

Projecto Faraday

Textos de Apoio

Radiação

10º Ano de Escolaridade



casa das ciências

Porto, Outubro de 2009

Ficha Técnica

Projecto Faraday

Projecto de intervenção no ensino da Física no secundário.

Financiamento

Fundação Calouste Gulbenkian.

Execução

Departamento de Física, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Escolas Participantes

- ES Filipa de Vilhena
- ES Fontes Pereira de Melo
- ES Garcia de Orta
- ES da Maia
- ES de Santa Maria da Feira

Coordenação

- J. M. B. Lopes dos Santos
- Manuel Joaquim Marques

Portal

URL: <http://www.fc.up.pt/faraday>

Texto do 10^o Ano

Redactor Principal

J. M. B. Lopes dos Santos

Colaboração e revisão

- Elisa Arieiro
- Carlos M. Carvalho
- Manuel Joaquim Marques

Actividades

Autores

- Carlos M. Carvalho
- Elisa Arieiro
- J. M. B. Lopes dos Santos
- Manuel Joaquim Marques
- Nuno Alexandre Vaz
- Nuno Nunes

Colaboração

- Joaquim Agostinho Moreira

Parte II

ENERGIA, CALOR E TEMPERATURA

Conteúdo

Ficha Técnica	i
II ENERGIA, CALOR E TEMPERATURA	1
6 Radiação	7
6.1 Radiação Electromagnética	7
6.1.1 O espectro electromagnético	7
6.1.2 Intensidade de radiação	9
6.2 Interação da radiação com a matéria	11
6.2.1 Difusão e absorção	11
6.2.2 Emissão	12
6.2.3 Radiação do corpo negro	13
6.2.3.1 Lei de Kirchhoff	13
6.2.3.2 Lei de Planck	14
6.2.4 Radiação cósmica de fundo	16
6.2.5 Radiação e a Primeira Lei da Termodinâmica	16
6.3 Actividades, Questões e Problemas	18
6.3.1 Actividades	18
6.3.2 Problemas	18

Lista de Figuras

6.1	Espectro Electromagnético.	8
6.2	Emissão (a) e absorção de radiação (b). O comprimento de onda λ é inversamente proporcional à diferença de energia $E_2 - E_1$	8
6.3	A energia incidente sobre a Terra é a que passa num disco de raio igual a R_T	9
6.4	A intensidade $I(\lambda, \Delta\lambda)$ é a intensidade de radiação cujo comprimento de onda está no intervalo da figura.	11
6.5	Intensidade espectral, $I_{\text{cn}}(\lambda, \Delta\lambda)$ da radiação do corpo negro para várias temperaturas (lei de Planck). A banda colorida mostra, aproximadamente, a gama de radiação visível. As curvas de intensidade foram divididas pelo valor do máximo da curva de $T = 3000\text{ K}$	15
6.6	Os dados da medição da radiação cósmica de fundo pelo satélite COBE não se conseguem distinguir da curva teórica da lei de Planck (vermelho).[1]	17

Capítulo 6

Radiação

6.1 Radiação Electromagnética

▷ Actividade 6.1.

Na Actividade 6.1 faz-se uma medição da quantidade de energia que uma lâmpada pode emitir na forma de radiação electromagnética visível: luz. A matéria pode emitir e absorver radiação electromagnética e, claramente, temos que levar em conta estes processos na “contabilidade” de energia.

O caso da Terra é particularmente importante neste contexto. Através do vazio não há, nem condução de calor, nem convecção. A energia do Sol chega-nos como radiação electromagnética. Por sua vez, a Terra só pode transferir energia para o espaço emitindo, também, radiação electromagnética. O balanço energético da Terra é, pois, exclusivamente radiativo. Só este facto é suficiente para justificar a importância de compreender trocas de energia na forma de radiação.

6.1.1 O espectro electromagnético

A radiação electromagnética não é apenas luz. É também ondas de rádio, micro-ondas, radiação infravermelha, ultravioleta, raios-X e raios- γ . Tudo isto são manifestações do mesmo fenómeno, diferindo apenas no valor de certas grandezas, como o comprimento de onda e a frequência.

Uma compreensão completa dos fenómenos envolvendo radiação e matéria está muito para além das nossas possibilidades neste curso. O nosso interesse principal reside nos aspectos energéticos. Contudo, o conhecimento de alguns aspectos qualitativos sobre

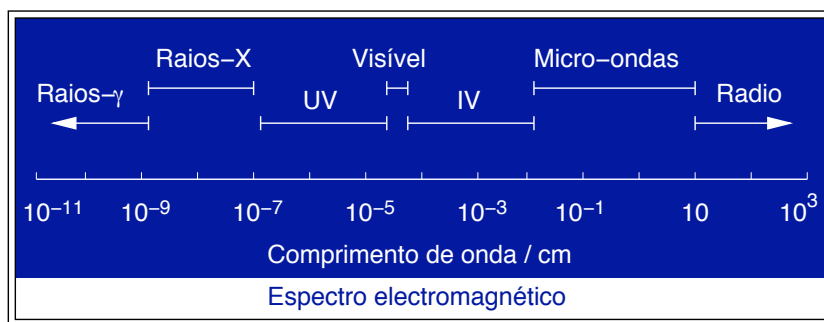


Figura 6.1: Espectro Electromagnético.

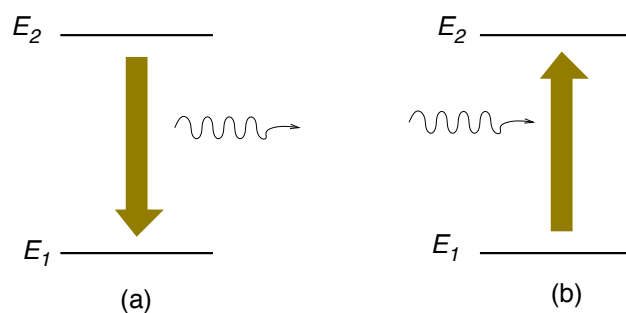
radiação pode ajudar a relacionar muitos fenómenos da nossa observação corrente.

A. A radiação electromagnética é produzida por cargas eléctricas ao transitar de nível de energia.

Quando um electrão de um átomo ou molécula transita de um nível de energia, E_2 , para um nível de menor energia, E_1 , emite um fóton, um “pacote” elementar de radiação electromagnética. A conservação de energia exige que associemos ao fóton uma energia $E_2 - E_1$.

B. A radiação electromagnética pode ser absorvida por cargas eléctricas na matéria, originando transições para níveis de energia mais elevada.

Um electrão pode absorver um fóton, passando de um nível de energia E_1 para um nível de energia superior E_2 .

Figura 6.2: Emissão (a) e absorção de radiação (b). O comprimento de onda λ é inversamente proporcional à diferença de energia $E_2 - E_1$.

C. A radiação electromagnética propaga-se no vazio à velocidade da luz, $c = 300\,000\text{ km s}^{-1}$. Nos meios materiais essa velocidade pode ser ligeiramente menor.

Esta velocidade, no vazio, caracteriza toda a radiação electromagnética e não apenas a luz, radiação visível.

D. A radiação pode ser decomposta em componentes com um comprimento de onda, λ , e período, T , bem definidos.

Estas duas grandezas estão relacionadas pela velocidade da radiação electromagnética,

$$\lambda = cT.$$

Nesta altura, não é muito importante conhecer a natureza desta decomposição: apenas que a energia total da radiação pode ser considerada como uma soma de energias associadas a cada comprimento de onda. Os diferentes tipos de radiação (desde ondas de rádio a raios- γ), correspondem a gamas diferentes de comprimento de onda (ver Fig 6.1).

E. A radiação visível corresponde a uma gama muito estreita do espectro electromagnético.

O sentido de visão é sensível à radiação electromagnética numa gama muito estreita de comprimentos de onda, de $4000 \text{ \AA} \sim 7000 \text{ \AA}$, a chamada radiação visível. Os diferentes comprimentos de onda são percebidos como cores diferentes, do violeta ($\sim 4000 \text{ \AA}$) ao vermelho ($\sim 7000 \text{ \AA}$).

6.1.2 Intensidade de radiação

Como podemos caracterizar a quantidade de energia de radiação incidente na superfície de um dado corpo?

A energia incidente num intervalo de tempo Δt é o produto da potência da radiação incidente na superfície, por Δt :

$$\Delta E = P\Delta t.$$

Quanto maior for a área de exposição, maior será a energia incidente. Para áreas suficientemente pequenas para que a radiação não varie de intensidade de ponto para ponto, a potência total deve ser proporcional à área de exposição:

$$\Delta E = P\Delta t = IA\Delta t.$$

I é a intensidade de radiação incidente na superfície, isto é, a potência incidente por unidade de área. A história da Caixa 6.1 pode ajudar a compreender esta definição.

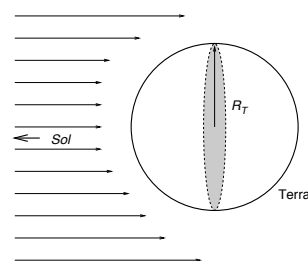


Figura 6.3: A energia incidente sobre a Terra é a que passa num disco de raio igual a R_T .

■ Medindo a intensidade da chuva ■

Dois amigos envolveram-se numa discussão sobre em qual dos bairros em que moravam chovia mais. Para decidir a questão resolveram recorrer ao método experimental. Combinaram colocar baldes à chuva e medir a quantidade de água que recolham. Assim fizeram, e, num dia particularmente chuvoso, recolheram 4 kg e 6 kg de água, respectivamente.

Ao juntarem-se para comparar resultados, o primeiro perguntou logo:

Quanto tempo tiveste o balde à chuva?

Acontecera que o segundo amigo recolhera água durante 30 minutos e o primeiro só durante 16. Concordaram que teriam que comparar água recolhida no mesmo intervalo de tempo. Como a massa recolhida é proporcional ao tempo de exposição

$$\Delta M = Q\Delta t,$$

facilmente calcularam os caudais, Q , (massa por unidade de tempo) de cada um:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{4}{16} = 0,25 \text{ kg min}^{-1} \\ Q_2 &= \frac{6}{30} = 0,2 \text{ kg min}^{-1}. \end{aligned}$$

O segundo amigo, não convencido, lembrou-se de perguntar:

Afinal que balde usaste?

Discutindo o assunto, chegaram à conclusão que o caudal também era proporcional à área da abertura do balde:

$$\Delta M = Q\Delta t = IA\Delta t.$$

Mediram os raios dos baldes e calcularam as áreas respectivas, tendo obtido $A_1 = 0,075 \text{ m}^2$ e $A_2 = 0,06 \text{ m}^2$. Determinaram a intensidade da chuva, I , (massa, por unidade de área e de tempo) em cada um dos casos:

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{4}{16 \times 0,075} = 3,3 \text{ kg min}^{-1} \text{ m}^{-2} \\ I_2 &= \frac{6}{20 \times 0,06} = 3,3 \text{ kg min}^{-1} \text{ m}^{-2} \end{aligned}$$

Naquele dia, pelo menos, choveu com igual intensidade nos dois bairros.

Caixa 6.1: Intensidade da Chuva.

Um exemplo importante é o da radiação solar incidente num planeta como a Terra ou a Lua. A energia radiada pelo Sol espalha-se igualmente em todas as direcções. A uma distância do Sol igual ao raio da órbita da Terra, essa radiação está igualmente distribuída por uma área igual à de uma esfera com esse raio. A Terra recebe (*intercepta*), num dado intervalo de tempo, a energia que atravessa um disco de área πR_T^2 . A potência incidente na Terra é:

$$P_T = I\pi R_T^2.$$

Para a Lua (que está quase à mesma distância do Sol que a Terra) seria

$$P_L = I\pi R_L^2.$$

I é a intensidade de radiação, potência incidente por unidade de área, a uma distância do Sol igual ao raio da órbita da Terra. Designa-se por constante solar e vale

$$I = 1,36 \times 10^3 \text{ W m}^{-2}.$$

No caso da radiação, é útil considerar separadamente os vários comprimentos de onda. Podemos definir como $I(\lambda, \Delta\lambda)$ a intensidade de radiação correspondente ao intervalo de comprimentos de onda $[\lambda - \Delta\lambda/2, \lambda + \Delta\lambda/2]$. Em geral, mantemos $\Delta\lambda$ fixo e estudamos apenas a variação com λ .

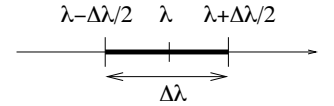


Figura 6.4: A intensidade $I(\lambda, \Delta\lambda)$ é a intensidade de radiação cujo comprimento de onda está no intervalo da figura.

6.2 Interacção da radiação com a matéria

Ao discutir a interacção da radiação com a matéria é importante distinguir os seguintes fenómenos.

6.2.1 Difusão e absorção

Quando a radiação incide num corpo opaco, parte da intensidade incidente é **difundida** (espalhada em todas as direcções) e parte absorvida. É a luz difundida que nos permite ver os objectos à nossa volta, na presença de luz do Sol ou de luz artificial. A radiação de um dado comprimento de onda é difundida com o mesmo comprimento de onda. Numa superfície muito polida (um espelho) a difusão dá-se numa direcção determinada e chama-se reflexão.

▷ **difundir:** enviar em muitas direcções; espalhar.

Sendo $I_{\text{in}}(\lambda, \Delta\lambda)$, a intensidade incidente, a parte absorvida é uma fracção, $0 \leq e \leq 1$, da incidente,

$$I_{\text{abs}}(\lambda, \Delta\lambda) = eI_{\text{in}}(\lambda, \Delta\lambda), \quad (6.1)$$

e a difundida

$$I_{\text{dif}}(\lambda, \Delta\lambda) = (1 - e)I_{\text{in}}(\lambda, \Delta\lambda) \quad (6.2)$$

o que exprime simplesmente a conservação de energia, para cada gama de comprimentos de onda:

$$I_{\text{abs}}(\lambda, \Delta\lambda) + I_{\text{dif}}(\lambda, \Delta\lambda) = I_{\text{in}}(\lambda, \Delta\lambda).$$

Se o corpo for transparente, há uma parte da radiação que o atravessa sem modificação. Incluiremos essa fracção na radiação difundida. Ao fim ao cabo, o mais importante é que só a radiação absorvida pode alterar a energia do corpo.

O coeficiente de absorção, e , depende, em geral, do comprimento de onda da radiação incidente, $e \rightarrow e(\lambda)$. Isso explica a cor dos objectos. Uma superfície branca difunde igualmente (mesmo e) a radiação dos diferentes comprimentos de onda que compõem a luz solar. Uma superfície de cor tem uma absorção mais forte em certos comprimentos de onda ($e(\lambda)$ maior) e a luz difundida tem, então, menor intensidade nesses comprimentos de onda ($1 - e(\lambda)$ menor). A distribuição de energia pelos diferentes comprimentos de onda da luz difundida fica diferente da luz solar, e vemos uma cor. Por exemplo, uma superfície que absorva mais fortemente os comprimentos de onda mais pequenos, violeta e azul, difundirá luz que pode aparecer com tonalidades de amarelo e vermelho.

▷ Actividade 6.2

6.2.2 Emissão

Se elevarmos suficientemente a temperatura de uma resistência num circuito eléctrico, esta começa a brilhar: primeiro com uma cor avermelhada, e com uma intensidade luminosa baixa (temperatura da ordem dos 800 K). Aumentando a temperatura, a cor torna-se mais amarelada e a luz emitida aumenta. Numa lâmpada de incandescência, a temperatura está próxima dos 2800 K. As lâmpadas de halogéneo têm intensidades ainda mais altas e uma luz “mais branca”.

A luz do filamento da lâmpada não é luz difundida: é luz emitida pelo próprio filamento. Ao contrário da radiação difundida, a radiação emitida não cessa, se cessar a radiação incidente.

■ De noite todos os gatos são pardos. ■

Este provérbio tem também um conteúdo científico. De facto, quando a intensidade de luz difundida é baixa, não percebemos cor. A seguinte demonstração pode ser feita com grande facilidade com uma caixa de lenços de papel vazia, alguns pedaços de cartolina e um furador.

Fazer um furo no centro de um pedaço de cartolina de tamanho suficiente para tapar a abertura da caixa, (dobrando a cartolina e furando na dobra, consegue-se). Tapar a abertura da caixa e observar o fundo pelo furo. Verificar se se consegue distinguir uma folha branca de uma cartolina preta colocadas no fundo da caixa.

Caixa 6.2: A cor e a difusão de luz.

Para que um corpo possa emitir radiação, basta que tenha cargas eléctricas em níveis de energia excitados: ao transitarem para níveis mais baixos, é emitida radiação. Na Actividade 6.2, verifica-se que a composição espectral da luz emitida depende da temperatura.

Curiosamente, um corpo só pode emitir nos comprimentos de onda que pode absorver. Isso é fácil de compreender do diagrama da Fig. 6.2 na página 8. Se um corpo puder absorver radiação de um dado comprimento de onda, transitando de um nível de energia $E_1 \rightarrow E_2$, então, pode emitir no mesmo comprimento de onda transitando de $E_2 \rightarrow E_1$. Assim, se para um dado comprimento de onda, λ , o corpo não absorve ($e(\lambda) = 0$), também não emite nesse comprimento de onda. Por isso $e(\lambda)$ é designado, também, por **emissividade**. É oportuno recordar do estudo de química, que as riscas de emissão e de absorção de um dado material ocorrem aos mesmos comprimentos de onda.

6.2.3 Radiação do corpo negro

6.2.3.1 Lei de Kirchhoff

Se a intensidade de radiação absorvida por um corpo é superior à intensidade emitida, a sua energia e, em geral, a sua temperatura aumentam. Se emitir mais do que absorve, a sua energia e temperatura diminuem. Numa situação de equilíbrio as intensidades de radiação absorvida e emitida são iguais.

Embora nada soubesse sobre níveis de energia, o físico Kirchhoff, no final do século XIX, com um brilhante argumento baseado nas leis da termodinâmica, conseguiu mostrar um resultado notável sobre distribuição da energia pelos diferentes comprimentos de onda da radiação emitida por um corpo a temperatura T . Kirchhoff mostrou que intensidade de radiação emitida por um corpo, em equilíbrio térmico, a uma temperatura T , tem a forma:¹

$$I_{\text{em}}(\lambda, \Delta\lambda) = e(\lambda)I_{\text{cn}}(\lambda, \Delta\lambda) \quad (\text{Lei de Kirchhoff}) \quad (6.3)$$

em que $I_{\text{cn}}(\lambda, \Delta\lambda)$ é uma função *universal* da temperatura, T , isto é, igual para todos os corpos, em todas as situações de equilíbrio térmico. Se conhecermos esta função (que Kirchhoff não conhecia), basta-nos saber a emissividade da superfície e a temperatura de um corpo (**e mais nada**) para conhecermos a intensidade de radiação emitida em cada comprimento de onda.

A função $I_{\text{cn}}(\lambda, \Delta\lambda)$, a cada temperatura, chama-se intensidade de radiação de um **corpo negro**. Porquê corpo negro? Repare-se que, pela lei de Kirchhoff, $I_{\text{cn}}(\lambda, \Delta\lambda)$ é a radiação emitida por um corpo que tenha $e(\lambda) = 1$, *para todos os comprimento de onda*, λ . Mas, pela definição de e da Eq. 6.1, trata-se, também, de um corpo que *absorve toda a radiação que nele incide, não difunde*.

6.2.3.2 Lei de Planck

A lei que determina o modo como a radiação do corpo negro, $I_{\text{cn}}(\lambda, \Delta\lambda)$, varia com o comprimento de onda e a temperatura foi descoberta no último ano do século XIX (1900) por Max Planck e coincide com o nascimento da ideia do “quantum” de energia. Há duas consequências dessa lei que nos permitem compreender melhor os resultados da Actividade 6.2.

Lei de Stefan-Boltzmann: A intensidade total radiada, isto é, somada sobre todas as gamas de comprimento de onda, é proporcional à quarta potência da temperatura em **kelvin**:

$$I_{\text{cn}} = \sigma T^4 \quad (\text{lei de Stefan – Boltzmann})$$

A constante σ é designada por constante de Stefan-Boltzmann. Naturalmente é uma constante universal, uma vez que nenhum parâmetro da lei de Planck depende do corpo ou da substância em causa.

¹Na forma em que está escrito, este resultado exige que e não varie na gama de comprimentos de onda $[\lambda - \Delta\lambda/2, \lambda + \Delta\lambda/2]$. Escolhendo $\Delta\lambda$ pequeno consegue-se sempre satisfazer esta condição.

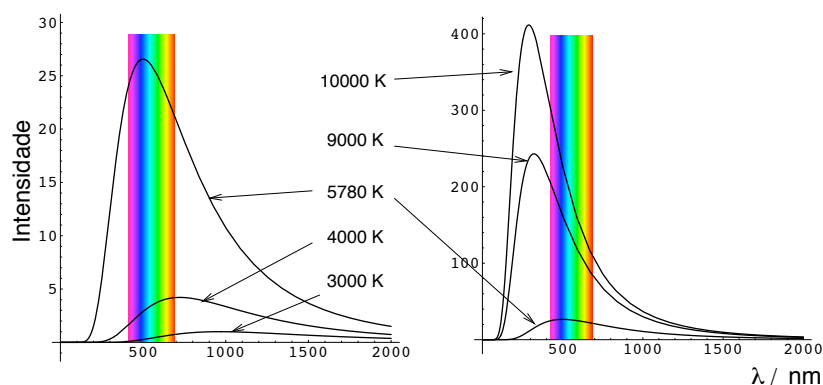


Figura 6.5: Intensidade espectral, $I_{\text{cn}}(\lambda, \Delta\lambda)$ da radiação do corpo negro para várias temperaturas (lei de Planck). A banda colorida mostra, aproximadamente, a gama de radiação visível. As curvas de intensidade foram divididas pelo valor do máximo da curva de $T = 3000 \text{ K}$.

Lei de Wien: A uma dada temperatura T , a intensidade $I_{\text{cn}}(\lambda, \Delta\lambda)$ tem um máximo a um comprimento de onda λ_T , dado por

$$\lambda_T = \frac{b}{T}$$

em que $b = 2,9 \times 10^{-3} \text{ m K}$.

Assim, quanto mais alta for a temperatura, de um corpo:

- i) mais energia radia. Repare-se que entre uma temperatura de 300 K (temperatura ambiente) e 3000 K (o filamento de uma lâmpada de halogéneo) a temperatura aumenta 10 vezes, mas a potência radiada aumenta 10^4 vezes (10 000 vezes mais energia radiada no mesmo tempo). Na figura 6.5 é visível o aumento da intensidade a todos os comprimentos de onda, quando a temperatura aumenta.
- ii) Mais pequenos são os comprimentos de onda da radiação que é emitida. Como se vê na Fig. 6.5, a distribuição espectral desloca-se para comprimentos de onda mais pequenos com o aumento de temperatura.

Então, se todos os corpos radiam, por que temos que iluminar um livro para o ler?

Por um lado, a intensidade da radiação emitida aumenta com a temperatura do corpo—lei de Stefan-Boltzmann. Por isso o filamento de uma lâmpada ($T \approx 2500 \text{ K}$) brilha e um livro ($T \approx 300 \text{ K}$) não.

Por outro lado, quanto mais baixa for a temperatura, maiores são os comprimentos de onda da radiação emitida—Lei de Wien. Se o comprimento de onda for superior a cerca de 7000 \AA (ou inferior a 4000 \AA), a radiação não é visível. Os corpos que consideramos luminosos, como o Sol ou o filamento de uma lâmpada, estão a uma temperatura suficientemente alta para emitirem valores significativos de radiação com comprimentos de onda menores que 7000 \AA , na gama do visível. Para temperaturas mais baixas a emissão é sobretudo no infravermelho.

6.2.4 Radiação cósmica de fundo

A realização prática de um verdadeiro corpo negro, foi concretizada de um modo totalmente inesperado.

Quando o universo tinha menos de cerca de três minutos de existência, a seguir ao Big-Bang, a temperatura era tão alta ($T > 3000 \text{ K}$), que praticamente não havia átomos. Os electrões e os núcleos estavam separados. Nessas circunstâncias o Universo inteiro era um corpo negro, e as cargas livres absorviam e reemitiam toda a radiação. Com a expansão do universo a temperatura diminuiu, formaram-se os átomos, que são neutros, e a matéria tornou-se praticamente transparente à radiação. A radiação que então existia, preenche hoje todo universo. Mas com a expansão do Universo, nos últimos 20 mil milhões de anos, o respectivo comprimento de onda aumentou e a temperatura diminuiu (lei de Wien).

Esta radiação foi descoberta em 1966 por Penzias e Wilson. Em 1992, o satélite COBE, **CO**smic **B**ackground **E**xplorer, completou uma série de medidas, muito precisas, da intensidade desta radiação cósmica de fundo em diferentes comprimentos de onda. Verificou que correspondia, com enorme precisão, à lei de Planck, para uma temperatura de $2,725 \text{ K}$. A Fig. 6.6 ilustra esse acordo.

6.2.5 Radiação e a Primeira Lei da Termodinâmica

A radiação difundida não entra no balanço energético de um corpo. Mas, a sua energia interna varia, se a energia da radiação absorvida e da radiação emitida não forem iguais. Isso acontece se o corpo não estiver à mesma temperatura que o ambiente. A energia emitida é superior à absorvida, se a sua temperatura for superior à do ambiente: o exemplo é um filamento incandescente. Se a sua temperatura for inferior à do ambiente, a energia da radiação absorvida é superior à da emitida: é o caso de um bloco de gelo

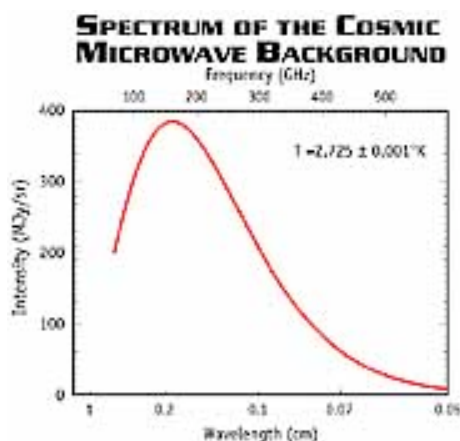


Figura 6.6: Os dados da medição da radiação cósmica de fundo pelo satélite COBE não se conseguem distinguir da curva teórica da lei de Planck (vermelho).[1]

colocado numa sala aquecida. O resultado é sempre a aproximação da situação de equilíbrio térmico, em que as temperaturas são iguais.

Estes processos de transferência de energia por emissão e absorção de radiação não estão associados a movimentos e forças macroscópicas e podem, por isso, ser considerados como calor. Alguns autores, no entanto, preferem distinguir processos de radiação de processos de condução e convecção de calor e escrever a primeira lei da termodinâmica como:

$$\Delta U = W + Q + R, \quad (6.4)$$

em vez do tratamento mais comum, que consiste em incluir as trocas de energia por radiação no termo de calor:

$$\Delta U = W + Q. \quad (6.5)$$

Será uma escolha melhor que a outra?

Do ponto de vista prático, quando estamos a medir com meios convencionais (termómetros, calorímetros), pode ser difícil distinguir a quantidade de energia que passou por condução da que passou por radiação. Quando a água fria de um copo aquece, para citar o exemplo do capítulo 5, ocorrem os dois processos em simultâneo: radiação e condução de calor. Uma diferença de temperatura entre um corpo e o seu exterior origina, em geral, trocas de energia pelos dois mecanismos.

As leis da termodinâmica, como a primeira lei, exprimem princípios gerais, independentes dos mecanismos envolvidos nas transformações. Nesse contexto a formulação da Eq. 6.5 é a mais conveniente: separa, no segundo membro, processos envolvendo variações de variáveis macroscópicas, como deslocamentos, variações de volume, correntes eléctricas, ou seja trabalho, de processos em que nenhuma destas grandezas varia, calor. O mecanismo pelo qual a transformação ocorre é irrelevante do ponto de vista de uma análise termodinâmica. Por este facto, e por ser a convenção mais usada em livros de texto de termodinâmica, será a que usamos nestas notas.

Quando se consideram os mecanismos microscópicos de transferência de energia, pode fazer sentido manter a distinção da Eq. 6.4: a transferência de energia por radiação é, efectivamente, um mecanismo diferente da condução ou convecção, como vimos neste capítulo e no anterior.

O mais importante, contudo, é ter sempre uma ideia clara de qual das formulações estamos a usar. O resultado final da análise de um dado fenómeno tem que ser o mesmo.

6.3 Actividades, Questões e Problemas

6.3.1 Actividades

6.1. Rendimento de uma lâmpada de incandescência.

Determina-se a fracção de energia fornecida a uma lâmpada de incandescência que é emitida como radiação luminosa. Ver ficha de actividade A15.

6.2. Espectro de uma lâmpada de incandescência

Estudo qualitativo da relação entre a temperatura de um filamento e o espectro de radiação emitida. Ver ficha da Actividade A16.

6.3.2 Problemas

6.1. A constante solar, definida na página 9, vale:

$$I = 1,36 \times 10^3 \text{ W m}^{-2}.$$

- (a) Em alguns livros aparece expressa na unidade $\text{J s}^{-1} \text{ m}^{-2}$. Isso é correcto?

- (b) Se a Terra “intercepta” a radiação incidente num disco de área πR_T^2 , que área é necessária para “interceptar” toda a radiação emitida pelo Sol?
- (c) Qual é a potência total radiada pelo Sol?
(Raio da Terra, $6,4 \times 10^6 \text{ m}$; Raio da órbita da Terra, $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$; Área de uma esfera, $4\pi R^2$).
- 6.2. Uma lâmpada de 100 W emite como radiação visível cerca de 10% da energia que consome. Qual é a intensidade de radiação visível a uma distância de 2 m da lâmpada?
(Área de uma esfera, $4\pi R^2$).
- 6.3. Calcular o comprimento de onda para o qual é máxima a potência radiada para as seguintes temperaturas e localizar a radiação correspondente no espectro electromagnético (ver Fig. 6.1):
- (a) temperatura da superfície do Sol, $T = 5780 \text{ K}$;
 - (b) temperatura da superfície da Terra, $T \approx 280 \text{ K}$;
 - (c) lâmpada de halogéneo, $T \approx 3000 \text{ K}$;
 - (d) radiação cósmica de fundo, $T = 2,7 \text{ K}$;
- 6.4. Os seguintes dados dizem respeito ao Sol:
- Raio, $R_\odot = 6,96 \times 10^8 \text{ m}$;
 - Potência radiada, $P_\odot = 3,90 \times 10^{26} \text{ W}$;
 - Temperatura de superfície, $T_\odot = 5780 \text{ K}$.

Qual o valor da constante de Stefan-Boltzmann, que se obtém destes dados?

Bibliografia

- [1] NASA. Wilkinson microwave anisotropy probe. URL: <http://map.gsfc.nasa.gov>, Abril 2004.
- [2] National Museum of Science and Industry. Joule's paddle-wheel apparatus. URL: <http://www.sciencemuseum.org.uk/collections/treasures/joules.asp>.