

NG D NG PLASMA NHI T CAO TRONG PH N NG NHI T H CH

H c viên: Ph m Th Xuân H nh



I. PH N NG NHI T H CH

Ph n ng nhi t h ch đ a trên c s h p nh t các h t nhân nh nh các ng v hydrogen (deuterium và tritium) gi i phóng n ng l ng, gi ng nh n ng l ng c a m t tr i và các vì sao.



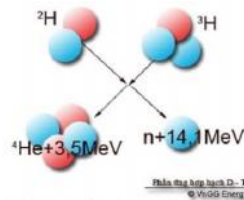
Hình 16.3. Hạt nhân Hydro và Deuterium

H t nhân Hydro c u t o b i l proton.

Deuterium, còn g i là hydrogen n ng, là m t ng v n nh c a hydrogen . Ký hi u hóa h c c a deuterium là ^2H . Tuy nhiên ký hi u không chính th c D. H t nhân c a deuterium, g i là deuteron, ch a l proton và l n tron

Deuterium xu t hi n trong t nhiên đ i đ ng khí deuterium, ký hi u là D_2 . Deuterium ph n ng g n nh hydrogen bình th ng. Tuy nhiên vì có kh i l ng nguyên t l n h n nên các ph n ng có deuterium tham gia có chi u h ng x y ra ch m h n so v i các ph n ng v i hydrogen th ng.

Tritium , là m t ng v phóng x c a hydro. Ký hi u ^3H nh ng th ng c dùng đ i ký hi u không chính th c T H t nhân c a tritium (ôi khí c g i là triton) ch a l proton và 2 neutron. Tritium t n t i th khí đ i nhi t và áp su t thông th ng.



Hình 16.2. Sơ đồ minh họa phản ứng hợp hạch D-T

H t nhân c a hai ng v hydro, deuterium (D) và tritium (T), va ch m và k t h p s hình thành m t h t nhân g m 2 proton và 2 n tron . ây là h t nhân Helium (He) và b n ra các h t neutron (n) t do v i n ng l ng c c l n 17,6 MeV (2,8 pJ).

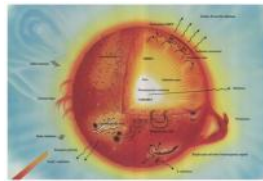
Ph ng trình ph n ng: $(\text{D} + \text{T} \rightarrow 4\text{He}(3,5 \text{ MeV}) + \text{n}(14,1 \text{ MeV}))$.

Nh chúng ta u bi t, trung tâm c a m t tr i là nhà máy c a các ph n ng nhi t h ch. M t tr i nguyên th y là m t kh i Hydro c c l n. Khi co l i, thì nhi t và áp l c c a tâm cao đ n

lên và khi nhiệt độ giá trị lớn, thì Hydro kết hợp và tạo ra Heli. Một phần của năng lượng được giải phóng.

Nhiệt độ trung tâm mặt trời thay đổi trong khoảng từ 10.106K đến 20.106K, trung bình khoảng 15600000 K. Nhiệt độ này vượt quá nhiệt độ không thể giải thích cấu trúc vật chất thông thường của các nguyên tử và phân tử. Nó trở thành plasma trong đó các hạt nhân của nguyên tử chuyển động tách biệt với các electron. Khi các hạt nhân do có va chạm với nhau sẽ xuất hiện những vụ nổ nhiệt hạch. Khi quan sát tính chất của vật chất ngưng tụ trên bề mặt nhìn thấy của mặt trời, các nhà khoa học đã kết luận rằng có phản ứng nhiệt hạch xảy ra trong lòng mặt trời.

Vùng này gọi là nhân hay "lõi" có nhiệt độ chuyển động rất cao, có bán kính khoảng 175.000km, khối lượng riêng 160kg/dm³, nhiệt độ tính từ 14 đến 20 triệu độ, áp suất vào khoảng hàng trăm atm.



Hình 1.5 Cấu trúc của mặt trời.

Neutrino là hạt không mang điện, rất bền và có khả năng xuyên rất lớn. Sau phản ứng các Neutrino lập tức rời khỏi phạm vi mặt trời và không tham gia vào các phản ứng sau đó.

Trong quá trình hình thành, nhiệt độ bên trong mặt trời sẽ tăng dần. Khi vùng tâm mặt trời đạt nhiệt độ $T = 10^7$ K, thì có điều kiện xảy ra phản ứng tổng hợp Heli từ Hydro.

Trên các vì sao và các hành tinh, hydrogen thông thường với hạt nhân chỉ có 1 proton và 1 neutron là nhiên liệu cho các phản ứng và chúng kết hợp để tạo thành helium thông qua một chuỗi phản ứng (nucleosynthesis). Tuy nhiên, phản ứng này diễn ra quá chậm có thể ngưng trên trái đất.

Khi không có các hành tinh như trên Mặt trời, có thể tạo ra điều kiện phản ứng trong một môi trường trên Trái đất bằng cách sử dụng laser (nam châm) để giải phóng nhiên liệu phản ứng trong khí nóng nóng nó bằng nhiệt độ phản ứng. Khó khăn nằm trong việc giải phóng và hấp thụ các nguyên tử hydro. Trên trái đất, thực hiện các phản ứng tổng hợp hạt nhân trên Trái đất, nhiệt độ cần thiết là khoảng 100 triệu độ, hơn 6 lần nhiệt độ trung tâm mặt trời.

Nhiệt độ cao này, nguyên tử khí bị tách các electron ra 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 cần thiết để tạo ra phản ứng tổng hợp hạt nhân khi có các hạt plasma sẽ kết hợp để tạo thành heli và các neutron tốc độ cao, năng lượng giải phóng một phần năng lượng vô cùng lớn giúp hỗ trợ phản ứng tổng hợp hạt nhân có thể xảy ra.

Đây là một bài toán phức tạp mà chúng ta không phải là không thể thực hiện.

Cho đến nay, chưa có vật liệu nào có thể chứa các hạt nhân phản ứng. Vì vậy các thí nghiệm hiện tại dựa trên các thiết bị như lồng từ trường plasma, sử dụng từ trường để tạo ra một bình chứa bằng từ trường (magnetic bottle: môi trường chân không có dòng từ trường mạnh). Dòng từ trường có thể tạo ra bằng kỹ thuật siêu dẫn (superconductivity).

II. CÁC THÍ NGHIỆM VỀ NHIỆT HẠCH

1) Joint European Torus

Máy tokamak JET (Joint European Torus) là lò phản ứng nguyên tử nhân tạo đầu tiên được xây dựng trên thế giới nay. JET được khởi công từ năm 1978 trên nền móng sân bay cũ gần Culham, hạt Oxford, Anh Quốc. Các thí nghiệm đầu tiên được thực hiện vào năm 1983.



JET được trang bị thiết bị siêu dẫn để tạo ra trường từ để giữ plasma. Nguyên liệu là hỗn hợp Deuterium-Tritium, nguyên liệu được sử dụng cho thiết bị nhà máy năng lượng hạt nhân. Trong khi ITER đang được xây dựng, JET vẫn được coi là lò phản ứng hạt nhân duy nhất đang sản xuất nguyên liệu nhân tạo.

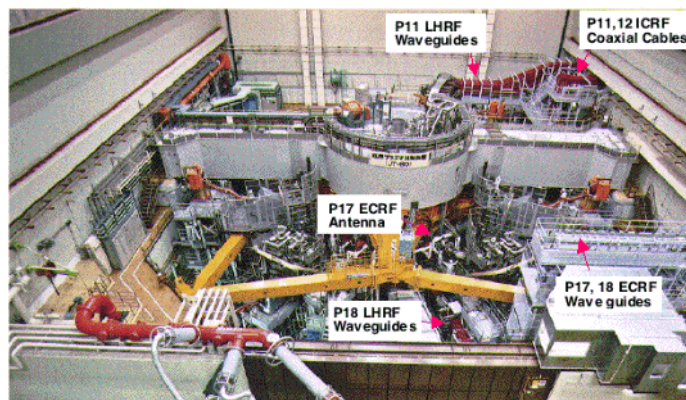
Năm 1997, JET đã sinh ra mức năng lượng phản ứng 16 MW, bằng một nửa của năm 2004. Một thí nghiệm đạt được giá trị $Q \approx 0,7$ và Q là tỉ lệ giữa năng lượng phản ứng trên năng lượng sử dụng vào. Phản ứng hạt nhân tự phát (self-sustaining) cần giá trị $Q > 1$.

Cuối năm 1999, Cơ quan năng lượng nguyên tử Anh quốc UKAEA (United Kingdom Atomic Energy Authority) thay mặt cho các quốc gia châu Âu đảm nhận trách nhiệm vận hành JET.

JET hoạt động cao nhất là vào năm 2006 với các thí nghiệm sản xuất nguyên tử tritium. Từ năm 2004 nay, JET góp phần đáng kể cho một loạt nâng cấp nhằm tăng nhiệt độ có thể đạt lên tới 40 MW, tạo điều kiện cho các nghiên cứu liên quan đến việc phát triển ITER. JET-EP (Enhanced Performance) sẽ có khả năng tăng gấp đôi cho năng lượng phản ứng.

2) JT-60

JT-60 (Japan Torus - 60) là công trình mini của chương trình phản ứng hạt nhân (magnetic fusion program) Nhật Bản, do Viện Nghiên cứu năng lượng nguyên tử Nhật Bản JAERI (Japan Atomic Energy Research Institute) thực hiện trong khu nghiên cứu hạt nhân Naka tại Ibaraki. JT-60 đang giữ kỷ lục về nhiệt độ plasma lên tới 520 MK. JT-60 là một cỗ máy tokamak nhỏ, giống như JET.

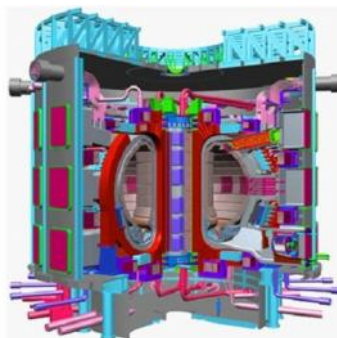


Theo Naoyuki Miya, giám đốc JT-60 của khu nghiên cứu năng lượng nhiệt hạch Naka, thì tổng chi phí 2 tỷ USD của hệ thống 520 triệu °C đã tạo ra năng lượng nhiệt hạch 25% mức tiêu thụ điện năng.

phút. B c ti n v t b c này ã thuy t ph c c nh ng ng i còn hoài nghi v tính kh thi c a n ng l ng nhi t h ch. Nh ng ng i ng h ang a s t ng liên t c c a giá d u, môi tr ng ngày càng ô nhi m, nguy c leo thang h t nhân làm lu n c thúc y vi c thi t k m t h th ng Iter l n h n, m nh h n ngay l p t c t n n móng s phát tri n toàn di n các nhà máy n ng l ng nhi t h ch.

3) ITER

ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) là m t ch ng trình thí nghi m tokamak qu c t d nh t t i Pháp. Lò ph n ng ITER c thi t k ch ng t tính kh thi xét trên ph ng di n khoa h c c ng nh k thu t c a m t lò ph n ng n ng l ng h p h ch hoàn ch nh, d a trên các nghiê n c u ã c th c hi n v i các thi t b TFTR, JET, JT-60, và T-15, nh ng v i quy mô l n nh t t tr c n nay. Ch ng trình c d tính kéo dài trong 30 n m, g m 10 n m xây d ng và 20 n m ho t ng, v i chi phí c tính kho ng 10 t Euro. Sau nhi u n m cân nh c, vào tháng 5/2005, ITER c xác nh xây d ng t i Cadarache, Pháp. Tên vi t t t ITER theo tí ng Latin có ngh a là "con ng", th hi n ý ngh a c a công trình nh m t con ng khai thác h p h ch nguyên t nh m t ngu n n ng l ng n nh.

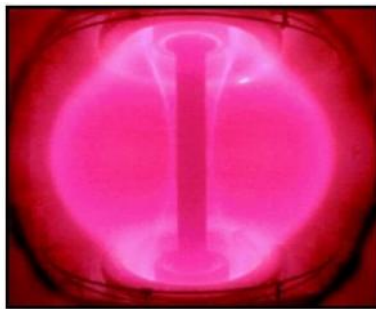


Hình 16.5. Ảnh cắt lát của thiết bị ITER.

N u c xây d ng, Iter s là m t k tích k thu t y n t ng. V i quy mô l n h n r t nhi u các thi t b tokamak hi n có, Iter s là c máy u tiên c thi t k nh m t o ra n ng l ng nhi t h ch. m c t i a, nó có th ng n t i 110 MW n ng l ng t l i i n, t c là kho ng 10% s n l ng c a m t nhà máy i n c v a. ng chân không n m gì a thi t b có ng kính kho ng 25 m, cao 11 m và n ng g n 9 ngàn t n. ho t ng, 31 viên nam châm siêu d n, n ng 750 t n m i viên, s c làm l nh t i -269° (đ i 0) ch trên 4° so v i 0 tuy t i. Trong khi ó, cách ó ch 2 m, plasma s c t 100 tri u $^{\circ}$ C. Vi c duy trì nhi t s là m t thách th c l n, theo Ken Tomabechi, tr ng nhóm thi t k Iter. T t c các khâu u r t t n kém v ti n b c và th i gian. Iter s c xây d ng trong 10 n m v i chi phí kho ng 5 t USD. Chí phí ho t ng cho d án 20 n m này c ng s lên t i kho ng ch ng y.

4) START

START (Small Tight Aspect Ratio Tokamak) là thí nghi m h p h ch nguyên t s d ng 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 nghi m ENEA t i Frascati, Ý. Nhóm nghiê n c u START sau ó th c hi n thí nghi m h p h ch MAST cho n nay.



Hình 16.6. Ảnh cắt lát của thiết bị START.

START giúp làm nóng plasma, thu thập năng lượng bằng súng bắn tia trung tính (neutral beam injector) làm nóng plasma. START có thiết kế chi phí thấp, hình lập phương các linh kiện mà các thành viên của nhóm nghiên cứu đã có sẵn.

5) MAST

MAST (Mega Ampere Spherical Tokamak) là thí nghiệm hợp hạch nguyên tố chính tại Trung tâm khoa học Culham, Anh quốc, từ năm 1999, tiếp theo các thành công của thí nghiệm START (1991 - 1998). MAST có dạng thiết kế tokamak hình cốc i-ti-nh START. Hoạt động của MAST sẽ vượt quá những dự đoán liên quan tới, chứng minh cho các kết quả đã đạt được ở các START và thí nghiệm liên quan và có mục đích khác.



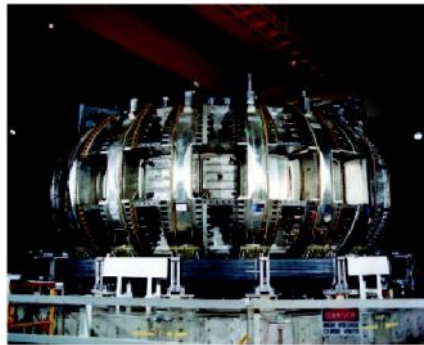
Các thiết kế này sẽ được thực hiện bởi EURATOM/UKAEA, MAST, có thể đạt 2 m thiết kế và 2 m xây dựng, giảm bớt súng bắn tia trung tính và sẽ được kết nối với hệ thống giống START thay cho kết nối trực tiếp thông thường.

Kết nối với hệ thống cho phép từ trường central solenoid flux, có thể dùng để nóng dòng plasma và/hoặc duy trì dòng điện chính. Mục tiêu của MAST là hiểu rõ các đặc tính của tokamak, các thí nghiệm thiết kế cho ITER hay hiểu về hình dạng plasma.

6) Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL)

Phòng thí nghiệm vật lý Plasma Princeton PPPL (Princeton Plasma Physics Laboratory) là phòng thí nghiệm thuộc Bộ Năng lượng Mỹ nghiên cứu về vật lý plasma và khoa học hợp hạch năng lượng từ phía bắc khu vực Princeton, New Jersey. Nhiệm vụ chính của PPPL là phát triển các hiểu biết khoa học và các phát minh thiết kế có thể dẫn tới một thế hệ hợp hạch khai thác được.

Nghiên cứu về hợp hạch tại Princeton bắt đầu từ năm 1951 với Dự án Matterhorn. Giáo sư vật lý Lyman Spitzer Jr đã có những nghiên cứu các chất khí loãng cực nóng trong không gian giữa các vì sao (interstellar).



Trong 3 thập kỷ qua, PPPL luôn đi đầu trong các thí nghiệm về tokamak, đặc biệt là về TFTR (Tokamak Fusion Test Reactor). TFTR hoạt động tại PPPL từ 1982 đến 1997, là thí nghiệm đầu tiên sử dụng hỗn hợp deuterium-tritium với tỉ lệ 1:1, thu được công suất 10,7 MW, vượt quá mức dự đoán ban đầu.

Các nhà nghiên cứu của PPPL hiện nay đang tập trung vào một thí nghiệm phức tạp cao hơn về thí nghiệm NSTE (National Spherical Torus Experiment) và đang phát triển các công nghệ mới trên cơ sở hợp tác với các viện nghiên cứu khác trong và ngoài nước. Rất nhiều kiến thức về lý thuyết và thực nghiệm đã được áp dụng trong nghiên cứu hợp hạch ví dụ như khoa học vật lý, vật lý plasma, vật lý hạt nhân, hóa học và vật liệu.