

RADIAÇÃO E ENERGIA SOLAR

Miguel Centeno Brito

Resumo da última aula (1)

Definição de **ângulo sólido**

$$d\omega = \frac{dA_n}{r^2} = \sin \theta \, d\theta \, d\phi$$

Definição de **intensidade espectral de emissão** ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$)

$$I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{dq}{dA_1 \cos \theta \cdot d\omega \cdot d\lambda}$$

Definição de **potência espectral de emissão** ($\text{W}/\text{m}^2 \mu\text{m}$)

$$E_\lambda(\lambda) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi) \cos \theta \sin \theta \cdot d\theta \cdot d\phi$$

Definição de **potência emitida total** (W/m^2)

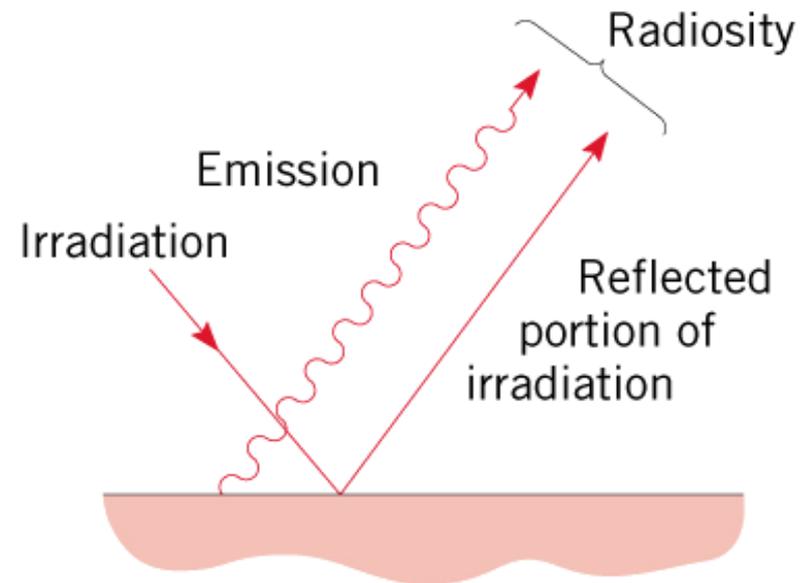
$$E = \int_0^\infty E_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda$$

Resumo da última aula (2)

E: Potência emitida (i.e. emissão térmica)

G: Irradiação (i.e. radiação incidente)

J: Radiosidade (i.e. emissão térmica e radiação reflectida)



Resumo da última aula (3)

Corpo negro é um absorvedor e emissor perfeito

$$I_{\lambda,b}(\lambda, T) = \frac{2hc_o^2}{\lambda^5 [\exp(hc_o/\lambda k_B T) - 1]} \quad \text{Distribuição de Planck}$$

$$E_{\lambda, cn} = \pi I_{\lambda, cn} = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]}$$

$$\lambda_{max} T = C_3 \quad \text{Lei de Wien}$$

$$E_{cn} = \sigma T^4 \quad \text{Lei de Stefan Boltzmann}$$

Resumo da última aula (3)

$$F_{(0 \rightarrow \lambda)} \equiv \frac{\int_0^\lambda E_{\lambda,b} d\lambda}{\int_0^\infty E_{\lambda,b} d\lambda} = \frac{\int_0^\lambda E_{\lambda,b} d\lambda}{\sigma T^4} = \int_0^{\lambda T} \frac{E_{\lambda,b}}{\sigma T^5} d(\lambda T) = f(\lambda T)$$

$$F_{(\lambda_1 \rightarrow \lambda_2)} = \frac{\int_0^{\lambda_2} E_{\lambda,b} d\lambda - \int_0^{\lambda_1} E_{\lambda,b} d\lambda}{\sigma T^4} = F_{(0 \rightarrow \lambda_2)} - F_{(0 \rightarrow \lambda_1)}$$

TABLE 12.2 Blackbody Radiation Functions

λT ($\mu\text{m} \cdot \text{K}$)	$F_{(0 \rightarrow \lambda)}$	$I_{\lambda,b}(\lambda, T)/\sigma T^5$ ($\mu\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{sr}$) ⁻¹	$\frac{I_{\lambda,b}(\lambda, T)}{I_{\lambda,b}(\lambda_{\text{max}}, T)}$
200	0.000000	0.375034×10^{-27}	0.000000
400	0.000000	0.490335×10^{-13}	0.000000
600	0.000000	0.104046×10^{-8}	0.000014
800	0.000016	0.991126×10^{-7}	0.001372
1,000	0.000321	0.118505×10^{-5}	0.016406
1,200	0.002134	0.523927×10^{-5}	0.072534
1,400	0.007790	0.134411×10^{-4}	0.186082
1,600	0.019718	0.249130	0.344904
1,800	0.039341	0.375568	0.519949
2,000	0.066728	0.493432	0.683123
2,200	0.100888	0.589649×10^{-4}	0.816329
2,400	0.140256	0.658866	0.912155
2,600	0.183120	0.701292	0.970891
2,800	0.227897	0.720239	0.997123
2,898	0.250108	0.722318×10^{-4}	1.000000

λT ($\mu\text{m} \cdot \text{K}$)	$F_{(0 \rightarrow \lambda)}$	$I_{\lambda,b}(\lambda, T)/\sigma T^5$ ($\mu\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{sr}$) $^{-1}$	$\frac{I_{\lambda,b}(\lambda, T)}{I_{\lambda,b}(\lambda_{\text{max}}, T)}$
3,000	0.273232	0.720254×10^{-4}	0.997143
3,200	0.318102	0.705974	0.977373
3,400	0.361735	0.681544	0.943551
3,600	0.403607	0.650396	0.900429
3,800	0.443382	0.615225×10^{-4}	0.851737
4,000	0.480877	0.578064	0.800291
4,200	0.516014	0.540394	0.748139
4,400	0.548796	0.503253	0.696720
4,600	0.579280	0.467343	0.647004
4,800	0.607559	0.433109	0.599610
5,000	0.633747	0.400813	0.554898
5,200	0.658970	0.370580×10^{-4}	0.513043
5,400	0.680360	0.342445	0.474092
5,600	0.701046	0.316376	0.438002
5,800	0.720158	0.292301	0.404671
6,000	0.737818	0.270121	0.373965
6,200	0.754140	0.249723×10^{-4}	0.345724

λT ($\mu\text{m} \cdot \text{K}$)	$F_{(0 \rightarrow \lambda)}$	$I_{\lambda, b}(\lambda, T)/\sigma T^5$ ($\mu\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{sr}$) ⁻¹	$\frac{I_{\lambda, b}(\lambda, T)}{I_{\lambda, b}(\lambda_{\text{max}}, T)}$
6,400	0.769234	0.230985	0.319783
6,600	0.783199	0.213786	0.295973
6,800	0.796129	0.198008	0.274128
7,000	0.808109	0.183534	0.254090
7,200	0.819217	0.170256×10^{-4}	0.235708
7,400	0.829527	0.158073	0.218842
7,600	0.839102	0.146891	0.203360
7,800	0.848005	0.136621	0.189143
8,000	0.856288	0.127185	0.176079
8,500	0.874608	0.106772×10^{-4}	0.147819
9,000	0.890029	0.901463×10^{-5}	0.124801
9,500	0.903085	0.765338	0.105956
10,000	0.914199	0.653279×10^{-5}	0.090442
10,500	0.923710	0.560522	0.077600
11,000	0.931890	0.483321	0.066913
11,500	0.939959	0.418725	0.057970
12,000	0.945098	0.364394×10^{-5}	0.050448
13,000	0.955139	0.279457	0.038689
14,000	0.962898	0.217641	0.030131
15,000	0.969981	0.171866×10^{-5}	0.023794
16,000	0.973814	0.137429	0.019026
18,000	0.980860	0.908240×10^{-6}	0.012574
20,000	0.985602	0.623310	0.008629

Radiação do corpo negro

Exemplo 1

Qual a fração da emissão do sol na gama do visível?

Radiação do corpo negro

Exemplo 1

Qual a fração da emissão do sol na gama do visível?

$$\lambda_1 = 0.4 \mu\text{m} \rightarrow \lambda_1 T = 0.4 \times 5800 = 2320 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

$$\lambda_2 = 0.8 \mu\text{m} \rightarrow \lambda_2 T = 0.8 \times 5800 = 4640 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

Da tabela:

$$\left. \begin{array}{l} f_{0 \rightarrow 0.4} = 0.12 \\ f_{0 \rightarrow 0.8} = 0.60 \end{array} \right\} \rightarrow f_{0.4 \rightarrow 0.8} = 0.60 - 0.12 = \underline{\underline{0.48}}$$

e portanto quase metade (48%) da radiação do sol é no visível.

Radiação do corpo negro

Exemplo 1

Considere uma cavidade mantida a 2000 K .

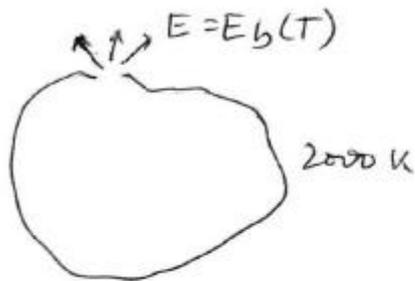
Calcular a potência emitida por uma pequena abertura. Qual o comprimento de onda λ_1 abaixo do qual 10% da emissão ocorre? E qual o comprimento de onda λ_2 acima do qual 10% da emissão ocorre?

Determine ainda a máxima potência espectral e o comprimento de onda correspondente.

Radiação do corpo negro

Exemplo 1

Nesta parte



$$1) E = E_b(T) = \sigma T^4 = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \times 2000^4$$

$$E = 9.07 \times 10^5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$2) F_{(0 \rightarrow \lambda_1)} = 0.10 \longrightarrow \lambda_1 T = 2195 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

TABELA!

$$\lambda_1 = 1.1 \mu\text{m}$$

$$\int_0^{\lambda_1} \frac{E_{\lambda, b}}{\sigma T^5} d(\lambda T) = 0.1$$

$$3) F_{(\lambda_2 \rightarrow \infty)} = 0.10 = 1 - F_{(0 \rightarrow \lambda_2)}$$

$$F_{(0 \rightarrow \lambda_2)} = 0.90 \longrightarrow \lambda_2 T = 9382 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

TABELA!

$$\lambda_2 = 4.69 \mu\text{m}$$

Radiação do corpo negro

Exemplo 2

4) lei de Wien: $\lambda_{\max} \cdot T = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$

$\lambda_{\max} = 1.45 \mu\text{m}$

$\nearrow E_{\lambda,b} = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)}$
 \searrow tabela!

Usando a tabela: (para $\lambda T = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$)

$$I_{\lambda,b}(1.45 \mu\text{m}, T) = 0.722 \times 10^{-4} \sigma T^5$$

$$I_{\lambda,b}(1.45 \mu\text{m}, 2000 \text{K}) = 0.722 \times 10^{-4} \times 5.67 \times 10^{-8} \times 2000^5 = \underline{\underline{1.31 \times 10^5}} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{sr} \mu\text{m}}$$

como é um emissor difuso

$$E_{\lambda,b} = \pi I_{\lambda,b} = \underline{\underline{4.12 \times 10^5}} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \mu\text{m}}$$

Radiação do corpo negro

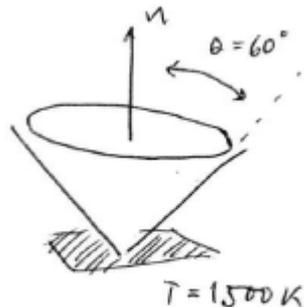
Exemplo 3

Uma superfície emite como um corpo negro a 1500 K.

Qual a potência emitida em todas as direções

$0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ na gama de comprimentos de onda

$2 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 4 \mu\text{m}$?



Radiação do corpo negro

Exemplo 2

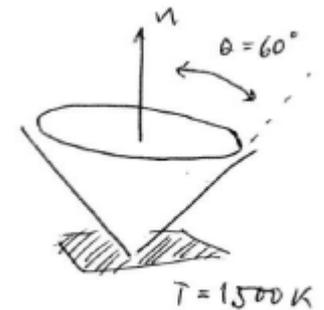
$$E = \int_2^4 \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/3} I_{\lambda,b} \cos \theta \sin \theta \, d\phi \, d\theta \, d\lambda$$

por ser um emissor difuso

$$E = \int_2^4 I_{\lambda,b} \left(\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/3} \cos \theta \sin \theta \, d\theta \, d\phi \right) d\lambda$$

$$E = \int_2^4 I_{\lambda,b} \left(2\pi \frac{\sin^2 \theta}{2} \Big|_0^{\pi/3} \right) d\lambda =$$

$$E = 0.75 \int_2^4 \pi I_{\lambda,b} \, d\lambda$$



$$E = 0.75 E_b \int_2^4 \frac{E_{\lambda,b}}{E_b} d\lambda = 0.75 E_b \left(F_{(0 \rightarrow 4)} - F_{(0 \rightarrow 2)} \right)$$

consultando a tabela vem

$$\lambda_1 T = 2 \times 1500 = 3000 \mu\text{m} \cdot \text{K} \rightarrow F_{(0 \rightarrow 2)} = 0.273$$

$$\lambda_2 T = 4 \times 1500 = 6000 \mu\text{m} \cdot \text{K} \rightarrow F_{(0 \rightarrow 4)} = 0.783$$

e portanto

$$E = 0.75 \cdot E_b (0.783 - 0.273) = \underset{\textcircled{1}}{0.75} \times \underset{\textcircled{2}}{0.465} \times 5.67 \times 10^{-8} \times 1500^4$$

$$E = 10^5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

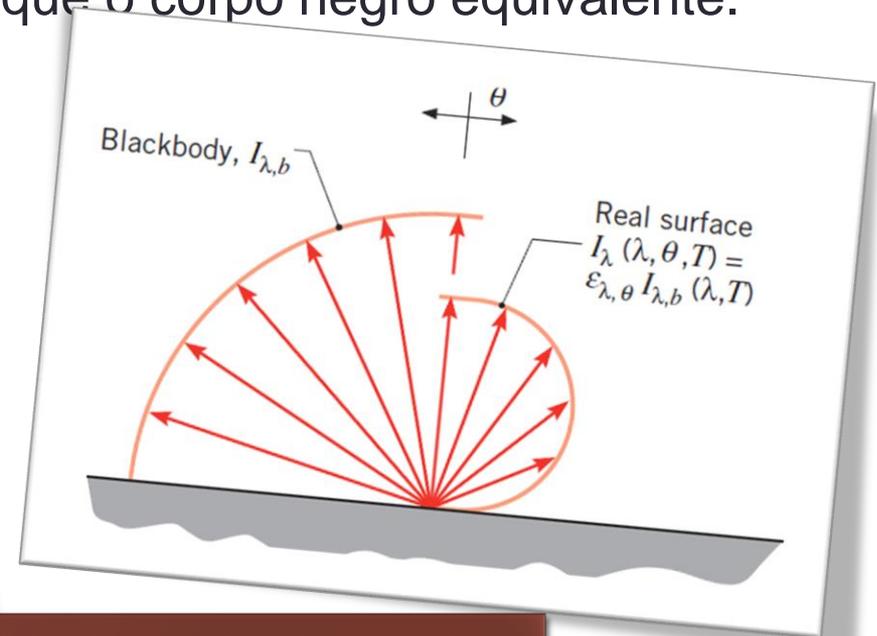
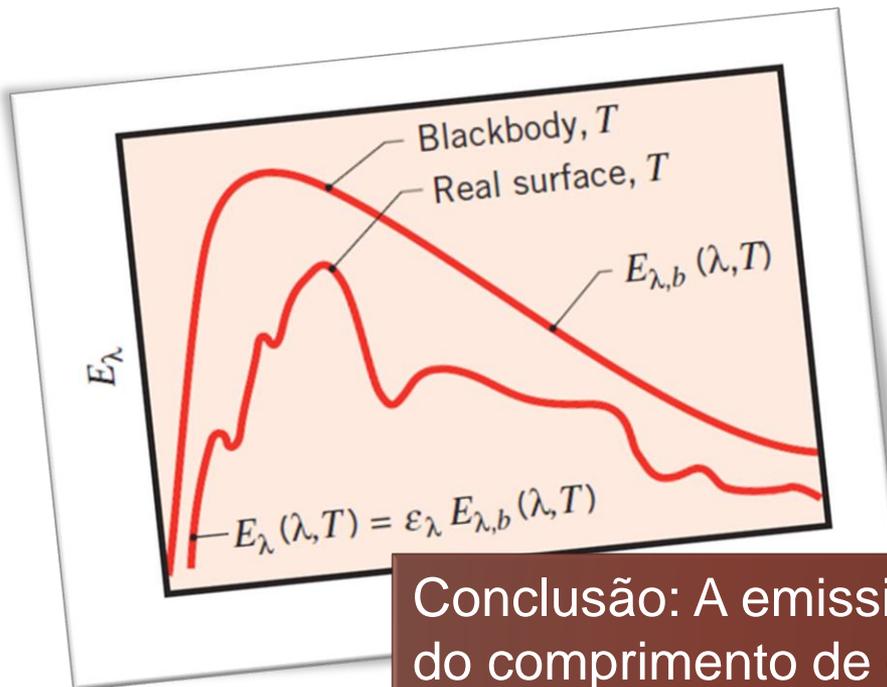
Comentário:

a restrição na direção representa uma perda de 25% ①
e a dos comprimentos de onda uma perda de 53.5% ②

Emissão de uma superfície

Define-se **emissividade** como a razão entre a radiação emitida por uma superfície real e aquela emitida por um corpo negro com a mesma temperatura.

Porque, como o corpo negro é um emissor ideal, uma superfície real emite sempre menos radiação do que o corpo negro equivalente.



Conclusão: A emissividade pode depender do comprimento de onda e/ou da direcção!

Emissão de uma superfície

Define-se **emissividade** como a razão entre a radiação emitida por uma superfície real e aquela emitida por um corpo negro com a mesma temperatura.

Emissividade direccional espectral

razão entre a radiação emitida por uma superfície real, numa direcção e comprimento de onda, e aquela emitida por um corpo negro com a mesma temperatura

$$\varepsilon_{\lambda,\theta}(\lambda, \theta, \phi, T) \equiv \frac{I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi, T)}{I_{\lambda,b}(\lambda, T)}$$

Notar que a radiação do corpo negro não depende da direcção (por definição!)

Emissão de uma superfície

Define-se **emissividade** como a razão entre a radiação emitida por uma superfície real e aquela emitida por um corpo negro com a mesma temperatura.

Emissividade direccional total

razão entre a radiação emitida por uma superfície real numa direcção mas em todos os comprimentos de onda, e aquela emitida por um corpo negro com a mesma temperatura

$$\varepsilon_{\theta}(\theta, \phi, T) \equiv \frac{I_e(\theta, \phi, T)}{I_b(T)}$$

Emissão de uma superfície

Define-se **emissividade** como a razão entre a radiação emitida por uma superfície real e aquela emitida por um corpo negro com a mesma temperatura.

Emissividade hemisférica espectral

razão entre a radiação emitida por uma superfície real em todas as direcções e um comprimento de onda, e aquela emitida por um corpo negro com a mesma temperatura

$$\varepsilon_{\lambda}(\lambda, T) \equiv \frac{E_{\lambda}(\lambda, T)}{E_{\lambda,b}(\lambda, T)}$$

Emissão de uma superfície

Define-se **emissividade** como a razão entre a radiação emitida por uma superfície real e aquela emitida por um corpo negro com a mesma temperatura.

Emissividade hemisférica espectral

$$\varepsilon_{\lambda}(\lambda, T) \equiv \frac{E_{\lambda}(\lambda, T)}{E_{\lambda,b}(\lambda, T)} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi, T) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_{\lambda,b}(\lambda, T) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi}$$

$$\varepsilon_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \varepsilon_{\lambda,\theta}(\lambda, \theta, \phi, T) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi}$$

Emissão de uma superfície

Define-se **emissividade** como a razão entre a radiação emitida por uma superfície real e aquela emitida por um corpo negro com a mesma temperatura.

Emissividade hemisférica espectral

$$\varepsilon_{\lambda}(\lambda, T) \equiv \frac{E_{\lambda}(\lambda, T)}{E_{\lambda,b}(\lambda, T)} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \varepsilon_{\lambda,\theta}(\lambda, \theta, \phi, T) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi}$$

No caso particular da emissividade não depende de ϕ (simetria cilíndrica)

$$\varepsilon_{\lambda}(\lambda, T) = 2 \int_0^{\pi/2} \varepsilon_{\lambda,\theta}(\lambda, \theta, T) \cos \theta \sin \theta d\theta$$

Emissão de uma superfície

Define-se **emissividade** como a razão entre a radiação emitida por uma superfície real e aquela emitida por um corpo negro com a mesma temperatura.

Emissividade hemisférica total

razão entre a radiação emitida por uma superfície real em todas as direcções e todos os comprimentos de onda, e aquela emitida por um corpo negro com a mesma temperatura

$$\varepsilon(T) \equiv \frac{E(T)}{E_b(T)} = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda}(\lambda, T) E_{\lambda,b}(\lambda, T) d\lambda}{E_b(T)}$$

Emissão de uma superfície

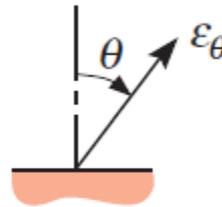
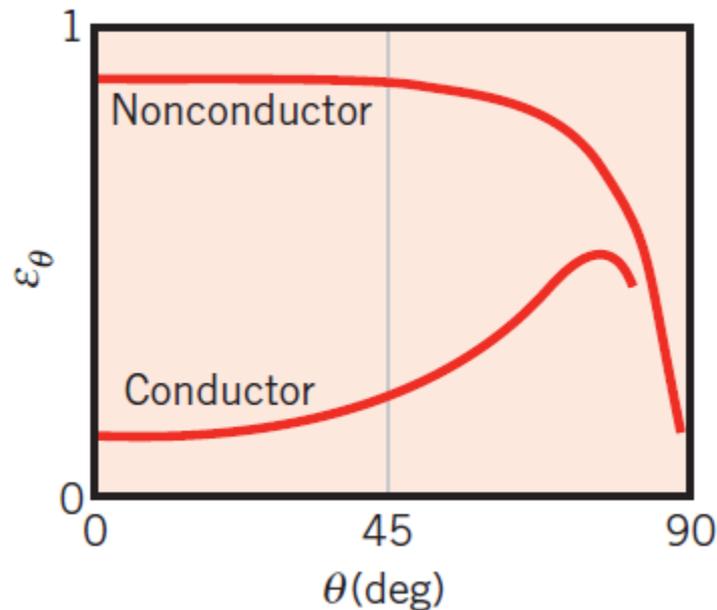
$$E_{\lambda}(\lambda, T) = \varepsilon_{\lambda}(\lambda, T)E_{\lambda,b}(\lambda, T) = \frac{C_1 \varepsilon_{\lambda}(\lambda, T)}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]}$$

Conhecendo a emissividade de uma superfície em função da temperatura podemos portanto determinar a potência emitida.

E como varia a emissividade de uma superfície real, nomeadamente com a direcção, temperatura e o comprimento de onda ?

Emissão de uma superfície

Variação com a direcção



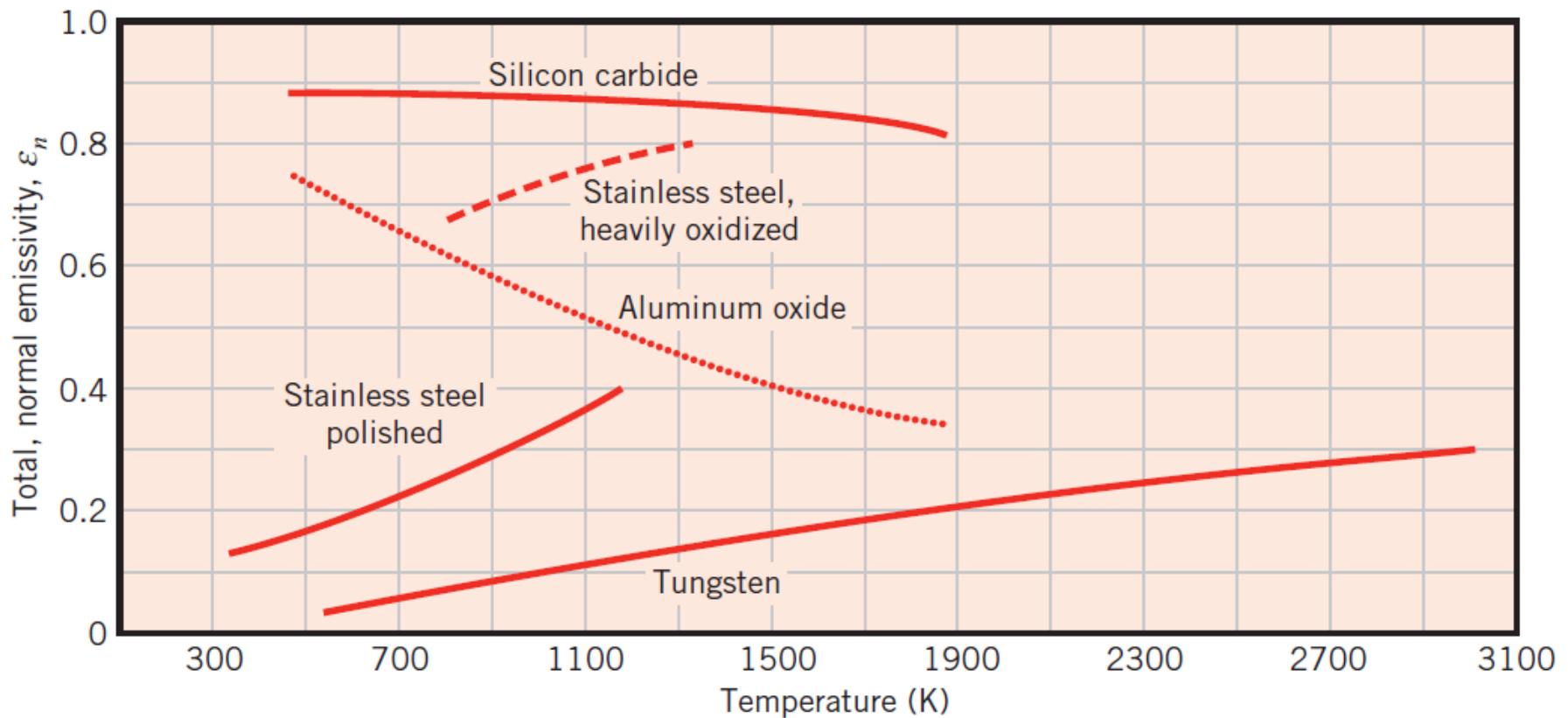
Materiais condutores: $1.0 \leq (\epsilon/\epsilon_n) \leq 1.3$

Materiais não condutores: $0.95 \leq (\epsilon/\epsilon_n) \leq 1.0$

$$\epsilon \approx \epsilon_n$$

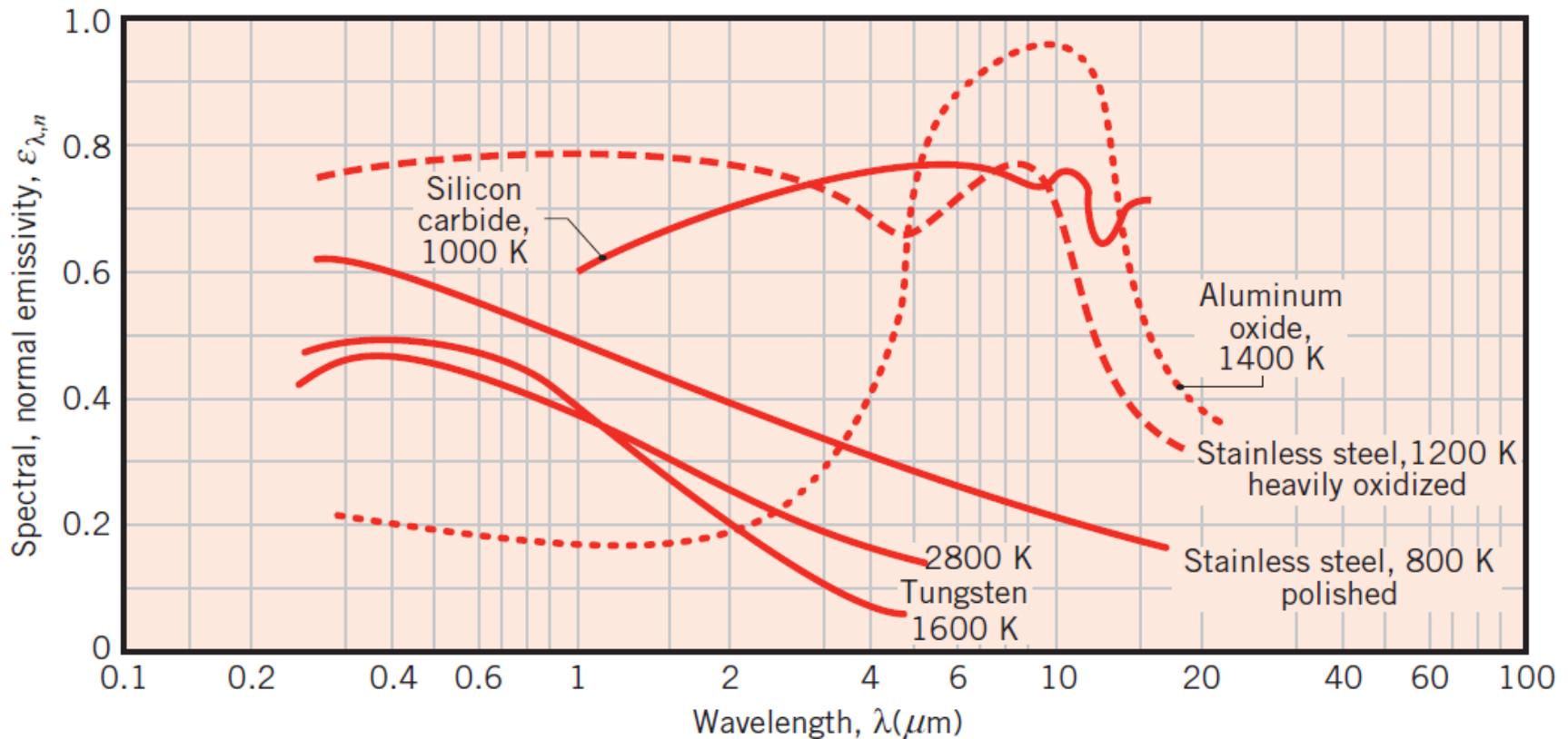
Emissão de uma superfície

Variação com a temperatura



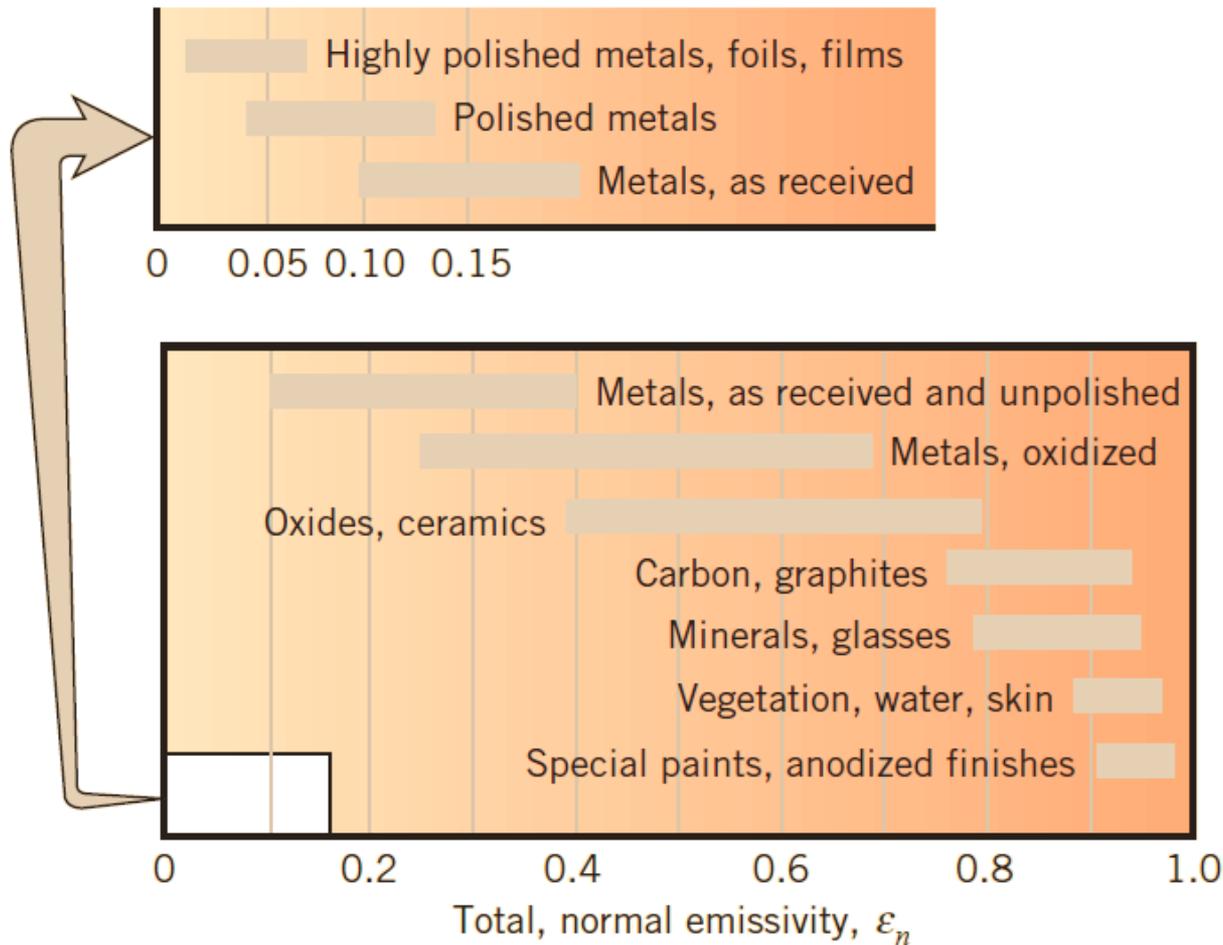
Emissão de uma superfície

Variação com o comprimento de onda



Emissão de uma superfície

Variação com os materiais



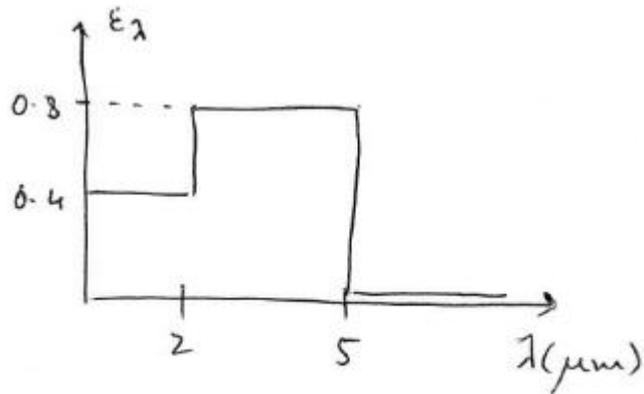
Emissão de uma superfície

- ❑ Emissividade de superfícies metálicas é pequena
- ❑ Camadas oxidantes aumentam significativamente a emissividade das superfícies metálicas
- ❑ Emissividade de não condutores é relativamente alta
- ❑ Emissividade de condutores cresce com a temperatura
- ❑ Emissividade depende fortemente da natureza da superfície

Emissão de uma superfície

Exemplo 1

Uma superfície difusa a 1600 K tem a emissividade hemisférica da figura. Determinar a emissividade total e a potência total de emissão.

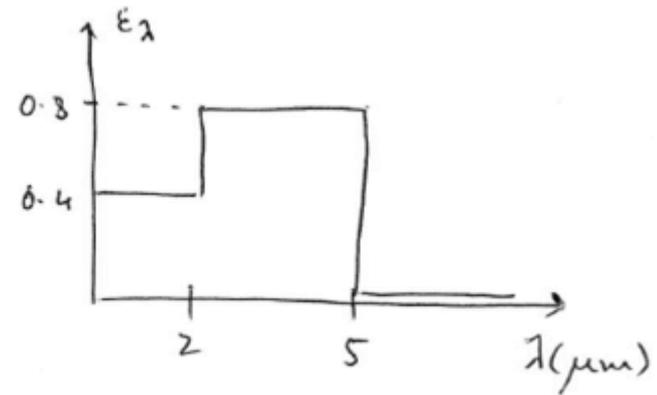


Qual o comprimento de onda em que a potência espectral é máxima?

$$\varepsilon = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda} \cdot E_{\lambda b} d\lambda}{E_b} = \frac{\varepsilon_1 \int_0^2 E_{\lambda b} d\lambda}{E_b} + \frac{\varepsilon_2 \int_2^5 E_{\lambda b} d\lambda}{E_b}$$

e portanto

$$\varepsilon = \varepsilon_1 F_{(0 \rightarrow 2)} + \varepsilon_2 (F_{(0 \rightarrow 5)} - F_{(0 \rightarrow 2)})$$



Da tabela temos

$$\lambda_1 T = 2 \times 1600 = 3200 \longrightarrow f_{0 \rightarrow 2} = 0.318$$

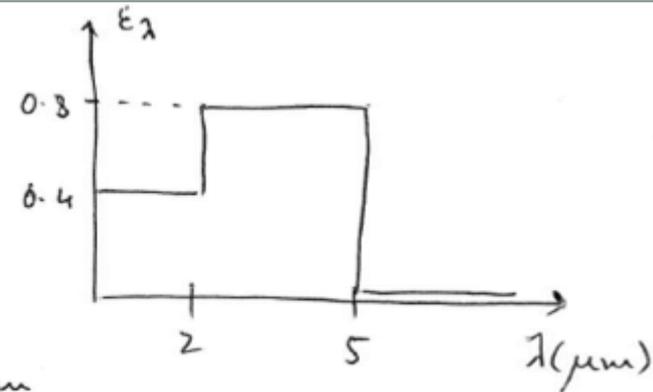
$$\lambda_2 T = 5 \times 1600 = 8000 \longrightarrow f_{0 \rightarrow 5} = 0.856$$

Logo $\varepsilon = 0.4 \times 0.318 + 0.8 \times (0.856 - 0.318) = 0.558$

$$E = \varepsilon E_b = \varepsilon \sigma T^4 = 0.558 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 1600^4 = 207 \frac{\text{KW}}{\text{m}^2}$$

Lei de Wien $\lambda_{max} \cdot T = 2898$

$$T = 1600 \rightarrow \lambda_{max} = 1.81 \mu m$$



Para este comprimento de onda temos

$$E_{\lambda} = \epsilon_{\lambda} E_{\lambda b} = \pi \epsilon_{\lambda} I_{\lambda b} = \pi \epsilon_{\lambda} \left(\frac{I_{\lambda b}}{\sigma T^5} \right) \times \sigma T^5$$

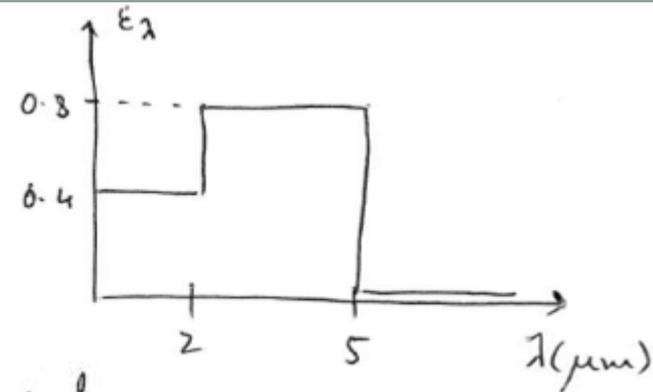
emissor
difuso

$= 0.722 \times 10^{-4}$
(da tabela)

e portanto

$$E_{\lambda} = \pi \epsilon_{\lambda} 0.722 \times 10^{-4} \times 5.67 \times 10^{-8} \times 1600^5 = \boxed{54 \frac{kW}{m^2 \mu m}}$$

máxima potência
espectral entre 0 e 2 μm



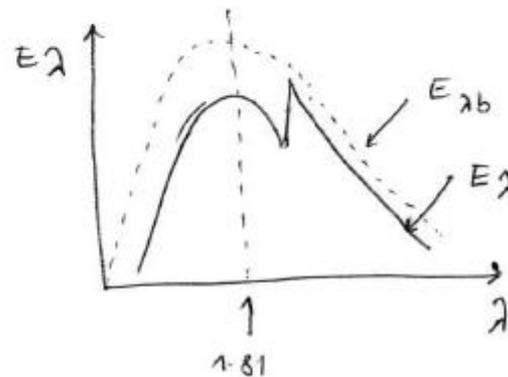
Para $\lambda > 2 \mu\text{m}$ a emissividade aumenta pelo que temos que determinar $E_\lambda(2 \mu\text{m}, 1600 \text{ K})$.

$$E_\lambda(2 \mu\text{m}, 1600 \text{ K}) = \bar{n} \times 0.8 \times \underbrace{0.706 \times 10^{-4}}_{\substack{\text{da tabela, considerando} \\ \lambda \cdot T = 3200}} \times 5.67 \times 10^{-8} \times 1600^5$$

da tabela, considerando $\lambda \cdot T = 3200$

$$E_\lambda(2 \mu\text{m}, 1600 \text{ K}) = \boxed{105.5 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \mu\text{m}}}$$

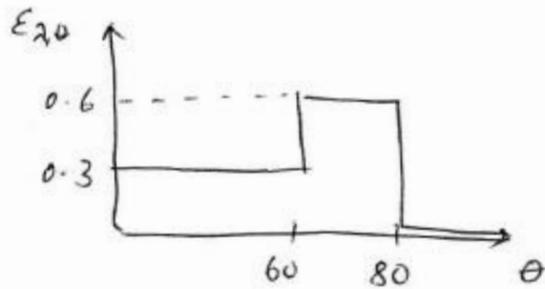
ESTA VAI SER A MÁXIMA POTÊNCIA ESPECTRAL!



Emissão de uma superfície

Exemplo 2

A emissividade espectral direcional de uma a 2000 K superfície metálica é a da figura seguinte, para $\lambda = 1 \mu\text{m}$.



Determinar as emissividades

- espectral normal e
- espectral hemisférica

e a intensidade: espectral normal e a potência espectral.

Emissão de uma superfície

Exemplo 2

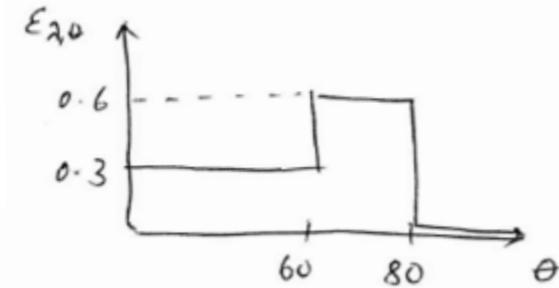
$$1) \quad \epsilon_{\lambda_m} = 0.3$$

$$2) \quad \epsilon_{\lambda}(1\mu\text{m}) = 2 \int_0^{\pi/2} \epsilon_{\lambda,\theta} \cos \theta \sin \theta \, d\theta$$

$$= 2 \left(0.3 \times \int_0^{\pi/3} \cos \theta \sin \theta \, d\theta + 0.6 \times \int_{\pi/3}^{4\pi/9} \cos \theta \sin \theta \, d\theta \right)$$

$$= 2 \left(0.3 \frac{\sin^2 \theta}{2} \Big|_0^{\pi/3} + 0.6 \times \frac{\sin^2 \theta}{2} \Big|_{\pi/3}^{4\pi/9} \right)$$

$$= 2 \left(\frac{0.3}{2} \times 0.75 + \frac{0.6}{2} (0.97 - 0.75) \right) = \underline{\underline{0.36}}$$



Emissão de uma superfície

Exemplo 2

$$3) \quad I_{\lambda n} = \epsilon_{\lambda n} I_{\lambda b} = 0.3 \times \underbrace{0.493 \times 10^{-4}} \times 5.67 \times 10^{-8} \times 2000^5$$

↑ da tabela, para $\lambda T = 2000$:

$$\frac{I_{\lambda b}}{\sigma T^5} = 0.493 \times 10^{-4}$$

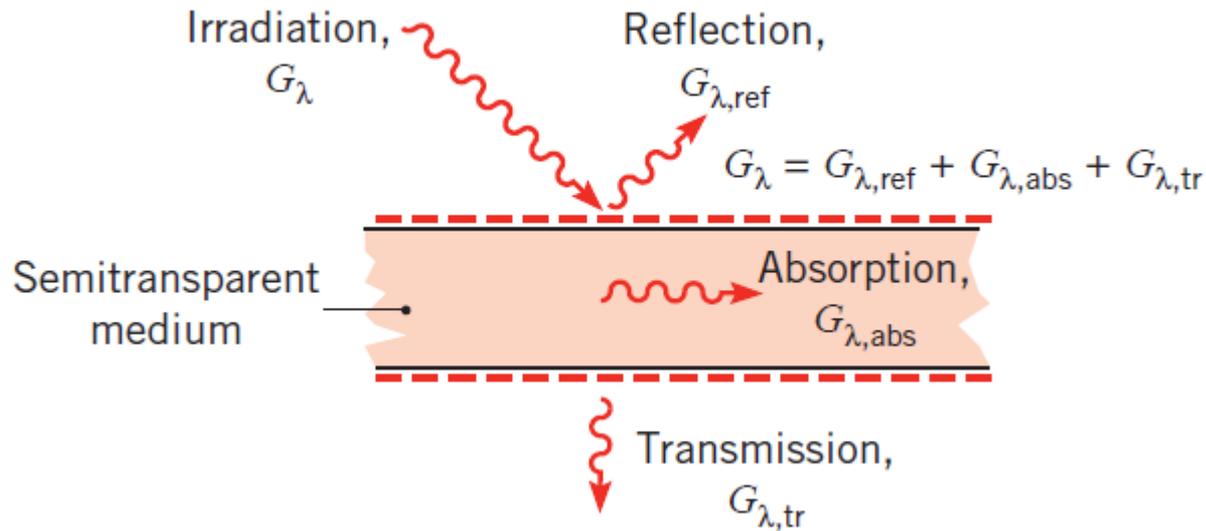
$$I_{\lambda n} = 2.69 \times 10^4 \frac{W}{m^2 \mu m sr}$$

$$4) \quad E_{\lambda} = \epsilon_{\lambda} E_{\lambda b} = \epsilon_{\lambda} \pi I_{\lambda b} = 0.36 \times \pi \times 0.493 \times 10^{-4} \sigma T^5$$

$$E_{\lambda} = 1.01 \times 10^5 \frac{W}{m^2 \mu m}$$

Absorção por superfícies reais

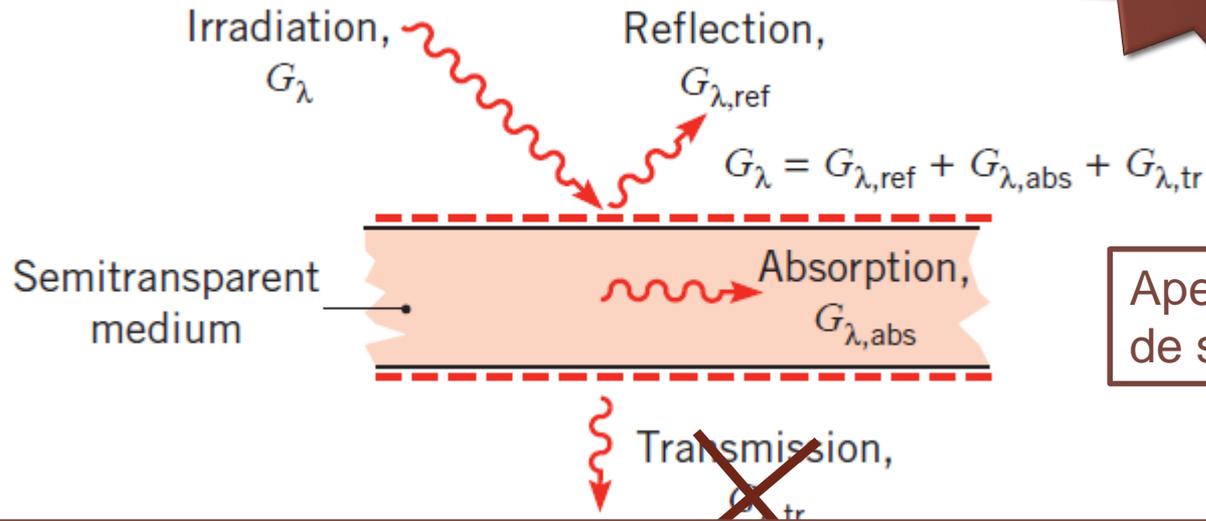
$$G_{\lambda} = G_{\lambda,\text{ref}} + G_{\lambda,\text{abs}} + G_{\lambda,\text{tr}}$$



Absorção por superfícies reais

$$G_\lambda = G_{\lambda,\text{ref}} + G_{\lambda,\text{abs}} + G_{\lambda,\text{tr}}$$

Para
materiais
opacos



Apenas efeitos
de superfície

Percepção de **cor** normalmente associada à **reflexão** e não emissão térmica (excepto para materiais incandescentes).

A cor não é pois uma boa medida da capacidade de absorção ou reflexão de um material (e.g. neve, que é *negra* no infravermelho),