

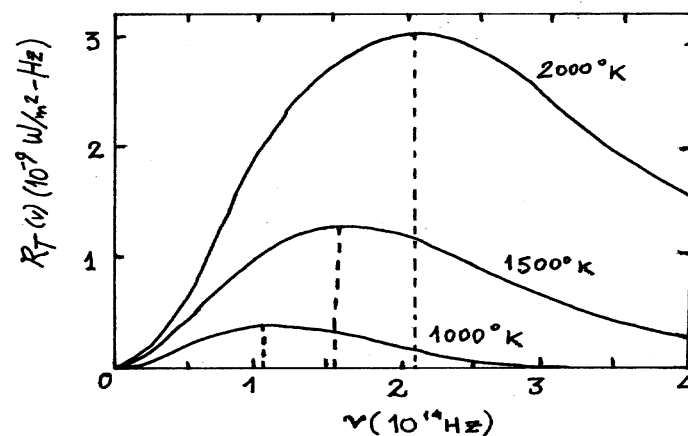
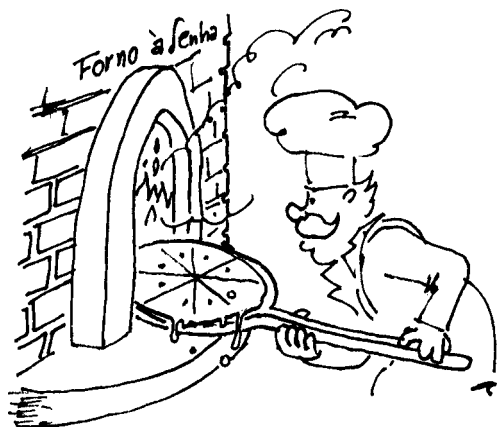
# 14

## As cores da luz e a sua complicação

As teorias de Planck e de Einstein.

O filamento metálico de lâmpadas incandescentes, o carvão, os metais em geral e muitos sólidos, quando aquecidos a altas temperaturas, tornam-se fontes de luz. A cor da luz emitida por esses materiais está relacionada com a sua temperatura.

No começo do século passado, Max Planck deu um passo decisivo para compreender essa relação, além de introduzir elementos novos para uma compreensão mais elaborada do que é a luz. Foi o nascimento da Física Quântica.



No final do século XIX já se sabia que as fontes quentes de luz guardavam uma relação entre cor e temperatura. Nos altos-fornos, por exemplo, a temperatura era avaliada em função da cor da luz emitida por esses fornos, através do pirômetro. Essa luz varia de um branco-avermelhado a um branco-azulado à medida que a temperatura aumenta. Entretanto, a radiação emitida pelos objetos quentes não é toda na faixa da luz visível.

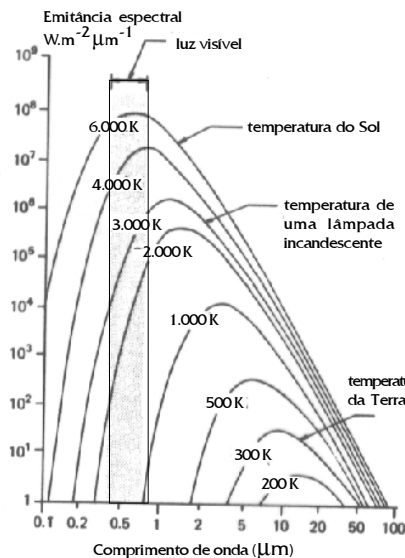
Nessa época os físicos já dispunham de dados experimentais sobre a radiação de um corpo aquecido, para traçar o gráfico da frequência ou do comprimento de onda, versus intensidade de radiação, como o apresentado a seguir.

Este gráfico indica que a energia radiada por unidade de área, por unidade de tempo, de um corpo aquecido, apresenta um máximo diferente para cada temperatura.

Na medida em que a temperatura aumenta, esses máximos se deslocam para regiões de comprimentos de onda menores, ou seja, para frequências maiores.

Veja que, mesmo para objetos a milhares de graus Kelvin, a maior parte de sua radiação possui frequência menor que a da luz visível, estando portanto na região do infravermelho. O restante é irradiado parte como luz visível, parte como ultravioleta e radiações de frequências maiores.

Embora nesse processo uma grande extensão de frequências seja irradiada, as mais baixas predominam a baixas temperaturas, e quando a temperatura do objeto



sobe, cada vez mais radiação de alta frequência é emitida. Por isso a intensidade dessa radiação aumenta com a temperatura.

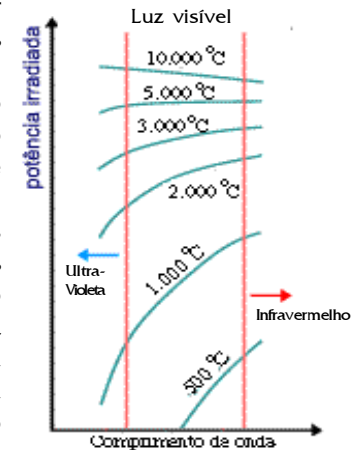
Isso também pode explicar porque a luz emitida nos fornos varia do avermelhado ao branco azulado. O gráfico ao lado retoma as curvas do gráfico anterior, mas somente na faixa da luz visível.

Veja que as curvas relativas às baixas temperaturas apresentam maior emissão de radiação de baixa frequência - luz vermelha. Já a 3.000°C a inclinação da curva é pequena, indicando que todas as frequências de luz visível são emitidas com quase a mesma intensidade; no entanto, ainda prevalece a emissão de baixas frequências, responsável pela luz branca com tom avermelhado.

Aumentando ainda mais a temperatura, atingindo 10.000°C, ocorre a inversão da inclinação da curva; as frequências são emitidas com a mesma intensidade, mas prevalece a emissão das altas frequências, o que dá o tom azulado ao branco.

A teoria da época admitia que a luz era emitida de maneira contínua, como uma frente homogênea atingindo por igual toda a superfície sobre a qual incide. A luz se constituía em algo como uma onda.

A energia transportada pela luz teria um valor contínuo. Mas quando os físicos usavam essas idéias, tentando compreender a relação entre cor e temperatura, o resultado ou a previsão teórica não concordava com a experiência, ou seja, com os gráficos que vimos. Seria então preciso desenvolver uma equação que descrevesse as curvas experimentais e uma teoria que explicasse o que acontecia com a luz.



Parte disso foi conseguido por Max Planck: no dia 14 de dezembro de 1900 ele apresentou à Sociedade Alemã de Física um trabalho sobre esse problema em que estava deduzida uma equação que concordava plenamente com as curvas experimentais.

Mas, para consegui-la, Planck precisou supor que a luz fosse emitida de forma descontínua, em pacotes, cada um denominado **quantum**, que em latim significa quantidade, porção. O plural de quantum é **quanta**, daí o nome **Física Quântica** atribuído à física desenvolvida a partir das idéias de Planck.

Cada um desses pacotes possui uma energia bem definida, que corresponde a múltiplos de apenas determinadas frequências.

Esses pacotes de energia são os **fótons**, cada qual com sua energia bem determinada, dada pela equação de Planck:

$$E = h \cdot f$$

Onde **f** é a frequência da luz ou da radiação emitida e **h** é a famosa constante de Planck, cujo valor é:

$$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

Planck, como todos na época, imaginava a luz como uma onda eletromagnética, mas em 1905 Einstein publicou um trabalho que explicava por que a luz, ao atingir uma superfície metálica com frequência suficientemente alta, era capaz de retirar elétrons, eletrizando o metal, fenômeno que ficou conhecido como **efeito fotoelétrico**.

Em sua explicação, Einstein teve de admitir não só que a luz era emitida em pacotes mas que também incidia sobre as superfícies como se fossem "grãos", os fótons.

Atualmente não estranhemos tanto a idéia da descontinuidade da energia.

No processo de fixação da fotografia verificamos que cada partícula de sal de prata reage ou não reage, dependendo de ela ter sido atingida pelo fóton com energia suficiente. Também na tela da televisão, a luz chega com energia suficiente ou não acontece nada.

Isso porque a luz vem em pacotes ou grânulos de energia, como se fosse partícula e não numa frente contínua como sugere a idéia de onda.

## Onda ou partícula?

Nos filmes fotográficos, por exemplo, cada ponto da imagem corresponde a uma pequena reação provocada pela luz incidente sobre o sal de prata do filme. Nos pontos onde não incide luz não ocorre reação.

Igualmente, o desbotamento de papéis, como jornais e revistas, de tecidos, como cortinas e roupas, só ocorre nas regiões desses materiais que ficam expostas à luz do sol.



Tanto a impressão do filme fotográfico como o desbotamento de papéis e roupas são efeitos que revelam uma ação muito localizada da luz.

Isso pode ser explicado considerando-se que a luz, ao interagir com a matéria, se comporta como uma partícula, como havia suposto Einstein, na explicação do efeito fotoelétrico.

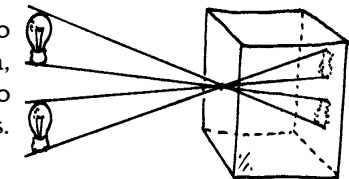
Nesse caso a energia luminosa atinge a matéria na forma de pequenos pacotes de energia, os fótons.

Entretanto, se fizermos a luz passar por um orifício muito pequeno, bem menor que o orifício de nossa câmara escura, nenhuma imagem nítida se formará no papel vegetal no fundo da caixa. É o fenômeno da difração, típico de ondas.

Nesse caso, a luz se comporta como uma onda!!!

Mas esses são os fatos! Em certas situações, a luz, ao interagir com a matéria, se comporta como partícula, e, em outras, o seu comportamento é o de uma onda.

Os físicos incorporaram esses dois aspectos da natureza da luz, conhecidos como dualidade onda-partícula, dentro do chamado Modelo Quântico da Luz.



A luz se difrata e borra a tela

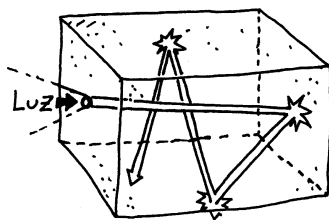
## Radiação do corpo negro

A radiação térmica tem origem no movimento caótico dos átomos e moléculas que constituem o corpo emissor. Por isso todo corpo, devido à sua temperatura, emite esse tipo de radiação e, se estiver suficientemente aquecido, parte dessa radiação será na faixa da luz visível.

Todo material emite para o meio que o envolve, e dele absorve, esse tipo de radiação. Se estiver mais quente que o meio, a emissão será maior que a absorção, e por isso sua temperatura diminuirá, e a do meio aumentará, até atingir uma situação de equilíbrio térmico. Nessa situação, as taxas de emissão e absorção da radiação térmica são iguais, como já analisamos nas leituras de Física Térmica.

Entretanto existe uma espécie de corpo, de superfície bem negra como a fuligem ou o negro-de-fumo, que praticamente só absorve e só emite, não refletindo a radiação que sobre ele incide.

Um modelo bem razoável para um objeto assim, denominado de **corpo negro**, é uma caixa oca de paredes opacas, com um pequeno orifício em uma de suas faces.



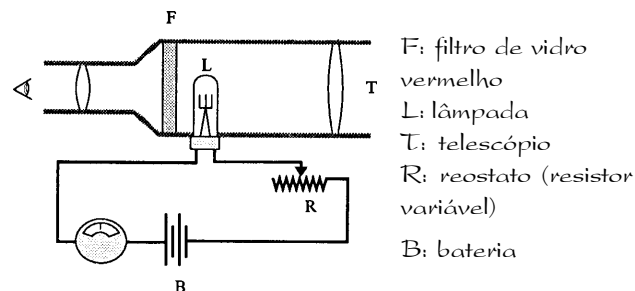
Toda radiação que penetrar pelo orifício será totalmente absorvida pelas paredes internas da cavidade, após múltiplas reflexões. A radiação emitida pelo orifício representa o equilíbrio, entre a radiação e a matéria, no interior da cavidade.

Quando se coloca um metal para ser temperado no interior dos altos-fornos das siderúrgicas, sua cor vai se modificando conforme a temperatura do forno aumenta. O metal, em aquecimento, vai passando do vermelho para o amarelo até chegar num branco-azulado. Esse fato pode ser usado para avaliar a temperatura dos corpos.

## O que é um pirômetro óptico?

O pirômetro é usado nos altos-fornos das siderúrgicas para indicação da temperatura dos metais aquecidos, através da cor da radiação emitida.

A seguir representamos o pirômetro óptico, constituído de um telescópio **T**, com um filtro de vidro vermelho **F**, uma pequena lâmpada elétrica **L** e um reostato **R**.



Dirigindo-se o pirômetro para uma fornalha, por exemplo, observa-se, através do telescópio, o filamento escuro da lâmpada contra o fundo brilhante da fornalha.

O filamento da lâmpada é ligado a uma bateria **B** e a um reostato **R**. Deslocando-se o cursor do reostato, pode-se aumentar (ou diminuir) a corrente no filamento da lâmpada e, conseqüentemente, a sua luminosidade, até igualá-la à da fornalha.

Quando a cor da luz emitida pelo filamento coincidir com a emitida pelo forno, o filamento deixa de ser visível no telescópio.

Como ela está associada à temperatura do filamento e ao valor da corrente que passa por ele, é possível associar-se valores de corrente a valores de temperatura.

Calibrando-se previamente o instrumento com temperaturas conhecidas, pode-se, através da escala do amperímetro, ler diretamente a temperatura desconhecida.

Um desafio da Física foi desenvolver uma teoria que explicasse a relação entre cor e temperatura. A solução desse problema deu origem à Física Quântica.

## Caiu no Vestibular

FUVEST - SP - A energia de um fóton de frequência  $f$  é dada por  $E = h \cdot f$ , onde  $h$  é a constante de Planck. Qual a frequência e a energia de um fóton de luz cujo comprimento de onda é igual a  $5000 \text{ \AA}$ ?

Dados:  $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ;  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  e  $1 \text{ \AA} = 1 \text{ angström} = 10^{-10} \text{ m}$ .

a)  $6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$  e  $4,0 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ; b)  $0 \text{ Hz}$  e  $0 \text{ J}$ ; c)  $6 \text{ Hz}$  e  $4,0 \text{ J}$ ; d)  $60 \text{ Hz}$  e  $40 \text{ J}$ ; e)  $60 \text{ Hz}$  e  $0,4 \text{ J}$

## OUTRAS QUESTÕES

1. Com base na equação de Planck,  $E = h \cdot f$ , determine a energia, em joules, associada a fótons que possuam as seguintes frequências:

a)  $60 \text{ Hz}$       b)  $1450 \text{ Hz}$   
c)  $125 \times 10^6 \text{ Hz}$       d)  $5 \times 10^{14} \text{ Hz}$   
e)  $3 \times 10^{17} \text{ Hz}$

2. No mundo microscópico uma unidade de energia pertinente é o elétron-volt, designado por eV.

Sabendo que  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ , transforme os valores de energia, acima obtidos, nesta nova unidade.

3. Observe nos gráficos da página 54 a faixa da luz visível. Avalie a cor mais intensamente emitida nas temperaturas indicadas.