

Chủ đề 14. PHÓNG XẠ. PHÂN HẠCH. NHIỆT HẠCH

BÀI TOÁN LIÊN QUAN ĐẾN ỨNG DỤNG CÁC ĐỒNG VỊ PHÓNG XẠ

Phương pháp giải

1) Độ phóng xạ của lượng chất

$$\text{Độ phóng xạ ban đầu: } H_0 = \lambda N_0 = \frac{\ln 2}{T} N_0$$

$$\text{Độ phóng xạ ở thời điểm } t: H = H_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t}$$

$$\text{Với } m_0 \text{ g khối lượng chất phóng xạ nguyên chất thì } N_0 = \frac{m_0}{A_{me}} N_A$$

Nếu chất phóng xạ chứa trong hỗn hợp thì $m_0 = m_{hh} \cdot \text{phần trăm}$

$$H_0 = \frac{\ln 2}{T} \frac{m(g) \cdot a_i \%}{A_i} N_A$$

Ví dụ 1: Cho biết chu kỳ bán rã của Ra224 là 3,7 (ngày), số Avôgađrô là $6,023 \cdot 10^{23}$. Một nguồn phóng xạ Ra có khối lượng $35,48 (\mu\text{g})$ thì độ phóng xạ là

- A. 3,7 (Ci). B. 5,6 (Ci). C. 3,5 (Ci). D. 5,4 (Ci).

Hướng dẫn: Chọn đáp án B

$$H_0 = \frac{\ln 2}{T} \cdot \frac{m_0}{A_{me}} N_A = \frac{\ln 2}{3,7 \cdot 86400} \cdot \frac{35,84 \cdot 10^{-6}}{224} \times 6,02 \cdot 10^{23} \times \frac{1 \text{Ci}}{3,7 \cdot 10^{10}} \approx 5,6 \text{ (Ci)}$$

Ví dụ 2: Cm²⁴⁴ là một nguyên tố phóng xạ với hằng số phóng xạ $1,21 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1}$. Ban đầu một mẫu có độ phóng bằng 10^4 phân rã/s, thì độ phóng xạ sau 3650 ngày là

- A. 0,68 (Bq). B. $2,21 \cdot 10^2$ (Bq). C. $6,83 \cdot 10^3$ (Bq). D. $6,83 \cdot 10^2$ (Bq).

Hướng dẫn: Chọn đáp án C

$$H = H_0 e^{-\lambda t} = 10^4 \cdot e^{-1,21 \cdot 10^{-9} \cdot 3650 \cdot 86400} \approx 6,83 \cdot 10^3 \text{ (Bq)}$$

Ví dụ 3: Chất phóng xạ ${}_{27}\text{Co}^{60}$ có chu kỳ bán rã 5,33 (năm) (xem 1 năm = 365 ngày), một đồng vị khác ${}_{27}\text{Co}^{59}$ không có tính phóng xạ. Một loại coban tự nhiên là hỗn hợp của hai đồng vị Co60 và Co59 với tỉ lệ khối lượng tương ứng là 1:49. Biết số Avôgađrô $6,023 \cdot 10^{23}$. Độ phóng xạ ban đầu của 15 (g) hỗn hợp là

- A. 274 (Ci). B. 275 (Ci). C. 336 (Ci). D. 97,4 (Ci).

Hướng dẫn: Chọn đáp án C

$$H_0 = \frac{\ln 2}{T} \frac{m(g) \cdot a_1 \%}{A_1} N_A$$

$$H_0 = \frac{\ln 2}{5,33.365.86400} \frac{15(g) \cdot 2\%}{60} 6,023.10^{23} (Bq) \times \frac{1Ci}{3,7.10^{10}} \approx 336 (Ci)$$

Ví dụ 4: Một khối phóng xạ có độ phóng xạ ban đầu H_0 , gồm 2 chất phóng xạ có số hạt nhân ban đầu bằng nhau. Chu kỳ bán rã của chúng lần lượt là $T_1 = 2 h$ và $T_2 = 3 h$. Sau 6 h, độ phóng xạ của khối chất còn lại là

- A. $\frac{7H_0}{40}$. B. $\frac{3H_0}{16}$. C. $\frac{9H_0}{40}$. D. $\frac{5H_0}{16}$.

Hướng dẫn: Chọn đáp án A

$$H_0 = \frac{\ln 2}{T_1} N_0 + \frac{\ln 2}{T_2} N_0 \Rightarrow N_0 \ln 2 = \frac{6}{5} H_0$$

$$\Rightarrow H = \frac{\ln 2}{T_1} N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_1} t} + \frac{\ln 2}{T_2} N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_2} t} = \frac{7H_0}{40}$$

Chú ý:
$$\begin{cases} H_0 = \frac{\Delta N_0}{\Delta t_0} \\ H = \frac{\Delta N}{\Delta t} \end{cases} \xrightarrow{H=H_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t}} \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{\Delta N_0}{\Delta t_0} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} t}$$

Ví dụ 5: Một mẫu phóng xạ Si31 ban đầu trong 5 phút có 196 nguyên tử bị phân rã, nhưng sau đó 5,2 giờ (kể từ $t = 0$) cùng trong 5 phút chỉ có 49 nguyên tử bị phân rã. Chu kỳ bán rã của Si31 là

- A. 2,6 giờ. B. 3,3 giờ. C. 4,8 giờ. D. 5,2 giờ.

Hướng dẫn: Chọn đáp án A

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{\Delta N_0}{\Delta t_0} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} t} \Rightarrow \frac{49}{5} = \frac{196}{5} e^{-\frac{\ln 2}{T} t} \Rightarrow T \approx 2,6 (h)$$

2) Số hạt bị phân rã trong thời gian ngắn

Để tìm quan hệ về số hạt bị phân rã trong thời gian ngắn ($\Delta t \ll T$) ta xuất phát từ công thức

$$\text{tính độ phóng xạ: } H = H_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t} \Rightarrow \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{\Delta N_0}{\Delta t_0} e^{-\frac{\ln 2}{T} t}$$

Trong đó, ΔN_0 là số hạt bị phân rã trong thời gian Δt_0 ở lúc đầu; ΔN là số hạt bị phân rã trong thời gian Δt ở thời điểm t .

$$N_1 e^{-\lambda_1 t} = N_2 e^{-\lambda_2 t} \Rightarrow e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow (\lambda_2 - \lambda_1)t = \ln \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow t = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \ln \frac{N_2}{N_1}$$

3) Ứng dụng chữa bệnh ung thư

Trong điều trị ung thư, bệnh nhân được chiếu xạ với một liều xác định một nguồn phóng xạ

tức là $\Delta N = \Delta N_0$ nên thay vào công thức $\frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{\Delta N_0}{\Delta t_0} e^{-\frac{\ln 2}{T} t}$ ta được:

$$\frac{1}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t_0} e^{-\frac{\ln 2}{T} t} \Rightarrow \Delta t = \Delta t_0 e^{\frac{\ln 2}{T} t}$$

Ví dụ 1: Trong điều trị ung thư, bệnh nhân được chiếu xạ với một liều xác định nào đó từ một nguồn phóng xạ (chất phóng xạ có chu kỳ bán rã là 5,25 năm). Khi nguồn được sử dụng lần đầu thì thời gian cho một liều chiếu xạ là 15 phút. Hỏi sau 2 năm thì thời gian cho một lần chiếu xạ là bao nhiêu phút?

- A. 13,0 phút. B. 14,1 phút. C. 10,7 phút. D. 19,5 phút.

Hướng dẫn: Chọn đáp án D

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{\Delta N_0}{\Delta t_0} e^{-\frac{\ln 2}{T} t} \Rightarrow \frac{1}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t_0} e^{-\frac{\ln 2}{T} t} \Rightarrow \Delta t = \Delta t_0 e^{\frac{\ln 2}{T} t} = 15 \cdot e^{\frac{\ln 2}{5,25} \cdot 2} \approx 19,5 \text{ (phút)}$$

Ví dụ 2: Một bệnh nhân điều trị bằng đồng vị phóng xạ, dùng tia γ để diệt tế bào bệnh. Thời gian chiếu xạ lần đầu là $\Delta t = 20$ phút, cứ sau 1 tháng thì bệnh nhân phải tới bệnh viện khám bệnh và tiếp tục chiếu xạ. Biết đồng vị phóng xạ đó có chu kỳ bán rã $T = 4$ tháng (coi $\Delta t \ll T$) và vẫn dùng nguồn phóng xạ trong lần đầu. Hỏi lần chiếu xạ thứ 4 phải tiến hành trong bao lâu để bệnh nhân được chiếu xạ với cùng một lượng tia γ như lần đầu?

- A. 40 phút. B. 24,2 phút. C. 20 phút. D. 33,6 phút.

Hướng dẫn: Chọn đáp án D

Lần 2 thì $t = 1$ tháng, lần 3 thì $t = 2$ tháng, lần 4 thì $t = 3$ tháng.

$$\Delta t = \Delta t_0 e^{\frac{\ln 2}{T} t} = 20 \cdot e^{\frac{\ln 2}{4} \cdot 3} \approx 33,6 \text{ (phút)}$$

Ví dụ 3: Trong điều trị ung thư, bệnh nhân được chiếu xạ với một liều xác định nào đó từ một nguồn phóng xạ với chu kỳ bán rã là 4 năm. Khi nguồn được sử dụng lần đầu thì thời gian cho một lần chiếu xạ là Δt_0 . Cứ sau 1 năm bệnh nhân phải tới bệnh viện khám bệnh và tiếp tục chiếu xạ. Tính Δt_0 biết lần chiếu xạ thứ 4 chiếu trong thời gian 20 phút.

- A. 15,24 phút. B. 11,89 phút. C. 20,18 phút. D. 16,82 phút.

Hướng dẫn: Chọn đáp án B

$$\Delta t = \Delta t_0 e^{\frac{\ln 2}{T} t} \Rightarrow 20 = \Delta t_0 \cdot e^{\frac{\ln 2}{4} t} \Rightarrow \Delta t_0 \approx 11,89 \text{ (phót)}$$

4) Tuổi của thiên thể

Giả sử khi mới hình thành một thiên thể tỉ lệ hai đồng vị U238 và U235 là a:b (số hạt nguyên chất tương ứng là aN_0 và bN_0). Số hạt còn lại hiện nay lần lượt là

$$\begin{cases} N_1 = aN_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_1} t} \\ N_2 = bN_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_2} t} \end{cases} \Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{a}{b} e^{\left(\frac{\ln 2}{T_2} - \frac{\ln 2}{T_1}\right)t} \Rightarrow t = ?$$

Ví dụ 1: Hiện nay trong quặng thiên nhiên có cả U238 và U235 theo tỉ lệ số nguyên tử là 140:1. Giả thiết ở thời điểm hình thành Trái Đất tỉ lệ trên là 1:1. Tính tuổi của Trái đất, biết chu kỳ bán rã của U238 và U235 là $T_1 = 4,5 \cdot 10^9$ năm $T_2 = 0,713 \cdot 10^9$ năm.

- A.** $6 \cdot 10^9$ năm. **B.** $5,5 \cdot 10^9$ năm **C.** $5 \cdot 10^9$ năm **D.** $6,5 \cdot 10^8$ năm

Hướng dẫn: Chọn đáp án A

$$\begin{cases} N_1 = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_1} t} \\ N_2 = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_2} t} \end{cases} \Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = e^{t \ln 2 \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)} \Rightarrow \frac{140}{1} = e^{t \ln 2 \left(\frac{1}{0,713} - \frac{1}{4,5}\right)} \Rightarrow t \approx 6 \cdot 10^9 \text{ (năm)}$$

Ví dụ 2: Một mẫu quặng Uran tự nhiên gồm U235 với hàm lượng 0,72% và phần còn lại là U238. Hãy xác định hàm lượng của U235 và thời kì Trái Đất được tạo thành cách đây 4,5 (tỉ năm). Cho biết chu kỳ bán rã của các đồng vị U235 và U238 lần lượt là 0,704 (tỉ năm) và 4,46 (tỉ năm).

- A.** 22%. **B.** 24%. **C.** 23%. **D.** 25%.

Hướng dẫn: Chọn đáp án C

$$\begin{cases} m_1 = m_{10} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_1} t} \\ m_2 = m_{20} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_2} t} \end{cases} \Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{m_{10}}{m_{20}} e^{t \ln 2 \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)}$$

$$\Rightarrow \frac{m_{10}}{m_{20}} = \frac{m_1}{m_2} e^{t \ln 2 \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)} = \frac{0,72}{99,28} e^{-4,5 \ln 2 \left(\frac{1}{4,46} - \frac{1}{0,704}\right)} \approx 0,303$$

$$\Rightarrow \% m_{10} = \frac{0,303}{1,303} \approx 0,23 = 23\%$$

5) Tuổi hòn đá

Giả sử khi mới hình thành một hòn đá, chỉ có U238, cứ mỗi hạt U238 phân rã tạo ra một hạt Pb206. Đến thời điểm t, số hạt U238 còn lại và số hạt Pb206 tạo thành lần lượt là:

$$\begin{cases} N_{me} = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T}t} \\ N_{con} = N_0 \left(1 - e^{-\frac{\ln 2}{T}t} \right) \end{cases} \Rightarrow \frac{N_{con}}{N_{me}} = \left(e^{\frac{\ln 2}{T}t} - 1 \right)$$

Ta có tỉ lệ về khối lượng: $\frac{m_{con}}{m_{me}} = \frac{A_{con}}{A_{me}} = \left(e^{\frac{\ln 2}{T}t} - 1 \right)$

Ví dụ 1: (ĐH-2012) Hạt nhân urani ${}_{92}^{238}U$ sau một chuỗi phân rã, biến đổi thành hạt nhân chì ${}_{82}^{206}Pb$. Trong quá trình đó, chu kỳ bán rã của ${}_{92}^{238}U$ biến đổi thành hạt nhân chì là $4,47.10^9$ năm. Một khối đá được phát hiện có chứa $1,188.10^{20}$ hạt nhân ${}_{92}^{238}U$ và $6,239.10^{18}$ hạt nhân ${}_{82}^{206}Pb$. Giả sử khối đá lúc mới hình thành không chứa chì và tất cả lượng chì có mặt trong đó đều là sản phẩm phân rã của ${}_{92}^{238}U$. Tuổi của khối đá khi được phát hiện là

- A. $3,3.10^8$ n"m B. $6,3.10^9$ n"m C. $3,5.10^7$ n"m D. $2,5.10^6$ n"m

Hướng dẫn: Chọn đáp án A

$$\frac{N_{con}}{N_{me}} = \left(e^{\frac{\ln 2}{T}t} - 1 \right) \Rightarrow \frac{6,239.10^{18}}{1,188.10^{20}} = e^{\frac{\ln 2}{4,47.10^9}t} - 1 \Rightarrow t = 3,3.10^8 \text{ (n"m)}$$

Ví dụ 2: Đồng vị ${}_{92}^{238}U$ sau một loạt phóng xạ α và β^- biến thành chì theo phương trình sau: ${}_{92}^{238}U \rightarrow 8\alpha + 6\beta^- + {}_{82}^{206}Pb$. Chu kỳ bán rã của quá trình đó là 4,6 (tỉ năm). Giả sử có một loại đá chỉ chứa ${}_{92}^{238}U$, không chứa chì. Nếu hiện nay tỉ lệ các khối lượng của Uran và chì trong đá ấy là 37 thì tuổi của đá ấy là bao nhiêu?

- A. 0,1 tỉ năm. B. 0,2 tỉ năm. C. 0,3 tỉ năm. D. 0,4 tỉ năm.

Hướng dẫn: Chọn đáp án B

$$\frac{m_{con}}{m_{me}} = \frac{A_{con}}{A_{me}} = \left(e^{\frac{\ln 2}{T}t} - 1 \right) \Rightarrow \frac{1}{37} = \frac{206}{238} \left(e^{\frac{\ln 2}{4,6}t} - 1 \right) \Rightarrow t \approx 0,2 \text{ (t"n"m)}$$

6) Tuổi của cổ vật có nguồn gốc sinh vật

Gọi H và H_0 lần lượt là độ phóng xạ của cổ vật và của mẫu mới tương tự về khối lượng về thể loại.

Nếu xem H_0 cũng chính là độ phóng xạ lúc đầu của cổ vật thì: $H = H_0 e^{-\frac{\ln 2}{T}t}$

Ví dụ 1: Bằng phương pháp cacbon 14 (chu kỳ bán rã của C14 là 5600 năm) người ta đo được độ phóng xạ của một đĩa gỗ của người Ai cập cổ là 0,15 Bq; độ phóng xạ của một khúc gỗ vừa mới chặt có cùng khối lượng là 0,25 Bq. Tuổi của đĩa gỗ là

- A. 4100 năm. B. 3700 năm. C. 2500 năm. D. 2100 năm.

Hướng dẫn: Chọn đáp án A

$$H = H_0 e^{-\frac{\ln 2}{T}t} \Rightarrow 0,15 = 0,25 e^{-\frac{\ln 2}{5600}t} \Rightarrow t \approx 4100 \text{ (năm)}$$

1) Khối lượng mẫu mới = k khối lượng cổ vật: $H_{\text{cổ}} = \frac{H_{\text{m}}}{k} e^{-\frac{\ln 2}{T}t}$

2) Khối lượng cổ vật = k khối lượng mẫu mới: $\frac{H_{\text{cổ}}}{k} = H_{\text{m}} e^{-\frac{\ln 2}{T}t}$

Ví dụ 2: Phân tích một tượng gỗ cổ (đồ cổ) người ta thấy rằng độ phóng xạ β^- của nó bằng 0,385 lần độ phóng xạ của một khúc gỗ mới chặt có khối lượng gấp đôi khối lượng của tượng gỗ đó. Đồng vị ^{14}C có chu kỳ bán rã là 5600 năm. Tuổi tượng gỗ là

- A. 35000 năm. B. 2,11 nghìn năm. C. 7,71 nghìn năm. D. 13312 năm.

Hướng dẫn: Chọn đáp án B

$$H_{\text{cổ}} = \frac{H_{\text{m}}}{k} e^{-\frac{\ln 2}{T}t} \Rightarrow H_{\text{cổ}} = \frac{H_{\text{m}}}{0,385 H_{\text{m}}} e^{-\frac{\ln 2}{5600}t} \Rightarrow t \approx 2,11 \cdot 10^3 \text{ (năm)}$$

Ví dụ 3: Một ngôi mộ cổ vừa mới khai quật. Một mẫu ván quan tài của nó chứa 50 g cacbon có độ phóng xạ là 457 phân rã/phút (chỉ có C^{14} là phóng xạ). Biết rằng độ phóng xạ của cây cối đang sống vào khoảng 3000 phân rã/phút tính trên 200 g cacbon. Chu kỳ bán rã của C^{14} khoảng 5600 năm. Tuổi của ngôi mộ cổ đó là

- A. 9,2 nghìn năm. B. 1,5 nghìn năm. C. 2,2 nghìn năm. D. 4 nghìn năm.

Hướng dẫn: Chọn đáp án D

Ta so sánh độ phóng xạ 1 g mẫu mới (3000/200) và 1 g cổ vật (457/50) nên

$$H = H_0 e^{-\frac{\ln 2}{T}t} \Rightarrow \frac{457}{50} = \frac{3000}{200} e^{-\frac{\ln 2}{5600}t} \Rightarrow t \approx 4 \cdot 10^3 \text{ (năm)}$$

7) Đo thể tích máu trong cơ thể sống

Để xác định thể tích máu có trong cơ thể sống, ban đầu người ta đưa vào máu một lượng chất phóng xạ (N_0, n_0, H_0) chờ cho đến thời điểm t để chất phóng xạ phân bố đều vào toàn bộ thể

tích máu V (lúc này tổng lượng chất phóng xạ chỉ còn $N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T}t}, n_0 e^{-\frac{\ln 2}{T}t}, H_0 e^{-\frac{\ln 2}{T}t}$) thì người

ta lấy ra V_1 thể tích máu để xác định lượng chất phóng xạ chứa trong V_1 này (N_1, n_1, H_1). Ta

$$\text{có: } \begin{cases} \frac{N_0}{V} e^{-\frac{\ln 2}{T}t} = \frac{N_1}{V_1} \\ \frac{n_0}{V} e^{-\frac{\ln 2}{T}t} = \frac{n_1}{V_1} \\ \frac{H_0}{V} e^{-\frac{\ln 2}{T}t} = \frac{H_1}{V_1} \end{cases}$$

Nếu lúc đầu đưa vào máu V_0 thể tích dung dịch chứa chất phóng xạ với nồng độ C_{M0} thì $n_0 = V_0 C_{M0}$ và lượng nước chứa trong thể tích V_0 sẽ thẩm thấu ra ngoài nên không làm thay

$$\text{đổi thể tích máu: } \frac{V_0 C_{M0}}{V} e^{-\frac{\ln 2}{T}t} = \frac{n_1}{V_1}$$

Ví dụ 1: Để xác định thể tích máu trong cơ thể sống bác sĩ đã cho vào V_0 (lít) một dung dịch chứa ^{24}Na (Đồng vị ^{24}Na là chất phóng xạ có chu kỳ bán rã T) với nồng độ C_{M0} (mol/l). Sau thời gian hai chu kỳ người ta lấy V_1 (lít) máu của bệnh nhân thì tìm thấy n_1 (mol) ^{24}Na . Xác định thể tích máu của bệnh nhân. Giả thiết chất phóng xạ được phân bố đều vào máu.

A. $\frac{V_0 V_1 C_{M0}}{n_1}$. B. $2 \frac{V_0 V_1 C_{M0}}{n_1}$. C. $0,25 \frac{V_0 V_1 C_{M0}}{n_1}$. D. $0,5 \frac{V_0 V_1 C_{M0}}{n_1}$.

Hướng dẫn: Chọn đáp án C

$$\frac{V_0 C_{M0}}{V} e^{-\frac{\ln 2}{T}t} = \frac{n_1}{V_1} \Rightarrow \frac{V_0 C_{M0}}{V} e^{-\frac{\ln 2}{T}2T} = \frac{n_1}{V_1} \Rightarrow V = 0,25 \frac{V_0 V_1 C_{M0}}{n_1}$$

Ví dụ 2: Để xác định thể tích máu trong cơ thể bệnh nhân bác sĩ đã cho vào 1 (ml) một dung dịch chứa I-131 (Đồng vị I-131 là chất phóng xạ có chu kỳ bán rã 8,06 (h)) có độ phóng xạ 4.10^{-6} (Ci). Sau 1 (h) người ta lấy 1 (ml) máu của bệnh nhân thì độ phóng xạ của lượng máu này là $7,8.10^{-10}$ (Ci). Xác định thể tích máu của bệnh nhân. Giả thiết chất phóng xạ được phân bố đều vào máu.

A. 5,05 lít. B. 4,71 lít. C. 4,72 lít. D. 4,73 lít.

Hướng dẫn: Chọn đáp án B

$$\frac{H_0}{V} e^{-\frac{\ln 2}{T}t} = \frac{H_1}{V_1} \Rightarrow \frac{4.10^{-6}}{V} e^{-\frac{\ln 2}{8,06}1} = \frac{7,8.10^{-10}}{10^{-3}} \Rightarrow V \approx 4,71 (l)$$