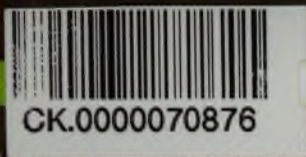


PH... TIẾN

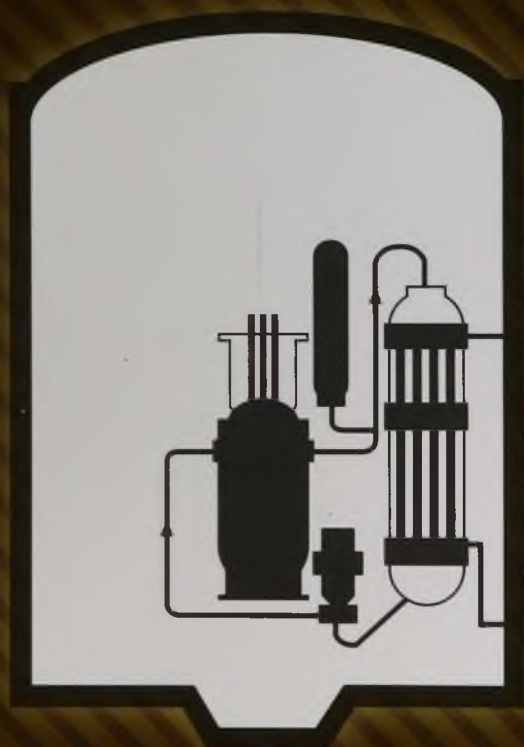


CK.0000070876

VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM



# AN TOÀN ĐIỆN HẠT NHÂN



UYÊN  
HIỆU



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

**PHẠM DUY HIỂN**

VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM



# AN TOÀN ĐIỆN HẠT NHÂN

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRUNG TÂM HỌC LIỆU



**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT**

Hà Nội - 2015

## Thông tin bản quyền

Bản quyền © GS. TS. Phạm Duy Hiến. Việc sao chép, tái bản ấn phẩm này dưới mọi hình thức (bản in hay bản điện tử) đều phải được sự chấp thuận bằng văn bản của tác giả.

## Liên hệ tác giả

Phạm Duy Hiến

Địa chỉ: Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam

Email: pdhien@gmail.com

## Liên hệ mua sách

BAN KẾ HOẠCH VÀ QUẢN LÝ KHOA HỌC -

VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM

Địa chỉ: Số 59 Lý Thường Kiệt, Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam

Điện thoại: (844) 39420463 - Fax: (844) 39422625

Email: hq.vinatom@hn.vnn.vn, hq.vinatom@vinatom.gov.vn

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

# AN TOÀN ĐIỆN HẠT NHÂN



PHẠM DUY HIẾN

VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM

# Mục lục

---

LỜI TỰA .....	13
GIỚI THIỆU NỘI DUNG .....	17

## **Chương 1. PHÓNG XẠ VÀ VẬT LÝ HẠT NHÂN**

1.1 PHÓNG XẠ – NHỮNG MỐC LỊCH SỬ .....	21
1.1.1 Những năm cuối thế kỷ XIX .....	21
1.1.2 Những năm đầu thế kỷ XX .....	25
1.1.3 Thập kỷ 30 của thế kỷ XX .....	27
1.1.4 Trước ngưỡng cửa chiến tranh thế giới thứ II. Phân hạch uranium .....	28
1.1.5 Phản ứng dây chuyền .....	31
1.1.6 Vũ khí nguyên tử .....	36
1.1.7 Hoàn chỉnh và mở rộng bản đồ nguyên tố hóa học .....	37
1.1.8 Bản đồ đồng vị. Đồng vị bền và phóng xạ .....	39
1.2 KHỐI LƯỢNG ĐỒNG VỊ, NĂNG LƯỢNG LIÊN KẾT NUCLEON, MẪU HẠT NHÂN .....	41
1.2.1 Khối lượng đồng vị và độ hụt khối .....	41
1.2.2 Công thức bán thực nghiệm Weizsäcker. Mẫu giọt chất lỏng .....	43
1.2.3 Chuyển động đơn hạt trong hạt nhân và chuyển động tập thể các nucleon .....	46
1.2.4 Các trạng thái của hạt nhân .....	49
1.2.5 Thời gian sống của các trạng thái hạt nhân .....	51
1.3 PHÂN RÃ PHÓNG XẠ .....	53
1.3.1 Quy luật phân rã phóng xạ .....	53
1.3.2 Chuỗi phóng xạ .....	55

1.3.3	Phân rã đồng hành với quá trình sinh tạo .....	57
1.3.4	Phân rã $\beta^-$ .....	58
1.3.5	Phân rã $\beta^+$ và chiếm electron vỏ K .....	58
1.3.6	Phân rã neutron trễ .....	61
1.3.7	Phân rã alpha .....	62
1.3.8	Phân rã $\gamma$ .....	65
1.4	PHẢN ỨNG HẠT NHÂN VỚI NEUTRON .....	66
1.4.1	Các phản ứng với neutron chi phối hoạt động của lò phản ứng hạt nhân .....	66
1.4.2	Phản ứng bắt neutron phát bức xạ gamma ( $n, \gamma$ ) .....	68
1.4.3	Hấp thụ cộng hưởng neutron. Công thức Breit–Wigner .....	69
1.5	PHẢN ỨNG PHÂN HẠCH VỚI NEUTRON .....	72
1.5.1	Cơ chế phân hạch .....	72
1.5.2	Các sản phẩm phân hạch .....	77
1.5.3	Phân bố mảnh vỡ phân hạch theo số khối .....	79
1.5.4	Nhiệt dư trong lò phản ứng .....	81
	TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	83

## Chương 2. PHÓNG XẠ TRONG VŨ TRỤ VÀ TRÁI ĐẤT

2.1	NGUYÊN TỐ VÀ ĐỒNG VỊ SINH RA TỪ ĐÂU, VÀ TỪ LÚC NÀO? .....	86
2.1.1	Big Bang và vũ trụ giãn nở .....	87
2.1.2	Tổng hợp hạt nhân nhẹ sau Big Bang (BBN). Thuyết $\alpha\beta\gamma$ .....	90
2.1.3	Phân rã $\beta^-$ của neutron tự do .....	91
2.1.4	Tổng hợp hạt nhân trong quá trình tiến hóa của các thiên thể (stellar nucleosynthesis) .....	94
2.1.5	Phản ứng ghép hạt nhân trong điều kiện nhiệt hạch .....	96
2.1.6	Đốt He giải tỏa năng lượng và tạo thành hạt nhân nặng hơn .....	98
2.1.7	Tạo thành hạt nhân nặng qua phản ứng bắt neutron và phân rã $\beta$ .....	99
2.1.8	Độ phổ biến các nguyên tố trong vũ trụ .....	101
2.1.9	Độ phổ biến các nguyên tố trong vỏ Trái Đất .....	102

2.2	PHÓNG XẠ TRONG ĐẤT ĐÁ .....	103
2.2.1	Các họ phóng xạ .....	103
2.2.2	Cân bằng và mất cân bằng phóng xạ .....	106
2.2.3	Phân rã phóng xạ và nội nhiệt Trái Đất .....	107
2.3	PHÓNG XẠ DO TIA VŨ TRỤ .....	109
2.3.1	Tia vũ trụ sơ cấp và thứ cấp .....	109
2.3.2	Các nhân phóng xạ môi trường do tia vũ trụ sinh ra .....	110
2.3.3	Berilium-7 .....	110
2.3.4	Tritium ( $^3\text{H}$ ) .....	112
2.3.5	Carbon-14 .....	114
2.4	PHƠI NHIỄM DO PHÓNG XẠ TỰ NHIÊN .....	117
2.4.1	Phơi nhiễm do chiếu ngoài từ phóng xạ tự nhiên trong đất đá ..	117
2.4.2	Phơi nhiễm do chiếu ngoài từ tia vũ trụ .....	119
2.4.3	Phơi nhiễm do chiếu trong từ các nguồn phóng xạ tự nhiên ....	119
2.5	PHƠI NHIỄM PHÓNG XẠ VÀ TÁC HẠI ĐẾN SỨC KHỎE .....	120
2.5.1	Định nghĩa về liều phơi nhiễm và các đơn vị đo .....	120
2.5.2	Mối quan hệ giữa liều phơi nhiễm với hiệu ứng sinh học .....	121
2.5.3	Liều tập thể .....	123
2.6	THỰC THI BẢO VỆ BỨC XẠ THEO BA KHUYẾN CÁO CỦA ICRP ..	125
	TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	127

### **Chương 3. THỬ VŨ KHÍ HẠT NHÂN TRONG KHÍ QUYỂN**

3.1	CHẠY ĐUA VŨ TRANG HẠT NHÂN SAU THẢM HỌA HIROSHIMA VÀ NAGASAKI .....	130
3.1.1	Bom A và bom H .....	130
3.1.2	Thử vũ khí hạt nhân trong khí quyển của năm cường quốc..	131
3.1.3	Các địa điểm thử vũ khí hạt nhân trong khí quyển .....	135
3.1.4	Thử vũ khí hạt nhân dưới lòng đất .....	137
3.2	PHÁT TÁN PHÓNG XẠ TRÊN TOÀN CẦU TỪ THỬ VŨ KHÍ HẠT NHÂN TRONG KHÍ QUYỂN .....	138
3.2.1	Đặc trưng nguồn phát tán .....	138
3.2.2	Kiểm kê phát thải toàn cầu cho từng nuclit .....	138
3.2.3	Quá trình lan truyền phóng xạ trên toàn cầu từ thử vũ khí hạt nhân .....	140

3.3. QUAN TRẮC HOẠT ĐỘ PHÓNG XẠ TRONG KHÔNG KHÍ VÀ MẬT ĐỘ RƠI LẮNG CÁC NUCLIT PHÓNG XẠ .....	143
3.3.1 Kỹ thuật quan trắc .....	143
3.3.2 Hoạt độ phóng xạ trong không khí .....	144
3.3.3 Mật độ rơi lắng và rơi lắng tích lũy của $\text{Sr}^{90}$ .....	144
3.3.4 Mật độ rơi lắng và rơi lắng tích lũy của $\text{Cs}^{137}$ .....	149
3.3.5 Mật độ rơi lắng các nuclit khác .....	152
3.3.6 Đánh giá liều hiệu dụng lên dân chúng .....	152
3.4 LƯỢNG NUCLIT PHÓNG XẠ DO THỬ VŨ KHÍ HẠT NHÂN RƠI LẮNG TRÊN ĐẤT LIỀN VIỆT NAM .....	154
3.4.1 Phục hồi mật độ rơi lắng tích lũy $\text{Cs}^{137}$ do thử vũ khí hạt nhân trên đất liền Việt Nam .....	154
3.4.2 So sánh kết quả phục hồi mật độ rơi lắng tích lũy trên đất liền Việt Nam với công bố UNSCEAR (2000) .....	159
3.4.3 Đánh giá tổng lượng $\text{Cs}^{137}$ rơi xuống đất liền Việt Nam do thử vũ khí hạt nhân .....	161
3.4.4 Lượng $\text{Pu}^{239+240}$ và $\text{Sr}^{90}$ do thử vũ khí hạt nhân rơi lắng trên đất liền Việt Nam .....	162
3.5 HIỆN TRẠNG NỀN PHÒNG PHÓNG XẠ NHÂN TẠO TRONG MÔI TRƯỜNG VIỆT NAM .....	164
3.5.1 Phóng xạ nhân tạo trong không khí và rơi lắng .....	165
3.5.2 $\text{Cs}^{137}$ trong đất bề mặt nguyên sơ .....	165
3.5.3 $\text{Cs}^{137}$ trong đất canh tác .....	170
3.5.4 $\text{Cs}^{137}$ trong trầm tích hồ chứa .....	171
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	171

## Chương 4. NHÀ MÁY ĐIỆN HẠT NHÂN

4.1 LÒ PHẢN ỨNG HẠT NHÂN VÀ MỘT SỐ ĐẶC ĐIỂM ĐỘNG HỌC..	175
4.1.1 Hệ số nhân neutron và công thức bốn thừa số .....	175
4.1.2 Độ phản ứng .....	178
4.1.3 Vòng đời trung bình của neutron và động học lò phản ứng ..	178
4.1.4 Vai trò của neutron trễ .....	179

4.2 CƠ CHẾ PHẢN HỒI TRONG Lò PHẢN ỨNG .....	182
4.2.1 Độ phản ứng thay đổi theo nhiệt độ .....	182
4.2.2 Hệ số rỗng của độ phản ứng .....	186
4.3 ĐỘC TÓ TRONG Lò PHẢN ỨNG .....	186
4.3.1 Vật liệu hấp thụ mạnh neutron dùng trong điều khiển lò .....	186
4.3.2 Độc tố cháy được .....	187
4.3.3 Nhiễm độc xenon .....	187
4.4 TẢI NHIỆT Ở NHÀ MÁY ĐIỆN HẠT NHÂN .....	190
4.4.1 Chính sách phát triển các loại lò phản ứng năng lượng.....	190
4.4.2 Tải nhiệt ở lò nước nén khi lò hoạt động bình thường .....	192
4.4.3 Tải nhiệt dư ở lò nước nén .....	199
4.4.4 Tải nhiệt trong trường hợp khẩn cấp ở lò nước nén .....	199
4.4.5 Hệ thống cấp, điều chỉnh và xử lý nước tải nhiệt sơ cấp ở lò nước nén .....	202
4.4.6 Tải nhiệt ở lò nước sôi .....	203
4.5 GIAM GIỮ CHẤT PHÓNG XẠ KHÔNG CHO THOÁT RA MÔI TRƯỜNG .....	206
4.6 PHÁT THẢI VÀ CHIẾU XẠ LÊN NHÂN VIÊN Ở NHÀ MÁY ĐIỆN HẠT NHÂN .....	210
4.6.1 Chiếu xạ lên nhân viên vận hành khi lò hoạt động bình thường .....	210
4.6.2 Phát thải phóng xạ khi lò phản ứng hoạt động bình thường .	212
4.6.3 Chất thải phóng xạ rắn từ nhà máy điện hạt nhân .....	217
4.7 TAI NẠN Lò PHẢN ỨNG Ở NHÀ MÁY ĐIỆN HẠT NHÂN .....	219
4.7.1 Tai nạn do độ phản ứng làm tăng vọt công suất .....	219
4.7.2 Tai nạn mất nước tải nhiệt LOCA .....	222
4.7.3 Tai nạn nghiêm trọng .....	223
4.8 SÁCH LƯỢC PHÒNG VỆ CHIỀU SÂU Ở CÁC Lò PHẢN ỨNG ....	226
4.9 THANG SỰ KIỆN HẠT NHÂN QUỐC TẾ .....	229
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	232



## **Chương 5. PHÁT THẢI PHÓNG XẠ TRONG NHỮNG TAI NẠN ĐIỆN HẠT NHÂN**

5.1 SỐ HẠNG NGUỒN TRONG TAI NẠN ĐIỆN HẠT NHÂN .....	234
5.1.1 Kiểm kê tồn trữ phóng xạ trong vùng hoạt .....	235
5.1.2 Số hạng nguồn .....	237
5.2 PHÁT TÁN NUCLIT PHÓNG XẠ RA KHÍ QUYỀN BÊN NGOÀI NHÀ MÁY THEO MÔ HÌNH GAUSS .....	239
5.2.1 Mô hình phân bố Gauss .....	239
5.2.2 Đánh giá liều phơi nhiễm bên ngoài nhà máy .....	246
5.3 PHÁT TÁN NUCLIT PHÓNG XẠ RA XA KHU VỰC NHÀ MÁY .....	247
5.3.1 Quỹ đạo lan truyền nuclit phóng xạ trong khí quyển theo mô hình HYSPLIT-4 .....	247
5.3.2 Minh họa .....	252
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	254

## **Chương 6. PHÂN TÍCH AN TOÀN NHÀ MÁY ĐIỆN HẠT NHÂN**

6.1 HAI CÁCH TIẾP CẬN TRONG PHÂN TÍCH AN TOÀN NHÀ MÁY ĐIỆN HẠT NHÂN .....	258
6.1.1 Nhiệm vụ và mục tiêu .....	258
6.1.2 Các trạng thái hoạt động của nhà máy điện hạt nhân .....	263
6.2 PHÂN TÍCH AN TOÀN ĐIỆN HẠT NHÂN THEO PHƯƠNG PHÁP TẮT ĐỊNH .....	264
6.3 PHÂN TÍCH AN TOÀN ĐIỆN HẠT NHÂN THEO PHƯƠNG PHÁP XÁC SUẤT .....	266
6.3.1 Định nghĩa rủi ro .....	266
6.3.2 Cây sự kiện .....	268
6.3.3 Cây lỗi .....	270
6.3.4 Phân cấp các chuỗi sự kiện dẫn đến tai nạn phát thải do LOCA .....	272
6.3.5 Hậu quả gây tử vong trong tai nạn điện hạt nhân .....	277
6.4 NUREG-1150 – BƯỚC PHÁT TRIỂN HOÀN THIỆN PRA .....	280
6.5 ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP XÁC SUẤT TRONG PHÂN TÍCH AN TOÀN CÁC NHÀ MÁY ĐIỆN HẠT NHÂN .....	286
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	289

## Chương 7. THREE MILE ISLAND

7.1 LÒ PHẢN ỨNG NƯỚC NÉN Ở NHÀ MÁY THREE MILE ISLAND .	294
7.1.1 Hệ tải nhiệt sơ cấp và thứ cấp .....	294
7.1.2 Tải nhiệt dư .....	298
7.1.3 Hệ thống tải nhiệt vùng hoạt khẩn cấp .....	298
7.2 TAI NẠN TMI-2 .....	299
7.2.1 Chuỗi sự kiện .....	300
7.2.2 Hư hại và phát thải phóng xạ ra môi trường .....	302
7.2.3 Hệ quả .....	303
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	305

## Chương 8. CHERNOBYL

8.1 LÒ PHẢN ỨNG VÀ SỰ CỐ .....	309
8.1.1 Lò phản ứng RBMK-1000 .....	310
8.1.2 Hệ số độ phản ứng .....	312
8.1.3 Sự cố .....	313
8.1.4 Bài học phòng vệ theo chiều sâu và văn hoá an toàn .....	316
8.1.5 Số hạng nguồn – Diễn biến và thành phần phát thải .....	317
8.2 VẬN CHUYỂN CHẤT PHÓNG XẠ TRONG KHÍ QUYỀN .....	323
8.2.1 Các luồng khí phóng xạ .....	323
8.2.2 Hàm lượng phóng xạ trong không khí .....	325
8.2.3 Thành phần nuclit phóng xạ trong các mẫu quan trắc .....	325
8.2.4 Hàm lượng phóng xạ tích phân trong không khí .....	326
8.3 NHIỄM XẠ .....	327
8.3.1 Rơi lắng $I^{131}$ và nhiễm xạ trong sữa và rau .....	327
8.3.2 Rơi lắng và tồn lưu phóng xạ trong đất bề mặt .....	328
8.3.3 Phân bố mật độ rơi lắng $Cs^{137}$ theo khoảng cách .....	331
8.3.4 Vận chuyển nuclit phóng xạ sau khi rơi xuống đất .....	333
8.3.5 Vận chuyển nuclit phóng xạ từ đất lên cây trồng .....	335
8.3.6 Vận chuyển nuclit phóng xạ vào động vật .....	337
8.4 NGHIÊN CỨU PHÓNG XẠ LAN TRUYỀN TỪ CHERNOBYL ĐẾN VIỆT NAM .....	338
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	343