



Escola de Artes, Ciências e Humanidades  
da Universidade de São Paulo

ACH1014 Fundamentos de Física

# Aula 8: radiação de corpo negro - parte 1

Profa Dra Patricia Targon Campana

2013

O que é luz?

## *Luz: conceito e definições*

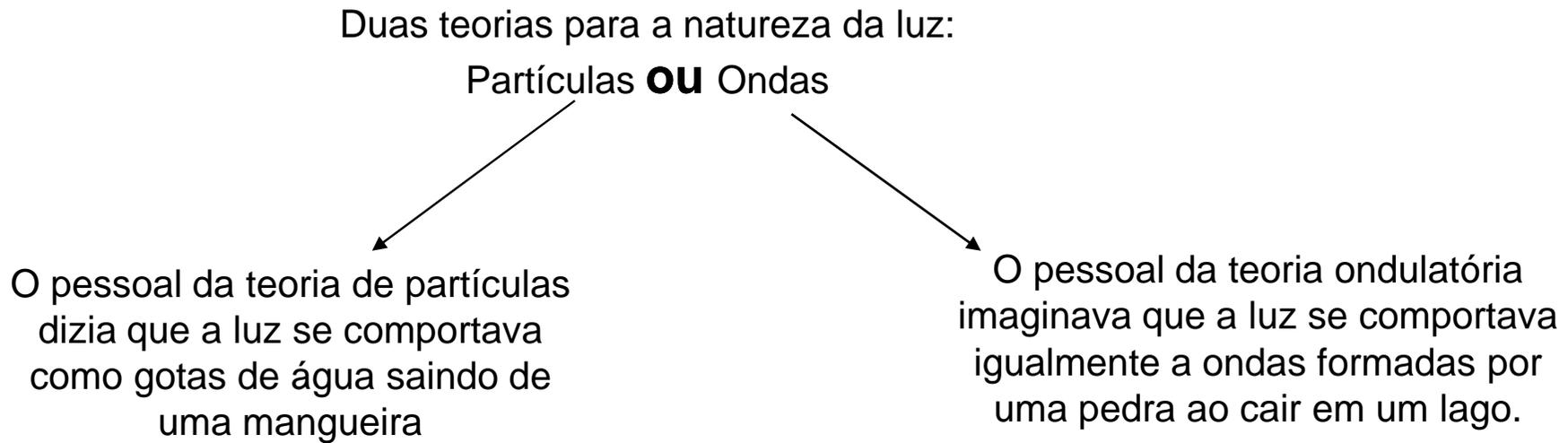
Sempre nos indagamos a respeito de sua natureza

Platão (427-347AC): todo objeto visível emite uma corrente constante de partículas luminosas captadas pelos olhos

Aristóteles (384-322AC): acreditava sair de nossos olhos uma onda vibratória que atingia os objetos e tornava-os visíveis.

Duas teorias para a natureza da luz:

Partículas **OU** Ondas



```
graph TD; A[Partículas OU Ondas] --> B[O pessoal da teoria de partículas dizia que a luz se comportava como gotas de água saindo de uma mangueira]; A --> C[O pessoal da teoria ondulatória imaginava que a luz se comportava igualmente a ondas formadas por uma pedra ao cair em um lago.]
```

O pessoal da teoria de partículas dizia que a luz se comportava como gotas de água saindo de uma mangueira

O pessoal da teoria ondulatória imaginava que a luz se comportava igualmente a ondas formadas por uma pedra ao cair em um lago.

as descobertas...

Heron de Alexandria (10AC-75): as leis básicas de Reflexão e Propagação Retilínea da Luz

Mas... notou-se que a luz parecia mudar de direção no novo meio líquido

1621: Wilbord Snell (1580-1626) descobriu experimentalmente a Lei da Refração:  
**ao penetrar num novo meio os raios mudam de direção** continuando a se propagar em  
linha reta após a mudança de meio

1678: Christiaan Huygens (1629-1695) o quanto a luz era desviada da sua trajetória inicial  
dependia da velocidade que a luz atravessava no meio.

A luz como um movimento ondulatório → **o índice de refração** maior quanto menor fosse a  
velocidade com a qual a luz penetrasse no meio

Como partícula: num meio mais denso, a velocidade seria maior, porque as partículas seriam atraídas pelas moléculas → idéia defendida por Isaac Newton (1643-1727).

## Os percalços...

### a teoria ondulatória deveria:

explicar como a luz propagava-se no vácuo (como é o caso da luz do Sol que chega na Terra)

...mas, de acordo com a teoria ondulatória que se tinha na época as ondas precisavam de um meio para se propagarem

Para resolver esse impasse: → Huygens: existência de um meio elástico e imponderável: éter

### a teoria de partículas deveria:

lidar com o fato de que dois raios luminosos cruzam-se sem que um interfira no outro

Apesar de seus problemas: durante ~ todo o século XVIII a teoria corpuscular prevaleceu

principalmente em razão do maior prestígio de Newton no meio científico

Mas, outros experimentos reforçavam o caráter ondulatório da luz

Difração (estudado pelo cientista italiano Francesco Grimaldi)

Padrões de Interferência produzidos pela luz ao atravessar uma fenda (Franjas de Young, Thomas Young).

Leon Foucault: mostra que a velocidade da luz era menor na água que no ar, como previa Huygens

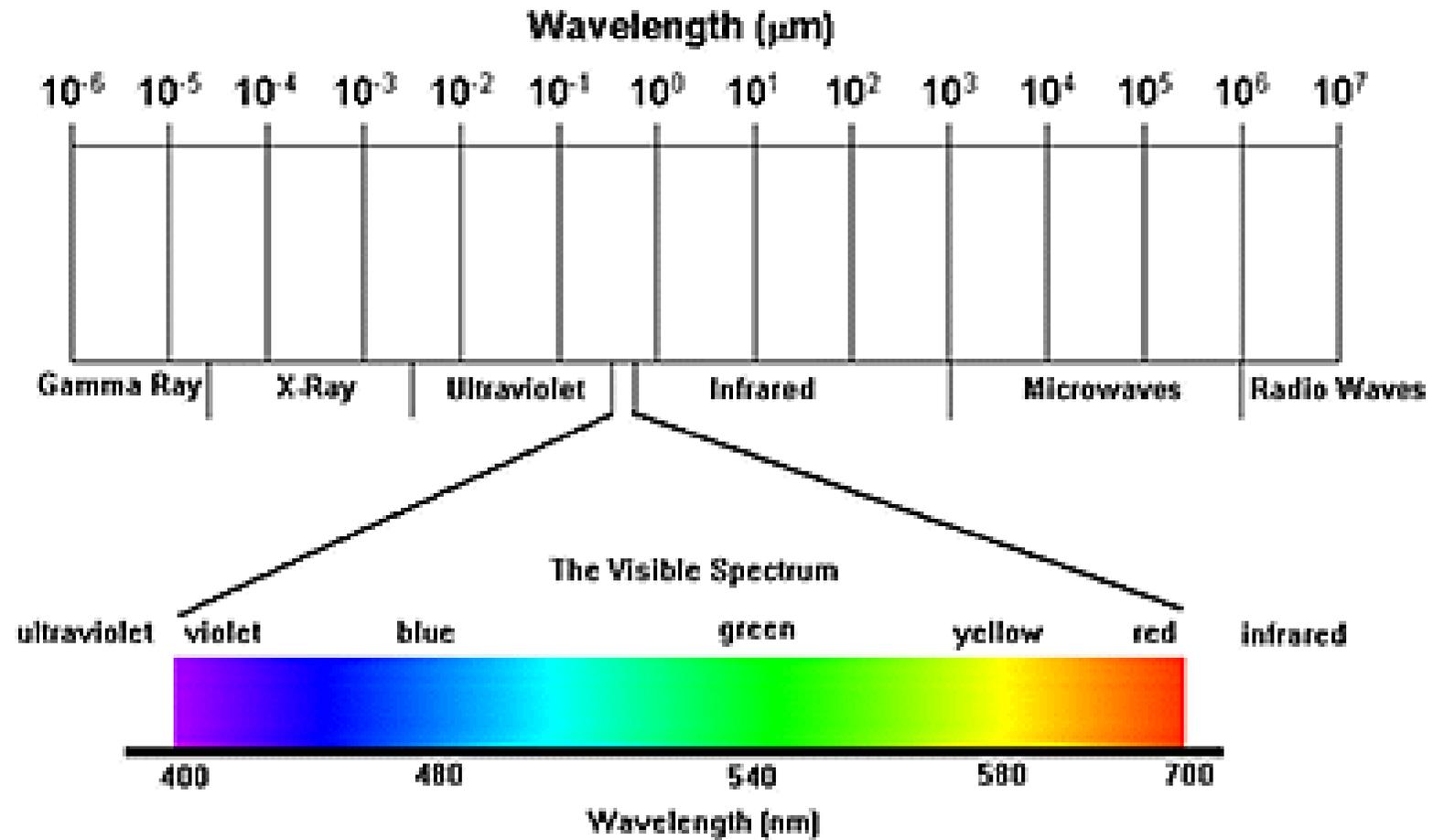
Passa a predominar a teoria ondulatória

Aperfeiçoada até a

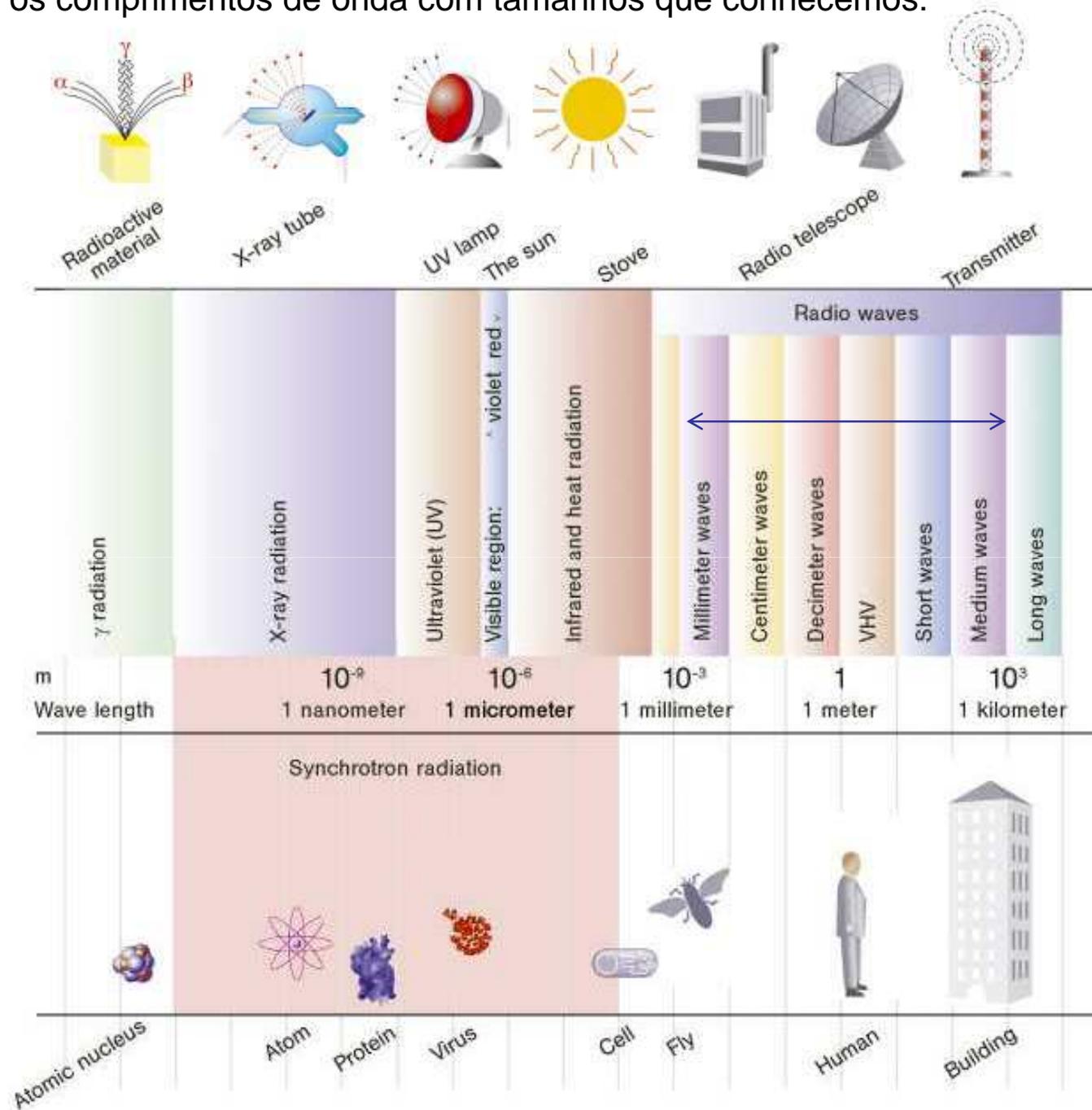


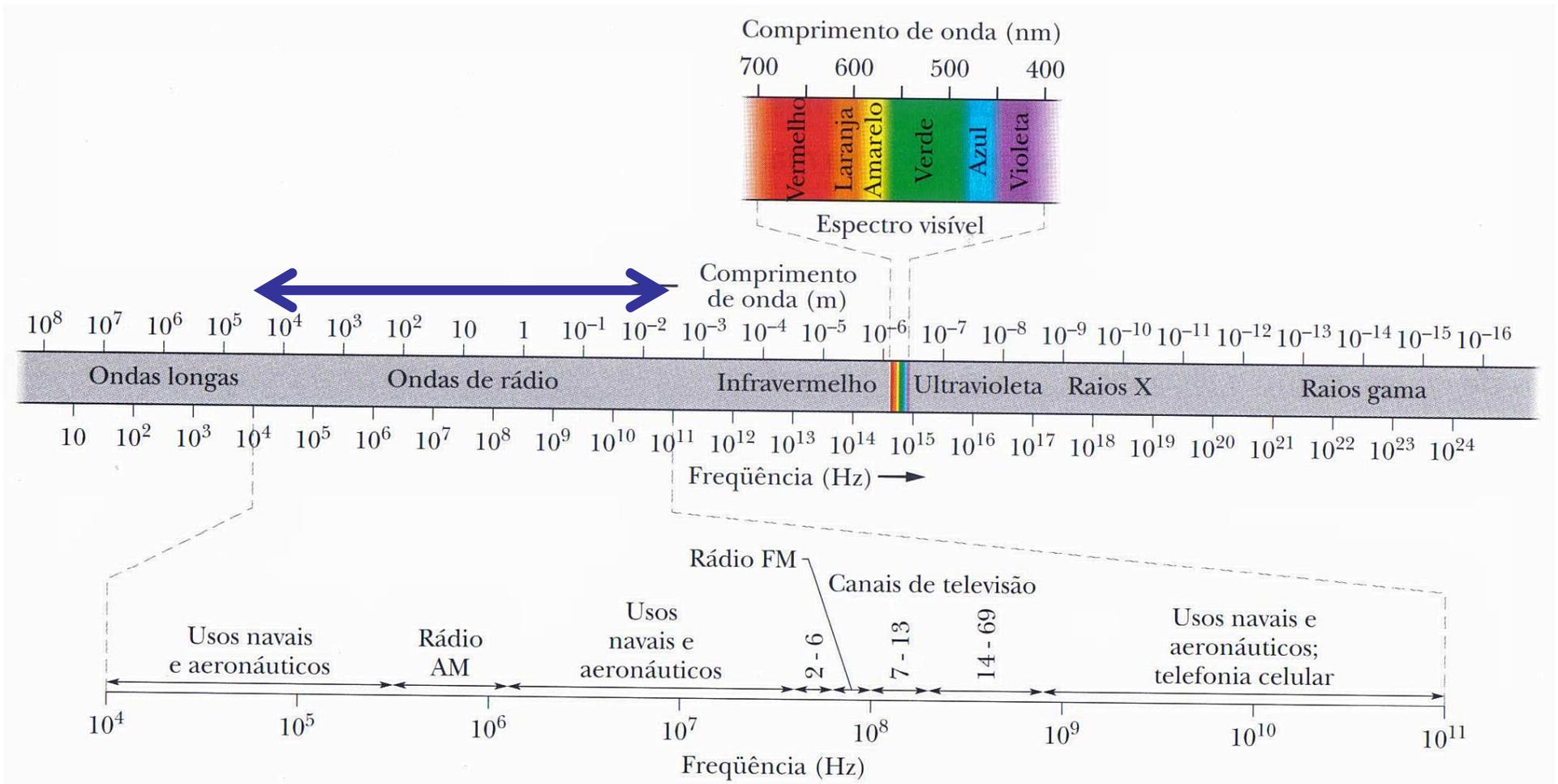
teoria ondulatória eletromagnética do físico escocês James Clerk Maxwell que propôs ser a luz constituída pelas denominadas ondas eletromagnéticas, e que **a luz visível era apenas uma pequena parte (que pode ser enxergada por nós) de um espectro muito maior**

# A arco-íris de Maxwell



Comparando os comprimentos de onda com tamanhos que conhecemos:





## A teoria ondulatória seria universalmente aceita se

século XX: novas experiências não tivessem mostrado algumas de suas falhas

Em 1905: Albert Einstein explica o fenômeno

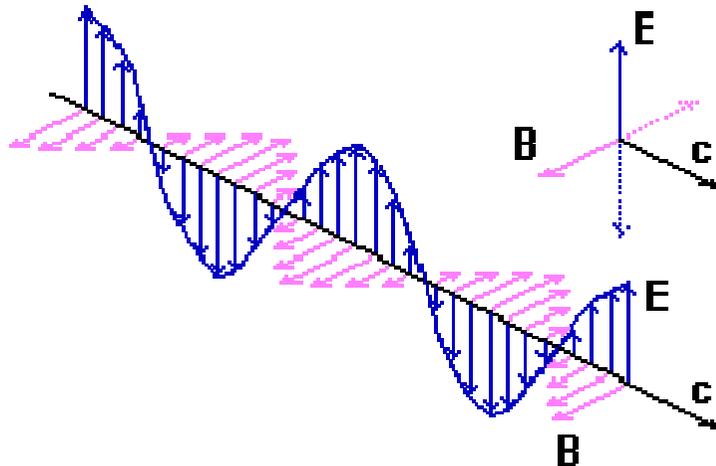
Ele propôs que a teoria ondulatória era incompleta, e que a luz poderia ter características de partículas também. Demonstrou, matematicamente que um elétron liberado deveria receber uma certa quantidade de energia, que segundo ele seria proveniente de uma partícula radiante (“partícula de luz”), chamando essa energia de fóton ou quantum de energia. Então, quanto maior a frequência da onda (luz) maior seria a energia que ele poderia liberar.

a luz tem dupla natureza, corpuscular e ondulatória (**dualidade onda-partícula**)

se explicam todos os fenômenos ópticos, uns com a teoria ondulatória, outros com a corpuscular

Quanto à natureza da luz, desde de Platão, todos estavam errados e todos estavam certos!!!

# A luz como onda



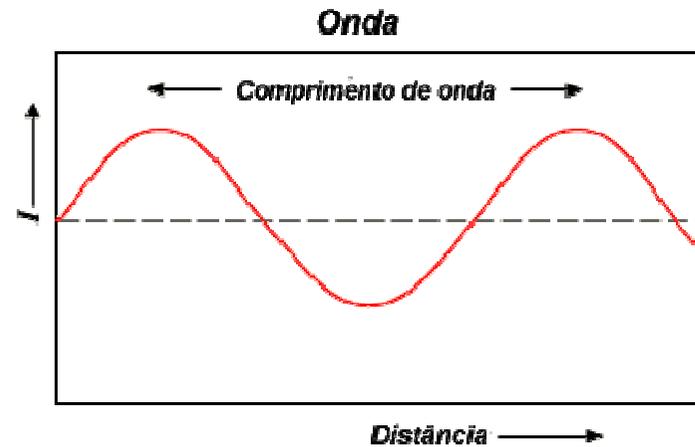
$c$  é a velocidade da luz, e representa aqui sua direção de propagação

Obedece à Teoria Ondulatória

onda transversal

Comprimento  
Frequência

} característicos



Se o comprimento de onda da luz for  $\lambda$ , seu quantum de energia  $\Delta E$  será definido como:

$$\Delta E = hc/\lambda$$

$h$  é a constante de Planck de valor  $6,626 \times 10^{-34}$  J.s

$c$  é a velocidade da luz no ar ou no vácuo de valor constante  $3 \times 10^8$  m/s.

Como a luz visível é policromática, sua energia total será determinada a partir da integração dos quanta de energia correspondentes a cada freqüência constituinte do espectro visível.

A luz também pode ser medida pela sua freqüência, que é chamada  $\nu$ . A freqüência, por definição refere-se ao inverso do tempo de repetição, ou seja do tempo gasto pela onda para repetir sua condição inicial. No caso da luz visível a freqüência está relacionada com a “cor” desta, por exemplo no espectro visível, a luz vermelha tem uma freqüência menor que luz azul.

Ela é o inverso do comprimento de onda.

Assim:

$$v = c/\lambda$$

A velocidade  $v$  da luz em um meio que não seja ar ou vácuo depende das características desse meio.

O índice de refração  $n$  é um parâmetro que caracteriza um meio óptico e é definido:

$$n = c/v$$

Como  $c > v$  para qualquer meio óptico, então sempre teremos  $n > 1$ . Para ar ou vácuo, temos  $n = 1$ .

Os valores de  $n$  para outros meios estão relacionados na tabela a seguir:

Índice de Refração de Algumas Substâncias (Valores Correspondentes à Luz Amarela)

<b>Substância</b>	<b><math>n</math></b>
Ar (CNPT)	1,000
Água a 20°C	1,333
Acetona a 20°C	1,358
Etanol a 20°C	1,360
Diamante	2,4168
Cristal de quartzo	1,553
Quartzo fundido	1,458
<i>Flint glass</i>	1,650
Cloreto de sódio	1,544
Lente do olho	1,424
Humor vítreo	1,336

# Polarização

## Luz despolarizada

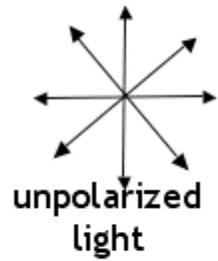


FIGURE 1

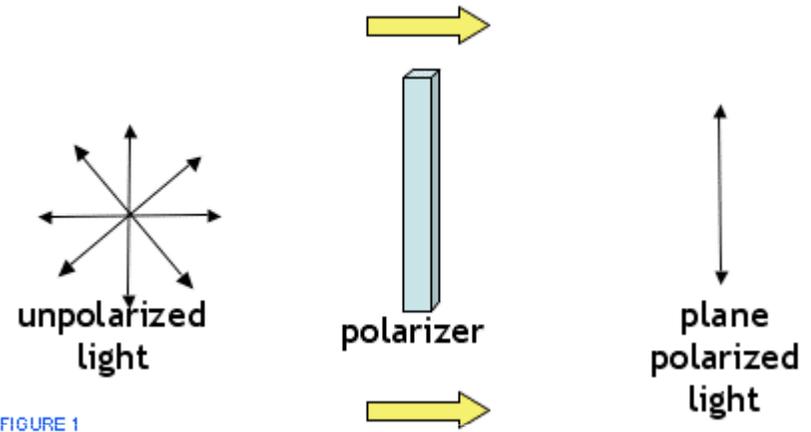
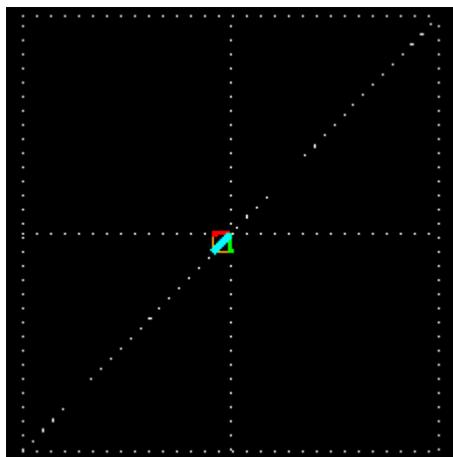
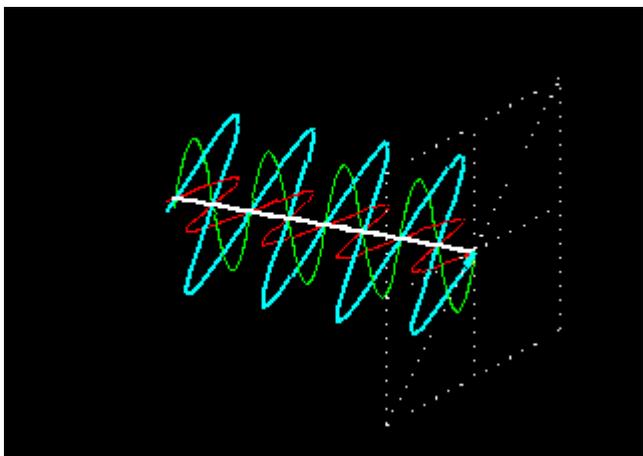
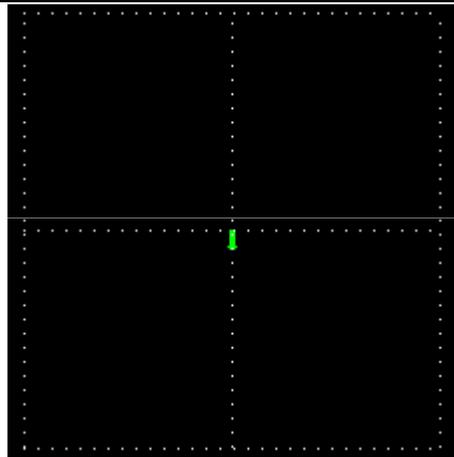
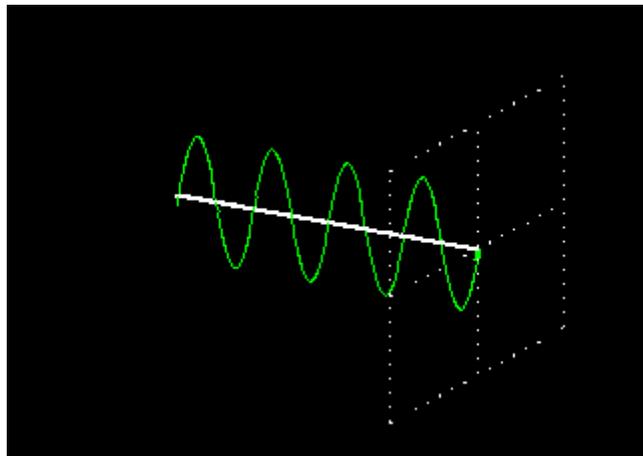
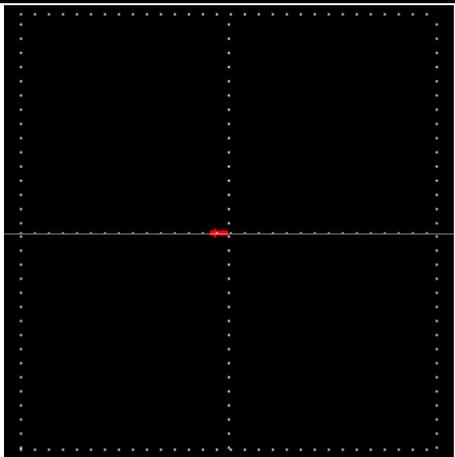
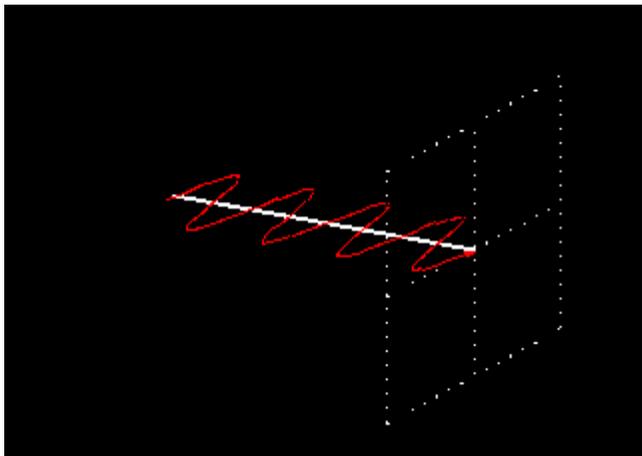
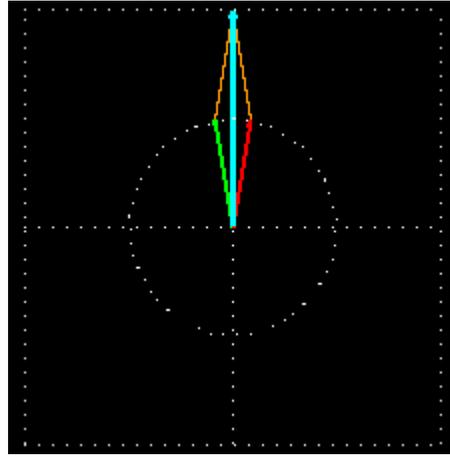
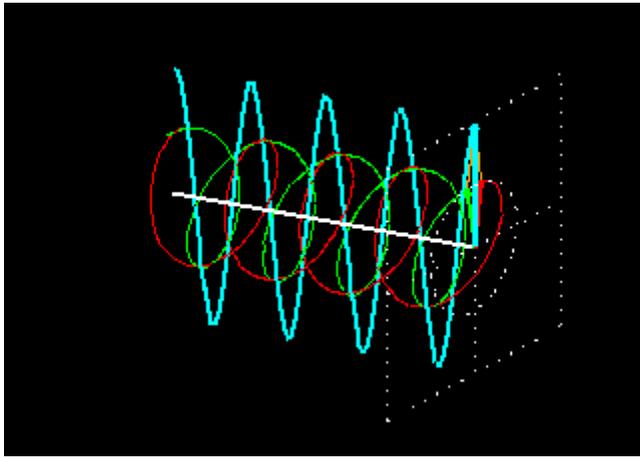
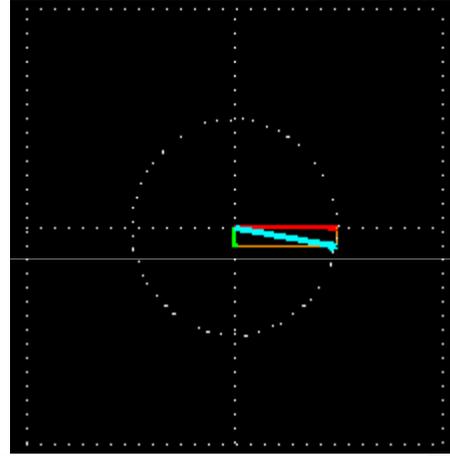
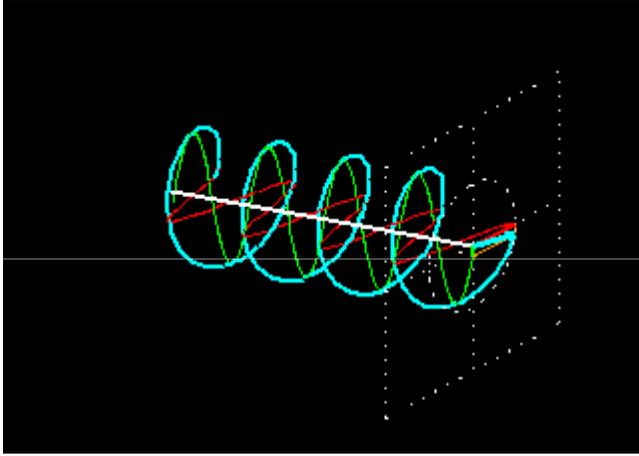
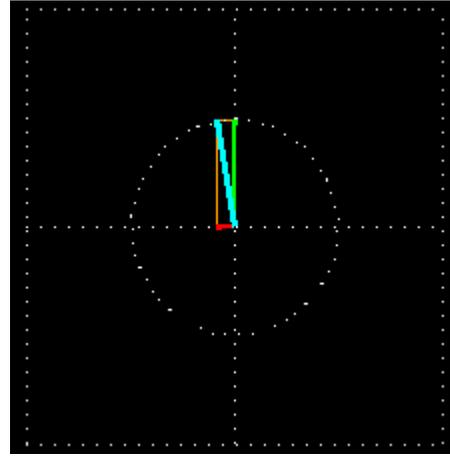
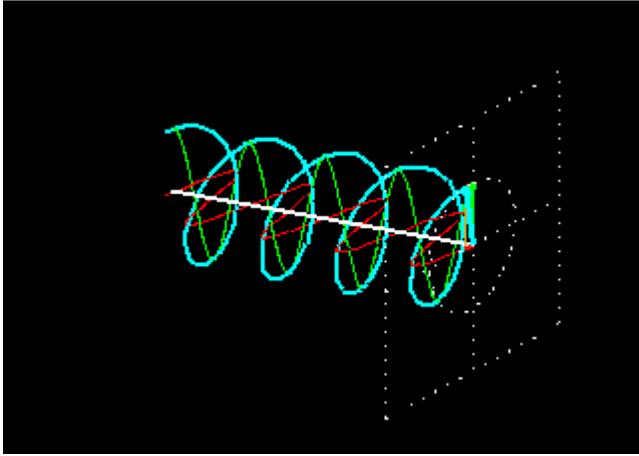


FIGURE 1

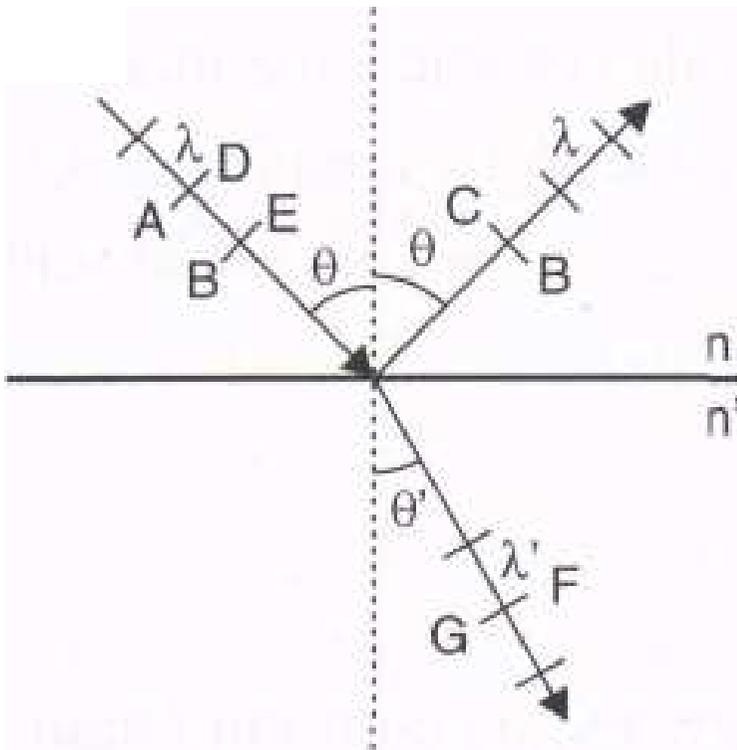






## reflexão e refração

Toda vez que a luz incide sobre a superfície que separa dois meios ópticos, que são **transparentes à luz**, essa será **refletida e refratada**. O comprimento da onda refletida ( $\lambda_{\text{reflet}}$ ) será o mesmo que o da onda incidente ( $\lambda_{\text{incid}}$ ); já o comprimento da onda refratada ( $\lambda_{\text{refrat}}$ ) será diferente.



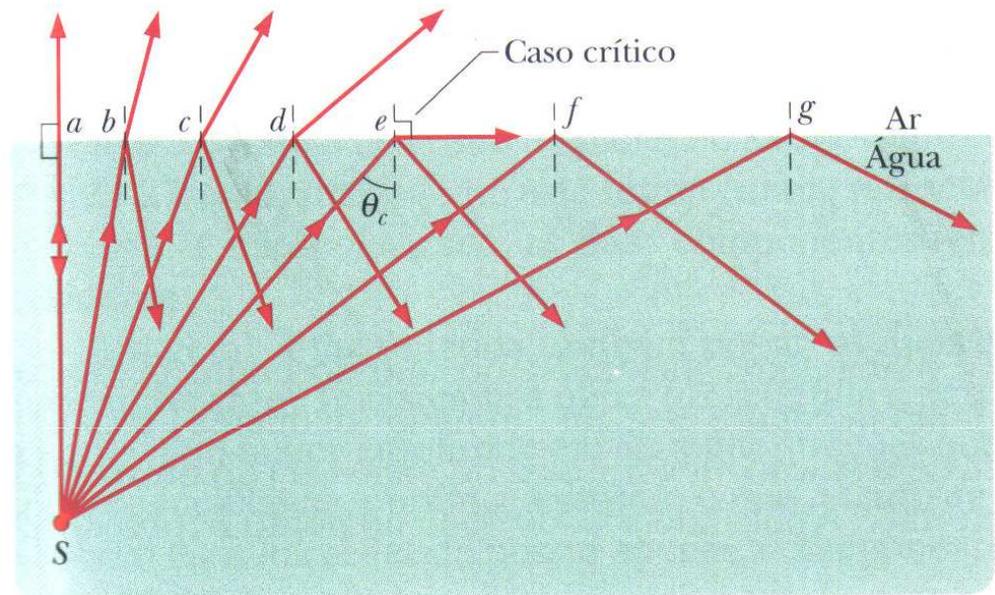
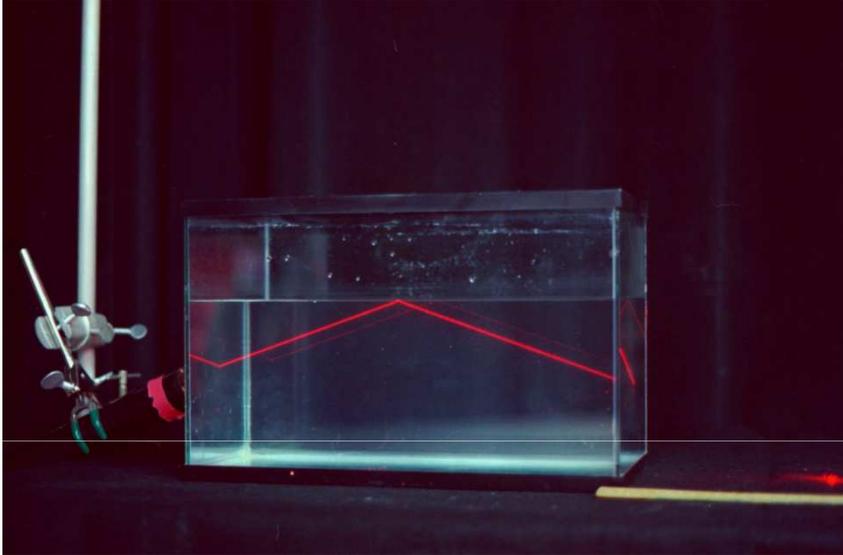
$$n \cdot \sin \theta = n' \cdot \sin \theta'$$

## Dispersão cromática

Se  $n$  depende de  $\lambda$   $\longrightarrow$  O ângulo de refração será diferente para diferentes raios luminosos



## Reflexão interna total



$$n \cdot \text{sen} \theta_c = n' \cdot \text{sen} 90^\circ \longrightarrow \theta_c = \text{sen}^{-1} (n' / n)$$

# O comportamento das coisas em relação à luz

---

## Produtores ou fontes

(transformam outras fontes de energia em energia luminosa)

Lâmpada incandescente	Lâmpada fluorescente
Chama de vela	Fogo
Sol	Estrela
Lanterna	Fonte laser
Lâmpada de néon	Lâmpada ultravioleta
Botão do interruptor ou tomada de material fosforescente	Flash

## Refletores

(devolvem luz)

Luz	Tela de cinema
Objetos (roupas, paredes, etc.) brancos ou coloridos	Espelho
	Superfície interna da fibra ótica

## Refratores

(deixam passar a luz)

Lente	Lupa
Atmosfera	Fibra ótica
Líquido transparente	Filtro de luz
Vidro transparente	Óculos

## Absorvedores

(transformam energia luminosa em outras fontes de energia)

Filtros de luz	Atmosfera
Célula fotoelétrica	Filme fotográfico
Plantas	Objetos (roupas, paredes, etc) escuros

---

créditos

[www1.union.edu/.../birefringence4.JPG](http://www1.union.edu/.../birefringence4.JPG)

[www.at-sea.org/.../deepscope3/images/polar1.gif](http://www.at-sea.org/.../deepscope3/images/polar1.gif)

[www.photophysics.com/images/gifs](http://www.photophysics.com/images/gifs)

<http://www.phy.duke.edu/~hsg/54/>

<http://www.fas.harvard.edu/~scidemos/LightOptics/FishTankTIR/FishTankTIR.html>