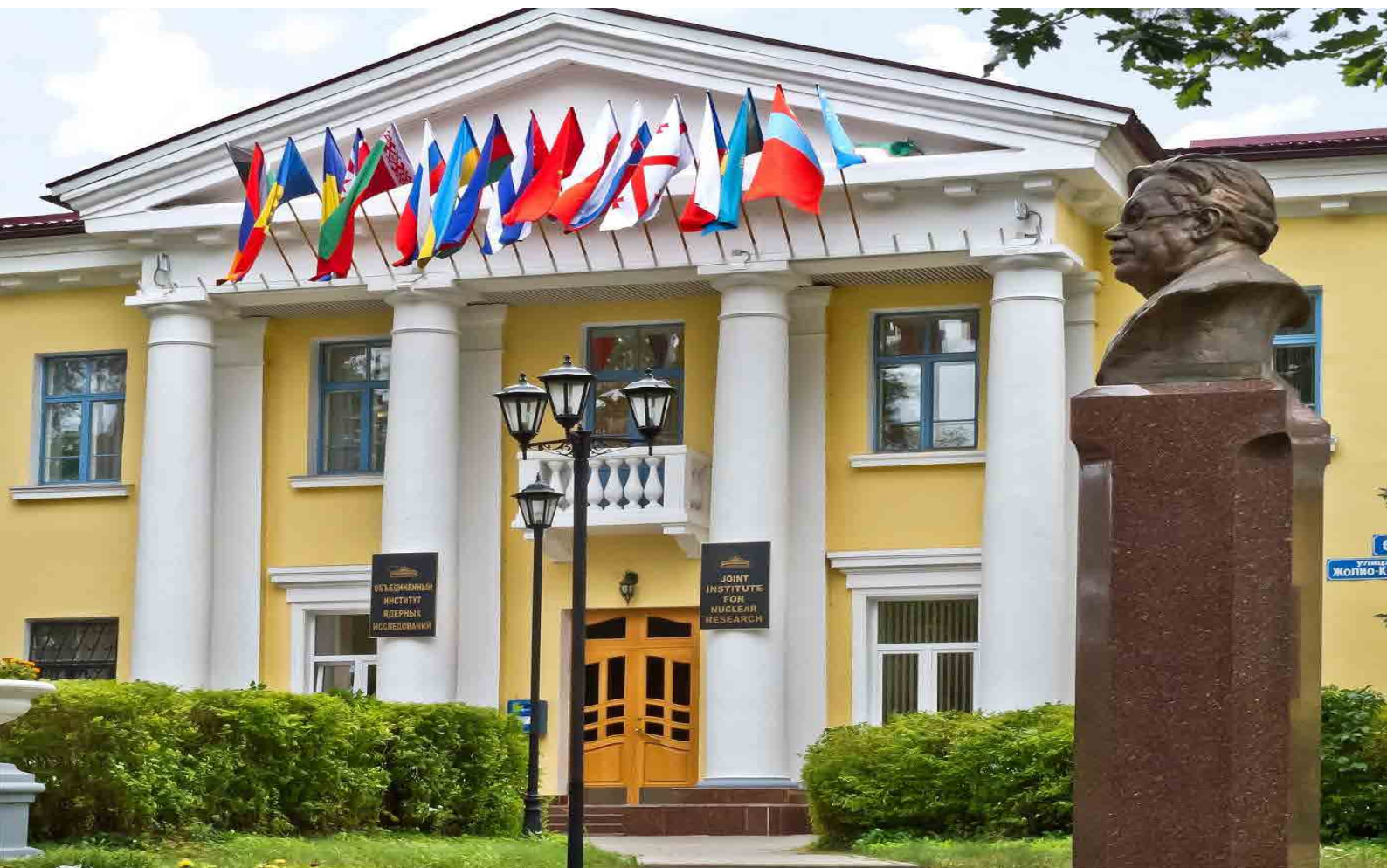


Thông tin

& Khoa học
Công nghệ

HẠT NHÂN

VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM



VIỆN LIÊN HỢP NGHIÊN CỨU HẠT NHÂN DUBNA

PHÁT TRIỂN CHƯƠNG TRÌNH MÁY TÍNH PHỤC VỤ TÍNH TOÁN
SỐ LIỆU DECAY HEAT TỪ CÁC SẢN PHẨM PHÂN HẠCH



VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM

Website: <http://www.vinatom.gov.vn>

Email: infor.vinatom@hn.vnn.vn

SỐ 58
03/2019



BAN BIÊN TẬP

TS. Trần Chí Thành - Trưởng ban
TS. Cao Đình Thanh - Phó Trưởng ban
PGS. TS Nguyễn Nhị Điền - Phó Trưởng ban
TS. Trần Ngọc Toàn - Ủy viên
ThS. Nguyễn Thanh Bình - Ủy viên
TS. Trịnh Văn Giáp - Ủy viên
TS. Đặng Quang Thiệu - Ủy viên
TS. Hoàng Sỹ Thân - Ủy viên
TS. Trần Quốc Dũng - Ủy viên
ThS. Trần Khắc Ân - Ủy viên
KS. Nguyễn Hữu Quang - Ủy viên
KS. Vũ Tiến Hà - Ủy viên
ThS. Bùi Đăng Hạnh - Ủy viên

Thư ký: CN. Lê Thúy Mai
Biên tập và trình bày: Nguyễn Trọng Trang



Địa chỉ liên hệ:

Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam
59 Lý Thường Kiệt, Hoàn Kiếm, Hà Nội
ĐT: (024) 3942 0463
Fax: (024) 3942 2625
Email: infor.vinatom@hn.vnn.vn
Giấy phép xuất bản số: 57/CP-XBBT
Cấp ngày 26/12/2003



THÔNG TIN KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ HẠT NHÂN

NỘI DUNG

1- Viện Liên hợp Nghiên cứu hạt nhân Dubna

TRẦN ĐỨC THIỆP

8- Bằng chứng củng cố sự tồn tại của số neutron magic mới $N=34$ trong hạt nhân ^{52}Ar : Một thách thức với mô hình lý thuyết cấu trúc hạt nhân

LÊ XUÂN CHUNG

11- Trạng thái Hoyle

ĐỖ CÔNG CƯỜNG

16- Phát triển chương trình máy tính phục vụ tính toán số liệu decay heat từ các sản phẩm phân hạch

PHẠM NGỌC SƠN

20- Tổng quan về cấu trúc pha của mô hình chất hạt nhân Chiral

NGUYỄN TUẤN ANH

27- Tương tự quang học của bức xạ Hawking

CAO CHI

32- Đánh giá biến đổi hoá học của nước trong quá trình hoạt hoá bằng plasma lạnh

ĐỖ HOÀNG TÙNG, NGUYỄN THỊ THU THỦY

TIN TRONG NƯỚC VÀ QUỐC TẾ

38- Giải quyết nạn đói tiềm ẩn nhờ công nghệ hạt nhân tại Cộng hòa Sierra Leone

40- Hội thảo về kiểm soát và kế toán vật liệu hạt nhân

VIỆN LIÊN HỢP NGHIÊN CỨU HẠT NHÂN DUBNA



Viện Liên hợp nghiên cứu hạt nhân (LHNCHN) Dubna, Liên bang Nga, là tổ chức khoa học quốc tế liên Chính phủ. Đây là Viện nghiên cứu khoa học liên ngành. Hiện tại, Viện có 18 thành viên bao gồm: Armenia, Azerbaijan, Belarus, Bulgaria, Cuba, Cộng hòa Czech, Georgia, Kazakhstan, Cộng hòa Dân chủ Nhân dân Triều Tiên, Moldova, Mongolia, Ba Lan, Rumania, Nga, Slovakia, Ukraine, Uzbekistan và Việt Nam. Bên cạnh đó còn có sự tham gia của các nước như Ai Cập, Cộng hòa Liên bang Đức, Hungary, Italy, Cộng hòa Nam Phi và Serbia thông qua các thỏa thuận hai bên ở cấp Chính phủ. Viện có nhiều thiết bị khoa học hiện đại bậc nhất thế giới. Đội ngũ khoa học của Viện gồm nhiều nhà khoa học xuất sắc trên thế giới. Hàng năm Viện công bố hàng ngàn công trình khoa học trong những lĩnh vực hiện đại nhất của khoa học. Việt Nam là thành viên của Viện LHNCHN Dubna có thể tận dụng lợi thế này để phát triển khoa học, đặc biệt là trong lĩnh vực Vật lý hạt nhân hiện đại và Năng lượng nguyên tử. Bài báo nhằm giới thiệu cơ cấu tổ chức, các hướng nghiên cứu và các hoạt động của Viện để bạn đọc có thể hiểu về Viện đầy đủ hơn.

Viện Liên hợp nghiên cứu hạt nhân Dubna, Liên bang Nga, là trung tâm khoa học quốc tế liên Chính phủ, một trung tâm khoa học nổi tiếng thế giới, là hình mẫu duy nhất về liên kết nghiên cứu cơ bản và ứng dụng. Hiện tại viện có 18 thành viên là Armenia, Azerbaijan, Belarus, Bulgaria, Cuba, Cộng hòa Czech, Georgia, Kazakhstan, Cộng hòa Dân chủ Nhân

dân Triều Tiên, Moldova, Mongolia, Ba Lan, Rumania, Nga, Slovakia, Ukraine, Uzbekistan và Việt Nam. Bên cạnh đó còn có sự tham gia của các nước Ai Cập, CHLB Đức, Hungary, Italy, Cộng hòa Nam Phi và Serbia thông qua các thỏa thuận hai bên ở cấp Chính phủ.

Cơ quan điều hành tối cao của Viện là Ủy ban đại diện toàn quyền của các Chính phủ của 18 nước thành viên nói trên. Chính sách khoa học của Viện được Hội đồng khoa học soạn thảo. Thành phần của Hội đồng khoa học là những nhà khoa học lớn đại diện cho các nước thành viên cũng như các nhà khoa học nổi tiếng của Đức, Hy Lạp, Ấn Độ, Italia, Trung Quốc, Mỹ, Pháp, Thụy Sĩ, Tổ chức nghiên cứu hạt nhân Châu Âu CERN và nhiều nhà khoa học khác.

Những hướng nghiên cứu chính của Viện Liên hợp nghiên cứu hạt nhân Dubna là Vật lý hạt cơ bản, Vật lý hạt nhân và Vật lý các môi trường đậm đặc bao gồm các lĩnh vực: vật lý lý thuyết, vật lý hạt cơ bản, vật lý hạt nhân tương đối tính, vật lý ion nặng, vật lý năng lượng thấp và trung bình, vật lý hạt nhân với neutron, vật lý vật chất đậm đặc, sinh học bức xạ và nghiên cứu sinh học phóng xạ, mạng máy tính, tính toán và vật lý tính toán.

Viện LHNCHN Dubna có tám phòng thí nghiệm và một trung tâm đại học, trong đó mỗi phòng về quy mô nghiên cứu có thể so sánh với một viện nghiên cứu lớn. Biên chế của Viện khoảng 4500 người với hơn 1200 cộng tác viên khoa học, đội ngũ kỹ sư - kỹ thuật viên khoảng 2000 người. Trong số đó nhiều người là viện sỹ hoặc viện sỹ thông tấn của các Viện Hàn lâm Khoa học, trên 260 tiến sĩ khoa học và 560 tiến sĩ. Các phòng thí nghiệm bao gồm: Phòng thí nghiệm Vật lý lý thuyết mang tên Viện sỹ (VS) N.N. Bogoliubov (BLTP), Phòng thí nghiệm Năng lượng cao mang tên các VS. Veksler và Baldin (VBLHE), Phòng thí nghiệm Phản ứng hạt nhân mang tên VS.

G.N. Flerov (FLNR), Phòng thí nghiệm Các vấn đề hạt nhân mang tên VS. Thông tấn Dzhelepov (DLNP), Phòng thí nghiệm Vật lý neutron mang tên VS. I. Frank (FLNP), Phòng thí nghiệm Công nghệ thông tin (LIT), Phòng thí nghiệm Sinh học bức xạ (LRB) và Trung tâm Đại học (UC).



Hình 1. Kỳ họp của Hội đồng Khoa học Viện Liên hợp nghiên cứu hạt nhân Dubna

Viện được trang bị một loạt các thiết bị thực nghiệm nổi tiếng như máy gia tốc siêu dẫn hạt nhân và ion nặng Nuclotron duy nhất ở châu Á và châu Âu, các máy gia tốc cyclotron U-400 và U-400M với các thông số dòng vô địch để tiến hành các thí nghiệm về tổng hợp hạt nhân nặng và hiếm; lò phản ứng neutron xung có một không hai IBR-2M để nghiên cứu vật lý neutron và vật lý các môi trường đậm đặc, máy gia tốc proton phasotron sử dụng trong điều trị bệnh bằng chùm tia. Viện có các phương tiện tính toán mạnh, hiệu năng cao với các kênh thông tin tốc độ cao kết nối với mạng máy tính quốc tế. Năm 2009 đã đưa vào hoạt động kênh thông tin “Dubna-Matxcova” với khả năng truyền ban đầu là 20 GBite/giây.

Cuối năm 2008, Viện đã đưa vào hoạt động thành công thiết bị thí nghiệm cơ bản mới là IREN-1 (Hệ thiết bị tạo chùm neutron cường độ cao trên cơ sở máy gia tốc điện tử tuyến tính) dùng để nghiên cứu trong lĩnh vực vật lý hạt nhân bằng phương pháp thời gian bay trong vùng năng lượng neutron đến hàng trăm KeV.

Các công việc về dự án “Nuclotron-M” nhằm xây dựng Collider siêu dẫn mới NICA, cũng như việc xây dựng hệ thí nghiệm ion nặng DRIBs-II đang được tiến hành thành công. Việc hiện đại hóa hệ thiết bị các phổ kế của lò phản ứng IBR-2M nằm trong Chương trình chiến lược 20 năm của Châu Âu về nghiên cứu trong lĩnh vực tán xạ neutron được thực hiện theo tiến độ.

Phương châm phát triển theo kế hoạch bảy năm 2010-2016 dự kiến tập trung nguồn lực để đổi mới các cơ sở gia tốc và lò phản ứng của Viện và liên kết các thiết bị thí nghiệm chính của Viện vào hệ thống thống nhất của thượng tầng khoa học châu Âu.

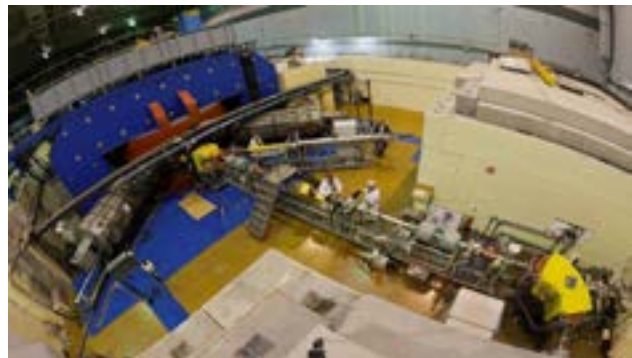


Hình 2. Máy gia tốc siêu dẫn hạt nhân và ion nặng Nuclotron tại PTN Veksler-Baldin

Một khía cạnh quan trọng trong hoạt động của Viện Liên hợp nghiên cứu hạt nhân Dubna là sự hợp tác khoa học - kỹ thuật quốc tế rộng rãi. Viện có mối quan hệ hợp tác với gần 800 trung tâm khoa học và các trường đại học trong 62 nước trên toàn thế giới. Chỉ riêng ở Nga, Viện Dubna đang tiến hành hợp tác với 170 trung tâm nghiên cứu, trường đại học, các xí nghiệp công nghiệp và công ty thuộc 55 thành phố.

Viện Dubna hợp tác tích cực với tổ chức nghiên cứu hạt nhân châu Âu CERN trong việc giải quyết nhiều bài toán lý thuyết và thực nghiệm của Vật lý năng lượng cao. Hiện tại, các nhà vật lý của Viện đang tham gia vào công việc của các dự án của CERN. Sự đóng góp quan trọng của Viện

Dubna vào việc thực hiện dự án thế kỷ “Máy gia tốc hạt lớn - LHC” (Larger Hadron Collider) đã nhận được sự đánh giá cao của cộng đồng khoa học quốc tế.



Hình 3. Máy gia tốc cyclotron U-400M tại PTN Các phản ứng hạt nhân Flerov

Viện đã hoàn thành đúng thời hạn những trách nhiệm về soạn thảo và xây dựng các hệ thống riêng biệt các detector ATLAS, CMS, ALICE và bản thân thiết bị LHC. Các nhà vật lý của Viện Dubna được tham gia vào việc chuẩn bị tiến hành với một phạm vi rộng lớn các nghiên cứu cơ bản trong lĩnh vực vật lý hạt trên LHC. Tổ hợp thông tin - tính toán trung tâm của Viện được sử dụng một cách tích cực cho các bài toán liên quan đến các thí nghiệm trên LHC và những dự án khoa học khác đòi hỏi những tính toán có quy mô lớn. Trong thời gian hơn 60 năm Viện đã hoàn thành được một phạm vi lớn các nghiên cứu và đào tạo các cán bộ khoa học chất lượng cao cho các nước thành viên. Trong số đó có những người giữ các cương vị như Chủ tịch các viện hàn lâm khoa học, lãnh đạo các viện nghiên cứu hạt nhân lớn, các trường đại học của các nước thành viên. Tại Viện cũng được tạo các điều kiện cần thiết để đào tạo các chuyên gia trẻ tài năng. Khoảng 40 năm tại thành phố Dubna đã hoạt động phân viện của trường ĐHTH Lômônôxốp. Trung tâm đào tạo khoa học của Viện cũng như bộ môn vật lý lý thuyết và hạt nhân của trường ĐHTH quốc tế Dubna về tự nhiên, xã hội và con người được thành lập.



Hình 4. Máy gia tốc PHASOTRON tại PTN Những vấn đề hạt nhân Dzhelapov

Hàng năm Viện gửi trên 1500 bài báo và báo cáo khoa học của trên 3000 tác giả đến rất nhiều tạp chí và ban tổ chức các hội nghị. Công bố khoa học của Viện Dubna được phân phối đến trên 50 nước trên thế giới. Viện Dubna chiếm một nửa các phát minh (khoảng 40) trong lĩnh vực vật lý hạt nhân được đăng ký phát minh tại Liên Xô cũ.

Như một sự công nhận sự đóng góp to lớn của các nhà khoa học của Viện Dubna trong Vật lý và Hóa học hiện đại, Hiệp hội hóa học cơ bản và hóa học ứng dụng quốc tế đã quyết định đặt tên cho nguyên tố 105 trong Bảng tuần hoàn các nguyên tố Mendeleev là Dubnium. Lần đầu tiên trên thế giới những nguyên tố nặng với thời gian sống dài có số Z liên tiếp là 113, 114, 115, 116, 117 và 118 đã được các nhà khoa học Viện Dubna tổng hợp. Những phát minh quan trọng này đã làm rạng rỡ nhiều năm phần đầu của các nhà khoa học thuộc các nước khác nhau trong việc tìm kiếm “Đảo bền của các nguyên tố siêu nặng”. Gần đây các nguyên tố 114, 118 được mang tên Viện sỹ Flerov-Flerovium và Viện sỹ Oganessian-Oganesson những nhà khoa học lớn, tiên phong trong lĩnh vực tổng hợp hạt nhân siêu nặng.

Hơn 20 năm qua, Viện Dubna tham gia vào thực hiện Chương trình xây dựng vành đai đổi mới của Dubna. Năm 2005, Chính phủ Liên

bang Nga đã ký Nghị định “Về việc xây dựng trên lãnh thổ Dubna đặc khu kinh tế bằng đầu tư kỹ thuật”. Đặc trưng này được phản ánh qua công nghệ vật lý hạt nhân và công nghệ thông tin. Để thực hiện các nhiệm vụ trong đặc khu kinh tế, Viện đã xây dựng trên 50 dự án đổi mới, 9 công ty của thành phố Dubna có nguồn gốc từ Viện Dubna. Viện Dubna là trung tâm khoa học lớn với nhiều chương trình nghiên cứu trong đó bao gồm các nghiên cứu phối hợp về vật lý hạt nhân cơ bản, soạn thảo và ứng dụng các công nghệ mới nhất cũng như đào tạo đại học trong các lĩnh vực tương ứng.



Hình 5. Lò phản ứng hạt nhân neutron xung IBR-2M tại PTN neutron I. Frank

Việc nâng công suất của lò phản ứng neutron xung IBR-2 hoàn thành đã dẫn đến những thí nghiệm đầu tiên với chùm neutron được tạo ra. Điều này mở ra con đường cho một chương trình nghiên cứu đầy lý thú trong lĩnh vực vật lý vật chất đậm đặc theo chủ trương cập nhật những người sử dụng của Phòng thí nghiệm Vật lý neutron mang tên VS. I. Frank. Lò phản ứng neutron xung IBR-2 được hiện đại hóa và đạt công suất thiết kế 20 MW. Nhiều thí nghiệm đã được tiến hành trên các phổ kế như YuMO, HRFD, REMUR, REFLEX, FSD, DN-12, DIN-2PI. Một số phổ kế được nâng cấp như DN-2, SKAT/Epsilon, NERA-PR và đang được chế tạo như DN-6, GRAINS. Các phổ kế này đóng vai trò quan trọng đối với các nghiên cứu trên lò phản

ứng trong tương lai, đặc biệt là trong lĩnh vực vật lý các vật chất đậm đặc và vật lý hạt nhân với neutron. Theo thống kê hiện nay đã có 153 đề xuất nghiên cứu trên lò IBR-2M từ 17 nước bao gồm Vật lý 57, Hóa học 22, Khoa học vật liệu 37, sinh học 16 và các lĩnh vực khác 21. Trong số đó Viện Dubna chiếm 29% và các viện nghiên cứu khác là 71%.

Giữa những thành tựu khác của Viện phải kể đến là sự tiến bộ trong việc phát triển tổ hợp máy gia tốc của Phòng thí nghiệm Vật lý năng lượng cao VBLHEP và sự tiến triển đáng kể trong việc thực hiện dự án Nuclotron NICA và dự án Tổ hợp NICA trên cơ sở ý kiến của giới chuyên môn khoa học và công nghệ quốc tế. Thời gian làm việc của máy gia tốc siêu dẫn Nuclotron cũng vượt mức kế hoạch dự kiến. Trên cơ sở đó nhiều số liệu về vật lý năng lượng cao đã được các nhà khoa học của Viện Dubna và các nước khác là Đức, Belarus, Ba Lan, Hy Lạp, Trung Quốc, Séc thu nhận. Các nhà khoa học Viện Dubna cũng đã thu được nhiều thành tựu tại các phòng thí nghiệm khác trên thế giới như CERN, FermiLab, GSI, DESY và CRNS. Các nhóm khoa học của Viện đã tham gia trong việc tìm kiếm hạt Higg trong các dự án của Châu Âu là ALICE, ATLAS và CMS. Việc tham gia vào các thí nghiệm quốc tế có quy mô lớn như vậy có ý nghĩa quan trọng sống còn để tiếp tục phát triển thành công của Viện. Việc dự án Tổ hợp NICA được thông qua ý kiến của giới chuyên môn quốc tế là điều kiện tiên quyết để được cung cấp tài chính. Dự án này được xem là dự án khổng lồ Megaproject NICA (NICA được lấy từ một số chữ viết in trong Nuclotron-based Ion Collider fAcility). Mục đích của dự án này là nghiên cứu trong phòng thí nghiệm những tính chất của vật chất hạt nhân trong vùng mật độ baryon cực đại. Vật chất như vậy chỉ tồn tại ở những giai đoạn sớm của sự tiến triển của vũ trụ chúng ta và bên trong các ngôi sao neutron.

Những nhiệm vụ vật lý của dự án sẽ được nghiên cứu đối với các ion khác nhau từ proton đến Au trong vùng năng lượng từ 3 đến 11A GeV bao gồm: sự thăng giáng sự kiện-sự kiện trong việc tạo ra hadron; sự tương quan femtoscopic; dòng trực tiếp và dòng elliptic đối với các hadron khác nhau; suất lượng và phổ (thăm dò các pha môi trường hạt nhân) của sự tạo ra các hyperon nhiều tính lạ (multi-strange hyperon production); thăm dò photon và electron (photon and electron probe); và sự bất đối xứng điện tích.

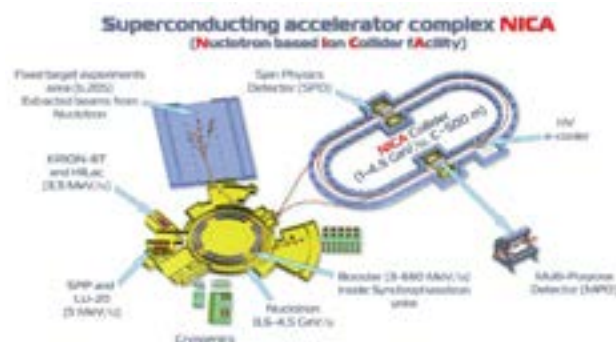
Chương trình nghiên cứu trên các máy gia tốc U400 và U400M đã được thực hiện thắng lợi. Trong những năm gần đây đã ghi nhận những kết quả to lớn trong việc tổng hợp các nguyên tố siêu nặng trong các phản ứng gây bởi hạt nhân ^{48}Ca . Lần đầu tiên đã nhận được bằng chứng thực nghiệm về sự tồn tại của đảo bền các nguyên tố nặng. Ba mươi lăm hạt nhân siêu nặng mới với điện tích $Z=104-116$ và 118 đã được tổng hợp. Các tính chất hóa học của các nguyên tố siêu nặng và cơ chế phản ứng dẫn đến việc hình thành các hạt nhân này, các tính chất của các hạt nhân nhẹ lạ (ví dụ ^5H , ^{10}He và v.v...), các phản ứng hạt nhân gây bởi hạt nhân halo giàu neutron ^6He , năng phổ của hạt nhân nặng không bền, các mode phân hạch lạ và rất nhiều vấn đề khác của vật lý hạt nhân năng lượng thấp đang được nghiên cứu mạnh mẽ. Năm 2010 hạt nhân siêu nặng có số khối $Z=117$ đã được tổng hợp. Các đồng vị $^{293}117$ và $^{294}117$ đã được tạo ra từ phản ứng tổng hợp của các hạt nhân ^{48}Ca và ^{249}Bk . Các tính chất phân rã đo được đã chỉ ra rằng tính bền của các hạt nhân nặng với điện tích bằng và lớn hơn $Z=111$ tăng lên rất mạnh xác nhận tính hợp lệ của khái niệm tồn tại một đảo bền với độ bền tăng cường đối với các hạt nhân siêu nặng. Năm 2011 đã khẳng định sự tồn tại của hạt nhân 117. Các thành tựu của Viện Dubna trong lĩnh vực tổng hợp và hóa học của các nguyên tố siêu nặng nhận được sự công

nhận quốc tế qua việc ghi nhận mới đây việc phát minh và sự khẳng định liên tiếp nguyên tố 117 trong Bảng tuần hoàn nguyên tố Mendeleev như là kết quả của một thí nghiệm vật lý duy nhất. Điều đặc biệt là tại Viện để thực hiện nghiên cứu cấu trúc và phản ứng hạt nhân trên các máy gia tốc đã xây dựng các hệ thí nghiệm hiện đại bậc nhất thế giới như: Thiết bị tách hạt nhân giạt lùi bằng buồng chứa khí (GAS-FILLED SEPARATOR-GFRS); Thiết bị tĩnh điện tách hạt nhân sản phẩm VASSILISSA (VASSILISSA ELECTROSTATIC SEPARATOR); Thiết bị tách hạt nhân sản phẩm MASHA (MASHA SEPARATOR; Phổ kế thời gian bay hai cánh tay (CORSET double arm time-of-flight spectrometer; Thiết bị nghiên cứu kiểu phân hạch “mini FOBOS” SETUP; Thiết bị tách chùm hạt ACCULINNA.

Phòng thí nghiệm Sinh học bức xạ tiến hành nghiên cứu trong một lĩnh vực khoa học đang phát triển nhanh là động học của các cấu trúc sinh học chức năng. Việc sử dụng phương pháp động học phân tử để nghiên cứu rhodopsin (sắc tố nhìn thấy của tế bào nhận ánh sáng) là vấn đề rất thời sự theo quan điểm cơ bản và ứng dụng. Những kết quả mới về cơ chế các phản ứng siêu nhanh trong các hệ phân tử sinh học vĩ mô là hết sức quan trọng để giải thích quá trình cơ bản về tiếp nhận ánh sáng nhìn thấy. Về mặt ứng dụng những nghiên cứu này mở ra những triển vọng trong phát triển các thiết bị tử điện sinh học và quang điện tử. Phòng thí nghiệm cũng đã tiến hành nghiên cứu về gien bức xạ (Radiation Genetics Research). Sự phá hủy cấu trúc gien trong tế bào của người do chiếu xạ ẩn (hidden radiation) đã được nhận dạng và phát hiện sự phá vỡ ADN mạch đơn và mạch kép. Cơ chế của nguồn gốc bệnh đục nhân mắt gây bởi các hạt tích điện nặng được tiến hành nghiên cứu.

Từ năm 2011 đã tiến hành việc điều trị bệnh nhân bằng phương pháp chiếu xạ bởi hạt

nhân nặng (Hadron Therapy) trên cơ sở máy gia tốc phasotron. Thời gian hoạt động của phasotron trong năm là hàng trăm giờ và hàng trăm bệnh nhân đã được điều trị trên chùm proton chuyên dụng cho y học của máy gia tốc này. Dưới sự chỉ đạo của Cơ quan sinh y Liên bang Nga, Viện Dubna đã tham gia vào việc thực hiện Dự án “Trung tâm Proton Tp. Dmitrov” thuộc Chương trình Liên bang. Trung tâm công nghệ mới được xây dựng tại Phòng thí nghiệm các vấn đề hạt nhân để lắp ráp và thử nghiệm các máy gia tốc cyclotron proton sử dụng cho mục đích y học.



Hình 6. Sơ đồ tổ hợp NICA trên cơ sở tổ hợp máy gia tốc siêu dẫn Nuclotron

Có thể nói rằng Viện Liên hợp nghiên cứu hạt nhân Dubna đã đạt được những thành tựu to lớn trong quá trình đổi mới và hiện đại hóa các thiết bị và các hướng nghiên cứu. Trong những năm tới Viện sẽ tiếp tục phấn đấu để hoàn thành mục tiêu của kế hoạch phát triển bảy năm 2017-2023. Với những thành tựu to lớn mà Viện đã thu được trong những năm qua; với sự ủng hộ mạnh mẽ của các nước thành viên đối với các hoạt động của Viện; với sự tư vấn rất có giá trị của Hội đồng khoa học và Hội đồng toàn quyền; với khí thế hăng hái của các nhà khoa học và các kỹ sư trong sự hợp tác quốc tế rộng rãi nhất định Viện sẽ hoàn thành được mục tiêu của mình.

Việt Nam là nước thành viên của Viện Liên hợp Nghiên cứu Hạt nhân Dubna. Nơi đây

từ đầu thập niên sáu mươi của thế kỷ trước, nhiều thế hệ các nhà vật lý hạt nhân nước ta đã vinh dự đến làm việc và học tập tại Viện. Trong số đó, nhiều người đã trưởng thành và giữ vai trò quan trọng trong việc phát triển Vật lý hạt nhân và Năng lượng nguyên tử ở nước ta. Nhiều cán bộ khoa học được cử sang tham gia các kỳ họp của Ủy ban đại diện toàn quyền và Hội đồng khoa học của Viện. GS.VS. Nguyễn Văn Hiệu, nguyên Viện trưởng Viện Khoa học Việt Nam là đại diện toàn quyền lâu nhất của Việt Nam tại Viện LHNCHN Dubna. Hiện nay, GS.TS. Lê Hồng Khiêm là đại diện toàn quyền của Việt nam và GS.TS. Trần Đức Thiệp là Ủy viên Hội đồng Khoa học của Viện. Với tư cách là nước thành viên, Việt Nam có thể cử nhiều cán bộ sang làm việc tại Viện LHNCHN Dubna để đào tạo đội ngũ cán bộ khoa học phục vụ cho sự phát triển của đất nước.

Trần Đức Thiệp

GS.TS., Ủy viên Hội đồng Khoa học

Viện Liên hợp NC hạt nhân Dubna

BẰNG CHỨNG CỨNG CỐ SỰ TỒN TẠI CỦA SỐ NOTRON MAGIC MỚI $N=34$ TRONG HẠT NHÂN ^{52}Ar MỘT THÁCH THỨC VỚI MÔ HÌNH LÝ THUYẾT CẤU TRÚC HẠT NHÂN

PHYSICAL REVIEW LETTERS 122, 072502 (2019)

How Robust is the $N=34$ Subshell Closure? First Spectroscopy of ^{52}Ar

H. N. Liu,^{1,2,3,*} A. Obertelli,^{2,1,4} P. Doornenbal,⁴ C. A. Bertulani,^{5,2} G. Hagen,^{6,7} J. D. Holt,⁸ G. R. Jansen,^{9,6}
T. D. Morris,^{6,7} A. Schwenk,^{2,10,11} R. Stroberg,⁸ N. Achouri,¹² H. Baba,⁴ F. Browne,⁴ D. Calvet,¹ F. Château,¹ S. Chen,^{13,4,14}
N. Chiga,⁴ A. Corsi,¹ M. L. Cortés,⁴ A. Delbart,¹ J.-M. Gheller,¹ A. Giganon,¹ A. Gillibert,¹ C. Hilaire,¹ T. Isobe,⁴
T. Kobayashi,¹⁵ Y. Kubota,^{4,16} V. Lapoux,¹ T. Motobayashi,⁴ I. Murray,^{12,4} H. Otsu,⁴ V. Panin,⁴ N. Paul,¹ W. Rodriguez,^{17,4}
H. Sakurai,^{4,18} M. Sasano,⁴ D. Steppenbeck,⁴ L. Stuhl,¹⁶ Y. L. Sun,^{1,2} Y. Togano,¹⁹ T. Uesaka,⁴ K. Wimmer,¹⁸
K. Yoneda,⁴ O. Aktas,³ T. Aumann,² L. X. Chung,²⁰ F. Flavigny,¹² S. Franchoo,¹² I. Gašparić,^{21,2} R.-B. Gerst,²² J. Gibelin,²³
K. I. Hahn,²⁴ D. Kim,^{24,4} T. Koiwai,¹⁸ Y. Kondo,²⁵ P. Koscooglou,^{2,26} J. Lee,¹⁴ C. Lehr,² B. D. Linh,²⁰ T. Lokotko,¹⁴
M. MacCormick,¹² K. Moschner,²² T. Nakamura,²⁵ S. Y. Park,²⁴ D. Rossi,² E. Sahin,²⁷ D. Sohler,²⁸
P.-A. Söderström,² S. Takeuchi,²⁵ H. Törnqvist,²⁶ V. Vaquero,²⁹ V. Wagner,² S. Wang,³⁰ V. Werner,² X. Xu,¹⁴
H. Yamada,²⁵ D. Yan,²⁰ Z. Yang,⁴ M. Yasuda,²⁵ and L. Zanetti²

Đầu năm 2019, các nhà khoa học tại Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân, Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam cùng các đồng nghiệp quốc tế đã công bố kết quả nghiên cứu đầu tiên về trạng thái kích thích của hạt nhân ^{52}Ar trên tạp chí *Physical Review Letters*, tạp chí chuyên ngành uy tín hàng đầu của Vật lý. Kết quả đã củng cố giả thiết về sự tồn tại số notron magic mới $N=34$. Đồng thời nó cũng đặt ra nhiều câu hỏi và thách thức cho các mô hình lý thuyết như: Những lực tương tác nào có vai trò quan trọng trong các hạt nhân nằm xa đường bền? Liệu rằng sẽ có hay không một xu hướng chung cho liên kết hạt nhân bền vững? Hay cần phải có những điều chỉnh đối với hiểu biết của khoa học về lực tương tác mạnh? Thí nghiệm trên được thực hiện tại Viện Nghiên cứu Hóa Lý RIKEN, Nhật Bản. Với điều kiện hiện nay, kết quả về ^{52}Ar nằm trên giới hạn cho phép tiệm cận đến của những thiết bị hiện đại nhất.

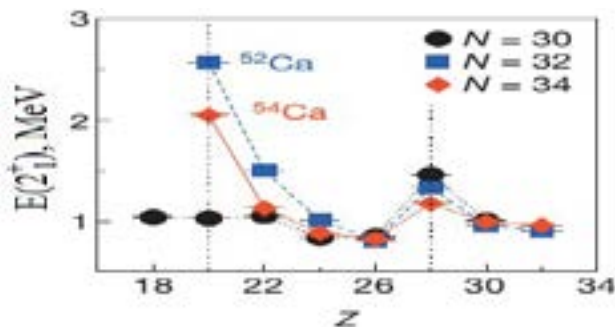
Chúng ta biết rằng cấu trúc hạt nhân có nguồn gốc từ tương tác mạnh giữa các nucleon. Trước khi có những khám phá về hạt nhân không bền (giàu notron hoặc giàu proton, thời gian sống ngắn và dễ dàng phân rã thành hạt nhân khác), mô hình mẫu vỏ được đề xuất đầu tiên bởi D. Ivanenko và E. Gapon năm 1932, sau đó được Maria Goeppert Mayer và J. Hans D. Jensen tiếp

tục phát triển năm 1949, là cơ sở để giải thích cấu trúc hạt nhân. Ý tưởng trong mô hình này là hạt nhân bao gồm các nucleon được sắp xếp trên những quỹ đạo có năng lượng nhất định, lấp đầy từ thấp đến cao. Một số lớp có khoảng cách rất xa với lớp kế tiếp, được gọi là lớp vỏ đóng. Số lượng nucleon tương ứng lấp đầy lớp vỏ đóng là 2, 8, 20, 28, 50, 82 và 126. Các số này được gọi

là số magic. Hạt nhân magic trở nên đặc biệt bền vững, rất khó có thể kích thích chúng bởi mức năng lượng kích thích đầu tiên, $E(2_1^+)$, của chúng rất cao. Mô hình lớp vỏ đã trở thành cơ sở vững chắc để giải thích cấu trúc của các hạt nhân bền.



Hình 1 - Cán bộ khoa học Việt Nam tham gia thí nghiệm tại RIKEN, Nhật Bản

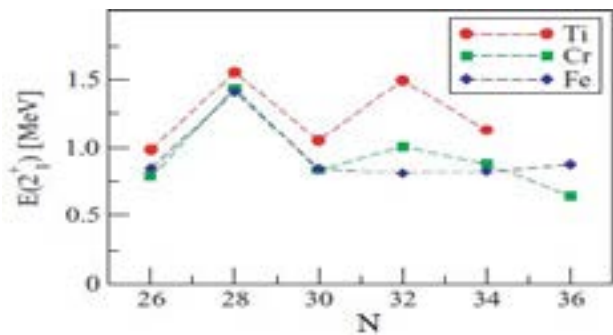


Hình 2: Hệ thống năng lượng kích thích $E(2_1^+)$ của các đồng vị theo số Z khác nhau. Với $Z=20$, năng lượng $E(2_1^+)$ tăng vọt khi số neutron $N=32,34$, chứng tỏ lớp vỏ bền vững trong các đồng vị $^{52,54}\text{Ca}$. Hình vẽ lấy từ Nature 502 (2013) 207.

Kể từ thập niên 90 của thế kỷ trước, nghiên cứu cấu trúc hạt nhân không bền đã trở thành vấn đề thời sự thu hút được sự quan tâm rộng rãi của các nhà khoa học. Số liệu thực nghiệm ngày càng nhiều và thách thức tính đúng đắn của mô hình lớp vỏ. Thực nghiệm chỉ ra rằng một số hạt nhân không bền có mức kích thích năng lượng đầu tiên cao hơn hẳn các hạt nhân lân cận nhưng chúng

không phải là số magic giống như tiên đoán từ mẫu vỏ. Chẳng hạn như $^{52,54}\text{Ca}$ với số neutron lần lượt là $N=32,34$, năng lượng $E(2_1^+)$ của chúng tăng vọt so với lân cận như trong hình 2.

Như vậy có thể coi cả $N=32$ và 34 là số magic mới trong các hạt nhân không bền hoàn toàn khác tiên đoán từ mẫu vỏ. Trong trường hợp $N=34$, biểu hiện magic chỉ tìm thấy ở Ca ($Z=20$). Đối với các hạt có $Z>20$, thực nghiệm lại chỉ ra rằng không có dấu hiệu của một cực đại địa phương khi hệ thống hóa số liệu đo đạc cho Ti , Cr và Fe lần lượt có $Z=22, 24$ và 26 như trên hình 3.

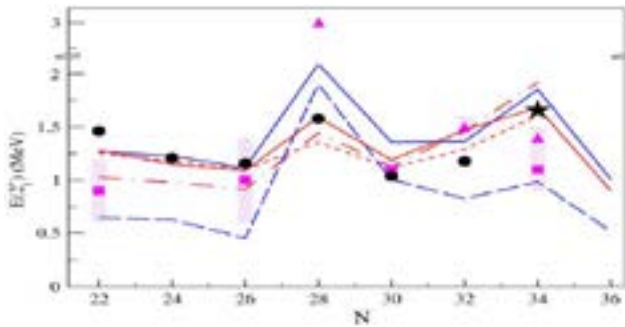


Hình 3: Hệ thống năng lượng $E(2_1^+)$ theo N cho các đồng vị Ti , Cr và Fe . Không thấy có cực đại địa phương tại $N=34$ với các đồng vị có $Z>20$ này. Hình vẽ lấy từ Physical Review C 74 (2006) 064315

Ở chiều ngược lại, kịch bản tiến hóa của lớp vỏ xảy ra như thế nào khi $Z<20$? Để trả lời câu hỏi này cần thêm rất nhiều thí nghiệm để hệ thống hóa số liệu thực nghiệm. Đã có những tiên đoán lý thuyết cho rằng tính magic $N=34$ được lưu giữ trong hạt nhân ^{52}Ar . Theo số liệu đo đạc mới nhất của nhóm nghiên cứu, năng lượng kích thích $E(2_1^+)$ của hạt nhân này tăng vọt một cách ngạc nhiên như đỉnh ngôi sao trên hình 4, so với của các đồng vị Ar khác. Điều này hoàn toàn phù hợp với những tiên đoán trước đó, ủng hộ giả thiết lớp vỏ đóng tại $N=34$.

Rõ ràng còn rất nhiều câu hỏi liên quan cấu trúc của các hạt nhân không bền mà nguồn

gốc của chúng là từ lực tương tác mạnh.



Hình 4: Hệ thống hóa năng lượng $E(2_1^+)$ theo N của đồng vị Ar. Điểm tròn đen là số liệu thực nghiệm thu thập trên các tài liệu đã được công bố. Điểm ngôi sao là số liệu công bố tại *Physical Review Letters* 122 (2019) 072502. Các đường và điểm khác là những tiên đoán lý thuyết.

Để có thêm các số liệu thực nghiệm, cộng đồng quốc tế đang tiếp tục nâng cấp trang thiết bị như dự án FAIR tại Viện Nghiên cứu ion nặng GSI, CHLB Đức, thiết bị gia tốc SPIRAL2 tại GANIL, CH Pháp, FRIB tại Trường đại học Michigan, Hoa Kỳ, HIAF tại Lanzhou, Trung Quốc, hay RAON tại Daejeon, Hàn Quốc, ... Với thế hệ máy gia tốc mới, trong tương lai bức màn bí mật nói trên sẽ dần được hé lộ.

Chi tiết kết quả nghiên cứu ^{52}Ar được đăng trên: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.122.072502>.

Lê Xuân Chung

Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân

TRẠNG THÁI HOYLE

Trạng thái 7,65 MeV, $J^\pi = 0^+$, trạng thái kích thích thứ hai trong ^{12}C được gọi là trạng thái Hoyle sau Fred Hoyle đề xuất về sự tồn tại của trạng thái này để giải thích cho độ phổ biến carbon-12 trong vũ trụ. Trạng thái này có cấu trúc khá bất thường trong đó mối tương quan giữa các cụm α (α -cluster) với nhau đóng vai trò quan trọng hơn mối tương quan giữa các nucleon với nhau. Sự hiểu biết về các tính chất của trạng thái Hoyle, ví dụ bán kính và sự kích thích của nó, là trọng tâm nghiên cứu của phần lớn các thí nghiệm. Trạng thái Hoyle cũng đã trở thành nền tảng cho phát triển lý thuyết hạt nhân tiên tiến nhất.

I. MỞ ĐẦU

Trong số các đồng vị hạt nhân, carbon-12 là nguyên tố được quan tâm nghiên cứu nhiều nhất trong các ngành khoa học do vai trò do vai trò quan trọng của nó đối với xã hội. Carbon-12 là chìa khóa cho nguồn gốc hữu cơ của sự sống trên trái đất và cũng là động lực thúc đẩy nhanh chóng nền kinh tế thế giới từ sau cuộc cách mạng công nghiệp. Quá trình tổng hợp carbon-12 chủ yếu thông qua trạng thái kích thích thứ hai của ^{12}C ở năng lượng 7,65 MeV và $J^\pi = 0^+$, ngày nay được biết đến là trạng thái Hoyle.

Việc phát hiện ra trạng thái Hoyle đã giúp các nhà vật lý thiên văn giải thích đầy đủ nguồn gốc của carbon-12, quá trình tổng hợp carbon-12 từ sự va chạm của ba hạt α trên các ngôi sao qua trạng thái này tăng lên hàng nghìn lần và tạo ra số lượng carbon-12 nhiều thứ tư trong vũ trụ như hiện nay. Sự tồn tại của trạng thái này cũng giúp chúng ta phát hiện một dạng cấu trúc hạt nhân mới - cấu trúc cluster - (bên cạnh cấu trúc lớp vỏ đã giải thích tốt các số magic hạt nhân), trong đó các proton và neutron sẽ cụm lại tạo thành các hạt α và các hạt α này sẽ liên kết lại tạo ra hạt nhân ở trạng thái cluster. Đã có rất nhiều mô hình lý thuyết khác nhau được xây dựng để mô tả các đặc trưng cấu trúc của trạng thái này do các tính toán

của mẫu vỏ hạt nhân đã không thể phát hiện ra nó. Rất nhiều thí nghiệm đã được thực hiện trong hơn sáu mươi năm để quan sát và nghiên cứu các đặc trưng của trạng thái này. Trạng thái Hoyle không chỉ đóng vai trò quan trọng trong tổng hợp hạt nhân thiên văn, mà với cấu trúc cluster đó cũng là thử thách đối cho vật lý thiên văn hạt nhân, cấu trúc hạt nhân và lực hạt nhân. Bài viết này sẽ tóm tắt ngắn về việc tìm ra trạng thái Hoyle, vai trò của nó trong vật lý thiên văn hạt nhân cũng như cấu trúc α -cluster và những nghiên cứu của chúng tôi về trạng thái này.

II. VAI TRÒ CỦA TRẠNG THÁI HOYLE TRONG QUÁ TRÌNH TỔNG HỢP ^{12}C

Lịch sử nghiên cứu quá trình tổng hợp carbon-12 bắt đầu từ những năm 1930 Hans A. Bethe đề xuất rằng carbon-12 được tạo ra từ quá trình va chạm của 3 hạt α ($3^4\text{He} \leftrightarrow ^{12}\text{C}$) trong cơ học lượng tử hạt nhân. Sau thế chiến thứ hai, các nghiên cứu về sự tổng hợp carbon-12 trong vũ trụ vẫn giành được quan tâm nhiều bởi các nhà vật lý hạt nhân thiên văn. Năm 1952, Opik và Salpeter kết luận rằng quá trình tổng hợp carbon-12 từ 3α được diễn ra theo hai bước: đầu tiên hai hạt α tổng hợp thành ^8Be ($2^4\text{He} \leftrightarrow ^8\text{Be}$), sau đó hạt nhân ^8Be bắt hạt α thứ ba tạo ra ^{12}C trong điều kiện nhiệt độ cỡ 200 triệu độ (2×10^8 K) trên các sao

kênh đỏ (red-giant stars) [1]. Mặc dù hạt nhân ^8Be không bền có thời gian sống cỡ 10^{-16} s, nhưng với mật độ đậm đặc lên đến 100g/cm^3 và nhiệt độ 200 triệu độ trên các ngôi sao sẽ vẫn tồn tại hạt nhân ^8Be cùng với ^4He với tỷ lệ $^8\text{Be}:^4\text{He}$ là 10^{-10} . Tỷ lệ này rất nhỏ, nhưng đủ để quá trình bắt hạt α thứ ba xảy ra. Tuy nhiên, trong các tính toán tiếp theo của Salpeter cho thấy tốc độ phản ứng bắt α của hạt nhân ^8Be tạo ra carbon-12 ở trạng thái cơ bản thấp hơn hàng nghìn lần so với độ phổ biến của carbon-12 quan sát được. Kết quả này có thể đưa đến kết luận rằng giả thiết Salpeter về quá trình tổng hợp carbon-12 theo hai bước trên là sai và như vậy nguồn gốc của carbon-12 vẫn chưa giải thích được.

Năm 1954, Fred Hoyle, nhà vật lý thiên văn người Anh, đã lập luận rằng quá trình bắt α của hạt nhân ^8Be sẽ tạo ra hạt nhân carbon-12 chủ yếu ở trạng thái cộng hưởng và sau đó trạng thái này bức xạ γ để về trạng thái cơ bản (trạng thái bền). Trạng thái cộng hưởng này nằm trên ngưỡng phân rã α khoảng 0,31 MeV (trạng thái kích thích 7,68 MeV) với spin và độ chẵn lẻ $J^\pi=0^+$ [2]. Tiết diện bắt α của hạt nhân ^8Be tạo ra trạng thái cộng hưởng này lớn hơn tạo ra trạng thái cơ bản hàng chục triệu lần ($\sim 10^7$), do đó dù chỉ có 0,04% (4×10^{-4}) carbon-12 bức xạ γ để về trạng thái cơ bản (99,96% phân rã trở lại thành ^8Be và ^4He) thì lượng carbon-12 được tạo ra đủ lớn như dự đoán của Salpeter. Như vậy giả thiết của Hoyle về trạng thái cộng hưởng có thể giải thích đầy đủ nguồn gốc hình thành carbon-12 trong vũ trụ. Ba năm sau, Fowler và các đồng nghiệp tại Viện Công nghệ California (Caltech) đã tìm được trạng thái kích thích ở năng lượng $7,563 \pm 0,008$ MeV và có spin $J^\pi=0^+$ (như giả thiết của Hoyle) trong thí nghiệm phân rã β của ^{12}B [3]. Trạng thái cộng hưởng này được gọi là trạng thái Hoyle.

Hai thông số quan trọng để xác định tốc độ phản ứng hạt nhân thiên văn là năng lượng

kích thích và độ rộng theo biểu thức:

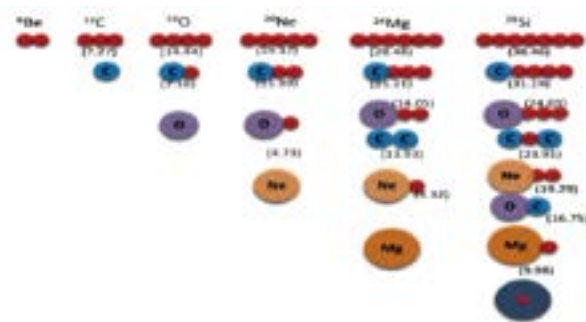
$$r_{3\alpha} \propto \frac{\Gamma_{\text{rad}}}{\Gamma} \exp\left(-\frac{E_R}{k_B T}\right) \quad (1)$$

Trong đó $r_{3\alpha}$ là tốc độ phản ứng, Γ_{rad} , Γ là độ rộng bức xạ và độ rộng tổng cộng, E_R là năng lượng cộng hưởng nằm trên ngưỡng phân rã α . Việc xác định chính xác hai thông số này sẽ cho chúng ta kết luận chính xác về tốc độ phản ứng và điều kiện nhiệt độ trên các sao. Do đó cho đến ngày nay vẫn có nhiều thí nghiệm được tiến hành để xác định hai đại lượng trên. Trong đó, năng lượng kích thích được xác định chính xác là $7654,0 \pm 0,2$ keV ($E_R=285$ keV) và tỷ số $\Gamma_{\text{rad}}/\Gamma$ cỡ $4,19 \times 10^{-4}$. Bên cạnh đó, các thí nghiệm đo tán xạ electron phi đàn hồi đã xác định được cường độ dịch chuyển điện E2 của γ từ trạng thái Hoyle về trạng thái 2^+ (4,44 MeV) là 13 ± 4 e²fm⁴ và moment dịch chuyển đơn cực điện từ trạng thái Hoyle về trạng thái cơ bản là $M(E0: 0^+ \rightarrow 0^+)=5,47 \pm 0,09$ e fm² [4].

III. CẤU TRÚC CỦA TRẠNG THÁI HOYLE VÀ CÁC MÔ HÌNH LÝ THUYẾT

Việc phát hiện ra trạng thái Hoyle không chỉ giải thích được nguồn gốc hình thành carbon-12 của vật lý thiên văn, mà còn giải thích cho sự tồn tại của các trạng thái kích thích mà thực nghiệm của vật lý hạt nhân phát hiện ra trước đó [5]. Tuy nhiên, sự tồn tại của trạng thái này là một thách thức đối với các mô hình cấu trúc hạt nhân. Giả thiết kích thích đơn hạt của mẫu vỏ có thể giải thích tốt các trạng thái cơ bản và trạng thái 2^+ (4,44 MeV) nhưng đã không thể xác định được bất kỳ trạng thái kích thích nào trong vùng năng lượng của trạng thái Hoyle. Thay vào đó cấu trúc của trạng thái này được Morigana giả thiết do ba hạt α sắp xếp thẳng hàng, và giả thiết này sau đó được Brink tổng quát thành mẫu α -cluster vào năm 1966 [6]. Trong đó carbon-12 ở trạng thái

cơ bản là do 3α sắp xếp hình tam giác trong khi trạng thái Hoyle là do sự sắp xếp thẳng hàng của 3α và trạng thái này được xem là một trạng thái α -cluster. Hai năm sau, Ikeda đã chỉ ra rằng trạng thái α -cluster không chỉ có ở trạng thái Hoyle mà xuất hiện trong hầu hết hạt nhân nhẹ gần ngưỡng phân rã α như giản đồ dưới đây [7]. Như vậy sự tồn tại của trạng thái Hoyle cũng đã đưa đến việc phát hiện một dạng cấu trúc α -cluster của vật lý hạt nhân.



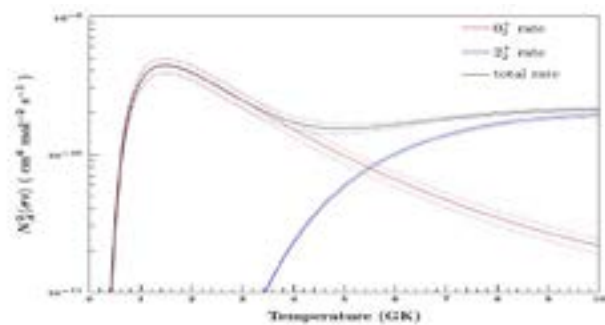
Hình 1: Giản đồ Ikeda [7]. Giản đồ này minh họa carbon-12 ở trên ngưỡng phân rã (7,27 MeV) có cấu trúc 3α .

Có nhiều mô hình lý thuyết cluster khác nhau mô tả cấu trúc của trạng thái Hoyle. Ví dụ tiêu biểu của mẫu α -cluster là phương pháp nhóm cộng hưởng (Resonating Group Method - RGM) được Kamimura đưa ra năm 1981 [8], trong đó hàm sóng của carbon-12 là do tổ hợp của ba hạt α liên kết với nhau. Kết quả tính toán RGM không chỉ xác định được năng lượng kích thích mà còn mô tả tốt số liệu tiết diện tán xạ electron và tính được moment dịch chuyển đơn cực điện là 6,61 fm². Từ hàm sóng α -cluster, Tohsaki, Horiuchi, Schuck và Röpke đã chỉ ra mối liên hệ giữa trạng thái Hoyle và sự ngưng tụ Bose-Einstein của các hạt α [9]. Bên cạnh các hàm sóng 3α của carbon-12, các hàm sóng được xây dựng từ nucleon của mẫu cluster cũng đã được sử dụng trong các tính toán động học phân tử phản đối xứng (Antisymmetrised Molecular Dynamics-AMD) và động học Fermion phản đối xứng

(Fermionic Molecular Dynamics-FMD) [10], các mô hình này không chỉ mô tả tốt các trạng thái cluster mà còn cả các trạng thái có cấu trúc lớp vỏ. Tất cả các tính toán của mẫu cluster đều đưa đến kết quả bán kính của trạng thái Hoyle lớn hơn bán kính của trạng thái cơ bản khoảng 1,5 lần. Như vậy, khi nói đến trạng thái Hoyle đặc điểm chung phổ biến là cấu trúc α -cluster, trong đó mối tương quan giữa các hạt α đóng vai trò quan trọng và trạng thái này loãng hơn trạng thái cơ bản.

IV. NHỮNG VẤN ĐỀ LIÊN QUAN ĐẾN TRẠNG THÁI HOYLE

Cấu trúc đặc biệt của trạng thái Hoyle không chỉ là thách thức của các mô hình tính toán cấu trúc mà còn tồn tại những vấn đề liên quan đến các phương pháp phân tích phản ứng tán xạ hạt nhân. Năm 2004, Ohkubo và Hirabayashi đã phân tích số liệu tiết diện tán xạ α phi đàn hồi và chỉ ra rằng bán kính của trạng thái Hoyle có thể được xác định qua vị trí cực tiểu của phân bố góc tiết diện tán xạ [11].



Hình 2: Những đóng góp của các trạng thái kích thích 0^+ và 2^+ vào quá trình tổng hợp carbon-12 [20]

Tuy nhiên, lập luận này bị đặt câu hỏi khi Takashina và Sakuragi chứng minh không có mối liên hệ rõ ràng giữa vị trí cực tiểu và bán kính hạt nhân, nhưng độ lớn của tiết diện tán xạ có liên quan đến độ loãng của trạng thái Hoyle [12]. Nỗ lực xác định bán kính hạt nhân ở các trạng thái kích thích đã được thực hiện trong nhiều mô hình

phân tích phản ứng khác nhau, nhưng cho đến nay vẫn chưa có một mô hình nào cho phép xác định được bán kính ở những trạng thái này.

Một vấn đề tồn tại khác là sự thiếu hụt cường độ dịch chuyển vô hướng từ trạng thái Hoyle về trạng thái cơ bản trong các phép đo tán xạ hạt nhân. Các phép đo với độ chính xác cao của tán xạ α đã xác định cường độ dịch chuyển đơn cực vô hướng lên trạng thái Hoyle là 7%-10% EWSR (tương ứng moment dịch chuyển đơn cực điện $M(E0) \approx 3,7 \text{ e fm}^2$) [13] nhỏ hơn nhiều giá trị 15% EWSR ($M(E0)=5,47 \pm 0,09 \text{ e fm}^2$) rút ra từ tán xạ electron. Sự thiếu hụt này được giả thiết là do sự hấp thụ mạnh của kênh ra qua các phân tích của chúng tôi vào năm 2008 [14]. Nguồn gốc của sự hấp thụ mạnh này được chỉ ra năm năm sau đó là do những kênh phản ứng khác ảnh hưởng lên [15]. Ngày nay, sự thiếu hụt cường độ đã được tìm thấy trong nhiều số liệu thí nghiệm tán xạ hạt nhân kích thích lên các trạng thái có cấu trúc cluster của các hạt nhân nhẹ như là hệ quả của cấu trúc đặc biệt α -cluster.

Như đã thảo luận ở trên, cấu trúc cluster của trạng thái Hoyle có độ biến dạng lớn và như vậy sẽ tồn tại trạng thái kích thích dài quay 2^+ trong vùng năng lượng kích thích cỡ 10 MeV. Trạng thái kích thích như vậy đã được tiên đoán từ hơn năm mươi năm trước. Tuy nhiên cho đến những năm đầu 2000 vẫn chưa có bằng chứng chứng minh sự tồn tại của trạng thái này sau rất nhiều thí nghiệm được thực hiện [16]. Năm 2011, chúng tôi đã chỉ ra rằng trạng thái cộng hưởng 2^+ này rất yếu và bị che lấp bởi trạng thái cộng hưởng 0^+ lớn (10,3 MeV) và trạng thái kích thích mạnh 3^- (9,64 MeV), do đó chúng ta chỉ có thể phát hiện ra trạng thái này gián tiếp qua phân tích những đống của nó lên số liệu thực nghiệm của các trạng thái kích thích trong vùng 10 MeV [17]. Một phân tích gián tiếp như vậy đã được thực hiện với số liệu tán xạ α phi đàn hồi của

nhóm nghiên cứu thuộc đại học Osaka và đã đưa ra bằng chứng đầu tiên về sự tồn tại của trạng thái 2^+ này vào cuối năm 2011 [18]. Bằng chứng thực nghiệm tiếp theo được đưa ra vào năm 2013 trong thí nghiệm phản ứng quang hạt nhân [19]. Như vậy, các bằng chứng về sự tồn tại của trạng thái 2^+ đã khẳng định cấu trúc biến dạng của trạng thái Hoyle, bên cạnh đó trạng thái này có thể ảnh hưởng đến tốc độ phản ứng của quá trình tổng carbon-12 như trong hình 2 [20].

Đỗ Công Cường

Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] E. Öpik, Proc. R. Ir. Acad. A 54 (1951) 49; E.E. Salpeter, Astrophys. J. 115 (1952) 326
- [2] F. Hoyle, Astrophys. J. Suppl. Ser. 1 (1954) 12.
- [3] C.W. Cook, W.A. Fowler, C.C. Lauritsen, T. Lane, Phys. Rev. 107 (1957) 508
- [4] F. AjzenbergSelove, Nucl. Phys. A506 (1990) 1
- [5] M. G. Holloway and B. L. Moore, Phys. Rev. 58, 847 (1940); K. M. Guggenheimer, H. Heitler, and C. F. Powell, Proc. R. Soc. London, Ser. A 190 (1947) 196; W. H. Guier, H. W. Bertini, and J. H. Roberts. Phys. Rev. 85 (1952) 426; R. Britten. Phys. Rev. 88 (1952) 283.
- [6] D.M. Brink, in: C. Bloch (Ed.), Proceedings of the International School of Physics Enrico Fermi, Varenna, 1965, Course 36, Academic Press, New York, 1966, p. 247
- [7] K. Ikeda, et al., Prog. Theor. Phys. Suppl. (1968) 464. Extra Numbers
- [8] M. Kamimura, Nuclear Phys. A 351 (1981) 456
- [9] A. Tohsaki, et al., Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 192501
- [10] Y. Kanada En'yo, Progr. Theoret. Phys. 117 (2007) 655; M. Chernykh, et al., Phys. Rev.

Lett. 98 (2007) 032501

[11] S. Ohkubo¹, Y. Hirabayashi, Phys. Rev. C 70 (2004) 01602(R).

[12] M. Takashina, Y. Sakuragi, Phys. Rev. C 74 (2006) 054606.

[13] B. John, et al., Phys. Rev. C 68 (2003) 014305; M. Itoh, et al., Phys. Rev. C 84 (2011) 054308.

[14] D.T. Khoa, D. Cong Cuong, Phys. Lett. B 660 (2008) 331

[15] D.C. Cuong, D.T. Khoa, Y. Kanada-En'yo, Phys. Rev. C 88 (2013) 064317

[16] H.O.U. Fynbo, et al., Nature 433 (2005) 136; M. Freer, et al., Phys. Rev. C 80 (2009) 041303; W.R. Zimmerman, et al., Phys. Rev. C 84 (2011) 027304

[17] D.T. Khoa, D.C. Cuong, Y. Kanada-En'yo, Phys. Lett. B 695 (2011) 469

[18] M. Itoh, et al., Phys. Rev. C 84 (2011) 054308

[19] W.R. Zimmerman, et al., Phys. Rev. Lett. 110 (2013) 152502

[20] W.R. Zimmerman, Ph.D. Thesis

PHÁT TRIỂN CHƯƠNG TRÌNH MÁY TÍNH PHỤC VỤ TÍNH TOÁN SỐ LIỆU DECAY HEAT TỪ CÁC SẢN PHẨM PHÂN HẠCH

Chương trình DHP (Decay Heat Power) tính toán công suất nhiệt phân rã từ các sản phẩm phân hạch hạt nhân đã được nhóm nghiên cứu của Viện Nghiên cứu hạt nhân (NCHN) phát triển có sự hợp tác với chuyên gia từ Cơ quan Năng lượng nguyên tử Nhật Bản (JAEA) thông qua chương trình hợp tác với Bộ Giáo dục, Văn hóa, Thể thao và Khoa học và Công nghệ Nhật Bản (MEXT). Trong đó các chức năng tính toán đã được tích hợp vào một chương trình độc lập, đơn giản hóa Input File bằng giao diện trực quan tạo sự dễ dàng cho người sử dụng và cải tiến tốc độ tính toán phục vụ nghiên cứu đánh giá số liệu decay-heat hạt nhân, các nghiên cứu liên quan đến Decay Heat và trong công tác đào tạo nhân lực. Trên cơ sở so sánh với số liệu thực nghiệm, các kết quả tính toán thu được đã có sự phù hợp tốt trong giới hạn của sai số và có thể đánh giá rằng các phương pháp và thuật toán đã được áp dụng vào chương trình máy tính một cách chính xác và đầy đủ. Việc phát triển chương trình tính toán để cung cấp số liệu Decay Heat có độ tin cậy cao và cho kết quả nhanh chóng là rất cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn phục vụ các nghiên cứu và ứng dụng liên quan đến sử dụng và quản lý nhiên liệu hạt nhân sau khi cháy.

I. MỞ ĐẦU

Thành phần năng lượng Gamma và Beta từ sự phân rã phóng xạ tự nhiên của các sản phẩm phân hạch chiếm khoảng 7% đến 12% (tùy theo loại nhiên liệu) của tổng năng lượng hình thành trong quá trình phân hạch và được gọi là nhiệt phân rã (Decay heat). Đối với các lò phản ứng có công suất lớn, nếu không có chế độ vận hành các hệ thống tải nhiệt thích hợp trong thời gian sau khi lò dừng hoạt động thì có khả năng sẽ dẫn đến sự cố nóng chảy trong vùng hoạt lò phản ứng. Do đó, các số liệu với độ chính xác cao về phân rã hạt nhân và công suất nhiệt phân rã của các sản phẩm

phân hạch là yêu cầu không thể thiếu trong tính toán thiết kế, xây dựng và thiết lập các quy trình vận hành một cách hiệu quả và đảm bảo an toàn đối với các lò phản ứng có công suất lớn. Ngoài ra, các số liệu về nhiệt phân rã hạt nhân cũng rất cần thiết trong công tác bảo quản, xử lý, chuyển tải, và thiết kế che chắn bức xạ đối với nhiên liệu hạt nhân sau khi sử dụng.

Trong nhiều năm qua, với những nỗ lực và đầu tư liên tục ở nhiều nước trên thế giới trong việc nâng cao độ chính xác của các cơ sở dữ liệu về số liệu hạt nhân và số liệu thực nghiệm đã giúp cho các tính toán về số liệu nhiệt phân rã hạt nhân

từ các sản phẩm phân hạch đạt được kết quả ngày một chính xác hơn. Mục tiêu và các nội dung của đề tài được đề xuất nhằm từng bước nâng cao năng lực nghiên cứu trong lĩnh vực số liệu hạt nhân nói chung và tính toán số liệu nhiệt phân rã hạt nhân nói riêng, góp phần tham gia vào các chương trình hợp tác với chuyên gia nước ngoài trong lĩnh vực phát triển số liệu hạt nhân và đào tạo nhân lực. Mục tiêu cụ thể của nhóm nghiên cứu là tiếp tục phát triển nâng cấp chương trình tính toán DHP phục vụ nghiên cứu và đào tạo về tính toán số liệu nhiệt phân rã hạt nhân. Chương trình DHP do nhóm nghiên cứu của Viện NCHN hợp tác với các chuyên gia tại Trung tâm số liệu hạt nhân của Nhật Bản JAEA phát triển thuộc chương trình MEXT năm 2006. Về cơ bản, chương trình DHP đã tính toán tốt số liệu nhiệt phân rã hạt nhân của các sản phẩm sau phân hạch, tuy nhiên chương trình tính toán này cần được tiếp tục phát triển nâng cấp để hoàn thiện thuật toán tính toán, bổ sung chức năng phân tích sai số, cập nhật số liệu input mới,... Phương pháp tính toán sử dụng trong chương trình DHP đã được cải tiến bằng một thuật toán mới. Giao diện Window của chương trình đã được thiết kế cho phép người sử dụng chọn lựa các tham số Input một cách thuận tiện và dễ dàng trong quá trình thực hiện tính toán. Kết quả tính toán của chương trình được hiển thị trực tiếp bằng giao diện đồ họa trực quan và có thể lưu thành File Output dưới dạng bảng số liệu.

II. PHÁT TRIỂN CHƯƠNG TRÌNH DHP

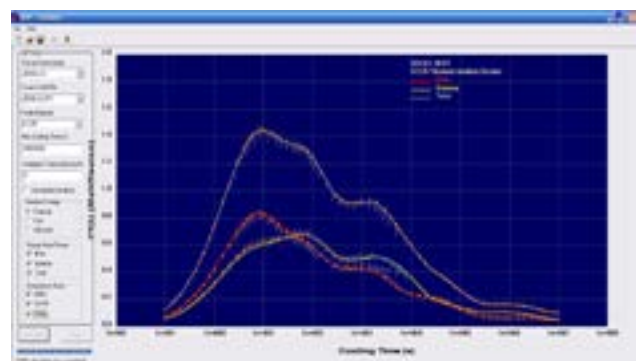
Phát triển Code và thuật toán:

Chương trình DHP đã được phát triển và nâng cấp bằng ngôn ngữ lập trình VC++6. Giao diện của chương trình được thiết kế với các tùy chọn thông tin Input và dẫn hướng chương trình, điều này tạo thuận lợi và sự dễ dàng cho người

sử dụng để thực hiện các yêu cầu tính toán khác nhau. Thuật toán tính toán của chương trình đã được nghiên cứu cải tiến để thực hiện một số yêu cầu bao gồm: Nâng cao tốc độ tính toán; tự động truy cập các file số liệu hạt nhân và trích lọc số liệu trực tiếp trên Fortmat của cơ sở dữ liệu là ENDF-B/6; bổ sung chức năng tính toán phân tích sai số (uncertainty analysis). Sơ đồ khối mô tả thuật toán mới của chương trình DHP được mô tả trên Hình 1; và giao diện của chương trình DHP sau khi biên dịch lại và tính toán thử nghiệm được mô tả trên Hình 2.



Hình 1: Sơ đồ khối mô tả thuật toán mới của chương trình DHP



Hình 2: Giao diện đồ họa Window của chương trình DHP tính toán thử nghiệm và so sánh số liệu decay heat từ các sản phẩm phân hạch của U-235

Kiểm tra và hiệu lực hóa chương trình:

Chương trình tính toán DHP sau khi phát triển nâng cấp đã được áp dụng tính toán thử

nghiệm, kiểm tra và hiệu lực hóa phục vụ công tác nghiên cứu liên quan đến xác định số liệu nhiệt phân rã hạt nhân. Một số nội dung kiểm tra chính để khẳng định chức năng tính toán của chương trình hoạt động chính xác được trình bày trong báo cáo này bao gồm: Tính toán năng lượng trung bình của bức xạ Gamma và Beta trong quá trình phân rã Beta của các sản phẩm phân hạch. Kết quả kiểm tra so sánh với số liệu độc lập về năng lượng trung bình E-gamma và E-beta được mô tả trong Bảng 1.

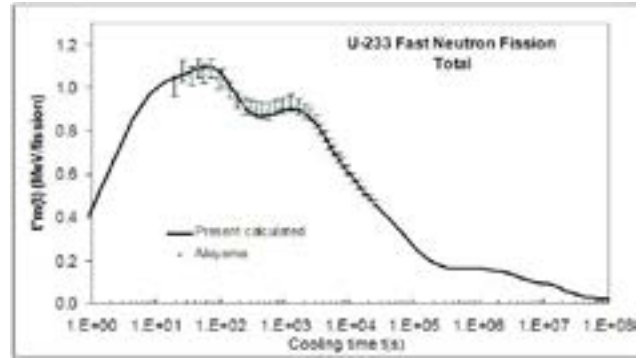
Bảng 1. Kết quả tính toán đối với một số hạt nhân sản phẩm phân hạch, so sánh kiểm tra với số liệu tham khảo [8]

Đồng vị	Q-value (MeV)	T1/2 (s)	$\langle E_{\beta} \rangle$ (MeV)		$\langle E_{\gamma} \rangle$ (MeV)	
			DHP	[8]	DHP	[8]
Rb-89	4,496	909	0,9303	0,9355	2,2313	2,2293
Rb-90	6,587	158	1,9060	1,9162	2,2712	2,2706
Rb-90m	6,696	265	1,0811	1,1180	3,9332	3,8690
Rb-91	5,891	58,4	1,3739	1,3684	2,6876	2,7064
Rb-93	7,462	5,84	2,1544	2,1881	2,5402	2,5765
Sr-93	4,137	445	0,7860	0,7915	2,1724	2,1675
Sr-94	3,508	75,2	0,8309	0,8416	1,4380	1,4192
Sr-95	6,087	23,9	1,8928	1,9013	1,7990	1,7897
Y-94	4,917	1120	1,8111	1,8294	0,7875	0,7570
Y-95	4,453	618	1,3793	1,4147	1,2471	1,1799
Cs-138	5,374	2010	1,2223	1,2250	2,4047	2,4078
Cs-138m	5,457	916	0,2565	0,2250	0,4211	0,4930
Cs-139	4,213	556	1,6487	1,6707	0,3451	0,3050
Cs-140	6,22	63,7	1,8399	1,9102	1,9520	1,8178

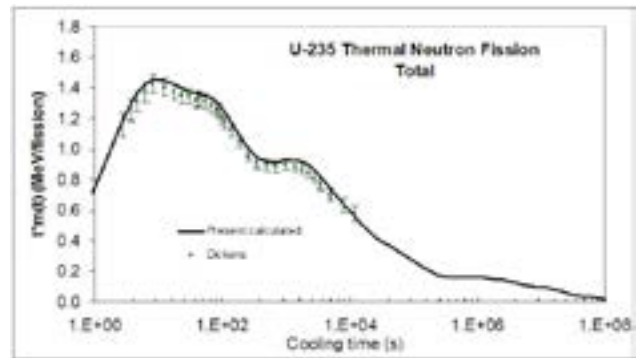
Từ kết quả tính toán thử nghiệm và so sánh với số liệu tham khảo mô tả trên Bảng 1 và Hình 2 cho thấy rằng chương trình DHP có kết quả tính toán phù hợp tốt khi so sánh với số liệu tính toán trích dẫn từ tài liệu tham khảo [8] và số liệu thực nghiệm trích dẫn từ tài liệu [9].

III. KẾT QUẢ ÁP DỤNG TÍNH TOÁN

Kết quả ứng dụng chương trình DHP để tính toán số liệu nhiệt phân rã hạt nhân của các sản phẩm phân hạch từ ^{233}U và ^{235}U được mô tả trên các Hình 3-4, số liệu thực nghiệm so sánh được trích dẫn từ tài liệu tham khảo [9, 10], số liệu hạt nhân input sử dụng từ thư viện số liệu JENDL3.3.

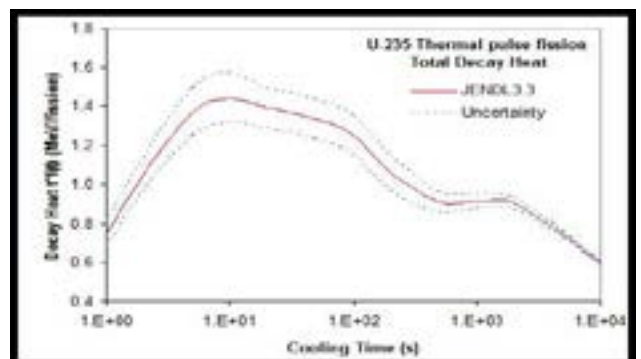


Hình 3. Kết quả tính toán Decay Heat đối với phản ứng phân hạch của ^{233}U với neutron nhanh



Hình 4. Kết quả tính toán Decay Heat đối với phản ứng phân hạch của ^{235}U với neutron nhiệt

Các kết quả phân tích sai số đối với năng lượng phân rã toàn phần từ các sản phẩm phân hạch của ^{235}U được mô tả trên Hình 5.



Hình 5: Kết quả phân tích sai số đối với số liệu nhiệt phân rã hạt nhân từ các sản phẩm phân hạch của ^{235}U

IV. KẾT LUẬN

Chương trình tính toán số liệu decay-heat DHP đã được phát triển nâng cấp với những tính năng cải tiến phục vụ tính toán số liệu về nhiệt phân rã hạt nhân từ các sản phẩm phân hạch đối với các chất phân hạch khác nhau. Chương trình cũng có chức năng phân tích đánh giá các nguồn sai số chính đóng góp vào kết quả tính toán. Trong chương trình này, hàm lượng tích lũy của các sản phẩm phân hạch theo thời gian sau phản ứng phân hạch được chương trình tính toán một cách chính xác từ tất cả các chuỗi phân rã khả dĩ của hệ các sản phẩm phân hạch bao gồm 12 Mode phân rã hạt nhân (beta+, beta-, alpha, neutron, proton, internal-conversion,..) đã được cập nhật đưa vào tính toán trong chương trình này.

Phạm Ngọc Sơn

Viện Nghiên cứu hạt nhân

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Fred L. Wilsson: "Fermi's Theory of Beta Decay", American Journal of Physics Volume 36, Number 12. December 1968.
2. G. Rudstam, et al: Atom. Data and Nucl. Data Tables. 45. 239 (1990).
3. H. V Klapdor: "The shape of the beta strength function and consequences for nuclear physics and astrophysics", Prog. Part. Nucl. Phys. 10, 131. 1983.
4. Kanji TASAKA, Junichi MIWA, Junichi KATAKURA, Tadashi YOSHIDA, Kiyoshi KAWADE, Toshio KATOH, Takahiro TACHIBANA, Masami YAMADA and Ryuzo NAKASIMA: "Calculation of Beta-Ray Spectra from Individual and Aggregate Fission Products". Journal of Nuclear Science and Technology, 29[4], pp. 303-312. April 1992.
5. Phạm Ngọc Sơn and Jun-ichi KATAKURA: "Applications of TAGS Data in Beta Decay Energies and Decay Heat Calculations". JAEA-Research 2007-068. October 2007.
6. M. G. Stamatelatos, T. R. England: "Beta-Energy Averaging and Beta Spectra", UC-34c. August 1976.
7. J. Katakura, T. Yoshida, K. Oyamatsu, T. Tachibana, JENDL FP Decay Data File 2000, JAERI 1343, Japan Atomic Energy Research Institute. 2001.
8. N. Hagura, T. Yoshida and T. Tachibana, J. Nucl. Sci. Tech., 43, 497 (2006).
9. M. Akiyama and S. An, "Measurement of fission products decay heat for fast reactor", Proc. of Int. Conf. on Nucl. Data for Science and Techno., Antwerp Belgium, P.237 (1982).
10. J. K. Dickens et al., "Fission Products Energy Release for Time following Thermal Neutron Fission of ^{235}U between 2 and 14000 seconds", ORNL/NUREG-14 (1977); Nul. Sci. Eng., 74, 106 (1980).

TỔNG QUAN

VỀ CẤU TRÚC PHA CỦA MÔ HÌNH CHẤT HẠT NHÂN CHIRAL

Một bức tranh tổng quan về các chuyển pha trong mô hình chất hạt nhân chiral được xem xét dựa trên mô hình Nambu-Jona-Lasinio mở rộng (ENJL). Có ba vùng chuyển pha, một là chuyển pha khí - lỏng đặc trưng cho chất hạt nhân, hai là chuyển pha chiral đặc trưng vùng cho tương tác mạnh, và cuối cùng là chuyển pha quark-hadron đặc trưng cho vùng phá vỡ giam cầm. Chuyển pha quark-hadron xảy ra ở mật độ và nhiệt độ rất cao, từ một pha của chất hạt nhân chiral bao gồm các hadron và meson bị giam cầm sang trạng thái quark và gluon được giải phóng. Kết quả chỉ ra có một vùng giống quarkyonic, xuất hiện sau khi đối xứng chiral đã được khôi phục và ngay trước khi giam cầm bị phá vỡ, ở đó các cơ chế kích thích cơ bản vẫn là nucleon.

1. Tình hình nghiên cứu hiện nay

Khám phá cấu trúc pha của sắc ký lượng tử (QCD) chắc chắn là một trong những chủ đề thú vị nhất trong lĩnh vực vật lý tương tác mạnh. Ngay từ những năm 70, sau khi nhận ra rằng các hadron bao gồm các quark và gluon bị giam cầm, người ta đã lập luận rằng quark và gluon sẽ bị phá vỡ giam cầm ở nhiệt độ hoặc mật độ cao khi các hadron chồng chéo mạnh và làm mất tính cá nhân của chúng [1,2]. Trong bức tranh này, có hai pha riêng biệt, pha hadronic, ở đó quark và gluon bị giam cầm, và pha gọi là plasma quark-gluon (QGP) nơi chúng không còn bị giam cầm. Kịch bản này được minh họa trong Hình 1a cho giản đồ pha trong mặt phẳng thể hóa và nhiệt độ. Giản đồ kiểu này được vẽ trong [2] và có thể thấy trong nhiều tài liệu khác [3,4].

Trong tự nhiên, QGP chắc chắn tồn tại trong vũ trụ sơ khai, vài micro giây sau Vụ nổ lớn khi nhiệt độ rất cao. Không rõ liệu vật chất quark không giam cầm có tồn tại trong tâm của

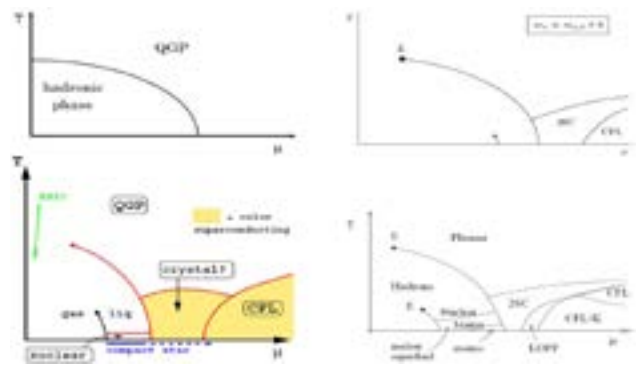
các sao neutron tương đối lạnh nhưng đậm đặc hay không. Về mặt thực nghiệm, việc tạo ra và xác định QGP là mục tiêu cuối cùng của các va chạm ion nặng tương đối tính. Những dấu hiệu thành công đầu tiên đã được báo cáo trong các thông cáo báo chí tại CERN (SPS) [5] và BNL (RHIC) [6], mặc dù việc giải thích dữ liệu vẫn còn đang được tranh luận. Có rất ít nghi ngờ rằng QGP sẽ được tạo ra tại Máy va chạm Hadron lớn (LHC), hiện đang được chế tạo tại CERN.

Ít nhất ở mức sơ đồ, giản đồ pha hiển thị ở Hình 1a vẫn là hình ảnh tiêu chuẩn trong khoảng hai thập kỷ. Cụ thể, khả năng có nhiều hơn một pha không giam cầm không được tính đến. Mặc dù cặp Cooper trong chất quark lạnh, đậm đặc (siêu dẫn màu) đã được đề cập từ năm 1975 [1] và đã được nghiên cứu thêm trong [7, 8, 9], sự liên quan của ý tưởng này đối với sơ đồ pha QCD đã bị bỏ qua mãi cho đến cuối thập niên 90. Vào thời điểm đó, các phương pháp tiếp cận mới về tính siêu dẫn màu cho thấy các khoảng trống liên

quan trọng phổ fermion có thể ở mức 100 MeV [10, 11], lớn hơn nhiều so với dự kiến trước đó. Do các khoảng trống lớn hơn có liên quan đến nhiệt độ tới hạn lớn hơn, điều này có nghĩa là có sự mở rộng đáng kể của vùng siêu dẫn màu vào hướng nhiệt độ. Do đó, ngoài hai pha tiêu chuẩn, cần có một vùng không đáng kể trong sơ đồ pha QCD trong đó vật chất tương tác mạnh là chất siêu dẫn màu [12-15]. Cánh cửa đã mở ra cho nhiều khả năng mới.

Điều này được minh họa bằng các sơ đồ ba pha còn lại của Hình 1, được lấy từ các nghiên cứu tiếp theo. Người ta hy vọng rằng ở thế hóa cao các quark up, down, lạ được ghép cặp thành một ngưng tụ khóa vị màu (CFL) [16]. Tuy nhiên, điều này có thể trở nên bất lợi ở mật độ thấp hơn, nơi các quark lạ bị triệt tiêu do khối lượng của chúng. Do đó, có thể trong một vùng trung gian có pha siêu dẫn màu thứ hai (2SC) ở đó chỉ có các quark up và down được ghép cặp. Kịch bản này được mô tả trong giản đồ của Hình 1b [17]. Gần đây, các pha tiếp theo, như chất siêu dẫn màu ba vị có ngưng tụ kaon (CFL-K) [18, 19, 20] hoặc chất siêu dẫn màu kết tinh (pha LOFF) [21, 22] cũng đã được đề xuất, có thể một phần (Hình 1c [14]) hoặc thậm chí hoàn toàn (Hình 1d [23]) thay thế cho pha 2SC.

Hình 1, chỉ là một bản tổng hợp không đầy đủ các đề xuất gần đây, minh họa sự phong phú về tiềm năng của cấu trúc pha, vốn không được đánh giá cao trong một thời gian dài. Đồng thời, rõ ràng là vấn đề không được giải quyết. Lưu ý rằng tất cả các sơ đồ pha được hiển thị trong hình chỉ mang tính mô tả, tức là chỉ có phỏng đoán, dựa trên các kết quả lý thuyết hoặc lập luận nhất định. Trong tình huống này và do kết quả chính xác từ QCD khá hạn chế, các tính toán mô hình có thể cung cấp một công cụ hữu ích để kiểm tra những ý tưởng này và đề xuất những ý tưởng mới.



Hình 1: Giản đồ pha QCD trong mặt phẳng thế hóa - nhiệt độ. Hình 1a (phía trên bên trái): giản đồ pha chung trước siêu dẫn màu, ví dụ xem [3, 4]. Các giản đồ khác được lấy từ các tài liệu. Hình 1b (góc trên bên phải): [17]. Hình 1c (góc dưới bên trái): [23]. Hình 1d (góc dưới bên phải): [14].

2. Cấu trúc pha của hạt nhân

Từ những năm năm mươi của thế kỉ trước, nghiên cứu chuyển pha của vật chất xuất hiện và trở thành một trong những vấn đề thời sự của vật lý hiện đại. Nghiên cứu chuyển pha được các nhà vật lý quan tâm trong nhiều lĩnh vực khác nhau từ vật lý hạt cơ bản đến vật lý thiên thể học. Trong đó, cùng với cấu trúc pha của QCD, các chuyển pha trong chất hạt nhân đã thu hút được nhiều sự quan tâm của các nhà vật lý. Các công trình nghiên cứu về chuyển pha trong các mô hình khác nhau hầu hết chỉ đề cập đến chuyển pha nhiệt, đây là chuyển pha được sinh ra bởi sự thăng giáng nhiệt của các đại lượng vật lý khi nhiệt độ thay đổi và do đó tuân theo các nguyên lý của nhiệt động học.

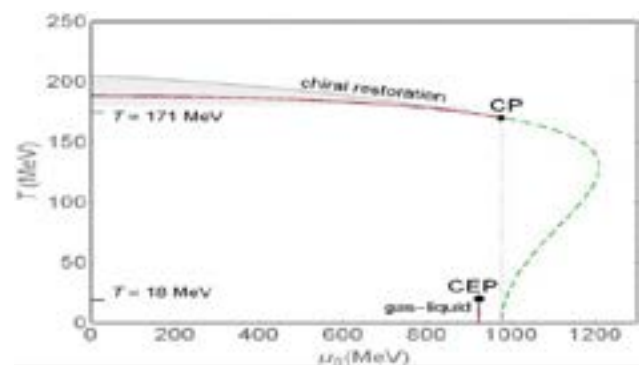
Đối với chất hạt nhân, điều quan trọng là phải mô tả được đồng thời tính chất bão hòa hạt nhân và phục hồi đối xứng chiral. Tính chất bão hòa của vật chất hạt nhân được mô tả thành công theo mô hình hạt nhân tương đối tính Walecka [24] và phiên bản đơn giản của nó dựa trên mô hình Nambu-Jona-Lasinio [25-27]. Cơ chế cơ bản của bão hòa là sự cân bằng giữa lực đẩy và

lực hút giữa các nucleon ở một giá trị cụ thể của mật độ baryon. Mặc dù mô hình này đã mang lại nhiều kết quả thành công cho chất hạt nhân và hạt nhân hữu hạn, nhưng mô hình này vẫn chưa bao quát được miền vật chất có mật độ cao, chưa tái hiện được chuyển pha chiral, thường được chấp nhận là một trong những đối xứng cơ bản của tương tác mạnh. Sự chuyển pha chiral trong trạng thái vật chất đậm đặc đóng một vai trò quan trọng trong nghiên cứu tính chất vật lý của hạt nhân bị kích thích cũng như cấu trúc của các ngôi sao nhỏ và sự tiến hóa của vũ trụ sơ khai.

Có một số mô hình chiral có khả năng được sử dụng để mô tả chất hạt nhân. Phổ biến nhất là mô hình sigma tuyến tính [28] và mô hình Nambu-Jona-Lasinio (NJL) [29]. Chúng có thể giải thích sự phá vỡ tự nhiên của sự đối xứng chiral trong chân không và sự phục hồi của nó ở mật độ năng lượng cao. Nhưng các phiên bản đơn giản nhất của các mô hình này lại không thể tái tạo các đặc tính bão hòa hạt nhân. Cụ thể, mô hình sigma tuyến tính chỉ dự đoán một trạng thái bất thường của chất hạt nhân [30] trong đó đối xứng chiral được khôi phục và khối lượng hiệu dụng của hạt nhân biến mất. Một số mô hình tinh vi hơn của loại này đã được đề xuất [31-35]. Mặc dù chúng có thể tái tạo trạng thái bão hòa hạt nhân, nhưng những vấn đề mới lại xuất hiện trong các mô hình này; cụ thể, một số trong chúng không dự đoán sự phục hồi đối xứng chiral ở mật độ baryon cao. Cũng có những nỗ lực sử dụng mô hình NJL để mô tả vật chất hạt nhân lạnh [36-38]. Người ta đã tranh luận [36,37] rằng chất hạt nhân bị ràng buộc với sự đối xứng chiral bị phá vỡ tự phát là không thể trong các mô hình NJL tiêu chuẩn. Các tác giả của [36] đề xuất thêm các số hạng tương tác vectơ - vô hướng bổ sung để tái tạo các tính chất bão hòa quan sát được của chất hạt nhân. Mặt khác, người ta đã chỉ ra [38] rằng bằng cách giả sử giá trị đủ thấp của tham số cắt động lượng ($\Lambda \sim 0,3 \text{ GeV}$), có thể tạo ra trạng thái

bão hòa ở mật độ thường ngay cả trong mô hình NJL tiêu chuẩn. Tuy nhiên, trong trường hợp này, khối lượng hiệu dụng nucleon ở $\rho_B = \rho_0$ được dự đoán nhỏ bằng nửa giá trị thực nghiệm của nó.

Gần đây, chúng tôi đã xem xét lại khả năng sử dụng phiên bản mở rộng của mô hình chiral NJL mở rộng (ENJL) có tính đến tương tác vectơ - vô hướng để nghiên cứu chất hạt nhân ở nhiệt độ hữu hạn và cấu trúc pha của nó [39]. Phiên bản ENJL này tái tạo tốt các đặc tính bão hòa quan sát được của vật chất hạt nhân như mật độ cân bằng, năng lượng liên kết, mô đun nén và khối lượng hiệu dụng nucleon ở $\rho_B = \rho_0$. Nó cho thấy một chuyển pha loại một (của loại khí - lỏng) xảy ra ở mật độ bão hòa; chuyển pha này có mặt trong bất kỳ mô hình thực tế nào về chất hạt nhân. Hơn nữa, mô hình được xem xét bởi [40] dự đoán sự phục hồi đối xứng chiral ở mật độ baryon cao, $\rho_B \geq 2,2 \rho_0$ khi $T \leq 171 \text{ MeV}$, ở nhiệt độ cao $T > 171 \text{ MeV}$ khi $\rho_B < 2,2 \rho_0$. Biểu đồ pha của mô hình được cho trong Hình 2.



Hình 2: Các chuyển pha của chất hạt nhân chiral trong mặt phẳng (T, μ_B) . Đoạn đường ngắn ở $\mu_B = 923 \text{ MeV}$, mô tả chuyển pha khí - lỏng loại một. CEP ($T = 18 \text{ MeV}$, $\mu_B = 922 \text{ MeV}$) là điểm cuối tới hạn của chuyển pha này. Đường đứt nét mô tả chuyển pha chiral loại hai. CP ($T = 171 \text{ MeV}$, $\mu_B = 980 \text{ MeV}$) là điểm ba tới hạn, ở đó đường cong biểu diễn chuyển pha chiral loại một (đường cong liền nét) gặp đường cong biểu diễn chuyển pha chiral loại hai (đường đứt nét).

Mô hình cho hai vùng chuyển pha riêng biệt. Đầu tiên, nó cho thấy quá trình chuyển pha khí lỏng loại một xảy ra ở mật độ dưới bão hòa ứng với $m^*/m_N \sim 0,66$, từ ($T=0, \mu_B=923 \text{ MeV}$) và kéo dài đến điểm cuối tới hạn (CEP) tại ($T \approx 18 \text{ MeV}, \mu_B \approx 922 \text{ MeV}$). Thứ hai, sự phục hồi đối xứng chiral ở nhiệt độ 0 xảy ra chính xác tại mật độ tới hạn $\rho_c \approx 2,2\rho_0$. Ở nhiệt độ khác 0, chuyển pha chiral loại 2 xảy ra ở trong vùng ($0 \leq T \leq 171 \text{ MeV}, 980 \leq \mu_B \leq 1210 \text{ MeV}$), kéo dài từ ($T=0, \mu_B=980 \text{ MeV}$) và kết thúc tại điểm ba tới hạn, $CP(T \approx 171 \text{ MeV}, \mu_B \approx 980 \text{ MeV})$, tại đó có sự bắt đầu của chuyển pha loại một.

Như vậy, sử dụng mô hình chất hạt nhân chiral để khảo sát các tính chất hạt nhân ở nhiệt độ và thế hóa hữu hạn, ta phát hiện thấy có hai giản đồ pha; giản đồ pha của chuyển pha khí - lỏng loại một của chất hạt nhân xảy ra tại mật độ dưới mật độ bão hòa và giản đồ pha của chuyển pha chiral với hai loại chuyển pha, được chia tách bởi điểm ba tới hạn xảy ra ở mật độ cao và/hoặc ở nhiệt độ cao. Chính việc loại bỏ khối lượng trần của nucleon, yếu tố trực tiếp gây phá vỡ đối xứng chiral trong biểu thức của hàm mật độ Lagrangian đã khiến mật độ Lagrangian của mô hình thỏa mãn chính xác bất biến chiral, trở nên hoàn thiện hơn. Nhờ vậy, mô hình chất hạt nhân chiral đã bộc lộ một cách rõ ràng kịch bản chuyển pha chiral trong chất hạt nhân, một trong những tính chất cơ bản của vật chất tương tác mạnh.

3. Sự chuyển pha từ hadron sang quark

Gần đây, nghiên cứu chuyển pha hadron-quark (HQ) là một trong những chủ đề nóng của vật lý hiện đại. Cơ chế giam giữ là một thuộc tính nội tại của động lực học lượng tử QCD - lý thuyết cơ bản của tương tác mạnh. Khi nhiệt độ hoặc mật độ rất lớn, các tương tác giam cầm quark và gluon trong hadron trở nên yếu dần đi và giải phóng chúng khỏi nơi giam giữ. Pha mà quark và gluon được giải phóng khỏi sự giam giữ được gọi

là pha quark-gluon plasma (QGP). Tính toán của QCD đã thiết lập sự tồn tại một pha phá vỡ giam cầm vật chất ở nhiệt độ lớn hơn $T \sim 170 \text{ MeV}$. Đã có nhiều đề xuất và thảo luận về các phiên bản khác nhau liên quan đến quá trình phá vỡ giam cầm của hadron ở mật độ và nhiệt độ cao nhưng vẫn chưa rõ ràng. Quá trình chuyển pha loại 1 được gợi ý bởi nhiều mô hình nghiên cứu [41] và [40]. Một trong những kết quả trực tiếp của giả thiết này là sự xuất hiện của vùng pha trộn hadron và quark trong quá trình chuyển pha.

Quá trình giải phóng khỏi sự giam cầm là quá trình chuyển pha giữa các vật chất hadronic và quark-gluon. Các nghiên cứu lý thuyết về quá trình chuyển pha hoặc giản đồ pha trên mặt phẳng nhiệt độ - thế hóa ở trạng thái nóng và mật độ hữu hạn là những thành quả gần đây nhất. Trong môi trường cực nóng hoặc đậm đặc đối với hệ pha trộn quark-hadron, có thể tồn tại ở nhiều pha khác nhau với mô hình phá vỡ đối xứng [42].

Nghiên cứu về quá trình chuyển pha chiral ở nhiệt độ cao, các đại lượng nhiệt động như phương trình khe, mật độ baryon, mật độ năng lượng và EoS có thể được khai triển quanh giới hạn chiral. chúng ta nhận ra rằng quá trình chuyển pha chiral ở nhiệt độ cao là quá trình chuyển pha loại một ở nhiệt độ lớn hơn $T \approx 171 \text{ MeV}$ (xem Hình 2). Ví dụ ở nhiệt độ $T=190 \text{ MeV}$ vùng màu xám (ngưng tụ chiral) là một hàm đa trị và cho ta thấy nó là một trạng thái hỗn hợp của pha hạt nhân nóng và pha chiral nóng. Khi $T \geq 171 \text{ MeV}$ ngưng tụ chiral có thể rơi xuống bằng không ngay cả với giá trị thấp nhất của thế hóa hoặc/ và mật độ baryon. Điều này gợi ý rằng khi vật chất được làm đủ nóng, các hadron trở nên mất khối lượng và bắt đầu phủ lên nhau và các quark, gluon có thể di chuyển tự do trong không - thời gian lớn hơn. Trong hình này, $T_H \approx 171 \text{ MeV}$ là nhiệt độ giới hạn cho quá trình chuyển pha sang tự do giữa hadron, quark và gluon. Chúng ta có thể gọi là giới hạn chiral.

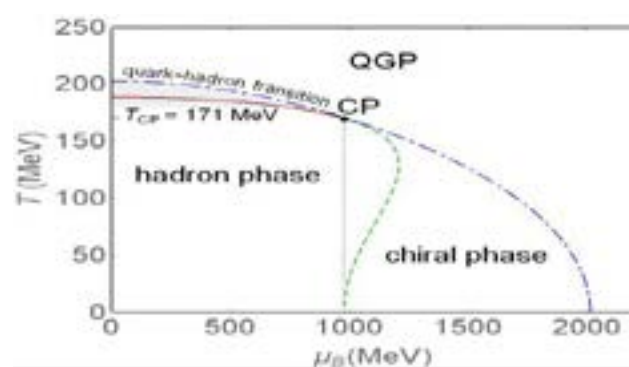
Ở nhiệt độ thấp, nhưng khác không, với khả năng bổ sung nhiệt làm bay hơi các nucleon độc lập từ bề mặt của các giọt hạt nhân. Ở nhiệt độ thấp và mật độ thấp hơn mật độ trạng thái cơ bản, có sự trộn pha của các nucleon và các giọt hạt nhân. Điều này gợi nhớ lại hiện tượng chuyển pha của nước, khi ở nhiệt độ phòng và áp suất bình thường tồn tại một hỗn hợp pha của phân tử nước và những giọt nước. Thay đổi mật độ có thể làm thay đổi thành phần tương đối của phân tử và giọt. Ngoài mật độ các giọt lấp đầy toàn bộ thể tích và đi vào pha lỏng, trong khi ở dưới mật độ các mảnh giọt cuối cùng thành các phân tử và đi vào pha khí. Trạng thái này là dạng điển hình cho chuyển pha loại một. Trong trường hợp này, chuyển pha được gọi là chuyển pha khí - lỏng của nước. Trong chất hạt nhân cho thấy một tính chất tương tự, mô tả pha khí của chất hạt nhân ở thể hóa thấp và pha lỏng của chất hạt nhân ở thể hóa lớn hơn (Hình 2).

Một bức tranh tương tự xảy ra ở nhiệt độ cao nơi tính đối xứng chiral được phục hồi và các nucleon phá bỏ sự giam cầm. Quá trình này được gọi là dịch chuyển quark-hadron. Ở nhiệt độ cao, ngay cả khi mật độ baryon thấp, chất hạt nhân không chỉ có các nucleon mà còn chất khác, các hadron bị kích thích, các hadron nhẹ, các pion, là phổ biến nhất. Ở nhiệt độ cao và thể hóa baryon thấp, thang đo xung lượng điển hình cho sự tán xạ giữa các hadron được xác định bởi nhiệt độ T . Nếu nhiệt độ ở cùng bậc hoặc lớn hơn xung lượng cắt Λ_{QCD} , thì tán xạ giữa các hadron bắt đầu động đến cấu trúc quark-gluon của chúng. Hơn nữa, vì mật độ hạt gia tăng theo nhiệt độ, các hàm sóng của hadron sẽ bắt đầu phủ nhau ở nhiệt độ lớn.

Khi vật chất nóng, hạt nhân cuối cùng phân rã thành proton và neutron (nucleons). Đồng thời các hadron nhẹ (chủ yếu là các pion) gây nên nhiệt, lấp đầy không gian giữa các nucleon. Do không gian của các pion và hadron sinh nhiệt có

hạn nên chúng bắt đầu phủ lên nhau và phủ lên các túi của nucleon ban đầu sao cho tạo thành một mạng lưới các vùng có chứa các quark, phản quark và gluon được hình thành. Tại một nhiệt độ tới hạn T_c nhất định, các vùng này sẽ lấp đầy toàn bộ thể tích trong quá trình thẩm thấu. Trạng thái mới của vật chất này là quark-gluon plasma (QGP). Chân không trở lên tầm thường và các thành phần cơ bản bắt đầu tương tác yếu đi. Tuy nhiên, có một sự khác biệt cơ bản với plasma điện từ thông thường đó là sự chuyển pha gây ra do ion hóa và diễn ra từ từ. Do sự giam cầm, không có sự giải phóng các quark và bức xạ gluon ở dưới nhiệt độ tới hạn. Đến đây, một quá trình chuyển pha tương đối sắc nét được mong đợi.

Như vậy từ chất hạt nhân chiral, khi tăng nhiệt độ và mật độ, đã xảy ra chuyển pha sang pha quark-gluon plasma (QGP). Quá trình chuyển pha được suy ra từ cấu trúc Gibbs ở ranh giới các pha. Theo cấu trúc này, chuyển pha từ hadron sang quark là loại một. Nghĩa là, ranh giới pha thu được theo yêu cầu: ở thể hóa không đổi, áp suất của QGP bằng với áp suất trong pha hadronic. Kết quả là đường cong ranh giới pha (đường gạch chấm) trên mặt phẳng T - μ_B chỉ ra trên Hình 3.



Hình 3: Quá trình chuyển pha hadron quark (đường chấm màu xanh) của chất hạt nhân chiral nóng sang quark-gluon plasma trong mặt phẳng (T, μ_B) . Vùng màu tối là sự xuất hiện của pha hỗn hợp quark-hadron trong quá trình chuyển pha chiral nóng.

Nhận ra từ Hình 3 rằng có một khu vực nơi quá trình chuyển pha HQ xảy ra ngoài sự phục hồi đối xứng chiral ở phía pha hạt nhân, trong đó khối lượng nucleon bằng không. Đây là một pha trong đó các kích thích cơ bản nucleonic (hadronic) vẫn tồn tại nhưng nằm trong đối xứng chiral ngay trước khi chuyển sang pha quark bằng chuyển pha HQ, tức là có một vùng mà ở đó khối lượng hiệu dụng của nucleon bằng không nhưng các nucleon chưa phá vỡ sự giam cầm để giải phóng quark. Khu vực này đã được đề xuất gần đây bởi McLerran và Pisarski dựa trên các đối số N_c lớn [43], cái gọi là vật chất quarkyonic như là một trạng thái mới của vật chất đặc trưng bởi sự giam cầm nhưng đã phục hồi đối xứng chiral. Pha chiral này nằm ngoài pha hạt nhân đối xứng thông thường và được dự đoán bởi mô hình trên có thể tương ứng với pha quarkyonic.

Cái tên “quarkyon” diễn tả thực tế vật chất bao gồm các baryon bị giam cầm nhưng vẫn hoạt động như các quark đối xứng chiral ở mật độ cao. Có thể có các hiệu ứng phi nhiễu liên quan đến sự giam cầm và phục hồi đối xứng chiral gần bên mặt Fermi, vì còn những tương tác nhạy với hiệu ứng tầm xa, nhưng các tính chất khối lại trông như các quark tự do.

4. Kết luận

Quá trình chuyển pha ở các nhiệt độ và mật độ khác nhau đã được nghiên cứu trong mô hình chiral ENJL có tính đến tương tác vectơ - vô hướng đã cho một bức tranh tổng thể về các cấu trúc pha từ chất hạt nhân đến quark. Đối với chất hạt nhân, có hai chuyển pha tách biệt, chuyển pha khí lỏng và chuyển pha chiral. Đối với quá trình chuyển pha từ hadron sang quark, phía hadron là chất hạt nhân chiral và phía quark là quark-gluon plasma (chưa tính đến tương quan cặp quark), được kết hợp thông qua điều kiện cân bằng pha Gibbs và cho chuyển pha loại một.

Có một pha đáng quan tâm từ giản

đồ pha (Hình 3) xuất hiện ngay sau khi phục hồi đối xứng chiral nhưng nằm dưới chuyển pha phá vỡ giam cầm được đặc trưng bởi đường chuyển pha quark-hadron. Pha này như một pha kích thích, nghĩa là vẫn trong pha hạt nhân, chứ không phải pha quark (nghĩa là chưa phá vỡ giam cầm), nhưng đối xứng chiral đã được phục hồi. Pha này có thể tương ứng với pha quarkyonic, được giới thiệu như là một chất giam cầm đối xứng chiral.

Ở đây, chúng ta đã bỏ qua pha siêu dẫn màu mà nó có thể tồn tại trong các hệ mật độ hữu hạn và liên quan đến pha quarkyonic. Vì vậy, nhiệm vụ đầy thử thách tiếp theo có thể là nghiên cứu các pha của chất hạt nhân, bao gồm hạt nhân siêu lỏng và quark-gluon plasma, và cũng bao gồm trạng thái siêu dẫn màu. Hơn nữa, người ta tin tưởng rằng chất sao neutron trải qua quá trình chuyển pha với quark-gluon plasma ở nhiệt độ cao hoặc ở mật độ cao. Do đó, đây cũng là một vấn đề thú vị để nghiên cứu sự chuyển pha giữa chất sao neutron và chất quark. Điều này giúp chúng ta hiểu biết thêm về sao neutron, và phát triển vật lý các sao neutron.

Nguyễn Tuấn Anh

Khoa Kỹ thuật hạt nhân, Đại học Điện lực

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J.C. Collins and M.J. Perry, Phys. Rev. Lett. 34 (1975) 1353.
- [2] N. Cabibbo and G. Parisi, Phys. Lett. 59B (1975) 67.
- [3] J. Cleymans, R.V. Gavai, and E. Suhonen, Phys. Rep. 130 (1986) 217.
- [4] H. Meyer-Ortmanns, Rev. Mod. Phys. 68 (1996) 473.
- [5] U. Heinz and M. Jacob, nucl-th/0002042.
- [6] Brookhaven National Laboratory, press release 03-49, <http://www.bnl.gov/bnlweb/pubaf/pr/2003/bnlpr061103.htm>.

- [7] B. Barrois, Nucl. Phys. B 129 (1977) 390.
- [8] S.C. Frautschi, Asymptotic freedom and color superconductivity in dense quark matter, in: Proc. of the Workshop on Hadronic Matter at Extreme Energy Density, N. Cabibbo (ed.), Erice 1978.
- [9] D. Bailin and A. Love, Phys. Rep. 107 (1984) 325.
- [10] M. Alford, K. Rajagopal, and F. Wilczek, Phys. Lett. B 422 (1998) 247.
- [11] R. Rapp, T. Schäfer, E.V. Shuryak, and M. Velkovsky, Phys. Rev. Lett. 81 (1998) 53.
- [12] K. Rajagopal and F. Wilczek, "The Condensed Matter Physics of QCD", in: B.L. Ioffe Festschrift At the Frontier of Particle Physics / Handbook of QCD, vol. 3, edited by M. Shifman, World Scientific, Singapore, 2001, pp. 2061–2151.
- [13] M. Alford, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 51 (2001) 131.
- [14] T. Schäfer, Quark Matter, in: A.B. Santra et al. (Eds.), "Quarks and Mesons", Proc. of the BARC workshop on Quarks and Mesons, Bhabha Atomic Research Center, Mumbai, India (2003), Narosa Publishing House, New Delhi (2004); hep-ph/0304281.
- [15] D.H. Rischke, Prog. Part. Nucl. Phys. 52 (2004) 197.
- [16] M. Alford, K. Rajagopal, and F. Wilczek, Nucl. Phys. B 537 (1999) 443.
- [17] K. Rajagopal, Nucl. Phys. A 661 (1999) 150c.
- [18] T. Schäfer, Phys. Rev. Lett. 85 (2000) 5531.
- [19] P.F. Bedaque and T. Schäfer, Nucl. Phys. A 697 (2002) 802.
- [20] D.B. Kaplan and S.Reddy, Phys. Rev. D 65 (2002) 054042.
- [21] M. Alford, J. Bowers, and K. Rajagopal, Phys. Rev. D 63 (2001) 074016.
- [22] J. Bowers and K. Rajagopal, Phys. Rev. D 66 (2002) 065002.
- [23] M.G. Alford, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 117 (2003) 65.
- [24] D. B. Serot and J. D. Walecka, in Advanced Nuclear Physics, edited by J. W. Negele and E. Vogt (Plenum Press, New York, 1986), Vol. 16, p. 1.
- [25] Tran Huu Phat, Nguyen Tuan Anh, and Le Viet Hoa, Nucl. Phys. B 772 (2003) c548.
- [26] Tran Huu Phat, Nguyen Tuan Anh, Nguyen Van Long and Le Viet Hoa, Phys. Rev. C 76 (2007) 045202.
- [27] Tran Huu Phat, Nguyen Tuan Anh and Nguyen Van Long, Phys. Rev. C 77 (2008) 054321.
- [28] M. Gell-Mann and M. Levy, Nuovo Cimento 16, 705 (1960).
- [29] Y. Nambu and G. Jona-Lasinio, Phys. Rev. 122, 345 (1961); 124, 246 (1961).
- [30] T. D. Lee and G. C. Wick, Phys. Rev. D 9, 2291 (1974).
- [31] J. Boguta, Phys. Lett. B 120, 34 (1983).
- [32] I. N. Mishustin, J. Bondorf, and M. Rho, Nucl. Phys. A 555, 215 (1993).
- [33] G. W. Carter and P. J. Ellis, Nucl. Phys. A 628, 325 (1998).
- [34] P. Papazoglou, S. Schramm, J. Schaffner-Bielich, H. Stöcker, and W. Greiner, Phys. Rev. C 57, 2576 (1998).
- [35] P. Papazoglou, D. Zschesche, S. Schramm, J. Schaffner-Bielich, H. Stöcker, and W. Greiner, Phys. Rev. C 59, 411 (1999).
- [36] V. Koch, T. S. Biro, J. Kunz, and U. Mosel, Phys. Lett. B 185, 1 (1987).
- [37] M. Buballa, Nucl. Phys. A 611, 393 (1996).
- [38] I. N. Mishustin, in Proceedings of the International Conference on Nuclear Physics at the Turn of Millenium, Wilderness, 1996, edited by H. Stöcker, A. Gallman, and J. H. Hamilton (World Scientific, Singapore, 1997), p. 499.
- [39] Tran Huu Phat, Nguyen Tuan Anh, and Dinh Thanh Tam, Phys. Rev. C 84, 024321 (2011).
- [40] Nguyen Tuan Anh and Dinh Thanh Tam, Phys. Rev. C 84 (2011) 064326.
- [41] T. Schaefer, arXiv:0509068; P. Braun-Munzinger and J. Wambach, Rev. Mod. Phys. 81 (2009) 1031.
- [42] K. Fukushima and T. Hatsuda, Rep. Prog. Phys. 74 (2011) 014001.
- [43] L. McLerran and R. D. Pisarski, Nucl. Phys. A 796 (2007) 83; Y. Hidaka, L. McLerran and R. D. Pisarski, Nucl.

TƯƠNG TỰ QUANG HỌC CỦA BỨC XẠ HAWKING



Physicists stimulate Hawking radiation from optical analogue of a black hole

Các nhà vật lý đã thực hiện được sự tương tự quang học của bức xạ Hawking. Đây là một tiến bộ lớn nhằm chứng minh bức xạ Hawking là một hiện tượng phổ quát (universal) trong vũ trụ. Bức xạ Hawking không những tồn tại trong GR (General Relativity) mà còn trong nhiều môi trường khác: một dòng chảy, BEC, sợi quang học, ... Bài báo này giới thiệu:

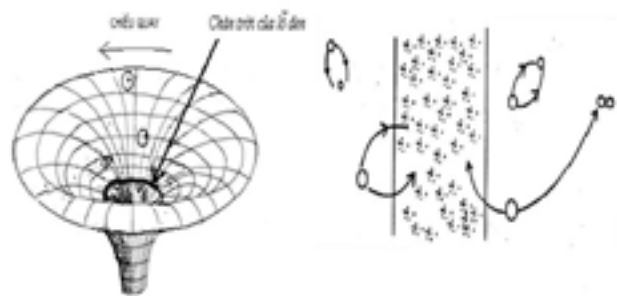
- bức xạ Hawking trong GR,
- ý tưởng sáng tạo của Unruh (lan truyền âm thanh trong một dòng chảy),
- cuối cùng là chuyển động của ánh sáng trong môi trường quang học.

Ý tưởng nằm sau 3 vấn đề đó là mở ra những mối liên hệ sâu kín giữa nhiều lĩnh vực của vật lý hiện đại.

I. BỨC XẠ HAWKING TRONG GR

Trong GR tồn tại lỗ đen, lỗ đen có chân trời sự cố - tức ranh giới có thể đi vào nhưng không thể thoát ra được đối với mọi vật kể cả ánh sáng (xem hình 1).

Lỗ đen thực tế không phải đen hoàn toàn. Nhà vật lý lý thuyết lỗi lạc Hawking chứng minh rằng lỗ đen có phát ra bức xạ → đó là bức xạ Hawking. Những nhiễu loạn chân không trong vùng lân cận của chân trời sự cố làm xuất hiện những cặp hạt, một hạt rơi vào trong lỗ đen còn hạt còn lại bay ra ngoài lỗ đen làm thành bức xạ Hawking.



Hình 1. Chân trời lỗ đen và bức xạ Hawking

II. TƯƠNG TỰ HIỆN TƯỢNG HAWKING TRONG MÔI TRƯỜNG ĐÔNG ĐẶC

Ý tưởng của Unruh

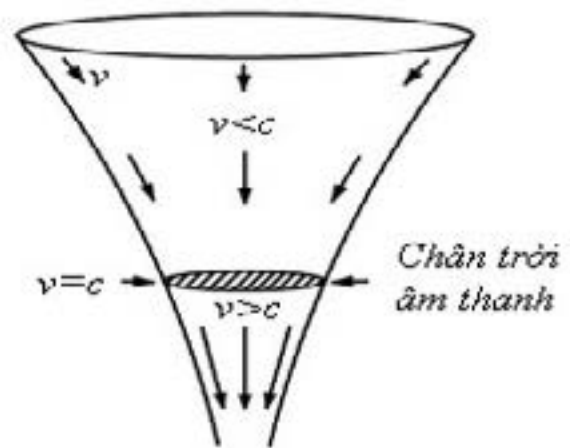
Lần đầu tiên nhà vật lý Unruh đưa ra ý tưởng rằng bức xạ Hawking có thể xảy ra không phải chỉ trong GR mà có thể trong một môi trường khác khi xét sự chuyển động âm thanh trong một dòng nước.

Sự bay hơi của lỗ đen là một tiên đoán của Hawking sử dụng Lý thuyết lượng tử (LTLT) trong không gian cong đã gây nhiều ngạc nhiên và kích thích trí tưởng tượng của mọi người. Nhưng hiện tượng này chưa được quan sát thực nghiệm. Chúng ta chưa có lý thuyết thống nhất hấp dẫn và lượng tử ta, song ta thấy rằng bức xạ nhiệt không phải là bức xạ riêng của lỗ đen mà đó còn là đặc trưng của nhiều hệ tương tự lỗ đen. Ví dụ một lỗ âm thanh (dumb hole) hình thành khi vận tốc của một chất lỏng vượt qua vận tốc âm thanh tại một mặt kín. Mặt kín này làm thành chân trời âm thanh tương tự như chân trời lỗ đen. Năm 1981 Unruh (hình 2) đã chứng minh rằng sự lan truyền của sóng âm thanh trong một chất lỏng hoàn toàn tương tự như sự lan truyền của một sóng vô hướng (scalar) trong không thời gian của một lỗ đen.



Hình 2. William George Unruh, nhà vật lý lý thuyết Canada sinh năm 1945 tại Winnipeg, Manitoba, Canada, tác giả của hiệu ứng Unruh

Hãy tưởng tượng bạn là một con cá và đồng thời là một nhà vật lý sống trong một dòng sông. Trên một điểm của dòng sông có một cái thác dữ dội, tại đó vận tốc nước vượt quá vận tốc âm thanh trong nước. Rõ ràng nếu bạn vượt qua điểm thác nước bạn sẽ kêu lên tiếng kêu tuyệt vọng song tiếng kêu đó lẽ dĩ nhiên không đến được tai ai đó ở vùng thượng lưu của thác. Tiếng kêu sẽ lan truyền trong nước song nước sẽ xóa mất tiếng kêu tại điểm trên thác vì ở đây vận tốc nước lớn hơn vận tốc âm thanh. Như vậy, nếu bạn tiến đến bề mặt đặc thù đó (bề mặt chân trời) thì tiếng kêu phát ra từ các điểm càng gần bề mặt đó thì càng cần nhiều thời gian để thoát đến một điểm xa bề mặt đó. Đây là hiện tượng tương tự hiện tượng xảy ra trong một lỗ đen. Một vật gì rơi qua bề mặt chân trời của lỗ đen thì không thể phát ra được một tín hiệu có khả năng đi ra vũ trụ bên ngoài chân trời.



Hình 3. Một mô hình đơn giản mô tả chân trời âm thanh. Các véc-tơ biểu diễn tốc độ dòng chảy, véc-tơ càng dài thì tốc độ càng lớn. Chân trời sự cố âm thanh (tương tự của chân trời sự cố lỗ đen) xuất hiện khi tốc độ dòng chảy bằng tốc độ âm thanh

Lý thuyết minh họa

Một lỗ âm thanh được hình thành khi vận tốc của chất lỏng vượt qua vận tốc âm thanh tại

một mặt kín. Mặt kín này tạo thành chân trời âm thanh tương tự như chân trời lỗ đen. Như trên đã nói, năm 1981 Unruh [1] chứng minh rằng sự lan truyền sóng âm trong một chất lỏng siêu âm (supersonic) hoàn toàn giống sự lan truyền một sóng vô hướng trong không thời gian lỗ đen. Như thế lỗ đen âm thanh đã được tiên đoán từ năm 1981 song lỗ đen âm thanh mới chỉ được tạo ra trong phòng thí nghiệm trong những năm 2009-2010.

Theo Unruh những nhiễu loạn âm thanh lan truyền trong một chất lỏng không đồng nhất đang chảy được mô tả bởi phương trình:

$$\Delta\Psi = \partial_\mu(\sqrt{-g}g_{\mu\nu}\partial_\nu\Psi)/\sqrt{-g} = 0$$

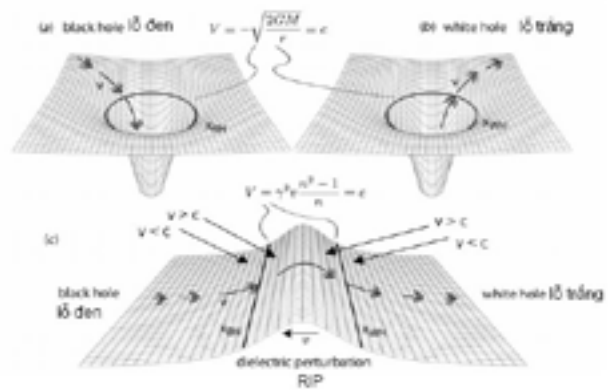
Trong đó $\vec{v} = \nabla\Psi$ và metric âm thanh (acoustic metric) $g_{\mu\nu} = g(t, \vec{x})$ điều khiển sự lan truyền sóng âm phụ thuộc vào mật độ, vận tốc dòng chảy và vận tốc định xứ của âm thanh. Metric âm thanh mô tả hình học Lorentz. Từ đó có thể suy ra được metric ds^2 và so sánh với metric Schwarzschild của một lỗ đen. Chuyển sang lý thuyết lượng tử và tiến hành tính toán tương tự như trong lỗ đen có thể tìm ra nhiệt độ bức xạ Hawking song bây giờ là của các phonon (thay vì photon hay các hạt khác):

$$kT_H = \hbar g_H / (2\pi c)$$

III. BỨC XẠ HAWKING TRONG QUANG HỌC

Điều đáng chú ý là nhiều hệ vật lý có thể xem như những tương tự (analogue) của lỗ đen. Đặc biệt, nhiều kết quả của phương hướng hiện đại quang học biến đổi (transformation optics) - tức sự mô tả các hệ quang học bằng hình học không thời gian đã dẫn đến sự mô tả chi tiết các phương pháp tạo nên những chân trời sự cố đối với photon. Người ta đã sử dụng những xung laser để tạo nên những chỉ số nhiễu loạn khúc

xạ chuyển động (refractive index perturbation - RIP) để thực hiện hình học không thời gian cong trong quang học. Như chúng ta biết, hiện tượng khúc xạ làm thay đổi vận tốc của dòng chảy. Vì thế, các RIP làm thay đổi vận tốc dòng chảy và tạo nên những lỗ đen (black hole) và những lỗ trắng (white hole).



Hình 4. Sự hình thành các lỗ đen và lỗ trắng

Hình 4 mô tả sự hình thành các lỗ đen và lỗ trắng của dòng nước (vận tốc v) còn tương tự dòng âm thanh (sound flow) trong thí nghiệm Unruh là một chất chảy (vận tốc c, mô tả bởi 2 đường thẳng đen đậm nằm nghiêng) trên dòng nước đó!

v = vận tốc của RIP

Vận tốc này tạo metric cho dòng nước (ví dụ tạo thác đổ trong thí nghiệm Unruh) và độc lập với dòng âm thanh - sound flow trong thí nghiệm Unruh.

Khi vận tốc $v = c$ (xem đường đen đậm bên trái hình) dòng v tăng dần như bị hút bởi một lỗ đen.

Còn khi $v = c$ (xem đường đen đậm bên phải hình) dòng bị chậm dần như bị đẩy ra ngoài bởi một lỗ trắng.

V = vận tốc dòng nước (trong tương tự Unruh)

V = trị số của c tại chân trời sự cố (Cao Chi - Vật lý hiện đại tập I trang 92)

C = vận tốc dòng âm thanh (trong tương tự Unruh)

Tại đầu (leading edge) của RIP) ta có black hole (khi dòng rơi vào vùng có khúc xạ nhỏ hơn vận tốc bị gia tăng tại điểm xBH - điểm chân trời của lỗ đen.

Tại đuôi (trailing edge of RIP) ta có white hole (khi dòng rơi vào vùng có khúc xạ lớn hơn vận tốc bị kìm lại tại điểm xWH - điểm chân trời của lỗ trắng.

Những thí nghiệm

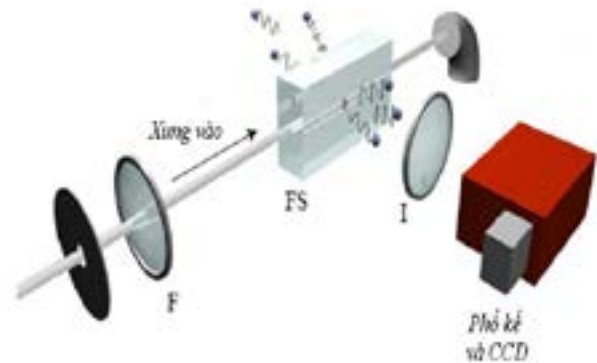
Các nhà vật lý đã đưa ra nhiều ý tưởng thí nghiệm thực hiện tình huống tương tự lỗ đen tuân theo đúng những phương trình cơ bản trong các môi trường đồng đặc: khí nguyên tử siêu lạnh, trong các sợi quang học hoặc đơn giản trong các dòng chảy của nước thông thường. Vì không thể trực tiếp quan sát được lỗ đen các nhà vật lý đã tìm những hiện tượng tương tự có khả năng “bắt chước” cách hành xử của các đối tượng vũ trụ học.

Tồn tại một tập phong phú các hệ vật lý sở hữu hiện tượng tương tự hiện tượng Hawking bắt đầu từ một dòng nước chảy, một ngưng tụ (condensat) Bose-Einstein đến một nhiễu loạn của hệ số khúc xạ chuyển động RIP trong điện môi (dielectric).

Nội dung phương pháp sau là sử dụng laser để tạo nên mặt chân trời. Ánh sáng mạnh có khả năng thay đổi hệ số khúc xạ của môi trường vốn điều khiển vận tốc lan truyền của ánh sáng.

Năm 1981, ý tưởng của William Unruh mới chỉ là một ý tưởng thực nghiệm tưởng tượng và bị bỏ quên bởi các nhà vật lý môi trường đồng đặc, vật lý nguyên tử, quang học lượng tử. Mãi đến những năm 2009-2010, Daniele Faccio (Đại học

Heriot-Watt, Edinbourg, Anh) cùng đồng nghiệp ở trường Đại học Insubria và Franco Belgiorno (Đại học Milan) đề xuất nhiều thí nghiệm thực hiện sự tương tự hiệu ứng Hawking. Xem một sơ đồ thí nghiệm ở hình 5.



Hình 5. Sơ đồ thực nghiệm ghi đo hiện tượng tương tự bức xạ Hawking. Một xung laser được quy tiêu điểm vào một khối FS (silica nóng chảy) nhờ thấu kính F. Một thấu kính I tập hợp các photon bức xạ ở góc 90 độ và hướng bức xạ vào một phổ kế có kèm CCD (Charge-coupled Device).

Các nhà vật lý cho rằng họ đã tìm cách tạo nên bức xạ Hawking trong phòng thí nghiệm chứng minh được tiên đoán của Hawking. Họ đã tạo ra một vùng không gian trong đó các cặp hạt-phản hạt liên tục sinh và hủy. Hiện tượng chân trời không chỉ tồn tại trong các lỗ đen. Bất cứ trong một môi trường trong đó có sóng lan truyền đều có thể tồn tại một chân trời sự cố và người ta có hy vọng quan sát được bức xạ Hawking. Họ đã tạo ra bức xạ Hawking bằng cách dùng một xung laser cường độ cao xuyên qua một vật liệu phi tuyến, tức là một vật liệu trong đó ánh sáng có thể làm thay đổi hệ số khúc xạ (refractive index) của môi trường.

Khi xung lượng chuyển động trong vật liệu làm thay đổi hệ số khúc xạ tạo nên một cung sóng trong đó hệ số khúc xạ lớn hơn rất nhiều so

với xung quanh. Việc tăng hệ số khúc xạ làm cho ánh sáng dừng lại không vào được vùng cung sóng. Điều này tạo nên một bề mặt chân trời mà ánh sáng không lọt vào được. Các nhà vật lý gọi đó là một lỗ trắng (đối tượng nghịch đảo của lỗ đen, lỗ trắng không cho phép ánh sáng đi vào).

Lỗ trắng không khác gì lỗ đen và ta không khó gì hình dung điều gì sẽ xảy ra cho một cặp hạt ảo ở chân trời lỗ trắng. Nếu một cặp hạt đi qua chân trời thì một hạt sẽ bị bẫy và hạt kia được tự do chuyển động và tạo nên những hạt lượng tử. Người ta đã quan sát được bức xạ Hawking dưới dạng xung hồng ngoại với tần số 850 nm ở góc 90 độ so với xung vào ban đầu có tần số 1055 nm (xem hình 5). Kết quả thu được cần kiểm nghiệm.

IV. KẾT LUẬN

Bài báo này cung cấp thông tin đến bạn đọc về một vấn đề lớn hơn: mối tương tự giữa vũ trụ học và vật lý các môi trường đông đặc. Có thể nói giữa vũ trụ học và vật lý các môi trường đông đặc có một mối tương tự quan trọng cho phép chúng ta ánh xạ những hiện tượng vũ trụ đến các hiện tượng của môi trường đông đặc (ví như lỗ đen-black hole & lỗ âm thanh-dumb hole, acoustic hole).

Chính bức tranh tương tự này sẽ mở ra những mối liên hệ sâu kín giữa nhiều lĩnh vực của vật lý hiện đại.

Cao Chi

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] “First Observation of Hawking Radiation” from the Technology Review

[2] Unruh W.G 1981 Experimental black-hole evaporation?. Phys. Rev. Lett. 46, 1351–

1353. doi:10.1103/Phys. Rev. Lett. 46.1351.

[3] M. Visser, “Acoustic black holes: Horizons, ergospheres and Hawking radiation” Class. Quantum Grav. 15, 1767

(1998) [gr-qc/9712010]; “Acoustic propagation in fluids: An unexpected example of Lorentzian geometry”, gr-qc/9311028; “Acoustic black holes”, gr-qc/9901047.

[4] Jonathan Drori, Yuval Rosenberg, David Bermudez, Yaron Silberberg, and Ulf Leonhardt (Weizmann Institute of Science, Rehovot 7610001, Israel Departamento de Física, Cinvestav, A.P. 14-740, 07000 Ciudad de Mexico, Mexico)

Observation of Stimulated Hawking Radiation in an Optical Analogue

(Dated: January 15, 2019)

arXiv: 1808.09244v4 [gr-qc] 13 Jan 2019

[5] Daniele Faccio, Laser pulse analogues for gravity and analogue Hawking radiation

School of Engineering and Physical Sciences, SUPA, Heriot-Watt University, Edinburgh,

EH14 4AS, UK

<http://dx.doi.org/10.1080/00107514.2011.642559>

[6] F. Belgiorno, S.L. Cacciatori, M. Clerici, V. Gorini,

G. Ortenzi, L. Rizzi, E. Rubino, V.G. Sala, D. Faccio, Hawking radiation from ultrashort laser pulse filaments

arXiv: 1009.4634v1 [gr-qc] 23 Sep 2010

ĐÁNH GIÁ BIẾN ĐỔI HOÁ HỌC CỦA NƯỚC TRONG QUÁ TRÌNH HOẠT HOÁ BẰNG PLASMA LẠNH

Nước hoạt hoá plasma (PAW) đang được nghiên cứu để xử lý nhiễm khuẩn với rất nhiều tiềm năng ứng dụng. Chất lỏng hoạt hoá plasma (PAL) trong đó có PAW cho thấy khả năng chống lại rất nhiều vi sinh vật. PAL được chế tạo bằng phương pháp tương tác plasma lạnh với chất lỏng. Tính kháng khuẩn và ứng dụng của PAL phụ thuộc rất nhiều vào thành phần hoạt chất của PAL chủ yếu là các chất oxy và nitơ hoạt động (RONS) sinh ra trong quá trình plasma tương tác với chất lỏng. Có nhiều phương pháp đánh giá nồng độ của RONS, chúng tôi đề xuất phương pháp sử dụng quang phổ hấp thụ UV-vis để xác định 3 thành phần chính của RONS là H_2O_2 , NO_3^- và HNO_2^- . Kết quả cho thấy bằng cách đo phổ hấp thụ chúng ta có thể dễ xác định và nồng độ RONS trong PAW và sự thay đổi của chúng theo thời gian.

I. PLASMA LẠNH VÀ NƯỚC HOẠT HOÁ PLASMA

1.1. Plasma lạnh và ứng dụng

Plasma là trạng thái thứ tư (bên cạnh rắn, lỏng, khí) trong đó các chất bị ion hóa, nhiều phân tử hay nguyên tử chỉ còn lại hạt nhân; các electron chuyển động tương đối tự do giữa các hạt. Plasma được tạo thành từ chất khí bị ion hóa bao gồm các thành phần như: ion dương, ion âm, điện tử và các phân tử hay nguyên tử trung hoà. Mức độ ion hóa chất khí có thể thay đổi từ 100% (ion hóa hoàn toàn) đến giá trị rất thấp chỉ vài phần triệu (ion hóa một phần). Năm 1879, plasma lần đầu tiên được mô tả bởi nhà hóa học và vật lý người Anh William Crookes.

Trên trái đất, loại vật chất này không nhiều, chỉ có ở vùng cực quang vùng núi lửa hoặc chớp điện mới có thể tìm thấy chúng, thế nhưng trong vũ trụ, thế lực của chúng rất to lớn, khoảng 99,9% vật chất trong toàn vũ trụ đều ở vào trạng thái plasma.

Nếu sự ion hóa được xảy ra bởi việc nhận năng lượng từ các dòng vật chất bên ngoài, như từ các bức xạ điện từ thì plasma còn gọi là plasma nhiệt độ thấp. Nếu sự ion hóa xảy ra do va chạm nhiệt giữa các phân tử hay nguyên tử ở nhiệt độ cao thì plasma còn gọi là plasma nóng. Các ví dụ về plasma dễ thấy nhất là mặt trời, các ngôi sao, đèn huỳnh quang và sét.



Hình 1. Thành phần vật chất cấu thành plasma

Phụ thuộc vào hiệu suất trao đổi năng lượng giữa các thành phần của plasma, plasma được phân thành plasma phi nhiệt và plasma nhiệt. Đối với plasma nhiệt, nhiệt độ của điện tử bằng với nhiệt độ của ion và nhiệt độ của chất khí. Đối với plasma lạnh, nhiệt độ điện tử đạt giá trị rất lớn trong khi ion và chất khí có nhiệt độ xấp xỉ môi trường.

Trong những năm gần đây, nghiên cứu plasma lạnh để xử lý nước là chủ đề thu hút sự quan tâm của nhiều nhà khoa học trên thế giới. Ở Việt Nam plasma lạnh đang được triển khai ứng dụng trong các lĩnh vực khác nhau, đặc biệt là trong việc diệt khuẩn thay thế kháng sinh. Plasma lạnh được chứng minh có tác dụng ức chế rất nhiều vi sinh vật, cả bào tử và virus. Electron, ion có động năng lớn, tia UV trong plasma bắn phá thành tế bào tạo ra các gốc oxy hoá bậc cao phá vỡ cấu trúc DNA, thành tế bào và các liên kết giữa các thành phần trong tế bào gây tổn thương không phục hồi và gây ra chết vi sinh vật.

1.2. Nước hoạt hoá plasma

Nước được hoạt hoá bằng plasma (PAW) đang được nghiên cứu để xử lý nhiễm khuẩn cho thực phẩm [1] và cho các ứng dụng y tế [2]. PAW được tạo ra rất đơn giản bằng cách xử lý nước bằng plasma lạnh trong không khí. Chất lỏng hoạt hoá plasma (PAL) trong đó có PAW cho thấy khả năng chống lại rất nhiều vi sinh vật [1 - 15]. Khả năng diệt khuẩn này hiệu quả đến mức người ta gán cho nó biệt danh “nước chết” [10]. PAL có thời hạn sử dụng tốt, nó có thể duy trì khả năng kháng khuẩn từ nhiều ngày đến vài tuần [7, 15] thậm chí nhiều năm [16]. Bên cạnh nước, dung dịch đệm và môi trường nuôi cấy tế bào được hoạt hoá plasma cũng đang được nghiên cứu để điều trị ung thư [17 - 20].

Hoạt động kháng khuẩn của PAW và các dung dịch được xử lý bằng plasma khác chủ yếu

được tạo ra bởi các chất oxy và nitơ hoạt động (RONS) [21]. RON được tạo ra bởi tương tác plasma-không khí trong pha khí sau đó hòa tan vào dung dịch. Ngoài ra, plasma làm giảm độ pH của dung dịch. RONS kết hợp với độ axit tăng lên của PAW được cho là hoạt động đồng bộ, tạo ra một cuộc tấn công oxy hóa mạnh mẽ chống lại vi khuẩn [15]. Mức độ nhạy cảm cao của các tế bào vi khuẩn đối với PAW có thể phát sinh từ tỷ lệ điện tích bề mặt so với thể tích của các tế bào nhân sơ cao hơn so với các tế bào nhân chuẩn, làm tăng nồng độ RONS trong các tế bào này [22]. Ở vi khuẩn, RONS có thể phá hủy tế bào thông qua gia tăng oxy hóa (oxidative stress) hoặc suy giảm ADN (DNA damage) [23].

Các RON được cho là chịu trách nhiệm chính trong hoạt động kháng khuẩn của PAW là hydrogen peroxide (H_2O_2), nitrit (NO_2^-), và nitrate (NO_3^-) [5]. Tuy nhiên, hóa học plasma-lỏng phức tạp hơn nhiều, đặc biệt ở giao diện plasma-lỏng, nơi có nhiều loại RON có hoạt tính mạnh được tạo ra như gốc hydroxyl ($OH\cdot$), gốc nitric oxit ($NO\cdot$), gốc tự do superoxide (O_2^-), gốc hydroperoxyl ($HOO\cdot$), gốc nitric dioxide ($N_2O\cdot$), oxy singlet (1O_2), ozone (O_3). Hóa chất lỏng được khởi tạo bằng xử lý plasma có thể ảnh hưởng mạnh mẽ đến tính chất hóa học và tính kháng khuẩn lâu dài của PAW. Do đó, theo dõi và kiểm soát hóa học plasma và chất lỏng của PAW để đạt được kết quả tổng hợp như mong muốn cho các ứng dụng sinh học hoặc y tế cụ thể là vô cùng quan trọng. Tổng quan về tương tác plasma - lỏng có thể tìm thấy trong [24, 25].

Hóa học plasma đã được nghiên cứu chi tiết [26 - 28] được cho là ảnh hưởng đáng kể đến quá trình hóa học tạo ra PAW. Phương pháp cộng hưởng spin điện tử (ESR) đã được sử dụng để đo các RON có thời gian sống ngắn trong PAW [29]. Có một kỹ thuật khác thông dụng hơn được dùng để đo RONS bền (như H_2O_2 , NO_2^- và NO_3^-)

nhờ sử dụng chất màu phản ứng với RONS để đo màu hoặc huỳnh quang giúp nhanh chóng xác định được nồng độ của RONS [30, 31]. Chúng tôi thấy rằng quang phổ hấp thụ UV-vis là một kỹ thuật tương đối đơn giản và hiệu quả và chi phí thấp để đo nồng độ RONS bên của PAW. Đặc biệt nó còn có thể thực hiện nhiều phép đo trong quá trình xử lý plasma [32]. Chúng ta có thể dùng phổ UV-vis để thu được nồng độ RON trong PAW với độ chính xác, độ lặp lại và độ nhạy cao [33, 34].

Trong nghiên cứu này chúng tôi tìm hiểu ảnh hưởng của thời gian xử lý plasma và thời gian lưu trữ PAW lên thành phần hoá học của nó. Kết quả thu được là cơ sở đầu tiên để hiểu bản chất hóa lý của PAW và tiến hành lập kế hoạch các thí nghiệm tiếp theo nghiên cứu hoạt tính sinh học của PAW.

II. NGUYÊN VẬT LIỆU VÀ THIẾT BỊ

Phương pháp tạo nước hoạt hóa plasma: 500 ml nước cất 2 lần được bơm tuần hoàn với tốc độ 0,4 l/phút qua buồng plasma (Hình 2) có công suất 200 W, thời gian 1X tương đương 45 giây, 20X là 15 phút. Thành phần của PAW được phân tích dựa vào quang phổ hấp thụ UV-vis. Dung dịch PAW được lưu trữ trong chai thủy tinh tối màu dung tích 500 ml để phân tích ảnh hưởng của thời gian lưu trữ lên thành phần của PAW.

Phương pháp xác định nồng độ HNO_2 , HNO_3 , H_2O_2 của PAW: Sử dụng quang phổ hấp thụ UV-vis để xác định nồng độ HNO_2 , HNO_3 , H_2O_2 của PAW.

Thay đổi động học xử lý: Thời gian xử lý plasma 1 lần, 5 lần, 10 lần và 20 lần qua plasma). Thành phần khí: không khí.

Thời gian bảo quản PAW: Đo đạc ngay sau khi hoạt hóa 0 ngày, 1 ngày, 3 ngày, 6 ngày và 12 ngày.

Địa điểm tiến hành: Việc đo đạc một số

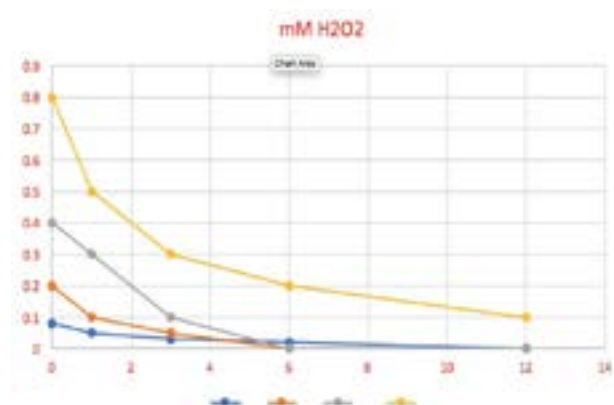
thông số hoá lý của PAW sẽ được thực hiện tại Viện Vật lý, Viện Hàn lâm KHCNVN.



Hình 2: Thiết bị hoạt hóa nước bằng plasma lạnh gồm nguồn plasma và buồng gồm pha khí trên và pha lỏng dưới

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Sự hình thành và biến động nồng độ H_2O_2 theo thời gian xử lý plasma và thời gian bảo quản



Hình 3: Sự biến động nồng độ H_2O_2 thông qua thời gian xử lý 1X (45 giây), 5X, 10X và 20X (15 phút) và thời gian bảo quản 0, 1, 3, 6, 12 ngày trong chai kín ở nhiệt độ phòng

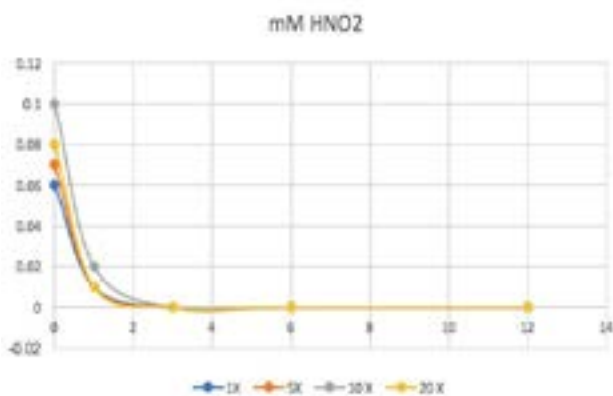
Peroxit hình thành trong quá trình nước tiếp xúc với plasma lạnh và không khí được sử

dụng trong buồng xử lý plasma. Hình 3 cho thấy nồng độ H_2O_2 tăng lên từ 0,08 mM lên 0,2; 0,4 và 0,8 mM khi tăng thời gian xử lý plasma từ 1X lên 2X, 5X, 10X và 20X.

Khi tiến hành bảo quản PAW ở chai thủy tinh đậy kín và nhiệt độ phòng nồng độ H_2O_2 giảm rất nhanh, càng thấp thì giảm càng nhanh: sau 1 ngày giảm còn 50-60%, sau 3 ngày giảm còn 30-37,3%, sau 6 ngày hầu như hết, riêng công thức xử lý 20X còn 12,5% sau 12 ngày bảo quản. Có thể khẳng định H_2O_2 là gốc tự do hoạt động mạnh trong thời gian mới hình thành (khoảng 3 ngày), về sau hầu như khó phát hiện. Đó là một trong những lý do vì sao tính diệt khuẩn của PAW mất sau bảo quản khiến cho một số tác giả bị nghi ngờ.

3.2. Sự hình thành và biến động nồng độ HNO_2 theo thời gian xử lý plasma và thời gian bảo quản

Nitrit được hình thành trong quá trình kích hoạt nước với plasma lạnh, nồng độ HNO_2 tỷ lệ thuận với thời gian hoạt hóa, nhưng rất thấp, chỉ đạt từ 0,05 đến 0,1 mM sau khi hoạt hóa với thời lượng từ 1X đến 20X.



Hình 4: Sự biến động nồng độ HNO_2 thông qua thời gian xử lý 1X (45 giây), 5X, 10X và 20X (15 phút) và thời gian bảo quản 0, 1, 3, 6, 12 ngày trong chai kín ở nhiệt độ phòng. Nồng độ HNO_2 tăng tỷ lệ thuận với thời gian xử lý nước với plasma và giảm rất nhanh với thời gian bảo quản ở nhiệt độ trong phòng

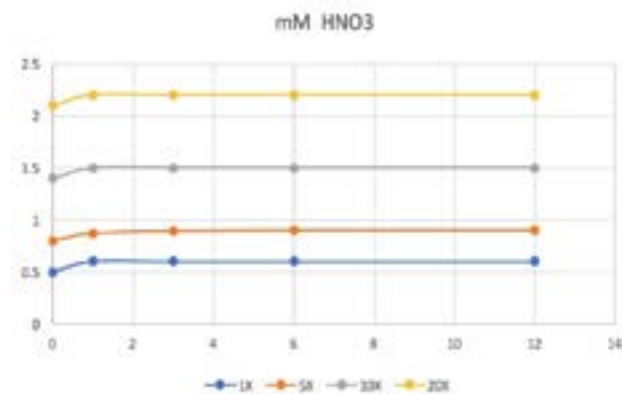
Điều đặc biệt đáng lưu ý là nồng độ HNO_2 giảm rất nhanh trong quá trình bảo quản: sau 3 ngày gần như hết toàn bộ (Hình 4).

Có thể giải thích hiện tượng này là do hoạt động của H_2O_2 . Tác nhân này đã chuyển hóa HNO_2 thành HNO_3 .

3.3. Sự hình thành và biến động nồng độ HNO_3 theo thời gian xử lý plasma và thời gian bảo quản

Nồng độ HNO_3 đạt trong khoảng từ 0,5 đến 2,1 mM và tỷ lệ thuận với thời gian hoạt hóa. Điều đặc biệt là nồng độ HNO_3 trong các mẫu đều tăng nhẹ trong thời gian đầu của quá trình bảo quản và sau 1 ngày thì duy trì ổn định suốt thời gian bảo quản đến 12 ngày.

Nồng độ HNO_3 tăng nhẹ trong ngày bảo quản đầu tiên là kết quả của quá trình chuyển hóa từ HNO_2 thành HNO_3 dưới tác động của H_2O_2 . Điều đó cho phép giải thích về sự giảm nhanh nồng độ hai loại phân tử trên trong thời gian đầu của quá trình bảo quản (Hình 5).



Hình 5: Sự biến động nồng độ HNO_3 thông qua thời gian xử lý 1X (45 giây), 5X, 10X và 20X (15 phút) và thời gian bảo quản 0, 1, 3, 6, 12 ngày trong chai kín ở nhiệt độ phòng. Lượng HNO_3 được hình thành khá mạnh trong điều kiện không khí được dùng trong quá trình plasma hóa, đạt nồng độ từ 0,5 đến 2,1 mM. Đặc biệt là nồng độ này tăng nhẹ trong ngày bảo quản đầu tiên và duy trì ổn định vô thời hạn

IV. KẾT LUẬN

Nồng độ H_2O_2 , HNO_2 và HNO_3 tỷ lệ thuận với thời gian hoạt hóa nước bằng plasma nhiệt độ thấp từ 1X (45 giây) đến 20X (15 phút), không phát hiện được điểm bão hòa.

Nồng độ H_2O_2 , HNO_2 giảm mạnh khi bảo quản PAW bằng chai thủy tinh đóng kín tại nhiệt độ phòng.

Riêng nồng độ HNO_3 không những không giảm mà còn tăng nhẹ sau hoạt hóa và giữ ổn định suốt thời gian thí nghiệm bảo quản (đến 12 ngày).

Đỗ Hoàng Tùng, Viện Vật lý

Viện Hàn lâm Khoa học và CN Việt Nam

Nguyễn Thị Thu Thủy

Trường Đại học Phòng cháy chữa cháy

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. Jung, H. J. Kim, S. Park, H. I. Yong, J. H. Choe, H.-J. Jeon, W. Choe, and C. Jo, *Meat Sci.* 108, 132 (2015).
- [2] T. Tasaki, T. Ohshima, E. Usui, S. Ikawa, K. Kitano, N. Maeda, and Y. Momoi, *Dent. Mater. J.* 36, 422 (2017).
- [3] S. Ikawa, K. Kitano, and S. Hamaguchi, *Plasma Processes Polym.* 7, 33 (2010).
- [4] J. Foster, B. S. Sommers, S. N. Gucker, I. M. Blankson, and G. Adamovsky, *IEEE Trans. Plasma Sci.* 40, 1311 (2012).
- [5] K. Oehmigen, M. Hähnel, R. Brandenburg, Ch. Wilke, K.-D. Weltmann, and Th. von Woedtke, *Plasma Processes Polym.* 7, 250 (2010).
- [6] K. Oehmigen, J. Winter, M. Hähnel, Ch. Wilke, R. Brandenburg, K.-D. Weltmann, and Th. von Woedtke, *Plasma Processes Polym.* 8, 904 (2011).
- [7] M. J. Traylor, M. J. Pavlovich, S. Karim, P. Hait, Y. Sakiyama, D. S. Clark, and D. B. Graves, *J. Phys. D* 44, 472001 (2011).
- [8] E. Takai, K. Kitano, J. Kuwabara, and K. Shiraki, *Plasma Processes Polym.* 9, 77 (2012).
- [9] R. Burlica, R. G. Grim, K.-Y. Shih, D. Balkwill, and B. R. Locke, *Plasma Processes Polym.* 7, 640 (2010).
- [10] J. Julák, V. Scholtz, S. Kotúčová, and O. Janoušková, *Phys. Med.* 28, 230 (2012).
- [11] K. Kitano, S. Ikawa, A. Tani, Y. Nakashima, H. Yamazaki, T. Ohshima, K. Kaneko, M. Ito, T. Kuwata, and A. Yagishita, *21st Int. Symp. Plasma Chemistry*, 2013.
- [12] E. Takai, T. Kitamura, J. Kuwabara, S. Ikawa, S. Yoshizawa, K. Shiraki, H. Kawasaki, R. Arakawa, and K. Kitano, *J. Phys. D* 47, 285403 (2014).
- [13] P. Lukes, E. Dolezalova, I. Sisrova, and M. Clupek, *Plasma Sources Sci. Technol.* 23, 015019 (2014).
- [14] T. Kobayashi, N. Iwata, J.-S. Oh, H. Hashizume, T. Ohta, K. Takeda, K. Ishikawa, M. Hori, and M. Ito, *J. Phys. D* 50, 155208 (2017).
- [15] M. Naïtali, G. Kamgang-Youbi, J.-M. Herry, M.-N. Bellon-Fontaine, and J.-L. Brisset, *Appl. Environ. Microbiol.* 76, 7662 (2010).
- [16] U. K. Ercan, H. Wang, H. Ji, G. Fridman, A. D. Brooks, and S. G. Joshi, *Plasma Processes Polym.* 10, 544 (2013).
- [17] H. Tanaka, M. Mizuno, K. Ishikawa, K. Nakamura, H. Kajiyama, H. Kano, F. Kikkawa, and M. Hori, *Plasma Med.* 1, 265 (2011).
- [18] S. Iseki, K. Nakamura, M. Hayashi, H. Tanaka, H. Kondo, H. Kajiyama, H. Kano, F. Kikkawa, and M. Hori, *Appl. Phys. Lett.* 100, 113702 (2012).
- [19] F. Utsumi, H. Kajiyama, K. Nakamura, H. Tanaka, M. Mizuno, K. Ishikawa, H. Kondo, H. Kano, M. Hori, and F. Kikkawa, *PLOS ONE* 8, e81576 (2013).
- [20] E. Takai, G. Ohashi, T. Yoshida, K. M. Sörgjerd, T. Zako, M. Maeda, K. Kitano, and K. Shiraki, *Appl. Phys. Lett.* 104, 023701 (2014).
- [21] D. B. Graves, *J. Phys. D* 45, 263001 (2012).
- [22] E. J. Szili, S.-H. Hong, and R. D. Short,

Biointerphases 10, 029511 (2015).

[23] E. J. Szili, N. Gaur, S.-H. Hong, H. Kurita, J.-S. Oh, M. Ito, A. Mizuno, A. Hatta, A. J. Cowin, D. B. Graves, and R. D. Short, *J. Phys. D* 50, 274001 (2017).

[24] P. Bruggeman and C. Leys, *J. Phys. D* 42, 053001 (2009).

[25] P. J. Bruggeman, M. J. Kushner, B. R. Locke, J. G. E. Gardeniers, W. G. Graham, D. B. Graves, R. C. H. M. Hofman-Caris, D. Maric, J. P. Reid, E. Ceriani, D. Fernandez Rivas, J. E. Foster, S. C. Garrick, Y. Gorbanev, S. Hamaguchi, F. Iza, H. Jablonowski, E. Klimova, J. Kolb, F. Krcma, P. Lukes, Z. Machala, I. Marinov, D. Mariotti, S. Mededovic Thagard, D. Minakata, E. C. Neyts, J. Pawlat, Z. Lj Petrovic, R. Pflieger, S. Reuter, D. C. Schram, S. Schröter, M. Shiraiwa, B. Tarabová, P. A. Tsai, J. R. R. Verlet, T. von Woedtke, K. R. Wilson, K. Yasui, and G. Zvereva, *Plasma Sources Sci. Technol.* 25, 053002 (2016).

[26] J.-S. Oh, Y. Aranda-Gonzalvo, and J. W. Bradley, *J. Phys. D* 44, 365202 (2011).

[27] K. McKay, J.-S. Oh, J. L. Walsh, and J. W. Bradley, *J. Phys. D* 46, 464018 (2013).

[28] J.-S. Oh, H. Furuta, A. Hatta, and J. W. Bradley, *Jpn. J. Appl. Phys.* 54, 01AA03 (2015).

[29] A. Tani, Y. Ono, S. Fukui, S. Ikawa, and K. Kitano, *Appl. Phys. Lett.* 100, 254103 (2012).

[30] E. J. Szili, J. W. Bradley, and R. D. Short, *J. Phys. D* 47, 152002 (2014).

[31] N. Gaur, E. J. Szili, J.-S. Oh, S.-H. Hong, A. Michelmore, D. B. Graves, A. Hatta, and R. D. Short, *Appl. Phys. Lett.* 107, 103703 (2015).

[32] E. J. Szili, J.-S. Oh, S.-H. Hong, A. Hatta, and R. D. Short, *J. Phys. D* 48, 202001 (2015).

[33] J.-S. Oh, E. J. Szili, N. Gaur, S.-H. Hong, H. Furuta, R. D. Short, and A. Hatta, *J. Photopolym. Sci. Technol.* 28, 439 (2015).

TIN TRONG NƯỚC VÀ QUỐC TẾ

GIẢI QUYẾT NẠN ĐÓI TIỀM ẨN NHỜ CÔNG NGHỆ HẠT NHÂN TẠI CỘNG HÒA SIERRA LEONE

Suy dinh dưỡng không phải lúc nào cũng có thể nhìn thấy bằng mắt thường. Một đứa trẻ có thể trông khỏe mạnh nhưng vẫn có thể bị thiếu hụt chất dinh dưỡng. Điều này được gọi là nạn đói tiềm ẩn - là sự thiếu hụt vi chất dinh dưỡng trong thời gian dài. Nạn đói tiềm ẩn ảnh hưởng đến khoảng hai tỷ người trên thế giới, trong đó có cả quốc gia Sierra Leone.

Cộng hòa Sierra Leone là một quốc gia nằm ở khu vực Tây Phi. Trong số 20 quốc gia có chỉ số nạn đói tiềm ẩn cao nhất, Sierra Leone đứng thứ sáu. Năm 2018, Sierra Leone có tỷ lệ tử vong ở trẻ em cao nhất thế giới, ước tính khoảng 110/1000 ca sinh, theo số liệu của UNICEF. Gần một nửa số ca tử vong này có liên quan đến suy dinh dưỡng.

Cơ quan Năng lượng nguyên tử quốc tế (IAEA) và Tổ chức Nông lương Liên hợp quốc (FAO) đang giúp giải quyết tình trạng thiếu hụt vi chất dinh dưỡng cho người dân, đặc biệt là trẻ em ở Sierra Leonian. Nhờ ứng dụng công nghệ hạt nhân, các nhà khoa học đang phát triển các loại cây trồng mới giàu dinh dưỡng, có hàm lượng sắt và các vi chất dinh dưỡng khác cao hơn các loại cây trồng thông thường.

Theo nhà di truyền học thực vật Isaac Kofi Bimpong - Khoa Công nghệ hạt nhân trong nông nghiệp và lương thực, phối hợp giữa tổ

chức FAO và IAEA, tình trạng suy dinh dưỡng vi chất mãn tính ở trẻ em, cụ thể là thiếu hụt vitamin A, sắt và các khoáng chất khác, có xu hướng tồn tại từ thời thơ ấu đến khi trưởng thành, gây nên nhiều hậu quả đối với sức khỏe và năng suất của cả quốc gia.

Các dự án hợp tác kỹ thuật khác nhau của IAEA trong những năm qua đã giúp nước Cộng hòa Sierra Leone cải thiện hàm lượng dinh dưỡng ở cây trồng thông qua việc phát triển các giống cây trồng mới. Hầu hết các dự án đã tập trung vào phát triển các giống mới nhằm cải thiện hàm lượng dinh dưỡng của cây lúa và sắn - những cây lương thực ưu tiên. Cơ quan phối hợp giữa tổ chức FAO và IAEA, thông qua các chuyên gia và chuyên gia quốc tế của riêng mình, đã đào tạo nhiều nhà khoa học chuyên về lĩnh vực nhân giống thực vật đột biến và phân tích dinh dưỡng thực vật.



Năm 2017, các nhà khoa học từ Sierra Leone đã sử dụng các kỹ thuật hạt nhân để chiếu xạ các giống lúa và sắn của địa phương tại các phòng thí nghiệm ở Seibersdorf gần Vienna (Áo), lựa chọn các dòng mới có những đặc tính

cải thiện. Cho đến nay, các nhà khoa học đã phát triển hơn 2.000 giống sắn và hơn 3.000 giống lúa mới có hàm lượng chất dinh dưỡng cao hơn và có nhiều tính chất có lợi khác.

Trong phòng thí nghiệm mới, sử dụng thiết bị do tổ chức IAEA cung cấp, các nhà khoa học có thể đo lượng chất dinh dưỡng và khoáng chất có trong các giống gạo, sắn và một số loại thực phẩm khác, từ đó đưa ra đánh giá về chất lượng dinh dưỡng. Phòng thí nghiệm này cũng có thể theo dõi sự có mặt của các độc tố và các chất gây ô nhiễm khác như kim loại, mycotoxin... có trong các loại cây lương thực. Mục tiêu dài hạn của các phòng thí nghiệm này là tạo ra các giống lúa và sắn mới được tăng cường vi chất dinh dưỡng như tăng carotene trong sắn, tăng protein trong ngô, và nhiều vitamin và khoáng chất trong gạo.



Cũng trong các nghiên cứu ứng dụng công nghệ hạt nhân, các nhà di truyền học tại Đại học Njala đang sử dụng biện pháp nhân giống đột biến để phát triển và chọn các giống lúa có khả năng chống chịu được điều kiện môi trường có chứa hàm lượng sắt cao và các kim loại nặng khác. Như chúng ta đã biết, các hoạt động công nghiệp tăng cao làm tăng hàm lượng nguyên tố sắt trong đất trồng trọt. Mặc dù sắt là một chất dinh dưỡng tốt trong thực phẩm, nhưng khi có mặt ở hàm lượng lớn, sắt có thể gây nhiễm độc cho cả người và thực vật.

Không chỉ ứng dụng công nghệ hạt nhân trong việc tạo ra các giống thực vật mới có hàm lượng dinh dưỡng cao, có khả năng chống chịu môi trường tốt, các nhà khoa học còn ứng dụng công nghệ hạt nhân trong việc nhân giống đột biến thực vật và lựa chọn thực vật với các tính trạng hữu ích. Nhân giống đột biến thực vật là quá trình đưa hạt giống hoặc vật liệu nuôi cấy mô phơi nhiễm với nguồn bức xạ, như tia gamma, sau đó gieo hạt giống hoặc nuôi cấy vật liệu được chiếu xạ trong môi trường vô trùng để tạo ra cây con. Các cây riêng lẻ sau đó được nhân giống và kiểm tra các tính trạng mới và hữu ích. Một khi các thay đổi về gen làm phát sinh các tính trạng mới đã được xác định, nhân giống được hỗ trợ đánh dấu phân tử có thể được sử dụng để đẩy nhanh việc nhân giống các giống mới với các tính trạng mong muốn.

Nhân giống đột biến thực vật không liên quan đến chỉnh sửa gen, mà sử dụng nguồn gen của một loài thực vật và bắt chước quá trình đột biến tự nhiên. Bằng cách sử dụng nguồn bức xạ, các nhà khoa học có thể tăng cường đáng kể sự đa dạng nguồn gen cần thiết để phát triển các giống mới với các tính trạng chọn lọc.

Để tạo điều kiện cho việc lựa chọn các thực vật có hàm lượng dinh dưỡng được cải thiện, và để đánh giá sự an toàn và chất lượng của các sản phẩm lương thực, cần có các phòng thí nghiệm phân tích. Những phòng thí nghiệm này có thể đo hàm lượng dinh dưỡng trong thực vật và ngũ cốc, đồng thời xác định mức độ ngưỡng các kim loại độc hại và chất gây ô nhiễm trong thực phẩm nhờ sử dụng máy quang phổ hấp thụ nguyên tử.

Nguyễn Thị Thục Phương

Nguồn: <https://www.iaea.org/newscenter/news/sierra-leone-to-tackle-hidden-hunger-with-better-crops-through-nuclear-technology>

HỘI THẢO VỀ KIỂM SOÁT VÀ KẾ TOÁN VẬT LIỆU HẠT NHÂN

Trong 4 ngày, từ 04 đến 07 tháng 03 năm 2019 tại Đà Lạt, Cơ quan An ninh hạt nhân Hoa Kỳ phối hợp với Cục An toàn bức xạ và hạt nhân (ATBXHN) tổ chức Hội thảo về Kiểm soát và Kế toán vật liệu hạt nhân (NMAC).

Tham dự Hội thảo có các chuyên gia đến từ Cơ quan An ninh hạt nhân Hoa Kỳ, các học viên tham gia khóa học đến từ Cục An toàn bức xạ và hạt nhân, Viện Công nghệ xạ hiếm, Viện Khoa học và kỹ thuật hạt nhân và Viện Nghiên cứu hạt nhân Đà Lạt. Trong khuôn khổ chương trình, các chuyên gia đến từ Hoa Kỳ đã cung cấp các kiến thức liên quan đến xây dựng và triển khai hệ thống NMAC tại cơ sở lò phản ứng nghiên cứu và hỗ trợ xây dựng các văn bản hướng dẫn, quy trình liên quan đến hoạt động thanh sát hạt nhân thông qua các bài giảng và bài thực hành.



Những nội dung trong chương trình rất hữu ích và thiết thực cho kế hoạch xây dựng lò phản ứng nghiên cứu mới sắp được triển khai trong thời gian tới, đặc biệt là trong hoạt động thanh sát hạt nhân.

Nguyễn Văn Tùng

Viện Công nghệ xạ hiếm

**TRUNG TÂM TRIỂN KHAI CÔNG NGHỆ - VIỆN CNXH
ĐÓN NHẬN BẰNG KHEN CỦA THỦ TƯỚNG CHÍNH PHỦ
(NGÀY 04/01/2019)**



**HỘI THẢO RCA VỀ ỨNG DỤNG BỨC XẠ CHÙM TIA ĐIỆN TỬ
TRONG XỬ LÝ NƯỚC THẢI DỆT NHUỘM VÀ KHÂU MẠCH
DÂY ĐIỆN VÀ DÂY CÁP ĐIỆN TẠI TRUNG TÂM VINAGAMMA
(TỪ 04-07/3/2019)**

