

BC1105 Materiais e Suas Propriedades

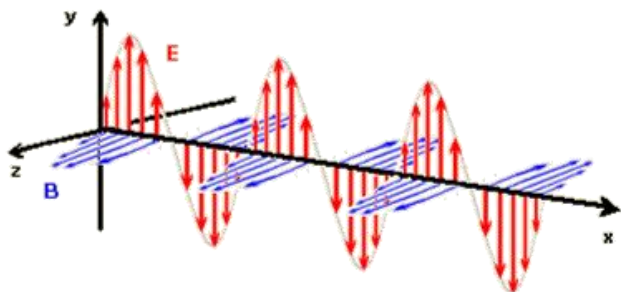
3º Quadrimestre de 2016

Propriedades Ópticas

Erika Fernanda Prados
erika.prados@ufabc.edu.br

NATUREZA DA ENERGIA RADIANTE

- A teoria de Maxwell e aquela quântica fornecem uma explicação teórica consistente dos fenômenos óticos (dualidade):
 - ✓ Ondas (clássica): os campos elétrico (E) e magnético (B) são perpendiculares entre si e à direção de propagação.



$$c = \frac{1}{(\epsilon_0 \mu_0)^{1/2}}$$

c : velocidade da radiação eletromagnética = $3 \cdot 10^8$ m/s no vácuo;

ϵ_0 : permissividade elétrica no vácuo;

μ_0 : permeabilidade magnética no vácuo.

- ✓ Pacotes de energia ou fótons (quântica): geralmente, o conceito de fóton é necessário nos tratamentos da interação da radiação com a matéria.

Espectro das Radiações Eletromagnéticas

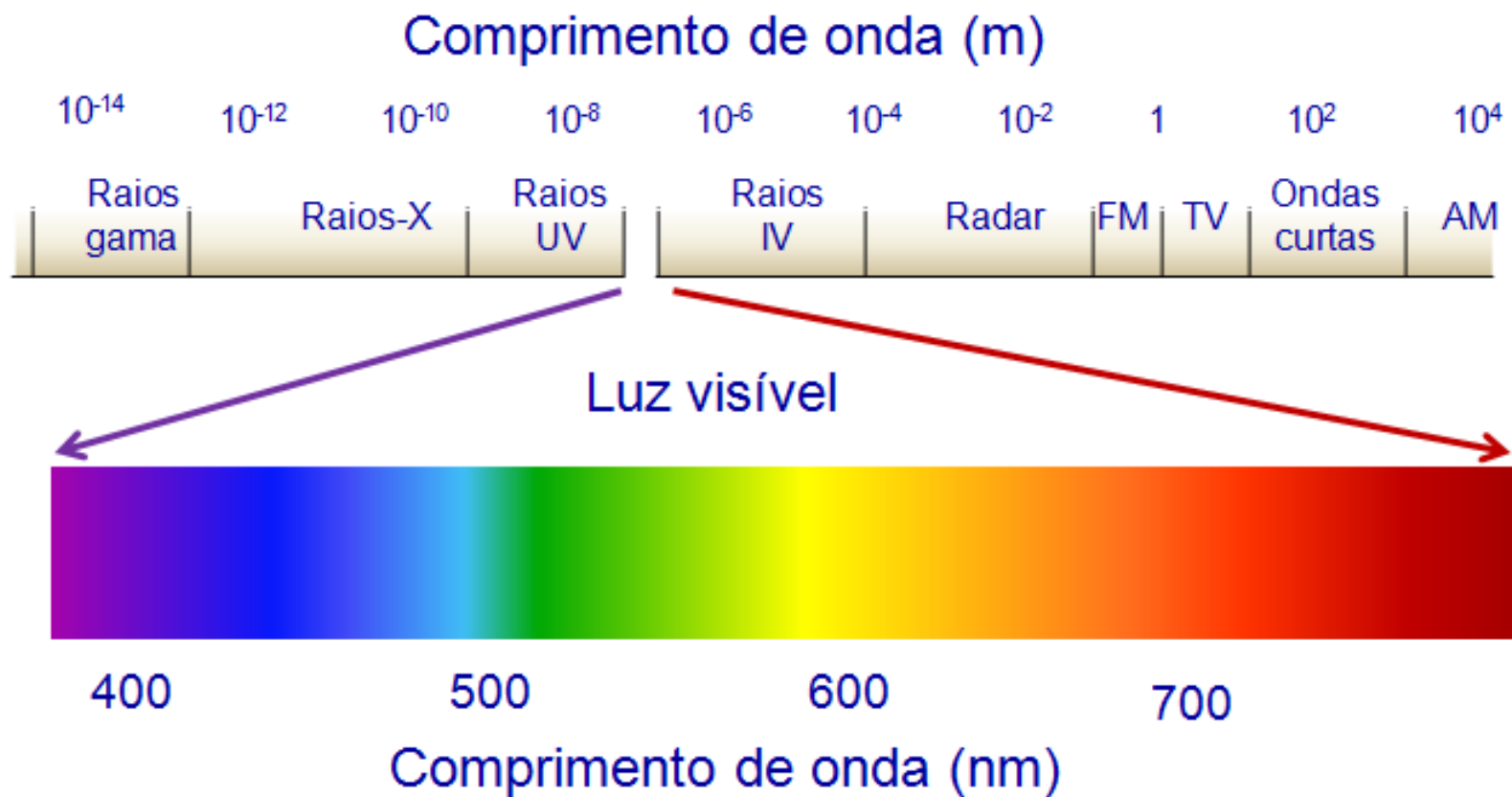
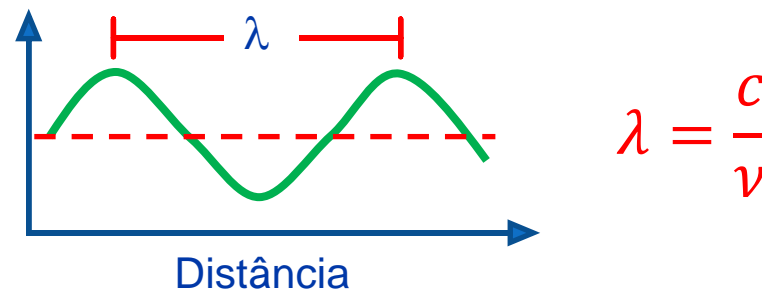


Tabela. Resumo breve da produção e utilização das ondas eletromagnéticas (EM).

Tipo de onda EM	Produção	Aplicações	Relações com a ciência humana	Questões
Radio & TV	Aceleração de cargas	Controles de comunicação remotas	Imagem por ressonância magnética	Requer controles para o uso da banda
Micro-ondas	Aceleração de cargas e agitação térmica	Comunicação, fornos, radar	Aquecimento profundo	Uso no telefones celulares
Infravermelho	Agitação térmica e transições eletrônicas	Imagem térmica, aquecimento	Absorvida pela atmosfera	Efeito estufa
Luz visível	Agitação térmica e transições eletrônicas	Onipresente	Fotossíntese, visão humana	
Ultravioleta	Agitação térmica e transições eletrônicas	Esterilização, Controle do câncer	Produção da vitamina D	Destruição do ozônio, causa câncer
Raios-x	Transições eletrônicas internas	Segurança, médico	Diagnóstico médico, terapia do câncer	Causa câncer
Raios-γ	Decaimento nuclear	Segurança, medicina nuclear	Diagnóstico médico, terapia do câncer	Causa câncer, danos por radiação

NOMENCLATURA

Comprimento de onda (λ) – é a distância na direção da propagação de uma onda periódica entre dois pontos sucessivos onde a fase é a mesma em um determinado tempo. A unidade no SI é **m**.



Frequência (ν) – é o número de oscilações por segundo descrita pela onda eletromagnética. A unidade no SI é o **hertz** (1 Hz = 1 ciclo/s).

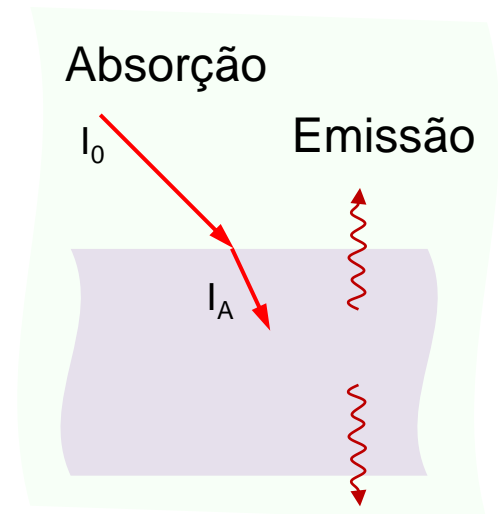
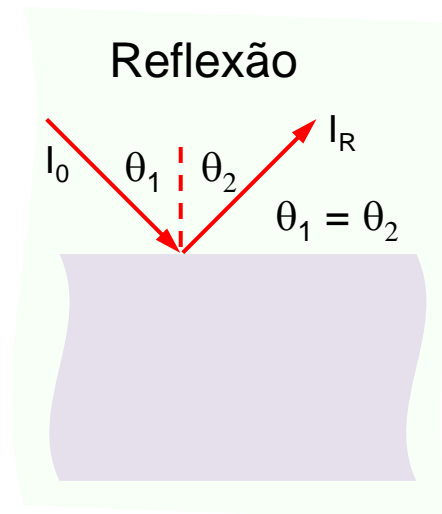
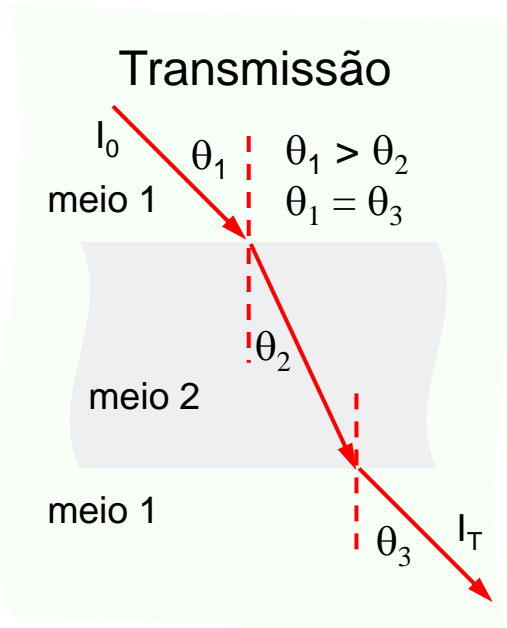
O conteúdo de energia de um fóton (E) é diretamente proporcional à frequência (ν) e inversamente proporcional ao comprimento de onda (λ).

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

Onde, h é a constante de Planck que é $\sim 6,63 \times 10^{-34}$ J/s.

INTERAÇÕES DA LUZ COM OS SÓLIDOS

- Quando um feixe de luz se propaga de um meio para outro, podem ocorrer os seguintes fenômenos:
 - ✓ Transmissão;
 - ✓ Absorção;
 - ✓ Reflexão na interface entre os dois meios.



$$I_0 = I_T + I_A + I_R \text{ (em W/m}^2\text{)}$$

ou

$$T + A + R = 1$$

Onde,

I_0 é a intensidade do feixe incidente à superfície de um meio sólido e I_T , I_A , e I_R são as intensidades dos feixes transmitidos, absorvidos e refletidos, respectivamente.

T é a transmitância (I_T / I_0);

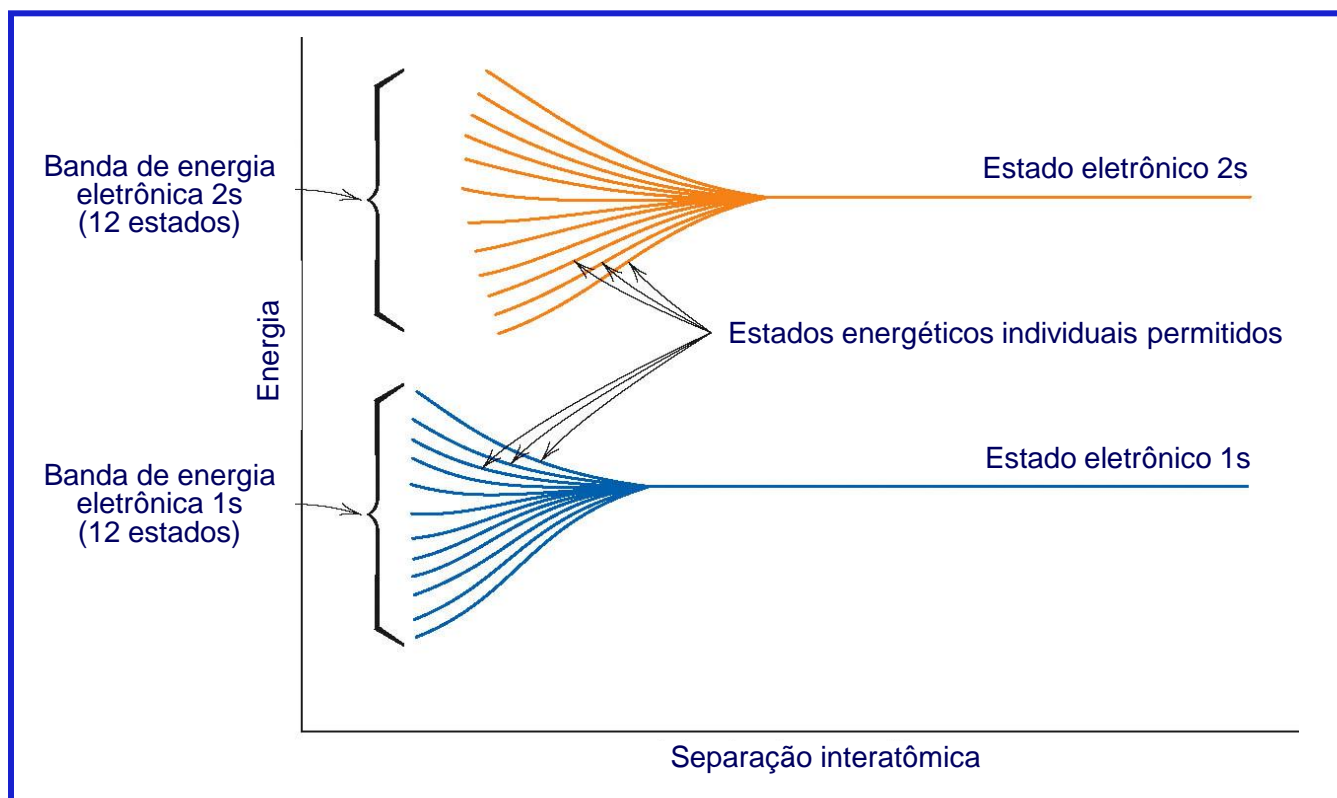
A é a absorbância (I_A / I_0); e,

R é a refletância (I_R / I_0).

- ✓ Materiais transparentes: $T \gg A + R$
- ✓ Materiais opacos: $T \ll A + R$
- ✓ Materiais translúcidos: T pequeno; a luz é transmitida difusamente.

BANDAS DE ENERGIA NOS SÓLIDOS

- Gráfico esquemático da energia eletrônica em função da separação interatômica para um agregado de 12 átomos ($N = 12$). Com a aproximação cada um dos estados atômicos 1s e 2s se divide para formar uma banda de energia eletrônica que consiste em 12 estados. Cada estado de energia é capaz de acomodar dois elétrons que devem possuir spins com sentidos opostos.

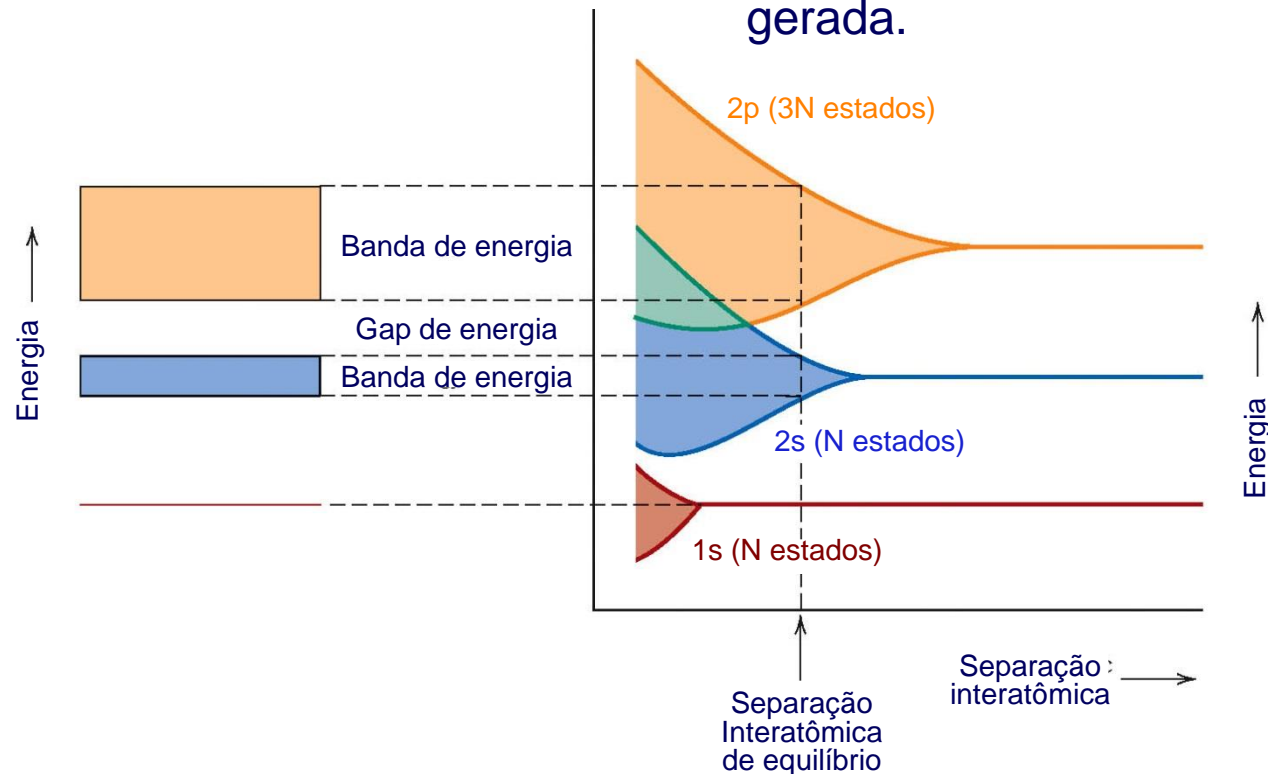


BANDAS DE ENERGIA NOS SÓLIDOS

- Bandas de energia eletrônica para um material sólido formado por N átomos.

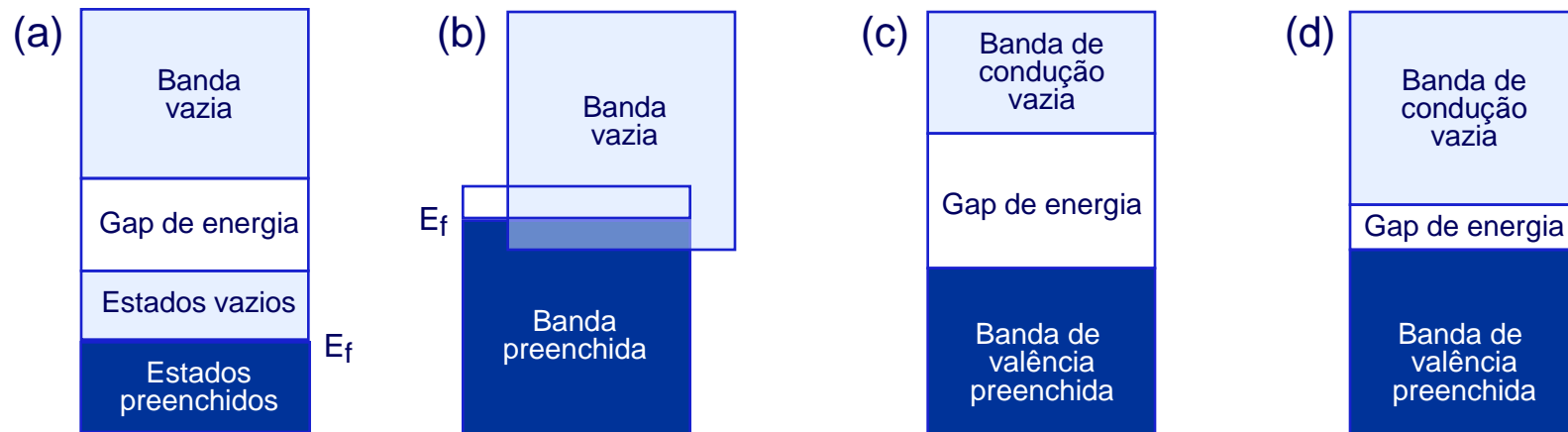
✓ Representação convencional da estrutura da banda de energia eletrônica para um material sólido na separação interatômica de equilíbrio.

✓ Energia eletrônica em função da separação interatômica para um agregado de N átomos, ilustrando como a estrutura da banda de energia na separação interatômica de equilíbrio é gerada.



ESTRUTURAS DE BANDAS DE ENERGIA NOS SÓLIDOS

Estruturas de bandas de energia possíveis para sólidos a 0 K.



- (a) Bandas de energia de **METAIS** tais como o cobre ($Z = 29$, ... $3d^{10} 4s^1$) nos quais se encontram disponíveis, na mesma banda de energia, estados eletrônicos não preenchidos acima e adjacentes a estados eletrônicos preenchidos.
- (b) Bandas de energia de **METAIS** tais como o magnésio ($Z = 12$, $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$) nos quais ocorre a superposição das bandas de energia mais externas, a preenchida e a não-preenchida.
- (c) Bandas de energia típicas de **ISOLANTES**: a BANDA DE VALÊNCIA (banda de energia preenchida) é separada da BANDA DE CONDUÇÃO (banda de energia não-preenchida) por um **GAP DE ENERGIA** (banda de energia proibida, ou seja, barreira de energia) de largura relativamente grande (>2 eV).
- (d) Bandas de energia de **SEMICONDUCTORES**: a estrutura de bandas de energia é semelhante à dos isolantes, mas com gaps de energia de larguras menores (<2 eV).

PROPRIEDADES ÓTICAS DOS METAIS

Seja o diagrama de energia para os metais: 



- E_F é a energia de Fermi e é aquela abaixo da qual, a 0K, todos os níveis eletrônicos estão cheios e acima vazios.
- Para $T > 0K$, E_F é a energia na qual metade dos estados de energia disponíveis estão ocupados.

- A radiação incidente (I_0), com λ na faixa do visível, é absorvida pelos elétrons promovendo-os para posições desocupadas acima do nível de Fermi.
- Os elétrons que foram promovidos acima do nível de Fermi decaem para níveis menores de energia e emitem luz.
- Assim a luz absorvida pela superfície metálica é re-emitida (refletida) na forma de luz visível.
 - ✓ Os metais são opacos e refletivos ($I_R / I_0 = 0,90-0,95$).
 - ✓ A energia remanescente geralmente é perdida como calor.
 - ✓ A cor dos metais depende dos λ refletidos.
- Os metais são transparentes às radiações de comprimentos de onda mais baixos (raios x e raios γ).

PROPRIEDADES ÓTICAS DOS MATERIAIS NÃO-METÁLICOS

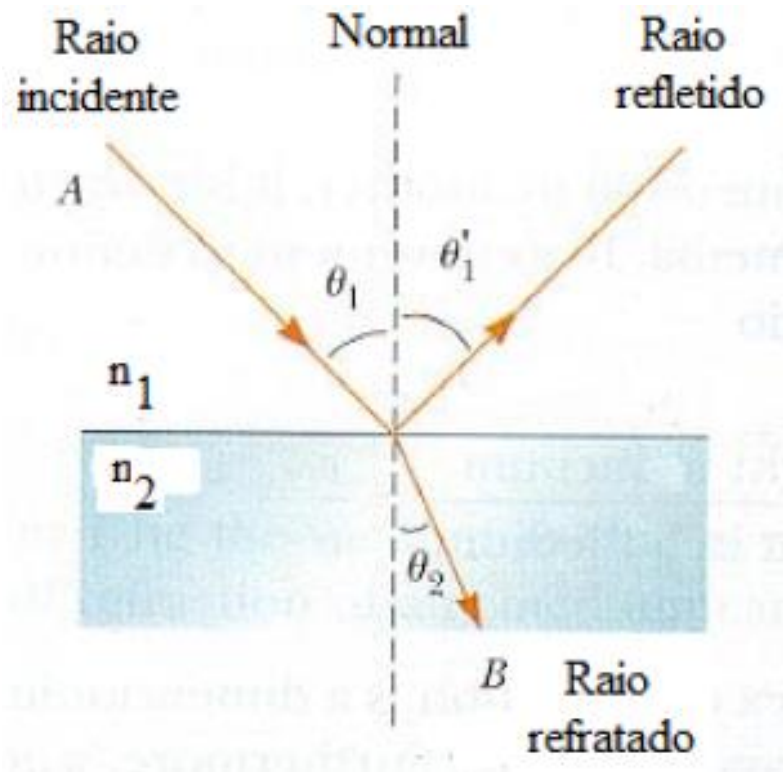
- Os fenômenos mais relevantes são a refração e a transmissão.
- Quando a propagação da luz passa de um meio 1 para um meio 2 podem acontecer:

Onde, n é o **índice de refração** que corresponde a seguinte relação:

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

Sendo c a velocidade da luz no vácuo e v a velocidade da luz no material.

- O valor de $v \leq c$, assim, o n é sempre >1 .



Propriedades Ópticas dos Materiais Não-Metálicos

- Os fótons da radiação visível possuem energias entre 1,8 eV (vermelho) e 3,1 eV (violeta).

$E_g < 1,8$ - opacos à luz visível (absorção), transparentes p/ energias $< 1,8$

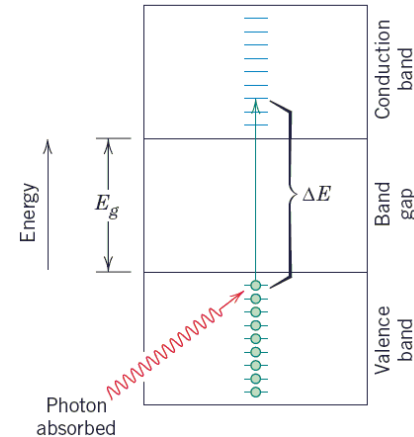
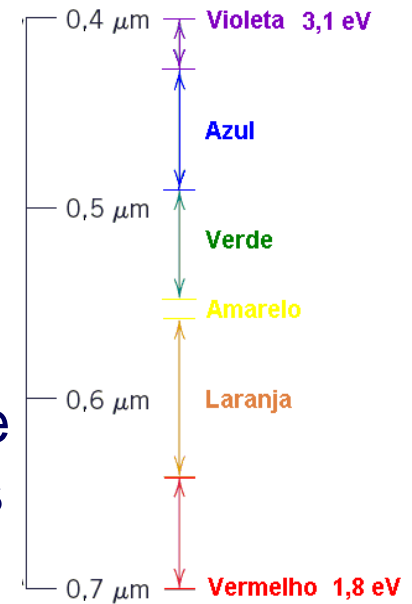
- Os materiais **semicondutores** que têm poço de energia **menor que 1,8 eV** são sempre opacos à luz e possuem um “**aspecto metálico**”.

$3,1 > E_g > 1,8$ - transparentes à luz visível, coloridos

- Os materiais que têm poço de energia entre 1,8 e 3,1 eV são transparentes à luz. Esses materiais são, entretanto, coloridos devido à absorção dos fótons de maior energia.

$E_g > 3,1$ - transparentes à luz visível e incolores

- Os materiais não-metálicos com valores de energia de poço muito altos (maiores que 3,1 eV) são transparentes e incolores para todo o espectro da luz visível.



OPACIDADE E TRANSLUCIDEZ DE MATERIAIS NÃO METÁLICOS

- Um mesmo material pode ser transparente, translúcido ou opaco, dependendo da reflexão interna e da refração do feixe transmitido.

*Monocrystal
transparente*



*Policristal denso
(não poroso)
translúcido*

*Policristal poroso
($\approx 5\%$) opaco*

Óxido de alumínio (Al_2O_3)

FATORES QUE INFLUENCIAM A TRANSPARÊNCIA DOS MATERIAIS

- Contornos de grão;
- Partículas finas dispersas na matriz;
- Porosidade;
- Índice de refração anisotrópico.
- Nos polímeros o grau de cristalinidade determina a sua transparência, pois ocorrem espalhamentos de luz nas interfaces das fases amorfas e cristalinas.
 - ✓ O tamanho dos cristais e a sua distribuição de tamanho também interferem na sua transparência.
- Os polímeros amorfos são transparentes.

REFERÊNCIAS

Callister, 7ª ed. (2008) e 8ª ed. (2012), capítulos 19 (Propriedades Térmicas) e 21 (Propriedades Ópticas) [seções 1 a 10].

Outras referências importantes

- Callister, 5ª ed. (2000), capítulos 20 (Propriedades Térmicas) e 22 (Propriedades Ópticas) [seções 1 a 4, 7, 9 e 10].
- Shackelford, 6ª ed. (2008), Comportamento térmico: Cap.07, Comportamento óptico: Cap. 10: seções 1 e 2.
- Padilha, A.F. – Materiais de Engenharia. Hemus. São Paulo (1997); Caps.17 e 18.
- Van Vlack , L. - Princípios de Ciência dos Materiais, 3ª ed. (1998), Seções 5-14 e 5-15 (comportamento óptico) e Seção 1-3 (comportamento térmico).

http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/thermal_electrical/nonmetal_thermal.php

Portal que ilustra os fônons óticos e acústicos em uma rede 2D