

Chương 8: Hạt nhân nguyên tử

8.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân

8.2 Hiện tượng phóng xạ

8.3 Phản ứng hạt nhân

8.4 Năng lượng hạt nhân



8a.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân (1)

- a. Cấu trúc
- b. Kích thước
- c. Momen spin và momen động
- d. Momen từ hạt nhân
- e. Lực hạt nhân
- f. Năng lượng liên kết

8a.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân (2)

Cấu trúc hạt nhân

- Hạt nhân cấu tạo từ các nucleon (proton, neutron).
- Ký hiệu:

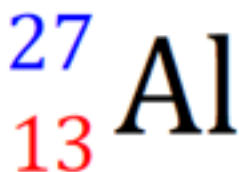


X: ký hiệu hóa học

Z: số proton (bậc số nguyên tử)

$A = Z + N$: số khối

- Ví dụ:



Al: nhôm

$Z = 13$

$A = 27$





8a.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân (3)

- Khối lượng nucleon:

Hạt	Khối lượng		
	kg	u	MeV/c^2
Proton	$1,6726 \times 10^{-27}$	1,007825	938,79
Neutron	$1,6750 \times 10^{-27}$	1,008665	939,57
Electron	$9,101 \times 10^{-31}$	$5,486 \times 10^{-4}$	0,511

$$1u = 1,660559 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$$

Nguyên tử C_{12} có khối lượng bằng $12u$

8a.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân (4)

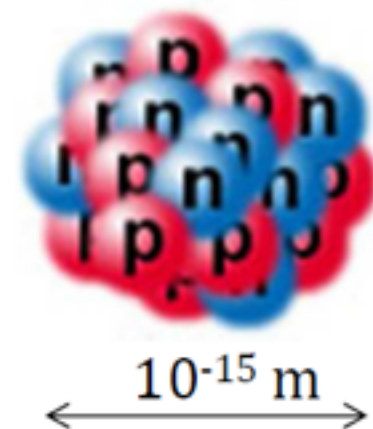
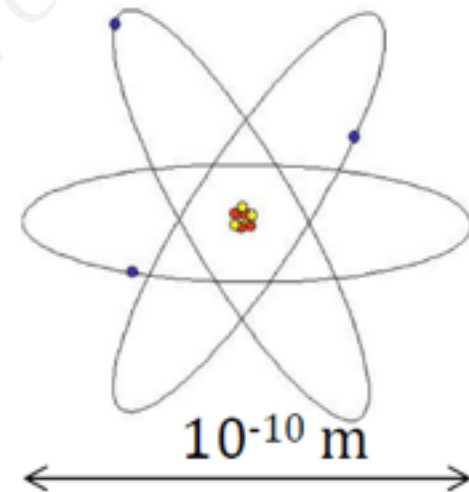
Kích thước hạt nhân

- Năm 1911, Rutherford dùng các hạt α bắn phá hạt nhân, qua đó ước lượng bán kính hạt nhân:

$$R \approx R_0 A^{1/3}$$

$$R_0 \approx 1,2 \times 10^{-15} \text{ m} = 1,2 \text{ fm}$$

- Vậy:
 - thể tích hạt nhân tỷ lệ với số khối A.
 - mọi hạt nhân đều có khối lượng riêng gần bằng nhau.



Vd. 13



8a.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân (5)

Momen spin và momen động

- Giống như electron, các nucleon cũng có spin bằng $\frac{1}{2}$.
- Momen động của một nucleon bằng tổng momen động quỹ đạo và momen động spin.
- Momen động của hạt nhân bằng tổng momen động của các nucleon. Nó có độ lớn:

$$J = \hbar \sqrt{j(j+1)}$$

- $j = 1, 2, 3, \dots$ nếu A chẵn,
- $j = 1/2, 3/2, 5/2, \dots$ nếu A lẻ.

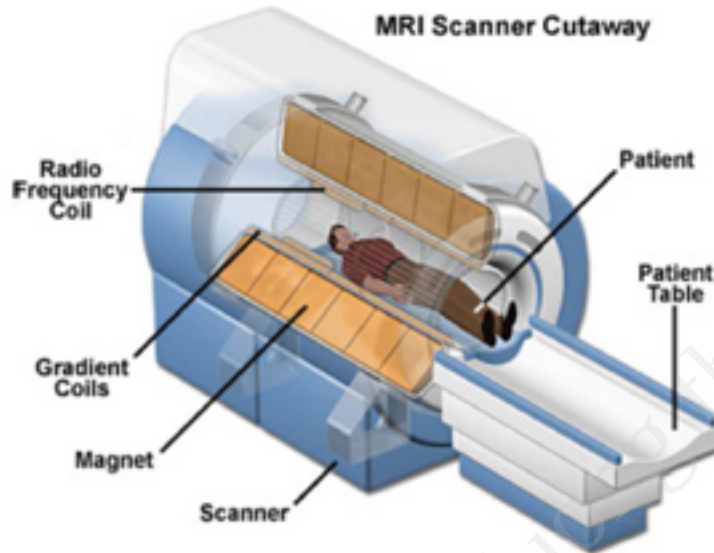


8a.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân (6)

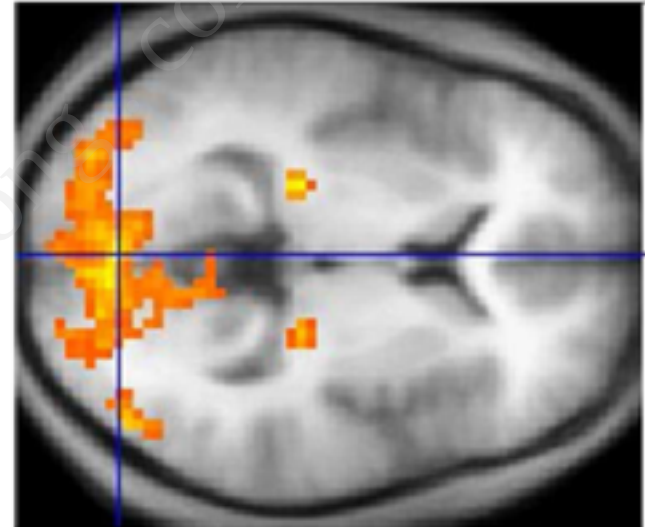
Momen từ hạt nhân

- Momen từ hạt nhân bằng tổng các momen từ của các nucleon.
- Cộng hưởng từ hạt nhân (Nuclear Magnetic Resonance – NMR):
 - Trong một từ trường các momen từ hạt nhân hướng cùng chiều hay ngược chiều với B .
 - Kích thích bằng một từ trường xoay chiều có tần số radio.
 - Khi cộng hưởng, các photon bị hấp thụ mạnh để đảo chiều momen từ.

8a.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân (7)



Sơ đồ máy MRI

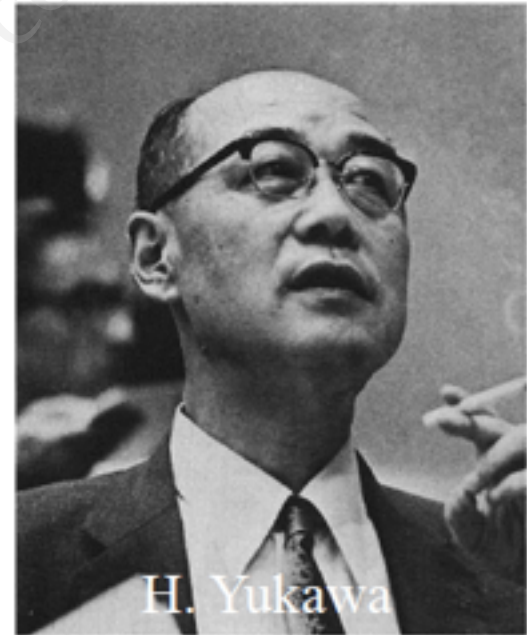


Ảnh MRI của vùng thần kinh thị giác

8a.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân (8)

Lực hạt nhân – 1

- Các nucleon hút nhau bằng lực hạt nhân để giữ cho hạt nhân bền vững.
- Lực hạt nhân có các tính chất
 - phạm vi tác dụng ngắn $\sim 10^{-15}$ m,
 - phụ thuộc định hướng spin,
 - không phải lực xuyên tâm,
 - là *lực trao đổi*: các nucleon tương tác bằng cách trao đổi các π -meson (Yukawa).



H. Yukawa

8a.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân (9)

- Các nucleon “liên kết” bằng cách trao đổi một trong ba hạt π -meson:

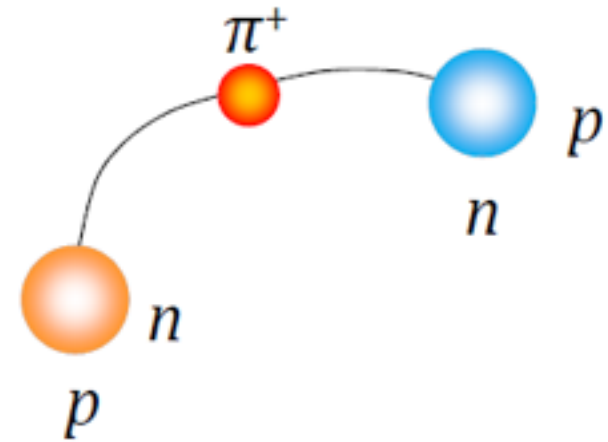
π^+ có điện tích $+e$,

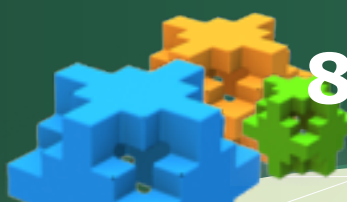
π^- có điện tích $-e$,

π^0 trung hòa.

$$p \leftrightarrow n + \pi^+ \quad n \leftrightarrow p + \pi^-$$

$$n \leftrightarrow n + \pi^0 \quad p \leftrightarrow p + \pi^0$$





8a.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân (10)

Năng lượng liên kết

- Khối lượng một hạt nhân bao giờ cũng nhỏ hơn tổng khối lượng của các nucleon tạo nên nó.
- Độ chênh lệch khối lượng đó được gọi là *độ hụt khối* của hạt nhân.

$$\Delta M = Zm_p + (A - Z)m_n - M$$

- Năng lượng cần để tạo nên hạt nhân là *năng lượng liên kết* của hạt nhân.
- Chính độ hụt khối tạo nên năng lượng liên kết của hạt nhân:

$$W_{lk} = \Delta M c^2$$



8a.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân (11)

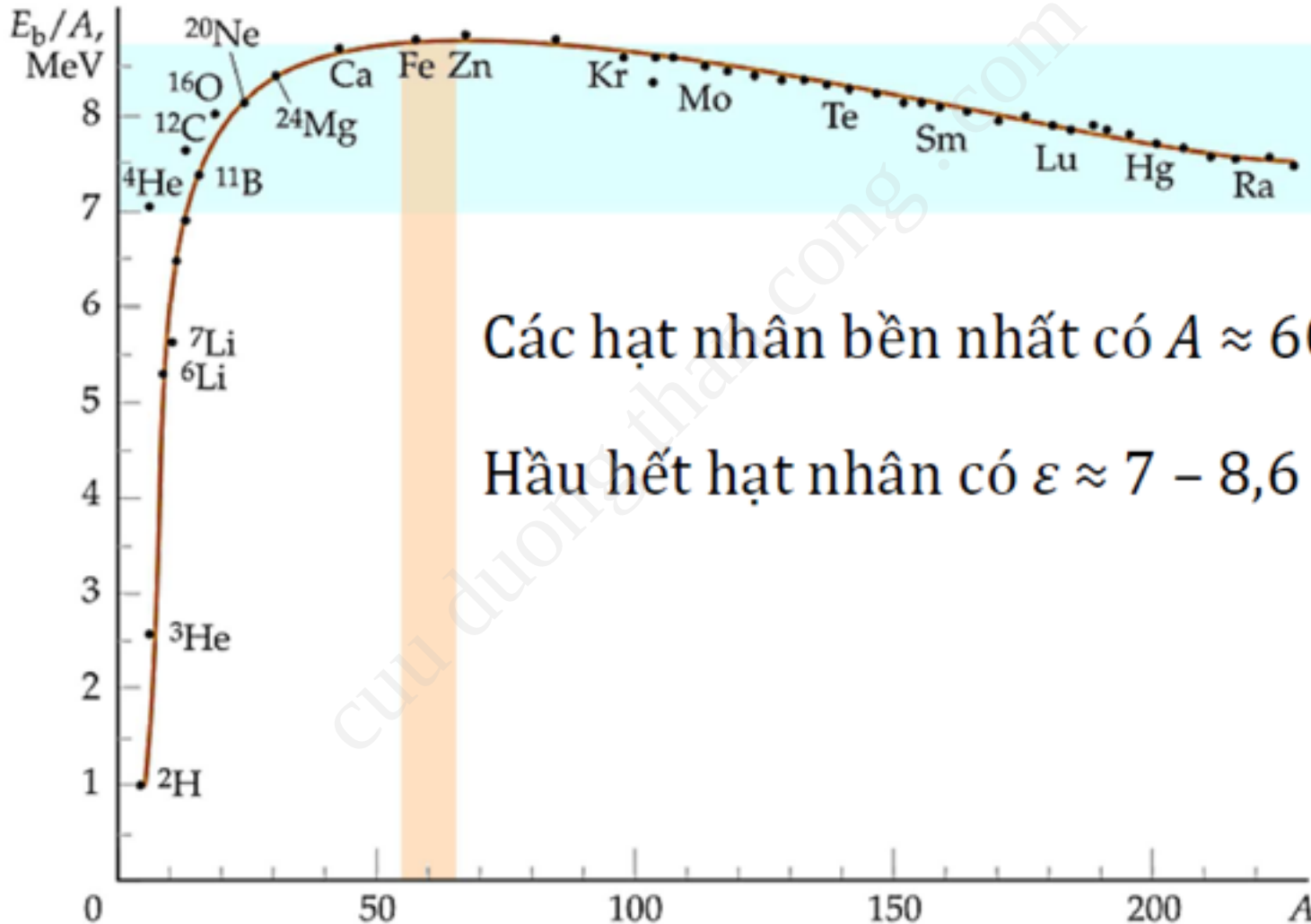
- *Năng lượng liên kết riêng* là năng lượng liên kết tính trên một nucleon.

$$\varepsilon = \frac{W_{lk}}{A}$$

- Năng lượng liên kết riêng càng lớn thì hạt nhân càng bền.

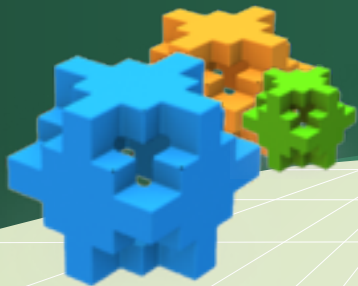
Vd. 14-19

8a.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân (12)



Các hạt nhân bền nhất có $A \approx 60$

Hầu hết hạt nhân có $\varepsilon \approx 7 - 8,6 \text{ MeV}$



Chương 8a: Nguyên tử kiểm

8a.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân

8a.2 Hiện tượng phóng xạ

8a.3 Phản ứng hạt nhân

8a.4 Năng lượng hạt nhân



8a.2 Hiện tượng phóng xạ (1)

- a. Hiện tượng
- b. Cơ chế phóng xạ
- c. Định luật phóng xạ
- d. Các họ phóng xạ
- e. Phóng xạ nhân tạo



8a.2 Hiện tượng phóng xạ (1)

Hiện tượng

- Hiện tượng phóng xạ là sự phân rã tự nhiên của các hạt nhân không bền, phát ra:

- **Tia alpha:** hạt nhân ${}^4_2\text{He}$

- **Tia beta:** electron hay positron (phản hạt của electron).

- **Tia gamma:** photon năng lượng cao.

Chỉ có thể xuyên qua một tờ giấy

Có thể xuyên qua một lá nhôm dày vài mm

Có thể xuyên qua một bản chì dày vài cm

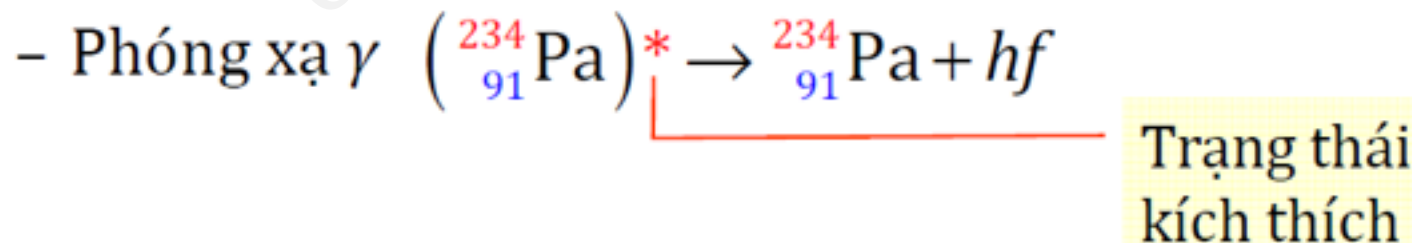
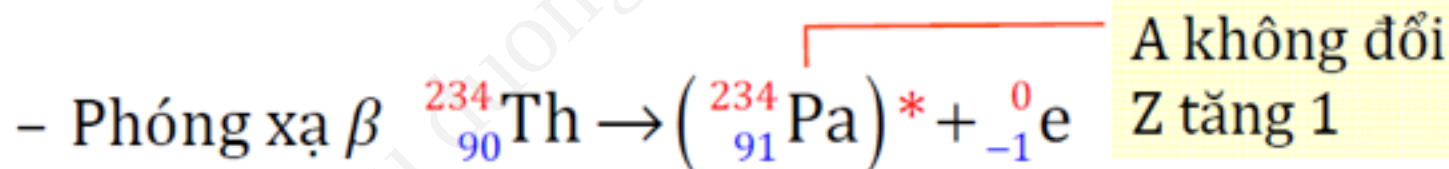
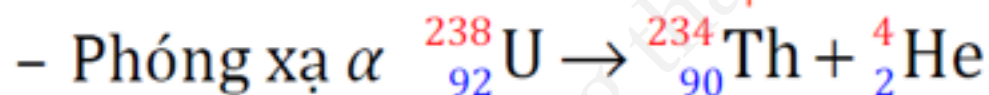


8a.2 Hiện tượng phóng xạ (2)

- Phóng xạ tuân theo các định luật bảo toàn: năng lượng, động lượng, momen động lượng, điện tích và số khối.

- Ví dụ:

A giảm 4
Z giảm 2

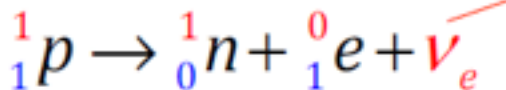




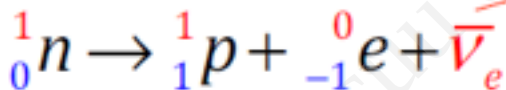
8a.2 Hiện tượng phóng xạ (3)

Cơ chế phóng xạ

- Phóng xạ α : do các hạt α chui ngầm ra khỏi rào thế hạt nhân.
- Phóng xạ β^+ hay β^- : do sự biến đổi qua lại giữa proton và neutron.



neutrino: rất nhẹ,
trung hòa, spin $1/2$



phản neutrino

- Phóng xạ γ : do hạt nhân chuyển từ trạng thái năng lượng cao về trạng thái có năng lượng thấp hơn.

Pauli đã tiên đoán sự tồn tại của neutrino từ năm 1931 nhờ định luật bảo toàn năng lượng. Đến năm 1957 thì các nhà khoa học quan sát được hạt này.

Vd. 22,23



8a.2 Hiện tượng phóng xạ (4)

Ví dụ 1

Một hạt nhân Ra^{226} đang đứng yên thì phân rã α .
Phát biểu nào sau đây là đúng?

- (a) Hạt α có động năng lớn hơn hạt nhân con.
- (b) Hạt nhân con có động năng lớn hơn hạt α .
- (c) Hạt nhân con có động năng bằng hạt α .



8a.2 Hiện tượng phóng xạ (5)

- Theo định luật bảo toàn động lượng, hạt nhân con và hạt α có động lượng bằng nhau và ngược chiều.
- Động năng = $\frac{1}{2} (\text{động lượng})^2 / (\text{khối lượng})$
- Hạt α nhẹ hơn nên có động năng lớn hơn.
- Câu trả lời đúng là (a).



8a.2 Hiện tượng phóng xạ (6)

Ví dụ 2

Coi khối lượng của một hạt nhân có số khối A là A (u).

Hạt nhân Ra^{226} đứng yên phóng xạ ra hạt α với động năng 4,78 (MeV). Năng lượng toàn phần tỏa ra từ phản ứng là:

(a) 0,487 (MeV)

(b) 4,87 (MeV)

(c) 48,7 (MeV)

(d) 478 (MeV)



8a.2 Hiện tượng phóng xạ (7)

- Năng lượng toàn phần tỏa ra gồm động năng của hạt α và của hạt nhân con:

$$Q = \frac{p^2}{2m_\alpha} + \frac{p^2}{2m_X} = \frac{p^2}{2m_\alpha} \left(1 + \frac{m_\alpha}{m_X} \right)$$

$$Q = K_\alpha \left(1 + \frac{m_\alpha}{m_X} \right)$$

$$Q = K_\alpha \left(1 + \frac{4}{A-4} \right) = 4,87 (MeV)$$

4,78 MeV

226

Câu trả lời đúng là (b).



8a.2 Hiện tượng phóng xạ (8)

Định luật phóng xạ

- Gọi $N(t)$ là tổng số hạt nhân ở thời điểm t .
- Độ biến thiên số hạt nhân trong khoảng thời gian $(t, t + dt)$ là dN , $dN < 0$ vì N giảm dần.
- Số hạt nhân phân rã trong khoảng thời gian $(t, t + dt)$ bằng $-dN$.
- Số hạt nhân phân rã trong thời gian $(t, t + dt)$ thì tỷ lệ với tổng số hạt nhân lúc t và với dt :

$$dN = -\lambda N(t) dt$$

- λ là *hằng số phân rã* của chất phóng xạ.



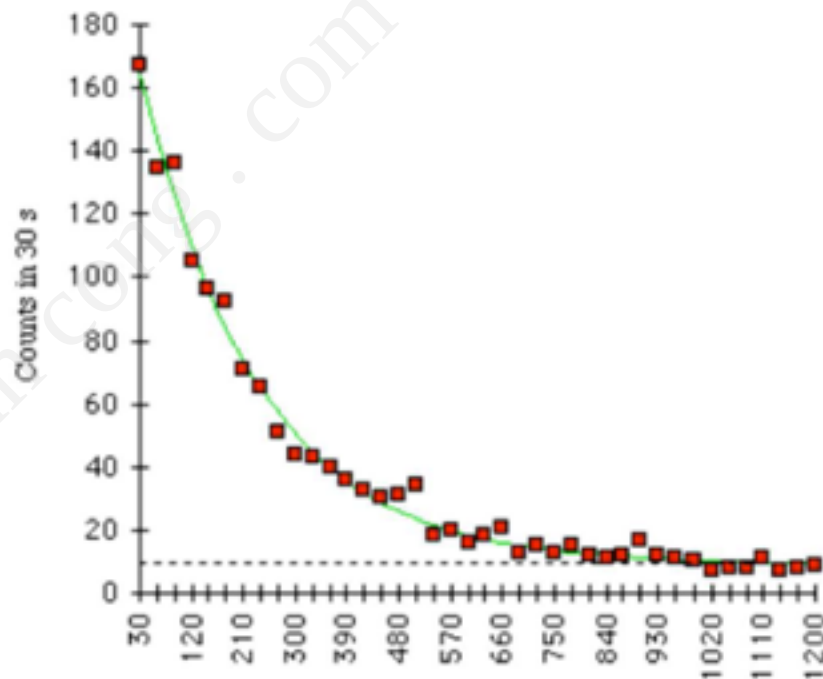
8a.2 Hiện tượng phóng xạ (9)

- Tích phân hệ thức trên từ lúc đầu, khi tổng số hạt nhân là N_0 , cho đến lúc t , ta có:

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

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$$

- với $\tau = 1/\lambda$ là *thời gian sống trung bình* của hạt nhân phóng xạ.





8a.2 Hiện tượng phóng xạ (10)

- Chu kỳ bán rã $T_{1/2}$ là thời gian để số hạt nhân phóng xạ giảm đi một nửa.

Minh họa

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

- Độ phóng xạ H là số hạt nhân phân rã trong một đơn vị thời gian:

$$H = -\frac{dN}{dt} = \lambda N(t)$$

- Đơn vị của H là Bq (Becquerel), hay Ci (Curie).
 $1 Bq = 1$ phân rã /s, $1 Ci = 3,7 \times 10^{10} Bq$.



8a.2 Hiện tượng phóng xạ (11)

Ví dụ 1

Sau hai chu kỳ bán rã của một chất phóng xạ có mấy phần của chất đó đã phân rã ?

(a) $\frac{1}{2}$

(b) $\frac{1}{4}$

(c) $\frac{3}{4}$

(d) Không đủ dữ liệu để trả lời.



8a.2 Hiện tượng phóng xạ (12)

- Sau một chu kỳ bán rã thì $\frac{1}{2}$ lượng chất đồng vị đã phân rã.
- Sau một chu kỳ bán rã nữa thì $\frac{1}{2}$ *của một nửa còn lại* tiếp tục phân rã.
- Vậy phần vật chất đã phân rã là:

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \right) = \frac{3}{4}$$

- Câu trả lời đúng là (c).



8a.2 Hiện tượng phóng xạ (13)

Ví dụ 2

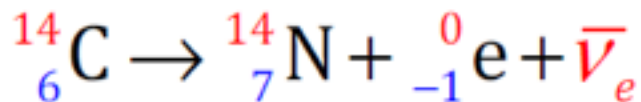
Cho chu kỳ bán rã của ${}_6\text{C}^{14}$ là 5600 năm. Xét một tượng cổ bằng gỗ, người ta thấy độ phóng xạ β^- của nó chỉ bằng 0,77 lần độ phóng xạ của một khúc gỗ có cùng khối lượng vừa mới chặt. Tuổi của tượng gỗ là:

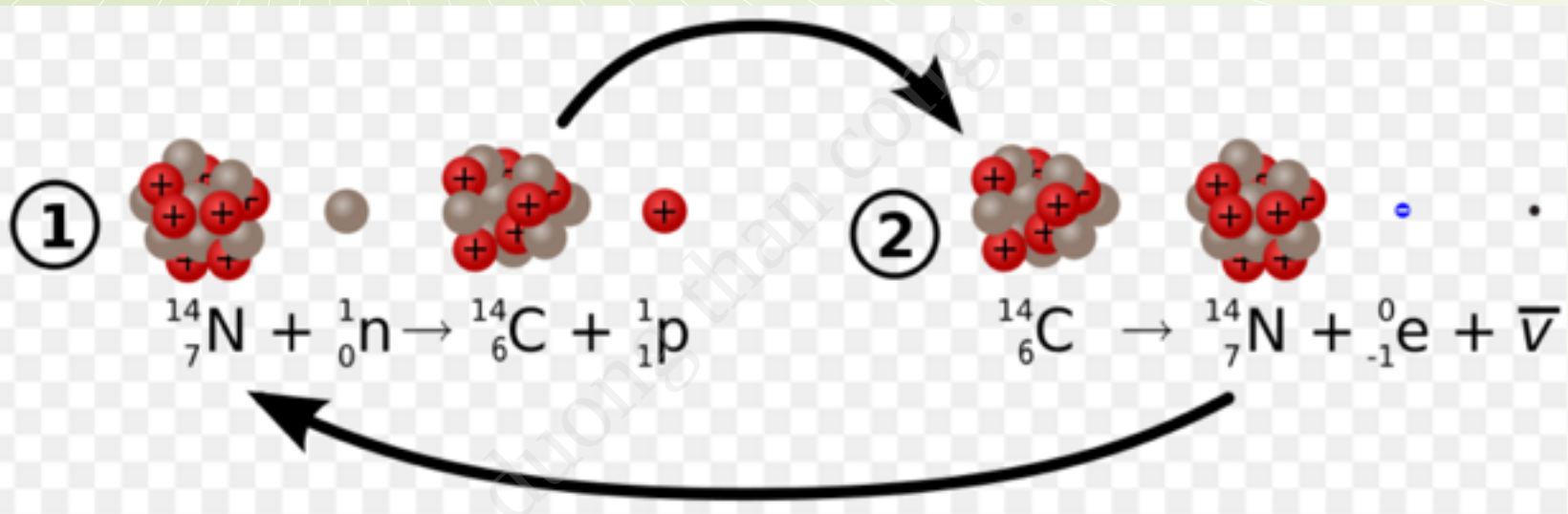
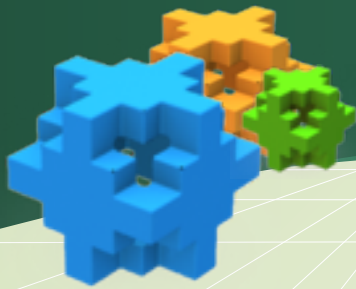
(a) 2101 năm

(b) 3101 năm

(c) 4101 năm

(d) 5101 năm







8a.2 Hiện tượng phóng xạ (14)

- Độ phóng xạ của mẫu ở thời điểm t , *lúc chúng ta đo độ phóng xạ*, là:

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

$$H(t) = H_0 e^{-\lambda t}$$

- với H_0 là độ phóng xạ của mẫu lúc $t = 0$, là gốc tính thời gian.
- Suy ra:

$$t = -\frac{1}{\lambda} \ln \frac{H(t)}{H_0}$$



8a.2 Hiện tượng phóng xạ (15)

- hay nếu viết qua chu kỳ bán rã: $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$

$$t = -\frac{T_{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{H(t)}{H_0}$$

- Thay bằng số ta có:

$$t = -5600n \frac{\ln 0,77}{\ln 2} = 2112n$$

- Câu trả lời gần đúng nhất là (a): 2101 năm.
- Trong đó ta đã giả định là *lúc $t = 0$ tượng gỗ có độ phóng xạ bằng độ phóng xạ của một khúc gỗ vừa mới chặt*. Điều này có hợp lý không?



8a.2 Hiện tượng phóng xạ (16)

- Các nghiên cứu cho thấy lượng đồng vị ${}_6\text{C}^{14}$ trong động vật, thực vật sống là gần như không đổi.
- Chỉ khi chúng chết đi, lượng này mới giảm đi theo quy luật phóng xạ.
- Do đó độ phóng xạ của một khúc cây mới cắt từ thời cổ đại và ngày nay là gần bằng nhau!



8a.2 Hiện tượng phóng xạ (17)

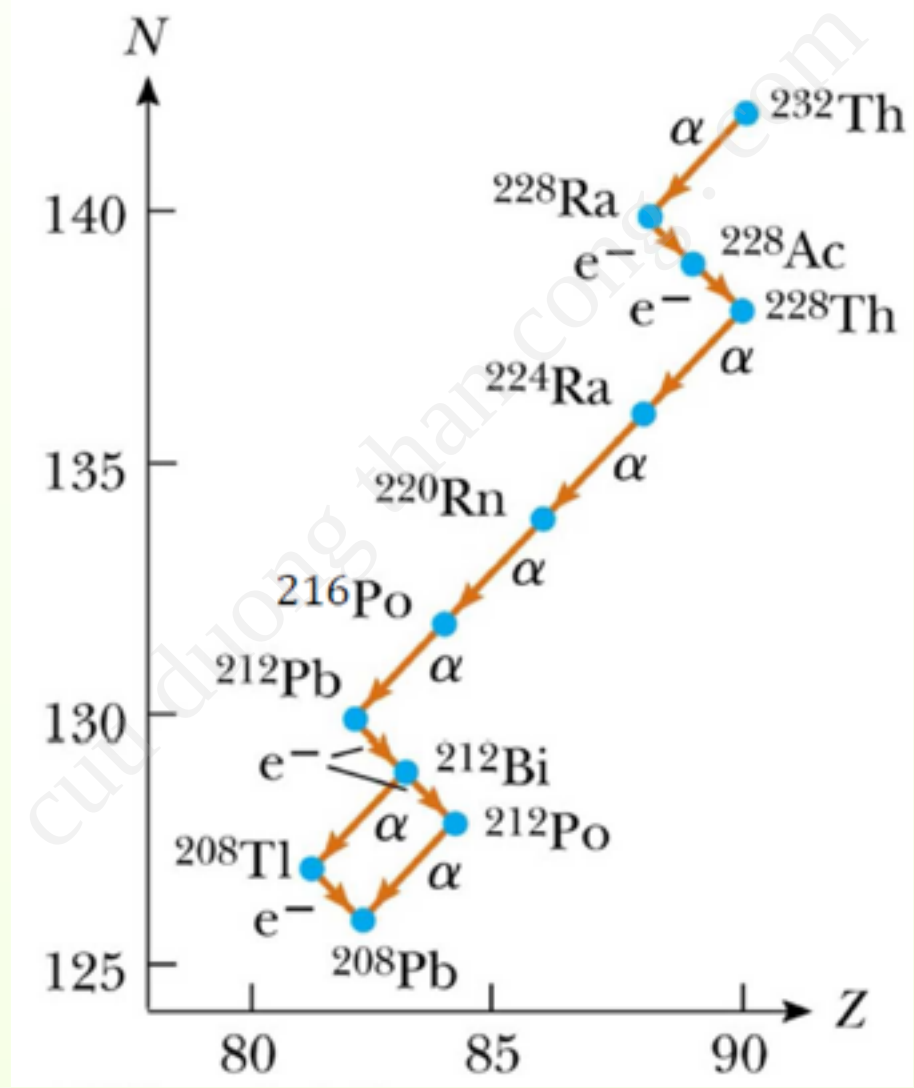
Các họ phóng xạ

- Một *họ phóng xạ* là một chuỗi các hạt nhân phóng xạ liên tiếp nhau cho đến khi đạt tới một đồng vị bền.

Họ phóng xạ	Bắt đầu	Kết thúc
Thorium	$^{232}_{90}\text{Th}$	$^{208}_{82}\text{Pb}$
Uranium	$^{238}_{92}\text{U}$	$^{206}_{82}\text{Pb}$
Actinium	$^{235}_{89}\text{Ac}$	$^{207}_{82}\text{Pb}$



8a.2 Hiện tượng phóng xạ (18)



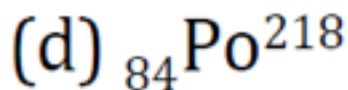
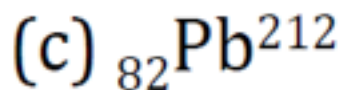
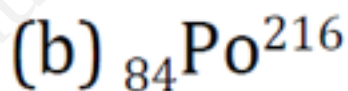
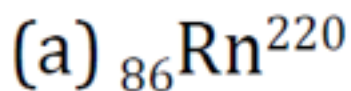


8a.2 Hiện tượng phóng xạ (19)

Ví dụ

Sau vài lần phân rã, một hạt nhân phóng xạ phát ra một hạt α và hai hạt β^- để tạo nên hạt nhân ${}_{84}\text{Po}^{212}$.

Hạt nhân ban đầu là hạt nhân nào sau đây?





8a.2 Hiện tượng phóng xạ (20)

- Quá trình phân rã:



- Vậy $A = 216, Z = 84$.
- Hạt nhân ban đầu là ${}^{216}_{84}\text{Po}$.
- Câu trả lời đúng là (b).

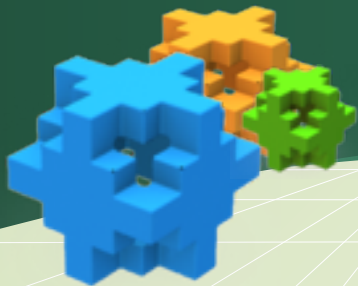


8a.2 Hiện tượng phóng xạ (21)

Phóng xạ nhân tạo

- Năm 1933, F. Joliot và Irène Curie khám phá các đồng vị phóng xạ không có trong tự nhiên,
- và theo dõi sự phân rã của chúng cho đến khi đạt tới các đồng vị bền.
- Họ nhận giải Nobel Hóa Học năm 1935.





Chương 8a: Nguyên tử kiểm

8a.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân

8a.2 Hiện tượng phóng xạ

8a.3 Phản ứng hạt nhân

8a.4 Năng lượng hạt nhân



8a.3 Phản ứng hạt nhân (1)

a. Hiện tượng

b. Các loại phản ứng



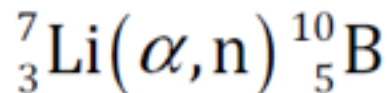
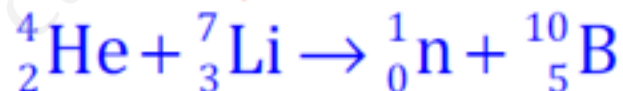
8a.3 Phản ứng hạt nhân (2)

Hiện tượng

- Các quá trình biến đổi của hạt nhân được gọi là *phản ứng hạt nhân*.
- Thường xảy ra do bắn phá một hạt nhân đứng yên bằng các hạt năng lượng cao.
- Ví dụ:

Hạt α năng lượng cao

Hạt nhân bia





8a.3 Phản ứng hạt nhân (3)

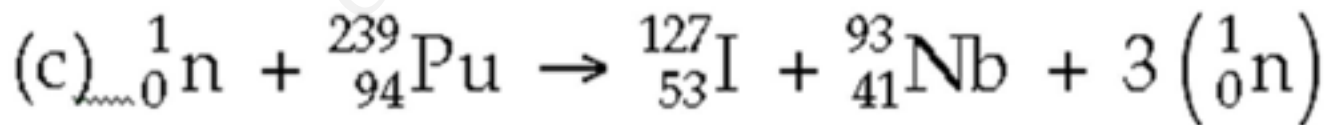
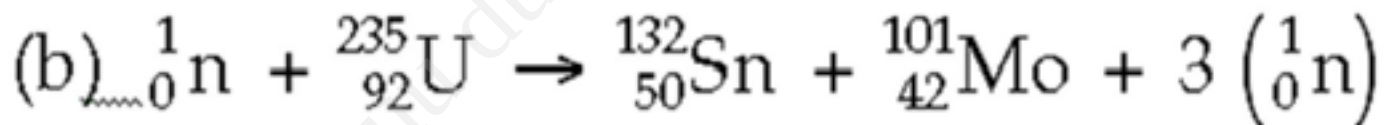
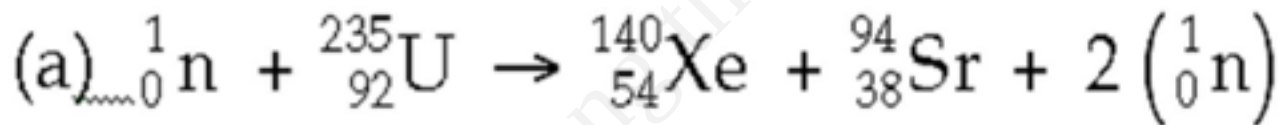
- Trong một phản ứng hạt nhân các đại lượng sau đây phải bảo toàn:
 - Số khối,
 - Điện tích,
 - Năng lượng,
 - Động lượng,
 - Momen động lượng.



8a.3 Phản ứng hạt nhân (4)

Ví dụ

Quá trình nào sau đây có thể là phản ứng hạt nhân?





8a.3 Phản ứng hạt nhân (5)

- (a) và (b) có thể là phản ứng hạt nhân vì số khối và điện tích bảo toàn.
- (c) không thể là phản ứng hạt nhân vì số khối bằng 240 trước phản ứng, và 223 sau phản ứng.



8a.3 Phản ứng hạt nhân (6)

Các loại phản ứng

- Phản ứng *tỏa nhiệt*: khối lượng sau phản ứng giảm.
- Phản ứng *thu nhiệt*: khối lượng sau phản ứng tăng.
- Năng lượng trao đổi Q bằng năng lượng ứng với sự thay đổi khối lượng:

$$Q = \left(\sum_i m_{i, \text{trước}} - \sum_j m_{j, \text{sau}} \right) c^2$$

$Q > 0$: tỏa nhiệt

$Q < 0$: thu nhiệt

- $\sum m_i$: tổng khối lượng nghỉ các hạt.



8a.3 Phản ứng hạt nhân (7)

- Trong phản ứng thu nhiệt, cần phải cung cấp năng lượng dưới dạng động năng của hạt đến bắn phá hạt nhân.
- Năng lượng tối thiểu cần phải cung cấp (*năng lượng ngưỡng* của hạt bắn phá) là:

$$K_{\min} = |Q| \left(1 + \frac{m}{M} \right)$$

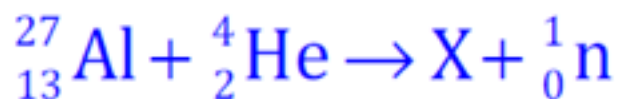
- m là khối lượng của hạt đến bắn phá,
- M là khối lượng hạt nhân bị bắn phá (hạt nhân bia).



8a.3 Phản ứng hạt nhân (8)

Ví dụ 1

Cho phản ứng thu nhiệt:



(a) Hãy xác định hạt nhân kết quả.

(b) Tìm năng lượng ngưỡng của phản ứng, biết $m_{\text{Al}} = 26,974u$, $m_{\alpha} = 4,0015u$.



8a.3 Phản ứng hạt nhân (9)

- Số khối được bảo toàn:

$$27 + 4 = A + 1 \Rightarrow A = 30$$

- Điện tích được bảo toàn:

$$13 + 2 = Z + 0 \Rightarrow Z = 15$$

- Hạt nhân kết quả là: ${}_{15}^{30}\text{P}$

- Nhiệt trao đổi:

29,970u

$$Q = c^2 (m_{Al} + m_{He} - m_P - m_n) = -2,98 \text{ MeV}$$

- Năng lượng tối thiểu cần cung cấp:

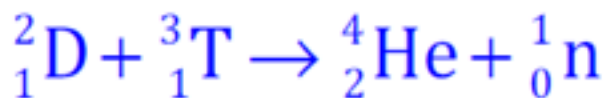
$$K_{\min} = |Q| \left(1 + \frac{m_{He}}{m_{Al}} \right) = 3,4 \text{ MeV}$$



8a.3 Phản ứng hạt nhân (10)

Ví dụ 2

Tìm năng lượng tỏa ra từ phản ứng nhiệt hạch:



biết rằng độ hụt khối khi tạo thành hạt nhân D, T và He lần lượt là

$$\Delta m_D = 0,0024u, \quad \Delta m_T = 0,0087u \quad \text{và} \quad \Delta m_{\text{He}} = 0,0305u.$$



8a.3 Phản ứng hạt nhân (11)

- Năng lượng tỏa ra được xác định từ:

$$Q = [m_D + m_T - (m_{He} + m_n)]c^2$$

$$[] = (m_D + m_T - 2m_p - 3m_n) + (2m_p + 3m_n - m_{He} - m_n)$$

$$\begin{aligned} m_D + m_T - 2m_p - 3m_n &= (m_D - m_p - m_n) + (m_T - m_p - 2m_n) \\ &= -(\Delta m_D + \Delta m_T) \end{aligned}$$

$$2m_p + 3m_n - m_{He} - m_n = 2m_p + 2m_n - m_{He} = \Delta m_{He}$$



8a.3 Phản ứng hạt nhân (11)

- Vậy Q còn có thể viết qua độ hụt khối của các hạt nhân tham gia phản ứng như sau:

$$Q = [\Delta m_{He} - (\Delta m_D + \Delta m_T)]c^2$$

$$Q = [0,0305 - (0,0024 + 0,0087)] \times 931,5 (MeV)$$

$$Q = 18,07 (MeV)$$



8a.3 Phản ứng hạt nhân (12)

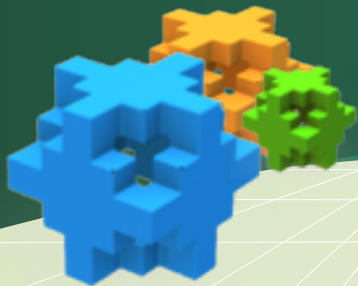
- Năng lượng trao đổi trong một phản ứng còn có thể tính qua độ hụt khối như sau:

$$Q = \left(\sum_i \Delta m_{i,sau} - \sum_j \Delta m_{j,truoc} \right) c^2$$

- hay qua năng lượng liên kết:

$$Q = \sum_i E_{i,sau}^{lk} - \sum_j E_{j,truoc}^{lk}$$

- Nếu các hạt nhân kết quả có độ hụt khối (hay năng lượng liên kết) lớn hơn các hạt nhân ban đầu thì phản ứng tỏa năng lượng.



Chương 8a: Nguyên tử kiểm

8a.1 Tính chất cơ bản của hạt nhân

8a.2 Hiện tượng phóng xạ

8a.3 Phản ứng hạt nhân

8a.4 Năng lượng hạt nhân



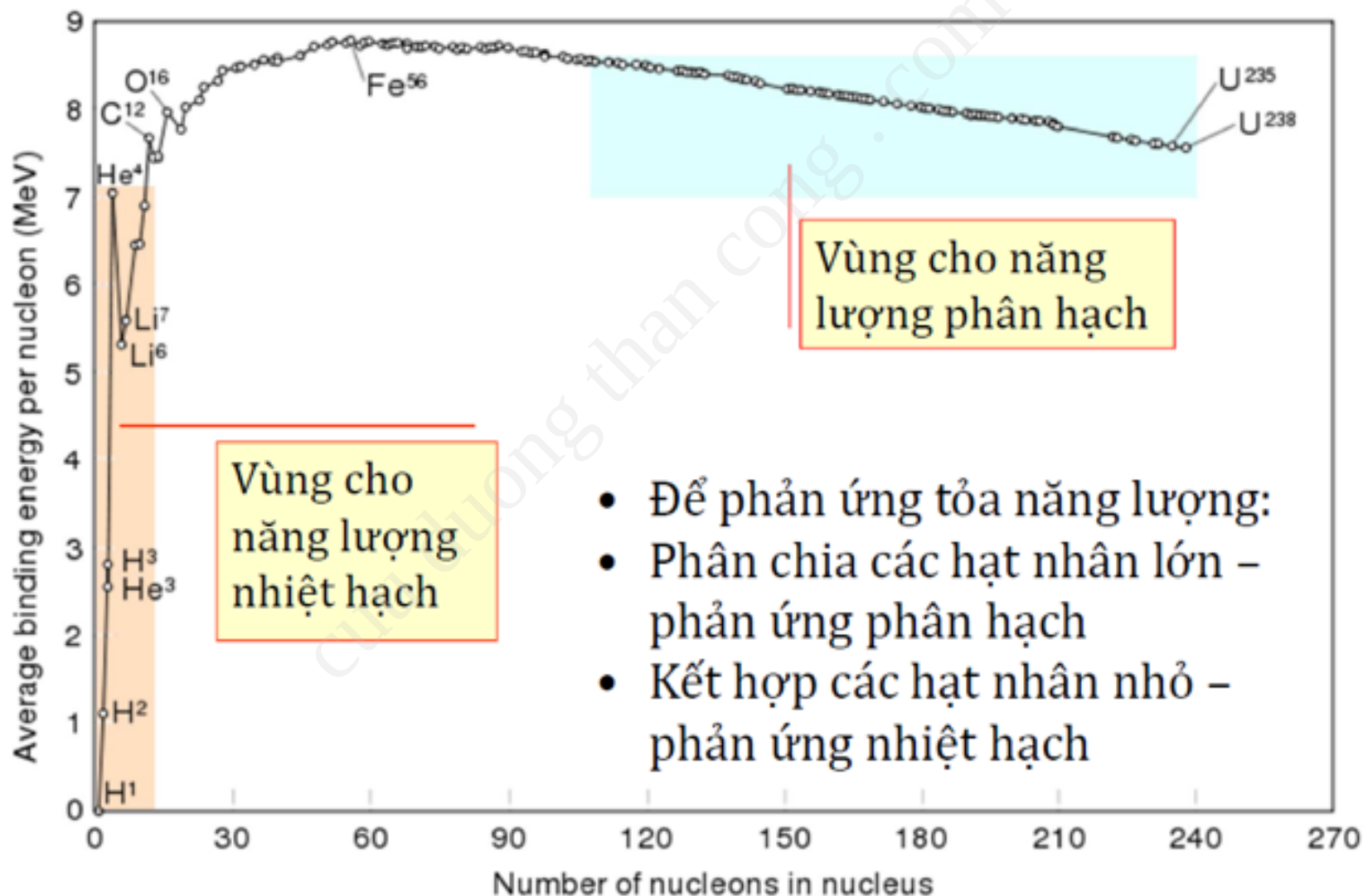
8a.4 Năng lượng hạt nhân (1)

- a. Mở đầu
- b. Phản ứng phân hạch
- c. Phản ứng nhiệt hạch
- d. Năng lượng hạt nhân và nhu cầu năng lượng hiện đại



8a.4 Năng lượng hạt nhân (2)

Mở đầu





8a.4 Năng lượng hạt nhân (3)

Phản ứng phân hạch

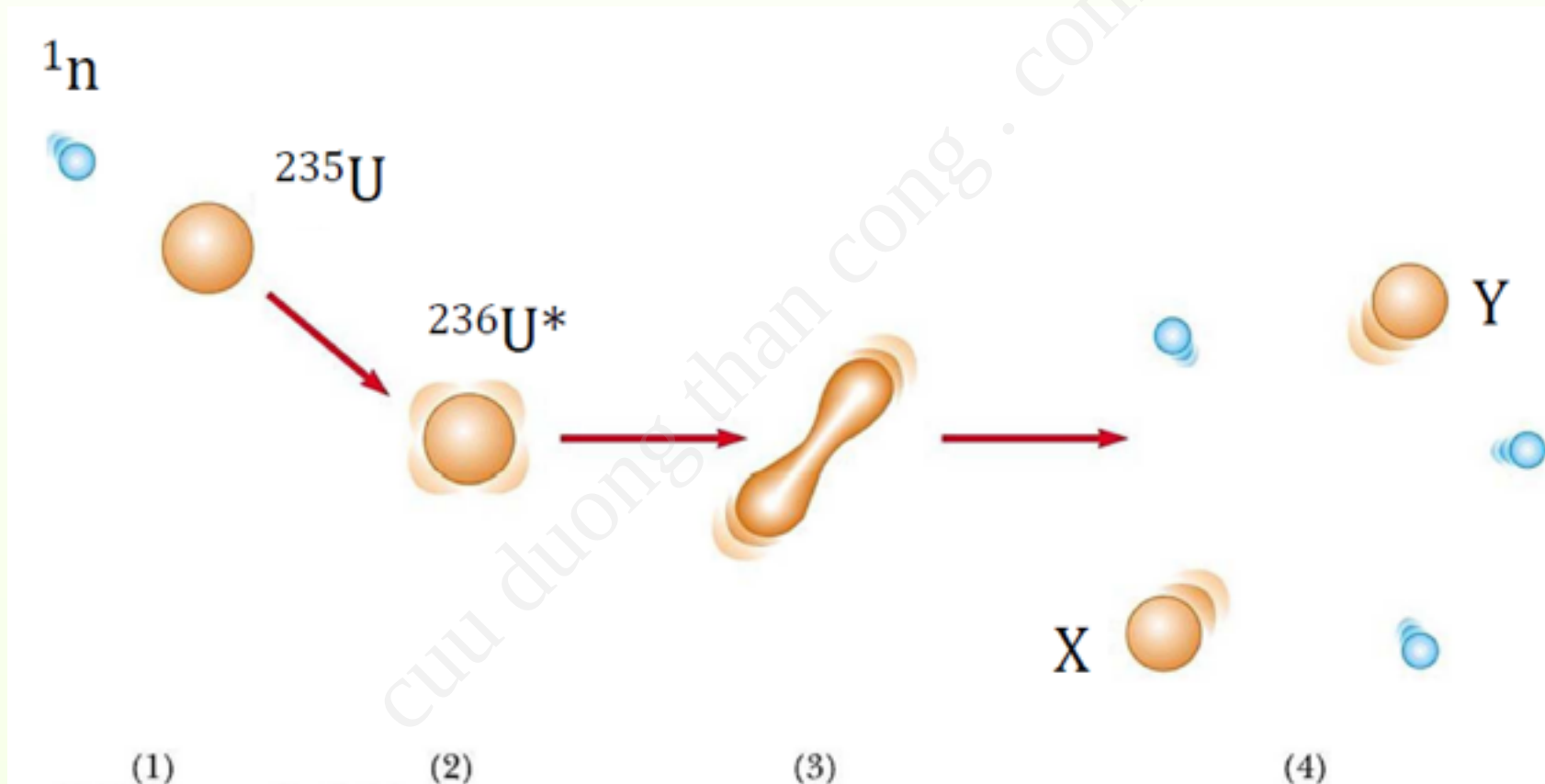
- Là phản ứng tách hạt nhân nặng thành hai hạt nhân có năng lượng liên kết riêng lớn hơn.
- Ví dụ:



- neutron đến là neutron chậm (neutron nhiệt).
- ${}_{92}^{236}\text{U}^*$ là trạng thái trung gian, không bền.
- X, Y là các hạt nhân kết quả.
- có thể có nhiều tổ hợp X, Y thỏa định luật bảo toàn năng lượng, số khối và điện tích.



8a.4 Năng lượng hạt nhân (4)





8a.4 Năng lượng hạt nhân (5)

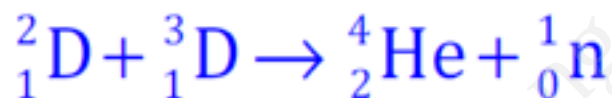
- Qua minh họa vừa rồi ta thấy có mấy trường hợp:
- Phản ứng dây chuyền: số neutron tạo ra lớn hơn số neutron hấp thụ. (Bom nguyên tử)
- Phản ứng kiểm soát được: số neutron tạo ra bằng số neutron hấp thụ. (Lò phản ứng)
- Phản ứng tắt: số neutron tạo ra nhỏ hơn số neutron hấp thụ.
- Ngoài ra, để có phản ứng thì phải có đủ ^{235}U . (Khối lượng > khối lượng tới hạn)



8a.4 Năng lượng hạt nhân (6)

Phản ứng nhiệt hạch

- Là phản ứng kết hợp các hạt nhân nhẹ thành một hạt nhân có năng lượng liên kết riêng lớn hơn.
- Ví dụ:



- Để thực hiện phản ứng cần có nhiệt độ rất cao để thắng được lực đẩy tĩnh điện giữa các hạt nhân nhẹ.
- Phản ứng chưa điều khiển được. Bom nhiệt hạch
- Là nguồn năng lượng của các vì sao.



Tổng kết chương 5 (3)

Hiện tượng quang điện

photon có năng lượng và động lượng:

$$\varepsilon = hf$$

$$p = \frac{h}{\lambda}$$



$$\varepsilon = h \frac{c}{\lambda} = pc$$

bước sóng ngưỡng

$$\lambda_t = \frac{hc}{W}$$

Động năng cực đại của electron thoát:

$$K_{\max} = hf - W$$



Tổng kết chương 5 (4)

Tán xạ Compton

$$\lambda' - \lambda = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos \theta)$$

$$\lambda_c = 2,43 \times 10^{-12} m$$

λ_c là bước sóng Compton.

θ là góc lệch của photon tán xạ.