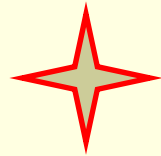


**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HCM**  
**TRƯỜNG ĐH KHOA HỌC TỰ NHIÊN**



**Bài giảng**  
**VẬT LÝ HIỆN ĐẠI**  
**(PHY00004)**



cuu duong than cong. com

**HUỲNH TRÚC PHƯƠNG**

**Email: [htphuong.oarai@gmail.com](mailto:htphuong.oarai@gmail.com)**

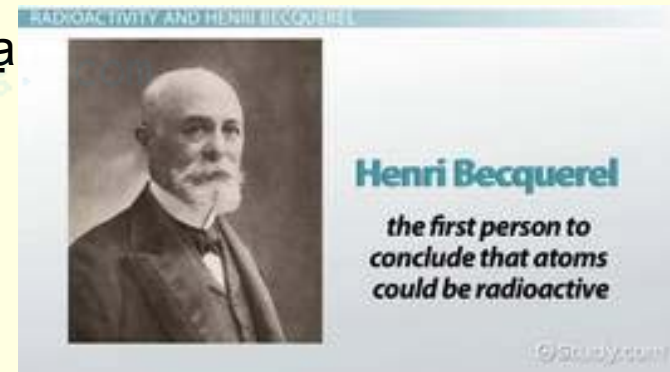
cuu duong than cong. com

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### Mốc lịch sử phát triển vật lý hạt nhân

- 1896: năm ra đời của vật lý hạt nhân
  - Becquerel khám phá ra hiện tượng phóng xạ của hợp chất uranium
- Rutherford (1898) cho thấy có 3 loại bức xạ
  - Alpha (hạt nhân He)
  - Beta (hạt electron)
  - Gamma (photon năng lượng cao)
- 1911: Rutherford, Geiger và Marsden thực hiện thí nghiệm tán xạ
  - Chứng minh rằng hạt nhân có thể xem như là một điện tích điểm
  - Hầu như khối lượng của nguyên tử tập trung ở hạt nhân
  - Lực hạt nhân là một loại lực mới



# NỘI DUNG

---

**5.1. CÁC TÍNH CHẤT CỦA HẠT NHÂN**

**5.2. ĐIỆN TÍCH HẠT NHÂN**

**5.3. KHỐI LƯỢNG HẠT NHÂN**

**5.4. KÍCH THƯỚC HẠT NHÂN**

**5.5. TÍNH BỀN VỮNG CỦA HẠT NHÂN**

**5.6. ĐỘ HỤT KHỐI – NĂNG LƯỢNG LIÊN KẾT**

**5.7. CÁC MẪU CẤU TRÚC HẠT NHÂN**

**5.8. PHÂN RÃ PHÓNG XẠ**

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.1. CÁC TÍNH CHẤT CỦA HẠT NHÂN

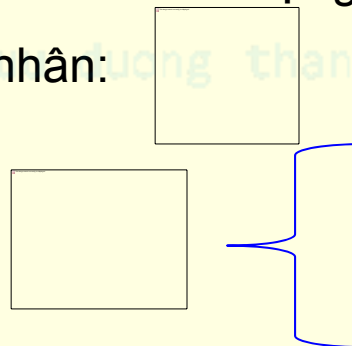
- ❖ Tất cả các hạt nhân được tạo thành từ proton và neutron (trừ hydro)
- ❖ Số nguyên tử (điện tích số)  $Z$  bằng số proton trong hạt nhân
- ❖ Số neutron  $N$  là số neutron có trong hạt nhân
- ❖ Số khối  $A$  là số nucleon trong hạt nhân



- $A = Z + N$
- Nucleon là tên chung dùng để nói đến 1 proton hay 1 neutron
- Số khối không phải là khối lượng

- ❖ Kí hiệu cho một hạt nhân:

**Ví dụ:**



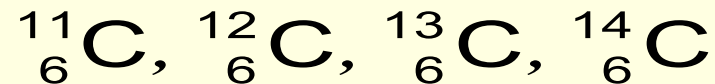
- $A = 27$
- $Z = 13$
- $N = 27 - 13 = 14$

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

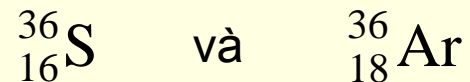
### 5.1. CÁC TÍNH CHẤT CỦA HẠT NHÂN

- ❖ Đồng vị: là những hạt nhân có cùng số Z nhưng khác số N (khác A)



cuu duong than cong. com

- ❖ Đồng khối: là những hạt nhân có cùng số khối A



cuu duong than cong. com

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.2. ĐIỆN TÍCH HẠT NHÂN

- ❖ Proton : có điện tích  $+e$
- ❖ Electron : có điện tích  $-e$
- ❖ Neutron : không có điện tích
  - Trong thời kỳ đầu, neutron rất khó phát hiện
  - Ngày nay với công cụ hiện đại thì neutron dễ dàng phát hiện
- ❖  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$
- ❖ Điện tích của hạt nhân:  $+Ze$

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.3. KHỐI LƯỢNG HẠT NHÂN

- ❖ Thường sử dụng đơn vị khối lượng nguyên tử, u:
  - $1u = 1,660539 \cdot 10^{-27} \text{kg}$
  - Dựa vào định nghĩa là khối lượng của một nguyên tử  $^{12}\text{C}$  bằng  $12u$
- ❖ Khối lượng cũng có thể biểu diễn theo đơn vị:  $\text{MeV}/c^2$ 
  - Từ năng lượng nghỉ:  $E_0 = mc^2$
  - $1u = 931,5 \text{ MeV}/c^2$

**Ví dụ 5.1:** Dùng hằng số Avogadro chứng minh rằng  $1u = 1,6603 \cdot 10^{-27} \text{kg}$

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

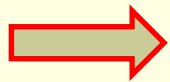
### 5.4. KÍCH THƯỚC HẠT NHÂN

#### ❑ Thực nghiệm tán xạ Rutherford

➡ Theo ĐLBTNL

$$\Delta K + \Delta U = 0$$

$$\left(0 - \frac{1}{2}mv^2\right) + \left(k \frac{q_1 q_2}{d}\right) = 0$$

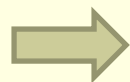


$$d = 4k \frac{Ze^2}{mv^2}$$

Đối với  $^{197}\text{Au}$ :  $d = 3,2 \cdot 10^{-14}\text{m}$

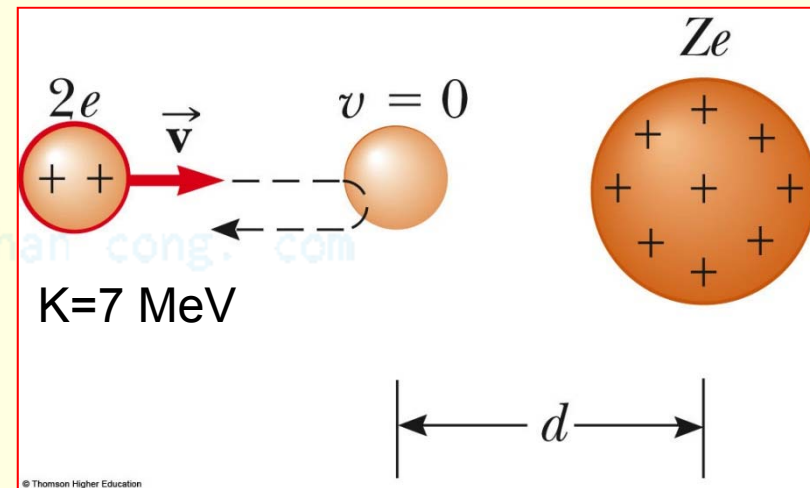


Bán kính hạt nhân  $< 10^{-14}\text{m}$



Đơn vị: femtomét (fm):  $1\text{fm} = 10^{-15}\text{m}$

**(Fermi)**





# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.4. KÍCH THƯỚC HẠT NHÂN

❑ Thực hiện nhiều thí nghiệm các nhà khoa học đưa đến kết luận:

- Hạt nhân có dạng khối cầu
- BÁN KÍNH trung bình là

$$r = r_0 A^{1/3}$$

$$r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m} = 1,2 \text{ fm}$$

$$\text{Do } m_p \approx m_n \text{ nên } M_{\text{hn}} \approx A \cdot m_p$$



**Mật độ của tất cả hạt nhân đều bằng nhau**

**Ví dụ 5.2:** Tìm mật độ hạt nhân của  $^2\text{H}$  và  $^{235}\text{U}$

$$\rho(^2\text{H}) = \rho(^{235}\text{U}) = 2,3 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

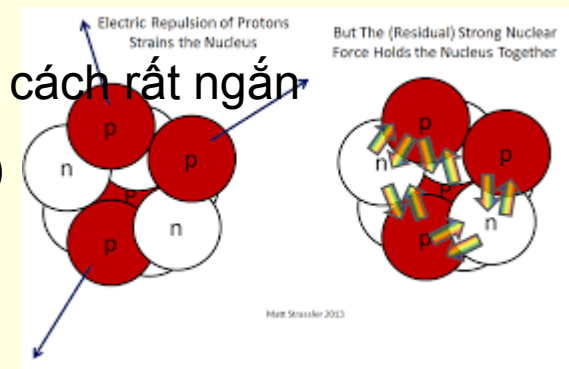
### 5.5. TÍNH BỀN VỮNG CỦA HẠT NHÂN

#### ❑ Có các lực đẩy tĩnh điện rất lớn giữa các proton trong hạt nhân

- Các lực này làm cho các nucleon tách khỏi hạt nhân
- Hạt nhân không tồn tại

#### ❑ Hạt nhân là bền vững bởi vì nó tồn tại 1 lực khác, mạnh hơn, có tầm tác dụng ngắn: **LỰC HẠT NHÂN**

- Là lực hút tác dụng giữa các nucleon với nhau
- Lực hạt nhân mạnh hơn lực Coulomb ở khoảng cách rất ngắn
- Khoảng tác dụng cỡ kích thước Fermi ( $\sim 10^{-15}\text{m}$ )
- Lực hạt nhân không phụ thuộc vào điện tích
- Lực hạt nhân giữa n-p, p-p, n-n là như nhau

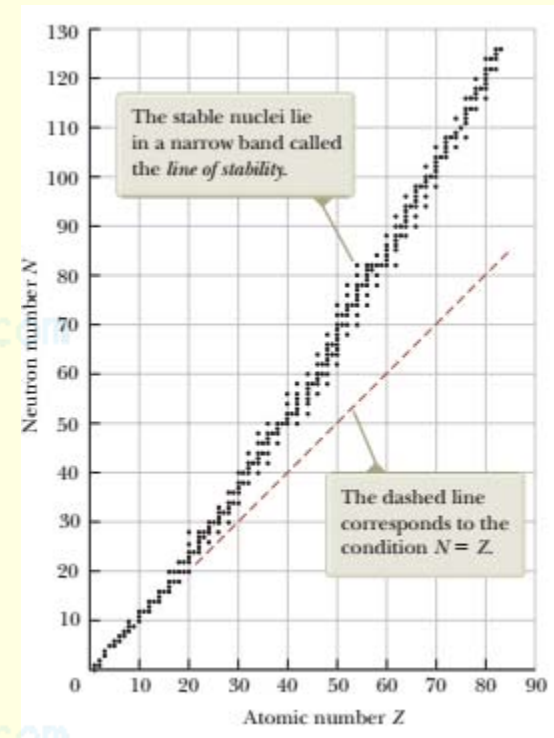


# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.5. TÍNH BỀN VỮNG CỦA HẠT NHÂN

- ❑ Hạt nhân nhẹ hầu hết là bền vững nếu  $N = Z$
- ❑ Hạt nhân nặng là bền vững nếu  $N > Z$ 
  - $Z \geq 20$
  - Khi số proton tăng, lực Coulomb tăng, cần số neutron nhiều hơn
- ❑ Không có hạt nhân bền khi  $Z > 83$



## CHƯƠNG 5

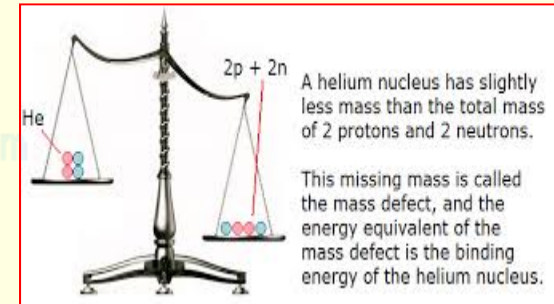
# VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.6. ĐỘ HỤT KHỐI VÀ NĂNG LƯỢNG LIÊN KẾT

❑ **Hiện tượng hụt khối:** là hiện tượng khối lượng hạt nhân luôn nhỏ hơn tổng khối lượng của các nucleon trong hạt nhân

❑ **Độ hụt khối**

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{hn}$$



❑ **Năng lượng liên kết:**

$$\Delta E = \Delta mc^2 = [Zm_p + Nm_n - M_{hn}]c^2$$

Hay

$$\Delta E = [Zm_p + Nm_n - M_{hn}] \times 931,5(\text{MeV})$$

## CHƯƠNG 5

# VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.6. ĐỘ HỤT KHỐI VÀ NĂNG LƯỢNG LIÊN KẾT

#### □ Năng lượng liên kết riêng

$$\varepsilon = \frac{\Delta E}{A} = \frac{[Zm_p + Nm_n - M_{\text{hn}}] \times 931,5(\text{MeV})}{A}$$

**Ví dụ 5.3:** Tính năng lượng liên kết và năng lượng liên kết riêng của hạt nhân:  ${}_{26}^{56}\text{Fe}$  và  ${}_{92}^{238}\text{U}$

Biết:  $m_p = 1,007825\text{u}$ ,  $m_n = 1,0088665\text{u}$   
 $m(\text{Fe}) = 55,934937\text{u}$  và  $m(\text{U}) = 238,050788\text{u}$

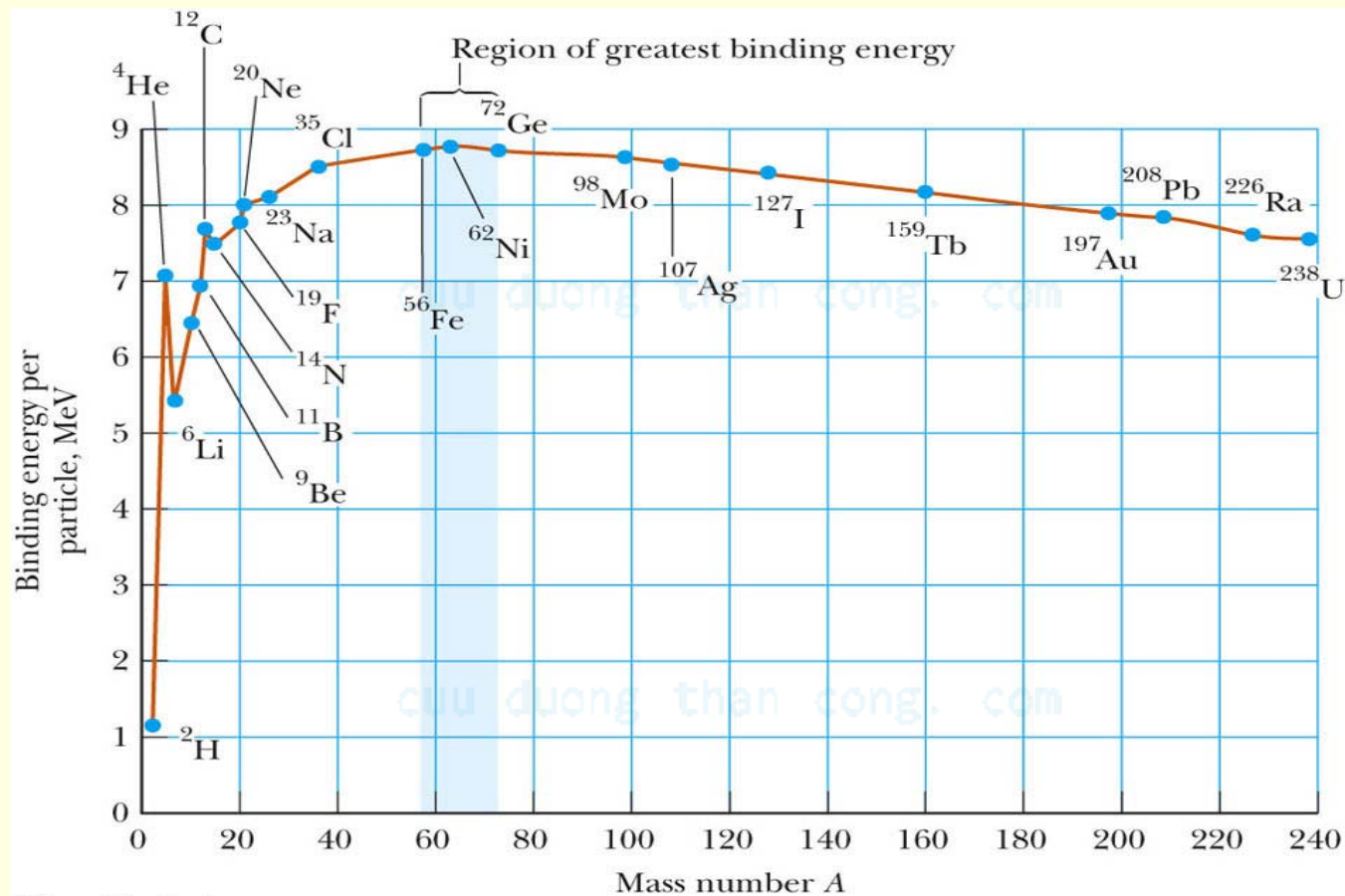
$$\begin{aligned}\Delta E(\text{Fe}) &= 492,3 \text{ MeV} \\ \varepsilon(\text{Fe}) &= 8,79 \text{ MeV/nucloen}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta E(\text{U}) &= 1802 \text{ MeV} \\ \varepsilon(\text{U}) &= 7,57 \text{ MeV/nucloen}\end{aligned}$$

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.6. ĐỘ HỤT KHỐI VÀ NĂNG LƯỢNG LIÊN KẾT



© Thomson Higher Education

11/29/2017

14

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.6. ĐỘ HỤT KHỐI VÀ NĂNG LƯỢNG LIÊN KẾT

- ❑ Năng lượng liên kết riêng là hằng số trong một khoảng  $A$  khá rộng trong vùng quanh  $A = 60$
- ❑ Trong vùng  $A < 60$  thì  $\varepsilon$  giảm mạnh do proton và neutron trên bề mặt hạt nhân giảm
- ❑ Trong vùng  $A > 60$  thì  $\varepsilon$  giảm nhẹ do lực đẩy Coulomb của proton tăng
- ❑ Nếu ta tách hạt nhân nặng ( $A > 200$ ) thành 2 hạt nhân nhẹ hơn thì quá trình giải phóng năng lượng  $\longrightarrow$  **Phân hạch**
- ❑ Nếu ta kết hợp 2 hạt nhân nhẹ ( $A < 10$ ) thành 1 hạt nhân nặng hơn thì quá trình cũng giải phóng năng lượng  $\longrightarrow$  **Nhiệt hạch**

## CHƯƠNG 5

# VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.6. ĐỘ HỤT KHỐI VÀ NĂNG LƯỢNG LIÊN KẾT

❑ Năng lượng cần thiết để tách 1 proton ra khỏi hạt nhân:

$${}^A_ZX = {}^{A-1}_{Z-1}X + p$$

$$S_p = \left[ m\left({}^{A-1}_{Z-1}X\right) + m_p - m\left({}^A_ZX\right) \right] \times 931,5 \text{ (MeV)}$$

❑ Năng lượng cần thiết để tách 1 neutron ra khỏi hạt nhân:

$${}^A_ZX = {}^{A-1}_ZX + n$$

$$S_n = \left[ m\left({}^{A-1}_ZX\right) + m_n - m\left({}^A_ZX\right) \right] \times 931,5 \text{ (MeV)}$$

**Ví dụ 5.4:** Tìm năng lượng tách proton và neutron ra khỏi hạt nhân  ${}^{125}_{52}\text{Te}$

Biết:  $m_p = 1,007825u$ ;  $m_n = 1,008665u$ ;  $m({}^{125}\text{Te}) = 124,904431u$ ;  
 $m({}^{124}\text{Te}) = 123,902818u$ ;  $m({}^{124}\text{Sb}) = 123,905936u$



# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.7. CÁC MẪU CẤU TRÚC HẠT NHÂN

□ Có 2 mẫu hạt nhân được trình bày ở đây:

#### 1. MẪU GIỌT CHẤT LỎNG



Giải thích tốt về năng lượng liên kết

cuu duong than cong. com

#### 2. MẪU LỚP



Tiên đoán sự tồn tại hạt nhân bền

cuu duong than cong. com

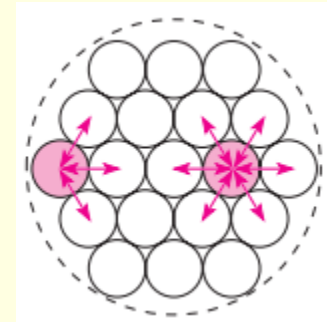
# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.7. CÁC MẪU CẤU TRÚC HẠT NHÂN

#### 1. MẪU GIỌT CHẤT LỎNG

- ❑ Xem các nucleon như là các phân tử trong giọt chất lỏng
- ❑ Các nucleon chỉ tương tác với các nucleon lân cận
- ❑ Các nucleon chịu sự va chạm thường xuyên khi chúng lắc nhẹ quanh hạt nhân
- ❑ Sự chuyển động này tương tự như sự chuyển động nhiệt của phân tử trong giọt chất lỏng



# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.7. CÁC MẪU CẤU TRÚC HẠT NHÂN

#### CÁC HIỆU ỨNG ẢNH HƯỞNG NĂNG LƯỢNG LIÊN KẾT

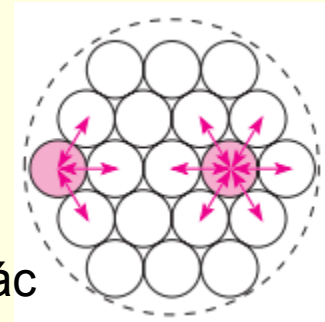
##### □ Hiệu ứng thể tích:

- Lực hạt nhân trên 1 nucleon cho trước chỉ do các nucleon lân cận chứ không do tất cả các nucleon trong hạt nhân
- Năng lượng liên kết tỉ lệ với số khối A nên tỉ lệ với thể tích hạt nhân



$$\Delta E = E_v = a_v A$$

(Năng lượng thể tích)



##### □ Hiệu ứng bề mặt:

- Nucleon trên bề mặt có ít nucleon lân cận hơn nucleon bên trong
- Nucleon trên bề mặt giảm năng lượng liên kết một lượng tỉ lệ với diện tích bề mặt hạt nhân

$$E_s = a_s A^{2/3} \quad (\text{Năng lượng mặt})$$

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.7. CÁC MẪU CẤU TRÚC HẠT NHÂN

#### CÁC HIỆU ỨNG ẢNH HƯỞNG NĂNG LƯỢNG LIÊN KẾT

##### □ Hiệu ứng Coulomb:

- Mỗi proton đẩy mọi proton khác trong nhân
- Thế năng điện tỉ lệ với số proton,  $Z$



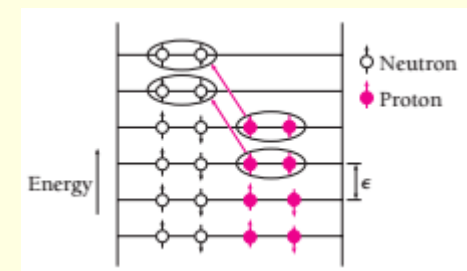
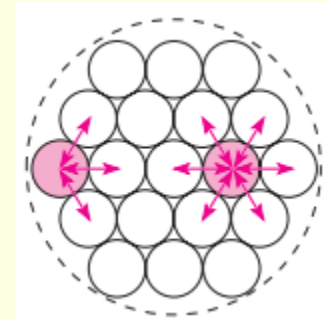
$$E_c = a_c \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} \quad (\text{Năng lượng Coulomb})$$

##### □ Hiệu ứng đối xứng:

- Nếu  $Z = N$  thì hạt nhân bền vững
- Nếu  $Z \neq N$  thì nhân có khuynh hướng giảm  $\Delta E$

$$E_a = a_a \frac{(A - 2Z)^2}{A}$$

(Năng lượng bất đối xứng)



# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.7. CÁC MẪU CẤU TRÚC HẠT NHÂN

#### CÁC HIỆU ỨNG ẢNH HƯỞNG NĂNG LƯỢNG LIÊN KẾT

##### □ Hiệu ứng tạo cặp:

- Năng lượng liên kết có khuynh hướng tăng-giảm do sự kết cặp của proton hoặc neutron
- Nhân chẵn-chẵn bền vững nhất và có  $\Delta E$  cao hơn; ngược lại nhân lẻ-lẻ có  $\Delta E$  thấp hơn.

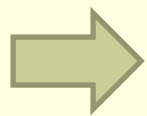


$$E_p = a_p \begin{cases} + A^{-3/4} & \rightarrow (Z \text{ chẵn}, N \text{ chẵn}) \\ 0 & \rightarrow (Z \text{ chẵn}, N \text{ lẻ hoặc } Z \text{ lẻ } N \text{ chẵn}) \\ - A^{-3/4} & \rightarrow (Z \text{ lẻ}, N \text{ lẻ}) \end{cases}$$

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.7. CÁC MẪU CẤU TRÚC HẠT NHÂN



Năng lượng liên kết của hạt nhân bây giờ là

$$\Delta E = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_a \frac{(A-2Z)^2}{A} + E_p$$

**Công thức bán thực nghiệm Weisacker**

$a_v = 15,75 \text{ MeV}$ ;  $a_s = 17,8 \text{ MeV}$  ;  $a_c = 0,71 \text{ MeV}$ ;  $a_a = 23,7 \text{ MeV}$ ;  $a_p = 33,6 \text{ MeV}$

**Ví dụ 5.5:** Khối lượng nguyên tử của  ${}^{64}_{30}\text{Zn}$  là 63,929u. So sánh năng lượng liên kết của nó với năng lượng tính từ công thức bán thực nghiệm Weisacker

**Ví dụ 5.6:** Hạt nhân đồng khối là những hạt nhân có cùng số khối A. Tìm công thức cho số Z của hạt nhân đồng khối bền nhất có A cho trước. Ứng dụng tìm hạt nhân đồng khối với hạt nhân có A = 25.

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.7. CÁC MẪU CẤU TRÚC HẠT NHÂN

#### ĐẶC ĐIỂM CỦA MẪU GIỌT CHẤT LỎNG

- ❑ Giải thích được đường cong thực nghiệm của năng lượng liên kết
- ❑ Tính được khối lượng hạt nhân
- ❑ Tính được bán kính hạt nhân
- ❑ Tính được hạt nhân đồng trọng
- ❑ Chỉ có 3 tham số đầu trong công thức Weisacker đúng giả thuyết mẫu giọt chất lỏng
- ❑ Không giải thích được các đặc tính ở trạng thái cơ bản và trạng thái kích thích: spin và tính chẵn-lẻ
- ❑ Không giải thích được tính bền vững của hạt nhân có số magic: 2, 8, 20, 50, 82, 126

11/29/2017

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.7. CÁC MẪU CẤU TRÚC HẠT NHÂN

#### 2. MẪU VỎ

Maria Goeppert-Mayer

- 1906 – 1972
- Nhà khoa học người Đức
- Công trình nổi tiếng của bà là phát triển mẫu vỏ của hạt nhân
- Chia sẻ giải Nobel năm 1963
- Người cùng nhận giải là Hans Jensen



© 2004 Thomson - Brooks/Cole



# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.7. CÁC MẪU CẤU TRÚC HẠT NHÂN

#### 2. MẪU VỎ

- Mẫu vỏ hay cũng được gọi là mẫu các hạt độc lập
- Theo mẫu này, mỗi nucleon chỉ tồn tại trên một lớp vỏ, tương tự như electron trên lớp vỏ nguyên tử
- Các nucleon tồn tại trên những trạng thái năng lượng bị lượng tử hóa
- Có ít va chạm giữa các nucleon
- Mỗi trạng thái có thể chỉ chứa 2 proton hoặc 2 neutron
  - Chúng phải có spin đối nhau
  - Chúng có spin  $\frac{1}{2}$
- Bộ các trạng thái của proton và neutron khác nhau

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.7. CÁC MẪU CẤU TRÚC HẠT NHÂN

#### 2. MẪU VỎ

- Mức năng lượng của proton cao hơn neutron do có tương tác Coulomb
- Tương tác spin-quỹ đạo của các nucleon là do lực hạt nhân

#### MẪU VỎ GIẢI THÍCH ĐƯỢC MỘT SỐ THỰC NGHIỆM

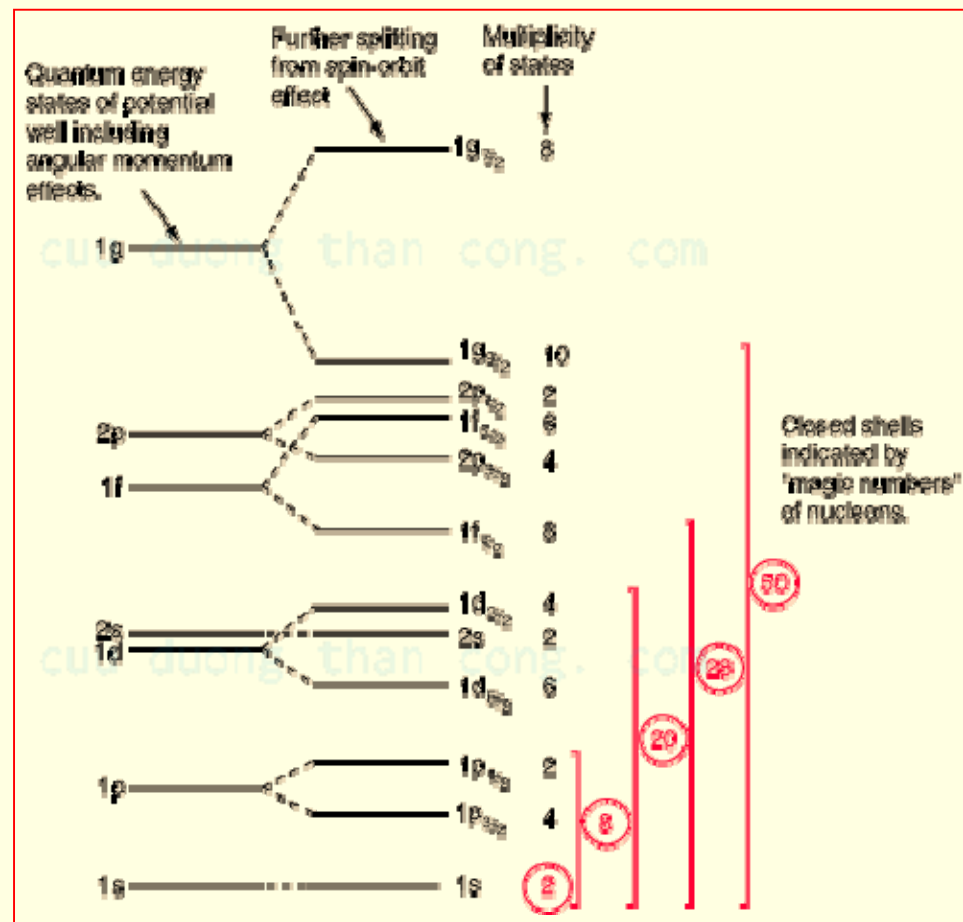
- Hạt nhân có Z chẵn và N chẵn thì bền vững hơn
  - Bất kỳ trạng thái nào được lấp đầy khi nó chứa đủ 2 proton hoặc 2 neutron
  - Một proton hoặc neutron dư có thể được bổ sung dẫn đến năng lượng tăng
  - Sự tăng năng lượng này làm hạt nhân không bền vững
  - Giải thích được tính bền vững của nhân magic

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.7. CÁC MẪU CẤU TRÚC HẠT NHÂN

#### 2. MẪU VỎ



11/29/2017

27

# CHƯƠNG 5

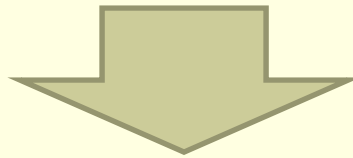
## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.7. CÁC MẪU CẤU TRÚC HẠT NHÂN

#### 2. MẪU VỎ

#### HẠN CHẾ CỦA MẪU VỎ

- ☐ Chỉ mô tả đúng cho các nhân có dạng cầu hoặc gần cầu (trùng số magic)
- ☐ Không giải thích được cho các nhân xa magic hoặc xa đối xứng cầu



MẪU KHÍ FERMI

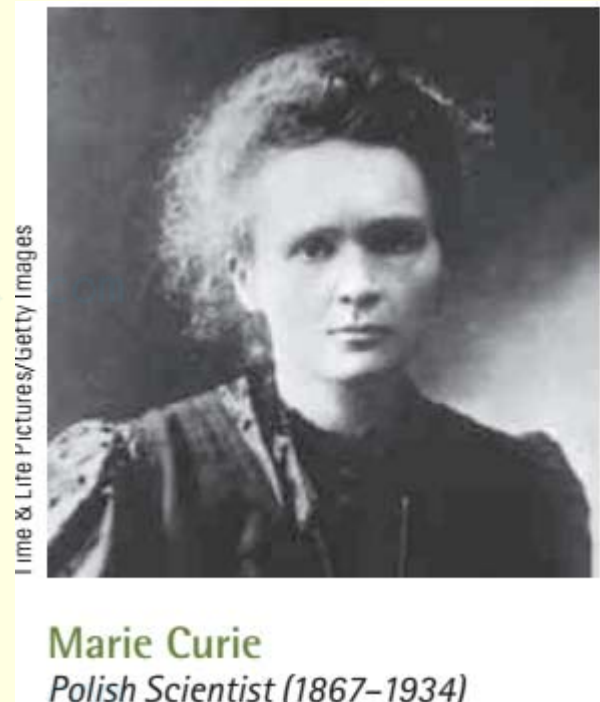
MẪU SUY RỘNG

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.8. PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

- 1867 – 1934
- Nhà khoa học người Ba Lan
- Đồng nhận giải Nobel năm 1903 cho nghiên cứu chất phóng xạ
  - Giải Nobel Vật lý
  - Đồng nhận giải với Pierre Curie và Becquerel
- Nhận giải Nobel năm 1911 cho việc khám phá ra Radium và Polonium
  - Giải Nobel Hóa học



# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.8. PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

- **Phóng xạ:** là quá trình hạt nhân tự động phát ra bức xạ
  - Được khám phá bởi Becquerel vào năm 1896
  - Nhiều thực nghiệm chỉ ra rằng phóng xạ là quá trình phân rã của hạt nhân không bền.
- **Các loại phóng xạ:** có 3 loại bức xạ
  - **Hạt alpha:** xuyên qua 1 miếng giấy mỏng
  - **Hạt beta:**  $\beta^-$  (electron:  $e^-$ ) và  $\beta^+$  (positron:  $e^+$ ): xuyên qua lá nhôm 1 mm
  - Tia gamma ( $\gamma$ ): xuyên qua miếng chì vài cm

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.8. PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

#### □ Các đại lượng bảo toàn trong phân rã phóng xạ:

- Bảo toàn năng lượng
- Bảo toàn điện tích
- Bảo toàn số khối
- Bảo toàn động lượng
- Bảo toàn mô men động lượng và spin

□ **Hằng số phân rã,  $\lambda$ :** mô tả cho xác suất mà hạt nhân sẽ phân rã trong một đơn vị thời gian.

Đơn vị:  $s^{-1}$

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.8. PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

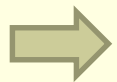
□ Tốc độ phân rã:

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

□ Số hạt nhân chưa phân rã (còn lại):

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

$N_0$ : Số hạt nhân ở thời điểm  $t=0$  (ban đầu)



Số hạt nhân đã phân rã:

$$\Delta N = N_0 (1 - e^{-\lambda t})$$



# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.8. PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

#### □ Độ phóng xạ:

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$A_0 = \lambda N_0$$

Độ phóng xạ ban đầu

#### □ Đơn vị độ phóng xạ:

- Curi (Ci)
- $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10}$  phân rã/s
- Becquerel (Bq)
- $1 \text{ Bq} = 1$  phân rã/s

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.8. PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

☐ **Chu kỳ bán rã:** Chu kỳ bán rã của một chất phóng xạ là thời gian mà số hạt nhân phóng xạ ban đầu giảm còn một nửa

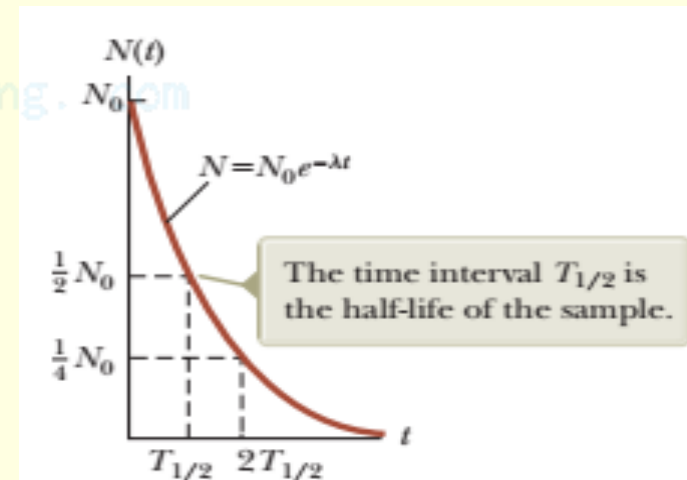
$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

**Ví dụ 5.7:** Tính độ phóng xạ của 1g  $^{226}\text{Ra}$ , biết  $T_{1/2} = 1622$  năm.

**Đáp số:**  $A \approx 1 \text{ Ci}$

**Ví dụ 5.8:** Tìm thời gian cần thiết để 5mg  $^{22}\text{Na}$  lúc đầu ( $T_{1/2} = 2,6$  năm) còn lại 1mg.

**Đáp số:**  $t = 6,04$  năm



## CHƯƠNG 5

# VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.8. PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

**Ví dụ 5.9:** Tìm chu kỳ bán rã của  $^{200}\text{Au}$  biết độ phóng xạ của  $3 \cdot 10^{-9}\text{kg}$  chất đó là 58,9Ci.

**Đáp số:**  $T_{1/2} = 48$  phút

**Ví dụ 5.10:** Các phép đo độ phóng xạ của mẫu  $^{55}\text{Cr}$  thực hiện cứ sau 5 phút cho các kết quả sau: 19,2 ; 7,13 ; 2,65 ; 0,99 và 0,37 mCi. Tìm chu kỳ bán rã của  $^{55}\text{Cr}$ .

**Đáp số:**  $T_{1/2} = 3,52$  phút

**Ví dụ 5.11:** Chu kỳ bán rã của  $^{235}\text{U}$  là  $7,04 \cdot 10^8$  năm. Một mẫu đá chứa N nguyên tử  $^{235}\text{U}$ . Xem mẫu đá này hình thành cùng Trái Đất cách đây  $4,55 \cdot 10^9$  năm. Tính số nguyên tử  $^{235}\text{U}$  trong mẫu đá lúc mới hình thành.

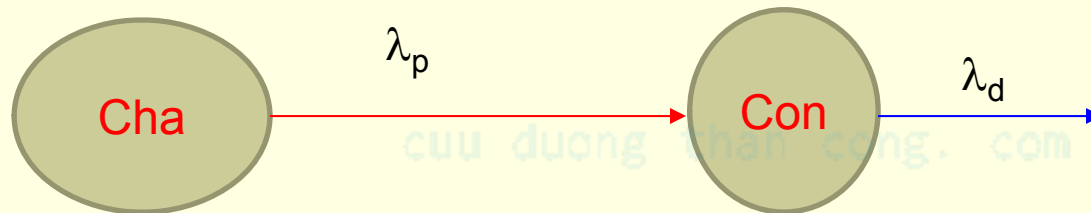
**Đáp số:**  $N_0 = 88,2N$

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.9. QUÁ TRÌNH CÂN BẰNG PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

Xét chuỗi phân rã



□ Tốc độ phân rã của nhân cha:

$$\frac{dN_p}{dt} = -\lambda_p N_p$$

□ Tốc độ phân rã của nhân con:

$$\frac{dN_d}{dt} = \lambda_p N_p - \lambda_d N_d$$

## CHƯƠNG 5

# VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.9. QUÁ TRÌNH CÂN BẰNG PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

⇒ Số hạt nhân cha và con có trong mẫu ở thời điểm t

$$N_p(t) = N_{p,0} e^{-\lambda_p t}$$
$$N_d(t) = N_{p,0} \frac{\lambda_p}{\lambda_d - \lambda_p} \left( e^{-\lambda_p t} - e^{-\lambda_d t} \right) + N_{d,0} e^{-\lambda_d t}$$

⇒ Độ phóng xạ của hạt nhân cha và con tại thời điểm t

$$A_p(t) = A_{p,0} e^{-\lambda_p t}$$
$$A_d(t) = A_{p,0} \frac{\lambda_d}{\lambda_d - \lambda_p} \left( e^{-\lambda_p t} - e^{-\lambda_d t} \right) + A_{d,0} e^{-\lambda_d t}$$

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

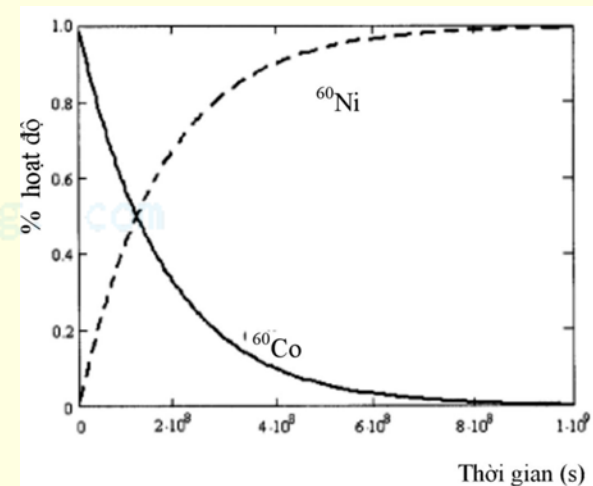
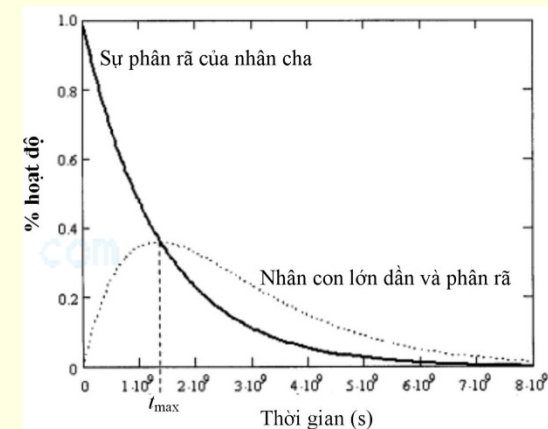
### 5.9. QUÁ TRÌNH CÂN BẰNG PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

□ Thời gian để số hạt nhân con đạt cực đại:

$$t_{\max} = \frac{\ln(\lambda_p / \lambda_d)}{\lambda_p - \lambda_d}$$

#### 1. Nếu nhân con bền thì

$$N_p(t) = N_{p,0} e^{-\lambda_p t}$$
$$N_d(t) = N_{p,0} (1 - e^{-\lambda_p t})$$



# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.9. QUÁ TRÌNH CÂN BẰNG PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

2. Nếu nhân cha sống dài hơn nhân con,  $T_{1/2}(p) > T_{1/2}(d)$ :

$$\frac{N_d(t)}{N_p(t)} = \frac{\lambda_p}{\lambda_d - \lambda_p}$$

3. Nếu nhân cha sống dài hơn nhiều nhân con,  $T_{1/2}(p) \gg T_{1/2}(d)$ :

$$\frac{N_p(t)}{N_d(t)} = \frac{\lambda_d}{\lambda_p} \Rightarrow N_p(t)\lambda_p = N_d(t)\lambda_d \Rightarrow A_p(t) = A_d(t)$$

**Cân bằng thế kỷ**

## CHƯƠNG 5

# VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.9. QUÁ TRÌNH CÂN BẰNG PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

**Ví dụ 5.12:**  $^{218}\text{Po}$  phân rã thành  $^{214}\text{Pb}$  có chu kỳ bán rã 3,1 phút và  $^{214}\text{Pb}$  phân rã thành  $^{214}\text{Bi}$  có chu kỳ bán rã 26,8 phút. Giả sử tại  $t = 0$ ,  $^{218}\text{Po}$  có 1000 hạt nhân.

- Tính số hạt nhân  $^{214}\text{Pb}$  tại thời điểm  $t = 60$  phút.
- Tính thời gian mà số hạt nhân  $^{214}\text{Pb}$  đạt cực đại. Tìm số hạt nhân  $^{214}\text{Pb}$  cực đại.



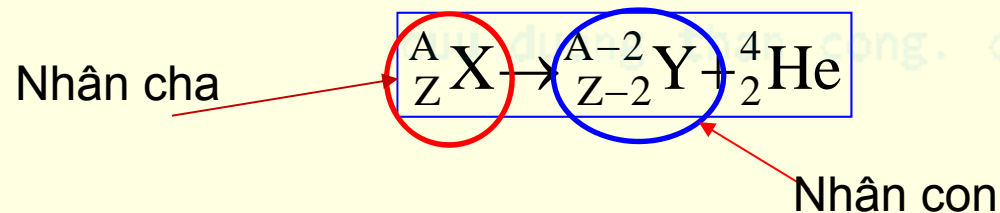
# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.10. QUÁ TRÌNH PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

#### Phân rã alpha

- ❑ Khi một hạt nhân chịu sự phân rã alpha nó sẽ mất 2 proton và 2 neutron



- Bảo toàn số khối A
- Bảo toàn số nguyên tử Z
- Bảo toàn năng lượng và động lượng
- Khi hạt nhân tự biến đổi thành hạt nhân khác gọi là phân rã tự phát

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.10. QUÁ TRÌNH PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

□ Năng lượng phân rã của hệ là:

$$Q = [M_X - M_Y - M_\alpha]c^2$$
$$Q = [M_X - M_Y - M_\alpha].931,5(\text{MeV})$$

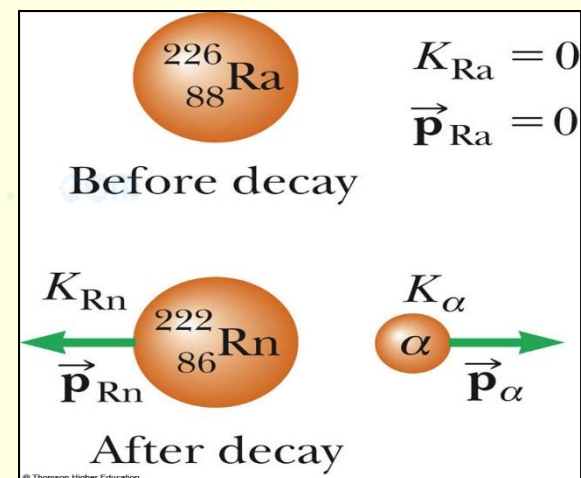
- Năng lượng phân rã xuất hiện dưới dạng động năng của nhân con và của hạt alpha.



Động năng của hạt nhân con và hạt alpha là:

$$K_\alpha = \frac{M_Y}{M_Y + M_\alpha} Q$$
$$K_Y = \frac{M_\alpha}{M_Y + M_\alpha} Q$$

**Điều kiện để có phân rã alpha?**



## CHƯƠNG 5

# VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.10. QUÁ TRÌNH PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

**Ví dụ 5.13:** Chứng tỏ rằng hạt nhân  $^{236}_{94}\text{Pu}$  không bền và là hạt nhân phân rã  $\alpha$   
Biết:  $m(\text{Pu}) = 236,046071\text{u}$ ;  $m(\text{U}) = 232,037168\text{u}$ ,  $m(\text{He}) = 4,002603\text{u}$

**Ví dụ 5.14:** Tìm động năng của hạt  $\alpha$  phát ra trong quá trình phân rã của hạt nhân  $^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{222}\text{Rn} + \alpha$   
Biết:  $m(\text{Ra}) = 226,025410\text{u}$ ,  $m(\text{Rn}) = 222,017578\text{u}$ ,  $m_{\alpha} = 4,002603\text{u}$

### Example 12.7

The polonium isotope  $^{210}_{84}\text{Po}$  is unstable and emits a 5.30-MeV alpha particle. The atomic mass of  $^{210}_{84}\text{Po}$  is 209.9829 u and that of  $^4_2\text{He}$  is 4.0026 u. Identify the daughter nuclide and find its atomic mass.

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.10. QUÁ TRÌNH PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

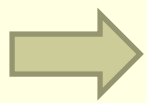
#### Phân rã beta

Là quá trình hạt nhân phóng xạ chịu sự phân rã phát ra tia beta, hạt nhân con có cùng số A như nhân cha nhưng số Z thay đổi 1 đơn vị.

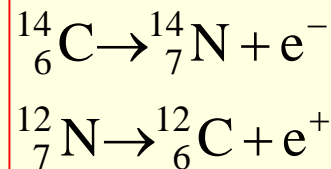
Có 2 loại phân rã beta:

❑ Phân rã  $e^-$  (beta trừ:  $\beta^-$ )  $\boxed{{}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + e^-}$  (phản ứng chưa đúng)

❑ Phân rã  $e^+$  (beta cộng:  $\beta^+$ )  $\boxed{{}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY + e^+}$  (phản ứng chưa đúng)



Trong phân rã beta thì hoặc neutron thay đổi thành proton, hoặc proton thay đổi thành neutron



Chưa đúng với thực nghiệm

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.10. QUÁ TRÌNH PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

#### Phân rã beta

Từ thực nghiệm, nhận thấy năng lượng beta biến đổi liên tục đến  $K_{\max}$ .

$Q = K_Y + K_\beta$  và  $Q$  không đổi cho mọi phân rã

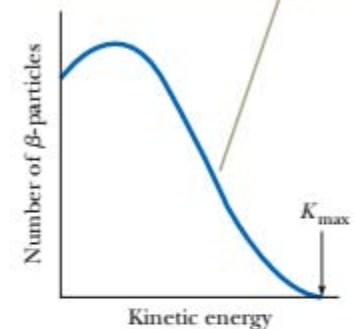
⇒  $K_\beta$  phải không đổi ⇒

**Vi phạm định luật bảo toàn năng lượng**

**Xét kỹ trong quá trình phân rã  $\beta$  thì bảo toàn spin và động lượng cũng bị vi phạm**

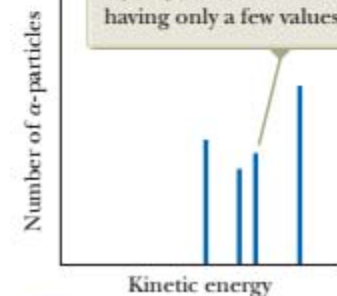


The observed energies of beta particles are continuous, having all values up to a maximum value.



a

The observed energies of alpha particles are discrete, having only a few values.



b

# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.10. QUÁ TRÌNH PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

#### Phân rã beta

Sau khi nghiên cứu thực nghiệm và lý thuyết, 1930 Pauli đề nghị phải có 1 hạt thứ 3 trong quá trình phân rã  $\beta$ .



**HẠT NEUTRINO:  $\nu$**

Gowan và Reines đã phát hiện bằng thực nghiệm vào năm 1956

- Không mang điện tích
- Khối lượng bằng 0 hoặc rất nhỏ (gần đây đã xác nhận neutrino có  $m \neq 0$ )
- Có spin =  $\frac{1}{2}$
- Tương tác rất yếu với vật chất nên rất khó phát hiện nó

# CHƯƠNG 5

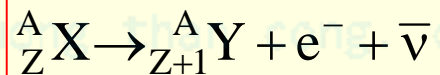
## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.10. QUÁ TRÌNH PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

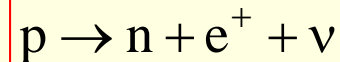
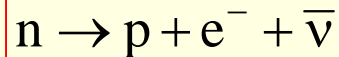
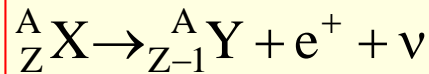
#### Phân rã beta

Như vậy, biểu thức đúng cho quá trình phân rã  $\beta$  là:

❑ Phân rã  $e^-$  (beta trừ:  $\beta^-$ )



❑ Phân rã  $e^+$  (beta cộng:  $\beta^+$ )



Hạt  $\beta$  và  $\nu$  phát ra ngay trong quá trình phân rã, không phải phát ra từ hạt nhân

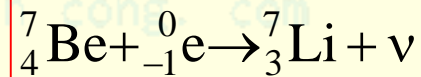
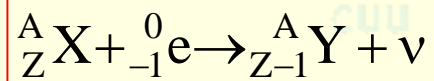
# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.10. QUÁ TRÌNH PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

#### Phân rã beta

❑ **Bắt  $e^-$**  : là quá trình hạt nhân bắt 1 trong các  $e^-$  quỹ đạo và phát 1 neutrino



❑ **Năng lượng giải phóng trong quá trình:**

○ **Phân rã  $e^-$ :**

$$Q = [m(X) - m(Y)]c^2 = K_{e^-} + E_\nu + K_Y \approx K_{e^-} + E_\nu$$

○ **Phân rã  $e^+$ :**

$$Q = [m(X) - m(Y) - 2m_e]c^2 = K_{e^+} + E_\nu + K_Y \approx K_{e^+} + E_\nu$$

○ **Bắt  $e^-$ :**

$$Q = [m(X) - m(Y)]c^2 = E_\nu + K_Y - K_e \approx E_\nu$$



# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.10. QUÁ TRÌNH PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

#### Phân rã beta

**Ví dụ:**  $^{40}\text{K}$  là hạt nhân không bình thường, nó vừa phân rã  $\beta^-$ ,  $\beta^+$  và bắt  $e^-$ .  
Tìm giá trị  $Q$  trong mỗi quá trình phân rã này.  
Biết:  $m(\text{K}) = 39,963998\text{u}$ ,  $m(\text{Ca}) = 39,962591\text{u}$ ,  $m(\text{Ar}) = 39,962383\text{u}$  và  $m_e = 0,00055\text{u}$

**Ví dụ:** Tính năng lượng và động lượng của hạt nhân con và của neutrino tạo ra khi hạt nhân  $^7\text{Be}$  đứng yên bắt 1 electron.

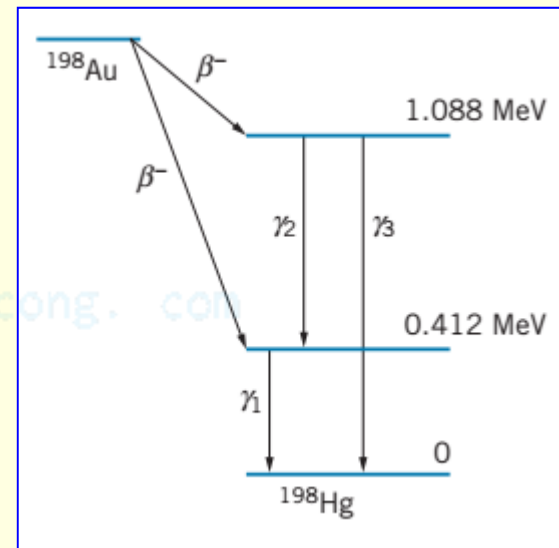
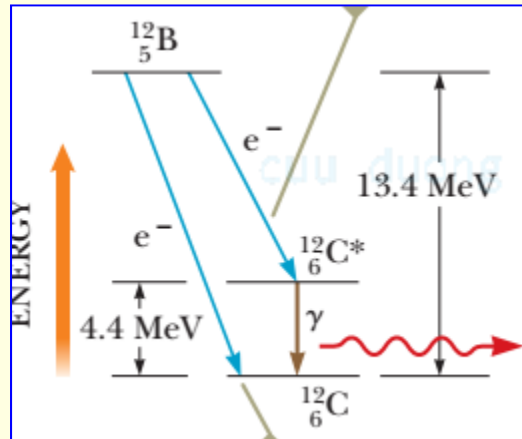
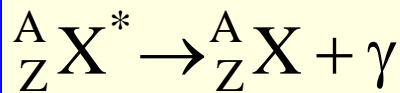
# CHƯƠNG 5

## VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.10. QUÁ TRÌNH PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

#### Phân rã gamma

Khi hạt nhân chịu sự phân rã phóng xạ thì nó nằm lại ở trạng thái kích thích. Sau đó nó tiếp tục phân rã đến trạng thái thấp hơn bằng cách phát ra photon năng lượng cao (tia gamma).



11/29/2017

50

## CHƯƠNG 5

# VẬT LÝ HẠT NHÂN

### 5.10. QUÁ TRÌNH PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

#### Phân rã gamma

**Ví dụ 2.15:**  $^{12}\text{N}$  phân rã beta đến trạng thái kích thích của  $^{12}\text{C}^*$ , sau đó  $^{12}\text{C}^*$  phân rã về trạng thái cơ bản bằng cách phát ra tia gamma năng lượng 4,43 MeV. Tính động năng cực đại của hạt beta phát ra.  
Biết:  $m(\text{N}) = 12,018613\text{u}$ ,  $m_e = 0,00055\text{u}$

cuu duong than cong. com