

Universidade de São Paulo

Instituto de Física

Física Aplicada

Aula 09

Profa. Márcia de Almeida Rizzutto

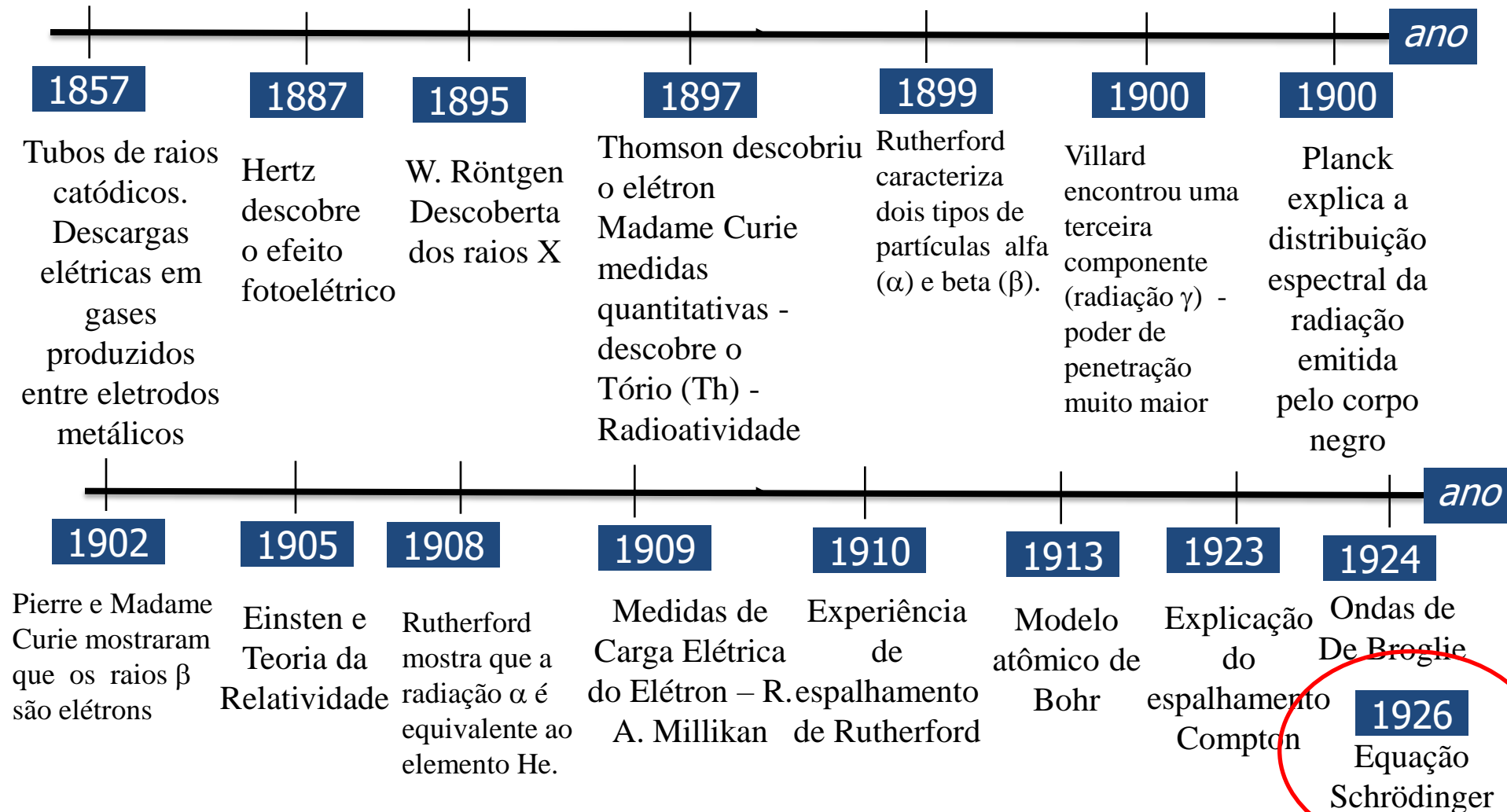
Edifício Oscar Sala – sala 220

rizzutto@if.usp.br

1º Semestre de 2019

Física Clássica x Moderna

Evidências experimentais que sugeriram a divisibilidade do átomo - existência de uma subestrutura (no entanto só compreendido no século XX)



Física Moderna: Modelo atômico

PERGUNTA: COMO É O ÁTOMO?

**QUAL O MELHOR MODELO QUE
O DESCREVE ?**

- ❑ Para entendê-lo necessitamos olhar os espectros atômicos.
- ❑ Sabemos que a radiação térmica emitida pelos corpos aquecidos (radiação de corpos negro) **É CONTÍNUA**



❑ O espectro de emissão de átomos é discreta



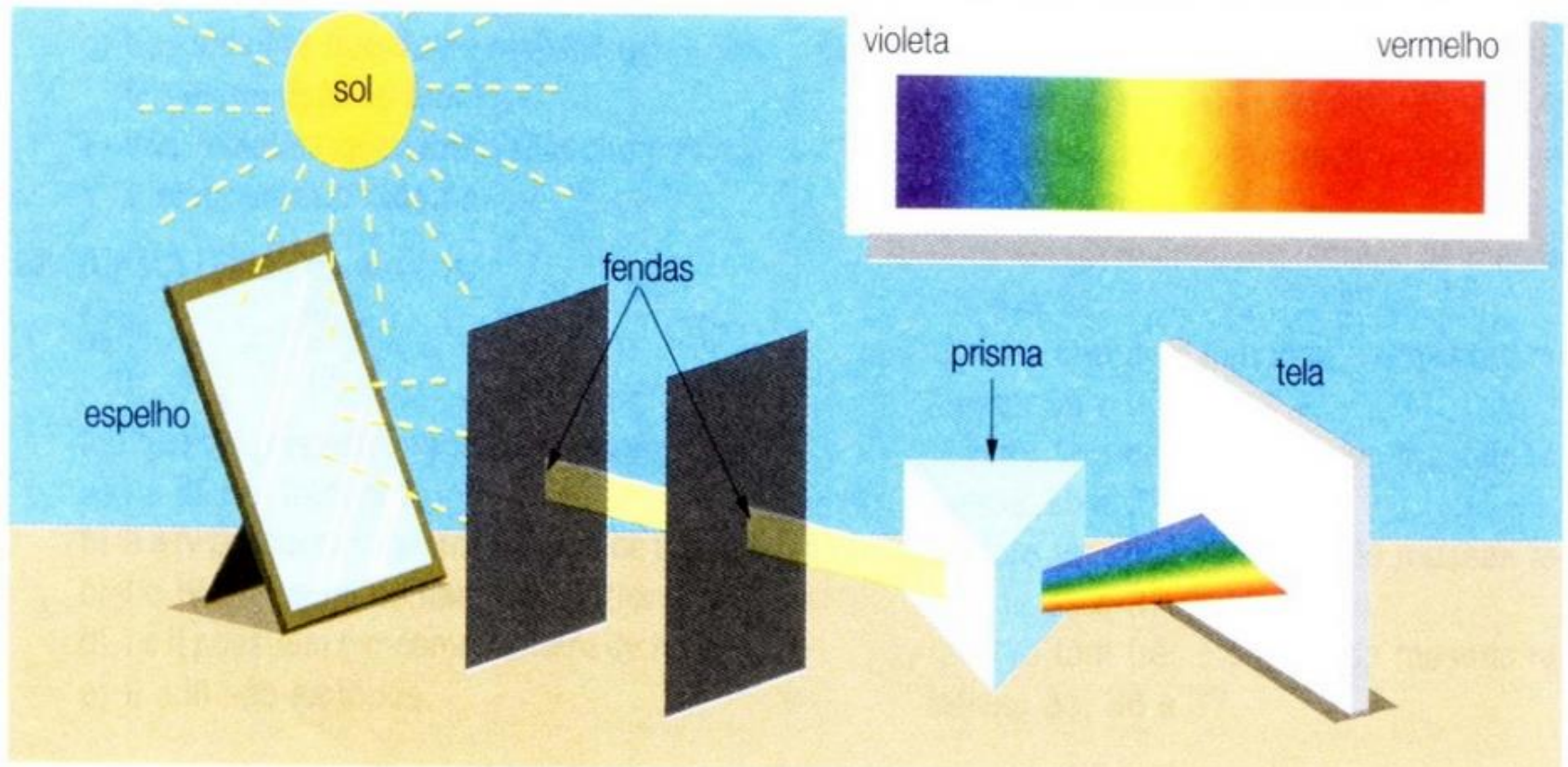
❑ Apenas alguns comprimentos de onda estão presentes



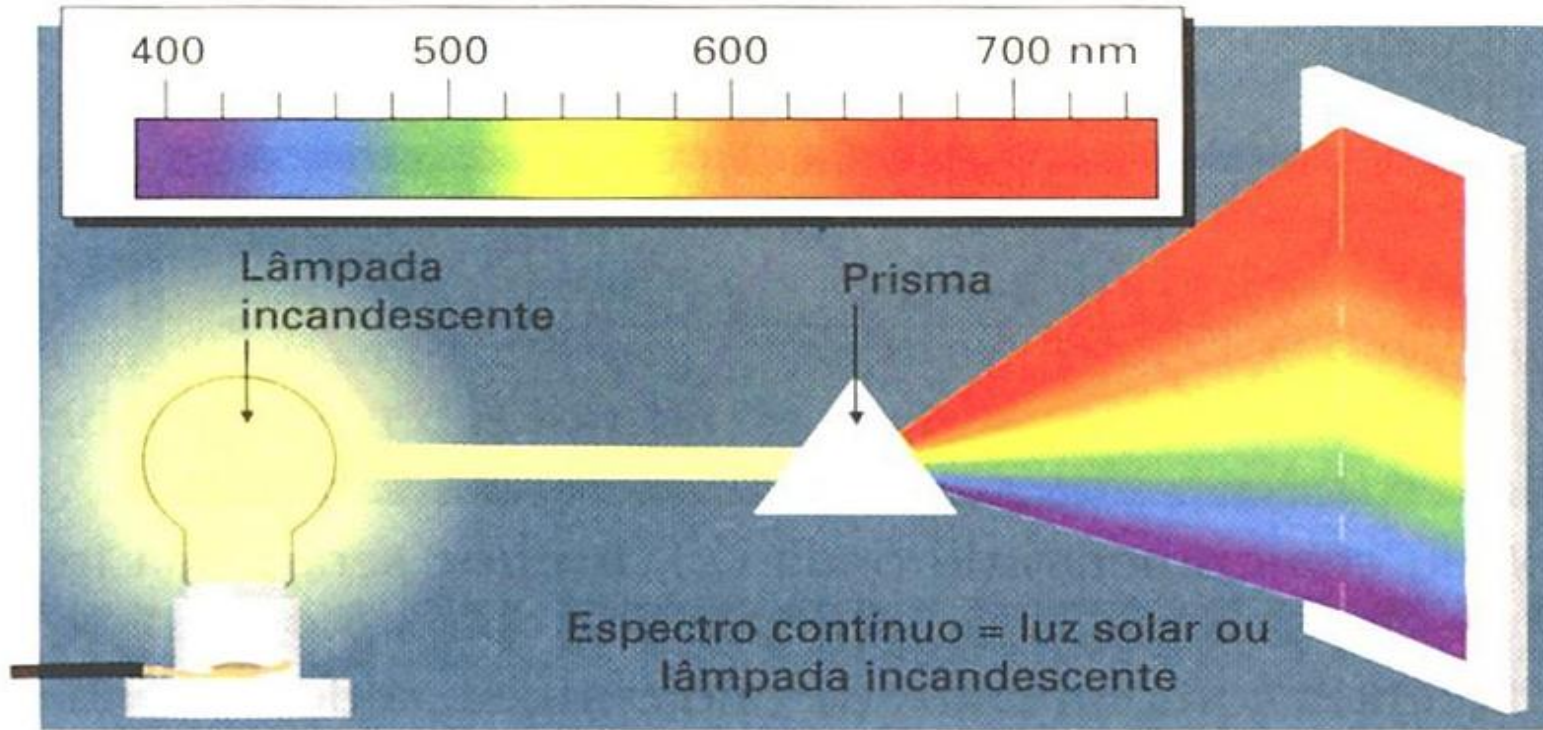
Onde vejo isto?

Espectros Contínuos

- Século XVII - **Isaac Newton** - quando a luz solar atravessa um prisma, ocorre a dispersão dos componentes da luz - **espectro contínuo**.



Espectros Contínuos



<http://slideplayer.com.br/slide/1772561/>

Os espectros de emissão dos elementos e compostos químicos podem ser divididos em três categorias:

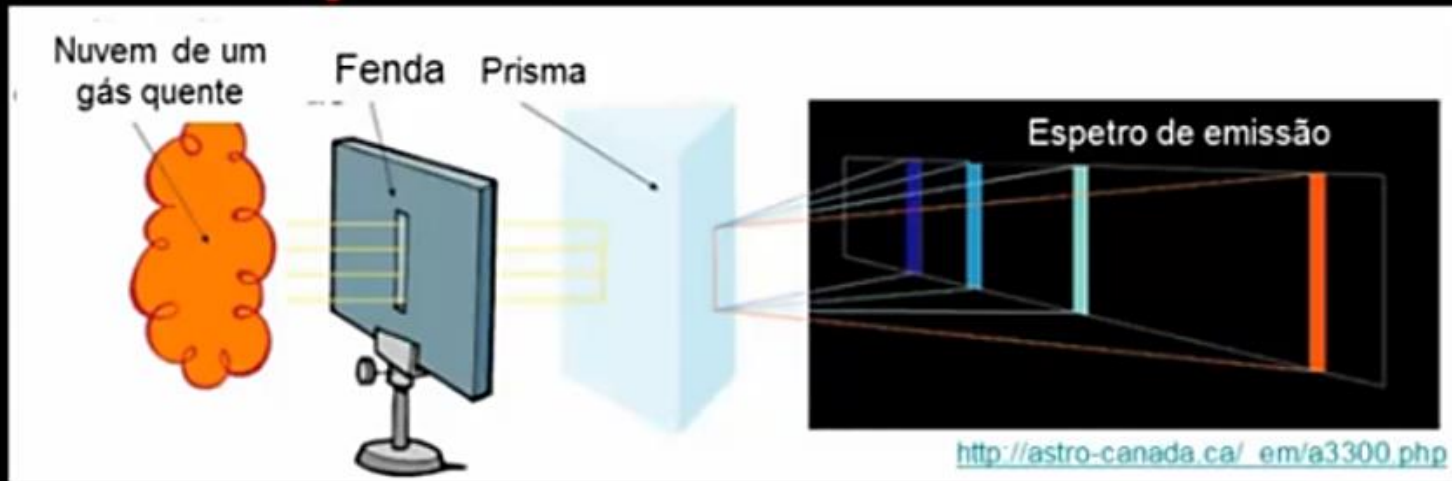
- Espectros contínuos
- Espectros de Bandas
- Espectros de Linhas

Espectros Discretos

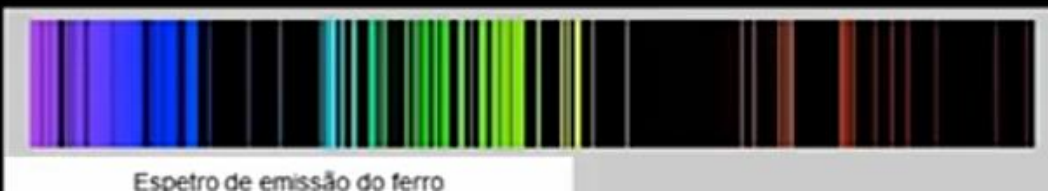
Em 1855: Bunsen descobriu que um composto quando submetido à ação de uma chama, **emite luz com cores características para cada elemento químico.**



Espectros Discretos (emissão)

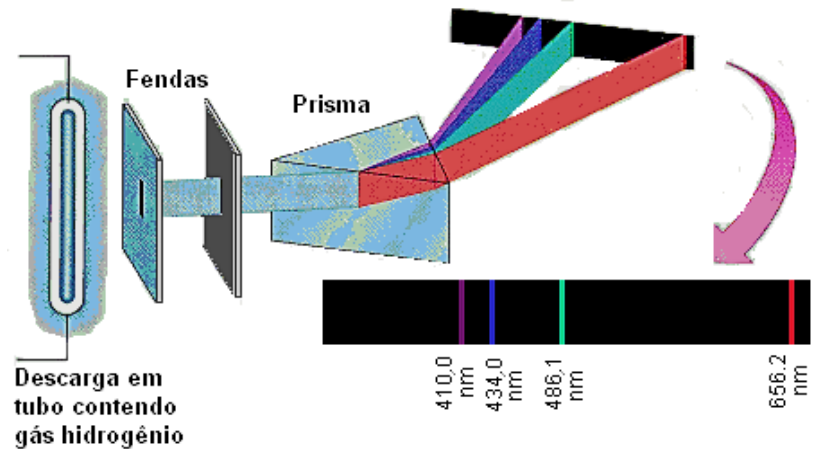
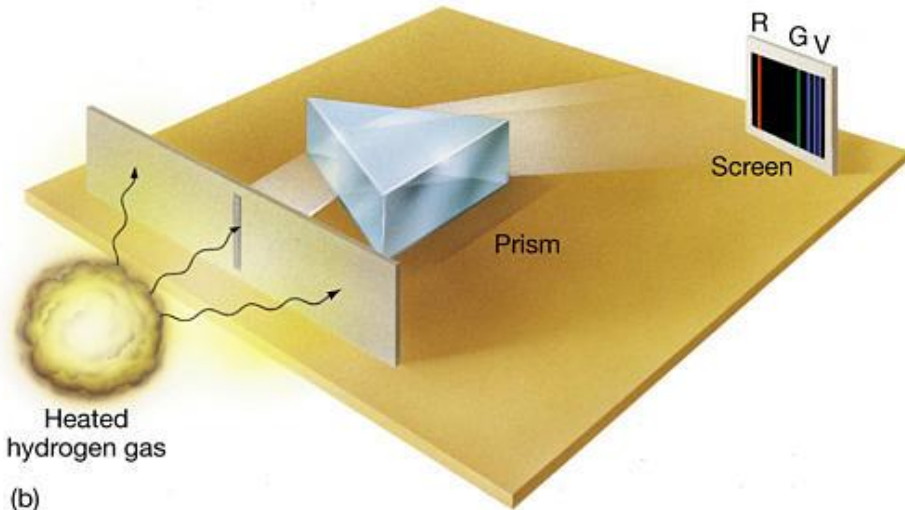
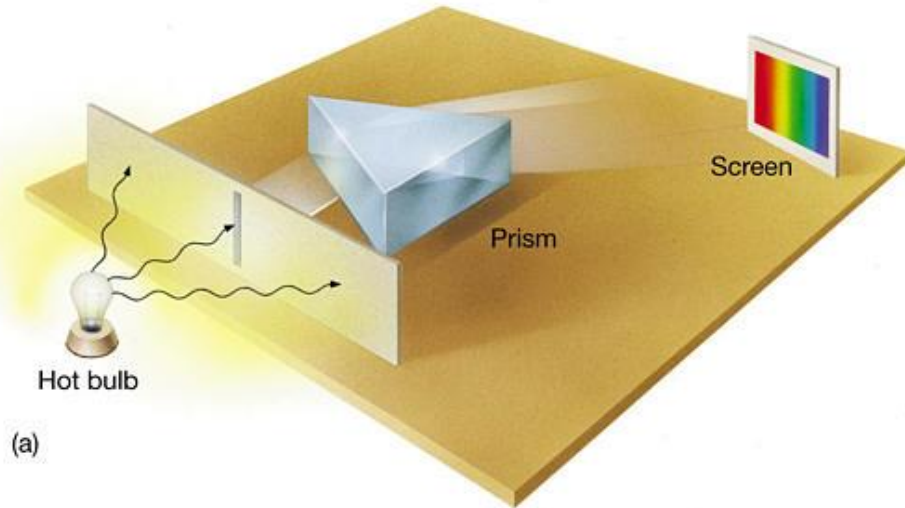


Espectro descontínuo de emissão – têm um fundo negro com algumas linhas coloridas



Um **Espectro descontínuo de emissão** resulta do aquecimento de um gás de um elemento químico, mostrando apenas as ricas de energia desse elemento.

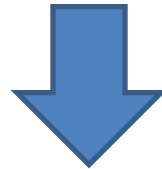
Comparação dos espectros luminosos



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Espectros atômicos

- ❑ Espectros contínuos: emitidos por sólidos incandescentes, não aparecem linhas (nem claras nem escuras)
- ❑ Espectros de Bandas: são formados por grupos de linhas muito próximas umas das outras, que parecem formar bandas contínuas - pedaços de substâncias sólidas colocadas em uma chama ou submetidas a descargas elétrica
- ❑ Espectros de Linhas: são características de átomos isolados



Física clássica não consegue explicar estas linhas



No final do século XIX a radiação característica emitida pelos átomos aquecidos foi exaustivamente estudada

Espectro de emissão de alguns elementos químicos



Hydrogen



Sodium



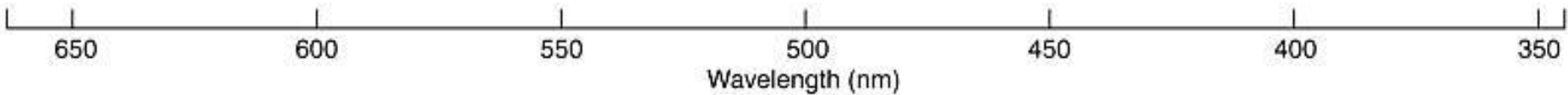
Helium



Neon



Mercury



Espectro de emissão de alguns elementos químicos

O espectro de linhas

A análise espectroscópica da luz emitida pela descarga em gases e vapores nos revelou uma intrincada estrutura de linhas, cada uma possuindo um determinado comprimento de onda específico.

Hélio

Xenônio

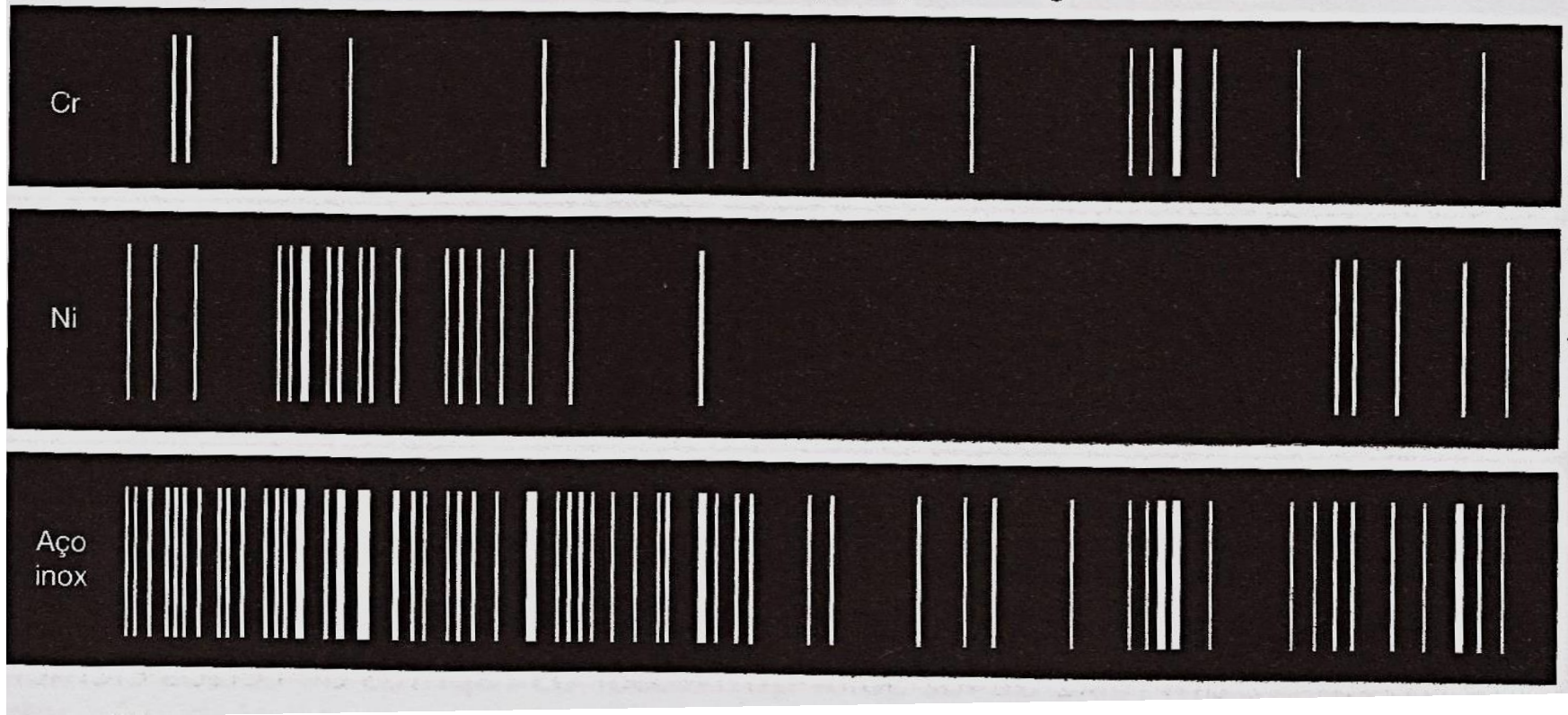
Oxigênio

Hidrogênio

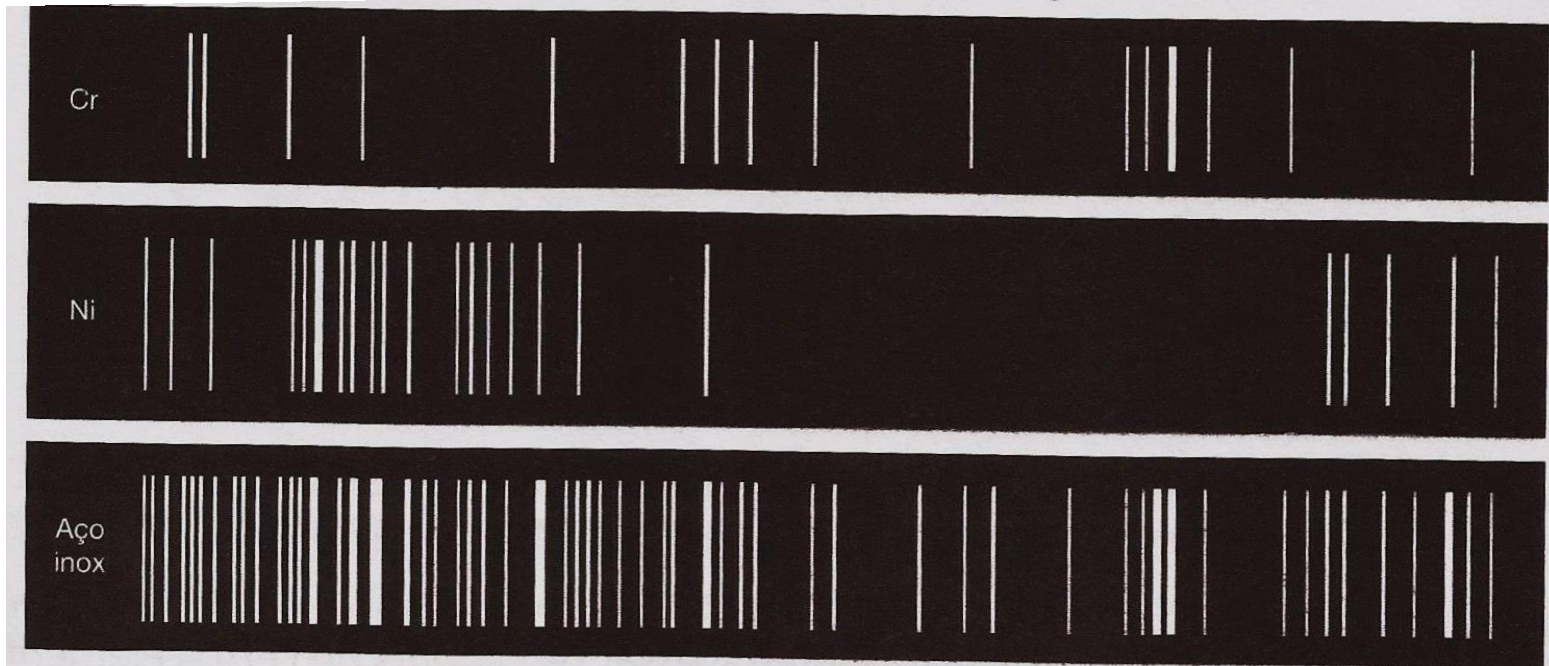
Sódio

Aplicações na Engenharia (Análise de Materiais)

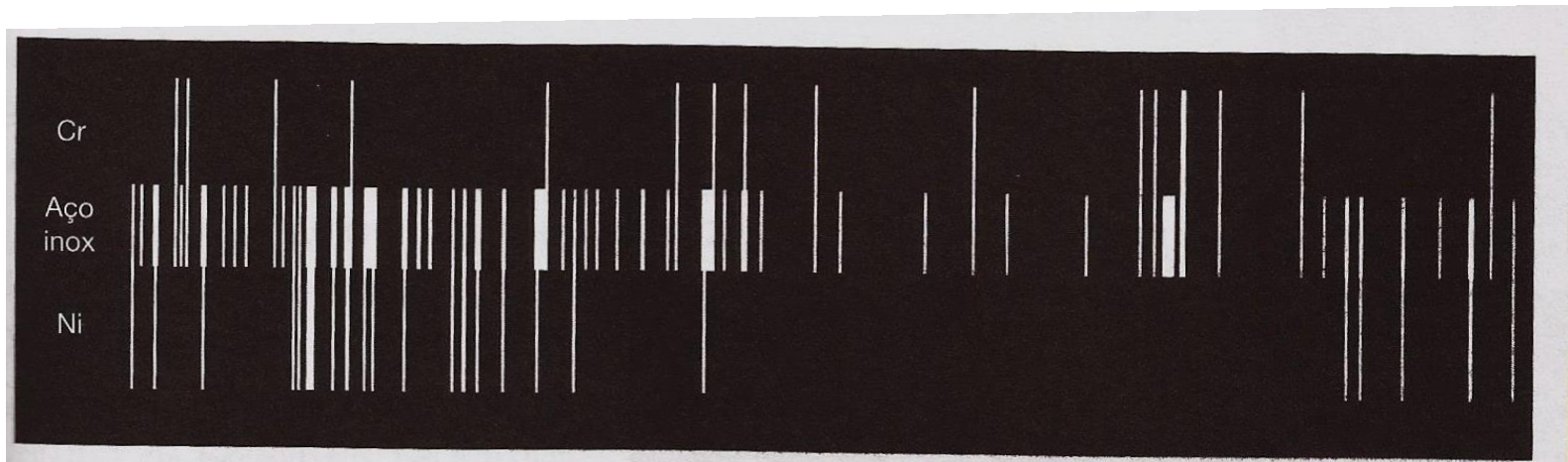
Comparando a posição das linhas do espectro de emissão do cromo (Cr) e do níquel (Ni) com as linhas espectrais do aço inoxidável, você consegue dizer se esses elementos químicos estão presentes na composição da liga metálica?



Aplicações na Engenharia (Análise de Materiais)

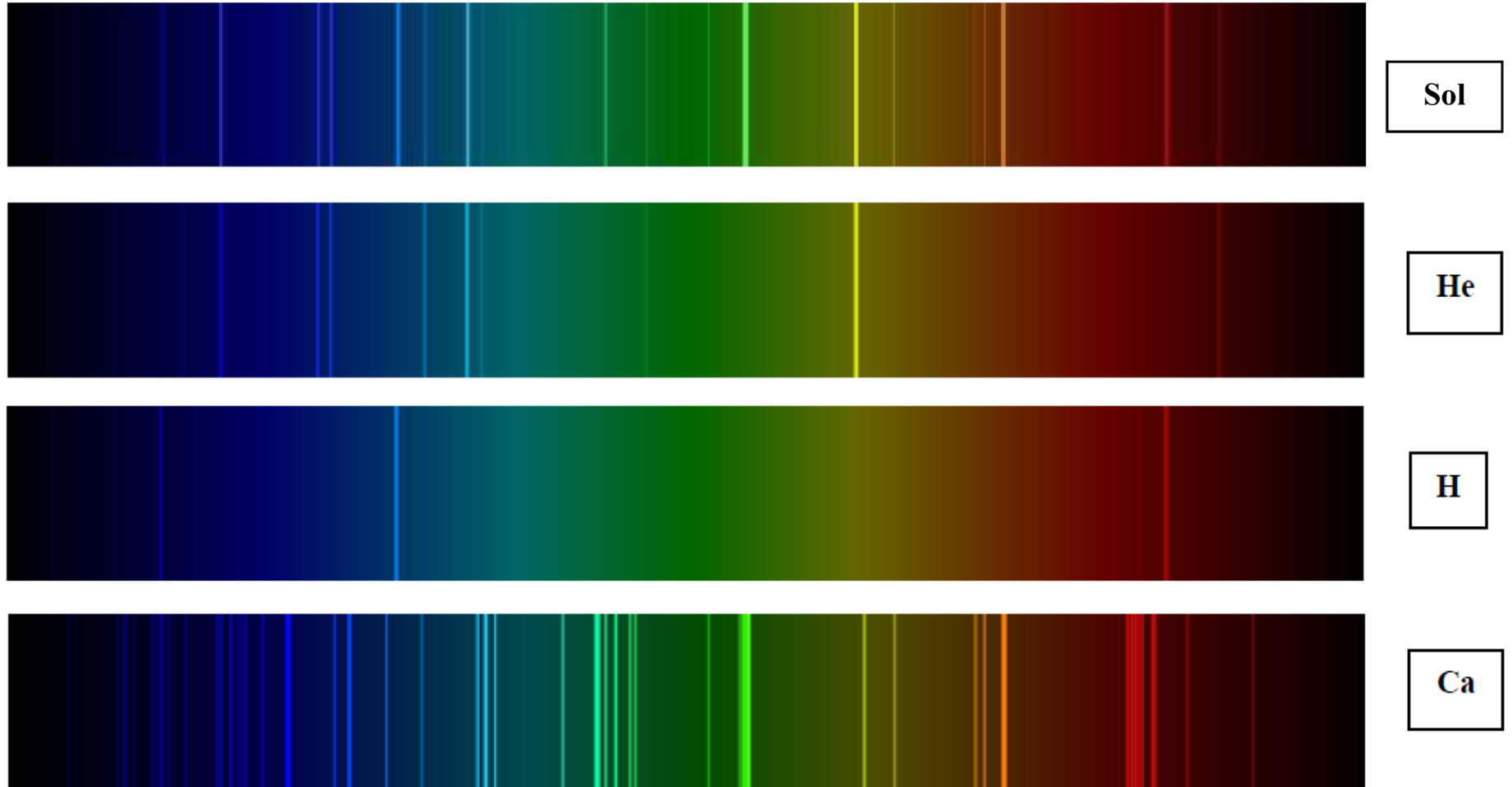


As linhas espectrais faltantes são do Ferro, que é o terceiro metal utilizado na preparação dessa liga



Aplicações: Análise das estrelas

<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/10516>



✓ Analisando espectros, os astrônomos identificaram mais de 100 moléculas diferentes no espaço interestelar

✓ Espectroscopia

http://physics.uoregon.edu/~jimbrau/astr122/notes/chapter3_4.html

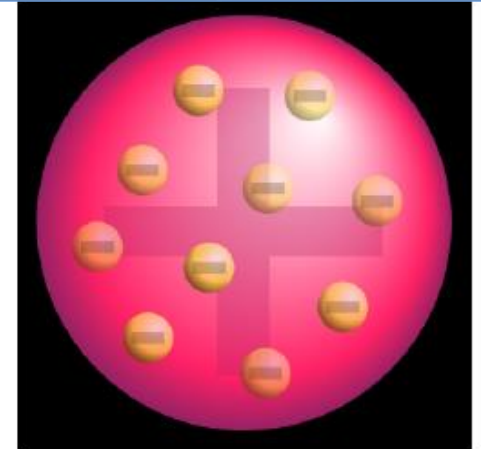
Física Moderna: Modelo atômico

1904

1º Proposta:

Thomson: esfera de carga positiva embebida por elétrons – carga total nula

MODELO CHAMADO DE “PUDIM DE PASSAS”



Problema:

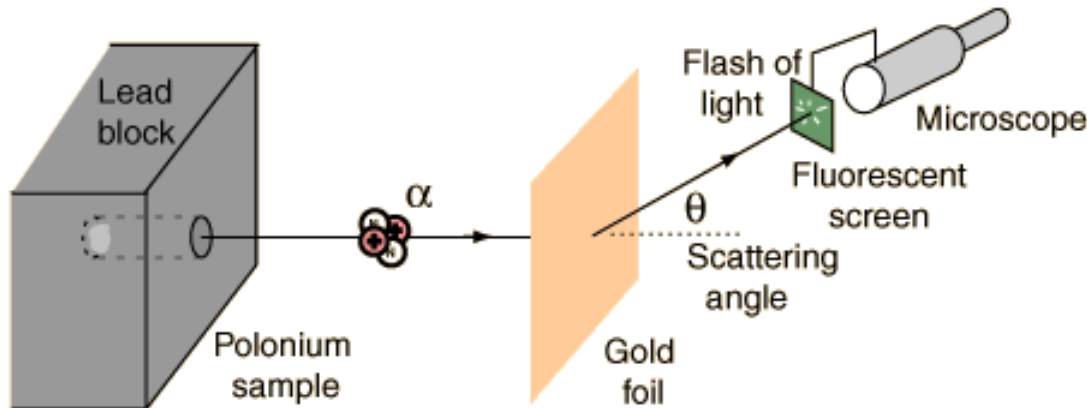
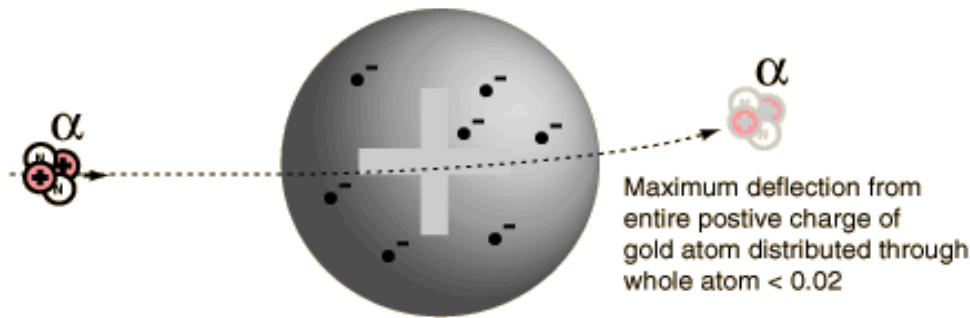
- Forças eletrostáticas não são suficientes para manter o sistema em equilíbrio
 - Cargas deveria, ter movimento (acelerado) já que se mantinham dentro do átomo
 - Cargas (aceleradas) em movimento – irradiar energia continuamente
- ↓ Não observado
- Neste modelo, quando o átomo era aquecido, os elétrons poderiam vibrar em torno de sua posição de equilíbrio produzindo radiação eletromagnética - no entanto, não consegui calcular o espectro de luz observado

Física Moderna: Modelo atômico

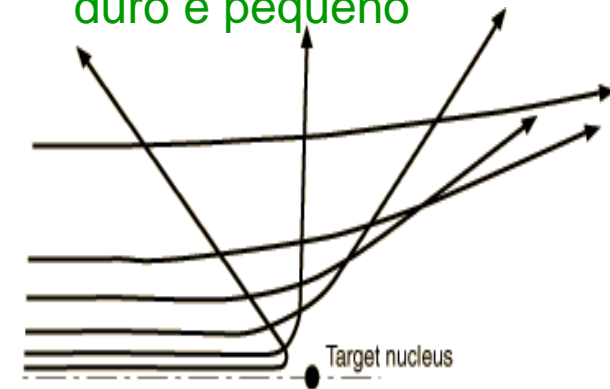
1911

- As primeiras experiências de espalhamento usou partículas α (possuíam alta energia e massa relativamente elevada)
 - Ótimo instrumento para sondar os átomo

Modelo de Thomson: previa deflexão pequena das partículas α

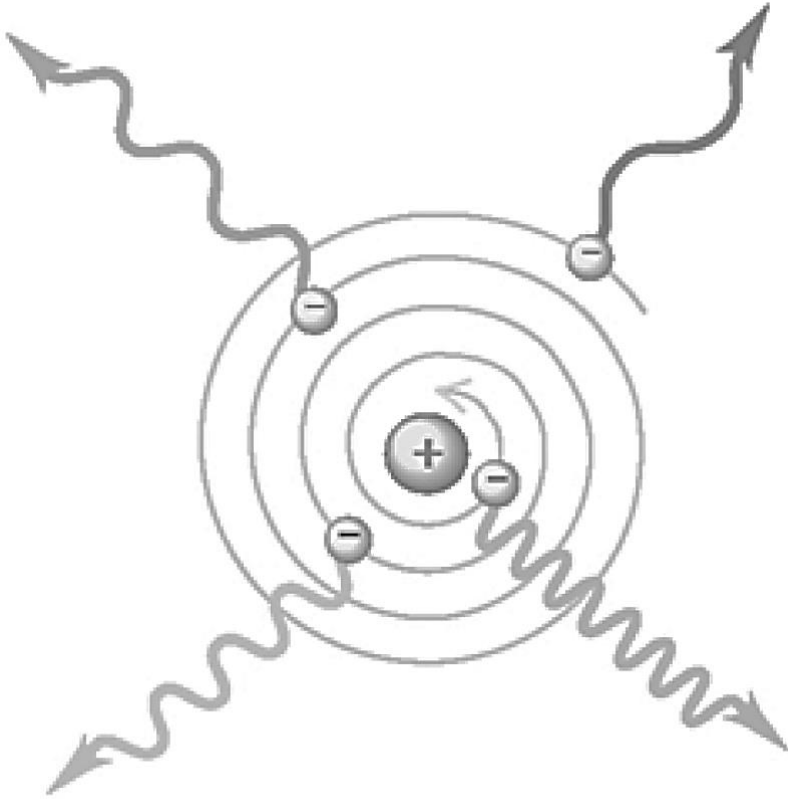


Rutherford observou grandes deflexões, sugerindo um núcleo duro e pequeno



Modelo Atômico de Rutherford

1911

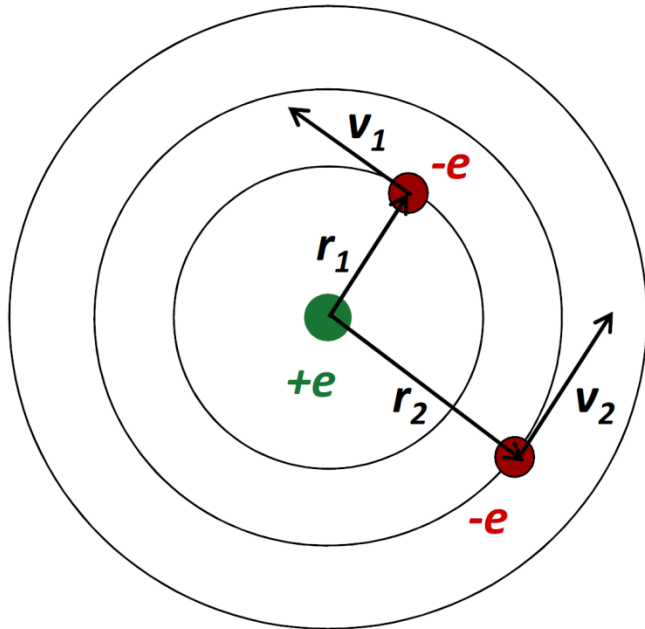


Átomo = Sistema Planetário

cargas aceleradas =
= emissão de radiação =
= perda de energia =
colapso do átomo ($t < 10^{-9}$ s)

Modelo Atômico de Bohr

1912 – 1913



1. O elétron no átomo orbita ao redor do núcleo numa órbita circular sujeito as leis clássicas;
2. Nas órbitas permitidas os elétrons não irradiam energia
3. Apenas órbitas com momento angular iguais a $n \hbar$ são permitidas:

$$L = \frac{nh}{2\pi} = n \hbar \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

onde n é o número quântico principal;

4. Em uma transição eletrônica:

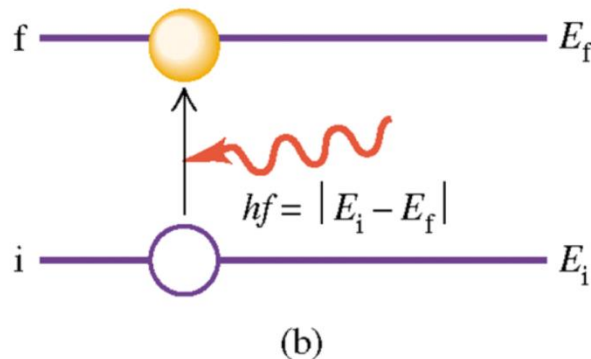
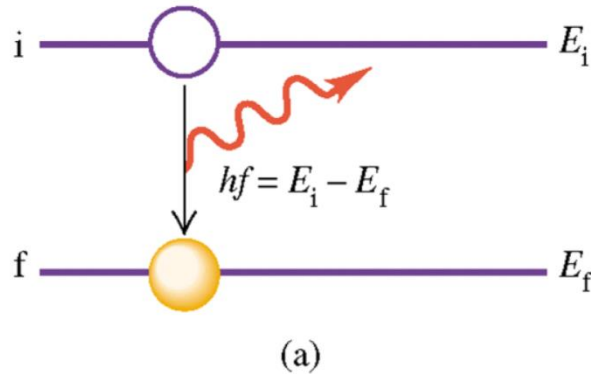
$$\Delta E = E_i - E_f = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{emissão ou absorção de fótons})$$

Modelo Atômico de Bohr

Bohr: Cada átomo possui um conjunto possível de níveis de energia.

$$h \cdot f = E_i - E_f$$

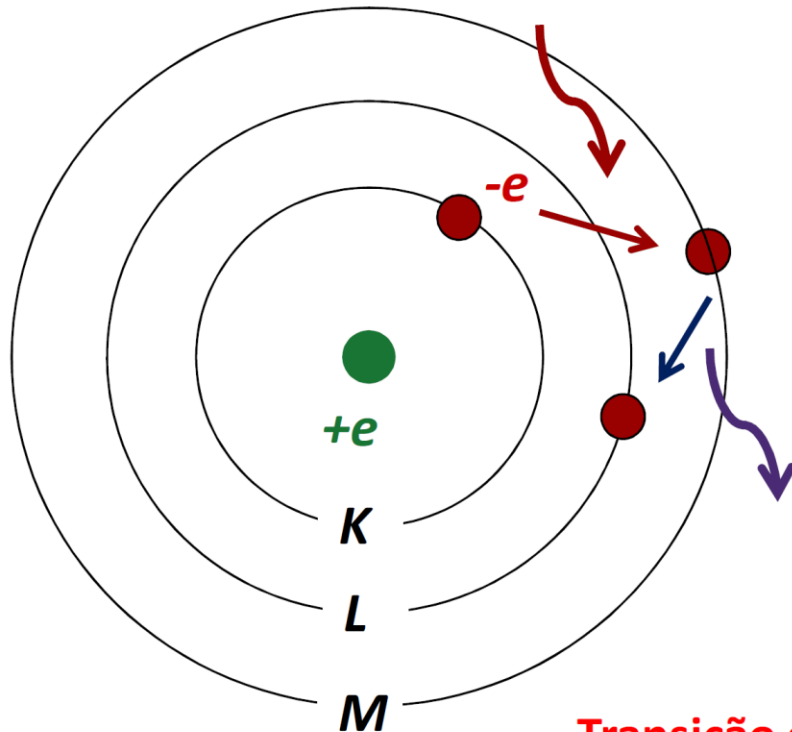
Energia do fóton emitido ao átomo fazer uma transição entre níveis de energia permitidos.



Modelo de Bohr para o átomo de Hidrogênio

absorção de um fóton

$$\Delta E = E_3 - E_1 > 0 \quad (\text{ganhou energia})$$



$n = 1, 2, 3 \dots =$ número quântico principal

$n = 1$ camada K

estado fundamental

$n = 2$ camada L

$n = 3$ camada M ...

estados excitados

emissão de um fóton

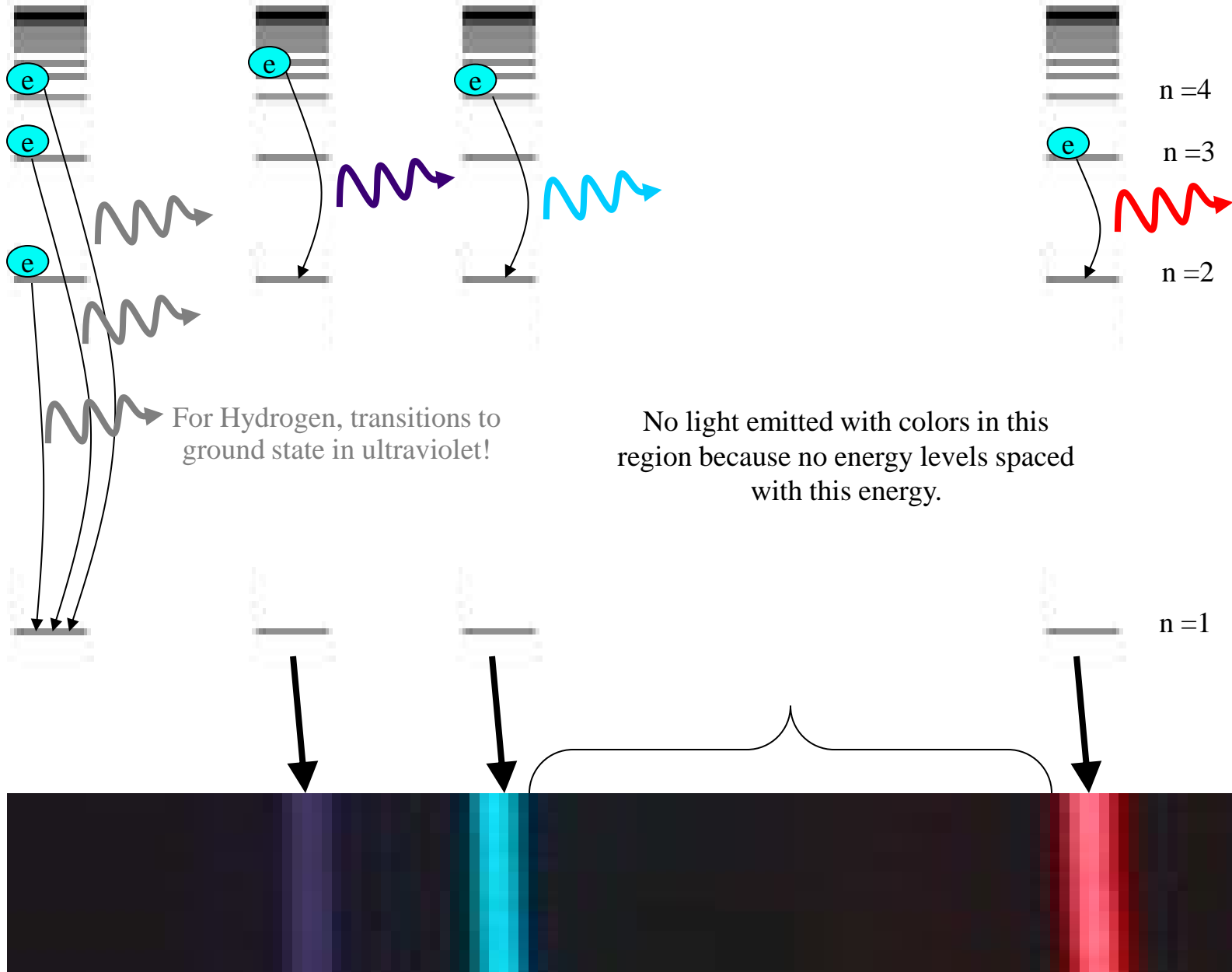
$$\Delta E = E_2 - E_3 < 0 \quad (\text{Perdeu energia})$$

Transição entre órbitas

Emissão e absorção de energia (fótons)

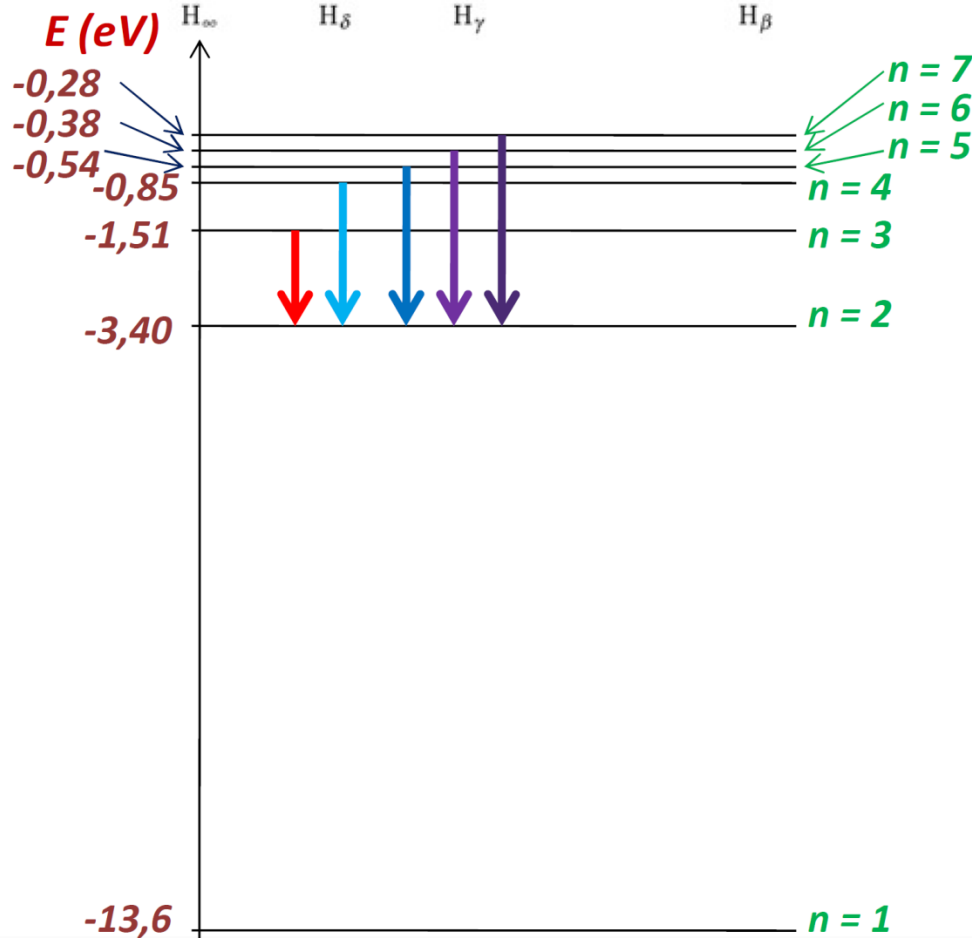
$$\Delta E = |E_f - E_i| = hf = hc/\lambda$$

Átomo de Hidrogênio



$$E_n = -\frac{13,6 \text{ eV}}{n^2}$$

Átomo de Hidrogênio _ Série de Balmer



$$\Delta E = E_2 - E_3 =$$

$$-3,40 - (-1,51) = -1,89 \text{ eV}$$

$$\lambda = 657 \text{ nm}$$

$$\Delta E = E_2 - E_4 =$$

$$-3,40 - (-0,85) = -2,55 \text{ eV}$$

$$\lambda = 487 \text{ nm}$$

$$\Delta E = E_2 - E_5 =$$

$$-3,40 - (-0,54) = -2,86 \text{ eV}$$

$$\lambda = 434 \text{ nm}$$

$$\Delta E = E_2 - E_6 =$$

$$-3,40 - (-0,38) = -3,02 \text{ eV}$$

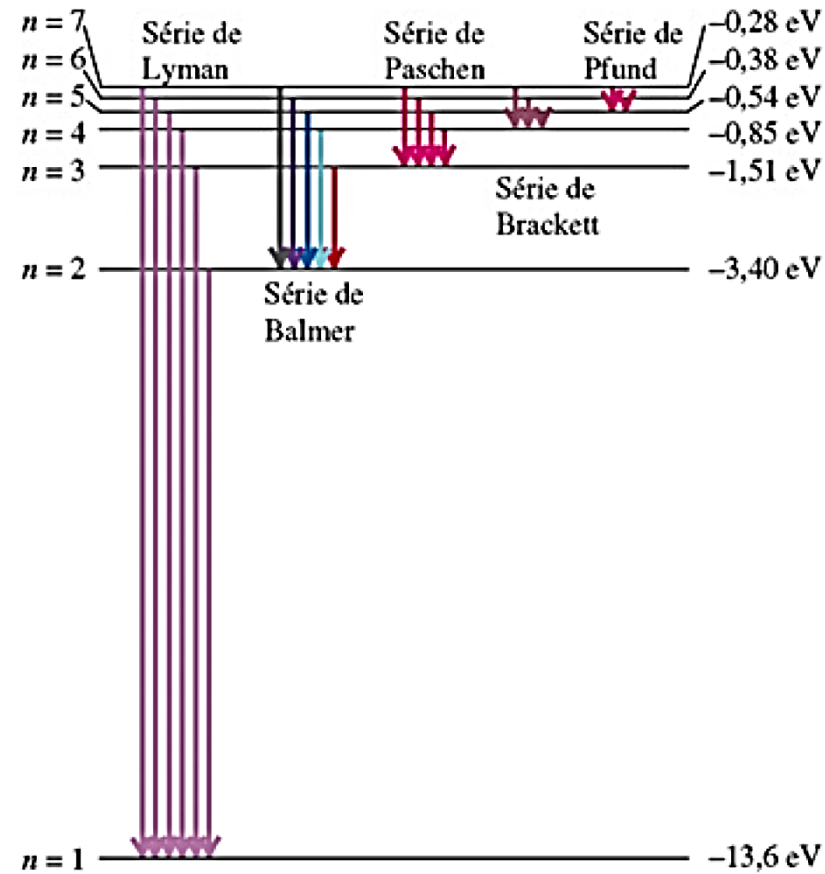
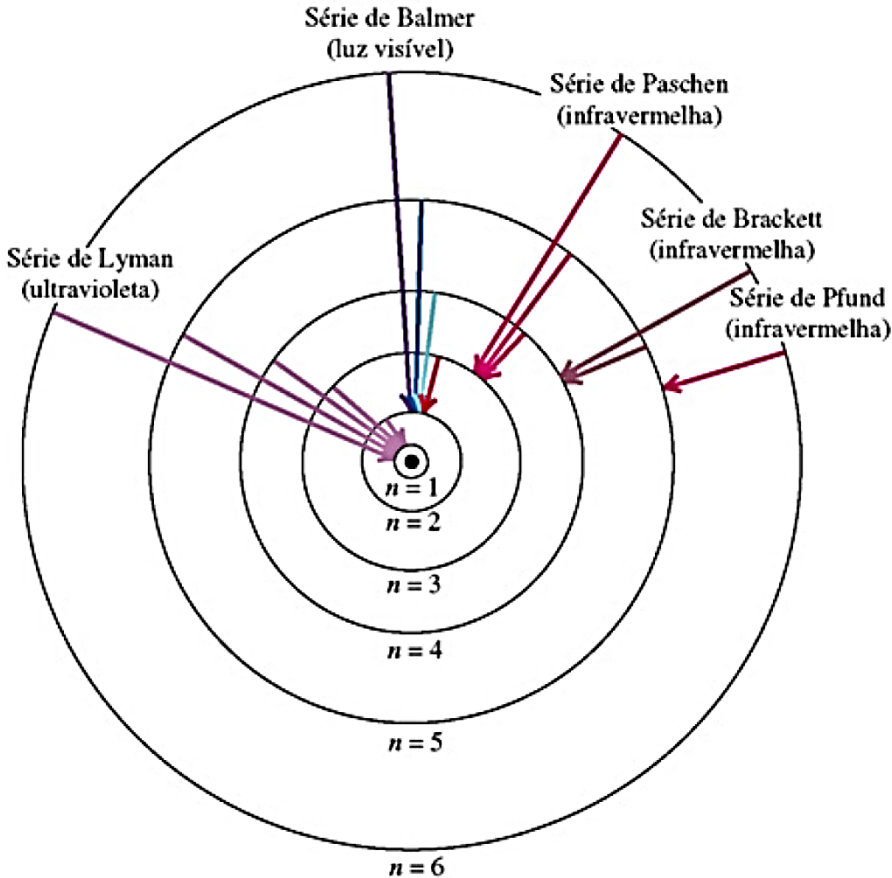
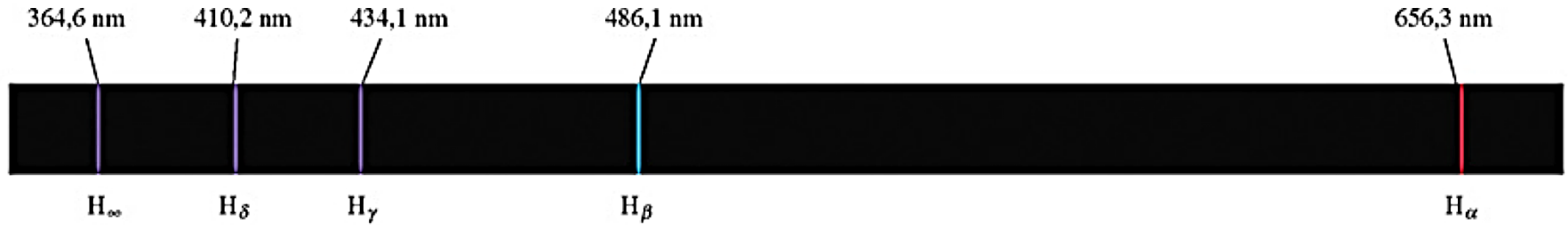
$$\lambda = 411 \text{ nm}$$

$$\Delta E = E_2 - E_7 =$$

$$-3,40 - (-0,28) = -3,12 \text{ eV}$$

$$\lambda = 398 \text{ nm}$$

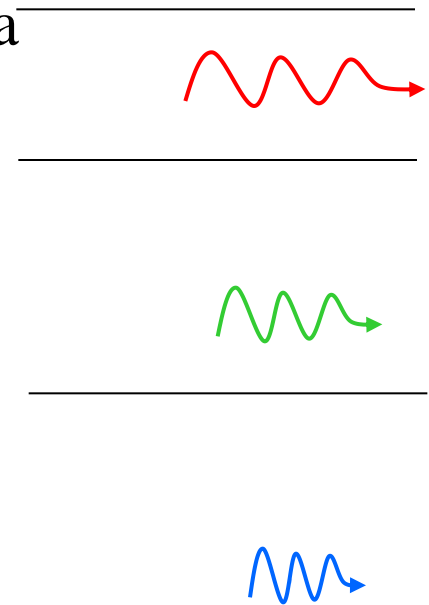
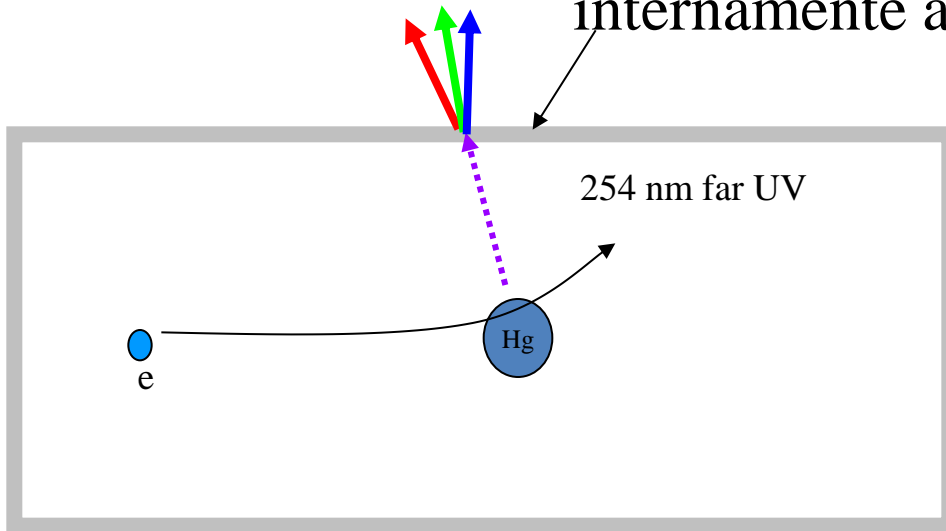
Átomo de Hidrogênio – Espectros de emissão



Aplicações: emissão de luz

Lâmpada Fluorescente: converte luz UV em luz visível mediante a existência de uma camada de fósforo. Fósforo bloqueia toda a radiação UV

Camada de fósforo reveste internamente a lâmpada



120 V ou mais

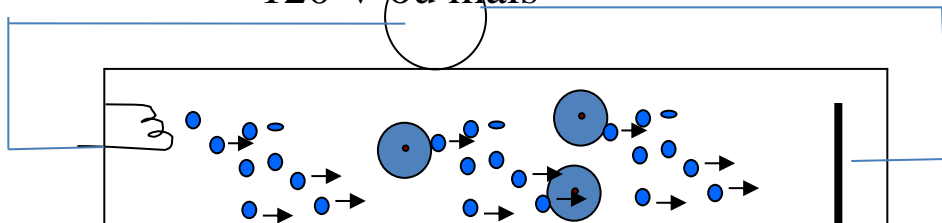


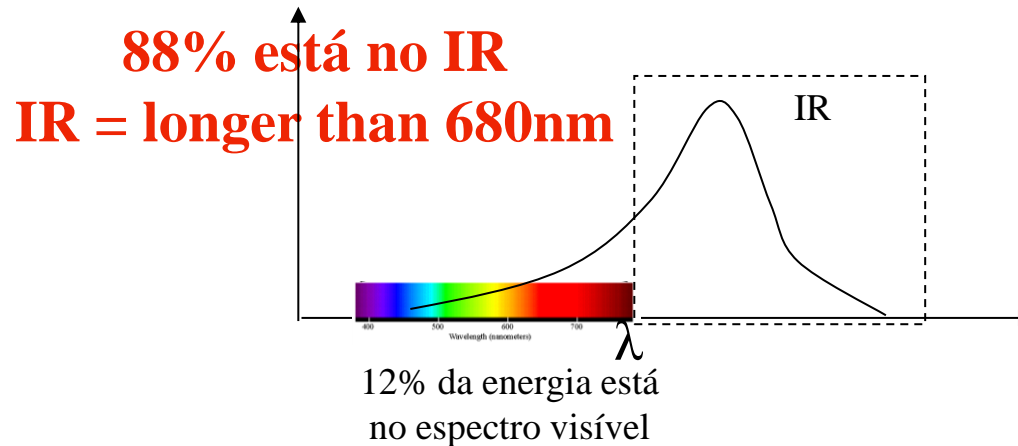
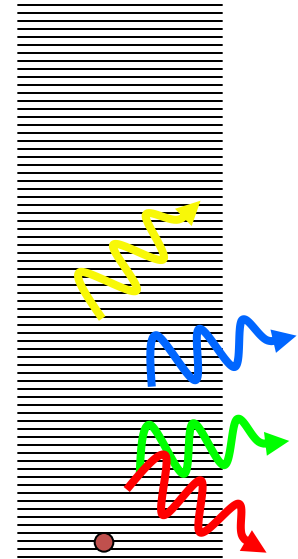
Diagrama de energia em uma molécula de fósforo

Aplicações: espectros no dia-a-dia

Lâmpada Incandescente (filamento quente)

Temperatura = 2500-3000K

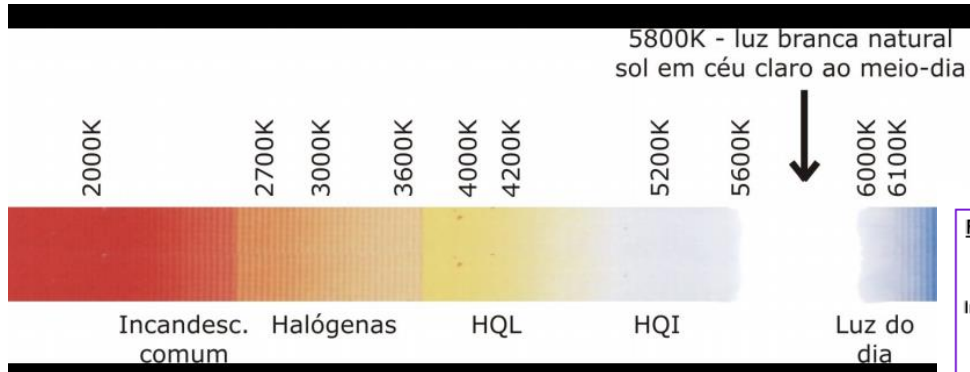
Elétrons térmicos sofrem transições entre muitos níveis de energia que estão muito próximos entre si (linhas de um metal sólido). Com isso, são produzidas todas as cores. Contudo, a maior parte da radiação emitida está no infravermelho



Aplicações: espectros no dia-a-dia

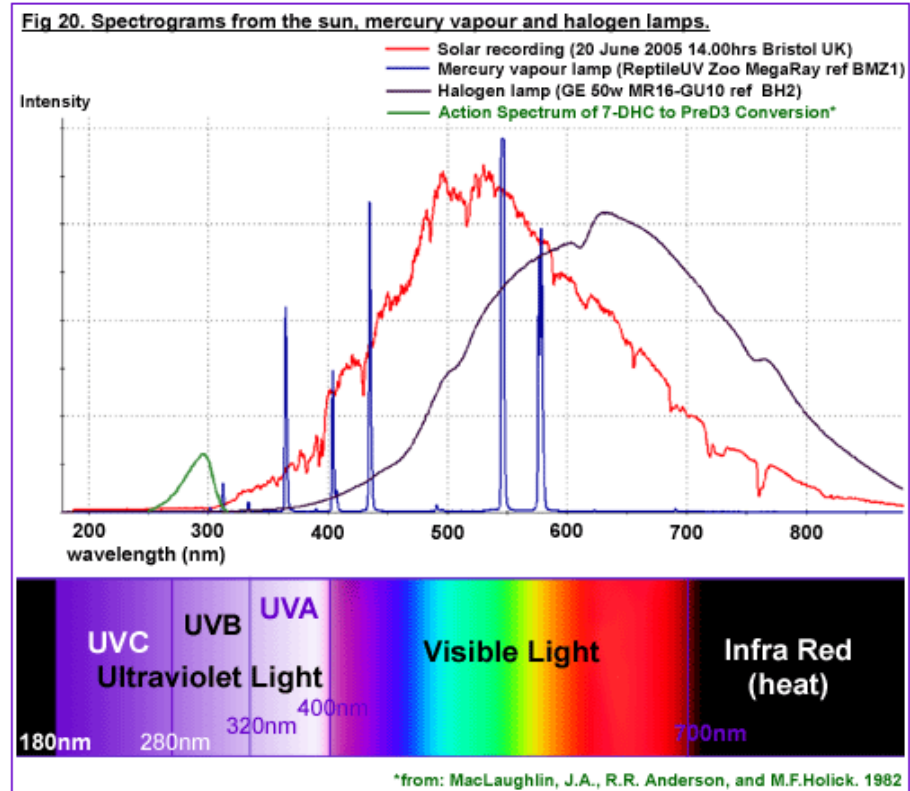
Lâmpada halógena (filamento quente)

Temperatura ~3000K



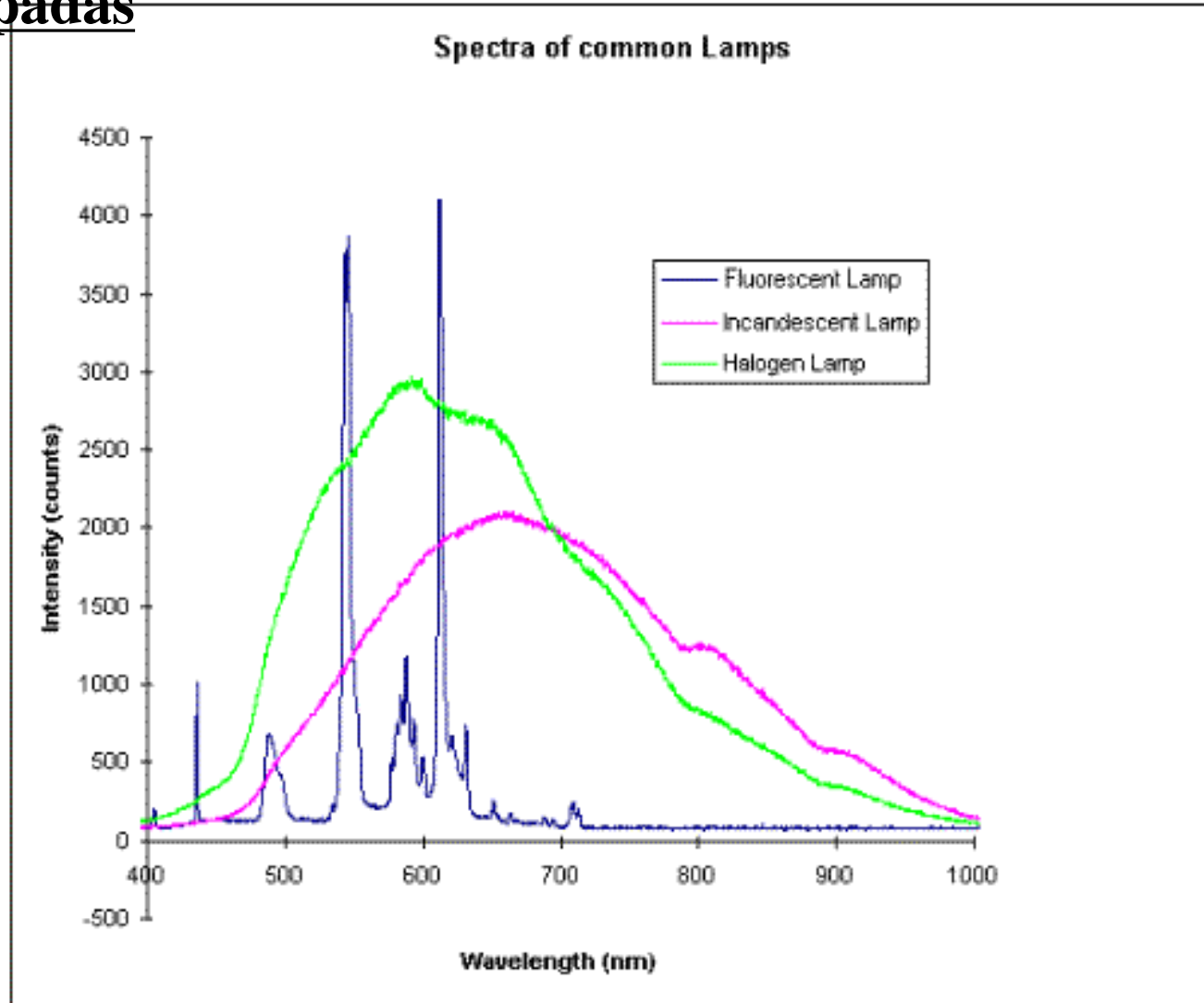
<http://reptileuv.tripod.com/MegaRayNarrowFloodReport2006.htm>

Lâmpadas Halógenas são lâmpadas incandescentes com filamento de tungstênio contido em um gás inerte e uma pequena quantidade de um halogênio como iodo ou bromo



Aplicações: espectros no dia-a-dia

Comparação de Lâmpadas



Aplicações: Infravermelho para estudo de obras de arte

IMAGEAMENTO: Fotografia de reflectografia de infravermelho (IR)

Reflectografia Infravermelho

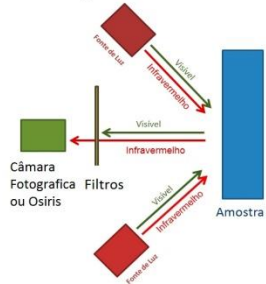


Imagem: P.H. O.V. Campos

As imagens de fotografia de reflectância de infravermelho a são realizadas com câmara digital especial com sensor CCD e filtros acoplados à lente (400 – 900nm) e atualmente com uma câmara especial de IR (900 a 1700nm) - Osiris



Câmara Osiris sendo usada para análise de uma pintura de cavalete
Objetivo: Determinar desenhos subjacentes

Componentes	Características
Operation wavelength	0.9 – 1.7µm
Sensor	InGaAs array
Lens	6 element 150mm focal length F/5.6 - F45
Image size	User selectable horizontally and vertically 512 x 512 to 4096 x 4096 pixels
Integration time	Fast scan 1 m/sec Slow scan 10 m/sec (50HZ mains frequency) 8.3 m/sec (60HZ mains frequency)
Full image acquisition time	Fast scan: 2 minutes Slow scan: 10 minutes
Scene illumination	250 LUX at F/5.6 (measured using 2700°K Tungsten Halogen source)
Object field	200mm to infinity
Focusing	Fast preview on screen with zoom
Power supply	100-120V, 200-240V 50 60Hz
Interface	USB 2.0
Dimensions	220x200x300mm (9"x8"x12") at closest working distance

Aplicações: Infravermelho para estudo de obras de arte

Achille Funi

• Infravermelho próximo 380nm – 1000nm

MAC

MUSEU DE ARTE CONTEMPORÂNEA
da Universidade de São Paulo

Detalhe IR



Foto: E. M. Kajiya

USP

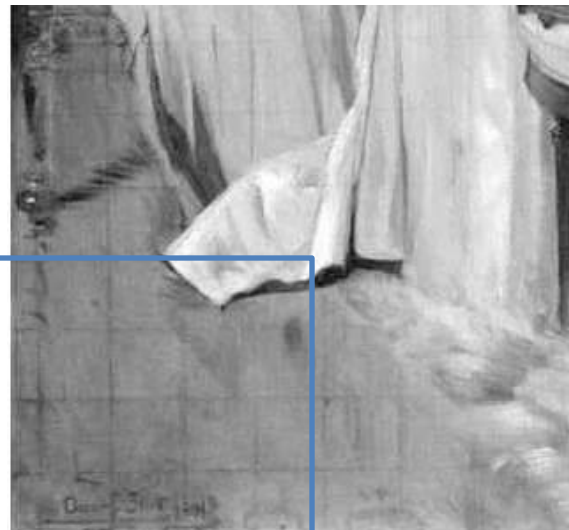
Reflectografia com Infravermelho

Infravermelho próximo 380nm – 1000nm



PINACOTECA
do Estado de São Paulo

Hora da Música: Oscar Pereira da Silva, 1901



Detalhes do processo criativo do artista; desenhos subjacente.

Aplicações: Infravermelho para estudo de obras de arte

Reflectografia de Infravermelho: o artista reaproveitou a tela.



Obra: Hora da Música:
Oscar Pereira da Silva,
1901

Esta imagem se
torna agora uma
impressão digital
desta obra



Foto: E. M. Kajiya