

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

<http://disciplinas.stoa.usp.br/course/view.php?id=24279>

2º Semestre de 2016

Programa

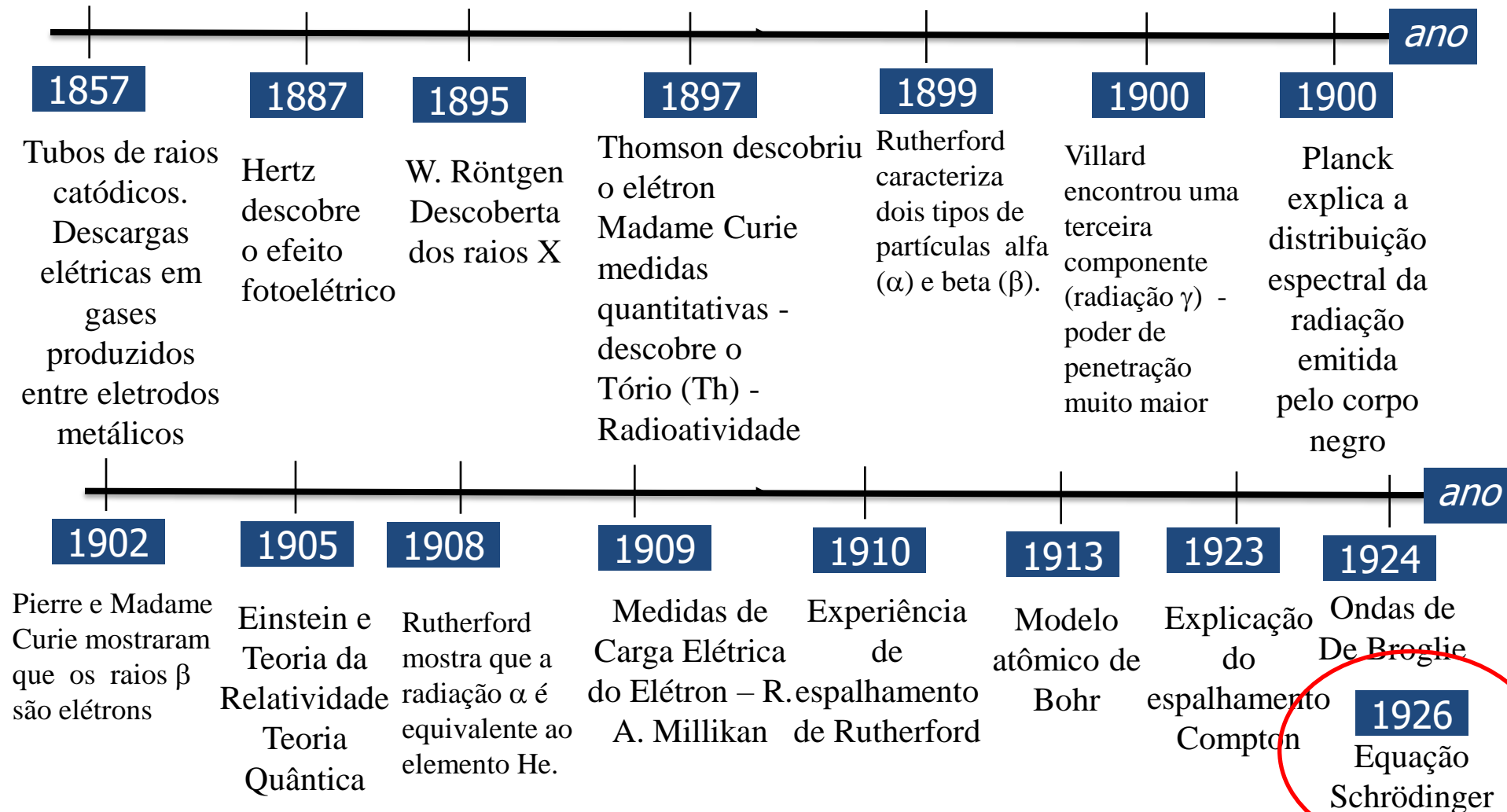
- O Espectro Eletromagnético
 - Dimensões dos objetos
 - Produção de energia
- Revisão sobre ondas Mecânicas;
- Princípios de acústica - Efeito Doppler;
 - Imagens por Ultrassom
 - Levitação mecânica
- Revisão das Equações de Maxwell - Equação da onda eletromagnética
 - Ondas de rádio; TRC, LCD,
 - Estrutura atômica – Revisão de física moderna;
- Efeito Fotoelétrico, Celulares solares, Modelo atômico
 - Lasers e Aplicações
- Descrição dos princípios de geração dos Raios-X:
 - Tubos de raios-X e radiação Síncrotron
 - Aceleradores de partículas
- Propriedades dos Raios-X – Absorção e interação com a matéria
- Imagens médicas obtidas com Raios-X – Radiografia e tomografia.
 - Uso de técnicas atômico-nucleares para análise de materiais
 - Ressonância magnética nuclear

| Domingo | Segunda | Terça | Quarta | Quinta | Sexta | Sábado |
|---------------|-------------|---------|--------------|--------|-------|--------|
| agosto | | | | | | |
| | Aula 1 | | Aula 2 | | | |
| | Aula 3 | | Aula 4 | | | |
| | Aula 5 | | Aula 6 | | | |
| | Aula 7 | | Aula 8 | | | |
| setembro | | | | | | |
| | SEMANA DA | DA | PÁTRIA | | | |
| | AULA 9 | | não AULA | | | |
| | não AULA | | não AULA | | | |
| | Aula 10 | | Aula 11/AP1 | | | |
| outubro | | | | | | |
| | Aula 12/AP2 | | Aula 13/AP3 | | | |
| SEMANA Física | Aula 14 | | feriado | | | |
| | Aula 15/AP4 | | Aula 16/AP5 | | | |
| | Aula 17/AP6 | | Aula 18 /AP7 | | | |
| | Aula 19/AP8 | | | | | |
| novembro | | | feriado | | | |
| | Aula 20 | | Aula 21 | | | |
| | RECESSO | feriado | não AULA | | | |
| | Aula 22 | | Aula 23 | | | |
| | Aula 24 | | Aula 25 | | | |
| dezembro | | | | | | |
| | PROVA | | | | | |

Calendário

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

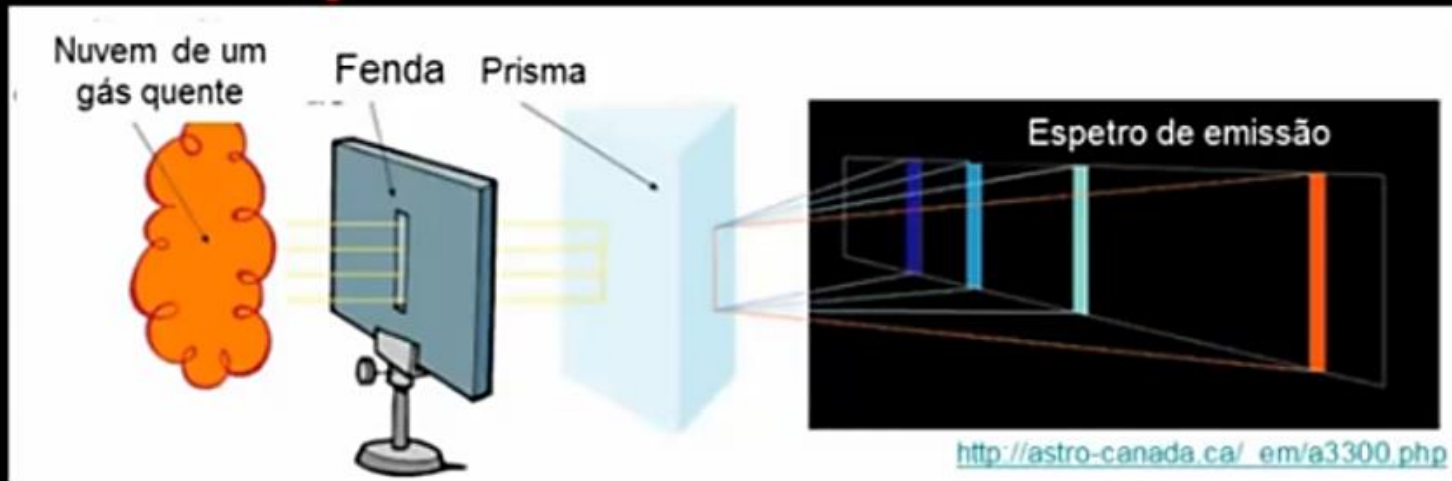


- ❑ Apenas alguns comprimentos de onda estão presentes

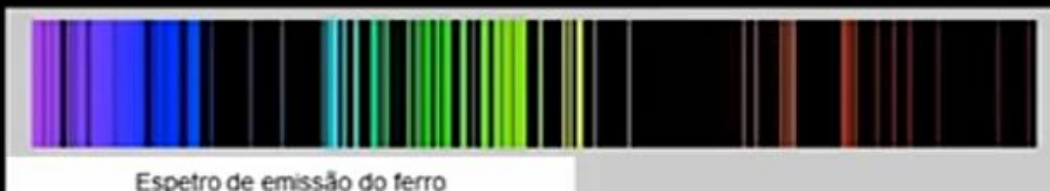


Onde vejo isto?

Espectros 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.

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

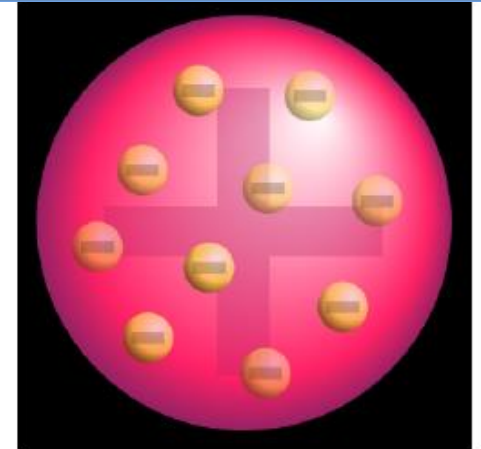
Física Moderna: Modelo atômico

1904

1º Proposta:

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

MODELO CHAMADO DE “PUDIM DE PASSAS”



Problema:

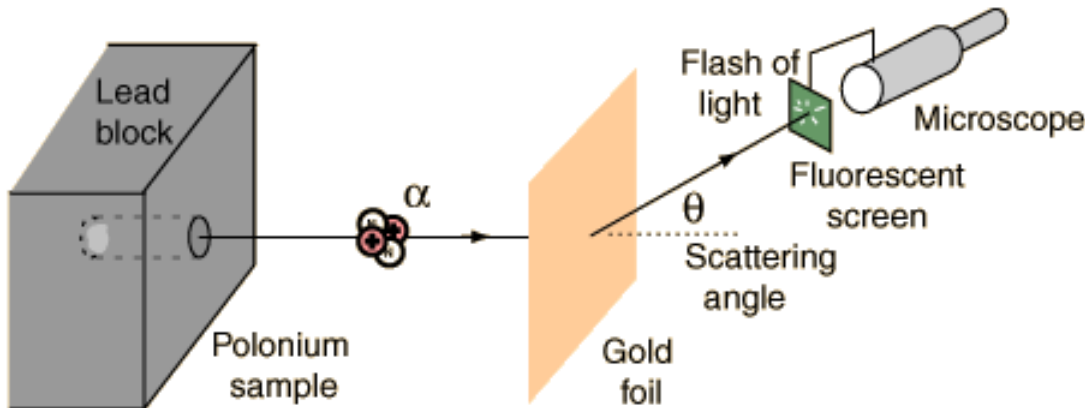
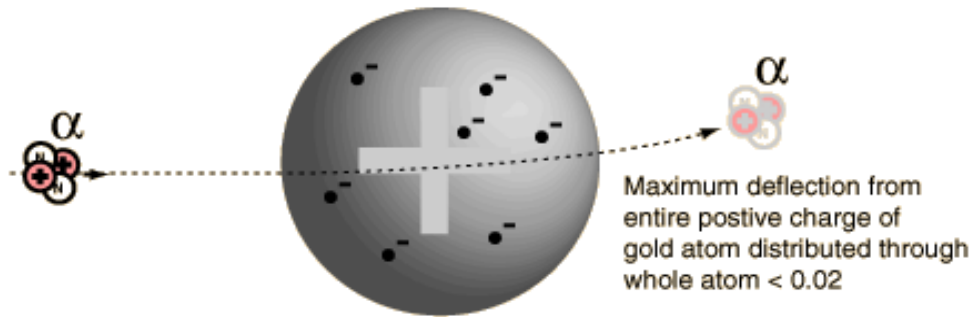
- Forças eletrostáticas não são suficientes para manter o sistema em equilíbrio
 - Cargas deveria, ter movimento (acelerado) já que se mantinham dentro do átomo
 - Cargas (aceleradas) em movimento – irradiar energia continuamente
- ↓ Não observado
- Neste modelo, quando o átomo era aquecido, os elétrons 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

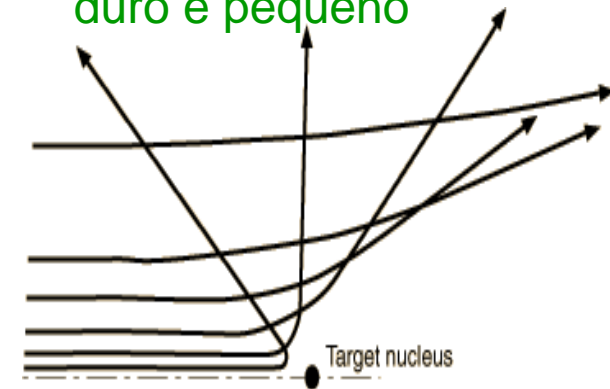
1911

- 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

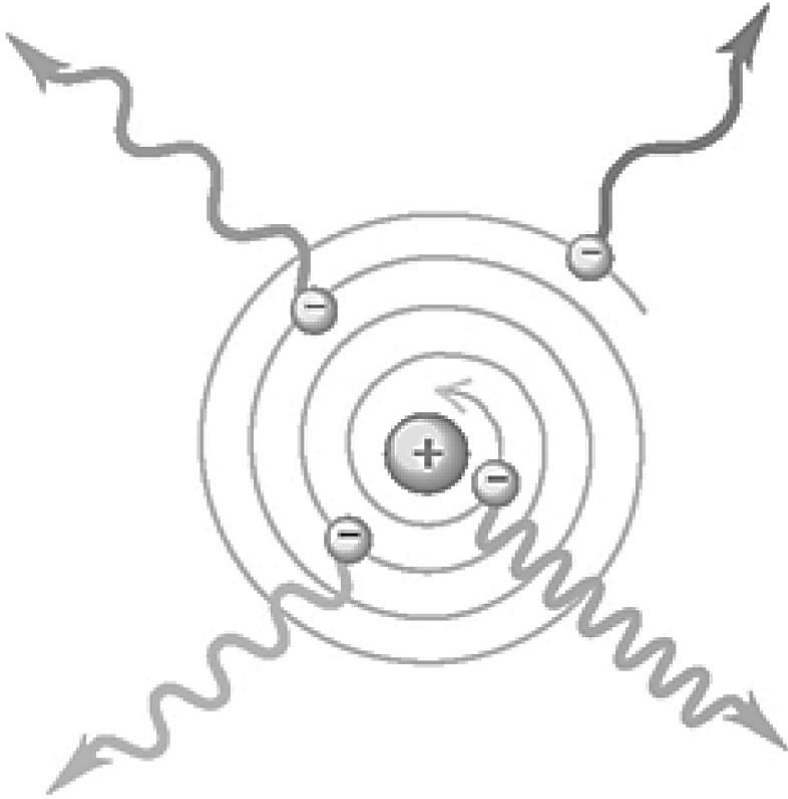


Rutherford observou grandes deflexões, sugerindo um núcleo duro e pequeno



Modelo Atômico de Rutherford

1911

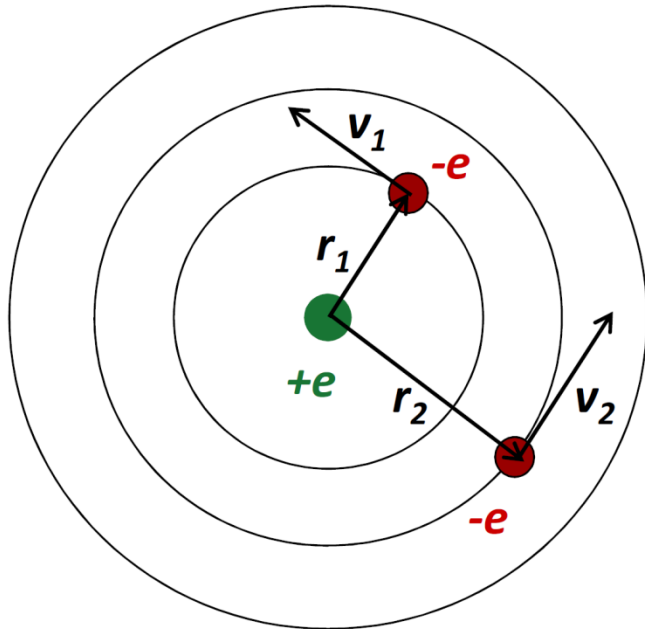


Átomo = Sistema Planetário

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;

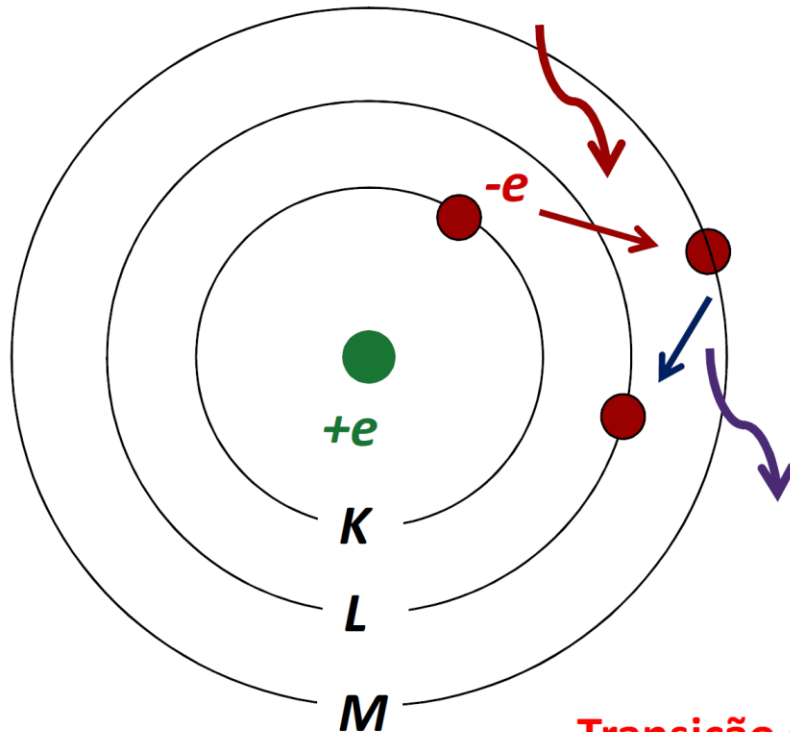
4. Em uma transição eletrônica:

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

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

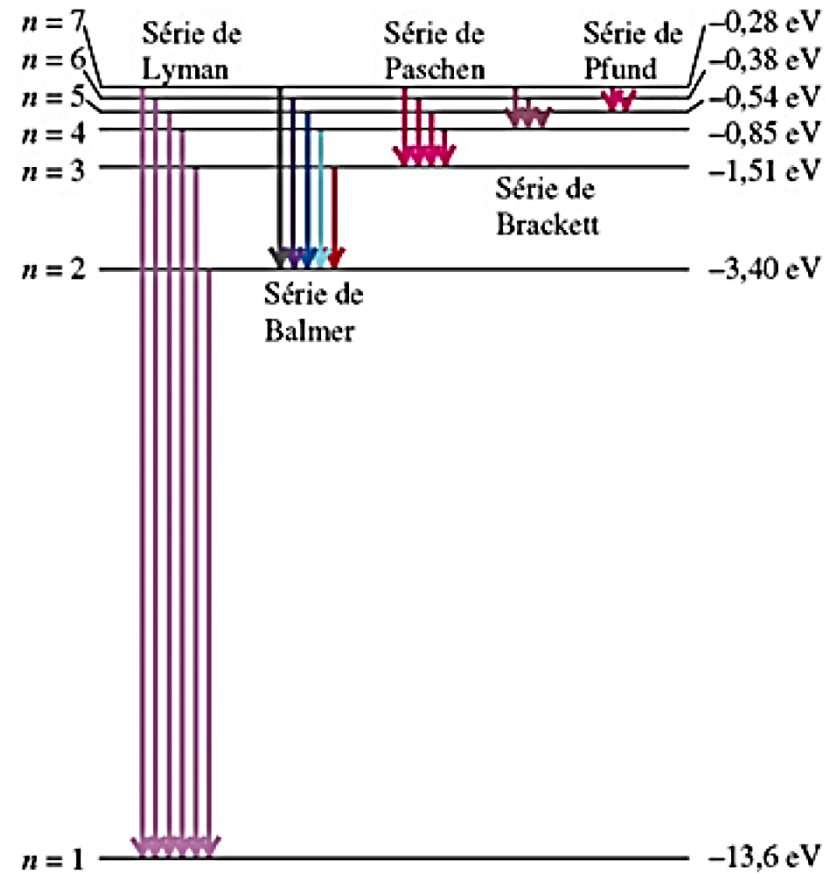
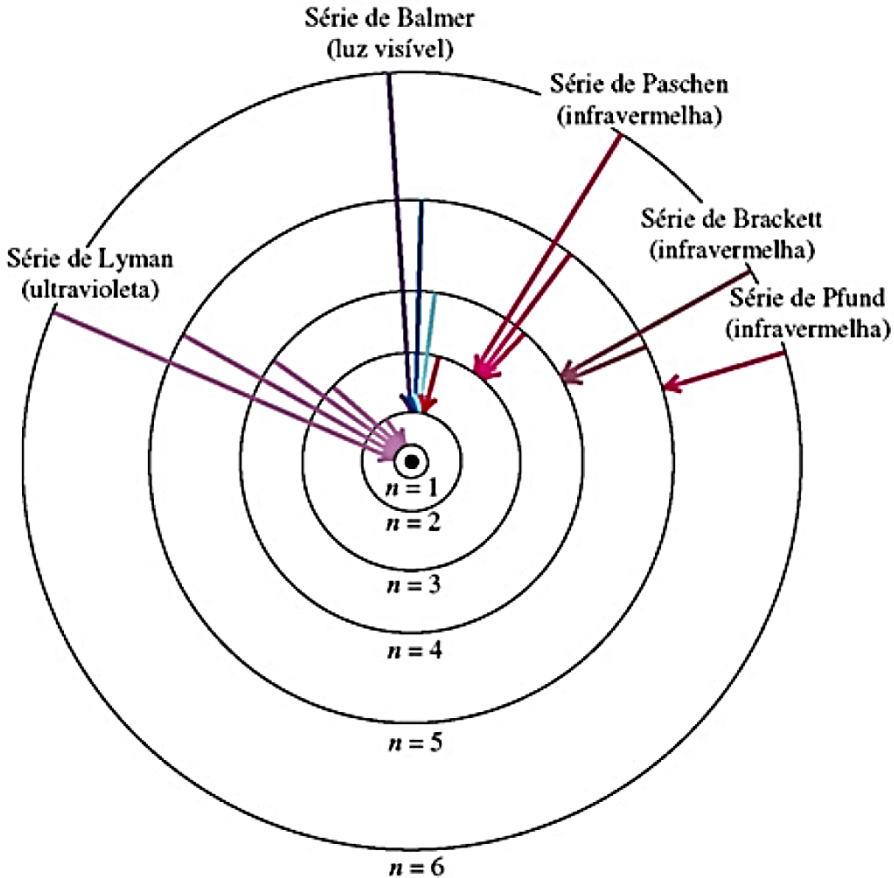
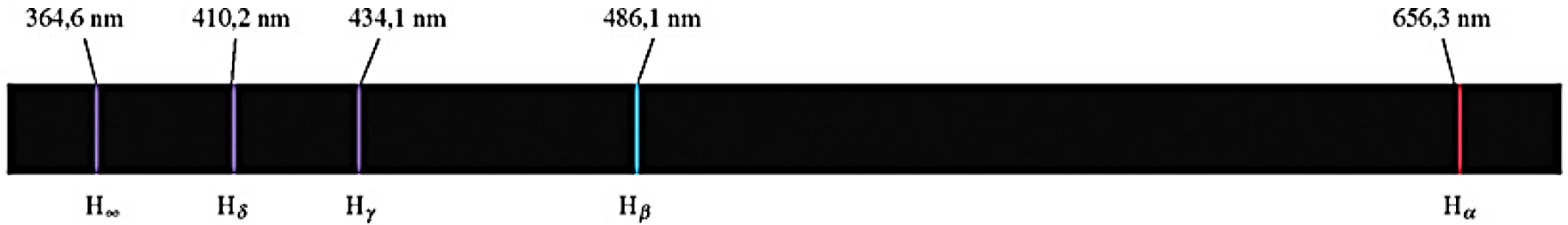
$$\Delta E = E_2 - E_3 < 0 \quad (\text{Perdeu energia})$$

Transição entre órbitas

Emissão e absorção de energia (fótons)

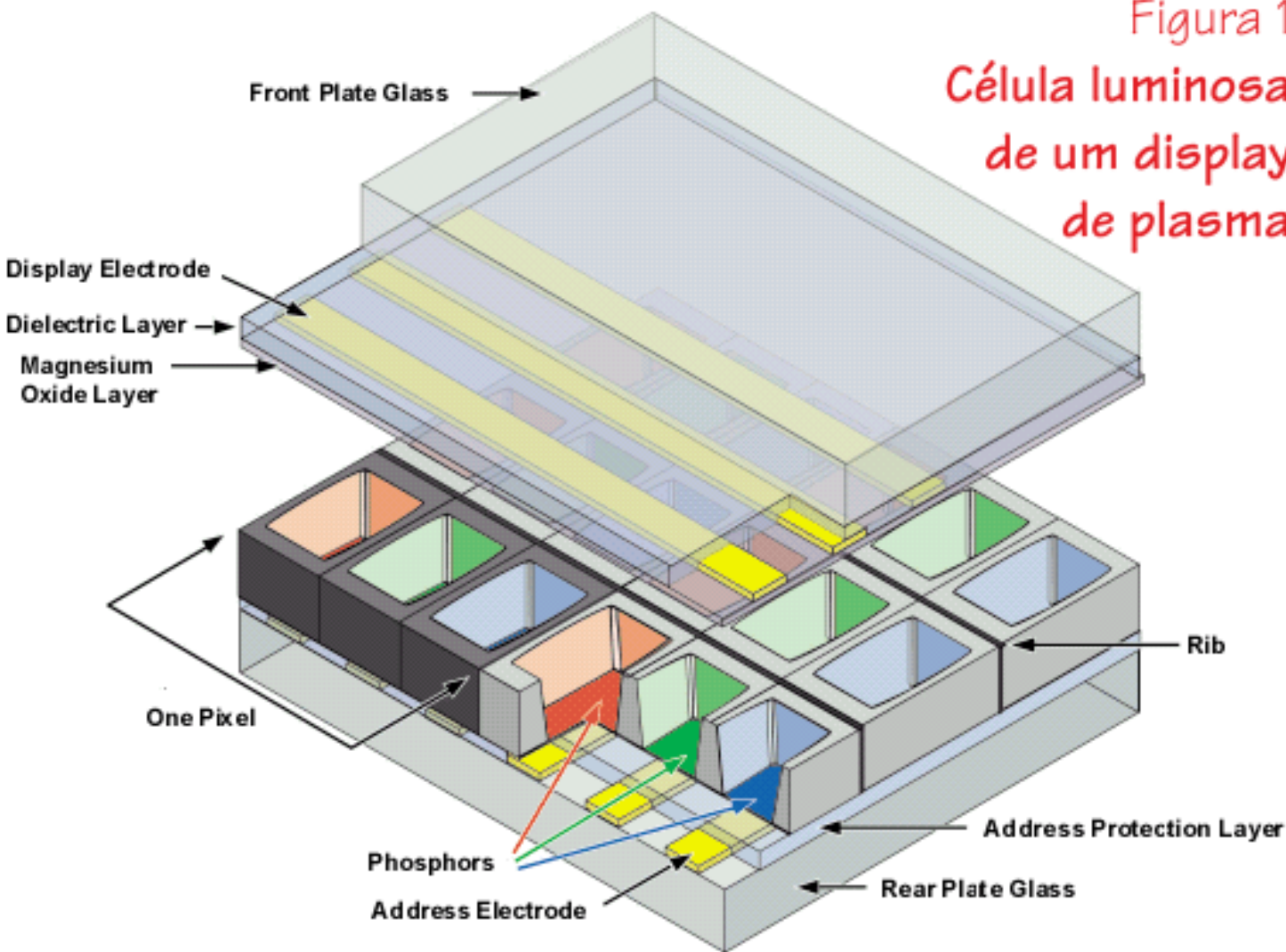
$$\Delta E = |E_f - E_i| = hf = hc/\lambda$$

Átomo de Hidrogênio – Espectros de emissão



Aplicações: TV de Plasma

Figura 1
Célula luminosa
de um display
de plasma



Na tecnologia de plasma a tela plana é composta de centenas de milhares de células individuais de pixel, que permitem que os pulsos elétricos (decorrentes de eletrodos) possam excitar gases naturais raros, geralmente Xeon e/ou neon, fazendo-os brilhar e produzir luz. Esta luz acende-se equilibrando os fósforos Vermelho, Verde ou Azul contido em cada célula para exibir a seqüência de cor adequada a partir da luz

Aplicações: TV de Plasma

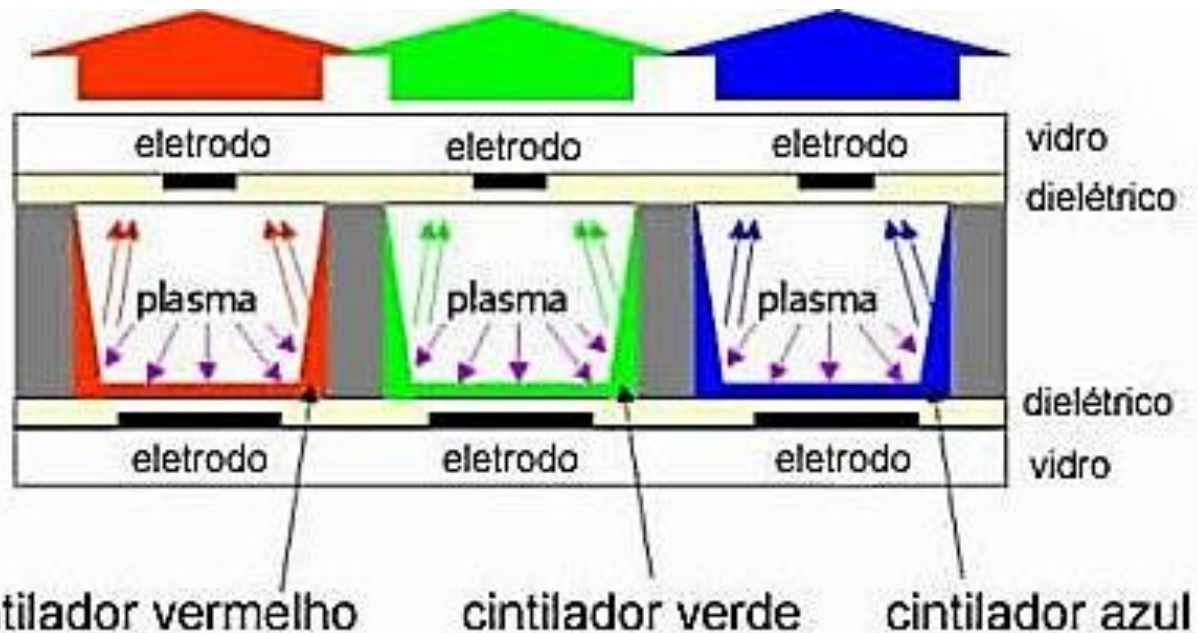


2 Cada pixel é formado por três subpixels, também chamados de células. Cada célula é preenchida com fósforo e pigmentos

Cada célula pixel é essencialmente uma lâmpada fluorescente microscópica individual,

3 Preenchido com gases nobres como xenônio e neônio, cada subpixel fica em invólucros lacrados a vácuo entre placas de vidro

4 Ao serem incitados pela corrente elétrica do processador de imagens da TV, esses gases produzem luz ultravioleta que, em contato com uma camada do elemento fósforo, tornam-se visíveis ao olho humano



Aplicações: emissão de Luz

LUMINESCÊNCIA

É a propriedade que alguns minerais apresentam de **emitir luz** quando submetidos a determinados processos tais como:

Ação Mecânica

- atrito
- impacto

Aquecimento

exceto a incandescência
(até se tornar brasa)

Irradiação

- **raios ultravioleta**,
- raios X, etc.

Aplicações: emissão de Luz Minerais

PRODUÇÃO DA LUMINESCÊNCIA

A luminescência nos minerais é **fraca** e geralmente só pode ser observada em **ambiente escuro**.

A PRODUÇÃO DA LUMINESCÊNCIA É O RESULTADO DA:

ABSORÇÃO DE ENERGIA
PELOS ÍONS

E A SUA LIBERAÇÃO
NA FORMA DE LUZ

+

Em outras palavras:

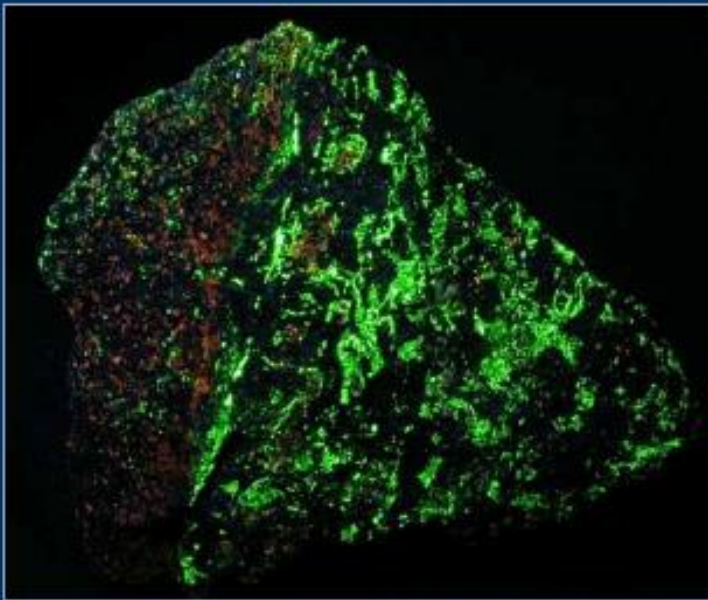
O mineral **absorve** uma forma de energia e **reemite-a** como **luz visível**

Aplicações: emissão de Luz Minerais

PRODUÇÃO DA LUMINESCÊNCIA

ÍONS ATIVADORES

Willemita (Zn_2SiO_4) \Leftrightarrow íon ativador Mn^{2+} \Leftrightarrow substitui o Zn^{2+}



Isto explica o fato de que a willemita de Franklin, New Jersey (EUA), apresenta fluorescência.

As willemitas de outras localidades que não apresentam **Manganês**, não mostram este fenômeno.

Aplicações: emissão de Luz Minerais

PROCESSOS DE GERAÇÃO E TIPOS DE LUMINESCÊNCIA

2. AQUECIMENTO ⇒ TERMOLUMINESCÊNCIA

Exemplos: topázio, diamante, fluorita (variedade clorofana) recebeu esta denominação por causa da luz verde emitida.

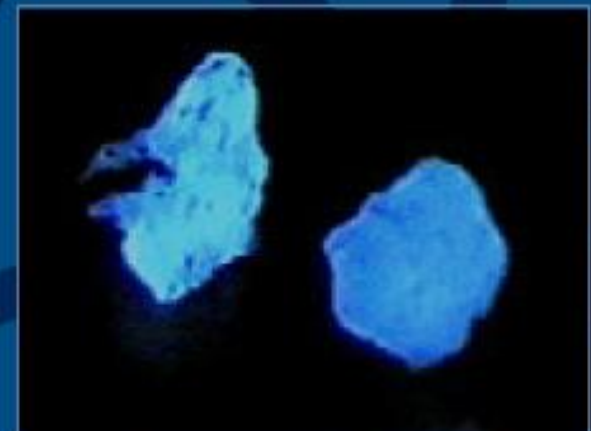
Outros minerais como fosforita, calcita, etc, requerem temperaturas superiores a 100°C.

Antes Aquecimento



Fluorita (variedade clorofana)

Após aquecimento



⇒ cor esverdeada/azul

Aplicações: emissão de Luz Minerais

PROCESSOS DE GERAÇÃO E TIPOS DE LUMINESCÊNCIA

3. IRRADIAÇÃO POR LUZ ULTRAVIOLETA, RAIOS CATÓDICOS, X, γ ,

⇒ FOTOLUMINESCÊNCIA (FLUORESCÊNCIA E FOSFORESCÊNCIA)

FLUORESCÊNCIA:

Os elétrons, excitados pela radiação curta invisível, são levados para níveis de energia mais alta e quando voltam para o seu estado inicial (fundamental), emitem luz visível do mesmo comprimento de onda, causando a **fluorescência**.

FOSFORESCÊNCIA:

Quando há um **retardo do tempo** entre a excitação dos elétrons a um nível de energia mais elevado e o seu retorno ao estado fundamental ocorre à **fosforescência**.

A **razão para o atraso** é porque uma determinada quantidade dos elétrons é **impedida de retornar rapidamente** a seus estados mais baixos de energia, pelo menos tão rapidamente como foram **energizados** inicialmente pela **luz UV**.

Aplicações: emissão de Luz Minerais

3. IRRADIAÇÃO POR LUZ ULTRAVIOLETA: FLUORESCÊNCIA

FLUORESCÊNCIA CALCITA (CaCO_3):

- ⇒ fluorescência: vermelha, rosa, amarela, etc.
- ⇒ íon ativador: Mn ou impurezas orgânicas.



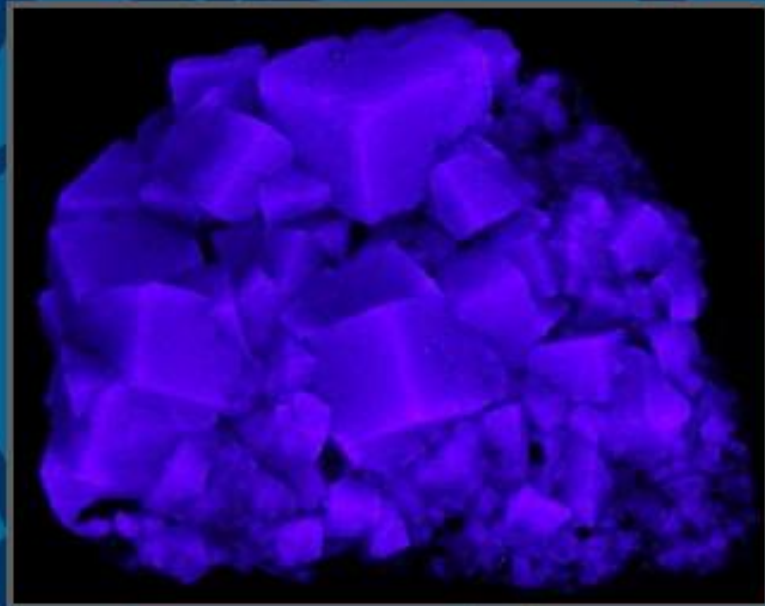
Aplicações: emissão de Luz Minerais

Processos de Geração e Tipos de Luminescência

3. IRRADIAÇÃO POR LUZ ULTRAVIOLETA: FLUORESCÊNCIA

FLUORESCÊNCIA FLUORITA (CaF_2):

- ⇒ fluorescência: azul.
- ⇒ íon ativador: Ca substituído por terras raras.



Aplicações: emissão de Luz Minerais

3. IRRADIAÇÃO POR LUZ ULTRAVIOLETA: FOSFORESCÊNCIA

FOSFORESCÊNCIA:

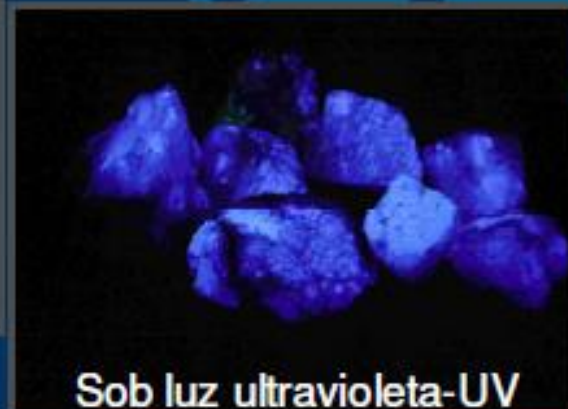
É a emissão de luz durante e após a irradiação, isto é quando interrompida a ação da fonte de luz, o mineral continua luminescente por algum tempo (alguns segundos).

Exs: diamante, scheelita, calcita, autunita, etc.

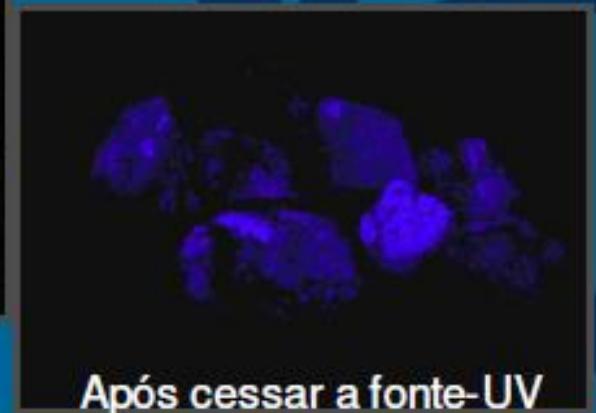
FOSFORESCÊNCIA CALCITA:



Ao natural



Sob luz ultravioleta-UV



Após cessar a fonte-UV

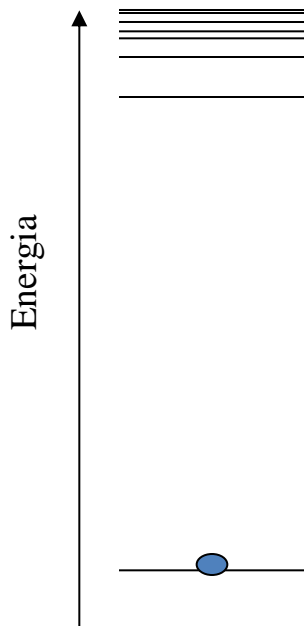
Átomo individual versus Metal sólido

Átomos individuais versus átomos metálicos em sólidos

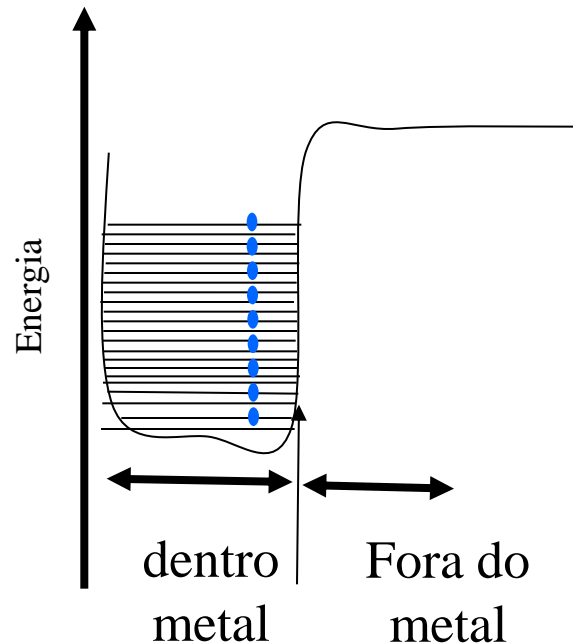
Átomo individual:

Metal Sólido: $\sim 10^{23}$ átomos per cm^3

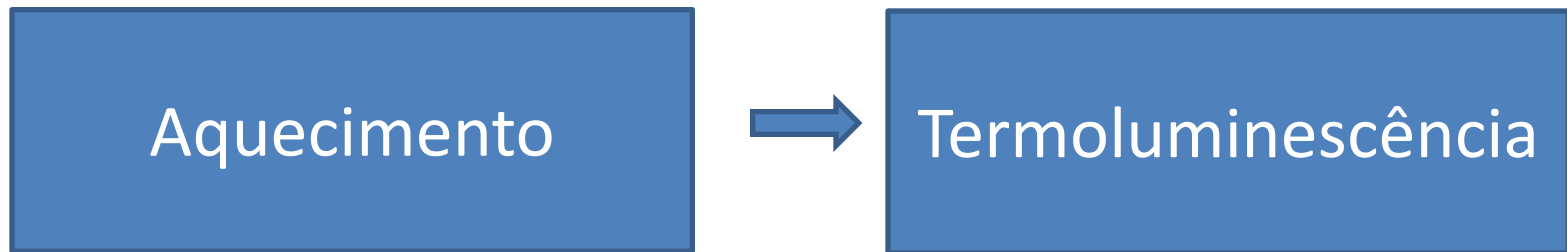
diagrama de energia discreto



Elétrons estão em uma "banda" de níveis de energia:
Vários e vários níveis de energia espaçadas muito próximas uns dos outros
(Um contínuo de níveis)



Produção da LUMINESCÊNCIA



Propriedade importante para o processo de datação

Os elétrons livres produzidos pela ionização circulam pela estrutura do mineral, até serem capturados por defeitos (ou armadilhas) existentes na rede cristalina e, então, podem permanecer aprisionados por centenas, milhares e até milhões de anos.

Quando se aquece um mineral termoluminescente a luz visível inicial geralmente:

- Surge – temperatura entre 50º e 100º C
- Cessa – normalmente a temperaturas superiores a 475º C

Aplicações: Termoluminescência

- Quando o mineral é aquecido ou exposto à luz solar, os elétrons retidos absorvem energia suficiente para escaparem das armadilhas e retornarem aos átomos aos quais estavam ligados. Este processo de reorganização é acompanhado por emissão de luz denominada de **termoluminescência**.
- A intensidade da luz emitida, ou o número de fótons produzido, pode ser medida sendo proporcional ao número de elétrons aprisionado que, por sua vez, é proporcional à dose total de radiação ionizante recebida pelo mineral.

Aplicações: Datação por Termoluminescência

- O sinal TL de um mineral é destruído quando aquecido a altas temperaturas (acima de 300° C), exposto à luz solar ou ainda quando ocorre a sua recristalização. De modo que, após terem sido cozidos na confecção de utensílios cerâmicos, por exemplo, os minerais constituintes ficam isentos de sinal TL e inicia-se um processo de irradiação natural, com retenção de dose proporcional ao tempo de permanência no subsolo. A idade TL é calculada a partir da dose total (D_t) ou paleodose e a dose anual (D_a) pela relação:

$$TL = D_t / D_a$$

- Assim, a intensidade da termoluminescência fornece o tempo transcorrido desde que ela foi aquecida pela última vez. Com isso, pode-se datar objetos de até 1 milhão de anos, com precisão de até 10%.

Aplicações: Datação por Termoluminescência

- Esse método foi introduzido no Brasil no final da década de 60 por Shigueo Watanabe, aqui no Instituto de Física da USP.
- Sua equipe fez um estudo sobre fragmentos de vasos e urnas funerárias encontradas no interior do estado de São Paulo.
- Sua pesquisa estava inserida no Projeto Paranapanema, idealizado em **1968** pela arqueóloga Luciana Pallestini, objetivo era o estudo do cenário da ocupação humana na bacia do Rio Paranapanema (São Paulo e Paraná), em nível físico, biológico e sócio-econômico.
- Objetos arqueológicos salvos da inundação da usina hidrelétrica de Xingó, em Sergipe (estudado pelo grupo Universidade Federal de Sergipe (UFS)). Objetos: peças cerâmicas e esqueletos inteiros, encontrados em cemitérios - começaram a ser coletados em 1990 e foram datados inicialmente por C14, na França. A partir de 1994, começaram a ser feitas as datações por termoluminescência (UFS)

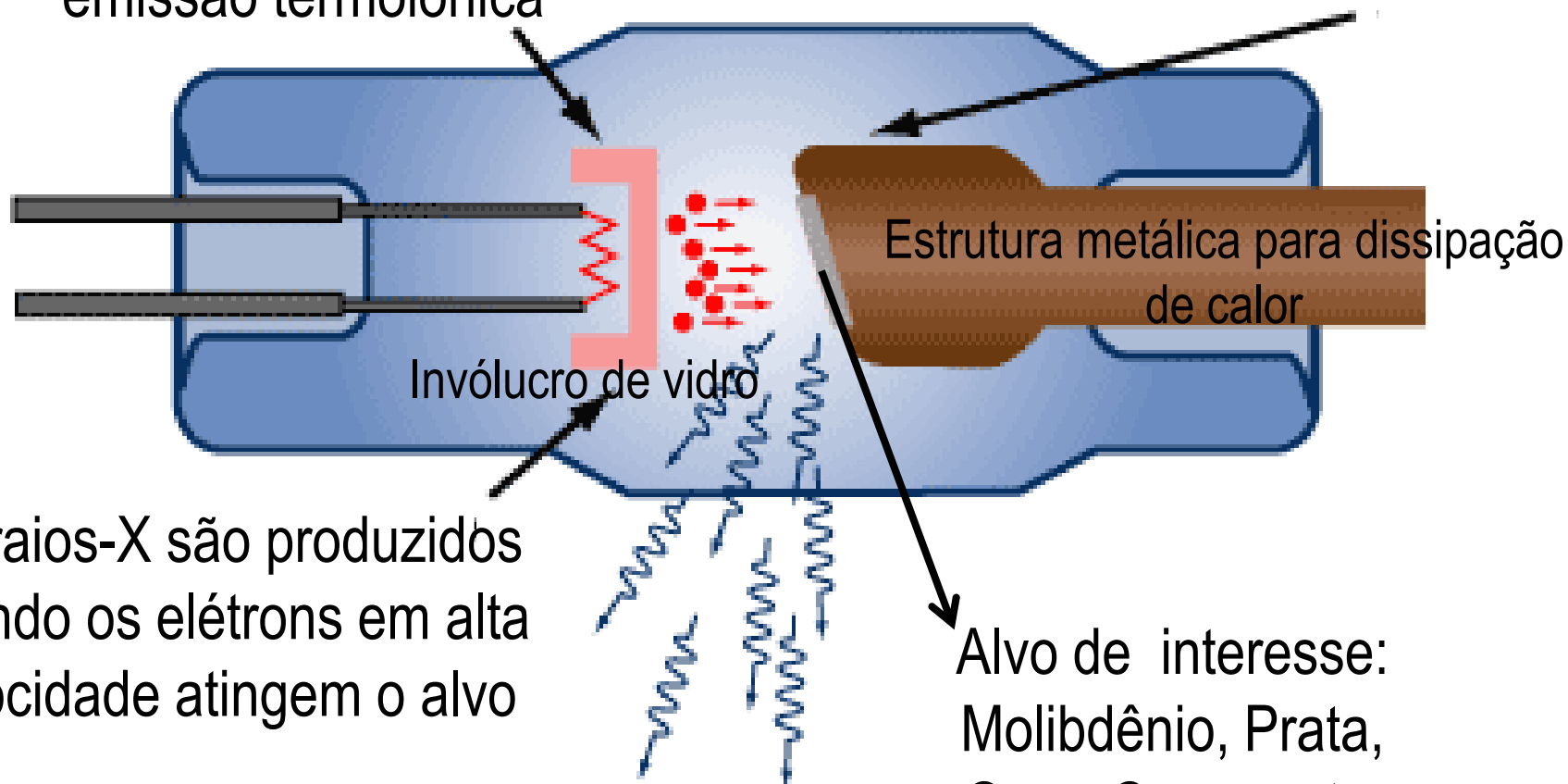
Aplicações: Luminescência opticamente estimulada

- O grupo da Universidade Federal de Sergipe (UFS) usou a termoluminescência para datar objetos cerâmicos, mas não as ossadas, pois o método exige que se aqueça o material a até 400 graus, o que destruiria os ossos.
- Um método semelhante, mas menos destrutivo, é a luminescência opticamente estimulada (LOE ou OSL). Assim como na termoluminescência, nesse método provoca-se a libertação dos mesmos elétrons presos nos defeitos do material, que haviam sido retirados de suas moléculas pela radiação ambiente. A diferença é que nesse caso a libertação não é provocada pelo aquecimento, mas pela exposição à luz.
- No Brasil, esse método é usado no Laboratório de Vidros e Datação, na Faculdade de Tecnologia de São Paulo, pelo grupo de Sônia Tatum, que também usa a termoluminescência.

Emissão de Raios-X

O filamento aquecido emite elétrons por emissão termoiônica

Os elétrons são acelerados através de uma alta voltagem



REFERÊNCIAS UTILIZADAS NESTA AULA

- Halliday, Resnick e Walker - **Fundamentos de Física** –Vol. III e IV – 9ª ed.
- Sears e Zemansky - **Fundamentos de Física** Vol. III e IV – 12ª ed.
- H. Moysés Nussenzveig - **Curso de Física Básica** – Vol. 3 e 4
- R. Eisberg e R. Resnick, 4a edição, Ed. Campus Ltda., RJ, Brasil, 1986. *Física Quântica,*
- F. Caruso e V. Oguri, Ed. Campus, RJ, 2006. *Física Moderna, origens clássicas e fundamentos quânticos,*
- P. A. Tipler e R. A. Llewellyn, 3a edição, LTC editora, RJ, Brasil, 2001. *Física Moderna,*
- Serway, Moses and Moyern -**Modern Physics**
- S.T. Thornton e A. Rex, Thomson Brooks/Cole, USA, Third Edition. *Modern Physics*
- Notas de aulas dos cursos de Princípios de Física Moderna e Princípios e Aplicações de Física Moderna – Centro Universitário da FEI
- <http://www.arpansa.gov.au/radiationprotection/basics/xrays.cfm>