

## ESPECTROSCÓPIO

Calma! O espectroscópio não é um aparelho que possibilita ver fantasmas, nem espectros de outro mundo. Na verdade, este não é um tema nada assustador, muito ao contrário: os fenômenos aqui envolvidos não só são muito bonitos, como também velhos conhecidos seus. Mas vamos por partes...

A esta altura, nós já sabemos que a luz branca emitida pelo sol é chamada de luz policromática (uma maneira complicada de dizer apenas que ela é formada pela junção de diversas cores as cores). Também sabemos que a cor dos objetos, na verdade, se deve à capacidade que têm de refletir esta ou aquela cor da luz que incide sobre eles. Como visto anteriormente, a maçã só aparenta ser vermelha porque está iluminada pela luz branca, certo? Mas, se a luz do sol é branca, como explicar então, que o céu nos aparenta ser azul? Ou a existência do arco-íris? Aliás, você certamente já se admirou com a beleza dos fogos de artifício multicoloridos das festas de reveillon ou de São João, mas alguma vez se perguntou de onde é que vem todas aquelas cores? Ao final desse capítulo, você saberá mais sobre os efeitos que já conhece e admira, embora ainda não saiba explicar...

Você se lembra da experiência das cores, feita por Sir Isaac Newton, com o uso de um prisma? Após estudar o texto anterior, fica fácil entender que o prisma, na verdade, apenas decompõe a luz branca nas várias cores que a formam, mas como será que isso acontece? E como é possível que a junção de todas as cores resulte na cor branca, se ao misturarmos todas as tintas de um estojo de guache, tudo que o iremos obter será uma meleca de cor indecifrável?

Calma, mais uma vez! Em primeiro lugar, é muito comum que as pessoas confundam “cor” com “tinta”, mas lembre-se que aqui iremos falar de luz (e não de guache!) e que a tinta de cor azul, na verdade, apenas reflete a luz dando a sensação da cor azul. Mas, como isso ocorre?

Já vimos que a luz é na verdade uma onda eletromagnética, e sabemos também que esse tipo de onda possui várias frequências ( $\nu$ ) e comprimentos de onda ( $\lambda$ ) a ela associados. Dizemos, então, que o espectro de luz visível corresponde a um pequeno trecho do espectro eletromagnético, aquele com frequência ( $\nu$ ) compreendida entre aproximadamente entre  $3,8 \times 10^{14}$  Hz e  $8,3 \times 10^{14}$  Hz: isso significa que há espectros com frequência ( $\nu$ ) fora deste intervalo, que nós não somos capazes de enxergar, como os raios X e o ultravioleta, ou o infravermelho (de quem você já deve ter ouvido falar em algum filme). No longa metragem “predador”, a criatura alienígena só é capaz de enxergar o espectro infravermelho, por exemplo. Assim, a luz branca é na verdade uma junção dos diferentes espectros monocromáticos (uma única cor) que a compõe. Uma vez dispersos, esses espectros se distribuem sempre da seguinte forma, com os comprimentos de onda ( $\lambda$ ) variando de 700 nm (vermelho) a 400 nm (violeta):

Cores	comprimento de onda ( $\lambda$ ): nm	frequência ( $\nu$ ): $10^4$ Hz
Vermelho	750 à 625	4,0 à 4,8
Alaranjado	625 à 600	4,8 à 5,0
Amarelo	600 à 566	5,0 à 5,3
Verde	566 à 526	5,3 à 5,7
Azul	526 à 500	5,7 à 6,0
Anil	500 à 448	6,0 à 6,7
Violeta	448 à 400	6,7 à 7,5

Para medir seus comprimentos de onda ( $\lambda$ ), utilizamos o “nanômetro” (nm), cuja unidade corresponde a  $1 \times 10^{-9}$  metros: um espaço muito, MUITO pequeno! Tão pequeno, aliás, que só é possível decompor a luz branca nos espectros em que é formada com o uso do espectroscópio – um aparelho capaz de separar os diferentes espectros de ondas eletromagnéticas emitidos por uma fonte. Ou seja: um espectroscópio é um instrumento capaz de dispersar a luz branca emitida por uma fonte, decompondo-a nas várias cores possíveis, o que nos permite determinar os diferentes comprimentos de onda ( $\lambda$ ) que a compõem. Esse tipo de

operação é possível por que o espectroscópio é construído a partir de um **prisma** ou de uma **rede de difração**.

Você se lembra de quando estudamos o conceito de difração, certo? Senão, dê uma olhadinha lá atrás no texto sobre luz e ondas, para dar uma refrescada. Pronto? Pois muito bem: a propriedade da difração é quem permite estudarmos os fenômenos associados ao desvio que a luz sofre em sua propagação ao ultrapassar um obstáculo, como uma fenda, que esteja à sua frente. Porém, como os efeitos da difração apenas são notados quando os obstáculos (fendas) possuem dimensões comparáveis ao comprimento de onda que desejamos estudar, para que seja possível verificarmos os efeitos da difração da luz visível nós vamos precisar de fendas muito, **MUITO** pequenas, já que o comprimento de onda ( $\lambda$ ) da luz é da ordem de 500nm (nem pense em medir isso com uma régua). É possível resolver este problema com o uso de uma **rede de difração**: um pedacinho de vidro com muitas fendas paralelas e próximas entre si. Desta forma, a luz atravessa o espaço ocupado pelas fendas e à frente delas formam-se umas listras (que chamaremos de **franjas**) claras e escuras. Estas franjas, na verdade, resultam das interferências construtivas e destrutivas, representando as diferenças de caminho percorrido pelas ondas que atravessaram cada uma das fendas que provocaram essas interferências.

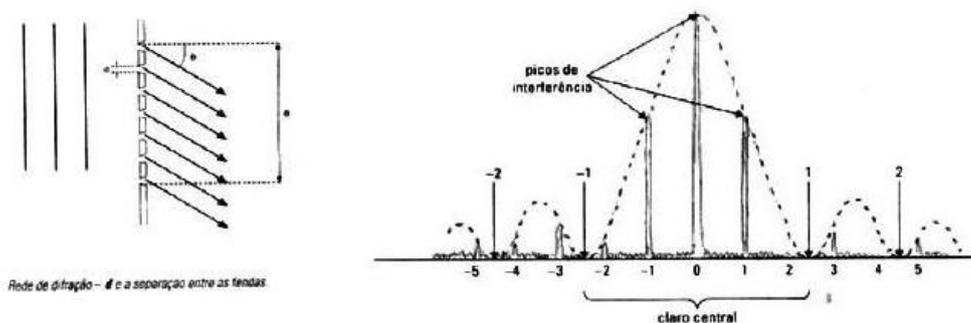


Gráfico da intensidade da luz ao atravessar uma rede de difração. A difração devida à largura total da fenda esta representada na linha pontilhada e a interferência devida às fendas intermediárias está representada nas linhas cheia.

Fonte: GASPAR, Alberto. Física V.2, pag. 248

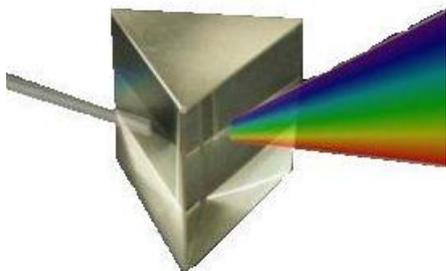
O que essa tal “interferência construtiva” faz, na verdade, é apenas associar cada frequência ( $\nu$ ) (ou comprimento de onda ( $\lambda$ )) da luz que passa por uma fenda, com a mesma frequência ( $\nu$ ) ou comprimento de onda ( $\lambda$ ) da luz que passa pelas outras fendas, de forma que o espectro da cor **azul** que passa por uma fenda interfere construtivamente com o próprio **azul** que passa por outra fenda, o vermelho com o vermelho e assim por diante, destacando cada cor do espectro de forma separada.

Assim, temos a decomposição da luz branca em várias luzes coloridas, o que nos permite comparar os espectros de luz visível emitidos por tipos de fontes variadas, como os muitos tipos de lâmpadas, por exemplo: se você já foi a um baile ou discoteca, certamente conhece os efeitos da luz negra, mas já parou para pensar em como ela funciona? Ou na diferença que existe entre a luz emitida por diferentes tipos de lâmpada, como uma lâmpada incandescente (dessas que costumam ser vistas em escritório e estabelecimentos comerciais) e o farol de um carro?

Para responder a essas perguntas, você irá precisar de um espectroscópio, claro. Mas não se preocupe: embora sejam instrumentos sofisticados (e caros!), você já aprendeu a montar um espectroscópio utilizando apenas um pedaço de CD (desses utilizados para gravar dados de um computador) e cartolina. Neste caso, o CD é o responsável por difratar a luz, possibilitando a formação das franjas (interferências, lembra?). Isso é possível porque o CD contém uma série de minúsculas cavidades que possuem a mesma largura e profundidade, mas diferentes comprimentos e distâncias variadas entre si. Na verdade, o comprimento médio de uma dessas cavidades é medido em aproximadamente 0,4 micrão, enquanto a distância média entre duas cavidades sucessivas é cerca de 1,6 micrão: como 1 micrão equivale a  $10^{-6}$ m, já deu para perceber por que, para nós, o CD aparenta ser tão lisinho, certo?

Agora que você sabe de tudo isso, vamos voltar um pouco no tempo e avaliar a experiência das cores de Sir Isaac Newton, que isolou um raio de luz que passava por entre as frestas de sua janela, fazendo-o incidir sobre um **prisma**: qualquer meio transparente pode ser

considerado um prisma, desde que seja isotrópico (isto é, que apresente as mesmas propriedades físicas em todas as direções) e limitado por superfícies não-paralelas (por isso as figuras de primas que você vê em livros e revistas possuem sempre, aproximadamente, o mesmo formato). Um prisma também dispersa a luz, decompondo-a em suas respectivas cores de espectro eletromagnético de acordo com a frequência ( $\nu$ ) ou comprimento de onda ( $\lambda$ ) de cada cor (mas é claro que naquele tempo, Newton não fazia a menor idéia de que o motivo era qual?). Porém, aqui o fenômeno responsável pela decomposição da luz não é a difração, mas sim a **refração**.



**Dispersão em cores da luz branca (visível) com um prisma.**

Fonte: Adaptação do site [www.ino.it/www\\_inoa/images/sit/prisma.jpg](http://www.ino.it/www_inoa/images/sit/prisma.jpg)

sofrem os efeitos da refração (devido à mudança no meio de propagação), fazendo com que cada um deles siga por uma direção diferente, graças ao ângulo de refração de cada frequência, o que gera a dispersão da luz.

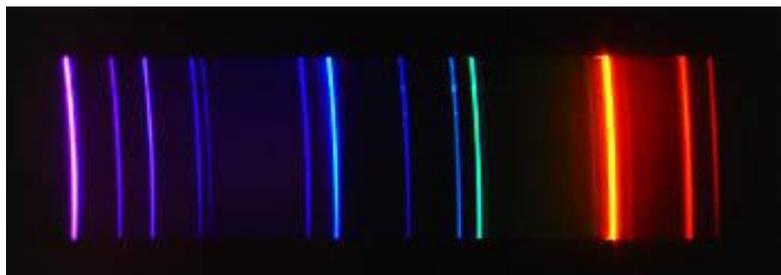
Vale lembrar que as ondas sofrerão ainda uma segunda refração ao sair do prisma para o ar, o que faz com que as cores se separem ainda mais.

Este é um fenômeno muito comum na natureza: o arco-íris, por exemplo, surge quando gotas d'água são iluminadas pela luz do sol, desde que essa luz incida por trás do observador (é necessário estar de costas para o sol para poder ver o arco-íris). Neste caso, as gotículas d'água em suspensão na atmosfera é que desempenharão o papel de prisma, decompondo a luz branca do sol nos espectros de cor que formam o arco-íris.

Agora pense um pouco: você é capaz de responder por que o arco-íris apresenta suas cores sempre dispostas na mesma ordem? É porque ao atravessar um prisma, o espectro de cor que sofre o menor desvio de seu caminho é o vermelho, que possui a menor frequência ( $\nu$ ). O maior desvio, portanto, é sofrido pelo violeta, possuidor da maior frequência ( $\nu$ ): isto não é chique?

Portanto, assim como uma rede de difração, um prisma também pode ser utilizado como elemento dispersor em um espectroscópio. É mais apropriado, porém, utilizarmos a rede de difração, devido à baixa resolução apresentada pelo prisma.

Independentemente de qual seja o elemento dispersor utilizado em um espectroscópio, é necessário projetar um raio de luz para podermos visualizar a decomposição da luz. No caso do nosso experimento, isso será feito através de um pequeno corte, estreito, na cartolina. Quando a luz de uma lâmpada incandescente passar por esta fenda estreita, você verá a formação de diferentes imagens da fenda, cada uma correspondendo a uma cor. Na verdade, essas imagens coloridas irão se superpor parcialmente, formando uma única faixa colorida que chamamos de **espectro contínuo**. Em um espectro contínuo, a passagem de uma cor para a outra não se faz bruscamente, mas de forma gradual, dando origem às tonalidades conhecidas como “sete cores do arco-íris”. Isso ocorre quando a luz que incide no espectroscópio é formada por todas as cores do espectro visível, iremos observar a formação de imagens de acordo com o número de cores que compõem essa luz, somente será observada a quantidade de cores presente na luz. Assim para algumas fontes pode acontecer de você observar cores separadas por regiões escuras formando o chamado **espectro de raios** (ou bandas).



Exemplo de um espectro de raia do Hélio.

Fonte: <http://www.ifi.unicamp.br/~accosta/f429-18.html>, 20/dez/2005)

As fontes emissoras de luz que emitem a maior parte de sua radiação em comprimentos de onda ( $\lambda$ ) discretos, são chamadas de **fontes de linhas espectrais**.

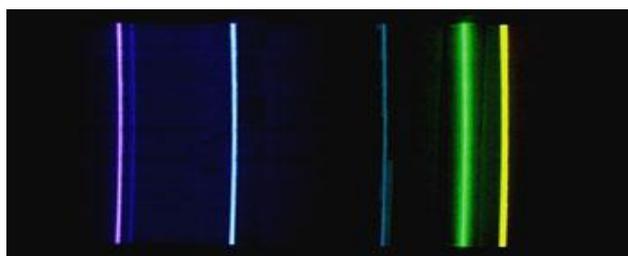


Ilustração 1 Exemplo de um espectro de raia do Mercúrio.

Fonte: <http://www.ifi.unicamp.br/~accosta/f429-18.html>, 20/dez/2005

As fontes de linhas espectrais podem ser usadas de várias maneiras, incluindo-se sua utilização como padrões de comprimentos de onda ( $\lambda$ ) para calibração de equipamentos ópticos. Através da análise de linhas espectrais, você facilmente será capaz de entender não apenas o funcionamento da luz negra e dos fogos de artifício, como dissemos lá atrás, mas também compreender as diferenças entre os diversos tipos de lâmpadas existentes hoje em dia, e o porquê de algumas delas iluminarem mais que outras.

Mas afinal, você já deve ter ouvido falar em vários tipos de lâmpadas, como incandescentes ou fluorescentes, por exemplo, mas o que há de diferente nelas? Lâmpadas desempenham um papel importante em nosso cotidiano, são responsáveis por grande parte de nossa segurança e conforto; antigamente eram chamadas de “luz elétrica” para serem diferenciadas da luz à gás, fornecida pelos lampiões (que ainda podem ser encontrados em locais afastados, onde não haja luz elétrica). Existe uma grande variedade de lâmpadas: são vários os tamanhos, formatos e cores em que podem ser encontradas, mas elas se dividem, basicamente, em dois tipos: as **lâmpadas de descarga elétrica em um gás** e as **lâmpadas incandescentes**. Vejamos suas diferenças:

**Lâmpadas incandescentes** são aquelas que possuem um filamento metálico em seu interior. Com a passagem de uma corrente elétrica, esse filamento se torna incandescente, emitindo luz. No interior desse tipo de lâmpada há sempre algum gás inerte, ou mesmo vácuo, para evitar a oxidação do filamento; quando o filamento se rompe, deixa de haver a passagem da corrente e dizemos que a lâmpada “queimou”.

Atualmente, essas lâmpadas utilizam filamentos de tungstênio, que chegam a atingir 2500° C com a passagem da corrente elétrica! Infelizmente, são lâmpadas que desperdiçam uma grande parcela da energia elétrica que recebem, com a produção de radiação no espectro infravermelho, que não auxilia na iluminação por não pertencer ao espectro de luz visível. Porém, o infravermelho interage fortemente com nossa pele, é ele o responsável pela sensação de calor que sentimos ao aproximar a mão de uma lâmpada acesa.

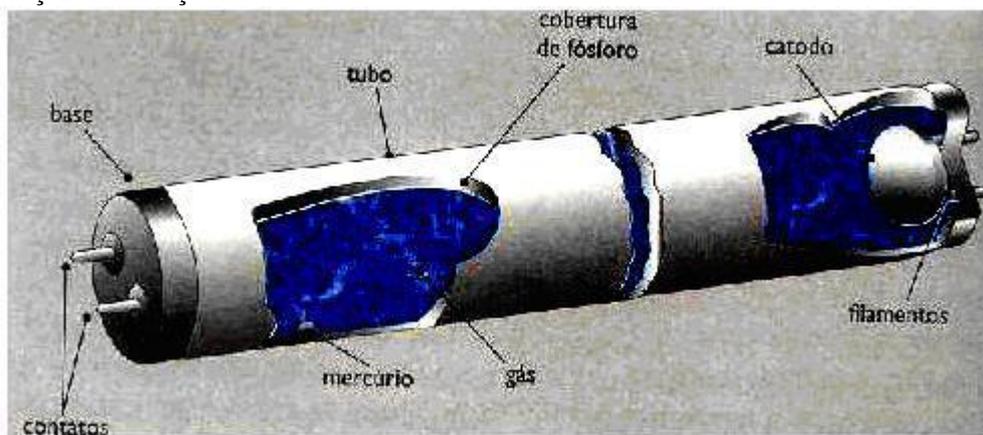
A pálida luz emitida por lâmpadas incandescentes modifica nossa percepção da cor dos objetos, mas seria possível conseguir que emitissem uma iluminação próxima a luz solar, se a temperatura do filamento pudesse ser maior – o que é difícil de se conseguir, já que as ligas condutoras possuem o péssimo hábito de se romperem sob altas temperaturas. Além do que,

mesmo que emitam várias radiações visíveis, o pico de intensidade de emissão está na região do infravermelho (como já dissemos), o que torna essas lâmpadas muito dispendiosas.

A 1ª lâmpada incandescente utilizável foi feita por Thomas Alva Edison em 1879 e as primeiras lâmpadas industriais foram fabricadas em 1881.

**Lâmpadas de descarga elétrica** são aquelas constituídas por um tubo contendo gases ou vapores, capazes de estabelecer um arco elétrico com a passagem de corrente. Os gases mais utilizados são o argônio, o neônio, o xenônio, o hélio ou o criptônio e os vapores de mercúrio e sódio. Esses gases ou vapores podem estar à baixa, média ou alta pressão. As de vapor de mercúrio e de xenônio são de alta pressão.

O tipo mais conhecido de lâmpada de descarga elétrica é a **Lâmpada fluorescente tubular**, um tipo de lâmpada em que a luz é produzida por cristais de fósforo (um pó fluorescente) que recobrem a superfície interna do tubo. Quando a corrente elétrica passa pelo gás ele emite ondas na faixa do ultravioleta, que são absorvidas pelo pó, que as reemitem numa distribuição de radiações visíveis.

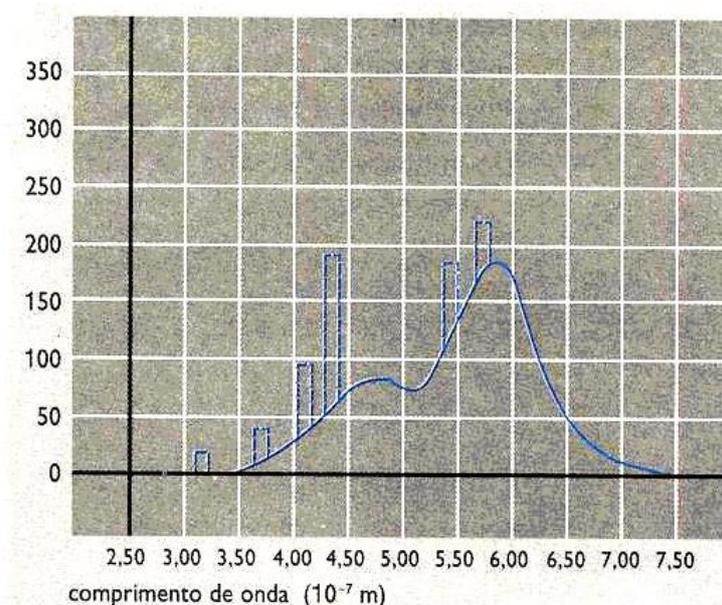


Lâmpada fluorescente

Fonte: FIGUEIREDO, A; PIETROCOLA, Maurício; Luz e Cores- Física um outro lado. Pág. 48

Geralmente, esse tipo de lâmpada possui a forma de um tubo, de comprimento variável, com um eletrodo de tungstênio em cada extremidade, contendo em seu interior o vapor de mercúrio ou argônio a baixa pressão. São lâmpadas que emitem pouca radiação fora da faixa visível, e que por isso apresentam alto rendimento e baixo consumo de energia elétrica.

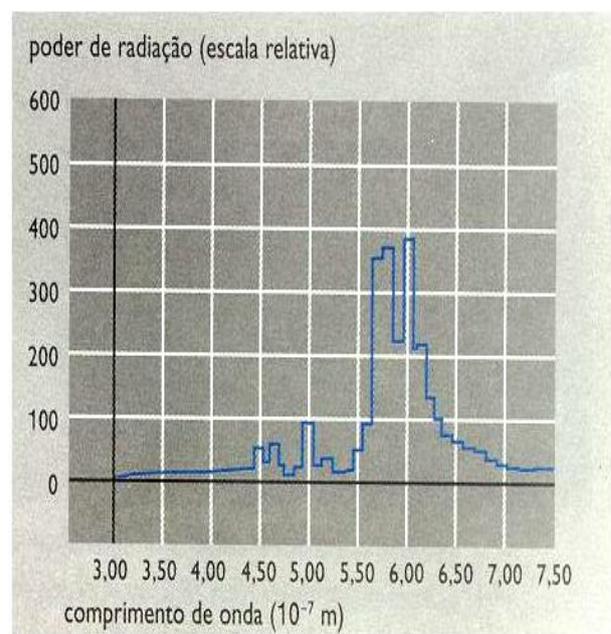
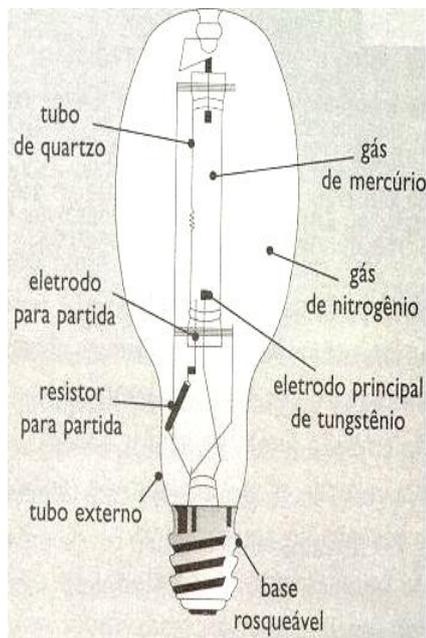
Abaixo, veja o gráfico do espectro das lâmpadas fluorescentes:



Fonte: FIGUEIREDO, A; PIETROCOLA, Maurício; Luz e Cores- Física um outro lado. Pág. 49.

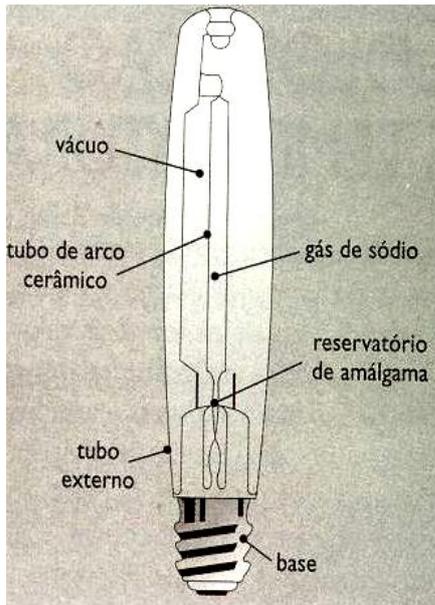
Já as **lâmpadas de vapor de mercúrio** e as **lâmpadas de vapor de sódio** contêm um tubo de descarga feito de quartzo para suportar elevadas temperaturas. O gás está à baixa pressão. Aqui, a emissão de radiação ocorre porque, ao ligarmos a lâmpada, o gás é submetido a uma tensão elétrica, fazendo com que os íons acelerem e se choquem entre si, emitindo radiação.

Cada gás emite radiação em frequências diferentes, conforme os gráficos abaixo:

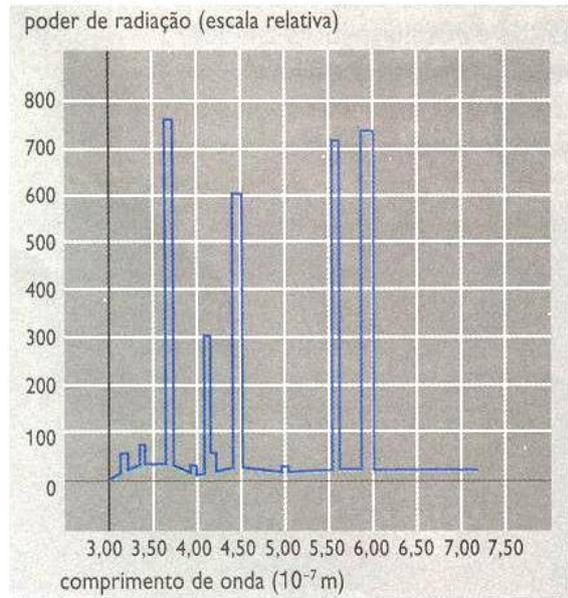


Espectro da lâmpada de sódio

Fonte: FIGUEIREDO, A; PIETROCOLA, Maurício; Luz e Cores- Física um outro lado. Pág. 45.



*Espectro de lâmpada de mercúrio*



Fonte: FIGUEIREDO, A; PIETROCOLA, Maurício; Luz e Cores- Física um outro lado. Pág. 45 e 46.