

Tổng quan về Tia X (Tia Rơn-ghen)

Tia X, hay còn gọi là tia Rơn-ghen, được nhà vật lý người Đức Wilhelm Conrad Röntgen phát hiện vào năm 1895. Đây là một khám phá vĩ đại, mở ra một kỷ nguyên mới cho cả vật lý và y học. Việc hiểu rõ bản chất và các tính chất của tia X là nền tảng quan trọng để ứng dụng chúng một cách hiệu quả và an toàn trong đời sống và khoa học kỹ thuật.

1. Bản chất của tia X

Về bản chất, tia X là một dạng của sóng điện từ. Sóng điện từ là sự lan truyền trong không gian của điện từ trường biến thiên tuần hoàn theo thời gian.

- **Bản chất:** Tia X là sóng điện từ, không mang điện tích.
- **Bước sóng:** Tia X có bước sóng rất ngắn, nằm trong khoảng từ 10^{-11} m đến 10^{-8} m. Bước sóng này ngắn hơn bước sóng của tia tử ngoại và dài hơn bước sóng của tia gamma.
- **Năng lượng:** Do có bước sóng ngắn và tần số cao, tia X mang năng lượng rất lớn. Mối liên hệ giữa năng lượng (E), tần số (f) và bước sóng (λ) được thể hiện qua công thức Planck: **$E = h.f = h.c/\lambda$** , trong đó h là hằng số Planck và c là tốc độ ánh sáng trong chân không.

Ví dụ 1: Một tia X có bước sóng $\lambda = 0.1$ nm (10^{-10} m). Năng lượng của photon tia X này sẽ là $E = (6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s} * 3 \times 10^8 \text{ m/s}) / 10^{-10} \text{ m} \approx 1.9875 \times 10^{-15} \text{ J}$, tương đương khoảng 12.4 keV. Năng lượng này lớn hơn rất nhiều so với năng

lượng của photon ánh sáng nhìn thấy (chỉ khoảng vài eV).

Ví dụ 2: So sánh với tia tử ngoại có bước sóng $\lambda = 100 \text{ nm}$ (10^{-7} m), tia X có bước sóng ngắn hơn 1000 lần, do đó năng lượng của nó cũng lớn hơn 1000 lần. Điều này giải thích tại sao tia X có những tính chất mạnh mẽ mà tia tử ngoại không có.

2. Thang sóng điện từ

Thang sóng điện từ là một phổ liên tục của tất cả các loại sóng điện từ, được sắp xếp theo thứ tự bước sóng tăng dần (hoặc tần số giảm dần). Tia X chiếm một vị trí quan trọng trong thang sóng này, nằm giữa tia tử ngoại và tia gamma.

Loại sóng	Bước sóng (λ)	Tần số (f)	Năng lượng Photon (E)
Sóng vô tuyến	$> 1\text{ m}$	300 MHz	Rất thấp
Vi sóng	1 mm - 1 m	300 MHz - 300 GHz	Thấp
Tia hồng ngoại	760 nm - 1 mm	300 GHz - 400 THz	Trung bình thấp
Ánh sáng nhìn thấy	380 nm - 760 nm	400 THz - 790 THz	Trung bình
Tia tử ngoại (UV)	10 nm - 380 nm	790 THz - 30 PHz	Cao
Tia X (Rơn-ghen)	0.01 nm - 10 nm ($10^{-11}\text{ m} - 10^{-8}\text{ m}$)	30 PHz - 30 EHz	Rất cao
Tia gamma (γ)	0.01 nm (10^{-11} m)	$> 30\text{ EHz}$	Cực kỳ cao

Việc sắp xếp này cho thấy rõ mối quan hệ: bước sóng càng ngắn, tần số và năng lượng càng cao, và các tính chất của sóng điện từ càng thể hiện rõ tính hạt (lượng tử).

3. Các tính chất nổi bật của tia X

Do mang năng lượng lớn, tia X có nhiều tính chất đặc trưng mà các sóng điện từ có bước sóng dài hơn không có.

1. Khả năng đâm xuyên mạnh

Đây là tính chất nổi bật và được ứng dụng rộng rãi nhất của tia X. Tia X có thể đi xuyên qua các vật cản thông thường như giấy, gỗ, vải, và các mô mềm. Khả năng đâm xuyên phụ thuộc vào năng lượng của tia X (bước sóng càng ngắn, đâm xuyên càng mạnh) và mật độ vật chất của vật cản (vật chất có mật độ càng lớn, nguyên tử khối càng lớn thì tia X càng khó xuyên qua).

Công thức liên quan: Sự suy giảm cường độ của chùm tia X khi đi qua vật chất tuân theo quy luật: $I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$, trong đó I_0 là cường độ ban đầu, I là cường độ sau khi đi qua lớp vật chất dày x , và μ là hệ số suy giảm tuyến tính phụ thuộc vào bản chất của vật liệu và năng lượng của tia X.

Ví dụ 1 (Y tế): Khi chụp X-quang, tia X dễ dàng xuyên qua các mô mềm (cơ, mỡ) nhưng bị cản lại nhiều hơn bởi xương (chứa canxi, có nguyên tử khối lớn). Sự khác biệt về độ hấp thụ này tạo ra hình ảnh tương phản trên phim, giúp bác sĩ thấy rõ cấu trúc xương và phát hiện các tổn thương như gãy xương.

Ví dụ 2 (Công nghiệp): Trong kiểm tra an ninh tại sân bay, máy quét hành lý sử dụng tia X để "nhìn" xuyên qua vali, phát hiện các vật kim loại, vũ khí hoặc các vật cấm khác mà không cần mở hành lý.

2. Tác dụng lên phim ảnh

Tia X có khả năng làm đen phim ảnh, tương tự như ánh sáng nhìn thấy nhưng mạnh hơn nhiều. Khi tia X chiếu vào tấm phim có tráng lớp nhũ tương bạc halogenua (ví dụ AgBr), nó sẽ gây ra phản ứng hóa học, tạo ra hình ảnh ẩn. Sau quá trình rửa phim, những vùng bị tia X chiếu vào nhiều sẽ đen hơn.

Ví dụ 1 (Chụp X-quang y tế): Tấm phim đặt sau cơ thể bệnh nhân sẽ ghi lại hình ảnh. Vùng phim sau xương (nơi tia X bị cản nhiều) sẽ nhận được ít tia X hơn nên có màu trắng sáng, trong khi vùng phim sau mô mềm (nơi tia X đi qua dễ dàng) sẽ nhận nhiều tia X hơn và có màu đen.

Ví dụ 2 (Nghiên cứu tinh thể): Trong tinh thể học tia X, người ta chiếu một chùm tia X qua một tinh thể. Các nguyên tử trong tinh thể sẽ làm nhiễu xạ tia X theo các hướng nhất định. Các tia nhiễu xạ này được ghi lại trên phim ảnh, tạo ra một "vân nhiễu xạ" đặc trưng, từ đó các nhà khoa học có thể xác định cấu trúc nguyên tử của tinh thể đó.

3. Làm ion hóa không khí và các chất khí

Với năng lượng rất lớn, photon tia X khi tương tác với các nguyên tử, phân tử khí có thể làm bật electron ra khỏi chúng, biến các nguyên tử/phân tử trung hòa về điện thành các ion (một ion dương và một electron tự do). Quá trình này gọi là sự ion hóa. Không khí bị ion hóa sẽ trở nên dẫn điện.

Ví dụ 1: Đặt một tĩnh điện kế đã tích điện trong không khí. Nếu chiếu tia X vào vùng không khí xung quanh, tĩnh điện kế sẽ mất điện tích nhanh chóng do không khí đã bị ion hóa và trở nên dẫn điện, làm trung hòa điện tích trên tĩnh điện kế.

Ví dụ 2: Các máy đo liều lượng phóng xạ (như ống đếm Geiger-Müller) hoạt động dựa trên nguyên tắc này. Khi tia X đi vào ống đếm, nó ion hóa chất khí bên trong, tạo ra các cặp ion-electron. Dưới tác dụng của điện trường mạnh trong ống, các hạt mang điện này di chuyển, tạo thành một xung dòng điện nhỏ có thể đo được.

4. Tác dụng sinh lí

Tia X có tác dụng sinh lí mạnh, có thể hủy diệt tế bào sống. Khi chiếu vào cơ thể, tia X có thể gây ion hóa các phân tử trong tế bào, đặc biệt là phân tử nước, tạo ra các gốc tự do có hoạt tính hóa học cao. Các gốc tự do này có thể làm tổn thương các cấu trúc quan trọng của tế bào như màng tế bào, protein và đặc biệt là ADN, gây ra đột biến gen hoặc làm chết tế bào.

Ví dụ 1 (Ứng dụng chữa bệnh): Trong xạ trị ung thư, người ta chiếu chùm tia X năng lượng cao một cách tập trung vào khối u. Tia X sẽ tiêu diệt các tế bào ung thư (vốn nhạy cảm với bức xạ hơn tế bào lành) hoặc làm chúng không thể phân chia, từ đó giúp kiểm soát hoặc loại bỏ khối u.

Ví dụ 2 (Tác hại): Việc tiếp xúc với tia X liều cao hoặc lặp đi lặp lại mà không có biện pháp bảo vệ có thể gây hại cho cơ thể, như gây bỏng da, rụng tóc, suy tủy, đục thủy tinh thể, tăng nguy cơ ung thư và gây dị tật cho thai nhi. Vì

vậy, nhân viên y tế làm việc trong phòng X-quang phải mặc áo chì và tuân thủ nghiêm ngặt các quy định an toàn bức xạ.

5. Gây ra hiện tượng quang điện

Tia X có thể gây ra hiện tượng quang điện ở hầu hết các chất, kể cả kim loại, phi kim, chất lỏng và chất khí. Năng lượng của photon tia X ($h.f$) rất lớn, lớn hơn nhiều so với công thoát (A) của electron khỏi nguyên tử. Do đó, khi chiếu tia X vào một vật, nó dễ dàng làm bật các electron ra khỏi bề mặt vật đó.

Công thức Einstein về hiện tượng quang điện: $h.f = A + W_{\text{đmax}}$, trong đó $W_{\text{đmax}}$ là động năng ban đầu cực đại của quang electron. Vì $h.f$ của tia X rất lớn, $W_{\text{đmax}}$ cũng rất lớn.

Ví dụ 1: Các tấm cảm biến trong máy chụp X-quang kỹ thuật số hoạt động dựa trên hiệu ứng quang điện. Khi tia X đập vào vật liệu bán dẫn trong cảm biến, nó tạo ra các cặp electron-lỗ trống, sinh ra một tín hiệu điện. Cường độ tín hiệu này tỉ lệ với cường độ tia X, từ đó tái tạo lại hình ảnh.

Ví dụ 2: Phép phân tích phổ quang điện tử tia X (XPS) là một kỹ thuật phân tích bề mặt vật liệu. Người ta chiếu tia X vào mẫu vật, làm bật ra các electron. Bằng cách đo năng lượng của các electron này, ta có thể xác định được thành phần nguyên tố và trạng thái hóa học của bề mặt vật liệu.

6. Không bị lệch trong điện trường và từ trường

Vì tia X là sóng điện từ, không mang điện tích, nên chúng không chịu tác dụng của lực điện (lực Lorentz) khi di chuyển trong điện trường hoặc từ trường. Tính chất này giúp phân biệt tia X với các chùm hạt mang điện như chùm electron (tia catot) hay tia alpha, beta.

Ví dụ: Nếu cho một chùm tia catot (dòng electron) đi vào giữa hai bản tụ điện tích điện trái dấu, chùm tia sẽ bị lệch về phía bản dương. Ngược lại, nếu cho một chùm tia X đi qua, nó sẽ truyền thẳng mà không bị lệch quỹ đạo.