

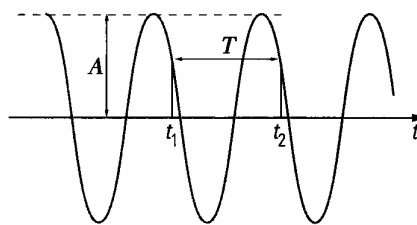
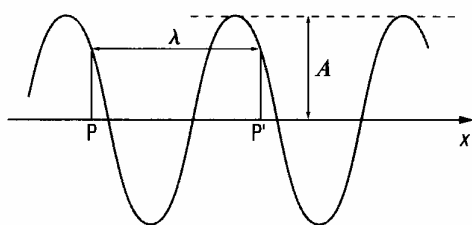
1. Energia - do Sol para a Terra

De toda a energia emitida pelo Sol que é cerca de $3,9 \times 10^{26}$ joules num segundo, apenas $1,8 \times 10^{17}$ joules chegam à Terra, já que a Terra é um planeta relativamente pequeno e afastado do Sol.

O Sol transfere energia para a Terra através da luz que nos envia, ou seja, por radiação. Também a Terra transfere energia para o espaço através de radiação.

Dizemos que o Sol e a Terra radiam energia, isto é, transferem energia para as suas vizinhanças através de radiação. A radiação é outro nome para ondas electromagnéticas. Todas as ondas têm aspectos comuns. As ondas transportam energia sem transportar matéria. Uma onda é, portanto, a propagação de uma «perturbação».

As ondas numa corda, no mar, no ar (ondas sonoras), na Terra (ondas sísmicas) precisam de um meio para se propagar. **Mas as ondas electromagnéticas não; propagam-se mesmo no vazio.** Apesar de o espaço entre o Sol e a Terra ser vazio, a radiação solar - constituída por ondas electromagnéticas - chega à Terra. A sua velocidade de propagação é a velocidade da luz, que se representa por c , e tem o valor $300\,000$ km/s no vazio. No ar a sua velocidade também tem aproximadamente este valor. Todas as ondas, independentemente da sua natureza, podem ser descritas por três características: **amplitude, comprimento de onda e período.**



As ondas transportam energia que depende da sua amplitude e frequência.

Se duas ondas tiverem *a mesma frequência e amplitudes diferentes* tem maior energia a onda de maior amplitude. Por exemplo, uma luz vermelha muito intensa (com grande amplitude) tem mais energia do que uma luz vermelha pouco intensa (com pequena amplitude).

Se as ondas electromagnéticas tiverem *a mesma amplitude mas frequências diferentes*, é mais energética a que tiver maior frequência (ou menor comprimento de onda).

Em resumo:

Ondas com a mesma amplitude:

- . Tem maior energia a que tiver maior frequência (ou menor comprimento de onda).

Ondas com a mesma frequência (ou mesmo comprimento de onda):

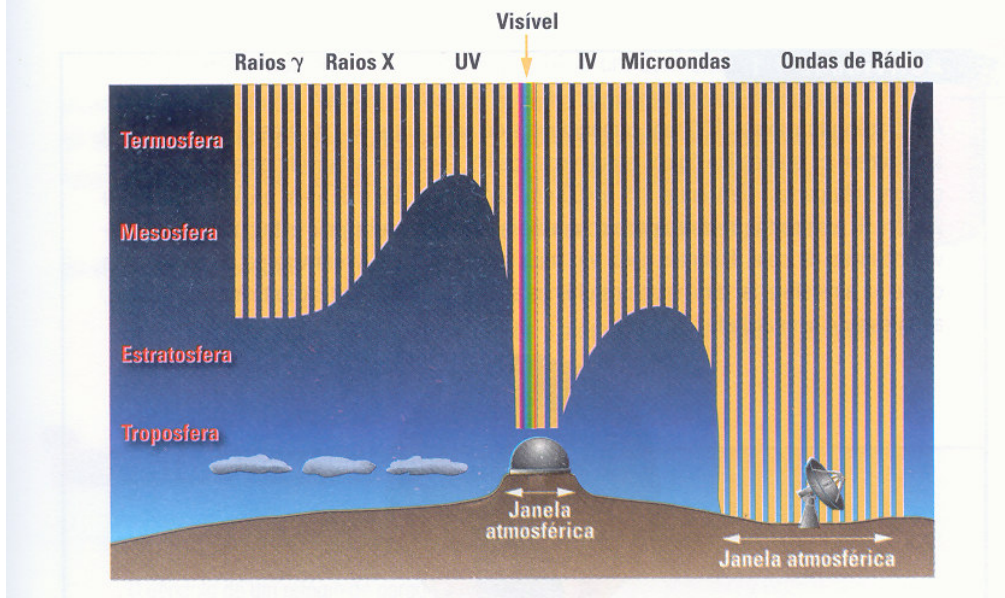
- . Tem maior energia a que tiver maior amplitude.

Quando a radiação incide num corpo parte dessa radiação é reflectida na superfície onde incide. Outra parte é absorvida, podendo provocar aquecimento do corpo. Parte da radiação pode ainda atravessar o corpo: diz-se que o corpo transmite a radiação. A conservação da energia indica que a energia associada à radiação incidente é igual à soma das energias das radiações reflectida, absorvida e transmitida.



Um corpo diz-se opaco à radiação quando não a transmite, ou seja, não se deixa atravessar por ela. Caso contrário diz-se transparente. Mas pode ser opaco a uma dada luz com determinada frequência e transmitir luz com outras frequências. É o caso de certos vidros: deixam passar luz visível mas são praticamente opacos aos ultravioletas. O mesmo se passa com a radiação solar que atinge a atmosfera da Terra. Parte dela é absorvida pela atmosfera como a radiação gama, os raios X, quase toda a radiação ultravioleta (a mais energética) e infravermelha, e alguma radiação microondas. Diz-se que a atmosfera é opaca a estas radiações.

A radiação que é transmitida pela atmosfera e chega à superfície terrestre pode ser captada por telescópios adequados a cada tipo de radiação. É o caso da radiação visível e das ondas usadas nas telecomunicações (ondas de rádio e alguma radiação microondas), assim como radiação ultravioleta menos energética e alguma radiação infravermelha mais energética. Fala-se de «**janelas atmosféricas**», significando que a atmosfera é transparente a estas radiações, ou seja, deixa-se atravessar por elas.



A energia da radiação solar que incide perpendicularmente no topo da atmosfera terrestre, em todos os comprimentos de onda, é cerca de 1370 J por cada metro quadrado e durante um segundo. Ou seja, é 1370 J/(s m²), equivalente a **1370 W /m²**. A este valor chama-se **constante solar** e a sua medição faz-se com satélites colocados acima da atmosfera. É um valor médio, adoptado pela Organização Meteorológica Mundial.

Distribuição da energia que a Terra recebe:

- . cerca de **30%** da radiação incidente é reflectida na atmosfera, nas nuvens e na superfície terrestre. Constitui o **albedo** do planeta;
- . a restante radiação incidente, 70%, distribui-se aproximadamente do seguinte modo:
 - 19% é absorvida pelas nuvens e atmosfera; a radiação ultravioleta mais energética é absorvida na termosfera e outra menos energética na estratosfera; a maior parte da radiação infravermelha é absorvida na baixa estratosfera e troposfera(ver fig. acima)
 - 51 % é transmitida para a superfície terrestre, mas só 25% desta radiação transmitida é radiação directa do Sol; a restante, 26%, é reflectida e dispersa para a superfície da Terra pelas nuvens e pela atmosfera. **A radiação que chega a um lugar da superfície da Terra depende de factores como a latitude do lugar, a hora do dia, a época do ano e a transparência da atmosfera.**

Por que é que a temperatura média não está sempre a aumentar?

De facto o nosso planeta recebe radiação solar mas também irradia energia, caso contrário, a Terra aumentaria sempre a sua temperatura. Por outro lado, a quantidade de energia recebida pelo nosso planeta é aproximadamente igual à quantidade de energia que emite, no mesmo intervalo de tempo, permanecendo a temperatura média da Terra, praticamente, constante. Sem efeito de estufa a temperatura da Terra seria de aproximadamente -18°C, e durante o dia a terra sofreria grandes oscilações térmicas. Estes gases absorvem radiação infravermelha proveniente da Terra e reenviam parte dessa energia para a Terra o que permite que não haja grandes variações térmicas ao longo do dia e que a temperatura média da terra seja de aproximadamente 15°C.

O que acontece com a Terra também sucede com todos os corpos, já que estão constantemente a emitir radiação e a receber energia por radiação de todos os outros corpos em seu redor.

De onde vem a radiação emitida pelos corpos?

Todos os corpos são constituídos por partículas (átomos, moléculas, etc.) que estão em permanente agitação, emitindo ondas electromagnéticas, cujas frequências e amplitudes são variáveis, devido ao diferente comportamento das partículas. Por consequência, os espectros de radiação dos diferentes corpos são contínuos.

O gráfico da figura representa a intensidade da radiação emitida por unidade de comprimento de onda. A forma da curva é puramente térmica e corresponde a uma emissor perfeito -corpo negro (emite a qualquer temperatura a quantidade máxima possível de radiação em todos os comprimentos de onda e absorve toda a radiação que nele incide). A radiação emitida pelo

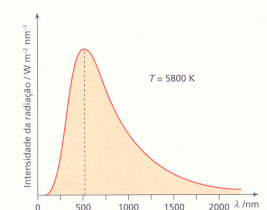


Fig. 11 Espectro de radiação de um corpo negro

corpo negro só depende da temperatura e não da sua constituição. Todos os corpos emitem radiação num contínuo de comprimentos de onda e o comprimento de onda para o qual se dá a emissão com intensidade máxima depende da temperatura.

A intensidade total (I) da radiação térmica emitida por um corpo é a energia emitida por unidade de tempo e de área desse corpo, ou seja, é a potência por unidade de área, que pode ser calculada pela área sob a curva do gráfico da figura, que é proporcional com a quarta potência da temperatura absoluta. Estas conclusões são traduzidas pela Lei de Stefan-Boltzmann para um emissor perfeito:

$$I = \sigma T^4 \quad P = \sigma A T^4$$

Mas, na realidade, corpos reais não são emissores perfeitos, ou corpos negros, fala-se por isso em emissividade. A emissividade (ϵ) é um factor numérico compreendido entre zero e um, que depende da constituição do corpo emissor, caracterizando a tendência de um corpo para emitir em relação a um emissor perfeito, sendo zero para um reflector perfeito e um para um emissor perfeito ou corpo negro. Sendo assim, a Lei de Stefan-Boltzmann para corpos reais traduz-se por:

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

P- potência total emitida em todas as frequências (W) A - área da superfície irradiadora (m^2) T - temperatura absoluta a que o corpo se encontra (K) σ - constante de Boltzmann - $5,67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ e - emissividade do material

Quando varia a temperatura, o que acontece ao espectro de emissão térmica?

Acima do zero absoluto, qualquer que seja a temperatura, os corpos negros emitem radiação em todas as frequências. Contudo, existe uma zona em que emitem com intensidade máxima para cada temperatura. Quanto maior for a temperatura de um corpo, mais agitadas estarão as partículas que o constituem, por consequência, as amplitudes e frequências das suas oscilações vão ser maiores e o espectro de emissão térmica modifica-se

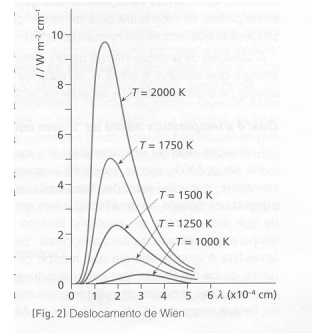
Observando a figura conclui-se que:

-A uma maior temperatura corresponde uma maior quantidade de energia emitida pelo corpo, por unidade de área e de tempo (a área por baixo da curva é maior).

- A máxima intensidade em cada uma das curvas ocorre para comprimentos de onda tanto maiores quanto menores forem as temperaturas - **deslocamento de Wien**, traduzido pela expressão: $\lambda_{m\acute{a}x} = B/T$ $B = 2,898 \times 10^{-3} m K$

O deslocamento de Wien permite explicar a cor das estrelas e por consequência a sua idade, já que estas características estão directamente relacionadas com a temperatura à superfície das mesmas. Verifica-se, por exemplo, para o Sol que a sua intensidade máxima de emissão situa-se na zona verde do visível (a temperatura da camada exterior do Sol é cerca da 5800 K).

Já para o nosso planeta, que emite radiação a temperaturas muito mais baixas, a sua máxima emissão situa-se na zona dos infravermelhos.



(Fig. 2) Deslocamento de Wien

E os humanos também emitem radiação?

Claro que sim, já que a nossa temperatura é superior ao zero absoluto, ronda os 310 K, pela Lei de Wien verifica-se que a intensidade da nossa radiação é máxima para comprimentos de onda próximos de $9,3 \times 10^{-6} m$, ou seja, na zona dos infravermelhos, só não detectamos esta radiação com os nossos olhos, já que corresponde a uma zona não visível do espectro electromagnético.

O contrário também pode ser feito, ou seja, pode-se conhecer a temperatura de um corpo analisando a sua radiação. É assim que se tem conhecimento, por exemplo, da temperatura do Sol, 5800 K, já referida.

Quem emite e quem recebe radiação?

Todos os corpos emitem e recebem radiação, sendo **os bons emissores também bons absorvedores**. Se um corpo emite mais radiação do que recebe, então arrefece, ou seja, a sua temperatura baixa e a da sua vizinhança sobe, recebendo a radiação emitida, até se atingir o equilíbrio térmico, altura em que estas trocas de energia (taxas de absorção e emissão) são iguais, bem como a temperatura do corpo e da sua vizinhança - **Lei Zero da Termodinâmica** - dois sistemas termodinâmicos (sistemas constituídos por um elevado número de partículas e onde são apreciáveis variações de energia interna) em equilíbrio térmico com um terceiro estão em equilíbrio térmico entre si (é de referir que o equilíbrio térmico também se atinge por outros processos que iremos referir mais à frente).

A variação de energia interna de um sistema, devido à radiação, depende do balanço entre a energia que absorve e emite e, se esta variação for igual a zero, fala-se em equilíbrio térmico, apesar de o sistema emitir e receber radiação continuamente.

Qual é a temperatura média de "quase equilíbrio" da Terra?

O nosso planeta encontra-se numa situação de quase equilíbrio térmico, já que a sua temperatura média é praticamente constante. Para calcular o valor da temperatura média da Terra, pode-se adoptar um modelo matemático que tem em consideração a Lei de Stefan-Boltzmann e a noção de que num sistema em equilíbrio térmico as energias emitidas e absorvidas por unidade de tempo e por unidade de área são iguais.

Sendo assim, a energia emitida pela Terra mais atmosfera é igual à energia que recebe do Sol, que é cerca de 70% da radiação solar incidente, cerca de 952 W por metro quadrado. Conhecendo a área da superfície da Terra e considerando que o nosso planeta tem uma emissividade de 1, obtém-se que a temperatura média da Terra é cerca de 255 K = - 18 °C

O valor da temperatura encontrado pelo modelo matemático é muito inferior ao medido directamente ($T = 15 \text{ °C}$), pois $T = 255 K = - 18 \text{ °C}$

$$T (K) = 273 + T (\text{°C}).$$

Esta diferença deve-se fundamentalmente ao facto de se ter explorado o modelo matemático, considerando ausente na atmosfera o efeito de estufa, isto é, não se teve em conta o facto de na atmosfera existirem determinados gases (CO_2 e H_2O) que absorvem radiação infravermelha e, como qualquer outro corpo, reemitem radiação. Parte desta radiação atinge a superfície da Terra, contribuindo para o seu aquecimento. Por outro lado, a radiação emitida pelo Sol tem o máximo de potência na zona do visível e a radiação emitida pela Terra tem o máximo na zona do infravermelho (sendo a primeira mais energética do que a segunda).

O aquecimento global deve-se fundamentalmente ao aumento do efeito de estufa. São várias as actividades naturais e antropogénicas que todos os dias emitem para a atmosfera gases como CO_2 , CFC, CH_4 , responsáveis pela intensificação do referido efeito. Este aquecimento global poderá trazer consequências graves para o nosso planeta e consequentemente para o Homem, como, por exemplo: fusão dos glaciares, intensificação de alguns fenómenos meteorológicos, tais como furacões, tempestades tropicais, ciclones.