



Unidade 1 – Energia no quotidiano

1.1 A energia que vem do Sol

A energia recebida e emitida é-o sob a forma de **radiação**. A radiação é outro nome para **ondas electromagnéticas** ou ondas de luz.

Todas as ondas, independentemente da sua natureza, podem ser descritas por três características:

- A **amplitude**, A , é o afastamento máximo de cada ponto.
- O **comprimento de onda**, λ , é a distância entre dois pontos mais próximos, que se encontram em idênticas condições.

A unidade S.I. para estas duas unidades é o metro (m).

- O **período**, T , é o tempo de um ciclo completo. A unidade S.I. é o segundo (s).

A radiação, luz, tem um espectro muito vasto. Ele abarca toda a radiação que corresponde às chamadas *ondas de rádio*, até aos raios *gama*. Todas estas radiações são caracterizadas por um parâmetro

chamado **frequência**, f , cuja unidade SI é o *hertz* (Hz), é definida como o inverso do período: $f = \frac{1}{T}$.

Absorção e emissão de radiação

A radiação que incide num corpo pode ser absorvida, reflectida ou transmitida tal que, de acordo com a **Lei da Conservação da Energia**:

$$\text{energia da radiação incidente} = \text{energia da radiação absorvida} + \text{energia da radiação reflectida} + \text{energia da radiação transmitida}$$

Ou seja:

$$1 = \alpha + \rho + \tau$$

1- **energia da radiação incidente**

α - **energia da radiação absorvida**

ρ - **energia da radiação reflectida**

τ - **energia da radiação transmitida**

Estas fracções da energia incidente dependem **das propriedades do corpo** em que incide a radiação e da **frequência da radiação incidente**.

Assim, dependendo do material de que o corpo é feito, da sua espessura, textura da superfície, e da sua opacidade, o corpo pode ser ou não reflector de radiação, ou transmissor da mesma.

Um corpo pode absorver grande quantidade de radiação de uma certa frequência e absorver muito pouco de outras.

Todos os corpos emitem radiação, pelo facto de estarem a determinada temperatura, **radiação térmica**. Quanto mais elevada for a temperatura do corpo mais o espectro da radiação por ele emitida é rico em radiação de frequências mais elevadas.

A quantidade de energia emitida por unidade de tempo, por um corpo, **potência emitida**, depende da temperatura do corpo e da sua superfície.

Considera-se que um corpo é um **emissor perfeito**, a que os físicos chamaram **corpo negro**, pois emite, a qualquer temperatura, a quantidade máxima possível de radiação, em todos os comprimentos de onda e absorve toda a radiação que nele incide, não a reflectindo, nem transmitindo, possui um **factor de emissão** ou **emissividade** máximo, pois é o factor que caracteriza a tendência do corpo para emitir, i.e., $e = 1$.

Qualquer superfície pintada de negro constitui uma aproximação de um corpo negro. Para todos os outros corpos, emissores que não são perfeitos, $0 < e < 1$.

Radiação emitida pelos corpos

Todos os corpos radiam energia. **Porquê?** Porque as partículas de um corpo, sejam eles átomos ou moléculas, a uma certa temperatura estão em permanente agitação. Pois, a temperatura do corpo é uma medida (indirecta) da energia cinética média das partículas do corpo.

Sendo assim, sempre que as partículas, átomos ou moléculas, do corpo oscilam, vibram, existe emissão de radiação electromagnética. Todos os corpos emitem **radiação electromagnética** como consequência da agitação térmica das partículas que os constituem.

As frequências e amplitudes das ondas electromagnéticas emitidas dependem das frequências e amplitudes das vibrações das partículas.

Será que estas partículas vibram todas do mesmo modo?

Não, e por causa disso as ondas electromagnéticas emitidas apresentam **um contínuo de frequências**, ou de comprimentos de onda, não esquecer que $\lambda = c/f$, sendo o comprimento de onda e a frequência da radiação, inversamente proporcionais. O espectro correspondente será um **espectro contínuo**.

O gráfico (Fig.1) representa a intensidade da radiação emitida, J , por unidade de comprimento de onda, λ ,

radiância espectral.

Existe um comprimento de onda para o qual a intensidade da radiação emitida é máxima, correspondente ao comprimento de onda de 500 nm, tendendo a intensidade da radiação emitida para zero para os comprimentos de onda pequenos e grandes.

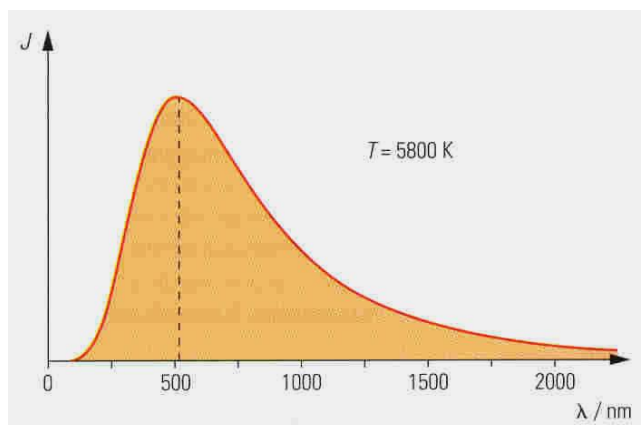


Fig.1

A **intensidade total da radiação térmica**, I , emitida por um corpo é a energia emitida por unidade de tempo e por unidade de área desse corpo.

Ora, a energia por unidade de tempo é uma potência, pelo que a intensidade é a potência por unidade de área. Assim:

$$\begin{cases} P = I \cdot A \\ E = P \cdot \Delta t \end{cases} \Leftrightarrow E = I \cdot A \cdot \Delta t$$

A intensidade total da radiação emitida é conhecida pelo cálculo da área debaixo do gráfico da fig. 1, e que virá na unidade W m^{-2} , podendo ser medida para cada temperatura, obtendo-se a relação entre a intensidade da radiação emitida pelo corpo e a sua temperatura absoluta, isto é:

$$I = \sigma T^4$$

em que σ é uma constante, constante de **Stefan-Boltzmann**, e igual a $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

Esta equação traduz a **Lei de Stefan-Boltzmann**:

"A intensidade da radiação varia com a quarta potência da temperatura absoluta."

O corpo ideal é o **corpo negro**, um corpo que absorve toda a radiação que nele incide e não reflecta nenhuma, sendo por isso mesmo também um emissor perfeito, e a radiação emitida por ele só depende da sua temperatura e não da sua constituição. A **Lei de Stefan-Boltzmann** também pode aparecer na forma:

$$P = \sigma T^4 \cdot A$$

sendo P a potência da radiação emitida e A a área do corpo.

Quais as implicações desta lei?

Um corpo só não irá radiar energia se estiver à temperatura de 0 K, o zero absoluto. Mas essa temperatura não se consegue atingir, é um limite, e, conseqüentemente, todos os corpos radiam energia.

No entanto, o facto de que os corpos aqui considerados não se comportarem como o corpo ideal, o corpo negro, e que a Lei de Stefan-Boltzmann só se verifica para o emissor perfeito. Para descrever corpos reais necessita de uma modificação. Assim:

$$I = e \cdot \sigma T^4 \Leftrightarrow P = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

onde " e " é a **emissividade**, um factor numérico compreendido entre 0 e 1, e que depende da constituição do corpo emissor (0 para o reflector perfeito e 1 para o corpo negro).

Um **bom emissor de radiação é também um bom absorvedor de radiação**.

O espectro de emissão térmica modifica-se com a alteração da temperatura a que se encontra o corpo. Porquê?

Quanto maior for a temperatura do corpo, maior a agitação das partículas constituintes, aumentando as amplitudes das suas oscilações, bem como as frequências das mesmas.

Se a temperatura diminuir, diminui a agitação das partículas constituintes, diminuindo tanto as amplitudes como as frequências das oscilações.

A figura 2 mostra como varia o espectro da intensidade da radiação emitida por um corpo negro se a temperatura for maior, ou menor, do que a temperatura anteriormente considerada de 5800 K.

Assim:

- Quanto maior for a temperatura, mais energia será emitida por um corpo por unidade de tempo e por unidade de área do corpo. O cálculo dessa energia é efectuado através da área por baixo de cada gráfico. A curva roxa, correspondente a maior temperatura, tem por baixo uma maior área, logo seguida das curvas vermelha e verde.
- A máxima intensidade em cada uma das curvas ocorre para comprimentos de onda da radiação emitida diferentes, e que são tanto maiores quanto menor for a temperatura do corpo.

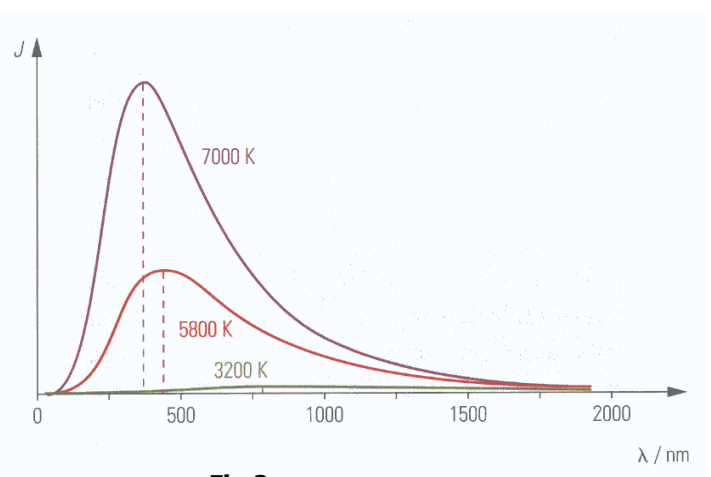


Fig.2

Existe uma relação simples entre a temperatura do corpo e o comprimento de onda correspondente à emissão máxima do corpo, que foi traduzida por Wilhelm Wien, físico austríaco contemporâneo de Max Planck, sendo que essa relação é de proporcionalidade inversa entre o comprimento de onda da emissão máxima e a temperatura absoluta do corpo, tal que,

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{B}{T}$$

em que B é uma constante de valor $2,898 \times 10^{-3} \text{ m K}$.

Esta expressão traduz a **Lei de Wien** ou **Lei do deslocamento de Wien**:

"Para um corpo negro, o produto do comprimento de onda da radiação mais intensa pela temperatura absoluta é uma constante, de valor igual a $2,898 \times 10^{-3} \text{ m K}$."

As estrelas, o Sol, a Terra e os seus espectros de emissão

Esta lei permite conhecer a temperatura de um corpo analisando apenas a sua radiação. Como assim?

A potência máxima irradiada pelo Sol ocorre para o comprimento de onda de 500 nm. Então, a temperatura do fotosfera solar obtém-se como:

$$T = \frac{B}{\lambda_{\text{máx}}} \Leftrightarrow T = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{5,00 \times 10^{-7}} \Leftrightarrow T \approx 5800 \text{ K}$$

O espectro de radiação térmica do Sol com a indicação da banda do visível, se bem que o Sol também emita radiação ultravioleta, radiação infravermelha e ondas de rádio, está representado na figura 3.

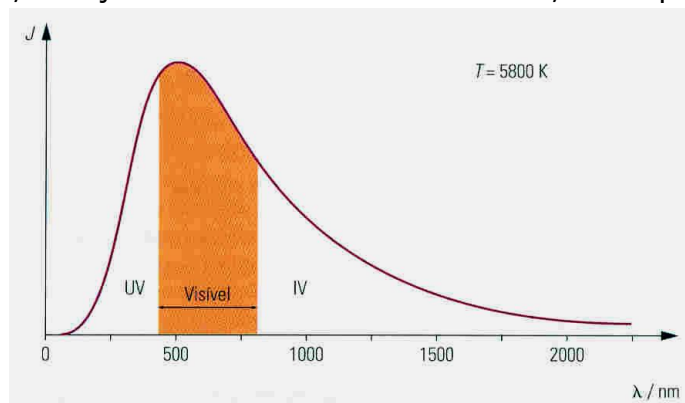


Fig.3

A cor amarela do Sol é o resultado da radiação visível emitida por esta estrela, verde, vermelho e azul, correspondendo o máximo à radiação verde. A cor de uma estrela dá-nos uma indicação da sua temperatura superficial.

Assim:

- uma estrela mais fria que o Sol apresenta uma cor vermelha
- uma estrela mais quente que o Sol apresenta uma cor esbranquiçada ou azul, resultante do aparecimento no espectro das cores azul e violeta e da diminuição da cor vermelha.

E quanto à Terra?

Relativamente ao corpo humano, que está a uma temperatura de 310 K, a radiação emitida é na zona do infravermelho, para um comprimento de onda de emissão máxima na casa dos 9300 nm.

Ora a Terra possui uma temperatura média de 288 K e o espectro de emissão térmica de um corpo negro a esta temperatura mostraria um máximo de emissão para um comprimento de onda da ordem dos 10000 nm. Assim, o espectro de emissão da Terra é também um espectro de **infravermelhos**.

1.4. Equilíbrio térmico

Todos os corpos estão continuamente a emitir radiação e a receber radiação, e consequentemente, energia, dos corpos que os rodeiam.

Assim, se um corpo emite mais radiação para as suas vizinhanças do que absorve, a sua **temperatura diminui**, i.e., arrefece, e se absorver mais radiação do que aquela que emite, aquece, pois a sua **temperatura aumenta**.

Se um corpo estiver a uma temperatura superior à das vizinhanças vai emitir maior quantidade de energia, por unidade de tempo, do que a que recebe das vizinhanças e estas, por sua vez, estão a receber maior quantidade de energia, por unidade de tempo, do que aquela que estão a emitir.

Quando as temperaturas, do corpo e das vizinhanças, se igualam, atinge-se o **equilíbrio térmico** e, a partir deste instante, as trocas de energia entre o corpo e as vizinhanças são iguais, i.e., **a potência da radiação absorvida é igual à potência da radiação emitida**, tanto para o corpo como para as vizinhanças.

Neste caso o **equilíbrio térmico** é atingido através de um mecanismo de troca de radiação.

Todavia, também pode ser atingido através de um mecanismo de troca de energia por contacto directo entre os corpos, i.e., **troca de calor**, bastando os corpos estarem inicialmente a temperatura diferente.

A temperatura de um corpo, medida da energia cinética média das partículas que constituem o corpo, pode ser também encarada como a propriedade que determina se um corpo está ou não em equilíbrio térmico com outro(s).

Assim, **dois sistemas em equilíbrio térmico com um terceiro estão em equilíbrio térmico entre si**. Este é o enunciado da **Lei Zero da Termodinâmica**, a qual permite compreender porque motivo os corpos que se encontram num certo ambiente, passado algum tempo, acabam por ficar todos à mesma temperatura. É que uns aquecem, outros arrefecem e a temperatura final para todos passa a ser a mesma, através de mecanismos de troca de energia, quer por radiação, quer por calor.

Temperatura média da Terra

A partir do balanço energético da Terra:

Potência da radiação proveniente do Sol que entra no Globo terrestre = Potência da radiação emitida pelo Globo terrestre

Pode-se calcular a sua temperatura. Para tal, introduz-se algumas simplificações:

- A superfície terrestre é um corpo negro;
- Despreza-se a esfericidade da Terra;
- Considera-se somente a radiação perpendicular;
- Despreza-se a radiação absorvida e que difundida pelo ar, o H₂O (g) e o CO₂ da atmosfera.

Potência da radiação proveniente do sol

Consideremos apenas a radiação solar directa (a que incide perpendicularmente à superfície terrestre), isto é, equivalente a considerar que a superfície atingida corresponde à área de um círculo cujo raio é igual ao raio da Terra ($A = \pi R_T^2$).

A quantidade de energia que atravessa, por segundo, e perpendicularmente cada metro quadrado da parte superior da atmosfera designa-se por constante solar e tem o valor 1370 W/m².

Como a Terra não é um absorvedor perfeito, parte da radiação do Sol é reflectida e reenviada para o espaço pelo ar atmosférico(6%), pelas nuvens (20%) e pela própria superfície terrestre (4%).

Assim:

$$\frac{6 + 20 + 4}{100} = 30\%$$

que corresponde ao poder reflector global do planeta.

Define-se **Albedo** como a reflectividade de um planeta, ou seja, a fracção da radiação incidente que por é ele reflectida. O *albedo* terrestre é de 0,3.

Deste modo, apenas 70% da radiação solar contribui para o aumento da energia interna do Globo. Assim, a potência da radiação que é absorvida pelo planeta é:

$$P_{\text{recebida}} = 0,70S\pi R_T^2$$

Potência da radiação emitida pela Terra

Contrariamente ao que se passa na absorção da radiação solar, toda a superfície terrestre está a radiar, de acordo com a Lei de Stefan – Boltzmann. Considerando a Terra um emissor perfeito ($e=1$), o equilíbrio radiativo corresponde à igualdade entre a potência da radiação que entra no Globo e a potência da radiação emitida (balanço energético):

$$0,70S\pi R_T^2 = 4\pi R_T^2 \sigma T^4$$

Efectuando os cálculos, obtém-se o valor da temperatura média do Globo terrestre: $T_{\text{Globo}} = 255 \text{ K}$.

Este valor é muito próximo da temperatura medida por satélites no limite superior da atmosfera mas, em média, a temperatura global da superfície da Terra tem um valor muito superior. O seu valor é aproximadamente 288 K.

Interpreta-se este valor partindo da absorção e reemissão de radiação por alguns gases presentes na atmosfera.

- ✓ Há determinados gases atmosféricos que absorvem a radiação de infravermelhos. São, principalmente, o vapor de água e o dióxido de carbono que existem na troposfera. Designam-se por gases de estufa.
- ✓ Os gases de estufa irradiam a energia absorvida, que volta para a Terra antes de ser novamente reemitida.
- ✓ A radiação permanece mais tempo no sistema "Terra". É daí que resulta o efeito estufa, que faz com que a superfície terrestre seja 33 K mais quente que o previsível (motivo pelo que o efeito estufa é essencial para a vida na Terra).