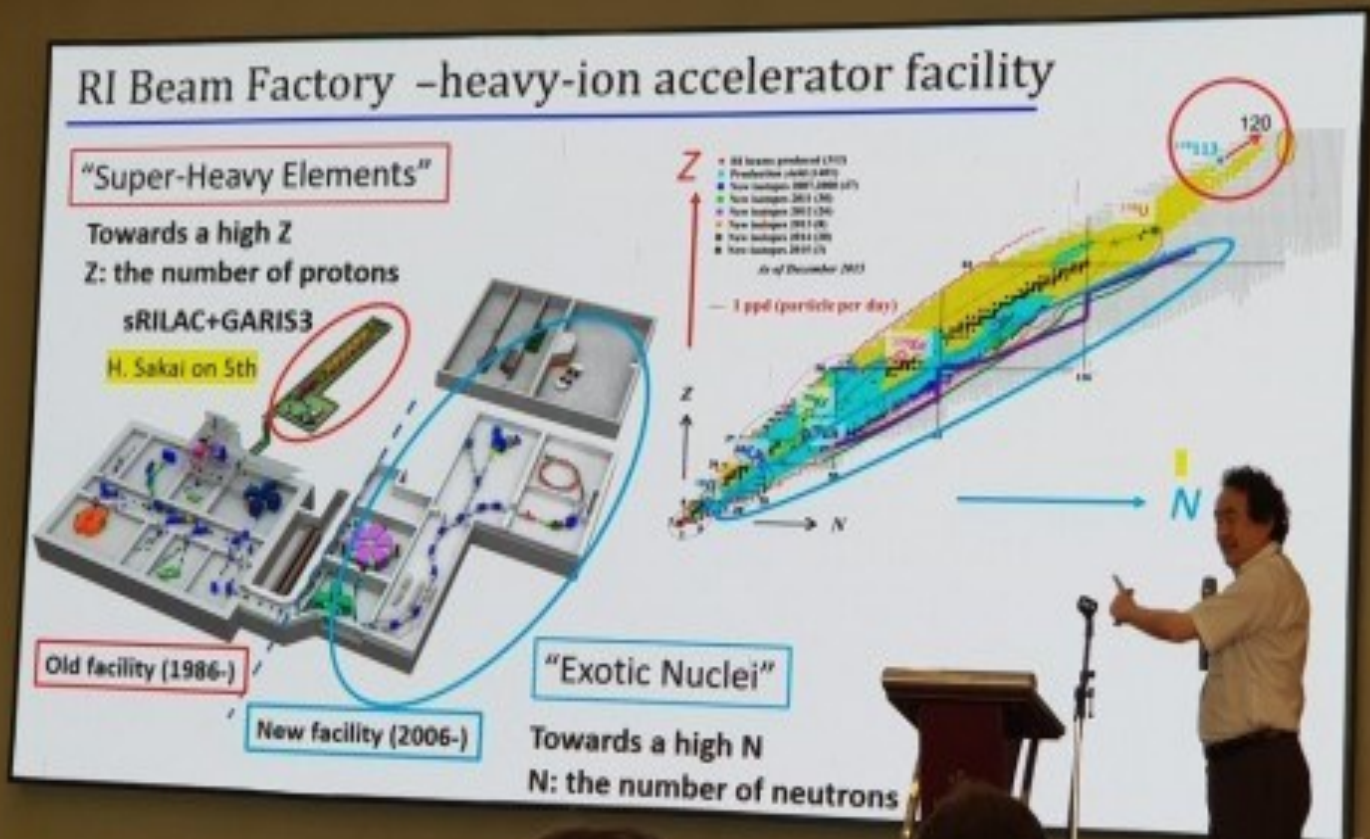


Thông tin

& Khoa học
& Công nghệ

HẠT NHÂN

VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM



VẬT LÝ HẠT NHÂN KHÔNG BỀN VÀ CÁC VẤN ĐỀ
LIÊN QUAN



VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM
Website: <https://vinatom.gov.vn>
Email: tkkcnhn@vinatom.gov.vn

SỐ 75
6/2023



Số 75

06/2023

BAN BIÊN TẬP

TS. Trần Chí Thành - Trưởng ban
TS. Phạm Quang Minh - Phó Trưởng ban
TS. Trần Ngọc Toàn - Ủy viên
TS. Hoàng Sỹ Thân - Ủy viên
ThS. Bùi Đăng Hạng - Ủy viên
PGS.TS. Phạm Đức Khuê - Ủy viên
TS. Cao Đông Vũ - Ủy viên
TS. Đặng Quang Thiệu - Ủy viên
PGS.TS. Hồ Mạnh Dũng - Ủy viên
KS. Nguyễn Thành Cường - Ủy viên
KS. Bùi Quang Trí - Ủy viên
TS. Trịnh Anh Đức - Ủy viên
TS. Nguyễn Trọng Hùng - Ủy viên
ThS. Đặng Thị Thu Hồng - Ủy viên
TS. Phan Việt Cường - Ủy viên

Thư ký khoa học: TS. Phạm Kim Long
Thư ký: ThS. Nguyễn Thị Thu Hà
Biên tập và trình bày: TS. Phạm Kim Long



Địa chỉ liên hệ:

Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam
59 Lý Thường Kiệt, Hoàn Kiếm, Hà Nội
ĐT: (024) 3942 2756
Fax: (024) 3942 2625
Email: ttkcnhn@vinatom.gov.vn
Giấy phép xuất bản số: 57/CP-XBBT
Cấp ngày 26/12/2003



THÔNG TIN KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ HẠT NHÂN

NỘI DUNG

3- Hội thảo quốc tế về vật lý hạt nhân không bền (ISPUN) lần thứ 6

NGUYỄN THỊ THU HÀ

7- Vật lý hạt nhân không bền và nguồn gốc của vật chất

PHAN VIỆT CƯƠNG

11- 10 năm nghiên cứu hạt nhân lạ giàu nơtron trên bia MINOS tại RIBF và triển vọng tương lai

BÙI DUY LINH

15- Cấu trúc đặc biệt của các đồng vị hạt nhân không bền giàu neutron

ĐỖ CÔNG CƯỜNG

20- Khả năng đo chính xác khối lượng các hạt nhân Sn nằm xa đường bền

NGUYỄN NGỌC DUY

TIN TRONG NƯỚC VÀ QUỐC TẾ

27- Phó Thủ tướng Liên bang Nga thăm Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam

30- Tiếp tục ghi nhận mức độ ủng hộ kỷ lục của công chúng Hoa Kỳ đối với năng lượng hạt nhân

31- Những nhà lãnh đạo hạt nhân đưa ra lời kêu gọi hành động từ G7

33- Hợp tác xây dựng bản sao kỹ thuật số của nhà máy điện nhiệt hạch STEP

34- Mất bao lâu để xây một lò phản ứng hạt nhân?

40- IEA: Nguồn vốn đầu tư cho năng lượng sạch tăng nhanh

HỘI THẢO QUỐC TẾ VỀ VẬT LÝ HẠT NHÂN KHÔNG BỀN (ISPUN) LẦN THỨ 6

Nguyễn Thị Thu Hà
Ban Kế hoạch và Quản lý khoa học

Trong 5 ngày (từ 4-8/5/2023), Hội thảo quốc tế về vật lý hạt nhân không bền (ISPUN) lần thứ 6 do Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân (KH&KTHN), đơn vị trực thuộc Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam (NLNTVN) tổ chức tại đảo Phú Quốc, tỉnh Kiên Giang đã thu hút hơn 100 đại biểu là các nghiên cứu sinh, nhà nghiên cứu trẻ chuyên gia, nhà khoa học hàng đầu trong nước và thế giới.

P hát biểu khai mạc, Thứ trưởng Khoa học và Công nghệ (KH&CN) Lê Xuân Định đánh giá ISPUN23 đã quy tụ nhiều chuyên gia hàng đầu thế giới, trong đó có các nhà khoa học trẻ từ cộng đồng vật lý hạt nhân quốc tế. Thứ trưởng cho biết, nghiên cứu cơ bản trong vật lý hạt nhân được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như khoa học sức khỏe, công nghệ vật liệu mới, môi trường, góp phần đáng kể cho sự phát triển kinh tế, xã hội.

Thứ trưởng Lê Xuân Định đánh giá cao sự đóng góp từ các chuyên gia, nhà khoa học thông qua hội thảo và mong muốn đây là nền tảng tốt để trao đổi các ý tưởng và kết quả nghiên cứu mới nhất. Hội nghị cũng là cơ hội tốt để chuyên gia chia sẻ, tăng cường hợp tác trong lĩnh vực nghiên cứu và đào tạo, qua đó khuyến khích cộng đồng vật lý hạt nhân Việt Nam đóng góp tích cực vào sự phát triển của công nghệ hạt nhân trong nước và khu vực.

TS. Trần Chí Thành, Viện trưởng Viện NLNTVN chia sẻ: Hội thảo là sự kiện quan trọng trong hoạt động nghiên cứu, triển khai vật lý hạt nhân cơ bản, nhằm trao đổi những kết quả nghiên cứu, ứng dụng mới trong lĩnh vực khoa học và công nghệ hạt nhân. TS. Trần Chí Thành cũng nhấn mạnh về những đóng góp quan trọng cho cộng đồng vật lý hạt nhân từ GS. Đào Tiên Khoa, Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân, và GS Nicolas Alamanos, Viện Năng lượng Nguyên tử Pháp, những người ra ý tưởng và trực tiếp tham gia tổ chức loạt hội thảo ISPUN thành công.

Hội thảo quốc tế về vật lý hạt nhân không bền lần thứ 6 đã chọn được 93 báo cáo. Đây là các tham luận, báo cáo về triển vọng của các thiết bị, dự án khoa học mang tính tiên phong tại các trung tâm nghiên cứu hạt nhân trên thế giới, được các nhà khoa học, chuyên gia thế giới chia sẻ. Trong đó có thể kể đến như GS Hiroyoshi Sakurai, từ RIKEN, Nhật Bản, trình bày tổng quan về thành tựu và kế hoạch tại RIBF.



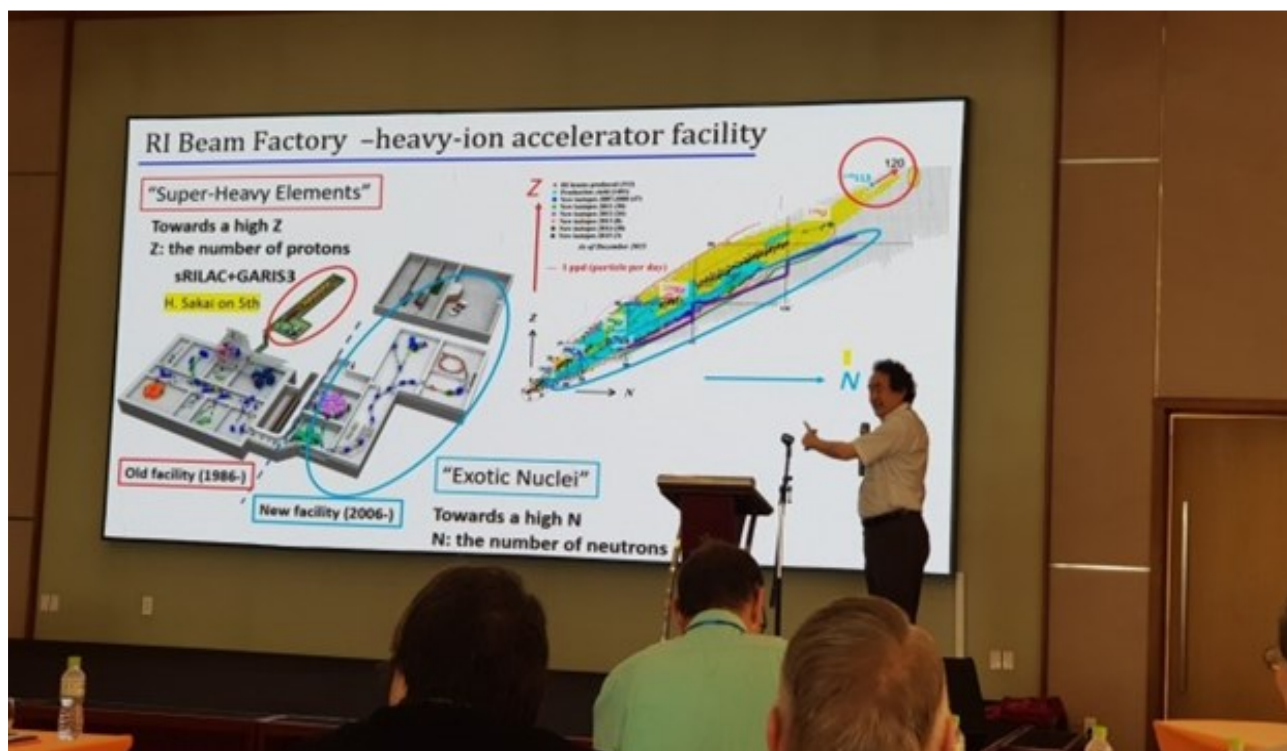
Các nhà khoa học tham gia Hội thảo quốc tế về vật lý hạt nhân không bền lần thứ 6

Hội thảo quốc tế về vật lý hạt nhân không bền lần thứ 6 đã chọn được 93 báo cáo. Đây là các tham luận, báo cáo về triển vọng của các thiết bị, dự án khoa học mang tính tiên phong tại các trung tâm nghiên cứu hạt nhân trên thế giới, được các nhà khoa học, chuyên gia thế giới chia sẻ. Trong đó có thể kể đến như GS Hiroyoshi Sakurai, từ RIKEN, Nhật Bản, trình bày tổng quan về thành tựu và kế hoạch tại RIBF. GS Hervé Savajols đến từ Pháp, chia sẻ những điểm nổi bật của trang thiết bị tại GANIL/SPIRAL2. Các thiết bị nghiên cứu hạt nhân lớn cũng được các GS Haik Simon từ GSI Darmstadt, Đức, GS Klaus Spohr, Rumani hay GS Wenlong Zhan đến từ Viện Hàn lâm khoa học Trung Quốc chia sẻ.

GS Seung-Won Hong sẽ thông tin về trang thiết bị tại RAON, Hàn Quốc. GS Tomohiro Uesaka chia sẻ về các nghiên cứu phản ứng bứt nucleon trong các hạt nhân hình thành từ nhiều cụm nucleon, hay GS Van-

dana Nanal của TIFR Mumbai nói về các trang thiết bị nghiên cứu vật lý hạt nhân tại Ấn độ. Một bài báo cáo về Phòng thí nghiệm iThemba mở ra một kỷ nguyên mới cho Châu phi trong lĩnh vực khoa học cơ bản và ứng dụng trên cơ sở máy gia tốc được GS Rudolph Nchodu trình bày.

Những thành tựu mới nhất đạt được trong những năm qua cũng được các nhà khoa học chia sẻ tại hội nghị, như nghiên cứu thực nghiệm về cấu trúc của hạt nhân không bền, sự tiến hóa lớp vỏ của hạt nhân giáp danh đường bền, cấu trúc từ các cụm hạt nhân và của hạt nhân siêu nặng. Các nghiên cứu về phản ứng hạt nhân trực tiếp gây ra bởi cả chùm hạt bền và không bền; phản ứng hạt nhân ở vùng năng lượng vật lý thiên văn, tổng hợp hạt nhân và tốc độ phản ứng nhiệt hạch của hệ các hạt ion nhẹ trong quá trình tiến hóa sao hay các thiết bị thực nghiệm nghiên cứu hạt nhân.



GS Hiroyoshi Sakurai đến từ RIKEN (Nhật Bản) trình bày báo cáo tại hội nghị

Đặc biệt, Hội thảo quốc tế về Vật lý hạt nhân không bền lần thứ sáu này, được dành tặng hai giáo sư xuất sắc chạm ngưỡng tuổi 70, Đào Tiến Khoa (Viện KH&KT hạt nhân, Viện NLNTVN) và Nicolas Alamanos (CEA Paris-Saclay). Chủ trì phiên đầu của hội thảo, giáo sư Nicolas Alamanos đã nhắc đến những đóng góp quan trọng của giáo sư Đào Tiến Khoa trong việc khởi xướng và tổ chức thành công loạt ISPUN, một diễn đàn dành riêng cho chuyên ngành hẹp của vật lý là hạt nhân không bền và góp phần đưa nó trở thành nơi thảo luận về cấu trúc hạt nhân và cơ chế phản ứng của các nhà nghiên cứu quốc tế. Nhân dịp này, ông cũng dành lời cảm ơn đặc biệt đến giáo sư Đào Tiến Khoa vì những cống hiến cho cộng đồng Vật lý hạt nhân thế giới.

Trong vòng hơn ba thập kỷ qua, với những công trình nghiên cứu đỉnh cao, giáo sư Đào Tiến Khoa luôn nhận được sự đánh giá cao và ngưỡng mộ của cộng đồng vật lý hạt nhân Việt Nam và quốc tế. Nói như TS.

Trần Chí Thành, Viện trưởng Viện NLNTVN, ông đã “trở thành một nhà khoa học tầm cỡ quốc tế của thế hệ mình và xứng đáng được xếp vào nhóm nhà khoa học nổi bật (distinguished professors)”. Quá trình lao động khoa học của ông được đánh dấu bằng trên 100 công bố, phần lớn trên các tạp chí hàng đầu, trong đó có 20 bài được hơn 100 trích dẫn của đồng nghiệp trong nước và quốc tế. “Nuclear incompressibility and density dependent NN interactions in the folding model for nucleus-nucleus potentials” (Tính không nén của hạt nhân và mật độ phụ thuộc NN vào các tương tác trong mô hình gập cho các thể hạt nhân – hạt nhân), được xuất bản năm 1997 trên *Physical Review C*, tạp chí hàng đầu về vật lý hạt nhân lý thuyết và thực nghiệm, đến nay có 458 trích dẫn. Theo nhận xét của PGS. TS. Đỗ Văn Nam (ĐH Phenikaa) vào năm 2020, đây là bài báo được trích dẫn nhiều nhất của vật lý Việt Nam từ trước đến nay.



Giáo sư Đào Tiến Khoa (trái) và TS. Trần Chí Thành

Mặc dù khiêm nhường không nhắc đến vai trò của mình đối với ISPUN nhưng bản thân giáo sư Nicolas Alamanos cũng là người cùng với giáo sư Đào Tiến Khoa chăm chút cho diễn đàn này, kể từ khi nó bắt đầu manh nha trong ý tưởng và lần đầu ra mắt vào năm 2002. Sinh ra tại Athens, Hy Lạp, ông tốt nghiệp ngành vật lý ĐH Athens và nhận bằng tiến sĩ ở trường ĐH Paris-XI, nay là ĐH Paris-Saclay. Những mối quan tâm về vật lý hạt nhân đã dẫn ông đến những phòng thí nghiệm hàng đầu thế giới với nhiều thực nghiệm khác nhau ở Saclay, Caen (Pháp), Stony Brook LINAC, Oak Ridge, MSU (Mỹ), Dubna (Nga)... Với kinh nghiệm nghiên cứu và khả năng tổ chức, giáo sư Nicolas Alamanos đã được bầu vào nhiều vị trí quan trọng như Giám đốc Khoa Vật lý hạt nhân Saclay, Phó Giám đốc Viện Nghiên cứu các lực cơ bản của vũ trụ (IRFU), Giám đốc nghiên cứu

CEA, Chủ tịch Hội đồng khoa học GAN-IL... Theo Saclay, ông là tác giả của trên 180 công trình và có chỉ số H là 38.

Trong bối cảnh hạn hẹp về kinh phí đầu tư cho khoa học hạt nhân Việt Nam, ISPUN mà những nhà khoa học như giáo sư Đào Tiến Khoa và giáo sư Nicolas Alamanos gây dựng và đắp bồi trong gần hai thập kỷ qua đã bắc thêm nhịp cầu kết nối các nhà nghiên cứu Việt Nam, đặc biệt là các nhà nghiên cứu trẻ ở giai đoạn đầu sự nghiệp, với các đồng nghiệp quốc tế xuất sắc để cùng thảo luận về những vấn đề mới, tiên phong của vật lý hạt nhân. Để tri ân hai nhà sáng lập, ISPUN23 đã có một phiên mở rộng về các phản ứng hạt nhân trực tiếp và gợi ý về vật lý thiên văn hạt nhân, phương trình trạng thái của vật chất sao neutron, sự tiến hóa lớp vỏ của hạt nhân, cấu trúc của hạt nhân không bền và các cụm hạt nhân...

VẬT LÝ HẠT NHÂN KHÔNG BỀN VÀ NGUỒN GỐC CỦA VẬT CHẤT

Phan Việt Cường

Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam

Trong suốt 200 năm qua, chúng ta đã xây dựng nên một bức tranh vô cùng rõ ràng và hấp dẫn về thế giới hàng ngày của chúng ta ở cấp độ cơ bản nhất. Chúng ta biết rằng sự đa dạng trong các vật liệu và các vật thể xung quanh chúng ta, bao gồm cả chính chúng ta, là kết quả của một số lượng gần như vô hạn các tổ hợp hóa học của các nguyên tố. Từ thế kỷ 17, các nhà khoa học châu Âu đã nghiên cứu một cách đầy đủ các tính chất hóa lý của nhiều loại chất, xác định các nguyên tố khác nhau và các phản ứng hóa học giữa chúng. Kết quả là Bảng Tuần hoàn các nguyên tố, được nhà hóa học người Nga Dmitri Mendeleev xây dựng lần đầu tiên vào năm 1871, nó đã cung cấp chúng ta những hiểu biết sâu sắc về những “viên gạch” mà công nghệ hiện đại được phát triển dựa trên đó. Vào cuối thế kỷ 19 và đầu thế kỷ 20, Bảng tuần hoàn đã chỉ ra có 92 nguyên tố - được tìm thấy nhiều nhất trong tự nhiên trên Trái đất - có khối lượng tăng dần, từ các nguyên tố nhẹ nhất hydro và heli đến uranium, sau đó là nguyên tố nặng nhất được xác định (mặc dù lượng vết của các nguyên tố nặng hơn plutonium và neptunium cũng được phát hiện sau này trên Trái Đất). Tuy nhiên, nguồn gốc và độ phổ cập của các nguyên tố và đồng vị trên trái đất chỉ có thể được trả lời thông qua việc nghiên cứu về hạt nhân không bền, các phản ứng giữa các hạt nhân xảy ra trên các ngôi sao.

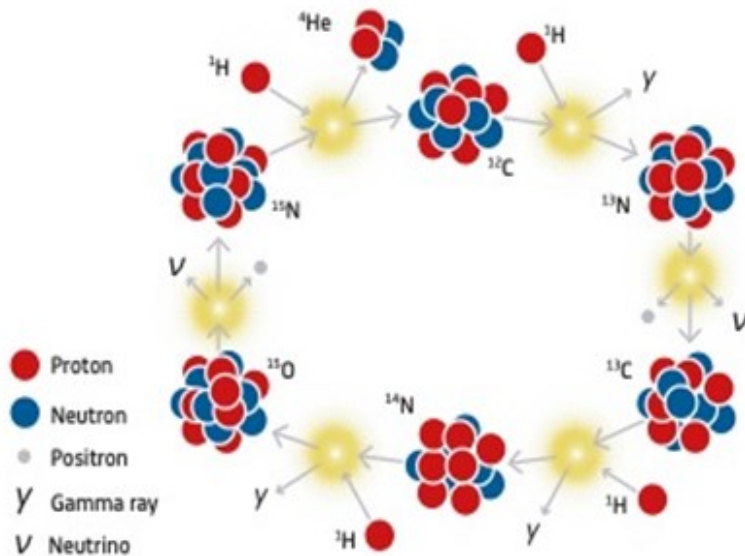
CÁC NGUYÊN TỐ ĐẾN TỪ ĐÂU?

Rõ ràng rằng, sự tiến bộ của loài người gắn liền với việc sử dụng các nguyên tố cụ thể nào đó, điều đó cũng liên quan đến sự sẵn có và độ phổ cập tương đối của chúng. Trên Trái đất, các nguyên tố (thường liên kết hóa học) như hydro, carbon, nitơ, oxy, nhôm, silicon và sắt, cực kỳ phổ biến, là thành phần chính của thạch quyển, đại dương và bầu khí quyển của Trái đất. Các nghiên cứu về cấu trúc và hạt nhân đã chỉ ra rằng, độ phổ cập của các nguyên tố trên Trái đất có liên hệ với cách mà chúng được tạo ra.

Các nguyên tố từ vụ nổ lớn

Thông qua quang phổ, giờ đây chúng ta biết rằng các ngôi sao, cũng như không gian giữa các ngôi sao, chứa các nguyên tố giống như thành phần cấu tạo nên Trái đất. Trong khoảng một thế kỷ qua, các nghiên cứu thiên văn đã chỉ ra độ phổ cập tương đối của các nguyên tố trong Vũ trụ. Hydro rời đến helium cho đến nay là phổ biến nhất. Ngày nay, chúng ta tin rằng hydro và heli, với tư cách là hạt nhân nguyên tử đơn

giản nhất, phần lớn được tạo ra chỉ vài phút sau Vụ nổ lớn, khoảng 13,8 tỷ năm trước, khi tất cả các khối cấu tạo cơ bản của vật chất và năng lượng ra đời. Các proton, về cơ bản là hạt nhân hydro, cùng với các neutron cũng được hình thành, sẽ hợp nhất thành helium (hai proton và hai neutron). Ngay sau vụ nổ Big Bang, vật chất nguyên thủy này bị lực hấp dẫn kéo lại với nhau để tạo ra những ngôi sao lớn, phát sáng đầu tiên. Tỷ lệ chính xác của các nguyên tố này được thấy ở những ngôi sao hoàn toàn phù hợp với những dự đoán của thuyết Big Bang đã xác nhận ý tưởng về vụ nổ Big Bang. Tuy nhiên, chỉ còn một trở ngại Vật lý hạt nhân có liên quan đến Big Bang cũng dự đoán rằng một lượng nhỏ liti, nguyên tố nhẹ nhất tiếp theo sau helium với ba proton, (và có thể một số berili với bốn proton) cũng sẽ được tạo ra. Các quan sát thiên văn chỉ ra rằng độ phổ cập ban đầu của đồng vị liti đã hình thành, liti-7 (với bốn neutron), chỉ bằng một phần ba so với dự đoán của mô hình Big Bang, và đây vẫn là một trong những bí ẩn lớn nhất của vật lý thiên văn.



Hình 1. Chu trình CNO chuyển hydrogen thành helium với các hạt nhân carbon, nitrogen và oxygen đóng vai trò như chất xúc tác

Tổng hợp hạt nhân trên các ngôi sao

Mặc dù, vẫn còn một số dị thường và khá nhiều điều không chắc chắn, các nhà vật lý hạt nhân nghiên cứu nguồn gốc của các nguyên tố đã phát triển một số mô hình mô tả cách các nguyên tố còn lại trong Bảng tuần hoàn được tạo ra, đồng thời giải thích độ phổ cập của chúng trong tự nhiên. Các ngôi sao được ví như những “vạc” vật chất hạt nhân khổng lồ sinh ra năng lượng và bị giam giữ bởi lực hấp dẫn. Chúng được ngăn cho không bị tự sụp đổ nhờ áp suất bên ngoài của năng lượng được giải phóng từ phản ứng tổng hợp hydro thành heli, sau đó là một loạt phản ứng hạt nhân dẫn đến sự hình thành hạt nhân của các nguyên tố ngày càng nặng. Quá trình này được gọi là tổng hợp hạt nhân.

Các nguyên tố được hình thành bằng cách nào?

Như đã đề cập ở trên, quá trình tổng hợp hạt nhân trên các ngôi sao bắt đầu bằng phản ứng tổng hợp hydro thành heli, đây là phản ứng sinh ra phần lớn năng lượng trong

Mặt trời của chúng ta. Ở những ngôi sao nặng hơn một chút, người ta cho rằng các hạt nhân carbon, nitơ và oxy (số nguyên tử 6, 7 và 8) đã có mặt xúc tác cho sự hình thành helium thông qua một phản ứng hơi khác, được gọi là chu trình CNO.

Làm thế nào để chúng ta có được những nguyên tố nặng hơn này ngay từ đầu? Để tạo ra một hạt nhân carbon cần phải có sự kết hợp sáu proton lại với nhau. Không thể có một dạng phản ứng dây chuyền, mỗi lần chỉ thêm một proton, bởi vì các nghiên cứu vật lý hạt nhân cho thấy rằng bất kỳ hạt nhân nào có năm proton đều rất không bền và sẽ phân rã gần như ngay lập tức. Để giải thích sự hình thành carbon, các nhà vật lý thiên văn Edwin Ernest Salpeter và Fred Hoyle, vào năm 1952, đã đề xuất một phản ứng gọi là 'bắt giữ ba alpha'. Đây là phản ứng tổng hợp đồng thời của ba hạt nhân helium-4 để tạo cầu nối với carbon-12, thông qua sự cộng hưởng năng lượng rất tinh tế được gọi là 'trạng thái Hoyle' – một quá trình hạt nhân độc đáo hầu như bỏ qua sự hình thành của lithium, berili và boron.



Hình 2. Phòng thí nghiệm LUNA, Italy chuyên nghiên cứu về chu trình tổng hợp hạt nhân có thể xảy ra trên các ngôi sao như mặt trời

Giả thiết này đã được xác nhận bằng thực nghiệm với độ chính xác cao. Phản ứng đặc biệt này xảy ra khi hydro được sử dụng hết. Khi helium được chuyển đổi thành carbon (và oxy thông qua phản ứng tổng hợp carbon-12 và heli-4 thành oxy-16) và năng lượng được tạo ra bắt đầu cạn kiệt, các lớp bên ngoài của các ngôi sao như Mặt trời của chúng ta trước tiên sẽ nở ra để tạo thành một màu đỏ lạnh-sao khổng lồ, trong khi lõi co lại dưới lực hấp dẫn, cuối cùng tạo thành sao lùn trắng. Carbon bị đẩy ra khỏi lõi khi bầu khí quyển bên ngoài bị thổi bay để tạo ra cái gọi là tinh vân hành tinh (mặc dù không liên quan gì đến sự hình thành của các hành tinh). Theo cách này, sự hình thành carbon kiểm soát sự tiến hóa của các ngôi sao và sự phổ cập của nó trong Vũ trụ.

Đối với những ngôi sao nặng hơn nhiều so với Mặt trời, các phản ứng nhiệt hạch tiếp tục diễn ra giữa các hạt nhân nhẹ. Ví dụ, các hạt nhân carbon hợp nhất (được gọi là 'đốt cháy carbon') để tạo ra các nguyên tố, neon, natri và magie (số nguyên tử 10, 11 và 12). Cuối cùng, tổng hợp hạt nhân đạt đến sắt bền (số nguyên tử 26). Sự hình thành các hạt nhân nặng hơn có thể được giải thích bằng quá trình bắt neutron chậm hay nhanh (s-process hay r-process).

ĐI TÌM BẰNG CHỨNG

Nghiên cứu về nguồn gốc của các nguyên tố là một lĩnh vực nghiên cứu được cộng

đồng các nhà nghiên cứu vật lý hạt nhân trên thế giới rất quan tâm, với việc sử dụng các máy gia tốc hạt, các phản ứng hạt nhân xảy ra trong điều kiện như trên các ngôi sao được tái tạo. Các ý tưởng liên tục thay đổi khi có thêm thông tin được đưa ra ánh sáng. Đo lường độ phổ cập của các nguyên tố trong các ngôi sao, tàn dư sao, tinh vân bụi và môi trường giữa các vì sao thông qua các quan sát quang phổ ở các bước sóng khác nhau, cũng như độ phổ cập trên Trái đất, cung cấp những thông tin quan trọng về nguồn gốc của các nguyên tố.

Ba mươi lăm năm trước, một siêu tân tinh lớn loại II đã xảy ra trong thiên hà Đám mây Magellan Lớn, SN1987A, và sự tiến hóa của tàn dư của nó đã được theo dõi kể từ đó. Các phép đo quang phổ được thực hiện trên một dải bước sóng từ tia gamma và tia X đến milimét đã phát hiện ra nhiều nguyên tố, bao gồm coban-56, sắt-56 và gần đây là titan-44 được tạo ra trong vụ nổ.

Như đề cập ở trên, bên cạnh các quan sát thiên văn, các nhà vật lý thiên văn hạt nhân đã xây dựng các thí nghiệm để đo lường quá trình vật lý thiên văn quan trọng, như carbon 'đốt cháy' thành oxy, bằng cách thực hiện chúng ở điều kiện năng lượng tương đương trên các sao bằng máy gia tốc hạt. Ví dụ, phòng thí nghiệm dưới lòng đất LUNA, nằm ở Gran Sasso, Ý, là một trong những phòng thí nghiệm tốt nhất có thể xác định được xác suất phản ứng.

Bảng Mendeleev mới

Với sự hiểu biết ngày càng tăng về quá trình tổng hợp hạt nhân, giờ đây các nhà nghiên cứu có thể bắt đầu thiết kế một bảng Mendeleev mới – một bảng cho thấy nguồn gốc vật lý thiên văn của các nguyên tố hóa học. Trên thực tế, bảng này phải là ba chiều – một khối lập phương, bởi vì mỗi đồng vị của mỗi nguyên tố đều có một câu chuyện khác nhau để kể. Nguồn gốc và tỷ lệ vẫn chưa được biết chính xác – đây là công việc của các nhà nghiên cứu ngày nay – nhưng các kịch bản vật lý thiên văn đang trở nên rõ ràng hơn. Bây giờ chúng ta tin rằng các nguyên tố được tạo ra trong sáu kịch bản vật lý thiên văn chính, đó là: tổng hợp hạt nhân nguyên thủy, tiến hóa và bùng nổ của các ngôi sao có khối lượng lớn, va chạm với các tia vũ trụ, cái chết của các ngôi sao có khối lượng thấp, vụ nổ của các sao lùn trắng và sự hợp nhất của các sao

neutron. Nhiều quá trình hạt nhân có liên quan đã và đang tiếp tục được nghiên cứu, chẳng hạn như phản ứng tổng hợp, bắt neutron, bắt proton, phân hạch và va chạm.

Thật thú vị khi nghĩ rằng thế giới hàng ngày của chúng ta bao gồm cả chính chúng ta tồn tại nhờ sự tiến hóa hạt nhân rất hấp dẫn của Vũ trụ và các vì sao trong đó.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Nuclear Physics of Stars*, Christian Iliadis, Wiley-VCH, 2015, ISBN: 978-3-527-61876-7
2. *Cauldron in the Cosmos*, Claus E. Rolfs and William S. Rodney, University of Chicago Press, 1988, ISBN: 978-0-226-72457-7
3. *Nuclei in the Cosmos*, Carlos A. Bertulani, World Scientific, 2013, ISBN: 978:9814417662

10 NĂM NGHIÊN CỨU HẠT NHÂN LẠ GIÀU NƠTRÔN TRÊN BIA MINOS TẠI RIBF VÀ TRIỂN VỌNG TƯƠNG LAI

Bùi Duy Linh

Cục An toàn bức xạ và hạt nhân

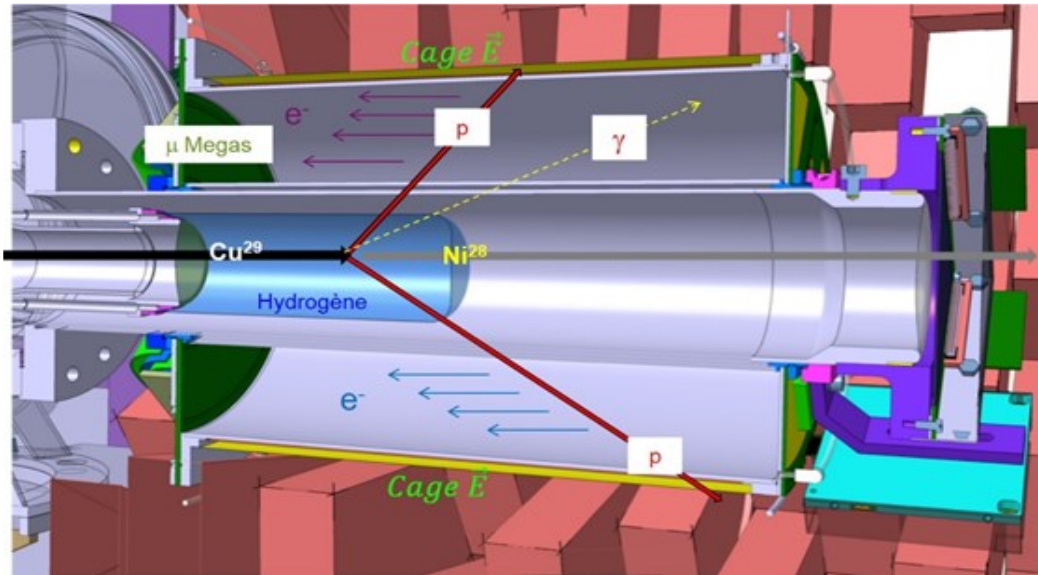
Trong những thập niên gần đây, cộng đồng Vật lý hạt nhân trên thế giới đã và đang dành một sự quan tâm rất lớn cho những nghiên cứu liên quan đến các hạt nhân nằm xa đường bền (thường gọi là các hạt nhân lạ - exotic nuclei). Các hạt nhân này là các hạt nhân có bất đối xứng số N (số neutron) và Z (số proton) lớn, thời gian sống rất ngắn cỡ ms, được tạo ra trong các phòng thí nghiệm lớn trên thế giới. Việc nghiên cứu những hạt nhân lạ hy vọng sẽ mang lại cho chúng ta các thông tin mới về cấu trúc hạt nhân. Trong bài báo này, tác giả giới thiệu về thiết bị MINOS, trình bày tóm tắt thành tựu nghiên cứu cấu trúc hạt nhân lạ giàu no-trôn sử dụng thiết bị bia MINOS và triển vọng tương lai của thiết bị này tại RIBF (Radioactive Ion Beam Factory) của Viện Nghiên cứu Vật lý và Hóa học (RIKEN), Nhật Bản.

10 năm nghiên cứu cấu trúc hạt nhân sử dụng bia MINOS tại RIBF

Sự phát triển vượt bậc của các kỹ thuật gia tốc hiện đại các trung tâm, viện nghiên cứu lớn trên thế giới, những máy gia tốc tạo ra các chùm hạt tới có năng lượng phù hợp, mật độ dòng lớn phù hợp với nghiên cứu các hạt nhân lạ. Phổ năng lượng kích thích là một trong các công cụ phổ biến dùng để nghiên cứu sự tiến hóa lớp vỏ của hạt nhân, đối với hạt nhân lạ là phổ gamma phát ra trên đường bay của các hạt nhân được tạo ra trong phòng thí nghiệm ở vận tốc cỡ $0,6 \times c$ (c là vận tốc ánh sáng). Thách thức kỹ thuật của những nghiên cứu này là đạt yêu cầu độ phân giải của phép đo trong khi phải tối đa hóa số lượng phản ứng xảy ra trên bia (maximizing the luminosity). Việc kết hợp tiên bộ giữa kỹ thuật gia tốc và bia dày làm tăng tính khả thi của thí nghiệm nghiên cứu hạt nhân lạ. Năm 2013, đề xuất thí nghiệm đầu tiên sử dụng bia Hydrô lỏng trong thiết bị MINOS do TS. Pieter Doornenbal và TS. Alexandre Obertelli đứng đầu [1] đã được hội đồng khoa học RIKEN chấp thuận, đây là dấu ấn khởi đầu cho giai đoạn 10 năm của thiết bị này tại RIBF.

MINOS, từ viết tắt của Magic Numbers Off

Stability, đại diện cho cả chương trình vật lý và tên thiết bị. Chương trình vật lý nhằm mục đích nghiên cứu các tính chất của tương tác NN (nucleon-nucleon) thông qua phổ của các hạt nhân lạ được tạo ra từ các thiết bị sản xuất đồng vị phóng xạ. Chương trình này có giá trị tổng của dự án hơn 1,1 triệu Euro do ERC (European Research Council) tài trợ trong giai đoạn 2010-2015 [2]. Thiết bị MINOS [3] được chế tạo tại IRFU, CEA Saclay, nó bao gồm một bia phản ứng Hydrô lỏng dày (100 – 150 mm) được bao quanh bởi một buồng khí hình trụ (TPC) – Hình 1. TPC có khả năng theo dõi quỹ đạo bay của các proton phát từ các phản ứng xảy ra trong bia Hydrô lỏng để xác định vị trí phản ứng dùng cho hiệu chỉnh Doppler. Thiết bị này kết hợp với hệ đo phổ gamma DALI2 [4] và phổ kế từ Zero Degree [5] hoặc SAMURAI [6] tại RIBF dùng để nghiên cứu cấu trúc của các đồng vị không bền từ Be đến Zr thông qua phản ứng knock-out (loại trực tiếp). Loại phản ứng này trên bia Hydrô lỏng dày từ 100 – 150 mm của MINOS sẽ có 3 lợi thế: (i) tăng thống kê phản ứng, (ii) thực hiện được “Exclusive measurement” là phép đo trong tất cả các hạt của phản ứng được xác định và đo hoặc tính toán theo động lượng, (iii) độ phân giải năng lượng không bị suy giảm (thậm chí được cải thiện) đối với gamma.



Hình 1. Hình vẽ bằng CAD của thiết bị MINOS: Bia Hyđrô lỏng ở giữa (màu xanh); TPC bọc xung quanh (màu xám); Tinh thể NaI của hệ đo DALI2 ở xếp ngoài cùng (màu đỏ gạch) - ảnh được lấy từ [7]

Trong 10 năm từ 2013 đến 2023, thiết bị MINOS đã được sử dụng trong 9 thí nghiệm ở RIBF với tổng thời gian đo khoảng 56 ngày [8]. Thành công ngoài sự mong đợi, các kết quả nghiên cứu đã được công bố trong hơn 26 công trình trên các tạp chí chuyên ngành uy tín trên thế giới, bao gồm: 01 bài báo trên tạp chí Nature (Impact Factor (IF) 69,504), 13 bài báo trên tạp chí Physical Review Letters (IF 9,185), 11 bài báo trên tạp chí Physics Letters B (IF 4,95), 11 bài báo trên tạp chí Physical Review C (IF 3,04). Bên cạnh đó, dựa trên số liệu đo của các thí nghiệm này, 15 nghiên cứu sinh tại các trường, viện nghiên cứu ở châu Á và châu Âu đã bảo vệ thành công luận án tiến sĩ. Nghiên cứu cấu trúc hạt nhân sử dụng bia MINOS tại RIBF chủ yếu tập trung vào các đồng vị giàu neutron từ Be đến Zr và đạt được các kết quả nổi bật như:

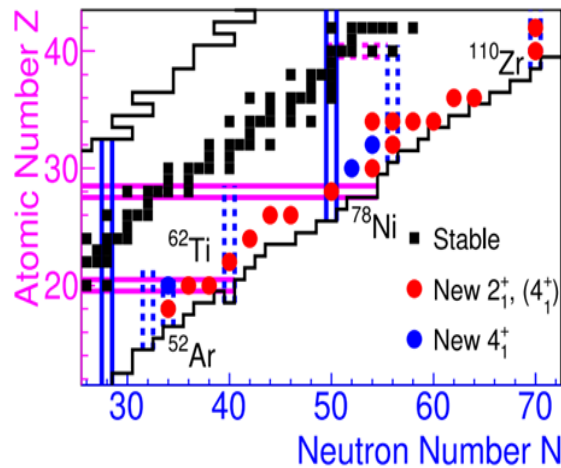
- Lần đầu tiên đo được năng lượng kích thích đầu tiên của ^{78}Ni là 2,6 MeV, chứng tỏ hạt nhân này là hạt nhân 2 số magic ($N = 50, Z = 28$). Bên cạnh

đó, một hiện tượng rất phổ biến trong các hạt nhân không bền là sự biến dạng cũng được ghi nhận với mức kích thích đầu tiên 2,9 MeV [9].

- Xác nhận sự tồn tại của lớp vỏ đóng $N = 34$ trong đồng vị ^{52}Ar với trạng thái kích thích đầu tiên 1,7 MeV [10].
- Đo trạng thái 2_1^+ hoặc 4_1^+ của các đồng vị chẵn-chẵn như hình 2 [11].
- Sự phục hồi của lớp vỏ proton trong hạt nhân ^{49}Cl , $^{51,53}\text{K}$ được phục hồi tuân theo tiên đoán của Mẫu vỏ [12, 13].
- Cấu trúc của hạt nhân ^{11}Li [14], ^{13}Be [15], ^{17}B [16], ^{29}Ne [17] ...

Tiết diện phản ứng của 100 kênh phản ứng: (p,2p), (p,pn) và (p,3p) [18, 19].

- Cấu trúc của đồng vị vùng đảo ngược $N = 40$ với đồng vị Cr, Fe, Mn [20].
- Cung cấp cơ sở dữ liệu thực nghiệm để hoàn thiện lý thuyết phản ứng và lý thuyết Mẫu vỏ cho đồng vị giàu notrôn.



Hình 2. Các đồng vị có trạng thái 2_1^+ hoặc 4_1^+ được đo bằng Bia Hyđrô lỏng tại RIBF [11]

Trong số hơn 50 phòng thí nghiệm và viện nghiên cứu tham gia thí nghiệm, các nhà nghiên cứu tại Viện Khoa học & Kỹ thuật hạt nhân, Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam có nhiều đóng góp trong 3 thí nghiệm của dự án SEASTAR [1] (Shell Evolution and Systematic Search for 2_1^+ Energies - “Sự tiến triển của lớp vỏ và cuộc tìm kiếm một cách hệ thống năng lượng các trạng thái 2_1^+ tại RIBF”) vào năm 2014, 2015 và 2017: nhóm phân tích chính trong 04 kênh phản ứng; tác giả chính trong 01 bài báo đã công bố [13] và 01 bài báo đã gửi đăng trên tạp chí Physical Review C. Ngoài ra, 01 Tiến sĩ, 01 Thạc sĩ đã bảo vệ thành công trên số liệu thí nghiệm của dự án này.

Triển vọng tương lai

Từ 2013 đến 2023, thiết bị bia MINOS kết hợp với hệ đo gamma DALI2 hoặc CATANA [21] đã hoàn thành suất xác nhiệm vụ nghiên cứu. Tuy nhiên, sự kết hợp này vẫn còn nhiều hạn chế như độ phân giải vị trí, độ phân giải của phép đo độ hụt khối (missing mass), độ phân giải năng lượng còn thấp; khả năng đáp ứng kém đối với chùm có cường độ cao. Để tăng độ phân giải năng lượng, năm 2019, dự án HiCARI (High-resolution Cluster Array at RIBF) [22] đã được xây dựng để bổ sung cho hệ đo DALI2. Hệ đo HiCARI sử dụng hệ de-

tector Ge siêu tinh khiết có độ phân giải năng lượng tia gamma tốt hơn so với DALI2 sử dụng các tinh thể NaI. Góc đo 4π vẫn được giữ nguyên trong thiết kế. Với sự cải tiến này, HiCARI được kỳ vọng sẽ khẳng định nhiều đỉnh năng lượng đang nghi ngờ. STRASSE [23] (Silicon TRACKer for Spectroscopy at SAMURAI Experiments) được coi là thiết bị thế hệ thứ 2 của MINOS, bia phản ứng vẫn sử dụng bia Hyđrô lỏng với đường kính nhỏ hơn (15,5 mm). TPC sẽ được thay thế bởi các tấm Silicon ở xung quanh để tăng độ phân giải vị trí, độ phân giải của phép đo độ hụt khối. Với thiết kế mới, STRASSE sẽ cải thiện “luminosity” và được kỳ vọng sẽ thu nhận được nhiều kết quả mới. Cuối năm nay, các thí nghiệm kiểm tra thực tế đầu tiên của hệ bia STRASSE sẽ thực hiện đo các đồng vị ^{10}He và ^{54}Ca . Trong các thí nghiệm này, STRASSE sẽ kết hợp với hệ đo CATANA và phổ kế từ SAMURAI.

Để kỷ niệm sự thành công của MINOS, hội nghị về “10 năm nghiên cứu cấu trúc hạt nhân với bia Hyđrô lỏng tại RIBF và định hướng tương lai” sẽ diễn ra tại York, Vương quốc Anh từ ngày 31/7 đến 04/8/2023. Hội nghị sẽ thảo luận về các hướng nghiên cứu và các thí nghiệm tương lai sử dụng bia Hyđrô lỏng tại RIBF.

Với những thành quả đạt được trong 10 năm qua, hướng nghiên cứu các đồng vị nằm xa vùng bền với bia Hidrô lỏng tiếp tục đẩy mạnh và tập trung vào các đồng vị xung quanh ^{28}O , vùng đảo ngược $N = 40$, lớp vỏ đóng $N = 32, 34$ xung quanh Ca mở rộng đến ^{60}Ca , cấu trúc “halo” và “cluster” xung quanh He ... Ngoài phương pháp đo phổ gamma kích thích phát ra trên đường bay của hạt thì phương pháp đo độ hụt khối (missing mass) kết hợp phân rã notrôn sẽ được sử dụng trong các thí nghiệm của STRASSE. Thiết bị mới này được kỳ vọng sẽ mang tới thành công tương tự MINOS.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Pieter Doornenbal and Alexandre Obertelli, “Proposal for Nuclear Physics Experiment at RI Beam Factory”, RIBF NP-PAC-13, 2013.
- [2] <https://cordis.europa.eu/project/id/258567>
- [3] O. Alexandre et al., *Eur. Jour. Phys. A* 50, 8 (2014).
- [4] S. Takeuchi et al., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., 933 Sect. A* 763, 596 (2014).
- [5] N. Fukuda et al., *Nucl. Instr. in Phys. Res. B* 317, 323 (2013).
- [6] T. Kobayashi et al., *Nucl. Instr. in Phys. Res. B* 317, 294 (2013).
- [7] https://irfu.cea.fr/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=fait_marquant&id_as=4575
- [8] <https://www.nishina.riken.jp/collaboration/SUNFLOWER/experiment/approvedexp.php>
- [9] R. Taniuchi et al., *Nature* 569, 53–58 (2019).
- [10] H. N. Liu et al., *Phys. Rev. Lett.* 122 072502 (2019).
- [11] F. Nowacki et al., *Prog. in Part. and Nucl. Phys.* 120 103866 (2021).
- [12] Y. L. Sun et al., *Phys. Lett. B* 802 135215 (2020).
- [13] B. D. Linh et al., *Phys. Rev. C* 104 044331 (2021).
- [14] Y. Kubota et al., *Phys. Rev. Lett.* 125 252501 (2020).
- [15] A. Corsi et al., *Phys. Lett. B* 797 134843 (2019).
- [16] Z. H. Yang et al., *Phys. Rev. Lett.* 126 082501 (2021).
- [17] M. Holl et al., *Phys. Rev. C* 105 034301 (2022).
- [18] A. Frotscher et al., *Phys. Rev. Lett.* 125 012501 (2020).
- [19] N. Paul et al., *Phys. Rev. Lett.* 122 162503 (2019).
- [20] X. Y. Liu et al., *Phys. Lett. B* 784 392–396 (2018).
- [21] Y. Togano et al., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 463 195–197 (2020).
- [22] <https://www.nishina.riken.jp/collaboration/SUNFLOWER/devices/hrarray/index.php>
- [23] H. N. Liu et al., *Eur. Phys. J. A* 59 121 (2023).

CẤU TRÚC ĐẶC BIỆT CỦA CÁC ĐỒNG VỊ HẠT NHÂN KHÔNG BỀN GIÀU NEUTRON

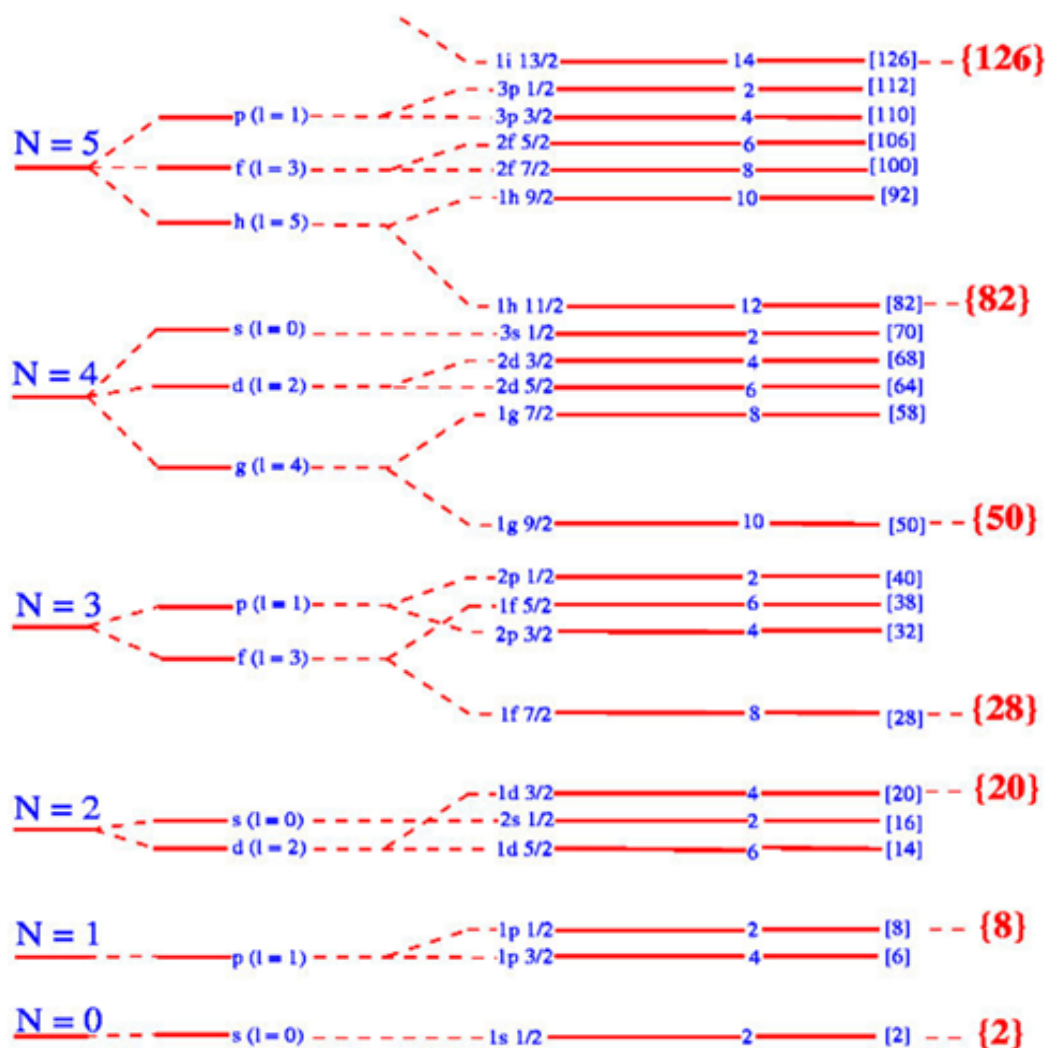
Đỗ Công Cường

Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân

Mẫu lớp hạt nhân mô tả được hầu hết đặc trưng cấu trúc của các đồng vị hạt nhân bền, đặc biệt là tính bền vững của các hạt nhân magic có số neutron hoặc proton bằng 2, 8, 20, 28, 50, 82, ... và từ đó trở thành lý thuyết xương sống của vật lý hạt nhân từ năm 1949. Tuy nhiên, khi GS. Tanihata phát hiện ra cấu trúc halo của đồng vị không bền ^{11}Li năm 1985, nghiên cứu cấu trúc hạt nhân bước sang trang mới. Có rất nhiều thí nghiệm hiện đại đã được thực hiện, nhiều đồng vị hạt nhân không bền mới đã được nghiên cứu và nhiều cấu trúc mới đặc trưng đã được phát hiện. Sự hiểu biết của chúng ta về cấu trúc các hạt nhân không bền như vậy tiếp tục được nâng cao thông qua rất nhiều các nghiên cứu cả về lý thuyết và thực nghiệm tại nhiều nơi trên thế giới. Trong bài này, chúng tôi giới thiệu một vài cấu trúc hạt nhân đã được phát hiện và nghiên cứu trong thời gian qua.

Kể từ Chadwick phát hiện ra neutron năm 1932 [1], nghiên cứu cấu trúc hạt nhân và tương tác của các nucleon (các proton và neutron) thu hút được sự quan tâm của rất nhiều người từ đó mở ra hướng nghiên cứu vật lý hạt nhân. Trong tự nhiên có khoảng 275 hạt nhân bền và các đồng vị phóng xạ tự nhiên với thời gian sống tương đối dài. Hầu hết các đồng vị hạt nhân này đều được mô tả trong bức tranh thống nhất của mẫu lớp hạt nhân được đề xuất độc lập bởi hai nhà vật lý Maria Goeppert-Mayer và J. Hans D. Jensen đoạt giải nobel năm 1963, trong đó các nucleon được sắp xếp theo các lớp lần lượt dưới tác động của các thành phần lực hạt nhân xuyên tâm, thành phần lực spin-quỹ đạo và lực Coulomb [2,3]. Mẫu lớp hạt nhân như vậy đã mô tả được các đặc trưng cơ bản của các đồng vị hạt nhân như năng lượng liên kết, moment từ ..., đặc biệt là tính bền vững của các hạt nhân có số proton và neutron bằng 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, ... (được biết đến là các số magic hạt nhân). Sơ đồ các mức năng lượng của các nucleon theo mẫu lớp được minh họa trong hình 1.

Năm 1985, GS. Tanihata cùng các đồng nghiệp tại phòng thí nghiệm Lawrence Berkeley (Mỹ) đã có một cột mốc trong nghiên cứu vật lý hạt nhân của các đồng vị không bền sống ngắn (thời gian sống cỡ ms) khi phát hiện ra cấu trúc đặc biệt của đồng vị ^{11}Li với trung bình bình phương bán kính (root-mean square) lớn cỡ khoảng 3.5 fm và bằng với kính của hạt nhân có số khối trung bình ^{48}Ca [4]. Cấu trúc đặc biệt của hạt nhân ^{11}Li sau này được biết đến với dạng hạt nhân halo với hai neutron ngoài cùng liên kết yếu với một lõi ^9Li [5]. Kể từ đó có rất nhiều thí nghiệm đã được thiết lập và nhiều cấu trúc mới lạ đã được phát hiện nằm ngoài sự giải thích của mẫu lớp như sự xuất hiện của số magic mới, sự biến mất của số magic cũ cùng cấu trúc vỏ neutron và cấu trúc halo. Tiêu biểu cho các nghiên cứu này là kết quả thực nghiệm phát hiện ra số magic mới $N=16$ trong ^{24}O [6, 7, 8] đầu những năm 2000 và sự biến mất của số magic $N=28$ trong ^{42}Si [9]. Năm 2013, Steppenbeck và đồng nghiệp đã phát hiện ra số magic mới $N=34$ trong ^{54}Ca [10].

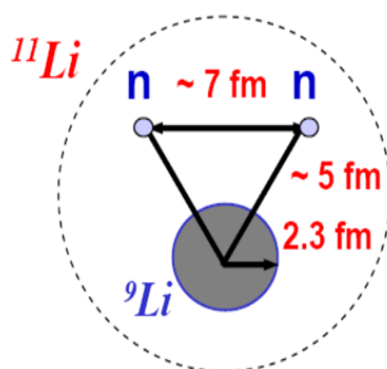


Hình 1. Sơ đồ mức năng lượng trong mẫu lớp hạt nhân, sự tách mức nhận được khi thêm số hạng spin-quỹ đạo [2,3]

Cấu trúc đặc biệt của các đồng vị giàu neutron xung quanh N=8

Ví dụ điển hình cho cấu trúc kỳ lạ của các đồng vị hạt nhân không bền giàu neutron là hạt nhân hai neutron halo ^{11}Li như đã đề cập ở trên. Theo mẫu lớp hạt nhân ^{11}Li với tám neutron sẽ được lấp đầy vào hai lớp (s) và lớp (p) như trong hình 1 ở trên, như vậy kết quả là trung bình bình phương bán kính của neutron trong ^{11}Li sẽ tương tự như của ^{16}O khoảng 2.5 fm và năng lượng tách hai neutron ngoài cùng cũng phải rất lớn. Tuy nhiên các phép đo tiết diện tương tác của

GS. Tanihata đã xác định trung bình bình phương bán kính của ^{11}Li lớn bất ngờ với giá trị khoảng 3.5 fm [4, 11]. Năng lượng tách hai neutron ngoài cùng được xác định là $S_{2n}=369$ keV [12] nhỏ hơn nhiều so với dự đoán của mẫu lớp. Do đó dạng cấu trúc hạt nhân ^{11}Li được quan sát với một lõi ^9Li có bán kính khoảng 2.3 fm liên kết yếu với hai neutron ngoài cùng nằm ở khoảng cách cỡ 5 fm từ tâm của ^9Li như được minh họa trong hình 2. Kết quả này mở đầu cho một thời kỳ phát hiện các cấu trúc mới ở vùng đồng vị không bền giàu neutron trong những năm tiếp theo.



Hình 2. Hình ảnh minh họa cấu trúc hai neutron halo trong hạt nhân ^{11}Li

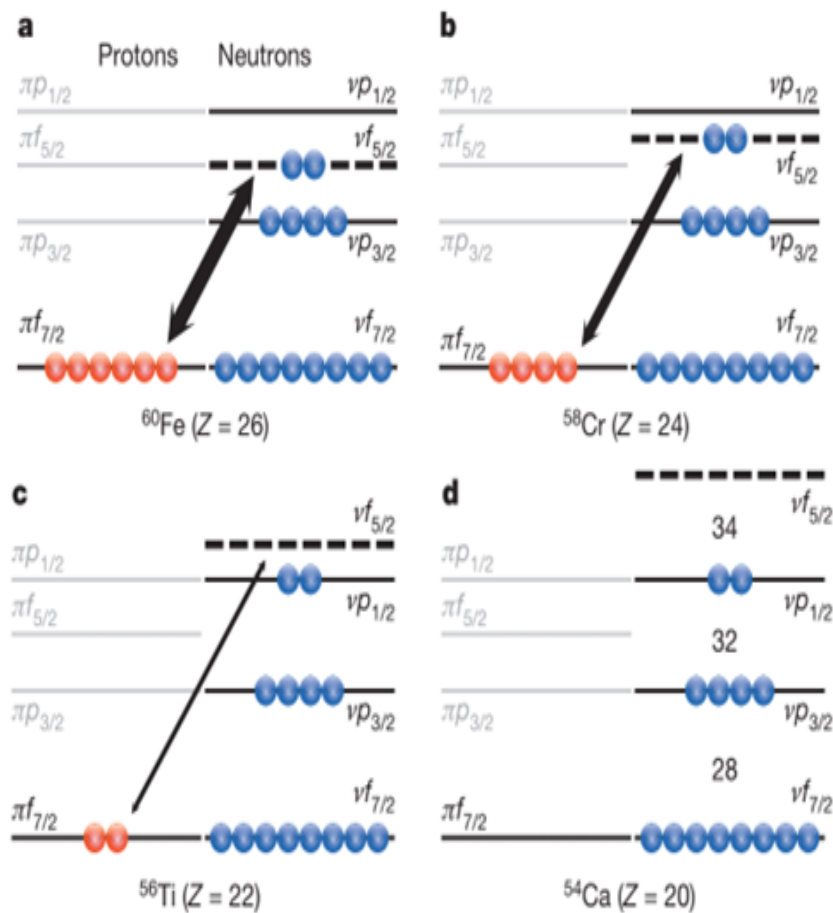
Năm 1995 Kelley và đồng nghiệp cũng đã phát hiện ra cấu trúc halo tương tự của hạt nhân ^{11}Be thông qua phép đo phân bố xung lượng song song ở phòng thí nghiệm quốc gia Mỹ NSCL thuộc đại học Michigan [13]. Năng lượng tách neutron của ^{11}Be được xác định trong thí nghiệm này là khoảng $S_n=504$ keV và trung bình bình phương bán kính được xác định từ phép đo tiết diện tương tác là 2.86 fm [11]. Spin và độ chẵn lẻ của hạt nhân ^{11}Be là $\frac{1}{2}^+$ được xác định từ phản ứng bứt một neutron [14] cho thấy neutron ngoài cùng chủ yếu nằm ở sóng $2s_{1/2}$ và như vậy đã có sự xâm nhập của sóng s trong lớp thứ ba (sd) vào cùng với lớp (p). Sự xâm nhập của lớp sd trong các đồng vị $N=8$ cũng được tìm thấy ở đồng vị ^{12}Be qua các thí nghiệm phản ứng chuyển neutron (d,p) [15, 16]. Các phân tích DWBA và CRC của số liệu phản ứng ^{11}Be (d,p) ^{12}Be đã xác định hệ số phổ của neutron ngoài cùng chủ yếu ở sóng $2s_{1/2}$ và $d_{5/2}$. Như vậy với sự xâm nhập của các sóng s và sóng d ranh giới giữa lớp (p) và lớp (sd) đã bị xóa và hệ quả là sự biến mất của số magic $N=8$ trong các đồng vị giàu neutron Li và Be.

Sự phát hiện của số magic $N=16$ trong ^{24}O và $N=34$ trong ^{54}Ca

Sự xâm nhập của các sóng sd trong không chỉ làm biến mất đi các số magic $N=8$ trong ^{12}Be [17] mà còn làm xuất hiện số magic mới $N=16$ trong ^{24}O . Những kết luận đầu tiên về số magic $N=16$ trong ^{24}O được

Hoffman và các đồng nghiệp đưa ra vào năm 2009 dựa vào kết quả phân tích phổ gamma của ^{24}O ở NSCL thuộc đại học Michigan (Mỹ) [8] và đồng thời với kết luận của Kanungo và đồng nghiệp trong cùng năm từ kết quả phân tích phản ứng loại một neutron ở GSI Darmstadt (Đức) [7]. Năng lượng kích thích 2^+ đầu tiên của ^{24}O ghi nhận ở NSCL là 4.72 MeV [8], trong khi hệ số phổ thu được từ phân tích số liệu phản ứng loại neutron chủ yếu ở $2s_{1/2}$ [7]. Kết luận về số magic mới này được giải thích là không chỉ do sự xâm nhập của các sóng $2s_{1/2}$ và $1d_{5/2}$ vào gần sóng $1p_{1/2}$ mà còn đẩy sóng $1d_{3/2}$ lên phía trên gần với sóng $1f_{7/2}$ dẫn đến sự biến mất của số magic $N=20$ trong ^{32}Mg [18].

Mặc dù cấu trúc đóng kín của $N=16$ trong đồng vị giàu neutron ^{24}O đã khẳng định qua rất nhiều nghiên cứu, cấu trúc của đồng vị ^{22}C (với $N=16$) vẫn còn nhiều câu hỏi mở. Các phép đo tiết diện tương tác của ^{22}C trên bia proton được Tanaka và các đồng nghiệp thực hiện tại RIKEN năm 2010 đã kết luận cấu trúc hai neutron halo của hạt nhân ^{22}C với trung bình bình phương bán kính hạt nhân là khoảng 5.4 fm và gần bằng giá trị tương ứng của hạt nhân ^{208}Pb [19]. Tuy nhiên các phép đo tiết diện tương tác tương tự trên bia carbon được Togano và đồng nghiệp thực hiện tại RIKEN năm 2016 đã khẳng định lại tính bền vững của số magic mới $N=16$ trong ^{22}C với trung bình bình phương bán kính hạt nhân được xác định khoảng 3.44 fm [20].



Hình 3. Sơ đồ minh họa sự thay đổi của neutron ngoài cùng trong các hạt nhân $N=34$ với số Z giảm dần [10].

Hai kết luận về cấu trúc ^{22}C này được đưa ra chỉ dựa trên thí nghiệm đo tiết diện tương tác qua đó xác định bán kính của hạt nhân ^{22}C nhưng chưa xác định được chính xác hàm sóng của các neutron ngoài cùng. Do đó chúng ta vẫn cần thực hiện thêm các loại thí nghiệm khác nhau để xác định hàm sóng của các neutron ngoài cùng của ^{22}C trong tương lai.

Tiếp theo là các kết quả nghiên cứu cấu trúc của các hạt nhân nằm ở lớp vỏ thứ ba và thứ tư. Như đã giới thiệu ở trên, sự xuất hiện của số magic $N=16$ trong ^{24}O và sự biến mất của $N=20$ trong ^{32}Mg là do các sóng ($2s_{1/2}$ và $1d_{5/2}$) bị kéo gần các sóng ($1p_{3/2}$ và $1p_{1/2}$) và đẩy sóng $1d_{3/2}$ lên gần sóng $1f_{7/2}$ ở lớp trên. Kết quả như vậy sẽ làm biến mất số magic $N=20$ nhưng vẫn có khả năng tồn tại số magic $N=28$. Tuy nhiên, thí nghiệm của Bastin và các đồng nghiệp ở

GANIL năm 2007 đã xác nhận sự biến mất của số magic $N=28$ trong ^{42}Si [9]. Năng lượng kích thích trạng thái 2^+ đầu tiên của ^{42}Si thu được từ thí nghiệm này là 770 keV [9]. Ngược lại, thí nghiệm của Steppenbeck và các đồng nghiệp ở RIKEN vào năm 2013 đã xác định năng lượng kích thích trạng thái 2^+ đầu tiên của ^{54}Ca là 2.5 MeV [10]. Giá trị này đủ lớn để tạo ra một lớp vỏ đóng kín và làm xuất hiện số magic mới $N=34$ trong ^{54}Ca [10]. Sự xuất hiện của số magic $N=34$ trong ^{54}Ca và sự biến mất của số magic $N=28$ trong ^{42}Si được giải thích là do các hạt nhân càng giàu neutron thì các sóng $2p_{3/2}$ và $2p_{1/2}$ càng bị kéo xuống gần sóng $1f_{7/2}$ trong khi sóng $1f_{5/2}$ bị đẩy lên cao gần với các sóng ở phía trên như được minh họa trong hình 3. Như vậy, chúng ta thấy rằng cấu trúc lớp vỏ trong các đồng vị hạt nhân giàu neutron đã bị thay đổi rất nhiều so với sơ đồ mẫu lớp như hình 1 ở trên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Chadwick, “The existence of neutron”, *Proc. of Roy. Soc. A* 136, 692 (1932).
- [2] M. Goepfert-Mayer, “On Closed Shells in Nuclei. II”, *Phys. Rev.* 75, 1969 (1949).
- [3] O. Haxel, J.H.D. Jensen, H.E. Suess, “On the “Magic Numbers” in Nuclear Structure”, *Phys. Rev.* 75, 1766 (1949).
- [4] I. Tanihata, H. Hamagaki, O. Hashimoto, Y. Shida, N. Yoshikawa, K. Sugimoto, O. Yamakawa, T. Kobayashi, and N. Takahashi, 1985, *Phys. Rev. Lett.* 55, 2676 (1985)
- [5] P. G. Hansen, and B. Jonson, 1987, *Europhys. Lett.* 4, 409 (1987)
- [6] A. Ozawa et al., “New Magic Number, $N = 16$, near the Neutron Drip Line”, *Phys. Rev. Lett.* 84, 5493 (2000)
- [7] R. Kanungo, et al. *Phys. Rev. Lett.* 102, 152501 (2009).
- [8] C. R. Hoffman, et al. *Phys. Lett. B* 672, 17–21 (2009).
- [9] B. Bastin, et al., *Phys. Rev. Lett.* 99, 022503 (2007).
- [10] D. Steppenbeck et al., *Nature (London)* 502, 207 (2013).
- [11] I. Tanihata et al., *Phys. Lett. B* 206, 592 (1988).
- [12] <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/>
- [13] J. H. Kelley et al., *Phys. Rev. Lett.* 74, 30 (1995)
- [14] T. Aumann et al., *Phys. Rev. Lett.* 84, 35 (2000).
- [15] R. Kanungo et al., *Phys. Lett. B* 682, 391 (2010).
- [16] J. Chen et al., *Phys. Lett. B* 781, 412 (2018).
- [17] H. Iwasaki et al., *Phys. Lett. B* 481, 7 (2000).
- [18] T. Motobayashi et al., *Phys. Lett. B* 346, 9 (1995).
- [19] K. Tanaka et al., *Phys. Rev. Lett.* 104, 062701 (2010).
- [20] Y. Togano et al., *Phys. Lett. B* 761, 412 (2016).

KHẢ NĂNG ĐO CHÍNH XÁC KHỐI LƯỢNG CÁC HẠT NHÂN Sn NẪM XA ĐƯỜNG BỀN

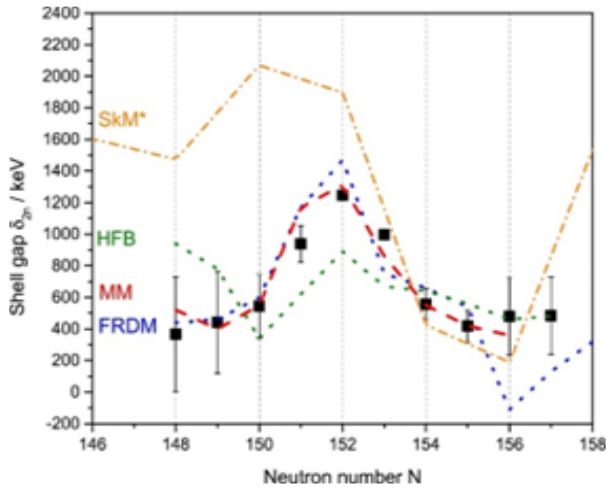
Nguyễn Ngọc Duy

Viện Sau đại học, Trường Đại học Văn Lang

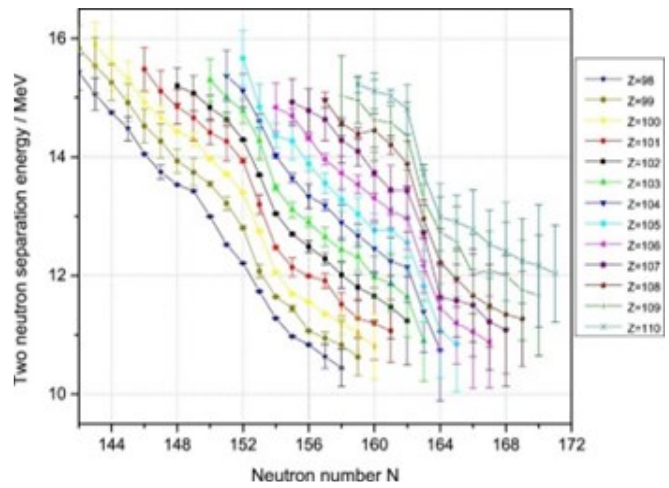
Khối lượng chính xác của hạt nhân có vai trò quan trọng trong việc nghiên cứu cấu trúc hạt nhân và các tính toán vật lý thiên văn hạt nhân. Khối lượng của các hạt nhân thiếu (Sn) rất giàu neutron với số khối $A = 136-140$ rất cần thiết cho sự sáng tỏ về số magic neutron mới tại $N = 90$ đối với đồng vị ^{140}Sn và sai lệch trong tính toán độ phổ biến đồng vị trong quá trình bắt nhanh neutron (r -process). Tuy nhiên, khối lượng của các hạt nhân này có độ sai số lớn hoặc chưa được ghi nhận. Điều này dẫn đến việc đo chính xác khối lượng các hạt nhân này tại các phòng thí nghiệm sử dụng các chùm hạt không bền trở nên rất cần thiết. Trong nghiên cứu này, tôi đánh giá khả năng tạo ra và đo chính xác bằng phương pháp thời gian bay (MR-TOF) các hạt nhân Sn nằm xa đường bền. Kết quả cho thấy rằng bia UC_x là bia có khả năng tốt nhất tạo ra các hạt nhân $^{136-140}\text{Sn}$. Trong phép đo chính xác khối lượng, các hạt nhân đồng khối chính lẫn vào $^{139,140}\text{Sn}$ (là các đồng vị $^{139,140}\text{I}$, $^{139,140}\text{Sb}$ và $^{139,140}\text{Te}$) hoàn toàn có thể được tách ra khi độ phân giải khối lượng phép đo đạt đến 10^5 .

Khối lượng là một trong các thông số cơ bản nhất đối với các nghiên cứu vật lý hạt nhân và thiên văn hạt nhân. Khối lượng chính xác của hạt nhân là yếu tố quyết định trong việc đánh giá cấu trúc hạt nhân, chẳng hạn như các hiệu chỉnh vi mô, năng lượng tách nucleon, khe năng lượng trong cấu trúc proton hoặc cấu trúc neutron. Thật vậy, trong nghiên cứu của M. Block và các cộng sự [1] đã chỉ ra khả năng tồn tại các số magic neutron tại $N = 152$ đối với các hạt nhân nặng và siêu nặng. Dự đoán này được đưa ra dựa trên kết quả đánh giá khe năng lượng trong cấu trúc neutron của các hạt nhân có số neutron $N = 146 - 158$, sử dụng khối lượng tính toán bởi các mô hình lý thuyết khác nhau (SkM [2], HFB [3] và FRDM [4]) và giá trị thực nghiệm (xem hình 1a). Trong một nghiên cứu khác, nhóm nghiên cứu của Q. Mo và các cộng sự [5] cũng dự đoán sự tồn tại của số magic neutron tại $N = 162$ đối với các hạt nhân không bền từ Cf ($Z = 98$) đến Ds ($Z = 110$) dựa trên sự suy giảm đột biến của năng lượng tách hai

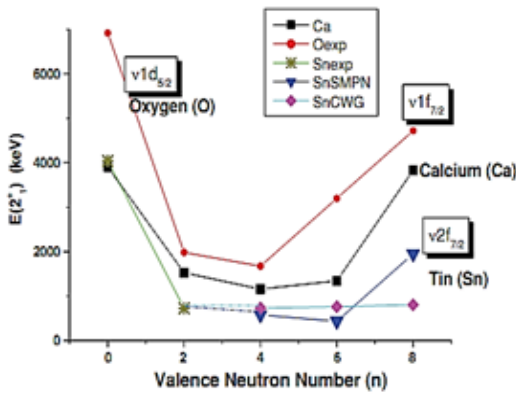
neutron (S_{2n}) của các đồng vị có số neutron $N = 142 - 170$, như chỉ ra trong hình 1b. Trong nghiên cứu quá trình phân rã alpha của hạt nhân siêu nặng trước đây [6], nhóm chúng tôi cũng đã phát hiện khả năng tồn tại lớp vỏ neutron đầy tại $N = 162$ và $N = 172$ đối với các hạt nhân trong chuỗi phân rã alpha của hạt siêu nặng $^{310}126$. Tất cả những cấu trúc này hiện tại vẫn chưa được làm sáng tỏ do thiếu kết quả chính xác của giá trị khối lượng thực nghiệm. Đối với lĩnh vực thiên văn hạt nhân, khối lượng chính xác hạt nhân ảnh hưởng đến việc xác định suất phản ứng trong các quá trình bắt nhanh proton (rp -process), bắt nhanh neutron (r -process), độ phổ biến của các hạt nhân và năng lượng tỏa ra của các quá trình đó. Các tính toán thiên văn này phụ thuộc vào năng lượng của phản ứng (Q -value) và năng lượng tách neutron (S_n) hoặc tách proton (S_p) của các hạt nhân trung gian theo hàm số e mũ. Nói cách khác, các kết quả tính toán thiên văn rất nhạy đối với độ chính xác của khối lượng hạt nhân.



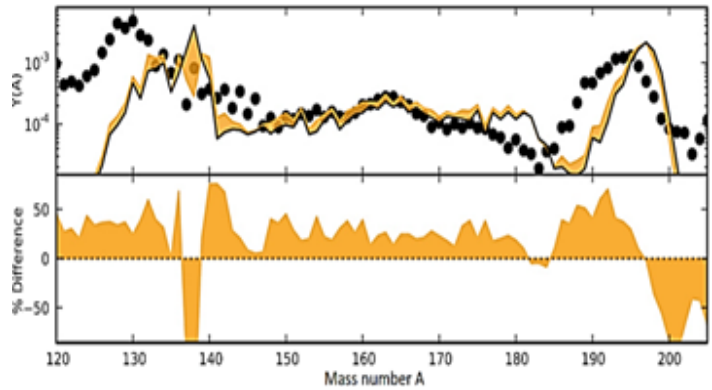
Hình 1a. Khe năng lượng của các đồng vị có số neutron $N = 146 - 158$. Trích dẫn từ nghiên cứu của M. Block và cộng sự [1]



Hình 1b. Năng lượng tách hai neutron của các đồng vị có số neutron $N = 142 - 170$ của các hạt nhân $Z = 98 - 110$. Trích dẫn từ nghiên cứu của M. Block và cộng sự [1]



Hình 2a. Mức năng lượng 2^+ đầu tiên của các đồng vị. Trích dẫn từ nghiên cứu của S. Sakar và cộng sự [7]



Hình 2b. Độ phổ biến của các đồng vị $A = 120 - 200$ khi khối lượng của ^{140}Sn tăng $0.5 \text{ MeV}/c^2$. Trích dẫn từ nghiên cứu của M.R. Mumpower và cộng sự [8]

Trong số các hạt nhân quan trọng cho cả nghiên cứu về cấu trúc lẫn thiên văn, các hạt nhân không bền $^{136-140}\text{Sn}$ rất quan trọng không chỉ cho việc củng cố dự đoán sự tồn tại của số magic neutron mới tại $N = 90$ trong hạt ^{140}Sn mà còn cho việc xác định chính xác hơn các kết quả tính toán độ phổ biến của các đồng vị trong quá trình bắt nhanh neutron (r-process). Cấu trúc lớp vỏ lấp đầy (shell closure) tại số neutron $N = 90$ được dự đoán bởi nhóm S. Sakar và cộng sự [7] dựa trên việc đánh giá mức kích thích 2^+ đầu tiên trong sơ đồ năng lượng của các hạt nhân $^{16, 18, 20, 22, 24}\text{O}$, $^{40, 42, 44, 46, 48}\text{Ca}$ và $^{132, 134, 136, 138, 140}\text{Sn}$ như chỉ ra trong hình 2a. Trường hợp ^{140}Sn , các nhà khoa học chưa thể khẳng định được có tồn tại số

magic $N = 90$ vì thiếu giá trị thực nghiệm về mức kích thích 2^+ đầu tiên của đồng vị $^{136, 138, 140}\text{Sn}$. Dự đoán này có thể được củng cố dựa trên dấu hiệu suy giảm đột biến của năng lượng tách hai neutron (S_{2n}) tại hạt ^{140}Sn trong chuỗi các đồng vị $^{132-142}\text{Sn}$. Độ chính xác về năng lượng tách hai neutron này phụ thuộc vào độ chính xác khối lượng các đồng vị Sn, đặc biệt là ^{140}Sn . Đối với tính toán thiên văn, khối lượng của ^{140}Sn có thể dẫn đến sai lệch lớn trong việc dự đoán nguồn gốc độ phổ biến đồng vị trong hệ mặt trời. Thật vậy, Mumpower và các cộng sự [8] chỉ ra rằng nếu khối lượng của ^{140}Sn tăng $0.5 \text{ MeV}/c^2$ thì độ phổ biến các đồng vị $A = 120 - 200$ có thể thay đổi từ 25% đến 100%, như chỉ ra trong hình 2b.

Như trình bày trên, khối lượng chính xác các hạt nhân không bền $^{136-140}\text{Sn}$ rất cần thiết cho việc nghiên cứu cấu trúc hạt nhân và thiên văn hạt nhân. Tuy nhiên, cho đến nay, khối lượng các hạt nhân này còn sai số tương đối lớn. Theo số liệu hạt nhân cập nhật mới nhất [9, 10], khối lượng các đồng vị này có độ sai số từ 320×10^{-6} đến 430×10^{-6} đơn vị khối lượng nguyên tử (amu) và có thời gian sống ngắn (từ 50 đến 355 mili-giây (ms)). Do đó, việc đo đạc khối lượng chính xác các hạt nhân này là rất cần thiết. $^{136-140}\text{Sn}$ là hạt nhân nằm rất xa bên, suất phản ứng tạo ra các hạt nhân này tương đối thấp mà thời gian sống của các hạt lại rất ngắn. Vì vậy, việc phân tích tính khả thi đối với đo đạc khối lượng thực nghiệm trong thời gian ngắn và đạt độ chính xác cao là việc làm rất cần thiết. Trong nghiên cứu này, tôi đánh giá khả năng tạo ra hạt $^{136-140}\text{Sn}$ trên máy gia tốc và đo đạc khối lượng của chúng khi sử dụng hệ phổ kế đo khối lượng theo phương pháp thời gian bay MR-TOF. Kết quả nghiên cứu này có ý nghĩa quan trọng cho sự thành công của các phép đo khối lượng của các hạt nhân $^{136-140}\text{Sn}$ tại các trung tâm gia tốc trên thế giới.

Khả năng tạo ra các hạt nhân không bền $^{136-140}\text{Sn}$

Các hạt nhân không bền được tạo ra từ các phản ứng của hạt nhân bền từ máy gia tốc theo hai phương pháp chính: IF (In-flight) và ISOL (Isotope Separation On-Line) [11, 12, 13]. Trong đó, phương pháp IF thường sử dụng bia mỏng và hạt đạn là các ion nặng. Điều này dẫn đến một số khó khăn hoặc hạn chế về nguồn ion được thiết kế tại các trung tâm gia tốc. Nói cách khác, không phải trung tâm nào cũng sẵn có nguồn ion gồm các đồng vị cần dùng cho phản ứng hạt nhân. Hạn chế này được khắc phục khi sử dụng phương pháp ISOL, là phương pháp dùng hạt nhẹ (thường là proton, neutron) bắn vào bia nặng theo cơ chế phản ứng thác lũ hoặc phân mảnh. Khi đó, việc chuẩn bị bia mẫu cùng với độ dày bia sẽ

được thực hiện một cách chủ động hơn cho từng phản ứng khác nhau. Đối với trường

$$\sigma(E) = \sigma_0 f(A) f(E) \exp(-P\Delta A) \exp\left[-R|Z - SA + TA^v|\right] \Omega \eta \xi$$

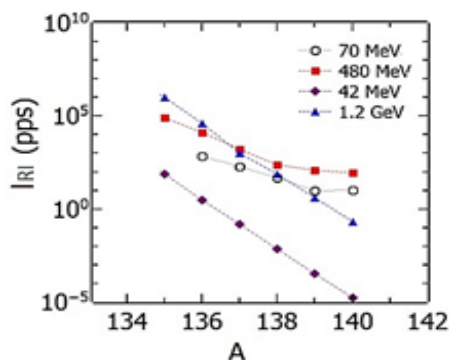
hợp hạt nhân nằm rất xa đường bền, phương pháp IF rất khó có thể sử dụng do những hạn chế về số nucleon trao đổi và tiết diện phản ứng thấp. Do đó, trong nghiên cứu này, phương pháp ISOL được sử dụng để tạo ra các đồng vị nằm xa đường bền, $^{136-140}\text{Sn}$.

Suất tạo ra hạt không bền I_{RI} (pps – hạt trong 1 giây) được tính toán theo biểu thức sau [13]:

$$I_{RI} = \sigma(E) \times N_t \times I_0 \times \varepsilon$$

với N_t là mật độ hạt của bia (hạt/cm²), I_0 là cường độ chùm hạt đạn (pps), ε là hiệu suất ghi hạt của phép đo, $s(E)$ là tiết diện phản ứng tạo hạt (đơn vị cm²). Về mặt lý thuyết, việc tính toán tiết diện phản ứng tương đối phức tạp, tốn kém thời gian nhưng kết quả vẫn có những sai lệch đáng kể so với kết quả thực nghiệm. Vì vậy, trong thực nghiệm, tiết diện thường được tính toán bằng các công thức bán thực nghiệm hoặc ngoại suy. Trong nghiên cứu này, phương pháp bán thực nghiệm Silberberg-Tsao [14, 15, 16] được sử dụng để tính toán cho tiết diện tạo các hạt nhân không bền $^{136-140}\text{Sn}$.

Trong đó, s_0 là một hàm số theo số khối hạt nhân bia và tham số P, R được rút ra từ việc khớp bình phương tối thiểu với giá trị thực nghiệm; $f(A)$ và $f(E)$ là hệ số hiệu chỉnh, có giá trị khác 1 trong trường hợp ΔA giữa hạt nhân bia và hạt nhân sản phẩm quá lớn. Trường hợp ΔA không chênh lệch nhiều các giá trị bằng 1; Các hệ số P, R, S, v, η và x là các hệ số được rút ra từ việc khớp hàm với giá trị thực nghiệm đã biết. Các hệ số này đã được mô tả rất chi tiết trong tài liệu tham khảo [14] nên tôi không lặp lại trong báo cáo này.



Hình 3. Cường độ hạt nhân $^{136-140}\text{Sn}$ được tạo ra từ phản ứng $p + \text{UC}_x$ tại các mức năng lượng khác nhau

Việc tính toán suất tạo các hạt nhân $^{136-140}\text{Sn}$ được thực hiện với các mức năng lượng khác nhau, ứng với những năng lượng chùm hạt tới (proton) của một số trung tâm gia tốc hiện nay (chùm proton 42 MeV tại trung tâm gia tốc HRIBF [17]; 70 MeV tại RAON [18]; 480 MeV tại TRIUMF [19] và 1.2 GeV tại CERN [20]). Sau khi phân tích các kết quả thực nghiệm tạo chùm hạt không bền bằng phương pháp ISOL tại các trung tâm gia tốc [21, 22, 23, 24, 25], và các bia phản ứng được tổng hợp bởi A. Gottberg [13], phản ứng hạt nhân của proton lên bia uranium (bia tự nhiên U_{nat} và bia hợp chất carbide UC_x) có khả năng tạo được suất ra lớn nhất cho các hạt nhân giàu neutron $^{136-140}\text{Sn}$. Cường độ chùm hạt tới và bề dày bia được tính toán trong giới hạn an toàn của phép đo, sao cho bia chưa bị nóng chảy. Với những phân tích đã nêu, cường độ chùm tới được xác định là 1 electron-micro-ampere (1 μA) ở năng lượng khác nhau và bia có bề dày 18 g/cm^2 . Kết quả suất tạo ra các hạt được chỉ ra trong hình 3 và bảng 1.

Từ kết quả (hình 3) chúng ta có thể thấy rằng, đa số tiết diện phản ứng tạo ra các hạt nằm xa đường bền có độ chênh lệch lớn, từ 1 đến 2 bậc, dù độ chênh lệch neutron các hạt ra chỉ khác nhau 1 đơn vị. Khả năng tạo ra các hạt $^{136, 137, 138}\text{Sn}$ tương đối lớn so với

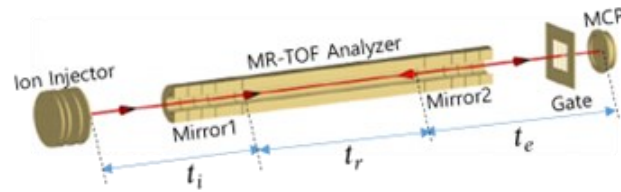
Bảng 1. Cường độ chùm hạt không bền $^{136-140}\text{Sn}$

Hạt nhân	$T_{1/2}$ (ms) [.....]	I_{RI} lớn nhất
^{136}Sn	355	750
^{137}Sn	249	300
^{138}Sn	148	80
^{139}Sn	120	10
^{140}Sn	50	10

khả năng tạo $^{139, 140}\text{Sn}$. Cường độ chùm hạt $^{136, 137, 138}\text{Sn}$ lớn hơn gần 100 lần so với cường độ chùm hạt $^{139, 140}\text{Sn}$ (10 hạt/giây). Như vậy, thời gian đo đặc các hạt $^{136, 137, 138}\text{Sn}$ có thể ngắn hơn 100 lần so với thời gian đo $^{139, 140}\text{Sn}$. Việc đo đặc hai hạt nhân $^{139, 140}\text{Sn}$ cần được tính toán, thiết kế sao cho phù hợp với suất tạo hạt khoảng 10 hạt/giây và thời gian sống 50 mili-giây. Khi đó, việc lựa chọn các kỹ thuật và phương pháp đo là rất quan trọng.

Khả năng đo chính xác khối lượng hạt nhân không bền $^{139, 140}\text{Sn}$

Việc đo đặc chính xác khối lượng hạt nhân có thể được thực hiện trên nhiều hệ phổ kế, tương ứng với các phương pháp khác nhau. Trong đó, ba phương pháp chính thường được sử dụng trong các phòng thí nghiệm hiện đại trên thế giới ngày nay là phương pháp MR-TOF [26], Penning Trap [27] và Storage Ring [28]. Các phương pháp này có những ưu – nhược điểm riêng nên tùy vào mục đích và độ chính xác mong muốn mà các nhà khoa học lựa chọn sử dụng phương pháp nào. Theo nghiên cứu của D. Lunney [29], kỹ thuật dùng phương pháp Penning Trap và MR-TOF có thể cho độ chính xác $\delta m/m$ lần lượt đạt đến $10^{-8} - 10^{-7}$ và $10^{-7} - 10^{-6}$, đây là điều kiện cần thiết cho việc nghiên cứu tương tác yếu, cấu trúc hạt nhân và thiên văn hạt nhân.



Hình 4. Cấu tạo nguyên lý hệ phổ kế MR-TOF dùng đo chính xác khối lượng hạt nhân

Trong hai phương pháp này, phương pháp MR-TOF mặc dù cho độ chính xác không bằng phương pháp Penning Trap nhưng nó có ưu điểm là cho phép đo trong thời gian ngắn (cỡ vài mili-giây) và cường độ chùm hạt thấp (từ vài hạt đến chục hạt trong một giây) vẫn có thể đo được. Vì vậy, để đo chính xác khối lượng các hạt nhân Sn có thời gian sống ngắn, trong nghiên cứu này tôi chọn sử dụng hệ phổ kế đo thời gian bay theo phương pháp MR-TOF.

Phương pháp đo thời gian bay để xác định chính xác khối lượng hạt được dựa trên nguyên lý tác dụng điện trường tĩnh giữa hai điện cực có hiệu điện thế U lên hạt mang điện q có khối lượng m , theo công thức sau:

$$\frac{m}{q} = 2U \left(\frac{t}{L} \right)^2$$

Trong đó, L là quãng đường bay được trong khoảng thời gian t . Như vậy, để tăng độ chính xác của khối lượng m thì chúng ta cần tăng quãng đường L . Phương pháp MR-TOF là phương pháp tăng L bằng cách cho hạt phản xạ nhiều lần (Multiple-Reflection), mà không tăng kích thước hệ đo, tiết kiệm không gian phòng thí nghiệm.

Hệ phổ kế đo chính xác khối lượng theo phương pháp MR-TOF, có cấu tạo nguyên lý như trong hình 4, gồm có các phần chính sau: (1) các điện cực bắn hạt vào trong buồng vùng phản xạ để hạt tăng quãng đường bay [ion injector]; (2) vùng phản xạ, tăng số lượt bay được giới hạn bởi các cặp gương điện cực [MR-TOF Analyzer]; (3) cửa hội tụ, thu hạt nhân [Gate] và (4) detector ghi hạt [MCP]. Chùm các hạt nhân

không bền sau khi được tạo ra từ phương pháp ISOL, như đã trình bày trong mục 2, sẽ được bắn vào buồng phản xạ. Dưới tác dụng của điện trường của cặp gương điện cực, các hạt sẽ bay nhiều vòng nhằm tăng quãng đường bay cho tới khi đạt được độ phân giải khối lượng tốt nhất thì điện cực ra sẽ thay đổi điện thế để hạt bay ra cửa hội tụ và đi vào detector MCP. Thời gian bay được xác định bằng tổng thời gian bắn hạt vào (t_i), thời gian bay phản xạ trong buồng phản xạ ($t_r = n \times t_0$, t_0 là thời gian 1 vòng bay và n là số vòng bay) và thời gian bắn hạt ra đến detector (t_e).

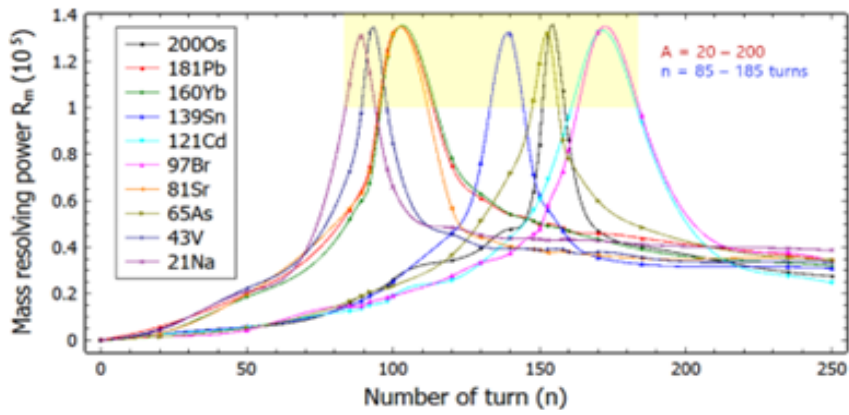
Độ chính xác khối lượng $\delta m/m$ trong phép đo được xác định như sau:

$$\frac{\delta m}{m} = \frac{1}{R_m \sqrt{N}}$$

với N là số hạt trong chùm hạt tới, R_m là độ phân giải khối lượng của phép đo. Độ phân giải khối lượng phụ thuộc vào thời gian bay t và độ phân giải thời gian Δt của phép đo như sau:

$$R_m = \frac{t}{2\Delta t}$$

Độ phân giải thời gian của phép đo càng tốt thì chúng ta thu được độ chính xác càng cao. Do đó, việc xác định độ phân giải thời gian tốt nhất tương ứng với số vòng lặp bay của hạt là rất quan trọng cho thực nghiệm đo chính xác khối lượng hạt nhân. Mỗi vùng khối lượng hạt nhân có số vòng lặp bay phản xạ và độ phân giải thời gian bay tốt nhất khác nhau. Điều này đòi hỏi các nhà khoa học phải ước lượng trước khi tiến hành đo đạc thực tế trong phòng thí nghiệm.

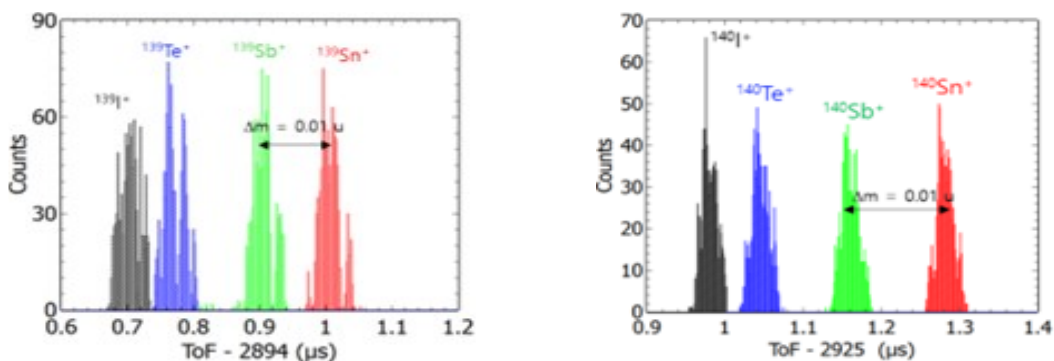


Hình 5. Độ phân giải tương ứng với số vòng bay của các hạt trong hệ phổ kế MR-TOF

Trong nghiên cứu này, tôi tiến hành mô phỏng Monte-Carlo để ước lượng số vòng lặp bay cần thiết tương ứng với độ phân giải khối lượng R_m cao nhất đối với thiết bị MR-TOF có cấu tạo và các điện cực tương tự như thiết bị được sử dụng trong nghiên cứu của nhóm M. Rosenbusch và cộng sự [30] tại trung tâm gia tốc RIKEN, Nhật Bản. Kết quả số vòng cần thiết để đạt R_m cao nhất đối với các hạt có khối lượng trong vùng $A = 20 - 200$ được chỉ ra trong hình 5. Căn cứ vào kết quả này, chúng ta có thể ước lượng thời gian cần thiết để thay đổi điện thế điện cực ra cho các hạt bay ra đến detector. Chẳng hạn, sau 85 vòng thì độ phân giải khối lượng sẽ đạt tối đa cho hạt nhân ^{21}Na . Khi đó, điện cực gương ra của hệ đo cần thay đổi để hạt bay đến detector. Bên cạnh đó, kết quả cũng chỉ ra rằng, độ phân giải tối đa của hệ đo này hoàn toàn có thể đạt được $R_m = 10^5$. Như vậy, muốn có độ chính xác khối lượng đạt $\delta m/m = 10^{-7}$ thì chùm hạt vào hệ đo cần có là 10^4 .

Do hai hạt nhân $^{139,140}\text{Sn}$ có suất ra tương đối thấp và thời gian sống ngắn hơn so với các đồng vị có $A = 136 - 138$ nên trong nghiên cứu này, tôi tập trung đánh giá khả

năng đo chính xác khối lượng của hai hạt nhân này. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng, độ phân giải khối lượng cao nhất đối với ^{139}Sn và ^{140}Sn lần lượt là 1.15×10^5 và 1.3×10^5 tương ứng tại số vòng lặp $n = 134$ và 140 . Phổ thời gian bay của các đồng vị ^{139}Sn , ^{140}Sn và các hạt đồng khối lần trong chùm hạt tới được chỉ ra trong hình 6. Độ phân giải thời gian đủ để phân tách các hạt có độ chênh lệch khối lượng vào khoảng $0.01u$ (đơn vị khối lượng nguyên tử). Như vậy, các hạt nhiều $^{139,140}\text{I}$, $^{139,140}\text{Te}$, $^{139,140}\text{Sb}$, trong chùm hạt vào hệ đo MR-TOF hoàn toàn có thể được nhận dạng và phân tách khi xử lý phổ thời gian bay. Ngoài ra, thời gian đo vào khoảng 3 mili-giây, nhỏ hơn rất nhiều so với thời gian sống của hạt nhân ^{140}Sn , có thời gian bán rã ngắn nhất là 50 ms. Với độ phân giải khối lượng đạt tới $R_m = 10^5$ khả năng độ chính xác của các hạt $^{139,140}\text{Sn}$ có thể đạt được đến một phần chục triệu (0.1 ppm – part-per-million). Mức độ chính xác này sẽ góp phần làm sáng tỏ các vấn đề cấu trúc vỏ lập đầy tại $N = 90$ trong ^{140}Sn và sự sai lệch trong tính toán độ phổ biến của các đồng vị trong quá trình thiên văn bắt nhanh neutron (r-process).



Hình 6. Phổ thời gian bay của các hạt ^{139}Sn , ^{140}Sn và các hạt đồng khối có khả năng lẫn vào trong chùm hạt khi đo

Kết luận

Các hạt nhân Sn nằm xa đường bền với số khối $A = 136 - 140$ có vai trò quan trọng trong cả nghiên cứu cấu trúc vỏ lấp đầy tại số neutron $N = 90$ của vật lý hạt nhân và độ phổ biến đồng vị trong quá trình thiên văn bất nhanh neutron (r-process). Các hạt nhân không bền này có thể được tạo ra tại các trung tâm gia tốc sử dụng phương pháp ISOL với chùm hạt proton và bia uranium dạng hợp chất carbide (UC_x). Với cường độ chùm proton $1 \mu A$ và bề dày bia $18 g/cm^2$, cường độ chùm hạt tạo ra có thể đạt được cho $^{136, 137, 138, 139, 140}Sn$ lần lượt là 750, 300, 80, 10, 10 hạt/giây (pps). Khối lượng các hạt nhân này hoàn toàn có thể đo được đạt đến độ chính xác 0.1 phần triệu (10^{-7}) bằng hệ phổ kế thời gian bay MR-TOF. Độ chính xác này hoàn toàn đáp ứng cho những yêu cầu về nghiên cứu cấu trúc hạt nhân và thiên văn hạt nhân. Những kết quả này cung cấp thông tin quan trọng cho các nhà khoa học trong việc nghiên cứu hạt nhân không bền trên máy gia tốc.

Tài liệu tham khảo

- [1] M. Block, *Nuclear Physics A* **944** (2015), 471-49
- [2] M. V. Stoitsov, J. Dobaczewski, W. Nazarewicz, S. Pittel, and D. J. Dean, *Physical Review C* **68** (2003), 054312
- [3] S. Goriely, N. Chamel and J. M. Pearson, *Physical Review Letter* **102** (2009), 152503
- [4] P. Moller, J. R. Nix et al., *Atomic Data and Nuclear Data Tables* **59** (1995), 185
- [5] Q. Mo et al., *Physical Review C* **90** (2014), 024320
- [6] N. D. Ly et al., *Physica Scripta* **96** (2021), 035301
- [7] S. Sarkar et al., *Physical Review C* **81** (2010), 064328
- [8] M.R. Mumpower et al., *Progress in Particle and Nuclear Physics* **86** (2016), 86-126
- [9] Meng Wang et al., *Chinese Physics C* **45** (2021), 030003
- [10] F.G. Kondev et al., *Chinese Physics C* **45** (2021), 030001
- [11] A.C.C. Villari, *Revista Mexicana de Física S* **52** (2006), 95-102.
- [12] N. N. Duy et al., *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **897** (2018), 8-13
- [13] A. Gottberg, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **376** (2016), 8-15
- [14] R. Silberberg, C. H. Tsao, *Astrophysical Journal Supplement Series* **220** (1973) 25, 315-333
- [15] C. H. Tsao, R. Silberberg, A. F. Barghouty, L. Sihver, and T. Kanai, *Physical Review C* **47** (1993), 1257
- [16] Silberberg, R., Tsao, C. H., & Letaw, J. R., *Astrophysical Journal Supplement Series* **58** (1985), 873 - 881
- [17] M.J Meigs, D.L Haynes, C.M Jones, R.C Juras, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **382** (1996), 51-56
- [18] Young Jin Kim, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **463** (2020), 408-414
- [19] TRIUMF, <https://www.triumf.ca/home/about-triumf>
- [20] CERN, <https://www.home.cern/about>
- [21] D.W. Stracener, J.R. Beene, D.T. Dowling, R.C. Juras, M.J. Meigs, P.E. Mueller, and B.A. Tatum. *Radioactive Ion Beam Production at the HRIBF. Revista Mexicana de Física Suplemento* **4** (2003), 92-96
- [22] A. Gottberg, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **376** (2016), 8-15
- [23] J. Ballof, J. p. Ramos, A. Molander, K. Johnston, S. Rothe, T. Stora, Ch. E. Dullmann, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **463** (2020), 211-215
- [24] https://isoyields2.web.cern.ch/YieldByElement_Basic.aspx?Z=50
- [25] Fatima H. Garcia. Calculation of rates for radioactive isotope beam production at TRIUMF. Master Thesis, Simon Fraser University (2016); TRIUMF, Simulation Data Search. <http://isys01.triumf.ca/search/simulation/data>.
- [26] P. Schury et al., *European Physical Journal A* **42** (2009), 343-349
- [27] Jens Dilling, Klaus Blaum, Maxime Brodeur, and Sergey Eliseev, *Annual Review of Nuclear and Particle Science* **68** (2018), 45 - 74.
- [28] X.L. Tu et al., *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **654** (2011), 213-218
- [29] D. Lunney, *Hyperfine Interact* **2019** (2019), 240:48
- [30] M. Rosenbusch et al., *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A* **1047** (2023), 167824

TIN TRONG NƯỚC VÀ QUỐC TẾ

PHÓ THỦ TƯỚNG LIÊN BANG NGA THĂM VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM

Sáng ngày 7/4/2023, Phó Thủ tướng Chính phủ Liên bang Nga - Chernyshenko Dmitry Nikolaevich và Đoàn đại biểu cấp cao Phân ban Nga đến thăm Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam (VINATOM).



Toàn cảnh buổi tiếp Phó Thủ tướng Chính phủ Liên bang Nga Chernyshenko Dmitry Nikolaevich

Phát biểu tại buổi tiếp, thay mặt Bộ Khoa học và Công nghệ, Thứ trưởng Lê Xuân Định chào mừng Phó Thủ tướng D. Chernyshenko và Đoàn đại biểu từ Liên bang Nga, nhân dịp tham dự Khóa họp lần thứ 24 Ủy ban Liên chính phủ Việt Nam - Liên bang Nga về hợp tác kinh tế - thương mại và khoa học - kỹ thuật đã dành thời gian đến thăm Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam - một Viện nghiên cứu quốc gia về lĩnh vực năng lượng nguyên tử, thuộc Bộ khoa học và Công nghệ.

Thứ trưởng Lê Xuân Định nhấn mạnh: Quan hệ hợp tác hữu nghị Việt Nam - Liên bang Nga có truyền thống và lịch sử lâu dài. Lãnh đạo Việt Nam qua các thời kỳ lịch sử luôn trân trọng và vun đắp tình hữu nghị với Liên Xô trước đây và Liên bang

Nga ngày nay. Hiện nay, theo các thỏa thuận giữa hai nước trong khuôn khổ Ủy ban liên Chính phủ Việt Nam - Liên bang Nga về hợp tác kinh tế, thương mại và khoa học kỹ thuật, Liên bang Nga và Việt Nam đã thực hiện nhiều hoạt động hợp tác song phương trong lĩnh vực giáo dục, đào tạo, khoa học và công nghệ. Các nhiệm vụ hợp tác nghiên cứu khoa học và công nghệ được trải rộng từ năng lượng nguyên tử, công nghệ sinh học, vật liệu mới, điện tử, tự động hóa đến khoa học xã hội và nhân văn, trong nhiều năm qua đã góp phần quan trọng vào phát triển kinh tế - xã hội của đất nước.



Thứ trưởng Lê Xuân Định phát biểu tại buổi tiếp Phó Thủ tướng Chính phủ Liên bang Nga - Chernyshenko Dmitry Nikolaevich

Trong lĩnh vực năng lượng nguyên tử, Liên Xô trước đây đã giúp Việt Nam khôi phục và nâng cấp lò phản ứng hạt nhân nghiên cứu tại Đà Lạt. Hiện tại, Liên bang Nga đang tích cực giúp đỡ Việt Nam thực hiện dự án xây dựng Trung tâm Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ hạt nhân (CNST) với lò nghiên cứu mới. Dự án nhận được sự quan tâm sâu sắc của lãnh đạo cấp cao hai nước và đã được Chính phủ Việt Nam phê duyệt chủ trương đầu tư.

Nhân dịp này, Thứ trưởng gửi lời cảm ơn các cơ quan về năng lượng nguyên tử của Liên bang Nga, đặc biệt là Tập đoàn ROSATOM đã hợp tác tích cực và hiệu quả với VINATOM trong thời gian qua. Đồng thời, hy vọng trong thời gian tới hợp tác giữa Việt Nam và Liên bang Nga sẽ tiếp tục được đẩy mạnh về mọi mặt, trong đó có các kết quả hợp tác về khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo, cũng như dự án xây dựng lò nghiên cứu mới.

Tại sự kiện, Viện trưởng Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam - Trần Chí Thành đã báo cáo về hợp tác Việt Nam - Liên bang Nga trong lĩnh vực năng lượng nguyên tử.

Báo cáo nêu rõ: Ngành năng lượng nguyên tử, cũng như VINATOM đã được hình thành gần 50 năm trước và phát triển trên cơ sở tình hữu nghị truyền thống và hợp tác tốt đẹp giữa Việt Nam và Liên Xô trước đây, hay Liên bang Nga ngày nay. Điển hình là việc khôi phục và nâng cấp lò phản ứng hạt nhân nghiên cứu Đà Lạt, đưa vào vận hành năm 1984. Đây là công trình đặc biệt quan trọng trong quan hệ hợp tác khoa học giữa hai nước. Hiện nay, lò phản ứng nghiên cứu Đà Lạt vẫn tiếp tục vận hành an toàn và hiệu quả, được IAEA đánh giá rất cao, đóng góp tích cực cho phát triển kinh tế, xã hội của đất nước.

Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam là Viện nghiên cứu đặc biệt cấp quốc gia, với 9 đơn vị thành viên trên toàn quốc, số lượng cán bộ khoảng 800 người. Trong những năm gần đây, Việt Nam và Liên bang Nga đã hợp tác trong dự án Trung tâm Nghiên cứu Khoa học Công nghệ hạt nhân (CNST), theo Hiệp định Liên Chính phủ ký kết năm 2011. Dự án đã được Chính phủ Việt Nam phê duyệt chủ trương đầu tư năm 2018. Bên cạnh đó, Liên bang Nga tiếp tục mở rộng hợp tác với Việt Nam trong nhiều lĩnh vực khác.

Tiếp đó, Viện trưởng Trần Chí Thành báo cáo một số nội dung hợp tác đang được triển khai hợp tác giữa VINATOM cùng ROSATOM và các đối tác Nga trong lĩnh vực năng lượng nguyên tử.



TS. Trần Chí Thành, Viện trưởng Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam trao đổi với Phó Thủ tướng Nga Dmitri Chernyshenko và đại sứ Nga tại Việt Nam Gennady

Cụ thể, như việc hợp tác xây dựng lò nghiên cứu mới CNST với ROSATOM. Bên cạnh đó, ROSATOM đang chuẩn bị đầu tư vào Công ty Chiếu xạ Cần Thơ - là đơn vị chiếu xạ kiểm dịch phục vụ xuất khẩu nông sản, thủy hải sản Việt Nam. Viện Nghiên cứu hạt nhân đang tiến hành các thủ tục để mua nhiên liệu cho lò nghiên cứu Đà Lạt để vận hành thêm 10 năm. VINATOM cùng Tập đoàn Hưng Thịnh đang bắt đầu trao đổi hợp tác với ROSATOM trong chế biến sa khoáng ven biển.

Cùng với đó là trao đổi hợp tác về sản xuất dược chất phóng xạ mới tại Việt Nam để điều trị ung thư, nâng cao năng lực y học hạt nhân hướng tới lò nghiên cứu mới. VINATOM tích cực đẩy mạnh hợp tác nghiên cứu với Viện Liên hiệp Nghiên cứu hạt nhân Dubna trong dự án lò nghiên cứu mới CNST, và gửi cán bộ sang làm việc tại Dubna nhằm đào tạo đội ngũ đầu đàn cho dự án CNST.

Nhân dịp này, Viện trưởng Trần Chí Thành cũng bày tỏ lời cảm ơn đến Ngài Viện trưởng Viện Liên hiệp nghiên cứu hạt nhân Dubna, Viện sỹ Trubnikov Gennady Vladimirovich vì sự giúp đỡ và hợp tác trong thời gian qua.

Để các nhiệm vụ nêu trên được triển khai thành công, Viện trưởng Trần Chí Thành mong muốn Phó Thủ tướng và phía Nga tiếp tục hỗ trợ:

1/ Thúc đẩy việc đàm phán ký Hợp đồng FS dự án CNST.

2/ Trao đổi hợp tác với Viện An toàn hạt nhân IBRAE (Viện Hàn lâm Khoa học Nga) trong triển khai Dự án CNST, cũng như xây dựng Mạng quan trắc phóng xạ tại Việt Nam.

3/ Thanh toán từ nguồn Ngân sách Nhà nước Việt Nam cho đối tác Nga.

4/ Mua nhiên liệu từ TVEL thuận lợi.

5/ ROSATOM và các đối tác viện nghiên cứu Nga hợp tác, chuyển giao công nghệ và cùng chế tạo máy gia tốc chùm tia điện tử (Electron Beam - EB) tại Việt Nam cho nhu cầu chiếu xạ, chiếu cáp điện trong nước, cũng như khu vực.

6/ ROSATOM và VINATOM hợp tác khoa học, trao đổi thông tin, nâng cao năng lực về công nghệ và an toàn điện hạt nhân, đào tạo nhân lực (chuẩn bị cho trường hợp nếu Việt Nam quay lại chương trình phát triển điện hạt nhân).

Bày tỏ vui mừng được đến thăm Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam, Phó Thủ tướng Chính phủ Liên bang Nga Chernyshenko Dmitry Nikolaevich nhấn mạnh: Nga luôn coi Việt Nam là đối tác quan trọng, thân thiện và nhiều triển vọng. Ông cho biết, Nga được đánh giá là một trong những nước dẫn đầu trên thế giới trong lĩnh vực kỹ thuật, khí hậu, năng lượng và thám hiểm không gian.

Phó Thủ tướng Nga chia sẻ: Trong phiên họp lần thứ 24 Ủy ban liên Chính phủ Việt Nam - Nga (diễn ra ngày 6/4), ông đã trao đổi với Phó Thủ tướng Trần Hồng Hà và nhấn mạnh rằng Nga sẵn sàng tham gia hỗ trợ Việt Nam trong công nghệ nhà máy

điện hạt nhân. Phó Thủ tướng bày tỏ hy vọng, trong thời gian tới hợp tác giữa Việt Nam và Nga sẽ tiếp tục được đẩy mạnh về mọi mặt, trong đó có các kết quả hợp tác về khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo, cũng như dự án xây dựng lò nghiên cứu hạt nhân mới.



Phó Thủ tướng Chính phủ Liên bang Nga - Chernyshenko Dmitry Nikolaevich phát biểu

Phó Thủ tướng Nga cho biết: Việt Nam đang trong giai đoạn độc lập tự chủ về công nghiệp, công nghệ và năng lượng, đây là một nền tự chủ quan trọng. Phía Nga sẵn sàng hỗ trợ Việt Nam sớm tham gia câu lạc bộ những nước có công nghệ hạt nhân. ROSATOM có đủ năng lực, khả năng sản xuất các máy gia tốc điện tử và kinh nghiệm xuất khẩu những thiết bị đó.



TS. Trần Chí Thành, Viện trưởng Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam tặng quà lưu niệm Phó Thủ tướng Chính phủ Liên bang Nga - Chernyshenko Dmitry Nikolaevich



Phó Thủ tướng Chính phủ Liên bang Nga - Chernyshenko Dmitry Nikolaevich, Lãnh đạo Bộ Khoa học và Công nghệ và Lãnh đạo Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam thăm quan Phòng truyền thống

Nhân dịp này, Phó Thủ tướng Chính phủ Liên bang Nga - Chernyshenko Dmitry, Đoàn đại biểu cấp cao Phân ban Nga đã tham quan phòng Truyền thống của Viện và chụp ảnh lưu niệm cùng Lãnh đạo Bộ Khoa học và Công nghệ, Lãnh đạo Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam.

Nguyễn Thị Thu Hà
Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam

TIẾP TỤC GHI NHẬN MỨC ĐỘ ỦNG HỘ KỶ LỤC CỦA CÔNG CHÚNG HOA KỲ ĐỐI VỚI NĂNG LƯỢNG HẠT NHÂN

Theo cuộc khảo sát mới nhất của Bisconti Research Inc., sự ủng hộ của công chúng Hoa Kỳ đối với năng lượng hạt nhân vẫn giữ ở mức cao kỷ lục trong năm thứ ba liên tiếp. Kết quả cho thấy ba phần tư công chúng ủng hộ năng lượng hạt nhân và khoảng bảy phần mười ủng hộ việc xây dựng thêm các nhà máy điện hạt nhân.

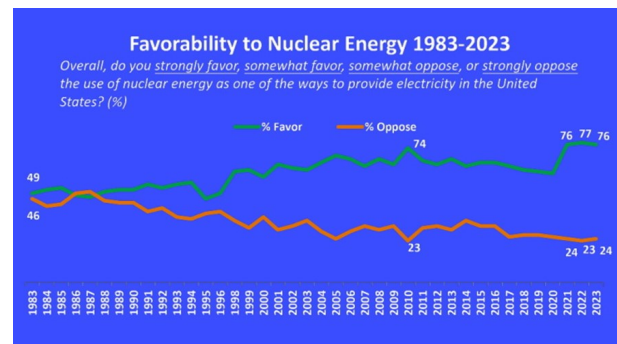
Cuộc khảo sát ý kiến công chúng về năng lượng hạt nhân quốc gia được tiến hành từ ngày 28/04/2023 và kết thúc ngày 05/05/2023, có sự tham gia của 1000 người trưởng thành của Hoa Kỳ là đại diện cho toàn quốc, với sai số cộng trừ ba điểm phần trăm. Khảo sát này được Bisconti thực hiện sử dụng Mẫu nghiên cứu/khảo sát trực tuyến Quest Mindshare. Tổng cộng có 87 cuộc khảo sát quốc gia đã được thực hiện kể từ năm 1983.

Cuộc thăm dò ý kiến cho thấy có 76% số người được hỏi cho biết họ ủng hộ mạnh mẽ hoặc phần nào ủng hộ việc sử dụng năng lượng hạt nhân như một trong những cách cung cấp điện ở Hoa Kỳ, trong khi 24% phản đối. Bisconti lưu ý rằng những con số này không thay đổi về mặt thống kê kể từ năm 2021. Trong thập kỷ trước, tỷ lệ ủng hộ giữ ở mức 60%.

Bisconti cho biết: “Lý do ủng hộ chủ yếu là về nhu cầu của loại hình năng lượng này vì nó có giá cả phải chăng, đáng tin cậy và hiệu quả, cũng như về các lợi ích môi trường liên quan đến không khí sạch và biến đổi khí hậu”. Các chủ đề về độc lập năng lượng và an ninh năng lượng đã xuất hiện trở lại trong các cuộc thảo luận chính sách do Chiến dịch quân sự đặc biệt của Nga ở Ukraine vẫn chưa được coi là lý do chính đối với các ý kiến về năng lượng hạt nhân.

“Các ý kiến không ủng hộ chủ yếu tập trung vào sự nguy hiểm, mặc dù một số người đã đề cập rằng năng lượng hạt nhân đang trở nên an toàn hơn. Đối với các câu hỏi mở về lý do đưa ra các ý kiến đối với năng lượng hạt nhân, thậm chí có ít người đề cập đến chất thải”.

Cuộc khảo sát cho thấy những người càng có nhiều thông tin về năng lượng hạt nhân thì họ càng ủng hộ nó. Vào năm 2023, trong số những người nói rằng họ cảm thấy được thông tin đầy đủ về năng lượng hạt nhân, có 74% rất ủng hộ, trong khi chỉ có 4% phản đối mạnh mẽ.



Tỷ lệ ủng hộ năng lượng hạt nhân tại Hoa Kỳ giai đoạn 1983-2023 (ảnh: Bisconti)

Bisconti cho biết: “Lý do ủng hộ chủ yếu là về nhu cầu của loại hình năng lượng này vì nó có giá cả phải chăng, đáng tin cậy và hiệu quả, cũng như về các lợi ích môi trường liên quan đến không khí sạch và biến đổi khí hậu”. Các chủ đề về độc lập năng lượng và an ninh năng lượng đã xuất hiện trở lại trong các cuộc thảo luận chính sách do Chiến dịch quân sự đặc biệt của Nga ở Ukraine vẫn chưa được coi là lý do chính đối với các ý kiến về năng lượng hạt nhân.

“Các ý kiến không ủng hộ chủ yếu tập trung vào sự nguy hiểm, mặc dù một số người đã đề cập rằng năng lượng hạt nhân đang trở nên an toàn hơn. Đối với các câu hỏi mở về lý do đưa ra các ý kiến đối với năng lượng hạt nhân, thậm chí có ít người đề cập đến chất thải”.

Cuộc khảo sát cho thấy những người càng có nhiều thông tin về năng lượng hạt nhân thì họ càng ủng hộ nó. Vào năm 2023, trong số những người nói rằng họ cảm thấy được thông tin đầy đủ về năng lượng hạt nhân, có 74% rất ủng hộ, trong khi chỉ có 4% phản đối mạnh mẽ.

Khảo sát cho thấy hầu hết người Mỹ có quan điểm ủng hộ đối với năng lượng hạt nhân và vai trò của nó. Có 86% số người được hỏi cho rằng năng lượng hạt nhân sẽ đóng vai trò quan trọng trong việc đáp ứng nhu cầu điện của quốc gia trong các năm tới, trong khi có 89% đồng ý rằng nên gia hạn giấy phép cho các nhà máy điện hạt nhân mà vẫn đang đáp ứng các tiêu chuẩn an toàn liên bang. 87% đồng ý rằng Hoa Kỳ nên chuẩn bị ngay từ bây giờ để các nhà máy điện hạt nhân với thiết kế tiên tiến sẽ có sẵn để cung cấp điện và 71% đồng ý rằng Hoa Kỳ nhất định phải xây thêm các nhà máy điện hạt nhân trong tương lai.

“Sự ủng hộ dành cho năng lượng hạt nhân vẫn ở mức cao trong bối cảnh có nhiều lo ngại về năng lượng và môi trường”, theo Bisconti. Những lợi ích của năng lượng hạt nhân đang được đề cập trong các cuộc thảo luận công khai và thông tin này đang được lắng nghe.

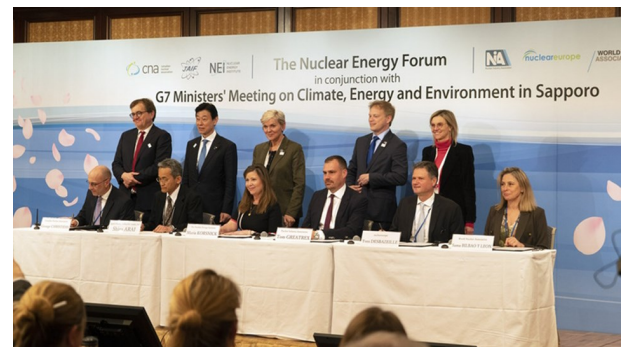
“Cuộc khảo sát này một lần nữa cho thấy mối tương quan rất chặt chẽ giữa mức độ cảm thấy được cung cấp thông tin về năng lượng hạt nhân và sự ủng hộ mạnh mẽ. Ngoài ra, nó cũng cho thấy giá trị của thông tin đối với việc củng cố sự ủng hộ của công chúng. Hầu hết người Mỹ cảm thấy không được thông tin đầy đủ về năng lượng hạt nhân, vì vậy thông tin tạo ra sự khác biệt lớn”.

Phạm Khắc Tuyên
Ban Hợp tác quốc tế

Nguồn: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Record-level-of-US-support-for-nuclear-continues>

NHỮNG NHÀ LÃNH ĐẠO HẠT NHÂN ĐƯA RA LỜI KÊU GỌI HÀNH ĐỘNG TỪ G7

Hiệp hội Hạt nhân Thế giới và Hiệp hội thương mại hạt nhân từ Canada, Nhật Bản, Châu Âu, Anh và Hoa Kỳ đã đưa ra tuyên bố kêu gọi chính phủ G7 hỗ trợ hoạt động lâu dài của các nhà máy điện hạt nhân hiện có đồng thời đẩy nhanh việc triển khai các nhà máy điện hạt nhân mới.



Tuyên bố được ký bởi các nhà lãnh đạo của các Hiệp hội thương mại, dưới sự chứng kiến của các Bộ trưởng của các quốc gia: Canada, Nhật Bản, Hoa Kỳ, Pháp và Vương quốc Anh trong một diễn đàn công nghiệp đầu tiên thuộc loại này (Ảnh: Hiệp hội hạt nhân thế giới)

Tuyên bố được đưa ra tại Diễn đàn Năng lượng hạt nhân, tổ chức tại Sapporo (Nhật Bản), bên cạnh cuộc họp Bộ trưởng G7 về khí hậu, năng lượng và môi trường diễn ra trong hai ngày 15-16/4.

Tuyên bố được ký bởi các nhà lãnh đạo của Hiệp hội Hạt nhân Thế giới, Hiệp hội Hạt nhân Canada (CNA), Diễn đàn Công nghiệp Nguyên tử Nhật Bản (JAIF), Nucleareurope, Viện Năng lượng Hạt nhân (NEI) của Hoa Kỳ và Hiệp hội Công nghiệp Hạt nhân và Vương quốc Anh (NIA), dưới sự chứng kiến của các Bộ trưởng từ năm quốc gia trên.

Năng lượng hạt nhân phải đóng vai trò nền tảng trong quá trình chuyển đổi tương lai năng lượng sạch và bền vững. Tuyên bố nêu rõ: "Đề hỗ trợ quá trình khử cacbon ở quy mô cần thiết, cộng đồng quốc tế phải cùng nỗ lực để kéo dài thời gian hoạt động của các nguồn năng lượng hạt nhân hiện có, phát triển các chính sách cho phép triển khai các dự án hạt nhân mới và đẩy nhanh sự phát triển của các công nghệ lò phản ứng mới".

Năng lượng hạt nhân được định vị để cung cấp cho các hệ thống năng lượng điện sạch, giá cả phải chăng, ít carbon. Đây cũng là lĩnh vực dự kiến sẽ tạo ra nguồn công việc dài hạn chất lượng cao, thúc đẩy tăng trưởng kinh tế, cũng như đảm bảo an ninh năng lượng trước những thách thức về địa chính trị, kinh tế và xã hội, tuyên bố cho biết: "Kết hợp lại, những đặc điểm này cho phép năng lượng hạt nhân trở thành nền tảng của một tương lai năng lượng sạch, đáp ứng các mục tiêu khí hậu, cải thiện sức khỏe cộng đồng và chất lượng cuộc sống, đồng thời góp phần đảm bảo an ninh năng lượng và thịnh vượng kinh tế".

Đề ghi nhận "các bước tích cực được thực hiện bởi hầu hết các quốc gia G7", các hiệp hội ngành "khuyến khích các Bộ trưởng Khí hậu, Năng lượng và Môi trường G7 thực hiện thêm các hành động có ý nghĩa để tối đa hóa lợi ích năng lượng hạt nhân cho mọi người trên toàn thế giới" bằng cách:

- Tối đa hóa việc sử dụng các nhà máy điện hạt nhân hiện có
- Đẩy nhanh việc triển khai các nhà máy hạt nhân mới

- Hỗ trợ hợp tác quốc tế và chuỗi cung ứng hạt nhân
- Xây dựng môi trường tài chính khuyến khích đầu tư vào điện hạt nhân
- Hỗ trợ phát triển công nghệ hạt nhân mới
- Nâng cao hiểu biết của công chúng về năng lượng hạt nhân
- Hợp tác quốc tế để chia sẻ những kinh nghiệm thực tiễn tốt nhất, bao gồm làm việc hướng tới việc thực hiện xử lý chất thải hạt nhân cuối cùng
- Hỗ trợ các nước mới hoặc đang xem xét sử dụng năng lượng hạt nhân.

Tuyên bố được ký bởi Tổng Giám đốc Hiệp hội Hạt nhân Thế giới - bà Sama Bilbao y León, đại diện cho Chủ tịch – ông George Christidis và Giám đốc điều hành CAN – ông John Gorman, Chủ tịch JAIF – ông Arai Shiro, Chủ tịch và Giám đốc điều hành NEI – bà Maria Korsnick, Giám đốc điều hành NIA – ông Tom Greatrex và Tổng giám đốc hạt nhân châu Âu – ông Yves Desbazeille tại sự hiện diện của các bộ trưởng năng lượng Canada, Pháp, Nhật Bản, Anh và Mỹ.

Phát biểu tại diễn đàn, Bộ trưởng Kinh tế, Thương mại và Công nghiệp Nhật Bản - ông Yasutoshi Nishimura cho biết cuộc họp đang diễn ra ở một "bước ngoặt lịch sử" khi các bộ trưởng và ngành cùng hợp tác. Ông nói: "Với tư cách là người chủ trì cuộc họp G7, tôi thực sự cảm thấy chúng ta đang thực sự thảo luận về việc cân bằng quá trình khử cacbon và cung cấp nguồn năng lượng ổn định, đồng thời tập trung vào năng lượng hạt nhân hơn bao giờ hết".

Bộ trưởng Năng lượng Hoa Kỳ Jennifer Granholm phát biểu: "Chúng ta đang thực sự đứng ở điểm khởi đầu cho một kỷ nguyên hạt nhân mới...hạt nhân là nguồn năng lượng cơ bản, sạch và quan trọng."

Bộ trưởng Tài nguyên Canada - ông Jonathan Wilkinson cho biết "mối đe dọa hiện hữu" của biến đổi khí hậu là vấn đề cấp bách và đòi hỏi các quốc gia G7 thể hiện "sự lãnh đạo" đối với phần còn lại của thế giới, trong bối cảnh an ninh năng lượng càng trở nên quan trọng hơn. Ông nói: "Chúng ta cần đảm bảo đang phát triển một mạng lưới đáng tin cậy, giá cả phải chăng và không phát thải, và trong bối cảnh đó, năng lượng hạt nhân là một phần quan trọng".

Bà Agnès Pannier-Runacher - Bộ trưởng Chuyên gia Năng lượng của Pháp khẳng định hạt nhân "chắc chắn là một tài sản lớn để đạt được cả sự độc lập về năng lượng và cuộc chiến hiệu quả chống lại biến đổi khí hậu", trong khi ông Grant Shapps, Bộ trưởng An ninh Năng lượng và Net Zero của Vương quốc Anh, cho biết có một "tiếng vang mới" xung quanh hạt nhân: "Việc triển khai công nghệ hạt nhân an toàn, đáng tin cậy là minh chứng cho thấy chúng tôi nghiêm túc với an ninh năng lượng và hành động khí hậu."

Trần Thiện Phương Anh

Ban Kế hoạch và Quản lý khoa học

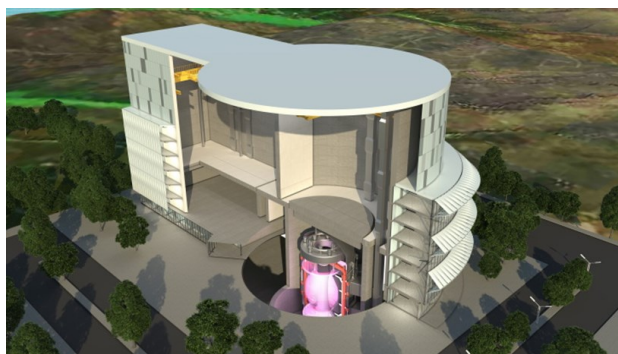
Nguồn: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Nuclear-leaders-issue-call-for-action-from-G7>

HỢP TÁC XÂY DỰNG BẢN SAO KỸ THUẬT SỐ CỦA NHÀ MÁY ĐIỆN NHIỆT HẠCH STEP

Sự hợp tác giữa Cơ quan Năng lượng nguyên tử Vương quốc Anh (UKAEA), công ty Dell Technologies, công ty Intel và Đại học Cambridge sẽ giúp khám phá ra cách thức mà các siêu máy tính và công nghệ trí tuệ nhân tạo (AI – Artificial Intelligence) với khả năng dự đoán tiên tiến có thể tạo ra một "bản sao kỹ thuật số" của thiết kế nhà máy điện nhiệt hạch nguyên mẫu của Vương quốc Anh.

UKAEA thực hiện nghiên cứu năng lượng nhiệt hạch thay mặt cho Chính phủ Vương quốc Anh và giám sát chương trình nhiệt

hạch quốc gia, bao gồm thử nghiệm MAST Upgrade (Mega Amp Spherical Tokamak), cũng như chủ trì dự án Joint European Torus (JET) tại Trung tâm Năng lượng nhiệt hạch Culham – dự án này được xây dựng dành cho các nhà khoa học từ khắp châu Âu. UKAEA cũng đang phát triển thiết kế nhà máy điện nhiệt hạch của riêng mình với kế hoạch xây dựng một nguyên mẫu được gọi là STEP (Spherical Tokamak for Energy Production) tại West Burton ở Nottinghamshire, dự kiến sẽ bắt đầu hoạt động vào năm 2040.



Mặt cắt của nhà máy điện nhiệt hạch STEP (Ảnh: UKAEA)

Các thiết kế kỹ thuật của STEP sẽ được phát triển trong một môi trường ảo sống động và có tính kết nối cao, được gọi là "Vũ trụ ảo công nghiệp".

Bản sao kỹ thuật số sẽ cho phép các nhà khoa học và kỹ sư của STEP tạo ra một thiết kế mạnh mẽ trong thế giới ảo để đảm bảo sự sẵn sàng của hệ sinh thái, giá trị đồng tiền và để giúp STEP đạt được mục tiêu cấp điện lên lưới vào những năm 2040.

"Điện toán Exascale – thế hệ tiếp theo của công nghệ điện toán – sẽ cung cấp các phân tích mạnh mẽ để thử nghiệm các khái niệm ban đầu của STEP", UKAEA cho biết. "Sự hợp tác này tập hợp các nghiên cứu và đổi mới đẳng cấp thế giới, đồng thời hỗ trợ tham vọng của Chính phủ Anh nhằm đưa đất nước trở thành một siêu cường khoa học và công nghệ. Điều này nhằm mục đích làm cho thế hệ tiếp theo của máy tính hiệu năng cao (HPC) có thể tiếp cận được, thực tế để sử dụng và không phụ thuộc vào nhà cung cấp".

“Siêu máy tính Exascale và sự ra đời của kỷ nguyên AI là những cột mốc quan trọng và có khả năng biến đổi tiềm tàng, điều đó sẽ giúp Vương quốc Anh bảo đảm cho dự án STEP đạt được sứ mệnh kết nối điện nhiệt hạch với lưới điện quốc gia vào đầu những năm 2040”, theo ông Rob Akers – Giám đốc Chương trình điện toán tại UKAEA. “Những công nghệ mạnh mẽ này sẽ cho phép chúng tôi đưa tính mạnh mẽ, tính linh hoạt và khả năng phục hồi vào thiết kế của STEP”.

Ông Adam Roe – Giám đốc Kỹ thuật EMEA HPC của Intel, cho biết thêm: “Việc lập kế hoạch thương mại hóa năng lượng nhiệt hạch yêu cầu các tổ chức như UKAEA sử dụng một lượng cực lớn tài nguyên máy tính và trí tuệ nhân tạo cho các mô phỏng. Khối lượng công việc của các máy tính hiệu suất cao (HPC) này có thể được thực hiện bằng nhiều kiến trúc khác nhau, đó là lý do tại sao các giải pháp phần mềm mở giúp tối ưu hóa các nhu cầu về hiệu năng có thể mang lại tính linh động cho mã code vốn không có sẵn trong các hệ thống mã nguồn đóng, độc quyền. Nhìn chung, phần cứng và phần mềm tiên tiến có thể giúp hành trình đến với điện nhiệt hạch thương mại giảm được đáng kể hơn và ít rủi ro – một lợi ích quan trọng trên con đường hướng tới năng lượng bền vững”.

Paul Calleja – Giám đốc Dịch vụ Điện toán nghiên cứu tại Đại học Cambridge, lưu ý rằng: Phòng thí nghiệm Open ZettaScale của Cambridge hợp tác với Intel, Dell, UKAEA và một nhóm các chuyên gia HPC từ Cơ quan Nghiên cứu & Đổi mới của Vương quốc Anh (UK Research and Innovation – UKRI) đã làm việc cùng nhau trong hai năm qua trong một hoạt động đồng thiết kế (co-design) hàng đầu thế giới có tên là Project Dawn. Dự án này nhằm mục đích thiết kế và chế tạo nguyên mẫu một siêu máy tính mới của Vương quốc Anh – siêu máy tính hội tụ AI và mô phỏng GPU/CPU lớp exascale với sức mạnh tính toán có khả năng giúp UKAEA đáp ứng các yêu cầu tính toán không lồ của họ.

Ông Tariq Hussain – Trưởng bộ phận Bán hàng công khai tại Vương quốc Anh của công ty Dell Technologies cho biết: “Dự án này chứng minh vai trò tiên quyết của siêu máy tính trong việc đẩy nhanh quá trình chuyển đổi năng lượng, thúc đẩy quá trình phi cacbon hóa và bảo đảm an ninh năng lượng”.

Phạm Khắc Tuyên
Ban Hợp tác quốc tế

Nguồn: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Digital-twin-of-STEP-fusion-machine-to-be-created>

MẤT BAO LÂU ĐỂ XÂY MỘT Lò PHẢN ỨNG HẠT NHÂN?

Thông thường, cần phải mất trung bình từ 6 đến 8 năm để xây một lò phản ứng hạt nhân. Tuy cũng có trường hợp dưới 5 năm nhưng cũng có trường hợp đòi hỏi nhiều thời gian hơn.

“Cần quá nhiều thời gian để xây một nhà máy điện hạt nhân” là một trong những lý do phổ biến nhất được đưa ra để ngăn cản sự phát triển của năng lượng hạt nhân. Nhưng trên thực tế thì điều này có đúng như vậy không? Thông thường mất bao nhiêu lâu để xây một lò phản ứng hạt nhân?

Để trả lời cho câu hỏi này, tôi đã nghiên cứu dữ liệu về thời gian xây các lò phản ứng hạt nhân trên khắp thế giới, kể từ những năm 1950. Tôi đã tham khảo từ cơ sở dữ liệu PRIS của Cơ quan Năng lượng nguyên tử Quốc tế (IAEA), và các thông tin bổ sung về lò phản ứng từ trang Wikipedia (với một danh sách ấn tượng gồm hơn 600 lò phản ứng).

'Thời gian xây dựng' được xác định là khoảng thời gian cần thiết tính từ khi quá trình xây dựng thực tế được bắt đầu – nghĩa là từ mẻ bê tông đầu tiên được đổ xuống – cho đến ngày lò phản ứng bắt đầu được vận hành thương mại.

Sẽ rất hữu ích để tìm hiểu khoảng thời gian cần thiết cho việc lập kế hoạch xây dựng trước khi bắt đầu quá trình xây dựng nhưng tôi không thể tìm thấy dữ liệu này trên một số lượng lớn các lò phản ứng. Có lẽ đó là một vấn đề mà tôi sẽ quay lại sau.

Dưới đây là tổng hợp nhanh về những gì tôi tìm hiểu được:

Mất khoảng 6 đến 8 năm để xây một lò phản ứng hạt nhân. Đó là thời gian xây trung bình trên toàn cầu.

Các lò phản ứng có thể được xây rất nhanh: một số được xây chỉ trong 3 đến 5 năm. Một số lò có thời gian xây quá lâu, kéo dài nhiều thập kỷ.

Thời gian xây dựng trung bình thay đổi theo từng quốc gia: thời gian xây một lò phản ứng hạt nhân ở Nhật Bản, Hàn Quốc và Trung Quốc là nhanh nhất. Tuy nhiên, hầu hết các quốc gia có hẳn một tổ hợp nhiều lò phản ứng hạt nhân đều có thể xây nhanh chóng, ngay cả khi thời gian trung bình cao hơn nhiều.

Tôi thấy trong tương lai, khó có khả năng các lò phản ứng hạt nhân công suất lớn sẽ được xây ở nhiều quốc gia. Giải pháp tốt nhất để tránh khoảng thời gian xây lâu chính là các lò phản ứng mô-đun nhỏ.

Thời gian trung bình là từ 6 đến 8 năm để xây dựng một lò phản ứng hạt nhân.

Chúng ta hãy bắt đầu tìm hiểu ở phạm vi toàn cầu và xem xét sự phân bố thời gian xây dựng theo thời gian. Điều này bao gồm tất cả các lò phản ứng đi vào hoạt động trước tháng 3 năm 2023 (bao gồm cả những lò đã dừng hoạt động). Tôi sẽ thể hiện chúng dưới dạng biểu đồ.

Thời gian xây dựng nằm trên trục x và tỷ lệ phần trăm lò phản ứng được xây dựng trong thời gian này được hiển thị trên trục y.

Thời gian trung bình để xây dựng một lò phản ứng hạt nhân là 6,3 năm. Giá trị trung bình cao hơn một chút – 7,5 năm.

Một số lò phản ứng được xây rất nhanh: một phần năm lò phản ứng được xây trong

thời gian dưới năm năm, thậm chí một số được xây dưới ba năm. Mỹ đã xây một số lò rất nhanh trong những năm 1950 và 1960. Lò phản ứng nghiên cứu Vallecitos chỉ mất 21 tháng để xây: quá trình xây dựng bắt đầu vào tháng 1 năm 1956 và đi vào hoạt động vào tháng 10 năm 1957.

Phần lớn các lò phản ứng – tỷ lệ 83% - có thời gian xây chưa đến 10 năm.

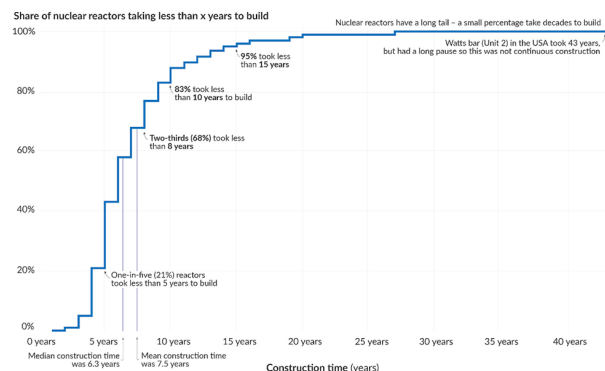
Những gì bạn có thể thấy ở đây là một chuỗi kéo dài: Phần lớn các lò phản ứng được xây trong một khoảng thời gian hợp lý, nhưng có một số lượng nhỏ lại có thời gian xây dài hơn, thậm chí kéo dài nhiều thập kỷ. Tổ máy thứ hai của trạm Watt ở Hoa Kỳ có thời gian xây dựng lâu nhất, mất 43 năm kể từ khi bắt đầu xây dựng đến khi vận hành thương mại. Tuy nhiên, điều quan trọng cần lưu ý là dự án này đã bị tạm dừng giữa chừng (vì Chính phủ quyết định không cần điện nữa) nên nó đã phải trải qua 43 năm xây dựng đứt quãng).

Nhìn chung, bức tranh này cho thấy các nhà máy điện hạt nhân không mất quá nhiều thời gian để xây (trừ một số trường hợp ngoại lệ). Hầu hết các lò được xây trong 8 đến 10 năm nhưng cũng có nhiều lò được xây nhanh hơn nhiều.

Tuy nhiên, điều này không cho chúng ta biết thời gian xây thay đổi như thế nào theo thời gian. Có ý kiến tranh luận rằng trước đây các lò phản ứng được xây nhanh chóng, nhưng các lò phản ứng hiện đại hiện nay với nhiều thủ tục pháp quy khiến cho các lò này xây chậm hơn nhiều so với trước đây. Hãy tìm hiểu xem điều đó có đúng không.

How long does it take to build a nuclear reactor?

Construction time of nuclear reactors that were operable by March 2023. This includes reactors still in operation, plus those that had been shut down or decommissioned.



Note: Construction time is measured from the first day that building begins (not the first day of planning) and ends when commercial production begins. Data source: IEA Power Reactor Information System (PRIS) and Wikipedia. Author: Hannah Ritchie.

Thời gian xây dựng trung bình không tăng nhiều ở phạm vi toàn cầu.

Có phải thế giới đang chậm lại trong việc xây dựng các lò phản ứng hạt nhân? Tôi sẽ sử dụng một số biểu đồ và dữ liệu khác nhau để trả lời câu hỏi này.

Điều này không thực sự đúng trên phạm vi toàn cầu. Trong biểu đồ dạng thanh, tôi đã vẽ thời gian xây dựng trung bình theo thập kỷ. Mỗi lò phản ứng được tính theo thập kỷ kể từ lúc bắt đầu xây, ngay cả khi ngày hoàn thành rơi vào thập kỷ sau. Một lò phản ứng bắt đầu được xây vào những năm 1970 được tính vào những năm 1970, ngay cả khi lò này chưa hoàn thành vào những năm 1990.

Dữ liệu cho thấy thế giới không hề chậm lại. Thời gian thay đổi một chút từ thập kỷ này sang thập kỷ khác nhưng thời gian trung bình không chậm hơn những năm 1970 hoặc 1980.

Average construction time of nuclear reactors by decade

Reactors are grouped by the decade that construction started. Includes all of the world's reactors that came into operation by 2023. Construction times are measured in years from the first placement of cement.

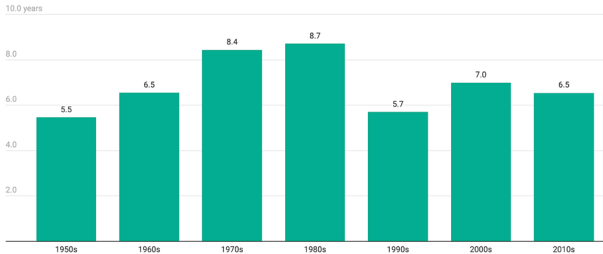


Chart: Hannah Ritchie • Source: IAEA Power Reactor Information System (PRIS) and Wikipedia • Created with Datawrapper

Chúng ta cũng có thể xem xét ở sự phân bố – không chỉ là mức trung bình – của thời gian xây dựng, giống như cách chúng ta đã làm trước đây. Ngoại trừ, lần này chúng ta sẽ xem xét sự phân bố cho các lò phản ứng được bắt đầu xây vào năm 1990 hoặc sau đó.

Điều này được thể hiện trên biểu đồ. Như biểu đồ trước, thời gian xây dựng nằm trên trục x và tỷ lệ các lò phản ứng được xây dựng trong khung thời gian này được hiển thị trên trục y. Tôi đã thông kê bản phân bố trước đó – cho tất cả các lò phản ứng được xây dựng từ năm 1950 – có màu xám nhạt.

Thời gian trung bình cho việc xây dựng các

lò phản ứng sau năm 1990 thực sự thấp hơn so với toàn bộ dữ liệu – chỉ 5,7 năm, trung bình là 6,5 năm.

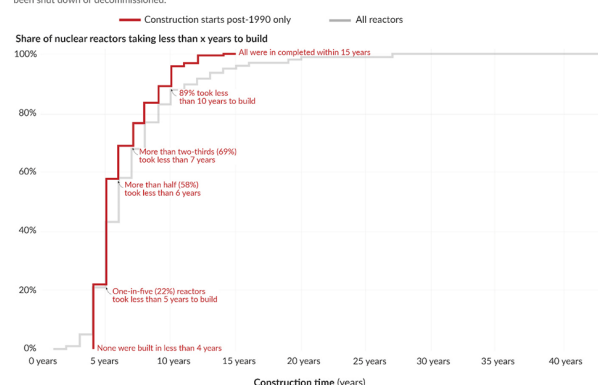
Các lò phản ứng được xây sau năm 1990 có thể được xây nhanh hơn. 58% lò có thời gian xây dưới sáu năm, 89% lò có thời gian xây chưa đến 10 năm. Không có lò phản ứng nào được xây dưới 4 năm, nhưng cũng không cái nào lâu hơn: tất cả các lò phản ứng đã được hoàn thành trong vòng 15 năm.

Dữ liệu này không bao gồm các lò phản ứng vẫn đang trong quá trình xây dựng. Nó có thể làm thay đổi phân bố một chút; một số lò phản ứng đang trong quá trình xây dựng đã bị trì hoãn trong vài năm. Chúng ta sẽ thấy ở phần sau, thời gian xây dựng các lò phản ứng Vogtle ở Hoa Kỳ sẽ mất khoảng 10 năm khi các lò này đi vào hoạt động trong năm nay. Lò Hinkley Point C của Vương quốc Anh cũng sẽ mất khoảng một thập kỷ nếu các tổ máy của lò này được hoàn thành vào năm 2027 và 2028 (đây là một sự giả định khá xa vời).

Trường hợp đặc biệt duy nhất là lò phản ứng hạt nhân của Pháp tại Flamanville. Nếu lò này đi vào hoạt động vào năm 2024, theo như kế hoạch, thì sẽ mất khoảng 16 năm. Nó sẽ là lò được xây lâu nhất, sau năm 1990 cho đến nay.

How long does it take to build a nuclear reactor (post-1990)?

Construction time of nuclear reactors that were operable by March 2023. This includes reactors still in operation, plus those that had been shut down or decommissioned.



Note: Construction time is measured from the first day that building begins (not the first day of planning) and ends when commercial production begins. Data source: IAEA Power Reactor Information System (PRIS) and Wikipedia. Author: Hannah Ritchie.

Giải pháp cuối cùng để trực quan hóa dữ liệu này là vẽ biểu đồ ngày xây theo thời gian. Mỗi dấu chấm là một lò phản ứng và các dấu chấm được tô màu theo vùng.

Một lần nữa, chúng tôi thấy không có sự gia tăng rõ rệt nào về thời gian xây lò phản ứng. Điều đáng chú ý là sự thay đổi theo khu vực. Châu Âu và Hoa Kỳ đã xây rất nhiều lò vào những năm 1950, 60 và 70 nhưng gần đây họ đã không xây nhiều như trước kia.

Ngày nay, các quốc gia ở châu Á chiếm ưu thế trong việc xây lò phản ứng hạt nhân – hãy nhìn xu thế này ở các chấm đỏ kể từ những năm 1990. Có thể thấy, thời gian xây dựng trên toàn cầu không tăng lên vì các quốc gia như Trung Quốc và Hàn Quốc đang đẩy nhanh quá trình xây dựng.

Hãy cùng xem thời gian xây dựng thay đổi như thế nào theo quốc gia.

Construction time of nuclear reactors vs. the year that construction started

Includes all of the world's reactors that came into operation by 2023. Construction times are measured in months from the start date of building, not planning.

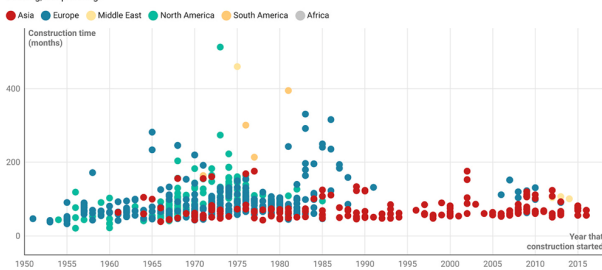


Chart: Hannah Ritchie - Source: IAEA Power Reactor Information System (PRIS) and Wikipedia - Created with Datawrapper

Quốc gia nào có thời gian xây lò phản ứng nhanh nhất và quốc gia nào có thời gian xây lò phản ứng chậm nhất?

Nhật Bản là quốc gia có thời gian xây lò phản ứng nhanh nhất.

Trong bảng, tôi đã chỉ ra thời gian xây dựng trung bình và thời gian của một số quốc gia có nhiều lò phản ứng hạt nhân. Chúng được sắp xếp theo thời gian trung bình, từ nhanh nhất đến chậm nhất. Trung bình, người Nhật mất chưa đến 5 năm để xây một lò phản ứng. Ở Hàn Quốc và Trung Quốc, thời gian xây một lò phản ứng dưới 6 năm. Các quốc gia ở Đông Á thường có thời gian xây lò phản ứng nhanh.

Pháp, Vương quốc Anh và Hoa Kỳ không ở phía sau quá xa - trung bình họ mất thêm vài năm nữa để xây một nhà máy. Điều đáng chú ý là phần lớn các lò này đã được xây cách đây vài thập kỷ. Chúng tôi sẽ sớm

chuyển sang các lò mới hơn.

Ấn Độ mất thời gian trung bình 10 năm để xây một lò phản ứng.

Tuy nhiên, thời gian tối đa và tối thiểu để xây một lò phản ứng cũng cho thấy một câu chuyện quan trọng. Mức thời gian trung bình của Ấn Độ để xây một lò phản ứng cao nhưng họ có thể xây rất nhanh: hai tổ máy của Ấn Độ ở Tarapur chỉ mất 5 năm. Những lò này được xây vào những năm 1960, nhưng gần đây họ cũng đạt được thành công hơn: tổ máy thứ ba của tổ hợp lò phản ứng hạt nhân Kaigai chỉ mất 5 năm xây vào đầu những năm 2000.

Và trong quá khứ thì Pháp, Anh và Mỹ cũng đã xây các lò phản ứng hạt nhân trong thời gian ngắn.

Điều này rõ ràng là tất cả các quốc gia đều có nhà máy hạt nhân được xây trong thời gian dài đáng kể. Ngay cả Nhật Bản cũng có những nhà máy mất gần một thập kỷ để xây (gấp đôi thời gian trung bình).

Tóm lại: Nhật Bản, Hàn Quốc và Trung Quốc nhanh hơn người châu Âu và người Mỹ. Nhưng hầu hết các quốc gia có thể xây dựng nhanh chóng khi họ muốn. Và tất cả các quốc gia cũng đều có nguy cơ bị rơi vào tình trạng trì hoãn.

Country	Median (months)	Mean (months)	Minimum (months)	Maximum (months)
Japan	52	58	39	111
South Korea	65	69	51	124
China	68	73	51	113
France	76	84	59	196
United Kingdom	79	99	33	282
Former USSR countries	81	100	43	331
United States	91	102	21	513
India	123	117	60	176

Tuy nhiên, tôi vẫn chưa trả lời được câu hỏi bởi vì đây là thời gian xây dựng trung bình kể từ những năm 1950. Có nghĩa là đang có sự so sánh việc xây dựng của Hoa Kỳ trong những năm 1970 với Trung Quốc và Hàn Quốc trong những năm 2000. Điều đó không cho chúng ta thấy tốc độ xây các lò phản ứng ở các khu vực khác nhau theo thời gian.

Vấn đề ở đây là chúng tôi không có nhiều dữ liệu gần đây của Hoa Kỳ, Vương quốc Anh và Pháp. Họ chưa xây dựng nhiều. Đó có thể là một tín hiệu theo đúng nghĩa của nó: có thể họ không xây dựng vì họ không có nhiều niềm tin là có thể tiết kiệm thời gian xây dựng và chi phí.

[Nhưng chúng ta có thể nghiên cứu thời gian xây dựng của một số lò phản ứng mà vẫn đang ở trong quá trình được xây dựng. Tại Mỹ, hai lò phản ứng – tổ máy số 3 và số 4 Vogtle – sẽ đi vào hoạt động trong năm nay. Tổ máy 3 sẽ đi vào hoạt động vào tháng 5 hoặc tháng 6 và dự kiến tổ máy 4 sẽ đi vào hoạt động vào cuối năm. Cả hai tổ máy này bắt đầu xây vào năm 2013 và tôi ước tính rằng thời gian xây chúng sẽ là 120 và 122 tháng (khoảng 10 năm). Thời gian đó dài hơn mức thời gian trung bình của Hoa Kỳ, mặc dù nhanh hơn Tổ máy Vogtle 1 và 2 được xây vào những năm 1970 và 1980, mất 130 tháng.

Vương quốc Anh đang trong quá trình xây dựng Hinkley Point C – hai lò phản ứng bắt đầu xây vào năm 2018 và 2019. Dự kiến, 2 lò này sẽ lần lượt đi vào hoạt động vào năm 2027 và 2028 (chậm hơn vài năm so với kế hoạch ban đầu). Điều đó có nghĩa là thời gian xây dựng 2 lò này từ 110 đến 120 tháng, nếu đúng tiến độ, đó là một điều giả định. Một ví dụ nữa cho thấy thời gian xây 2 tổ máy này dài hơn mức trung bình của Vương quốc Anh nhưng chắc chắn không phải là công trình xây dựng chậm nhất cho đến nay.

Cuối cùng, chúng ta có lò phản ứng hạt nhân Flamanville của Pháp với thời gian xây dựng như xung đột với thế mạnh hạt nhân của nước này trong những năm 1970. Quá trình xây dựng bắt đầu vào cuối năm 2007 nhưng ước tính phải đến năm 2024 thì nó mới đưa vào hoạt động. Đến cuối năm 2024 thì sẽ mất khoảng 200 tháng. Và cho đến nay, đây là lò phản ứng có thời gian xây lâu nhất.

Điều gì giải thích sự khác biệt trong thời gian xây các lò phản ứng?

Không rõ tại sao thời gian xây các lò phản ứng lại khác nhau nhiều như vậy.

Vấn đề không phải là quy mô hay loại lò phản ứng – dấu ở cuối bài báo này, tôi chỉ ra rằng chúng có một chút tác động đến thời gian xây dựng.

Có một điều cũng rõ ràng là năng lượng hạt nhân là một công nghệ vốn dĩ không hề chậm: chúng ta nhận thức rằng chúng ta có thể xây các lò phản ứng một cách nhanh chóng (và an toàn). Điều đó có nghĩa là bối cảnh chính trị và kinh tế mới là vấn đề quan trọng nhất.

Một lập luận mà tôi thấy khá thuyết phục là các quốc gia xây nhanh chóng các lò phản ứng khi họ cần. Khi nhu cầu năng lượng của đất nước đang tăng lên, họ cần phải có nguồn cung điện. Trong những năm 1960 và 1970, nhu cầu điện tăng nhanh ở Pháp, Anh, Mỹ và các nước giàu khác. Họ xây nhanh chóng vì sự chậm trễ có nghĩa là mất điện. Gần đây, các quốc gia như Trung Quốc và Hàn Quốc cũng trong tình trạng đó.

Hiện tại, sự cấp bách không còn giống nhau trên khắp châu Âu và Hoa Kỳ nữa (ngoài tính cấp bách của việc khử cacbon ở các hệ thống lưới điện...), điều này có thể giải thích tại sao châu Âu và Mỹ lại xây dựng rất ít lò phản ứng hạt nhân và khi xây dựng thì lại mất nhiều thời gian hơn trước đây.

Một sự lý giải khác là hiện nay có rất nhiều quy định và chi phí phải vượt qua. Với tôi, điều này có vẻ hợp lý nhưng không phải là lời giải thích duy nhất.

Sự lý giải cuối cùng là các quốc gia này đã suy giảm năng lực xây dựng những công trình quy mô lớn. Thời gian xây dựng quá dài không phải là một thực tế của các nhà máy hạt nhân. Khi chúng ta xây liên tiếp các lò phản ứng giống nhau, chúng ta rút ra kinh nghiệm từ quá trình này. Xây dựng lò phản ứng tiếp theo trở nên dễ dàng và nhanh chóng hơn.

Các lò phản ứng mô-đun có thể được xây nhanh hơn nhiều và giảm rủi ro cho các dự án lớn

Gần đây, tôi đã đọc cuốn sách *How Big Things Get Done* của Bent Flyvbjerg và Dan Gardner.

Họ lập luận – khá thuyết phục với dữ liệu về hàng nghìn dự án – rằng các lò phản ứng hạt nhân có chi phí và thời gian xây dựng dài nhất. Điều này được xác định bởi những vấn đề mà chúng ta đã thấy trước đó. Đó là một tình trạng của các dự án lớn nói chung.

Thời gian xây dựng dài và không chắc chắn là rủi ro lớn đối với các nhà hoạch định năng lượng. Điều quan trọng là liệu một phần lớn trong lưới điện của đất nước bạn sẽ đi vào hoạt động thương mại sau 5, 10, 15 hay 20 năm nữa hay không?

Nhược điểm khác của các dự án lớn là có ít cơ hội để 'học' hơn. Nhiều công nghệ mới nổi tuân thủ một mô hình nhất quán trong đó chi phí của chúng giảm xuống và việc xây dựng được cải thiện khi chúng được xây dựng nhiều hơn. Chúng ta học thông qua thực hành. Điều này được gọi là 'đường cong học tập'. Ví dụ, chúng tôi thấy rõ điều đó đối với điện mặt trời và pin ắc qui.

Vấn đề đối với các dự án lớn là bạn có ít dữ liệu hơn để học hỏi. Nếu bạn mới chỉ xây một vài nhà máy hạt nhân – hoặc đã không xây chúng trong nhiều thập kỷ – thì lượng kiến thức bạn có thể thu nhận được rất hạn chế. Điều này thậm chí còn tồi tệ hơn khi mỗi lần bạn xây dựng các thiết kế lò phản ứng khác nhau, nhưng điều này không phổ biến. Để xây nhanh lò phản ứng, bạn cần chọn một thiết kế đã được tiêu chuẩn hóa và triển khai một cách lặp đi lặp lại.

Jessica Lovering và Jameson McBride phát hiện ra rằng “tốc độ học hỏi kinh nghiệm” đối với các lò phản ứng hạt nhân rất tích cực ở Pháp trong những năm 1950 và 1960, và ở Hàn Quốc gần đây. Trong cả hai

trường hợp, các thiết kế lò phản ứng đều được tiêu chuẩn hóa. Họ đã học bằng cách làm đi làm lại cùng một việc. Ở hầu hết các quốc gia và giai đoạn khác, tỷ lệ học hỏi kinh nghiệm là không. Dữ liệu này tập trung vào chi phí nhưng nó cũng có thể đúng với thời gian xây dựng.

Tóm lại, các dự án lớn rủi ro hơn các dự án nhỏ và chúng cho chúng ta ít cơ hội hơn rất nhiều để học cách xây dựng chúng tốt hơn.

Đó là lý do tại sao tương lai của năng lượng hạt nhân có thể là các lò phản ứng kiểu mô-đun nhỏ. Chúng nhỏ hơn các lò phản ứng thông thường và thường được xây bên ngoài tại một địa điểm như nhà máy. Sau đó chúng được vận chuyển và vận hành tại một địa điểm riêng biệt.

Khi đó, lượng điện năng được tạo ra sẽ nhỏ hơn so với một nhà máy lớn, nhưng để bù đắp điều đó, bạn chỉ cần xây thêm các lò phản ứng kiểu mô-đun nhỏ nhiều hơn. Sự chậm trễ trong một phần nhỏ của công trình hạt nhân lớn có thể khiến toàn bộ dự án bị đình trệ. Với thiết kế mô-đun, mỗi tổ máy độc lập với phần còn lại – bạn có thể tiếp tục xây dựng các tổ máy khác nếu một tổ máy bị tạm dừng.

Điều đó cũng có nghĩa là chúng tôi sẽ xây dựng hàng nghìn (hoặc hàng triệu) các lò mô-đun. Điều đó mang lại rất nhiều cơ hội để học cách làm tốt hơn: điều này mang lại cho chúng ta một 'đường cong học hỏi' tốt hơn so với các thiết kế hạt nhân lớn mà chúng tôi đã có trong quá khứ.

Nếu công nghệ phân hạch hạt nhân có thời kỳ phục hưng thì đó sẽ là lò ở dạng mô-đun. Một số quốc gia vẫn đang xây dựng dự án hạt nhân lớn, trong khi đó những quốc gia khác – chẳng hạn như Anh và Mỹ – đã từ bỏ. Những tin tức không tốt trên báo chí và thời gian xây lâu hơn của các lò phản ứng gần đây ở những quốc gia này khiến cho khả năng quay trở lại việc xây các lò này thậm chí còn ít hơn.

Liệu quy mô (công suất) của nhà máy có ảnh hưởng đến thời gian xây dựng không?

Tôi nghĩ rằng để thực hiện những so sánh này, sẽ cần chuyển đổi thời gian xây dựng thành tháng trên mỗi tổ máy điện được thêm vào. Tôi nghĩ rằng quy mô của lò phản ứng hạt nhân sẽ rất quan trọng: những lò phản ứng lớn nhất sẽ mất nhiều thời gian để xây dựng hơn.

Nhưng tôi đã xem xét thời gian xây dựng so với công suất của từng lò phản ứng và không tìm thấy mô hình nào rõ ràng. Nhiều lò phản ứng cỡ trung bình mất nhiều thời gian hơn những lò lớn. Chúng tôi thấy rõ điều này trong biểu đồ.

Trừ khi chúng ta thảo luận về các lò phản ứng rất nhỏ (liên quan đến danh mục 'mô-đun'), quy mô của lò phản ứng không ảnh hưởng nhiều đến thời gian xây dựng.

The capacity of nuclear reactors doesn't have a big impact on construction time
Based on global data of all nuclear reactors online by 2023.

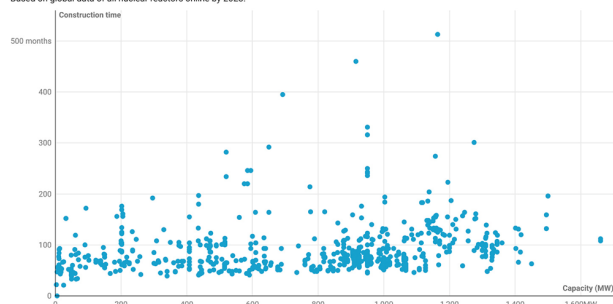


Chart: Hannah Ritchie - Source: IAEA Power Reaction Information System (PRIS) - Created with Datawrapper

Thời gian xây dựng thay đổi như thế nào theo loại lò phản ứng

Tương tự như vậy, tôi nghĩ kiểu thiết kế lò phản ứng có thể tạo ra sự khác biệt. Có thể lò phản ứng nước áp lực sẽ nhanh hơn lò phản ứng nước sôi (hoặc ngược lại).

Tôi đã xem các dữ liệu và không tìm thấy mẫu nào nhất quán. Phần lớn, tôi thấy rằng các lò phản ứng nước sôi đã từng phổ biến và đã lỗi thời. Lò phản ứng nước áp lực đã trở nên phổ biến nhất kể từ những năm 1990.

Nguyễn Thị Thu Hà
Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam

Nguồn: <https://www.sustainabilitybynumbers.com/p/nuclear-construction-time>

IEA : NGUỒN VỐN ĐẦU TƯ CHO NĂNG LƯỢNG SẠCH TĂNG NHANH

Theo báo cáo mới được công bố của Cơ quan Năng lượng Quốc tế IEA, gần 2/3 số vốn trong khoản đầu tư 2,8 nghìn tỷ USD dành cho năng lượng trong năm nay được dự kiến sẽ tập trung cho các công nghệ sạch bao gồm cả hạt nhân. Tuy nhiên, mức tăng ấn tượng trong đầu tư năng lượng sạch lại tập trung ở một số quốc gia.

Tại buổi ra mắt báo cáo Đầu tư Năng lượng Thế giới lần thứ 8, Giám đốc điều hành IEA, ông Fatih Birol cho biết: "Nền kinh tế năng lượng sạch mới đang nổi lên - và đang nổi lên nhanh hơn chúng ta tưởng".

Vài năm gần đây ngành năng lượng bị gián đoạn nghiêm trọng, với "sự liên kết mạnh mẽ" giữa chi phí, mối quan tâm về khí hậu, mối quan tâm về an ninh năng lượng và các chiến lược công nghiệp góp phần tạo nên "động lực phát triển" đằng sau các lựa chọn bền vững hơn. Đầu tư vào các công nghệ năng lượng sạch hiện đang vượt xa đáng kể so với chi tiêu cho nhiên liệu hóa thạch, với hơn 1,7 nghìn tỷ USD dự kiến sẽ đầu tư cho các công nghệ sạch bao gồm năng lượng tái tạo, xe điện, điện hạt nhân, lưới điện, lưu trữ, nhiên liệu ít phát thải, hiệu quả cải tiến và bơm nhiệt trong năm nay.

Ông Birol lập luận: "Đối với mỗi đô la đầu tư vào nhiên liệu hóa thạch, thì có 1,7 đô la hiện đang được sử dụng cho năng lượng sạch. Năm năm trước, tỷ lệ này là một đôi một". Dẫn đầu là năng lượng mặt trời, các công nghệ điện phát thải thấp dự kiến sẽ chiếm gần 90% đầu tư vào sản xuất điện.

Theo báo cáo, đầu tư toàn cầu vào sản xuất điện hạt nhân được IEA dự đoán là 63 tỷ USD vào năm 2023, tăng 10 tỷ USD so với số liệu năm 2022 và tiếp tục tăng hàng năm "Hơn một thập kỷ sau sự cố tại Fukushima Daiichi, ngày càng có nhiều quốc gia thay đổi cái nhìn về cách công nghệ hạt nhân cung cấp lượng khí thải thấp". Tuy nhiên, khoản đầu tư này vẫn thấp hơn khoản đầu tư 64 tỷ USD dự kiến cho sản xuất điện từ dầu mỏ và khí đốt tự nhiên.

Ranh giới

Báo cáo cho thấy, bất chấp những kỳ vọng lạc quan về năng lượng sạch, bức tranh về các quyết định đầu tư (FID) vào năm 2022 vẫn chưa thực sự rõ ràng - và động lực tích cực đằng sau việc đầu tư vào năng lượng sạch chưa được phân bổ đồng đều giữa các quốc gia hoặc lĩnh vực. Đây là điều mà các nhà hoạch định chính sách sẽ cần giải quyết để đảm bảo quá trình chuyển đổi năng lượng an toàn và trên diện rộng.

IEA coi FID là một dấu hiệu cho thấy năng lực hiện hữu trong tương lai. Báo cáo cho thấy FID cho các nhà máy thủy điện lớn và điện hạt nhân giảm đáng kể xuống các mức lần lượt là 14 GW và 4 GW (từ 20 GW và 6 GW), trong đó Trung Quốc là khu vực duy nhất bắt đầu xây dựng nhà máy điện hạt nhân mới vào năm 2022.

Báo cáo cho thấy khoảng 90% mức tăng đầu tư năng lượng sạch đến từ các nền kinh tế tiên tiến và Trung Quốc. Nhà kinh tế trưởng về năng lượng của IEA- ông Ian Gould mô tả Trung Quốc là một cường quốc năng lượng sạch, dẫn đầu các xu hướng đầu tư trong nhiều lĩnh vực. "Nhìn chung, chúng ta có một bức tranh khá mất cân bằng khi xem xét sự lan rộng về mặt địa lý của hoạt động đầu tư năng lượng sạch đó, hầu như tất cả sự tăng trưởng đều đến từ các nền kinh tế tiên tiến và từ Trung Quốc, tuy nhiên, chúng ta thực sự cần thấy sự gia tăng đầu tư vào năng lượng sạch ở những nơi khác".

Dấu hiệu đáng khích lệ

Nếu đầu tư vào năng lượng sạch - dẫn đầu là điện khí hóa - tiếp tục tăng với tốc độ như đã thấy kể từ năm 2021, báo cáo cho thấy rằng tổng chi tiêu vào năm 2030 cho năng lượng phát thải thấp, lưới điện và lưu trữ, cũng như điện khí hóa người sử dụng cuối sẽ vượt quá mức cần thiết để đáp ứng mục tiêu Kịch bản cam kết đã công bố như được nêu trong Triển vọng năng lượng thế

giới, trong đó các cam kết về mức phát thải ròng bằng 0 do các chính phủ công bố cho đến nay được thực hiện kịp thời và đầy đủ. Đối với một số công nghệ, đặc biệt là năng lượng mặt trời sẽ phù hợp với khoản đầu tư cần thiết để đạt được mục tiêu ổn định nhiệt độ trung bình toàn cầu ở mức 1,5°C vào năm 2050.

Tuy nhiên, việc duy trì tốc độ tăng trưởng đó sẽ rất khó khăn, với "câu hỏi lớn" về việc đẩy nhanh triển khai ở các nền kinh tế mới nổi và đang phát triển.

Vì vậy, thông điệp chung cần nêu rõ rằng: "Chúng ta đang ở thời điểm tốt hơn đáng kể so với vài năm trước... vẫn còn một chặng đường rất dài phía trước nhưng động lực khích lệ tất cả chúng ta là cùng nhau hành động".

Trần Thiện Phương Anh

Ban Kế hoạch và Quản lý khoa học

Nguồn: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Clean-energy-investments-increasing-fast-IEA>