

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM TP. HỒ CHÍ MINH**

---

**Đoàn Thị Vân**

**KHẢO SÁT NỒNG ĐỘ RADON TRONG  
MỘT SỐ NGUỒN NƯỚC SUỐI TỰ NHIÊN**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ**

Thành phố Hồ Chí Minh - 2012

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM TP. HỒ CHÍ MINH**

---

**Đoàn Thị Vân**

**KHẢO SÁT NỒNG ĐỘ RADON TRONG  
MỘT SỐ NGUỒN NƯỚC SUỐI TỰ NHIÊN**

**Chuyên ngành: Vật lý nguyên tử, hạt nhân và năng lượng cao**

**Mã số : 60 44 05**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ VẬT LÝ**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:**

**PGS - TS. CHÂU VĂN TẠO**

**Thành phố Hồ Chí Minh - 2012**

## ***LỜI CẢM ƠN***

*Để hoàn thành chương trình cao học và viết luận văn này, tôi đã nhận được sự hướng dẫn, giúp đỡ và góp ý nhiệt tình của quý Thầy cô trường Đại học Sư Phạm TP Hồ Chí Minh và trường Đại học Khoa Học Tự Nhiên TP Hồ Chí Minh. Với lòng kính trọng và biết ơn sâu sắc tôi xin được bày tỏ lời cảm ơn chân thành tới:*

*Quý Thầy cô đã nhiệt tình giảng dạy tôi trong suốt quá trình học tập tại trường.*

*Phó giáo sư – Tiến sĩ Châu Văn Tạo, người Thầy kính mến, đã đưa ra phương pháp nghiên cứu và đóng góp ý kiến, tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tôi hoàn thành luận văn tốt nghiệp.*

*Thạc sĩ Phan Thị Minh Tâm- giảng viên khoa Vật Lý trường Đại học Sư Phạm TP Hồ Chí Minh đã dành rất nhiều thời gian giúp đỡ và chỉ bảo tận tình cho tôi trong suốt quá trình thực hiện luận văn tốt nghiệp.*

*Quý Thầy cô trong Bộ môn Vật lý Hạt Nhân, trường đại học Sư Phạm TP. HCM luôn tạo mọi điều kiện thuận lợi về cơ sở vật chất để tôi thực hiện các thí nghiệm phục vụ cho luận văn.*

*Xin chân thành cảm ơn các Thầy cô trong hội đồng chấm luận văn đã dành thời gian đọc và cho tôi những đóng góp quý báu để hoàn chỉnh luận văn này.*

*Xin gửi lời cảm ơn tới bố mẹ, bạn bè đã động viên và giúp đỡ tôi trong những lúc tôi gặp khó khăn.*

*Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 9 năm 2012*

***Đoàn Thị Vân***

## MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN .....	1
MỤC LỤC .....	2
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT .....	5
DANH MỤC CÁC BẢNG .....	6
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ .....	7
1. Lý do chọn đề tài .....	8
2. Mục đích nghiên cứu .....	9
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu. ....	9
4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài .....	9
5. Phương pháp nghiên cứu .....	10
6. Bố cục luận văn .....	10
TỔNG QUAN .....	12
CHƯƠNG 1: PHÓNG XẠ TỰ NHIÊN .....	14
1.1. Các nhân phóng xạ trong vỏ Trái đất .....	14
1.1.1. Họ phóng xạ uranium .....	14
1.1.2. Họ phóng xạ thorium .....	15
1.1.3. Họ phóng xạ actinium .....	16
1.1.4. Đặc điểm chung của ba họ phóng xạ tự nhiên .....	17
1.2. Phóng xạ tự nhiên đối với con người .....	18
1.2.1. Sự tiếp cận của cơ thể con người đến các bức xạ tự nhiên .....	18
1.2.1.1. Chiếu xạ ngoài .....	18
1.2.1.2. Chiếu xạ trong .....	18
1.2.2. Ảnh hưởng của bức xạ lên cơ thể con người .....	18
1.2.3. Mức độ ảnh hưởng của bức xạ .....	20
1.2.3.1. Tác động có hại phụ thuộc khả năng đâm xuyên của bức xạ vào bên trong cơ thể .....	20
1.2.3.2. Tác hại của bức xạ ion phụ thuộc vào suất liều của chúng .....	20
1.2.3.3. Mức độ tác hại phụ thuộc vào cơ quan bị tác động bức xạ .....	21

1.2.3.4. Khả năng chịu tác động bức xạ ion của cơ thể phụ thuộc vào lứa tuổi của con người.....	21
1.2.3.5. Khả năng gây tác hại của bức xạ và các đồng vị phóng xạ phụ thuộc vào loại và năng lượng bức xạ .....	21
1.2.4. Liều hiệu dụng đối với con người do bức xạ .....	23
<b>CHƯƠNG 2: ĐỒNG VỊ RADON.....</b>	<b>24</b>
2.1. Sự hình thành radon trong tự nhiên .....	24
2.2. Sự vận chuyển radon trong đất.....	25
2.3. Sự hiện diện và vận chuyển radon trong nước. ....	26
2.4. Vai trò của radon trong vấn đề sức khỏe.....	27
2.5. Vai trò của khí radon trong điều tra địa chất và môi trường .....	28
2.5.1. Nghiên cứu đứt gãy.....	29
2.5.2. Khoanh vùng các khu vực có đối địa động lực tích cực chạy qua. ....	30
2.5.3. Ứng dụng để dự báo động đất .....	31
<b>CHƯƠNG 3: MÁY ĐO KHÍ PHÓNG XẠ RAD7 .....</b>	<b>32</b>
3.1. Giới thiệu máy đo RAD7 .....	32
3.3. Đặc tính kỹ thuật chủ yếu.....	35
3.4. Nguyên lý làm việc.....	37
3.5. Phổ của RAD7.....	39
<b>CHƯƠNG 4 : THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN.....</b>	<b>41</b>
4.1. Đối tượng nghiên cứu .....	41
4.2. Quy trình xác định nồng độ radon.....	44
4.2.1. Quy trình lấy mẫu nước .....	44
4.2.2. Chuẩn bị dụng cụ .....	45
4.2.3. Sấy máy trước khi đo .....	45
4.2.4. Lắp thiết bị .....	46
4.2.5. Bắt đầu đo .....	47
4.2.6. Kết thúc việc đo .....	48
4.2.7. Thu nhận kết quả từ RAD7 .....	48
4.3. Xử lý số liệu thực nghiệm .....	49
4.3.1. Hiệu chỉnh số liệu .....	49

4.3.2. Đánh giá sai số.....	49
4.4. Kết quả thực nghiệm .....	50
4.4.1. Suối Đá Hàn.....	50
4.4.1.1. Đặc điểm các mẫu được lấy.....	50
4.4.1.2. Kết quả.....	51
4.4.2. Suối Giang Điền.....	53
4.4.2.1. Đặc điểm các mẫu được lấy.....	53
4.4.2.2. Kết quả.....	54
4.4.3. Suối Tiên.....	55
4.4.3.1. Đặc điểm các mẫu được lấy.....	55
4.4.3.2. Kết quả.....	56
4.4.4. Suối Đá.....	58
4.4.4.1. Đặc điểm các mẫu được lấy.....	58
4.4.4.2. Kết quả.....	59
4.4.5. Suối Đatanla.....	61
4.4.5.1. Đặc điểm các mẫu được lấy.....	61
4.4.5.2. Kết quả.....	62
4.4.6. Suối nước nóng Bình Châu.....	63
4.4.6.1. Sự hình thành suối nước nóng .....	63
4.4.6.2. Đặc điểm các mẫu được lấy.....	64
4.4.6.3. Kết quả.....	65
4.4.7. So sánh nồng độ radon của các suối được khảo sát.....	66
<b>KẾT LUẬN .....</b>	<b>69</b>
<b>KIẾN NGHỊ VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI .....</b>	<b>70</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>	<b>71</b>
<b>PHỤ LỤC .....</b>	<b>76</b>

## **DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT**

EC	European Commission: Ủy ban Châu Âu
EPAUS	Environmental Protection Agency: Cơ quan bảo vệ môi trường Mỹ .
ICRP	International Commission on Radiological Protection: Ủy ban an toàn phóng xạ Quốc tế
IAEA	International Atomic Energy Agency: Cơ quan Năng lượng Nguyên tử Quốc tế
LCD	Liquid Crystal Display: Chế độ hiển thị bằng tinh thể lỏng
MCL	Maximum contaminant level: Mức độ gây hại lớn nhất
RAD7	Radon Detector - 7
RAD-200	Radon Detector - 200
RH	Relative humidity: Độ ẩm tương đối
Rn	Radon
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Ủy ban khoa học Liên Hiệp Quốc về những ảnh hưởng của bức xạ nguyên tử
Wat-250	Water - 250ml
WHO	World Health Organization: Tổ chức Y tế thế giới

## DANH MỤC CÁC BẢNG

<b>Bảng 1.1.</b>	Họ phóng xạ uranium .....	14
<b>Bảng 1.2.</b>	Họ phóng xạ thorium .....	15
<b>Bảng 1.3.</b>	Họ phóng xạ actinium.....	16
<b>Bảng 1.4.</b>	Liều hiệu dụng ( $\mu\text{Sv}/\text{năm}$ ) do phóng xạ tự nhiên .....	23
<b>Bảng 4.1.</b>	Vị trí và đặc điểm của các đối tượng nghiên cứu .....	41
<b>Bảng 4.2.a.</b>	Vị trí lấy mẫu tại suối Đá Hàn .....	50
<b>Bảng 4.2.b.</b>	Kết quả đo các mẫu tại suối Đá Hàn .....	51
<b>Bảng 4.3.a.</b>	Vị trí lấy mẫu tại suối Giang Điền.....	53
<b>Bảng 4.3.b.</b>	Kết quả đo các mẫu tại suối Giang Điền .....	54
<b>Bảng 4.4.a.</b>	Vị trí lấy mẫu tại suối Suối Tiên.....	55
<b>Bảng 4.4.b.</b>	Kết quả đo các mẫu tại suối Suối Tiên .....	56
<b>Bảng 4.5.a.</b>	Vị trí lấy mẫu tại suối Suối Đá .....	58
<b>Bảng 4.5.b.</b>	Kết quả đo các mẫu lấy tại suối Suối Đá .....	59
<b>Bảng 4.6.a.</b>	Vị trí lấy mẫu tại suối Datanla .....	61
<b>Bảng 4.6.b.</b>	Kết quả đo của các mẫu lấy tại suối Datanla .....	62
<b>Bảng 4.7.a.</b>	Vị trí lấy mẫu tại suối nước nóng Bình Châu .....	64
<b>Bảng 4.7.b.</b>	Kết quả đo của các mẫu lấy tại suối nước nóng Bình Châu .....	65
<b>Bảng 4.8.</b>	Các con suối được khảo sát .....	66



## DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

<b>Hình 1.1.</b> Ảnh hưởng của bức xạ lên các cơ quan của cơ thể .....	19
<b>Hình 2.1.</b> Quá trình khuếch tán radon trong đất.....	26
<b>Hình 3.1.</b> Các bộ phận chính của máy RAD7 .....	32
<b>Hình 3.2.</b> Sơ đồ nguyên lý cấu tạo máy RAD7-H <sub>2</sub> O .....	33
<b>Hình 3.3.</b> Bộ 6 cốc dung tích 250 ml và 12 cốc dung tích 40 ml.....	34
<b>Hình 3.4.</b> Khối ba đầu .....	35
<b>Hình 3.5.</b> Chuỗi phân rã phóng xạ của radon và thoron .....	38
<b>Hình 4.1.</b> Cách lấy mẫu với nguồn nước trên bề mặt .....	44
<b>Hình 4.2.</b> Cách lấy mẫu với nguồn nước xuất lộ .....	45
<b>Hình 4.3.</b> Sấy máy bằng quy trình khép kín với ống hút ẩm loại lớn .....	46
<b>Hình 4.4.</b> A) Rót mẫu cần đo vào cốc 250ml. B) Lắp đặt thiết bị trước khi đo.... .....	46
<b>Hình 4.5.</b> Quá trình sục khí .....	47
<b>Hình 4.6.</b> A) Máy in hồng ngoại. B) Sử dụng máy in để lấy kết quả. ....	48
<b>Hình 4.7.</b> Báo cáo ngắn sau mỗi chu kỳ đo.....	48
<b>Hình 4.8.</b> Dữ liệu tổng hợp sau mỗi lần đo .....	49
<b>Hình 4.9.</b> Biểu đồ so sánh nồng độ radon của các mẫu tại suối Đá Hàn.....	52
<b>Hình 4.10.</b> Biểu đồ so sánh nồng độ radon của các mẫu tại suối Giang Điền .	54
<b>Hình 4.11.</b> Biểu đồ so sánh nồng độ radon của các mẫu tại suối Suối Tiên....	57
<b>Hình 4.12.</b> Biểu đồ so sánh nồng độ radon của các mẫu tại suối Suối Đá .....	59
<b>Hình 4.13.</b> Biểu đồ so sánh nồng độ radon của các mẫu tại suối Datanla.....	62
<b>Hình 4.14.</b> Biểu đồ so sánh nồng độ radon của các mẫu tại suối nước nóng BìnhChâu.....	65
<b>Hình 4.15.</b> Biểu đồ so sánh nồng độ radon trong các mẫu suối được khảo sát ... .....	67

## MỞ ĐẦU

### 1. Lý do chọn đề tài

Radon ( $\text{Rn}^{222}$ ) là khí phóng xạ có mặt hầu như ở khắp mọi nơi trong nước, không khí, đất đá. Nó là một sản phẩm trong chuỗi phân rã  $\text{Ra}^{226}$  – sản phẩm phân rã từ  $\text{U}^{238}$ . Đồng vị  $\text{Rn}^{222}$  có chu kỳ bán rã ngắn khoảng 3,82 ngày. Đồng vị  $\text{Rn}^{222}$  được quan tâm vì nó tồn tại ở thể khí. Vì vậy, khi chúng ta hít phải khí radon, chúng phân rã thành chuỗi các đồng vị phóng xạ con cháu mà trong đó nguy hiểm nhất là  $\text{Po}^{218}$ . Đồng vị  $\text{Po}^{218}$  phân rã alpha với chu kỳ bán rã 3,05 phút, đủ cho một vài chu trình thở trong hệ thống hô hấp của người. Đồng vị  $\text{Po}^{218}$  bám vào các hạt bụi có kích thước cỡ nanomet và micromet tạo thành các hạt sol khí phóng xạ. Các sol khí phóng xạ này có kích thước nhỏ nên dễ dàng xâm nhập vào hệ hô hấp, bị bẫy trong phổi và được lưu giữ tại phế nang. Vì vậy, các nhân tế bào phế nang bị phơi nhiễm các hạt alpha năng lượng cao (là sản phẩm quá trình phân rã alpha của polonium) gây đột biến, sai hỏng nhiễm sắc thể và cơ chế phân chia tế bào dẫn đến ung thư phổi. Chính vì thế, đồng vị  $\text{Rn}^{222}$  là tác nhân gây nguy cơ ung thư hàng đầu trong các chất gây ung thư phổi [28].

Do đó, các nhà khoa học ở nhiều nước ngày càng quan tâm hơn về nguy cơ tích lũy  $\text{Rn}^{222}$  trong môi trường.

Khí radon phân tán trong môi trường bằng hai phương thức chủ yếu là lưu thông và khuếch tán. Phóng xạ radon thoát ra từ các đứt gãy, khe nứt, đá, đất, vật liệu xây dựng (gốm sét, gạch xỉ than là vật liệu chứa nhiều radon) và nước ngầm (từ các giếng khoan sâu). Chính các nguồn nước trong tự nhiên là các yếu tố thuận lợi để phân tán khí phóng xạ ra xa nguồn cung cấp.

Trong nước, nồng độ khí radon hòa tan phụ thuộc nhiều vào nguồn nước và môi trường nước chảy qua. Đặc biệt là nguồn nước suối chảy qua nhiều khu vực đất đá có nguy cơ để thoát khí radon ra môi trường nhiều nhất. Vì vậy, nghiên cứu nồng độ  $\text{Rn}^{222}$  trong nguồn nước suối tự nhiên sẽ đem lại nhiều thông tin quan trọng cho công việc tìm kiếm các mỏ quặng phóng xạ, khảo sát các hiện tượng địa chất, đánh giá mức độ ô nhiễm phóng xạ trong môi trường [6].

Với ý nghĩa thực tiễn trên, tác giả đã chọn đề tài “**Khảo sát nồng độ radon trong một số nguồn nước suối tự nhiên**” làm đề tài nghiên cứu luận văn thạc sĩ.

## **2. Mục đích nghiên cứu**

Khảo sát nồng độ  $Rn^{222}$  trong nguồn nước suối tự nhiên bao gồm nguồn nước thường và nguồn nước suối khoáng nóng. Sử dụng máy RAD7 để đo nồng độ  $Rn^{222}$  của các mẫu nước lấy từ nguồn nước cần khảo sát. Thu thập số liệu làm cơ sở so sánh với thiết bị khác và dùng số liệu để đánh giá mức độ an toàn của các nguồn nước suối so với tiêu chuẩn an toàn đã được đề ra. Đồng thời, tìm hiểu sự phụ thuộc của nồng độ radon vào đặc điểm địa hình. Bước đầu xây dựng một bản đồ phóng xạ radon cho một số nguồn nước suối.

## **3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu.**

❖ Đối tượng

### **Lý thuyết**

Lý thuyết về sự hình thành radon trong nước ngầm, tác hại bức xạ alpha lên cơ thể sống.

Quy trình đo và xử lý hoạt độ phóng xạ alpha trong mẫu của thiết bị RAD7.

### **Thực nghiệm**

Nguồn nước suối thường.

Nguồn nước suối khoáng nóng.

❖ Phạm vi nghiên cứu

Tập trung vào nghiên cứu nguồn nước suối thường và suối khoáng nóng của khu vực tỉnh Đồng Nai, Bà Rịa-Vũng Tàu, Lâm Đồng.

## **4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài**

❖ Ý nghĩa khoa học

Góp phần nâng cao hiểu biết của bản thân về phóng xạ tự nhiên, về sự hình thành radon trong nước ngầm và cách triển khai kỹ thuật ứng dụng hạt nhân trong thực tiễn.

❖ Ý nghĩa thực tiễn

Đề tài này có thể làm tài liệu cho việc nghiên cứu, đo đặc nồng độ radon trong các nguồn nước.

Từ thực nghiệm đo radon có thể đánh giá được các vấn đề phóng xạ liên quan đến nước ngầm.

## **5. Phương pháp nghiên cứu**

❖ Phương pháp lý thuyết

Tra cứu tài liệu trên sách báo, bài báo khoa học, giáo trình và mạng Internet...có liên quan đến đề tài để làm cơ sở lý thuyết và định hướng cho công việc thực nghiệm.

❖ Phương pháp thực nghiệm

Tìm hiểu cách sử dụng máy RAD7 và cách lấy mẫu, xử lý mẫu.

Xử lý số liệu: dùng các phần mềm để xử lý, lưu trữ và biểu diễn số liệu đo đạc.

Phương pháp tổng hợp, phân tích: sau khi xử lý số liệu, rút ra nhận xét, phân tích kết quả.

Thiết bị sử dụng: hệ máy RAD7, phần mềm DURRIDGE và phần mềm xử lý số liệu excel.

## **6. Bố cục luận văn**

Nội dung của luận văn gồm các phần như sau:

**Mở đầu:** nêu lí do chọn đề tài, đối tượng và phương pháp nghiên cứu, mục đích và các nhiệm vụ cần phải hoàn thành.

**Tổng quan:** giới thiệu về sự có mặt của phóng xạ tự nhiên nói chung và sự hình thành của radon trong nước nói riêng. Đồng thời giới thiệu những công trình nghiên cứu mà Thế giới và Việt Nam đã tiến hành. Bên cạnh đó tác giả cũng nêu lên vấn đề mà đề tài cần tập trung giải quyết.

### **Chương 1: Phóng xạ tự nhiên**

Chương này trình bày về sự có mặt của các phóng xạ trong tự nhiên và sự ảnh hưởng của phóng xạ tự nhiên đến con người.

## **Chương 2 : Đồng vị radon**

Nội dung của chương này nghiên cứu sự hình thành của radon, phương thức radon vận chuyển trong nước, trong đất. Đồng thời, đề cập đến vai trò của radon đối với sức khỏe và trong điều tra địa chất, môi trường.

## **Chương 3: Thiết bị RAD7 đo radon trong nước**

Chương này trình bày về cấu tạo, nguyên lý hoạt động của RAD7 và kỹ thuật RAD-H<sub>2</sub>O.

## **Chương 4: Thực nghiệm và thảo luận**

Chương này trình bày về quá trình thực nghiệm, các kết quả thu được và đưa ra những so sánh, đánh giá về kết quả.

**Kết luận:** tổng kết các kết quả đã đạt được, đồng thời đưa ra các kết luận và nhận định về nghiên cứu này.

**Kiến nghị và hướng phát triển của đề tài:** nêu lên những kiến nghị về phương pháp đo, về vấn đề an toàn bức xạ. Đồng thời, kiến nghị phương hướng nghiên cứu, phát triển tiếp theo cho đề tài.

## **Tài liệu tham khảo**

## TỔNG QUAN

Hằng ngày, con người chịu các bức xạ tự nhiên từ nhiều nguồn như: các tia vũ trụ, các hạt nhân phóng xạ tự nhiên trong không khí, đất đai. Hiện nay, trên thế giới đã có nghiên cứu về phóng xạ tự nhiên để dùng vào mục đích đánh giá mức độ an toàn, thiết lập phong phóng xạ và điều tra địa chất.

Nhiều phóng xạ như uranium, thorium, radium và các chuỗi phóng xạ của radium có rất nhiều trong đất đá, vì vậy nguồn nước tự nhiên, đặc biệt là nguồn nước suối chảy qua các vùng đất, đá này nên sự thẩm thấu của radon vào nước là điều không thể tránh khỏi.

Ở các nước trên Thế giới, đã có nhiều nghiên cứu về nồng độ radon có trong nguồn nước tự nhiên. Chẳng hạn:

Đo nồng độ radon tại lưu vực sông Varahi và Markandeya, bang Karnataka, Ấn Độ [27].

Đo nồng độ radon trong nước ngầm tại các miền của thành phố Bagelore, Ấn Độ [23].

Khảo sát sự thay đổi của nồng độ radon theo đặc điểm địa lý và theo mùa ở Cypriot, Cộng Hòa Sip [30].

Một nghiên cứu khác là nghiên cứu nồng độ radon trong nước uống có nguồn gốc từ các nhà máy nước ở miền Nam Thụy Điển [19].

Ở Việt Nam cũng đã có một số công trình về ứng dụng dùng máy RAD7 để đo nồng độ radon như là :

Khảo sát nồng độ radon trong một số mẫu nước đóng chai trên thị trường Việt Nam [13].

Đo nồng độ radon tại các suối chảy qua vùng thân quặng, suối ngoài thân quặng, vùng ngoại vi và nước sinh hoạt của dân cư ở vùng mỏ Đông Pao, vùng mỏ Yên Phú, đứt gãy sông Hồng tại Âu Lâu-Yên Bái để đánh giá môi trường và nghiên cứu địa chất do Liên đoàn Vật Lý- Địa Chất thực hiện năm 2000 [2].

Nhưng ở Việt Nam chưa có một bản đồ phóng xạ cho tất cả các nguồn nước suối tự nhiên. Vì vậy, tác giả thực hiện nghiên cứu này với mong muốn bước đầu

đóng góp một phần vào công việc xây dựng phong phóng xạ radon cho nguồn nước suối tự nhiên. Đồng thời, khảo sát sự phụ thuộc của nồng độ radon vào đặc điểm địa hình mà các dòng suối chảy qua.

Nghiên cứu này được thực hiện tại phòng thí nghiệm Vật lý hạt nhân, trường Đại học Sư phạm TP.HCM.

## CHƯƠNG 1: PHÓNG XẠ TỰ NHIÊN

### 1.1. Các nhân phóng xạ trong vỏ Trái đất

Phông phóng xạ trên Trái đất gồm các nhân phóng xạ tồn tại cả trước và sau khi Trái đất được hình thành. Năm 1896, nhà bác học người Pháp Becquerel phát hiện ra chất phóng xạ tự nhiên, đó là uranium và con cháu của nó. Đến nay người ta biết các chất phóng xạ trên Trái đất gồm các nguyên tố uranium, thorium và con cháu của chúng, cùng một số nguyên tố phóng xạ khác. Uranium, thorium và con cháu của chúng tạo nên ba họ phóng xạ cơ bản là họ thorium ( $\text{Th}^{232}$ ), uranium ( $\text{U}^{238}$ ) và actinium ( $\text{U}^{235}$ ). Tất cả các thành viên của các họ này, trừ thành viên cuối cùng đều là các đồng vị phóng xạ [8].

#### 1.1.1. Họ phóng xạ uranium

Uranium gồm ba đồng vị khác nhau: khoảng 99,3% uranium thiên nhiên là  $\text{U}^{238}$ , khoảng 0,7% là  $\text{U}^{235}$  và khoảng  $5 \cdot 10^{-3}\%$  là  $\text{U}^{234}$ . Chỉ có  $\text{U}^{238}$  và  $\text{U}^{234}$  thuộc cùng họ uranium. Họ phóng xạ uranium gồm các đồng vị và thông tin được cho bởi bảng 1.1:

**Bảng 1.1.** Họ phóng xạ uranium [38]

Đồng vị	Thời gian bán rã	Năng lượng (MeV)		
		Alpha <sup>a</sup>	Beta	Gamma <sup>b</sup>
$_{92}\text{U}^{238}$	$4,47 \cdot 10^9$ năm	4,18		
$_{90}\text{Th}^{234}$	24,10 ngày		0,193	0,092
$_{91}\text{Pa}^{234}$	1,17 giây		2,31	1,0
$_{92}\text{U}^{234}$	$2,48 \cdot 10^5$ năm	4,763		
$_{90}\text{Th}^{230}$	$8,0 \cdot 10^4$ năm	4,685		0,068
$_{88}\text{Ra}^{226}$	1622 năm	4,777		



$^{222}_{86}\text{Rn}$	3,825 ngày	5,486		0,51
$^{218}_{84}\text{Po}$	3,05 phút	5,998	Không biết năng lượng	0,186
$^{214}_{82}\text{Pb}$	26,8 phút		0,65	0,352
$^{218}_{85}\text{At}$	2 giây	6,63	Không biết năng lượng	
$^{218}_{86}\text{Rn}$	0,019 giây	7,127		
$^{214}_{83}\text{Bi}$	19,7 phút	5,505	1,65	0,609
$^{214}_{84}\text{Po}$	$1,64 \cdot 10^{-4}$ giây	7,680		
$^{210}_{81}\text{Tl}$	1,32 phút		1,96	0,297
$^{210}_{82}\text{Pb}$	19,4 năm		0,0017	0,0467
$^{210}_{83}\text{Bi}$	5,00 ngày		1,17	
$^{210}_{84}\text{Po}$	138,40 ngày	5,298		0,802
$^{206}_{82}\text{Pb}$	Bền			

**Chú thích:** a. Chỉ ghi hạt alpha năng lượng cao nhất; b. Chỉ ghi các tia gamma chính.

### 1.1.2. Họ phóng xạ thorium

Họ phóng xạ thorium gồm các đồng vị và thông tin được cho bởi bảng 1.2:

**Bảng 1.2.** Họ phóng xạ thorium [38]

Đồng vị	Thời gian bán rã	Năng lượng (MeV)		
		Alpha <sup>a</sup>	Beta	Gamma <sup>b</sup>
$^{232}_{90}\text{Th}$	$1,39 \cdot 10^{10}$ năm	3,98		
$^{228}_{88}\text{Ra}$	5,7 năm		0,01	
$^{228}_{89}\text{Ac}$	6,13 phút		1,11	1,59

$_{90}\text{Th}^{228}$	1,91 năm	5,421		
$_{88}\text{Ra}^{224}$	3,64 ngày	5,681		0,084
$_{36}\text{Rn}^{220}$	52 giây	6,278		0,241
$_{84}\text{Po}^{216}$	0,158 giây	6,774		0,542
$_{82}\text{Pb}^{212}$	10,64 giờ		0,35	0,239
$_{83}\text{Bi}^{212}$	60,5 phút	6,086	2,25	0,04
$_{84}\text{Po}^{212}$	$3,04 \cdot 10^{-7}$ giây	8,776		
$_{81}\text{Tl}^{208}$	3,1 phút		1,80	1,615
$_{82}\text{Pb}^{208}$	Bền			

**Chú thích:** a. Chỉ ghi hạt alpha năng lượng cao nhất; b. Chỉ ghi các tia gamma chính.

### 1.1.3. Họ phóng xạ actinium

Họ phóng xạ actinium gồm các đồng vị và thông tin được cho bởi bảng 1.3:

**Bảng 1.3.** Họ phóng xạ actinium [38]

Đồng vị	Thời gian bán rã	Năng lượng (MeV)		
		Alpha <sup>a</sup>	Beta	Gamma <sup>b</sup>
$_{92}\text{U}^{235}$	$7,13 \cdot 10^8$ năm	4,39		0,18
$_{90}\text{Th}^{231}$	25,64 giờ		0,094	0,022
$_{91}\text{Pa}^{231}$	$3,43 \cdot 10^4$ năm	5,049		0,33
$_{89}\text{Ac}^{227}$	21,8 năm	4,94	0,0455	
$_{90}\text{Th}^{227}$	18,4 ngày	6,03		0,24
$_{87}\text{Fr}^{223}$	21 phút		1,15	0,05

$^{223}_{88}\text{Ra}$	11,68 ngày	5,750		0,270
$^{219}_{86}\text{Rn}$	3,92 giây	6,824		0,267
$^{215}_{84}\text{Po}$	$1,83 \cdot 10^{-3}$ giây	7,635		
$^{211}_{82}\text{Pb}$	36,1 phút		1,14	0,065 đến 0,829
$^{211}_{83}\text{Bi}$	2,16 phút	6,619	Không biết năng lượng	0,35
$^{211}_{84}\text{Po}$	0,52 giây	7,434		0,88
$^{207}_{81}\text{Tl}$	4,78 phút		1,47	0,87
$^{207}_{82}\text{Pb}$	Bền			

**Chú thích:** a. Chỉ ghi hạt alpha năng lượng cao nhất; b. Chỉ ghi các tia gamma chính.

#### 1.1.4. Đặc điểm chung của ba họ phóng xạ tự nhiên

Thành viên thứ nhất là đồng vị phóng xạ sống lâu. Mỗi họ đều có một thành viên dưới dạng khí phóng xạ, chúng là các đồng vị khác nhau của nguyên tố radon. Trong trường hợp họ uranium, khí  $\text{Rn}^{222}$  được gọi là radon, trong họ thorium, khí  $\text{Rn}^{220}$  được gọi là thoron, còn trong họ actinium khí  $\text{Rn}^{219}$  được gọi là actinon. Sự có mặt của các khí phóng xạ trong ba họ phóng xạ tự nhiên là một trong các lý do chính gây nên phong phóng xạ tự nhiên trong không khí. Trong ba loại khí phóng xạ thì radon đóng vai trò quan trọng nhất vì nó có thời gian bán rã 3,825 ngày, lớn hơn nhiều so với thời gian bán rã của thoron (52 giây) và actinon (3,92 giây). Khí radon khuếch tán từ Trái đất vào không khí và các con cháu radon phóng xạ thường ở dạng rắn trong các điều kiện thông thường, bám vào các hạt bụi khí quyển. Đúng về phương diện an toàn bức xạ, sự chiếu ngoài của radon và con cháu nó lên người không tác hại bằng sự chiếu trong cơ thể khi con người hít thở bụi có các nhân phóng xạ bám vào vì chúng là các nhân phát hạt alpha.

Sản phẩm cuối cùng trong mỗi họ đều là chì:  $\text{Pb}^{206}$  trong họ uranium,  $\text{Pb}^{207}$  trong họ actinium và  $\text{Pb}^{208}$  trong họ thorium [36].

## **1.2. Phóng xạ tự nhiên đối với con người**

### **1.2.1. Sự tiếp cận của cơ thể con người đến các bức xạ tự nhiên**

Trong môi trường, mọi sinh vật đều bị chiếu xạ ngoài và chiếu xạ trong.

Chiếu xạ ngoài gây bởi các chất phóng xạ có ở môi trường xung quanh con người, kể cả bức xạ ion hoá của tia vũ trụ. Chiếu xạ trong có nguồn gốc từ các chất phóng xạ thâm nhập vào trong cơ thể con người bằng nhiều con đường khác nhau [9].

#### **1.2.1.1. Chiếu xạ ngoài**

##### **❖ *Bức xạ gamma từ các nguồn phóng xạ trong đất, đá***

Đây là nguồn chiếu xạ chủ yếu trong số các nguồn chiếu xạ ngoài của môi trường đối với con người. Trong thành phần của các nguồn chiếu xạ ngoài từ bức xạ gamma của các đồng vị phóng xạ từ đất thì  $K^{40}$  chiếm 35%, các đồng vị phóng xạ của dãy  $U^{235}$  chiếm 25% và của dãy  $Th^{232}$  là 40% [10].

##### **❖ *Bức xạ vũ trụ***

Bức xạ vũ trụ từ Mặt Trời có năng lượng rất nhỏ, đóng góp của nó vào liều hấp thụ đối với người không đáng kể, có thể bỏ qua.

#### **1.2.1.2. Chiếu xạ trong**

Các chất phóng xạ tự nhiên xâm nhập vào cơ thể qua con đường ăn uống và hít thở tạo nên một nguồn chiếu xạ trong đối với cơ thể. Quá trình chuyển hoá làm cho một số đồng vị được thải ra ngoài và một số còn lưu lại trong cơ thể [9].

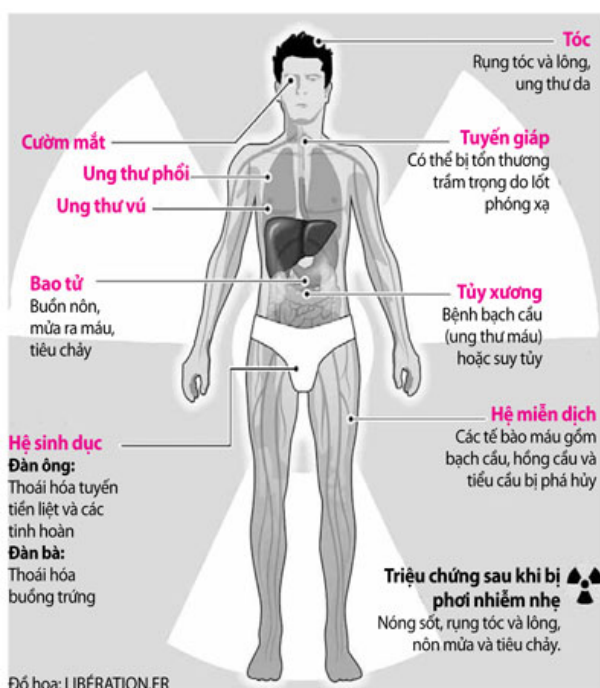
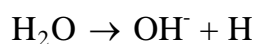
### **1.2.2. Ảnh hưởng của bức xạ lên cơ thể con người**

Bản chất sự tác động của bức xạ bất kỳ lên vật chất nói chung và cơ thể con người nói riêng là quá trình ion hoá. Các dạng bức xạ khác nhau có khả năng ion hóa khác nhau, được đặc trưng bằng số cặp ion được tạo ra trên một đơn vị đường đi của nó. Kết quả thực nghiệm cho thấy bức xạ  $\alpha$  với năng lượng trong khoảng từ 3 đến 9 MeV có mật độ ion hoá rất lớn, bức xạ  $\beta$  với năng lượng trong khoảng từ 0,1 đến 2,3 MeV có mật độ ion hóa nhỏ hơn rất nhiều so với bức xạ  $\alpha$ . Mật độ ion hóa trung bình của bức xạ  $\beta$  trong không khí khoảng hàng chục cặp ion trên

1cm đường đi của bức xạ  $\beta$ . Với năng lượng trong khoảng từ 0,1 đến 1,6 MeV, khả năng ion hoá của tia  $\gamma$  càng nhỏ hơn, chỉ khoảng vài cặp ion trên 1cm đường đi của tia gamma trong không khí.

Ảnh hưởng có hại của các bức xạ lên cơ thể con người là quá trình tác động của các bức xạ đó lên các tổ chức của cơ thể. Khi xuyên qua các tổ chức cơ thể, bức xạ bị suy yếu bởi nó mất năng lượng cho môi trường, làm kích thích và ion hóa các nguyên tử, phân tử trong các cơ quan của cơ thể.

Chúng ta biết rằng trong cơ thể người lượng nước chiếm từ 70% đến 75%, nên khi hấp thu năng lượng của các bức xạ xuyên qua cơ thể, nước sẽ phân ly thành [12]:



**Hình 1.1.** Ảnh hưởng của bức xạ lên các cơ quan của cơ thể [45]

Kết quả của phản ứng này tạo ra các peroxithydro và gốc hydroxit. Các hợp chất có peroxit đó là các chất oxy hoá mạnh điển hình. Như vậy, sự có mặt của  $\text{H}_2\text{O}$  trong các tổ chức của cơ thể sẽ có tác dụng làm thay đổi cấu trúc phân tử

albumin. Các bức xạ có thể làm cho nhiều men sống quan trọng, nhiều tuyến trong cơ thể và các tế bào bị huỷ hoại.

### **1.2.3. Mức độ ảnh hưởng của bức xạ [12]**

Tác động có hại của bức xạ lên cơ thể người còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau như: cơ quan bị tác động, liều lượng tác động, trạng thái của cơ thể. Qua thực nghiệm và trên thực tế, người ta đã đưa ra những nhận xét về các yếu tố tác động có hại của bức xạ lên cơ thể người .

#### **1.2.3.1. Tác động có hại phụ thuộc khả năng đâm xuyên của bức xạ vào bên trong cơ thể**

Đối với nguồn phóng xạ bên ngoài cơ thể, thì tác động có hại phụ thuộc vào khả năng đâm xuyên của nó. Rõ ràng là bức xạ  $\gamma$  có khả năng đâm xuyên rất lớn, hiệu suất gây hại lớn. Các bức xạ  $\alpha$  và  $\beta$  có khả năng đâm xuyên yếu, không khí và màn da có thể chặn chúng lại hoàn toàn nên thực tế ít gây hại. Ngược lại đối với các chất phóng xạ có trong khí quyển, nước uống, thức ăn và đồ dùng sinh hoạt xâm nhập vào cơ thể qua đường hô hấp, tiêu hoá và các vết thương thì tác hại của bức xạ có khả năng đâm xuyên yếu lại gây tác hại rất lớn.

Mặt khác các chất phóng xạ khi xâm nhập vào cơ thể con người lại tiếp tục tác động cho đến khi chúng phân rã hết và vì thế, đồng vị nào càng có chu kỳ bán rã lớn thì tác hại càng lâu dài. Một thực tế đáng quan tâm là khi hít thở phải bụi hay khí phóng xạ thì tác hại lớn hơn nhiều so với sự xâm nhập các bức xạ đó qua đường tiêu hoá vì hệ thống hô hấp có diện tích tiếp xúc với chất phóng xạ lớn hơn và chất phóng xạ được hấp thụ nhanh hơn so với các bộ phận khác của hệ thống tiêu hoá.

#### **1.2.3.2. Tác hại của bức xạ ion phụ thuộc vào suất liều của chúng**

Người ta quan sát thấy cùng nhận một liều bức xạ như nhau, nhưng nếu chiếu với suất liều càng thấp (thời gian chiếu càng dài) thì tác hại càng ít. Ví dụ khi chiếu với liều bằng 600 rem có màn chắn các tia mềm để chữa bệnh thì sẽ gây bỏng ngay, song nếu chia ra mỗi ngày chỉ chiếu 200 rem thì da chỉ bị bỏng khi

nhận liều lượng đến 1500-2000 rem. Quan sát chi tiết sẽ nhận thấy sự tổn thương của ngày hôm trước vẫn còn tồn tại và làm tăng thêm tác hại sang ngày hôm sau. Từ đó có kết luận: tác hại do các bức xạ ion gây ra có tính dồn góp (tích lũy). Trong cuộc sống hàng ngày, cơ thể con người tuy chỉ nhận một liều lượng bức xạ nhỏ (bức xạ liều thấp), song ngày này qua ngày khác, tháng này qua tháng khác ..., quá trình tác động đó kéo dài, làm cho liều lượng bức xạ tích lũy trở nên rất lớn đến mức gây tác hại rõ rệt. Vì vậy, người ta đã quy định suốt cả đời người chỉ được phép nhận một liều lượng bức xạ không quá 200 rem.

#### **1.2.3.3. Mức độ tác hại phụ thuộc vào cơ quan bị tác động bức xạ**

Thực nghiệm cho thấy, mức độ chịu đựng của từng bộ phận cơ quan cơ thể con người rất khác nhau khi bị tác động với liều lượng bức xạ như nhau. Một số bộ phận của cơ thể chịu được một liều lượng bức xạ rất lớn, thậm chí lớn hơn toàn bộ cơ thể. Ví như các khối u nhỏ trên người có thể chịu được một liều lượng tới 10.000 rem và cũng có thể chịu được 400 rem trên một diện tích 400 cm<sup>2</sup>. Song thực tế, nếu chiếu lên toàn bộ cơ thể người một lúc 400 rem thì người sẽ mắc bệnh và nếu chiếu với liều lượng 600 rem thì sẽ gây tử vong. Vì lẽ đó mà người ta đã định ra trên cơ thể những bộ xung yếu, đó là các bộ phận mà khi chịu tác động của bức xạ ion hay chất phóng xạ chúng bị tổn thương nặng hơn các bộ phận khác.

#### **1.2.3.4. Khả năng chịu tác động bức xạ ion của cơ thể phụ thuộc vào lứa tuổi của con người**

Các kết quả điều tra cho thấy tuổi trẻ chịu tác động của bức xạ ion kém hơn người cao tuổi. Vì vậy, trong an toàn phóng xạ có quy định người dưới 18 tuổi không được tiếp xúc với các chất phóng xạ. Nguyên do là lứa tuổi càng trẻ thì bộ máy sinh dục càng nhạy cảm với tác hại của bức xạ ion hóa.

#### **1.2.3.5. Khả năng gây tác hại của bức xạ và các đồng vị phóng xạ phụ thuộc vào loại và năng lượng bức xạ**

Như trên đã nêu, các dạng bức xạ khác nhau có khả năng đâm xuyên và ion hoá khác nhau, đương nhiên là gây tác hại khác nhau đối với cơ thể con người.

Mặt khác, cùng một dạng bức xạ, nhưng có mức năng lượng khác nhau thì mức độ gây hại cũng khác nhau. Ngoài ra, đồng vị phóng xạ nào có chu kỳ bán rã càng dài thì tác hại càng lớn và càng lâu khi xâm nhập vào cơ thể. Ví như đồng vị natri-24 ( $\text{Na}^{24}$ ) phát ra bức xạ  $\beta$ , có năng lượng lớn tới 1,4 MeV và lượng tử<sup>7</sup> có năng lượng tới 2,8 MeV, nhưng khi xâm nhập vào cơ thể gây ra tác hại không lâu dài, bởi lẽ chu kỳ bán rã của  $\text{Na}^{24}$  chỉ có 14,8 giờ. Trong khi đó calci-45 ( $\text{Ca}^{45}$ ) phát ra bức xạ  $\beta$  có năng lượng rất nhỏ, chỉ đến 0,25 MeV, nhưng có chu kỳ bán rã đến 180 ngày, nên khi xâm nhập vào cơ thể nó gây tác hại lâu dài.

Hàng năm trung bình mỗi người chúng ta nhận một liều bức xạ tự nhiên khoảng 2,4 mSv. Theo các nghiên cứu của tổ chức ICRP, mức liều này có thể gây ra 80 trường hợp tử vong do ung thư trong số 1.000.000 trường hợp (Công bố 60 của ICRP, 1990). Mức tử vong gây ra bởi bức xạ tăng tỷ lệ với mức liều chiếu bức xạ. Mặc dù radon đóng góp tới 50% vào liều chiếu bức xạ đối với con người, song nếu chúng ta có biện pháp phòng chống thích hợp, có thể giảm đáng kể lượng liều chiếu này [22].

Những hiệu ứng bất lợi về sức khỏe gây bởi radon là do các hạt alpha được phát ra từ radon và các con cháu của nó. Các hạt alpha này sẽ phá huỷ các tế bào cơ thể con người mỗi khi nó được phát ra từ bên trong cơ thể của chúng ta (trường hợp chúng ta hít thở, ăn uống phải thành phần radon). Mỗi nguy hiểm chính khi bị chiếu một liều radon cao là khả năng mắc phải bệnh ung thư phổi. Theo đánh giá dịch tễ học, nếu chúng ta sống trong môi trường có nồng độ radon  $20 \text{ Bq/m}^3$  thì có khả năng ba trong số 1.000 người sẽ mắc phải căn bệnh ung thư phổi do radon gây ra.

Đóng góp lớn nhất vào liều chiếu radon là nồng độ radon trong nhà ở (chiếm 95%). Ngoài radon, liều bức xạ gây ra bởi các thành phần thuộc họ urani, thori, và nguyên tố  $\text{K}^{40}$  có thể thay đổi mạnh theo các vị trí địa lý khác nhau, loại vật liệu xây dựng, kiểu kiến trúc nhà, ... mức liều chiếu này có thể được kiểm tra bằng các thiết bị đo liều bức xạ xách tay, hoặc các liều kế bức xạ môi trường. Việc



đo nồng độ radon trong nhà và ngoài trời có thể thực hiện bằng hai phương pháp: phổ biến nhất là đo tức thời bằng các thiết bị đo chủ động, thứ hai là đo tích lũy bằng các thiết bị đo thụ động.

#### 1.2.4. Liều hiệu dụng đối với con người do bức xạ

Bảng 1.4 cho biết liều hiệu dụng hàng năm gây bởi các nguồn phóng xạ tự nhiên, tính trung bình cho người lớn trong các vùng có phóng xạ tự nhiên bình thường (theo ICRP). Ta nhận thấy radon đóng vai trò chủ yếu trong liều hấp thụ tổng cộng do phóng xạ tự nhiên. Năm 2000, Ủy ban Khoa học về bức xạ nguyên tử Liên Hiệp Quốc - UNSCEAR đã thống kê và cho thấy đóng góp của radon vào liều chiếu bức xạ trung bình cho con người gây bởi các bức xạ tự nhiên lên tới 50%. Chính vì thế radon có thể được xem như là một nguồn phóng xạ tự nhiên ảnh hưởng lớn nhất đến sức khỏe con người.

**Bảng 1.4.** Liều hiệu dụng ( $\mu\text{Sv}/\text{năm}$ ) do phóng xạ tự nhiên [42]

Nguồn	Chiều ngoài ( $\mu\text{Sv}/\text{năm}$ )	Chiều trong ( $\mu\text{Sv}/\text{năm}$ )	Toàn phần ( $\mu\text{Sv}/\text{năm}$ )
Tia vũ trụ	-	15	15
Thành phần hạt tích điện	300	-	300
Thành phần Neutron	55	-	55
Dãy Uran-radi $\text{U}^{238}$ (Không kể radon)	100	60	160
Dãy thori $\text{Th}^{232}$ ( không kể radon)	160	6	166
Radon và các sản phẩm	-	1260	1260
$\text{K}^{40}$	150	165	315
$\text{Rb}^{87}$	-	6	6
Tổng cộng	770	1510	2280

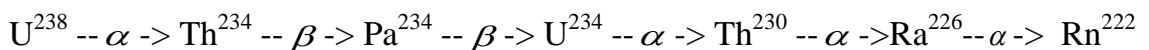
## CHƯƠNG 2: ĐỒNG VỊ RADON

### 2.1. Sự hình thành radon trong tự nhiên

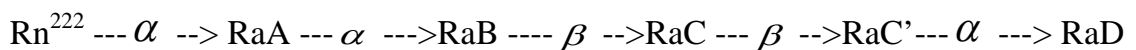
Khí phóng xạ radon hình thành chủ yếu trong tầng sâu của vỏ Trái đất. Nó là sản phẩm trung gian của hai dãy phân rã phóng xạ chính: dãy urani và dãy thori.

Khí phóng xạ radon sinh ra trong dãy phân rã phóng xạ thori là đồng vị  $\text{Rn}^{220}$ , có chu kỳ bán phân rã rất ngắn ( $T = 55$  giây) nên nó biến mất rất nhanh ngay sau khi được sinh ra. Vì vậy, nó ít có ý nghĩa trong nghiên cứu khoa học.

Đồng vị  $\text{Rn}^{222}$  được sinh ra trong dãy phân rã phóng xạ  $\text{U}^{238}$ . Đồng vị urani này có chu kỳ bán phân rã 4,5 tỷ năm. Sản phẩm phân rã thứ năm trong dãy phân rã phóng xạ  $\text{U}^{238}$  là radi 226 ( $\text{Ra}^{226}$ ). Đây là nguyên tố trực tiếp tạo thành khí phóng xạ radon-222 sau khi phát alpha theo chu trình sau:



Đồng vị  $\text{Rn}^{222}$  với chu kỳ phân rã  $T = 3,82$  ngày, thời gian sống trung bình 5,5 ngày, tiếp tục phân rã để tạo thành các sản phẩm con cháu có đời sống ngắn theo sơ đồ sau:



(*RaA - poloni 218; RaB - chì 214; RaC - bismut 214; RaC' - poloni 214 và RaD - chì 210*).

Sản phẩm cuối cùng của loạt phân rã phóng xạ này là một đồng vị bền vững, không phóng xạ là chì 206 ( $\text{Pb}^{206}$ ). Đồng vị radon là nguyên tố duy nhất trong dãy phân rã phóng xạ của  $\text{U}^{238}$  tồn tại ở dạng khí. Nó hoá lỏng ở nhiệt độ  $-26^\circ\text{C}$  và là thành viên nặng nhất trong nhóm khí đơn nguyên tử trơ.

Cũng như tất cả các loại khí có nguồn gốc sâu khác, radon sau khi sinh ra, một phần tách ra khỏi đất đá, di chuyển lên trên, khuếch tán vào nước ngầm và khí quyển. Khối lượng radon tách ra khỏi đất đá, di chuyển lên phía trên, khuếch tán vào nước ngầm và khí quyển phụ thuộc vào thành phần vật chất cũng như độ lỗ

hổng, mật độ khe nứt của đất đá và một số điều kiện khác như nhiệt độ, áp suất, độ ẩm của môi trường xung quanh. Tuy nhiên, tại những nơi có điều kiện môi trường địa chất đặc biệt như nơi tập trung các đứt gãy đang hoạt động, nơi có các đới địa động lực tích cực chạy qua, đất đá ở đó bị phá hủy, các khe nứt với mật độ gia tăng đột biến nối thông với nhau đã tạo ra các kênh dẫn, tạo điều kiện cho khí radon di chuyển lên trên nhanh hơn, nhiều hơn. Trong quá trình di chuyển lên trên theo các kênh dẫn này, khí radon đã khuếch tán vào nước ngầm và không khí trong lớp đất phủ bề mặt, tạo thành các đới có nồng độ radon cao đột biến (đôi khi cao gấp nhiều lần bình thường). Các đới này được các nhà địa hóa gọi là vành phân tán dị thường địa hoá radon trong nước ngầm và khí đất [32].

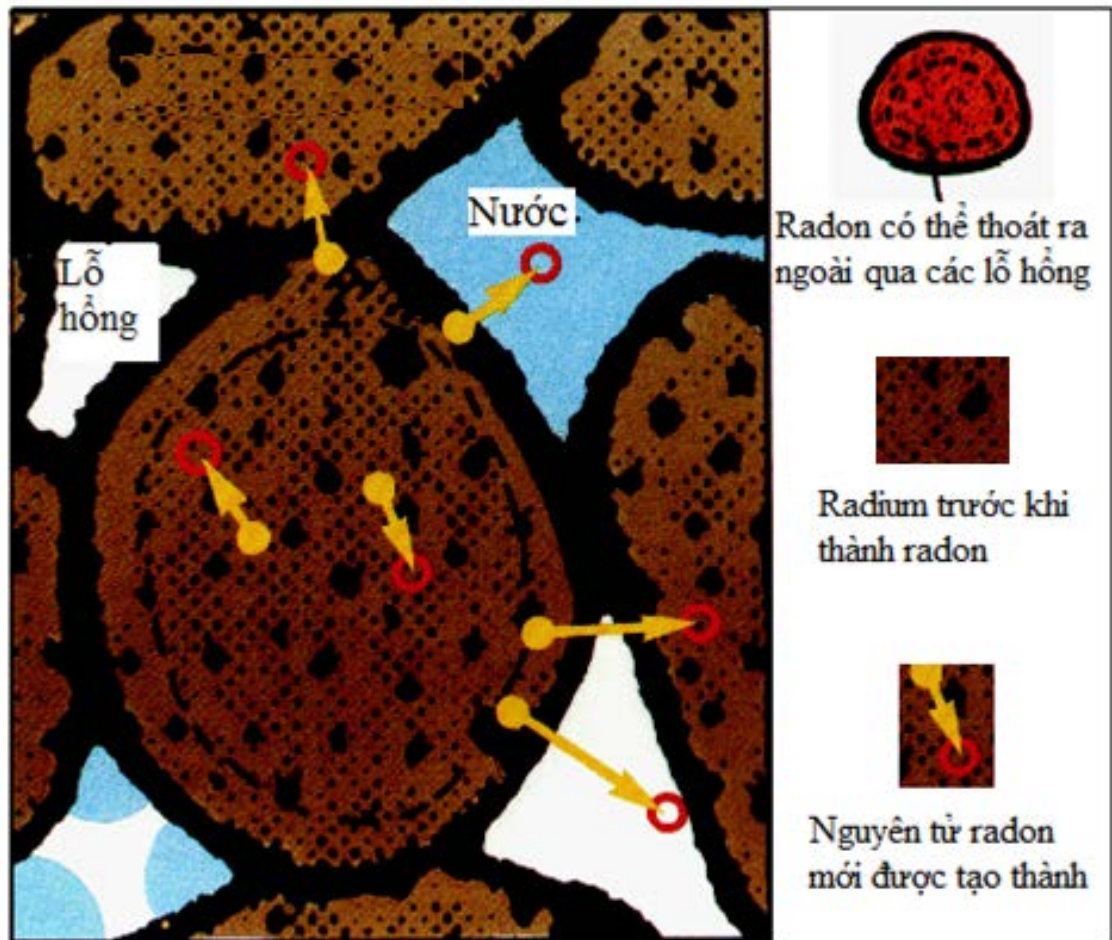
Bởi vậy, vành phân tán dị thường địa hoá radon rất có ý nghĩa trong nghiên cứu địa chất.

## **2.2. Sự vận chuyển radon trong đất**

Radon từ trong đất thoát ra không khí qua các lỗ rỗng chứa không khí hoặc chứa nước giữa các hạt đất đá. Sự di chuyển này của radon trong đất diễn ra chủ yếu do sự giạt lùi của hạt nhân khi phát alpha cũng như do dòng khí lưu và thủy lưu trong đất.

Sau khi radon di chuyển vào các lỗ rỗng, hiệu suất phát thải vào không khí xung quanh phụ thuộc vào các yếu tố sau:

- Độ rỗng của đất
- Nồng độ radon trong lỗ rỗng chứa khí/đất
- Các yếu tố khí tượng như: mưa và áp lực không khí [41].



**Hình 2.1.** Quá trình khuếch tán radon trong đất [41]

### 2.3. Sự hiện diện và vận chuyển radon trong nước.

Nước ngầm tiếp xúc với đất đá có chứa radium đóng vai trò là một nơi tiếp nhận radon. Đường đi của radon trong nước chủ yếu được xác định bởi:

- Dạng khuếch tán
- Hướng dòng chảy cơ học.

Tính tan của radon trong nước tương đối thấp và với chu kỳ phân rã ngắn. Phần lớn radon trong nước ngầm bị phân rã trước khi đến mặt đất, nhưng nước ngầm vẫn được coi là nguồn thải radon nhiều thứ hai trong môi trường. Ước tính radon trong nước ngầm thải khoảng  $5 \cdot 10^8$  Ci mỗi năm vào khí quyển. Radon cũng thoát ra một phần nhỏ từ lớp nước bề mặt hoặc gần bề mặt đại dương. Nồng độ radon trong nước mặt thường tương đối thấp do đặc trưng nước mặt là thoáng khí.

Các tầng nước sâu có sự biến động radon rất lớn, nhất là đối với tầng nước do đá granit tạo thành [28].

#### **2.4. Vai trò của radon trong vấn đề sức khỏe**

Radon phân rã thành chuỗi các đồng vị phóng xạ con cháu mà nguy hiểm nhất là  $\text{Po}^{218}$ . Đồng vị  $\text{Po}^{218}$  phân rã alpha với chu kỳ phân rã 3,05 phút, đủ cho một vài chu trình thở trong hệ thống hô hấp của người. Đồng vị  $\text{Po}^{218}$  bám vào các hạt bụi có kích thước cỡ nanomet và micromet tạo thành các hạt sol khí phóng xạ xâm nhập vào hệ hô hấp, bị bắt trong phổi và được lưu giữ tại phế nang. Do đó, lớp màng nhầy trên bề mặt cuống phổi và những tế bào cơ bản ở dưới lớp màng nhầy có thể bị nguy hại bởi phơi nhiễm các hạt alpha năng lượng cao (là sản phẩm quá trình phân rã alpha của polonium) gây đột biến, sai hỏng nhiễm sắc thể và cơ chế phân chia tế bào dẫn đến ung thư phổi. Đột biến cũng có thể không phải là nguyên nhân gây ung thư nhưng nó là mối liên kết khởi đầu của bệnh tật. Càng có nhiều radon trong không khí và khoảng thời gian chúng ta hít thở trong không khí chứa radon đó càng dài thì nguy cơ ung thư càng lớn [24].

Một số nghiên cứu cho thấy radon là một nguyên nhân có liên quan gây ung thư bạch cầu, ung thư da, u ác tính, ung thư thận ở trẻ em và một số ung thư khác. Những nghiên cứu dựa trên những phân tích thống kê của radon trong nhà và phạm vi ảnh hưởng của bệnh ung thư [21]. Tác hại chính do phơi nhiễm mãn tính với radon là ung thư phổi (thường phát sinh từ phế quản) gồm các loại:

- Ung thư tế bào vảy
- Ung thư tế bào nhỏ
- Ung thư tế bào tuyến
- Ung thư tế bào lớn

Tác hại hệ hô hấp khác liên quan đến phơi nhiễm mãn tính với radon bao gồm:

- Xơ hóa phổi
- Phổi tắc nghẽn mãn tính
- Bệnh bụi phổi
- Tổn thương hô hấp

Phơi nhiễm radon không gây ra bệnh cấp tính, không có biểu hiện kích ứng, cũng như dấu hiệu nào cảnh báo sớm với các liều thường gặp trong môi trường. Mối liên hệ giữa radon và ung thư da hiện nay chỉ mang tính giả thuyết rằng sự phân rã phóng xạ của radon và con cháu gây nguy hại đến tế bào da. Bệnh bạch cầu cũng được cho rằng radon có thể được hoà trong tế bào máu và mỡ, giống như cách mà oxy đi vào máu, kết quả là radon tích lũy trong tế bào mỡ của tuỷ xương. Phơi nhiễm radon tập trung sẽ tăng rủi ro gây ung thư phổi, đặc biệt ở người hút thuốc. Rủi ro này tăng theo mức nồng độ radon, độ dài thời gian phơi nhiễm và lượng thuốc lá được hút của người đó [14].

## **2.5. Vai trò của khí radon trong điều tra địa chất và môi trường**

Dựa vào nguồn gốc phát sinh, dạng tồn tại, quá trình di chuyển và khuếch tán của khí phóng xạ radon trong khí đất và trong nước dưới đất, từ lâu các nhà khoa học đã phát triển nhiều phương pháp ứng dụng địa hoá radon trong nghiên cứu địa chất. Cơ sở khoa học của các phương pháp ứng dụng này cũng như các thao tác đo vẽ ngoài hiện trường. Ứng dụng địa hoá radon trong nghiên cứu tại biến địa chất từ lâu đã được các nhà khoa học áp dụng khá thành công ở nhiều nước trên thế giới như Nga, Nhật Bản, Mỹ, Tiệp Khắc v.v...Tuy nhiên, để có thể ứng dụng hiệu quả địa hoá radon trong các nghiên cứu thì trước hết cần phải lựa chọn được phương pháp và các thiết bị tối ưu cho từng đối tượng nghiên cứu cụ thể. Hiện nay, máy móc thiết bị và các phương pháp nghiên cứu có thể tạm thời chia thành 3 nhóm sau:

*Phương pháp đo tích lũy ngắn ngày:* là phương pháp đo nồng độ radon trong khí đất, không khí và nước liên tục trong thời gian kéo dài từ 3-7 ngày bằng phim của máy dò vết hạt nhân [4]. Kết quả của phương pháp này có độ chính xác cao, không bị ảnh hưởng bởi sự biến đổi các điều kiện thời tiết và khí hậu. Phương pháp này có thể thực hiện được trên mọi điều kiện địa hình nhưng thời gian thực hiện một mẫu đo kéo dài, chi phí tương đối cao. Mẫu đo chỉ có thể phân tích được tại một số phòng phân tích đặc biệt, kết quả đo không nhận biết được ngay tại hiện trường. Phương pháp này thường được ứng dụng trong

nghiên cứu các đứt gãy đang hoạt động và khoanh vùng khu vực có các đới địa động lực tích cực chạy qua.

*Phương pháp đo tức thời:* là phương pháp đo tức thời nồng độ radon trong khí đất và trong không khí bằng máy RADON hoặc LUK4E [7]. Kết quả của phương pháp này cũng có độ chính xác cao, thời gian thực hiện một mẫu đo ngắn (chỉ kéo dài từ 5-10 phút), có thể cho biết kết quả ngay tại hiện trường, chi phí cho phương pháp không cao do ống bắt mẫu được sử dụng nhiều lần và máy móc thiết bị gọn nhẹ. Nhưng do là phương pháp đo tức thời nên kết quả đo trên toàn tuyến có thể bị ảnh hưởng nếu có sự biến đổi lớn về điều kiện thời tiết và khí hậu. Phương pháp này thường được ứng dụng trong nghiên cứu các đứt gãy đang hoạt động (như xác định mức độ hoạt động của đứt gãy, xác định vị trí của các đứt gãy đang hoạt động nằm dưới tầng địa chất ...) và khoanh vùng khu vực có các đới địa động lực tích cực chạy qua.

*Phương pháp quan trắc dài ngày:* là phương pháp đo ghi tự động nồng độ radon khí đất và trong nước liên tục trong thời gian dài bằng những thiết bị quan trắc hiện đại nhằm theo dõi biến động của các đới địa chấn tích cực [5]. Kết quả của phương pháp có độ chính xác rất cao và với chuỗi số liệu liên tục, ta có thể theo dõi những biến động của các vùng địa chấn theo thời gian, từ đó dự báo tương đối các hiện tượng tai biến có thể xảy ra, đặc biệt là động đất. Tuy nhiên, đây là phương pháp rất tốn kém do phải đầu tư máy móc thiết bị đắt tiền và phải xây dựng các trạm quan trắc riêng.

#### **2.5.1. Nghiên cứu đứt gãy.**

Trong nghiên cứu đứt gãy, địa hoá radon thường được ứng dụng cùng với một số phương pháp nghiên cứu khác để xác định đứt gãy hiện đang hoạt động, mức độ hoạt động của các đứt gãy, vị trí của các đứt gãy đang hoạt động nằm dưới các tầng địa chất, phân đoạn mức độ hoạt động của đứt gãy, so sánh mức độ hoạt động giữa các đứt gãy và trong một số trường hợp khi kết hợp với một số phương pháp nghiên cứu khác có thể xác định được hướng của các đứt gãy.

Để xác định vị trí của đứt gãy đang hoạt động, nhận biết đứt gãy hiện còn đang hoạt động hay không, so sánh mức độ hoạt động của các đứt gãy với nhau và phân đoạn hoạt động của đứt gãy, người ta lập các tuyến đo nồng độ radon khí đất vuông góc với phương của các đứt gãy. Vị trí các dị thường ghi nhận được trên các tuyến đo là một trong các dữ liệu cho phép xác định vị trí của đứt gãy đang hoạt động. Giá trị của các dị thường là cơ sở để khẳng định đứt gãy hiện đang hoạt động, đồng thời nó cũng là dữ liệu cho phép so sánh, phân loại mức độ hoạt động của các đứt gãy. Ứng dụng này đã từng được triển khai trong nghiên cứu phân đoạn hoạt động của đứt gãy sông Mã [6], sông Hồng và sông Cả [11], so sánh mức độ hoạt động giữa các đứt gãy sông Hồng, Chí Linh - Đông Triều và đứt gãy sông Cả, xác định vị trí của các đứt gãy đang hoạt động nằm dưới các tầng địa chất ở Sơn Tây, Từ Liêm - Quảng Bá, Sài Đồng - Gia Lâm, Hà Nội [4].

Trong một số trường hợp cụ thể, dựa vào sự phân bố dị thường radon trên các tuyến đo, kết hợp với các tài liệu địa chất, kiến tạo, địa vật lý có thể xác định được hướng cắm của các đứt gãy. Ứng dụng này đã được nghiên cứu trên đứt gãy bên tả ngạn sông Hồng tại Phố Lu và đứt gãy bên bờ trái sông Hồng tại Yên Bái [11].

#### **2.5.2. Khoanh vùng các khu vực có đới địa động lực tích cực chạy qua.**

Hoạt động phá huỷ của các đới địa động lực tích cực thường tạo ra các vùng rộng lớn đất đá bị phá huỷ, sinh ra các hiện tượng nén ép, tách giãn, dịch trượt và nâng hạ của các khối lớn. Đó là một trong những nguyên nhân chính gây ra các sự cố nứt đất, sụt đất, trượt dịch đất đồng loạt trên diện rộng. Việc khoanh vùng các khu vực có đới địa động lực tích cực chạy qua giúp ta xác định được nguyên nhân của các sự cố, từ đó có thể đưa ra được các biện pháp khắc phục và phòng tránh hữu hiệu. Trong ứng dụng này, người ta thường sử dụng các phương pháp đo tích lũy và đo tức thời.

Ở Việt Nam việc sử dụng máy đo RADON và LUK4E trong khoanh vùng khu vực có đới địa động lực tích cực chạy qua đã được Viện Địa Chất tiến hành



triển khai khá rộng rãi như: nghiên cứu nứt sứt đất tại núi Hàm Rồng huyện Chư Prông, tỉnh Gia Lai [7], nghiên cứu nứt đất tại huyện Kỳ Sơn, nứt trượt đất tại đồi Ông Tượng, tỉnh Hoà Bình và nứt đất tại huyện Phú Bài, TP Huế v.v...Kết quả thu được từ các công trình nghiên cứu này rất tốt.

### **2.5.3. Ứng dụng để dự báo động đất .**

Động đất là một hiện tượng tai biến địa chất rất nguy hiểm. Nó thường xảy ra trong các đới đứt gãy đang hoạt động, các đới địa động lực tích cực. Do vậy việc nghiên cứu và dự báo động đất là vấn đề đã và đang được rất nhiều nhà khoa học quan tâm, nhưng cho tới nay, chưa một nhà khoa học nào trên thế giới có thể đưa ra được các dự báo chính xác trước về động đất. Tuy nhiên, qua một số nghiên cứu ở những vùng có hoạt động địa chấn tích cực, nhiều nhà khoa học trên thế giới đã phát hiện được mối liên quan giữa biến đổi dị thường nồng độ xạ khí radon trong khí đất, nước ngầm và nước khoáng nóng với động đất.

Năm 1955, các nhà khoa học Nga đã tiến hành quan trắc nồng độ radon khí đất và nước ngầm tại các vùng có tiềm năng địa chấn tích cực - vùng Tashken-Uzbekistan. Số liệu quan trắc được ghi liên tục cho đến khi xảy ra động đất mạnh vào ngày 26/4/1966. Kết quả quan trắc cho thấy trước khi xảy ra động đất, nồng độ radon trong khí đất và nước khoáng nóng trong vùng có sự gia tăng đáng kể (vượt trên ba lần phong khu vực). Tại lúc xảy ra động đất, nồng độ radon tăng đột biến (vượt trên bốn lần giá trị trung bình) và sau khi động đất xảy ra, nồng độ radon lại giảm nhanh xuống mức trung bình khu vực. Kết quả này là tiền đề cho việc mở ra một hướng ứng dụng mới - địa hoá radon, trong theo dõi biến động của các vùng địa chấn tích cực và dự báo động đất [5].

## CHƯƠNG 3: MÁY ĐO KHÍ PHÓNG XẠ RAD7

### 3.1. Giới thiệu máy đo RAD7

Máy đo radon (Radon Detector – RAD7) do công ty DURRIDGE của Mỹ sản xuất là loại máy có nhiều chức năng, được xem là một thiết bị chuyên dùng để đo khí radon ( $Rn^{222}$ ) và thoron ( $Rn^{220}$ ) hoàn chỉnh, đáp ứng nhiều mục đích sử dụng khác nhau. Máy có thể được dùng ở hai chế độ đo:

- Đo khảo sát, quan trắc (real time monitoring)
- Phát hiện nhanh khí phóng xạ (sniffing)



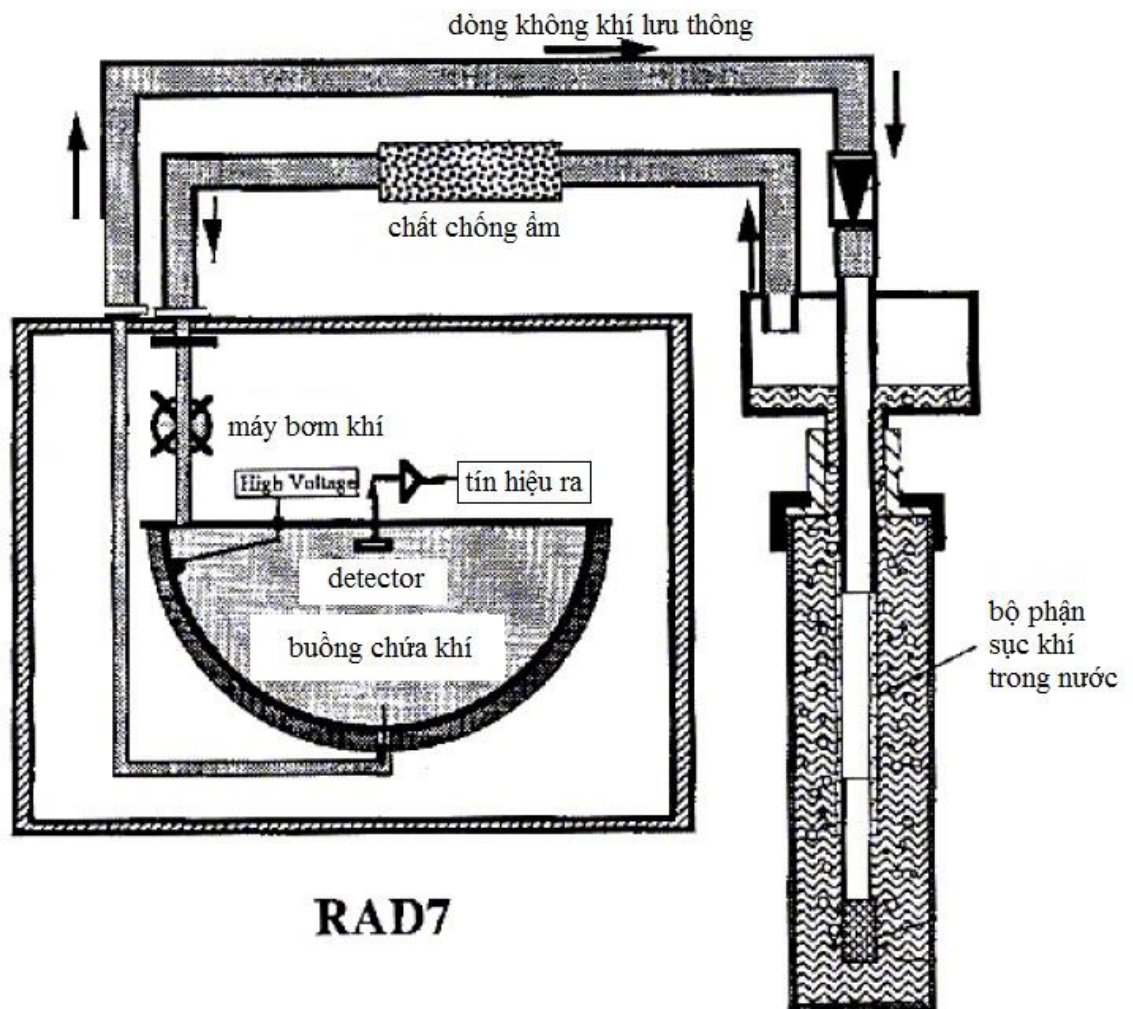
**Hình 3.1.** Các bộ phận chính của máy RAD7 [1]

**RAD7-H<sub>2</sub>O** là thiết bị đi kèm với máy RAD7 cho phép đo nồng độ radon trong nước trong khoảng từ dưới 30 pCi/l đến trên 10<sup>5</sup> pCi/l. Giới hạn đo nồng độ tối thiểu của máy là 10 pCi/l. Bằng cách pha loãng nước hoặc chờ cho radon trong nước phân rã bớt, chúng ta có thể mở rộng khoảng đo của máy lên bất kỳ hàm lượng nào.

Thiết bị di chuyển dễ dàng và dùng chế độ pin sạc, cho kết quả đo nhanh chóng. Máy cho biết nồng độ radon trong nước ngay sau khi lấy mẫu đo. Sau 30 phút phân tích kết quả, RAD7-H<sub>2</sub>O sẽ cho kết quả chính xác hơn so với các detector nhấp nháy lỏng. Thao tác đo đơn giản, không sử dụng hóa chất độc hại.

Cả hai thiết bị RAD7 và RAD7-H<sub>2</sub>O là sản phẩm mới của công ty DURRIGE đã được người tiêu dùng đánh giá là tốt. RAD7 ra đời với mục đích để đo nồng độ radon trong không khí, sau đó RAD7-H<sub>2</sub>O là thiết bị kèm theo để mở rộng ứng dụng đo nước của RAD7.

### 3.2. Cấu tạo :



**Hình 3.2.** Sơ đồ nguyên lý cấu tạo máy RAD7-H<sub>2</sub>O [28]

Thiết bị đo radon trong nước RAD – H<sub>2</sub>O bao gồm:

- 6 cốc có dung tích 250 ml
- 12 cốc dung tích 40 ml
- Bộ phận để lấy khí radon trong nước, gồm có:

- Khối ba đầu, làm bằng kim loại không gỉ
- Ống nhựa đôi, dùng để giữ khối ba chân
- Tấm đệm bằng vật liệu tổng hợp
- Đầu sục khí
- Cốc chứa nước (có dung tích 40 ml hoặc 250 ml)
- Đầu nối
- Ống chứa than hoạt tính
- 4 ống chứa chất chống ẩm (làm khô)
- 2 đầu lọc khí
- 3 ống dẫn bằng nhựa



**Hình 3.3.** Bộ 6 cốc dung tích 250 ml và 12 cốc dung tích 40 ml



**Hình 3.4.** Khối ba đầu

### **3.3. Đặc tính kỹ thuật chủ yếu [1]**

Nguyên tắc xác định nồng độ radon và thoron là dựa phổ năng lượng của tia alpha. Máy bơm đưa không khí có chứa radon và thoron (đã làm khô) vào buồng đo của máy. Detector gắn trong đó sẽ nhận các tín hiệu điện đo tia alpha đập vào. Bộ xử lý tính riêng nồng độ radon và thoron. Việc tính nồng độ radon và thoron dựa vào phổ năng lượng alpha nên kết quả đo hầu như không bị ảnh hưởng bởi sự tích lũy phóng xạ từ con cháu của radon và thoron.

Có thể đo radon, thoron trong không khí, nước với các chế độ đo liên tục hoặc gián đoạn. Với chế độ đo liên tục, có thể xác định được sự biến đổi nồng độ radon, thoron theo thời gian.

Phục hồi nhanh sau khi đo (với chu kỳ phân rã của  $\text{Po}^{218}$  là 3,05 phút thì sau 12 phút chỉ còn 10% nồng độ, sau 30 phút còn 1% nồng độ. Nồng độ 20000  $\text{Bq/m}^3$  chỉ còn 1  $\text{Bq/m}^3$  trong khoảng 1 giờ).

Hình thức đo: Mỗi lần đo radon và thoron (tại 1 điểm đo), RAD7 đo lặp lại nhiều lần, mỗi lần đó gọi là một chu kỳ đo. Thời gian mỗi chu kỳ đo từ 2 phút đến

24 giờ. Sau mỗi chu kỳ đo, có thể in kết quả đo ra máy và lưu vào bộ nhớ trong máy.

Trong máy có cài sẵn chương trình giúp người sử dụng thao tác dễ dàng và đặc biệt là tự động tính toán ra nồng độ radon và thoron.

Bộ nhớ trong máy có thể nhớ 1000 chu kỳ hoặc 100 lần đo. Có thể truyền số liệu đo sang máy tính cá nhân.

Phạm vi đo: 0,1 đến 20000 pCi/l (3,7 đến 740000 Bq/m<sup>3</sup>)

Máy bơm khí có lưu lượng bơm bình thường 1lít/phút.

Nhiệt độ làm việc 5-40<sup>0</sup>C.

Độ ẩm bên ngoài: 0-95%.

Trọng lượng: 11 pao (1pao= 0,45kg)

Có thể thay đổi dạng dữ liệu in ra.

Phông trong máy rất nhỏ (khoảng 0,005 pCi/l) và không bị ảnh hưởng bởi sự tích lũy của chì Pb<sup>210</sup>.

Có thể đo 3 ngày khi dùng pin bên trong.

Khi đo ở chế độ phát hiện nhanh radon, RAD7 chỉ căn cứ vào các hạt alpha phát ra từ Po<sup>218</sup> để tính nồng độ radon và phát hiện được sự tăng giảm nhanh của nồng độ radon.

Có âm thanh và bộ phận hiển thị khi ghi nhận được tia alpha.

Khi đo thoron, máy cho kết quả đo thoron gần như tức thời.

Khi lấy mẫu khí, máy bơm hoạt động 5 phút để đưa khí vào buồng đo.

Khi đo khí đất, có thể dùng máy bơm lắp sẵn bên trong hoặc bên ngoài hoặc phương pháp lấy mẫu khí trong đất.

Đo nhanh, chính xác nồng độ radon trong nước.

Tách khí radon ra khỏi nước, tự động đo và đưa kết quả ra máy in.

Không cần dùng hóa chất để xác định radon.

Phục hồi nhanh, cho phép đo một điểm trong khoảng 1 giờ.

Phạm vi đo từ 50 pCi/l (200 Bq/m<sup>3</sup>) đến 1 triệu pCi/l (4.10<sup>7</sup> Bq/m<sup>3</sup>).

### 3.4. Nguyên lý làm việc [17]

Khi Trái đất được hình thành hàng tỷ năm trước đây, chắc chắn rằng có nhiều nguyên tố phóng xạ chứa trong khối vật chất hỗn độn lúc Trái đất hình thành. Chúng ta quan tâm đến ba họ phóng xạ còn tồn tại đến ngày nay. Đó là  $U^{235}$ ,  $U^{238}$ , và  $Th^{232}$ .

Hạt nhân  $U^{235}$  trải qua 11 lần dịch chuyển phóng xạ  $\alpha$  và  $\beta$  để cuối cùng thành nguyên tố chì bền vững  $Pb^{207}$ .

Với  $Th^{232}$ , qua 10 lần dịch chuyển phóng xạ  $\alpha$  và  $\beta$ , thành nguyên tố chì bền vững  $Pb^{208}$ .

Còn  $U^{238}$ , qua 14 lần dịch chuyển phóng xạ  $\alpha$  và  $\beta$  thành nguyên tố chì bền vững  $Pb^{206}$ .

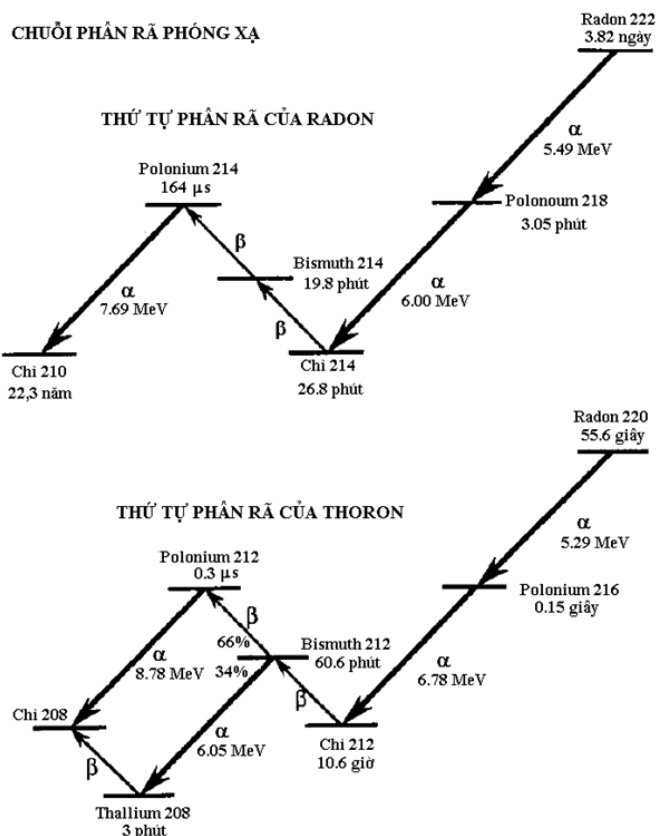
Như vậy, nguyên tố cuối cùng trong dãy phân rã luôn luôn là một đồng vị nào đó của  $Pb^{206}$ .

Radon-219 (hay còn gọi là actinon), thuộc dãy  $U^{235}$ . Radon-219 rất khó thấy trong thực tế vì nồng độ thấp và chu kỳ bán rã rất ngắn (3,96 giây).

Thoron-220 thuộc dãy  $Th^{232}$  (còn được gọi là radon-220) có chu kỳ bán rã ngắn (56s) nên không có tầm ảnh hưởng lớn như radon-222.

Radon-222 (thường gọi là radon) thuộc dãy  $U^{238}$ , đó là khí phóng xạ thường gặp.

Radon-219, radon-220 và radon-222 là các khí trơ, có khả năng khuếch tán vào không khí và hòa tan vào nước.



**Hình 3.5.** Chuỗi phân rã phóng xạ của radon và thoron

Hạt nhân radon, các phân rã cuối cùng qua các thứ tự từ  $\text{Po}^{218}$ ,  $\text{Pb}^{214}$ ,  $\text{Bi}^{214}$ ,  $\text{Po}^{214}$  và  $\text{Pb}^{210}$ . Với mỗi sự biến đổi dọc theo chuỗi này, các hạt nhân phát ra các bức xạ đặc trưng: các hạt alpha, các hạt beta, hoặc tia gamma hoặc kết hợp của các tia này. RAD7 được thiết kế để chỉ phát hiện các hạt alpha, vì vậy chúng ta chỉ nhấn mạnh đến bức xạ alpha.

Radon-222 có chu kỳ bán rã là 3,82 ngày và phát ra hạt alpha có năng lượng 5,49 MeV, sau đó biến thành  $\text{Po}^{218}$  có chu kỳ bán rã là 6 phút và phát ra hạt alpha có năng lượng 6 MeV.

Buồng đo mẫu khí bên trong của RAD7 có thể tích 0,7 lít, có hình bán cầu được phủ phía trong một lớp dẫn điện. Bộ phận thu tín hiệu được làm bằng tấm silic phẳng và được đặt ở tâm bán cầu. Mạch điện cao áp cung cấp cho detector có



điện áp 2000-2500 V, tạo nên điện trường trong toàn bộ buồng đo. Điện trường này sẽ đẩy các hạt tích điện dương đến detector, hình 3.2.

Khi phân rã trong buồng đếm, hạt nhân radon sẽ tạo thành hạt  $\text{Po}^{218}$  mang điện dương. Dưới tác động của điện trường, hạt nhân  $\text{Po}^{218}$  sẽ di chuyển đến detector và bám vào đó. Hạt nhân  $\text{Po}^{218}$  này nhanh chóng bị phân rã ngay trên bề mặt detector. Hạt alpha tạo ra có 50% khả năng đập vào detector, và tạo nên xung điện có độ lớn tỷ lệ thuận với năng lượng của hạt alpha. Các hạt beta không được detector ghi lại. Các đồng vị khác nhau sẽ phát ra các hạt alpha có năng lượng khác nhau, do vậy tạo ra tín hiệu điện có độ lớn khác nhau. RAD7 sẽ khuếch đại, lọc, sắp xếp theo độ lớn của các tín hiệu thu được.

### 3.5. Phổ của RAD7 [1]

Khi các con cháu của radon và thoron tập trung vào bề mặt của detector, chúng phân rã phát ra các hạt alpha đặc trưng có năng lượng nằm trong khoảng từ 6 đến 9 MeV, tạo ra một tín hiệu điện, các mạch điện tử khuếch đại, tín hiệu rồi biến đổi thành dạng số. Bộ vi xử lý thu thập tín hiệu và chứa ở một vị trí đặc biệt trong bộ nhớ theo năng lượng của hạt, tích lũy của nhiều tín hiệu tạo ra một phổ. RAD7 chia thước đo năng lượng của phổ thành 200 khoảng đều nhau, mỗi khoảng có độ rộng là 0,05 MeV. Khi có một hạt alpha đập vào detector, RAD7 sẽ cộng thêm 1 vào dãy phổ đó.

Khi kết thúc mỗi lần đo, bộ xử lý RAD7 sẽ tính toán số liệu, đưa ra máy in, lưu vào bộ nhớ và đưa số đếm trong dãy phổ trở về 0. Phổ lý tưởng của một phát xạ 6,0 MeV sẽ có dạng một vạch ở đúng vị trí 6,00 MeV. Nhưng do có sự nhiễu điện tử hạt alpha không va đập trực diện vào detector nên phổ alpha thu được bị mở rộng ra và có xu hướng lệch về năng lượng thấp hơn. Nhiệt độ hoạt động cao hơn bình thường có xu hướng làm tăng nhiễu điện tử, do vậy làm tăng độ mở rộng của phổ.

Chú ý rằng, phổ của RAD7 chỉ thể hiện tín hiệu do con cháu của radon phát ra mà không thể hiện trực tiếp radon vì chỉ các hạt có năng lượng từ 6 đến 9 MeV mới được ghi, mà radon chỉ có phát  $\alpha$  năng lượng 5,49 MeV, chỉ có các hạt con

cháu của radon mới phát năng lượng thỏa mãn năng lượng để đến được detector ghi.

Trong RAD7, 200 khoảng chia phổ năng lượng alpha chia thành tám nhóm ứng với tám khoảng năng lượng. Các hạt alpha có khoảng năng lượng tương ứng sẽ được ghi nhận tại các cửa sổ cụ thể như sau:

**Cửa sổ A:** Ghi tổng số hạt alpha từ phân rã  $\text{Po}^{218}$  có năng lượng 6,00 MeV.

**Cửa sổ B:** Ghi tổng số đếm của hạt alpha từ phân rã của  $\text{Po}^{216}$  có năng lượng 6,78 MeV. Cửa sổ này nằm giữa cửa sổ A và C nên có thể nhận một số tín hiệu nhiễu từ hai cửa sổ này.

**Cửa sổ C:** Ghi tổng số hạt alpha từ phân rã của  $\text{Po}^{214}$  có năng lượng 7,69 MeV.

**Cửa sổ D:** Ghi tổng số hạt alpha từ phân rã của  $\text{Po}^{212}$  có năng lượng 8,78 MeV.

**Cửa sổ E:** Cửa sổ năng lượng cao. Một cửa sổ chẩn đoán thường có các số đếm gần bằng 0. Nếu các số đếm trong cửa sổ này là một phần lớn của các số đếm trong các cửa sổ A hoặc B, hoặc C hoặc D thì có lẽ RAD7 làm việc không thích hợp.

**Cửa sổ F:** Cửa sổ nhiễu, năng lượng thấp. Ghi các tín hiệu có năng lượng thấp (dưới 0,5 MeV).

**Cửa sổ G:** Cửa sổ nhiễu, năng lượng trung bình. Ghi các hạt có năng lượng từ 1,5 đến 2,0 MeV.

**Cửa sổ H:** Cửa sổ nhiễu, năng lượng cao, ghi các hạt alpha từ phân rã  $\text{Po}^{210}$  có năng lượng 5,31 MeV. Do  $\text{Po}^{210}$  sản phẩm con cháu của  $\text{Pb}^{210}$ ,  $\text{Pb}^{210}$  có chu kỳ phân rã cao (22 năm) nên đồng vị này sẽ tích lũy trên bề mặt cảm biến của detector khi thực hiện phép đo có nồng độ radon rất cao hoặc nhiều năm sử dụng máy.

**Cửa sổ O:** RAD7 nhóm các cửa sổ E, F, G, và H lại với nhau để tạo thành cửa sổ tổ hợp O. Cửa sổ O nhận lấy tất cả các số đếm không đi vào các cửa sổ chính A, B, C, và D.

## CHƯƠNG 4 : THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

### 4.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng được sử dụng trong nghiên cứu là sáu nguồn nước suối tự nhiên, trong đó có năm nguồn suối thông thường và một nguồn nước suối khoáng nóng. Để tăng ý nghĩa thực tế của đề tài, các nguồn suối nghiên cứu được chọn ở các địa điểm du lịch được nhiều người biết và quan tâm đến.

Vị trí và đặc điểm địa lý nơi lấy mẫu được trình bày trong bảng 4.1:

**Bảng 4.1.** Vị trí và đặc điểm của các đối tượng nghiên cứu

Tên suối	Vị Trí	Đặc điểm
Đá Hàn	Xã Trảng Bom, huyện Thống Nhất, tỉnh Đồng Nai.	Suối có thác rộng, sâu và có nhiều đá lớn.
Giang Điền	Xã Giang Điền, huyện Trảng Bom, tỉnh Đồng Nai.	Suối Giang Điền là quy tụ nguồn nước của ba dòng thác: thác Chàng, thác Nàng và thác chính Giang Điền. Dọc theo bờ suối, những dòng thác lớn nhỏ chồng chất lên nhau
Suối Tiên	Huyện Tân Thành, tỉnh Bà Rịa- Vũng Tàu, cách trung tâm thị xã 7km về phía Tây Bắc. Tọa lạc trên đỉnh của ngọn núi Dinh	Suối Tiên là tập hợp nhiều suối, thác và sông nhỏ khởi nguồn từ đỉnh núi Dinh có độ cao gần 500 mét , chảy qua những dốc, dòng nước tạo thành những thác nhỏ, chảy xiết. Khi qua những khe đá ít dốc hơn , dòng nước là những con suối nhỏ. Từ độ cao hàng trăm mét

		<p>này, dòng suối theo dốc thoải thoải chảy về phía Đông, và ào ạt đổ xuống hai bên bờ suối đá, chảy quanh co, sau đó hòa vào dòng sông Thị Vải.</p>
Suối Đá	<p>Huyện Tân Thành, tỉnh Bà Rịa- Vũng Tàu, cách trung tâm thị xã 7km về phía Tây Bắc. Tọa lạc tại phần chân núi Dinh</p>	<p>Suối Đá được bắt nguồn từ đỉnh của núi Dinh có độ cao 500 mét. Khác với suối Tiên, suối Đá nằm gần chân núi Dinh, là qui tụ của nhiều con suối từ trên núi len qua các khe đá đổ xuống. Suối Đá gồm năm hồ nước phẳng lặng, do những tảng đá thiên nhiên kết nối, quây thành hồ. Và cũng như Suối Tiên, nguồn nước ở Suối Đá cũng đổ ra sông Thị Vải.</p>

Datanla	Thành phố Đà Lạt, tỉnh Lâm Đồng.	<p>Datanla thuộc suối Datanla nằm giữa đèo Prenn, cách thành phố Đà Lạt 5km. Dòng nước của suối từ trên thác đổ xuống từ ghềnh cao 20m, len lỏi qua nhiều nấc trong các khe đá rồi lẫn khuất trong rừng sâu tạo thành một dòng suối.</p> <p>Datanla có lượng nước dồi dào do thượng nguồn có nguồn nước ổn định. Nước suối phần dưới tạo thành khu vực nước rất trong.</p>
Bình Châu	Xã Bung Riềng, huyện Xuyên Mộc, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu.	<p>Suối nước nóng Bình Châu được bao bọc bởi rừng nguyên sinh Phước Bửu. Phần mạch nước nóng lộ trên mặt đất có diện tích chừng 1km<sup>2</sup> gồm nhiều hồ lớn, nhỏ tạo thành các dòng chảy có lưu lượng nhỏ. Vùng hồ rộng nhất là khoảng 100m<sup>2</sup> với độ sâu hơn một mét. Đây là điểm nóng nhất, nước lúc nào cũng sôi tăm, bốc hơi tạo thành một nồi xông hơi thiên nhiên khổng lồ. Nhiệt độ tầng mặt nước khoảng 64°C, đáy nước là 84°C. Những chỗ nông, nước chỉ nóng khoảng trên 40°C, có thể ngâm chân, tay để chữa bệnh.</p>

## 4.2. Quy trình xác định nồng độ radon.

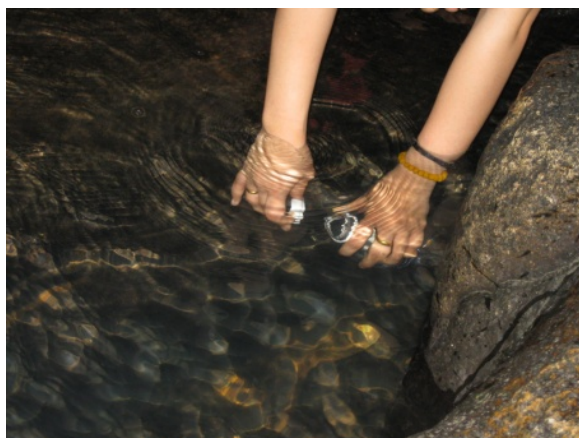
### 4.2.1. Quy trình lấy mẫu nước

Vị trí lấy mẫu nước phải đại diện cho nguồn nước và phải tương đối sạch (không đục quá, ít chất hữu cơ lơ lửng...). Hạn chế làm thất thoát khí hòa tan trong nước khi lấy mẫu.

Dụng cụ lấy mẫu có thể là chai nhựa (có thể tích từ 500 ml trở lên) hoặc bình chứa không thấm nước.

Tráng rửa dụng cụ lấy mẫu ít nhất hai lần trước khi lấy mẫu bằng chính nguồn nước sẽ lấy mẫu. Nên dùng dụng cụ lấy mẫu có thể chứa nước đầy đến tận miệng và có nắp nhỏ để hạn chế sự thoát khí từ mẫu nước.

**Với nguồn nước trên bề mặt :** đây nắp kín dụng cụ lấy mẫu nước, sau đó vực xuống nguồn nước đến độ sâu 30 – 40 cm dưới mặt nước (nếu có thể), mở nắp cho nước chảy vào thật đầy, đây nắp thật kín và mang lên.



**Hình 4.1.** Cách lấy mẫu với nguồn nước trên bề mặt

**Với nguồn nước xuất lộ:** mở nắp cho nước chảy trực tiếp vào dụng cụ chứa nước cho đến khi đầy tràn. Đây nắp thật kín. Vị trí lấy mẫu càng gần nơi xuất lộ nước càng tốt. Thể tích  $\geq 500$  ml. Nếu lấy trực tiếp bằng cốc đo chuẩn (250ml) thì lấy đầy cốc.

Dán nhãn vào mẫu nước được lấy. Ghi lại vào nhật ký thông tin về thời tiết, đặc điểm nguồn nước nơi lấy mẫu.



**Hình 4.2.** Cách lấy mẫu với nguồn nước xuất lộ

*Chú ý : Để tránh thoát khí phóng xạ, mẫu nước luôn được lấy thật đầy dụng cụ chứa và không mở nắp trong khi vận chuyển và bảo quản.*

#### **4.2.2. Chuẩn bị dụng cụ**

Dụng cụ đo:

- Cốc có dung dịch 250ml
- Bộ phận lấy khí radon trong nước: Khối 3 đầu làm bằng kim loại không gỉ, ống nhựa đôi, tấm đệm, đầu sục khí
- Đầu nối
- Ống chứa chất chống ẩm loại nhỏ và loại lớn.
- Đầu lọc lọc khí
- Ống dẫn bằng nhựa.

#### **4.2.3. Sấy máy trước khi đo**

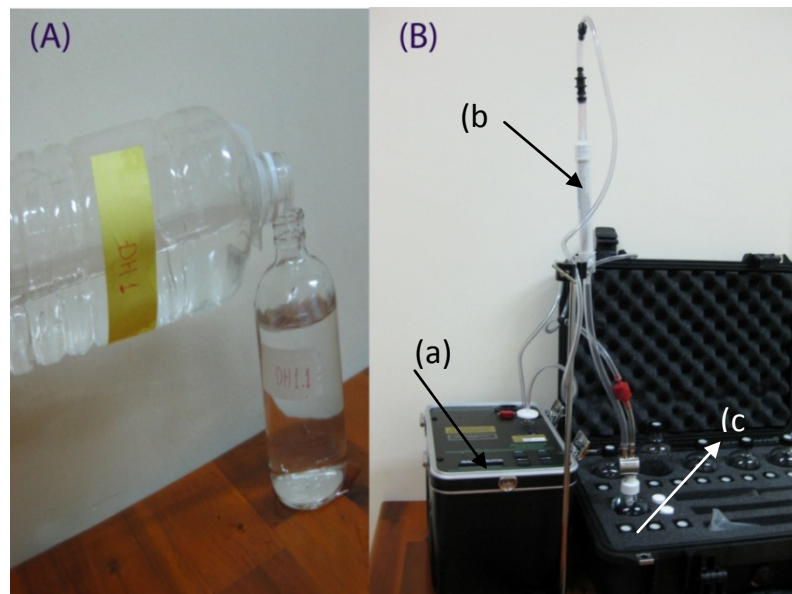
Trước khi đo, phải làm sạch radon trong máy và làm khô máy. Khoảng sau 10 phút bơm bằng không khí khô, kiểm tra bằng cách ấn phím ENTER hai lần, ấn phím mũi tên hai lần để xem độ ẩm tương đối bên trong máy. Nếu chưa đạt yêu cầu phải tiếp tục bơm. Để bảo vệ chất chống ẩm, sau khoảng 10 phút, nên nối đầu ra của RAD7 với đầu vào của bộ phận làm khô, tạo thành luồng khí khép kín.



**Hình 4.3.** Sấy máy bằng quy trình khép kín với ống hút ẩm loại lớn

Như vậy, sẽ nhanh chóng làm máy khô mà không để không khí lọt vào. Khi bắt đầu đo, có thể mất 30 phút để sấy máy. Sau đó mỗi điểm đo chỉ cần sấy 10 phút là đủ.

#### 4.2.4. Lắp thiết bị



**Hình 4.4.** A) Rót mẫu cần đo vào cốc 250 ml. B) Lắp đặt thiết bị trước khi đo.

(a) là máy RAD7 với màn hình và các phím làm việc.

(b) là ống hút ẩm loại nhỏ.

(c) là cốc nước 250 ml.

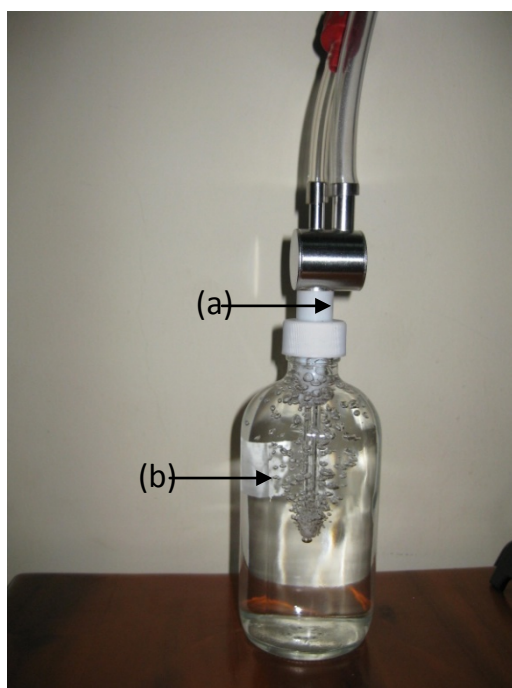


Đặt máy ở chế độ đo phù hợp với dung tích của cốc: Wat-250. Phải chọn đúng dung tích cốc chứa mẫu nước vì rằng các chế độ bơm, đếm chu kỳ, tính toán nồng độ radon...đều căn cứ vào dung tích cốc chứa mẫu nước.

#### 4.2.5. Bắt đầu đo

Sau khi chuẩn bị xong tất cả ta nhấn nút >TEST/ENTER/Nhấn →/ TEST START/ ENTER.

Lúc này, máy bơm sẽ được bơm trong 5 phút để lấy khí radon trong cốc nước và đưa vào máy RAD7.



**Hình 4.5.** Quá trình sục khí

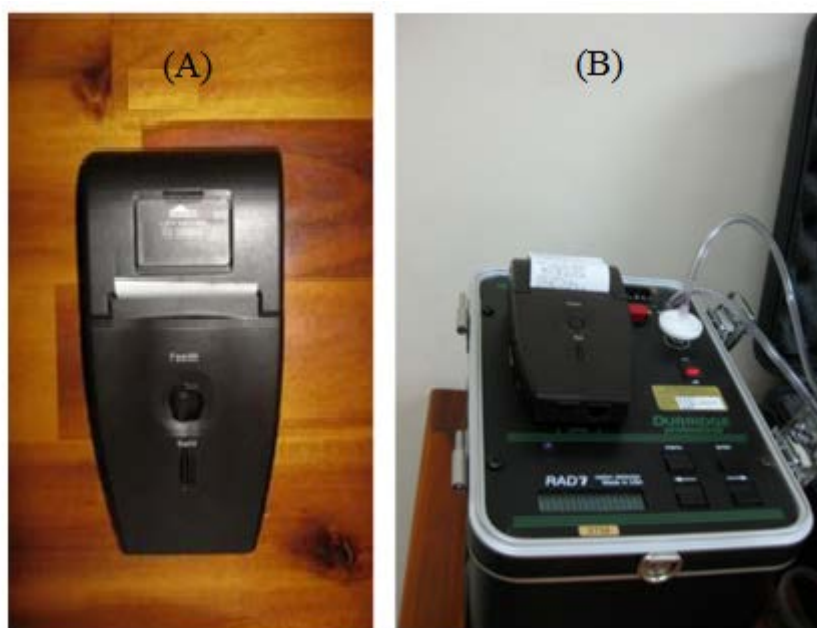
Trong hình 4.5, (a) là khối ba đầu gắn đầu sục khí bằng tinh thể; (b) là nước trong cốc khi sục khí. Nồng độ radon được RAD7 tính toán tự động theo các thông số đã cài đặt. Tất cả các dữ liệu (trừ phôi) được lưu trong bộ nhớ máy. Cứ sau mỗi một chu kỳ, máy tự động in ra một bản kết quả của chu kỳ đó, và cứ sau một mẫu nước sẽ có một bản kết quả tổng hợp tự động được in.

#### 4.2.6. Kết thúc việc đo

Xoay nút cóc, nhấc đầu sục khí ra khỏi cốc. Tiến hành bơm khí để đẩy nước khỏi đầu sục khí. Nếu đo mẫu tiếp theo, quá trình đo lại tiếp tục như trên.

#### 4.2.7. Thu nhận kết quả từ RAD7

Kết quả sau khi đo sẽ thu được bằng máy in hoặc có thể truyền dữ liệu trực tiếp từ máy RAD7 qua máy tính.



**Hình 4.6.** A) Máy in hồng ngoại. B) Sử dụng máy in để lấy kết quả. Sau mỗi chu kỳ đo, máy in hồng ngoại sẽ tự động in một bản báo cáo ngắn.

Chế độ đo Wat-250		
Lần đo thứ 30 (run) và chu kỳ đo thứ 01 (cycle)	3001 6.03±5.20 p Wat250	Nồng độ Rn <sup>222</sup> và sai số (pCi/l)
	0.00±4.84 p Thoron	Nồng độ Rn <sup>220</sup> và sai số (pCi/l)
Ngày tháng, thời gian đo	SAT 11-JUN-11 13:03	
Nhiệt độ, độ ẩm và điện áp của nguồn	19.7 °C RH:11% B:6.42V	
	Total Counts: 19.	Tổng số đếm của các cửa A, B, C, D, O
	Livetime: 28.0min	Thời gian (phút) đo thực tế (detector nhận tín hiệu)
Dữ liệu nhận được từ các cửa sổ A, B, C, D, O (gồm số xung/phút, sai số, tỷ lệ phần trăm)	A: 0.36±0.31 cpm 52.6%	
	B: 0.00±0.14 cpm 0.0%	
	C: 0.28±0.28 cpm 42.1%	
	D: 0.00±0.14 cpm 0.0%	
	O: 0.04±0.17 cpm 5.3%	

**Hình 4.7.** Báo cáo ngắn sau mỗi chu kỳ đo [13]

Và sau mỗi lần đo, máy sẽ in ra một bản dữ liệu tổng hợp trong lần đo đó.

Số thứ tự lần đo (30)	Run 30	
	Begin 11-JUN-11 13:03	Ngày tháng và giờ đo
Số hiệu máy	Serial 02734	
	Cycles = 004	Số chu kỳ đo trong lần đo 30
	Mean: 5.88 pCi/l	Nồng độ radon trung bình
	S.D.: 1.03 pCi/l	Độ lệch chuẩn
	High: 7.24 pCi/l	Giá trị cao nhất
	Low: 4.82 pCi/l	Giá trị thấp nhất

**Hình 4.8.** Dữ liệu tổng hợp sau mỗi lần đo [13]

Trong trường hợp cần thiết, ta có thể chép lại dữ liệu trong bộ lưu trữ bằng cách sử dụng chức năng DATA.

Để lưu trữ trong máy vi tính, thuận tiện cho việc truy xuất dữ liệu sau này, ta có thể lưu trữ dữ liệu vào máy tính thông qua cổng nối RS-232.

### 4.3. Xử lý số liệu thực nghiệm

#### 4.3.1. Hiệu chỉnh số liệu

Cần phải hiệu chỉnh thời gian kể từ khi lấy mẫu đến khi đo mẫu do sự phân rã của radon. Thời gian càng lâu thì độ phóng xạ sẽ càng giảm đi.

Nồng độ radon tại lúc đo và nồng độ radon ngay khi lấy mẫu quan hệ bởi công thức:  $C = C_o * 2^{-t/T}$  (4.1)

Từ đó ta tính được :  $C_o = C * 2^{t/T}$  (4.2)

$C_o$ : Nồng độ radon tại thời điểm lấy mẫu

$C$ : Nồng độ radon tại thời điểm đo

$t$  : khoảng thời gian từ lúc lấy mẫu đến lúc đo

$T$ : chu kỳ bán rã của radon ( $T=3,82$  ngày)

#### 4.3.2. Đánh giá sai số

Sai số nồng độ radon trung bình tại thời điểm đo ( $\sigma_c$ ): là trung bình cộng sai số ba lần đo vì các lần đo là độc lập với nhau.

Sai số nồng độ radon trung bình tại thời điểm lấy nước ( $\sigma_{c_o}$ ):

$$\sigma_{c_o} = \sigma_c * 2^{t/T} \quad (4.3)$$




## 4.4. Kết quả thực nghiệm


### 4.4.1. Suối Đá Hàn

#### 4.4.1.1. Đặc điểm các mẫu được lấy

Vị trí, đặc điểm các mẫu nước được lấy nghiên cứu theo bảng 4.2a.

**Bảng 4.2.a.** Vị trí lấy mẫu tại suối Đá Hàn

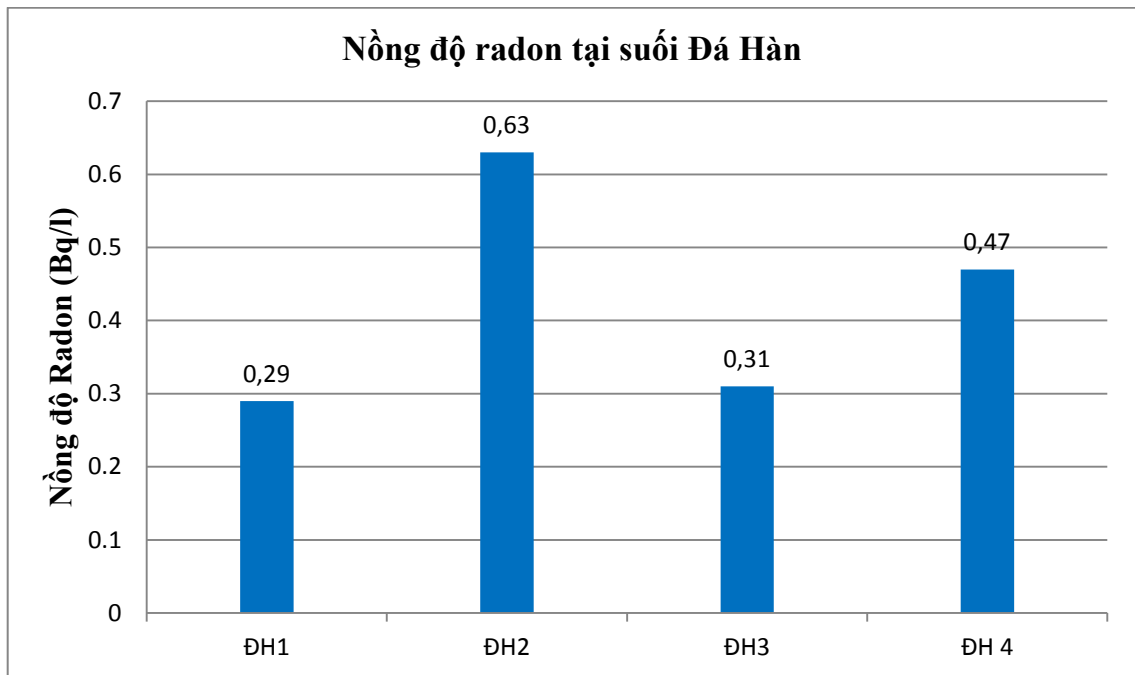
Tên mẫu	Vị trí	Đặc điểm	Hình ảnh
ĐH1	Thượng nguồn.	Nước chảy êm, bao bọc xung quanh là viên đá chẻ, không chảy len qua các khe đá. Nước xuất lộ.	
ĐH2	Nhánh thứ nhất cách thác nhỏ đổ từ thượng nguồn 100m.	Nước qua nhiều ghềnh đá trên lộ trình.	
ĐH3	Nhánh thứ hai đổ từ thượng nguồn, cách thác nhỏ đổ từ thượng nguồn 50m.	Nước khá cạn, chảy êm, không có nhiều ghềnh đá.	

ĐH4	Hợp của hai nhánh.	Nước chảy êm, bao bọc xung quanh là thành đá chẻ. Nước sâu.	
-----	--------------------	---	---

#### 4.4.1.2. Kết quả

**Bảng 4.2.b.** Kết quả đo các mẫu tại suối Đá Hàn

Tên mẫu	Số lần đo	Nồng độ (Bq/l)	Nồng độ trung bình (Bq/l)
ĐH1	1	$0,28 \pm 0,20$	$0,29 \pm 0,14$
	2	$0,28 \pm 0,10$	
	3	$0,32 \pm 0,11$	
ĐH2	1	$0,12 \pm 0,09$	$0,63 \pm 0,18$
	2	$0,14 \pm 0,12$	
	3	$1,63 \pm 0,33$	
ĐH3	1	$0,21 \pm 0,09$	$0,31 \pm 0,14$
	2	$0,23 \pm 0,00$	
	3	$0,48 \pm 0,23$	
ĐH4	1	$0,43 \pm 0,29$	$0,47 \pm 0,23$
	2	$0,47 \pm 0,19$	
	3	$0,51 \pm 0,20$	



**Hình 4.9.** Biểu đồ so sánh nồng độ radon của các mẫu tại suối Đá Hàn.

❖ **Nhận xét**





Các mẫu ĐH1, ĐH3 chảy qua khu vực ít đá, các phiến đá viền quanh là các đá nhân tạo do đó sự tạo radon từ phân rã radi thấp. Tại ĐH4 nồng độ radon có cao hơn một ít do phần dưới đáy suối có đá tự nhiên nhưng do mặt thoáng rộng sự thất thoát radon cao, nồng độ radon đo không cao bằng tại ĐH2. ĐH2, trên lộ trình chảy qua nhiều mỏm đá tự nhiên, đồng thời dưới đáy đoạn suối này cũng có đá, do đó hàm lượng radi trong nước sẽ cao và sự tạo radon từ phân rã radi cao, nhưng do bề mặt không thông thoáng hoàn toàn như ĐH4, làm cho mẫu tại ĐH2 có nồng độ radon cao nhất.



#### 4.4.2. Suối Giang Điền

##### 4.4.2.1. Đặc điểm các mẫu được lấy

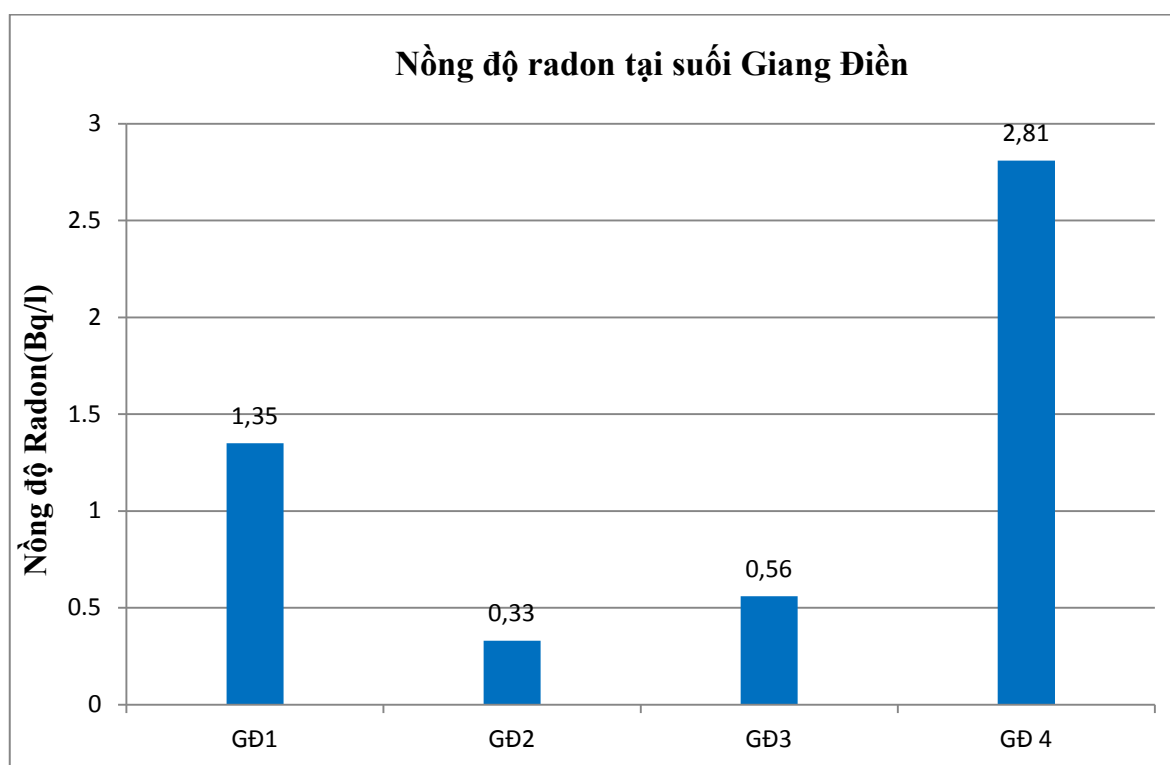
**Bảng 4.3.a.** Các mẫu tại suối Giang Điền

Tên mẫu	Vị trí	Đặc điểm	Hình ảnh
GĐ1	Ngay dưới chân thác độ từ thượng nguồn xuống.	Nước đổ xuống từ độ cao 2m. Mẫu nước bề mặt.	
GĐ2	Cách thác khoảng 10m.	Nước chảy êm, không có ghềnh đá trên lộ trình. Mẫu nước được lấy ở độ sâu 10cm.	
GĐ3	Cách GĐ2 khoảng 30m.	Ghềnh nhỏ. Mẫu nước được lấy ở độ sâu 20cm.	
GĐ4	Cách GĐ 3 khoảng 200m, hạ nguồn.	Nước cạn, dòng nước chảy qua nhiều phiến đá nhỏ. Mẫu nước lấy ở độ sâu 10cm.	

#### 4.4.2.2. Kết quả

**Bảng 4.3.b.** Kết quả đo các mẫu tại suối Giang Điền

Tên mẫu	Số lần đo	Nồng độ (Bq/l)	Nồng độ trung bình (Bq/l)
GD1	1	$1,67 \pm 0,46$	$1,35 \pm 0,28$
	2	$1,60 \pm 0,12$	
	3	$0,77 \pm 0,25$	
GD2	1	$0,20 \pm 0,08$	$0,33 \pm 0,17$
	2	$0,34 \pm 0,14$	
	3	$0,45 \pm 0,28$	
GD3	1	$0,34 \pm 0,43$	$0,56 \pm 0,42$
	2	$0,49 \pm 0,11$	
	3	$0,86 \pm 0,73$	
GD4	1	$1,83 \pm 1,01$	$2,81 \pm 1,22$
	2	$3,49 \pm 1,41$	
	3	$3,11 \pm 1,24$	



**Hình 4.10.** Biểu đồ so sánh nồng độ radon của các mẫu tại suối Giang Điền




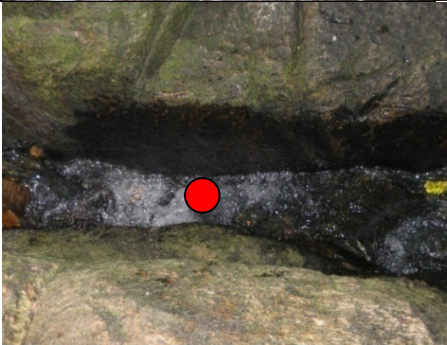
#### ❖ Nhận xét



GD1 là nguồn nước từ phía thác đổ xuống, do trên thác là khu vực nhiều đá tự nhiên, ngay bề mặt thác cũng có các phiến đá lớn, nhưng do bề mặt mẫu nước xuất lộ nhiều do đó có nhiều radi trong nước và radon sau khi được tạo thành đã thất thoát ra môi trường nên nồng độ radon đo không cao như GD4. Vì GD4 là toàn bộ khúc suối chảy qua các phiến đá tự nhiên ở dưới lòng suối và cả trên bề mặt suối, lượng radon tạo thành nhiều hơn so với lượng radon bị thất thoát. GD2 và GD3 có địa hình khá giống nhau đó là mặt thoáng của mẫu rất thông thoáng, ít chảy qua khu vực có nguồn đá tự nhiên, do đó nồng độ radon của hai mẫu này tương đối thấp.

#### 4.4.3. Suối Tiên

##### 4.4.3.1. Đặc điểm các mẫu được lấy

**Bảng 4.4.a.** Vị trí lấy mẫu tại suối Suối Tiên

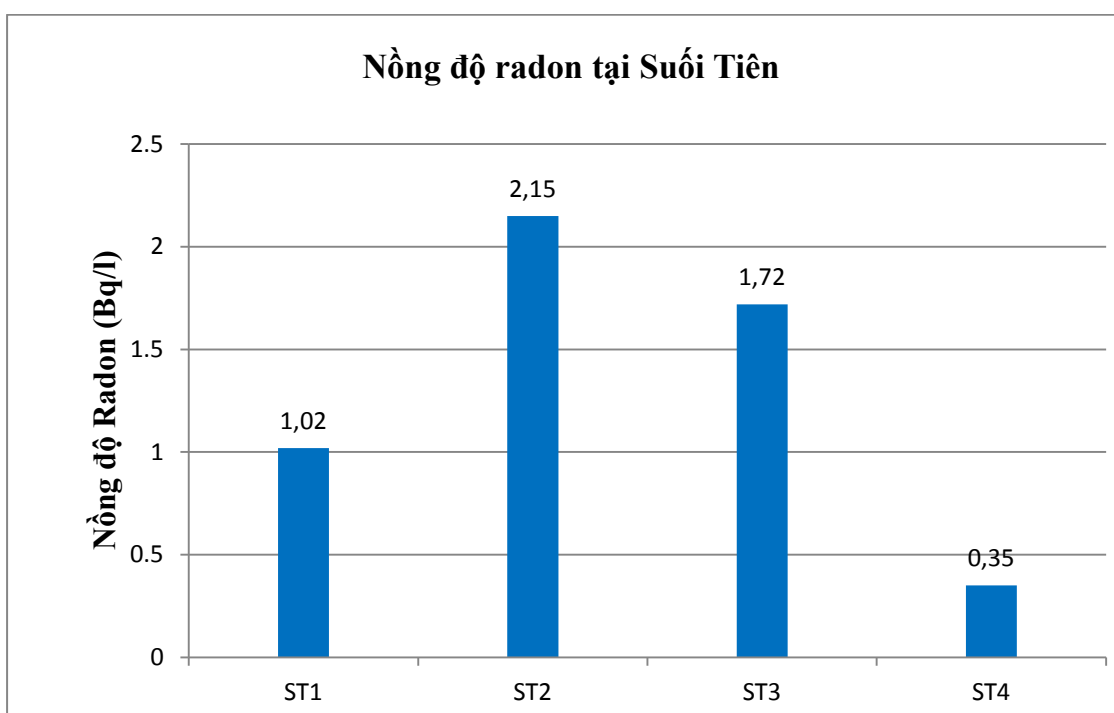
Tên mẫu	Vị trí	Đặc điểm	Hình ảnh
ST1	Thượng nguồn.	Nước chảy êm, khu vực xung quanh nhiều mỏm đá lớn, nguồn nước xuất lộ.	
ST2	Cách thượng nguồn khoảng 2m.	Nước chảy len qua các khe đá, diện tích xuất lộ nhỏ.	

ST3	Cách ST2 khoảng 3m.	Nước bắt đầu rời khỏi những khe đá.	
ST4	Cách ST3 khoảng 2m.	Nước từ các khe đá qui tụ tại một hồ có bán kính 2m. Xung quanh bao bọc bởi các mỏm đá lớn.	

#### 4.4.3.2. Kết quả

**Bảng 4.4.b.** Kết quả đo các mẫu tại suối Suối Tiên

Tên mẫu	Số lần đo	Nồng độ	Nồng độ trung bình (Bq/l)
ST1	1	$0,75 \pm 0,21$	$1,02 \pm 0,25$
	2	$0,91 \pm 0,33$	
	3	$1,40 \pm 0,21$	
ST2	1	$2,53 \pm 0,42$	$2,15 \pm 0,41$
	2	$2,56 \pm 0,35$	
	3	$1,36 \pm 0,46$	
ST3	1	$1,63 \pm 0,08$	$1,72 \pm 0,40$
	2	$2,34 \pm 0,57$	
	3	$1,18 \pm 0,56$	
ST4	1	$0,29 \pm 0,12$	$0,35 \pm 0,19$
	2	$0,42 \pm 0,16$	
	3	$0,34 \pm 0,28$	



**Hình 4.11.** Biểu đồ so sánh nồng độ radon của các mẫu tại suối Suối Tiên



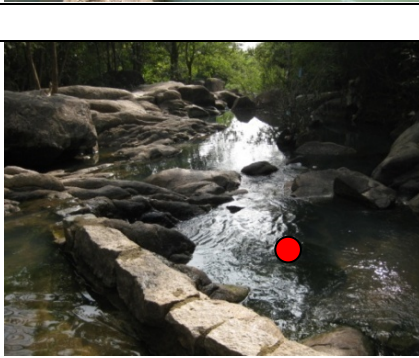

❖ **Nhận xét**

ST2 và ST3 là các mẫu được lấy từ nguồn suối chảy trong các khe đá hẹp, hai mẫu này có nồng độ radon cao do bề mặt thoáng nhỏ, phần thể tích nguồn nước trực tiếp tiếp xúc với đá nhiều do đó phải chịu một lượng radon phân rã từ radi trong đá cao. ST3 là mẫu nước được lấy từ nguồn nước rời khỏi khe đá. Do đó, radon thất thoát từ nguồn nước nhiều hơn ST2 là phần nước chảy trong khe nên nồng độ radon ST2 cao hơn ST3. ST1 cũng chảy qua khu vực có nhiều đá nhưng do mặt thoáng rộng hơn ST2 và ST3 do đó nồng độ radon thấp hơn ST2 và ST3. ST4 được lấy ở vùng trũng, bao bọc xung quanh là đá tự nhiên, do diện tích tiếp xúc với đá ít trong khi đó thể tích lớn, cộng với mặt thoáng rộng nên radon hòa tan khá loãng vì vậy nồng độ radon đo được tại ST4 là thấp nhất.

#### 4.4.4. Suối Đá.

##### 4.4.4.1. Đặc điểm các mẫu được lấy

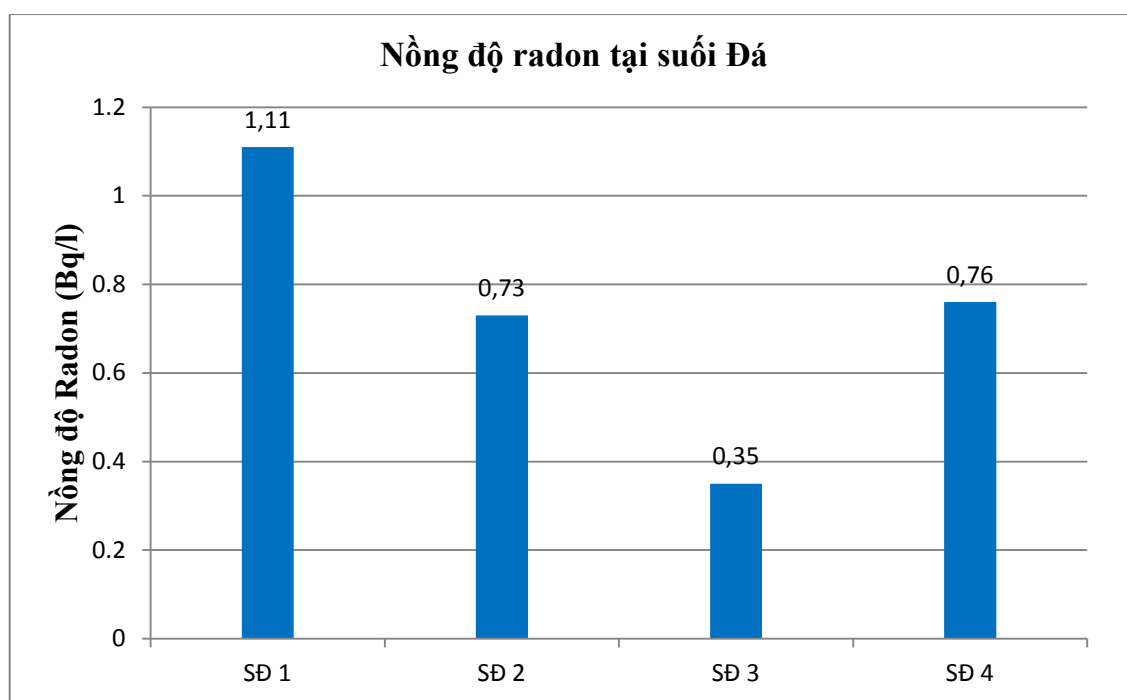
**Bảng 4.5.a.** Vị trí lấy mẫu tại suối Suối Đá

Tên mẫu	Vị trí	Đặc điểm	Hình ảnh
SĐ1	Thượng nguồn.	Nước chảy qua các khe đá từ núi cao đổ xuống.	
SĐ2	Cách thượng nguồn khoảng 10m.	Vùng trũng, tập hợp nguồn nước từ trên cao đổ vào.	
SĐ3	Cách SĐ2 khoảng 5m.	Có vành đá chẻ nhân tạo ngăn cản lộ trình của nguồn nước. Nước khá cạn.	
SĐ4	Hạ nguồn.	Nước chảy không xiết, len qua các mồm đá nhỏ, bao bọc xung quanh là các phiến đá to.	

#### 4.4.4.2. Kết quả

**Bảng 4.5.b.** Kết quả đo các mẫu lấy tại suối Suối Đá

Tên mẫu	Số lần đo	Nồng độ (Bq/l)	Trung bình nồng độ (Bq/l)
SĐ1	1	$1,03 \pm 0,28$	$1,11 \pm 0,26$
	2	$1,21 \pm 0,39$	
	3	$1,08 \pm 0,11$	
SĐ2	1	$0,79 \pm 0,28$	$0,73 \pm 0,26$
	2	$0,82 \pm 0,30$	
	3	$0,57 \pm 0,21$	
SĐ3	1	$0,33 \pm 0,00$	$0,35 \pm 0,23$
	2	$0,20 \pm 0,24$	
	3	$0,53 \pm 0,44$	
SĐ4	1	$0,71 \pm 0,19$	$0,76 \pm 0,31$
	2	$0,73 \pm 0,28$	
	3	$0,85 \pm 0,46$	



**Hình 4.12.** Biểu đồ so sánh nồng độ radon của các mẫu tại suối Suối Đá

#### ❖ Nhận xét





SD1 chảy qua khu vực nhiều rất nhiều đá tự nhiên, và dòng nước len qua các khe đá, dòng nước này nhận radon phân rã từ radi trong các phiến đá chảy qua nên có nồng độ radon cao nhất. SD2 nhận nguồn nước đổ từ thượng nguồn xuống nhưng do diện tích mặt thoáng rộng, ít đá tự nhiên nên không tiếp tục giữ được nồng độ radon cao của nguồn nước từ thượng nguồn. Dòng nước này chảy qua SD3 nhưng được quây lại bằng đá chẻ nhân tạo. Do đó nồng độ radon giảm xuống mạnh do hàm lượng radi trong đá nhân tạo ít hơn so với trong đá tự nhiên. Khi đổ xuống hạ nguồn, dòng nước lại tiếp tục len qua các khe đá, nhận radon phân rã từ radi trong các phiến đá trên đường di chuyển do đó nồng độ tăng lên cao khi mẫu SD4 lấy tại hạ nguồn có nồng độ radon cao thứ 2, chỉ thấp hơn nồng độ radon của mẫu SD1. Vì so với SD1, SD4 có bề mặt thoáng rộng hơn nên dễ thất thoát radon nhiều hơn.



#### 4.4.5. Suối Datanla

##### 4.4.5.1. Đặc điểm các mẫu được lấy

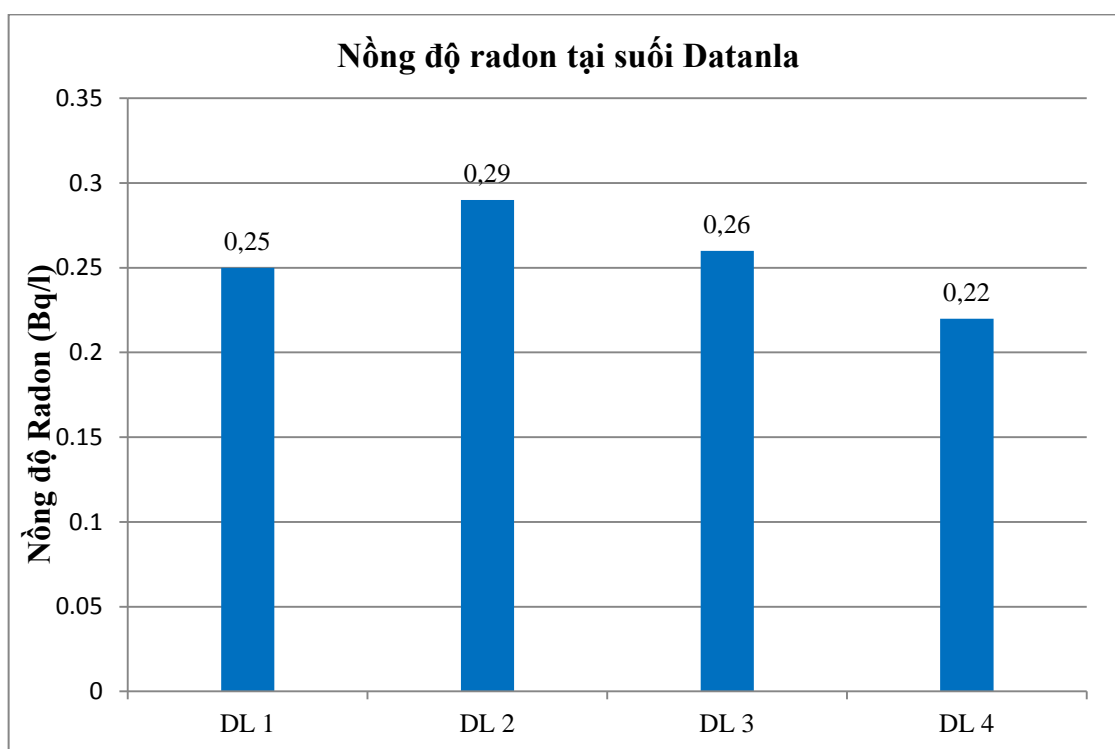
**Bảng 4.6.a.** Vị trí lấy mẫu tại suối Datanla

Tên mẫu	Vị trí	Đặc điểm	Hình ảnh
DL1	Thượng nguồn	Nước đổ từ 20m.	
DL2	Phân chân của thác	Bề mặt nước xuất lộ.	
DL3	Cách DL2 khoảng 100m	Dòng nước uốn lượn qua các dãy đá, độ cao giảm dần.	
DL4	Hạ nguồn	Nhiều tảng đá chắn ngang trên đường đi của dòng nước. Dòng nước khá cạn.	

#### 4.4.5.2. Kết quả

**Bảng 4.6.b.** Kết quả đo của các mẫu lấy tại suối Datanla

Tên mẫu	Số lần đo	Nồng độ (Bq/l)	Nồng độ trung bình (Bq/l)
DL1	1	$0,43 \pm 0,20$	$0,25 \pm 0,21$
	2	$0,14 \pm 0,16$	
	3	$0,17 \pm 0,26$	
DL2	1	$0,08 \pm 0,16$	$0,29 \pm 0,32$
	2	$0,20 \pm 0,23$	
	3	$0,59 \pm 0,56$	
DL3	1	$0,35 \pm 0,14$	$0,26 \pm 0,20$
	2	$0,08 \pm 0,17$	
	3	$0,34 \pm 0,28$	
DL4	1	$0,10 \pm 0,20$	$0,22 \pm 0,24$
	2	$0,12 \pm 0,24$	
	3	$0,44 \pm 0,29$	



**Hình 4.13.** Biểu đồ so sánh nồng độ radon của các mẫu tại suối Datanla



#### ❖ Nhận xét

Các mẫu lấy tại Datanla có nồng độ radon khá gần nhau nguyên do là các khu vực mà dòng suối đi qua dòng nước tiếp xúc với một lượng đá tự nhiên khá đồng đều nhau. Cấu tạo địa hình của các vị trí lấy mẫu khá tương đồng. Vì vậy lượng radon bị phân rã từ radi và lượng radon thất thoát ra môi trường gần giống nhau tại các vị trí được lấy mẫu.

#### 4.4.6. Suối nước nóng Bình Châu

##### 4.4.6.1. Sự hình thành suối nước nóng

Hai loại căn bản của nguồn nước khoáng nóng:

➤ *Nguồn nước khoáng được hình thành trong quá trình thẩm thấu.*

Đây chính là nguồn nước khoáng được làm nóng qua quá trình địa nhiệt. Ban đầu, nước mưa thấm xuống qua những vết nứt trên mặt đất rồi ngấm vào các khoáng sản này thông qua quá trình lọc rồi được làm nóng bởi sức nóng địa nhiệt dưới lòng đất. Sau đó nguồn nước nóng này lại được đưa lên trên mặt đất.

➤ *Nguồn nước khoáng nóng nguyên sinh*

Nguồn nước khoáng nguyên sinh cũng là nguồn nước được làm nóng bằng quá trình địa nhiệt mà yếu tố đóng vai trò quan trọng là sự hoạt động trực tiếp của núi lửa. Một trong những sự khác biệt cơ bản về mặt tự nhiên giữa hai nguồn nước khoáng nóng này và nguồn nước khoáng qua quá trình thẩm thấu chính là thành phần khí và khoáng chất của nước, như là nguyên tố radon và romua. Nguồn nước khoáng nguyên sinh thường được cấu thành bởi các khoáng macma ở rất sâu dưới lòng đất, như ở các khu vực hoạt động của núi lửa [40].




Các nhà nghiên cứu về thủy lý học đã đưa ra sự phân loại tổng quát về nhiệt độ của các nguồn nước khoáng nóng như sau:

- Nguồn nước lạnh: Nhiệt độ dưới  $25^{\circ}\text{C}$  ( $77^{\circ}\text{F}$ )
- Nguồn nước trung bình: Nhiệt độ từ  $25^{\circ}$  -  $34^{\circ}\text{C}$  ( $77^{\circ}$  -  $93^{\circ}\text{F}$ )
- Nguồn nước ấm: Nhiệt độ từ  $34^{\circ}$  -  $42^{\circ}\text{C}$  ( $93^{\circ}$  -  $108^{\circ}\text{F}$ )
- Nguồn nước nóng: Nhiệt độ trên  $42^{\circ}\text{C}$  ( $108^{\circ}\text{F}$ )

Suối nước nóng Bình Châu thuộc loại suối khoáng nóng nguyên sinh vì các nhà khoa học cho rằng, suối nước nóng Bình Châu là quá trình hậu của núi lửa. Tức là khi núi lửa ngừng phun, các lò “mắc ma” vẫn tiếp tục đưa hơi nóng, khí và khoáng chất lên trên mặt đất tạo thành một dòng suối nóng.

#### 4.4.6.2. Đặc điểm các mẫu được lấy

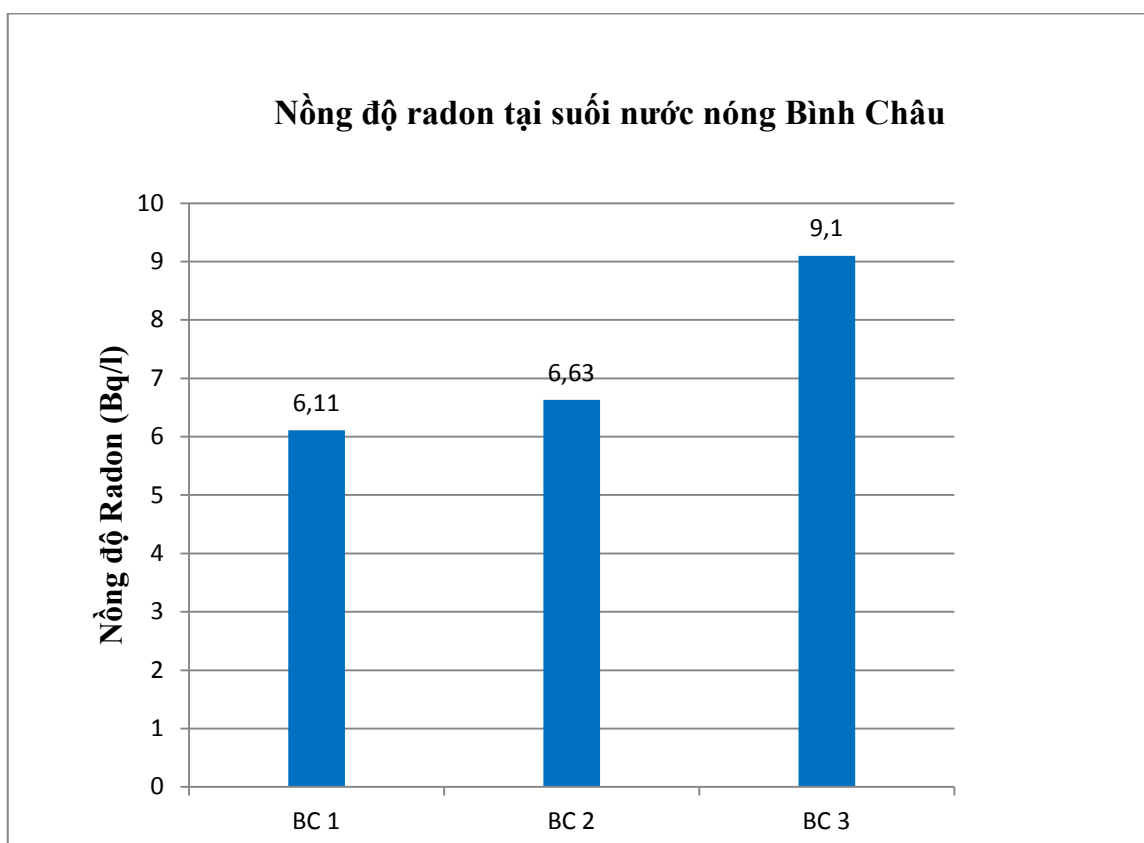
**Bảng 4.7.a.** Vị trí lấy mẫu tại suối nước nóng Bình Châu

Tên mẫu	Vị trí	Đặc điểm	Hình ảnh
BC1	Ven hồ nhỏ	Dòng chảy có diện tích nhỏ. Mẫu nước lấy trên bề mặt.	
BC2	Ven hồ lớn	Xung quanh bao bọc bởi viên đá chẻ nhân tạo. Mẫu nước lấy trên bề mặt.	
BC3	Hồ lớn	Diện tích mặt nước lớn. Mẫu nước lấy ở độ sâu 5cm.	

#### 4.4.6.3. Kết quả

**Bảng 4.7.b.** Kết quả đo của các mẫu lấy tại suối nước nóng Bình Châu

Tên mẫu	Số lần đo	Nồng độ (Bq/l)	Nồng độ trung bình (Bq/l)
BC1	1	$6,54 \pm 0,75$	$6,11 \pm 0,68$
	2	$5,25 \pm 0,77$	
	3	$6,54 \pm 0,52$	
BC2	1	$6,19 \pm 0,72$	$6,63 \pm 0,89$
	2	$6,91 \pm 0,67$	
	3	$6,80 \pm 1,29$	
BC3	1	$9,79 \pm 1,35$	$9,10 \pm 1,25$
	2	$9,71 \pm 1,57$	
	3	$7,79 \pm 0,82$	



**Hình 4.14.** Biểu đồ so sánh nồng độ radon của các mẫu tại suối nước nóng Bình Châu

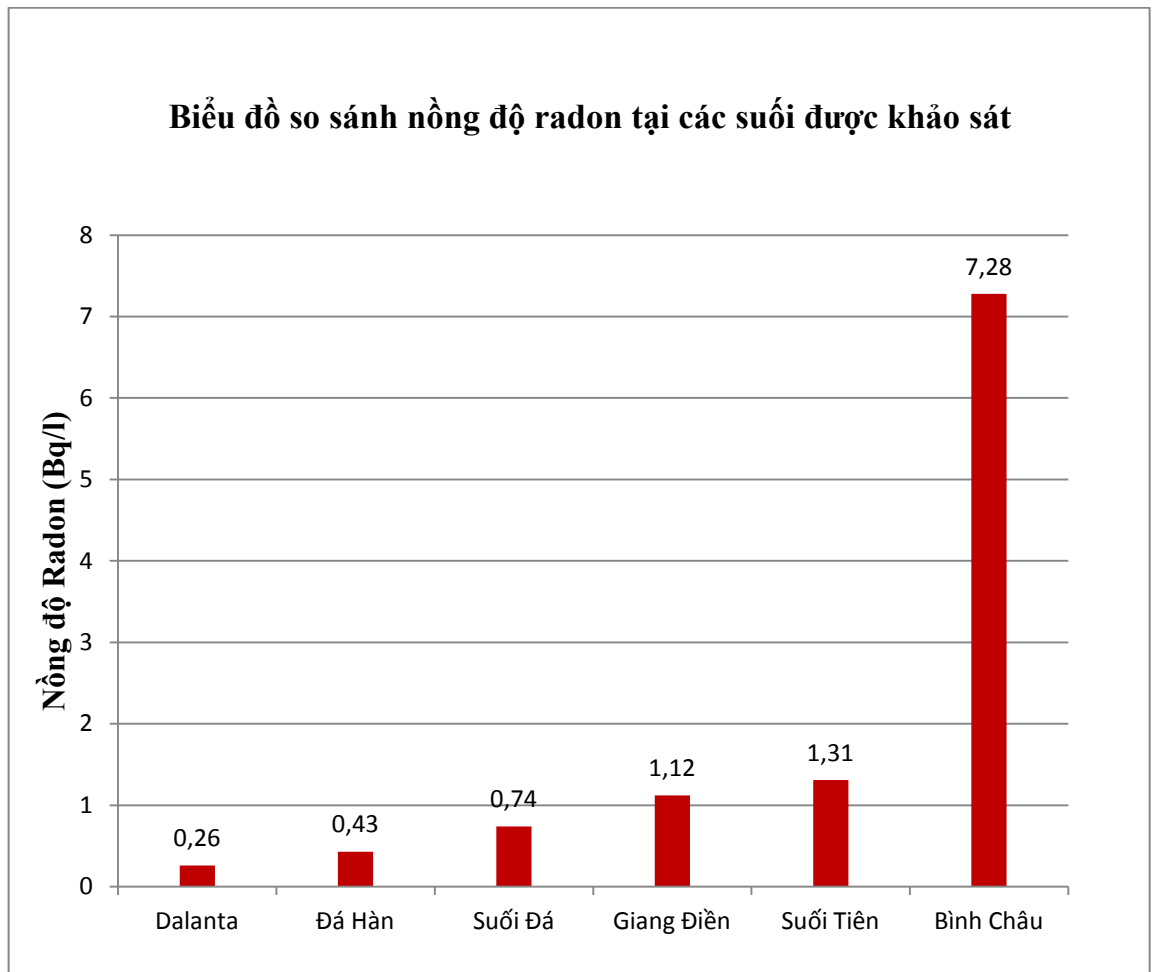
#### ❖ Nhận xét

So với các nguồn nước suối tự nhiên, nguồn nước suối nóng có nồng độ radon cao hơn gấp từ 5-28 lần. Nguyên nhân là do nước khoáng nóng được truyền dẫn trực tiếp từ dưới sâu lên, mang theo một lượng lớn radi hòa tan. Mẫu BC1 và BC2 có nhiệt độ thấp hơn BC3, do đó nồng độ radi trong BC1 và BC2 thấp hơn BC3. Vì nhiệt độ càng cao chứng tỏ nguồn nước tại đó càng mới được dẫn truyền từ dưới lòng đất lên nên radi còn tích tụ nhiều chưa kịp phân rã.

#### 4.4.7. So sánh nồng độ radon của các suối được khảo sát

**Bảng 4.8.** Các con suối được khảo sát

Tên suối	Vị trí địa lý	Nồng độ trung bình(Bq/l)
Đá Hàn	Đồng Nai	0,43
Giang Điền	Đồng Nai	1,12
Suối Đá	Bà Rịa-Vũng Tàu	0,74
Suối Tiên	Bà Rịa-Vũng Tàu	1,31
Dalanta	Lâm Đồng	0,26
Bình Châu	Bà Rịa-Vũng Tàu	7,28



**Hình 4.15.** Biểu đồ so sánh nồng độ radon trong các mẫu suối được khảo sát

❖ **Nhận xét chung**

Như đã đề cập ở trên, nguồn suối nước khoáng nóng có nồng độ cao hơn rất nhiều lần so với nguồn nước suối tự nhiên thông thường. Các suối có bề mặt thông thoáng như Dalanta, Giang Điền thì radon được phân rã từ radi thất thoát nhiều ra môi trường bên ngoài hoặc suối chảy qua khu vực ít đá tự nhiên như suối Đá Hàn có hàm lượng radi thấp nên các loại suối kể trên thường có nồng độ radon thấp. Cùng một vị trí địa lý nhưng khu vực suối bắt nguồn từ trên cao như suối Suối Tiên sẽ có nồng độ radon cao hơn so với nguồn nước tại khu vực dưới thấp, vì trong quá trình di chuyển, lượng radon tạo ra đã bị phân rã và thất thoát hết, điều này có nghĩa tốc độ

radi phân rã thành radon chậm hơn tốc độ radon phân rã thành các sản phẩm con cháu (hoàn toàn phù hợp với lý thuyết).

Ở Việt Nam, chưa có bất kỳ tiêu chuẩn nào để đánh giá mức độ an toàn của nồng độ radon trong nguồn nước suối tự nhiên. Tuy nhiên, theo quy định do UNSCEAR và WHO khuyến cáo đưa ra thì: Giới hạn nồng độ radon trong nước: 11,1 Bq/l (đây cũng là đề xuất của Cơ quan bảo vệ môi trường Hoa Kỳ (EPA)). Vì vậy, dựa trên tiêu chuẩn này, nồng độ radon trong nước của các nguồn suối được khảo sát là an toàn.

## KẾT LUẬN

Đề tài “*Khảo sát nồng độ radon trong một số nguồn nước suối tự nhiên*”

đã hoàn thành các mục tiêu đã đề ra. Kết quả thu nhận được sau:

### 1. Kiến thức và kỹ năng

Tìm hiểu về phóng xạ tự nhiên: các loại bức xạ hình thành trong tự nhiên, sự ảnh hưởng đối với con người.

Tìm hiểu về radon: sự hình thành của radon nói chung và sự hình thành của radon trong nước nói riêng, cũng như vai trò của radon trong ứng dụng thực tế về phương diện địa chất và sức khỏe.

Nắm được cấu tạo, nguyên lý làm việc của máy RAD7, sử dụng hệ đo cho đối tượng nước. Nghiên cứu phương pháp thực nghiệm trong hạt nhân nói chung và trong đo đặc radon nói riêng: cách lấy mẫu, đo đặc, xử lý dữ liệu.

### 2. Kết quả

Xác định được nồng độ radon trong sáu nguồn nước suối tự nhiên, trong đó bao gồm năm nguồn nước suối thường và một nguồn nước suối nóng.

Tìm ra được nồng độ radon có liên quan đến các đặc điểm địa hình.

Đánh giá mức độ an toàn của nồng độ radon trong các nguồn suối đã khảo sát.

### 3. Đánh giá kết quả

Hiện tại chưa có một tiêu chuẩn nào để đánh giá nồng độ radon trong nguồn nước suối tự nhiên, nhưng dựa trên nguy cơ nhiễm độc do sự hít phải khí radon, EPA [14] đã đề nghị mức nhiễm bản (MLC) của nguồn nước đối với radon là 11.1 Bq/l ( 300 pCi/l).

Sự đo nồng độ radon tại sáu nguồn nước suối tự nhiên trong đó có năm nguồn nước suối thường và một nguồn nước suối khoáng nóng vẫn ở dưới mức quy định (MCL).

Tuy nhiên, từ kết quả nghiên cứu ta thấy rằng nồng độ radon sẽ cao đối với nguồn nước chảy qua các khe đá, ít xuất lộ ra ngoài ( các mẫu : ST2, SĐ1, GĐ4).

Đặc biệt là nguồn suối khoáng nóng có nồng độ radon cao hơn rất nhiều lần so với nguồn nước suối thông thường. Vì nước khoáng nước nóng được truyền dẫn trực tiếp từ dưới sâu lên sẽ mang nhiều radi nên hàm lượng radon tăng lên. Đáng lưu ý hơn có khả năng nồng độ radon tại nguồn suối nước nóng khá gần với mức MCL.

### **KIẾN NGHỊ VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI**

Mặc dù về phương diện ảnh hưởng đến sức khỏe, nồng độ radon trong các nguồn suối được khảo sát vẫn chưa phải ở mức đáng lo ngại, nhưng vẫn rất cần thiết để xác định radon trong các nguồn nước suối tự nhiên vẫn rất cần thiết cho các mục đích khác. Vì vậy, đề tài có những kiến nghị như sau:

- Tiến hành đo nồng độ radon trong nước bằng nhiều phương pháp khác nhau. Ví dụ: đo bằng hệ phổ alpha để xác định radi, đo bằng phổ kế gamma phòng thấp HPGe để so sánh kiểm chứng lẫn nhau.
- Đo nồng độ radon tại tất cả các con suối chảy qua các khu vực khác nhau trên cả nước để tạo thành một bản đồ hoàn chỉnh về phong phóng xạ radon trong nước suối tự nhiên.
- Áp dụng phương pháp thực nghiệm về đo radon trong đất để tìm hiểu về địa chất.
- Đo nồng độ radon của nguồn nước suối vào các tháng trong năm để khảo sát sự ảnh hưởng của thời tiết lên nồng độ radon trong nước.
- Đo nồng độ radon trong tất cả các nguồn nước suối khoáng nóng để đảm bảo an toàn về sức khỏe vì suối khoáng nóng có mức nồng độ radon khá cao.



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

### Tiếng Việt

- [1] ThS. Vũ Văn Bích (2005), “Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ xác định riêng biệt radon, thoron trên máy phổ alpha RAD7 nhằm nâng cao hiệu quả điều tra địa chất và nghiên cứu môi trường”, *Tạp chí địa chất*, 50(1), tr.3-23.
- [2] Bộ Tài nguyên môi trường, cục địa chất và khoáng sản Việt Nam (2005), “Quy trình đo phổ alpha bằng máy RAD7 trong điều tra địa chất và nghiên cứu môi trường”, *Tạp chí địa chất*, 51(2), tr.10-18.
- [3] Trần Phong Dũng, Châu Văn Tạo, Nguyễn Hải Dương (2005), *Phương pháp ghi bức xạ ion hóa*, Nxb Đại học quốc gia, TP. Hồ Chí Minh.
- [4] Trần Văn Dương, Nguyễn Trọng Yên, Trần Trọng Huệ (1998), “Vành phân tán địa hoá radon và thủy ngân - sự phản ánh hoạt tính hiện đại của đứt gãy (trên cơ sở nghiên cứu khu vực đứt gãy ở huyện Chư Prông, tỉnh Gia Lai)”, *Tạp chí Các khoa học về Trái đất*, 27(1), tr.3-5.
- [5] Trần Trọng Huệ (1996), “Một số kết quả bước đầu nghiên cứu địa động lực hiện đại bằng xạ khí radon trong khí đất (phương pháp máy radon)”, *Tạp chí địa chất*, 42(1), tr.10-18.
- [6] Trần Trọng Huệ (1999), “Đặc trưng khí phóng xạ radon đới đứt gãy Sông Mã”, *Tạp chí Các khoa học về Trái đất*, 27(2), tr. 8-12.
- [7] Trần Trọng Huệ, Trần Văn Dương, Lê Thị Lại, Lâm Thuý Hoàn (1996), “Đánh giá đặc trưng của một số đứt gãy tích cực khu vực miền Bắc Việt Nam trên cơ sở nghiên cứu xạ khí radon trong khí đất (phương pháp detector vết)”, *Tạp chí địa chất*, 43(1), tr.5-11.
- [8] Phạm Quốc Hùng (2007), *Vật lý hạt nhân và ứng dụng*, Nxb Đại học quốc gia, Hà Nội.

- [9] Hoàng Bá Kim (2010), *Khảo sát khí radon trong nhà khu vực đô thị Thủ Dầu Một tỉnh Bình Dương*, Luận văn tốt nghiệp thạc sỹ vật lý, Trường Đại học Sư Phạm TP.HCM, TP. Hồ Chí Minh.
- [10] Nguyễn Văn Phổ, Hoàng Tuyết Nga (1996), “Phương pháp detector vết trong nghiên cứu các đứt gãy đang hoạt động”, *Tạp chí địa chất*, 43(2), tr.7-14
- [11] Nguyễn Văn Phổ, Nguyễn Trọng Yên (1996), “Phương pháp tiếp cận địa hoá khí eman trong nghiên cứu hoạt động hệ thống đứt gãy Sông Hồng”, *Tạp chí địa chất*, 42(5), tr.50-57.
- [12] Nguyễn Đông Sơn (2009), *Giáo trình Vật lý hạt nhân ứng dụng trong y tế*, Nxb đại học quốc gia, TP. Hồ Chí Minh.
- [13] Phan Thị Minh Tâm (2011), *Khảo sát nồng độ radon trong một số mẫu nước đóng chai trên thị trường Việt Nam*, Luận văn tốt nghiệp thạc sỹ, Trường Đại học Khoa học tự nhiên TP HCM, TP. Hồ Chí Minh.

### **Tiếng Anh.**

- [14] Alam M.N., Chowdhry M.I., Kamal M., Ghose S., Islam M.N., Waruddin M.A. (1999), “Radiological assessment of drinking water of the Chittagong region of Bangladesh”, *Radiat Prot Dosim* 82, pp.207–214.
- [15] Burnett W.C. (2006), “Radon as a tracer of submarine groundwater discharge into a boat basin in Donnalucata”, *Sicily. Cont Shelf Res* 26, pp.862–873.
- [16] Calabrese, Baldwin L. (1999), “Radiation Hormesis: Its Historical Foundations as a Biological Hypothesis.” *Belle Newsletter* 8, pp.80-97.
- [17] DURRIDGE Co. (2009), *RAD7 RAD H2O- Radon in water accessory, Owner’s manual*, USA.
- [18] Ennemoser O., Ambach W., Aner T. (1994), “High indoor radon concentration in an alpine region of Western Tyrol”, *Health Phys* 67, pp.151–154.

- [19] Erlandsson B., Jakobsson B. and Jonsson G. (2001), “Studies of the radon concentration in drinking water from the horst Soderasen in Southern Sweden”, *Journal of Environmental Radioactivity* 53, pp.145–154.
- [20] EPA (US Environmental Protection Agency) (1991) “National primary drinking water regulations; radionuclides” proposed rules. Federal register.
- [21] Fleischer, Mogro-Campero R.A., and Turner L. (1983), “ Indoor Radon Levels in the Northeastern U.S.Effects of Energy-Efficiency in Homes”, *Health Physics* 45, pp.407-412.
- [22] Gosink Baskaran T.A., Holleman D.F. (1990) “Radon in the human body from drinking water”, *Health Phys* 59, pp.919–924.
- [23] Hunse T.M, Najeeb K.MD., Rajarajan K.and Muthukkannan M. (2010), “ Presence of radon in groundwater in parts of Bangalore”, *Rournal geological society of India* 75, pp.704-708
- [24] Karpinska M., Wolkowicz S., Mnich Z., Zalewski M., Mamont K. -Ciesla, Kapala J. (2002), “Comparative studies of health hazard from radon (Rn-222) in two selected lithologic formations in the Suwalki region (in Poland)”, *Environ Radioact* 61, pp.149–158.
- [25] Kovacs T., Bodrogi E., Dombovari P., Somlai J., Nemeth C., Capote A., Tarjan S. (2004) “ $U^{238}$ ,  $Ra^{226}$ ,  $Po^{210}$  concentrations of bottled mineral waters in Hungary and their committed effective dose”, *Rad Prot Dosim* 108, pp.175–181.
- [26] Molinari, Snodgrass (1990), The chemistry and radiochemistry of radium and other elements of the uranium and thorium natural decay series and the Environmental Behaviour of Radium , *Technical Report*, 310(1), pp.3–10.
- [27] Mustapha A.O., Patel J.P. and Rathore I.V.S. (2002), “Preliminary report on radon concentration in drinking water and indoor air in Kenya”, *Environmental Geochemistry and Health* 24, pp.387–396.

- [28] Somashekar R.K. and Ravikumar P. (2010), “Radon concentration in groundwater of Varahi and Markandeya river basins, Karnataka State, India”, *J. Radioanal Nucl Chem* 285, pp.343–351.
- [29] Stringer C., Burnett W.C. (2004), “Sample bottle design improvements for radon emanation analysis of natural waters”, *Health Phys* 87, pp.642–646.
- [30] Tasoula Kiliari, Ioannis Pashalidis Anastasia Tsiali (2010), “Lithological and seasonal variations in radon concentrations in Cypriot groundwaters”, *Journal Radioanal Nuclear Chemistry* 248, pp.553-556.
- [31] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (1993), *Sources and effects of ionizing radiation*, UN, New York
- [32] OEvik U.C., Damla N., Karahan G., Celebi N., and Kobyal A. (2006), “Natural radioactivity in tap water of Eastern Black Sea region of Turkey”, *Radiation protection Dosimetry* 118, pp. 88–92.
- [33] Villalba L., Montero M.E., G. Manjoín-Collado, Colmenero L. -Sujo, Rentería M.-Villalobos, Cano-Jimeñez A., Rodríguez A. -Pineda, Dávila I. -Rangel, Quirino L. -Torres and Herrera E.F. -Peraza (2006), “Natural radioactivity in groundwater and estimates of committed effective dose due to water ingestion in the state of Chihuahua (Mexico)”, *Radiation Protection Dosimetry* 121, pp.48–157.

**Các website:**

- [34] <http://khcnbinhduong.gov.vn>
- [35] <http://blog.yume.vn/xem-blog/tac-dong-nuoc.sapuwasaigon.35D15D27.html>
- [36] <http://blog.yume.vn/xem-blog/phong-xa-moi-truong-vien-tong-hop-seaducking.35CB98E4.html>
- [37] [http://www.idm.gov.vn/nguon\\_luc/Xuat\\_ban/2001/267/T84.htm](http://www.idm.gov.vn/nguon_luc/Xuat_ban/2001/267/T84.htm)
- [38] <http://tailieu.vn/xem-tai-lieu/de-tai-cac-nguon-phong-xa-tu-nhien-.618846.html>

- [39] <http://www.vnnavi.com/vungtau/dulich/binhchau.html>
- [40] <http://bariavungtautourism.com.vn/diem-den-du-lich/khu-du-lich-van-hoa/1006-suoi-nuoc-nong-binh-chau.html>
- [41] <http://www.nsl.hcmus.edu.vn/greenstone/collect/thesiskh/index/assoc/HASH1190.dir/chuong1.pdf>
- [42] <http://nmtp.wikispaces.com/file/view/Vat+ly+hat+nhan+va+ung+dung.pdf>
- [43] <http://www.vaec.gov.vn/userfiles/image/pxtnlxd.pdf>
- [44] [http://idm.gov.vn/nguon\\_luc/Xuat\\_ban/2008/a309/a90.htm](http://idm.gov.vn/nguon_luc/Xuat_ban/2008/a309/a90.htm)
- [45] <http://phapluattp.vn/20110318122342238p1060c1104/phong-xa-hat-nhan-co-the-gay-benh-gi.htm>

## PHỤ LỤC

### KẾT QUẢ ĐO CHI TIẾT

Chu kỳ đo: 30 phút

Máy đo: Rad7

# Suối Đá Hàn

Số chu kỳ: 4      Chế độ đo: WAT-250

Phương thức đo: RAD-H2O Chế độ bơm: GRAB

Mã số	Ngày lấy mẫu	Ngày đo mẫu	Chu kỳ đo	Tổng số sung	A	B	C	D	O	Nồng độ ( pCi/L)					Nồng độ ( Bq/L)	
										Radon	Trung bình	Sai số	KQ hiệu chuẩn	Sai số hiệu chuẩn	KQ hiệu chuẩn	Sai số hiệu chuẩn
ĐH1.1	2/11/2011	7/11/2011	1401	9	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	5.42	3.01	2.14	7.46	5.30	0.28	0.20
			1402	8	0.25	0.00	0.04	0.00	0.00	4.22						
			1403	10	0.07	0.00	0.29	0.00	0.00	1.21						
			1404	4	0.07	0.00	0.04	0.00	0.04	1.21						
ĐH1.2	2/11/2011	9/11/2011	1702	8	0.14	0.00	0.14	0.00	0.00	2.39	2.10	0.77	7.48	2.74	0.28	0.10
			1702	9	0.18	0.00	0.11	0.00	0.04	3.00						
			1703	4	0.11	0.00	0.04	0.00	0.04	1.21						
			1704	4	0.07	0.00	0.04	0.00	0.04	1.21						
ĐH1.3	2/11/2011	9/11/2011	1601	4	0.11	0.00	0.00	0.00	0.04	1.85	2.42	0.84	8.62	2.99	0.32	0.11
			1602	9	0.21	0.00	0.11	0.00	0.00	3.62						
			1603	7	0.11	0.00	0.14	0.00	0.00	1.81						
			1604	7	0.14	0.00	0.07	0.00	0.04	2.41						
ĐH2.1	2/11/2011	7/11/2011	1501	8	0.07	0.00	0.18	0.00	0.04	1.20	1.36	1.03	3.37	2.55	0.12	0.09
			1502	11	0.11	0.00	0.25	0.00	0.04	1.81						
			1503	2	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00						
			1504	7	0.14	0.00	0.07	0.00	0.04	2.41						
ĐH2.2	2/11/2011	10/11/2011	1801	2	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.90	0.78	3.84	3.33	0.14	0.12
			1802	3	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.60						

			1803	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
			1804	3	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	1.81						
ĐH2.3	2/11/2011	18/11/2011	2701	4	0.11	0.00	0.04	0.00	0.00	1.81	2.41	0.49	43.94	8.93	1.63	0.33
			2702	9	0.18	0.00	0.11	0.00	0.04	3.01						
			2703	11	0.14	0.00	0.21	0.04	6.42	2.41						
			2704	10	0.14	0.00	0.18	0.00	0.04	2.41						
ĐH3.1	2/11/2011	10/11/2011	1901	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	1.36	0.58	5.81	2.48	0.21	0.09
			1902	4	0.07	0.04	0.04	0.00	0.00	1.21						
			1903	6	0.11	0.00	0.11	0.00	0.00	1.81						
			1904	6	0.11	0.00	0.11	0.00	0.00	1.81						
ĐH3.2	2/11/2011	11/11/2011	2001	2	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	1.21	0.00	6.19	0.00	0.23	0.00
			2002	3	0.07	0.00	0.00	0.00	0.04	1.21						
			2003	4	0.07	0.00	0.04	0.00	0.04	1.21						
			2004	6	0.07	0.00	0.11	0.00	0.04	1.21						
ĐH3.3	2/11/2011	11/11/2011	2101	9	0.25	0.00	0.07	0.00	0.00	4.22	2.56	1.24	13.11	6.35	0.48	0.23
			2102	2	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1.21						
			2103	4	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	2.41						
			2104	6	0.14	0.00	0.04	0.00	0.00	2.41						
ĐH4.1	2/11/2011	16/11/2011	2501	5	0.07	0.00	0.04	0.00	0.07	1.22	0.91	0.61	11.54	7.74	0.43	0.29
			2502	2	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1.21						
			2503	3	0.07	0.00	0.04	0.00	0.00	1.21						
			2504	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
ĐH4.2	2/11/2011	14/11/2011	2301	2	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	1.21	0.49	12.80	5.18	0.47	0.19
			2302	6	0.07	0.00	0.11	0.00	0.04	1.22						
			2303	4	0.11	0.00	0.00	0.00	0.04	1.81						
			2304	3	0.04	0.00	0.07	0.00	0.00	0.60						
ĐH4.3	2/11/2011	17/11/2011	2401	4	0.04	0.00	0.04	0.00	0.07	0.61	0.91	0.35	13.84	5.32	0.51	0.20
			2402	2	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.60						
			2403	4	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00	1.21						
			2404	2	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1.21						

## Suối Giang Điền

Mã số	Ngày lấy mẫu	Ngày đo mẫu	Chu kỳ đo	Tổng số sung	A	B	C	D	O	Nồng độ ( pCi/L)					Nồng độ ( Bq/L)	
										Radon	Trung bình	Sai số	KQ hiệu chuẩn	Sai số hiệu chuẩn	KQ hiệu chuẩn	Sai số hiệu chuẩn
GD1.1	4/12/2011	12/12/2011	2801	16	0.43	0.04	0.07	0.00	0.04	7.23	10.6	2.91	45.26	12.43	1.67	0.46
			2802	29	0.79	0.04	0.18	0.00	0.04	13.30						
			2803	29	0.54	0.04	0.36	0.04	0.07	9.06						
			2804	33	0.75	0.00	0.43	0.00	0.00	12.70						
GD1.2	4/12/2011	12/12/2011	2901	31	0.64	0.00	0.43	0.00	0.04	10.90	10.1	0.76	43.13	3.25	1.60	0.12
			2902	28	0.54	0.00	0.43	0.00	0.04	9.06						
			2903	34	0.61	0.04	0.54	0.00	0.04	10.30						
			2904	42	0.61	0.00	0.82	0.00	0.07	10.30						
GD1.3	4/12/2011	13/12/2012	3001	10	0.21	0.00	0.04	0.00	0.11	3.61	4.07	1.33	20.84	6.81	0.77	0.25
			3002	16	0.29	0.00	0.29	0.00	0.00	4.83						
			3003	14	0.14	0.00	0.25	0.04	0.07	2.41						
			3004	19	0.32	0.00	0.21	0.00	0.14	5.44						
GD2.1	4/12/2011	14/12/2012	3201	3	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.60	0.90	0.35	5.52	2.15	0.20	0.08
			3202	3	0.04	0.00	0.07	0.00	0.00	0.60						
			3203	5	0.07	0.07	0.00	0.04	0.00	1.21						
			3204	5	0.07	0.00	0.07	0.00	0.04	1.21						
GD2.2	4/12/2011	14/12/2012	3301	6	0.07	0.00	0.11	0.00	0.04	1.20	1.51	0.60	9.27	3.68	0.34	0.14
			3302	8	0.07	0.00	0.14	0.00	0.07	1.21						
			3303	9	0.07	0.00	0.25	0.00	0.00	1.21						
			3304	5	0.14	0.00	0.04	0.00	0.00	2.41						
GD2.3	4/12/2011	15/12/2011	3401	3	0.07	0.00	0.00	0.00	0.04	1.20	1.65	1.03	12.14	7.58	0.45	0.28
			3402	3	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80						
			3403	2	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.60						
			3404	5	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	3.01						
GD3.1	4/12/2011	16/12/2011	3601	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	1.05	1.33	9.26	11.74	0.34	0.43
			3602	5	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	2.99						
			3603	2	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00						
			3604	2	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.60						





			8203	33	0.39	0.00	0.75	0.00	0.04	6.65						
			8204	45	0.64	0.00	0.86	0.00	0.11	10.9						
ST1.3	1/5/2012	5/5/2012	8301	42	0.93	0.00	0.43	0.00	0.14	15.7	18.3	2.69	37.82	5.56	1.40	0.21
			8302	55	1.18	0.00	0.68	0.04	0.07	20.0						
			8303	64	0.97	0.00	1.25	0.00	0.07	16.4						
			8304	74	1.25	0.04	1.29	0.00	0.07	21.2						
ST2.1	1/5/2012	7/5/2012	8401	49	1.64	0.04	0.11	0.00	0.00	27.8	23.0	3.79	68.32	11.26	2.53	0.42
			8402	59	1.43	0.04	0.57	0.00	0.07	24.2						
			8403	72	1.25	0.04	1.11	0.04	0.14	20.6						
			8404	77	1.15	0.07	1.40	0.00	0.14	19.4						
ST2.2	1/5/2012	7/5/2012	8501	71	1.18	0.11	1.04	0.00	0.21	20.00	23.30	3.23	69.21	9.59	2.56	0.35
			8502	73	1.50	0.00	0.89	0.00	0.21	25.40						
			8503	90	1.25	0.04	1.68	0.00	0.25	21.20						
			8504	93	1.58	0.00	1.54	0.04	0.18	26.70						
ST2.3	1/5/2012	8/5/2012	8601	25	0.78	0.00	0.04	0.04	0.04	13.30	10.30	3.49	36.68	12.43	1.36	0.46
			8602	24	0.43	0.00	0.29	0.00	0.14	7.24						
			8603	38	0.79	0.00	0.50	0.00	0.07	13.30						
			8604	31	0.43	0.00	0.67	0.00	0.00	7.21						
ST3.1	1/5/2012	8/5/2012	8701	25	0.73	0.00	0.07	0.00	0.11	12.30	12.40	0.57	44.16	2.03	1.63	0.08
			8702	39	0.78	0.00	0.53	0.00	0.07	13.20						
			8703	46	0.71	0.07	0.85	0.00	0.00	12.00						
			8704	43	0.71	0.00	0.74	0.00	0.07	12.00						
ST3.2	1/5/2012	9/5/2012	8801	26	0.82	0.04	0.07	0.00	0.00	13.90	14.80	3.61	63.20	15.41	2.34	0.57
			8802	40	1.18	0.00	0.21	0.00	0.04	20.00						
			8803	50	0.82	0.00	0.89	0.00	0.07	13.90						
			8804	57	0.68	0.00	1.32	0.00	0.04	11.56						
ST3.3	1/5/2012	9/5/2012	8901	20	0.25	0.04	0.36	0.00	0.07	4.27	7.50	3.56	32.03	15.20	1.18	0.56
			8902	33	0.74	0.00	0.39	0.00	0.04	12.50						
			8903	31	0.42	0.04	0.56	0.00	0.07	7.17						
			8904	24	0.36	0.00	0.46	0.00	0.04	6.04						
ST4.1	1/5/2012	10/5/2012	9001	2	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	1.51	0.62	7.73	3.17	0.29	0.12
			9002	6	0.14	0.00	0.07	0.00	0.00	2.44						
			9003	5	0.07	0.00	0.11	0.00	0.00	1.19						
			9004	4	0.07	0.00	0.04	0.04	0.00	1.20						
ST4.2	1/5/2012	15/5/2012	9101	4	0.07	0.00	0.00	0.00	0.07	1.20	0.90	0.35	11.42	4.44	0.42	0.16
			9102	3	0.04	0.00	0.07	0.00	0.00	0.60						



SD2.3	24/12/2011	4/1/2011	5001	8	0.14	0.00	0.07	0.00	0.07	2.41	2.11	0.78	15.53	5.74	0.57	0.21	
			5002	8	0.11	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00							1.81
			5003	14	0.18	0.00	0.25	0.00	0.07	3.02							
			5004	8	0.07	0.00	0.21	0.00	0.00	1.21							
SD3.1	24/12/2011	4/1/2011	5101	2	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1.22	1.20	0.01	8.83	0.07	0.33	0.00	
			5102	8	0.07	0.00	0.18	0.00	0.04	1.20							
			5103	6	0.07	0.00	0.11	0.00	0.04	1.20							
			5104	7	0.07	0.00	0.14	0.00	0.04	1.20							
SD3.2	24/12/2011	9/1/2012	5501	1	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.30	0.35	5.47	6.38	0.20	0.24	
			5502	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60							
			5503	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
			5504	2	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.60							
SD3.3	24/12/2011	6/1/2012	5301	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	1.35	1.13	14.28	11.95	0.53	0.44	
			5302	2	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.60							
			5303	7	0.18	0.00	0.04	0.00	0.04	3.00							
			5304	3	0.07	0.00	0.04	0.00	0.00	1.21							
SD4.1	24/12/2011	6/1/2011	5201	5	0.11	0.04	0.00	0.00	0.04	1.81	1.81	0.49	19.15	5.18	0.71	0.19	
			5202	6	0.07	0.00	0.04	0.00	0.11	1.21							
			5203	5	0.14	0.00	0.04	0.00	0.00	2.41							
			5204	5	0.11	0.00	0.07	0.00	0.00	1.81							
SD4.2	24/12/2011	10/1/2012	5701	2	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.62	0.90	0.34	19.67	7.43	0.73	0.28	
			5702	4	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00	1.19							
			5703	4	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00	1.19							
			5704	2	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.60							
SD4.3	24/12/2011	10/1/2012	5601	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	1.05	0.57	22.95	12.46	0.85	0.46	
			5602	3	0.07	0.00	0.04	0.00	0.00	1.20							
			5603	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60							
			5604	8	0.11	0.00	0.14	0.00	0.04	1.80							

# Suối Dalanta

Mã số	Ngày lấy mẫu	Ngày đo mẫu	Chu kỳ đo	Tổng số sung	A	B	C	D	O	Nồng độ ( pCi/L)					Nồng độ ( Bq/L)	
										Radon	Trung bình	Sai số	KQ hiệu chuẩn	Sai số hiệu chuẩn	KQ hiệu chuẩn	Sai số hiệu chuẩn
DL1.1	18/2/2012	27/2/2012	5901	3	0.07	0.00	0.04	0.00	0.00	1.2	2.26	1.03	11.57	5.27	0.43	0.20
			5902	6	0.14	0.00	0.04	0.00	0.04	2.41						
			5903	9	0.21	0.00	0.11	0.00	0.00	3.62						
			5904	9	0.11	0.00	0.21	0.00	0.00	1.81						
DL1.2	18/2/2012	28/2/2012	6001	2	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.6	0.7	3.68	4.30	0.14	0.16
			6002	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00						
			6003	1	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00						
			6004	2	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1.21						
DL1.3	18/2/2012	28/12/2012	6101	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	1.13	4.60	6.94	0.17	0.26
			6102	7	0.14	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00						
			6103	3	0.00	0.00	0.07	0.00	0.04	0.00						
			6104	5	0.04	0.00	0.11	0.00	0.04	0.60						
DL2.1	18/2/2012	29/2/2012	6201	2	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.30	0.60	2.21	4.42	0.08	0.16
			6202	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00						
			6203	1	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00						
			6204	3	0.07	0.00	0.04	0.00	0.00	1.20						
DL2.2	18/2/2012	1/3/2012	6301	3	0.07	0.00	0.00	0.00	0.04	1.20	0.60	0.69	5.29	6.09	0.20	0.23
			6302	2	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00						
			6303	1	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00						
			6304	3	0.07	0.00	0.00	0.00	0.04	1.20						
DL2.3	18/2/2012	2/3/2012	6401	5	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	3.01	1.51	1.43	15.97	15.13	0.59	0.56
			6402	6	0.14	0.00	0.07	0.00	0.00	2.41						
			6403	4	0.00	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00						
			6404	5	0.04	0.00	0.07	0.00	0.07	0.60						
DL3.1	18/2/2012	2/3/2012	6501	4	0.04	0.04	0.04	0.00	0.04	0.60	0.90	0.35	9.52	3.70	0.35	0.14
			6502	2	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20						
			6503	4	0.07	0.00	0.04	0.00	0.04	1.20						

			6504	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60							
DL3.2	18/2/2012	5/3/2012	6601	1	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.15	0.30	2.28	4.56	0.08	0.17	
			6602	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							0.60
			6603	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00							
			6604	1	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00							
DL3.3	18/2/2012	5/3/2012	6701	2	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.60	0.49	9.12	7.45	0.34	0.28	
			6702	3	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.60							
			6703	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60							
			6704	1	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00							
DL4.1	18/2/2012	6/3/2012	6801	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.30	2.73	5.47	0.10	0.20	
			6802	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
			6803	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60							
			6804	1	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00							
DL4.2	18/2/2012	6/3/2012	6901	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.30	3.28	6.56	0.12	0.24	
			6902	2	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00							
			6903	2	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.60							
			6904	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
DL4.3	18/2/2012	7/3/2012	7001	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.45	0.30	11.79	7.86	0.44	0.29	
			7002	1	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00							
			7003	2	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.60							
			7004	2	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.60							

## Suối nước nóng Bình Châu

Mã số	Ngày lấy mẫu	Ngày đo mẫu	Chu kỳ đo	Tổng số sung	A	B	C	D	O	Nồng độ ( pCi/L)					Nồng độ ( Bq/L)	
										Radon	Trung bình	Sai số	KQ hiệu chuẩn	Sai số hiệu chuẩn	KQ hiệu chuẩn	Sai số hiệu chuẩn
BC1.1	21/3/2012	23/3/2012	7101	271	8.09	0.04	0.93	0.00	0.68	137	123	14.1	176.81	20.27	6.54	0.75
			7102	348	7.83	0.07	3.97	0.00	0.69	133						
			7103	412	7.01	0.18	6.97	0.04	0.69	118						
			7104	447	6.33	0.07	8.97	0.14	0.65	106						
BC1.2	21/3/2012	23/3/2012	7201	373	5.77	0.25	6.85	0.07	0.50	97.1	98.8	14.5	142.02	20.84	5.25	0.77
			7202	371	6.93	0.11	5.88	0.11	0.36	117						
			7203	379	5.99	0.11	6.93	0.18	0.47	100						
			7204	381	4.84	0.18	8.12	0.11	0.51	81.3						
BC1.3	21/3/2012	23/3/2012	7301	358	6.74	0.04	5.67	0.04	0.70	114	123	9.81	176.81	14.10	6.54	0.52
			7302	400	7.08	0.14	6.53	0.04	0.65	120						
			7303	431	8.09	0.25	6.43	0.00	0.79	137						
			7304	478	7.28	0.25	8.83	0.18	0.76	121						
BC2.1	21/3/2012	26/3/2012	7401	112	3.40	0.00	0.39	0.00	0.21	57.5	67.50	7.85	167.23	19.45	6.19	0.72
			7402	195	4.53	0.00	1.98	0.00	0.50	76.6						
			7403	212	4.06	0.11	2.88	0.04	0.54	68.7						
			7404	245	3.96	0.11	4.36	0.00	0.40	67						
BC2.2	21/3/2012	26/3/2012	7501	190	4.61	0.07	1.78	0.04	0.40	78.00	75.40	7.27	186.81	18.01	6.91	0.67
			7502	218	4.71	0.04	2.88	0.07	0.14	79.20						
			7503	260	4.79	0.04	4.10	0.11	0.32	79.80						
			7504	244	3.81	0.07	4.64	0.00	0.25	64.50						
BC2.3	21/3/2012	4/4/2012	7901	30	0.89	0.00	0.11	0.00	0.07	15.10	14.50	2.75	183.92	34.88	6.80	1.29
			7902	37	0.86	0.00	0.39	0.00	0.07	14.50						
			7903	44	0.64	0.04	0.82	0.00	0.07	10.90						
			7904	61	1.04	0.00	1.04	0.00	0.11	17.60						
BC3.1	21/3/2012	3/4/2012	7701	48	1.36	0.00	0.14	0.00	0.21	23.00	25.00	3.46	264.48	36.60	9.79	1.35
			7702	69	1.68	0.04	0.68	0.00	0.07	28.50						
			7703	60	1.25	0.04	0.86	0.00	0.00	21.20						
			7704	98	1.61	0.07	1.54	0.04	0.25	27.30						

BC3.2	21/3/2012	3/4/2012	7801	81	1.64	0.00	1.13	0.00	0.18	27.80	24.80	4.02	262.36	42.53	9.71	1.57
			7802	93	1.68	0.07	1.50	0.00	0.07	28.50						
			7803	86	1.36	0.00	1.65	0.00	0.07	23.00						
			7804	80	1.18	0.04	1.58	0.00	0.07	20.00						
BC3.3	21/3/2012	4/4/2012	8001	37	0.87	0.04	0.40	0.00	0.04	14.70	16.60	1.75	210.55	22.20	7.79	0.82
			8002	51	1.10	0.00	0.71	0.00	0.00	18.60						
			8003	60	0.93	0.00	1.04	0.04	0.14	15.70						
			8004	53	1.04	0.00	0.82	0.00	0.04	17.60						