

## **CHƯƠNG 12**

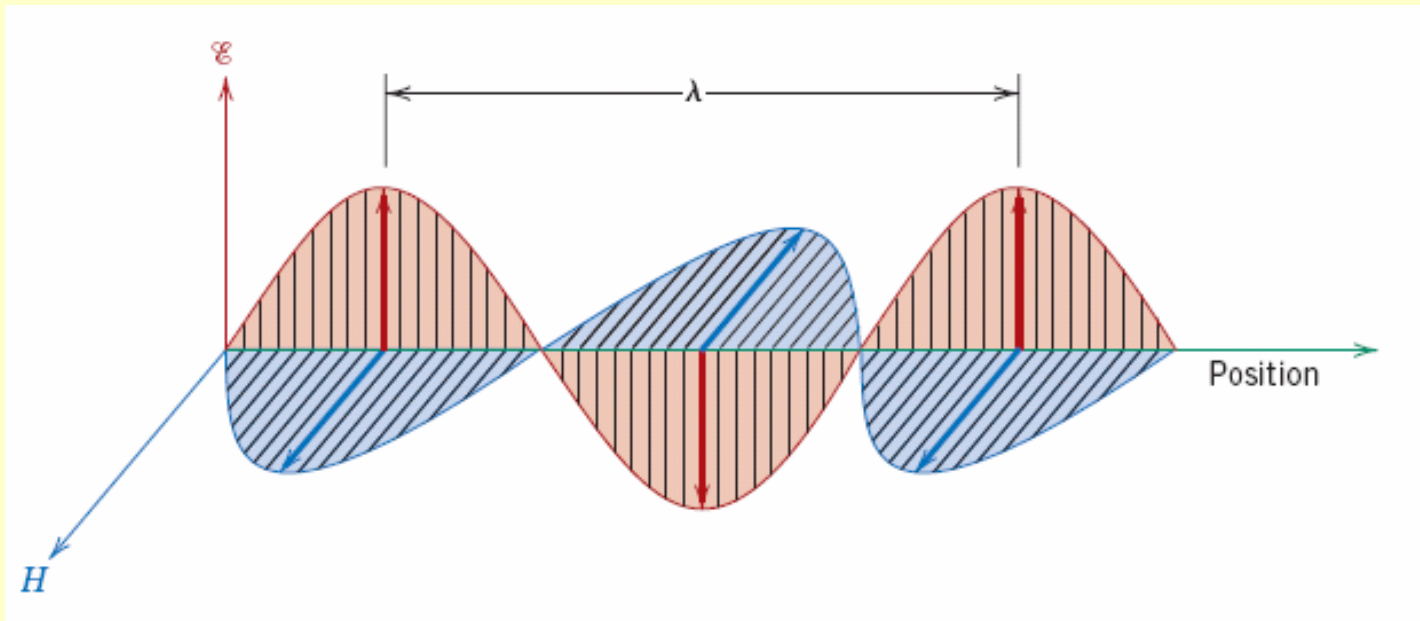
# **TÍNH CHẤT QUANG**

## 12.1 Các khái niệm

- Tính chất quang được hiểu là hành vi của vật liệu đối với tác dụng của bức xạ điện từ và đặc biệt là của ánh sáng thấy được.

### 12.1.1 Bức xạ điện từ

- **Theo quan niệm cổ điển:** Bức xạ điện từ được xem như là sóng gồm hai thành phần điện trường và từ trường vuông góc nhau và cả với phương truyền sóng.
- Ánh sáng, nhiệt, sóng rada, sóng radio, tia X... tất cả đều là các dạng bức xạ điện từ.
- Mỗi dạng bức xạ được đặc trưng bởi một phạm vi bước sóng và kỹ thuật tạo ra nó.



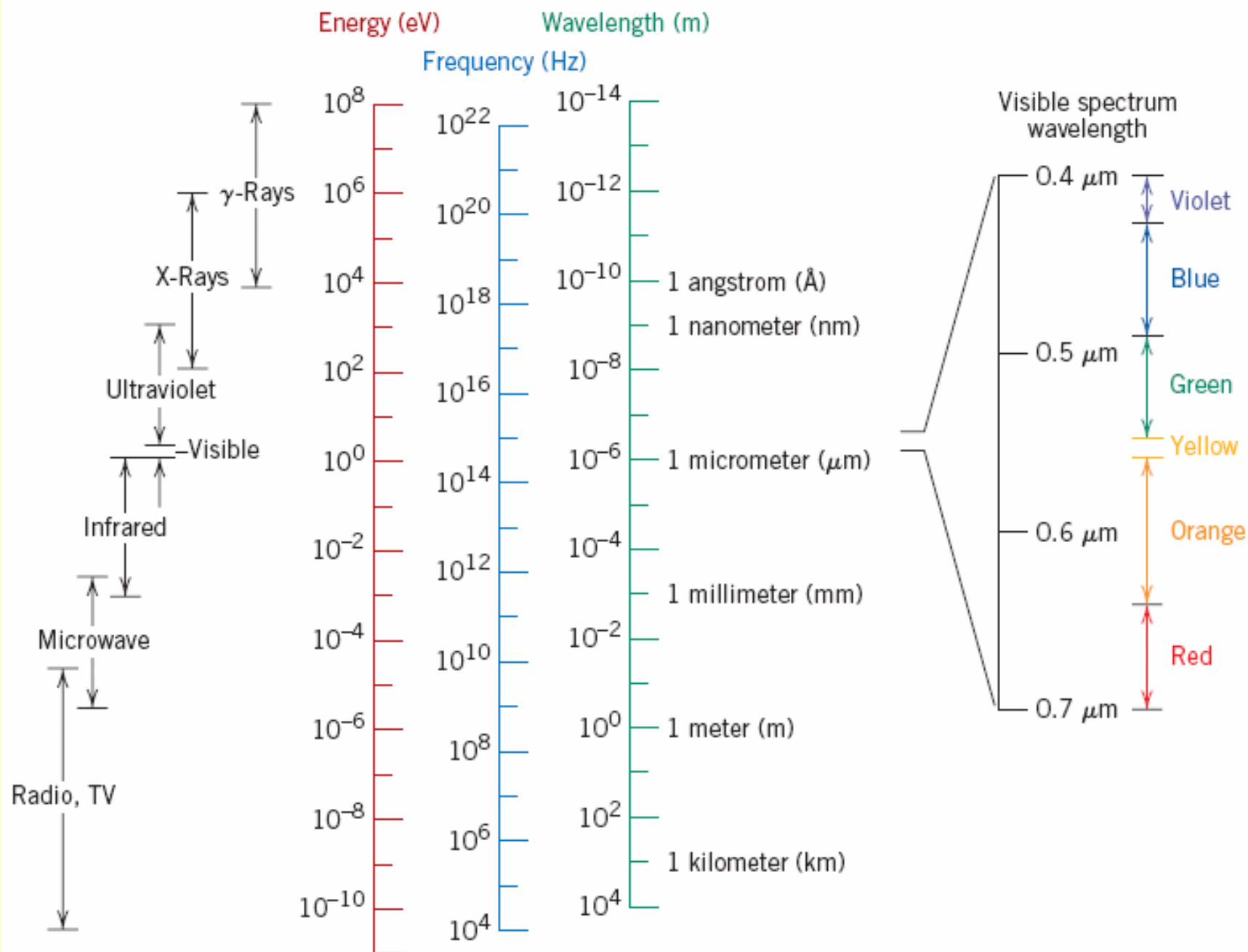
Trong phần này, chủ yếu trình bày các vấn đề có liên quan tới **các bức xạ nhìn thấy**, theo định nghĩa chỉ là những bức xạ mà mắt ta nhạy cảm được.

Tất cả các bức xạ điện từ đều truyền qua chân không với cùng một tốc độ bằng tốc độ ánh sáng ( $c = 3.10^8$  m/s). Tốc độ này liên hệ với hằng số điện môi  $\epsilon_0$  và độ thẩm từ của chân không  $\mu_0$  thông qua hệ thức:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Tần số  $\nu$  và bước sóng  $\lambda$  của bức xạ điện từ đều là hàm số của tốc độ  $c$  theo hệ thức:

$$c = \lambda \nu$$



**- Theo quan niệm cơ học lượng tử:** Bức xạ điện từ không phải là các sóng mà là các gói các nhóm hay các bó năng lượng được gọi là các photon.

**- Năng lượng E của một photon bị lượng tử hoá, tức là chỉ có thể có những giá trị riêng quy định bởi hệ thức:**

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Trong đó:

- h: hằng số Planck, có giá trị  $6,63 \cdot 10^{-34}$  J.s. Như vậy năng lượng photon tỷ lệ với tần số và tỷ lệ nghịch với bước sóng của bức xạ. Năng lượng photon cũng được cho trên phổ điện từ.

**- Khi mô tả hiện tượng quang học liên quan đến tương tác giữa bức xạ và chất thì sự lý giải thường thuận lợi hơn nếu xem xét ánh sáng theo quan điểm photon.**

## 12.1.2 Tương tác ánh sáng với chất rắn

- Khi ánh sáng đi từ **môi trường này sang môi trường khác** thì một số bức xạ ánh sáng có thể được truyền qua môi trường, một số bị hấp thụ và một số bị phản xạ trên bề mặt phân cách giữa hai môi trường.

- Cường độ chùm tia tới bề mặt môi trường bằng tổng cường độ của các chùm sáng truyền qua, hấp thụ và phản xạ:

$$I_o = I_A + I_T + I_R$$

Trong đó:

- A, T, R tương ứng biểu diễn độ truyền qua ( $I_T/I_o$ ), độ hấp thụ ( $I_A/I_o$ ) và độ phản xạ ( $I_R/I_o$ ), tức là những tỷ lệ phần ánh sáng tới được, truyền qua, phản xạ và hấp thụ bởi vật liệu.

- Những vật liệu có khả năng truyền ánh sáng với độ hấp thụ và phản xạ tương đối nhỏ là những **vật trong suốt**.

- Những **vật trong mờ**: là những vật liệu mà khi ánh sáng đi qua chúng sẽ bị tán xạ vào trong vật liệu đến mức mà khi nhìn qua mẫu vật liệu đó thì không thể phân biệt rõ ràng được đối tượng.

- Những vật không cho ánh sáng nhìn thấy truyền qua gọi là **vật đục** <sup>6</sup>

### 12.1.3 Tương tác nguyên tử và điện tử

- Các hiện tượng quang học xảy ra **bên trong vật rắn** đều có liên quan đến những tương tác giữa bức xạ điện từ và nguyên tử, ion và điện tử.
- Hai hiện tượng quan trọng nhất trong những tương tác này là:

Sự phân cực điện tử

Sự chuyển dời năng lượng điện tử

#### Sự phân cực điện tử

- Một trong hai thành phần của sóng điện từ là điện trường biến thiên nhanh. Ở phạm vi tần số thấy được, điện trường này tương tác với đám mây điện tử bao quanh trường nguyên tử và gây ra sự phân cực các điện tử.
- Cứ mỗi lần thành phần điện trường thay đổi hướng là một lần làm lệch đám mây điện tử so với hạt nhân nguyên tử. Điều này dẫn tới
  - Một phần năng lượng bức xạ bị hấp thụ
  - Sóng ánh sáng bị chậm lại khi đi qua môi trường

## Chuyển dời điện tử

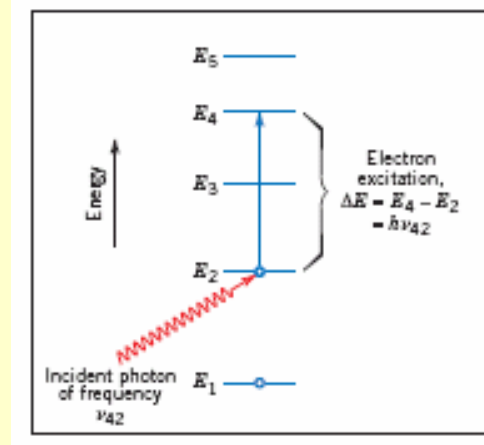
- Sự hấp thụ và bức xạ điện từ có thể gây nên sự chuyển dời các điện tử từ trạng thái năng lượng này sang trạng thái năng lượng khác.

**Một số khái niệm quan trọng cần chú ý:**

→ Các trạng thái của nguyên tử (mức năng lượng) là gián đoạn nên chỉ tồn tại những khoảng cách  $\Delta E$  riêng giữa các mức năng lượng → chỉ những photon nào có tần số tương ứng với những  $\Delta E$  cho phép đó thì mới có thể được hấp thụ bởi các chuyển dời điện tử

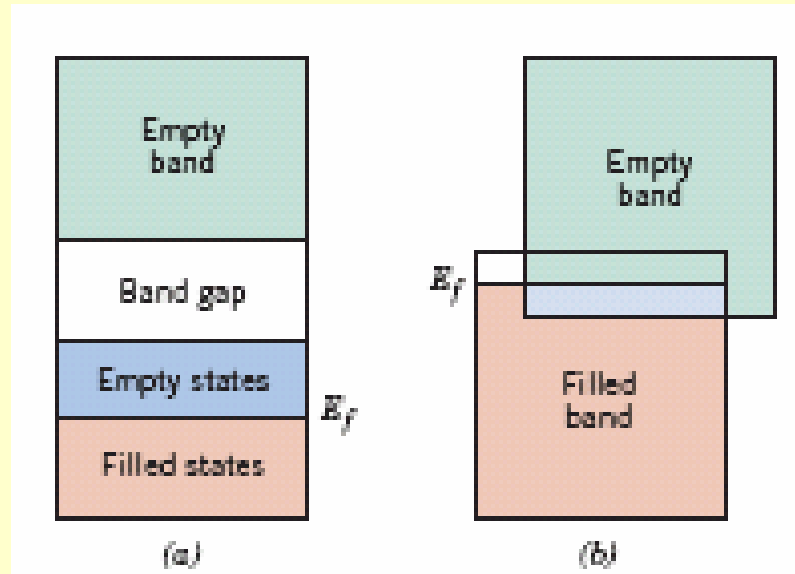
→ Điện tử không thể tồn tại ở trạng thái kích thích → sau một thời gian ngắn, các điện tử ở trạng thái kích thích có xu hướng nhảy trở lại trạng thái cơ bản ban đầu hoặc một mức năng lượng thấp hơn và phát ra bức xạ điện từ.

→ Có thể có nhiều con đường để các điện tử ở trạng thái kích thích chuyển về trạng thái có mức năng lượng thấp hơn nhưng phải luôn bảo đảm sự bảo toàn năng lượng cho các chuyển dời điện tử hấp thụ và phát xạ.





## 12.2 Các tính chất quang học của kim loại



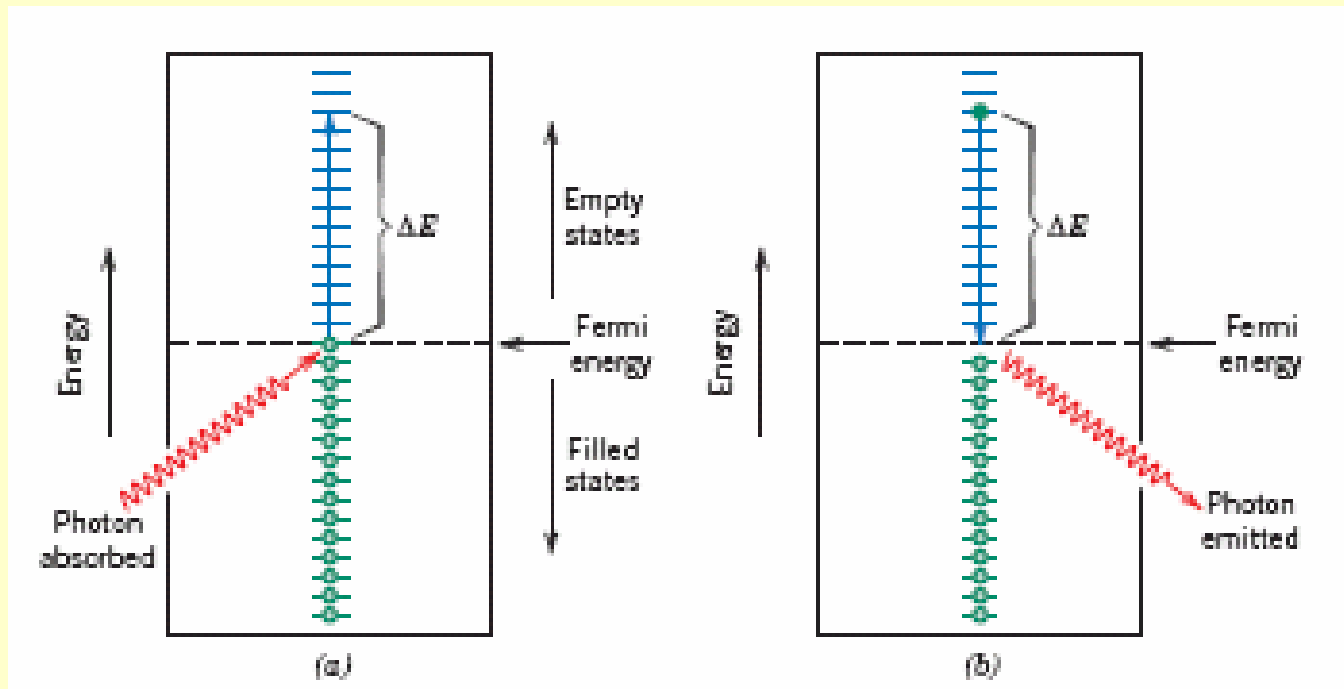
- Xét trường hợp sơ đồ vùng năng lượng điện tử trong kim loại được mô tả như hình trên, trong cả hai trường hợp đều có một vùng năng lượng cao chỉ mới được điền đầy điện tử một phần.

- Bức xạ ánh sáng tới sẽ kích thích các điện tử chuyển lên trạng thái năng lượng chưa bị chiếm nằm trên mức fermi, kết quả là ánh sáng tới bị hấp thụ.

→ Các kim loại là đục

→ Sự hấp thụ hoàn toàn chỉ xảy ra trong một lớp mặt ngoài rất mỏng, thường nhỏ hơn  $0,1 \mu\text{m}$ , do đó chỉ những màng kim loại có bề dày  $\leq 0,1 \mu\text{m}$  mới có khả năng truyền ánh sáng thấy được.

- Kim loại hấp thụ được mọi tần số của ánh sáng nhìn thấy bởi vì liên tục có những trạng thái điện tử còn trống  $\rightarrow$  chúng cho phép các chuyển dời điện tử.
- Trên thực tế, các kim loại đều đục đối với tất cả các bức xạ điện từ ở vùng tần số thấp của phổ: sóng vô tuyến điện, hồng ngoại, ánh sáng nhìn thấy, khoảng giữa của bức xạ tử ngoại.
- Các kim loại đều trong suốt đối với tất cả các bức xạ tần số sao (tia Rontghen, tia gamma)



- Phần lớn bức xạ bị hấp thụ sẽ phát xạ trở lại từ bề mặt dưới dạng ánh sáng nhìn thấy có cùng bước sóng → ta có ánh sáng phản xạ.
- Độ phản xạ của phần lớn các kim loại nằm giữa 0.9 - 0.95.
- Một phần nhỏ năng lượng của quá trình dịch chuyển xuống mức năng lượng thấp của điện tử bị chuyển thành nhiệt.
- Do các kim loại đều đục và phản xạ mạnh nên màu cảm nhận của chúng được xác định bởi phân bố bước sóng của chùm tia phản xạ.

## 12.3 Các tính chất quang học của các vật liệu phi kim loại

- Do cấu trúc vùng năng lượng điện tử, các vật liệu phi kim loại có thể là trong suốt đối với ánh sáng nhìn thấy → ngoài phản xạ, hấp thụ còn cần khảo sát các hiện tượng khúc xạ và truyền qua.

\* **Hiện tượng khúc xạ:** là hiện tượng khi tia sáng truyền tới bề mặt ngoài của các vật liệu trong suốt thì bị giảm tốc độ và kết quả là bị lệch hướng tại mặt giới hạn.

- Chỉ số khúc xạ (chiết suất): là tỷ số giữa tốc độ trong môi trường chân không  $c$  và tốc độ trong môi trường  $v$ .

$$n = \frac{c}{v}$$

- Như vậy độ lớn của  $n$  phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng. Hiệu ứng này được minh họa bằng hiện tượng tán sắc ánh sáng, tức là phân tách một chùm tia sáng trắng thành các tia thành phần khác nhau bằng một lăng kính thủy tinh.

- Chiết suất không chỉ ảnh hưởng tới quang lộ của ánh sáng mà còn ảnh hưởng đến phần ánh sáng bị phản xạ từ bề mặt

- Biểu thức tính tốc độ ánh sáng  $v$  trong một môi trường:  $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$

Trong đó:

→  $\epsilon$ : hằng số điện môi

→  $\mu$ : độ từ thẩm

$$\Rightarrow n = \frac{c}{v} = \frac{\sqrt{\epsilon\mu}}{\sqrt{\epsilon_o\mu_o}} = \sqrt{\epsilon_r\mu_r}$$

Trong đó:

→  $\epsilon_r$ : hằng số điện môi tương đối

→  $\mu_r$ : độ từ thẩm tương đối

Do phần lớn các chất chỉ có từ tính nhẹ →  $\mu_r \approx 1 \Rightarrow n = \sqrt{\epsilon_r}$

Chú ý: Hiện tượng khúc xạ có liên quan tới sự phân cực điện tử ở những tần số tương đối cao của ánh sáng nhìn thấy → thành phần điện tử của hằng số điện môi có thể xác định từ phép đo chiết suất

- Nguyên tử hoặc ion có kích thước càng lớn thì sự phân cực điện tử càng mạnh, tốc độ ánh sáng càng chậm và chiết suất càng lớn.
- Các gốm tinh thể có cấu trúc lập phương và thủy tinh có chiết suất đẳng hướng (không phụ thuộc vào hướng tinh thể).
- Các tinh thể không lập phương lại có chiết suất  $n$  bất đẳng hướng, tức chiết suất lớn nhất dọc theo những hướng có mật độ ion cao nhất.

\* **Hiện tượng phản xạ:** là hiện tượng khi bức xạ ánh sáng đi từ môi trường này sang môi trường khác, một phần ánh sáng bị bức xạ trên mặt phân cách giữa hai môi trường, ngay cả khi hai môi trường đều trong suốt.

- Độ phản xạ  $R$ : biểu thị phần ánh sáng bị phản xạ tại mặt phân cách.

$$R = \frac{I_R}{I_O}$$

Trong đó:

→  $I_R$ : cường độ chùm tia tới

→  $I_O$ : cường độ chùm tia phản xạ

- Nếu ánh sáng tới vuông góc với mặt giới hạn thì:

$$\Rightarrow R = \left[ \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right]^2$$

Trong đó:

→  $n_1$ : chiết suất của môi trường chứa tia tới

→  $n_2$ : chiết suất của môi trường chứa tia phản xạ

- Nếu ánh sáng tới không vuông góc với mặt phân cách thì R sẽ phụ thuộc vào góc tới. Khi ánh sáng được truyền từ chân không hoặc không khí vào một chất rắn s thì:

$$R = \left[ \frac{n_s - 1}{n_s + 1} \right]^2$$

Chú ý:

→ Chiết suất của vật rắn càng cao thì độ phản xạ càng lớn

→ Chiết suất của chất rắn phụ thuộc vào bước sóng của ánh sáng do đó độ phản xạ cũng biến đổi theo bước sóng.

→ Tổn hao phản xạ đối với thấu kính và các dụng cụ quang học khác có thể giảm đáng kể nếu phủ lên bề mặt phản xạ những lớp rất mỏng bằng vật liệu điện môi.

→ Đối với thủy tinh silicate tiêu biểu, độ phản xạ vào khoảng 0,05



## •Hiện tượng hấp thụ:

Về nguyên lý bức xạ ánh sáng bị hấp thụ trong các vật liệu theo 3 cơ chế cơ bản có ảnh hưởng lên các đặc tính truyền qua.

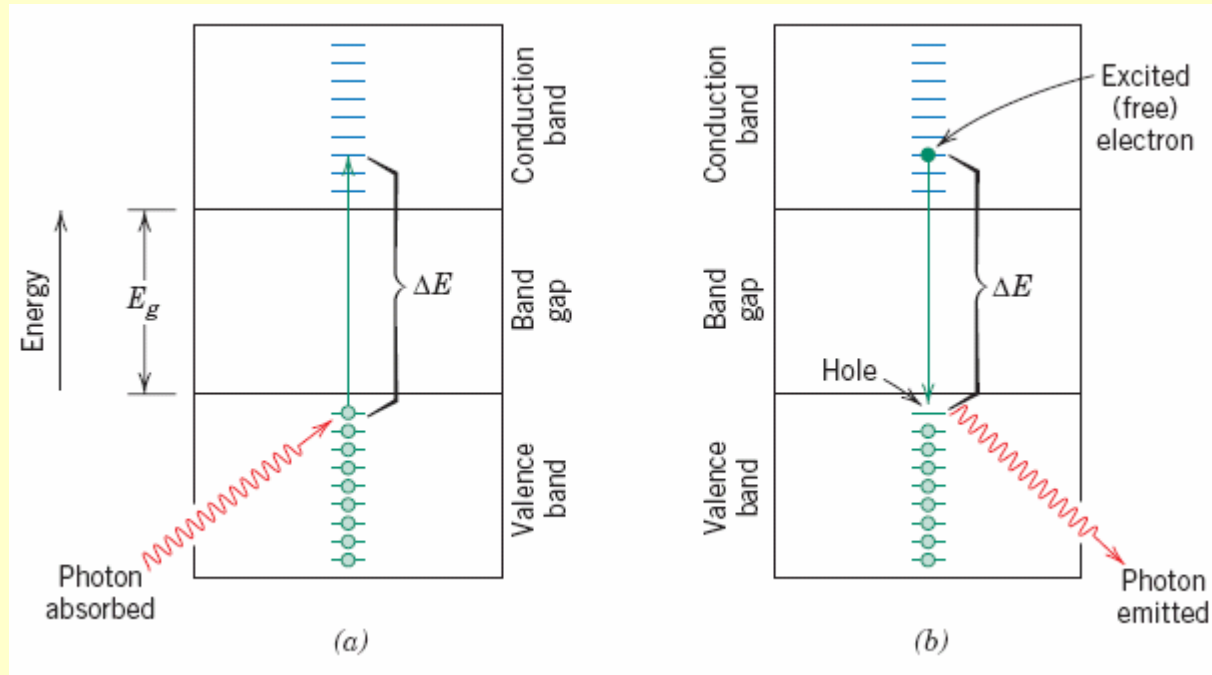
- Sự phân cực điện tử: Sự hấp thụ bởi phân cực điện tử chỉ quan trọng ở những tần số lân cận tần số hồi phục của các nguyên tử cấu thành.

- Hai cơ chế còn lại liên quan với các chuyển dời điện tử, chúng phụ thuộc vào cấu trúc vùng năng lượng điện tử của vật liệu:

  - Cơ chế hấp thụ liên quan tới những kích thích điện tử nhảy vượt qua vùng cấm.

  - Cơ chế hấp thụ liên quan tới các chuyển dời điện tử vào các mức tạp chất hoặc khuyết tật nằm trong vùng cấm.

- Hấp thụ photon ánh sáng có thể xảy ra do kích thích điện tử ở vùng hoá trị  $\rightarrow$  xuất hiện điện tử tự do ở trong vùng dẫn và lỗ trống trong vùng hoá trị



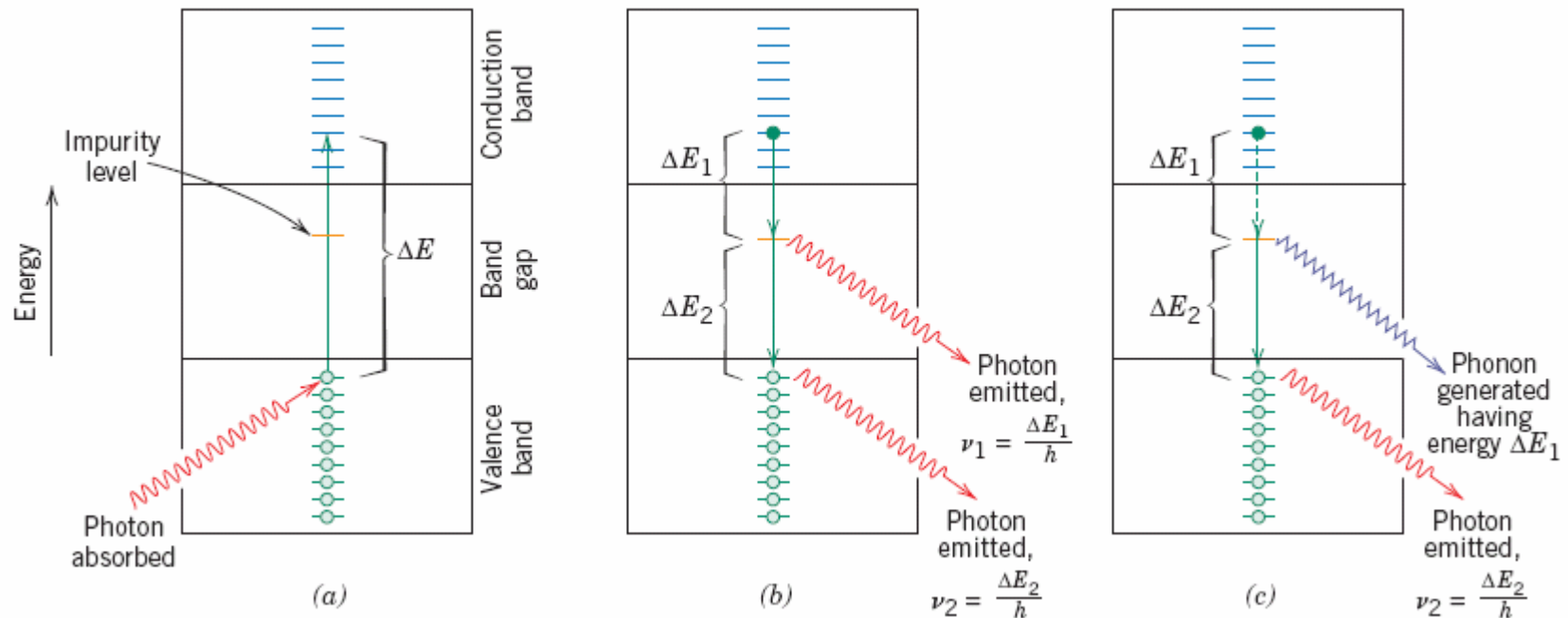
Chú ý:

$\rightarrow$  Ánh sáng thấy được có bước sóng ngắn nhất và dài nhất trong khoảng  $0,4 - 0,7 \mu\text{m}$ , ứng với năng lượng trong khoảng  $1,8 - 3,1 \text{ eV}$   $\rightarrow$  các vật liệu phi kim có độ rộng vùng cấm lớn hơn  $3,1 \text{ eV}$  sẽ không hấp thụ một ánh sáng thấy được nào.

→ Mặt khác: các bán dẫn có độ rộng vùng cấm nhỏ hơn 1,8 eV sẽ hấp thụ toàn bộ phổ ánh sáng thấy được nhờ các chuyển dời điện tử từ vùng hoá trị lên vùng dẫn, vì vậy chúng đều đục.

→ Các vật liệu có độ rộng vùng cấm trong khoảng 1,8 – 3,1 eV chỉ có khả năng hấp thụ một phần phổ ánh sáng nhìn thấy → mờ và có màu

→ Sự hấp thụ bức xạ ánh sáng cũng có thể xảy ra đối với chất điện môi có độ rộng vùng cấm lớn do những chuyển dời điện tử không phải từ vùng hoá trị lên vùng cấm.



## •Hiện tượng truyền qua:

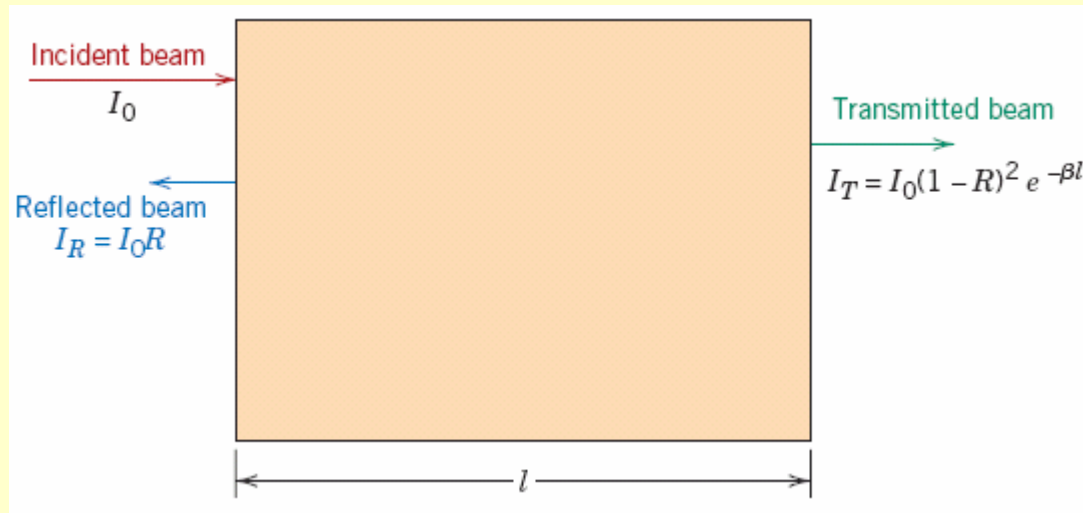
Xét trường hợp ánh sáng đi qua một vật rắn trong suốt.

- Đối với một chùm tia tới có cường độ  $I_o$  chiếu vào mặt phân pha của mẫu có bề dày  $l$  và hệ số hấp thụ  $\beta$ , cường độ tia sáng truyền qua được tính:

$$I_T = I_o (1 - R)^2 e^{-\beta l}$$

Trong đó:

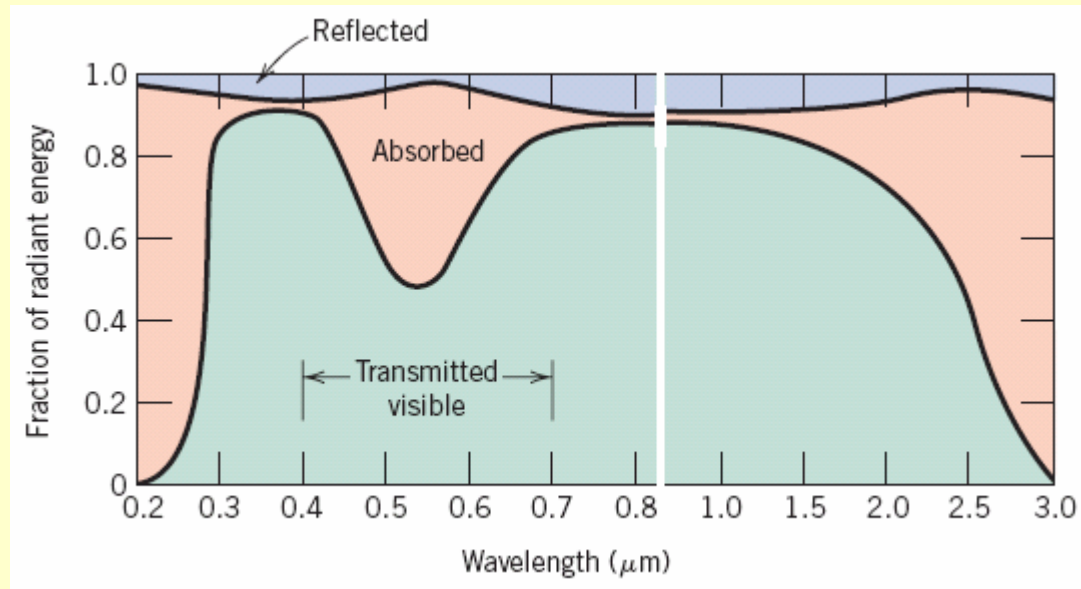
→ R: độ phản xạ với giả thiết là môi trường ở mặt trước và mặt sau mẫu là đồng nhất



Như vậy, thành phần tia sáng truyền qua vật liệu phụ thuộc vào những tổn hao do hấp thụ và phản xạ.

Các thông số như độ hấp thụ, độ truyền qua đều phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng

Hình vẽ dưới đây thể hiện mối quan hệ nêu trên đối với thủy tinh



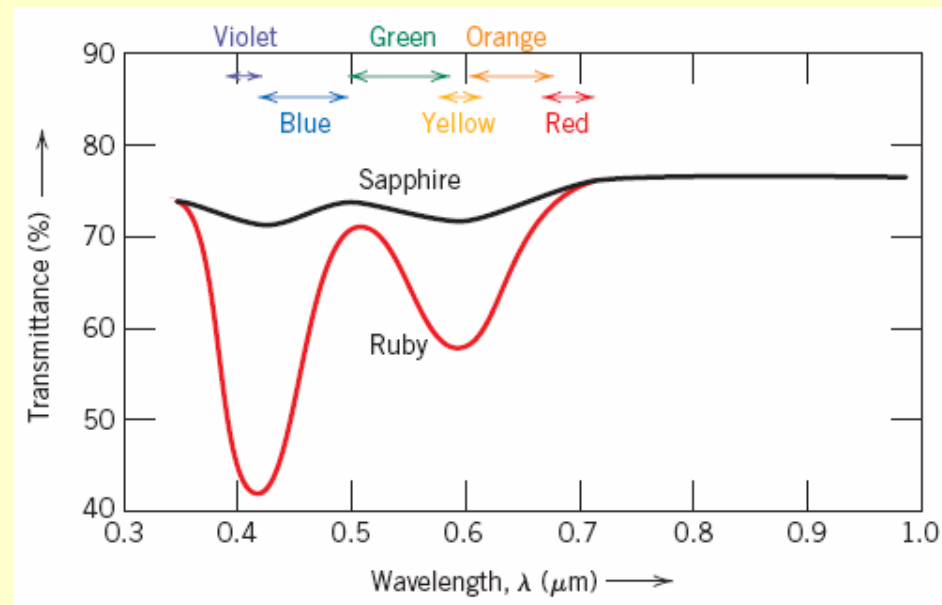
## •Màu sắc:

Các vật liệu trong suốt hiện màu là do có những giải bước sóng ánh sáng bị hấp thụ chọn lọc, màu sắc nhìn thấy là kết quả tổng hợp của những bước sóng truyền qua được.

Nếu sự hấp thụ xảy ra đồng đều với tất cả các bước sóng nhìn thấy thì vật liệu sẽ thể hiện là không màu (thủy tinh vô cơ tinh khiết, kim cương, saphia đơn tinh thể)

Thông thường:

→ Hấp thụ chọn lọc là bằng kích thích điện tử → Kết quả màu sắc phụ thuộc vào sự phân bố của chùm sáng truyền qua và chùm sáng thứ cấp.



## 12.4 Tính đục và trong mờ của các chất cách điện

- Mức độ đục và trong mờ đối với các vật liệu điện môi trong suốt phụ thuộc vào đặc tính phản xạ bên trong và truyền qua của vật chất.
- Nhiều vật liệu điện môi vốn là trong suốt có thể trở nên trong mờ hay đục do hiện tượng phản xạ hay khúc xạ bên trong.
- Một chùm sáng lệch hướng và nhoà đi là do nhiều lần tán xạ
- Tính đục sinh ra khi mức độ tán xạ mạnh đến mức trên thực tế không còn một chùm ánh sáng tới nào được truyền qua không bị lệch tới được mặt sau.

## 12.5 Ứng dụng của các hiện tượng quang học

**12.5.1 Phát quang (phát ánh sáng lạnh):** một số vật liệu có khả năng hấp thụ năng lượng rồi phát ra ánh sáng nhìn thấy. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng phát quang.

→ Nếu hiện tượng phát ra ánh sáng xảy ra sau thời gian rất ngắn (rất nhỏ hơn 1s) thì được gọi là huỳnh quang

→ Nếu hiện tượng phát ra ánh sáng xảy ra sau thời gian dài thì được gọi là lân quang

**12.5.2 Quang dẫn:** Tính dẫn điện của các chất bán dẫn phụ thuộc vào số điện tử tự do trong vùng dẫn và lỗ trống trong vùng hoá trị. Năng lượng nhiệt ứng với các dao động mạng có thể thúc đẩy các kích thích điện tử.

Có thể sản sinh thêm các hạt tải bổ sung nhờ các chuyển dời điện tử được kích thích bởi photon: độ dẫn điện tăng → hiện tượng quang dẫn.

→ Khi vật liệu quang dẫn được chiếu sáng, độ dẫn điện tăng 24