

O PROBLEMA DA RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO: DA CATÁSTROFE DO ULTRAVIOLETA À TEORIA QUÂNTICA

Jonathan Tejada Quartuccio

Instituto de Pesquisas Científicas

INTRODUÇÃO

A maior parte de toda a física do século XIX estava bem descrita através da mecânica de Newton, do eletromagnetismo de Maxwell, da termodinâmica e da mecânica estatística de Boltzmann e outros. As descrições físicas se ajustavam tão bem a quase todas as observações que muitos físicos acreditavam que não havia mais nada a ser descoberto. Porém, observações da radiação emitida por corpos quentes não estavam de acordo com a teoria. Na verdade, a teoria parecia descrever uma realidade completamente diferente: uma lareira acesa poderia incendiar toda a casa.

AS DUAS GRANDES NUUVENS ESCURAS

Ao fim do século XIX, acreditava-se que a física havia chegado ao seu máximo. Muitos físicos diziam que não havia mais nada para ser descoberto, a não ser preencher “algumas casas decimais”. Porém, alguns problemas ainda permaneciam sem solução. Por um lado, Michelson e Morley não detectaram nenhuma evidência de que existia o éter. Por outro lado, não havia explicação na teoria ondulatória da luz para o efeito fotoelétrico. Ambos os problemas foram resolvidos por Einstein o qual, para o primeiro caso, modelou a teoria da relatividade e para o segundo caso utilizou-se do modelo corpuscular da luz. Mas um terceiro problema permanecia forte no meio de estudos da termodinâmica.

O que ocorre é que a superfície de corpos aquecidos emite radiação. A física clássica previa que a intensidade da radiação emitida teria de ser infinita, o que, logicamente, é um absurdo.

O problema do éter e dos corpos aquecidos seriam as “grandes nuvens escuras” da física no final do século XIX.

A RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO

Corpos que absorvem toda a radiação que incide em sua superfície são denominados corpos negros. Quando se aquece um objeto, o mesmo começa a emitir ondas eletromagnéticas num vasto espectro de frequências. A investigação desse espectro iria culminar no desenvolvimento da teoria quântica.

Para analisar o espectro eletromagnético é necessário envolver outras duas áreas da física clássica: a termodinâmica e a mecânica estatística.

A termodinâmica é capaz de fazer um vasto número de previsões sobre o comportamento térmico de um sistema físico sem levar em conta a sua constituição. Em 1859, Kirchhoff demonstrou que a intensidade de emissão de um corpo negro em função de sua frequência ν depende exclusivamente da temperatura do corpo. A partir disso, Max Planck introduziu a ideia de osciladores elétricos no interior de uma cavidade de um corpo negro. Esses osciladores vibravam para frente e para trás através da agitação térmica. É importante ressaltar que essa ideia de Planck sobre os osciladores vem antes dos estudos dos átomos.

O eletromagnetismo permite descrever a distribuição de frequências dos osciladores. Para seus cálculos, Planck expressou a energia de cada oscilador como um múltiplo de $h\nu$, de modo:

$$E(\nu) = nh\nu$$

Onde n é o número de osciladores e h é uma constante.

A fórmula encontrada por Planck que descreve o espectro de radiação de um corpo negro foi:

$$I(\nu)d\nu = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} d\nu$$

Nessa equação $I(\nu)$ é a intensidade de frequência na faixa de ν e $\nu + d\nu$. O termo k é a constante de Boltzmann. Se tendermos o valor h para zero, teremos a aproximação:

$$e^{\frac{h\nu}{kT}} = 1 + \frac{h\nu}{kT}$$

Assim, o espectro de radiação é dado por:

$$I(\nu)d\nu = 2\pi \frac{\nu^2}{c^2} kT$$

A LEI DE RAYLEIGH-JEANS E A CATÁSTROFE DO ULTRAVIOLETA

A curva de radiação de um corpo negro mostrou-se muito semelhante à curva de distribuição de velocidades em um gás encontrada por Maxwell.

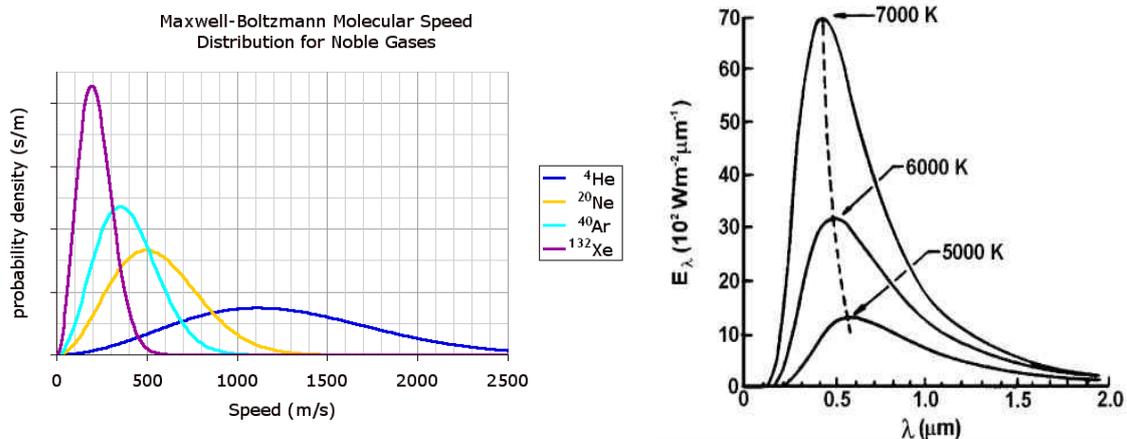


Figura 1: Gráfico da distribuição de velocidades de gases e gráfico da radiação de um corpo negro

Os físicos Lorde Rayleigh e Sir James Jeans introduziram o conceito de ondas no interior da cavidade de um corpo negro. Esse modelo serviu muito bem para baixas frequências, mas um problema surgiu para frequências mais altas.

A teoria clássica previa que a intensidade de radiação deveria ser infinita para a região do ultravioleta. A lei de Rayleigh-Jeans apresentou o seguinte gráfico:

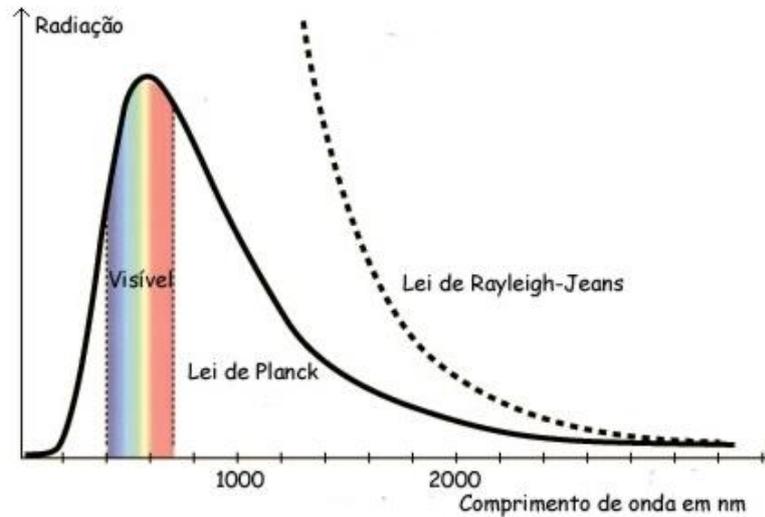


Figura 2: Curva de Rayleigh-Jeans apontando para uma intensidade infinita

Quando partimos da equação de Planck:

$$I(\nu)d\nu = 2\pi \frac{\nu^2}{c^2} kT$$

Se tendermos h para zero, a lei de Planck se torna a lei de Rayleigh-Jeans. Se somarmos a emissão em todas as frequências, encontraremos a intensidade total emitida pelo corpo negro:

$$I = \int_0^{\infty} I(\nu)d\nu = 2\pi \frac{kT}{c^2} \int_0^{\infty} \nu^2 d\nu = \infty$$

Portanto, a intensidade de radiação emitida por um corpo negro é infinita. Mas isso está em completo desacordo com a realidade. Esse problema ficou conhecido como “catástrofe do ultravioleta”.

O QUANTUM DE LUZ

Para contornar o problema, Planck admitiu que o valor de h deveria ser finito e constante. Planck analisou o problema em termos dos comprimentos de onda e não das frequências. Dessa forma, a descrição matemática de Planck se torna:

$$I(\lambda) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

O que Planck verificou foi que, para um dado valor de h , a lei expressa pela equação acima se ajustava perfeitamente aos dados observados. Planck encontrou, através de dados

experimentais, os valores de h e k (a constante de Boltzmann não possuía um valor numérico determinado). Esses valores, atualmente, são $h = 6,626\ 0755 \times 10^{-34}$ Js e $k = 1,380\ 658 \times 10^{-23}$ J/K.

Em outras palavras, o que Planck fez foi assumir que a radiação de um corpo negro pode ser explicando se levarmos em conta que a luz emitida não seja contínua, mas que seja composta de “pacotes” de energia mínima, a qual ele definiu com um “quantum”. O quantum de energia seria dado por:

$$E(\nu) = nh\nu$$

CONCLUSÃO

Para Planck, sua hipótese sobre o quantum de energia parecia ser revolucionária demais. O próprio Planck tentou explicar seus resultados de outra maneira. Mas não obteve sucesso. Sem querer, Planck engatilhou uma nova física, que iria descrever um mundo completamente diferente: a teoria quântica.

O valor de h , hoje chamado de constante de Planck, possui um valor bem pequeno. Porém esse valor não é zero. Se fosse zero, a catástrofe do violeta seria real e a vida não poderia existir. Se esse valor fosse zero, sentar em frente a uma lareira seria mortal. Portanto, sejamos gratos pelas pequenas coisas da vida.

Referências Bibliográficas:

Entendendo a Teoria Quântica, um guia ilustrado – McEvoy, J.P; Zarate, O.

Física Volume 3, Ondas, Relatividade e Física Quântica – Chaves, A.

<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-5.html>

http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25_Alvaranga/corpo_negro.htm

<http://ensinofisicaquimica.blogspot.com.br/2008/02/energia-cintica-molecular-e-temperatura.html>