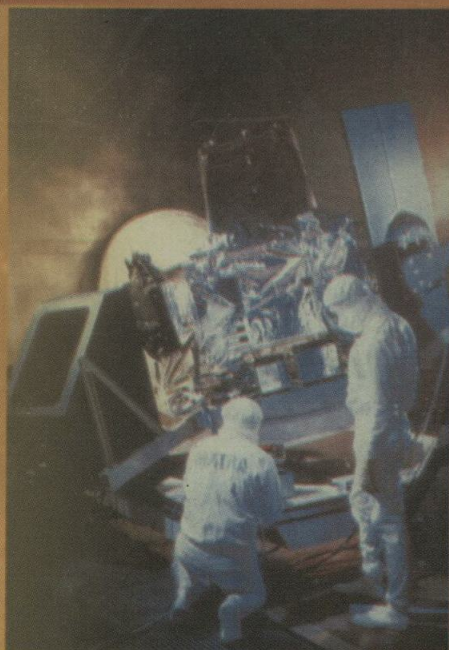


TRẦN ĐẠI NGHIỆP



An toàn bức xạ



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

Pgs, Ts TRẦN ĐẠI NGHIỆP

AN TOÀN BỨC XẠ



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

Hà Nội

LỜI NÓI ĐẦU

Phóng xạ và bức xạ là những khái niệm rất gần gũi đối với chúng ta. Ngay từ thuở khai sinh con người đã phải hứng chịu đủ mọi loại phóng xạ từ Vũ trụ, từ đất đá ở môi trường xung quanh. Thức ăn, nước uống, không khí ta hít thở hàng ngày, và thậm chí cả bản thân con người chúng ta, cũng có chứa một lượng chất phóng xạ nhất định. Tuy nhiên sự sống đã nảy sinh trên Trái Đất và đã trải qua chặng đường dài tiến hoá trong mức phong phóng xạ tự nhiên vốn dĩ trở thành một yếu tố đồng hành không thể thiếu được trong sự phát triển của các hệ sinh học.

Bức xạ của lửa và phóng xạ của hạt nhân nguyên tử về thực chất hoàn toàn giống nhau. Chúng đều là các dạng của bức xạ. Tiếp xúc một ít với lửa ta cảm thấy ấm áp, hơn một ít sẽ bị bỏng và nhiều hơn nữa sẽ bị chết. Đối với phóng xạ cũng như vậy. Có nhiều tia phóng xạ là loại bức xạ có năng lượng cao và không nhìn thấy được như lửa, nên mức độ nguy hiểm cũng có khác. Tuy nhiên nếu ta tuân thủ các quy tắc an toàn bức xạ tương tự như tuân thủ các quy tắc an toàn hoả hoạn thì phóng xạ cũng giống như lửa, là một đối tượng rất đổi hiền lành và hữu ích.

An toàn bức xạ là một Bộ môn khoa học chuyên nghiên cứu về những tác động của bức xạ đối với cơ thể con người nhằm tìm ra những giải pháp và những tiêu chí an toàn nhất trong khi vẫn khai thác được những lợi ích tiềm tàng và đa dạng của năng lượng

hạt nhân và nguyên tử. Ngày nay các ứng dụng của ngành năng lượng hạt nhân nguyên tử đi sâu vào rất nhiều lĩnh vực của đời sống xã hội. Các kiến thức cũng như các tiêu chuẩn về an toàn bức xạ do đó không còn chỉ cần cho một đối tượng là những người làm việc với phóng xạ và bức xạ, mà cho tất cả mọi người.

Với quan điểm đó, cuốn sách AN TOÀN BỨC XẠ được xuất bản nhằm giới thiệu cho bạn đọc những vấn đề cơ bản về tương tác của bức xạ với vật chất và cơ thể sống, những nguyên lý cơ bản và tiêu chuẩn về an toàn bức xạ, các giải pháp nhằm giảm thiểu liều bức xạ tới mức cho phép...

Sách được biên soạn trên cơ sở các bài giảng của tác giả cho các lớp tập huấn về sử dụng an toàn máy gia tốc trong xạ trị, an toàn trong kỹ thuật chụp ảnh phóng xạ trong chương trình đào tạo đại học và sau đại học cũng như các kết quả nghiên cứu phát triển về lĩnh vực An toàn bức xạ.

Sách có thể sử dụng làm tài liệu học tập cho các sinh viên đại học và sau đại học, làm tài liệu tham khảo cho các nhân viên làm việc với bức xạ cũng như cho tất cả những ai quan tâm tới lĩnh vực An toàn bức xạ.

Trong quá trình biên soạn và xuất bản lần đầu, cuốn sách không thể tránh khỏi những thiếu sót, vì vậy tác giả mong nhận được những ý kiến đóng góp của độc giả nhằm làm cho cuốn sách được hoàn thiện hơn trong những lần xuất bản sau này.

TÁC GIẢ

Chương I

CÁC NGUỒN BỨC XẠ

1. Tính phóng xạ và năng lượng của bức xạ

1.1. Tính phóng xạ

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

Khi xem xét một chất phóng xạ ta thấy không phải tất cả các hạt nhân của chúng phân rã cùng một 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:

$$\lambda = -\frac{\frac{dN(t)}{dt}}{N(t)} \quad (1)$$

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) với điều kiện $N(t = 0) = N_0$ ta có:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

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 có số lượng hạt nhân phóng xạ giảm đi một nửa:

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

ta có:

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

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:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

- 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.

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N, \quad (4)$$

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 (Ci)

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

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

$$A_m = \frac{A}{m_a} = \frac{\lambda N A_i}{NM} = \frac{\lambda A_i}{M}, \quad (5)$$

trong đó, M - Phân tử lượng của chất phóng xạ đó, A_v - Số Avogadro ($A_v = 6,02 \times 10^{23}$ hn/mol)

1.2. Năng lượng bức xạ

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 có thể nhận được của một electron khi nó đi qua điện trường có hiệu điện thế 1V. Bội số của nó là KeV (10^3 eV), MeV (10^6 eV)....

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

$$1J = 6,24 \times 10^{18} \text{ eV}$$

Năng lượng của photon gamma hay tia X thường được viết dưới dạng

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad (6)$$

trong đó, h là hằng số Plank ($h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$), ν là tần số, c là vận tốc ánh sáng trong chân không và bằng $299792458 \text{ ms}^{-1}$

Mối tương quan giữa bước sóng và năng lượng của photon được xác định bằng biểu thức:

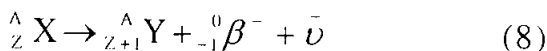
$$\lambda = \frac{1,240 \times 10^{-6}}{E}, \quad (7)$$

trong đó λ đo bằng mét, năng lượng đo bằng eV.

2. Các nguồn electron

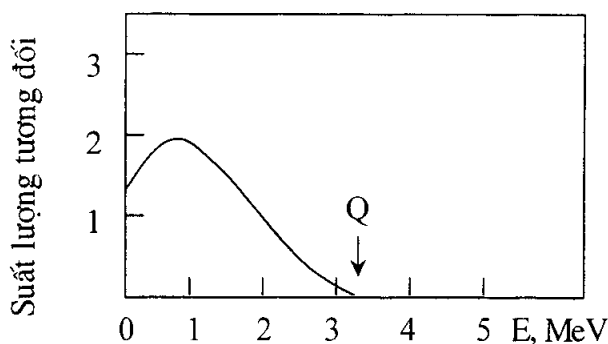
2.1. Phân rã beta

Nguồn electron (e^-) thông dụng nhất là các đồng vị phân rã β^- . Sơ đồ được viết như sau:



Đứng về mặt năng lượng, do phản neutrino $\bar{\nu}$ tương tác rất yếu với vật chất và năng lượng giật lùi của hạt nhân Y rất nhỏ, nên năng lượng bức xạ chủ yếu tập trung ở hạt beta hay electron nhanh.

Đa số các hạt nhân phân rã beta thường nằm ở trạng thái kích thích, nên phân rã beta thường xảy ra kèm theo phát xạ gamma ngay sau đó. Tuy nhiên, cũng có một số hạt nhân phân rã beta ở trạng thái cơ bản, nghĩa là sản phẩm phân rã thuần túy là beta, ta gọi các hạt nhân đó là hạt nhân phát beta thuần túy, ví dụ: ${}^3\text{H}$, ${}^{14}\text{C}$, ${}^{32}\text{P}$, ${}^{33}\text{P}$, ${}^{35}\text{S}$, ${}^{90}\text{Sr}$, ${}^{90}\text{Y}$...



Hình 1: Phổ điển hình của tia β

Năng lượng E của tia beta biến đổi trong các phân rã có phổ năng lượng từ 0 đến năng lượng điểm cuối; năng lượng điểm cuối bằng năng lượng Q của phản ứng phân rã (Hình 1). Q được xác định bằng năng lượng chuyển mức của trạng thái cơ bản của hạt nhân mẹ và hạt nhân con. Nếu sự chuyển mức diễn ra ở các trạng thái kích thích thì năng lượng điểm cuối có thể thay đổi. Phổ năng lượng beta có thể có vài năng lượng điểm cuối.

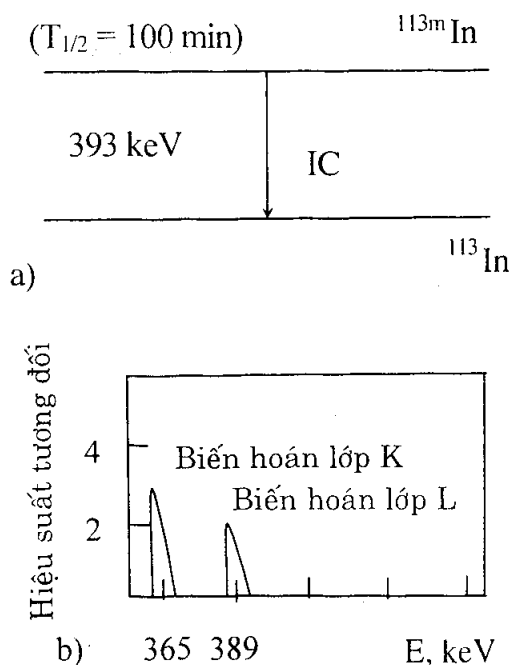
2.2. Electron biến hoán nội (Internal Conversion - IC)

Sau quá trình phân rã α , β hoặc bắt electron (Electron Capture - EC), hạt nhân thường ở trạng thái kích thích, khi trở về trạng thái cơ bản hạt nhân có thể phát xạ trực tiếp photon gamma. Tuy nhiên ở một số trường hợp, sự phát xạ này bị cấm, khi đó năng lượng kích thích của hạt nhân E_{ex} được truyền trực tiếp cho một electron quỹ đạo nào đó và làm cho nó bắn ra khỏi quỹ đạo. Quá trình này khác với phân rã beta là điện tích của hạt nhân không thay đổi và được gọi là quá trình biến hoán nội. Năng lượng của electron E khi đó, được xác định bằng công thức:

$$E = E_{ex} - E_b \quad (9)$$

trong đó E_b là năng lượng liên kết của electron trong lớp vỏ điện tử. Sự biến hoán có thể xảy ra ở những quỹ đạo electron khác nhau, nên phổ electron biến hoán có thể gồm từ nhiều đỉnh. Năng lượng của các electron biến hoán có thể coi là đơn năng vì vậy có thể sử dụng các năng lượng này để chuẩn năng lượng cho các hệ phổ kế beta. Hình 2 giới thiệu năng lượng chuyển mức của ^{113m}In và năng lượng của electron biến hoán.

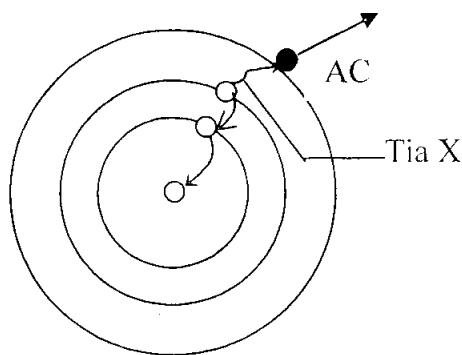
Tuy nhiên trường hợp có nhiều mức kích thích thì phổ electron biến hoán trở nên phức tạp. Các nguồn electron biến hoán thông dụng là: ^{109}Cd , ^{113}Sn , ^{137}Cs , ^{207}Bi



Hình 2: Năng lượng chuyển mức của ^{113m}In (a) và phổ của electron biến hoán (b)

2.3. Electron Auger (EA)

Electron Auger cũng gần tương tự như electron biến hoán nội, có điều chúng bắt nguồn từ các kích thích của nguyên tử chứ không phải từ hạt nhân. Chẳng hạn khi diễn ra một quá trình chiếm đoạt electron (thường ở lớp K) bởi hạt nhân, điện tích của hạt nhân giảm đi một đơn vị, đồng thời tạo ra một lỗ trống trên lớp K. Vị trí này sau đó được một electron ở lớp ngoài chiếm cứ, kèm theo sự phát xạ photon tia X đặc trưng. Năng lượng của tia X này có thể bị hấp thụ bởi một electron ngoài cùng và làm cho nó bật ra khỏi nguyên tử. Electron đó được gọi là electron Auger với năng lượng tương tự như năng lượng được xác định trong công thức (9). Phổ của nó cũng là phổ gián đoạn. Tuy nhiên, năng lượng của nó thấp hơn năng lượng của hạt beta hoặc electron biến hoán nội, chỉ cỡ vài KeV. Phát xạ EA thường xảy ra ở các nguyên tử có Z nhỏ, là nơi electron có năng lượng liên kết yếu.



Hình 3: Phát xạ electron Auger

3. Các nguồn hạt nặng mang điện

3.1. Phân rã alpha

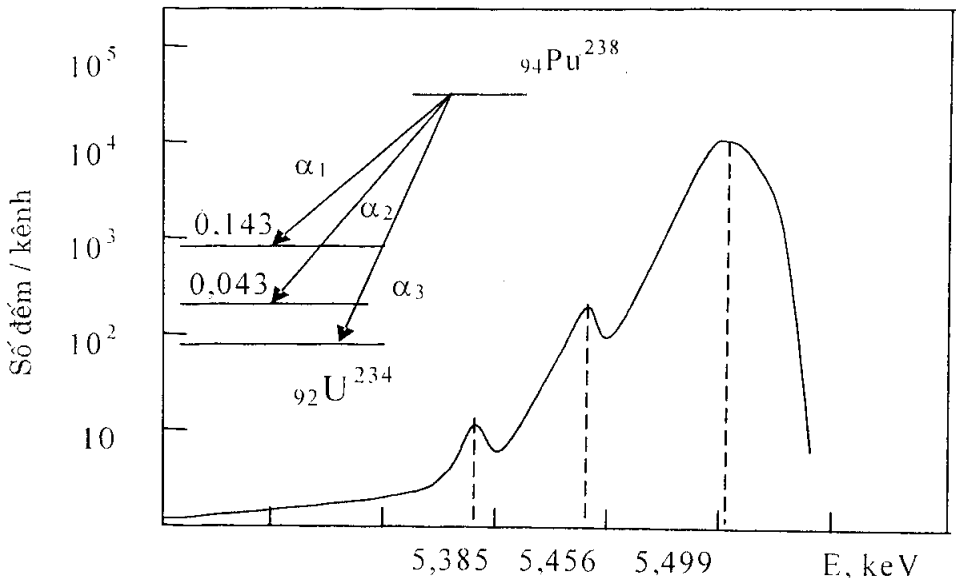
Các hạt nhân nặng có thể không bền vững về mặt năng lượng đối với phân rã alpha. Quá trình có thể viết như sau:

$${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{X} + {}^4_2\alpha \quad (10)$$

Năng lượng của hạt alpha phát ra là đơn năng. Năng lượng Q của phản ứng được coi là hiệu năng lượng giữa các trạng thái cơ bản của hạt nhân đầu và cuối. Năng lượng này được chia cho hạt nhân alpha và hạt nhân giật lùi. Vì vậy hạt alpha xuất hiện với động năng E_α được xác định như sau:

$$E_\alpha = Q - \frac{4Q}{A} = \frac{Q(A-4)}{A} \quad (11)$$

Điều này có nghĩa rằng các hạt α xuất hiện với động năng hầu như bằng nhau. Tuy nhiên, trong thực tế trạng thái của hạt nhân con có thể là trạng thái kích thích, do đó năng lượng của hạt α có thể nhỏ hơn năng lượng nói trên. Phổ năng lượng gồm nền phông và các đỉnh đơn năng (Hình 4). ${}^{232}\text{Th}$, ${}^{235}\text{U}$, ${}^{238}\text{U}$ và một số đồng vị khác là các nguồn α điển hình.

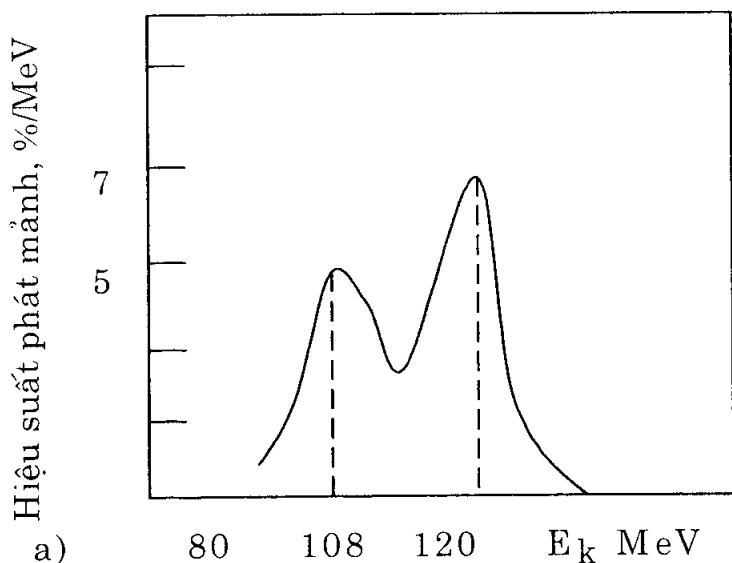


Hình 4: Phổ phân rã α của ${}^{238}\text{Pu}$

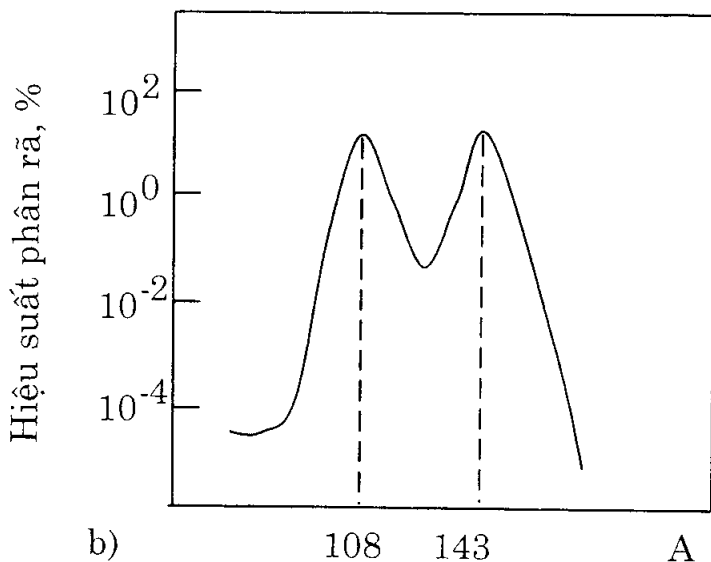
3.2. Phân hạch tự phát

Tất cả các hạt nhân nặng thường không bền vững về phương diện phân hạch tự phát thành hai mảnh phân hạch với khối lượng nhỏ hơn khối lượng của hạt nhân ban đầu và có năng lượng phản ứng khá lớn. Dạng phân bố khối lượng của mảnh phân hạch có hình hai bướu với nhóm mảnh nhẹ (khối lượng trung bình 108) và nhóm mảnh nặng (khối lượng trung bình 143) (Hình 5b). Động năng trung bình E_K của 2 mảnh phân hạch là 185 MeV và nó có phân bố bất đối xứng, trong đó, nhóm mảnh nhẹ chiếm phần lớn hơn (bên phải), còn nhóm mảnh nặng chiếm phần nhỏ hơn (bên trái) (Hình 5.a).

Nguồn phân hạch điển hình là ^{252}Cf ; $1\mu\text{g}$ của nó có suất lượng $6,14 \times 10^5$ phân hạch/s, và $T_{1/2} = 85$ năm. Nó đồng thời phân rã alpha với suất lượng $1,92 \times 10^7$ hạt α /s. Do đó, chu kỳ bán rã thực của nó là 2,65 năm.



Hình 5a: Phân bố động năng của mảnh phân hạch của ^{252}Cf



Hình 5b: Phân bố khối lượng của mẫu phân hạch của ^{252}Cf

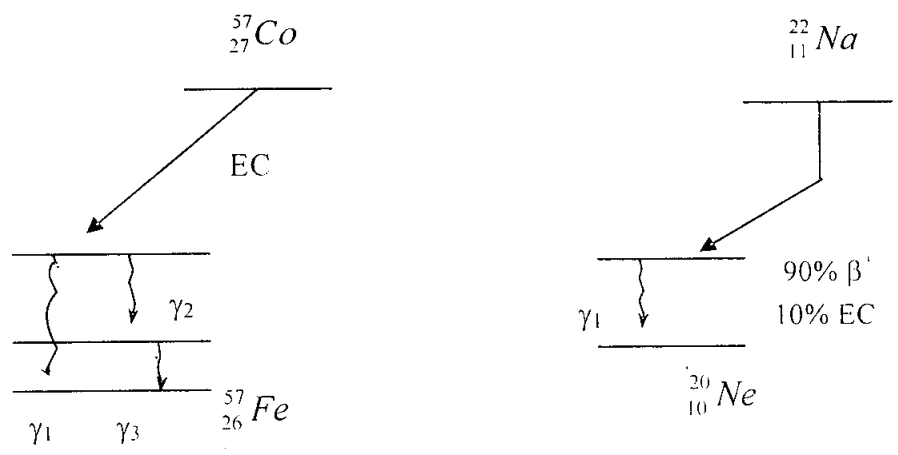
4. Các nguồn bức xạ điện từ

4.1. Nguồn gamma dựa trên quá trình phân rã beta: (các loại nguồn thường được dùng để chuẩn năng lượng cho các hệ phổ kế gamma)

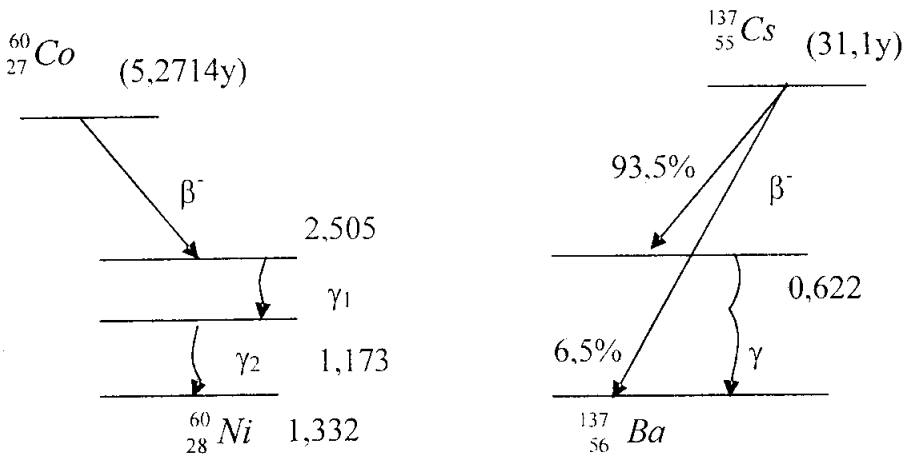
Tia gamma thường phát ra bởi những hạt nhân kích thích ngay sau quá trình phân rã β của hạt nhân mẹ. Bốn quá trình phân rã β sau đây thường được sử dụng trong các nguồn gamma chuẩn: bắt electron (EC), phân rã β^+ và EC, phân rã β^- với 2 chuyển mức gamma và phân rã β^- với 1 chuyển mức gamma (Hình 6)

Bản chất của quá trình bắt electron (EC - Electron Capture) là quá trình trong đó một hạt nhân có thể bị phân rã sau khi nó bắt một electron quỹ đạo. Khi đó điện tích hạt nhân giảm đi 1 (ví dụ $_{27}\text{Co}$ bắt electron thành $_{26}\text{Fe}$, hay nói cách khác, nó phân rã

thành ${}_{26}^{57}\text{Fe}$); vị trí của e^- bị bắt được một trong các e^- lớp ngoài chiếm giữ và sự dịch chuyển này phát ra tia X đặc trưng.

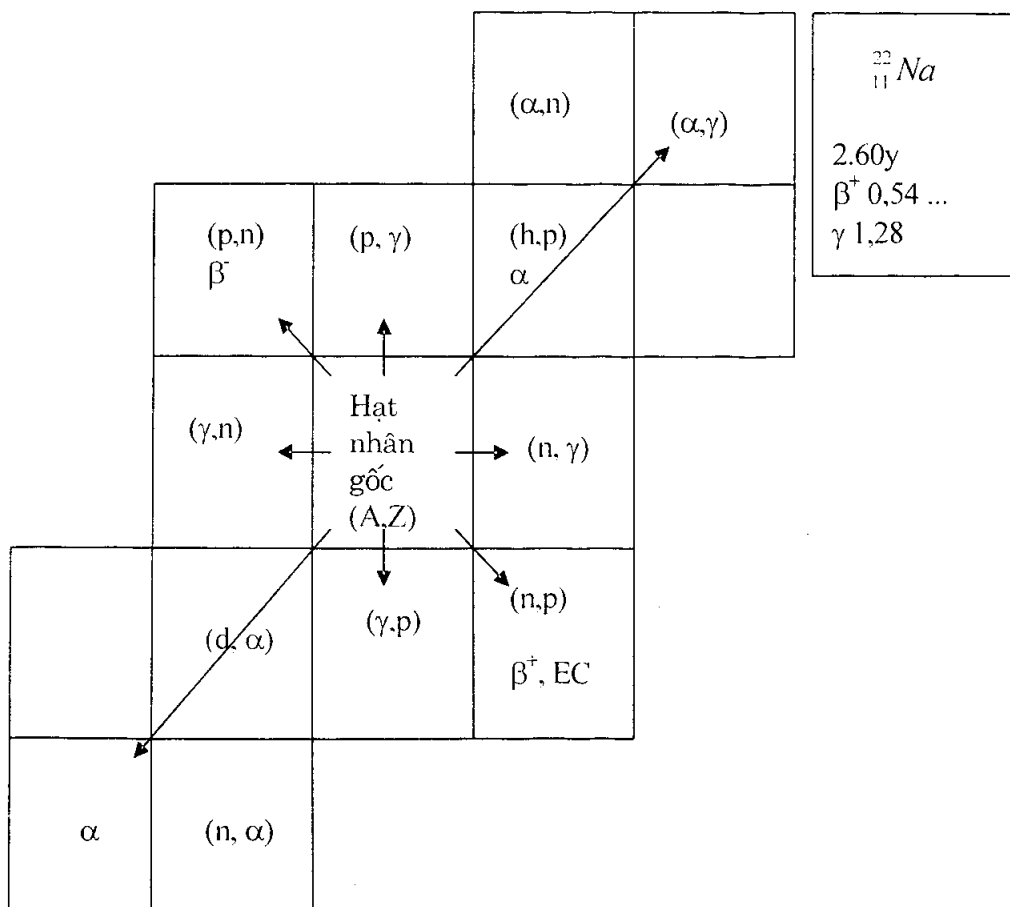


- a) γ_1 : 0,136 (11%);
 γ_2 : 0,112 (8%); γ_3 : 0,014 MeV(9%)
- b) γ_1 : 1,274 MeV(100%)
 Bức xạ huỷ cặp : 0,511 MeV



- c) γ_1 : 1,173 MeV (100%)
 γ_2 : 1,132 MeV (100%)
- d) γ : 0,662 MeV (85%)

Hình 6: Sơ đồ phân rã với các chuyển mức chính của một số nguồn gamma điển hình: a) EC; b) phân rã β^+ và EC; c) phân rã β^- với hai chuyển mức gamma; d) phân rã β^- với một chuyển mức gamma



Hình 7: Bản đồ nuclit

4.2. Nguồn bức xạ huỷ cặp

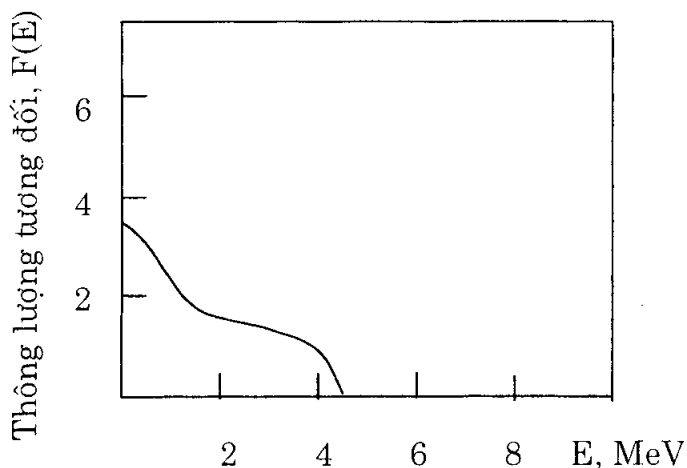
Khi hạt nhân mẹ phân rã β^+ , positron bị mất dần động năng rồi cuối cùng kết hợp với electron nó gặp trên đường đi và diễn ra quá trình huỷ cặp phát ra hai photon theo chiều ngược nhau với năng lượng 511 KeV. Cùng với bức xạ huỷ cặp này, hạt nhân con ở trạng thái kích thích sau đó cũng phát ra bức xạ gamma. Ví dụ trường hợp đồng vị $^{22}_{11}\text{Na}$ cho tia gamma năng lượng 511 và 1274 KeV.

4.3. Nguồn gamma phát ra sau phản ứng hạt nhân

Sau phản ứng, hạt nhân được tạo ra có thể ở trạng thái kích thích, sau đó phát ra tia gamma. Ví dụ $^{12}_6\text{C}^*$ sau phản ứng $^9_4\text{Be}(\alpha, n)^{12}_6\text{C}^*$ phát ra tia gamma năng lượng 4,44 MeV. Tuy nhiên, do quá trình phát ra tia gamma thường xảy ra ở trạng thái chuyển động của hạt nhân, nên năng lượng của nó thường nở rộng theo hiệu ứng Doppler. Phản ứng trên cũng có thể sử dụng để tạo nguồn nơtron.

4.4. Nguồn bức xạ hãm

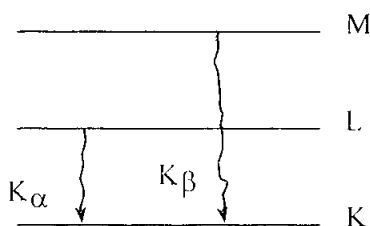
Khi electron nhanh tương tác với vật chất, năng lượng của nó có thể biến thành năng lượng điện từ dưới dạng bức xạ hãm. Năng lượng của bức xạ hãm càng tăng nếu năng lượng electron càng lớn và bìa có Z càng lớn. Phổ bức xạ hãm có dạng liên tục và có giá trị cực đại bằng năng lượng của electron (Hình 8). Người ta có thể sử dụng các phin lọc để tạo ra các đỉnh phổ.



Hình 8: Dạng phổ liên tục của bức xạ hãm

4.5. Nguồn tia X đặc trưng

Khi nguyên tử ở vào trạng thái kích thích, electron có thể rời khỏi vị trí thường trực của nó. Sự sắp xếp lại quỹ đạo của electron có thể kèm theo quá trình giải phóng năng lượng dưới dạng photon tia X đặc trưng với năng lượng bằng hiệu năng lượng của trạng thái ban đầu và trạng thái cuối cùng (Hình 9).



Hình 9: Sơ đồ phát bức xạ tia X đặc trưng

Trạng thái kích thích của nguyên tử có thể do phân rã hạt nhân gây ra. Chẳng hạn khi phân rã do bắt electron, thường là lớp K, điện tích của hạt nhân giảm đi một đơn vị. Khi đó các điện tử ở lớp ngoài vào lấp chỗ trống, bức xạ đặc trưng được phát ra. Hạt nhân ở trạng thái kích thích sau đó trở về trạng thái cơ bản, phát ra bức xạ gamma, do đó tia X đặc trưng có thể phát ra cùng với tia gamma.

Quá trình phát bức xạ tia X đặc trưng có thể diễn ra khi nguyên tử bị kích thích bằng nguồn bức xạ từ bên ngoài. Dưới tác dụng kích thích của bức xạ, nguyên tử có thể ở trạng thái kích thích hoặc ion hoá. Các nguyên tử hoặc ion bị kích thích, khi trở về trạng thái ban đầu, phát ra tia X năng lượng khác nhau đặc trưng cho nguyên tố. Các tia X đặc trưng của các nguyên tố thường khác nhau. Người ta sử dụng việc đo tia các X đặc trưng này để phân tích thành phần nguyên tố.

Quá trình phát tia X đặc trưng được kích thích bằng tia X từ các ống phóng tia X thường được gọi là huỳnh quang tia X. Trong trường hợp này bức xạ đặc trưng thường nằm trên nền tán xạ của các photon tia X kích thích. Thành phần nền này thường được giữ ở khoảng 10 – 20% tổng hiệu suất. Có thể dùng các nguồn đồng vị phát tia gamma năng lượng thấp để thay thế ống phóng tia X như nguồn ^{241}Am với năng lượng 59,54keV (hoạt độ $\sim 10\text{mCi}$).

5. Nguồn nơtron

5.1. Nguồn nơtron phân hạch tự phát

Nhiều nguyên tố vượt Urani có khả năng phân hạch tự phát, phát ra vài nơtron nhanh trong mỗi sự kiện phân hạch.

Nguồn nơtron phân hạch thông dụng nhất là ^{252}Cf với chu kỳ bán rã 2,65 năm.

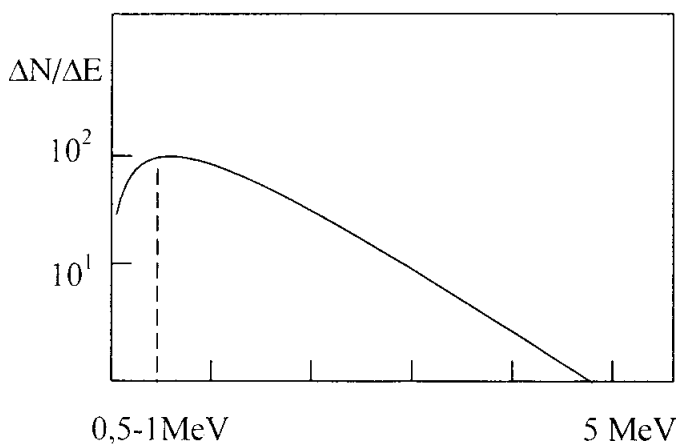
Ngoài phân hạch tự phát, đồng vị này còn phân rã alpha với tốc độ lớn gấp 32 lần phân hạch tự phát. Hiệu suất phát nơtron của ^{252}Cf là 0,116n/s/1Bq (tính cho cả hoạt độ alpha). 1microgram ^{252}Cf cho $2,3 \times 10^6\text{n/s}$.

Phổ nơtron của ^{252}Cf có dạng như ở Hình 10. Phổ có giá trị cực đại ở khoảng 0,5 - 1MeV và trải dài tới 10MeV.

Cường độ phát xạ theo năng lượng dN/dE được biểu diễn bằng công thức thực nghiệm:

$$\frac{dN}{dE} = E^{1/2} e^{-E/T}$$

trong đó, T là hằng số bằng 1,3MeV.



Hình 10: Phổ neutron của ^{252}Cf

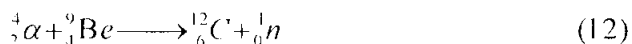
5.2. Nguồn neutron dựa trên phản ứng (α, n)

Bảng 1: Đặc trưng của nguồn neutron $\text{Be}(\alpha, n)$

Nguồn	$T_{1/2}$	E, MeV	Hiệu suất phát neutron cho 10^6 hạt alpha
$^{239}\text{Pu}/\text{Be}$	24.000y	5,14	57
$^{210}\text{Po}/\text{Be}$	138d	5,30	69
$^{238}\text{Pu}/\text{Be}$	87,4y	5,48	79*
$^{241}\text{Am}/\text{Be}$	433y	5,48	70
$^{241}\text{m}/\text{Be}$	18y	5,79	100*
$^{226}\text{Ra}/\text{Be}$	1602y	Đa năng	502*

* Số liệu tính toán

Các nguồn neutron đồng vị (α, n) thường dựa trên phản ứng



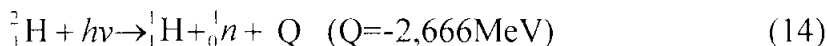
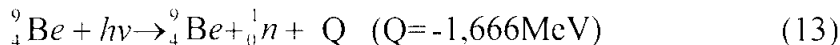
Phản ứng này có giá trị năng lượng $Q = 5,71 \text{ MeV}$.

Bảng 1 giới thiệu một số đặc trưng của một số nguồn nơtron đồng vị.

Phổ nơtron của loại nguồn (α, n) có dạng tương đối phức tạp. Ngoài ${}^9\text{Be}$, người ta còn sử dụng các đồng vị khác như ${}^{10}\text{B}$, ${}^{11}\text{B}$, ${}^{19}\text{F}$, ${}^{13}\text{C}$, ${}^7\text{Li}$ để phát nơtron trong phản ứng (α, n) . Tuy nhiên, hiệu suất phát nơtron của các nguồn đồng vị này thường thấp hơn so với phản ứng ${}^9\text{Be}(\alpha, n)$.

5.3. Nguồn quang nơtron

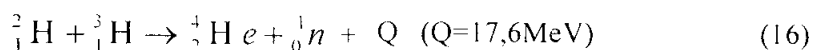
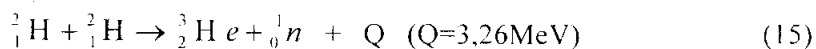
Các nguồn quang nơtron (γ, n) thường sử dụng, dựa trên các phản ứng:



Năng lượng và loại nguồn gamma thường được sử dụng là: ${}^{226}\text{Ra}$ (186 keV), ${}^{124}\text{Sb}$ (602 keV), ${}^{72}\text{Ga}$ (834 keV), ${}^{88}\text{Y}$ (898 keV), ${}^{140}\text{La}$ (1595 keV) và ${}^{22}\text{Na}$ (1274 keV), trong đó nguồn thông dụng nhất là ${}^{124}\text{Sb}$ với chu kỳ bán rã 60,2 ngày và suất lượng 210.000 n/s cho hoạt độ 10^{10} Bq đối với bia Be, và nguồn ${}^{88}\text{Y}$ với chu kỳ 107d với suất lượng 229.000 n/s cho hoạt độ gamma tương tự.

5.4. Nguồn của máy gia tốc

Trừ hạt alpha, các hạt mang điện như p, d ... muốn có năng lượng đủ lớn để gây phản ứng thường phải gia tốc. Hai loại phản ứng thường được sử dụng là:



Nơtron từ phản ứng thứ nhất có năng lượng khoảng 3MeV, trong khi ở phản ứng thứ hai là 14 MeV. Dòng 1 mA đơtron cho ta khoảng 10^9 n/s từ bia đơteri và 10^{11} n/s từ bia triti. Máy gia tốc thuộc loại CoCroft Walton hay còn gọi là máy phát nơtron. Điện áp gia tốc tương đối thấp cỡ ≤ 400 kV. Để phát nơtron có thể sử dụng các phản ứng ${}^9\text{Be}(\text{d},\text{n})$, ${}^7\text{Li}(\text{p},\text{n})$ và ${}^3\text{H}(\text{p},\text{n})$ trong các máy gia tốc Cyclotron hoặc Van de Graff với điện áp cao hơn.

Chương II

CÁC ĐƠN VỊ ĐO LIỀU BỨC XẠ

1. Sự hấp thụ năng lượng

Trước khi nói về các đơn vị đo trong lĩnh vực an toàn bức xạ ta hãy nói về sự hấp thụ năng lượng của bức xạ.

Giống như Mặt Trời truyền năng lượng nhiệt và ánh sáng cho Trái Đất. Nguồn bức xạ hạt nhân truyền năng lượng cho môi trường hấp thụ. Nguồn bức xạ hạt nhân có thể là các nguyên tử phóng xạ, có thể là các thiết bị bức xạ do con người làm ra như máy gia tốc, lò phản ứng hạt nhân.

Hiệu ứng hấp thụ năng lượng bức xạ nói chung cũng giống như hấp thụ nhiệt, làm tăng nhiệt độ của môi trường hấp thụ. Nếu môi trường là cơ thể người hoặc một cơ quan nào đó, sự gia tăng nhiệt độ có thể cảm nhận được và nếu nó quá mức người ta sẽ có hành động tránh xa bức xạ như là lùi ra xa khỏi đồng lửa.

Tuy nhiên, một liều lượng bức xạ ion hoá như gamma hoặc bức xạ hạt nhân nào đó đủ lớn có thể gây chết người, cũng chỉ có thể làm tăng nhiệt độ cơ thể người chưa tới $1/1000$ độ. Với sự thay đổi nhiệt độ này, cơ thể không thể cảm nhận được, thậm chí cả khi bị chiếu xạ với cường độ mạnh.

Bức xạ hạt nhân khác với bức xạ nhiệt và các loại bức xạ khác là nó gây hiện tượng ion hoá. Để biết mức độ chiếu xạ người

ta dùng các bộ cảm biến để đo sản phẩm ion hoá. Các bộ cảm biến này nhạy hơn so với cảm nhận về nhiệt.

2. Hiện tượng ion hoá

Hiện tượng ion hoá là hiện tượng tạo ra các cặp ion dương và âm từ nguyên tử và phân tử trung hoà của một chất nào đó. Thông thường sau hiện tượng ion hoá các ion âm và dương tái hợp với nhau để tạo ra nguyên tử trung hoà, còn năng lượng ban đầu truyền cho cặp ion thì biến thành năng lượng nhiệt.

Nếu môi trường hấp thụ là một chất khí, người ta có thể ngăn chặn sự tái hợp bằng một điện trường nào đó, chẳng hạn bằng hai tấm điện cực nối với điện thế. Một thiết bị như vậy gọi là buồng ion hoá, trong đó các ion chuyển động về các điện cực khác dấu. Sự chuyển động của ion tạo ra dòng điện tỷ lệ với cường độ bức xạ.

Sự ion hoá trong chất khí được sử dụng để ghi bức xạ và được sử dụng trước hết làm đơn vị đo bức xạ - đó là Roentgen. Đơn vị này có một số giới hạn, nên sau này người ta sử dụng hai đơn vị nữa là Rad và Rem, gần đây hai đơn vị này được thay thế bằng Gray và Sievert. Hai đơn vị này được Uỷ ban Quốc tế về Đơn vị và Đo lường bức xạ ICRU (International Commission on Radiation Unit and Measurement) phê chuẩn và được Uỷ ban Quốc tế về An toàn Bức xạ ICRP (International Commission on Radiation Protection) sử dụng. Tuy nhiên Rad và Rem vẫn còn được tiếp tục sử dụng.

3. Liều hấp thụ bức xạ

Liều hấp thụ là năng lượng của bức xạ được một đơn vị khối lượng của môi trường đó hấp thụ.

$$D = dE/dm = dE/\rho dV \quad (17)$$

Đơn vị của liều hấp thụ trong hệ SI là Gray (Gy)

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

Ước số của Gray là: centiGray: ($1 \text{ c Gy} = 10^{-2} \text{ Gy}$);

miliGray: ($1 \text{ m Gy} = 10^{-3} \text{ Gy}$);

microGray: ($1 \mu \text{ Gy} = 10^{-6} \text{ Gy}$).

4. Liều tương đương

Liều hấp thụ rất tiện lợi về mặt vật lý nhưng lại không tiện lợi về mặt sinh học. Cùng một liều lượng hấp thụ đối với các loại bức xạ khác nhau lại không gây ra các tổn thương sinh học như nhau. Hay nói cách khác, cùng một hiệu ứng sinh học nhưng cần có các liều hấp thụ khác nhau đối với các loại bức xạ khác nhau. Chẳng hạn liều 0.05Gy của neutron nhanh có thể gây ra các tổn thương sinh học như liều 1 Gy của bức xạ gamma.

Sự khác nhau về hiệu ứng sinh học có thể được hiệu chỉnh bằng cách đưa *hệ số chất lượng Q* vào liều hấp thụ (xem Bảng 2). Ví dụ trong trường hợp trên, ta đưa vào liều hấp thụ của neutron nhanh hệ số chất lượng $Q = 20$ để ở cùng một liều (gọi là liều tương đương) ta thu được hiệu ứng sinh học như liều gamma. Khi đó:

$$\text{liều tương đương (rem)} = \text{liều hấp thụ (rad)} \times Q \quad (18)$$

Q - gọi là hệ số chất lượng, nó phản ánh khả năng gây ra tổn

thương sinh học của một loại bức xạ. Q càng lớn, khả năng này càng mạnh.

Trong hệ đơn vị SI:

Liều tương đương Sievert (Sv) = liều hấp thụ Gray (Gy) $\times Q \times N$

N - hệ số suất liều, thông thường $N = 1$, do đó

$$Sv = QGy \quad (19)$$

Ước số của Sievert (Sv) là :

centiSievert: ($1cSv = 10^{-2}Sv$);

miliSievert: ($1mSv = 10^{-3} Sv$);

microSievert: ($1\mu Sv = 10^{-6} Sv$) v. v..

Bảng 2: Giá trị hệ số chất lượng Q của bức xạ

Loại bức xạ	Q
Tia X, tia γ và electron	1
Nơtron nhiệt	5
Nơtron nhanh	20
Hạt alpha	20

5. Suất liều hấp thụ

Gray và Sievert - là đơn vị biểu diễn liều bức xạ nhận được trong một khoảng thời gian bất kỳ.

Để đánh giá tác động của bức xạ người ta cần biết tốc độ hấp thụ năng lượng hay còn gọi là suất liều D' .

$$D' = \frac{dD}{dt} = \frac{dE}{dm dt} \quad (20)$$

Đơn vị của suất liều là Gys^{-1} , Gyh^{-1} , Svs^{-1} , Svh^{-1} .

$$1\text{Gys}^{-1} = 1\text{J.s}^{-1}.\text{Kg}^{-1} = 1\text{WKg}^{-1} \quad (21)$$

$$1\text{Svs}^{-1} = 1\text{Gys}^{-1} \times Q \quad (22)$$

6. Liều lượng chiếu xạ

Để đặc trưng cho liều lượng theo hiệu ứng ion hoá, người ta áp dụng khái niệm liều lượng chiếu xạ của bức xạ Roentgen và gamma. Về mặt vật lý, nó là năng lượng biến đổi thành động năng của các hạt mang điện trong một đơn vị khối lượng không khí của khí quyển và được biểu diễn bằng C/kg.

1C/kg là liều lượng chiếu của bức xạ Roentgen hoặc gamma gây ra trong 1kg không khí khô, ở các điều kiện tiêu chuẩn ($T = 0^\circ\text{C}$, $p = 760 \text{ mmHg}$) các ion mang 1 Culông điện tích mỗi dấu.

Đơn vị ngoại hệ là Roentgen (R).

1R là liều lượng chiếu xạ của bức xạ Roentgen hoặc tia X, làm xuất hiện trong 0,001293g (1cm^3) không khí khô ở điều kiện tiêu chuẩn ($T = 0^\circ\text{C}$, $p = 760 \text{ mmHg}$) tạo ra các ion mang lượng điện 1 đơn vị tính điện tuyệt đối (1CGSE) mỗi dấu.

Ta có thể tìm mối tương quan giữa liều chiếu và liều hấp thụ. Nếu $1\text{C} = 3 \times 10^9 \text{ CGSE (cm}^{3/2}\text{g}^{1/2}\text{s}^{-1})$, n là số ion, q là điện tích của ion bằng điện tích của $1e^-$ và bằng $4,8 \times 10^{-10} \text{ CGSE}$, khi đó số ion tạo ra trong 1cm^3 không khí sẽ là:

$$n = \frac{1}{4,8 \times 10^{-10}} = 2,08 \times 10^9 \quad \text{cặp ion/cm}^3$$

$$n = \frac{2,08 \times 10^9}{0,001293g} = 1,61 \times 10^{12} \text{ cặp ion/g} \quad (23)$$

Ta biết, năng lượng trung bình để tạo 1 ion trong khí là $\zeta = 34 \text{ eV}$, thêm vào đó $1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-12} \text{ erg}$ thì liều chiếu D_{CH} bằng 1R sẽ là:

$$\begin{aligned} D_{irr} = 1R &= n\varepsilon = 2,08 \times 10^9 \times 34 \times 10^{-6} \text{ Mev/cm}^3 \\ &= 7,06 \times 10^4 \text{ Mev/cm}^3 \end{aligned} \quad (24)$$

hoặc

$$D_{irr} = 7,06 \times 10^4 \times 1,6 \times 10^{-12} \times 10^{-6} = 0,114 \text{ erg/cm}^3 \quad (25)$$

Khi chuyển sang gam ta có

$$D_{irr} = 1R = n\varepsilon = 1,61 \times 10^{12} \times 34 \times 10^{-6} = 5,47 \times 10^7 \text{ MeV/g} \quad (26)$$

$$D_{irr} = 1R = 5,47 \times 10^7 \times 1,6 \times 10^{-12} \times 10^{-6} = 87,7 \text{ erg/g} \quad (27)$$

Giá trị $0,114 \text{ erg/cm}^3$ và $87,7 \text{ erg/g}$ gọi là đương lượng năng lượng của Roentgen.

Liều hấp thụ D_{abs} theo đơn vị Rad sẽ là:

$$D_{abs} = 1\text{Rad} = 100 \text{ erg/g} \quad (28)$$

Từ công thức (27) và (28) ta có:

$$\frac{D_{irr}}{D_{abs}} = \frac{87,7 \text{ erg/g}}{100 \text{ erg/g}} = 0,877$$

Hay:

$$D_{irr}(R) = 0,877 D_{abs}(R) \quad (29)$$

Như vậy đối với không khí (trong điều kiện cân bằng electron), $1R = 0,877Rad$.

7. Thông lượng bức xạ

Khái niệm số hạt bức xạ hoặc photon đặt vuông góc với diện tích $1m^2$ trong 1s rất tiện lợi trong tính toán và được gọi là thông lượng ϕ .

Giả sử có nguồn neutron phóng ra với tốc độ Q hạt trong 1s. Khi đó thông lượng neutron tại khoảng cách r sẽ là:

$$\phi (n) = \frac{Q}{4 \pi r^2} \left[\frac{n}{m^2 s} \right] \quad (30)$$

Ví dụ: $Q = 3,14 \times 10^7 n/s$; $r = 1m$

$$\phi = \frac{3,14 \times 10^7}{4 \pi} = 0,25 \times 10^7 n / m^2 s$$

8. Kerma (Kinetic energy released in material) và suất Kerma

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

$$K = \frac{dE_k}{dm} = \frac{dE_k}{\rho dV} \quad (31)$$

Suất Kerma K' được coi là tốc độ giải phóng tổng động năng của hạt trong một đơn vị thời gian dt :

$$K' = \frac{dK}{dt} \quad (32)$$

9. Mối tương quan giữa các đơn vị

Có thể tóm tắt các đơn vị dùng trong phép đo liều lượng bức xạ ion hoá như ở Bảng 3.

Bảng 3: Mối tương quan giữa các đơn vị đo liều lượng bức xạ ion hoá

Tên đại lượng	Ký hiệu	Đơn vị hệ SI	Đơn vị ngoại hệ	Quan hệ giữa các đơn vị đo
-Độ phóng xạ	A	Bq	Ci	$1\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10}\text{Bq}$
-Liều hấp thụ	D_{abs}	J/Kg Gy	Rad	$1\text{Gy} = 1\text{J/Kg}$ $= 100\text{Rad/Kg}$
-Suất liều hấp thụ	D'_{abs}	J/Kgs Gy/s	Rad/s	$1\text{Gys}^{-1} = 100\text{Rads}^{-1}$ $= 1\text{w/Kg}$
-Liều chiếu xạ (Tia X và Gamma)	D_{irr}	C/Kg	R	$1\text{R} = 2,58 \times 10^{-4}\text{CKg}^{-1}$
-Suất liều chiếu xạ	D'_{irr}	A/Kg	R/s	$1\text{Rs}^{-1} = 2,58 \times 10^{-4}\text{AKg}$
-Liều tương đương	D_{eq}	Sv	Rem	$1\text{Sv} = 1\text{Gy} \times Q \times N$ $1\text{rem} = 1\text{Rad} \times Q \times N$

10. Mối tương quan giữa liều hấp thụ bức xạ gamma trong nước (D_{H_2O}) và trong không khí (D_{KK})

Theo định nghĩa về liều, liều lượng hấp thụ tỷ lệ với mật độ của vật chất

$$D_{H_2O} \approx \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{KK}} D_{KK} \quad (33)$$

Giả sử $D_{KK} = 1 \text{ rad}$; ta biết $\rho_{KK} = 1,293 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$; $\rho_{H_2O} = 1$, khi đó ta có :

$$D_{H_2O} = 1 \text{ rad} \frac{1}{1,293 \times 10^{-3}} \approx 770 \text{ rad} \quad (34)$$

Như vậy năng lượng hấp thụ bức xạ gamma trong $1 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$ lớn hơn năng lượng hấp thụ trong 1 cm^3 không khí 770 lần. Nói cách khác, khả năng hấp thụ bức xạ gamma của nước lớn hơn khả năng hấp thụ của không khí 770 lần.

Chương III

TƯƠNG TÁC CỦA BỨC XẠ VỚI VẬT CHẤT

1. Các quá trình tương tác chủ yếu của bức xạ với vật chất

1.1. 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. 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. Hậu 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, hạt nặng mang điện tác dụng với electron bằng lực Coulomb:

$$F \sim \frac{Z e \times e}{r^2} = \frac{Z e^2}{r^2} \quad (35)$$

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.

$$-\frac{dE}{dx} \sim \frac{Z^2 n_e}{v^2} \quad (36)$$

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: diện 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. Hậu 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.

1.3. *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;
- Huy 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

$$\Delta E \sim a^2 \quad (37)$$

Theo định luật Newton

$$F = ma \quad (38)$$

do đó

$$\Delta E \sim \frac{F^2}{m^2} \quad (39)$$

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.

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

- Tán xạ đàn tính: Trong quá trình này neutron 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 neutron. Độ mất năng lượng logarit trung bình cho một va chạm ζ được xác định bằng công thức

$$\zeta = \ln \frac{T_1}{T_2}, \quad (40)$$

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

$$\zeta = 1 + \frac{(A-1)^2}{2A} \ln \frac{A-1}{A+1}, \quad (41)$$

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

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

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

$$(n, \gamma), (n, p), (n, 2n), (n, \alpha), (n, f) \dots \quad (42)$$

1.5. 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 như hiệu ứng quang điện, hiệu ứng Compton và hiệu ứng tạo cặp gây ra.

a. 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 cho e^- E_e .

$$E_e = h\nu - E_b$$

- Đặc trưng của hiệu ứng quang điện: Chỉ xảy ra khi $E_\gamma > E_e$. 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 $E_{e^{iket}} \ll E_\gamma$. 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 11)

Đối với mỗi lớp electron, khuynh hướng chung

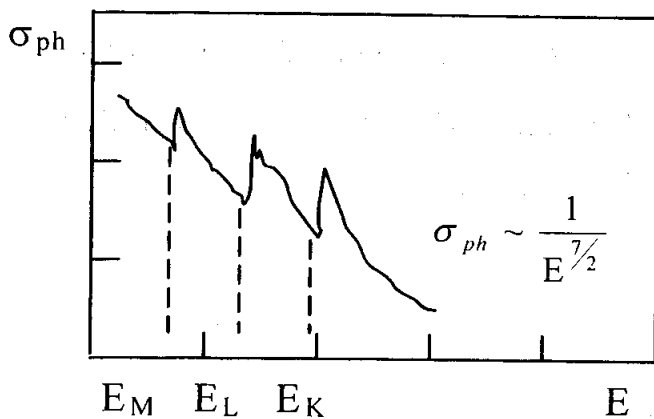
$$\sigma_{ph} \sim \frac{1}{E^3} \quad (43)$$

Đối với $E_\gamma > E_K$

$$\sigma_{ph} \sim \frac{1}{E^{7/2}} \quad (44)$$

Đối với $E_\gamma \gg E_K$

$$\sigma_{ph} \sim \frac{1}{E} \quad (45)$$



Hình 11: Sự phụ thuộc của tiết diện hiệu ứng quang điện vào năng lượng của photon gamma

b. 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_γ . 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:

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta)}, \quad (46)$$

trong đó, $m_0 c^2$ là năng lượng nghỉ của electron (0,511MeV)

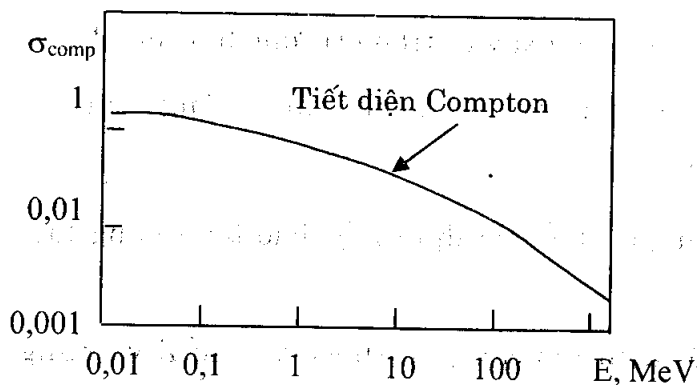
- Tiết diện tán xạ Compton σ_{comp} phụ thuộc vào năng lượng như sau (Hình 12):

E_γ nhỏ:

$$\sigma_{comp} \sim \sigma_0 (1 - \kappa E_\gamma) \quad (47)$$

E_γ lớn :

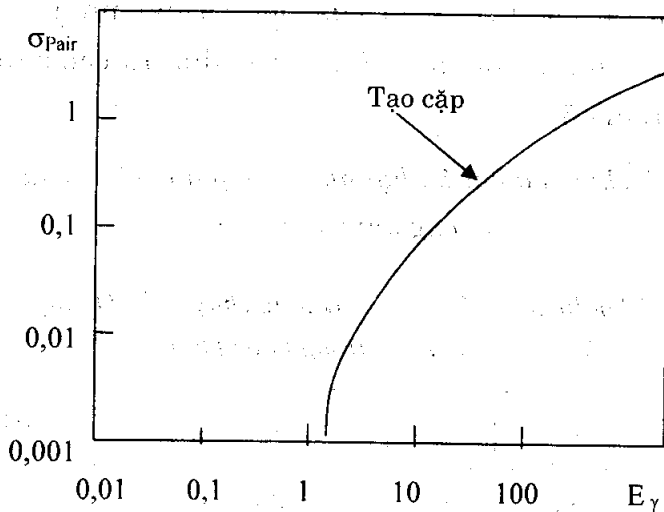
$$\sigma_{comp} \sim \frac{Z}{E_\gamma} \quad (48)$$



Hình 12: Sự phụ thuộc tiết diện tán xạ Compton σ_{comp} vào năng lượng của photon gamma.

c. Hiệu ứng tạo cặp

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



Hình 13: Sự phụ thuộc của tiết diện tạo cặp σ_{Pair} vào năng lượng của photon gamma.

- Hiệu ứng chỉ xảy ra khi $E_\gamma > 1,02$ 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 13):

$$\sigma_{\text{pairproduction}} \sim Z^2 \ln E_\gamma \quad (49)$$

Tiết diện tổng hợp của cả ba quá trình được biểu diễn trên hình 14.

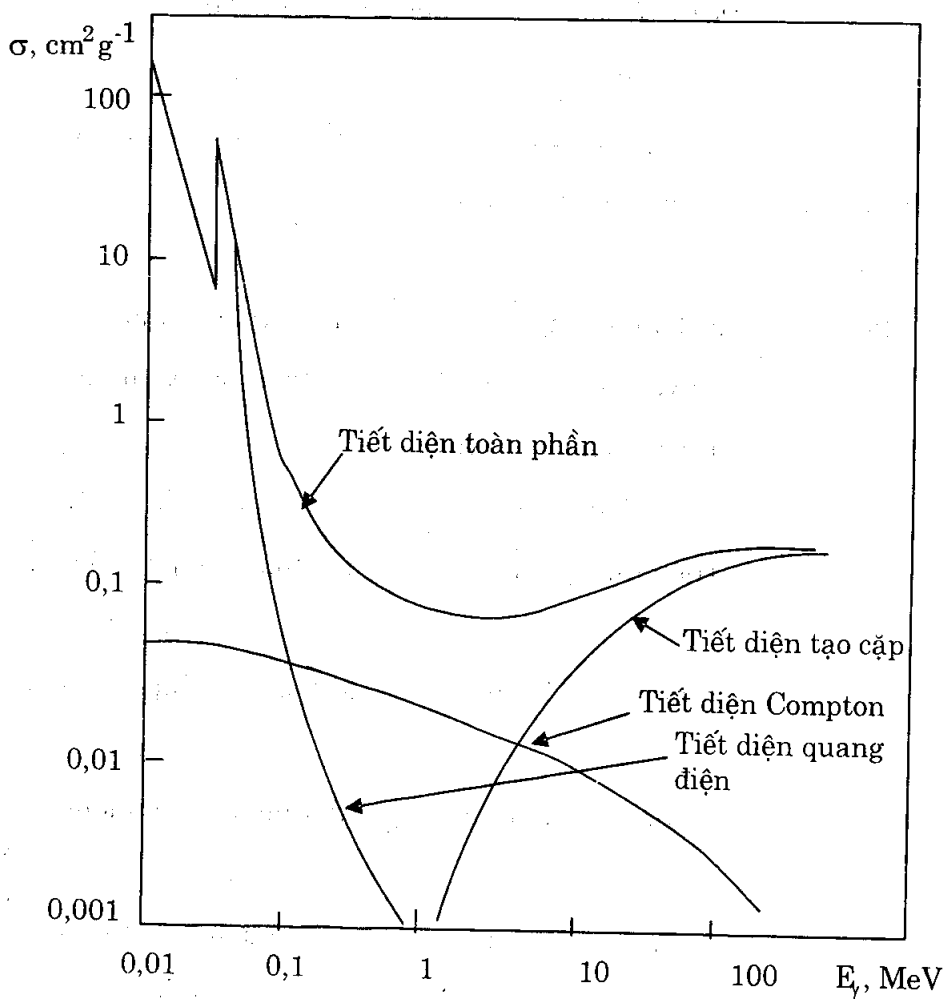
Để tóm tắt các tính chất của bức xạ hạt nhân và đặc điểm tương tác của chúng với vật chất, có thể đưa ra các bảng sau đây: (Bảng 4 và Bảng 5)

Bảng 4: Tính chất của bức xạ hạt nhân và quãng chạy của chúng trong không khí và trong mô

Bức xạ	Khối lượng AU	Điện tích	Quãng chạy trong không khí	Quãng chạy trong mô
Alpha	4	+2	0,03m	0,04mm
Beta	1/1840	± 1	3m	5mm
Tia X, γ	0	0	Rất lớn	Xuyên qua cơ thể
n- nhanh	1	0	Rất lớn	Xuyên qua cơ thể
n- nhiệt	1	0	Rất lớn	0,15m

Bảng 5: Tương tác của bức xạ với vật chất

Bức xạ	Quá trình	Kết quả
Alpha và hạt mang điện	Tán xạ không đàn tính với electron không liên kết	Kích thích và ion hóa
Beta	Va chạm không đàn tính Chuyển động chậm dần trong trường hạt nhân Hủy cặp	Kích thích và ion hóa Phát bức xạ hãm Bức xạ huỷ cặp 511KeV
Tia X và γ	Hiệu ứng quang điện Hiệu ứng Compton Hiệu ứng tạo cặp	Photon bị hấp thụ hoàn toàn Một phần năng lượng bị hấp thụ Một phần năng lượng bị hấp thụ
Neutron	Tán xạ đàn tính Tán xạ không đàn tính Bị bắt giữ	Đổi hướng, mất năng lượng Hạt nhân nhận động năng Đổi hướng, mất năng lượng Hạt nhân bị kích thích Xảy ra phản ứng hạt nhân



Hình 14: Sự phụ thuộc của tiết diện tương tác toàn phần vào năng lượng của photon gamma E_γ

2. Các hiệu ứng sinh học của bức xạ

2.1. Sinh lý học cơ bản của cơ thể người

Cơ thể con người cũng như các sinh vật, có thể coi như một cỗ máy gồm nhiều hệ thống, mỗi hệ thống đảm nhận một chức năng nhất định. Khi nghiên cứu tương tác của bức xạ với cơ thể con

người, người ta đặc biệt lưu ý tới các hệ tuần hoàn, hệ hô hấp và hệ tiêu hóa.

a. Hệ tuần hoàn (*The circulatory system*)

Hệ tuần hoàn có những đặc điểm và chức năng sau đây:

- Hệ tuần hoàn là một mạng mạch máu khép kín chạy khắp cơ thể; máu lưu thông trong mạng nhờ nhịp bơm của tim.

- Chức năng của máu là vận chuyển chất dinh dưỡng và oxy tới hầu hết các bộ phận trong cơ thể, đồng thời chuyển các chất thải và khí cacbonic tới các cơ quan bài tiết.

- Trên thực tế tim là một chiếc bơm kép, bơm bên trái làm nhiệm vụ bơm máu qua hệ động mạch tới các tế bào. Sau khi qua tế bào, máu trở về tim phải qua hệ tĩnh mạch. Sau đó máu được bơm lên phổi, tại đây nó thải ra khí cacbonic, hấp thụ oxy và trở về tim trái.

- Máu trong động mạch chứa nhiều oxy và có màu hồng, trong khi máu ở tĩnh mạch chứa rất ít oxy và có màu đỏ sẫm.

- Cơ thể người chứa khoảng 5 lít máu, và tuần hoàn trong một chu trình kéo dài khoảng 1 phút.

- Có ba loại tế bào máu: hồng cầu, bạch cầu và tiểu cầu. Chức năng của hồng cầu là vận chuyển chất dinh dưỡng và oxy cần thiết cho cơ thể; bạch cầu đóng vai trò bảo vệ chống lại sự xâm nhập của vi trùng vào cơ thể; tiểu cầu có nhiệm vụ tạo ra những chất làm đông máu tại những vùng bị tổn thương.

- Máu là cơ quan vận chuyển các chất phóng xạ khi chúng thâm nhập vào cơ thể.

b. Hệ hô hấp (*The respiratory system*)

Hệ hô hấp có những đặc điểm và chức năng sau đây:

- Hô hấp là cách thức để có thể lấy oxy vào phổi và đẩy khí cacbonic ra ngoài. Oxy được máu hấp thụ khi nó đi qua phổi và được vận chuyển đến các mô. Các mô thải ra khí cacbonic và khí này được máu đưa về phổi để đẩy ra ngoài. Lượng khí ta thở hàng ngày khoảng 20m^3 , trong đó một nửa được thở trong khoảng 8^h làm việc trong ngày.

- Trong quá trình hô hấp, con người hít vào nhiều chất lạ dưới dạng khí hoặc bụi. Các chất khí dễ dàng đi qua phổi và lọt vào máu với mức độ nhiều hay ít phụ thuộc vào mức độ hòa tan của chúng; vật chất dưới dạng hạt chỉ được hít vào một phần và được lắng đọng ở phổi. Phần còn lại hoặc được thở ra ngoài hoặc được lắng đọng ở phần trên của hệ hô hấp và sau đó bị nuốt vào dạ dày. Số phận của các chất lắng đọng ở phổi phụ thuộc chủ yếu vào tính chất hòa tan của chúng. Những chất có độ hòa tan cao bị hấp thụ rất nhanh vào máu trong khoảng vài giờ trong khi những chất khó hòa tan có thể tồn tại hàng tháng.

- Hệ hô hấp là đường vào của các chất phóng xạ, các chất này sau đó được vận chuyển tới các phần khác của cơ thể.

c. Hệ tiêu hóa (*The digestive system*)

Hệ tiêu hoá có những đặc điểm và chức năng sau đây:

- Hệ tiêu hóa bao gồm thực quản, dạ dày, tá tràng (duodenum - phần đầu ruột non ngay dưới dạ dày), ruột non và nối tiếp là ruột già (small and large intestine).

- Thức ăn từ miệng được biến thành dạng thích hợp tham gia vào quá trình sinh năng lượng và các phân tử cần thiết để nuôi và khôi phục tế bào. Các phân tử trong thức ăn bị các enzyme phá vỡ trong quá trình tiêu hóa (enzyme là hợp chất xúc tác các phản ứng hóa sinh, đồng thời là một loại protein không biến đổi trong phản ứng) được máu hấp thụ, rồi sau đó được vận chuyển qua gan tới tế bào. Cứ hai phút tất cả máu trong cơ thể lại đi qua gan. Chức năng của gan là điều chỉnh các thành phần hóa học của máu. Nó lấy đi lượng glucoza thừa, ($>0,1\%$) và dự trữ dưới dạng glucozen (tinh bột động vật) và chuyển các axit amin thừa thành ure trong quá trình khử amin...

- Những thực phẩm không hấp thụ được cùng với vi trùng và các tế bào chết từ thành ruột là những chất thải rắn được thải ra ngoài. Chất thải lỏng được bài tiết qua đường thận.

- Các chất phóng xạ hòa tan khi nuốt phải có thể đi qua đường tiêu hóa, đi vào máu rồi được máu vận chuyển đi khắp cơ thể. Những chất không hòa tan được thải ra ngoài. Trong khi vận chuyển như vậy, chúng có thể chiếu xạ suốt dọc đường tiêu hóa và ruột già.

2.2. Sinh học tế bào

Tất cả các cơ thể sống kể cả vi trùng đều gồm từ các cấu trúc rất nhỏ, gọi là tế bào.

Thành phần cơ bản của tế bào là nhân bào, một loại chất lỏng bao quanh gọi là dịch bào (Cytoplasm) và màng tế bào đóng vai trò một bức tường bảo vệ.

Dịch bào có thể coi như “nhà máy” của tế bào. Nó phá vỡ thức

ăn và biến chúng thành năng lượng và các phân tử nhỏ. Các phân tử này sau đó biến thành các phân tử phức cần cho tế bào để duy trì và phân chia.

Nhân bào chứa mọi thông tin cần thiết để tế bào thực thi các chức năng của nó và tái sản sinh ra tế bào. Ngoài ra, nhân bào chứa các nhiễm sắc thể (chromosomes) vốn là những cấu trúc rất nhỏ làm từ các gen. Tế bào người có 46 nhiễm sắc thể. Các gen chứa deoxyribonucleic acid (ADN) và các phân tử protein mang các thông tin xác định đặc trưng của tế bào con.

Tế bào có thể tái sinh để bù trừ vào các tế bào chết. Tuổi thọ tế bào ở người và do đó tốc độ phân chia tế bào nằm trong khoảng từ vài giờ tới hàng năm. Sự phân chia tế bào diễn ra theo 2 cách:

- Nguyên phân (Miotis): Các tế bào nguyên phân là những tế bào gốc trong cơ thể. Trong quá trình nguyên phân, các nhiễm sắc thể được phân đôi trước bằng cách tách võ theo chiều dài sau đó tế bào mới chia. Kết quả là một tế bào ban đầu được chia thành 2 tế bào mới giống hệt như tế bào cũ. Sau đó sự thụ tinh sẽ phục hồi bộ nhiễm sắc thể chuẩn.

- Giảm phân (Meiosis): Là một loại phân chia đặc biệt, diễn ra trong quá trình hình thành các tế bào phân chia sinh dục dẫn tới sự tạo thành các nhân tế bào mới với 1 nửa số lượng nhiễm sắc thể của tế bào bố, sau đó sự thụ tinh sẽ phục hồi bộ nhiễm sắc thể chuẩn. Giảm phân chỉ diễn ra một lần trong một chu trình sống của tế bào. Trong quá trình phân chia tế bào sinh dục, các tế bào trứng, tinh trùng và nhiễm sắc thể kết hợp với nhau để tạo ra các tế bào mới có chứa vật chất di truyền (tức là các gen) từ mỗi tế bào của bố và mẹ.

2.3. *Tương tác của bức xạ với tế bào*

Sự khác nhau cơ bản giữa bức xạ hạt nhân và các bức xạ thường gặp khác như ánh sáng, nhiệt, v.v... là năng lượng cao của bức xạ hạt nhân. Nhờ đó, bức xạ hạt nhân có thể gây ra hiện tượng ion hóa. Mật độ ion hóa phụ thuộc vào loại bức xạ, năng lượng bức xạ và bản chất của vật chất. Tia alpha có năng lượng (vận tốc) nhỏ hơn tia beta nhưng lại có khả năng ion hóa mạnh hơn. Mật độ ion hóa của tia gamma và tia Roentgen gây ra tương đối nhỏ, nhưng độ thâm nhập lại lớn, nên chúng không những tác dụng lên các tế bào ở lớp ngoài như tia alpha và beta, mà còn có khả năng tác dụng lên các tế bào ở sâu trong cơ thể.

Đối với neutron, ngoài hiện tượng ion hóa gián tiếp do các hạt nhân va vào chúng - thu được một động năng lớn gây ra, chúng còn có thể tạo ra các chất phóng xạ ngay trong cơ thể sinh vật. Nguyên nhân của quá trình này là khi chúng đi vào cơ thể, các neutron chuyển động chậm dần do mất năng lượng, sau đó bị hạt nhân của vật chất hấp thụ. Những hạt nhân đó trở thành các hạt nhân phóng xạ phát ra tia gamma và beta,...những tia này lại có khả năng gây ion hóa trong một thời gian nhất định.

Do nước là thành phần chủ yếu trong tế bào của cơ thể người, nên phần lớn năng lượng của bức xạ thoát đầu tích lũy trong phân tử nước, chỉ một phần nhỏ tích lũy trong các phân tử sinh học khác.

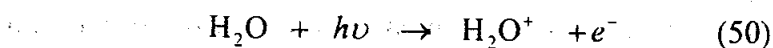
Hiện tượng ion hóa có thể dẫn đến những biến đổi phân tử và tạo ra các liên kết hóa học có thể làm hỏng các chất nhiễm sắc thể, biến đổi cấu trúc cũng như chức năng của tế bào. Trong cơ thể người những biến đổi này là những nguyên nhân chính gây ra các

bệnh lâm sàng như bệnh bức xạ, bệnh đục thủy tinh thể, bệnh ung thư...

Các quá trình dẫn tới bệnh bức xạ rất phức tạp, song có thể chia làm 4 giai đoạn:

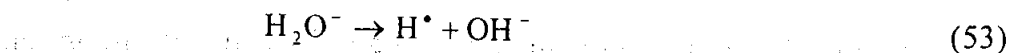
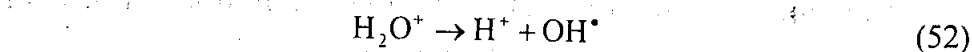
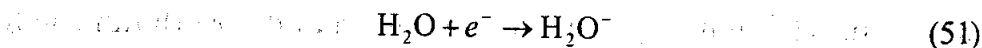
a. Giai đoạn vật lý khởi phát (The initial physical stage)

Giai đoạn vật lý khởi phát kéo dài trong khoảng thời gian rất ngắn, cỡ 10^{-16} s. Trong giai đoạn đó, năng lượng tích lũy trong các tế bào dẫn tới quá trình ion hóa tạo ra các ion dương và âm. Trong nước, quá trình này có thể viết như sau:



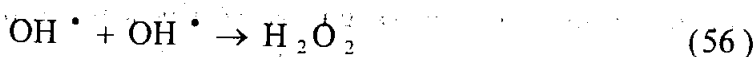
b. Giai đoạn của các quá trình hóa - lý

Giai đoạn này kéo dài khoảng 10^{-6} s, trong đó các ion tương tác với các phân tử khác của nước để tạo ra một số sản phẩm mới, trong đó các ion H_2O^+ và H_2O^- không bền sẽ bị phân huỷ ngay:



Ion H^+ và ion OH^- là hai ion bền, có thể kết hợp với nhau tạo thành phân tử H_2O . H^\bullet và ion OH^\bullet là các gốc tự do. Các gốc tự do có một electron lẻ và không có cấu hình đòi hỏi đối với một phân tử bền. Chúng là những thực thể gây phản ứng rất mạnh, có thời gian sống cỡ microgiây. Chúng có thể gây ra các phản ứng sau:





HO_2^{\bullet} là gốc tự do peroxy.

c. Giai đoạn hóa học

Giai đoạn hoá học kéo dài vài phút. Các sản phẩm của các phản ứng nói trên tương tác với các phân tử hữu cơ quan trọng của tế bào như protein, lipid, ADN... gây ra các hỏng hóc về cấu trúc và hoá học đối với các phân tử này.

d. Giai đoạn sinh học

Giai đoạn sinh học kéo dài hàng chục phút đến hàng chục năm, phụ thuộc vào các triệu chứng đặc biệt. Các hỏng hóc về cấu trúc và hoá học đối với các phân tử sinh học có thể dẫn tới các quá trình sau:

- Sự ngăn cản phân chia tế bào
- Sai sót của nhiễm sắc thể
- Đột biến gen
- Làm chết tế bào

Chúng ta hãy xem xét sâu hơn về các quá trình này:

i. Sự ngăn cản phân chia tế bào

Tế bào có thể sinh ra và nhân lên về số lượng trong quá trình phân chia tế bào. Đây là chức năng cơ bản của một cơ thể sống bất kỳ. Ngay ở cơ thể người lớn, quá trình phân chia tế bào vẫn

thường xuyên diễn ra để thay thế cho các tế bào đã chết. Những chỗ tổn thương do bức xạ gây ra có thể kìm hãm hoặc ngăn cản quá trình phân chia tế bào và như vậy làm suy yếu chức năng của tế bào và cơ thể.

ii. Sự sai sót của nhiễm sắc thể

Bức xạ có thể phá huỷ nhiễm sắc thể. Đa số các trường hợp tổn thương nhiễm sắc thể đều được hàn gắn và hầu như không có hậu quả gì xảy ra.

Tuy nhiên, một số trường hợp tổn thương có thể làm mất hoặc sắp xếp lại vật chất di truyền, những bộ phận này có thể quan sát được qua kính hiển vi. Những sự cố như vậy được gọi là sự sai sót của nhiễm sắc thể. Có những sai sót làm chết tế bào, hoặc biến đổi chức năng của tế bào.

Tần số xuất hiện một kiểu sai sót của nhiễm sắc thể có một mối tương quan xác định đối với liều lượng và do đó người ta có thể sử dụng hiệu ứng này như là một liều lượng kế sinh học (Hình 15).

iii. Đột biến gen

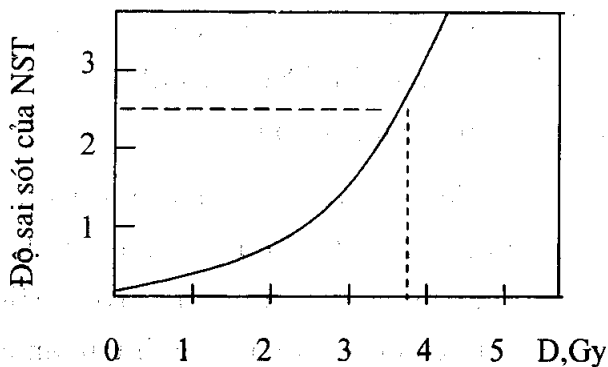
Sự thay đổi lượng thông tin trong gen gọi là sự biến đổi gen.

Sự hỏng hóc của nhiễm sắc thể là nguyên nhân dẫn đến sự đột biến gen. Giữa liều và hiệu ứng đột biến gen có sự phụ thuộc xác định.

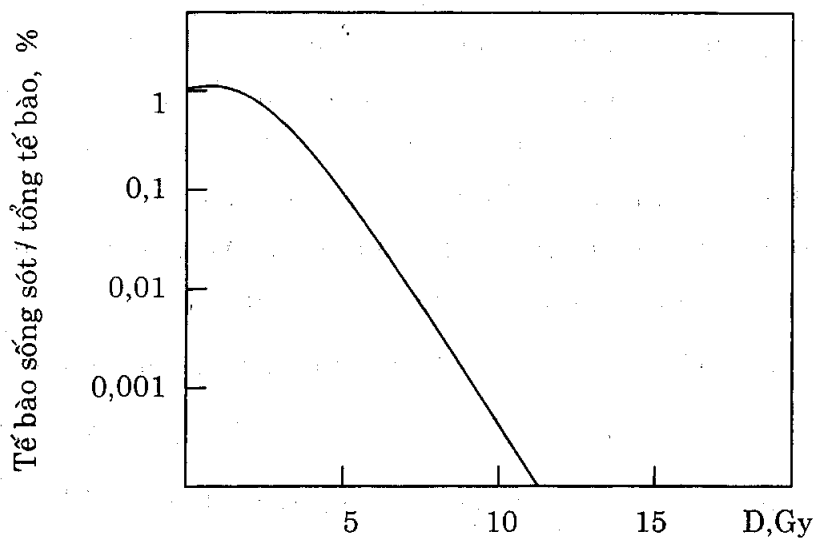
iv. Sự chết của tế bào

Quá trình chiếu xạ có thể làm chết các tế bào. Quá trình này thường được biểu diễn bằng tỷ lệ sống sót của tế bào sau khi chiếu một liều xác định. Hiệu ứng liều - tỷ lệ sống sót được biểu diễn

trên hình 16. Ở liều thấp, đường cong có đoạn suy giảm chậm. Điều này liên quan đến khả năng tự phục hồi của tế bào. Tuy nhiên, ở liều cao hơn, khả năng tự sửa chữa của tế bào đạt tới mức bão hoà, tỷ lệ sống sót giảm rất nhanh theo quy luật hàm mũ.



Hình 15: Sự phụ thuộc điển hình của độ sai sót nhiễm sắc thể (NST) theo đơn vị tương đối vào liều lượng bức xạ



Hình 16: Sự phụ thuộc của tỷ lệ sống sót của tế bào vào liều bức xạ

Tùy theo liều lượng bức xạ do cơ thể hấp thụ nhiều hay ít mà các biến đổi nói trên có thể phục hồi hoặc không thể phục hồi.

Ngoài yếu tố liều lượng, tác hại của bức xạ còn phụ thuộc vào yếu tố thời gian. Cùng một liều lượng bức xạ, nếu cơ thể hấp thụ làm nhiều lần, thì các biến đổi về bệnh lý ít xảy ra hơn so với trường hợp hấp thụ ngay một lúc. Nguyên nhân này liên quan tới khả năng tự phục hồi của tế bào ở cơ thể sống.

Hiệu ứng bức xạ đối với cơ thể người là kết quả của sự tổn thương của các tế bào riêng biệt. Hiệu ứng này có thể chia thành hai loại: Hiệu ứng thân thể và hiệu ứng di truyền. Hiệu ứng thân thể chỉ xảy ra ở người bị chiếu xạ, hiệu ứng di truyền có thể xảy ra ở những thế hệ sau.

2.4. Hiệu ứng thân thể của bức xạ (somatic effect)

a. Hiệu ứng bức xạ sớm

Thời gian thể hiện của hiệu ứng bức xạ sớm là từ vài giờ đến vài tuần sau khi chiếu xạ cấp tập. Hậu quả của quá trình này là sự thiếu hụt tế bào ở một số bộ phận do tế bào bị chết và sự phân chia tế bào bị giảm sút. Hiệu ứng chủ yếu quy kết cho sự tổn thương ở tủy xương, hệ hô hấp, hệ thần kinh. Mức độ của hiệu ứng phụ thuộc vào liều nhận được. Đối với liều cấp tập:

- Liều 1 Gy dẫn tới triệu chứng buồn nôn và nôn mửa
- Liều ≥ 2 Gy có thể dẫn tới tử vong sau 10-15 ngày bị chiếu
- Liều ~ 3 Gy: Đây là liều tử vong (Lethal dose) LD_{50}^{30} . Với liều này – tỷ lệ tử vong là 50% sau 30 ngày bị chiếu
- Liều ≥ 3 Gy có thể dẫn tới tử vong do nhiễm trùng thứ cấp

gây ra bởi sự thiếu hụt của bạch cầu mà chức năng của nó là chống lại các dị nguyên. Vùng 3-10 Gy gọi là vùng tử vong do nhiễm trùng.

- Liều ~ 8 Gy: Cơ hội sống sót rất thấp

- Liều > 10 Gy: Tử vong sau 3-5 ngày bị chiếu. Ở liều này, các niêm mạc ruột bị suy yếu rất nặng, tiếp theo là sự nhiễm trùng đường hô hấp. Vì vậy vùng này có tên gọi là *vùng tử vong hô hấp*.

Tuy nhiên ngay ở liều 500 Gy có trường hợp không quan sát thấy hiện tượng tử vong tức thì. Các biểu hiện thông thường của hiệu ứng bức xạ sớm là mệt mỏi, buồn nôn, xuất hiện các vết ban đỏ, vết phỏng rộp, vết loét...

b. Hiệu ứng bức xạ chậm

Ngay từ nửa đầu thế kỷ, người ta đã thấy một nhóm người như các bác sĩ chẩn đoán và xạ trị cùng bệnh nhân của họ, những người chịu những liều đáng kể, có tỷ lệ cao hơn về một số loại ung thư so với các nhóm cư dân không bị chiếu xạ.

Gần đây các nghiên cứu sâu hơn đối với cư dân bị chiếu xạ bởi các vụ nổ nguyên tử, các bệnh nhân xạ trị và các nhóm chiếu xạ nghề nghiệp nhất là công nhân làm việc ở các mỏ urani, đã xác nhận khả năng gây ra ung thư của bức xạ.

Ung thư là sự tăng trưởng nhanh của một tổ chức tế bào nào đó trong cơ thể. Người ta cho rằng ung thư có thể là kết quả của sự tổn thương đối với hệ điều khiển trong tế bào. Sự tổn thương này gây ra sự phân bào nhanh hơn so với mức bình thường. Khuyết tật này được truyền cho các tế bào con và thế là quần thể

các tế bào khác thường này gây ra tác hại đối với các tế bào khoẻ mạnh trong một cơ quan nào đó.

Các đánh giá về mức độ rủi ro mắc ung thư khá phức tạp, bởi thời gian ủ bệnh rất lâu từ khi chiếu xạ tới khi xuất hiện bệnh. Thời gian này biến động trong khoảng từ 5-30 năm, thậm chí còn lâu hơn.

Các phép tính ngoại suy sự rủi ro từ liều cao tới liều thấp, bình thường sẽ gặp liều rủi ro ở những người làm việc trong ngành công nghiệp hạt nhân ở đâu đó và cho ra một sai số nào đó. Khả năng có tồn tại một liều ngưỡng mà dưới liều đó không có rủi ro ung thư do bức xạ, là không có. Giả thuyết này gọi là giả thuyết tuyến tính phi ngưỡng (The Linear No-Threshold Hypothesis – LNTH). Theo giả thuyết này mọi loại bức xạ ion hoá đều có hại đối với cơ thể và mức độ rủi ro của bệnh bức xạ tỷ lệ với liều hấp thụ, trong đó không có một ngưỡng liều nào đối với các bệnh phóng xạ. LNTH được Uỷ ban Quốc tế về Bảo vệ Bức xạ (ICRP) và hầu hết các Uỷ ban Quốc gia về Bảo vệ Bức xạ dùng làm cơ sở cho các Pháp quy về an toàn bức xạ ion hoá.

Các số liệu thống kê diện rộng (những người làm việc với phóng xạ, nạn nhân bom nguyên tử ...) chống lại LNTH. Theo các số liệu này, mức liều thấp của bức xạ ion hoá (mức liều không gây độc (hormesis)) có tác động dương tính đối với cơ thể và:

- Không phải bao giờ hiệu ứng tuyến tính theo liều cũng đúng.
- Có một số trường hợp có quan sát thấy liều ngưỡng (liên quan đến khả năng tự phục hồi của tế bào).

Theo Mô hình truyền năng lượng, tác động dương tính của bức xạ đối với các rủi ro ung thư liên quan tới sự tái hợp của các gốc tự do trong quá trình chiếu xạ ở liều thấp trội hơn sự tạo ra các gốc tự do vốn được coi là tác nhân dẫn tới bệnh ung thư.

Bảng 6 giới thiệu một số mức rủi ro gây ra bệnh ung thư

Bảng 6: Mức rủi ro gây bệnh ung thư

Hiệu ứng	Tế bào bị rủi ro	Số ca tính cho 10^6 người / 1 mSv	
		Nam	Nữ
Ung thư máu	Tủy xương	2	2
Ung thư vú	Vú	-	5
Ung thư phổi	Phổi	2	2
Ung thư tuyến giáp	Tuyến giáp trạng	0,5	0,5
Saccôm xương	Tế bào bề mặt xương	0,5	0,5
Các ung thư khác	Tất cả tế bào khác	5	5
Tổng	Toàn thân	10	10

2.5. Hiệu ứng di truyền của bức xạ (Hereditary effect of radiation)

Nguyên nhân của hiệu ứng di truyền bức xạ là sự tổn thương các vật liệu di truyền trong tế bào do bức xạ ion hoá gây ra.

Bức xạ ion hoá có khả năng gây biến dị như bức xạ nhiệt và hoá chất. Hơn thế nữa, bức xạ ion hoá có thể làm gia tăng tốc độ biến dị. Theo đánh giá của ICRP, hiệu ứng di truyền khi chiếu xạ bố mẹ để lại cho hai thế hệ đầu tiên là 10 trường hợp cho 1 triệu dân / 1mSv.

3. Các nguồn phóng xạ tự nhiên và nhân tạo

Để tìm hiểu sự tương tác của bức xạ với vật chất sống, trước hết ta hãy xem các nguồn bức xạ có nguồn gốc từ đâu.

3.1. Vai trò của các nguồn phóng xạ tự nhiên và nhân tạo

Bức xạ tương tác với cơ thể xuất phát từ các nguồn bức xạ ngoài và các nguồn bức xạ trong.

Trong suốt quá trình lịch sử phát triển kéo dài hàng triệu năm, con người đã bị chiếu xạ từ các nguồn phóng xạ tự nhiên. Đó là các tia Vũ Trụ, các nguồn phóng xạ từ đất đá xung quanh môi trường sống, các chất phóng xạ có trong cơ thể.

Hiện nay chưa có kết luận rõ ràng rằng nền phóng xạ tự nhiên có lợi hay có hại đối với sự phát triển của loài người và sinh vật. Về vấn đề này hiện có ba quan điểm:

- Một quan điểm cho rằng bức xạ với một liều thích hợp gây đột biến tự nhiên trong tế bào làm cho sinh vật phát triển ở trình độ cao hơn. Điển hình của quan điểm này là G. Matusin. Ông cho rằng chính sự vận động địa chất ở vùng đông Châu Phi nơi có nhiều quặng phóng xạ Uranium và Thorium đã gây đột biến ở một số loài linh trưởng dẫn tới sự tiến hoá từ vượn thành người. Theo N. Dubinin, quan điểm lao động sáng tạo ra loài người không có cơ sở

vì lao động không ghi lại được dấu ấn trong các biến đổi gen. Tất nhiên người ta không phủ nhận lao động thúc đẩy nhanh hơn quá trình tiến hoá vượt thành người. Bằng chứng cho quan điểm đột biến bức xạ là người ta đã phát hiện được các di chỉ sớm nhất của loài người ở đông Phi từ 2,5 - 3,8 triệu năm trước và gần đây là sự phát hiện ra sọ người cổ đại có tên gọi là Toumai với niên đại 6-7 triệu năm tại vùng sa mạc Djurab. Người ta cũng tìm thấy bằng chứng về sự hoạt động của lò phản ứng hạt nhân tự nhiên ở vùng Oclo.

- Quan điểm thứ hai cho rằng một bộ phận lớn các đột biến gen thường dẫn tới các khuyết tật di truyền và cái chết di truyền.

- Quan điểm thứ ba cho rằng có thể cả hai hiệu ứng trên đều đã xảy ra và chúng đạt tới mức cân bằng nào đó để loài người phát triển cho đến ngày nay, mặc dầu họ sống trong nền phóng xạ, và thậm chí có thể là vì họ đã sống trong nền phóng xạ.

3.2. Tia Vũ Trụ

Tia Vũ Trụ đến Trái Đất có nguồn gốc từ Mặt Trời và từ khoảng không giữa các vì sao. Nó bao gồm các tia bức xạ rất đa dạng, có sức xuyên lớn, gây ra các phản ứng hạt nhân khác nhau với các nguyên tố chúng gặp trong các tầng khí quyển. Có thể nói khí quyển Trái Đất giống như một tấm lá chắn làm giảm đi rất nhiều tác động của tia Vũ Trụ. Chẳng hạn, suất liều trung bình ở mặt biển khoảng 0,2 mSv/y thì suất liều ở độ cao 3.000 m là 1 mSv/y.

Một trong những sản phẩm tương tác của nơtron trong bức xạ Vũ Trụ là phản ứng:



^{14}C có $T_{1/2} = 5568\text{y}$, khuếch tán xuống các lớp dưới của khí quyển, được các sinh vật hấp thụ và trở thành một thành phần trong vật thể sống. Ngoài ^{14}C , còn có các đồng vị khác được hình thành, do tương tác của tia Vũ Trụ với khí quyển như ^3H ($T_{1/2} = 12,26\text{y}$), ^{36}Cl ($T_{1/2} = 3,08 \times 10^5\text{y}$), ^{41}Ca ($T_{1/2} = 1,1 \times 10^5\text{y}$)... song chúng không quan trọng bằng ^{14}C .

3.3. Nguồn bức xạ từ đất đá

Đất và đá trên Trái Đất có chứa một lượng nhỏ các chất phóng xạ U, Th và các sản phẩm phân rã của chúng. Nồng độ của các nguyên tố này biến đổi phụ thuộc vào loại đất đá.

Ngoài ra, trong đất đá còn có ^{40}K ($T_{1/2} = 1,27 \times 10^9\text{y}$) xuất hiện từ khi hình thành Vũ Trụ. Suất liều trung bình do các chất phóng xạ từ đất đá đóng góp khoảng 0,2 – 1 mSv/y.

3.4. Các chất phóng xạ trong cơ thể

Suất liều của các chất phóng xạ trong cơ thể con người phụ thuộc rất nhiều vào nơi sinh sống, chế độ và thói quen ăn uống của các cá thể. ^{40}K , U, Th và con cháu đóng góp phần lớn vào suất liều phóng xạ của cơ thể người, ^{14}C đóng góp phần ít hơn. Thành phần đóng góp đó như sau:

^{40}K đóng góp	0,2mSv/y
Chuỗi U, Th (từ thức ăn)	0,17mSv/y

Radon và Thoron (từ đất đá do hít thở, từ cây cối và sinh vật do ăn uống) 0,8mSv/y

3.5. Bảng liều do phóng xạ tự nhiên

Trong bảng liều hàng năm, bức xạ gamma từ chuỗi ²³⁸U, ²³²Th và ⁴⁰K thuộc nguồn bức xạ địa phương có giá trị khoảng 400µSv. Ở một số nơi, liều này có thể cao gấp 3 lần, như ở một số địa phương thuộc Ấn Độ, Braxin (vùng cát Monazite).

Bảng 7 sau đây giới thiệu các giá trị liều hấp thụ trung bình hàng năm đối với cơ thể người do các nguồn bức xạ tự nhiên gây ra.

Bảng 7: Các giá trị liều hàng năm do bức xạ tự nhiên gây ra

Nguồn	Liều (µSv/y)
Bức xạ gamma địa phương	400
¹⁴ C	10
Radon, Thoron và sản phẩm phân rã	800
⁴⁰ K trong cơ thể	200
Tia Vũ Trụ	300
U, Th trong cơ thể	170
Cộng	1880

3.6. Các nguồn phóng xạ nhân tạo và tác dụng của chúng

Cùng với nguồn phóng xạ tự nhiên, trong một thế kỷ nay, con người đã đưa thêm vào cuộc sống của mình nhiều chất phóng xạ

nhân tạo và bổ sung thêm một phần quan trọng liều chiếu xạ đối với cư dân nói chung.

a. Giai đoạn đầu của các ứng dụng kỹ thuật hạt nhân

Có thể kể ra đây một số mốc quan trọng của các ứng dụng kỹ thuật hạt nhân và những phát hiện về tác động của bức xạ đối với cơ thể con người:

- Năm 1895 Rontgen phát hiện ra tia X ;
- Năm 1896 Becquerel phát hiện tính phóng xạ ;
- Năm 1911 Messe nghiên cứu 94 trường hợp ung thư có nguồn gốc tia X, trong đó 50 trường hợp là ở những người làm việc trực tiếp với tia X;
- Năm 1922 đã phát hiện 100 trường hợp tử vong của những người làm việc với tia X do bệnh ung thư nghề nghiệp. Các nghiên cứu khác đánh giá tuổi thọ của các bác sĩ làm việc với tia X giảm 2-3 năm so với các bác sĩ thường.
- Các đánh giá cho thấy thời kỳ 1935-1958 các bác sĩ bức xạ nhận liều bức xạ tới vài Gray.
- Sự cố Chernobyl: Sự cố hạt nhân nghiêm trọng nhất xảy ra tại Chernobyl (Ucraina) vào năm 1986 liên quan tới vụ nổ lò phản ứng năng lượng graphit – nước sôi công suất 1000 MWe. Sự cố đã làm 30 người chết, gần 200.000 người bị nhiễm liều khoảng 100 mSv, 20.000 người nhiễm liều khoảng 250 mSv, một số người nhiễm liều 500 mSv. Sự cố gây ra nhiễm xạ cục bộ trên một phạm vi lớn, các chất phóng xạ nhân tạo lan truyền trên phạm vi toàn cầu.

b. Các nguồn phóng xạ nhân tạo

Cùng với phong phóng xạ tự nhiên, các nguồn bức xạ nhân tạo sau đây đóng góp vào liều trung bình hàng năm mà con người phải nhận.

i. Chuẩn đoán bức xạ

Theo các đánh giá về liều bức xạ, chẩn đoán bức xạ có thể chiếm tới 90% tổng liều cư dân phải nhận trong các ứng dụng y tế thông qua chuẩn đoán X quang. Các vùng rất quan trọng và nhạy cảm của cơ thể đối với bức xạ là: Tuỷ xương, tuyến sinh dục và bào thai.

- Chiếu xạ tuỷ xương có thể dẫn tới bệnh bạch cầu.
- Chiếu xạ tuyến sinh dục liên quan tới sự phá hỏng hệ di truyền.
- Chiếu xạ bào thai có thể dẫn tới sự phá huỷ về trí lực và thể lực của đứa trẻ.

ii. Xạ trị

Liều trung bình của phép xạ trị chiếm khoảng 10% tổng liều trong cộng đồng. Mặc dầu có những phép chiếu ở liều rất lớn, song số người bị chiếu ở liều này rất ít.

iii. Sử dụng đồng vị phóng xạ

Các nguồn đồng vị phóng xạ hiện nay chủ yếu sử dụng trong các lĩnh vực y tế và công nghiệp.

- Trong y tế các nguồn đồng vị phóng xạ sử dụng để điều trị và chuẩn đoán.

- Trong công nghiệp đồng vị phóng xạ được sử dụng để đánh dấu đồng vị, xử lý bức xạ, kiểm tra không phá huỷ, v.v...

iv. Các chất thải phóng xạ

Các chất thải phóng xạ chủ yếu là sản phẩm trong ngành năng lượng hạt nhân gây ra. Liều đóng góp của chất thải phóng xạ được đánh giá hiện hay khá nhỏ cỡ $2 \mu\text{Sv/y}$, nhưng nó ngày càng tăng do sự vận hành các lò phản ứng năng lượng của ngành năng lượng hạt nhân.

Bảng 8: Liều trung bình hàng năm do các nguồn bức xạ nhân tạo

Nguồn	Liều, $\mu\text{Sv/y}$
Chuẩn đoán y học	220
Xạ trị	30
Đồng vị phóng xạ trong y tế	2
Chất thải phóng xạ	2
Rơi lãg phóng xạ	10
Chiếu xạ nghề nghiệp	9
Các nguồn khác (TV, máy vi tính...)	12
Cộng	285

v. Rơi lãg phóng xạ

Rơi lãg phóng xạ chủ yếu liên quan tới hai nguồn gốc:

- Do thử vũ khí hạt nhân: Hai đồng vị quan trọng nhất là ^{90}Sr ($T_{1/2} = 28,8\text{y}$) và ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,07\text{y}$). ^{90}Sr tích tụ trong xương còn ^{137}Cs phân bố đều khắp cơ thể.

- Do các nhà máy hạt nhân và sự cố hạt nhân: Các đồng vị quan trọng cũng giống như ở trên.

vi. Chiếu xạ nghề nghiệp

- Đối tượng của các phép chiếu xạ nghề nghiệp là các nhà nghiên cứu và sản xuất đặc biệt trong ngành năng lượng hạt nhân.

- Liều trung bình hàng năm của phép chiếu xạ nghề nghiệp khoảng $9\mu\text{Sv/y}$.

Bảng 8 giới thiệu liều sinh học hàng năm của cơ thể đối với các nguồn phóng xạ nhân tạo.

Chương IV

CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO LIỀU BỨC XẠ

1. Hàm đặc trưng liều (Dose-reponse)

Hàm đặc trưng liều mô tả mối tương quan giữa liều lượng hấp thụ và các đặc trưng (vật lý, hoá học, sinh học) của một liều lượng kế bất kỳ. Các dạng hàm đặc trưng liều thường gặp:

- Dạng hàm tuyến tính
- Dạng đa thức
- Dạng hàm mũ
- Dạng hàm mũ bão hoà
- Dạng hàm mũ suy giảm
- Dạng hàm tuyến tính suy giảm

Các dạng hàm thường được mô tả bởi các lý thuyết khác nhau, hoặc bằng công thức bán thực nghiệm. Chúng ta nghiên cứu một số lý thuyết tiêu biểu có mối liên hệ nhất định với nhau có khả năng mô tả các dạng hàm đặc trưng liều một cách tổng quát.

1.1. Lý thuyết lượng tử

Lý thuyết lượng tử được đề xuất vào năm 1922 bởi Silberstein để mô tả mối tương quan giữa thông lượng (F) của bức

xạ và mật độ phim OD. Trong lý thuyết này người ta đưa ra các giả thuyết để đơn giản hoá mô hình toán học:

i. Hạt photon chỉ cần một cú va đập cũng có thể làm cho hạt nhạy bức xạ (hạt bạc) hiện ảnh;

ii. Tất cả các hạt nhạy bức xạ có cùng một tiết diện a không thay đổi trong quá trình hiện ảnh;

iii. Không có sự hấp thụ hoặc tán xạ của bức xạ trong chất nhũ tương;

iv. Tất cả các hạt (photon) đập vuông góc với phim.

Nếu N là số hạt ion bạc trên 1cm^2 chất nhũ tương, n là số hạt bạc kim loại trên 1cm^2 được hiện ảnh và F là thông lượng bức xạ thì có thể xây dựng được biểu thức

$$n = N(1 - e^{-aF}) \quad (58)$$

Giả thiết rằng trong phép gần đúng bậc một:

$$OD = k.a.n \quad (59)$$

trong đó k là hệ số tỷ lệ. Khi đó

$$OD = k.a.n.(1 - e^{-aF}) \quad (60)$$

Như vậy, hàm đặc trưng thông lượng bức xạ - mật độ phim có dạng hàm mũ bão hoà.

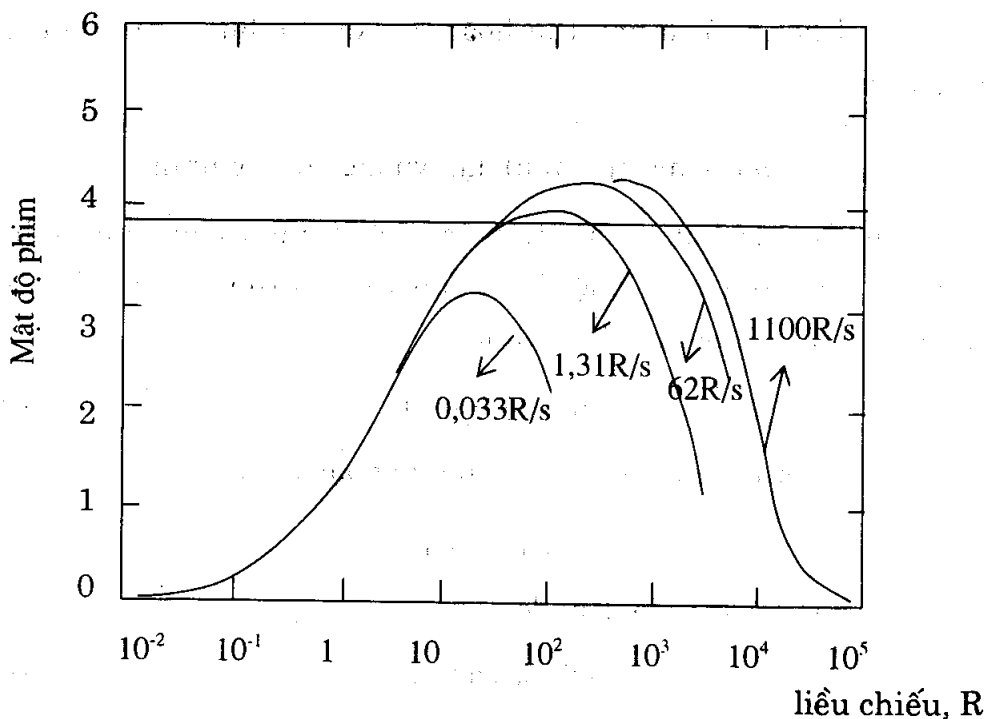
Ở thông lượng bức xạ thấp

$$(1 - e^{-aF}) \sim 1 - (1 - aF) \sim aF \quad (61)$$

$$OD \sim k a^2 n F \quad (62)$$

Trong trường hợp này, hàm có dạng tuyến tính. Các nghiên cứu sau này (Helich 1963) khi chiếu phim Dupont 502 với tia X 50 keV tìm được hàm đặc trưng liều có dạng như ở Hình 17.

Ở phân giải liều nhỏ, đường đặc trưng liều có dạng hàm mũ bão hoà. Lý thuyết lượng tử không giải thích được sự suy giảm mật độ ở liều lượng cao, hiệu ứng suất liều và tính lưỡng trị của mật độ phim.



Hình 17: Đường đặc trưng liều của phim Dupont 502 bị chiếu tia X 50keV. Mật độ phim phụ thuộc vào tốc độ chiếu ở liều cao.

1.2. Lý thuyết cấu trúc vết

Trong lý thuyết cấu trúc vết môi trường nghiên cứu gồm các phân tử nhạy bức xạ đồng nhất với nhau được gắn chặt trong một ma trận sao cho có thể coi là một môi trường truyền năng lượng.

Lý thuyết xem xét mối tương quan giữa mật độ vết khuyết tật được tạo ra trong quá trình ion hoá dọc theo đường đi của hạt mang điện với liều lượng mà môi trường hấp thụ. Xuất phát điểm của lý thuyết là thống kê Poisson.

- Trong phân bố ngẫu nhiên, xác suất để một phân tử trong một tập hợp các phân tử đồng nhất về mặt thống kê bị va đập X lần, khi số va đập trung bình của mỗi phân tử là A , được xác định bằng biểu thức $A^X e^{-A} / X!$

- Như vậy xác suất của một phân tử không bị va chạm lần nào ($X = 0$) sẽ là e^{-A} .

- Xác suất của một phân tử bị va chạm từ 1 lần trở lên sẽ là $1 - e^{-A}$ (vì tổng xác suất bằng 1).

- Trong một hệ được chiếu xạ một cách đồng đều, ta gọi D_{37} là liều hấp thụ sau mỗi lần va chạm đối với phân tử nhạy bức xạ; nếu liều hấp thụ là D , thì số lần va chạm sẽ là D/D_{37} . Như vậy xác suất để 1 phân tử bị va đập từ 1 lần trở lên là:

$$P = 1 - e^{-\frac{D}{D_{37}}} \quad (63)$$

- Trong một tập hợp có N phân tử nhạy bức xạ thì số phân tử bị va đập hay nói cách khác số phân tử bị kích hoạt thu được là $n(D)$, được xác định bằng biểu thức:

$$n(D) = NP = N \left(1 - e^{-\frac{D}{D_{37}}} \right) \quad (64)$$

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

Khi $D = D_{37}$ thì

$$n(D_{37}) = N(1 - e^{-1}) = N(1 - 0,37) = 0,63N \quad (65)$$

Do đó, D_{37} là liều lượng tại đó mật độ của các phân tử kích hoạt đạt tới 63% mức bão hoà.

Lý thuyết cấu trúc vết thoát đầu được phát triển để xác định hàm đặc trưng liều - và tỷ lệ phá huỷ hoặc tỷ lệ tử vong của các enzym và virus khi bị chiếu xạ bởi các ion nặng (bức xạ High LET - High Linear Energy Transfer Radiation). Sau này lý thuyết được dùng cho cả các bức xạ khác như gamma và electron (Low LET - Low Linear Energy Transfer Radiation). Nó có thể dùng để mô tả được đặc trưng liều kể như alanine, thủy tinh và một số dạng liều kế khác.

Nhược điểm của lý thuyết cấu trúc vết là chưa mô tả được hiệu ứng suất liều, hiệu ứng liều siêu cao và một số hiệu ứng khác.

1.3. Mô hình truyền năng lượng

Những luận điểm chính của mô hình truyền năng lượng là:

- 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 gồm các phân tử nhạy bức xạ phân bố đồng đều; chúng có thể là nguyên tử, phân tử, tế bào hoặc một trạng thái tổ hợp nào đó;

- Trường bức xạ tác động lên hệ bao gồm bức xạ sơ cấp và thứ cấp. Năng lượng tích lũy trong vật liệu gây bởi bức xạ thứ cấp bao gồm electron, các gốc tự do, bức xạ điện từ ... tiếp tục gây ra hiện tượng ion hoá, kích thích, tạo khuyết tật, gây biến đổi hóa

lý... và tất cả chúng đóng góp vào hiệu ứng bức xạ tổng có thể ghi nhận được;

- 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 suất liều 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 của các phân tử kích hoạt quan sát được thường nhỏ hơn giá trị này do chúng bị mất mát trong quá trình tái hợp với các phân tử kích hoạt gây bởi bức xạ cũng như do tác động khác như hoá học, nhiệt độ, độ ẩm của môi trường, v.v... Ngoài ra còn có thể có những quá trình mất mát khác, có thể loại trừ được (do rò rỉ, do phản ứng hạt nhân...) mà để đơn giản hoá, ta không xem xét. 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 phân tử kích hoạt bị khử kích hoạt bởi tác động của bức xạ, hoá học, nhiệt độ, độ ẩm v.v... và $q = q_r + q_c + q_t + q_h + \dots$. 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 phân tử kích hoạt trong một đơn vị khối lượng đối với một đơn vị liều hấp thụ được biểu diễn bằng phương trình:

$$\frac{dn(D)}{dD} = \frac{p}{D'} [C - n(D)] - q \frac{n(D)}{D'} \quad (66)$$

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:

$$n(D) = n_s [1 - e^{-k_0 \frac{D}{D'}}] + n_0 e^{-k_0 \frac{D}{D'}} \quad (67)$$

Biểu thức (67) chính là hàm đặc trưng của một liều lượng kế hay của 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 phóng xạ n_0 trong quá trình chiếu xạ. Nó được coi là hàm đặc trưng liều của một liều kế bất kỳ hoặc của một vật liệu nhạy bức xạ bất kỳ.

Trong đó các hệ số n_s , k_0 , n_0 được xác định như sau:

$$n_s = \frac{pC}{p + q} = n(\infty) \quad (68)$$

$$k_0 = p + q \quad (69)$$

$$n_0 = n(0) \quad (70)$$

Trường hợp xác suất p và q là các đại lượng phụ thuộc, ta có thể viết

$$K_0 = p q \quad (71)$$

1.4. Các dẫn xuất của Mô hình truyền năng lượng

Dạng hàm đặc trưng của Mô hình truyền năng lượng và các dẫn xuất của nó có thể mô tả hầu hết các dạng hàm đặc trưng về liều và các hiệu ứng có thể xảy ra. Ta hãy xem xét các dẫn xuất chính của Mô hình truyền năng lượng.

- Dạng hàm mũ bão hoà của lý thuyết lượng tử và lý thuyết cấu trúc vết: Như đã nói ở trên, trong công thức (67) n_0 được coi là lượng các phân tử "kích hoạt" ở liều 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 (67) có thể viết:

$$n(D) = n_s [1 - e^{-k_0 \frac{D}{D_{37}}}] \quad (72)$$

Nếu ta lại coi $D = D'/k_0$, khi đó

$$N(0) = n_s(1 - e^{-1}) = n_s(1 - 0,37) = 0,63n_s \quad (73)$$

Điều này có nghĩa rằng $D'/k_0 = D_{37}$ như trong lý thuyết cấu trúc vết. Giá trị k_0/D' được coi là độ nhạy của liều kế. Giả sử không tính đến quá trình khử kích hoạt, nghĩa là $q = 0$, khi đó $n_s = C$ và

$$\frac{n(D)}{n_s} = P = 1 - e^{-\frac{D}{D_{37}}} \quad (74)$$

đây là dạng hàm mũ bão hoà của hàm đặc trưng liều trong lý thuyết cấu trúc vết và dạng tương tự trong lý thuyết lượng tử.

- 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 "phân 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 $n_s < n_0$ do đó từ (67) có thể viết:

$$n(D) = n_s + (n_0 - n_s) e^{-k_0 \frac{D}{D_{37}}} \quad (75)$$

trong đó $k_0 = q + p$ và $q > p$

Hàm đặc trưng liều có dạng hàm mũ suy giảm.

- Dạng đa thức:

Công thức (67) có thể viết dưới dạng chuỗi, khi đó hàm đặc trưng liều có dạng một đa thức:

$$n(D) = n_o + (n_s - n_o)k_o \frac{D}{1!D} - (n_s - n_o)k_o^2 \frac{D^2}{2!D^2} + \dots \quad (76)$$

- Dạng tuyến tính:

Với các giá trị k_o tương đối nhỏ hoặc ở dải liều thấp biểu thức (67) có thể phân tích thành chuỗi dạng (76), và viết trong phép gần đúng bậc 1 có thể dưới dạng:

$$n(D) = n_s + (n_s - n_o) \frac{D}{D} \quad (77)$$

Đây là dạng hàm tuyến tính thường gặp trong rất nhiều dạng liều kế TLD Fricke, Feric - Ferrous Khi $n_s \ll n_o$ ta có dạng hàm tuyến tính suy giảm, thường gặp trong loại liều kế plastic nhuộm màu.

- 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 liều đặc trưng suy giảm. Bằng Mô hình truyền năng lượng có thể giải thích như sau. Sau khi liều tăng tới mức bão hoà, tất cả các phân tử nhạy bức xạ trở thành kích hoạt; nếu tiếp tục cung cấp năng lượng, quá trình khử kích hoạt sẽ chiếm ưu thế, hàm đặc trưng của liều giảm, thậm chí giảm tới mức xấp xỉ bằng không. Hiện tượng này được nghiên cứu với alanine tới liều 2 triệu Gy, hoặc với chất nhũ tương như trình bày ở Hình 17.

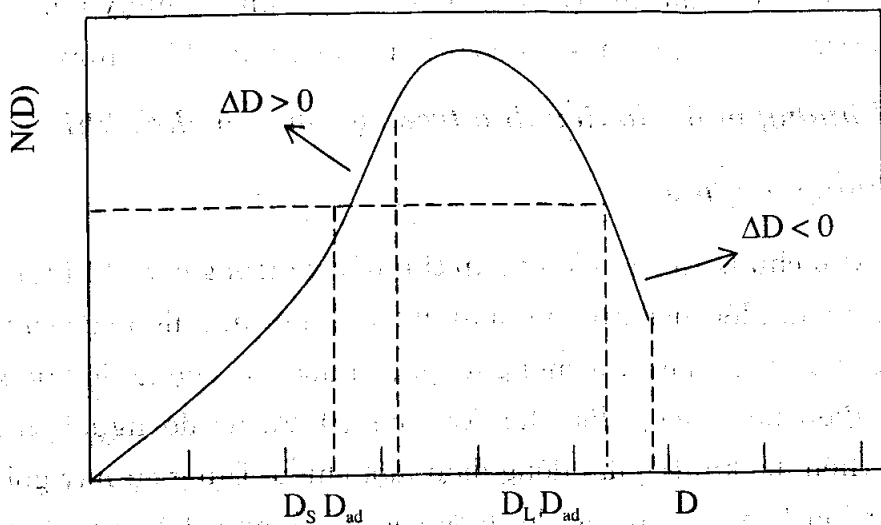
- Tính lượng trị của đường đặc trưng liều và phép phân tích sự cố bức xạ. Các sự cố hạt nhân và bức xạ thường xảy ra ở mức liều cao hoặc rất cao. Việc đánh giá chính xác mức liều giúp các thầy thuốc đưa ra phương án điều trị thích hợp. Hiệu ứng liều cao làm nảy sinh tính lưỡng trị của đường đặc trưng liều. Điều này có nghĩa là một giá trị $n(D)$ của hàm đặc trưng có thể tương ứng với 2 giá trị liều: D_s (liều nhỏ) và D_L (liều lớn) như biểu diễn trên Hình 18. Việc xác định chính xác liều hấp thụ thực tế rất quan trọng trong phép phân tích giá trị liều sự cố. 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:

$$D_{sum} = D_i + \Delta D \quad \text{hay} \quad \Delta D = D_{sum} - D_i \quad (78)$$

trong đó D_i là liều sự cố.

Khi $\Delta D > 0$ liều sự cố thuộc liều nhỏ, $D = D_s$

Khi $\Delta D < 0$ liều sự cố thuộc liều lớn, $D = D_L$



Hình 18: Tính lưỡng trị của đường đặc trưng liều

2. Các phương pháp đo liều

2.1. Các nguyên lý chung

Con người không cảm nhận được với bức xạ ion hoá. Để ghi nhận chúng, người ta sử dụng các hiệu ứng vật lý và hoá học do bức xạ gây ra. Các hiệu ứng này bao gồm:

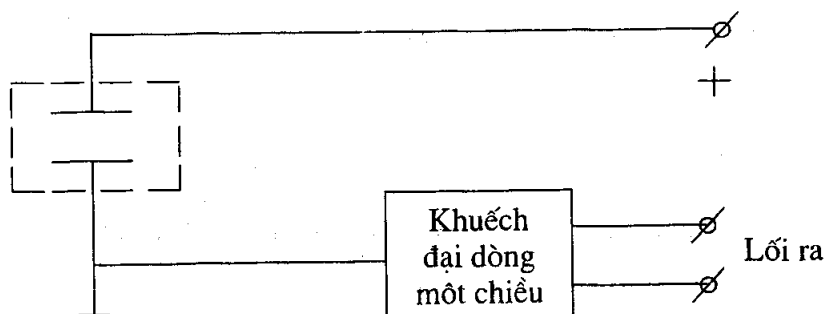
- Hiện tượng ion hoá chất khí
- Hiện tượng ion hoá và kích thích trong chất rắn
- Các biến đổi trong các hệ hoá học
- Kích hoạt bởi nơtron

Trong kiểm tra an toàn bức xạ, các thiết bị dựa trên sự ion hoá của chất khí thường được sử dụng rộng rãi. Trong một số thiết bị khác, người ta sử dụng sự gia tăng độ dẫn trong chất rắn (hiệu ứng nhấp nháy, hiệu ứng nhiệt phát quang) và hiệu ứng chụp ảnh. Các hệ đo dựa trên các biến đổi hoá học không nhạy lắm. Đối với nơtron, phương pháp kích hoạt là phương pháp khá nhạy.

2.2. Phương pháp đo liều dựa trên sự ion hoá chất khí

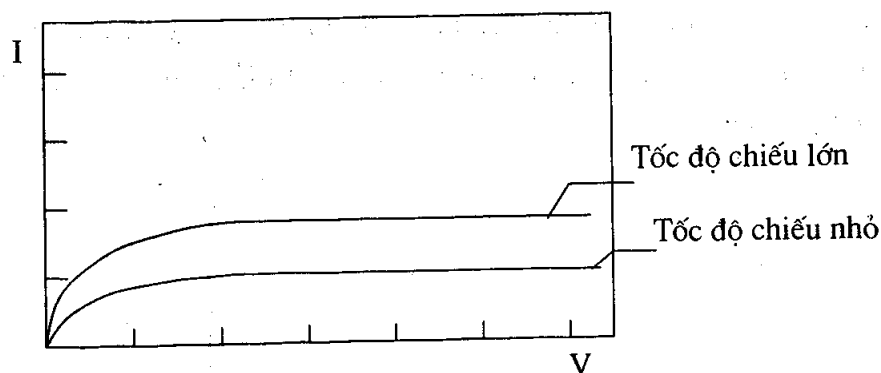
a. Buồng ion hoá

Như chúng ta đã biết sự hấp thụ bức xạ trong chất khí tạo ra các cặp ion. Một điện áp vừa phải đặt vào hai tấm điện cực có thể cho ta một dòng điện với cường độ phụ thuộc vào cường độ bức xạ. Dòng điện này tương đối nhỏ, khoảng $10^{-12}A$, do đó người ta sử dụng thêm bộ khuếch đại dòng điện một chiều. Dụng cụ này gọi là buồng ion hoá. Nó có thể đo được các hạt mang điện và photon (Hình 19).



Hình 19: Sơ đồ nguyên lý của buồng ion hoá

Trong buồng ion hoá, tốc độ tạo ra các ion trong một đơn vị thể tích cân bằng với số ion mất đi do tái hợp và khuếch tán. Đường đặc trưng dòng - thế của buồng ion hoá có thể đạt tới trạng thái bão hoà, khi khả năng tái hợp của các ion rất nhỏ (Hình 20). Buồng ion hoá thường làm việc ở điện áp tương ứng với vùng bão hoà của ion.



Hình 20: Đường đặc trưng dòng - thế

- Thành của buồng ion hoá thường được chế tạo từ vật liệu tương đương không khí (Z tương đương với Z của không khí) như nhôm, plastic

- Theo nguyên lý Bragg – Gray, liều hấp thụ trong một chất:

$$D_m = WS_mP$$

(79)

trong đó:

W - Năng lượng tạo cặp ion trong chất khí [J/ion]

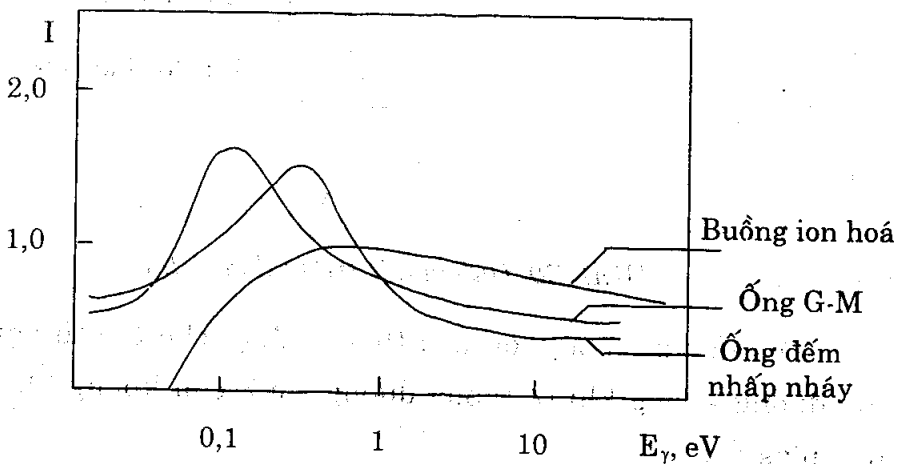
S_m - Tỷ số của năng lượng bị mất tính cho một đơn vị mật độ của vật liệu khảo sát và không khí

P - Số cặp ion tạo ra trong một đơn vị khối lượng chất khí [cặp/kg]

Như vậy số cặp ion hay dòng điện là một hàm tuyến tính đối với liều.

Buồng ion dùng để đo liều trong dải suất liều từ vài chục $\mu\text{Sv/h}$, và dải năng lượng từ 0,3 - 10 MeV.

Cùng với buồng ion hoá, người ta có thể dùng các ống G-M (ống Geiger - Muller) và ống đếm tỷ lệ để đo liều. Tuy nhiên, ở đây cần chú ý đến tới sự phụ thuộc vào năng lượng của đường đặc trưng (Hình 21)



Hình 21: Sự phụ thuộc vào năng lượng của đường đặc trưng đếm đối với buồng ion hoá, ống đếm G-M và ống đếm nhấp nháy

b. ống đếm tỷ lệ

Nếu như điện áp đưa vào hai tấm điện cực đủ cao thì sẽ diễn ra hiện tượng khuếch đại khí, khi đó các e- sinh ra do hiện tượng ion hoá được gia tốc tới một năng lượng đủ lớn bởi điện trường, có thể gây ra hiện tượng ion hoá tầng tiếp theo trước khi chúng đến được bản cực. Như vậy chỉ một hạt bức xạ có thể gây ra một xung dòng khá lớn có thể ghi nhận được. Dòng điện ở lối ra tỷ lệ với số cặp ion ban đầu do bức xạ tạo ra. Các hạt có năng lượng khác nhau có thể tạo ra các xung dòng có biên độ khác nhau, vì vậy ống đếm tỷ lệ còn có thể sử dụng để đo phổ năng lượng của bức xạ.

Hệ số khuếch đại khí K ở vùng tỷ lệ đạt tới 10^3 - 10^4 (nghĩa là từ một cặp ion ban đầu, cuối cùng sẽ có 10^3 - 10^4 cặp ion thu được ở điện cực). Do đó đối với ống đếm tỷ lệ chỉ cần những thiết bị khuếch đại đơn giản.

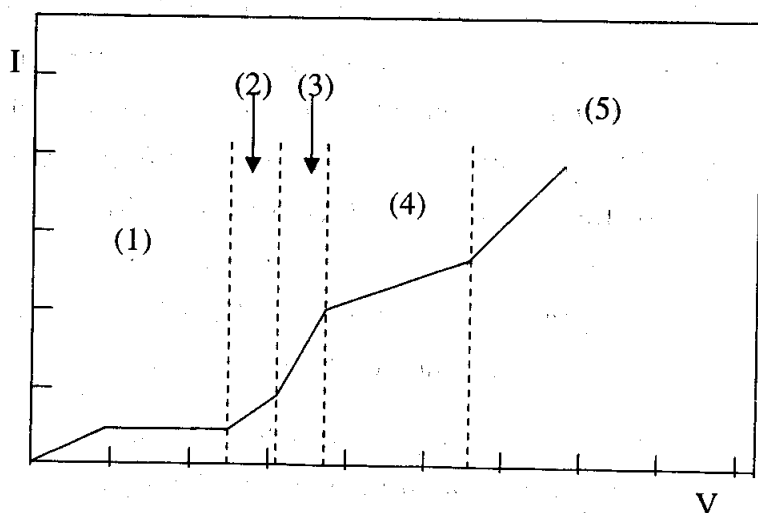
c) ống Geiger - Muller (G-M)

Trong ống G - M, điện áp sử dụng cao hơn. Hệ số khuếch đại khí có thể đạt tới 10^{10} . Vì vậy nó có độ nhạy cao nhất trong các loại ống đếm chứa khí.

Trong ống đếm tỷ lệ, quá trình khuếch đại khí chỉ ở trong một thể tích giới hạn. Trong ống đếm G - M, hiện tượng khuếch đại khí lan truyền khắp ống đếm. Lý do là số phân tử bị kích thích rất nhiều, số photon phát ra cũng nhiều gấp bội, kết quả là các quang electron xuất hiện trong toàn bộ thể tích ống đếm.

Do hệ số khuếch đại khí lớn, người ta có thể không cần tới bộ khuếch đại. Vì vậy thiết bị thường gọn nhẹ, được ưa dùng làm liều kế xách tay.

Như vậy đường đặc trưng dòng - thế đối với ống đếm chứa khí có thể chia thành 5 vùng:



Hình 22: Đường đặc trưng dòng - thế của ống đếm chứa

Vùng 1: $K = 1$ - Vùng buồng ion hoá

Vùng 2: $K = 10^3 - 10^4$ Vùng tỷ lệ

Vùng 3: Vùng này gọi là vùng tỷ lệ giới hạn, hệ số K phụ thuộc vào điện thế và điện tích ban đầu (ít được sử dụng để ghi bức xạ)

Vùng 4: $K=10^{10}$ - Vùng Geiger. Trong vùng này, hệ số K không phụ thuộc vào điện tích ban đầu và loại bức xạ; hiện tượng phóng điện không tự tắt. Để dập tắt hiện tượng phóng điện, người ta dùng điện trở tải để giảm điện áp anốt (ống đếm tự tắt) hoặc bổ sung khí đa nguyên tử như hơi cồn, khí mêtan ... vào ống đếm (ống đếm tự tắt).

Vùng 5: Vùng này không sử dụng được để ghi bức xạ vì khi đã có một hạt bức xạ bay vào ống hiện tượng phóng điện sẽ kéo dài

mãi mãi, khiến cho các hạt tiếp theo không có tác dụng gì với ống đếm.

2.3. Phương pháp đo liều dựa trên hiện tượng ion hoá và kích thích trong chất rắn

Sự phát quang là hiện tượng bức xạ không cân bằng do sự đổi năng lượng so với bức xạ nhiệt của vật thể ở một nhiệt độ cho trước.

Tuỳ thuộc vào loại nguồn, năng lượng hấp thụ và kích thích, người ta phân biệt các quá trình phát quang sau đây:

- + Quang phát quang: Phát quang do bị kích thích bằng ánh sáng

- + Quang - phóng xạ phát quang: Phát quang do chiếu bằng bức xạ ion hoá và kích thích tiếp theo bằng ánh sáng

- + Nhiệt phát quang: Phát quang do chiếu xạ và nung nóng

- + Hoá phát quang: Phát quang do năng lượng toả ra trong phản ứng hoá học.

Phát quang do bức xạ ion hoá được chia làm ba giai đoạn:

- + Giai đoạn hấp thụ năng lượng bức xạ và chuyển vật thể sang trạng thái không cân bằng;

- + Giai đoạn biến năng lượng hấp thụ thành năng lượng ánh sáng;

- + Giai đoạn chuyển vật thể về trạng thái cân bằng.

Khi vật thể trở về trạng thái cân bằng ta thấy xuất hiện các hiệu ứng quang học mới có thể dùng đo liều hấp thụ: quang phóng xạ phát quang, nhiệt phát quang, sự thay đổi màu sắc...

Quá trình phát quang dùng trong những phương pháp đo liều được chia ra làm mấy loại như sau:

+ Quá trình nhấp nháy: Đây là những quá trình không bị kích thích với sự phát sáng nhanh của các tâm phát quang (trong các chất nhấp nháy)

+ Quá trình dự trữ tổng quang năng và sự phát sáng được kích thích sau đó của các tâm phát quang (trong chất nhiệt phát quang)

+ Quá trình tạo tâm dập tắt sự phát quang (trong các liều kế hoá học)

+ Quá trình tạo ra các tâm mẫu (trong các liều kế thuỷ tinh, chất dẻo...)

Chúng ta hãy xem xét hai loại liều lượng kế chính: đầu dò nhấp nháy và liều lượng kế nhiệt huỳnh quang.

a. Đầu dò nhấp nháy

Cơ chế hoạt động của đầu dò nhấp nháy dựa trên hiện tượng năng lượng hấp thụ trong các chất lân quang có thể biến đổi thành năng lượng của các chớp sáng (nhấp nháy), và từ đó biến thành các xung điện thông qua hiệu ứng quang điện.

Đầu dò gồm hai phần chủ yếu: Chất nhấp nháy và ống nhân quang điện. Chất nhấp nháy có thể ở dạng lỏng hoặc dạng rắn. Để tăng khả năng phát sáng người ta có thể đưa thêm vào các chất hoạt tính. Ví dụ tinh thể NaI(Tl) gồm chất lân quang NaI được tăng hoạt tính bằng Tl với hàm lượng nhỏ.

Các ống nhân quang điện gồm từ nhiều điện cực gọi là dinot.

Nếu lúc đầu có N electron đập vào dinot thứ nhất thì ở dinot cuối cùng có KN electron. Hệ số K gọi là hệ số khuếch đại. K có thể đạt tới giá trị 10^5 - 10^7 .

Hiệu suất ghi của đầu dò nhấp nháy khá lớn cỡ 60 - 70%, trong khi ở ống đếm G - M chỉ cỡ 1 - 2%. Do đó, loại đầu dò này có thể ghi được bức xạ với suất liều lớn hơn so với ống đếm chứa khí.

Ngoài hiệu suất ghi cao, một ưu điểm khác của đầu dò nhấp nháy là thời gian phát sáng nhỏ, từ 10^{-7} s đối với chất nhấp nháy vô cơ, và tới 10^{-9} s đối với chất nhấp nháy hữu cơ.

Đối với một số chất nhấp nháy như NaI(Tl), antraxen $C_{14}H_{10}$,... biên độ của xung phát ánh sáng tỷ lệ với năng lượng của hạt, do đó có thể sử dụng chúng để ghi phổ.

Đối với những chất nhấp nháy dùng trong đo liều lượng có những yêu cầu chính sau đây:

- + Độ trong suốt cao;
- + Hàm đặc trưng ít phụ thuộc vào năng lượng trong một dải năng lượng rộng;
- + Cường độ chớp sáng tỷ lệ với suất liều hấp thụ;
- + Bền với bức xạ;
- + Thời gian phát huỳnh quang nhỏ.

b. Liều lượng kế nhiệt huỳnh quang

Trong phép đo liều lượng bức xạ ion hoá, liều kế nhiệt huỳnh quang (TLD) được sử dụng khá rộng rãi.

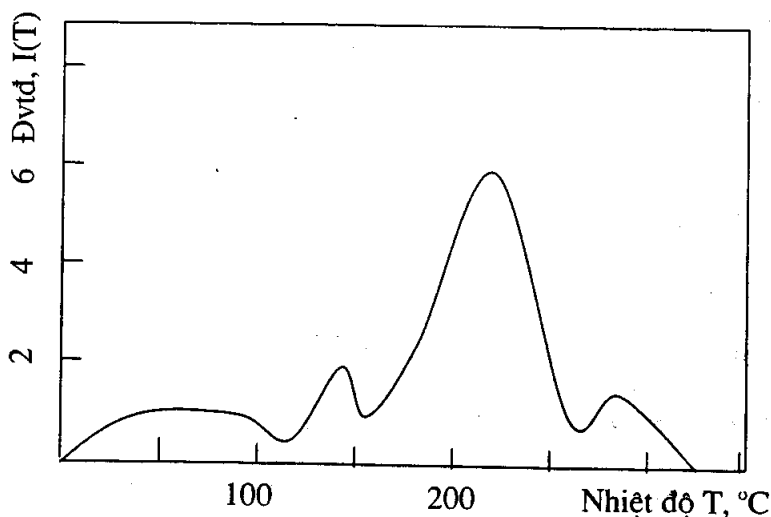
Nhiệt huỳnh quang là hiện tượng phát xạ ánh sáng khi nung

nóng tinh thể vô cơ đã được chiếu xạ trước đó. Các chất này gọi là chất nhiệt huỳnh quang.

Khi chất nhiệt huỳnh quang bị chiếu xạ, các tâm phát quang bị ion hoá, các electron bị các bẫy electron tự do bắt giữ. Quá trình này gọi là sự dự trữ tổng quang năng.

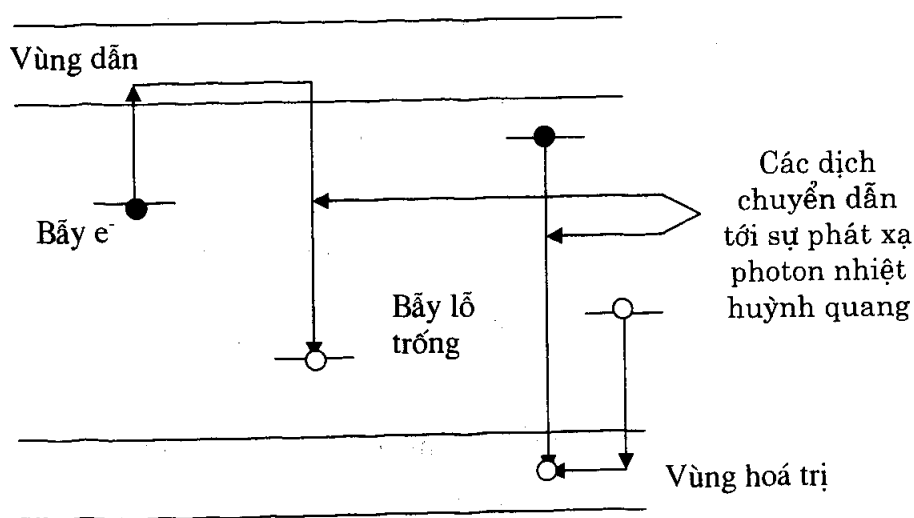
Khi nung nóng chất nhiệt huỳnh quang bị chiếu xạ, các e- được giải phóng khỏi bẫy, tái hợp với các tâm phát quang bị ion hoá. Năng lượng toả ra khi tái hợp chuyển tâm sang trạng thái kích thích và sự giải kích thích làm xuất hiện quá trình nhiệt huỳnh quang.

Quá trình nhiệt huỳnh quang được đặc trưng bởi đường cong nhiệt huỳnh quang với đỉnh cực đại ở một nhiệt độ xác định và một số đỉnh kém rõ rệt hơn không phải bao giờ cũng loại bỏ được (Hình 23)



Hình 23: Đường cong nhiệt huỳnh quang của chất nhiệt huỳnh

Đỉnh cực đại trên đường cong nhiệt huỳnh quang xuất hiện do tác dụng đồng thời của hai quá trình: Quá trình giải phóng các điện tích khi nung nóng và quá trình làm trống các mức bắt. Nghĩa là khi nhiệt độ T tăng, lượng e^- giải phóng khỏi mức bắt và chuyển sang vùng dẫn tăng, cường độ phát quang I tăng. Tuy nhiên, dự trữ e^- trong các bẫy giảm dần nên dù nhiệt độ tiếp tục tăng, cường độ phát quang không những không tăng mà lại giảm.

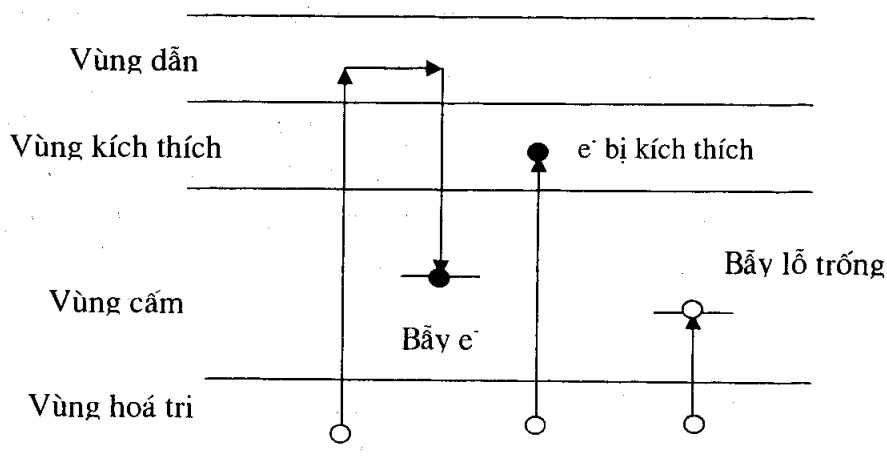


Hình 24: Hai khả năng tái hợp e^- -lỗ trống dẫn tới phát xạ photon nhiệt huỳnh quang khi nhiệt độ tăng: giải phóng các điện tích và làm trống các mức bắt.

Ở dạng tinh thể, trong các chất nhiệt huỳnh quang có thể có các mức năng lượng như sau (Hình 25):

- + Vùng hoá trị: Vùng tồn tại thông thường của e^-
- + Vùng kích thích: Electron có thể tồn tại rất ngắn cỡ $1\mu s$
- + Vùng cấm: Vùng hình thành các bẫy electron và bẫy lỗ trống

+ Vùng dẫn: Vùng tạo cặp e^- - lỗ trống



Hình 25: Các vùng năng lượng và quá trình ion hoá, kích thích và tạo tâm bẫy trong chất nhiệt huỳnh quang

Thông thường, phổ nhiệt huỳnh quang được xử lý theo hai phương pháp:

+ Phương pháp tích phân: Trong phương pháp này, mật độ phát quang được xác định bằng phép lấy tích phân đường cong nhiệt huỳnh quang theo nhiệt độ. Tích phân này tỷ lệ với diện tích S , là diện tích bị giới hạn bởi đường cong nhiệt huỳnh quang và trục hoành (Hình 23) và được biểu diễn thành công thức:

$$S = \int I(T) d(T) \quad (80)$$

Phương pháp này được dùng khi sự suy giảm theo thời gian (fading) không đáng kể của mật độ electron. Các chất nhiệt huỳnh quang với $T_{\max} \sim 200^\circ \text{C}$ và với đường cong nhiệt huỳnh quang không có các đỉnh nhỏ thoả mãn yêu cầu này. Sai số của phương pháp nhiệt phát quang khoảng $\pm 5\%$.

+ Phương pháp cực đại: Phương pháp này không phụ thuộc vào thời gian kể từ khi chiếu xạ tới khi đo, cũng như vào sự suy giảm của các đỉnh ở nhiệt độ thấp. Phương pháp có ưu thế khi đo các liều nhỏ nhưng sai số tương đối lớn, cỡ $\pm 8\%$.

Hiệu suất năng lượng của quá trình nhiệt huỳnh quang η được xác định bằng biểu thức:

$$\eta = E/(mD) \quad (81)$$

trong đó: D là liều hấp thụ;

E là năng lượng phát quang;

m là khối lượng;

của chất lân quang.

Khi đó hàm đặc trưng liều có dạng:

$$S = a_s \eta D \quad (\text{Phương pháp tích phân}) \quad (82)$$

hay

$$I = a_i \eta D \quad (\text{Phương pháp cực đại}) \quad (83)$$

trong đó: a_s, a_i là các hằng số;

S - Tổng quang năng;

I - Cường độ cực đại của đỉnh nhiệt huỳnh quang.

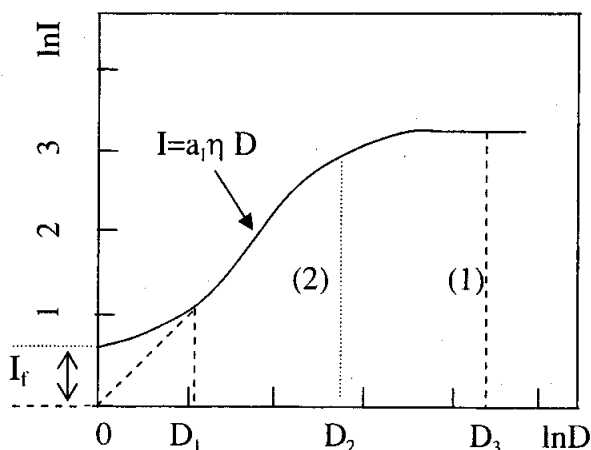
Ở dải liều rộng, đường đặc trưng liều của liều kế nhiệt huỳnh quang có dạng hàm mũ bão hoà như ở Hình 26 và có thể được chia thành một số vùng:

$D_1 D_2$: Vùng tuyến tính

$D_2 D_3$: Vùng bão hoà hay vùng phi tuyến (1) hoặc vùng phi

tuyến bậc cao (với trường hợp chất LiF)

OD_1 : Vùng phát quang do phonon; I_f - cường độ phát quang do nhiệt



Hình 26: Đường đặc trưng liều của liều lượng kế nhiệt huỳnh quang

Các đòi hỏi đối với liều kế nhiệt huỳnh quang:

- + Độ bền hoá học trong không khí và khi nung nóng tới 300°C ;
- + Dạng đường cong nhiệt huỳnh quang và các tham số η và I_f không thay đổi khi dùng nhiều lần và bảo quản lâu dài;
- + Độ nhạy cao trong khoảng đo liều rộng;
- + Không phụ thuộc vào suất liều;
- + Có tính tương đương mô.

Trong thực tế CaF_2 và LiF là những chất nhiệt huỳnh quang được dùng phổ biến nhất. Đường đặc trưng đo liều của chúng có dải tuyến tính từ 10^{-6} - 10^{-5} Gy.

2.4. Phương pháp đo liều bằng phép chụp ảnh

Phương pháp chụp ảnh được dùng để đo liều lượng cá nhân đối với bức xạ tia X, γ , β và neutron.

AgBr hay AgCl trộn lẫn với gelatin là thành phần của chất nhũ tương nhạy bức xạ. Chất này sau đó được tráng một lớp xeluoit, kính, giấy ta sẽ được phim ảnh, kính ảnh và giấy ảnh tương ứng.

Khi chiếu xạ, e^- thứ cấp trung hoà với ion bạc để tạo ra các tâm hiện - những nguyên tử bạc: $e^- + Ag^+ \rightarrow Ag$

Dưới tác dụng của thuốc hiện hình, ta thu được bạc kim loại từ AgBr.

Thuốc định hình có tác dụng tách AgBr (còn sót lại) không chứa tâm hiện hình ra khỏi chất nhũ tương.

Đường đặc trưng liều của phim có dạng hàm mũ bão hoà, ở dải liều cao nó có dạng hàm mũ suy giảm (Hình 27).

Các nhà thực nghiệm thường chia đường đặc trưng thành nhiều đoạn:

S_0A - Vùng quán tính, trong đó S_0 là độ đen ban đầu của phim khi chưa được chiếu sáng;

AB - Vùng phơi sáng non;

BC - Vùng phơi sáng bình thường (vùng tuyến tính);

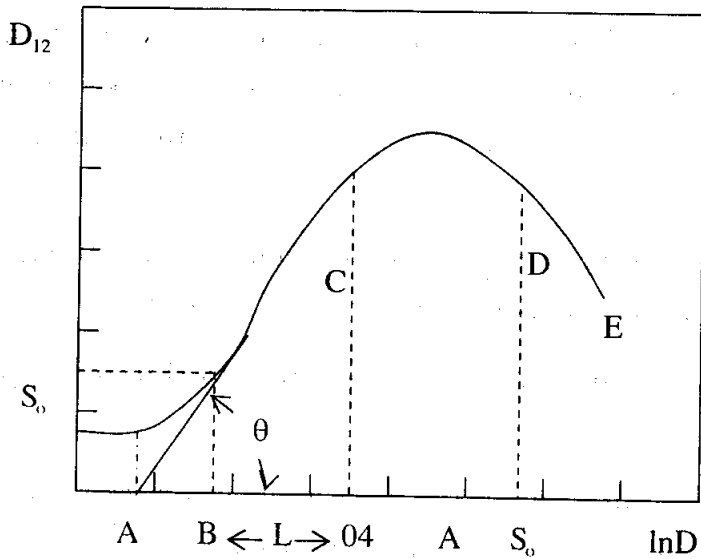
CD - Vùng phơi sáng lâu;

DE - Vùng phơi sáng Mặt Trời (vùng chiếu ở liều lượng cao);

$tg\theta$ - Độ tương phản của nhũ tương ảnh;

L - Độ rộng của nhũ tương ảnh đặc trưng cho vùng phơi sáng.

Liều lượng kế phim thường dùng để đo liều trong dải 50 μSv – 50 mSv



Hình 27: Đường đặc trưng liều của chất nhũ tương

2.5. Phương pháp đo liều dựa trên phản ứng kích hoạt neutron

Để đo liều lượng neutron, người ta có thể sử dụng các dạng bức xạ thứ cấp xuất hiện do phản ứng hạt nhân hay sự tán xạ có truyền năng lượng của neutron cho hạt nhân.

Người ta có thể sử dụng phim kẹp giữa các lá dò bức xạ.

Để đo neutron nhanh người ta sử dụng phản ứng $^{32}\text{S}(n,p)^{32}\text{P}$ với năng lượng ngưỡng $E_{\text{ngưỡng}} \sim 1,7 \text{ MeV}$, chu kỳ bán rã của ^{32}P là $T_{1/2} = 14,7 \text{ d}$.

Để đo neutron nhiệt, người ta thường sử dụng các phản ứng:

▪ $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116}\text{In}$, ^{116}In có chu kỳ bán rã $T_{1/2} = 51,1\text{min}$ và năng lượng gamma phát ra có 3 mức 417, 1097 và 1293 KeV

▪ $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$, ^{198}Au có chu kỳ bán rã $T_{1/2} = 2,7\text{d}$ và năng lượng gamma phát ra $E_{\gamma} = 411\text{KeV}$

Các phương pháp nói trên nói chung kém nhạy, song người ta thường dùng để đánh giá liều sự cố là những liều tương đối lớn.

Chương V

MỘT SỐ LUẬT LỆ VỀ AN TOÀN BỨC XẠ

1. Hệ thống liều giới hạn

1.1. Vai trò của Ủy ban Quốc tế về Bảo vệ Bức xạ (International Commission on Radiological Protection - ICRP)

ICRP thành lập năm 1928. Cơ quan này được cộng đồng Quốc tế công nhận, có trách nhiệm nghiên cứu và đưa ra khuyến cáo các giá trị liều chiếu giới hạn đối với bức xạ ion hoá. Đa số các luật ban hành Quốc gia đều dựa trên khuyến cáo của ICRP.

Năm 1950 ICRP mở rộng lĩnh vực quan tâm tới nhiều vấn đề cần giải quyết khi các lò phản ứng hạt nhân được đưa vào hoạt động trên khắp thế giới.

Các khuyến cáo về liều giới hạn của ICRP thay đổi theo thời gian dựa trên các nghiên cứu kỹ hơn về tác động của bức xạ đối với cơ thể con người.

1.2. Lịch sử các khuyến cáo về giới hạn của liều tương đương đối với nhân viên làm việc với bức xạ

Các khuyến cáo về suất liều được phép do các cơ quan về bảo vệ bức xạ đưa ra thường dựa trên các nghiên cứu lâm sàng đối với

tác động của bức xạ và có lịch sử phát triển gần một thế kỷ qua (xem Bảng 9).

Bảng 9: Lịch sử các khuyến cáo về liều tương đương giới hạn đối với nhân viên làm việc với bức xạ

Suất liều	Thời gian khuyến cáo	Chú thích
10% của liều tạo vết ban đỏ trên người	1925	Do A. Mutscheller và R. M. Sievert đưa ra. Đề suất này tương ứng với liều chiếu 30R/y từ 200KV X-ray hoặc 70R/y từ 200KV X-ray và sau đó được ICRP giới thiệu
0,2R/day hoặc 1R cho một tuần làm việc	1939	Do ICRP
150mSv/y (15rem/y) hoặc ~ 3mSv/week (0,3rem/week)	1950	Do ICRP
50mSv/y (5rem/y) hoặc ~ 1mSv/week (0,1rem/week)	1956	Do ICRP
50mSv (5rem)/y	1977	Do ICRP
20mSv (2rem)/y	1991	Do ICRP
	3/1996	Do IAEA
	8/1998	Nghị định của Chính phủ nước Cộng hoà xã hội chủ nghĩa Việt Nam
	3/2000	Do EU

1.3. Liều tương đương giới hạn cho nhân viên làm việc trong môi trường bức xạ

Bảng 10: Trọng số mô của cơ thể người

Mô T	Trọng số mô w_T
Sinh dục	0,25
Vú	0,15
Tủy xương đỏ	0,12
Phổi	0,12
Tuyến giáp	0,12
Bề mặt xương	0,03
Các cơ quan khác	0,30

Để hạn chế các hiệu ứng ngẫu nhiên, liều tương đương giới hạn hàng năm cho trường hợp chiếu đều toàn thân khuyến cáo hiện nay là 20mSv.

Đối với phép chiếu toàn thân không đồng đều, có thể áp dụng các trọng số mô khác nhau đối với các cơ quan riêng biệt. Các trọng số này phản ánh các tác động có hại khác nhau của bức xạ đối với từng cơ quan và tổng các trọng số đối với toàn thân là bằng 1,0. Khi đó tổng liều được phép hành năm của cơ thể gọi là liều tương đương hiệu dụng D_{eff} , được xác định bằng công thức:

$$D_{eff} = \sum_T w_T D_T \leq 20 \text{ mSv} \quad (84)$$

trong đó, D_T là liều tương đương hàng năm đối với mô T.

Bảng 10 giới thiệu trọng số mô w_T đối với các bộ phận trong cơ thể.

Năm 1985, ICRP khuyến cáo liều tương đương hiệu dụng hàng năm đối với dân cư là 1mSv. Tuy nhiên, có thể cho phép liều bổ sung giới hạn hàng năm có thể tới 5mSv trong vòng vài năm nhưng phải đảm bảo trong thời gian đó liều tương đương hiệu dụng trung bình một năm không quá 1mSv.

2. Những điều khoản cơ bản của Pháp lệnh và Nghị định An toàn và kiểm soát bức xạ của nước Cộng hoà xã hội chủ nghĩa Việt Nam

Việt Nam là một trong những nước sớm sử dụng bức xạ ion hoá vào mục đích hoà bình. Những chất phóng xạ đầu tiên do phòng thí nghiệm của bà Marie Curie đã được đưa vào Việt Nam để điều trị ung thư từ năm 1923.

Pháp lệnh An toàn và kiểm soát bức xạ số 50L/CTN 1996 được Uỷ ban Thường vụ Quốc hội nước Cộng hoà xã hội chủ nghĩa Việt Nam thông qua ngày 25 tháng 06 năm 1996.

Ngày 16 tháng 07 năm 1998 Chính phủ nước Cộng hoà xã hội chủ nghĩa Việt Nam ra Nghị định của Chính phủ số 50/1998/NĐ - CP, quy định chi tiết việc thi hành Pháp lệnh An toàn và kiểm soát bức xạ gồm 7 chương với 49 điều.

Trong Nghị định này, các vấn đề về an toàn bức xạ sau đây đã được đề cập (các chương của Nghị định):

1) Những quy định chung

- 2) Trách nhiệm bảo đảm an toàn bức xạ
- 3) Trách nhiệm giải quyết sự cố bức xạ
- 4) Khai báo, cấp giấy đăng ký, cấp giấy phép
- 5) Trách nhiệm quản lý nhà nước về an toàn và kiểm soát bức xạ
- 6) Thanh tra và xử lý vi phạm
- 7) Điều khoản thi hành Nghị định.

Nghị định cũng quy định những khái niệm cụ thể về an toàn bức xạ:

- Nhiễm bẩn phóng xạ hay nhiễm xạ được coi là những trường hợp có hoạt độ phóng xạ riêng vượt quá mức 70kBq/kg
- Liều bức xạ hàng năm đối với nhân viên bức xạ là 20mSv, đối với nhân dân là 1mSv. Các giới hạn này bao gồm cả chiếu xạ trong và chiếu xạ ngoài, không kể phơi nhiễm bức xạ tự nhiên.
- Sự cố bức xạ bất thường là sự cố bức xạ mà ở đó chất phóng xạ thoát ra ngoài cơ sở làm cho nhiều người bị chiếu một mức liều xạ cá nhân tới 1mSv.
- Sự cố bức xạ đặc biệt nghiêm trọng không có nguy cơ đáng kể cho bên ngoài cơ sở là sự cố xảy ra khi chất phóng xạ thoát ra ngoài cơ sở làm nhiều người bị chiếu một mức liều xạ cá nhân từ 1 đến 10 mSv.
- Sự cố bức xạ đặc biệt nghiêm trọng có nguy cơ đáng kể cho bên ngoài cơ sở là sự cố bức xạ khi chất phóng xạ thoát ra ngoài cơ sở làm nhiều người bị chiếu một mức liều xạ cá nhân từ 10mSv trở lên. Trong trường hợp này, nhân viên của các cơ sở có thể bị chiếu một liều ở mức tử vong.

Chương VI

SỰ BẢO VỆ CHỐNG BỨC XẠ ION HÓA

1. Sự bảo vệ chống bức xạ gamma

Khi lượng tử gamma đi qua vật chất, một chùm bức xạ rộng được tạo ra bao gồm bức xạ tán xạ và bức xạ không tán xạ.

Cường độ của chùm rộng được mô tả bằng công thức

$$I = I_0 e^{-\mu x} B^E(h\nu, Z, \mu x) \quad (85)$$

trong đó, μ là hệ số suy giảm tuyến tính của chùm hẹp;

B là hệ số chuẩn trực (hay hệ số build up) năng lượng có tính tới đóng góp của bức xạ tán xạ. Đối với chùm hẹp $B = 1$

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (86)$$

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

Do năng lượng không hoàn toàn tỷ lệ với tác động sinh học nên người ta phân biệt hệ số chuẩn trực năng lượng B^E và hệ số chuẩn trực liều lượng B^D .

$$D = D_0 e^{-\mu x} B^D(h\nu, Z, \mu x) \quad (87)$$

Các giá trị số của hệ số chuẩn trực 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 , μx khác nhau. Trong thực tiễn các giá trị B được xác định bằng thực nghiệm.

1.1. Lớp bảo vệ sơ cấp

Hệ số truyền qua và bề dày cản xạ sơ cấp:

Việc bảo vệ cần thiết đòi hỏi phải giảm suất liều tới mức chấp nhận được $7,5 \mu\text{Sv h}^{-1}$, trên cơ sở đó tạo ra vùng kiểm soát ở xung quanh nguồn. Bề dày của vật liệu đối với các tia chiếu trực tiếp từ nguồn phóng xạ gọi là bề dày cản xạ sơ cấp.

Để đánh giá bề dày cần thiết của lớp bảo vệ sơ cấp, cần phải tính hệ số truyền qua T :

$$T = D_1/D_2 = D'_1/D'_2 \quad (88)$$

trong đó: D_1 , D'_1 tương ứng với liều và suất liều khi có lớp bảo vệ;

D_2 , D'_2 tương ứng với liều và suất liều cũng tại vị trí đó khi không có lớp bảo vệ.

Để giảm suất liều tới mức cho phép, hệ số truyền qua có giá trị

$$T = 7,5 \mu\text{Sv h}^{-1}/D'_2 \quad (89)$$

Nếu hệ số truyền qua bằng $1/10$ thì bề dày của lớp bảo vệ sơ cấp tương đương bề dày giá trị $1/10$ (a tenth value thickness TVT). Để bức xạ gamma giảm tới mức $1/100$ lần người ta sử dụng 2TVT , để bức xạ gamma giảm tới mức $1/1000$ lần, người ta sử dụng 3TVT

Lớp bảo vệ sơ cấp tương đương bề dày giá trị $1/2$ (Half value

thickness - HVT) cũng như TVT phụ thuộc vào năng lượng của bức xạ sơ cấp.

Bảng 11 giới thiệu bề dày HVT và TVT của một số vật liệu cản xạ:

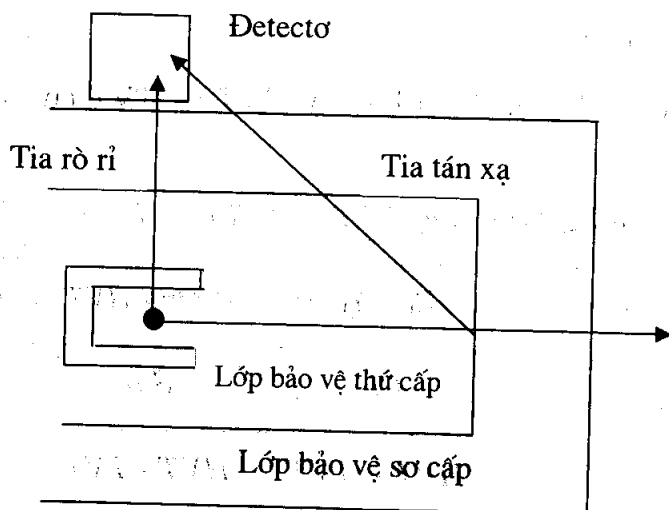
Bảng 11: Bề dày HVT và TVT của chì, sắt và bê tông

Bức xạ	Bề dày tương đương HVT và TVT (cm)					
	Chì		Sắt		Bê tông	
	HVT	TVT	HVT	TVT	HVT	TVT
^{99m}Tc	0,02	-	-	-	-	-
^{131}I	0,72	2,4	-	-	4,7	15,7
^{137}Cs	0,65	2,2	1,6	5,4	4,9	16,3
^{192}Ir	0,55	1,9	1,3	4,3	4,3	14,0
^{60}Co	1,1	4,0	2,0	6,7	6,3	20,3
100KVp tia X	0,026	0,078	-	-	1,65	5,42
200KVp tia X	0,043	0,142	-	-	2,59	8,55

1.2. Lớp bảo vệ thứ cấp

Lớp bảo vệ thứ cấp là lớp cản các tia bức xạ tán xạ từ lớp bảo vệ sơ cấp và các tia rò rỉ từ vỏ nguồn.

Suất liều gây ra do tán xạ phụ thuộc vào năng lượng, bản chất của môi trường và hướng tán xạ. Tuy nhiên đối với các nguồn sơ cấp rộng, phép đánh giá gần đúng tỷ lệ của tia tán xạ cách điểm tán xạ 1m được giới thiệu trong Bảng 12.



Hình 28: Lớp bảo vệ sơ cấp và thứ cấp

Bảng 12: Tỷ lệ tia tán xạ so với tia sơ cấp ở cách điểm tán xạ 1m

Nguồn bức xạ	Độ tán xạ cực đại cách điểm tán xạ 1m
Nguồn tia X công nghiệp (100-300KV)	3,6%
^{192}Ir	2%
^{60}Co	1%

2. Sự bảo vệ chống bức xạ neutron

2.1. Các quá trình tương tác của neutron với vật liệu bảo vệ

Khi tính toán các lớp bảo vệ chống bức xạ neutron, cần chú ý tới các quá trình tương tác sau đây:

- Tán xạ đàn tính: Các neutron có năng lượng trên $0,5\text{MeV}$ bị va chạm đàn tính với hạt nhân nguyên tử của môi trường và sau va chạm năng lượng của chúng giảm đi. Năng lượng mất mát của neutron biến thành động năng của hạt nhân bia. Các hạt nhân nhẹ có khả năng làm cho neutron mất nhiều năng lượng nhất, vì vậy người ta thường sử dụng các vật liệu chứa hydro với hàm lượng cao (chẳng hạn như parafin, nước, bê tông...) để bảo vệ chống bức xạ neutron nhanh.

- Tán xạ không đàn tính: Đối với neutron có năng lượng dưới $0,5\text{MeV}$, quá trình tương tác của chúng với hạt nhân môi trường là quá trình tán xạ không đàn tính. Trong quá trình này neutron truyền năng lượng cho hạt nhân và hạt nhân ở vào trạng thái kích thích. Khi trở về trạng thái cơ bản, hạt nhân phát ra bức xạ gamma. Tán xạ không đàn tính của neutron chủ yếu diễn ra đối với các hạt nhân nặng. Vì vậy đối với vùng năng lượng này, người ta thường sử dụng các chất chứa các nguyên tố có số khối lớn để bảo vệ chống bức xạ neutron.

- Phản ứng bắt neutron: Kết quả của quá trình tán xạ đàn tính và không đàn tính là neutron chuyển động chậm dần và cuối cùng ở vào trạng thái cân bằng nhiệt với môi trường xung quanh. Khi khuếch tán trong lớp bảo vệ, neutron nhiệt có thể thoát ra khỏi giới hạn của môi trường bảo vệ hoặc bị các hạt nhân nguyên tử của vật liệu bảo vệ hấp thụ (phản ứng bắt neutron). Đặc điểm của quá trình bắt neutron là khối số của hạt nhân tăng lên một đơn vị và hạt nhân ở vào trạng thái kích thích. Các hạt nhân bị kích thích khi trở về trạng thái cơ bản có thể phóng ra các hạt mang điện và bức xạ gamma, điều này cần phải được chú ý khi tính toán các lớp bảo vệ. Một trong những phản ứng bắt neutron điển hình sử

dụng trong vật liệu bảo vệ là phản ứng $^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha)^7\text{Li}$. Điểm quan trọng của phản ứng này là tiết diện của phản ứng lớn (3840 barn), sản phẩm phóng xạ chủ yếu của phản ứng là hạt α dễ bị hấp thụ trong vật liệu. Một phản ứng bắt neutron hay gặp là phản ứng $^{58}\text{Fe}(\text{n}, \gamma)^{59}\text{Fe}$ phát ra bức xạ gamma có độ đâm xuyên lớn (1098,6KeV và 1291,5KeV). Do đó vật liệu bảo vệ cần chứa các nguyên tố có số khối lớn để hấp thụ các tia này.

2.2. Tính toán lớp bảo vệ chống bức xạ neutron

Sự suy giảm của chùm neutron nhanh, hẹp, đơn năng diễn ra theo quy luật hàm mũ:

$$J_x = J_0 e^{-\Sigma_t x} \quad (90)$$

trong đó, J_x là mật độ dòng neutron sau lớp bảo vệ có bề dày x cm; J_0 là mật độ dòng neutron khi không có lớp bảo vệ; Σ_t là tiết diện vĩ mô toàn phần của vật liệu bảo vệ. $\Sigma_t = \sigma_t N$ (N là số hạt nhân có trong một cm^3 chất hấp thụ). Đối với lớp bảo vệ có thành phần phức tạp,

$$\Sigma_t = \sigma_1 N_1 + \sigma_2 N_2 + \dots \quad (91)$$

trong đó, $\sigma_1, \sigma_2 \dots$ là tiết diện vĩ mô của các nguyên tố riêng biệt có trong thành phần của lớp bảo vệ; $N_1, N_2 \dots$ là số hạt nhân thành phần trong 1cm^3 chất bảo vệ.

Mật độ dòng neutron từ nguồn điểm đơn năng đẳng hướng sau lớp bảo vệ bề dày x sẽ bằng:

$$J_x = \frac{Q}{4\pi R^2} e^{-\Sigma_t x} \quad (92)$$

trong đó, Q là suất lượng neutron của nguồn, đo bằng n/s ; R là khoảng cách từ nguồn tới điểm đặt detector.

2.3. Mối tương quan giữa thông lượng neutron và suất liều tương đương

Một nhân viên làm việc với bức xạ 40 giờ trong một tuần, một năm làm việc 50 tuần, thì ứng với liều cho phép 20mSv/năm , suất liều tương đương sẽ là: $20\text{mSv}/50 \times 40\text{h} = 10\mu\text{Sv/h}$. Hình 29 giới thiệu thông lượng neutron ϕ_n tương ứng với suất liều tương đương $10\mu\text{Sv/h}$ đối với những vùng năng lượng neutron khác nhau.

Từ đồ thị trên ta thấy, tương ứng với suất liều $10\mu\text{Sv/h}$ thì thông lượng neutron nhanh sẽ là $0,4 \cdot 10^5 \text{n/m}^2\text{s}$, trong khi thông lượng của neutron chậm là $1,2 \cdot 10^6 \text{n/m}^2\text{s}$. Hai giá trị gần đúng này đối với neutron nhanh và neutron chậm rất quan trọng trong việc tính toán suất liều tương đương.

Ví dụ: Hãy tính suất liều tương đương nguồn của $^{241}\text{Am-Be}$ hoạt độ $0,1\text{TBq}$ ở khoảng cách 1m , biết rằng 1TBq của nguồn $^{241}\text{Am-Be}$ cho thông lượng $7 \cdot 10^7 \text{n/s}$.

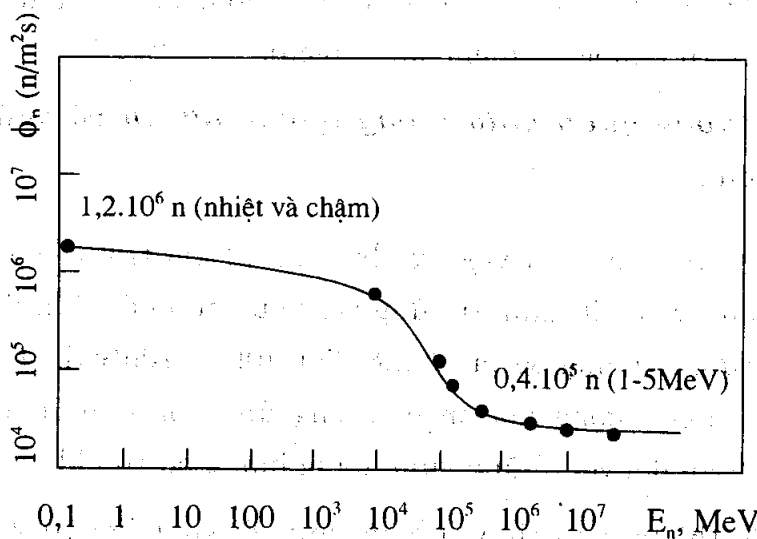
Lời giải:

Thông lượng neutron ở cách nguồn 1m là:

$$\Phi = \frac{0,1 \times 7 \times 10^7 \text{ n/s}}{4\pi \times 1^2} = 5,57 \times 10^5 \text{ n/s}$$

Suất liều tương đương ở khoảng cách 1m là:

$$D' = \frac{5,57 \times 10^5 \text{ n/s} \times 10 \mu\text{Sv/h}}{0,4 \times 10^5 \text{ n/s}} = 139,25 \mu\text{Sv/h}$$



Hình 29: Mối tương quan giữa thông lượng neutron tương ứng với suất liều tương đương $10 \mu Sv/h$ ở các vùng năng lượng khác nhau (theo số liệu của ICRP)

3. Bảo vệ bức xạ theo khoảng cách

Bức xạ ion hoá trong không khí truyền theo đường thẳng. Trong trường hợp như vậy suất liều giảm tỷ lệ với bình phương khoảng cách tính từ nguồn.

Ví dụ: Nếu suất liều ở 1m là $800 \mu Sv h^{-1}$, thì suất liều ở 2m là $200 \mu Sv h^{-1}$ và suất liều ở 10m là $8 \mu Sv h^{-1}$.

Tuy nhiên, sự hấp thụ tia gamma trong không khí phụ thuộc vào năng lượng của tia gamma. Đối với những nguồn có năng lượng khác nhau, suất liều D' được xác định bằng công thức:

$$\text{Suất liều } D' = \text{Hệ số gamma (F)} \times \text{Hoạt độ nguồn (A)} / (\text{Khoảng cách } d), \quad (93)$$

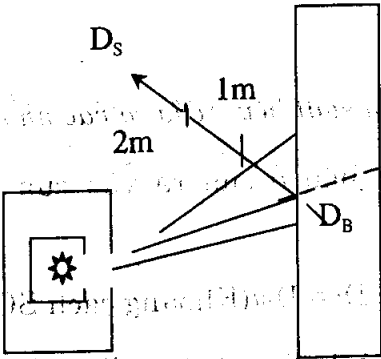
trong đó, hệ số gamma là suất liều hấp thụ tính theo $mSv h^{-1}$ ở

khoảng cách 1 m cách nguồn có hoạt độ 1 GBq của đồng vị phóng xạ, thứ nguyên của nó là $[mSv \cdot h^{-1} \times m^2/GBq]$; khoảng cách tính theo mét từ nguồn tới điểm quan tâm; hoạt độ của nguồn (A) tính theo GBq.

Bảng 13 giới thiệu giá trị hệ số gamma đối với một số nguồn

Bảng 13: Hệ số gamma của một số nguồn

Nguồn gamma	Hệ số gamma
^{169}Yb	0,0007
^{99m}Tc	0,022
^{170}Tm	0,034
^{137}Cs	0,081
^{192}Ir	0,13
^{60}Co	0,351



Hình 30: Sơ đồ tính toán suất liều của tia tán xạ từ lớp bảo vệ sơ cấp

Ví dụ 1: Tính suất liều của nguồn ^{192}Ir , hoạt độ 400GBq ở khoảng cách 5m

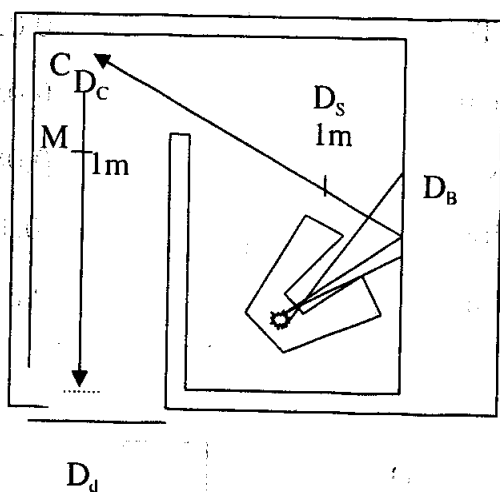
$$D' = F \times A/d^2 = 0,13 \times 400/25 = 2,08\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$$

Ví dụ 2: Tính suất liều của tia tán xạ D_s , nguồn ^{192}Ir , biết suất liều tại điểm tán xạ là D_B (Hình 30)

$$\text{Suất liều ở } 1\text{m } D'_{s1} = 0,02D_B$$

$$\text{Suất liều ở } 2\text{m } D'_{s2} = D_{s1}/4 = 0,005D_B$$

$$\text{Suất liều ở } 3\text{m } D'_{s3} = D_{s1}/9 = 0,0002D_B$$



Hình 31: Sơ đồ tính toán suất liều ở cửa ra vào nhà nguồn gamma

Ví dụ 3: Tính suất liều ở cửa ra vào của nhà nguồn ^{60}Co (Hình 31)

$$\text{Suất liều ở điểm góc } D_c = D_s/(\text{Khoảng cách } SC)^2$$

$$\text{Suất liều ở điểm M cách điểm C } 1\text{m: } D_M = D_c \times 10\%$$

$$D_d = D_M/(\text{khoảng cách } MD)^2$$

4. Bảo vệ bức xạ theo thời gian

Liều bức xạ là đại lượng tỷ lệ với thời gian chiếu trong trường bức xạ. Công việc trong môi trường bức xạ cần được tiến hành một cách nhanh chóng và hiệu quả để giảm liều hấp thụ đối với những người làm việc trong khu vực có nguồn. Mỗi tương quan giữa liều D và thời gian t được xác định bằng công thức:

$$D = D' \cdot t \quad (94)$$

trong đó D' là suất liều.

Ví dụ 1: Suất liều giới hạn hàng năm của nhân viên làm việc với bức xạ là 20mSv/năm. Giả sử một năm có 50 tuần làm việc, khi đó suất liều tính theo tuần là $20\text{mSv}/50\text{tuần} = 0,4\text{mSv}/\text{tuần}$ hay $400\mu\text{Sv}/\text{tuần}$. Hỏi nhân viên đó được phép làm việc một tuần bao nhiêu giờ trong khu vực có suất liều là $50\mu\text{Sv}/\text{h}$?

Lời giải:

$$400\mu\text{Sv} = 50\mu\text{Sv}/\text{h} \times t$$

$$t = \frac{400}{50} \text{ h} = 8 \text{ h}$$

Ví dụ 2: Một nhân viên làm việc với bức xạ 40h trong một tuần trong vùng có phóng xạ. Hỏi suất liều cực đại cho phép là bao nhiêu?

Lời giải: $D = D' \cdot t$

$$D' = \frac{D}{t}$$

$$D' = \frac{400 \mu\text{Sv}}{40 \text{ h}} = 10 \mu\text{Sv}/\text{h}$$

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Martin and S.A Harbison. An Introduction to radiation protection, 3rd edition Chapman and Hall, 1990.
2. B.P. Golubev. Liều lượng học và sự bảo vệ chống bức xạ ion hoá, bản dịch tiếng Việt của Trần Đại Nghiệp và Nguyễn Thành Minh, Nhà xuất bản KH & KT, Hà Nội 1994.
3. K.Z. Morgan and J.E. Turner, esd. Principles of radiation protection.
4. F.H. Attix, W.C. Roesch and Tochilin, esd. Radiation dosimetry, Vol 1, Academic Press, 1967.
5. Basic Safety Standard for radiation protection. Safety series No. 9. IAEA, Vienna, 1982.
6. R. Katz, S.C. Sharma and M.Homayoonfar. The structure of particle track. In: Topics in radiation dosimetry supplement 1, esd. By F.H. Attix. Academic Press, 1972.
7. Tran Dai Nghiep and Kojima. Energy transfer model in dosimetry. Comm. In Phys. Vol. 6, 2, 1996, 5-12.
8. Tran dai Nghiep, Vo Van Thuan and Tran Ngoc Toan. Outlook of LINAC and QA & QC studies for radiotherapy, Proc. Of Int. Conf. On Ionizing Radiation in Medical Application, Ha Noi, April 17-18, 2002, 27-31.

9. Trần Đại Nghiệp. Công nghệ bức xạ. Nhà xuất bản KH & KT, Hà Nội 2002.
10. L.S: Iberstein, Phil. Mag. 6, 44, 1992, 257.
11. G.F. Knoll. Radiation detection and measurement the 2nd Ed., Jonh Wiley & Sons. N.Y. 1989.
12. Pháp lệnh An toàn và kiểm soát bức xạ 50L/CTN, 1996.
13. Nghị định của Chính Phủ nước CHXHCN Việt Nam số 50/1998/ND-CP, 1998.

MỤC LỤC

Chương I: CÁC NGUỒN BỨC XẠ.....	5
1. Tính phóng xạ và năng lượng của bức xạ	5
1.1. Tính phóng xạ	5
1.2. Năng lượng bức xạ	7
2. Các nguồn electron	8
2.1. Phân rã beta.....	8
2.2. Electron biến hoán nội.....	9
2.3. Electron Auger	10
3. Các nguồn hạt nặng mang điện	11
3.1. Phân rã alpha.....	11
3.2. Phân hạch tự phát	13
4. Các nguồn bức xạ điện từ	14
4.1. Nguồn gamma dựa trên quá trình phân rã beta	14
4.2. Nguồn bức xạ huỷ cặp.....	16
4.3. Nguồn gamma phát ra sau phản ứng hạt nhân	17
4.4. Nguồn bức xạ hãm	17
4.5. Nguồn tia X đặc trưng	18
5. Nguồn nơtron.....	19
5.1. Nguồn nơtron phân hạch tự phát.....	19
5.2. Nguồn nơtron dựa trên phản ứng (α,n)	20

5.3. Nguồn quang neutron	21
5.4. Nguồn của máy gia tốc	21
Chương II: CÁC ĐƠN VỊ ĐO LIỀU BỨC XẠ	23
1. Sự hấp thụ năng lượng	23
2. Hiện tượng ion hoá	24
3. Liều hấp thụ bức xạ	24
4. Liều tương đương	25
5. Suất liều hấp thụ	26
6. Liều lượng chiếu xạ	27
7. Thông lượng bức xạ	29
8. Kerma (Kinetic energy released in material) và suất Kerma	29
9. Mối tương quan giữa các đơn vị	30
10. Mối tương quan giữa liều hấp thụ bức xạ gamma trong nước (D_{H_2O}) và trong không khí (D_{KK})	30
Chương III: TƯƠNG TÁC CỦA BỨC XẠ VỚI VẬT CHẤT	32
1. Các quá trình tương tác chủ yếu của bức xạ với vật chất	32
1.1. Đặc điểm tương tác của bức xạ với vật chất	32
1.2. Tương tác của hạt nặng mang điện với vật chất	32
1.3. Tương tác của bức xạ beta với vật chất	34
1.4. Tương tác của neutron với vật chất	34
1.5. Tương tác của bức xạ gamma với vật chất	36
2. Các hiệu ứng sinh học của bức xạ	42
2.1. Sinh lý học cơ bản của cơ thể người	42

2.2. Sinh học tế bào	45
2.3. Tương tác của bức xạ với tế bào.....	47
2.4. Hiệu ứng thân thể của bức xạ	52
2.5. Hiệu ứng di truyền của bức xạ	55
3. Các nguồn phóng xạ tự nhiên và nhân tạo.....	56
3.1. Vai trò của các nguồn phóng xạ tự nhiên và nhân tạo ..	56
3.2. Tia Vũ Trụ.....	57
3.3. Nguồn bức xạ từ đất đá.....	58
3.4. Các chất phóng xạ trong cơ thể	58
3.5. Bảng liều đo phong phóng xạ tự nhiên	59
3.6. Các nguồn phóng xạ nhân tạo và tác dụng của chúng ..	59
Chương IV: CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐO LIỀU BỨC XẠ.....	64
1. Hàm đặc trưng liều (Dose-reponse)	64
1.1. Lý thuyết lượng tử	64
1.2. Lý thuyết cấu trúc vết.....	66
1.3. Mô hình truyền năng lượng	68
1.4. Các dẫn xuất của Mô hình truyền năng lượng	70
2. Các phương pháp đo liều	74
2.1. Các nguyên lý chung.....	74
2.2. Phương pháp đo liều dựa trên sự ion hoá chất khí.....	74
2.3. Phương pháp đo liều dựa trên hiện tượng ion hoá và kích thích trong chất rắn.....	79
2.4. Phương pháp đo liều bằng phép chụp ảnh.....	87
2.5. Phương pháp đo liều dựa trên phản ứng kích hoạt neutron	88

Chương V: MỘT SỐ LUẬT LỆ VỀ AN TOÀN BỨC XẠ.....	90
1. Hệ thống liều giới hạn	90
1.1. Vai trò của Ủy ban Quốc tế về Bảo vệ Bức xạ.....	90
1.2. Lịch sử các khuyến cáo về giới hạn của liều tương đương đối với nhân viên làm việc với bức xạ.....	90
1.3. Liều tương đương giới hạn cho nhân viên làm việc trong môi trường bức xạ	92
2. Những điều khoản cơ bản của Pháp lệnh và Nghị định An toàn và kiểm soát bức xạ của nước Cộng hoà xã hội chủ nghĩa Việt Nam	98
Chương VI: SỰ BẢO VỆ CHỐNG BỨC XẠ ION HÓA.....	95
1. Sự bảo vệ chống bức xạ gamma	95
1.1. Lớp bảo vệ sơ cấp.....	96
1.2. Lớp bảo vệ thứ cấp	97
2. Sự bảo vệ chống bức xạ nơtron.....	98
2.1. Các quá trình tương tác của nơtron với vật liệu bảo vệ. 98	
2.2. Tính toán lớp bảo vệ chống bức xạ nơtron.....	100
2.3. Mối tương quan giữa thông lượng nơtron và suất liều tương đương.....	101
3. Bảo vệ bức xạ theo khoảng cách.....	102
4. Bảo vệ bức xạ theo thời gian.....	105
Tài liệu tham khảo.....	106

Đã được đăng ký tại Cục Đăng ký Bản quyền và Thiết kế Công nghiệp và Thương mại, Hà Nội, ngày 17-7-2003. In xong và nộp lưu chiểu tháng 12 năm 2003.

Trần Đại Nghiệp

AN TOÀN BỨC XẠ

Chịu trách nhiệm xuất bản : PGS, TS Tô Đăng Hải

Biên tập : Thanh Trung

Sửa bài : Thanh Trung

Vẽ bìa : Hương Lan

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

70 Trần Hưng Đạo – Hà Nội

In 1000 cuốn, khổ 16 x 24cm, tại Công ty in Tổng hợp Hà Nội. Giấy phép xuất bản số: 792-10, cấp ngày 17-7-2002. In xong và nộp lưu chiểu tháng 12 năm 2002.