

A luz, o laser e a holografia

José Figueiredo
(jlongras@ualg.pt)

Centro de Electrónica, Optoelectrónica e Telecomunicações
Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade do Algarve
(<http://w3.ualg.pt/~jlongras/palestras.html>)

Luz (fís.): designação que compreende não só as radiações visíveis mas também as radiações electromagnéticas invisíveis; (do lat. luce-, «id.»).

As luzes da Natureza



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

domingo, 27 de setembro de 2020

Luz: propriedades e aplicações

+ luzes da Natureza

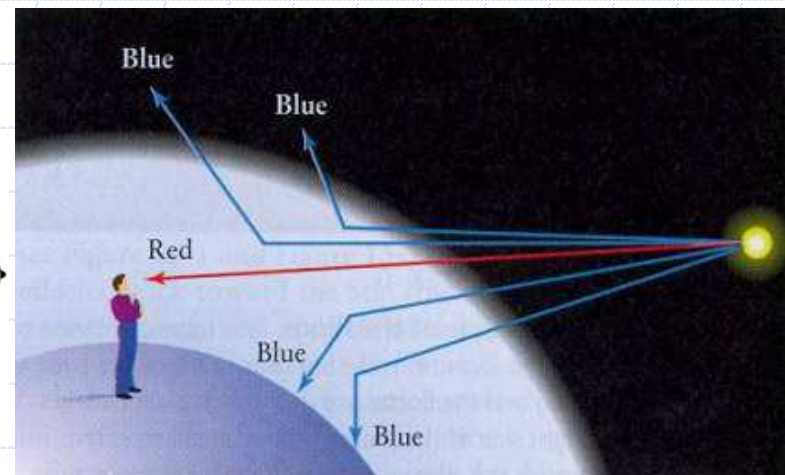
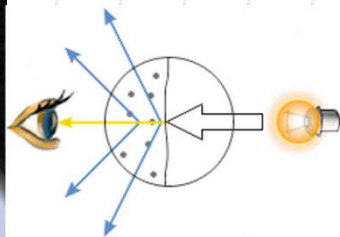
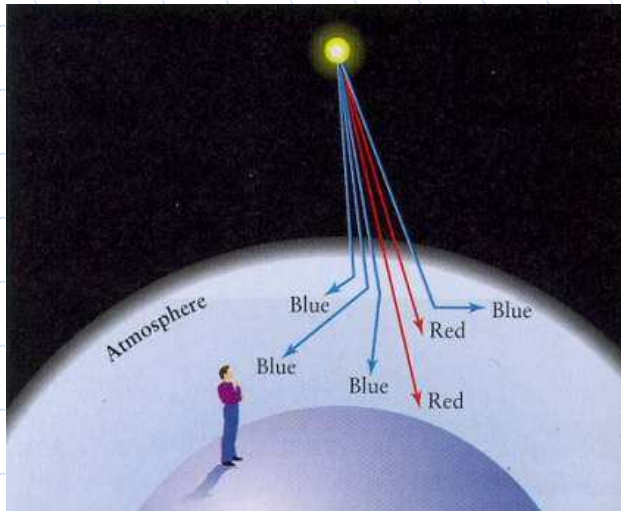


<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

domingo, 27 de setembro de 2020

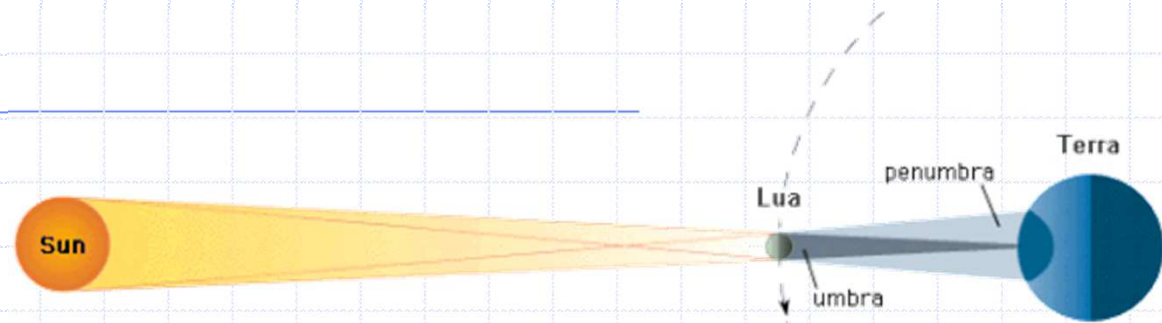
Luz: propriedades e aplicações

As cores do céu



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Luz e sombra



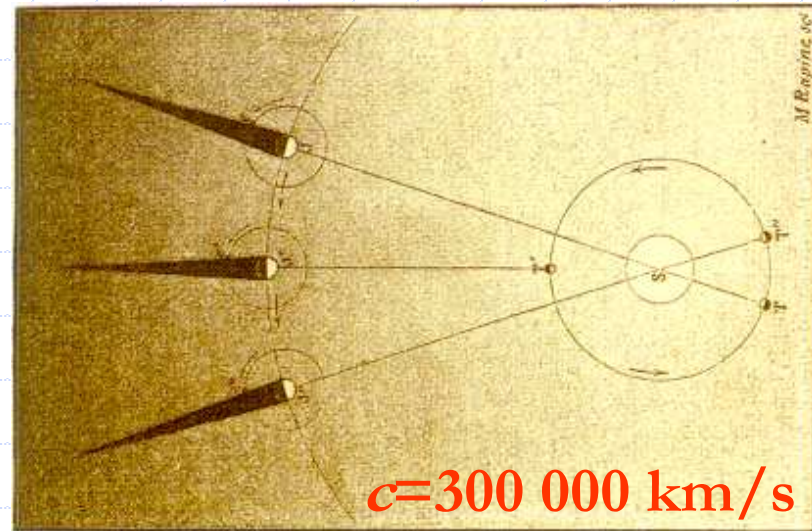
<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

domingo, 27 de setembro de 2020

Luz: propriedades e aplicações

Velocidade da luz

Romer,
1675

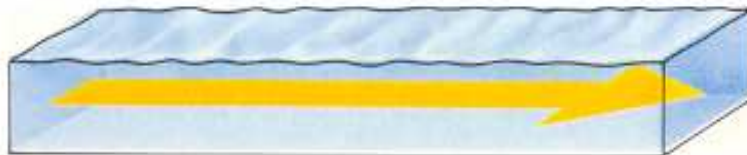


A velocidade da luz na água é de 225 000 km/s; índice de refração da água 1,3

Índice de refração

$$n = c/v$$

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

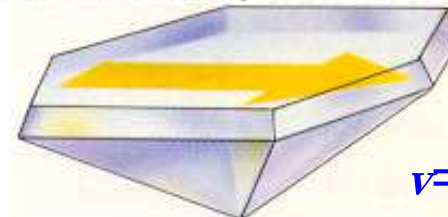


$v = 300\,000 \text{ km/s}$



$v = 225\,000 \text{ km/s}$

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



$v = 200\,000 \text{ km/s}$

Reflexão da Luz

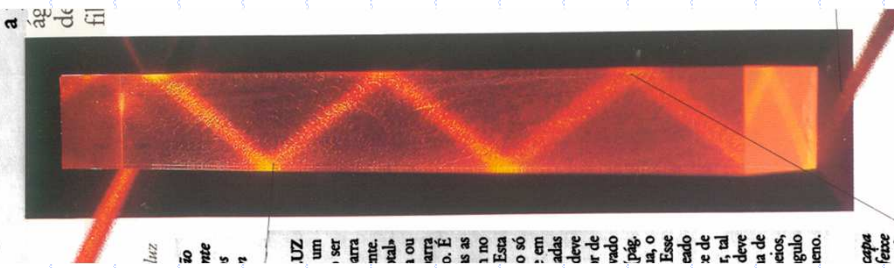
Narciso



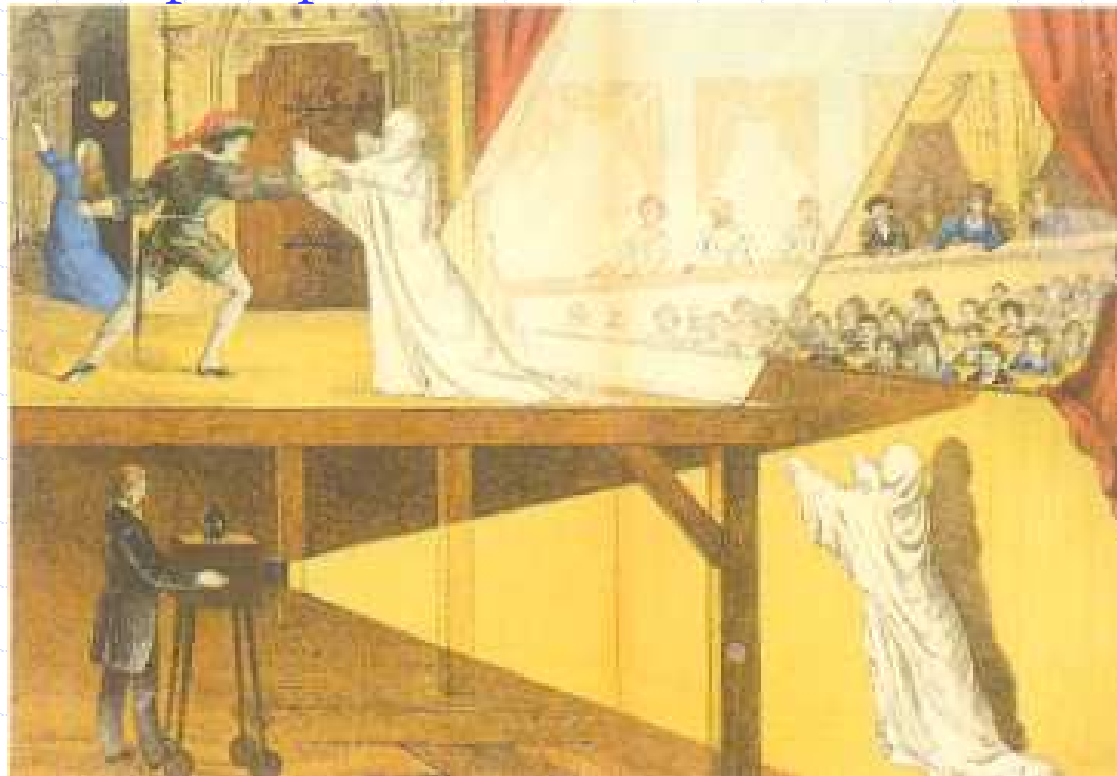
ESPELHO DE ÁGUA

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.

Se o mergulhador contin
atingirá a superfície segu
cada vez maior. Quando
água, atinge-se o «ângul



Usada para produzir fantasmas nos teatros



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Refração 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.

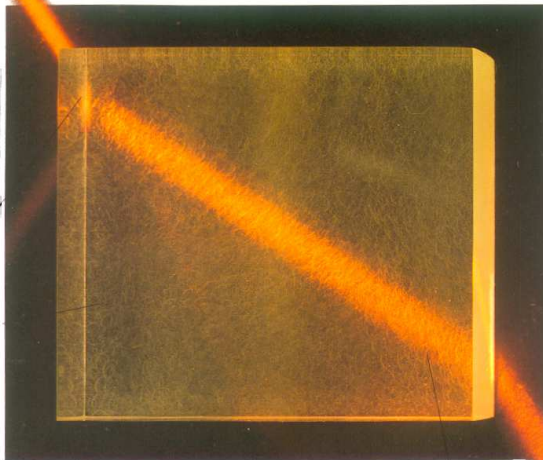
Raio de luz

lei da refração. Apicou-a a diversos casos, mas não foi reconhecido. Al-Hazen (pág. 12) investigou a refração, mas não pôde concluir até onde a refração da luz iria. O problema foi resolvido em 1621 por Willebrord Snell e a sua lei ficou conhecida por «lei de Snell».



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

Bloco de vidro transparente



DOBRÁ

Esta haste de 1 peças, todas em acontece porq do ar para Em cada muda



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



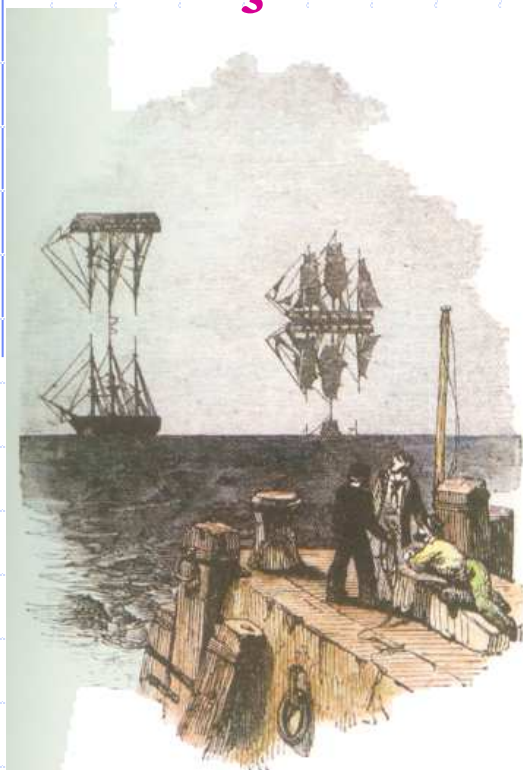
A luz no interior do bloco desloca-se em linha recta

LORD SNELL Snell (1580-1641) descobriu uma das leis da luz. Foi também a primeira pessoa a usar o método da refração para medir a distância entre os pontos.



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Explicação das miragens e aparições: reflexão e refacção



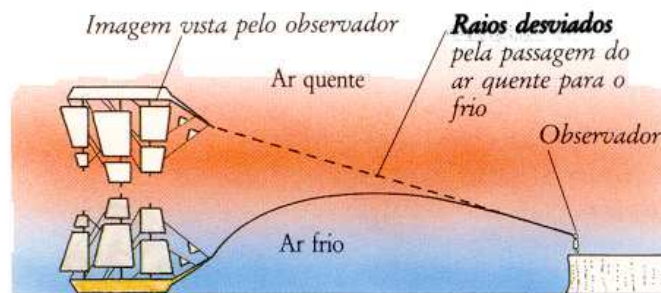
REFRACÇÃO NO AR

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).



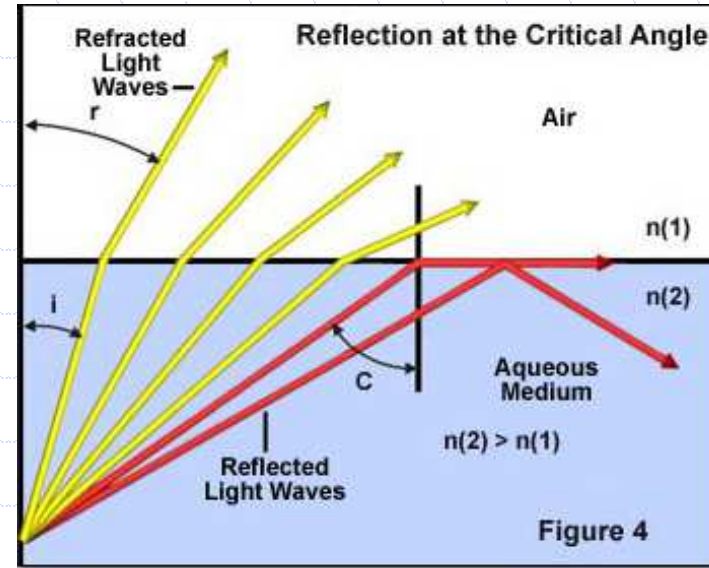
APARIÇÃO

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



Reflexão e reflexão total interna



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

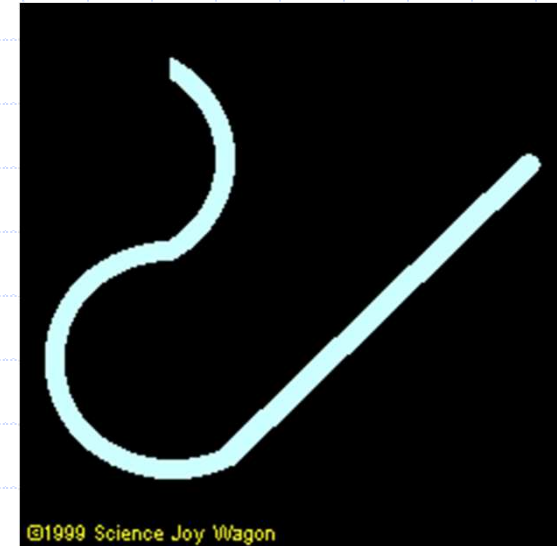
Se o mergulhador contin
atingirá a superfície segu
cada vez maior. Quando
água, atinge-se o «ângul



O prisma foca a luz
Os raios luminosos são
refletidos internamente
e incidem nos lados
da barra segundo um
ângulo pequeno

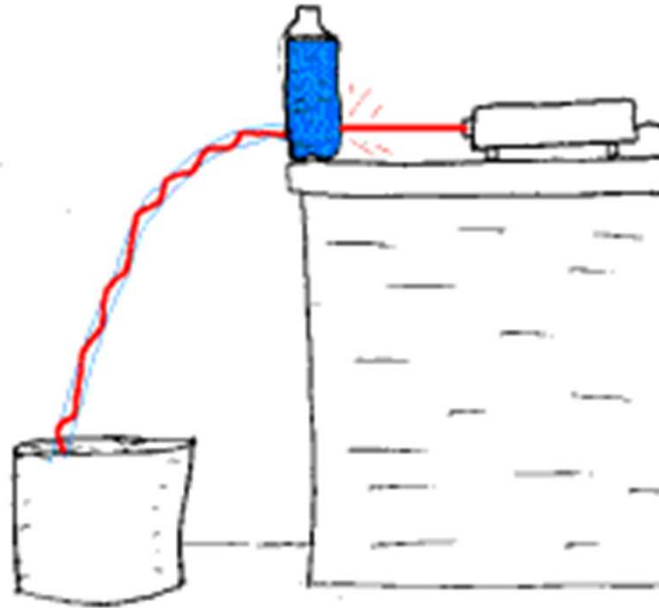
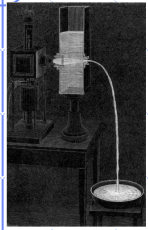
APANHAR A LUZ
Nesta figura vemos um
raio luminoso ser
refletido por uma barra
de plástico transparente.
A reflexão é «total»
porque nenhuma ou
pouca luz escapa da barra
em cada reflexão. É
«interna» porque todas as
reflexões ocorrem no
interior da barra. Esta
espécie de reflexão só
acontece em
determinadas
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

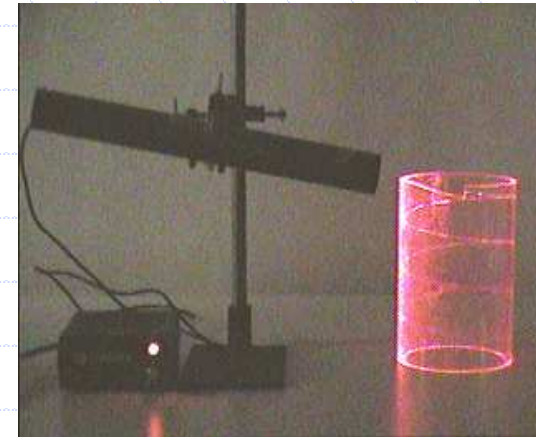
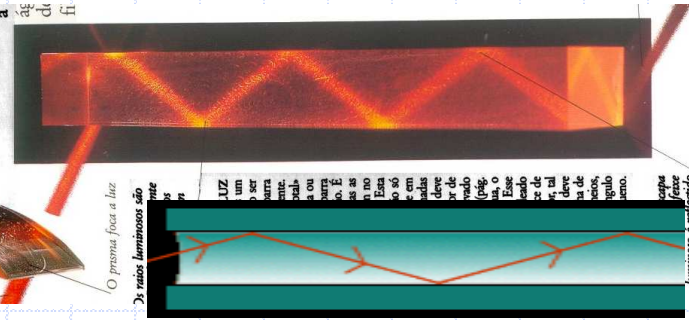


©1999 Science Joy Wagon

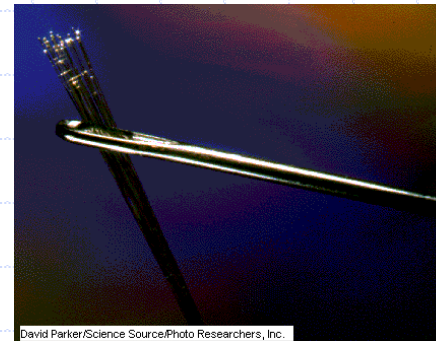
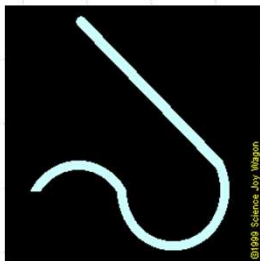
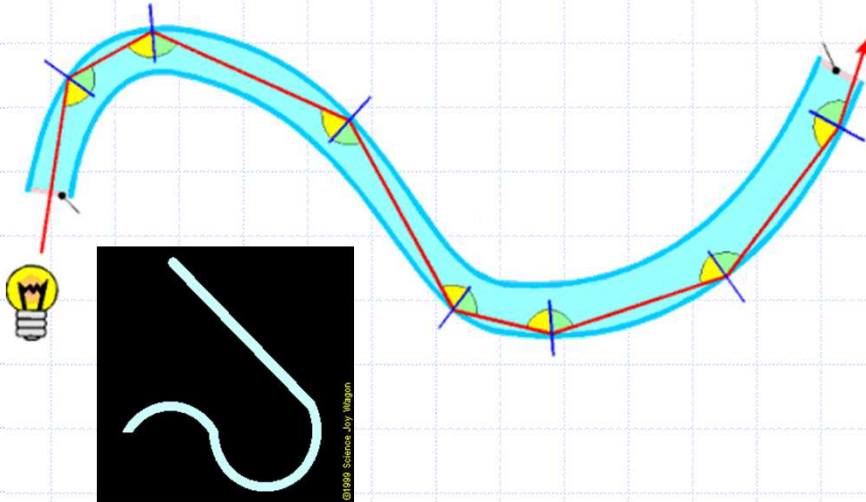
Reflexão total interna e a fibra óptica



Se o mergulhador continua a atingir a superfície seguem cada vez maior. Quando a água, atinge-se o «ângulo crítico» a luz reflete-se de volta para a água.



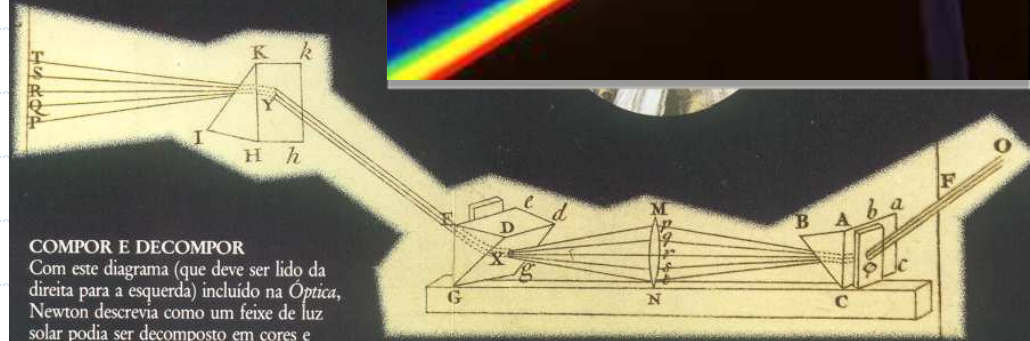
<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>



As “cores” da luz branca



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 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.



Com esta e outras experiências, Newton concluiu que a luz branca é uma mistura de muitas cores. O seu prisma desviava, ou refractava, as cores em diferentes quantidades, fazendo com que se espalhassem, ou dispersassem, de modo a poderem ser vistas.

O primeiro prisma decompõe a luz num espectro de cores.

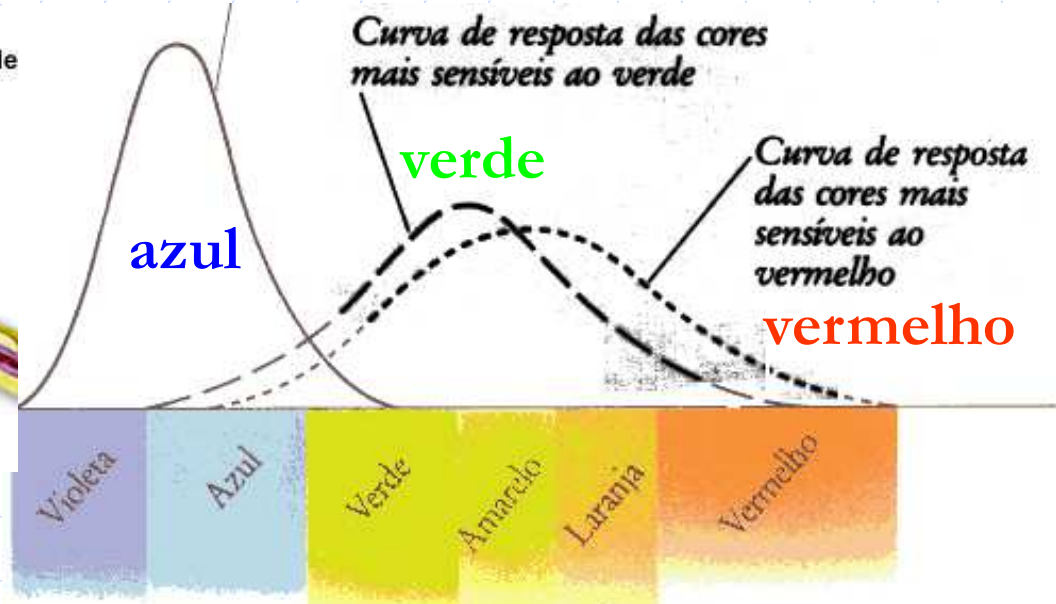
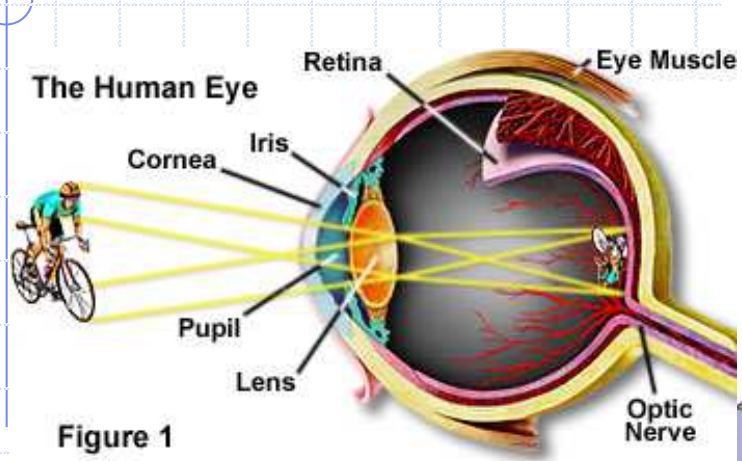
O espectro projecta-se para um écran.

A luz vermelha não sofre alteração de cor ao atravessar o prisma.

A luz vermelha que não foi refractada.

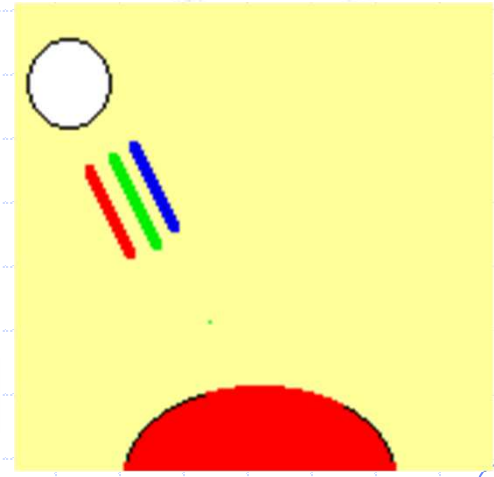
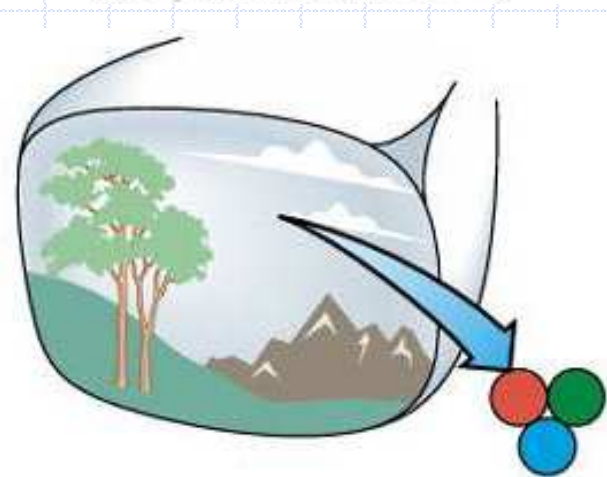
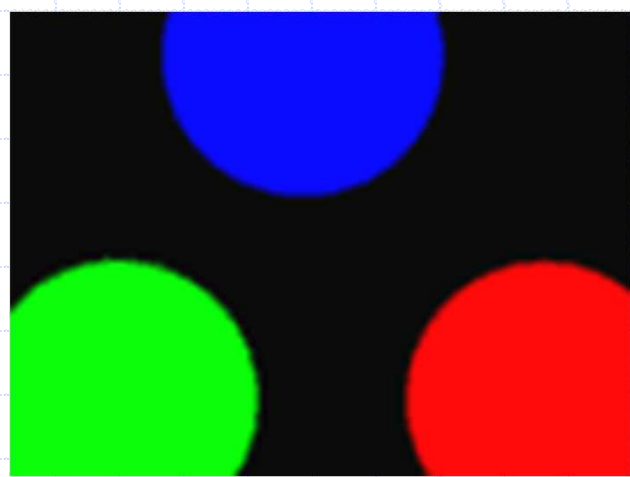
<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

O olho e as cores visíveis

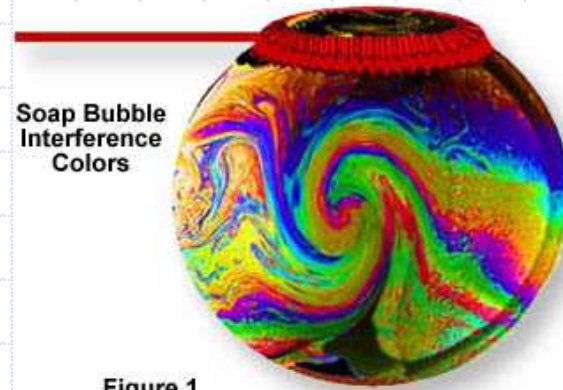


Resposta dos cones à luz
(medida pela absorção de luz por cada um dos três tipos de cones)

<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>



As «cores visíveis»



Soap Bubble Interference Colors

Figure 1



OPALA IRIDISCENTE



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Os arco-íris

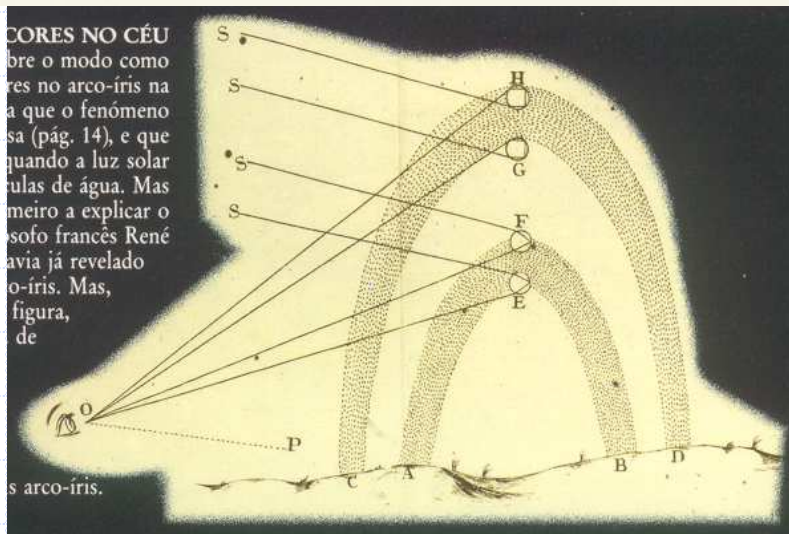
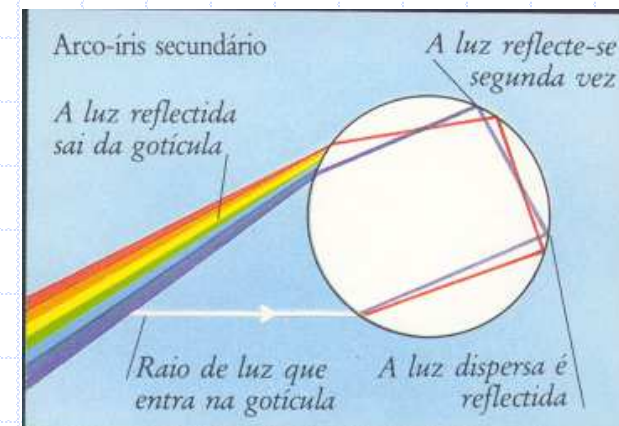
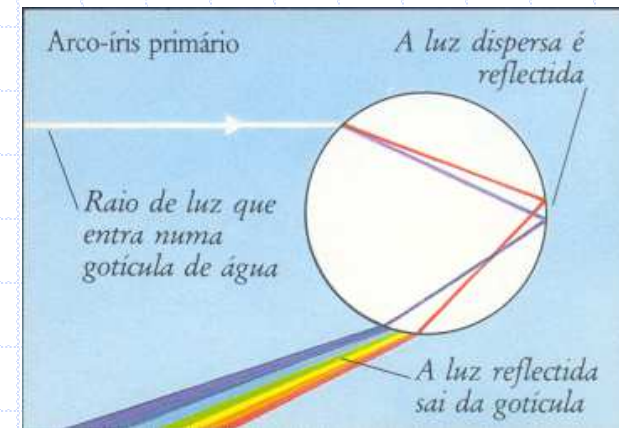
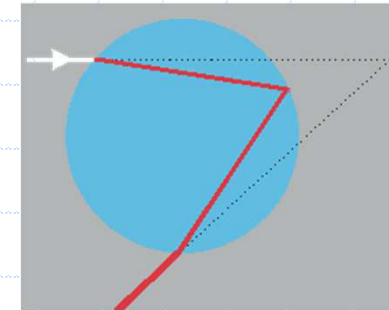
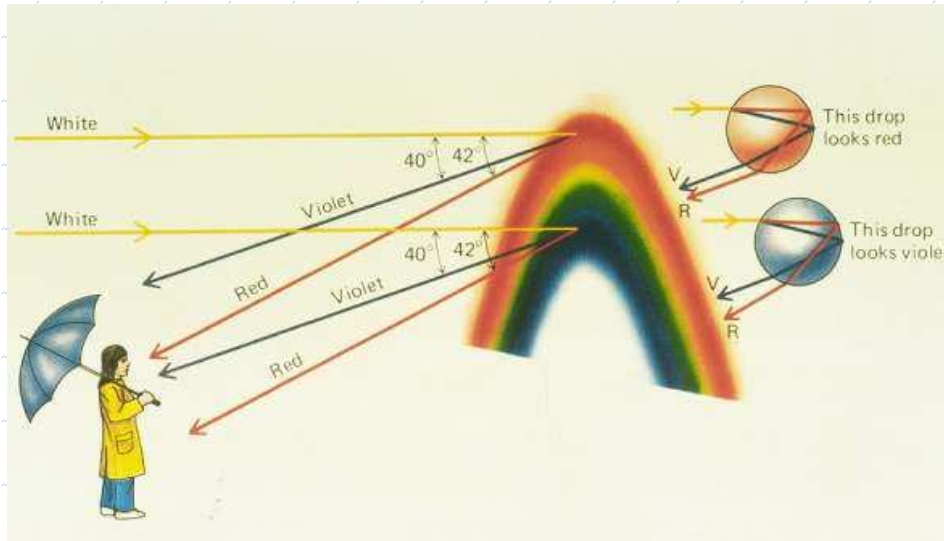


<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

domingo, 27 de setembro de 2020

Luz: propriedades e aplicações

Explicação dos arco-íris: refração e reflexão



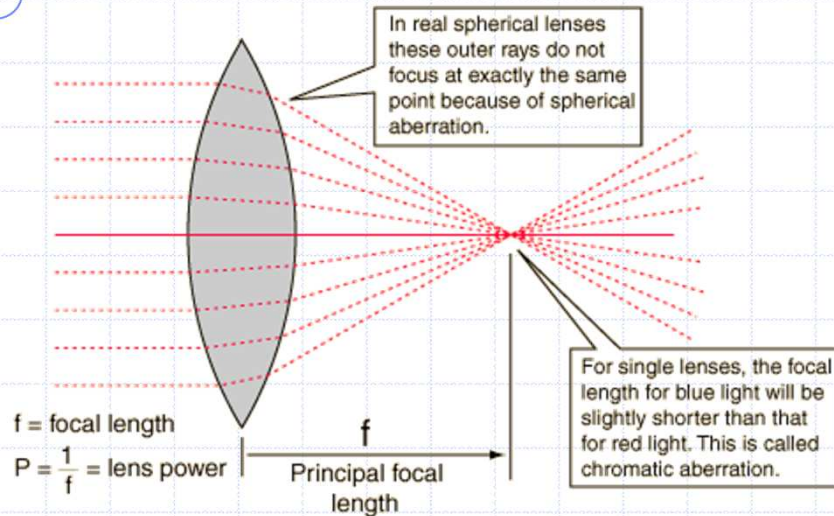
CORES NO CÉU
 bre o modo como
 res no arco-íris na
 a que o fenómeno
 sa (pág. 14), e que
 quando a luz solar
 ulas de água. Mas
 meiro a explicar o
 sofo francês René
 avia já revelado
 o-íris. Mas,
 figura,
 de

s arco-íris.

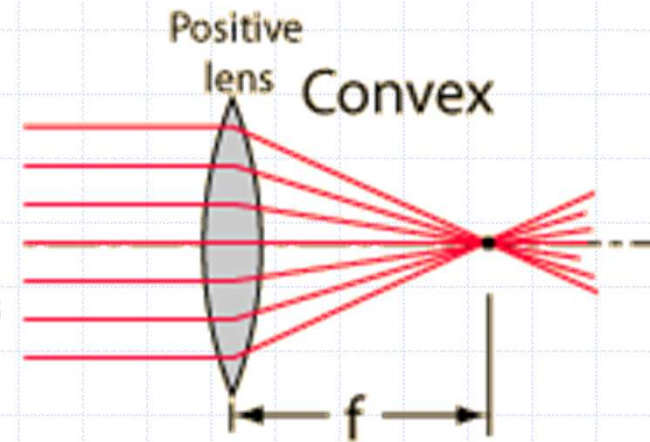
<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Lentes e instrumentos ópticos

Lentes convergentes



Example:
 $f = 20 \text{ cm}$
 $P = \frac{1}{0.2 \text{ m}}$
 $P = 5 \text{ diopters}$



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Refraction bends the light downward upon entrance into the glass and again upon exit from a double convex lens.

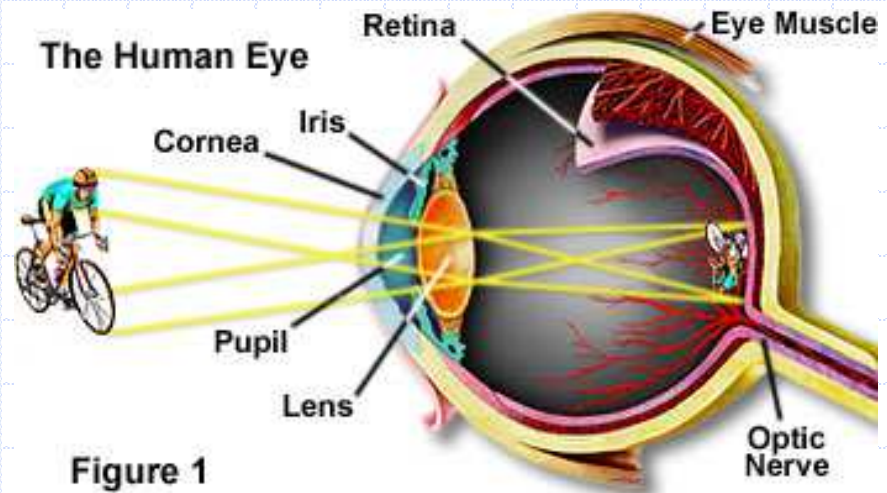
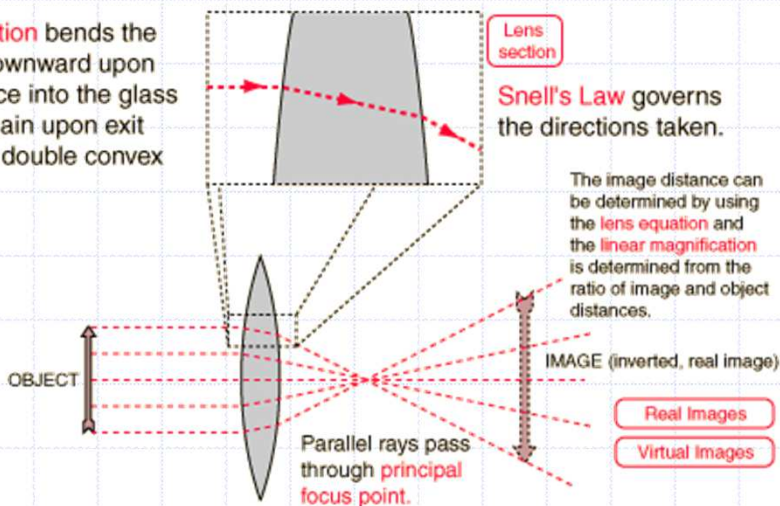
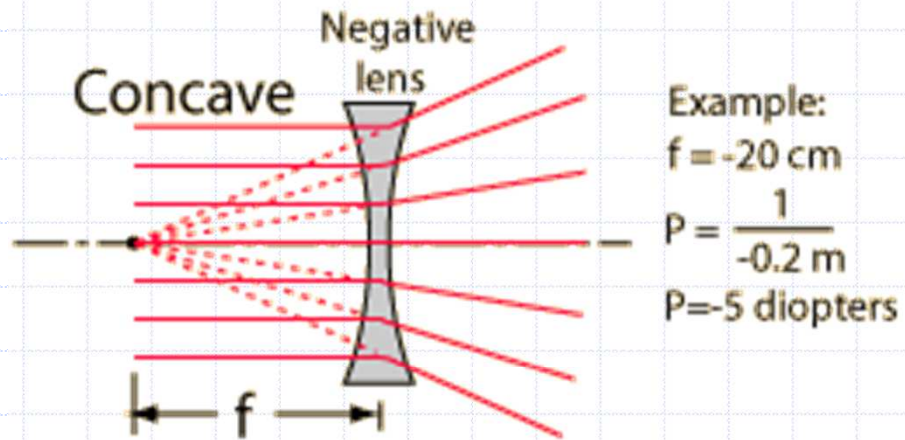


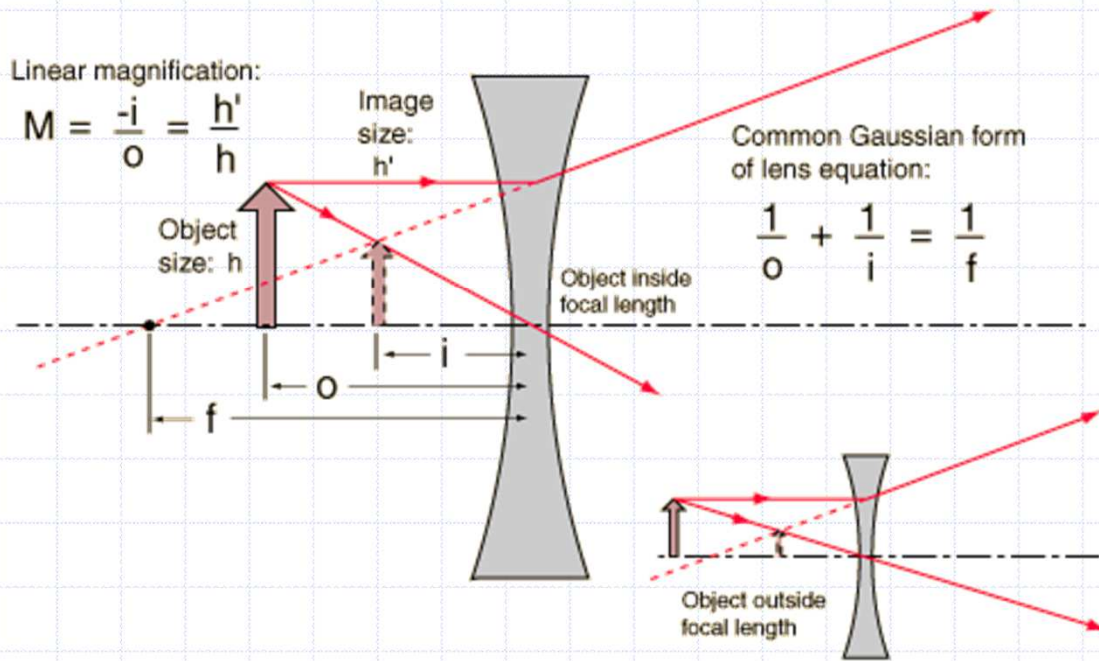
Figure 1

Lentes divergentes

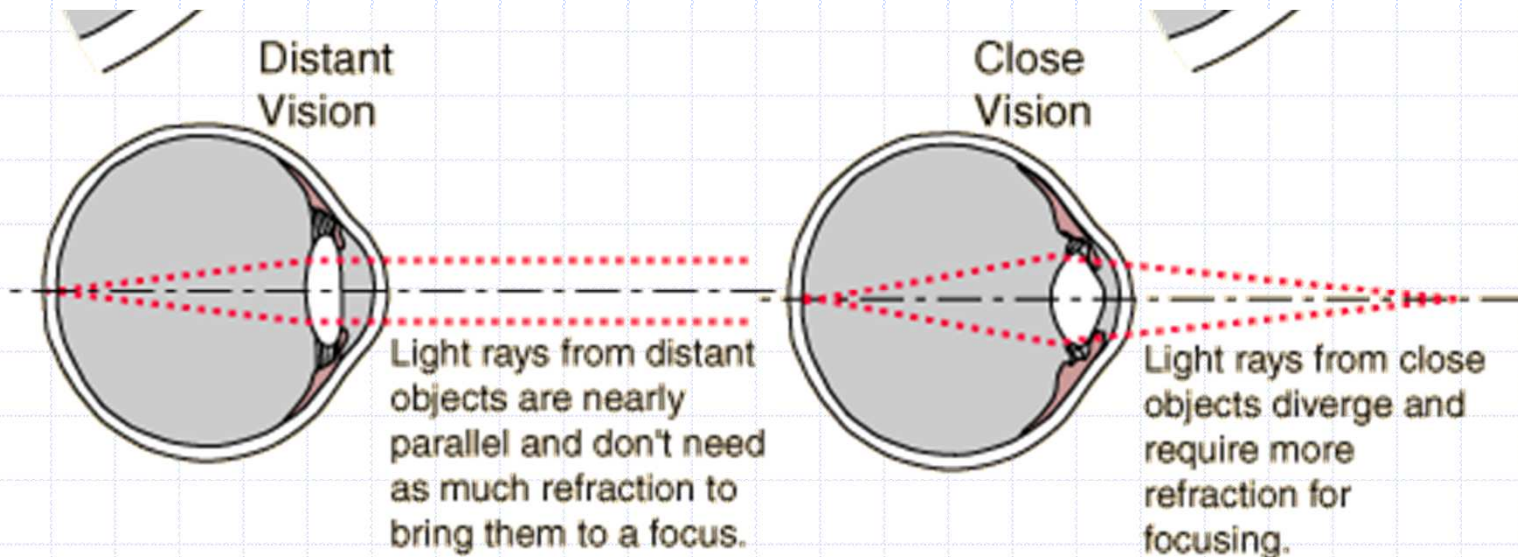
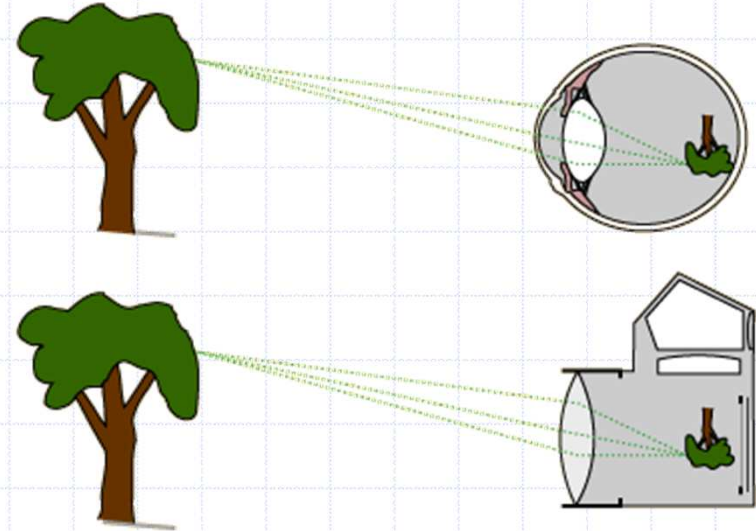
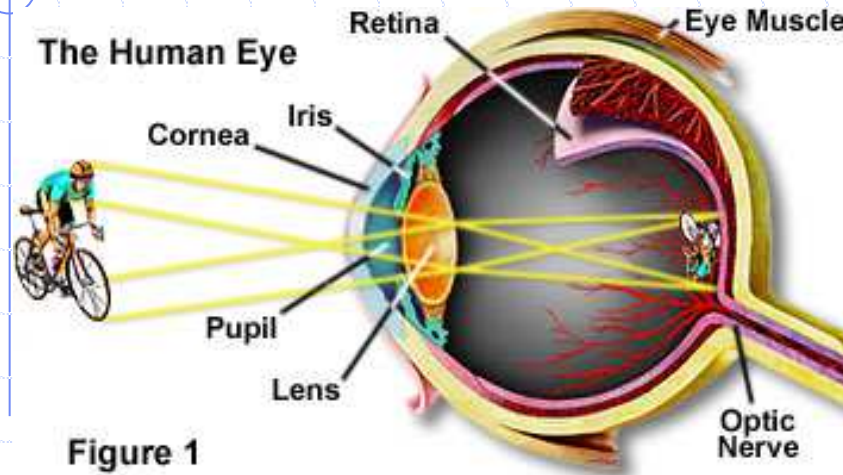


Linear magnification:

$$M = \frac{-i}{o} = \frac{h'}{h}$$



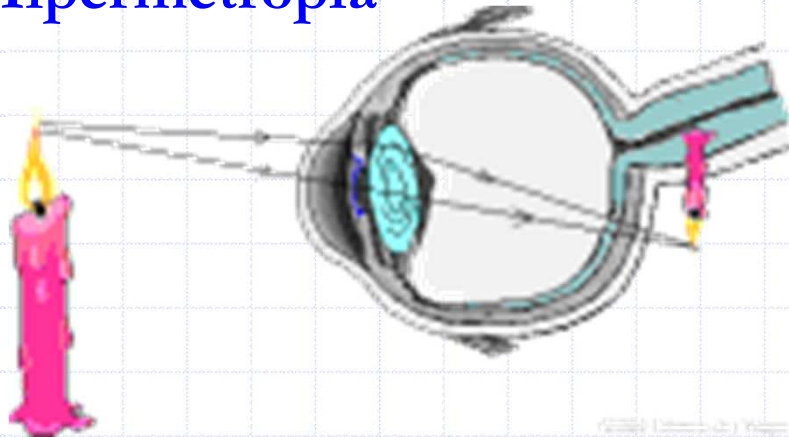
Cristalino: a lente biconvexa do olho



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

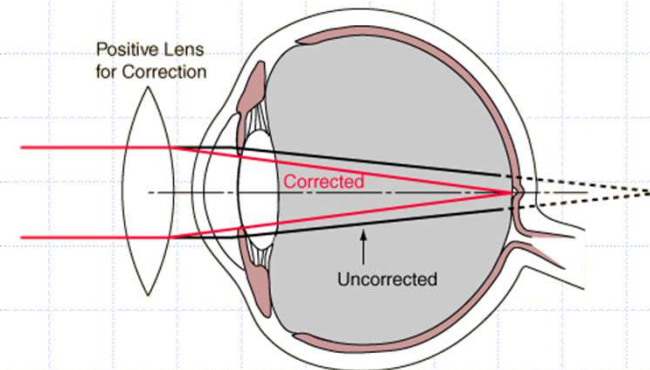
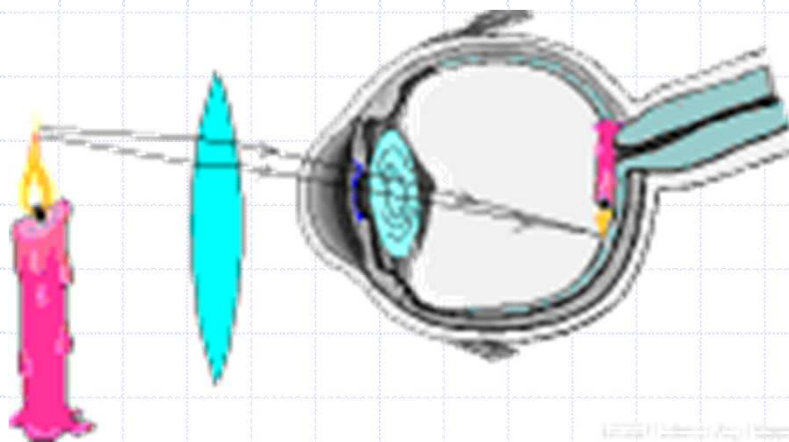
Ver melhor: correcção da hipermetropia

Hipermetropia



E	1	20/200
F P	2	20/100
T O Z	3	20/70
L P E D	4	20/50
P E C F D	5	20/40
E D F C Z P	6	20/30
FELOPZD	7	20/25
DEFPOTEC	8	20/20
LEFOPBCT	9	
PBPLECDO	10	
DEKLEPTE	11	

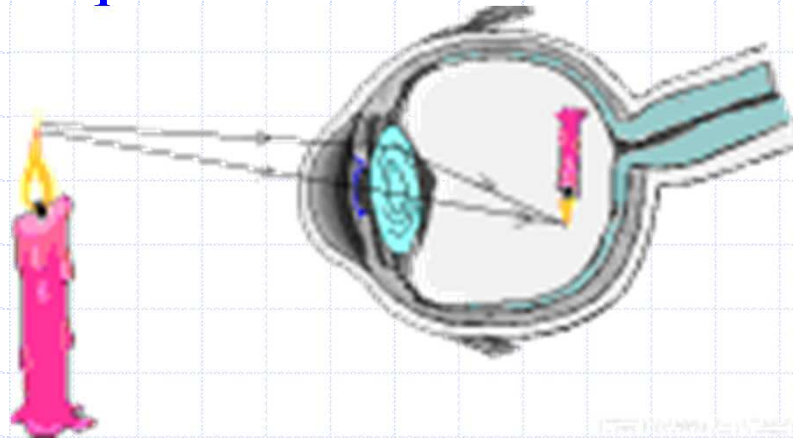
Correcção da hipermetropia



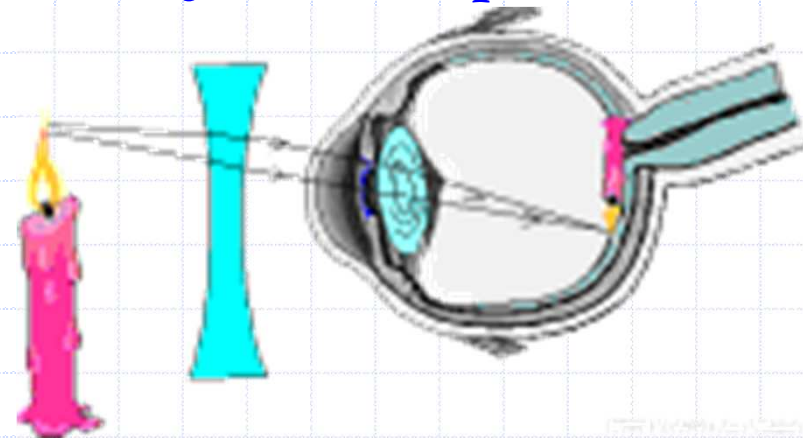
<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Ver melhor: correcção da miopia

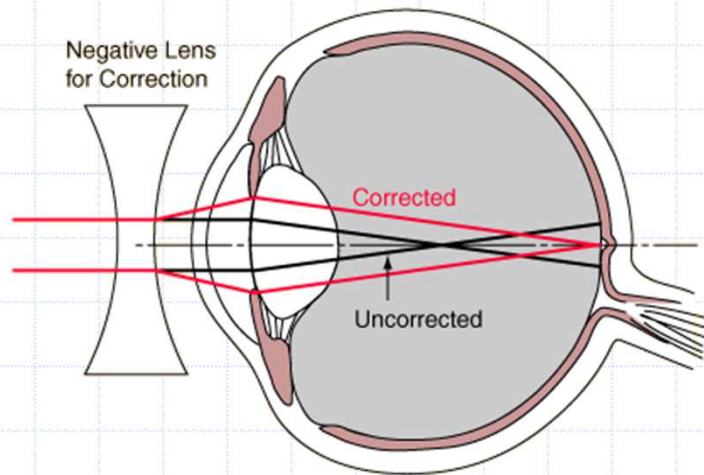
Miopia



Correcção da miopia



Correcção da miopia



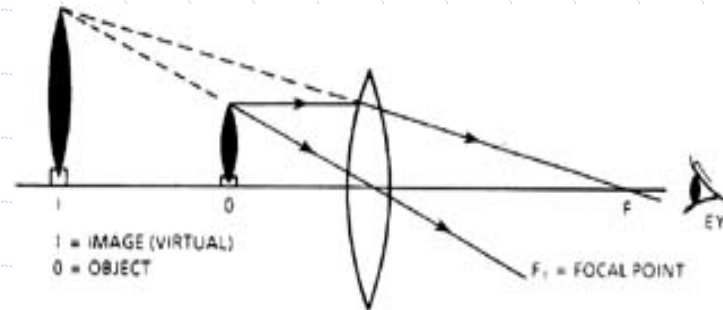
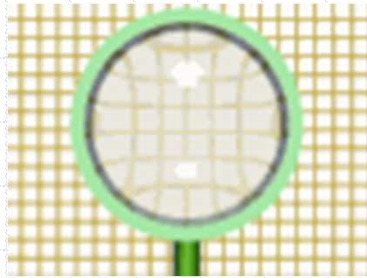
Óculos



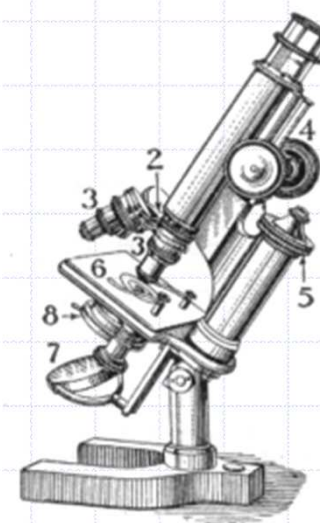
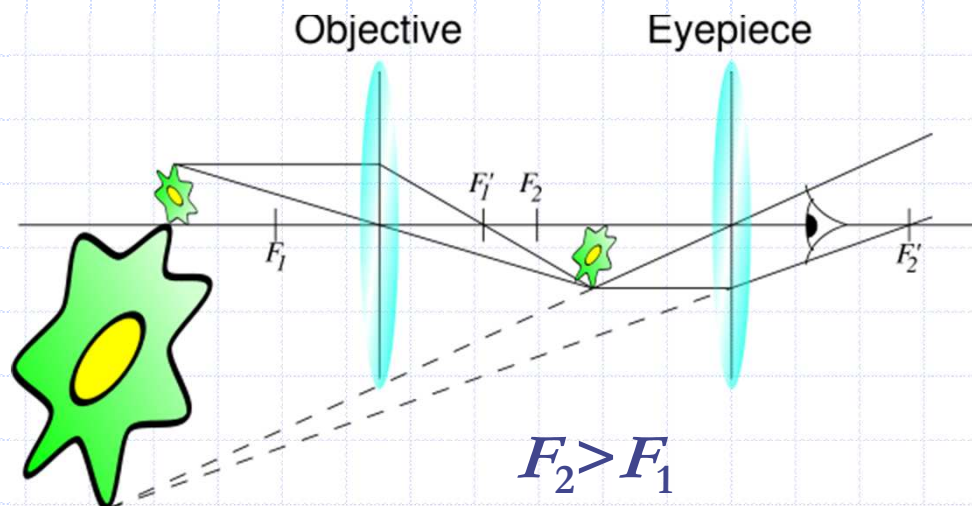
<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

A lupa e o microscópio óptico

Lupa



Microscópio



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

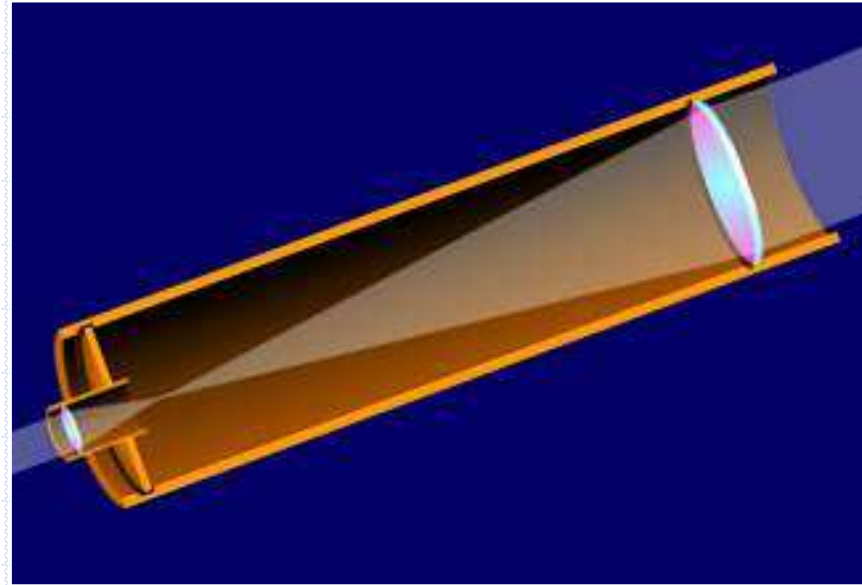
domingo, 27 de setembro de 2020

Luz: propriedades e aplicações

Telescópios

Refractores
(lentes)

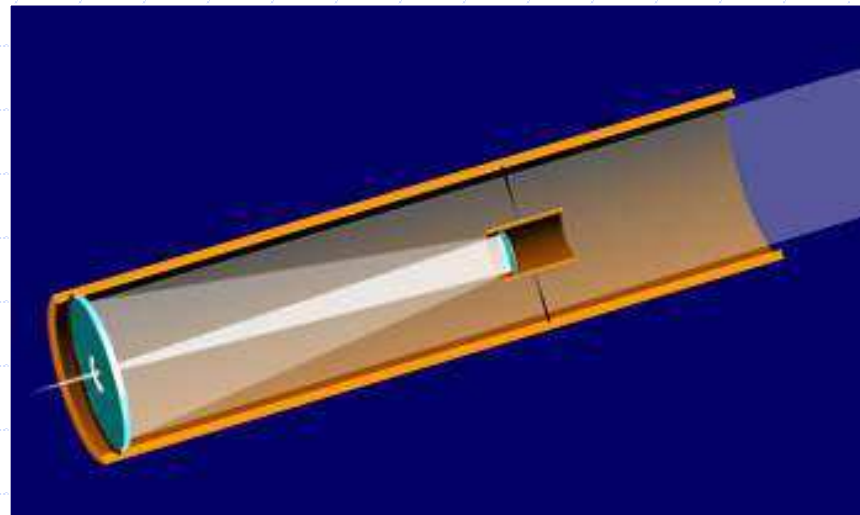
$$F_1 > F_2$$



Galileu

Reflectores
(espelhos)


Newton



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

domingo, 27 de setembro de 2020

Luz: propriedades e aplicações

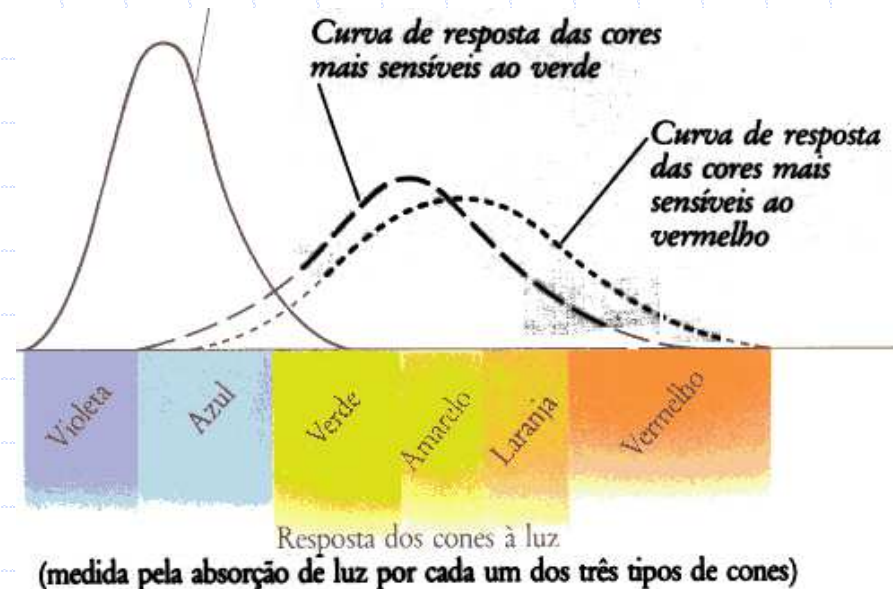
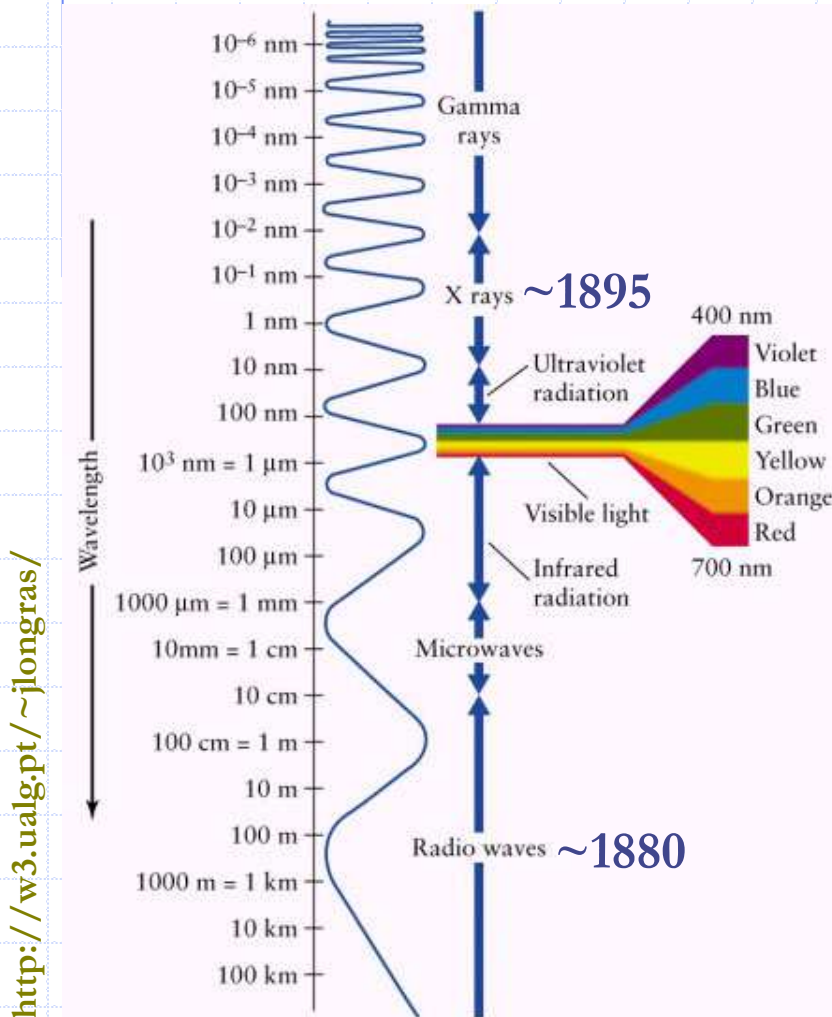


Haverá *luzes* para além das «cores» do arco-íris?

O espectro electromagnético no séc. XIX

- Até ao início do século XIX, a electricidade e o magnetismo eram duas «coisas» sem qualquer relação.

O nosso detector óptico natural é apenas sensível às cores do arco-íris ... e apenas se conhecia a parte do espectro electromagnético *visível*, e não se sabia muito bem o que era a luz (hoje pouco mais sabemos ...)



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

A descoberta dos *infravermelhos* e dos *ultravioletas*

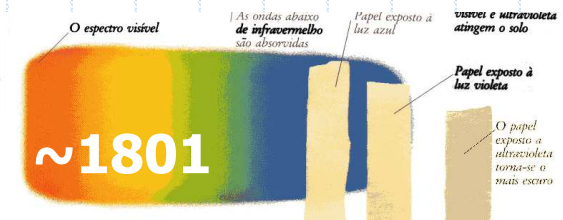
- No século XVII, Isac Newton tinha decomposto a luz solar



- William Herschel, 1800, ao examinar o poder «calorífico» da radiação solar, descobriu a radiação infravermelha



- Carl Wilhelm Scheele, 1801, ao estudar o poder «escurecedor» da radiação solar no nitrato de prata, descobriu a radiação ultravioleta



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

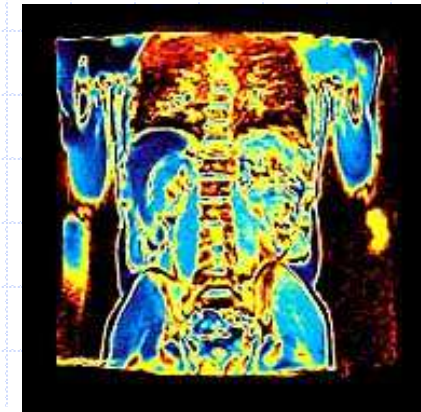
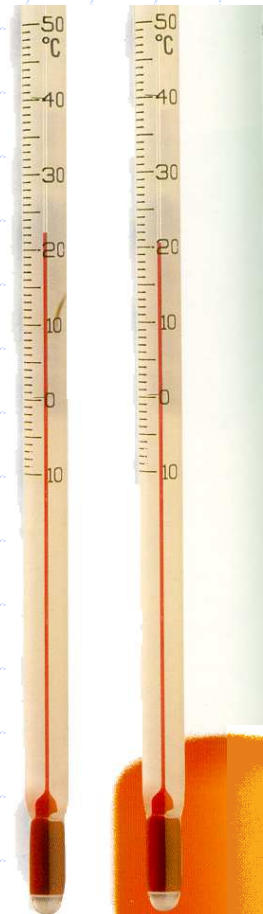
Descoberta da luz infravermelha

uma determinada gama de
ntos de onda. O resto
o electromagnético é
ara o homem.

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



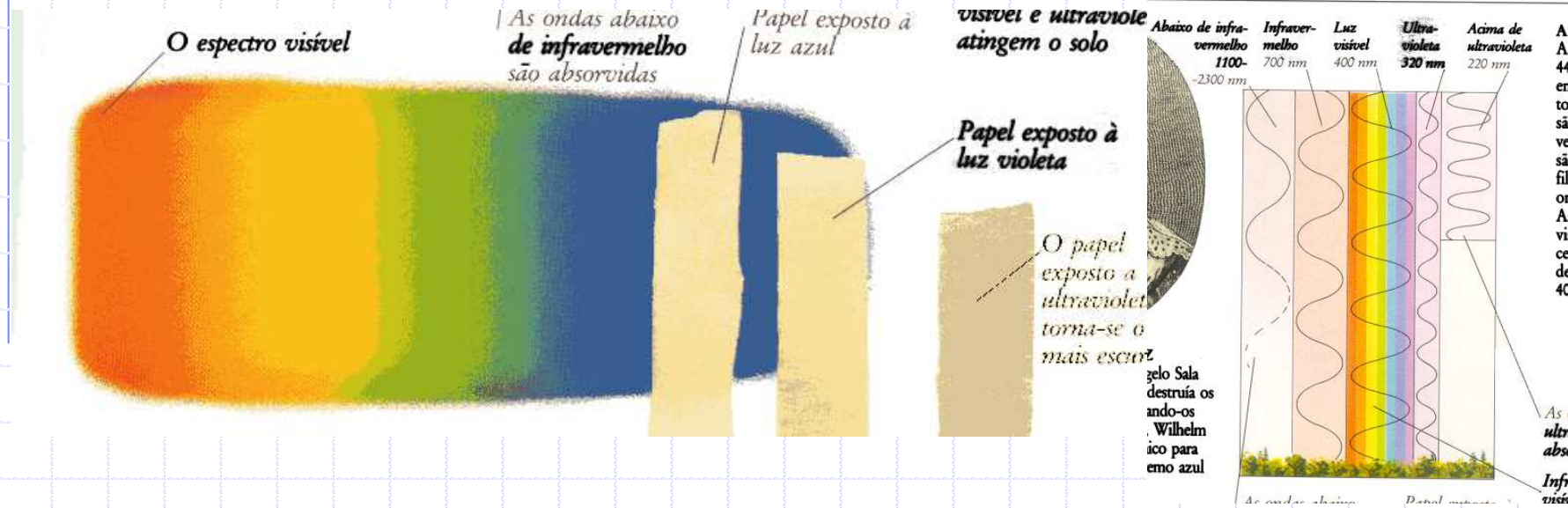
**WILLIAM
HERSCHEL**
Inicialmente
músico, William
Herschel (1738-1822)
tornou-se uma
destacada figura
na história da
astronomia.
Desempenhou
um importante papel
no desenvolvimento do
telescópio de reflexão (págs.
20/21) usando espelhos que
ele próprio fundia e
polia. Em 1781
descobriu o planeta
Úrano.



O espectro visível

<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Descoberta da luz ultravioleta



Fluorescent Mercury Vapor Lamp

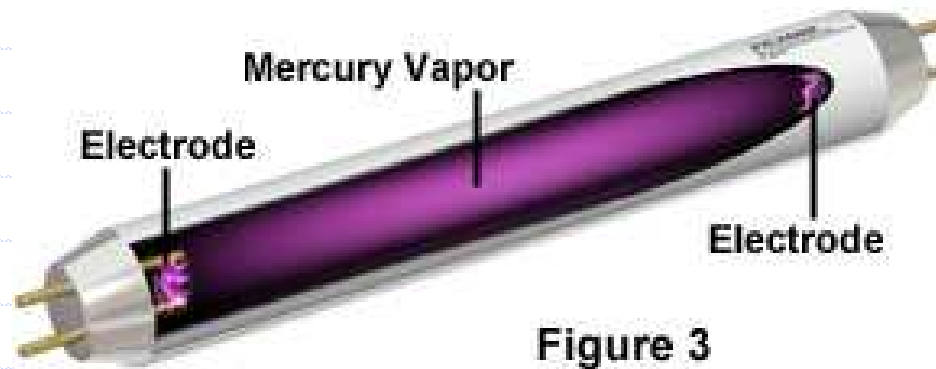
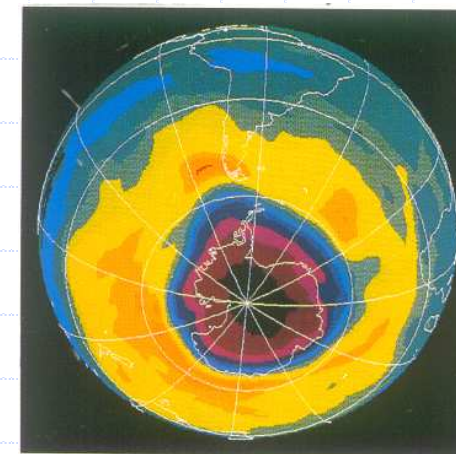


Figure 3

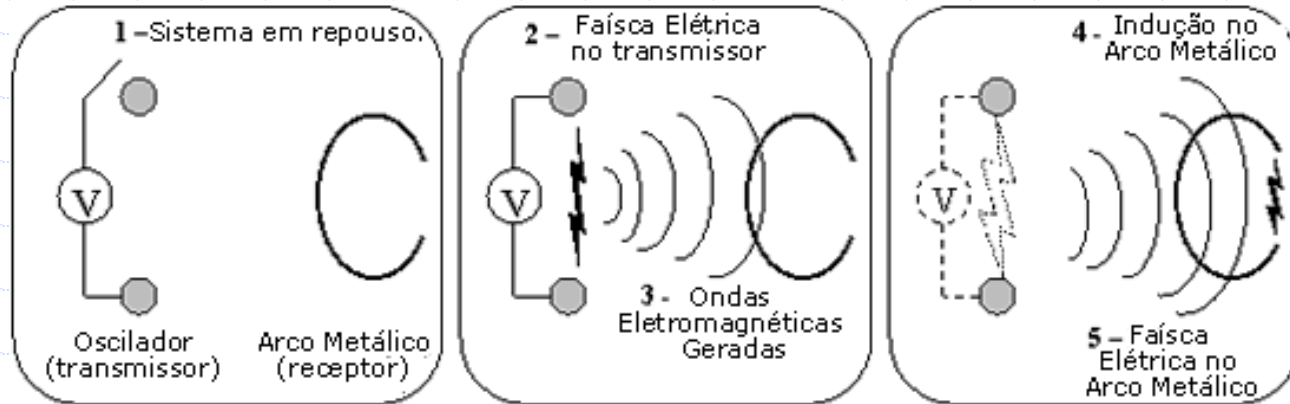


<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Descoberta da ondas hertzianas

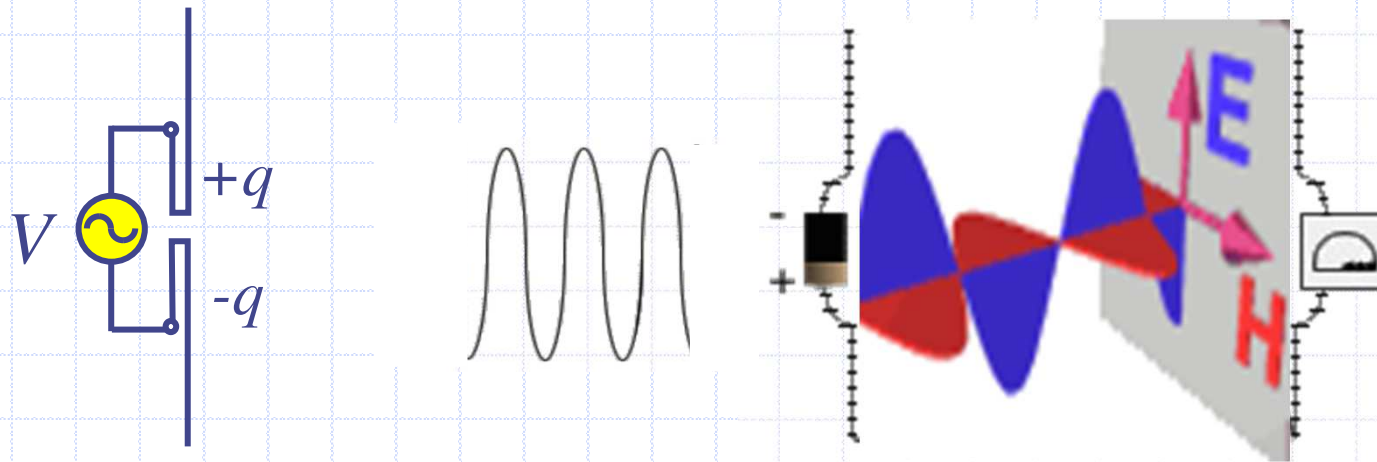


Hertz, 1887

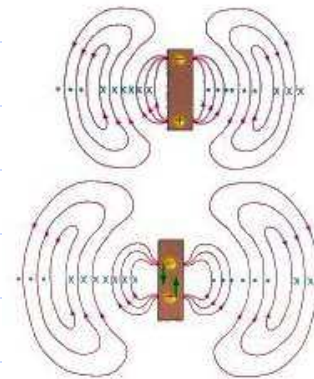
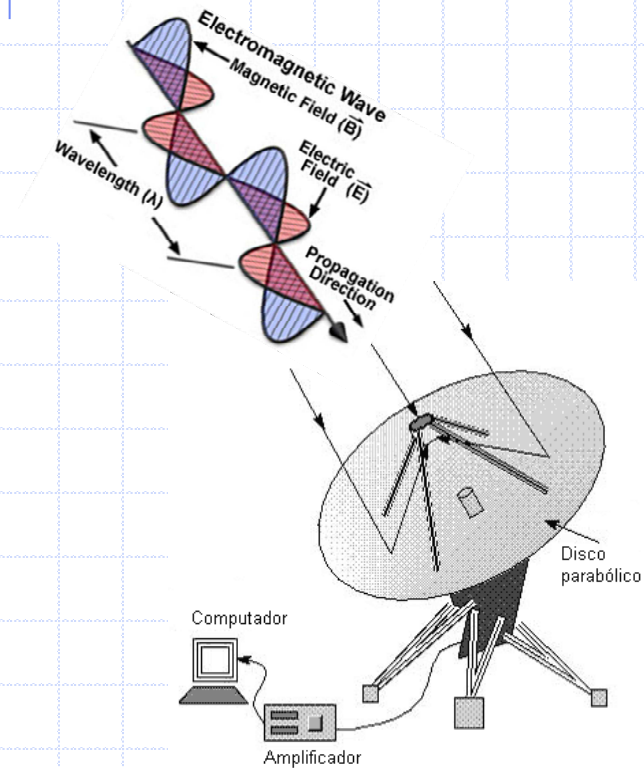
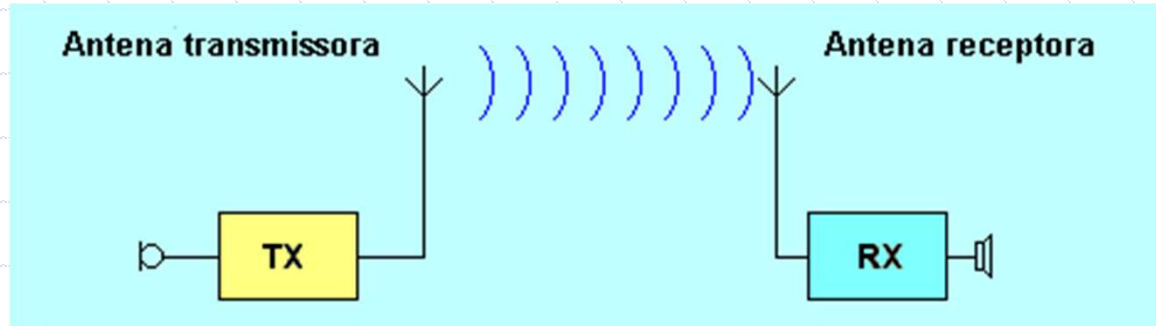
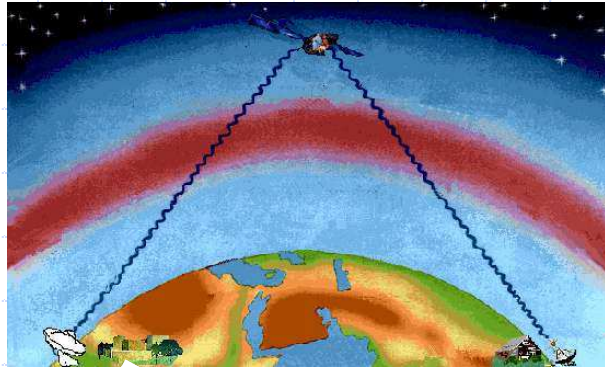


Ondas electromagnéticas

<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

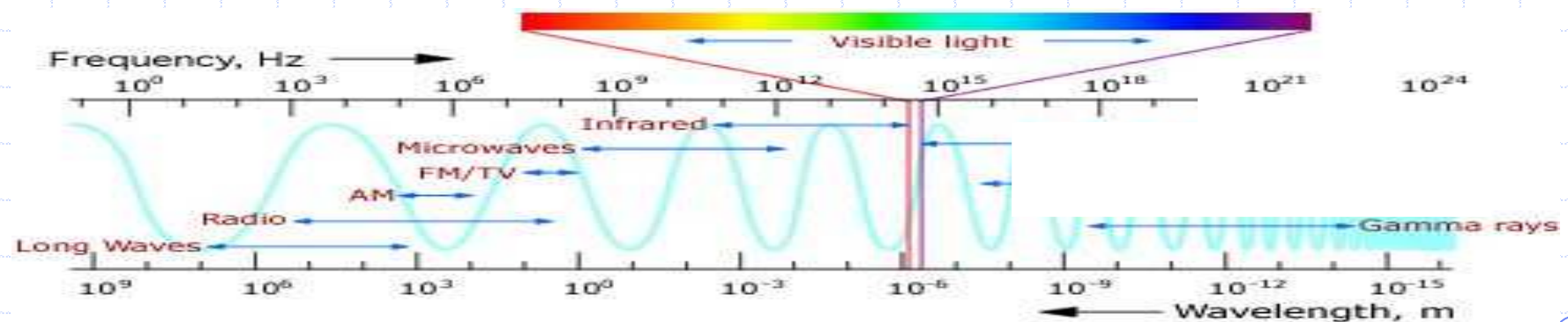
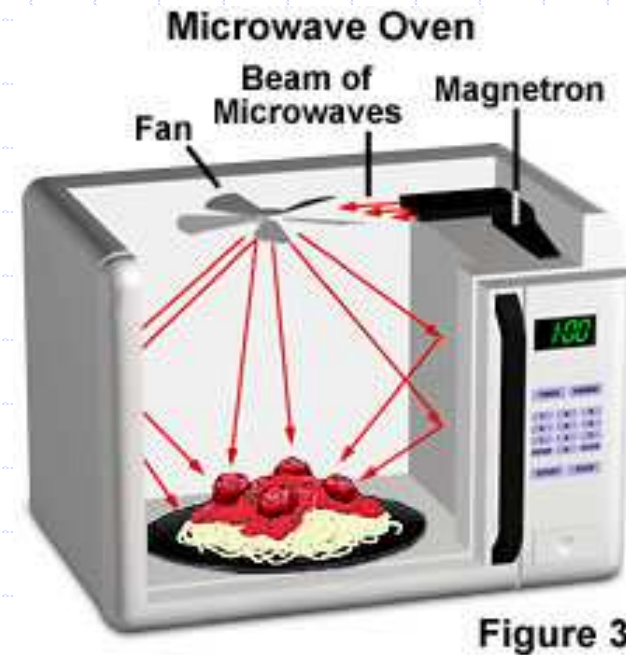
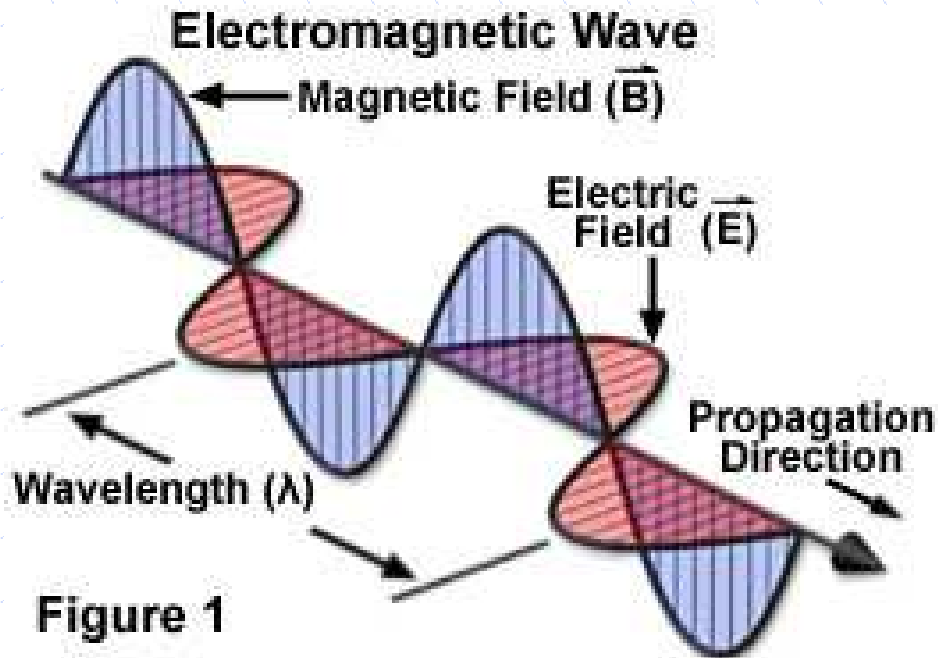


Comunicação por satélite (microondas)



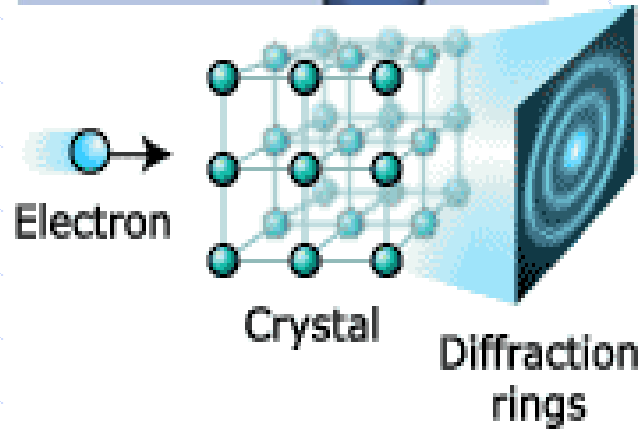
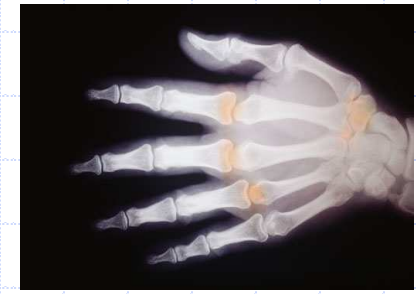
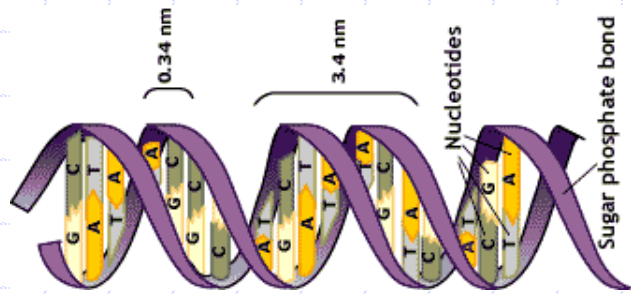
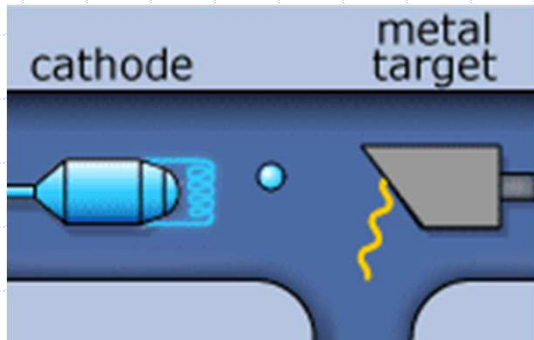
<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Ondas electromagnéticas



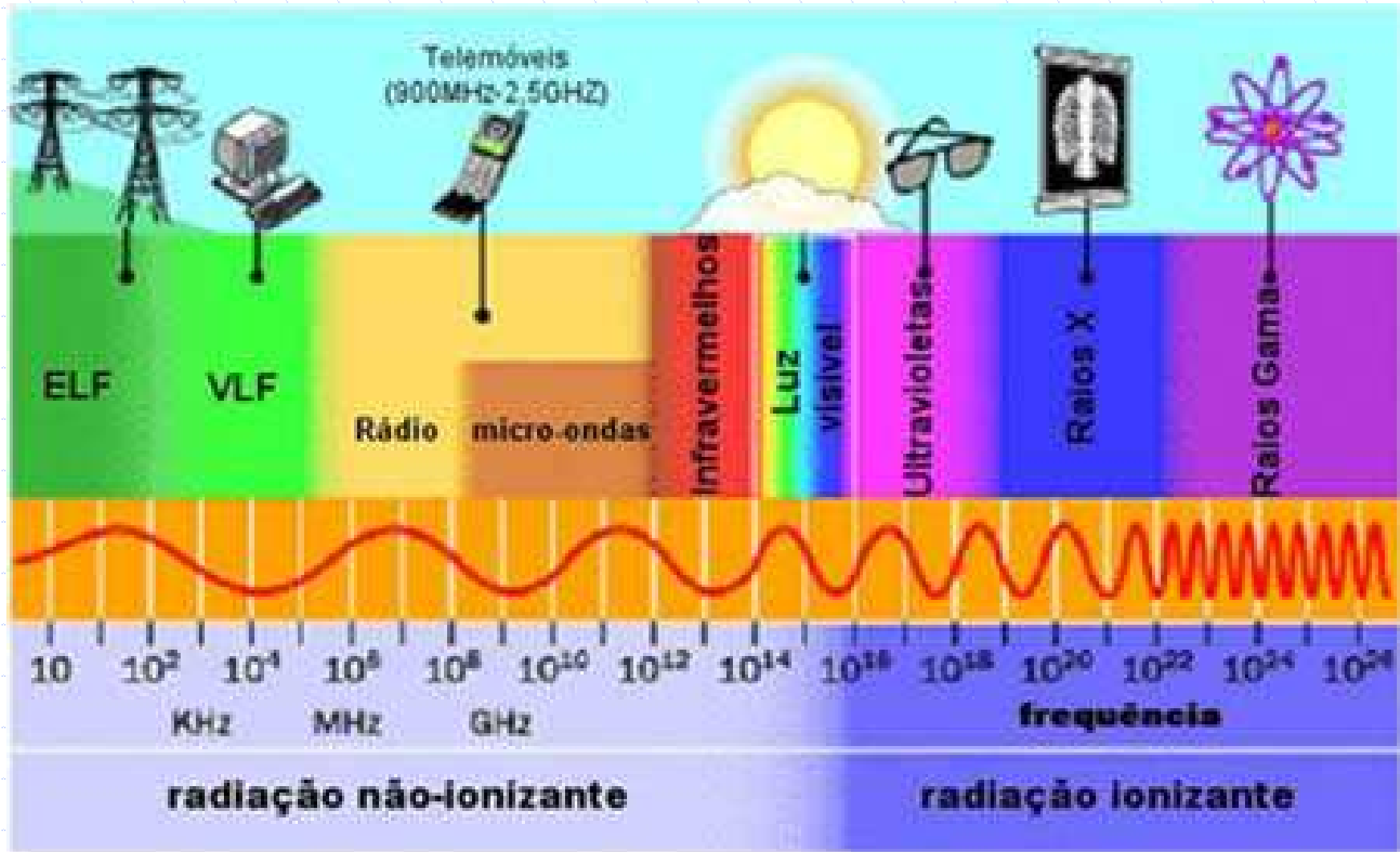
<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Descoberta dos raios-x



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Espectro electromagnético



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Mas, afinal o que é a luz?

Onda ou partícula?

Newton (~1670): fluxo de partículas

Justificação: a propagação rectilínea

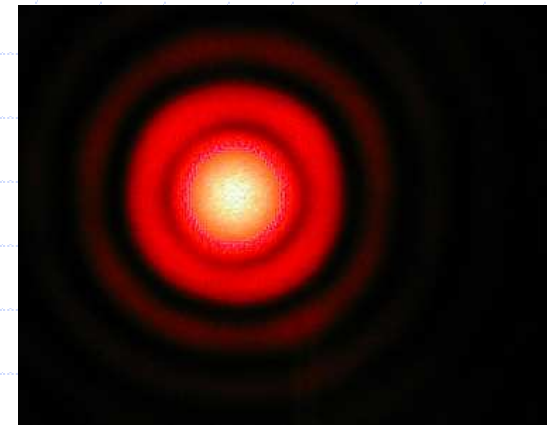
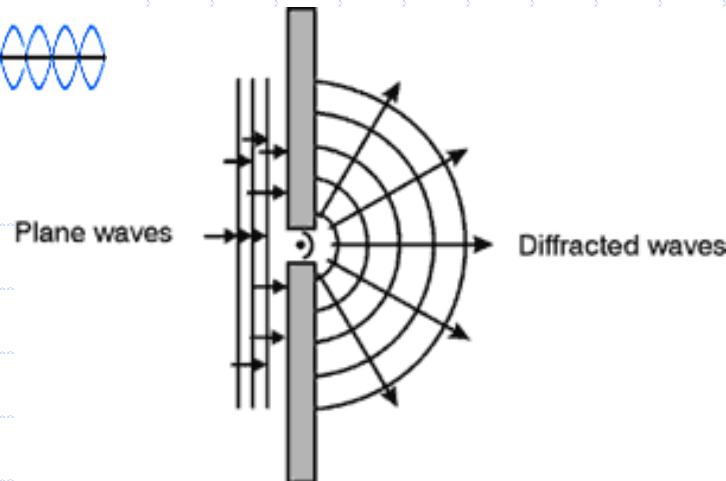
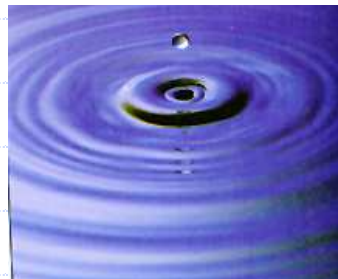
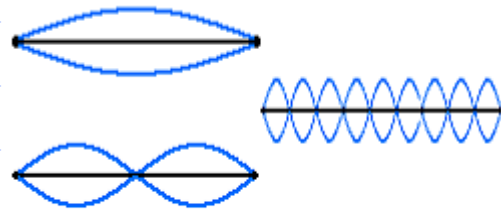
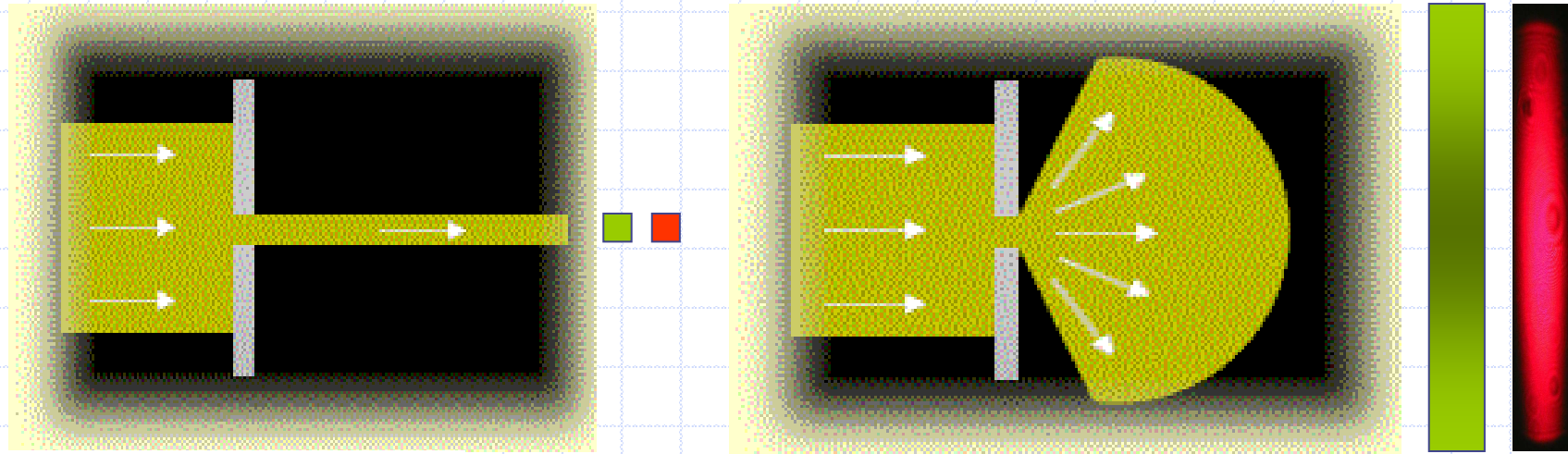


<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>



Huygens (~1670): é uma onda

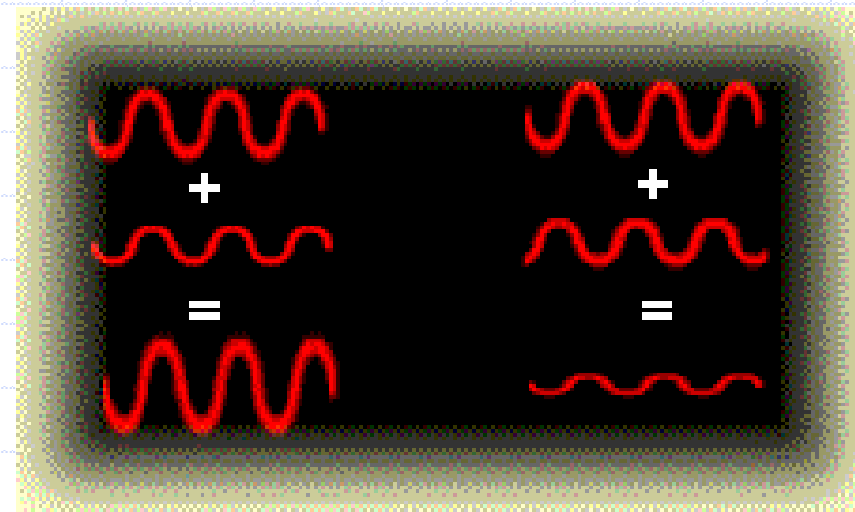
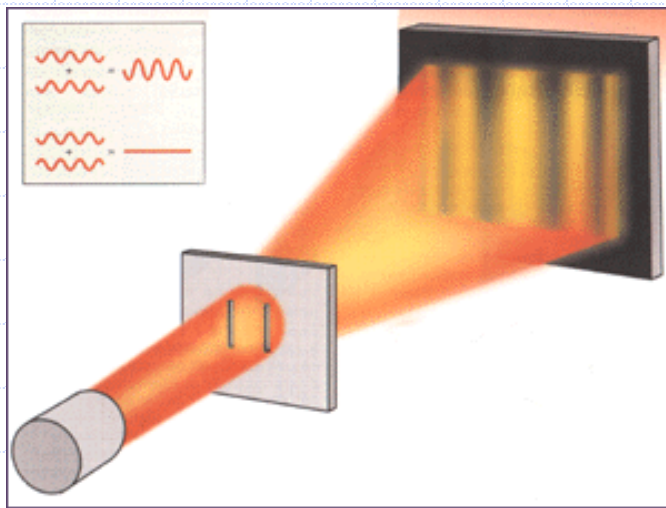
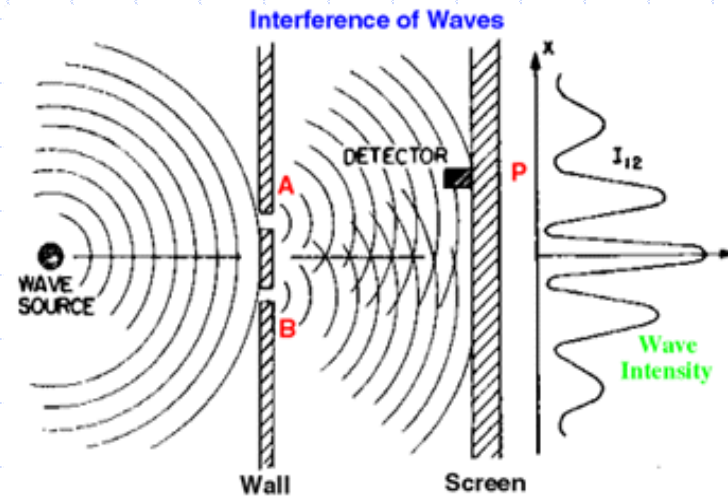
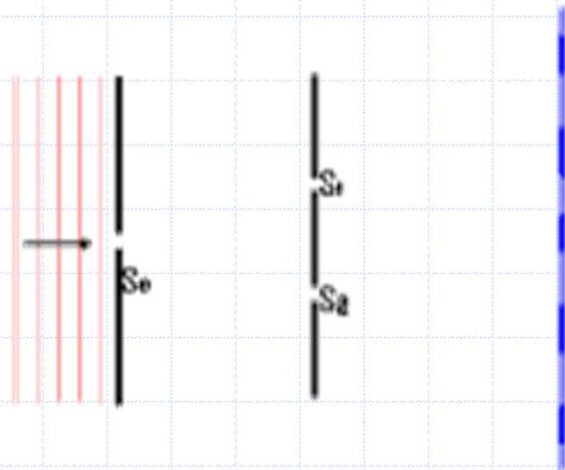
Justificação: difracção



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Young (~1800): é uma onda

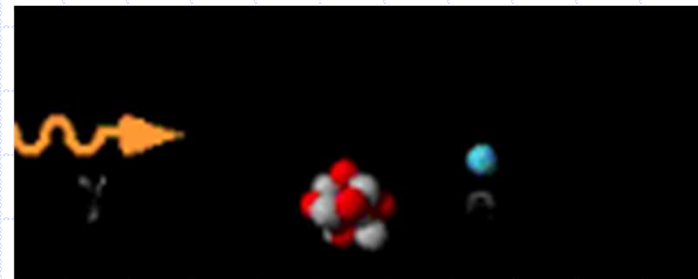
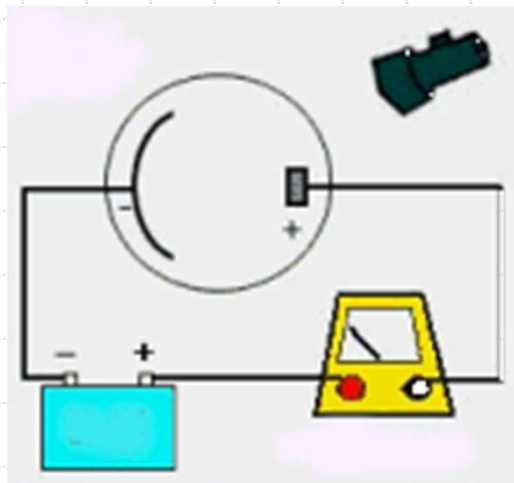
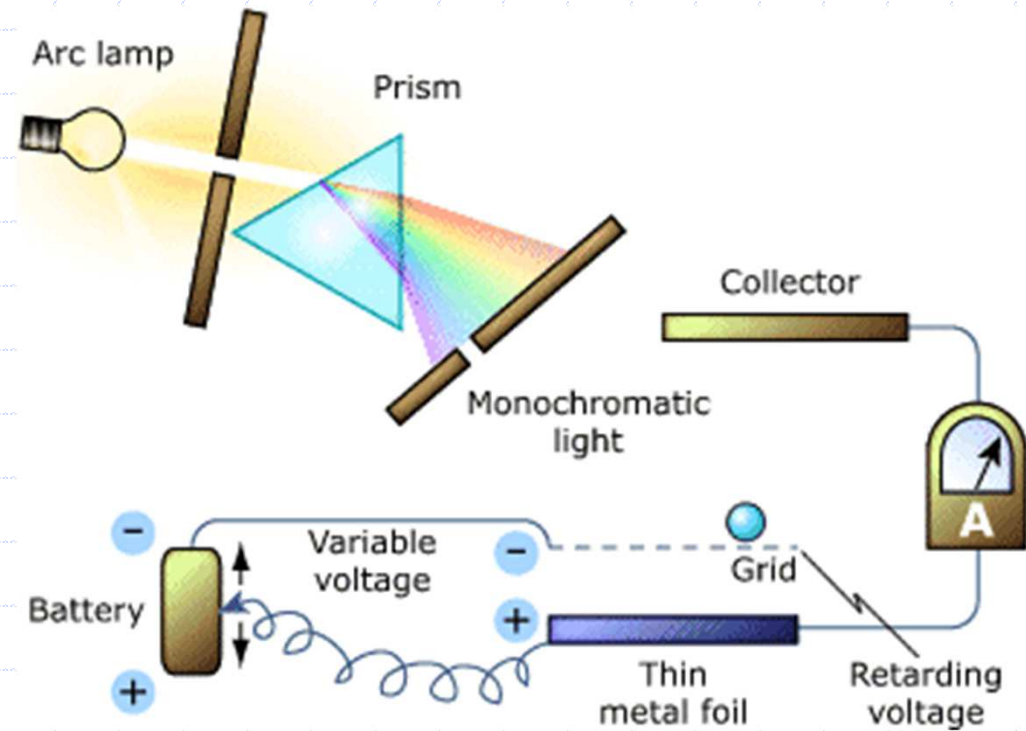
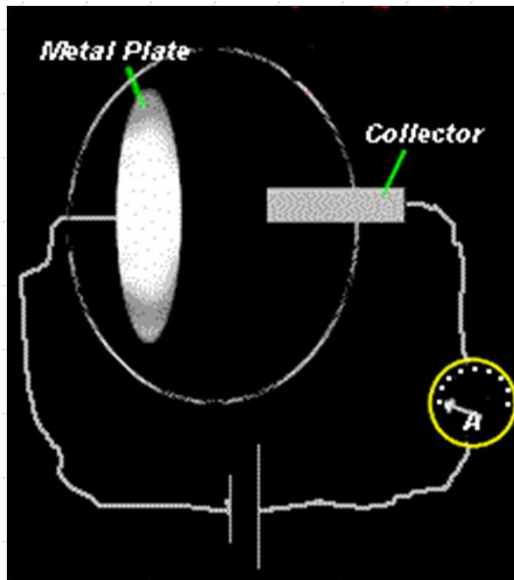
Justificação: interferência



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Einstein (1905): é onda e é partícula

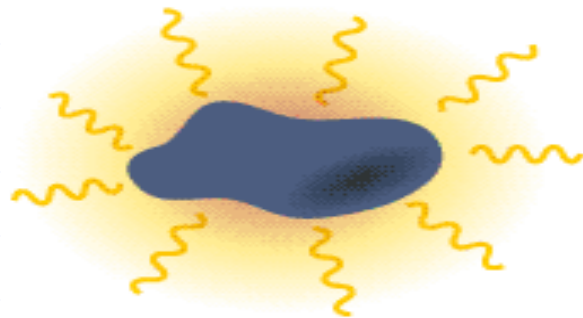
Justificação: efeito fotoelétrico



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Como «fazer» luz?

«Aquecimento», a temperatura e a cor da luz emitida

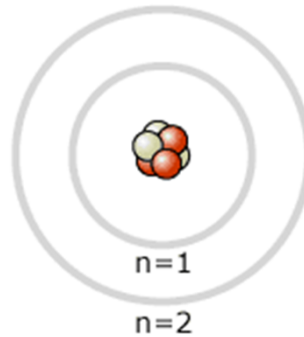


Color Temperature of a Black-Body Radiator

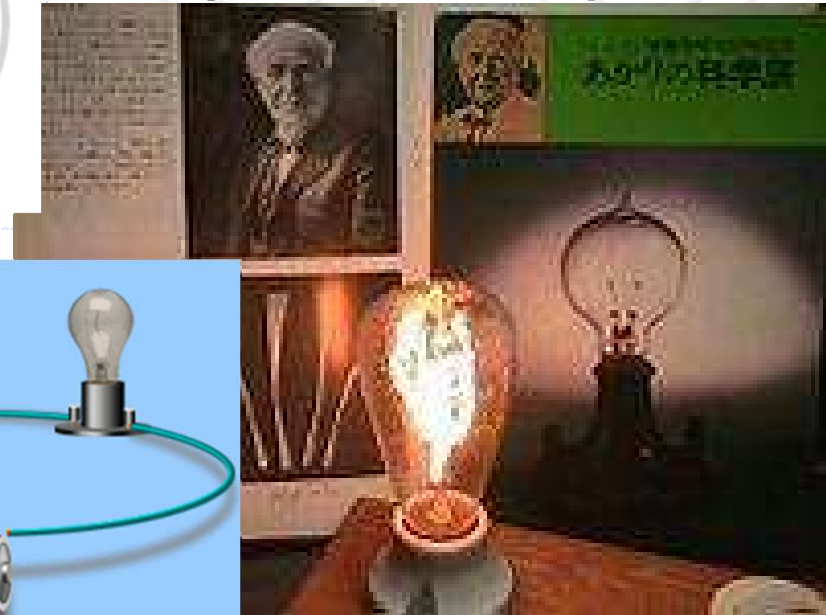
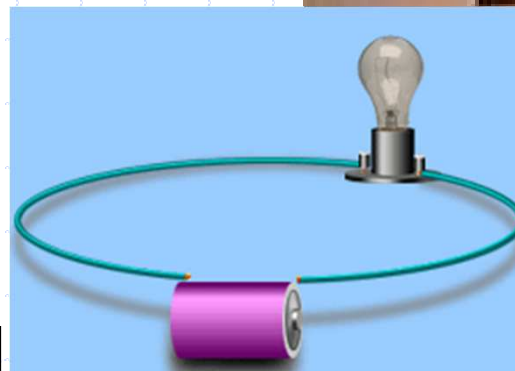
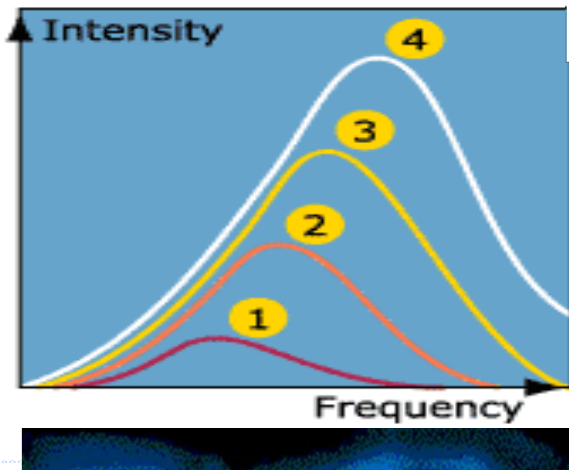


Figure 1

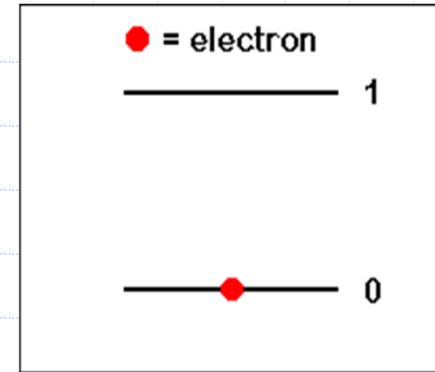
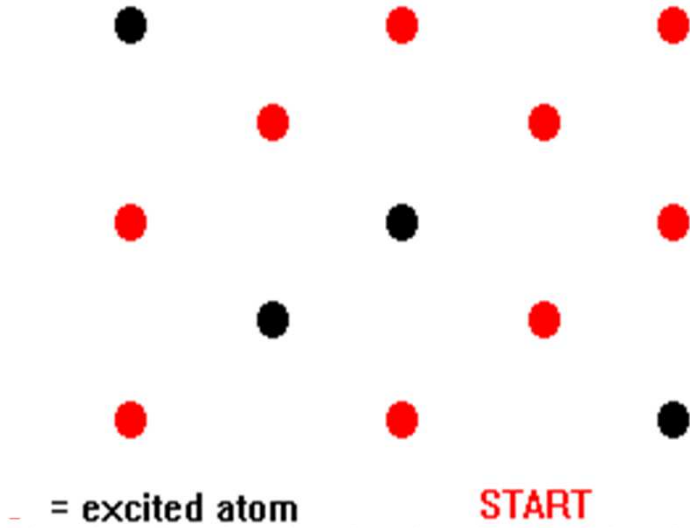
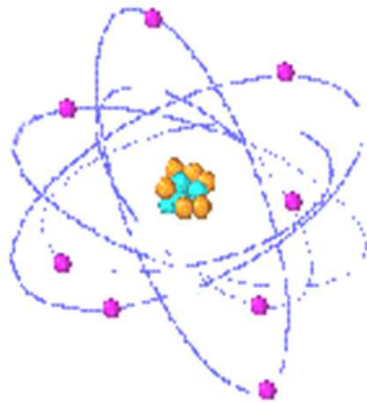
- 1 550°C » Dark Red
- 2 800°C » Cherry Red
- 3 1000°C » Yellow
- 4 1200°C » White



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

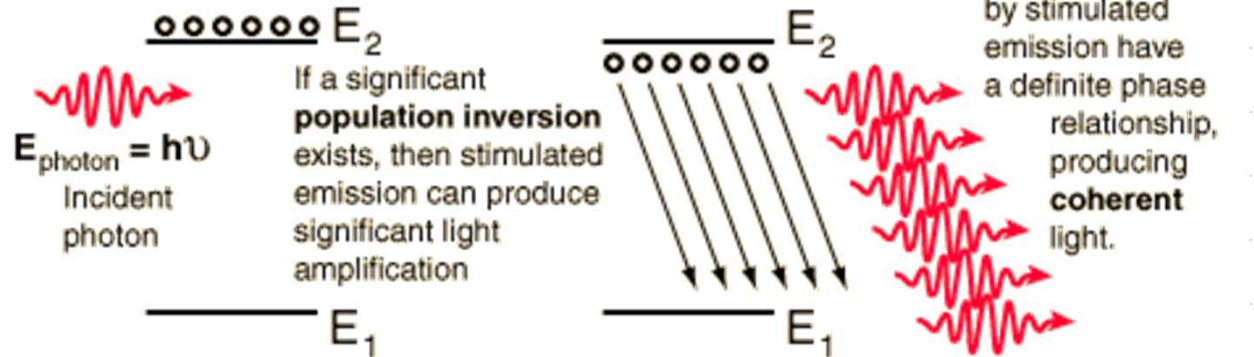
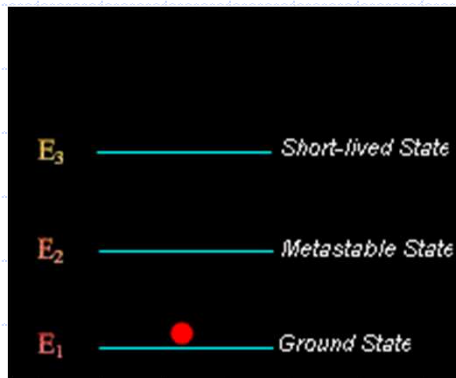


“Fazer luz comum”



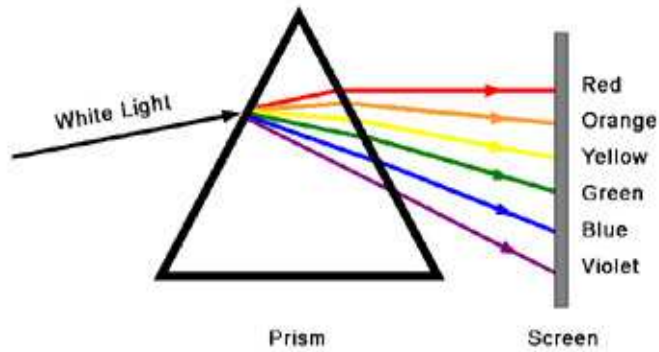
“Fazer luz laser”

<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

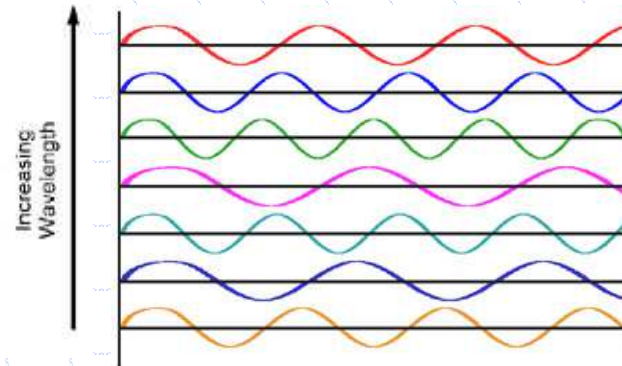


Luz "comum"

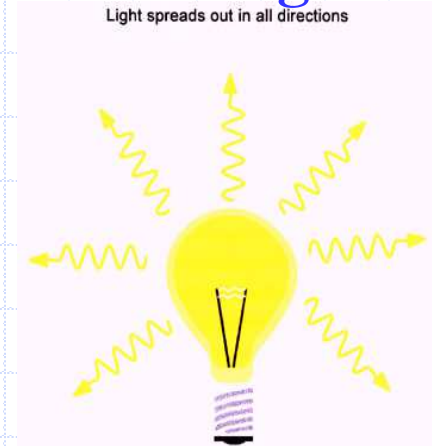
Policromática



Incoerente

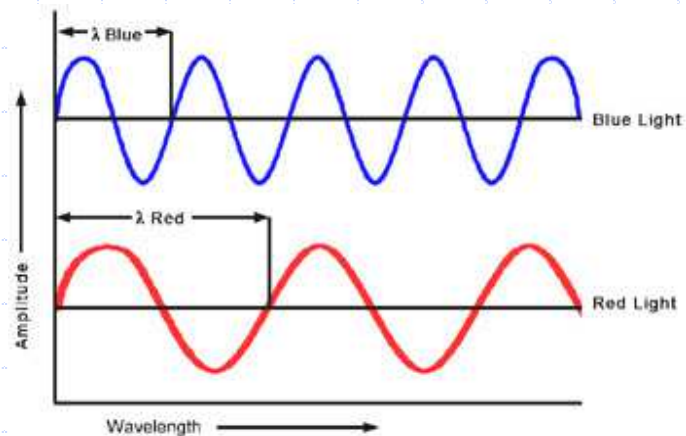


Muito divergente

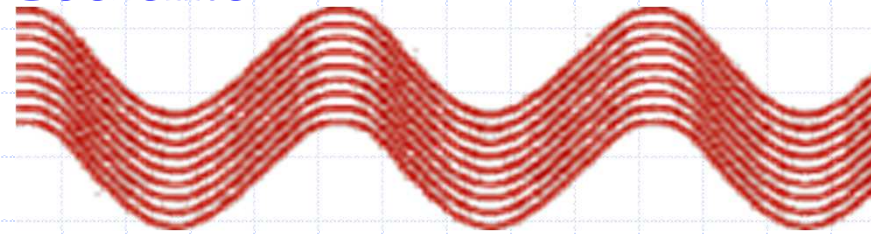


Luz laser

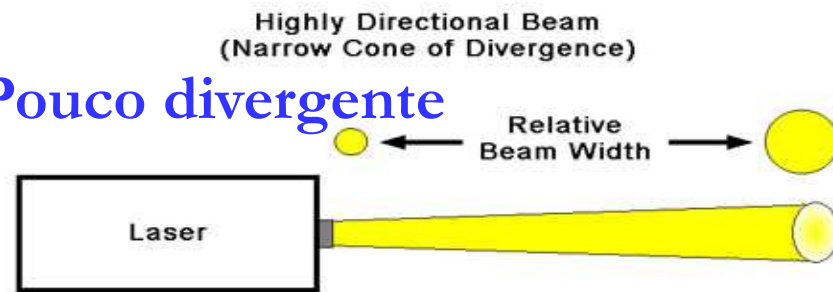
Monocromática



Coerente

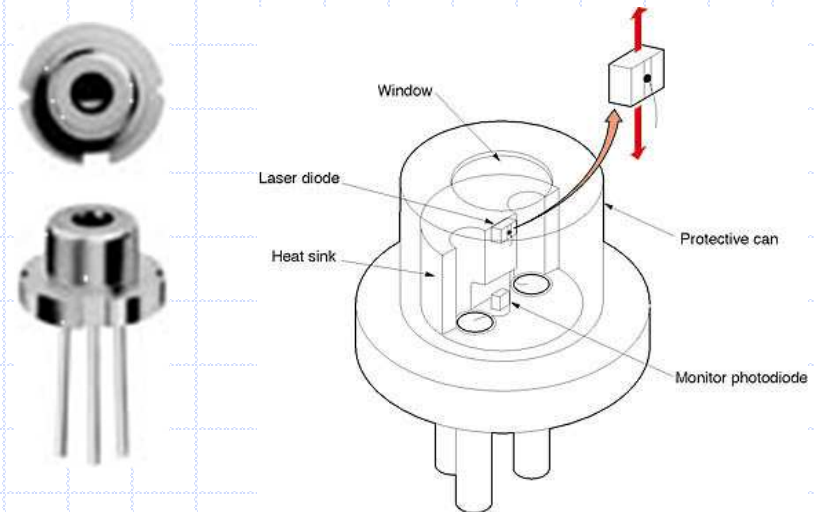
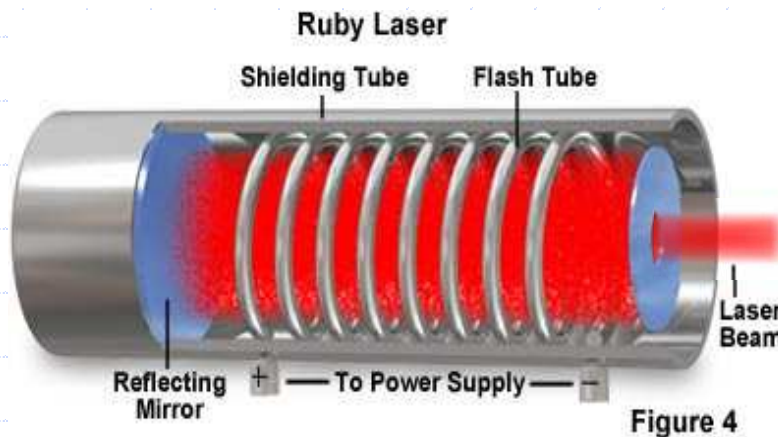
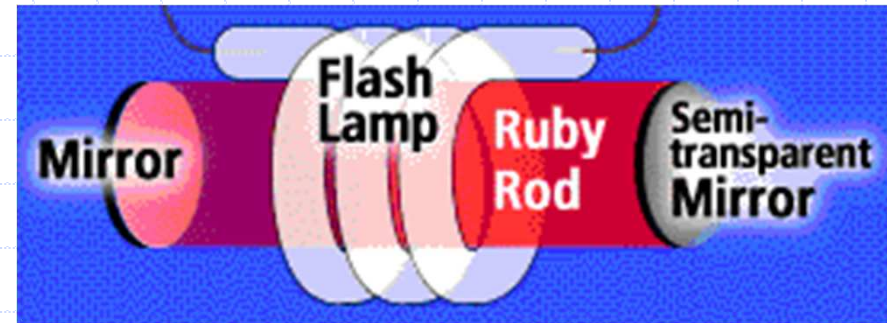
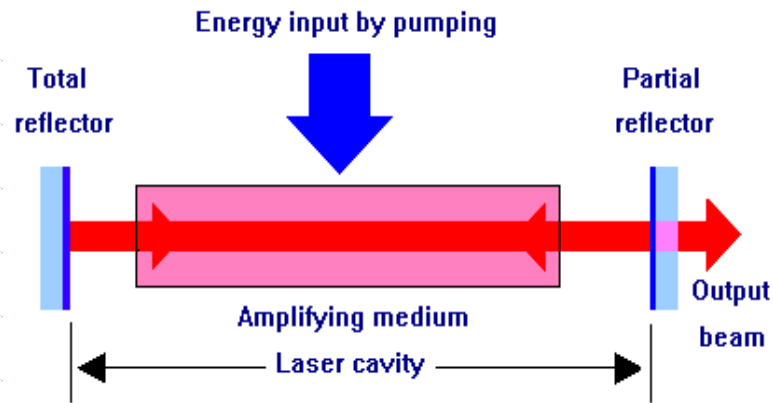


Pouco divergente



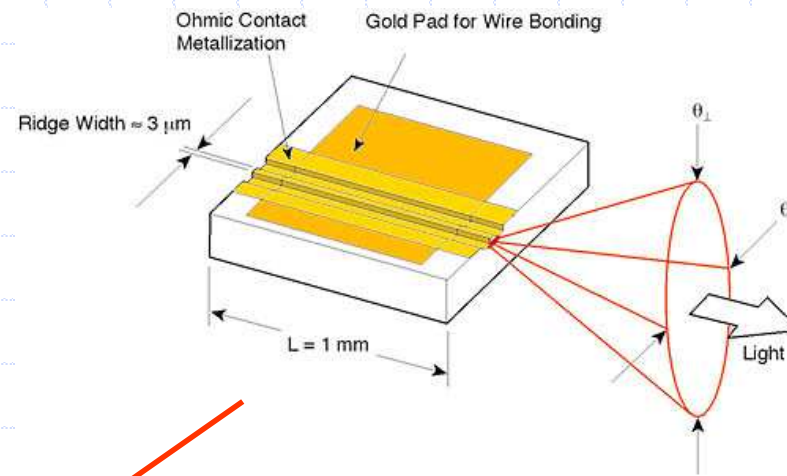
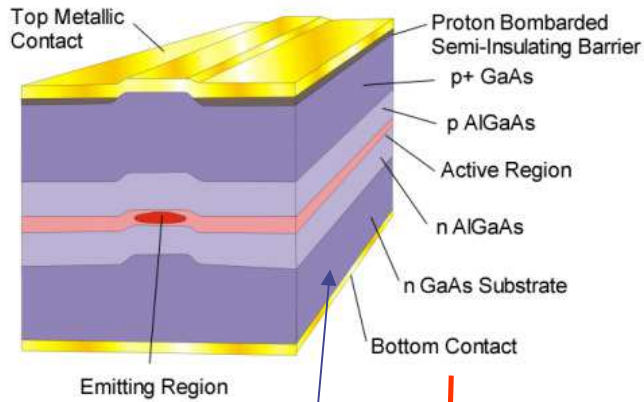
<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

O laser

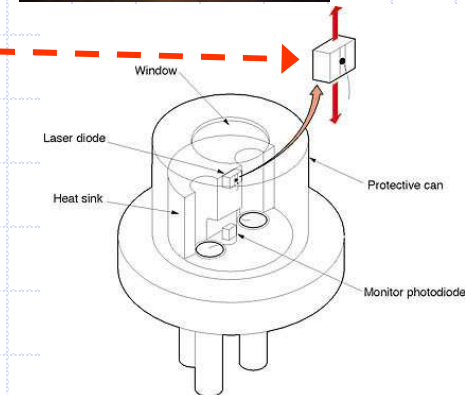
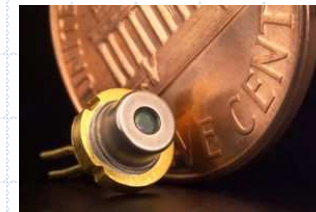
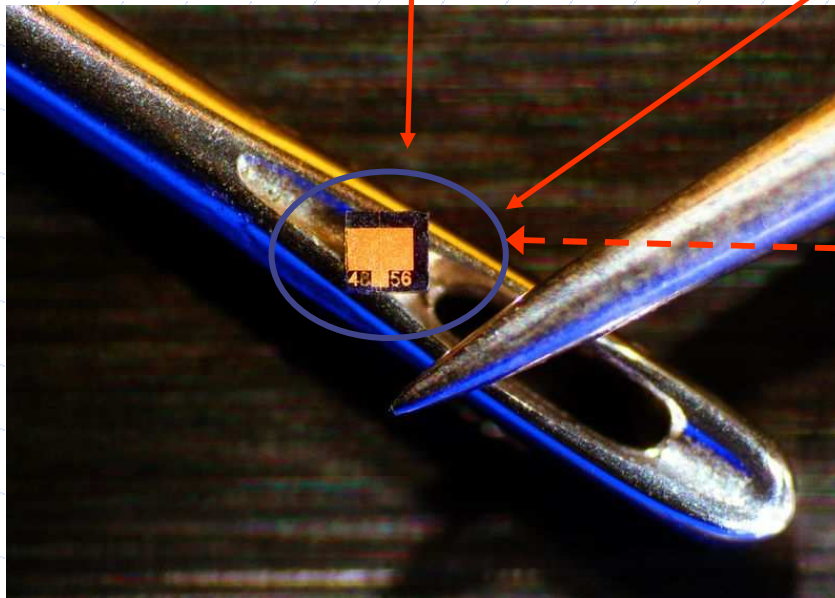


Laser - acrónimo de L[ight] A[mplification] (by) S[timulated] E[mission] (of) R[adiation], **amplificação de luz por meio de emissão estimulada de radiação**: dispositivo gerador de um feixe de radiação electromagnética intensa, quase monocromática, possuindo múltiplas aplicações nos campos da indústria,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

O laser de diodo



Materiais semicondutores



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

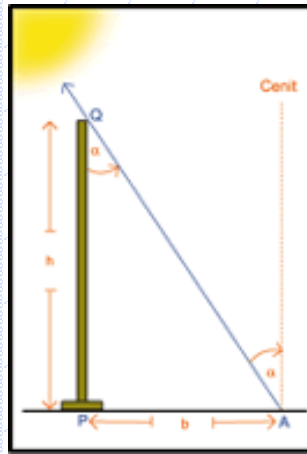
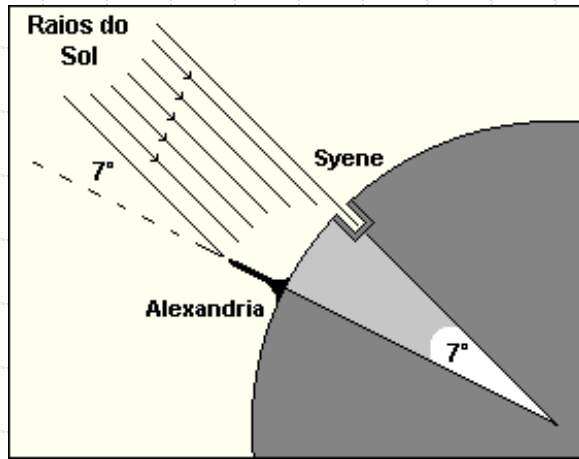
Aplicações da luz

e

A luz como ferramenta

A sombra também pode ser uma ferramenta

Eratóstenes e o tamanho da terra (400 a. C.): raio $\sim 6\,380$ km.

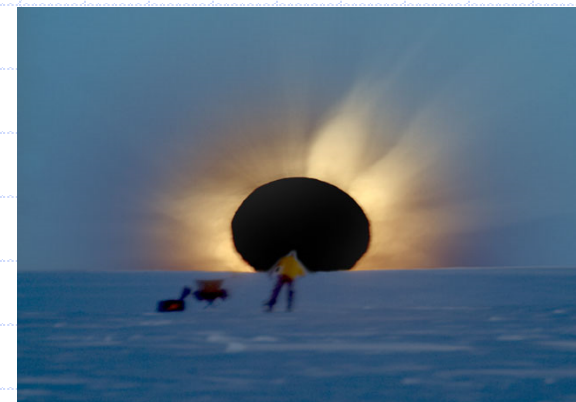
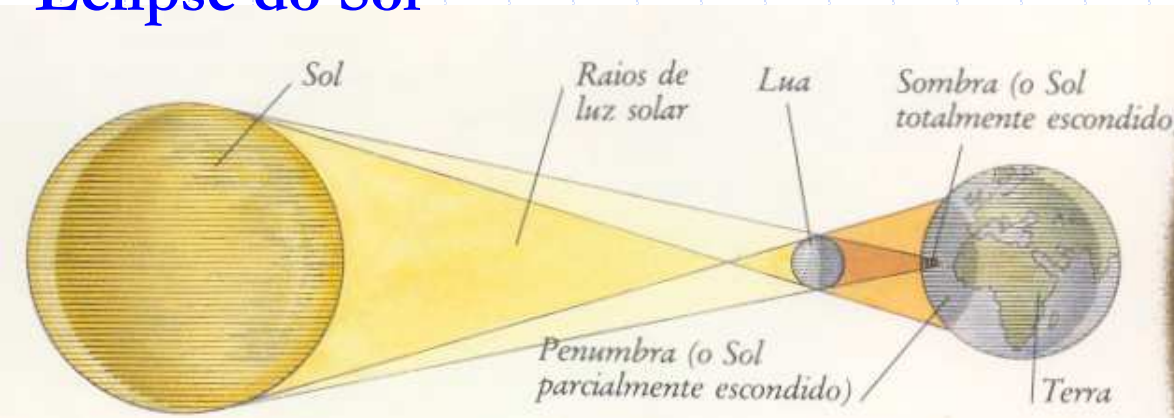


Aristarco de Samos e o tamanho da Lua e do Sol (300 a. C.)



Raio da Lua $\sim 1\,738$ km.

Eclipse do Sol

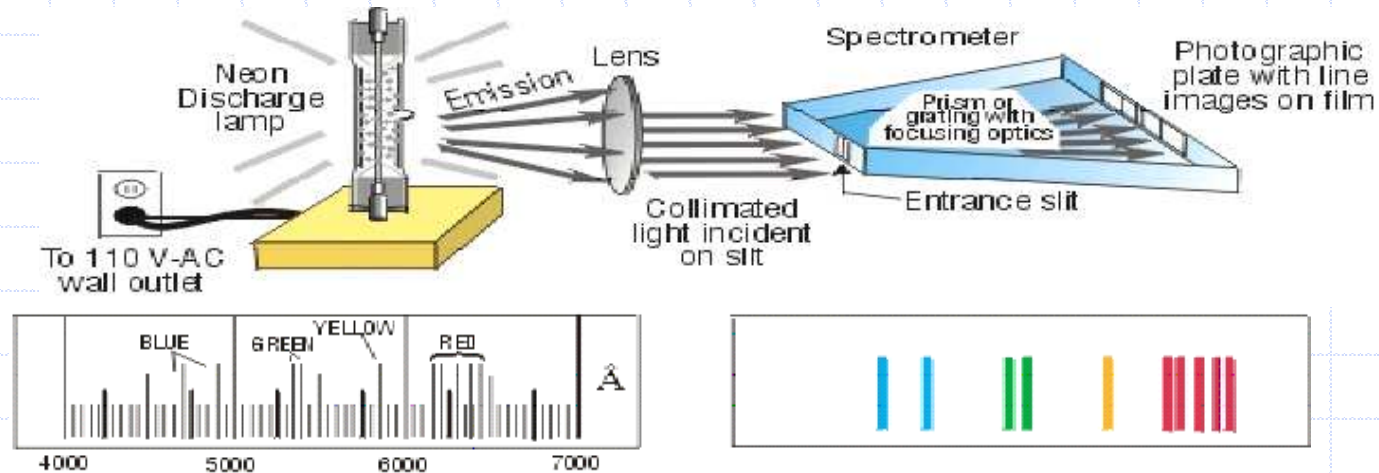


<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

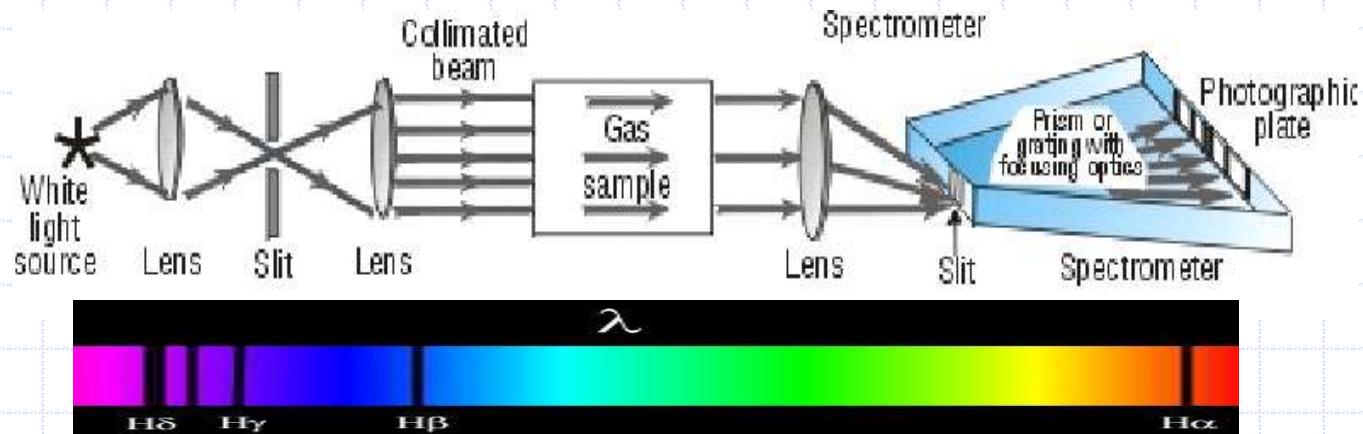
Espectroscopia

(do lat. spectru-, «espectro»+gr. skope, n, «olhar» + -ia)

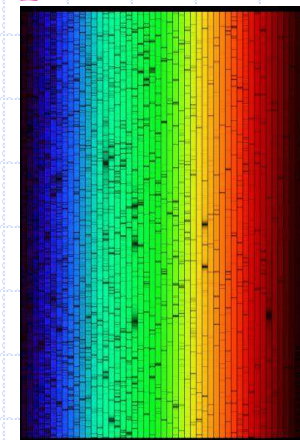
Espectros de emissão



Espectros de absorção

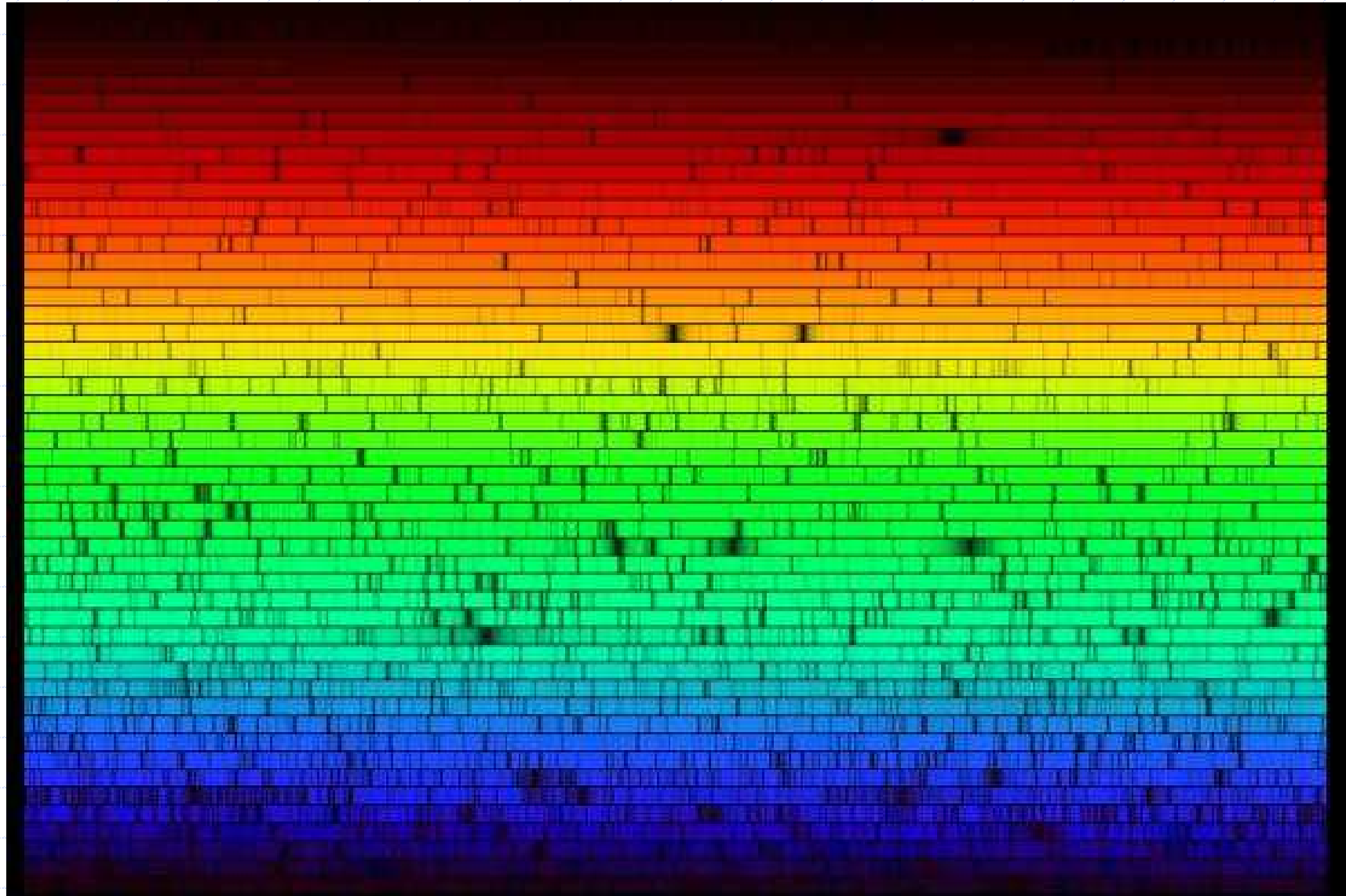


Espectro do Sol



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

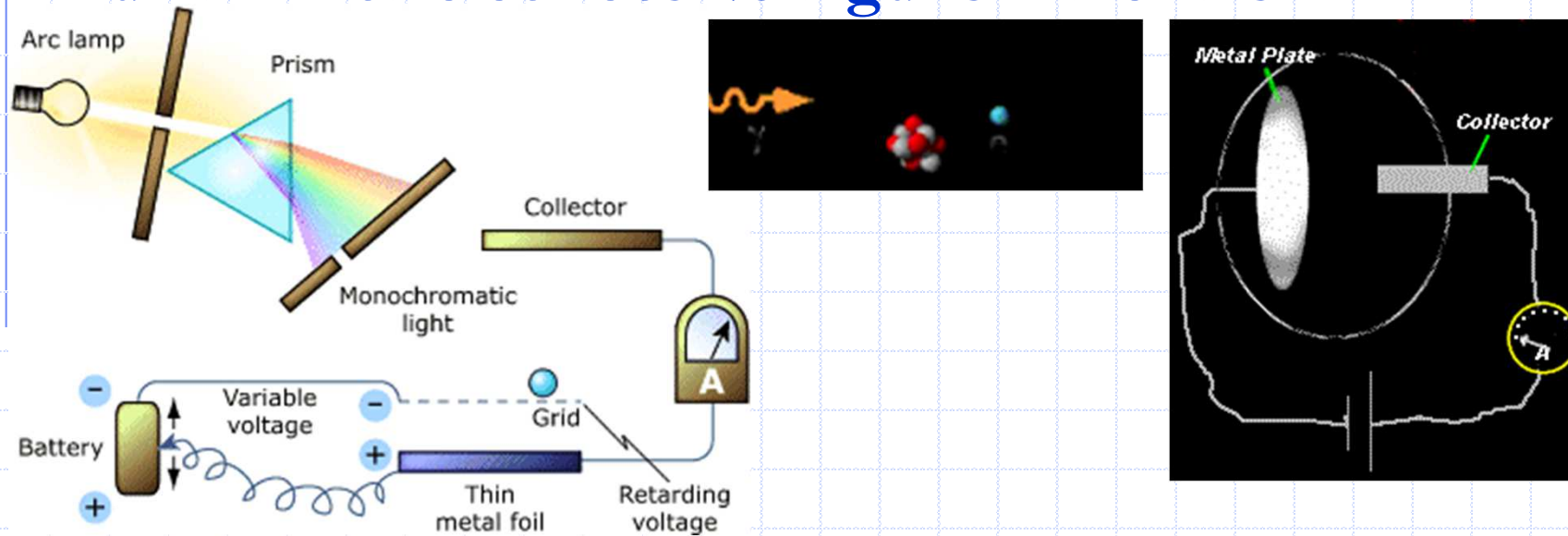
Conhecemos a composição do Sol através da sua luz



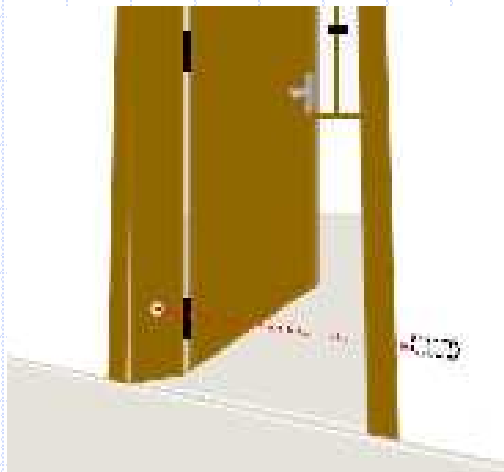
<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Efeito fotoelétrico

A luz arranca electrões de alguns materiais



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>



Entretimento (espectáculos, etc.)



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

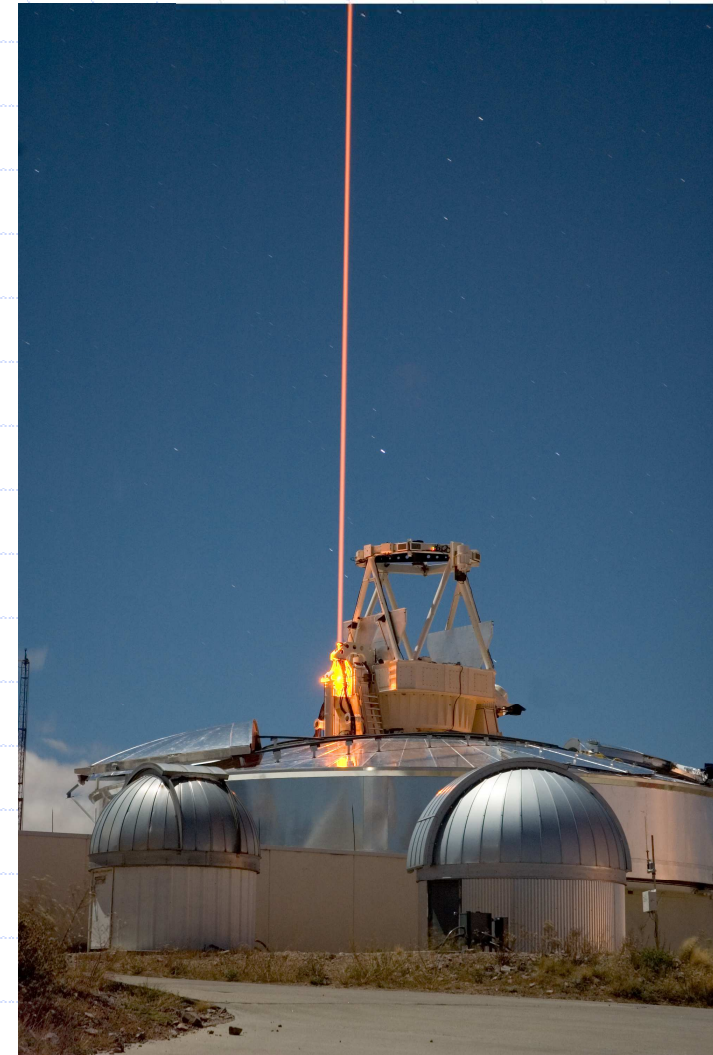
domingo, 27 de setembro de 2020

Luz: propriedades e aplicações

Aplicação do laser na metrologia



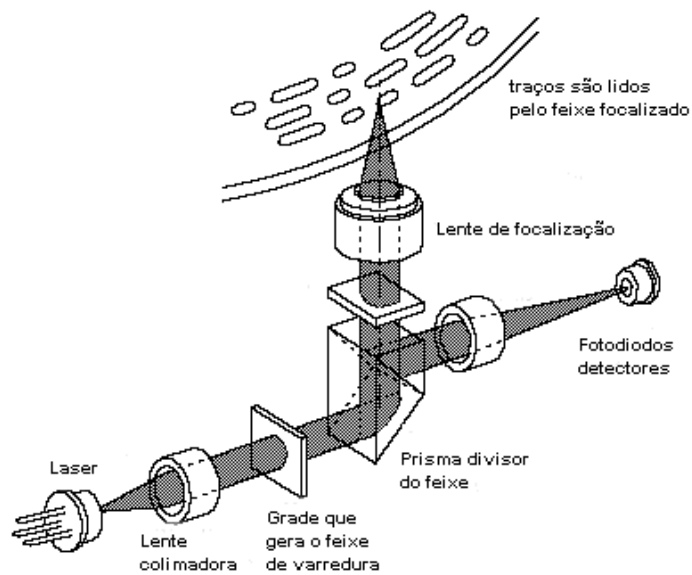
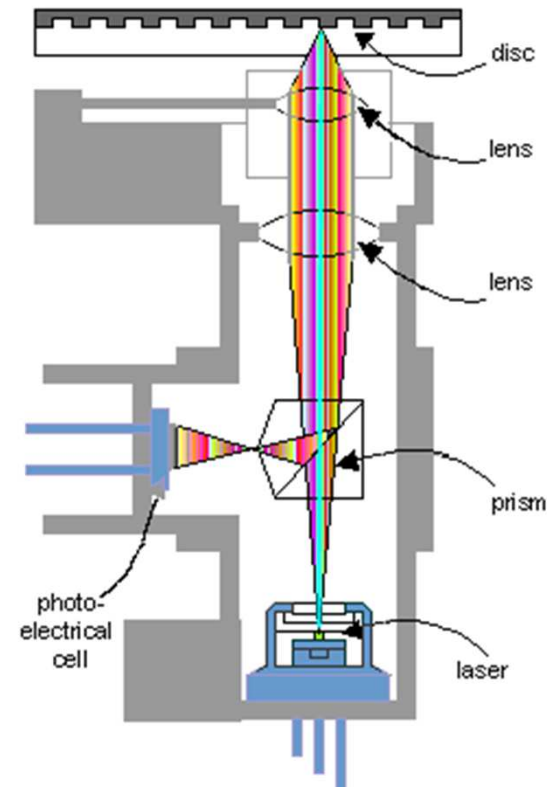
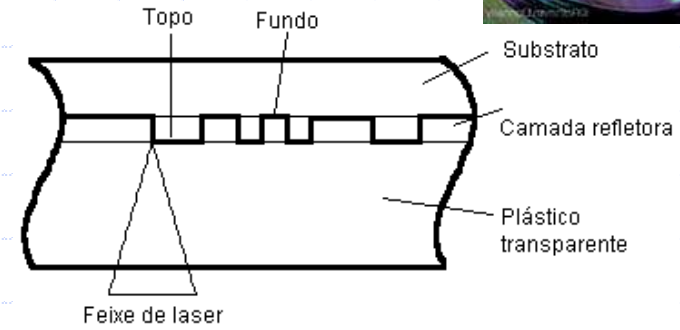
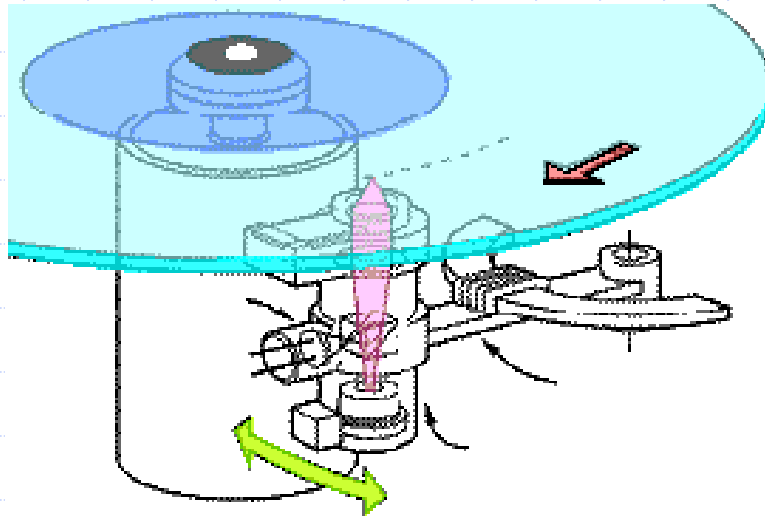
<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>



domingo, 27 de setembro de 2020

Luz: propriedades e aplicações

O laser e o disco compacto (CD, DVD)

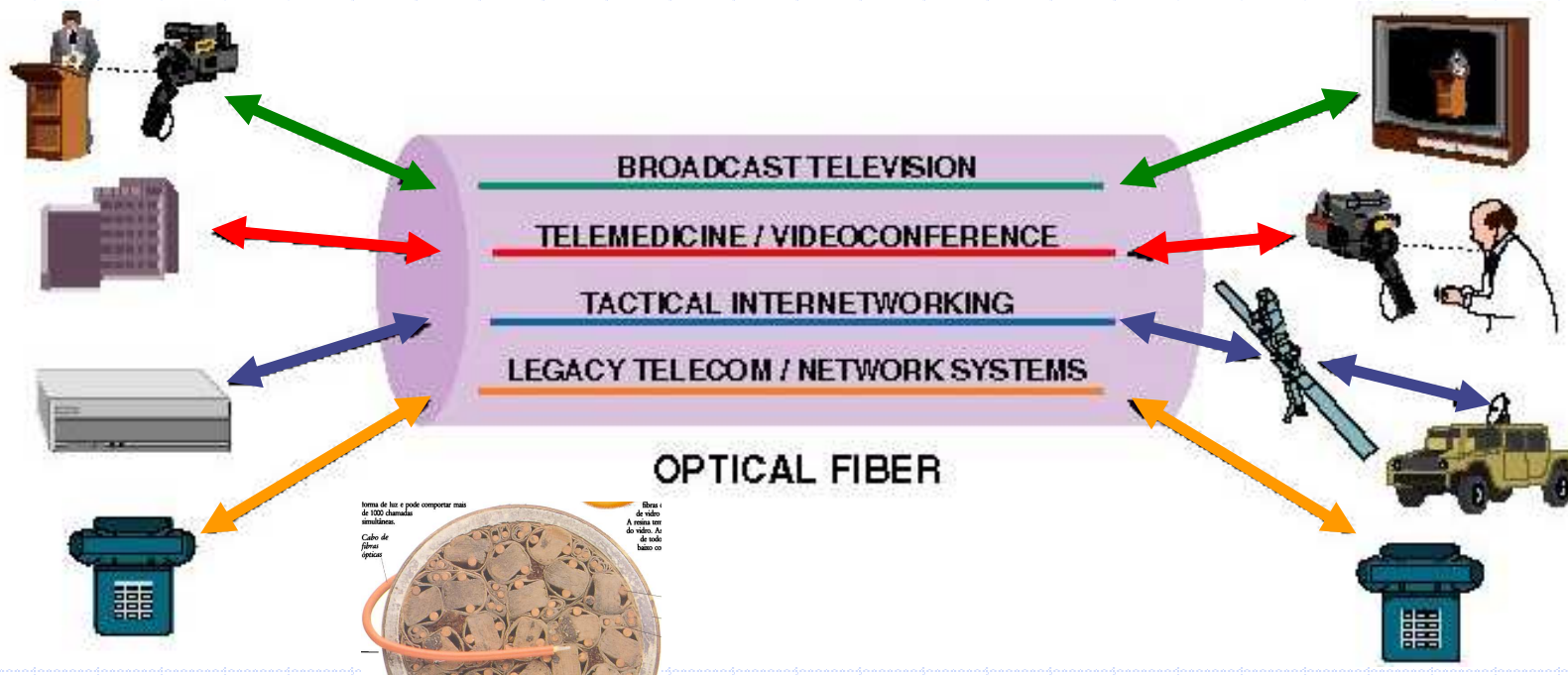


<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

domingo, 27 de setembro de 2020

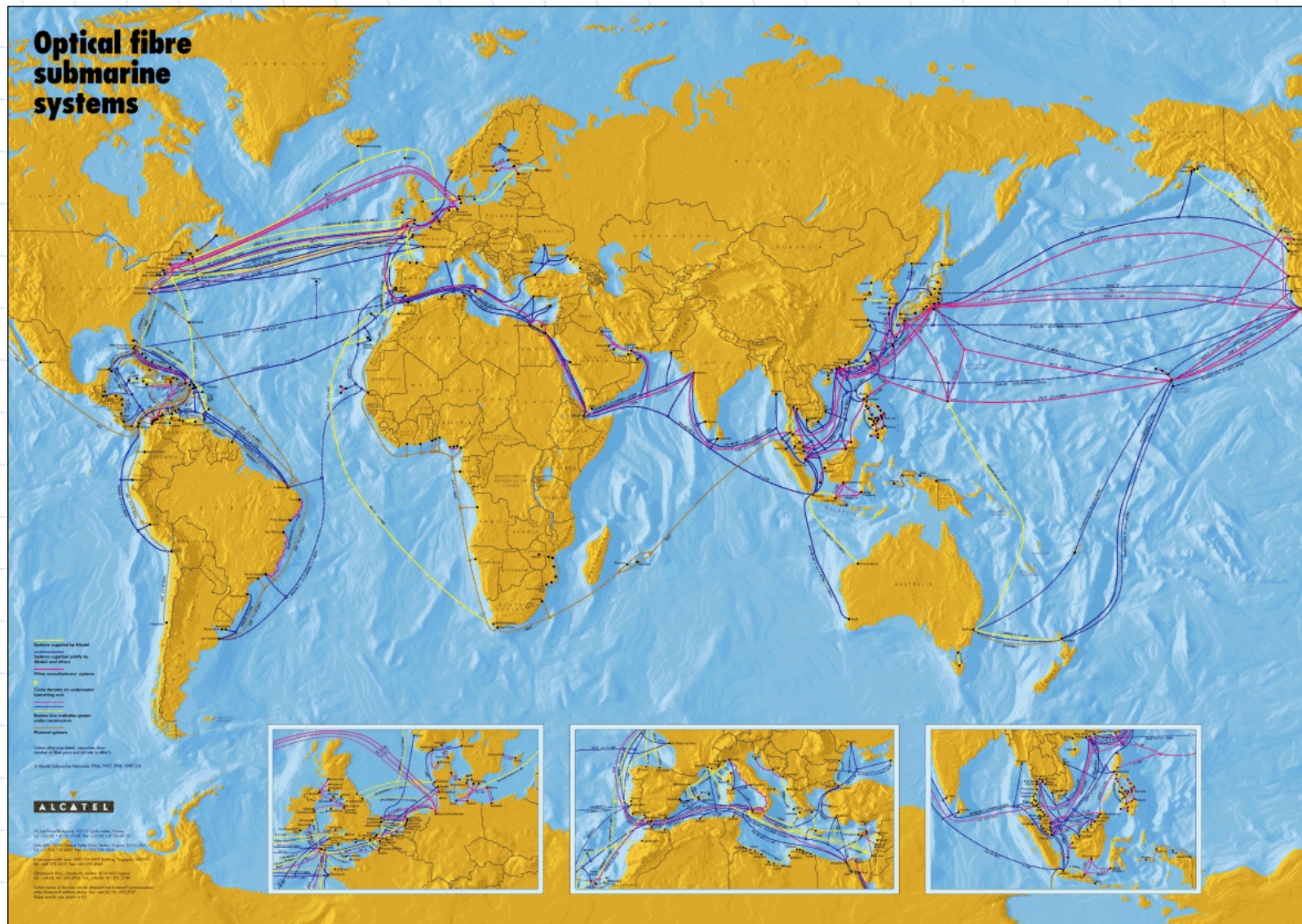
Luz: propriedades e aplicações

Comunicação por fibra óptica



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

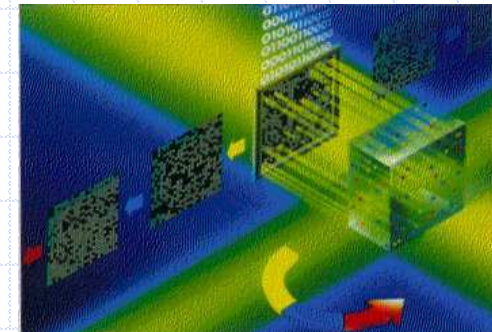
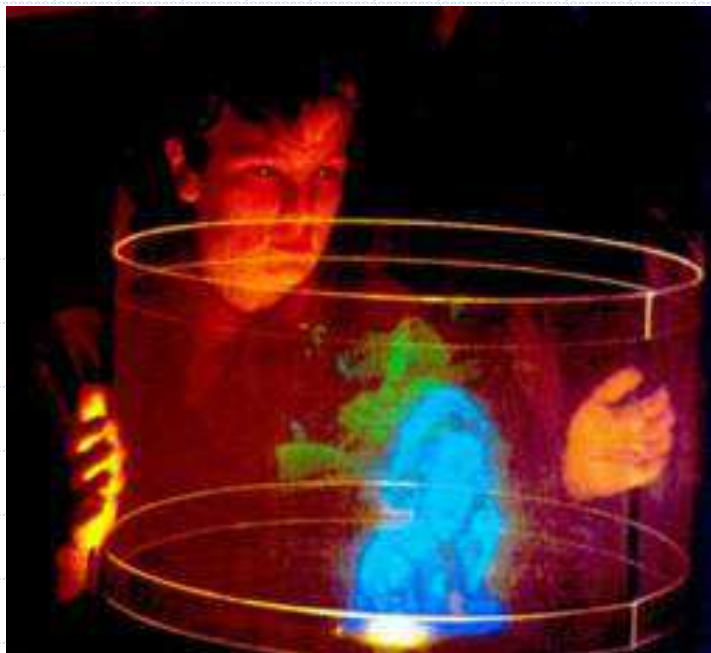
Cabos submarinos de fibra óptica no mundo



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

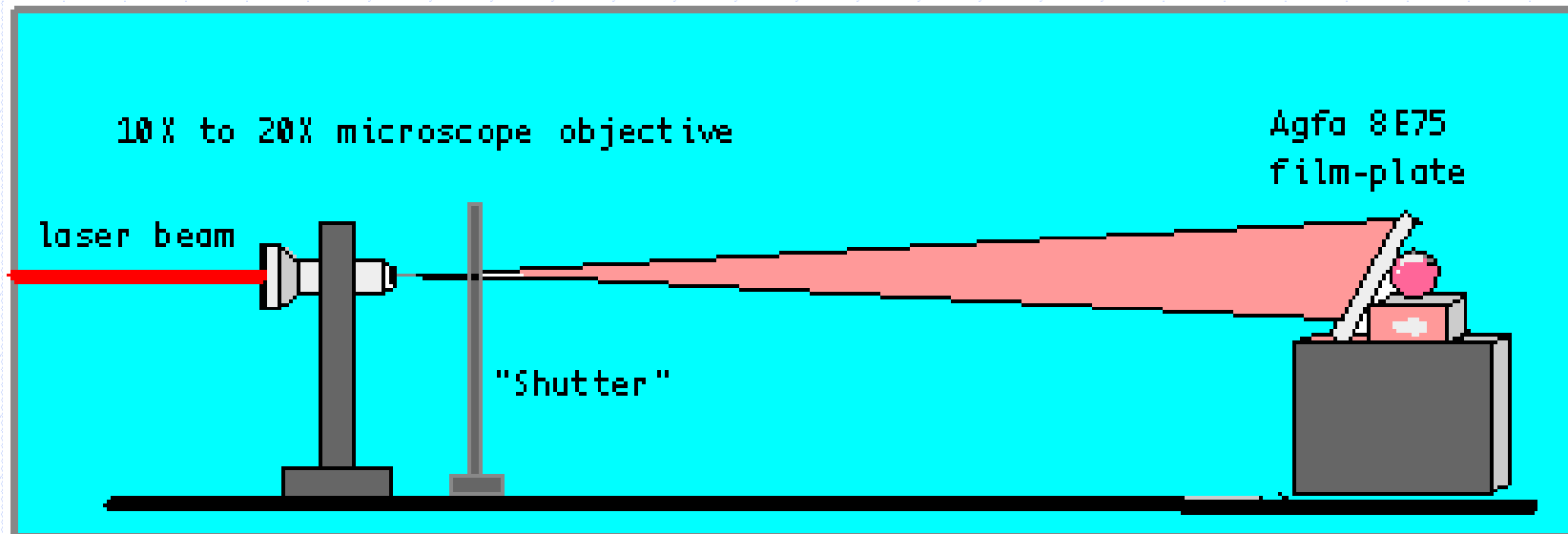
Holografia

- Holografia é o conjunto de técnicas de obtenção e utilização de hologramas.
- Um holograma é o registo, numa emulsão (película gelatinosa que tem em suspensão finas partículas de sais de prata sensíveis à luz;), dos efeitos da sobreposição de duas ondas emanadas da mesma fonte luminosa, uma directa e outra reflectida pelo objecto a *holografar*, que dá a ilusão de relevo, quando iluminado por um feixe de raios laser ou luz branca (de *holo-* (inteiro) + *-grama* (registo), que significa “registo inteiro”).

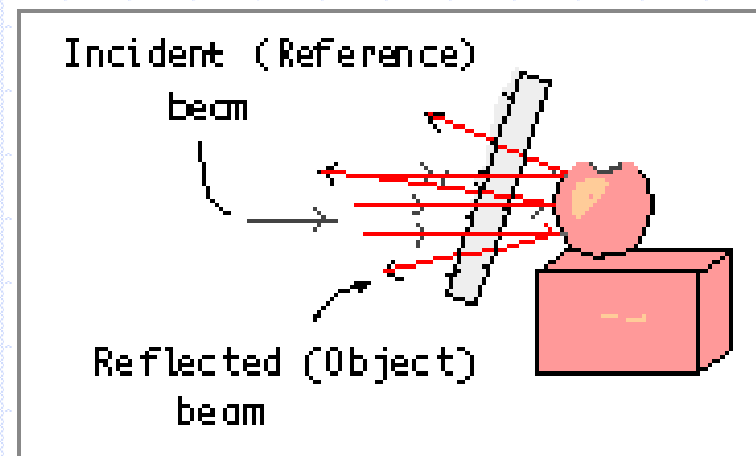


<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Fazer e ver hologramas de reflexão

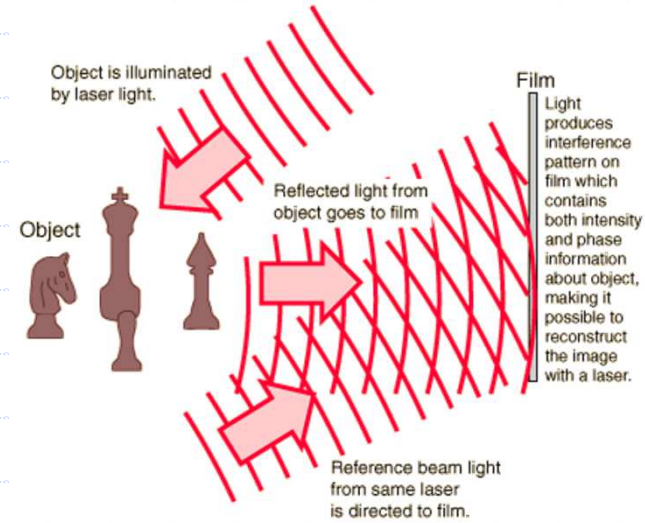
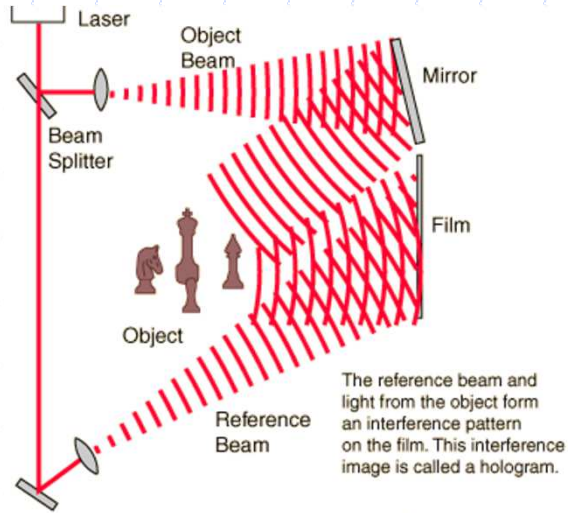


Este tipo de holograma pode ser lido com luz branca e é simples de fazer.

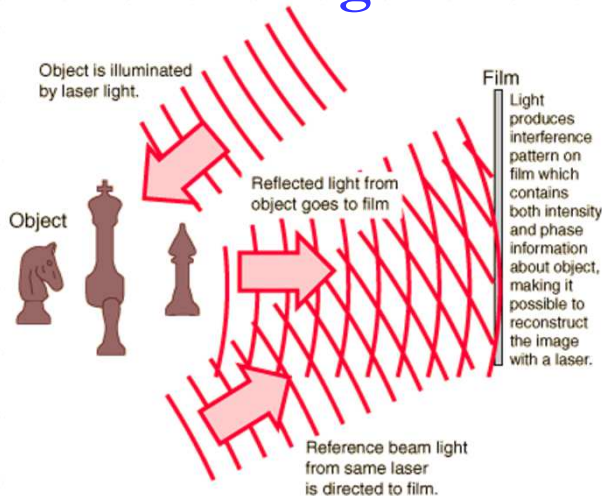


Fazer e ver hologramas de transmissão

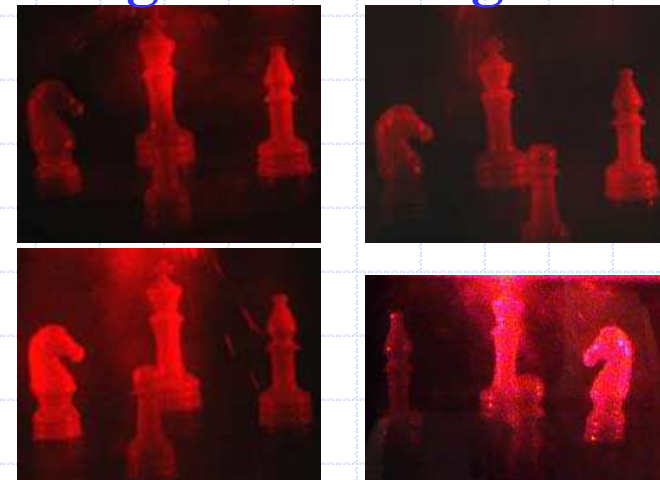
Registo do holograma



Leitura do holograma



Imagens do holograma



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

Hologramas gerados por computador

Padrão de difracção gerado por computador

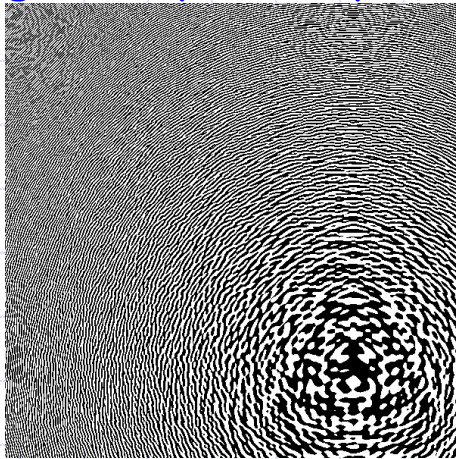
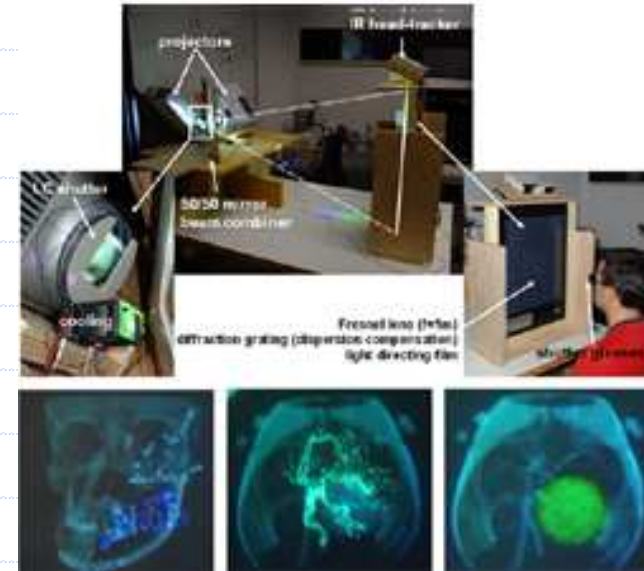
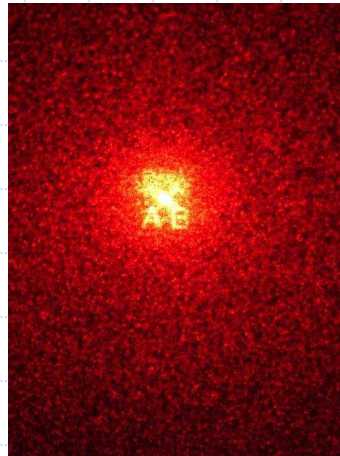


Imagem gerada



Os hologramas gerados por computador permitem criar e observar objectos e executar funções que seriam muito difíceis de realizar de outro modo.

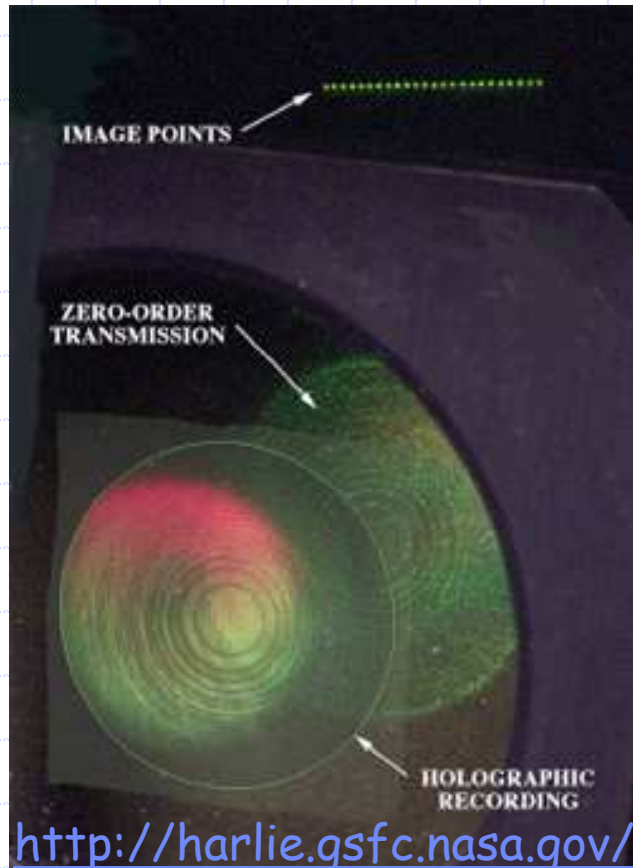
<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>



http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_Generated_Holography

Elementos ópticos holográficos

É ainda possível obter hologramas que simulam elementos ópticos simples ou combinações deles como, por exemplo, lentes, prismas, espelhos e divisores de feixe, etc., obtendo-se **elementos ópticos holográficos**.



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

<http://harlie.gsfc.nasa.gov/HOES/HOEs.htm>

<http://www.photonics.com/directory/bg/category.asp?bgpsa=31125>

domingo, 27 de setembro de 2020

Luz: propriedades e aplicações

Aplicação da holografia



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Holography#Applications>

domingo, 27 de setembro de 2020

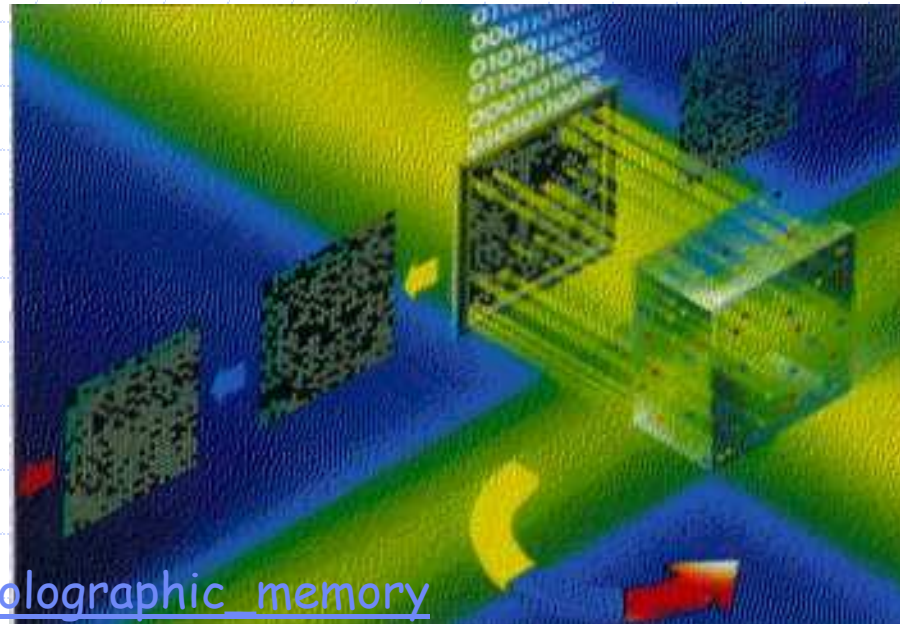
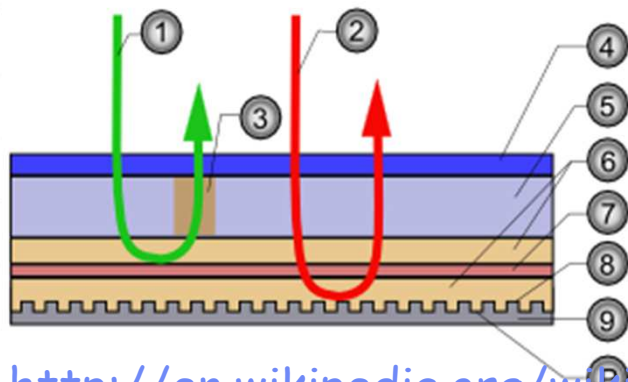
Luz: propriedades e aplicações

Aplicação da holografia

Discos holográficos



Cartões de memória holográficos



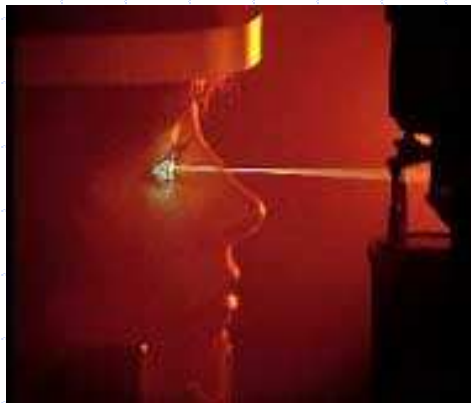
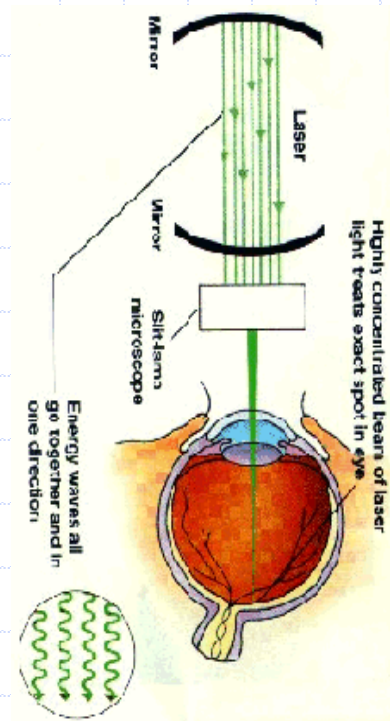
<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

http://en.wikipedia.org/wiki/Holographic_memory

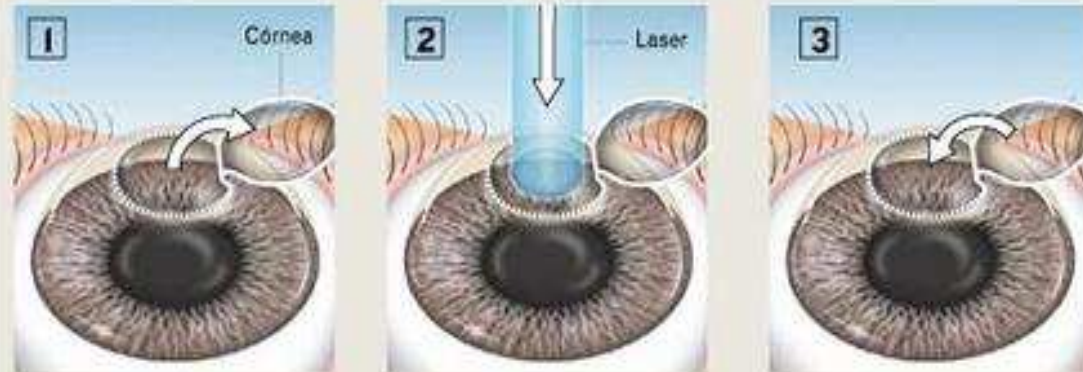
domingo, 27 de setembro de 2020

Luz: propriedades e aplicações

Aplicação do laser na medicina



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

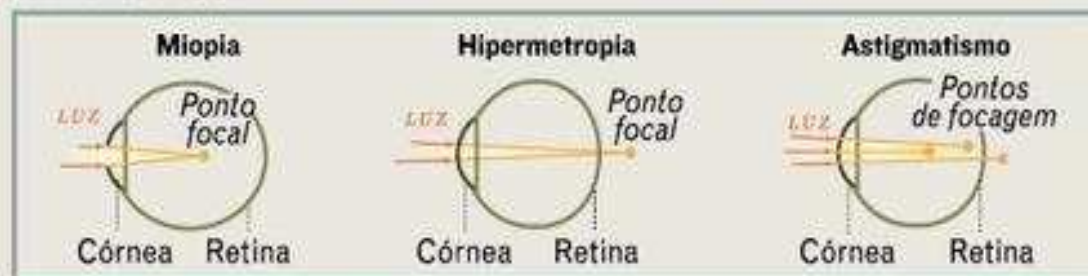


Primeiro o cirurgião corta e destaca uma aba à superfície, denominada lenticulo

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

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



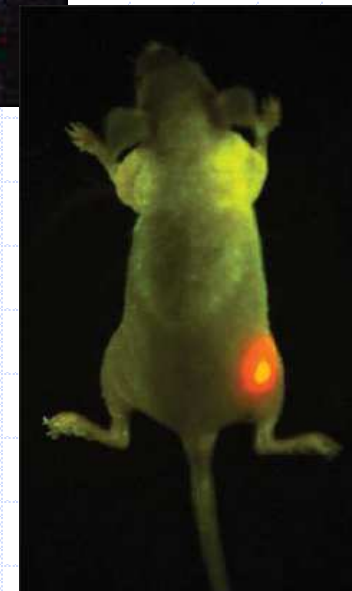
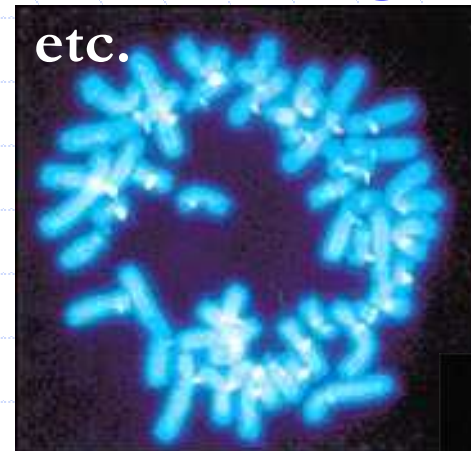
FONTE: "Laservue Eye Center, Califórnia"

ANA SERRA

Novas aplicações



Informática, biotecnologia,
nanotecnologia, medicina,
etc.



Bull's-eye. Red quantum dots injected into a live mouse mark the location of a tumor.



<http://w3.ualg.pt/~jlongras/>

domingo, 27 de setembro de 2020

Luz: propriedades e aplicações

obrigado
pelo vosso interesse

Bibliografia



- Óptica, Eugene Hecht, Fundação Calouste Gulbenkian, 1991.
- *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.