

Ch- ơng 4

LÒ PHẢN ỨNG HẠT NHÂN

4.1. Lịch sử lò phản ứng hạt nhân

Lò phản ứng thế hệ I ra đời đầu thập niên 50, tuy nhiên chúng đang dần dần bị đào thải. Thế hệ thứ II ra đời vào đầu thập niên 70. Thế hệ thứ III, vào thập niên 90. Và thế hệ thứ IV đang được chuẩn bị với rất nhiều hy vọng trở thành một công nghệ toàn hảo vì sẽ làm giảm thiểu tối đa hiệu ứng nhà kính qua việc thải khí CO_2 , thực hiện được an toàn lao động trong vận hành và nhất là loại lò này sẽ là “lò phản ứng tự giải quyết” trong trường hợp có tai nạn xảy ra.

4.1.1. Lò phản ứng thể hệ I

Lò PƯ có tên Magnox do 3 nhà vật lý ng- ời Anh sáng chế là Ts. Ion, Ts. Khalit, và Ts. Magwood. Lò Magnox sử dụng nguyên liệu urani trong thiên nhiên trong đó chỉ có 0,7% chất đồng vị U^{235} và 99,2% U^{238} .



Ion

Khalit

Magwood

4.1.1. Lò phản ứng thế hệ I (tt)

Nguyên tắc vận hành có thể đ- ợc tóm tắt nh- sau:
Các ống kim loại urani đ- ợc bao bọc bằng một lớp hợp kim gồm nhôm và magiê. Một lớp than graphit đặt nằm giữa ống urani và hợp kim trên có mục đích làm chậm bớt vận tốc phóng thích nơtron do sự phân hạch $U-^{235}$. Từ đó các nơtron trên sẽ va chạm mạnh với hạt nhân của $U-^{235}$ để các phản ứng dây chuyền liên tục xảy ra. Để điều khiển vận tốc phản ứng dây chuyền hoặc chặn đứng phản ứng, lò Magnox sử dụng một loại thép đặc biệt. Nó có tính chất hấp thụ các nơtron, do đó có thể điều khiển phản ứng theo ý muốn. Có 26 lò Magnox đã hoạt động ở nước Anh, hiện chỉ còn 8 lò đang hoạt động.

4.1.1. Lò phản ứng thế hệ II

Loại lò này ra đời vào thập niên 70, hiện chiếm đa số các lò đang hoạt động trên thế giới. Từ ban đầu, 60% loại lò này áp dụng nguyên lý lò áp lực PWR, . Nhưng đã dần dần được thay thế bằng lò nước sôi BWR. Nhiên liệu sử dụng cho lò này là hợp chất urani đioxit và hợp kim này được bọc trong các ống cấu tạo bằng kim loại zirconium. Urani 235 sẽ được làm giàu từ 0,7% đến 3,5%. Một khác biệt cơ bản là nước được đun sôi rồi mới chuyển qua hệ thống làm tăng áp suất. Như vậy, phương pháp này sẽ rút ngắn tiến trình tạo nhiệt của hơi nước khi truyền nhiệt qua tuabin để biến thành điện năng.



4.1.3. Lò phản ứng thế hệ III

Kể từ cuối thập niên 80, thế hệ III bắt đầu được nghiên cứu với nhiều cải tiến từ các lò phản ứng loại BWR của thế hệ II. Năm 1996 tại Nhật đã có loại lò này. Hiện tại các lò này đang được sử dụng ở nhiều quốc gia trên thế giới vì thời gian xây dựng tương đối ngắn (chỉ xây trong khoảng 3 năm) và chi phí cũng giảm so với các lò thuộc thế hệ trước. Hơn nữa, việc vận hành cũng như bảo dưỡng loại lò này tương đối đơn giản và an toàn hơn.



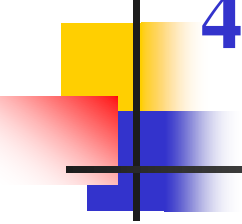
4.1.4. Lò phản ứng thể hệ IV

Các nhà khoa học đang tiến dần đến việc xây dựng các lò hạt nhân thể hệ IV, trong đó hệ thống an toàn sẽ hoàn toàn tự động, sẽ không còn có việc phát thải khí CO_2 . Thể hệ IV còn được gọi là “lò phản ứng cách mạng”. Thể hệ này dự kiến sẽ được ứng dụng vào năm 2030 và có thể thỏa mãn những điều kiện sau:

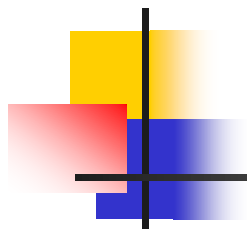
- + Giá thành cho điện năng sẽ rẻ hơn hiện tại;
- + Độ an toàn rất cao nên có thể xem như an toàn 100%;
- + Giảm thiểu phát thải đến mức tối đa.

4.2. ĐK duy trì phản ứng dây chuyền

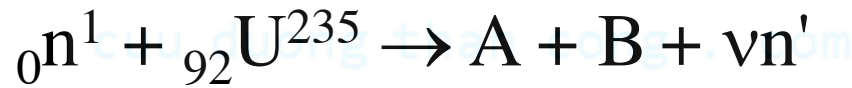
4.2.1. ĐK tới hạn của phản ứng dây chuyền



Khi ta truyền cho hạt nhân một năng lượng đủ lớn, hạt nhân có thể vỡ thành hai hay nhiều mảnh nhỏ hơn nó. Năng lượng cần thiết, nhỏ nhất để làm hạt nhân phân chia được gọi là năng lượng kích hoạt. Năng lượng kích hoạt được sử dụng cho hai phần: một phần truyền cho các nuclon riêng biệt bên trong hạt nhân tạo ra các dạng chuyển động nội tại, một phần dùng để kích thích chuyển động tập thể của toàn bộ hạt nhân, do đó gây ra biến dạng và làm hạt nhân vỡ ra.



Hai phản ứng hạt nhân chính diễn ra trong lò phản ứng chạy bằng nơtron chậm và U^{235} là:



và: ${}_0n^1 + {}_{92}U^{235} \rightarrow {}_{92}U^{236} + \gamma$

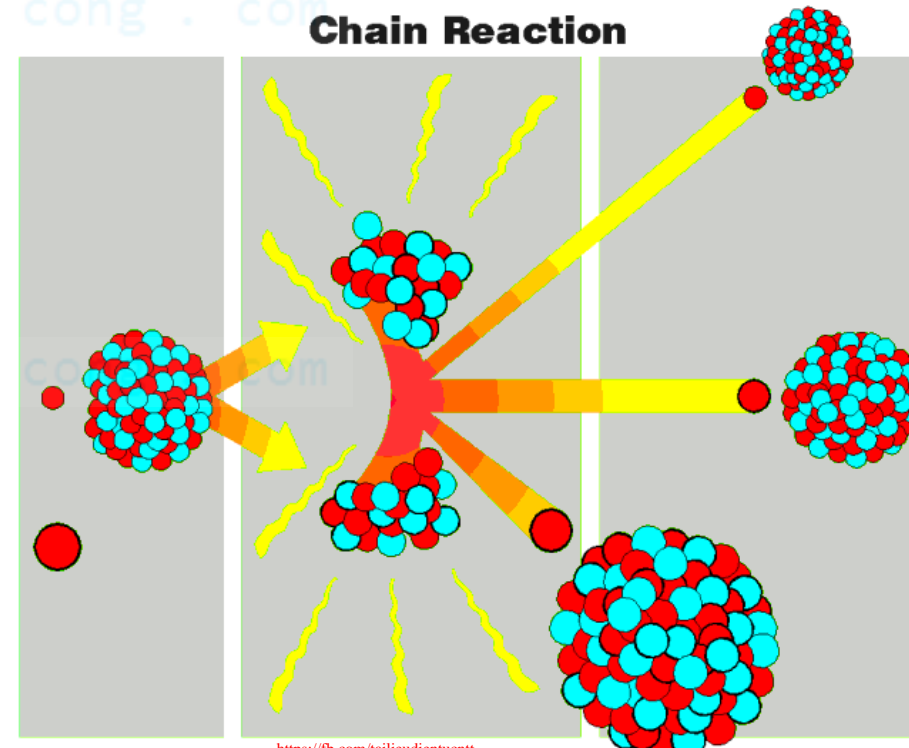
trong đó A và B là hai hạt nhân nhẹ hơn U^{235} gọi là các mảnh phân hạch.

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 nơtron mất đi và số nơtron xuất hiện trong phân hạch.

4.2. ĐK duy trì phản ứng dây chuyền

4.2.1. ĐK tới hạn của phản ứng dây chuyền

Urani thiên nhiên có chứa 99,6% đồng vị U^{238} và 0,7% đồng vị U^{235} . Hạt nhân của đồng vị U^{238} chỉ bị vỡ khi hấp thụ neutron nhanh (có năng lượng lớn hơn 1 MeV). Khi hấp thụ neutron chậm U^{238} sẽ biến thành Pu^{239} . Trái lại, hạt nhân U^{235} sẽ bị vỡ khi hấp thụ cả neutron chậm và neutron nhanh. Tuy nhiên xác suất hấp thụ neutron chậm của hạt nhân U^{235} lớn hơn nhiều so với xác suất hấp thụ neutron nhanh.



4.2. ĐK duy trì phản ứng dây chuyền

4.2.1. ĐK tới hạn của phản ứng dây chuyền

Quá trình thực nghiệm đã cho kết quả là các hạt nhân U^{235} , Pu^{239} và U^{233} sẽ bị vỡ ra khi hấp thụ neutron nhiệt (có năng lượng nhỏ từ $0,1 \rightarrow 0,001$ eV), còn U^{238} và Th^{232} sẽ vỡ khi hấp thụ neutron nhanh (NL lớn hơn 1 MeV).

Khi hấp thụ một neutron, hạt nhân ${}_Z X^A$ biến thành hạt nhân ${}_Z X^{A+1}$ ở trạng thái kích thích có mức năng lượng cao hơn mức cơ bản. Năng lượng kích thích bằng tổng động năng và năng lượng liên kết của neutron trong hạt nhân mới. Nếu năng lượng kích thích lớn hơn năng lượng kích hoạt thì quá trình phân hạch sẽ xảy ra. Nếu ngược lại thì hạt nhân sẽ chỉ chuyển về trạng thái cơ bản và phát ra bức xạ γ .

4.2. ĐK duy trì phản ứng dây chuyền

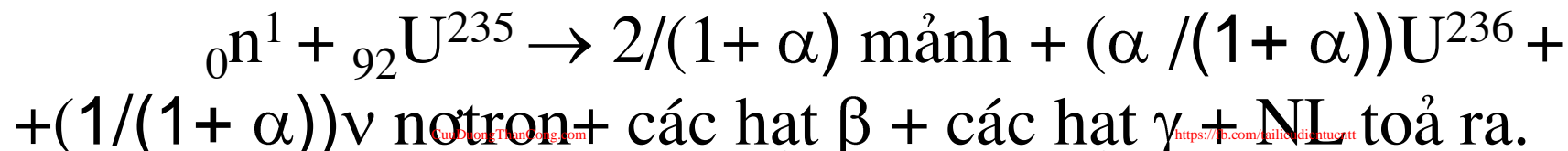
4.2.1. ĐK tới hạn của phản ứng dây chuyền

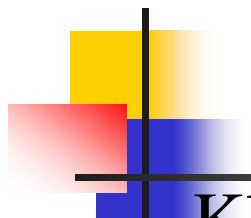
Các phản ứng phân hạch của hạt nhân U^{235} bằng neutron nhiệt có thể viết như sau:



Xác suất phân hạch là tỉ số $1/(1+\alpha)$ trong đó α là tỉ số giữa số phản ứng bắt và số phản ứng phân hạch. Như vậy xác suất bắt sẽ là $\alpha/(1+\alpha)$.

Cho nên đứng về mặt xác suất ta có thể viết lại phản ứng phân hạch của U^{235} do neutron như sau:





Khi hạt nhân U^{235} phản ứng với một neutron thì xác suất xảy ra phân hạch là $1/(1+\alpha)$, mà mỗi lần phân hạch có ν neutron đ- ợc tạo thành, cho nên $\eta = \nu(1/(1+\alpha))$ là số neutron trung bình đ- ợc tạo ra khi hạt nhân U^{235} hấp thụ một neutron.

Nếu lò ở trạng thái tới hạn thì ở thế hệ tiếp theo cũng phải có 1 neutron bị hấp thụ và do đó η neutron mới đ- ợc tạo thành. Để đơn giản ta giả định là tất cả các neutron gây ra phân hạch hạt nhân U^{235} đều có năng l- ợng nh- nhau. Trong số η neutron sẽ chỉ có phần lại bị hấp thụ trong nhiên liệu (trong đó Σ_f là tiết diện hấp thụ vĩ mô để phân hạch của nhiên liệu, Σ_a là tiết diện hấp thụ toàn phần của tất cả các vật liệu có trong lò kể cả nhiên liệu).

4.2. ĐK duy trì phản ứng dây chuyền

4.2.1. ĐK tới hạn của phản ứng dây chuyền

Nếu lò ở trạng thái tới hạn thì ở thế hệ tiếp theo cũng phải có 1 nơtron bị hấp thụ. Do hấp thụ nơtron đầu tiên này mà η nơtron mới đ- ợc tạo thành. Để đơn giản ta giả định là tất cả các nơtron gây ra phân hạch hạt nhân U235 đều có năng l- ợng nh- nhau. Trong số η nơtron sẽ chỉ có Σ_a^f / Σ_a phần lại bị hấp thụ trong nhiên liệu (trong đó Σ_a^f là tiết diện hấp thụ vĩ mô để phân hạch của nhiên liệu, Σ_a là tiết diện hấp thụ toàn phần của tất cả các vật liệu có trong lò kể cả nhiên liệu).

4.2. ĐK duy trì phản ứng dây chuyền

4.2.1. ĐK tới hạn của phản ứng dây chuyền

Vì thế cho nên đối với lò có kích thước lớn đến mức không có một neutron nào có thể rò ra khỏi lò ta nói đó là một lò vô hạn. Khi đó hệ số nhân sẽ có dạng: $k_{\infty} = \frac{\eta \Sigma_f}{\Sigma_a} = \eta f$ trong đó $f = \frac{\Sigma_f}{\Sigma_a}$ là hệ số sử dụng neutron nhiệt. Nếu lò có kích thước hữu hạn thì:

$$k = \eta \cdot f \cdot P_t \text{ (đối với tr-ờng hợp 1 nhóm).}$$

trong đó P_t là xác suất để neutron nhiệt không thoát ra khỏi lò.

4.2. ĐK duy trì phản ứng dây chuyền

4.2.1. ĐK tới hạn của phản ứng dây chuyền

Tỷ số giữa số neutron đ- ợc làm chậm xuống đ- ới ng- ỡng phân hạch của U^{238} chia cho số neutron xuất hiện ban đầu trong hệ đ- ợc ký hiệu là ϵ và đ- ợc gọi là hệ số nhân bằng các neutron nhanh. Giả sử có m neutron bị làm chậm qua vùng cộng h- ỡng thì trong đó chỉ có n neutron tránh đ- ợc sự hấp thụ cộng h- ỡng để xuống đ- ợc vùng nhiệt. Nh- vậy $p=m/n$ gọi là xác suất tránh hấp thụ cộng h- ỡng. Từ đó ta có *công thức bốn thừa số* nh- sau:

$$k_{\infty} = \eta . \epsilon . p . f \quad (\text{đối với lò chạy bằng neutron nhiệt})$$

4.2. ĐK duy trì phản ứng dây chuyền

4.2.1. ĐK tới hạn của phản ứng dây chuyền

Trong đó: η là số nơtron trung bình tạo thành khi hạt nhân U235 hấp thụ 1 nơtron

ϵ là hệ số nhân bằng các nơtron nhanh

p là xác suất tránh hấp thụ cộng h- ởng

f là hệ số sử dụng nơtron nhiệt

$k_{\infty} = 1$ là điều kiện tới hạn của lò.

Nếu lò là hữu hạn hoặc có kể đến hiện t- ợng rò của các nơtron ra khỏi lò thì công thức bốn thừa số biến thành:

$$k = \eta \cdot \epsilon \cdot p \cdot f \cdot P_t \cdot P_f$$



4.2.2. Phân bố neutron trong lò

Ng- ời ta hay dùng một ph- ơng trình gần đúng gọi là ph- ơng trình khuếch tán xem các neutron nh- là khuếch tán trong môi tr- ờng các hạt nhân nhiên liệu.

Ví dụ đối với lò hình cầu ta có:

$$\frac{1}{v} \frac{\partial \phi}{\partial t} = S + D \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} \right) - \Sigma_a \phi$$

trong đó D là hệ số khuếch tán, ϕ là thông l- ượng neutron trong lò, S là tốc độ tạo ra neutron trong 1cm^3 sau 1 giây.

■ Giải ph- ơng trình khuếch tán ta sẽ biết đ- ược phân bố thông l- ượng neutron ϕ trong lò.



4.2.3. Thời gian tồn tại của nơtron trong lò

Để đơn giản, ta giả thiết rằng lò là đồng nhất, không có chất phản xạ nơtron, ch- a kể đến các hiệu ứng nhiệt độ của môi tr- ờng v.v...[cuu duong than cong . com](http://cuuduongthancong.com)

Nếu gọi τ là thời gian sống trung bình của nơtron trong lò, nghĩa là khoảng thời gian từ lúc nơtron đ- ợc sinh ra do phân hạch và thời điểm nó mất đi do bị hấp thụ hoặc bị rò ra ngoài lò. Có thể hiểu τ bao hàm cả thời gian sinh, thời gian làm chậm và thời gian khuếch tán của các nơtron nhiệt. Tuy nhiên có thể coi τ của một thể hệ nơtron gần đúng bằng thời gian khuếch tán của nơtron nhiệt.

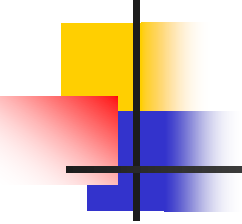
4.2.3. Thời gian tồn tại của nơtron trong lò

Các lò có chất làm chậm là graphít hay n-ớc nặng thì $\tau \approx 10^{-3}$ giây, đối với lò chạy bằng n-ớc th-ờng $\tau \approx 10^{-4}$ giây. Các lò chạy bằng nơtron nhanh thời gian sống trung bình của nơtron đạt tới $10^{-7} - 10^{-8}$ giây.

Mật độ nơtron trong lò ở thời điểm t có thể tính đ-ợc theo công thức:

$$n(t) = n_0 e^{\frac{\delta_{k.t}}{L}} \quad [1/\text{cm}^3]$$

trong đó n_0 là mật độ nơtron ở thời điểm đầu. Do đó nếu hệ số nhân hiệu dụng lớn hơn 1, số nơtron trong 1cm^3 sẽ tăng theo hàm mũ.



Nếu hệ số nhân hiệu dụng lớn hơn 1, số nơtron trong 1cm^3 sẽ tăng theo hàm mũ. Bây giờ giả định rằng ở trạng thái hiện tại của lò $k = 1,001$ đó là một trạng thái không khác lắm với trạng thái tới hạn, do đó $\delta k = k - 1 = 1,001 - 1 = 0,001$. Đối với các lò chạy bằng nơtron nhiệt $\tau = 10^{-3}$ giây $= 0,001$ giây.

$$\text{Do đó: } n(t) = n_0 e^{\frac{0,001 \cdot t}{0,001}} = n_0 e^t$$

nghĩa là thông lượng nơtron và do đó công suất của lò tăng e lần sau mỗi giây. Nếu lò chạy bằng urani có hàm lượng cao ($\tau \sim 10^{-5}$ giây), hoặc đối với lò chạy bằng nơtron nhanh ($\tau \sim 10^{-7} - 10^{-8}$ giây) thì tốc độ tăng công suất còn cao hơn nữa.



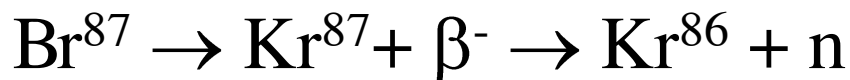
4.2.4. Các nơtron trễ

Thực tế là trong tổng số các nơtron đ- ợc tạo thành do phân hạch, có một phần nhỏ (cỡ 0,75 %) xuất hiện d- ới dạng nơtron "trễ" nghĩa là xuất hiện sau từ một phần giây đến vài giây. Chính sự có mặt của các nơtron này đã làm cho mật độ nơtron thay đổi chậm hơn nhiều so với tốc độ đã tính đ- ợc trên đây. Do đó mà vấn đề điều khiển lò trở nên đơn giản hơn. Do chúng làm cho thời gian sống trung bình của nơtron kéo dài ra, trở nên lớn hơn nhiều so với thời gian khuếch tán của các nơtron nhiệt ($\sim 10^{-3}$ giây). Điều đó làm cho thời gian để công suất lò tăng lên e lần tăng lên nhiều.

4.2.4. Các nơtron trễ

Các nơtron trễ có hai loại: một loại do các sản phẩm phân hạch sinh ra, loại thứ hai là kết quả của phản ứng. Một số sản phẩm phân hạch chứa số nơtron nhiều hơn số cần thiết cho hạt nhân ở trạng thái bền vững, do đó nó tự phân rã. Hạt nhân của các sản phẩm phân hạch có thể ở trạng thái kích thích mạnh, có một dự trữ năng lượng lớn để trong những điều kiện nhất định phát ra các nơtron.

Thí dụ, một trong những sản phẩm phân hạch của U^{235} là Br^{87} , chu kỳ bán rã của nó là 55,6 giây, phân rã như sau:



4.2.4. Các neutron trễ

Cho nên lúc đó sự thay đổi của thông lượng neutron khi có kể đến ảnh hưởng của các neutron trễ (ví dụ khi $k = 1,001$ chẳng hạn) là:

$$n(t) = n_0 e^{\frac{\delta_{k,t}}{L}} \rightarrow n_0 e^{\frac{\delta_{k,t}}{L}} = n_0 e^{\frac{0,001 t}{0,1}} \approx n_0 e^{\frac{t}{100}}$$

nghĩa là sau 100 giây thông lượng neutron (hay công suất lò) sẽ tăng lên e lần. Với tốc độ tăng như vậy con người hoàn toàn có khả năng điều khiển được các quá trình xảy ra trong lò.



4.2.5. Các hiệu ứng nhiệt độ

Phản ứng của lò có thể thay đổi phụ thuộc vào những dao động về nhiệt của môi trường lò. Tốc độ tương đối giữa hạt nhân và các neutron thay đổi theo t^0 do hai nguyên nhân:

a. Làm thay đổi tốc độ tuyệt đối của các hạt nhân: Sự thay đổi nhiệt độ làm xuất hiện hiệu ứng Dopple làm thay đổi bề rộng của mức cộng hưởng do đó làm thay đổi hệ số p trong công thức 4 thừa số. Khi đốt nóng các chất trong lò, xác suất tránh hấp thụ cộng hưởng giảm xuống, do đó độ phản ứng giảm xuống.

b. Làm thay đổi sự phân bố tốc độ của các neutron nhiệt.



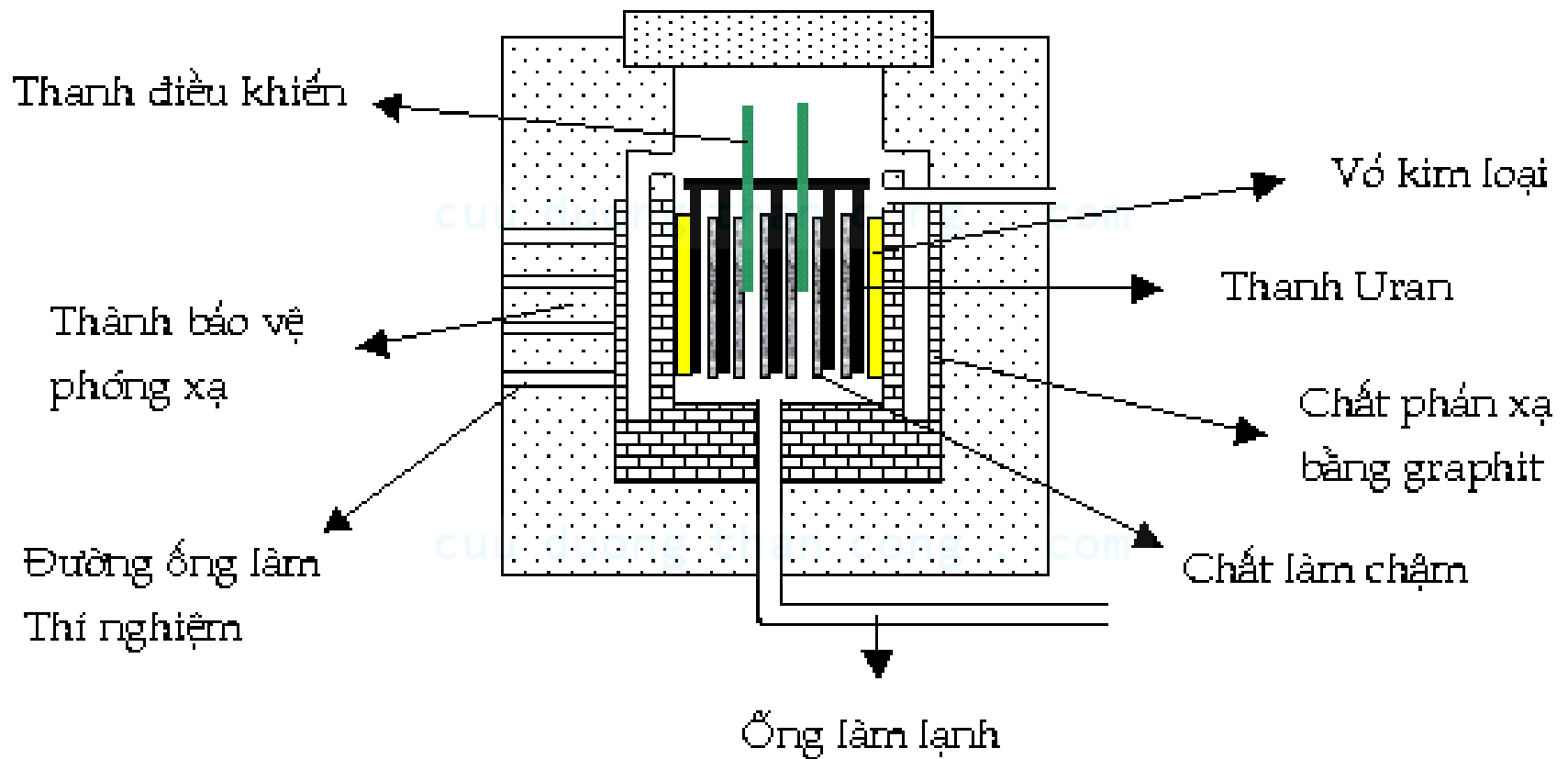
4.2.6. Sự nhiễm độc lò bằng các sản phẩm phân hạch

Sau mỗi hiện tượng phân hạch, trong môi trường của lò xuất hiện hai mảnh phân hạch với số khối lượng thường nằm giữa 95 và 140. Các mảnh này đến lượt mình lại phân rã để tạo thành một số lớn hạt nhân - gọi chung là các sản phẩm phân hạch. Tất cả các hạt nhân - sản phẩm phân hạch này có các tiết diện hấp thụ neutron, song tiết diện phân hạch của các hạt nhân này đối với các hạt neutron có năng lượng thấp hơn 10MeV bằng không. Do đó, do phân hạch, chẳng những đã mất bớt các hạt nhân nhiên liệu (U^{235}) mà còn làm xuất hiện các hạt nhân mới chỉ có khả năng hấp thụ mất neutron mà không có khả năng phân hạch.

4.3. Nguyên tắc hoạt động của lò phản ứng

Khi hạt nhân vỡ ra thì trung bình có 2,5 neutron nhanh bắn ra. Nếu dùng chất làm chậm neutron để năng lượng neutron giảm đến mức trở thành neutron nhiệt (0,1 - 0,01eV) thì có thể dùng urani thiên nhiên làm giàu U^{235} để thực hiện phản ứng dây chuyền. Tính chất này được dùng trong lò phản ứng hạt nhân chạy bằng nhiên liệu phân hạch với neutron chậm (U^{235} , Pu^{239} , U^{233}). Trong lò phản ứng hạt nhân, các thanh urani thiên nhiên hay plutoni rất mỏng xếp xen kẽ các lớp khá dày của chất làm chậm tạo thành vùng hoạt động mà trong đó xảy ra phản ứng dây chuyền.

4.3. Nguyên tắc hoạt động của lò phản ứng



Sơ đồ nguyên lý của lò phản ứng hạt nhân

4.3. Nguyên tắc hoạt động của lò phản ứng

Muốn điều chỉnh hoạt động của lò mạnh lên hay yếu đi thì dùng các thanh cadimi có đặc tính hấp thụ mạnh neutron nhiệt: muốn lò chạy yếu đi thì cho dón những thanh cadimi vào lò, muốn lò chạy mạnh lên thì rút dần ra, để bảo đảm hệ số nhân neutron luôn luôn bằng đơn vị ($k = 1$).

Ng- ời ta cho chất làm lạnh chảy theo những đ- ờng ống vào trong lò để bảo đảm giữ nhiệt độ lò không cao quá mức nguy hiểm. Nếu lò dùng để cung cấp năng l- ượng thì chất làm lạnh đồng thời là chất tải nhiệt, chất này phải ít hấp thụ neutron.

4.4. Nguyên lý điều khiển lò phản ứng hạt nhân

Chúng ta mới chỉ nghiên cứu lò ở trạng thái tới hạn tức là trạng thái ở đó thông lượng neutron trong lò không đổi theo thời gian. Để sử dụng một cách bình thường lò phản ứng ta phải biết cách điều khiển nó theo ý muốn.

Để đặc trưng cho mức độ lò ra khỏi trạng thái tới hạn người ta đưa vào một đại lượng đặc trưng gọi là độ phản ứng của lò:

$$\rho = \frac{k - 1}{k} = \frac{\beta - 1}{\beta}$$

Khi lò ở trạng thái tới hạn $k = 1$ do đó $\rho = 0$, khi $k > 1$, $\rho > 0$ lò ở trạng thái trên tới hạn, còn khi $k < 1$, $\rho < 0$ lò ở trạng thái dưới tới hạn.

4.4. Nguyên lý điều khiển lò phản ứng hạt nhân

Việc điều khiển lò đ- ợc thực hiện bằng cách thay đổi giá trị của thông l- ợng nơtron trong lò. Nếu thông l- ợng nơtron trong lò không thay đổi, lò phản ứng ở trạng thái tới hạn, hệ số nhân nơtron k trong lò bằng 1.

Có thể thay đổi thông l- ợng nơtron trong lò bằng hai cách:

- 1/ Đ- a vào hoặc rút bớt ra khỏi vùng hoạt động của lò các chất hấp thụ mạnh nơtron, nh- chất bo chẳng hạn.
- 2/ Đ- a lại gần vùng hoạt hay đ- a ra xa vùng hoạt một chất phản xạ nơtron nào đó.

4.5. Cấu trúc lò phản ứng hạt nhân

4.5.1. Khái niệm chung về lò phản ứng hạt nhân

Lò phản ứng hạt nhân là thiết bị có thể điều khiển và kiểm soát phản ứng phân hạch để thu được năng lượng nhiệt.

Cấu tạo của lò gồm các bộ phận chủ yếu sau:

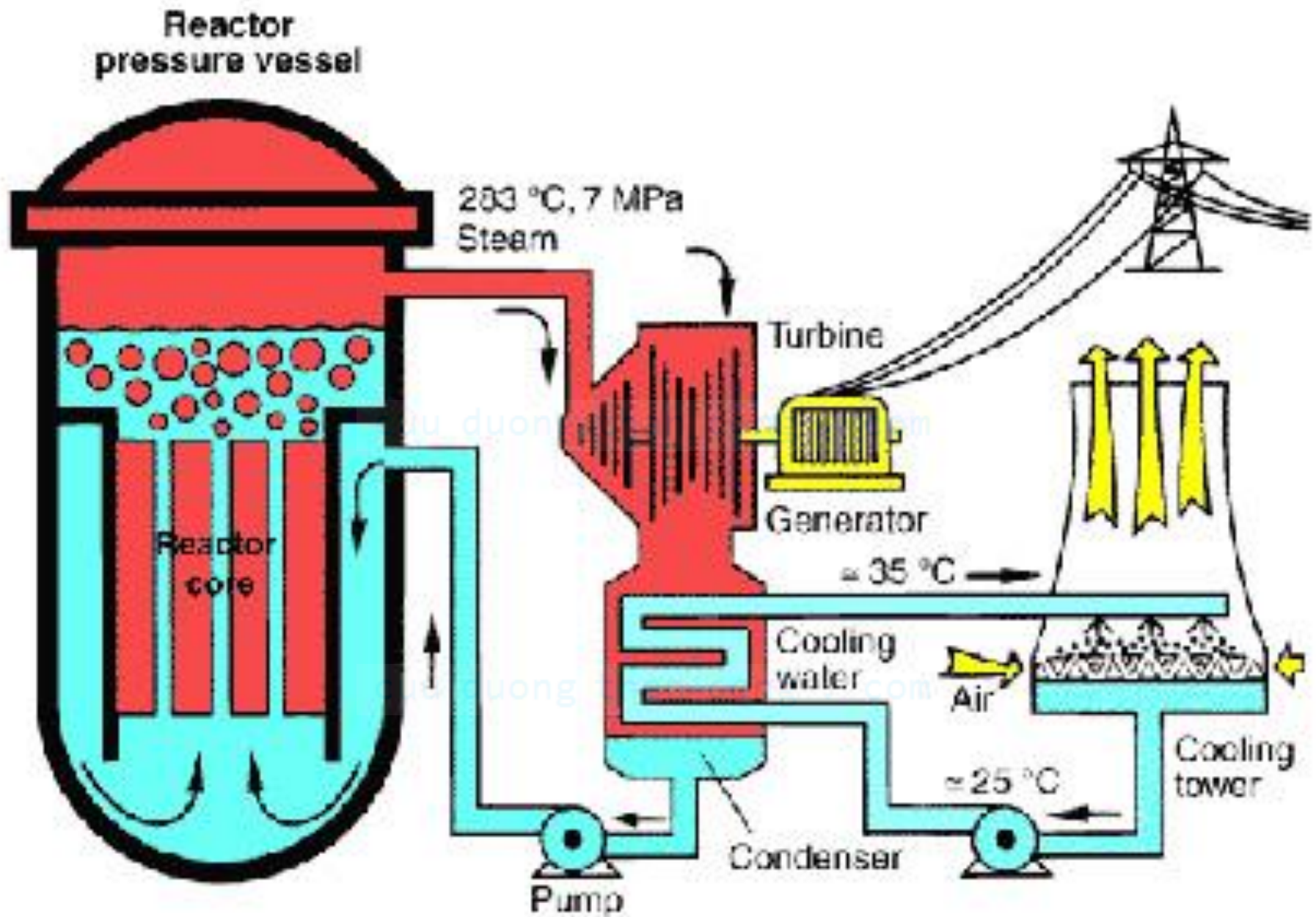
- a. Cấp nhiên liệu hạt nhân tạo ra sự phân hạch và sinh nhiệt
- b. Cung cấp chất làm chậm với chức năng làm giảm tốc độ của các neutron sinh ra từ phản ứng phân hạch.
- c. Tản nhiệt với chức năng thu nhiệt sinh ra do phân hạch hạt nhân từ tâm lò để chuyển ra bộ phận bên ngoài
- d. Điều khiển để điều chỉnh quá trình phân hạch của nhiên liệu hạt nhân

4.5.2. Sơ đồ nguyên lý của lò phản ứng hạt nhân

Nguyên tắc thiết kế lò là phải làm giảm các quá trình tiêu phí các neutron không phân hạch sao cho điều kiện nêu trên đây có thể đ- ợc thoả mãn. Các quá trình bắt neutron một cách vô ích có ba loại nh- sau:

- a. Nhiên liệu bắt neutron mà không phân hạch (nh- n, γ)
- b. Các vật liệu khác trong lò bắt neutron
- c. Các neutron rò ra khỏi hệ lò, không gây đ- ợc một hiệu ứng nào cả.

□nh h- ớng của ba quá trình này tới sự hoạt động của lò có thể thay đổi đáng kể do thiết kế.





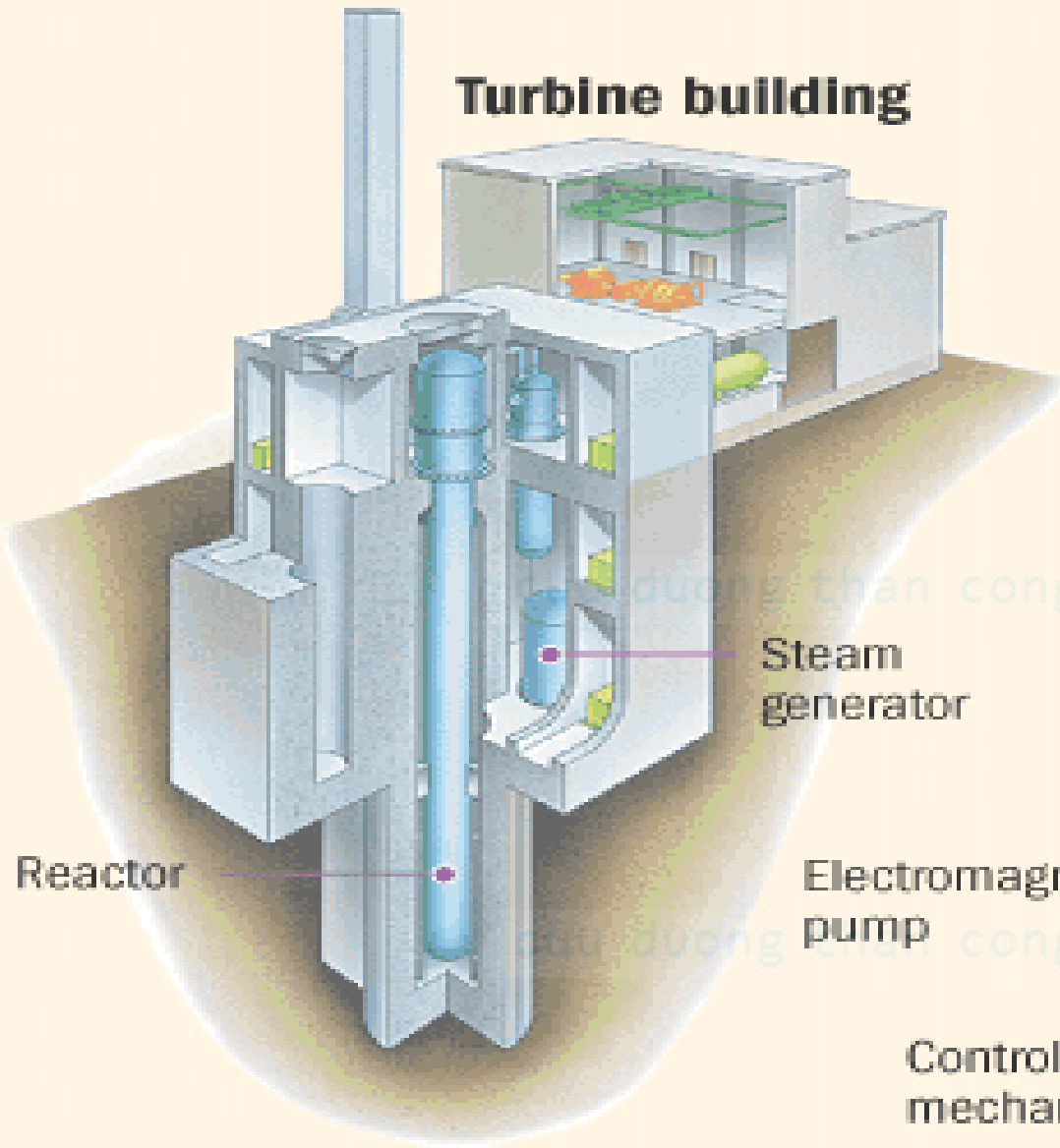
cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com

4.5.2. Sơ đồ nguyên lý của lò phản ứng hạt nhân

Nhiên liệu dùng trong lò phản ứng có thể là urani thiên nhiên trong đó có chứa 0,73% U^{235} , urani đã đ- ợc làm giàu, plutoni Pu^{239} , thori Th^{233} . Chất làm chậm (trong các lò phản ứng chạy bằng nơtron chậm hay trung gian (các nơtron đã đ- ợc làm chậm một phần tr- ớc khi bị hấp thụ để phân hạch tiếp), có thể là graphit, n- ớc nặng D_2O , n- ớc th- ờng H_2O , berili và berili oxit BeO , các chất hữu cơ. Chất tải nhiệt có thể là chất khí, n- ớc th- ờng, n- ớc nặng D_2O , chất lỏng hữu cơ, kim loại lỏng v.v... Chất phản xạ là bất kỳ chất làm chậm nào nh- graphit, berili v.v...

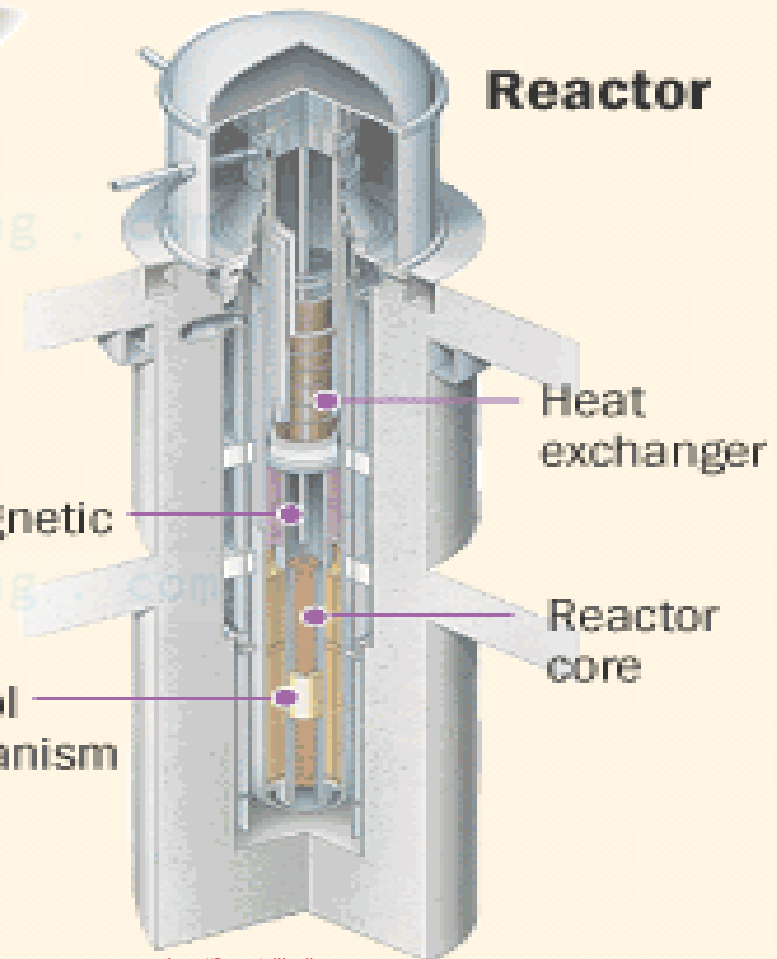
Turbine building



Reactor

Steam
generator

Reactor



Heat
exchanger

Electromagnetic
pump

Reactor
core

Control
mechanism

Reactor specs

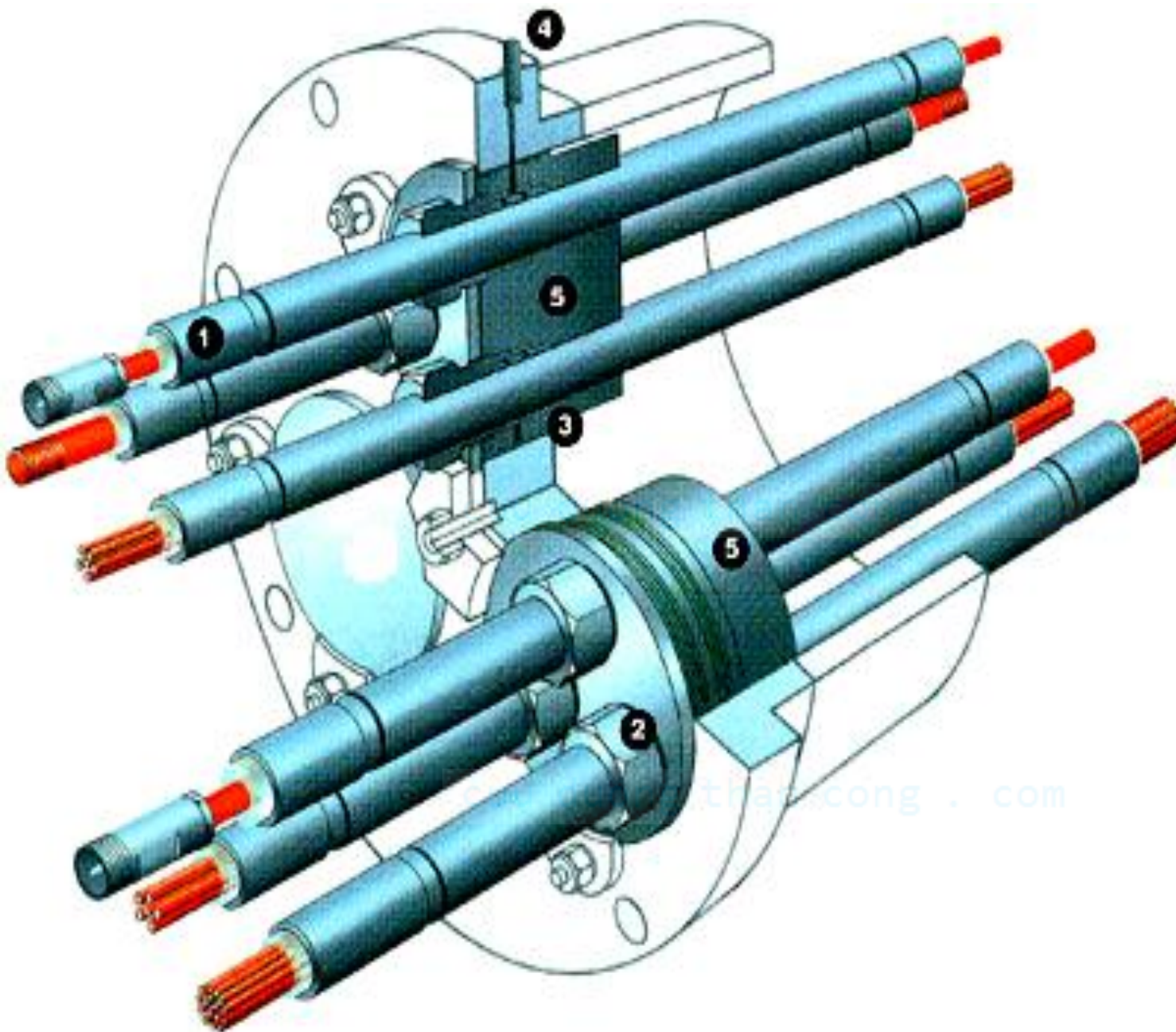
- **HEIGHT:** About 70 feet
- **WEIGHT:** About 60 tons

4.5.2. Sơ đồ nguyên lý của lò phản ứng hạt nhân

Tất cả các lò phản ứng hạt nhân hoạt động ở những mức công suất cao, ngoài nhiệt năng, trong lò còn sản ra một số lớn neutron, các tia γ các tia β . Ngay cả khi lò đã bị dập, cường độ phóng xạ của các tia γ và β vẫn còn lớn do có một lượng lớn sản phẩm phóng xạ trong quá trình phân hạch sinh ra. Chẳng hạn một lò có công suất 10 MW có thể sản ra 10^9 curi các sản phẩm phân hạch, đây là một cường độ phóng xạ gần đúng tương đương với cường độ phóng xạ của khối 1000 tấn radi. Cho nên phần lớn các lò phản ứng đều bọc kín nhiên liệu trong một "vỏ" vật liệu.

4.5.2. Sơ đồ nguyên lý của lò phản ứng hạt nhân

Để làm chậm các neutron nhanh để chúng dễ dàng bị U^{235} bắt, ta phải dùng loại vật liệu có nguyên tử nhỏ, trong khi đó để chắn có hiệu quả nhất đối với các tia γ lại phải có vật liệu với Z lớn. Do đó người ta thường dùng một hỗn hợp chất có Z nhỏ và chất có Z lớn làm vật chắn. Trong một số trường hợp người ta dùng nhiều lớp chì (Pb) và polyeten để làm vật chắn, còn trong đa số trường hợp người ta dùng bê tông cho tiết kiệm. Người ta còn dùng loại bê tông đặc biệt là bê tông thông thường có thêm cốt sắt hoặc pha quặng sắt để tăng tỷ trọng và hiệu quả trong việc chắn các tia γ (với bề dày trên dưới 1m).



1 ống giữ thanh
nhiên liệu

2 bulông hãm

3 giã đỡ

4 khe quan
sát

5 giã lắp các
môđun
nhiên liệu



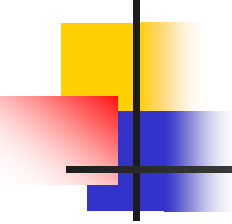
4.5.3. Nhiên liệu của lò phản ứng hạt nhân

Nhiên liệu cho lò phản ứng hạt nhân có thể sử dụng các chất có khả năng phân hạch như urani hoặc plutoni

Urani tự nhiên chỉ chứa 0,7% U^{235} phân hạch nên chỉ sử dụng làm nhiên liệu cho lò phản ứng hấp thụ neutron và sử dụng chúng một cách hiệu quả như lò n-ó nặng hoặc lò phản ứng làm nguội bằng khí và dùng chất làm chậm là than chì.

N-ó nhẹ có thể dễ điều chế và rẻ tiền nhưng khả năng hấp thụ neutron lớn nên không thể sử dụng urani tự nhiên làm nhiên liệu cho lò phản ứng n-ó nhẹ. □ đó nên ta sử dụng nhiên liệu urani đã được làm giàu trên dưới 4% ở dạng ôxít urani.

4.5.4. Chất làm chậm của lò phản ứng hạt nhân



Để dễ dàng tạo ra phản ứng phân hạch hạt nhân dây chuyền, cần phải hãm bớt neutron tốc độ cao thành neutron nhiệt. Như vậy, vật liệu làm chậm neutron được gọi là chất làm chậm.

Chất làm chậm có hai tính chất sau:

- - Hấp thụ neutron hiệu quả
- - Giảm tốc độ của neutron với hiệu suất cao

Vì vậy vật liệu thích hợp cho chất làm chậm thường là những nguyên tố có số nguyên tử nhỏ.

4.5.4. Chất làm chậm của lò phản ứng hạt nhân

Các loại chất làm chậm thông thường:

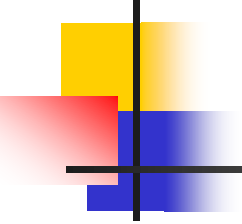
- 1. N- ớc nhẹ (n- ớc thông thường) có hiệu suất làm chậm rất tốt, giá thành rẻ nhưng có nhược điểm là hấp thụ neutron một cách lãng phí.
- 2. N- ớc nặng cũng có hiệu suất làm chậm tốt do không hấp thụ neutron một cách lãng phí nên có thể nói đây là chất giảm tốc lý tưởng nhưng giá thành rất cao và khó điều chế.
- 3. Than chì tuy hiệu suất làm chậm thấp, nhưng lại hấp thụ ít neutron và giá thành đối rẻ.

4.5.5. Chất tải nhiệt của lò phản ứng hạt nhân

Chất thu nhiệt sinh ra trong lò phản ứng và chuyển ra bên ngoài gọi là chất tải nhiệt.

Lò phản ứng n- ớc nhẹ dùng chất tải nhiệt là n- ớc nhẹ; Lò phản ứng n- ớc nặng dùng chất tải nhiệt là n- ớc nặng; còn lò khí thì sử dụng chất tải nhiệt là khí CO₂ hoặc heli và lò tái sinh nhanh thì sử dụng chất tải nhiệt là natri.

4.5.6. Chất điều khiển của lò phản ứng hạt nhân



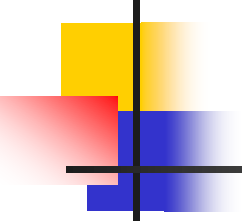
Chất điều khiển có tác dụng điều chỉnh công suất của lò phản ứng (tốc độ phản ứng phân hạch) và có khả năng hấp thụ neutron.

Muốn giảm tốc độ phản ứng thì đ- a sâu chất điều khiển vào trong tâm lò và ng- ọc lại muốn tăng tốc độ phản ứng thì đ- a chất điều khiển ra xa.

Chất điều khiển đ- ọc sử dụng phổ biến là boron hoặc cadimi.

4.6. Các loại lò phản ứng hạt nhân

4.6.1. Lò khí



Lò khí là loại lò sử dụng khí làm chất tải nhiệt, loại lò này chủ yếu phát triển ở Anh. Chất làm chậm là than chì và nhiên liệu có thể sử dụng là urani tự nhiên. Lúc đầu loại lò này đ- ợc dùng để sản xuất Pu (cho mục đích quân sự) và dùng không khí làm chất tải nhiệt.

Để phát triển loại lò này thành lò phản ứng phát điện, cần phải nâng nhiệt và áp lực của khí - chất tải nhiệt. Vì không thể sử dụng đ- ợc không khí nên khí CO₂ đ- ợc dùng làm chất tải nhiệt. Từ đó đã ra đời loại lò khí kiểu Anh sử dụng trong nhà máy điện hạt nhân.

Hạt nhiên liệu hình cầu

250 °C

trao đổi nhiệt

530 °C; 17.7 MPa

Khi

Tuabin - máy phát

Vỏ lò

Quạt thổi

750 °C; 4 MPa

nước

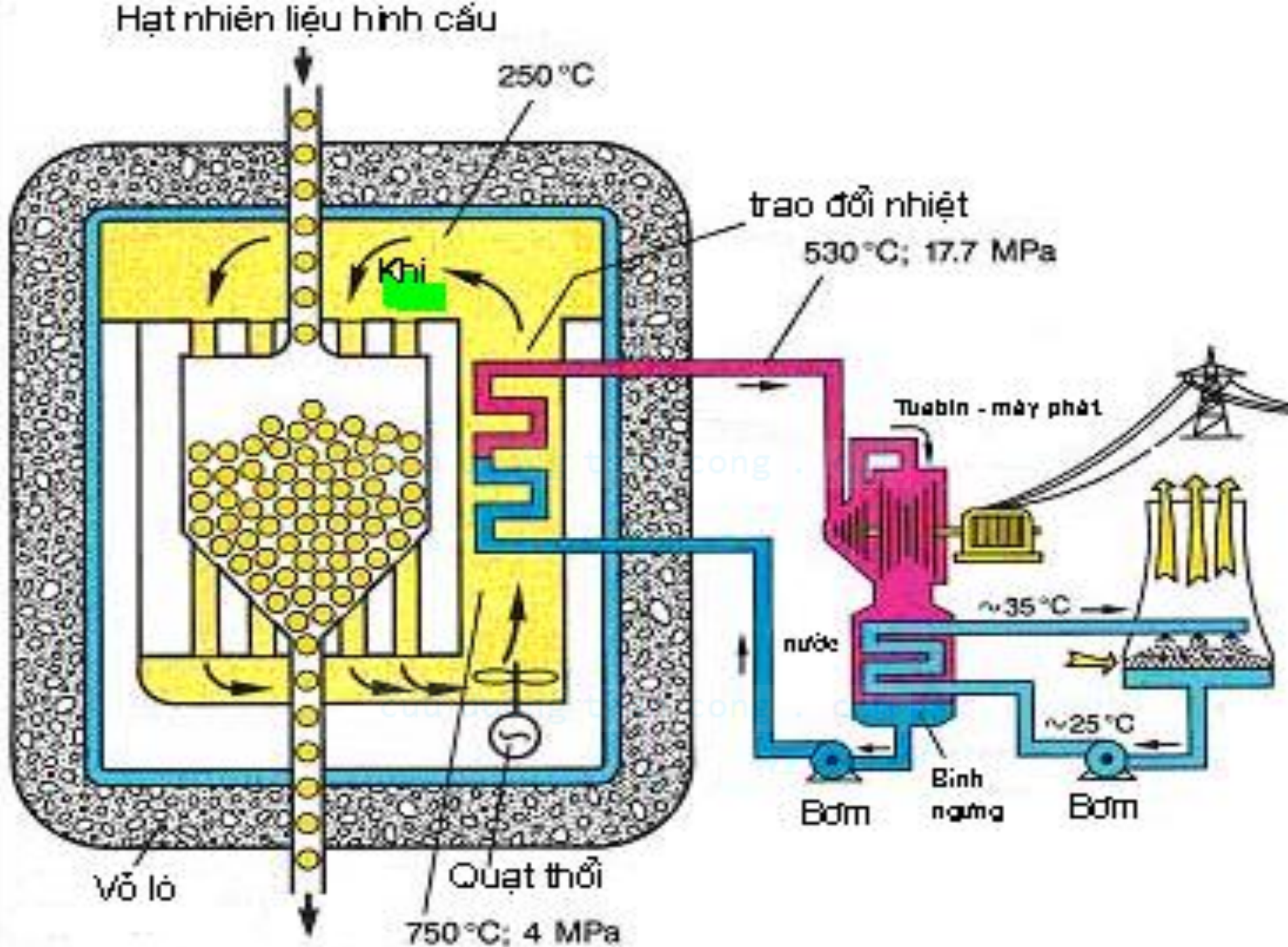
~35 °C

Bình ngưng

~25 °C

Bơm

Bơm

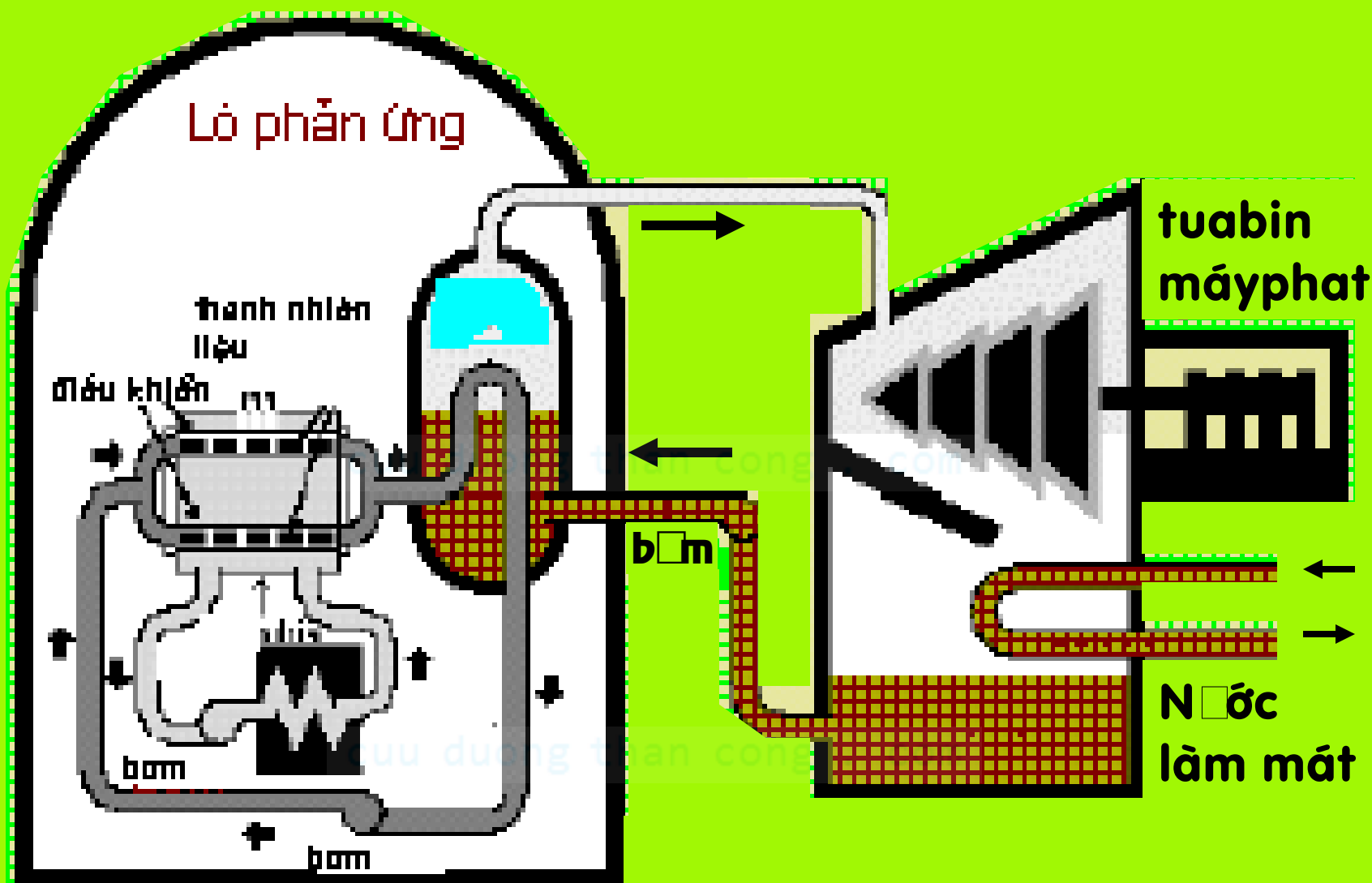


4.6.2. Lò n- ớc nặng

Lò n- ớc nặng là lò phản ứng sử dụng n- ớc nặng làm chất làm chậm. Loại lò này chủ yếu do Canada phát triển.

So với n- ớc nhẹ, n- ớc nặng hấp thụ rất ít nơtron nên có thể sử dụng urani tự nhiên làm nhiên liệu.

Tuy nhiên giá thành của n- ớc nặng cao, khó chế tạo.



Nước nặng

Nước áp lực

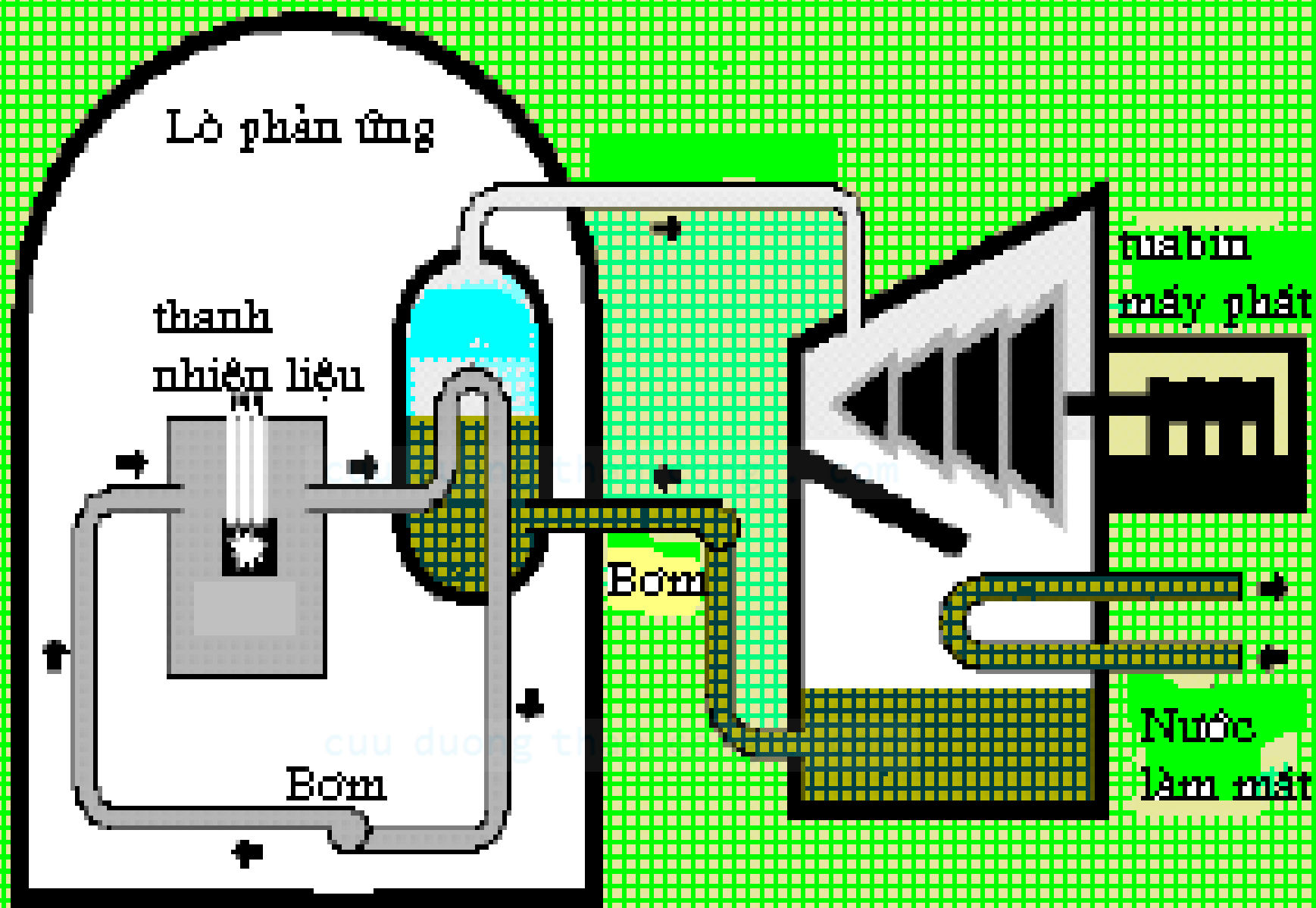
Nước



4.6.3. Lò n- ớc nhẹ PWR

Lò n- ớc nhẹ là lò phản ứng sử dụng n- ớc nhẹ làm chất làm chậm và chất tải nhiệt. Có hai loại lò n- ớc nhẹ là PWR (Pressurized Water Reactor - Lò n- ớc áp lực) và BWR (Boiling Water Reactor - Lò n- ớc sôi).

PWR đ- ợc phát triển cho mục đích quân sự, ví dụ nh- tạo sức đẩy cho tàu thuyền và đặc biệt là sử dụng cho tàu ngầm. Hệ thống thứ nhất của lò phản ứng đ- ợc thiết kế không làm sôi n- ớc mà truyền nhiệt sang hệ thống thứ 2 để tạo hơi n- ớc, do vậy hơi n- ớc làm quay tuabin không bị nhiễm xạ.

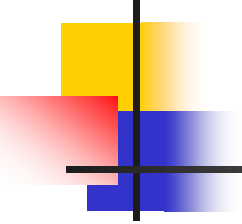


nước áp lực



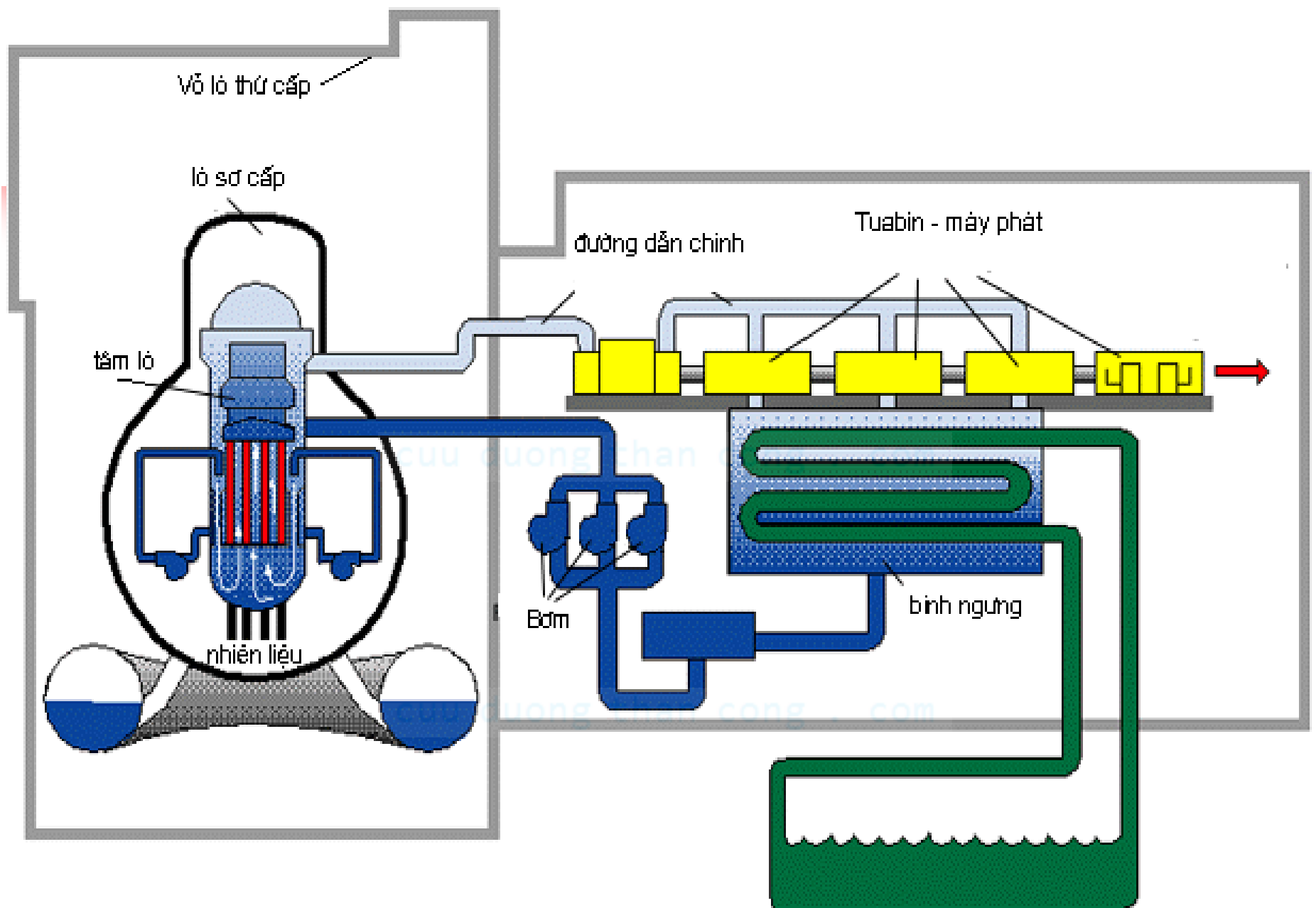
nước nguyên chất

4.6.3. Lò n- ớc nhẹ BWR



BWR ngay từ đầu đã đ- ợc phát triển cho mục đích hoà bình là phát điện. N- ớc đ- ợc làm sôi trong hệ thống thứ nhất của lò phản ứng và dùng hơi n- ớc đó làm quay tuabin, do vậy tuabin bị nhiễm xạ khi vận hành. Nh- ng do không có hệ thống thứ 2 nên cấu tạo lò đơn giản.

Urani tự nhiên không thể sử dụng làm nhiên liệu cho lò n- ớc nhẹ. Nhiên liệu sử dụng là dạng oxit urani làm giàu thấp, khoảng 4%.



4.6.4. Lò phản ứng hạt nhân tái sinh nhanh

a. Nguyên lý của lò phản ứng hạt nhân tái sinh nhanh

Lò phản ứng hạt nhân tái sinh nhanh sử dụng nhiên liệu plutoni. Plutoni khi phân hạch bằng neutron tốc độ cao sẽ có khoảng 3 neutron mới được sinh ra. Số lượng neutron sinh ra do 1 lần phân hạch ở đây là nhiều nhất. Nếu sử dụng khéo 3 neutron thì có thể tạo ra lượng plutoni nhiều hơn so với lượng plutoni đã đốt cháy.

b. Ý nghĩa của việc phát triển lò phản ứng hạt nhân tái sinh nhanh

So với trường hợp chỉ sử dụng một lần nhiên liệu urani ở lò nước nhẹ, khi sử dụng nhiều lần ở lò tái sinh nhanh có thể thu được năng lượng lớn hơn 50 lần. Số năm có thể khai thác urani sử dụng ở lò nước nhẹ vào khoảng 70 năm, nếu sử dụng lò tái sinh nhanh thì ta có thể sử dụng năng lượng nguyên tử trong khoảng 3000 năm.



4.6.4. Lò phản ứng hạt nhân tái sinh nhanh

c. Cơ chế của lò phản ứng hạt nhân tái sinh nhanh

Vì lò hạt nhân tái sinh nhanh sử dụng neutron nhanh nên không cần chất làm chậm. Chất tải nhiệt là natri. Vì Na có phản ứng khi tiếp xúc với không khí nên bề mặt của Na cần được phủ bằng khí trơ (argon).

d. Tính kinh tế của lò hạt nhân tái sinh

Chi phí của lò hạt nhân tái sinh nhanh gấp từ 1,5 đến 2 lần so với lò n-ức nhẹ. Hiện tại về kinh tế thì ch- a thể cạnh tranh với lò n-ức nhẹ nh-ng trong t-ơng lai, khi nguồn tài nguyên urani hết dần, giá urani tăng lên, có lẽ khi đó lò tái sinh nhanh có thể cạnh tranh đ-ợc với lò n-ức nhẹ.



Lò phản ứng hiện nay của Việt Nam

Việt Nam hiện có một Viện Năng lượng nguyên tử ở Đà Lạt. Đây là lò phản ứng hạt nhân duy nhất hiện ta đang có thuộc loại lò nghiên cứu, chạy bằng urani - 235 làm giàu, chất làm chậm là nước th-ởng, tải nhiệt bằng quá trình đối lưu tự nhiên, có ba chức năng chính:

- a. Đào tạo cán bộ cho ngành hạt nhân
- b. Nghiên cứu các phản ứng hạt nhân, các nghiên cứu ứng dụng trong các ngành khoa học, kỹ thuật y tế, công nghiệp, nông nghiệp, sinh học v.v..
- c. Sản xuất một số đồng vị phóng xạ cung cấp cho nhu cầu trong nước để chẩn đoán và điều trị trong ngành y tế, nghiên cứu ứng dụng trong công nghiệp, nông nghiệp v.v...