคตัดขวางสำหรับปฏิกิริยาที่พลังงานนี้ สำหรับโคบอลต์-59 เท่ากับ 34 บาร์น,  $e^{-1.0953 \times 10^{-3}} = 0.9989$

(ก) จงหาเทอร์มาลฟลักซ์ของเครื่องปฏิกรณ์นี้

(ข) ความแรงเมื่อนำออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์แล้ว 3 วัน

(ค) ความแรงของแผ่นโคบอลต์ เมื่อทิ้งไว้ในเครื่องปฏิกรณ์นาน 10 เท่าของครึ่งชีวิตเฉลี่ย

$$N = \frac{\rho N_a}{M}$$

$$\text{จำนวนอะตอมของ } Co^{59} = \frac{8.8 \times 0.602 \times 10^{24}}{59} = 0.0897 \times 10^{24} \frac{\text{อะตอม}}{\text{ซม}^3}$$

$$N\sigma = 0.0897 \times 10^{24} \times 34 \times 10^{-24} = 3.0498 \text{ ซม}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}}$$

$$= \frac{0.693}{5.2 \times 3.15 \times 10^7} = 0.0423 \times 10^{-7} \text{ วินาที}^{-1}$$

$$\lambda T = \frac{0.693 \times 3}{5.2 \times 365} = 1.0953 \times 10^{-3}$$

$$e^{-\lambda T} = e^{-1.0953 \times 10^{-3}} = 0.9989$$

$$A = \Sigma\phi(1 - e^{-\lambda T}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$3.7 \times 10^7 = 3.0498 \phi(1 - 0.9989)$$

$$= 3.0498 \times 0.0011 \phi = 3.3547 \times 10^{-3} \phi$$

(ก) ค่าฟลักซ์  $\phi = 1.1 \times 10^{10} \frac{\text{นิวตรอน}}{\text{ซม}^2 \cdot \text{วินาที}}$

(ข) ความแรงเมื่อนำออกมา

จากสมการ (1),  $A(T) = 3.3547 \times 10^{-3} \times 1.1 \times 10^{10} = 3.69 \times 10^7 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$

เมื่อนำออกมาแล้ว 3 วัน ความแรง =  $A(T)e^{-\lambda t}$

$$\lambda t = \frac{0.693 \times 3}{5.2 \times 365} = 1.0953 \times 10^{-3} \quad e^{-\lambda t} = 0.9989$$

$$A(t) = 3.69 \times 10^7 \times 0.9989 = 3.68 \times 10^7 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$$

(ค) ความแรงเมื่อ  $T = 10t_{1/2}$ ,

$$A = \Sigma\phi(1 - e^{-\lambda T})$$

$$= \Sigma\phi\left(1 - e^{-\frac{0.693}{t_{1/2}} \times 10t_{1/2}}\right)$$

$$e^{-6.93} \rightarrow 0, \quad A = \Sigma\phi$$

ความแรง  $A = 3.0498 \times 1.1 \times 10^{10}$

$$= 3.35 \times 10^{10} \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$$

ข้อ 9.8 โจทย์ อินเดียม-115 มีในธรรมชาติ 95.8% ภาคตัดขวางสำหรับเทอร์มาลนิวตรอน 145 บาร์น จงหาความหนาของฟอสฟอรัส กำหนดอินเดียมธรรมชาติ ความหนาแน่น 7.28  $\frac{\text{กรัม}}{\text{ซม}^3}$  เพื่อให้ดูดกลืนลำแสงเทอร์มาลนิวตรอนไว้ได้ 10%

กำหนด  $\ln 0.9 = -0.1053$

เฉลย

ลำแสงนิวตรอนผ่านฟอสฟอรัสออกมาได้ 90%

$$I = I_0 e^{-\Sigma x}$$

$$\frac{90}{100} I_0 = I_0 e^{-\Sigma x} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\Sigma = N\sigma = \frac{\rho \cdot N_A}{M} \cdot \sigma$$

$$= \frac{95.8}{100} \times \frac{7.28 \times 0.602 \times 10^{24}}{115} \times 145 \times 10^{-24}$$

$$= 5.2937$$

$$e^{-5.2937x} = 0.9$$

$$-5.2937x = \ln 0.9$$

$$x = \frac{-0.1053}{-5.2937}$$

$$x = 0.0199 \text{ ซม.}$$

ความหนาของฟอสฟอรัสอินเดียม-115 = 0.0199 เซนติเมตร

ข้อ 9.9 โทเทียม-115 จำนวน 1 กรัม มีบั้นแดนซ์ 95.72% นำไปอาบลำแสงนิวตรอน  $10^6$  นิวตรอน/ซม<sup>2</sup>/วินาที นานมาก จะเกิดอินเดียมซึ่งมีการสลาย โดยการส่งอิเล็กตรอนด้วยครึ่งชีวิต 54 นาที จงหา

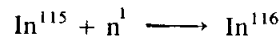
(ก) อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสุด

(ข) ถ้านำออกมานาน 1 ชั่วโมง แล้วจึงเข้าเครื่องวัด จะมีความแรงเท่าไร

กำหนดค่าภาคตัดขวางจุลภาคสำหรับปฏิกิริยาที่พลังงานเดียวกันกับอินเดียม

$$-115 \text{ คือ } 130 \text{ บาร์น, } e^{-0.769} = 0.463$$

เฉลย



$$N = \frac{W N_a}{M} = \frac{95.72}{100} \times \frac{1 \times 0.602 \times 10^{24}}{115} = 5.0107 \times 10^{-3} \times 10^{24} \text{ อะตอม}$$

$$N\sigma = 5.0107 \times 10^{-3} \times 10^{24} \times 130 \times 10^{-24} = 0.6513$$

$$\lambda = \frac{0.693}{54 \times 60} = 2.13 \times 10^{-4} \text{ วินาที}^{-1}$$

$$\lambda t = \frac{0.693}{54} \times 1 = 0.77, \quad e^{-0.77} = 0.463$$

(ก) อาบรังสีนานมาก  $A = \Sigma\phi$

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสุด} = 0.6513 \times 10^6 = 6.5 \times 10^5 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$$

(ข) นำออกมานาน 1 ชั่วโมง, ความแรง =  $\Sigma\phi e^{-\lambda t}$

$$= 6.5 \times 10^5 e^{-0.77}$$

$$= 6.5 \times 0.463 \times 10^5$$

$$\text{ความแรงที่วัดได้} = 3 \times 10^5 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$$

---

\*อาจจะกำหนดมวลของอินเดียม 1 กรัม มีปริมาตร V ซม<sup>3</sup> ก่อน

ข้อ 9.10 โจทย์ ต้องการให้เกิดอินเดียม-116 ครึ่งชีวิต 54 นาที จากอินเดียม 1 กรัม ซึ่งมีอินเดียม-115 อยู่ 95.8% หลังจากที่นำออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์แล้วนาน 10 นาที โดยใช้เทอร์มาลฟลักซ์  $10^9$  นิวตรอน/ซม<sup>2</sup>/วินาที กำหนดค่าภาคตัดขวางจุลภาคสำหรับการอาบรังสีนิวตรอนของอินเดียม-115 เท่ากับ 145 บาร์น

(ก) จะต้องอาบรังสีสารตัวอย่างนานเท่าไร จึงจะเกิดอินเดียม-116 มีความแรง 8 มิลลิวรี

(ข) ทันทีที่นำออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์ มีความแรงเท่าไร

$$\text{กำหนดค่า } e^{-0.1283} = 0.8795, \quad \ln 0.5365 = -0.6226$$

เฉลย



$$A = \Sigma\phi(1 - e^{-\lambda T})e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots(1)$$

(ก) หาเวลาที่ใช้ในการอาบรังสี (T)

$$\begin{aligned} \text{อินเดียม-115, } N &= \frac{95.8}{100} \frac{W \cdot N_a}{M} \quad \text{อะตอม} \\ &= \frac{0.958 \times 1 \times 0.602 \times 10^{24}}{115} = 5.01492 \times 10^{-3} \times 10^{24} \quad \text{อะตอม} \end{aligned}$$

$$N\sigma\phi = 5.01 \times 10^{-3} \times 10^{24} \times 145 \times 10^{-24} \times 10^9 = 7.26 \times 10^8$$

$$\lambda \text{ ของ In}^{116} = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{54 \times 60} = 2.138 \times 10^{-4} \quad \text{วินาที}^{-1}$$

$$\lambda t = \frac{0.693 \times 10}{54} = 0.1283$$

$$e^{-0.1283} = 0.8795$$

$$A = 8 \times 3.7 \times 10^7 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$$

แทนค่าใน (1)

$$8 \times 3.7 \times 10^7 = 7.26 \times 10^8 (1 - e^{-2.138 \times 10^{-4} T}) e^{-0.1283}$$

$$8 \times 3.7 \times 10^7 = 7.26 \times 10^8 (1 - e^{-2.138 \times 10^{-4} T}) 0.8795$$

$$\begin{aligned} (1 - e^{-2.138 \times 10^{-4}T}) &= \frac{8 \times 3.7 \times 10^7}{7.26 \times 10^8 \times 0.8795} = 0.4635 \\ e^{-2.138 \times 10^{-4}T} &= 1 - 0.4635 = 0.5365 \\ -2.138 \times 10^{-4}T &= \ln 0.5365 = -0.6226 \\ T &= \frac{0.6226}{2.138 \times 10^{-4}} = 0.2912 \times 10^4 \text{ วินาที} \end{aligned}$$

(ก) จะต้องอาบรังสีนาน 48.5 นาที จึงจะได้ความแรง 8 มิลลิวูรี่ เมื่อนำออกมานาน 10 นาที

(ข) ทันทีก่อนนำออกมา มีความแรง  $A = \Sigma\phi(1 - e^{-\lambda T})$  หรือ

$$\text{จากสมการ (1)} \quad \frac{A}{e^{-\lambda t}} = \Sigma\phi(1 - e^{-\lambda T})$$

$$\begin{aligned} \text{ความแรง} &= \frac{8 \times 3.7 \times 10^7}{0.8795} = \frac{29.6 \times 10^7}{0.8795} \\ &= 33.6554 \times 10^7 \\ &= 3.36 \times 10^8 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}} \end{aligned}$$

ข้อ 9.11 โจทย์ สารแมงกานีสตัวอย่างจำนวนหนึ่ง ถูกชนด้วยนิวตรอนเป็นเวลานาน 20 ชั่วโมง ทำให้เกิดแมงกานีส-56 เป็นจำนวน  $5 \times 10^8$  อะตอม/วินาที จากปฏิกิริยา  $Mn^{55}(d, p)Mn^{56}$ ,  $Mn^{56}$  เป็นธาตุกัมมันตรังสีที่ส่งอิเล็กตรอนด้วยครึ่งชีวิต 2.58 ชั่วโมง จงหา

(ก) จำนวนอะตอมของแมงกานีส-56 เมื่อเกิดสภาวะสมดุล

(ข) จำนวนอะตอมที่เกิดขึ้นในเวลา 20 ชั่วโมง

(ค) ความแรงเมื่อเวลาผ่านไป 20 ชั่วโมง

$$\text{กำหนด } e^{-5.3720} = 4.644 \times 10^{-3}$$

เฉลย

$$\begin{aligned} A &= A_0(1 - e^{-\lambda T}) \quad \dots\dots\dots(1) \\ 5 \times 10^8 &= A_0 \left(1 - e^{-\frac{0.693 \times 20}{2.58}}\right) \\ &= A_0(1 - e^{-5.3720}) \\ &= A_0(1 - 4.644 \times 10^{-3}) \end{aligned}$$

$$5 \times 10^8 = A_0(0.9953) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$A_0 = \frac{5 \times 10^8}{0.9953} = 5.0233 \times 10^8 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$$

จำนวนอะตอม  $N_0 = \frac{A_0}{\lambda}$

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{2.58 \times 60 \times 60} = 7.46 \times 10^{-5} \text{ วินาที}^{-1}$$

(ก) จำนวนอะตอม  $N_0 = \frac{5.0233 \times 10^8}{7.46 \times 10^{-5}} = 6.73 \times 10^{12}$  อะตอม

(ข) จำนวนอะตอมที่เกิดขึ้นในเวลา 20 ชม.  $N = \frac{A}{\lambda}$

$$N = \frac{5 \times 10^8}{7.46 \times 10^{-5}} = 6.70 \times 10^{12} \text{ อะตอม}$$

(ค) ความแรงเมื่อเวลาผ่านไป 20 ชม. = 99.53% ของความแรงสูงสุด ดูจากสมการ (2)

ข้อ 9.12 โจทย์ อาบรังสีฟอสฟอรัส-31หนัก 1 กรัม ในเครื่องปฏิกรณ์ โดยใช้เทอร์มาลฟลักซ์  $10^{14}$  นิวตรอนต่อ  $\text{cm}^2$ ต่อวินาที

(ก) จะต้องใช้เวลานานเท่าไร หลังจากนำออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์แล้ว 10 วัน จึงจะมีความแรง 1 คูรี

(ข) ทันทีที่นำออกมามีความแรงเท่าไร

(ค) ถ้าอาบรังสีนานมาก ทันทีที่นำออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์ จะมีความแรงเท่าไร กำหนดค่าครึ่งชีวิตของฟอสฟอรัส-32 = 14.3 วัน

ภาคตัดขวางสำหรับการเกิดปฏิกิริยากับฟอสฟอรัส-31 เท่ากับ 0.19 บาร์น,

$$e^{-0.4846} = 0.6159, \quad \ln 0.8368 = -0.1782$$

เฉลย

กำหนดให้ใช้เวลาในการอาบรังสี T ชั่วโมง

$$A = A_0(1 - e^{-\lambda T}) e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots(1)$$

t เป็นเวลาที่นำออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์แล้ว จนกว่าจะเข้าเครื่องวัด = 10 วัน

A คือ ความแรงที่วัดได้ =  $3.7 \times 10^{10} \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$

แทนค่าในสมการ (1)

$$\begin{aligned}
 3.7 \times 10^{10} &= A_0 \left(1 - e^{-\frac{0.693}{14.3} T}\right) e^{-\frac{0.693}{14.3} \times 10} \\
 &= A_0 \left(1 - e^{-\frac{0.693T}{14.3}}\right) e^{-0.4846} \\
 &= A_0 \left(1 - e^{-\frac{0.693T}{14.3}}\right) 0.6159 \quad \dots\dots\dots(2)
 \end{aligned}$$

(ค) ถ้า  $A_0$  คือ ความแรงเมื่ออาบรังสีนานมาก =  $\Sigma\phi$

$$\begin{aligned}
 \Sigma\phi &= N\sigma\phi = \frac{W N_a}{M} \cdot \sigma\phi \\
 &= \frac{1 \times 0.602 \times 10^{24}}{31} \times 0.19 \times 10^{-24} \times 10^{14} \\
 &= 3.68 \times 10^{-3} \times 10^{14} \\
 &= 3.68 \times 10^{11} \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}} \quad \dots\dots\dots(3)
 \end{aligned}$$

(ข) ทันทีที่นำ  $P^{32}$  ออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์ ความแรง =  $A_0 \left(1 - e^{-\frac{0.693T}{14.3}}\right)$  หรือ ใช้สมการ (2)

$$A_0 \left(1 - e^{-\frac{0.693T}{14.3}}\right) = \frac{A}{0.6159} = \frac{3.7 \times 10^{10}}{0.6159} = 6 \times 10^{10}$$

ความแรง คือ  $6 \times 10^{10} \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที}}$

(ก) แทนค่า  $A_0$  จากสมการ (3) ลงในสมการ (2)

$$3.7 \times 10^{10} = 3.68 \times 10^{11} \left(1 - e^{-\frac{0.693T}{14.3}}\right) 0.6159$$

$$1 - e^{-\frac{0.693T}{14.3}} = 0.1632$$

$$e^{-\frac{0.693T}{14.3}} = 0.8368$$

$$-\frac{0.693T}{14.3} = \ln 0.8368$$

$$-\frac{0.693T}{14.3} = -0.1782$$

ใช้เวลานาน  $T = 3.67$  วัน



ข้อ 9.13 โททย์ แทนทาลัมฟอลล์ยหนา 0.02 เซนติเมตร ความหนาแน่น 16.6 กรัม/ซม<sup>3</sup> อาบรังสี เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ด้วยลำรังสีเทอร์มอลนิวตรอนฟลักซ์ 10<sup>12</sup> นิวตรอน/ซม<sup>2</sup>/วินาที ธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นคือ แทนทาลัม-182 มีครึ่งชีวิต 114 วัน จากปฏิกิริยา Ta<sup>181</sup>(n, γ)Ta<sup>182</sup> และแผ่นที่เกิดขึ้นมีความแรง 12.3 รัทเธอร์ฟอร์ดต่อตารางเซนติเมตร ทันทีหลังจากการอาบรังสี จงหา

- (ก) จำนวนอะตอมของแทนทาลัม-182 ที่เกิดขึ้น  
 (ข) หาค่าภาคตัดขวางสำหรับปฏิกิริยา

$$\text{กำหนด } e^{-5.06 \times 10^{-4}} = 0.99949$$

เฉลย

(ก) จำนวนอะตอมของแทนทาลัม-182 = N

$$\text{ความแรง } N\lambda = 12.3 \frac{\text{รัทเธอร์ฟอร์ด}}{\text{ซม}^2} = 12.3 \times 10^6 \frac{\text{อะตอม}}{\text{วินาที} \cdot \text{ซม}^2}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{114 \times 8.64 \times 10^4} \text{ วินาที}^{-1}$$

$$N = \frac{12.3 \times 10^6 \times 114 \times 8.64 \times 10^4}{0.693}$$

$$\text{เกิดแทนทาลัม-182} = 1.75 \times 10^{14} \frac{\text{อะตอม}}{\text{ซม}^2}$$

(ข) จำนวนอะตอมของแทนทาลัม-181 = N =  $\frac{\rho \cdot N_a}{M} \frac{\text{อะตอม}}{\text{ซม}^3}$

$$= \frac{16.6 \times 0.602 \times 10^{24}}{181}$$

$$= 0.0552 \times 10^{24} \frac{\text{อะตอม}}{\text{ซม}^3}$$

เมื่ออาบรังสีนาน 2 ชั่วโมง วัดความแรงได้  $12.3 \times 10^6 \frac{\text{อะตอม}}{\text{ซม}^2 \cdot \text{วินาที}}$

$$A = A_0(1 - e^{-\lambda T})$$

$$12.3 \times 10^6 \frac{\text{อะตอม}}{\text{ซม}^2 \cdot \text{วินาที}} = A_0 \left( 1 - e^{-\frac{0.693}{114} \times \frac{2 \times 60 \times 60}{8.64 \times 10^4}} \right)$$

$$\begin{aligned}
12.3 \times 10^6 &= 0.0552 \times 10^{24} \sigma \times 10^{12} x (1 - e^{-5.06 \times 10^{-4}}) \\
&= 0.0552 \times 10^{24} \times \sigma \times 10^{12} x (1 - 0.9994) \\
&= 0.0552 \times 10^{24} \times \sigma \times 10^{-24} \times 10^{12} \times 5.064 \times 10^{-4} x
\end{aligned}$$

ความหนา  $x = 0.02$  ซม.,

$$\sigma = \frac{12.3 \times 10^6}{0.0552 \times 10^{12} \times 5.064 \times 10^{-4} \times 2 \times 10^{-2}}$$

ค่าภาคตัดขวางสำหรับปฏิกิริยา = 22 บาร์น

---