

## TOKAMAK - BUỒNG PHẢN ỨNG NHIỆT HẠCH

### 6.1 Nguồn năng lượng hạt nhân

Về lý thuyết, chỉ cần 1kg deuterium và 10kg lithium (xuất phát từ việc tìm kiếm tritium bằng cách nào) một trung tâm năng lượng hạt nhân có công suất 1.000MW chỉ cần trong 1 ngày. Nếu mang so sánh, thì có cùng công suất như một nhà máy điện 500kg uranium và gần 10.000 tấn than.

Việc deuterium là một thành phần dễ sản xuất vì khi làm lạnh nước bằng phương pháp phân li nước biển. Còn việc lithium thì phức tạp hơn. Đó là một thành phần hiếm trong thiên nhiên. Người ta cũng có thể lấy lithium từ nước biển nhưng so với deuterium thì khó hơn nhiều. Cái khó khăn thứ hai của việc lithium là khi đưa vào lò phản ứng cần phải biến nó thành tritium có thể thực hiện việc phản ứng deuterium. Thí dụ ITER chỉ có thể giải quyết một phần khó khăn này: lò phản ứng sẽ không sản xuất tritium mà sẽ nuôi dưỡng liên tục thành phần này.

### 6.2 Năng lượng tỏa ra từ phản ứng hạt nhân

Trái với việc phân tách hạt nhân (phản ứng xảy ra trong các trung tâm hạt nhân), việc phản ứng hạt nhân không kéo theo việc tỏa ra các chất thải nguy hại ngay dài kéo dài hàng nghìn năm. Đó là ưu điểm của lò phản ứng nhiệt hạch. Bởi vì, phản ứng hạt nhân sẽ làm sản sinh ra những thành phần phóng xạ tuy nguy hại trong thời gian ngắn nhưng phân rã nhanh chóng. Các loại ưu tiên là các vật liệu kim loại thành vòng vây hầm của lò phản ứng. Dưới tác động của các neutron tỏa ra từ phản ứng nhiệt hạch hạt nhân như Cobalt sẽ xuất hiện. Sự phá vỡ của thí nghiệm ITER sau 20 năm hoạt động sẽ thay thế là làm mất phần các vật liệu ô nhiễm, qua thời gian thì phóng xạ của chúng sẽ hết và theo chu kỳ lại xuất hiện một phần khác nữa. Một lợi ích thì khác là các vật liệu dễ tiếp xúc với tritium. Bởi vì chúng thì cần phải tiến hành bảo dưỡng thường xuyên lò phản ứng. Những sản phẩm của việc phân rã hạt nhân của một trung tâm hạt nhân cùng công suất sẽ sản sinh ra. Và việc cần lưu ý rằng, ngay cả các hạt nhân nặng của chúng, những trung tâm năng lượng hạt nhân sẽ không sản sinh ra khí độc hại như khí nén nóng không khí.

### 6.3 Hoạt động lò phản ứng hạt nhân

Một trong những nghiên cứu kỹ thuật tiên tiến nhất, trong đó có dự án ITER là mang nung nóng gaz nhiệt độ rất cao và lưu giữ trong vòng từ trường để hình thành plasma nhiệt độ cao. Thí nghiệm này được phát minh bởi người Nga năm 1968 mang tên là Tokamak. Tokamak ITER sẽ là một vòng tròn, có đường kính nội 12 mét, dung tích bên trong là 837m<sup>3</sup>, gồm có những thanh nam châm siêu dẫn hình thành nam châm cực mạnh của Pháp TORE SUPRA Cadarache, đã vận hành từ năm 1988. Trong vòng vây từ trường để giam giữ plasma, gaz (mixture của deuterium và tritium đồng vị hydro nặng) sẽ được đun nóng lên hàng triệu độ, trong điều kiện này, tritium và deuterium sẽ có thể kết hợp với nhau. Hai mục tiêu kỹ thuật của dự án ITER là tạo ra công suất điện (500MW) duy trì các phản ứng tổng hợp hạt nhân và giữ được trạng thái này trong ít nhất là 300 giây. Thí nghiệm Tokamak lớn nhất trên thế giới và thí nghiệm Jet của châu Âu ở Anh (Grande Bretagne) đã đạt được công suất lớn bằng phản ứng tổng hợp hạt nhân là 16MW vào năm 1997 nhưng chỉ trong có vài giây thôi. Vào năm 2003, thí nghiệm Tokamak Tore Supra của Cơ quan Năng lượng nguyên tử (CEA) của Cadarache kém công suất hơn thí nghiệm Jet và không thể tạo nên các phản ứng tổng hợp hạt nhân đã thành công trong việc giam giữ plasma nóng trong một khoảng thời gian là 6,30 phút.

#### 6.4 Phản ứng nhiệt hạch

Ngành phân rã phóng xạ (hay phân hạch nguyên tử), là quá trình biến phá các nguyên tử, làm chúng bị tách ra thành những nguyên tử nhẹ hơn và giải phóng năng lượng, thì phản ứng nhiệt hạch là quá trình tổng hợp hạt nhân của các nguyên tử nhẹ dính kết với nhau tạo thành nguyên tử nặng hơn và giải phóng năng lượng.

Năm 1952, Mỹ đã cho thí nghiệm quả bom Hydrogen ở Elugelab, Thái Bình Dương. Sơ đồ công phá của quả bom Hydrogen này mô phỏng như là quả bom nguyên tử (bom A). Dài 8 mét, quả bom Hydrogen có sơ đồ công phá tương tự quả bom TNT, bằng tổng hợp của tất cả các quả bom mà quân đội Mỹ đã thử nghiệm trong Thế chiến thứ hai. Khi nổ, nhiệt độ ở trung tâm của nó lên tới 1.000 lần nhiệt độ mặt trời. Ở Elugelab đã bị nóng chảy, chỉ còn sót lại duy nhất một mảnh núi lửa ngầm sâu dưới lòng đất.

Phản ứng nhiệt hạch xảy ra khi hai hạt nhân tiến sát gần nhau khoảng  $10^{-15}$ m, làm cho lực hấp dẫn, thông qua sự tương tác mạnh còn lại giữa các hạt nhân, thắng lực đẩy điện tích giữa các proton. Hiện tượng này xảy ra khi các hạt nhân va chạm với nhau ở vận tốc rất cao. Các phản ứng nhiệt hạch quan trọng nhất có các hạt nhân nhẹ như deuterium và tritium.

Trên các vì sao và trong vũ trụ, hydrogen thông thường với hạt nhân chỉ có 1 proton và 1 neutron là nhiên liệu cho các phản ứng và cuối cùng kết quả tạo thành helium thông thường.

qua mặt chu kỳ phản ứng hạt nhân. Tuy nhiên, phản ứng này diễn ra quá chậm có thể xảy ra trên trái đất. Phản ứng deuterium và tritium của hydrogen có phản ứng nhiệt hạch nhanh hơn. Khí tritium được sản xuất từ các đồng vị của hydrogen có sẵn trong nước nặng (nước nặng) và cần khoảng 0,1 giây. Hạt nhân của hai đồng vị hydro, deuterium (D) và tritium (T), va chạm và kết hợp tạo ra hạt nhân Heli (He) và bắn ra các hạt neutron (n) với năng lượng cỡ 17.6 MeV (2.8 pJ).

Phản ứng tổng hợp hạt nhân:  $D + T \rightarrow {}^4\text{He}(3.5 \text{ MeV}) + n(14.1 \text{ MeV})$ .

Khi không có lực hấp dẫn như trên Mặt trời, có thể tạo ra nhiệt độ cần thiết cho phản ứng tổng hợp hạt nhân trong phòng thí nghiệm bằng cách sử dụng laser (nam châm) để giam giữ nhiên liệu nhiệt hạch trong khi nung nóng nó bằng nhiệt độ phản ứng.

Tốc độ phản ứng nhiệt hạch plasma =  $R \cdot n_1 \cdot n_2$

$n_1, n_2 =$  mật độ hạt nhân (hạt/m<sup>3</sup>);  $R =$  hằng số (m<sup>3</sup>/giây).

Tính toán phản ứng, nhân hằng số  $R$  với mật độ của 2 loại hạt nhân (chia đôi nếu có 1 loại tránh tính gấp đôi khi phản ứng). Hằng số phản ứng  $p + p \Rightarrow D$  trên mặt trời thấp hơn rất nhiều phản ứng với hạt nhân deuterium và tritium vì phản ứng  $p + p$  diễn ra với năng lượng tác động nguyên tử. Mật độ hạt nhân trên mặt trời là 1 n, hằng số phản ứng thấp có nghĩa là 1 proton trên mặt trời sẽ mất hàng tỷ năm để kết hợp thành hạt nhân. Trong các lò phản ứng nhiệt hạch sử dụng tritium, mật độ deuterium chỉ mất khoảng 100 giây.

Để đạt được phản ứng nhiệt hạch liên tục và trong phòng thí nghiệm, không thể dùng bom phân hạch kích nổ. Khó khăn của trung tâm nhiệt hạch có kiểm soát nằm trong việc giam giữ nhiên liệu hạt nhân nhiệt độ cao cần thiết cho quá trình nhiệt hạch trong một khoảng thời gian dài cho phép phản ứng diễn ra. Để đạt được phản ứng nhiệt hạch sử dụng đồng vị deuterium và tritium của hydro, thời gian này là 0,1 giây. Nhiệt độ này, nhiên liệu không còn trạng thái vật chất bình thường mà trở thành một plasma (ion hóa) chứa hạt nhân electron và nguyên tử mang điện tích. Cho đến nay, chưa có vật liệu nào có thể chứa hạt nhân phản ứng nóng. Vì vậy các thí nghiệm hiện tại dựa trên các thu thập tính toán và thực nghiệm plasma, sử dụng tia laser để tạo ra một bình chứa bằng từ trường. Một phương pháp khác là sử dụng chùm tia laser nhằm vào các "pellet" nhỏ bé của nhiên liệu nhiệt hạch.

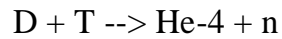
## 6.5 Các phản ứng nhiệt hạch

### 6.5.1 Phản ứng nhiệt hạch mặt trời, chu kỳ P-P

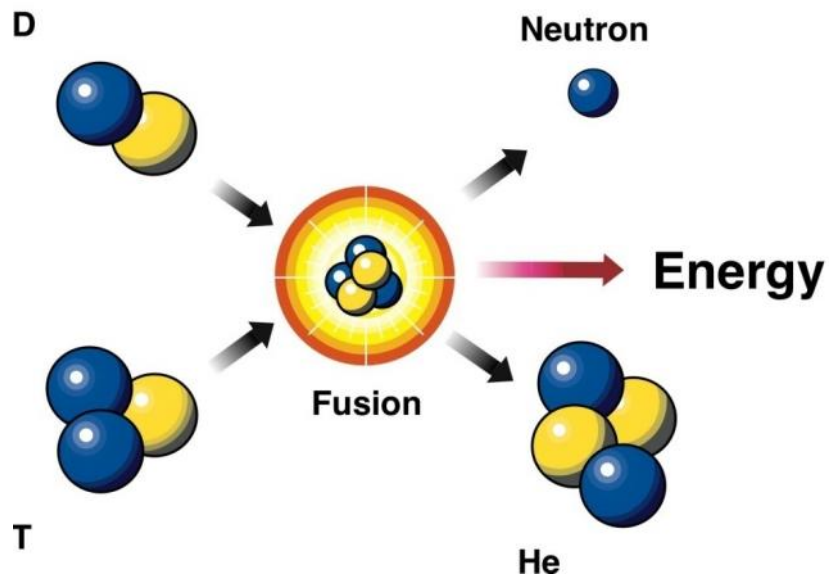
Chu kỳ proton – proton là chuỗi phản ứng hạt nhân diễn ra trên mặt trời và các vì sao. 2 hạt proton kết hợp thành 2 deuterium. Một deuterium kết hợp với 1 proton tạo thành helium-3. Hai nguyên tử helium-3 kết hợp thành beryllium-6. Nguyên tử

này không bền vững và phân hủy thành 2 proton và 1 hạt alpha (helium-4). Quá trình này cũng giải phóng 2 neutrino, 2 positron và các tia gamma. Các positron nhanh chóng bắt cặp với các electron trong plasma, giải phóng thêm năng lượng dưới dạng các tia gamma. Các neutrino tương tác yếu nên chúng thoát khỏi mặt trời ngay tức khắc.

### 6.5.2 Phản ứng D – T



Phản ứng Diteurium – Tritium có tốc độ phản ứng cao nhất tại nhiệt độ của plasma hiện nay đã đạt được. Sản phẩm của phản ứng này gồm 1 hạt alpha (helium-4) với năng lượng 3.5 MeV, và 1 neutron với năng lượng 14.1 MeV. Neutron không mang điện tích thoát khỏi plasma và có thể dễ dàng xuyên thấu vỏ và đi sâu vào lõi để tạo ra phản ứng  $[n + Li-6 \Rightarrow He-4 + T]$  nhằm biến neutron thừa thành tritium.



Phản ứng nhiệt hạch có kiểm soát đang thành công sát r t nhiệt độ thu n l i v m t ngu n n ng l ng so v i phân h ch. Deuterium có t o ra khá d dàng vì hydrogen có trong nước và có thể dễ dàng phân tách bằng điện phân, nên gần như nhiệt độ so với các phản ứng phân tách Uranium-235 phức tạp và tốn kém.

Phản ứng nhiệt hạch dựa trên cơ sở hợp nhất các hạt nhân nhẹ như các nguyên tử hydrogen (deuterium và tritium) giải phóng năng lượng, giống như năng lượng của mặt trời và các vì sao.

Khó khăn nằm trong việc ngăn và hợp nhất các nguyên tử hydro. Trên trái đất, vì vậy này xảy ra vì nhiệt độ trên 100 triệu độ, hơn 6 lần nhiệt độ trung tâm mặt trời. Đây là một bài toán phức tạp nhưng không phải là không thể thực hiện. Nhiệt độ cao như vậy, nguyên tử khí bắt đầu loại bỏ các electron bên ngoài, làm cho hạt nhân mang điện tích dương. Khí này gọi là plasma; Do mang điện tích nên nó có thể chứa mặt trời bên trong, ngay cả nhiệt độ rất cao. Nhiệt độ tăng mạnh thì sẽ tạo ra phản ứng mạnh mẽ và bắn ra tia hydrogen giàu neutron giúp hỗ trợ phản ứng nhiệt hạch có thể xảy ra.

Vì không thể có lịch sử diễn tiến như trên mặt trời, nên để đạt nhiệt độ trên 100 triệu độ C, để mặt trời áp lực lớn biến đổi nhiên liệu deuterium và tritium thành

plasma, tức là bị ion hoá. Các hạt plasma sẽ hợp nhất để tạo thành heli và các neutron tốc độ cao, đồng thời giải phóng một lượng năng lượng vô cùng lớn.

## 6.6 Nhiên liệu cho phản ứng nhiệt hạch

Hiện nay, nguyên liệu cho các phản ứng hợp hạch là đồng vị hydrogen luôn có sẵn trong khí quyển. Thêm vào đó sẽ không có các sản phẩm phóng xạ. Deuterium và tritium đều là đồng vị nặng của hydrogen (deuterium được rút ra từ nước, và tritium được sản xuất từ lithium, một kim loại nhẹ có khoảpmi trên thế giới). Một kilogram nhiên liệu như vậy có thể sản ra năng lượng tương đương với 10.000 tấn nhiên liệu hoá thạch.

### **Deuterium** (2H. Neutrons: 1. Protons: 1)

Deuterium, còn gọi là hydrogen nặng, là một đồng vị nặng của hydrogen với 1 neutron có trong tự nhiên 1/6500 so với hydro. Hạt nhân của deuterium, gọi là deuteron, chứa 1 proton và 1 neutron trong khi hạt nhân hydrogen bình thường chỉ có 1 proton.

Ký hiệu hóa học của deuterium là 2H. Tuy nhiên ký hiệu không chính thức D thường được sử dụng như h. Deuterium xuất hiện trong tự nhiên dưới dạng khí deuterium, ký hiệu là 2H<sub>2</sub> hoặc D<sub>2</sub>. Khi liên kết với một nguyên tử 1H thông thường, khí này được gọi là hydrogen deuteride.

Deuterium phản ứng gần như hydrogen bình thường. Tuy nhiên vì có khối lượng nguyên tử lớn hơn nên các phản ứng có deuterium tham gia có chỉ số hiệu suất cao hơn so với các phản ứng với hydrogen thông thường. Hai chất đồng vị này có thể phân biệt về mặt lý bằng phương pháp mass spectroscopy.

Deuterium có thể thay thế hydrogen thông thường trong các phân tử để tạo thành nước nặng (D<sub>2</sub>O). Mặc dù không độc hại, nước nặng có thể gây ra bệnh tim.

### **Tritium** (tritium, triton. Symbol: 3H. Neutrons: 2. Protons: 1)

Tritium có ký hiệu 3H nhưng thường được dùng để ký hiệu không chính thức T, là một đồng vị phóng xạ của hydro. Hạt nhân của tritium (đôi khi được gọi là triton) chứa 1 proton và 2 neutron so với chỉ 1 proton của hydrogen thông thường. Tritium tồn tại dưới dạng khí dễ cháy và áp suất thông thường. Tritium kết hợp với oxygen để tạo thành một chất lỏng gọi là nước tritium (tritiated water?), ký hiệu T<sub>2</sub>O, hoặc nước tritium một phần THO, gọi ngắn gọn là nước nặng.

Tritium là chất phóng xạ có chu kỳ bán rã ngắn, 12,32 năm. Nó phân rã thành helium-3 và giải phóng 18.6 keV năng lượng. Điều này có nghĩa là trung bình 6.5 keV, trong khi năng lượng còn lại bị các điện tích phản neutron (electron antineutrino) chỉ một phần nhỏ theo cách chia sẻ thích hợp. Bởi vì năng lượng phát xạ beta của tritium không thể đo được qua da, vì vậy tritium chỉ nguy hiểm qua đường hô hấp hoặc tiêu hóa.

Tritium xuất hiện trong tự nhiên do các tia vũ trụ tác động với khí quy n. Phản ứng quan trọng nhất tạo ra tritium tự nhiên là khi một neutron nhanh tác động với nitrogen trong khí quy n.

Tuy nhiên, vì có chu kỳ bán rã ngắn, tritium được tạo ra theo cách này không tích lũy qua các giai đoạn địa chất và trở lại tự nhiên vì thời gian sống không đáng kể. Tritium nhân tạo được sản xuất trong các lò phản ứng hạt nhân qua việc làm phóng xạ / hóa neutron lithium-6.

Một hạt nhân nguyên tử, cấu thành bởi các proton và neutron, liên kết với nhau bởi lực tương tác mạnh. Tuy nhiên, khi nguyên tử được ion hóa và áp dụng điện trường (như trong tâm Mặt trời), sự va chạm ngẫu nhiên của chúng có thể vượt qua lực liên kết nói trên và liên kết với nhau để cho lực hạt nhân làm chúng hợp nhất thành một nguyên tử mới. Vì tritium có cùng liên kết với hydrogen, nó cũng có một liên kết liên kết tương tự. Tuy nhiên, do khối lượng nguyên tử của hydrogen, nó ít bị tác động bởi lực liên kết này và vì thế dễ dàng phân rã thành các nguyên tử khác.

Tổng cộng lại với deuterium. Đây cũng là lý do vì sao nhiệt độ ngôi sao không thể cháy hydrogen mà thay vào đó là deuterium.

Trở lại tritium trên thế giới, trước khi các vụ thử nghiệm vũ khí hạt nhân (atmospheric nuclear weapons tests) bùng nổ, mức tính khoảng 80 megacuries (MCi).

Giống như hydrogen, rất khó chứa tritium vì nó có thể thấm qua cao su, nhựa hay thậm chí kim loại thép. Ngoài ra cần chú ý đến tritium được sản xuất từ khí liên kết, nhất là trong các lò phản ứng hạt nhân, nó có thể gây ra ô nhiễm phóng xạ.

## 6.7 Tokamak

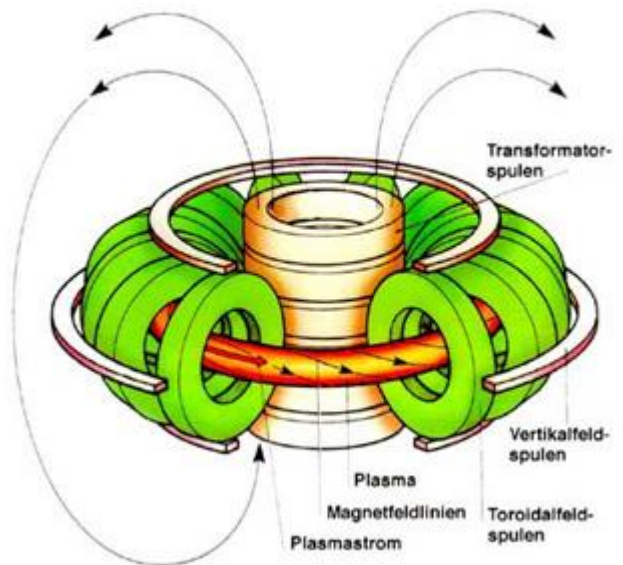
Phản ứng nhiệt hạch diễn ra trên các hợp nhất các hạt nhân nhẹ như các đồng vị hydro (deuterium và tritium) để giải phóng năng lượng, giống như năng lượng của mặt trời và các vì sao. Khí plasma nóng của các đồng vị hydro được đun nóng đến 100 triệu °C và được giam giữ trong một giây. Hạt nhân của hai đồng vị hydro, deuterium (D) và tritium (T), va chạm và kết hợp để tạo ra hạt nhân Heli (He) và bắn ra các hạt neutron (n) do vậy năng lượng của phản ứng là 17.6 MeV (2.8 pJ). [phản ứng tổng hợp:  $(D + T \rightarrow {}^4\text{He}(3.5 \text{ MeV}) + n(14.1 \text{ MeV}))$ ]. Thu và bị ion hóa các hạt neutron này thành nhiệt để tạo ra năng lượng điện để duy trì phản ứng.

Khó khăn nằm trong việc giam giữ và hợp nhất các nguyên tử hydro. Trên trái đất, vì các nguyên tử này chuyển động với nhiệt độ trên 100 triệu °, nên lực liên kết trung tâm mặt trời. Đây là một bài toán phức tạp nhưng không phải là không thể thực hiện. Nhiệt độ cao như vậy, nguyên tử khí bắt đầu mất đi các electron bên ngoài, liên kết nhân mang liên kết

đông. Ám khí này gọi là plasma; Do mang điện tích nên nó có thể chứa magnetron bên trong, ngay cả nhiệt độ rất cao. Nhiệt độ này làm các hạt của plasma trở nên nóng và bắn ra tia hydro giàu neutron giúp hình thành nhiên liệu có thể xảy ra.

Tokamak là một loại máy sản sinh ra từ trường hình xuyến (toroidal) chứa plasma.

Thí nghiệm gây ra phản ứng tổng hợp hạt nhân và năng lượng khổng lồ ra khỏi lõi của nó. Vấn đề là các cuộn dây siêu dẫn của tokamak này sẽ nóng tới mức không thể vận hành được nếu không có hệ thống làm mát.



Đặc trưng của tokamak là tính xoắn (hay xoắn pha) và vì vậy dòng plasma trở nên xoáy (the use of the plasma current to generate the helical component of the magnetic field necessary for stable equilibrium). Không giống stellarator, một thí nghiệm hình xuyến (toroidal magnetic confinement) khác có thể xoắn pha riêng lẻ / rời rạc (discrete) trong suốt chu kỳ vận hành của dây bên ngoài vì một dòng điện nhỏ / không đáng kể (negligible) chảy qua plasma.

Hình dạng của lõi plasma hình xoắn ốc (helical) càng phức tạp càng tốt. Hình xuyến có tính chất hình học mà các hình dạng khác, như hình cầu, không có. Vấn đề này liên quan tới thí nghiệm "hairy ball". Tốc độ quay của lõi plasma có tốc độ xung quanh, tương tự như các đường sức từ (magnetic field lines) trong lõi plasma phức tạp. Nếu ta thử đứng không chắc chắn trên quả cầu mà không làm cho tóc đứng lên / mọc vào nhau (stick up). Hình ảnh này (A strand of hair that is standing on end) trở nên bất ổn trong lõi plasma. Một hình xuyến "có tóc" giúp quy định vận hành này, giúp cho việc duy trì từ trường tránh các trường hợp sai lệch, cho phép từ trường chứa plasma ổn định.

Trong vật lý, từ trường là một thực thể cơ bản sinh do các vật mang điện (các dòng điện) di chuyển dọc trên các vật mang điện khác. Spin theo cách lượng tử (quantum-mechanical spin) của magnetron và từ trường này tác động như thể nó là một dòng điện (acted on by them as though it were a current).

Điều này giúp thích các từ trường của các nam châm vĩnh cửu / nam châm vĩnh cửu (permanent ferromagnets). Từ trường là một trường vector (vector field): nó kết hợp với

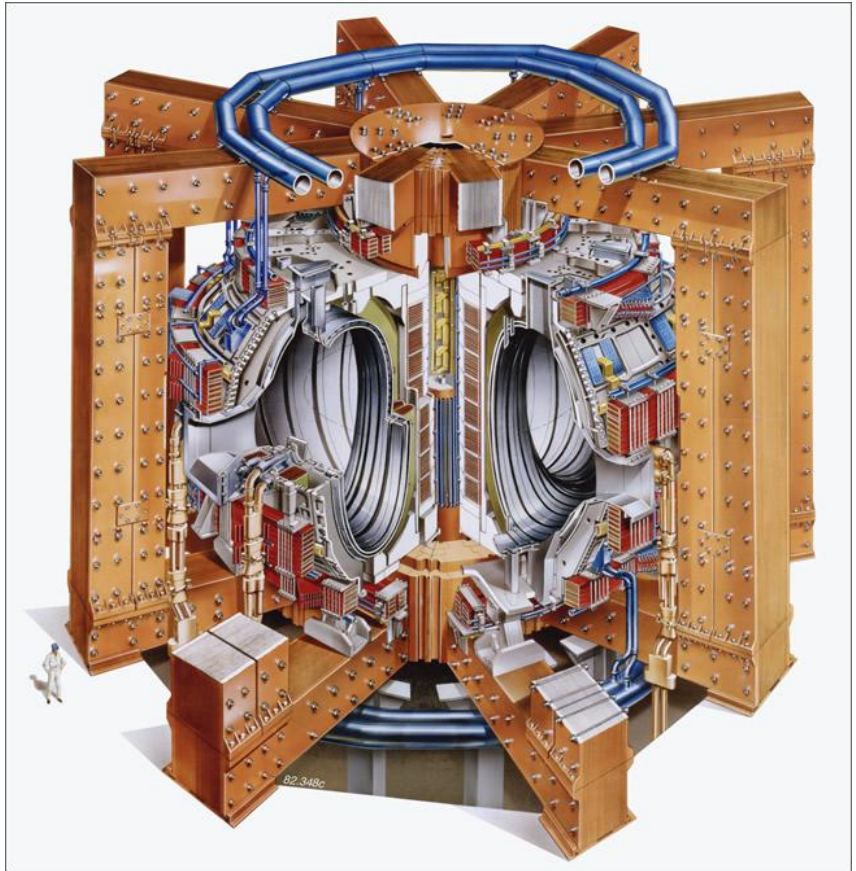
m i i m trong không gian t o thành 1 vector có th thay i theo th i gian. H ãng c a tr ãng vector này là h ãng cân b ãng c a kim la bàn t trong tr ãng.

## 6.8 M t s lò ph n ãng nhi t h ch

### 6.8.1 JT-60

JT-60 (Japan Torus – 60) là công trình m i nh n c a ch ãng trình nhi t h ch t tính (magnetic fusion program) Nh t B n, do Viên Nghiên c u n ãng l ãng nguyên t Nh t B n JAERI (Japan Atomic Energy Research Institute) th c hi n trong khu nghiên c u nhi t h ch Naka t i Ibaraki. JT-60 ãng gi k l c v nhi t c a ion lên t i 520 MK. JT-60 là m t c máy tokamak c thù, gi ãng nh JET.

Theo Naoyuki Miya, giám c JT-60 c a khu nghiên c u n ãng l ãng nhi t h ch Naka, thi t b tr giá 2 t usd c a h 520 tri u °C ã t o r a n ãng l ãng nhi u h n 25% m c tiêu th m i phút. B c t i n v t b c này ã thuy t ph c c nh ãng ãng i còn hoài ãng hi v tính kh thi c a n ãng l ãng nhi t h ch. Nh ãng ãng i ãng h ãng a s t ãng liên t c c a giá d u, môi tr ãng ãng ãng càng ô nhi m, ãng ãng leo thang h t nhân làm lu n c thúc y v i c thi t k m t h th ãng I t e r l n h n, m nh h n ãng ãng l p t c t n n móng s phát tri n toàn ãng ãng các nhà máy ãng l ãng nhi t h ch.



### 6.8.2 START

START (Small Tight Aspect Ratio Tokamak) là thí ãng i m nhi t h ch nguyên t s ã ãng máy tokamak b t u t n m 1991 t i Trung tâm khoa h c Culham (Culham Science Centre), Anh qu c và k t thúc n m 1998 tr c khi c tháo g và chuy n t i Phòng thí ãng i m ENEA t i Frascati, Italy. Nhóm nghiên c u START sau ó th c hi n thí ãng i m nhi t h ch MAST cho ãng n nay.



START giống tokamak cao nhất vì áp dụng plasma, thu được bằng cách sử dụng súng bắn tia trung tính (neutral beam injector) làm nóng plasma. START có thiết kế vì chi phí thấp, nhưng lắp ráp tất cả linh kiện mà các thành viên của nhóm nghiên cứu đã có sẵn. Máy tokamak có thay đổi hình xuyên thành hình gần như hình cầu nhưng giảm chi phí so với thiết kế thông thường.

### 6.8.3 MAST

MAST (Mega Ampere Spherical Tokamak) là thí nghiệm nhiệt hạch nguyên tử thế hệ tiếp theo Trung tâm khoa học Culham, Anh quốc, từ năm 1999, tiếp theo các thành công của thí nghiệm START (1991 – 1998). MAST có cấu trúc tokamak hình cầu với tính năng START. Hoạt động của MAST sẽ vượt quá các ngưỡng toán học quan trọng, chứng minh cho các kết quả đã đạt được của START với thí nghiệm lần đầu tiên và có mục đích khác.

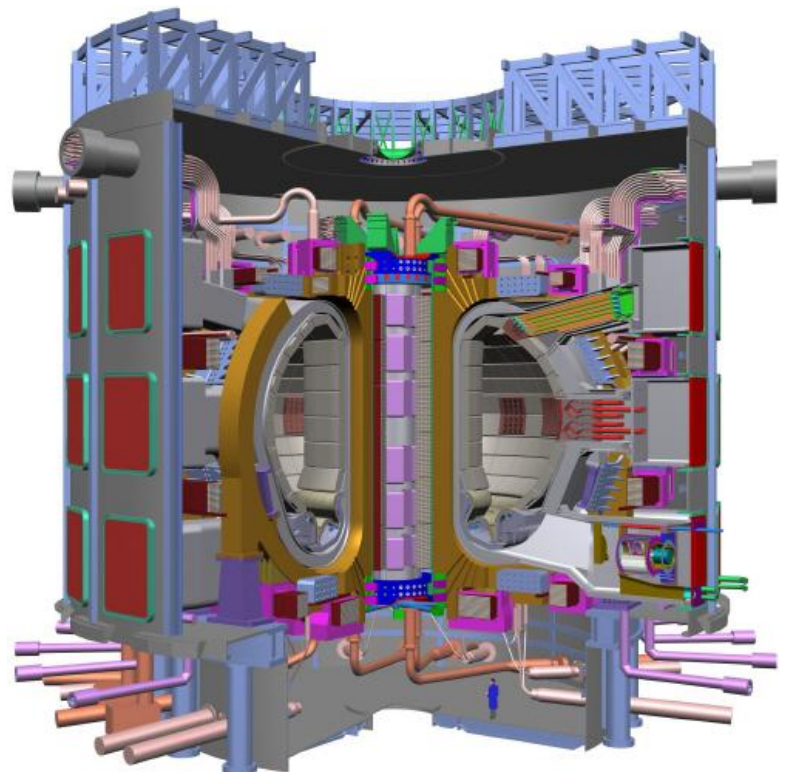
Các thế hệ tiếp theo của EURATOM/UKAEA, MAST, từ năm 2002 thiết kế và năm xây dựng, gồm máy súng bắn tia trung tính (neutral beam injector) và sử dụng kỹ thuật nén hợp nhất (merging compression technique) giống START thay cho kỹ thuật cảm ứng trực tiếp thông thường (conventional direct induction).

Kỹ thuật nén hợp nhất (merging compression) cho phép từ trường central solenoid flux, có thể dùng để dòng plasma và/hoặc duy trì dòng điện cần thiết (required current flat-top). Mục tiêu của MAST là hiểu rõ các đặc tính của tokamak, để thử nghiệm thiết kế cho ITER hay hiểu các đặc tính của hình dạng plasma.

### 6.8.4 ITER

Tokamak ITER là thí nghiệm lần đầu tiên cùng thời kỳ mà nhà máy điện nhiệt hạch chính thức xây dựng trên thế giới. Dự án này không có tham vọng gì quy mô các vấn đề năng lượng của trái đất, nhưng nó sẽ chứng minh rằng có thể sản xuất các loại năng lượng rất lớn xuất phát từ phản ứng tổng hợp hạt nhân “nhiệt hạch”.

ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) là một chương trình thí nghiệm tokamak quốc tế tại Pháp. Lò phản ứng ITER có thiết kế chung tính khả thi xét trên phương diện khoa học công nghệ kỹ thuật của một lò phản ứng nhiệt

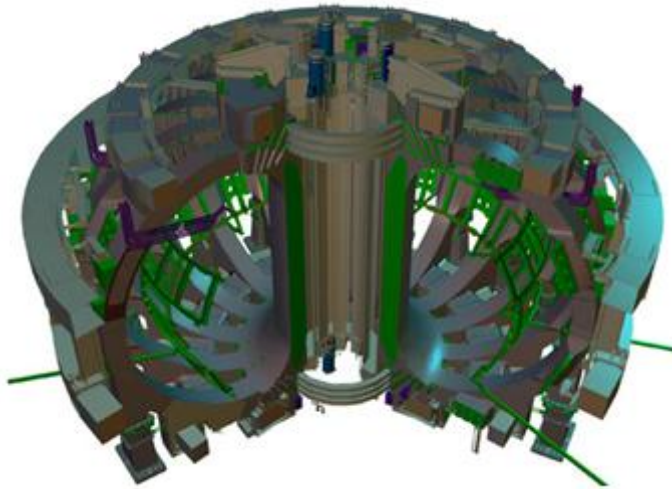


lĩnh vực nghiên cứu hoàn chỉnh, dựa trên các nghiên cứu đã thực hiện với các thí nghiệm TFTR, JET, JT-60, và T-15, nhằm quy mô lớn nhất trên thế giới. Công trình có độ dài 30m, gồm 10m xây dựng và 20m hoạt động, với chi phí ước tính khoảng 10 tỷ euro. Sau nhiều năm cân nhắc, vào tháng 5/2005, ITER được xác định xây dựng tại Cadarache, France. Cái tên ITER theo tiếng Latin có nghĩa là “con đường”, thể hiện ý nghĩa của công trình nhằm kết nối các quốc gia khai thác năng lượng hạt nhân một cách bền vững.

Nếu được xây dựng, ITER sẽ là một kỹ thuật đột phá. Với quy mô lớn nhất hiện nay của các thí nghiệm tokamak hiện có, ITER sẽ là cỗ máy ưu tiên các thí nghiệm tokamak tiên tiến nhất. Về mặt kỹ thuật, nó có thể đạt công suất 110MW năng lượng nhiệt, tức là khoảng 10% sản lượng của một nhà máy điện hạt nhân. Công trình không những là một thí nghiệm có đường kính khoảng 25m, cao 11m và nặng gần 9 ngàn tấn. Hoạt động, 31 viên nam châm siêu dẫn, nặng 750 tấn mỗi viên, sẽ được làm lạnh tới -269° (điểm 0) chỉ trên 4° so với 0 tuyệt đối. Trong khi đó, cách vách 2m, plasma sẽ đạt tới 100 triệu độ.

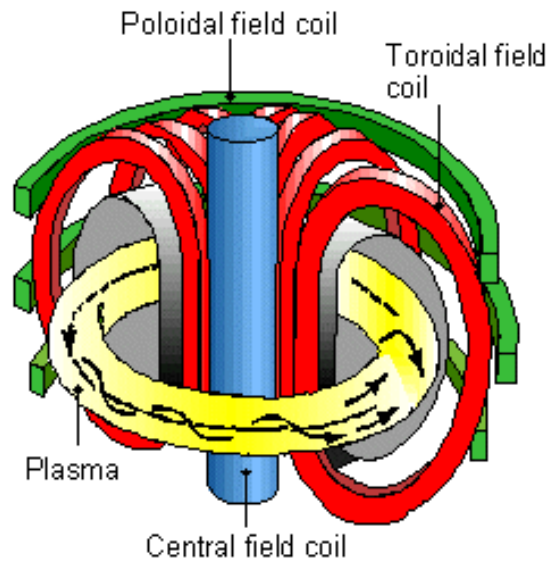
### Chức năng và phân bố trong ITER

#### Bộ phận tổng thể



chức năng chính là giam giữ các ion tích điện plasma. Hệ thống này tạo ra một từ trường với cường độ  $B=11,8$  Tesla (gấp 200.000 lần từ trường của trái đất) và tạo ra một năng lượng từ trường  $W_m=41$  GJ. Hệ thống từ trường Poloidal bao gồm 6 cuộn dây siêu dẫn đặt bên ngoài cấu trúc Toroidal với chức năng giam giữ plasma cách xa thành buồng và góp vào dòng plasma nóng. T

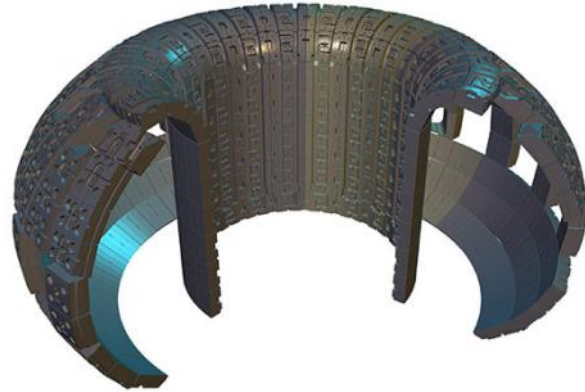
Bộ phận này hoạt động hiệu quả và giảm thiểu các nguy cơ tiêu dùng bằng cách hạ nhiệt độ xuống -269°C giảm thiểu các thành phần nam châm xuống rất thấp. Bao gồm hai hệ thống từ trường: từ trường Toroidal và từ trường Poloidal. Hệ thống từ trường Toroidal có kích thước rất lớn gồm 18 thanh nam châm siêu dẫn, với



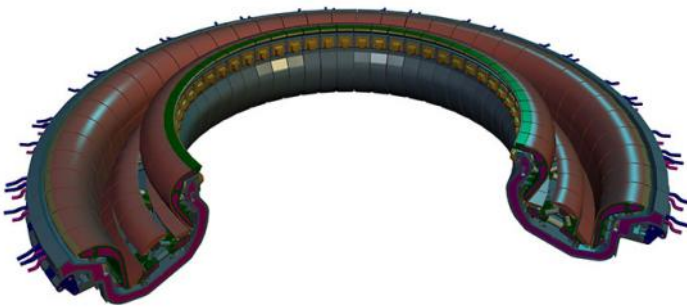
trường Poloidal các cuộn dây nam châm và dòng điện trong plasma.

### Buồng phản ứng

Gồm 440 mảnh (1m x 1,5m) ghép với nhau, khối lượng tổng cộng là 4,5 tấn. Buồng phản ứng có tác dụng tránh sự va đập của các neutron năng lượng cao trong phản ứng nhiệt hạch. Trong buồng phản ứng này, neutron làm chậm lại do dòng neutron chuyển thành nhiệt năng, và được thu lại bằng chất lỏng làm nguội. Phản ứng nhiệt hạch thu nhận các sản phẩm dạng chày máy phát điện.



### Divertor



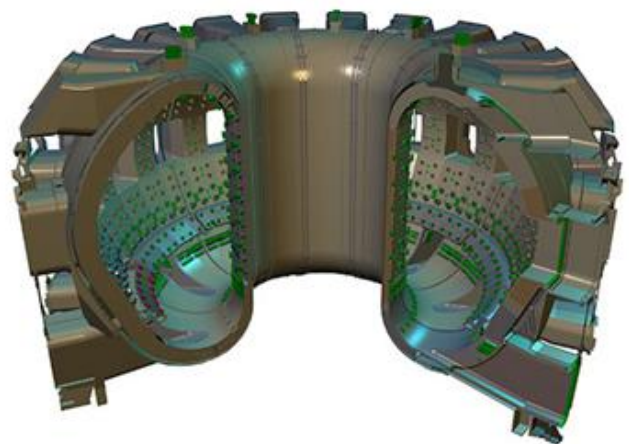
Bộ phận này được đặt dọc theo đáy buồng chân không có chức năng khép kín các cuộn dây từ. Chính vì vậy các hạt không bị giam giữ trong dòng plasma không va đập vào thành buồng phản ứng mà sẽ va đập vào divertor. Divertor khi bị bắn phá sẽ sinh ra tạp chất neutron phía đáy buồng, do áp suất vùng này cao hơn

nên có thể dùng bơm chân không hút tạp chất ra khỏi buồng. Nguyên thì divertor cũng có chức năng trích lọc neutron và Heli từ phản ứng nhiệt hạch.

Divertor làm từ vật liệu chịu nhiệt: hợp chất Tungsten và silicon cacbon.

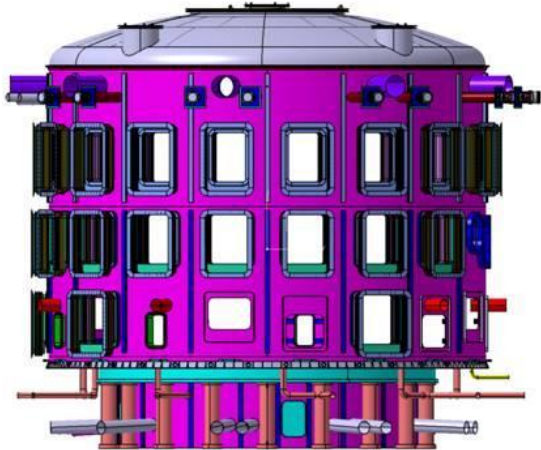
### Buồng chân không

Bộ phận này có chức năng tạo môi trường chân không cao với áp suất nhỏ hơn 1 triệu lần áp suất khí quyển, tạo môi trường sạch có thể duy trì dòng plasma trong thời gian dài. Nếu buồng phản ứng có lỗi tạp chất thì nhiệt của dòng plasma sẽ bị giảm nhanh và dòng plasma sẽ ngừng ngay lập tức.



t n chân không c n thi t ph i dùng b m hút chân không liên t c trong kho ng 2 ngày.

### Bu ng l nh

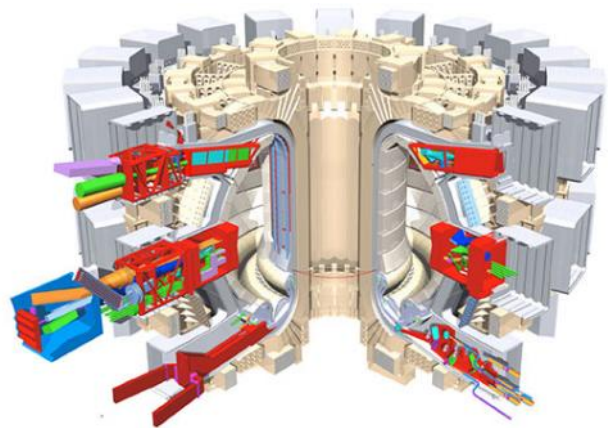


Bao quanh bu ng chân không và nam châm siêu d n.

Kích th c: cao 31m, r ng 37m. T o ra nhi t c c th p và m i tr ng chân không. H th ng này bao g m hai vách t ng tâm v i r t nhi u ô ng kính 4m, hai vách này c k t n i v i nhau b ng nh ng thanh ngang và ng. Vùng không gian gi a hai vách ch a khí Heli.

### H th ng i u khi n và o c

G m 50 h o l ng giúp i u khi n, o c, ánh giá s ho t ng c a plasma (Laser, tia X, camera quan sát n tron, thi t b o m c t p ch t, ph k h t, o b c x Bolomet, phân tích áp su t, khí, s i quang h c, ...).



### Tính an toàn c a ITER

Trái v i nh ng trung tâm h t nhân hi n th i, s ch y quá t i c a các ph n ng h t nhân v c n b n là không th c i v i m t ph n ng t ng h p h t nhân. Thi t b ITER và nh ng thi t b n i ti p nó s không th có nguy c x y ra tai n n nh ki u Checnobyl (Ukraina). Vòng nam châm c c l n c a ITER ch ch a có vài gam ch t cháy (c a deuterium và c a tritium) trong m t dung tích h n 800m<sup>3</sup>. Các ph n ng t ng h p h t nhân không th x y ra n u nhi t c a gaz ã ion hoá, plasma là khá cao. Vì m t lý do này hay m t lý do khác, s cân b ng bên trong c a vòng b phá v , thì plasma ch có th t ngu i l nh m t cách nhanh chóng làm ng ng ngay l p t c các ph n ng t ng h p h t nhân. Nh ng ràng bu c duy nh t c a ph n ng t ng h p h t nhân liên quan n các nguyên t c phòng l i các phóng x do s phát ra c a các neutron n ng l ng r t cao và do s hi n dĩ n c a neutron

s n sinh ra các tia phóng x . Bù l i, lò ph n ng không nguy hi m cho môi tr ùng c ùng nh ãn c ùng xung quanh.