



Τμήμα Μηχανολόγων  
Μηχανικών  
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

# Τεχνολογία Υλικών II

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών  
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Δρ. Σκλήρη Ευαγγελία

# Οπτικές Ιδιότητες

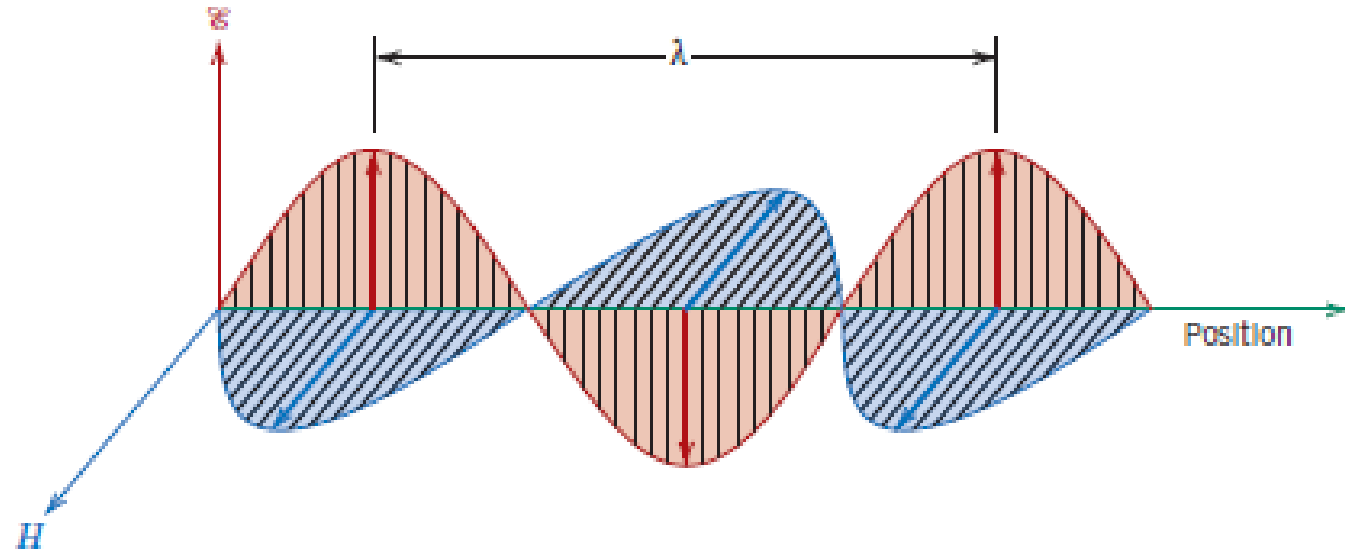
## □ Οπτικές Ιδιότητες

Είναι η **απόκριση ενός υλικού στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία** (κυρίως στο ορατό φως).

## Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

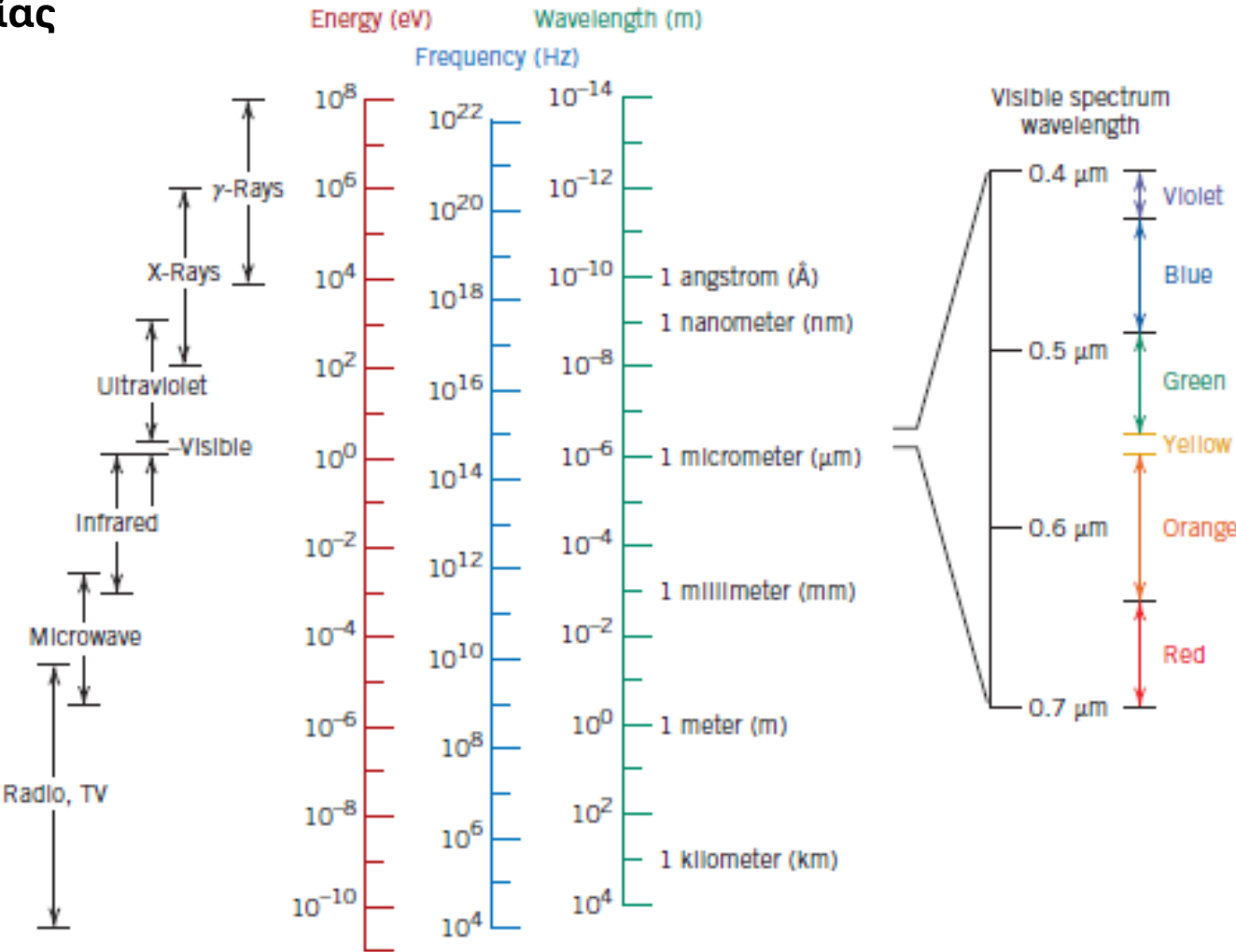
Είναι **κύμα** με:

- ηλεκτρικό πεδίο (E)
- μαγνητικό πεδίο (H)
- κάθετα μεταξύ τους και στη διεύθυνση διάδοσης



# Οπτικές Ιδιότητες

## ☐ Φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας



# Οπτικές Ιδιότητες

## □ Ταχύτητα φωτός

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

Εξαρτάται από:

- ηλεκτρική διαπερατότητα  $\epsilon_0$
- μαγνητική διαπερατότητα  $\mu_0$

Στο κενό:

- $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

## □ Σχέση ταχύτητας – μήκους κύματος – συχνότητας

$$c = \lambda \nu$$

Όπου:

- $\lambda$ : μήκος κύματος (m)
- $\nu$ : συχνότητα (Hz)

Άρα μικρό  $\lambda \rightarrow$  μεγάλη συχνότητα

## □ Ενέργεια φωτονίου

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

Όπου:

- $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  σταθερά Planck

- μικρό  $\lambda \rightarrow$  μεγάλη ενέργεια
- μεγάλο  $\lambda \rightarrow$  μικρή ενέργεια

# Οπτικές Ιδιότητες

➤ Όταν το φως πέφτει σε ένα υλικό:

- Μεταδίδεται (Transmission, T)
- Απορροφάται (Absorption, A)
- Ανακλάται (Reflection, R)

▪ Ένταση προσπίπτουσας δέσμης

$$I_0 = I_T + I_A + I_R$$

Όλη η ενέργεια που πέφτει στο υλικό **πρέπει να διατηρείται**

▪ Σε κανονικοποιημένη μορφή:

$$T + A + R = 1$$

Όπου:

- $T = I_T/I_0$
- $A = I_A/I_0$
- $R = I_R/I_0$

Είναι **ποσοστά** (χωρίς μονάδες)

# Οπτικές Ιδιότητες

## Κατηγορίες υλικών

### 1. Διαφανή (Transparent)

Μεταδίδουν το φως σχεδόν χωρίς απώλειες  
βλέπεις καθαρά μέσα από αυτά  
π.χ. γυαλί

### 2. Ημιδιαφανή (Translucent)

Το φως περνά αλλά σκεδάζεται (σκορπίζεται)  
δεν βλέπεις καθαρά  
π.χ. παγωμένο γυαλί

### 3. Αδιαφανή (Opaque)

Δεν περνά καθόλου φως  
μόνο απορρόφηση ή ανάκλαση  
π.χ. μέταλλα

➤ Τα μέταλλα δεν αφήνουν το φως να περάσει μέσα τους, γι' αυτό είναι αδιαφανή στο ορατό γιατί έχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια → απορροφούν/ανακλούν το φως

# Οπτικές Ιδιότητες

Οι οπτικές ιδιότητες προκύπτουν από αλληλεπίδραση του φωτός με τα άτομα

- **Κυρίως με τα ηλεκτρόνια**
- **ιόντα**

Σημαντικές αλληλεπιδράσεις:

**1. Ηλεκτρονική Πόλωση**

**2. Ενεργειακές Μεταπτώσεις των ηλεκτρονίων**

## **Electronic Polarization (Ηλεκτρονική πόλωση)**

Το ηλεκτρικό πεδίο του φωτός:

- μετακινεί το **ηλεκτρονικό νέφος**
- σε σχέση με τον πυρήνα

Δημιουργείται **δίπολο**

**Συνέπεια:**

**Απορρόφηση ενέργειας** - μέρος της ακτινοβολίας χάνεται

**Μείωση ταχύτητας φωτός** - το φως καθυστερεί μέσα στο υλικό → αυτό οδηγεί σε **διάθλαση**

# Οπτικές Ιδιότητες

## ☐ Μεταπτώσεις ηλεκτρονίων

Το φως μπορεί να **διεγείρει ηλεκτρόνια** από χαμηλή στάθμη → υψηλή στάθμη

## Μεταβολή ενέργειας για μετάπτωση ηλεκτρονίου

$$\Delta E = h\nu$$

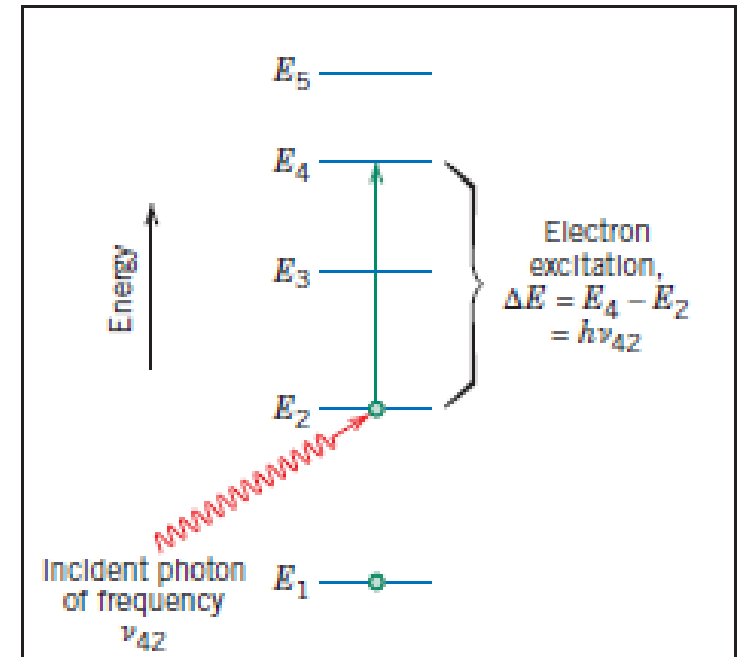
Τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να έχουν οποιαδήποτε ενέργεια — μόνο συγκεκριμένες τιμές.

Οι ενεργειακές στάθμες είναι διακριτές

**Θεμελιώδης κατάσταση (Ground state)** → χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη

**Διεγερμένη κατάσταση (Excited state)** → διεγερμένη

Το ηλεκτρόνιο δεν μένει για πάντα διεγερμένο  
επιστρέφει πίσω → εκπέμπει ενέργεια



# Οπτικές Ιδιότητες

## ❑ Οπτικές Ιδιότητες των Μετάλλων

### Δομή ζωνών στα μέταλλα

Η ζώνη ενέργειας είναι **μερικώς κατειλημμένη**  
Υπάρχουν συνεχώς διαθέσιμες **κενές καταστάσεις**

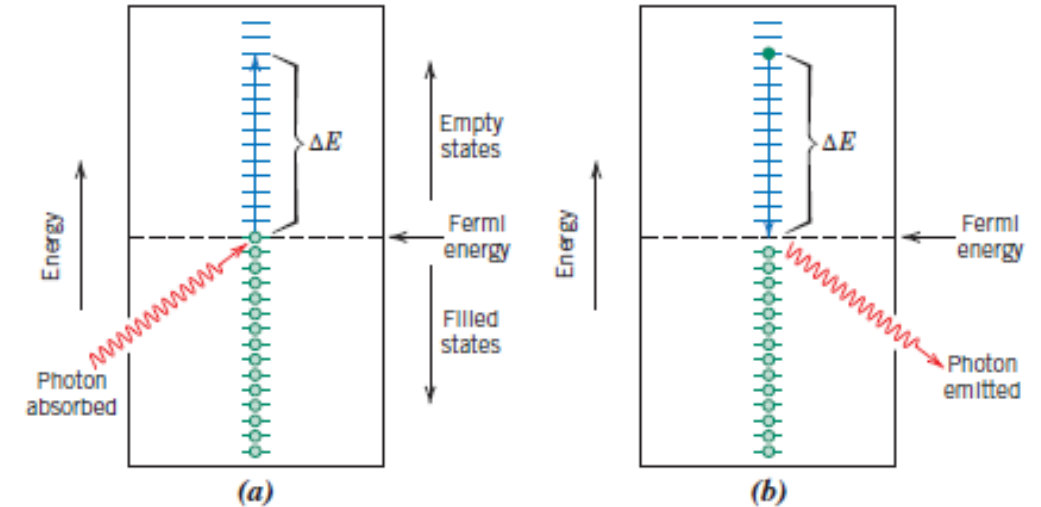
### Απορρόφηση φωτός

Το προσπίπτον φως διεγείρει ηλεκτρόνια σε υψηλότερες στάθμες επειδή υπάρχουν διαθέσιμες στάθμες για **όλα τα μήκη κύματος**  
Άρα τα μέταλλα απορροφούν σχεδόν όλο το ορατό φως

### ➤ Γιατί τα μέταλλα είναι αδιαφανή;

Το φως στα μέταλλα απορροφάται σχεδόν αμέσως στην επιφάνεια, οπότε δεν προλαβαίνει να διαπεράσει το υλικό.

το μεγαλύτερο μέρος του φωτός **ανακλάται**, ενώ ένα μέρος απορροφάται  
Δεν υπάρχει μετάδοση → **άρα είναι αδιαφανή**



# Οπτικές Ιδιότητες

## ☐ Ανάκλαση

Μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας **επαναεκπέμπεται** από την επιφάνεια

Reflectivity:

~0.90 – 0.95 (πολύ υψηλή)

## ➤ Γιατί τα μέταλλα είναι γυαλιστερά;

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια ανταποκρίνονται σε όλα σχεδόν τα μήκη κύματος του ορατού, οπότε το φως ανακλάται σχεδόν ομοιόμορφα → και αυτό δίνει τη χαρακτηριστική **μεταλλική λάμψη**

## ➤ Γιατί έχουν χρώμα κάποια μέταλλα;

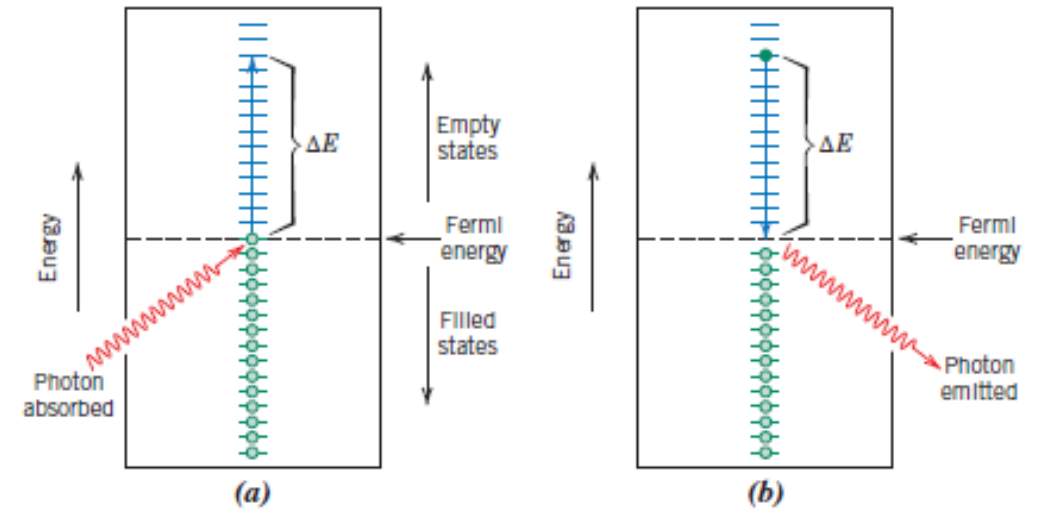
• **Al, Ag** → ανακλούν όλα τα μήκη κύματος → ασημί

• **Cu, Au** → απορροφούν μικρά λ (μπλε, μωβ) και ανακλούν τα υπόλοιπα

Άρα εμφανίζονται:

- Cu → κόκκινο
- Au → κίτρινο

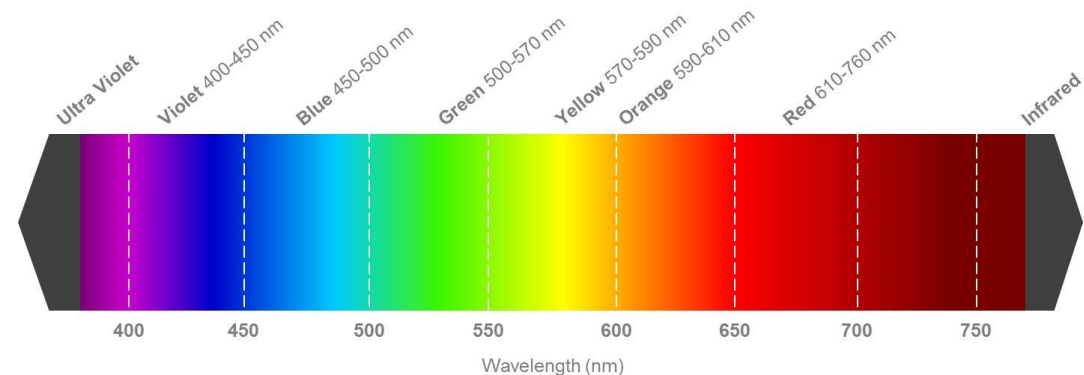
Ένα υλικό απορροφά ορισμένα μήκη κύματος του φωτός και ανακλά άλλα. Το χρώμα που αντιλαμβανόμαστε αντιστοιχεί στα μήκη κύματος που ανακλώνται προς το μάτι μας.



## Εκπομπή & απώλειες

• Μέρος της ενέργειας:

- επανεκπέμπεται ως φως
- μετατρέπεται σε **θερμότητα**

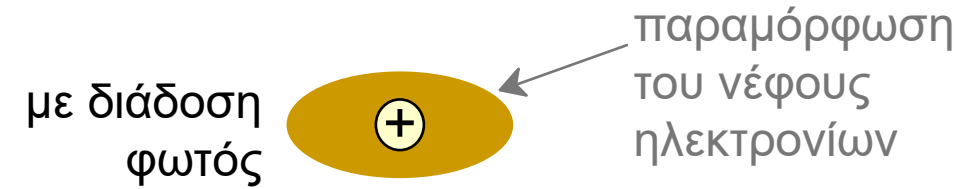


# Οπτικές Ιδιότητες

## Διάθλαση (Refraction)

Όταν το φως μπαίνει σε ένα υλικό:

- επιβραδύνεται
- αλλάζει διεύθυνση



Όταν διαδίδεται φως σε ένα υλικό παραμορφώνει τα νέφη ηλεκτρονίων

## Δείκτης διάθλασης

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

Όπου:

- $c$ : ταχύτητα στο κενό
- $v$ : ταχύτητα στο υλικό

μεγάλο  $n$  → μικρή ταχύτητα → **μεγάλη κάμψη**

μικρό  $n$  → μικρή κάμψη

Όσο μεγαλύτερα άτομα / ιόντα → μεγαλύτερη πόλωση

Τόσο μικρότερη ταχύτητα και μεγαλύτερο  $n$

<i>Material</i>	<i>Average Index of Refraction</i>
<b>Ceramics</b>	
Silica glass	1.458
Borosilicate (Pyrex) glass	1.47
Soda-lime glass	1.51
Quartz (SiO <sub>2</sub> )	1.55
Dense optical flint glass	1.65
Spinel (MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	1.72
Periclase (MgO)	1.74
Corundum (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.76
<b>Polymers</b>	
Polytetrafluoroethylene	1.35
Poly(methyl methacrylate)	1.49
Polypropylene	1.49
Polyethylene	1.51
Polystyrene	1.60

# Οπτικές Ιδιότητες

## ☐ Reflection (Ανάκλαση)

Όταν το φως πάει από ένα μέσο σε άλλο (π.χ. αέρας → γυαλί):

- ένα μέρος **ανακλάται**
- ένα μέρος **περνά (διάθλαση)**

$$R = \frac{I_R}{I_0}$$

Δηλαδή πόσο φως **επιστρέφει πίσω**

Αν:

- $R = 0 \rightarrow$  δεν ανακλάται τίποτα
- $R = 1 \rightarrow$  όλα ανακλώνται (καθρέφτης)

Από τη διαφορά των δεικτών διάθλασης

$$R = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$$

Αν τα δύο υλικά είναι “παρόμοια”:

- μικρή διαφορά  $n \rightarrow$  μικρή ανάκλαση

Αν είναι πολύ διαφορετικά:

- μεγάλη διαφορά  $n \rightarrow$  μεγάλη ανάκλαση

# Οπτικές Ιδιότητες

## □ Ανακλαστικότητα μη μεταλλικών υλικών

- Για κάθετη πρόσπτωση και διάδοση φωτός σε στερεό με δείκτη διάθλασης  $n$ :

$$R = \text{Ανακλαστικότητα} = \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^2$$

- Παράδειγμα: Για το διαμάντι,  $n = 2.41$

$$R = \left( \frac{2.41-1}{2.41+1} \right)^2 = 0.17$$

$R = 0.17$ , δηλαδή περίπου 17% του φωτός ανακλάται

# Οπτικές Ιδιότητες

## ❑ Απορρόφηση σε μη μέταλλα (Absorption)

### Μηχανισμός απορρόφησης

Το φως απορροφάται όταν ηλεκτρόνιο μεταβαίνει από **ζώνη σθένους** → **ζώνη αγωγιμότητας**  
δημιουργείται:

- ελεύθερο ηλεκτρόνιο
- οπή (hole)

Το φωτόνιο πρέπει να έχει ενέργεια **μεγαλύτερη από το band gap**

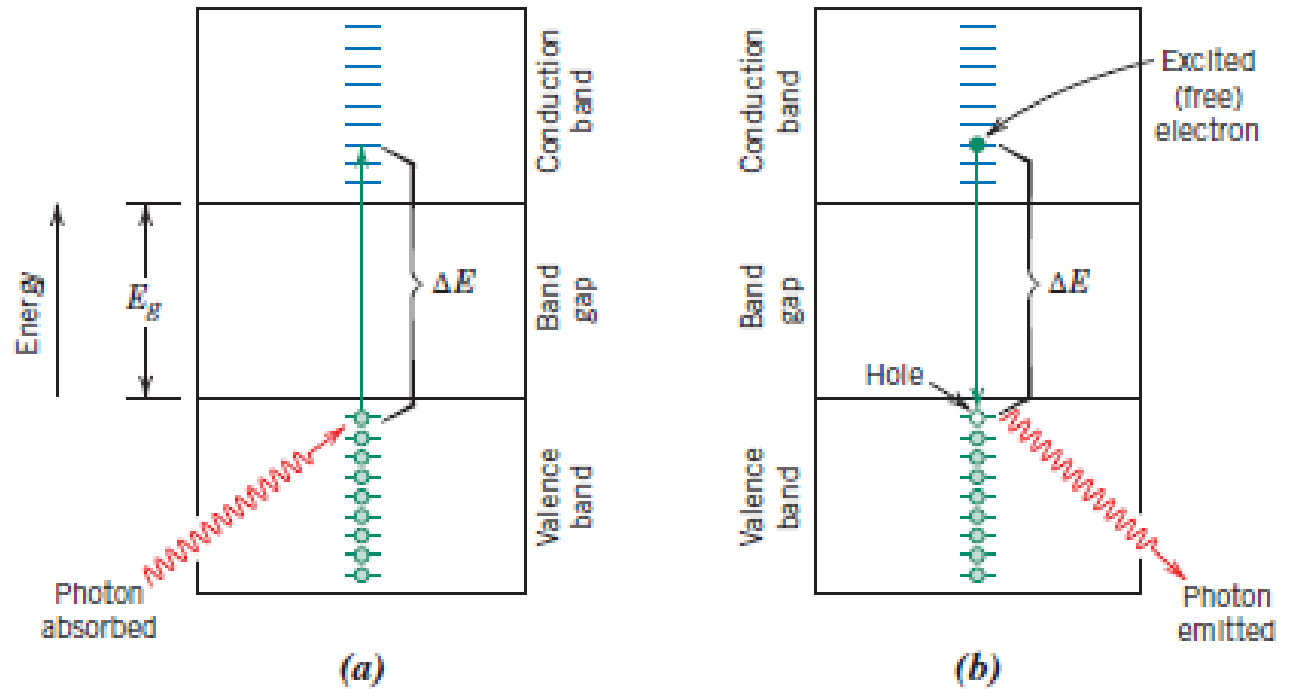
$$h\nu \geq E_g$$

$$\text{ή}$$
$$\frac{hc}{\lambda} \geq E_g$$

### Εκπομπή μετά την απορρόφηση

Το ηλεκτρόνιο επιστρέφει απευθείας → εκπέμπει φωτόνιο

- μέσω ενδιάμεσων σταθμών (impurities) -εκπέμπεται φως διαφορετικής ενέργειας
- ή δίνει ενέργεια ως **θερμότητα (phonons)**



# Οπτικές Ιδιότητες

- **Μεγάλο band gap ( $E_g > 3.1 \text{ eV}$ )**

δεν απορροφά ορατό φως  
**διαφανές** (π.χ. γυαλί)

- **Μικρό band gap ( $E_g < 1.8 \text{ eV}$ )**

απορροφά όλο το ορατό  
**αδιαφανές**

- **Ενδιάμεσο band gap ( $1.8 - 3.1 \text{ eV}$ )**

απορροφά μόνο κάποια μήκη κύματος  
**έγχρωμο**

## Όρια ορατού

$$\lambda_{min} = 0.4 \mu m \rightarrow E_g(max) = 3.1 \text{ eV}$$

$$\bullet \lambda_{max} = 0.7 \mu m \rightarrow E_g(min) = 1.8 \text{ eV}$$

# Οπτικές Ιδιότητες

## □ Ένταση φωτός μέσα σε υλικό (Absorption with depth)

Καθώς το φως προχωρά μέσα σε ένα υλικό **συνεχώς απορροφάται**  
• άρα η ένταση **μειώνεται**

### Νόμος απορρόφησης

$$I'_T = I'_0 e^{-\beta x}$$

Η ένταση δεν μειώνεται γραμμικά, αλλά εκθετικά — δηλαδή πέφτει πολύ γρήγορα στην αρχή.

- $I'_0$  → αρχική ένταση (που μπήκε στο υλικό)
- $I'_T$  → ένταση σε βάθος  $x$
- $\beta$  → συντελεστής απορρόφησης (1/m)
- $x$  → βάθος μέσα στο υλικό

### ▪ Συντελεστής απορρόφησης

Μεγάλο  $\beta$  → απορροφά πολύ γρήγορα  
φως δεν μπαίνει βαθιά (π.χ. μέταλλα)

Μικρό  $\beta$  → απορροφά αργά  
φως περνά (π.χ. γυαλί)

# Οπτικές Ιδιότητες

## ☐ Transmission

### Διέλευση φωτός σε υλικά

Το φως που προσπίπτει σε ένα υλικό:

- ένα μέρος **ανακλάται**
- ένα μέρος **απορροφάται**
- το υπόλοιπο **μεταδίδεται (transmission)**

Όσο:

αυξάνει το πάχος → αυξάνει η απορρόφηση → μειώνεται η μετάδοση

# Οπτικές Ιδιότητες

## □ Χρώμα υλικών

Το χρώμα οφείλεται σε **επιλεκτική απορρόφηση** συγκεκριμένων μηκών κύματος

Το μάτι βλέπει το φως που **δεν απορροφάται**, δηλαδή το **μεταδιδόμενο ή ανακλώμενο**

### ▪ Ομοιόμορφη απορρόφηση

όλα τα μήκη κύματος περνούν

**άχρωμο (διαφανές)**

### ▪ Επιλεκτική απορρόφηση

κάποια μήκη κύματος απορροφώνται

**εμφανίζεται χρώμα**

# Οπτικές Ιδιότητες

## Σε ημιαγωγούς:

- αν  $E_g > 3.1 \text{ eV}$   
δεν απορροφά ορατό  $\rightarrow$  διαφανές
- αν  $1.8 < E_g < 3.1 \text{ eV}$   
• απορροφά επιλεκτικά  $\rightarrow$  έγχρωμο
- αν  $E_g < 1.8 \text{ eV}$   
απορροφά όλο το ορατό  $\rightarrow$  αδιαφανές

## ➤ Σάπφειρος

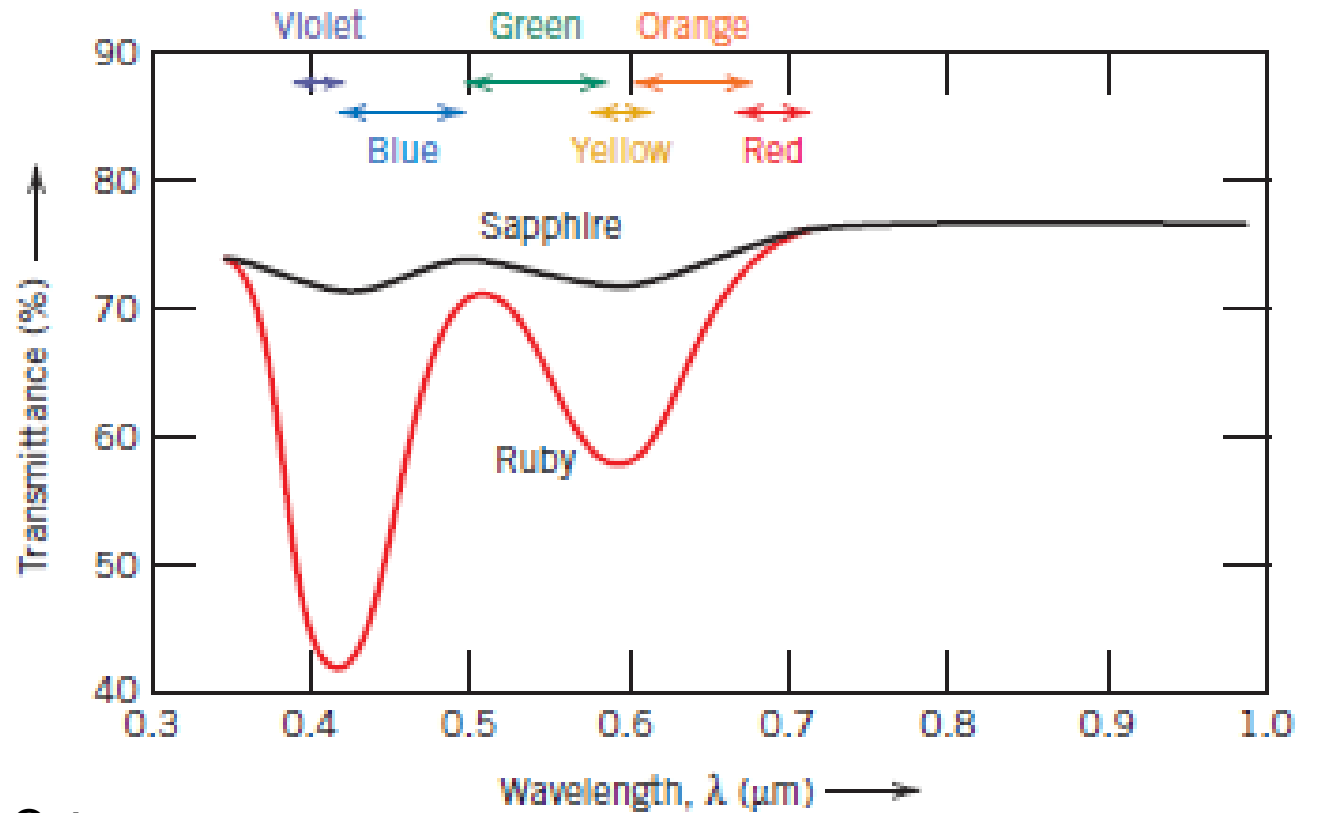
Η μετάδοση είναι υψηλή σε όλα τα μήκη κύματος  
Άρα περνά σχεδόν όλο το φως  
δεν απορροφά επιλεκτικά  
φαίνεται **άχρωμο / διαφανές**

## ➤ Ρουβίδιο (Σάπφειρος ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) + (0.5 έως 2) ατ.% $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )

$\sim 0.4 \mu\text{m}$  (μπλε/μωβ)  $\rightarrow$  **απορρόφηση**

$\sim 0.55 \mu\text{m}$  (πράσινο/κίτρινο)  $\rightarrow$  **απορρόφηση**

Σε αυτά τα μήκη κύματος το φως **απορροφάται**



Δεν απορροφάται κόκκινο ( $\sim 0.6\text{--}0.7 \mu\text{m}$ )  
αυτό περνά / εκπέμπεται  
Άρα το υλικό φαίνεται **κόκκινο (ruby)**

# Οπτικές Ιδιότητες

## ❑ Φωταύγεια

- Υλικά που **απορροφούν ενέργεια** και μετά **εκπέμπουν φως**

### Μηχανισμός

Το ηλεκτρόνιο απορροφά ενέργεια και πάει σε **διεγερμένη κατάσταση**

Μετά:

επιστρέφει σε **χαμηλότερη ενέργεια** και εκπέμπει **φωτόνιο (φως)**

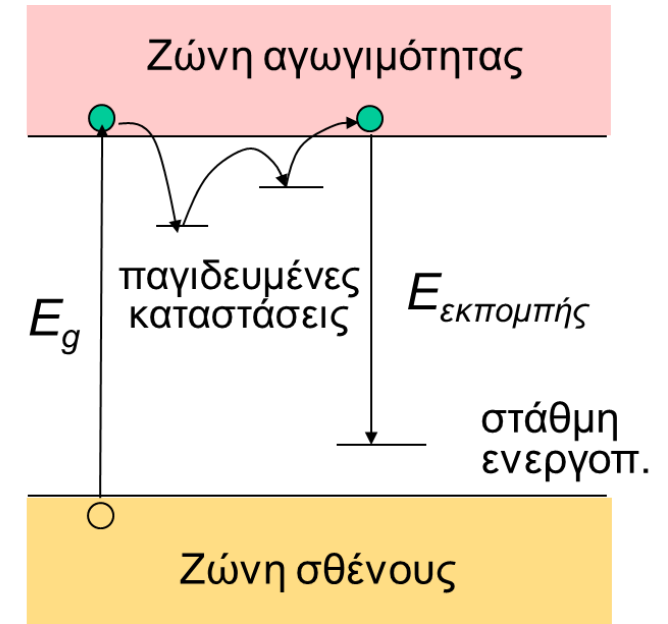
## ❑ Τύποι φωταύγειας

### Φθορισμός (Fluorescence)

- άμεση εκπομπή
- πολύ γρήγορη ( $< 1 \text{ s}$ )

### Φωσφορισμός (Phosphorescence)

- Η επανεκπομπή συμβαίνει σε μεγαλύτερους χρόνους
- “λάμπει στο σκοτάδι”



Συνήθως:

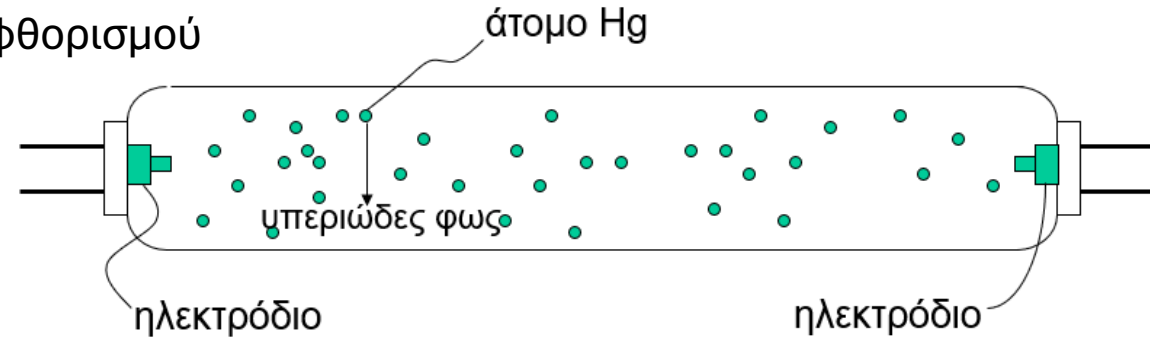
τα καθαρά υλικά **δεν εμφανίζουν έντονη φωταύγεια** χρειάζονται **προσμίξεις (impurities)**

Οι προσμίξεις:

Δημιουργούν ενεργειακά επίπεδα μέσα στο band gap  
Επιτρέπουν απορρόφηση και επανεκπομπή φωτός

# Οπτικές Ιδιότητες

## ☐ Φωτοφωταύγεια - λαμπτήρες φθορισμού



- Το ηλεκτρικό τόξο που σχηματίζεται μεταξύ των ηλεκτροδίων διεγείρει τα ηλεκτρόνια των ατόμων υδραργύρου σε υψηλότερες ενεργειακές στάθμες.
- Καθώς τα ηλεκτρόνια μεταπίπτουν στη θεμελιώδη κατάστασή τους, εκπέμπεται υπεριώδες φως (π.χ., λυχνίες μαυρίσματος σε solarium).
- Η εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα επενδύεται με υλικό το οποίο απορροφά υπεριώδες και επανεκπέμπει ορατό φως
  - Παράδειγμα:  $\text{Ca}_{10}\text{F}_2\text{P}_6\text{O}_{24}$  με αντικατάσταση του 20% των ιόντων  $\text{F}^-$  από  $\text{Cl}^-$
- Το χρώμα του φωτός μπορεί να ρυθμιστεί με προσμίξεις:
  - $\text{Sb}^{3+}$  μπλε
  - $\text{Mn}^{2+}$  πορτοκαλί-κόκκινο

# Οπτικές Ιδιότητες

## ☐ Καθοδοφωταύγεια

- Αξιοποιείται σε συσκευές καθοδικού σωλήνα (π.χ., τηλεοράσεις & οθόνες παλαιότερων τεχνολογιών)
- Το εσωτερικό του σωλήνα φέρει επίστρωση από φωσφορούχο υλικό
  - Το φωσφορούχο υλικό βομβαρδίζεται με ηλεκτρόνια
  - Τα ηλεκτρόνια στα άτομα φωσφόρου διεγείρονται και μεταβαίνουν σε ενεργειακά υψηλότερη κατάσταση
  - Εκπέμπονται φωτόνια (ορατό φως) καθώς τα ηλεκτρόνια μεταπίπτουν στη θεμελιώδη κατάστασή τους
  - Το χρώμα του εκπεμπόμενου φωτός (μήκος κύματος φωτονίων) εξαρτάται από τη σύσταση του φωσφορούχου υλικού

ZnS (Ag<sup>+</sup> & Cl<sup>-</sup>)

μπλε

(Zn, Cd) S + (Cu<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>)

πράσινο

Y<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S + 3% Eu

κόκκινο

- Σημείωση: Το εκπεμπόμενο φως έχει τυχαία φάση & διεύθυνση – δηλαδή, είναι ασύμφωνο.

# Οπτικές Ιδιότητες

## □ LASER

- Μία διάταξη laser παράγει κύματα φωτός τα οποία βρίσκονται σε συμφωνία φάσης (σύμφωνο φως) και οδεύουν παράλληλα. Αυτό σημαίνει ότι η δέσμη είναι πολύ καλά κατευθυνόμενη και δεν διαχέεται.

- **LASER**

- Light
- Amplification by
- Stimulated
- Emission of
- Radiation

### **Ενίσχυση φωτός από εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας**

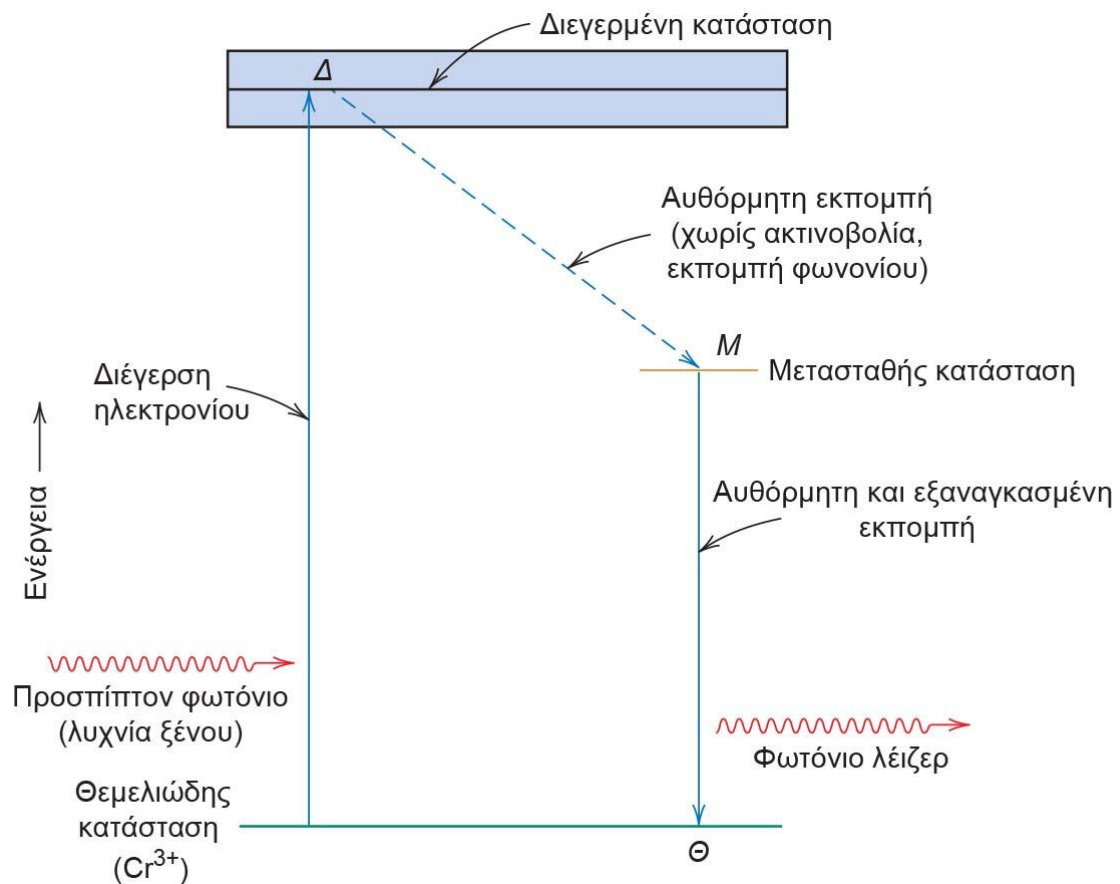
Ένα φωτόνιο μπορεί να αναγκάσει ένα διεγερμένο άτομο να εκπέμψει ένα δεύτερο φωτόνιο με ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά, ίδια ενέργεια, ίδια κατεύθυνση και ίδια φάση.

- Η λειτουργία των laser βασίζεται σε μία διαδικασία **αντιστροφής πληθυσμών** σε ενεργειακές καταστάσεις

# Οπτικές Ιδιότητες

## □ Αντιστροφή πληθυσμών

Υπαρξη περισσότερων ηλεκτρονίων σε διεγερμένες ενεργειακές καταστάσεις συγκριτικά με τις αντίστοιχες θεμελιώδεις καταστάσεις



➤ **Αντιστροφή πληθυσμών & λειτουργία laser**  
Τα ηλεκτρόνια διεγείρονται σε υψηλή ενεργειακή κατάσταση

Μεταπίπτουν σε ενδιάμεση **μετασταθή κατάσταση**  
Παραμένουν εκεί για κάποιο χρονικό διάστημα → επιτυγχάνεται **αντιστροφή πληθυσμών**

➤ **Από τη μετασταθή κατάσταση**  
μπορούν να επιστρέψουν **αυθόρμητα**, ή να υποστούν **εξαναγκασμένη εκπομπή**

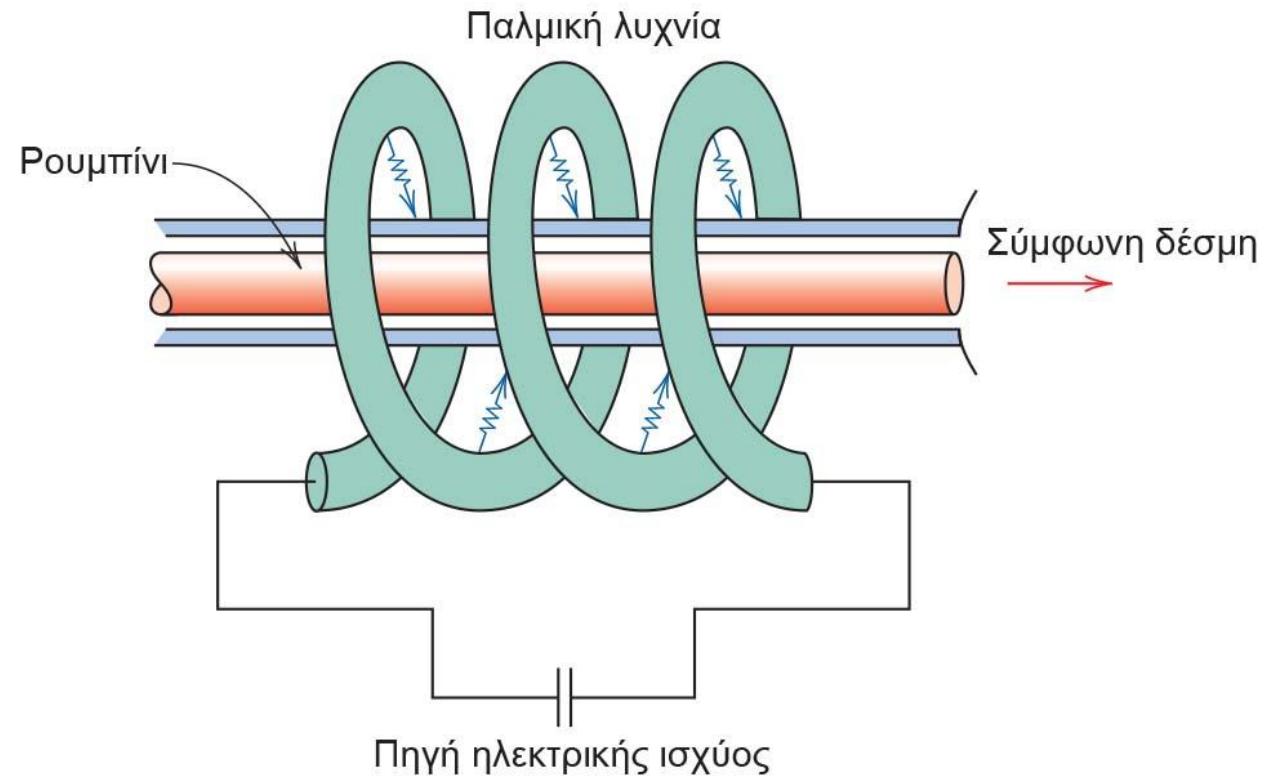
➤ **Εξαναγκασμένη εκπομπή:**  
διερχόμενο φωτόνιο προκαλεί εκπομπή δεύτερου φωτονίου  
τα δύο φωτόνια έχουν ίδια ενέργεια, ίδια φάση και ίδια κατεύθυνση

# Οπτικές Ιδιότητες

## ❑ Λειτουργία του Laser Ρουμπινίου

Διέγερση ηλεκτρονίων του φωτοεκπέμποντος υλικού σε ενεργειακά υψηλότερες καταστάσεις π.χ., μέσω παλμικής λυχνίας (ασύμφωνο φως).

- Η λυχνία φωτίζει το ρουμπίνι
- τα ηλεκτρόνια διεγείρονται
- Μαζεύονται σε υψηλή ενέργεια (αντιστροφή πληθυσμών)
- Ξεκινά εξαναγκασμένη εκπομπή
- παράγονται πολλά ίδια φωτόνια
- Βγαίνει η δέσμη **σύμφωνο φως (laser)**



Στο laser ρουβιδίου, μια ισχυρή πηγή φωτός διεγείρει τα ηλεκτρόνια και μέσω εξαναγκασμένης εκπομπής παράγεται μια σύμφωνη δέσμη laser

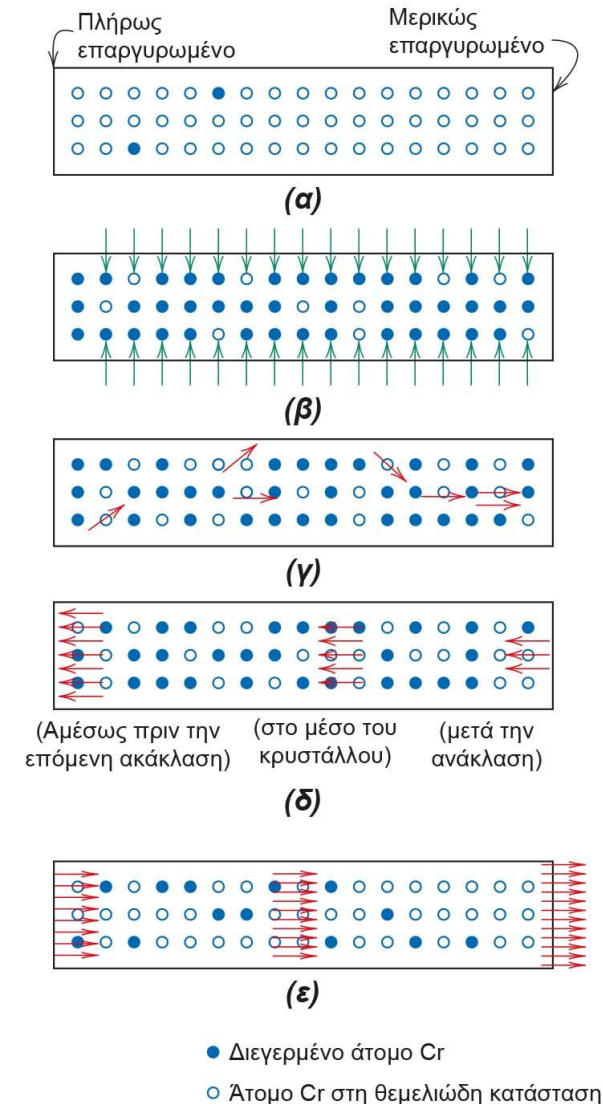
# Οπτικές Ιδιότητες

## ❑ Λειτουργία του Laser Ρουβιδίου

### • Εξαναγκασμένη Εκπομπή

- Η παραγωγή ενός φωτονίου μέσω της αποδιέγερσης ενός ηλεκτρονίου, προκαλεί εκπομπή επιπλέον φωτονίων τα οποία βρίσκονται σε συμφωνία φάσης.
- Αυτό το αλυσιδωτό φαινόμενο παράγει μία ισχυρή “ριπή” σύμφωνου φωτός.

- Αυτό είναι ένα παράδειγμα **παλμικού laser**



# Οπτικές Ιδιότητες

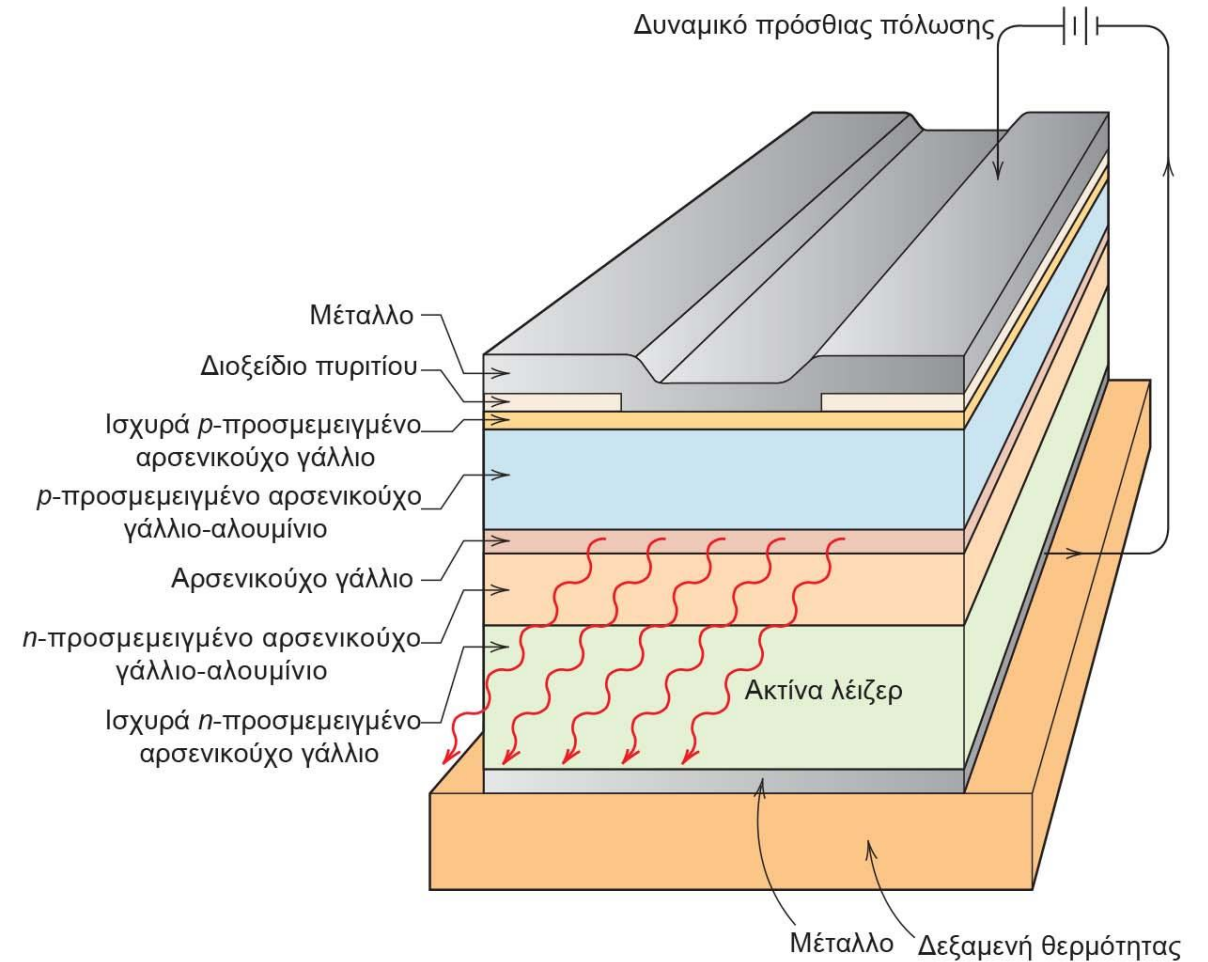
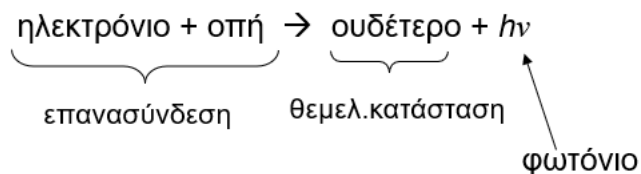
## ☐ Laser συνεχούς κύματος

- Τα laser συνεχούς κύματος (CW) παράγουν συνεχή (αντί παλμικής) δέσμη φωτός
- Υλικά για CW lasers: ημιαγωγοί (π.χ., GaAs), αέρια (π.χ., CO<sub>2</sub>) και ο γρανάτης υτρίου-αλουμινίου (YAG)
- Τα μήκη κύματος της δέσμης laser εμπίπτουν στις περιοχές ορατού φωτός και υπέρυθρου του ΗΜ φάσματος
- Χρήσεις των CW laser
  1. Κατεργασίες συγκόλλησης
  2. Κατεργασίες διάτρησης
  3. Κοπές – π.χ. ξυλογλυπτική, οφθαλμική χειρουργική
  4. Κατεργασίες αποπεράτωσης επιφανειών
  5. Χαρακτική – κεραμικά, κ.λπ.
  6. Φωτολιθογραφία – Excimer laser

# Οπτικές Ιδιότητες

## □ Εφαρμογές των laser ημιαγωγών

- Εφαρμογή μεγάλης τάσης ορθής πόλωσης μεταξύ των στρωμάτων ημιαγωγού, μετάλλου και δεξαμενής θερμότητας.
- Παραγωγή ζευγών ηλεκτρονίων-οπών λόγω διεγερμένων ηλεκτρονίων που διασχίζουν το ενεργειακό χάσμα.
- Κατά την επανασύνδεση ενός ζεύγους ηλεκτρονίου-οπής παράγεται ένα φωτόνιο (φως laser)



# Οπτικές Ιδιότητες

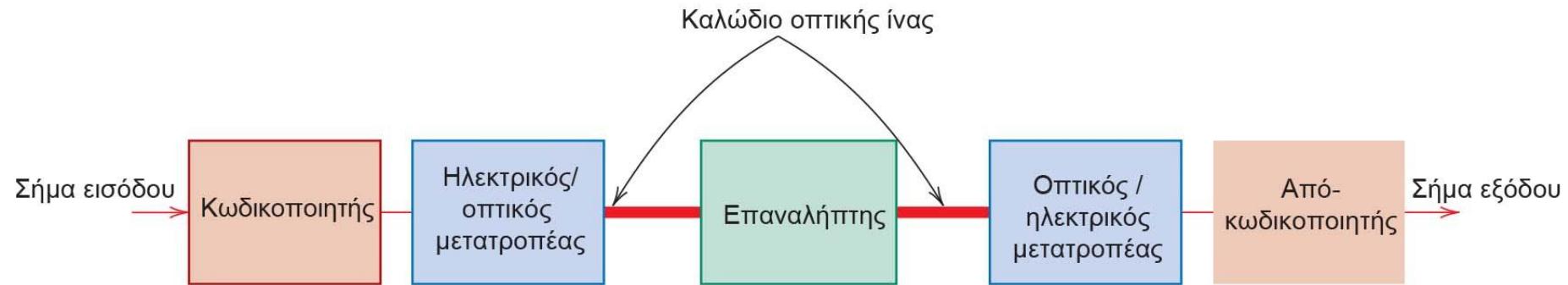
## ❑ Εφαρμογές των laser ημιαγωγών

- Συσκευές αναπαραγωγής οπτικών δίσκων (CD)
  - Χρησιμοποιούν **κόκκινο** φως laser
- Συσκευές αναπαραγωγής DVD (βίντεο υψηλής ανάλυσης)
  - Χρησιμοποιούν **μπλε** φως laser
  - Το μπλε φως έχει μικρότερο μήκος κύματος από το κόκκινο, οπότε παρέχει υψηλότερη πυκνότητα αποθήκευσης
- Συστήματα επικοινωνιών οπτικών ινών
  - συχνά, οι οπτ. ίνες “συντονίζονται” σε συγκεκριμένη συχνότητα
- Συστοιχίες laser ημιαγωγών χρησιμοποιούνται ως λυχνίες flash για τη διέγερση άλλων laser

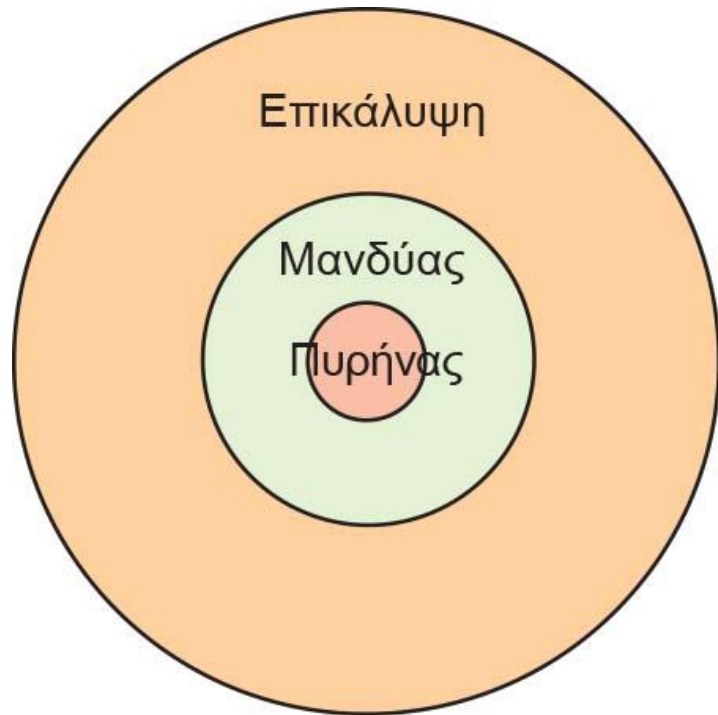
# Οπτικές Ιδιότητες

## □ Οπτικές ίνες

Σχηματική αναπαράσταση των δομικών συστατικών ενός συστήματος επικοινωνίας οπτικών ινών



# Οπτικές Ιδιότητες



- Οι ίνες έχουν διάμετρο 125  $\mu\text{m}$  ή μικρότερη

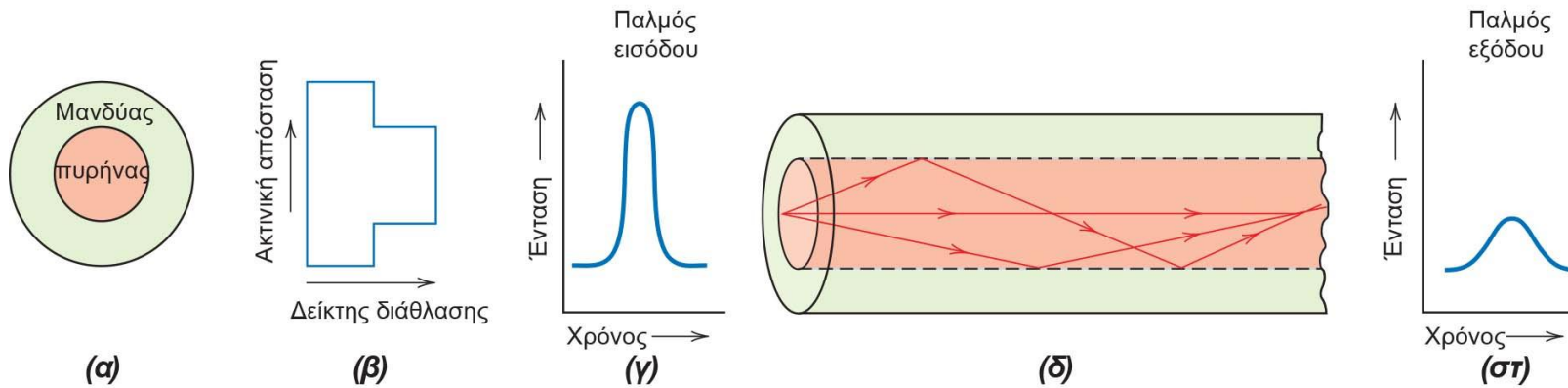
Αποτελείται από τρία βασικά μέρη.

- Στο κέντρο βρίσκεται ο πυρήνας, μέσα από τον οποίο διαδίδεται το φως.
- Γύρω από τον πυρήνα υπάρχει ο **μανδύας**, ο οποίος έχει διαφορετικό δείκτη διάθλασης και κρατά το φως παγιδευμένο μέσα στον πυρήνα.
- Εξωτερικά υπάρχει η **επικάλυψη**, συνήθως από πλαστικό (πάχους 60  $\mu\text{m}$ ), που προστατεύει την ίνα.

Με αυτόν τον τρόπο το φως μπορεί να μεταδίδεται σε μεγάλες αποστάσεις με πολύ μικρές απώλειες.

# Οπτικές Ιδιότητες

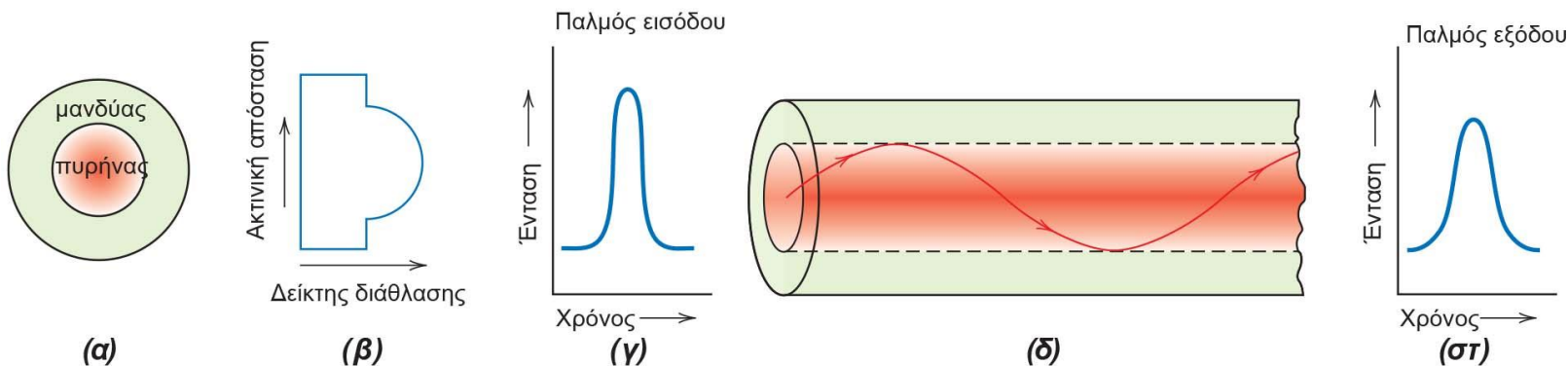
## □ Οπτική ίνα βηματικού δείκτη (step-index)



## Οπτική ίνα βηματικού δείκτη

- Απότομη αλλαγή δείκτη διάθλασης
- Ζιγκ-ζαγκ πορεία φωτός
- Διαφορετικοί χρόνοι άφιξης
- Μεγάλη διασπορά

## □ Οπτική ίνα βαθμιδωτού δείκτη (graded-index)



## Οπτική ίνα βαθμιδωτού δείκτη

- Σταδιακή μεταβολή δείκτη
- Ομαλή καμπύλη πορεία
- Σχεδόν ίδιοι χρόνοι άφιξης
- Μικρή διασπορά

# Οπτικές Ιδιότητες

## Άσκηση:

Ορατό φως με μήκος κύματος  $6 \times 10^{-7} \text{ m}$  εμφανίζεται πορτοκαλί. Να υπολογιστούν η συχνότητα και η ενέργεια ενός φωτονίου αυτού του φωτός.

Δίνεται  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ,  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

# Οπτικές Ιδιότητες

Απάντηση:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{6 \times 10^{-7} \text{ m}} = 5 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ J-s})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{6 \times 10^{-7} \text{ m}}$$

$$= 3.31 \times 10^{-19} \text{ J (2.07 eV)}$$

Μετατροπή σε eV

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$
$$E = \frac{3.31 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \approx 2.07 \text{ eV}$$

# Οπτικές Ιδιότητες

## **Άσκηση:**

Να διακρίνετε τα αδιαφανή, ημιδιαφανή και διαφανή υλικά με βάση την εμφάνισή τους και τη συμπεριφορά τους ως προς τη μετάδοση του φωτός.

## **Απάντηση:**

Τα αδιαφανή υλικά δεν επιτρέπουν τη διέλευση του φωτός· δεν είναι δυνατό να δούμε μέσα από αυτά.

Στα ημιδιαφανή υλικά, το φως μεταδίδεται διάχυτα (υπάρχει εσωτερική σκέδαση του φωτός). Τα αντικείμενα δεν διακρίνονται καθαρά όταν τα παρατηρούμε μέσω ενός ημιδιαφανούς υλικού.

Στα διαφανή υλικά, σχεδόν όλο το προσπίπτον φως μεταδίδεται και μπορούμε να δούμε καθαρά μέσα από αυτά.

# Οπτικές Ιδιότητες

## Άσκηση:

Να εξηγήσετε συνοπτικά γιατί τα μέταλλα εμφανίζονται αδιαφανή στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία της ορατής περιοχής του φάσματος.

## Απάντηση:

Η δομή ζωνών των μετάλλων είναι τέτοια ώστε οι κενές και οι διαθέσιμες ενεργειακές στάθμες ηλεκτρονίων βρίσκονται πολύ κοντά στις κατειλημμένες. Διεγέρσεις ηλεκτρονίων από κατειλημμένες σε κενές στάθμες είναι δυνατές με απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με συχνότητες στην ορατή περιοχή του φάσματος. Η ενέργεια του φωτός είτε απορροφάται πλήρως είτε ανακλάται και, επειδή δεν μεταδίδεται, το μέταλλο είναι αδιαφανές.

# Οπτικές Ιδιότητες

## Άσκηση:

Μπορεί ένα υλικό να έχει δείκτη διάθλασης μικρότερο της μονάδας; Γιατί ή γιατί όχι;

## Απάντηση:

Για να έχει ένα υλικό δείκτη διάθλασης μικρότερο από τη μονάδα, η ταχύτητα του φωτός μέσα στο υλικό ( $v$ ) θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός στο κενό ( $n = \frac{c}{v}$ ). Αυτό δεν είναι δυνατό.

Ο δείκτης διάθλασης δείχνει πόσο πιο αργά ταξιδεύει το φως μέσα σε ένα υλικό σε σχέση με το κενό

# Οπτικές Ιδιότητες

Να εξηγήσετε συνοπτικά τι καθορίζει το χαρακτηριστικό χρώμα ενός **(α) μετάλλου** και **(β) ενός διαφανούς μη μεταλλικού υλικού**.

**Απάντηση:**

## **(α) Μέταλλα**

Το χαρακτηριστικό χρώμα ενός μετάλλου καθορίζεται από τα μήκη κύματος του φωτός που **δεν απορροφώνται και ανακλώνται** από την επιφάνειά του. Δηλαδή, το χρώμα που βλέπουμε είναι το φάσμα της ανακλώμενης ακτινοβολίας.

## **(β) Διαφανή μη μεταλλικά υλικά**

Το χαρακτηριστικό χρώμα καθορίζεται από τα μήκη κύματος του φωτός που **δεν απορροφώνται και μεταδίδονται** μέσα από το υλικό. Δηλαδή, το χρώμα που βλέπουμε είναι το φάσμα της μεταδιδόμενης ακτινοβολίας.

# Οπτικές Ιδιότητες

Να εξηγήσετε συνοπτικά γιατί ορισμένα διαφανή υλικά εμφανίζονται έγχρωμα ενώ άλλα είναι άχρωμα.

## Απάντηση:

Τα διαφανή υλικά είναι άχρωμα όταν απορροφούν εξίσου όλα τα μήκη κύματος της ορατής περιοχής.

Αντίθετα, όταν υπάρχει **επιλεκτική απορρόφηση** στο ορατό φως (συνήθως λόγω διεγέρσεων ηλεκτρονίων), το υλικό εμφανίζεται έγχρωμο. Το χρώμα του εξαρτάται από την κατανομή των συχνοτήτων (ή μηκών κύματος) του φωτός που **μεταδίδεται** μέσα από το υλικό.

Figures adapted from:

Materials Science and Engineering: An Introduction (W. D. Callister Jr. & D. Rethwisch),  
10th ed., Chapter 21.