ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

VŨ ANH HÙNG

NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN TỔ HỢP CÁC PHƯƠNG PHÁP HẠT NHÂN ỨNG DỤNG TRONG XÁC ĐỊNH NIÊN ĐẠI CỔ VẬT

Chuyên ngành: Vật lý nguyên tử và hạt nhân

Mã số: 9440130.04

(DỰ THẢO) TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ

Hà Nội - 2020

Công trình được hoàn thành tại:

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội .

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS. Nguyễn Quang Miên

2. PGS.TS. Bùi Văn Loát

Phản biện: . . . . . .

Phản biện: . . . . . .

Phản biện: . . . . . .

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng cấp Đại học Quốc gia chấm luận án tiến sĩ họp tại . . . . . .

vào hồi giờ ngày tháng năm 20...

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam

- Trung tâm Thông tin - Thư viện, Đại học Quốc gia Hà Nội

MỞ ĐẦU

Niên đại luôn là một tiêu chí khoa học quan trọng trong nghiên cứu địa chất và khảo cổ học, đặc biệt khoảng thời gian từ cuối Pleistocene trở lại đây. Mọi nghiên cứu và đánh giá về quá trình phát triển của tự nhiên hay xã hội cũng chỉ thực sự có ý nghĩa khi được đặt trong một khung niên đại đúng đắn. Các phương pháp vật lý hạt nhân luôn được coi là một trong những giải pháp tiên phong với độ tin cậy và tính ứng dụng cao. Cho đến nay, số lượng các phương pháp hạt nhân dùng để xác định tuổi có thể đã lên đến vài chục và còn tiếp tục tăng nhờ những tiến bộ mới về khoa học và công nghệ. Mỗi phương pháp này đều có những yêu cầu riêng về kỹ thuật thực hiện cũng như khả năng đo được trong một khoảng niên đại thích hợp nào đó. Trong đó, với khoảng niên đại từ cuối Pleisstocen trở lại đây các phương pháp đo tuổi nhiệt huỳnh quang và carbon phóng xạ đang được xem là những phương pháp có khả năng ứng dụng hiệu quả, bởi chúng có độ chính xác (precision) và độ đúng (accuracy) cao. Ngoài ra, khả năng có thể triển khai ứng dụng phổ biến cũng là một ưu thế đáng kể của các phương pháp này.

- Ở nước ta, nhìn chung các nghiên cứu trước đây đã cho thấy khả năng ứng dụng hiệu quả của các phương pháp trong nghiên cứu khảo cổ học và địa chất học, song cũng đã cho thấy có những vấn đề chưa hoàn toàn rõ ràng và thống nhất và để phát huy hiệu quả của phương pháp, cần phải có những nghiên cứu tìm kiếm giải pháp liên kết thích hợp giữa các phương pháp này.
- Hiện nay, Đảng và Nhà nước đang chủ trương đẩy mạnh công tác nghiên cứu đánh giá tài nguyên thiên nhiên và tài nguyên văn hóa, nhằm khai thác phát huy trong công cuộc xây dựng mới của đất nước. Do đó, yêu cầu nghiên cứu xác định niên đại trong nghiên cứu địa chất và khảo cổ học trên toàn quốc là rất lớn. Việc gửi mẫu ra nước ngoài phân tích gặp rất nhiều khó khăn về kinh phí, thủ tục ngoại thương, đặc biệt là không chủ động được thời gian làm ảnh hưởng tới tiến độ thực hiện, không đáp ứng được tính thời sự của nghiên cứu.
- Mặt khác, nhu cầu Hội nhập quốc tế trong nghiên cứu khảo cổ học ở nước ta đang được quan tâm đến, mà một trong những đòi hỏi quan trọng đó là cần phải có các kết quả đo tuổi bằng phương pháp vật lý. Do vậy, thành công của luận án sẽ trực tiếp góp phần cung cấp các số liệu niên đại cho các di tích khảo cổ học.
- Tác giả luận án công tác tại Bộ môn Vật lý, Khoa Hóa - Lý kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Bộ Quốc phòng, do vậy việc triển khai thực hiện đề tài là đáp ứng nhu

cầu và mục tiêu của công tác nghiên cứu ứng dụng công nghệ hạt nhân vì mục đích hòa bình phục vụ phát triển kinh tế và xã hội của đất nước trong thời kỳ mới, trực tiếp góp phần nâng cao chất lượng và hiệu quả của công tác phân tích xác định niên đại cho các nền văn hóa khảo cổ học nước nhà, cũng như xác lập khung niên đại tuổi tuyệt đối cho các thành hệ địa chất tại Việt Nam.

Với những yêu cầu khoa học và thực tiễn đã nói trên, tác giả chọn đề tài "**Nghiên cứu phát triển tổ hợp các phương pháp hạt nhân ứng dụng trong xác định niên đại cổ vật**" làm đề tài bảo vệ luận án tiến sĩ của mình.

Mục tiêu nghiên cứu của luận án

- Tìm hiểu và nghiên cứu phát triển các phương pháp đo tuổi carbon phóng xạ mẫu hữu cơ (có chứa carbon) trên hệ đo nhấp nháy lỏng Tri-carb 2770 TR/SL.

-Tìm hiểu và nghiên cứu phát triển các phương pháp đo tuổi nhiệt huỳnh quang mẫu gốm cổ trên hệ đo nhiệt huỳnh quang, RGD-3A.

- Đề xuất giải pháp lựa chọn tổ hợp phương pháp đo tuổi carbon phóng xạ và phương pháp đo tuổi nhiệt huỳnh quang trong giải quyết nhiệm vụ phân tích xác định niên đại cổ vật ở Việt Nam

- Sử dụng các phương pháp đã nghiên cứu, phân tích xác định niên đại một số mẫu vật khảo cổ học, từ đó đánh giá khả năng sử dụng của phương pháp cùng thang niên đại của khu di tích đó.

Tính mới và ý nghĩa của Luận án

- Luận án đã xác định được các giải pháp gia công và xử lý mẫu thích hợp trong thực hành phân tích xác định niên đại cổ vật bằng phương pháp carbon phóng xạ cho các mẫu vật hữu cơ (gỗ, than cháy, vải, vỏ sò ốc...) trên hệ thống tổng hợp benzen TASK BEZENE SYRHERSISER và máy đo nhấp nháy lỏng Tri-carb 2770TR/SL tại Phòng thí nghiệm ở Viện Khảo cổ học Việt Nam.

- Luận án đã xác định được các giải pháp gia công và xử lý mẫu thích hợp trong thực hành phân tích xác định niên đại cổ vật bằng phương pháp nhiệt huỳnh quang hạt thạch anh thô (Quartz Inclusion Technique) cho các mẫu vật vô cơ (gạch, ngói, gốm cổ, đồ đất nung...) trên hệ đo nhiệt huỳnh quang RGD-3A tại Phòng thí nghiệm ở Viện Khảo cổ học Việt Nam.

- Luận án đã thực hành phân tích xác định niên đại cho một số mẫu vật và các kết quả đo được đã có giá trị tương ứng với kết quả đo của các phòng thí nghiệm khác. Những kết quả này đã trực tiếp góp phần đánh giá và khẳng định niên đại các giai đoạn văn hóa của các

khu tích Gò Tháp, khu di Hoàng Thành Thăng Long, cũng như quá trình biến động môi trường trầm tích khu vực Bến Tre và ranh giới Pleisstocen-Holocen ở vùng châu thổ hạ lưu sông Mê Kông.

Luận án được chia thành 3 chương

- Chương 1: Tổng quan nghiên cứu
- Chương 2: Phương pháp xác định niên đại ^{14}C và Phương pháp nhiệt huỳnh quang
- Chương 3: Thực nghiệm, kết quả và thảo luận

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

1.1. Các phương pháp xác định niên đại trong khảo cổ

1.1.1. Mở đầu và phân loại

Xác định chính **x**ác niên đại di tích, di vật bao giờ cũng là một trong yêu cầu quan trọng và cấp thiết trong nghiên cứu khảo cổ học. Đến nay, phương pháp thông thường được sử dụng là xác định niên đại tương đối dựa trên những so sánh về loại hình, màu sắc, hoa văn và trình độ chế tác. Tuy nhiên, các niên đại xác định bằng phương pháp này cho thấy còn rất nhiều điều "thiếu thuyết phục" và không thể áp dụng với những hiện vật mới.

Các phương pháp vật lý hạt nhân luôn đóng vai trò quan trọng bởi độ tin cậy và khả năng ứng dụng hiệu quả. Các phương pháp xác định tuổi theo phương pháp hạt nhân dựa vào quy luật suy giảm của số hạt nhân phóng xạ hoặc những biến đổi bên trong của mẫu vật theo thời gian.

1.1.2. Cơ sở vật lý của phương pháp hạt nhân.

Cơ sở vật lý của phương pháp xác định tuổi theo phương pháp hạt nhân: hoặc dựa vào quy luật suy giảm của số hạt nhân phóng xạ theo thời gian, hoặc dựa vào liều hấp thụ tích lũy của các vật chứa tinh thể bán dẫn pha tạp.

Với quy luật hàm số mũ, căn cứ vào số hạt nhân con được tạo thành và số hạt nhân mẹ còn lại trong mẫu nghiên cứu suy ra tuổi của mẫu vật. Tuổi mẫu vật có thể được xác định lớn gấp 4 đến 5 lần chu kỳ bán rã của hạt nhân mẹ. Do chu kỳ bán rã các hạt nhân mẹ được sử dụng thay đổi trong phạm vi rộng từ chục năm đến hàng tỷ năm, nên chia phương pháp này thành 2 loại, tuổi đối tượng già và tuổi các đối tượng trẻ.

Phương pháp xác định tuổi theo liều hấp thụ mẫu vật nhận được trong thời gian thực chất là phương pháp nhiệt huỳnh quang. Có thể mô tả ngắn gọn cơ sở của phương pháp như sau: Bình thường các mức năng lượng của tinh thể bán dẫn được chia thành 2 vùng, vùng

hóa trị và vùng dẫn. Giữa 2 vùng này là vùng cấm, không có mức năng lượng nào tồn tại. Khoảng cách giữa 2 vùng dẫn và vùng cấm cỡ một vài eV. Tuy nhiên khi trong tinh thể bán dẫn chứa các chất pha tạp, kết quả trong vùng cấm xuất hiện các mức năng lượng phụ đóng vai trò như tâm bắt electron. Các electron rơi vào tâm bắt sẽ tồn tại ở đó cho đến khi electron nằm trong tâm bắt nhận được năng lượng từ bên ngoài. Số electron năng trong tâm bắt tỷ lệ thuận với suất liều hấp thụ hàng năm và thới gian chiếu. Xác định số electron nằm trong tâm bắt bằng cách cung cấp nhiệt cho mẫu vật đo cường độ bức xạ nhiệt huỳnh quang phát ra từ mẫu vật, nếu biết tốc độ electron bị bắt nằm trong tâm bắt suy ra tuổi mẫu vật.

Dựa vào chu kỳ bán rã của hạt nhân mẹ, người ta phân phương pháp xác định tuổi phóng xạ thành hai nhóm phương pháp như sau:

- Xác định tuổi của các mẫu già theo phương pháp Uran-Chì, Kali-Agon, tỷ số đồng vị Uran ($^{238}U/^{235}U$), Thori – Chì, Rubidi –Strontri.
- Xác định tuổi của các mẫu trẻ theo phương pháp tritri (^{3}H), Carbon phóng xạ, Nhiệt huỳnh quang, Chì 210, Radi-Radon (^{226}Ra-^{222}Rn).

1.1.4. Xác định niên đại các đối tượng "già"

Phương pháp xác định niên đại Rubidi –Strontri.

Đối với một mẫu xác định tỷ số $^{87}Rb/^{86}Sr$ giảm còn tỷ số $^{87}Sr/^{86}Sr$ tăng theo thời gian. Đo 2 tỷ số trên sẽ xác định được tuô mẫu mậtPhương trình xác định tuổi như sau: Do chu kỳ bán rã của ^{87}Rb rất lớn (cỡ 5.10^{10} năm), nên phương pháp Strontri-Rubidi chỉ áp dụng cho các mẫu có tuổi hàng tỷ năm.

Phương pháp xác định niên đại Argon - Kali

Để xác định tuổi của các mẫu đất đá ta thường dựa vào tỷ số $^{40}Ar/^{40}K$. Xác định tuổi theo phương pháp Argon-Kali đối với loại mẫu này sẽ mắc phải sai số lớn. Khoảng tuổi đo được từ vài trăm nghìn năm đến hàng chục triệu năm.

Phương pháp xác định niên đại Chì - Uran (^{210}Pb)

Phương pháp Chì - Uran được sử dụng sớm nhất để xác định tuổi tuyệt đối của các mẫu đất đá. Phương pháp phân tích tỷ số chì - uran của hệ mẫu không những xác định được tuổi của các mẫu mà còn cho biết thời điểm hệ mẫu trên không còn là hệ kín. Và khoảng thời gian mà phương pháp này xác định được từ vài chục triệu năm cho đến hàng nghìn triệu năm.

1.1.5. Xác định tuổi các đối tượng trẻ

Phương pháp xác định niên đại tritri (^{3}H)

^{3}H là một chất chỉ thị rất tốt cho nghiên cứu khảo sát các nguồn nước. Lượng ^{3}H trong nguồn nước được làm giàu, sau đó được định lượng bằng các phép đo phóng xạ β^- trên hệ đo nhấp nháy hoặc khối phổ kế có độ nhạy cao. Phương pháp này rất hiệu quả khi xác định tuổi của các nguồn nước trong khoảng 100 năm trở lại đây.

Phương pháp carbon phóng xạ

Trong tợ nhiên, cây cố tỷ lệ $^{14}C/^{12}C$ của đối tượng trao đổi chất với nguồn ^{14}C toàn cầu là không đổi (~$1,3.10^{-12}$). Ngay sau khi sự trao đổi chất sinh học ngừng lại (do các sinh vật chết), lượng đồng vị carbon phóng xạ trong chúng sẽ suy giảm và tuổi của đối tượng có thể xác định được từ sự suy giảm của tỷ lệ $^{14}C/^{12}C$. Giới hạn của phương pháp ^{14}C xạ là khoảng 50.000 năm tuổi trở lại.

Phương pháp xác định tuổi bằng nhiệt huỳnh quang.

Theo thời gian, các tia alpha, beta và gamma luôn chiếu vào các khoáng vật và ion hoá các nguyên tử. Các điện tử, được giải phóng khỏi các nguyên tử rồi sau đó bị bắt bởi các khuyết tật của tinh thể và nằm lại ở các bẫy đó. Số điển tử nằm trong các bẫy tỷ lệ thuận với tốc độ số điện tử rơi vào tâm bắt và thời gian chiếu. Về phần mình tốc độ điện tử rơi vào tâm bắt tỷ lệ thuận với suất liều chiếu, còn số điện tử nằm trong tâm bắt tỷ lệ thuận với liều hấp thụ mã mẫu vật nhận được. Thực nghiệm đo tổng liều hấp thụ và suất liều hấp thụ mà vật nhận được suy ra thời gian chiếu cũng chính là tuổi mẫu vật.

1.2. Tình hình nghiên cứu trên thế giới

- Ở nhiều nước phát triển (Mỹ, Pháp, Anh, Đức...) đã và đang xuất hiện nhiều phòng thí nghiệm, với nhiều trang thiết bị hiện đại để giải quyết bài toán xác định niên đại theo các phương pháp trên. Tuy nhiên, việc nghiên cứu phát triển tổ hợp cả hai phương pháp này ít được quan tâm nghiên cứu trên thế giới.

- Về phương pháp Carbon phóng xạ: Ý tưởng sử dụng đồng vị carbon phóng xạ ^{14}C làm nguyên tố chỉ thị xác định tuổi mẫu khảo cổ học được Williard Libby đề xướng vào năm 1949. Phương pháp xác định hoạt độ ^{14}C bằng detector nhấp nháy lỏng được phát hiện từ những năm 1950, tuy nhiên do sự phức tạp của quá trình chuẩn bị mẫu và thiết bị đo nên phương pháp này không được quan tâm và phát triển. Cho đến năm 1995 trở lại đây, phương pháp này đang được áp dụng nhiều nhờ có các tiến bộ khoa học, kĩ thuật vi xử lý, đặc biệt là áp dụng cho bài toán xác định niên đại và kiểm soát môi trường phóng xạ.

- Về phương pháp nhiệt huỳnh quang: Năm 1663 hiện tượng nhiệt huỳnh quang lần đầu tiên được đề cập đến trong Hiệp hội Hoàng gia Anh với sự kiện đốt nóng kim cương

trong bóng tối. Năm 1960, Grogler, Housterman và Stauffer (trường đại học Bern); Kennedy và Knoff (trường đại học California) đã phát hiện ra hiện tượng nhiệt huỳnh quang từ đồ gốm cổ.

- Nhóm các nhà nghiên cứu Aitken, Tile, Reid Zimmerman và Fleming (trường đại học Oxford, Anh) tiếp tục được nghiên cứu hiện tượng này để xác định tuổi khảo cổ trên mẫu gốm cổ. Hiệu ứng nhiệt huỳnh quang đã được nghiên cứu ứng dụng trong nhiều ngành khoa học, đặc biệt là lĩnh vực liều lượng y học hạt nhân.

1.3. Tình hình nghiên cứu tại Việt Nam

- **Việc nghiên cứu ứng dụng phương pháp carbon phóng xạ** cũng đã được thực hiện bởi một số phòng thí nghiệm *(Viện Khoa học và kỹ thuật hạt nhân, Viện Khảo cổ học, Trường đại học Khoa học Tự nhiên, Trung tâm nghiên cứu hạt nhân thành phố Hồ Chí Minh...).* Qua tìm hiểu thì thấy công việc đo tuổi carbon phóng xạ hiện chỉ tập trung ở một số ít các nhà khoa học (Nguyễn Diệu Minh, Nguyễn Kiên Chính (1995), Nguyễn Quang Miên, Phạm Lý Hương (2000), Nguyễn Quang Miên, Bùi Văn Loát (2006)... và trong khoảng 10 năm trở lại đây ít thấy có công trình nghiên cứu lĩnh vực này được công bố.

- Việc nghiên cứu đo tuổi nhiệt huỳnh quang cũng mới áp dụng ở Việt Nam từ năm 2008, nên còn tương đối mới đối với chúng ta, do đó cần tiếp tục được nghiên cứu. Hiện nay, một số phòng thí nghiệm hàng đầu trong nước về nghiên cứu nhiệt huỳnh quang là Viện Khoa học Vật liệu, Viện Khảo cổ học, Viện Khoa học và Công nghệ hạt nhân, Viện nghiên cứu và Ứng dụng công nghệ Nha Trang, ... Năm 2007 tại Viện Khoa học và Vật liệu – Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam cũng có đề tài nghiên cứu về việc hoàn thiện hệ đo với qui trình tính tuổi khảo cổ bằng nhiệt huỳnh quang.

Ứng dụng đo tuổi nhiệt huỳnh quang mẫu gốm cổ Việt Nam cũng đã được nghiên cứu từ những năm 1995 với các nhóm tác giả như: Phạm Lý Hương, Đặng Thanh Lương và nnk (1995), Nguyễn Quang Miên, Nguyễn Quang Liêm (2001), Bùi Văn Loát, Nguyễn Quang Miên (2007), Marco Martini, Vũ Xuân Quang (2007), Nguyễn Quang Miên, Trình Năng Chung (2010), ...

- Ngoài ra, việc nghiên cứu phát triển tổ hợp hai phương pháp trên trong xác định niên đại cổ vật vẫn là vấn đề còn chưa được quan tâm.

CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH NIÊN ĐẠI ^{14}C VÀ PHƯƠNG PHÁP NHIỆT HUỲNH QUANG

2.1. Phương pháp xác định niên đại carbon phóng xạ

2.1.1. Phương trình tính tuổi cổ vật theo hoạt độ phóng xạ của đồng vị ^{14}C

Mẫu được sử dụng để phân tích phải có nguồn gốc từ động vật, thực vật. Tỷ số đồng vị ^{14}C và ^{12}C đối với sinh vật sống là đại lượng không đổi $^{13}C/^{12}C \approx 1{,}3.10^{-2}$. Động vật và thực vật sau khi chết, chu trình sinh học ngừng lại, các xác thực vật và động vật cũng không còn hấp thụ ^{14}C. Tuổi của mẫu vật được xác định theo công thức:

$$t = \frac{T}{0.693} ln\left(\frac{A_0}{A}\right) \qquad (2.6)$$

Trong đó A, A_0 là hoạt độ phóng xạ riêng của ^{14}C trong 1kgC được lấy từ mẫu phân tích tại thời điểm t và tại thời điểm ban đầu, còn T là chu kỳ bán rã của ^{14}C. Để xác định tuổi của một mẫu vật người ta đo độ phóng xạ còn dư của ^{14}C trong mẫu, rồi so sánh với độ phóng xạ ^{14}C của mẫu ở thời điểm ban đầu.

2.1.2. Gia công chế tạo detector nhấp nháy lỏng

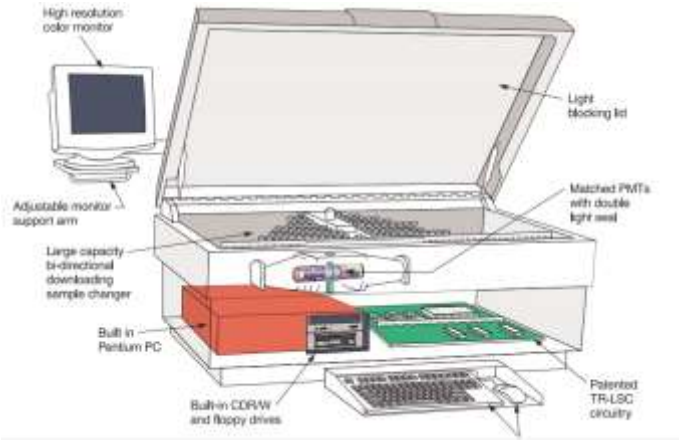
Để xác định được lượng ^{14}C, mẫu phải được chuyển về dạng hợp chất duy nhất, có tính đồng nhất và trong suốt, thường là Benzene (C_6H_6: tỷ lệ cacbon chiếm 92,31% thành phần khối lượng). Mẫu sau khi được làm sạch, đưa về dạng khí CO_2 rồi dẫn vào hệ thống Task Benzene Synthesis, quá trình tạo Benzen đều được thực hiện theo một chu trình khép kín.

Để tạo detector nhấp nháy lỏng ta lấy lượng Benzen sau khi thu được trộn với chất dung môi và chất nhạy sáng theo tỉ lệ:

3mL C_6H_6 + 3.10^{-4}gPPO + 3.10^{-6}gPOPOP + 0,5mL Toluene

2.1.3. Đo bức xạ bêta trên hệ đo Tri carb 2770TR/SL

Detector nhấp nháy lỏng được đặt vào máy đo nhấp nháy lỏng Tri carb 2770TR/SL: Mẫu chuẩn, mẫu phông, mẫu đo, được hệ thống tự động chuyển mẫu và xác định được hàm lượng ^{14}C có trong mẫu. Từ đó suy ra được tuổi của mẫu cần xác định.



Hình 2.6. Sơ đồ nguyên lý máy đo Tri-carb 2770TR/SL

Nguồn: Perkinelmer.com

Hiệu chỉnh tuổi:

Trên thực tế, A_0 không hoàn toàn là hằng số, mà thay đổi phụ thuộc 1 số hiệu ứng liên quan đến sự thay đổi của carbon không phóng xạ và ^{14}C. Vào thời đại công nghiệp Lượng khí thải carbon không phóng xạ ra ngoài không khí rất lớn, làm tỉ lệ ^{14}C trong tự nhiên giảm, dẫn đến A_0 giảm. Sự thay đổi của hoạt độ A_0 liên quan tới cường độ hoạt độ của Mặt trời. Sự thay đổi của A_0 đối với mẫu vật trong những năm 50-60 của thế kỉ 20, trên thế giới tiến hành nhiều vụ thử hạt nhân làm gia tăng ^{14}C. Kết quả hoạt độ A_0 tăng lên đến 250 Bq/kgC, giá trị này giảm dần theo thời gian. Các mẫu thuộc về thời kỳ này có tuổi lớn hơn 100 năm, vì vậy nằm ngoài giới hạn đo của ^{14}C.

Tuy nhiên do hiệu ứng lọc lựa giữa các đồng vị nặng và nhẹ tỷ số $^{13}C/^{12}C$ và $^{14}C/^{12}C$ sẽ khác nhau tùy thuộc vào nguồn gốc vật liệu chứa carbon. Do vậy, phải xét đến hiệu ứng fraction **($\delta^{13}C$)**.

2.2. Phương pháp đo tuổi nhiệt huỳnh quang

2.2.1. Phương trình tính tuổi cổ vật theo liều nhiệt huỳnh quang

Dùng các mẫu có chứa các khoáng chất trong tự nhiên, các khoáng chất này có tính chất nhiệt huỳnh quang. Khi nung nóng mẫu với tốc độ gia nhiệt thích hợp ta thu được các tín hiệu nhiệt huỳnh quang và số lượng tử ánh sáng này tương đương với số lượng các điện tử bị giữ ở các hố bẫy. Phương trình tính tuổi như sau:

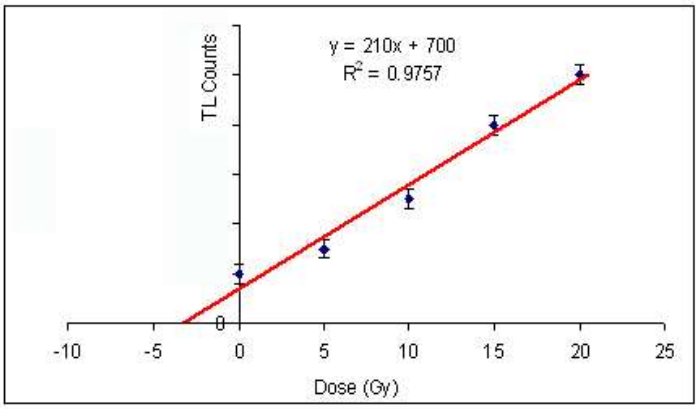
$$t = {}^{D}/_{D_0} \qquad (2.48)$$

Với D là tổng liều chiếu mà mẫu vật nhận được, D_0 là suất liều chiếu hằng năm lên mẫu vật

2.2.2. Xác định liều tích lũy trong mẫu (D)

Xác định liều tương đương "Q"

Từ những số liệu đo cường độ bức xạ nhiệt huỳnh quang phát ra trong mẫu theo cửa sổ đo đã được lựa chọn và biểu diễn chúng theo các giá trị liều chiếu tương ứng.

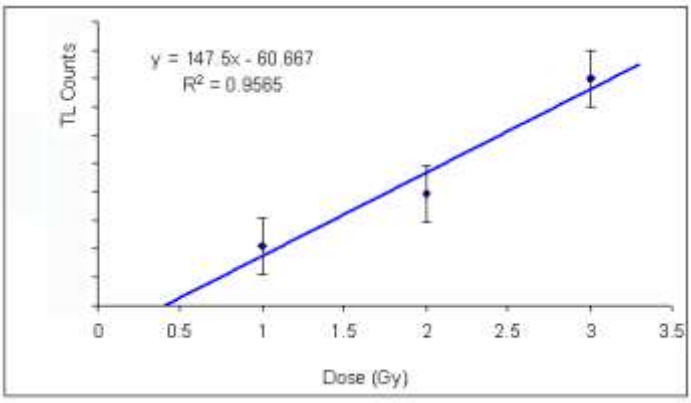


Hình 2.32. Đường hồi qui tuyến tính xác định liều tương đương "Q"

Sau đó, sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu sẽ thu được hàm tương quan tuyến tính phản ánh mối tương quan giữa những thay đổi của lượng bức xạ nhiệt huỳnh quang phát ra khi lượng liều bức xạ ion hóa tác động lên mẫu thay đổi. Căn cứ vào phương trình tương quan tuyến tính này sẽ xác định được giá trị liều tương đương "Q", như chỉ trên Hình 2.32.

Xác định liều hiệu chỉnh "I"

Liều hiệu chỉnh "I" được hiểu là một giá trị liều nào đó cần được cho thêm vào liều tương đương để bù cho sự tăng không tuyến tính của bức xạ nhiệt huỳnh quang khi mẫu được chiếu ở mức liều thấp (thường là ở khoảng bắt đầu của quá trình tích lũy). Để xây dựng đường hiệu chỉnh "I", trước tiên cần rửa nhiệt các mẫu đo ở nhiệt độ 400 ± 5^{O}C trong khoảng 5 phút, sau đó chiếu mẫu đo trên nguồn phóng xạ gamma nhân tạo Cobalt-60 với các mức liều chiếu là: 1Gy, 2Gy và 3Gy. Biểu diễn lượng tín hiệu nhiệt huỳnh quang thu được theo các mức liều chiếu tương đương như Hình 2.33.



Hình 2.33. Đường tương quan tuyến tính để tìm giá trị hiệu chỉnh "I"

2.2.3. Xác định suất liều chiếu hằng năm lên mẫu (D_0)

Suất liều chiếu hàng năm lên mẫu vật phụ thuộc vào hàm lượng các đồng vị phóng xạ ^{40}K, ^{238}U và ^{232}Th có trong đất đá bao quanh mẫu vật. Liều hấp thụ hàng năm mà mẫu vật nhận được từ đất đá bao quanh được xác định theo công thức:

$$D_o = \sum\sum a_{ij}\, Q_i.D_j \qquad (2.49)$$

trong đó: D – Tổng liều bức xạ ion hóa hằng năm (μGy/năm).

Q_i – Giá trị hàm lượng các nguyên tố; % với K và ppm với U, Th.

D_j – Giá trị suất liều bức xạ tính theo từng loại bức xạ (μGy/năm).

a_{ij} – Chỉ số tác dụng bức xạ ion hóa tương ứng theo Bảng (2.10).

Hàm lượng các đồng vị phóng xạ trong mẫu đất đá có thể được xác định bằng cách đo trực tiếp hoặc lấy mẫu về phòng thí nghiệm phân tích.

CHƯƠNG 3. THỰC NGHIỆM, KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thực nghiệm đo đối sánh hai phương pháp

3.1.1.Lựa chọn mẫu:

- Các mảnh gốm cần tương đối đồng nhất và tiêu biểu cho một giai đoạn văn hóa, lượng mẫu sử dụng phải đủ lớn, phải có chứa đồng thời chất hữu cơ (than bùn, vụn thực vật..) để đo tuổi carbon phóng xạ và các hạt khoáng nhiệt huỳnh quang (thạch anh, can xít...) để đo tuổi nhiệt huỳnh quang.

- Để nâng cao độ tin cậy, các mẫu nghiên cứu cần được xếp thành từng nhóm, mỗi nhóm có khoảng niên đại tương đối xa nhau và tương ứng với một giai đoạn văn hóa hay thời thời kỳ địa chất nào đó. Theo điều kiện của phòng thí nghiệm, trong nghiên cứu này chúng tôi lựa chọn nghiên cứu so sánh các mẫu ở 3 địa điểm khảo cổ với các khoảng niên đại dự đoán là:

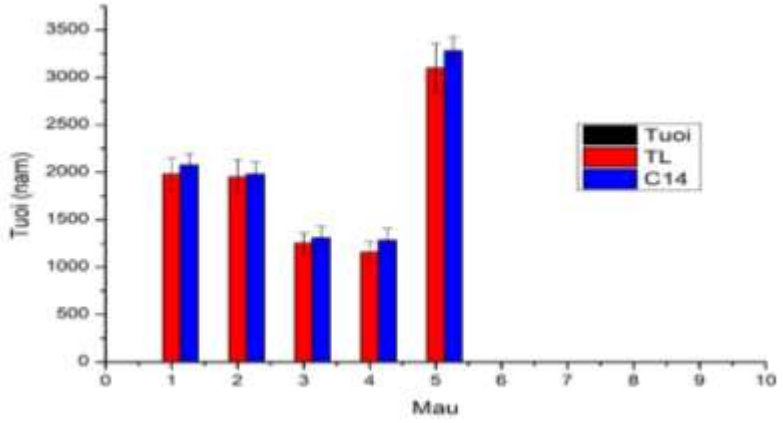
+ Khu di tích Tháp bà Ponaga ở Nha trang (Khánh Hòa) có niên đại xây dựng ở khoảng thế kỷ 10-13AD.

+ Khu di tích Gò Tháp ở Đồng Tháp (Tháp Mười) có niên đại mở đầu ở khoảng thế kỷ 1-4AD.

+ Di tích khảo cổ học Xóm Rền ở xã Gia Thanh, huyện Phù Ninh, tỉnh Phú Thọ có niên đại khoảng 3500 năm cách nay.

- Để thực hiện so sánh kết quả xác định niên đại bằng phương pháp carbon phóng xạ và xác định niên đại bằng phương pháp nhiệt huỳnh quang, chúng tôi đã lựa chọn tìm kiếm những mẫu gạch và mảnh gốm cổ đã được làm bằng cách trộn đất sét với cát sạn và vụn thực vật hay vỏ trấu. Loại mẫu này thường được nung đốt ngoài trời nên có nhiệt độ không cao, không quá 850^{o}C.

Tiến hành xác định tuổi của 5 mẫu trên theo 2 phương pháp với cấc hiệu chỉnh cần thiết, kết quả thu được biểu diễn trên hình 3.1. Từ hình vẽ, nhận thấy trong phạm vi sai số kết quả xác định tuổi của 5 mẫu vật trùng nhau, sai số khác biệt giữa hai kết quả đo tuổi ^{14}C và nhiệt huỳnh quang, tính là khoảng 11,5%.



Hình 3.1. Biểu đồ so sánh tương quan kết quả đo tuổi nhiệt huỳnh quang và kết quả đo tuổi bằng phương pháp carbon phóng xạ

3.2. Thực nghiệm đo tuổi tại khu di tích Hoàng thành Thăng long

3.2.1. Đo tuổi bằng phương pháp carbon phóng xạ

Trong đợt nghiên cứu này chúng tôi tiến hành thí nghiệm xác định niên đại 03 mẫu gỗ sưu tầm tại các hố khai quật khu di tích Hoàng Thành Thăng Long (HTTL) còn lưu trữ tại Viện Khảo cổ học. Mẫu được bảo quản tốt, thuộc loại cây thân gỗ rắn chắc, đã được dùng làm cột đỡ chính trong các công trình kiến trúc cổ.

Bảng 3.9. Bảng kết quả đo tuổi carbon phóng xạ khu di tích HTTL

TT	Mẫu đo	Hoạt độ ^{14}C (dpm/gC)	Chỉ số ($\delta^{13}C$)	Tuổi (năm BP)*
1	18BĐ.A16.L3	10,781 ± 0,151	-25‰	1 130 ± 105
2	18BĐ.B10.L9	10,577 ± 0,142	-25‰	1 270 ± 100
3	18.TL.A16.L9a	11,606 ± 0,144	-25‰	1 250 ± 105

So sánh kết quả trên Bảng 3.9 với những số liệu đo tuổi đã được thực hiện trước đây tại một số phòng thí nghiệm khác hiện vẫn được lưu trữ tại Viện Khảo cổ học (Bảng 3.10).

Bảng 3.10. Kết quả đo tuổi trước đây của các tác giả khác

TT	Mẫu đo	Ký hiệu mẫu	$\delta^{13}C$	Tuổi (năm BP)*
1	02BĐ.A16.L3	HNK-226	-25‰	1220 ± 50
2	02BĐ.B10.L9	HNK-227	-25‰	1290 ± 50
3	02.TL.A16.L9a	SNU04-061	-25‰	1310 ± 40

Kết quả cho thấy đã có sự khá phù hợp giữa hai lần đo đã chứng tỏ nghiên cứu của luận án đã có độ chính xác tương ứng với các phòng thí nghiệm Viện khảo cổ học và trường Đại học Seoul, Hàn Quốc đã làm trước đó.

3.2.2. Đo tuổi bằng phương pháp nhiệt huỳnh quang

Bảng 3.11. Mẫu đo tuổi nhiệt huỳnh quang tại di tích HTTL

TT	Mẫu đo	Mô tả
1	18.HTTL.M01	Mẫu là những mảnh ngói màu hồng nhạt, làm bằng đất sét và cát mịn, thuộc lớp văn hóa thời Lý có niên đại khoảng thế kỷ XI-XIII.
2	18.HTTL.M02	Mẫu là những mảnh gạch màu hồng nhạt, làm bằng đất sét pha cát mịn, thuộc lớp văn hóa thời Trần có niên đại khoảng thế kỷ XIII-XIV.

3	18.HTTL.M03	Mẫu là mảnh gạch màu hồng nhạt được làm từ đất sét, pha cát, sạn thuộc lớp văn hóa thời Lê có niên đại khoảng thế kỷ XV-XVII.

Các mẫu được xử lý hóa học và đo tuổi nhiệt huỳnh quang theo như quy trình kỹ thuật đã nêu trên. Kết quả xác định tuổi được chỉ tại Bảng 3.12.

Bảng 3.12. Kết quả đo tuổi nhiệt huỳnh quang di tích HTTL

TT	Mẫu đo	D_0	P(Gy)	Tuổi (năm)
1	18.HTTL.M01	2,574 ± 0,115	2,453 ± 0,130	953 ± 93
2	18.HTTL.M02	2,522 ± 0,124	2,377 ± 0,114	942 ± 91
3	18.HTTL.M03	2,570 ± 0,125	2,203 ± 0,125	857 ± 87

Bảng 3.14. So sánh kết quả đo tuổi nhiệt huỳnh quang giữa phòng thí nghiệm Hà Nội và phòng thí nghiệm Milano

TT	Kết quả của Luận án		Kết quả của Milano Lab.		Ghi chú khảo cổ học
	Mẫu	Tuổi (năm)	Mẫu	Tuổi	
1	18.HTTL.M01	953 ± 96	D2120	1220 ± 100AD	Gạch thời Lý
2	18.HTTL.M02	942 ± 96	D2125	1350 ± 80AD	Gạch thời Trần
3	18.HTTL.M03	857 ± 93	D2122	1450 ± 50AD	Gạch thời Lê-Nguyễn

Trong Bảng 3.14, các kết quả đo tuổi của Luận án được tính theo năm cách nay. Nếu lấy thời điểm khai quật là năm 2002 làm mốc để tính chuyển sang thang Công lịch thì kết quả sẽ là 1050 ± 96AD; 1061 ± 96AD và 1146 ± 93AD. Theo đó, các số liệu niên đại nhiệt huỳnh quang đo của chúng tôi sớm hơn một chút so nghiên cứu trước đây của phòng thí nghiệm Milano và đánh giá của các nhà khảo cổ học. Vấn đề có thể là đã có sự mất bớt tín

hiệu nhiệt huỳnh quang trong các mẫu gốm cổ trong thời gian bảo quản tại phòng thí nghiệm, vấn đề này cần lưu ý trong các nghiên cứu tiếp sau.

3.3. Thực nghiệm đo tuổi tại khu di tích Gò Tháp

3.3.1. Đo tuổi bằng phương pháp carbon phóng xạ

Trong năm qua, chúng tôi cũng đã thực hiện đo tuổi carbon phóng xạ một số mẫu tại khu di tích này. Mô tả mẫu được chỉ trong Hình 3.11

Các mẫu được xử lý hóa học và đo tuổi carbon phóng xạ theo như quy trình đã nêu trên. Kết quả xác định tuổi được chỉ tại Bảng 3.16.

Bảng 3.16. Bảng kết quả đo tuổi ^{14}C khu di tích Gò Tháp

TT	**Mẫu đo**	**Hoạt độ ^{14}C** (dpm/gC)	**Chỉ số** ($\delta^{13}C$)	**Tuổi** (năm BP)*
1	18.GTA4.C2 (5)	10,558 ± 0,159	-25‰	2 010 ± 125
2	18.GT-M42(7)	10,919± 0,162	-25‰	1 740 ± 120

Ghi chú: Tuổi được tính theo giá trị $T_{1/2}$ truyền thống là 5570 ± 30 năm

So sánh kết quả trên Bảng 3.16 với những số liệu đo tuổi đã được thực hiện trước đây bởi các tác giả khác (*Nguyễn Quang Miên, Bùi Văn Loát, Nguyễn Quang Liêm 2004. Trong NPHM KCH năm 2003: 63-65, Nxb KHXH)* theo lưu trữ tại Viện Khảo cổ học (Bảng 3.17).

Bảng 3.17. Kết quả đo tuổi ^{14}C trước đây của các tác giả khác

TT	**Mẫu đo**	**PTN đo**	**Chỉ số** ($\delta^{13}C$)	**Tuổi** (năm BP)*
1	18.GTA4.C2 (5)	HNK-145	-25‰	1 840 ± 55
2	18.GT-M42(7) b11	HNK-151	-25‰	1 720 ± 60

Nguồn: Trong NPHM KCH năm 2003: 63-65

Kết quả cho thấy đã có sự khá phù hợp giữa hai lần đo đã chứng tỏ nghiên cứu của luận án đã có giá trị tương ứng với các nghiên cứu trước đó.

3.3.2. Đo tuổi bằng phương pháp nhiệt huỳnh quang

Trong năm 2018, chúng tôi cũng đã thực hiện phân tích xác định niên đại bằng phương pháp nhiệt huỳnh quang cho một số mẫu gốm cổ thuộc khu di tích Gò Tháp, huyện Tháp Mười, tỉnh Đồng Tháp.

Bảng 3.19. Kết quả đo tuổi nhiệt huỳnh quang di tích Gò Tháp

TT	**Mẫu đo**	**D_0**	**P(Gy)**	**Tuổi TL**(năm)
1	18.GT.M03	0,807 ± 0,046	1,673 ± 0,082	2 074 ± 219
2	18.GT.M04	0,976 ± 0,048	1,670 ± 0,070	1 710 ± 155

Các kết qủa thu được từ luận án đã được phù hợp với kết quả phân tích ở các phóng thí nghiệm uy tín trên thế giới.

Kết quả phân tích nêu trên chưa thể là sớm nhất cho các hiện vật gốm thu được tại di tích Gò Tháp. Đây chỉ là những kết quả nghiên cứu bước đầu, được thực hiện cho các mẫu gốm lấy tại lớp 4 trong cùng một hố khai quật. Để có kết quả đo tuổi thuyết phục hơn cần thực hiện phân tích nhiều mẫu hơn và với các địa tầng có thể.

3.4. Thực nghiệm đo tuổi ^{14}C ở bến tre

Luận án đã tiến hành thu thập và xử lý đo tuổi ^{14}C của 15 mẫu vật chứa carbon dọc theo các lỗ khoan LKBT1 (A), LKBT2 (B), LKBT3 (C). Các đặc trưng như chiều sâu, vật liệu và kết quả đo tuổi được mô tả trong Bảng 3.21.

Bảng 3.21. Độ sâu và đặc điểm vật liệu các mẫu được chọn để nghiên cứu

TT	**Số hiệu**	**Mô tả**	**Kết quả** (năm BP)
1	M1	Gỗ hóa than, 0,38-0,45m; (A)	8750 ± 125
2	M2	Mảnh, thân cây; 5,0m; (C)	3280 ± 145
3	M3	Vụn, thực vật; 10,1-11,0m; (B)	4090 ± 260
4	M4	Vụn, thực vật; 13,5m; (C)	3860 ± 145
5	M5	Vụn, thực vật; 22,6-22,7m; (B)	3820 ± 125
6	M6	Vụn, vỏ nhuyễn thể; 22,7m;	5060 ± 175

		(C)	
7	M7	Vụn, vỏ nhuyễn thể; 30-30,7m; (C)	6030 ± 195
8	M8	Mảnh vỏ sò, ốc;14,1-14,5m; (A)	5860 ± 160
9	M9	Mảnh vỏ sò ốc; 39,0-40,0m; (B)	4640 ± 95
10	M10	Mảnh, vỏ sò ốc; 32,8m; (C)	7050 ± 230
11	M11	Vụn, thực vật; 32,0-32,9m; (A)	13920 ± 210
12	M12	Vụn, thực vật; 63,4m; (A)	17280 ± 645
13	M13	Vụn, thực vật; 31,2 -31,3m; (B)	8120 ± 115
14	M14	Vụn, thực vật; 69,9-70,0m; (B)	19600 ± 250
15	M15	Vụn, thực vật; 53,7-53,8m; (C)	12070 ± 138

Trên cơ sở niên đại thu được, kết hợp với những tài liệu khảo sát địa chất trong vùng các nhà địa chất đã đánh giá về ranh giới Pleistocen-Holocen tại một số khu vực như sau: Tại vị trí lỗ khoan LKBT1 ranh giới Pleistocen-Holocen được xác định gần mặt đất hơn chỉ với độ sâu ~28 m và có tuổi là 12200±110 năm BP. Trong khi đó, tại lỗ khoan LKBT3 ranh giới Pleistocen-Holocen được xác định từ khoảng 57,5 m - 54,5 m với thời gian thành tạokhoảng từ 11700 năm BP đến 10130±110 năm. Từ đó cho đánh giá chung về ranh giới Pleistocen – Holocence là 11700 năm cách nay. Tài liệu này đã được công bố và được đông đảo giới nghiên cứu khoa học chấp nhận.

KẾT LUẬN

Luận án đã hoàn thành được mục tiêu và nội dung đề ra. Các kết quả chính của Luận án được tóm tắt như sau:

1. Đã tổng quan tình hình nghiên cứu xác định niên đại cổ vật bằng phương pháp carbon phóng xạ và phương pháp nhiệt huỳnh quang. Phương pháp carbon phóng xạ và phương pháp nhiệt huỳnh quang là hai phương pháp chính được sử dụng phổ biến trong phân tích xác định niên đại cổ vật hiện nay. Trong đó, phương pháp carbon phóng xạ phù hợp cho loại mẫu vật chứa các chất có chứa nguyên tử carbon như: gỗ, than, vải, vỏ sò ốc...). Phương pháp nhiệt huỳnh quang phù hợp với loại vật liệu vô cơ có chứa các hạt khoáng nhiệt huỳnh quang (quartz, felspat, zinriconi..) và chỉ có khả năng xác định tuổi của mẫu vật kể từ lần cuối cùng bị nung nóng trên 500^0C đến nay.

2. Đã nghiên cứu tổng hợp các vấn đề lý thuyết và thực tiễn, từ đó luận án đã lựa chọn và xác định được các giải pháp tổ hợp kỹ thuật đồng vị carbon phóng xạ và kỹ thuật nhiệt huỳnh quang phù hợp để triển khai ứng dụng trong đo tuổi cổ vật tại phòng thí nghiệm ở Việt nam. Các kết quả nghiên cứu có thể tóm lược như sau:

2.1. Đối với loại mẫu vật hữu cơ (gỗ, than, vải, vỏ sồ ốc...), sử dụng kỹ thuật tổng hợp benzen trên hệ thống TASK BEZENE SYRHERSISER và đo phóng xạ bêta trên máy đo nhấp nháy lỏng Tri-carb 2770TR/SL theo chế độ đo siêu thấp (Ultra Low Level Counting) là giải pháp phù hợp, đáp ứng được yêu cầu phân tích xác định niên đại cổ vật và nhu cầu kinh phí trong nước.

2.2. Đối với loại mẫu vật vô cơ (gạch, gốm, đồ đất nung...), thì sử dụng kỹ thuật nhiệt huỳnh quang thạch anh hạt thô (Quartz Inclusion Technique), trong đó bao gồm: Lựa chọn các hạt thạch anh có kích thước từ 98 µm đến 125 µm làm vật liệu đo nhiệt huỳnh quang; Sử dụng phổ kế gamma xác định hàm lượng các nguyên tố phóng xạ uran, thori và kali trong đất đá, để từ đó xác định các giá trị suất liều chiếu hằng năm. Sử dụng pháp bổ sung liều chiếu để xác định giá trị liều tích lũy (Paleodose) có trong vật liệu đo tuổi nhiệt huỳnh quang thông qua xác định giá trị liều tương đương (Q) và liều hiệu chỉnh (I) là giải pháp phù hợp đáp ứng được yêu cầu phân tích xác định niên đại cổ vật và phù hợp với tình hình thiết bị hiện có ở nước ta.

3. Trên cơ sở các giải pháp đã đo tuổi đã xác định, luận án đã tiến hành các thí nghiệm xác định niên đại cổ vật tại một số địa điểm, gồm:

3.1. Đo tuổi đối sánh giữa hai phương pháp nhiệt huỳnh

Trên các mẫu đã chọn cho thấy có sự tương ứng về kết quả tuổi giữa hai phương pháp, chứng tỏ cả hai phương pháp này đều thích hợp dùng trong xác định niên đại mẫu vật khảo cổ học. Nếu sử dụng kết hợp hợp lý cả hai phương pháp đo tuổi này, sẽ cho các kết quả phân tích xác định niên đại của di tích, di vật chính xác và tin cậy hơn, ngoài ra cũng góp phần làm giảm đáng kể chi phí cho phép đo.

3.2. Các kết quả đo tuổi ^{14}C mẫu gỗ và đo tuổi nhiệt huỳnh quang mẫu gốm tại khu di tích Hoàng Thành Thăng Long đã khẳng định đây là khu di tích kiến trúc kinh thành cổ đã trải qua nhiều giai đoạn lịch sử khác nhau. Ngoài ra, so sánh các kết quả đo tuổi của Luận án với các kết quả đo tuổi đã thực hiện trước đây tại một số phòng thí nghiệm trong nước và nước ngoài cho thấy đã có sự tương ứng, chứng tỏ nghiên cứu của Luận án đã có những thành công nhất định, đáp ứng yêu cầu đo tuổi của địa chất và khảo cổ học.

3.3. Các kết quả đo tuổi carbon phóng xạ mẫu gỗ và đo tuổi nhiệt huỳnh quang mẫu gốm sưu tầm tại khu di tích Quốc gia đặc biệt Gò Tháp thuộc huyện Tháp Mười tỉnh Đồng Tháp đã góp phần khẳng định đây là khu di tích kiến trúc tôn giáo cổ có niên đại bắt đầu từ khoảng đầu Công nguyên và kéo dài đến các thế kỷ sau. Ngoài ra, so sánh các kết quả đo tuổi của Luận án với kết quả đo tuổi trên một số loại hình hiện vật tương tự tìm thấy tại khu di tích Angkor Borei (ở Đông Nam Cambodia, cách di tích Gò Tháp khoảng 90km) đã được thực hiện tại một số phòng thí nghiệm nước ngoài, thấy sự tương ứng chứng tỏ nghiên cứu của Luận án đã có những thành công nhất định. Kết quả xác định niên đại này đã thêm phần khẳng định vai trò và giá trị của khu di tích này trong quần thể các di tích kiến trúc tôn giáo cổ trong vùng hạ lưu sông Mê Kông và khu vực Đông Nam Á.

3.4. Các kết quả đo tuổi carbon phóng xạ mẫu gỗ, mẫu than, mẫu vỏ sò ốc thu thập tại các lỗ khoan địa chất (LKBT1; LKBT2 và LKBT3) ở khu vực Bến Tre đã cho phép đánh giá được lịch sử biến động môi trường trầm tích vùng cửa sông ven biển ở châu thổ sông Mê Kông trong thế Holocen và xác định được ranh giới Pleistocen - Holocen với niên đại là khoảng 11.700 năm cách nay. Kết quả này đã được đông đảo các nhà nghiên cứu địa chất Việt Nam chấp nhận. Ngoài ra, so sánh kết quả đo của chúng tôi với kết quả đo tại phòng thí nghiệm trường đại học Nagoya (Nhật Bản), thấy rằng đã có sự tương ứng cho phép khẳng định chúng ta có thể đo tuổi ^{14}C tương đương với phòng thí nghiệm nước ngoài.

Một số kiến nghị và hướng nghiên cứu sắp tới

(1). Những yêu cầu về chất lượng và khối lượng mẫu vật dùng phân tích xác định niên đại cổ vật của Luận án còn khó khăn có thể thực hiện phân tích đại trà, bởi trên thực tế số lượng mẫu vật có thể đáp ứng được yêu cầu không nhiều. Do vậy, thời gian tới cần tiếp tục quan tâm nghiên cứu mở rộng các phương pháp để có thể đáp ứng nhu cầu phân tích rộng khắp với các loại mẫu vật.

(2). Các kết quả phân tích xác định niên đại cổ vật của Luận án vẫn còn sai số khá lớn so với các phòng thí nghiệm nước ngoài, do vậy thời gian tới cần có những đầu tư nghiên cứu tiếp tục nhằm nâng cao độ ổn định của hệ đo, giảm phông nhiễu phép đo, nâng cao hơn nữa độ chính xác của các phép đo.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

[1] **Vũ Anh Hùng**, Bùi Văn Loát, Nguyễn Quang Miên (2017), "Đo tuổi đồng vị 14C trong nghiên cứu môi trường trầm tích vùng cửa sông -ven biển ở Bến tre", Những tiến bộ trong Vật lý Kỹ thuật và Ứng dụng – CAEP V (10/2017). ISBN: 978-604-913 232-2; p369.

[2] Nguyen Quang Mien, Bui Van Loat, **Vu Anh Hung**, Trinh Nang Chung (2017), "Thermoluminesence and radiocarbon dates in the brick structures of Go Thap site in the Low Mekong Delta". 15th International Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating, p139, 11 -15 September 2017 Cape Town, South Africa.

[3] Nguyễn Quang Miên, **Vũ Anh Hùng**, Nguyễn Quang Bắc (2017), "Niên đại nhóm di tích cồn sò điệp ở Nghệ An và Hà Tĩnh". *Khảo cổ học*, No.5 (2017); p52-63.

[4] **Vu Anh Hung**, Bui Thi Hong, Nguyen Quang Mien, Bui Van Loat (2018), "Study of Heating Rate Effect on Thermoluminescence Glow Curves of LiF: Mg, Cu, P". *VNU Journal of Science: Mathematics - Physics*, Vol. 34, No. 1 (2018) 46-51.

[5] Nguyễn Quang Miên, Nguyễn Quang Bắc, **Vũ Anh Hùng**, Lê Minh Sơn (2018), "Một số dẫn liệu về địa khảo cổ học ở miền Tây Nam Bộ". *Khảo cổ học*, No.4; tr30-45.

[6] Nguyen Quang Mien, Nguyen Quang Bac, Bui Van Loat, **Vu Anh Hung** (2019), "Thermoluminesence and Radiocarbon Dates in the Brick Structures of GoThap Site in the Lower Mekong Delta Basin", *International Journal of Archaeology*. Vol. 7, No.1, pp. 17-23.

[7] **Vũ Anh Hùng**, Nguyễn Quang Miên, Nguyễn Quang Bắc, Bùi Văn Loát (2019), "^{14}C Dating at the Geological Boreholes and Sedimentory in the Lower Mekong Delta". *American Scientific Research Journal for Engineering*, Technology, and Sciences. Vol 58 No.1 (2019); p102-112.

[8] Nguyen Quang Mien, Nguyen Quang Bac, **Vu Anh Hung** (2019), "Sa Huynh Culture as Approached from Geoarchaeology". *Journal of Vietnam academy of social sciences*. No. 5 (193) - (2019); p57-74.