

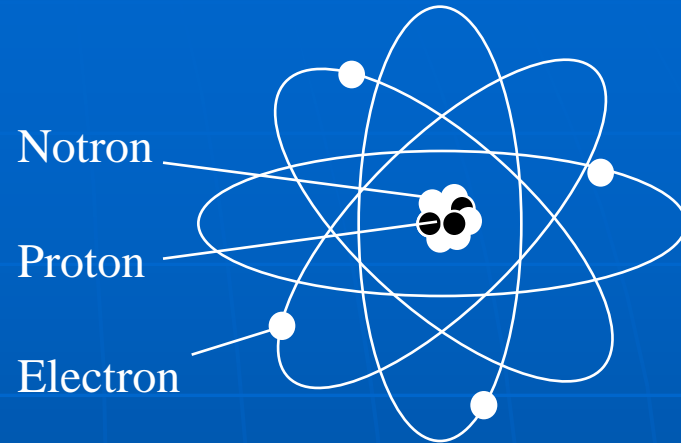
Chương 2

HẠT NHÂN NGUYÊN TỬ

2.1. Cấu trúc hạt nhân

Năm 1909 Rutherford tìm ra proton và năm 1911 ông đã đưa ra *mẫu hành tinh nguyên tử* mới. Khi quan sát sự tán xạ của các hạt α qua lá vàng mỏng, ông đã khám phá được rằng: toàn bộ điện tích dương của nguyên tố và hầu như toàn bộ khối lượng nguyên tử tập trung trong một vùng nhỏ tại tâm nguyên tử gọi là hạt nhân nguyên tử, còn các điện tử thì quay xung quanh theo các quỹ đạo xác định.

Sau khi Chadwick khám phá ra notron năm 1932, Ivanenko dựa trên hệ thức bất định Heisenberg, vào năm 1934 xác định mẫu hạt nhân gồm hai loại hạt proton và notron, có tên gọi chung là nuclon.



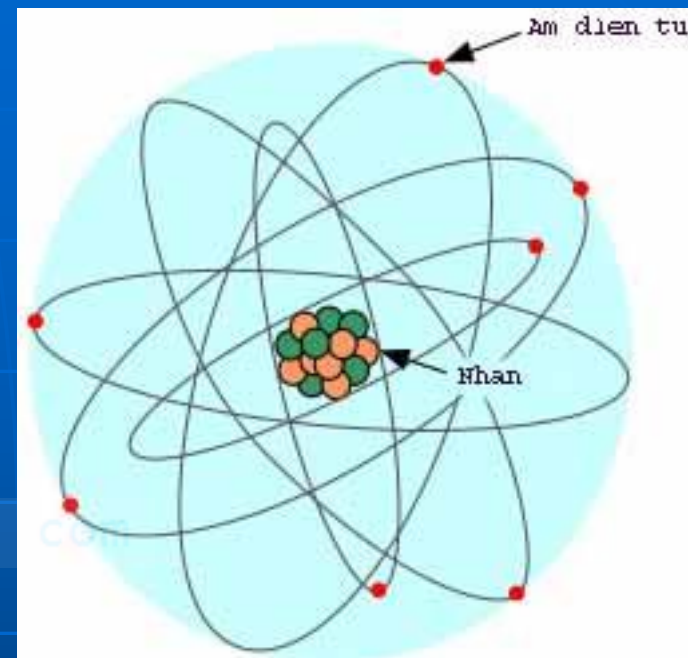
James Chadwick



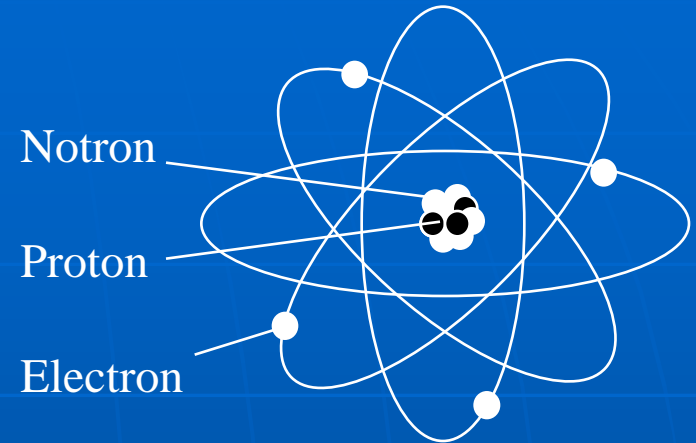
Werner Heisenberg



- Proton là hạt mang điện tích dương, về trị số bằng điện tích của electron $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$, có khối lượng là $m_p = 1,6724 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.
- Neutron là một hạt trung hoà về điện, có khối lượng lớn hơn khối lượng proton một chút, cụ thể là $m_n = 1,6748 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.
- Thể tích của hạt nhân nguyên tử chỉ vào khoảng 10^{-14} thể tích nguyên tử, nh- ng do khối lượng của electron rất nhỏ: $m_e = 9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ nên khối lượng của nguyên tử lại chủ yếu tập trung ở hạt nhân nguyên tử.



Số proton trong hạt nhân bằng số thứ tự Z của nguyên tử trong hệ thống tuần hoàn Mendeleev.



Z đ- ọc gọi là *số điện tích* hay *nguyên tử số*. A là tổng số các nuclon trong hạt nhân gọi là *số khối lượng*. Nh- vậy: $A = Z + N$ trong đó N là số nơtron. Hạt nhân nguyên tử đ- ọc ký hiệu bằng ${}_Z\text{X}^A$, trong đó X là ký hiệu tên nguyên tử t- ơng ứng. Ví dụ hạt nhân liti: ${}_3\text{Li}^7$ có 3 proton và 4 nơtron. Mẫu cấu tạo nguyên tử nh- vậy gọi là mẫu hành tinh nguyên tử.

2.2. Tương tác giữa các proton và neutron

Sự tương tác giữa các proton và neutron tuân theo sự trao đổi hạt mezon. Có ba loại hạt mezon là:
 π^+ có điện tích bằng điện tích proton,
 π^- có điện tích bằng điện tích electron
 π^0 là hạt không mang điện.

Khối lượng của ba hạt trên bằng cỡ 200 - 300 lần khối lượng electron tức là khoảng $0,25 \cdot 10^{-27} \text{kg}$.

Tương tác giữa các proton và neutron thực hiện bằng sự trao đổi các mezon như được mô tả dưới đây:

Proton nhả π^+ thành nơtron: $p \rightarrow \pi^+ + n$

Proton hấp thụ π^- thành nơtron: $p + \pi^- \rightarrow n$

Proton có thể cho ra π^0 và proton khác: $p \rightarrow \pi^0 + p$

Nơtron nhả π^- thành proton: $n \rightarrow \pi^- + p$

Nơtron hấp thụ π^+ thành proton: $n + \pi^+ \rightarrow p$

Nơtron có thể cho ra π^0 và nơtron khác: $n \rightarrow \pi^0 + n$

MEZON-loại hạt sơ cấp không bền. Có 3 loại mezon: mezon muon, mezon pi và mezon k. Các mezon tạo thành từ một cặp quac và phản quac. Mezon π đ- ợc Powell tìm thấy vào năm 1947.

Theo hệ thức bất định về năng l- ợng ta có:

$$\Delta E . \Delta t \geq h \rightarrow \Delta t \geq \frac{h}{m_x . C^2} = \frac{1,05 . 10^{-34}}{0,25 . 10^{-27} . 9 . 10^{16}} = 0,466 . 10^{-23} \text{ s}$$

trong đó: h là hằng số Planck

Δt là thời gian sống của hạt mezon.

Trong thời gian sống đó hạt mezon đi đ- ợc một đoạn:

$$L = 0,466 . 10^{-23}(\text{s}) 3 . 10^8(\text{m/s}) = 1,399 . 10^{-15} \text{m}.$$

Giá trị này cũng gần bằng bán kính của hạt nhân, cho nên L đôi khi còn đ- ợc gọi là bán kính điện bởi nó xác định miền bị chắn bởi các hạt điện tích trong hạt nhân.

2.3. Đồng vị của các nguyên tố

Đồng vị là các nguyên tử của cùng một nguyên tố hoá học nhưng có khối lượng khác nhau. Hạt nhân của các đồng vị có cùng số proton Z nhưng có số neutron N khác nhau.

Ví dụ: hydro có ba đồng vị là: ${}_1\text{H}^1$, ${}_1\text{D}^2$, ${}_1\text{T}^3$. Các hạt nhân của ba đồng vị của hydro đều có 1 proton nhưng hydro thường ${}_1\text{H}^1$ có 0 neutron, deuteri ${}_1\text{D}^2$ có 1 neutron và triti ${}_1\text{T}^3$ có 2 neutron.

Cácbon có bảy đồng vị là: ${}_6\text{C}^{10}$ ($T_{1/2}=19,1\text{s}$), ${}_6\text{C}^{11}$ ($T_{1/2}=20,4\text{phút}$), ${}_6\text{C}^{12}$ (98,892%), ${}_6\text{C}^{13}$ (1,108%), ${}_6\text{C}^{14}$ ($T_{1/2}=5600\text{năm}$), ${}_6\text{C}^{15}$ ($T_{1/2}=2,25\text{s}$) và ${}_6\text{C}^{16}$ ($T_{1/2}=2,25\text{s}$).

Đồng vị phóng xạ là đồng vị không bền vững của các nguyên tố có tính phóng xạ.

Trong thiên nhiên có chừng 50 đồng vị phóng xạ tự nhiên nằm trong các họ phóng xạ, mà đồng vị khởi đầu là các hạt nhân U^{235} , U^{238} , Th^{232} và Np^{237} có chu kỳ bán rã rất lớn và tận cùng là các hạt nhân bền Pb^{206} , Pb^{207} , Pb^{298} và Bi^{209} .

Ngoài ra ng-ời ta có thể tạo ra hàng nghìn đồng vị phóng xạ bằng các phản ứng hạt nhân.

2.4. Spin hạt nhân

Spin hạt nhân nh- một đặc tr- ng l- ợng tử của hạt nhân, có ý nghĩa t- ợng tự nh- momen động l- ợng của một vật quay. Ngoài sự chuyển động trong hạt nhân, các nuclon còn tự quay quanh bản thân nên chúng có spin kí hiệu là \vec{S} , giá trị spin của nuclon bằng $1/2$.

Nuclon cũng có momen xung l- ợng quỹ đạo vì nó chuyển động xung quanh hạt nhân: $\vec{L} = [\vec{r} \cdot \vec{P}]$.

Nếu tổng hợp hai chuyển động trên nuclon chuyển động quanh hạt nhân sẽ có momen xung l- ợng toàn phần là: $\vec{J} = \vec{L}_i + \vec{S}_i$
 \vec{L}_i, \vec{S}_i là momen quỹ đạo và momen Spin của nuclon thứ i.

Momen xung l- ợng toàn phần của hạt nhân bằng tổng momen xung l- ợng của từng nuclon:

$$\vec{J} = \sum_{i=1}^A \vec{J}_i$$

\vec{J} đ- ợc gọi là momen spin của các hạt nhân.

Trong cơ học l- ợng tử ng- ời ta chứng minh là trị riêng của toán tử J là:

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

Giá trị J gọi là l- ợng tử spin của hạt nhân hay gọi tắt là Spin hạt nhân.

Nếu A chẵn thì spin là số nguyên 1, 2, 3 ...

Nếu A lẻ thì spin sẽ là bán nguyên 1/2, 3/2, 5/2 ...

2.5. Lực hạt nhân

Hạt nhân tồn tại đ- ợc là do lực hạt nhân liên kết các nuclon trong một miền nhỏ không gian. Các nuclon tác dụng với nhau bằng hai lực chính. Một là lực đẩy tĩnh điện Culong giữa các proton với nhau. Loại lực thứ hai là một lực hút rất mạnh giữa các nuclon. Đó là một loại lực cho đến nay ta ch- a gặp. Lực này tồn tại cả giữa notron và prton nên không thể là lực tĩnh điện hoặc lực từ vì nếu là lực từ thì nó sẽ chỉ là lực hút đối với một số h- ớng t- ơng đối nào đó của các hạt mà không phải với mọi điều kiện thí nghiệm đã chứng tỏ. Lực này lại rất mạnh nên không thể là lực hấp dẫn. Ng- ời ta gọi lực này là lực hạt nhân.

Ta có thể định ra một số tính chất của lực hạt nhân:

1. Không xét đến hai loại lực điện và hấp dẫn: Lực hạt nhân rất lớn. Cần hàng triệu eV mới có thể tách một nuclon ra.
2. Lực hạt nhân không phụ thuộc điện tích: Lực hạt nhân tác dụng giữa hai nuclon bất kì là nh- nhau.
3. Lực hạt nhân có tác dụng tầm ngắn: Tầm tác dụng của các lực hạt nhân vào khoảng 10^{-14}m .
4. Lực hạt nhân có tính chất bão hoà: Một nuclon chỉ t- ơng tác với một số hữu hạn các nuclon khác nằm sát nó.
5. Lực hạt nhân phụ thuộc spin của các nuclon: Lực hạt nhân phụ thuộc sự định h- ớng của các spin nuclon.
6. Lực hạt nhân không phải là lực xuyên tâm: Ng- ời ta nói lực hạt nhân có đặc tính tenxơ.
7. Lực hạt nhân là lực trao đổi: Sự trao đổi liên tục hạt mezon tạo nên t- ơng tác giữa các nuclon.

2.6. Momen từ hạt nhân

Theo nguyên lý Pauli, hạt nhân có momen từ riêng ứng với momen spin của nó nên nó sẽ tác dụng với từ trường tạo ra do sự chuyển động của electron ở lớp vỏ, làm sinh ra năng lượng phụ E của electron ở lớp vỏ.



Do tương tác với từ trường được tạo ra do sự chuyển động của electron ở lớp vỏ nên năng lượng phụ E phụ thuộc vào trị số momen từ hạt nhân và sự định hướng của từ trường hạt nhân đối với từ trường electron.

Momen từ của hạt nhân bằng tổng momen từ Spin của tất cả hạt nuclon cộng với tổng momen từ quỹ đạo của các proton:

$$\vec{\mu} = \sum_{i=1}^Z \vec{\mu}_{Li}^{(P)} + \sum_{i=1}^Z \vec{\mu}_{Si}^{(P)} + \sum_{i=1}^{A-Z} \vec{\mu}_{Si}^{(n)}$$

Số hạng thứ nhất ở vế phải của biểu thức trên là tổng momen từ quỹ đạo của các proton thứ i . Số hạng thứ hai ở vế phải của biểu thức trên là tổng momen từ Spin của các proton thứ i . Số hạng thứ ba ở vế phải của biểu thức trên là tổng momen từ Spin của các neutron thứ i .

Spin và momen từ hạt nhân:

Tên hạt	Spin	μ_n
Proton	1/2	2,97
Notron	1/2	-1,91
H ²	1	0,86
He ³	1/2	-2,13
Al ²⁷	5/2	3,65
Si ²⁹	1/2	-0,55
K ⁴⁰	4	-1,30
Zr ⁹¹	5/2	-1,29
Ag ¹⁰⁹	1/2	-0,13

2.7. Khối lượng và năng lượng liên kết của hạt nhân

Vì khối lượng có liên hệ với năng lượng theo công thức:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

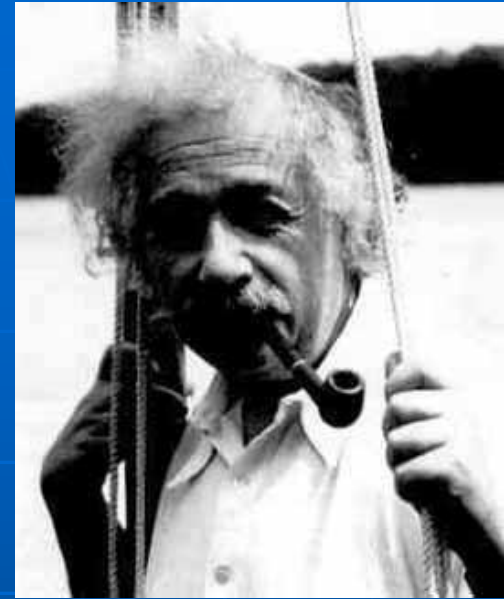
nên đôi khi người ta biểu diễn đơn vị của khối lượng là đơn vị của năng lượng là eV.

Ví dụ: khối lượng của electron là:

$$9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \rightarrow E = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 9 \cdot 10^{16} (\text{m} / \text{s}^2) = 81,910^{-15} \text{ j} = 0,5 \text{ MeV} .$$

Khối lượng của một đơn vị khối lượng nguyên tử:

$$1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 14,94 \cdot 10^{-11} \text{ j} = 931,44 \text{ MeV} .$$



Mol (số Avogadro) là tổng số nguyên tử trong 12g Cacbon ${}^{12}_6\text{C}$ có giá trị không đổi là $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$.

Ta có thể dùng số mol để tính đơn vị khối lượng nguyên tử cho một chất:

$$u = \frac{1}{12} \frac{12 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{6,022 \cdot 10^{23}} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.$$

Khối lượng và năng lượng tương ứng của vài hạt nhân:

Hạt	Khối lượng tính theo u	Khối lượng (10^{-27} kg)	Năng lượng (MeV)
Proton	1,007276	1,6724	938,27
Notron	1,008665	1,6743	939,57
Đơteri	2,01355	3,3437	1875,6
Alpha	4,00151	6,6447	3727,4

Khi tạo thành hạt nhân, người ta thấy rằng khối lượng của một hạt nhân được hình thành thì luôn luôn nhỏ hơn khối lượng của tổng các nuclon riêng lẻ tạo nên hạt nhân đó. Sự sai lệch về khối lượng đó gọi là độ hụt khối lượng Δm :

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

trong đó M là khối lượng của hạt nhân mới hình thành.

Điều này được giải thích như sau: Khi các nuclon kết hợp lại thành một hạt nhân, nó cần có một năng lượng để kết dính các nuclon. Năng lượng này gọi là năng lượng liên kết. Để tạo ra năng lượng liên kết một phần khối lượng của các nuclon thành phần tham gia kết dính sẽ phải mất đi dưới dạng năng lượng.

năng lượng liên kết có thể tính như sau :

$$\Delta E = \Delta m . c^2 = Z m_p + (A - Z) m_n - M . c^2$$

Ví dụ năng lượng liên kết của ${}_8\text{O}^{16}$ là:

$$\Delta E = [8M_p + 8M_n - M({}_8\text{O}^{16})]. c^2$$

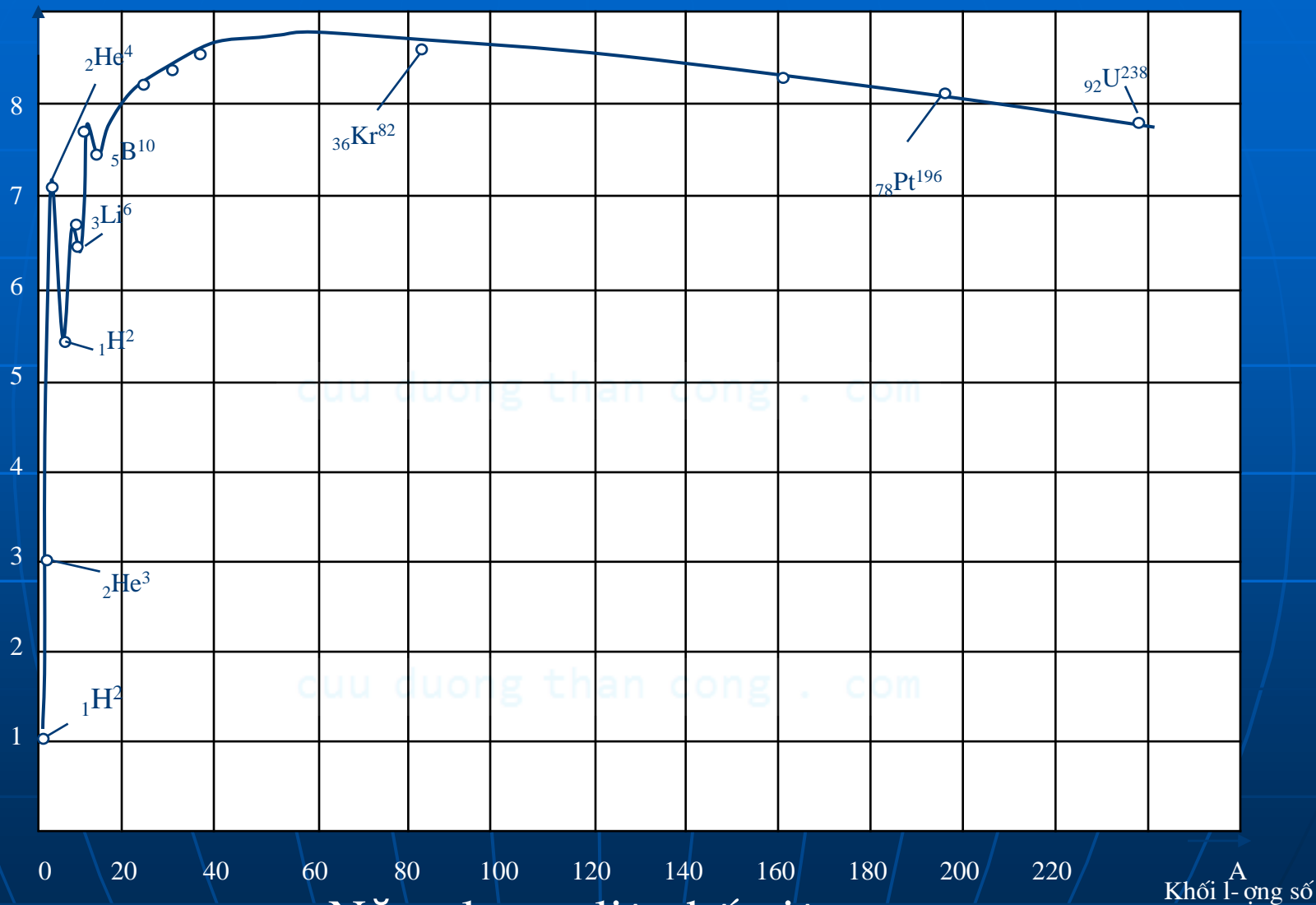
Ngược lại, từ một hạt nhân muốn phân nó ra thành các nuclon thành phần, ta phải cung cấp một năng lượng E đúng bằng năng lượng liên kết.

Để so sánh độ bền vững của từng hạt nhân ta cần tính năng lượng liên kết riêng đối với một nuclon và ta gọi nó là năng lượng liên kết riêng:

$$\varepsilon = \frac{\Delta E}{A}$$

NĂNG
LƯỢNG
LIÊN
KẾT
RIỆNG
VỚI
MỖI
NUCLON

ϵ



Năng lượng liên kết riêng

a) Với những hạt nhân nhẹ ($A = 110$) năng lượng liên kết riêng ε tăng nhanh từ $1,1 \text{ MeV}({}_1\text{H}^2)$ $7 \text{ MeV}({}_2\text{He}^4)$.

b) Với hạt nhân nặng ($A = 140-240$) năng lượng liên kết riêng giảm dần, nhưng giảm rất chậm từ 87 MeV .

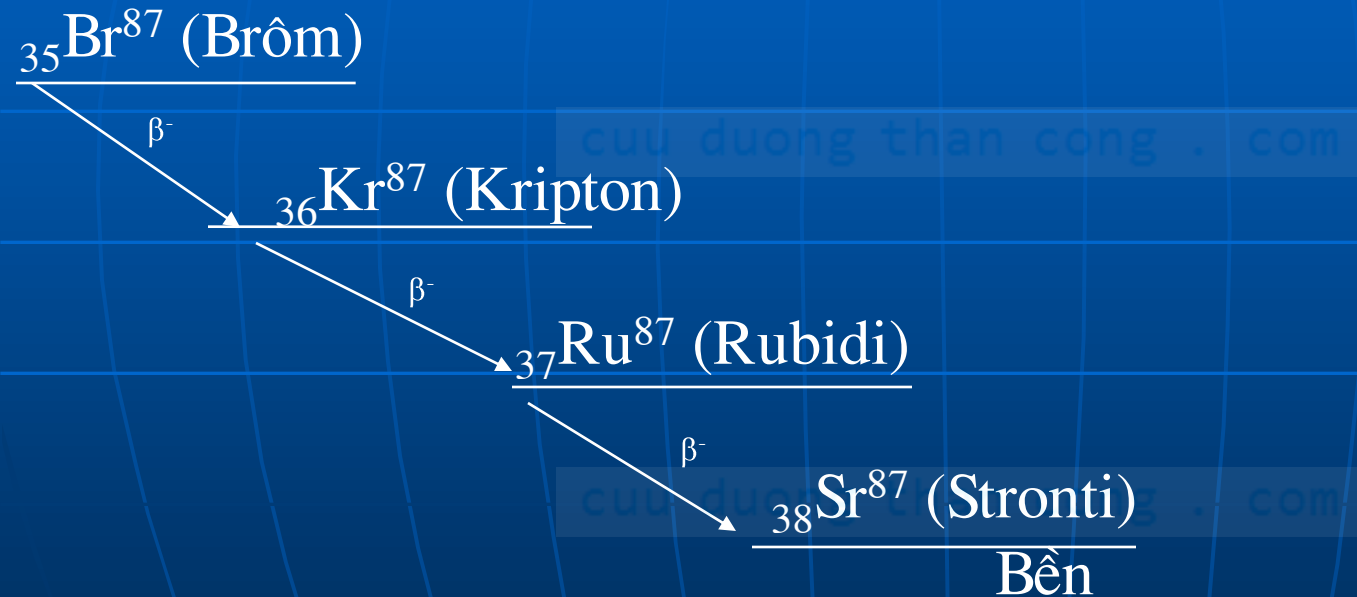
c) Hạt nhân trung bình ($A = 40-120$) năng lượng liên kết có giá trị trung bình vào khoảng từ $78,6 \text{ MeV}$ giá trị này tương đối lớn cho nên hạt nhân trung bình lại là hạt nhân bền vững.

Giá trị từ 78 MeV được xem là giá trị bão hoà, khi đó mỗi nuclon chỉ tương tác với một nuclon lân cận.

Trong các hạt nhân nặng thì năng lượng liên kết lại giảm bởi vì lúc này số proton trong hạt nhân tăng lên nên lực đẩy Coulomb giữa các proton mang điện cũng tăng lên làm cho năng lượng liên kết bị giảm xuống.

Năng lượng liên kết là một khái niệm hữu ích giúp ta hiểu được các quá trình phóng xạ (sự vỡ tự phát của các hạt nhân) cũng như các quá trình phản ứng hạt nhân. Năng lượng và khối lượng bảo toàn nên khi một hạt nhân trải qua một biến đổi giảm khối lượng thì năng lượng được giải phóng.

Có hai cách để khối l- ợng có thể giảm. **Một là**, các thành phần của hạt nhân tự thay đổi khối l- ợng của nó, nh- ã xảy ra trong hiện t- ợng phóng xạ β khi một nơtron trong hạt nhân biến đổi thành một proton trong hạt nhân. Thí dụ:



Hai là thành phần bản thân của hạt nhân tự sắp xếp lại thành một cấu hình chặt hơn và khối l- ợng giảm.

Một ví dụ đơn giản về loại biến đổi hạt nhân này là sự tạo thành đơteri (${}_1\text{H}^2$ hoặc ${}_1\text{D}^2$), khi đó một nơtron tự do và một proton tự do kết hợp với nhau, và phát ra một l- ượng tử γ có năng l- ượng 2,23MeV. Năng l- ượng toả ra này là do có sự tăng năng l- ượng liên kết của hệ nơtron và proton. Các thí nghiệm đo năng l- ượng cần để phá vỡ đơtêri (thành nơtron và proton) cho thấy nó có năng l- ượng liên kết đúng bằng 2,23 MeV. Vậy ta có thể tổng quát hoá kết quả này nh- sau: *"Trong mọi biến đổi tự phát của hạt nhân mà trong đó cả số nơtron lẫn số proton đều không thay đổi thì năng l- ượng đ- ược giải phóng bằng độ tăng của năng l- ượng liên kết"*.

Dựa trên các số liệu thực nghiệm đo đ- ọc và xem các hạt nhân nh- là đ- ọc cấu tạo từ vật chất không nén đ- ọc, liên kết với nhau bằng một lực cố kết mạnh, ta sẽ đi đến công thức bán kinh nghiệm sau đây đối với năng l- ợng liên kết và khối l- ợng nguyên tử của chất đồng vị có Z proton và A nuclon:

$$B(A, Z) = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_a \frac{(A - 2Z)^2}{A} \pm \delta$$

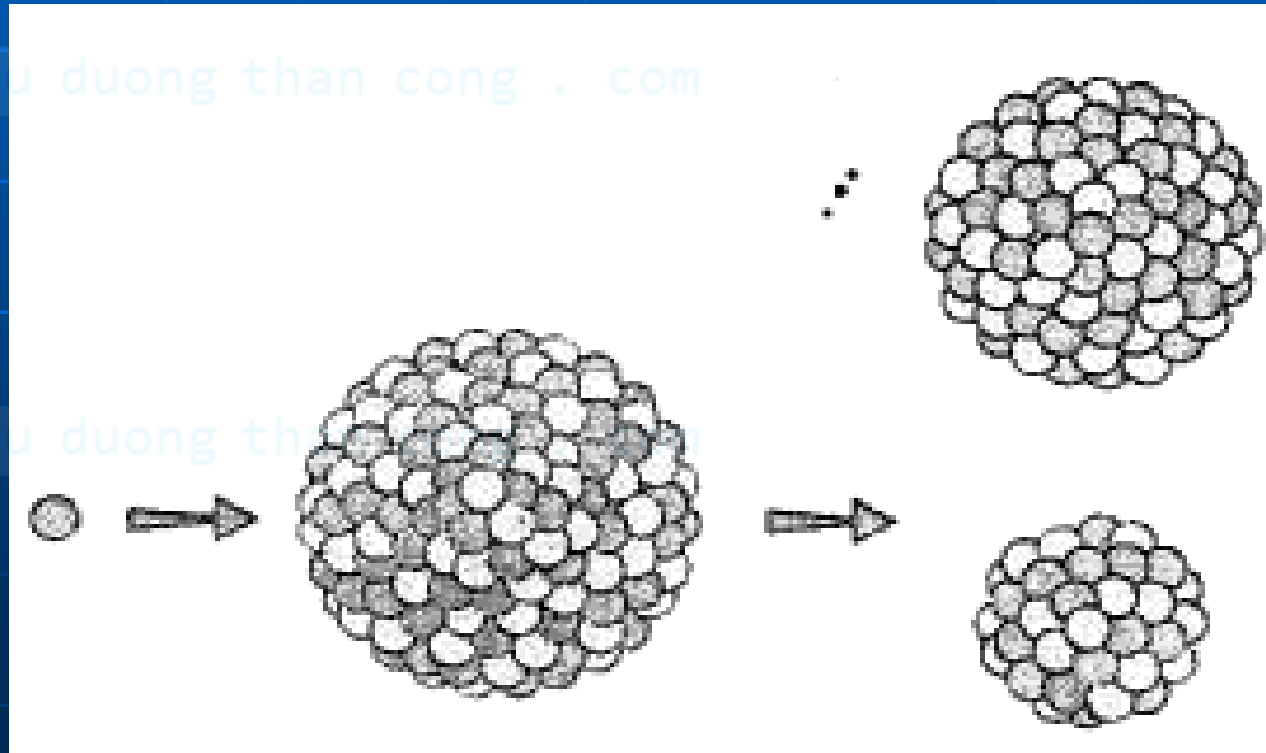
$$M(A, Z) = ZM_H + (A - Z)M_n - \frac{1}{c^2} \left[a_v A - a_s A^{2/3} - a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_a \frac{(A - 2Z)^2}{A} \pm \delta \right]$$

Trong đó a_v, a_s, a_c, a_a đều là các hằng số đ- ọc xác định từ thực nghiệm.

2.8. Tương tác hạt nhân

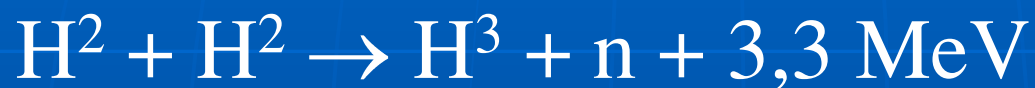
2.8.1. Các loại phản ứng hạt nhân

Năng lượng liên kết đối với mỗi nuclon trong một hạt nhân với $A = 240$ chẳng hạn, có thể tăng gần 1 MeV nếu nó được tách thành hai mảnh có $A = 120$. Cho nên, nếu ta làm cho hạt nhân nặng này vỡ thành hai mảnh nhẹ hơn ta sẽ thu được một năng lượng tổng cộng cỡ 240 MeV

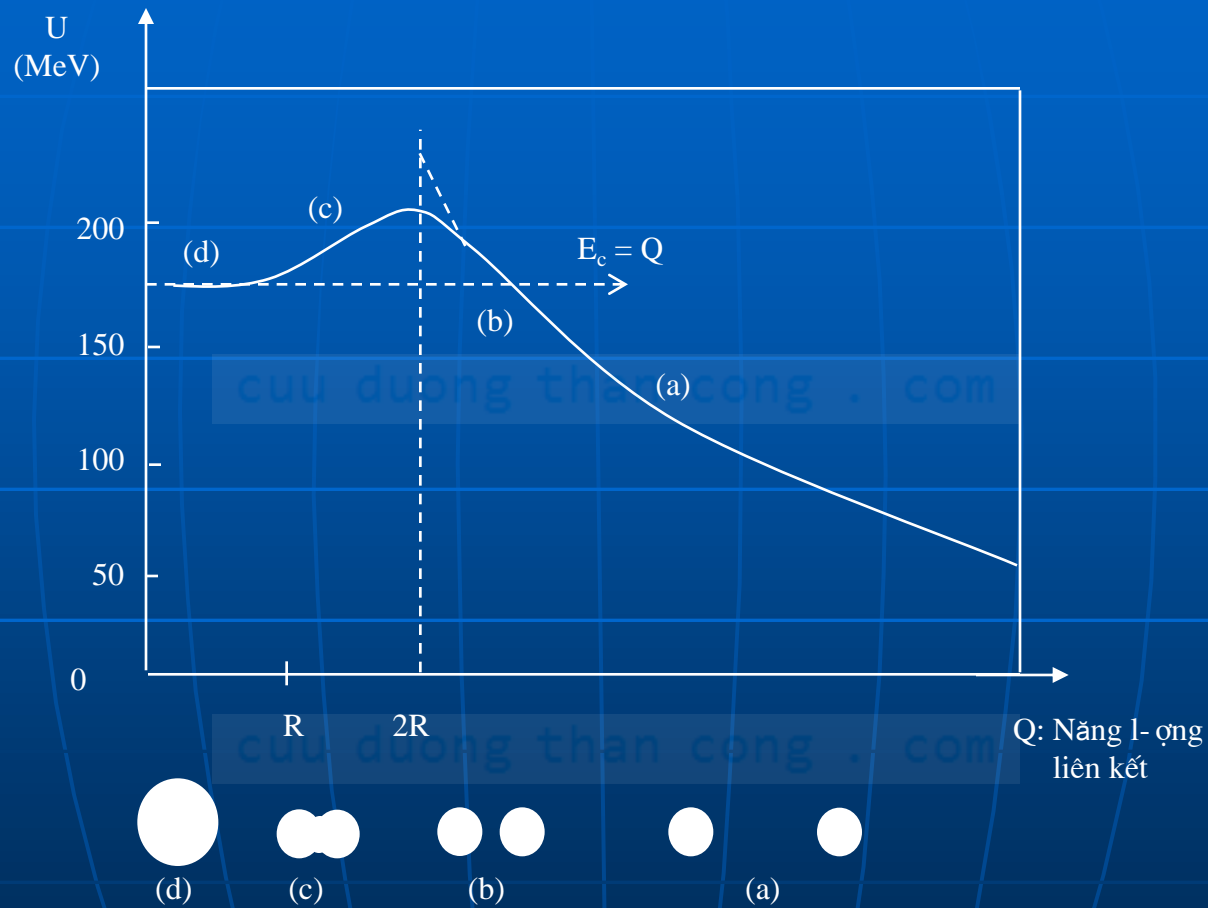


Phản ứng thứ hai gọi là tổng hợp nhiệt hạch vì nó chỉ xảy ra ở các nhiệt độ rất cao (hàng chục triệu độ..

Ví dụ:



Trong các phản ứng tổng hợp nhiệt hạch nêu trên, phản ứng $\text{H}^2 + \text{H}^3 \rightarrow \text{He}^4 + \text{n}$ được coi là nguồn năng lượng khả dĩ nhất vì khả năng xảy ra của nó lớn hơn nhiều so với các phản ứng khác cho nên có thể tiến hành ở nhiệt độ thấp hơn (vào cỡ 10^7K).



Đường cong thế năng tương hỗ giữa hai mảnh ph  n hạch

2.8.3. Sự phóng xạ của hạt nhân

a. Sự phóng xạ tự nhiên

Nh- ta đã nói ở trên đây, các nuclon trong hạt nhân bị bó chặt với nhau nh- ng không ngừng t- ơng tác với nhau. Do vậy một số hạt nhân có khả năng tự phóng ra một nhóm nuclon hay một vài hạt cơ bản khác. Đó là hiện t- ợng phân rã hạt nhân. Hiện t- ợng này hoàn toàn không phụ thuộc vào các điều kiện bên ngoài (nhiệt độ, áp suất...) mà chỉ phụ thuộc vào bản chất của hạt nhân đó.

Trong hạt nhân chúng ta thường gặp các loại phân rã sau đây:

1. *Phân rã alpha*: đó là hiện tượng hạt nhân tự tách ra một hạt alpha. Đó là hạt nhân heli gồm 2 neutron và hai proton. Một số hạt nhân nặng (thuộc nhóm siêu urani) có tính phóng xạ alpha.

2. *Phân rã beta*: phân rã beta có hai loại β^- và β^+ .

+ Phân rã β^- là hiện tượng hạt nhân tự phóng ra một hạt (còn gọi là 1 tia) electron e^- có điện tích âm. Đó là một biến đổi hạt nhân trong lòng hạt nhân nguyên tử ở đó 1 neutron biến thành 1 proton theo phản ứng:



+ Phân rã β^+ là hiện tượng hạt nhân tự phóng ra một hạt (1 tia) positron e^+ có điện tích dương. Đó là một biến đổi hạt nhân trong lòng hạt nhân nguyên tử ở đó 1 proton biến thành một neutron theo phản ứng.



Dĩ nhiên sau hai loại phân rã này hạt nhân biến thành hạt nhân khác.

3. Phân rã gamma: đó là hiện tượng hạt nhân tự phát ra 1 tia gama (một chùm photon) có năng lượng xác định (tần số xác định) do hạt nhân chuyển mức năng lượng khi chịu một tác nhân ngoài nào đó.

Các sự phân rã hạt nhân kể trên chính là sự phóng xạ tự nhiên.

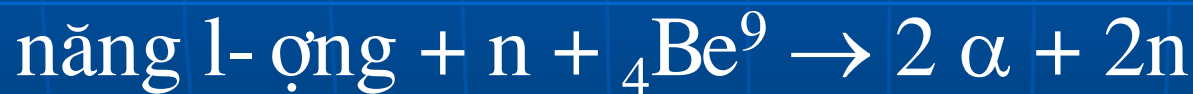
2.9. Phản ứng dây chuyền và điều kiện duy trì phản ứng dây chuyền

2.9.1. Phản ứng dây chuyền

Phản ứng dây chuyền là một phản ứng xảy ra trong một hệ mà trong đó các hạt sau khi gây ra phản ứng, lại xuất hiện trong kết quả của phản ứng, do đó hạt mới vừa xuất hiện sau một thời gian nào đó lại có thể gây ra phản ứng khác giống như phản ứng trước và vì vậy phản ứng do các hạt ban đầu gây ra sẽ diễn tiến mãi. Ví dụ xét tác dụng của neutron với hạt nhân berili Be^9 :



Sau phản ứng xuất hiện hai hạt α và hai neutron. Hai hạt neutron mới xuất hiện này sau đó lại có thể gây ra các phản ứng tự trên Be^9 . Như vậy, ở đây ta có phản ứng dây chuyền loại $(n, 2n)$ với Be. Phản ứng này đã được phát hiện năm 1939. Tuy nhiên, điều kiện để phản ứng này xảy ra là phải tốn một số năng lượng cho nên không có lợi về mặt năng lượng:



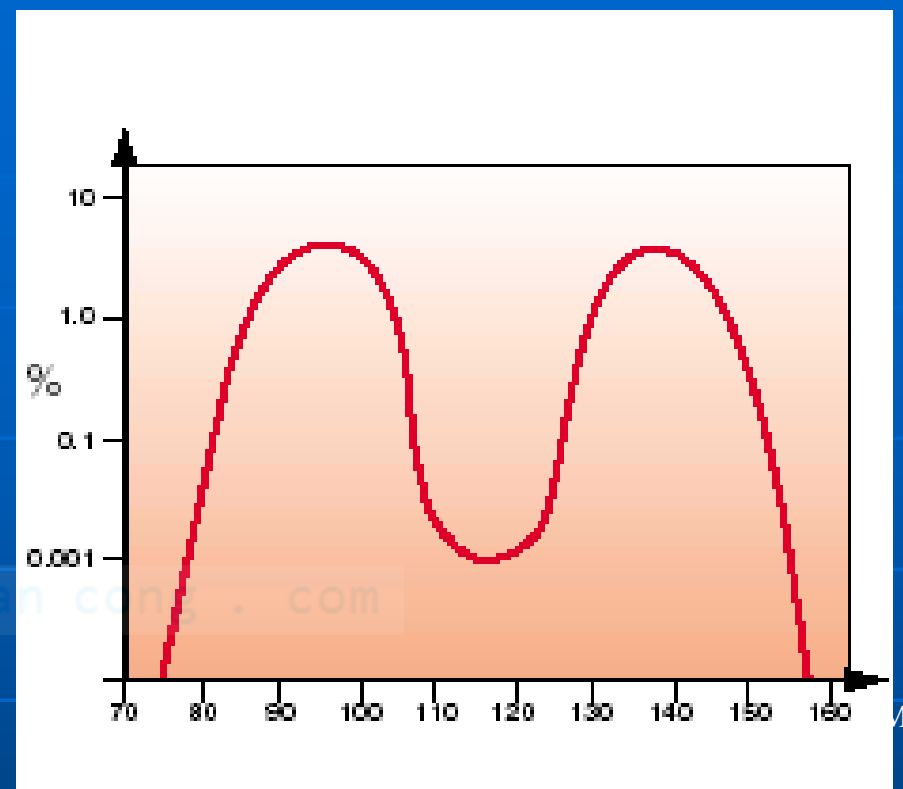
Sau đây ta sẽ chỉ quan tâm tới các phản ứng dây chuyền sinh nhiệt. Những phản ứng dây chuyền khi xảy ra có tỏa ra một năng lượng đủ lớn và do đó không cần phải có nguồn năng lượng ngoài được gọi là phản ứng tự duy trì.

2.9.2. Phản ứng dây chuyền do neutron gây ra

Sự phân hạch có thể xảy ra tự phát hoặc dưới tác dụng của neutron. Hiện tượng phân hạch tự phát rất hiếm khi xảy ra. Thông thường, người ta quan sát thấy hiện tượng phân hạch dưới tác dụng của neutron. Ví dụ, một trong các phản ứng có thể xảy ra đối với ${}_{92}\text{U}^{235}$ là:



Khi phân hạch, khối l- ợng của các mảnh vỡ rất ít khi bằng nhau. Thí dụ khi bắn neutron chậm vào nhân $^{92}\text{U}235$, thì nó sẽ vỡ thành hai mảnh M và N có khối l- ợng khác nhau và giải phóng từ hai đến ba neutron. Cụ thể từ công thức 2.35, ta thấy hai mảnh $\text{M}(54\text{Xe}139)$ và $\text{N}(38\text{Sr}95)$ có khối l- ợng khác nhau.



Xác suất (%) của các mảnh vỡ với khối l- ợng khác nhau xuất hiện khi phân chia hạt nhân $^{92}\text{U}235$. Đ- ờng cong đối xứng với cực tiểu nằm tại $M = 118 \approx A/2$. Từ đó suy ra rằng, xác suất để nhân $^{92}\text{U}235$ tách thành hai mảnh bằng nhau là nhỏ hơn xác suất để tách thành các mảnh có khối l- ợng khác nhau. Xác suất để hạt nhân tách thành hai mảnh có khối l- ợng khác nhau nhiều (160 và 76) không xảy ra. Xác suất cực đại khi $M=90$ và $N=140$, phù hợp với lý thuyết.

Tuy nhiên để có đ- ợc nơtron ban đầu để gây phản ứng dây chuyền trên U^{235} ng- ời ta phải dùng một phản ứng môi để phát ra nơtron, ký hiệu là (γ, n) vì hạt tới là l- ợng tử γ còn hạt phát ra trong phản ứng là nơtron. D- ới tác dụng của bức xạ γ của các chất phóng xạ tự nhiên (thí dụ nguyên tố radi $_{88}\text{Ra}^{226}$) lên các nguyên tố dùng làm bia là berili và đơteri có thể xảy ra hai quá trình sau đây:



và



Hai phản ứng này th- ờng đ- ợc dùng để môi cho lò bắt đầu hoạt động.

2.9.3. Điều kiện duy trì phản ứng dây chuyền

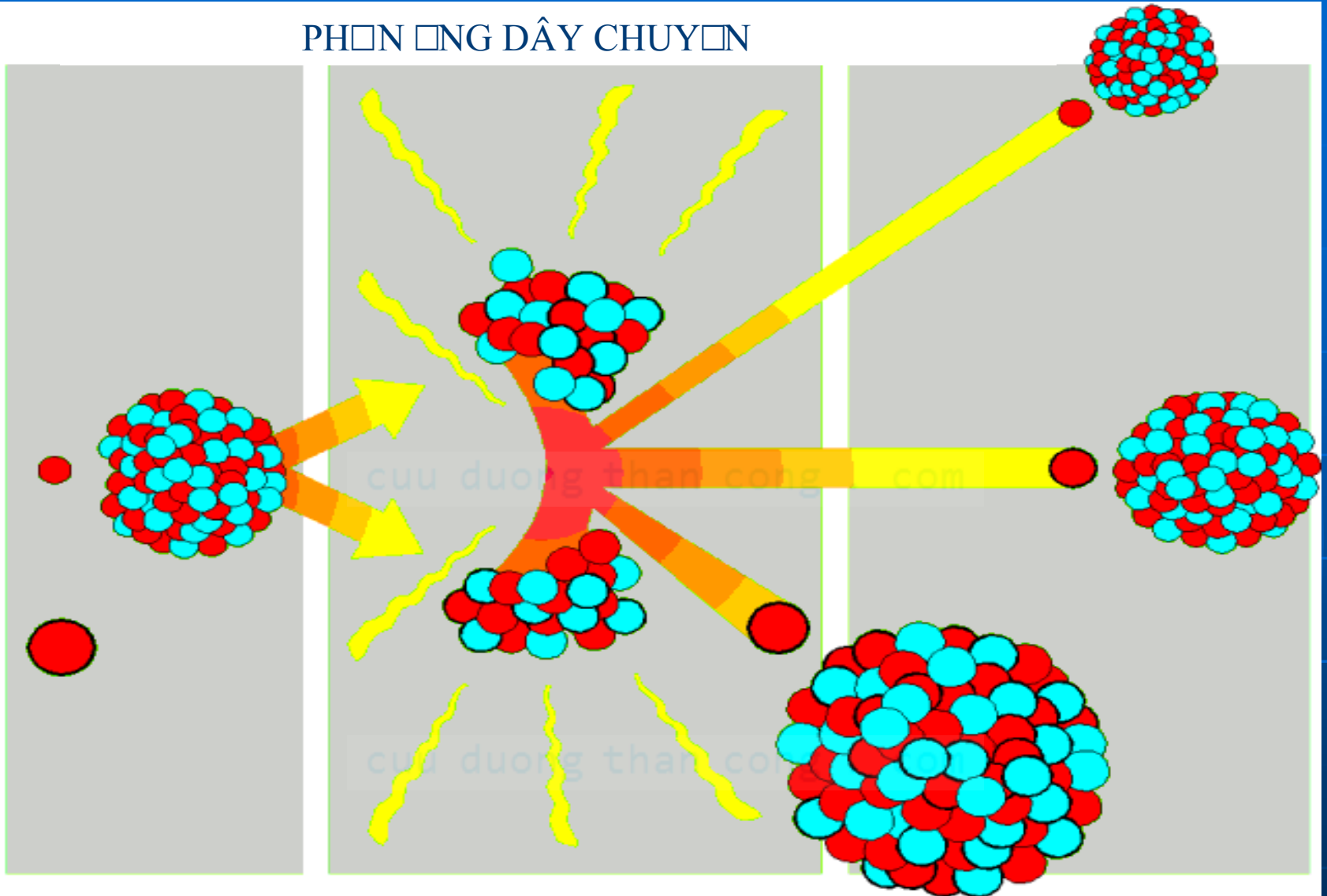
Ta đã biết rằng nếu lò phản ứng chạy bằng urani $^{235}_{92}\text{U}$ thì phản ứng hạt nhân chính xảy ra trong lò là:



Trong đó A và B là hai hạt nhân nhẹ hơn U^{235} (bằng nửa U^{235}) gọi là các mảnh phân hạch, $\nu\text{n}'$ là số neutron phát ra trong một phân hạch hạt nhân, ν phụ thuộc ít vào năng lượng của neutron đến mà phụ thuộc mạnh vào nhiên liệu phân hạch. Đối với U^{235} và neutron là neutron nhiệt thì $\nu \approx 2,5$. Ngoài ra, một phản ứng khá quan trọng cạnh tranh mạnh với phản ứng trên là phản ứng bắt neutron để bức xạ.



PHẢN ỨNG DÂY CHUYỀN



Phản ứng dây chuyền trong lò phản ứng sẽ xảy ra nếu một neutron nào đó trong số v neutron phát ra trong phân hạch lại bị hấp thụ bởi một hạt nhân phân hạch khác và gây ra phản ứng phân hạch mới. Để lò đạt đ- ợc trạng thái tới hạn tức là trạng thái mà ở đó phản ứng dây chuyền tự duy trì, phải có một sự cân bằng chính xác giữa số neutron mất đi và số neutron xuất hiện trong phân hạch. Trong số các neutron bị mất đi phải kể đến chẳng những các neutron gây ra phản ứng phân hạch mới hoặc bị bắt để gây ra phản ứng bức xạ mà còn phải kể đến cả các neutron bị hấp thụ trong các hạt nhân của các nguyên tố khác có mặt trong lò (các vật liệu xây dựng, chất tải nhiệt, chất làm chậm...) và các neutron rò ra khỏi lò. Cho nên một trong những nhiệm vụ của ng- ời thiết kế lò là phải xác định kích th- ớc và thành phần của hệ lò để đảm bảo các điều kiện tới hạn cho lò.

các neutron phát ra trong các phản ứng phân hạch lại có năng lượng cao hơn nhiều (cỡ MeV) cho nên để cho các neutron này có thể phản ứng tiếp với hạt nhân U235 gây ra phân hạch ta phải đưa thêm vào thành phần lò các chất làm chậm. Sau khi được sinh ra, các neutron bị mất năng lượng chủ yếu nhờ các va chạm đàn hồi với các nguyên tử của chất làm chậm. Nên ta thường chọn các nguyên tố nhẹ như hydro, deuteri, berili và graphit làm chất làm chậm vì khi va chạm đàn hồi phần năng lượng mà neutron truyền cho các hạt nhân nhẹ nhiều hơn phần năng lượng mà nó truyền cho các hạt nhân nặng nên tốc độ các neutron sẽ bị chậm đi nhiều hơn.

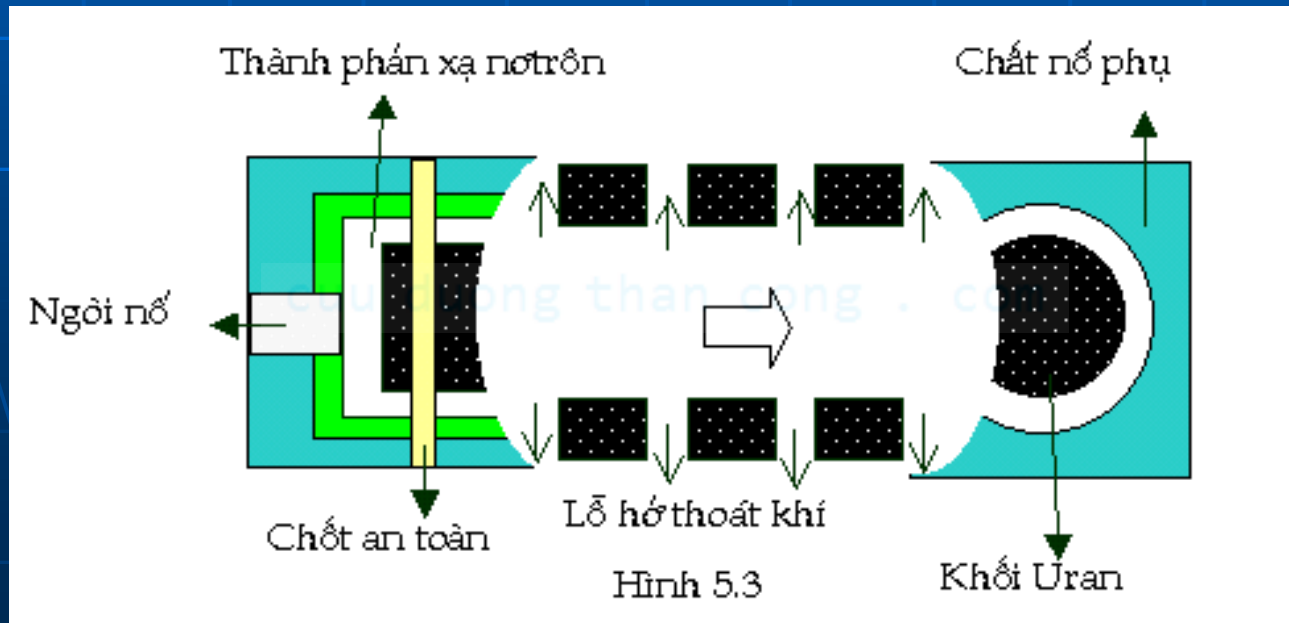
2.9.4. Phản ứng dây chuyền không điều khiển Muốn phản ứng dây chuyền xảy ra thì điều kiện cần thiết là mọi hạt nhân khi vỡ, phải phốt ra một số nơtron. Những nơtron này lại có thể bắn phỏ còc hạt nhân khỏc ở gần đú và cú thế phản ứng tiếp diễn thành một dây chuyền.

Muốn cú phản ứng dây chuyền ta phải xòt tới hệ số nhõn nơtron k của hệ. Hệ số nhõn nơtron k là tỷ số giữa số nơtron sinh ra và số nơtron mất mỏt đi do còc nguyên nhõn khỏc nhau. Nếu k nhỏ hơn đơn vị ($k < 1$) phản ứng dây chuyền khụng thế xảy ra. Nếu k đỳng bằng đơn vị ($k = 1$) thì phản ứng dây chuyền sẽ xảy ra với mật độ nơtron khụng đỏi. Đú là phản ứng dây chuyền điều khiển được trong lũ phản ứng. Nếu k lớn hơn đơn vị ($k > 1$)

thử trong một mục trường đồng nhất, nồng độ U236 lớn thờ phản ứng dõy chuyền khụng thể xảy ra. Trỏ lại với một khối lượng U235 đủ lớn thờ phản ứng dõy chuyền tự phỏt cú thể xảy ra và chỉ sau một thời gian ngắn đó toả ra một nhiệt lượng lớn. Ta gọi khối lượng tối thiểu của urani để xảy ra phản ứng dõy chuyền tự phỏt là khối lượng tới hạn (đối với U235 nguyên chất là 1kg, đối với Plutoni Pu239 nguyên chất là 1,235kg). Nhiệt toả ra tương đương năng lượng khi làm nổ 25.000 tấn thuốc nổ TNT.

Nguyên lý bom nguyên tử: Ng- ời ta dùng hai mảnh U^{235} khối l- ượng nhỏ hơn 1kg đặt cách xa nhau. Dùng thuốc nổ phụ đẩy hai mảnh đó dính liền nhau, khối l- ượng bây giờ lớn hơn mức tới hạn. Kết quả sẽ xảy ra vụ nổ nguyên tử. Trong thực tế vì khó có đ- ợc U^{235} nguyên chất nên khối l- ượng tới hạn lớn hơn 1kg nhiều. Hình vẽ cho ta sơ đồ nguyên lý bom nguyên tử.

Sơ đồ nguyên lý bom nguyên tử



2.9.5. Sự làm chậm neutron bằng va chạm

Mỗi khi neutron va chạm vào hạt nhân thì neutron sẽ mất năng lượng vì phải chuyển một phần động năng cho hạt nhân.

Lý thuyết đó tính được năng lượng của neutron tán xạ dưới góc θ sau khi va chạm đàn hồi với hạt nhân cố định có số khối A tuân theo hệ thức:

$$E_{\theta} = \frac{A^2 + 1 + 2A \cos \theta}{(A + 1)^2} E_0$$

trong đó E_0 là năng lượng của neutron trước va chạm. Từ đó tính ra số lần va chạm cần thiết.