

Giáo trình Xử lý bức xạ và cơ sở của công nghệ bức xạ



GS. TS. Trần Đại Nghiệp

NXB Đại học quốc gia Hà Nội 2006, 97 Tr.

Từ khoá: Bức xạ, đặc điểm của bức xạ, nguồn bức xạ, bức xạ gamma, bức xạ electron, máy gia tốc electron, bức xạ ion, đo bức xạ, liều lượng kế, đo liều lượng cao trong xử lý bức xạ, truyền năng lượng, lý thuyết vết, lý thuyết của công nghệ bức xạ, tương tác của bức xạ, bức xạ nhiều pha, khuyết tật, lỗ trống, kim loại, hợp kim.

Tài liệu trong Thư viện điện tử ĐH Khoa học Tự nhiên có thể được sử dụng cho mục đích học tập và nghiên cứu cá nhân. Nghiêm cấm mọi hình thức sao chép, in ấn phục vụ các mục đích khác nếu không được sự chấp thuận của nhà xuất bản và tác giả.

Mục lục

Chương 1 Các đặc trưng của bức xạ và nguồn bức xạ	9
1.1 Các đặc trưng của bức xạ	9
1.1.1 Tính chất sóng và hạt của bức xạ	9
1.1.2 Phân loại bức xạ theo năng lượng và bước sóng.....	9
1.1.3 Tính phóng xạ và tốc độ truyền năng lượng của bức xạ	10
1.2 Các đặc trưng tương tác của bức xạ với vật chất	12
1.2.1 Đặc điểm tương tác của bức xạ với vật chất	12
1.2.2 Tương tác của hạt nặng mang điện với vật chất.....	12
1.2.3 Tương tác của bức xạ beta với vật chất.....	13
Chương 2 Các nguồn bức xạ sử dụng trong công nghệ bức xạ	25
2.1 Nguồn bức xạ gamma	25
2.1.1 Các đặc trưng vật lý	25
2.1.2 Các đặc trưng kinh tế và kỹ thuật.....	25
2.1.3 Ưu điểm và nhược điểm của nguồn gamma.....	26
2.2 Máy gia tốc electron.....	26
2.2.1 Các đặc trưng kinh tế kỹ thuật	26

2.2.2	Ưu điểm và nhược điểm của máy gia tốc electron.....	28
2.3	Các nguồn bức xạ ion khác	30
2.3.1	Máy gia tốc electron - nguồn bức xạ hãm.....	30
2.3.2	Mạch bức xạ	31
2.3.3	Bức xạ tử ngoại	32
2.4	Cấu trúc của hệ thiết bị chiếu xạ và đặc điểm của công nghệ bức xạ	32
2.4.1	Đặc điểm của công nghệ bức xạ.....	32
2.4.2	Cấu trúc của thiết bị chiếu xạ	32
2.4.3	Năng lượng bức xạ, độ phóng xạ cảm ứng và độ an toàn sản phẩm.....	33
2.4.4	Hiệu suất sử dụng năng lượng và giá thành sản phẩm.....	34
2.4.5	Đặc điểm của các quy trình công nghệ bức xạ.....	35
Chương 3 Các phương pháp đo liều cao trong xử lý bức xạ.....		36
3.1	Phân loại liều lượng kế.....	36
3.1.1	Liều lượng kế sơ cấp và thứ cấp.....	36
3.1.2	Hệ thống theo dõi liều lượng kế và mục đích sử dụng.....	36
3.2	Các tiêu chí lựa chọn liều lượng kế và dải liều sử dụng	37
3.2.1	Các tiêu chí lựa chọn.....	37
3.2.2	Dải liều sử dụng đối với các liều lượng kế.....	37
3.3	Các loại liều lượng kế đo liều cao	38
3.3.1	Nhiệt lượng kế.....	38
3.3.2	Buồng ion hoá	38
3.3.3	Các loại liều lượng kế hoá học	39
Chương 4 Quá trình truyền năng lượng và cơ sở lý thuyết của công nghệ bức xạ....		43
4.1.	Đối tượng nghiên cứu của bộ môn công nghệ bức xạ.....	43
4.2.	Lý thuyết cấu trúc vết.....	43
4.3.	Mô hình truyền năng lượng.....	44
4.4.	Các dẫn xuất của mô hình truyền năng lượng.....	45
Chương 5 Tương tác của bức xạ với chất rắn, chất lỏng và các quá trình bức xạ nhiều pha.....		49
5.1	Sự phân tích bức xạ của vật rắn	49
5.1.1	Các quá trình hoá lý	49
5.1.2	Kim loại và hợp kim.....	53
5.1.3	Chất bán dẫn.....	54
5.1.4	Tinh thể kiềm	55
5.1.5	Oxit.....	56
5.1.6	Thủy tinh	56
5.1.7	Các hợp chất vô cơ khác	58
5.1.8	Các chất hữu cơ rắn.....	58
5.2	Quá trình bức xạ nhiều pha	59
5.2.1	Quá trình hấp phụ kích thích bằng bức xạ	59
5.2.2	Phân tích bức xạ của các chất bị hấp phụ.....	60
5.2.3	Xúc tác nhiều pha do bức xạ	60
5.2.4	Các quá trình điện hoá và ăn mòn bức xạ	61
5.2.5	Ảnh hưởng của bức xạ tới tốc độ hoà tan của vật rắn.....	62
Chương 6 Tương tác của bức xạ với vật liệu polyme.....		63
6.1.	Những biến đổi hoá và hoá - lý của polyme dưới tác dụng của bức xạ	63
6.1.1	Hiệu ứng khâu mạch (cross-linking) và ngắt mạch (degradation) của polyme.....	63
6.1.2	Hiệu ứng tách khí	65

6.1.3	Oxy hoá bức xạ và sau bức xạ của polyme	66
6.2.	Sự thay đổi tính chất vật lý của polyme do chiếu xạ.....	67
6.2.1	Biến đổi điện tính	67
6.2.2	Biến đổi tính chất cơ học.....	69
6.2.3	Biến đổi các tính chất vật lý khác	69
6.3.	Độ bền bức xạ của polyme	70
6.4.	Sự bảo vệ bức xạ và sự tăng nhạy bức xạ	70
6.4.1	Sự bảo vệ bức xạ đối với polyme	71
6.4.2	Sự tăng nhạy đối với các quá trình hoá bức xạ trong polyme.....	71
6.5.	Đặc điểm của quá trình phân tích bức xạ các dung dịch polyme.....	72
Chương 7 Một số quy trình và sản phẩm của công nghệ bức xạ		73
7.1	Chế tạo kính tấm nhạy bức xạ.....	73
7.1.1	Sự hình thành và phá huỷ các tâm màu trong thủy tinh do bức xạ	73
7.1.2	Phối trộn các thành phần nhạy bức xạ.....	73
7.1.3	Tạo thành phẩm và kiểm tra chất lượng sản phẩm.....	75
7.1.4	Tạo hình bức xạ.....	76
7.1.5	Chế tạo liệu kế thủy tinh	78
7.2	Xử lý bề mặt kim loại bằng phương pháp cấy ion	78
7.2.1	Các quá trình vật lý cơ bản.....	79
7.2.2	Biến tính bề mặt kim loại	80
7.3	Chế tạo màng lọc bằng kỹ thuật chiếu chùm ion gia tốc.....	81
7.3.1	Màng lọc có tính năng đóng - mở	81
7.3.2	Màng lọc nano có tính năng chọn lọc	82
7.4	Chế tạo băng vết thương dưới dạng gel nước	82
7.5	Công nghệ lưu hoá các chất đàn hồi	83
7.5.1	Sản xuất các vật liệu cách nhiệt bền nhiệt tự dính	83
7.5.2	Quá trình lưu hoá bức xạ các chất đàn hồi khác	84
7.6	Các quy trình biến tính vật liệu polyme bằng bức xạ.....	85
7.6.1	Chế tạo vỏ cáp và dây điện bằng khâu mạch bức xạ.....	85
7.6.2	Chế tạo ống và màng co nhiệt.....	86
7.6.3	Chế tạo polyetylen xốp bằng bức xạ	86
7.6.4	Công nghệ làm đông cứng chất phủ polyme.....	87
7.7	Sản xuất vật liệu gỗ – chất dẻo và vật liệu bê tông – polyme bằng công nghệ bức xạ	87
7.7.1	Vật liệu gỗ - chất dẻo	87
7.7.2	Xử lý vật liệu bê tông - polyme.....	88
7.8	Gắn bức xạ các chất đồng trùng hợp	89
7.8.1	Xử lý vật liệu dệt.....	89
7.8.2	Tổng hợp các màng trao đổi ion.....	89
7.9	Tổng hợp hoá bức xạ.....	89
7.9.1	Tổng hợp sulfochlorit.....	89
7.9.2	Tổng hợp chất thiếc – hữu cơ.....	90
7.10	Các quy trình xử lý vật liệu dùng cho công nghệ cao	90
7.10.1	Sợi carbit silicon chịu nhiệt độ siêu cao.....	90
7.10.2	Sợi hấp thụ urani	91
7.11	Xử lý bức xạ nguồn nước thải.....	91
7.11.1	Xử lý nước tự nhiên	91
7.11.2	Xử lý nước thải công nghiệp.....	92

7.11.3	Xử lý các chất lắng đọng từ nước thải và bùn hoạt tính.....	92
7.12	Khử trùng dụng cụ y tế.....	92
7.13	Làm sạch khói nhà máy bằng công nghệ bức xạ.....	93
7.14	Xử lý chất thải xenlulô làm thức ăn gia súc.....	95
7.15	Xử lý bức xạ thực phẩm.....	95

Lời nói đầu

Ngay từ khi phát hiện ra tia X vào năm 1895 và hiện tượng phóng xạ vào năm 1896, con người đã hiểu ra rằng nguồn năng lượng mà các loại bức xạ này mang theo là vô cùng to lớn. Nếu như ngành năng lượng hạt nhân chuyên khai thác nguồn năng lượng khổng lồ của phản ứng phân hạch trong các nhà máy điện hạt nhân, thì công nghệ bức xạ sử dụng nguồn năng lượng nhỏ hơn của chùm bức xạ phát ra từ các nguồn đồng vị phóng xạ và các máy gia tốc để xử lý và biến tính vật liệu, sản xuất ra hàng hoá phục vụ nhu cầu đa dạng của con người.

Công nghệ bức xạ là một lĩnh vực khoa học công nghệ ra đời trên nền tảng của sự kết hợp chủ yếu giữa các ngành vật lý hạt nhân, khoa học vật liệu, hoá học và sinh học.

Ngày nay ứng dụng kỹ thuật hạt nhân, trong đó có công nghệ bức xạ ở một số nước đã trở thành một ngành kinh tế kỹ thuật thực sự, với lợi nhuận hàng năm lên tới hàng trăm tỷ đô la, mang lại hàng triệu công ăn việc làm, có thể sánh ngang với ngành năng lượng hạt nhân và nhiều ngành kinh tế quan trọng khác.

Tuy chiếm một tỷ phần khiêm tốn trong công nghiệp nhưng công nghệ bức xạ đang phát triển rất mạnh mẽ với tốc độ tăng trưởng hàng năm lên tới 20÷25%.

Ở nước ta công nghệ bức xạ đã bắt đầu phát triển từ đầu những năm 90 của thế kỷ trước và hiện nay đã có một số nhà máy xử lý bức xạ hoạt động ở Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh.

Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ bức xạ, việc đưa lĩnh vực khoa học công nghệ này vào chương trình đào tạo đại học và sau đại học là một nhu cầu cần thiết.

Công nghệ bức xạ là một trong những môn học bắt buộc của chương trình đào tạo Cử nhân Công nghệ hạt nhân của Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.

Giáo trình Xử lý bức xạ và cơ sở của công nghệ bức xạ là tài liệu được biên soạn để phục vụ cho môn học này. Nó được phát triển từ các bài giảng của tác giả cho sinh viên Đại học Quốc gia Hà Nội về công nghệ bức xạ trong những năm vừa qua và từ cuốn Công nghệ bức xạ do tác giả viết, được Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật ấn hành năm 2002 dành cho mục đích đào tạo đại học và sau đại học. Với việc kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm, việc cập nhật các thành tựu mới nhất trong lĩnh vực xử lý bức xạ và công nghệ bức xạ, tác giả hy vọng giáo trình sẽ trang bị cho sinh viên ngành công nghệ những kiến thức cần thiết và hiện đại thuộc lĩnh vực xử lý bức xạ và công nghệ bức xạ.

Tác giả mong muốn nhận được những ý kiến đóng góp quý báu của các đồng nghiệp và sinh viên đối với giáo trình để hoàn thiện nó trong những lần tái bản về sau.

Hà Nội, tháng 11 năm 2004

TÁC GIẢ

Mở đầu

1 Xử lý bức xạ và sự ra đời của công nghệ bức xạ

Phát minh ra tia X của Wilhelm C. Roentgen năm 1895 [1] và hiện tượng phóng xạ của Antoine Henri Becquerel năm 1896 [2] đã mở ra những hướng nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi đối với quá trình tương tác của bức xạ với vật chất.

Hiện tượng ion hoá của tia X và tia gamma thực sự trở thành cơ sở quan trọng đối với cơ chế của các quá trình hoá-lý hay thường gọi là hoá bức xạ.

Đối với năng lượng lớn hơn năng lượng ion hoá của các phân tử ($3 \div 4,5$ eV), các tia bức xạ năng lượng cao có thể tạo ra các biến đổi hoá lý làm thay đổi tính chất của vật liệu.

Các thí nghiệm của Curie và Debiern cho thấy muối radihydrat giải phóng liên tục các khí khi bị chiếu xạ [3].

Thí nghiệm tương tự của Giesel với dung dịch nước của radi bromit cho thấy chất khí được giải phóng là hỗn hợp của oxi và hydro tạo ra do sự phá hủy mỗi liên kết phân tử của nước dưới tác dụng của bức xạ [4].

Các chất khí có mỗi liên kết hoá học tương đối yếu có thể sử dụng các nguồn bức xạ hoạt độ nhỏ để xử lý, tuy nhiên đối với chất lỏng và chất rắn, các mỗi liên kết giữa phân tử và nguyên tử bền chặt hơn, đòi hỏi phải có các nguồn bức xạ mạnh mới có thể tạo ra các hiệu ứng mong muốn.

Sau này người ta thấy rằng, bức xạ với năng lượng trong dải kiloelectronvolt (keV) và megaelectronvolt (MeV) mới thực sự có hiệu quả đối với quá trình xử lý bức xạ.

Sự phát triển của các máy tia X công suất lớn dùng trong công nghiệp đã cung cấp những nguồn bức xạ mạnh để xử lý bức xạ. Những thiết bị này không chỉ tạo ra cường độ bức xạ mạnh hơn, chiếu được những mẫu có bề dày lớn hơn mà còn tạo ra trường bức xạ đồng đều, hơn hẳn các nguồn radi trước đó.

Cùng với sự ra đời của các chương trình năng lượng hạt nhân quy mô lớn từ những năm 1940, các nguồn gamma đồng vị được chế tạo từ các chất phóng xạ tích lũy trong lò phản ứng như ^{137}Cs , ^{60}Co , càng thúc đẩy lĩnh vực xử lý bức xạ phát triển mạnh mẽ.

Những năm 60, 70 của thế kỷ trước được coi là thời kỳ của các nghiên cứu sâu rộng đối với các quá trình vật lý liên quan đến sự hấp thụ năng lượng của bức xạ. Các biến đổi hoá lý do bức xạ ion hoá năng lượng cao là tiền đề cho sự phát triển của các lĩnh vực khoa học và công nghệ mới - lĩnh vực hoá bức xạ và công nghệ bức xạ.

Trong các hệ hữu cơ và sinh học, các phân tử bị ion hoá hoặc bị kích thích thường tạo ra các gốc tự do, một trạng thái phân tử vốn có mỗi liên kết đồng hoá trị với một electron đồng hành bị mất đi trong quá trình chiếu xạ. Ở giai đoạn đầu, các gốc tự do tập trung xung quanh đường đi của các vết do hạt ion hoá gây ra. Dần dần, (trong khoảng thời gian từ 10^{-12} đến 10^{-10} s kể từ sự kiện bắn phá của bức xạ) các gốc tự do này khuếch tán và phân bố đều trong môi trường bị chiếu xạ.

Gốc tự do là những phần tử có hoạt tính rất mạnh. Các phản ứng hoá học do chúng gây ra trong các hệ khí và lỏng thường chỉ kéo dài vài phút, song đối với đa số các chất rắn do độ linh động bị giới hạn, chúng có thể được ghi nhận hàng tuần thậm chí hàng tháng sau khi chiếu xạ.

Các hiệu ứng bức xạ trong thực vật và động vật có thể kéo dài trong nhiều năm đặc biệt là ở những liều chiếu thấp.

Sự tương tác giữa các photon và hạt mang điện năng lượng cao làm gia tăng số lượng các cặp ion (ion dương và điện tử) cũng như các phân tử ở trạng thái kích thích tập trung dọc theo đường đi của bức xạ, tạo ra các hiện tượng ion hoá thứ cấp; những biến đổi thứ cấp này cũng làm thay đổi tính chất của vật liệu. Những biến đổi như vậy được xác định bởi loại bức xạ, năng lượng bức xạ cũng như tốc độ truyền năng lượng của bức xạ cho vật chất.

Tốc độ mất mát năng lượng của bức xạ thường gắn liền với quá trình truyền năng lượng tuyến tính (Linear Energy Transfer - LET) của bức xạ. Trên cơ sở đó người ta phải phân biệt các loại bức xạ truyền năng lượng tuyến tính thấp (Low LET) và bức xạ truyền năng lượng tuyến tính cao (High LET). Đại diện của bức xạ Low LET là electron nhanh và bức xạ điện từ (tia gamma và tia X). Các loại bức xạ này có năng lượng nằm trong dải keV và MeV. Năng lượng của các loại bức xạ Low LET thường được tích lũy chủ yếu trong các quần thể ion hoặc các phân tử kích thích biệt lập và hàm đặc trưng được mô tả bằng mô hình truyền năng lượng [8]. Các hạt electron di chuyển chậm, các hạt alpha, ion heli và các hạt nặng mang điện khác được xếp vào loại bức xạ High LET. Phần lớn năng lượng của loại bức xạ này bị mất mát và hấp thụ dọc theo vệt đường đi trong vật chất, có thể được mô tả cả bằng lý thuyết cấu trúc vết lẫn mô hình truyền năng lượng [7, 8]. Các nguồn tạo ra bức xạ Low và High - LET có thể là các chất đồng vị phóng xạ, máy gia tốc hoặc thiết bị phát chùm tia. Các hiệu ứng hoá - lý, lý - sinh có thể được định lượng thông qua năng lượng bức xạ truyền cho môi trường hấp thụ và được xác định bằng liều lượng hấp thụ. Chất lượng của các quá trình xử lý bức xạ và công nghệ bức xạ phụ thuộc vào độ chính xác của phép đo liều lượng.

Công nghệ bức xạ là một bộ môn khoa học mới, nghiên cứu ứng dụng các hiệu ứng vật lý, hoá học, sinh học và một số hiệu ứng khác xuất hiện khi bức xạ truyền năng lượng cho vật chất nhằm biến các hiệu ứng này thông qua các quy trình công nghệ để tạo ra các sản phẩm với những phẩm chất, tính năng và công dụng mới phục vụ con người. Sự ra đời của bộ môn công nghệ bức xạ là kết quả của sự giao nhau và kết hợp chủ yếu giữa các ngành vật lý hạt nhân, khoa học vật liệu, hoá học và sinh học.

2 Đối tượng của các quá trình xử lý bức xạ

Quá trình xử lý bức xạ liên quan tới các biến đổi hoá - lý, lý - sinh khi vật chất hấp thụ bức xạ năng lượng cao. Sự kiện xảy ra từ thời điểm khoảng 10-15s sau khi các hạt bức xạ đi qua vật chất, tạo ra các ion và các hạt ở trạng thái kích thích tới thời điểm các phản ứng hoá học đã hoàn thành. Nói chung các biến đổi hoá học kết thúc trong vòng vài mili giây hoặc vài phút. Những quá trình diễn ra trước và sau thời điểm 10-15s thường là đối tượng nghiên cứu

của bộ môn hoá bức xạ. Những biến đổi sinh hoá và sinh học xảy ra chậm hơn là cơ sở của một bộ môn khoa học mới khác đó là sinh học bức xạ.

3 Xử lý bức xạ - công cụ đổi mới trong công nghiệp

Từ nhiều năm nay, công nghệ bức xạ trở thành công cụ đổi mới trong công nghiệp, làm tăng hiệu quả công nghiệp, tăng năng suất lao động, tiết kiệm năng lượng và bảo vệ môi trường sinh thái.

Có thể nêu ra một số thành tựu điển hình của công nghệ bức xạ trong thời gian gần đây:

- Các máy gia tốc ion nặng (máy cấy ion) có thể tạo ra vi mạch với kích thước dưới $0,1\mu\text{m}$. Ở Nhật Bản hiện có tới 400 máy cấy ion làm việc trong lĩnh vực bán dẫn và vi điện tử.
- 100% vật liệu vách ngăn trong các loại pin siêu nhỏ là vật liệu polyme xử lý bằng bức xạ.
- Vật liệu sợi composit SiC là loại vật liệu sử dụng trong kỹ thuật hàng không và vũ trụ được xử lý bằng bức xạ, có thể chịu tới nhiệt độ 1800°C , trong khi xử lý bằng nhiệt chỉ chịu được nhiệt độ 1200°C .
- Hàng năm kỹ thuật xử lý bề mặt trên toàn thế giới sử dụng 20 triệu tấn hóa chất, trong đó 40% lượng hoá chất này bay vào khí quyển gây ô nhiễm môi trường và tạo ra hiệu ứng nhà kính. Kỹ thuật xử lý bức xạ chỉ cho 1% lượng hóa chất bay vào môi trường.
- 80% bao bì thực phẩm ở Châu Âu và Bắc Mỹ được xử lý bề mặt bằng bức xạ.
- 90% lượng SO_2 và 85% lượng NO_x là những chất độc từ khói công nghiệp có thể biến thành phân bón dùng trong nông nghiệp nếu xử lý bức xạ electron. Quá trình này cho phép giảm đáng kể hiệu ứng nhà kính của Trái đất và các trận mưa axit.
- Trong công nghiệp sản xuất dụng cụ y tế, 40% đến 50% sản phẩm được khử trùng bằng công nghệ bức xạ. Dự báo trong những năm tới tỷ lệ này có thể đạt tới 80%.
- Có trên 40 nước với 120 chủng loại thực phẩm đã thương mại hoá thực phẩm chiếu xạ. Xử lý bức xạ từ nhiều năm nay trở thành một trong những lĩnh vực nghiên cứu phát triển quan trọng được cơ quan Năng lượng Nguyên tử Quốc tế (IAEA) khuyến cáo và tài trợ.

Chương 1

Các đặc trưng của bức xạ và nguồn bức xạ

1.1 Các đặc trưng của bức xạ

Bức xạ ion hoá năng lượng cao được sử dụng để tạo ra các biến đổi ở mức nguyên tử và phân tử là các loại bức xạ alpha, beta, gamma, tia X, neutron, electron và ion. Trong số này bức xạ gamma và electron thường được sử dụng nhiều hơn cả so với các loại bức xạ khác.

Tuy không được xếp vào loại bức xạ ion hoá năng lượng cao, song gần đây các tia cực tím (UV) cũng được sử dụng trong các quy trình xử lý màng mỏng và xử lý bề mặt vật liệu.

1.1.1 Tính chất sóng và hạt của bức xạ

Bức xạ là những dạng năng lượng phát ra trong quá trình vận động và biến đổi của vật chất. Về mặt vật lý nó được thể hiện dưới dạng sóng, hạt, hoặc sóng hạt. Mỗi dạng bức xạ được đặc trưng bằng một dải năng lượng hay tương ứng với nó, một dải bước sóng xác định. Mỗi tương quan giữa năng lượng E và bước sóng λ của bức xạ được mô tả bằng biểu thức (1.1)

$$E = h\nu = \frac{hc}{2\pi\lambda}, \quad (1.1)$$

trong đó, $h = 6.626075(40) \times 10^{-34} \text{Js}$ là hằng số Planck; $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1}$ là vận tốc ánh sáng trong chân không.

Bảng 1.2. Phân loại bức xạ theo năng lượng và bước sóng

Dạng bức xạ	Năng lượng điển hình	Bước sóng điển hình, m
Sóng radio	-	$10^2 - 10^4$
Bức xạ nhiệt	-	10^{-5}
Tia hồng ngoại	-	10^{-6}
Ánh sáng, tia tử ngoại	-	10^{-7}
Tia X:	100eV	10^{-8}
	1keV	10^{-9}
	10keV	10^{-10}
Tia γ :	100keV	10^{-11}
	1MeV	10^{-12}
	10MeV	10^{-13}
	100MeV	10^{-14}

1.1.2 Phân loại bức xạ theo năng lượng và bước sóng

Tất cả các dạng bức xạ có thể phân loại theo năng lượng và bước sóng (Bảng 1.1).

1.1.3 Tính phóng xạ và tốc độ truyền năng lượng của bức xạ

1.1.3.1 Tính phóng xạ

- *Hằng số phân rã, chu kỳ bán rã và thời gian sống của đồng vị phóng xạ*

Bức xạ có thể do một chất phóng xạ phát ra. Khi xem xét một chất phóng xạ ta thấy không phải tất cả các hạt nhân của chúng phân rã cùng lúc. Tại thời điểm t số hạt nhân phân rã là $N(t)$, trong suốt khoảng thời gian dt chỉ có $dN(t)$ hạt bị phân rã. Xác suất phân rã λ trong một đơn vị thời gian được xác định bằng biểu thức:

$$\lambda = -\frac{dN(t)}{N(t)} \quad (1.2)$$

Đối với mỗi chất phóng xạ, λ là một đại lượng không đổi, đặc trưng cho chất phóng xạ đó và còn được gọi là hằng số phân rã. Lấy tích phân của phương trình (1.2) với điều kiện $N(t=0) = N_0$ ta có:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.3)$$

Đây là định luật phân rã phóng xạ. Theo định luật này, xác suất hạt nhân không phân rã phóng xạ ở thời điểm t sẽ là:

$$\frac{N(t)}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

Nếu coi $T^{1/2}$ là khoảng thời gian số lượng hạt nhân phóng xạ giảm đi một nửa, ta có:

$$\frac{N(T_{1/2})}{N_0} = \frac{1}{2},$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda T_{1/2}} = \frac{1}{2}$$

hay $\ln 2 = \lambda T^{1/2}$ hoặc $T^{1/2} = 0,693/\lambda$. $T^{1/2}$ gọi là chu kỳ bán rã. Nếu xác suất phân rã trong một đơn vị thời gian là λ thì tổng xác suất phân rã của hạt nhân trong suốt thời gian sống τ của nó sẽ bằng 1:

$$\int_0^{\tau} \lambda dt = 1$$

$$\lambda \tau = 1$$

Như vậy, thời gian sống của một chất phóng xạ τ được xác định bằng công thức:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (1.4)$$

- *Hoạt độ phóng xạ*

Hoạt độ hay độ phóng xạ A của một chất phóng xạ được xác định bằng số hạt nhân phân rã trong một đơn vị thời gian.

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N, \quad (1.5)$$

trong đó, N là số hạt nhân có tính phóng xạ.

- Đơn vị đo hoạt độ phóng xạ

Đơn vị đo hoạt độ phóng xạ là Becquerel (viết tắt là Bq)

1 Bq = 1 phân rã/giây

Đơn vị ngoại hệ là Curi (C_i)

$$1C_i = 3,7 \times 10^{10} \text{ phân rã/giây} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

Hoạt độ riêng của một chất phóng xạ được xác định bằng hoạt độ của một đơn vị khối lượng.

$$A_m = \frac{A}{m_a} = \frac{\lambda N A_v}{NM} = \frac{\lambda A_v}{M} \quad (1.6)$$

trong đó, M là Phân tử lượng của chất phóng xạ, A_v là số Avogadro ($A_v = 6.02 \times 10^{23} \text{ h/mol}$)

1.1.3.2 Tốc độ truyền năng lượng của bức xạ

Tốc độ truyền năng lượng hay năng lượng truyền tuyến tính (LET) là năng lượng mà các loại bức xạ ion hoá năng lượng cao truyền cho vật chất.

Năng lượng này dẫn đến những biến đổi hoá lý trong vật liệu chiếu xạ.

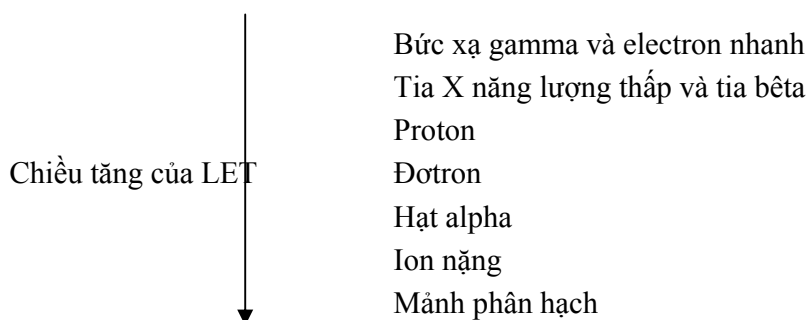
Giá trị của tốc độ truyền năng lượng nằm trong khoảng $0.2 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ đối với bức xạ năng lượng thấp (tia gamma và electron nhanh), và khoảng $40\text{--}50 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ hoặc cao hơn đối với các ion dương gia tốc, có thể liệt kê theo thứ tự mức độ gia tăng LET của các loại bức xạ theo sơ đồ dưới đây:

Nhìn chung, khả năng đâm xuyên của bức xạ tỷ lệ ngược với giá trị LET.

Năng lượng của bức xạ thường đo bằng đơn vị ngoại hệ electron-Volt, viết tắt là eV. Nó được xác định bằng động năng của một electron có thể nhận được khi đi qua điện trường có hiệu điện thế 1V. Bội số của eV là keV (10³ eV), MeV (10⁶ eV)...

Đơn vị năng lượng trong hệ SI là Jun (J)

$$1J = 6.24 \times 10^{18} \text{ eV}$$



1.2 Các đặc trưng tương tác của bức xạ với vật chất

1.2.1 Đặc điểm tương tác của bức xạ với vật chất

Tương tác của bức xạ với vật chất mang tính chất tác động qua lại:

- Vật chất làm suy giảm cường độ và năng lượng của bức xạ;
- Bức xạ làm thay đổi cấu trúc của vật chất, gây ra các biến đổi vật lý, hoá học, sinh học,... và các biến đổi này phụ thuộc rất mạnh vào năng lượng và dạng bức xạ.

Trong chương này chúng ta chỉ xem xét tương tác của bức xạ ion hoá là những dạng bức xạ có năng lượng đủ lớn có thể làm bứt các electron ra khỏi quỹ đạo thường trực của chúng trong nguyên tử.

1.2.2 Tương tác của hạt nặng mang điện với vật chất

Những hạt mang điện tích và có khối lượng lớn gấp nhiều lần khối lượng của electron được gọi là hạt nặng mang điện. Quá trình tương tác chính của chúng với vật chất là va chạm đàn tính và va chạm không đàn tính với electron quỹ đạo. Kết quả của quá trình va chạm không đàn tính là nguyên tử bị kích thích (chuyển lên mức năng lượng cao hơn) hoặc bị ion hoá (electron bứt ra khỏi quỹ đạo).

Khi đến gần electron điện tích e ở khoảng cách r , hạt nặng mang điện tích Ze tác dụng với electron bằng lực Coulomb:

$$F \sim \frac{Ze \times e}{r^2} = \frac{Ze^2}{r^2} \quad (1.7)$$

Sự tương tác đó làm hạt mất năng lượng. Năng lượng mất mát trên một đơn vị quãng đường dE/dx tỷ lệ với Z^2 , mật độ electron n_e và tỷ lệ nghịch với năng lượng của hạt (hoặc tỷ lệ nghịch với bình phương vận tốc v của hạt). Hạt chuyển động càng nhanh, thời gian tương tác càng nhỏ, do đó năng lượng mất mát càng ít.

$$-\frac{dE}{dx} \sim \frac{Z^2 n_e}{v^2} \quad (1.8)$$

Do mất mát năng lượng, hạt mang điện chuyển động chậm dần, và khi đó xác suất tương tác của hạt tăng lên.

Quãng đường từ khi hạt bay vào vật chất tới khi nó bị hấp thụ phụ thuộc vào: điện tích, năng lượng và mật độ electron của vật chất.

Năng lượng do hạt mất đi còn có thể truyền cho cả nguyên tử nói chung. Kết quả là nguyên tử và do đó cả phân tử mà nó nằm trong, sẽ dịch chuyển khỏi vị trí cũ, đồng thời chúng nhận một động năng nào đó. Trường hợp này gọi là va chạm đàn tính.

Các quá trình trên (ion hoá, va chạm đàn tính và va chạm không đàn tính) thường diễn ra đồng thời nhưng với những xác suất khác nhau.

Khi mất 34 eV trong không khí, hạt nặng chỉ dùng 15 eV cho ion hoá còn 19 eV cho va chạm đàn tính và không đàn tính.

1.2.3 Tương tác của bức xạ beta với vật chất

Giống như các hạt mang điện, khi đi vào vật chất, hạt beta (electron, positron) tham gia vào các quá trình sau đây:

- Va chạm không đàn tính: Kích thích và ion hoá;
- Huỷ cặp (đối với positron);
- Chuyển động chậm dần trong trường hạt nhân, dẫn tới quá trình phát bức xạ hãm. Trong trường hợp đó, năng lượng bị mất ΔE tỷ lệ với gia tốc a của hạt

$$\Delta E \sim a^2 \quad (1.9)$$

Theo định luật Newton

$$F = ma \quad (1.10)$$

do đó

$$\Delta E \sim \frac{F^2}{m^2} \quad (1.11)$$

Như vậy, năng lượng bị mất tỷ lệ nghịch với khối lượng của hạt mang điện. Trong trường hợp các hạt nặng, chẳng hạn proton với khối lượng $m_P = 1,007u = 1836m_e$, năng lượng mất mát của nó nhỏ hơn của electron hàng triệu lần. Vì vậy để tạo ra bức xạ hãm, không thể sử dụng proton hoặc các hạt nặng mang điện khác.

1.2.4 Tương tác của neutron với vật chất

Tuy không phải là hạt mang điện, nhưng neutron vẫn tương tác với electron thông qua tương tác giữa các moment từ của chúng. Sự mất năng lượng của quá trình này không đáng kể. Quá trình mất năng lượng chủ yếu khi neutron tương tác với hạt nhân, phụ thuộc vào

notron có va chạm trực tiếp với hạt nhân hay không. Người ta chia tương tác của notron thành một số loại:

Tán xạ đàn tính: Trong quá trình này notron không trực tiếp va chạm với hạt nhân. Nó bị mất năng lượng và lệch hướng do lực hạt nhân. Về phần mình, hạt nhân nhận một năng lượng nào đó. Tán xạ đàn tính có thể xảy ra trong quá trình làm chậm notron. Độ mất năng lượng logarit trung bình cho một va chạm ζ được xác định bằng công thức:

$$\zeta = \ln \frac{T_1}{T_2}, \quad (1.12)$$

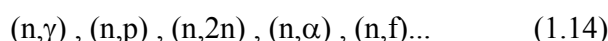
trong đó, T_1 và T_2 tương ứng là động năng của n trước và sau va chạm, hoặc:

$$\zeta = 1 + \frac{(A-1)^2}{2A} \ln \frac{A-1}{A+1} \quad (1.13)$$

trong đó, A là khối số của hạt nhân bị va chạm

Tán xạ không đàn tính: Trong quá trình này notron bị mất năng lượng và thay đổi hướng chuyển động, hạt nhân ở trạng thái kích thích.

Quá trình bắt notron: Đó là quá trình dẫn tới các phản ứng hạt nhân do notron va chạm trực tiếp với hạt nhân gây ra như trong các phản ứng sau:



1.2.5 Tương tác của bức xạ gamma với vật chất

Tia gamma thuộc loại bức xạ có tính thâm nhập cao đối với vật chất. Chúng có thể tương tác với hạt nhân, e- và nguyên tử nói chung và do đó năng lượng của chúng bị suy giảm.

Sự yếu dần của chùm tia gamma theo luật hàm mũ và phụ thuộc vào: mật độ vật chất, số Z và năng lượng của photon gamma E^γ .

Ngoài các phản ứng hạt nhân, đối với tia gamma năng lượng cao, sự yếu đi của tia gamma chủ yếu do các quá trình sau đây gây ra:

1.2.5.1 Hiệu ứng quang điện

Hiệu ứng quang điện có những nét đặc trưng sau đây:

- Là sự tương tác của lượng tử gamma với nguyên tử.
- Toàn bộ năng lượng của photon gamma $h\nu$ bị mất đi do hấp thụ, trong đó có năng lượng tiêu tốn cho việc bứt e- ra khỏi quỹ đạo E_b và năng lượng chuyển thành động năng E_e cho e- :

$$E_e = h\nu - E_b \quad (1.15)$$

- Đặc trưng của hiệu ứng quang điện: Chỉ xảy ra khi $E_\gamma > E_c$. Electron bắn ra thường có phương vuông góc với phương truyền tia gamma.
- Hiệu ứng xảy ra càng mạnh khi liên kết của e- càng bền vững. Hiệu ứng hầu như không xảy ra với e- có liên kết yếu, đặc biệt là khi năng lượng liên kết

$E_{e^{-}lket} \ll E\gamma$. Điều này do định luật bảo toàn năng lượng và xung lượng của các hạt tham gia phản ứng không cho phép. Nói chung hiệu ứng thường xảy ra ở những lớp điện tử trong cùng.

- Tiết diện của hiệu ứng quang điện σ_{ph} có dạng phụ thuộc vào năng lượng của photon gamma khá phức tạp (Hình 1.1)

+ Đối với mỗi lớp electron, khuynh hướng chung

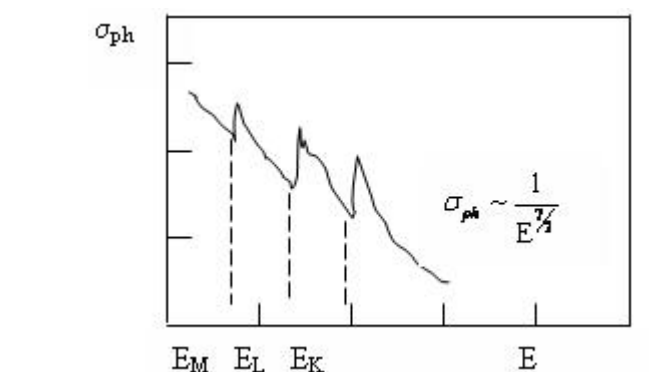
$$\sigma_{ph} \sim \frac{1}{E^3} \quad (1.16)$$

+ Đối với $E_\gamma > E_K$

$$\sigma_{ph} \sim \frac{1}{E^{7/2}} \quad (1.17)$$

+ Đối với $E_\gamma \gg E_K$

$$\sigma_{ph} \sim \frac{1}{E} \quad (1.18)$$



Hình 1.1

Sự phụ thuộc của tiết diện hiệu ứng quang điện vào năng lượng của photon gamma

1.2.5.2 Hiệu ứng Compton

Hiệu ứng Compton có những nét đặc trưng sau đây:

- Là hiện tượng tán xạ của γ với e^- có liên kết yếu trong nguyên tử.
- Hiệu ứng giống như sự va chạm đàn tính giữa 2 viên bi: γ truyền bớt năng lượng cho electron và bay lệch hướng cũ, e^- nhận một động năng mới.
- Tán xạ Compton phụ thuộc vào mật độ electron trong nguyên tử. Mật độ e^- càng lớn, cường độ tán xạ càng mạnh.
- Cường độ tán xạ phụ thuộc vào năng lượng của photon gamma $E\gamma$. Mối tương quan giữa năng lượng ban đầu $h\nu$, năng lượng tán xạ $h\nu'$ của photon gamma và góc tán xạ θ được biểu thị bằng công thức:

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_0c^2}(1 - \cos\theta)}, \quad (1.19)$$

trong đó, m_0c^2 là năng lượng nghỉ của electron (0.511MeV)

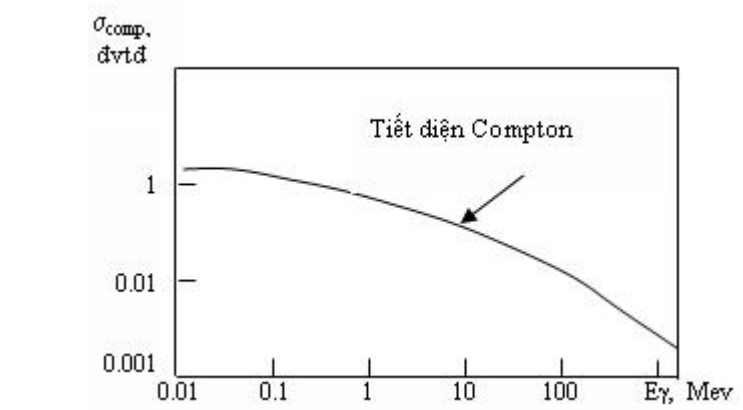
- Tiết diện tán xạ Compton σ_{comp} phụ thuộc vào năng lượng như sau (Hình 12):

+ E_γ nhỏ:

$$\sigma_{\text{comp}} \sim \sigma_0(1 - \kappa E_\gamma) \quad (1.20)$$

+ E_γ lớn:

$$\sigma_{\text{comp}} \sim \frac{Z}{E_\gamma} \quad (1.21)$$



Hình 1.2

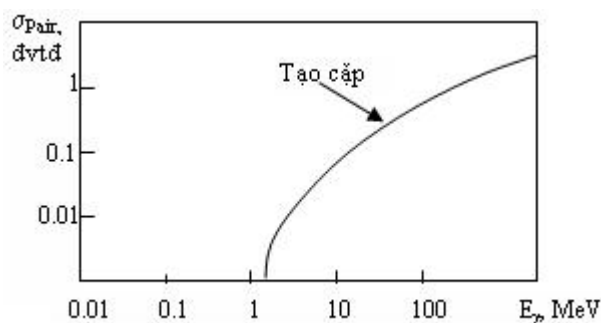
Sự phụ thuộc tiết diện tán xạ Compton vào năng lượng của photon gamma

1.2.5.3 Hiệu ứng tạo cặp

Hiệu ứng tạo cặp có những nét đặc trưng sau đây:

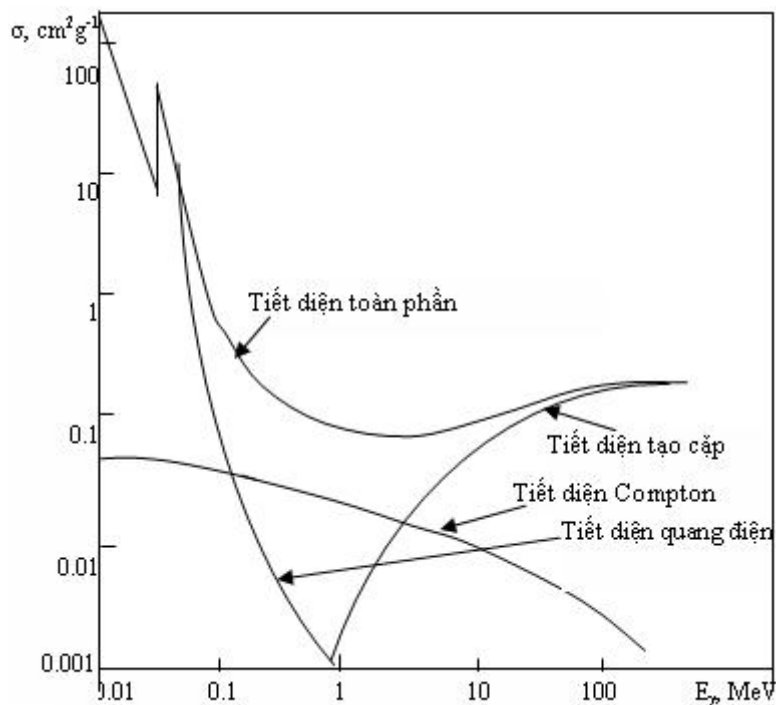
- Hiệu ứng chỉ xảy ra khi $E_\gamma > 1.02 \text{ MeV}$ (năng lượng nghỉ của e^- và e^+);
- Hiệu ứng chỉ xảy ra trong trường hạt nhân;
- Trong trường Coulomb, hiệu ứng chỉ xảy ra khi $E_\gamma < 2.04 \text{ MeV}$;
- (Do sự chi phối của định luật bảo toàn năng lượng và xung lượng).
- Tiết diện tạo cặp phụ thuộc vào số Z và năng lượng của photon gamma (Hình 1.3):

$$\sigma_{\text{Pair}} \sim Z^2 \ln E_\gamma \quad (1.22)$$

**Hình 1.3**

Sự phụ thuộc của tiết diện tạo cặp σ_{Pair} vào năng lượng của photon gamma

Tiết diện tổng hợp của cả ba quá trình được biểu diễn trên Hình 1.4:

**Hình 1.4**

Sự phụ thuộc của tiết diện tương tác toàn phần vào năng lượng của photon gamma E_γ

1.2.5.4 Sự suy giảm của bức xạ gamma khi đi qua vật chất

Sự suy giảm bức xạ của chùm gamma hẹp

Khi chùm bức xạ gamma hẹp truyền vuông góc với lớp vật chất bề dày dx , sự suy giảm của cường độ bức xạ dI được biểu thị bằng công thức:

$$dI(x) = -\mu I(x)dx \quad (1.23)$$

hoặc dưới dạng tích phân:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (1.24)$$

trong đó I_0 và $I(x)$ là cường độ bức xạ gamma trước và sau lớp vật chất bề dày x ; μ - hệ số suy giảm tuyến tính phụ thuộc vào bản chất của lớp vật liệu.

Trong trường hợp chùm tia hẹp, đóng góp của các tia tán xạ không đáng kể, hoặc có thể bỏ qua.

Sự suy giảm bức xạ của chùm gamma rộng

Khi lượng tử gamma đi qua vật chất dưới dạng một chùm bức xạ rộng, trong thành phần của chùm ngoài các tia đi thẳng, còn có thành phần tán xạ.

Cường độ của chùm bức xạ rộng được mô tả bằng công thức

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} B^E(h\nu, Z, \mu x) \quad (1.25)$$

trong đó μ - hệ số suy giảm tuyến tính của chùm hẹp; $B^E(h\nu, Z, \mu x)$ - hệ số tích lũy năng lượng có tính tới đóng góp của bức xạ tán xạ. Đối với chùm hẹp $B^E(h\nu, Z, \mu x) = 1$, khi đó ta có:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (1.26)$$

Đối với chùm bức xạ rộng, $B^E > 1$ và nó phụ thuộc vào năng lượng tia gamma $h\nu$, nguyên tử số Z và bề dày x của vật liệu.

Do năng lượng hấp thụ không hoàn toàn tỷ lệ với tác động sinh học nên người ta phân biệt hệ số tích lũy năng lượng và hệ số tích lũy liều lượng $B^D(h\nu, Z, \mu x)$. Khi đó ta có biểu thức tương tự đối với liều lượng:

$$D = D_0 e^{-\mu x} B^D(h\nu, Z, \mu x) \quad (1.27)$$

Các giá trị số của hệ số tích lũy có thể thu được từ việc giải phương trình truyền vi tích phân đối với nguồn điểm đẳng hướng và nguồn phẳng đơn hướng trong môi trường vô hạn đồng nhất với các tham số $h\nu, Z, \mu x$ khác nhau. Trong thực tiễn các giá trị B được xác định bằng thực nghiệm.

1.3 Các đặc trưng chủ yếu của quá trình truyền năng lượng

1.3.1 Các đặc trưng của quá trình truyền năng lượng

Hệ số truyền năng lượng tuyến tính:

- Hệ số truyền năng lượng tuyến tính L (Linear energy transfer- LET) của hạt mang điện trong môi trường vật chất được xác định bằng công thức:

$$L = \frac{dE}{dl} \quad (1.28)$$

trong đó dE - tổn hao năng lượng trung bình của hạt mang điện trên quãng đường dl . Nói chung, năng lượng của hạt được tiêu tốn cho quá trình ion hóa và kích thích các nguyên tử của vật chất, phần khác tiêu tốn cho quá trình phát ra bức xạ hãm. Các điện tử phát ra trong quá trình ion hóa, có thể có đủ năng lượng để gây ra quá trình ion hóa tiếp theo; kết quả là trên đường đi của hạt mang điện xuất hiện các vết của sự ion hóa tầng. Các điện tử thứ cấp có thể gây ra hiện tượng ion hóa tiếp theo được gọi là các điện tử δ .

- Hệ số truyền năng lượng tuyến tính phụ thuộc vào động năng của hạt sơ cấp và quãng chạy tuyến tính của hạt trong vật chất.

Liều hấp thụ:

Liều hấp thụ D của một chất có khối lượng dm được xác định bằng tỷ số giữa năng lượng dE được chất hấp thụ và khối lượng của chất đó:

$$D = \frac{dE}{dm} = \frac{dE}{\rho dV} \quad (1.29)$$

trong đó ρ - mật độ vật chất, dV - thể tích đơn vị.

Đơn vị của liều hấp thụ là gray, viết tắt là Gy:

$$1\text{Gy} = 1\text{J kg}^{-1}$$

Đơn vị ngoài hệ SI là rad

$$1\text{Gy} = 100 \text{ rad} = 10^4 \text{ erg/g.}$$

Suất liều hấp thụ:

Suất liều hấp thụ được xác định bằng công thức:

$$D' = \frac{dD}{dt} \quad (1.30)$$

Suất liều hấp thụ D' được coi là liều hấp thụ trong một đơn vị thời gian.

Đơn vị của suất liều là Gy s⁻¹

$$1\text{Gy.s}^{-1} = 1\text{J.s}^{-1}.\text{kg}^{-1} = 1\text{Wkg}^{-1} .$$

Kerma (Kinetic energy released in material) K - động năng giải phóng trong vật chất.

Kerma là tổng động năng ban đầu dE_k của các hạt mang điện giải phóng ra trong một đơn vị khối lượng vật chất:

$$K = \frac{dE_k}{dm} = \frac{dE_k}{\rho dV} \quad (1.31)$$

- Suất Kerma: Suất Kerma được xác định bằng công thức:

$$K' = \frac{dK}{dt} \quad (1.32)$$

Đơn vị đo của Kerma và suất Kerma tương ứng giống như đơn vị đo của liều và suất liều.

- Dòng rò năng lượng:

Dòng rò năng lượng là năng lượng bị thất thoát khỏi bề mặt của một đơn vị thể tích xem xét. Dòng rò năng lượng được xác định bằng biểu thức $\nabla J/\rho$, trong đó J là vectơ mật độ dòng.

- Phương trình cân bằng liều:

Phương trình cân bằng liều được viết như sau:

$$\frac{dE}{dm} = \frac{dE_k}{dm} - \frac{\nabla J}{\rho} - \frac{dE_b}{dm} \quad (1.33)$$

trong đó dE_k - năng lượng tiêu hao cho quá trình hãm của các hạt mang điện.

- Liệu chiếu:

Liệu chiếu P được xác định bằng số đơn vị điện tích sinh ra ở điều kiện chuẩn khi bị chiếu xạ.

$$P = \frac{dQ}{dm} = \frac{dQ}{\rho dV} \quad (1.34)$$

Đơn vị liệu chiếu là C kg⁻¹, đơn vị ngoại hệ là Rontgen, 1R = 2,58 × 10⁻⁴C kg⁻¹

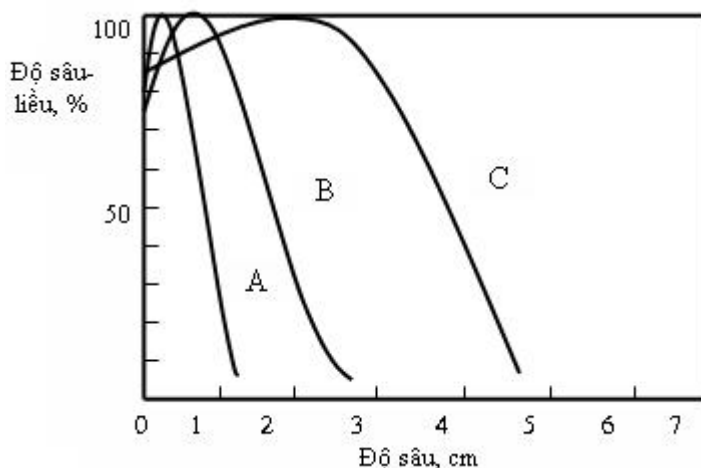
1.3.2 Phân bố liều theo chiều sâu

Độ xuyên sâu của năng lượng bức xạ vào vật liệu có thể được mô tả bằng đường phân bố theo chiều sâu, trong đó liều hấp thụ tương đối tại các điểm đo được vẽ theo khoảng cách hay độ sâu tính từ bề mặt vật liệu chiếu xạ. Dạng của đường phân bố liều - độ sâu phụ thuộc vào bản chất của bức xạ, năng lượng của bức xạ hoặc chùm hạt, cấu hình của nguồn và mẫu. Dạng điển hình của đường cong liều-độ sâu trong nước đối với bức xạ được giới thiệu trên Hình 1.5 (đối với bức xạ gamma và tia X) và Hình 1.6 (đối với chùm electron nhanh)

Qua các đồ thị trên ta thấy khả năng đâm xuyên của tia X lớn hơn của electron. Năng lượng của bức xạ này càng cao thì khả năng đâm xuyên càng lớn. Đối với bức xạ gamma và tia X (Hình 1.5) quan sát thấy các đỉnh cực đại tại độ sâu 0,12; 0,5 và 1,0 cm. Đối với bức xạ electron (Hình 1.6) năng lượng 1,8; 4,7 và 10,6 MeV các đỉnh cực đại tương ứng nằm tại 0,25; 0,95 và 1,9 cm. Vị trí của các đỉnh cực đại phụ thuộc vào kích thước chùm bức xạ và có liên quan tới đại lượng truyền năng lượng tuyến tính cũng như hiệu ứng electron thứ cấp gây ra.

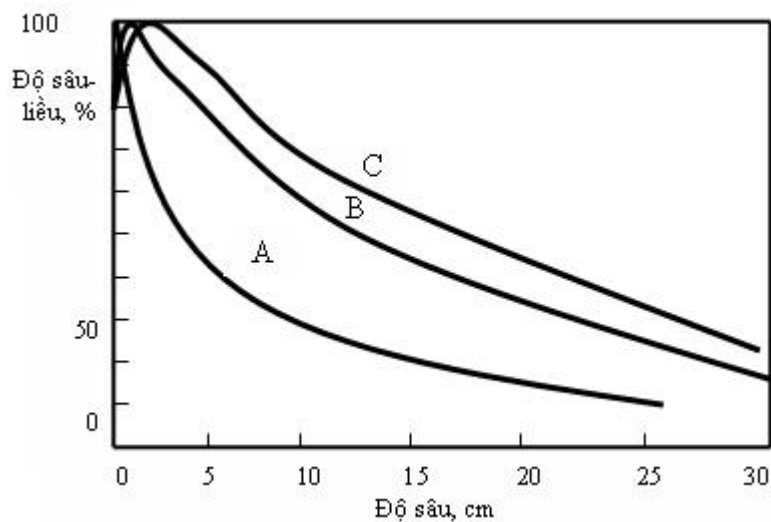
Đồ thị Hình 1.5 và Hình 1.6 mô tả đường phân bố liều - độ sâu trong phép chiếu một phía đối với môi trường nước vô hạn. Trong công nghệ bức xạ, các sản phẩm chiếu xạ thường có kích thước hữu hạn. Để đảm bảo tính đồng đều tương đối của liều chiếu trong sản phẩm, người ta thường chiếu sản phẩm từ hai phía. Tỷ số R giữa liều chiếu cực đại D_{max} và cực tiểu D_{min} được gọi là tỷ số đồng đều liều:

$$R = \frac{D_{max}}{D_{min}} \quad (1.35)$$



Hình 1.5

Đường cong liều - độ sâu tính theo phần trăm đối với phép chiếu trong nước
 A: bức xạ gamma của nguồn ^{137}Cs ; B: bức xạ gamma của nguồn ^{60}Co ; C: bức xạ tia X4 MeV

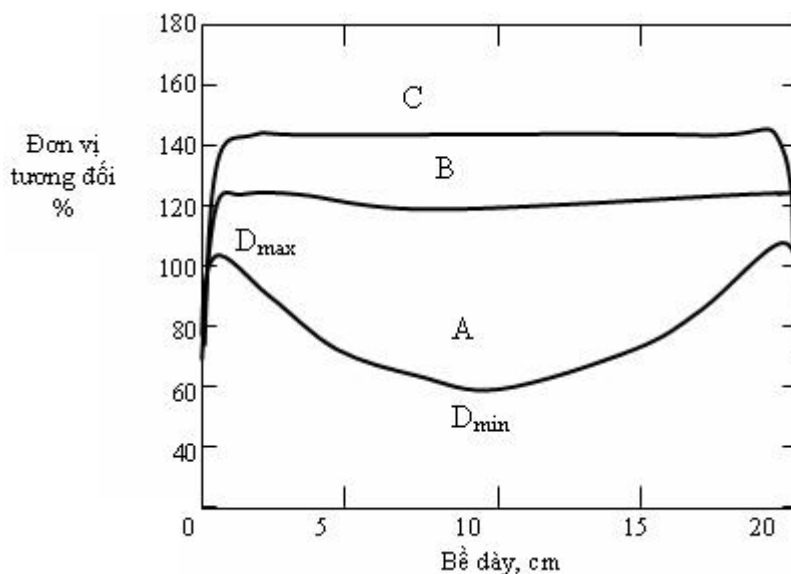


Hình 1.6

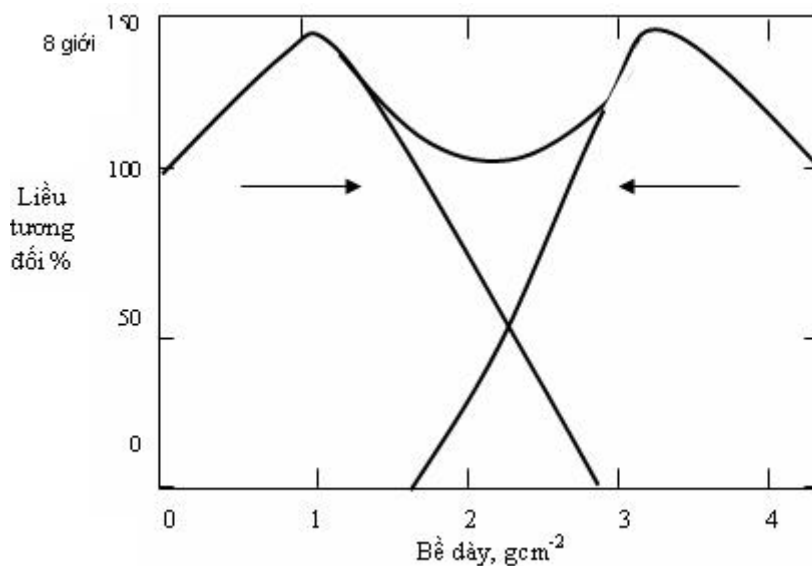
Đường cong liều- độ sâu tính theo phần trăm đối với phép chiếu xạ electron nhanh trong nước
 A- electron 1,8 MeV; B-electron 4,7 MeV; C- electron 10,6 MeV

Tỷ số R phụ thuộc vào kích thước của mẫu, mật độ của vật chất trong mẫu và năng lượng của bức xạ.

Hình 1.7 giới thiệu phân bố liều theo độ sâu chiếu từ 2 phía đối với lớp nước có bề dày 20 cm.



Hình 1.7
 Phân bố liều trong lớp nước dày 20 cm (Chiếu xạ từ hai phía)
 A-Bức xạ gamma của nguồn ^{137}Cs ;
 B-Bức xạ gamma của nguồn ^{60}Co ;
 C-Bức xạ tia X 4 MeV.



Hình 1.8
 Phân bố liều theo bề dày vật liệu chiếu từ hai phía đối với electron 5 MeV

1.3.3 Hiệu ứng bức xạ thứ cấp

Khi bị hấp thụ trong vật chất, bức xạ điện từ có thể tạo ra các electron thứ cấp. Tại các điểm nằm cách bề mặt chất hấp thụ một khoảng cách lớn hơn quãng chạy lớn nhất của electron thứ cấp, một đơn vị thể tích nhận được electron tán xạ từ mọi phía. Tuy nhiên càng ở

gần bề mặt, số lượng electron thứ cấp mà một đơn vị thể tích vật liệu nhận được càng giảm, do một phần các electron thứ cấp thoát ra khỏi bề mặt. Do đó, phân bố liều theo độ sâu của bức xạ ion hóa tăng dần theo bề mặt và đạt tới giá trị cực đại ở khoảng cách bằng quãng chạy lớn nhất của electron thứ cấp. Ở các độ sâu lớn hơn electron suy giảm theo quy luật hàm mũ như bức xạ sơ cấp.

1.3.4 Cấu trúc vết của hạt

Khi một hạt mang điện đập vào vật chất, nó mất năng lượng, chuyển động chậm dần, tạo ra một vết các nguyên tử, phân tử bị kích thích và bị ion hóa dọc theo tuyến đường đi của hạt. Electron và positron là những sản phẩm của quá trình hấp thụ năng lượng; chúng có độ linh động rất cao, và có thể tạo ra các vết nhánh dọc theo quãng đường đi của hạt.

Nói chung, quá trình hấp thụ một bức xạ ion hóa bất kỳ đều tạo ra các vết sản phẩm ion hóa và kích thích. Các sản phẩm này cơ bản là giống nhau, đặc biệt là trong vật rắn.

Tuy nhiên các dạng bức xạ khác nhau với năng lượng khác nhau, sẽ có tốc độ mất năng lượng khác nhau, dạng của vết do đó cũng khác nhau. Chẳng hạn, chúng có mật độ dày đặc hơn hoặc phân tán hơn; các nhánh cũng có kích thước to nhỏ hoặc dài ngắn khác nhau. Sự khác nhau còn quan sát thấy về mặt hiệu ứng hóa học, về số lượng cũng như tỷ lệ của các sản phẩm được tạo ra, về kích thước của vết gốc ban đầu.v.v... Do đó, đại lượng truyền năng lượng tuyến tính (LET) có ý nghĩa quan trọng trong việc đánh giá một cách tổng thể các hiệu ứng hóa học...

Người ta có thể tính được số lượng vết, chẳng hạn trong một thể tích dạng hình trụ dọc theo vết. Samuel và Magee [6] thường tính các vết ở khoảng cách 1 μ m và đường kính ban đầu khoảng 2 μ m đối với các electron thứ cấp do photon gamma tạo ra trong nước hoặc các chất hữu cơ ở thể lỏng.

Lý thuyết cấu trúc vết của Katz và cộng sự [7] xem xét mối tương quan giữa số lượng vết do hạt tạo ra với năng lượng hấp thụ trong vật chất.

1.3.5 Hiệu suất hoá bức xạ G và xác suất tạo phân tử kích hoạt

Hai đại lượng quan trọng trong quá trình xử lý bức xạ là liều lượng hấp thụ và hiệu suất hoá bức xạ. Liều lượng hấp thụ có thể đo bằng các đơn vị eV.g⁻¹, eV.cm⁻³, rad và sau này được thay thế bằng đơn vị hệ quốc tế SI là gray (1 Gy = 1Jkg⁻¹ = 100 rad).

Hiệu suất hoá bức xạ hay giá trị G là số phân tử kích hoạt được tạo ra khi vật chất hấp thụ năng lượng 100 eV. Trong hệ SI, G được đo bằng đơn vị molJ⁻¹ hoặc μ molJ⁻¹.

$$(G(\text{Phân tử}/100\text{eV})) = \frac{M}{N} \times \frac{100}{W} \quad (1.36)$$

trong đó, M là số phân tử bị biến đổi dưới tác dụng của bức xạ còn N là số cặp ion được tạo ra từ các phân tử biến đổi đó; W là năng lượng trung bình để tạo ra một cặp ion trong vật liệu bị chiếu xạ.

Tỷ số M/N được gọi là hiệu suất tạo cặp ion. Thoạt đầu được coi như là hiệu suất hoá học của một hệ khí song về sau cũng được áp dụng cho một hệ chất lỏng, mặc dầu đối với chất lỏng khó đo trực tiếp được đại lượng hiệu suất tạo cặp ion.

Đối với đa số các chất, W xấp xỉ bằng 30 eV, do đó, giá trị G xấp xỉ bằng 3 lần hiệu suất tạo cặp ion.

Mối tương quan giữa liều hấp thụ, hiệu suất hoá học và hiệu suất hoá bức xạ của sản phẩm trong hệ SI được biểu diễn như sau:

$$G[\text{Phân tử}/100\text{eV}] = 9,648 \times 10^6 \frac{\text{Hiệu suất hóa (mol.kg}^{-1})}{\text{Liều hấp thụ (Gy)}} \quad (1.37)$$

Ở đây cần lưu ý rằng, $1\text{eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$ và số phân tử trong một phân tử gam (số Avogadro) bằng $6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Trong các lý thuyết truyền năng lượng hiện đại, thay cho giá trị G, người ta dùng khái niệm xác suất tạo ra một phân tử kích hoạt từ một phân tử nhạy bức xạ k [Gy⁻¹] hay 1/D₃₇ [Gy⁻¹], trong đó, D₃₇ là liều trung bình các phân tử nhạy bức xạ nhận được trong một lần va chạm. Mối tương quan giữa các đại lượng này như sau:

$$k = \frac{1}{D_{37}} \quad (1.38)$$

photon gamma

Hình 7.9 2

photon gamma

Hình 7.9 2

photon gamma

Chương 2

Các nguồn bức xạ sử dụng trong công nghệ bức xạ

Hiện nay các nguồn bức xạ ion hoá thường được sử dụng trong công nghệ bức xạ là:

- Nguồn bức xạ gamma từ ^{60}Co và ^{137}Cs .
- Nguồn bức xạ electron nhanh và bức xạ hãm từ máy gia tốc e-.

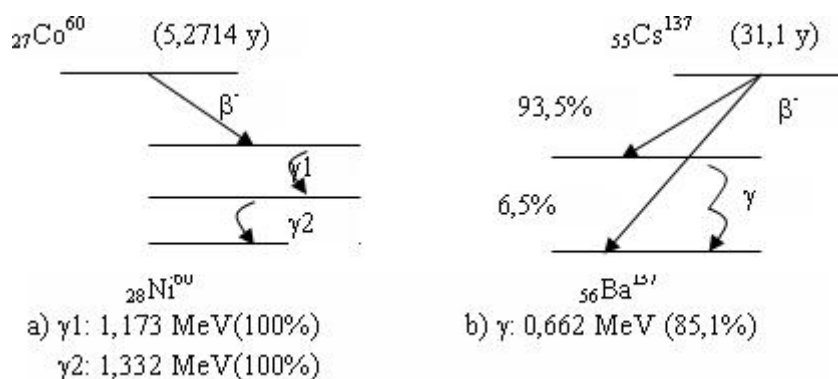
Ngoài ra, bức xạ gamma từ lò phản ứng cũng được sử dụng.

2.1 Nguồn bức xạ gamma

2.1.1 Các đặc trưng vật lý

Tia gamma thường phát ra bởi những hạt nhân kích thích ngay sau quá trình phân rã β của hạt nhân mẹ. Quá trình phân rã β với 1 và 2 chuyển mức gamma thường được sử dụng trong các nguồn gamma công nghiệp (Hình 2.1).

Bản chất của quá trình phát xạ gamma là do hạt nhân ở vào trạng thái kích thích. Để giải phóng năng lượng, nó phân rã β -, đồng thời phát xạ các tia gamma đặc trưng. Khi đó điện tích hạt nhân giảm đi 1 ví dụ ^{27}Co thành ^{26}Ni .



Hình 2.1

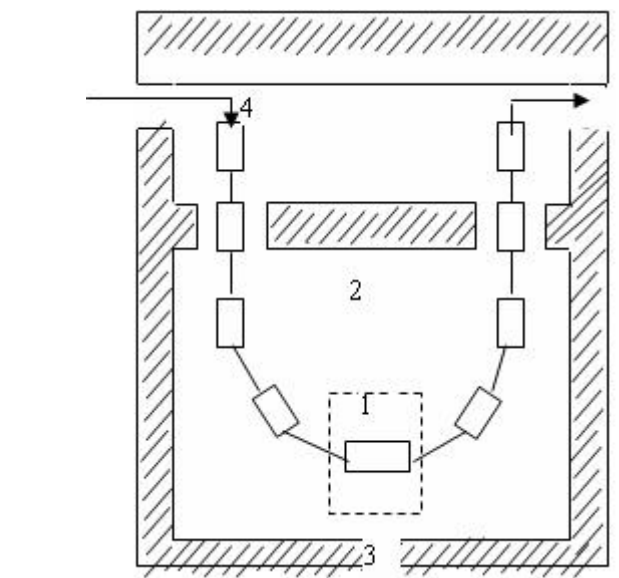
Sơ đồ phân rã với các chuyển mức chính của một số nguồn gamma công nghiệp

a) Phân rã β^- với hai chuyển mức gamma;

b) Phân rã β^- với một chuyển mức gamma

2.1.2 Các đặc trưng kinh tế và kỹ thuật

Ứng dụng rộng rãi nhất của nguồn ^{60}Co và ^{137}Cs là: Khử trùng dụng cụ y tế. Ngoài ra nó còn được dùng để xử lý thực phẩm, xử lý nguồn nước (Hình 2.2). Việc dùng nguồn gamma để xử lý vật liệu nói chung ít phổ biến do mật độ năng lượng thấp. Sau đây là bảng so sánh giữa hai loại nguồn gamma thông dụng, nguồn ^{60}Co và ^{137}Cs (Bảng 2.1).



Hình 2.2
Sơ đồ của hệ chiếu xạ
1-nguồn bức xạ;
2-buồng chiếu xạ;
3- tường bảo vệ;
4- dây chuyền vận tải hàng hoá

2.1.3 Ưu điểm và nhược điểm của nguồn gamma

- Khả năng thâm nhập cao: Có thể xử lý các vật liệu có bề dày lớn.
- Năng lượng cao có thể đạt được ở những quá trình đòi hỏi liều < 50kGy.

Đặc trưng	Nguồn ^{60}Co	Nguồn ^{137}Cs
Mật độ công suất, kW/mCi	14,48 (+)	3,32
Hoạt độ riêng, Ci/kg	50 - 100 (+)	25
Chu kỳ bán rã, năm	5,27	30,174 (+)
Năng lượng, MeV	1,25 (+)	0,66
Độ hấp thụ năng lượng trong mẫu, %	10 (+)	30 - 50
Nguyên liệu	kim loại (+)	CsCl
Hoạt độ tương đối xử lý thực phẩm	1 (+)	6,7
Tỷ lệ liều chiếu trong sản phẩm D_{\max}/D_{\min}		
Giá thành, USD/Ci	27/1	16/1
+ Nga (Liên Xô cũ)	1,3	1,3
+ M	1	0,1* (+)
Phương pháp chế tạo	Chiếu trong lò năng lượng 3MCi/năm	Chiết suất từ thanh nhiên liệu 4MCi/năm (lò 1000MW)

Bảng 2.1. So sánh các đặc trưng kinh tế - kỹ thuật của hai loại nguồn gamma (dấu + chỉ sự ưu việt hơn)

* Với giá này ^{137}Cs có thể cạnh tranh được với ^{60}Co .

2.2 Máy gia tốc electron

2.2.1 Các đặc trưng kinh tế kỹ thuật

- *Các máy gia tốc thường sử dụng trong công nghệ bức xạ:*

Các máy thông dụng chủ yếu là máy gia tốc tác dụng trực tiếp. Trong số này phổ biến nhất là loại “Electron curtain” và Dinamitron. Ngoài ra loại máy gia tốc tuyến tính cũng được sử dụng [21].

- *Năng lượng:*

Theo năng lượng máy gia tốc electron được chia làm 3 nhóm:

+ Máy gia tốc năng lượng thấp: năng lượng từ 0,15-0,3MeV. Máy thuộc nhóm này chủ yếu là máy gia tốc tác dụng trực tiếp.

+ Máy gia tốc năng lượng trung bình: năng lượng từ 0,3 ÷ 2MeV. Nhóm này cũng chủ yếu là máy gia tốc tác dụng trực tiếp.

+ Máy gia tốc năng lượng cao: năng lượng từ 2 tới 10 MeV. Nhóm này chủ yếu là máy gia tốc tuyến tính.

Trong công nghệ bức xạ, người ta dùng các máy nhóm 1 và 2 là chủ yếu.

- *Công suất:*

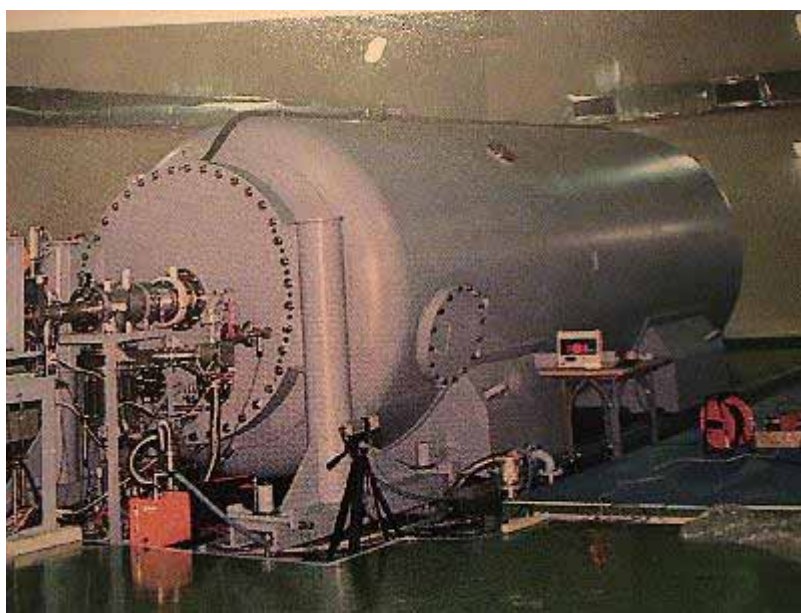
Các máy công nghiệp có công suất phổ biến từ vài kilooat tới 200kW. Máy có công suất lớn là Dinamitron. Dinamitron có thể có công suất lớn 200 - 300kW, phát ra electron năng lượng 4 - 6MeV [Hình 2.3].

- *Đặc điểm cấu trúc:*

+ Máy gia tốc có liên kết cáp giữa ống gia tốc và máy phát cao thế. Đặc điểm của nhóm này là hiệu suất cao (> 90%) của máy biến dòng xoay chiều thành dòng một chiều cao áp, đồng thời có lợi về mặt diện tích sử dụng do có lớp bảo vệ bức xạ và máy phát cao thế được đặt ở bên ngoài vùng bảo vệ bức xạ.

+ Máy gia tốc có máy phát cao thế và ống gia tốc được ghép liền thành một mạng và được đặt trong một thùng đặc biệt. Chúng có thể có thiết kế khác thường, chẳng hạn máy có hai chùm bức xạ: chùm thẳng đứng và chùm nằm ngang (Hãng Nissin - High Voltage - Nhật Bản). Máy có thể chiếu từng chùm tia hoặc đồng thời cả hai chùm tia. Máy thường có năng lượng từ 0,5 - 2MeV, dòng 0,1 - 100mA, công suất tới 100kW.

+ Máy gia tốc tự bảo vệ (hay máy gia tốc bảo vệ cục bộ). Đây là loại máy năng lượng tương đối thấp $\leq 0,75\text{MeV}$. Ưu điểm chủ yếu của loại máy này là gọn, có thể đặt trong các phòng bình thường.



Hình 2.3
Máy gia tốc Dinamitron (Tư liệu của Viện Nghiên cứu Năng lượng Nguyên tử Nhật Bản - JAERI)

2.2.2 Ưu điểm và nhược điểm của máy gia tốc electron

Ưu điểm

+ Công suất lớn: Hiện nay các máy gia tốc hiện đại có thể đạt tới công suất 10 MW. Một máy gia tốc electron 100kW tương đương với nguồn ^{60}Co 6,74 M Ci hoặc ^{137}Cs 30,12 M Ci.

+ Suất liều lớn: Ưu điểm này giúp thời gian xử lý nhanh, sản lượng cao, có giá thành giảm, tiết kiệm năng lượng.

+ Tác động theo một hướng nhất định: Nếu như nguồn gamma phát ra theo mọi hướng, kể cả những hướng không có sản phẩm cần chiếu xạ, thì chùm hạt gia tốc luôn hướng theo phía có sản phẩm. Do đó, hiệu suất sử dụng năng lượng tăng đáng kể so với nguồn gamma.

+ Hiệu suất sử dụng năng lượng cao:

Theo định nghĩa:

Hiệu suất sử dụng năng lượng = (năng lượng hấp thụ trong sản phẩm)/(năng lượng do nguồn phát ra)

Hiệu suất sử dụng năng lượng để xử lý thực phẩm giữa máy gia tốc và các nguồn bức xạ khác, được giới thiệu trong bảng so sánh sau (Bảng 2.2).

Bảng 2.2. So sánh hiệu suất sử dụng năng lượng của các nguồn bức xạ

Nguồn bức xạ	Hiệu suất, %
Máy gia tốc electron nhanh 10 MeV	60
Nguồn bức xạ hãm $E_{\text{max}} = 5 \text{ MeV}$	50
Nguồn ^{60}Co	30
Nguồn ^{137}Cs	20

Từ bảng trên ta thấy hiệu suất sử dụng năng lượng của nguồn bức xạ electron nhanh là lớn nhất. Trong một số trường hợp, hiệu suất sử dụng năng lượng của chùm electron còn có thể cao hơn.

Nhược điểm

+ Độ xuyên thấp

Nhược điểm chủ yếu của bức xạ electron dưới quan điểm của công nghệ bức xạ là độ xuyên thấp so với bức xạ gamma. Bề sâu “hữu ích” của nó r_{hi} (cm) được tính theo công thức:

$$r_{hi} = k_0 E_0^2 / 3\rho \quad (E_0 \leq 1\text{MeV}) \quad (2.1)$$

$$r_{hi} = k_1 E_0 / 3\rho \quad (E_0 > 1\text{MeV}) \quad (2.2)$$

trong đó: E_0 - năng lượng ban đầu của e^- , MeV.

ρ - mật độ vật liệu, g/cm³.

K_0, k_1 - hệ số tỷ lệ

$[k_0] = \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{eV}^{-2}$

$[k_1] = \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{eV}$

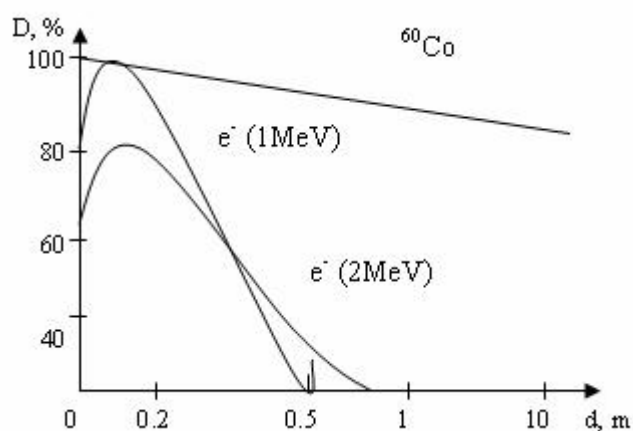
Hình 2.4 giới thiệu phân bố liều theo bề sâu đối với bức xạ gamma của ⁶⁰Co và electron trong nước.

Nếu chiếu đối tượng từ hai phía, r_{hi} sẽ tăng lên 2,4 lần.

+ Tính không tăng đều về liều:

Khả năng xuyên sâu thấp của electron nhanh còn gây ra tính không đồng đều về trường liều trong một vật bị chiếu. Điều này cũng thể hiện trong Hình 2.4 và các Hình 1.5; 1.6 và 1.7

Tóm lại máy gia tốc electron thích hợp nhất đối với các phép chiếu vật liệu có bề dày nhỏ. Ở Nhật Bản, các ứng dụng máy gia tốc electron trong công nghệ bức xạ phổ biến nhất là khâu mạch chất cách điện của cáp, chế tạo màng và ống co nhiệt, chế tạo polyolefin, làm đông cứng lớp phủ bề mặt v.v...



Hình 2.4
Phân bố liều của electron nhanh và bức xạ gamma trong nước

2.3 Các nguồn bức xạ ion khác

Ngày nay các nguồn bức xạ như bức xạ hãm, bức xạ gamma ngắn ngày của các mạch bức xạ trong lò phản ứng và bức xạ tử ngoại cũng được sử dụng để xử lý bức xạ.

2.3.1 Máy gia tốc electron - nguồn bức xạ hãm

Với việc ra đời của máy gia tốc electron công suất lớn, triển vọng của việc sử dụng bức xạ hãm trong công nghệ bức xạ là thực tế.

Tạo bức xạ hãm:

Bức xạ hãm thu được bằng cách hãm electron trong các bia kim loại có Z lớn như Pb, W, Ta, U, Au v.v... Các bia này đôi khi còn gọi là bộ biến đổi. Hiệu suất biến đổi của năng lượng electron thành bức xạ hãm không lớn lắm. Chẳng hạn đối với Pb, với $E = 5\text{MeV}$, hiệu suất là 8%. Số năng lượng còn lại biến thành bức xạ nhiệt, do đó, bia biến đổi cần được làm nguội (thông thường bằng nước).

Bảng 2.3 giới thiệu hiệu suất của một số bộ biến đổi:

Bảng 2.3 Hiệu suất biến đổi bức xạ hãm trên các bia W và U				
Năng lượng e ⁻ , MeV	Vật liệu bia	Bề dày bia, g/cm ³	Hiệu suất bức xạ hãm, %	
			Hướng chùm tia	Tán xạ
4	W	1,1	6,3	3,4
	U	1	6,7	4,0
5	W	1,4	8,2	3,9
	U	1,25	8,7	4,1

Từ bảng trên ta thấy việc tăng năng lượng của electron lên 25% hiệu suất hãm tăng 35%.

Việc thay bia W bằng bia U nặng hơn, hiệu suất tăng không đáng kể.

Bức xạ hãm có dạng phổ năng lượng liên tục:

Năng lượng cực đại của nó bằng năng lượng của electron. Hình 2.5 giới thiệu phổ năng lượng của bức xạ hãm đối với electron năng lượng 5MeV sau tấm lọc bằng chì và không có tấm lọc bằng chì.

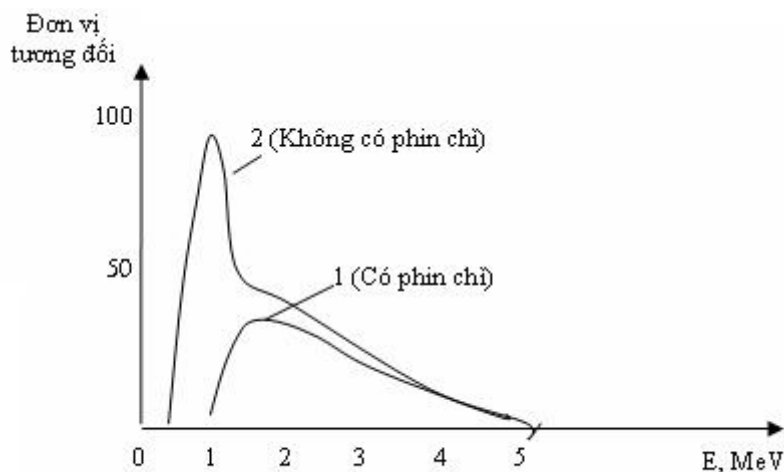
Ưu điểm công suất lớn

Tuy có hiệu suất biến đổi năng lượng thấp, song công suất của bức xạ hãm vẫn rất lớn so với bức xạ gamma của nguồn đồng vị. Chẳng hạn máy gia tốc có công suất 200kW, hiệu suất biến đổi 8%, thì công suất của bức xạ hãm là 16kW tương ứng với 1,08 MCi của thiết bị chiếu xạ ⁶⁰Co. Do đó sử dụng bức xạ hãm rất có triển vọng, đặc biệt trong lĩnh vực khử trùng y tế và xử lý thực phẩm.

Các ưu điểm khác của bức xạ hãm so với nguồn gamma đồng vị

+ Có định hướng: khoảng 2/3 chùm bức xạ hãm có hướng trùng với hướng của chùm electron. Hiệu suất dùng để xử lý thực phẩm tăng từ 1,5 ÷ 2,5 lần so với nguồn gamma đồng vị.

+ Phân bố liều trong sản phẩm đồng đều hơn so với nguồn ^{60}Co và ^{137}Cs (trường hợp $M_{\text{max}} = 5\text{MeV}$)



Hình 2.5
Phổ liên tục của bức xạ gamma

2.3.2 Mạch bức xạ

Mạch bức xạ bao gồm chất chiếu xạ nằm trong vùng hoạt của lò phản ứng hoặc gần vùng hoạt (vùng phản xạ), vành đai chiếu xạ và hệ thống chuyển tải.

Chất chiếu xạ chia làm 2 nhóm: a) Nhóm các chất không bị phân hạch bởi neutron; b) Nhóm các chất bị phân hạch bởi neutron. Nhóm thứ nhất có thể bao gồm: Hợp kim các kim loại nóng chảy: In-Ga và In-Ga-Sn; Na lỏng, dung dịch muối của In và Mn. Tuy nhiên sau này người ta nhận thấy rằng, các dạng dung dịch nước không thích hợp vì chúng tạo ra các sản phẩm khí cũng như quá trình ăn mòn điện hoá cao dễ dẫn tới các trục trặc trong việc truyền tải.

Đã có các hệ vành đai chiếu xạ thực hành công suất 80 kCi(In - Ga - Sn) của Atvia, trong đó 96% hoạt độ là của ^{116}In ($T_{1/2} = 54,12\text{min}$; $E_{\gamma} = 1,15\text{MeV}$). Tính toán cho thấy các dự án mạch bức xạ trên các lò năng lượng của một số nhà máy điện nguyên tử có hiệu quả kinh tế. Trong trường hợp này, công suất có thể đạt được tới 300kW, tương ứng với hoạt độ 20,2 MCi của nguồn ^{60}Co .

Các mạch bức xạ có thể có công suất bức xạ gamma cao hơn đôi với các chất phóng xạ phân hạch (các mảnh phân hạch). Có những dự án công suất mạch tới 0,5 MW.

Nhìn chung, công suất bức xạ gamma của các mạch bức xạ tương đối lớn - đó là điểm ưu việt so với ^{60}Co và ^{137}Cs . Tuy nhiên, hoạt độ riêng của chất chiếu xạ thấp hơn hoạt độ riêng của ^{60}Co . Đối với hợp kim In - Ga thấp hơn khoảng 2 ÷ 3 lần; đối với ^{24}Na thấp hơn hàng chục lần, do đó cần tới các thể tích chiếu lớn, điều này gây ra những khó khăn về mặt kỹ thuật. Ngoài ra, lò phản ứng cũng phải dành một công suất nhất định cho vành đai phóng xạ, điều này làm phức tạp thêm tính an toàn vận hành lò phản ứng.

2.3.3 Bức xạ tử ngoại

Trong những năm gần đây, bức xạ tử ngoại cũng được dùng để xử lý bề mặt, đặc biệt là trong lĩnh vực xử lý bao bì, khâu mạch kết hợp hay khâu mạch ngoại lai. Người ta có thể kết hợp xử lý bề mặt giữa bức xạ tử ngoại và electron hoặc bức xạ tử ngoại - electron - bức xạ hồng ngoại để xử lý bề mặt. Các đối tượng vật liệu để xử lý là giấy, phim, lá kim loại, vật liệu bao bì, vải.. Các loại đèn dùng khí Xe, KrCl, XeCl... hay được sử dụng. Chúng có thể cho công suất tới 400W/cm dây đốt. Các loại đèn thủy ngân có thể biến 60% công suất thành bức xạ tử ngoại.

Một trong những ưu điểm của việc xử lý bề mặt bằng tia tử ngoại là làm giảm các hợp chất hữu cơ bay hơi. Để xử lý bề mặt của một tỷ lon bia bằng bức xạ nhiệt, có tới 29 tấn hoá chất bị bay hơi, trong khi xử lý bằng tia tử ngoại chỉ có 0,2 tấn. Theo đánh giá ở Mỹ, nếu dùng tia tử ngoại để xử lý 100 tỷ lon đồ hộp, thì giảm được 2.700 tấn hợp chất hữu cơ bay hơi, 1400 tấn các hợp chất gây ô nhiễm không khí và 105.000 tấn CO₂. Xử lý bằng tia tử ngoại có thể tiết kiệm 55% năng lượng so với xử lý nhiệt.

Ngày nay, 50% thị trường bao bì ở Bắc Mỹ và châu Âu được xử lý bằng bức xạ.

2.4 Cấu trúc của hệ thiết bị chiếu xạ và đặc điểm của công nghệ bức xạ

2.4.1 Đặc điểm của công nghệ bức xạ

Đặc điểm chung của công nghệ bức xạ là trong công nghệ này, quá trình hoá học, hoá lý, hoá sinh, được thực hiện dưới tác động của bức xạ. Điều này đã dẫn tới sự cần thiết phải sử dụng các công cụ đặc biệt phát ra bức xạ cũng như các thiết bị đảm bảo an toàn bức xạ đối với nhân viên vận hành và những người sử dụng sản phẩm.

2.4.2 Cấu trúc của thiết bị chiếu xạ

- Một thiết bị hoá bức xạ bao gồm:
 - 1) Nguồn bức xạ;
 - 2) Thiết bị hoá bức xạ, nơi thực hiện các quá trình công nghệ;
 - 3) Tổ hợp bảo vệ bức xạ, bảo vệ các nhân viên phục vụ khỏi tác hại của tia bức xạ.
 - 4) Các thiết bị phụ trợ để đo liều, vận hành thiết bị, đưa sản phẩm vào và ra khỏi vùng chiếu xạ v.v...
- Phụ thuộc vào loại nguồn bức xạ ion hoá sử dụng, các thiết bị bức xạ chia làm hai loại: nguồn đồng vị phóng xạ và máy gia tốc.
- Thiết bị hoá bức xạ có thể chia làm 2 nhóm: nhóm thiết bị cố định và nhóm thiết bị di chuyển.
- Tổ hợp bảo vệ bức xạ có tác dụng ngăn chặn các tia bức xạ, giảm liều bức xạ đối với nhân viên và những cư dân ở vùng lân cận tới mức giới hạn được phép.
- Các thiết bị phụ trợ đảm bảo chất lượng của quá trình công nghệ.

Hiện nay các nguồn đồng vị thường được sử dụng trong công nghệ bức xạ là ^{60}Co và ^{137}Cs với năng lượng tương ứng là 1,173MeV và 1,332MeV (^{60}Co) và 0,662 MeV (^{137}Cs).

Các máy gia tốc thường được sử dụng là máy gia tốc electron tác dụng trực tiếp. Ngoài ra người ta còn sử dụng bức xạ hãm là nguồn bức xạ gián tiếp.

2.4.3 Năng lượng bức xạ, độ phóng xạ cảm ứng và độ an toàn sản phẩm

Bảng 2.4. Đặc trưng của một số phản ứng (γ, n)

Số thứ tự	Đồng vị bia	Năng lượng ngưỡng, MeV	Sản phẩm phản ứng
1	$^9\text{Be}_4$	1, 67	$^8\text{Be}_4, ^4\text{He}_2$
2	$^2\text{H}_1$	2, 23	$^1\text{H}_1$
3	$^{204}\text{Pb}_{82}$	8, 2	$^{203}\text{Pb}_{82}$
4	$^{70}\text{Zn}_{30}$	9, 2	$^{69}\text{Zn}_{30}$
5	$^{65}\text{Cu}_{29}$	9, 9	$^{64}\text{Cu}_{29}$
6	$^{14}\text{N}_7$	10, 5	$^{13}\text{N}_7$

Năng lượng bức xạ: Năng lượng bức xạ gamma và e- thường được dùng trong công nghệ bức xạ nằm trong khoảng 0,6 – 10 MeV. Ở năng lượng bức xạ cao, cần chú ý tới các phản ứng quang neutron (γ, n) tạo ra các hoạt độ bức xạ cảm ứng đối với sản phẩm chiếu xạ (xem Bảng 2.4).

Độ phóng xạ cảm ứng

+ Các sản phẩm của phản ứng 1 và 2 không phải là đồng vị phóng xạ. Các trường hợp khác là đồng vị phóng xạ.

Từ bảng trên ta thấy bức xạ gamma có năng lượng 1,67MeV và 2,23MeV không gây ra các sản phẩm phóng xạ. Về phương diện này rõ ràng ^{60}Co và ^{137}Cs là các nguồn an toàn không gây ra phóng xạ cảm ứng.

Các phản ứng 3, 4, 5 có tiết diện phản ứng nhỏ và trên thực tế độ phóng xạ cảm ứng sinh ra không đáng kể. Trong các thực phẩm chiếu xạ, mức phóng xạ này chỉ ngang với mức phóng xạ tự nhiên của sản phẩm như ^{40}K , ^{14}C , U, Th, ...

Các sản phẩm phóng xạ khác

Các sản phẩm phóng xạ khác có thể xuất hiện trong các phản ứng (γ, n) như đối với iốt, thiếc, chì bari... Ngoài ra, chúng có thể là sản phẩm kích hoạt của neutron. Nguồn phát ra neutron là từ phản ứng (γ, n), đặc biệt là đối với đơtri trong nước. Hàm lượng tương đối của đơtri so với hydro là $1,5 \times 10^{-4}$. Ngoài ra neutron còn phát ra từ các bia hãm làm bằng kim loại nặng để phát ra bức xạ hãm khi e- bị làm chậm. Trong các loại bia này, đáng chú ý nhất là vonfram. Ngưỡng xuất hiện neutron đối với nguyên tố này là 7,2 MeV. Để loại bỏ quá trình này người ta có thể sử dụng các loại bia nhẹ hơn, chẳng hạn như đồng.

Mức độ an toàn của thực phẩm chiếu xạ

+ Trong chiếu xạ thực phẩm, electron có năng lượng dưới 10, 11 MeV và liều hấp thụ dưới 10 kGy, hoạt độ phóng xạ chỉ khoảng vài phần trăm so với hoạt độ phóng xạ tự nhiên.

+ Trong trường hợp bức xạ hãm có năng lượng 3 – 10MeV, hoạt độ phóng xạ ở 10kGy chiếm cỡ mức phóng tự nhiên nhưng nó sẽ giảm trong vòng vài ngày.

Ở Mỹ cho phép áp dụng bức xạ gamma của ^{60}Co và ^{137}Cs , bức xạ hãm có năng lượng cực đại $\leq 5\text{MeV}$ và electron có năng lượng $\leq 10\text{MeV}$, để xử lý thực phẩm.

2.4.4 Hiệu suất sử dụng năng lượng và giá thành sản phẩm

Hiệu suất:

Đặc điểm của bức xạ ion hoá là có hiệu suất năng lượng cao hơn hẳn so với các loại bức xạ khác, chẳng hạn so với bức xạ nhiệt. Điều này liên quan tới hai nguyên nhân 1) bức xạ ion hoá có năng lượng lớn với hiệu suất hiệu dụng cao, sinh ra trong vật chất các hạt (ion, electron, gốc tự do, phân tử kích thích ...) có khả năng gây phản ứng hoá học, các biến đổi hoá lý; 2) bức xạ ion hoá trong nhiều trường hợp có độ định vị cao tập trung vào phạm vi thể tích xảy ra phản ứng. Do đó, có thể nói sử dụng bức xạ ion hoá có lợi về mặt năng lượng.

Ví dụ 1: Để làm đông cứng chất phủ bề mặt bằng bức xạ cần $2,7 \text{ kWh/m}^2$ nhiệt, trong đó chỉ có 2% nhiệt lượng được chất phủ hấp thụ, còn lại là các tiêu tốn vô ích (làm nóng nền kim loại và môi trường xung quanh). Trong khi đó, dùng electron ở liều 50 kGy năng lượng tiêu tốn 85 lần ít hơn, hơn nữa hầu như toàn bộ năng lượng do chất phủ hấp thụ.

Ví dụ 2: Để xử lý 1kg thực phẩm:

Phương pháp đông lạnh cần: 4,44 kWh

Phương pháp đóng hộp cần: 6,67 kWh

Phương pháp bức xạ cần: 1,11 kWh

Giá thành

Việc sử dụng hiệu suất năng lượng cao và tập trung trong xử lý bức xạ dẫn tới giá thành sản phẩm giảm so với xử lý nhiệt. Bảng 2.5 giới thiệu sự so sánh đó.

Bảng 2.5. So sánh giá thành xử lý vật liệu của bức xạ nhiệt và bức xạ ion hoá

Chi phí xử lý vật liệu bằng nhiệt và bức xạ ion hoá		
Loại vật liệu	Bức xạ nhiệt	Bức xạ ion hoá
Khâu mạch vỏ cáp cách điện polietilen (chịu được 600V)	2,4cent/kg	1,1 cent/kg (D = 0,15MGy)
Lưu hoá cao su tấm		
Lớp đồng cứng bề mặt polyeste(1,5T/h)	6,2 cent/kg	0,73 cent/kg (D = 0,1MGy)
Đồng cứng sơn	50USD/h	12USD/h
Xử lý thực phẩm đóng hộp		
Khử trùng dụng cụ y tế	9000USD/tháng	16USD/tháng
	3,7cent/kg/ngày	0,4 cent/kg. ngày
	1,8 USD/m ³ (etylen oxit)	0,4USD/m ³ (d = 25kGy; e ⁻)

Phân loại quá trình hoá bức xạ theo hiệu suất hoá bức xạ (hay năng lượng tiêu tốn).

Thường thường người ta chia quá trình hoá bức xạ thành 3 nhóm:

+ Nhóm 1: $G < 10$ Năng lượng tiêu tốn cao

+ Nhóm 2: $10 < G < 20$ Năng lượng tiêu tốn tương đối thấp

+ Nhóm 3: $G > 20$ Năng lượng tiêu tốn thấp

Các quy trình công nghệ thường thuộc nhóm 3 (nhóm có hiệu suất cao). Tuy nhiên có một số quy trình thuộc nhóm 1, 2, ví dụ quy trình khâu mạch của polyolefin.

2.4.5 Đặc điểm của các quy trình công nghệ bức xạ

Các công nghệ bức xạ có các đặc điểm sau:

i) Tốc độ của các quy trình hoá bức xạ hầu như không phụ thuộc vào nhiệt độ, nhiều quy trình thực hiện ở nhiệt độ thấp.

ii) Không cần tới các chất khơi mào và xúc tác.

iii) Dễ điều khiển (thông qua liều hấp thụ hoặc thời gian chiếu xạ).

iv) Thân thiện với môi trường: Giảm lượng hoá chất dùng; không tạo ra chất độc, chất lây nhiễm.

v) Sản lượng cao (do chiếu xạ có thể thực hiện ở tốc độ lớn).

Chương 3

Các phương pháp đo liều cao trong xử lý bức xạ

Để đánh giá định lượng quá trình truyền năng lượng của bức xạ cho vật chất, người ta dùng những phương pháp xác định các biến đổi vật lý và hoá học phụ thuộc vào số năng lượng hấp thụ trong vật chất sử dụng làm liều lượng kế. Dựa vào các quá trình biến đổi của vật chất, có thể chia liều lượng kế thành hai nhóm: Nhóm liều lượng kế sơ cấp và nhóm liều lượng kế thứ cấp.

3.1 Phân loại liều lượng kế

3.1.1 Liều lượng kế sơ cấp và thứ cấp

Liều lượng kế sơ cấp cho phép xác định năng lượng hấp thụ thông qua các biến đổi vật lý như sự gia tăng nhiệt độ trong nhiệt lượng kế, quá trình ion hoá của chất khí trong các buồng ion hoá hoặc điện tích mà các chùm hạt mang điện có năng lượng xác định mang theo. Với liều lượng kế thứ cấp, người ta có thể xác định năng lượng hấp thụ thông qua các biến đổi hoá học, chẳng hạn sự đổi màu trong thuỷ tinh và chất dẻo, sự hấp thụ các bước sóng ánh sáng đặc trưng trong các dung dịch hoá chất.

3.1.2 Hệ thống theo dõi liều lượng kế và mục đích sử dụng

Một trong những phẩm chất quan trọng của liều lượng kế là khả năng có thể theo dõi và đánh giá liều với độ chính xác nhất định tại các phòng thí nghiệm khác nhau.

Dựa vào cấp chính xác theo dõi liều và mục đích sử dụng, người ta chia liều lượng kế thành 3 loại: liều lượng kế chuẩn, liều lượng kế so sánh và liều lượng kế thông dụng.

Liều lượng kế chuẩn thường được sử dụng tại các phòng chuẩn liều quốc gia. Loại liều lượng kế này tuy sử dụng khá phức tạp song cho kết quả và độ lặp lại với độ chính xác rất cao. Điển hình của loại liều lượng kế này là nhiệt lượng kế.

Liều lượng kế so sánh: Các liều lượng kế so sánh thường được sử dụng làm liều lượng kế chuẩn cho các phòng thí nghiệm đo liều. Đại diện cho các liều lượng kế so sánh là buồng ion hoá và một số liều kế hóa học.

Liều lượng kế thông dụng: là những liều kế có cấp chính xác và độ lặp lại thấp hơn so với hai loại liều lượng kế trên, song lại tiện dụng cho người sử dụng. Điển hình của các loại liều kế này là các phim biến đổi màu, các liều kế plastic như perspex, PMMA, v.v...

Tất cả ba loại liều lượng kế trên đều có thể dễ dàng chuyên chở và có thể tham gia vào các phép so sánh đánh giá liều giữa các phòng thí nghiệm.

Bảng 3.1 giới thiệu các đặc điểm chủ yếu của các loại liều kế có thể tham gia phép so sánh đánh giá liều giữa các phòng thí nghiệm.

Bảng 3.1. Các liều lượng kế so sánh điển hình trong xử lý bức xạ

Liều lượng kế	Hệ đo sử dụng	Dải liều hữu ích	Ghi chú
Nhiệt lượng kế	Nhiệt kế	$10^3 - 10^5$ (Gy)	Chủ yếu dùng cho bức xạ e^-
Buồng ion hoá	Ampe kế	$10^1 - 3.10^4$ Gyh ⁻¹	Dạng điện cực tấm
Máy đo mật độ dòng electron	Ampe kế	0.01– 10 (A/cm ²)	Dùng cho bức xạ e^-
Sắt sulfate	Quang phổ kế UV	$40 - 2.10^3$ (Gy)	Dung dịch oxy hoá chứa trong ampul thủy tinh
Ceric - Cerous Sulfate	Quang phổ kế UV	$10^3 - 10^5$ (Gy)	(như trên)
Kali dichromate	Điện áp kế	$5.10^3 - 4.10^4$ (Gy)	Dung dịch trong ampul
Alanine	Quang phổ kế Phổ kế cộng hưởng spin điện tử	$1 - 10^5$ (Gy)	Dạng viên nén, thanh (tia gamma) hoặc film (e^-)

3.2 Các tiêu chí lựa chọn liều lượng kế và dải liều sử dụng

3.2.1 Các tiêu chí lựa chọn

Theo mục đích sử dụng, người ta thường dựa vào các tiêu chí sau đây để lựa chọn các liều lượng kế:

- Đo giá trị liều tương đối hay tuyệt đối;
- Độ chính xác hay độ lặp lại của phép đo liều;
- Đo liều tổng hay đo suất liều;
- Đo trong khi chiếu (on-line) hay đo sau khi chiếu (off-line);
- Dải đo liều;
- Loại bức xạ và năng lượng bức xạ;
- Độ phân giải không gian;
- Thiết bị đo liều sử dụng;
- Giá thành của liều lượng kế;
- Mật độ riêng của liều lượng kế;
- Độ bền cơ học...

3.2.2 Dải liều sử dụng đối với các liều lượng kế

Các đối tượng của quá trình xử lý bức xạ và công nghệ bức xạ được xếp vào dải liều cao từ vài trăm gray tới hàng trăm kilogray. Bảng 3.2 giới thiệu và so sánh dải liều của công nghệ bức xạ với các lĩnh vực ứng dụng khác.

Bảng 3.2 Dải liều và phạm vi ứng dụng		
Liều, Gy	Mức liều	Lĩnh vực áp dụng
$10^5 - 10^7$ $10^2 - 10^5$	Mức lò phản ứng hạt nhân Mức công nghệ bức xạ	Thử độ bền bức xạ của vật liệu Biến tính vật liệu, tiệt trùng, bảo quản thực phẩm Xạ trị
$10^0 - 10^1$ $10^{-2} - 10^{-1}$	Mức điều trị ngoại khoa Mức liều thanh tra	Kiểm tra không phá huỷ, chụp ảnh tia X công nghiệp
$10^{-4} - 10^{-2}$	Mức liều bảo vệ	Chụp ảnh tia X y tế (1 lần), tia vũ trụ (1 năm) Môi trường phóng xạ
10^{-5}	Mức môi trường	

3.3 Các loại liều lượng kế đo liều cao

3.3.1 Nhiệt lượng kế

Phương pháp đo nhiệt lượng là một phương pháp đo trực tiếp năng lượng hấp thụ của một chất đối với bức xạ. Nhiệt lượng kế là thiết bị đo nhiệt độ trong khối vật liệu đặt trong trường bức xạ. Vật liệu sử dụng trong nhiệt lượng kế phải có độ dẫn nhiệt tốt và đảm bảo sao cho toàn bộ năng lượng hấp thụ được biến thành nhiệt. Trong thực tế graphit hoặc kim loại là các vật liệu thích hợp cho nhiệt lượng kế. Nhiệt độ trong nhiệt lượng kế được đo bằng nhiệt điện trở. Liều lượng hấp thụ D được xác định theo công thức:

$$D = T.C/m \text{ (kg)} \quad [\text{Gy}] \quad (3.1)$$

trong đó, T là nhiệt độ gia tăng tính theo đơn vị K, C là nhiệt dung của nhiệt lượng kế tính theo đơn vị [JK-1].

Đối với các nguồn bức xạ có cường độ nhỏ, nhiệt độ gia tăng không đáng kể, do đó phương pháp nhiệt lượng kế không phải là phương pháp đo liều thích hợp cho trường hợp này.

3.3.2 Buồng ion hoá

Hiện tượng ion hoá trong chất khí được sử dụng trong phép đo liều lượng. Dụng cụ đo liều là buồng ion hoá, có cấu tạo từ hai điện cực và giữa chúng là chất khí. Hai điện cực được nối với một điện thế có tác dụng hút các ion trái dấu khi có hiện tượng ion hoá do bức xạ và tạo ra một dòng điện có thể ghi nhận được. Liều hấp thụ có thể tính theo công thức:

$$D = \frac{D_{\text{irr}} w}{e} \quad (3.2)$$

trong đó D - liều chiếu theo đơn vị [Ckg-1]; w - năng lượng trung bình để tạo ra một cặp ion trong chất khí tính theo đơn vị [J]; e - điện tích của electron tính theo đơn vị [C].

Buồng ion hoá có thể sử dụng như các liều lượng kế sơ cấp hoặc thứ cấp.

3.3.3 Các loại liều lượng kế hoá học

Liều lượng kế hoá học thuộc nhóm liều lượng kế thứ cấp, trong đó liều lượng hấp thụ D được xác định từ các biến đổi hoá học do bức xạ gây ra.

$$D = 9,648 \times 10^6 \times \frac{\text{hiệu suất sản phẩm}}{G} \quad (3.3)$$

trong đó hiệu suất sản phẩm tính bằng [molkg-1], còn giá trị G được tính bằng số phân tử kích hoạt được đo khi hấp thụ 100 eV.

Để tăng độ nhạy, người ta thường bổ sung các chất phụ gia vào thành phần chính của liều lượng kế hoá học.

Liều kế hoá học rất đa dạng. Nhìn chung đây là loại liều kế đơn giản, có thể chế tạo tại các phòng thí nghiệm và cơ sở chiếu xạ, thiết bị đo đạc không đắt tiền. Có thể giới thiệu một số liều lượng kế hoá học tiêu biểu sau đây.

3.3.3.1 Liều lượng kế pha khí

Liều lượng kế pha khí thường sử dụng các dạng khí như N_2O , H_2S và ethylen C_2H_2 . Liều lượng được đánh giá theo áp suất đo được hoặc bằng phương pháp sắc ký khí đối với các sản phẩm phân tích bức xạ. Loại liều lượng kế này ít được sử dụng hơn so với liều lượng kế chất lỏng và chất rắn.

3.3.3.2 Liều lượng kế chất lỏng

Hai loại liều lượng kế chất lỏng sử dụng phổ biến nhất là sắt sulfate hay còn gọi là liều lượng kế Fricke và xeri sulfate.

Liều lượng kế Fricke

Do có độ chính xác cao khoảng $\pm 1\%$, liều lượng kế Fricke thường được sử dụng làm liều kế so sánh để chuẩn các liều lượng kế thông dụng.

Khi bị chiếu xạ, hoá trị sắt thay đổi ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$), phổ hấp thụ bức xạ có bước sóng đặc trưng ở 304 nm và có thể đo bằng quang phổ kế. Liều lượng hấp thụ tỷ lệ với độ thay đổi của mật độ quang ΔA

$$D = k\Delta A \quad (3.4)$$

trong đó, k là hệ số tỷ lệ phụ thuộc vào mật độ của dung dịch, giá trị G , kích thước của ampul đựng mẫu, năng lượng và loại bức xạ.

Liều lượng kế xeri sulfate

Trong liều lượng kế xeri sulfate, ion Ce^{4+} biến đổi thành Ce^{3+} dưới tác dụng của bức xạ.

Ngoài hai loại liều lượng kế chất lỏng trên, người ta còn sử dụng các loại liều kế khác như dichromate, glucose, ethanol-chlorobenzene.v.v...

Bảng 3.3 giới thiệu các đặc trưng cơ bản của các liều lượng kế pha khí và chất lỏng.

Bảng 3.3. Các đặc trưng chủ yếu của các liều kế hoá học thể khí và thể lỏng

Liều lượng kế	Biến đổi hoá học (và giá trị G)	Phương pháp đo (bước sóng, nm)	Dãi liều(Gy) (và độ chính xác)
Fricke	$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ (15,5)	Quang phổ kế (304)	40 – 350 ($\pm 1\%$)
Xeri sulfate	$Ce^{4+} \rightarrow Ce^{3+}$ (2,41)	Quang phổ kế (320)	$10^2 - 10^5$ ($\pm 3\%$)
Dichromate	$Cr_2O_7^{2-} \rightarrow Cr^{3+}$ (0,38)	Quang phổ kế (440)	$(1-4) \cdot 10^4$ ($\pm 1\%$)
Chlorobenzene	$C_6H_5Cl \rightarrow HCl$ (4-7)	Điện trở kế	$50 - 10^6$ ($\pm 3\%$)
Ethylene	$C_2H_4 \rightarrow H_2$ (1,35)	Áp suất kế, sắc ký khí	$10^3 - 10^5$ ($\pm 5\%$)
Hydrogen Sulfide	$H_2S \rightarrow H_2$ (7)	Áp suất kế, sắc ký khí	$3 \cdot 10^3 - 10^5$ ($\pm 7\%$)
Nitrous oxide	$N_2O \rightarrow N_2$...(10)	Áp suất kế, sắc ký khí	$5 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^4$ ($\pm 5\%$)

3.3.3.3 Liều lượng kế thể rắn

Liều lượng kế thể rắn có một số ưu điểm so với liều lượng kế thể lỏng và thể khí như có thể chế tạo dưới dạng các tấm hoặc phim tiện lợi cho việc đo đạc và sử dụng, chúng có độ bền cơ học cao, dễ bảo quản, dễ vận chuyển và nhiều loại trong số đó có thể sử dụng nhiều lần. Chúng rất được ưa dùng dưới dạng các liều lượng kế thông dụng. Nhược điểm có thể thường gặp trong một số loại liều lượng kế thể rắn là có thể chịu tác động của một số tác nhân như nhiệt độ, độ ẩm, suất liều trong quá trình chiếu xạ và bảo quản, khi đó giá trị G của liều lượng kế có thể thay đổi.

Đối với phép xử lý bằng chùm electron nhanh, loại liều kế phim hay màng mỏng rất được ưa chuộng.

a) Liều lượng kế Polymethyl Methacrylate (PMMA)

Có hai loại liều lượng kế được chế tạo từ chất PMMA, đó là PMMA trong suốt và PMMA nhuộm màu.

i) Liều lượng kế PMMA trong suốt

PMMA là một chất polyme rắn thường được chế tạo dưới dạng thanh hoặc thẻ. Bước sóng hấp thụ đặc trưng của PMMA ở gần 300 nm. Sự hấp thụ bước sóng vùng tử ngoại của PMMA liên quan đến sự hình thành các gốc tự do peroxy. Ngưỡng của loại liều kế này ở khoảng 1 kGy, dải liều từ 1÷60 kGy. Hàm đặc trưng liều có dạng hàm mũ bão hoà; tuy nhiên trong thực tế, dải tuyến tính từ 1÷10 kGy thường được ưa chuộng để sử dụng.

Các loại liều kế PMMA trong suốt thường được sử dụng là DRD – 0.4/4, HX Dosimetry Perxpex, Radix RN 15 ...

ii) Liều lượng kế PMMA nhuộm màu

Liều lượng kế PMMA nhuộm màu thường được chế tạo với các chất màu hữu cơ hoặc vô cơ (chẳng hạn red perxpepex 4034, amber perxpepex 3042, GAMMACHROME YR, v.v... Loại liều kế này thường bị sẫm màu khi chiếu xạ. Chúng được chế tạo dưới dạng các thẻ 10x4 mm² với bề dày từ 1-3 mm. Độ hấp thụ được đo bằng quang phổ kế.

b) Liều lượng kế analine

Có một số dạng analine, như dạng $\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H}$ thường được sử dụng để đo liều lượng. Khi bị chiếu xạ, các gốc tự do hình thành thường bị giữ lại trong các bẫy, tạo ra hiện tượng cộng hưởng spin của electron (EPS). Các gốc tự do bị bắt giữ tồn tại rất lâu trong analine vì vậy loại liều lượng kế này thường được dùng làm liều lượng kế so sánh giữa các phòng thí nghiệm. Người ta thường dùng thiết bị đo EPS để xác định liều hấp thụ. Biên độ của tín hiệu EPS tỷ lệ với liều hấp thụ.

c) Liều lượng kế phim đổi màu do bức xạ

Các chất màu thay đổi do bức xạ thường được sử dụng để chế tạo các liều lượng kế dạng phim dưới dạng hỗn hợp chất màu với polyme hoặc được phủ một lớp mỏng trên giấy hoặc phim polyme (Cellulose, Cellulose triacetate, Nylon, Polyvinyl acetate, Polyvinyl Chloride, Polyvinyl Alcohol (PVA)...). Độ hấp thụ của bước sóng đặc trưng được đo bằng quang phổ kế.

Có thể sử dụng các phim trộn với một hỗn hợp nhiều màu và sử dụng nhiều bước sóng đặc trưng để tăng độ nhạy của liều kế.

d) Các liều lượng kế thể rắn khác

Một số chất rắn hữu cơ và vô cơ có thể phát sáng khi được hoà tan trong nước sau khi bị chiếu xạ. Hiện tượng này được gọi là huỳnh quang dung môi (lyoluminescence), chẳng hạn như amino acid glutamine, $\text{HO}_2\text{CCH}(\text{NH}_2)\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{CONH}_2$, phenylalanine, valine...

Đơn tinh thể LF khi hoà tan trong acid sulfuric cũng có thể dùng để đo liều trong dải 1-10 MGy.

Một trong các dạng liều lượng kế hay được dùng là liều lượng kế thuỷ tinh như thuỷ tinh cobalt, thuỷ tinh bạc, thuỷ tinh $\text{Mn}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5\text{-Cr}_2\text{O}_3$.v.v...

Các chất nhiệt huỳnh quang sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực an toàn bức xạ như $\text{CaF}_2\text{:Mn}$, $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ cũng được sử dụng để đo liều trong lĩnh vực xử lý bức xạ ở dải liều thấp. Khi bị chiếu xạ, trong các chất nhiệt huỳnh quang xuất hiện các khuyết tật, đó là các lỗ trống và electron bị bắt giữ trong các bẫy. Năng lượng dưới dạng huỳnh quang của chúng được giải phóng khi bị nung nóng, có mối tương quan xác định với liều hấp thụ.

Bảng 3.4 giới thiệu các đặc trưng chủ yếu của một số liều lượng kế thể rắn.

Bảng 3.4 Các đặc trưng chủ yếu của một số liều lượng kế thể rắn			
Liều lượng kế	Hiệu ứng chiếu xạ	Phương pháp đo (bước sóng, nm)	Dải liều, Gy (độ chính xác)
<u>Liều lượng kế nền polyme</u>			
- PMMA trong	Tạo và phá huỷ tâm màu	Quang phổ kế (310)	$10^3 - 6 \cdot 10^4$ $\pm (2 - 5)\%$
- PMMA nhuộm màu	Tạo và phá huỷ tâm màu	Quang phổ kế (360 – 640)	$10^3 - 10^5$ ($\pm 3\%$)
- PVC	Tạo tâm màu	Quang phổ kế (278 – 600)	$5 \cdot 10^3 - 6 \cdot 10^4$ ($\pm 10\%$)
- CTA		Quang phổ kế (360 – 640)	$10^3 - 10^5$ ($\pm 3\%$)
<u>Liều lượng kế hữu cơ</u>			
	Tạo gốc tự do bị bẫy		
- Analine	Phá huỷ tâm màu	Phổ kế EPS	$10 - 10^5$
- Anthracene		Quang phổ kế (440)	$5 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^5$
- Glutamin lyoluminescence	Tạo gốc tự do, electron, lỗ trống bị bẫy	Huỳnh quang kế	$10^3 - 10^4$ ($\pm 3\%$)
<u>Liều kế vô cơ</u>			
	Tạo tâm màu		
	Tạo tâm màu		
- Thủy tinh cobalt			$10^2 - 2 \cdot 10^4$ ($\pm 2\%$)
- Thủy tinh nikel	Tạo e ⁻ và lỗ trống bị bẫy	Quang phổ kế	$10^2 - 10^4$
- LiF	Tạo e ⁻ và lỗ trống bị bẫy		
- CaMg		Quang phổ kế (360 – 745)	$10^{-5} - 10^3$
		Đo tín hiệu TLD	$\pm (1 - 3\%)$ $10^{-5} - 3 \cdot 10^3$
		Đo tín hiệu TLD	$\pm (2 - 5 \%)$

Chương 4

Quá trình truyền năng lượng và cơ sở lý thuyết của công nghệ bức xạ

4.1. Đối tượng nghiên cứu của bộ môn công nghệ bức xạ

Quá trình tương tác của bức xạ với vật chất ngày nay đã được ứng dụng để xử lý vật liệu, làm cho vật liệu có những tính năng mới. Nhiều quá trình xử lý bức xạ đã trở thành những quy trình công nghệ. Công nghệ bức xạ đã trở thành một lĩnh vực kinh tế kỹ thuật, một công cụ đổi mới trong công nghiệp.

Các dạng bức xạ phổ biến áp dụng hiện nay là bức xạ electron, tia gamma, bức xạ hãm, bức xạ tử ngoại, chùm ion, bức xạ neutron. Nói chung đây là các dạng bức xạ có năng lượng thấp. Các nguồn bức xạ thông dụng bao gồm các nguồn bức xạ thụ động (nguồn đồng vị phóng xạ như ^{60}Co , ^{137}Cs ,...), các nguồn bức xạ chủ động (máy gia tốc, thiết bị phát chùm tia).

Quá trình truyền năng lượng của bức xạ cho vật chất và mối tương quan của nó với các biến đổi của vật chất được coi là cơ sở của công nghệ bức xạ. Ta hãy xem xét một số lý thuyết về quá trình truyền năng lượng.

4.2. Lý thuyết cấu trúc vết

Để định lượng hóa quá trình chiếu xạ, cần thiết phải xác lập mối tương quan giữa đặc trưng của trường chiếu xạ với các đặc trưng tương tác của bức xạ với vật chất. Lý thuyết cấu trúc vết do R. Katz đề xuất trong đó xem xét mối tương quan giữa mật độ vết khuyết tật được tạo ra do quá trình ion hóa dọc theo đường đi của hạt mang điện với liều lượng mà vật thể hấp thụ. Xuất phát điểm của lý thuyết là thông kê Poisson. Đối với các phân bố ngẫu nhiên, xác suất để một phần tử nhạy bức xạ trong một tập hợp các phần tử nhạy bức xạ đồng nhất về mặt thống kê và bị va chạm X lần, khi số va chạm trung bình là A , được xác định bằng biểu thức

$A^x \cdot \frac{e^{-A}}{x!}$! Xác suất của một phần tử không bị va chạm lần nào ($x=0$) sẽ là e^{-A} , do đó xác suất của một số phần tử bị 1 hoặc nhiều hơn 1 lần va chạm sẽ là $(1-e^{-A})$. Giả sử khi hệ thống được chiếu bởi tia gamma, với D_{37} là liều lượng trung bình mỗi phần tử nhạy bức xạ nhận được trong một va chạm. Khi đó số lần va chạm $A = \frac{D}{D_{37}}$, nếu hệ thống được chiếu đều để có

liều hấp thụ là D . Như vậy, xác suất để một phần tử của hệ thống chịu 1 hoặc nhiều lần va chạm sẽ là:

$$P = 1 - e^{-\frac{D}{D_{37}}} \quad (4.1)$$

Giả sử sau va chạm với bức xạ, các phân tử bị va chạm trở thành phân tử kích hoạt có thể ghi nhận được. Khi đó mật độ các phân tử kích hoạt được xác định bằng hàm đặc trưng liều $n(D)$:

$$n(D) = CP = C(1 - e^{-\frac{D}{D_{37}}}) \quad (4.2)$$

trong đó C - mật độ của các phân tử nhạy bức xạ.

Như vậy sự phụ thuộc giữa mật độ các phân tử kích hoạt và liều hấp thụ tuân theo luật hàm mũ bão hòa. Độ nhạy của vật liệu được xác định bằng đại lượng $1/D_{37}$.

Khi

$$D = D_{37}, n(D) = C(1 - \frac{1}{e}) = C(1 - 0,37) = 0,63C \quad (4.3)$$

Do C là mật độ của các phân tử nhạy bức xạ khả dĩ có thể trở thành các phân tử kích hoạt, nên có thể nói D_{37} là liều lượng tại đó mật độ các phân tử kích hoạt đạt tới 63% mức bão hòa.

Lý thuyết cấu trúc vết lúc đầu được phát triển để tiên đoán hàm đặc trưng liều và độ nhạy bức xạ của các enzyme và vi rút khi được chiếu xạ bởi các hạt mang điện năng lượng cao hay như người ta thường nói bởi bức xạ truyền năng lượng tuyến tính cao (High linear energy transfer radiation - High LET). Với ý nghĩa đó bức xạ gamma được xếp vào loại truyền năng lượng tuyến tính thấp (Low LET).

Lý thuyết cấu trúc vết được dùng để mô tả đường đặc trưng liều của một số liều lượng kế bức xạ như alanine, thủy tinh và một số loại liều lượng kế khác [7].

4.3. Mô hình truyền năng lượng

Để có thể tính đến các hiệu ứng của suất liều, các hiệu ứng gây bởi các yếu tố như nhiệt độ, độ ẩm, hiệu ứng hóa học, hiệu ứng liều siêu cao, ... cũng như vai trò của nền phong trong một chất chiếu xạ, mô hình truyền năng lượng đã được nghiên cứu và phát triển [8].

Khác với lý thuyết cấu trúc vết, các phân tử kích hoạt được tạo ra dọc theo đường đi của hạt mang điện, mô hình truyền năng lượng coi năng lượng bức xạ được phân bố đều trong thể tích nghiên cứu và được các phân tử cấu thành hấp thụ. Hệ nghiên cứu bao gồm các phân tử nhạy bức xạ đồng nhất, chúng có thể là nguyên tử, phân tử hoặc một trạng thái tổ hợp nào đó.

Trường bức xạ tác động lên hệ nghiên cứu bao gồm bức xạ sơ cấp và bức xạ thứ cấp. Năng lượng tích lũy trong vật liệu gây bởi bức xạ thứ cấp, bao gồm electron, các loại gốc tự do và bức xạ điện từ, tiếp tục gây ra hiện tượng ion hoá, kích thích, tạo khuyết tật, tạo gốc tự do, gây biến đổi hoá lý, ... và tất cả chúng đóng góp vào hiệu ứng bức xạ tổng biểu hiện bằng các phân tử kích hoạt có thể ghi nhận được bằng cách nào đó.

Ta hãy xem xét phương trình mô tả mối tương quan giữa mật độ của các phân tử kích hoạt, liều và suất liều. Các phân tử kích hoạt ở đây được hiểu theo một nghĩa rộng như đã nói ở trên.

Khi một đơn vị khối lượng của môi trường xem xét chứa C phân tử nhạy bức xạ, hấp thụ một liều là D với vận tốc không đổi D' trong khoảng liều dD , thì sẽ có $n(D)$ các phân tử kích hoạt được tạo ra với xác suất xuất hiện trong một đơn vị thời gian là p và tương ứng với nó xác suất xuất hiện trong một đơn vị liều là p/D' . Như vậy sự gia tăng các phân tử kích hoạt ứng với một đơn vị liều lượng hấp thụ được xác định bằng biểu thức $[C - n(D)]p/D'$. Tuy nhiên

trong thực tế, số lượng các phần tử kích hoạt quan sát được thường nhỏ hơn giá trị này do chúng bị mất mát trong quá trình tái hợp hoặc khử kích hoạt với các phần tử kích hoạt khác, do bức xạ cũng như do các tác động khác như hoá học, nhiệt độ, độ ẩm của môi trường v.v... Ngoài ra có thể có những quá trình mất mát khác, có thể loại trừ được (do rò rỉ, do phản ứng hạt nhân, ...) để đơn giản hoá, ta không xét đến. Lượng các hạt bị khử kích hoạt được mô tả bằng biểu thức $(q_r + q_c + q_t + q_h + \dots) n(D)/D'$, trong đó: $q_r, q_c, q_t, q_h, \dots$ tương ứng là xác suất của một phần tử kích hoạt trở thành khử kích hoạt bởi tác động của bức xạ, hoá học, nhiệt độ, độ ẩm v.v... và

$$q = q_r + q_c + q_t + q_h + \dots \quad (4.4)$$

Cả hai xác suất p và q đều phụ thuộc vào bản chất của chất nghiên cứu và loại bức xạ.

Như vậy sự biến đổi của số các phần tử kích hoạt trong một đơn vị khối lượng đối với một đơn vị liều hấp thụ, được biểu diễn bằng phương trình:

$$\frac{dn(D)}{dD} = \frac{p}{D'} [C - n(D)] - q \frac{n(D)}{D'} \quad (4.5)$$

trong đó p và q là các giá trị dương có thứ nguyên là s^{-1} . Nghiệm của phương trình có thể tìm dưới dạng

$$n(D) = n_s [1 - e^{-k_0 \frac{D}{D'}}] + n_0 e^{-k_0 \frac{D}{D'}} \quad (4.6)$$

trong đó các hệ số

$$n_s = \frac{pC}{(p - q)} = n(\infty) \quad (4.7)$$

$$n_0 = n(0) \quad (5.2)$$

$$n_0 = n(0) \quad (4.8)$$

$$k_0 = p - q \quad (4.9a)$$

trường hợp xác suất p và q là các đại lượng phụ thuộc ta có:

$$k_0 = p \cdot q \quad (4.9b)$$

Hệ số n_0 được coi là nền phong, vì nó là số các phần tử bị “kích hoạt” khi vật chất chưa bị chiếu xạ ($D=0$). Tuy nhiên, như ta thấy trong công thức (4.6), n_0 tham gia vào quá trình chiếu xạ.

Biểu thức (4.6) chính là hàm đặc trưng liều của một liều lượng kế làm từ vật liệu nghiên cứu, trong đó có tính đến sự phụ thuộc vào suất liều, các hiệu ứng ảnh hưởng đến hàm đặc trưng, cũng như vai trò của nền phong trong quá trình chiếu xạ. Nó được coi là hàm đặc trưng liều của một liều kế bất kỳ hoặc một loại vật liệu bất kỳ khi bị chiếu xạ.

4.4. Các dẫn xuất của mô hình truyền năng lượng

Dạng hàm mũ bão hoà của lý thuyết cấu trúc vết

Như đã nói ở trên, trong công thức (4.6), n_0 được coi là lượng các phần tử “kích hoạt” ở liều lượng trước khi chiếu xạ, hay nói cách khác, nó là hàm đặc trưng liều ở liều bằng không ($D = 0$). Giả sử rằng $n_0 = 0$, khi đó biểu thức (4.6) có thể viết:

$$n(D) = n_s [1 - e^{-k_0 \frac{D}{D'}}] \quad (4.10)$$

Giả sử $D = D'/k_0$, khi đó

$$n(0) = n_s(1 - e^{-1}) = n_s(1 - 0.37) = 0.63 n_s \quad (4.11)$$

Điều này có nghĩa rằng $D'/k_0 = D37$. Giả sử không tính đến quá trình khử kích hoạt, khi đó $n_s = C$

$$\frac{n(D)}{n_s} = p = 1 - e^{-\frac{D}{D'37}} \quad (4.12)$$

Đây là dạng hàm đặc trưng liều của lý thuyết cấu trúc vết - dạng hàm mũ bão hoà.

Dạng hàm mũ suy giảm

Trong quá trình chiếu xạ có nhiều trường hợp người ta chủ yếu xét tới quá trình tiêu huỷ các “phần tử bức xạ”, chẳng hạn quá trình khử trùng, quá trình mất màu của một số chất hoặc liều kế do bức xạ v.v... Khi đó ta coi $n_s \ll n_0$, do đó từ (4.6) có thể viết

$$n(D) = n_0 e^{-k_0 \frac{D}{D'}} \quad (4.13)$$

trong đó $k_0 = q - p$ và $q > p$

Hàm đặc trưng liều có dạng hàm mũ suy giảm

Dạng hàm tuyến tính

Với các giá trị k_0 tương đối nhỏ hoặc ở dải liều thấp, biểu thức (4.6) có thể phân tích thành chuỗi và viết dưới dạng

$$n(D) = n_0 + [n_s - n_0] \frac{k_0 D}{D'} \quad (4.14)$$

Đây là dạng hàm tuyến tính thường gặp trong rất nhiều dạng liều kế TLD, Fricke, Feric Ferous, ...

Dạng đa thức:

$$n(D) = n_0 + [n_s - n_0] k_0 \frac{D}{D'} + [n_s - n_0]^2 k_0^2 \frac{D^2}{2! D'^2} + \dots \quad (4.15)$$

Dạng hàm đặc trưng này dùng để mô tả đường đặc trưng liều của liều kế PMMA và một số loại liều kế khác.

Hiệu ứng liều siêu cao

Khi chiếu xạ ở liều cao hàm đặc trưng liều đạt tới giá trị bão hoà, nếu ta tiếp tục chiếu ở liều cao hơn nữa hàm đặc trưng liều suy giảm. Bằng mô hình truyền năng lượng có thể giải thích như sau.

Ở giai đoạn I, do $n_0 \ll n_s$, sau khi liều tăng tới mức bão hoà, tất cả các phần tử nhạy bức xạ trở thành kích hoạt, hàm đặc trưng liều mô tả bằng dạng hàm mũ bão hoà:

$$n(D) = n_s (1 - e^{-k_0 \frac{D}{D'}}) \quad (4.16)$$

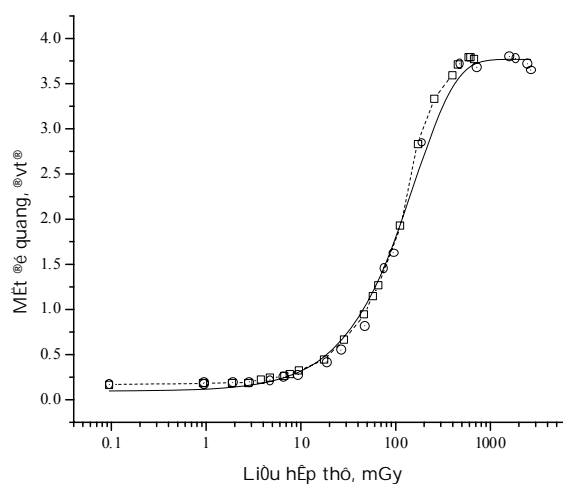
Ở giai đoạn II, nếu tiếp tục cung cấp năng lượng, quá trình huỷ kích hoạt sẽ chiếm ưu thế, hàm đặc trưng của liều giảm thậm chí tới giá trị xấp xỉ bằng không theo quy luật hàm mũ suy giảm

$$n(D) = n_s e^{-k_0 \frac{D}{D'}} \quad (4.17)$$

Hiện tượng này được nghiên cứu với alanine tới liều 2 triệu Gy đối với bức xạ gamma và electron nhanh.

Hiệu ứng suất liều

Hiệu ứng suất liều có thể xuất hiện ở một số loại liều lượng kế. Thực nghiệm cho thấy ở cùng một dạng vật liệu nhưng hiệu ứng có thể thể hiện ở những mức độ khác nhau đối với bức xạ khác nhau và năng lượng khác nhau. Chẳng hạn đối với nhũ tương sử dụng phim Agfa hiệu ứng suất liều (Hình 4.1) yếu hơn so với nhũ tương dùng trong phim Dupont (Hình 42) [14, 20].

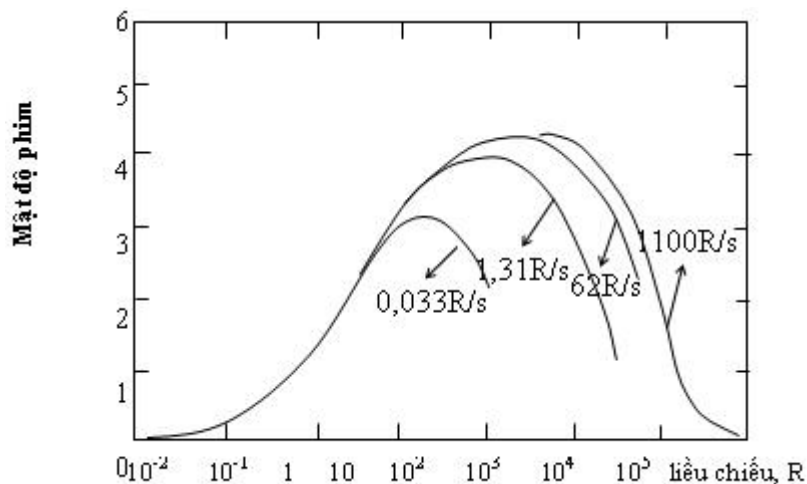


Hình 4.1

Hiệu ứng suất liều của phim Agfa đối với tia gamma 661 keV

được mô tả bằng mô hình truyền năng lượng: 1) Đường đậm:

$D' = 170.088 \text{ mGyh}^{-1}$; 2) Đường gạch nối: $D' = 42.7 \text{ mGyh}^{-1}$.



Hình 4.2
Hiệu ứng suất liều của phim Dupont đối với tia X 50 KeV

Tính lưỡng trị trong hàm đặc trưng liều

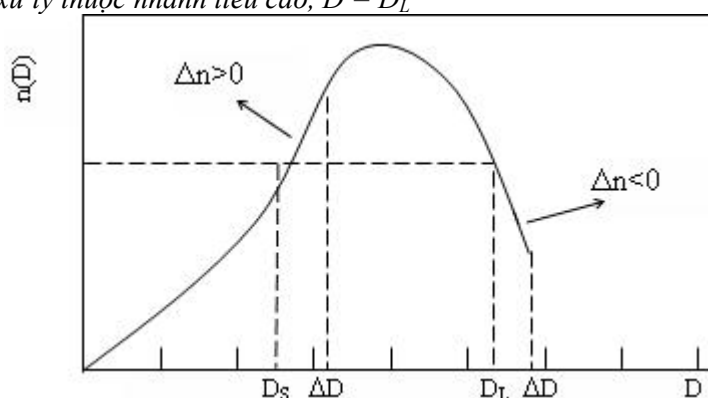
Tính lưỡng trị của đường đặc trưng liều trong xử lý bức xạ cũng tương tự như trong phép phân tích sự cố bức xạ [14]. Tính lưỡng trị trong hàm đặc trưng liều thường xảy ra ở mức liều cao hoặc rất cao. Trong trường hợp này, hàm đặc trưng liều được chia làm 2 nhánh: nhánh liều thấp tương ứng với hàm mũ bão hoà trong thành phần thứ nhất, trong khi nhánh liều cao tương ứng với hàm mũ suy giảm trong thành phần thứ hai của công thức (4.6). Một giá trị $n(D)$ của hàm đặc trưng tương ứng với 2 giá trị liều: D_S (liều thấp) và D_L (liều cao) như biểu diễn trên Hình 4.3. Việc xác định chính xác liều hấp thụ thực tế rất quan trọng trong phép phân tích giá trị liều xử lý. Để xác định liều thực chiếu trong trường hợp này, cần có các phép chiếu liều bổ sung ΔD . Khi đó tổng liều D_{sum} được xác định như sau:

$$D_{sum} = D_i + \Delta D \text{ hay } \Delta D = D_{sum} - D_i \quad (4.18)$$

trong đó D_i là liều xử lý.

Khi $\Delta n > 0$ liều xử lý thuộc nhánh liều thấp, $D = D_S$

Khi $\Delta n < 0$ liều xử lý thuộc nhánh liều cao, $D = D_L$



Hình 4.3
Tính lưỡng trị của hàm đặc trưng liều

Tính lưỡng trị của hàm đặc trưng liều có thể quan sát thấy trong alanine, thủy tinh và một số vật liệu khác.

Chương 5

Tương tác của bức xạ với chất rắn, chất lỏng và các quá trình bức xạ nhiều pha

5.1 Sự phân tích bức xạ của vật rắn

5.1.1 Các quá trình hoá lý

Cũng giống như đối với mọi thể của vật chất, như thể khí, thể lỏng, quá trình chủ yếu diễn ra khi bức xạ tác dụng với thể rắn là quá trình ion hoá và kích thích. Tuy nhiên, có một sự khác biệt là trong nhiều trường hợp còn có thể xảy ra quá trình phá vỡ cấu trúc hoặc tạo thành các khuyết tật. Việc hình thành các khuyết tật có ảnh hưởng rất lớn tới tính chất vật lý và hoá lý của vật rắn bị chiếu xạ.

Năng lượng dịch chuyển

Sự dịch chuyển của nguyên tử diễn ra chủ yếu do va chạm đàn hồi. Thông thường đối với mỗi loại vật liệu, tồn tại một năng lượng ngưỡng E_{dc} nào đó, khi nguyên tử nhận được năng lượng $E \geq E_{dc}$ thì có sự dịch chuyển ra khỏi nút mạng. E_{dc} do đó gọi là năng lượng dịch chuyển. Về thực chất, đó là động năng nhỏ nhất của nguyên tử khi bứt khỏi nút mạng. Nó phụ thuộc vào bản chất của vật liệu và khối lượng của nguyên tử, có giá trị nằm trong khoảng từ 5 đến 80 eV. Bảng 5.1 giới thiệu giá trị E_{dc} đối với một số vật liệu.

Bảng 5.1 Giá trị E_{dc} đối với một số vật liệu	
Vật liệu	E_{dc}, eV
Al	32
Cu	22
Ag	28
Fe	24
Si	20,4
Kim cương	80
Graphit	25 – 40
NaCl	7,8 (Cl)
InSb	5,7 – 6,4(In); 6,6 – 6,9(Sb)

Năng lượng ngưỡng tạo khuyết tật

Theo định luật bảo toàn năng lượng và xung lượng, để dịch chuyển các nguyên tử ra khỏi nút mạng, năng lượng của bức xạ bắn vào phải đạt tới một ngưỡng nào đó. Năng lượng này gọi là năng lượng ngưỡng E_{ng} .

Bảng 5.2 giới thiệu giá trị năng lượng ngưỡng E_{ng} của electron đối với một số vật liệu.

Bảng 5.2 Năng lượng E_{ng} của electron đối với một số vật liệu	
Vật liệu	E_{ng}, eV
Ge	370
Si	215
InSb	240(In) 290 – 400(Sb)
CdS	290(Cd) 115(S)
ZnTe	110–235(Zn) 300(Te)
MgO	330(O)
BeO	400(O)
NaCl	290 – 320 (Cl)

Thời gian tạo khuyết tật

Sự dịch chuyển của nguyên tử xảy ra rất nhanh. Chẳng hạn đối với sắt $E_{dc} = 24$ eV, khi đó vận tốc của nó đạt tới 9.1×10^5 cm.s⁻¹ và khoảng thời gian nó đi được quãng đường bằng hằng số mạng (~ 0.2 nm) là $t \sim 2.2 \times 10^{-14}$ s. Nói chung, quá trình dịch chuyển của nguyên tử được thực hiện trong khoảng thời gian $t = 10^{-14} \div 10^{-13}$ s.

Sự phá huỷ của cấu trúc

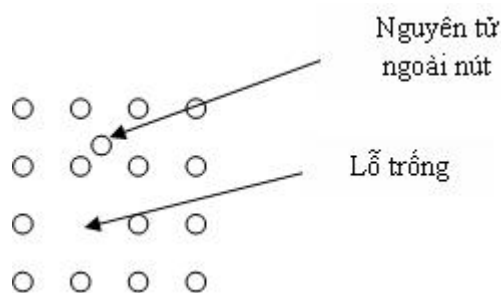
Sự phá huỷ của cấu trúc được chia thành hai nhóm: 1) nhóm các khuyết tật điểm và 2) nhóm các khuyết tật có kích thước. Nhóm thứ nhất bao gồm lỗ trống, nguyên tử ngoài nút, nguyên tử tạp, tâm màu. Nhóm khuyết tật thứ hai bao gồm biên vị, dịch chuyển, khoang trống v.v...

5.1.1.1 Khuyết tật điểm

Lỗ trống

Lỗ trống xuất hiện khi nguyên tử hoặc ion rời khỏi vị trí của nút mạng. Lỗ trống có thể là cation (khi ion dương rời vị trí) hoặc anion (khi ion âm rời vị trí). Một cặp lỗ trống anion và cation gọi là khuyết tật Shottky (Hình 5.1).

Các lỗ trống có ảnh hưởng rất lớn tới tính chất vật lý của kim loại: thay đổi độ dẫn, thay đổi mật độ v.v...



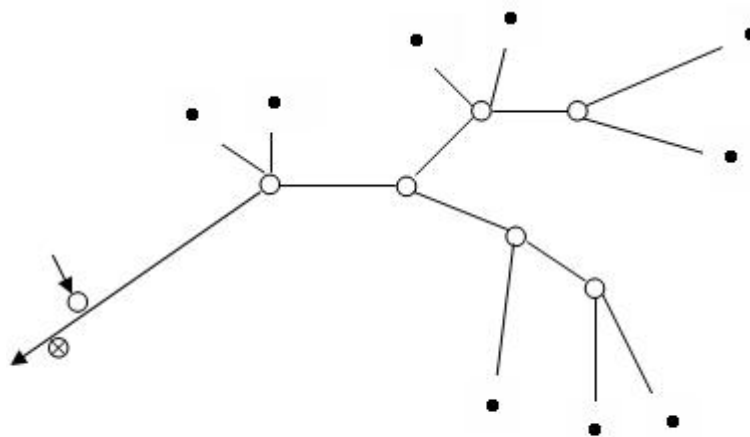
Hình 5.1
Khuyết tật Shottky

Nguyên tử ngoài nút

Nguyên tử ngoài nút là những nguyên tử rời khỏi vị trí của chúng trong tinh thể nhưng lại không chiếm một vị trí nút mạng nào cả, mà nằm ở đâu đó giữa nút mạng. Trên nguyên tắc loại khuyết tật này có thể là nguyên tử của vật chủ, hoặc nguyên tử của tạp chất. Như vậy khi chiếu xạ đồng thời xuất hiện các nguyên tử ngoài nút mạng và lỗ trống. Một cặp khuyết tật như vậy gọi là khuyết tật Frenkel.

Dịch chuyển tầng

Nguyên tử ngoài nút chủ yếu xuất hiện trong quá trình tương tác của các hạt nặng mang điện, ion gia tốc, mảnh phân hạch, neutron... Trong các trường hợp này, năng lượng truyền cho nguyên tử dịch chuyển có thể đạt tới hàng chục - hàng trăm keV, nghĩa là lớn hơn rất nhiều so với Eng. Với năng lượng đó nguyên tử dịch chuyển (hay nói đúng hơn là các ion) là những hạt được gia tốc. Khi chuyển động trong chất rắn, chúng gây ra quá trình ion hóa và kích thích các nguyên tử khác trên đường đi tạo ra một sự dịch chuyển thác hay dịch chuyển tầng, cho tới khi chúng dừng hẳn (Hình 5.2).



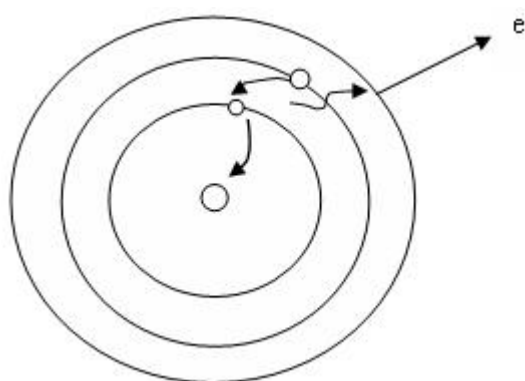
Hình 5.2. Dịch chuyển tầng:

• Nguyên tử dịch chuyển ○ Lỗ trống; ⊗ Hạt ion hoá

Bức xạ gamma và electron nhanh cũng có thể tạo ra sự dịch chuyển của nguyên tử. Tuy nhiên, các nguyên tử dịch chuyển có năng lượng tương đối thấp và không có khả năng tạo ra các dịch chuyển tiếp theo hay nói cách khác là không tạo ra được các dịch chuyển tầng. Chính vì vậy, hiệu ứng tổng của bức xạ gamma và electron nhanh để tạo ra các nguyên tử ngoài nút nhỏ hơn vài bậc so với hiệu ứng của neutron và các hạt nặng mang điện.

Khuyết tật dưới ngưỡng

Trong thực tế, có thể xuất hiện các nguyên tử dịch chuyển ở năng lượng nhỏ hơn Eng. Có thể giải thích hiện tượng này như sau: do kết quả của sự ion hóa của các lớp vỏ điện tử bên trong của tinh thể, các chuyển tiếp Auger có một xác suất nào đó, sau đó sẽ xảy ra sự trao đổi điện tích của ion (Hình 5.3). Ở vào trạng thái tinh điện không bền vững, do tương tác Coulomb và dao động nhiệt, ion có thể bị đẩy ra khỏi nút mạng. Cơ chế này gọi là cơ chế Varly.



Hình 5.3
Cơ chế tạo khuyết tật dưới ngưỡng

Nguyên tử tạp

Nguyên tử tạp trong chất rắn được tạo ra do kết quả của quá trình phân hạch hạt nhân nguyên tử hoặc các biến đổi hạt nhân khác, cũng như bằng quá trình chậm dần của các hạt bắn phá. Việc tạo ra các nguyên tử tạp có một ý nghĩa quan trọng trong trường hợp chất bán dẫn, trong đó sự có mặt của các tạp chất với một lượng rất nhỏ cũng ảnh hưởng tới tính chất điện ly của chất bán dẫn. Quá trình này được ứng dụng rộng rãi trong thực tế, đặc biệt là quá trình cấy ion.

Các tâm màu

Đây là loại khuyết tật của mạng tinh thể hấp thụ ánh sáng trong một vùng phổ mà không có trong phổ hấp thụ của tinh thể. Thoạt đầu người ta gọi các tâm màu là các lỗ trống anion sau khi đã chiếm đoạt một số electron. Hiện nay tâm màu được coi là một khuyết tật điểm bất kỳ hấp thụ ánh sáng không nằm trong phổ hấp thụ của bản thân tinh thể

Khuyết tật phức

Khi các khuyết tật điểm tương tác với các nguyên tử tạp có thể tạo ra các khuyết tật phức.

Lỗ trống

Khi chiếu xạ rất lâu, có thể xuất hiện một quần thể các khuyết tật điểm gồm từ 2, 3 hoặc nhiều hơn các lỗ trống. Quần thể này không bền vững so với các khuyết tật đơn lẻ. Loại khuyết tật này tạo ra các lỗ hổng và rất đặc trưng cho quá trình chiếu neutron đối với kim loại và hợp kim.

5.1.1.2 Khuyết tật có kích thước

Khuyết tật có kích thước là loại khuyết tật chiếm một không gian có kích thước cỡ vài khoảng cách giữa các nguyên tử. Có thể phân ra một số loại khuyết tật như sau:

Khuyết tật biến vị

Khuyết tật biến vị là những tuyến mà dọc theo nó hay ở gần nó, cấu trúc hai chiều thông thường của nguyên tử bị phá vỡ.

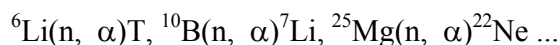
Chẳng hạn một nguyên tử đồng nhận một năng lượng 20 keV, nó sẽ thoát vị và di chuyển một khoảng 1000nm. Trên khoảng cách đó có vài nghìn nguyên tử đồng khác, mỗi nguyên tử nhận được khoảng 3eV. Năng lượng này vượt quá năng lượng nóng chảy. Quá trình giải

phóng năng lượng diễn ra rất nhanh trong khoảng 10-11 - 10-12s, vật chất bị nguội đi cũng rất nhanh. Quá trình nóng chảy và nguội đi làm dịch chuyển tất cả các nguyên tử trong phạm vi gần đó và tạo ra các khuyết tật biến vị.

Khuyết tật bọt khí

Đó là các khuyết tật đặc biệt dưới dạng những khoang rỗng chứa đầy khí. Nó được tạo ra khi xảy ra các phản ứng hạt nhân với sản phẩm ở dạng khí.

Ví dụ:



Những bọt khí hêli như trên có thể làm thay đổi đáng kể các tính chất cơ học của chất rắn. Chúng là nguyên nhân của hiện tượng phòng rộp của các thanh nhiên liệu hạt nhân (sản phẩm phân hạch là các loại khí xenon, kripton ...) hoặc tính giòn của kim loại và hợp kim.

5.1.2 Kim loại và hợp kim

Kim loại có thể ví như một cái khung ion dương được “nhúng” trong một chất khí electron. Do đó quá trình kích thích và ion hoá do bức xạ gây ra hầu như không ảnh hưởng tới tính chất của kim loại. Bản thân kim loại không chiếu xạ đã chứa rất nhiều ion và electron. Tuy nhiên, các hiệu ứng xuất hiện trong các va chạm đàn hồi tác động rất mạnh tới tính chất vật lý và hoá lý của kim loại. Có thể kể ra một số hiệu ứng sau đây.

Phòng rộp do bức xạ

Ngoài sự phòng rộp do các sản phẩm khí gây ra trong quá trình tương tác của bức xạ với vật chất như đã nói ở phần trên, còn có hiện tượng phòng rộp do bức xạ. Nó thường xuất hiện trong quá trình chiếu xạ ở nhiệt độ $0,22 \div 0,55T_{nc}$ (T_{nc} - nhiệt độ nóng chảy của kim loại hoặc hợp kim). Nguyên nhân của sự tạo thành lỗ trống trong kim loại và hợp kim là do các nguyên tử ngoài mạng có khuynh hướng tương tác với các khuyết tật biến vị và sự kết hợp giữa các lỗ trống còn lại tạo ra các lỗ rỗng.

Ở nhiệt độ dưới $0,22T_{nc}$ tốc độ khuếch tán của các nguyên tử ngoài mạng và các lỗ trống tương đối nhỏ, hiện tượng phòng rộp ít xảy ra.

Chính hiệu ứng phòng rộp đã hạn chế việc sử dụng urani tinh khiết trong các thanh nhiên liệu. Người ta có thể hạn chế các hiệu ứng này bằng việc tạo ra loại gốm urani - molipden, urani - zirconi... Khi đó các lỗ rỗng tạo ra dễ dàng bị lấp đầy bằng thành phần của kim loại dễ nóng chảy hơn (Mo, Zr, ...).

Độ dẫn điện

Độ dẫn điện của kim loại ít bị ảnh hưởng trong quá trình chiếu xạ, lý do là sự chuyển động và tương tác của điện tử rất ít chịu tác động của khuyết tật.

Tính chảy và siêu chảy

Tính chảy là một trường hợp riêng của tính đàn hồi. Nó là sự biến dạng của vật rắn dưới tác động của ngoại lực hoặc nội năng.

Khi chiếu xạ tinh chảy có thể tăng lên, nguyên nhân có thể do sự phân ly của các khuyết tật điểm quanh khuyết tật biến vị làm cho chúng gắn lại với nhau tạo ra quần thể khuyết tật.

Khi chiếu xạ neutron, tính siêu chảy của urani có thể tăng lên 50 ÷ 100 lần. Trong trường hợp này, người ta gọi urani có tính siêu chảy. Hiệu ứng này làm cho thanh nhiên liệu bị biến dạng.

Tinh giòn

Đối với các chất rắn, khi hấp thụ năng lượng kể cả năng lượng của bức xạ nhiệt, nhiệt độ vượt quá nhiệt độ Tr (Tr - nhiệt độ nóng chảy) nào đó thì nó chuyển trạng thái đàn hồi sang trạng thái giòn với lý do các liên kết mạng bị phá hủy. Ở nhiệt độ lớn hơn 0,5Tnc đối với một số hợp kim dùng trong lò phản ứng bắt đầu quan sát thấy hiện tượng giòn hoá bức xạ ở nhiệt độ cao. Nguyên nhân của hiện tượng giòn sớm này có thể liên quan tới phản ứng (n,α) dưới tác dụng của neutron nhiệt, chủ yếu với các nguyên tử ^{10}B chứa trong hợp kim. Sự xuất hiện của các lỗ rỗng với khí hêli làm cho vật liệu trở nên giòn và có thể tạo thành các vết nứt.

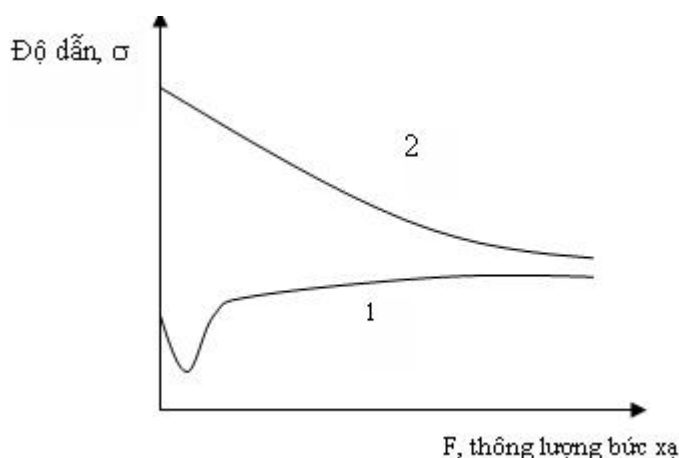
5.1.3 Chất bán dẫn

Bán dẫn là những chất có độ dẫn riêng phần nằm giữa độ dẫn của kim loại và chất cách điện (chẳng hạn Ge, Si, Te, Se, As, ...).

Thông thường trong chất bán dẫn, mật độ các phân tử mang điện rất thấp, do đó chất bán dẫn rất nhạy với bức xạ.

Độ dẫn

Khi chiếu xạ chất bán dẫn, sẽ xuất hiện các khuyết tật điểm (nguyên tử ngoài nút và lỗ trống), cũng như các khuyết tật phức, do tương tác của khuyết tật với nhau, khuyết tật với tạp chất và với các mạng bị phá hủy. Một số các khuyết tật này có hoạt tính cao. Phụ thuộc vào một số yếu tố, chúng có thể là khuyết tật cho hay nhận electron và chính chúng làm thay đổi độ dẫn của chất bán dẫn.



Hình 5.4

Sự phụ thuộc của độ dẫn σ vào thông lượng neutron nhanh
F: 1) n-Ge và 2) p-Ge

Hình 5.4. giới thiệu sự phụ thuộc độ dẫn σ của n - Ge(1) và p-Ge(2) vào thông lượng neutron nhanh F, trong đó đối với p-Ge độ dẫn suy giảm theo thông lượng, còn đối với n-Ge lúc đầu độ dẫn suy giảm, sau đó tăng dần.

Tạo hợp chất bán dẫn bằng bức xạ

Người ta có thể dùng các quá trình biến đổi hạt nhân trong chất bán dẫn hoặc bán phá chúng bằng các hạt ion gia tốc để tạo ra các hợp chất bán dẫn. Phương pháp thứ hai còn gọi là phương pháp cấy ion, được sử dụng chủ yếu với các phim mỏng. Nhờ các phản ứng hạt nhân có thể đưa các tạp chất phân bố đều trong các hợp chất bán dẫn. Chẳng hạn người ta có thể tạo hợp Si với P bằng cách chiếu neutron. Nhờ phản ứng $^{30}\text{Si}^{14}(\text{n}, \gamma)^{31}\text{Si}^{14} \xrightarrow{\beta^-} ^{31}\text{P}^{15}$. Như vậy bức xạ đã làm thay đổi mạnh mẽ tính chất của chất bán dẫn.

5.1.4 Tinh thể kiềm

Dưới tác dụng của bức xạ đối với tinh thể kiềm như LiF, NaCl, KBr ... có thể xảy ra các quá trình khác nhau như: tạo tâm màu, tạo kim loại và halogen phân tử, tích tụ điện tích, thay đổi tính chất cơ học ...

Ta hãy xem một số quá trình điển hình.

5.1.4.1 Tạo tâm màu

Tâm màu được tạo ra trong quá trình chiếu xạ tinh thể kiềm được chia làm hai loại: tâm màu electron và tâm màu lỗ trống.

Tâm màu electron

Electron bị lỗ trống anion bắt giữ có thể trở thành tâm màu electron. Các tâm này có thể hấp thụ các bước sóng đặc trưng trong vùng tử ngoại, vùng ánh sáng nhìn thấy và vùng cận hồng ngoại. Vị trí của đỉnh hấp thụ phụ thuộc rất mạnh vào tính chất của halogen. Ví dụ $\lambda_{\text{max}}(\text{LiF}) = 250 \text{ nm}$; $\lambda_{\text{max}}(\text{LiCl}) = 385 \text{ nm}$;

Tâm lỗ trống

Tâm màu lỗ trống trong các tinh thể kiềm xuất hiện khi các lỗ trống định vị giữa các ion halogen. Các tâm màu lỗ trống xuất hiện đồng thời cùng với tâm màu electron. Sự kết hợp giữa chúng có thể khôi phục lại cấu trúc mạng.

Các mạch hấp thụ quang học của tâm lỗ trống chủ yếu nằm trong vùng tử ngoại và ánh sáng nhìn thấy. Tuy nhiên, sự khác biệt so với các tâm màu electron là bề rộng đỉnh phổ ở nửa chiều cao $W_{1/2}$ thường lớn hơn và thường lệch về phía tử ngoại. Bảng 5.3 giới thiệu bước sóng của đỉnh hấp thụ và $W_{1/2}$ của một số chất.

Bảng 5.3. Các giá trị λ_{max} và $W_{1/2}$ của một số chất

Chất	Tâm lỗ trống λ_{max} , nm ($W_{1/2}$, eV)	Tâm electron λ_{max} , nm ($W_{1/2}$, eV)
NaCl	330(1,32)	458(0,74)
KCl	340(0,75)	556(0,36)

Hiệu suất hoá

bức xạ G và hiệu

suất tích lũy khuyết tật η

Hiệu suất tích lũy khuyết tật η là một đại lượng tỷ lệ với năng lượng bức xạ ion hoá tiêu tốn để tạo ra một khuyết tật, hay nói cách khác hiệu suất tích lũy khuyết tật là số khuyết tật sinh ra khi vật chất hấp thụ 1eV, trong khi đó hiệu suất hoá bức xạ là số khuyết tật sinh ra khi vật chất hấp thụ 100eV.

Mối tương quan giữa hai đại lượng này như sau:

$$G = 100\eta \quad (5.1)$$

5.1.4.2 Sản phẩm cuối cùng của quá trình phân tích bức xạ

Sản phẩm cuối cùng của quá trình phân tích bức xạ đối với tinh thể kiềm là kim loại kiềm và phân tử halogen. Hiệu suất của các sản phẩm này rất nhỏ. Chẳng hạn để tạo ra một phân tử kim loại kiềm phải cần tới từ $107 \div 109\text{eV}$, hay giá trị G bằng $10^{-5} \div 10^{-7}$ nguyên tử/100eV.

5.1.4.3 Sự thay đổi tính chất vật lý và cơ học trong tinh thể kiềm khi chiếu xạ

Sự phát xạ của khuyết tật trong quá trình nung nóng

Việc tạo thành và tích lũy khuyết tật trong tinh thể kiềm làm thay đổi tính chất cơ lý của vật liệu. Khi nung nóng, khuyết tật có thể bị biến mất một phần hoặc toàn bộ. Quá trình nung nóng thường kèm theo phát xạ. Cường độ phát xạ tỷ lệ với liều lượng hấp thụ. Người ta sử dụng tính chất này để chế tạo các liều kế nhiệt phát quang (TLD) chẳng hạn như LiF, CaF ...

Sự tích lũy điện tích

Khi chiếu xạ sự tích lũy điện tích tỷ lệ với liều lượng. Ở liều lượng cao có thể xảy ra hiện tượng phóng điện.

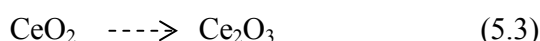
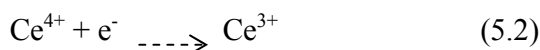
Sự suy giảm mật độ

Một số chất như LiF, khi chiếu neutron xảy ra phản ứng $6\text{Li}(n, \alpha)\text{T}$ cùng với việc xuất hiện khí heli và triti. Các khí này có thể phát ra ngoài làm cho mật độ vật chất giảm đi (có thể tới 10%). Triti có thể thoát ra dưới dạng T₂ hoặc TF.

5.1.5 Oxit

Nói chung các loại oxit tương đối bền vững với bức xạ, khuyết tật bức xạ chủ yếu trong các oxit của nhóm kim loại kiềm thổ là tâm màu electron và lỗ trống. Các tâm màu có thể xuất hiện do sự thay đổi hoá trị của các kim loại trong oxit.

Điện hình của sự hình thành khuyết tật thông qua quá trình thay đổi hoá trị là oxit Xeri.



5.1.6 Thủy tinh

Thủy tinh là loại vật liệu vô định hình ở thể rắn, nó chiếm vị trí trung gian giữa thể rắn và thể lỏng. Tính chất điển hình của nó là tính trong suốt.

Những năm gần đây, việc quan tâm tới tính chất bức xạ của thủy tinh ngày một tăng. Chúng được dùng để làm đông cứng các bã thải phóng xạ và để cố định các nguồn phóng xạ như ^{90}Sr - ^{90}Y (nguồn phóng xạ beta). Tất nhiên các hiệu ứng tạo khuyết tật làm hỏng làm các cấu trúc vật lý trong thủy tinh là những hiệu ứng không mong muốn.

Tuy nhiên người ta lại rất quan tâm tới sự đổi màu do bức xạ ở thủy tinh.

Thủy tinh thạch anh (SiO_2) khi chiếu bức xạ thường xuất hiện các vạch quang phổ hấp thụ bổ sung trong vùng tử ngoại và vùng ánh sáng biểu kiến. Việc xuất hiện các vạch này phụ thuộc vào loại bức xạ và đặc biệt là các loại tạp chất chứa trong thủy tinh.

Ngoài sự thay đổi tính chất quang phổ, chiếu xạ còn làm thay đổi tính chất hoá lý của thủy tinh, ví dụ độ dẫn điện, tính thấm thấu, mật độ, độ bền cơ học ... Các biến đổi này thường mang tính thuận nghịch, nghĩa là khi đốt nóng có thể khôi phục lại các tính chất ban đầu.

Về nguyên tắc thủy tinh nhạy bức xạ được chế tạo trên cơ sở của các loại thủy tinh thông thường được bổ sung một lượng tâm màu với nồng độ nhỏ từ vài phần trăm tới vài phần nghìn. Do đó, kỹ thuật tạo màu hầu như không thay đổi so với thủy tinh cơ sở.

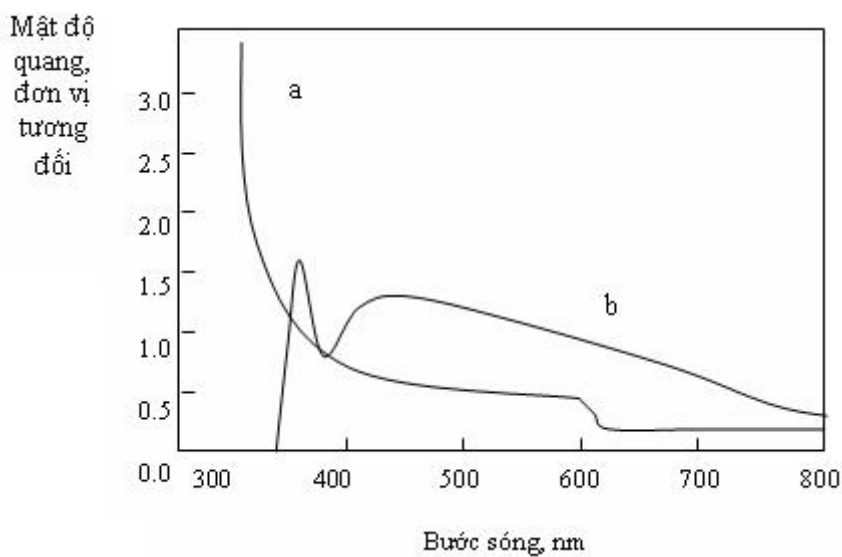
Bảng 5.4 giới thiệu thành phần của loại thủy tinh nhạy bức xạ DC-1-94 được chế tạo tại Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân trên cơ sở thủy tinh nền silicat với chất bổ sung là SnO_2 và V_2O_5 .

Bảng 5.4. Thành phần của thủy tinh DC-1-94

Thành phần	SiO_2	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	SnO_2	V_2O_5
Hàm lượng, %	68	9	7.7	5	4.5	2	2.5	1.3

Tính chất hấp thụ bức xạ ánh sáng của thủy tinh DC-1-94 trước chiếu xạ chủ yếu thể hiện ở vùng tử ngoại, trong khi đối với chính loại thủy tinh này, tính chất hấp thụ sau khi chiếu xạ gamma thể hiện mạnh ở vùng ánh sáng nhìn thấy với đỉnh cực đại ở bước sóng 455nm. Hình 5.5 giới thiệu phổ hấp thụ của thủy tinh DC-1-94 trước khi chiếu xạ và phổ hấp thụ của loại thủy tinh này sau quá trình chiếu xạ tia gamma từ nguồn $\text{Co}60$ với liều lượng 8 kGy.

Các đặc trưng quang học này được đo trên quang phổ kế U-2000. Sự xuất hiện đỉnh hấp thụ bề rộng lớn với điểm cực đại ở 455 nm cho thấy tính chất hấp thụ của thủy tinh liên quan chặt chẽ tới sự hiện diện của SnO_2 và V_2O_5 ; chúng đã làm thay đổi tính chất hấp thụ cả ở vùng tử ngoại lẫn vùng ánh sáng nhìn thấy.

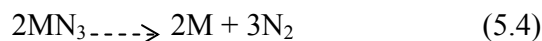


Hình 5.5
 Phổ hấp thụ của thủy tinh DC-1-94
 a) Trước chiếu xạ; b) Chiếu xạ gamma từ nguồn ^{60}Co , liều lượng 8 kGy.

5.1.7 Các hợp chất vô cơ khác

Nhóm azit

Nhóm azit được đặc trưng bởi sự có mặt của nitơ. Khi chiếu xạ các nitrit thường xảy ra các quá trình phân tích bức xạ sau đây:

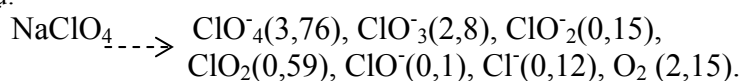


Nhóm peclorat

Nhóm peclorat

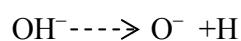
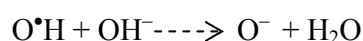
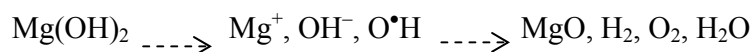
Khi chiếu xạ ở nhiệt độ phòng có thể tạo ra các gốc muối với hiệu suất hoá học (G) khác nhau.

Ví dụ:



Nhóm hydroxit:

Nhóm này tương đối kém bền vững với bức xạ. Khi chiếu xạ có thể tạo ra các gốc tự do và các sản phẩm khác nhau, ví dụ:



5.1.8 Các chất hữu cơ rắn

Nói chung quá trình biến đổi hoá bức xạ đối với chất hữu cơ rắn diễn ra mạnh hơn chất vô cơ rắn. Sản phẩm chủ yếu của quá trình này là các hợp chất bền. Bảng 5.5 giới thiệu các quá trình chiếu xạ gamma đối với axetat kali và glixin ở nhiệt độ phòng.

Bảng 5.5. Sản phẩm chiếu xạ gamma và hiệu suất G của một số hợp chất hữu cơ rắn

Chất	Sản phẩm	G, phân tử/100eV
Axetat kali ($\text{KC}_2\text{H}_3\text{O}_2$)	H_2	0,71
	CO_2	0,17
	CH_4	0,27
	C_2H_6	0,056
glixin axit amimo – axetic ($\text{CH}_2\text{NH}_2\text{COOH}$)	NH_3	4,8
	CH_3COOH	2,3
	CHOCO_2H	2,0

5.2 Quá trình bức xạ nhiều pha

Quá trình bức xạ nhiều pha là những quá trình xảy ra dưới tác động của bức xạ tại ranh giới của hai hay nhiều pha, trong đó có một pha là pha rắn. Đây là quá trình rất phức tạp và cơ chế của chúng chưa hoàn toàn sáng tỏ.

5.2.1 Quá trình hấp phụ kích thích bằng bức xạ

Dưới tác dụng của bức xạ ion hoá, hoạt tính hấp phụ của nhiều chất tăng lên, khi đó ta nói sự hấp phụ được kích thích bởi bức xạ. Hiệu ứng hấp phụ phụ thuộc vào một số yếu tố sau đây:

Bản chất của chất hấp phụ

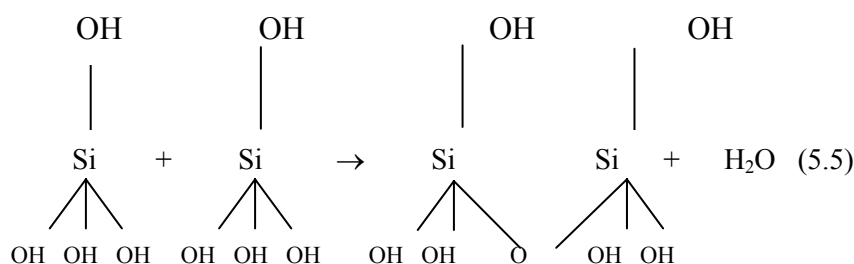
Độ hấp phụ của các chất bán dẫn hầu như ít thay đổi khi chiếu xạ, ví dụ đối với oxy và hydro. Trong khi đó đối với chất cách điện, tính chất này thay đổi rõ rệt, chẳng hạn đối với silicagel.

Liều lượng hấp phụ

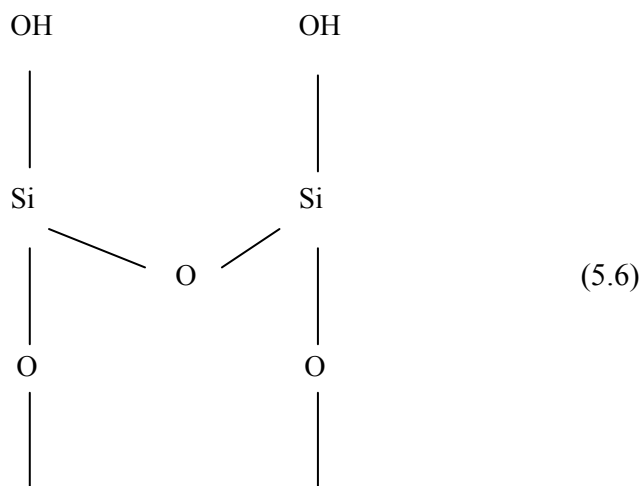
Tính hấp phụ của silicagel tăng lên theo liều, đạt tới mức bão hoà ở liều lượng lớn và suy giảm ở liều lượng lớn hơn nữa. Điều này phù hợp với mô tả của mô hình truyền năng lượng [8].

Loại bức xạ

Khi chiếu neutron, độ hấp phụ của silicagel còn mạnh hơn so với gamma (5.5).



Bề mặt của silicagel phân tán có dạng



Khi chiếu xạ, dung tích hấp phụ của silicagel tăng lên đặc biệt đối với hydro, nitơ, amoniac, CO₂, etylen. Sự biến đổi hoạt tính hấp phụ do bức xạ liên quan tới sự hình thành các khuyết tật trên bề mặt và chúng trở thành các tâm bắt bổ sung (5.6). Thêm vào đó các khuyết tật chủ yếu xuất hiện ở các pha khác với pha rắn, nơi các liên kết năng lượng tương đối nhỏ.

5.2.2 Phân tích bức xạ của các chất bị hấp phụ

Nói chung sự phân tích bức xạ của vật chất ở trạng thái bị hấp phụ khác với sự phân tích bức xạ của chính các chất đó ở trạng thái bình thường.

Thứ nhất: Hiệu suất của nó lớn hơn ở trạng thái bình thường.

Thứ hai: Có thể xuất hiện các sản phẩm khác so với ở trạng thái bình thường.

Nguyên nhân của các hiệu ứng này là ngoài năng lượng hấp thụ từ bức xạ, chất bị hấp phụ còn được nhận thêm năng lượng từ chất hấp phụ

5.2.3 Xúc tác nhiều pha do bức xạ

Quá trình hấp phụ kích thích bằng bức xạ và quá trình phân tích bức xạ của chất bị hấp phụ, về thực chất là các giai đoạn đầu tiên của sự xúc tác nhiều pha do bức xạ. Tuy nhiên, quá trình xúc tác diễn ra trong các điều kiện động lực học: liên tục thay đổi lớp vật chất bị hấp phụ và liên tục thoát ra các sản phẩm của phản ứng.

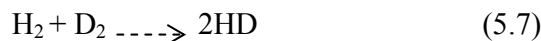
Có thể phân biệt 3 quá trình xúc tác nhiều pha do bức xạ:

Quá trình xúc tác với chất xúc tác được chiếu xạ sơ bộ

Sự biến đổi hoạt tính của chất xúc tác được chiếu xạ sơ bộ liên quan tới việc tạo ra các tâm kích hoạt sống lâu. Việc sử dụng các chất xúc tác này giống như việc sử dụng chất xúc

tác ở nhiệt độ cao, bởi các chất xúc tác chiếu xạ có thể hoạt động ở nhiệt độ thấp hơn. Thực tiễn cho thấy, các chất xúc tác bức xạ không phải bao giờ cũng làm tăng hoạt tính xúc tác.

Bảng 5.6 giới thiệu hiệu ứng tăng hoạt tính xúc tác do bức xạ đối với phản ứng trao đổi đơteri và hydro



Bảng 5.6. Hiệu ứng tăng hoạt tính do bức xạ

Chất xúc tác	Bức xạ	Hiệu ứng xúc tác
Al_2O_3	γ	Tăng tới 2000 lần
Al_2O_3	n, α	Tăng 2 - 10 lần
SiO_2	γ, n	Tăng không đáng kể
MgO	γ	Tăng 20 lần

Quá trình xúc tác khi chiếu toàn bộ hệ xúc tác

Hiệu ứng xúc tác trong trường hợp này mạnh hơn so với trường hợp chiếu sơ bộ. Ảnh hưởng của bức xạ thể hiện rõ rệt cả ở nhiệt độ thấp lẫn nhiệt độ cao.

Quá trình sử dụng chất xúc tác phóng xạ

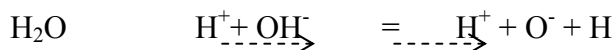
Sự thay đổi hoạt tính xúc tác trong trường hợp này gây ra bởi một số nguyên nhân: tạo ra các khuyết tật, xuất hiện dòng điện bổ sung, chất xúc tác được tích điện, xuất hiện các nguyên tử tạp vốn là sản phẩm của quá trình phân rã phóng xạ.

5.2.4 Các quá trình điện hoá và ăn mòn bức xạ

Quá trình điện hoá bức xạ

+ *Hiện tượng*: Thí nghiệm cho thấy các tấm bạch kim nhúng vào nước và được chiếu xạ gamma thì điện thế của nó giảm dần theo chiều âm, ngược lại thế của các tấm thép không gỉ (mác 304-thép crom) trong điều kiện tương tự lại giảm theo chiều dương.

+ *Cơ chế*: Điều này được lý giải như sau. Khi chiếu xạ, nước bị phân li thành các gốc tự do với điện tích dương và âm. Chúng chuyển về các điện cực khác dấu, trung hoà ở điện cực và làm cho điện thế của các điện cực suy giảm:



Trong các thí nghiệm đó, người ta quan sát thấy sự giải phóng khí H_2 ở catốt và O_2 ở anốt.

Như vậy dưới tác dụng của bức xạ, đã diễn ra quá trình điện hoá bức xạ.

Quá trình ăn mòn bức xạ

Phụ thuộc vào dạng ăn mòn, quá trình ăn mòn được chia làm hai loại: ăn mòn tổng thể và ăn mòn cục bộ.

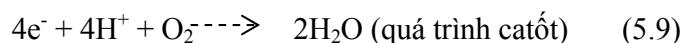
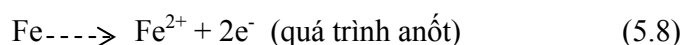
+ Ăn mòn cục bộ là quá trình ăn mòn một phần bề mặt của vật liệu, dưới dạng các vết nhỏ hoặc vết ăn mòn điểm, ăn mòn giữa các mạng tinh thể ...

+ Ăn mòn tổng thể là quá trình ăn mòn toàn bộ bề mặt của vật liệu.

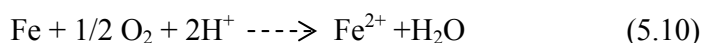
+ Trong quá trình ăn mòn, diễn ra hai quá trình điện hoá có liên quan với nhau: quá trình anot và quá trình catốt. Trong quá trình anot kim loại chuyển vào dung dịch dưới dạng các ion hydrat hoá. Còn trong quá trình catốt, các chất ion hoá trong dung dịch liên kết với các electron vừa được giải phóng trong quá trình anot. Có thể làm chậm tốc độ ăn mòn bằng cách hãm các quá trình anot và catốt.

Nói chung tốc độ ăn mòn của đa số các kim loại và hợp kim nhúng trong dung dịch nước tăng lên khi chiếu xạ. Hiệu ứng diễn ra càng mạnh ở nhiệt độ cao. Ở các điều kiện như vậy, ngay cả thép không gỉ cũng bị ăn mòn. Đối với một số hợp kim đặc biệt như hợp kim ziriconi, quá trình ăn mòn chỉ gia tăng khi chiếu neutron và các hạt mang điện nặng.

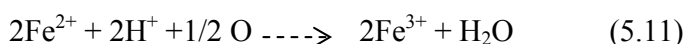
Quá trình ăn mòn ở thép không gỉ được biểu diễn như sau:



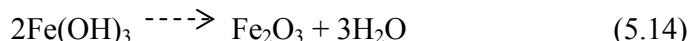
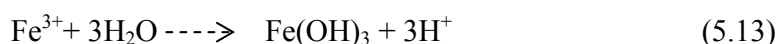
Gộp 2 phương trình đó ta có



Sau đó ở phần bề mặt kim loại diễn ra quá trình oxi hoá Fe^{2+} :



Tiếp theo Fe^{3+} hydroxit hoá tạo ra hydroxit kết tủa và biến thành muối:



Quá trình ăn mòn bức xạ có ý nghĩa rất lớn trong vấn đề an toàn lò phản ứng trong các nhà máy điện nguyên tử.

5.2.5 Ảnh hưởng của bức xạ tới tốc độ hoà tan của vật rắn

Chiếu xạ ảnh hưởng tới tốc độ hoà tan của nhiều chất rắn. Một trong những nguyên nhân của quá trình này là tương tác của chất rắn với các sản phẩm phân tích bức xạ của pha lỏng. Một nguyên nhân khác là ảnh hưởng điện trường của các điện tích gây ra bởi bức xạ ion hoá trong vật rắn. Hệ quả của quá trình này là sự phân cực của tinh thể và điện trường ảnh hưởng tới tốc độ phân cực, dẫn tới sự hoà tan của vật rắn.

Sự gia tăng tốc độ hoà tan, quan sát thấy ở UO_2 , U_3O_8 , Fe_2O_3 , ZnS , PbS ...

Chương 6

Tương tác của bức xạ với vật liệu polyme

6.1. Những biến đổi hoá và hoá - lý của polyme dưới tác dụng của bức xạ

Polyme là những chất rắn cao phân tử (phân tử lượng từ vài nghìn tới hàng triệu đơn vị). Phân tử polyme là các đại phân tử, bao gồm nhiều nhóm phân tử (các chuỗi đơn phân tử) được sắp xếp theo thứ tự lặp lại nhiều lần, nối với nhau bằng các mối liên kết hoá học.

Khác với các chất rắn khác, vật liệu polyme dưới tác dụng của bức xạ thường xảy ra các hiệu ứng tạo khuyết tật không mong muốn. Tuy nhiên, trong nhiều trường hợp, chiếu xạ lại cải thiện tính chất của vật liệu. Ta hãy xem xét một số hiệu ứng này.

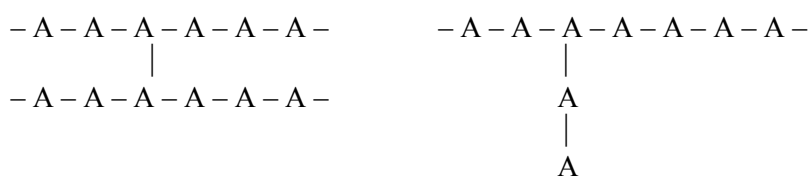
6.1.1 Hiệu ứng khâu mạch (cross-linking) và ngắt mạch (degradation) của polyme

Đây là những phản ứng không thuận nghịch, làm thay đổi đáng kể cấu trúc và tính chất của polyme.

6.1.1.1 Hiệu ứng khâu mạch

Hiệu ứng khâu mạch thường cải thiện tính chất của polyme và có những ứng dụng thực tế rất rộng rãi.

Có hai loại khâu mạch: Khâu mạch ngang và khâu mạch vòng. Trong khâu mạch ngang, mỗi liên kết mới gắn liền với 4 đoạn của chuỗi phân tử, còn trong khâu mạch vòng nó chỉ nối với 3 đoạn (Hình 6.1).



a) Khâu mạch ngang

b) Khâu mạch vòng

Hình 6.1. Sơ đồ khâu mạch của polyme (A- chuỗi đơn phân tử)

Khi khâu mạch, các polyme thẳng trở thành các polyme có cấu trúc không gian, phân tử lượng của nó tăng lên, nhờ đó nó khó bị hoà tan trong các dung dịch hữu cơ và độ bền cơ học tăng lên.

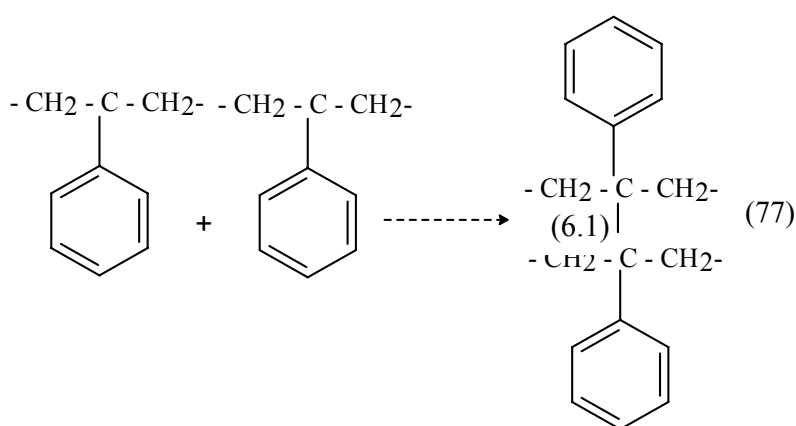
Mủ cao su do quá trình khâu mạch bức xạ biến thành cao su thành phẩm như lốp xe, dây, găng tay... Quá trình này nhiều khi người ta còn gọi là lưu hoá cao su bằng bức xạ.

Trong quá trình ngắt mạch, phân tử lượng của polyme giảm, chiều hướng biến đổi tính chất, ngược với quá trình khâu mạch.

Thông thường khâu mạch và ngắt mạch diễn ra đồng thời. Tuy nhiên, tỉ lệ tốc độ của các quá trình này phụ thuộc rất mạnh vào cấu trúc hoá học của polyme, trạng thái vật lý và điều kiện chiếu xạ. Trong những trường hợp như vậy, người ta có thể nói khâu mạch chiếm ưu thế hay ngắt mạch chiếm ưu thế.

Cơ chế khâu mạch và hiệu suất khâu mạch

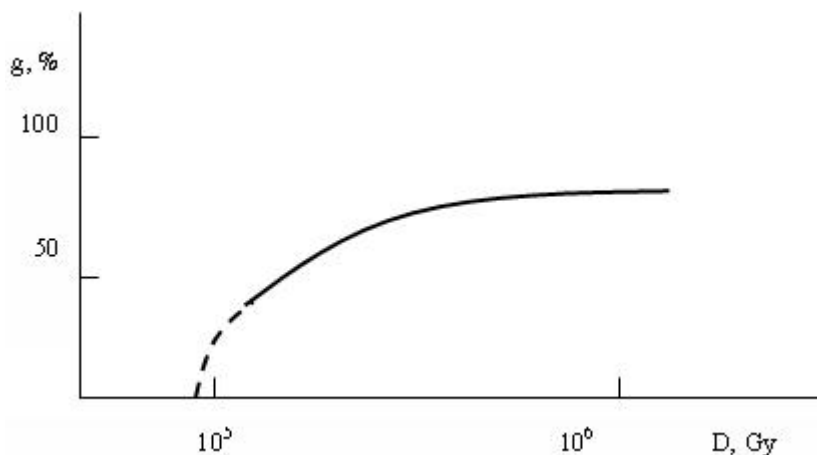
Người ta đưa ra rất nhiều cơ chế khâu mạch polyme, nhưng phổ biến nhất là tạo các gốc tự do. Khâu mạch là kết quả của quá trình nối mạch giữa hai gốc tự do, chẳng hạn trong trường hợp polystyren:



Cần phân biệt hiệu suất hoá bức xạ được tính bằng số mắt xích monome được khâu khi nó hấp thụ 100eV năng lượng của bức xạ ion hoá (ký hiệu là G) và hiệu suất hoá bức xạ khâu mạch $G(x)$ được tính bằng số mạch ngang được tạo ra khi polyme hấp thụ 100 eV. Rõ ràng:

$$G(x) = 1/2 G \quad (6.2)$$

Trong quá trình khâu mạch ở liều cao, trong polyetylen xuất hiện một nhóm không hoà tan trong bất cứ dung môi nào. Người ta gọi nhóm đó là nhóm gel hay là nhóm keo. Hiện tượng này gọi là hiện tượng tạo gel hay tạo keo. Phần còn lại (hoà tan được) gọi là nhóm tro. Liều lượng tại đó bắt đầu có hiện tượng tạo gel gọi là điểm gel (20-60 kGy phụ thuộc vào loại gel). Sự xuất hiện của nhóm gel liên quan tới việc tạo ra một mạng không gian 3 chiều thống nhất. Hình 62 giới thiệu sự phụ thuộc của hệ số tạo gel vào liều lượng.



Hình 6.2

Sự phụ thuộc của hệ số tạo gel vào liều lượng đối với polyetylen

Hệ số tạo gel g được xác định bằng công thức :

$$g = \frac{g_d}{g_i} \times 100 \quad (6.3)$$

trong đó, g_d là khối lượng khô của gel sau chiếu xạ; g_i là khối lượng của polyme hoà tan trong dung dịch.

Hình 6.3 giới thiệu sản phẩm gel của PVA khâu mạch bằng bức xạ gamma.

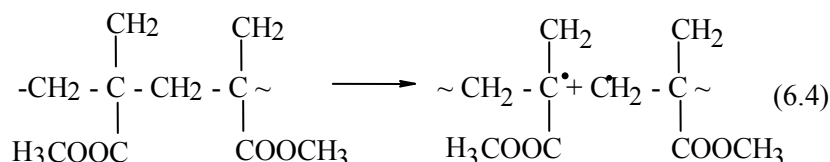
**Hình 6.3**

Gel của PVA khâu mạch bằng bức xạ gamma
Sản phẩm của Phòng Vật lý và Các Phương pháp Hạt nhân
(Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân) và Đại học Khoa học Tự nhiên
Hà Nội

6.1.1.2 Hiệu ứng ngắt mạch

Trong quá trình ngắt mạch, phân tử lượng của polyme giảm, quá trình này khác với quá trình khử trùng hợp, trong đó các monome được tạo ra và phân tử lượng của polyme hầu như không thay đổi.

Trong quá trình ngắt mạch, các gốc tự do được tạo ra không liên kết được với nhau do những khó khăn về mặt không gian, ngoài ra do sự hiện diện của nguyên tử cacbon với bốn mối liên kết, cũng cản trở sự di chuyển hoá trị dọc theo mạch polyme. Ví dụ trường hợp của polymetyl metacrilat:



Hiệu ứng ngắt mạch được ứng dụng trong việc phân huỷ chất thải polyme.

6.1.2 Hiệu ứng tách khí

Khi chiếu xạ polyme, quá trình giải phóng sản phẩm ở thể khí thường diễn ra rất mạnh. Bản chất của các sản phẩm khí và hiệu suất hoá bức xạ của chúng phụ thuộc trước hết vào loại polyme và cấu trúc của nó.

Trong quá trình này các khí thường hay gặp là H₂, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₈ ...

Bảng 6.1 giới thiệu một số sản phẩm chiếu xạ của polyme ở nhiệt độ phòng khi chiếu gamma và electron nhanh.

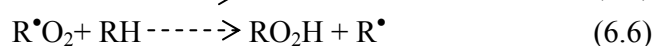
Bảng 6.1. Sản phẩm khí của một số polyme khi chiếu xạ gamma

Polyme	Sản phẩm	Hiệu suất, phân tử /100 eV
Polyetylen (-CH ₂ - CH ₂ -)	H ₂	3,7
	CH ₄	≤ 0,02
Polyvinylclorit (-CH ₂ : CHCl-)	HCl	7,5
	HCl	2,74
	H ₂	0,15
Polystyren (- C ₆ H ₅ CH:CH ₂ -)	CH ₄	0,02
	H ₂	0,022±0,026
	CH ₄	~10 ⁻⁵
	C ₆ H ₆	0,008

6.1.3 Oxy hoá bức xạ và sau bức xạ của polyme

- Trong nhiều trường hợp oxy có ảnh hưởng đáng kể đến quá trình phân tích bức xạ của polyme. Với sự hiện diện của oxy, thường xảy ra phản ứng oxy hoá. Quá trình oxy hoá này có thể do oxy hoà tan trong polyme, có thể do oxy khuếch tán vào polyme từ bên ngoài. Ở giai đoạn đầu, quá trình oxy hoá được thực hiện chủ yếu bằng oxy hoà tan, sau đó chủ yếu là oxy khuếch tán từ bên ngoài.
- Người ta phân biệt quá trình *oxy hoá bức xạ và sau bức xạ*. Oxy hoá bức xạ xảy ra trong quá trình chiếu xạ, còn oxy hoá sau bức xạ xảy ra sau khi quá trình chiếu xạ đã chấm dứt. Trong quá trình thứ hai, sự oxy hoá tiếp tục do oxy vẫn có mặt trong polyme hoặc do oxy ở bên ngoài tiếp xúc với polyme vẫn tương tác với các sản phẩm phân tích bức xạ. Hiệu ứng oxy hoá bức xạ và sau bức xạ nói chung là những hiệu ứng không mong muốn. Để giảm hiệu ứng này người ta đưa vào polyme các chất chống oxy hoá.
- Trong phản ứng oxy hoá, các gốc tự do lớn của peroxy có vai trò rất quan trọng. Các gốc tự do peroxy này xuất hiện khi oxy tác dụng với các gốc tự do lớn được tạo ra trong quá trình chiếu xạ.

Cơ chế đơn giản nhất của quá trình oxy hoá polyme như sau:



(Trong đó R là gốc alkyl, R[•] là gốc tự do lớn, RH- polyme, RO₂ là gốc tự do peroxy)

Tốc độ oxy hoá phụ thuộc vào các yếu tố sau đây:

+ *Nồng độ của oxy trong polyme:* Nồng độ này được xác định bằng độ hoà tan của oxy, khả năng thẩm thấu của nó qua polyme cũng như tốc độ thâm nhập của oxy vào polyme. Ngoài ra hiệu ứng còn phụ thuộc vào liều, suất liều, áp suất của oxy, bề dày của mẫu, tốc độ khi chiếu v.v...

+ *Hiệu ứng suất liều*: Sự khuếch tán của oxy vào polyme có liên quan tới suất liều. Rõ ràng suất liều càng nhỏ (tốc độ tiêu hao oxy nhỏ) thì xác suất thâm nhập của oxy từ ngoài vào polyme càng lớn và như vậy quá trình oxy hoá diễn ra càng mạnh.

+ *Hiệu ứng nhiệt độ*: Nhiệt độ ảnh hưởng đến quá trình oxy hoá bức xạ theo một số hướng:

Khi nhiệt độ tăng, độ hoà tan của oxy trong polyme giảm, hiệu ứng oxy hoá giảm.

Khi nhiệt độ tăng, tốc độ ở mọi giai đoạn của quá trình oxy hoá tăng, hiệu ứng oxy hoá tăng.

Khi nhiệt độ tăng, xác suất phân rã của các gốc tự do tăng đồng thời độ bền vững của hydro peroxy (H₂O₂) cũng giảm, hiệu ứng oxy hoá giảm.

Do đó hiệu ứng nhiệt độ tổng phụ thuộc vào tỷ lệ đóng góp của các hiệu ứng thành phần.

+ *Hiệu ứng áp suất*: Khi áp suất của oxy tăng, nồng độ của oxy trong polyme tăng và độ thâm nhập của nó vào polyme cũng tăng. Do đó tốc độ oxy hoá cũng tăng. Tuy nhiên, thông thường hiệu suất hoá bức xạ phụ thuộc vào áp suất tương đối yếu. Chẳng hạn khi chiếu màng polyetylen bằng gamma hiệu suất G(- O₂) chỉ tăng từ 8,6 lên 10 phân tử/100 eV khi áp suất tăng 150 lần (suất liều 1,4 Gy/s).

6.2. Sự thay đổi tính chất vật lý của polyme do chiếu xạ

Khi chiếu xạ polyme, cũng như khi chiếu xạ chất rắn khác, có thể xảy ra các biến đổi thuận nghịch và không thuận nghịch của nhiều tính chất vật lý như tính chất cơ điện, biến đổi về cấu trúc v.v... Nói chung các biến đổi thuận nghịch thường xảy ra ở các liều thấp còn biến đổi không thuận nghịch thì xảy ra ở các liều hấp thụ tương đối cao như khi polyme chịu những biến đổi hoá học rõ ràng như ngắt mạch, khâu mạch, oxy hoá v.v...

6.2.1 Biến đổi điện tính

Chiếu xạ thường làm thay đổi các tính chất của polyme như độ dẫn, tính cách điện, điện tích thể tích, v.v...

Độ dẫn

Chiếu xạ làm tăng độ dẫn điện. Độ dẫn cảm ứng do bức xạ gọi là độ dẫn điện bức xạ. Nguyên nhân của hiện tượng này là việc sinh ra các phân tử mang điện bổ sung do bức xạ ion hoá như electron, lỗ trống, ion v.v... Người ta thường phân biệt độ dẫn xung và độ dẫn tĩnh tương ứng với tác động của bức xạ theo chế độ xung hoặc chiếu xạ theo chế độ liên tục.

+ *Độ dẫn bức xạ xung*: lại được chia làm 2 thành phần: Thành phần tức thời và thành phần trễ. Thành phần thứ nhất gây ra bởi electron tự do không bị bắt giữ bởi các bẫy khuyết tật. Thành phần thứ 2 liên quan tới các electron bị bắt giữ bởi các bẫy khuyết tật ít nhất là một lần. Đặc trưng thời gian của thành phần thứ nhất cỡ 10⁻¹⁰s, còn thành phần thứ 2 thì lớn hơn nhiều.

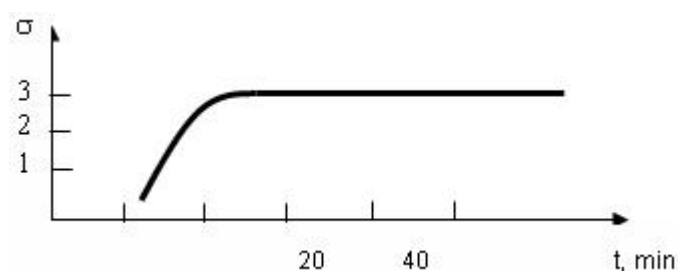
Nói chung, đối với tất cả các polyme, độ dẫn bức xạ xung tỷ lệ với suất liều.

Độ dẫn bức xạ xung gây ra không chỉ bởi chuyển động của các điện tử tự do, mà còn bởi sự di chuyển của các điện tích liên kết (chẳng hạn cặp liên kết ion – electron). Dòng điện do các điện tích liên kết gây ra gọi là dòng điện phân cực.

+ *Độ dẫn bức xạ tĩnh*: Độ dẫn bức xạ tĩnh được xác định chủ yếu bởi độ dẫn do các electron tự do gây ra, đóng góp của các điện tích liên kết không đáng kể. Khi liều chiếu tăng lên, độ dẫn tĩnh tăng dần tới một giá trị không đổi (Hình 6.4). Đối với suất liều D' nó có sự phụ thuộc sau:

$$\sigma = AD'^{\alpha} \quad (6.8)$$

trong đó A và α là các hằng số nào đó. Thêm vào đó $0,5 < \alpha < 1$.



Hình 6.4

Sự biến đổi của độ dẫn theo thời gian (liều lượng) chiếu xạ

Ở các liều chiếu nhỏ, biến đổi của độ dẫn là thuận nghịch, ở các liều chiếu tương đối lớn, các biến đổi này đều không thuận nghịch.

- *Tính cách điện*: Quá trình khâu mạch ảnh hưởng rất lớn đến tính cách điện của polyetylen. Khâu mạch bức xạ vẫn giữ nguyên điện trở suất cao của polyetylen ở nhiệt độ cao. Đây là một đặc tính quý báu, nhờ đó mà polyetylen chiếu xạ được ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật.
- *Điện tích thể tích*: Đối với chất polyme cách điện khi chiếu xạ sẽ xảy ra hiện tượng tích lũy điện tích thể tích. Phân bố điện tích trong thể tích của polyme không đều. Sự phóng điện của điện tích thể tích trong polymetylmethylacrilat có thể ứng dụng để làm các vật liệu trang trí (Hình 6.5).



Hình 6.5
 Ảnh chụp vết phóng điện trong PMMA
 sau khi chiếu electron từ máy gia tốc Microtron MT-17 của Viện Vật lý
 Hà Nội

6.2.2 Biến đổi tính chất cơ học

Chiếu xạ làm tăng tốc độ chảy và làm giảm tuổi thọ của polyme

- + Tính chảy là hiện tượng biến dạng từ từ của polyme dưới tác dụng của trọng lực.
- + Độ bền lâu dài hay tuổi thọ của polyme là khoảng thời gian từ lúc chiếu xạ cho đến khi nó bị gãy.

Ảnh hưởng của bức xạ đối với các tính chất này của polyme liên quan trước hết đến sự thay đổi cấu trúc của polyme do sự đứt gãy các mối liên kết.

Hiện tượng đứt nổ do bức xạ ở nhiệt độ thấp

Đối với một số chất như polymethylmetacrilat quan sát thấy hiện tượng đứt nổ đột ngột khi bị lạnh. Khi bị chiếu xạ trong không khí ở nhiệt độ phòng với liều cỡ 100kGy, sau đó để lạnh nó sẽ bị phá huỷ với nhiều vết nứt. Khi đó độ bền cơ gần như mất hoàn toàn, trong một số trường hợp nó có thể bị vỡ vụn thành các mảnh nhỏ. Nguyên nhân của hiện tượng này là tại các khuyết tật hình thành trong quá trình chiếu xạ, xuất hiện các lực căng đàn hồi bổ sung ở nhiệt độ thấp khi trời lạnh.

6.2.3 Biến đổi các tính chất vật lý khác

Sự phá huỷ các mầm tinh thể

Với liều lượng chiếu xạ gamma trên 1MGy trong một số loại polyme diễn ra sự suy giảm độ kết tinh. Liều phá huỷ mầm tinh thể khoảng 35 MGy. Nếu chiếu ở nhiệt độ cao hơn thì độ kết tinh còn thấp hơn nữa.

Chiếu xạ cản trở quá trình tái kết tinh

Trong các polyme chưa chiếu xạ, các mầm tinh thể bị phá huỷ khi nóng chảy, mầm tinh thể được phục hồi trong quá trình tái kết tinh.

Hiệu ứng nhớ và vật liệu co nhiệt

Trong một số polyme như polyetylen, có một hiệu ứng rất hấp dẫn và quan trọng về phương diện ứng dụng thực tế, đó là hiệu ứng nhớ. Thực chất của hiện tượng này như sau. Thoạt đầu polyme được chiếu xạ tới một liều nào đó nhỏ hơn liều tạo keo. Sau đó đốt nóng nó lên với mục đích là làm cho các phần kết tinh nóng chảy rồi kéo căng nó ra. Giai đoạn tiếp theo là làm nguội dưới tác dụng ứng suất của polyme để khôi phục cấu trúc tinh thể. Vật liệu polyme được tạo ra bằng cách đó, sau khi đốt nóng lại tới nhiệt độ nóng chảy, những phần kết tinh có khuynh hướng khôi phục lại hình dạng ban đầu do sự hiện diện của mạng không gian. Nếu vật liệu này dùng để bọc một vật gì đó, thì do các động thái trên, nó sẽ bám khít với vật được bọc.

Hiệu ứng nhớ là cơ sở của các quá trình công nghệ sản xuất ra một loạt các vật liệu polyetylen co nhiệt dùng làm bao bì và các mục đích khác.

- Khi chiếu xạ, một số tính chất của polyetylen có thể thay đổi như độ thấm thấu khí giảm (ở $D = 1$ MGy độ thấm thấu khí giảm 3- 4 lần), độ dẫn nhiệt và nhiệt dung giảm (khoảng 15 - 25% ở liều 6,1 MGy). . .

6.3. Độ bền bức xạ của polyme

- *Ý nghĩa:* Nhiều loại polyme được sử dụng khá rộng rãi trong các trường chiếu xạ mạnh như trong lò phản ứng hạt nhân, trong trường của tia vũ trụ, do đó việc xem xét *tính bền bức xạ* của polyme là rất quan trọng.
- *Độ bền bức xạ* của polyme được đặc trưng bởi một *liều hấp thụ ngưỡng* mà tương ứng với nó có một sự biến đổi tính chất nhất định đối với quá trình chiếu xạ.
- *Độ bền bức xạ* của polyme phụ thuộc vào:

+ *Bản chất của polyme;*

+ *Thành phần nguyên tố của các gốc polyme.*

Các gốc có chứa các phân tử khác với C và H thường kém bền vững, ví dụ các gốc có chứa oxy, lưu huỳnh, clo, flo v.v...

6.4. Sự bảo vệ bức xạ và sự tăng nhạy bức xạ

Trong thực tiễn, vấn đề bảo vệ polyme chống bức xạ để chúng có thể hoạt động lâu dài trong điều kiện chiếu xạ, cũng như vấn đề thứ hai, ngược lại với vấn đề thứ nhất, tức là làm cho vật liệu nhạy với bức xạ hơn để tạo ra hiệu ứng mong muốn ở liều thấp, đều là những vấn đề quan trọng.

6.4.1 Sự bảo vệ bức xạ đối với polyme

Độ bền bức xạ có thể tăng lên nếu ta đưa vào polyme những chất đặc biệt. Những chất như vậy gọi là *các phụ gia bảo vệ hay là chất chống bức xạ*.

Chất chống bức xạ được chia làm hai nhóm:

+ Nhóm 1: Nhóm hấp thụ năng lượng từ vật chủ (polyme) rồi cho tán xạ dưới dạng bức xạ nhiệt hoặc ánh sáng. Bản thân những chất này không chịu các biến đổi hoá học thuận nghịch.

+ Nhóm 2: Các phụ gia hấp thụ năng lượng từ vật chủ nhưng chịu các biến đổi hoá học thuận nghịch và bị phá huỷ.

Ví dụ: Polyetylen có độ bền bức xạ tăng đáng kể nếu đưa vào nó các chất như naftalin, antraxen,... Nói chung các nhóm amin thơm ($R.NH_2$) là những chất chống bức xạ tốt. Chỉ cần đưa vào polyetylen từ 0,2 đến 0,5% những chất này thì hiệu suất khâu mạch của nó đã giảm đáng kể.

Các chất chống bức xạ điển hình thuộc nhóm 1 là ionol, fenol. Các chất điển hình thuộc nhóm 2 là iod, lưu huỳnh thể keo. Các chất độn (đặc biệt trong trường hợp của cao su) hoặc các chất đông cứng (trong epoxy), các chất chống oxy hoá thông thường trong công nghiệp (các amin thơm và fenol) cũng có tác dụng chống bức xạ.

Cơ chế tác động của các phụ gia bảo vệ có thể bao gồm những quá trình sau:

- Quá trình truyền năng lượng kích thích của bức xạ từ polyme cho chất phụ gia.
- Tương tác của chất phụ gia với các sản phẩm phân tích bức xạ trung gian trước khi diễn ra các biến đổi hoá bức xạ.

Chất phụ gia cung cấp các electron để trung hoà các cation lớn của polyme.

Có thể tạo ra các polyme bền bức xạ bằng phương pháp cấy các polyme khác có độ bền bức xạ cao.

Chẳng hạn polyetylen thường bị phá huỷ ở liều 1MGy nhưng nếu được cấy axenaften ($C_{10}H_6(CH_2)_2$), tính dẻo của nó vẫn duy trì ở liều 2 MGy.

6.4.2 Sự tăng nhạy đối với các quá trình hoá bức xạ trong polyme

Việc làm giảm liều hấp thụ để biến tính vật liệu polyme có những ý nghĩa thực tiễn rất lớn, trước hết nó làm tăng sản lượng của quy trình công nghệ và tiết kiệm năng lượng.

Để thực hiện mục đích đó, người ta đưa vào polyme các chất tăng nhạy bức xạ. Chính những chất này thúc đẩy quá trình của các biến đổi hoá bức xạ dẫn đến những hiệu ứng mong muốn.

Một trong những ví dụ điển hình của quá trình này là tăng nhạy khâu mạch cho polyetylen ($-CH_2CH_2-$).

Cơ chế này có thể đạt được nhờ làm giảm quá trình kết tinh của polyetylen và tăng độ linh động của các mạch đại phân tử. Điều này được thực hiện bằng cách bổ sung 20-30% khối lượng của tổ hợp 3 loại polyme etylen-propylen-dien. Trong trường hợp này, liều khâu mạch có thể giảm vài lần.

Việc đưa thêm các chất tăng nhạy như vinylaxetat và etylacrylat có thể làm hiệu suất khâu mạch $G(x)$ của polyetylen tăng từ 3 tới 5 lần.

Một phương pháp khác để tăng nhạy bức xạ là đưa vào polyme các monome đặc biệt. Các monome này polyme hoá ở vùng vô định hình làm cho các vi tinh thể của polietylen nối với nhau. Hiệu suất khâu mạch của polyetylen được bổ sung 2% n-butyl sẽ tăng 15 lần.

6.5. Đặc điểm của quá trình phân tích bức xạ các dung dịch polyme

Cũng giống như polyme thể rắn, các quá trình chủ yếu khi chiếu xạ dung dịch polyme là khâu mạch và ngắt mạch.

- *Ảnh hưởng của oxy*

Một số polyme khi không có mặt oxy, tác dụng của bức xạ chủ yếu là khâu mạch, khi có mặt oxy, tác dụng của bức xạ chủ yếu là ngắt mạch.

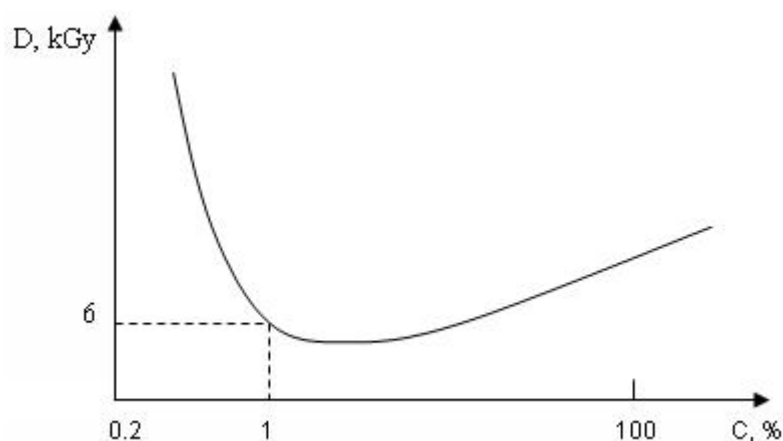
- *Ảnh hưởng của nồng độ*

Liều lượng tạo gel D_g phụ thuộc rất mạnh vào nồng độ của polyme trong dung dịch (Hình 6.6).

+ Ở nồng độ cao do độ nhớt lớn và độ linh động thấp của các gốc tự do lớn, liều lượng tạo gel tương đối cao.

+ Ở nồng độ thấp, do độ linh động cao, liều lượng tạo gel giảm.

+ Ở nồng độ thấp hơn nữa, liều tạo gel lại tăng vì vai trò tác động trực tiếp của bức xạ ngày càng giảm, lý do là năng lượng của bức xạ được dùng để tạo ra các gốc tự do của chất hoà tan. Do đó đường phụ thuộc liều tạo gel vào nồng độ polyme trong dung dịch có điểm cực tiểu.



Hình 6.6
Sự phụ thuộc của nồng độ polyme vào liều hấp thụ

Chương 7

Một số quy trình và sản phẩm của công nghệ bức xạ

7.1 Chế tạo kính tấm nhạy bức xạ

Trong quá trình truyền năng lượng của bức xạ cho vật liệu thuỷ tinh, việc tạo ra các phân tử kích hoạt có tính chất hấp thụ ánh sáng ở bước sóng đặc trưng mang một ý nghĩa nhất định về khoa học và ứng dụng.

Quy trình chế tạo vật liệu composite này, trên thực tế tương tự như quy trình chế tạo của loại vật liệu cổ điển thông thường [23]. Việc đưa một tổ hợp các oxit với khối lượng nhỏ cỡ 10^{-3} g/g, sau đó chiếu xạ gamma hầu như không làm thay đổi các tính chất cơ lý của vật liệu. Tuy nhiên, sự có mặt của các oxit từ các kim loại chuyển tiếp hoặc các kim loại có lớp vỏ electron chưa đầy có thể làm thay đổi tính chất quang lý của loại vật liệu mới trong trường gamma. Việc xuất hiện các bước sóng hấp thụ đặc trưng phụ thuộc vào bản thân kim loại, hoá trị của nó dưới dạng oxit ban đầu, cũng như tổ hợp thành phần của hỗn hợp oxit. Cường độ hấp thụ tại bước sóng đặc trưng của vật liệu không chỉ phụ thuộc vào hàm lượng của các phân tử nhạy bức xạ mà còn phụ thuộc vào liều lượng hấp thụ và suất liều của bức xạ. Các vật liệu thuỷ tinh nhạy bức xạ được dùng để chế tạo các liều lượng kế, các chỉ thị bức xạ, các dụng cụ chống tia tử ngoại, tạo ảnh gamma, cũng như các đồ gia dụng và vật liệu trang trí với các gam màu linh hoạt dễ thay đổi [20].

7.1.1 Sự hình thành và phá huỷ các tâm màu trong thuỷ tinh do bức xạ

Ngoài sự hấp thụ tự thân của thuỷ tinh ở vùng phổ cực tím và vùng ánh sáng nhìn thấy do các tâm màu có sẵn gây ra, khi chiếu xạ gamma còn xuất hiện sự hấp thụ cảm ứng. Các tâm màu mới xuất hiện từ các phân tử nhạy bức xạ tạo cho thuỷ tinh có màu sắc đặc trưng. Các phân tử nhạy bức xạ thường là các oxit thuộc nhóm kim loại chuyển tiếp được đưa vào thuỷ tinh. Sự hiện diện của hai hoặc nhiều oxit kết hợp với sự chiếu xạ có thể làm thay đổi hoá trị liên kết trong các oxit tạo ra những chất hấp thụ ánh sáng với bước sóng đặc trưng, làm cho thuỷ tinh chiếu xạ có những màu sắc nhất định. Các oxit được lựa chọn trên cơ sở các kết quả thí nghiệm ở lượng mẫu nhỏ là V_2O_5 , Cr_2O_3 , MnO .

7.1.2 Phối trộn các thành phần nhạy bức xạ

Việc chế tạo kính tấm nhạy bức xạ được tiến hành trên dây chuyền công nghệ sản xuất kính tấm xây dựng của Nhà máy kính Đáp Cầu với thành phần phối liệu đã được xác định phù hợp với thiết kế kỹ thuật. Bảng 7.1 giới thiệu một số đặc trưng cơ bản của dây chuyền công nghệ.

Bảng 7.1

Một số đặc trưng kỹ thuật cơ bản của dây chuyền sản xuất kính tẩm

Dung lượng hoạt động của lò, T	500 tấn
Nhiệt độ cực đại, °C	1450
Suất lượng thành phẩm, T/ngày	50 tấn/ngày
Suất lượng kính thành phẩm 5mm, m ² /ngày	4000
Thành phần phối liệu, %	
SiO ₂	68 ÷ 70
K ₂ O, Na ₂ O	18
CaO, MgO	10
Al ₂ O ₃	2
Fe ₂ O ₃	<1

Việc đưa nhóm vật liệu V₂O₅, Cr₂O₃, MnO với hàm lượng 10⁻³ g/g để tạo ra tấm kính nhạy bức xạ, hầu như không làm thay đổi dây chuyền công nghệ sản xuất thông thường. Tuy nhiên, việc nghiên cứu động học của quá trình phối liệu với các nguyên tố nhạy bức xạ và độ đồng đều của chúng trong sản phẩm là vấn đề cần thiết.

Mô hình tính toán lý thuyết cho thấy nồng độ của các phân tử nhạy bức xạ phụ thuộc vào thời gian nạp nhiên liệu t được xác định bằng công thức:

$$N(t) = N_s(1 - e^{-gt}) \quad (7.1)$$

trong đó, N_s là nồng độ các phân tử nhạy bức xạ đạt giá trị bão hoà, g là hệ số tỷ lệ với thành phần các nguyên tố nhạy bức xạ lưu giữ trong lò.

Quá trình suy giảm nồng độ các phân tử nhạy bức xạ đối với trường hợp t > t₀ được biểu diễn bằng biểu thức:

$$N(t) = N_s(1 - e^{-gt_0})e^{-g(t-t_0)} \quad (7.2)$$

trong đó t₀ – thời điểm ngừng đưa phân tử nhạy bức xạ vào lò.

Tỷ lệ thành phần khối lượng của tổ hợp oxit nhạy bức xạ được đưa vào phối liệu chính của dây chuyền theo tỷ lệ MnO: V₂O₅: Cr₂O₃ là 5:10:1. Hình 7.1 giới thiệu phổ hấp thụ đặc trưng của vật liệu với dải bước sóng hấp thụ khá rộng từ vùng cận tử ngoại tới vùng cận hồng ngoại đo bằng quang phổ kế U-2000.

Nhóm nguyên tố nhạy bức xạ được trộn theo quy trình công nghệ cùng với các vật liệu khác. Khối lượng được cung cấp đều với khối lượng 50 kg/ngày.

Để theo dõi động học của quá trình khuếch tán và độ đồng đều của phối liệu, lượng mẫu phân tích được lấy với số lượng 3 mẫu × 3 ca × 2 máy /ngày, được chiếu trên nguồn gamma ⁶⁰Co bán công nghiệp với liều lượng xác định là 10 kGy và 15 kGy (Hoạt độ nguồn là 100kCi); mật độ quang được đo trên máy đo mật độ quang Model X - Rite 301 (USA). Cần

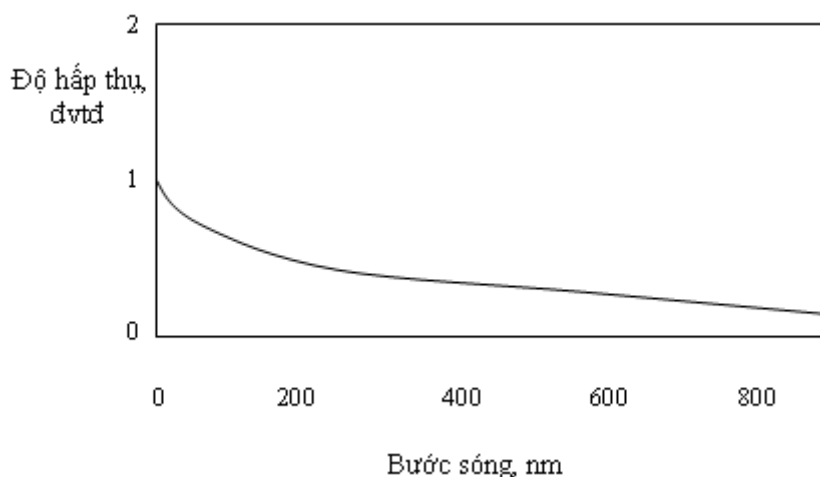
lưu ý rằng, mật độ quang D đo được tỷ lệ với nồng độ tâm màu bức xạ. Đồ thị biến thiên của D cho ta bức tranh động học của quá trình phối trộn nhóm oxit nhạy bức xạ.

Hình 7.2 giới thiệu phân bố mật độ quang học của các mẫu theo thời gian. Đường đậm nét là hàm tính toán theo công thức (7.2).

7.1.3 Tạo thành phẩm và kiểm tra chất lượng sản phẩm

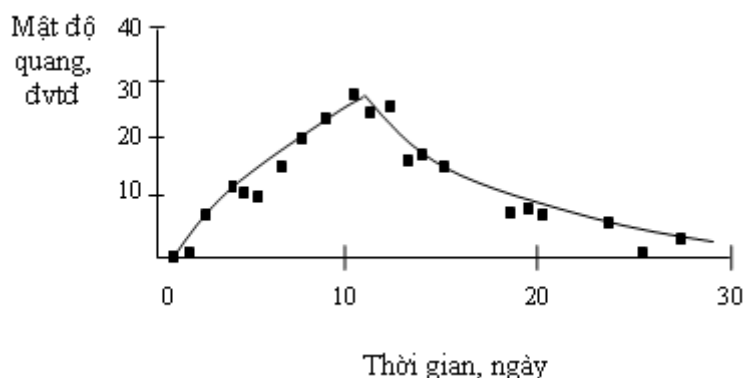
Phôi liệu trong lò thủy tinh được trộn theo nguyên lý đối lưu nhiệt tự nhiên ở nhiệt độ cực đại 1450°C . Nguyên liệu ở lõi ra được kéo dưới dạng kính tấm theo phương thẳng đứng bằng hai máy công suất 50 tấn/ngày với kích thước 3, 4 và 5 mm \times (1200mm \times 2000mm).

Việc đưa các tâm nhạy bức xạ vào quy trình sản xuất kính tấm hầu như không làm thay đổi quy trình sản xuất của các nhà máy sản xuất kính thông thường, do đó có thể sản xuất loại kính đặc biệt này mà không cần thay đổi quy trình công nghệ. Các sản phẩm được tạo ra hầu như không có gì thay đổi so với sản phẩm cũ.



Hình 7.1
Phổ hấp thụ đặc trưng của kính tấm nhạy bức xạ liều chiếu 15kGy

Kính tấm nhạy bức xạ có thể sử dụng vào mục đích chế tạo các liều lượng kế và chỉ thị bức xạ, vật liệu trang trí và tạo chất liệu mới cho môn nghệ thuật tạo hình bức xạ. Chúng cũng được sử dụng như những loại kính xây dựng thông thường.



Hình 7.2.
Phân bố mật độ quang của kính theo thời gian nạp tâm màu

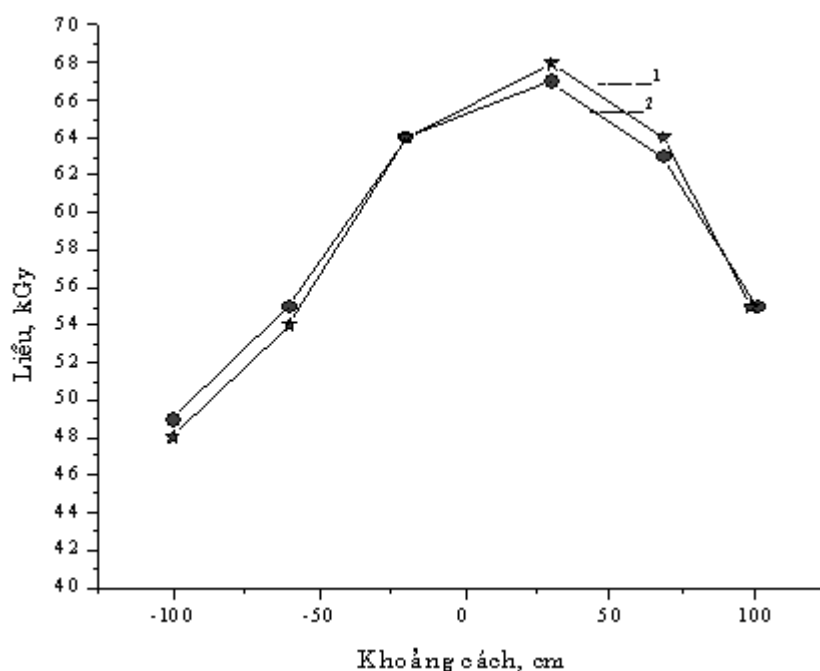
Quá trình chiếu xạ gamma được thực hiện trên nguồn ^{60}Co bán công nghiệp. Kính tấm kích cỡ khác nhau được chiếu trong trường liều giới thiệu trên Hình 7.3.

Độ đậm của màu được xác định bằng mật độ quang. Mối tương quan giữa mật độ quang và liều lượng hấp thụ được giới thiệu trên Hình 7.4. Đường đặc trưng mô tả hàm mũ bão hoà, theo công thức (4.6), trong đó mật độ tâm màu ban đầu $n_0 \approx 0$.

7.1.4 Tạo hình bức xạ

Đây là phương pháp tạo hình hoàn toàn theo công thức (4.6) bao gồm quá trình tạo màu nền và quá trình phá huỷ các tâm màu bức xạ.

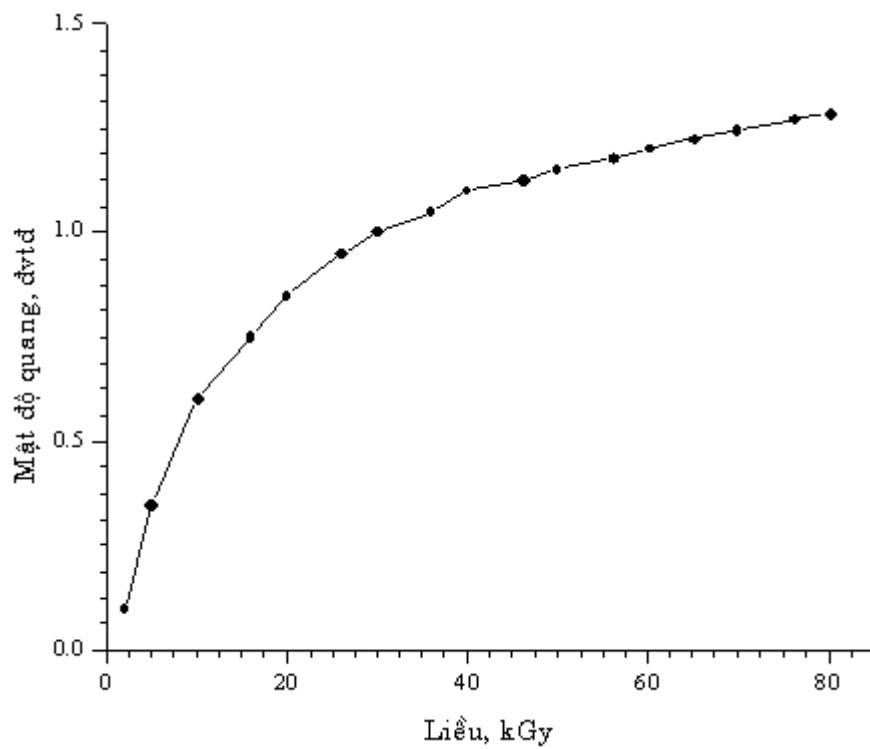
Sau khi tạo màu nền theo kỹ thuật thông thường với mật độ quang $OD=0.40$, cần tiến hành tạo hình bằng phương pháp cổ điển; sau đó, tiến hành chiếu tia cực tím bước sóng $200\div 300\text{nm}$ với liều lượng tương đương 20 kGy. Quá trình huỷ màu tuân theo định luật hàm mũ suy giảm mô tả theo thành phần thứ hai của công thức (4.6).



Hình 7.3.

Phân bố liều lượng theo mặt phẳng song song với mặt phẳng nguồn ở khoảng cách 20 cm:

- 1) Đo bằng liều lượng kế thủy tinh;
- 2) Đo bằng liều lượng kế Fricke



Hình 7.4.
Sự phụ thuộc của mật độ quang vào liều chiếu xạ dài rộng

Hình 7.5 và 7.6 giới thiệu các sản phẩm nghệ thuật tạo hình bức xạ và thủy tinh chiếu xạ trên chất liệu thủy tinh.



Hình 7.5.
Sản phẩm tạo hình trên chất liệu thủy tinh



Hình 7.6.
Một số sản phẩm thủy tinh chiếu xạ

7.1.5 Chế tạo liều kế thủy tinh

Từ kính tấm nhạy bức xạ có thể cắt thành các thẻ kích thước $40 \times 10 \times 3 \text{ mm}^3$ và đóng gói để tạo ra các liều kế thủy tinh đo liều lượng chiếu xạ (Hình 7.7)



Hình 7.7.
Liều lượng kế thủy tinh chế tạo tại Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân

Hàm đặc trưng liều của liều lượng kế thủy tinh có dạng hàm mũ bão hoà được giới thiệu trên Hình 7.4.

7.2 Xử lý bề mặt kim loại bằng phương pháp cấy ion

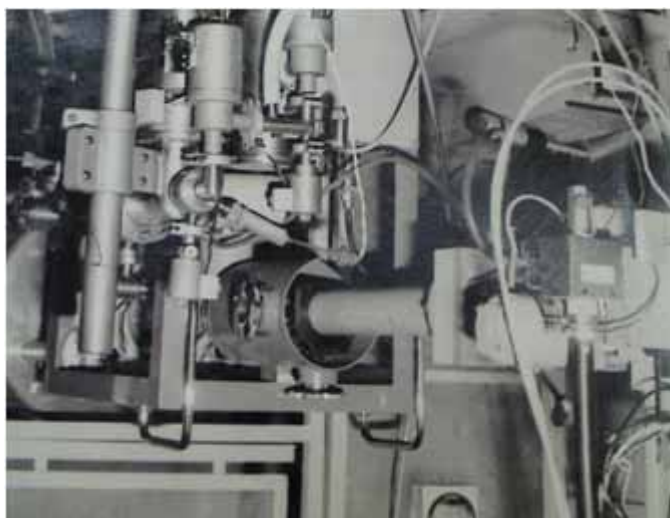
Cấy ion là phương pháp đưa chất pha tạp vào lớp bề mặt chất rắn trong điều kiện không cân bằng. Các ion của chất pha tạp được gia tốc tới năng lượng thích hợp và được bắn vào bề mặt vật liệu cần pha tạp. Các ion đâm xuyên qua lớp bề mặt và sau đó dừng lại ở lớp gần bề mặt. Kỹ thuật đã được dùng với quy mô thương mại để tạo ra các pha tạp mỏng trong chất bán dẫn. Kỹ thuật cũng được áp dụng rộng rãi để biến đổi và nghiên cứu vật liệu kim loại và điện môi [17].

7.2.1 Các quá trình vật lý cơ bản

Các quá trình xảy ra từ khi ion đập vào bia, bị làm chậm lại đến khi dừng hẳn; chuyển động tiếp theo của các nguyên tử và khuyết tật vừa hình thành, cũng như trạng thái vật chất tạo thành của chất rắn sau khi cấy ion là các vấn đề vật lý cơ bản. Chiều dài đâm xuyên của ion phụ thuộc vào vận tốc và bản chất của các quá trình truyền năng lượng cho vật rắn. Dải năng lượng của máy cấy ion thường dùng ($20\div 400\text{keV}$) (Hình 7.8). Hai quá trình mất năng lượng chính của ion là quá trình kích thích điện tử và va chạm hạt nhân. Cả hai quá trình đều phụ thuộc vào nguyên tử số và số khối của ion và nguyên tử. Các ion nặng có chiều dài đâm xuyên nhỏ hơn nhiều so với các ion nhẹ.

Đối với kim loại, tốc độ tiêu hao năng lượng do tương tác hạt nhân cũng quyết định mức độ sai hỏng mạng của vật rắn. Các quá trình dịch chuyển nguyên tử do va chạm dẫn đến sự hình thành các nút trống (NT) và nguyên tử ngoài mạng (NTNM). Vì tốc độ tiêu hao năng lượng nằm trong khoảng 100 eV/nm , và năng lượng cần thiết để dịch chuyển một nguyên tử vào khoảng 25 eV , nên mật độ các khuyết tật thường rất lớn và có phân bố không đều. Các khuyết tật này có thể di chuyển và kết hợp thành các cụm khuyết tật có kích thước lớn hơn, gây nên quá trình khuếch tán tăng cường, phân ly tăng cường và xáo trộn thành phần nguyên tử. Các quá trình này dẫn đến sự sắp xếp lại thành phần trong vật rắn và là quá trình quan trọng nhất của kỹ thuật cấy ion. Cho đến nay sự hiểu biết về quá trình trên vẫn chưa đầy đủ, song trong thực tế, để có được các vật liệu với tính chất mong muốn, ta chỉ cần biết phân bố của mật độ các ion tạo thành sau khi cấy ion. Trong quá trình cấy ion, số NTNM rất lớn nên trong cấu trúc tế vi hình thành mật độ dày đặc các khuyết tật. Ở nhiệt độ thấp, cả các NT; NTNM đều không linh động và bị hủy cặp ở các NT, nguồn thu khác, để lại phân bố của các NT và các cụm khuyết tật. Ở nhiệt độ cao hơn, các NT cũng trở nên linh động, chúng có thể kết hợp với nhau tạo nên các nhóm khuyết tật mới và các lệch mạng. Khi liều cấy tăng lên, các lệch mạng phát triển, giao nhau và tạo thành lưới lệch dày đặc. Cấu trúc tế vi của vật rắn lúc này rất gần với cấu trúc của kim loại sau biến dạng nguội.

Vì quá trình cấy ion là không cân bằng nhiệt nên ta có thể tạo được cả dung dịch rắn giả bền. Đây là một trong những lý do khiến cấy ion trở thành một lĩnh vực đầy hấp dẫn: có thể tạo ra những hợp kim mới với các tính chất mới khác thường.



Hình 7.8.

7.2.2 Biến tính bề mặt kim loại

Kết quả nghiên cứu khẳng định rằng, nhiều tính chất bề mặt của kim loại được cải thiện sau khi cấy ion: Đó là tính cơ, lý, hoá, điện và quang.

7.2.2.1 Tính chất cơ lý

Biến đổi các tính chất cơ lý của bề mặt bằng kỹ thuật cấy ion đã thu hút mối quan tâm đặc biệt trong những năm gần đây. Các tính chất cơ lý bị thay đổi đáng kể bằng kỹ thuật này là: độ mòn, độ ma sát, độ bám dính và tính mỏi.

- Độ mòn:

Độ mòn của nhiều loại thép được cải thiện một cách đáng kể sau khi cấy nitơ. Các vật liệu khác cũng chỉ ra kết quả tương tự. Các thí nghiệm sau đó được tiến hành với các ion khác như C, B, Ti, P, Al... và các kết quả cũng thật khích lệ. Nhiều nghiên cứu còn tập trung vào mục đích nâng cao tuổi thọ của các công cụ chính xác đắt tiền, như dao cắt, khuôn đúc, mũi khoan... Các kết quả đã chỉ ra khả năng ứng dụng to lớn của kỹ thuật này. Ưu điểm nổi bật của kỹ thuật cấy ion là không làm thay đổi hình dạng của công cụ và các tính chất của vật liệu nền. Nhược điểm của phương pháp là kích thước của lớp bề mặt xử lý bị hạn chế.

Dùng phương pháp cấy ion để nghiên cứu cơ chế mòn cũng đem lại nhiều kết quả. Nghiên cứu chỉ ra rằng, bên cạnh cơ chế tăng độ cứng của lớp bề mặt, nhiều cơ chế khác cũng tham gia vào quá trình làm giảm độ mòn. Chia khoá để cải thiện tính mòn của bề mặt là thay đổi cơ chế mòn chủ đạo, thông qua việc tăng độ cứng, giảm ma sát hoặc thay đổi các tính chất khác của bề mặt. Một ví dụ điển hình là trường hợp cấy nitơ trên hợp kim Ti-6Al-4V. Cấy ion đã giảm hệ số mòn 1000 lần và giảm ma sát tới ba lần. Lợi ích này là kết quả của sự thay đổi rõ rệt về hình thái bề mặt có liên quan chặt chẽ đến sự hình thành lớp oxit trên rãnh mòn.

- Ma sát

Cấy ion cũng có thể làm giảm hệ số ma sát của bề mặt kim loại. Ngoài ví dụ nêu trên, trường hợp Ti-6Al-4V, ở đó hệ số ma sát giảm từ 0,4 (khi không xử lý bằng chùm ion) xuống 0,15 (khi cấy nitơ), ta còn thấy hàng loạt loại thép như thép 304, 440C, 15-5 và 521000 v.v... sau khi cấy Ti và C, hệ số ma sát giảm đi 50%. Trong trường hợp của thép 304, kết quả phân tích cho thấy lớp hợp kim vô định hình Fe-Ti-C được tạo thành và sự giảm ma sát liên quan chặt chẽ với sự có mặt của lớp vô định hình. Nếu hợp kim được tái kết tinh (chẳng hạn, bằng xử lý nhiệt), lớp vô định hình đó mất đi, hệ số ma sát trở lại giá trị trước khi xử lý. Ở tất cả các loại thép kể trên đều thấy xuất hiện lớp vô định hình sau khi mật độ Ti và C cấy vào đạt giá trị khoảng 20%.

- Độ cứng

Độ cứng bề mặt nhiều kim loại thay đổi một cách đáng kể khi cấy ion. Chẳng hạn nhôm, thép và niken sau khi cấy nitơ độ cứng tăng lên tương ứng là 4,1; 8 và 1,5 lần. Sự hình thành dung dịch rắn xen kẽ, sự hiện diện của các lớp phân ly, sự hình thành các lệch mạng là nguyên nhân chính gây nên những hiệu ứng trên.

7.2.2.2 *Tính chất hoá học*

Cây ion cũng làm thay đổi các tính chất hoá học của nhiều kim loại như tính oxy hoá, tính ăn mòn, đặc tính xúc tác bề mặt v.v... Do lớp bề mặt xử lý mỏng nên nói chung, các bề mặt xử lý bằng cây ion không thích hợp lắm với các môi trường quá khắc nghiệt. Tuy nhiên đối với các môi trường ít khắc nghiệt hơn, cây ion có thể đem lại lợi ích rất thiết thực. Đặc biệt cây ion là phương pháp rất tiện lợi cho các nghiên cứu hệ thống về ăn mòn, như việc xác định ảnh hưởng của thành phần và cấu trúc đối với các tính chất điện hoá của vật liệu.

- *Oxy hoá*

Các nghiên cứu về oxy hoá phần lớn tập trung vào vấn đề khảo sát ảnh hưởng của cây ion đối với tốc độ oxy hoá của kim loại. Kết quả cho thấy các nguyên tố Ba, Rb, Cs, Eu, Ce, Y, Mo có tác dụng cản trở quá trình tạo thành lớp oxit trong kim loại. Chẳng hạn như khi cấy Al vào hợp kim Fe-Cr-Al-Y, tốc độ oxy hoá của chất mới giảm đi 140 lần so với mẫu không xử lý. Sự cải thiện này liên quan mật thiết với lớp oxit chứa nhôm gần bề mặt. Các kết quả nghiên cứu trên thép cũng chỉ ra rằng, sau khi cấy ion, thép có lớp oxit mỏng hơn rất nhiều so với mẫu đối chứng trong các điều kiện môi trường oxy hoá như nhau. Lý do là các ion được đưa vào đóng vai trò hàng rào ngăn chặn sự xâm nhập tiếp theo của oxy môi trường.

- *Ăn mòn*

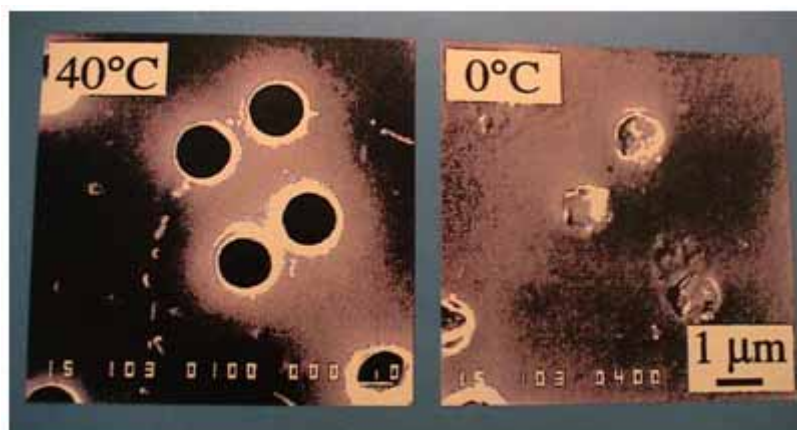
Ưu điểm nổi bật của cây ion trong nghiên cứu ăn mòn là khả năng tạo nên các dung dịch rắn đơn pha (giả cân bằng và giả bền). Vì tổ chức tế vi 2 pha bao giờ cũng dẫn đến khả năng chống ăn mòn kém hơn. Các nghiên cứu thường tập trung vào khảo sát ảnh hưởng của thành phần chất bổ sung lên đặc tính ăn mòn của các kim loại cũng như tìm ra các cơ chế ăn mòn trong các môi trường khác nhau. Một hướng nghiên cứu khác tập trung vào việc tạo ra các hợp kim mới vốn không được tạo ra bằng các phương pháp luyện kim thông thường, chẳng hạn, Ta vào Fe. Ở đây, ta có hiệu ứng tương đương trong môi trường ăn mòn, song điều này không thể thử nghiệm ở các điều kiện bình thường được, vì độ hoà tan của Ta vào Fe rất thấp. Kết quả cho ta thấy lớp màng mỏng tạo thành có tác dụng bảo vệ rất tốt.

7.3 **Chế tạo màng lọc bằng kỹ thuật chiếu chùm ion gia tốc**

7.3.1 **Màng lọc có tính năng đóng - mở**

Màng lọc bề dày 50 μm được chế tạo từ hỗn hợp hai vật liệu chính: Diethyleneglycol-bis-allylcarbonate (CR-39 monome) và A-ProOMe (polyme). Sau khi chiếu trên chùm ion ^{208}Pb được gia tốc tới năng lượng 11,6 MeV/nuclon, phim được tẩm thực trong dung dịch 6M NaOH ở 60°C; kết quả tạo ra các lỗ rỗng trong phim có kích thước tới 3 μm .

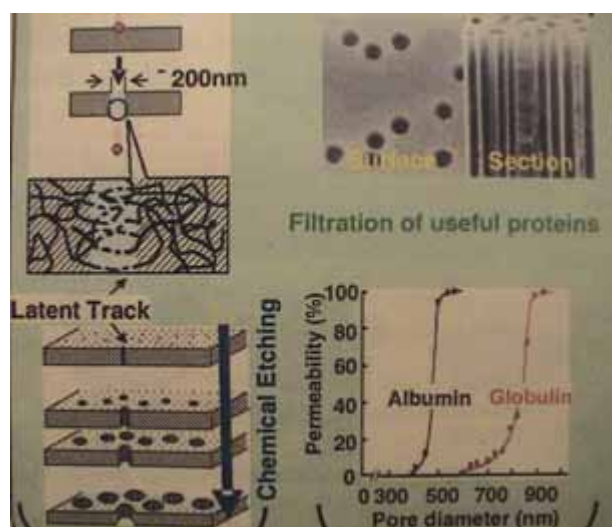
Phim có tính năng kỳ diệu là có thể đóng mở các lỗ rỗng tùy thuộc vào nhiệt độ khi được nhúng trong nước. Ở nhiệt độ 30÷40°C, các vết do ion tạo ra sau khi được tẩm thực có đường kính tới 3 μm , nhưng khi hạ nhiệt độ của nước xuống 0°C, các lỗ rỗng được bít lại hoàn toàn (Hình 33). Tính chất tương tự như tính chất của các màng sinh học này mở ra những triển vọng ứng dụng lọc hoá chất trong lĩnh vực y sinh.



Hình 7.9.
Cơ chế đóng mở của màng polyme được xử lý bằng chùm ion (Tư liệu của JAERI)

7.3.2 Màng lọc nano có tính năng chọn lọc

Sau khi chiếu chùm ion gia tốc các màng polyme, có thể tạo ra các vết nano ẩn có kích cỡ 200 nm. Quá trình tẩm thực hoá học có thể tạo ra các ống nano có kích thước khác nhau tùy theo mục đích sử dụng. Chẳng hạn để lọc các phần tử albumin đường kính của ống nano thường có kích thước nhỏ hơn 600nm, còn để lọc globulin kích thước ống nano có thể tới 900nm (Hình 7.10).



Hình 7.10.
Màng lọc nano có kích thước khác nhau (Tư liệu của JAERI)

7.4 Chế tạo băng vết thương dưới dạng gel nước

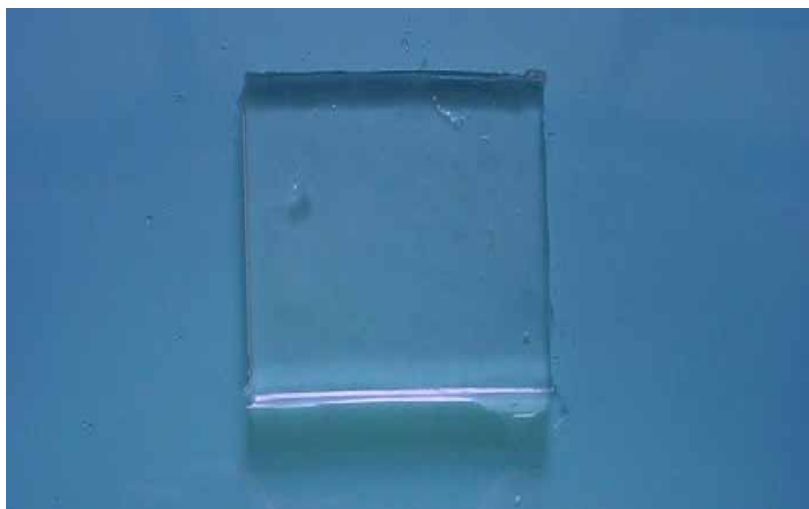
Gel nước có thể chế tạo bằng phương pháp chiếu xạ dung dịch polyvinyl alcohol hoặc các dung dịch chất hữu cơ khác bằng kỹ thuật chiếu xạ electron nhanh hoặc gamma (Hình 7.11 và 7.12). Sản phẩm được tạo ra có thể dùng để băng bó vết thương, đặc biệt là các vết bỏng. Có thể bổ sung các chất kháng sinh hoặc chất điện giải vào dung dịch trước hoặc sau khi chiếu xạ để tăng hiệu quả điều trị.

Ưu điểm của loại băng vết thương dạng gel nước là làm cho vết thương chóng lành, hạn chế tối đa quá trình mất nước từ vết thương, không gây đau đớn, dễ thay băng và do nó trong suốt nên thầy thuốc có thể theo dõi trực tiếp vết thương trong quá trình điều trị.



Hình 7.11.

Băng vết thương dạng gel nước của PVA do Nhật Bản chế tạo trên chùm bức xạ electron (Tư liệu của JAERI)



Hình 7.12.

Băng vết thương dạng gel nước của PVA do Việt Nam chế tạo trên chùm bức xạ gamma (Tư liệu của Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân và Trường Đại học Khoa học Tự nhiên)

7.5 Công nghệ lưu hoá các chất đàn hồi

7.5.1 Sản xuất các vật liệu cách nhiệt bền nhiệt tự dính

7.5.1.1 Chế tạo băng dính cách điện chịu nhiệt

- Nguyên lý: Lưu hoá hay là khâu mạch.

- *Quy trình:* Việc chế tạo sản phẩm này bao gồm các công đoạn sau: 1) Chuẩn bị phối liệu ban đầu gồm từ hỗn hợp cao su và một số phụ gia; 2) trộn phối liệu ở nhiệt độ $\leq 50^{\circ}\text{C}$; 3) tạo băng cao su nguyên liệu trên đế polyetylen và cuộn thành bánh đường kính $12\div 15\text{cm}$; 4) lưu hoá bức xạ bằng nguồn ^{60}Co ; 5) đóng gói sản phẩm trong gói polyetylen.

Để chế tạo băng dính, ta lấy hỗn hợp cao su polygetepolyxyloxan có chứa Bo. Nguyên liệu này có khả năng tự bám dính và hấp thụ nhiệt độ phòng. Tính tự bám dính có được nhờ nhóm B=O trong mạch polyme.

- *Liều chiếu:* từ 100 – 130 kGy, suất liều 2,2 Gy/s.

- *Thiết bị:* Máy gia tốc hoặc nguồn ^{60}Co .

Sản phẩm có thể hoạt động ở nhiệt độ 250°C , độ bám dính tốt, chịu nước, chịu nhiệt độ thấp.

7.5.1.2 Chế tạo vải thuỷ tinh cao su

- *Nguyên lý:* lưu hoá cao su.

- *Quy trình chuẩn bị nguyên vật liệu:* 1) Tẩm vải thuỷ tinh dung dịch polyxyloxan; 2) phủ một lớp hỗn hợp mù cao su; 3) dùng rulô phủ tiếp một lớp màng mỏng polyetylen giữa lớp thứ nhất và lớp thứ hai.

- *Chiếu bức xạ electron* trên băng chuyển động liên tục với liều hấp thụ $50\div 70\text{ kGy}$. Cũng có thể dùng bức xạ gamma của nguồn ^{60}Co để lưu hoá. Trong trường hợp này sản phẩm được chiếu theo từng cuộn.

Sản phẩm có độ bền cơ, chịu nhiệt cao, chịu nước, cách điện tốt.

7.5.2 Quá trình lưu hoá bức xạ các chất đàn hồi khác

- *Đệm, phớt cao su:* Dùng nguồn ^{60}Co hoặc electron nhanh chiếu mù cao su.

- *Lớp ô tô:* Lúc đầu người ta cho rằng chế tạo lớp ô tô bằng phương pháp lưu hoá bức xạ là có triển vọng. Tuy nhiên, các nghiên cứu về sau cho thấy vấn đề không đơn giản. Nguyên nhân là tính phức tạp của đối tượng, tính đa dạng về thành phần và độ bền khác nhau của các chất trong quá trình chiếu xạ. Do đó, đối với đối tượng này, xử lý bức xạ cũng không thể hiện tính ưu việt rõ rệt so với phương pháp xử lý nhiệt.

Tuy nhiên, việc kết hợp giữa xử lý bức xạ và xử lý nhiệt cho kết quả nhất định như tạo phối tăng độ bám dính của lớp xe đối với mặt đường bằng bức xạ. Việc tạo phối bằng bức xạ có tác dụng tăng độ bám dính của lớp xe đối với mặt đường, đồng thời làm giảm thời gian chế tạo sản phẩm xuống 20%.

- *Lưu hoá mù cao su tự nhiên (latex)*

Ở Indonesia có các hệ thử nghiệm lưu hoá mù cao su bằng nguồn ^{60}Co (225kCi). Sản lượng 3000 tấn/năm. Thiết bị gồm 3 bộ phận: bộ phận nhũ tương hoá nguyên liệu, bộ phận trộn và phản ứng lưu hoá.

Trong bộ phận nhũ tương hoá, người ta chuẩn bị nhũ tương hoá từ CCl_4 và nước. Nhũ tương đưa vào bộ phận trộn để trộn từ từ với latex. Hỗn hợp sau đó được đưa vào buồng lưu hoá để chiếu gamma từ nguồn ^{60}Co . CCl_4 được sử dụng làm chất tăng nhạy. Thiết bị hoạt

động theo chu trình, mỗi mẻ được 1550kg latex và 40kg nhũ tương. Suất liều 2,27 kGy/h, liều 30 kGy. Cao su lưu hoá có chất lượng tương đương xử lý nhiệt. Hệ chiếu xạ latex khác của Malaysia có công suất 6000 tấn/năm.

7.6 Các quy trình biến tính vật liệu polyme bằng bức xạ

7.6.1 Chế tạo vỏ cáp và dây điện bằng khâu mạch bức xạ

Các vật liệu xử lý bằng bức xạ có độ bền cơ, nhiệt cao; tính chất cách điện được cải thiện, đặc biệt ở nhiệt độ cao.

Bảng 7.2 giới thiệu các giới hạn nhiệt độ của các loại cáp điện vỏ bọc polyetylen.

Bảng 7.2.

Giới hạn nhiệt độ của các loại cáp điện dùng polyetylen làm vỏ bọc, T°C

Dạng xử lý	Sử dụng lâu dài	Dưới 100h/năm	Sử dụng không thường xuyên
Không xử lý	75	-	140
Khâu mạch hoá	90	130	250
Khâu mạch bức xạ	150	200	350

Qua bảng trên ta thấy polyetylen được khâu mạch bức xạ chịu nhiệt độ cao hơn ở mọi phương án sử dụng.

- Các loại polyme thông thường dùng làm lớp cách điện xử lý bằng bức xạ là polyetylen (-CH₂-CH₂-), polyvinylclorua (-CH₂:CHCl-).

- Quá trình chiếu: Liên tục.

- Nguồn bức xạ để khâu mạch: Máy gia tốc electron công suất 100-150 kW. Ngoài ra còn có thể sử dụng bức xạ hãm

- Liều hấp thụ: 200 – 400 kGy. Dùng chất tăng nhạy có thể giảm liều xuống 100 – 200 kGy.

- Bề sâu tối ưu d đối với e⁻: Tùy theo bề dày của cáp, người ta sử dụng năng lượng của electron sao cho thích hợp (xem Bảng 7.3).

Bảng 7.3.

Bề dày tối ưu d của polyetylen ở năng lượng electron khác nhau

Năng lượng E, MeV	Bề dày d, g/cm ³	Năng lượng E, MeV	Bề dày d, g/cm ³
0,3	0,019	1,5	0,449
0,4	0,051	2	0,634
0,5	0,085	3	1,02
0,6	0,119	4	1,4
0,8	0,190	5	1,17
1,0	0,263	10	3,68

- Giá thành xử lý giảm 2,1 lần so với xử lý nhiệt (tốn ít điện năng, mặt bằng sản xuất nhỏ).

Đây là một lĩnh vực thể hiện ưu thế hơn hẳn của công nghệ bức xạ so với công nghệ hoá học.

7.6.2 Chế tạo ống và màng co nhiệt

Lĩnh vực lớn thứ hai về xử lý vật liệu của công nghệ bức xạ là chế tạo ống và màng co nhiệt. Quy trình này dựa trên hiện tượng khâu mạch polyme và hiệu ứng nhớ, chủ yếu là đối với polyetylen [22].

- *Các sản phẩm thường gặp*: phim, ống, băng, túi, các loại bao bì ... Các sản phẩm thường được sử dụng trong ngành điện kỹ thuật, công nghiệp thực phẩm, đóng tàu, chế tạo máy, công nghiệp điện tử và một số lĩnh vực khác.

- *Các polyme thường dùng*: polyetylen, polyvinylclorua, polyvinylidenflorid ...

- *Nguồn bức xạ*: Máy gia tốc electron năng lượng từ $1 \div 3 \text{ MeV}$, trường hợp dùng màng năng lượng nhỏ hơn, từ $0,5 \div 1 \text{ MeV}$. Ngoài ra có thể dùng cả bức xạ gamma của nguồn ^{60}Co .

- Tỷ lệ co kích thước của sản phẩm có thể tới $15 \div 20\%$.

7.6.3 Chế tạo polyetylen xốp bằng bức xạ

- *Nguyên lý*: Dựa trên quá trình khâu mạch.

- *Quy trình*: gồm 4 giai đoạn.

1) *Giai đoạn 1*: Chuẩn bị nguyên liệu ban đầu polyetylen, chất tạo khí và một số chất phụ gia. Chất tạo khí có thể dùng diazodicarbonamit ($\text{NH}_2\text{CON} = \text{NCONH}_2$). Chất này bị phân huỷ ở nhiệt độ 200°C . Khi phân huỷ 1g chất khí tạo ra $200 - 240 \text{ cm}^3$ CO_2 , CO , N_2 và NH_3 . Phụ thuộc vào hệ số tạo bọt (độ tăng thể tích của polyme so với thể tích ban đầu), lượng chất tạo bọt thường có thể tới 10% khối lượng. Hệ số tạo bọt $10 \div 40$ tương ứng với mật độ polyetylen xốp khoảng $1 \div 0,025 \text{ g/cm}^3$. Để giảm nhiệt độ phân huỷ của chất tạo khí. Cần cho thêm chất tăng kích động tạo bọt (thường là stearat kẽm $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOZn}$) với $1 \div 1,5\%$ khối lượng. Ngoài ra có thể thêm một số chất chống oxi hoá, chất tăng nhậy, chất màu v. v. ...

2) *Giai đoạn 2*: Tạo ra các phôi tấm trên cơ sở của nguyên liệu trên. Thao tác này được thực hiện bằng phương pháp ép liên tục trên máy ép có đầu hờ. Để lúc tạo phôi không tạo ra sự phân huỷ khí, nhiệt độ của nguyên liệu không được vượt quá 300°C .

3) *Giai đoạn 3*: Chiếu electron nhanh với năng lượng $0,5 \div 4 \text{ MeV}$.

Liều tối ưu là $50 - 70 \text{ kGy}$.

4) *Giai đoạn 4*: Việc tạo bọt khí trong các phôi chiếu xạ được thực hiện do sự phân huỷ chất tạo khí khi bị đốt nóng ở nhiệt độ 180°C .

Mục đích của chiếu xạ là tăng độ nhớt của polyetylen nóng chảy bằng quá trình khâu mạch. Do đó, các chất khí khó thoát ra khỏi phôi, và thể tích của polyme tăng lên. Việc gia nhiệt được thực hiện theo hai bước:

Bước 1: Các tấm polyme đã chiếu xạ được gia nhiệt sơ bộ tới nhiệt độ dưới nhiệt độ phân huỷ khí nhằm mục đích loại bỏ ứng suất nội và đảm bảo tính đồng đều của quá trình tạo khí ở giai đoạn tiếp theo.

Bước 2: Tiếp tục nâng nhiệt độ tới nhiệt độ tạo khí bằng bức xạ hồng ngoại và không khí nóng.

Polyetylen xốp khâu mạch bức xạ có tính cách nhiệt và giảm chấn động tốt, ít hấp thụ nước và có độ đàn hồi cao. Chúng được sử dụng trong công nghệ ô tô, xây dựng dân dụng, chế tạo các dụng cụ thể thao, vật liệu cách điện, bao bì ...

7.6.4 Công nghệ làm đông cứng chất phủ polyme

- *Nội dung quy trình:* Khi phủ một lớp mỏng hỗn hợp chất trùng hợp lên mặt vật liệu, sau đó tiến hành chiếu xạ bằng electron nhanh để polyme hoá nó.

- *Đối tượng:* gỗ, kim loại, chất dẻo v. v. ...

- *Năng lượng electron:* 0,15÷0,5MeV. Với năng lượng tương đối thấp, các máy gia tốc electron thường là loại tự bảo vệ. Liều sử dụng 20÷200kGy.

- *Tính ưu việt so với phương pháp xử lý hoá nhiệt:*

+ Tiết kiệm năng lượng tới 85 lần.

+ Thiết bị chiếm ít diện tích. Bề dài của thiết bị hoá bức xạ khoảng 15÷20 m hoặc ít hơn. Trong khi các lò nhiệt có bề dài 30÷ 90 m.

+ Tốc độ xử lý lớn; cỡ vài giây; trong khi xử lý hóa nhiệt cần tới vài giờ. Nói một cách khác công nghệ hoá bức xạ có năng suất cao.

+ Quy trình hoá bức xạ làm đông cứng polyme phủ bề mặt được thực hiện ở nhiệt độ phòng, trong khi quy trình hoá nhiệt thực hiện ở nhiệt độ 60÷70°C. Với lý do đó, quy trình hoá nhiệt khó thực hiện đối với chất dẻo vì nó làm cho chất dẻo dễ bị biến dạng. Ngoài ra, quy trình hóa bức xạ còn cải thiện môi trường làm việc do ở đây không xảy ra quá trình bay hơi của monome và các chất khác từ chất phủ bề mặt, cũng như từ chất dung môi là những chất không thể thiếu trong quy trình hoá nhiệt.

+ Tiết kiệm nhiên liệu và vật liệu. Quy trình hoá nhiệt cần tới chất khơi mào và xúc tác, trong khi quy trình hoá bức xạ không cần tới chúng.

+ Trong quy trình xử lý bức xạ các mạch polyme có thể gắn sâu vào bề mặt vật liệu làm tăng thêm độ bền vững của lớp phủ.

- *Các ứng dụng:* xử lý chất phủ, sơn, vật liệu trang trí, lớp phủ vật liệu dẫn điện, mực in, băng từ v.v. ...

7.7 Sản xuất vật liệu gỗ – chất dẻo và vật liệu bê tông – polyme bằng công nghệ bức xạ

Trong những năm gần đây phương pháp bức xạ biến tính vật liệu chứa các lỗ rỗng như gỗ, bê tông, xi măng amian v.v. ... được sử dụng rộng rãi. Nội dung của phương pháp là tẩm vật liệu bằng monome hoặc oligome (polyme có phân tử lượng thấp), sau đó cho trùng hợp dưới tác dụng của bức xạ.

7.7.1 Vật liệu gỗ - chất dẻo

- Trùng hợp các monome bằng bức xạ đối với gỗ cải thiện được tính chất của chúng:

+ Tăng độ bền.

+ Giảm độ hút ẩm.

+ Chống sâu mọt.

- Công nghệ gồm các giai đoạn sau:

+ Sấy gỗ tới một độ ẩm nhất định;

+ Hút chân không của gỗ tới áp suất 0,5-80kPa (4÷600mmHg);

+ Tẩm monome;

+ Chiếu xạ để trùng hợp.

Có thể bổ sung vào các chất monome các chất màu, do đó có thể tạo cho gỗ những gam màu khác nhau. Việc sấy gỗ có tác dụng hạn chế độ ẩm vốn cản trở sự thâm nhập của polyme. Có thể sử dụng gỗ khô tự nhiên (độ ẩm 5 – 10%). Xử lý chân không có tác dụng hút không khí từ các lỗ hồng (oxy như đã nói cản trở quá trình trùng hợp), đồng thời đẩy nhanh quá trình xử lý.

- *Nhược điểm của quy trình:* Quá trình xử lý kèm theo hiện tượng toả nhiệt do các lỗ hồng và do sự tích lũy năng lượng liên quan đến độ dẫn nhiệt kém của vật liệu; sự phân bố nhiệt không đều có thể làm biến dạng sản phẩm, đồng thời làm bay hơi một phần monome từ gỗ. Để giảm bớt tác hại của quá trình này, có thể làm nguội bằng khí trơ theo chu trình kín, hoặc chiếu với suất liều thấp.

- *Bức xạ thường dùng* là tia gamma của ^{60}Co . Liều lượng từ 10÷20 kGy đối với metylmetacrylat. Nói chung liều để xử lý gỗ thường dưới 50 kGy. Đối với những monome khó trùng hợp, có thể dùng các chất tăng nhạy như CCl_4 .

Thời kỳ đầu người ta cho rằng, xử lý gỗ mềm – polyme bằng bức xạ rất có triển vọng. Tuy nhiên, các nghiên cứu cho thấy loại gỗ xử lý này không kinh tế vì tốn nhiều monome. Ở Mỹ, người ta thường xử lý các loại gỗ rắn, trong đó trên 80% là gỗ sồi. Các cơ sở công nghiệp có sản lượng hàng trăm nghìn mét vuông một năm.

Có thể xử lý theo phương pháp tương tự đối với giấy và các sản phẩm từ gỗ, như tượng gỗ, đồ gỗ cổ .v.v...

7.7.2 Xử lý vật liệu bê tông - polyme

Trong số các vật liệu xốp xử lý bằng bức xạ có thể kể tới bê tông. Vật liệu này có độ bền gấp 3 – 5 lần so với bê tông thường. Ngoài ra nó cũng ít chịu tác động của môi trường bên ngoài.

- *Công nghệ chế tạo:* tương tự như công nghệ chế tạo gỗ – chất dẻo. Điểm khác biệt là ở chỗ trong bê tông khoảng không gian tự do rất ít, do đó quá trình sấy khô khi chiếu xạ quan trọng hơn so với trường hợp của gỗ. Độ ẩm sau khi sấy khô phải có giá trị khoảng 0,1%.

- *Lĩnh vực ứng dụng:* các ống bê tông, tấm đập trên các tuyến giao thông, các vật liệu bê tông tiếp xúc với môi trường xâm thực như nước biển, hoá chất, v.v...

Quá trình có thể áp dụng cho một số đối tượng khác như thạch cao, tượng cổ, đồ đá v.v...

7.8 Gắn bức xạ các chất đồng trùng hợp

7.8.1 Xử lý vật liệu dệt

Quá trình gắn bức xạ có thể cải thiện tính chất của các loại sợi và vải nhân tạo cũng như tự nhiên như tăng độ bền, tăng độ bám dính của thuốc nhuộm, giảm độ tích điện, tăng độ tương thích giữa các loại sợi, tăng tính chống cháy.

- *Quy trình:* Tắm sợi hoặc vải bằng dung dịch monome, sấy khô và chiếu electron. Khi chiếu xạ, diễn ra quá trình gắn các monome vào phân tử xenlulo.

- *Bức xạ:* Electron, liều 10÷20 kGy.

7.8.2 Tổng hợp các màng trao đổi ion

- *Phương pháp:* có thể tổng hợp màng trao đổi ion bằng phương pháp gắn bức xạ, chẳng hạn gắn axit acrylic với polyetylen. Màng này được dùng làm vách ngăn trong các pin kiềm tính. Đặc điểm của loại màng này là có độ dẫn điện cao và thời gian sử dụng lâu dài.

- *Quy trình:* Màng polyetylen đem chiếu electron năng lượng 2 MeV trong khí trơ. Bề dày của màng khoảng 25÷150 µm. Sau đó, màng được đưa vào một buồng dung dịch của axit acrylat có chứa 0,25% muối Mor $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2$ để thực hiện quá trình gắn hoá học. Sau khi rửa sạch các monome, màng polyme được sấy khô trong một buồng đặc biệt.

Các vách ngăn dùng trong acquy cũng được chế tạo theo quy trình tương tự.

7.9 Tổng hợp hoá bức xạ

Bức xạ ion hoá có thể sử dụng để thực hiện các phản ứng hoá học. Thông thường trong quá trình này bức xạ ion hoá đóng vai trò tác nhân khơi mào đối với các phản ứng dây chuyền.

7.9.1 Tổng hợp sulfochlorit

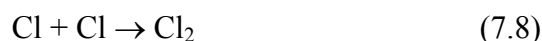
- *Mục tiêu của quy trình:* Thu được monosulfochlorit để sử dụng sản xuất các chất tẩy rửa sinh học.

- *Phương pháp:* Dựa trên phản ứng dây chuyền ở pha lỏng được khơi mào bằng bức xạ gamma.



- Cơ chế của quy trình bao gồm các phản ứng sau:





Ngoài RSO_2Cl , còn có sản phẩm phụ là clorit

- *Nguồn bức xạ:* ^{60}Co , hoạt độ nhỏ 2 kCi, suất liều $2 \times 10^{-4} - 10^{-2}$ Gy/s.

- *Sản phẩm:* Dung dịch 30% sulfoclorit trong hydrocacbon.

7.9.2 Tổng hợp chất thiếc – hữu cơ

- *Phương pháp:* Dựa trên phản ứng khời mào bằng bức xạ:

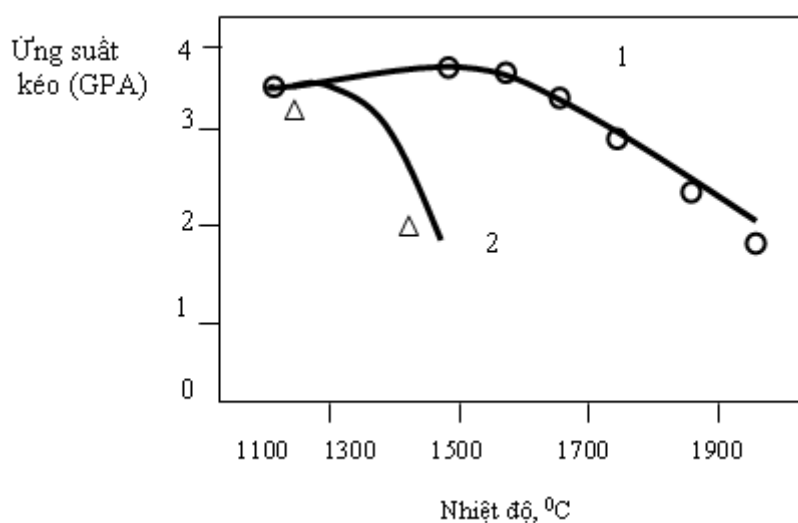


- *Diakil bromit thiếc* (R_2SnBr_2) được dùng làm sản phẩm trong việc sản xuất các chất xúc tác, đặc biệt là các chất cố định polyme.

7.10 Các quy trình xử lý vật liệu dùng cho công nghệ cao

7.10.1 Sợi carbit silicon chịu nhiệt độ siêu cao

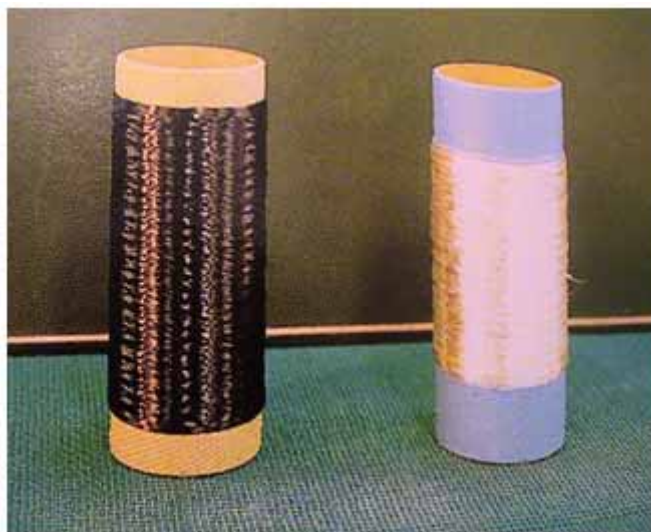
Loại vật liệu sợi SiC chịu nhiệt độ siêu cao được nghiên cứu chế tạo tại Nhật. Sản phẩm được xử lý khâu mạch bức xạ từ sợi polycarbosilane (PCS), tiếp theo là xử lý nhiệt ở nhiệt độ 1200°C . Loại sợi này có thể chịu tới nhiệt độ 1800°C , trong khi xử lý bằng khâu mạch hoá học chỉ chịu tới nhiệt độ 1200°C (Hình 7.13). Liều xử lý là 10kGy bằng electron. Giá trị của loại vật liệu rất cao và đã được thương mại hoá. SiC được sử dụng làm vật liệu composit kết hợp với gốm kim loại dùng trong tàu vũ trụ con thoi, tuabin trong các nhà máy điện... (Hình 7.14).



Hình 7.13.

Sự phụ thuộc ứng suất kéo của SiC vào nhiệt độ: 1- Xử lý bức xạ; 2- Xử lý

nhiệt



Hình 7.14
SiC thường (bên phải) và SiC xử lý bức xạ (bên trái)

7.10.2 Sợi hấp thụ urani

Phương pháp ghép bức xạ có tính ưu việt đối với các vật liệu polyme. Quy trình được tiến hành với việc ghép acrylamide với sợi polyetylen rỗng, tiếp theo là việc biến đổi nhóm cyano (-CN) thành nhóm amidoxime (NHCO). Việc ghép được thực hiện bằng phương pháp chiếu electron.

Loại sợi rỗng này được bó thành từng cột để thử nghiệm quá trình hấp thụ urani từ nước biển và cho hiệu suất rất cao. Vật liệu mở ra một triển vọng lớn điều chế urani từ nước biển.

7.11 Xử lý bức xạ nguồn nước thải

Các nghiên cứu và công nghệ xử lý nước thải được tiến hành theo các bước xử lý sau đây: 1) Xử lý bức xạ các nguồn nước tự nhiên; 2) Làm sạch bằng bức xạ các nguồn nước thải công nghiệp; 3) Xử lý bức xạ các chất lắng đọng của nước thải. Quá trình xử lý nước thải được tiến hành đồng thời với quá trình khử tính lây nhiễm các mầm bệnh của nước.

7.11.1 Xử lý nước tự nhiên

Nước tự nhiên trước khi sử dụng làm nước uống, thường được làm sạch chủ yếu đối với các chất hữu cơ vốn làm cho nước có màu, đồng thời khử mùi và vị không bình thường của nước.

Dùng tia gamma của nguồn ^{60}Co với liều thấp cỡ 1 kGy, người ta có thể khử được màu, tẩy uế và diệt khuẩn để nước có thể sử dụng làm nước sinh hoạt. Việc khử màu chủ yếu liên quan tới sự phân huỷ các chất mùn bởi các sản phẩm phân tích bức xạ, mà vai trò quan trọng nhất là các gốc tự do $\text{O}^{\bullet}\text{H}$. Cũng ở liều 1 kGy mùi bị khử hoàn toàn, độ nhiễm độc vi khuẩn và nhiễm độc ký sinh trùng trong nước giảm đi rất nhiều. Cho nên có thể coi liều 1 kGy là liều làm sạch nước.

Trong việc xử lý nước, máy gia tốc electron cũng rất triển vọng. Theo tính toán một máy gia tốc công suất 500 kW có thể xử lý nước cung cấp cho thành phố 100.000 dân.

7.11.2 Xử lý nước thải công nghiệp

Nước thải công nghiệp thường chứa rất nhiều chất độc hại, những chất này khó phân huỷ và lại có nồng độ tương đối cao. Để phân huỷ chúng cần liều $D \geq 10$ kGy. Nói chung người ta thường kết hợp nhiều phương pháp: hoá học, sinh học, bức xạ v.v...

Sau khi làm sạch bằng phương pháp hoá học và sinh học, chỉ cần một liều bức xạ rất nhỏ để làm sạch nước thải, cỡ $0,1 \div 0,3$ kGy

7.11.3 Xử lý các chất lắng đọng từ nước thải và bùn hoạt tính

Các chất lắng đọng thường chiếm từ 0,5 – 8% thể tích nước thải. Liều lượng 25 kGy được coi là liều lượng tiệt trùng đối với bùn và chất lắng đọng. Sản phẩm có thể dùng làm phân bón trong nông nghiệp.

7.12 Khử trùng dụng cụ y tế

Khử trùng dụng cụ y tế là một lĩnh vực phát triển mạnh mẽ nhất của công nghệ bức xạ. Trong một vài năm tới, tỷ lệ dụng cụ y tế được xử lý bằng bức xạ có thể đạt tới 80%.

Nguồn bức xạ chủ yếu sử dụng để khử trùng dụng cụ y tế là gamma (^{60}Co và ^{137}Cs), ngoài ra nguồn electron cũng được sử dụng.

Khử trùng bằng bức xạ là một kỹ thuật tổng hợp, nó liên quan tới sinh học bức xạ và hoá bức xạ. Dưới tác dụng của bức xạ, người ta phải giải quyết hai vấn đề:

- 1) Tiêu diệt vi trùng, hay nói chính xác hơn là làm mất khả năng sinh sản của chúng;
- 2) Ngăn chặn khả năng phân huỷ bức xạ của đối tượng được khử trùng.

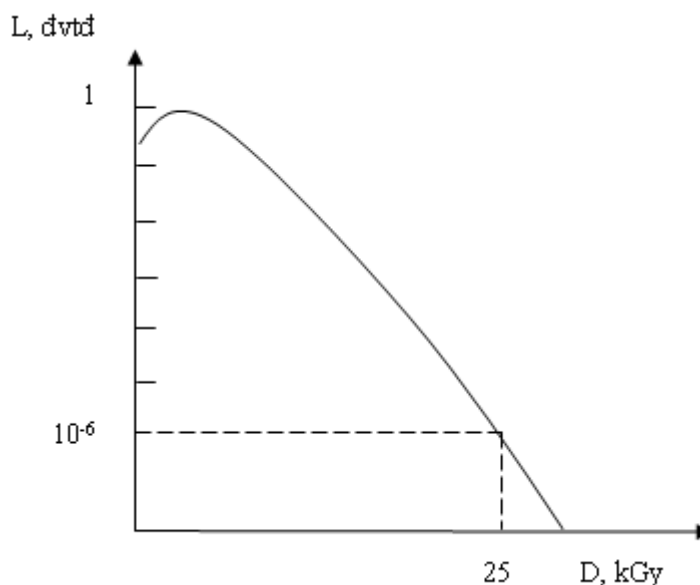
Rõ ràng vấn đề đầu tiên liên quan tới sinh học bức xạ, còn vấn đề thứ hai liên quan tới hoá bức xạ.

Hiện nay trong công nghệ tiệt trùng y tế, người ta chưa có khả năng tiêu diệt hoàn toàn vi trùng mà chỉ có khả năng giảm xác suất lây nhiễm của chúng để nó không vượt quá 10^{-6} .

Khả năng chống bức xạ của vi trùng được xác định chủ yếu bằng độ bền bức xạ của axit nucleic. Tiệt trùng là quá trình phá huỷ các ADN của vi trùng sao cho số phân tử axit nucleic có khả năng phân chia tế bào giảm từ $6 \div 9$ bậc.

Động lực học của quá trình tử vong của vi trùng tuân theo luật hàm mũ. Quy luật này được mô tả bằng mô hình truyền năng lượng. Ở các liều nhỏ có một “bờ vai” giảm chậm do quá trình phục hồi của hệ tế bào (Hình 7.15). Trong quá trình chiếu xạ người ta hay sử dụng khái niệm D_{10} là giá trị liều làm chết 90% lượng vi trùng hoặc liều mà tại đó 10% vi trùng còn sống sót. Liều tiệt trùng được công nhận là 25 kGy, nhưng ở các nước Bắc Âu liều tiệt trùng được công nhận là từ $35 \div 50$ kGy, phụ thuộc vào mức độ nhiễm khuẩn ban đầu.

Các nghiên cứu cho thấy đa số các polyme sử dụng làm dụng cụ y tế, hầu như không biến đổi tính chất ở liều tiệt trùng như polyetylen, polypropylen, polyamit, cao su silicon... Chỉ có polyaxetan và polytetrafluoetylen là bị phá huỷ mạnh ở liều 25 kGy.



Hình 7.15
Độ sống sót của vi trùng L khi bị chiếu xạ

Một trong những yêu cầu khi khử trùng là tính đồng đều liều. Cần phải đảm bảo để liều cực tiểu $D_{\min} = 25$ kGy.

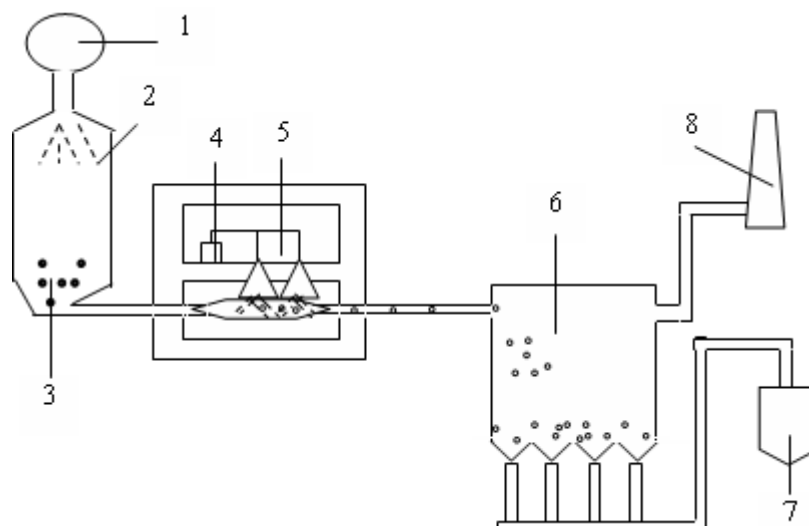
Tính ưu việt của khử trùng bức xạ dụng cụ y tế:

- + Tiêu tốn năng lượng thấp hơn so với xử lý nhiệt;
- + Xử lý được các vật liệu dễ bị biến dạng do nhiệt;
- + Xử lý được dụng cụ trong bao bì kín;
- + Không tạo ra các độc chất như xử lý hoá nhiệt;
- + Dễ điều khiển;
- + Xử lý liên tục và dễ tự động hoá.

7.13 Làm sạch khói nhà máy bằng công nghệ bức xạ

Ô nhiễm môi trường là vấn đề toàn cầu. Sự phát tán các chất SO_2 và NO_x vào khí quyển từ các nhà máy điện chạy bằng than và dầu, cũng như từ các nhà máy công nghiệp là một trong những nguồn ô nhiễm chủ yếu. Các chất gây ô nhiễm này tạo ra các trận mưa axit và làm tăng hiệu ứng nhà kính với sự nóng dần lên của khí quyển Trái đất.

- *Kỹ thuật xử lý bằng electron:* Là một kỹ thuật mới, tách đồng thời các chất nói trên từ khói thải, đã được nghiên cứu ở một số nước và hiện có một số thiết bị công nghiệp, chẳng hạn ở Mỹ, Nhật, Ba Lan...

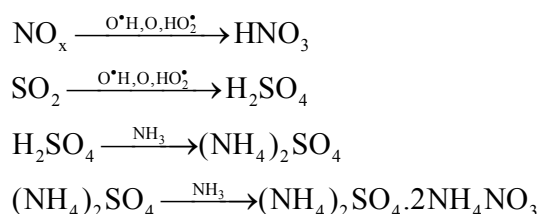


Hình 7.16.

Sơ đồ của quy trình xử lý khí thải bằng chùm electron

1-Khí thải từ nhà máy điện, 2-Nước phun, 3-Hạt sương được làm lạnh,
4-Nguồn nuôi, 5-Máy gia tốc Electron, 6-Bộ thu gom sản phẩm phụ,
7-Phân bón, 8-Ống thoát khí

- *Nội dung của phương pháp:* Khí thải phát ra được làm lạnh bằng phun các hạt nước kích thước nhỏ tới nhiệt độ 70°C . Khí này đi qua buồng chiếu và được chiếu bằng chùm electron với sự hiện diện của amoniac (NH_3) được trộn trước khi đưa vào buồng chiếu. Khí SO_2 và NO_x được biến thành axit tương ứng của chúng, sau đó biến thành amoni sulfat và amoni nitrat. Các chất này được thu hồi bằng các máy tĩnh điện. Chính các sản phẩm phụ này là phân bón cho nông nghiệp. Các phản ứng có thể xảy ra như sau:



- *Thiết bị:* Máy gia tốc electron, năng lượng $0,5 \div 1,5$ MeV, công suất $10 \div 50$ kW, dòng $\sim 20\text{mA}$, với một vài tổ máy, nhiệt độ $60 \div 150^{\circ}\text{C}$.

- *Hiệu quả:* Việc xử lý liên tục cho phép tách 95% khí SO_2 và 80% khí NO_x ra khỏi khói thải.

- *Tính ưu việt của quy trình công nghệ:*

- + Đây là quy trình duy nhất tách đồng thời SO_2 và NO_x ;
- + Sản phẩm phụ được dùng làm phân bón;
- + Quy trình không đòi hỏi nhiều nước;
- + Đáp ứng được yêu cầu tách SO_2 và NO_x .

Nó cạnh tranh được với các quy trình hiện đại về tách SO_2 và cạnh tranh về mặt kinh tế, đặc biệt đối với các nhà máy nhiệt điện (Hình 7.17).

- *Nhược điểm*: Công nghệ cao, đòi hỏi vốn đầu tư tương đối lớn.



Hình 7.17

Xử lý khí bằng kỹ thuật bức xạ (Tư liệu của JAERI)

7.14 Xử lý chất thải xenlulô làm thức ăn gia súc

Quy trình công nghệ này dựa trên quá trình ngắt mạch polyme bằng bức xạ.

Các chất thải công nghiệp và nông nghiệp chứa xenlulô, chẳng hạn như rơm rạ; bông; cây, lõi và vỏ ngô; đậu; hạt cưa; phoi bào; bã mía... có một số lượng rất phong phú. Các chất thải này chứa một lượng lớn polysacarit (gỗ và rơm rạ chứa tới 60-70%) chủ yếu dưới dạng xenlulô. Tuy nhiên, dưới dạng hợp chất này, loài vật rất khó tiêu hoá do sự hiện diện của tổ hợp lignin-xenlulô và độ polyme hoá cao của các phân tử. Quá trình tiêu hoá được cải thiện đáng kể nếu chất thải được chiếu xạ.

Dưới tác dụng của bức xạ, các xenlulô dễ dàng tách khỏi lignin, giảm lượng sợi thô và tạo ra các dạng monosacarit cũng như oligosacrit, vì vậy chúng dễ dàng được tiêu hoá trong dạ dày vật nuôi. Bảng 7.4 giới thiệu hiệu suất tạo ra các chất monosacarit dễ tiêu hoá từ chất thải xenlulô.

Bảng 7.4

Hiệu ứng chiếu xạ gamma đối với carbonhydrat với sự hiện diện của quá trình thủy phân axit, tính theo phần trăm khối lượng khô

Liều, Mgy	Glucô	Tổng mono- và oligosacarit
0	9.50	13.6
0.5	13.0	21.9
1.0	21.3	36.8
2.0	30.1	51.1

Qua bảng trên ta thấy chiếu xạ làm tăng đáng kể lượng đường glucô và các sacarit đơn dễ hấp thụ đối với động vật.

7.15 Xử lý bức xạ thực phẩm

Xử lý bức xạ đối với thực phẩm được áp dụng chủ yếu để làm ngưng hoặc làm chậm sự phát triển và nảy mầm của rau củ, cải thiện chất lượng của sản phẩm, diệt sâu bọ, khử trùng và tiệt trùng. Dây chuyền chiếu xạ thực phẩm giới thiệu trên Hình 7.18.



Hình 7.18

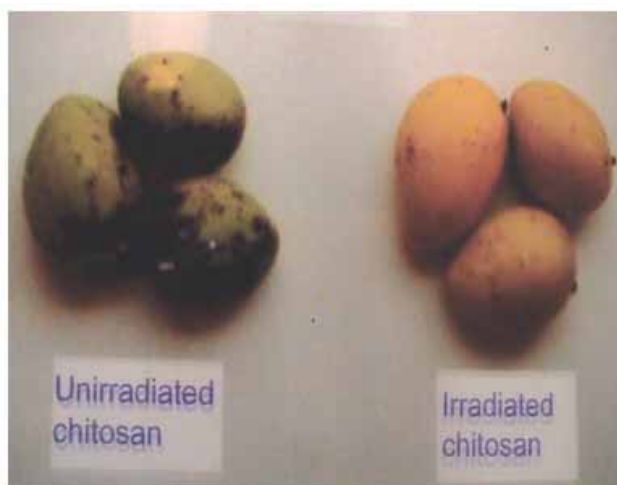
Dây chuyền chiếu xạ thực phẩm, Cầu Diễn, Hà Nội (Tư liệu của Trung tâm Chiếu xạ Cầu Diễn)

Theo liều lượng, người ta chia quá trình xử lý thực phẩm làm 3 loại:

- *Liều thấp* (dưới 1 kGy): Sử dụng để hạn chế sự nảy mầm của rau, củ, làm chậm quá trình chín của hoa quả và diệt côn trùng. Có thể tạo ra các màng chiếu xạ để bảo quản rau quả (Hình 7.19).

- *Liều trung bình* (từ 1 – 10 kGy): Dùng để kéo dài thời gian bảo quản của thực phẩm, giảm sự lây nhiễm của vi sinh vật, cải thiện một số tính chất công nghệ.

- *Liều cao* (từ 10 – 60 kGy): Dùng để diệt trùng, diệt vi rút, xử lý đồ hộp.



Hình 7.19.

Bảo quản quả xoài bằng màng chitosan chiếu xạ
(ảnh bên trái: xoài không chiếu xạ)

Bảng 7.5 giới thiệu công dụng của chiếu xạ thực phẩm, liều chiếu và chủng loại.

Bảng 7.5

Liều lượng chiếu xạ đối với mục đích chiếu xạ thực phẩm và các chủng loại áp dụng

Dãi liều	Mục đích xử lý	Liều hấp thụ, KGy	Chủng loại
Liều thấp	- Hạn chế nảy mầm	0.05 ÷ 0.15	- Tỏi, gừng, hành, cà chua.
	- Khử sâu bọ	0.15 ÷ 0.5	- Ngũ cốc, cá khô, thịt, hoa quả tươi và khô.
	- Làm chậm quá trình chín, úa	0.5 ÷ 1.0	- Hoa quả và rau tươi.
Liều trung bình	- KÉO DÀI THỜI HẠN BẢO QUẢN	1.5 ÷ 3.0	- Cá tươi, dâu tây ...
	- CHỐNG THỐI RỬA VÀ TIỆT TRÙNG	2.0 ÷ 5.0	- Thủy hải sản và gia cầm, thịt (tươi và đông lạnh)
	- Cải tiến tính chất của thực phẩm	2.0 ÷ 7.0	- Chống mất nước của nho và rau quả
Liều cao	- Khử trùng phụ gia thực phẩm	10 ÷ 50	- Emzym, kẹo cao su, gia vị ...
	- Khử trùng thương mại	30 ÷ 50	- Thực phẩm bệnh viện, thịt gia cầm, thức ăn sẵn, hải sản

Cũng theo liều người ta phân biệt một số quá trình với các thuật ngữ mới:

- *Radurization*: Xử lý ở liều từ 2÷6kGy, trong đó các vi khuẩn giảm một cách đáng kể, nhưng không bị tiêu diệt hoàn toàn. Quá trình này làm tăng khả năng bảo quản lên từ 3÷5 lần ở nhiệt độ thấp (0 ÷ 5°C).

- *Radication*: Liều tương tự như trong radurization nhưng chỉ diệt một số loại vi khuẩn gây bệnh xác định.

- *Radappertization*: Xử lý ở liều từ 30 – 50 kGy để tiêu diệt gần như hoàn toàn các hệ vi khuẩn nhằm bảo quản lâu dài các sản phẩm như thịt và các sản phẩm thịt.