

Introdução

A luz é uma forma de radiação eletromagnética que pode ser emitida por meio de uma variedade de processos como incandescência, fluorescência, fosforescência e geração laser. Todos esses processos funcionam a partir de um mesmo princípio básico: uma fonte externa de energia excita os átomos, fazendo com que liberem partículas de luz chamadas fótons.

A seguir iremos conhecer o fenômeno da **luminescência**, fenômeno este cada vez mais comum em nosso cotidiano como podemos presenciar nos bastões luminosos que são utilizados em festas. Na figura 1 ao lado temos um exemplo dos chamados lightsticks (ou bastões luminosos) e que podem ser encontrados em diversas cores.



Figura 1 - lightsticks (bastões luminosos)

O fenômeno da luminescência

A luminescência é o nome dado ao fenômeno relacionado à capacidade que algumas substâncias apresentam em converter certos tipos de energia em emissão de radiação eletromagnética. A luminescência é observada para todas as fases da matéria, seja gasosa, líquida ou sólida, para ambos compostos, orgânicos e inorgânicos. A radiação eletromagnética emitida por um material luminescente ocorre usualmente na região do visível, mas esta pode ocorrer também em outras regiões do espectro eletromagnético, tais como na região do ultravioleta ou infravermelho.

O termo luminescência é utilizado como uma generalização do fenômeno. Há vários tipos de luminescência que diferem entre si pela energia utilizada para a excitação, como por exemplo:

- a **eletroluminescência** que ocorre por um estímulo de uma voltagem elétrica;
- a **catodoluminescência** que ocorre por estímulo de um feixe de elétrons de alta energia;
- a **fotoluminescência** que ocorre devido à absorção de fótons;
- a **quimioluminescência** que ocorre pelo estímulo da energia de uma reação química, entre outros.

A quimioluminescência explica o funcionamento dos lightsticks, enquanto a fotoluminescência se dá através da fluorescência e fosforescência, fenômenos estes presentes na lâmpada de descarga elétrica.

A excitação e o relaxamento

Ao analisarmos com mais atenção à fotoluminescência, percebemos que este fenômeno pode ocorrer através da fluorescência ou fosforescência. Para entendermos e diferenciarmos esses dois fenômenos, vamos antes, analisar o modelo conceitual que explica esses fenômenos e que está alicerçado nos mecanismos de excitação e relaxação do átomo.

Quando em um átomo um elétron, de alguma maneira, é promovido para um nível de energia mais alto, se diz que o átomo está excitado. A posição mais elevada do elétron é apenas momentânea, pois ele logo retorna a seu estado de mais baixa energia. O átomo, então, perde essa energia adquirida temporariamente, retornando a um nível mais baixo e emitindo energia radiante. O átomo, nesse caso, sofreu um processo de **excitação**, seguido por um de **relaxação**.

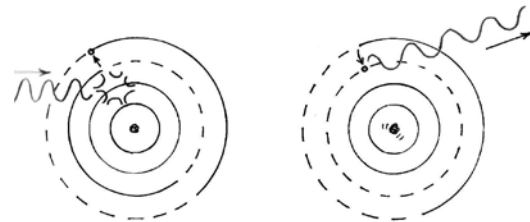


Figura 2 - Processo de excitação e relaxação de um átomo

Da mesma forma que um elemento eletricamente neutro tem seu próprio número de elétrons, cada elemento possui seu próprio conjunto característico de níveis de energia. Os elétrons que “caem” de níveis mais altos para níveis mais baixos de energia emitem a cada um desses saltos um pulso de radiação eletromagnética, chamado de *fóton*, cuja frequência está relacionada à diferença de energia correspondente ao salto. A frequência do fóton é diretamente proporcional a sua energia, que pode ser determinada pela expressão $E = h \cdot f$, onde h é constante de proporcionalidade (constante de Planck), cujo valor vale $6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s (ou em elétron-volt, $4,14 \cdot 10^{-15}$ eV.s).

Por exemplo, a luz emitida pelos tubos de vidro de sinalizadores de advertência é uma consequência familiar da excitação. As diferentes cores da luz correspondem às excitações de diferentes gases, embora seja comum nos referirmos a qualquer deles simplesmente como *neônio* (neon). Apenas a luz vermelha corresponde, de fato, ao neônio. As cores apresentadas por diversas chamas também se devem à excitação. Diferentes átomos na chama emitem cores características dos espaçamentos entre seus níveis de energia. Isso pode ser evidenciado ao se colocar sal de cozinha na chama, onde temos a

Texto Complementar: LUMINESCÊNCIA

produção de uma cor amarela que é característica da presença do sódio na composição do sal. Cada elemento, excitado por uma chama ou de qualquer outra maneira, emite sua própria cor característica, ou várias cores características, se for o caso. As lâmpadas de iluminação das ruas também e o próprio fenômeno da aurora boreal emitem luz exatamente da mesma forma que um tubo com gás neônio.

Diante disso, podemos agora diferenciar a fluorescência da fosforescência.

Fluorescência

Em diversas situações, muitos materiais são excitados quando expostos a luz ultravioleta, pois ela entrega mais energia por fóton absorvido do que a luz de frequência mais baixa, assim, esses materiais excitados emitem luz visível sob relaxação. Esses materiais recebem o nome de **fluorescentes** e a esse fenômeno damos o nome de **fluorescência** (figura 3).

Nesses materiais, um fóton de luz ultravioleta excita o átomo, impulsionando um de seus elétrons para um estado de mais alta energia. Nesse salto quântico “para cima”, o átomo provavelmente salta por vários estados de energia intermediários. Logo, ao relaxar, o átomo pode realizar vários saltos menores, emitindo fótons com energias menores.

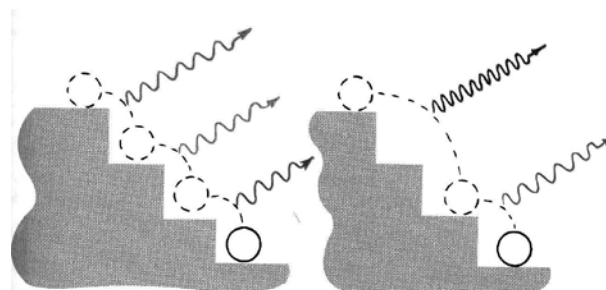


Figura 3 - Fenômeno da fluorescência.

Esse processo de excitação e relaxamento é como subir uma escada pulando vários degraus a cada salto, depois descendo um ou dois degraus de cada vez, em vez de descer em apenas um salto todos os degraus que foram ultrapassados no salto de ida. Uma vez que a energia liberada no fóton emitido a cada salto é menor do que a energia total original do fóton de luz ultravioleta, são emitidos vários fótons de frequências mais baixas, em intervalos de tempo muito curtos ($< 10^{-5}$ s). Portanto, a luz ultravioleta que incide sobre um material o faz brilhar predominantemente em vermelho, amarelo ou outra cor qualquer que seja característica do material. Corantes fluorescentes são usados em tintas e tecidos para fazê-los brilhar, quando bombardeados pelos fótons de luz ultravioleta existentes na luz solar. Essas são as cores fosforescentes, que brilham espetacularmente quando iluminadas com uma lâmpada ultravioleta.

Esse princípio explica o funcionamento dos detergentes que propagandeam que ao lavar suas roupas com eles, deixam-nas mais “brancas do que o branco”. Esses detergentes contêm um corante fluorescente que converte luz ultravioleta da luz solar em luz visível. De modo que as roupas lavadas desta maneira parecem refletir mais azul do que normalmente que o fariam. Isso as faz parecer ainda mais brancas.

Fosforescência

Ao serem excitados, certos cristais e também algumas grandes moléculas orgânicas permanecem no estado excitado por um período de tempo prolongado. Diferentemente do que ocorrem com os materiais fluorescentes, seus elétrons são impulsionados para órbitas mais altas e tornam-se aprisionados. Como resultado, existe um tempo de retardo entre o processo de excitação e relaxação. Materiais que exibem essa propriedade peculiar são chamados de **fosforescentes** e a esse fenômeno damos o nome de **fosforescência**. O elemento fósforo, usado nos ponteiros brilhantes de alguns relógios e em interruptores elétricos, brilha no escuro devido a esse fenômeno. Os átomos ou moléculas desses materiais são excitados pela luz visível incidente. Ao invés de relaxar imediatamente, como fazem os materiais fluorescentes, muitos de seus átomos permanecem em um estado metaestável, ou seja, um estado prolongado de excitação, algumas vezes com duração de várias horas, embora a maioria deles relaxe quase imediatamente. Se a fonte da excitação for removida (por exemplo, se as luzes forem desligadas), ocorrerá um brilho posterior produzido por milhões de átomos que espontaneamente sofrem uma gradual relaxação.

A tela da TV com tubo de raios catódicos (TRC) é ligeiramente fosforescente, com o brilho decaindo um pouco rapidamente, mas lento o bastante para que as sucessivas varreduras da imagem cheguem a se combinar. O brilho posterior apresentado por alguns interruptores elétricos fosforescentes encontrados em residências pode durar mais de uma hora. Analogamente ocorre com os ponteiros luminosos de alguns relógios quando excitados por luz visível. Na figura 4 ao lado temos algumas aplicações da fosforescência.

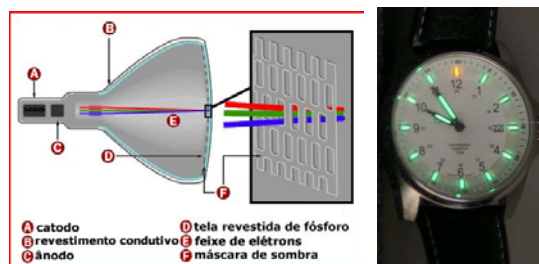


Figura 4 - Fenômeno da fosforescência.

Muitos seres vivos, desde bactérias a vagalumes, e animais maiores, como a água-viva, excitam quimicamente as moléculas de seus corpos, que acabam emitindo luz. Dizemos que esses seres vivos são bioluminescentes. Sob certas

Texto Complementar: LUMINESCÊNCIA

condições, determinados peixes tornam-se luminescentes enquanto nadam, mas permanecem escuros quando parados. Cardumes desses peixes não são vistos quando permanecem imóveis, mas ao serem alertados do perigo mergulham a toda velocidade para as profundezas, emitindo luz subitamente e gerando uma espécie de fogo de artifício submarino. O mecanismo que produz a bioluminescência ainda não é bem compreendido atualmente e continua sendo pesquisado.

Duas aplicações da luminescência

1ª) Os lightsticks (ou bastões luminosos)

Os lightsticks utilizam uma reação química para excitar os átomos de um material. A reação química que permite a emissão de luz começa com a mistura de vários compostos químicos. Quando você combina dois ou mais compostos, os vários átomos podem fazer um novo arranjo para formar novos compostos e, dependendo da natureza destes compostos, essa reação causará uma liberação ou absorção da energia. A reação entre os diferentes compostos de um lightstick causa uma liberação substancial de energia. Como em uma lâmpada incandescente, os átomos dos materiais são excitados, fazendo com que os elétrons passem para um nível de energia mais alto e depois retornem aos seus níveis normais. Quando os elétrons retornam aos seus níveis normais, a energia é liberada em forma de luz. Esse processo é chamado de **quimioluminescência**.

A reação química em um bastão de luz, em geral, envolve várias etapas diferentes. Um bastão de luz comercial é feito de uma solução de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e de uma solução contendo éster de fenil oxalato e um corante fluorescente. Acompanhe a sequência de acontecimentos quando as duas soluções são combinadas:

- o peróxido de hidrogênio e o éster de fenil oxalato, resultando em uma substância química chamada fenol e um éster de peroxiácido instável;
- o éster de peroxiácido instável se decompõe, resultando em um fenol adicional e em um composto de peróxi-cíclico;
- o composto de peróxi-cíclico se decompõe em dióxido de carbono;
- essa decomposição libera energia para o corante;
- os elétrons dos átomos do corante “saltam” para um nível mais alto, e depois retornam liberando energia na forma de luz.

O lightstick, por si só, é apenas um alojamento para as duas soluções envolvidas na reação, essencialmente, é uma experiência química portátil (figura 6). Antes de ativar o bastão de luz as duas soluções são mantidas em câmaras separadas. A solução de éster de fenil oxalato e o corante preenchem quase todo o bastão de plástico. A solução de peróxido de hidrogênio, chamada de ativador, fica contida em um frasco de vidro frágil no meio do bastão. Quando você flexiona o bastão de plástico, o frasco de vidro rompe e as duas soluções se misturam. As substâncias químicas reagem imediatamente e os átomos começam a emitir luz. Um determinado corante usado na solução química dá à luz sua cor característica. Dependendo de quais compostos forem usados, a reação química pode continuar por alguns minutos ou por muitas horas.

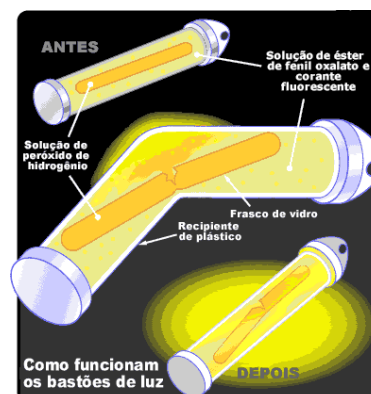


Figura 6 - Funcionamento dos lightsticks

Se as soluções forem aquecidas à energia extra irá acelerar a reação e o bastão ficará mais brilhante, mas por um curto período de tempo. Se o bastão de luz for esfriado, a reação irá diminuir e a luz ficará mais fraca. Se você quiser preservar seu bastão de luz para o dia seguinte, coloque-o no congelador. Isso não interromperá o processo, mas estenderá a reação consideravelmente.

2ª) A lâmpada de descarga elétrica

Na lâmpada de descarga elétrica, também chamada simplesmente de lâmpada fluorescente, temos os dois fenômenos de fluorescência e de fosforescência ocorrendo.

O elemento principal de uma lâmpada fluorescente é o tubo selado de vidro. Este tubo contém uma pequena porção de mercúrio e um gás inerte, tipicamente o argônio, mantidos sob pressão muito baixa. O tubo também contém um revestimento de pó de fósforo na parte interna do vidro e dois eletrodos, um em cada extremidade, conectados a um circuito elétrico ligado a uma corrente alternada.

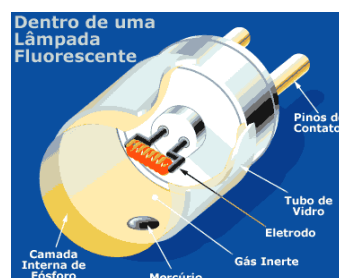


Figura 7 - Lâmpada de descarga elétrica

Texto Complementar: LUMINESCÊNCIA

Quando você acende a lâmpada, a corrente flui pelo circuito elétrico até os eletrodos. Existe uma voltagem considerável através dos eletrodos, então os elétrons migram através do gás de uma extremidade para a outra. Esta energia modifica parte do mercúrio dentro do tubo de líquido para gás. Como os elétrons e os átomos carregados se movem dentro do tubo, alguns deles irão colidir com os átomos dos gases de mercúrio. Estas colisões excitam os átomos, jogando-os para níveis de energia mais altos. Quando os elétrons retornam para seus níveis de energia originais, eles liberam fótons de luz. Os elétrons nos átomos de mercúrio estão dispostos de tal maneira que liberam fótons de luz na faixa de comprimento de onda da luz ultravioleta. Nossos olhos não registram os fótons da luz ultravioleta, então este tipo de luz precisa ser convertido em luz visível para iluminar a lâmpada. É aqui que o revestimento de pó de fósforo do tubo entra em ação.

Os fosforos são substâncias que emitem luz quando expostas à luz. Quando um fóton atinge com um átomo de fósforo, um dos elétrons do fósforo pula para um nível mais alto de energia e o átomo se excita. Quando o elétron volta para o seu nível normal de energia, ele libera energia na forma de outro fóton. Este fóton tem menos energia do que o original porque parte desta energia foi perdida na forma de calor. Em uma lâmpada fluorescente, a luz emitida está no espectro visível, o fósforo emite luz branca que podemos enxergar. Os fabricantes podem variar a cor da luz usando combinações de fosforos diferentes.

As lâmpadas incandescentes convencionais também emitem uma boa quantidade de luz ultravioleta, mas elas não convertem nenhuma parte em luz visível. Consequentemente, muito da energia usada para iluminar uma lâmpada incandescente é desperdiçada. Uma lâmpada fluorescente coloca esta luz invisível para funcionar, por isso ela é mais eficiente. As lâmpadas incandescentes perdem mais energia através da emissão de calor do que as lâmpadas fluorescentes. Geralmente, uma lâmpada fluorescente comum é de quatro até seis vezes mais eficiente do que uma lâmpada incandescente. As pessoas geralmente usam as lâmpadas incandescentes em casa porque elas emitem uma luz mais "quente", mais vermelha e menos azul.

Questões de reflexão sobre o texto luminescência

- 1-) Suponha que um amigo sugira que, para um bom funcionamento, os átomos de gás neônio no interior de um tubo deveriam ser periodicamente substituídos por átomos "frescos", pois a energia dos átomos tende a se exaurir com a contínua excitação dos mesmos, produzindo uma luz cada vez mais fraca. O que você diz a respeito?
- 2-) Por que seria impossível para um material fluorescente emitir luz ultravioleta quando iluminado por uma luz infravermelha?
- 3-) Algumas pessoas afirmam que ao colocarem os lightsticks na geladeira, a luz que eles emitem será perpetuada por mais tempo. Como explicar esse fato?
- 4-) Caso as lâmpadas de descarga elétrica não fossem revestidas com o fósforo, que consequências isso traria para as pessoas que a utilizassem?
- 5-) O que é um estado metaestável?
- 6-) Faça a distinção entre fluorescência e fosforescência.
- 7-) Enuncie três maneiras pelas quais se podem excitar o átomo.
- 8-) Defina o conceito físico de luminescência.