

1. A visão
2. Uma visão do curso
3. Recepção e registro de imagens
4. A câmara escura
5. Foto + grafar

6. Acertando câmara e filme
7. A videogravação ou câmara de TV
8. De olho no olho
9. Duas ópticas

10. Fontes de luz (e de calor)
11. O caráter eletromagnético da luz
12. As cores da luz e a sua decomposição



1 a 23

Vol. 2

parte B

13. As cores da luz e a sua composição
14. As cores da luz e a sua complicação
15. As cores da luz e a sua explicação
16. Imagem quântica no filme e na TV
17. A luz e a cor das estrelas
18. Laser

19. Espelhos planos
20. Espelhos esféricos
21. Defeitos da visão

22. As lentes esféricas
23. Os instrumentos ópticos

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 Antonio Kanno

COLABORADOR ACADÊMICO:

Marcelo de Carvalho Bonetti

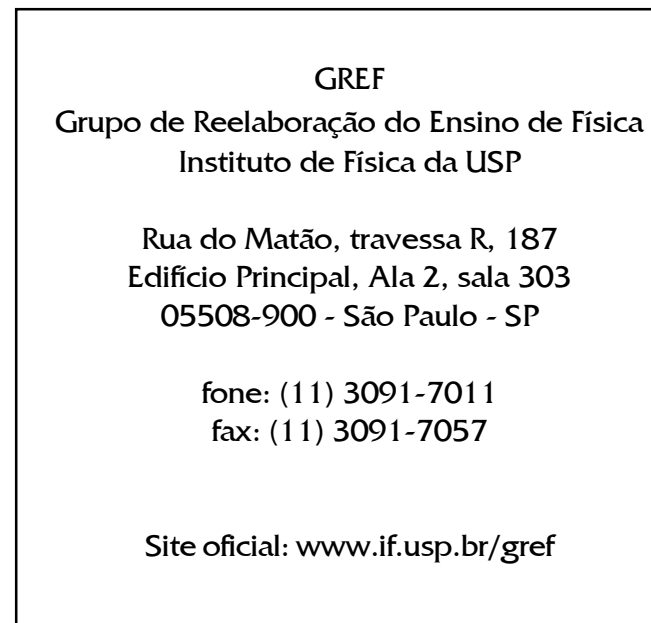
ELABORADORES PARTICIPANTES DE ETAPAS ANTERIORES:

Cassio Costa Laranjeiras
Cintia Cristina Paganini
Marco Antonio Corrêa
Rebeca Villas Boas Cardoso de Oliveira

APLICADORES: Centenas de professores do ensino público, com seus alunos, fizeram uso de versões anteriores de diferentes partes desta publicação, tendo contribuído para sua avaliação e aperfeiçoamento, que deve prosseguir na presente utilização.

Financiamento e apoio:

Convênio USP/MEC-FNDE
Subprograma 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 nenhuma espécie.

fevereiro de 2006

Apresentação

O GREF, Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, reuniu por vários anos no Instituto de Física da Universidade de São Paulo alguns docentes universitários e vários professores da rede estadual paulista de ensino público. Essa equipe, dedicada ao aperfeiçoamento em serviço de professores de física, apresentou em três livros¹ sua proposta de ensino. Em seguida, concebeu estas Leituras de Física para alunos, que têm sido continuamente aperfeiçoadas a partir de sugestões decorrentes de sua aplicação escolar.

A concepção de educação dialógica de Paulo Freire, na discussão de temas da vida real, está entre as que inspiraram o trabalho do GREF, resultando em critérios incorporados às Leituras, mas que podem ser explicitados para os professores que as utilizem:

- Processos e equipamentos, do cotidiano de alunos e professores, interligam a realidade vivida e os conteúdos científicos escolares, o que facilita o desenvolvimento de habilidades práticas nos alunos, associadas a uma compreensão universal da física.
- Os alunos são interlocutores essenciais, desde o primeiro dia, participando do levantamento temático de conceitos, equipamentos e processos relacionados ao assunto tratado, como Mecânica, Termodinâmica, Óptica ou Eletromagnetismo.
- A linguagem e o formato das Leituras procuram facilitar seu uso e cadenciar o aprendizado. Uma primeira página apresenta o assunto, duas páginas centrais problematizam e desenvolvem os conteúdos científicos e uma quarta página sugere atividades, exercícios e desafios.
- O número de Leituras leva em conta a quantidade de aulas usualmente reservadas à física, para poupar o professor da necessidade de promover cortes substanciais nos conteúdos gerais e específicos tratados.

O trabalho desenvolvido pelo GREF, que também teve eco nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino de Ciências e Matemática, dá margem aos professores de ciências em geral a tratar as suas disciplinas de forma articulada com o aprendizado da física. As Leituras de Física do GREF para alunos têm sido utilizadas há vários anos na forma de apostilas, em nossa rede estadual e em nível nacional, numa grande variedade de escolas públicas de ensino médio regular e de ensino técnico. Professores e alunos têm feito uso de cópias obtidas diretamente pela internet², e espera-se que isso continue acontecendo, sem finalidade lucrativa.

Os que conceberam estas Leituras se alegram com a presente edição, pela Secretaria de Educação do Estado de São Paulo, que fará chegar o resultado de seu trabalho a um número maior de alunos, na forma de três livros.

Bom trabalho!

Coordenadores e elaboradores do GREF/IFUSP

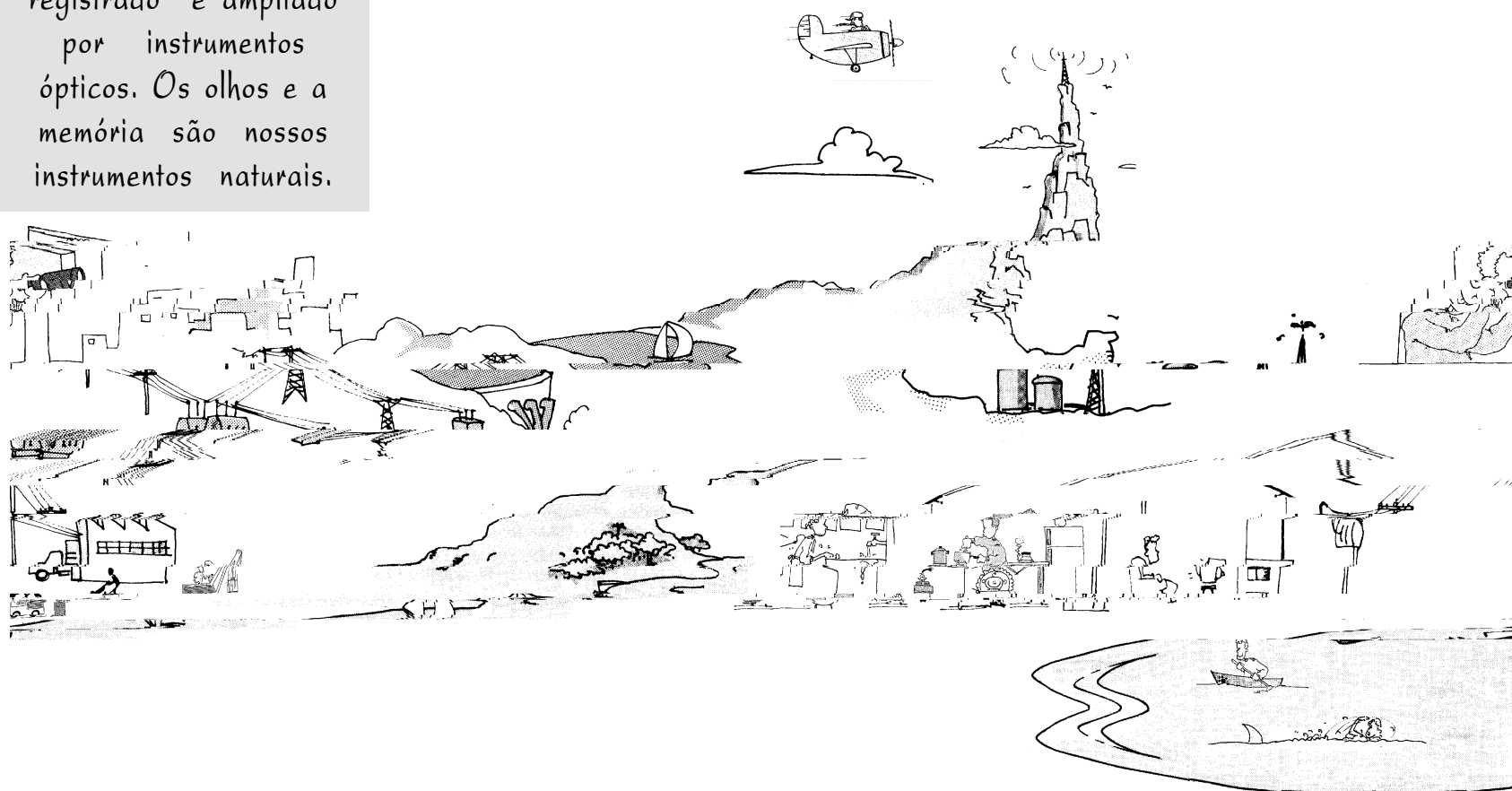
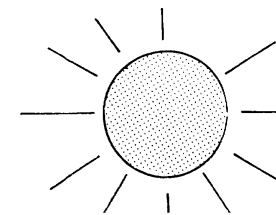
¹ Mecânica (Vol. 1); Física Térmica e Óptica (Vol. 2) e Eletromagnetismo (Vol. 3), publicados pela EDUSP, Editora da Universidade de São Paulo.

² www.if.usp.br/gref

1

A visão

O que vemos e o que não vemos pode ser registrado e ampliado por instrumentos ópticos. Os olhos e a memória são nossos instrumentos naturais.



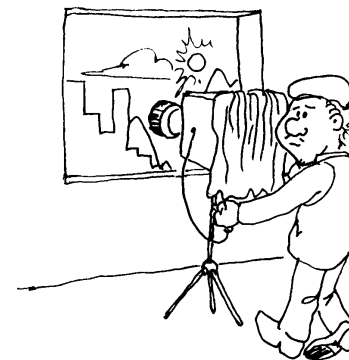
- Que coisa linda!!!
- Fotografou?
- Não...
- Então perdeu...
- Perdi nada. Está gravado na memória!

É uma pena não poder mostrar para os outros certas cenas que nossa memória registra. A gente pode contar, mas não é a mesma coisa. Desde tempos remotos, o ser humano sempre desejou deixar gravadas cenas de coisas que lhe são importantes. Figuras de animais de caça, por exemplo, foram encontradas em interiores de cavernas, redutos do homem pré-histórico. As artes visuais, inicialmente pinturas ou desenhos e mais tarde fotos e videografações, têm registrado objetos do desejo, informações, emoções e momentos da história.

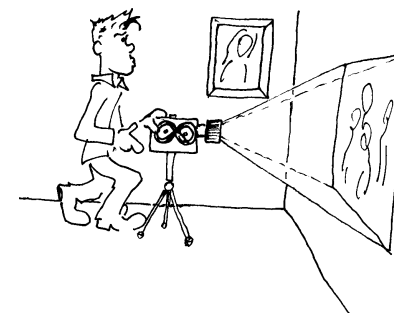


Da parede das cavernas para o papel levou muitos milhares de anos, das tintas até a invenção da fotografia (1826) centenas de anos, até o cinema (1895) dezenas e mais outras dezenas até chegarmos à gravação magnética em vídeo. São todas construções da mesma mente humana que, desde que se formou, aprendeu a gravar cenas na memória...

A primeira grande revolução no registro visual de fatos ocorreu com a descoberta da fotografia, porque tornava possível, a qualquer pessoa, fixar as imagens que desejasse.



O cinema, por sua vez, popularizou as artes cênicas, sendo quase "atropelado" pela televisão, que leva as imagens dinâmicas para a casa do espectador. Finalmente, a videografação permite gravar cenas com a mesma facilidade com que, antigamente, só se podia fotografar.



Na realidade, é mais fácil entender como funciona uma máquina fotográfica, um projetor de cinema, uma tela de TV, do que saber como vemos e registramos imagens em nosso cérebro.

Talvez o problema seja que, de todos esses aparelhos de "ver e registrar", o olho e o cérebro humano são os únicos que não fomos nós quem inventamos... Neste curso de óptica, vamos poder compreender como tudo isso ocorre.

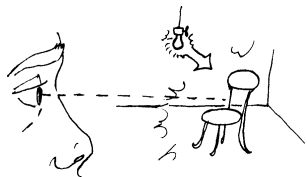
A óptica é o quê?

- Luís, você foi hoje à óptica buscar seus óculos?

Nesta pergunta, a palavra óptica se refere à loja que faz o aviamento de receitas do oculista, também chamado de oftalmologista, e comercializa instrumentos ópticos, como óculos, lunetas, máquinas fotográficas e câmeras de vídeo.



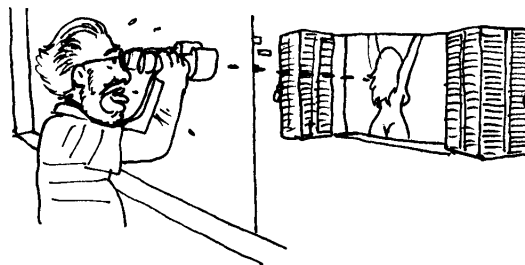
Como parte da física, a óptica é o estudo de fenômenos ligados à luz e à visão. A visão é responsável por grande parte das informações que recebemos. Nossos olhos são sensíveis à luz, como nossos ouvidos ao som, ou nossa pele ao calor e ao toque. Se nenhuma fonte emitir o som, nada há que os ouvidos escutem. Da mesma forma, as coisas têm de ser iluminadas ou luminosas, para que as enxerguemos, ou seja, devem emitir ou refletir a luz para ser vistas.



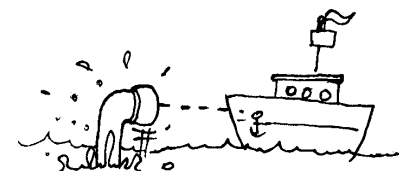
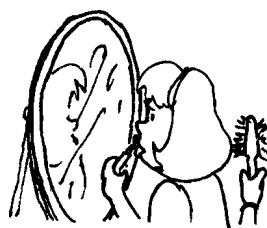
Há pessoas que enxergam mal de longe, outras de perto. Os óculos são lentes para corrigir deficiências de visão. Outros instrumentos ópticos, como a lupa e o microscópio, por exemplo, nos auxiliam quando queremos examinar um objeto muito pequeno, cujos detalhes nem seriam visíveis a olho nu. Os raios X, então, nos permitem ver e gravar até estruturas fora do alcance da luz comum.



Mesmo objetos grandes e brilhantes, como as estrelas no céu ou as estrelas no palco, podem ser também difíceis de ver, se estiverem muito afastados de nós. Para esses casos os instrumentos ópticos indicados são o telescópio, a luneta ou o binóculo. Os astrônomos vasculham os céus, outros querem detalhes nos esportes, sem falar de alguns moradores de apartamento...



Os espelhos servem para mais coisas do que para a gente se admirar; são retrovisores em veículos, são periscópios em submarinos e elevadores, e, em formato parabólico, são ampliadores de imagem nos telescópios de reflexão.

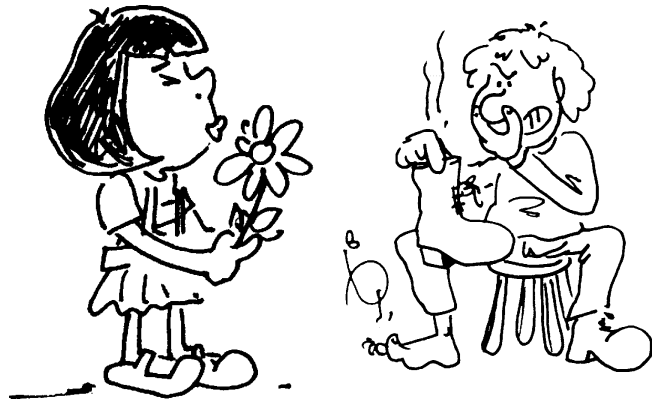


A óptica permite compreender muitos instrumentos, nos quais lâmpadas, telas, lentes e espelhos são partes essenciais, entender a natureza das cores, nas figuras impressas, nas fotos, na tela de TV e, antes de mais nada, a óptica permite compreender a visão. Vamos iniciar o estudo da óptica pedindo a você que relacione todos os instrumentos, situações e processos que associa com a visão.

Faça uma lista que contenha instrumentos, situações e processos, procurando discutir que tipo de relação eles têm com a visão.

LEITURA - A visão

A percepção que temos do mundo resulta de uma combinação de sentidos, processada simultaneamente em nosso cérebro. Um ruído ao nosso lado pode fazer com que nos voltemos para olhar algo que antes não havíamos notado. Um cheiro desagradável pode fazer com que investiguemos a sola de nossos sapatos, para ver se pisamos em algo... Da mesma forma, levamos às narinas uma flor cuja beleza nos atraiu.



Talvez, mais do que qualquer outra forma de observação, a visão nos permita, imediatamente, uma percepção panorâmica. Com o tato, não podemos perceber a temperatura ou textura de objetos distantes, pois não temos "teletato".

A audição já se parece um pouco mais com a visão, pelo fato de termos dois olhos e dois ouvidos para poder ver e ouvir em três dimensões, ou pela comparação possível entre cores e timbres.

A maior parte da percepção humana é visual, uma outra parte significativa é sonora e os demais sentidos, o tato, o olfato e o paladar, exceto em circunstâncias especiais, têm função complementar. Também por isso, as extensões da visão e da memória visual ou as extensões da audição e da memória auditiva são muito mais numerosas e conhecidas que as extensões dos demais sentidos.

O telescópio, o microscópio, o radar, a televisão, a fotografia, a radiografia, o cinema e a videogravação, o alto-falante, o rádio, as gravações de som em fitas e discos são mais significativos e freqüentes do que os sistemas de ampliação e registro de temperaturas, de pressões, de sabores e de cheiros.

VOCÊ CONHECE O TELEOLFATO?

Tente imaginar a percepção de um cego ao apalpar um triângulo de cartão ou um disco de ferro, a maneira como ele guarda essas formas em sua memória e as reproduz desenhando. Você sabe o que é a escrita Braille?

VOCÊ DIRIA QUE O CEGO VÊ COM AS MÃOS?

Assim como se pode comparar a leitura do cego com o tato de formas em geral, podemos comparar a imprensa escrita com a reprodução de imagens e a fotografia.

As mensagens publicitárias fazem uso das imagens, da escrita e do som, reproduzindo fala e música. Tente lembrar de formas associadas ao que você consome. Por exemplo, formato de garrafas, logotipos, *jingles* musicais,

De quais figuras geométricas você se lembra? Do aspecto de quais animais e plantas, do rosto de que pessoas? Do formato de quantos objetos? Em preto e branco ou em cores? Desenhe um círculo, uma mesa, uma aranha, um coqueiro, uma moça.

DE QUE "FITTA" VOCÊ TIROU ESTAS IMAGENS?

COMO AS GUARDOU?

QUESTÕES

1) EM QUE CONDIÇÕES UM OBJETO PODE SER VISTO?

(VEJA A SEGUNDA FIGURA DA PÁGINA ANTERIOR)

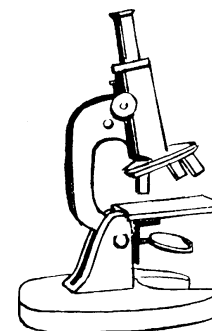
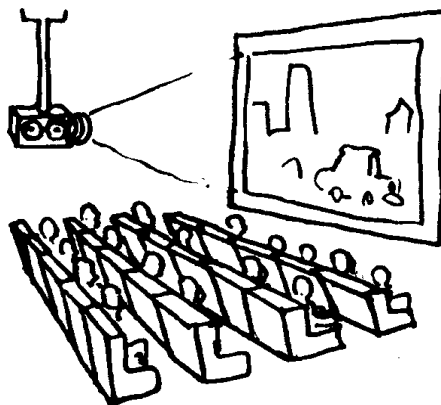
2) EXAMINE UM OBJETO QUALQUER A OLHO NU, DEPOIS OBSERVE-O COM UMA LUPA. DESCREVA OS DETALHES QUE VOCÊ SÓ PERCEBEU DEPOIS QUE USOU A LUPA.



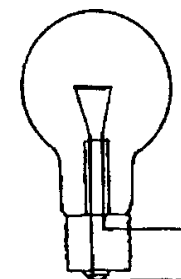
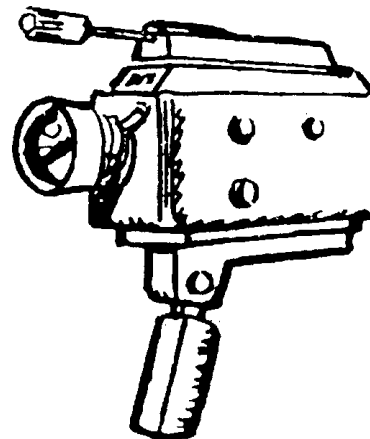
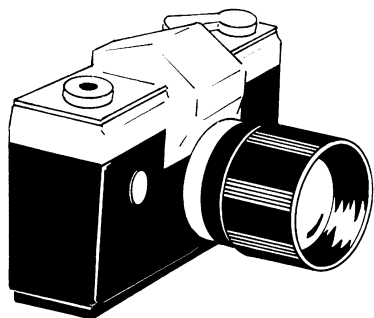
— 2 —

Uma visão do curso

Receptores ou registradores de imagens. Fontes, filtros de luz e cor. Projetores e ampliadores de imagens.



Vamos organizar em grupos os instrumentos, situações e processos ópticos?



Listão

Projetor de slides
 Máquina fotográfica
 Flash
 Tela de cinema
 Lentes
 Tela de TV
 Binóculo
 Lâmpada
 Telescópio
 Câmera de TV
 Laser
 Espelho
 Fotocopiadora
 Lupa
 Cinema
 Filmadora de vídeo
 Microscópio
 Óculos
 Periscópio
 Fogo
 Caleidoscópio
 Pintura
 Tintas
 Pigmento
 Filme
 Raios X
 Vela
 Sol
 Arco-íris
 Cores
 Retroprojetor
 Miragem
 Ilusão de óptica
 Piscina

Classificando

Ao lado anotamos vários elementos que, de algum modo, estão relacionados com a visão. Provavelmente a lista que você preparou seja parecida com esta.

Compare para ver o que está faltando nessa lista ou na sua.

Você incluiu o olho humano na sua lista? Poderia incluí-lo? Justifique.

Neste momento você está com uma lista de instrumentos, situações e processos ópticos, "doidinho" para estudá-los. Por onde começar? Eis a questão!

Lembra quando estudou os seres vivos e o seu professor **classificou** os animais em: mamíferos, répteis, insetos?... É a mesma coisa...

A classificação é uma maneira de iniciar o estudo de um assunto, de modo que os elementos a ser estudados já mostrem algum significado. Não há um modo único, nem o mais correto de classificar. Você poderá escolher algum critério para agrupar esses elementos, com base, por exemplo, no seu uso mais conhecido e imediato.

O ato de classificar um rol de elementos ou coisas exige de nós um certo discernimento sobre eles. Ao fazer a lista desses elementos ópticos, você certamente já possuía algum conhecimento sobre eles, por exemplo, em relação à função de cada um, o que eles permitem fazer, seu uso, entre outros, e por isso os colocou na lista, apesar de não compreendê-los totalmente.

Você poderia sugerir algum critério para a classificação dos instrumentos, situações ou processos ópticos que listou na aula anterior?

Converse com seus colegas sobre os instrumentos, situações e processos ópticos que constam de suas listas e procurem agrupá-los de acordo com algum critério que considerem razoável.

CLASSIFICANDO OS INSTRUMENTOS, SITUAÇÕES E PROCESSOS ÓPTICOS

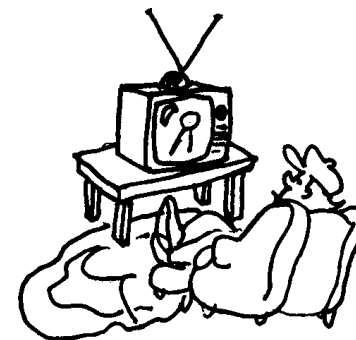
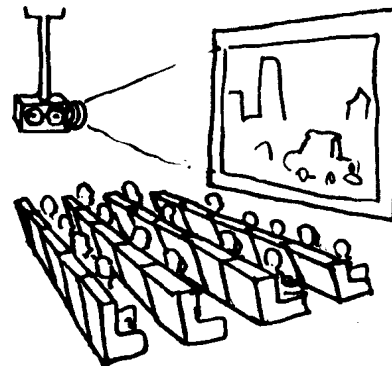
Vamos realizar esta classificação procurando escolher um critério que mais se ajuste ao nosso curso. Por isso pensamos em distribuir essas coisas em três grupos:

Receptores e registradores de imagens

Enxergamos porque o olho é um sistema sensível à luz proveniente de objetos, luminosos ou iluminados, que recebe e registra as imagens no cérebro; do mesmo modo, uma máquina fotográfica também capta e registra imagens em um filme fotográfico, ou uma câmera de TV registra as imagens em uma fita magnética.

Há outras formas de registro de imagens bem tradicionais, como a imprensa, ou mais modernas, como as copiadoras eletrostáticas e impressoras de computadores.





Alguns receptores e registradores de imagens

Alguns projetores de imagens

Fontes de luz

Os projetores de cinema ou de *slides* projetam numa tela, ou superfície clara, imagens transparentes que estão impressas em um tipo de plástico chamado celulóide, que filtra a luz de uma lâmpada que passa por ele. A lâmpada constitui uma fonte de luz, e o celulóide com as imagens coloridas, um filtro de cores.

A tela da TV, que brilha, pode ser vista mesmo no escuro porque é uma fonte de luz. As fotografias, desenhos ou textos de uma página de revista só podem ser vistos se iluminados. As imagens impressas "filtram" a luz branca e só "devolvem" a cor correspondente.

Para compreender como a luz, as cores e as imagens podem ser produzidas, apresentaremos um modelo microscópico de matéria e de luz. Esse modelo permitirá interpretar a interação luz-matéria numa vela acesa, num tubo de TV, nas estrelas ou numa gravura.

Veremos como a luz branca do Sol é uma combinação de muitas cores, que podem ser separadas, e que também existem fontes de uma única cor, como o laser.

Projetores e ampliadores de imagens

Existe uma série de aparelhos constituídos de espelhos e lentes que ajudam a ampliar nossa visão, em tamanho ou na abrangência.

O espelho retrovisor de um automóvel, por exemplo, ajuda o motorista a enxergar outros automóveis que se encontram atrás dele, ampliando seu campo de visão. Os marinheiros em um submarino conseguem ver o que se passa na superfície do mar com o auxílio de um periscópio.

Os defeitos de visão podem ser corrigidos por várias espécies de lente, como as de contato ou as dos óculos.

As lunetas e os grandes telescópios ajudaram a descobrir um universo cheio de astros, impossíveis de ser vistos a olho nu, ampliando o tamanho da imagem. Já os microscópios permitem ver coisas muito pequenas. Vamos chamar todos esses aparelhos de ampliadores da visão.

Procuraremos entender como funcionam tais aparelhos por meio de uma representação geométrica das imagens formadas por eles, a partir de uma compreensão da propagação da luz.



Ampliadores da visão

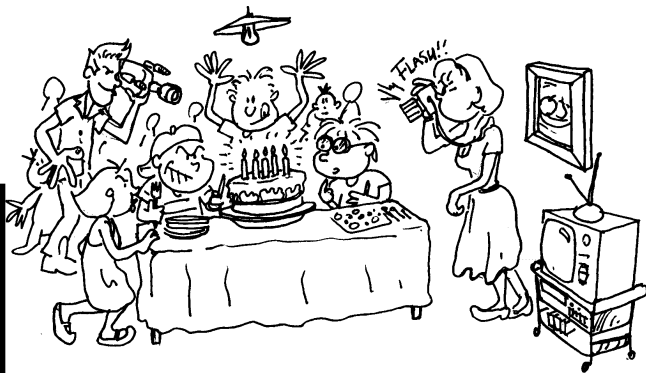


Exercícios

2.1. Complete a tabela com os aparelhos, situações e processos que você listou no final da aula 1.

receptores e registradores de imagens	fontes e filtros de luz e cor	projetores e ampliadores de imagem

2.2. Identifique, na "festinha de aniversário", os instrumentos, dispositivos ópticos ou coisas relacionadas à visão.



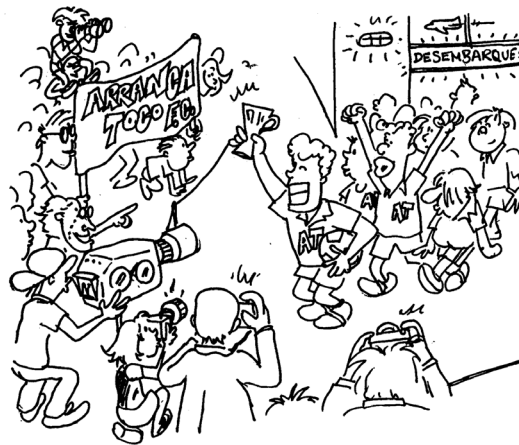
2.3. a) Quais deles poderiam ser colocados no grupo dos receptores de imagens? Por quê?

b) Quais deles seriam fontes de luz?

c) Nessa festinha existe algum ampliador de imagens? Ou algum corretor de visão?

Justifique suas respostas.

2.4. Após uma turnê de cinco jogos nas Ilhas Maurinas, sem nenhuma vitória mas com cinco derrotas, a entusiástica torcida do Arrancatoco F. C. recebe seus heróis no Aeroporto de Cumbuca, em Barulhos, PS. Um estudante adversário, com dor de cotovelo, ficou de longe observando todo o alvoroço e aproveitou para fazer um levantamento de dispositivos ou instrumentos ligados à visão e imagens, presentes ali no aeroporto, para iniciar seu estudo de óptica no colégio.



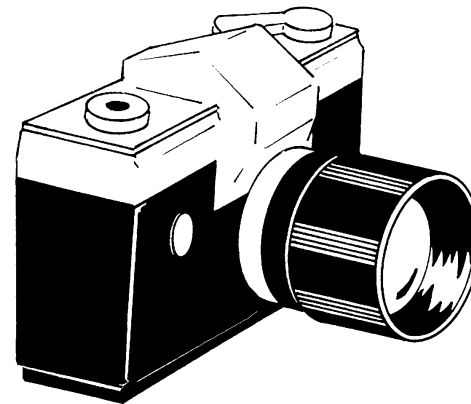
Quais instrumentos ou dispositivos ópticos estão presentes na cena do aeroporto?

— 3 —

Recepção e registro de imagens

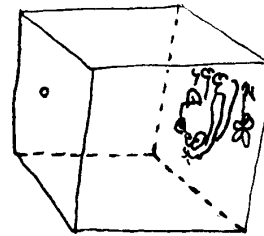
A máquina fotográfica, a
filmadora e o olho
humano: um paralelo entre
eles.

- Você já viu o que tem dentro de uma máquina fotográfica?
- Não.
- Então não perdeu nada... exceto saber que não há muita coisa para ver...



A máquina fotográfica

Em essência, toda máquina fotográfica é uma caixa internamente preta e vazia, provida de um pequeno orifício por onde a luz, transmitida por um objeto, penetra e impressiona um filme fotográfico fixado no lado oposto desse orifício.

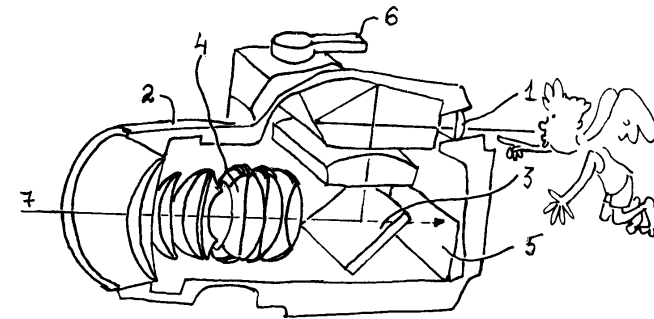


A câmara escura e a imagem do cachorrinho

No século XVI já se sabia projetar uma imagem utilizando uma câmara escura semelhante à da figura acima, mas não se conhecia a maneira de a registrar. Isso ocorreu somente três séculos depois, no ano de 1826, quando o francês Joseph Niepce tirou a primeira fotografia usando uma câmara escura e um material sensível à luz, o **filme fotográfico**.

As câmaras escuras foram sendo aperfeiçoadas, atingindo um grau de sofisticação que muitas vezes chega a esconder a simplicidade da sua função básica: fazer com que a luz, proveniente de um objeto ou da cena que se deseja fotografar, incida sobre o filme, formando nele uma imagem.

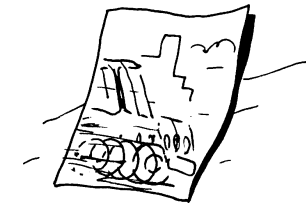
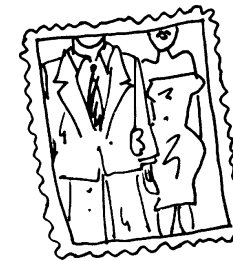
A procura de imagens cada vez mais nítidas sob as mais diversas condições - de luminosidade, distância, tempo de duração do evento ou velocidade do objeto que se deseja fotografar - levou à introdução de uma série de dispositivos na câmara escura, que mereceu ser rebatizada como máquina fotográfica.



A máquina fotográfica e seus dispositivos.

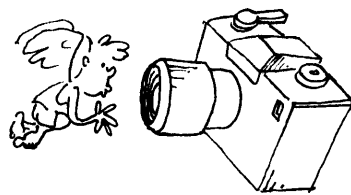
- | | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| 1. visor | 5. filme |
| 2. diafragma | 6. alavanca para deslocar o filme |
| 3. espelho (mono-reflex) | 7. trajetória da luz |
| 4. lentes | |

O *visor* permite o enquadramento da cena que se deseja fotografar. Um mal uso do visor produz fotos "cortadas".



O *diafragma* permite controlar a quantidade de luz que atinge o filme, e o *obturador* tapa a entrada da luz, só se abrindo por instantes quando se tira uma fotografia.

A posição do diafragma e a velocidade com que o obturador abre e fecha controlam a quantidade de luz que entra na máquina. As lentes, avançando ou recuando, focam a imagem no filme.



A máquina fotográfica

As filmadoras de cinema e de vídeo

A fotografia estática evoluiu para o cinema dinâmico que mostra as imagens em movimento. Os filmes cinematográficos nada mais são que uma sucessão de fotos tiradas em seqüência com intervalos de tempo pequenos e regulares, que ao ser projetadas numa tela, na mesma freqüência, reproduz imagens dinâmicas. A filmadora de cinema é, assim, uma máquina fotográfica capaz de tirar fotos em seqüência, mas, já há algum tempo, vem sendo substituída por filmadoras de vídeo, que produzem gravações eletrônicas mais baratas e mais fáceis de reproduzir.

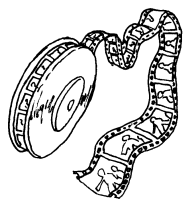
Uma filmadora de cinema



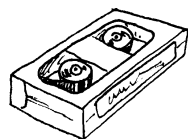
A filmadora de vídeo também é semelhante à máquina fotográfica. A diferença está no registro da cena: enquanto a máquina fotográfica e a filmadora de cinema registram a cena em um filme por um processo fotoquímico, a filmadora de vídeo o faz numa fita magnética, por um processo eletromagnético. A fita magnética é uma tira de plástico recoberta por pequenas partículas de ferro, que podem ser imantadas por campos magnéticos gerados na codificação das imagens.



Uma foto



Um filme de cinema



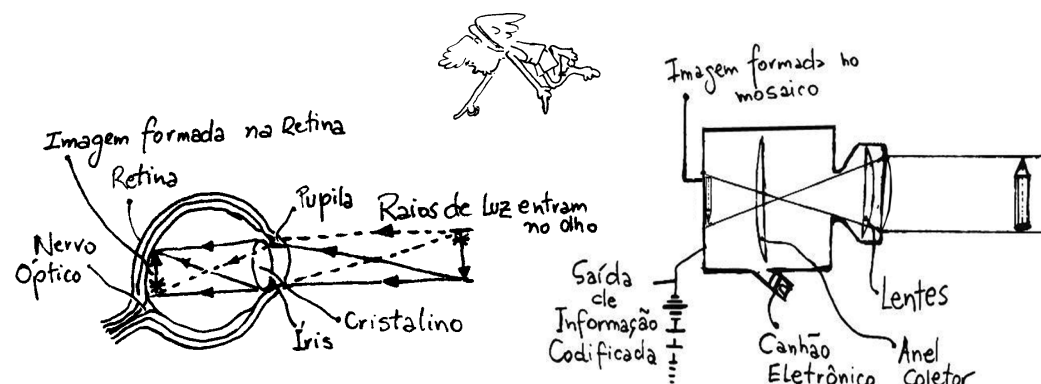
Um filme de vídeo

A filmadora de vídeo pode gravar uma cena, registrando-a numa fita magnética, e também ser acoplada a um circuito de emissão de TV, capaz de enviar para o espaço em forma de ondas eletromagnéticas a imagem codificada.

O olho humano: um paralelo com a filmadora de vídeo e a máquina fotográfica

O olho humano é semelhante, em muitos aspectos, à filmadora de vídeo e à máquina fotográfica. Assim como na filmadora e na máquina, o olho humano também possui três componentes essenciais: um orifício que controla a entrada da luz, uma lente para melhor focar a luz numa imagem nítida e um elemento capaz de fazer o registro dessa imagem.

No olho humano a entrada de luz é comandada por uma membrana muscular, a íris, que abre ou fecha a pupila, um orifício no centro do olho. Atrás da pupila encontra-se o cristalino, uma lente que é capaz de focar objetos próximos ou distantes, pela mudança de sua curvatura, conseguida por músculos que envolvem o cristalino.



Um paralelo entre o olho humano e a filmadora de vídeo

No olho normal, o cristalino focaliza as imagens na retina, uma membrana do tamanho de uma moeda na parte posterior do olho. Suas células têm a capacidade de transformar a luz que recebe em impulsos nervosos. Estes são enviados através dos nervos ópticos até o cérebro, que os interpreta e registra como sensações visuais. Neste ponto a analogia entre o olho humano e a filmadora de vídeo é mais forte: a retina corresponderia à fita magnética, enquanto o cérebro corresponderia ao decodificador de sinais que os enviaria para a tela de TV.

ALGUMAS SITUAÇÕES EM QUE A LUZ DO SOL DEIXA SUA MARCA REGISTRADA

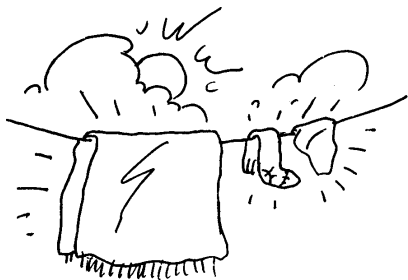
1. As banhistas de praia ficam com a marca do biquíni no corpo. Poderiam fazer uma "antitatuagem", expondo-se ao sol com um adesivo de esparadrapo, por exemplo em forma de estrela, colado à pele.



2. Uma folha de jornal exposta ao sol por algum tempo fica desbotada e amarelada.



3. As roupas que são postas para corar (quarar) ficam mais brancas.



TODOS ESSES EXEMPLOS NOS MOSTRAM QUE OS MATERIAIS DE UM MODO GERAL SÃO SENSÍVEIS À LUZ, UNS MAIS DO QUE OUTROS. NO PROCESSO FOTOGRÁFICO, POR EXEMPLO, É USADO UM MATERIAL ESPECIAL, CHAMADO PAPEL FOTOGRÁFICO, TÃO SENSÍVEL À LUZ QUE PARA MANUSEÁ-LO É NECESSÁRIO UM LOCAL SEM CLARIDADE.

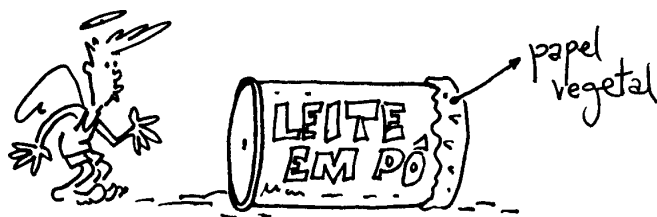
Questões

1. Nas situações apresentadas a luz produz algum tipo de alteração na pele, no papel, no esparadrapo e no tecido. Você poderia explicá-las?
2. Qual a função da retina no olho humano e a que ela corresponde numa filmadora de vídeo?
3. Na filmadora de vídeo a imagem de uma cena é registrada em uma fita magnética. Que outros tipos de registro você conhece que podem também ser feitos numa fita magnética?
4. O normógrafo [aparelho de desenho constituído de várias réguas de plástico, com formas geométricas, letras e números recortados que servem de moldes para reprodução das figuras e tipos] necessita de tinta para demarcação da figura. É possível usar a luz do sol para reproduzir uma de suas figuras? Discuta com seus colegas se isso pode ser feito.
5. Para tirar uma fotografia comum, é necessário um material muito sensível à luz, chamado papel fotográfico. Discuta com seus colegas se é possível tirar uma "foto" com um papel comum. O que seria necessário para isso?

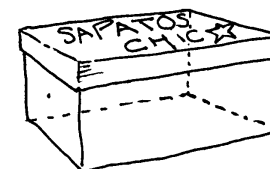
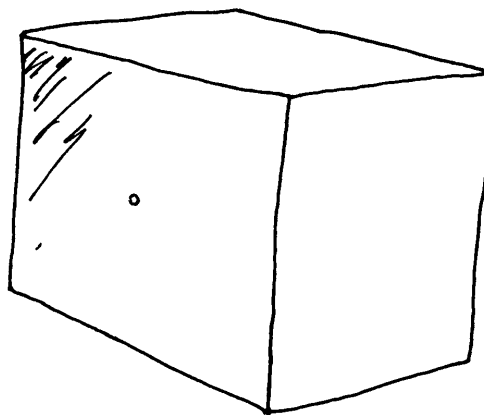
4

A câmara escura

Como a imagem é formada numa câmara escura apenas com um orifício e com lente.



Nesta aula vamos construir uma câmara escura e aprender como a imagem de um objeto é formada.



CONSTRUA SUA CÂMARA ESCURA

De maneira bastante simples você pode construir uma câmara escura e, se desejar, sair por aí tirando fotografias. Para isso você precisará reunir algumas coisas.

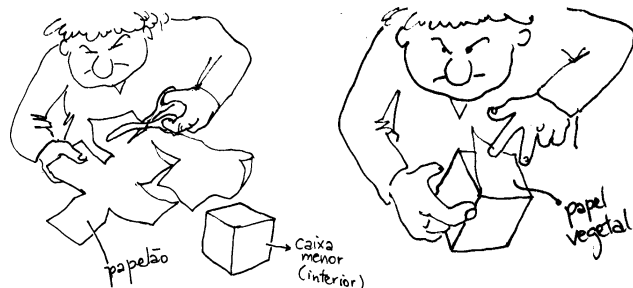
material necessário para fazer a câmara escura

1. papelão de fundo preto de 30 cm x 60 cm
2. fita adesiva preta
3. folha de alumínio de 10 cm x 10 cm
4. papel vegetal de 20 cm x 20 cm
5. tesoura e alfinete
6. cola de papel

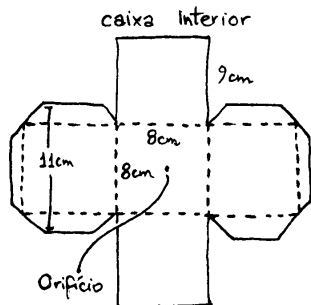
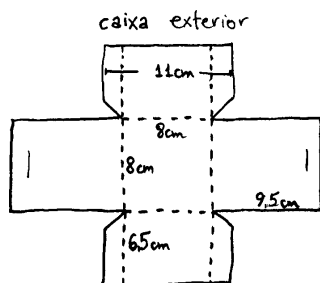
Procedimento

Risque com um lápis, no papelão, o molde de uma caixa retangular, recortando-o em seguida.

Dobre e cole as laterais formando a caixa com a parte preta para dentro, deixando um fundo oco, no qual deve ser colado o papel vegetal, que cobrirá toda a área aberta.



Moldes para construção da câmara escura.



Do lado oposto onde será colado o papel vegetal, faça um furo no papelão com um prego. Fure com um alfinete a tira de alumínio, fixando-a sobre o papelão, e centralize os dois furos, eliminando as possíveis rebarbas.

**COMO USAR A CÂMARA ESCURA?**

Agora que sua câmara escura está pronta, você pode, com algum esforço e boa iluminação de um objeto, observar projetada no papel vegetal a imagem que entra pelo orifício.

Atividades e questões

Apague a luz do seu quarto, feche janelas e portas, deixando-o escuro. Ilumine bem um objeto qualquer com uma lanterna, ou então o seu objeto pode ser uma vela acesa ou uma tela de TV ligada. Aponte a sua câmara escura para o objeto.

- a) Descreva o que você observa.
- b) Existe alguma posição entre a câmara e o objeto que permite uma melhor observação dele?
- c) Aumente o diâmetro do orifício com um preguinho e refaça as observações. Você percebe alguma diferença em relação ao que viu antes?

Agora faremos uma pequena mudança em sua câmara escura: vamos adaptar a ela, no local onde antes era um orifício, um determinado tipo de lente que é capaz de projetar mais nitidamente a imagem dos objetos sobre o papel vegetal.

Como fazer isso? Onde encontro essa lente?

Peça a seu professor uma dessas lentes (denominadas lentes convergentes) ou consiga a de uma lupa, que é a mesma coisa, e construa uma nova caixinha, só que agora ajustando a lente no local onde antes estava o pequeno orifício. Essa nova câmara escura deverá lhe fornecer melhores condições de observar uma determinada imagem, como nas máquinas fotográficas. Vamos ver se isso é mesmo verdade!

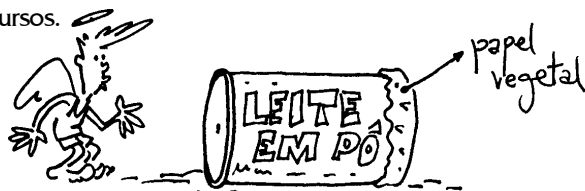
a- Observe, com a nova câmara escura, a chama da vela.

b- Procure focalizar uma cena ou um objeto qualquer. Como aparece a imagem?

c- Aproxime ou afaste a lente do objeto focalizado, procurando uma posição na qual a imagem formada seja a melhor possível.

Alternativa

Você também pode construir uma câmara escura com uma lata de leite em pó ou com uma caixa de sapatos. Faça o furo no fundo da lata ou numa lateral da caixa e coloque o papel vegetal no lugar da tampa ou na lateral oposta. Está pronta uma câmara escura simples, porém com menos recursos.



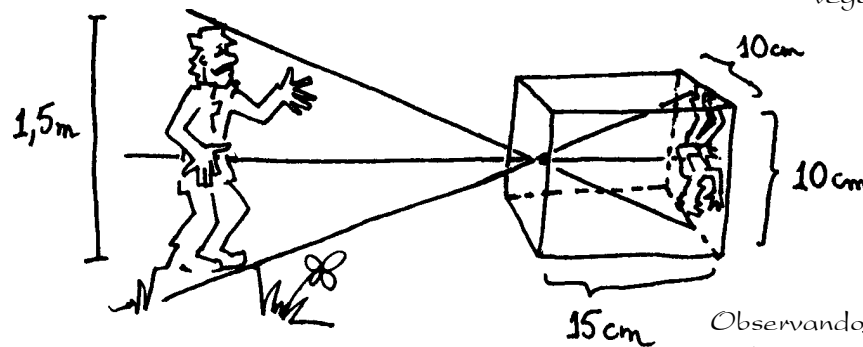
Câmara escura feita de lata

PENSANDO

Você deve ter observado, com os dois tipos de câmara escura, que as imagens dos objetos (ou da chama da vela) aparecem invertidas no papel vegetal. Discuta com o seu colega e procure dar uma explicação para isso.

A luz em linha reta

Podemos compreender como a imagem de um objeto é formada no papel vegetal colocado no interior de uma câmara escura, ou mesmo sobre a nossa retina. Cada ponto do objeto luminoso ou iluminado emite ou reflete a luz em todas as direções e, portanto, também na direção do pequeno orifício. Como pudemos observar, a imagem projetada, nessas condições, aparecerá invertida.



Nesta figura desenhamos algumas linhas unindo pontos do objeto e de sua imagem projetada no papel vegetal no fundo da câmara escura

Ao reproduzirmos a imagem da cena dessa forma, estamos considerando que a luz, emitida de cada ponto da imagem, se propaga em linha reta passando pelo orifício e formando a imagem da cena invertida.

Com esse modelo para propagação da luz, podemos estabelecer relações geométricas envolvendo tamanho da câmara escura, tamanho do objeto e da imagem, distância do objeto a ser fotografado, como no exemplo da questão numérica que se vê à direita:

Questão numérica

A que distância deve ser posicionada uma câmara escura com dimensões de 100 cm^2 (10×10) de área de fundo por 15 cm de comprimento de uma estátua de $1,5 \text{ m}$ de altura, para mostrá-la focalizada de corpo inteiro no papel vegetal?

Observando a geometria da figura acima que corresponde à posição da câmara no momento de "tirar" a foto, podemos determinar a distância D usando semelhança de triângulo.

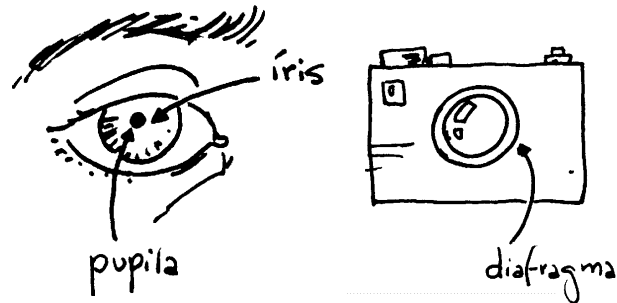
$$D/15 = 150/10 = 225 \text{ cm}$$

ou

$$D = 2,25 \text{ metros}$$

Questões

1. Compare a íris de nosso olho com o diafragma da máquina fotográfica. Nas máquinas automáticas o diafragma alarga ou estreita o orifício, dependendo da luminosidade existente. Nossa íris seria também automática? Como funciona?



2. Veja a íris de seus colegas num ambiente bem claro e depois num bem escuro. O que você percebe?

3. Quais as condições necessárias para vermos nitidamente um objeto?

4. Quais as condições necessárias para tirarmos uma boa fotografia?

5. Compare as respostas das duas questões anteriores.

6. Complete a tabela fazendo as analogias:

		tampa da máquina	
pupila / íris	orifício		
		conjunto de lentes	focalizar a imagem
	papel vegetal		
músculos ciliares			ajustar o foco

7. Quando Clark Kent/Super-Homem quer ver alguma coisa escondida por uma parede, usa seu superpoder da "visão de raios X". Mesmo para um extraterrestre de Krypton isso seria possível?

8. Compare uma máquina fotográfica/fotografia com um aparelho de raios X/chapa dos pulmões.

9. H. G. Wells foi um escritor inglês, pioneiro da ficção científica", que escreveu *O Homem Invisível*. Discuta a possibilidade de esse personagem enxergar.



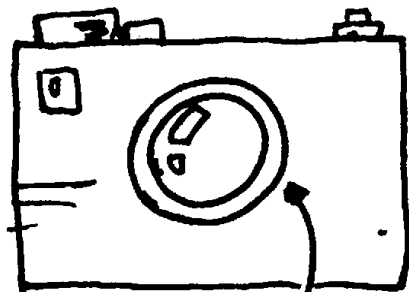
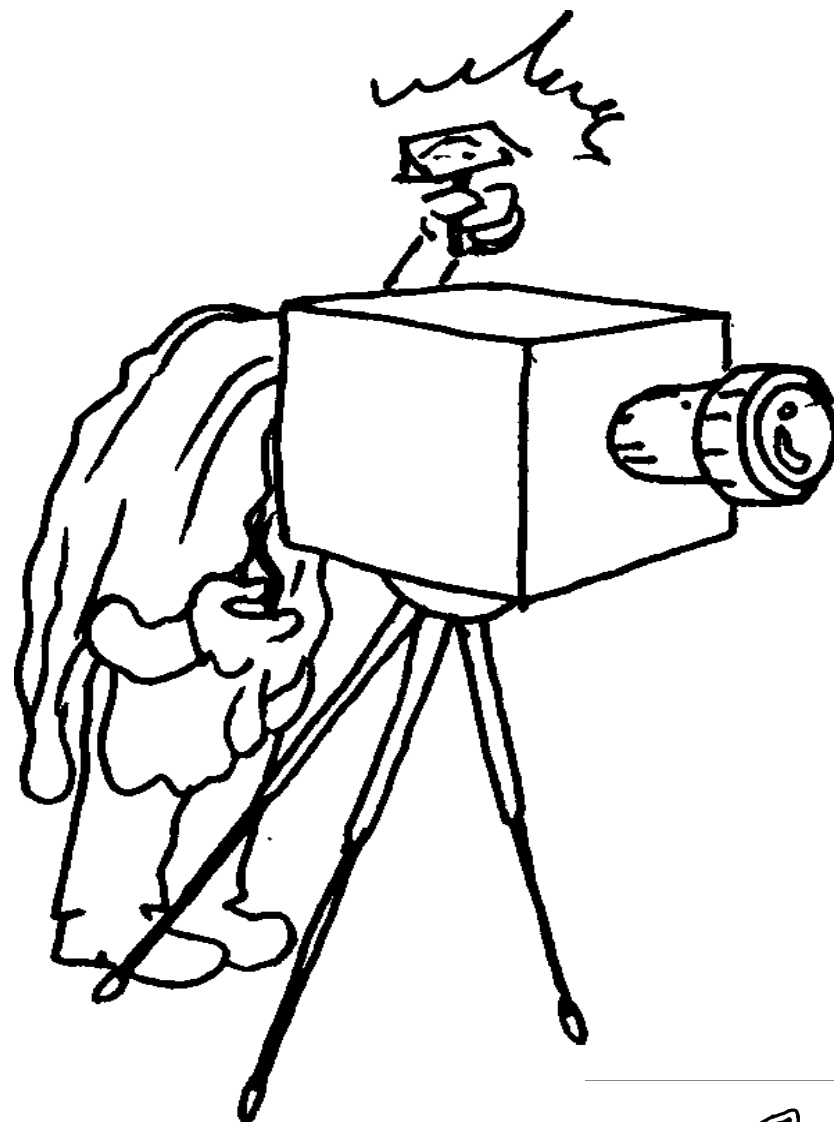
Retrato do Homem Invisível ao natural, na frente de uma parede branca



— 5 —

Foto + grafar

Uma folha sensível à luz
faz da câmara escura
uma máquina fotográfica.



diafragma



Na leitura anterior foi indicado como fazer várias observações com a câmara escura. Nesta, vamos mostrar como uma câmara escura pode ser usada para fazer uma fotografia.

O processo é simples. A imagem, anteriormente projetada no papel vegetal, pode também ser projetada diretamente sobre papel de revelação fotográfica

O que se pode fazer com nossa câmara escura não precisa do filme, indispensável numa máquina fotográfica comum. A diferença é que podemos utilizar papel fotográfico comum, que precisa ser "revelado" depois e funciona como negativo para outro papel fotográfico.

Tirar uma foto, então, não se constitui numa tarefa difícil; precisamos, além de uma câmara escura, de um papel fotográfico e de uma "técnica" para revelar e fixar a imagem fotografada. O papel fotográfico você poderá encontrá-lo na óptica do seu bairro, ou então encomendá-lo a um fotógrafo.

TIRANDO UMA FOTO

Nesta atividade você poderá tirar uma foto usando a câmara escura construída anteriormente. Para isso precisamos tomar alguns cuidados para que a foto saia com alguma qualidade.

1. O papel fotográfico, como não poderia deixar de ser, é muito sensível à luz, por isso, ao colocá-lo na posição do papel vegetal de nossa câmara escura, devemos tomar os seguintes cuidados:

a- Trabalhar num ambiente escuro, que pode ser o seu quarto com portas e janelas fechadas e as frestas vedadas por cobertores escuros.

b- Fixar o papel fotográfico onde estaria antes o papel vegetal com a parte brilhante voltada para o orifício.

c- Ainda no ambiente escuro, tapar o pequeno orifício e usar uma segunda caixa para fechar o fundo da primeira, onde foi colocado o papel fotográfico, vedando-as com fitas adesivas pretas para impedir qualquer claridade.

d- Escolha a cena que deseja fotografar, de preferência algo imóvel e bem iluminado (num dia de bastante sol) e aponte sua câmara para ela.

e- Agora é preciso destapar o orifício e, nas condições acima, deixá-lo aberto por uns quatro minutos. Esse é o tempo de exposição, que pode variar muito, conforme o diâmetro do orifício e as condições de iluminação da cena escolhida (faça alguns testes para definir o melhor tempo).

f- Se em vez de fotografar pelo orifício pequeno, você decidir fotografar com lente, o tempo de exposição, na maioria dos casos, tem de ser menor que um segundo!

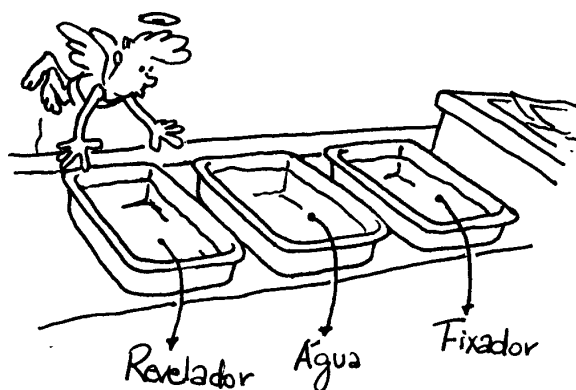
Após esse tempo, feche novamente o orifício de sua câmara.

VOCÊ JÁ TIROU A FOTO, AGORA É NECESSÁRIO FAZER A REVELAÇÃO

REVELANDO E FIXANDO A FOTOGRAFIA

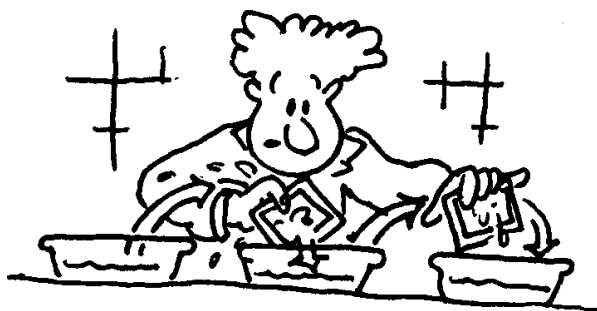
Para fazer a revelação da foto é necessário, primeiramente, de um lugar adequado, iluminado apenas com uma fraca lâmpada vermelha de 15 watts e ainda dispor de água corrente, como a de uma torneira. Se você dispõe de um ambiente assim, o processo de revelação e fixação da foto fica mais fácil.

Basta agora comprar alguns produtos químicos que também são vendidos nas lojas de material fotográfico: o revelador e o fixador de imagens. Outra possibilidade é usar a sala escura e os produtos da mesma óptica onde você conseguiu o papel, se o dono deixar...



Vasilhas com revelador, água e fixador

Retire o papel fotográfico da câmara escura e coloque-o, com a parte brilhante voltada para cima, no interior da vasilha que contém o revelador. O papel fotográfico deve ficar totalmente coberto pelo líquido revelador. Em 2 a 3 minutos irá aparecer uma imagem negativa da cena fotografada.



As fases de revelação, lavagem e fixação da imagem

Assim que a imagem aparecer, o papel fotográfico deverá ser transferido, com uma pinça, para a vasilha com água. Depois de 1 minuto deve-se transferi-lo para a vasilha com o fixador, onde ficará por mais 5 minutos. Em seguida, é preciso lavá-lo bem com água corrente e pendurá-lo para secar. Por fim você obtém o negativo da foto.



O negativo da imagem: os claros e escuros estão invertidos

Para obter o positivo, isto é, a foto reproduzindo a cena, coloque o negativo com a figura para baixo contra a parte brilhante de um outro papel fotográfico. Ilumine o conjunto com uma lanterna caseira por 10 segundos, retire o papel fotográfico e repita todo o processo: revelação, lavagem na vasilha com água, fixação e lavagem em água corrente.



Obtenção do positivo, ou seja, a fotografia da cena

Bravo! Depois de toda essa cansaça você pode sair do seu "laboratório" com a foto na mão. Mas, atenção, ela poderá não estar do seu agrado. Isso pode ter ocorrido por vários motivos, como por exemplo o tempo de exposição do papel fotográfico à luz, o diâmetro do orifício e outros, que certamente serão descobertos se continuar a tirar e revelar suas próprias fotos.

Entretanto o princípio é esse, caberá a você aprimorar os procedimentos nas próximas vezes que for tirar uma fotografia.



A foto final está do seu agrado?

Alguns comentários

O registro de uma cena em um filme ou papel fotográfico está associado ao fato de algumas substâncias serem sensíveis à luz. O filme ou o papel fotográfico são, na realidade, lâminas de celulose recobertas de pequeníssimos grãos de sais de prata, em especial, o brometo de prata (AgBr).

Quando a luz incide sobre o papel fotográfico, sua energia é absorvida pelo grãos do sal, separando a prata metálica de seu parceiro químico, o bromo. Apenas na fase de revelação do filme é que a imagem da cena fotografada pode ser vista e identificada. O revelador, composto basicamente de água e sulfito de sódio (Na_2SO_2) provoca, no filme, a mesma reação que a luz.

Onde já houve formação de prata metálica, a reação com o revelador se processa muito mais rapidamente, produzindo maior quantidade de prata metálica por oxirredução do brometo de prata.

Por isso é importante controlar o tempo de contato do filme com o revelador, pois quanto maior o tempo de reação, mais prata metálica será formada e mais negra ficará a região do filme revelado.

A imagem da cena ou do objeto no filme é denominada negativo, uma vez que regiões bem iluminadas da cena produzirão regiões mais escuras no filme já revelado.

É claro que nos pontos do filme onde não há incidência de luz esses fenômenos não ocorrem, e por isso não há formação de prata metálica.

A sensibilidade dos filmes está associada ao tamanho dos grânulos de sais de prata: quanto menores, menos sensíveis à luz. Por isso, os filmes mais sensíveis, usados nos registros de cenas com pouca luz, contêm grânulos maiores, embora isso possa influir na qualidade da foto, na perda de seus detalhes.

Algumas questões para você pensar.

Antes da invenção da máquina fotográfica, muitos acontecimentos historicamente importantes deixaram de ser registrados, visualmente, porque tais registros dependiam da presença de um artista capaz de pintar com alguma fidelidade um quadro que representasse aquele momento da história. Os quadros, além disso, carregam a imaginação, a visão e a interpretação do pintor, raramente presente no local do ocorrido e nem sempre contemporâneo dos acontecimentos. A pintura é uma obra de arte que reflete a sensibilidade e a inspiração do pintor. A foto, embora possa ser motivo de interpretação de quem a vê e mesmo da sensibilidade do fotógrafo, reproduz a cena mostrando mais fielmente a imagem do ocorrido.

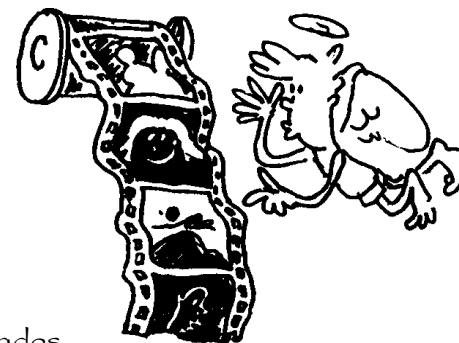
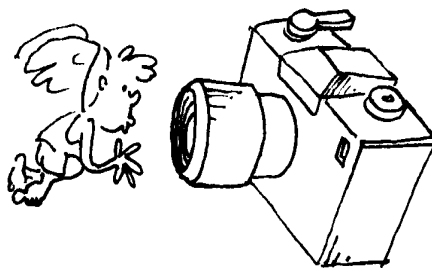
ALGUMAS QUESTÕES PARA SUA REFLEXÃO

1. Por que os quadros dos tempos passados retratavam especialmente os nobres e poderosos?
2. Mito ou realidade? Discuta como o famoso sudário, um pano que teria sido colocado sobre Cristo e ficado com a marca de suor (daí sudário) e sangue, se antecipa à fotografia?
3. Que setores da atividade humana mais se desenvolveram (ou se aproveitaram) com a invenção da fotografia?
4. Que mudanças puderam ser incorporadas aos hábitos das pessoas devido à invenção da máquina fotográfica?
5. Explique a diferença entre o filme negativo e o filme de *slide*, comparando com a de uma foto negativo, realizado nesta lição, com a foto positiva normal.

6

Acertando câmara e filme

Compreender a
necessidade de outros
elementos numa
máquina fotográfica
moderna.



"No futuro, não serão considerados analfabetos apenas aqueles que não souberem ler, mas também quem não entender o funcionamento de uma máquina fotográfica"

Frase de um fotógrafo húngaro em
1936



TURMA DA MÔNICA/Mauricio de Souza

Os recursos de uma máquina fotográfica

Na aula anterior usamos uma câmara escura como uma máquina fotográfica e, com alguma dificuldade, até tiramos uma fotografia. Para isso foi necessário tomar certos cuidados que são dispensáveis quando batemos uma foto com uma máquina de verdade. Esses cuidados foram principalmente no momento de colocar o papel fotográfico no interior da câmara escura e no tempo que ele ficou exposto à luz, ou seja, o tempo que deixamos o orifício aberto.

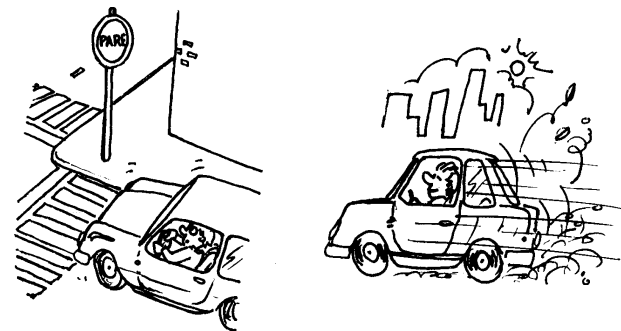
O QUE FOI NECESSÁRIO ACRESCENTAR ÀS CÂMARAS ESCURAS PARA SUPERAÇÃO DESSES PROBLEMAS?

É claro que o rolo de filme já está protegido da luz e por isso pode ser colocado no interior da máquina fotográfica sem a necessidade de um ambiente escuro.

Tais filmes possuem graus de sensibilidade diferentes em relação à luz e por isso precisam ser usados adequadamente para tirar uma boa fotografia. Os filmes que são muito sensíveis à luz necessitam de um pequeno tempo de exposição para impressioná-los e produzir uma boa foto. Já os filmes pouco sensíveis à luz necessitam de mais tempo de exposição à luz para uma foto com alguma qualidade.

Além disso, devemos considerar que tipo de foto pretendemos tirar: a foto de um atleta correndo, por exemplo, requer um tempo de exposição menor que o de uma pessoa parada ou andando devagar. O intervalo de tempo precisa ser menor para "congelar" a imagem, ou seja, parar o movimento, caso contrário a foto do atleta sai borrada. Nesse caso podem ser feitas duas coisas: usar, para a foto do atleta em movimento, um filme mais sensível ou um orifício maior para entrar mais luz!

Por isso as máquinas fotográficas dispõem de dispositivos que regulam o tempo de abertura, comandado pelo clique do obturador ao batermos a foto, e, também, de um diafragma, cujo diâmetro pode ser ajustado para entrar mais ou menos luz. Como é impossível fabricar um filme que seja ideal em qualquer situação, sua escolha, juntamente com os ajustes do tempo de exposição e da abertura do diafragma, devem ser feitos com algum cuidado para tirar uma foto de boa qualidade.



Que tipo de filme e ajustes você escolheria para tirar fotos das cenas acima?

A sensibilidade dos filmes fotográficos, ou a sua velocidade, é normalmente divulgada em dois sistemas: o sistema ASA (American Standards Association) e o sistema DIN (Deutsche Industrie Norm). Por exemplo, um filme de 200 ASA é duas vezes mais sensível ou mais rápido do que um de 100 ASA.

A tabela mostra uma relação entre esses dois principais sistemas em uso atualmente.

ASA	16	25	50	64	125	200	400	800	1600
DIN	13	15	18	19	22	24	27	30	33

Os filmes preto-e-branco com sensibilidade superior a 250 ASA (25 DIN) são considerados rápidos, e os de sensibilidade inferior a 64 ASA (19 DIN) são considerados filmes lentos.

O VISOR MÁGICO

"A máquina fotográfica é um espelho dotado de memória, porém incapaz de pensar"

Anold Newman

O controle da abertura: a íris e o diafragma

É comum, ao sairmos de um lugar muito escuro para a claridade, sentirmos um certo desconforto, por alguns segundos, até nos acostumarmos com o novo ambiente. Em outras situações, entretanto, nossos olhos acostumam-se muito rapidamente com as mudanças na intensidade luminosa que chega até ele.

A íris exerce um controle "automático" sobre a luz da imagem que impressiona a retina, abrindo-se e fechando-se. Da mesma forma, para o registro de uma boa imagem num filme fotográfico, também é necessário controlar a quantidade de luz que o impressiona. Isto é feito pelo diafragma, um mecanismo que permite passar mais ou menos luz, abrindo ou fechando seu orifício, denominado de abertura.

A gradação dessa abertura é representada por uma seqüência padrão denominada de "números-f". O mais alto deles indica a abertura mínima que corresponde a uma área mínima por onde passará a luz. A seqüência padrão vem impressa em um anel acoplado à objetiva da máquina fotográfica. Ao girarmos esse anel, em um ou outro sentido, o diâmetro da abertura aumenta ou diminui, permitindo o controle da entrada da luz. A área de abertura de um número-f é duas vezes maior do que a área correspondente ao número-f seguinte, e por isso a área maior permitirá a passagem do dobro da luz.

Seqüência padrão de números-f

1.2, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22

Exemplo: a área de abertura correspondente ao número-f 8 é o dobro daquela correspondente ao número-f 11.

FUGICOLLOR SUPER G PLUS 100

1/250sec.

f/16	f/11	f/8	f/5.6	f/4

Escala de controle do tempo de exposição do filme em segundo

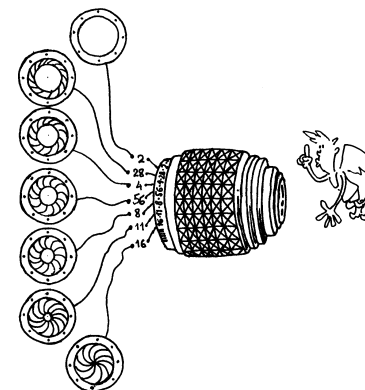
B, 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/15, 1/30, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1000

Na maioria das máquinas fotográficas que contêm essas informações é comum virem impressos apenas os denominadores das frações de segundo. Por exemplo, a inscrição 8 significa 0,125 segundo; 1000 significa um milésimo de segundo, e assim por diante.

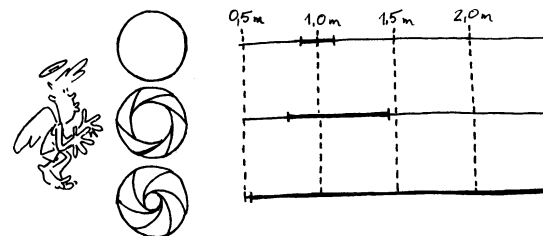
Exemplo: se usarmos filmes de mesma sensibilidade, uma exposição com tempo de 1/60 segundo com abertura do diafragma correspondente ao número-f 8 é equivalente a uma exposição de 1/30 segundo com diafragma no número-f 11. Isso significa que nos dois casos os filmes foram expostos à mesma quantidade de luz. Na exposição com menor tempo usou-se uma abertura maior.

Outras funções do diafragma

Além de permitir o controle da quantidade de luz que sensibiliza o filme fotográfico, o diafragma permite imagens suficientemente nítidas de pontos situados em planos diferentes, anteriores e posteriores ao plano de focalização. Ao diminuirmos a sua abertura aumentamos o número de planos que podem ser focalizados com nitidez. Em termos técnicos isto significa aumentar a profundidade de campo.



A abertura do diafragma diminui de cima para baixo

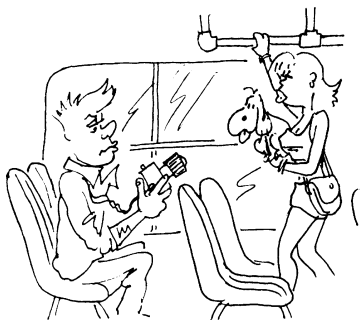


profundidade da região de nitidez em metros

Abertura do diafragma indicando para cada posição a região de nitidez

QUESTÕES

1. O diafragma e o obturador são dois importantes mecanismos presentes nas máquinas fotográficas. Discuta a função que cada um deles desempenha ao se tirar uma foto.



2. Um fotógrafo amador se acomoda num dos bancos de um ônibus que liga a estação Santana do metrô com a Zona Norte de São Paulo. De repente uma mulher com um lindo cachorrinho lhe chama a atenção no interior do ônibus e ele, com seu faro artístico aguçado, resolve gravar essa imagem, porém percebe que sua máquina, razoavelmente moderna, está sem flash. Como o nosso fotógrafo procedeu para resolver o seu problema?

3. Um fotógrafo usando um filme de 200 ASA pretende tirar duas fotos com o diafragma posicionado em duas regulagens diferentes: uma com o número-f 2,8 e a outra com o número-f 5,6. Discuta qual o tipo de ajuste que deve ser feito para que as duas fotos tenham a mesma qualidade.

4. Uma geóloga, para fotografar uma rocha fracamente iluminada no interior de uma mina, ajustou sua máquina no número-f 2 com um tempo de exposição de 2 segundos. O resultado foi uma foto com a imagem nítida da rocha, porém muito clara.

a- Explique por que a foto saiu desse modo.

b- O que a geóloga deveria fazer para corrigir esse defeito numa outra foto dessa rocha nas mesmas



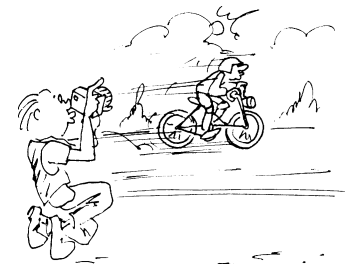
Resolução:

a) O número-f 2 representa uma grande abertura do diafragma, o que permite muita entrada de luz; além disso, o tempo de exposição longo (2s) também contribuiu para a excessiva luminosidade da cena, e por isso a foto ficou muito clara.

b) Para obter uma luminosidade menor na foto, a geóloga poderá diminuir o tempo de exposição, mantendo a mesma abertura do diafragma, ou então diminuir a abertura do diafragma, mantendo o tempo de exposição.

5. Josef Monarck, um grande admirador de bicicleta vê, deslumbrado, Ezequias Caloi deslizar, suavemente, sobre seu mais querido biciclo pelas vielas do parque. Pela cabeça lhe passa a criativa idéia de registrar essa cena inesquecível. Sua máquina fotográfica está equipada com um filme cujas indicações do fabricante são: número-f 8 para abertura do diafragma e 1/125s para o tempo de exposição. Esses ajustes, entretanto, são indicados para tirar uma foto de um objeto parado em dia nublado.

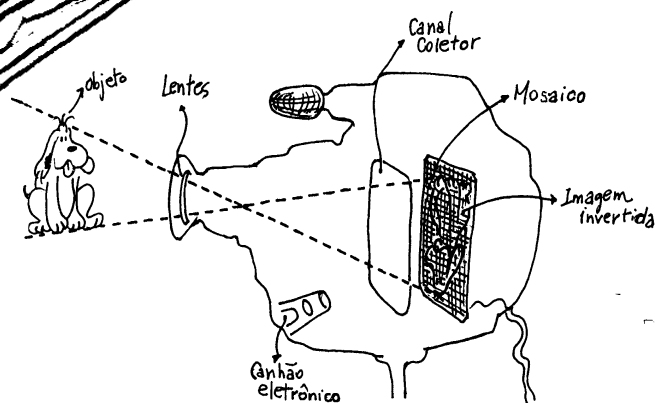
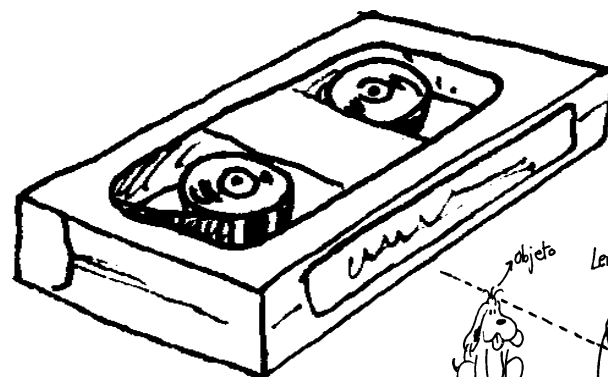
Como Josef Monarck deve ajustar a abertura do diafragma se com as indicações anteriores a foto do biciclo sairá um pouco borrada, e para congelar o seu movimento o tempo de exposição é de 1/500s?



7

A videogravação ou câmera de TV

O registro magnético
de sons e imagens.



Hoje em dia é muito comum encontrarmos, em festinhas de aniversário, casamentos, eventos esportivos, carnaval etc., além dos tradicionais fotógrafos com suas máquinas fotográficas, também os *camera-men* com suas filmadoras de vídeo. Com a máquina fotográfica podemos obter a imagem da cena estática diretamente sobre uma fita de celulose.

Com a filmadora de vídeo obtemos uma fita magnética que, ao ser colocada num aparelho de videocassete, reproduz na tela da TV as cenas em movimento. Será que essas duas formas de registro das cenas é a única diferença entre elas?

A resposta é não!

No filme fotográfico a imagem é registrada por um processo químico: a luz, proveniente da cena que se quer fotografar, provoca uma reação química nos haletos de prata do filme fotográfico. Durante o processo de revelação do filme, nos locais onde houve incidência da luz surgirão nuances de claro e escuro, sendo a imagem da cena, em negativo, construída diretamente no filme.

Na filmadora de vídeo, a luz proveniente da cena filmada é projetada sobre grânulos de césio, material fotossensível que constitui o mosaico receptor de imagem. Essa luz é transformada em impulsos eletromagnéticos que irão codificar uma fita magnética.

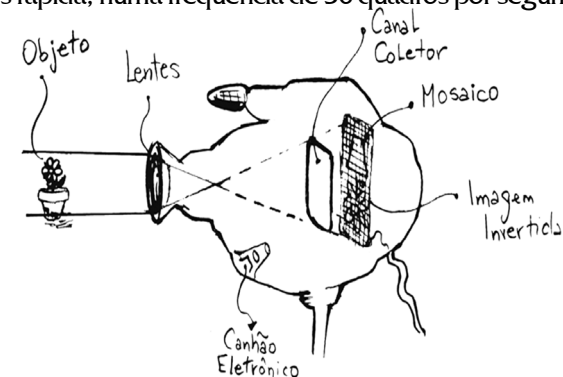
Diferentemente da fotografia, na fita magnética não é registrada a imagem da cena, mas apenas sinais magnéticos que serão posteriormente decodificados e transformados novamente em imagem, na tela da TV.

Como é uma filmadora de vídeo?

Uma filmadora de vídeo, ou uma câmara de TV, é, em alguns aspectos, semelhante a uma máquina fotográfica: ambas possuem objetivas com lentes para projetar a imagem da cena escolhida sobre o filme fotográfico ou sobre o mosaico.

Na máquina fotográfica a luz se transforma em negativo da imagem, que é registrada no filme. Na filmadora de vídeo a luz se transforma em impulsos eletromagnéticos que podem ser modulados e enviados ao espaço como uma onda eletromagnética ou então ser registrados e guardados numa fita magnética.

Para proporcionar esse tipo de transformação, uma filmadora de vídeo, além da objetiva e da lente, dispõe de um canhão que projeta elétrons contra o mosaico, fazendo uma varredura de todo o quadro, linha por linha, como faz nossos olhos na leitura desta página, só que muito mais rápida, numa frequência de 30 quadros por segundo.



Um esquema mostrando as partes de uma filmadora

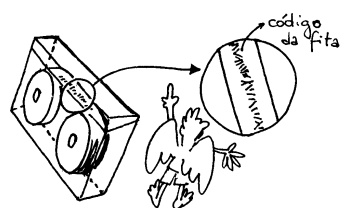
Como a luz se transforma em impulsos eletromagnéticos numa filmadora de vídeo?

A idéia de que o canhão de elétrons da filmadora de vídeo faz a varredura da cena projetada no mosaico, linha por linha, como se estivesse "lendo um livro", permite responder a esta pergunta.

Os grânulos de césio, ao ser atingidos pela luz, sofrem uma separação de cargas com os elétrons, desligando-se dos seus átomos. A quantidade de elétrons que se separam dos grânulos de césio é tanto maior quanto maior for a incidência de luz sobre eles. Como resultado dessa separação de cargas elétricas, mais átomos se eletrizam positivamente, por perderem seus elétrons.

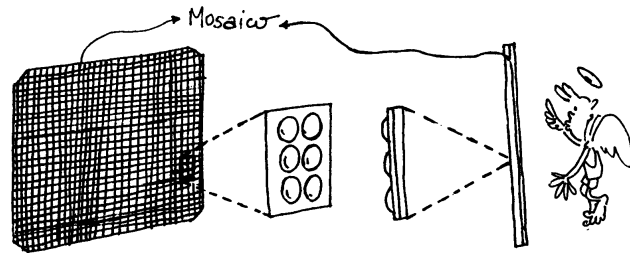


Filme fotográfico e o registro da imagem e do som



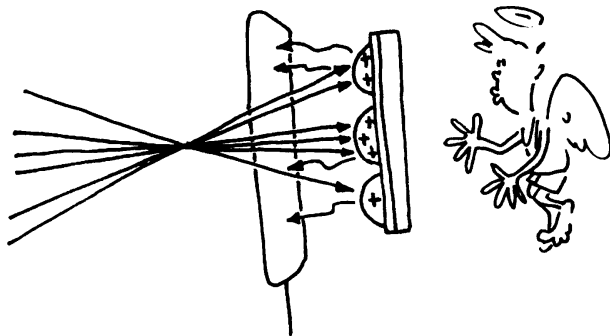
Fita magnética com sinais magnéticos codificados

Quando a imagem da cena é projetada sobre o mosaico, nele aparecem regiões com diferentes luminosidades que correspondem às partes da cena com maior ou menor incidência de luz.



Visão frontal e lateral do mosaico

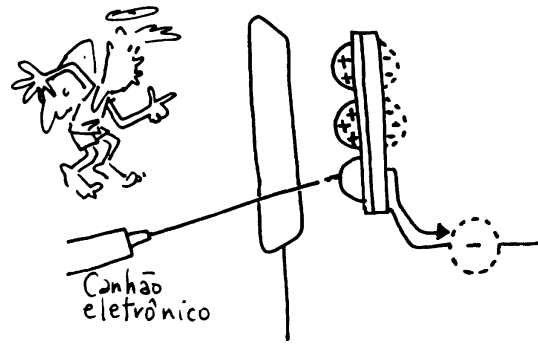
As regiões mais claras da imagem se apresentam eletrizadas com maior quantidade de carga positiva que as regiões mais escuras. A diferença de luminosidade entre o claro e o escuro corresponde à "imagem eletrostática" constituída de cargas positivas, da cena que estamos filmando.



Esquema representando a luz que incide sobre o mosaico de césio, que libera elétrons que são atraídos pelo anel coletor

A "imagem eletrostática" da cena filmada é descarregada pelo canhão que fornece os elétrons para fazer a varredura de todo o mosaico. Essa descarga se constitui numa corrente elétrica de intensidade variável, já que ela depende da carga elétrica de cada grânulo de césio, ou, em outras palavras, da sua luminosidade.

Nas regiões onde há muita luz a corrente de descarga é alta, e nas regiões mais escuras a corrente é menor. Portanto, as informações sobre as diferentes tonalidades de claro-escuro da cena são carregadas pela corrente elétrica variável produzida durante essa descarga. Tais informações podem ser enviadas ao espaço, como no caso de uma emissora de TV, ou então simplesmente registradas em uma fita magnética, para serem depois reproduzidas na tela da TV.



Representação do processo de descarga dos grânulos de césio

O processo pode ser comparado com a leitura de um livro. Podemos fazer a leitura em voz alta, para outras pessoas ouvirem ou gravarem numa fita magnética. Lemos o livro linha por linha, transformando as informações que estão no plano da página em um código linear como a voz.

Da mesma forma, a imagem da cena projetada no plano do mosaico também é "lida" linha por linha pelo canhão eletrônico da filmadora, transformando as informações visuais, contidas no plano da figura, em um outro código linear, que é a corrente elétrica.

Por enquanto fizemos a descrição fenomenológica da interação da luz, proveniente da cena filmada, com os grânulos de césio. Nas aulas de Eletromagnetismo mostraremos com mais detalhes como uma corrente elétrica pode transmitir informações sobre imagens e sons ou registrá-los numa fita magnética,

Atividade

O REGISTRO DE UMA IMAGEM ATRAVÉS DE NÚMEROS

Para realizar esta atividade é necessário dispor de duas tabelas iguais de aproximadamente 40 linhas por 40 colunas.

Numa dessas tabelas estão representados os traços de um cachorrinho nos quadradinhos claros e escuros.

Na outra existe apenas o quadriculado resultante do cruzamento das linhas com as colunas.

Cada quadradinho será representado por um par de números, onde o primeiro pertence às linhas e o segundo às colunas.

A idéia é mostrar que é possível você "ditar por números" a imagem de uma figura ou uma cena qualquer.

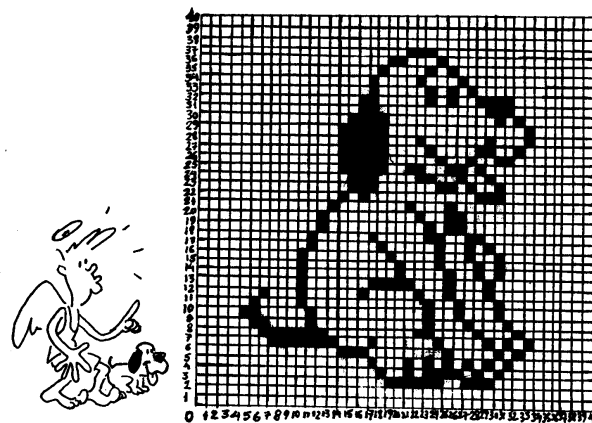
Fique com sua tabela e dite para seu colega os pares de números que correspondem à seqüência de claros e escuros.

Por exemplo, os pares (6, 9), (6, 10), (6, 11) são escuros, e todos os demais pares com a mesma abscissa 6 são claros.

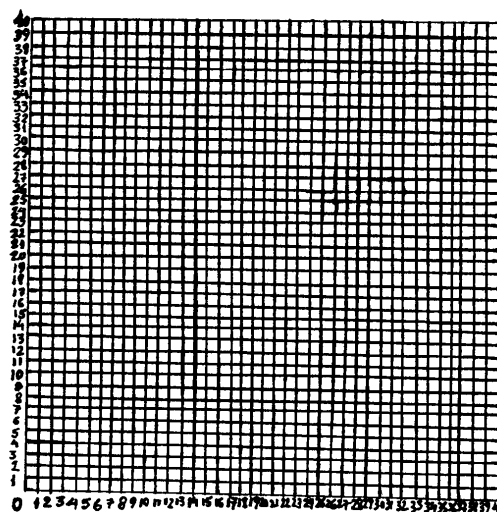
Os três pares escuros acima representam, nesse caso, detalhes do rabo do cachorrinho.

Siga informando ao colega todos os demais pares escuros e claros para que ele escureça ou não os quadriculados.

No final desse "ditado de pares de números", a imagem do cachorrinho estará construída na outra tabela.



Quadriculado com desenho do cachorrinho



RECREAÇÃO

Use o quadriculado vazio e escureça com lápis preto os quadradinhos

(4, 2), (4, 3), (4, 4), (4, 5),
(4, 6), (5, 2), (5, 6), (6, 2),
(6, 6), (7, 2), (7, 3), (7, 4),
(7, 5), (7, 6), (9, 2), (9, 3),
(9, 4), (9, 5), (9, 6) e (9, 8).

Deixe todos os demais sem pintar.

"Faça com paciência que terá sua recompensa"



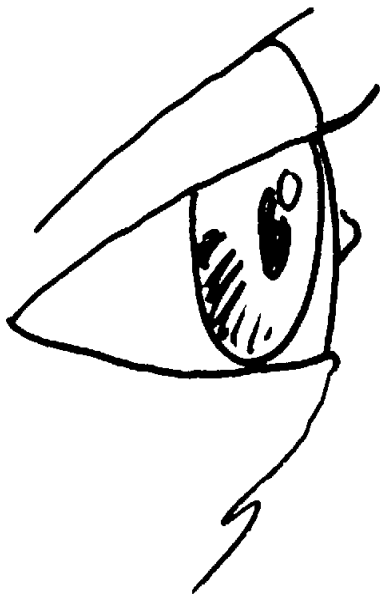
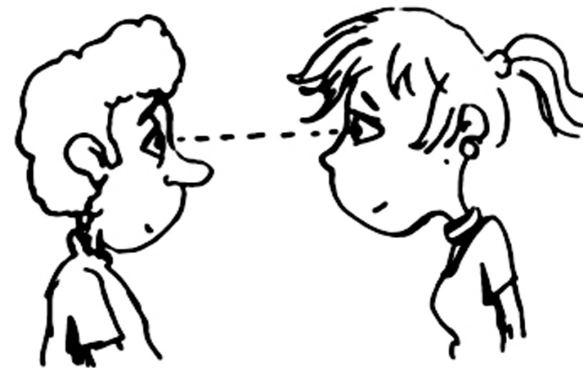
Quadriculado sem desenho

Construa você novas tabelas e novos desenhos, estranhos se possível, e procure passá-los aos colegas sem que eles saibam que figura está sendo ditada. Imagine também uma forma de "ditar" desenhos coloridos. Experimente.

8

De olho no olho

Nossa primeira câmara, mesmo tão antiga, ainda não foi superada... O caminho da luz: da pupila ao cérebro.

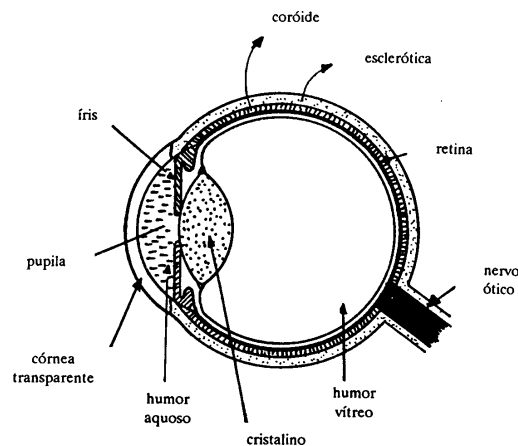


O ser humano dispõe e utiliza, em seu convívio pelo mundo, de cinco sentidos: o paladar, o olfato, o tato, a audição e a visão. Entretanto é através da visão que a maior parte das informações chegam até o cérebro. Nele as informações visuais são processadas, interpretadas e memorizadas como as imagens daquilo que os olhos vêem. Todo esse processo pode ser compreendido com base no estudo da máquina fotográfica e da filmadora de vídeo, que possuem alguns elementos muito semelhantes aos do olho humano.

Por isso vamos descrever um pouco melhor o olho humano, tanto no aspecto de sua biologia, apresentando os elementos que o compõem, como um sistema de percepção e interpretação das coisas,

Olhando o olho

O olho humano é um órgão aproximadamente esférico, com diâmetro em torno de 25 mm, equivalente ao sistema óptico da filmadora de vídeo ou da máquina fotográfica, constituído basicamente por: um sistema de lentes, cuja função é desviar e focalizar a luz que nele incide - a córnea e o cristalino; um sistema de diafragma variável, que controla automaticamente a quantidade de luz que entra no olho - a íris (cujo orifício central é denominado pupila); um anteparo fotossensível - a retina.



Representação de alguns detalhes do olho humano

Além desses, o olho possui outros componentes que o caracterizam como uma câmara escura: a esclerótica e a coróide. Os outros componentes do olho humano têm a função de fornecer nutrientes e manter a pressão interna do olho: o humor aquoso e o humor vítreo.

Caminho da luz no olho humano

A córnea, uma membrana curva e transparente com espessura de aproximadamente 0,5 mm, é o primeiro meio transparente encontrado pela luz. A luz que atinge obliquamente a superfície da córnea sofre um desvio, que é responsável por 2/3 de sua focalização na retina.

A esclerótica é o envoltório fibroso, resistente e opaco mais externo do olho, comumente denominado "branco do olho". Na frente, a esclerótica torna-se transparente, permitindo a entrada de luz no olho (córnea). Internamente, em relação à esclerótica, o olho apresenta uma camada pigmentada denominada coróide.

A coróide é uma camada rica em vasos sanguíneos e células pigmentares, e tem a função de absorver a luz, evitando reflexões que possam prejudicar a qualidade da imagem projetada na retina.

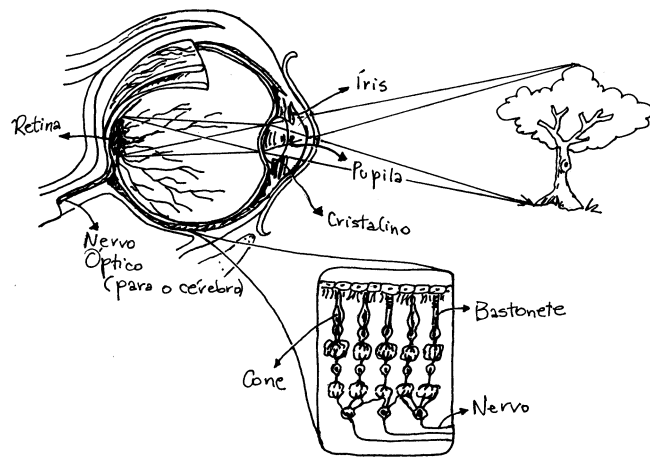
A íris é uma camada também pigmentada, sendo suficientemente opaca para funcionar como diafragma. Sua principal função é limitar a quantidade de luz que atinge a parte central do cristalino, devendo atuar também na focalização dos objetos próximos. A íris é formada principalmente por músculos circulares e radiais, que ao ser estimulados provocam a diminuição ou o aumento de sua abertura - a pupila -, cujo diâmetro pode variar de 1,5 mm a 8,0 mm. Seu funcionamento, porém, não é instantâneo, pois leva cerca de 5 segundos para se fechar ao máximo e em torno de 300 segundos para se abrir totalmente.

Após ter sido controlada pela íris, a luz atinge o cristalino, que, do mesmo modo que a córnea, atua como lente convergente, produzindo praticamente o terço restante do desvio responsável pela focalização na retina.

Entretanto a importância maior do cristalino não está em desviar a luz, mas sim em acomodar-se para focalizar a luz na região da retina mais sensível à luz. Em sua trajetória no olho, após atravessar o cristalino, a luz passa pelo humor vítreo, uma substância clara e gelatinosa que preenche todo o espaço entre o cristalino e a retina.

Finalmente, após atravessar os meios transparentes do olho, a luz atinge a retina, uma "tela" sobre a qual deverá se formar a imagem, que, decodificada pelo sistema nervoso, permitirá a visão das coisas. É uma camada fina, com espessura de aproximadamente 0,5 mm, rosada, constituída de fibras e células nervosas interligadas, além de dois tipos especiais de célula que são sensíveis à luz: os cones e os bastonetes, cujos nomes estão relacionados à forma que apresentam.

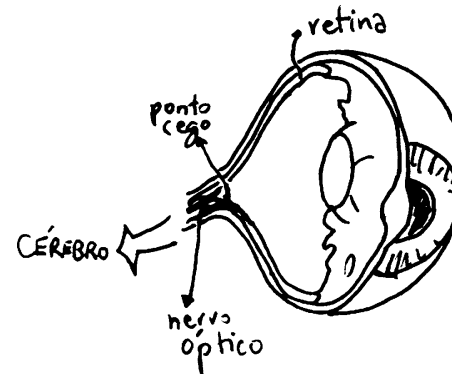
Os cones e os bastonetes são células fotossensíveis responsáveis pela conversão da luz em impulsos elétricos, que são transmitidos ao cérebro. A energia da luz é responsável pela ação química e elétrica que se desencadeia nas células fotossensíveis; os detalhes dessa ação ainda são controversos, especialmente em nível fisiológico.



Os cones e os bastonetes

A percepção das cores pelo olho humano está relacionada com a absorção da luz pelos cones, que se encontram na retina. Existem, aproximadamente, 7 milhões deles espalhados pela retina de cada olho. Acredita-se que a capacidade de discriminação de cores pelo olho esteja relacionada com diferentes elementos fotossensíveis contidos nos cones. Esses elementos seriam de três tipos, sendo cada um deles sensível a uma determinada faixa de energia, que corresponde, majoritariamente, ou ao azul, ou ao verde, ou ao vermelho. A visão das outras cores é explicada pela estimulação simultânea e em graus distintos desses elementos fotossensíveis.

Já os bastonetes funcionam com pouca luz e percebem os tons em cinza. A retina de cada olho contém cerca de 125 milhões de bastonetes distribuídos entre os milhões de cones. A sensibilidade dos bastonetes em relação à luz é cerca de 100 vezes maior que a dos cones, mas estes reagem à claridade quatro vezes mais rápidos que aqueles.



A retina, o ponto cego, o nervo óptico e o cérebro

Portanto a luz que chega à retina estimula cones e bastonetes a gerar impulsos elétricos. Os cones funcionam bem na claridade e são responsáveis pelos detalhes e cores observados numa cena, enquanto os bastonetes são os responsáveis pela nossa visão quando o ambiente é mal iluminado.

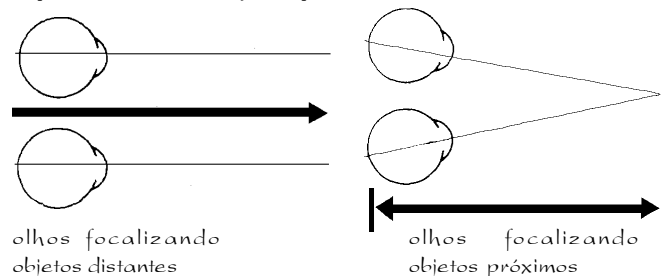
Esses sinais são transmitidos, através do nervo óptico, até o cérebro, que os interpreta como imagens do que os olhos vêem.

A ilusão de óptica

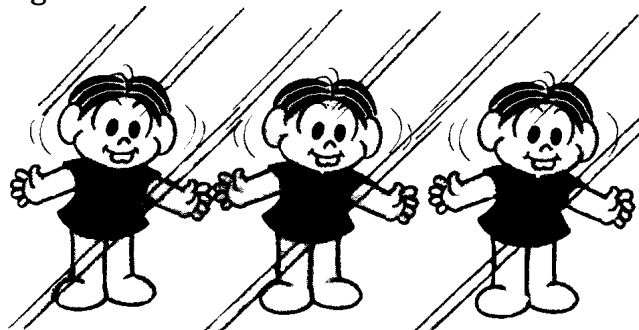
Se as imagens que se formam em nossa retina são planas, como percebemos o volume dos objetos?

Uma das razões é devida à iluminação nas diferentes partes do objeto, que nos dá a idéia de sua forma. Outra é por termos visão estereoscópica, ou seja, os dois olhos, no mesmo lado da face, olhando para a mesma paisagem. Nas aves e répteis, por exemplo, cada olho enxerga uma paisagem diferente.

Quando o objeto se encontra muito longe, perdemos a noção de profundidade. Temos dificuldade de perceber se um balão ao longe vai cair na frente ou atrás de um prédio ou de uma árvore. Já para um objeto próximo, um olho vê com uma pequena diferença em relação à direção do outro olho. Isso nos permite ver em terceira dimensão, em profundidade. Experimente olhar alternadamente com um olho e depois com o outro. Você perceberá que, especialmente os objetos próximos darão "um salto".



Algumas imagens planas, chamadas estereogramas, são vistas em profundidade se você conseguir olhar para elas como se estivessem distantes; se você conseguir "desfocar", a Mônica, ela aparecerá dentro do espelho, em quatro imagens em vez de três.



Mônica, O Espelho Dimensional - 3D virtual by Mauricio 1994

Além disso há o que é chamado *olho dominante*. Experimente colocar seu polegar na frente de um objeto. Agora feche um olho e depois o outro. O polegar só encobrirá o objeto quando o olho dominante estiver aberto.

Um caso muito comum de ilusão de óptica é acharmos que a Lua e o Sol quando estão no horizonte são maiores do que no meio do céu. Uma das razões para isso é a possibilidade de compararmos seu tamanho com outras coisas à sua volta. Ao lado, a esfera na mão parece menor que a isolada. E no balão ela aparenta ser maior.

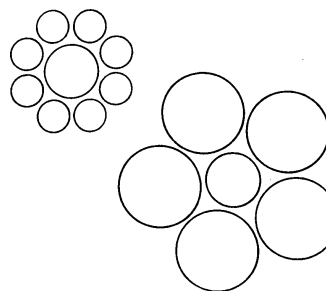
Observe o círculo

do meio nas duas

figuras ao lado.

Qual deles é maior?

Confira com a régua...



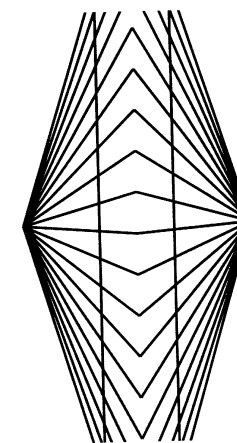
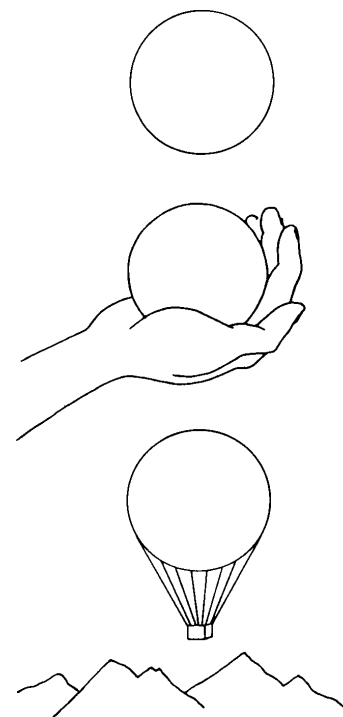
A ilusão de óptica está associada ao nosso "aprender a ver". Os bebês vão se acostumando a ouvir a voz, sentir o cheiro e o calor de sua mãe enquanto mama. Também aprendem a enxergar, isto é, a identificar as imagens formadas na retina com as pessoas e os objetos.

Durante nossa vida, tudo que sentimos (tato, odores, paladares), ouvimos e vemos, automaticamente relacionamos com padrões estabelecidos.

Um cego pode não enxergar por algum problema no globo ocular ou no cérebro. Vamos supor que a pessoa tenha nascido cega por uma avaria nos olhos. Mais tarde ela é operada e seus olhos passam a transmitir as imagens nítidas para o cérebro. Mesmo assim ela pode continuar não enxergando. É como se estivéssemos ao lado de um chinês falando: ouvimos sua voz, mas não decodificamos sua fala.

Por tudo isso, devemos ter cuidado com a expressão:

"SÓ ACREDITO NO QUE MEUS OLHOS VÊM!".

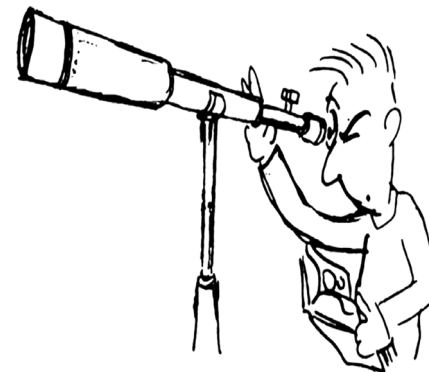
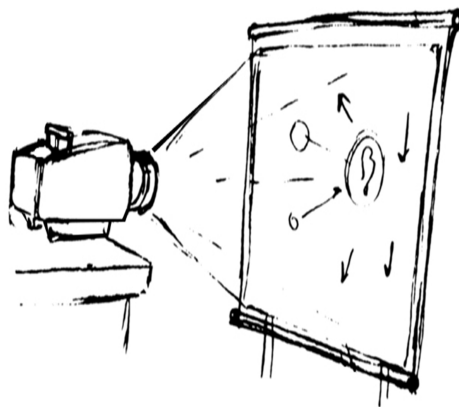


As retas verticais são paralelas?

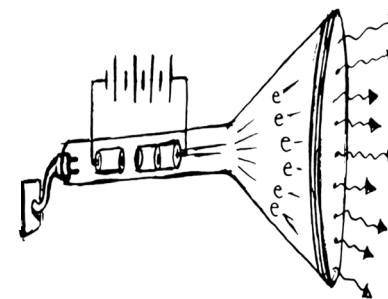
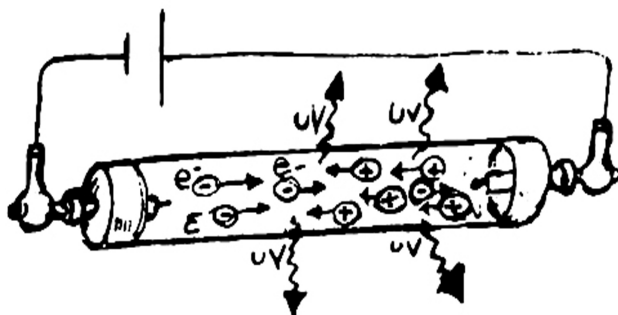
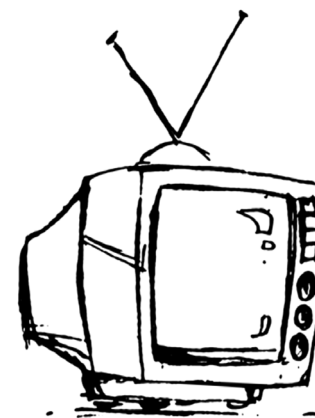
9

Duas ópticas

A interação luz-matéria e o seu percurso nos colocam diante de duas ópticas: a física e a geométrica.



A natureza da luz e das cores e a geometria da propagação e da formação da imagem



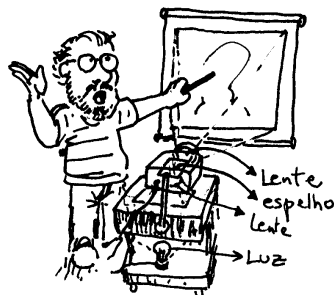
O caminho da luz

Nosso contato até aqui com instrumentos ópticos, como câmaras escuras, máquinas fotográficas, filmadoras de vídeo e também o olho humano, permitiu colocar em evidência dois aspectos relacionados ao comportamento da luz, ao passar por esses instrumentos. Um deles é o caminho que ela percorre desde a cena observada até o papel vegetal da câmara escura, ao filme na máquina fotográfica, ao mosaico na filmadora de vídeo, ou até a retina, em nosso olho.

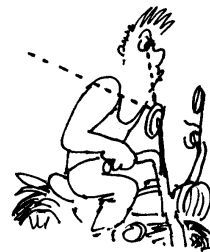


O caminho da luz na formação de imagens

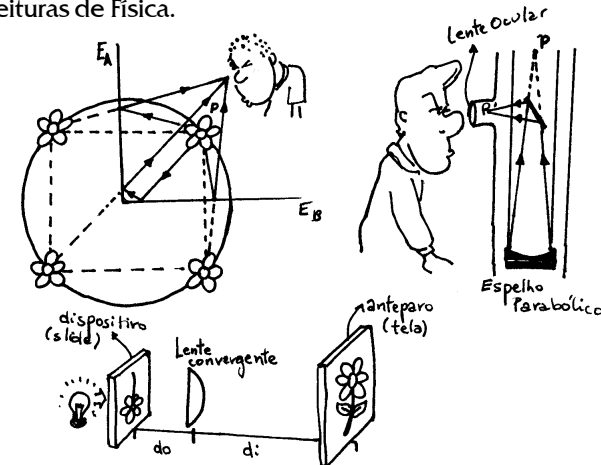
Na câmara escura, a luz proveniente da cena observada passa pelo pequeno orifício, em linha reta, e incide no papel vegetal, reproduzindo nele a imagem da cena invertida. Uma lente, como a que colocamos na câmara escura, para melhor focalizar a cena, provoca um desvio na trajetória da luz, convergindo seus raios e produzindo uma imagem menor, também invertida. Em alguns tipos de máquina fotográfica, é um conjunto de espelhos que reflete a luz, conduzindo-a da objetiva até o filme fotográfico.



Lentes e espelhos mudam a trajetória da luz



Em todos esses casos estamos olhando apenas para o que acontece com a trajetória da luz ao atravessar algum meio material, como uma lente ou a sua reflexão na superfície de um espelho. Esse tipo de comportamento da luz nos leva a um dos ramos da óptica, denominado de **óptica geométrica**, que nos permitirá descrever, além desses casos, o caminho da luz no interior de microscópios, projetores de *slides*, periscópios, lunetas e outros instrumentos ópticos, que estudaremos na Parte 3 destas Leituras de Física.



Tudo isso é óptica geométrica!

A interação luz-matéria e a produção de luz

Outro aspecto importante sobre o comportamento da luz é o fato de ela ser capaz de impressionar um filme fotográfico, o mosaico nas filmadoras de vídeo, ou mesmo sensibilizar a nossa retina. Numa fotografia, por exemplo, a luz, proveniente da cena observada, ao incidir sobre o papel fotográfico, possibilita o registro de imagens, transformando a energia luminosa numa gravura.



A imagem do objeto registrada no papel fotográfico

Na filmadora de vídeo, a luz que vem da cena filmada impressiona um mosaico que gera pulsos eletromagnéticos, que são codificados e gravados na fita magnética, ou que podem ser enviados ao espaço por meio de um código, que depois é transformado em imagem numa tela de TV.

Da mesma forma, a luz que atinge nossa retina é conduzida, através do nervo óptico, até o cérebro, que a interpreta como imagem da cena observada.



Registro de sinais que representam imagens

Nesses casos a energia luminosa proveniente da cena observada é transformada em energia química, no processo fotográfico, ou em energia eletromagnética, nos processos de gravação da fita magnética da filmadora de vídeo e de registro de imagem pelo olho humano.

Em todos esses processos a luz é considerada uma forma de energia que interage com a matéria.

Além disso, como veremos na leitura seguinte, a própria origem da luz também é devida a transformações de energia. As diversas fontes de luz, como, velas, lâmpadas, estrelas e outras, convertem uma forma qualquer de energia em energia luminosa.

O registro de uma imagem no papel fotográfico, a chama de uma vela ou a luz de uma estrela são fenômenos estudados por um outro ramo da óptica, chamado de **óptica física**. A óptica física permite interpretar esses e outros fenômenos relacionados à formação de imagens e à natureza da luz.

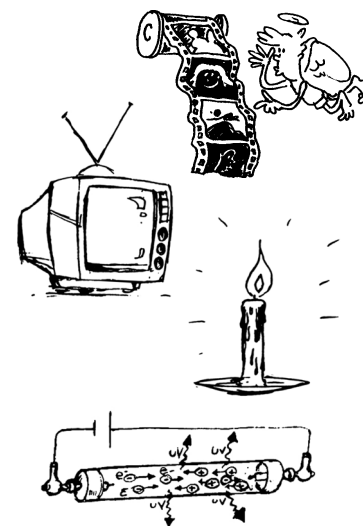
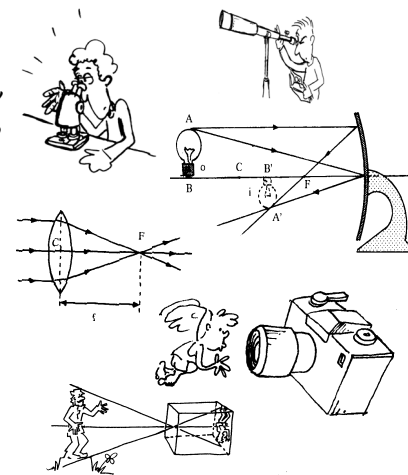
As duas ópticas

A primeira parte deste curso de óptica, constituída pelas 8 leituras anteriores, levanta dois tipos de situação diferentes, porém relevantes, para continuidade do aprendizado de óptica:

1. As que se referem à descrição da trajetória da luz ao atravessar instrumentos ópticos, como máquina fotográfica, lunetas, periscópios, microscópios e outros, que serão estudados em **óptica geométrica**.

2. As que se referem a fenômenos nos quais a luz é capaz de sensibilizar o papel fotográfico, o mosaico na câmera de vídeo, nossa pele e outros materiais, que serão estudados em **óptica física**.

Daremos continuidade a estas Leituras de Física observando e discutindo algumas fontes de luz, como a chama da vela, lâmpadas, tela de TV, que também fazem parte das coisas estudadas pela **óptica física**.



Atividades

Atividade 1

Coloque água em um copo de vidro.

Coloque no copo um lápis. Examine bem esse sistema.

1. O que você observa?
2. O fenômeno observado faz parte do estudo da óptica física ou geométrica? Explique.



Atividade 2

Corte uma folha de jornal em duas partes.

Coloque uma delas ao sol e a outra guarde-a dentro de casa, por um dia.

No final do dia examine-as com cuidado.

1. Descreva o que notou de diferente nas duas partes.
2. O fenômeno observado pode ser explicado pela óptica física ou pela óptica geométrica? Explique.

Atividade 3

Acenda uma vela num lugar escuro. (Cuidado...)

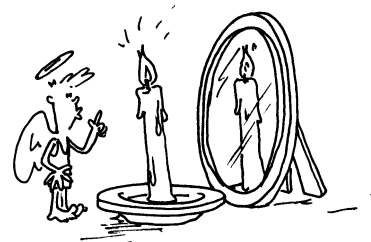
Coloque um pequeno espelho próximo à vela.

Examine muito bem a chama da vela.

1. Você consegue ver cores diferentes nessa chama?
2. Quais são essas cores e em que região da chama elas aparecem?

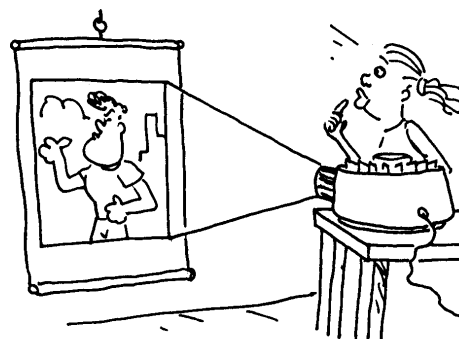
Examine a imagem da chama da vela no espelho.

3. Trace numa folha de papel o caminho da luz da vela até a sua imagem no espelho. Onde fica essa imagem?



Atividade 4

Relacione os processos ou situações, presentes na figura, que podem ser explicados pela óptica geométrica. Idem pela óptica física.



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

Duas fontes de luz muito comuns são a chama de uma vela e uma lâmpada incandescente.

1. Observe a chama de uma vela. Ela é um todo homogêneo ou é constituída de regiões distintas?

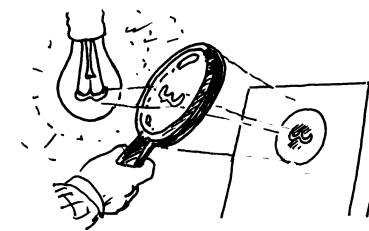
Descreva-a.



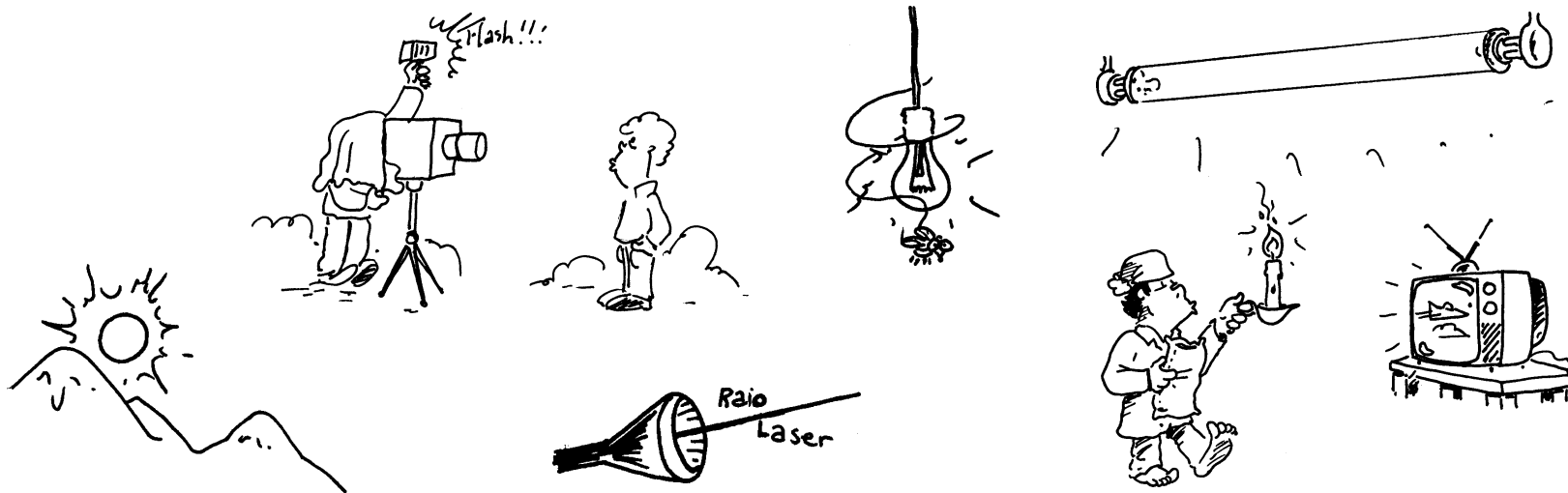
2. Observe o filamento de uma lâmpada incandescente.

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

Usando uma lente, projete o filamento da lâmpada numa parede ou na folha de papel. É semelhante à chama da vela? Descreva o que você vê.



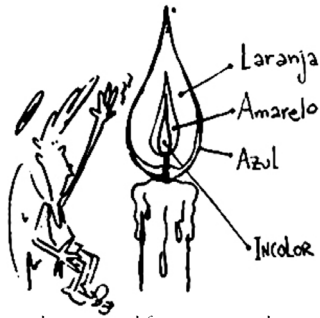
Uma lupa projeta o filamento aquecido numa tela.



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

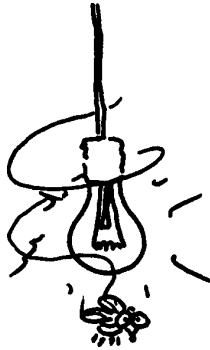


Luz de cores diferentes pode ser percebida na chama da vela

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 à nossa disposição, junto com uma caixa de fósforos, quando ocorre um *blackout*.

A **chama da vela**, como você deve ter observado, não é homogênea, pois apresenta regiões com cores diferentes. Nessas 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 esse tipo de lâmpada dificilmente conseguimos ver várias cores, como as que vemos, por exemplo, na chama de uma vela, pois a temperatura em todo o filamento é praticamente a mesma.



A lâmpada incandescente é fonte de luz branco-amarelada

Também podemos ver o filamento da lâmpada incandescente com uma tonalidade vermelha, amarela ou mesmo branca. 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 associada ao calor. Aliás, uma das formas de calor é a radiação não visível, chamada **infravermelha**, que vem junto com a 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.

O Sol e as outras estrelas

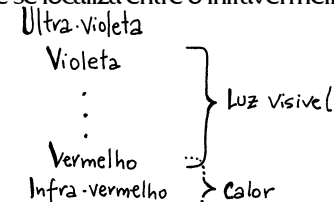
Mas a nossa principal fonte de luz é o **Sol**. A formação do Sol como a de qualquer estrela se deu por "autogravitação", ou seja, a matéria cósmica cai sobre si mesma e é compactada, ficando extremamente quente. Isso permite reações de fusão nuclear que convertem núcleos de deutério em núcleos de hélio, liberando muita energia como radiação. 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. No entanto, tudo na biosfera, e nós mesmos, não existiríamos sem a energia solar!

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 e o ultravioleta



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.

Essas observações nos revelam que as cores avermelhada, branco-amarelada e branco-azulada, emitidas pelo filamento, estão na ordem das 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.

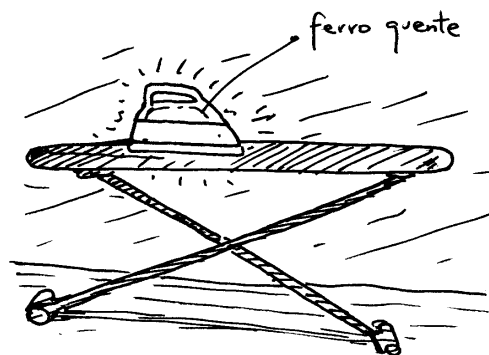
Já o filamento aquecido de uma lâmpada ou o carvão em brasa podem ser percebidos tanto pelo tato como pela

visão, pois emitem, em proporções grandes, tanto radiação visível quanto invisível.

Essa 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, quando atinge altas temperaturas, passa a ter luminosidade própria, emitindo uma luz avermelhada, visível no escuro.



Quando um corpo vai sendo mais e mais aquecido, emite radiação visível, inicialmente com uma cor vermelho-alaranjada, depois um vermelho mais brilhante e, a temperaturas mais altas, uma cor branco-azulada.

Com o aumento da temperatura o corpo emite mais radiação, 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?

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

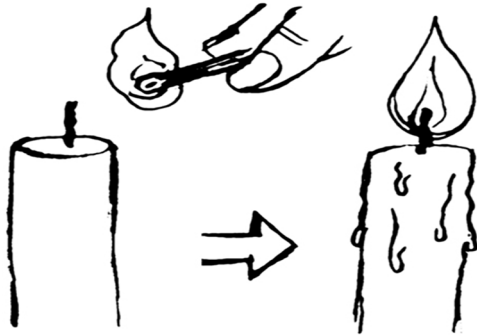
A tela de TV e a lâmpada fluorescente, que brilham mesmo "a frio", dependem de propriedades das substâncias que recobrem o vidro.

Na lâmpada essa substância emite luz visível se estimulada por ultravioleta, produzida pela colisão entre elétrons e íons no interior do tubo. Na TV é a colisão de elétrons direto na tela que dá esse estímulo.

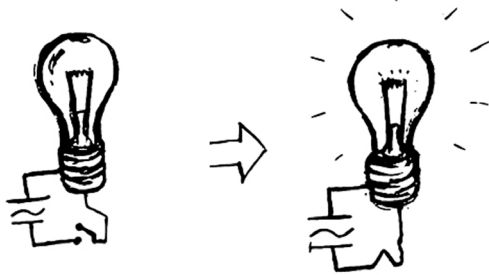


Atividades

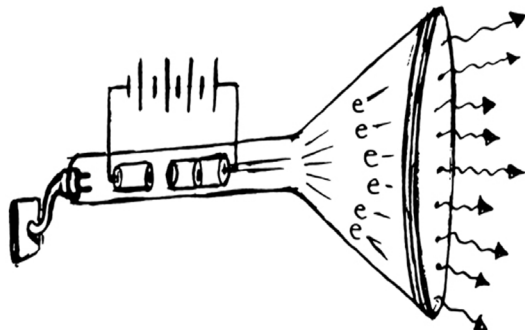
Com base nas cinco figuras a seguir, identifique:
a) a forma de energia primária convertida em cada caso;
b) os vários processos de transformação de energia que acabam resultando em luz visível em cada uma dessas fontes.



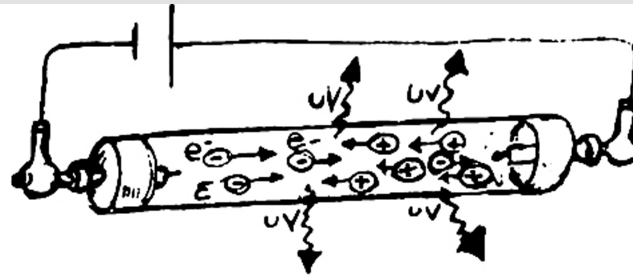
1. a chama de uma vela



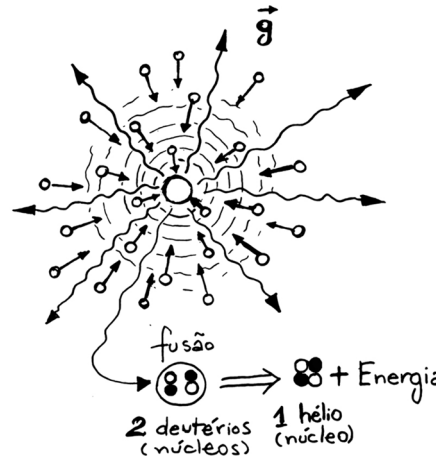
2. uma lâmpada incandescente



3. uma tela de TV



4. uma lâmpada fluorescente



5. uma estrela

Questões

6. Podemos ver a base de um ferro elétrico no escuro, se ele estiver bem quente (+ ou - 600°C). Por outro lado o resistor de um aquecedor ligado pode ser visto tanto no claro como no escuro. Em ambas as situações a luz "puxa" para o vermelho. Como explicar esses dois casos?

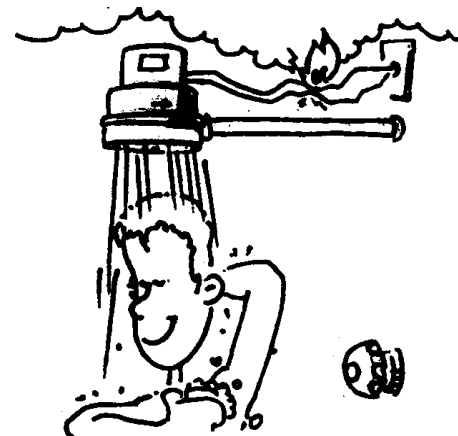
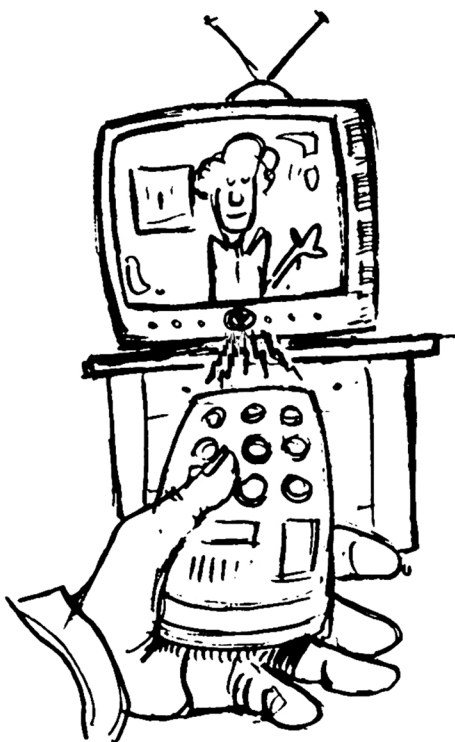
7. Como explicar a luz branco-amarelada de um filamento de lâmpada e a luz branco-azulada do filamento de outra lâmpada? O que está ocorrendo para produzir essas diferenças de cores?

8. Um mesmo filamento pode ser visto avermelhado, amarelado ou branco. Como isso pode ocorrer?

11

O caráter eletromagnético da luz

A luz é da mesma família das ondas de rádio, do infravermelho, dos raios nas tempestades, dos raios X...



O caráter eletromagnético da luz

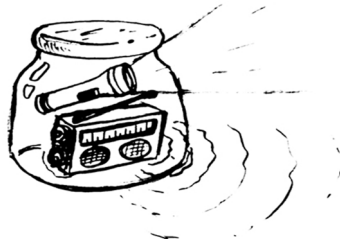
A natureza da luz

A associação entre fenômenos elétricos e luz é muito comum, nas faíscas elétricas que se observam ao se abrir ou fechar circuitos, nos próprios raios em descargas elétricas naturais que se veem em tempestades, assim como em muitas das fontes de luz como as que analisamos na leitura anterior.

Outras evidências que mostraram que a luz é um tipo de onda eletromagnética como as utilizadas em telecomunicações, é o fato dessas ondas se deslocarem com a mesma velocidade da luz (300.000 km/s) ou o fato de, como a luz, elas geralmente atravessarem vidros e não atravessarem metais.

FAÇA AS ATIVIDADES

Coloque um radinho e uma lanterna de pilha no interior de um vidro e feche-o bem.



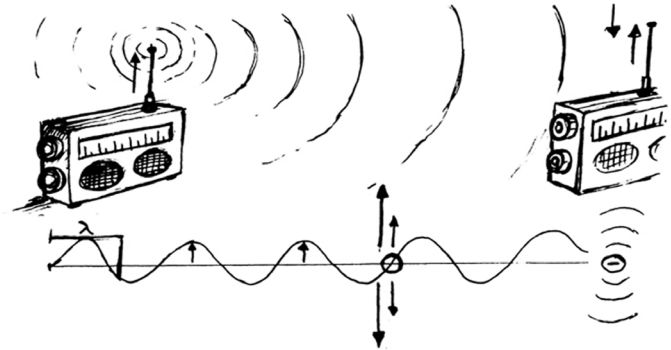
O fato desses aparelhos estarem no interior do vidro impede o seu funcionamento? Como você justifica sua resposta?

Coloque-os agora no interior de uma lata metálica que pode ser de leite em pó.



Eles funcionam agora? Justifique sua resposta.

Percebeu-se que, como as demais ondas eletromagnéticas, a luz é uma oscilação que também se propaga no vácuo e é usualmente representada pela variação periódica do campo elétrico, uma perturbação capaz de mover cargas elétricas.



O que distingue a luz visível das outras radiações é a sua frequência, ou seja, o número de oscilações por segundo que também está associado à cor da luz.

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

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

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

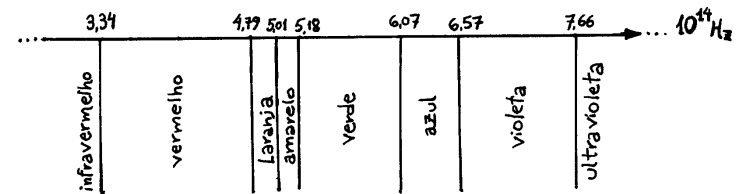


Gráfico de cor ou energia x frequência da luz visível

O hertz e seus múltiplos

A unidade de frequência é o hertz (Hz).

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

Dos seus múltiplos, o kHz e o MHz você já deve ter ouvido falar na identificação de emissoras de rádio

1 kHz = 1000 Hz; 1 MHz = 1000 kHz

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.

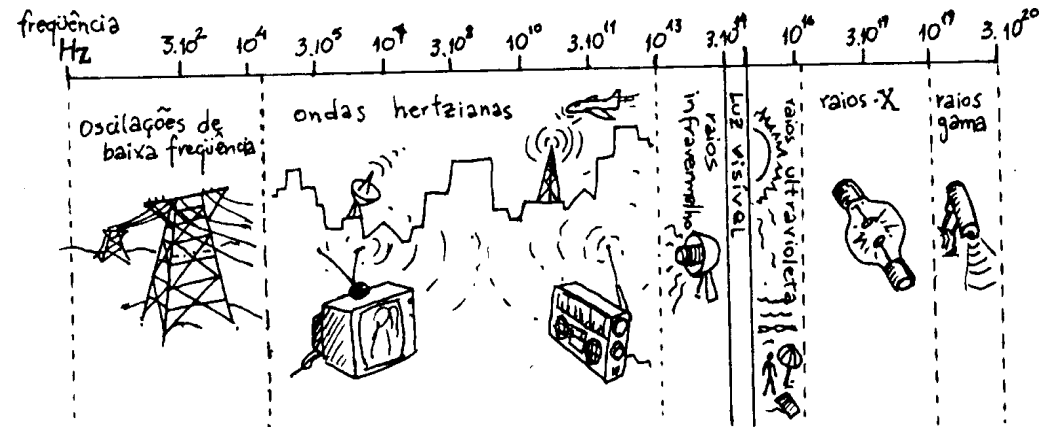
Existem ainda radiações eletromagnéticas de mais baixa energia ou de menor frequência, como as usadas no funcionamento do radar, que são da ordem de 1 mil a 100 mil vezes menor do que a da luz visível.

Além dessas, temos as radiações usadas em comunicação por rádio e televisão, com frequência da ordem de 10 mil a 1 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 100 bilhões de vezes menores que a frequência da luz visível.

No outro extremo estão as radiações de alta frequência, como o ultravioleta, com frequência 100 vezes maior que a da luz visível, os raios X e os raios gama, com frequência da ordem de 10 mil a 1 milhão de vezes maior que a da luz visível.

Esse conjunto de radiações de todas as frequências é denominado de **espectro de radiações**, representado no gráfico a seguir.



Radiação eletromagnética

Embora essas radiações tenham frequências bem distintas e estejam relacionadas a 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 essas radiações se propagam no vácuo, com a velocidade da luz, que nesse meio é de 300.000 km/s e 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**, e inclui a luz visível.

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.

ALGUMAS QUESTÕES

1. Identificar no gráfico do espectro da radiação eletromagnética a região que corresponde a frequência de ondas de radar.
2. Idem para ondas de comunicação por rádio e TV. Procure no seu rádio ou TV informações sobre a sintonização desses aparelhos. Quais as frequências que tais aparelhos funcionam?
3. Procure no seu rádio ou TV informações sobre sintonização desses aparelhos. Quais as frequências em que tais aparelhos funcionam?
4. Identifique a faixa de frequência da luz visível no espectro de radiação eletromagnética.
5. Que cor de luz corresponde à maior e à menor frequência?
6. Consiga uma caixa de papelão que possa ser bem fechada e coloque no seu interior, de novo, a lanterna e o radinho de pilha, ligados. O que você pode sugerir para a explicação do observado?
7. Você pode sugerir e explicar uma atividade em que a luz seja transmitida mas não as ondas de rádio?

—12—

As cores da luz e a sua decomposição

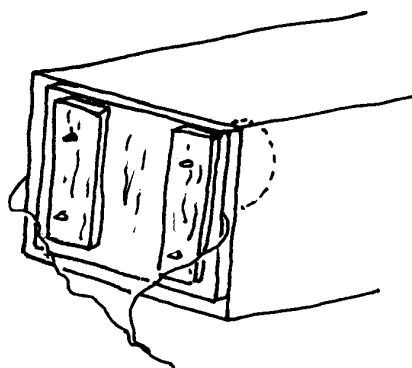
A luz branca pode ser decomposta em outras cores, cada uma representada por um número, que é a sua frequência

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

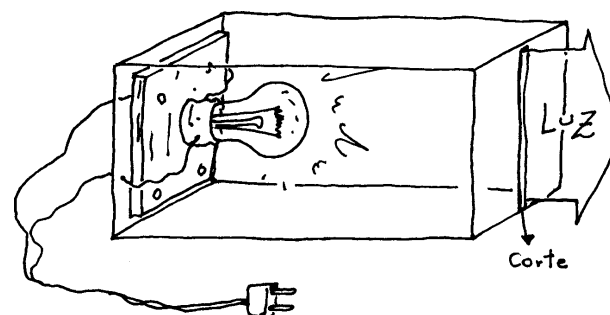
Com o Sol "baixo" da manhã ou do final da tarde, brincando com uma mangueira de jardim, jogando o jato de água para cima, também enxergamos um arco-íris.

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

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



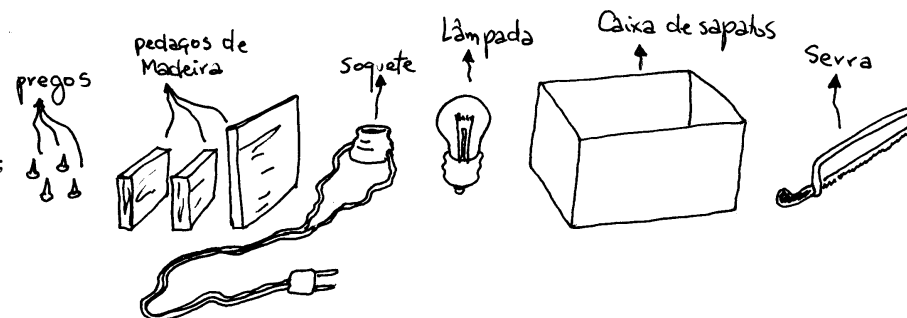
Detalhe para prender as madeiras, o soquete e os fios



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

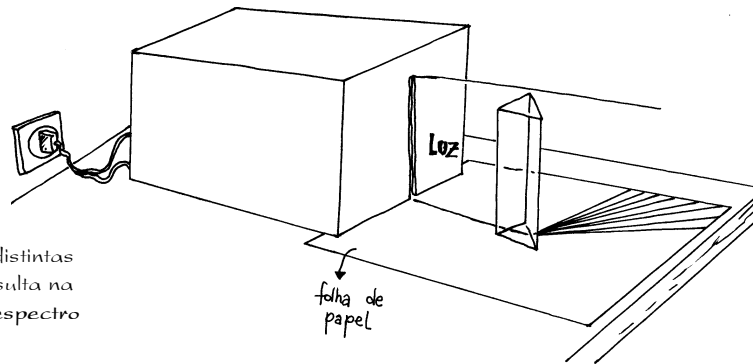
Para esta construção você precisará de:

- 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;
- 3 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 listras 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 diversas tonalidades do branco.

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 **branca**, emitida pelo filamento de uma lâmpada incandescente, é uma mistura das várias cores que formam o branco. Numa temperatura regular de operação da lâmpada a luz amarela é a mais intensa. A temperaturas mais altas o azul estará mais intenso, e a luz será branco-azulada.

Como vimos, a luz vermelha se distingue da luz verde pela sua **freqüência**. Cada cor simples possui uma freqüência que é seu número de identificação. O prisma apenas separa essas cores que compõem o branco.

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

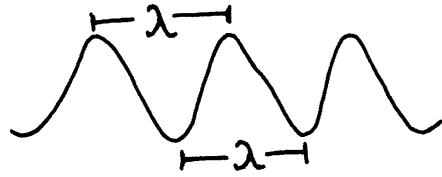
Quando a luz passa de um meio para outro - como do ar para o vidro ou plástico -, sua direção muda. Esse desvio é chamado **refração**, e por causa dele enxergamos uma colherinha dentro de um copo com água como se estivesse "quebrada".

Essa mudança de direção é devida ao fato de a 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 essa velocidade é de aproximadamente 300.000 km/s, e em outros meios é sempre menor.

Toda radiação eletromagnética ou movimentos ondulatórios em geral podem ser identificados por sua **freqüência (f)** ou pelo seu **comprimento de onda (λ)**, que é a distância entre dois vales ou dois picos de uma onda.



O comprimento de onda λ , aqui definido entre dois picos de onda, ou entre dois vales

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

O produto da frequência pelo comprimento de onda da radiação eletromagnética é sempre igual a uma constante que corresponde à 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 **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.

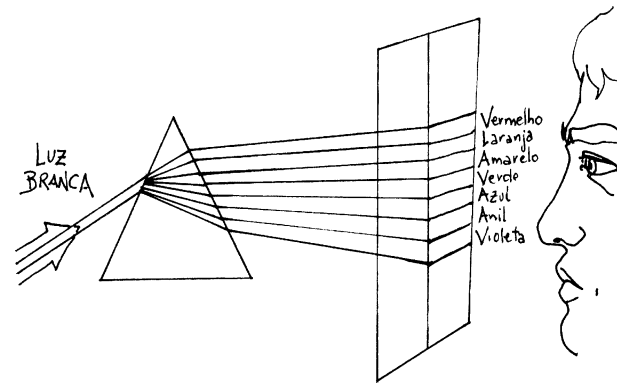
Além disso é sempre maior que 1, pois a velocidade da luz no vácuo [**c = 3x10⁸ m/s**] é maior do que em qualquer outro meio.

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

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

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 isso podemos escrever: **c/v_{vio} > c/v_{ver}**, o que acarreta **v_{ver} > v_{vio}**.

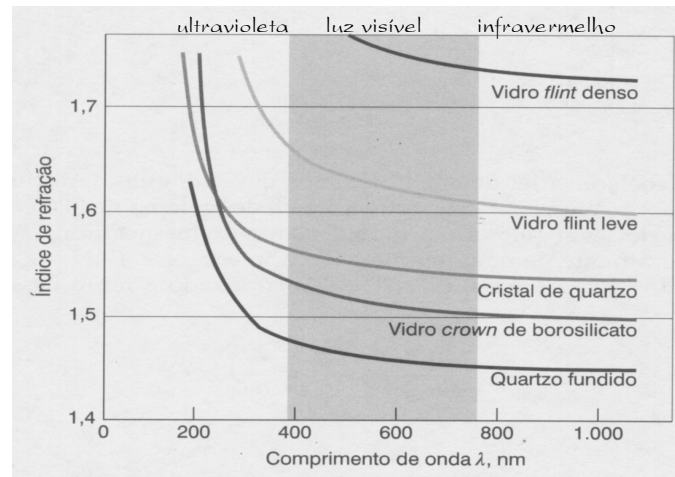
A luz vermelha propaga-se no interior do vidro com uma velocidade maior do que a luz violeta nesse mesmo meio.



A luz vermelha sofre o menor desvio, e a violeta o maior desvio

Como a luz vermelha propaga-se com velocidade maior que a da luz violeta, no interior do prisma ela sofre desvio menor que o da violeta.

O gráfico abaixo mostra como varia o índice de refração, em relação ao comprimento de onda, de alguns vidros em relação ao ar.

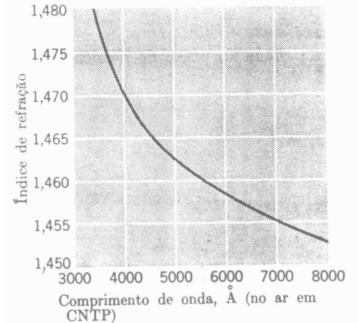


λ é uma letra do alfabeto grego, chamada *lambda*, que corresponde à nossa letra l. É usada para representar o comprimento de onda e tem como unidade o metro, centímetro, milímetro...



Uma unidade bastante utilizada de comprimento **λ** é o nanômetro, equivalente a 10⁻⁹ m; outra unidade usada é o angstrom (Å), que equivale a 10⁻¹⁰ m

O gráfico abaixo mostra em detalhes, na faixa do visível, o índice de refração do quartzo fundido em relação ao vácuo ou ao ar.



Algumas questões

1. Use os dados dos gráficos da página 47 e os da página 42 e determine:

a- a velocidade da luz de comprimento de onda 5500 Å, no quartzo fundido;
b- qual a cor dessa luz monocromática?

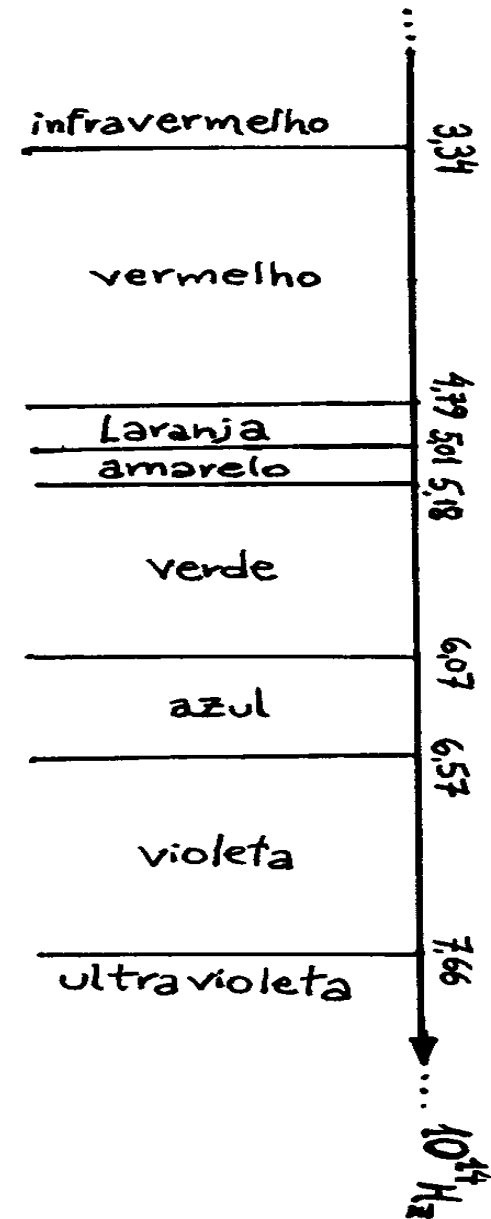
2. O comprimento da luz amarela do sódio no vácuo é 5890 Å.

a- qual é a sua frequência?
b- verifique se a frequência obtida acima corresponde à faixa delimitada no gráfico da página 42;
c- qual a sua velocidade num vidro de quartzo fundido cujo índice de refração seja 1,5?

3. A velocidade da luz amarela do sódio num certo líquido é de $1,92 \times 10^8$ m/s. Qual é o índice de refração desse líquido em relação ao ar para a luz de sódio?

4. Entre a luz verde e a luz amarela, qual delas sofre um maior desvio no interior de um prisma de quartzo fundido? Explique.

O gráfico da página 42 relaciona a cor com a frequência da luz. Acrescente no gráfico abaixo um eixo que relacione a cor com o comprimento de onda da luz.



— 13 —

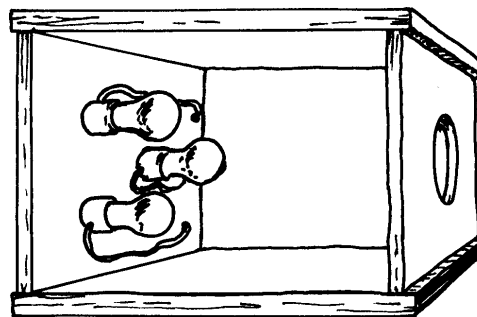
As cores da luz e a sua composição

Da mistura das cores primárias surge o branco.

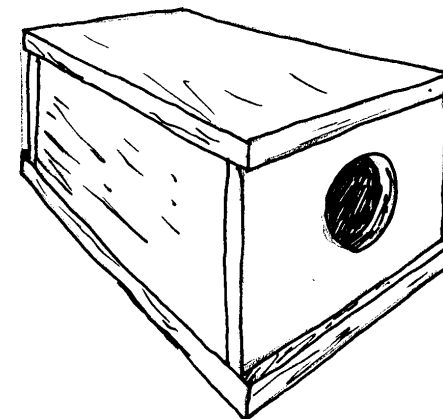
ATIVIDADE: COMPONDO OUTRAS CORES

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.

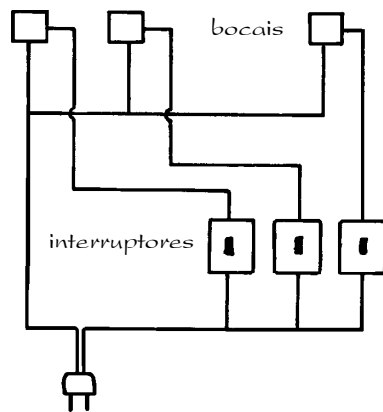
No lado oposto aos bocais existe uma abertura circular para saída da luz, que deverá ser projetada sobre um anteparo branco.



Caixa de luz vista por dentro



Caixa de luz vista por fora

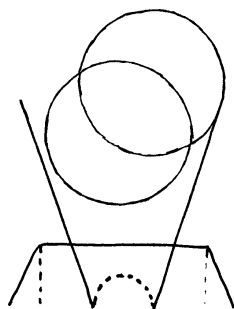


Esquema para orientação da ligação elétrica

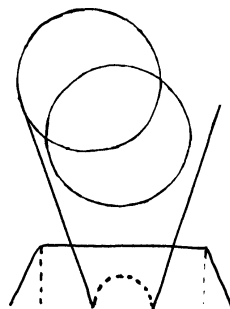
O que você vai fazer

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

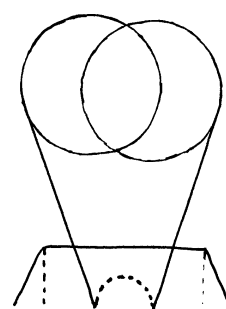
Com o ambiente escuro, aponte a abertura circular da caixa para o anteparo branco.



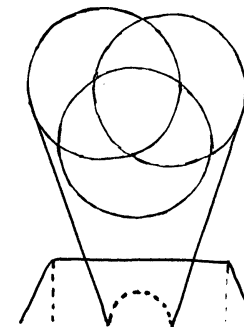
Ligue a lâmpada vermelha, mantenha-a ligada e ligue a verde.



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 as cores produzem o branco?

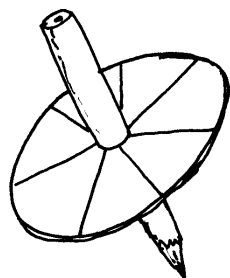
Vimos que a luz branco-amarelada do Sol ou de uma lâmpada incandescente pode ser decomposta nas sete cores diferentes que formam o **espectro da luz branca**.

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

Foi exatamente tentando responder a essa questão que o então - ainda não famoso - físico Isaac Newton procurou pintar um disco branco com as cores do arco-íris distribuídas em seqüência. 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 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 prioritariamente 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 igualmente todas as componentes, quase nada absorvendo. Se o objeto é visto negro, quase não está refletindo mas apenas absorvendo igualmente 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** da luz.

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

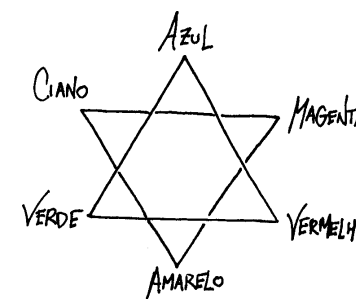
A luz branca é uma mistura equilibrada do vermelho com o verde e o azul. Na atividade com a "caixa de luz", o **amarelo** foi obtido pela combinação da luz vermelha com a verde; o **vermelho-azulado** (magenta) é obtido pela combinação da luz vermelha com a luz azul, e o **verde-azulado** (ciano) é a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

As imagens coloridas da tevê nos mostram uma grande variedade de tons e cores. O monitor do computador e as tevês modernas apresentam padrões com milhões ou até bilhões de cores.

As múltiplas tonalidades de cores que vemos na televisão e no monitor do computador 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 televisor apresenta essas três cores. Esse sistema, também utilizado nos monitores, nos telões, nos grandes painéis eletrônicos, 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

Tira-teima

Molhe os dedos da mão com água e arremesse algumas gotículas de água na tela da TV ou na tela do monitor. Faça isso em várias posições da tela. As gotas formarão lentes de aumento para que você veja em detalhes a tela, e confirme que as imagens e suas cores brilhantes são formadas por pequeninos pontos vermelhos, verdes e azuis. Confira!!!

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-a 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.

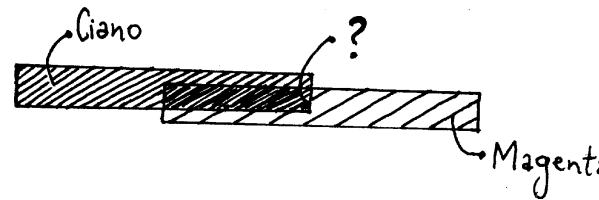
Atividade 2 - Investigando os pigmentos (por mistura)

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 das tintas e dos pigmentos são vermelho, azul e amarelo. Misturando essas 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.

Dessas 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 essas 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 de passar quatro vezes pela máquina, o que torna a impressão em cores muito mais cara do que em preto e 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?

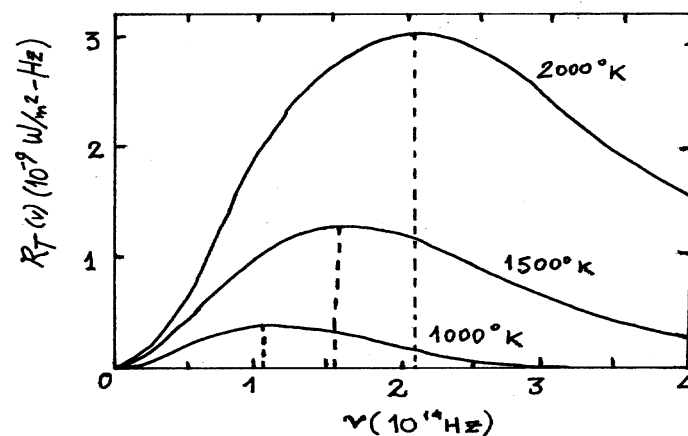
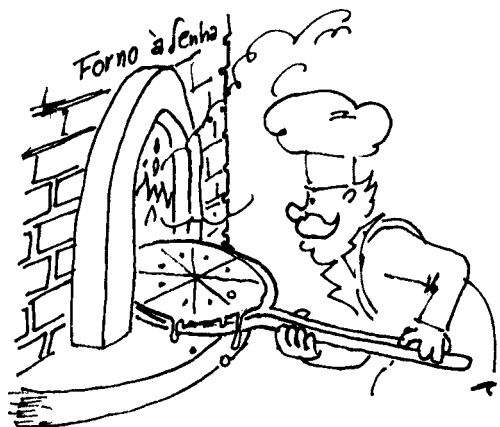
14

As cores da luz e a sua complicação

As teorias de Planck e de Einstein.

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

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



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

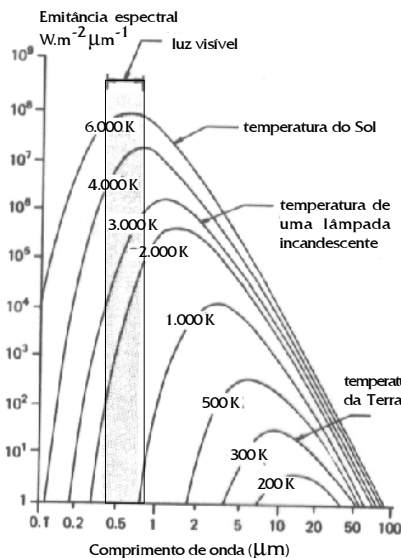
Nessa época os físicos já dispunham de dados experimentais sobre a radiação de um corpo aquecido, para traçar o gráfico da frequência ou do comprimento de onda, versus intensidade de radiação, como o apresentado a seguir.

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

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

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

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



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

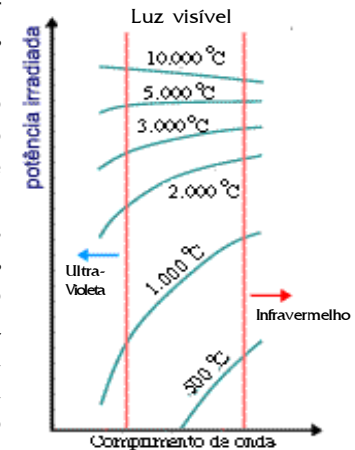
Isso também pode explicar porque a luz emitida nos fornos varia do avermelhado ao branco azulado. O gráfico ao lado retoma as curvas do gráfico anterior, mas somente na faixa da luz visível.

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

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

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

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



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

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

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

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

$$E = h \cdot f$$

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

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

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

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

Atualmente não estranhemos tanto a idéia da descontinuidade da energia.

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

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

Onda ou partícula?

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

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



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

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

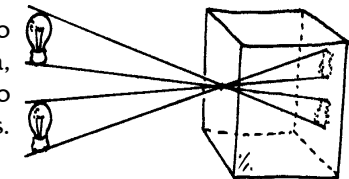
Nesse caso a energia luminosa atinge a matéria na forma de pequenos pacotes de energia, os fótons.

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

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

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

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



A luz se difrata e borra a tela

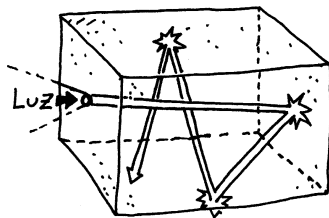
Radiação do corpo negro

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

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

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

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



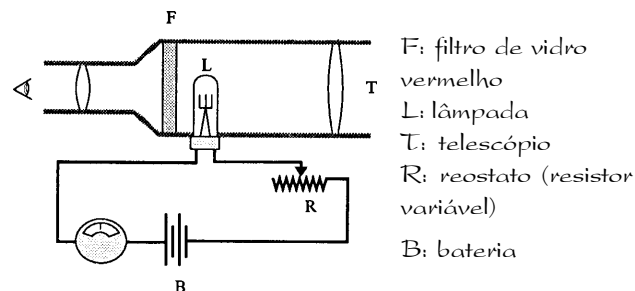
Toda radiação que penetrar pelo orifício será totalmente absorvida pelas paredes internas da cavidade, após múltiplas reflexões. A radiação emitida pelo orifício representa o equilíbrio, entre a radiação e a matéria, no interior da cavidade.

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

O que é um pirômetro óptico?

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

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



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

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

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

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

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

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

Caiu no Vestibular

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

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

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

OUTRAS QUESTÕES

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

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

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

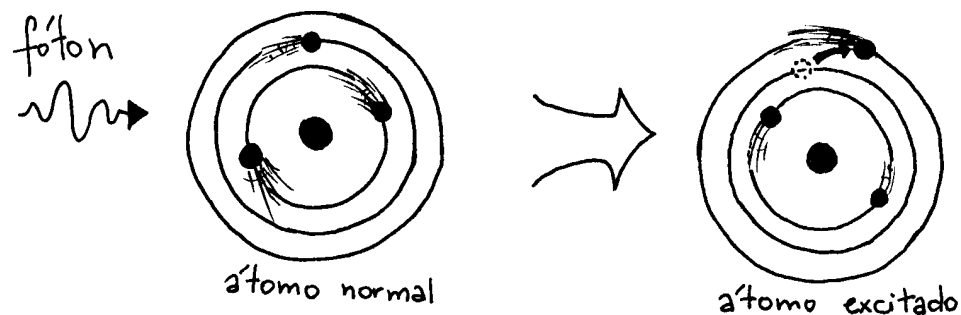
Sabendo que $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$, transforme os valores de energia, acima obtidos, nesta nova unidade.

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

—15—

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 lembrada e aprimorada na tentativa de compreender a natureza das coisas.

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?

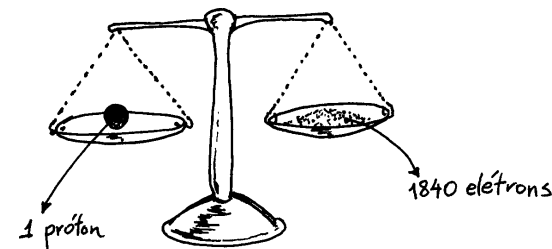
Cada material é constituído por um tipo de átomo, tendo cada átomo uma estrutura formada por duas regiões distintas.

Uma região central, chamada **núcleo**, onde estão confinados os prótons e os nêutrons, 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 nêutron é da ordem de 2000 vezes maior que a massa do elétron, o que nos faz concluir que, praticamente, toda a massa do átomo está concentrada em seu núcleo.

Para termos uma idéia das dimensões relativas dessas duas regiões, se pudéssemos 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.

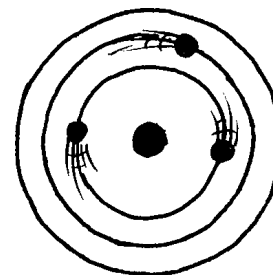


Comparação entre as massas do próton (ou nêutron) e do elétron

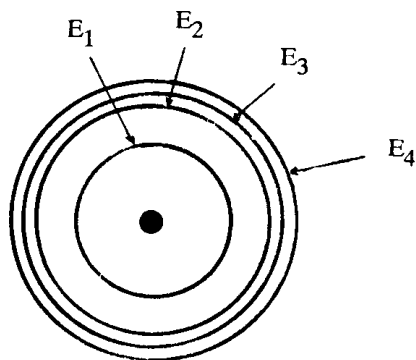
Mesmo para átomos com poucos elétrons, como o hidrogênio (que só tem um), associamos à eletrosfera a idéia de **nuvem** devido ao intenso movimento dos elétrons a grandes velocidades ao redor do núcleo.

De acordo com esse modelo, existem regiões na eletrosfera em que 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, em que $E_1 < E_2 < E_3 < E_4$ 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, por meio 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 à 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**.

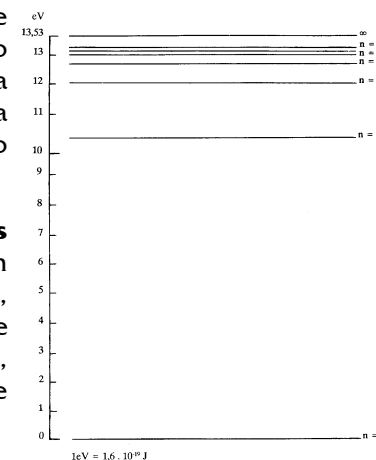
Imagine que incida sobre um átomo um fóton de energia que não corresponde à de um possível salto quântico. Nesse caso o elétron não muda de nível e o átomo também não absorve essa energia, da mesma forma que um pugilista, ao receber um golpe de raspão, nos dá a impressão de que nada sentiu. A energia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

Absorção e emissão de fótons pelos átomos

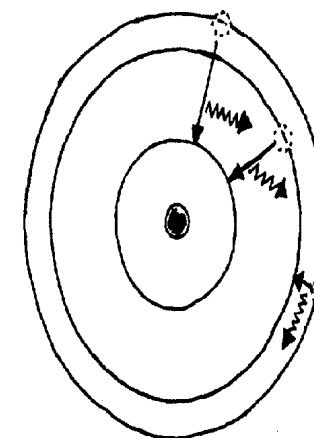
Se um determinado átomo receber, por algum processo, um fóton, cuja energia coincidir com a diferença de energia entre dois de seus níveis, ocorrerá o salto quântico do elétron entre esses níveis, e o fóton incidente será absorvido e posteriormente reemitido com o retorno do elétron ao nível de origem.

Esse retorno pode ser realizado por etapas: reemissão simples de um único fóton de energia igual à 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, guardam-na por algum tempo e depois a devolvem para o meio ambiente.

Nesse processo os átomos passam de um estado energético para outro. Uma maneira de os 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.

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

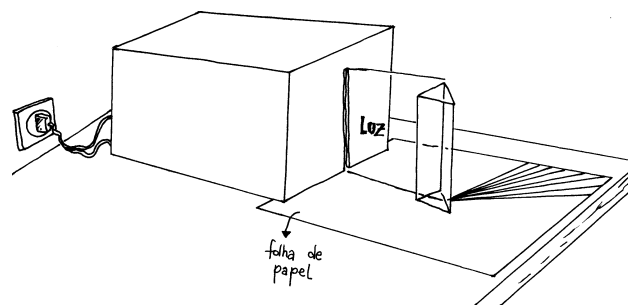
Variações de energia dos elétrons livres

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

Essa 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 existentes 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.

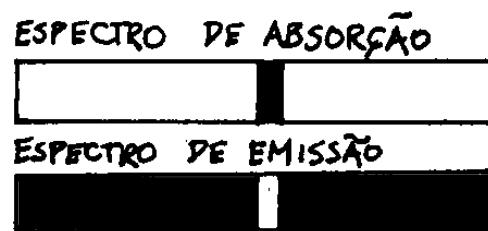


Espectro contínuo de uma lâmpada incandescente

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.

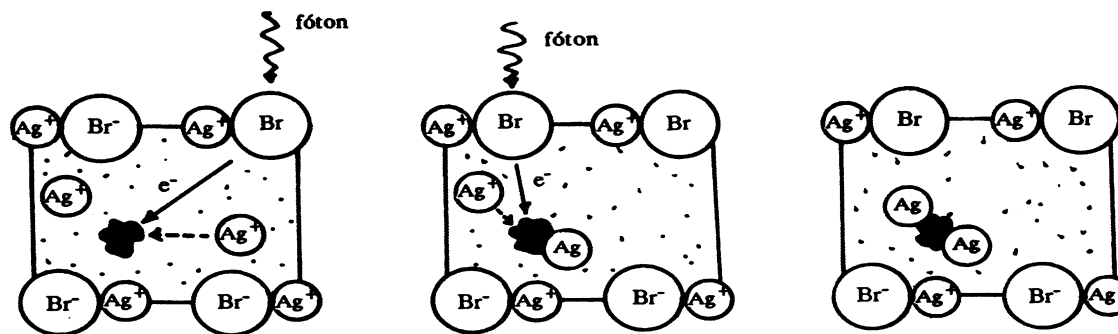
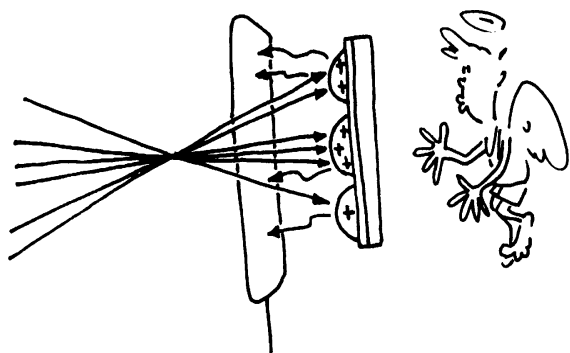


Espectro de linhas

—16—

Imagem quântica no filme e na TV

O modelo quântico para a luz explica a formação da imagem no filme fotográfico e na câmera 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 câmeras 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 câmeras 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 interage com a matéria de forma contínua, mas sim em pacotes de energia que foram chamados de fótons.

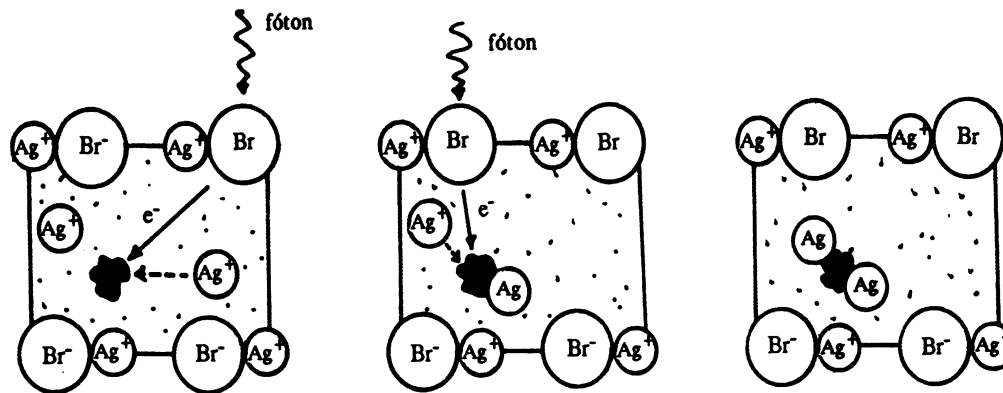
Obteve também algumas informações sobre os átomos, como são constituídos e como se comportam diante de uma interação com o meio.

Agora vamos usar essas idéias para compreender como a luz impressiona um filme fotográfico, como forma a imagem na câmera 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 grãos 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 à interação com fóton.



Processo de formação da prata metálica

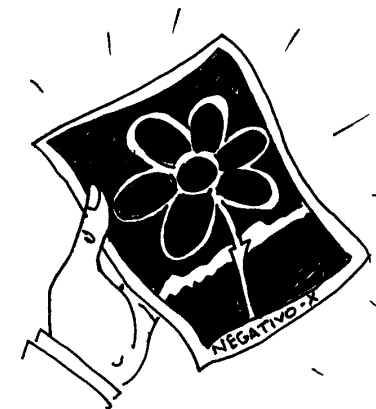
Na interação com os fótons os elétrons que mantêm a estrutura dos haletos de prata são liberados e, com isso, tal estrutura é desfeita, reduzindo os íons prata a prata metálica, que ficam imersos na gelatina.

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 isso só pode ser observado na etapa de revelação do filme, onde tal região fica mais escura.

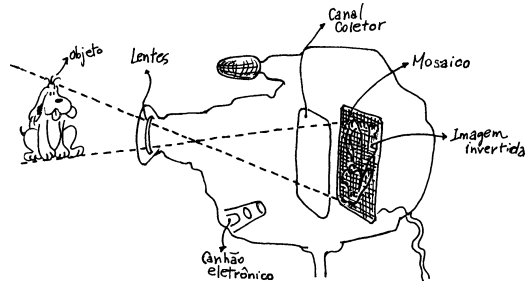
Por isso a imagem revelada no filme é chamada de negativo, justamente porque reproduz o objeto fotografado em fundo tão mais escuro quanto mais intensamente tenha sido iluminado.



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

Modelo quântico da luz e a câmera de TV

A objetiva da câmera de TV focaliza a cena que se pretende transmitir numa tela ou mosaico recoberta de grânulos de césio, que é um material sensível à 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, provenientes da cena focalizada.

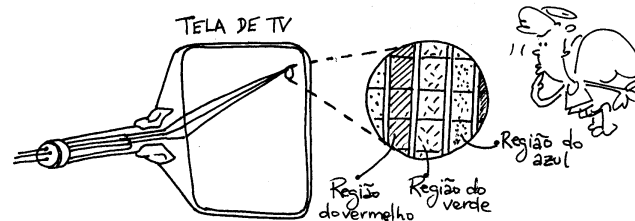
As regiões da cena mais bem iluminadas perderão mais elétrons, e por isso tornar-se-ão mais positivas que as regiões menos iluminadas.

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-as 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. A 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

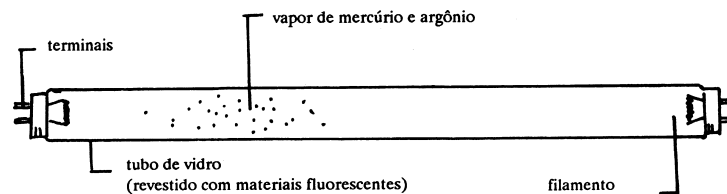
Dependendo da energia dos elétrons que se chocam com essa região, haverá a excitação de uma, de duas ou três partes que contêm os diferentes sais de fósforo.

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

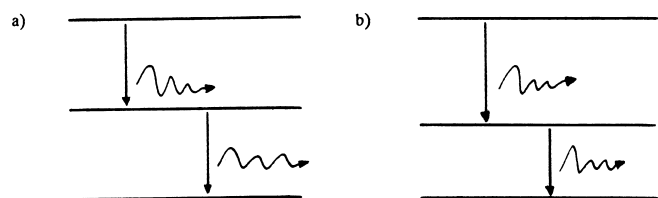
Ionizados, eles são acelerados, e ao se chocarem com outros átomos provocam outras excitações.

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.

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

2. Que luz queima nossa pele?

3. 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?

—17—

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.

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

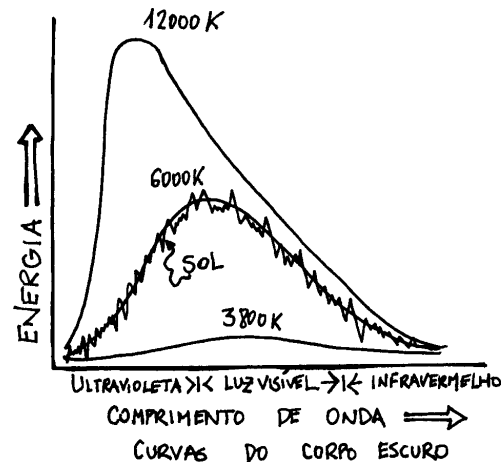
O que a cor de uma estrela pode nos oferecer como informação?

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.

Em primeiro lugar vamos ver como a cor de uma estrela pode nos revelar informações sobre a sua temperatura. Para isso precisamos obter a curva de distribuição de energia emitida pela superfície de uma estrela e compará-la com as curvas de distribuição de energia de um corpo negro em diferentes temperaturas.

Essas curvas são bastante semelhantes, como podemos observar na figura, onde reproduzimos as curvas, em linhas cheias, de um corpo negro em três temperaturas distintas e a curva de energia emitida pelo Sol superposta à curva de 6.000 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. Entretanto, como o Sol emite frequências de todo o espectro visível, sua cor é branco-amarelada.

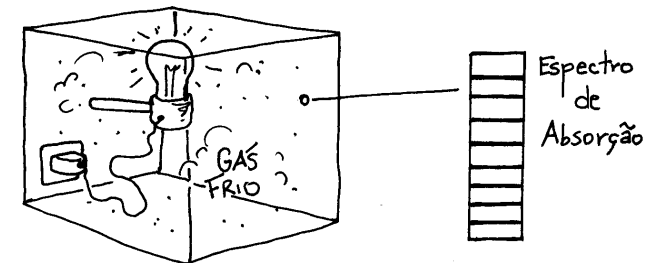
As estrelas vermelhas são mais frias do que as branco-amareladas como nosso Sol, e apresentam um pico na curva de distribuição de energia na região do vermelho, em correspondência a uma temperatura de 3000 kelvin.

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.

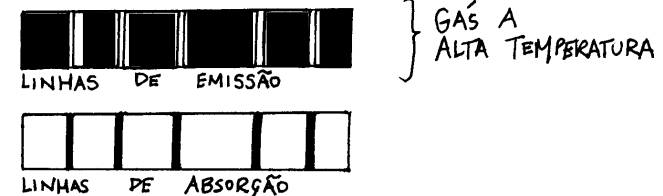
Espectro de linhas

O espectro das estrelas oferece informações sobre os elementos que as compõem. Tais informações podem ser obtidas a partir da observação de fenômenos que podem ser reproduzidos aqui na Terra: por exemplo, a luz proveniente de um corpo incandescente, como a de uma lâmpada, ao passar através do gás mais frio que está a sua volta, pode ser registrada por um espectrógrafo.

O espectro dessa emissão é contínuo, característico de um corpo incandescente, mas é sulcado por linhas escuras. Essas linhas aparecem porque o gás mais frio absorve as radiações de frequências que também é capaz de emitir, permanecendo transparente para o resto do espectro contínuo. As linhas escuras que caracterizam a absorção do gás ocupam exatamente as posições onde deveriam estar as linhas luminosas relativas à emissão do gás.



O gás mais frio absorve exatamente as frequências que pode emitir, produzindo um espectro contínuo com linhas escuras.



Espectro de linhas de emissão e absorção

No espectro de emissão, as linhas luminosas têm origem na energia que o elétron emite quando retorna a um de seus estados permitidos. As linhas escuras correspondem à energia que o átomo absorve para saltar de seu nível de origem para um nível superior.

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.

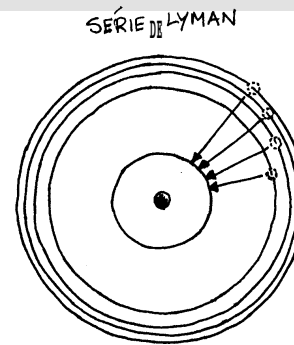
O que é e como se obtém um espectro de linha

O hidrogênio é o elemento mais abundante no Sol e em todo o 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.

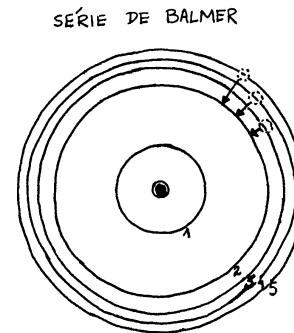
O elétron do átomo de hidrogênio pode realizar vários saltos do nível fundamental para níveis superiores e depois retornar desses níveis para o estado fundamental.

Nesse processo, teve de absorver e depois emitir radiação (energia) com frequências do ultravioleta. O espectro dessa radiação é constituído por uma série de linhas chamadas série de Lyman. Na figura a seguir estamos representando os possíveis saltos do elétron de um nível qualquer para o estado fundamental.



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. Na figura estamos representando as possíveis transições do elétron para o nível dois.



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% são hidrogênio, 23% hélio e 2% os demais elementos.

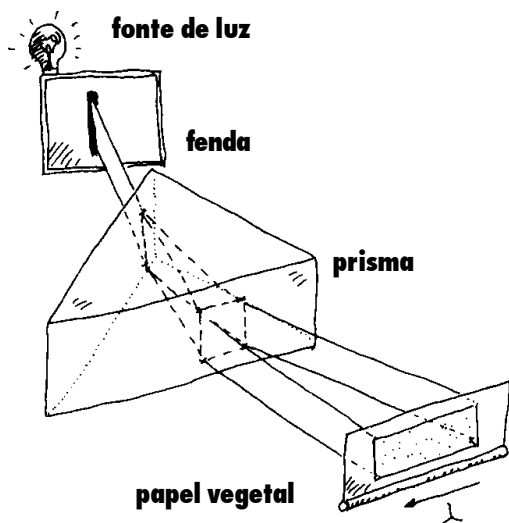
Atividade: Construa seu espectroscópio sem fazer força

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

1. 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 os dados da figura da página 59 sobre os níveis de energia do hidrogênio 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 à série de Lyman e quando decaem para o nível dois formando o espectro da série de Balmer. Lembre-se de que: $1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19}\text{ J}$.

Resolução:

a) Consideremos os saltos dos elétrons no átomo de hidrogênio que correspondem à 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 um (que é o estado fundamental).

Na página 59 identificamos que a energia do nível dois é aproximadamente 10,3 eV, e a do nível um, 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, esse valor de frequência é típico da radiação ultravioleta.

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

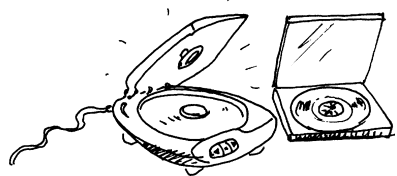
c) Mostre que os saltos quânticos na série de Balmer para o átomo de hidrogênio irradiam na faixa do visível.

2. Nosso Sol, como muitas estrelas, apresenta um brilho amarelado. Qual a razão dessa luz branco-amarelada emitida pelo Sol? De que modo as informações contidas no gráfico da página 66 podem ajudar você a responder essa questão?

—18—

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 nas caixas registradoras dos supermercados, responsável pela leitura óptica dos preços das mercadorias.



Um outro laser muito comum é o que encontramos nos aparelhos de *compact disc*, responsável pela leitura digital do som.

Outros laser já vêm sendo empregados há 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.



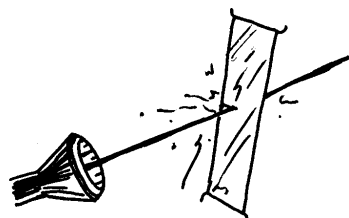
18 LASER

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.

Essa 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.



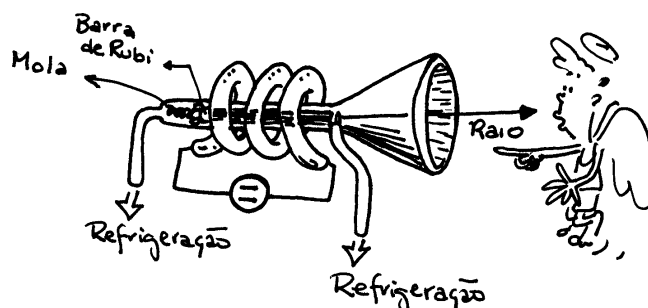
Um intenso raio laser cortando uma chapa de aço

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

Construção do 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 dada 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 deveria ser opaca e muito refletora enquanto que a outra, por onde sai a radiação, deveria ser semitransparente, o que se conseguiu depositando aí 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, foi emitido da extremidade semitransparente 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 movimenta 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 mesma 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 nesse estado durante um pequeno intervalo de tempo.

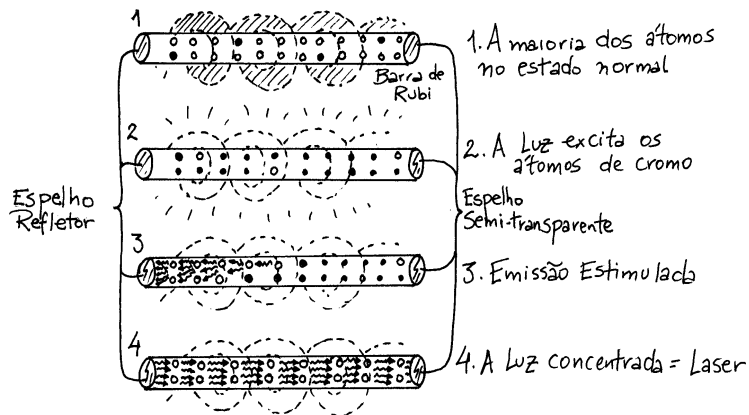
Se um desses átomos de cromo, excitado pela lâmpada, emitir espontaneamente um fóton que se desloque ao longo da barra de rubi, tal fóton provocará a emissão de um outro fóton idêntico, que juntos estimularão a emissão de mais dois fótons e assim por diante.

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 e retornando até a outra repetidas vezes. Durante esse processo o número de fótons vai crescendo, devido às emissões estimuladas, e intensificando a radiação.

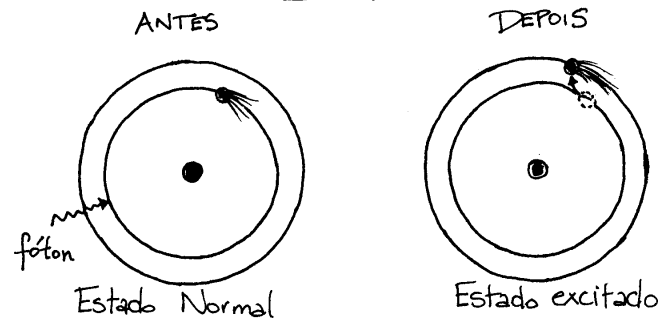
Ao atingir uma certa intensidade, a radiação concentrada escapa através da extremidade semitransparente. Esse feixe de luz é o laser!

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

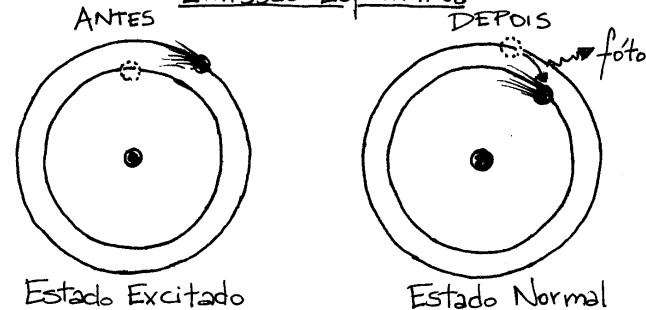
Na figura abaixo estamos representando a barra de rubi em quatro momentos que antecedem a emissão de laser. No momento 1 a lâmpada helicoidal está desligada. No momento 2 a lâmpada é ligada e a sua luz excita os átomos de cromo existentes na barra. No momento 3 ocorre a emissão estimulada e os espelhos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



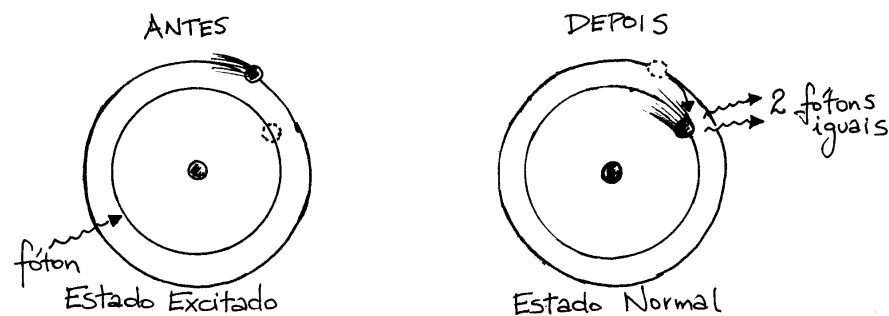
Absorção



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 será a sua cor vermelha.

LEITORAS ÓPTICAS

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

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

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

A máquina registradora pode fornecer essas 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 computador, existe um sistema de leitura com uma fonte de luz e uma célula fotoelétrica.

As figuras listradas são colocadas em frente à luz e, desse modo, a luz emitida pela fonte é absorvida pelas listras 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 listras e as suas respectivas larguras, diferentes impulsos são produzidos no sistema de leitura.



Código de barras

As diferentes formas de combinar barras claras e escuras para formar os números e letras formam diversos códigos de barras. O código mais usado na identificação de itens comerciais é o EAN13. Composto de 13 números que podem ser lidos logo abaixo das barras.

Os primeiros dois (ou três) dígitos ou informam o país de origem (veja a tabela ao lado, o Brasil é 789) ou então são códigos específicos como o código de livros *International Standard Book Number* (ISBN é 978) e o código de partituras musicais *Internacional Standard Music Number* (ISMN é 979).

Os 4 (ou 3) dígitos seguintes representam o código da empresa filiada à EAN. Os próximos 5 representam o código do item comercial dentro da empresa, e o 13º dígito é o dígito verificador, que é obtido por um cálculo com os dígitos anteriores e serve para conferir se a leitura foi efetuada corretamente. Um erro de leitura resultará no cálculo de um número diferente do dígito verificador; essa é a versão digital da regra dos “noves fora”...

País	código EAN
Brasil	789
Argentina	779
Bolivia	777
Chile	780
China	690 até 692
Colombia	770
Espanha	84
EUA	00 até 09
Índia	890
Itália	63
Japão	45 e 49
Hong Kong	489
México	750
Paraguai	784
Peru	785
Portugal	560
Taiwan	471
Uruguai	773
Venezuela	759

Tabela com os dígitos de identificação dos países

Os números codificados em barras

Para o computador entender os números do código de barras é preciso que eles sejam escritos em código binário, com 0 e 1. As barras brancas que refletem a luz correspondem ao código binário 0 e as pretas que absorvem a luz correspondem ao código binário 1. Cada dígito do código de barras EAN é composto por 7 barras de mesma largura. Uma seqüência de barras de uma mesma cor parece tratar-se de uma barra mais larga, no entanto, o leitor óptico interpreta corretamente a barra "larga" como uma seqüência de barras. O primeiro dígito desse código não é codificado em barras, ele determina um entre os dez padrões de barras utilizados para representar os números neste código. Os doze dígitos restantes são divididos em dois grupos de seis dígitos cada; o código do lado esquerdo e o código do lado direito. Ainda fazem parte do código EAN: 3 barras que marcam o início do código (margem à esquerda), 5 barras no centro que indicam o fim do lado esquerdo e o início do lado direito, e 3 barras que indicam o fim do código (margem à direita). Veja o código binário que o leitor laser “enxerga” no código de barras 9788531401152.



—19—

Espelhos planos

Agora vamos
começar a estudar a
Óptica Geométrica.

OS PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

Para construirmos as representações das imagens em espelhos, lentes e sistemas ópticos, precisamos conhecer três regras da óptica.

A primeira delas você já viu, quando montou sua câmara escura. A imagem se formou no papel vegetal porque a luz se propagou em linha reta, atravessando o orifício. A sombra de um objeto se forma porque a luz tangencia as extremidades dele, evitando que a luz faça uma curva para iluminar do outro lado. Os eclipses do Sol e da Lua também ocorrem devido a esse fato, que pode ser enunciado assim:

1. Em um meio homogêneo e isotrópico, a luz se propaga em linha reta.

Quando você vai a espetáculos de *rock*, deve repar (claro, naquele silêncio, você fica tão concentrado que percebe tudo que acontece ao redor) que a luz de um holofote não muda o caminho da luz de outro holofote. Ou quando duas lanternas são acesas, o fecho de uma lanterna não interfere no outro. Os físicos costumam chamar o caminho percorrido pela luz de "trajetória percorrida pelo raio de luz".

2. Quando dois ou mais raios de luz se cruzam, seguem sua trajetória, como se os outros não existissem.

Também deve ter observado que, quando olha alguém pelo espelho, essa pessoa também o vê. Isso só acontece porque os raios de luz são reversíveis, isto é, tanto podem fazer o percurso você-espelho-alguém, como alguém-espelho-você:

3. A trajetória da luz independe do sentido do percurso.

Atividade 1: olhe para um espelho, de preferência grande.

Como aparece sua imagem?

Levante o braço esquerdo. Que braço a sua imagem levantou?

Compare essa imagem com a que você viu na câmara escura. Quais as semelhanças e diferenças?

Por que acontecem essas semelhanças e diferenças?

Atividade 2: fique na frente de um espelho. Agora afaste-se um passo.

O que aconteceu com o tamanho da sua imagem?

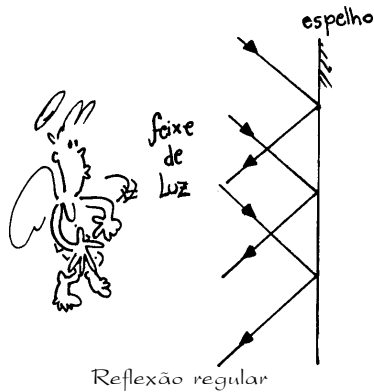
O que aconteceu com o tamanho dos objetos que estão atrás de você?

Imagine que você saia correndo - de costas para continuar olhando sua imagem. O que aconteceria com sua imagem?

A que velocidade ela se afasta de você? E do espelho?

19 Espelhos planos

Refletindo

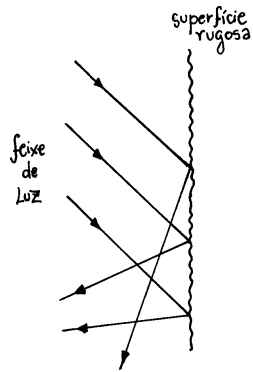


Reflexão regular

Por que, quando olhamos para um espelho, para uma superfície tranqüila de água, para um metal polido ou nos olhos da(o) amada(o), vemos nossa imagem refletida e, quando olhamos para outras coisas, vemos essas coisas e não a nossa imagem?

Quando a superfície refletora é bem plana e polida, a luz incidente muda de direção, mas se mantém ordenada. Isso que acontece quando vemos nossa imagem refletida é chamado *reflexão regular*.

Quando a superfície é irregular, rugosa, a luz volta de maneira desordenada; então temos uma reflexão difusa. Nesse caso, em vez de vermos nossa imagem, vemos o objeto.



Reflexão difusa

O tamanho da imagem

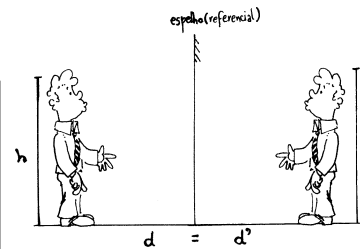
Quando você era criança e leu Alice no País dos Espelhos ficou pensando na possibilidade de "entrar em um espelho". Vários filmes de terror tratam desse tema: os espelhos estão sempre ligados a outras dimensões, "mundos paralelos", ao mundo da magia. Pergunta: onde se forma a imagem?

Na câmara escura, a imagem da chama da vela formava-se no papel vegetal. Você poderia aproximar ou afastar o papel vegetal para focalizar a imagem. No caso de um espelho plano, é impossível captar uma imagem em um anteparo. Dizemos que essa é uma **imagem virtual**.

Uma imagem é virtual quando dá a impressão de estar "atrás" do espelho. Uma criança que engatinha ou um cachorrinho vão procurar o companheiro atrás do espelho.

E a distância da imagem? Primeiro devemos escolher um referencial, que não deve ser o observador, pois este pode mudar de lugar. Utilizamos o próprio espelho como referencial. Assim, a distância da imagem ao espelho é igual à distância do objeto ao espelho.

$$d_o = d_i$$



Quando você levanta seu braço direito, a imagem levanta o braço esquerdo?

Se você estiver olhando sua própria imagem, você será o objeto e o observador, mas na maioria das vezes o objeto e o observador são personagens distintos.

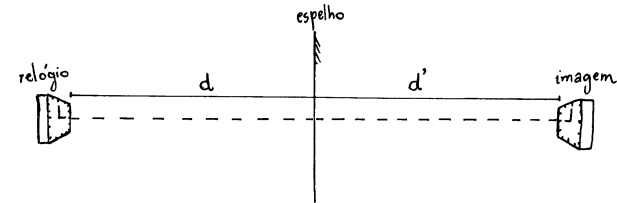
Uma vez definido o referencial, o tamanho da imagem é sempre igual ao tamanho do objeto. É como se objeto e imagem estivessem equidistantes do espelho.

$$o = i$$

Representação da imagem

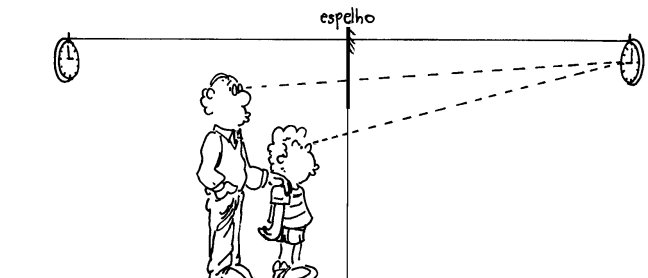
Com estas informações é fácil representar a imagem de qualquer objeto. Basta traçar uma perpendicular ao espelho, passando pelo objeto, um relógio na parede oposta, por exemplo, e manter as distâncias iguais.

Se a posição do objeto não mudar, a posição da imagem também permanecerá a mesma. Enxergar ou não o relógio dependerá da posição do observador.



A distância do relógio ao espelho é igual à distância da imagem ao espelho

Para saber se ele enxergará, traçamos uma reta unindo os olhos à imagem. Se esta reta passar pelo espelho, ele enxergará o relógio.



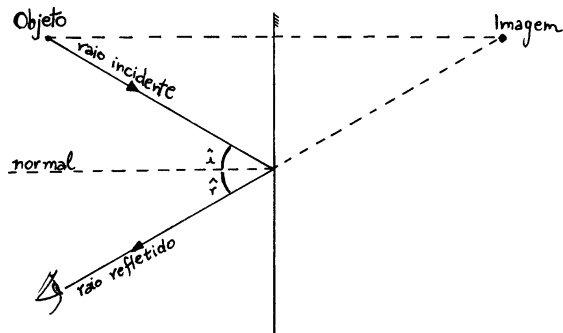
O adulto e a criança enxergarão a imagem do relógio?

As Leis da Reflexão

Vamos observar com atenção a última figura, traçando uma linha perpendicular ao espelho, que chamaremos **reta normal**. Através dela, definimos o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão, e as duas leis da reflexão:

1º O raio incidente, a reta normal e o raio refletido estão situados em um mesmo plano.

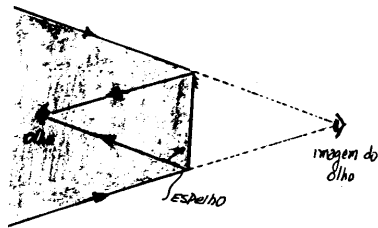
2º O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.



O observador vê a imagem como se ela estivesse atrás do espelho, no prolongamento do raio refletido

Campo visual de um espelho plano

Se você estiver olhando para um espelho, imagine que você é a própria imagem, isto é, alguém que olha por trás do espelho. Desse ponto, as duas linhas que tangenciam as extremidades do espelho delimitam o campo visual do espelho.



Tudo que estiver na área sombreada será visto pelo observador

Construção de um periscópio

Periscópios são instrumentos ópticos utilizados em submarinos para observar o que se passa fora deles. Você irá construir um ou dois periscópios, dependendo do material que utilize. O material utilizado será:

- dois pedaços de espelho plano quadrados (ou retangulares);
- papel-cartão preto, ou um tubo de PVC e dois cotovelos;
- outros (tesoura, cola, fita-crepe...)

A idéia é construir um tubo com os espelhos colocados um em cada extremidade.

Se você optou pela construção em papel-cartão, construa dois periscópios, um para olhar para a frente e outro para olhar para trás (talvez você nunca tenha visto um; aí está a novidade).

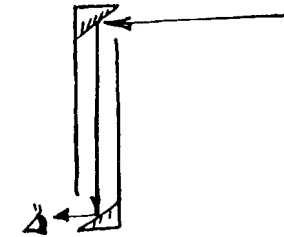
Se optou pelo PVC, basta um, porque você pode girar o cotovelo e olhar para a frente, para trás ou para o lado.

Antes da construção você deve planejar: conforme o tamanho dos espelhos, deve projetar a largura do tubo (se for de papel) e o ângulo em que os espelhos devem ficar.

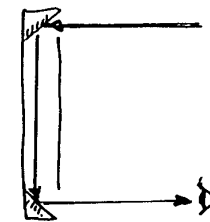
Depois de pronto - e antes de entregar para seu irmãozinho estraçalhá-lo -, observe as imagens que vê.

Por que elas aparecem assim? Estão invertidas? Quando apontamos o periscópio para a frente, a imagem formada é igual à que vemos quando apontamos para trás?

Utilize figuras com raios de luz para ajudá-lo a explicar como as imagens se formaram.



Periscópio para olhar para a frente



Periscópio para olhar para trás

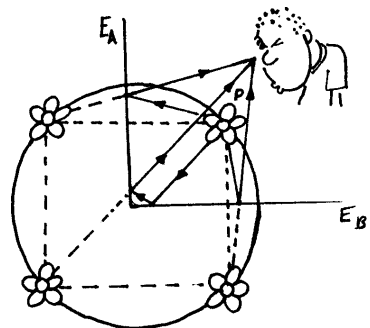
Imagens formadas por dois espelhos planos

- Junte dois espelhos planos com fita-crepe, formando um ângulo de 90° . Coloque um pequeno objeto entre eles e verifique o número de imagens formadas.
- Diminua o ângulo entre os espelhos e verifique o que ocorre com as imagens.
- Retire a fita que une os espelhos, mantendo-os paralelos e um em frente ao outro. Coloque o objeto entre eles e verifique o número de imagens formadas.

Quando colocamos um objeto entre dois espelhos que formam um ângulo de 90° entre si, observamos a formação de três imagens.

Você precisará de dois espelhos planos (de 15 cm por 15 cm, por exemplo) e fita-crepe.

Quando o ângulo é reto, formam-se três imagens



As imagens I_1 e I_2 , "vistas" nos espelhos E_1 e E_2 , são interpretadas como objetos pelos espelhos E_2 e E_1 , respectivamente, e produzem as imagens I_3 e I_4 , que coincidem, correspondendo à terceira imagem vista.

Se diminuirmos o ângulo entre os espelhos, o número de imagens formadas aumenta, atingindo seu limite na situação em que os espelhos são colocados paralelos entre si ($\alpha = 0^\circ$). Nesse caso, teoricamente, deveriam se formar infinitas imagens do objeto, o que, na prática, não se verifica, pois a luz vai perdendo intensidade à medida que sofre sucessivas reflexões.

O número (N) de imagens produzidas por dois espelhos pode ser determinado algebricamente (quando se conhece o ângulo α entre eles) pela expressão:

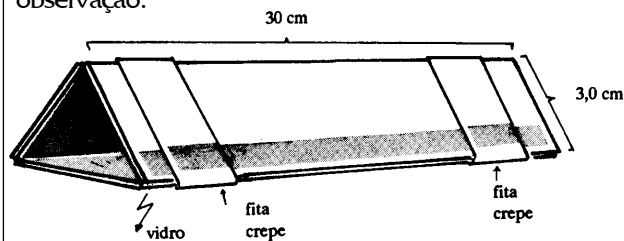
$$N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$$

Observação: esta equação é válida quando a relação $360/\alpha$ for um número par. Quando a relação for um número ímpar, a expressão é válida apenas se o objeto se localizar no plano bissetor do ângulo α , região que divide o ângulo em duas partes iguais.

Construção de um caleidoscópio

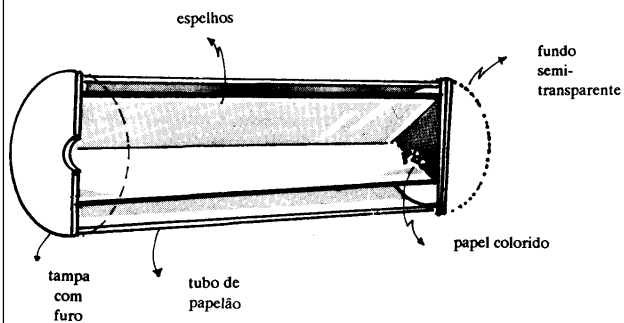
Você precisará de: três espelhos planos, cada um deles com cerca de 30 cm por 3 cm, papelão, papel semitransparente (vegetal, por exemplo), pedaços de papel colorido ou de canudos de refrigerante, tesoura e fita-crepe.

Montagem: prenda com fita-crepe os três espelhos, mantendo a parte espelhada voltada para dentro. Para melhorar, fixe a montagem dos espelhos em um tubo de papelão, onde se faz uma abertura para a observação.



Na outra extremidade faça uma tampa com dois pedaços de papel semitransparente, colocando entre eles alguns pedaços de papel colorido (celofane) ou de canudinhos.

Observe as imagens formadas quando os pedaços de papel se movimentam.



Questões

1) A função principal da tela do cinema é refletir a luz que vem do projetor. Então a tela de tecido pode ser substituída por um espelho? Justifique.

2) Uma pessoa deseja colocar na parede de seu quarto um espelho plano, cuja altura seja tal que ela consiga observar sua imagem por inteiro. Para que isso seja possível, qual deve ser:

- a altura mínima do espelho;
- a distância a que o espelho deve ser colocado em relação ao chão;
- a distância a que a pessoa deve se situar em relação ao espelho.

3) Você calculou que, para que uma pessoa veja a sua imagem inteira num espelho plano, é necessário que o espelho seja de um tamanho igual à metade da altura da pessoa.

Se o espelho retrovisor de um automóvel fosse plano, este deveria ter metade da altura do veículo que dele se aproximasse, para que sua imagem fosse vista por inteiro?

20

Espelhos esféricos

Usados em entrada de elevador e de estacionamento, saída de ônibus, estojo de maquiagem e em retrovisores.



Uma das características de um espelho plano é que ele não distorce a imagem. Quando desejamos aumentar ou diminuir a imagem, invertê-la de ponta-cabeça ou direita-esquerda, usamos um espelho esférico.

Por essa razão é que são usados espelhos esféricos nas salas de espelhos dos parques de diversão: sua função é tornar a pessoa maior/menor, mais gorda/magra...



Atividade 1: Fique na frente de um espelho desses próximos à porta de elevadores ou da porta de saída de um ônibus. Comparando com um espelho plano, responda às questões:

- O tamanho da imagem é maior ou menor?
- O campo visual aumentou ou diminuiu?
- Vá se afastando deste espelho. O que acontece com a imagem?
- Por que nessas situações, como também em alguns retrovisores de motocicletas e de automóveis, são usados espelhos esféricos e não espelhos planos?

Atividade 2: Pegue o estojo de maquiagem de sua mãe. Normalmente nesses estojos existem espelhos esféricos. Comparando com um espelho plano, responda às questões:

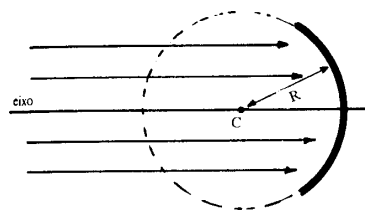
- O tamanho da imagem é maior ou menor?
- O campo visual aumentou ou diminuiu?
- Vá se afastando desse espelho. O que acontece com a imagem?
- Por que nessas situações, como também nos espelhos de dentistas, são usados espelhos esféricos e não espelhos planos?

Compare as respostas das duas atividades. Quais suas semelhanças e diferenças?

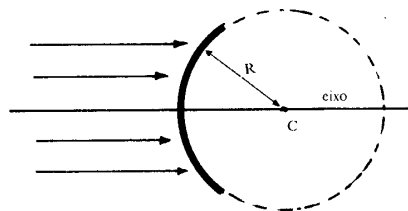
Podemos afirmar que os espelhos de porta de elevador e maquiagem são os mesmos? Justifique.

Os refletores de lanterna, de faróis de automóveis e de refletores podem ser considerados espelhos esféricos?

20 Espelhos esféricos



Espelho côncavo



Espelho convexo

Os espelhos esféricos são constituídos de uma superfície lisa e polida com formato esférico.

Se a parte refletora for interna à superfície, o espelho recebe o nome de espelho **côncavo**; se for externa, é denominado **convexo**.

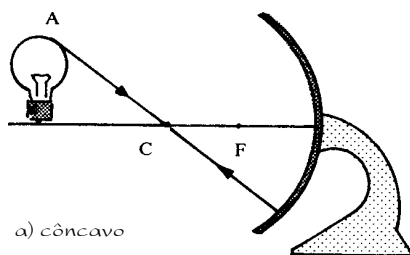
A imagem formada por esses espelhos não é muito nítida. Para estudarmos essas imagens recorreremos às **condições de Gauss** (1777-1855), um matemático, astrônomo e físico alemão:

- o ângulo de abertura deve ser pequeno, no máximo **10°**
- os raios de luz incidentes devem estar próximos do eixo principal e pouco inclinados em relação a ele.

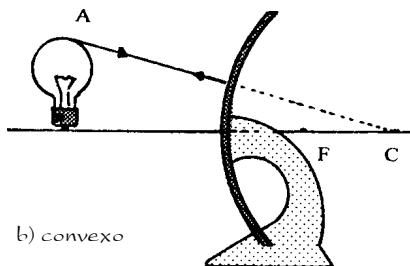
Representação geométrica das imagens

A posição e o tamanho das imagens formadas pelos espelhos esféricos também podem ser determinados geometricamente (como nos espelhos planos) pelo comportamento dos raios de luz que partem do objeto e são refletidos após incidirem sobre o espelho.

Embora sejam muitos os raios que contribuem para a formação das imagens, podemos selecionar três raios que nos auxiliam a determinar mais simplificada suas características:



a) côncavo

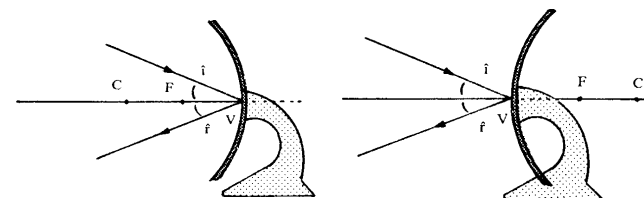


b) convexo

Representação de raios de luz incidindo: (a) em espelho côncavo, passando pelo seu centro de curvatura (C); (b) incidindo no espelho convexo

1) os raios de luz que incidem no espelho passando pelo seu centro de curvatura (C) refletem-se sobre si mesmos, pois possuem incidência normal (perpendicular) à superfície;

2) quando os raios de luz incidem no vértice (V) do espelho, são refletidos simetricamente em relação ao seu eixo principal ($i = r$);



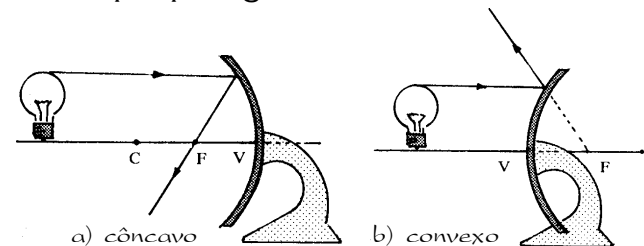
a) côncavo

b) convexo

Raios de luz que incidem no vértice (V) do espelho

3) nos espelhos côncavos, os raios de luz que incidem paralelamente e próximos ao eixo principal são refletidos passando por uma região sobre o eixo denominada foco (F). Num espelho esférico, o foco fica entre o centro de curvatura e o vértice, bem no meio.

Nos espelhos convexos, os raios são desviados, afastando-se do eixo principal, de modo que a posição de seu foco é obtida pelo prolongamento desses raios.



a) côncavo

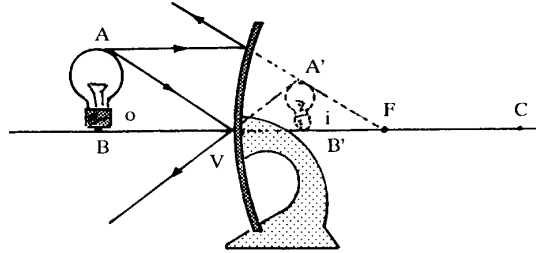
b) convexo

Raios de luz que incidem paralelamente ao eixo principal

A representação geométrica das características das imagens obtidas com espelhos esféricos pode ser efetuada, tal como nos espelhos planos, por meio de um diagrama, onde se traça o comportamento de pelo menos dois raios de luz que partem de um mesmo ponto do objeto.

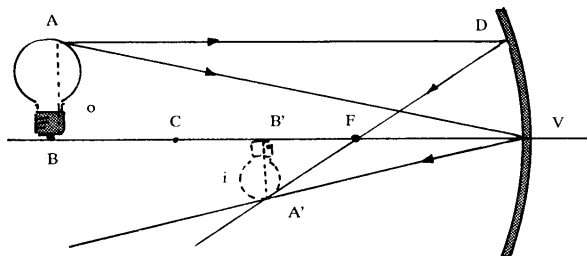
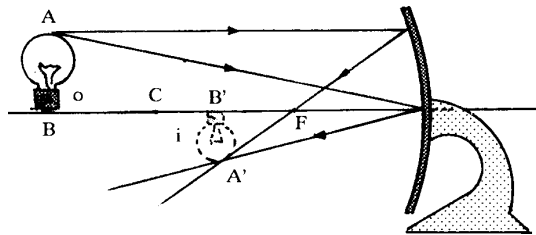
Imagens nos espelhos convexos

No caso dos espelhos convexos, a posição e o tamanho das imagens ficam determinados pelo cruzamento do prolongamento dos raios refletidos, já que esses raios não se cruzam efetivamente.



As características das imagens obtidas pelos espelhos convexos são semelhantes, pois esses espelhos formam **imagens virtuais** (que não podem ser projetadas), **direitas** e **menores** em relação ao objeto, independentemente da posição do objeto.

Nos espelhos côncavos, entretanto, as imagens formadas possuem características distintas, dependendo da posição do objeto em relação ao espelho.



As equações dos espelhos esféricos

Vamos considerar: **o** - altura do objeto;

i - altura da imagem;

d_o - distância do objeto ao vértice;

d_i - distância da imagem ao vértice;

f - distância focal ($f = R/2$).

A relação entre o tamanho da imagem **i** e o tamanho do objeto **o** é denominada **aumento A** ou ampliação fornecido pelo espelho:

$$A = \frac{i}{o}$$

Pela semelhança entre os triângulos ABV e A'B'V (dois triângulos retângulos com ângulos congruentes), podemos escrever a equação do aumento:

$$\frac{i}{o} = \frac{d_i}{d_o}$$

E pela semelhança entre os triângulos VDF e A'B'F, podemos deduzir:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

A equação do aumento e esta última são válidas para espelhos côncavos e convexos, imagens reais ou virtuais, desde que sejam consideradas as convenções:

a) a distância d_o (ou d_i) será positiva se o objeto (ou a imagem) for real, e negativa se for virtual;

b) a distância focal será positiva quando o espelho for côncavo, e negativa quando for convexo;

c) na equação do aumento é considerado sempre o módulo das distâncias envolvidas.

Questões

1) Coloque uma vela na frente de um espelho côncavo. Analise como e onde ocorre a formação da imagem quando a vela estiver:

- a) antes do centro de curvatura (C);
- b) no centro de curvatura;
- c) entre o centro e o foco(F);
- d) no foco;
- e) entre o foco e o vértice (V).

Faça esquemas para essa análise.

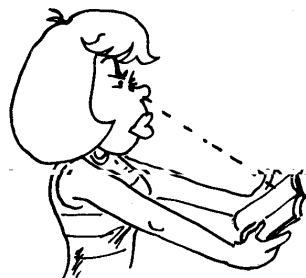
2) A maioria dos espelhos retrovisores usados em motos são convexos.

- a) Que tipo de imagem eles formam?
- b) Qual a vantagem em se usar esse espelho?
- c) Qual a distância focal de um espelho que fornece uma imagem distante 8 m do objeto, quando este está a 6 cm do espelho?
- d) Qual o aumento dessa imagem?

— 21 —

Defeitos da visão

Que tipo de lente um míope deve usar?
É um hipermetrope?
O que é "vista cansada"?



O Nome da Rosa

"Guilherme enfiou as mãos no hábito, onde este se abria no peito formando uma espécie de sacola, e de lá tirou um objeto que já vira em suas mãos e no rosto, no curso da viagem. Era uma forquilha, construída de modo a poder ficar sobre o nariz de um homem (e melhor ainda, sobre o dele, tão proeminente e aquilino), como um cavaleiro na garupa de seu cavalo ou como um pássaro num tripé. E dos dois lados da forquilha, de modo a corresponder aos olhos, expandiam-se dois círculos ovais de metal, que encerravam duas amêndoas de vidro grossas como fundo de garrafa.

Com aquilo nos olhos, Guilherme lia, de preferência, e dizia que enxergava melhor do que a natureza o havia dotado, ou do que sua idade avançada, especialmente quando declinava a luz do dia, lhe permitia. Nem lhe serviam para ver de longe, que para isso tinha os olhos penetrantes, mas para ver de perto. Com aquilo ele podia ler manuscritos inscritos em letras bem finas, que até eu custava a decifrar. Explicara-me que, passando o homem da metade de sua vida, mesmo que sua vista tivesse sido sempre ótima, o olho se endurecia e relutava em adaptar a pupila, de modo que muitos sábios estavam mortos para a leitura e a escritura depois dos cinqüenta anos.

Grave dano para homens que poderiam dar o melhor de sua inteligência por muitos anos ainda. Por isso devia-se dar graças a Deus que alguém tivesse descoberto e fabricado aquele instrumento. E me falava isso para sustentar as idéias de seu Roger Bacon, quando dizia que o objetivo da sabedoria era também prolongar a vida humana".

Umberto Eco. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1983 (pág. 94/95).

O fenômeno da visão pode ser dividido em três etapas: o estímulo causado pela luz proveniente dos objetos, a sua recepção pelo olho humano, onde se forma a imagem, e a sensação de visão que corresponde ao processamento das informações transmitidas do olho para o cérebro.

Mesmo na presença de luz, uma pessoa pode não enxergar caso haja algum problema na recepção do estímulo (olho), em função de deformações congênitas, moléstias, acidentes, ou do processamento das informações (sistema neurofisiológico).

Estes casos não serão estudados, porque dizem mais respeito à biologia e à medicina.

Na maior parte dos casos, os problemas associados à visão referem-se à focalização, isto é, o olho não produz imagens nítidas dos objetos ou das cenas.

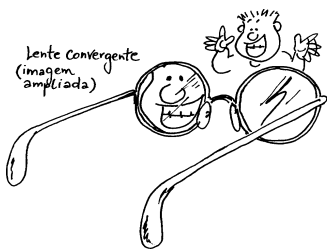
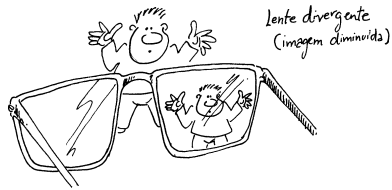
Assim, é comum observarmos pessoas que aproximam os objetos dos olhos, enquanto outras procuram afastá-los, para enxergá-los nitidamente.

Os óculos e as lentes têm a função de resolver problemas associados à focalização.

21 Defeitos da visão

As lentes e os defeitos da visão

Podemos identificar o tipo de lente utilizada nos óculos das pessoas, e portanto o tipo de problema de visão, por meio de testes muito simples.



Atividade 1: coloque os óculos entre uma figura e o olho. A figura ficou diminuída ou ampliada?

Atividade 2: Observe uma figura através da lente mantida a cerca de 50 cm do olho e faça uma rotação. A figura ficou deformada?

Na primeira atividade, se a figura ficou diminuída, a lente é **divergente**, usada para corrigir **miopia**, que é a dificuldade em enxergar objetos distantes.

Se ficou ampliada, trata-se de uma lente **convergente**, utilizada para corrigir **hipermetropia** (dificuldade em enxergar objetos próximos).

Na segunda atividade, havendo deformação, a lente tem correção para **astigmatismo**, que consiste na perda de focalização em determinadas direções. Essas lentes são **cilíndricas**.

Um outro defeito de visão semelhante à hipermetropia é a **presbiopia**, que difere quanto às causas. Ela se origina das dificuldades de acomodação do cristalino, que vai se tornando mais rígido a partir dos 40 anos.

A correção desse problema é obtida pelo uso de uma lente convergente para leitura.

Assim, ou a pessoa usa dois óculos ou óculos bifocais: a parte superior da lente é usada para a visão de objetos distantes, e a parte inferior para objetos próximos.

Quando a pessoa não tem problemas em relação à visão de objetos distantes, a parte superior de suas lentes deve ser plana, ou então ela deve usar óculos de meia armação.

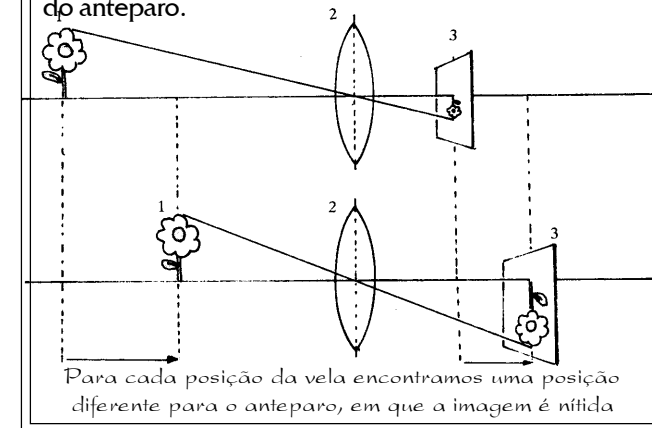
Focalização no olho humano

Vamos fazer uma simulação para entender a formação de imagens no olho humano.

Atividade 3: Você precisará de uma vela, uma lente convergente, uma folha de papel, fósforo e um ambiente escuro.

A vela será o objeto iluminado; a lente convergente representará o cristalino, e o papel, a retina, onde se forma a imagem.

Coloque a vela a uma grande distância da lente, encontrando uma posição para o anteparo em que a imagem é nítida. Aproxime a vela e verifique que a imagem perde nitidez para essa posição do anteparo, ou seja, a imagem não se forma na mesma posição anterior. Se quiser focalizá-la, deve alterar a posição do anteparo.



No olho humano, a posição do anteparo (retina) é fixa, porém a imagem está sempre focalizada. Isso acontece porque o cristalino, a lente responsável pela focalização, modifica seu formato, permitindo desvios diferenciados da luz através da alteração de sua curvatura.

Quando a distância entre a lente e o objeto é muito grande, a luz proveniente do objeto chega à lente e é desviada para uma certa posição do anteparo. A imagem estará focalizada e será vista com nitidez.



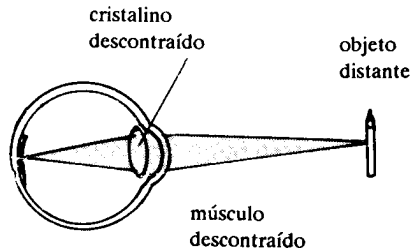
Essa posição, onde acontece a convergência da luz, é a distância focal f , uma característica da lente.

Acomodação visual

Para pessoas sem dificuldade de visão, quando um objeto se encontra a mais de 6 metros do olho, a imagem se formará sobre a retina, sem nenhum esforço para o cristalino.

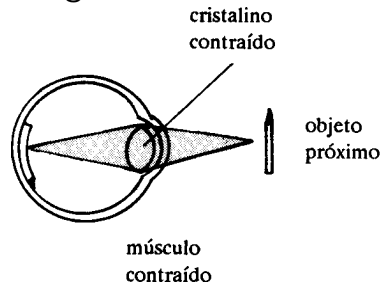
Nessa situação sua curvatura é menos acentuada, ou seja, apresenta uma forma mais plana.

Imagem obtida sem esforço do cristalino (curvatura mínima)



À medida que o objeto se aproxima do olho, o cristalino se torna mais encurvado pela ação dos músculos que o sustentam, mantendo a imagem focalizada na retina.

Imagem obtida com esforço máximo do cristalino (curvatura máxima)



Esse processo é limitado, atingindo seu limite para objetos situados a cerca de 25 cm do olho, no caso de pessoas com visão normal. Isto é chamado acomodação visual.

Na prática, a acomodação do cristalino ocorre dentro de um intervalo:

- a) a posição mais próxima do olho, para a qual o cristalino, com máximo esforço, projeta a imagem focalizada na retina (25 cm), é denominada ponto próximo;
- b) a posição a partir da qual o cristalino fornece imagens focalizadas, sem realizar nenhum esforço (6 m), é denominada ponto remoto.

As lentes corretoras e a nitidez da imagem

Pegue novamente a vela, a lente convergente e o anteparo e faça a montagem para a imagem aparecer focalizada.

Em seguida, afastando apenas o anteparo, a imagem perderá a nitidez, isto é, ficará desfocada.

Essa simulação corresponde à miopia, e sua causa pode estar associada a um alongamento do globo ocular ou a uma mudança no índice de refração dos meios transparentes do olho (humor vítreo e aquoso).

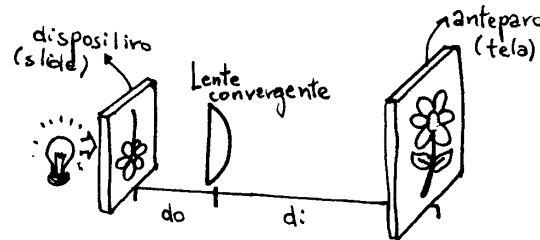
Quando uma pessoa de visão normal observa um objeto a mais de 6 m, o cristalino focaliza a imagem sobre a retina, enquanto no olho míope a imagem nítida se focalizará antes da retina.

Para os míopes, a posição mais distante (ponto remoto) para um objeto projetar a imagem sobre a retina é inferior a 6 m.

Como nem sempre isso é possível, a alternativa é usar lente divergente.

Assim, a luz chega ao olho mais espalhada, o que implica a necessidade de uma distância maior para voltar a convergir em um ponto.

Para simular um olho hipermetrope, aproxime o anteparo da lente, além do seu foco, e a imagem ficará desfocada.



Simulação do olho humano

Esse defeito - a imagem nítida formar-se "atrás" da retina - pode ser causado por encurtamento do globo ocular ou por anomalia no índice de refração dos meios transparentes do olho.

"Pois é", disse, "como poderá?"

"Não sei mais. Tive muitas discussões em Oxford com meu amigo Guilherme de Ockham, que agora está em Avignon. Semeou minha alma de dúvida. Porque se apenas a intuição do individual é justa, o fato de que causas do mesmo gênero tenham efeitos do mesmo gênero é proposição difícil de provar. Um mesmo corpo pode ser frio ou quente, doce ou amargo, úmido ou seco, num lugar - e num outro não. Como posso descobrir a ligação universal que torna ordenadas as coisas se não posso mover um dedo sem criar uma infinidade de novos entes, uma vez que com tal movimento mudam todas as relações de posição entre o meu dedo e todos os demais objetos? As relações são os modos pelos quais a minha mente percebe a relação entre entes singulares, mas qual é a garantia de que esse modo seja universal e estável?"

"Mas vós sabeis que a uma certa espessura de um vidro corresponde uma certa potência de visão, e é porque o sabeis que podeis construir agora lentes iguais àquelas que perdestes, de outro modo como poderíeis?"

"Resposta perspicaz, Adso. Com efeito elaborei essa proposição, que à espessura igual deve corresponder igual potência de visão. Pude fazê-la porque outras vezes tive intuições individuais do mesmo tipo. Certamente é sabido por quem experimenta a propriedade curativa das ervas que todos os indivíduos herbáceos da mesma natureza têm no paciente, igualmente disposto, efeitos da mesma natureza, e por isso o experimentador formula a proposição de que toda erva de tal tipo serve ao febril, ou que toda lente de tal tipo melhora em igual medida a visão do olho. A ciência de que falava Bacon versa indubitavelmente em torno dessas proposições. Repara, estou falando de proposições sobre as coisas, não das coisas. A ciência tem a ver com as proposições e os seus termos, e os termos indicam coisas singulares. Entende, Adso, eu devo acreditar que a minha proposição funcione, porque aprendi com base na experiência, mas para acreditar deveria supor que nela existem leis universais, contudo não posso afirmá-las, porque o próprio conceito de que existam leis universais, e uma ordem dada para coisas, implicaria que Deus fosse prisioneiro delas, enquanto Deus é coisa tão absolutamente livre que, se quisesse, e por um só ato de sua vontade, o mundo seria diferente."

Umberto Eco. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1983 (pág. 241/242).

1) Baseado nos trechos das páginas 81 e 84, responda:

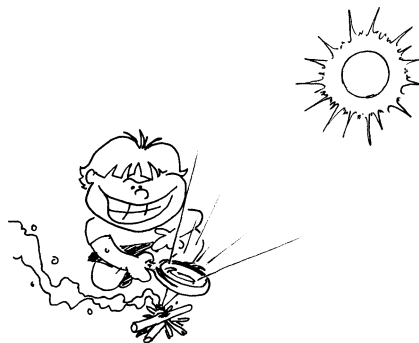
a) Qual é o defeito de visão do Guilherme? Justifique.

b) "A ciência de que falava Bacon versa indubitavelmente em torno dessas proposições." Qual é, ou o que é, essa "ciência" de que Bacon falava? Quem é esse Roger Bacon? É um personagem fictício ou real?

c) Guilherme cita ervas e lentes. Qual a relação entre elas?

2) Uma pessoa míope, quando criança, pode, em alguns casos, ter uma visão quase normal quando atingir a meia-idade. Por que isso é possível? Isso também ocorreria se ela fosse hipermetrope?

3) A lupa é uma lente de faces convexas geralmente usada como "lente de aumento". Usando uma lente desse tipo, é possível queimar papel em dia de sol. Como se explica esse fato?



4) Uma pessoa de 1,80 m de altura é observada por outra, situada a 40 m de distância. Determine geometricamente a imagem formada na retina do observador e calcule seu tamanho, considerando que a distância da pupila à retina é de 0,02 m.

5) Calcule a variação da vergência de um olho normal, considerando que a distância entre a lente do olho e a retina é de cerca de 2 cm.

6) O ponto remoto de um olho corresponde à maior distância para a qual o cristalino fornece imagens nítidas sem realizar nenhum esforço. Se o ponto remoto de um olho míope é de 4 m, qual a vergência do olho e a da lente usada para corrigir miopia?

22

As lentes esféricas

Como acontece a refração em lentes esféricas?

Níquel Náusea

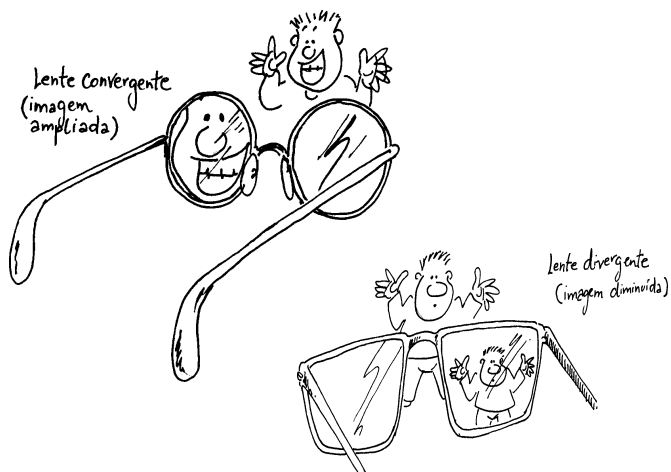
Fernando Gonsales

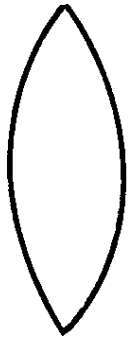


Folha de São Paulo - 31/10/93

Repita a experiência do Flit. Não a de ficar de porre; a de olhar através de um copo cilíndrico cheio de água.

Como você enxergaria a imagem do Níquel Náusea? Em que condições você enxergaria como o Flit?





biconvexa

As lentes esféricas são delimitadas por faces curvas (calotas esféricas) e se distinguem das lentes cilíndricas por reproduzirem a mesma imagem quando giradas em torno do eixo óptico.

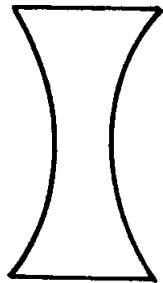
Quando as duas faces de uma lente são convexas, dizemos que ela é do tipo biconvexa, e quando ambas são côncavas, a lente é denominada bicôncava.

Além desses tipos mais comuns, existem ainda as lentes plano-côncava, côncava-convexa e convexo-côncava.

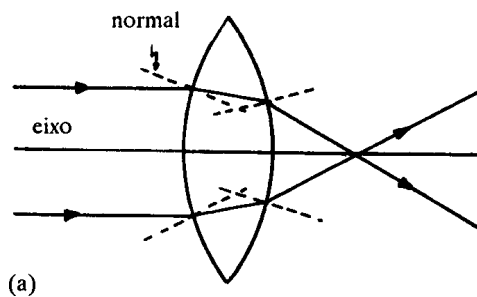
Quando um raio luminoso incide numa lente de vidro biconvexa, paralelamente ao eixo da lente, este se refrata, aproximando-se da normal (se o índice de refração do meio que a envolve for menor que o do material que a constitui).

Ao emergir dela, torna a se refratar, afastando-se da normal à segunda face.

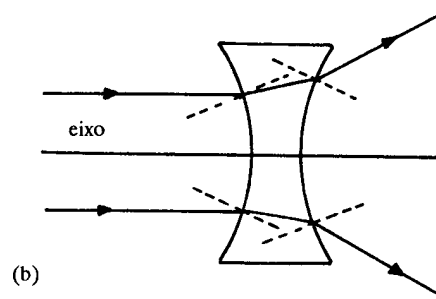
Ao emergir da segunda face, todos os raios de luz que incidiram paralelamente ao eixo da lente convergem para uma região de seu eixo chamada foco. Por esse motivo, esse tipo de lente recebe o nome de **convergente**.



bicôncava



(a)



(b)

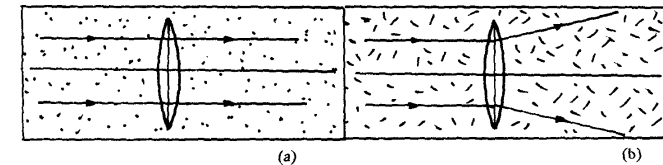
Nas lentes de vidro bicôncavas, os raios de luz que incidem na lente paralelamente ao eixo também se aproximam da normal, e ao emergirem da lente para o ar refratam-se novamente, afastando-se da normal à segunda face.

Nessa situação, devido à geometria da lente, esses raios não convergem para uma região, de forma que esse tipo de lente recebe o nome de **divergente**.

O fato de uma lente ser convergente ou divergente depende do meio onde ela se encontra, pois esses comportamentos estão associados às diferenças entre os índices de refração do material de que é feita a lente e do meio.

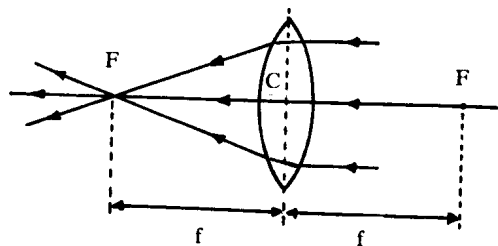
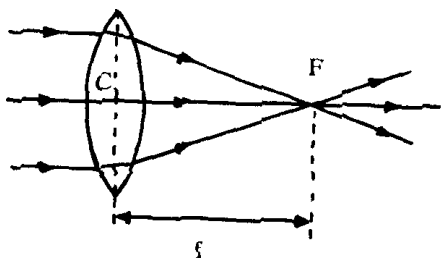
Se uma lente biconvexa encontra-se no ar, certamente se comportará como convergente, pois, seja feita de vidro, seja de plástico, o índice de refração do ar será menor que o desses materiais.

Entretanto, se o índice de refração do meio e o do material de que é feita a lente forem iguais, os raios de luz não sofrerão desvios (isso significa que a lente ficará "invisível"), e se o meio possuir índice de refração maior que o do material da lente, esta se comportará como divergente.



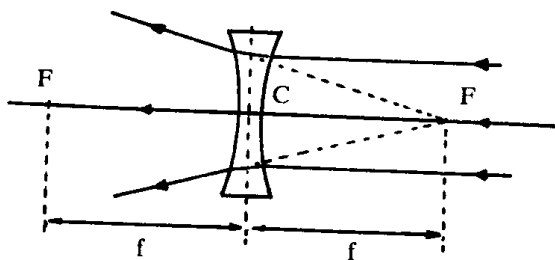
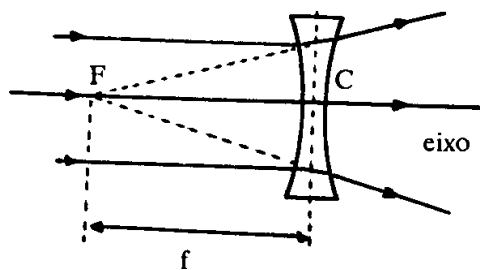
Comportamento de uma lente bicôncava quando o meio possui índice de refração igual ao do material de que é feita (a) e quando é maior (b)

Nas lentes convergentes, a região para onde convergem os raios de luz que incidem paralelamente ao eixo é denominada **foco**.



Nas lentes divergentes não há um local de convergência dos raios de luz, mas é possível definir-se o foco desse tipo de lente pelo prolongamento dos raios que emergem da segunda face.

Por isso o foco das lentes divergentes é denominado virtual.



Como os raios de luz podem incidir tanto por uma como por outra face, podemos determinar, para uma mesma lente, dois focos simétricos em relação ao centro da lente.

O traçado dos raios de luz pode ser simplificado ao considerarmos as condições de Gauss, o que permite a omissão do trajeto dos raios dentro da lente.

Além disso, para localizar as imagens formadas é suficiente acompanhar o caminho de somente dois raios de luz entre os muitos que partem de um ponto do objeto e incidem na lente.

Um deles parte de um ponto-objeto, incide paralelamente ao eixo óptico, e refrata-se, passando pelo foco.

O outro é aquele que ao passar pelo centro óptico da lente não sofre nenhum desvio, devido ao comportamento simétrico da lente.

Representando num diagrama esses dois raios de luz, podemos obter o tamanho e a posição da imagem formada pela lente através do cruzamento desses raios após serem refratados.

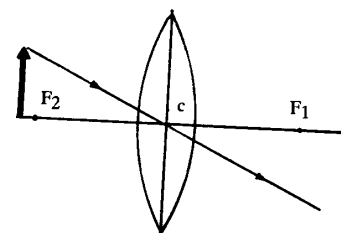
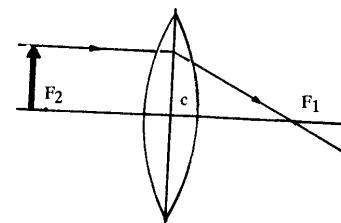
Variando-se a posição do objeto em relação à lente, o tamanho e a posição da imagem serão modificados.

No caso de lentes convergentes, quando o objeto se encontra posicionado entre o foco e a lente, os raios de luz escolhidos não se cruzam efetivamente.

Neste caso, a posição e o tamanho da imagem são determinados pelo cruzamento do prolongamento dos raios refratados.

Nas lentes esféricas divergentes, os mesmos raios de luz podem ser utilizados para determinar a posição e o tamanho das imagens por esse tipo de lente. Neste caso, a imagem é obtida pelo cruzamento entre o prolongamento do raio refratado e o raio que não sofre desvio.

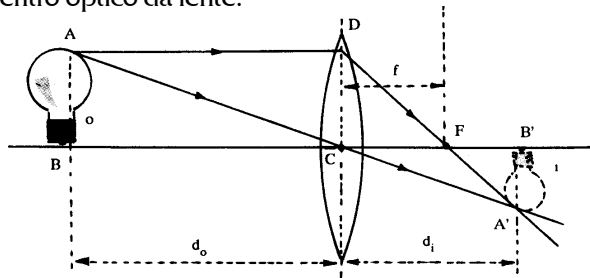
Assim, as imagens podem ser formadas pelo cruzamento efetivo dos raios refratados ou pelo cruzamento dos prolongamentos desses raios.



As equações das lentes esféricas

As características das imagens formadas pelas lentes também podem ser determinadas analiticamente, isto é, através de equações.

Se um objeto de altura o for colocado perpendicularmente sobre o eixo principal de uma lente convergente a uma distância d_o do centro óptico da lente, a imagem formada terá uma altura i e estará situada a uma distância d_i do centro óptico da lente.



A relação entre o tamanho da imagem e o do objeto é a mesma que vimos para espelhos esféricos. Da semelhança entre os triângulos ABC e A'B'C, podemos reescrever a relação anterior da seguinte forma:

$$A = \frac{i}{o} = \frac{d_i}{d_o}$$

E da semelhança entre os triângulos CDF e A'B'F, podemos deduzir:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

Essa equação pode ser aplicada a qualquer tipo de lente, convergente ou divergente, e para imagens reais e virtuais, desde que a seguinte convenção de sinais seja adotada:



a) a distância d_o (ou d_i) será positiva se o objeto (ou a imagem) for real, e negativa se for virtual;



b) a distância focal f será positiva quando a lente for convergente, e negativa quando for divergente.

Questões

- 1) A que distância de uma criança, cuja altura é 1 m, devemos nos colocar para fotografá-la com uma máquina fotográfica de 3 cm de profundidade (entre a lente e o filme) que permita fotos de 2 cm de altura? Qual a distância focal da lente?
- 2) Uma pessoa de 1,80 m de altura é observada por outra, situada a 40 m de distância. Determine geometricamente a imagem formada na retina do observador e calcule seu tamanho, considerando que a distância da pupila à retina é de 2 cm.
- 3) A partir da figura ao lado e considerando os triângulos semelhantes indicados, você é capaz de deduzir as duas equações escritas nesta página?

—23—

Os instrumentos

ópticos

Associando-se espelhos,
lentes e prismas,
constroem-se os vários
instrumentos ópticos.

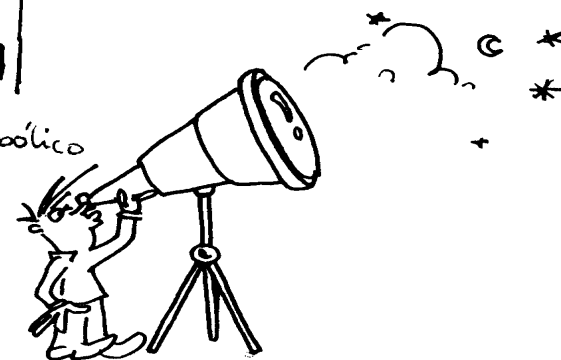
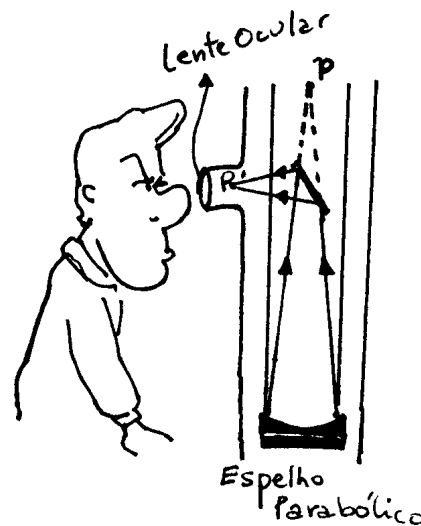
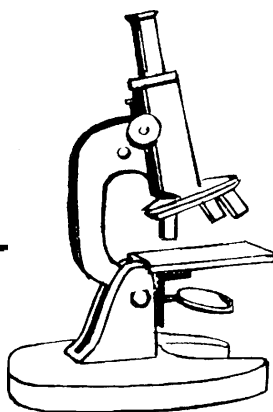
O olho humano normal sempre é capaz de perceber e focalizar um certo campo de visão, dentro do qual se inserem vários objetos. Porém, para focalizarmos um objeto próximo, tudo aquilo que está distante perde a nitidez.

Em nosso campo de visão sempre existirão objetos que se encontram a diferentes distâncias de nossos olhos. Se alguns objetos estiverem muito afastados, como a Lua e as estrelas, poderemos focalizá-los, mas seus detalhes não serão percebidos.

Por outro lado, se o objeto estiver próximo mas for muito pequeno, como um inseto, muitos detalhes serão perdidos.

A associação conveniente de lentes a um olho de visão normal (ou corrigida) pode permitir que vejamos detalhes que a olho nu não seria possível, por esses objetos estarem muito distantes ou por serem muito pequenos.

Para que um olho normal possa observar tais detalhes, é necessário ampliar a imagem do objeto, o que pode ser conseguido com o uso de determinados instrumentos ópticos, como lupa, microscópio, retroprojetor, projetores de filme e de *slide*, luneta, telescópio, binóculo...



Instrumentos de observação

Lunetas, telescópios e binóculos são alguns dos instrumentos que nos auxiliam a enxergar detalhes de objetos distantes, como as montanhas, a Lua, as estrelas e muitos outros.

Se quisermos observar em detalhes objetos pequenos, como um inseto, recorreremos a outros instrumentos, como a lupa e o microscópio, cuja função é ampliar a imagem de objetos que se encontram próximos.

Esses instrumentos ópticos são constituídos basicamente pela associação de uma ou mais lentes. A **lupa** - também denominada **microscópio simples** - é constituída de uma única lente esférica convergente.



Uma lente convergente - a lupa

Quanto maior for o aumento desejado, menor deve ser sua distância focal. A lente só se comportará como lupa quando o objeto estiver colocado numa distância inferior à sua distância focal.

Apesar dessa ampliação, a lupa não serve para a observação de objetos muito pequenos como células e bactérias, pois nesses casos se faz necessário um aumento muito grande.

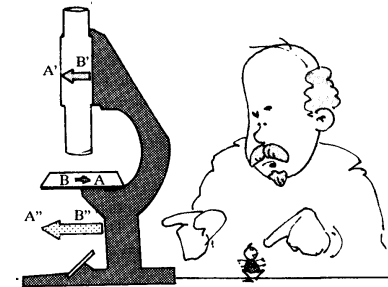
A solução é associarmos duas ou mais lentes convergentes, como no **microscópio composto**.

Uma lente de distância focal da ordem de milímetros - denominada objetiva (próxima ao objeto) - é associada a uma segunda lente - denominada ocular (próxima ao olho) - que funciona como lupa.

Em relação à primeira lente (objetiva), o objeto encontra-se posicionado entre uma e duas distâncias focais, o que permite a formação de uma imagem invertida e maior.

Essa primeira imagem deve estar posicionada dentro da distância focal da lente ocular, para que esta última funcione como uma lupa, cujo objeto é a imagem obtida com a objetiva.

A imagem final fornecida pela lente ocular será maior ainda e invertida em relação ao objeto.



Um microscópio composto - para ver coisas muito pequenas

Os **projetores** de filmes e *slides*, assim como os retroprojetores também têm a função de fornecer uma imagem maior que o objeto.

Nos projetores isso é conseguido colocando-se entre o filme e a tela onde a imagem será projetada uma lente convergente.

Nesses instrumentos, o filme (objeto), além de bem iluminado, deve estar um pouco além da distância focal da lente, para que a imagem formada seja real e maior, tornando possível sua projeção na tela.

Dessa forma, a lente não funciona como uma lupa, pois nesse caso a imagem obtida, apesar de ainda maior, seria virtual, inviabilizando a projeção.

Como a imagem formada é invertida, o filme/*slide* é colocado invertido no projetor, para obtermos uma imagem final direita.

A **luneta astronômica** é constituída de duas lentes convergentes, uma objetiva e uma ocular, sendo a primeira de grande distância focal - da ordem de decímetros e até metros -, e a segunda com distância focal menor - da ordem de centímetros.

O fato de o objeto estar muito distante faz com que a imagem formada pela lente objetiva fique posicionada na sua distância focal, comportando-se como objeto para a lente ocular.

Deste modo, o comprimento do tubo do instrumento corresponde aproximadamente à soma das distâncias focais das lentes objetiva e ocular.

A lente ocular pode funcionar de duas formas: como uma lupa, fornecendo uma imagem final virtual, invertida em relação ao objeto e mais próxima, quando observamos diretamente os astros; ou como a lente de um projetor, fornecendo uma imagem real, que pode ser projetada, como é realizada na observação indireta do Sol num anteparo.

A **luneta astronômica** não é adequada para a observação de objetos na Terra, pois a imagem final formada por esse instrumento é invertida em relação ao objeto.

As **lunetas terrestres** são adaptadas para fornecer uma imagem final direita.

Podem ser feitas várias adaptações. Na luneta de Galileu, essa inversão é obtida usando-se como ocular uma lente divergente, e como objetiva uma lente convergente.

Essas lentes localizam-se uma em cada extremidade de um tubo, cujo comprimento depende das características e da necessidade de a imagem final estar localizada no ponto próximo do observador.

Nas lunetas, a dimensão das imagens formadas nas lentes depende de suas distâncias focais.

Quanto maior a distância focal da objetiva, maior a imagem por ela formada.

Com relação à ocular, quanto menor sua distância focal, maior o tamanho da imagem final, pois mais próxima da lente a imagem-objeto deverá estar posicionada.

O **telescópio** também é parecido com a luneta astronômica. É constituído por duas lentes convergentes, sendo a objetiva de grande distância focal, e a ocular de pequena distância focal.

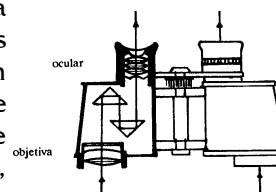
Ele recebe o nome de telescópio de refração e é construído de forma que possa trabalhar com diversas oculares, de diferentes distâncias focais, e ser ajustado para vários aumentos.

As características das lentes objetiva e ocular determinam o aumento de que é capaz um telescópio refrator.

Esse aumento possui limitações relacionadas ao tamanho do tubo necessário para acomodar as lentes e também aos fenômenos de difração e de aberrações cromática e esférica.

O **binóculo** é um instrumento que pode ser construído a partir de duas lunetas terrestres do tipo Galileu.

Esse instrumento proporciona a sensação de profundidade, pois ao olharmos para um objeto com os dois olhos, cada olho fornece a mesma imagem vista de ângulos ligeiramente diferentes, que ao ser interpretada pelo cérebro nos dá a sensação de uma imagem tridimensional.



A ampliação obtida com esse tipo de binóculo é menor se comparada com a obtida por um binóculo construído a partir de lunetas astronômicas.

Neste caso a imagem fica invertida, e por isso são utilizados dois prismas de reflexão total para cada luneta, de forma que a imagem fique direita.

A disposição desses prismas permite também que o comprimento do instrumento seja reduzido.

Questões

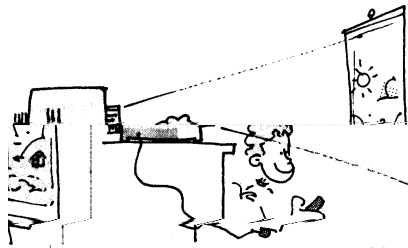
No **retroprojektor**, a associação de lentes convergentes e um espelho plano também fornece uma imagem ampliada do objeto, que neste caso é um texto ou uma figura impressa num tipo de plástico, conhecido como transparência.

A luz, posicionada na base do instrumento, atravessa a figura a ser projetada e incide numa lente convergente, que forma no espelho plano uma imagem maior do que o objeto.

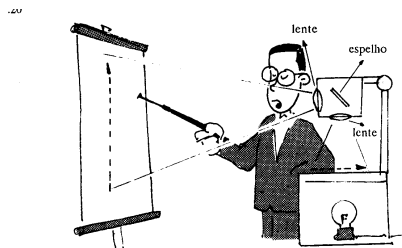
O espelho reflete essa imagem, que servirá de objeto para uma segunda lente convergente colocada em ângulo reto. Essa segunda lente forma na tela uma imagem final direita e maior que o objeto.

Nesse instrumento as imagens formadas pelas duas lentes também deverão ser reais, pois a primeira imagem será objeto para a segunda lente, enquanto essa imagem final deverá ser real para tornar possível sua projeção.

Dessa forma, tanto a imagem-objeto como a final deverão estar posicionadas fora da distância focal das lentes.



Um projetor de slides



Num retroprojektor o espelho plano faz a diferença

1) O tamanho da imagem obtida por uma luneta é maior do que o tamanho do objeto? Justifique.

2) A lupa é uma lente de faces convexas geralmente usada como "lente de aumento". Usando uma lente desse tipo, é possível queimar pedaços de madeira seca ou de papel quando nela incidem os raios de Sol. Como se explica esse fato?

3) Um microscópio caseiro foi construído com duas lentes convergentes de distâncias focais iguais a 1 cm (objetiva) e 3 cm (ocular). De um objeto situado a 1,2 cm da objetiva, o instrumento fornece uma imagem virtual localizada a 25 cm da ocular. Determine:

a) o aumento linear transversal fornecido pela objetiva e pela ocular;

b) o aumento linear transversal do microscópio;

c) a distância entre as duas lentes.

4) Uma luneta astronômica simples é constituída por duas lentes convergentes com distâncias focais de 60 cm (objetiva) e 1,5 cm (ocular). A imagem de um astro, observada através desse instrumento, forma-se a 43,5 cm da ocular. Determine:

a) o comprimento do tubo que constitui a luneta;

b) o aumento linear transversal fornecido pela luneta.