

TỔNG HỢP HẠT NHÂN: Nguồn năng lượng của tương lai

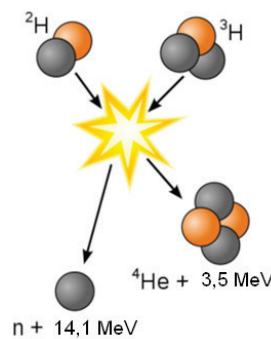
GS Cao Chi

Các nhà vật lý hạt nhân đã tiến đến gần thời điểm có thể chế ngự một nguồn năng lượng sạch hầu như vô tận - năng lượng tổng hợp hạt nhân trong tương lai gần (2030-2035). Phản ứng tổng hợp hạt nhân đang được xem là nguồn năng lượng của tương lai khi mà nó có thể giải quyết đồng thời hai vấn đề nóng của nhân loại: biến đổi khí hậu và bảo đảm năng lượng bền vững trong nhiều triệu năm.

Nguyên lý của tổng hợp hạt nhân

Năng lượng tổng hợp hạt nhân dựa trên nguyên lý của nhà bác học vĩ đại Albert Einstein. Phản ứng tổng hợp hạt nhân là hai nhân hợp lại với nhau thành một nhân nặng hơn, trong quá trình hợp nhất phóng thích ra năng lượng khổng lồ. Còn phản ứng phân hạch hạt nhân là sự phân rã hạt nhân phóng thích năng lượng, cùng các tia alpha, beta, gama... Phản ứng tổng hợp hạt nhân phóng thích năng lượng tùy thuộc vào khối lượng của hạt nhân tham gia, ví dụ: những nguyên tử nhẹ hơn sắt và nickel tổng hợp hạt nhân thì phóng thích năng lượng, trong khi các nhân nặng hơn thì hấp thu năng lượng.

Dưới đây là một phản ứng tổng hợp hạt nhân:



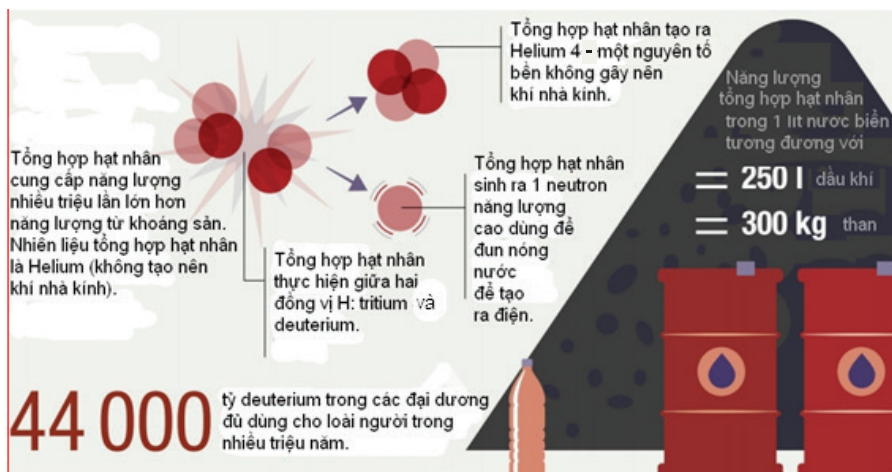
Hình 1. Phản ứng tổng hợp hạt nhân cho năng lượng.

H2 (deuterium) + H3 (tritium) → H4 (Helium4) + n (neutron). Phản ứng trên viết lại theo ký hiệu thường dùng: ${}^2_1\text{D} + {}^3_1\text{T} \rightarrow {}^4_2\text{He}$ (3,5 MeV) + n (14,1 MeV). Nếu thực hiện được phản ứng tổng hợp thì chúng ta thu được năng lượng.

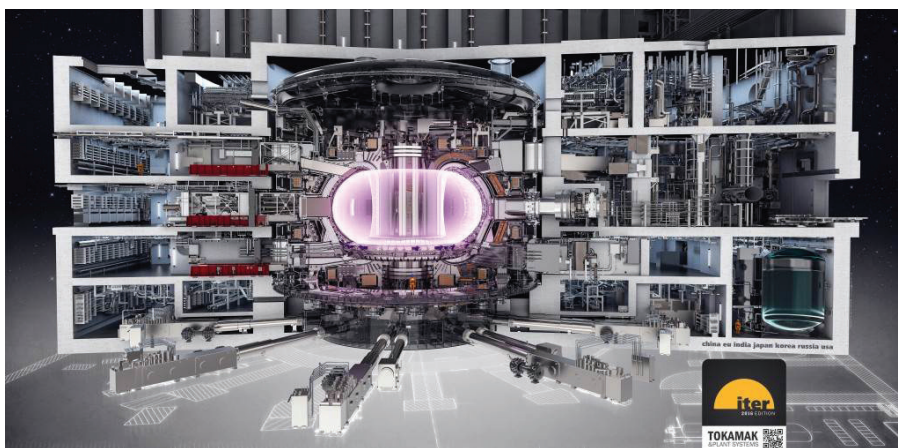
Muốn có được tổng hợp hạt nhân phải làm 2 hạt nhân ban đầu xích lại gần nhau ở khoảng cách $\sim 10^{-14}$ m. Sau đó cần có động

năng cực kỳ lớn cho các hạt nhân vượt qua tương tác đẩy Coulomb giữa chúng mà va vào nhau.

Để làm được điều này cần một nguồn năng lượng rất lớn, phải tạo ra nhiệt độ cao trên 100 triệu độ (nóng gấp khoảng 10 lần tâm của Mặt trời). Ở nhiệt độ cao như vậy, nguyên tử khí bị “tuột” ra khỏi các electron bên ngoài, để lại hạt nhân mang điện tích dương. Đám khí này gọi là plasma. Do mang điện tích nên nó có thể chứa từ trường bên trong, ngay cả ở nhiệt độ rất cao. Nhiệt độ đạt đến mức cần thiết sẽ tạo ra từ trường đủ mạnh và bắn ra tia hydro giàu neutron, giúp hiện tượng nhiệt hạch xảy ra. Vì thế người ta còn gọi đây là phản ứng nhiệt hạch. Với những lò phản ứng thông thường, thành của lò không thể chịu được nhiệt độ cao như vậy nên người ta phải dùng từ trường



Hình 2. Tổng hợp hạt nhân cung cấp nhiều năng lượng hơn tất cả.



Hình 3. Hệ thống Tokamak của ITER được lắp đặt với khoảng 1 triệu bộ phận.

để giam giữ plasma.

Phản ứng nhiệt hạch là cơ sở để chế tạo bom khinh khí hay bom H, đồng thời cũng là cơ sở để xây dựng lò phản ứng nhiệt hạch. Tổng hợp hạt nhân giải phóng 17,6 MeV (hình 1), với năng lượng lớn gấp nhiều triệu lần năng lượng cung cấp bởi các phản ứng sử dụng carbon.

Nhiên liệu để phản ứng tổng hợp hạt nhân là đồng vị Deuterium và Tritium của hydrogen. Các nguyên liệu này có thể tách dễ dàng từ nước biển hoặc tổng hợp với quy mô công nghiệp từ

các nguyên tử hydrogen không mấy tốn kém. Nguồn nhiên liệu hydrogen gần như vô tận trong thiên nhiên. Chỉ cần 1 kg hỗn hợp Deuterium và Tritium (tách từ 1.000 l nước biển), sẽ tạo ra nguồn năng lượng ngang với 1 tỷ tấn dầu mỏ và gấp hàng chục lần so với nhiên liệu phân hạch Uranium, đồng thời sản phẩm khí thải là Helium - một loại khí hiếm, hoàn toàn không gây ô nhiễm môi trường.

Một số lò tổng hợp hạt nhân tiêu biểu

Lò ITER

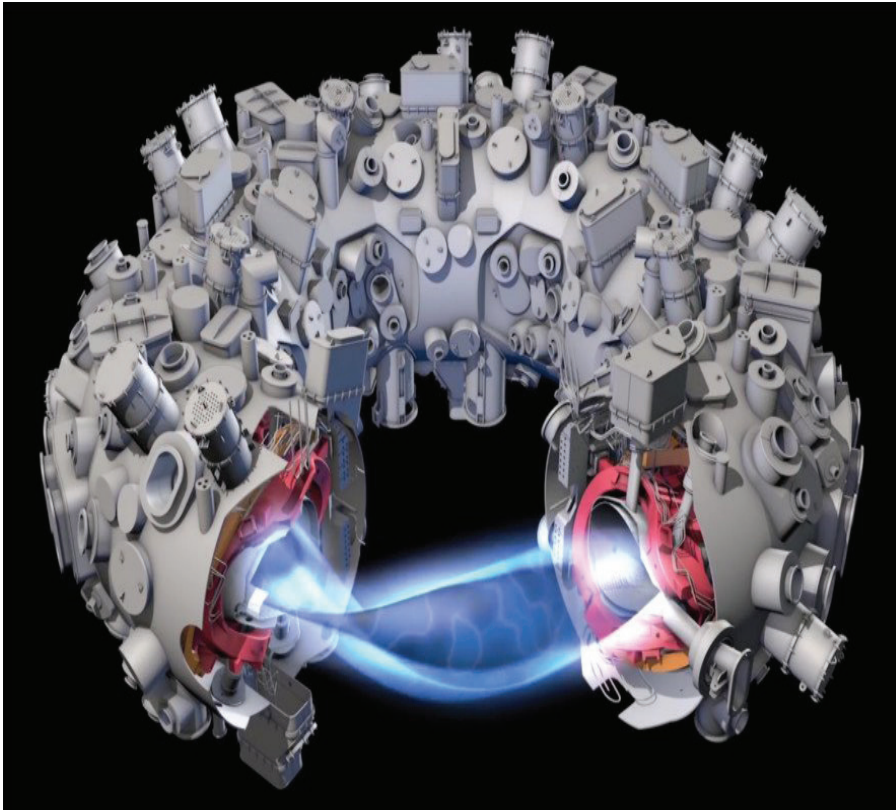
ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) là lò

Tokamak¹ có từ trường lớn nhất thế giới với sức mạnh 5 Tesla (gấp 100 nghìn lần từ trường Trái đất), được xây dựng tại miền nam nước Pháp. Đây là một siêu dự án nghiên cứu và phát triển công nghệ tổng hợp hạt nhân quốc tế, với sự góp sức của 35 quốc gia, chi phí lên tới hàng chục tỷ USD, trong đó vai trò chính thuộc về Liên minh châu Âu, Anh, Thụy Sĩ, Mỹ, Trung Quốc, Nhật Bản, Nga, Ấn Độ và Hàn Quốc. Dự án được kỳ vọng sẽ mở ra kỷ nguyên mới cho việc sử dụng năng lượng nhiệt hạch của loài người. ITER đóng vai trò là nơi thử nghiệm một số công nghệ khác bao gồm sản xuất Tritium, kiểm soát plasma, duy trì quá trình cháy và các nghiên cứu nâng cao khác. ITER cũng sẽ là nơi kiểm tra các tính năng an toàn cần có của các nhà máy điện nhiệt hạch trong tương lai. Những hoạt động đầu tiên của lò ITER được lên kế hoạch vào năm 2025 và hướng đến mục tiêu vận hành phản ứng tổng hợp hạt nhân vào năm 2035.

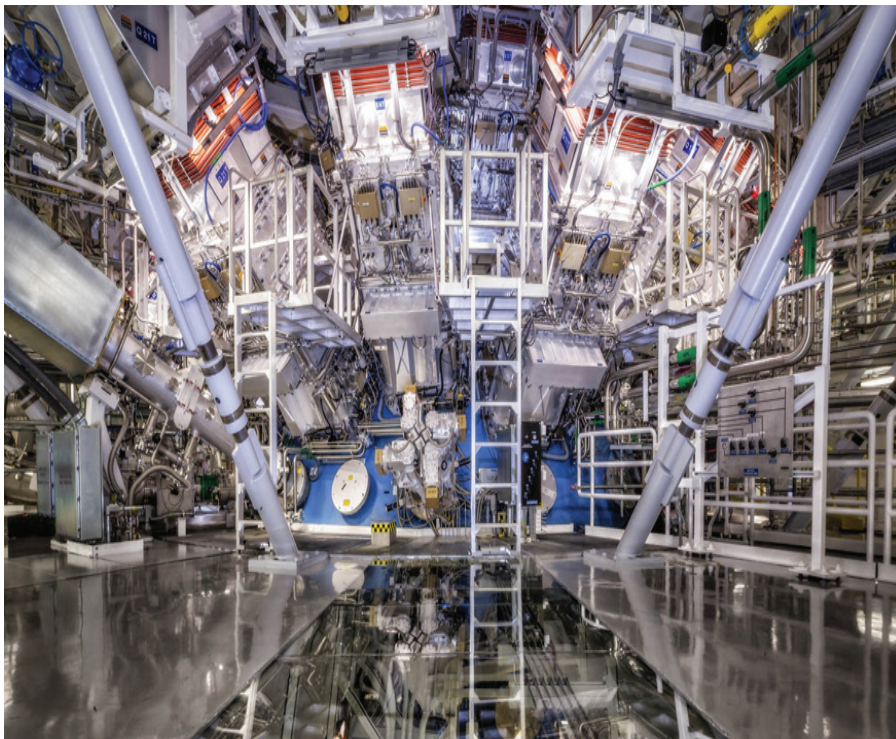
Lò Wendelstein 7-X

Lò phản ứng Wendelstein 7-X (W7-X) là một lò thử nghiệm được Viện Max Planck về vật lý plasma (IPP) xây dựng tại Greifswald, Đức, hoàn thành vào 10/2015 sau 19 năm nghiên cứu, xây dựng, với chi phí hơn 1 tỷ Euro. Đây là lò

¹Hầu hết các nghiên cứu nhiệt hạch đều sử dụng một thiết bị giam giữ từ tính được gọi là Tokamak. Được phát triển lần đầu tiên từ những năm 50 của thế kỷ XX, Tokamak là một buồng chân không hình xuyên sử dụng các nam châm điện mạnh để giam giữ và định hình plasma (Tokamak là viết tắt của tiếng Nga cho “buồng hình xuyên với các cuộn dây từ tính”).



Hình 4. Thiết bị từ trường stellarator của Wendelstein 7-X.



Hình 5. Bên trong Lò phản ứng NIF.

phản ứng tổng hợp hạt nhân dạng stellarator².

Trong lần hoạt động chính thức đầu tiên (12/2014), lò Wendelstein 7-X được lấp đầy bằng khí heli và được nung nóng bằng tia laser 1 triệu độ C. Plasma được sản sinh bên trong lò và duy trì trong vòng 1/10 giây, không quá dài nhưng đủ để chứng minh Wendelstein 7-X hoạt động một cách bình thường. Lần hoạt động tiếp theo (2/2016) là một bước tiến lớn khi các nhà khoa học sử dụng nguồn bức xạ vi sóng với công suất 2 MW để nung nóng khí hydro lên tới 80 triệu độ C trong vòng 1/4 giây (mục tiêu để lò Wendelstein 7-X hoạt động hoàn hảo là tạo ra plasma với nhiệt độ lên tới 100 triệu độ C) và được coi là thành công bước đầu. Mục tiêu cuối cùng của một lò phản ứng nhiệt hạch hoàn hảo là phải duy trì dòng plasma ở nhiệt độ 100 triệu độ C trong thời gian hơn 1.000 giây (khoảng 17 phút).

Lò phản ứng NIF

Đây là dự án kết hợp giữa Phòng thí nghiệm Rutherford Appleton (Anh) và Hệ thống kích hoạt quốc

²Tokamak sử dụng dòng điện để xoắn các electron và ions trong plasma, tạo ra một vòng lặp theo chiều dọc cũng như chiều ngang trong thiết bị có hình chiếc bánh donut. Tuy nhiên do sử dụng điện nên khi gặp sự cố về điện, từ trường cũng sẽ bị phá vỡ và lò phản ứng sẽ bị tổn hại, rất nguy hiểm. Ngược lại, Stellarator tạo ra vòng lặp ngang dọc này bằng chính thiết kế ban đầu của Tokamak, bọc thêm các cuộn dây vào chiếc bánh donut. Tuy nhiên, cách làm này lại khiến Stellarator khó xây dựng hơn Tokamak mặc dù nó có ưu điểm là không cần dùng điện. Nhưng nếu xây dựng thành công, phản ứng sẽ được diễn ra an toàn hơn do từ trường được tạo thành từ các cuộn dây bọc vòng quanh, giữ cho plasma luôn ở bên trong.

gia - NIF (Mỹ). NIF dùng các hạt nhân của Deuterium, Tritium và bắn tia laser để hợp nhất các hạt này còn bằng vài phần trăm kích cỡ ban đầu của chúng. Quá trình này khiến các nguyên tử hydro hợp nhất, biến thành helium - phản ứng tương tự như ở bom H (bom khinh khí). Phản ứng này được kiểm soát và có thể tạo ra các dòng neutron chuyển động nhanh. Chúng có thể được dùng để đun nóng nước và quay tua-bin hơi nước, tạo ra năng lượng.

Mục tiêu của NIF là có thể kích hoạt (phản ứng) trong vài năm tới. Để đạt đến mục tiêu này, nguồn năng lượng tạo ra phải tăng khoảng 1.000 lần. Vì thế, thách thức mà công nghệ này phải đối mặt thật không nhỏ.

Thách thức cần vượt qua

Tham vọng làm chủ nguồn năng lượng nhiệt hạch còn vấp phải nhiều rào cản kỹ thuật. Trong đó, khó khăn lớn nhất là phải tạo ra được plasma với nhiệt độ cao (T), mật độ nhất định plasma (n), lưu giữ được plasma đó trong thời gian nhất định (τ) sao cho tích của 3 thừa số đó vượt một ngưỡng nhất định để tổng hợp hạt nhân có thể xảy ra. Đó là tiêu chí Lawson (đặt theo tên nhà vật lý người Anh J.D. Lawson) cho tổng hợp hạt nhân. Muốn tạo được phản ứng tổng hợp cần có điều kiện:

$$n\tau \geq 3 \times 10^{20} \text{ s} / \text{m}^3$$

$$n\tau T \geq 6 \times 10^{21} \text{ s.keV} / \text{m}^3$$

Hiện nay nhiều lò phản ứng đã

thỏa mãn tiêu chí Lawson.

Bên cạnh đó, tham vọng chinh phục nguồn năng lượng tổng hợp hạt nhân còn gặp phải các thách thức khác như:

Khả năng giam giữ plasma: việc giam giữ plasma bằng từ trường có thể gây ra các hiện tượng rò rỉ, ngoài ra, thời gian giam giữ plasma cũng cần phải đủ dài để cho phép các ion nhận đủ nhiệt lượng cho phản ứng nhiệt hạch. Các thiết bị hiện tại chỉ mới giam giữ được plasma trong khoảng thời gian rất ngắn. Để có thể giam giữ plasma với thời gian lâu hơn, các lò phản ứng cần có kích thước lớn hơn và từ trường mạnh hơn.

Vật liệu lò Tokamak: hiện tại chưa có vật liệu nào đủ tin cậy để chịu được nhiệt độ cực cao và sự bắn phá liên tục của các hạt neutron trong suốt vòng đời của một nhà máy điện. Các vật liệu siêu dẫn ở nhiệt độ cao đang là niềm hy vọng mới trong việc cải thiện khả năng giam giữ plasma của các lò Tokamak.

Sản xuất điện: để tạo ra điện từ lò phản ứng nhiệt hạch, các thiết bị sẽ phải hoạt động ở nhiệt độ rất cao. Do đó, quá trình trao đổi nhiệt sẽ hoạt động như thế nào vẫn còn là một dấu hỏi. Hầu hết các thiết kế hiện tại đều dựa trên ý tưởng một vòng tuần hoàn heli sẽ lấy nhiệt từ tấm chắn liti và truyền động trực tiếp cho tuabin hoặc tạo ra hơi nước trong vòng lặp thứ cấp để làm quay tuabin hơi.

Kết luận

Phương hướng tổng hợp hạt nhân hiện nay đang phát triển mạnh mẽ, mở ra nhiều hy vọng về một phương pháp tạo năng lượng vô cùng tận (cung cấp năng lượng cho nhân loại nhiều triệu năm), không gây khí nhà kính, giải quyết vấn đề biến đổi khí hậu. Nhiều vấn đề công nghệ phức tạp cần phải tiếp tục hoàn thành để biến tổng hợp hạt nhân thành công nghiệp thị trường.

Với quy mô và tốc độ phát triển hiện nay, chúng ta có thể chờ đợi không lâu (khoảng 2030-2035) để chế ngự một năng lượng có một không hai cho loài người - năng lượng tổng hợp hạt nhân ☞

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Vincent Nouyrgat (2020), "Fusion-Enfin les première étincelles", *Science et vie*, 2, p.58.
2. Stephen T. Thornton & Andrew Rex (1993), *Modern Physics*, Saunders College Publishing.
3. Cao Chi (2015), *Vật lý hiện đại*, Tập 2, NXB Tri thức.
4. <https://cvdvn.net/2018/01/16/bao-gio-co-nha-may-nang-luong-nhiet-hach-dau-tien-the-gioi/>.
5. <http://nangluongvietnam.vn/news/vn/dien-hat-nhan-nang-luong-tai-tao/dien-hat-nhan/phan-ung-tong-hop-hat-nhan-nguon-nang-luong-cua-tuong-lai.html>.
6. <http://pecc2.com/Detail.aspx?isMonthlyNew=1&newsID=101473&MonthlyCatID=18>.
7. <https://tinhte.vn/thread/xay-dung-thanh-cong-lo-phan-ung-nhiet-hach-dang-stellarator-lon-nhat-tu-truoc-toi-nay.2521297/>.