

versão preliminar

leituras de
física

GRAF

óptica

para ver, fazer e pensar

10 a 17

- | | |
|--|--|
| 10. Fontes de luz (e de calor) | 14. As cores da luz e a sua explicação |
| 11. As cores da luz e a sua decomposição | 15. Imagem quântica no filme e na TV |
| 12. As cores e a sua composição | 16. A luz e a cor das Estrelas |
| 13. As cores e a sua complicação | 17. Laser |

Leituras de Física é uma publicação do

**GRAF - Grupo de Reelaboração do Ensino de Física
Instituto de Física da USP**

EQUIPE DE ELABORAÇÃO DAS LEITURAS DE FÍSICA

Anna Cecília Copelli
Carlos Toscano
Dorival Rodrigues Teixeira
Isilda Sampaio Silva
Jairo Alves Pereira
João Martins
Luís Carlos de Menezes (coordenador)
Luís Paulo de Carvalho Piassi
Suely Baldin Pelaes
Wilton da Silva Dias
Yassuko Hosoume (coordenadora)

ILUSTRAÇÕES:

Fernando Chuí de Menezes
Mário Kano

**GRAF - Instituto de Física da USP
rua do Matão, travessa R, 187
Edifício Principal, Ala 2, sala 305
05508-900 São Paulo - SP
fone: (011) 818-7011 fax:(011) 818-7057**

financiamento e apoio:

Convênio USP/MEC-FNDE

Sub-programa de educação para as Ciências (CAPES-MEC)

FAPESP / MEC - Programa Pró-Ciência

Secretaria da Educação do Estado de São Paulo - CENP

A reprodução deste material é permitida, desde que observadas as seguintes condições:

- 1. Esta página deve estar presente em todas as cópias impressas ou eletrônicas.**
- 2. Nenhuma alteração, exclusão ou acréscimo de qualquer espécie podem ser efetuados no material.**
- 3. As cópias impressas ou eletrônicas não podem ser utilizadas com fins comerciais de qualquer espécie.**

junho de 1998

10

Fontes de Luz (e de calor)

O Sol, a chama da vela, a lâmpada incandescente são fontes de luz e calor.

A CHAMA DA VELA E O FILAMENTO AQUECIDO DA LÂMPADA INCANDESCENTE

Vamos observar duas fontes de luz muito comuns:

1. A chama de uma vela.

A chama da vela que você está olhando é um todo homogêneo ou constituída de regiões distintas?

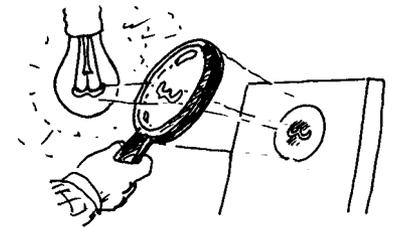
Descreva-a.

2. O filamento de uma lâmpada incandescente

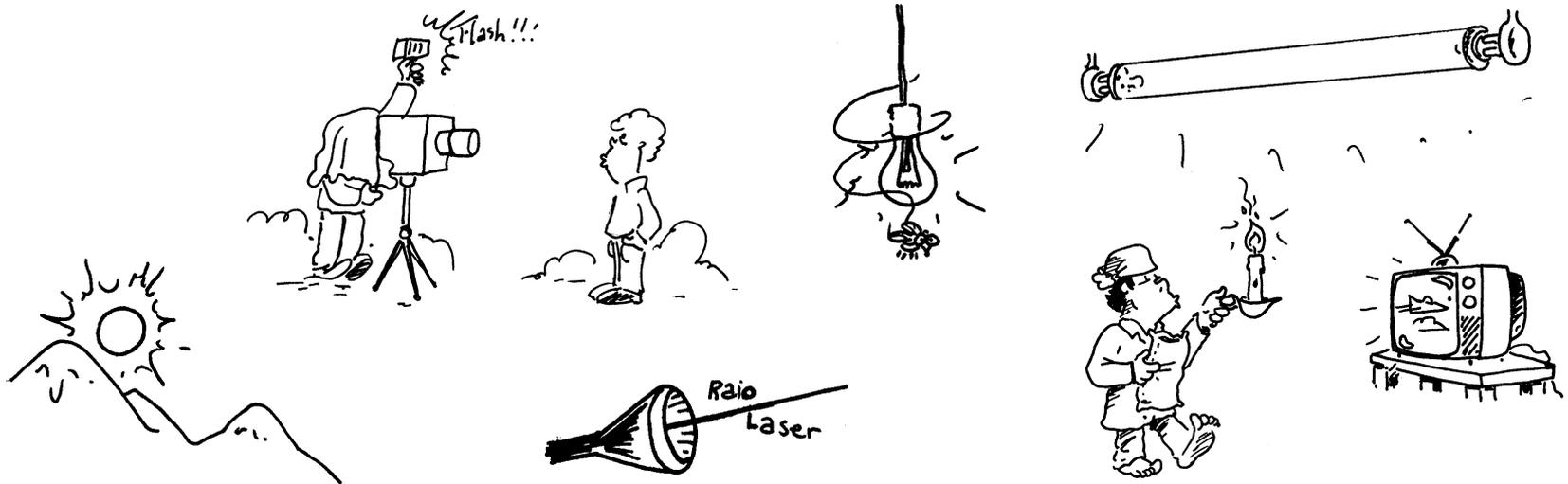
Se preferir pode fazer uma montagem usando uma lupa e projetar a imagem do filamento aquecido em uma folha de papel branco.

a- Olhe diretamente para o filamento e descreva o que você vê? É semelhante a chama da vela?

c- Olhe para o filamento projetado e descreva o que você vê?



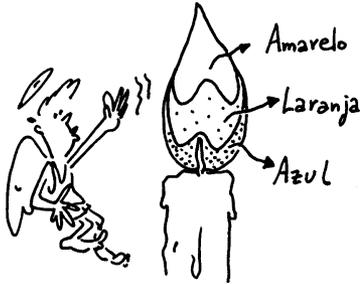
Uma lupa projeta o filamento aquecido numa tela.



Você saberia dizer que tipo de energia se converte em luz nas diversas fontes de luz?

Fontes de luz (e de calor)

Chama das velas, lâmpadas incandescentes e aquecedores de ambiente

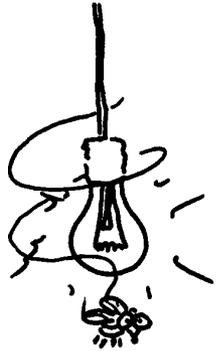


Luz de cores diferentes podem ser percebidas na chama da vela

Uma **vela** tem várias utilidades, uma delas é a de pagar promessas, outra, para diminuir o atrito entre o serrote e a madeira e, uma outra, ainda é estar a nossa disposição, junto com uma caixa de fósforo, quando ocorre um *blackout*.

A **chama da vela**, como você deve ter observado, não é homogênea, apresentando regiões com cores diferentes. Nestas regiões as temperaturas não são as mesmas: a azul é a região mais quente.

Nas **lâmpadas incandescentes** o filamento, que é aquecido pela corrente elétrica, emite luz de cor branco-amarelada. Com este tipo de lâmpada dificilmente conseguimos ver outras cores, como as que vemos, por exemplo, na chama de uma vela, pois a temperatura em todo filamento é praticamente a mesma.



A lâmpada incandescente é fonte de luz branco-amarelada.

Podemos ver que o filamento da lâmpada incandescente tem uma tonalidade vermelha ou amarela. O mesmo ocorre com os aquecedores de ambiente que possuem um fio metálico na forma *espiral*. Quando ligado à eletricidade, o fio metálico se aquece, adquirindo uma cor avermelhada.

Estes exemplos nos mostram a luz vermelho-amarelada em associação com o calor. Aliás, o calor é transmitido por uma radiação não-visível, chamada **infravermelha**, também associada à luz visível especialmente na ocorrência de altas temperaturas.

A chama da vela e o filamento da lâmpada são exemplos de produção de luz visível, em razão das altas temperaturas presentes na combustão da vela e no filamento com corrente elétrica. Os aquecedores elétricos, embora não tenham a função de iluminar, devido ao seu alto aquecimento, acabam irradiando luz visível.

As estrelas e o nosso Sol

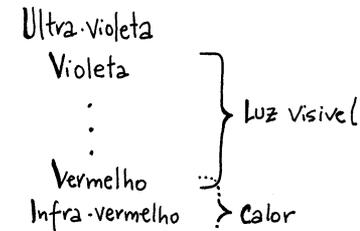
Mas a nossa principal fonte de luz é o **Sol**. A formação do Sol como a de qualquer estrela se deu por "auto-gravitação", ou seja, a matéria cósmica cai sobre si mesma e é compactada, ficando extremamente quente e, por isso, emite vários tipos de radiações. Parte dessa energia é luz, como a que ilumina a Terra, nossa Lua e demais planetas e suas luas, no nosso sistema solar!

O Sol também nos envia outros tipos de radiação como o infravermelho, ou como o **ultravioleta**, também não percebida pelos nossos olhos, mas que pode causar sérios danos à nossa pele.

Abaixo e acima da luz visível

Essas fontes quentes de luz guardam uma relação entre temperatura e cor da radiação emitida. Para cada temperatura há predominância na emissão de certas cores, enquanto as outras cores podem estar presentes em menor proporção.

As radiações que nossos olhos conseguem perceber constituem uma pequena faixa que chamamos de **luz visível**, que se localiza entre o infravermelho e o ultravioleta.



A luz visível está entre o infravermelho (calor) e o ultravioleta

ROBO



JIM MEDDICK



Cor, Energia e Temperatura

As lâmpadas incandescentes, de 60W ou 100W, quando ligadas na tensão correta emitem luz branco-amarelada.

Mas às vezes acontece de ligarmos uma dessas lâmpadas numa tensão elétrica inadequada e nesse caso sua luminosidade se altera.

Se a ligamos numa tensão acima daquela especificada pelo fabricante, seu filamento emite uma intensa luz branco-azulada, mas apenas por alguns instantes, "queimando-se" em seguida.

Se a ligamos numa tensão menor do que a especificada em seu bulbo, a luz emitida é de cor avermelhada.

Nas duas situações as energias envolvidas são diferentes, estando a luz avermelhada associada à menor delas [menor tensão elétrica] e a luz branco-azulada, à maior.

A luz branco-amarelada é emitida pela lâmpada ligada a fonte correta de energia elétrica.

Essas observações nos revelam que as cores: avermelhada, branco-amarelada e branco-azulada, emitidas pelo filamento, estão associadas a energias crescentes.

A chama de uma vela também apresenta regiões com cores diferentes, cada uma associada a uma determinada temperatura.

A região mais quente da chama é aquela que apresenta uma luz azulada.

As regiões da chama com luz amarela e laranja estão associadas a temperaturas menores.

O centro da chama é azul, pois a região em direta proximidade com a combustão é a mais quente.

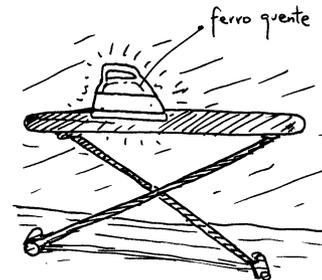
Um ferro elétrico, por exemplo, ao ser aquecido emite radiação que percebemos, não com os olhos, mas com nossa pele ao nos aproximarmos dele.

Já o filamento aquecido de uma lâmpada ou o carvão em brasa podem ser percebidos tanto pelo tato como pela visão, pois emitem em proporções grandes, tanto radiação visível quanto invisível.

Esta radiação, emitida pelo material devido à sua temperatura, é chamada de **radiação térmica**.

Conseguimos ver uma grande parte dos objetos que estão a nossa volta, porque refletem a luz que incide sobre eles e não pela radiação que emitem, já que esta nem sempre é visível.

O próprio ferro elétrico ao ser aquecido, quando atinge altas temperaturas, passa a ter luminosidade própria, emitindo uma luz avermelhada, visível no escuro.



Em geral, quando um corpo está bem aquecido começa a emitir radiação na faixa do visível, adquirindo uma cor vermelha-alaranjada, depois um vermelho mais brilhante e, a temperaturas mais altas, uma cor branco-azulada.

Isto significa que com o aumento da temperatura o corpo emite mais radiação térmica e a cor da radiação mais intensa é a que prevalece.

O funileiro sabe que para soldar ou cortar uma peça de lata ou aço, a temperatura da chama do maçarico a gás precisa estar elevada. Para isso, o funileiro regula o maçarico ajustando as quantidades de ar e combustível pela cor da chama. A temperatura maior se obtém quando a chama emite uma luz azulada.

Mas, afinal, o que produz a luz nas chamas, nos filamentos e em outras fontes como o próprio Sol?

Porque a produção de luz ocorre com o aquecimento da fonte e como são emitidas diferentes cores?

e, pra complicar, como explicar a tela de TV e a lâmpada fluorescente, que brilham mesmo "a frio"?



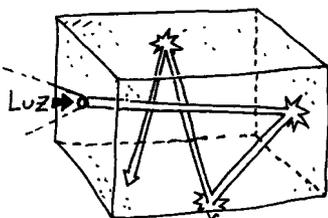
Radiação do corpo negro

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, este 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. Nesta 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.



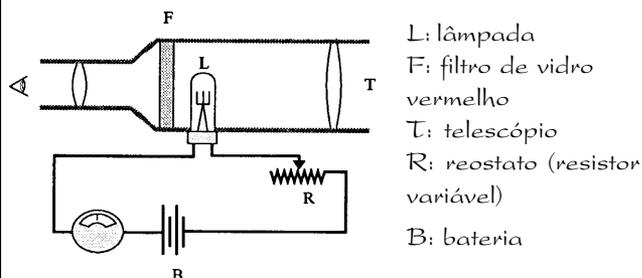
Toda radiação que penetrar pelo orifício será totalmente absorvida pelas paredes internas da cavidade, após múltiplas reflexões. A radiação emitida pelo orifício representa o equilíbrio, entre a radiação e a matéria, no interior da cavidade.

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. Este 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 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.

— 11 —

As cores da luz e a sua decomposição

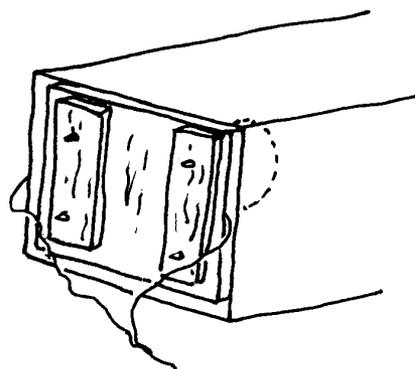
A luz branca pode ser decomposta em outras cores, cada uma representada por um número, que é a sua frequência

Todos nós já ficamos maravilhados e intrigados com um arco-íris. Ele surge logo após uma chuva, quando o sol reaparece.

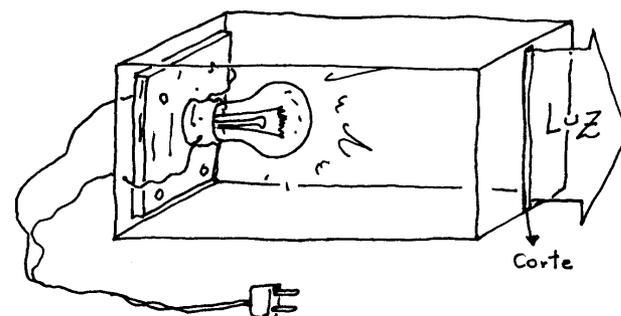
Quando o sol "está baixo", de manhã ou no final da tarde, brincando com uma mangueira de jardim, jogando o jato de água para cima, enxergamos várias cores.

O objetivo desta atividade é obter um conjunto de cores, semelhantes à de um arco-íris, a partir da luz branca-amarelada de uma lâmpada incandescente. Para isto, vamos construir um projetor de fenda estreita.

Construindo um projetor de fenda estreita com uma caixa de sapatos vazia



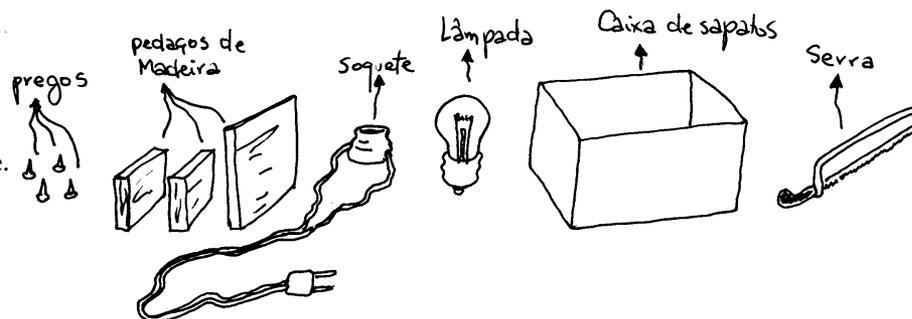
Detalhe para prender as madeiras, o soquete e os fios



Observem que a fenda e o filamento da lâmpada devem estar alinhados

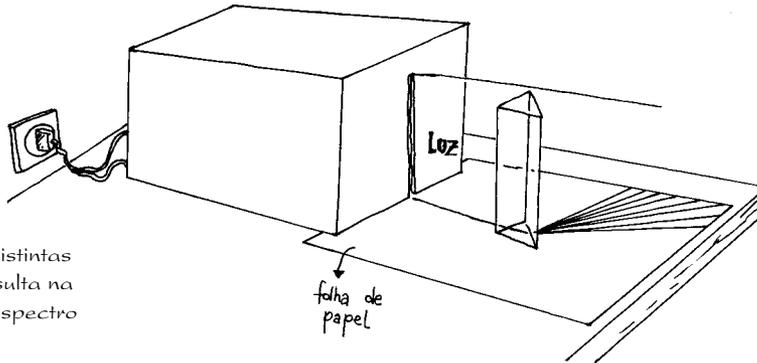
Para esta construção você precisará de:

- uma caixa de sapatos em bom estado.
- três pequenos pedaços de madeira e alguns preguinhos.
- um bocal, e uma lâmpada de filamento reto e vidro transparente.
- três metros de fio do tipo usado no cordão do ferro elétrico.
- um plugue e uma pequena serra de cortar ferro.



Atividade: as cores da luz visível

A luz branco-amarelada de uma lâmpada incandescente, na realidade pode ser decomposta em várias cores. Para decompô-la você precisará de: um prisma, um projetor de luz do tipo mostrado na página anterior e uma lâmpada incandescente. Coloque o prisma na passagem da luz e observe as cores projetadas na folha de papel.



Este conjunto de cores distintas de luz, que somadas resulta na luz branca, constitui o espectro da luz visível

- Quantas cores você consegue enxergar? Relacione-as.

- Com giz de cera, lápis de cor ou caneta hidrográfica procure reproduzir, no papel branco, as listas coloridas que você observou nesta atividade.

Na leitura 10, vimos que fontes de luz quente como o Sol, o filamento de lâmpadas ou a chama de uma vela, emitem luz que percebemos com uma tonalidade branco-avermelhado ou um branco-amarelado.

Agora estamos percebendo que essa mesma luz pode ser decomposta, por um prisma, em várias outras cores:

vermelha, laranja, amarela, verde, azul, anil e violeta, constituindo o **espectro da luz branca,**

Qual a relação entre a luz "branca" e o espectro de cores que ela gera num prisma?

Objetos muito quentes, além de calor, emitem também várias radiações de diferentes cores. Para cada temperatura, certas cores são emitidas em maior intensidade.

O que vemos então como luz **branco-amarelada**, emitida pelo filamento de uma lâmpada incandescente, é uma mistura das várias cores que formam o branco, sendo nesta temperatura, a luz amarela, a mais intensa. A temperaturas mais altas o azul estará mais intenso e a luz será branco-azulada.

Um número para cada cor

O que distingue duas cores, como a luz vermelha e a luz verde, é um **número**, denominado **freqüência da luz**. Cada cor simples possui sua freqüência que é seu número de identificação.

A freqüência é uma grandeza própria dos movimentos oscilatórios e corresponde ao número de oscilações realizadas por segundo, ou por outra unidade de tempo.

Assim como o som é uma vibração mecânica do ar e a sua freqüência distingue sons graves e agudos, a luz é também uma forma de vibração eletro-magnética cuja freqüência distingue uma cor da outra.

A freqüência da luz caracteriza sua cor e também sua energia. Na faixa da luz visível, a luz vermelha é a de menor freqüência e menor energia, a luz violeta é a de maior freqüência e maior energia.

As cores ou energias da luz estão relacionadas com as suas freqüências, de acordo com esquema gráfico.

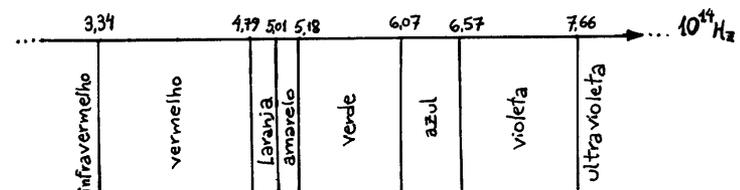


Gráfico de cor ou energia x freqüência da luz visível

Como saber qual é a maior frequência?

Sua unidade é o Hz (hertz).

1Hz significa 1 oscilação por segundo (1Hz=1 oscilação/s)

Outros múltiplos: o kHz e o MHz

1 kHz = 1000Hz; 1MHz = 1000kHz

Ampliando o espectro da luz visível

O gráfico da página anterior relaciona as cores da luz com a sua frequência, constituindo a faixa da luz visível. Existem outros tipos de radiações eletromagnéticas, não percebidas por nossos olhos, que podem ser representadas nesse mesmo gráfico, ampliando-o nas duas extremidades.

A faixa da radiação anterior à luz vermelha, denominada de infravermelha, corresponde à radiação térmica com frequência da ordem de 1000 vezes menor que a da luz visível.

Existem ainda radiações eletromagnéticas de mais baixa energia ou de menor frequência, como as usadas no funcionamento do radar, que são da ordem de mil a cem mil vezes menor do que a da luz visível.

Além dessas, temos as radiações usadas em comunicação por rádio e televisão, com frequência da ordem de dez mil a um milhão de vezes menor que a da luz visível.

Ocupando a extremidade de baixa frequência, estão as radiações produzidas pelas redes de distribuição elétrica de corrente alternada, cuja frequência é de 50 ou 60 Hz, valores que são da ordem de cem bilhões de vezes menores que a frequência da luz visível.

No outro extremo, estão as radiações de alta frequência, como o ultra-violeta, com frequência 100 vezes maior que a da luz visível, os raios X e os raios gama, com frequência da ordem de dez mil a um milhão de vezes maior que a da luz visível.

Esse conjunto de radiações de todas as frequências é denominado de **espectro de radiações**,

Radiação eletromagnética

Embora essas radiações tenham frequências bem distintas e estejam relacionadas à diferentes situações, elas possuem algumas características comuns.

Diferentemente das ondas sonoras, que são vibrações mecânicas do ar, as radiações eletromagnéticas não necessitam da existência de um meio material para a sua propagação. A luz do Sol, por exemplo, quando chega até nós, passa por regiões onde não existe matéria.

Todas as radiações se propagam no vácuo, com a velocidade da luz, que nesse meio é de 300.000 km/s

Todas são constituídas por campos elétricos e magnéticos. Por isso o espectro de radiação apresentado no esquema anterior também é denominado de **espectro de radiação eletromagnética**.

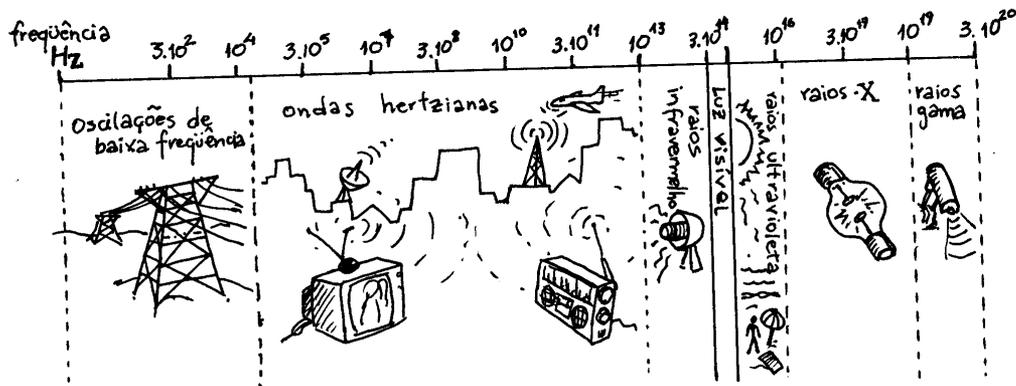


Gráfico do espectro de radiações

Cada uma dessas radiações possui uma energia definida, que está relacionada com a sua frequência. Se a radiação for na faixa da luz visível, então cada cor terá sua frequência característica, que por sua vez corresponderá, também, a uma determinada energia.

Por que a luz se decompõe ao passar por um prisma?

Refração da luz

Quando a luz passa de um meio para outro - como do ar para o vidro ou plástico, - sua direção muda. Este desvio é chamado **refração** e por causa dele enxergamos uma colherzinha, dentro de um copo com água, como se estivesse "quebrada".

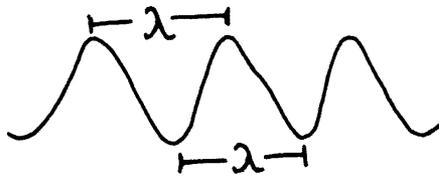
Esta mudança de direção é devido à luz ter velocidades diferentes no ar e no vidro ou no plástico.

A velocidade da luz em cada meio é constante, mas ao passar de um meio para outro seu valor se modifica.

No vácuo ou no ar esta velocidade é de aproximadamente 300.000 km/s e em outros meios é sempre menor.

Como vimos, toda radiação eletromagnética pode ser identificada por sua **freqüência (f)**.

Uma outra grandeza também usada para identificar essa radiação ou movimentos vibratórios em geral, é o **comprimento de onda (λ)**, que corresponde a distância entre dois vales ou dois picos de uma onda.



O comprimento de onda λ

Quanto menor o comprimento de onda da radiação, maior a sua freqüência. A luz vermelha, por exemplo, tem um comprimento de onda maior do que o da luz azul, o que significa que a freqüência daquela luz é menor.

O produto da freqüência pelo comprimento de onda da radiação eletromagnética é sempre igual à uma constante que corresponde a velocidade da luz naquele meio, indicada pela letra **c**:

$$c = f \cdot \lambda$$

Para sabermos o quanto a luz se desvia em um meio, precisamos saber o seu **índice de refração do meio**, que obtemos dividindo a velocidade da luz no vácuo (**c**) pela velocidade da luz nesse meio (**v**):

$$n = c/v$$

O número **n**, que representa o índice de refração, é um número sem unidades, já que é o quociente entre duas velocidades.

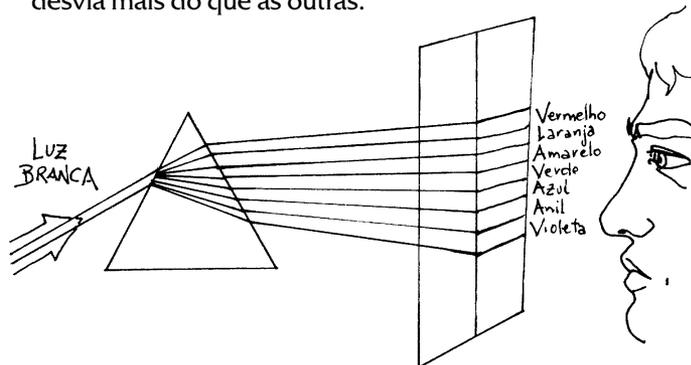
Além disso é sempre maior que 1, pois a velocidade da luz no vácuo [**c = 3x10⁸ m/s**] é maior do que em qualquer outro meio.

O índice de refração do vidro, ou de outro meio transparente, como a água, plásticos, é ligeiramente diferente para cada cor, aumentando do vermelho para o violeta.

Seja **n_{ver}** o índice de refração do vidro para a luz vermelha e **n_{vio}** o índice de refração do vidro para a luz violeta. Do que foi exposto acima, temos: **n_{vio} > n_{ver}**. Com isto podemos escrever: **c/v_{vio} > c/v_{ver}**, o que acarreta **v_{ver} > v_{vio}**.

A luz vermelha propaga-se no interior do vidro com uma velocidade maior do que a luz violeta nesse mesmo meio.

Por isso a luz branca ao incidir sobre a superfície de um prisma de vidro, se refrata, produzindo um feixe colorido. Cada cor simples, chamada luz monocromática, sofre um desvio diferente. A luz violeta, de maior freqüência, se desvia mais do que as outras.



λ é uma letra do alfabeto grego, chamada *lambda*, que corresponde à nossa letra l. É usada para representar o comprimento de onda e tem como unidade o metro, centímetro, milímetro,...



Uma outra unidade de comprimento usada para λ é o Angstrom (\AA), que equivale a 10⁻¹⁰m

A luz violeta sofre o maior desvio

—12—

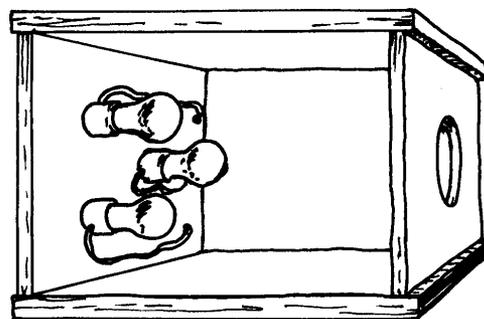
As cores da luz e a sua composição

Da mistura das cores primárias surge o branco.

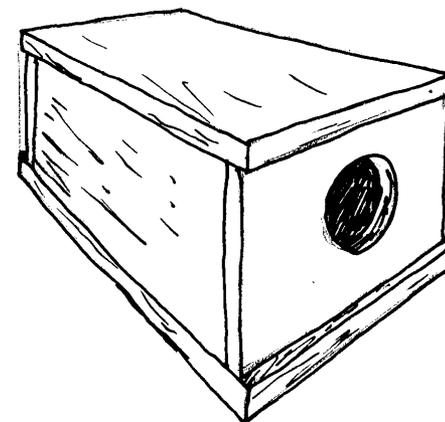
ATIVIDADE: COMENDO OUTRAS CORES

Nesta atividade iremos "misturar luz" das cores chamadas primárias, que são o vermelho, o verde e o azul. Isto pode ser feito com uma "caixa de cores", na qual existem três bocais para instalação de lâmpadas vermelha, verde e azul, cada uma com um interruptor.

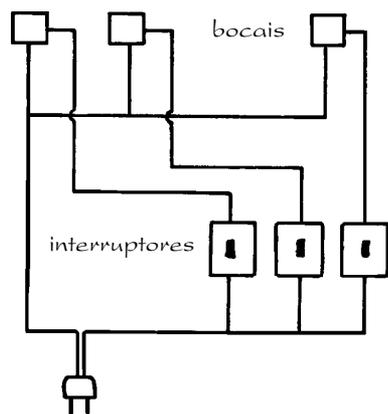
No lado oposto aos bocais existe uma abertura circular para saída da luz, que deverá ser projetada sobre um anteparo branco.



Caixa de luz vista por dentro



Caixa de luz vista por fora

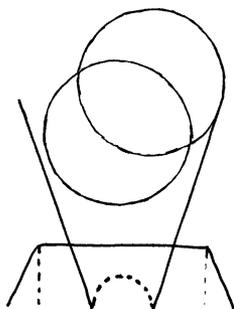


Esquema para orientação da ligação elétrica

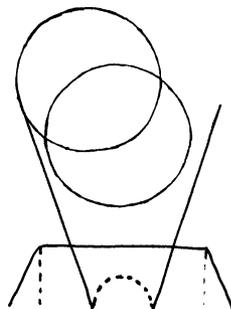
O que você vai fazer

Pegue a caixa de lápis de cor e responda as questões pintando os desenhos.

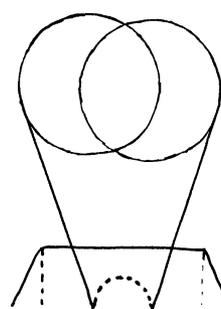
Com o ambiente escuro aponte a abertura circular da caixa para o anteparo branco.



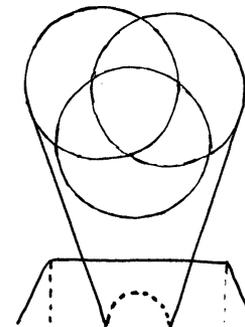
Ligue a lâmpada vermelha, mantenha-a ligada e ligue a verde



Desligue apenas a lâmpada vermelha e ligue a azul.



Desligue agora apenas a lâmpada verde e ligue novamente a luz vermelha.



Ligue agora a lâmpada verde deixando as três acesas.

Todas cores produzem o branco?

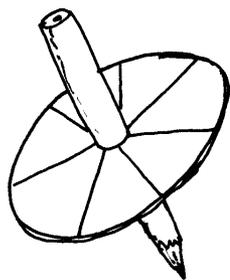
Vimos que a luz branco-amarelada do Sol ou de uma lâmpada incandescente pode ser decomposta nas sete cores diferentes que formam o **espectro da luz branca**.

E "MISTURANDO" TODAS AS CORES DO ESPECTRO OBTEMOS O BRANCO?

Foi exatamente tentando responder essa questão que o então, ainda não famoso físico, Isaac Newton, procurou pintar um disco branco com as cores do arco-íris distribuídas em sequência. Depois fez o disco girar, através de um eixo central, com uma certa velocidade, tentando obter a cor branca!

Se você quiser repetir a experiência de Newton, pode tentar: corte um disco de cartolina branca, divida-o em sete partes e pinte cada uma com as cores do arco-íris. Passe um lápis ou um espetinho de churrasco pelo centro do disco para servir de eixo e você terá um pião.

Girando o "pião" bem rápido o que você percebe? Que cor você vê ?



Disco de Newton

Qual é a cor de um objeto?

1. Corte retângulos de papel cartão nas cores branca, vermelha, azul, verde, amarela e preta.
2. Procure um ambiente totalmente escuro. Com a caixa de luz, ilumine cada cartão alternadamente com luz branca, vermelha, azul e verde. Observe e anote a cor dos cartões para cada luz incidente, completando a tabela. (A luz branca é a própria luz ambiente).
3. Substitua os cartões por pedaços de papel celofane nas cores amarela, vermelha, azul e verde. Observe os resultados e compare-os com os obtidos no item anterior.

COR DO CARTÃO QUANDO OBSERVADO COM LUZ

CARTÃO	branca	vermelha	azul	verde
branco				
vermelho				
verde				
azul				
amarelo				
preto				

A COR DAS COISAS

A percepção que temos das cores está associada a três fatores: a uma fonte de luz, a capacidade do olho humano em diferenciar os estímulos produzidos por diferentes cores de luz e os materiais que apresentam cores distintas. E depende da cor da luz com que o objeto está sendo iluminado. Uma maçã parece vermelha porque reflete a luz vermelha. Um abacate parece verde porque reflete só o verde.

As cores dos objetos correspondem às cores de luz que são refletidas por eles. Quando iluminamos um objeto com luz branca e o enxergamos vermelho, significa que ele está refletindo a componente vermelha do espectro e absorvendo as demais. Se o enxergamos amarelo, ele está refletindo as componentes verde e vermelha, que somadas resulta no amarelo.

Quando o vemos branco, ele está refletindo todas as componentes, quase nada absorvendo. Se o objeto é visto negro, não está refletindo mas apenas absorvendo toda luz que nele incide. Podemos dizer que as cores que conhecemos estão associadas a um mesmo princípio: reflexão e absorção diferenciadas das cores de luz que correspondem a três regiões básicas do espectro da luz visível: **vermelho**, **verde** e **azul**, que são as **cores primárias**.

Misturando luz dessas três cores em diferentes proporções, obtemos qualquer cor de luz, inclusive a branca.

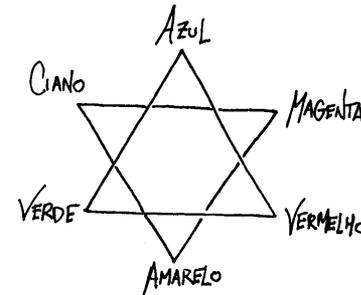
A luz branca é uma mistura equilibrada do vermelho com o verde e o azul. Na atividade com a "**caixa de luz**", o **amarelo** foi obtido pela combinação da luz vermelha com a verde; o **vermelho-azulado** (magenta) é obtido pela combinação da luz vermelha com a luz azul e o **verde-azulado** (ciano) é a combinação da luz verde com a luz azul.

O **amarelo**, o **magenta** e o **ciano** são as cores ditas **secundárias**. As outras nuances de cores são obtidas variando a quantidade de cada uma das cores primárias.

Diariamente a TV colorida nos mostra uma mistura de cores.

As múltiplas tonalidades de cores que vemos nos mais diferentes programas de televisão, são na realidade produzidas por uma combinação de apenas três cores, as chamadas cores primárias: o **vermelho**, o **verde** e o **azul**.

Observe que o logotipo de algumas marcas de televisores apresentam estas três cores. Este sistema, também utilizado nos monitores de vídeo de computadores, é conhecido como **RGB** (do inglês: red, green, blue).



Adição de cores; se as misturamos obtemos o branco; se as misturamos aos pares obtemos as cores secundárias: o amarelo, o magenta e o ciano.

As cores através de pigmento

Atividade 1 - Investigando os pigmentos (por separação) - Cromatografia

Material: papel-filtro (pode ser de coador de café); álcool; pires; canetas esferográficas azul e vermelha;

Procedimento:

1 - Dobre uma tira de papel-filtro, dividindo-o em três partes. Em uma das laterais, faça uma bolinha em cada uma das extremidades, utilizando uma caneta esferográfica vermelha.

2 - Faça o mesmo na outra lateral, utilizando a esferográfica azul. Na parte central, faça uma bolinha com as duas cores.

3 - Coloque um pouco de álcool em um pires e equilibre a tira de papel sobre ele.

4 - Depois de aproximadamente 15 minutos, compare as duas extremidades da tira de papel e verifique quantas cores diferentes você pode identificar:

- na parte onde foi utilizada a caneta vermelha;
- onde foi pintada a bolinha azul;
- onde foram utilizadas as duas cores de tinta.

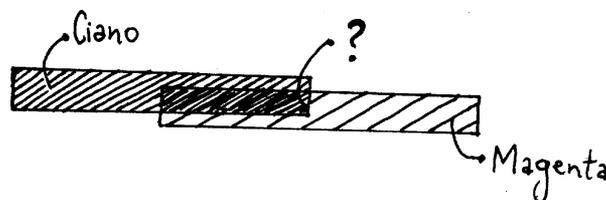
Atividade 2 - Investigando os pigmentos (por mistura)

Material: lápis de cor ou canetas hidrográficas de várias cores; papel sulfite branco.

Procedimento:

1 - Em uma folha de papel branco pinte com duas cores diferentes de lápis ou de caneta, de forma que uma parte da cor se misture e a outra não. Observe as regiões onde não houve superposição das cores e onde ocorreu a mistura.

2 - Repita o procedimento com as outras cores. Qual a cor obtida com essas misturas? Faça anotações.



3 - Em outra parte do papel, misture as cores três a três. Qual a cor resultante dessas misturas?

4 - Você já deve ter ouvido falar que as três cores primárias são vermelho, azul e amarelo. Misturando estas três cores, duas a duas, você conseguiu obter todas as demais?

Uma das coisas que você deve ter observado é que as cores primárias não são exatamente o vermelho, o azul e o amarelo.

Destas três, a única é o amarelo. No lugar do vermelho é o magenta, também chamado carmin, sulferino, pink ou outro nome da moda. Em vez do azul, o ciano, um azul-esverdeado.

Quando vamos a um bazar comprar tinta para tecido ou guache, no rótulo aparecem estes nomes: magenta, ciano e amarelo.

Combinando duas a duas estas cores obtemos o azul (um azul-violeta), o verde e o vermelho. Misturando as três obtemos o preto.

Imprimindo em cores

Como uma gráfica imprime um desenho ou uma fotografia colorida? É uma impressora de computador? As três cores primárias são suficientes ou são necessárias mais cores?

Normalmente o branco não é necessário: basta que o papel seja branco. A combinação das três cores não dão um preto muito convincente, mas um castanho-escuro.

Então, geralmente, gráficas e impressoras utilizam quatro cores: magenta, ciano, amarelo e preto. Isto significa que o papel tem que passar quatro vezes pela máquina, o que torna a impressão em cores muito mais cara do que em preto & branco.

Compare os resultados obtidos nestas duas atividades.

Quais conclusões você consegue tirar?

Pegue algumas fotografias coloridas de revistas e verifique quantas cores você consegue distinguir.

Como a impressora - mecânica ou eletrônica associada a um computador - consegue imprimir tantas cores?

Agora, observe-as atentamente com uma lupa (vulgo lente de aumento).

Quantas cores você consegue distinguir?

—13—

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 desse século, Max Planck deu 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.

13 As cores da Luz e a sua complicação

No final do século passado 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 desses fornos, através do pirômetro, como descrevemos na leitura 10. Esta luz varia de um branco-avermelhado a um branco-azulado à medida que a temperatura aumenta.

CORES	TEMPERATURA
Castanho	de 800K a 930K
Vermelho	de 930K a 1330K
Amarelo	de 1330K a 1530K
Branco azulado	Acima de 1530K

Relação entre cor e temperatura apresentada por um filamento aquecido.

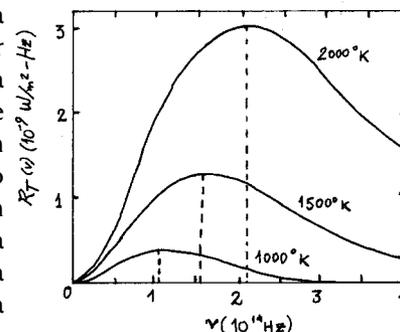
Entretanto a radiação emitida, pelos objetos quentes, não é toda na faixa da luz visível.

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 infra-vermelho. O restante é irradiado, parte como luz visível e parte como ultra-violeta 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 desta radiação aumenta com a temperatura.

Os físicos já dispunham de dados experimentais, sobre a radiação de um corpo aquecido, para traçar o gráfico da frequência [ou 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 para cada temperatura. Na medida que a temperatura aumenta esses máximos se deslocam para regiões de comprimentos de onda menores, ou equivalentemente, para frequências maiores.



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 incidia. A luz se constituía em algo como uma onda.

A energia transportada pela luz teria um valor contínuo, compatível com a **idéia de onda**. 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, cujos dados reproduziam curvas como a representada no alto desta página..

Os físicos tinham dois trabalhos: desenvolver uma equação que descrevesse as curvas experimentais da figura anterior e uma teoria que explicasse o que acontecia com a luz. Parte disto foi conseguido por Max Planck: no dia 14 de dezembro de 1900: ele apresentou à Sociedade Alemã de Física um trabalho sobre este problema onde 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:

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

Embora seu trabalho fornecesse uma resposta matematicamente concordante com os dados experimentais, a hipótese que fizera sobre a emissão discreta da luz, em pacotes ou fótons, não era do agrado de Planck, pois, como todos na época, imaginava a luz uma onda eletromagnética.

Mas em 1905, Einstein publicou um trabalho que explicava porque 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 que admitir, não só que a luz era emitida em pacotes, mas que também incidia sobre as superfícies como se fossem os tais pacotes de energia, sugerido por Planck.

Atualmente não estranhemos tanto a idéia da descontinuidade da energia.

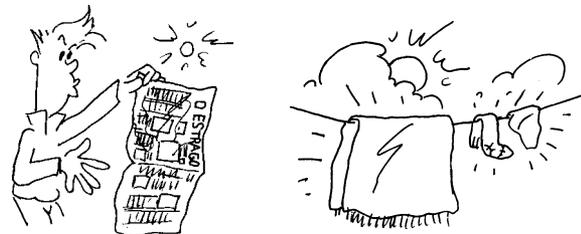
No processo de fixação da fotografia verificamos que cada partícula de sal de prata reage ou não reage, dependendo se ela for atingida pelo fóton, com energia suficiente. Também na tela da televisão, a luz chega com energia suficiente ou não acontece nada.

Isto 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 a 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.

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

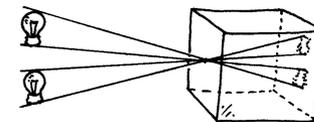
Nesse caso a energia luminosa atinge a matéria na forma de pequenos pacotes de energia, os fótons.

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 matéria, se comporta como partícula e, em outras, o seu comportamento é de uma onda.

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



A luz se difrata e borra a tela

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 Å?

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

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

ALGUMAS 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) 60Hz, b) 1450Hz, c) 125×10^6 Hz, d) 5×10^{14} Hz, e) 3×10^{17} Hz

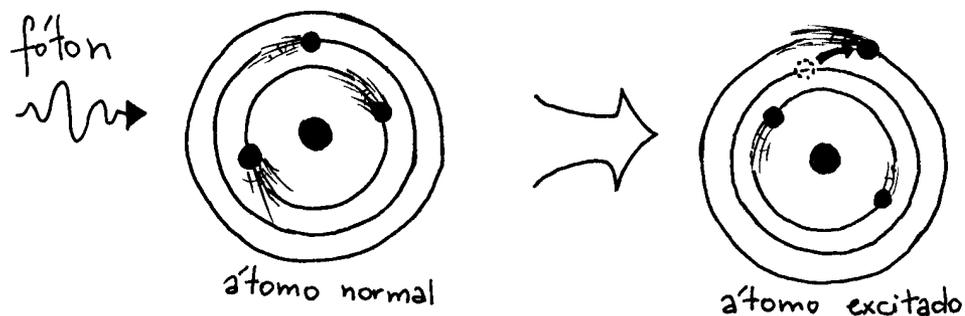
2. No mundo microscópico uma unidade de energia pertinente é o elétron-volt, designado por eV. Sabendo que $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19}$ J, transforme os valores de energia, acima obtidos, nesta nova unidade.

3. Observe o gráfico da página 50 e confronte-o com o da página 42. É possível avaliar que cor é mais intensamente emitida, nas diversas temperaturas indicadas no gráfico da página 50.

—14—

As cores da luz
e
a sua explicação

Um modelo para
explicar a luz



Se um fóton de frequência f interagir com um átomo e for por ele absorvido, a sua energia é transferida para um dos elétrons e o átomo transita para um estado excitado.

Modelo de matéria para compreender a luz

Vimos até aqui que a luz é uma radiação emitida pelos mais diferentes materiais, submetidos a diferentes processos: a parafina da vela em combustão, um filamento metálico aquecido pela corrente elétrica na lâmpada incandescente ou os gases na lâmpada fluorescente, o material das estrelas e do nosso Sol, compactado pela ação da gravidade, todos emitem luz.

Para compreender o que é a luz precisamos indagar primeiro como as coisas são constituídas.

Os antigos gregos já se preocupavam com essa questão, tanto que, é de um deles a idéia de que cada coisa é constituída por um grande número de pequenos "tijolinhos" que foram chamados de **átomos**, que na linguagem grega significava **indivisível**.

Muitos séculos nos separam dos antigos gregos, mas a idéia de átomo cada vez mais precisou ser relembrada e aprimorada na tentativa de compreender a natureza das coisas.

O que é a luz ?

Atualmente a Física Quântica tem o melhor modelo para a compreensão da luz. Nessa teoria, a matéria é interpretada como sendo constituída por átomos, que agrupados vão formar as moléculas, que por sua vez formarão todas as coisas existentes na natureza.

Mas como são esses átomos?

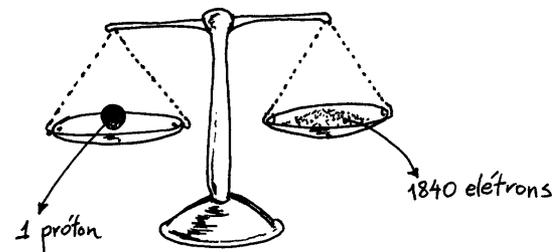
Cada material é constituído por um tipo de átomo, tendo cada átomo uma estrutura formada por duas regiões distintas.

Uma região central, chamada **núcleo**, onde estão confinados os prótons e os neutrons, além de outras partículas menores.

Outra é a **eletrosfera**, região em torno do núcleo onde movimentam-se os elétrons. Num átomo normal, o número de prótons no núcleo é igual ao número de elétrons na eletrosfera.

A massa de um próton ou de um neutrón é da ordem de 2000 vezes maior que a massa do elétron, o que nos faz concluir que, praticamente toda massa do átomo está concentrada em seu núcleo.

Para termos uma idéia das dimensões relativas dessas duas regiões, se pudessemos aumentar o átomo de hidrogênio de tal forma que seu núcleo alcançasse o tamanho de uma azeitona, o raio da eletrosfera alcançaria o tamanho de um estádio de futebol, como o Morumbi, por exemplo.

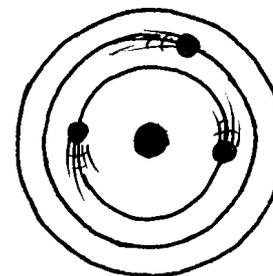


Comparação entre as massas do próton (ou neutrón) e do elétron

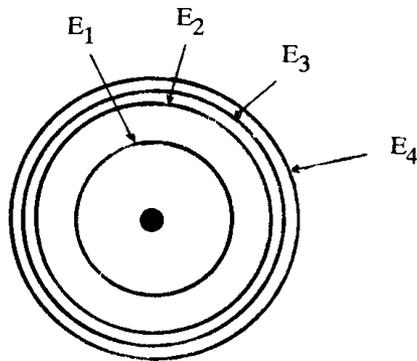
Mesmo para átomos com poucos elétrons, como o hidrogênio (que só tem um), associamos à eletrosfera a idéia de **nuvem** devido ao intenso movimento dos elétrons a grandes velocidades, ao redor do núcleo.

De acordo com esse modelo, existem regiões na eletrosfera onde a probabilidade de encontrar elétrons é maior.

Essas regiões são as **camadas eletrônicas**, às quais são associadas quantidades de energia bem definidas, constituindo os **níveis de energia**. Cada camada comporta um determinado número de elétrons.



Representação (fora de escala) de um átomo.



Camadas eletrônicas, em corte, para um átomo isolado, onde $E_1 < E_2 < E_3 < E_4$ correspondem à energia dos diferentes níveis

Os estados fundamental e excitado dos átomos

O átomo que mantém os seus elétrons distribuídos nos possíveis níveis de menor energia, se encontra, portanto, no seu estado de mais baixa energia que é denominado de **estado fundamental**.

O átomo se encontra num **estado excitado** se, através de algum processo, por exemplo o aquecimento, absorver uma certa quantidade de energia, suficiente para que um de seus elétrons passe de um nível para outro de maior energia.

O estado de excitação não persiste por tempo indefinido pois o elétron retorna ao seu nível de origem, emitindo, nesse processo, uma quantidade de energia bem definida, que corresponde, exatamente, à diferença de energia entre os dois níveis.

A diferença de energia depende dos níveis entre os quais o elétron transita. Para o elétron passar do nível 1 para o nível 3, o átomo precisará receber uma quantidade de energia exatamente igual a diferença de energia entre esses níveis, ou seja, $\Delta E = E_3 - E_1$,

A mesma diferença de energia ΔE deverá também ser emitida, pelo átomo, quando o elétron retornar ao seu nível de origem, neste caso do nível 3 para o nível 1.

A diferença de energia entre dois níveis determina que espécie de radiação é emitida, pois existe uma relação direta entre energia e frequência. Se a diferença de energia entre dois níveis é tal que a frequência da radiação emitida está entre 10^{14} Hz e 10^{15} Hz trata-se de uma radiação luminosa ou simplesmente luz !

Essas mudanças de níveis são chamadas de "**saltos quânticos**", já que as diferenças de energia não podem assumir qualquer valor mas apenas valores discretos, definidos, uma espécie de "**pacote**", ou "**quantum**" de energia. Na linguagem da física tais pacotes de energia, emitidos ou absorvidos pelo átomo são chamados de **fótons**.

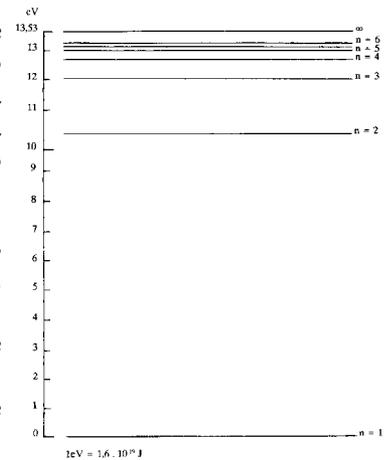
Imagine que incida sobre um átomo um fóton de energia que não corresponde a de um possível salto quântico. Nesse caso o elétron não muda de nível e o átomo também não absorve essa energia, da mesma forma que um pugilista, ao receber um golpe de raspão, nos dá a impressão que nada sentiu. A energia do golpe foi embora...

Absorção e emissão de fótons pelos átomos

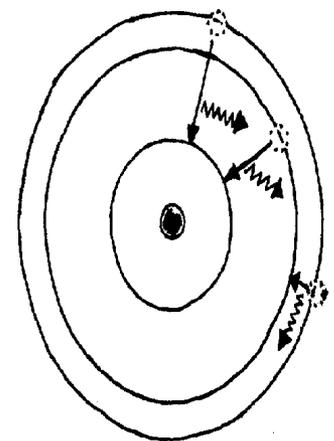
Se um determinado átomo receber, por algum processo, um fóton, cuja energia coincidir com a diferença de energia entre dois de seus níveis, ocorrerá o salto quântico do elétron entre esses níveis e o fóton incidente será absorvido e posteriormente reemitido com o retorno do elétron ao nível de origem.

Esse retorno pode ser realizado por etapas: reemissão simples de um único fóton de energia igual ao do fóton incidente ou, reemissão de dois fótons de energias diferentes, cuja soma dá a energia do fóton incidente.

Nesse último caso, cada fóton emitido está associado a saltos quânticos distintos, existindo um nível intermediário de curta permanência.



Representação dos níveis de energia do átomo mais simples, o hidrogênio.



Representação dos possíveis saltos quânticos do elétron entre os níveis 1,2 e 3.

Emissão espontânea e emissão estimulada

Um objeto qualquer é constituído por um número gigantesco de átomos e quando os excitamos através de uma descarga elétrica ou luz, por exemplo, esses átomos absorvem essa energia, guardando-a por algum tempo e depois a devolve para o meio ambiente.

Nesse processo os átomos passam de um estado energético para outro. Uma maneira dos átomos retornarem ao seu estado inicial é devolvendo a energia absorvida no processo através de emissões espontâneas de luz que são os fótons.

A emissão espontânea pode ocorrer a qualquer instante com os fótons sendo emitidos em todas direções de forma completamente desordenada e sem nenhum controle.

É dessa forma, por exemplo, a luz emitida por uma lâmpada, por uma vela ou pelas estrelas.

Mas existe uma situação peculiar que ocorre quando um fóton incidente encontra um átomo já excitado: nesse caso o átomo retorna a seu estado estável emitindo dois fótons, ambos com a mesma frequência do fóton incidente e além disso na mesma direção desse fóton.

Este fato permite aumentar a intensidade da radiação emitida, sendo o processo chamado de emissão estimulada da luz.

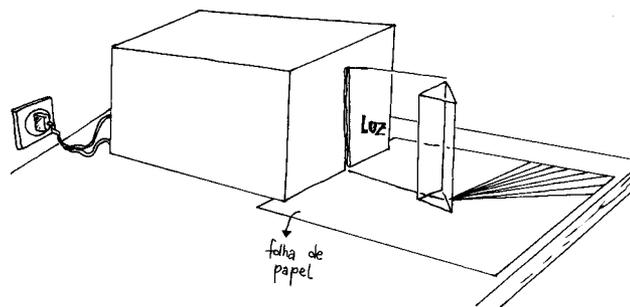
Variações de energia dos elétrons-livres

Os elétrons em um átomo podem absorver bastante energia se o átomo sofrer um significativo aumento de temperatura.

Esta energia é suficiente para promover a ruptura de elétrons com o núcleo, tornando-os elétrons-livres, ou seja continuam presentes no material, em movimentos desordenados pelos espaços existente entre os átomos, mas não presos a um determinado átomo.

O elétron livre pode absorver e reemitir radiações de qualquer frequência ou comprimento de onda.

Esse processo é chamado de transição livre-livre. São as variações de energia do elétron-livre que dão origem aos espectros contínuos que podemos obter dos filamentos de lâmpadas incandescentes, do Sol, de metais aquecidos em altos fornos, do carvão em brasa e de outros materiais sólidos aquecidos até a incandescência.



Espectro contínuo de uma lâmpada incandescente

Espectros de linhas

Os espectros de linhas são característicos de gases a baixa pressão. No espectro essas linhas podem ser luminosas ou escuras.

A linha luminosa tem origem na energia que o elétron emite quando retorna a um estado ligado e a linha escura se origina na energia que o elétron absorve saltando para um nível superior de energia.

ESPECTRO DE ABSORÇÃO



ESPECTRO DE EMISSÃO



Espectro de linhas

—15—

Imagem quântica no filme e na TV

O modelo quântico para a luz explica a formação da imagem no filme fotográfico e na câmara de TV

Quando analisamos os receptores de imagens podemos constatar alguns fenômenos provocados pela luz.

No filme fotográfico, por exemplo, a imagem é formada devido a um processo fotoquímico.

Nas câmaras de TV as imagens são formadas por um processo fotoelétrico.

Nos dois processos a luz está presente de modo determinante.

Agora, com o modelo quântico, podemos compreender como a luz interage com o filme fotográfico e com o mosaico nas câmaras de TV, na formação das imagens.

Vamos ver como um modelo pode nos auxiliar a compreender um fenômeno físico. Você já viu que a luz não se propaga de forma contínua mas sim em pacotes de energia que foram chamados de fótons.

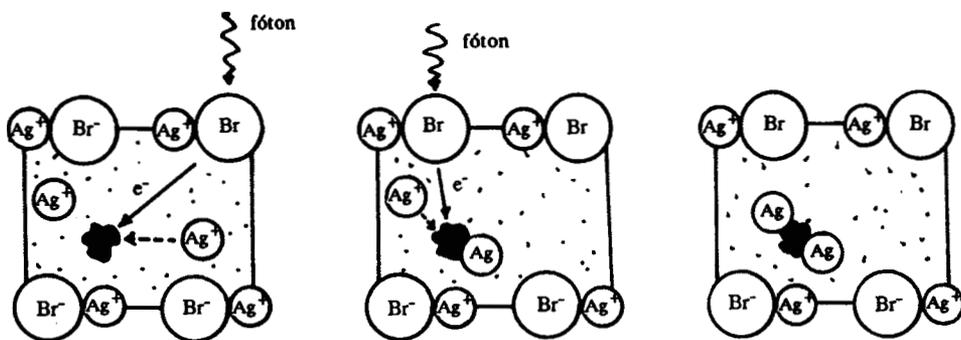
Obteve também algumas informações sobre os átomos, como são constituídos e como se comportam diante de uma interação com o meio.

Agora vamos usar essas idéias para compreender como a luz impressiona um filme fotográfico, forma a imagem na câmara e na tela de TV e produz a "luz fria" na lâmpada fluorescente.

Modelo quântico da luz e o filme fotográfico

Um filme fotográfico é formado por uma camada de gelatina na qual estão dispersos pequenos grânulos de sais de prata. Tal mistura é chamada de emulsão e os sais presentes na emulsão podem ser cloretos ou brometos de prata, em geral denominados de haletos de prata.

Quando o filme é exposto à luz, um determinado número de grânulos desses sais são atingidos pelos fótons. A figura abaixo procura representar o processo de formação de prata metálica num desses grânulos, devido a interação com fóton.



Processo de formação da prata metálica

Na interação com os fótons os elétrons que mantêm a estrutura dos haletos de prata são liberados e, com isso, tal estrutura é desfeita, reduzindo os íons prata a prata metálica, que ficam imersos na gelatina.

Com os haletos de prata não atingidos pelos fótons nada acontece, mas a interação fótons x grânulos de haletos de prata, produz no filme, uma "imagem latente", embora não possamos vê-la, mesmo com microscópios.

Essa "imagem latente" é "desenhada" pela distribuição da prata metálica em maior ou menor quantidade, nas regiões do filme atingidas por números de fótons diferentes, conforme a luz proveniente do objeto fotografado seja mais ou menos intensa.

A região do filme onde incidir mais fótons ficará com um depósito maior de prata metálica, mas isto só pode ser observado na etapa de revelação do filme, onde tal região fica mais escura.

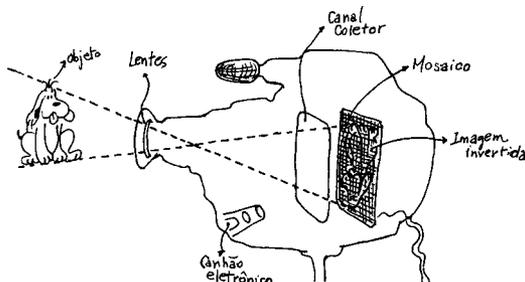
Por isso a imagem revelada no filme é chamada de negativo, justamente porque reproduz, o objeto fotografado, em fundo tão mais escuro quanto mais intensamente tenha sido iluminado.



A imagem marcada pelos fótons só se torna visível na etapa de revelação do filme.

Modelo quântico da luz e a câmara de TV

A objetiva da câmara de TV focaliza a cena que se pretende transmitir numa tela ou mosaico recoberta de grânulos de césio que é um material sensível a luz. Os fótons de luz, ao atingirem a tela, provocam o efeito fotoelétrico, liberando elétrons dos átomos de césio.



A quantidade de elétrons liberada, nesse caso, depende da intensidade da luz, ou do número de fótons, proveniente da cena focalizada.

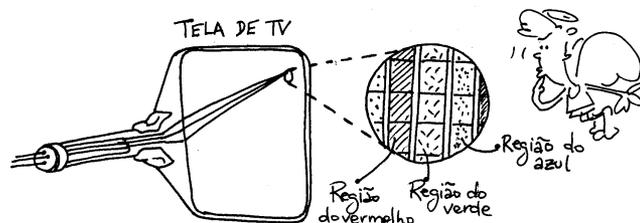
As regiões da cena melhor iluminadas perderão mais elétrons e por isso tornar-se-ão mais positivas que as regiões menos iluminadas.

Essa diferença de luminosidade forma uma "imagem eletrostática" em correspondência com as partes claras e escuras da cena que se quer transmitir. Um sistema elétrico neutraliza as regiões positivamente carregadas transformando em impulsos elétricos que, decodificados no receptor, irão reproduzir a cena na tela da TV.

A imagem na tela da TV

Na tela da TV, cada pequena região funciona como um emissor de luz constituído por três partes com diferentes sais de fósforo. À cada um desses sais são permitidos, para os elétrons de seus átomos, diferentes "saltos quânticos".

Por isso, a quantidade de energia necessária para a excitação dos átomos em cada um dos sais de fósforo é diferente. Nesse caso, as energias necessárias correspondem às energias associadas a cores primárias de luz: azul, vermelho e verde.



Os sais de fósforo na tela de TV

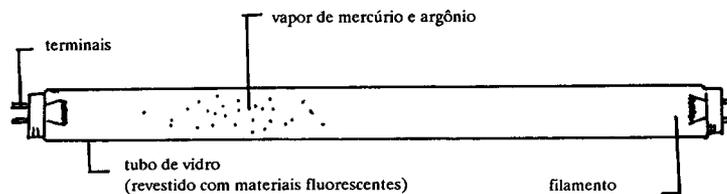
Dependendo da energia dos elétrons que se chocam com esta região, haverá a excitação de uma, de duas ou três partes que contêm os diferentes sais de fósforo.

A luz - branca ou colorida - emitida pela tela corresponde a emissões simultâneas das três cores primárias de luz, em diferentes proporções.

A luz emitida depende não só do material utilizado na tela, mas também da energia cinética dos elétrons nela incidentes. Na ausência de qualquer excitação, a região aparece escura.

A lâmpada fluorescente

Na lâmpada fluorescente os elétrons provenientes de seus filamentos chocam-se com as moléculas de gás (mercúrio e argônio) contidas no tubo, o que produz não só a excitação como também a ionização dos átomos.



Esquema de uma lâmpada fluorescente

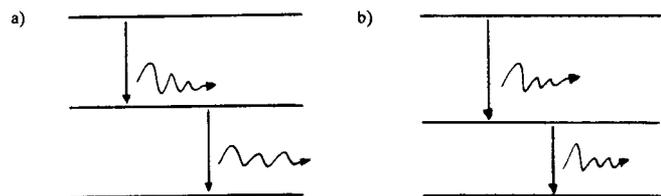
Ionizados, eles são acelerados, e ao se chocarem com outros átomos provocam outras excitações.

O retorno desses átomos ao estado fundamental ocorre com a emissão de fótons de energia correspondente à radiação visível e à de alta energia (ultravioleta).

ALGUMAS QUESTÕES

As energias associadas aos fótons correspondentes ao espectro da luz visível diferem muito das energias necessárias para produzir "saltos quânticos" no vidro e no material fosforescente que o recobre. Assim tais fótons não interagem com esses materiais.

A radiação ultravioleta, ao contrário, ao atingi-los produz "saltos quânticos", e o retorno dos elétrons ao estado de origem pode se dar pela emissão de dois fótons de energia correspondente à radiação de baixa energia (infravermelha) ou de um fóton correspondente à luz visível e outro correspondente à radiação de baixa energia.



a) emissão de dois fótons correspondentes à radiação de baixa energia.

b) emissão de 1 fóton correspondente à luz visível e outro correspondente à radiação de baixa energia.

01. Discuta com seu colega o fato de papéis ficarem amarelados quando exposto ao sol por algum tempo.

02. Que luz queima nossa pele ?

03. Percebemos uma camisa como sendo vermelha quando:

a- a camisa vermelha é iluminada com luz branca.

b- a camisa branca é iluminada com luz vermelha

c- a camisa vermelha é iluminada com luz vermelha.

Como o modelo quântico interpreta essas situações?

—16—

A luz e a cor das estrelas

A óptica e a
cosmologia: a cor e a
luz das estrelas



Quando olhamos para o céu estrelado podemos perceber que as estrelas não são todas iguais.

A primeira vista elas diferem no tamanho e na cor: umas são pequenas e brilhantes outras maiores e avermelhadas, outras azuladas.

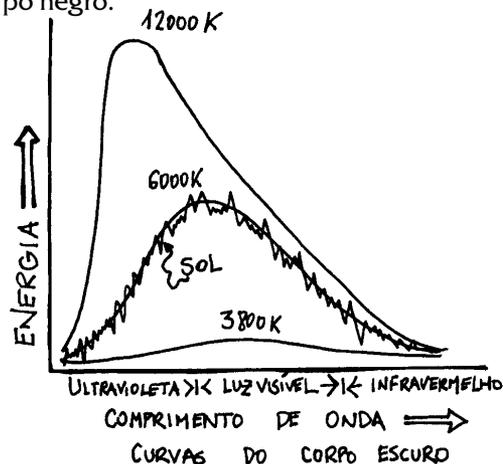
O que a cor de uma estrela pode nos oferecer como informação ?

Que informações podemos tirar da cor de uma estrela?

O exame da luz emitida por uma estrela a centenas de milhões de quilômetros da Terra fornece informações a respeito de sua temperatura, dos elementos que compõem sua atmosfera, sobre seu movimento, se está ou não se afastando de nós.

A cor de uma estrela revela, em primeiro lugar, a sua temperatura. A distribuição de energia emitida pela superfície de uma estrela é bastante semelhante a distribuição de energia emitida por um corpo negro.

Abaixo reproduzimos as curvas, em linhas cheias, de um corpo negro em três temperaturas distintas e a curva de energia emitida pelo Sol superposta a curva de 6000 kelvin do corpo negro.



O Sol, como muitas estrelas que vemos no céu, possui, em sua superfície, temperaturas próximas dos 6000K. No gráfico vemos que o pico da curva situa-se no meio do espectro da luz visível, próximo do verde-amarelo.

Mas como o Sol emite frequências de todo espectro visível, sua cor é branco-amarelada.

As estrelas vermelhas são mais frias do que as branco-amareladas, pois seu pico está situado na região do vermelho, numa temperatura da ordem de 3000 kelvin.

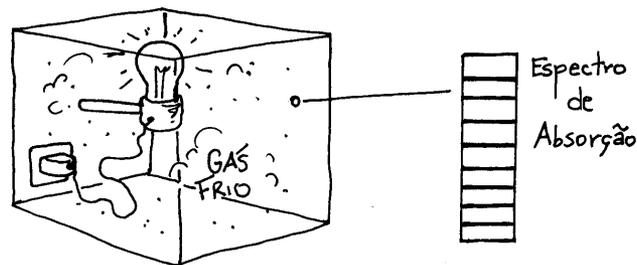
As estrelas azuladas são as mais quentes, tendo na sua superfície, temperaturas de 10.000 a 30.000 kelvin. Muitas delas podem ser vistas no céu com ajuda de um mapa celeste.

Espectro de linhas

O espectro das estrelas oferece informações sobre os elementos que as compõem.

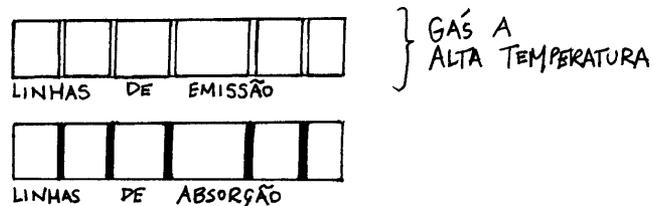
A luz proveniente de um corpo incandescente como a de uma lâmpada passa através do gás mais frio que está a sua volta e pode ser registrada em um espectrógrafo.

O espectro dessa emissão é contínuo, característico de um corpo incandescente, mas é sulcado por linhas escuras nas posições onde deveriam estar as linhas luminosas relativas a emissão do gás a baixa temperatura.



O gás mais frio absorve exatamente as frequências que pode emitir

O gás mais frio absorve as radiações de frequências que também é capaz de emitir, mas permanece transparente para o resto do espectro contínuo.



Espectro de linhas de emissão e absorção

Nossa estrela - o Sol - seu espectro revela sua composição

A análise do espectro solar permite identificar os elementos químicos presentes na atmosfera do Sol, comparando seu espectro com o espectro dos elementos químicos conhecidos aqui na Terra.

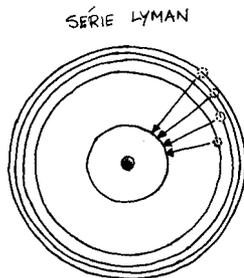
Os elementos presentes na atmosfera solar absorvem radiações que também são capazes de emitir. Como cada elemento possui um espectro de linhas característico, que o identifica, é possível constatar, ou não, sua presença no sol, conferindo se tais linhas estão presentes no espectro solar, uma vez que substâncias diferentes originam espectro de linhas diferentes.

O que é e como se obtém um espectro de linha

O hidrogênio é o elemento mais abundante no Sol e em todo universo. Sua estrutura é a mais simples de todos os elementos conhecidos.

É formado por um único próton no núcleo e um elétron que pode ser encontrado em qualquer um de seus níveis energéticos, dependendo do estado de excitação do átomo.

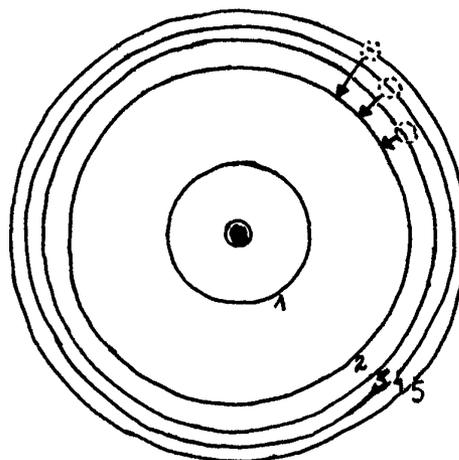
O elétron do átomo de hidrogênio pode realizar vários saltos do nível fundamental para níveis superiores e depois retornar desses níveis para o estado fundamental. Nesse processo, teve que absorver e depois emitir radiação (energia) com frequências do ultravioleta. O espectro dessa radiação é constituído por uma série de linhas chamadas de série de Lyman.



Se os saltos ocorrerem a partir do nível dois para níveis superiores o que estará em jogo são as radiações cujas frequências estarão na faixa do visível.

As linhas espectrais obtidas assim constituem a série de Balmer.

SÉRIE DE BALMER



As linhas luminosas do espectro tem origem na energia que o elétron emite quando retorna a um de seus estados permitidos.

As linhas escuras corresponde a energia que o átomo absorve para saltar de seu nível de origem para um nível superior.

A intensidade dessas linhas depende do número de átomos que emite ou absorve naquela frequência.

Quanto maior o número de átomos que emite ou absorve na frequência selecionada mais intensa é a luminosidade, ou a negritude, da linha.

Por isso uma maneira de verificar a quantidade de determinado elemento num corpo emissor é medir a intensidade das linhas espectrais.

Para o Sol, esse estudo revela que 75% é hidrogênio, 23% é hélio e 2% para os demais elementos.

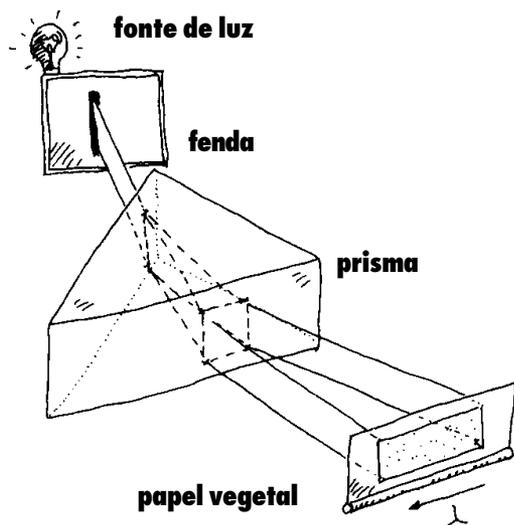
Atividade: Construa seu espectroscópio sem fazer força

Espectroscópios são aparelhos que permitem obter espectros da radiação emitida por fontes de luz. Para isso são necessários lentes e um prisma que dispersa a radiação e a projeta numa tela.

Providencie com urgência as seguintes coisas:

- 1 prisma
- 1 fonte de luz
- 1 caixinha com uma fenda
- 1 material transparente [papel vegetal]

O desenho abaixo mostra como essas coisas estão combinadas na construção do espectroscópio.



EXERCÍCIOS

01. O gás hidrogênio além de ser o mais simples de todos é também o mais abundante na natureza. Quando é excitado por uma descarga elétrica, por exemplo, emite radiações, algumas das quais visíveis. Use a tabela da página 55 e os gráficos das páginas 42 e 43 e determine o tipo de radiação emitida pelo átomo de hidrogênio, quando seus elétrons decaem para o estado fundamental formando o espectro correspondente a série de Lyman e quando decaem para o nível dois formando o espectro da série de Balmer. Lembre-se que: $1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19}\text{ J}$.

Resolução:

a) Consideremos os saltos dos elétrons no átomo de hidrogênio que corresponde a série de Lyman. Nesses casos o elétron passa de um nível qualquer para o estado fundamental.

A seguir faremos o cálculo para a transição do elétron do nível dois para o nível 1 [que é o estado fundamental].

A tabela da página 55 informa que a energia do nível 2 é aproximadamente 10,3 eV e a do nível 1, zero. Portanto a diferença de energia entre esses dois níveis é:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = 10,3\text{ eV}$$

Transformando esse valor de energia para unidade joules, temos: $10,3\text{ eV} = 16,48 \times 10^{-19}\text{ J}$. Usando a equação de Planck $E = hf$, temos: $16,48 \times 10^{-19}\text{ J} = 6,6 \times 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s} \times f$ ou $f = 2,50 \times 10^{15}\text{ hertz}$. Consultando o gráfico da página 43, este valor de frequência é típico da radiação ultra-violeta.

b) Determine agora a frequência associada a mais dois saltos quânticos ainda na série de Lyman, por exemplo, saltos do nível 3 e do nível 5 para o estado fundamental.

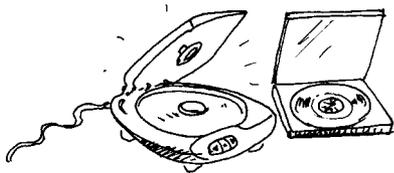
c) Mostre que os saltos quânticos na série de Balmer para o átomo de hidrogênio irradiam na faixa do visível.

02. Nosso Sol, como muitas estrelas apresentam um brilho amarelado. Qual a razão dessa luz branco amarelada emitida pelo Sol? De que modo as informações contidas no gráfico da página 62 pode ajudar você a responder essa questão?

—17—

Laser

A luz concentrada de
uma única cor e suas
várias aplicações



O que é um LASER? Onde ele está presente? Para que serve?

Trata-se de uma fonte de luz muito especial já presente em várias atividades nos diversos setores de nossa sociedade.

A mais comum é, provavelmente, o laser que encontramos nos caixas dos supermercados, responsável pela leitura óptica dos preços das mercadorias.



Um outro laser já agora muito comum é o que encontramos nos "deck" dos "compact disc" responsável pela leitura digital do som.

Outros laser já vêm sendo empregados a mais tempo: na medicina em cirurgias delicadas como as de catarata, na qual o feixe estreito de luz é usado como bisturi; nas casas lotéricas o feixe estreito de luz faz a leitura óptica das apostas que você marcou em um cartão; em impressoras, fotocopiadoras e muitos outros sistemas de registro e processamento de informação.

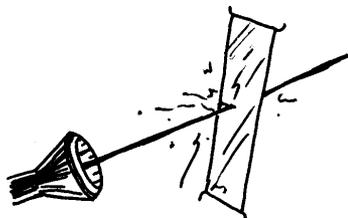


LASER, uma fonte de luz monocromática

A **luz laser** é uma fonte de luz muito especial, possui apenas uma cor e por isso é chamada de monocromática.

Esta luz pode ser concentrada em um feixe estreito e intenso, capaz de percorrer longas distâncias sem se espalhar.

Pela sua alta concentração luminosa, pode fundir uma chapa de aço em segundos e, devido à sua alta precisão, é usada como bisturi em cirurgias delicadas, em leituras ópticas nos preços dos produtos em supermercados e nos mais modernos vídeos e discos.



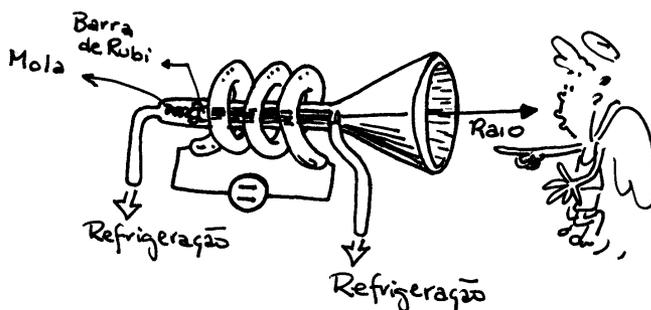
Um intenso raio laser cortando uma chapa de aço

O termo **LASER** é formado pelas iniciais das palavras que compõem a frase inglesa, "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiations" que quer dizer: Amplificação da luz por emissão estimulada de radiação.

Construção de laser de rubi

A primeira "máquina laser" foi construída por Maiman em 1960 e usava como fonte de radiação um cristal de rubi artificial. Nessa construção foi dado ao rubi a forma de uma barra cilíndrica de uns 4 cm de comprimento por 0,5 cm de diâmetro. As extremidades dessa barra foram cortadas rigorosamente paralelas e depois polidas e recobertas com prata que é um metal refletor de luz.

Por razões que veremos adiante, uma das extremidades da barra de rubi deve ser opaca e muito refletora enquanto que a outra, por onde sai a radiação, deve ser semi-transparente, o que se consegue depositando lá uma menor quantidade de prata.



Esquema do primeiro laser de rubi

A pequena barra de rubi foi envolvida por uma lâmpada excitadora, constituída por um tubo de descarga de formato helicoidal.

Logo após a lâmpada ser ligada, um feixe de raios quase paralelos, de uma linda cor vermelha, é emitido da extremidade semi-transparente da vareta de rubi para o meio.

Como funciona o laser

A luz da lâmpada helicoidal é a energia que ativa os átomos de cromo, presentes na barra de rubi e que são responsáveis pela emissão da radiação luminosa quando tais átomos retornam ao seu estado normal.

Se esse retorno é feito de modo espontâneo, os fótons emitidos dispersam-se em muitas direções e em fases distintas, o que torna tal radiação incoerente e sem nenhuma orientação comum.

A situação se modifica quando a radiação é provocada ou estimulada, fenômeno que ocorre quando, nas proximidades de átomos excitados se movimentam um fóton que pode ser proveniente da emissão de um outro átomo semelhante.

Tal fóton na presença dos átomos excitados produz o efeito de uma ressonância, estimulando um deles a emitir um novo fóton com características idênticas às suas.

Esses fótons se deslocam no mesmo sentido e em fase o que proporciona uma amplificação da radiação.

O aparato mostrado ao lado consegue produzir uma radiação estimulada de grande intensidade porque torna possível duas condições necessárias para isso: os átomos precisam se manter no estado excitado durante um certo tempo e deve haver um grande número de átomos excitados.

O cristal de rubi e a lâmpada de descarga preenchem essas exigências. Os átomos de cromo presentes na barra de rubi são excitados pela descarga da lâmpada helicoidal, permanecendo neste estado durante um pequeno intervalo de tempo.

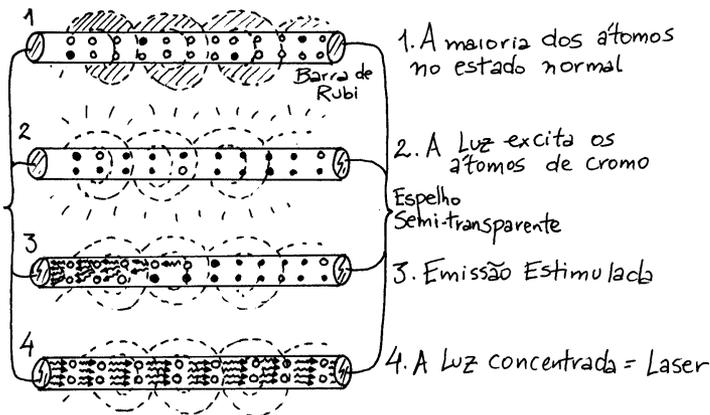
Se um desses átomos de cromo, excitados pela lâmpada, emitir espontaneamente um fóton que se desloque ao longo da barra de rubi, tal fóton provocará a emissão de um outro fóton idêntico, que juntos estimularão a emissão de mais dois fótons e assim por diante.

Esse conjunto de fótons preserva suas características originais e por isso se movimenta paralelamente ao eixo da barra de rubi, sendo refletido em uma extremidade retornando até a outra repetidas vezes. Durante esse processo o número de fótons vai crescendo, devido as emissões estimuladas, intensificando a radiação.

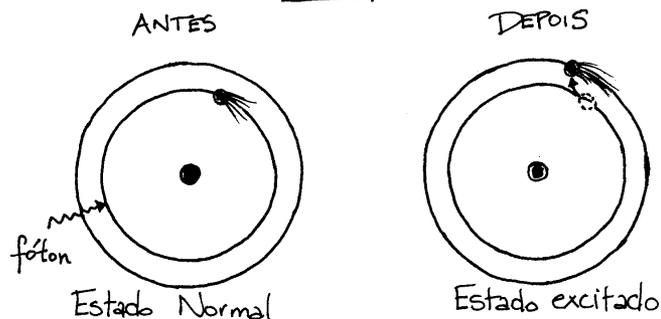
Ao atingir uma certa intensidade, a radiação concentrada escapa através da extremidade semi-transparente. Esse feixe de luz é o laser!

Os fótons emitidos em outras direções, não paralelas ao eixo, saem fora da barra de rubi, não participando do processo descrito.

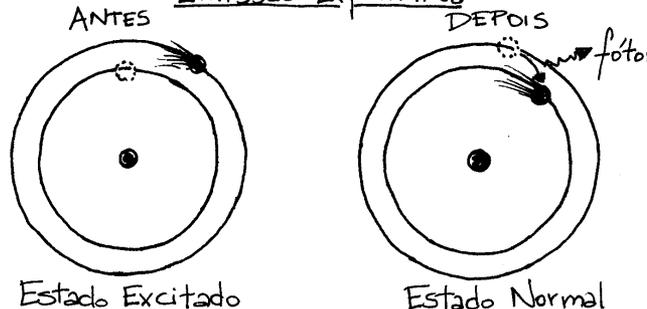
Na figura abaixo estamos representando a barra de rubi em quatro momentos que antecedem a emissão laser. No momento 1 a lâmpada helicoidal está desligada. No momento 2 a lâmpada é ligada e a sua luz excita os átomos de cromo existentes na barra. No momento 3 ocorre a emissão estimulada e os espelhos paralelos nas extremidades da barra selecionam os elétrons que formarão o feixe concentrado de luz - o laser - no momento 4.



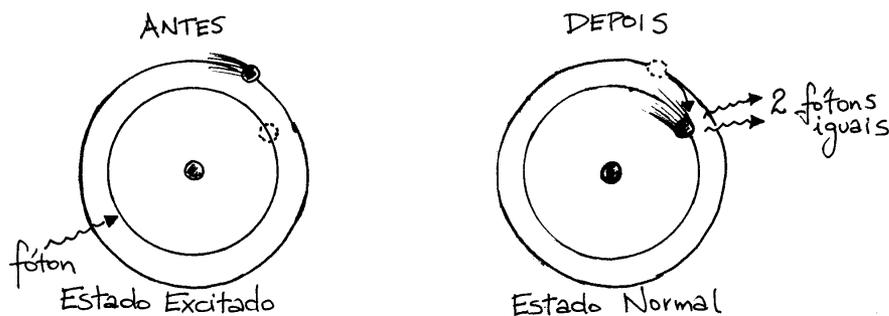
Absorção



Emissão Espontânea



Emissão Estimulada



O que é o rubi?

O rubi natural é uma pedra preciosa vermelha não muito abundante na natureza que é utilizada muitas vezes como adorno.

Entretanto podem ser construídos artificialmente, grossos cristais de rubi com óxido de alumínio misturado com óxido de cromo a temperaturas superiores a 2000°C.

A cor do rubi varia do rosa pálido ao cereja escuro, dependendo do teor de átomos de cromo contido no cristal.

Quanto maior for o teor de átomos de cromo mais intensa é a sua cor vermelha.

LEITORAS ÓPTICAS

Você já deve ter reparado que todos os produtos comercializados trazem em suas embalagens um retângulo composto por listas finas e grossas, e uma série de números na parte inferior.

Estas figuras guardam informações que podem ser interpretadas por leitoras ópticas acopladas às caixas registradoras.

Cada sequência de impulsos elétricos pode caracterizar o país de origem, a empresa que o produziu, o produto e seu preço.

A máquina registradora pode fornecer estas informações imediatamente ao computador de um supermercado, onde elas estão associadas a outras como estoque, fornecedor, datas de pagamento, etc., facilitando a administração da loja.

Nas caixas de supermercados, que são terminais de computadores, existe um sistema de leitura com uma fonte de luz e uma célula fotoelétrica.

As figuras listadas são colocadas em frente à luz e, deste modo, a luz emitida pela fonte é absorvida pelas listas escuras, enquanto é refletida nas regiões claras, incidindo sobre a célula fotoelétrica.

Tais células são dispositivos que permitem a transformação de energia luminosa em impulsos elétricos. Conforme a distância entre as listas e as suas respectivas larguras, diferentes impulsos são produzidos no sistema de leitura.



A FOTOSSÍNTESE

A fotossíntese é um processo onde ocorre absorção de luz. Quando colocamos plantas dentro de casa, sempre procuramos um lugar onde possam receber a quantidade de luz adequada para o seu desenvolvimento.

As folhas possuem células denominadas fotossintetizadoras, que contêm clorofila e são muito sensíveis à luz.

Quando a luz incide em uma molécula de clorofila, esta absorve parte da energia luminosa, que permite a reação do gás carbônico (CO_2) com água, produzindo carboidratos e oxigênio.



A absorção da energia luminosa e sua transformação em energia química permite o crescimento das plantas, seu florescimento e a produção dos frutos.

A clorofila é o pigmento mais importante no processo fotossintético das plantas, na captação da radiação luminosa e na transformação dessa forma de energia em energia química.

Nas plantas, as moléculas de clorofila se agrupam de maneira ordenada, formando estruturas que compõem unidades fotossintéticas (cerca de 300 moléculas por unidade) denominadas cloroplastos.

A absorção da luz pela clorofila pode ser analisada através de um espectroscópio utilizando-se a própria clorofila da folha em solução ou as "monocamadas de clorofila" (agrupamentos de moléculas de clorofila com a espessura de uma molécula) obtidas através de técnicas de laboratório.