Corpo Negro

Gonçalo Quinta nº 65680, Fernando Rodrigues nº66326, Teresa Jorge nº65722 e Vera Patrício nº65726

Laboratório de Complementos de Electromagnetismo e Termodinâmica
Mestrado Integrado em Engenheria Física Tecnológica 2009/2010
Instituto Superior Técnico (IST)

(Dated: 12 de Abril de 2010)

I. INTRODUÇÃO

Um corpo negro é definido como um objecto que absorve toda a radiação que sobre ele inside, emitindo apenas em função da sua temperatura. O modelo usado para o descrever é o de uma cavidade com uma pequena abertura, estando as suas paredes revestidas de osciladores electromagnéticos. A radiação que entra pela abertura é reflectida sucessivamente nas suas paredes, até ser totalmente absorvida e se atingir o equilíbrio térmico. Nesse caso, a radiação emitida pela cavidade depende apenas da temperatura das suas paredes, já que que é originada apenas pelos osciladores, sendo contínua em todo o espectro [1]. O presente trabalho destina-se a estudar algumas das propriedades dessa radiação.

Para o estudo da energia absorvida, define-se a grandeza aborvância como:

$$Q = \frac{E_{abs}}{E_{inc}} \tag{1}$$

E_{abs} - Energia absorvida (J)
E_{inc} - Energia incidente (J)

Pela definição de corpo negro acima exposta se tem que a sua absorvância será 1. Já para o estudo da energia emitida se tem a emissividade definida como

$$e = \frac{I}{I_n} \tag{2}$$

I - Potência emitida por unidade de área (W/m)
I_n - Potência emitida por unidade de área por um corpo negro à mesma temperatura (W/m)

em que I_n corresponde ao máximo que é possivel irradiar, pelo que $e \leq 1$, sendo o caso limite (igual a 1) o do corpo negro. Na verdade, esta grandeza depende da temperatura do corpo, do ângulo de emissão e do comprimento de onda analisado, mas irá assumir-se que é constante. O teorema de Kirchoff relaciona estas duas quantidades, afirmando que, em equilibrio térmico, a emissividade e absorvância de um corpo são iguais. [2] Pode-se assim afirmar que materiais que são bons reflectores emitirão pouco e vice-versa.

Experimentalmente, sabe-se que a potência irradiada por área por um corpo negro vai apenas depender da sua temperatura, pela relação conhecida como lei de Stefan-Boltzman [4]

$$I_n = \sigma T^4 \tag{3}$$

σ - constante de Stefan-Boltzman = $5,670400 \times 10^{-8} Js^{-1}m^{-2}K^{-4}$

ou, para corpos que não sejam negros, obtém-se directamente de (2) que

$$I_n = e\sigma T^4 \tag{4}$$

de onde se conclui que a energia irradiada por um corpo negro e outro qualquer difere apenas na intensidade. Ainda por vias experimentais, é sabido que o comprimento de onda da energia emitida para a qual a intensidade é máxima, se relaciona com a temperatura do corpo pela relação conhecida como lei de Wien [3]

$$\lambda_{max} = \frac{B}{T} \tag{5}$$

B - Constante de Wien = $2.8977685 \times 10^{-3} mK$

que explica o facto dos corpos exibirem cores diferentes consoante a temperatura a que se encontram.

No final do séc.XIX, conhecidas estas duas leis, tentou-se explicar o comportamento da radiação emitida pelo corpo negro, tendo-se chegado à expressão clássica

$$U_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT \tag{6}$$

U_ν - Densidade de energia emitida numa dada frequência (W/m^3)
ν - Frequência da radiação emitida (Hz)
c - velocidade da luz no vácuo (m/s)
k - constante de Stefan-Boltzman ($Js^{-1}m^{-2}K^{-4}$)
T - temperatura do corpo (K)

também conhecida como lei de Rayleigh-Jeans. No entanto, embora a expressão estivesse aproximadamente de acordo com os resultados experimentais para $\lambda \to \infty$, o mesmo não se verificava no limite $\lambda \to 0$, visto que se previa uma intensidade infinita quando na verdade era nula.

Foi Planck que ultrapassou esta dificuldade, conhecida como catástrofe do ultravioleta, propondo o que viria a constituir a base do modelo quântico, assumindo que para cada frequência só seriam possíveis determinados valores de energia, contrariamente ao espectro contínuo clássico. Assim, a densidade de energia por frequência seguiria a chamada distribuição de Planck, dada por:

$$U_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \tag{7}$$

h - constante de Planck = $6,626 \times 10^{-34}$ (J/s)

Esta expressão está de perfeito acordo com os dados experimentais, sendo possivel reencontrar a lei de Wien, dada pelo ponto nulo da primeira derivada, e de Stefan-Boltzman, que corresponde à sua integração em todos os comprimentos de onda. Deste modo, é também possivel encontrar os valores das constantes

$$B = \frac{hc}{4,96k} \quad \text{e} \quad \sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^5 h^5} \tag{8}$$

II. EXPERIÊNCIA REALIZADA

A. Aspectos Gerais

Será usada uma lâmpada de filamento de tugsténio como modelo de corpo negro. Admitindo-se que a resistência da lâmpada e a resistividade do tungsténio são proporcionais e sabendo o valor da resistividade para 300K, pode-se obter o valor da resistividade a qualquer temperatura através de:

$$\frac{\rho(T)}{\rho(300K)} = \frac{R_T}{R_{300K}} \tag{9}$$

$\rho(T)$ - resistividade à temperatura T (Ω/m)
R - resistência à temperatura T (Ω)
R_{300K} - resistência à temperatura 300K = 0.278 Ω
T - temperatura (K)

A resistência determina-se aplicando a Lei de Ohm. Sabendo a resistividade na dada temperatura, consulta-se uma tabela para saber qual a temperatura do filamento.

O comprimento de onda da radiação será obtido com recurso a uma tabela que contém o comprimento de onda referente a cada índice de refracção. Este será obtido, para cada medida, através da equação (10), deduzida a partir da lei de Snell

$$n = \sqrt{sin(\theta)^2 + (\frac{sin(\alpha + \theta + \delta) + cos(\alpha)sin(\theta))}{sin(\alpha)})^2} \tag{10}$$

θ - ângulo de incidência
α - ângulo interior do prisma
δ - ângulo de desvio

B. Verificação da Lei de Wien e de Planck

BONECO 1 - legenda - determinação da intensidade por comprimento de onda

Usando o equipamento esquematizado na figura 1, será determinado o ângulo para o qual a intensidade de radiação é máxima, fazendo-se de seguida sucessivas medições da intensidade para ângulos compreendidos entre a radiação verde e esse máximo. A constante de Wien será determinada gráficamente através da relação (5). Os resultados serão também comparados com a curva teórica esperada para a intensidade de radiação de um corpo negro - lei de Planck. Essa comparação será feita graficamente, representando a intensidade medida em função do comprimento de onda e normalizadando o máximo ao máximo teórico, e comparando essa curva com a curva teórica, dada pela equação (11).

$$I_\lambda \Delta\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{KT\lambda}} - 1} \Delta\lambda \tag{11}$$

C. Verificação da Lei de Stefen

Para uma distância fixa será medida a intensidade total da luz radiada para diferentes tensões (que corresponderão a diferentes temperaturas da lâmpada) aplicadas. A lei de Stefen será verificada graficamente, ajustando-se as intensidades e temperaturas obtidas não à equação XXXDAINTRO, mas à sua forma logaritmica NUMERO, obtendo-se a constante de stefen através da ordenada na origem e a dependencia da quarta potência da temperatura a partir do seu declive.

$$log(I) = log(\sigma) + 4log(T) \tag{12}$$

D. Verificação da Lei de Kirchoff

A verificação da Lei de Kirchoff será feita recorrendo a um cubo de Leslie: um cubo com as 4 faces laterais revestidas com diferentes materiais, a que corresponderão diferentes poderes de absorção de emissão. Para uma dada temperatura, será registada a intensidade luminosa radiada por cada face.

III. RESULTADOS

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

V. CONCLUSÃO E CRÍTICAS

[1] *Introdução à Física* by J. D. Deus, *et al.*, McGraw-Hill, 2000
[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Kirchhoff's_law_of_thermal_radiation
[3] http://en.wikipedia.org/wiki/Wien's_displacement_law
[4] http://en.wikipedia.org/wiki/Stefan-Boltzmann_law