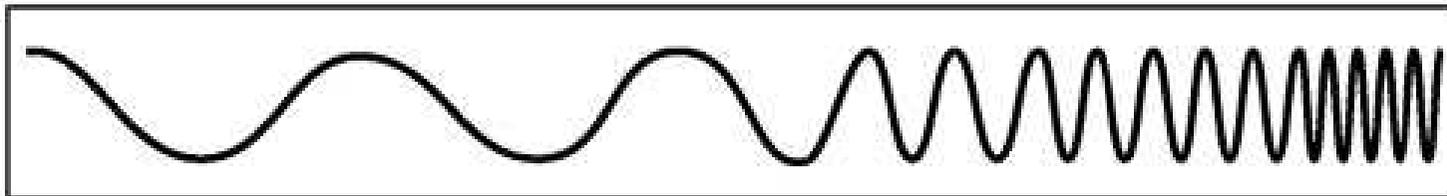
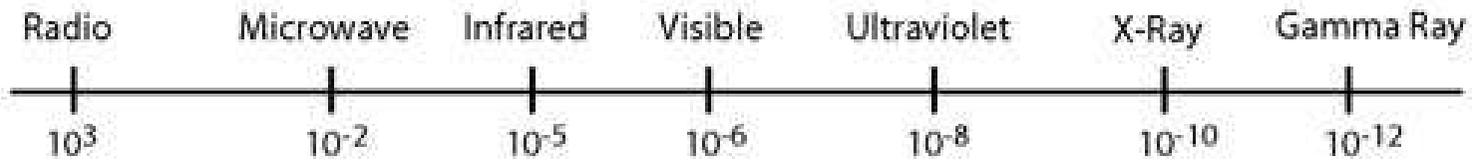
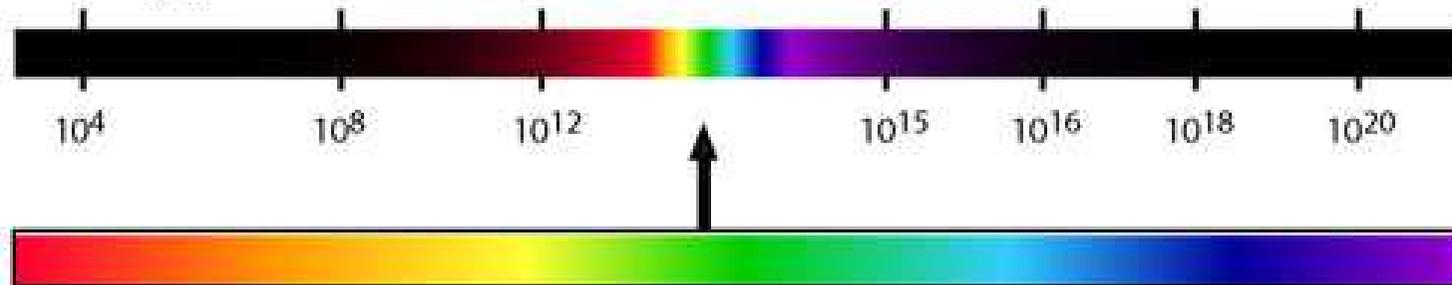


O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Wavelength
(metres)

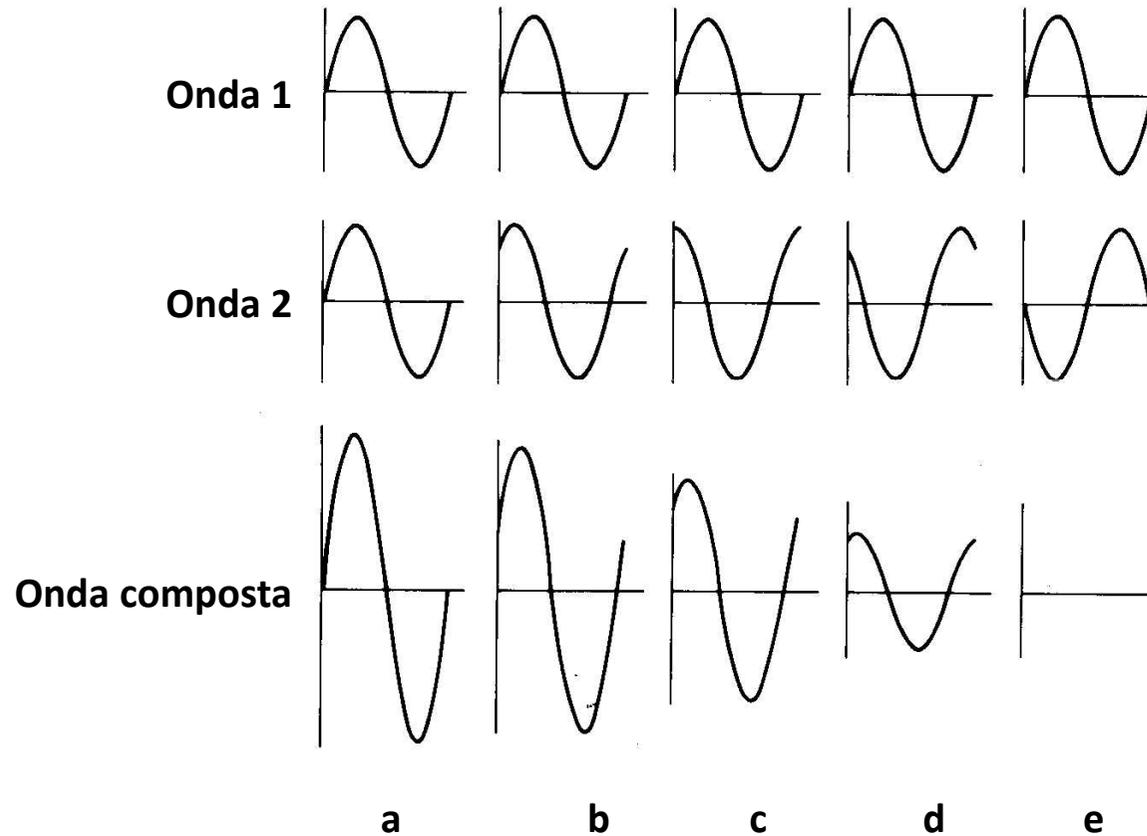


Frequency
(Hz)

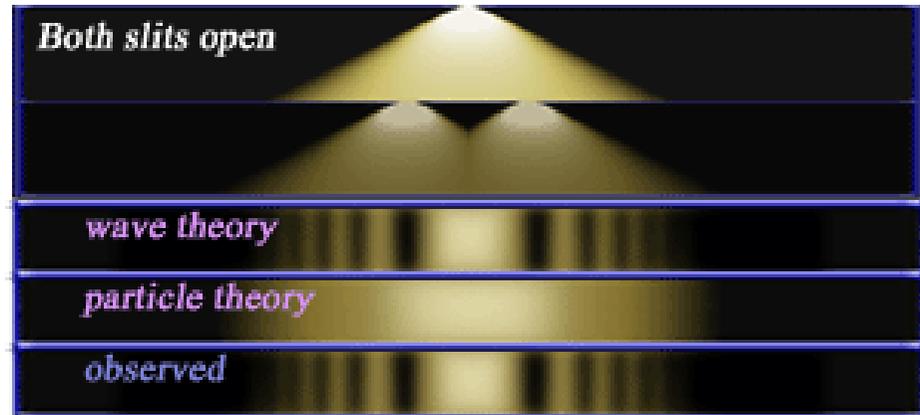
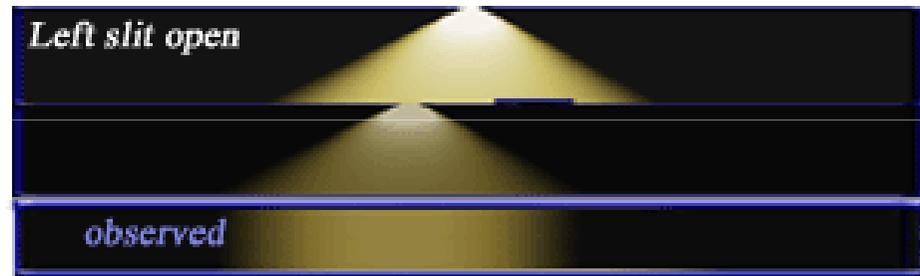
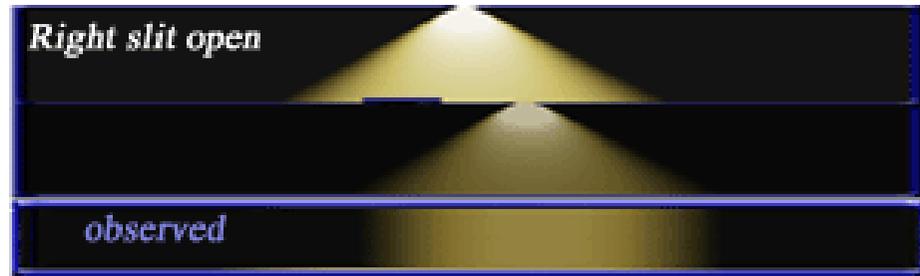
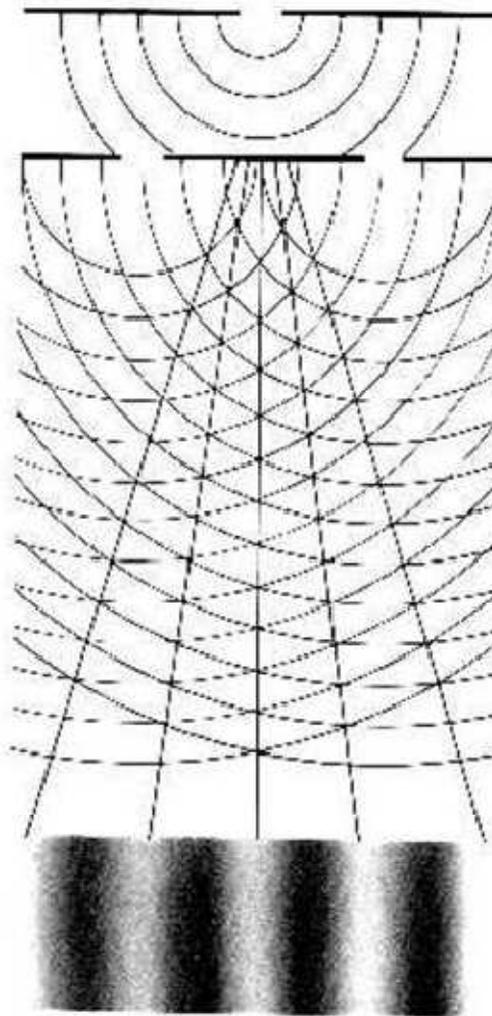


ONDAS:

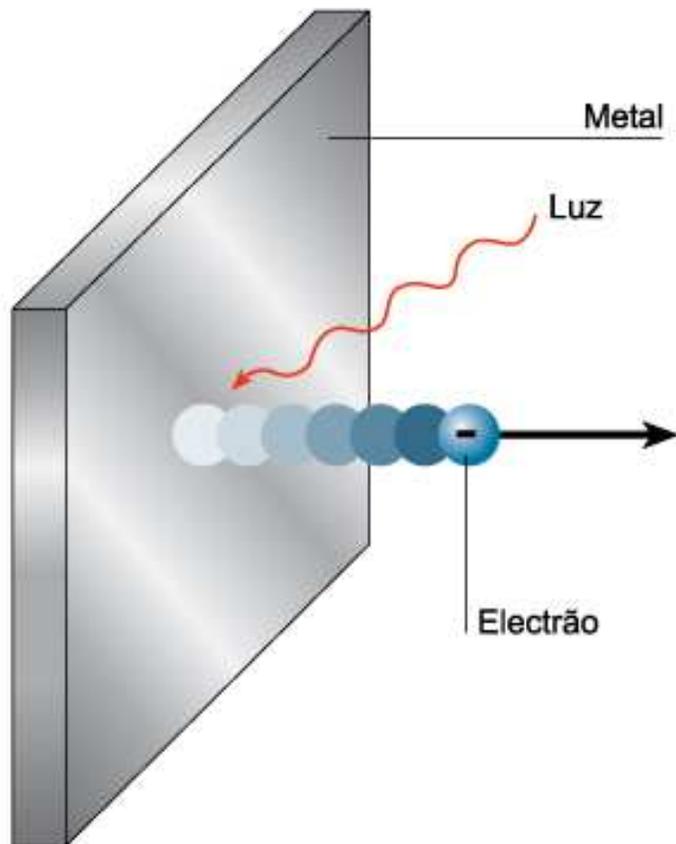
Interferência construtiva e destrutiva



A luz apresenta **interferência**: natureza **ondulatória**:
O experimento de Young (~1800)



Efeito **fotoelétrico**: evidência da natureza **corpúscular** da radiação



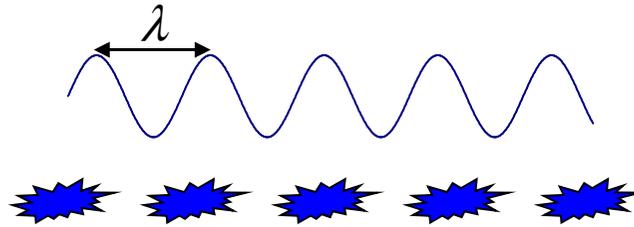
MODELOS ONDULATÓRIO E CORPUSCULAR DA RADIAÇÃO

Lei de Planck do fóton

$$E_f = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

Luz **azul**

Alta intensidade



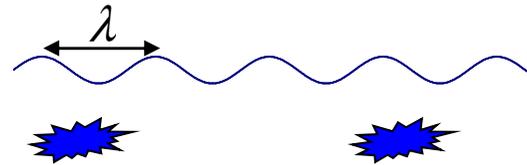
$$\lambda = 450 \text{ nm}$$

$$c = 300\,000 \text{ km/s}$$

$$E_f = 2,76 \text{ eV}$$

Luz **azul**

Baixa intensidade



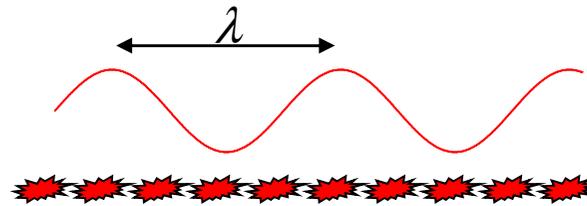
$$\lambda = 450 \text{ nm}$$

$$c = 300\,000 \text{ km/s}$$

$$E_f = 2,76 \text{ eV}$$

Luz **vermelha**

Alta intensidade



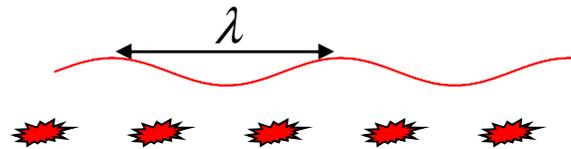
$$\lambda = 670 \text{ nm}$$

$$c = 300\,000 \text{ km/s}$$

$$E_f = 1,85 \text{ eV}$$

Luz **vermelha**

Baixa intensidade



$$\lambda = 670 \text{ nm}$$

$$c = 300\,000 \text{ km/s}$$

$$E_f = 1,85 \text{ eV}$$

COMPRIMENTOS DE ONDA / ENERGIAS TÍPICAS

Tipo de radiação	Comprimento de onda	Energia por fóton
Radiação Terrestre (Infravermelha)	10 μm	0,12 eV
Radiação Visível (“Luz”)	500 nm	2,5 eV
Radiação Ultravioleta	100 nm	12,5 eV
Raios-X	0,1 a 10 nm	125 a 12500 eV
Raios- γ	0,1 a 100 pm	125 a 12500 keV

Exercício

Calcular a frequência e a energia (em J e em eV) de um fóton

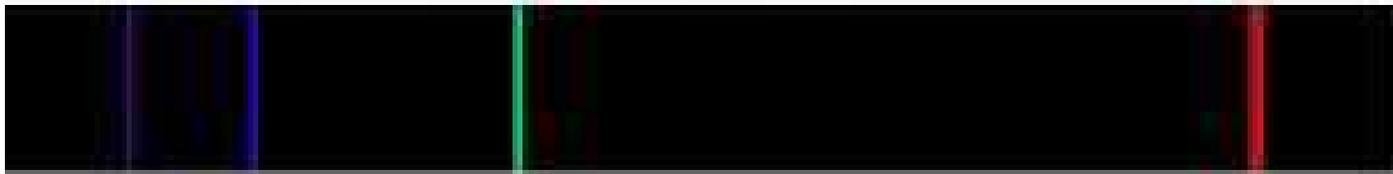
- da luz amarela com $\lambda = 550 \text{ nm}$ ($5,45 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$; $3,61 \cdot 10^{-19} \text{ J}$; $2,26 \text{ eV}$)
- de radiação ultravioleta-C ou “germicida” com $\lambda = 200 \text{ nm}$ ($1,50 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$; $9,94 \cdot 10^{-19} \text{ J}$; $6,21 \text{ eV}$)
- de radiação gama com $\lambda = 20 \text{ pm}$ (1 nanometro = 1000 picometros) ($1,5 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$; $9,9 \cdot 10^{-15} \text{ J}$; $6,2 \cdot 10^4 \text{ eV}$)
- de radiação terrestre, com $\lambda = 10 \text{ }\mu\text{m}$ ($3,0 \cdot 10^{13} \text{ Hz}$; $2,0 \cdot 10^{-20} \text{ J}$; $0,12 \text{ eV}$)
- produzido num forno de micro-ondas, com $\lambda = 12 \text{ cm}$ ($2,5 \cdot 10^9 \text{ Hz}$; $1,7 \cdot 10^{-24} \text{ J}$; $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ eV}$)
- quantos mol de fótons um forno de micro-ondas de 900 W produz por segundo? ($880 \text{ mol-fótons} = 880 \text{ Einstein}$)

TIPOS DE ESPECTRO

Contínuo – sólidos, líquidos, gases densos



Raias – gases rarefeitos



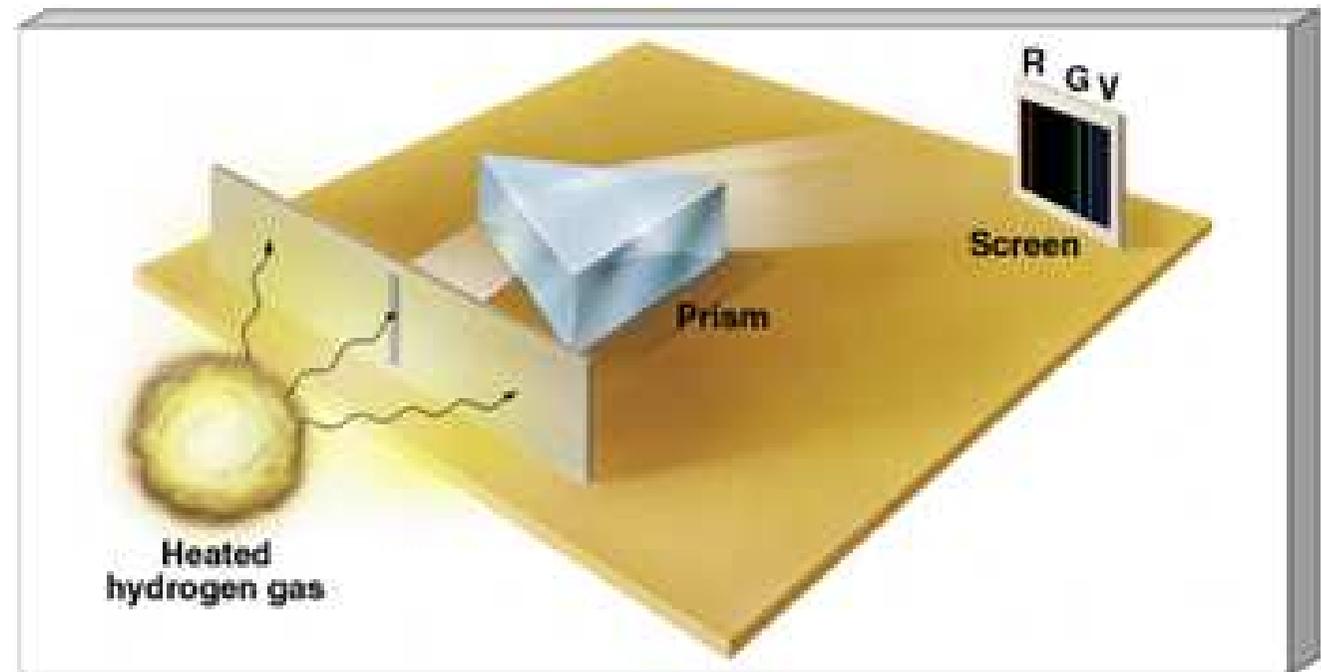
Contínuo com linhas de absorção



POR QUE

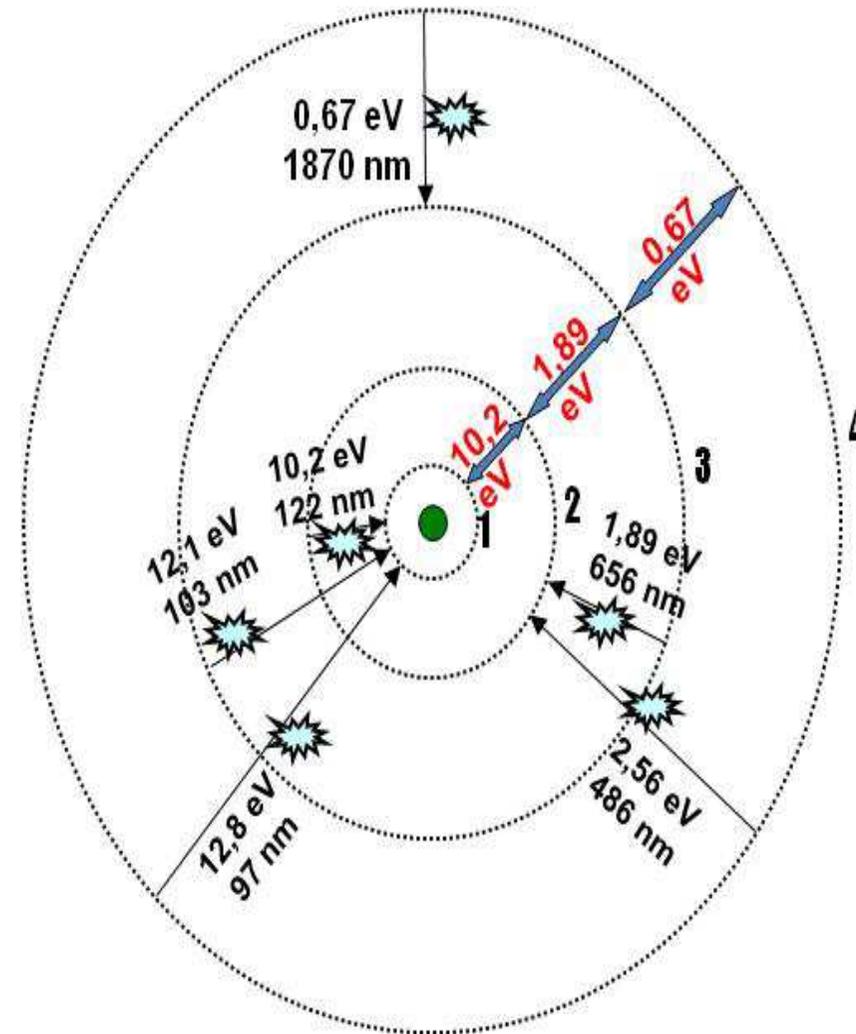
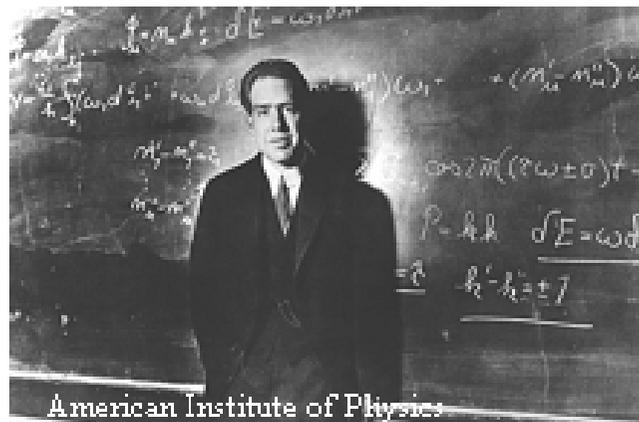
RAIAS?

(GAS RAREFEITO)

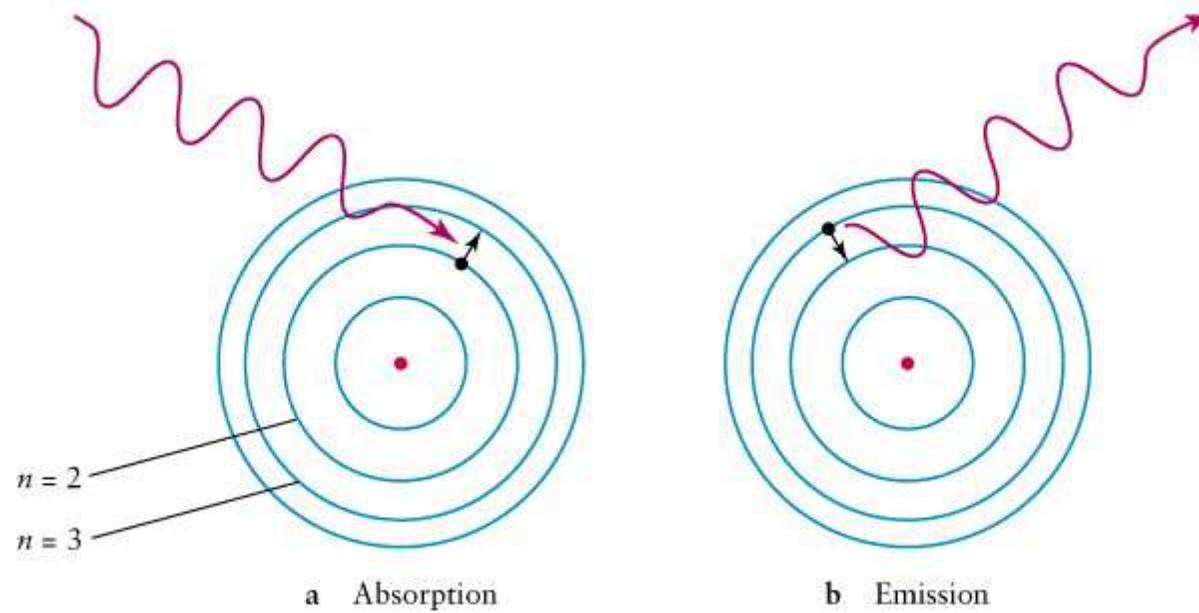


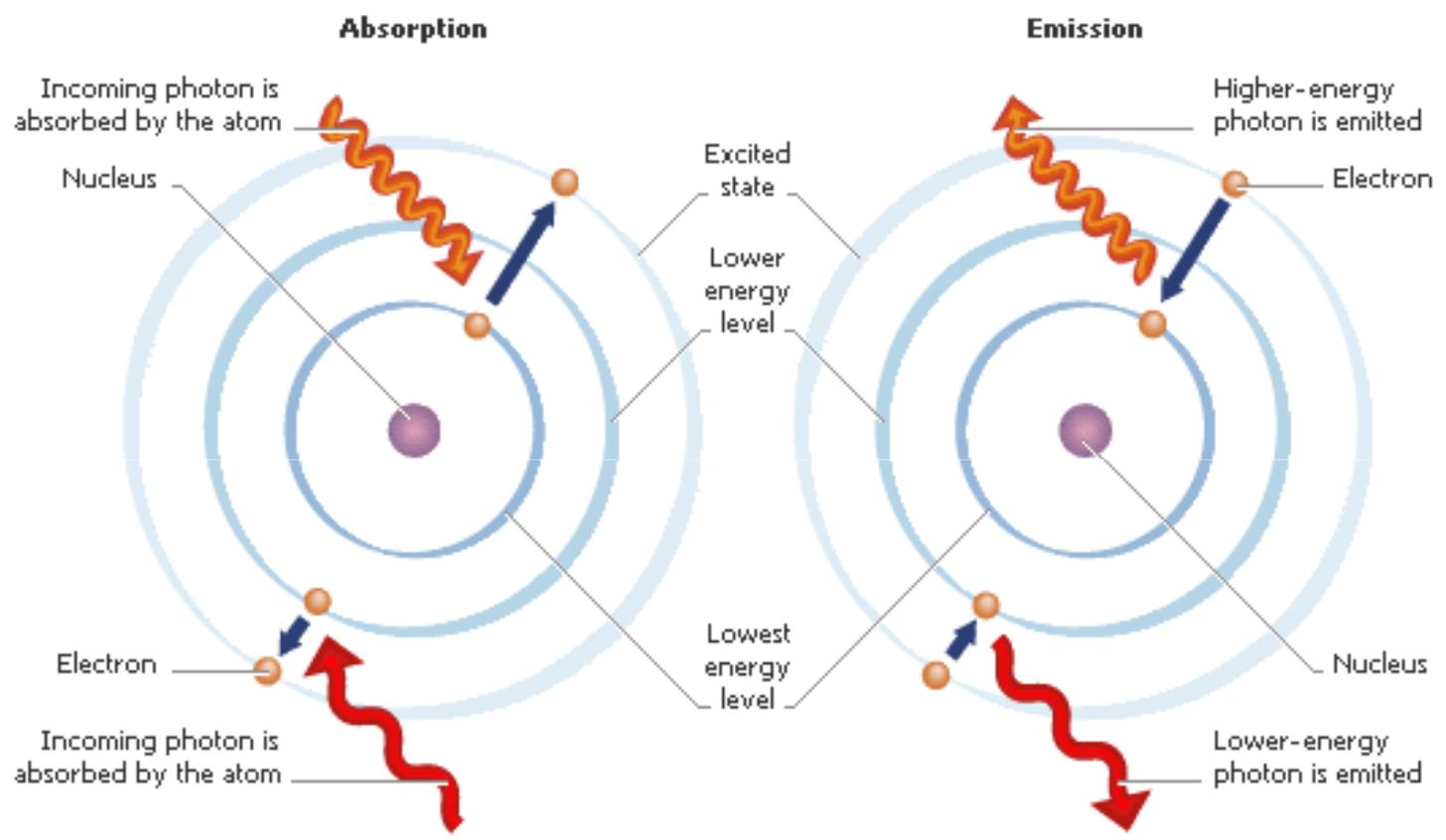
O átomo de hidrogênio de BOHR

POR QUE RAIAS? (GAS RAREFEITO)

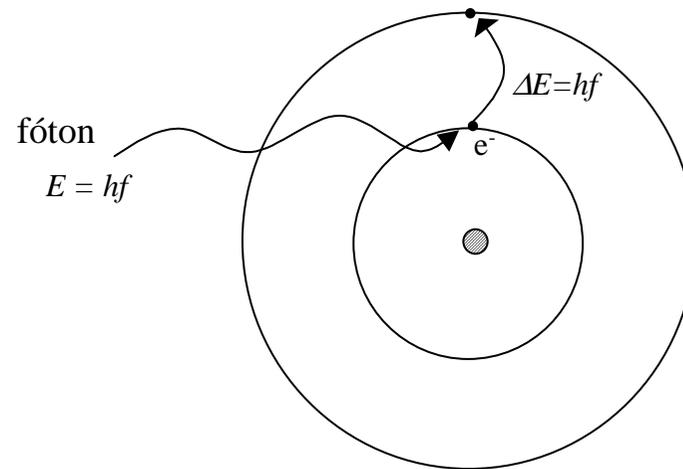


Mecanismos de emissão e absorção de radiação





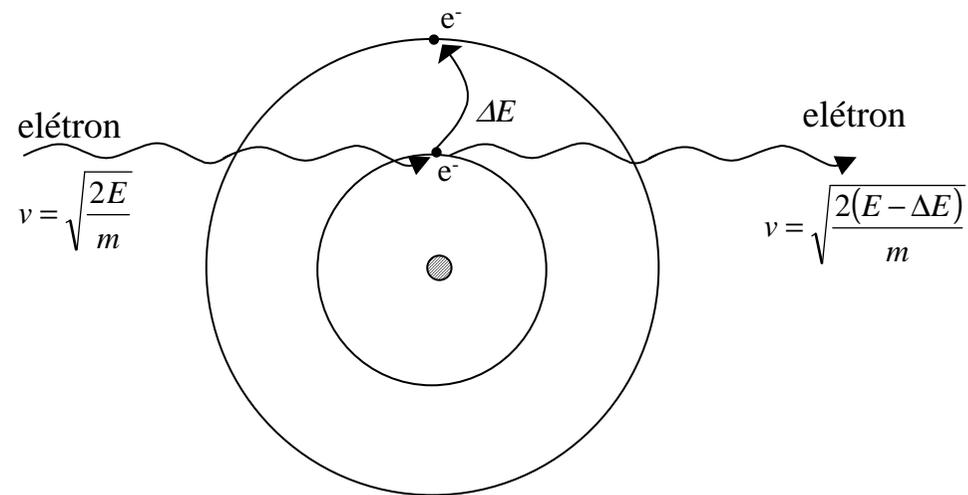
Excitação eletrônica



Mecanismo 1.

A incidência de um fóton num elétron pode causar a sua excitação com a conseqüente absorção do fóton.

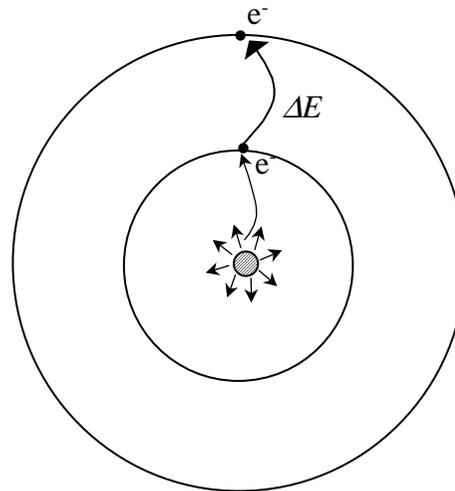
Excitação eletrônica



Mecanismo 2.

A incidência de um elétron livre num elétron da estrutura atômica pode causar a sua excitação.

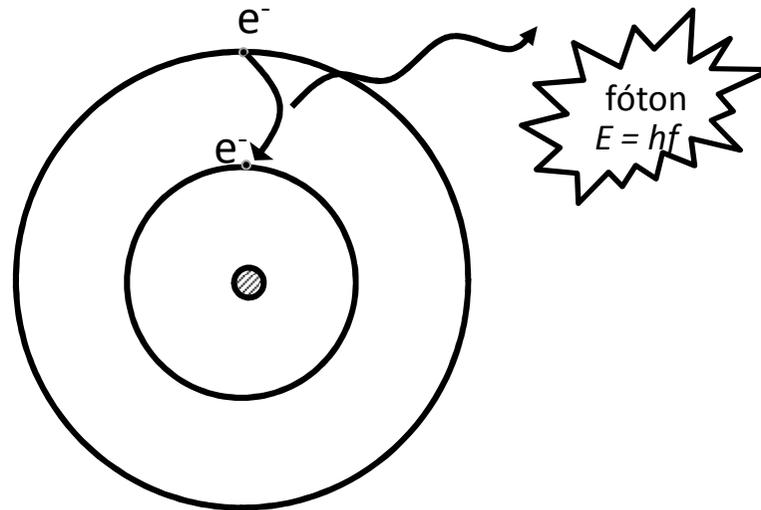
Excitação eletrônica



Mecanismo 3.

A energia térmica de um átomo pode ser parcialmente absorvida por um elétron, causando sua excitação.

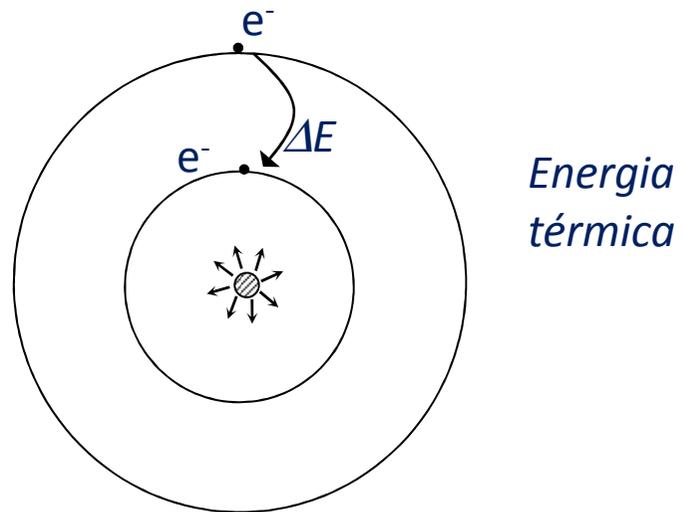
Fundamentalização



Mecanismo A.

A energia do elétron pode ser emitida na forma de um fóton.

Fundamentalização

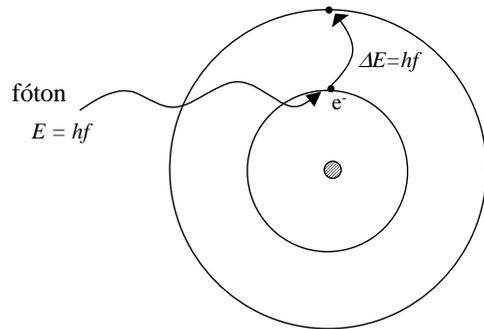


Mecanismo A.

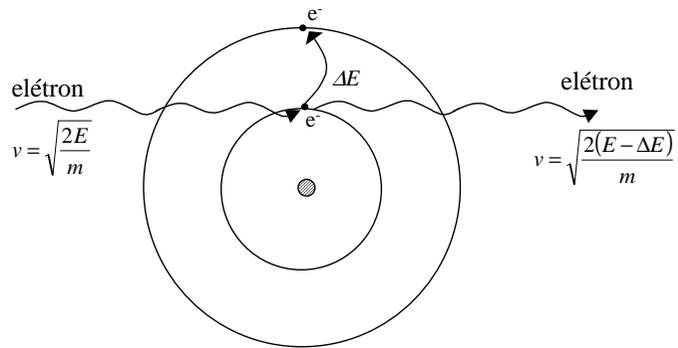
A energia do elétron pode ser devolvida ao átomo, aumentando sua energia cinética / térmica.

Excitação eletrônica

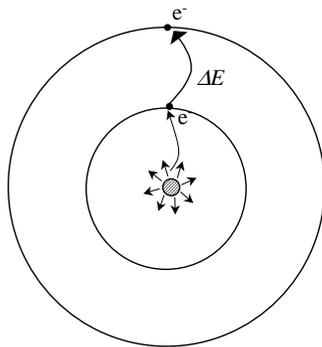
1.



2.

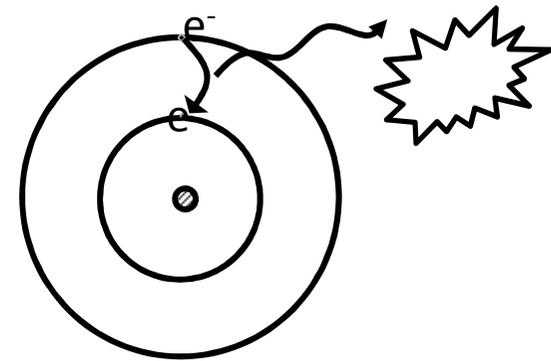


3.

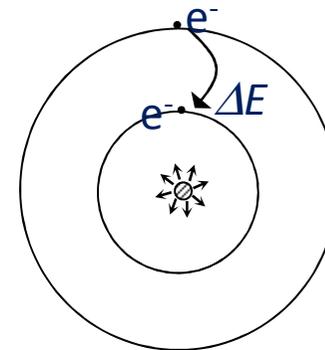


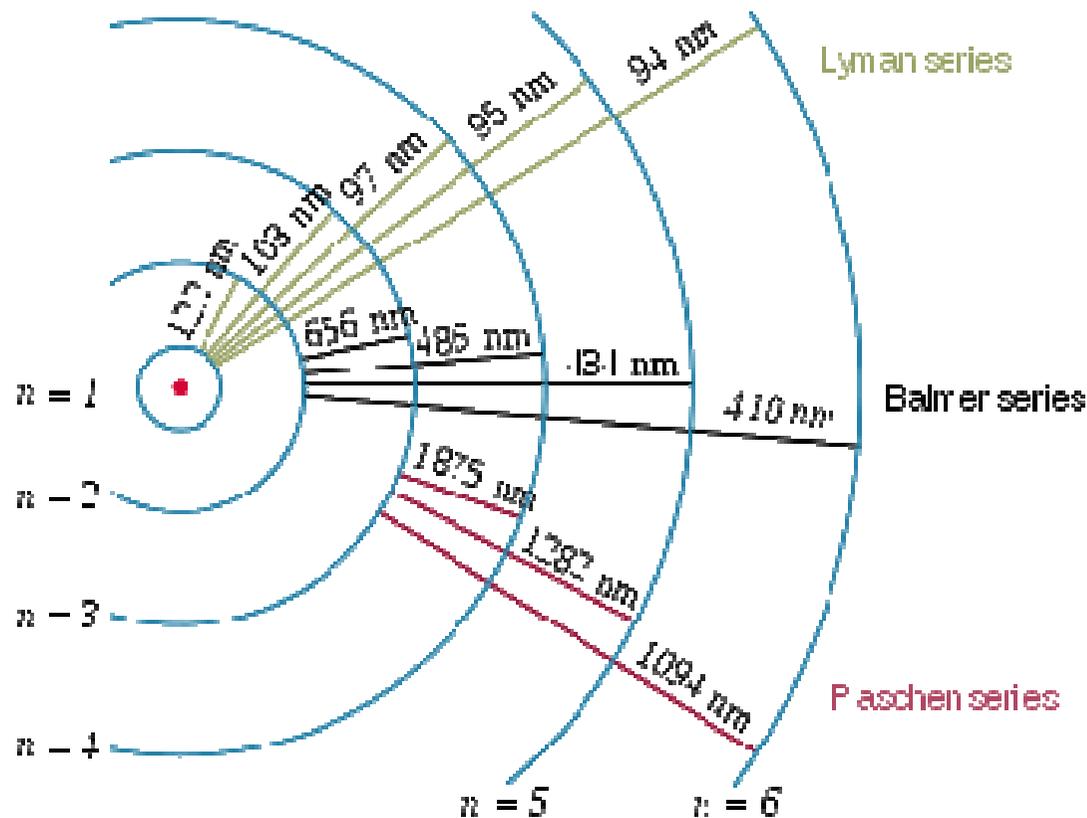
Fundamentalização

A.



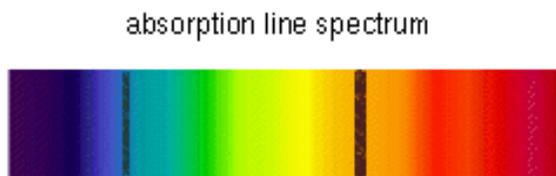
B.



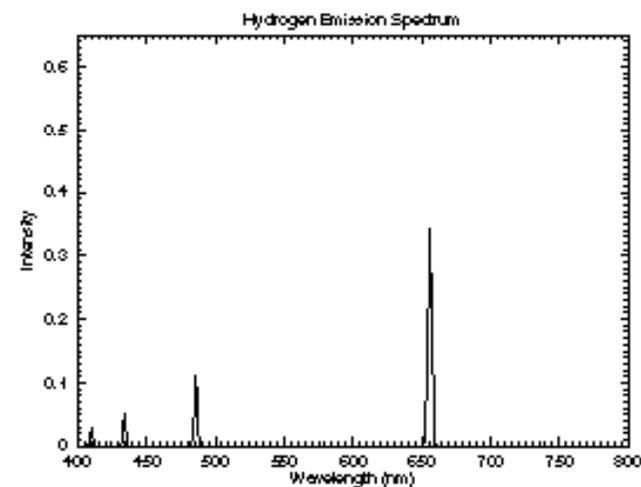
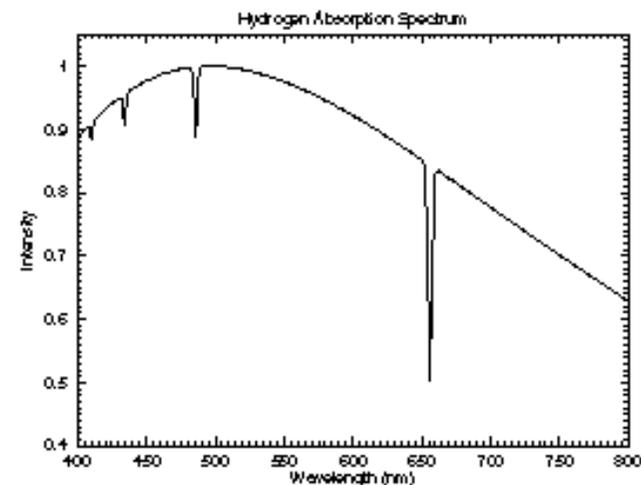


Gases rarefeitos
 emitem
 (produzem) apenas
 alguns
 comprimentos de
 onda (raias),
 correspondentes às
 diferenças de
 energia presentes
 na sua estrutura
 atômica

Espectro de Absorção

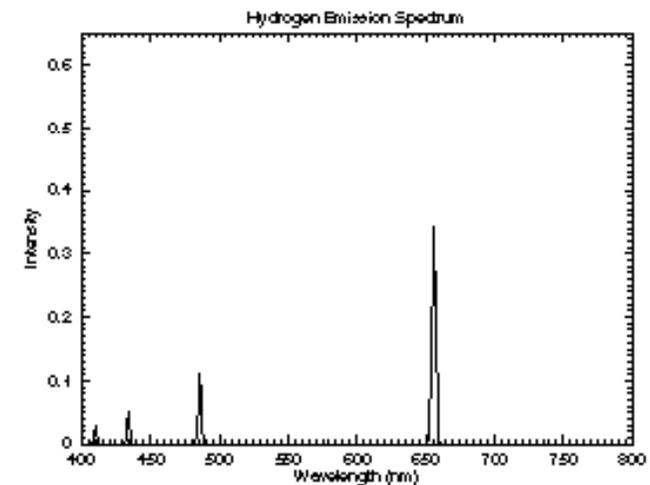
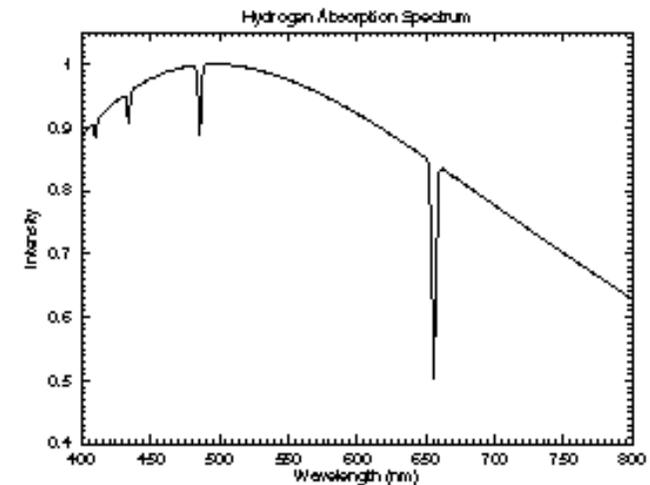
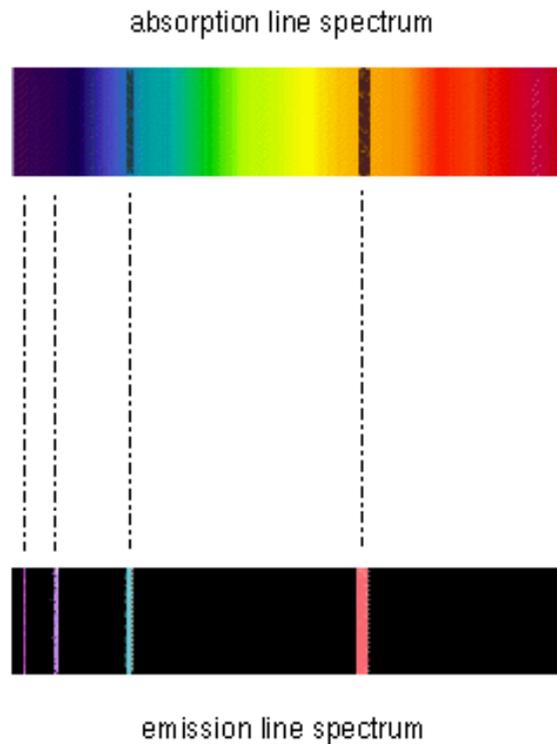


Espectro de Emissão



Duas formas para mostrar os mesmos espectros: à esquerda estão imagens da luz dispersa e à direita gráficos da intensidade versus comprimento de onda. Observe que o padrão de linhas espectrais nos espectros de absorção e emissão é o mesmo, pois o gás é o mesmo.

Um gás tem a
mesma
capacidade
para emitir
(*emissividade*)
e para absorver
(*absorvidade*)



Lei de Kirchhoff: $a_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda}$

Em outras palavras:

A capacidade de uma superfície absorver determinada energia (na forma de um fóton) é igual à sua capacidade de emitir a mesma energia (ou comprimento de onda):

Lei de Kirchhoff: $\epsilon_{\lambda} = a_{\lambda}$

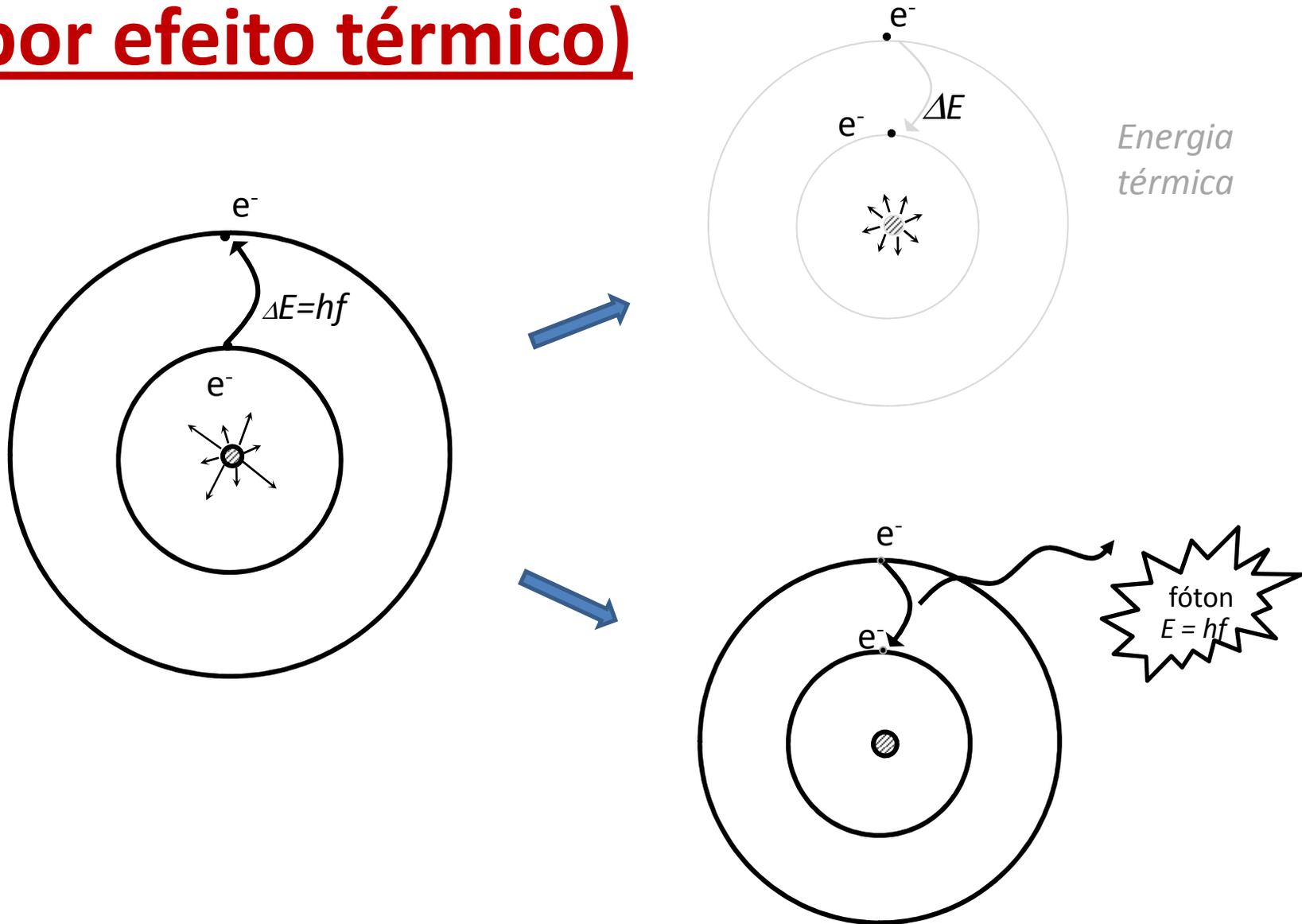
Emissividade e Absortividade são propriedades da superfície

a Absorção é resultado da radiação incidente e da absortividade;

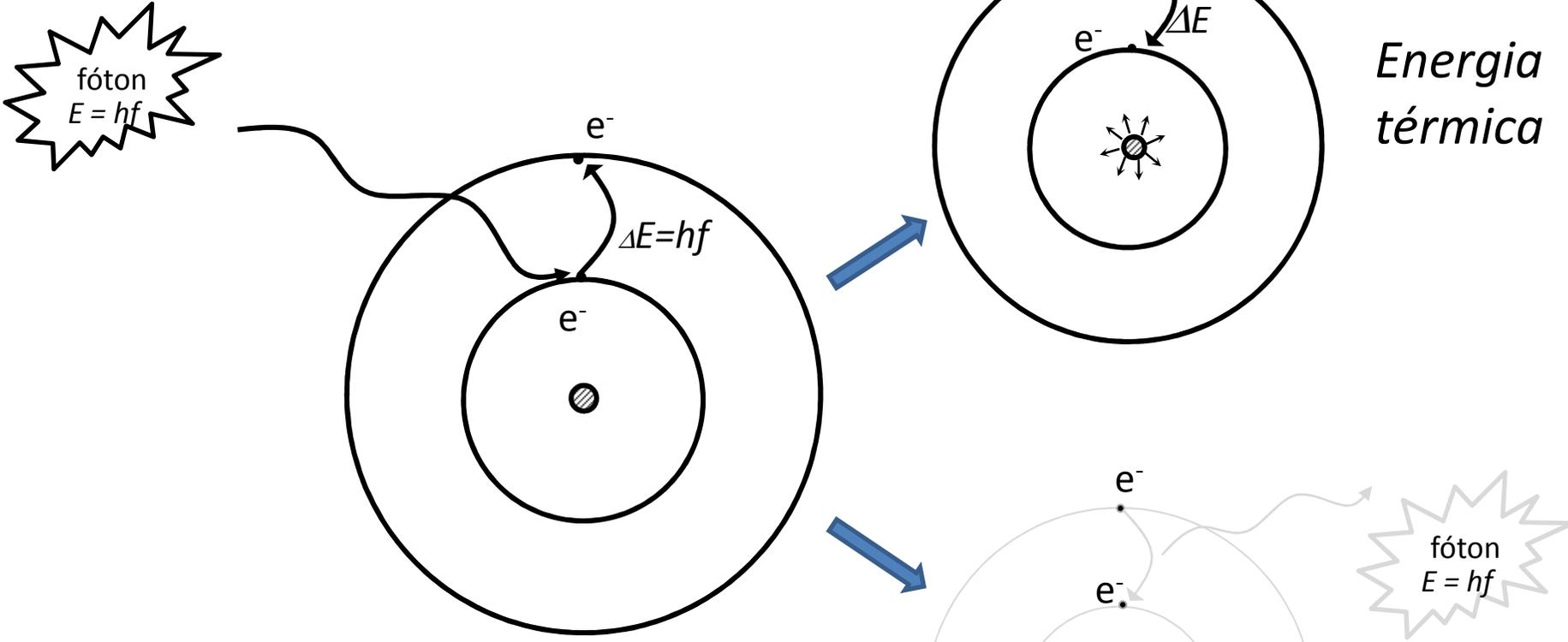
a Emissão é resultado da temperatura do corpo e da emissividade

DESCREVA O PORQUÊ DA LEI DE KIRCHHOFF!

EMISSÃO DE UM FÓTON (por efeito térmico)

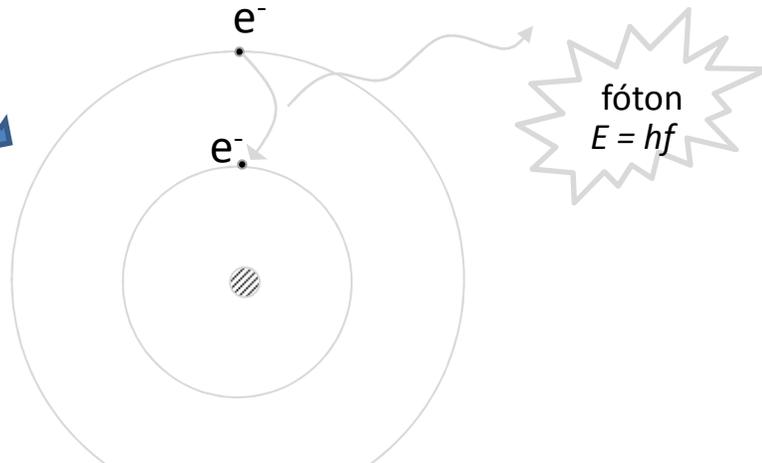


ABSORÇÃO DE UM FÓTON

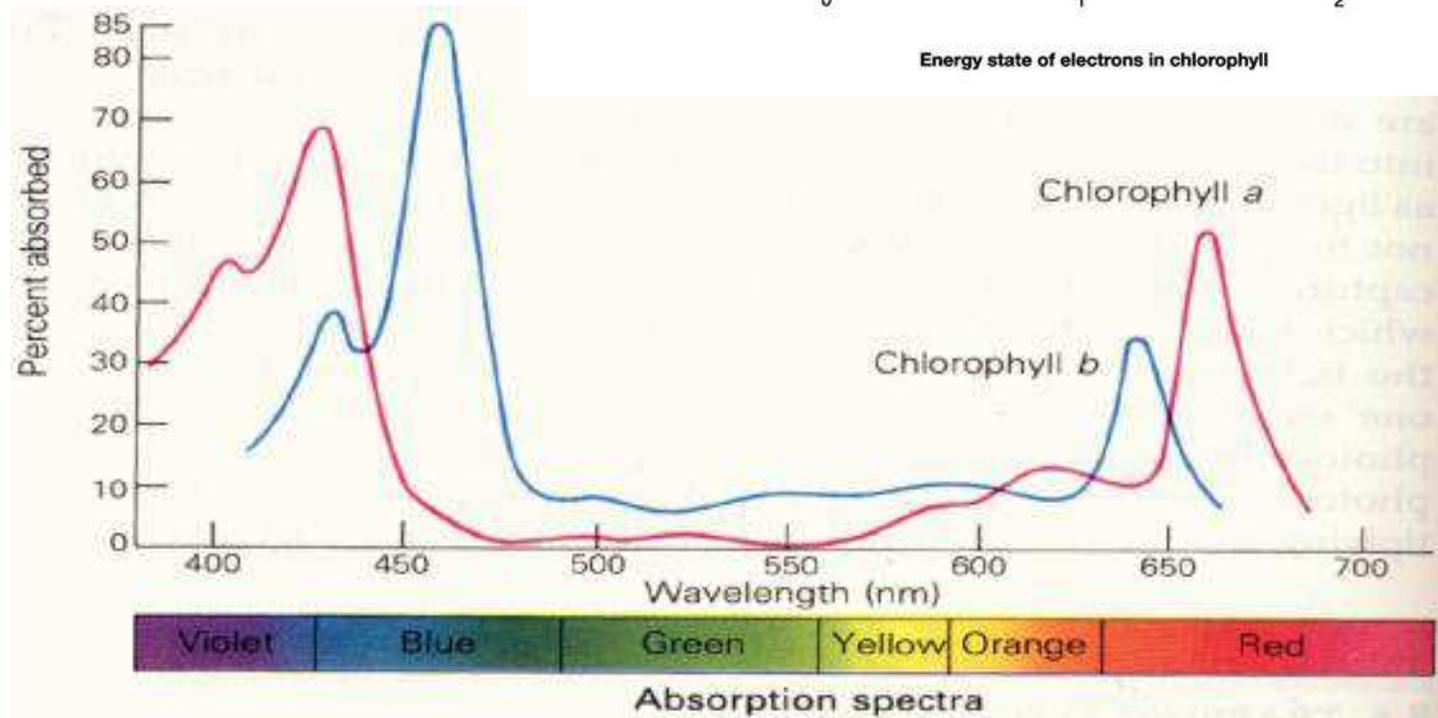
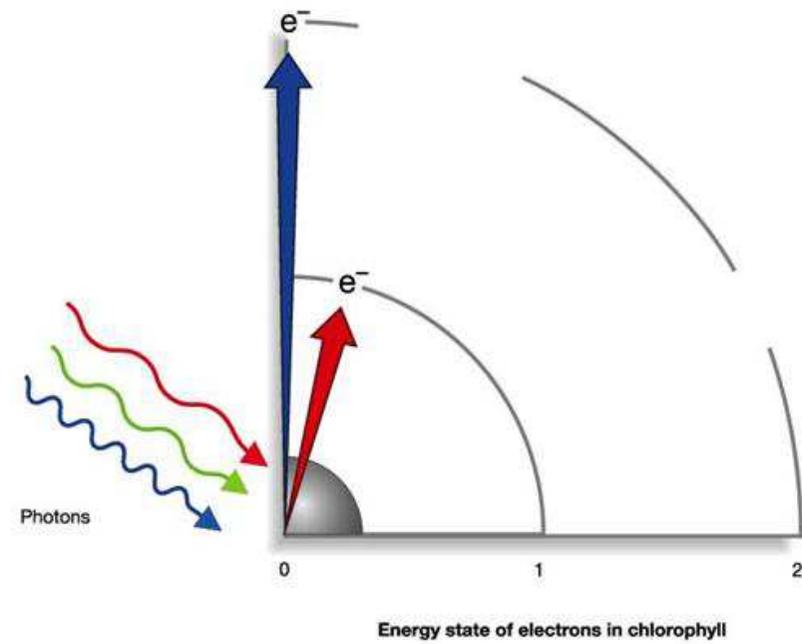


INTERAÇÃO
FÓTON-ÁTOMO

DIFUSÃO DA RADIAÇÃO

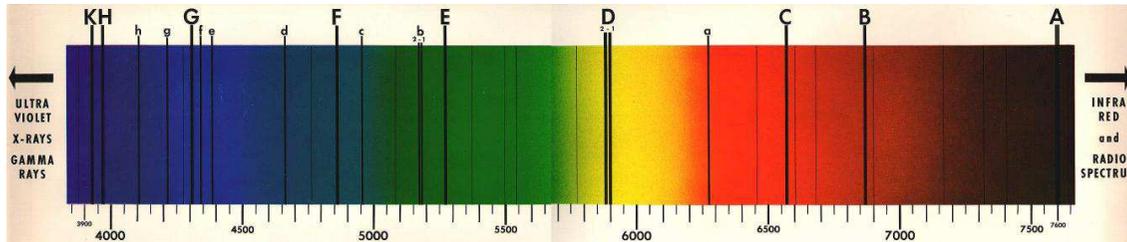


Clorofila



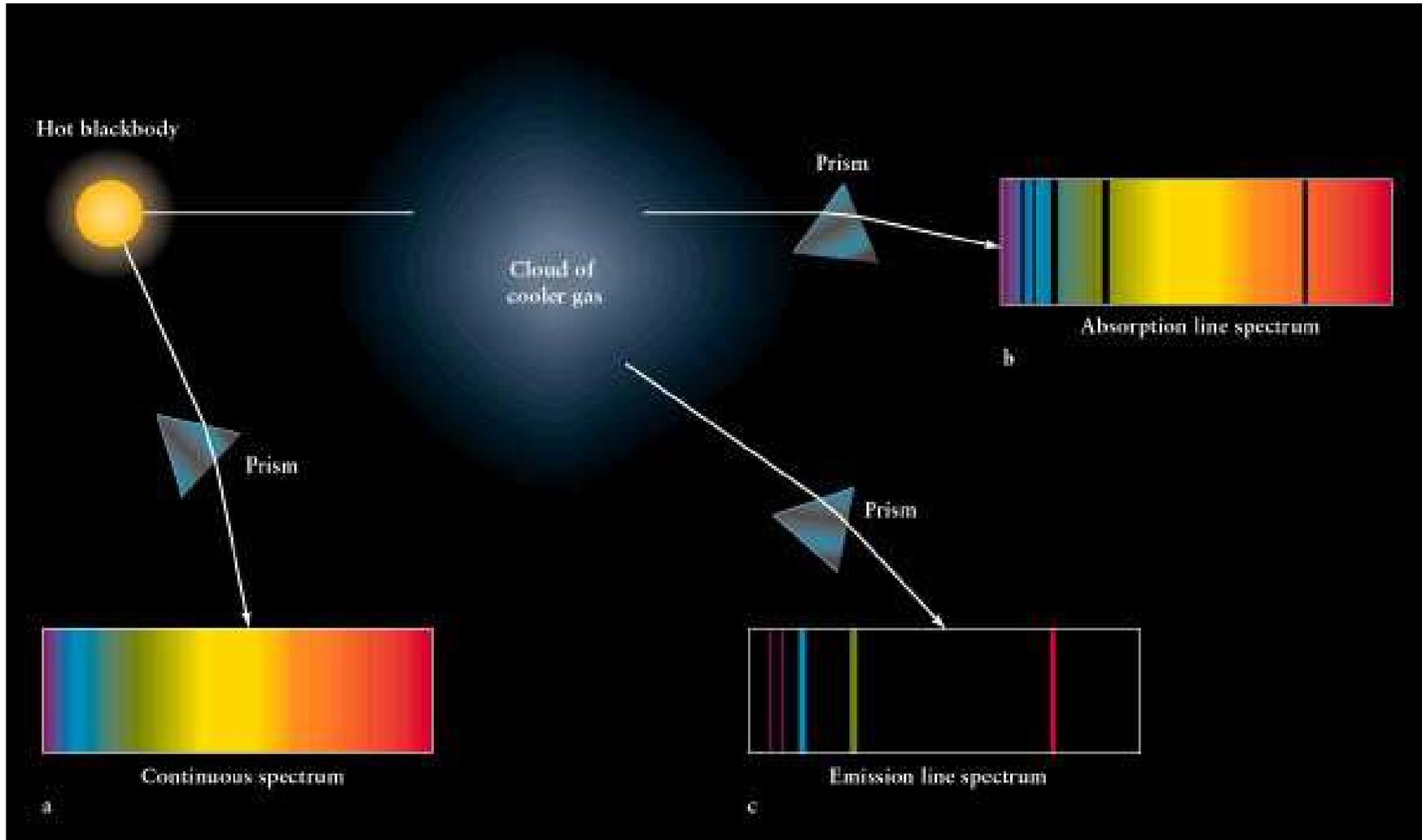
Linhas de Fraunhofer

(linhas de absorção na radiação solar)

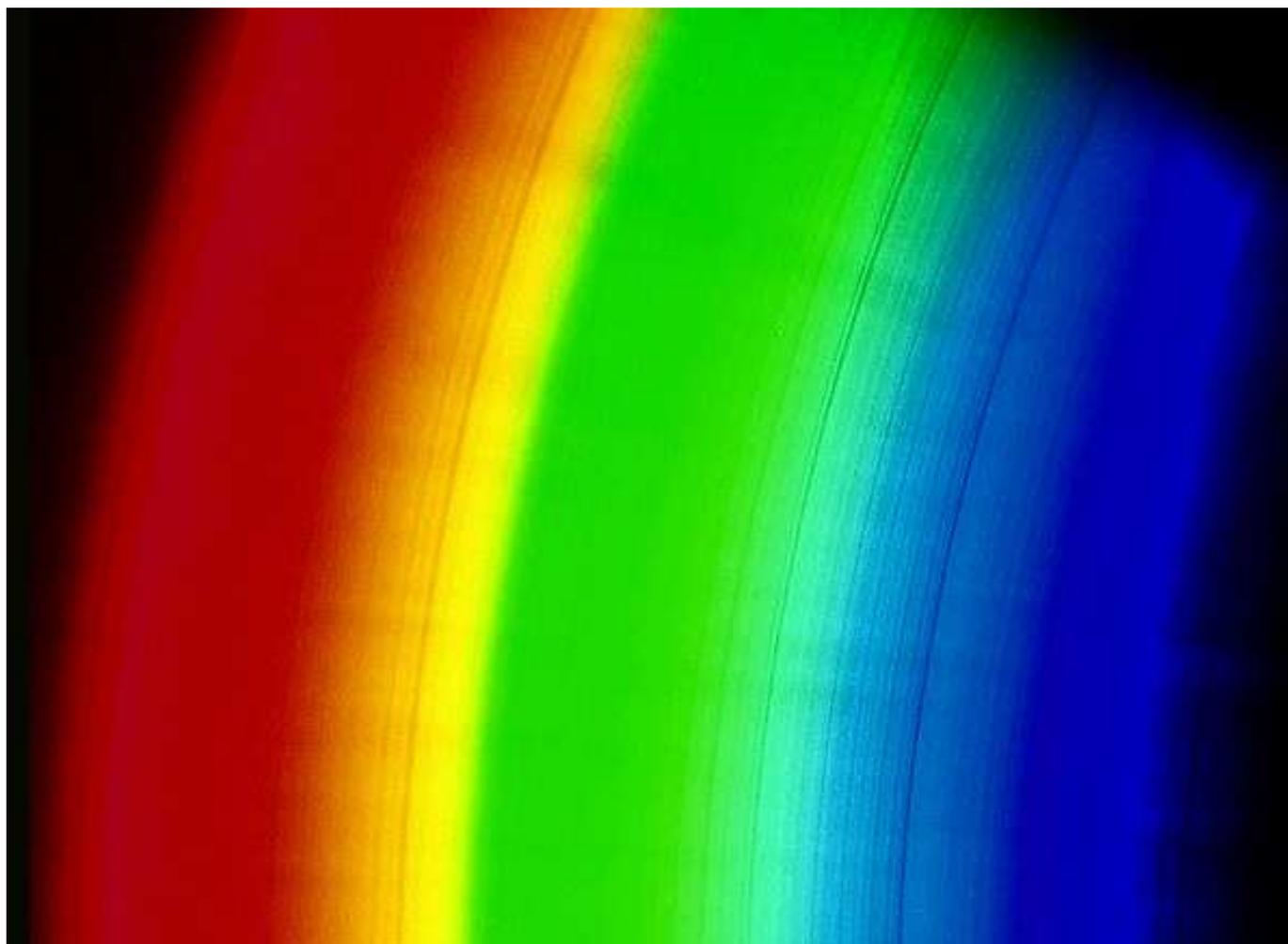


Joseph von Fraunhofer
(1787-1826)

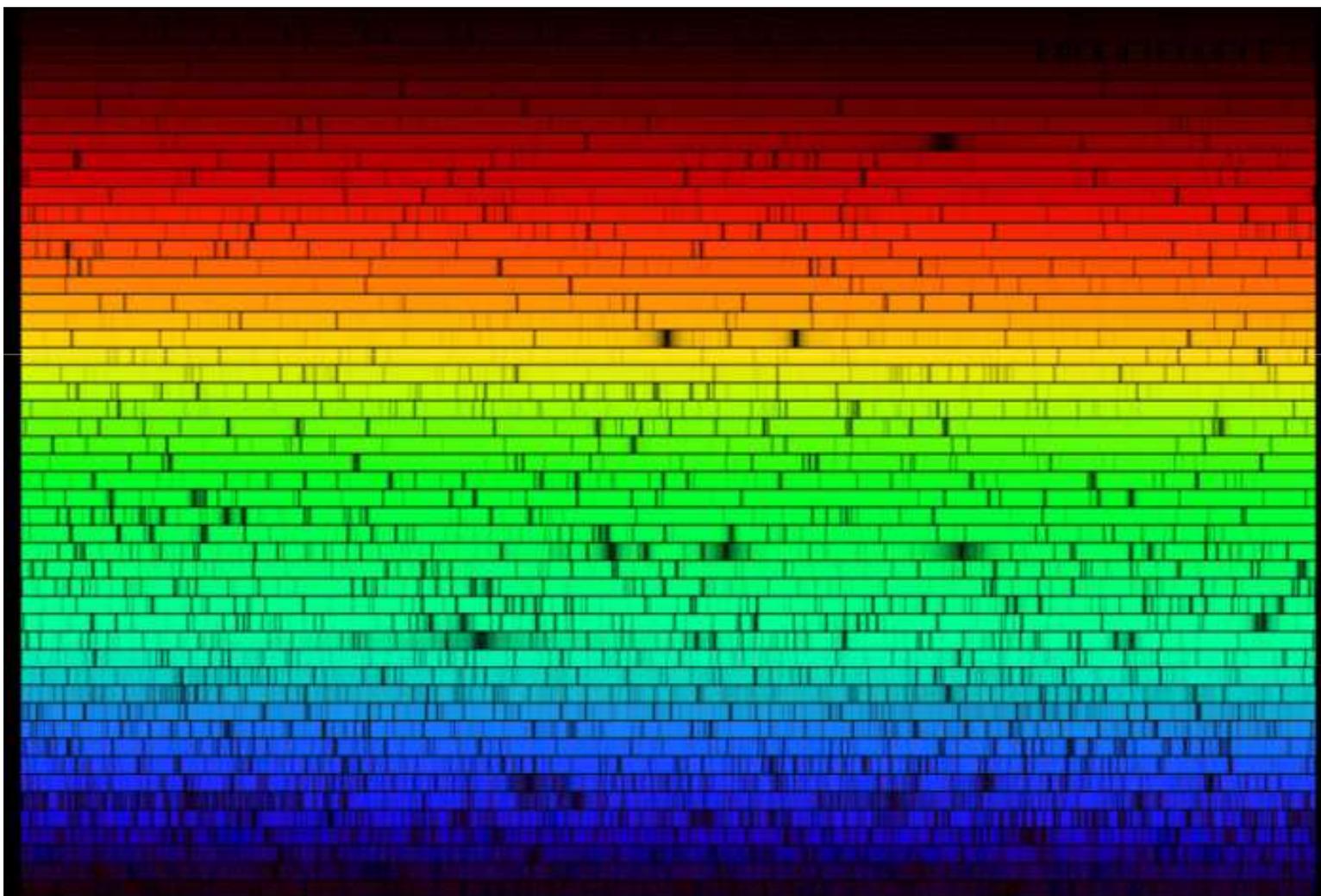
Lines	Due To ...	Wavelengths (Å)
A - (band)	O ₂	7594 - 7621
B - (band)	O ₂	6867 - 6884
C	H	6563
a - (band)	O ₂	6276 - 6287
D - 1, 2	Na	5896 & 5890
E	Fe	5270
b - 1, 2	Mg	5184 & 5173
c	Fe	4958
F	H	4861
d	Fe	4668
e	Fe	4384
f	H	4340
G	Fe & Ca	4308
g	Ca	4227
h	H	4102
H	Ca	3968
K	Ca	3934



Linhas de Fraunhofer

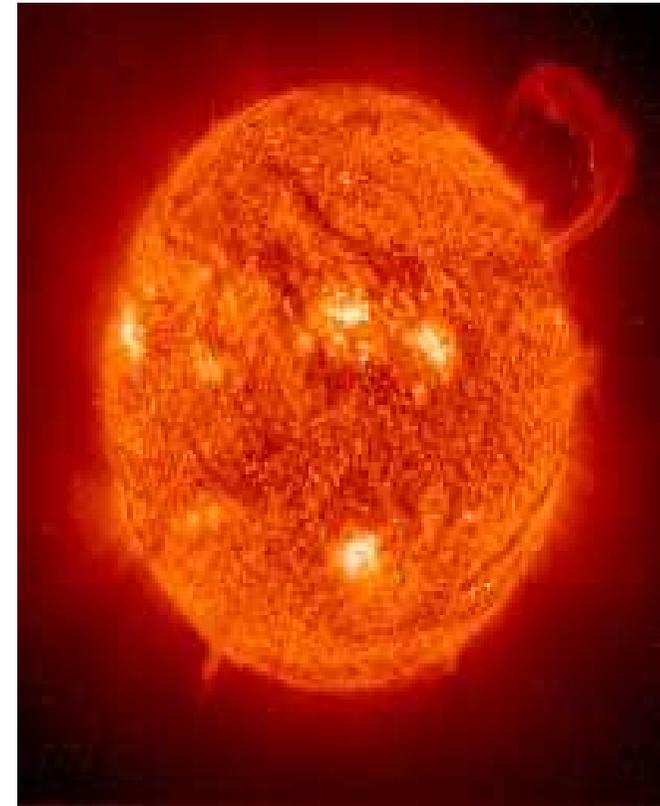


Linhas de Fraunhofer

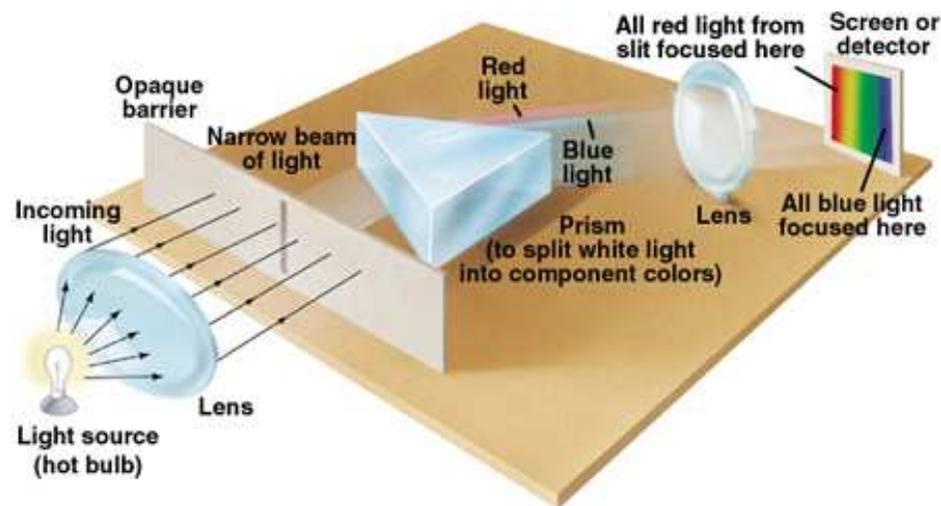


POR QUE ESPECTROS CONTÍNUOS?

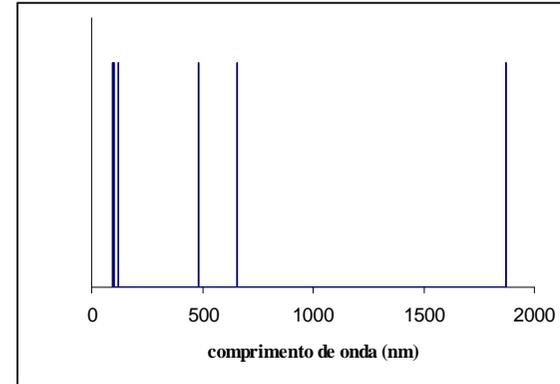
***(SÓLIDOS, LÍQUIDOS, GASES
DENSOS)***



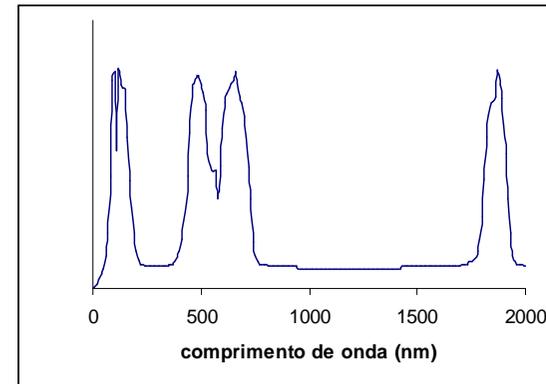
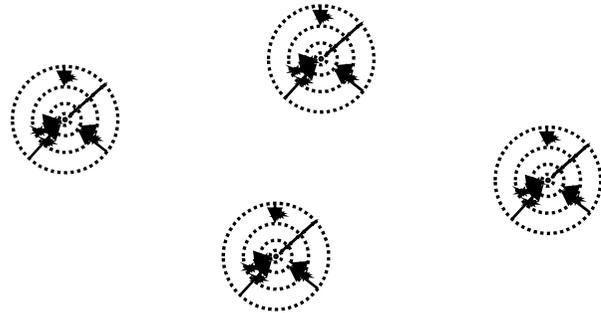
**Max Planck
(1858-1947)**



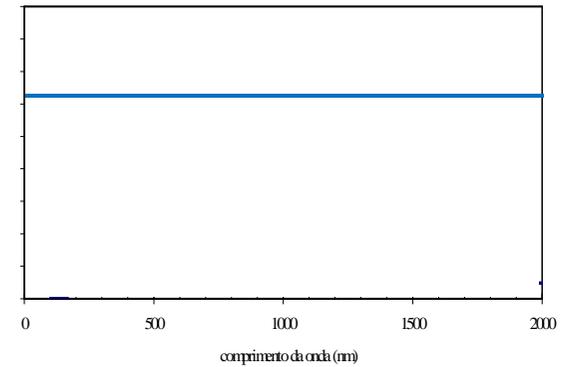
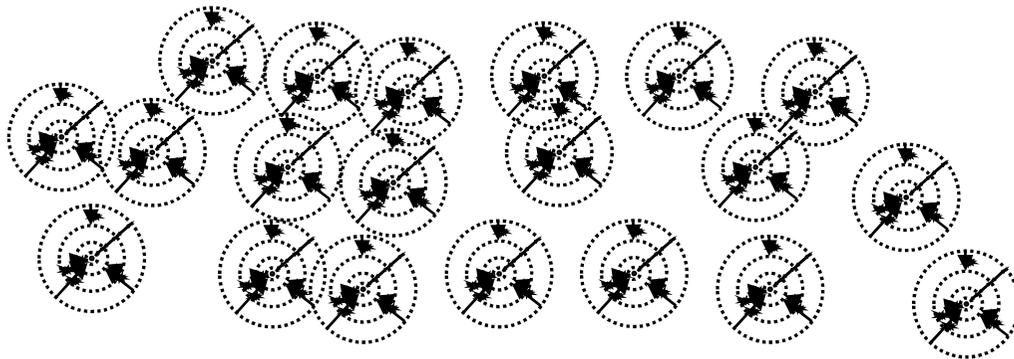
gás rarefeito (raias)



gás comprimido (raias difusas)

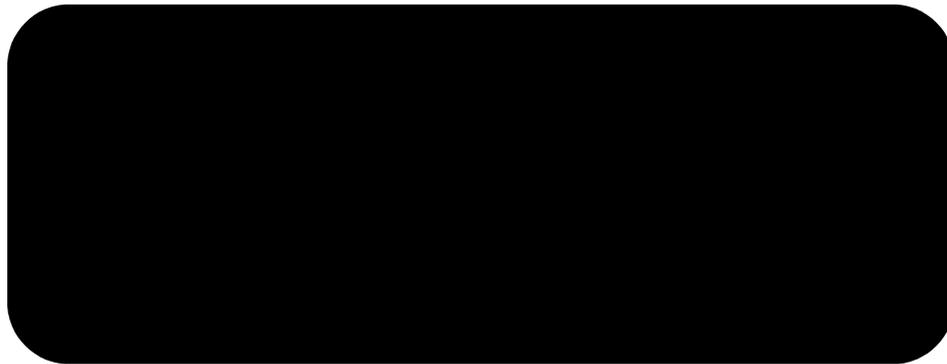


sólidos, líquidos (contínuo)



Em matéria densa (sólidos, líquidos, gases comprimidos) existem saltos eletrônicos para muitas ou todas as diferenças de energia. Assim, é possível uma matéria densa poder emitir e absorver fótons com qualquer energia.

O **Corpo Negro** (*Black Body*) absorve toda a radiação incidente, e é capaz de emitir qualquer energia de fóton (ou: qualquer comprimento de onda de radiação).



A radiação emitida pelo **Corpo Negro** é função somente de sua temperatura e pode ser prevista teoricamente.

Emissão térmica do Corpo Negro

*Lei de Planck da
Radiação Térmica*

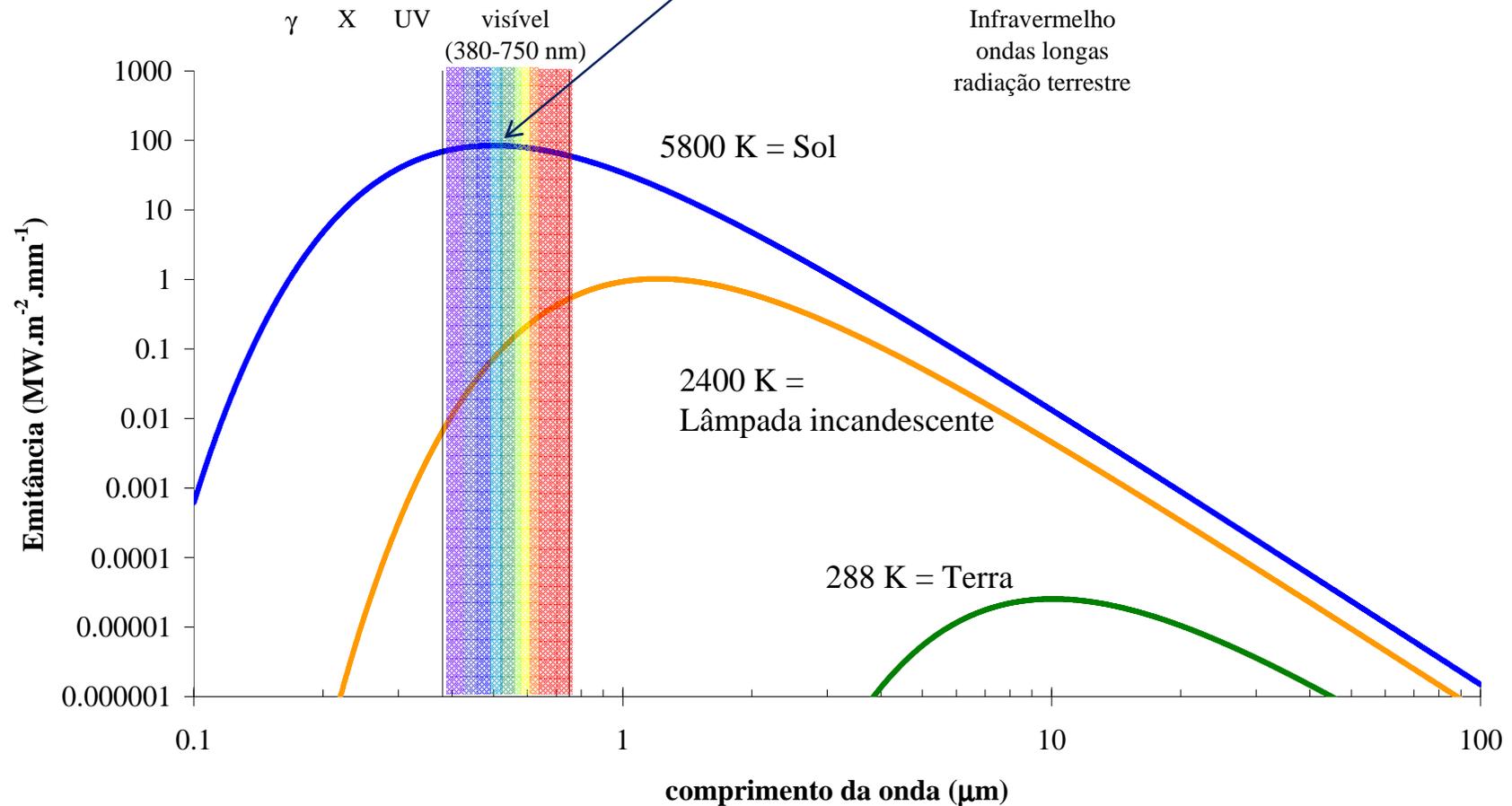
$$E_{\lambda} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Lei de Wien

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

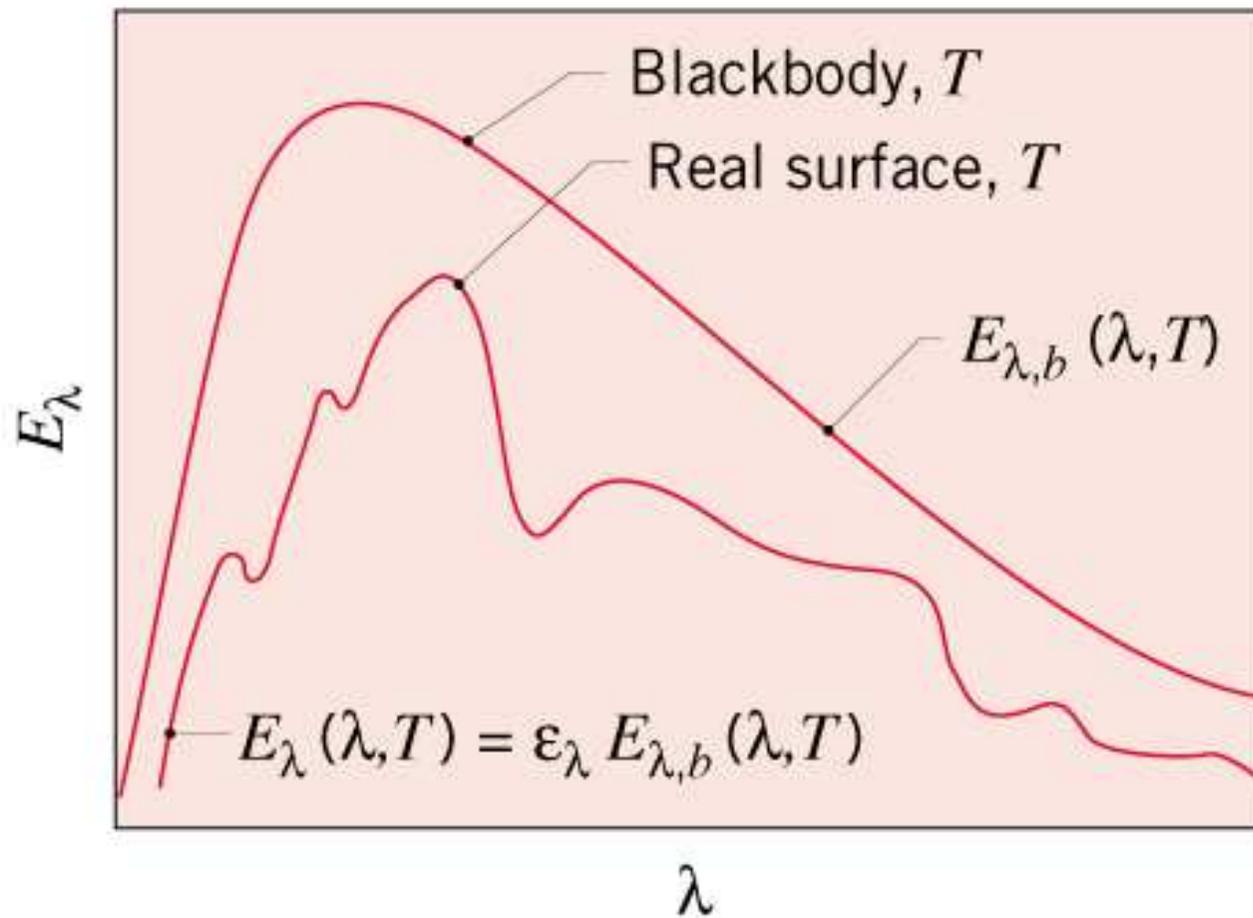
*Lei de Stefan-
Boltzmann*

$$q = \sigma T^4$$

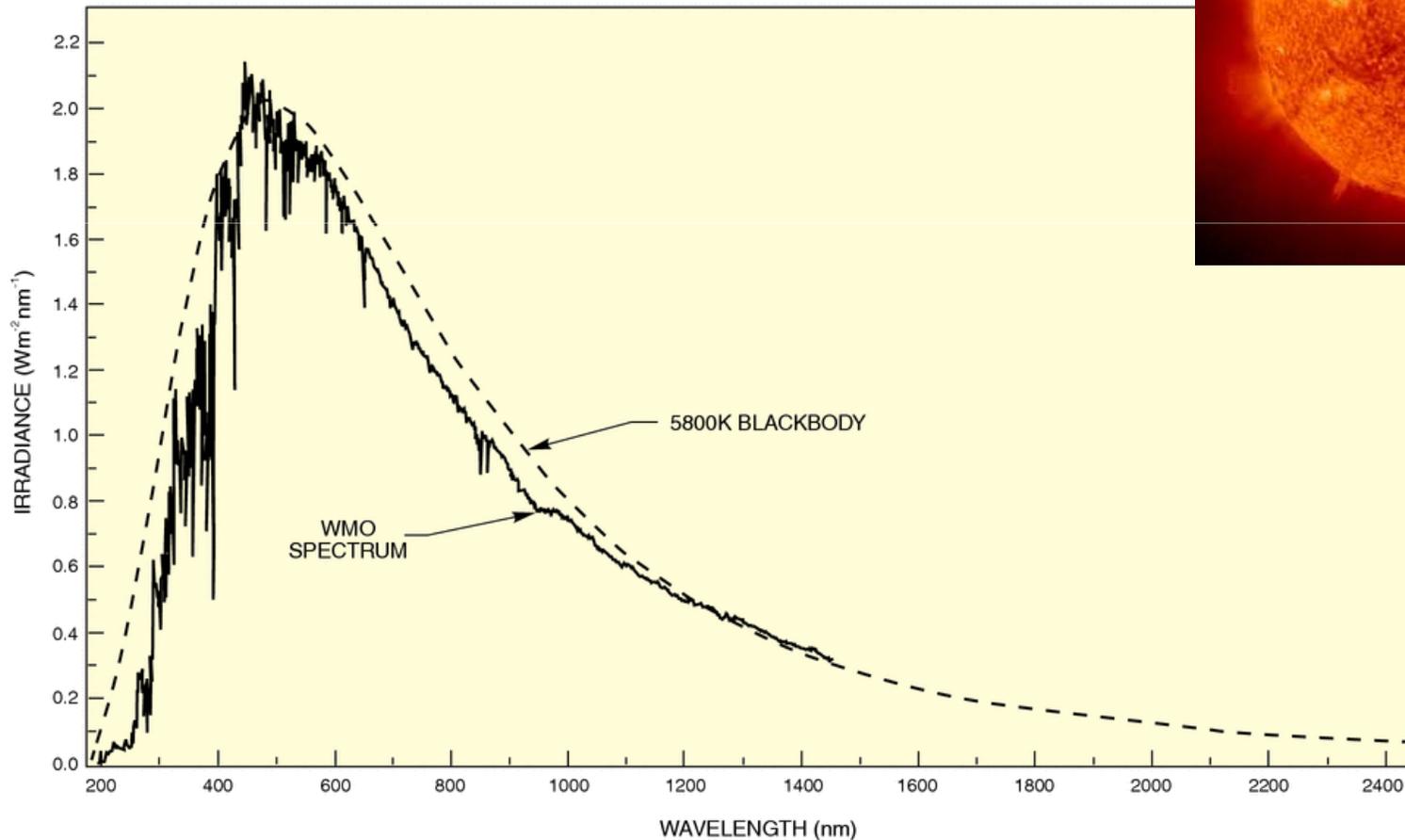
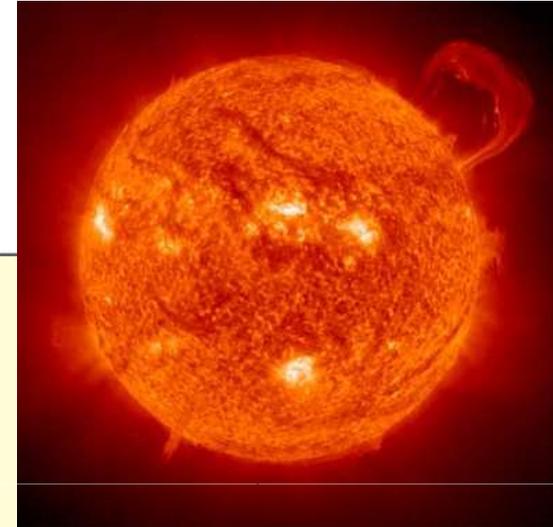


Um **corpo real** emite menos que um **corpo negro** à mesma temperatura:

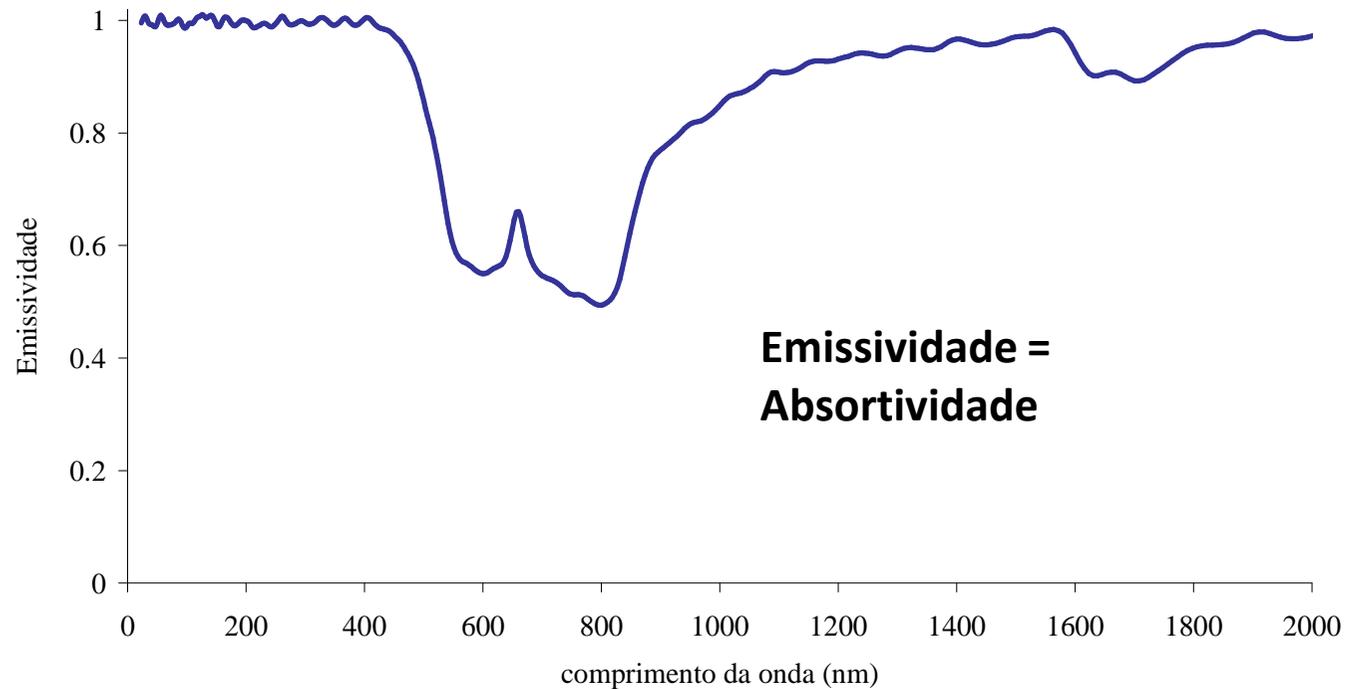
$$E_{\lambda, \text{corpo real}} = \epsilon_{\lambda} \cdot E_{\lambda, \text{corpo negro}} \quad ; 0 \leq \epsilon_{\lambda} \leq 1$$



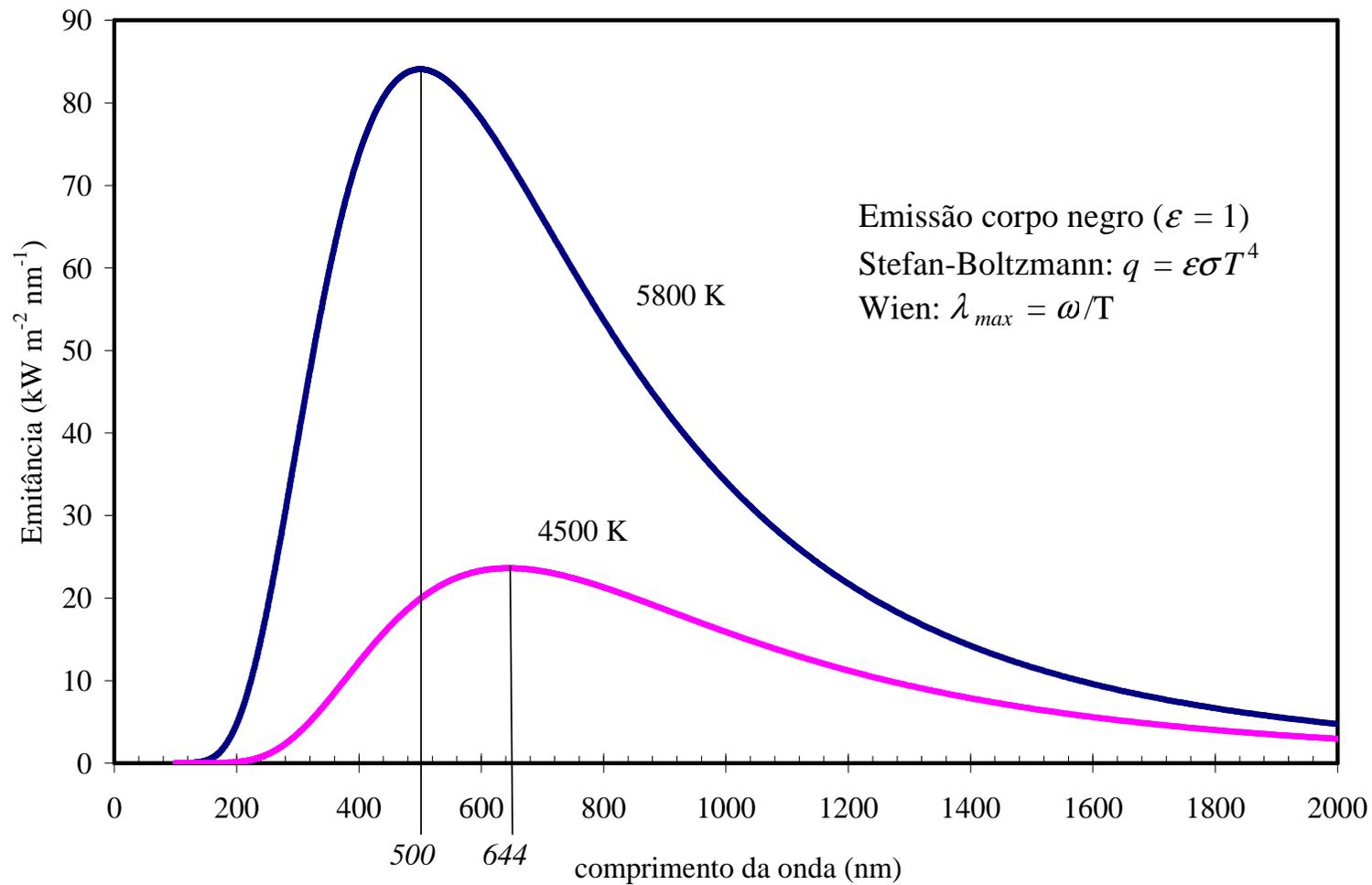
O espectro de emissão do Sol é muito parecido ao de um corpo negro a 5800 K, portanto, sua emissividade está muito próxima a 1 na maioria dos comprimentos de onda.



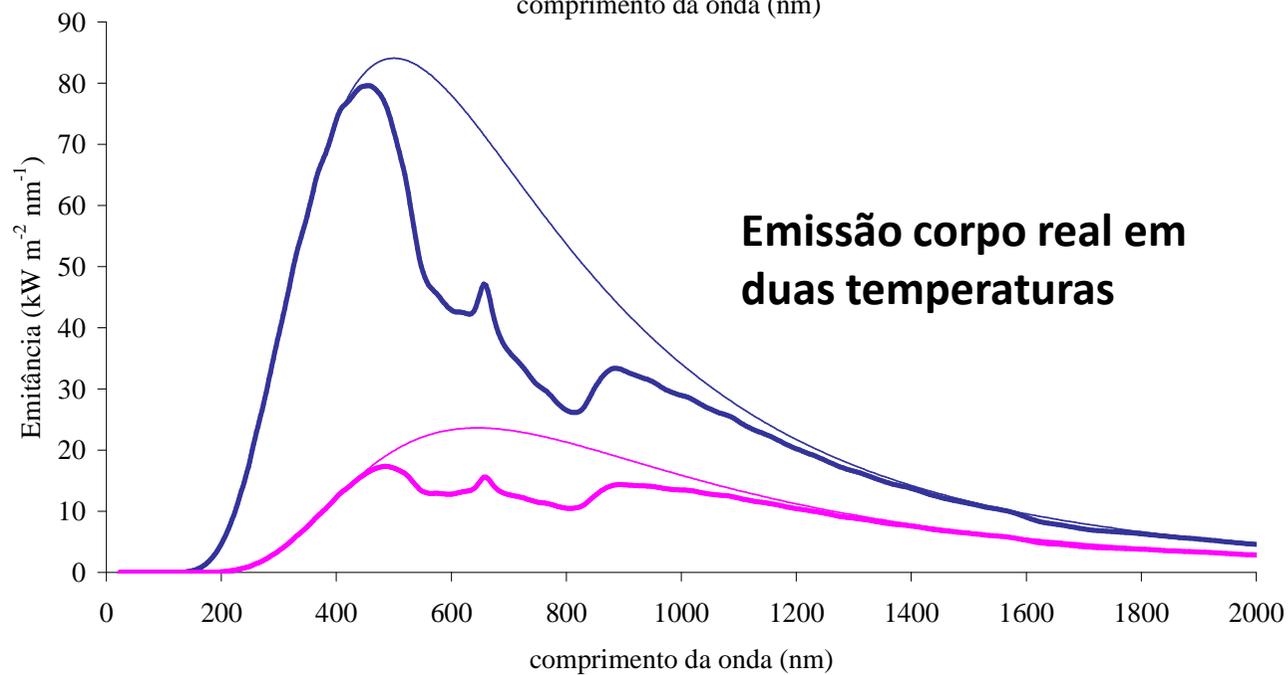
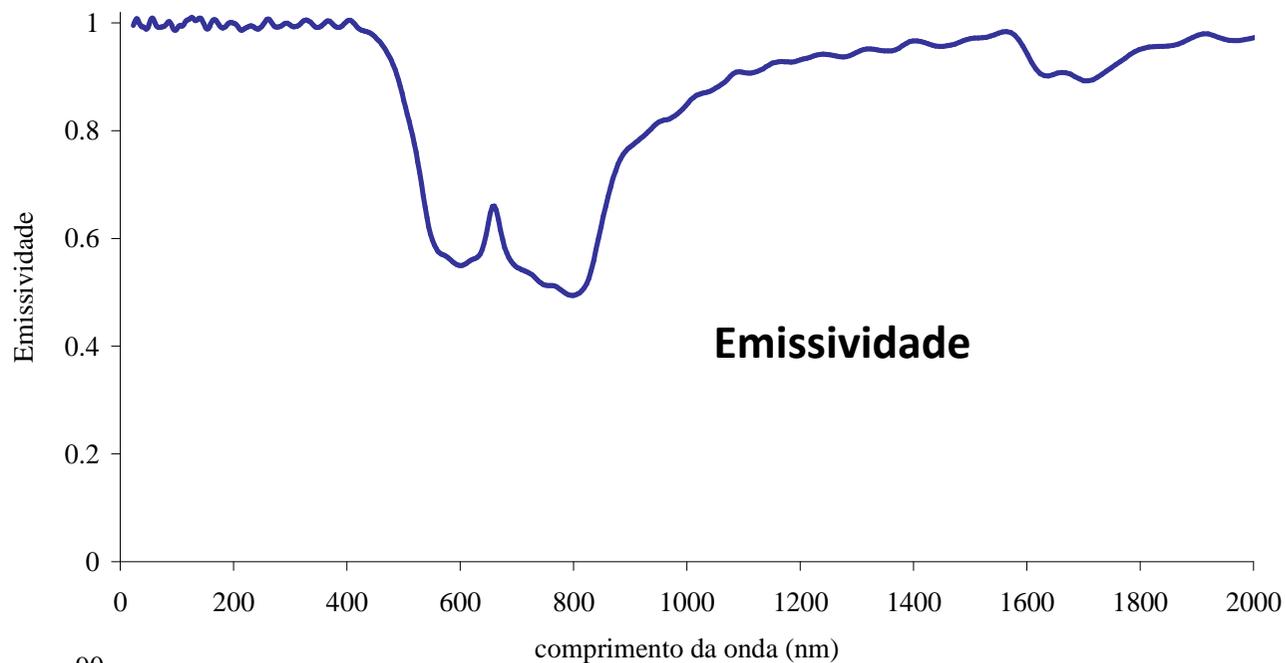
A **EMISSIVIDADE** é a propriedade de uma superfície que descreve sua capacidade relativa de emitir radiação térmica, em função do comprimento de onda, tendo como referência o “corpo negro”, cuja emissividade é igual à unidade. A **EMISSIVIDADE** em determinado comprimento de onda é igual à **ABSORTIVIDADE**



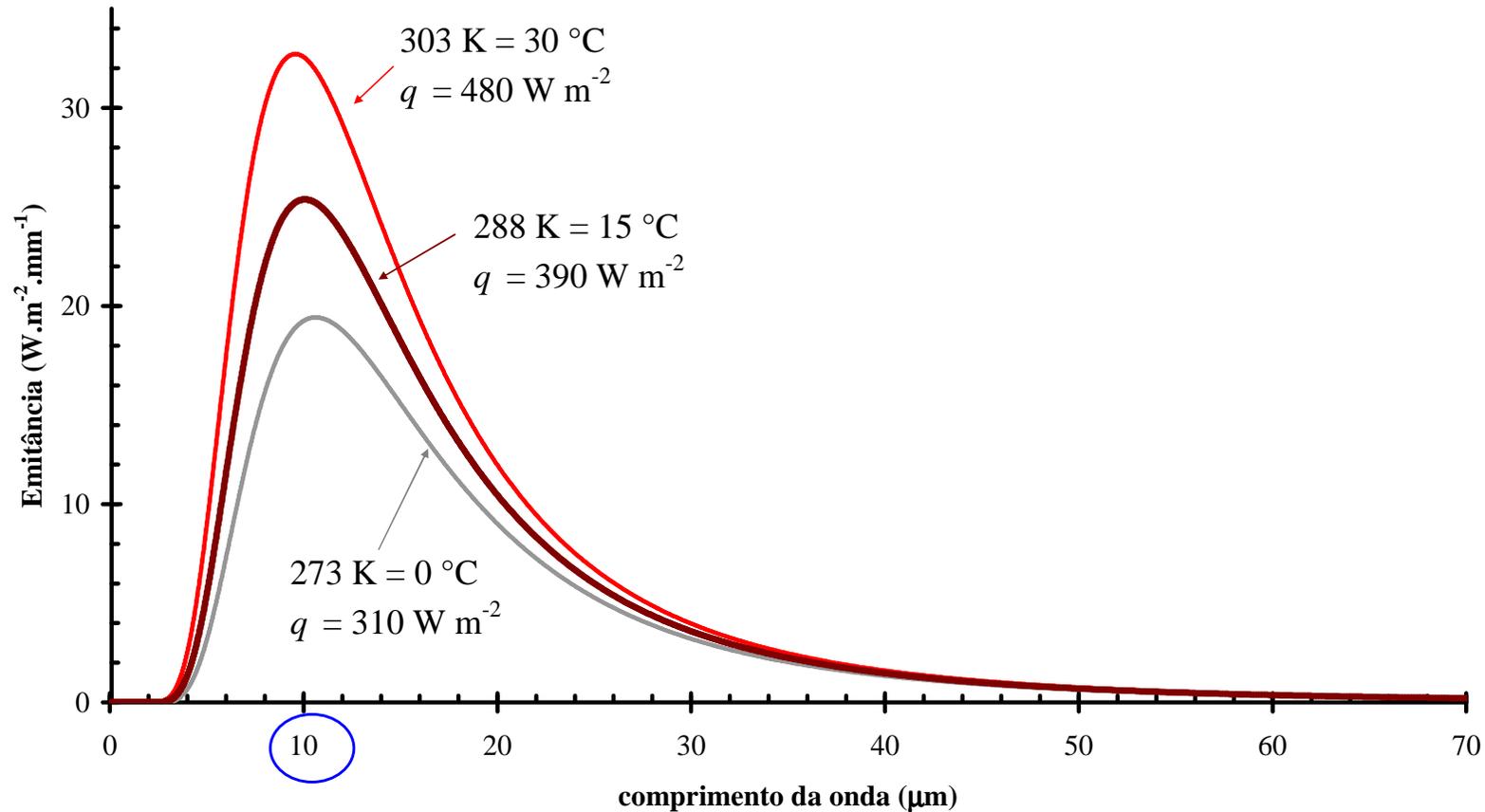
Assim, se um **corpo negro** a duas temperaturas diferentes tem os seguintes espectros de emissão ...



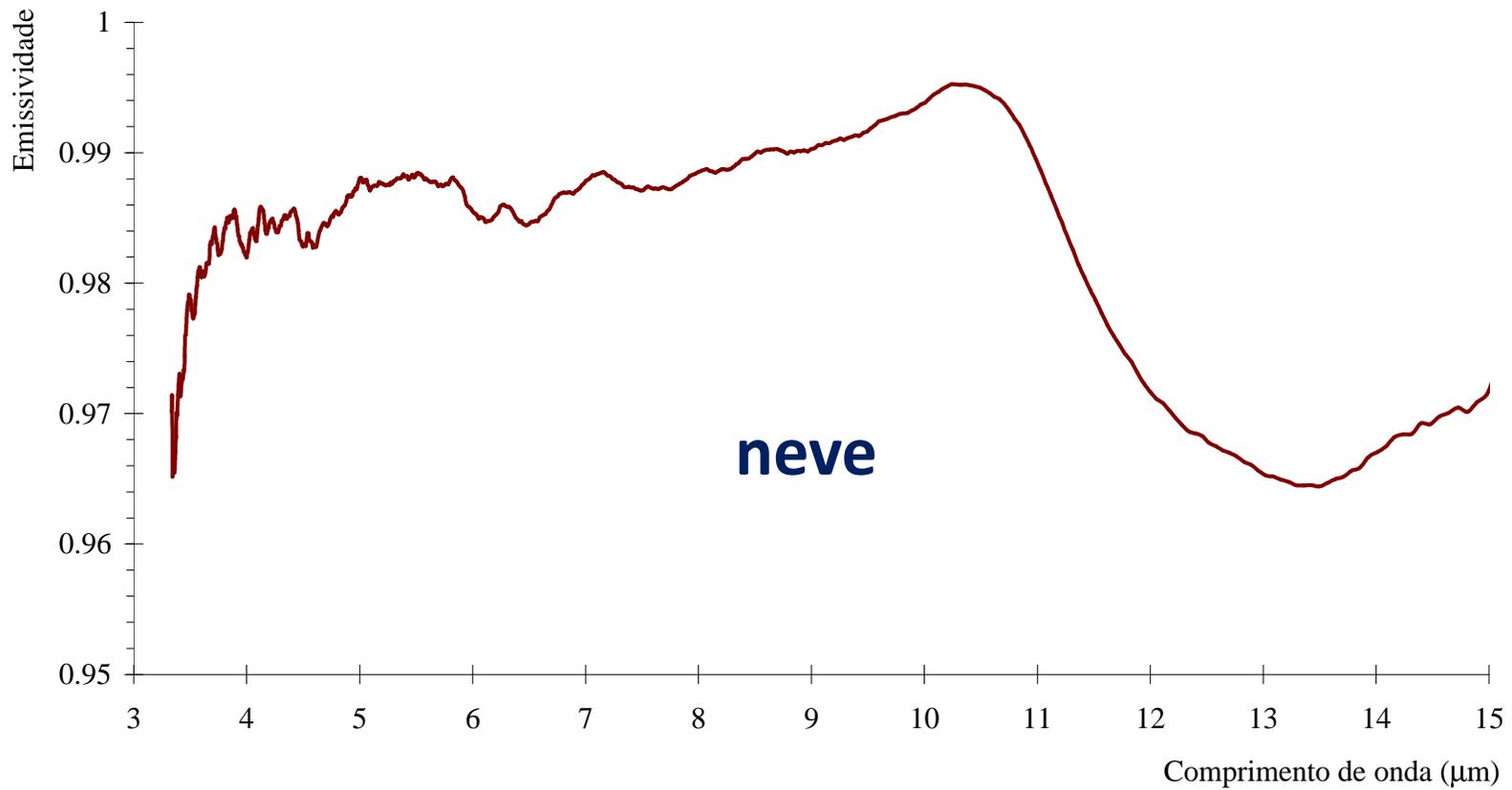
... o corpo real apresentará uma emissão reduzida naqueles comprimentos de onda onde sua emissividade é menor do que 1.



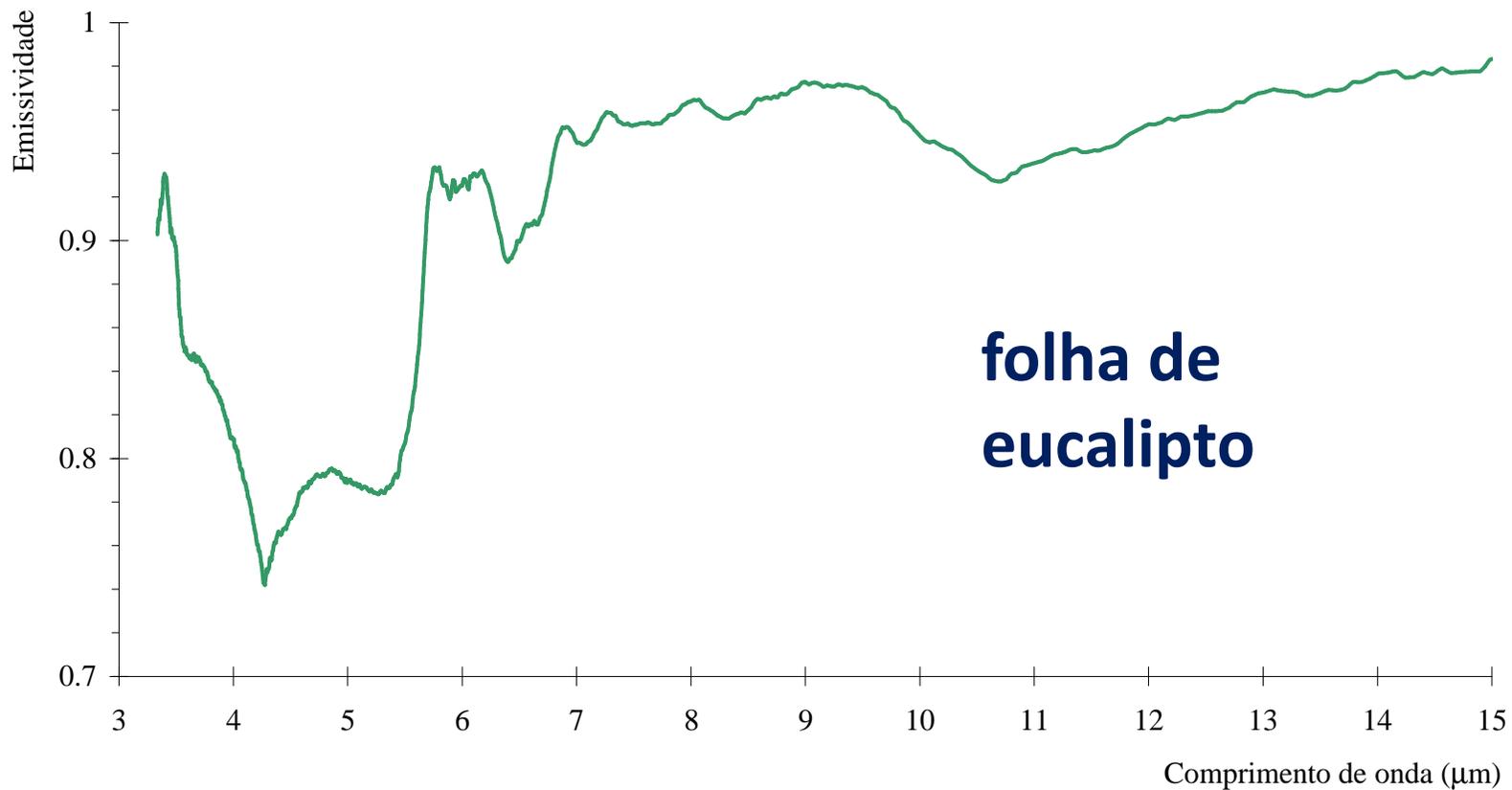
A emissão terrestre, isto é, a emissão por superfícies a temperaturas entre 250-350 K, ocorre predominantemente em comprimentos de onda ao redor de 10 μm (ondas longas), com densidade de fluxo total da ordem de 400 W m^{-2} .



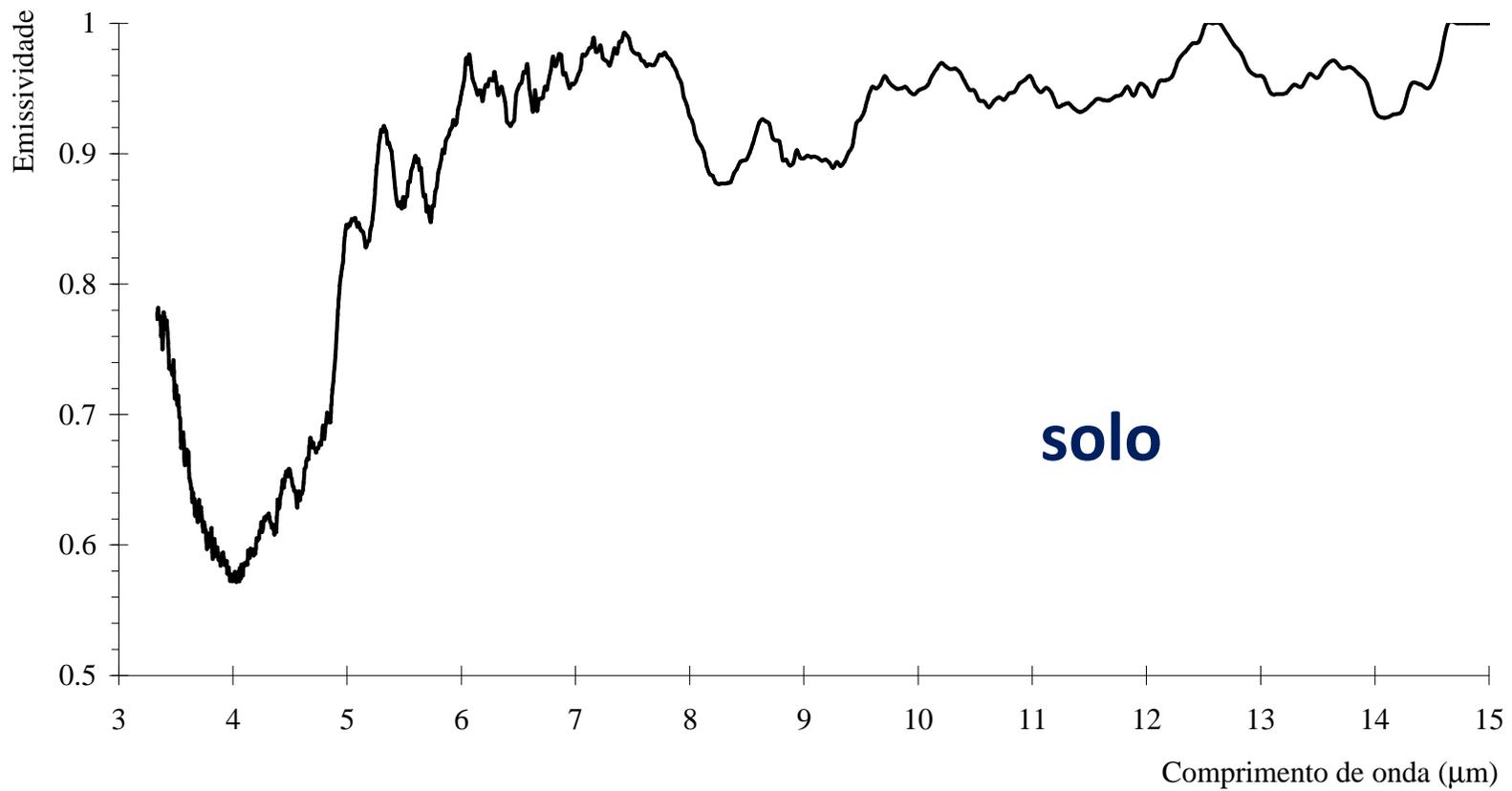
Emissividade de superfícies terrestres



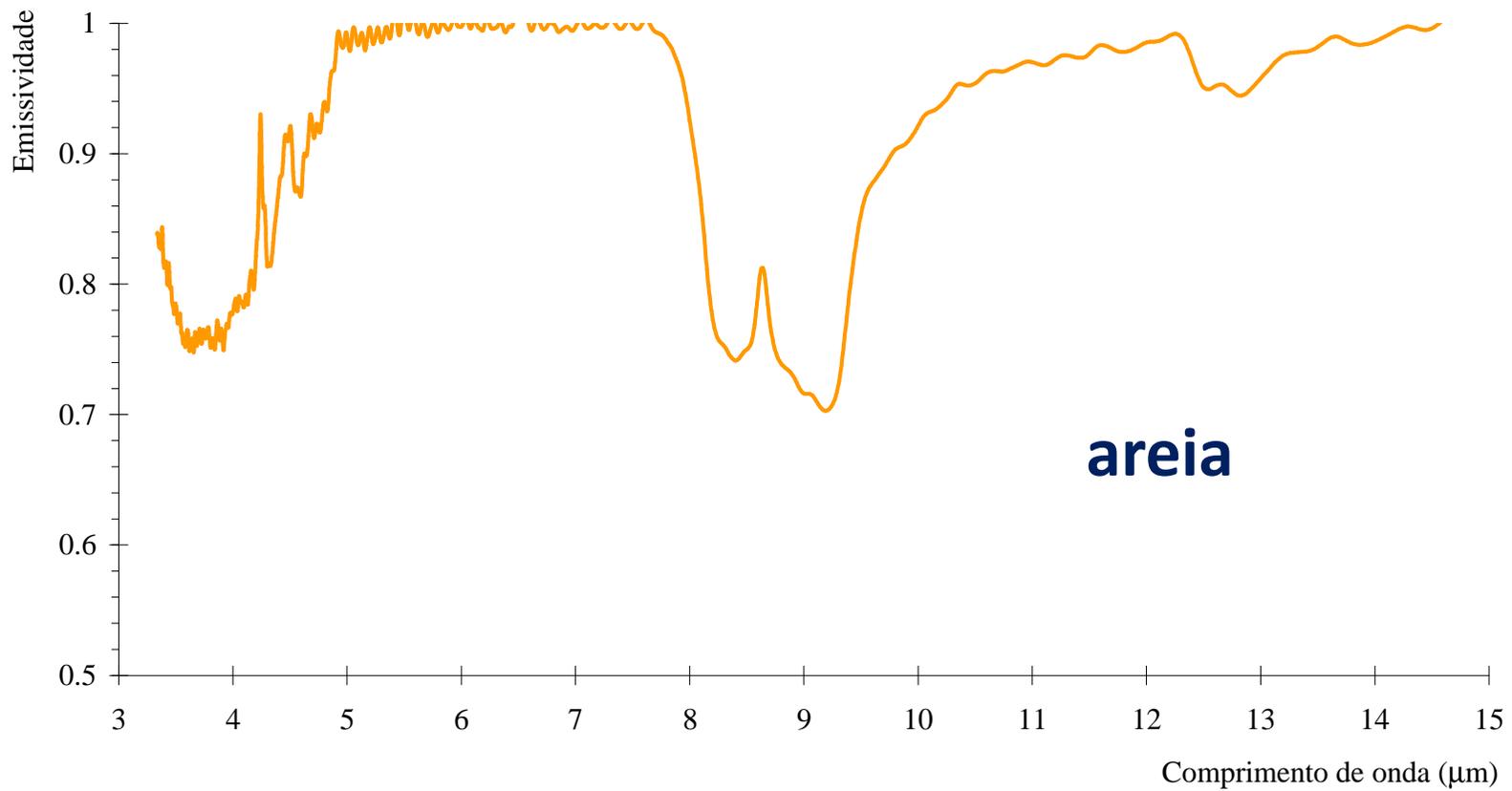
Emissividade de superfícies terrestres



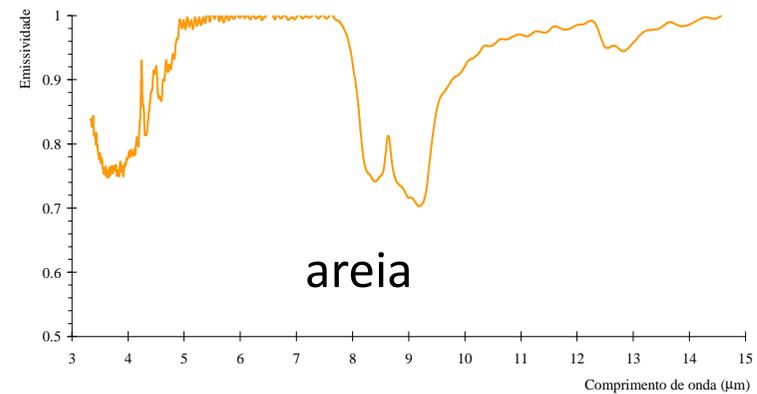
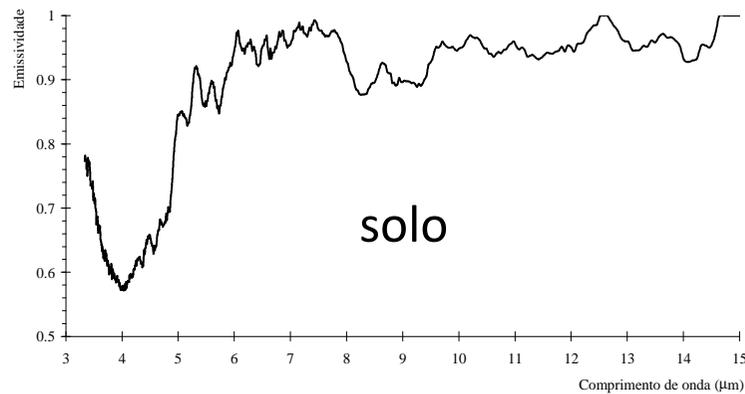
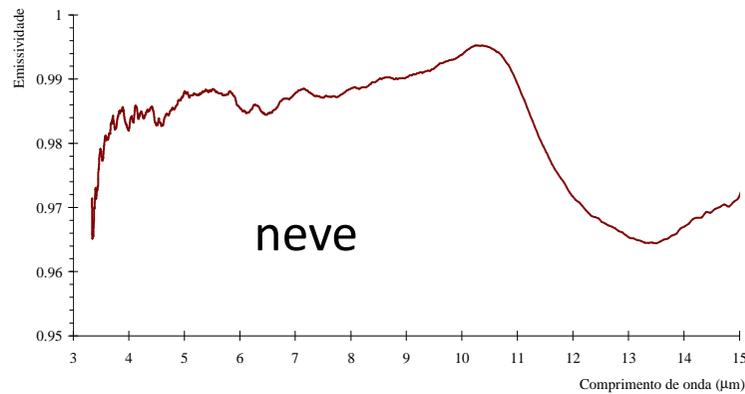
Emissividade de superfícies terrestres



Emissividade de superfícies terrestres



Assim, a **emissividade** de interesse para a emissão terrestre é a emissividade para os comprimentos de onda ao redor de $10\ \mu\text{m}$, pois essa é a faixa onde a emissão ocorre. Observa-se que essa **emissividade** não tem relação com a **absortividade da radiação visível** das mesmas superfícies!

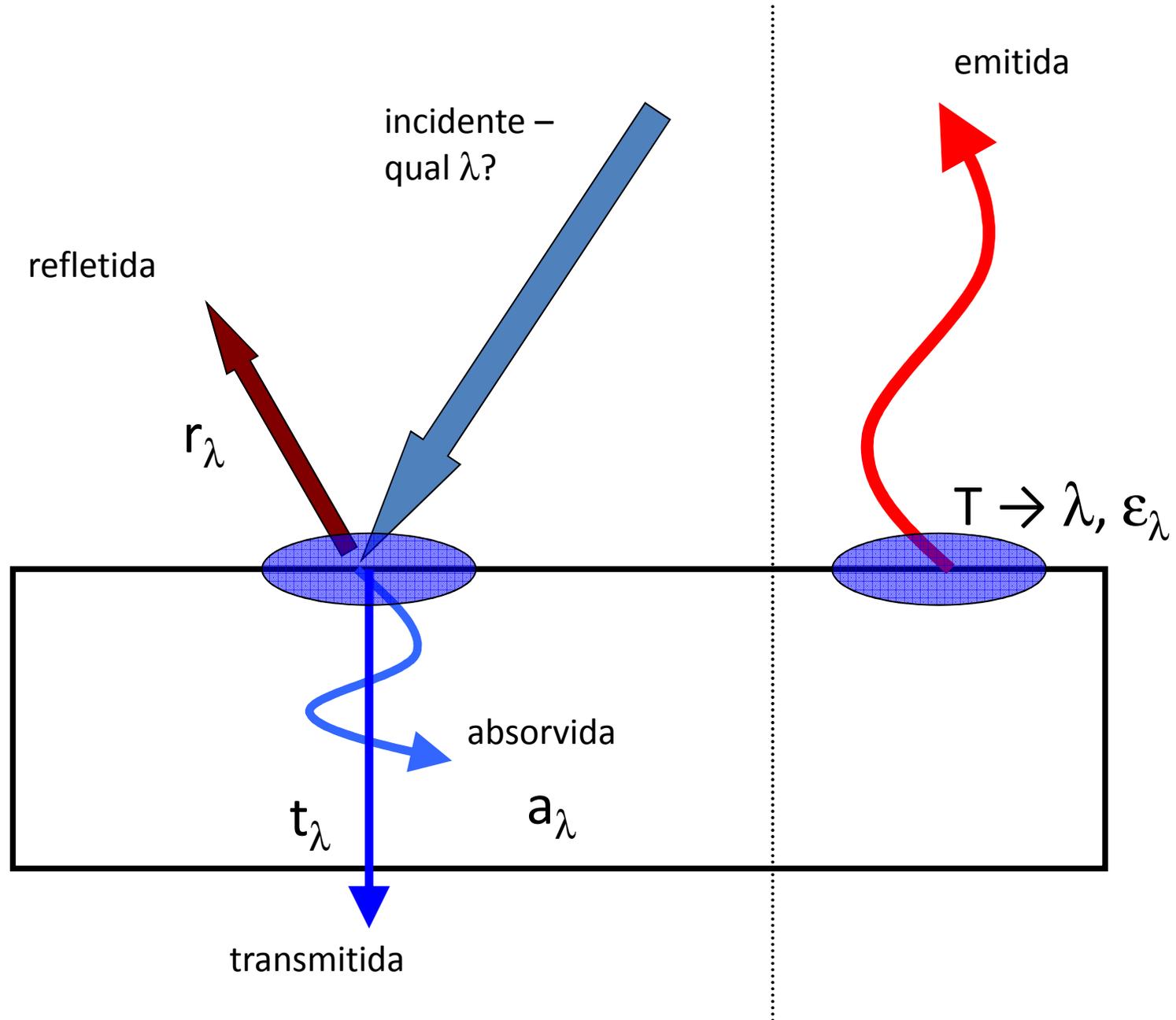


a **EMISSIVIDADE** de interesse é aquela válida para as **ondas longas**, normalmente próxima a 1 ($\approx 0,95$), ou seja, em relação a ondas longas a maioria dos corpos se comporta (quase) como corpo negro.

a **ABSORTIVIDADE** de interesse é aquela para as **ondas longas** (para absorção da radiação terrestre) e para as **ondas curtas** (para absorção de radiação solar ou visível). Para as ondas curtas, a absorptividade nem sempre se aproxima de 1 e varia ainda dentro do espectro visível, causando as cores da luz refletida pelos corpos.

ABSORÇÃO

EMISSÃO



**PARA RACIOCINAR:
CERTO ou ERRADO ?**

CERTO ou ERRADO ?

**“Se a emissividade de um corpo é alta,
significa que ele emite muita radiação.”**

CERTO ou ERRADO ?

“EMISSIVIDADE é uma propriedade de uma superfície; a EMISSÃO é um processo cuja ocorrência, além da emissividade, depende da temperatura da superfície.”

CERTO ou ERRADO ?

“Antes de poder emitir radiação, um corpo deve absorver radiação.”

CERTO ou ERRADO ?

“A densidade de fluxo de radiação solar que chega ao topo da atmosfera da Terra é muito menor que a emitida pelo Sol. Isso se deve ao fato de a radiação Solar se espalhar por uma área cada vez maior conforme vai se afastando do Sol.”

CERTO ou ERRADO ?

“Um corpo negro emite, em determinada temperatura, 2000 W de radiação térmica. Se a sua temperatura absoluta dobrar, sua emissão será de 4000 W.”

CERTO ou ERRADO ?

“A emissividade para ondas longas da grande maioria dos corpos é quase 1. Isso significa que, a temperaturas terrestres, esses corpos emitem radiação como se fossem corpos (quase) negros.”

CERTO ou ERRADO ?

“É impossível um corpo negro refletir radiação.”

CERTO ou ERRADO ?

“A clorofila reflete radiação verde. Isso significa que sua emissividade para luz verde é alta.”

CERTO ou ERRADO ?

“Cada fóton de radiação de ondas longas possui menos energia que o da radiação visível.”

CERTO ou ERRADO ?

**“Quanto menor a energia por fóton,
menor a intensidade da radiação.”**