

Universidade Federal do ABC

Estrutura da Matéria

Aula 4:

Radiações clássicas

E-mail da turma: emufabc@gmail.com

Senha: **ufabcsigma**

<https://sites.google.com/site/estruturabc0102/>

Radiações Clássicas

1899-1900: Rutherford e Villard separaram a radiação em 3 tipos:

1. **Raios α** (Os do experimento de Rutherford):

Raios energéticos que não penetram muito fundo na matéria, surgem em certos processos de decaimento radioativo.

Hoje sabemos que consistem de **núcleos de hélio** (2 prótons + 2 nêutrons).

2. **Raios β** (Os do experimento de Thomson):

Menos energéticos do que os raios α , penetram mais fundo (p. e. alguns dm no ar, alguns mm no plástico). Se trata de **elétrons**.

3. **Raios γ** :

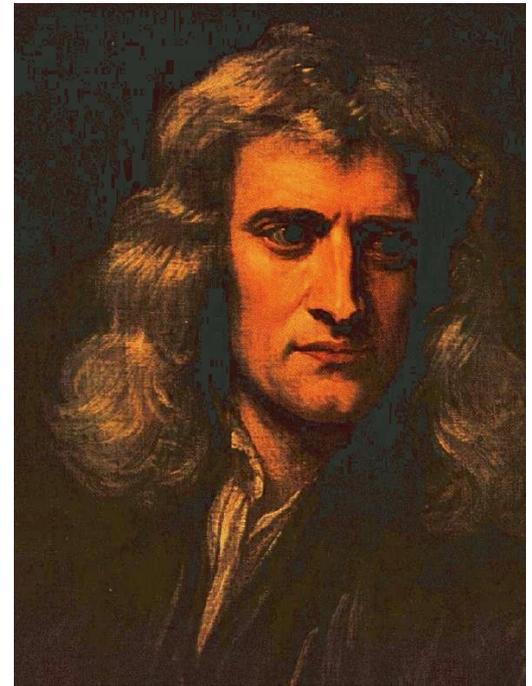
Penetram mais fundo ainda, são um tipo de **radiação eletromagnética** muito energética.

Outra radiação eletromagnética: A Luz

Até o começo do século XIX, a maioria dos cientistas acreditava que a luz era um fluxo de partículas emitido por uma fonte luminosa.

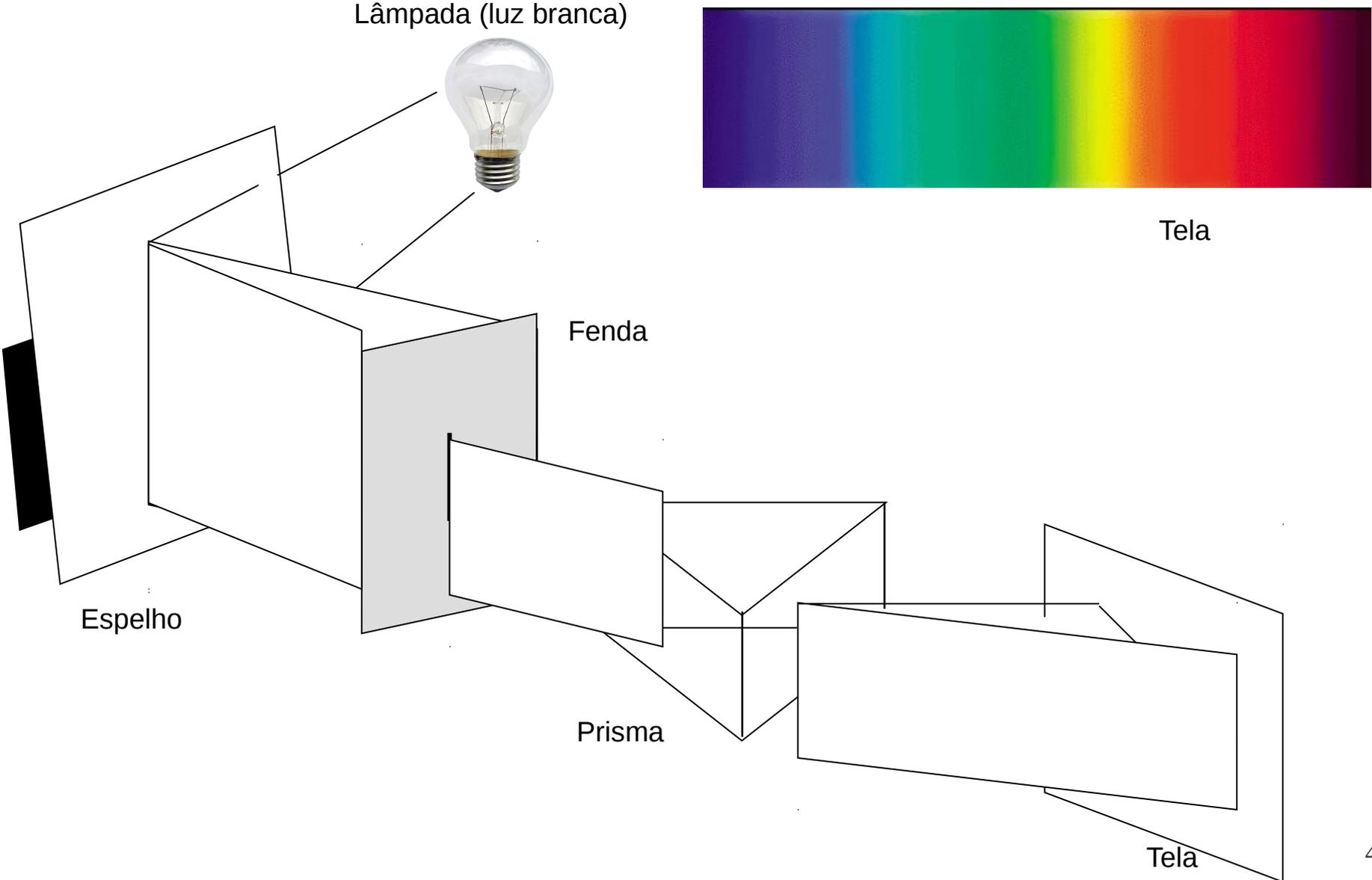
Com base neste modelo, as **partículas de luz** estimulavam a visão ao penetrar no olho.

O principal idealizador deste modelo corpuscular da luz foi Isaac Newton, sendo que o modelo apresentava uma explicação simples para algumas observações experimentais já conhecidas na época sobre a natureza da luz.



Newton (1642- 1727)

Espectro da radiação eletromagnética (Newton)



Modelo corpuscular (1672)

Em 1665, Newton demonstrou que a luz branca, como a luz do Sol, ao passar por um prisma se decompõe em luz de diferentes cores, formando um espectro como o arco-íris.

Usando a hipótese corpuscular e as leis da mecânica, ele conseguiu explicar

- A reflexão
- A refração
- A dispersão (a decomposição da luz ao atravessar um prisma) da luz.

Tudo bem, mas houve outros fenômenos da luz que não podiam ser explicados pelo modelo corpuscular:

- A interferência
- A difração



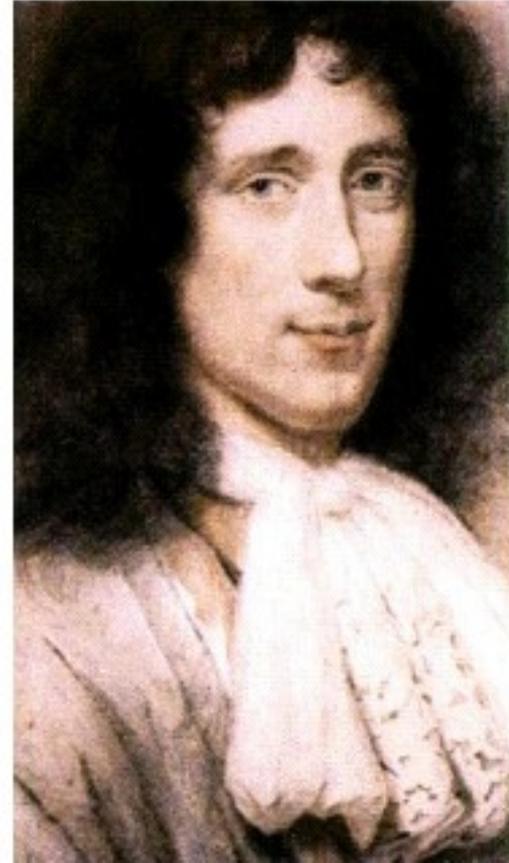
Modelo ondulatório (1678)

Em 1678, o físico holandês Christiaan Huygens mostrou o modelo ondulatório:

A luz como **onda**.

O modelo ondulatório explica corretamente a dispersão, as leis de refração e reflexão, a interferência e a difração, então todos as propriedades da luz e fenômenos óticos conhecidos até então, inclusive aqueles que não podiam ser explicados pelo modelo corpuscular.

=> **A luz é uma onda** (por enquanto)



Christiaan Huygens (1629-1695)

Modelo ondulatório da luz

Mas se a luz é uma onda, de que “consiste” a onda, ou seja, que grandeza física está oscilando e se propagando pelo espaço numa onda de luz?

Exemplos de outras ondas: Uma onda de som “consiste” de variações de pressão oscilando e se propagando.

Uma onda no mar “consiste” de variações do nível da superfície da água, etc.

Cada onda é alguma grandeza física oscilando e se propagando pelo espaço.

No caso da luz, esta(s) grandeza(s) são campos elétrico e magnético.

A luz é uma onda eletromagnética, ou seja, a combinação de um campo elétrico e um campo magnético oscilando e propagando-se pelo espaço.

Modelo ondulatório da luz

Esse modelo ondulatório da luz não foi aceito de imediato, pois, dentre outras argumentações, temos que as ondas conhecidas na época (som, ondas na superfície da água, etc.) eram ondas mecânicas e necessitavam de um meio para se propagar.

Entretanto, a luz viaja do Sol até a Terra no vácuo.

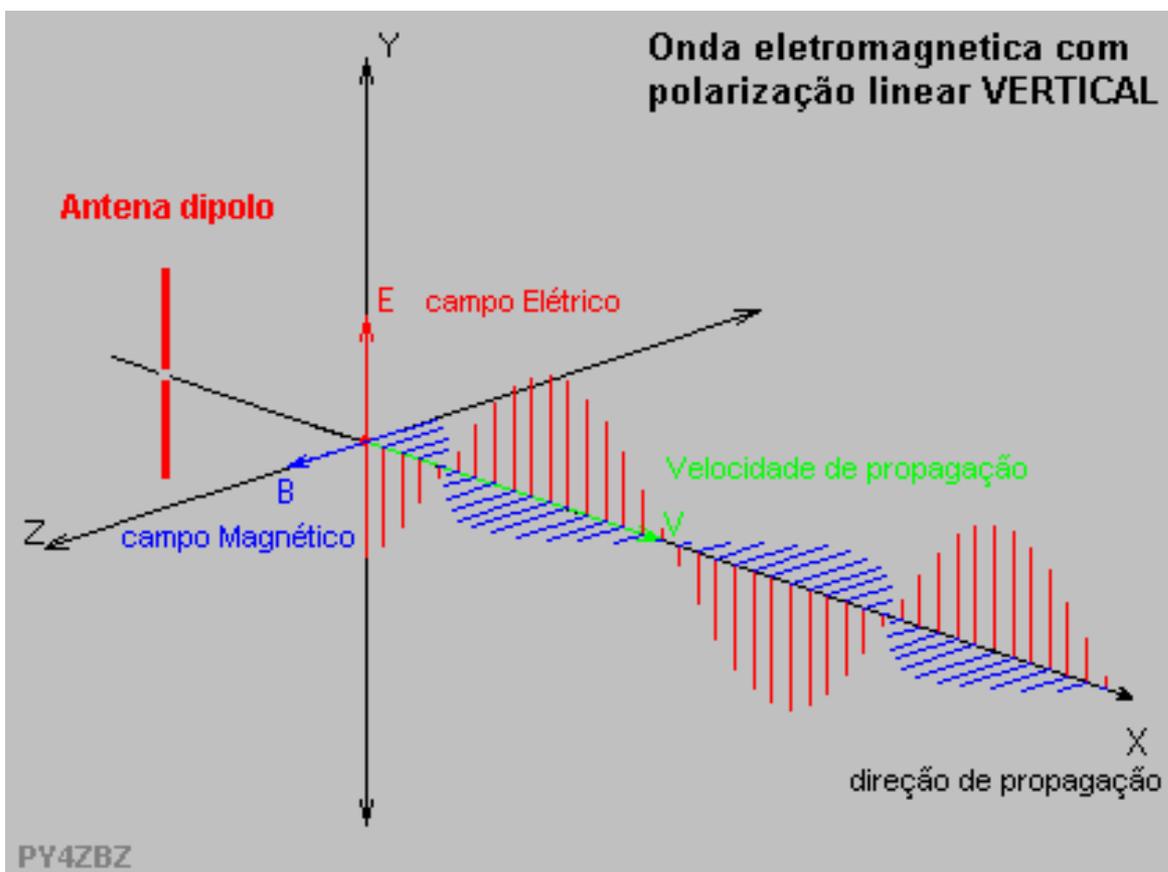
A partir de então, vários outros cientistas (Augustin Fresnel, Jean Foucault, dentre outros) desenvolveram experimentos e modelos que fortaleceram o modelo ondulatório da luz.

Em 1865, Maxwell fez previsões matemáticas de que a luz seria uma onda eletromagnética de alta frequência.

Estas previsões foram confirmadas experimentalmente por Hertz em 1887.

Propagação de uma onda eletromagnética

Os campos elétrico e magnético são perpendiculares à direção de propagação da onda e entre si, como mostrado neste desenho.



A onda se propaga na direção **E**x**B**.

!!! A onda existe no espaço inteiro, não só no eixo x.

As ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com uma velocidade **c** (a velocidade da luz).

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = \lambda f$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$ = permeabilidade no vácuo

$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$ = permissividade no v.

$\Rightarrow c \approx 300'000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Freqüência e comprimento de onda

Como a onda se propaga com a velocidade c pela distância de um comprimento de onda, λ , no tempo de um período de oscilação, $T = 1/f$, é fácil obter a relação entre λ e f :

$$c = \lambda/T = \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda = c/f \text{ ou } f = c/\lambda$$

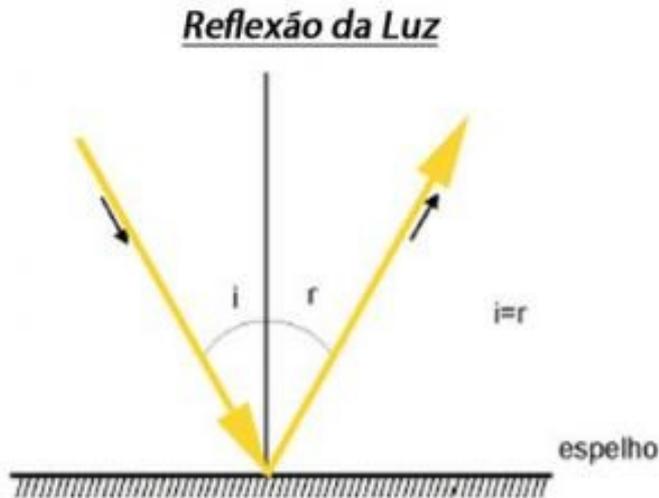
O comprimento de onda é inversamente proporcional à freqüência.

Como visto no experimento de Newton, a luz branca é a sobreposição de luz de todas as cores do arco-íris.

A luz das diferentes cores do arco-íris se distingue pela freqüência / pelo comprimento de onda:

Luz azul tem freqüência maior resp. comprimento de onda menor do que luz vermelha.

Reflexão e Refração da Luz



Reflexão

Quando luz é espelhado numa superfície, os ângulos de incidência e reflexão são iguais:

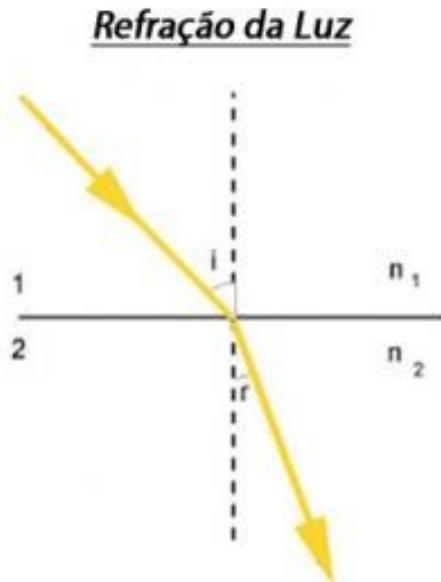
$$i = r$$

Refração

Quando luz passa de um meio para um outro, a relação entre os ângulos de incidência e refração é

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

onde $n_{1,2}$ são os **índices de refração** dos dois meios. Quanto maior o índice de refração de um material, tanto menor é a velocidade da luz v no material: $v = c/n$ (no vácuo, $n=1$).

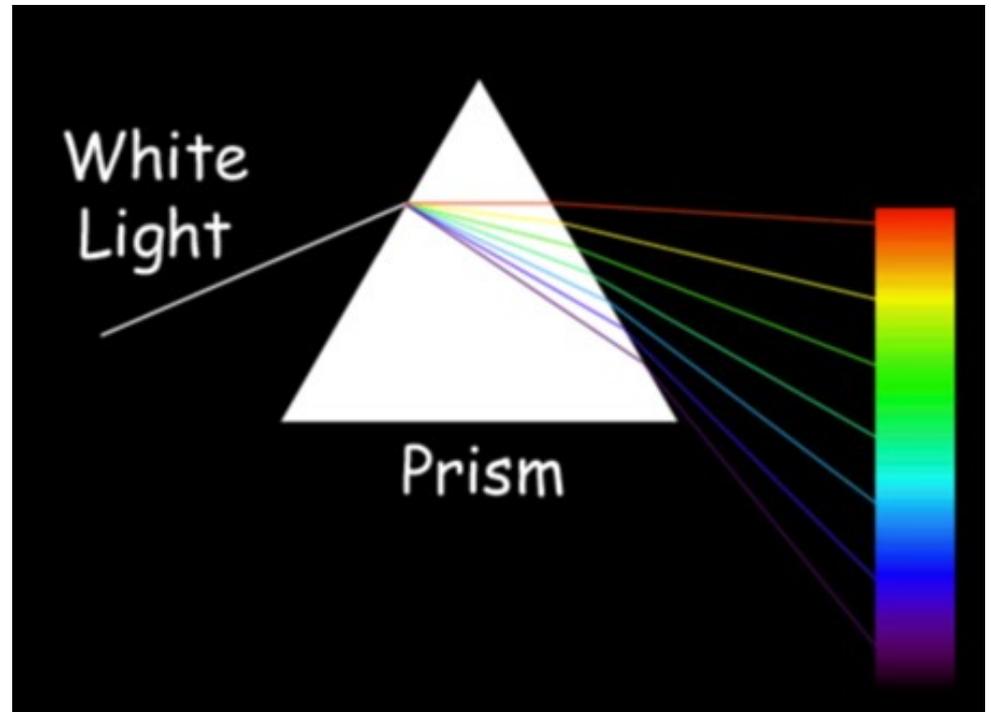


Porque a luz se separa num prisma?

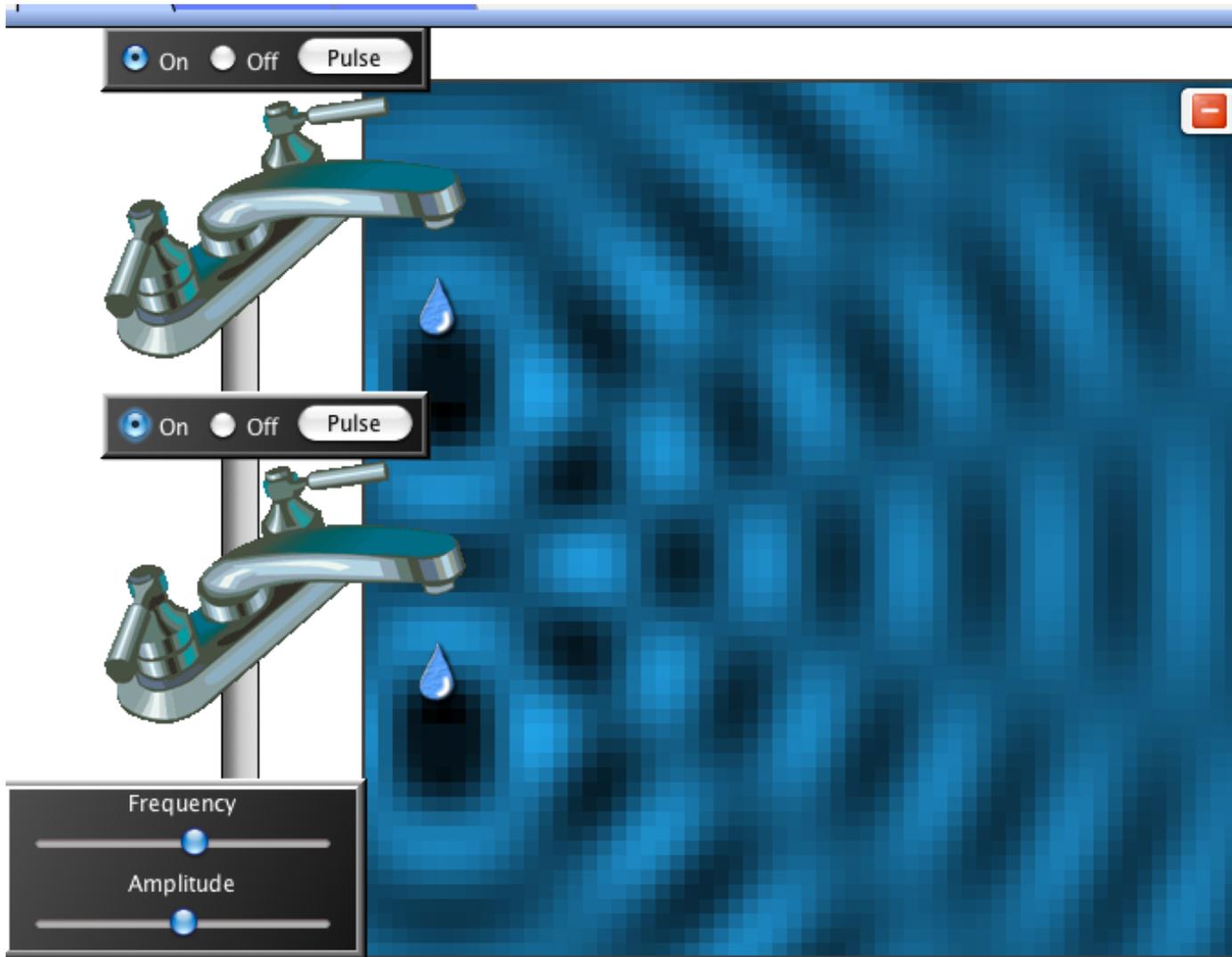
Os índices de refração dos materiais dependem da frequência (da cor) da luz.

Por isto, o ângulo de refração na entrada (e na saída) do prisma depende da cor.

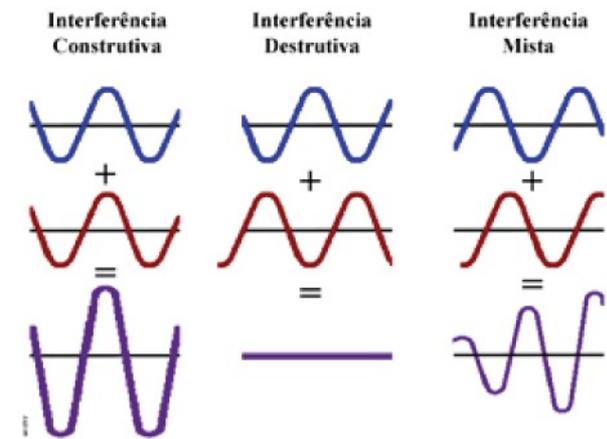
=> Luz com cores diferentes é defletida em direções diferentes ao passar pelo prisma.
A luz é separada por frequência resp. por comprimento de onda



Interferência



Quando duas ondas se sobrepõem, elas se amplificam em certos lugares (interferência construtiva), e se cancelam em outros lugares (i. destrutiva), assim criando um padrão de **interferência**.

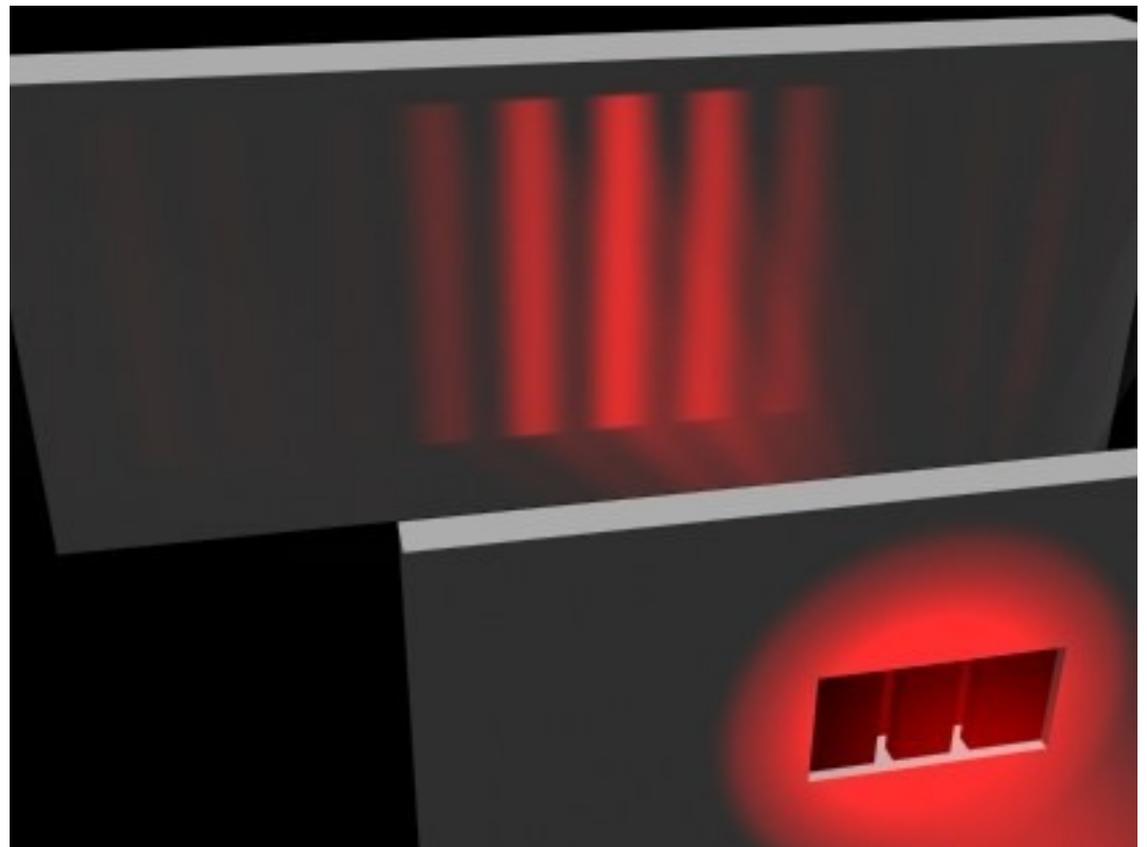
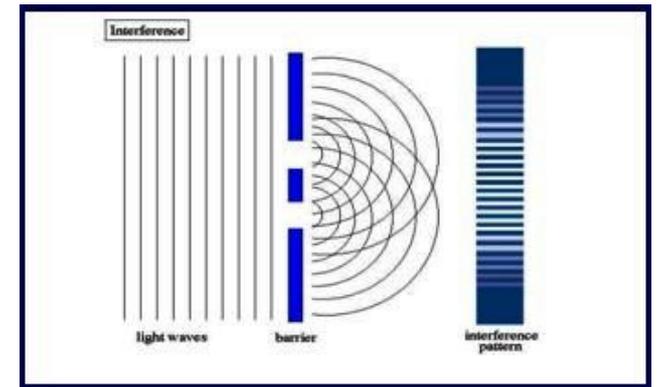


Interferência

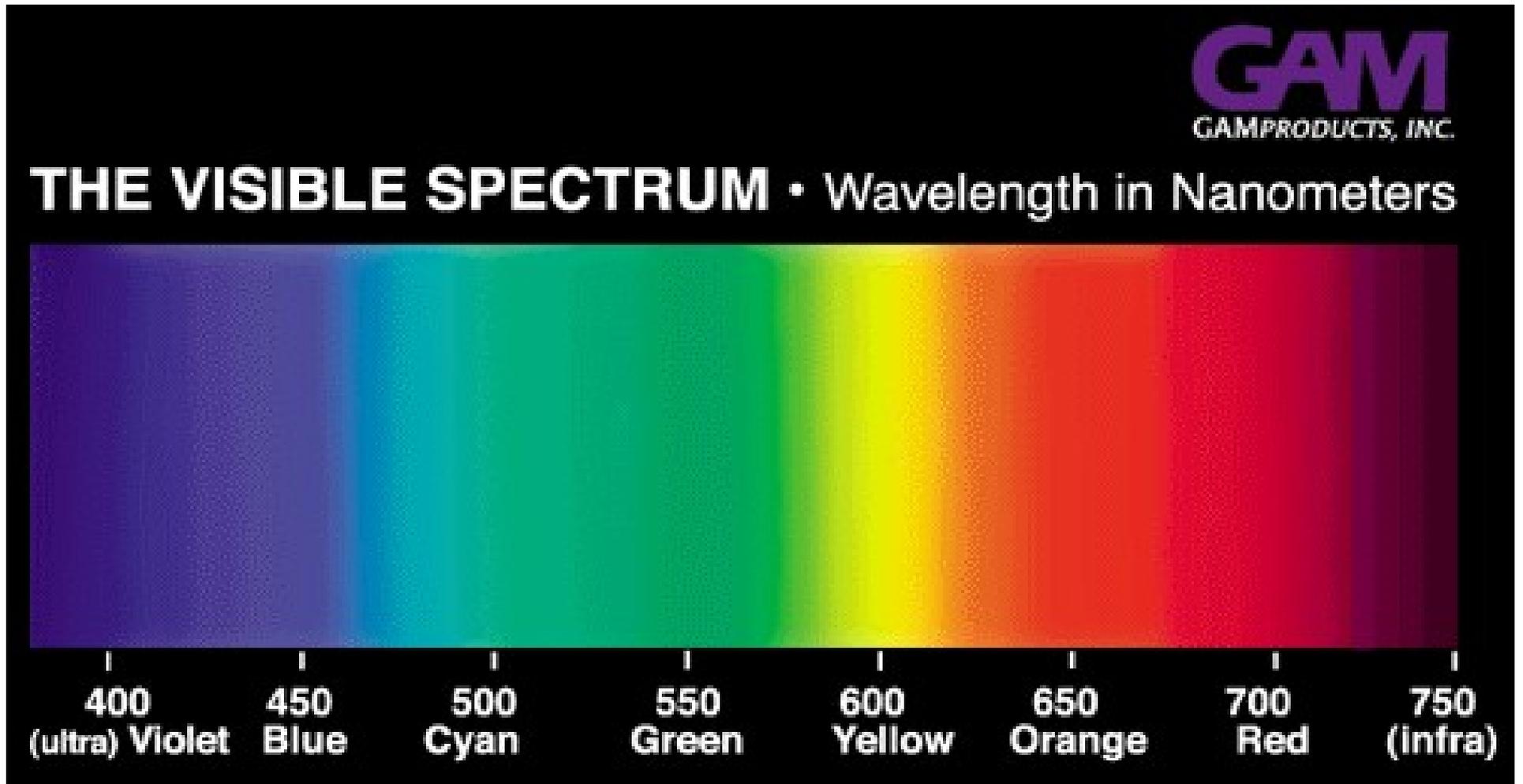
Exemplo de um padrão de interferência de duas ondas de luz numa tela.

As duas ondas são produzidas pela passagem da luz de uma única fonte por duas fendas.

Para ver o padrão de interferência, a luz tem que ser monocromática, q. d. de uma única frequência resp. cor.



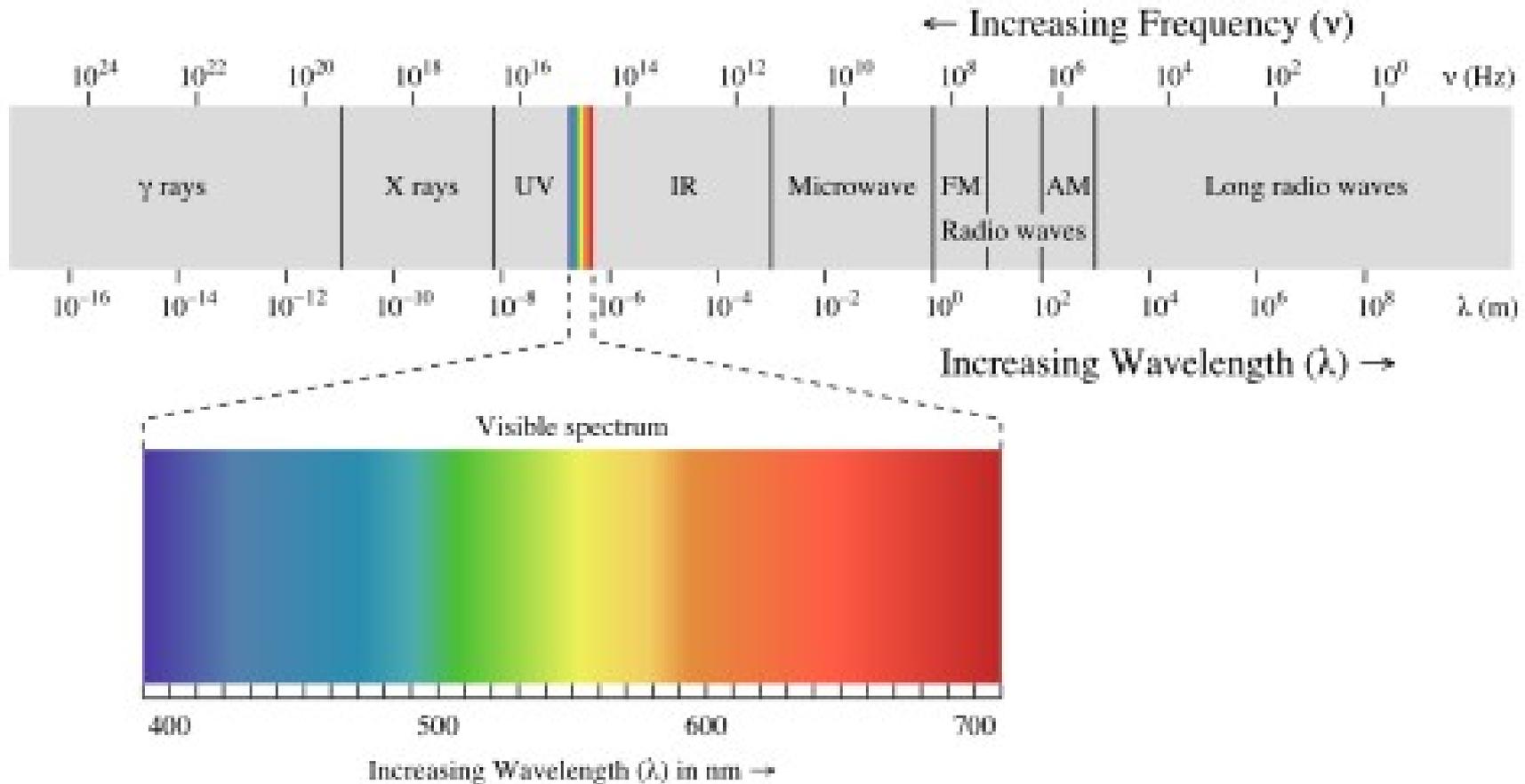
Espectro de comprimentos de onda da luz visível



Espectro de comprimentos de onda da luz visível

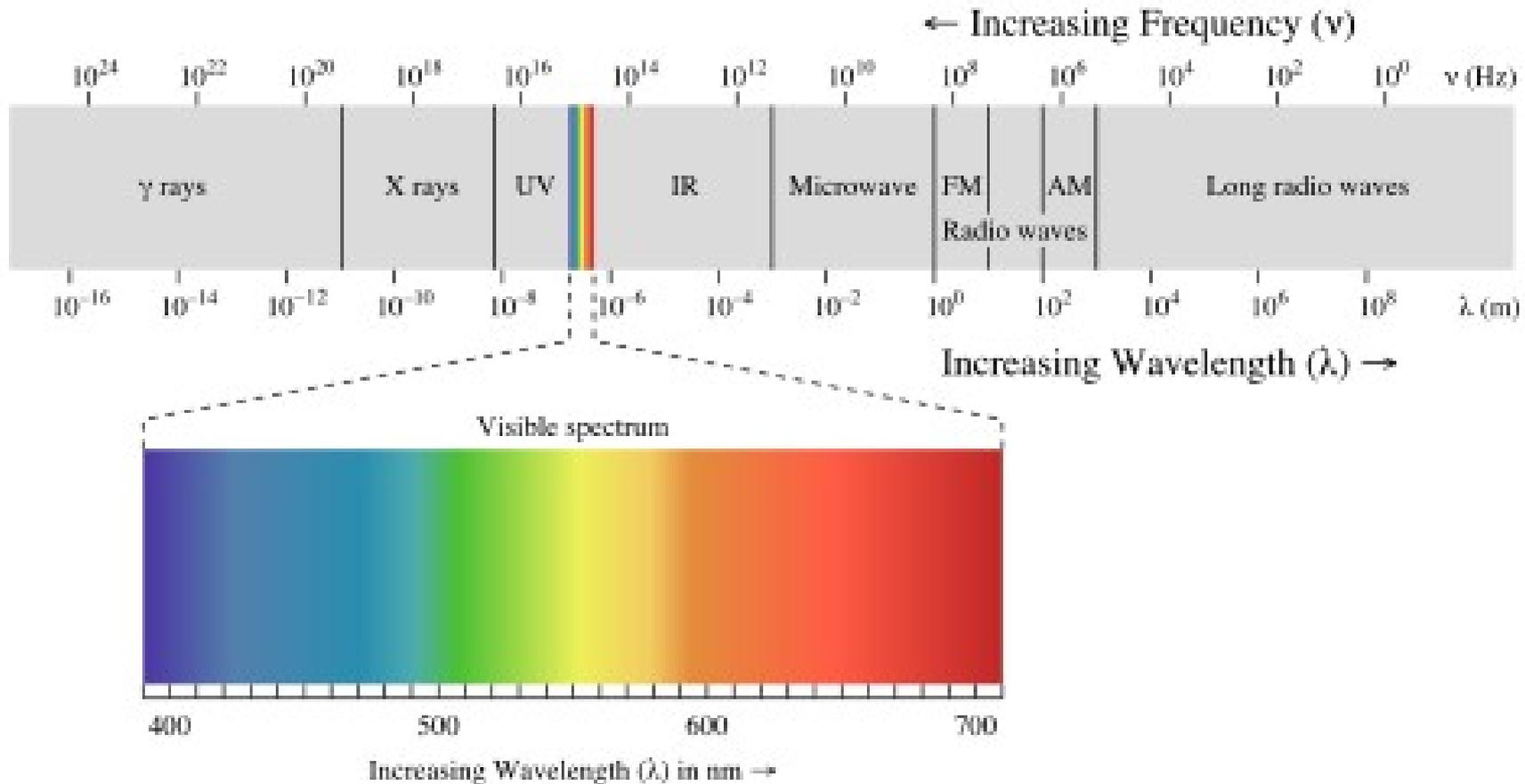
color	wavelength interval	frequency interval
red	~ 700–635 nm	~ 430–480 THz
orange	~ 635–590 nm	~ 480–510 THz
yellow	~ 590–560 nm	~ 510–540 THz
green	~ 560–490 nm	~ 540–610 THz
blue	~ 490–450 nm	~ 610–670 THz
violet	~ 450–400 nm	~ 670–750 THz

Espectro da radiação eletromagnética



Costuma-se classificar a radiação eletromagnética pelo seu comprimento de onda. Quanto maior a frequência / menor o comprimento de onda, tanto mais energética é a radiação.

Espectro da radiação eletromagnética



A luz visível ocupa somente uma porção do espectro eletromagnético. Existe radiação EM menos energética do que a luz visível: ondas rádio, micro-ondas e radiação infravermelha. Também existe radiação EM mais energética do que a luz visível: Radiação ultravioleta, raios X e raios γ .

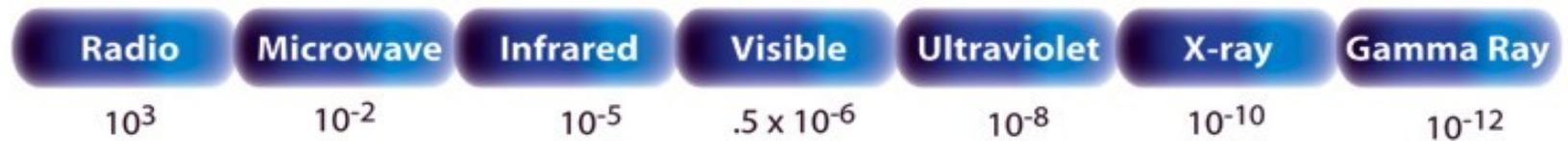
Espectro da radiação eletromagnética

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

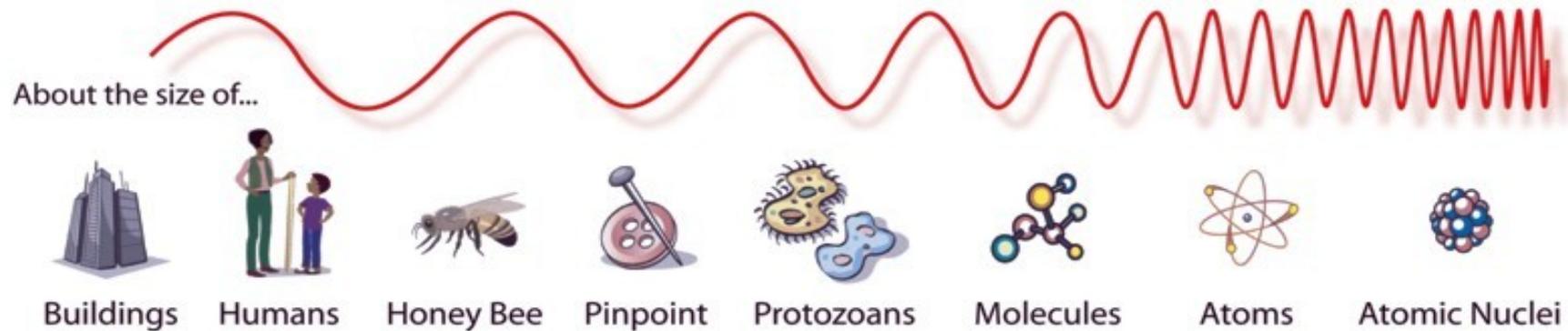
Penetrates Earth Atmosphere?



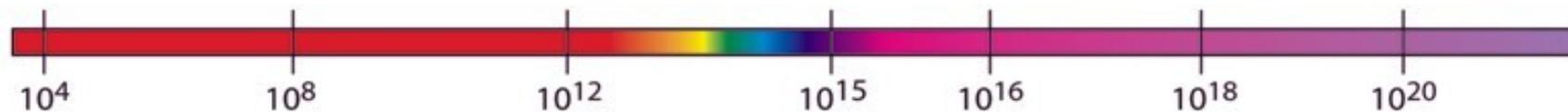
Wavelength (meters)



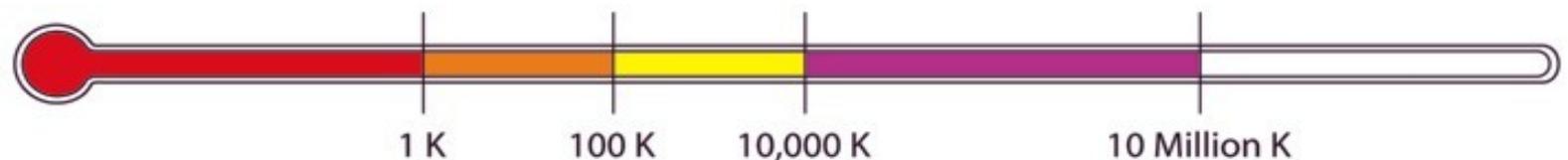
About the size of...



Frequency (Hz)



Temperature of bodies emitting the wavelength (K)



Aspectos do Espectro eletromagnético



Um homem com a mão num saco de lixo visto no ótico.

Aspectos do Espectro eletromagnético



A mesma f3to no infravermelho.

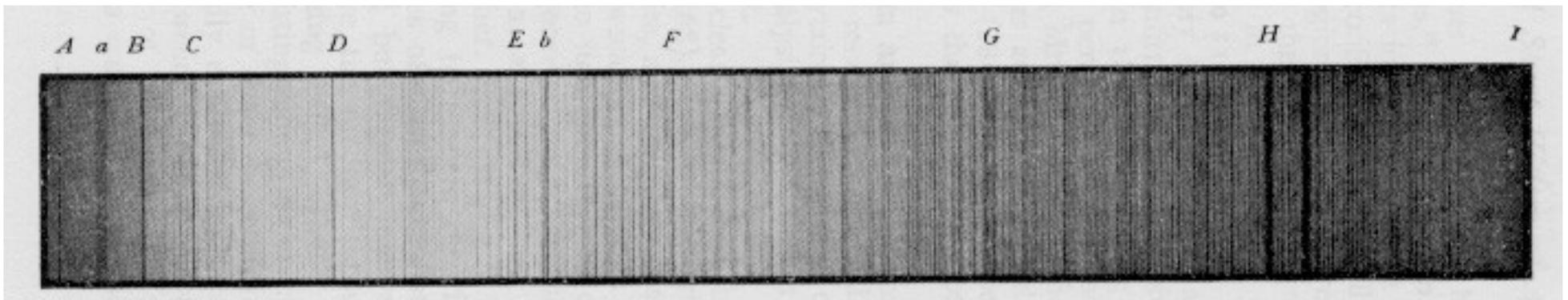
Aspectos do Espectro eletromagnético

- Materiais que são opacos para um certo comprimento de onda podem não ser para outro (saco de plástico).
- Materiais que são transparentes no espectro visível podem ser opacos em outra região do espectro (óculos)
- Seres humanos emitem radiação na região do infra-vermelho.

Linhas Espectrais

William Hyde Wollaston (1766-1828): Em 1802, observou que passando a luz por uma fenda, e depois por um prisma, apareciam algumas linhas escuras no espectro, que ele interpretou como o limite das cores.

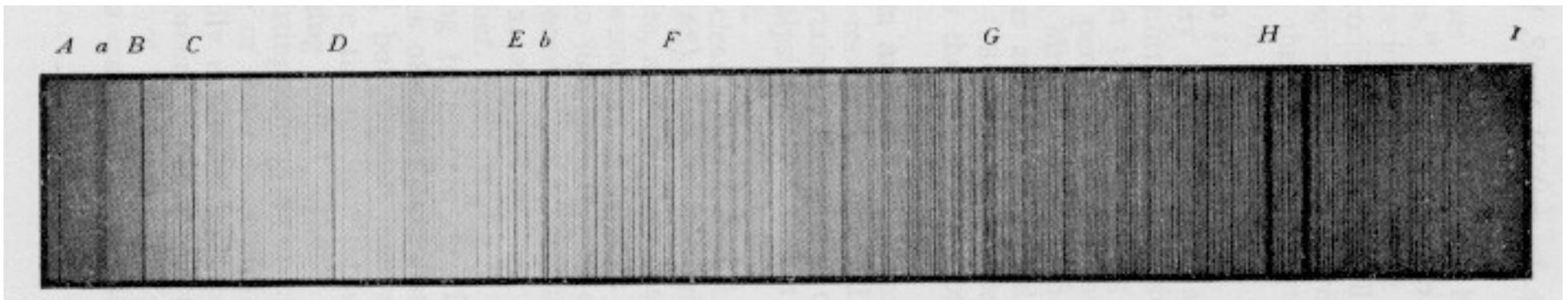
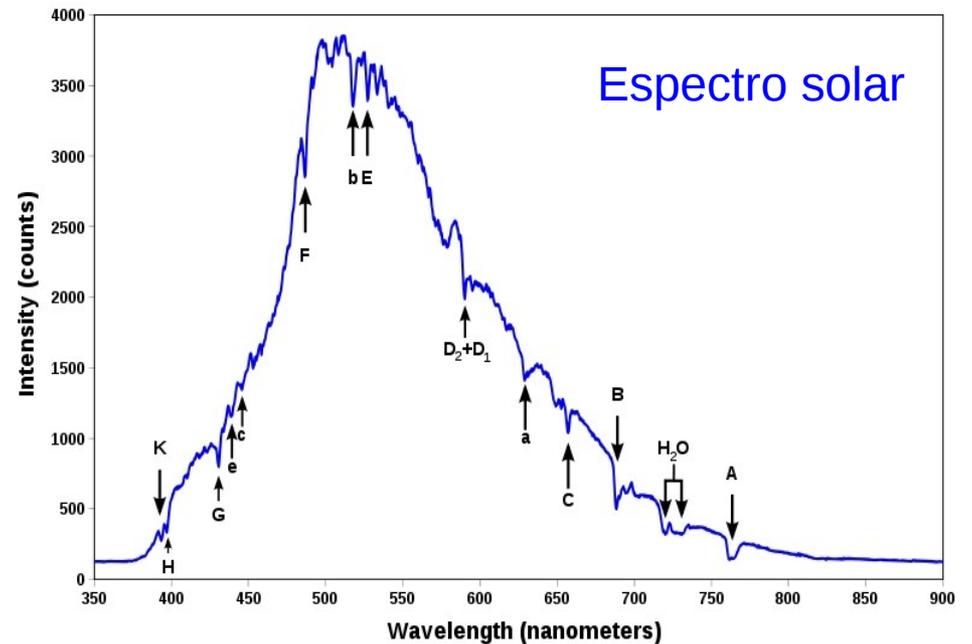
Joseph von Fraunhofer (1787-1826): Até 1826, esse fabricante de instrumentos de vidro, já havia contado 574 linhas escuras no espectro solar, chamadas depois de **linhas de Fraunhofer**.



As Linhas de Fraunhofer

Em certas frequências discretas, a luz do Sol é mais fraca do que em frequências vizinhas, devido à absorção nas camadas exteriores do Sol.

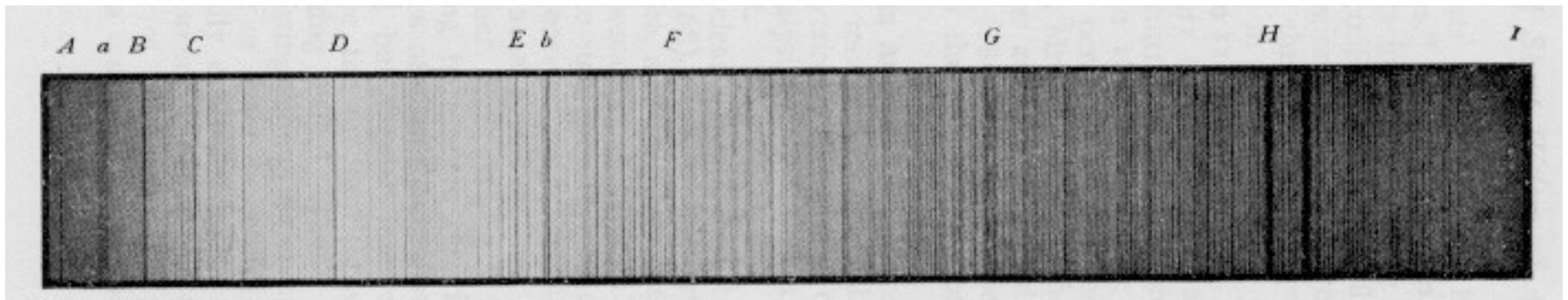
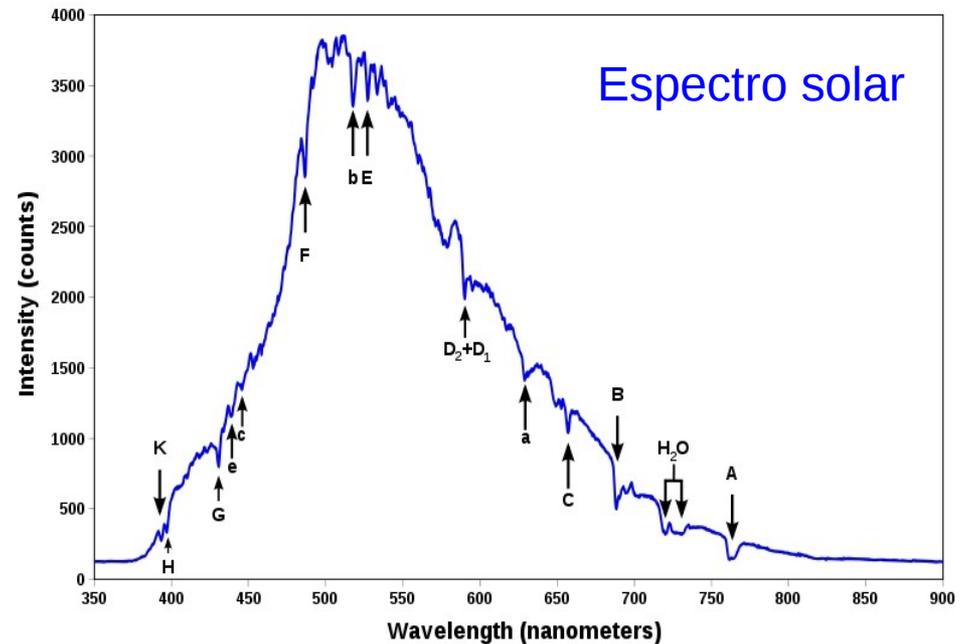
Estas linhas se chamam de **linhas de absorção**.



As Linhas de Fraunhofer

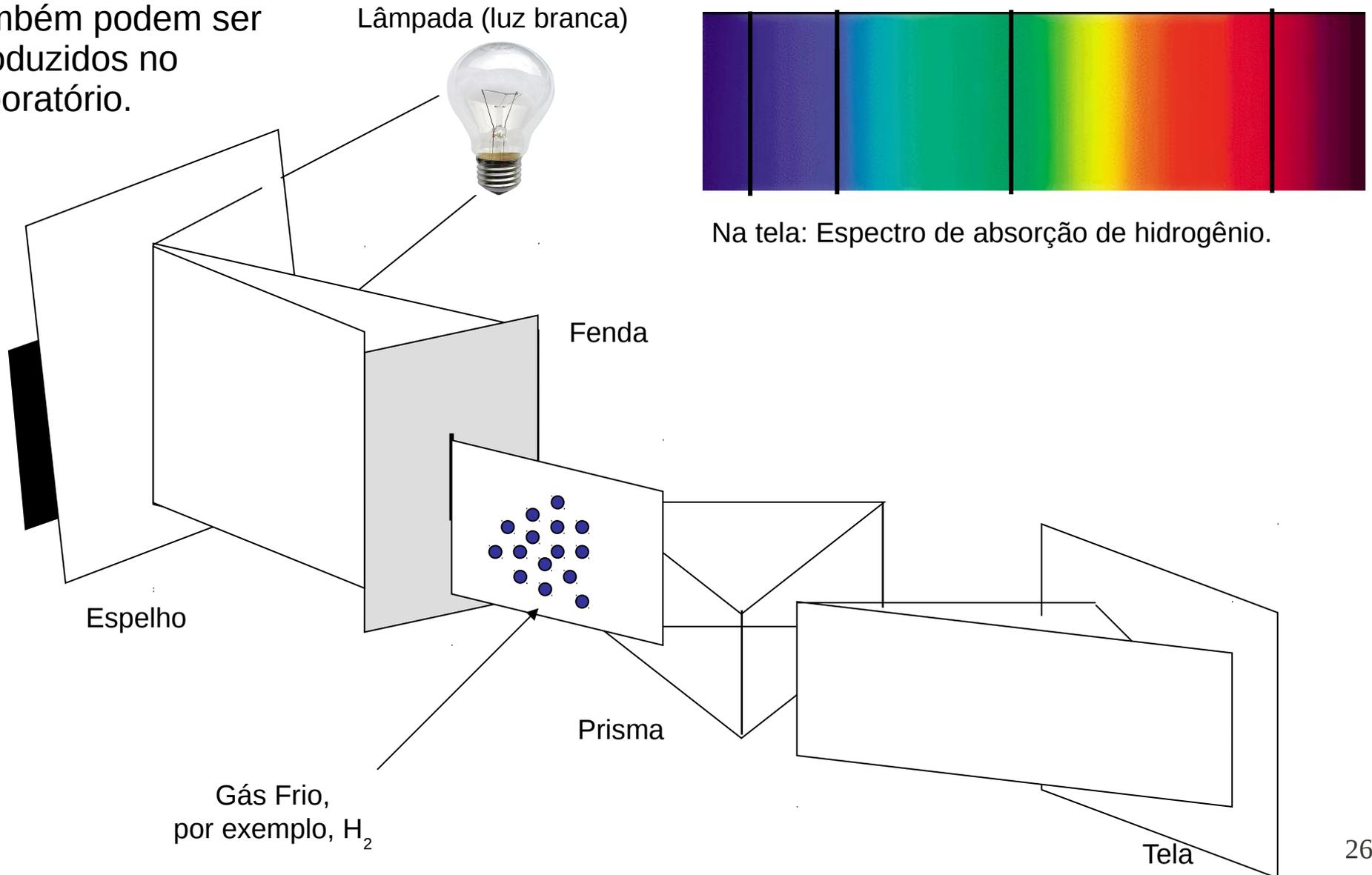
Os comprimentos de onda das linhas de absorção trazem informações sobre a composição química da atmosfera do Sol.

Cada elemento químico tem o seu próprio **espectro de linhas de absorção**.



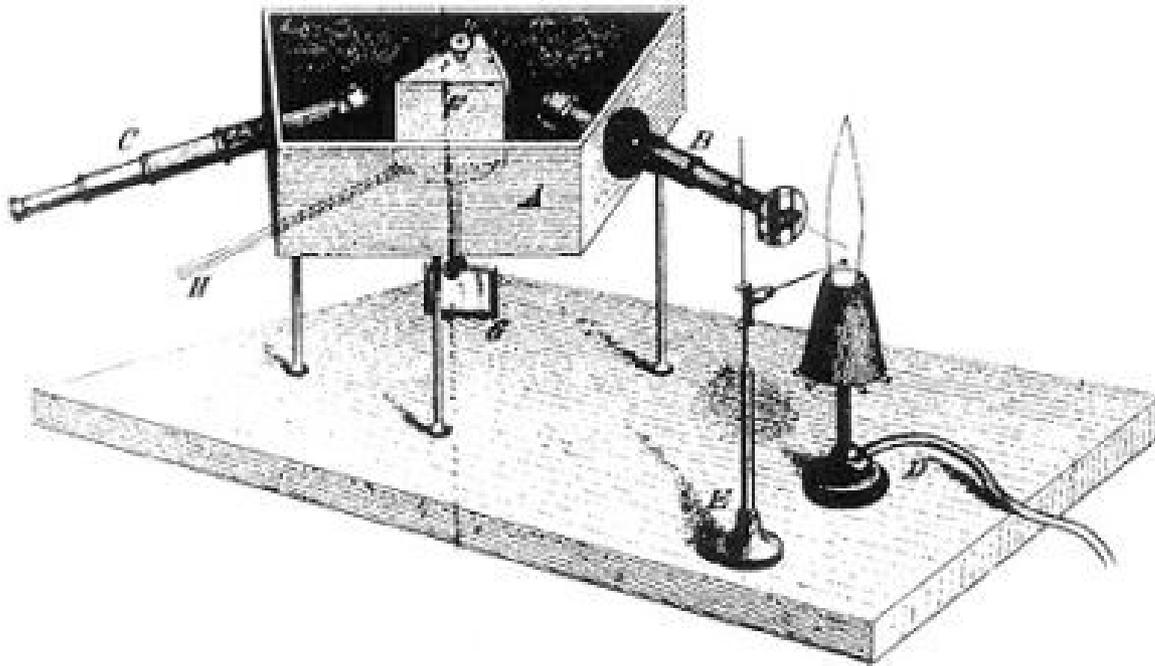
Absorção atômica

Espectros de absorção também podem ser produzidos no laboratório.



Emissão atômica

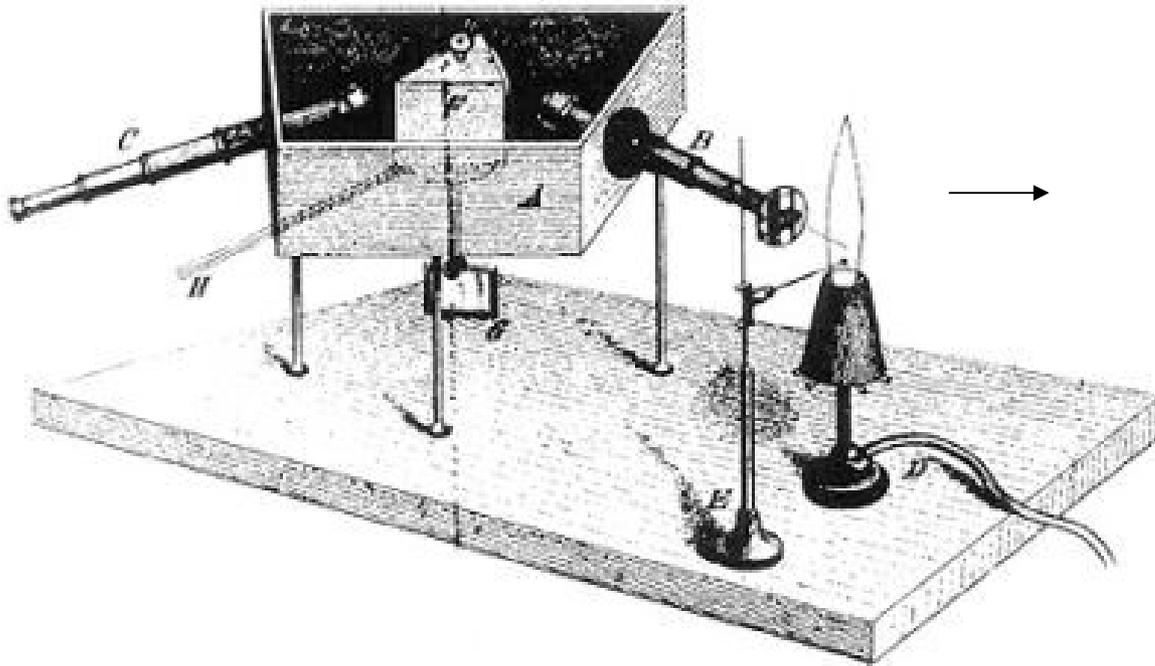
- Em 1856, Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) inventou o bico de gás (conhecido hoje como bico de Bunsen).
- Quando um elemento químico era colocado sobre a chama, a chama adquiria uma certa coloração
- Nesse mesmo ano, Gustav Robert Kirchhoff sugeriu que as cores seriam melhor identificadas se passadas através de um prisma.



Eles descobriram que os elementos químicos aquecidos irradiam apenas em certas frequências discretas, as **linhas de emissão**.

Emissão atômica

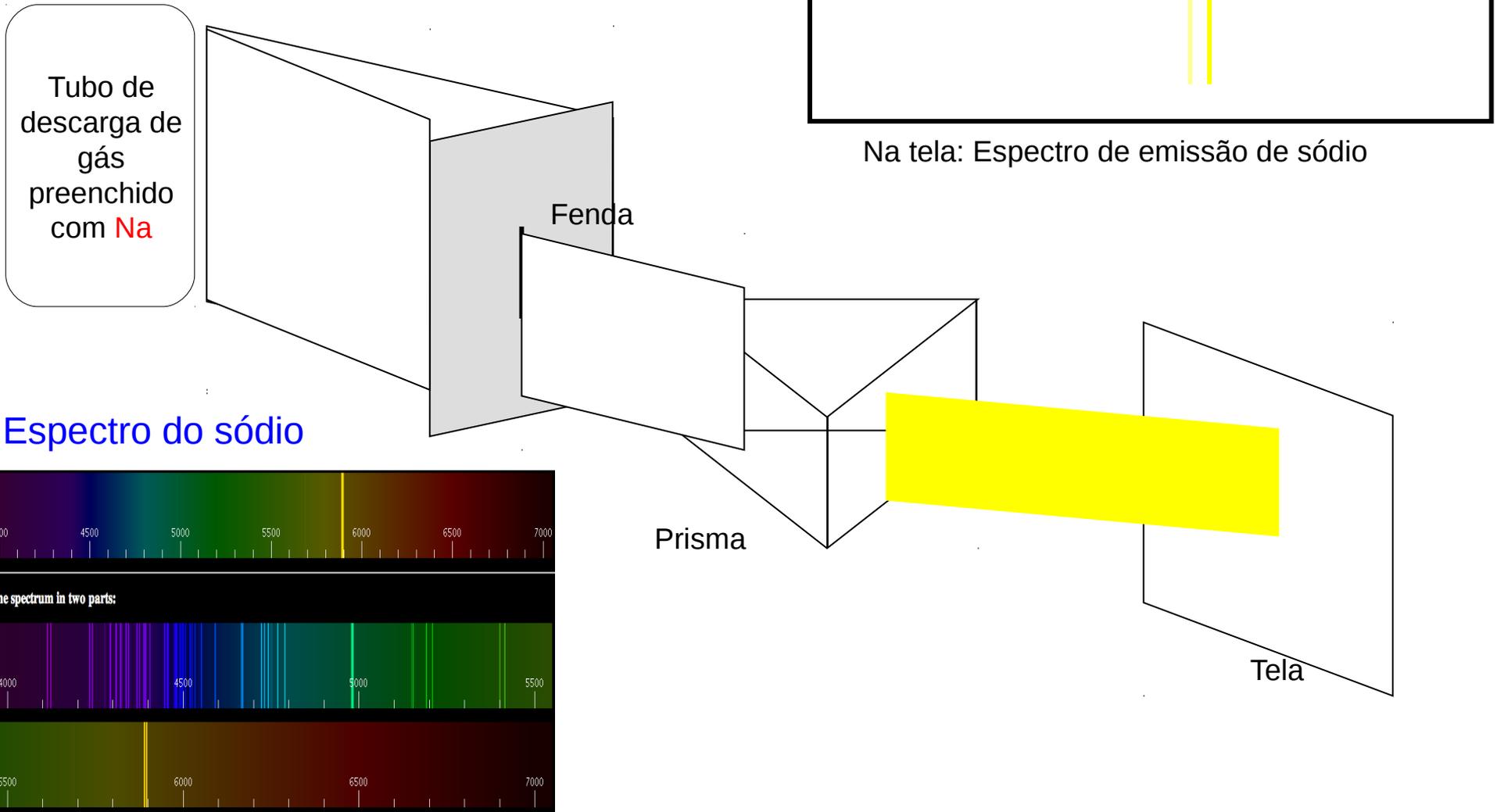
Kirchhoff e Bunsen descobrem que cada elemento apresenta uma série de linhas diferentes, ou seja, cada átomo emite radiação eletromagnética em frequências características, o seu **espectro de linhas de emissão**.



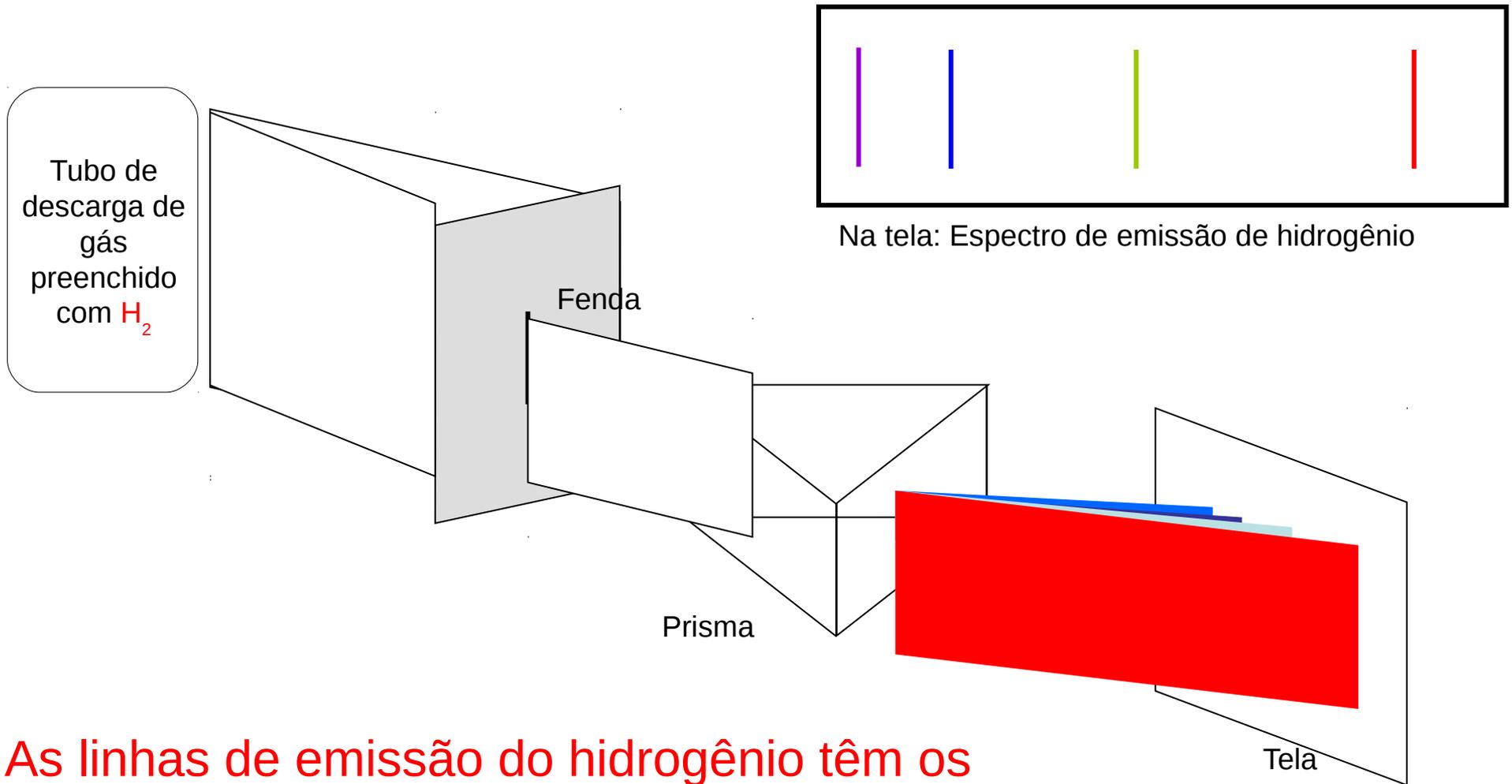
Exemplos

Oxigênio, **Vermelho**
Sódio, **Amarelo**
Hidrogênio, **Verde**
Ferro, **Azul**
Cálcio, **Violeta**

Emissão atômica



Emissão atômica



As linhas de emissão do hidrogênio têm os mesmos comprimentos de onda que as linhas de absorção do hidrogênio.

Leis de Kirchhoff

- Um corpo opaco quente, sólido, líquido ou gasoso, emite um espectro contínuo.
- Um gás transparente produz um espectro de linhas de emissão. O número e a posição das linhas depende dos elementos químicos presentes no gás.
- Se um espectro contínuo passar por um gás à temperatura mais baixa, o gás frio provoca o aparecimento de linhas escuras na tela. O número e a posição destas linhas depende também dos elementos químicos presentes no gás.

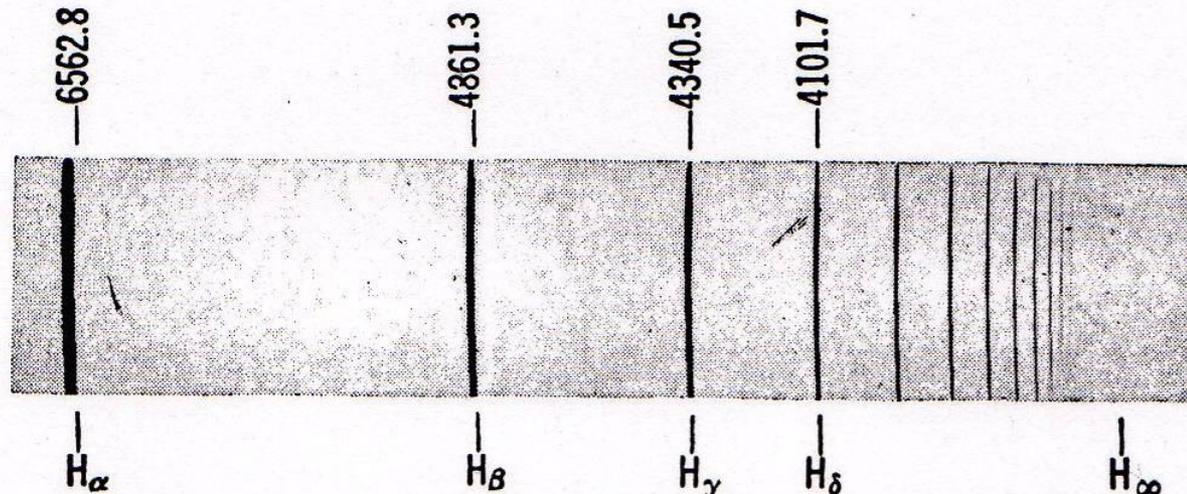
Espectroscopia

O estudo de átomos e moléculas muitas vezes é feito através da análise da radiação emitida ou absorvida pelos átomos (espectroscopia).

Emissão atômica

O espectro atômico é característico dos átomos envolvidos. Dessa forma, é razoável suspeitar que o espectro atômico depende da distribuição eletrônica do átomo.

Cientistas buscavam encontrar um padrão nos comprimentos de onda (ou frequências) das linhas atômicas no espectro do hidrogênio.

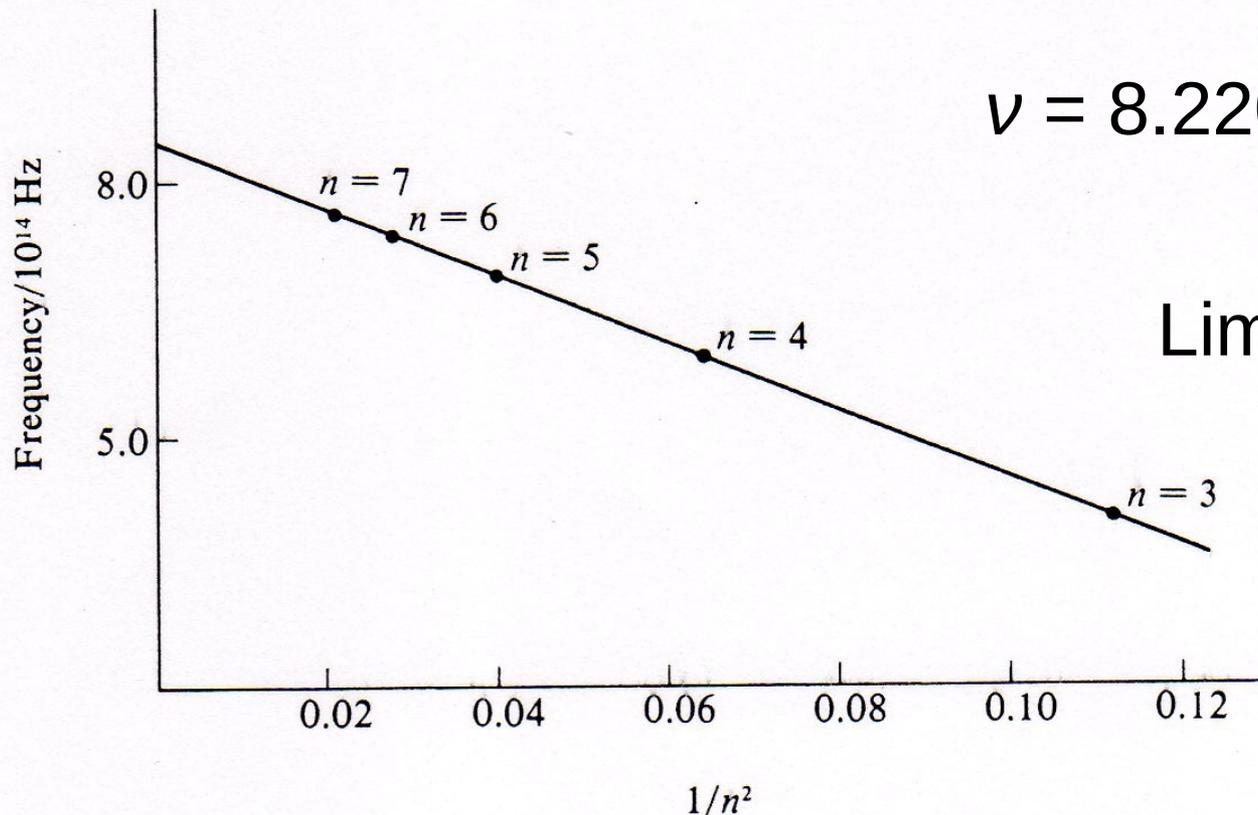


Espectro de emissão do átomo de hidrogênio na região do visível e ultravioleta próximo. A letra H_x representa a posição da radiação.

G. Herzberg, Molecular Spectra and Molecular Structure, 2ª Edição (1944).

Balmer (1885)

Mostrou que a frequência da radiação emitida pelo átomo de hidrogênio na região do visível / ultravioleta-próximo depende de $1/n^2$.



$$\nu = 8.2202 \cdot 10^{14} (1 - 4/n^2) \text{ Hz}$$

onde $n > 2$

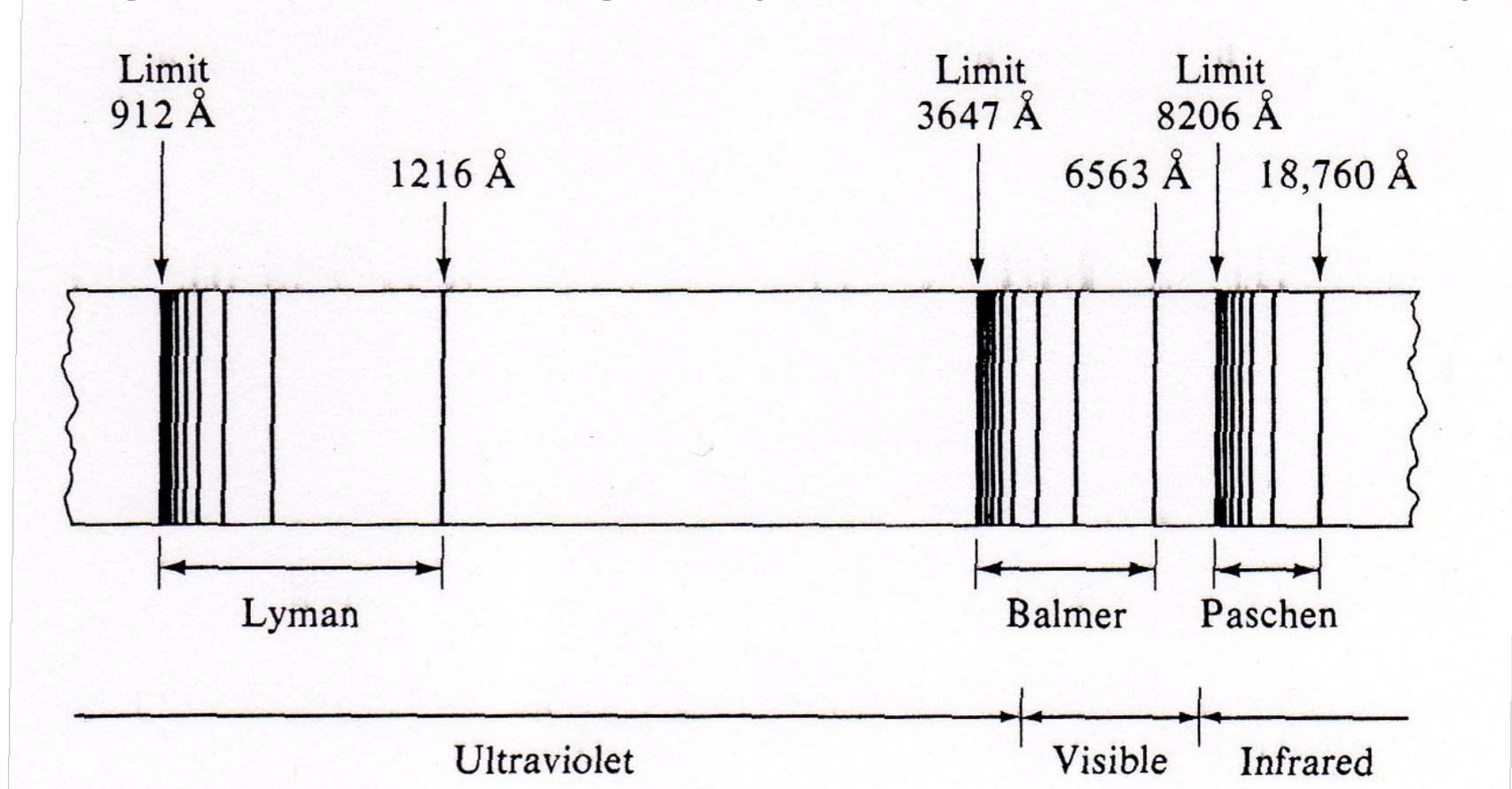
Limite da série ($n \rightarrow \infty$):

$$\nu = 8.2202 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$
$$\Rightarrow \lambda = 3647 \text{ \AA}$$

Gráfico da frequência da radiação emitida pelo átomo de hidrogênio contra $1/n^2$ ($n = 3, 4, 5, \dots$)

Séries de Lyman (1906) e Paschen (1908)

Entretanto, existem outras linhas no espectro do átomo de hidrogênio em outras regiões (Ultravioleta e Infravermelho)



Outras séries descobertas: Séries de Bracket (1922), Pfund (1924) e Humphreys (>1924).

Johannes Rydberg (1888)

Generalizou a fórmula de Balmer para levar em consideração todas as linhas observadas no espectro do hidrogênio pelos outros pesquisadores.

$$\frac{1}{\lambda_{\text{vac}}} = R_{\text{H}} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

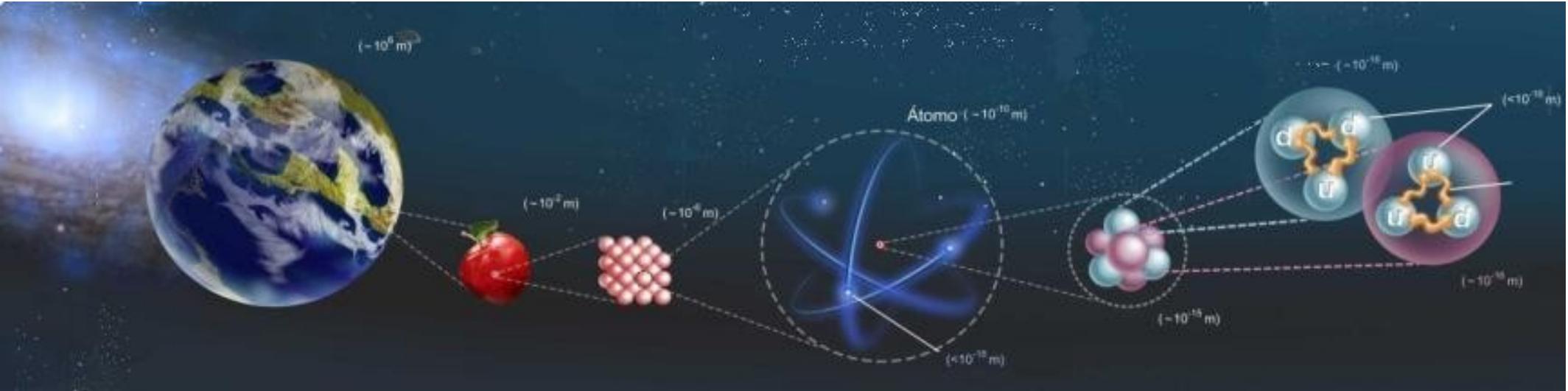
onde $n_2 > n_1$

$R_{\text{H}} = 1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$,
constante de Rydberg

Johannes Rydberg (1888)

$$\frac{1}{\lambda_{\text{vac}}} = R_{\text{H}} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad \text{onde } n_2 > n_1$$

Nome	n_1	n_2	Região do espectro eletromagnético
Lyman	1	2, 3, 4, ...	Ultravioleta
Balmer	2	3, 4, 5, ...	Visível
Paschen	3	4, 5, 6, ...	Infravermelho
Bracket	4	5, 6, 7, ...	Infravermelho
Pfund	5	6, 7, 8, ...	Infravermelho
Humphreys	6	7, 8, 9, ...	Infravermelho



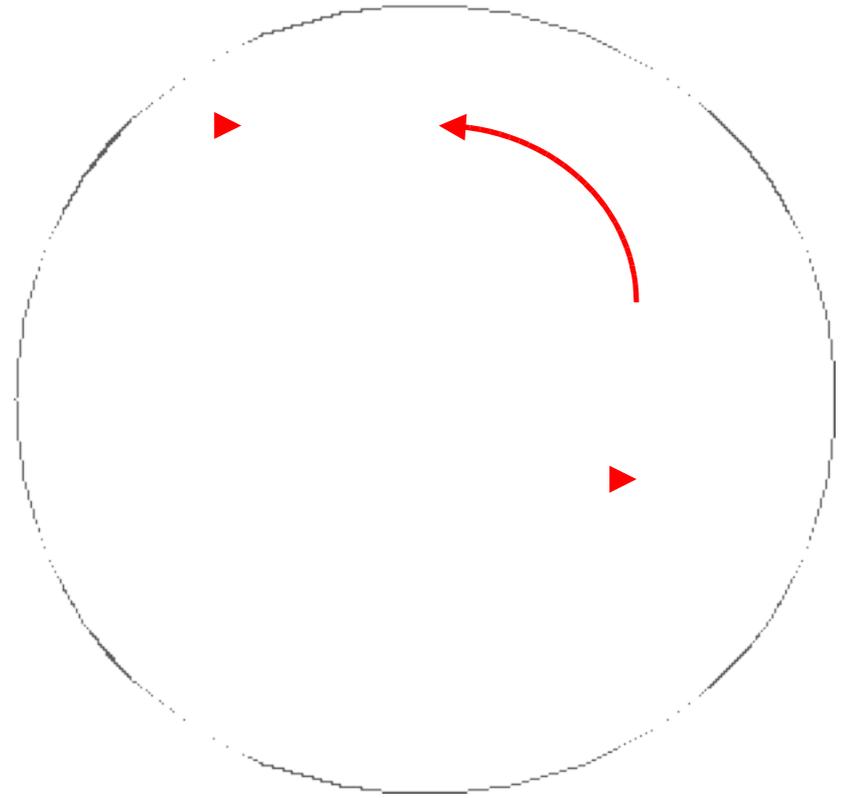
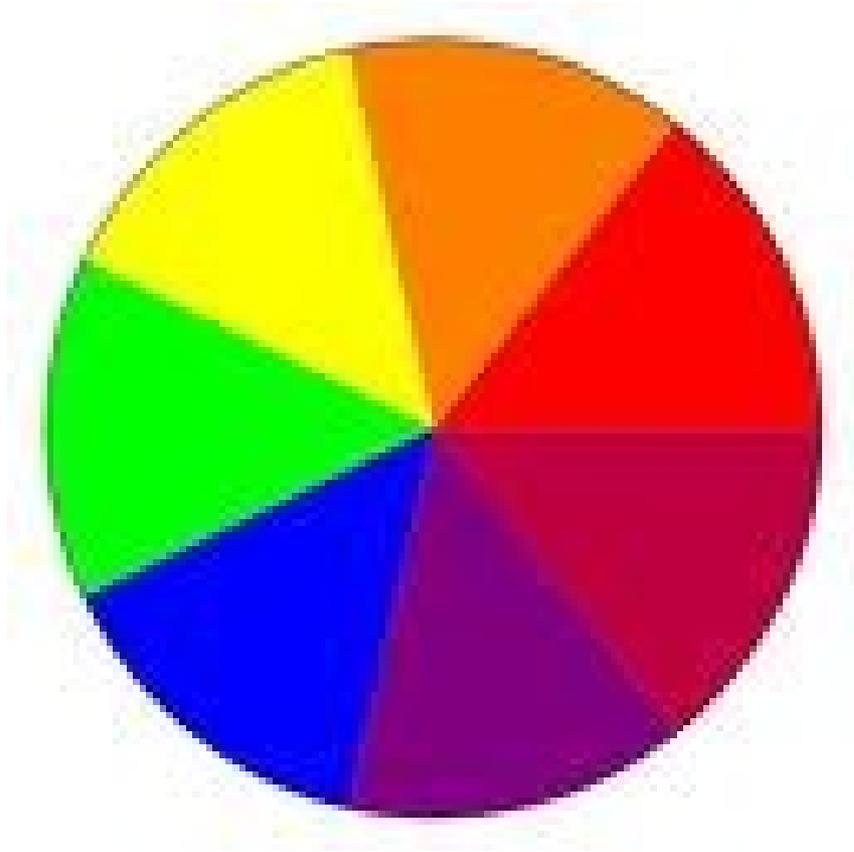
Universidade Federal do ABC

Estrutura da Matéria

FIM pra hoje

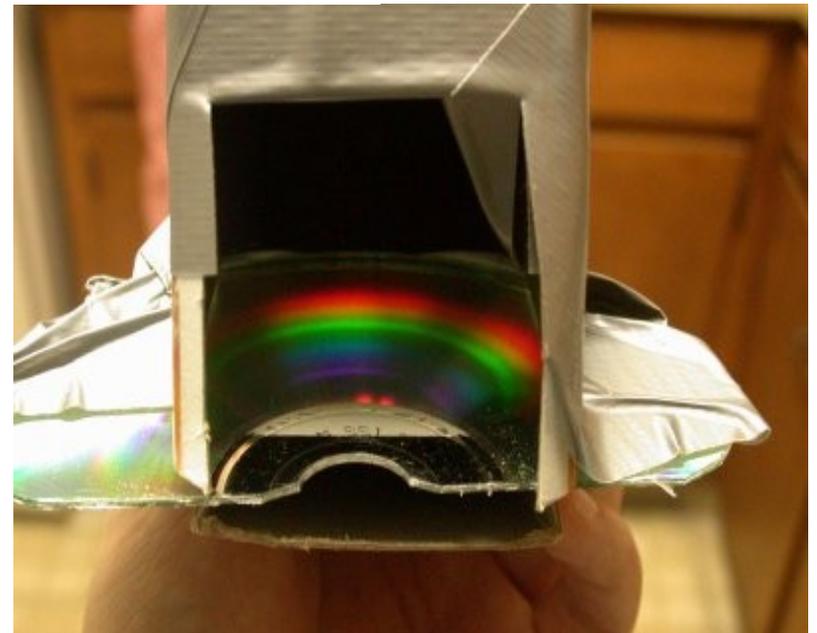
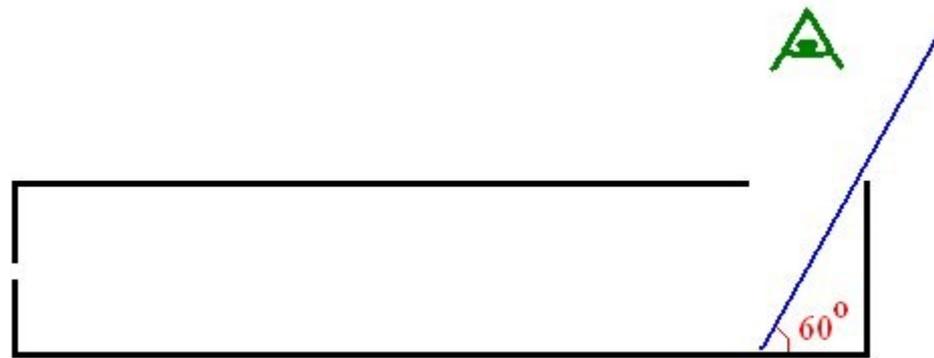
<https://sites.google.com/site/estruturabc0102/>

Disco de Newton



<http://www.youtube.com/watch?v=b3NXsgjPSQo>

Espectrômetro caseiro

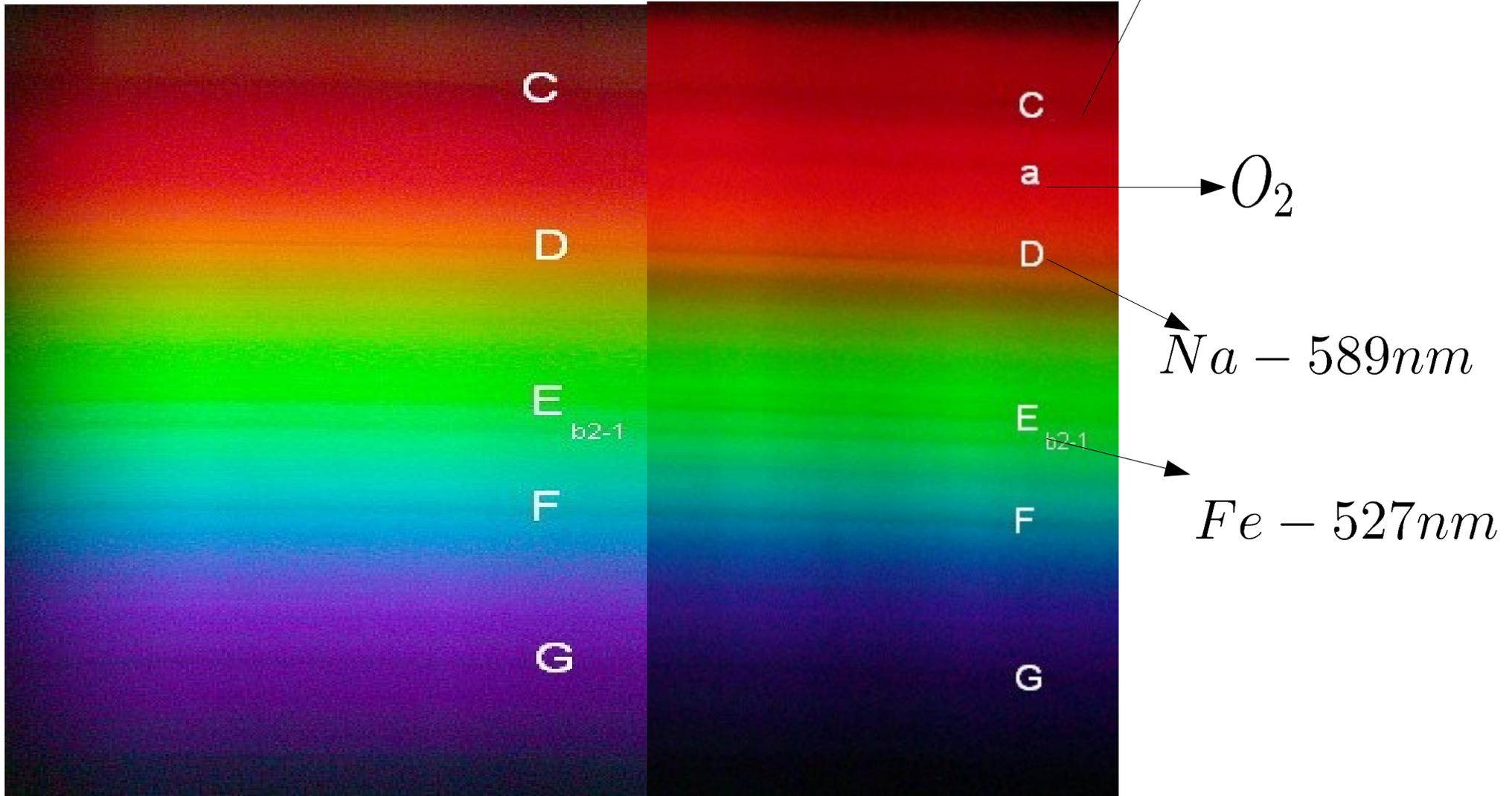


<http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html>

Espectrômetro caseiro

Sol alto

Sol baixo



Espectro contínuo da luz solar – linhas escuras são as linhas de Fraunhofer
<http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html>

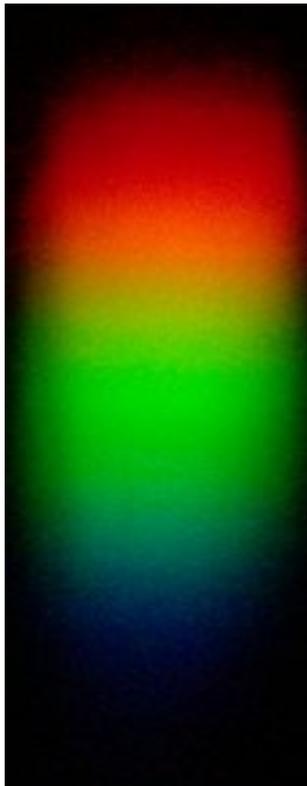
Espectrômetro caseiro



Lampada de Halogenio

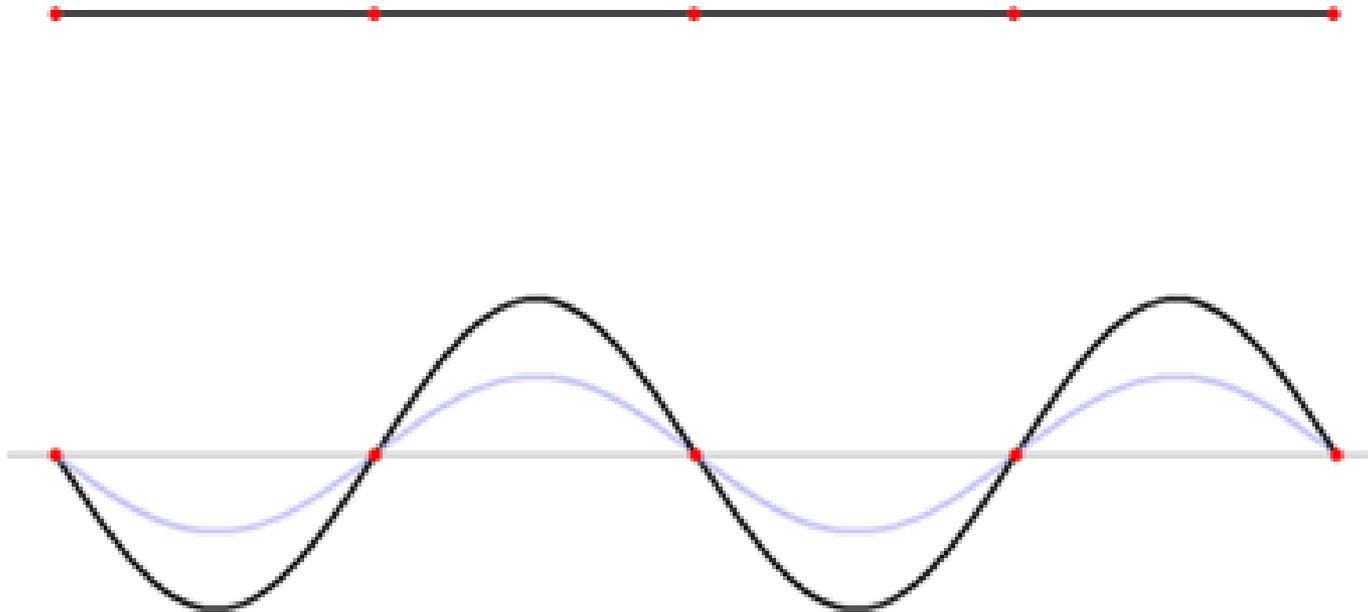


Espectrômetro caseiro

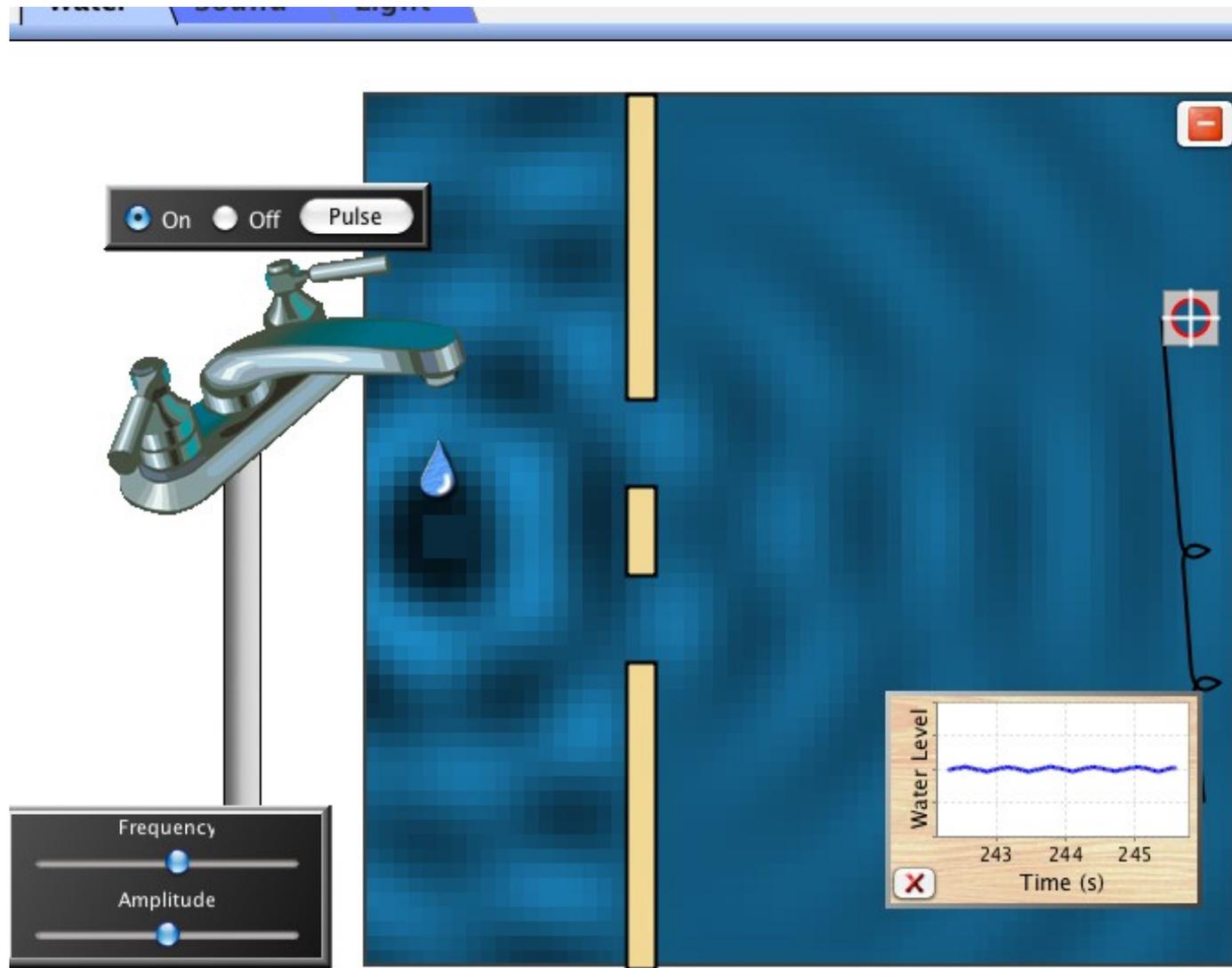


Na -589nm

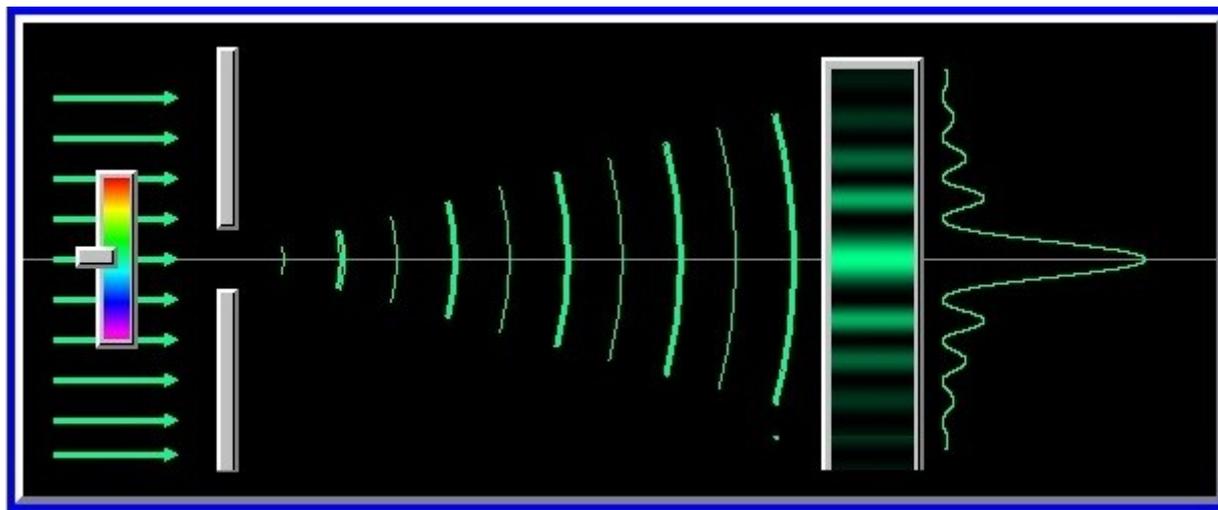
Ondas estacionárias



A difração

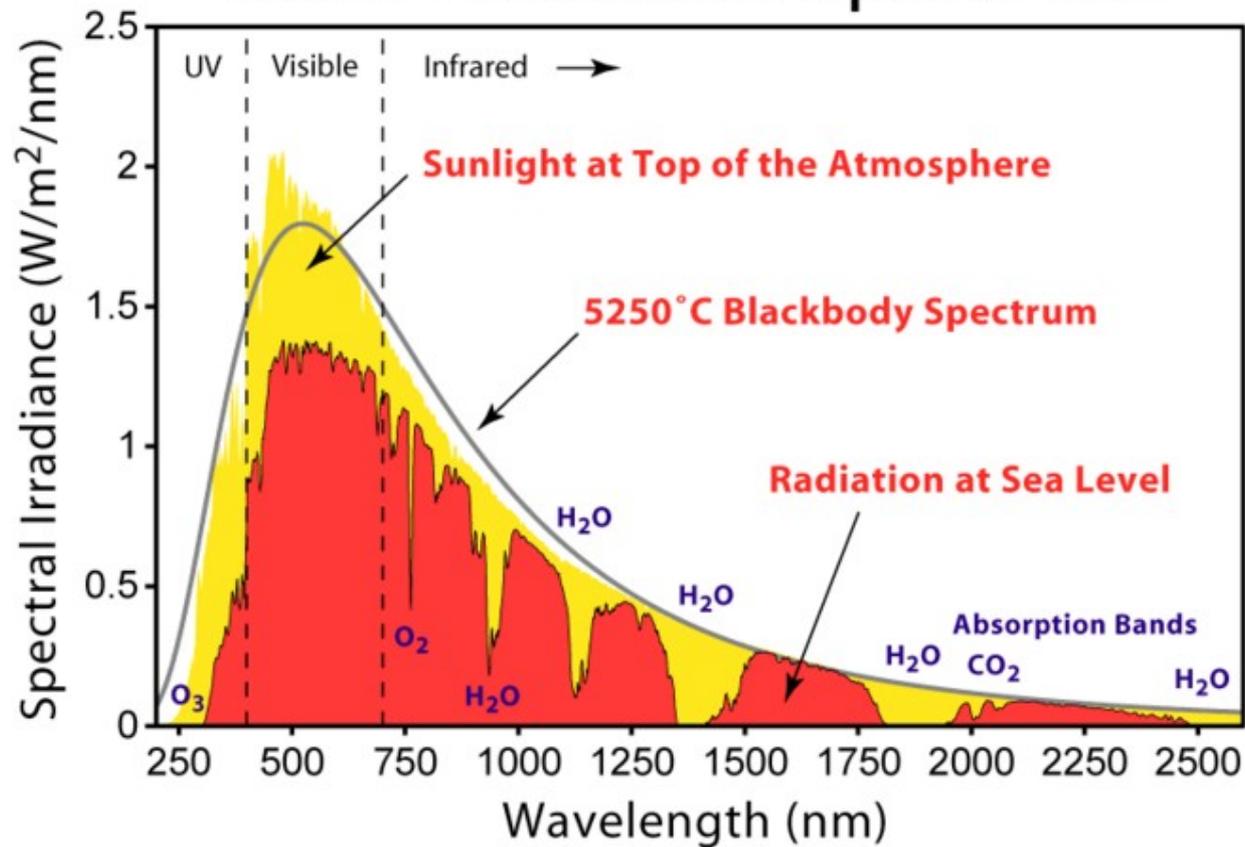


A difração

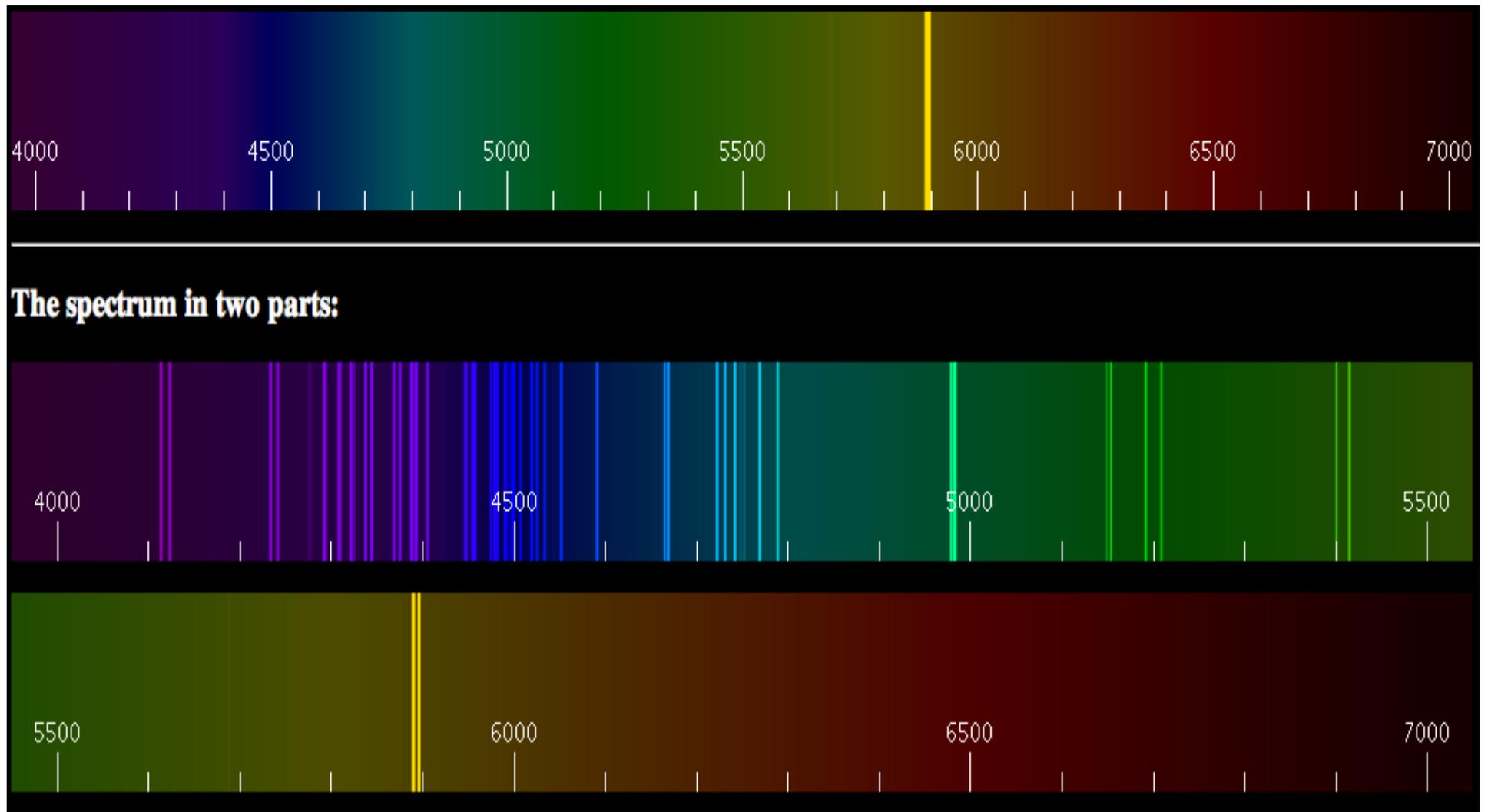


Espectro solar

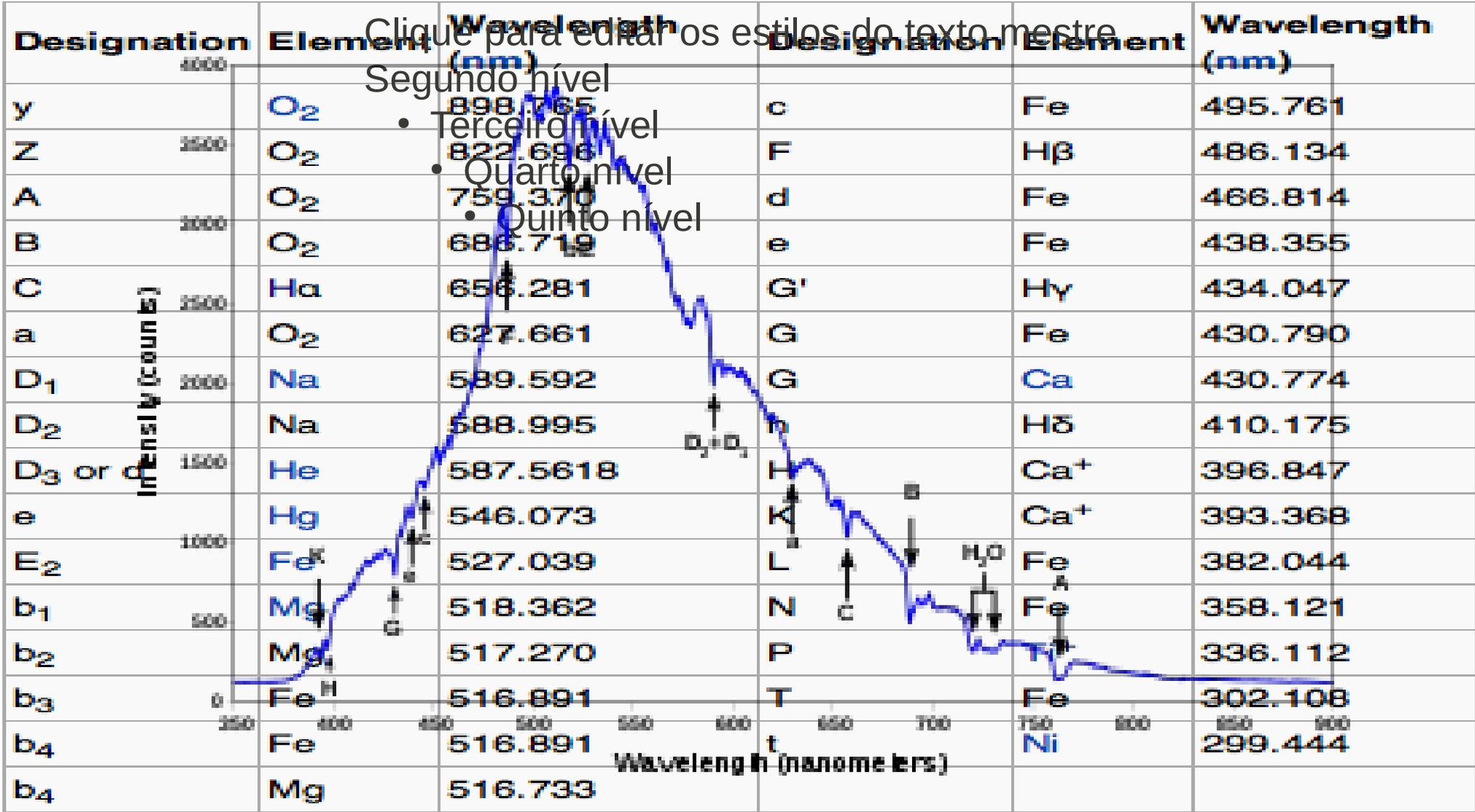
Solar Radiation Spectrum



Espectro do sódio



As Linhas de Fraunhofer



Fórmulas quebradas

$$\nu = 8,2202 \times 10^{14} \left(1 - \frac{4}{n^2} \right) \text{Hz}$$

$$\nu = \frac{1}{\lambda} = 109680 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{\nu^2} \right) \chi \mu^{-1} \quad \nu = \frac{1}{\lambda} = P_H \left(\frac{1}{\nu_1^2} - \frac{1}{\nu_2^2} \right) \chi \mu^{-1}$$

$$\nu = \frac{1}{\lambda} = 109680 \left(\frac{1}{2^2} \right) \chi \mu^{-1} = 2,742 \chi \mu^{-1}$$

$$\lambda = 3647$$

$$\nu = \frac{1}{\lambda} = 109680 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{\nu^2} \right) \chi \mu^{-1}$$