

USP – Universidade de São Paulo

Física Experimental C - Laboratório

Difração de Raio X

João Kogler

PSI / EP USP

Versão EAD - 2020



Difração de Raio-X

Sumário

- Objetivos e descrição do experimento
 - Vídeo 1 – Descrição do experimento
- Introdução à Difração de Bragg
 - Vídeo 2 – Difração de Bragg - Teoria
- Procedimento experimental
 - Obtenção dos dados
 - Vídeo 3.1 – Difração de Bragg
 - Análises de dados
 - Vídeo 3.2 – Análise de Bragg
 - Vídeo 3.3 – Análise de Duane-Hunt
 - Vídeo 3.4 – Análise de Planck
- Elaboração do Relatório
 - Roteiro geral
 - Modelo do relatório

Difração de Raio-X

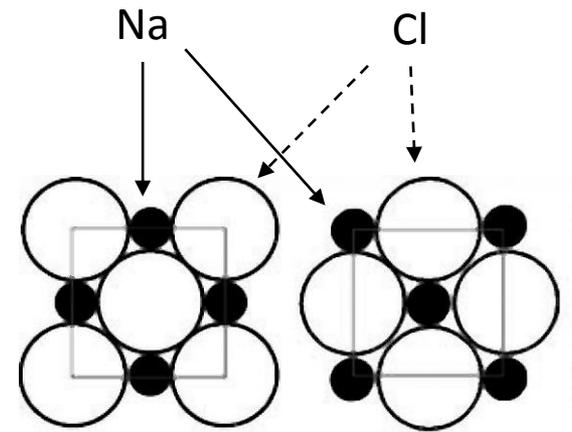
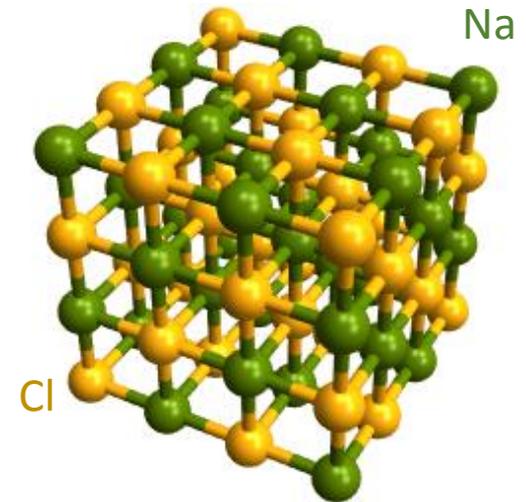
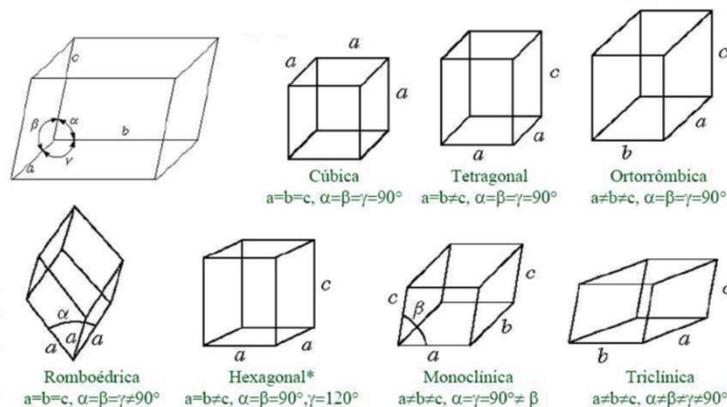
Sumário

- Introdução à Difração de Bragg
 - Vídeo 2 – Difração de Bragg – Teoria
 - Cristais
 - Determinação da distância inter atômica no NaCl
 - Espalhamento de Bragg
 - Difração dos raios x
 - Detecção do feixe espalhado
 - Produção de raios x
 - Tubo de raio x
 - Radiação de fundo de *Bremsstrahlung*
 - Radiação característica
 - Lei de Duane-Hunt

Difração de Raio-X

Emprego da difração de Bragg para caracterização de estruturas de cristais

- Cristais apresentam regularidade estrutural
 - Estrutura periódica
 - Repetição espacial da célula unitária
 - Caracterizada pelos seus parâmetros geométricos

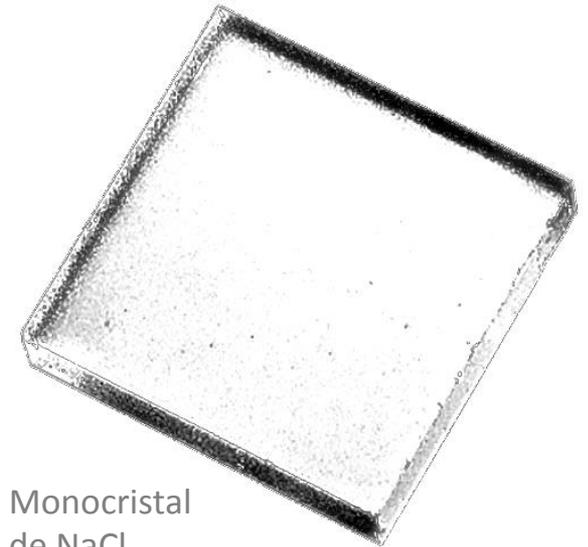
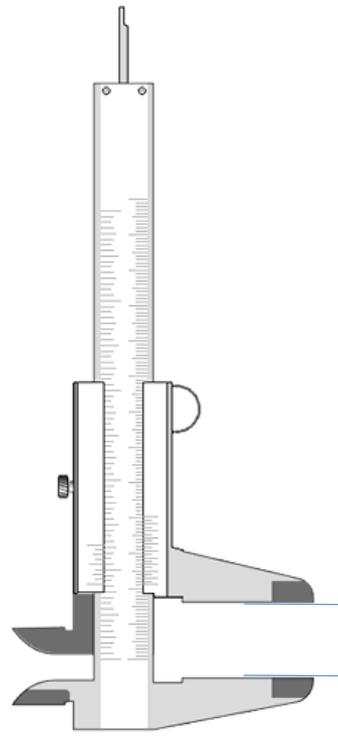


Difração de Raio-X

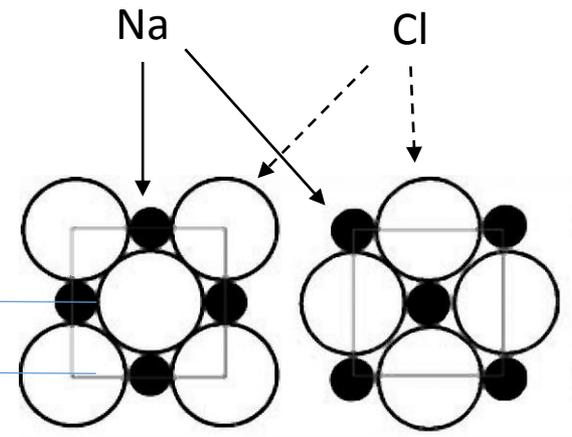
Emprego da difração de Bragg para
caracterização de estruturas de cristais

- Mediremos a distância inter atômica entre o Na e o Cl
 - $d \sim \text{Angstrom}$
(10^{-10} m)

Precisamos de
um padrão para
comparação



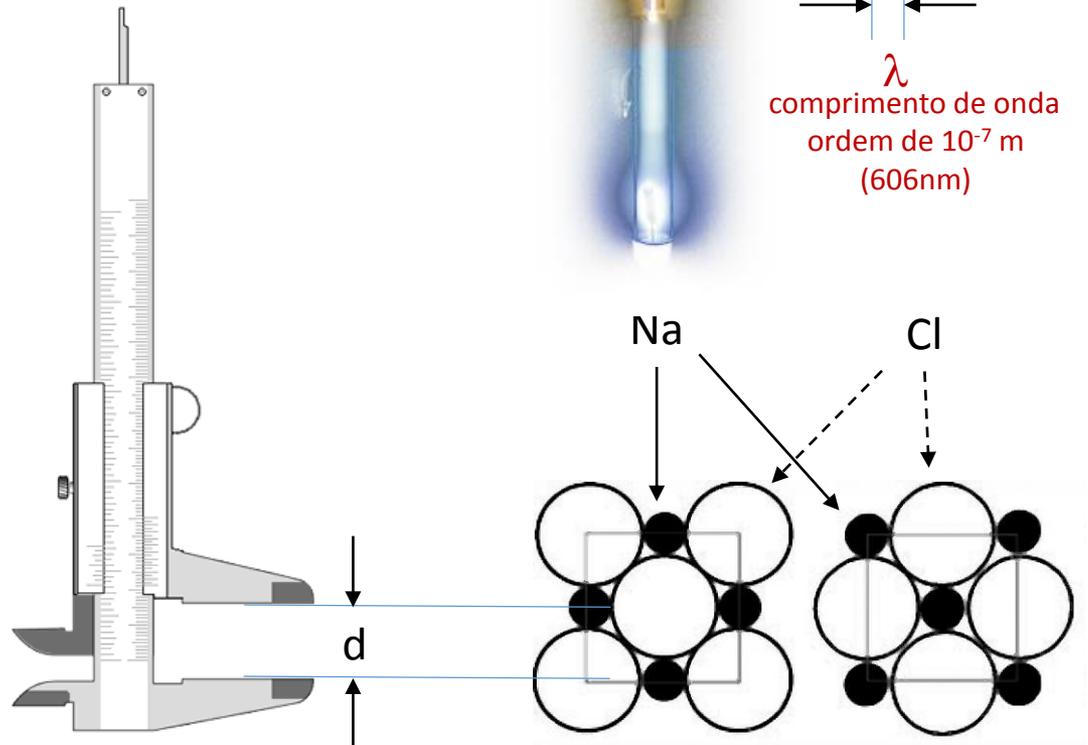
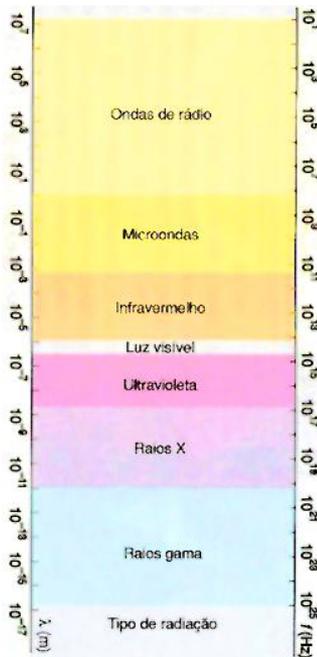
Monocristal
de NaCl



Difração de Raio-X

Emprego da difração de Bragg para caracterização de estruturas de cristais

- Mediremos a distância inter atômica entre o Na e o Cl
 - $d \sim$ Angstrom (10^{-10} m)

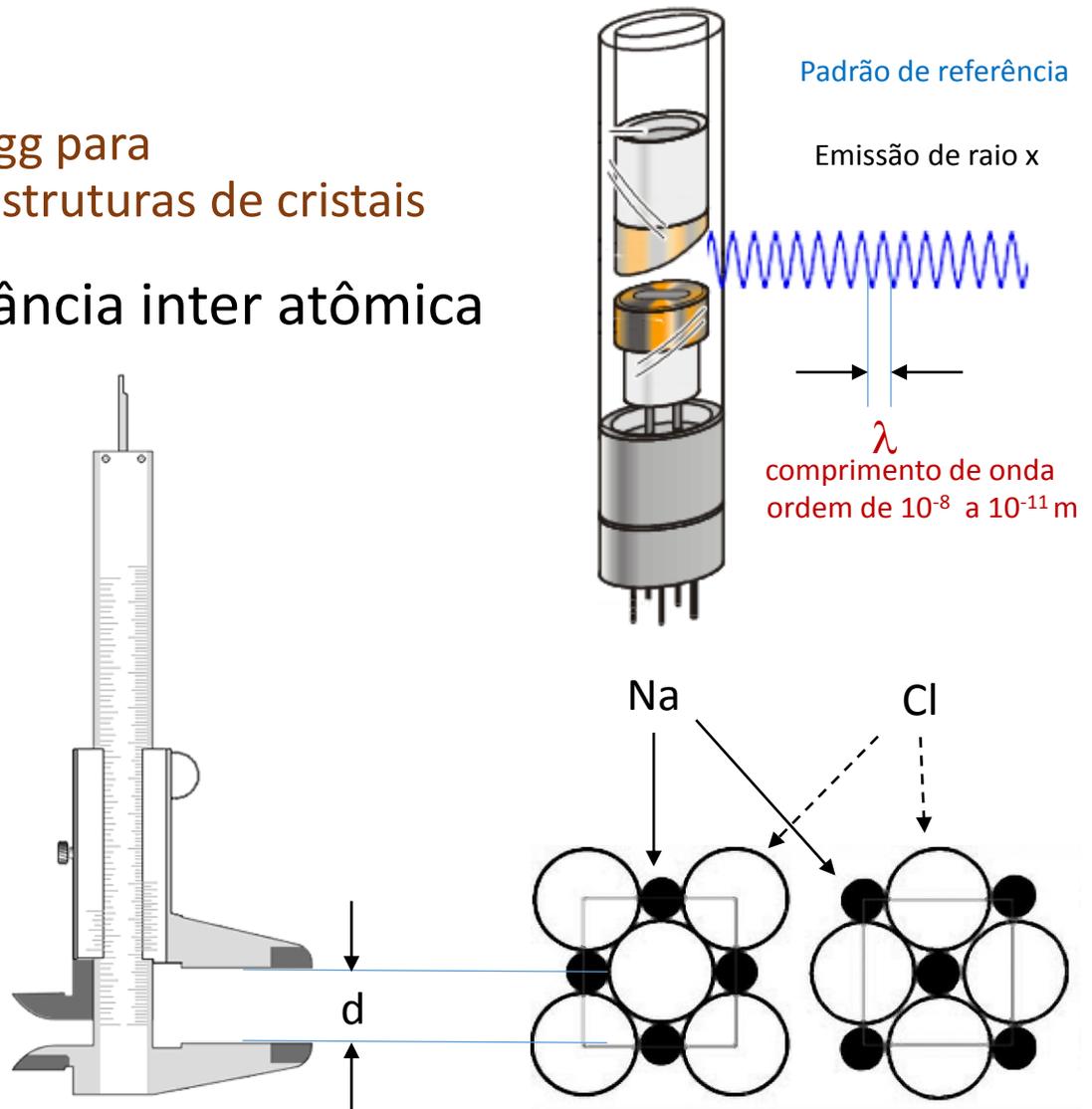


Difração de Raio-X

Emprego da difração de Bragg para caracterização de estruturas de cristais

- Mediremos a distância inter atômica entre o Na e o Cl
 - $d \sim \text{Angstrom}$
(10^{-10} m)

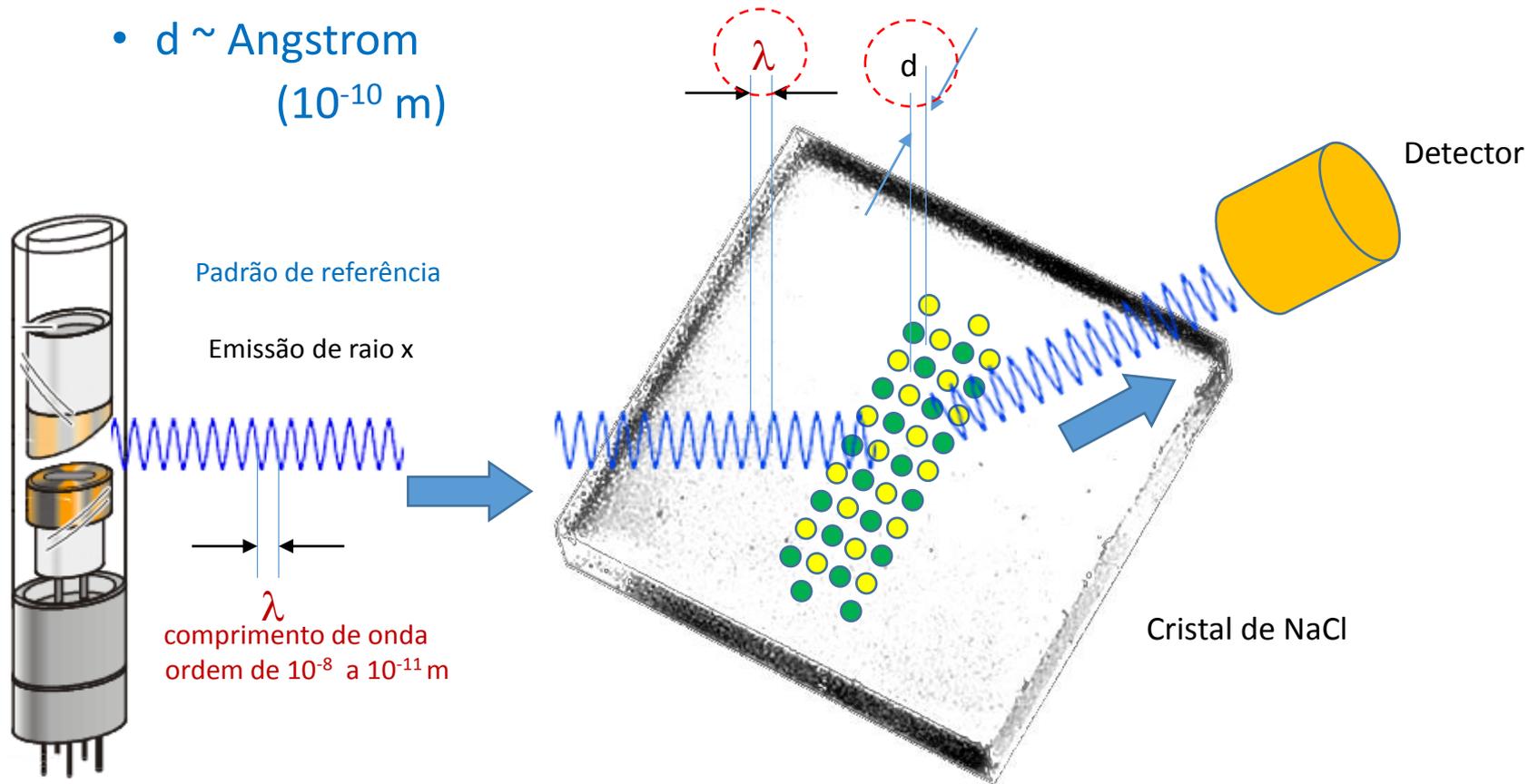
Raio x encontra-se na faixa de comprimentos de onda de 10 nm a 10 pm



Difração de Raio-X

Emprego da difração de Bragg para caracterização de estruturas de cristais

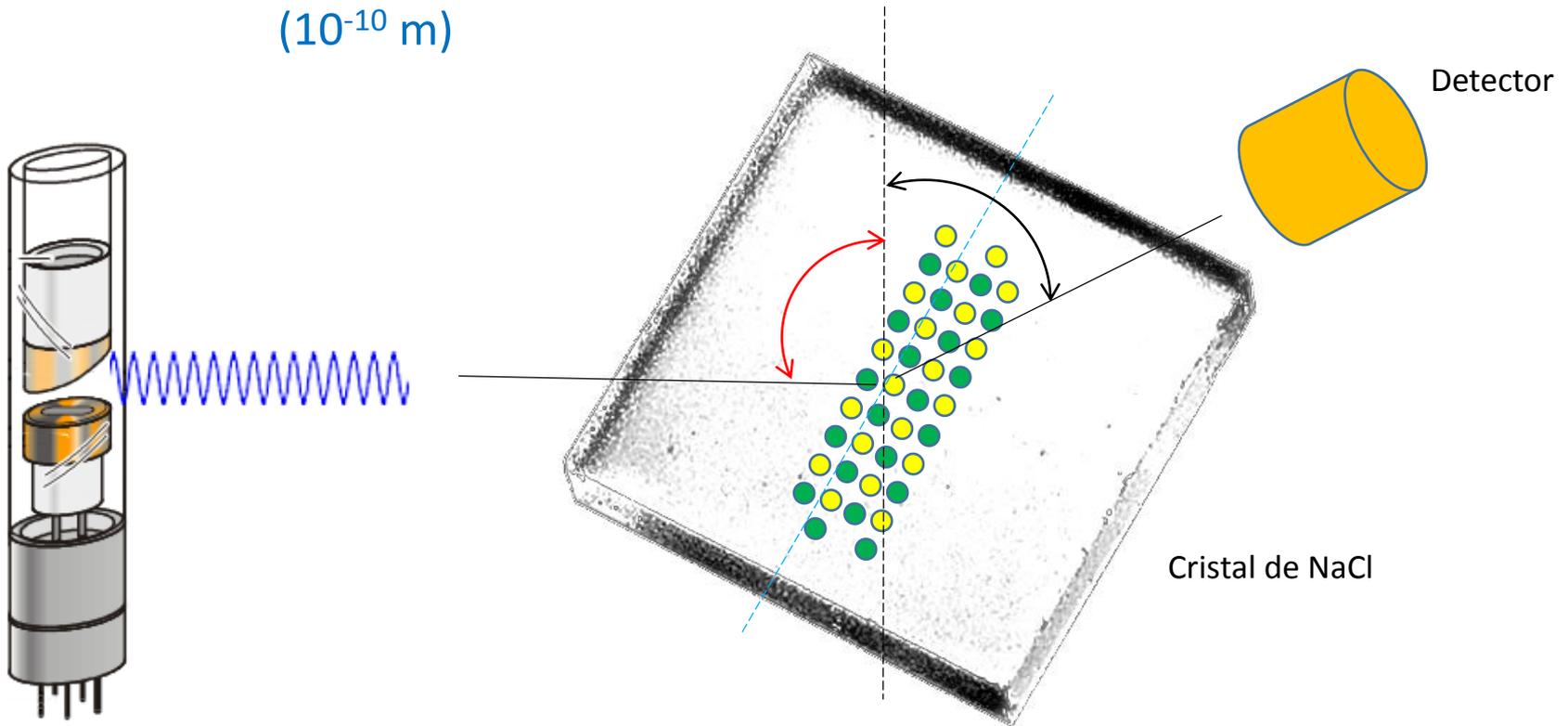
- Mediremos a distância inter atômica entre o Na e o Cl
 - $d \sim \text{Angstrom}$
(10^{-10} m)



Difração de Raio-X

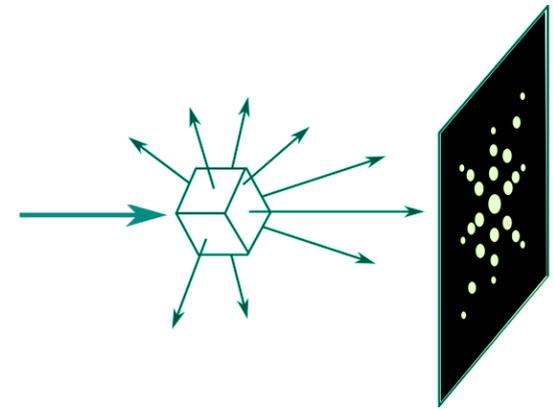
Emprego da difração de Bragg para caracterização de estruturas de cristais

- Mediremos a distância inter atômica entre o Na e o Cl
 - $d \sim \text{Angstrom}$
(10^{-10} m)



Difração de Raio-X

- Raio x descoberto em 1895
 - Wilhelm Röntgen
 - Onda eletromagnética
 - Comprimento de onda da ordem de Angstrom (10^{-10} m)



• Max von Laue (1912)

- Difração de raio x
 - Através do reticulado cristalino
 - Testar a hipótese de raio x ser onda eletromagnética
 - Feixe de raio x de espectro contínuo
 - Incidência perpendicular à superfície de um monocristal
 - Experimento realizado por Friedrich e Knipping (1912)



• William Henry Bragg e William Lawrence Bragg (1913)

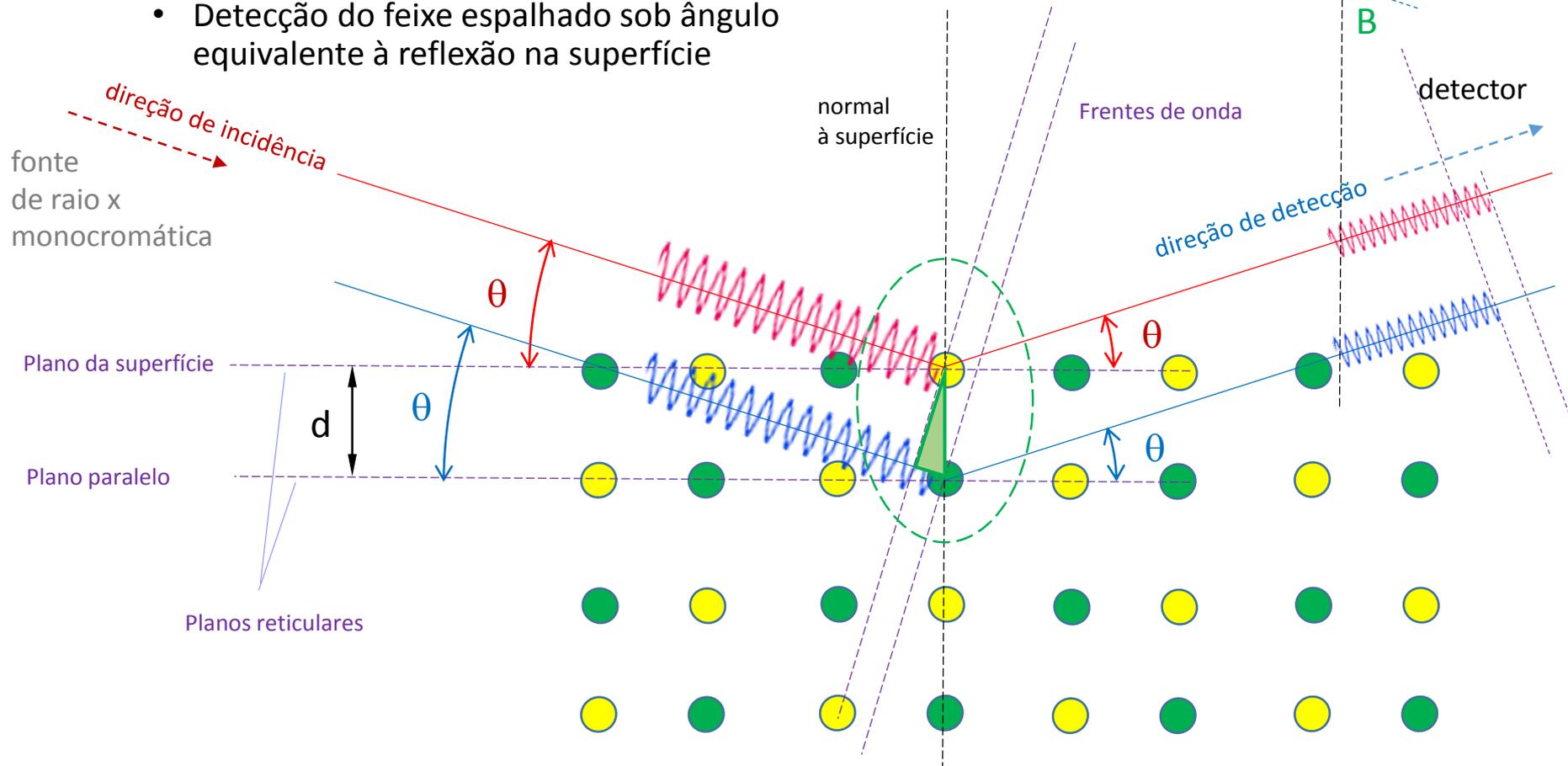
- Raio x monocromático
- Incidência oblíqua à superfície do cristal
- Reflexão especular nos planos reticulares



Difração de Raio-X

Difração de Bragg

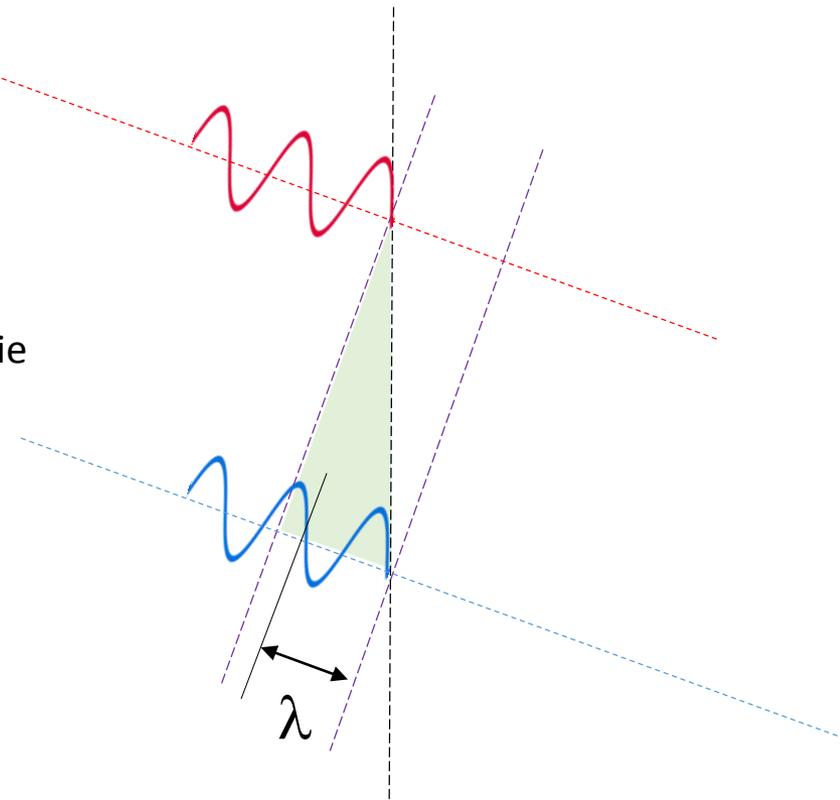
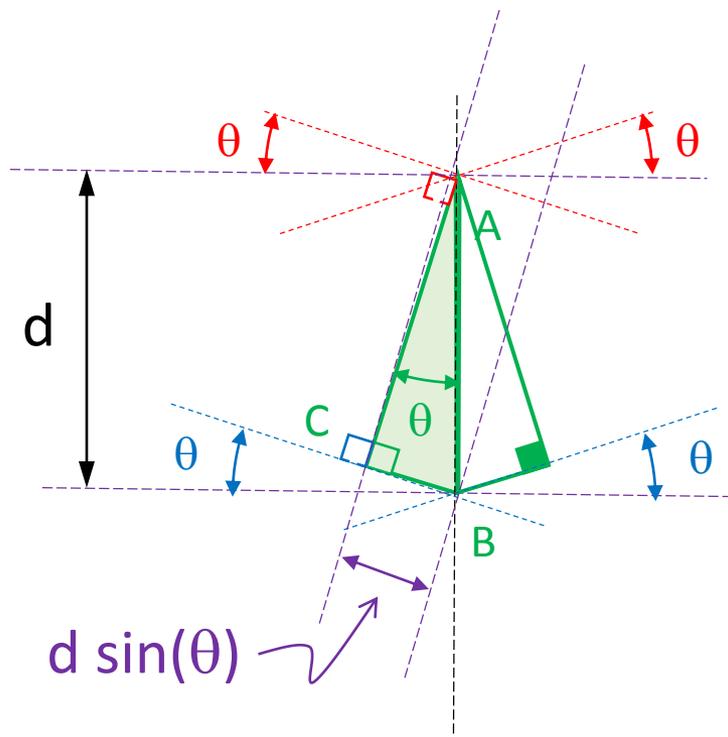
- Feixe monocromático de raio x
- Feixe incidente inclinado em relação à superfície
- Detecção do feixe espalhado sob ângulo equivalente à reflexão na superfície



Difração de Raio-X

Difração de Bragg

- Feixe monocromático de raio x
- Feixe incidente inclinado em relação à superfície
- Detecção do feixe espalhado sob ângulo equivalente à reflexão na superfície



$$n \lambda = 2 d \sin(\theta)$$

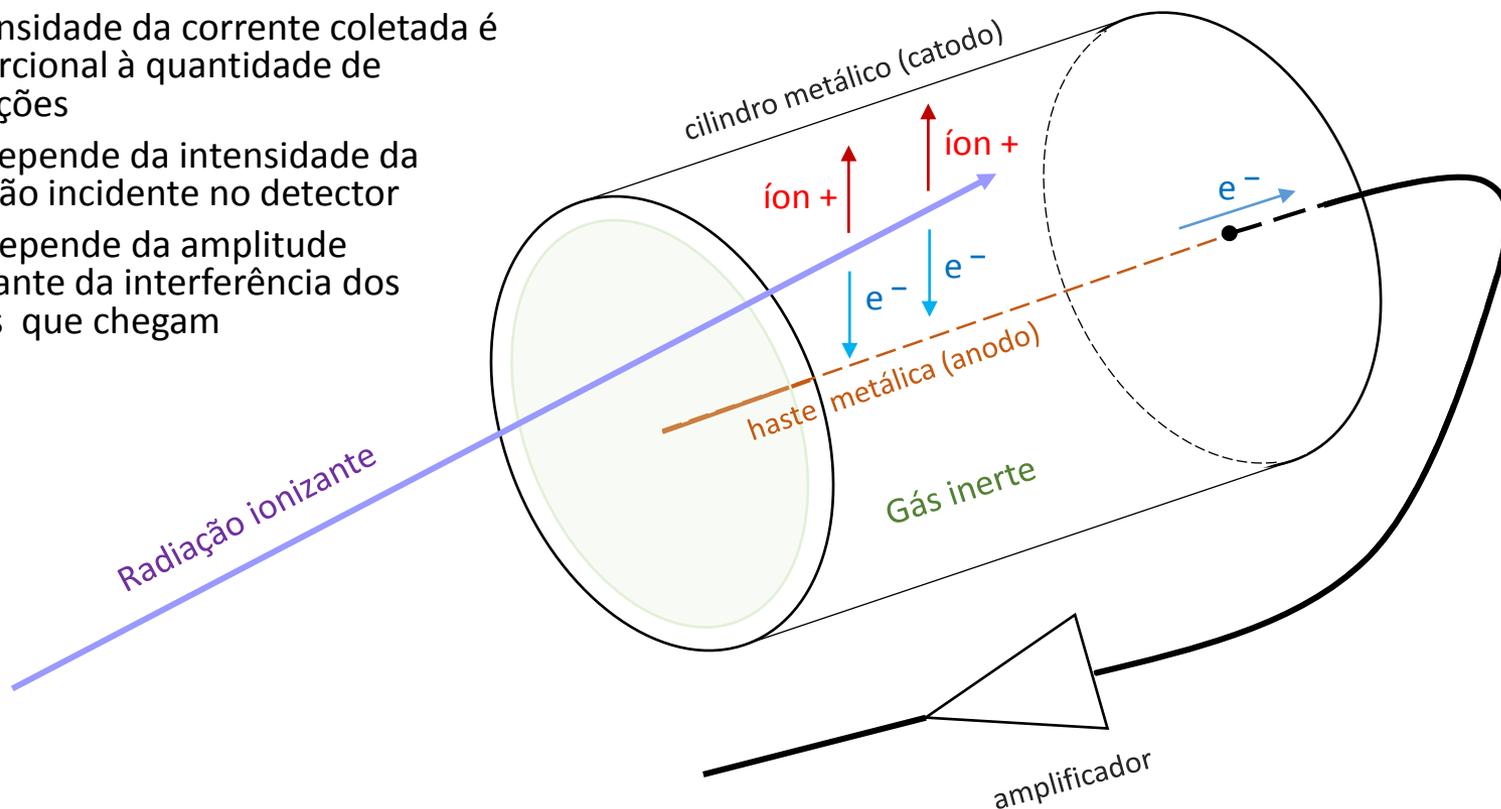
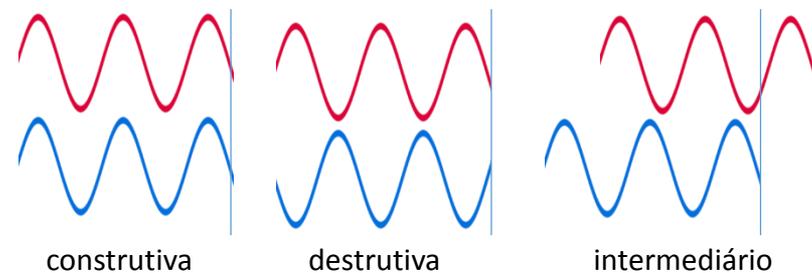
relação de Bragg

Difração de Bragg

Detecção do feixe espalhado

- Detector de Geiger-Müller

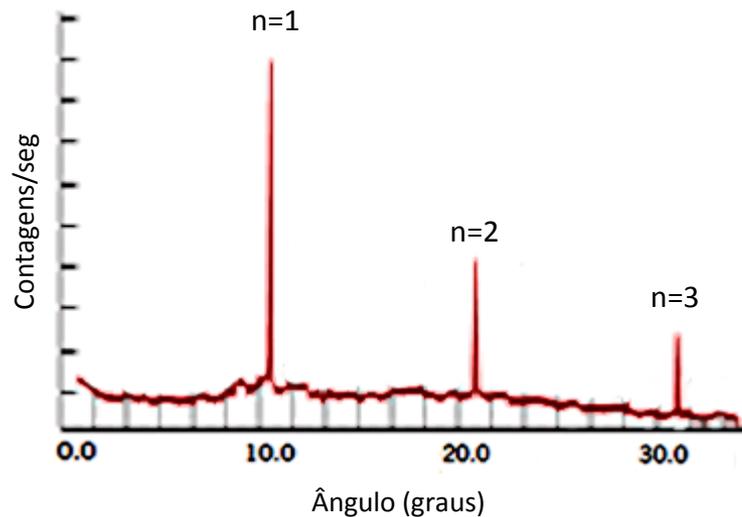
- A intensidade da corrente coletada é proporcional à quantidade de ionizações
- Esta depende da intensidade da radiação incidente no detector
- Que depende da amplitude resultante da interferência dos fótons que chegam



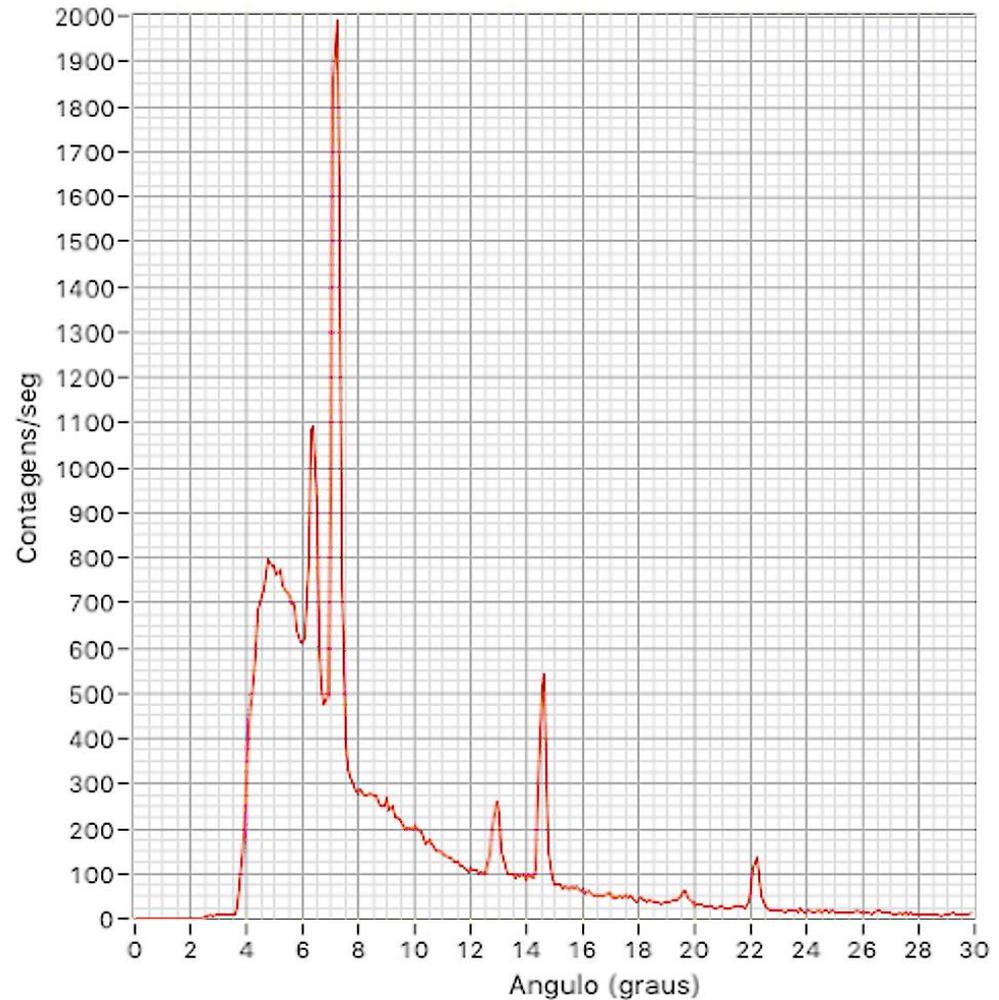
Difração de Bragg

relação
de Bragg $n \lambda = 2 d \sin(\theta)$

Note que o que se mede é a contagem de fótons de raio x por intervalo de tempo, em função do ângulo de detecção.
A correspondência entre o ângulo e o comprimento de onda λ é dada pela relação de Bragg.



o que se espera obter

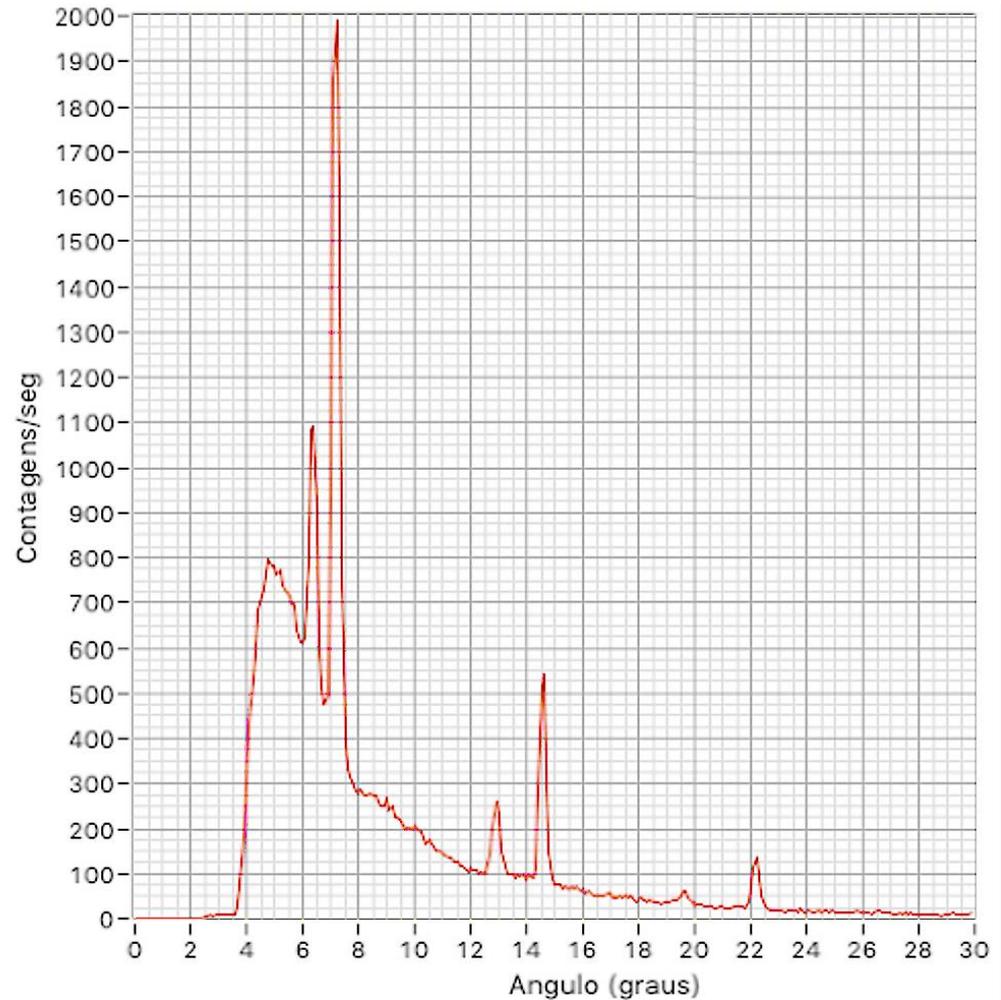
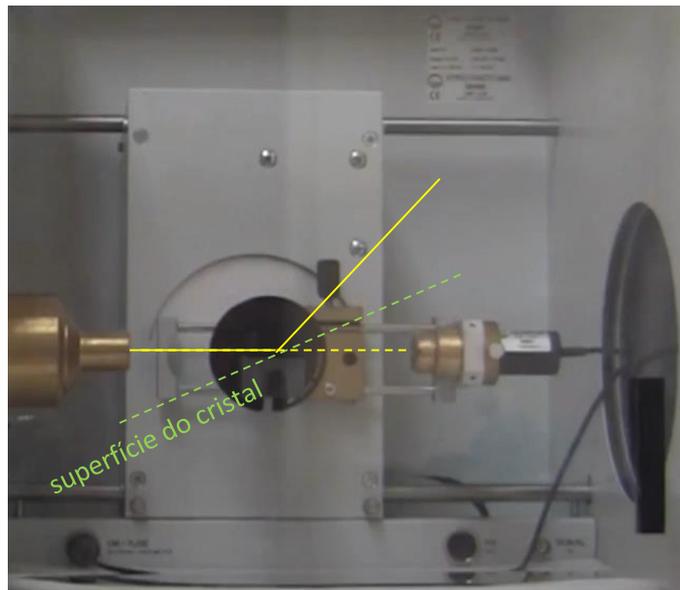


o que se obtém

Difração de Bragg

relação
de Bragg $n \lambda = 2 d \sin(\theta)$

Note que o que se mede é a contagem de fótons de raio x por intervalo de tempo, em função do ângulo de detecção.
A correspondência entre o ângulo e o comprimento de onda λ é dada pela relação de Bragg.

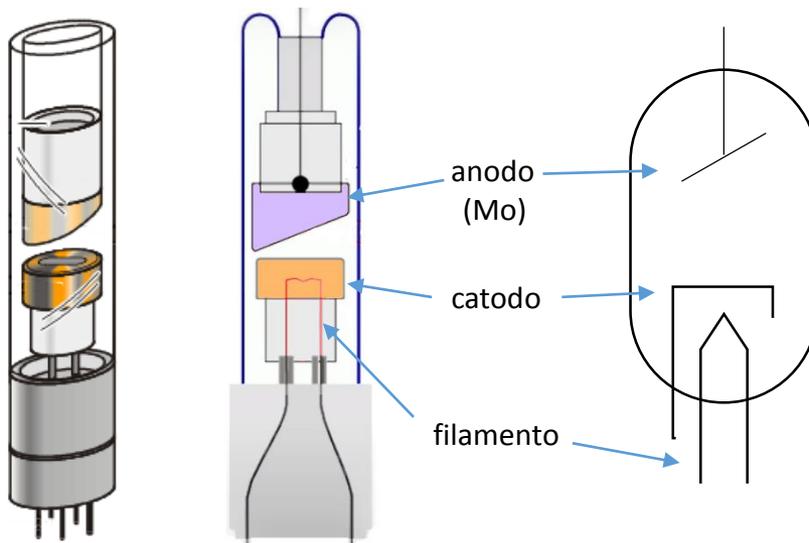


o que se obtém

Produção de Raio X

Tubo de raio X

- Produção de ondas eletromagnéticas
 - Lâmpada incandescente
 - Lei de Planck da radiação de corpo negro
 - Inviável para as energias envolvidas no raio x
 - Emissão termiônica
 - Tubo de raio x

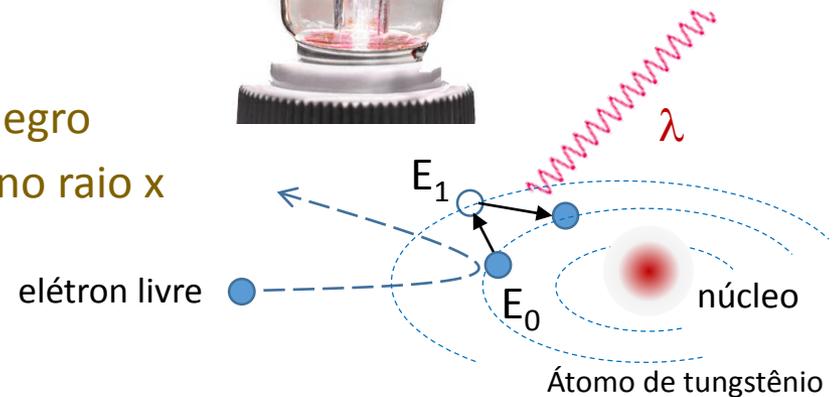


Filamento aquecido



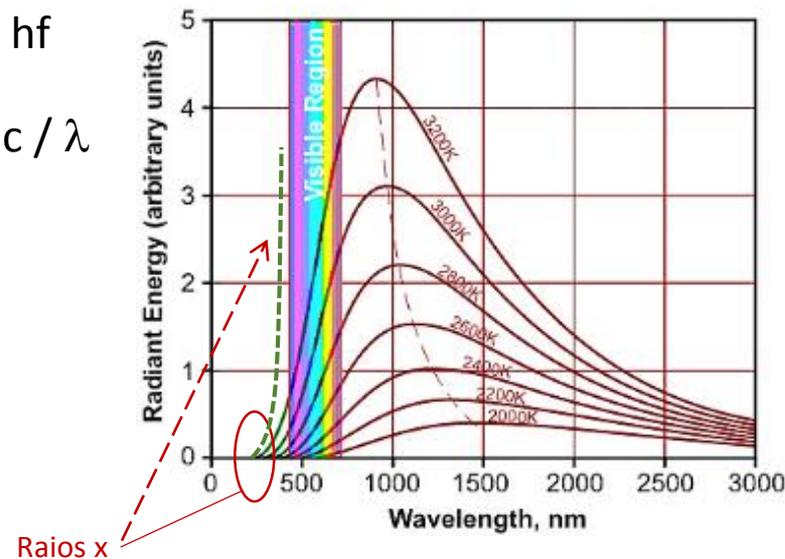
$$\Delta E = E_1 - E_0$$

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



$$E = hf$$

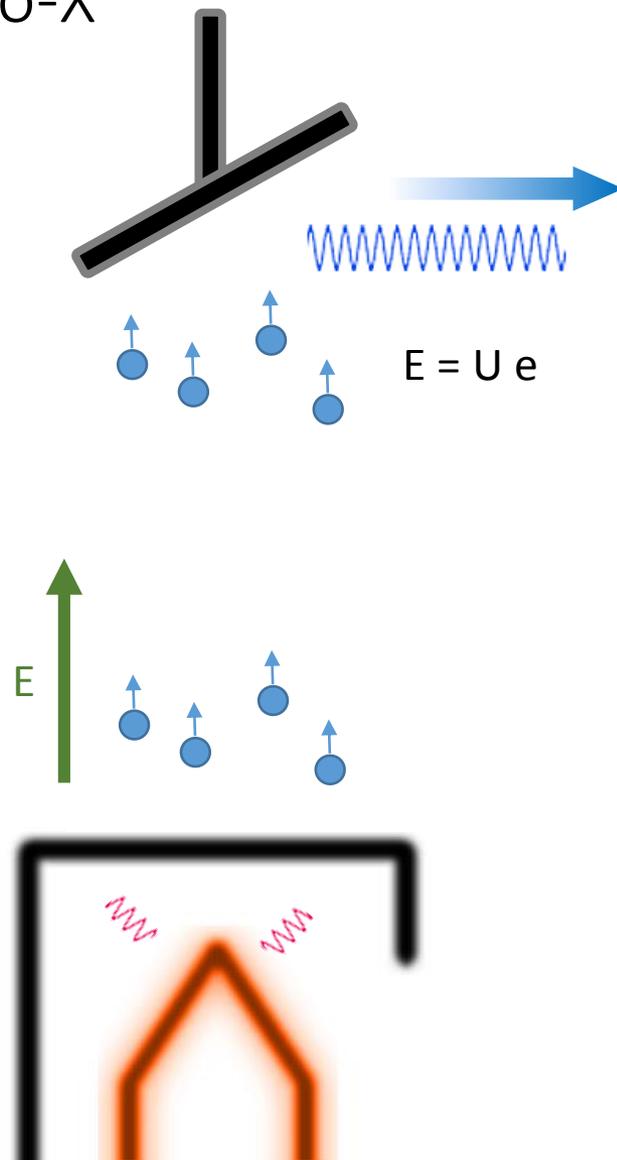
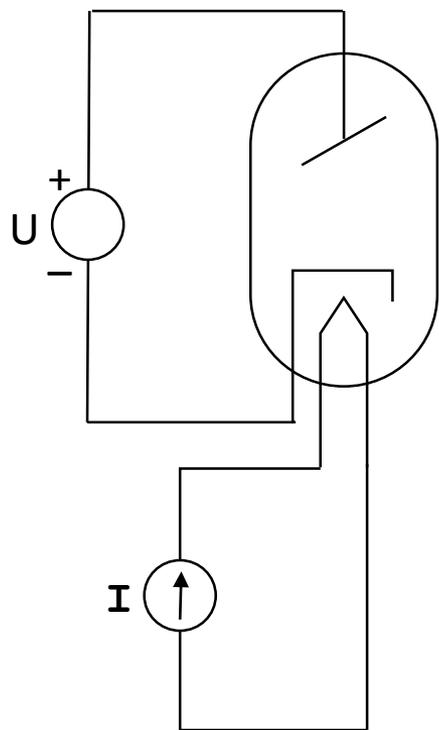
$$E = hc / \lambda$$



Produção de Raio-X

Tubo de raio x

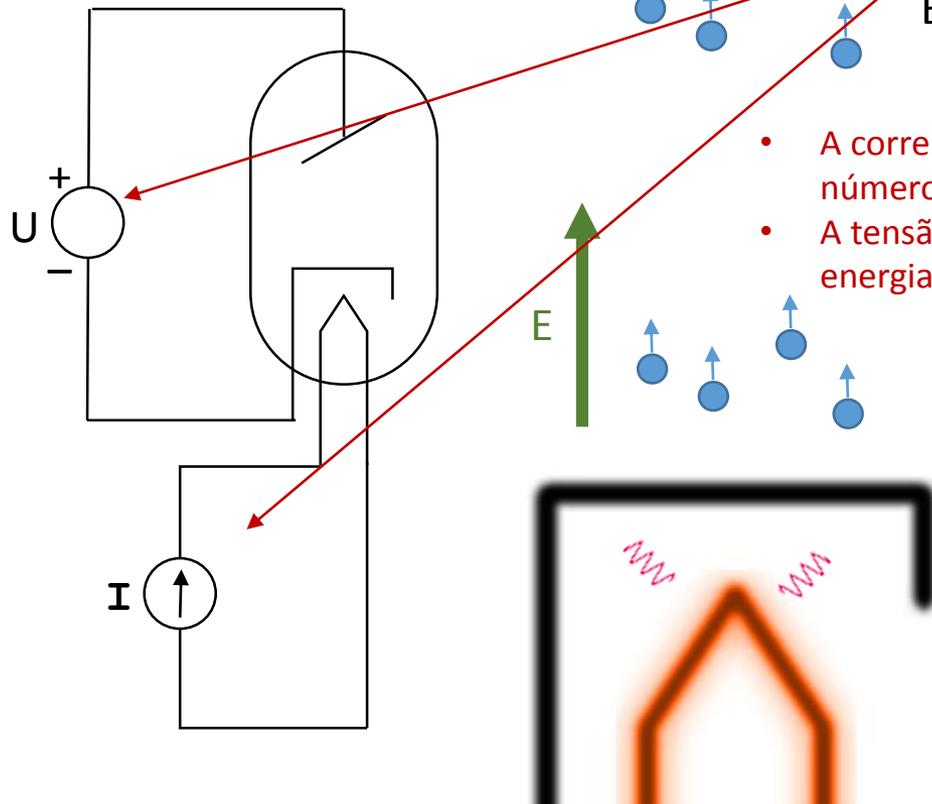
- Operação



Produção de Raio-X

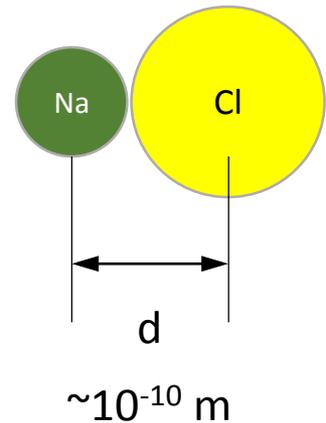
Tubo de raio x

- Cálculo da tensão aceleradora



- A corrente influencia o número de fótons
- A tensão define a energia dos fótons

$$E = U e$$



$$\lambda \sim 10^{-11} \text{ m}$$

relação de Einstein:

$$E = hc / \lambda$$

portanto:

$$U e = hc / \lambda$$

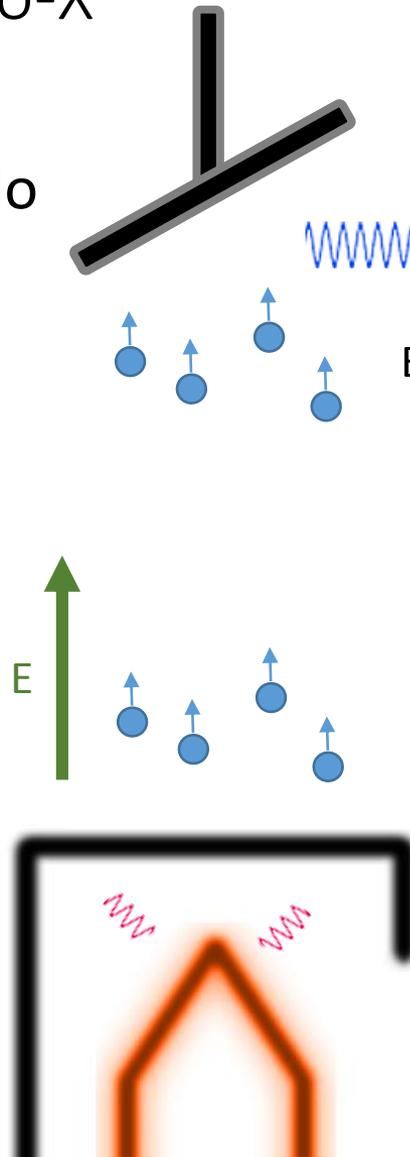
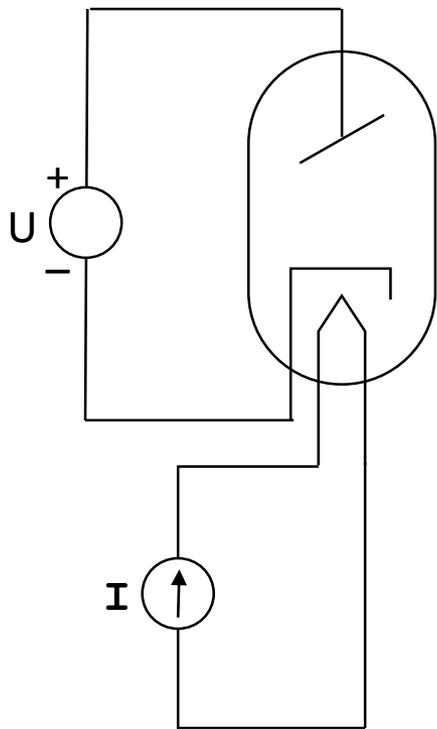
$$U \sim 10^4 \text{ V}$$

Usaremos entre 35 kV e 22 kV

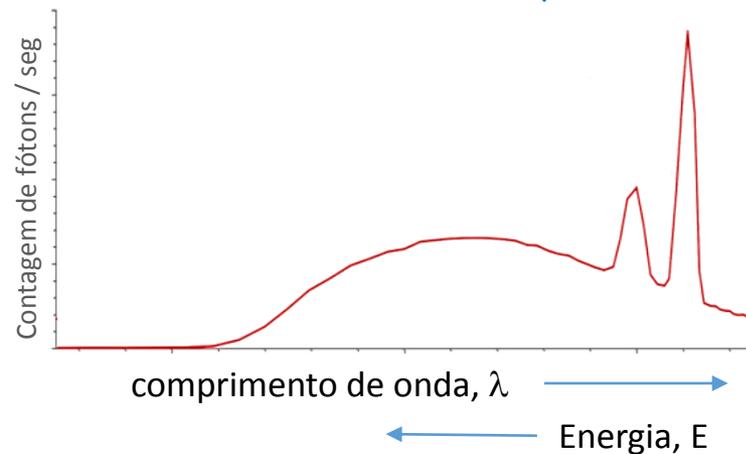
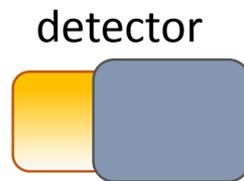
Produção de Raio-X

Tubo de raio x

- Espectro do Mo



Colocando-se o detector diretamente apontado para a fonte

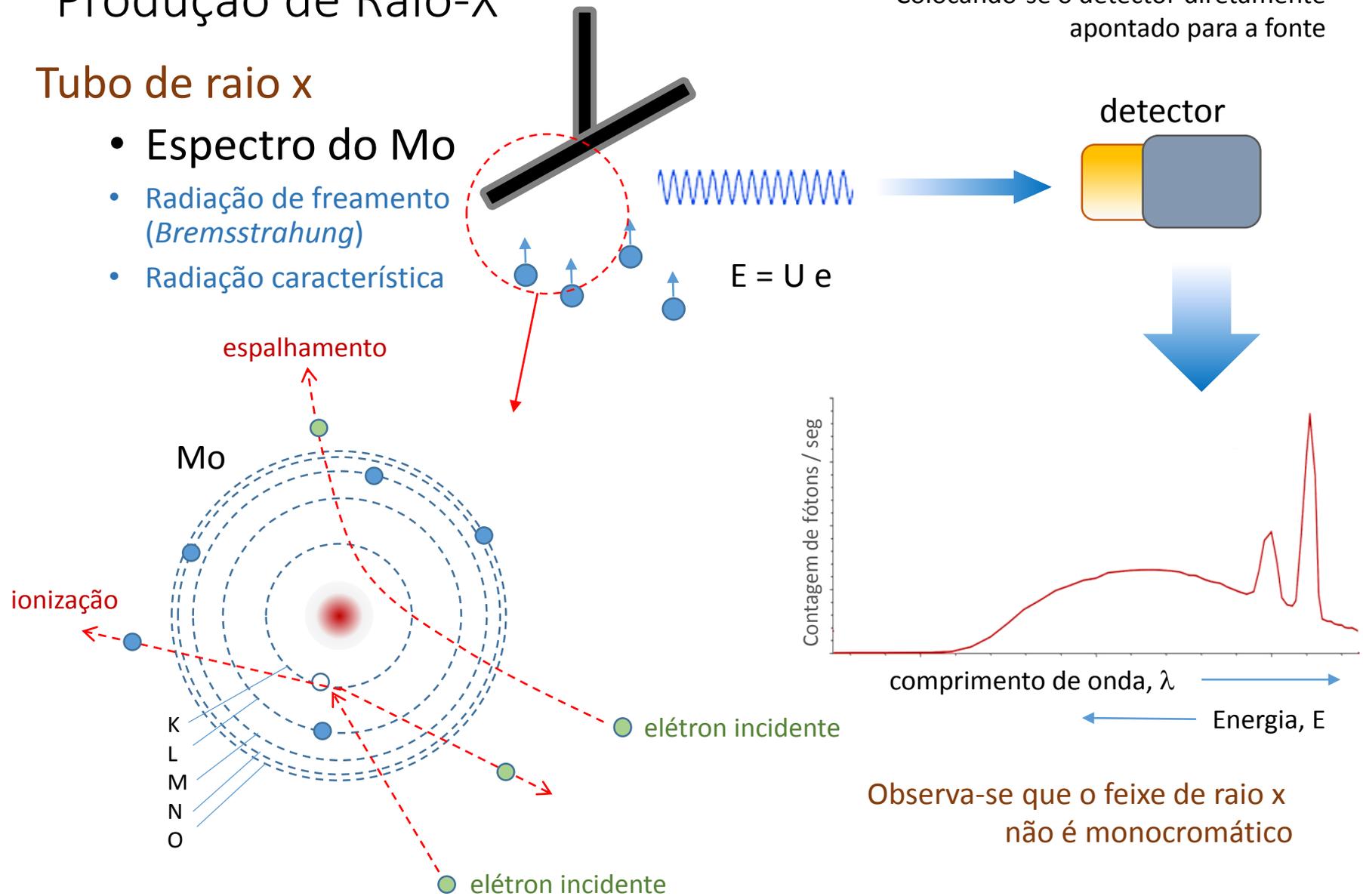


Observa-se que o feixe de raio x não é monocromático

Produção de Raio-X

Tubo de raio x

- Espectro do Mo
- Radiação de freamento (*Bremsstrahlung*)
- Radiação característica

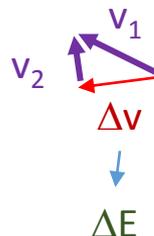
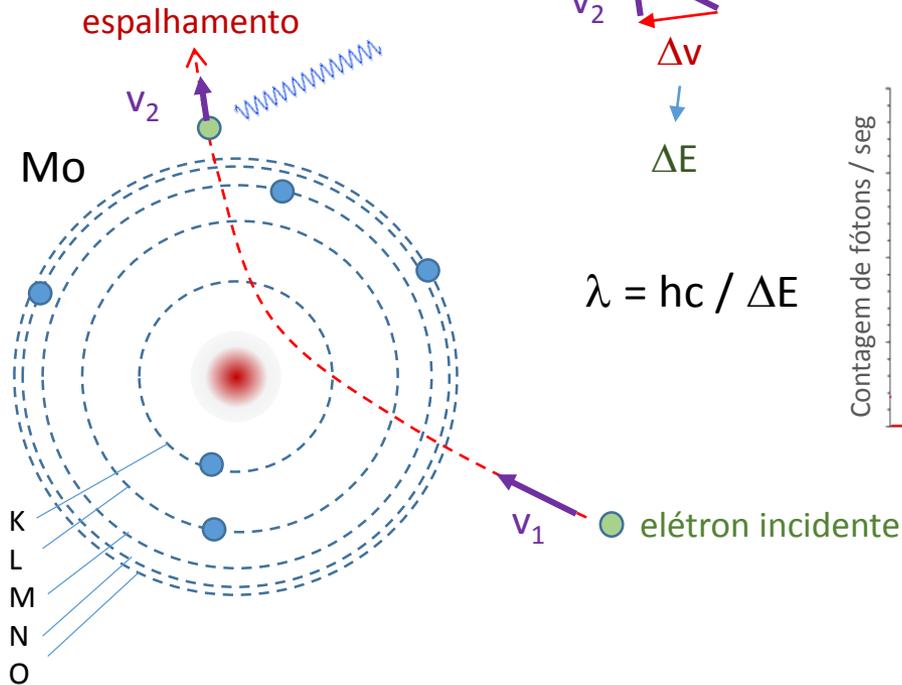


Observa-se que o feixe de raio x não é monocromático

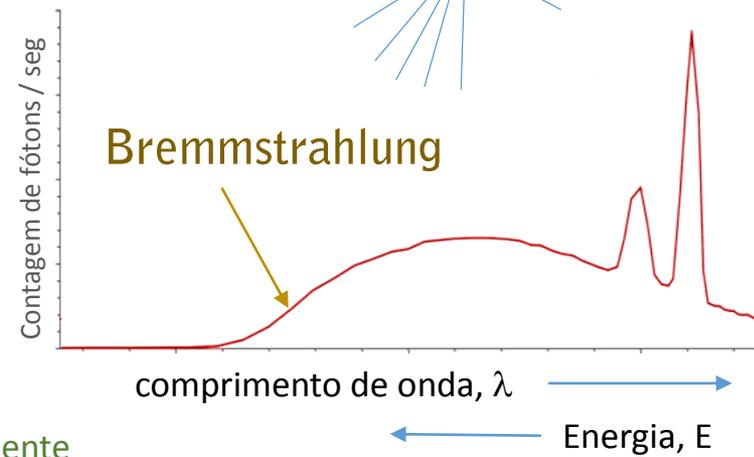
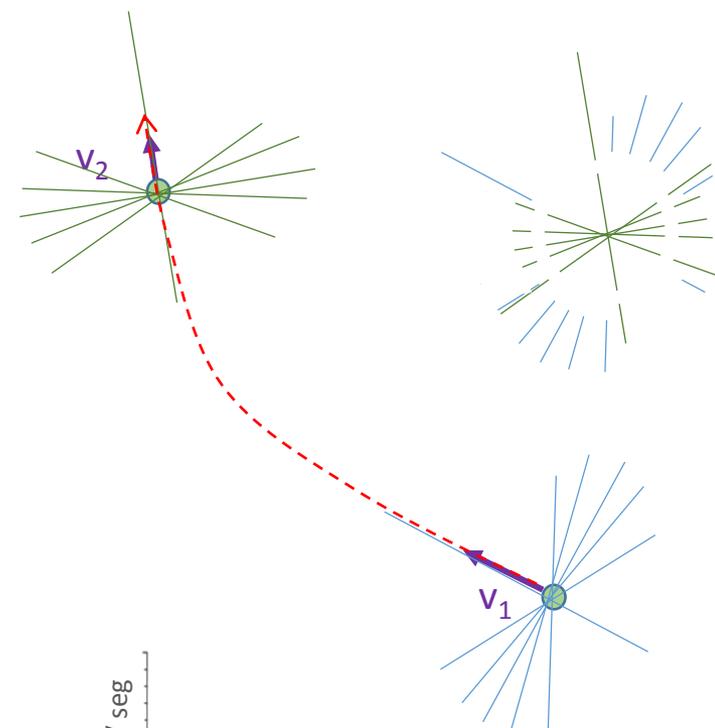
Produção de Raio-X

Tubo de raio x

- Espectro do Mo
- Radiação de freamento (*Bremsstrahlung*)
- Radiação característica



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

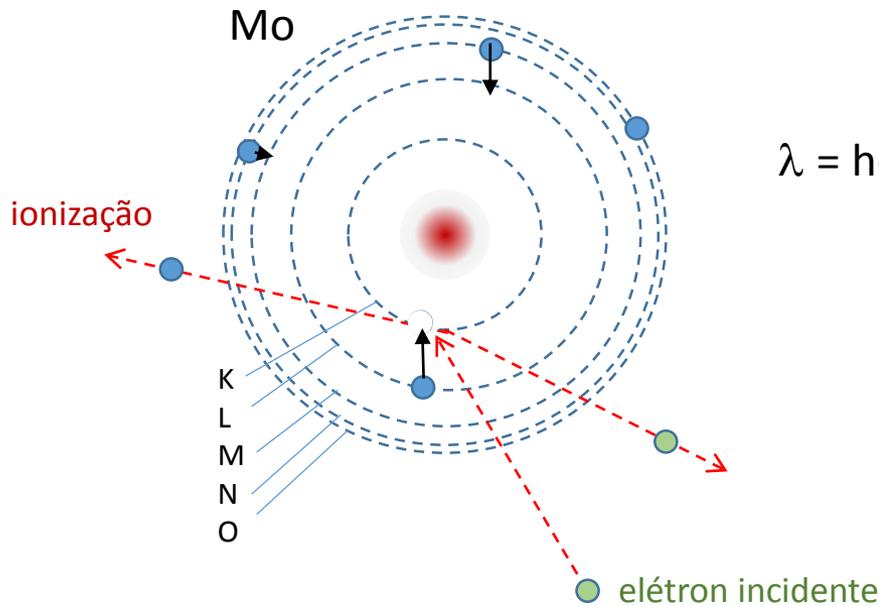


Observa-se que o feixe de raio x não é monocromático

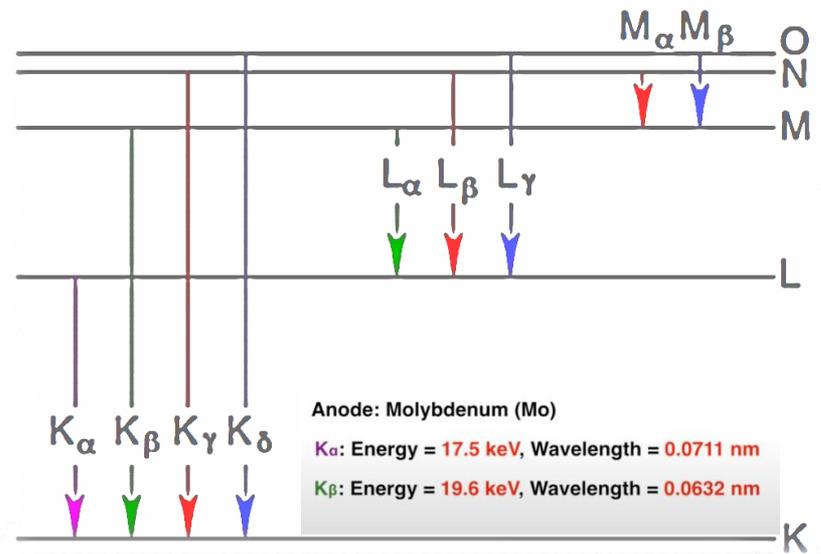
Produção de Raio-X

Tubo de raio x

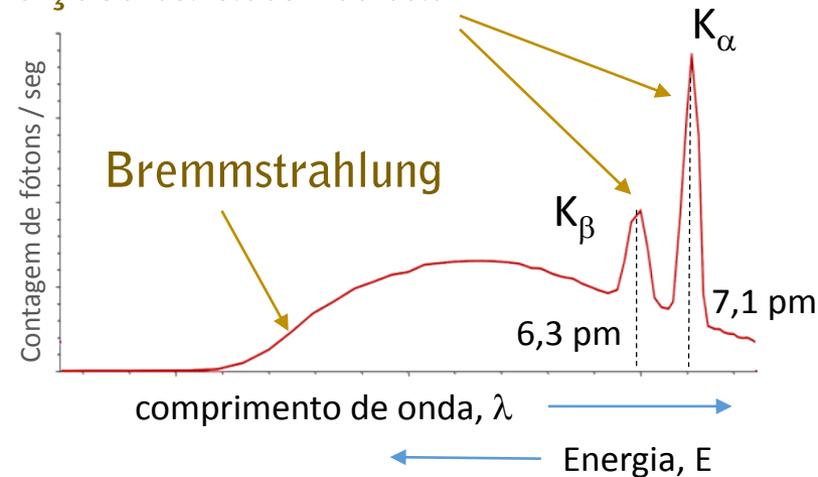
- Espectro do Mo
- Radiação de freamento (*Bremsstrahlung*)
- Radiação característica



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



Transições características

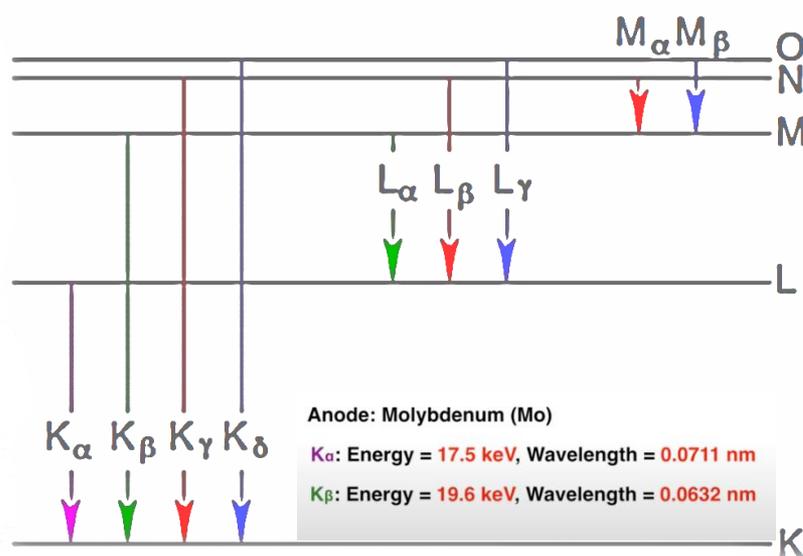


Observa-se que o feixe de raio x não é monocromático

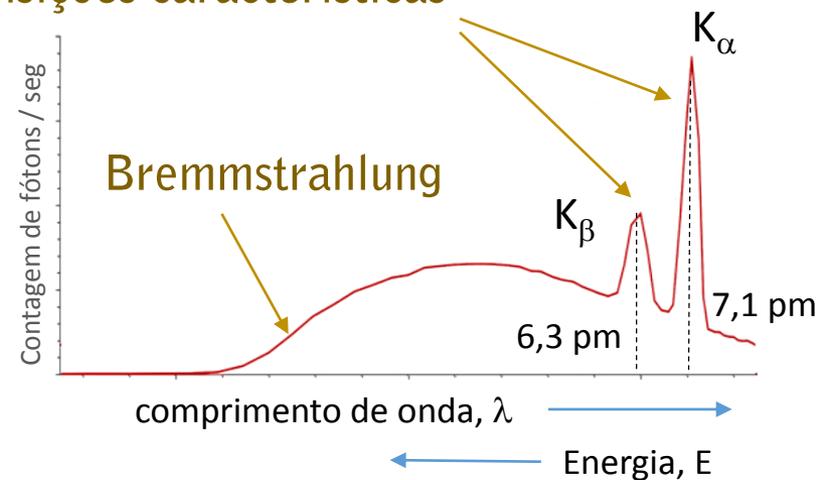
Difração de Raio-X

relação de Bragg $n \lambda = 2 d \sin(\theta)$

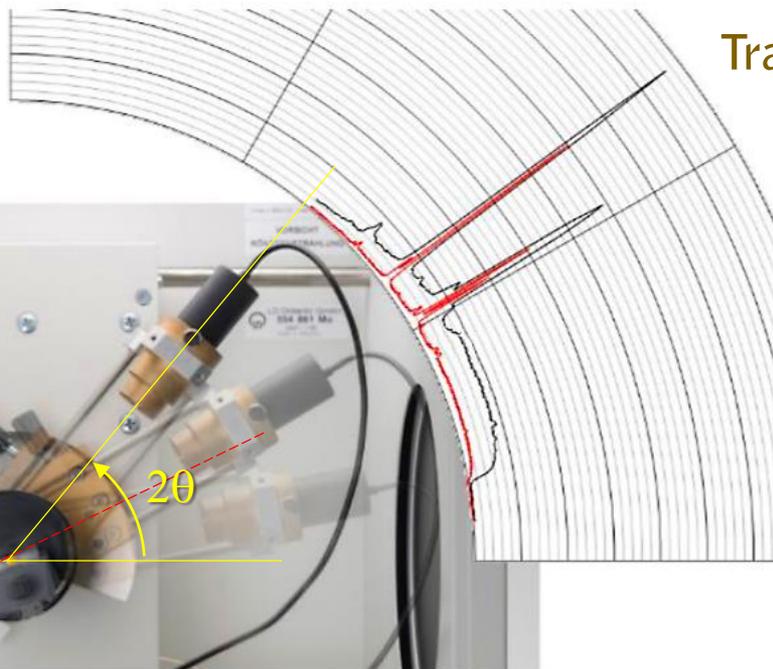
A correspondência entre o ângulo e o comprimento de onda λ é dada pela relação de Bragg.



Transições características



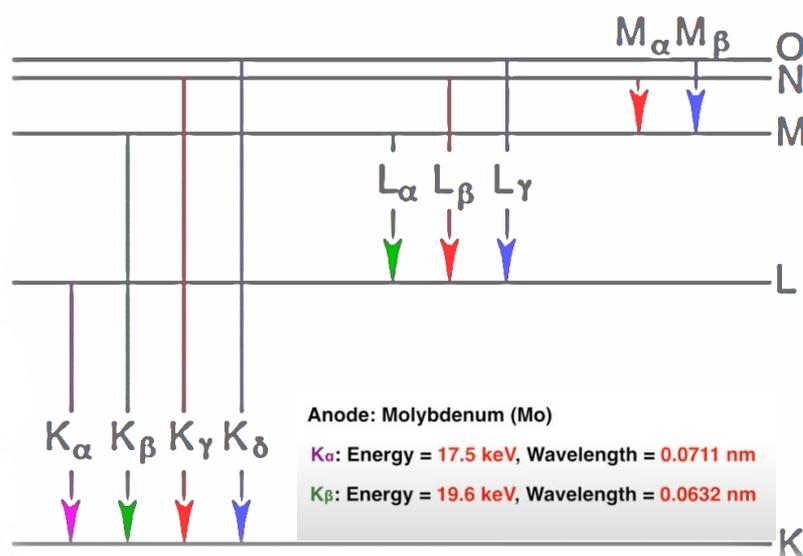
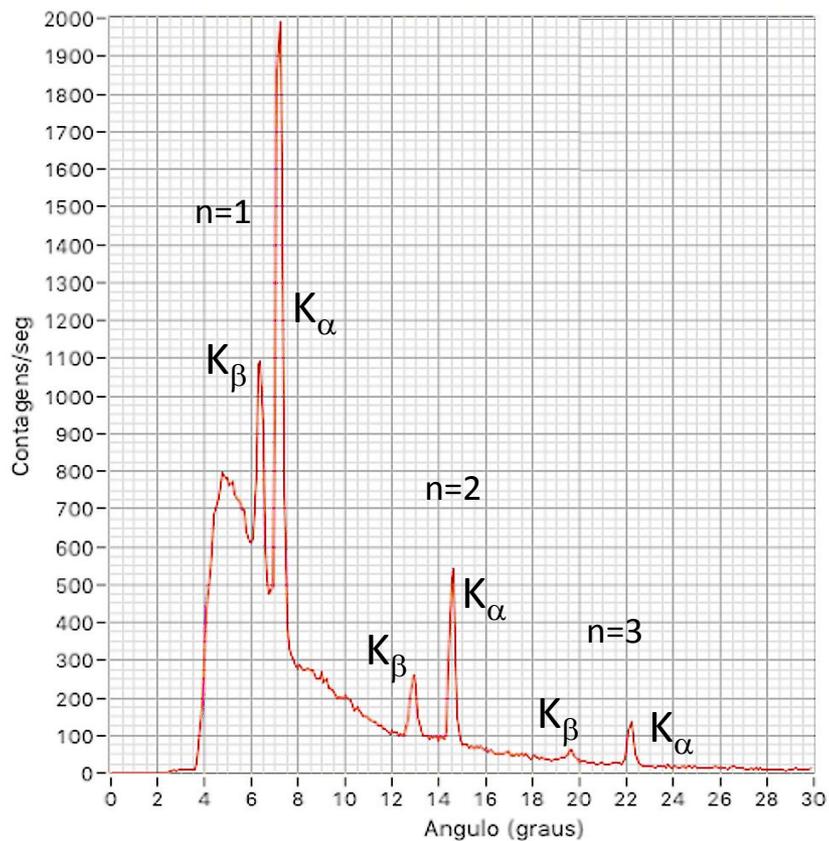
$$\lambda = hc / \Delta E$$



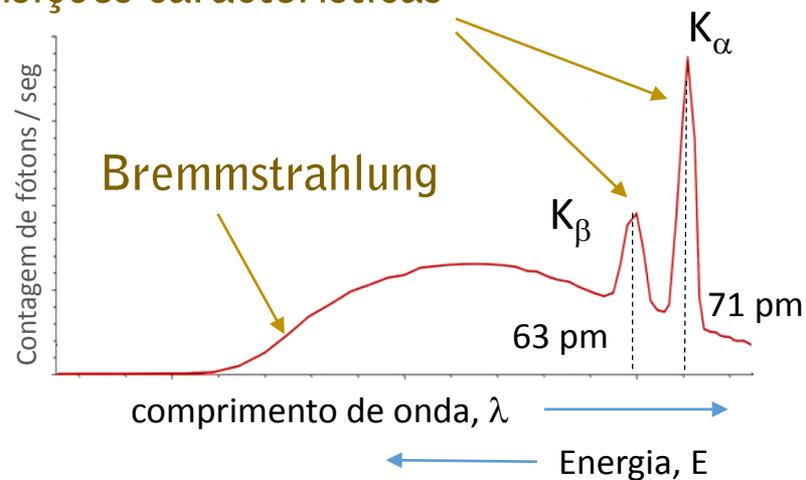
Difração de Raio-X

relação de Bragg $n \lambda = 2 d \sin(\theta)$

A correspondência entre o ângulo e o comprimento de onda λ é dada pela relação de Bragg.



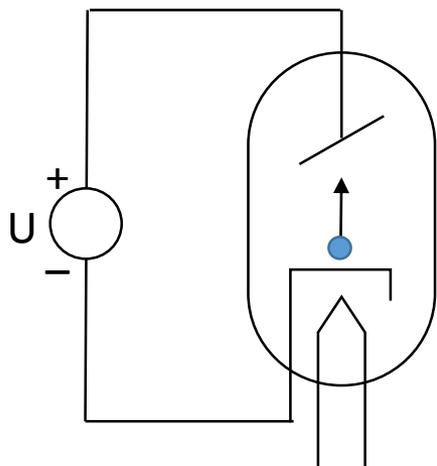
Transições características



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

Lei de Duane-Hunt

- William Duane, Franklin Hunt (1915)
 - Comprimento de onda mínimo do espectro de *Bremmstrahlung* de tubos de raio x.
 - Inversamente proporcional à tensão aceleradora.

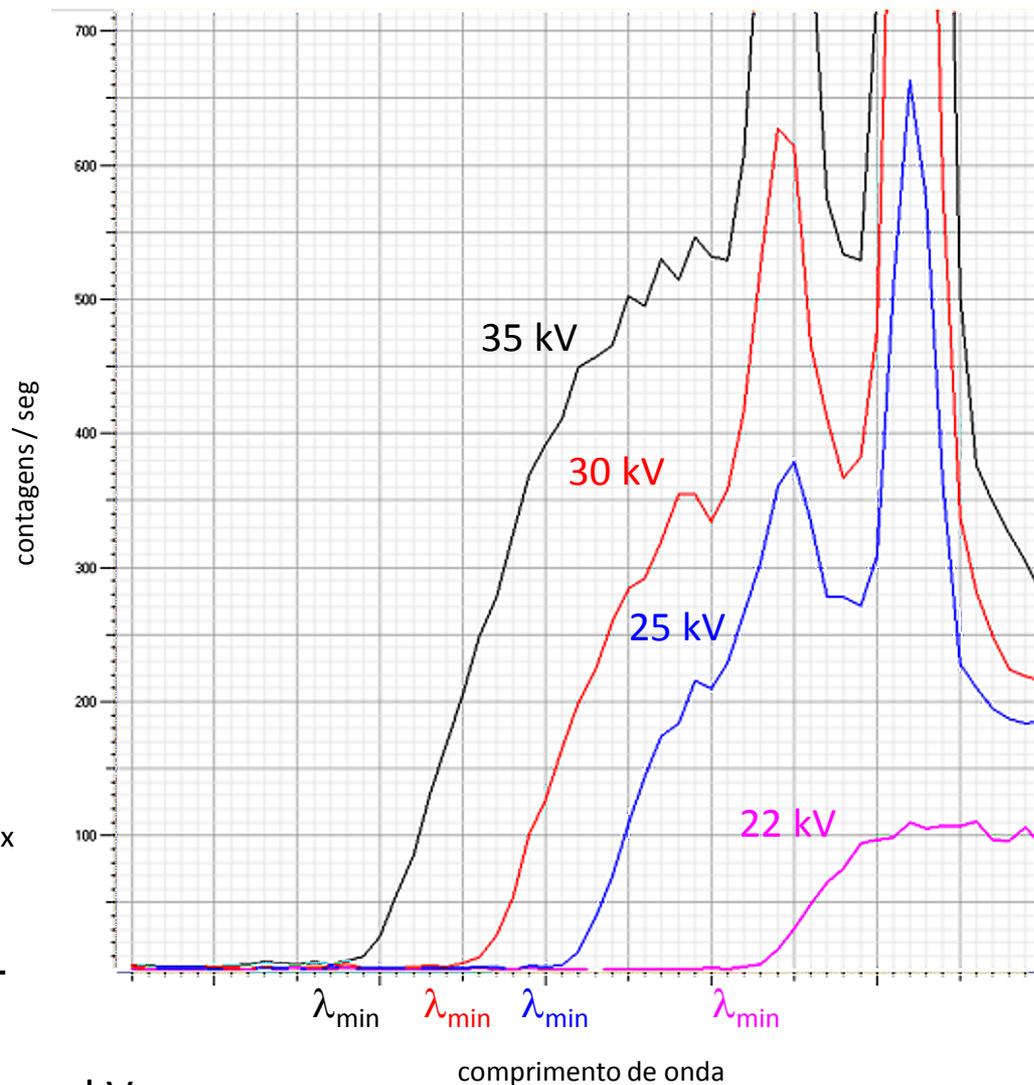


$$E_{\max} = eU$$

$$\lambda_{\min} = hc / E_{\max}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{e} \frac{1}{U}$$

$$\frac{hc}{e} = 1239,8 \text{ pm} \cdot \text{kV}$$





*Quaisquer dúvidas,
perguntem! Boa sorte!*

Universidade de São Paulo
Instituto de Física
Laboratório de Física Moderna

Disciplina: Física Experimental C - 4323301
Coordenador: José Helder Facundo Severo

Experimento: Difração de Raio-X
Edição 2020 – EAD

Autor: João Eduardo Kogler Jr.
Escola Politécnica da USP
Departamento de Sistemas Eletrônicos
kogler@lsi.usp.br

Vídeo 2 – versão 2020 EAD

USP – Universidade de São Paulo

Física Experimental C - Laboratório

Difração de Raio X

João Kogler

PSI / EP USP

Versão EAD - 2020

