

# *A Natureza da Luz*

Viagem dos velhos mitos aos mais  
recente avanços da ciência

**José Figueiredo**

([jlongras@ualg.pt](mailto:jlongras@ualg.pt))

Departamento de Física

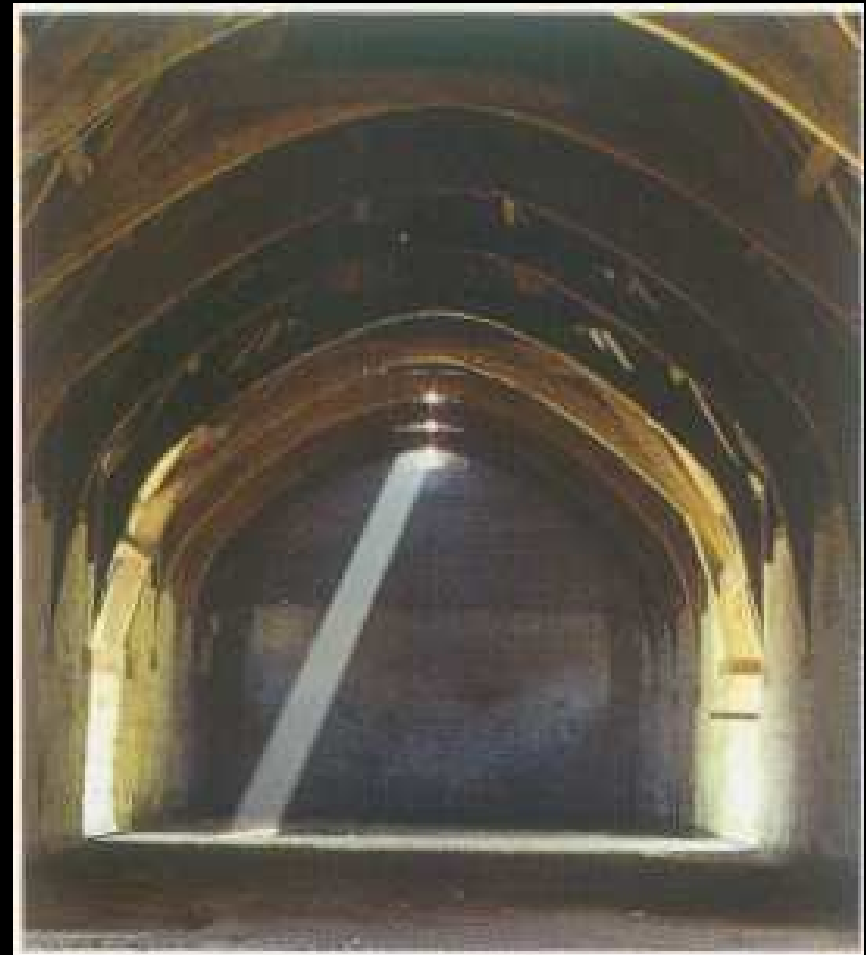
Faculdade de Ciências e Tecnologia

Universidade do Algarve

(<http://w3.ualg.pt/~jlongras/temas-interesse.htm>)

# *A Natureza da Luz*

Viagem dos velhos  
mitos aos mais  
recentes avanços  
da ciência.



# A Luz na Natureza



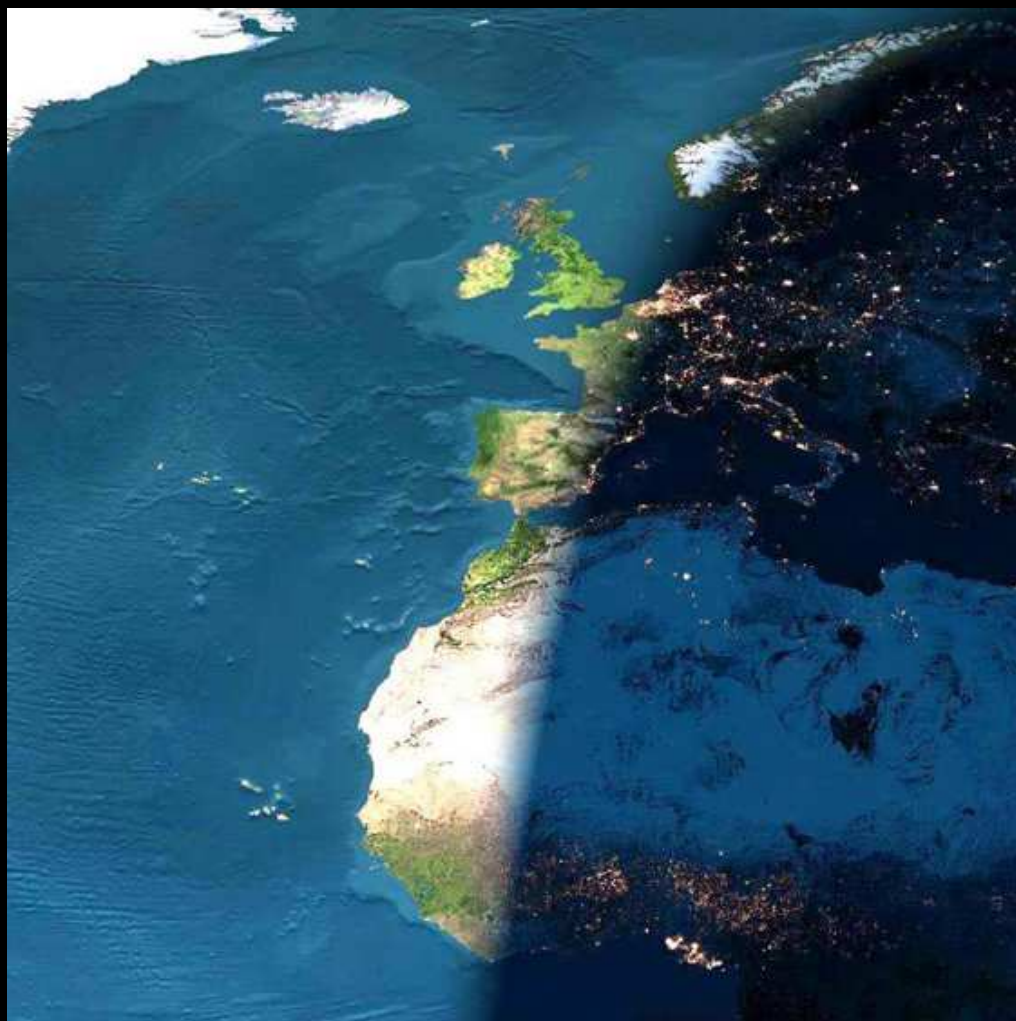
# *Festa das Luzes*



Stephen Howers / Anchorage Daily News

# A Sombra

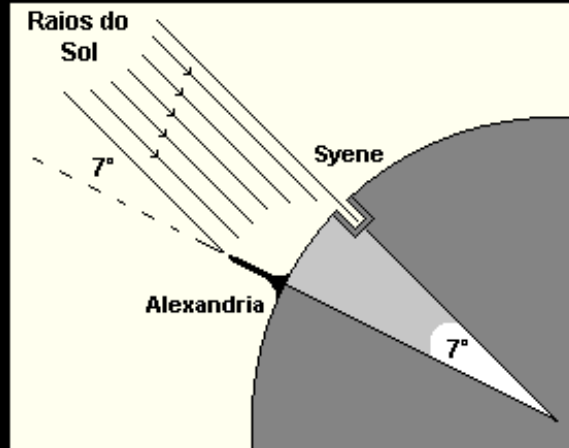
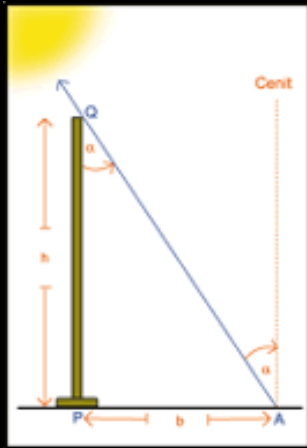
*O cair da noite na Europa*



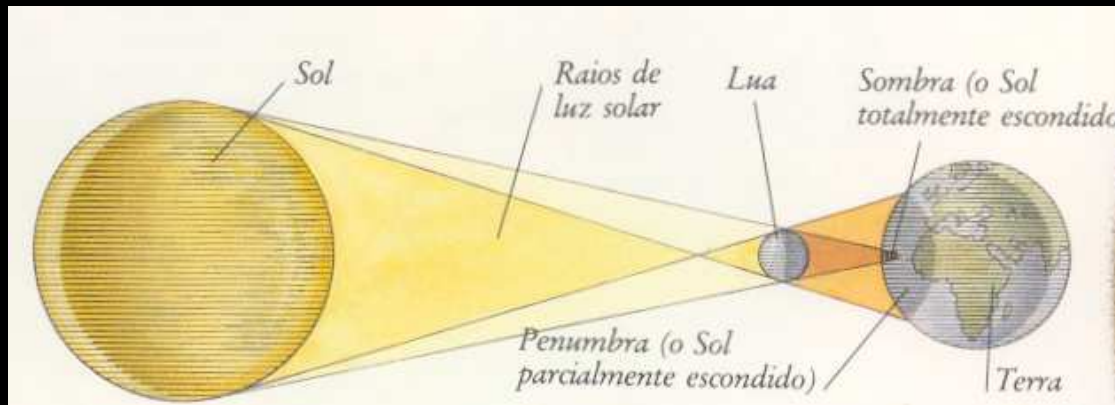
*O raio verde*



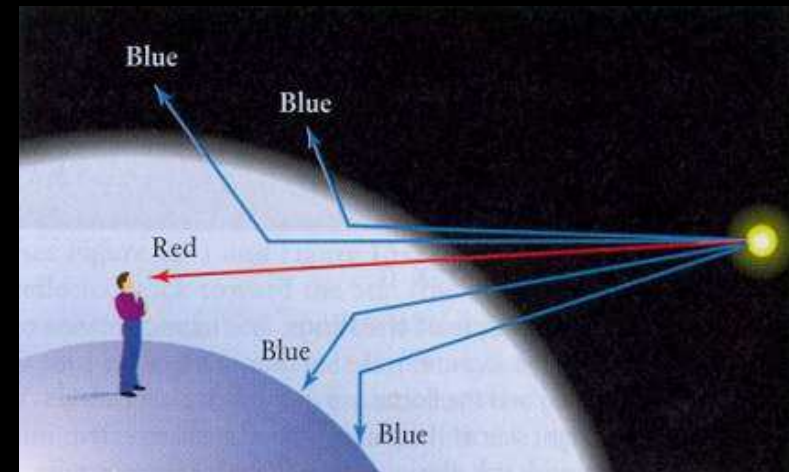
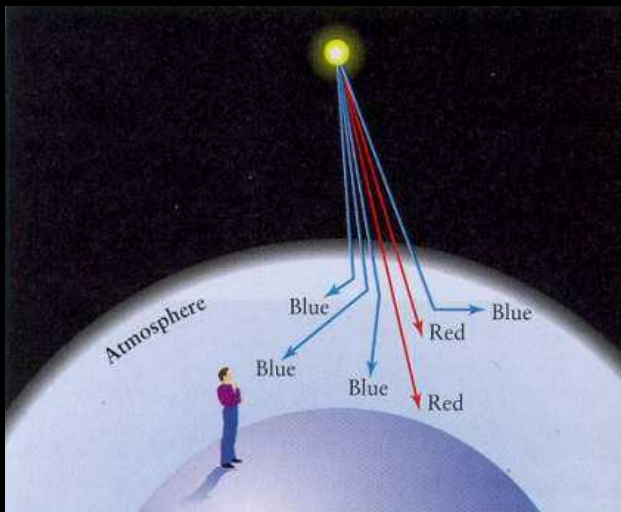
# Medir Sombras



Nastab - Núcleo de Astronomia de Barcelinhos - Eclipse total da Lua - Braga - 16 de Maio de 2003



# Dispersão da Luz

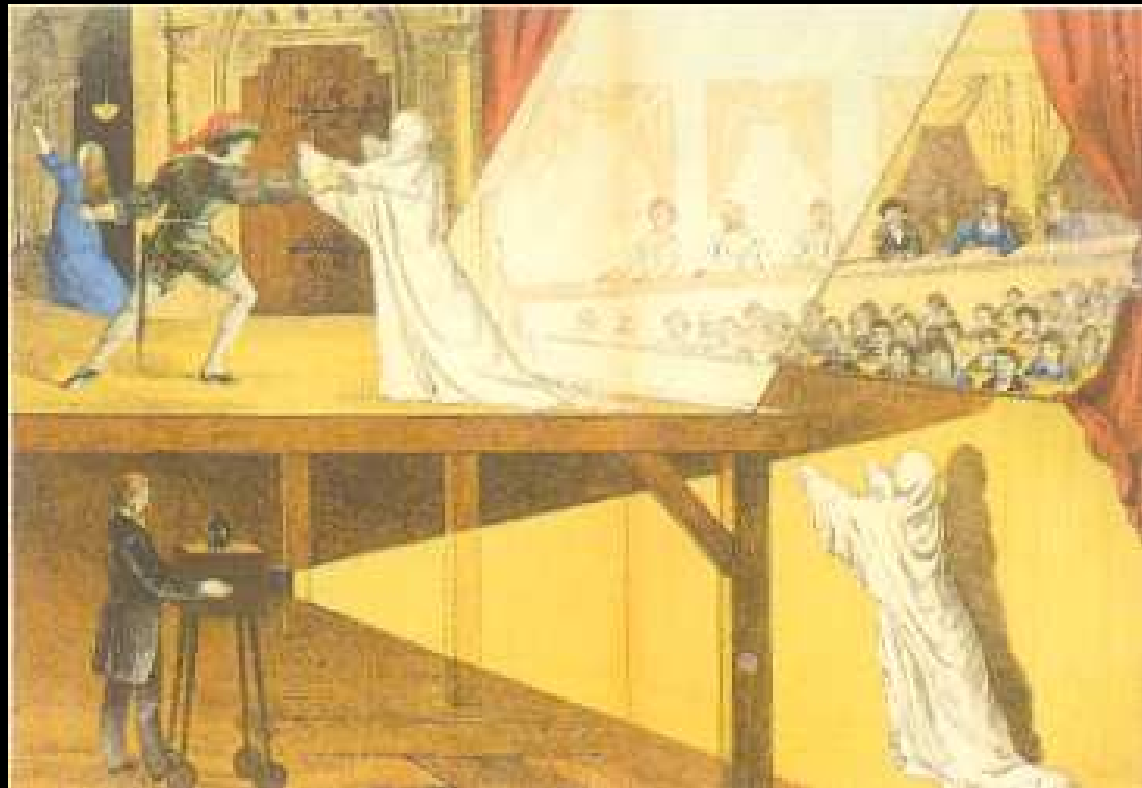


# Reflexão da Luz



## ESPELHO DE ÁGUA

A superfície de água quieta constitui um espelho natural. Conta uma lenda grega que um jovem chamado Narciso apaixonou-se pela sua própria imagem reflectida num lago. Ao tentar tocar-lhe caiu à água e afogou-se.





# Refracção da Luz



experiências para investigar quanto a luz era desviada. Inventou uma lei para explicar a refração mas nem mesmo os seus próprios resultados estavam de acordo com a essa lei.

**Raio de luz**

O raio de luz desvia-se quando deixa o ar e entra na face esquerda do bloco

Bloco de vidro transparente

**DOBRAR**  
Esta haste de peças, todas em acontece porq do ar para Em cada muda

Raio de luz  
Olho

Luz do obj

**A LEI DE REFRAÇÃO DE SNELL**  
Nesta experiência um feixe de luz desvia-se quando entra e sai de um bloco de vidro transparente. Quando o feixe atinge o bloco, aproxima-se mais da horizontal. Quando deixa o bloco volta a desviar-se mas na direcção oposta. A medida do desvio é muito precisa. Se o feixe entra ou sai do bloco perpendicularmente não sofre refração. Se entrar ou sair seguindo um ângulo haverá refração, que será tanto maior quanto maior for o afastamento da vertical. Em 1621 o matemático holandês, também astrónomo, Willebrord Snell determinou que existia uma relação característica entre o ângulo de incidência do feixe (ângulo antes do desvio) e o seu ângulo de refração (ângulo depois do desvio). A sua lei mostra que cada substância tem um poder de refração próprio, o seu índice de refração. Quanto mais uma substância desvia a luz tanto maior o seu índice de refração.

**WILLEBRORD SNELL**  
Willebrord Snell (1580-1626) descobriu uma das mais importantes leis respeitantes à luz. Foi também pioneiro da triangulação, método para medir distâncias usando os ângulos entre diferentes pontos.

**A luz no interior do bloco desloca-se em linha recta**

**Raio de luz**

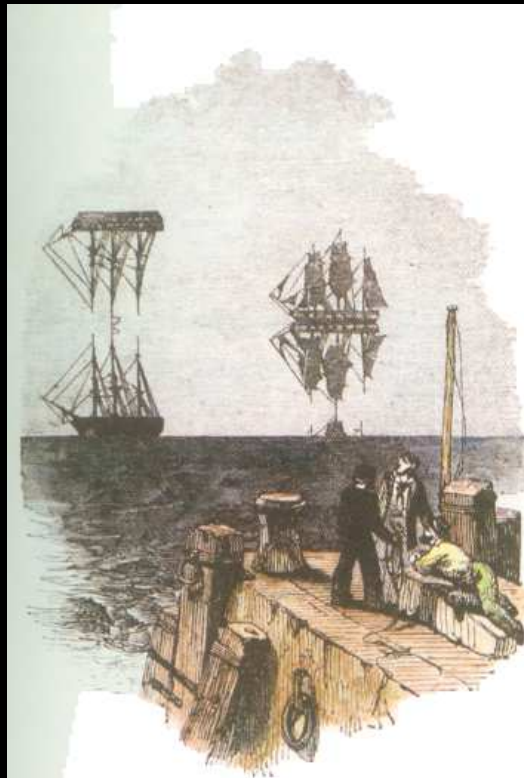
O prisma foca a luz

Os raios luminosos são reflectidos internamente se incidirem nos lados da barra segundo um ângulo pequeno

**APANHAR A LUZ**  
Nesta figura vemos um raio luminoso ser reflectido por uma barra de plástico transparente. A reflexão é «total» porque nenhuma ou pouca luz escapa da barra em cada reflexão. É «interna» porque todas as reflexões ocorrem no interior da barra. Esta espécie de reflexão só acontece em determinadas circunstâncias. A luz deve deslocar-se no interior de um meio com elevado índice de refração (pág. 14), tal como a água, o vidro ou o plástico. Esse meio deve estar rodeado por outro de índice de refração inferior, tal como o ar. A luz deve incidir na linha de separação dos dois meios, segundo um ângulo pequeno.

Nenhuma luz escapa quando o feixe luminoso é reflectido

# Refracção da Luz: miragens e aparições



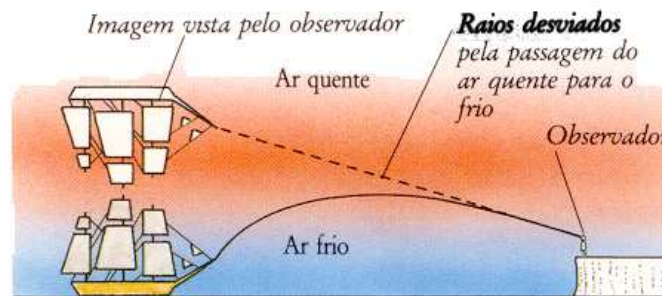
## REFRACÇÃO NO AR

Por vezes os raios de luz podem desviar-se sem passarem de uma para outra substância. Esse fenómeno acontece vulgarmente no ar quando a luz viaja através de camadas de ar que estão a diferentes temperaturas. O ar frio é mais denso e pesado do que o ar quente e desse modo as camadas de ar de diferentes temperaturas comportam-se como se fossem substâncias diferentes. Os resultados podem ser espectaculares, como esta gravura antiga mostra.



## MIRAGENS

Quando uma camada de ar quente perto do solo fica retida por uma camada superior de ar mais frio ocorre a chamada «miragem». A luz desvia-se, aproximando-se da linha horizontal de visão e depois sobe devido à reflexão interna total (pág. 54). A miragem é uma imagem virtual invertida (pág. 12).



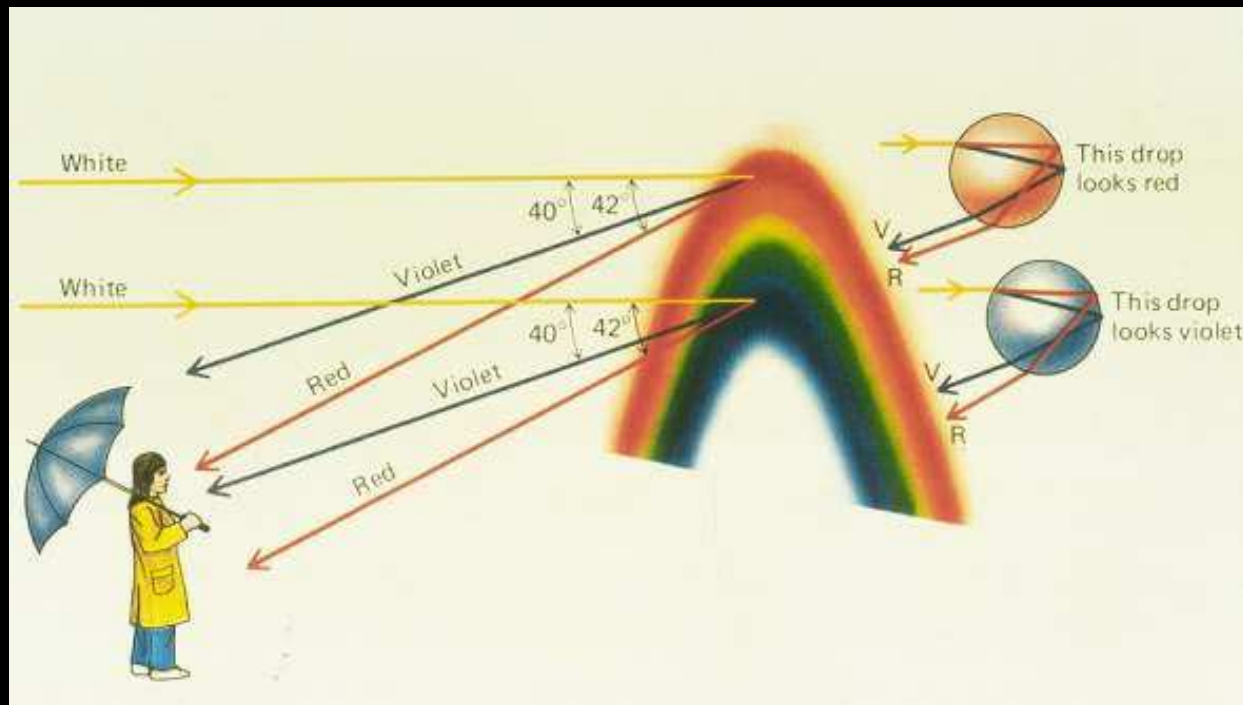
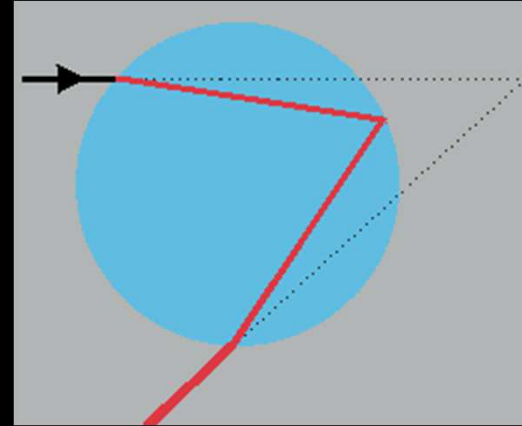
## APARIÇÃO

Nesta forma de miragem (miragem superior), o ar quente está sobre o ar frio. Os raios de luz ao viajarem do ar frio para o ar quente são desviados, aproximando-se da linha horizontal de visão e eventualmente reflectidos para baixo. Daí resulta o objecto aparecer indistintamente acima da sua posição real.

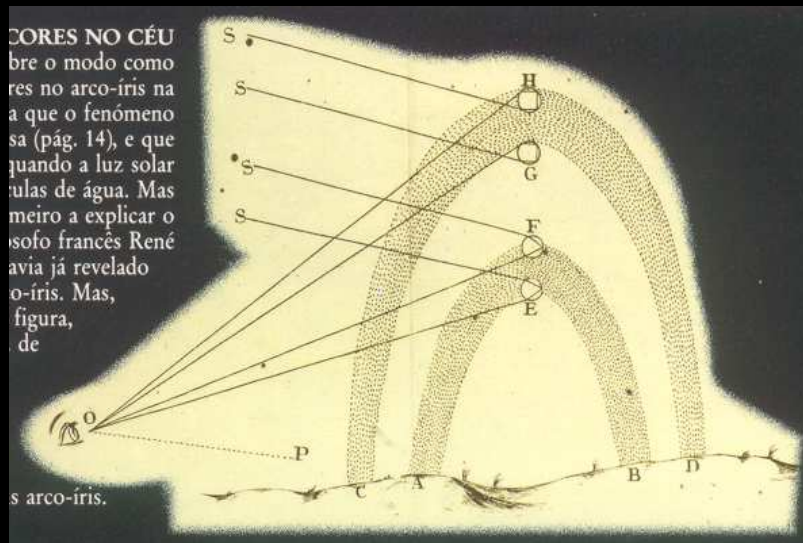
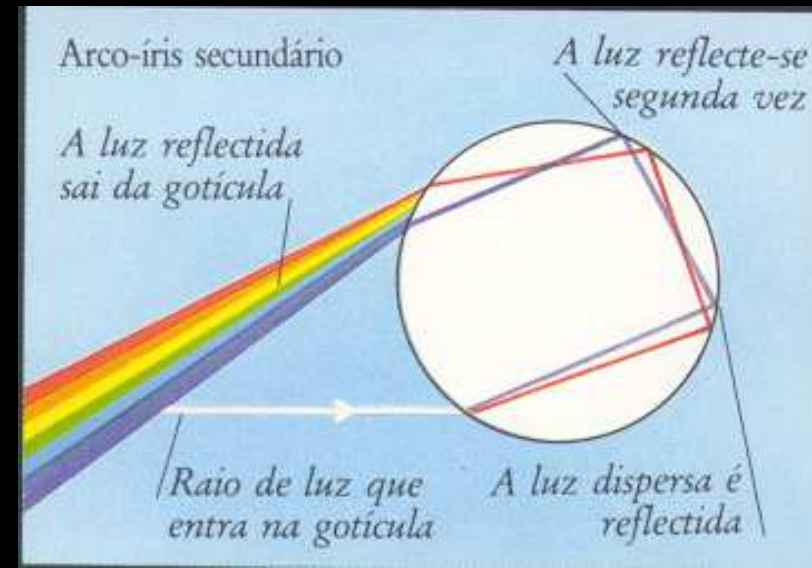
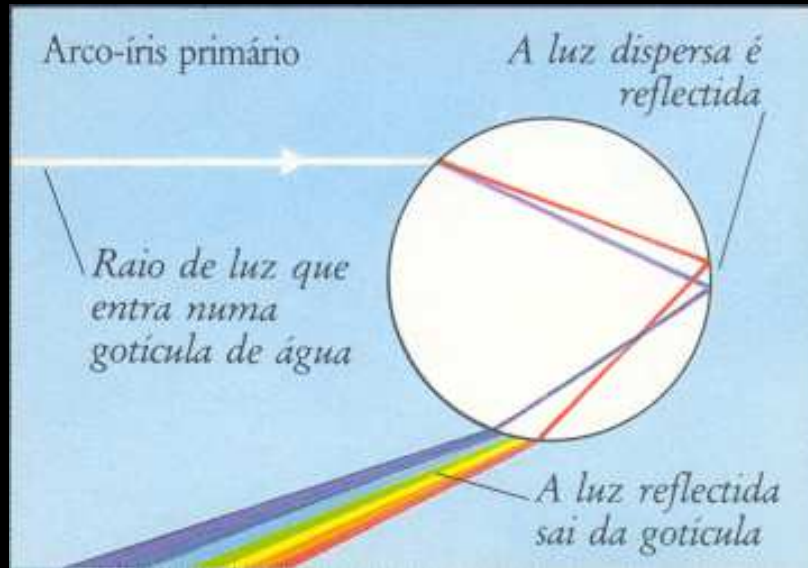
*A luz da vela é focada ao atravessar a esfera*

# Os Arco-íris:

reflexão e refração da luz

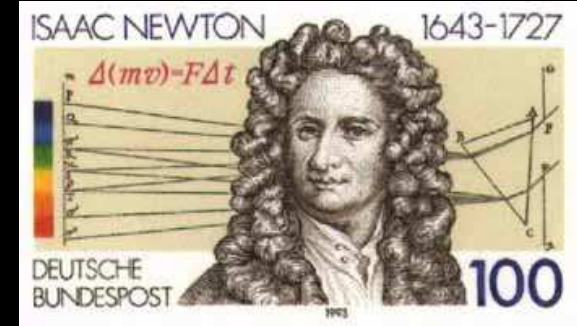


# O Duplo Arco-íris



# As “Cores” da Luz

## A Luz são corpúsculos Decomposição da luz

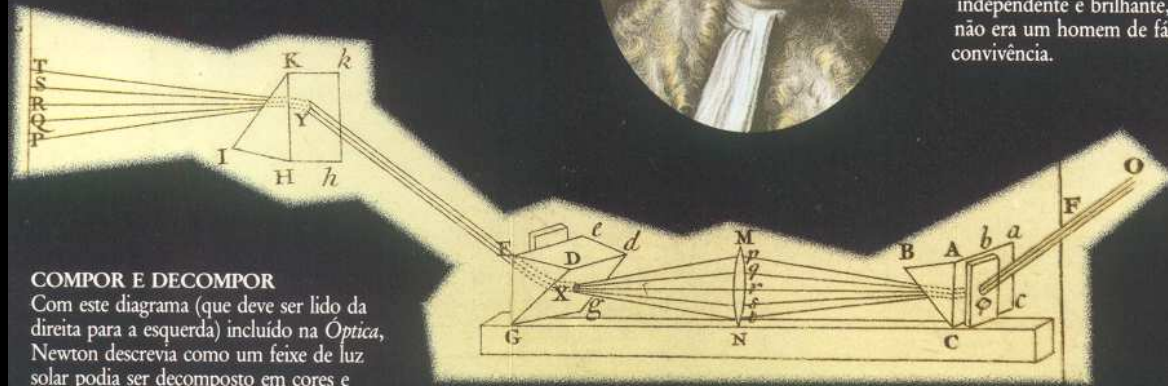


prisma, formando um espectro. O espectro é projectado num écran com uma pequena fenda. Por essa fenda passa a luz de uma só cor, que atravessa outro prisma que a desvia mas não a decompõe em cores. Com esta experiência Newton concluiu que as cores existentes na luz branca não são produzidas pelo prisma.



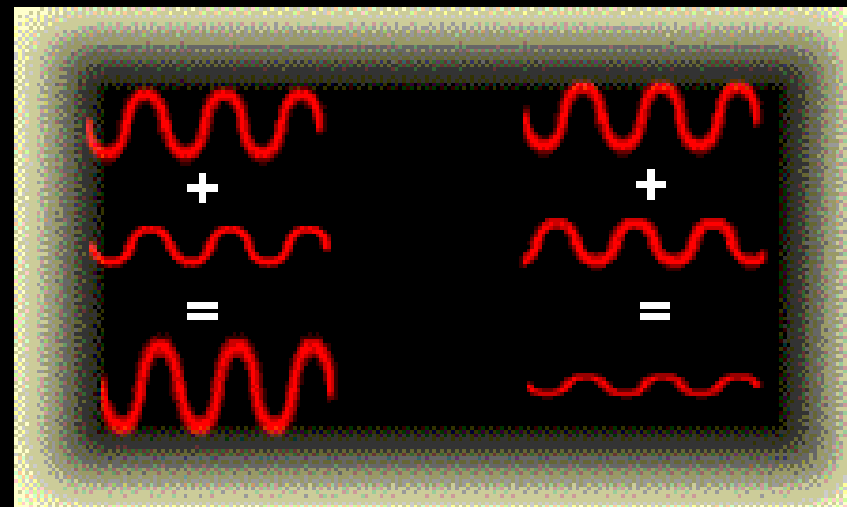
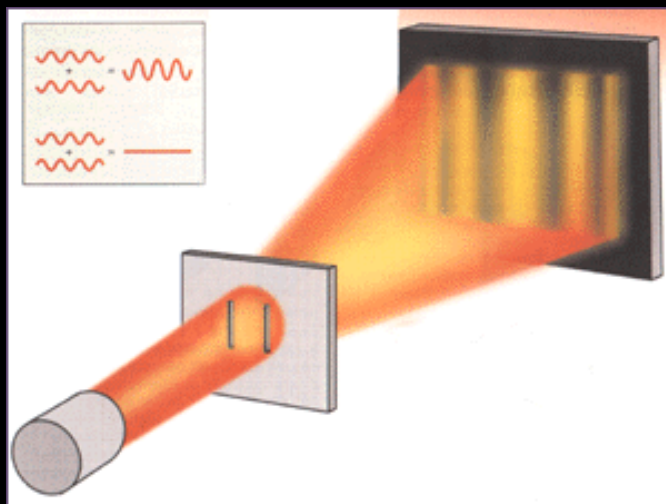
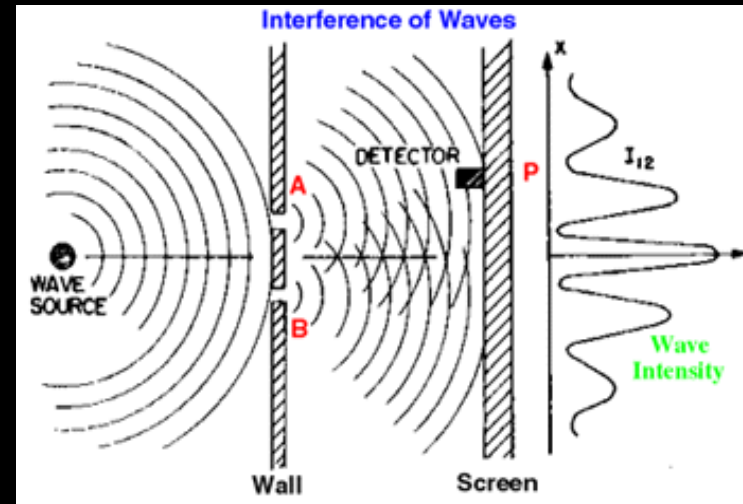
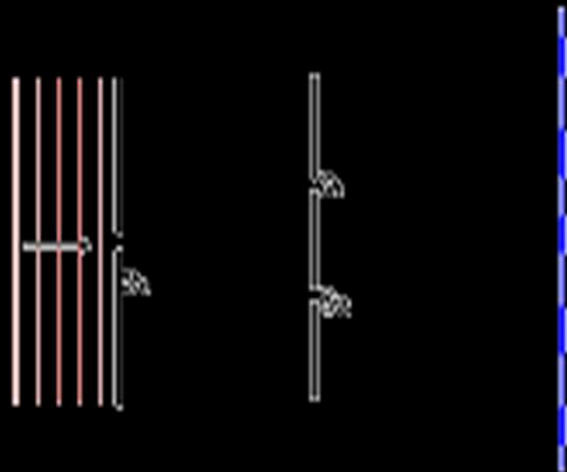
### ISAAC NEWTON

O trabalho de Isaac Newton quase dois séculos. Publicou trabalhos científicos escritos desde as suas leis de movimento que investigava a luz. Em 1660, fundou a mais antiga associação científica da Grã-Bretanha (fundada em 1660). Newton, um pensador independente e brilhante, não era um homem de fácil convivência.

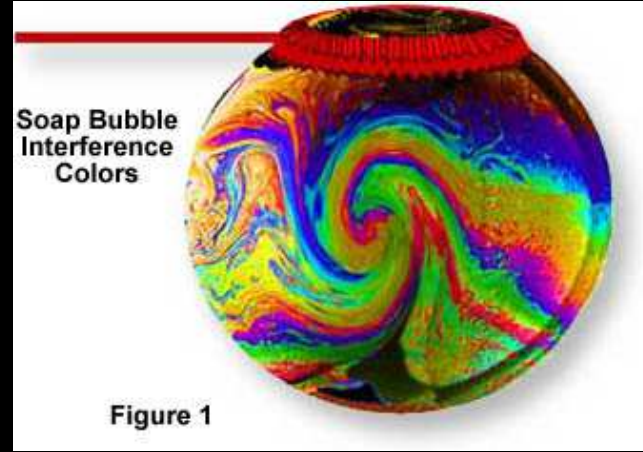


# Interferência da Luz

## Experiência das Fendas de Young

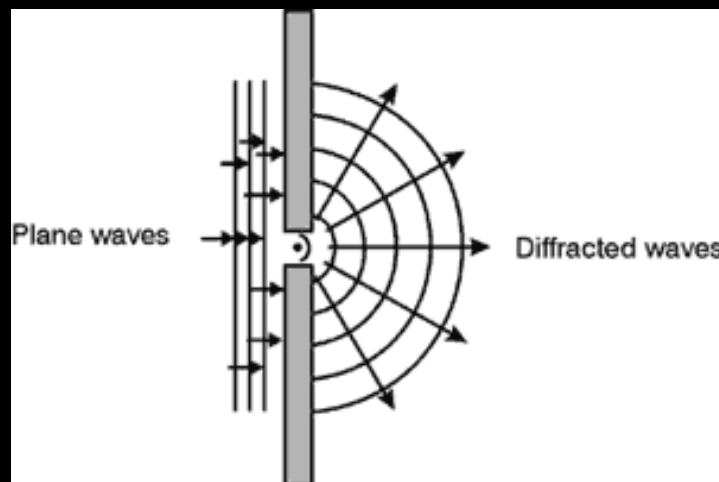
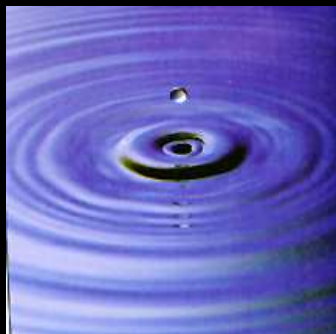
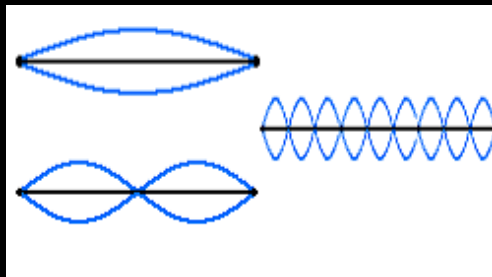
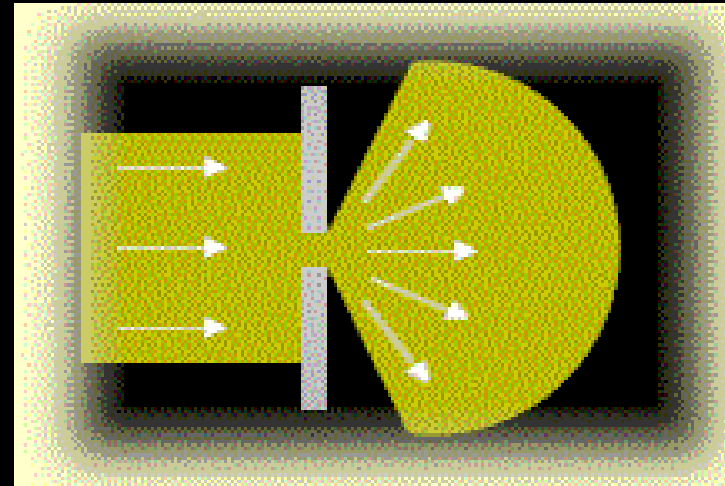
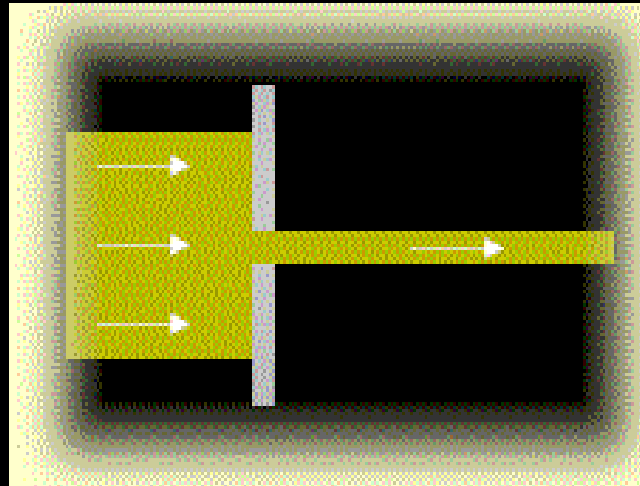


# Interferência da Luz na Natureza



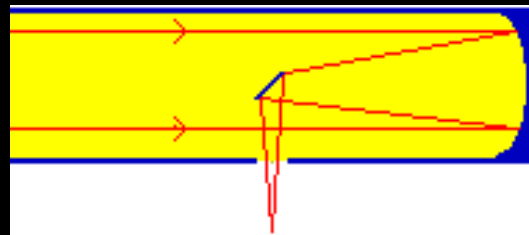
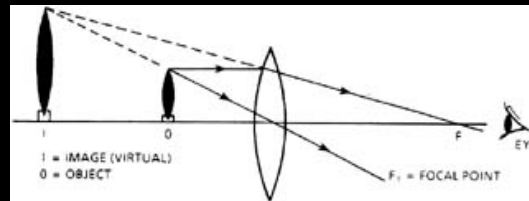
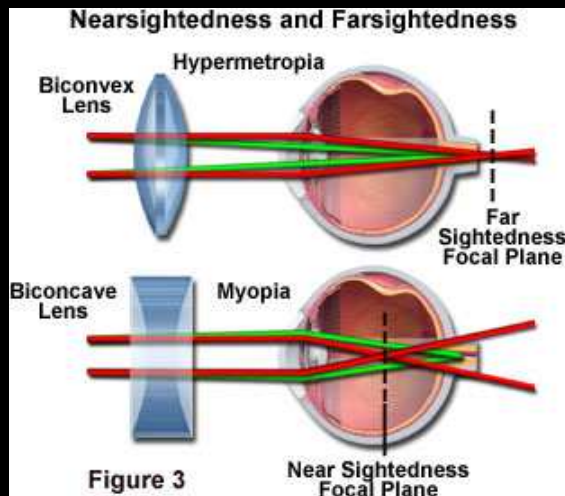
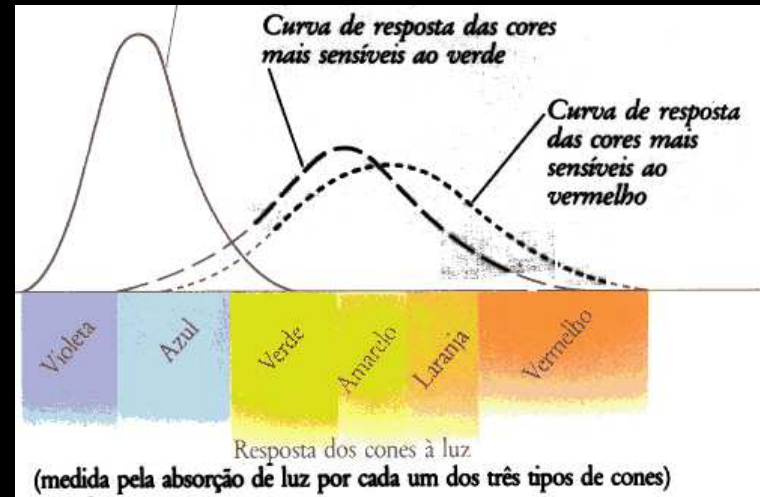
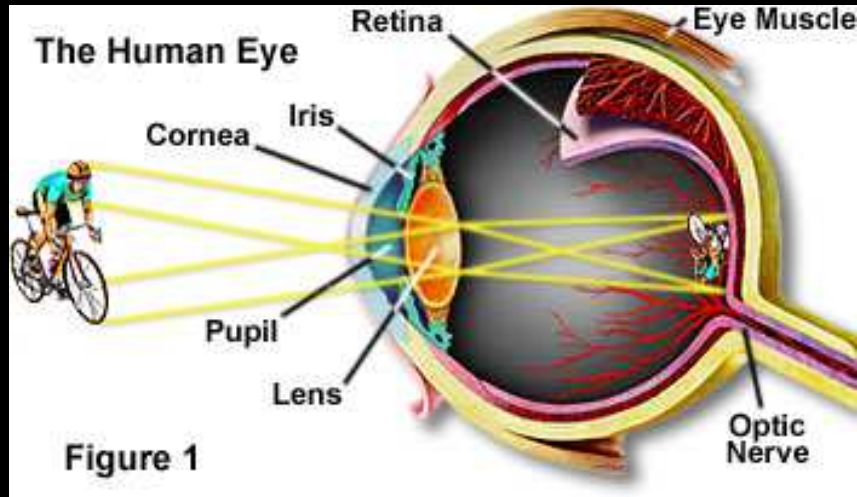
# Segundo Huygens, a Luz é uma Onda

## Difracção e Interferência

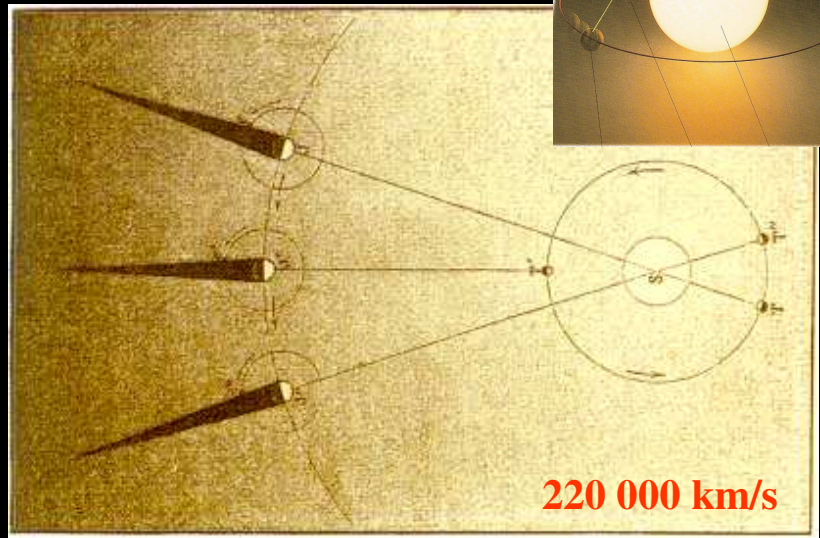
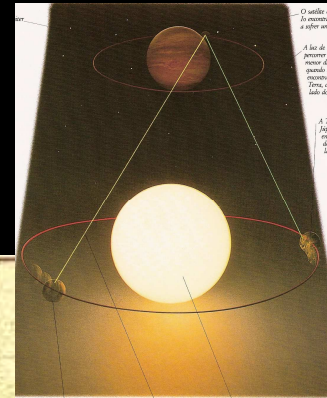




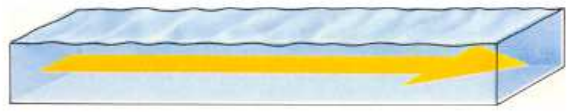
# Ver melhor e ver mais



# Velocidade da Luz



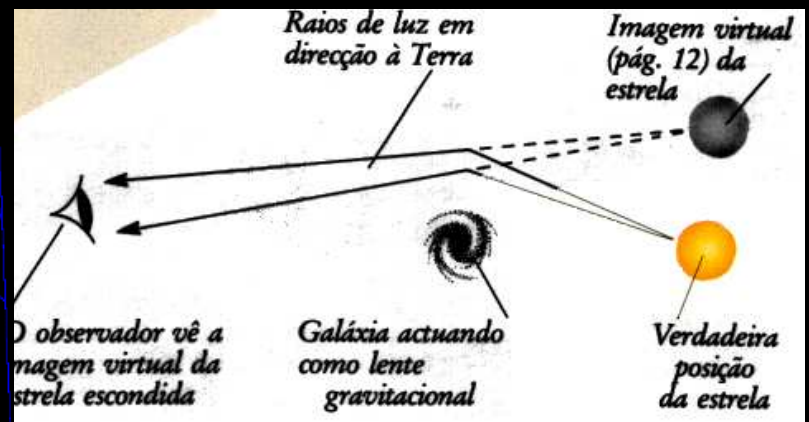
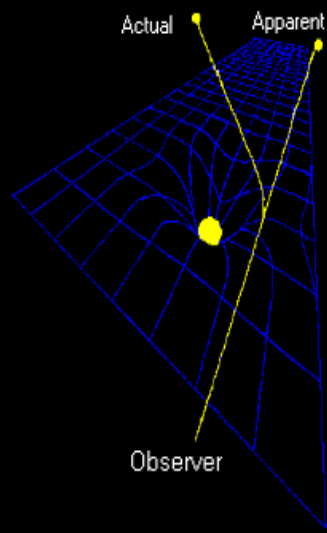
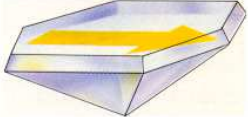
A velocidade da luz no vácuo é de 300 000 km/s; índice de refração do ar 1



A velocidade da luz na água é de 225 000 km/s; índice de refração da água 1,3



A velocidade da luz no vidro é de 200 000 km/s; índice de refração do vidro 1,5



# Radiação Infravermelha

em certas nervosas que são  
uma determinada gama de  
mentos de onda. O resto  
o electromagnético é  
para o homem.

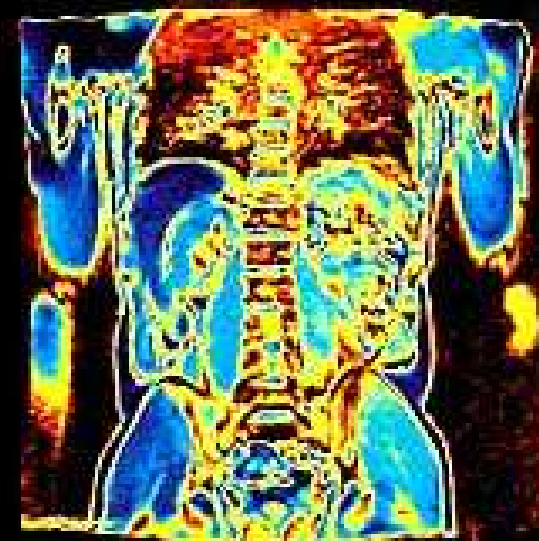
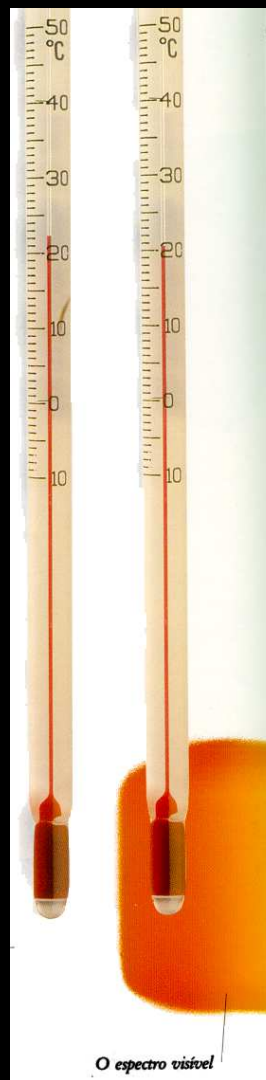
O ESPECTRO  
a, Herschel investigou  
o de cada cor do  
pôs a luz com um  
o projectar o  
ran com uma fenda,  
ma só cor que fazia  
ômetro. Também  
cias para observar se



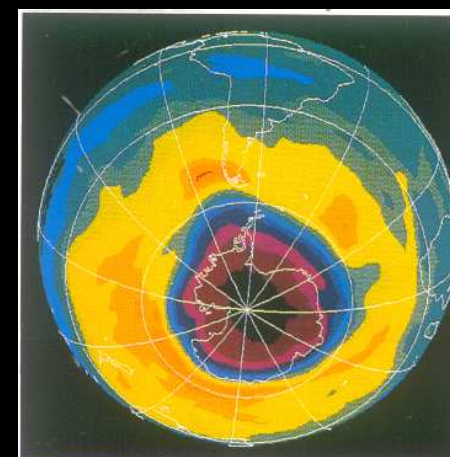
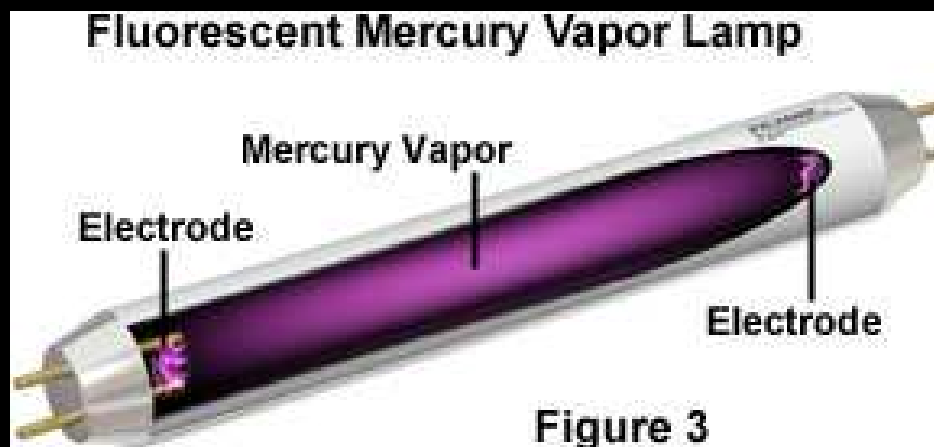
**WILLIAM  
HERSCHEL**  
Inicialmente  
músico, William  
Herschel (1738-1822)  
tornou-se uma  
destacada figura  
na história da  
astronomia.  
Desempenhou  
um importante papel  
no desenvolvimento do  
telescópio de reflexão (págs.  
20/21) usando espelhos que  
ele próprio fundia e  
polia. Em 1781  
descobriu o planeta  
Úrano.



Will Burgess / Reuters

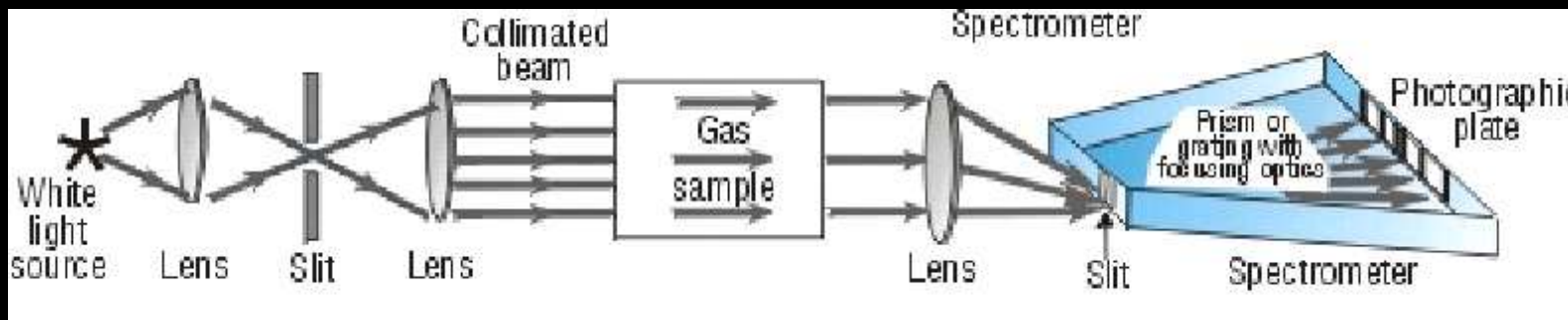
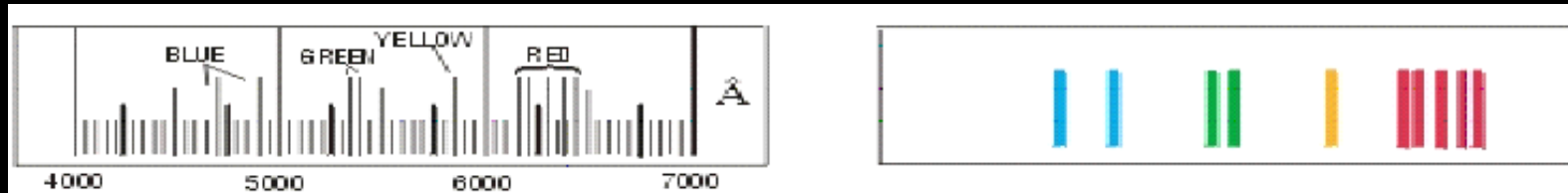
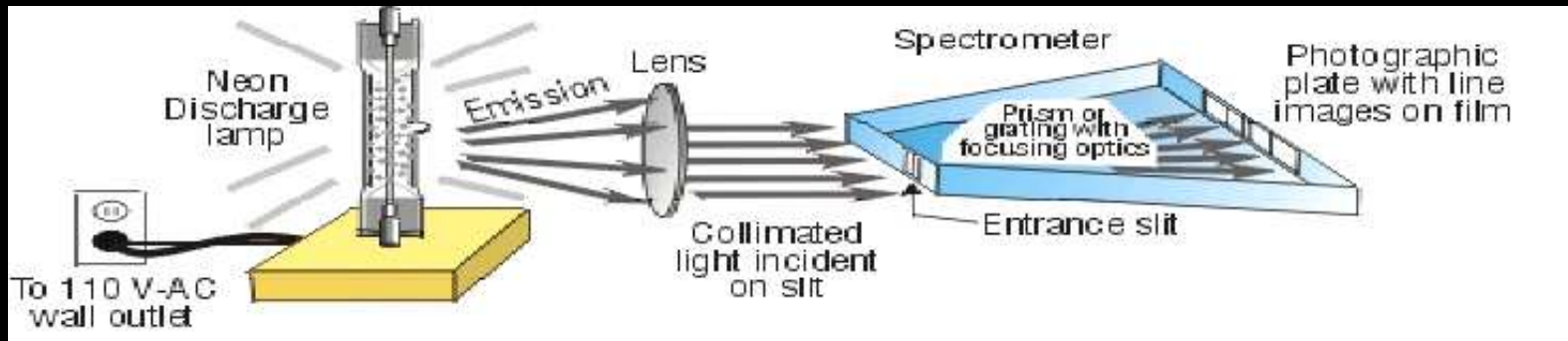


# Radiação Ultravioleta

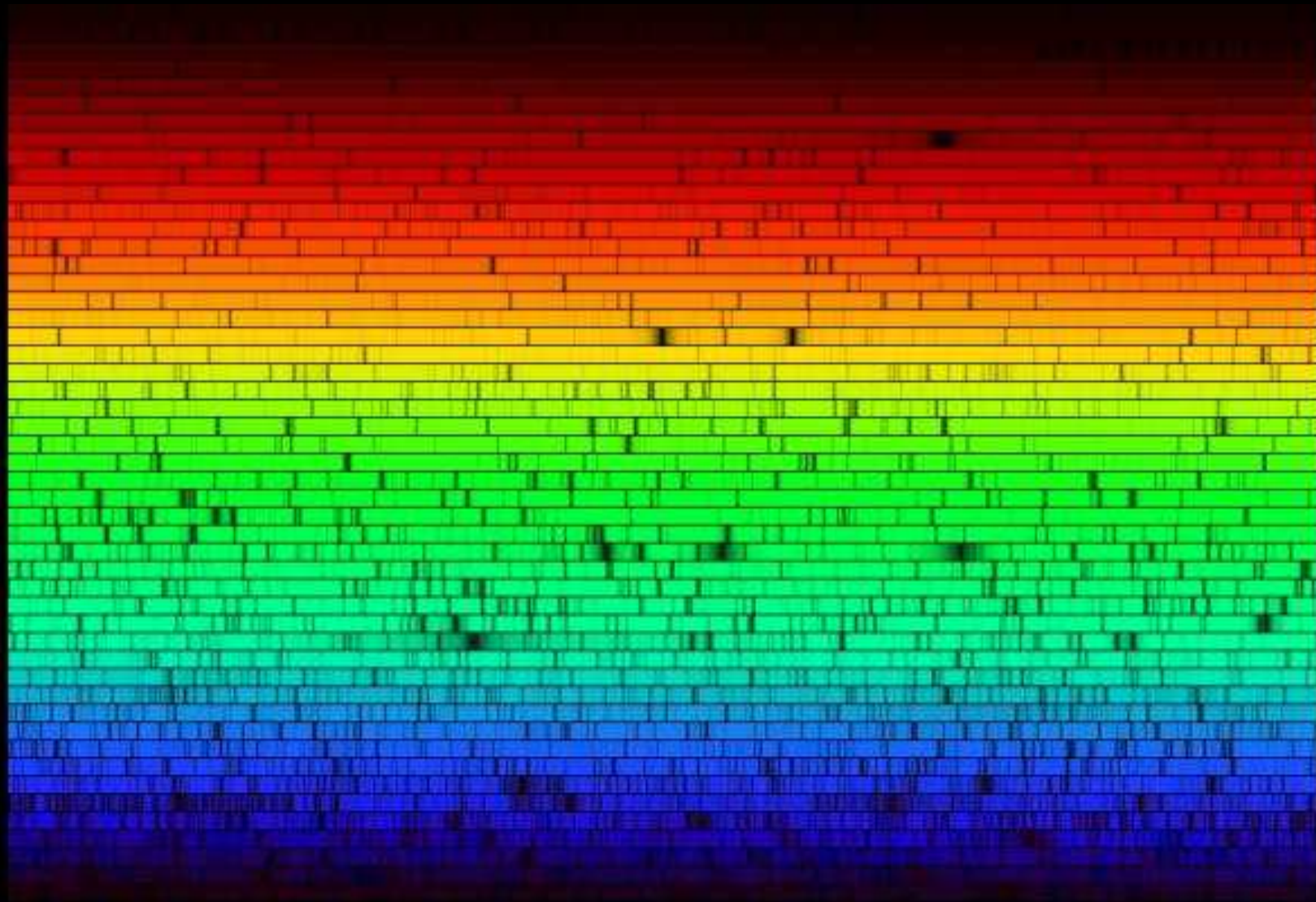


# Espectroscopia

## Espectros de Emissão e de Absorção

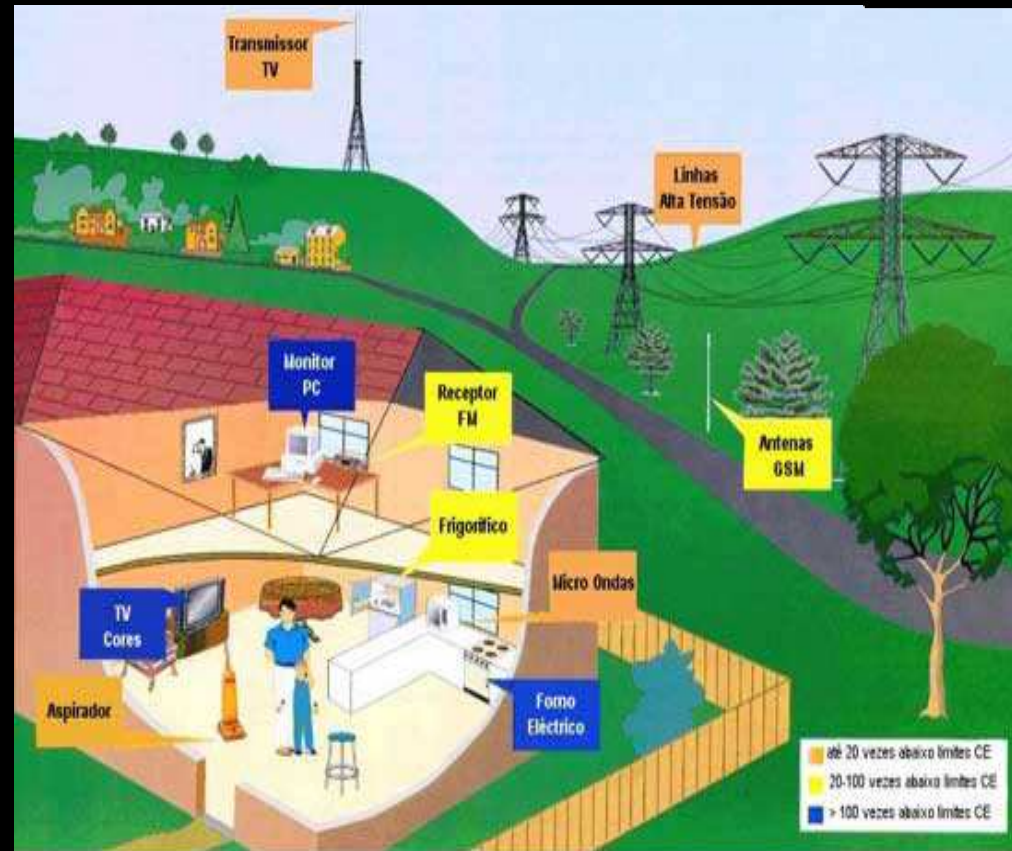
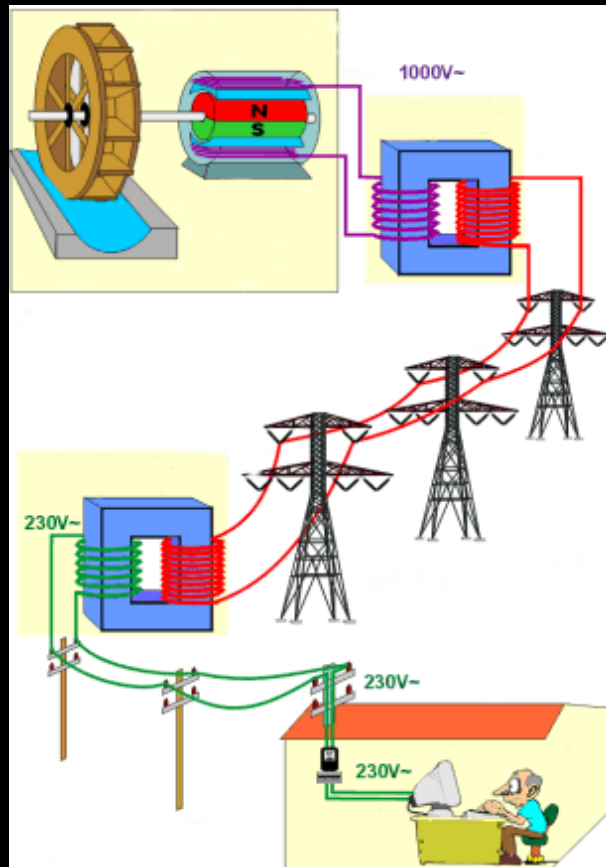


# Espectro de Emissão do Sol

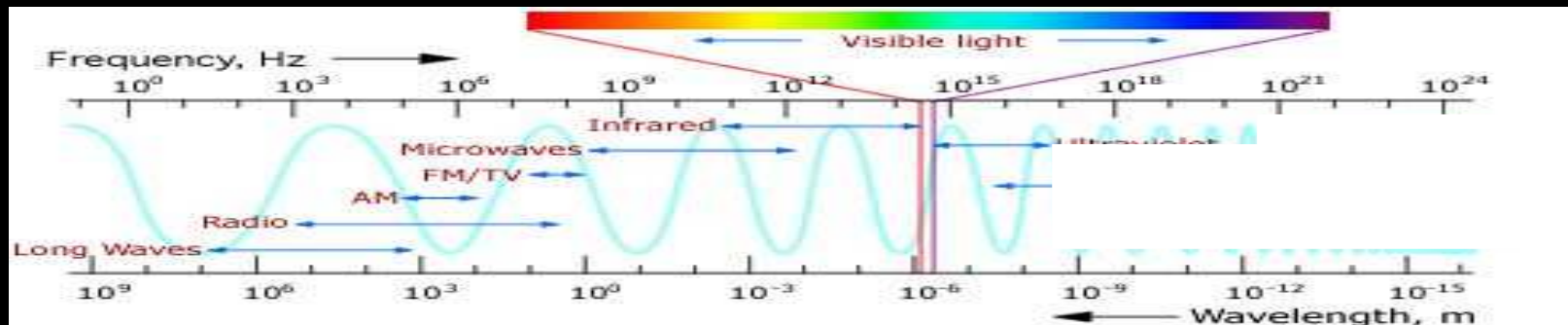
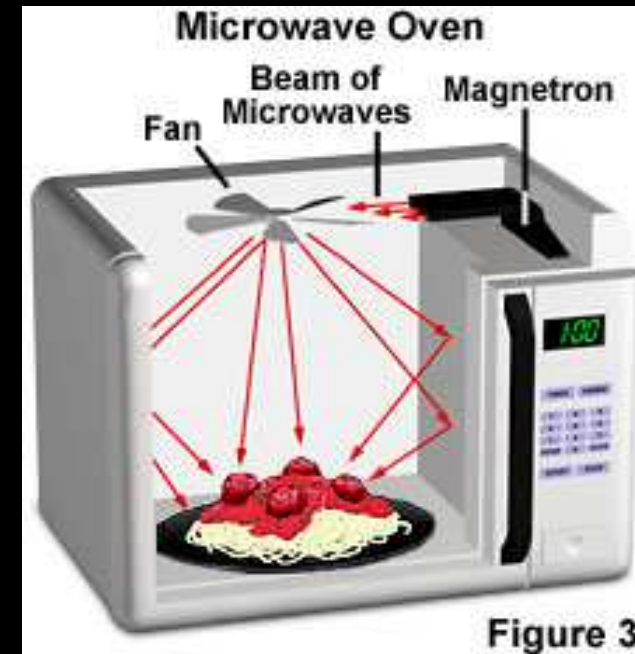
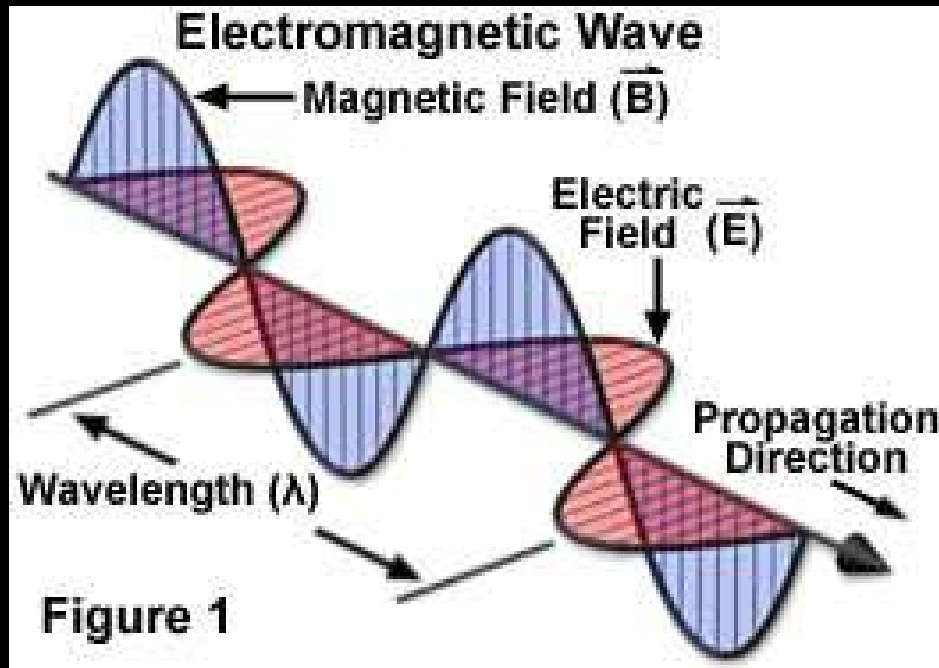


# A Electricidade

## Produção e Aplicações

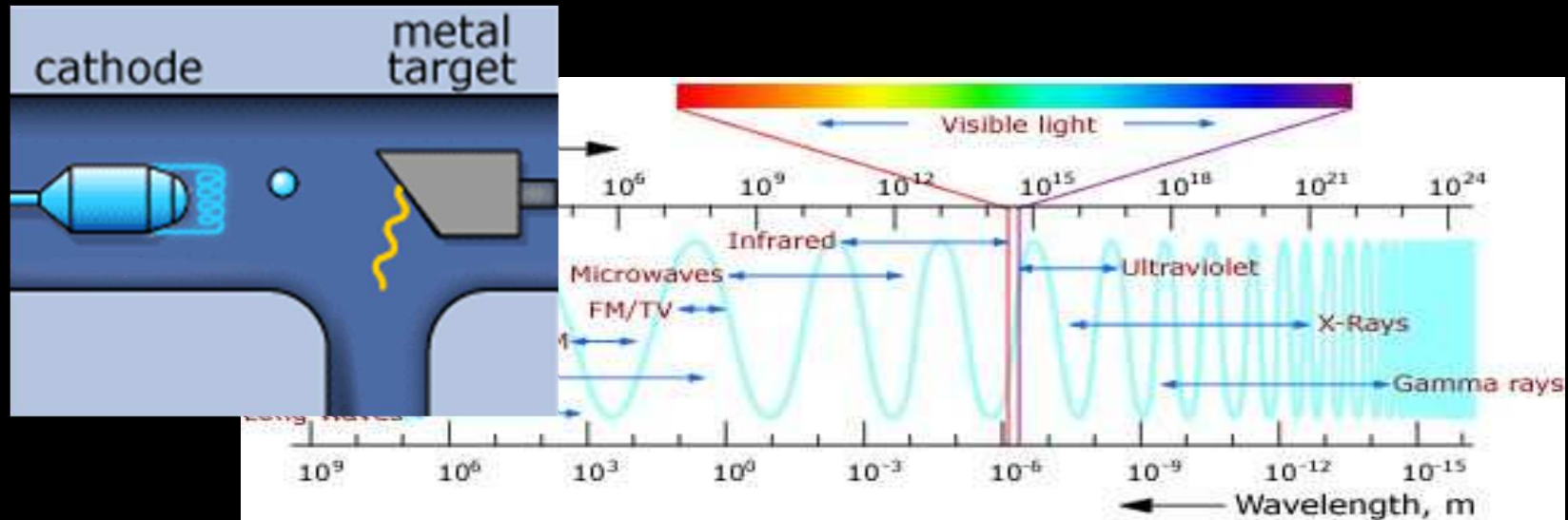
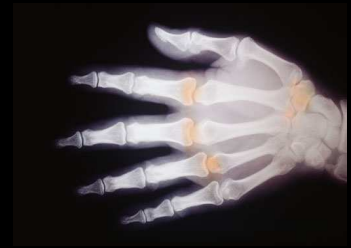


# Ondas Hertzianas

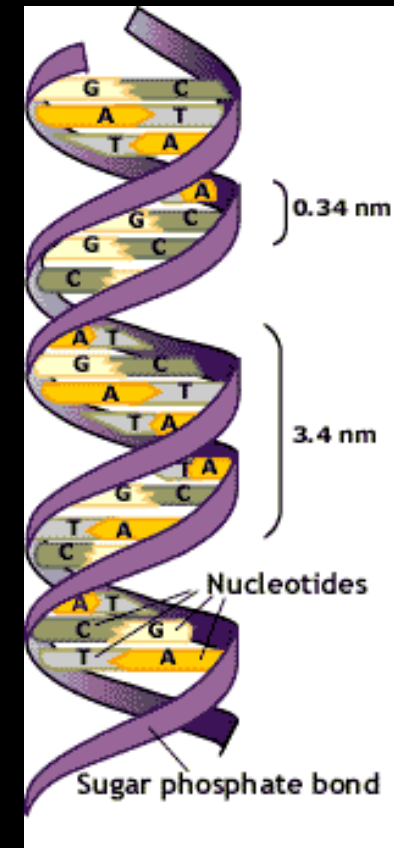
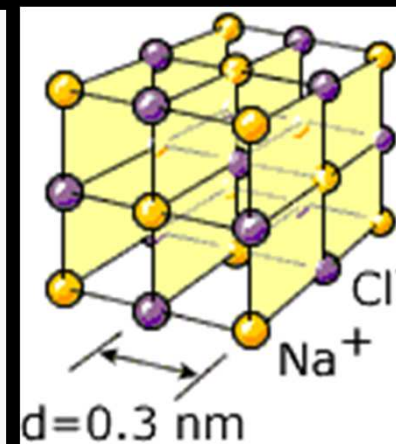
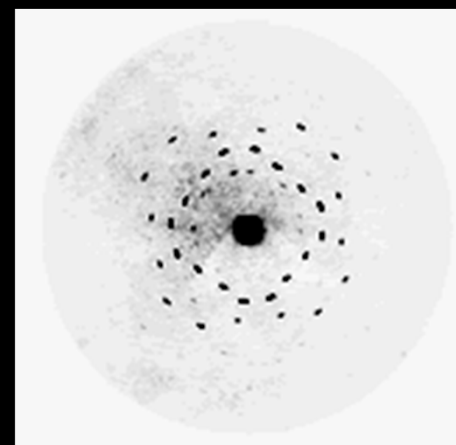
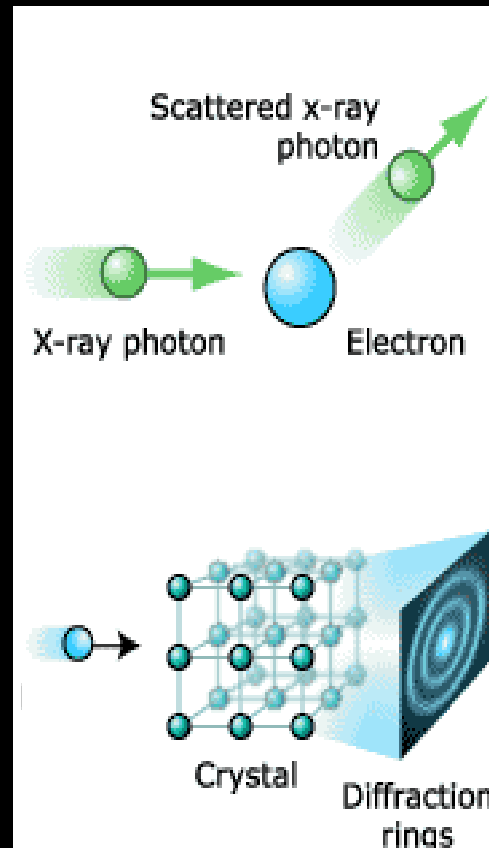




# Descoberta dos Raios X



# Difracção dos Raios X



# Espectro Electromagnético

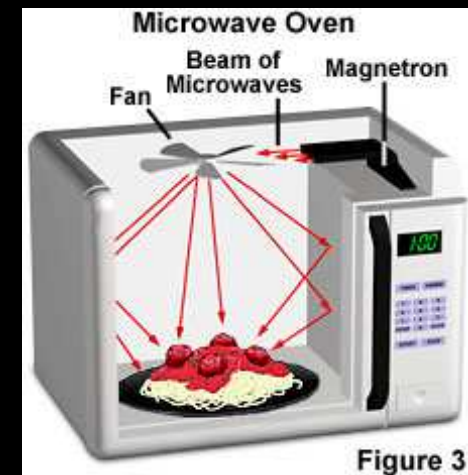
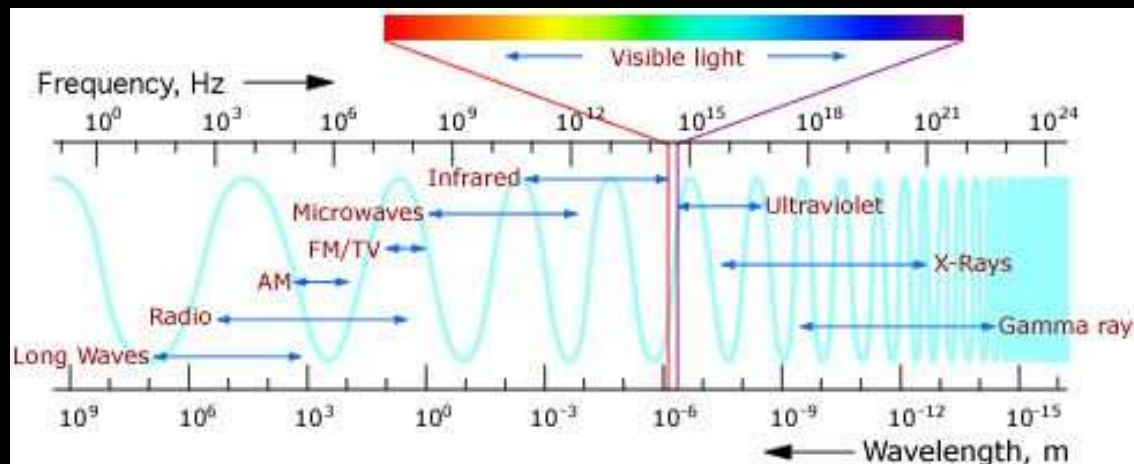
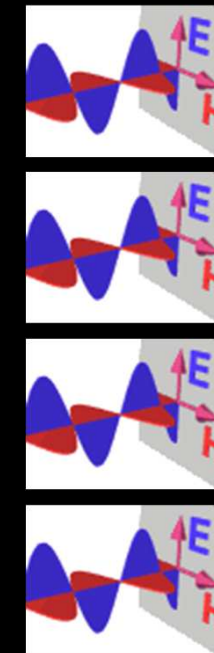
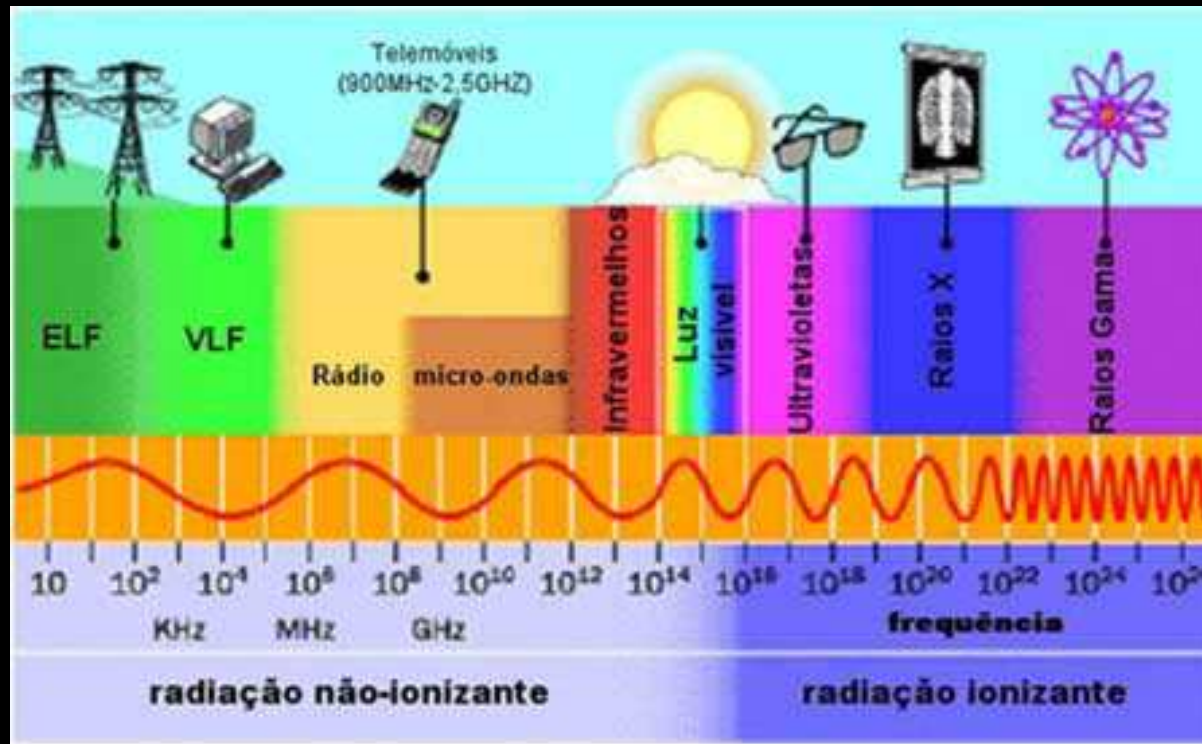
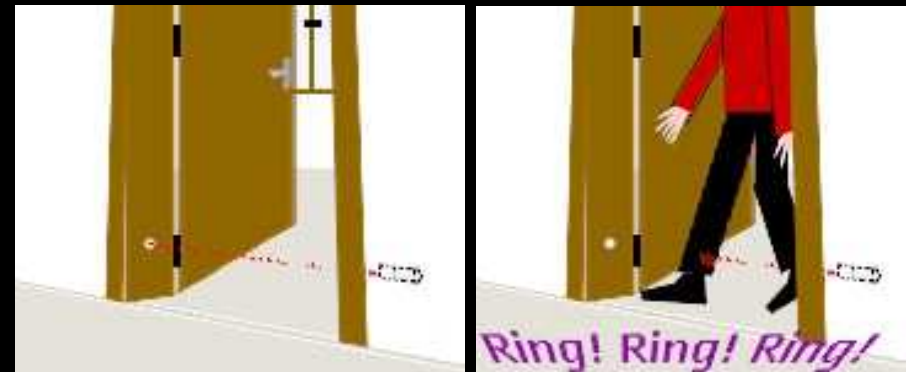
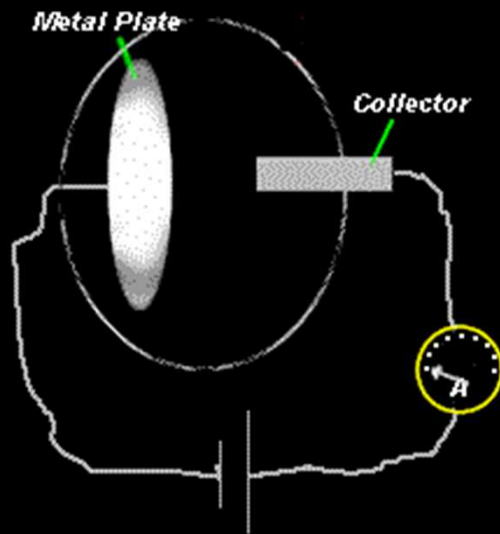
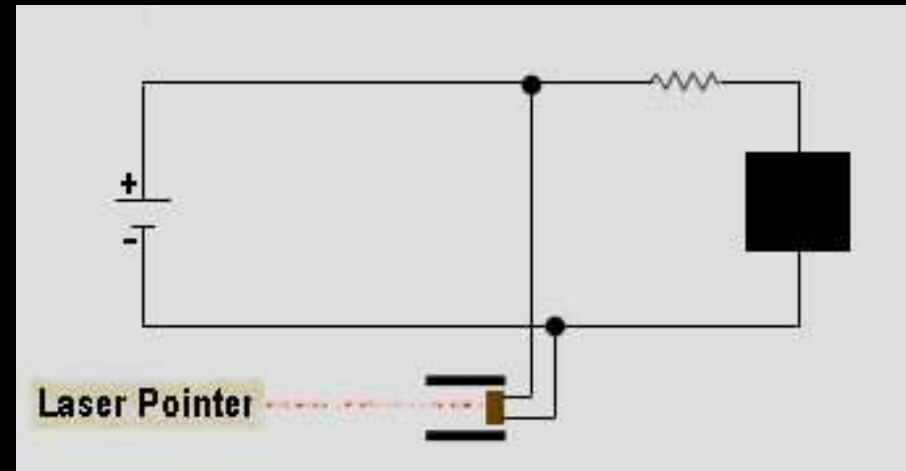
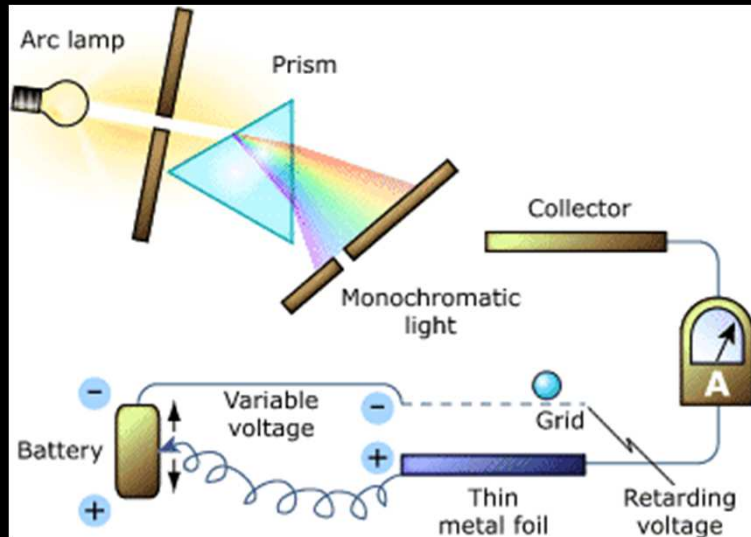


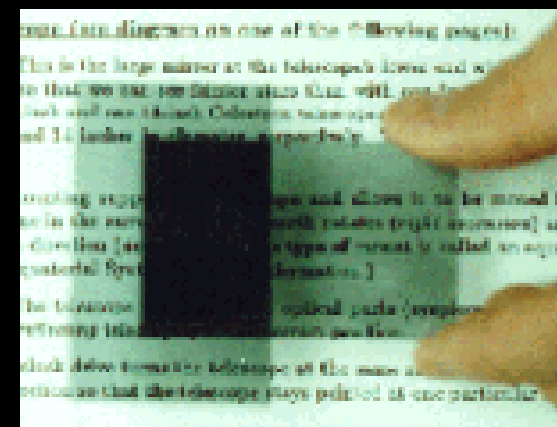
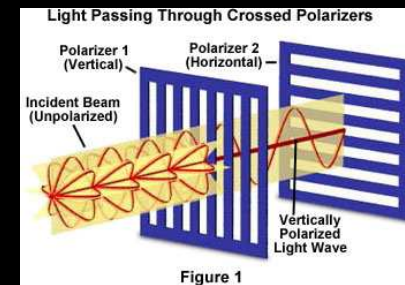
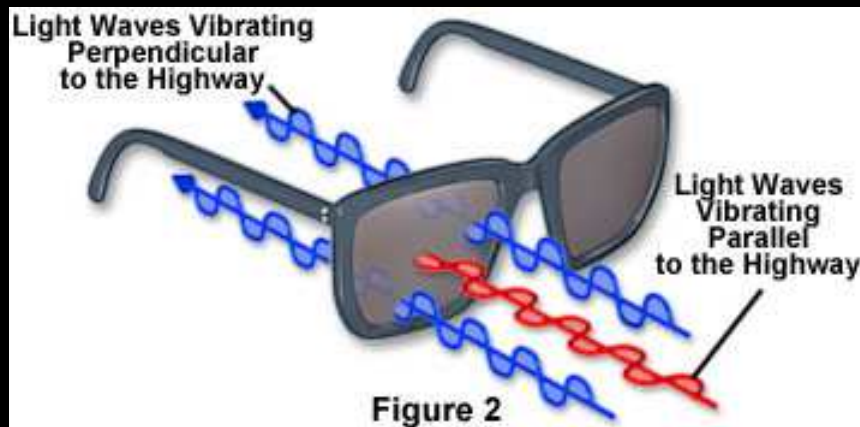
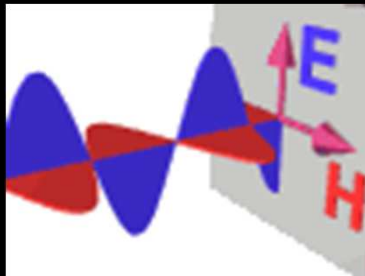
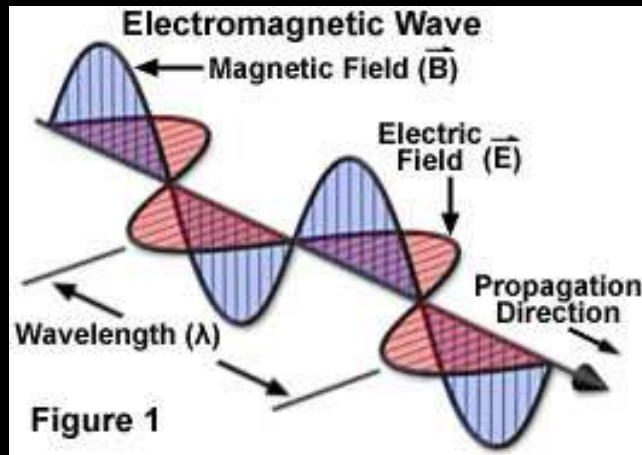
Figure 3

# Efeito Fotoelétrico

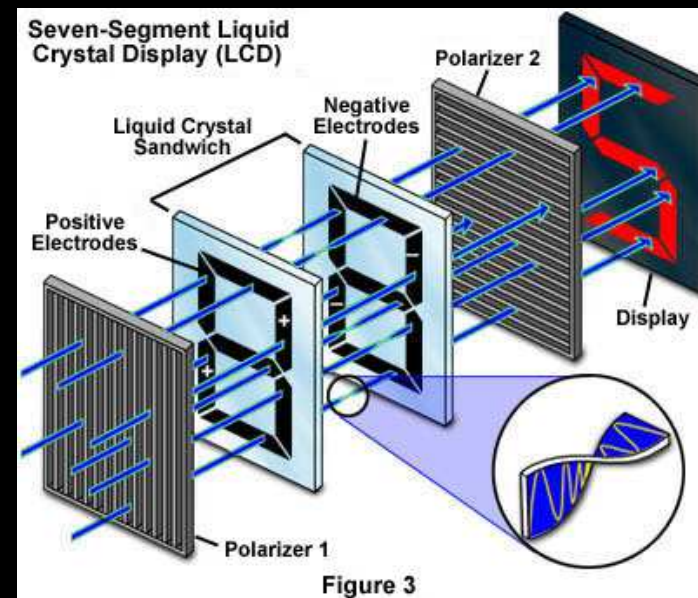
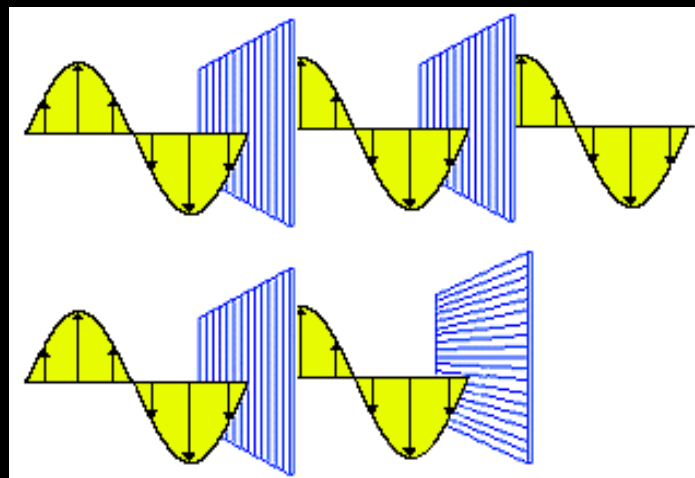
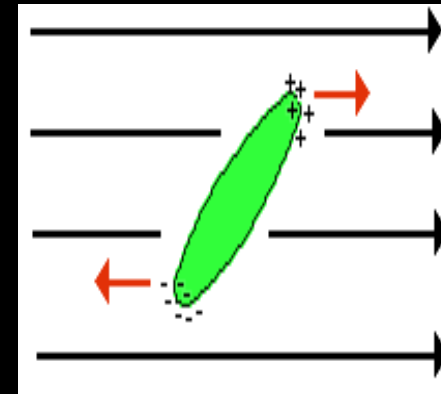
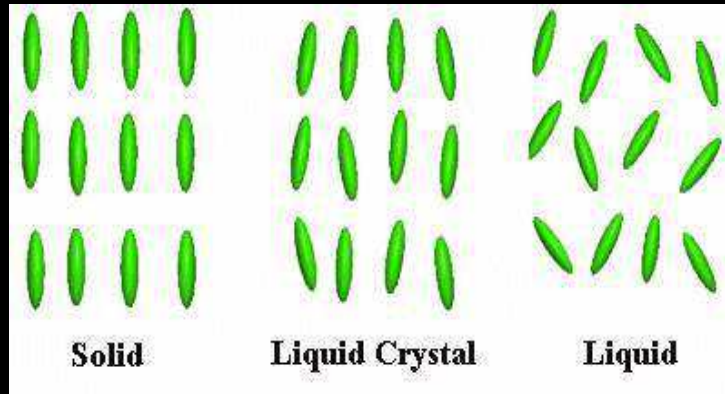
Afinal, a luz volta a ser partícula



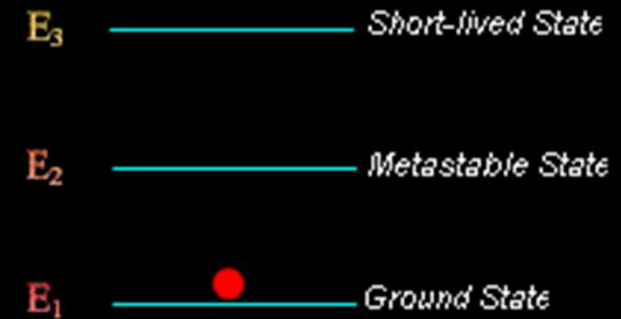
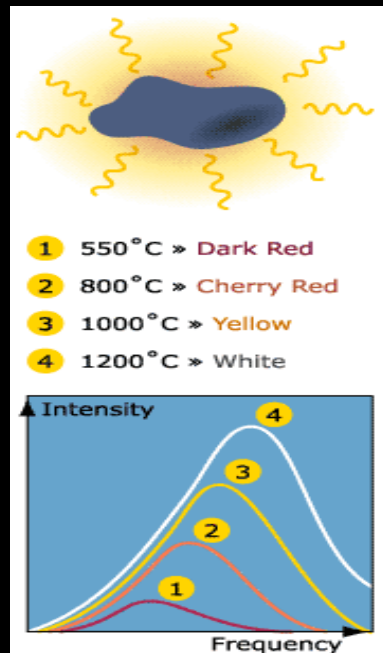
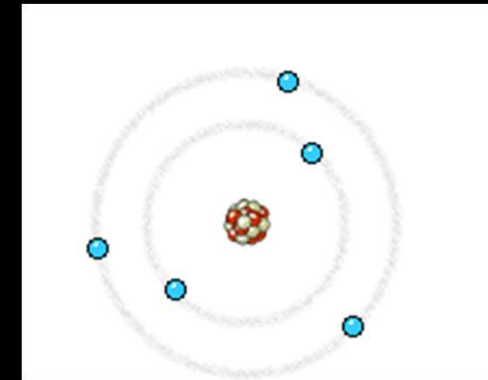
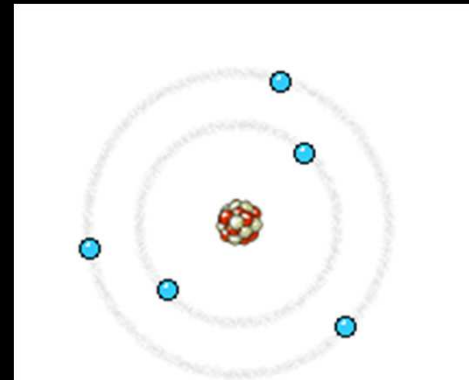
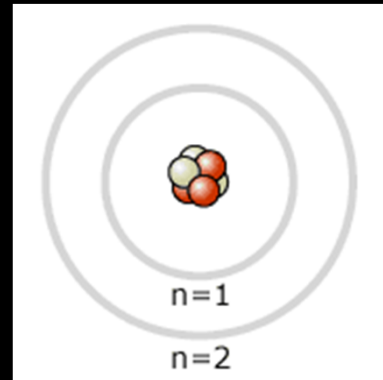
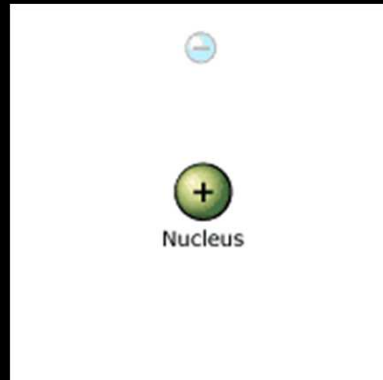
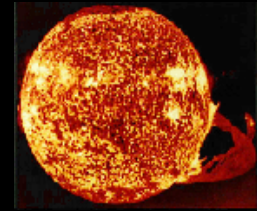
# Polarização e Polarizadores



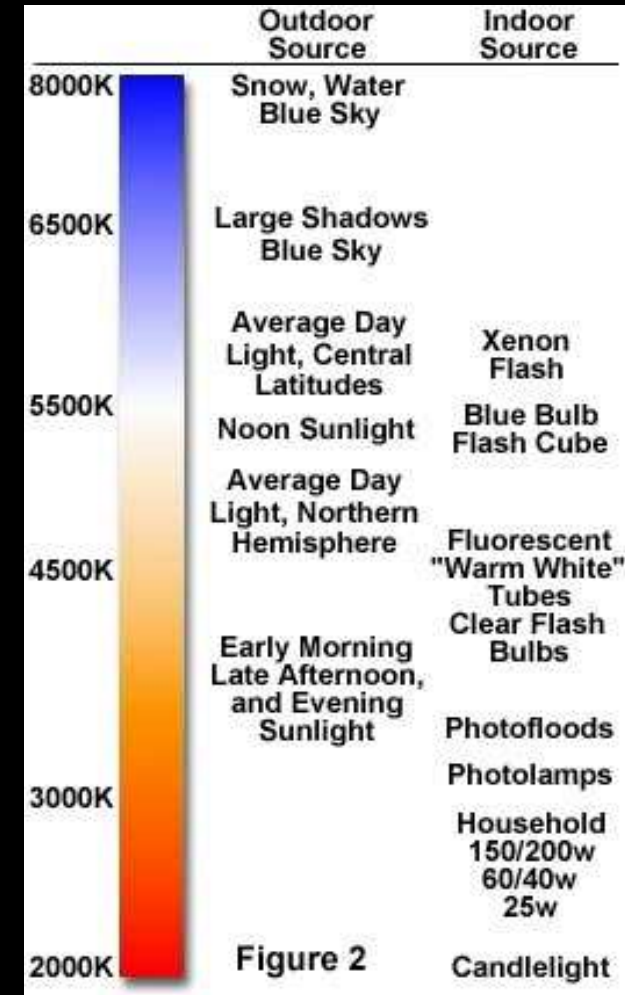
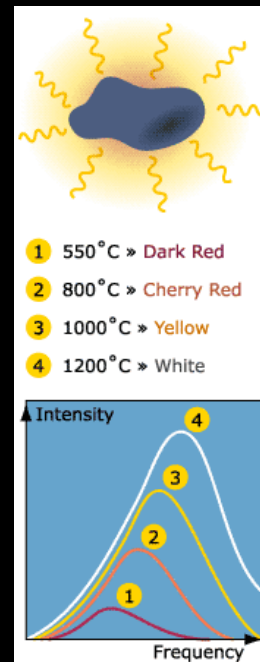
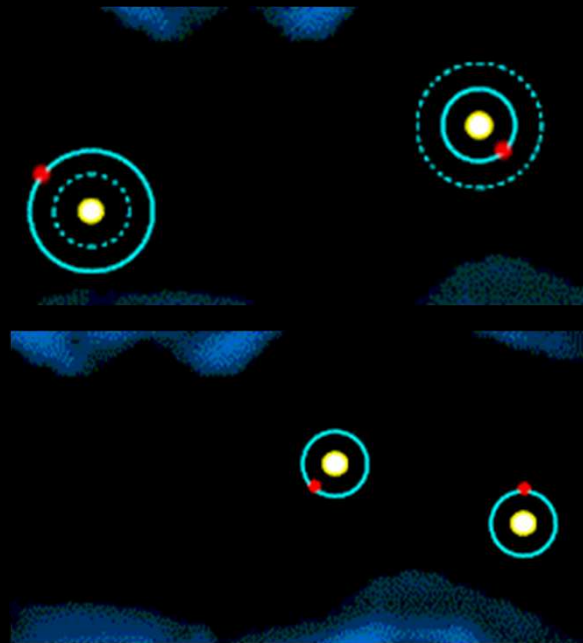
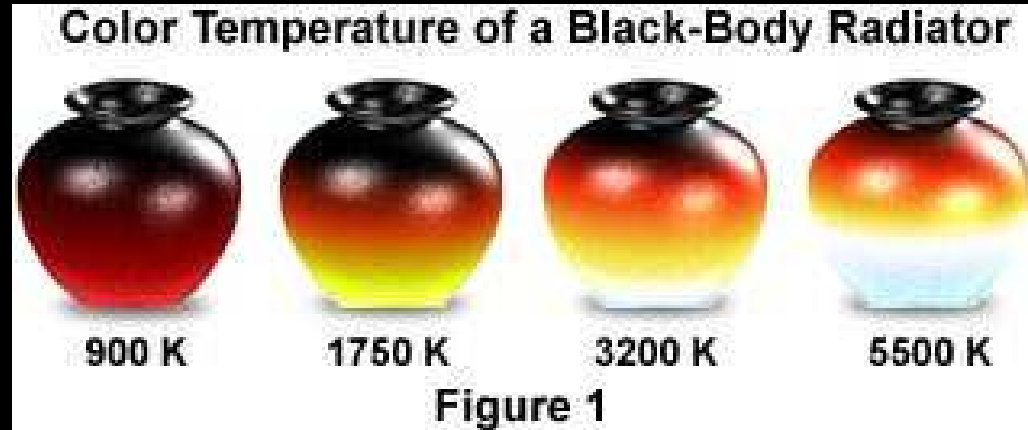
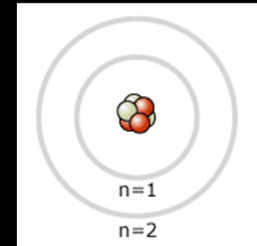
# Cristais Líquidos



# Produção de Radiação Electromagnética

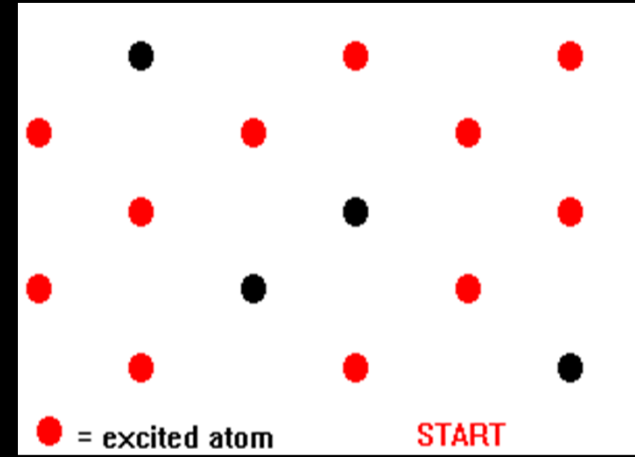
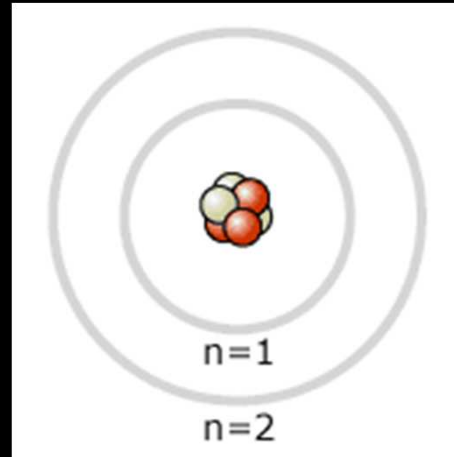
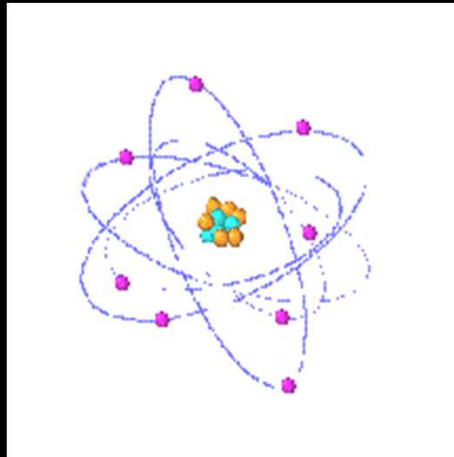


# Medir a Temperatura com a Luz

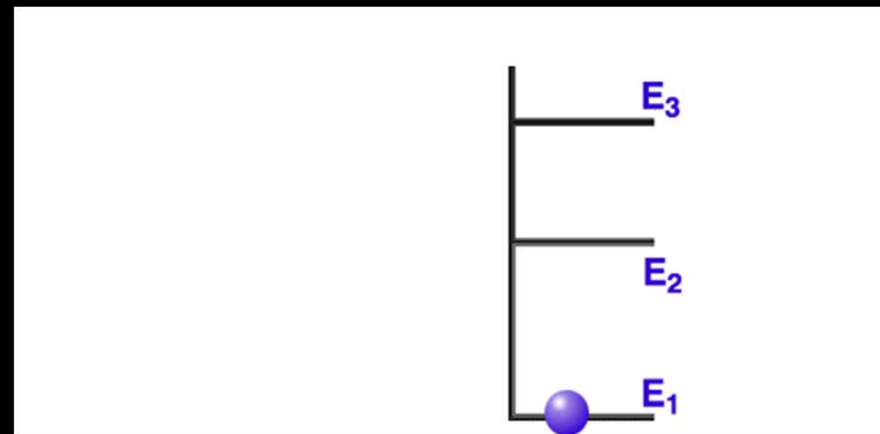
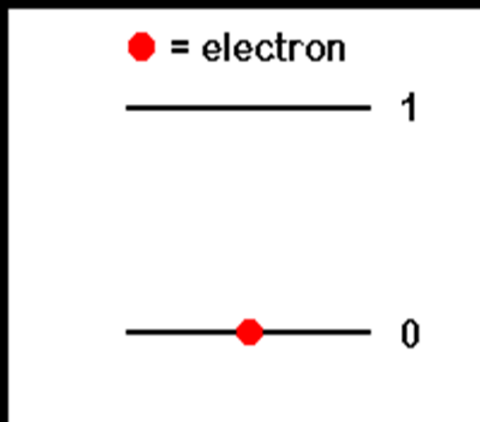




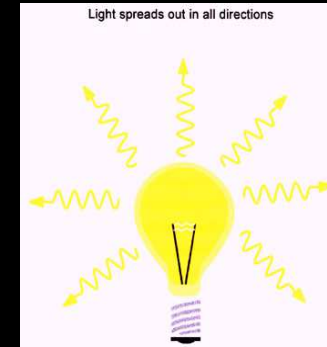
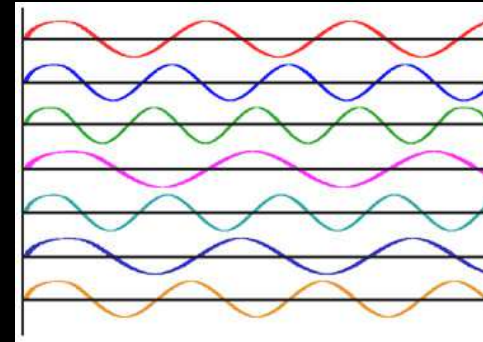
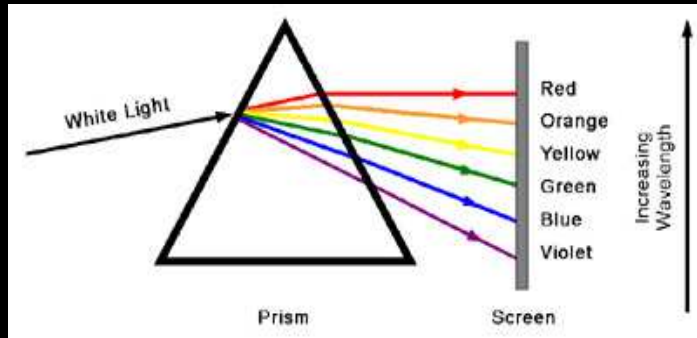
# Fazer luz “comum”



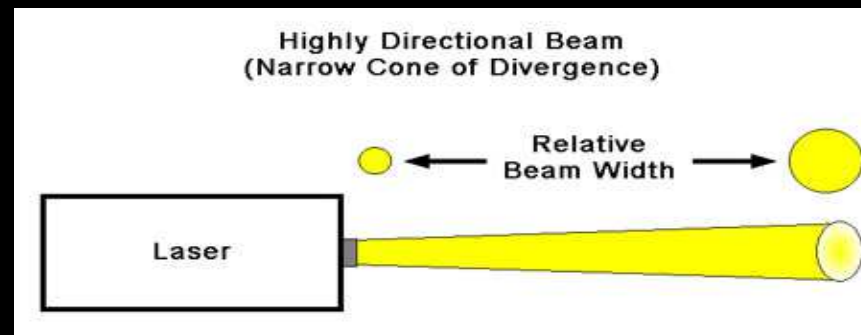
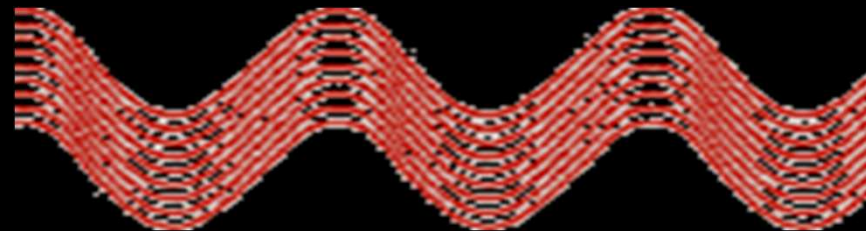
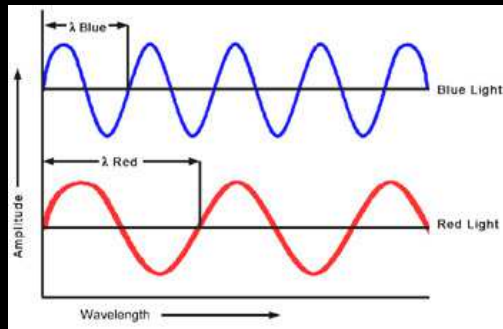
# Fazer luz “laser”



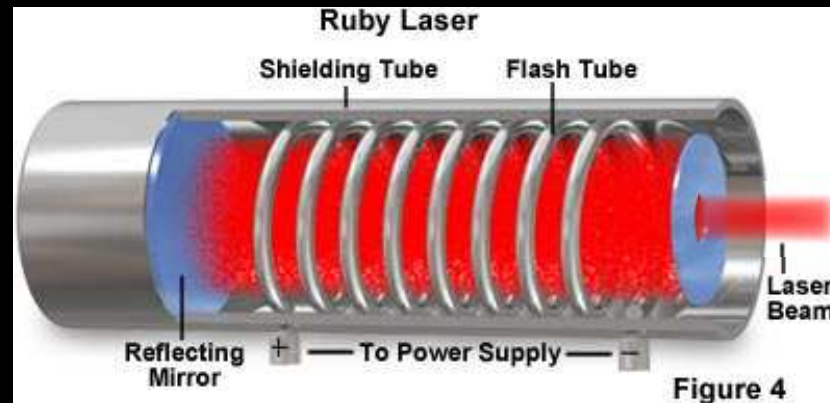
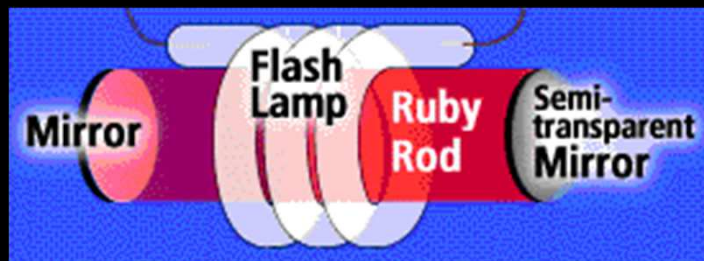
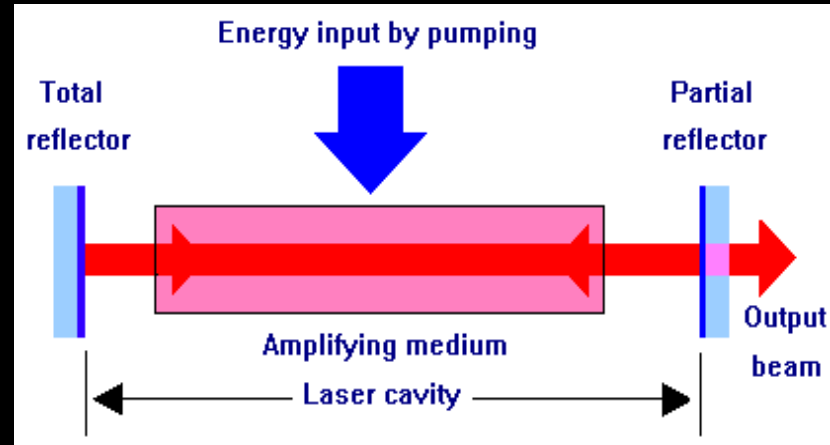
# Luz "comum"



# Luz laser

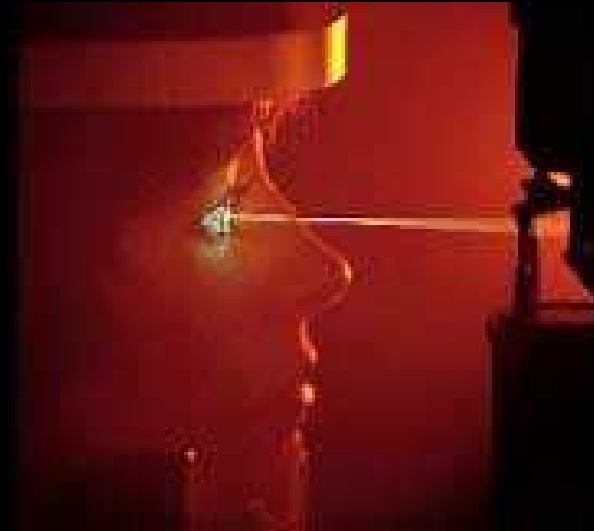


# O Laser

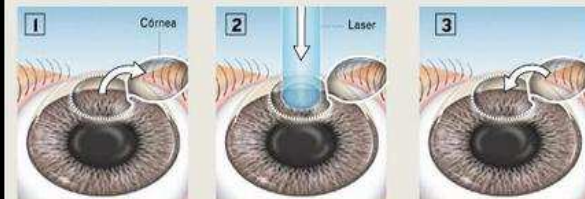


Laser: acrónimo de L[ight] A[mplification] (by) S[timulated] E[mission] (of) R[adiation], amplificação de luz por meio de emissão estimulada de radiação; dispositivo gerador de um feixe de radiação electromagnética intensa, quase monocromática, possuindo múltiplas aplicações nos campos da indústria, da investigação e tecnologia, da Medicina e militar.

# Aplicações na Metrologia e na Medicina



## Cirurgia com Lasik, uma das técnicas de utilização do laser Eximer

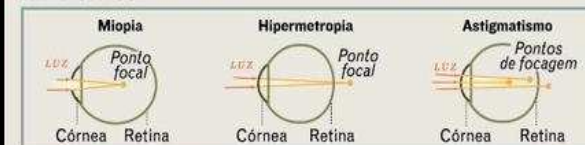


1 Primeiro o cirurgião corta e destaca uma aba à superfície, denominada lenticulo.

2 Este é levantado e é aplicado o laser para destruir algumas células e tecidos corneanos. O objectivo é alterar a forma da córnea para corrigir os erros refractivos.

3 Uma vez realizado este processo de fotoablação, volta a colocar o lenticulo no lugar, o qual funcionará como uma espécie de "penso" nos dias seguintes à operação.

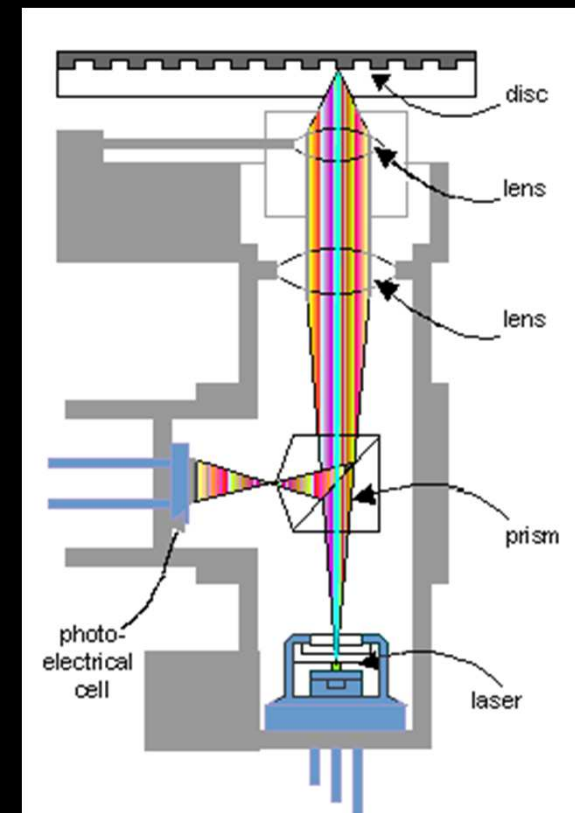
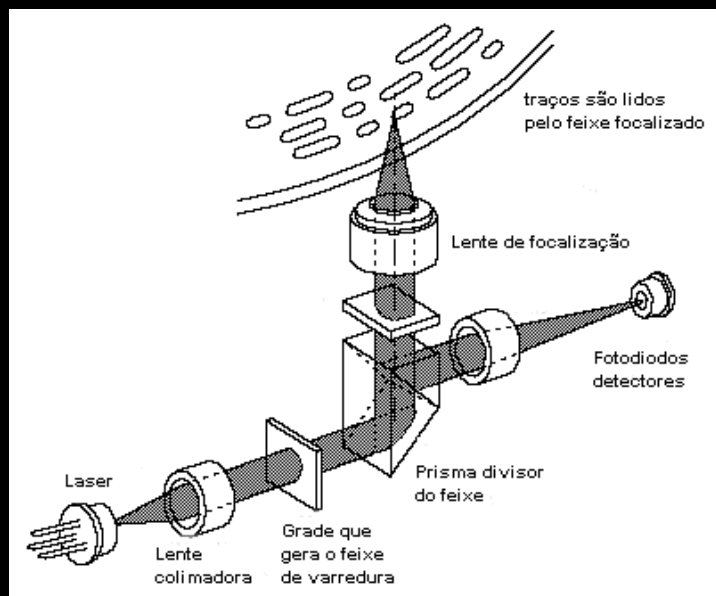
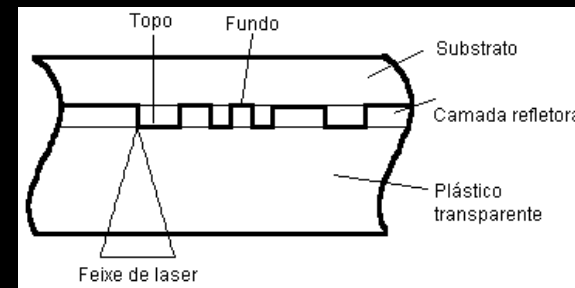
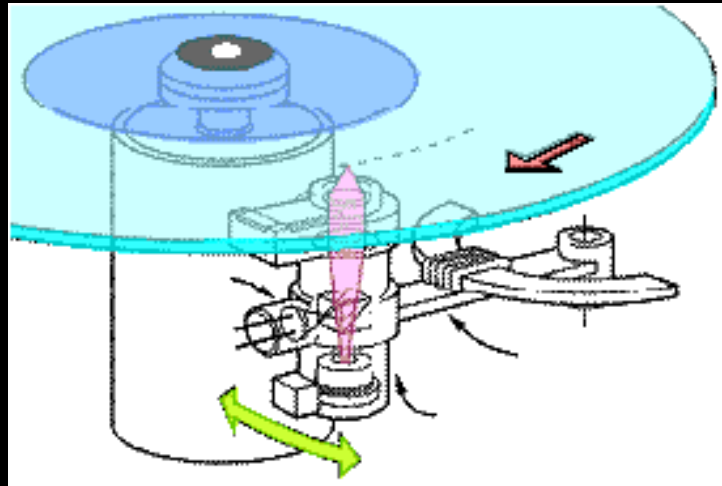
### TIPOS DE ERROS REFRACTIVOS



FONTE: "Laservue Eye Center, Califórnia"

ANA SERRA

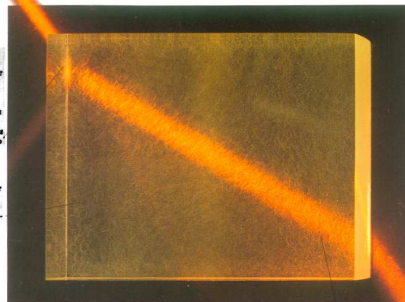
# O Disco Compacto (CD, DVD)



# Reflexão Total

experimentos para investigar quanto a luz era desviada. Inventou uma lei para explicar a refração mas tem muitos os seus próprios resultados estavam de acordo com a sua lei.

Raio de luz



O raio de luz desvia-se quando deixa o ar e entra na face esquerda do bloco.


Bloco de vidro transparente.

DOBRA  
Esta base de...  
peça, todas em...  
acontece porq...  
do ar para...  
Em cada mod...

Raio da Luz  
Olho

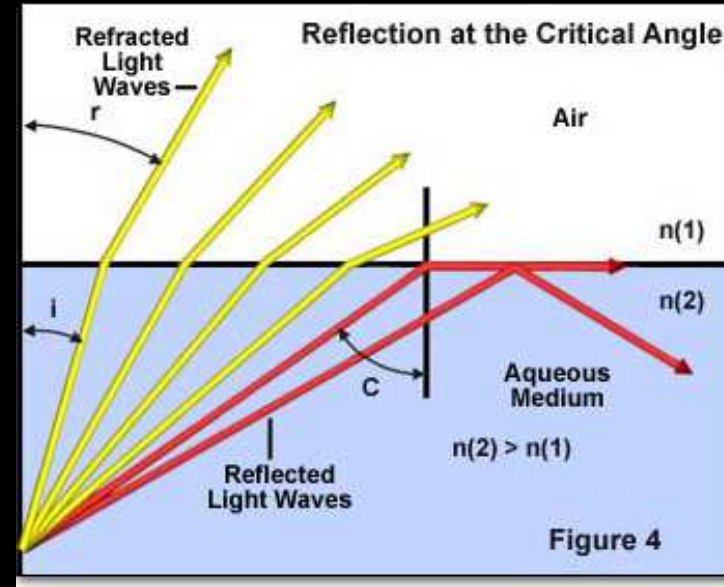
Luz do obj

**A LEI DE REFRAÇÃO DE SNELL.**  
Nesta experiência um feixe de luz desvia-se quando entra e sai de um bloco de vidro transparente. Quando o feixe atinge o bloco, aproxima-se mais da horizontal. Quando deixa o bloco volta a desviar-se mas na direção oposta. A medida do desvio é muito precisa. Se o feixe entra ou sai do bloco perpendicularmente não sofre refração. Se entrar ou sair segundo um ângulo haverá refração, que será tanto maior quanto maior for o afastamento da vertical. Em 1621 o matemático holandês, também astrónomo, Willebrord Snell determinou que existia uma relação característica entre o ângulo de incidência do feixe (ângulo antes do desvio) e o seu ângulo de refração (ângulo depois do desvio). A sua lei mostra que cada substância tem um poder de refração próprio, o seu índice de refração. Quanto maior uma substância desvia a luz tanto maior o seu índice de refração.



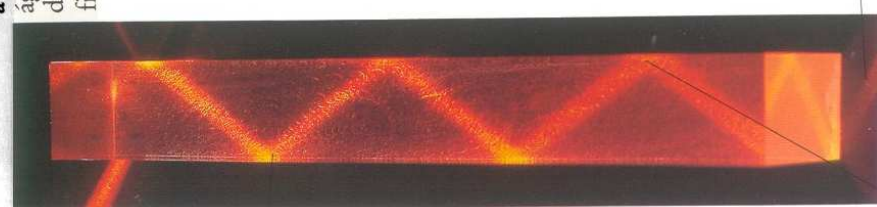
**WILLEBRORD SNELL**  
Willebrord Snell (1580-1626) descobriu uma das mais importantes leis respeitantes à luz. Foi também pioneiro da triangulação, método para medir distâncias usando os ângulos entre diferentes pontos.

A luz no interior do bloco desloca-se em linha recta.



Raio de luz

Se o mergulhador continuar a atingir a superfície seguirá cada vez maior. Quando a água, atinge-se o «ângulo crítico»...

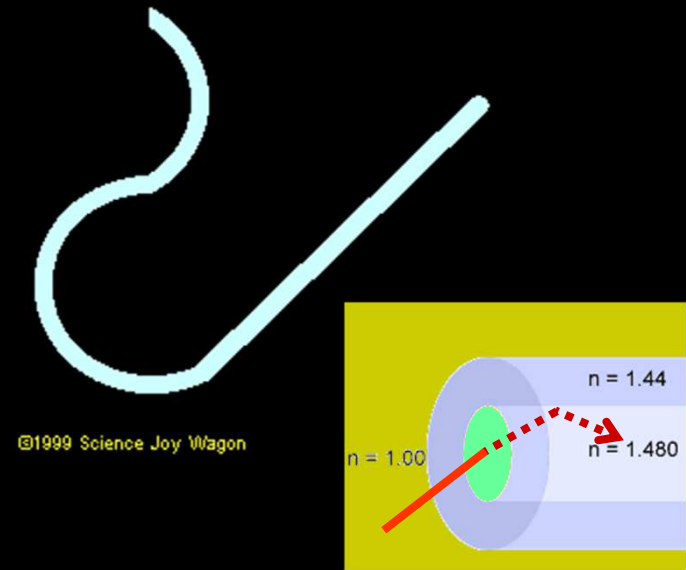


O prisma foca a luz

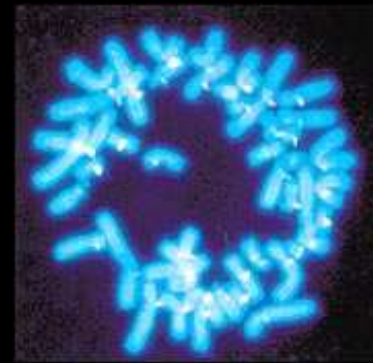
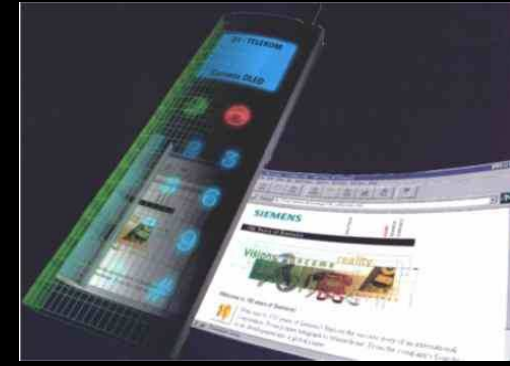
De raios luminosos são reflectidos internamente e incidem nos lados da barra segundo um ângulo pequeno

**APANHAR A LUZ**  
Nesta figura vemos um raio luminoso ser reflectido por uma barra de plástico transparente. A reflexão é «total» porque nenhuma ou pouca luz escapa da barra em cada reflexão. É «total» porque todas as reflexões ocorrem no interior da barra. Esta espécie de reflexão só acontece em determinadas circunstâncias. A luz deve deslocar-se no interior de um meio com elevado índice de refração (pág. 14), tal como a água, o vidro ou o plástico. Esse meio deve estar rodeado por outro de índice de refração inferior, tal como o ar. A luz deve incidir na linha de separação dos dois meios, segundo um ângulo pequeno.

Nenhuma luz escapa quando o feixe luminoso é reflectido



# Tecnologias Emergentes



# Bibliografia

- *Enciclopédia Visual da Ciência*, Editorial Verbo, 1994.
- *História da Ciência de 1543 ao presente*, John Gribbin, Europa-América, 2005.
- *Cinco equações que mudaram o mundo*, Michael Guillen, Gradiva.
- *A imagem da Natureza na Física Moderna*, Werner Heisenberg, Livros do Brasil.
- *Paradoxos e Realidade: Ensaio sobre os fundamentos da microfísica*, Franco Selleri, Fragmentos, 1990.
- *O poder da luz*, National Geographic, Outubro 2001.
- *A Evolução da Física: de Newton à Teoria dos Quanta*, Albert Einstein e Leopold Infeld, Livros do Brasil.
- *O Annus Mirabilis de Einstein - cinco artigos que revolucionaram a Física*, John Stachel, Gradiva, 2005.
- *Albert Einstein*, Leopold Infeld, Publicações Europa-América, .
- *Subtil é o senhor - Vida e pensamento de Albert Einstein*, Gradiva.
- *Cosmos*, Carl Sagan, Gradiva.
- *Um mundo infestado de demónios*, Carl Sagan, Gradiva.







O que é que vê?

O que é que vê?

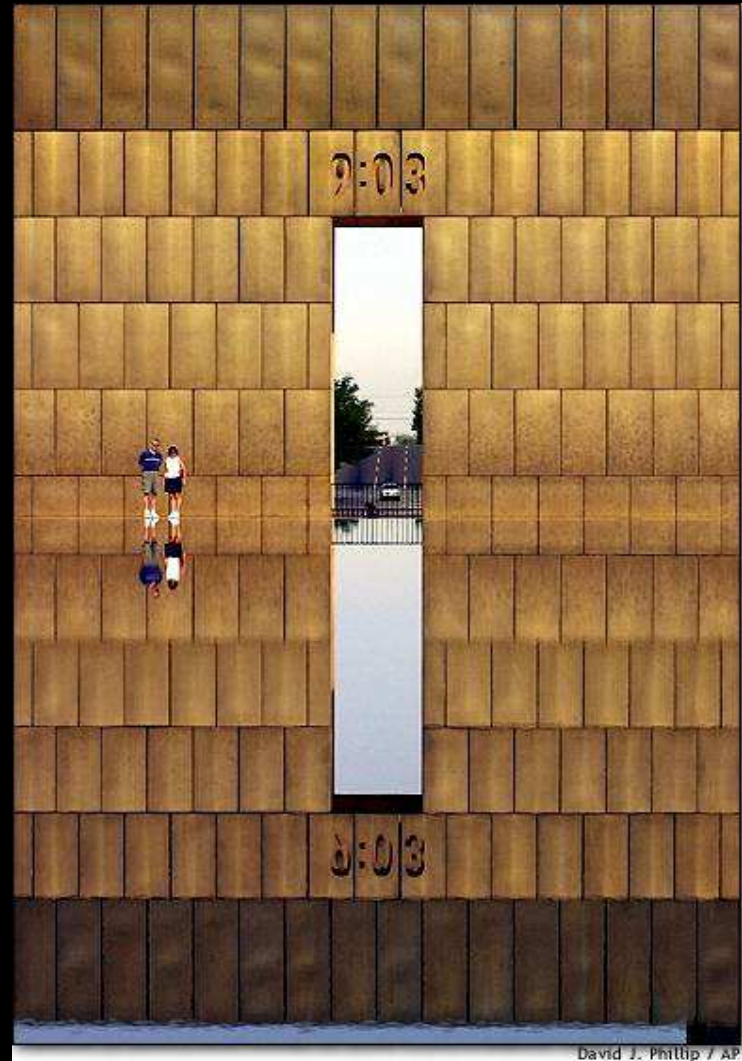
# Luz e cor



**+ Luz e cor**



# Reflexão da Luz



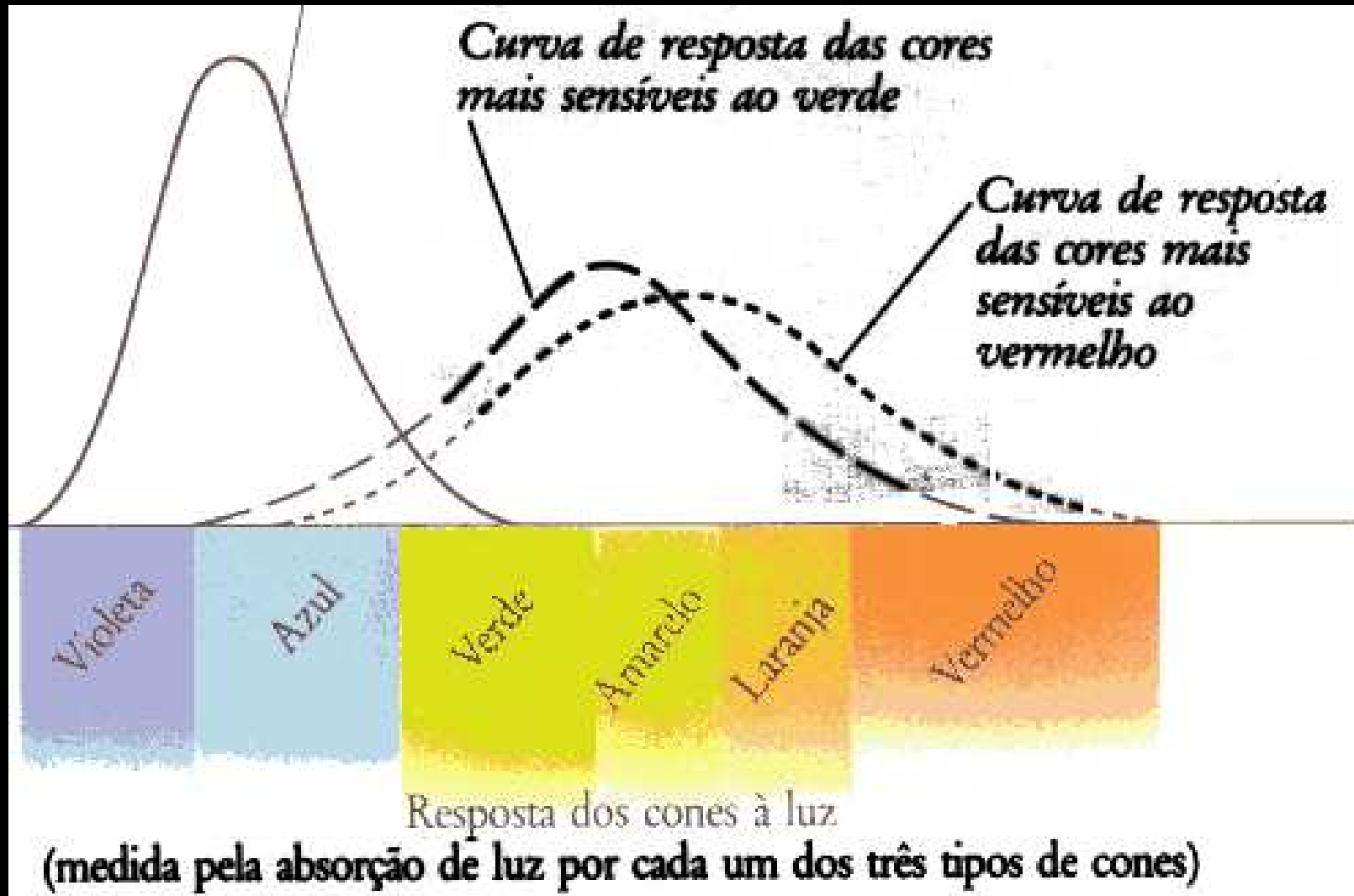
David J. Phillip / AP

## + Reflexão da Luz

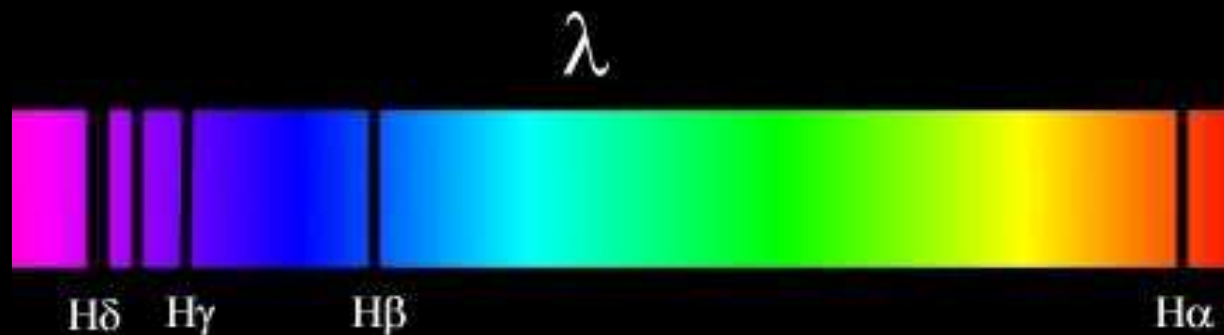
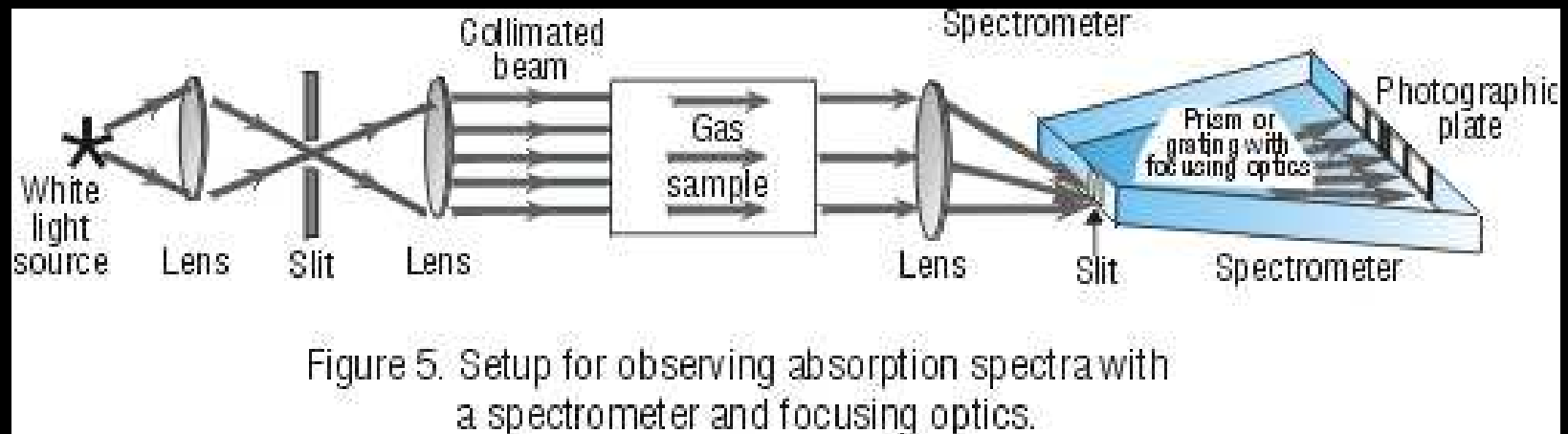


David McNew / Getty Images

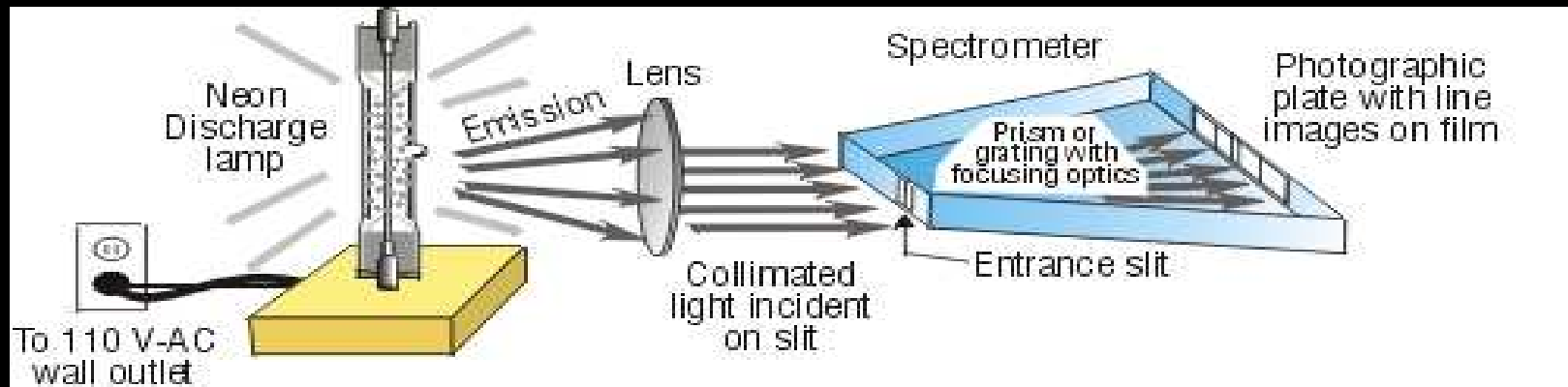
# O Espectro Visível



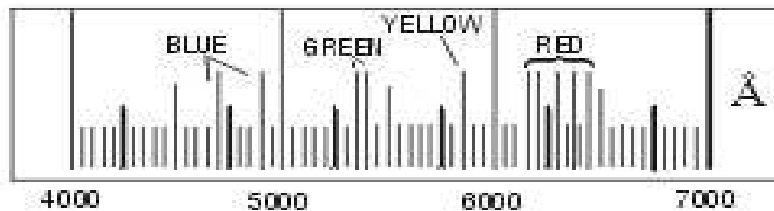
# Espectro de Absorção



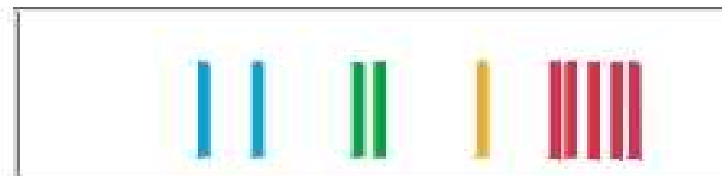
# Espectro de Emissão



(a) Setup for recording emission spectra of atomic gases with a spectrometer and focusing optics



(b) Line spectra for neon gas superimposed on wavelength scale.



(c) Same line spectra as in 4 (b) with color content shown.

Figure 4. Lab setup for observing emission spectra with a typical line spectrum for neon gas — in black/white and in color.



*No início havia,*

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}, \quad \vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \vec{M}, \quad e \quad \vec{J} = \sigma \vec{E}$$

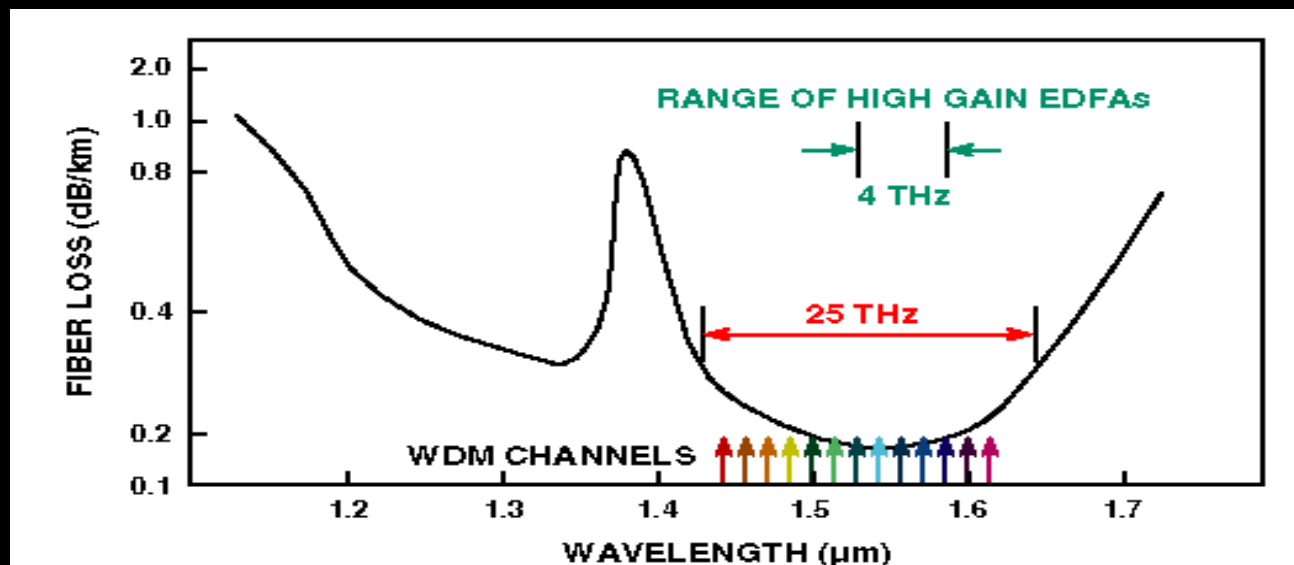
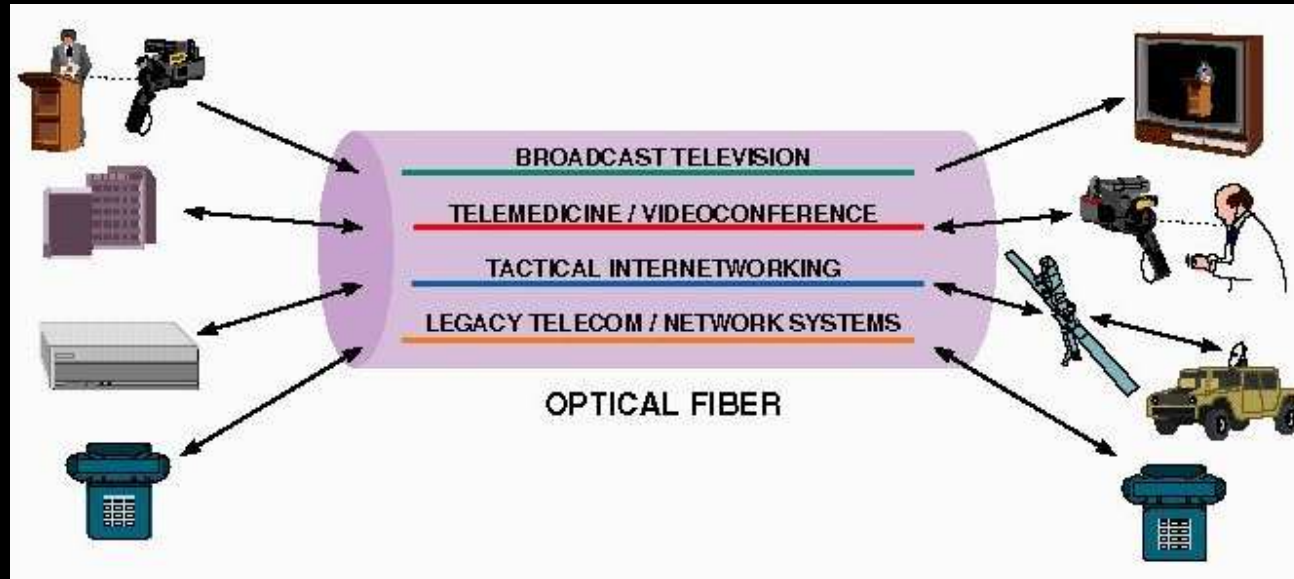
*e Maxwell 'previu' as ondas electromagnéticas*

$$-\nabla^2 \vec{E} + \mu \frac{\partial \vec{J}}{\partial t} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{J}}{\partial t^2} = -\mu \frac{\partial^2 \vec{P}}{\partial t^2}$$

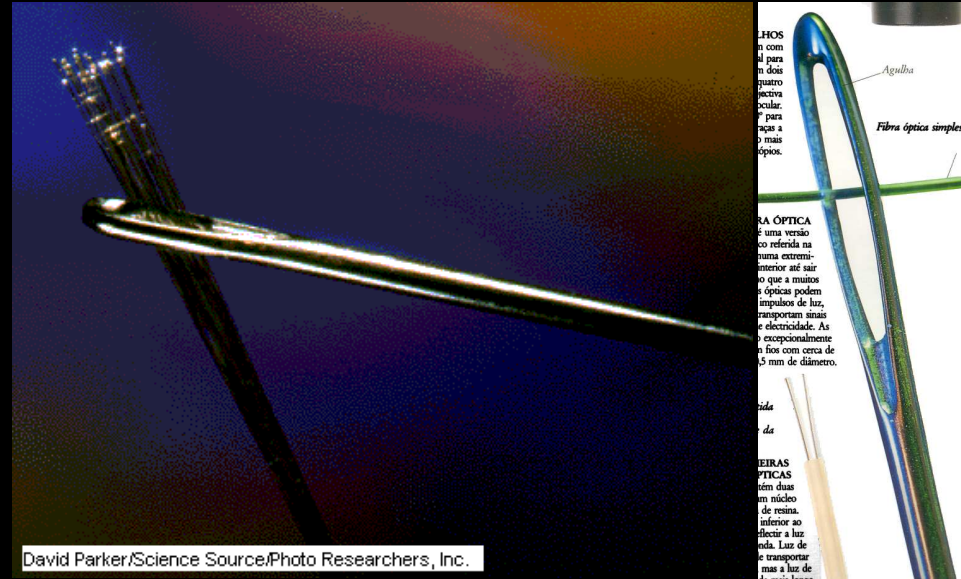
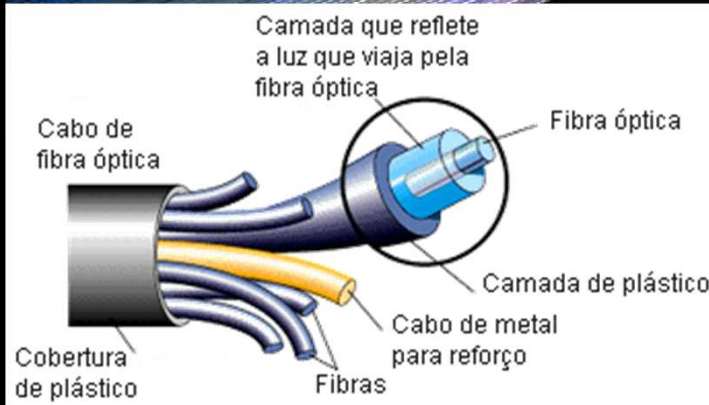
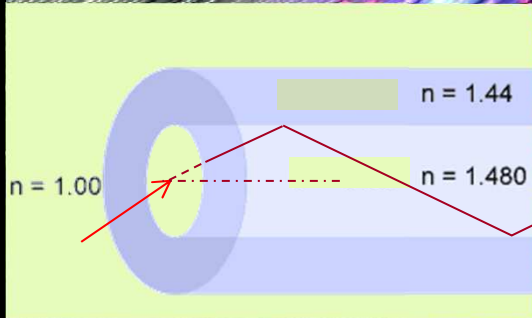
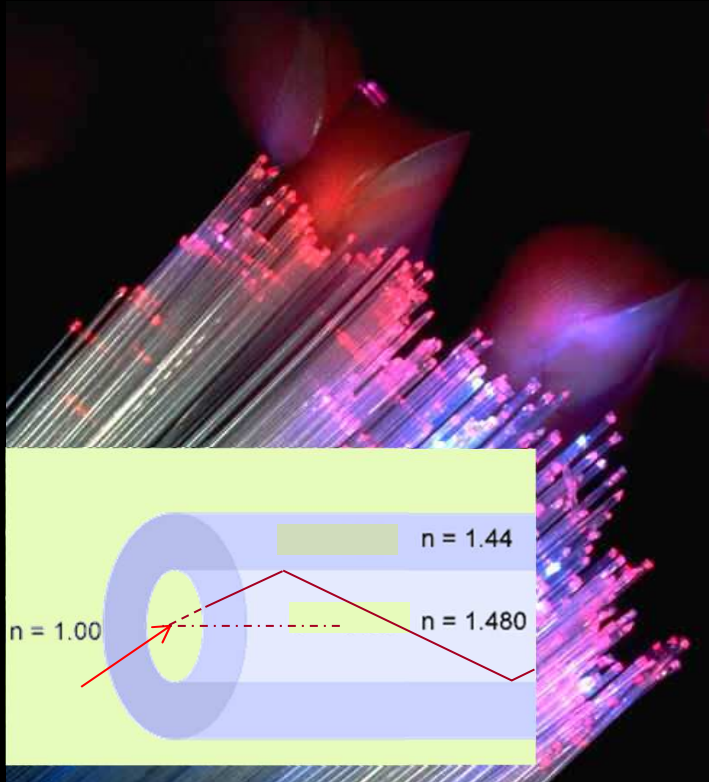
*e a Luz*

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

# Comunicação Óptica



# Fibras Ópticas



forma de luz e pode comportar mais de 1000 chamadas simultâneas.

Cabo de fibras ópticas



fibras de vidro. A resina tem do vidro. As de todo baixo co