

TS. NGUYỄN LÂN TRẮNG
KS. ĐỖ ANH TUẤN



Nhà máy ĐIỆN NGUYÊN TỬ

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT



TS. NGUYỄN LÂN TRÁNG
KS. ĐỖ ANH TUẤN

NHÀ MÁY ĐIỆN NGUYÊN TỬ

(In lần thứ hai)



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
Hà Nội

LỜI GIỚI THIỆU

Tôi hân hạnh được giới thiệu cùng bạn đọc quyển sách "*Nhà máy điện nguyên tử*" của TS. Nguyễn Lâm Tráng và KS. Đỗ Anh Tuấn.

Trong sách, các tác giả đã trình bày một loạt các vấn đề trong một phạm vi khá rộng liên quan đến nhà máy điện nguyên tử: Từ những vấn đề chung như năng lượng nguyên tử trong cân bằng năng lượng thế giới, quá trình phát triển nhà máy điện nguyên tử ở một số nước tiêu biểu, đến những khái niệm cơ bản về hạt nhân nguyên tử, tia phóng xạ, các ứng dụng của nó và an toàn đối với tia phóng xạ. Sách cũng đã dành một phần quan trọng để giới thiệu về lò phản ứng hạt nhân, lịch sử phát triển và cấu trúc một số loại lò đã và đang được sử dụng, nhiên liệu hạt nhân và chất thải hạt nhân, những vấn đề liên quan đến việc xây dựng và quản lý nhà máy điện nguyên tử, đặc biệt là vấn đề an toàn của lò phản ứng, trong đó có những thông tin khá chi tiết về các sự cố hạt nhân điển hình ở Mỹ, Nga, và Nhật.

Do phạm vi các nội dung được đề cập trong sách rất rộng nên nhiều vấn đề được giới thiệu có tính chất gợi ý, có thể chưa đáp ứng đầy đủ yêu cầu tìm hiểu sâu về chuyên môn của bạn đọc.

Dù vậy, tôi hy vọng các bạn đọc có thể tìm thấy nhiều thông tin bổ ích về nhà máy điện nguyên tử, một trong những thành tựu lớn của trí tuệ loài người để giải quyết vấn đề năng lượng thế giới.

Quyển sách cũng mang tính thời sự cao trong bối cảnh ở nước ta trong nhiều năm gần đây các nghiên cứu về ứng dụng năng lượng hạt nhân nói chung và nhà máy điện nguyên tử nói riêng được xúc tiến mạnh mẽ, nhằm xem xét khả năng xuất hiện nhà máy điện nguyên tử đầu tiên ở Việt Nam trong vài thập niên đến.

Hà Nội, tháng 10 năm 2005

VS., GS., TSKH Trần Đình Long

LỜI NÓI ĐẦU

Nhà máy điện nguyên tử (hay ngày nay còn gọi là nhà máy điện hạt nhân) là một phát minh vĩ đại của loài người. Nó đã giúp cho con người giải quyết được một loạt những vấn đề có tính chất thời đại, đó là vấn đề mâu thuẫn giữa nhu cầu sử dụng năng lượng ngày càng tăng và sự hạn chế của các nguồn năng lượng sơ cấp, đó là vấn đề ô nhiễm môi trường do tác động của việc đốt các nhiên liệu khoáng gây ra, đó là vấn đề thiếu các nguồn nguyên liệu cho công nghiệp do việc dùng chúng làm nhiên liệu cho các nhà máy nhiệt điện.v.v...

Hiện nay, trên thế giới đang có khoảng 447 lò phản ứng hạt nhân đang hoạt động, cung cấp hơn 17% tổng điện năng trên toàn thế giới. Con số này ngày càng tăng khi các dạng năng lượng truyền thống (thủy năng, than, dầu, khí) ngày một cạn kiệt, trong khi đó các yêu cầu về an ninh năng lượng và bảo vệ môi trường ngày càng cao, trình độ công nghệ của điện nguyên tử cũng ngày càng được nâng cao, an toàn hơn, tin cậy hơn...

Ở nước ta, do tiềm năng năng lượng tuy đa dạng nhưng không dồi dào lắm trong khi đó để đáp ứng được nhịp độ phát triển kinh tế ở mức tương đối cao nhằm đưa nước ta trở thành nước công nghiệp hoá, hiện đại hoá, các yêu cầu về phát triển và đa dạng hoá nguồn năng lượng nhằm đảm bảo cung cấp năng lượng an toàn và bền vững có tính đến việc bảo tồn phát triển tài nguyên và bảo vệ môi trường là cực kỳ quan trọng. Chỉ có phát triển năng lượng nguyên tử với trình độ ngày càng hoàn thiện mới đảm bảo được các yêu cầu đó. Chính vì vậy chúng ta đã dự kiến sẽ đưa nhà máy điện nguyên tử đầu tiên của nước ta vào hoạt động năm 2017-2020 tại bờ biển Ninh Thuận gồm hai lò phản ứng, mỗi lò công suất 1000MW. Để đáp ứng nguồn lao động cho tương lai điện nguyên tử của nước nhà, chúng tôi biên soạn cuốn giáo trình này nhằm giới thiệu một cách hệ thống về nguyên lý làm việc cũng như cấu tạo cơ bản của các nhà máy điện nguyên tử. Hy vọng cuốn sách sẽ là tài liệu bổ ích cho các sinh viên ngành điện cũng như các bạn trẻ ưa thích tìm hiểu. Tuy nhiên, do trình độ có hạn và thời gian gấp rút nên cuốn sách không thể tránh khỏi còn nhiều thiếu sót. Mong độc giả lượng thứ và góp ý. Chúng tôi hoan nghênh và cảm ơn những nhận xét và ý kiến đóng góp của độc giả.

Nhận xét và góp ý xin liên hệ theo địa chỉ: TS. Nguyễn Lân Tráng, Bộ môn Hệ thống điện, Khoa Điện, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Các tác giả

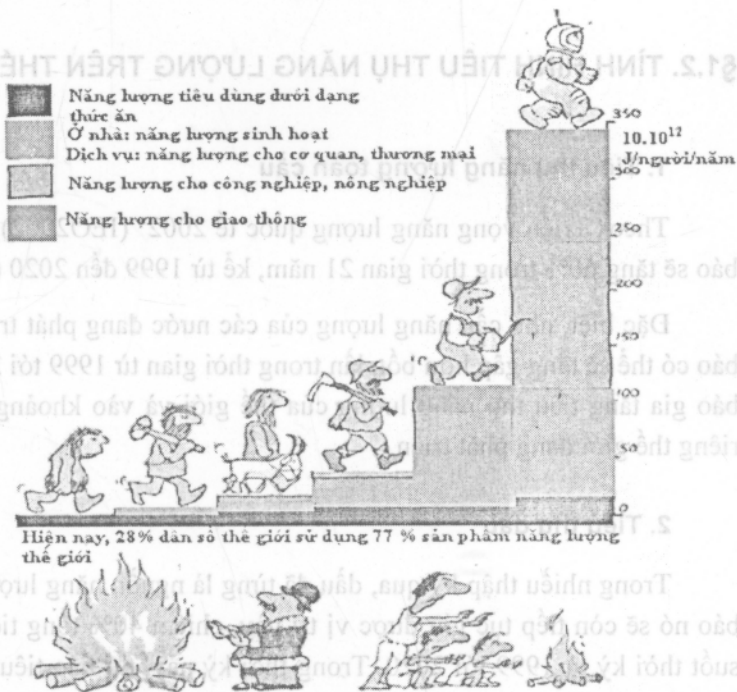
CHƯƠNG I

NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ TRONG CÂN BẰNG NĂNG LƯỢNG TRÊN THẾ GIỚI

§1.1. NĂNG LƯỢNG

Năng lượng là năng lực làm vật thể biến đổi. Năng lượng có thể biểu hiện dưới nhiều dạng khác nhau như cơ năng, quang năng, nhiệt năng, hoá năng, điện năng v.v... Năng lượng đã được loài người biết đến và sử dụng từ lâu. Hơn một triệu năm trước, loài người đã biết dùng lửa trong tự nhiên (sét, núi lửa) để chống lại giá rét, chống dã thú ăn thịt, nấu chín thức ăn, luyện kim lấy đồng thau và các kim loại khác để làm dụng cụ sản xuất... Một bước nhảy vọt tiếp theo, con người dùng sức của súc vật như trâu, bò, ngựa... làm sức kéo thay cho người để canh tác. Đến thế kỷ thứ nhất trước Công nguyên, người ta biết dùng sức nước để thay thế sức người. Đến thế kỷ thứ XII người ta biết sử dụng sức gió để làm quay cối xay gió và bơm nước. Vào thế kỷ thứ XVI các guồng nước đã trở thành nguồn năng lượng quan trọng nhất đối với con người. Nó cũng là tiền đề cho công nghiệp hoá ở Châu Âu.

Vào cuối thế kỷ XVIII, ở Anh người ta đã phát minh ra máy hơi nước dùng nhiên liệu than đá. Từ đó cuộc cách mạng về năng lượng, động lực bùng nổ và dẫn đến cuộc cách mạng công nghiệp. Hơn nữa, với kỹ thuật của động cơ đốt trong và sử dụng điện ở thế kỷ XIX, nhiều phát minh có tính bước ngoặt đã ra đời, đẩy mạnh sự phát triển của khoa học kỹ thuật, tạo ra một xã hội thịnh vượng và tiện nghi như ngày nay. Hiện tại ở các nước phát triển tiên tiến, tiêu thụ năng lượng bình quân trên đầu người cao hơn 15 lần so với xã hội cổ đại và cao hơn 10 lần so với thời điểm trước cuộc cách mạng công nghiệp. Thế nhưng từ giữa thế kỷ 20, nhu cầu sử dụng năng lượng tăng lên một cách nhanh chóng, đây là nguyên nhân khiến chúng ta thêm lo lắng về vấn đề cạn kiệt nguồn năng lượng và không thể thờ ơ với vấn đề ô nhiễm môi trường Trái Đất. Để duy trì cuộc



Hình 1.1. Dân số và sự tiêu thụ năng lượng trên thế giới.

sống văn minh, con người cần sử dụng năng lượng, nhưng đã đến lúc chúng ta cần phải xem xét lại mối quan hệ giữa năng lượng và môi trường. Cùng với việc tiêu thụ năng lượng ngày càng tăng này, thì môi trường sống của chúng ta càng bị ô nhiễm nặng nề hơn.

Hiện nay, mặc dù 3/4 năng lượng của thế giới được tiêu thụ bởi 1/4 dân số thế giới đang sống trong các nước công nghiệp. Sự tăng trưởng này sẽ còn diễn ra nhanh chóng trong tương lai gần, với mức độ tăng trưởng của dân số sẽ tăng từ mức hiện tại là 6 tỷ lên đến khoảng 8 tỷ trong 25 năm tới và có thể vào khoảng 10 tỷ trong thế kỷ tới. Hầu hết sự tăng trưởng dân số đều diễn ra ở các nước đang phát triển, những nước có đến 3/4 dân số thế giới sinh sống.

Sự tăng dân số như vậy sẽ tác động mạnh đến nhu cầu về sử dụng năng lượng, ít nhất thì cũng gấp đôi vào năm 2050, mặc dù các nước phát triển đã chấp nhận những chính sách về giữ gìn và đảm bảo mức tiêu thụ năng lượng của họ không tăng thêm trong thời kỳ này.

Năng lượng có thể được nghiên cứu dưới hai dạng: sơ cấp và thứ cấp.

- *Năng lượng sơ cấp*: là năng lượng ở dạng tài nguyên thiên nhiên, như là gỗ, than, dầu, khí tự nhiên, urani, sức gió, ánh sáng Mặt Trời, địa nhiệt, năng lượng sinh khối... Năng lượng sơ cấp có thể là tái tạo được và không tái tạo được:

+ Nguồn năng lượng tái tạo được bao gồm ánh sáng Mặt Trời, sức gió, sức nước, địa nhiệt, năng lượng sinh khối (biogas) v.v...

+ Nguồn năng lượng không tái tạo được bao gồm các nhiên liệu hoá thạch (than đá, dầu mỏ, khí tự nhiên, urani...) và đây là nguồn cung cấp trên 80% năng lượng hiện nay.

- *Năng lượng thứ cấp*: là các dạng năng lượng được tạo ra từ năng lượng sơ cấp đã được chuyển đổi, như điện năng, xăng, diesel...

§1.2. TÌNH HÌNH TIÊU THỤ NĂNG LƯỢNG TRÊN THẾ GIỚI

1. Tiêu thụ năng lượng toàn cầu

Theo "Triển vọng năng lượng quốc tế 2002" (IEO2002), tiêu thụ năng lượng của thế giới dự báo sẽ tăng 60% trong thời gian 21 năm, kể từ 1999 đến 2020 (thời kỳ dự báo).

Đặc biệt, nhu cầu năng lượng của các nước đang phát triển ở Châu Á và Trung Nam Mỹ, dự báo có thể sẽ tăng gấp hơn bốn lần trong thời gian từ 1999 tới 2020, chiếm khoảng một nửa tổng dự báo gia tăng tiêu thụ năng lượng của thế giới và vào khoảng 83% tổng gia tăng năng lượng của riêng thế giới đang phát triển.

2. Tiêu thụ dầu

Trong nhiều thập kỷ qua, dầu đã từng là nguồn năng lượng sơ cấp chủ yếu của thế giới và dự báo nó sẽ còn tiếp tục giữ được vị trí này, chiếm 40% tổng tiêu thụ năng lượng của thế giới trong suốt thời kỳ từ 1999 tới 2020. Trong thời kỳ này, dự báo tiêu thụ dầu của thế giới sẽ tăng khoảng 2,2%/năm, từ 75 triệu thùng/ngày (năm 1999) lên 199 triệu thùng/ngày (năm 2020). Mặc dù các

nước công nghiệp hoá vẫn tiếp tục tiêu thụ nhiều sản phẩm dầu hơn các nước đang phát triển, song khoảng cách này đang thu hẹp khá nhanh. Năm 1999, các nước đang phát triển chỉ tiêu thụ 58% lượng dầu các nước công nghiệp hoá tiêu thụ; nhưng đến năm 2020, dự báo các nước này sẽ tiêu thụ tới 90% lượng dầu tiêu thụ bởi các nước công nghiệp hoá. Dự báo sự tăng tiêu thụ dầu ở các nước công nghiệp hoá chủ yếu sẽ xảy ra trong lĩnh vực giao thông vận tải, nơi hiện tại chưa có nguồn nhiên liệu thay thế nào có thể cạnh tranh được với dầu. Trong các nước đang phát triển, nhu cầu về dầu dự báo sẽ tăng trong tất cả các ngành vì cơ sở hạ tầng năng lượng ở các nước này đang được hoàn thiện, nên nhân dân các nước này đang chuyển từ sử dụng các nhiên liệu truyền thống như củi để sưởi ấm, nấu nướng sang điện, ga... Ngoài ra các sản phẩm hoá dầu cũng đang được sử dụng trong công nghiệp.

Trữ lượng dầu mỏ trên toàn thế giới vào khoảng 3 GTOE (Giga Ton Oil Equivalence). Người ta cho rằng còn có thể khai thác dầu trong khoảng 40 năm nữa. Trữ lượng dầu là hữu hạn và nếu lượng tiêu thụ dầu của thế giới trong thời gian tới vẫn tăng thì dần dần chúng ta sẽ phải phụ thuộc vào dầu giá cao. Khi giá cả thị trường tăng lên, việc ứng dụng kỹ thuật khai thác tiên tiến hơn để lấy được dầu từ những địa tầng sâu hơn cũng được đẩy mạnh và như vậy trữ lượng dầu có khả năng khai thác cũng sẽ tăng lên. Nhưng nếu khai thác đến một nửa trữ lượng của mỗi mỏ thì dù trữ lượng còn đó cũng dẫn đến suy giảm năng suất và có thể làm sụt giảm sản lượng. Do vậy, sản lượng dầu tốt trên toàn thế giới sẽ chuyển sang khuynh hướng giảm trong một thời kỳ sớm hơn so với số năm có thể khai thác, làm giảm khả năng duy trì sản lượng theo nhu cầu. Điều đó có nghĩa là chúng ta lo lắng cả về việc tăng giá lẫn việc không đảm bảo được sản lượng cần thiết, hơn nữa 2/3 trữ lượng dầu lại tập trung chủ yếu ở khu vực Trung Đông là khu vực vốn không ổn định về chính trị.

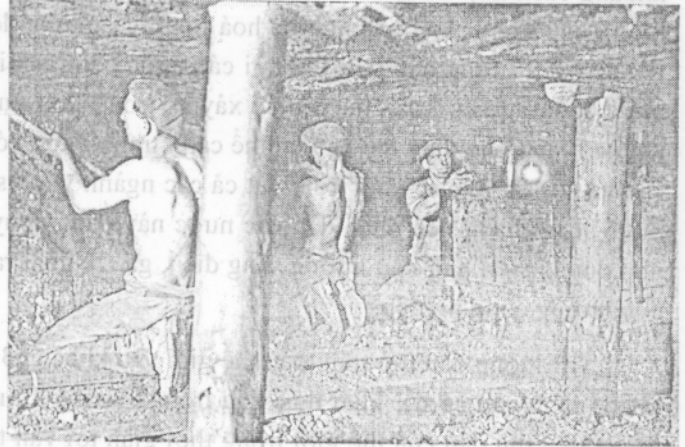
3. Tiêu thụ khí tự nhiên

Khí tự nhiên (KTN) được dự báo là nguồn năng lượng có tốc độ tăng trưởng nhanh nhất, tăng gần gấp đôi trong thời kỳ dự báo, và đạt tới 460 tỷ m³ vào năm 2020. Lần đầu tiên tiêu thụ KTN vượt qua tiêu thụ than đá vào năm 1999, dự báo năm 2020, sẽ vượt mức tiêu thụ than khoảng 38%. Tỷ lệ tiêu thụ KTN trong tổng tiêu thụ năng lượng dự báo sẽ tăng từ 23% năm 1999 lên 28% năm 2020. KTN cũng sẽ chiếm phần gia tăng lớn nhất để sử dụng trong phát điện, và chiếm khoảng 43% tổng gia tăng năng lượng dùng trong phát điện. Sử dụng KTN tăng nhanh là do nhu cầu dùng làm nhiên liệu có hiệu suất cao trong các nhà máy điện sử dụng các tuabin khí mới, và còn do một số các nguyên nhân khác như giá cả, tác động môi trường, đa dạng hoá nhiên liệu, an ninh năng lượng, và sự tăng trưởng kinh tế nói chung v.v... Trong thế giới đang phát triển, việc gia tăng sử dụng KTN có tốc độ cao nhất, với tốc độ tăng trung bình hàng năm trong suốt thời kỳ dự báo là 5,3%, nhằm đáp ứng nhu cầu phục vụ phát điện và phát triển công nghiệp.

Số năm có thể khai thác của khí tự nhiên dự đoán là khoảng 60 năm. Tài nguyên khí tự nhiên so với tài nguyên dầu là khí tự nhiên có tính thuần khiết, cho phép đốt cháy hoàn toàn, có tính linh hoạt trong sử dụng, phân bố đều hơn và thời gian khai thác cũng lâu hơn. Thực tế là hơn 70% trữ lượng được đảm bảo phụ thuộc vào Liên Xô cũ và khu vực Trung Đông, không thể không tính đến những tác động và ảnh hưởng của tình hình quốc tế.

4. Tiêu thụ than

Khoảng 65% tiêu thụ than của thế giới là để phát điện. Tiêu thụ than của thế giới đã bắt đầu gia tăng chậm kể từ thập kỷ 80 và dự báo xu hướng này sẽ còn tiếp tục trong suốt thời kỳ dự báo, với tốc độ tăng trung bình 1,7%/năm. Năm 1999, than cung cấp 22% tiêu thụ năng lượng sơ cấp của thế giới, trong khi năm 1985 con số đó là 27%; dự báo tới 2020, sẽ giảm xuống còn 20%. Tuy nhiên, than vẫn còn chiếm ưu thế trên nhiều thị trường năng lượng, đặc biệt là ở Trung Quốc, Ấn Độ, tỷ lệ sử dụng than vẫn chiếm tới 83% tổng dự báo tăng tiêu thụ than toàn cầu.



Hình 1.2. Trong hầm lò khai thác than đá (Anh).

Tiêu thụ than ước dự báo sẽ giảm nhẹ trong hầu hết các khu vực của thế giới vì đã có những tiến bộ kỹ thuật trong sản xuất thép, tăng được sản lượng của các lò hồ quang điện, và vì sự tiếp tục thay thế thép bằng các vật liệu khác trong các ứng dụng phục vụ người tiêu dùng.

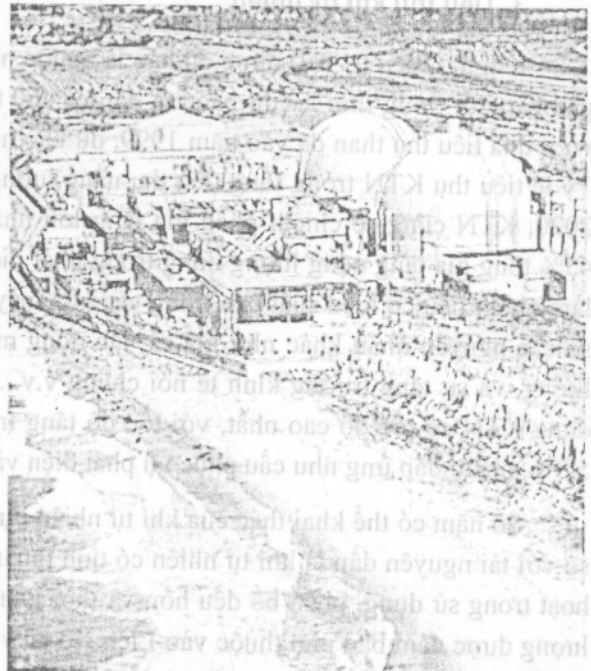
Trữ lượng than thế giới khoảng trên một ngàn tỷ tấn và với mức khai thác hiện nay là trên 5 tỷ tấn/năm thì còn người còn có thể khai thác than khoảng 230 năm nữa.

Tuy nhiên hiểm họa gây ra do bụi và các chất khí độc hại mà quá trình đốt cháy than đã thải ra với một số lượng lớn sẽ hạn chế sự phát triển của ngành than trong tương lai.

5. Điện hạt nhân

Dự báo công suất điện hạt nhân của thế giới sẽ tăng từ 350GW năm 2000 lên 363 GW năm 2010, sau đó sẽ giảm xuống còn 359 GW năm 2020.

Dự báo tốc độ gia tăng nhanh nhất về phát điện hạt nhân sẽ là ở các nước đang phát triển, với tốc độ tăng trung bình hằng năm là 4,7 % trong suốt thời kỳ dự báo. Đặc biệt, ở các nước đang phát triển châu Á sẽ có sự gia tăng lớn trong công suất phát điện hạt nhân. Ở các nước này, số lò phản ứng đang xây dựng chiếm tới một nửa số lò phản ứng đang xây dựng trên toàn thế giới bao gồm 4 lò ở Hàn Quốc, 2 ở Trung Quốc, 2 ở Ấn Độ và 2 ở Đài Loan.



Hình 1.3. Nhà máy điện nguyên tử ở California.

6. Năng lượng tái tạo

a) Thủy điện

Dự báo sử dụng năng lượng tái tạo sẽ tăng 53% trong thời kỳ dự báo (1999-2020), song tỷ lệ 9 % trong tổng tiêu thụ năng lượng hiện tại sẽ giảm nhẹ xuống còn 8% vào năm 2020. Sự tăng trưởng của các nguồn năng lượng tái tạo sẽ tiếp bị hạn chế vì nhiên liệu hoá thạch có giá tương đối rẻ. Năng lượng tái tạo sẽ tăng mạnh chủ yếu nhờ vào các công trình thủy điện quy mô lớn, đặc biệt là ở Trung Quốc, Ấn Độ, Malaysia và các nước châu Á đang phát triển khác. Ví dụ: Công trình đại thủy điện đập Tam Hiệp, 18.200 MW của Trung Quốc; thủy điện Bakun 2.400 MW của Malaysia.

b. Năng lượng Mặt Trời

Mặt Trời có đường kính chừng 1,4 triệu km và cách xa Trái Đất 150 triệu km. Nguồn gốc của năng lượng Mặt Trời là do những phản ứng nhiệt hạch xảy ra liên tiếp bên trong lòng Mặt Trời ở nhiệt độ rất cao (15 - 20 triệu độ C), các phản ứng này phát ra năng lượng dưới các dạng bức xạ nhiệt, quang và các hạt mang điện, v.v... Năng lượng Mặt Trời mà Trái Đất nhận được là rất nhỏ, ước chừng 5×10^{24} J/năm (tương đương với 115.000 tỉ tấn than đá và gấp 10 lần toàn bộ trữ lượng than đá, dầu mỏ, khí đốt trong lòng đất). Ưu thế của năng lượng này là vô tận, không đổi dạng và trong sạch nhưng nhược điểm là sự biến thiên của năng lượng này theo ngày và mùa, theo khí hậu và theo vị trí của Trái Đất đối với Mặt Trời, nên vấn đề được đặt ra là cần phải suy tính để sử dụng kinh tế nhất.

Người ta chia nguồn năng lượng của Mặt Trời ra làm hai dạng là năng lượng trực tiếp và năng lượng gián tiếp:

- Năng lượng trực tiếp

Là dòng năng lượng chiếu sáng trực tiếp và khuếch tán. Năng lượng này có thể sử dụng để sản xuất ra nhiệt hay một loại năng lượng thứ cấp như điện, nhiên liệu tổng hợp... Về kỹ thuật sử dụng năng lượng Mặt Trời được biết như sau:

+ Khi cần sức nóng ở nhiệt độ thấp ($<100^{\circ}\text{C}$): kỹ thuật sử dụng năng lượng ánh sáng Mặt Trời bằng hệ thống bản phẳng hứng bức xạ gọi là giàn thu nhiệt. Hiện nay đã được sử dụng rộng rãi để sưởi ấm và làm cho nước nóng.

+ Khi cần sức nóng ở nhiệt độ cao ($>100^{\circ}\text{C}$): thì phải có kỹ thuật hội tụ bức xạ gọi là Lò Mặt Trời (Hình 1.4) chẳng hạn như lò Mặt Trời Odeillo ở miền Tây Nam nước Pháp có thể đạt tới nhiệt độ 3.800°C . Với nhiệt độ cao như vậy nên có thể sử dụng cho một số ngành công nghiệp như ngành chế tạo vật liệu xây dựng hoặc được chuyển đổi thành cơ năng hay điện năng.

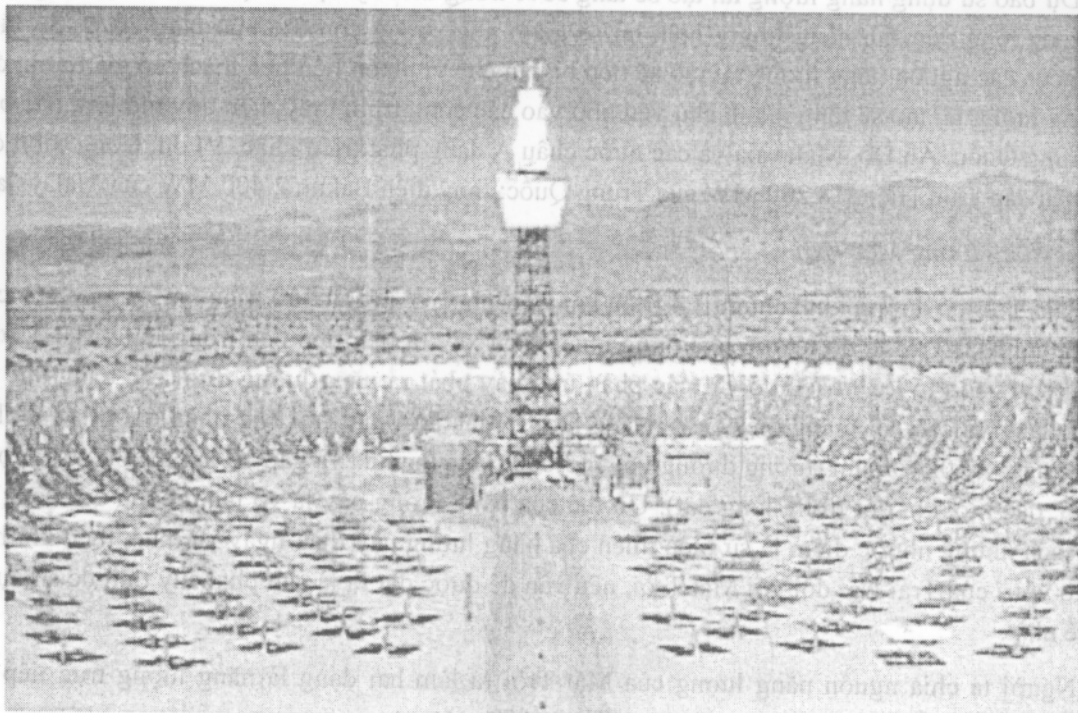
+ Một ứng dụng quan trọng nữa của dạng năng lượng trực tiếp là sự chuyển đổi quang điện nhờ những tế bào quang điện, hiện nay được sử dụng phổ biến trong các thiết bị vũ trụ.

- Năng lượng gián tiếp

Năng lượng gián tiếp của bức xạ Mặt Trời là gió, sóng biển, thủy triều và chuyển đổi năng lượng sinh học (bioconversion).

+ *Năng lượng gió*: Người Ai Cập đã biết sử dụng cối xay gió trong nông nghiệp từ 3.000 năm

trước Công nguyên. Sau này nhờ cải tiến kỹ thuật nên chế tạo được cối xay gió nhiều cánh và có khả năng hoạt động ngay cả khi tốc độ gió chỉ chừng 2, 5 - 3 m / s. Trước khi có máy hơi nước ra đời thì năng lượng gió đã được sử dụng rộng rãi nhiều nơi.



Hình 1.4. Nhà máy điện sử dụng năng lượng Mặt Trời.



Hình 1.5. Nhà máy điện sử dụng năng lượng gió.

+ *Năng lượng sóng biển*: Năng lượng sóng biển bắt nguồn từ gió. Năng lượng do sóng biển tạo nên trên cả hành tinh rất nhỏ so với năng lượng Mặt Trời. Mục tiêu khai thác ở đây là tìm một biện pháp có hiệu quả để chuyển đổi một phần năng lượng trong vận động của sóng biển thành cơ năng, điện năng. Điều kiện địa lý và kinh tế phải được tính toán thận trọng khi khai thác nguồn năng lượng này.

+ *Năng lượng thủy triều*: Thủy triều là do sức hút của Mặt Trăng và Mặt Trời kết hợp lại. Toàn bộ công suất thủy triều trên hành tinh khoảng 8.10^{12} kW (gấp 100 lần công suất của các nhà máy thủy điện của toàn thế giới cộng lại). Tuy nhiên, do nhiều yếu tố mà hiện nay con người đã sử dụng năng lượng thủy triều không nhiều.

- *Năng lượng do chuyển đổi sinh học*: Đây là dạng năng lượng gián tiếp được khai thác tương đối có hiệu quả là sự chuyển đổi khí sinh học từ các chất thải động vật và thực vật. Lợi ích của sự chuyển đổi này có nhiều mặt: giảm sử dụng trực tiếp gỗ củi, giảm tàn phá rừng, đảm bảo vệ sinh môi trường, phế liệu còn lại sau quá trình chuyển đổi dùng làm phân bón hữu cơ có chất lượng tốt.

c. Năng lượng địa nhiệt

Năng lượng địa nhiệt là nhiệt được lấy trong lòng đất. Nhiệt năng của Trái Đất là khoảng 64 tỉ kWh. Từ lâu người ta đã biết khoan sâu trong lòng đất 1km thì nhiệt độ tăng thêm 30°C . Giá trị này tùy thuộc vào từng nơi. Ví dụ ở đồng bằng sông Hồng có lỗ khoan 3km nhiệt độ đã lên tới 150°C . Có những nơi trên thế giới với lỗ khoan sâu như vậy đã tìm thấy nhiệt độ từ 200°C đến 1000°C . Năng lượng địa nhiệt được sử dụng sớm nhất ở Ý từ đầu thế kỷ 20, nhưng mãi cho đến nay mới được chú ý do triển vọng của nó trong tương lai. Trên thế giới, các vành đai địa nhiệt được xác định rõ là nhờ vào các hoạt động động đất liên tục và lịch sử phun trào nham thạch của núi lửa từ xa xưa, vành đai địa nhiệt bao phủ chừng 10% diện tích của Trái Đất và sức nóng mà các vành đai này tạo ra phần lớn là do sự phân rã dần những chất phóng xạ tự nhiên có trong các lớp đá.



Hình 1.6. Nhà máy điện sử dụng năng lượng địa nhiệt.

Nhiệt độ ở tâm Trái Đất theo tính toán có thể đạt từ 3.500°C đến 4.500°C. Nhưng ở lớp vỏ Trái Đất dưới 3km thì ở nhiều nơi đã phát hiện có nhiệt độ từ 65°C đến 345°C. Những nơi này có những bồn chứa nhiệt tập trung tương tự như mỏ khoáng thạch (than đá, dầu mỏ, khí thiên nhiên). Cho đến nay những bồn chứa nhiệt thường tìm thấy ở những vùng đặc trưng (thời kì địa chất Litil), vùng có núi lửa hoạt động. Ví dụ ở Mĩ thì thường các mỏ nước nóng tập trung ở miền Tây nước Mĩ.

Các bồn nhiệt là kết quả của lớp magma (chất nhão) trộn lẫn với đá nóng chảy (như nham thạch của núi lửa) và khí nóng thẩm thấu qua lớp vỏ cứng của Trái Đất. Khi lớp nhão này xuyên qua lớp vỏ trào lên bề mặt sẽ phun thành núi lửa. Nhưng nếu lớp magma này dừng lại ở lớp vỏ gần mặt Trái Đất thì sẽ tạo thành lớp đá nóng (hot rock), bồn địa nhiệt cũng được hình thành từ đây. Thường năng lượng được giữ ở dạng bồn nhiệt hơi khô, bồn nhiệt nước nóng hoặc hệ đá nóng khô. Người ta có thể sử dụng cả ba loại bồn nhiệt trên để xây dựng các nhà máy điện địa nhiệt (hình 1.6).

7. Tiêu thụ điện

Dự báo tiêu thụ điện năng sẽ tăng khoảng 67 % trong suốt thời kỳ dự báo, tăng từ 13 ngàn tỷ kWh năm 1999 lên 22 ngàn tỷ kWh năm 2020. Tốc độ tăng trưởng tiêu thụ điện của các nước đang phát triển châu Á sẽ cao nhất, đạt khoảng 4,5%/năm vì với sự tăng trưởng kinh tế mạnh mẽ, nhu cầu về điện để chạy các máy điều hoà không khí, tủ lạnh, bình đun nước nóng, máy sưởi, các lò điện mới sẽ tăng lên. Ở các nước công nghiệp hoá, dự báo tiêu thụ điện sẽ tăng chậm hơn, vì tốc độ tăng trưởng kinh tế và dân số chậm hơn và vì thị trường cho một số mặt hàng điện gia dụng (máy điều hoà không khí) đã tương đối bão hoà, và vì hiệu suất về năng lượng của các mặt hàng điện gia dụng đã được nâng cao.

Trong ngành công nghiệp điện, thời gian gần đây đã xảy ra hai nhân tố phát triển quan trọng, có tác động tới tương lai của ngành này. Đó là:

1) Vai trò đầu tư trực tiếp của nước ngoài (FDI) trong các nước đang phát triển đã tăng lên. Nhờ vậy, các nước đang phát triển có thể khắc phục được tình trạng thiếu và yếu về cơ sở hạ tầng kỹ thuật trong ngành điện.

2) Sự cải cách trong ngành điện: nhiều nước đang phát triển đã thực hiện những cải cách đối với sự quản lý về phát điện và phân phối điện nhằm thu hút được nhiều hơn những đầu tư trực tiếp nước ngoài để đáp ứng nhu cầu hiện đại hoá đất nước. Nhiều nước công nghiệp hoá cũng tiến hành cải cách ngành điện nhằm tạo ra cạnh tranh lớn hơn trên các thị trường nội địa để cố gắng giảm chi phí về điện cho người tiêu dùng.

8. Tiêu thụ năng lượng trong giao thông vận tải

Dự báo tiêu thụ năng lượng trong giao thông vận tải sẽ tiếp tục tăng mạnh trong các thập kỷ tới, nhất là ở các nước đang phát triển. Cơ sở hạ tầng giao thông vận tải yếu kém của các nước này sẽ được tăng cường và phát triển nhanh khi các nền kinh tế quốc gia và khu vực được mở rộng. Dự báo sử dụng năng lượng trong giao thông vận tải ở các nước đang phát triển sẽ tăng với tốc độ

3,8%/năm, so với 1,7%/năm ở các nước công nghiệp hoá. Vì ở nhiều nước công nghiệp hoá, phần lớn các hệ thống giao thông vận tải đã được thiết lập ổn định và số ô tô trên đầu người cũng đã đạt tới mức bão hoà.

Ở các trung tâm đô thị của các nước đang phát triển, sở hữu ô tô thường được coi là dấu hiệu của sự giàu có. Trong thời kỳ dự báo số ô tô trên đầu người ở nhiều nước đang phát triển dự báo sẽ tăng lên gấp hơn hai lần, tuy nhiên cùng với sự gia tăng dân số, chỉ số này sẽ vẫn còn thấp hơn nhiều so với các nước công nghiệp hoá. Ví dụ, ở Mỹ, dự báo năm 2020 số ô tô trên đầu người sẽ là 797 xe/1000 người. Nhưng ở Trung Quốc, mặc dầu dự báo chỉ số này sẽ tăng gấp 5 lần nhưng vẫn chỉ đạt 52 xe/1000 người.

9. Phát thải CO₂

Với ước tính 80% các phát thải CO₂ do con người gây ra đều là kết quả của việc đốt các nhiên liệu hoá thạch. Sử dụng năng lượng đã trở thành tiêu điểm của các cuộc thảo luận về thay đổi khí hậu toàn cầu.

Dự báo, phát thải CO₂ sẽ tăng từ 6,1 tỷ tấn cacbon tương đương năm 1999 lên 7,9 tỷ tấn năm 2010, và 9,9 tỷ tấn năm 2020. Năm 1999, phát thải CO₂ của các nước công nghiệp hoá chiếm 51% phát thải toàn cầu, tiếp sau là các nước đang phát triển 35%, rồi đến các nước thuộc Đông Âu và Liên Xô cũ 13%. Song đến năm 2020, phát thải của các nước đang phát triển sẽ chiếm phần lớn nhất 46%, tiếp sau là các nước công nghiệp hoá 42%, cuối cùng là các nước Đông Âu và Liên Xô cũ 12%. Trong thời kỳ từ 1999 đến 2010, phần gia tăng phát thải CO₂ của các nước đang phát triển sẽ chiếm 77% tổng số gia tăng, nếu tính đến 2020, thì con số này sẽ là 72%.

Khí CO₂ thải ra trong quá trình đốt nhiên liệu hoá thạch ảnh hưởng trực tiếp đến việc phòng chống các hiện tượng về môi trường như sự ấm lên của Trái Đất. Khi nồng độ khí CO₂ trong không khí tăng lên, theo hiệu ứng nhà kính thì nhiệt độ trên toàn thế giới sẽ tăng dần lên, khi đó sẽ xuất hiện khu vực khí hậu bị thay đổi, có nguy cơ thực vật bị ảnh hưởng, sản xuất nông nghiệp bị tác động làm giảm sản lượng, còn các vùng đất khô cằn sẽ dần dần bị sa mạc hoá. Hơn nữa, có một tai hoạ khác là các khối băng ở Nam và Bắc Cực sẽ tan ra và nhấn chìm lục địa. Liên quan tới vấn đề này, “Hiệp ước khung về biến đổi khí hậu” quy định khung quốc tế về những đối sách cho sự biến đổi khí hậu có nguy cơ gây ảnh hưởng cho hệ sinh thái tự nhiên và con người đã có hiệu lực vào năm 1994. Hội nghị các nước ký kết tổ chức lần thứ 3 (COP3) tại Kyoto năm 1997 đã thông qua bản Nghị định thư Kyoto về mục tiêu giảm thiểu các loại khí gây hiệu ứng nhà kính của các nước phát triển. Người ta dự đoán rằng nếu nhân loại cứ tiếp tục đốt nhiên liệu hoá thạch như hiện nay và khí CO₂ vẫn tiếp tục tăng lên thì sau 100 năm, nhiệt độ trung bình của Trái Đất sẽ tăng lên 2 độ và gây ảnh hưởng rất lớn đối với Trái Đất.

10. Cường độ năng lượng

Trong thời kỳ dự báo, cường độ năng lượng của các nước công nghiệp hoá sẽ giảm (có hiệu quả hơn) khoảng 1,3%/năm. Cường độ năng lượng của các nước đang phát triển cũng sẽ giảm khoảng 1,2%/năm vì các nền kinh tế này bắt đầu có những biểu hiện giống như các nước công nghiệp hoá. Đó là kết quả của việc nâng cao mức sống nhờ sự tăng trưởng kinh tế đã đạt được.

Qua các phân tích trên chúng ta thấy được tính thực tế khi sử dụng nguồn năng lượng sạch thông qua các phương thức để tạo ra năng lượng điện sạch.

1. Phương thức tạo ra điện sạch từ các nguồn mới - như Mặt Trời, gió, sinh nhiệt và địa nhiệt - cần được ủng hộ. Nhưng khả năng tạo ra điện năng bằng các công nghệ này trong thập niên tới còn rất hạn chế. Theo một số dự án của OECD, dù có được bảo trợ và ủng hộ về nghiên cứu tới 20 năm nữa, những nguồn năng lượng mới này cũng chỉ cung cấp được dưới 3% điện năng của thế giới.

2. Các nhà môi trường đã đưa ra cảnh báo rằng thay đổi lớn về khí hậu là một hiểm họa thực tế trước mắt. Điều quan trọng là cần thực tế hơn đối với các giải pháp cho tình trạng hiện nay. Ngay cả đối với mô hình bảo vệ môi trường tối đa - đặt thật nhiều hệ thống thu năng lượng Mặt Trời và cối xay gió - thì con người vẫn cần những nguồn điện với quy mô lớn, cung cấp 24 giờ một ngày để phục vụ các nhu cầu năng lượng.

3. Cũng giống như năng lượng từ gió, nước và Mặt Trời, năng lượng nguyên tử có thể tạo ra điện năng mà không thải CO₂ hay các loại khí gây ra hiệu ứng nhà kính khác. Sự khác biệt lớn nhất là năng lượng nguyên tử là một sự lựa chọn duy nhất đã được chứng minh có khả năng cung cấp một lượng điện sạch không lồ trên phạm vi toàn cầu. Năng lượng nguyên tử và các nguồn điện sạch khác như Mặt Trời, gió, sinh nhiệt và địa nhiệt không hề cạnh tranh với nhau, trái lại chúng cần trở thành những nguồn năng lượng hỗ trợ lẫn nhau để có thể đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng về năng lượng của thế giới.

Chính vì vậy năng lượng mà nhân loại có thể sử dụng lâu dài trong thời gian tới phải dựa vào năng lượng nguyên tử. Năng lượng nguyên tử là năng lượng phát sinh do sự phân hạch của các hạt nhân nguyên tử, là món quà quý giá mà thiên nhiên tặng cho con người. Chúng ta phải sử dụng món quà này vào mục đích hoà bình, an toàn và cần coi đó như một nguồn năng lượng quý giá. Đặc trưng quý nhất của năng lượng nguyên tử là nguồn năng lượng sạch, không phát thải CO₂, SO_x, NO_x gây ô nhiễm không khí. Các nước cung cấp urani, nhiên liệu chủ yếu cho điện hạt nhân là Canada, Australia đều là những nước có tình hình chính trị ổn định và có thể cung cấp ổn định.

Hơn nữa, vì urani có thể phát điện chỉ với một lượng rất nhỏ so với than và dầu nên có ưu điểm là dễ vận chuyển và bảo quản. Ví dụ để vận hành nhà máy điện công suất 1000MW trong vòng một năm thì phải cần tới khoảng 3,1 triệu tấn than đen hoặc tiêu thụ hơn một triệu tấn dầu, trong khi đó đối với nhiên liệu urani thì chỉ cần khoảng 24 tấn urani đã được làm giàu (UO₂). Trong các nhà máy điện nguyên tử khi nạp nhiên liệu vào lò phản ứng là có thể liên tục phát điện trong vòng một năm mà không cần phải thay thế nhiên liệu. Lượng chất thải phóng xạ phát sinh trong nhà máy điện nguyên tử rất ít so với lượng chất thải công nghiệp thông thường, do vậy có thể quản lý được một cách chặt chẽ, cất giữ và bảo quản an toàn. Sự khác nhau về giá trị nhiệt so với than đá và những nhiên liệu khác là rất quan trọng (mặc dù cả hai đều có hiệu suất khoảng 30% trong các nhà máy điện khi đã hoạt động được 80% công suất đặt của nhà máy).

Từ nửa cuối thế kỉ XX, với những phát minh về hạt nhân của ngành vật lí và với sự tiến bộ của khoa học kĩ thuật đã giúp cho ngành năng lượng nguyên tử phát triển mạnh mẽ và đã mở ra một cánh cửa mới cho việc chinh phục tự nhiên phục vụ cho lợi ích của con người và khắc phục được những khó khăn mà con người gặp phải trong quá trình tiêu thụ năng lượng.

Bảng giá trị nhiệt của các loại nhiên liệu

Gỗ khô	16 MJ/kg
Than nâu	9 MJ/kg
Than đen	24-30 MJ/kg
Khí tự nhiên	39 MJ/m ³
Dầu thô	45-46 MJ/kg
Urani	500.000 MJ/kg



Hình 1.7. Trữ lượng các nguồn năng lượng trên toàn thế giới.

§1.3. LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN CỦA NGÀNH NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ

Lịch sử phát triển của ngành năng lượng nguyên tử được mở đầu từ năm 1895, khi Ronghen phát hiện ra tia X. Cho tới mãi cuối thế kỷ XIX, người ta vẫn coi nguyên tử là phần nhỏ bé nhất không thể phân chia của vật chất. Từ năm 1895 sau phát minh ra tia X của Ronghen, ngành vật lý nguyên tử đã được hình thành và phát triển. Những phát minh liên tiếp của Becquerel, Thompson, Marie Curie, Einstein, Niels Bohr, Rutherford, Walter Bothe, H. Becker, Frederic, Jolid Curie, Enrico Fermi v.v... đã đặt nền móng cho ngành công nghiệp năng lượng nguyên tử sau này. Nhưng chỉ sau ngày 27-6-1954, khi đã khánh thành nhà máy điện nguyên tử đầu tiên trên thế giới, công suất 5MW ở Obninsk (Liên xô cũ) thì mới thực sự mở đầu thời kì sử dụng năng lượng nguyên tử cho mục đích hoà bình.

Năm 1904 nhà vật lý người Anh Joseph John Thomson (1856 - 1940) đã đưa ra mẫu nguyên tử đầu tiên. Theo mẫu này thì nguyên tử là một quả cầu tích điện dương có kích thước cỡ 10^{-8} cm với các electron bay lơ lửng trong đó và khi điện tử dao động thì phát bức xạ điện từ vào không gian. Mẫu này tỏ ra thoả đáng cho tới năm 1909 thì gặp phải mâu thuẫn với các kết quả thực nghiệm nghiên cứu tán xạ của các hạt α trên các lá kim loại mỏng. Trong các thí nghiệm này người ta phát hiện ra rằng bên cạnh sự tán xạ ở các góc nhỏ phù hợp với các tính toán về tương tác Coulomb của các hạt α với nguyên tử kiểu như tán xạ Thomson, thì trong một số trường hợp các hạt α còn bị lệch các góc rất lớn (lớn hơn 90°). Người ta không thể dùng mẫu Thomson để giải thích các hiện tượng này.

Năm 1911, nhà bác học người Anh Ernest Rutherford (1871 - 1937) đã đưa ra một mẫu nguyên tử mới, theo mẫu đó nguyên tử gồm một hạt nhân mang điện tích dương $+Ze$ ở tâm, nhân này có bán kính rất nhỏ (cỡ 10^{-12} cm) và Z điện tử chuyển động theo các quỹ đạo nào đó quanh hạt nhân ở các khoảng cách tương đối lớn (cỡ 10^{-8} cm). Vì khối lượng điện tử là rất nhỏ so với khối lượng nguyên tử cho nên toàn bộ khối lượng nguyên tử thực tế là tập trung ở hạt nhân. Mẫu hạt nhân nguyên tử của Rutherford giải thích được các kết quả thí nghiệm khi nghiên cứu tán xạ các hạt α và là một bước tiến lớn trên con đường nhận thức về cấu trúc vật chất. Vậy có thể xem năm 1911 khi mẫu hạt nhân nguyên tử được đưa ra là năm sinh của ngành vật lý hạt nhân. Tuy nhiên, mẫu hạt nhân vẫn có một thiếu sót rất căn bản. Đó là việc mẫu này không giải thích được bức xạ điện từ của nguyên tử và tính bền vững của nguyên tử.

Để khắc phục các mâu thuẫn của mẫu nguyên tử Rutherford, năm 1913 nhà vật lý Đan Mạch Niels Bohr (1885 - 1962) đã đưa ra một lý thuyết mới là lý thuyết lượng tử về các quá trình xảy ra trong nguyên tử. Bohr vẫn giữ lại hạt nhân của Rutherford và cho các điện tử quay quanh hạt nhân theo các quỹ đạo tròn với các điều kiện sau:

1. Điện tử trong nguyên tử chỉ có thể ở trong một số quỹ đạo dừng xác định và ổn định, và ở đó điện tử không bức xạ.
2. Điện tử chỉ bức xạ hay hấp thụ khi chuyển từ quỹ đạo dừng này sang quỹ đạo dừng khác.
3. Trong tất cả các quỹ đạo khả dĩ của điện tử quanh hạt nhân, chỉ tồn tại những quỹ đạo nào mà momen động lượng của điện tử bằng một số nguyên lần h .

Cho đến nay, về cơ bản người ta vẫn sử dụng mẫu Bohr và gọi nó là mẫu hành tinh nguyên tử. Từ đó mở ra một ngành vật lý hoàn toàn mới là ngành cơ học lượng tử. Đối tượng nghiên cứu của nó là các nguyên tử, hạt nhân nguyên tử và các hạt cơ bản. Cùng với cơ học lượng tử, lý thuyết tương đối do nhà bác học vĩ đại người Đức Albert Einstein (1879 - 1955) đưa ra từ năm 1905 đến năm 1916 là cơ sở để xây dựng vật lý hạt nhân hiện đại và lý thuyết các hạt cơ bản.

Với công thức liên hệ giữa khối lượng vật chất và năng lượng tương đương chứa trong khối chất này:

$$E = mc^2$$

Albert Einstein xứng đáng được mệnh danh là "Cha đẻ của ngành năng lượng nguyên tử".

Đầu các năm 30 của thế kỷ XX cùng với nhiều máy móc trong lĩnh vực vũ tuyền, phổ kế ra đời đã tạo điều kiện cho vật lý có những phát minh có tính quyết định trong ngành hạt nhân nói chung và công nghệ hạt nhân nói riêng. Người ta phát hiện ra các hiện tượng phân rã hạt nhân, phát hiện tính phóng xạ tự nhiên của nhiều nguyên tố, người ta tiến hành nghiên cứu được nhiều phản ứng hạt nhân trong đó có hai loại phản ứng hết sức quan trọng là phân hạch hạt nhân và phản ứng tổng hợp nhiệt hạch, tạo ra một ngành công nghệ mới mà sản xuất năng lượng phục vụ con người, chỉ ra được hướng giải quyết căn bản bài toán năng lượng cho loài người.

§1.4. TÌNH HÌNH NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ CỦA MỘT SỐ NƯỚC TRÊN THẾ GIỚI

1. Nước Mỹ

Các nhà máy điện nguyên tử của Mỹ có 103 lò phản ứng với tổng công suất thiết bị là 101.000MW chiếm vị trí thứ nhất trên thế giới. Cơ cấu nguồn điện năm 2000 là: điện than chiếm 52%, điện nguyên tử chiếm 20%, tiếp theo là 16% điện khí và 7% thủy điện.

Mỹ có nguồn khí thiên nhiên phong phú nên 90% nhà máy điện đang xây dựng là nhiệt điện khí.

Các quy chế an toàn lò phản ứng ở Mỹ ngày càng được nâng cao, tính kinh tế của nhà máy điện nguyên tử giảm nên từ sau năm 1974 không có nhà máy mới nào được xây dựng.

Trong “Chính sách năng lượng quốc gia” được Tổng thống Bush phát biểu vào tháng 5 năm 2001, việc mở rộng sử dụng điện nguyên tử đã trở thành một yếu tố rất quan trọng và cần thiết. Trong thời gian tới có khả năng các nhà máy điện nguyên tử mới sẽ được xây dựng. Mặt khác tuy đến thời điểm năm 1990, tỷ lệ sử dụng thiết bị của các nhà máy điện nguyên tử đang vận hành đã giảm xuống dưới 65% nhưng sau đó lại tăng dần lên và đến năm 2000 đã đạt kỷ lục cao nhất là 89,6%.

Hiệu suất vận hành và tuổi thọ của lò phản ứng tăng lên nên chi phí phát điện của các nhà máy điện nguyên tử năm 1999 là 1,83cent/kWh, rẻ hơn cả điện than là 2,07cent/kWh.

2. Nước Pháp

Pháp hiện có 58 lò phản ứng PWR phát điện với tổng công suất thiết bị là 63.000 MW chiếm vị trí thứ hai trên thế giới sau Mỹ.

Điện nguyên tử chiếm 76% trong tổng điện năng của cả nước và đây là tỷ lệ cao nhất trên thế giới. Tỷ lệ tự cung cấp năng lượng từ 23% vào năm 1973 đã vượt 50% vào năm 2000. Hơn nữa Pháp là nước xuất khẩu điện, năm 2000 Pháp đã xuất khẩu 72,2 tỷ kWh điện nguyên tử sang các nước xung quanh như Thụy Sĩ, Italia, Anh và tăng hơn 9 tỷ kWh so với năm 1999.

Theo khảo sát dư luận gần đây, 68% người ủng hộ sử dụng năng lượng nguyên tử, 88% người cho rằng năng lượng nguyên tử rất có hiệu quả trong việc giảm thiểu hiệu ứng nhà kính.

3. Nhật Bản

Tại thời điểm năm 2000, Nhật Bản có 51 lò phản ứng phát điện đang vận hành, công suất thiết bị là 45.000MW, trở thành nước sử dụng điện nguyên tử thứ ba trên thế giới sau Mỹ và Pháp. Trong số 51 lò phản ứng, 28 lò theo công nghệ BWR và 23 lò theo công nghệ PWR.

Ở Nhật Bản, việc phát triển điện nguyên tử do các công ty điện lực tư nhân tiến hành. Sau khi lập ra Công ty Điện nguyên tử Nhật Bản (JAPC), 9 công ty điện lực tập trung nguồn nhân lực và xây dựng thể chế phát triển điện nguyên tử. Đầu tiên JAPC đã đưa vào áp dụng loại lò làm mát bằng khí từ Anh, tiếp đó là BWR từ Mỹ.

Các chuyên gia điện nguyên tử sau khi được đào tạo ở JAPC đã trở về công ty điện lực của

minh và xây dựng các nhà máy điện nguyên tử. Như vậy ngành điện nguyên tử của Nhật Bản đã phát triển đặc biệt ấn tượng.

Nhật Bản là nước nghèo tài nguyên năng lượng nên phải dựa vào nhập khẩu khoảng 80% tài nguyên năng lượng. Đặc biệt dầu mỏ chiếm 52,4% tổng cung năng lượng sơ cấp và hầu như phải nhập khẩu, trong đó 80% nguồn nhập là từ khu vực Trung Đông.

Do vậy, ở Nhật Bản để đảm bảo ổn định năng lượng, năng lượng nguyên tử là hết sức cần thiết. Tuy điện nguyên tử đang duy trì 1/3 nhu cầu điện lực nhưng trong thời gian tới vẫn cần tăng hơn nữa con số này. Mặt khác, để sử dụng một cách có hiệu quả nhiên liệu urani, Nhật Bản vẫn kiên trì chính sách xử lý nhiên liệu để có thể sử dụng được nguồn Pu.

Ngoài ra, việc phát triển các loại lò nước nặng, lò tái sinh nhanh, lò khí nhiệt độ cao hiện đang được các cơ quan, tổ chức của chính phủ triển khai.

4. Nước Đức

Tổng công suất thiết bị khoảng 22.000MW của 19 lò phản ứng phát điện đang vận hành, cơ cấu nguồn điện năm 2000 của Đức là: 33% điện nguyên tử, 24% điện than, 27% điện than nâu, 7% điện khí và 2% điện năng lượng gió.

Trong cuộc bầu cử năm 1998, Đảng Dân chủ xã hội (SPD) vốn mang quan điểm phản đối điện nguyên tử đã đánh bại Liên minh Dân chủ xã hội Cơ đốc giáo (CDU) có quan điểm ủng hộ điện nguyên tử và thành lập chính quyền liên minh với Đảng Xanh, lập ra nội các Schroeder. Chính phủ liên hiệp này có chính sách loại bỏ năng lượng nguyên tử. Kết quả thoả thuận giữa chính phủ và giới công nghiệp, đặc biệt là giới công nghiệp điện về việc đóng cửa các nhà máy điện nguyên tử theo từng giai đoạn đã đạt được thoả thuận như sau: các nhà máy điện hiện đang vận hành sẽ tiếp tục hoạt động và sẽ đóng cửa dần dần khi hết tuổi thọ. Mặc dù chính phủ Đức tuyên bố thực hiện chính sách không xây dựng mới nhà máy điện nguyên tử và dự kiến đến năm 2022 nhà máy điện nguyên tử cuối cùng sẽ ngừng hoạt động, nhưng Đức vẫn cộng tác với Pháp để nghiên cứu các loại lò phản ứng tiên tiến có độ an toàn cao hơn. Vấn đề tuyên bố dừng phát triển điện nguyên tử của Đức cũng mang yếu tố chính trị. Đức hiện nay nhập khẩu điện từ các nhà máy điện nguyên tử của Pháp một cách dễ dàng.

5. Nước Nga

Tại thời điểm cuối năm 2001, Cộng hoà Liên bang Nga có 30 tổ máy điện nguyên tử đang vận hành với tổng công suất thiết bị là 21.000 MW đứng vị trí thứ 5 trên thế giới. Nga đang xây dựng 2 tổ máy với tổng công suất 1875 MW.

Lịch sử phát triển điện nguyên tử ở Nga bắt đầu từ việc vận hành nhà máy điện nguyên tử đầu tiên trên thế giới ở Obninks vào năm 1954. Trong thời kỳ chiến tranh lạnh, Nga đã phát huy nội lực trong công tác nghiên cứu phát triển điện nguyên tử.

Năng lượng nguyên tử không những được Nga áp dụng trong các nhà máy phát điện thông thường mà còn sử dụng rộng rãi như lò phản ứng chuyên cung cấp nhiệt, lò phản ứng công suất thấp cho các khu vực xa xôi, tàu phá băng nguyên tử. Mặt khác, để sử dụng hữu hiệu nguồn tài nguyên, Nga cũng đang kiên trì chính sách cho chu trình tái xử lý nhiên liệu.

Do tai nạn lò phản ứng Chernobyl xảy ra vào năm 1986 và những khó khăn về kinh tế, do sự sụp đổ của Liên Xô cũ năm 1991, mặc dù không có những tiến triển mạnh trong ngành năng lượng nguyên tử như trước kia, Nga vẫn không từ bỏ chính sách phát triển năng lượng nguyên tử.

6. Nước Anh

Đến cuối năm 2000, Anh có 33 lò phản ứng nguyên tử với tổng công suất 13.000MW. Tỷ lệ phát điện bằng năng lượng nguyên tử là 22%.

Anh là nước bắt đầu việc phát triển các nhà máy điện nguyên tử thương mại sớm nhất trên thế giới. Đây là loại lò sử dụng urani thiên nhiên làm mát bằng khí. Vì tính kinh tế của loại lò này không cao nên đã tiếp tục phát triển lò tải nhiệt bằng khí dạng cải tiến nhưng chưa đạt đến mức độ cạnh tranh được với lò nước nhẹ.

Năm 1995, lò nước nhẹ áp lực (PWR) đầu tiên đã bắt đầu vận hành thương mại nhưng hiện nay trong kế hoạch không có nhà máy điện nguyên tử nào đang được xây dựng.

7. Trung Quốc

Hiện tại Trung Quốc có 8 lò phản ứng phát điện với tổng công suất 5.977 MW, trong đó có 6 lò nước nhẹ (PWR, LWR) và 2 lò nước nặng CANDU.

Trung Quốc áp dụng nhiều loại lò từ nước ngoài, ví dụ như PWR từ Pháp và Nga và lò nước nặng từ Canada và hiện đang phát triển cả loại PWR nội địa bằng công nghệ trong nước.

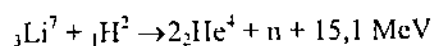
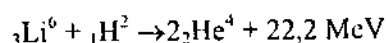
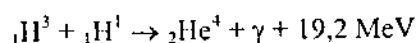
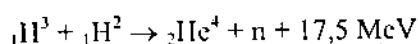
Ba phần tư điện của Trung Quốc là từ nguồn than đá. Vì năng lượng quá phụ thuộc vào than đá nên vấn đề ô nhiễm không khí và mưa axit đang trở nên khá nghiêm trọng.

Hiện nay Trung Quốc đang đặt trọng điểm vào khai thác thủy điện nên tốc độ phát triển điện nguyên tử sẽ bị chậm đi một chút. Tuy nhiên, nguồn tài nguyên urani của Trung Quốc là khá phong phú: khoảng 70 ngàn tấn đã được chứng minh.

§1.5. NĂNG LƯỢNG NHIỆT HẠCH

1.5.1. Nguyên lý tạo ra năng lượng nhiệt hạch

Năng lượng nhiệt hạch đã được nghiên cứu để khai thác chừng 30 năm qua và thành tựu thu được ngày càng sâu rộng hơn. Năng lượng nhiệt hạch được tạo ra từ những phản ứng hạt nhân được thực hiện giữa những nguyên tố nhẹ dùng làm nguyên liệu như các đồng vị của hydro, heli, liti, bo, v.v... Nếu kết hợp các đồng vị của hydro để tạo thành hạt nhân heli thì các phản ứng đó sẽ tỏa năng lượng. Thí dụ:



Các phản ứng trên là phản ứng nhiệt hạch. Năng lượng nhiệt hạch lớn hơn năng lượng phân hạch nhiều. Thí dụ: 1 kg hỗn hợp đồng vị hydro nặng toả ra năng lượng $9,20.10^7$ kWh gấp 4 lần năng lượng do 1 kg U^{235} toả ra ($2,3.10^7$ kWh).

Hiện nay, việc sử dụng hai đồng vị phóng xạ của hydro là đơteri (D) và triti (T) để tạo ra phản ứng nhiệt hạch đòi hỏi những điều kiện mà con người có khả năng thực hiện được. Nhiên liệu được nung nóng ở nhiệt độ rất cao (20 triệu độ C) sẽ bốc hơi tạo nên một trạng thái ion hóa cực mạnh (plasma) để xảy ra phản ứng nhiệt hạch. Trong lò phản ứng nhiệt hạch (hay trong bom H) có sự kết hợp giữa hạt nhân D^2 (có 1 proton và 1 notron) với hạt nhân T^3 (có 1 proton và 2 notron) sinh ra hạt nhân heli (có 2 proton và 2 notron) và phóng xạ 1 notron, đồng thời giải phóng một năng lượng rất lớn bằng mấy chục tấn thuốc nổ.

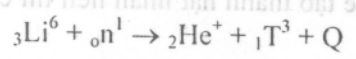
1.5.2. Phản ứng nhiệt hạch không điều khiển

Muốn cho phản ứng nhiệt hạch xảy ra, cần có nhiệt độ cao hàng chục triệu độ. Có thể dùng bom nguyên tử để tạo ra nhiệt độ đó, nhưng phản ứng nhiệt hạch xảy ra sẽ chỉ tồn tại trong một thời gian rất ngắn (cỡ 6-10s) rồi tắt hẳn. Vì vậy phản ứng nhiệt hạch xảy ra trong điều kiện đó gọi là phản ứng nhiệt hạch không điều khiển.

Phản ứng nhiệt hạch không điều khiển, được thực hiện làm bom khinh khí (bom H). Sơ đồ nguyên lí của nó được biểu diễn trên hình 1.8. Nhiên liệu nhiệt hạch là liti hydrua LiD ở trạng thái rắn. Nhiên liệu nhiệt hạch dễ sản xuất vì Li có nhiều trong thiên nhiên, còn đơteri thì có nhiều trong nước biển.

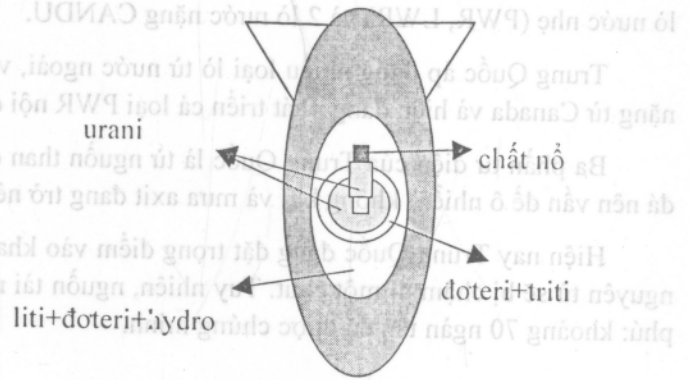
Nếu mỗi quả bom nguyên tử tương đương 20 ngàn tấn thuốc nổ TNT thì quả bom khinh khí có thể tương đương với 10÷20 triệu tấn thuốc nổ TNT.

Triti là chất phóng xạ nhân tạo từ liti, trong lò phản ứng nhiệt hạch chất đồng vị Li^6 sẽ biến thành triti do hấp thu thêm các notron nhanh:



Liti cũng có nhiều, nếu không kê phần hòa tan trong nước thì có chừng 106 tấn, nếu khai thác phần hòa tan trong nước biển thì trữ lượng gần như vô tận là 134.109 tấn.

Việc khai thác và sử dụng nguồn năng lượng này rất khó khăn vì một vấn đề được đặt ra là làm sao không chế được nguồn năng lượng khổng lồ tạo ra được trong lò phản ứng nhiệt hạch để nguồn năng lượng này phát ra từ từ và điều khiển được nó để sử dụng, chứ không thì sẽ nổ ra trong khoảnh khắc như quả bom. Người ta hy vọng rằng việc không chế và điều khiển nguồn năng lượng



Hình 1.8. Cấu tạo bom khinh khí.

nhiệt hạch này có triển vọng thực hiện được trong tương lai.

Hiện nay có 1200 chuyên gia của 4 nước trình độ cao đang hợp tác nghiên cứu và thí nghiệm loại nhà máy điện sử dụng năng lượng nhiệt hạch (tổng hợp hạt nhân). Trước mắt còn phải giải quyết nhiều vấn đề lớn về khoa học kỹ thuật mới có thể vận hành được vào thời gian dự kiến là 2050.

1.5.3. Phương pháp sử dụng thực tế năng lượng phản ứng nhiệt hạch

Mặc dù chưa thực hiện được hoàn toàn phản ứng nhiệt hạch điều khiển được, nhưng người ta vẫn dự kiến những cách sử dụng năng lượng của các phản ứng đó. Có thể biến trực tiếp năng lượng nhiệt hạch thành năng lượng điện: khi nén, năng lượng từ trường biến thành động năng của plasma, do đó phản ứng nhiệt hạch xảy ra và tỏa nhiệt. Nhiệt độ và áp suất sẽ tăng, plasma lại dẫn ngược với tác dụng nén của từ trường. Thành thử khi dẫn, năng lượng plasma lại biến đổi thành năng lượng từ trường. Năng lượng từ trường có thể biến đổi trực tiếp thành năng lượng điện.

Một phương pháp khác để nhận được năng lượng nhiệt hạch là dùng nhiên liệu deuteri và triti. Mỗi lần có phản ứng $D + T$ thì lại được một neutron với năng lượng 14,1 MeV; neutron đập vào vỏ một ống dẫn nước và bằng va chạm đàn hồi chuyển năng lượng cho nước làm nước nóng lên, bốc hơi và tải nhiệt vào tuabin hơi. Vì triti là nhiên liệu quý nên phải phục hồi lại. Muốn vậy, người ta để neutron sinh ra do phản ứng nhiệt hạch đập vào các lớp berili, chì, bismut có tính chất gây phản ứng tạo ra neutron. ${}^6_3\text{Li}$ hấp thụ neutron lại sản xuất ra triti. Kết quả là lò phản ứng nhiệt hạch có thể tái sản xuất nhiên liệu nhiệt hạch giống như lò phản ứng hạt nhân có thể có thể tái sản xuất nhiên liệu phân hạch U^{239} và U^{233} .

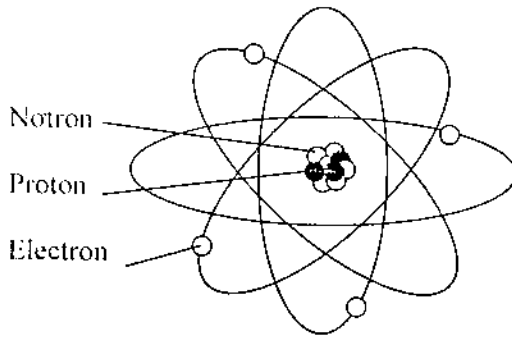
CHƯƠNG 2

HẠT NHÂN NGUYÊN TỬ

§2.1. CẤU TRÚC HẠT NHÂN

Từ năm 1911 Rutherford 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 tử và hầu như toàn bộ khối lượng nguyên tử tập trung trong một vùng nhỏ tại tâm nguyên tử. Cái lõi vật chất tích điện dương đó chính là hạt nhân nguyên tử.

Sau khi Chadwick khám phá ra neutron năm 1932, Ivanenko dựa trên hệ thức bất định Heisenberg, vào năm 1934 đưa ra mẫu hạt nhân gồm hai loại hạt proton và neutron, có tên gọi chung là nuclon. Proton là một hạt mang điện tích dương, về trị số bằng giá trị tuyệt đối của điện tích electron $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$, có khối lượng bằng $m_p = 1,6724 \cdot 10^{-27} \text{kg}$. Neutron là một hạt trung hoà 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 nhưng do khối lượng của electron rất nhỏ: $m_e = 9,1095 \cdot 10^{-31} \text{kg}$ nên khối lượng của nguyên tử chủ yếu tập trung ở hạt nhân nguyên tử.



Hình 2.1. Mẫu hành tinh nguyên tử.

Số proton trong hạt nhân bằng số thứ tự Z của nguyên tử trong hệ thống tuần hoàn Mendeleev, Z được gọi là số điện tích hay nguyên tử số. Tổng số các nuclon trong hạt nhân được gọi là số khối lượng, ký hiệu là A . Như vậy:

$$A = Z + N$$

Trong đó N là số neutron. Hạt nhân nguyên tử được ký hiệu bằng X^A , trong đó X là ký hiệu tên nguyên tử tương ứng. Ví dụ hạt nhân liti: ${}^7_3\text{Li}$ có 3 proton và 4 neutron. Mẫu cấu tạo nguyên tử bao gồm hạt nhân ở tâm và các electron quay xung quanh theo một quỹ đạo nào đó tạo thành đám mây điện tử như vậy gọi là mẫu hành tinh nguyên tử (hình 2.1).

§2.2. TƯƠNG TÁC GIỮA CÁC PROTON VÀ NOTRON

Sự tương tác giữa các proton và notron tuân theo sự trao đổi hạt mezon π . Có ba loại hạt mezon π là π^+ có điện tích bằng điện tích proton, π^- có điện tích bằng điện tích electron và π^0 là hạt không mang điện. Khối lượng của ba hạt trên bằng cỡ 200 - 300 lần khối lượng electron tức là khoảng $0,25 \cdot 10^{-27}$ kg.

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

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

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

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

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

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

Notron cũng có thể cho ra π^0 và notron khác: $n \rightarrow \pi^0 + n$

Các quá trình này luôn đi kèm một quá trình biến đổi về năng lượng vì luôn có một sự sai lệch về khối lượng là $\Delta m = m_x$.

Theo hệ thức bất định về năng lượng ta có:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h \rightarrow \Delta t \geq \frac{h}{m_x \cdot c^2} = \frac{1,05 \cdot 10^{-34}}{0,25 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16}} = 0,466 \cdot 10^{-23} \text{ s} \quad (2.1)$$

trong đó: h là hằng số Planck.

Δt là thời gian sống của hạt mezon. Trong thời gian sống đó hạt mezon đi được một đoạn:

$$L = 0,466 \cdot 10^{-23} (\text{s}) \cdot 3 \cdot 10^8 (\text{m/s}) = 1,399 \cdot 10^{-15} \text{ m}. \quad (2.2)$$

Giá trị này cũng gần bằng bán kính của hạt nhân, cho nên L đôi khi còn được 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 notron 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 notron, deuteri ${}_1\text{D}^2$ có 1 notron và triti ${}_1\text{T}^3$ có 2 notron.

Carbon có ba đồng vị là: ${}_6\text{C}^{11}$, ${}_6\text{C}^{12}$ và ${}_6\text{C}^{13}$.

Thiếc ${}_{50}\text{Zn}$ là hỗn hợp của 10 đồng vị có số A từ 112 ÷ 122 với tỷ lệ từ 0,4 ÷ 33%.

Các hạt nhân của các nguyên tử đồng vị có số notron khác nhau, nhưng chứa cùng một số

proton và do vậy nằm trong cùng một ô của bảng tuần hoàn Mendeleev. Các chất đồng vị có cùng các tính chất hoá học do có cùng cấu trúc vỏ điện tử, nhưng có các tính chất vật lý khác nhau như tính bền vững, tính phóng xạ. Trong bảng tuần hoàn Mendeleev đầy đủ người ta thường ghi thêm các chất đồng vị cho mỗi nguyên tố.

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 khối 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^{207} , Pb^{206} , Pb^{208} và Bi^{209} . Ngoài ra người 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 như một đặc trưng lượng tử của hạt nhân, có ý nghĩa tương tự như momen động lượng của một vật quay. Ngoài sự chuyển động trong hạt nhân, các nuclon còn tự quay quanh bản thân nên chúng có spin \vec{s} , spin của nuclon bằng $1/2$.

Nuclon cũng có momen xung lượng quỹ đạo vì nó chuyển động xung quanh hạt nhân:

$$\vec{L}_i = \left[\vec{r} \times \vec{P} \right] \quad (2.3)$$

Nếu tổng hợp hai chuyển động trên nuclon chuyển động quanh hạt nhân sẽ có momen xung lượng toàn phần là:

$$\vec{J}_i = \vec{L}_i + \vec{s}_i \quad (2.4)$$

\vec{L}_i , \vec{s}_i là momen quỹ đạo và momen spin của nuclon thứ i .

Momen xung lượng toàn phần của hạt nhân bằng tổng momen xung lượng của từng nuclon:

$$\vec{J} = \sum_{i=1}^A \vec{J}_i \quad (2.5)$$

\vec{J} được gọi là momen spin của các hạt nhân.

Trong cơ học lượng tử người ta chứng minh là trị riêng của toán tử \vec{J}^2 là:

$$|\vec{J}^2| = \sqrt{j(j+1)}h$$

Giá trị j gọi là lượng tử spin của hạt nhân hay gọi tắt là spin hạt nhân.

Nếu số khối A của nguyên tử là số chẵn thì hàm sóng mô tả trạng thái của nguyên tử là hàm đối xứng lúc đó spin sẽ là các số nguyên 1, 2, 3 ...

Nếu số khối A của nguyên tử là số lẻ thì hàm sóng mô tả trạng thái của nguyên tử là phản đối xứng lúc đó spin sẽ là bán nguyên $1/2, 3/2, 5/2 \dots$

§2.5. LỰC HẠT NHÂN

Hạt nhân tồn tại được là do lực hạt nhân liên kết các nuclon trong một miền nhỏ không gian. Các nuclon gồm các notron trung hoà điện, proton mang điện dương, chúng luôn tương tác với nhau. 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 chưa gặp. Lực này tồn tại cả giữa notron và proton 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 hướng tương đối nào đó của các hạt mà không phải với mọi điều kiện như thí nghiệm đã chứng tỏ. Lực này lại rất mạnh nên không thể là lực hấp dẫn. Người ta gọi lực này là lực hạt nhân. Lực hạt nhân có bản chất phức tạp hơn lực hấp dẫn và lực điện từ. Ta chỉ có thể định ra một số tính chất của nó:

1. *Không xét đến hai loại lực điện và hấp dẫn:* phân biệt các lực trong hạt nhân nguyên tử thành hai loại: loại lực hạt nhân mạnh và loại lực hạt nhân yếu.

2. *Lực hạt nhân không phụ thuộc điện tích:* nhiều thí nghiệm cho thấy, lực hạt nhân tác dụng giữa hai proton, giữa hai notron và giữa một proton và một notron là như nhau.

3. *Lực hạt nhân có tác dụng tầm ngắn:* lực này chỉ tồn tại khi các nuclon nằm rất gần nhau, nên người ta thường nói các lực hạt nhân là các lực tác dụng tầm ngắn. Tầm tác dụng của các lực hạt nhân vào khoảng 10^{-14} m. Trong hạt nhân proton chịu tác dụng lực của lực hút mạnh hơn lực đẩy.

4. *Lực hạt nhân có tính chất bão hoà:* một nuclon chỉ tương tác với một số hữu hạn các nuclon khác nằm ngay sát nó. Đặc điểm này được gọi là tính chất bão hoà của các lực hạt nhân giống như tính bão hoà trong các liên kết hoá học.

5. *Lực hạt nhân phụ thuộc spin của các nuclon:* các nuclon trong hạt nhân tương tác với nhau, lực hạt nhân phụ thuộc sự định hướng của các spin nuclon.

6. *Lực hạt nhân không phải là lực xuyên tâm:* không thể biểu diễn lực hạt nhân theo đường thẳng nối các tâm của các nuclon tương tác. Người ta nói lực hạt nhân có đặc tính tenxơ.

7. *Lực hạt nhân là lực trao đổi:* Tương tác giữa hai nuclon được thực hiện bằng cách trao đổi với nhau các hạt mezon π . Sự trao đổi liên tục hạt π như vậy tạo nên tương tác giữa các nuclon.

§2.6. MOMEN TỪ HẠT NHÂN

Tương tự như electron, hạt nhân cũng có momen từ riêng ứng với momen spin của nó. Theo nguyên lý Pauli, hạt nhân có momen từ riêng 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. Theo tính toán lý thuyết, Pauli cho rằng: momen từ của hạt nhân chỉ định hướng theo một số phương nhất định so với từ trường của electron hóa trị. Thế nên năng lượng E chỉ nhận một số giá trị gián đoạn. Số giá trị này phụ thuộc vào trị số spin của hạt nhân. Khoảng

cách giữa các mức năng lượng tùy thuộc vào momen từ hạt nhân.

Cần chú ý là vì hạt nhân có hai loại hạt: proton mang điện dương nên có momen từ quỹ đạo còn hạt notron không mang điện, nên chỉ có momen từ spin. Như vậy 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:

$$\vec{\mu} = \sum_{i=1}^Z \vec{\mu}_{Li}^{(p)} + \sum_{i=1}^Z \vec{\mu}_{Si}^{(p)} + \sum_{i=1}^{A-Z} \vec{\mu}_{Si}^{(n)} \quad (2.6)$$

Số hạng thứ nhất ở vế phải của biểu thức 2.6 là tổng momen từ quỹ đạo của các proton thứ i . Số hạng thứ hai ở vế phải của biểu thức 2.6 là tổng momen từ spin của các proton thứ i . Số hạng thứ ba ở vế phải của biểu thức 2.6 là tổng momen từ spin của các notron thứ i .

Đơn vị momen từ hạt nhân có tên là manheton hạt nhân có giá trị bằng:

$$\mu_n = \frac{eh}{2m_p} \approx \frac{1}{1840} \mu_e = \frac{10^{-22}}{1840} \text{Am}^2 \quad (2.7)$$

Bảng sau cho ta biết spin và momen từ một số 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:

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

Khối lượng của một đơn vị khối lượng nguyên tử:

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

Ghi chú: Mol (số Avogadro) là tổng số nguyên tử trong 12g cacbon ${}_{6}\text{C}^{12}$ 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:

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

Bảng sau đây cho biết khối lượng và năng lượng tương ứng của vài loại hạt nhân:

Hạt	Khối lượng tính theo u	Khối lượng (10^{-27} kg)	Năng lượng (MeV)
Proton	1,007276	1,6724	933,23
Notron	1,008665	1,6743	939,53
Đơteri	2,01355	3,3325	1875,5
Alpha	4,00047	6,6444	3726,2

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 :

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n] - M \quad (2.8)$$

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 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. Vậy năng lượng liên kết có thể tính như sau :

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = \{ [Zm_p + (A - Z)m_n] - M \} \cdot c^2 \quad (2.9)$$

Ví dụ năng lượng liên kết của ${}_{8}\text{O}^{16}$ là:

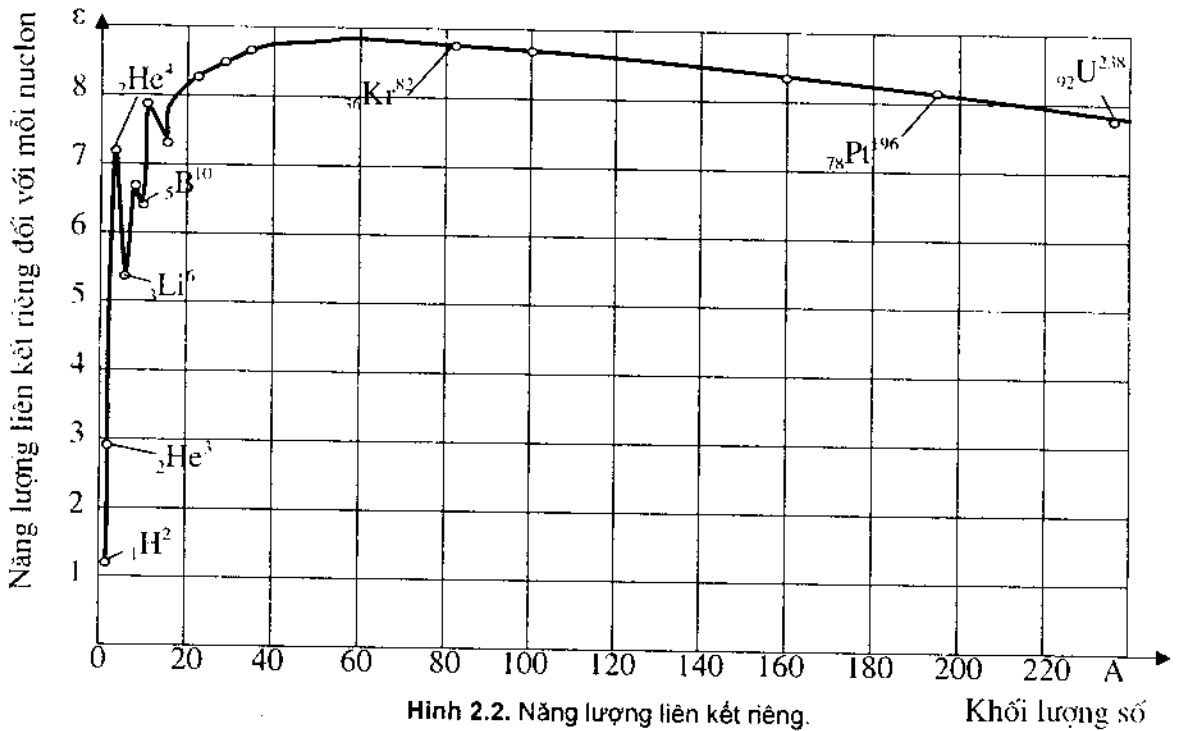
$$\Delta E = [8m_p + 8m_n - M({}_{8}\text{O}^{16})] \cdot c^2$$

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:

$$\varepsilon = \frac{\Delta E}{A} \quad (2.10)$$

Nếu năng lượng liên kết riêng càng lớn, thì năng lượng cung cấp làm phân rã hạt nhân càng cao, vì thế hạt nhân đó được gọi là hạt nhân bền. Ngược lại, nếu năng lượng liên kết riêng càng nhỏ hạt nhân được gọi là hạt nhân không bền.



Hình 2.2. Năng lượng liên kết riêng.

Khối lượng số

Đồ thị biểu diễn năng lượng liên kết riêng ϵ (MeV) theo số khối A của các nguyên tử được vẽ theo thực nghiệm như hình 2.2. Dựa theo đồ thị ta thấy:

a) Với những hạt nhân nhẹ ($A = 1 \rightarrow 10$) năng lượng liên kết riêng ϵ tăng nhanh từ 1,1 MeV (${}^1_1\text{H}^2$) \rightarrow 7 MeV (${}^2_2\text{He}^4$).

b) Với hạt nhân nặng ($A = 140 \rightarrow 240$) năng lượng liên kết riêng giảm dần, nhưng giảm rất chậm từ 8 \rightarrow 7 MeV.

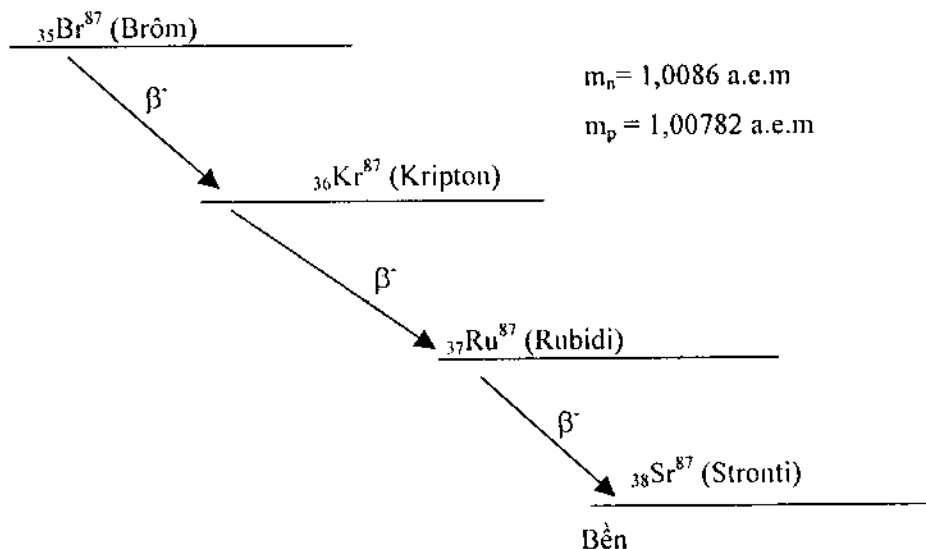
c) Hạt nhân trung bình ($A = 40 \rightarrow 120$) năng lượng liên kết có giá trị trung bình vào khoảng từ 7 \rightarrow 8,6 MeV giá trị này tương đối lớn cho nên hạt nhân trung bình lại là hạt nhân bền vững.

Giá trị từ 7 \rightarrow 8 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 Culong 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 lượng có thể giảm. Một là, các thành phần của hạt nhân tự thay đổi khối lượng của nó, như đã xảy ra trong hiện tượng phóng xạ β khi một neutron 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 sự tăng năng lượng liên kết này kéo theo sự giảm khối lượng nghỉ của hệ. Một ví dụ đơn giản về loại biến đổi hạt nhân này là sự tạo thành đơteri (${}_1\text{H}^2$ hoặc D), khi đó một notron tự do và một proton tự do kết hợp với nhau, và phát ra một lượng tử γ có năng lượng 2,23MeV. Năng lượng toả ra này là kết quả của sự tăng năng lượng liên kết của hệ notron và proton. Các thí nghiệm đo năng lượng cần để phá vỡ đơteri (thành notron và proton) cho thấy nó có năng lượng liên kết đúng bằng 2,23 MeV. Vậy ta có thể tổng quát hoá kết quả này như sau: "Trong mọi biến đổi tự phát của hạt nhân mà trong đó cả số notron lẫn số proton đều không thay đổi thì năng lượng được giải phóng bằng độ tăng của năng lượng liên kết".

Như vậy muốn xác định năng lượng cần thiết để gây ra một biến đổi hạt nhân hoặc xác định năng lượng toả ra trong một phản ứng hạt nhân ta phải biết độ biến thiên của năng lượng liên kết. Nhưng cho đến nay chúng ta chưa có một lý thuyết định lượng chính xác về các lực hạt nhân giữa các nuclon cho nên ta chưa thể xây dựng được một mô hình hạt nhân cho phép tiên đoán được chính xác các biến thiên tổng quát của năng lượng liên kết xem như một hàm số của A và Z. Tuy nhiên dựa trên các số liệu thực nghiệm đo được và dùng mẫu giọt lỏng xem các hạt nhân như là được cấu tạo từ vật chất không nén được liên kết với nhau bằng một lực cố kết mạnh, ta sẽ đi đến công thức bán kinh nghiệm sau đây đối với năng lượng liên kết và khối lượng nguyên tử của chất đồng vị có Z proton và A nuclon:

$$B(A, Z) = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_a \frac{(A - 2Z)^2}{A} \pm \delta \quad (2.11)$$

$$M(A, Z) = Zm_p + (A - Z)m_n - \frac{1}{c^2} \left[a_v A - a_s A^{2/3} - a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_a \frac{(A - 2Z)^2}{A} \pm \delta \right] \quad (2.12)$$

trong đó: a_v, a_s, a_c, a_a đều là các hằng số được xác định từ thực nghiệm. Vì thể tích hạt nhân tỷ lệ với A nên phần năng lượng liên kết này (số hạng $a_v A$ trong 2.11) thường được gọi là năng lượng

thể tích. Số hạng thứ hai trong biểu thức năng lượng liên kết xuất hiện là do lực hạt nhân của các hạt nhân trên bề mặt hạt nhân thực tế là không bão hoà vì các nuclon này không bị bao vây hoàn toàn từ phía (chú ý là $R \sim A^{1/3}$, R là bán kính hạt nhân, còn diện tích mặt cầu $= \frac{4}{3}\pi R^2$ nên số hạng này tỷ lệ với $R^2 \approx A^{2/3}$). Số hạng thứ ba mô tả lực đẩy Coulomb giữa các proton a_c được xác định từ các phép đo thực nghiệm. Số hạng thứ tư trong biểu thức $B(A, Z)$ nói lên sự kiện là các hạt nhân có số neutron và proton không bằng nhau có xu hướng liên kết yếu hơn so với các hạt nhân có $Z = N$. Tham số δ đưa vào để kể đến sự kiện là các hạt nhân có Z chẵn N chẵn về trung bình liên kết mạnh hơn chút ít (lấy $+\delta$) so với các hạt nhân có Z lẻ N lẻ (lấy $-\delta$) và cho bằng không đối với các hạt nhân có A lẻ. Dưới đây cho các giá trị của các hằng số này trong công thức khối lượng bán kính nghiệm được tìm thấy từ thực nghiệm:

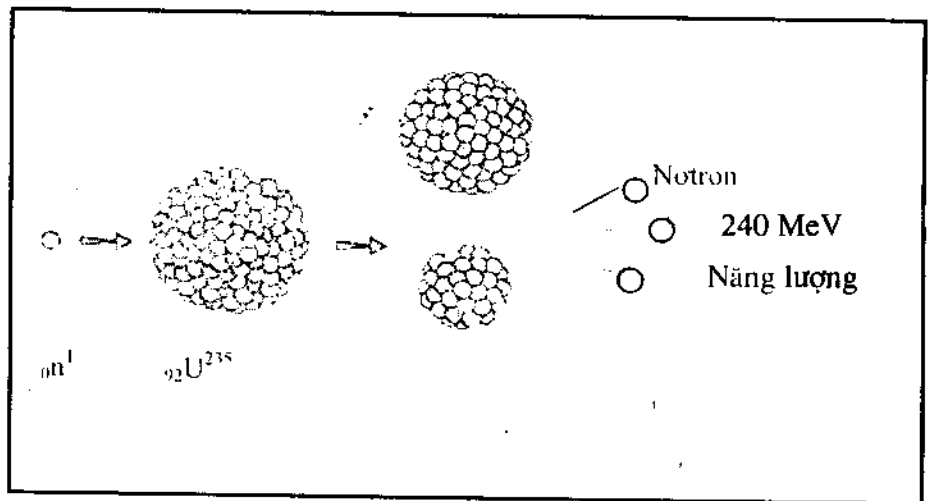
Hệ số	a_v	a_s	a_c	a_a	δ
Giá trị (MeV)	14,1	13	0,59	19,0	$33,5.A^{-3/4}$

Đưa vào hai công thức này, về nguyên tắc ta có thể tìm được sự biến đổi năng lượng liên kết cho bất kỳ một biến đổi hạt nhân hay phản ứng hạt nhân nào. Trên cơ sở đó có thể tiến hành dự đoán các phản ứng cung cấp cho ta nguồn năng lượng hạt nhân hiện đang chiếm tới gần 1/4 điện năng thế giới.

§2.8. TƯƠNG TÁC HẠT NHÂN

2.8.1. Các loại phản ứng hạt nhân

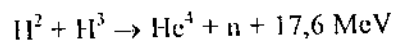
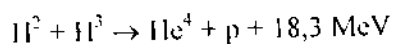
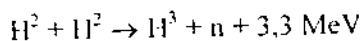
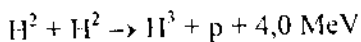
Trở lại hình 2.2 ta biết rằng năng lượng liên kết đối với mỗi nuclon trong một hạt nhân với $A = 240$ chẳng hạn, có thể tăng gần 1 MeV nếu nó được tách thành hai mảnh có $A = 120$. Cho nên, nếu bằng cách nào mà ta làm cho hạt nhân nặng này vỡ thành hai hạt nhân nhẹ hơn (có



Hình 2.3. Phản ứng phân rã hạt nhân.

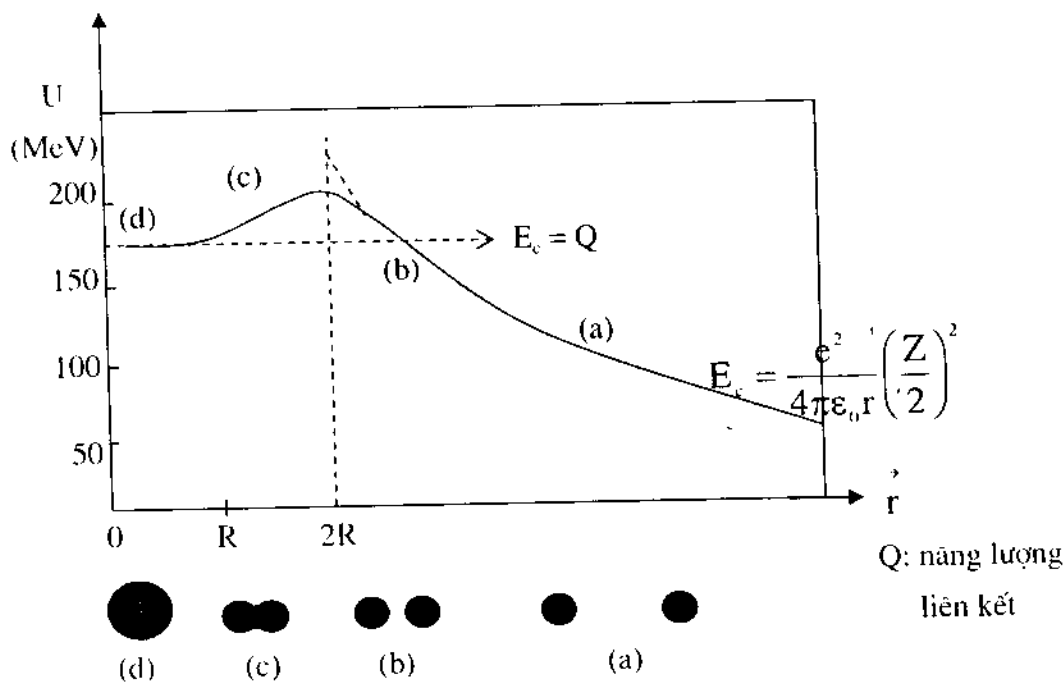
khối lượng gần bằng một nửa hạt nhân mẹ) ta sẽ thu được một năng lượng tổng cộng cỡ 240 MeV. Đó chỉ là năng lượng thu được do một hạt nhân bị vỡ ra. Đây được gọi là hiện tượng phân hạch hạt nhân. Phản ứng xảy ra trong hiện tượng phân hạch hạt nhân gọi là phản ứng phân rã hạt nhân (Hình 2.3). Nguồn năng lượng sinh ra trong phản ứng phân rã hạt nhân là nguồn năng lượng khổng lồ mà ta có thể thu được trong các lò phản ứng hạt nhân và các vụ nổ hạt nhân.

Chú ý tới phần đường cong năng lượng liên kết ứng với các giá trị A bé (Hình 2.2) ta thấy nếu đưa được hai hạt nhân đơteri ${}^2\text{H}$ lại gần nhau để tạo thành hạt nhân ${}^4\text{He}$ (hạt nhân heli – hay còn gọi là hạt alpha) thì năng lượng liên kết tăng 6 MeV đối với mỗi nuclon. Các phản ứng loại này được gọi là phản ứng tổng hợp nhiệt hạch và là nguồn năng lượng của bom khinh khí (bom H, trái với bom nguyên tử gây ra bởi hiện tượng phân hạch là bom A) và là nguồn tạo ra nhiệt độ hàng chục triệu độ trong lòng Mặt Trời cũng như các vì sao. Sở dĩ gọi phản ứng này là phản ứng tổng hợp nhiệt hạch vì nó chỉ xảy ra ở các nhiệt độ rất cao (hàng chục triệu độ). Ta nêu ra đây một vài phản ứng tổng hợp nhiệt hạch:



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 tiết diện 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). Tuy nhiên, nếu phản ứng này được sử dụng thì phải tìm cách tái sinh triti H^3 vì nguyên tố này không tìm thấy trong thiên nhiên, còn H^2 (đơteri) thì cứ 7000 phân tử nước biển thì có 1 nguyên tử H^2 (còn gọi là nguyên tử nước nặng D_2O).

Năng lượng do hiện tượng phân hạch hạt nhân đã đem lại cho con người một nguồn năng lượng rất quan trọng. Các tính toán về mặt năng lượng cho thấy sự chênh lệch về khối lượng giữa hai mảnh vỡ trong phản ứng phân hạch hạt nhân không ảnh hưởng nhiều tới năng lượng toả ra. Để đơn giản ta giả thiết hạt nhân bị vỡ thành hai mảnh bằng nhau:



Hình 2.4. Đường cong thế năng tương hỗ giữa hai mảnh phân hạch.

$$M(A, Z) \rightarrow M\left(\frac{A}{2}; \frac{Z}{2}\right) + M\left(\frac{A}{2}; \frac{Z}{2}\right) \quad (2.13)$$

Năng lượng giải phóng lúc đó sẽ là:

$$Q_{ph} = [M(A, Z) - 2M\left(\frac{A}{2}; \frac{Z}{2}\right)] c^2 \quad (2.14)$$

Thay biểu thức của $M(A, Z)$ từ công thức (2.12) vào biểu thức (2.14) sau một vài biến đổi không phức tạp lắm ta thu được:

$$Q_{ph} = -0,26 a_s A^{2/3} + 0,37 a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} \quad (2.15)$$

Đối với loại nhiên liệu thường được dùng để chạy lò phản ứng hạt nhân là ${}_{92}\text{U}^{235}$ ($A = 235$, $Z = 92$), $a_s = 13$, $a_c = 0,5$ ta sẽ thu được:

$$Q_{ph} \approx 170 \text{ MeV}$$

Nhưng trong thực tế thì quá trình phân hạch thường kéo theo việc phát ra một vài neutron mới, các tia γ , phân rã β , neutrino nên năng lượng phân hạch toàn phần đạt giá trị cỡ 240 MeV.

2.8.2. Sự phân hạch cảm ứng

Do năng lượng liên kết và kích thước hạt nhân tỷ lệ với số nuclon có mặt trong hạt nhân nên có thể quan niệm hạt nhân như một giọt chất lỏng. Giống như sức căng bề mặt có xu hướng làm cho giọt chất lỏng có dạng hình cầu để cản trở mọi biến dạng, các lực hạt nhân cũng làm cho hạt nhân khi ở trạng thái bình thường thì có dạng hình cầu. Nếu xét thế năng của hạt nhân như là một hàm của khoảng cách giữa các mảnh phân hạch ta thấy đường cong này có dạng như hình 2.4 (Ví dụ ta xét hạt nhân urani - 238).

Nhìn đường cong thế năng tương hỗ giữa hai mảnh phân hạch ta thấy hiện tượng phân hạch tự phát bị rào thế này ngăn cản, song chỉ cần một năng lượng tương đối nhỏ là có thể nâng hệ lên trên rào thế và do đó gây ra được quá trình phân hạch. Như vậy, chỉ cần thêm cho hạt nhân một năng lượng vài MeV là hạt nhân có thể vượt qua rào thế để phân hạch và giải phóng ra khoảng 240 MeV. Ta có thể bổ sung cho hạt nhân phần năng lượng cần thiết này bằng cách cho một hạt có năng lượng lớn va chạm vào hạt nhân nặng. Hạt nhân tích điện dương nên nếu dùng một hạt mang điện tích dương sẽ không thích hợp vì còn phải tốn năng lượng để thắng lực đẩy Coulomb. Như vậy ta phải dùng hạt trung hoà hoặc hạt có điện tích âm. Dùng electron cũng không có lợi vì hạt này lại tương tác chủ yếu với các electron bao quanh hạt nhân và tương tác rất ít với chính hạt nhân. Khả năng lựa chọn tốt nhất là hạt neutron. Nó là hạt trung hoà nên không có vấn đề phải thắng lực Coulomb, neutron lại không tương tác với electron cho nên nó đi xuyên qua đám mây electron của nguyên tử một cách dễ dàng, hơn nữa ở các khoảng cách ngắn nó lại bị hút vào hạt nhân rất mạnh do lực hạt nhân giữa các nuclon gây ra. Do lực hút này mà các neutron ở lân cận hạt nhân có xu hướng liên kết với hạt nhân và sau đó giải phóng năng lượng liên kết của chúng cỡ 7 MeV. Dùng công thức (2.12) trên đây ta có thể tính được năng lượng được giải phóng khi một neutron bị bắt, cho nên nó thường được gọi là năng lượng tách neutron sau khi bị bắt, và được ký hiệu là:

$$S_n = [M(A, Z) + m_n - M(A + 1, Z)] c^2 \quad (2.16)$$

Giá trị S_n chỉ thay đổi rất chậm khi A thay đổi trừ số hạng δ . Dùng công thức khối lượng bán kinh nghiệm có thể chứng minh rằng S_n đối với trường hợp mà số neutron của bia là một số lẻ thì lớn hơn khoảng 25 so với trường hợp số neutron là một số chẵn. Với những hạt nhân có $A \approx 230$ độ chênh lệch này vào cỡ 1 MeV. Ví dụ ta xét quá trình bắt neutron trong hai đồng vị của urani.



Người ta thấy rằng ${}_{92}\text{U}^{235}$ phân hạch ngay cả khi neutron bị bắt có động năng không đáng kể (sự bắt neutron chậm). Song ${}_{92}\text{U}^{238}$ lại bắt neutron mà không bị phân hạch, nó chỉ phân hạch khi neutron có năng lượng cỡ 1 MeV (gọi là hiện tượng phân hạch nhờ có neutron nhanh). Đối với hạt nhân ${}_{92}\text{U}^{235}$ neutron bị bắt sẽ giải phóng khoảng 6,4 MeV. Năng lượng này đủ để vượt qua rào Culong. Tuy nhiên, ở ${}_{92}\text{U}^{238}$ neutron bị bắt chỉ giải phóng khoảng 4,9 MeV mà để phân hạch ${}_{92}\text{U}^{238}$ ta cần có năng lượng khoảng 5,5 MeV. Tóm lại chỉ những nuclit (một cấu hình hạt nhân cụ thể, có các số A và Z xác định) có năng lượng tách S_n lớn hơn năng lượng cần để phân hạch mới dễ dàng phân hạch khi bắt neutron chậm. Dưới đây là bảng cho năng lượng của neutron và năng lượng cần cho sự phân hạch của một số nuclit nặng.

Hạt nhân bia	Hạt nhân phức hợp	Năng lượng tỏa ra khi bắt neutron S_n	Năng lượng cần cho sự phân hạch, MeV
U^{233}	U^{234}	6,6	4,6
U^{235}	U^{236}	6,4	5,3
U^{238}	U^{239}	4,9	5,5
Th^{232}	Th^{233}	5,1	6,5
Pa^{231}	Pa^{232}	5,4	5,0
Np^{237}	Np^{238}	5,0	4,2
Pu^{239}	Pu^{240}	6,4	4,0

Qua bảng trên ta thấy vì sao U^{235} được dùng làm nhiên liệu chính cho các lò phản ứng hạt nhân chạy bằng neutron nhiệt.

Đặc điểm quan trọng làm cho quá trình phân hạch được sử dụng như một nguồn năng lượng là trong quá trình phân hạch hạt nhân còn phát ra một số neutron (đối với ${}_{92}\text{U}^{235}$ số neutron phát ra trung bình là 2,5 đối với mỗi phân hạch). Do các neutron này lại được dùng để gây thêm những phân hạch khác thì quá trình phân hạch cứ tiếp diễn mãi hay như người ta thường nói là quá trình phân hạch tự duy trì.

2.8.3. Sự phóng xạ của hạt nhân

a. Sự phóng xạ tự nhiên

Như ta đã nói ở trên đây, các nuclon trong hạt nhân bị bó chặt với nhau nhưng không ngừng tương 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 tượng phân rã hạt nhân. Hiện tượng 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 hêli 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.



Đĩ 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 gamma (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.

b. Tính chất của quá trình phóng xạ tự nhiên

Quá trình phóng xạ tự nhiên tuân theo điều kiện chuyển hạt nhân từ trạng thái không bền vững (tức là có mức năng lượng lớn) sang trạng thái bền vững hơn (trạng thái có mức năng lượng thấp hơn).

Ta thấy quá trình phóng xạ tự nhiên phải có sự chuyển đổi năng lượng để sinh ra một năng lượng dư ΔE . Muốn có năng lượng dư thì khối lượng nghỉ của hạt nhân ban đầu phải lớn hơn khối lượng nghỉ của các sản phẩm do phản ứng sinh ra.

Thí dụ phản ứng phân rã hạt α chỉ xảy ra khi:

$$M(X^A) - [M({}_{Z-2}Y^{A-4}) + M({}_2He^4)] = \Delta m > 0 \quad (2.21)$$

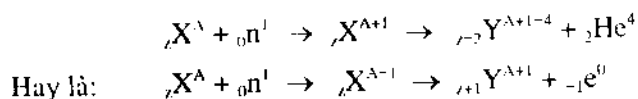
Số hạng đầu ở vế trái là khối lượng hạt nhân có số khối A và điện tích hạt nhân là Z. Số hạng thứ hai ở vế trái là khối lượng hạt nhân có số khối A và điện tích hạt nhân là Z - 2.

Độ hụt khối tương đương với một mức năng lượng là: $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$

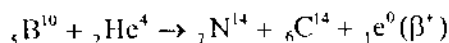
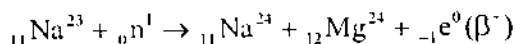
Như vậy hiện tượng phóng xạ tự nhiên là một quá trình biến đổi hạt nhân mà tổng khối lượng sau phản ứng bị giảm và sinh ra năng lượng, năng lượng đó trở thành động năng của hạt chuyển động.

c. Sự phóng xạ nhân tạo

Người ta có thể dùng những hạt đạn được gia tốc như hạt neutron, hạt α , ... bắn vào một số hạt nhân để hạt nhân hấp thụ một số hạt đạn bắn vào và biến thành một hạt nhân phóng xạ nhân tạo. Sơ đồ chung tạo sự phóng xạ nhân tạo như sau:



Ví dụ:



2.8.4. Tương tác của neutron với hạt nhân

Do neutron là trung hoà về điện nên nó được sử dụng như một tác nhân gây ra phản ứng hạt nhân dây chuyền trong lò phản ứng hạt nhân, vì vậy ta xét sự tương tác giữa neutron và hạt nhân. Những phản ứng hạt nhân quan trọng nhất do neutron gây ra trong lò phản ứng là:

1. Phân hạch $X(n, \text{phân hạch})$
2. Hấp thụ neutron để bức xạ $X(n, \gamma) Y$
3. Tán xạ đàn hồi $X(n, n) X$
4. Tán xạ không đàn hồi $X(n, n' \text{ và } \gamma) X$
5. Phát k_n $X(n, k_n) Y$
6. Phát ra các hạt tích điện $X(n, p) Y, X(n, \alpha) Y \text{ v.v...}$

Các phản ứng hạt nhân trên đây đều cạnh tranh với nhau, song hai quá trình cạnh tranh nhau mạnh nhất là hai quá trình đầu. Khi nghiên cứu các quá trình trên đây về mặt năng lượng người ta rút ra kết luận là quá trình tán xạ không đàn hồi chỉ xảy ra khi động năng của neutron với đơn vị hạt nhân bia phải lớn hơn năng lượng của mức năng lượng kích thích đầu tiên của hạt nhân bia. Nói cách khác tán xạ không đàn hồi là một phản ứng hạt nhân có ngưỡng đối với động năng ban đầu của neutron. Khi nghiên cứu phổ năng lượng của các hạt nhân nhẹ (có nguyên tử số nhỏ hơn 50) người ta thấy mức kích thích đầu tiên của các hạt nhân nhẹ nằm khá xa năng lượng của trạng thái cơ bản (cỡ vài MeV) cho nên trong các lò phản ứng hạt nhân ta có thể bỏ qua tán xạ không đàn hồi trên các hạt nhân nhẹ. Còn ở các hạt nhân nặng hơn, năng lượng của các mức kích thích đầu tiên chỉ nằm cao hơn mức năng lượng của trạng thái cơ bản vài keV cho nên khi tính toán lò đôi khi các va chạm không đàn hồi của các neutron với các hạt nhân này lại có vai trò rất quan trọng.

2.8.5. Tiết diện tương tác của các neutron

Do các quá trình phản ứng hạt nhân nêu trên là các quá trình cạnh tranh với nhau nên để đặc trưng cho các quá trình này người ta đưa vào khái niệm tiết diện phản ứng. Tiết diện phản ứng cho phép ta xác định xác suất tương đối của mỗi neutron trong các phản ứng này. Tiết diện phản ứng được ký hiệu là σ_i đối với phản ứng loại i (hấp thụ, tán xạ...). Đơn vị đo tiết diện phản ứng là

barn = 10^{-24} cm². Việc xác định các tiết diện phản ứng σ đối với các loại phản ứng hạt nhân khác nhau, các dạng tương tác khác nhau và với các giá trị năng lượng khác nhau của các neutron đối với hạt nhân bia thuộc nhiệm vụ của ngành vật lý hạt nhân.

§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 được tiếp diễn mãi. Ví dụ xét tương tác của neutron với hạt nhân berili Be⁹:



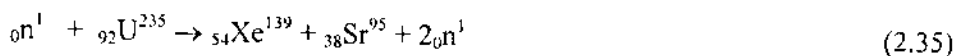
Sau phản ứng xuất hiện hai hạt α và hai neutron. Hai hạt neutron mới xuất hiện này sau đó lại có thể gây ra các phản ứng tương tự trên Be⁹. Như vậy, ở đây ta có phản ứng dây chuyền loại (n, 2n) với Be. Phản ứng này đã được phát hiện năm 1939. Tuy nhiên, điều kiện để phản ứng này xảy ra là phải tốn một 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 toả 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

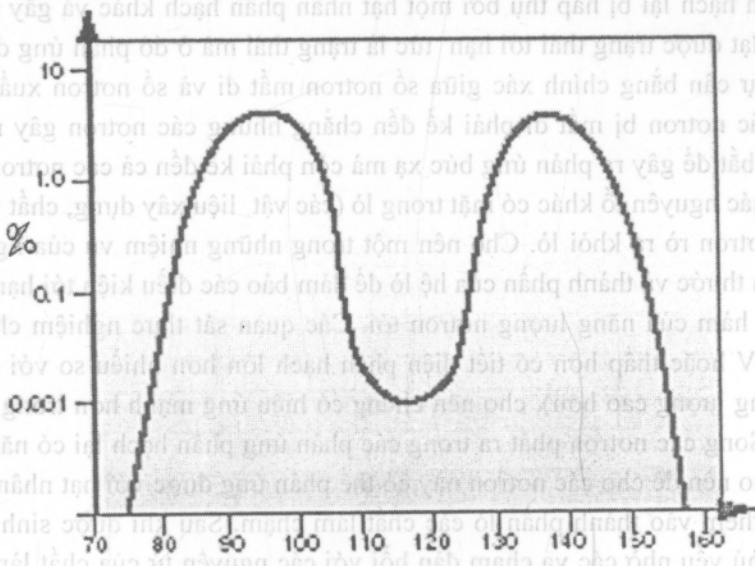
Sự phân hạch có thể xảy ra tự phát hoặc dưới tác dụng của neutron. Hiện tượng phân hạch tự phát rất hiếm khi xảy ra. Thông thường, người ta quan sát thấy hiện tượng phân hạch dưới tác dụng của neutron. Thí dụ, một trong các phản ứng có thể xảy ra đối với ${}_{92}\text{U}^{235}$ là:



Khi phân hạch, khối lượng 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 lượng khác nhau và giải phóng từ hai đến ba neutron. Cụ thể từ công thức 2.35, ta thấy hai mảnh $M({}_{54}\text{Xe}^{139})$ và $N({}_{38}\text{Sr}^{95})$ có khối lượng khác nhau. Đường cong trên hình 2.6. cho ta xác suất (%) của các mảnh vỡ với khối lượng khác nhau xuất hiện khi phân chia hạt nhân ${}_{92}\text{U}^{235}$. Đường 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 lượng khác nhau. Xác suất để hạt nhân tách thành hai mảnh có khối lượng khác nhau nhiều (160 và 76) không xảy ra. Xác suất cực đại khi $M = 90$ và $N = 140$, phù hợp với phương trình 2.35.

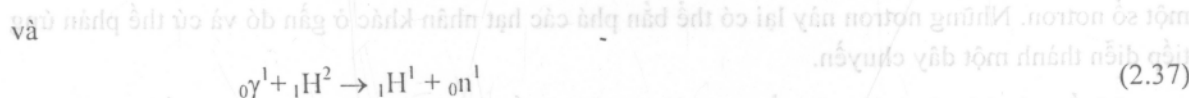
Phản ứng phân hạch luôn đi kèm một lượng lớn năng lượng toả ra. Ngay sau khi phân hạch, phần năng lượng toả ra được phân bố giữa động năng và năng lượng kích thích của các mảnh phân hạch, còn năng lượng kích thích lại phân bố giữa các neutron có năng lượng cao, các neutron này lại

có khả năng gây ra các phân hạch mới và làm cho phản ứng có tính dây chuyền.



Hình 2.6. Xác suất xuất hiện các mảnh vỡ khác nhau khi phân chia hạt nhân ${}_{92}\text{U}^{235}$.

Tuy nhiên để có được neutron ban đầu để gây phản ứng dây chuyền trên U^{235} người ta phải dùng một phản ứng mồi để phát ra neutron hay người ta thường gọi là hiện tượng quang phân rã hạt nhân, ký hiệu là (γ, n) vì hạt tới là lượng tử γ còn hạt phát ra trong phản ứng là neutron. Dưới 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 doteri có thể xảy ra hai quá trình sau đây:



Hai phản ứng này thường được dùng để mồi 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 thì phản ứng hạt nhân chính xảy ra trong lò là:



Trong đó M và N là hai hạt nhân nhẹ hơn U^{235} (bằng nửa U^{235}) gọi là các mảnh phân hạch, νn^{1} 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 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 được 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 người thiết kế lò là phải xác định kích thước và thành phần của hệ lò để đảm bảo các điều kiện tới hạn cho lò. Tiết diện phân hạch là một hàm của năng lượng neutron tới. Các quan sát thực nghiệm cho thấy neutron có năng lượng cỡ 1eV hoặc thấp hơn có tiết diện phân hạch lớn hơn nhiều so với các neutron nhanh (tức neutron có năng lượng cao hơn), cho nên chúng có hiệu ứng mạnh hơn trong việc duy trì phản ứng dây chuyền. Song 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 được với hạt nhân U^{235} 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. Người 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.

Trong các lò phản ứng người ta lắp đặt các thiết bị cần thiết để có thể điều khiển lò, tức là kiểm soát và duy trì cho lò ở trạng thái tới hạn khi lò hoạt động hoặc đưa lò xuống trạng thái dưới tới hạn khi cần ngừng hoạt động của lò.

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 phát ra một số neutron. Những neutron này lại có thể bắn phá các hạt nhân khác ở gần đó và cứ thế phản ứng tiếp diễn thành một dây chuyền.

Muốn có phản ứng dây chuyền ta phải xét tới hệ số nhân neutron k của hệ. Hệ số nhân neutron k là tỷ số giữa số neutron sinh ra và số neutron mất mát đi do các nguyên nhân khác nhau. Nếu k nhỏ hơn đơn vị ($k < 1$) phản ứng dây chuyền không thể xảy ra. Nếu k đúng bằng đơn vị ($k = 1$) thì phản ứng dây chuyền sẽ xảy ra với mật độ neutron không đổi. Đó là phản ứng dây chuyền điều khiển được trong lò phản ứng. Nếu k lớn hơn đơn vị ($k > 1$) thì dòng neutron sẽ tăng liên tục theo thời gian và dẫn tới vụ nổ nguyên tử. Đó là phản ứng dây chuyền không điều khiển được.

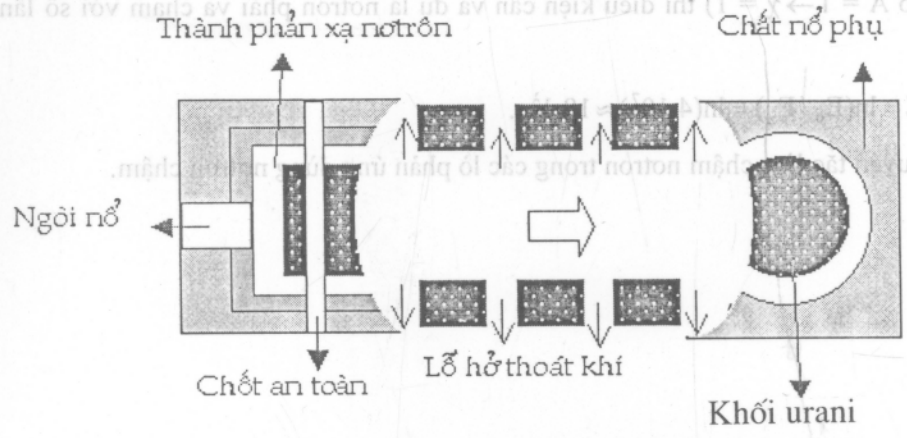
Uran thiên nhiên chứa 99,3% đồng vị U^{236} và 0,7% đồng vị U^{235} . Hạt nhân U^{236} chỉ vỡ khi hấp thụ neutron nhanh, năng lượng lớn hơn 1 MeV. Khi hấp thụ neutron chậm, năng lượng nhỏ hơn 1 MeV, thì U^{236} sẽ biến đổi thành Pu^{239} .

Trái lại với U^{236} , hạt nhân U^{235} sẽ vỡ khi hấp thụ cả neutron chậm và neutron nhanh. Tuy nhiên xác suất hấp thụ neutron chậm của U^{235} lớn hơn nhiều so với khi hấp thụ neutron nhanh.

Thành thử trong một môi trường đồng nhất, nồng độ U^{236} lớn thì phản ứng dây chuyền không thể xảy ra. Trái lại với một khối lượng U^{235} đủ lớn thì phản ứng dây chuyền tự phát có 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 dây chuyền tự phát là khối lượng tới hạn (đối với U^{235} nguyên chất là 1kg, đối với Plutoni Pu^{239} 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: người ta dùng hai mảnh U^{235} khối lượng nhỏ hơn 1kg đặt cách xa nhau. Dùng thuốc nổ phụ đẩy hai mảnh đó dính liền nhau, khối lượng bây giờ lớn hơn mức tới hạn. Kết quả sẽ xảy ra vụ nổ nguyên tử. Trong thực tế vì khó có được U^{235} nguyên chất nên khối lượng tới hạn lớn hơn 1kg nhiều. Hình 2.7 cho ta sơ đồ nguyên lý bom nguyên tử.



Hình 2.7. 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 đã tính được năng lượng E_θ 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:

$$E_\theta = \frac{A^2 + 1 + 2A \cos\theta}{(A + 1)^2} E_0 \tag{2.40}$$

E_0 là năng lượng của neutron trước va chạm.

Khi tán xạ về phía trước ($\theta \rightarrow 0$) thì :

$$E_\theta \rightarrow E_{\max} = E_0 \tag{2.41}$$

Còn khi tán xạ về phía sau ($\theta \rightarrow \pi$), thì

$$E_\theta \rightarrow E_{\min} = \frac{(A - 1)^2}{(A + 1)^2} E_0 \tag{2.42}$$

Nếu giả sử là trong mỗi va chạm đàn hồi, neutron đều truyền cho hạt nhân cùng một phần năng lượng trung bình như nhau đặc trưng bởi đại lượng χ :

$$\chi = 1 + \frac{\alpha}{1 + \alpha} \ln \alpha \quad \text{với} \quad \alpha = \left(\frac{A-1}{A+1} \right)^2 \quad (2.44)$$

Sau Z va chạm năng lượng của neutron sẽ là: $E_z = E_0 \exp(-Z \cdot \chi)$

$$\text{hay:} \quad \ln \frac{E_0}{E_z} = Z \cdot \chi \quad (2.45)$$

Giả sử làm giảm năng lượng neutron từ giá trị ban đầu $E_0 = 1\text{MeV}$ đến giá trị cuối $E_z = 1/40\text{eV}$. Khi làm chậm trong nước (với nước thường thì $\chi = 1$, với nước nặng $\chi = 0,57$ trên các hạt nhân hydro $A = 1 \rightarrow \chi = 1$) thì điều kiện cần và đủ là neutron phải va chạm với số lần Z được tính bởi:

$$Z = \ln(E_0 / E_z) = \ln(4 \cdot 10^7) \approx 18 \text{ lần.} \quad (2.46)$$

Đó là nguyên tắc làm chậm neutron trong các lò phản ứng dùng neutron chậm.

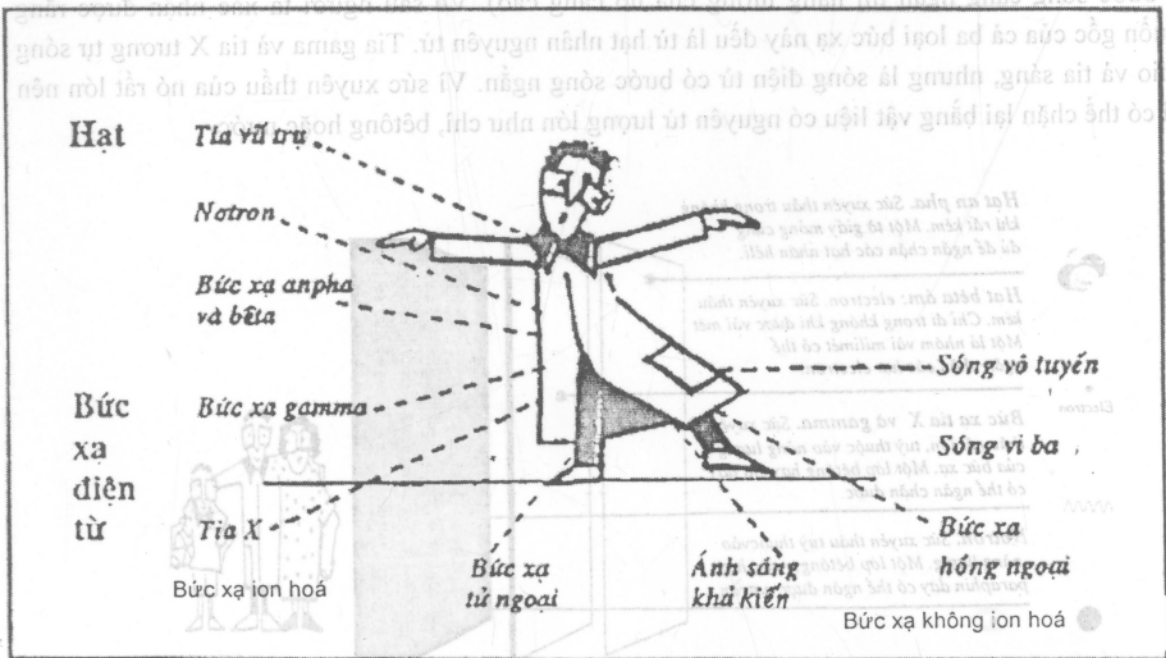
CHƯƠNG 3

TIA PHÓNG XẠ

§3.1. CÁC LOẠI TIA PHÓNG XẠ VÀ TÍNH CHẤT CỦA NÓ

Các chất phóng xạ là các chất có khả năng tự phát ra các tia phóng xạ. Các tia phóng xạ là các tia có những tính chất cơ bản sau:

- Có khả năng tác dụng sinh lý và hoá học như phá huỷ tế bào, kích thích một số phản ứng hoá học...
- Có khả năng ion hoá các chất khí.
- Có khả năng làm cho một số vật rắn và lỏng phát huỳnh quang
- Có khả năng xuyên qua một số chất như gỗ, vải, giấy, miếng kim loại mỏng...
- Toả nhiệt, làm cho khối lượng chất phóng xạ giảm dần và làm cho chất đó biến thành chất khác.



Hình 3.1. Các loại bức xạ lên cơ thể.

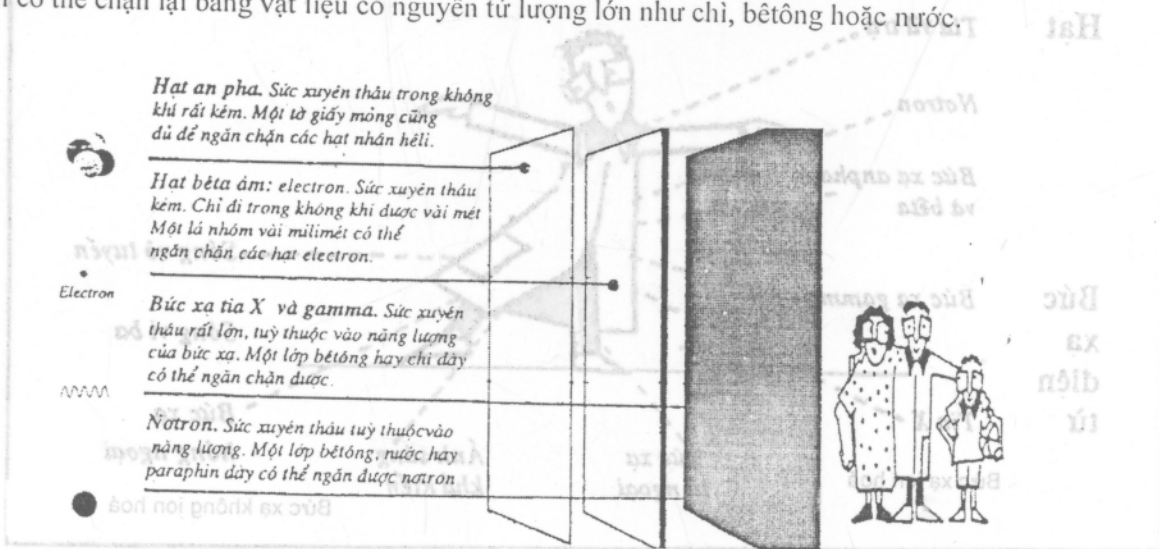
Các quá trình hạt nhân diễn ra một cách tự phát như thế được gọi là các quá trình phóng xạ vì chúng diễn ra theo các qui luật của hiện tượng phân rã phóng xạ, tức là chúng tự phát ra các tia phóng xạ. Khi đặt trong từ trường, tia phóng xạ tách thành ba tia: tia α , tia β và tia γ .

Đầu tiên sự phát xạ của các hạt nhân phóng xạ được nghiên cứu và phát hiện nhờ các thí nghiệm làm lệch đường đi của chúng trong điện trường và từ trường cũng như nhờ sự hấp thụ chúng trong vật chất. Nhờ các thí nghiệm này người ta xác lập được các chất phóng xạ có ba loại tia. Đó là:

1. **Bức xạ α :** là dòng các hạt nhân heli ${}^4_2\text{He}$ tích điện dương, chuyển động với vận tốc cỡ 10^9cm/s và bị một lớp nhân dầy vài micrôn hấp thụ (1micron= 10^{-6}m), dễ dàng bị chặn lại bởi một tờ giấy hoặc điện áp người. Tia phóng xạ α là tính chất của các hạt nhân nặng có số khối lượng $A > 200$ và số điện tích $Z > 82$. Do lực hạt nhân có tính bão hoà, nên trong các hạt nhân nặng có xuất hiện sự tạo thành các hạt α biệt lập, mỗi hạt gồm hai proton và hai notron. Nếu hấp thụ vào cơ thể qua đường hô hấp hay đường tiêu hoá, tia alpha sẽ gây tác hại cho cơ thể.

2. **Bức xạ β :** đó là dòng các electron tích điện âm, chuyển động với vận tốc gần bằng tốc độ ánh sáng và bị một lớp nhôm dầy trung bình 1mm hấp thụ. Còn một loại bức xạ β nữa ở đó các hạt phát ra là hạt positron (e^+). Tia beta có sức xuyên thấu mạnh hơn so với tia alpha nhưng có thể bị chặn lại bằng tấm kính mỏng hoặc tấm kim loại. Sẽ nguy hiểm nếu hấp thụ vào cơ thể những chất phát ra tia beta.

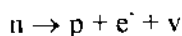
3. **Bức xạ γ .** Các quan sát thực nghiệm đã chứng tỏ rằng bức xạ γ luôn đi kèm theo các bức xạ α và β . Bức xạ γ có khả năng xuyên thấu mạnh và không bị lệch đường đi trong điện trường và từ trường. Bản chất của bức xạ γ là bức xạ điện từ có bước sóng ngắn không vượt quá 10^{-11}m (bức xạ có bước sóng càng ngắn thì năng lượng của nó càng cao). Về sau người ta xác nhận được rằng nguồn gốc của cả ba loại bức xạ này đều là từ hạt nhân nguyên tử. Tia gama và tia X tương tự sóng radio và tia sáng, nhưng là sóng điện từ có bước sóng ngắn. Vì sức xuyên thấu của nó rất lớn nên chỉ có thể chặn lại bằng vật liệu có nguyên tử lượng lớn như chì, bê tông hoặc nước.



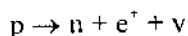
Hình 3.1. Các loại bức xạ ion hóa.
Hình 3.2. Sức xuyên thấu của các tia phóng xạ.

Do neutron là hạt không mang điện tích nên nó có sức xuyên thấu rất lớn. Tuy không gây ion hoá trực tiếp nhưng khi tương tác với nguyên tử, chúng có thể sinh ra tia alpha, beta, gamma và tia X. Có thể chặn dòng tia neutron bằng lớp nước dày, parafin hay tấm bê tông dày.

Tia phóng xạ ion hoá phát ra từ chất phóng xạ sẽ giảm dần theo thời gian vì các nguyên tử của chúng dần dần bị biến đổi thành các nguyên tử ổn định khác. Ta thấy hiện tượng phân rã β^- (phát ra electron) là do trong hạt nhân nguyên tử đã có 1 neutron tự phát biến đổi thành 1 proton:



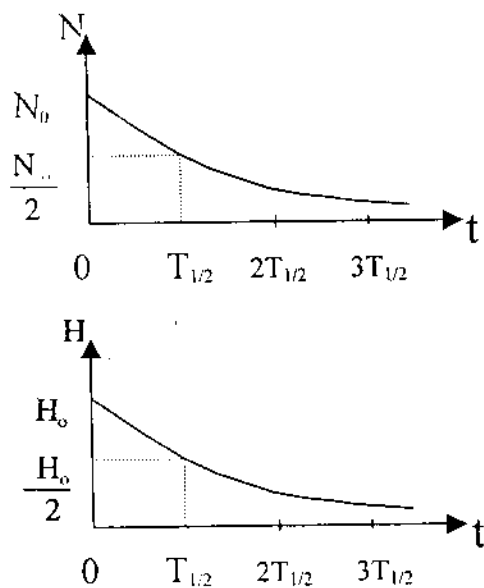
Còn hiện tượng phân rã β^+ (phát ra 1 positron) là do trong hạt nhân nguyên tử đã có 1 proton biến đổi thành 1 neutron:



Phân rã γ là do sự chuyển mức năng lượng của hạt nhân của mức cao xuống mức thấp. Ngược lại, phân rã α là do sự sắp xếp lại cấu hình hạt nhân giữa các nuclon trong hạt nhân.

§3.2. ĐỊNH LUẬT PHÂN RÃ PHÓNG XẠ

Khi có sự phóng xạ thì mật độ hạt nhân ban đầu sẽ giảm dần theo thời gian. Giả sử ở thời điểm t , số hạt nhân chưa bị phân rã của chất phóng xạ là N . Sau thời gian dt , số các hạt nhân của chất phóng xạ giảm đi một lượng $-dN$. Rõ ràng rằng độ giảm $-dN$ tỷ lệ với N và với thời gian dt :



Hình 3.4. Đồ thị mô tả định luật phân rã.

$$-dN = \lambda N dt \quad (3.1)$$

trong đó λ là hệ số tỷ lệ phụ thuộc vào chất phóng xạ và được gọi là hằng số phân rã. Như vậy :

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \quad (3.2)$$

Sau khi lấy tích phân ta được:

$$\ln N = -\lambda t + \ln C \quad (3.3)$$

hay:

$$\ln (N/C) = -\lambda t$$

$$\text{Từ đó: } N = Ce^{-\lambda t} \quad (3.4)$$

Gọi $N_0 = C$ là số hạt nhân chưa phân rã ở thời điểm $t = 0$. Thay vào ta có:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (3.5)$$

Nếu ta gọi $H = -\frac{dN}{dt}$ là độ phóng xạ (tức là số phân rã trong một giây) thì từ (3.5) ta có:

$$H = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = H_0 e^{-\lambda t} \quad (3.6)$$

trong đó $H_0 = \lambda N_0$ là độ phóng xạ tại thời điểm $t = 0$.

Hằng số λ có ý nghĩa là xác suất chuyển trạng thái của hạt nhân để cho ra hạt nhân mới. Nếu ta lấy nghịch đảo của λ thì đó là thời gian sống của hạt nhân ở mức năng lượng cao hay còn được gọi là thời gian sống trung bình của hạt nhân phóng xạ τ :

$$\tau = 1/\lambda \quad (3.7)$$

Để phân biệt tốc độ phóng xạ nhanh hay chậm người ta đưa ra một đại lượng gọi là chu kỳ bán rã. Chu kỳ bán rã là khoảng thời gian $T_{1/2}$ mà cứ sau một khoảng thời gian đó mật độ hạt nhân ban đầu chỉ còn lại một nửa.

Từ (3.5) và theo định nghĩa chu kỳ bán rã:

$$\frac{N_{T_{1/2}}}{N_0} = \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}} \rightarrow \ln 2 = \lambda T_{1/2} \quad (3.8)$$

$$\text{Vậy ta tính được: } T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (3.9)$$

Nói chung các chất phóng xạ có chu kỳ bán rã rất khác nhau, chẳng hạn urani có chu kỳ bán rã là $4,5 \cdot 10^9$ năm nghĩa là phân rã chậm nên vẫn tồn tại trên trái đất. Radi có chu kỳ bán rã là 10^{-6} s nên vừa sinh ra lập tức biến thành chất khác ngay. Poloni có chu kỳ bán rã là 138 ngày.

Ví dụ : Chất phóng xạ iot ($Z=53, A=131$) dùng trong y tế có chu kỳ bán rã là 8 ngày đêm. Nếu lúc đầu ta có 200 g chất này, thì sau hai tuần lễ ta còn lại là bao nhiêu gam?

Lời giải:

Nếu như ta nhân khối lượng từng hạt nhân vào hai vế của (3.5) ta có phương trình

$$\begin{aligned}m &= m_0 e^{-\lambda t} = m_0 \cdot e^{-\frac{0,693}{T_{1/2}} t} \\ &= 200\text{g} \cdot e^{-\frac{0,693}{8} \cdot 14} = 59,47\text{g}\end{aligned}$$

§3.3. TƯƠNG TÁC CỦA TIA PHÓNG XẠ VỚI VẬT CHẤT

Khi tia phóng xạ đi qua vật chất, các hạt của tia phóng xạ đều tương tác với các nguyên tử của vật chất đó, nghĩa là tương tác với các electron và các nuclon trong hạt nhân nguyên tử. Nếu không tính đến tương tác hấp dẫn rất yếu giữa các khối vật chất, thì các hạt còn tham gia vào ba loại tương tác nữa: đó là tương tác mạnh, tương tác điện từ và tương tác yếu. Trong số các hạt mà ta gặp cho đến nay (n , p , e^- , e^+ , ν và $\bar{\nu}$) thì chỉ có neutron và proton tham gia vào tương tác mạnh, tất cả các hạt (trừ ν và $\bar{\nu}$) tham gia vào tương tác điện từ, còn tham gia vào tương tác yếu có tất cả các hạt trừ lượng tử ánh sáng γ .

Một thí dụ đơn giản nhất về tương tác mạnh là sự hút giữa các nuclon ở trong hạt nhân, nằm cách nhau các khoảng rất nhỏ ($\sim 10^{-13}\text{cm}$). Người ta còn thấy tương tác mạnh giữa nhiều loại hạt sơ cấp khác (π - meson, K - mezon, các hạt hyperon các phân hạt nuclon v.v...). Tương tác mạnh là loại tương tác có cường độ mạnh nhất trong các loại tương tác, chúng gây ra hiện tượng tán xạ hạt nhân, các phản ứng hạt nhân. Trong môi trường vật chất chùm hạt tương tác mạnh bị tung toé ra khỏi chùm ban đầu do các quá trình tán xạ và hấp thu.

Tương tác điện từ cũng thuộc loại mạnh song so với tương tác hạt nhân thì nó yếu hơn hàng trăm ngàn lần. Cho tới nay, người ta biết nhiều dạng biểu hiện của tương tác điện từ đó là tán xạ Culong, quá trình hãm ion hoá, hãm để bức xạ, đối với lượng tử γ đó là hiệu ứng quang điện, hiệu ứng Compton, sự tạo thành cặp electron - positron, các chuyển dời γ trong hạt nhân, các phản ứng quang điện v.v...

Cường độ của tương tác điện từ yếu hơn cường độ của tương tác mạnh $10^2 - 10^3$ lần. Cho nên so với các quá trình tương tác mạnh các quá trình điện từ diễn ra chậm hơn tới $10^2 - 10^3$ lần. Chu kỳ bán rã đặc trưng của các quá trình phân rã γ là $T_{1/2} \geq 10^{-19}$ giây.

Phân rã β là một ví dụ điển hình về tương tác yếu. Tương tác yếu được đặc trưng bằng một số tương tác rất bé. Tương tác yếu yếu hơn các tương tác mạnh tới 10^{13} lần. Khi tương tác với vật chất các tia phóng xạ bị mất dần năng lượng. Các hạt nặng tích điện (như hạt α , p ...) khi đi qua vật chất sẽ bị mất năng lượng của nó và gây ra hiện tượng ion hoá, hạt bị hãm lại nên hiện tượng này được gọi là sự hãm ion hoá. Khi đó động năng của hạt tích điện được dùng để kích thích và ion hoá các nguyên tử của môi trường mà nó đi qua và làm thay đổi tính chất của môi trường. Dựa trên lý thuyết người ta có thể tính toán được các độ mất mát năng lượng của các tia phóng xạ và tính được đoạn đường gây ion hoá cho tới khi mất hết năng lượng.

§3.4. CÁC ỨNG DỤNG CỦA TIA PHÓNG XẠ

Các tia phóng xạ có nhiều ứng dụng trong đời sống xã hội.

1. Trong y tế

Trước hết là bằng việc chụp X quang vùng ngực, dạ dày, xương. Sau đó đến các ứng dụng khác như chụp X quang bằng máy tính (X ray CT - Computer Tomography) và pozitron CT,... Chụp X quang cắt lớp bằng máy tính (X ray CT) là việc chuẩn đoán bệnh bằng chụp cắt lớp. Đầu tiên, chiếu tia X từ nhiều hướng vào cơ thể sau đó đo đặc cường độ của tia X vào cơ thể bằng máy đo kiểm nghiệm, sử dụng các dữ liệu đó cùng với máy tính để tái hiện qua màn hình theo 3 chiều. Chụp X quang bằng máy tính được sử dụng trong việc chuẩn đoán tổn thương mạch máu não, các khối u não.

Hơn nữa, việc chuẩn đoán bệnh bằng việc cho vào cơ thể người bệnh nguyên tố đồng vị phóng xạ như một dạng thuốc y tế, sau đó đo đặc tia phóng xạ phát ra rồi phân tích trên máy tính và đưa ra hình ảnh về cơ năng của cơ quan nội tạng cũng đã được áp dụng trong thực tiễn.

Việc chữa bệnh ung thư bằng chiếu xạ tia X, tia gama cũng đã được áp dụng, hơn nữa công tác nghiên cứu chữa ung thư bằng sử dụng tia neutron, tia proton và tia hạt nặng hiện nay cũng đang được triển khai và mở rộng.

Ngoài ra người ta còn kiểm tra các chức năng sinh lý bằng máy chụp PET (Positron Emission Tomography) để từ đó hiểu được tình trạng của ổ bệnh.

2. Trong công nghiệp

Người ta sử dụng các tia gamma, tia proton để đo đặc chính xác độ dày của vật liệu, mật độ, hàm lượng nước. Kiểm tra không phá huỷ cũng đã được sử dụng rộng rãi khi kiểm tra sự nứt vỡ của các bộ phận quan trọng mà không làm phá hỏng đối tượng kiểm tra. Hơn nữa, phương pháp chiếu xạ vật liệu nhằm nâng cao cường độ, tính chịu nhiệt, khả năng chịu mài mòn của vật liệu cũng đang được sử dụng rộng rãi.

Sát trùng, diệt khuẩn các dụng cụ y tế bằng tia gama không chỉ áp dụng đối với các dụng cụ thông thường mà còn áp dụng đối với cả những dụng cụ có hình dáng phức tạp, cho phép tẩy sạch và khử trùng các dụng cụ y tế.

3. Trong nông nghiệp

Cải thiện giống nông sản bằng chiếu xạ tia gama từ nguồn coban 60 và xezi 137 sẽ tạo ra được những giống mới như giống mạ có khả năng chịu gió, hoa quả có khả năng chống sâu bệnh tốt hơn,...đồng thời, khi xử lý chiếu xạ các giống hoa sẽ gây ra đột biến để có những loại hoa nhiều màu sắc đẹp và hình dáng độc đáo.

Đối với việc diệt trừ sâu phá hoại mùa màng và cây trồng, người ta chiếu xạ vào sâu hại làm chúng mất khả năng sinh sản.

Chiếu xạ thực phẩm giúp ngăn chặn mọc mầm, bảo quản hoa quả, diệt khuẩn và sát trùng.

4. Trong bảo vệ môi trường

Việc xử lý khói thải từ các lò đốt than và xử lý rác thải bằng tia electron sẽ loại trừ được các loại khí gây ô nhiễm môi trường như khí SO_x , NO_x . Các phương pháp chế biến thành phân bón như amoni sulfat, amoni nitrat cũng đang được triển khai.

Ngoài ra, việc phát triển kỹ thuật chiếu tia electron vào bùn thải sinh ra từ nơi xử lý nước thải để diệt khuẩn và làm thành phân bón cũng đang tiến triển. Còn trong ngành khảo cổ học, người ta chiếu xạ vào cổ vật để có thể chụp được rõ ràng những hoa văn và biết được sự phân bố của vết rạn nứt.

§3.5. AN TOÀN ĐỐI VỚI TIA PHÓNG XẠ

Do tác dụng ghê gớm của các tia phóng xạ đối với cơ thể sống nói chung và với đội ngũ những người làm việc có tiếp xúc với nguồn phóng xạ nói riêng, vấn đề an toàn phóng xạ luôn được đưa lên hàng đầu nhằm bảo vệ môi trường sống cũng như các khu dân cư xung quanh nơi có các nguồn phóng xạ như vị trí đặt nhà máy điện hạt nhân... Để có biện pháp che chắn thích hợp người ta phải đo được cường độ của các nguồn phóng xạ, nghiên cứu khả năng xuyên thấu qua vật chất và tác hại do chúng gây ra trên cơ thể con người. Để đo cường độ phóng xạ của các nguồn, người ta dùng các ống đếm hạt nhân cùng các thiết bị điện tử tinh vi khác.

3.5.1. Đơn vị đo sự phóng xạ

Các đơn vị sau là các đơn vị đo sự phóng xạ:

1. Becquerel (Bq) là đơn vị đo độ phóng xạ H trong hệ SI, tính bằng một phân rã / 1 giây.
2. Curi (Ci) là đơn vị đo độ phóng xạ H. Curi là độ phóng xạ của một lượng chất phóng xạ mà ở đó diễn ra $3,7 \cdot 10^{10}$ phân rã/giây. Trong các tính toán thực tế người ta thường dùng các đơn vị phân số của curi: mili curi (10^{-3} curi), micro curi (10^{-6} curi).

Độ phóng xạ H là độ đo số phân rã của các hạt nhân nguyên tử trong một đơn vị thời gian. Do độ phóng xạ giảm dần theo thời gian nên theo công thức (3.1) ta có:

$$H = \lambda N = -\frac{dN}{dt} = \frac{0,693}{T} N \text{ [phân rã/giây]}$$

Từ định nghĩa trên, ta có thể tính được độ phóng xạ của đồng vị phóng xạ có số khối lượng A, chu kỳ bán rã T (đo ra giây) và khối lượng m (đo ra gam):

$$H = \frac{0,693 \cdot 10^{23}}{A} m \lambda = \frac{4,17 \cdot 10^{23}}{AT} m \text{ [phân rã/giây]} = \frac{1,127 \cdot 10^{13}}{AT} m \text{ [Ci]}$$

Từ đó suy ra khối lượng của đồng vị phóng xạ có độ phóng xạ H (curi) bằng:

$$m = 9,8 \cdot 10^{-14} ATC \text{ (gam)}$$

Các chất phóng xạ nằm ở trạng thái dung dịch hay lơ lửng trong chất lỏng hay chất khí có thể tích V (cm^3 , lít) tạo ra một *nồng độ phóng xạ* nhất định, nó được đặc trưng bởi *độ phóng xạ riêng* biểu thị ra curi trên đơn vị thể tích của môi trường.

$$H_v = \frac{H}{V} \left(\frac{\text{curi}}{\text{cm}^3}; \frac{\text{curi}}{\text{lit}} \right)$$

3. C/kg là độ ion hoá của tia phóng xạ đối với 1kg không khí và tạo ra các ion có tổng điện

tích là 1C.

4. R là liều lượng bức xạ rønghen (hoặc bức xạ gama) bằng $2,57976.10^{-4}$ [C/kg].

5. C/kgs là độ ion hoá của tia phóng xạ đối với 1kg không khí và tạo ra các ion có tổng điện tích là 1C trong thời gian 1 giây.

6. $R/s = 2,57976.10^{-4}$ [C/kg.s]

7. J/kg là liều lượng hấp thụ bức xạ bằng 1J trên 1 kg vật bị rọi.

8. Rad là liều lượng hấp thụ bức xạ bằng 10^{-2} J trên 1 kg vật bị rọi hoặc liều lượng bức xạ đã bị hấp thụ bằng 100erg năng lượng bị hấp thụ trên 1 g chất chiếu xạ. Đơn vị Rad có thể dùng để đo liều lượng hấp thụ một loại bức xạ bất kỳ đối với một môi trường bất kỳ.

9. Ber là đương lượng sinh học của Rønghen - một đơn vị đo liều lượng tương đương ngoài hệ - được dùng để đánh giá liều lượng hấp thụ từ một dạng bức xạ bất kỳ.

Người ta còn dùng khái niệm *công suất liều* để chỉ liều lượng phóng xạ của một lượng phóng xạ trong một đơn vị thời gian. Công suất liều được đo ra $\frac{\text{Rad}}{\text{giờ}}$, $\frac{\text{p}}{\text{giờ}}$, $\frac{\text{ber}}{\text{giờ}}$ và các đơn vị dẫn suất.

3.5.2. Phông phóng xạ tự nhiên

Đó là công suất liều của các bức xạ ion hoá đối với một địa phương nào đó. Công suất này được tạo ra bởi các bức xạ vũ trụ và các bức xạ phóng xạ của đất đá, các công trình xây dựng và các đối tượng sinh vật khi không có các nguồn bức xạ ion hoá khác. Trên mặt đất, ở mức mặt biển đối với các vĩ tuyến ở giữa, phông phóng xạ tự nhiên được lấy bằng 105 mber/năm, nó ứng với khoảng 0,01 mber/giờ. Công suất liều chỉ của bức xạ vũ trụ (không kể thành phần neutron) là 28 mber/năm, thành phần neutron sinh ra một công suất liều phụ 25 mber/năm. Càng lên cao so với mức mặt biển, công suất liều của bức xạ càng giảm nhanh.

3.5.3. Quản lý nồng độ phóng xạ

Nồng độ vật chất phóng xạ thải ra từ nhà máy điện hạt nhân được quản lý để luôn đảm bảo dưới mức mà Ủy ban Quốc tế về Phòng chống tia phóng xạ (ICRP- International Commission on Radiological Protection) quy định. ICRP quy định giới hạn của lượng tia phóng xạ cho cư dân sống xung quanh khu vực nhà máy điện hạt nhân như một nguyên tắc là 1mSv/năm. Với lượng tia phóng xạ qui định như vậy thì dù nhận một lượng tia phóng xạ hơn như vậy cũng không gây hại gì cho sức khoẻ.

Tuy nhiên người ta vẫn mong muốn lượng chất thải phóng xạ phải thấp nhất có thể. Việc đo đạc và theo dõi một cách liên tục và thường xuyên lượng tia phóng xạ và nồng độ chất phóng xạ được gọi là công tác quan trắc. Khi vận hành nhà máy điện hạt nhân những chất phóng xạ phát ra khu vực bên ngoài nhà máy là vô cùng nhỏ và không gây hại nhưng để xác nhận điều đó, công tác quan trắc môi trường phải được tiến hành thường xuyên. Điều đó có nghĩa phải tiến hành quan trắc thổ nhưỡng, đáy biển, nông sản, thủy sản, gia súc nuôi để xác nhận chất phóng xạ phát sinh ra có

gây ảnh hưởng đến môi trường xung quanh hay không và sau đó công bố các dữ liệu thu được qua công tác quan trắc đó. Tại nhà máy điện hạt nhân người ta quy định "khu vực quản lý" để tiến hành việc quản lý tia phóng xạ nghiêm ngặt đối với nhân viên làm việc liên quan tới tia phóng xạ. Lượng tia phóng xạ mà các nhân viên này phải nhận, được đo đếm bằng các dụng cụ như liều kế nhiệt huỳnh quang và tấm phim. Giá trị đó được khống chế dưới mức 50 mSv trong một năm. Ngoài ra lượng tia phóng xạ bên trong cũng được đo đếm bằng liều kế toàn thân. Hơn nữa, để không mang chất phóng xạ ở bên trong khu vực quản lý ra bên ngoài, khi vào trong khu vực quản lý sẽ phải thay quần áo và giày chuyên dụng, khi ra ngoài phải qua kiểm tra xem có nhiễm chất phóng xạ hay không bằng máy phát hiện và đo phóng xạ.

Các tiêu chuẩn an toàn phóng xạ - qui định các liều lượng chiếu xạ tối đa cho phép và qui định mức độ cho phép đưa các chất phóng xạ vào cơ thể mà không gây ra các biến đổi di truyền cho cơ thể con người. Đối với những người bị chiếu xạ ngoài vì nghề nghiệp, tiêu chuẩn cho phép đối với mọi loại bức xạ là 5 ber trong 1 năm, điều đó ứng với việc tiếp xúc liên tục 0,1 ber trong 1 tuần. Trong những trường hợp riêng biệt có thể cho phép liều lượng cho phép tối đa của nửa năm trong vòng 1 quý, khi mà liều lượng của cả năm không được quá 5 ber.

Bảng dưới đây cho liều lượng tối đa cho phép trong 0,1ber (100 mber trong 1 tuần) tùy thuộc vào hiệu quả tác dụng sinh học của các loại bức xạ ion hoá khác nhau. Hiệu quả này được tính bằng hệ số chất lượng KK.

$$(D_{ber} = KK \cdot D_{rad})$$

Loại bức xạ	KK	Liều lượng tối đa cho phép, mRad trong một tuần
Bức xạ Rongen và bức xạ γ	1	100
Các hạt β	1	100
Các neutron nhiệt	3	33
Các neutron nhanh (500 keV)	10	10
Các proton và hạt alpha	10	10
Các ion đa điện tích và các hạt nhân giết lùi	20	5

Chương 4

LÒ PHẢN ỨNG HẠT NHÂN

§4.1. LỊCH SỬ LÒ PHẢN ỨNG HẠT NHÂN

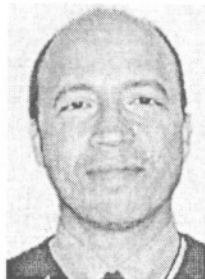
Năng lượng lấy từ phản ứng hạt nhân đã được các nhà khoa học chú ý đến từ những năm đầu thập niên 50. Lò phản ứng thế hệ I ra đời khi đó hiện tại vẫn còn được sử dụng ở một vài nơi. Tuy nhiên các lò thuộc thế hệ I đang dần dần bị đào thải vì thời gian vận hành đã hết (tuổi thọ của một lò phản ứng vào khoảng 50 năm). Thế hệ thứ II ra đời vào đầu thập niên 70. Thế hệ thứ III, vào thập niên 90. Và sau cùng 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 CO₂ đối với các lò phản ứng thuộc các thế hệ trước đó, 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, nghĩa là không cần thiết đến sự hiện diện của con người khi có sự cố. Ta sẽ lần lượt đi qua lịch sử các thế hệ lò phản ứng.

4.1.1. Lò phản ứng thế hệ I

Lò phản ứng có tên Magnox là một lò phản ứng đầu tiên được sản xuất và tung ra thị trường vào những năm đầu thập niên 50 do 3 nhà vật lý người Anh sáng chế là: Ts. Ion, Ts. Khalil, và Ts. Magwood (hình 4.1). Lò Magnox sử dụng nhiên liệu urani trong thiên nhiên trong đó chỉ có 0,7% chất đồng vị U-235 và 99,3% U-238. Nguyên tắc vận hành có thể được tóm tắt như sau: Các ống kim loại urani này được bao bọc bằng một lớp hợp kim gồm nhôm (Al) và magie (Mg). Một lớp than graphit đặt nằm giữa ống urani và hợp kim trên có mục đích làm chậm bớt vận tốc phóng thích neutron do sự phân hạch U-235. Từ đó các neutron trên sẽ va chạm mạnh với hạt nhân của U-235 để các phản ứng dây chuyền liên tục xảy ra. Đây là một phản ứng phát nhiệt rất lớn và nhiệt năng này được đưa đến một tuabin hơi nước để từ đó biến thành điện năng.



Ion



Khalil



Magwood

Hình 4.1. Ba nhà vật lý người Anh đã phát minh ra lò Magnox.

Việc điều khiển vận tốc phản ứng dây chuyền hoặc chặn đứng phản ứng là một công việc quan trọng bậc nhất của một lò phản ứng. Trong công đoạn này lò Magnox sử dụng một loại thép đặc biệt, loại thép này có tính chất hấp thụ các neutron, do đó có thể điều khiển phản ứng theo ý muốn. Có tất cả 26 lò Magnox đã hoạt động ở nước Anh, hiện tại chỉ còn 8 lò còn đang hoạt động và sẽ bị đào thải vào năm 2010.

4.1.2. Lò phản ứng thế hệ II

Loại lò này đã ra đời vào thập niên 70, hiện chiếm đa số các lò đang hoạt động trên thế giới. Từ lúc ban đầu, 60% loại lò này áp dụng nguyên lý lò nước sôi áp suất cao (pressurized water reactor-PWR), trong đó nước sôi áp suất cao được sử dụng vừa làm dung dịch làm nguội, vừa làm dung dịch điều hòa phản ứng. Nhiên liệu sử dụng cho lò thuộc thế hệ II này là hợp chất urani đioxit và hợp kim này được bọc trong các ống cấu tạo bằng kim loại zirconium. Trong loại lò này, urani 235 sẽ được làm giàu từ 0,7% đến 3,5%. Nhưng các loại lò này dần dần được thay thế bằng cách áp dụng nguyên lý của lò nước sôi (boiling water reactor-BWR). 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 chuyển nhiệt lượng qua các 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 thế hệ IV

Tuy nhiên trước yêu cầu ngày càng cấp thiết hơn về an toàn lao động và bảo vệ ô nhiễm môi trường nhất là hiệu ứng nhà kính, các nhà khoa học đang tiến dần đến việc xây dựng các lò hạt nhân thế hệ IV, trong đó hệ thống an toàn không còn dùng đến con người nữa mà hoàn toàn tự động. Thêm nữa sẽ không còn có việc phát thải khí CO₂ vào không khí. Một đặc điểm mới của lò hạt nhân thế hệ IV này là có thể sản xuất ngoài điện năng, còn cả hydro, một nhân tố cơ bản cho hầu hết các công nghệ tổng hợp hóa chất hiện nay. Thế hệ IV còn được gọi là “lò phản ứng cách mạng”. Thế hệ này đang được 9 quốc gia phối hợp thử nghiệm từ năm 2000. Các quốc gia này gồm: Anh, Pháp, Nhật, Argentina, Brazil, Canada, Nam Phi, Hàn Quốc, và Thụy Sĩ. Ủy ban Năng lượng nguyên tử Châu Âu (European Atomic Energy Community) cũng đã xin gia nhập nghiên cứu chung vào năm 2003.

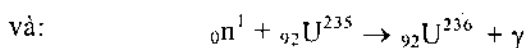
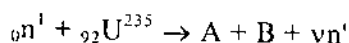
Thế hệ này dự kiến sẽ được ứng dụng vào năm 2030 và có thể thỏa mãn những điều kiện sau ngoài các ưu điểm kể trên:

- + 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. ĐIỀU KIỆN DUY TRÌ PHẢN ỨNG DÂY CHUYỀN

4.2.1. Điều kiện 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 thành các mảnh nhỏ. Hai phản ứng hạt nhân chính diễn ra trong lò phản ứng chạy bằng neutron chậm và urani - 235 là:



Trong đó A và B là hai hạt nhân nhẹ hơn U^{235} gọi là các mảnh phân hạch. Để lò đạt được 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. Nói cách khác, muốn phản ứng dây chuyền xảy ra thì điều kiện cần thiết là mọi hạt nhân khi vỡ, phải phát ra một số neutron. Những neutron này lại có thể bắn phá các hạt nhân urani khác ở gần đó và cứ thế phản ứng tiếp diễn thành một dây chuyền.

Urani thiên nhiên có chứa 99,3% 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 (có năng lượng nhỏ hơn 1 MeV) 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.

Năng lượng kích hoạt đối với từng hạt nhân phụ thuộc tỉ số Z^2/A của hạt nhân đó theo biểu thức:

$$W_k \approx 0,18 \cdot A^{2/3} [5,2 - 0,117 \cdot (Z^2/A)] \text{ [MeV]}$$

trong đó Z là số điện tích và A là số khối lượng của hạt nhân bị phân hạch.

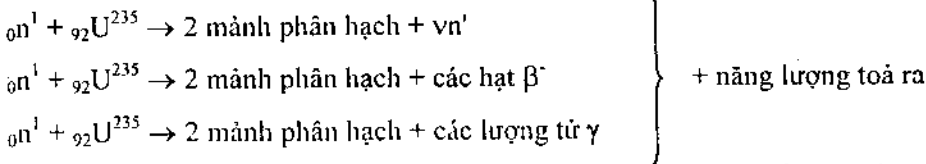
Nếu như Z^2/A là khá lớn (nhưng vẫn đảm bảo điều kiện $5,2 > 0,117 \cdot (Z^2/A)$) thì năng lượng kích hoạt vẫn còn rất nhỏ. Chính vì vậy các hạt nhân nặng có thể bị phân hạch không những do sự hấp thụ năng lượng của neutron mà còn có thể bị phân hạch một cách tự phát.

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 (là neutron có năng lượng nhỏ từ 0,1 → 0,001 eV), còn U^{238} và Th^{232} sẽ vỡ khi hấp thụ neutron nhanh (có năng lượng lớn hơn 1 MeV).

Khi hấp thụ một neutron, hạt nhân ${}_Z\text{X}^A$ biến thành hạt nhân ${}_Z\text{X}^{A+1}$ 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

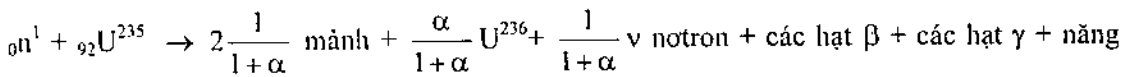
quá trình phân hạch sẽ xảy ra. Nếu ngược lại thì hạt nhân sẽ chỉ chuyển về trạng thái cơ bản và phát ra bức xạ γ .

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



Ta biết rằng 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:



lượng toả ra.

Khi phân hạch, hạt nhân U^{235} phản ứng với một neutron thì xác suất xảy ra phân hạch là $\frac{1}{1+\alpha}$, mà mỗi lần phân hạch có ν neutron được tạo thành, cho nên $\eta = \nu \frac{1}{1+\alpha}$ là số neutron trung bình được 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. Do hấp thụ neutron đầu tiên này mà η neutron mới được tạo thành. Để đơn giản ta giả định là tất cả các neutron gây ra phân hạch hạt nhân U^{235} đều có năng lượng như nhau. Trong số η neutron sẽ chỉ có \sum_a^f phân lại bị hấp thụ trong nhiên liệu (trong đó \sum_a^f là tiết diện hấp thụ vĩ mô để phân hạch của nhiên liệu, \sum_a là tiết diện hấp thụ toàn phần của tất cả các vật liệu có trong lò kể cả nhiên liệu). 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:

$$k_{\infty} = \frac{\eta \sum_a^f}{\sum_a} = \eta f$$

trong đó: $f = \frac{\sum_a^f}{\sum_a}$ là hệ số sử dụng neutron nhiệt. Nếu lò có kích thước hữu hạn thì $k = \eta \cdot f \cdot P_t$ (đối

với trường hợp 1 nhóm);

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

Giả sử các neutron nhanh xuất hiện do phân hạch được làm chậm đến các neutron nhiệt và sau đó gây ra phản ứng với U^{235} . Một số neutron nhanh gây ra phân hạch U^{238} . Tỉ số giữa số neutron được làm chậm xuống dưới ngưỡng phân hạch của U^{238} ($\sim 1,2$ MeV, nghĩa là neutron nhanh phải có năng lượng cỡ 1,2 MeV mới có khả năng phân hạch U^{238}) chia cho số neutron xuất hiện ban đầu trong hệ được ký hiệu là ϵ và được gọi là hệ số nhân bằng các neutron nhanh. Giả sử có m neutron bị

làm chậm qua vùng cộng hưởng thì trong đó chỉ có n neutron tránh được sự hấp thụ cộng hưởng để xuống được vùng nhiệt. Như vậy $p = m/n$ gọi là xác suất tránh hấp thụ cộng hưởng. Từ đó ta có công thức bốn thừa số đối với lò chạy bằng neutron nhiệt như sau:

$$k_{\infty} = \eta \cdot \epsilon \cdot p \cdot f$$

trong đó: η là số neutron trung bình tạo thành khi hạt nhân U^{235} hấp thụ 1 neutron;

ϵ là hệ số nhân bằng các neutron nhanh;

p là xác suất tránh hấp thụ cộng hưởng;

f là hệ số sử dụng neutron nhiệt;

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

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

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

trong đó P_f là xác suất tránh không cho neutron nhanh rò ra khỏi lò.

Công thức bốn thừa số cho phép ta xét đoán điều kiện tới hạn của lò. Công thức này còn rất xa với thực tế vì nó đã đơn giản hoá các quá trình thực diễn ra trong lò. Các hệ số p , f , P_f , P_r phụ thuộc mạnh vào kết cấu của lò và chỉ có thể tính được dễ dàng đối với các mẫu lò rất lý tưởng (đơn giản về hình học và cách bố trí nhiên liệu). Song công thức này cho phép ta quan niệm một cách đại thể các quá trình vật lý diễn ra trong lò. Vì số neutron rò ra khỏi lò tỷ lệ với bề mặt lò, còn số neutron sinh ra trong lò tỷ lệ với thể tích lò, cho nên lò càng to, tỷ lệ các neutron rò ra khỏi hệ càng nhỏ. Nếu trong lò có một số lượng chất phân hạch tối thiểu cần thiết cho việc kích thích phản ứng dây chuyền thì hệ được gọi là tới hạn, còn khối lượng nhiên liệu được gọi là khối lượng tới hạn. Với khối lượng nhiên liệu đã cho ta có thể thay đổi kích thước hình học của lò để đưa lò tới trạng thái tới hạn. Kích thước hình học tương ứng được gọi là kích thước tới hạn. Kích thước tới hạn phụ thuộc vào nhiều thông số. Ta biết rằng đối với hình cầu, tỷ số giữa bề mặt hình cầu chia cho thể tích hình cầu có giá trị nhỏ nhất so với tỷ số hai đại lượng này của các cấu hình khác có cùng thể tích cho nên lò hình cầu đòi hỏi ít nhiên liệu hơn bất cứ một dạng hình học nào khác do đó tiết kiệm hơn.

Nếu ta bao quanh lò bằng các chất phản xạ neutron thì chất phản xạ này sẽ làm cho một phần neutron rò ra khỏi lò phải quay trở lại lò và sẽ tăng được giá trị của các thừa số P_f và P_r và như vậy khối lượng tới hạn có thể giảm xuống.

4.2.2. Phân bố neutron trong lò

Nếu coi lò phản ứng như là một môi trường, trong đó các neutron gây ra phản ứng dây chuyền tự duy trì và phân bố trong lò theo một quy luật nào đó thì ta có thể mô tả sự phân bố của neutron trong lò nhờ phương trình cân bằng neutron gọi là phương trình vận chuyển neutron. Thực chất phương trình này là dạng tuyến tính hoá của phương trình Boltzmann (phương trình cơ bản mô tả sự bảo toàn của các hạt đang khuếch tán trong môi trường tán xạ). Do phương trình này quá phức tạp, nên ta chỉ có thể giải nó cho các mô hình vật lý khá đơn giản chứ không giải được với các lò thực tế. Trên thực tế, người ta hay dùng một phương trình gần đúng đơn giản hơn gọi là phương

trình khuếch tán xem các neutron như là khuếch tán trong môi trường các hạt nhân nhiên liệu.

Sau đây là vài dạng của phương trình khuếch tán:

1. Đối với lò hình trụ:

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

2. Đối với lò hình cầu:

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

3. Đối với lò có dạng khối hộp chữ nhật:

$$\frac{1}{v} \frac{\partial \phi}{\partial t} = S + D \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right) - \sum_a \phi$$

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

Giải phương trình khuếch tán ta sẽ biết được phân bố thông lượng neutron ϕ trong lò. Từ phân bố thông lượng ϕ ta có thể tính toán được các thông số vật lý đặc trưng cho lò như công suất của lò, độ phản ứng dư v.v...

4.2.3. Thời gian tồn tại của neutron trong lò

Để đơn giản, ta giả thiết rằng lò là đồng nhất, không có chất phản xạ neutron, chưa kể đến các hiệu ứng nhiệt độ của môi trường v.v...

Nếu gọi τ là thời gian sống trung bình của neutron trong lò, nghĩa là khoảng thời gian từ lúc neutron được sinh ra do phân hạch và thời điểm nó mất đi do bị hấp thụ hoặc bị rò ra ngoài lò. Có thể hiểu nó bao hàm cả thời gian sinh, thời gian làm chậm và thời gian khuếch tán của các neutron nhiệt.

Do thời gian sinh ra neutron mới sau quá trình phân hạch chỉ khoảng 10^{-14} s nên quá trình phân hạch thường được xem là tức thời. Thời gian làm chậm cũng chỉ cỡ 10^{-4} - 10^{-5} s, còn thời gian khuếch tán của neutron nhiệt cỡ 10^{-3} s. Cho nên có thể coi rằng thời gian sống trung bình của một thế hệ neutron bằng thời gian khuếch tán của neutron nhiệt.

Có thể tính được thời gian sống trung bình của neutron trong lò theo lý thuyết khuếch tán khí như sau:

$$\tau = \frac{1}{\bar{v} \bar{\Sigma}_a}$$

trong đó \bar{v} là tốc độ trung bình của các neutron, còn $\bar{\Sigma}_a$ là tiết diện bắt vĩ mô trung bình của môi trường khuếch tán, được xác định khi kể đến các chất hấp thụ khác nhau tạo nên môi trường khuếch tán, nói riêng khi có urani $\bar{\Sigma}_a$ lớn hơn so với trường hợp chỉ có chất làm chậm và do đó,

các lò chứa urani có hàm lượng cao với các lượng nhiên liệu nhỏ, sẽ có các neutron với τ nhỏ. Các lò có chất làm chậm là graphit hay nước nặng thì $\tau \approx 10^{-3}$ s, đối với lò chạy bằng nước thường $\tau \approx 10^{-4}$ s. Các lò chạy bằng neutron nhanh thời gian sống trung bình của neutron đạt tới 10^{-7} - 10^{-8} s.

Mật độ neutron trong lò ở thời điểm t có thể tính được theo công thức:

$$n(t) = n_0 e^{\frac{\delta k - 1}{\tau} t} \quad [1/\text{cm}^3]$$

trong đó n_0 là mật độ neutron ở thời điểm đầu. Do đó nếu hệ số nhân hiệu dụng lớn hơn 1, số neutron trong 1cm^3 sẽ tăng theo thời gian, 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 neutron nhiệt, thời gian sống trung bình điển hình của neutron nhiệt là $\tau = 10^{-3}$ s = 0,001 s. Do đó:

$$n(t) = n_0 e^{\frac{0,001 t}{0,001}} = n_0 e^t$$

nghĩa là thông lượng neutron và do đó công suất của lò tăng e lần sau mỗi giây. Nếu lò chạy bằng urani có hàm lượng cao ($\tau \sim 10^{-5}$ s), hoặc đối với lò chạy bằng neutron nhanh ($\tau \sim 10^{-7}$ - 10^{-8} s) thì tốc độ tăng công suất còn cao hơn nhiều làm cho ta khó có thể điều khiển lò an toàn.

4.2.4. Các neutron trễ

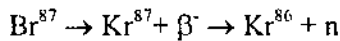
Với một tốc độ tăng thông lượng neutron trong lò quá nhanh, nghĩa là công suất của lò tăng quá nhanh, khó có thể điều khiển được các lò phản ứng hạt nhân. Tuy nhiên, kết quả tìm được trên đây đã dựa trên giả thiết cho rằng tất cả các neutron xuất hiện trong quá trình phân hạch đều được tạo ra sau một khoảng thời gian cực kỳ ngắn sau phản ứng hạt nhân ($\sim 10^{-14}$ s) nghĩa là ta giả thiết chúng đều là những neutron tức thời. Song trong thực tế lại không phải như vậy. Trong tổng số các neutron được tạo thành do phân hạch, có một phần nhỏ (cỡ 0,75 %) xuất hiện dưới dạng neutron "trễ" nghĩa là xuất hiện sau một khoảng thời gian lớn đáng kể sau khi sự phân hạch thực tế xảy ra (sau từ một phần giây đến vài giây). Chính sự có mặt của các neutron này đã tạo ra chế độ mới trong hoạt động của lò, làm cho mật độ neutron thay đổi chậm hơn nhiều so với tốc độ đã tính được trên đây. Do đó mà vấn đề điều khiển lò trở nên đơn giản hơn. Do một số neutron xuất hiện trễ hơn nhiều so với các neutron tức thời, chúng làm cho thời gian sống trung bình của neutron kéo dài ra, trở nên lớn hơn nhiều so với thời gian khuếch tán của các neutron nhiệt ($\sim 10^{-3}$ s). Điều đó làm cho chu kỳ của lò (thời gian để công suất lò tăng lên e lần) tăng lên nhiều.

Các neutron trễ có một ý nghĩa thứ yếu đối với quá trình phân hạch, nhưng lại có vai trò cơ bản trong quá trình điều khiển lò phản ứng. Chúng làm cho lò phản ứng phản ứng chậm hơn nhiều đối với các thay đổi về độ phản ứng.

Các neutron trễ có hai loại: một loại do các sản phẩm phân hạch sinh ra, loại thứ hai là kết quả của phản ứng (γ, n). Một số sản phẩm phân hạch chứa số neutron 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 neutron.

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. Phản ứng phân rã của nó như sau:



Phản ứng đã tạo ra một trong các nhóm neutron trễ. Trong quá trình phân rã phóng xạ này các neutron được phát ra. Năng lượng thừa của hạt nhân được chuyển cho neutron dưới dạng động năng. Brom được gọi là hạt nhân tiền bối của nhóm neutron trễ này.

Các sản phẩm phân hạch khác cũng diễn biến tương tự, song rất khó xác định được bản chất của tất cả các hạt nhân có phát ra neutron trễ vì chúng có chu kỳ bán rã quá bé.

Người ta xác định được sáu nhóm neutron trễ chính phát ra trong phân hạch của U^{235} bằng neutron nhiệt ứng với sáu mảnh hạt nhân phân hạch tiền bối. Bây giờ ta xem xét các neutron trễ có vai trò gì trong việc điều khiển lò phản ứng hạt nhân.

Giả sử t_i là thời gian sống trung bình của hạt nhân tiền bối phát ra các neutron trễ thuộc nhóm i ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$). Nếu gọi β_i là tỷ lệ phần trăm các neutron trễ thuộc nhóm i so với toàn bộ các neutron trễ được tạo ra trong phân hạch thì thời gian trễ trung bình của nhóm neutron trễ này là $\beta_i t_i$. Cho nên nếu kể đến tất cả các nhóm neutron trễ thì thời gian trễ trung bình của tất cả các neutron trễ sẽ là $\sum_{i=1}^6 \beta_i t_i$. Cũng như trước đây, nếu bỏ qua thời gian làm chậm và kể đến các neutron trễ thì đối với thời gian sống trung bình của một thế hệ neutron sẽ là:

$$\bar{\tau} = \sum_{i=1}^6 \beta_i t_i + \tau$$

Trong đó τ là thời gian sống trung bình của các neutron đã xác định trên đây. Sau khi sử dụng các kết quả đo thực nghiệm đối với các thông số t_i, β_i của 6 nhóm neutron trễ, người ta thấy nếu có chú ý đến ảnh hưởng của các neutron trễ:

$$\bar{\tau} = \sum_{i=1}^6 \beta_i t_i + \tau \approx 0,1 \text{ giây}$$

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:

$$n(t) = n_0 e^{\frac{\delta k \cdot t}{\bar{\tau}}} \rightarrow n_0 e^{\frac{\delta k \cdot t}{\bar{\tau}}} = n_0 e^{\frac{0,001}{0,1} t} \approx n_0 e^{\frac{t}{100}}$$

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.

Những dao động tự nhiên của hệ số nhân k do sự thay đổi nhiệt độ gây ra là đặc biệt quan trọng trong các lò năng lượng vì ở đây có thể có những dao động lớn về nhiệt độ. Người ta gọi hệ số nhiệt độ của độ phản ứng γ là tỷ số giữa tốc độ thay đổi độ phản ứng và độ thay đổi tương ứng của nhiệt độ:

$$\gamma = \frac{d\rho}{dT} \quad \text{trong đó } \rho = \frac{k-1}{k}$$

trong đó $d\rho$ là sự thay đổi độ phản ứng và dT là sự thay đổi nhiệt độ tương ứng của môi trường lò. Thường thì hệ số γ phụ thuộc vào nhiệt độ trong lò. Tuy nhiên trong các khoảng nhiệt độ không lớn lắm, hệ số γ thực tế là không đổi và sự phụ thuộc của độ phản ứng ρ vào nhiệt độ được mô tả bằng một hàm tuyến tính:

$$\rho(T) = \rho_0 (T - T_0)$$

trong đó T_0 và T là nhiệt độ ban đầu và nhiệt độ hiện tại của lò, đo bằng $^{\circ}\text{C}$. Nếu $\gamma > 0$ thì sự tăng nhiệt độ của lò đưa đến tăng thông lượng neutron, tăng tốc độ phân hạch và do đó tăng công suất lò một cách tương ứng. Trong các điều kiện bình thường điều đó lại làm tăng hơn nữa nhiệt độ của lò dẫn đến sự làm việc không ổn định, cho nên người ta phải áp dụng mọi biện pháp có thể nhằm đảm bảo cho trong hệ lò có $\gamma < 0$. Hệ số $\gamma < 0$ đảm bảo cho lò làm việc ổn định và không nguy hiểm ở trạng thái dừng. Khi lò làm việc bình thường $T = T_0$ và $\rho = 0$. Nếu vì một lý do nào đó mà công suất của lò tăng lên, do đó nhiệt độ lò tăng lên đến $T > T_0$. Độ phản ứng trở nên âm ($\rho < 0$) và công suất lại quay về với mức xuất phát. Còn khi giảm mức công suất, lò bị làm lạnh xuống nhiệt độ $T < T_0$ do đó xuất hiện một độ phản ứng dương và công suất lúc đầu lại được khôi phục trở lại. Như vậy lò có hệ số nhiệt độ âm là lò tự điều chỉnh được. Các loại lò graphit nước, graphit khí ở đó $\gamma \sim 10^{-4}$ (1/K) cũng như các lò phản ứng đồng nhất và không đồng nhất, có chất tải nhiệt và chất làm chậm là chất hữu cơ, làm việc rất ổn định. Trong một số loại lò sự phụ thuộc nhiệt độ của hệ số nhân k được sử dụng để kiểm tra phản ứng dây chuyền thay cho các thanh điều khiển chứa các chất hấp thụ neutron thường được dùng để điều khiển lò phản ứng.

Hệ số nhân k (và do đó độ phản ứng) có thể thay đổi vì hai lý do:

1. Sự thay đổi năng lượng trung bình của các neutron nhiệt và do đó ảnh hưởng đến tiết diện hiệu dụng tán xạ và hấp thụ.

2. Sự thay đổi mật độ các vật liệu kết cấu trong lò, nghĩa là sự thay đổi độ dài khuếch tán, kích thước lò v.v... Mật độ môi trường lò thay đổi làm cho tốc độ tương đối giữa neutron và hạt nhân thay đổi, mà các tiết diện lại là hàm của tốc độ tương đối này. Tốc độ tương đối thay đổi theo nhiệt độ do hai nguyên nhân:

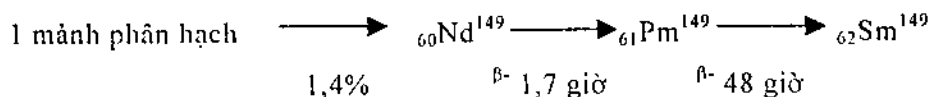
a. Làm thay đổi tốc độ tuyệt đối của các hạt nhân: Tương tác của các hạt nhân với các neutron phụ thuộc vào tốc độ tương đối của chúng. Sự thay đổi nhiệt độ làm xuất hiện hiệu ứng Dopple làm thay đổi bề rộng của mức cộng hưởng do đó làm thay đổi hệ số p trong công thức 4 thừa số. Khi đốt nóng các chất trong lò, các cộng hưởng nở rộng ra và các neutron bị làm chậm trong vùng cộng hưởng bị hấp thụ mạnh hơn. 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. Trong nhiều trường hợp việc tích lũy các chất hấp thụ này ảnh hưởng mạnh mẽ hơn đến hệ số tới hạn so với "sự cháy" của các hạt nhân nhiên liệu. Hiện tượng này được gọi là sự nhiễm độc bằng các sản phẩm phân hạch. Tuy nhiên, trong lò phản ứng chạy bằng các neutron nhiệt chỉ có một vài sản phẩm phân hạch là đóng vai trò quan trọng với tính cách là các chất hấp thụ mạnh neutron gây ra hiện tượng nhiễm độc. Đó là xenon - 135 ($_{54}Xe^{135}$) có tiết diện bắt neutron nhiệt bằng $3,5 \cdot 10^{-6}$ barn trong khi đó tiết diện bắt neutron nhiệt của đồng vị gần nhất là xenon - 136 chỉ chứa đến 5 barn. Sản phẩm phân hạch quan trọng thứ hai sau xenon về mặt gây nhiễm độc lò là samari ($_{62}Sm^{149}$). Chất này có tiết diện bắt neutron hiệu dụng cỡ $5,8 \cdot 10^4$ barn. Chất đồng vị này thu được do sự phân rã của neodim:



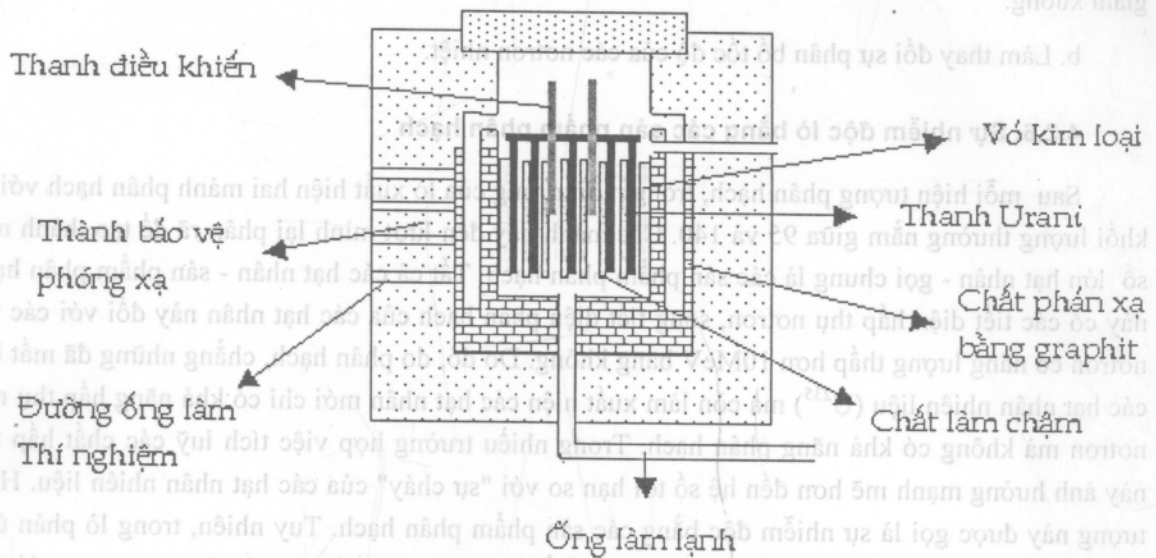
Dựa trên các đặc trưng vật lý của các đồng vị, người ta đã tính toán được mức độ ảnh hưởng của lượng chất nhiễm độc này được tích lũy trong lò tới độ phản ứng của lò phản ứng hạt nhân.

§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 một 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 (hình 4.2).

Như vậy, neutron nhanh sinh ra do phản ứng phân hạch, sẽ bị giảm tốc đến vận tốc nhiệt trong chất làm chậm. 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 dồn 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 ($k = 1$).



Hình 4.2. Nguyên lý lò phản ứng hạt nhân.

Một dòng nước thường sẽ nhận nhiệt nóng trong buồng trao đổi nhiệt và biến thành hơi. Hơi nước sẽ kéo tuabin của máy phát điện rồi về buồng ngưng hơi và trở về buồng trao đổi nhiệt. Chất tải nhiệt chạy theo chu trình từ lò đến buồng trao đổi nhiệt về lò, nhờ hệ thống bơm đặc biệt. Ngoài ra lò phản ứng còn có hệ thống điều khiển và bảo vệ. Hệ điều khiển dùng để khởi động, làm dừng hoặc thay đổi công suất lò phản ứng. Hệ bảo vệ bảo đảm sự an toàn phóng xạ.

Hiện nay, người ta làm nhiều loại lò phản ứng khác nhau với nhiên liệu, chất tải nhiệt, chất làm chậm khác nhau tùy theo mục đích sử dụng: nghiên cứu khoa học, cung cấp năng lượng nguyên tử hay sản xuất nhiên liệu hạt nhân.

Tùy theo năng lượng neutron gây ra phản ứng phân hạch người ta còn phân loại lò phản ứng neutron nhiệt, lò neutron trung gian, lò neutron nhanh. Neutron nhiệt có năng lượng ở lân cận 0,025eV. Neutron trung gian có năng lượng trong khoảng 1keV - 100keV. Neutron nhanh có năng lượng lớn hơn 100keV.

Nhiên liệu urani giàu U^{235} , Pu^{239} , U^{233} đối với lò neutron chậm, U^{233} , Th^{232} đối với lò neutron nhanh. Chất làm chậm thường dùng là graphit, nước nặng. Chất tải nhiệt có thể là nước nặng, kim loại lỏng natri, kali, bismut, chì, thủy ngân, v.v...

§4.4. NGUYÊN LÝ ĐIỀU KHIỂN LÒ PHẢN ỨNG HẠT NHÂN

Trên đây chủ yếu chúng ta mới chỉ nghiên cứu lò ở chế độ dừng, nghĩa là ở trạng thái tới hạn - nói cách khác trạng thái ở đó thông lượng neutron trong lò không đổi theo thời gian. Để sử dụng một cách bình thường lò phản ứng (cả các lò nhỏ dùng vào mục đích nghiên cứu lẫn các lò phát điện có công suất lớn) ta phải biết cách điều khiển nó theo ý muốn.

Các hiệu ứng làm cho lò ra khỏi trạng thái tới hạn được chia thành hai loại tùy theo mức độ kéo dài về thời gian tác động của các hiệu ứng này. Để đặc trưng cho mức độ lò ra khỏi trạng thái tới hạn ta đã đưa vào một đại lượng được gọi là độ phản ứng của lò.

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

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. Những thay đổi chậm độ phản ứng có liên quan đến sự cháy của nhiên liệu hạt nhân và tích lũy các sản phẩm phân hạch mới. Trong khi đó các hiệu ứng nhiệt độ của độ phản ứng, các thay đổi ngẫu nhiên vì lý do này hay lý do khác hoặc các tác động cố ý tới độ phản ứng nhằm nâng cao hoặc hạ thấp công suất mang tính ngắn hạn. Những thay đổi ngắn hạn thường được gọi chung là động lực lò. Cho nên để nghiên cứu chế độ hoạt động của lò theo thời gian xuất hiện do có nhiều loạn ngoài, ta phải tiến hành giải gần đúng phương trình khuếch tán không dừng $\left(\frac{\partial \phi}{\partial t} \neq 0\right)$ nghĩa là giải phương trình khi xem thông lượng neutron ϕ là hàm của cả thời gian. Ngoài ra, nếu xét chung cả lò với tất cả các phần hệ còn lại đòi hỏi phải chú ý đến các tính chất nhiệt động của các chất lỏng hay chất khí được dùng để làm chất trao đổi nhiệt, lấy năng lượng ra khỏi lò ở các nhà máy điện nguyên tử, cũng như tính chất điện biến của các bộ phận khác nhau còn lại của hệ lò. Công suất của lò phản ứng hạt nhân được quyết định bởi tốc độ diễn ra quá trình phân hạch. Trong một lò cụ thể nào đó tốc độ này tỷ lệ với lượng chất phân hạch và mật độ neutron trung bình. Do đó suy ra rằng việc thay đổi mật độ neutron trong lò đưa đến làm thay đổi mức công suất của lò. Vì vậy khi nghiên cứu diễn biến của lò chúng ta sẽ sử dụng hoặc khái niệm mật độ neutron trong lò hoặc khái niệm công suất của lò ở một thời điểm nào đó. Việc điều khiển lò được thực hiện bằng cách thay đổi giá trị của thông lượng neutron trong lò. Nếu thông lượng neutron trong lò không thay đổi, lò phản ứng ở trạng thái tới hạn, hệ số nhân neutron k trong lò bằng 1.

Có thể thay đổi thông lượng neutron trong lò bằng hai cách:

1/ Đưa vào hoặc rút bớt ra khỏi vùng hoạt động của lò các chất hấp thụ mạnh neutron, như chất bô chẳng hạn.

2/ Đưa lại gần vùng hoạt hay đưa ra xa vùng hoạt một chất phản xạ neutron 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 do phản ứng phân hạch tạo ra.

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 để tạo điều kiện cho phản ứng dây chuyền xảy ra

c. Bộ phận tải nhiệt với chức năng thu nhiệt sinh ra do phân hạch hạt nhân từ tâm lò phản ứng để chuyển ra bộ phận bên ngoài

d. Bộ phận điều khiển để điều chỉnh quá trình phân hạch của nhiên liệu hạt nhân

Về cơ bản nhà máy điện nguyên tử chỉ khác nhà máy nhiệt điện ở bộ phận lò. Lò của nhà máy nhiệt điện là nơi đốt cháy các nhiên liệu hoá thạch để thu lấy nhiệt còn trong nhà máy điện nguyên tử thì lò phản ứng làm nhiệm vụ tạo ra phản ứng phân hạch có điều khiển để có được một nhiệt lượng rất lớn.

4.5.2. Nguyên lý của lò phản ứng hạt nhân

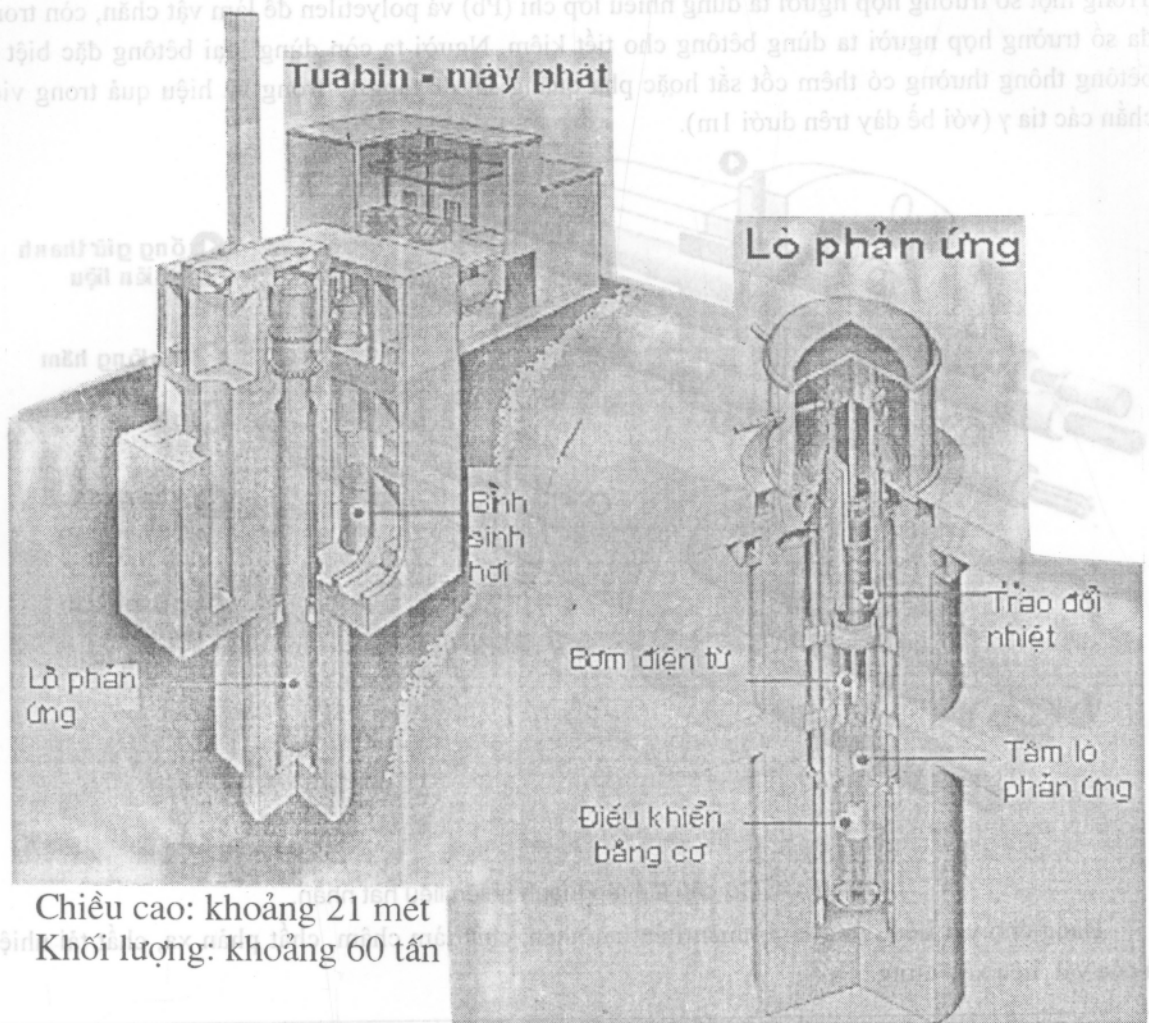
Để có phản ứng dây chuyền tự duy trì, ta phải làm thế nào để nói chung ít nhất có một neutron trong số gần 2,5 neutron ($\nu \approx 2,5$) do một phân hạch cho trước sinh ra có thể gây ra một phân hạch khác. Cho nên nguyên tắc thiết kế lò là phải làm giảm các quá trình tiêu phí các neutron không phân hạch sao cho điều kiện nêu trên đây có thể được thoả mãn. Các quá trình tiêu phí neutron một cách vô ích có ba loại như sau:

- Nhiên liệu bắt neutron mà không phân hạch (như n, γ)
- Các vật liệu khác trong lò bắt neutron
- Các neutron rò ra khỏi hệ lò, không gây được một hiệu ứng nào cả.

Ba quá trình này có ảnh hưởng tới sự hoạt động của lò và có thể bị thay đổi đáng kể do thiết kế. Có thể thay đổi sự bắt neutron không phân hạch của nhiên liệu bằng kích thước và hình dáng của nhiên liệu, bằng năng lượng trung bình của neutron trong lò hoặc bằng độ làm giàu của nhiên liệu. Mức độ bắt neutron trong các vật liệu khác phụ thuộc vào số lượng và loại vật liệu được dùng để xây dựng lò. Còn phần các neutron rò ra khỏi lò có thể giảm xuống bằng cách tăng kích thước vỏ bọc lò bằng chất phản xạ làm nhiệm vụ phản xạ các neutron rò ra khỏi lò bắt chúng trở lại lò. Nếu lò là loại lò sản năng lượng thì ta còn phải thiết kế trong lò một hệ thống lấy nhiệt trong lò ra sao cho kinh tế nhất và an toàn nhất. Như vậy là người thiết kế lò phải lựa chọn các kích thước, các tham số vật lý sao cho lò là tối ưu theo nghĩa tiết kiệm nhiên liệu nhất mà hiệu quả lại lớn nhất.

Để làm nhiên liệu có thể lấy urani thiên nhiên trong đó có chứa 0,73% U^{235} , urani làm giàu (có hàm lượng U^{235} cao hơn 0,73%), plutoni Pu^{239} , thori Th^{233} . Chất làm chậm (trong các lò phản ứng chạy bằng neutron chậm hay trung gian (các neutron đã được làm chậm một phần trước khi bị hấp thụ để phân hạch tiếp), có thể là graphit, nước nặng D_2O , nước thường H_2O , berili và berili oxit BeO , các chất hữu cơ. Chất tải nhiệt có thể là chất khí, nước thường, nước nặng D_2O , chất lỏng hữu cơ, kim loại lỏng v.v... Chất phản xạ là bất kỳ chất làm chậm nào như graphit, berili v.v...

Trong một số trường hợp người ta dùng nhiều lớp chì (Pb) và polycrystall để chắn các tia γ và tia neutron nhanh. Trong các trường hợp người ta dùng bê tông có thêm cốt sắt hoặc bê tông thông thường có thêm cốt sắt hoặc bê tông đặc biệt là bê tông nặng có thêm cốt sắt hoặc bê tông đặc biệt là bê tông nặng (với bề dày từ dưới 1m).



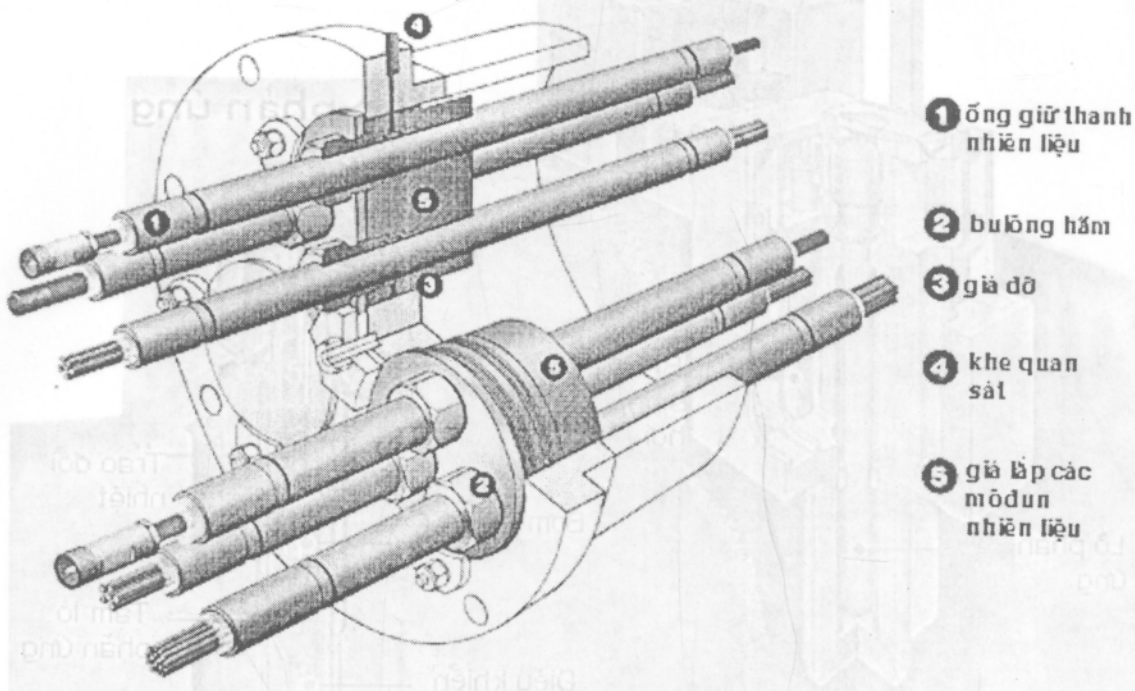
Chiều cao: khoảng 21 mét
 Khối lượng: khoảng 60 tấn

Vật liệu xây dựng	Chất tải nhiệt	Chất phản xạ	Chất làm chậm	Nhiên liệu
-------------------	----------------	--------------	---------------	------------

Hình 4.3. Cấu trúc lò phản ứng hạt nhân

Ngoài ra, còn phải chú ý đến một số yếu tố có tính chất kỹ thuật. 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 đập, 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. Vật liệu thường được dùng làm vỏ lò là: nhôm, thép không gỉ, zirconi. Thứ nữa, để đảm bảo an toàn cho những người làm việc quanh lò phản ứng, ta phải có thêm những vật chắn để tránh các neutron nhanh cũng như các tia γ vì chúng là các bức xạ có khả năng xuyên thấu mạnh, do đó có tác dụng phá hủy mô tế bào mạnh. Như ta đã thấy trên đây, để làm chậm các neutron nhanh để chúng dễ dàng bị U^{235} bắt, ta phải dùng loại vật liệu có nguyên tử số 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 polyetilen 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 bu lông hãm
- 3 giá đỡ
- 4 khe quan sát
- 5 giá lắp các môđun nhiên liệu

Hình 4.4. Cơ cấu lắp ráp thanh nhiên liệu hạt nhân.

Bảng cho vật liệu dùng làm nhiên liệu hạt nhân, chất làm chậm, chất phản xạ, chất tải nhiệt và các vật liệu xây dựng.

Nhiên liệu	Chất làm chậm	Chất phản xạ	Chất tải nhiệt	Vật liệu xây dựng
Urani thiên nhiên	Nước nặng, bêrili, oxit bêrili graphit	Bất kỳ chất làm chậm nào	Không khí, hydro, reli azôt, đioxit cacbon, H ₂ O hoặc D ₂ O	Nhôm ziniconi hoặc magie
Urani làm giàu	Như đối với trường hợp urani thiên nhiên + H ₂ O	Bất kỳ chất làm chậm nào	Như đối với trường hợp urani thiên nhiên + natri, hợp kim natri + Kali	Nhôm ziniconi và thép không gỉ
Urani - 238 Urani - 235 hay Pu-239 độ giàu cao	Trong các lò chạy bằng neutron nhanh không có chất làm chậm	Urani - 238 thori - 232 hoặc một nguyên tố nặng	Natri, hợp kim NaK thủy ngân hoặc bismut	Thép không gỉ

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 nước nặng hoặc lò phản ứng làm nguội bằng khí và dùng chất làm chậm là than chì.

Nước 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 nước nhẹ.

Lò phản ứng nước nhẹ sử dụng nhiên liệu urani được làm giàu trên dưới 4% ở dạng oxit urani. Còn Pu thì thích hợp làm nhiên liệu cho lò phản ứng tái sinh nhanh.

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 nguyên tử số nhỏ. Các loại chất làm chậm thông thường:

1. Nước nhẹ (nước 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. Nước 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 tương 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 nước nhẹ dùng chất tải nhiệt là nước nhẹ; Lò phản ứng nước nặng dùng chất tải nhiệt là nước nặng; còn lò khí thì sử dụng chất tải nhiệt là khí CO_2 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.

Chất điều khiển được sử dụng phổ biến là boron hoặc cadimi.

§4.6. CÁC LOẠI Lò PHẢN ỨNG HẠT NHÂN

Lò phản ứng hạt nhân được phân loại theo nhiên liệu hạt nhân, chất làm chậm và chất tải nhiệt, cũng có thể phân theo năng lượng của neutron gây phân hạch.

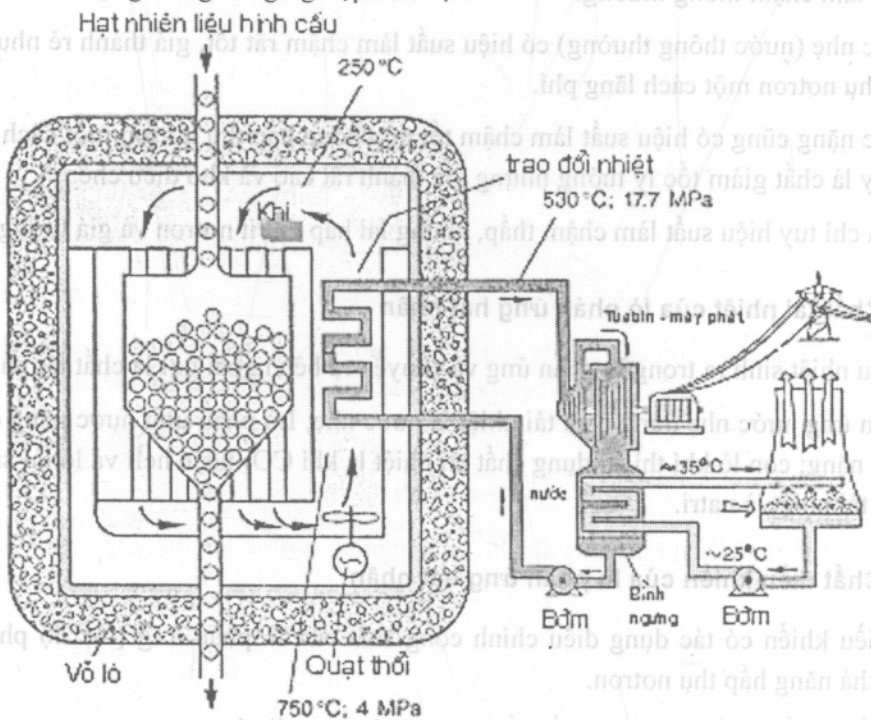
Dưới đây là một số loại lò phản ứng hạt nhân hiện nay đang được sử dụng trên thế giới:

4.6.1. Lò khí

Lò khí (hình 4.5) 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 được 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 được không khí nên khí CO₂ được dùng làm chất tải nhiệt. Từ đó đã ra đời loại lò khí kiểu Anh sử dụng trong nhà máy điện hạt nhân. Để cạnh tranh với lò nước nhẹ đang dần trở nên phổ biến, người ta nâng thêm nhiệt độ và áp lực của khí (chất tải nhiệt). Tuy nhiên nhiệt độ của khí CO₂ tăng cao tới mức độ nào đó sẽ không ổn định và vì thế mà không thể sử dụng được. Người ta đã phát triển loại lò khí tiên tiến hơn sử dụng chất tải nhiệt là heli có thể ổn định ngay cả khi nhiệt độ cao nhưng lại gặp khó khăn về mặt kỹ thuật và kinh tế nên không thể cạnh tranh được với lò nước nhẹ.

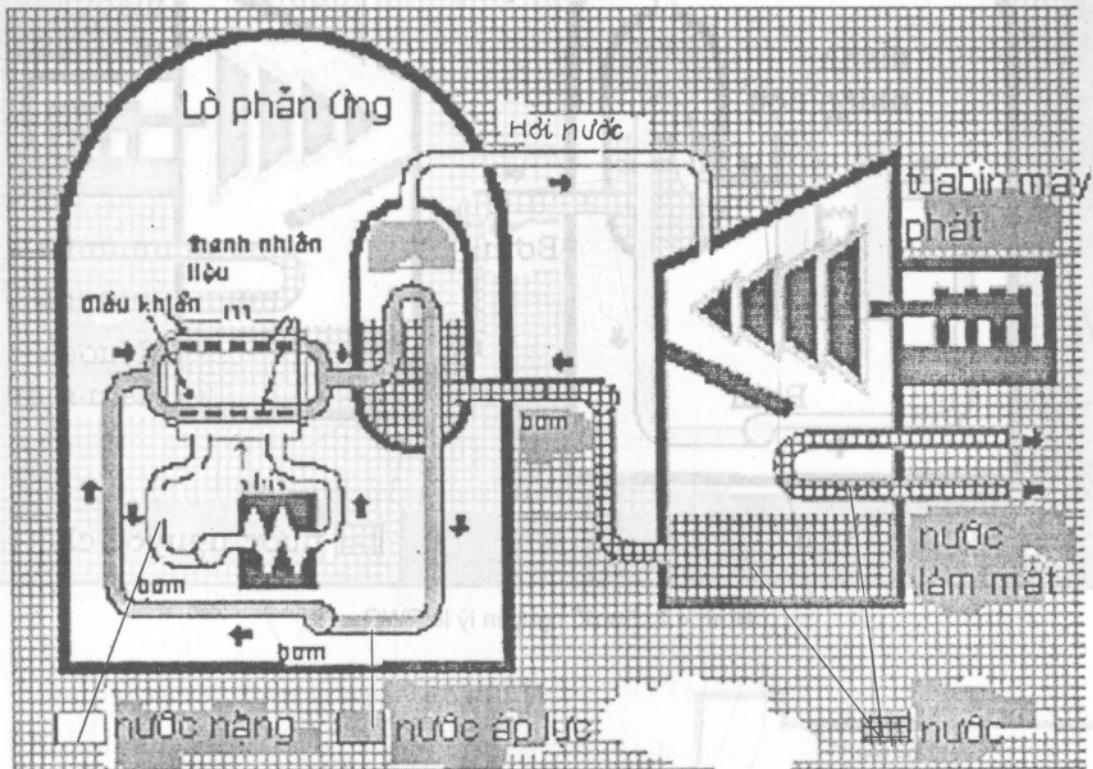
Tuy vậy các kinh nghiệm về lò khí vẫn được người ta vận dụng và việc phát triển lò khí nhiệt độ cao hiện vẫn đang được triển khai, lò này sử dụng chất tải nhiệt là heli nhằm nâng nhiệt độ khí đầu ra của lò lên tới 750°C và nâng cao hiệu suất nhiệt. Loại lò này cũng đang có kế hoạch sử dụng cho mục đích như sử dụng trong công nghiệp hoá học.



Hình 4.5. Sơ đồ nguyên lý của lò khí.

4.6.2. Lò nước nặng (PHWR)

Lò nước nặng (hình 4.6) là lò phản ứng sử dụng nước nặng làm chất làm chậm. Loại lò này chủ yếu do Canada phát triển. So với nước nhẹ, nước nặng hấp thụ rất ít neutron nên có thể sử dụng urani tự nhiên làm nhiên liệu.



Hình 4.6. Sơ đồ nguyên lý của lò nước nặng PHWR

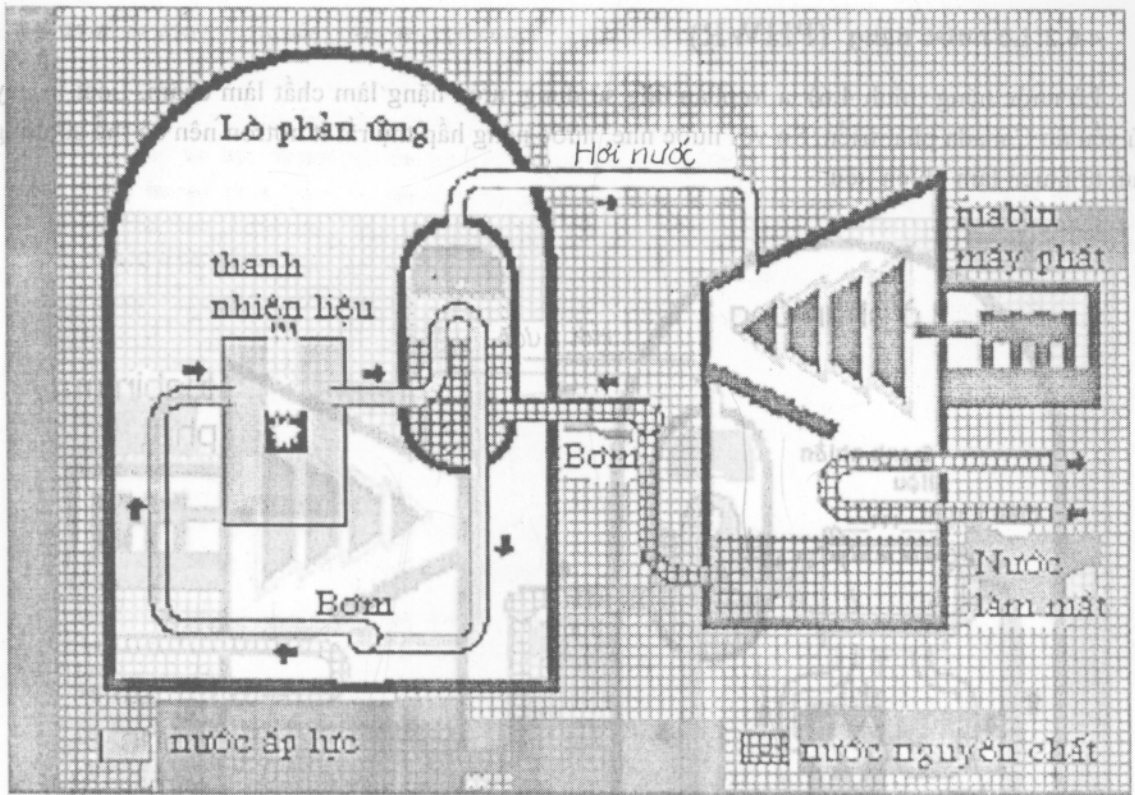
4.6.3. Lò nước nhẹ

Lò nước nhẹ là lò phản ứng sử dụng nước nhẹ làm chất làm chậm và chất tải nhiệt. Có hai loại lò nước nhẹ là PWR (Pressurized Water Reactor - Lò nước áp lực-hình 4.7) và BWR (Boiling Water Reactor - Lò nước sôi - hình 4.8).

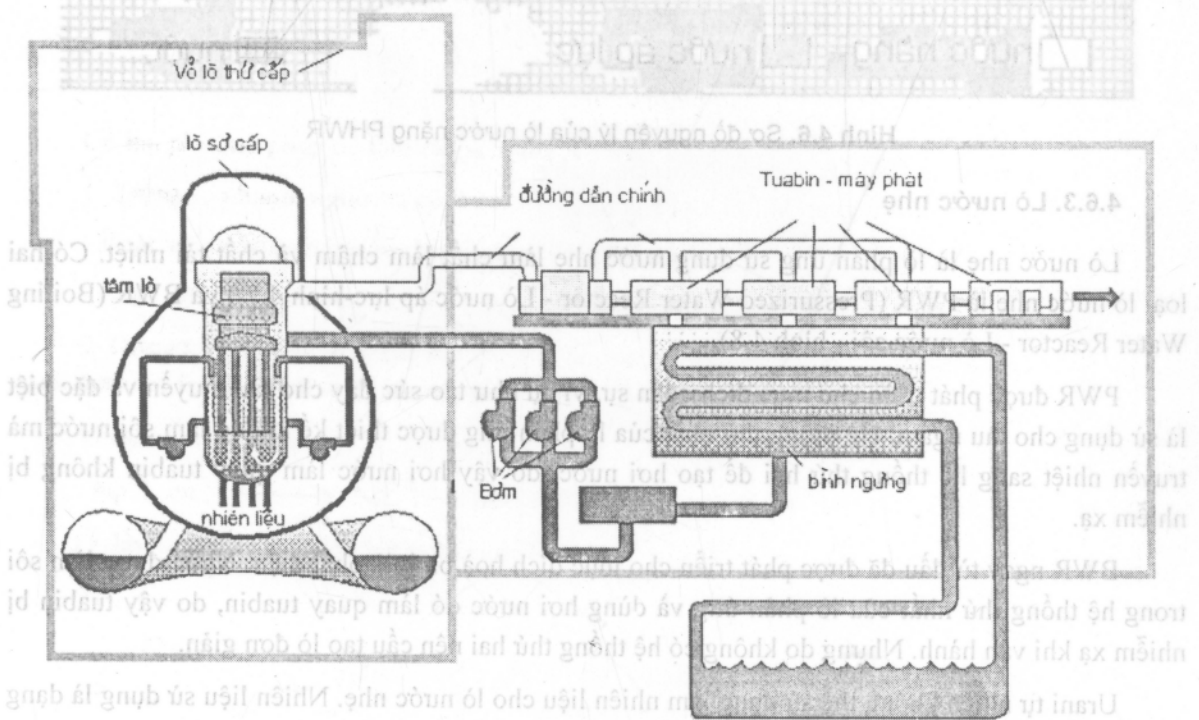
PWR được phát triển cho mục đích quân sự, ví dụ như tạo sức đẩy cho tàu thuyền và đặc biệt là sử dụng cho tàu ngầm. Hệ thống thứ nhất của lò phản ứng được thiết kế không làm sôi nước mà truyền nhiệt sang hệ thống thứ hai để tạo hơi nước, do vậy hơi nước làm quay tuabin không bị nhiễm xạ.

BWR ngay từ đầu đã được phát triển cho mục đích hoà bình là phát điện. Nước được làm sôi trong hệ thống thứ nhất của lò phản ứng và dùng hơi nước đó làm quay tuabin, do vậy tuabin bị nhiễm xạ khi vận hành. Nhưng do không có hệ thống thứ hai nên cấu tạo lò đơn giản.

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



Hình 4.7. Sơ đồ nguyên lý lò PWR.



Hình 4.8. Sơ đồ nguyên lý lò BWR.

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 có thể sử dụng được chúng bằng lò tái sinh nhanh thì nhân loại có thể sử dụng năng lượng nguyên tử trong thời gian khoảng 3000 năm.

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. Điểm nóng chảy của Na là 98°C và điểm sôi là 881°C nên có thể sử dụng dưới dạng dịch lỏng ở nhiệt độ cao.

Vì Na có phản ứng khi tiếp xúc với không khí nên bề mặt của Na cần được phủ bằng khí trơ (argon).

Có ba hệ thống là hệ thống Na thứ nhất, hệ thống Na thứ hai và hệ thống hơi nước thứ ba.

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 nước nhẹ. Hiện tại về kinh tế thì chưa thể cạnh tranh với lò nước nhẹ nhưng trong tương lai, khi nguồn tài nguyên urani hết dần, giá urani tăng lên, có lẽ khi đó lò tái sinh nhanh có thể cạnh tranh được với lò nước nhẹ.

* Ngoài ra còn có một số loại lò phản ứng hạt nhân được phân biệt theo sự phân bố nhiên liệu và chất làm chậm

- *Lò đồng nhất*: là các lò trong đó nhiên liệu và chất làm chậm được trộn đều với nhau, làm thành một dung dịch, một hợp kim, thành một hợp chất hoá học hay một thể rắn (thể huyền phù) có cạnh rất nhỏ gồm từ hợp chất không hoà tan của urani trong nước thường hay nước nặng.

- *Lò không đồng nhất*: ở đây nhiên liệu được xếp đặt theo một cấu hình hình học xác định nào đó làm thành một lưới thanh đốt đặt trong một khối chất làm chậm.

* Người ta còn phân loại lò theo năng lượng neutron gây ra hiện tượng phân hạch. Các neutron có năng lượng thấp hơn $0,1\text{ eV}$ gọi là neutron chậm hay neutron nhiệt (bằng năng lượng của chuyển động nhiệt trong môi trường lò). Neutron có năng lượng từ 1 đến 1000 eV (keV) được gọi là neutron trung gian hay neutron cộng hưởng, còn neutron có năng lượng trên 1000 eV được gọi là các neutron nhanh. Do đó ta có ba loại lò:

- *Lò nhanh*: là lò chạy bằng các neutron nhanh. Hạt nhân nhiên liệu phân hạch bằng các neutron nhanh, lò không chứa chất làm chậm để làm chậm neutron sinh ra trong phân hạch, phản ứng dây

chuyển xảy ra do hạt nhân nhiên liệu hấp thụ các neutron nhanh để phân hạch. Có thể nói bom nguyên tử là một loại lò nhanh (không điều khiển được). Một số lò điều khiển được chạy bằng plutoni cũng thuộc loại lò này (vì tiết diện phân hạch của plutoni bằng neutron nhanh là lớn).

- *Lò trung gian*: phản ứng phân hạch ở đây là do sự hấp thụ các neutron có năng lượng trung gian. Trong các lò này người ta dùng hiện tượng bắt cộng hưởng của các neutron, hoặc dùng các vật liệu có tiết diện hiệu dụng bắt nhỏ đối với các neutron khác neutron nhiệt.

- *Lò nhiệt*: Chạy bằng các neutron nhiệt. Các lò loại này rất an toàn trong vận hành và trong những điều kiện xác định cho phép dùng urani thiên nhiên làm nhiên liệu.

* Cũng có thể phân loại các lò phản ứng theo chức năng của lò:

- *Lò nghiên cứu*: Là các lò được dùng để thử các phương pháp thiết kế mới các lò, để sản xuất đồng vị phóng xạ, để tạo ra các chùm neutron có năng lượng và mật độ xác định dùng cho các thí nghiệm và nghiên cứu vật lý, để đào tạo cán bộ làm việc trong lĩnh vực công nghệ điện hạt nhân.

- *Lò năng lượng*: để sản ra năng lượng dưới dạng điện năng phục vụ cho nền kinh tế quốc dân.

- *Lò tái sinh*: để sản xuất ra các vật liệu phân hạch dùng urani-238 hay thori - 232.

Việt Nam hiện có một Viện Năng lượng nguyên tử ở Đà Lạt và với các cách phân loại trên đây, ta có thể nói lò phản ứng hạt nhân duy nhất hiện ta đang có ở thành phố Đà Lạt là thuộc loại lò nghiên cứu, chạy bằng urani - 235 làm giàu, chất làm chậm là nước thường, tái 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 như 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...