

Tổng hợp kiến thức: Hiện tượng Quang - Phát quang

Hiện tượng quang - phát quang là một chủ đề quan trọng trong chương "Lượng tử ánh sáng" của Vật lí lớp 12. Tài liệu này sẽ hệ thống hóa toàn bộ kiến thức từ cơ bản đến nâng cao, giúp học sinh nắm vững khái niệm, đặc điểm và ứng dụng của hiện tượng này.

1. Hiện tượng quang - phát quang là gì?

a. Định nghĩa

Hiện tượng quang - phát quang là hiện tượng một số chất có khả năng hấp thụ ánh sáng có bước sóng này để phát ra ánh sáng có bước sóng khác. Ánh sáng do chất đó phát ra được gọi là ánh sáng phát quang.

Đặc điểm quan trọng của hiện tượng này là sự phát sáng xảy ra ở nhiệt độ thường, nên còn được gọi là "ánh sáng lạnh", phân biệt với sự phát sáng do nung nóng (phát quang nhiệt).

b. Cơ chế của hiện tượng quang - phát quang

Cơ chế này được giải thích dựa trên thuyết lượng tử ánh sáng:

- Hấp thụ năng lượng:** Mỗi nguyên tử, phân tử của chất phát quang hấp thụ hoàn toàn một photon của ánh sáng kích thích có năng lượng $\epsilon = hf$. Năng lượng này làm cho nguyên tử, phân tử chuyển từ trạng thái cơ bản lên trạng

thái kích thích cao hơn.

2. **Mất mát năng lượng không bức xạ:** Trong khi ở trạng thái kích thích (thời gian sống rất ngắn, khoảng $10^{-8}s$), nguyên tử/phân tử va chạm với các nguyên tử/phân tử khác và mất đi một phần năng lượng dưới dạng nhiệt.
3. **Bức xạ năng lượng (phát quang):** Sau đó, nguyên tử/phân tử chuyển từ trạng thái kích thích về trạng thái có năng lượng thấp hơn (hoặc trạng thái cơ bản) và phát ra một photon của ánh sáng phát quang có năng lượng $\epsilon' = hf'$.

Vì có sự mất mát năng lượng trong quá trình trung gian, năng lượng của photon phát ra luôn nhỏ hơn năng lượng của photon kích thích ($\epsilon' < \epsilon$).

2. Phân loại hiện tượng quang - phát quang

Dựa vào thời gian kéo dài của sự phát quang sau khi tắt ánh sáng kích thích, người ta chia hiện tượng quang - phát quang thành hai loại: huỳnh quang và lân quang.

Đặc điểm	Huỳnh quang	Lân quang
Định nghĩa	Là sự phát quang có thời gian phát quang rất ngắn (dưới $10^{-8}s$). Ánh sáng phát quang tắt gần như tức khắc sau khi tắt ánh sáng kích thích.	Là sự phát quang có thời gian phát quang kéo dài (từ $10^{-8}s$ trở lên, có thể vài giây, vài phút hoặc hàng giờ). Ánh sáng phát quang còn kéo dài một thời gian sau khi tắt ánh sáng kích thích.
Thời gian phát quang	Rất ngắn ($< 10^{-8} s$).	Kéo dài ($\geq 10^{-8} s$).
Cơ chế	Sự chuyển mức năng lượng diễn ra trực tiếp từ trạng thái kích thích về trạng thái cơ bản. Quá trình này không có trạng thái trung gian bền.	Sau khi lên trạng thái kích thích, nguyên tử/phân tử chuyển về một "trạng thái giả bền" (metastable state). Nguyên tử bị "giữ" lại ở trạng thái này một thời gian rồi mới chuyển về trạng thái cơ bản và phát ra photon. Thời gian bị giữ lại này chính là nguyên nhân gây ra sự kéo dài của sự phát quang.

Đặc điểm	Huỳnh quang	Lân quang
Chất phát quang	Thường xảy ra với chất lỏng và chất khí.	Thường xảy ra với chất rắn.
Ví dụ minh họa	- Dung dịch Fluorescein dưới ánh sáng tử ngoại sẽ phát ra ánh sáng màu lục. Khi tắt đèn tử ngoại, sự phát sáng cũng tắt ngay. - Ánh sáng phát ra từ đèn ống huỳnh quang (đèn compact, đèn tuýp).	- Các chất sơn trên biển báo giao thông, cọc tiêu, kim đồng hồ dạ quang. Chúng hấp thụ ánh sáng ban ngày và phát sáng trong đêm. - Đồ chơi trẻ em (sao, hình dán) phát sáng trong bóng tối.

3. Đặc điểm của ánh sáng huỳnh quang (Định luật Stokes)

a. Nội dung định luật Stokes (Xtốc) về sự phát quang

Định luật này mô tả mối quan hệ giữa bước sóng của ánh sáng kích thích và ánh sáng phát quang.

Phát biểu: Ánh sáng phát quang luôn có bước sóng dài hơn bước sóng của ánh sáng kích thích.

Công thức: $\lambda' > \lambda$ hoặc $\lambda_{pq} > \lambda_{kt}$

Giải thích: Theo thuyết lượng tử, năng lượng của photon được tính bằng công thức $\varepsilon = hc/\lambda$. Như đã giải thích ở phần cơ chế, do có sự mất mát năng lượng trong quá trình chuyển từ trạng thái kích thích về trạng thái cơ bản, nên năng lượng của photon phát quang (ε') luôn nhỏ hơn năng lượng của photon kích thích (ε).

$$\varepsilon' < \varepsilon \Leftrightarrow hc/\lambda' < hc/\lambda \Leftrightarrow 1/\lambda' < 1/\lambda \Leftrightarrow \lambda' > \lambda$$

Điều này có nghĩa là bước sóng của ánh sáng phát quang (λ') luôn lớn hơn bước sóng của ánh sáng kích thích (λ).

b. Ví dụ minh họa định luật Stokes

- **Ví dụ 1:** Chiếu một chùm ánh sáng tử ngoại (không nhìn thấy, bước sóng ngắn, ví dụ $\lambda = 365 \text{ nm}$) vào một dung dịch Fluorescein. Dung dịch này sẽ phát ra ánh sáng màu xanh lục (nhìn thấy được, bước sóng dài hơn, ví dụ $\lambda' = 520 \text{ nm}$). Ta thấy rõ **$520 \text{ nm} > 365 \text{ nm}$** .
- **Ví dụ 2:** Một chất hấp thụ ánh sáng màu chàm ($\lambda \approx 440 \text{ nm}$) và phát ra ánh sáng màu vàng ($\lambda' \approx 580 \text{ nm}$). Điều này tuân thủ định luật Stokes vì **$580 \text{ nm} > 440 \text{ nm}$** .
- **Ví dụ 3 (Trường hợp không xảy ra):** Một chất không thể hấp thụ ánh sáng màu đỏ ($\lambda \approx 700 \text{ nm}$) để phát ra ánh sáng màu tím ($\lambda' \approx 400 \text{ nm}$) vì điều này vi phạm định luật Stokes (bước sóng phát quang nhỏ hơn bước sóng kích thích).

4. Ứng dụng của hiện tượng quang - phát quang

Hiện tượng quang - phát quang có rất nhiều ứng dụng quan trọng trong khoa học, công nghệ và đời sống hàng ngày.

- **Đèn huỳnh quang:** Đây là ứng dụng phổ biến nhất. Bên trong đèn ống có một lớp bột huỳnh quang. Khi có dòng điện chạy qua, nó làm phát ra tia tử ngoại (ánh sáng kích thích). Tia tử ngoại này đập vào lớp bột huỳnh quang, làm lớp bột này phát ra ánh sáng trắng (ánh sáng phát quang) mà chúng ta sử dụng để chiếu sáng. Hiệu suất của đèn huỳnh quang cao hơn nhiều so với đèn sợi đốt.
- **Sơn và mực phát quang:** Sơn lân quang được sử dụng trên các biển báo giao thông, cọc tiêu, vạch kẻ đường để chúng có thể tự phát sáng vào ban đêm, tăng cường an toàn. Mực huỳnh quang được dùng trong bút highlight để làm nổi bật văn bản.
- **Kiểm tra tiền giả, giấy tờ quan trọng:** Trên tiền polymer hoặc các loại giấy tờ an ninh, người ta thường in các sợi hoặc hình ảnh bằng mực phát quang. Khi soi dưới đèn tử ngoại (đèn UV), các chi tiết này sẽ phát sáng, giúp phân biệt thật giả.
- **Trong y học và sinh học:** Các chất huỳnh quang được dùng làm "chất đánh dấu" để theo dõi các quá trình sinh học phức tạp trong tế bào. Kỹ thuật hiển vi huỳnh quang cho phép các nhà khoa học quan sát vị trí và sự di chuyển của các phân tử cụ thể.
- **Màn hình hiển thị:** Các màn hình CRT (màn hình TV, máy tính cũ) hoạt động dựa trên nguyên tắc các chùm electron bắn vào một lớp bột lân quang

trên bề mặt màn hình, làm nó phát sáng tạo ra hình ảnh.

VIDOCU.COM