

Experiências Eletivas

As Experiências:

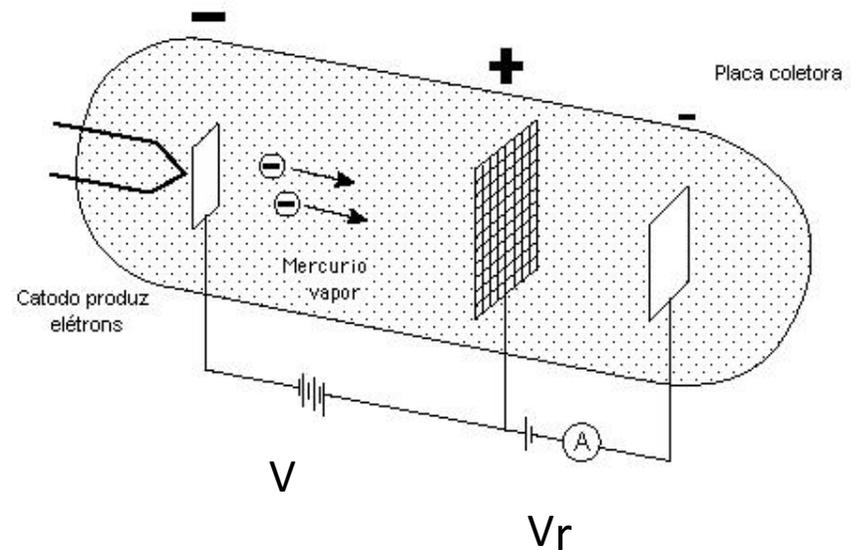
- Frank-Hertz;
- Caracterização de detetores cintiladores
 - Efeito Foto-elétrico;
 - Millikan;
 - Radiação de Corpo Negro;
 - Difração de Raios-X
 - Difração de elétrons

Experimento de Frank-Hertz

- Objetivo do experimento:
 - verificar a quantização da energia dos elétrons em átomos
- Motivação:
 - Em 1914, Franck e Hertz realizaram um experimento que confirmou a quantização de energia dos átomos

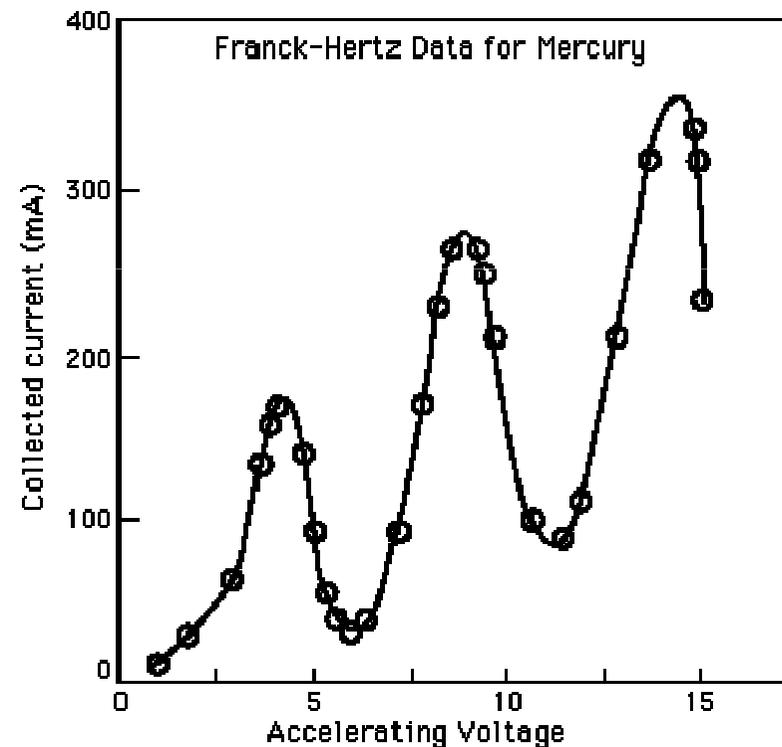
Experimento de Frank-Hertz

- Procedimento:
 - Elétrons são acelerados por um potencial V até uma grade
 - Aqueles que passam a grade são desacelerados por um potencial V_r



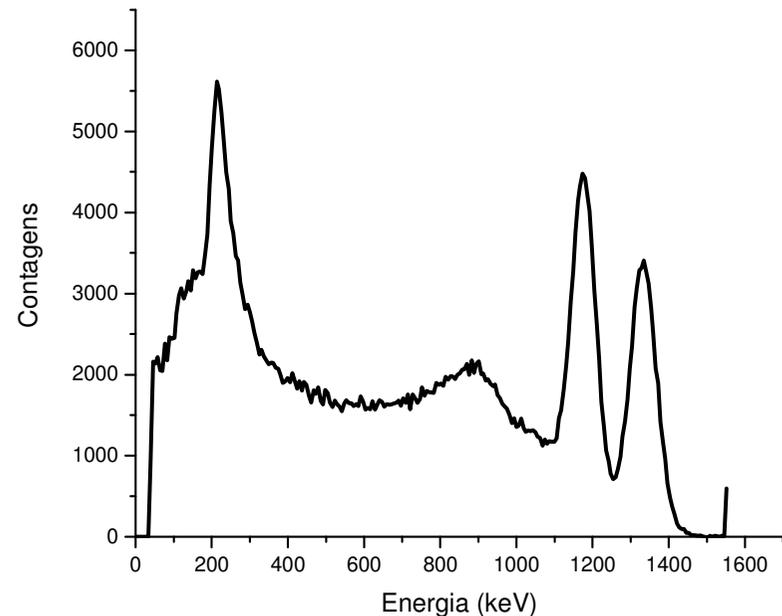
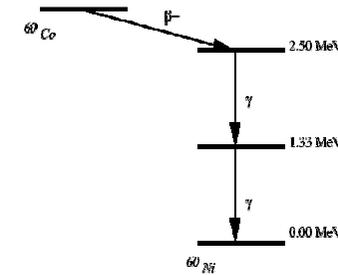
Experimento de Frank-Hertz

- Procedimento:
 - A corrente na placa coletora é medida em função do potencial acelerador V
 - Nota-se uma estrutura no valor da corrente que é devida à interação dos elétrons com os átomos de Hg



Caracterização de detectores cintiladores

- Objetivo
 - Determinar as propriedades físicas de detectores cintiladores usados em física nuclear
- Motivação
 - Esta categoria de detectores foi e é largamente utilizada na detecção de partículas elementares



Caracterização de detectores cintiladores

- Procedimento
 - Determinação da resolução energética em várias energias
 - Determinar as eficiências de detecção
 - Total
 - Intrínseca
 - Intrínseca de fotopico

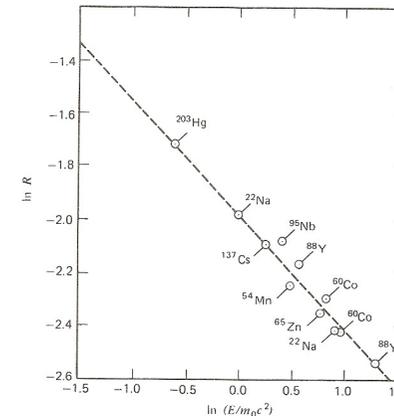
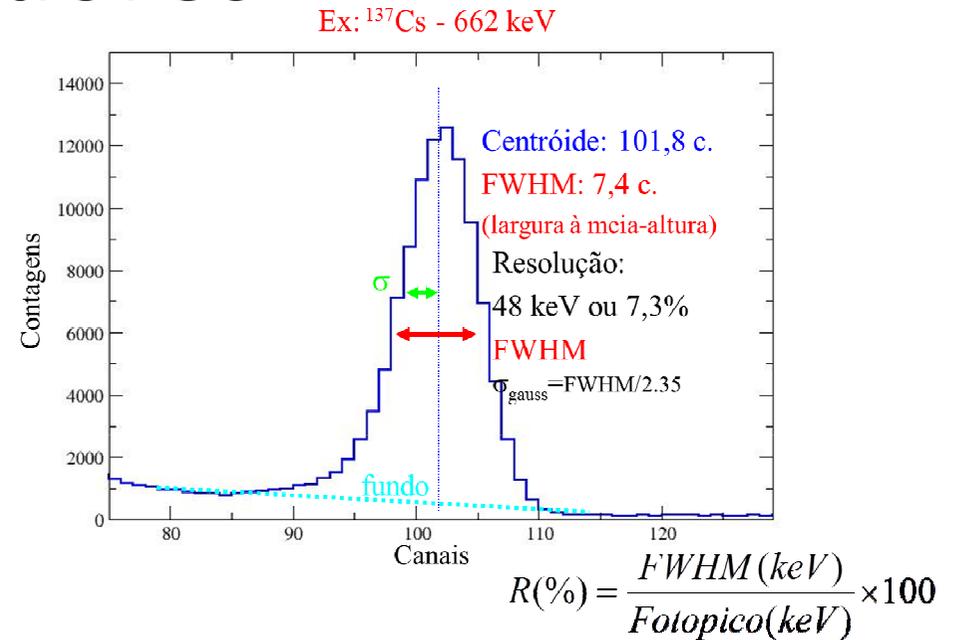
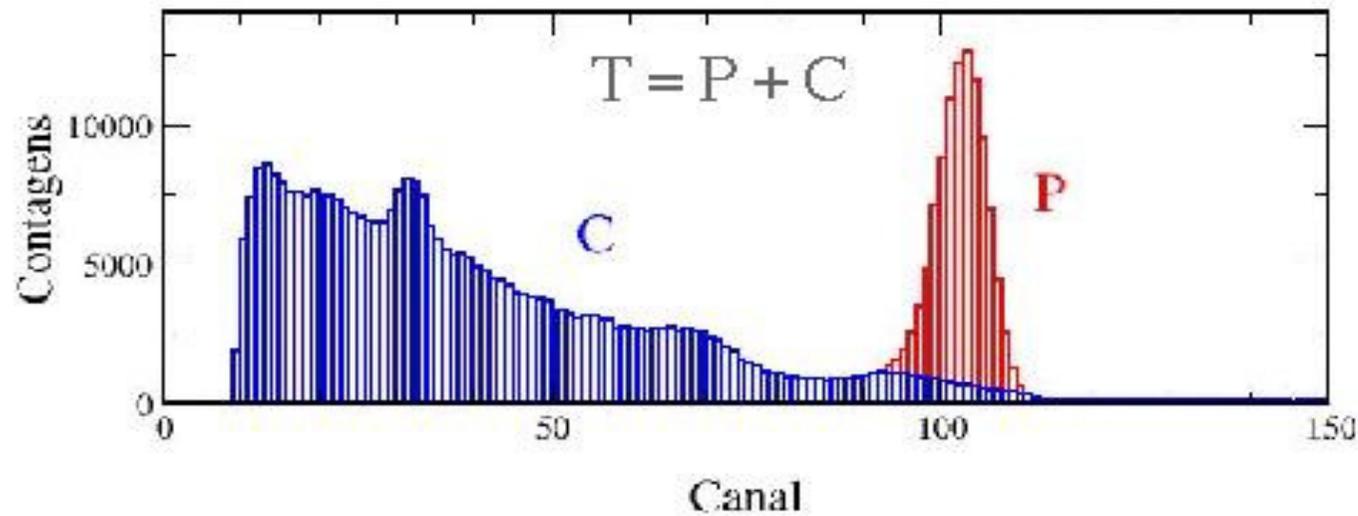


Figure 10.17 Experimentally measured resolution R from a NaI(Tl) scintillation detector for various gamma-ray energies E . (From Beattie and Byrne.¹⁶)

Eficiências de detecção



$$f = \frac{P}{T}$$

Eficiência intrínseca total:

$$\varepsilon_{it} = \frac{T}{N_i}$$

Eficiência intrínseca de fotopeak:

$$\varepsilon_{if} = \frac{P}{N_i} = f \varepsilon_{it}$$

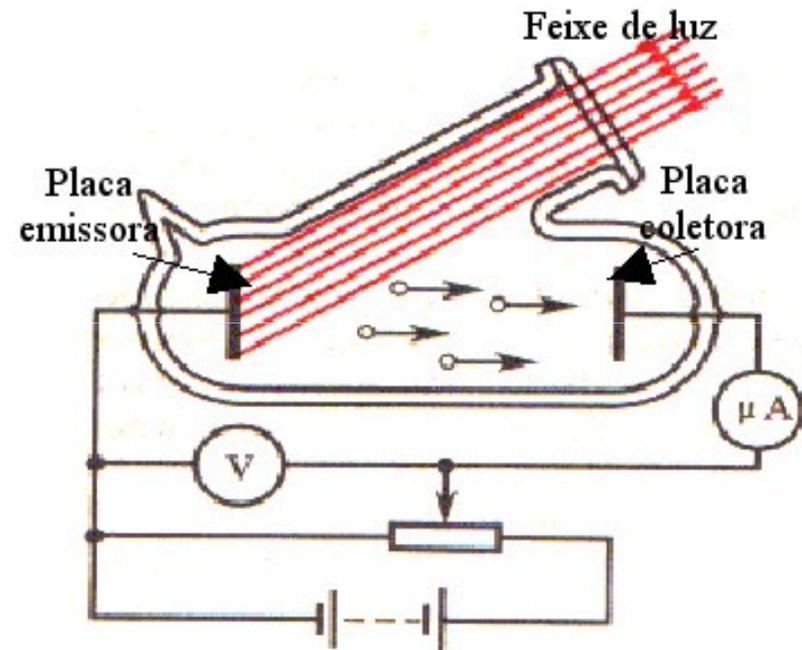
OBS: fonte isotrópica

$$N_i = \frac{\Omega}{4\pi} N_t$$

Efeito Fotoelétrico

Objetivo do experimento:

- Determinação da constante de Planck, h , e da função trabalho, φ_0 , do material que compõe uma célula fotoelétrica.



O Efeito Fotoelétrico

- **Motivação:**
 - Qual a explicação para esse fenômeno?
 - Einstein acreditava firmemente na teoria quântica da energia (fótons = Pacotes de energia);
 - **Curiosidade**
 - Einstein foi Laureado com o prêmio Nobel de Física em 1921 devido pelas suas contribuições à Física teórica, em especial por seu trabalho acerca do efeito fotoelétrico.

Experimento de Milikan

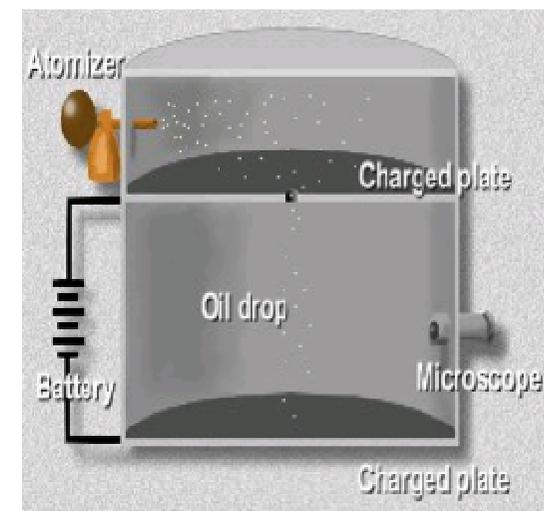
- Objetivo do experimento:
 - obter a carga do elétron
- Motivação:
 - Após a descoberta do elétron por Thomson em 1897, o passo seguinte corresponde à obtenção da carga elétrica do elétron (ou corpúsculos, como Thomson chamava)
 - De 1897 a 1903, Thomson e colaboradores mediram a carga elétrica do elétron
 - Porém, o método usado por eles (câmara de nuvens) apresentava várias limitações e não permitiu obter resultados precisos

Experimento de Milikan

- Motivação:
 - Millikan, Begeman e Fletcher, de 1907 a 1910, revolucionaram a medida de carga do elétron
 - Eles utilizam um forte campo elétrico e óleo ao invés de vapor de água
 - A principal conclusão deles foi a observação que a carga das gotículas de óleo era sempre múltipla da carga elementar obtida

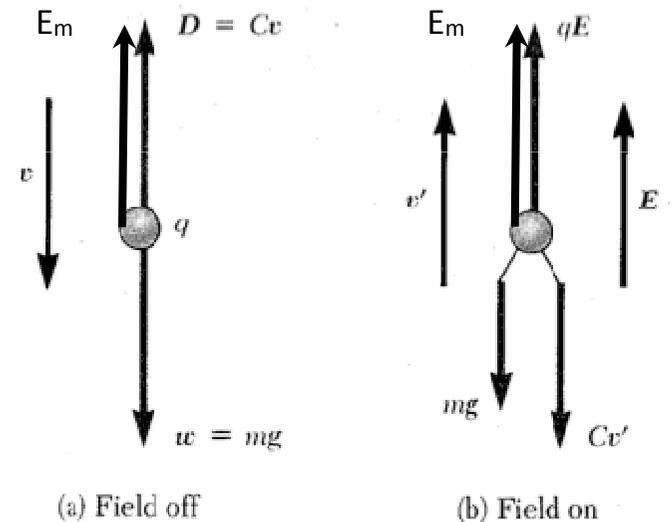
Medidas da Carga Elétrica do Elétron

- Procedimento:
 - Equipamento experimental utilizado por Robert A. Milikan em 1909
 - O método utilizado por Milikan consistia em se medir a velocidade de gotículas de óleo sob a influência da gravidade e de um campo elétrico uniforme



Medidas da Carga Elétrica do Elétron

- Procedimento:
 - Ao cair, a gotícula sofre influência da força peso, da força de empuxo e do atrito do ar
 - Ao subir, a gotícula sofre influência da força elétrica (que faz a gotícula subir), da força peso, da força de empuxo e do atrito com o ar (direção oposta ao caso anterior)

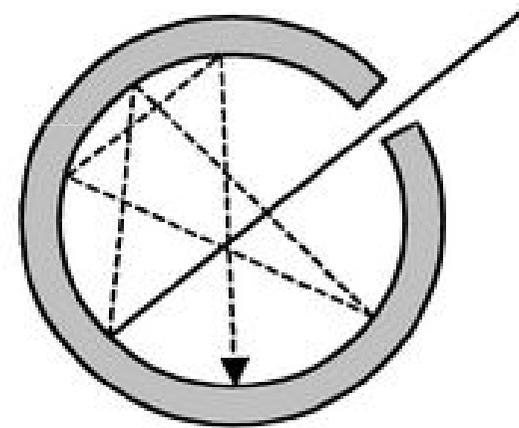


Radiação de Corpo Negro

- Objetivo do experimento:
 - verificar se uma lâmpada se comporta como um corpo negro
- Motivação:
- Procedimento:

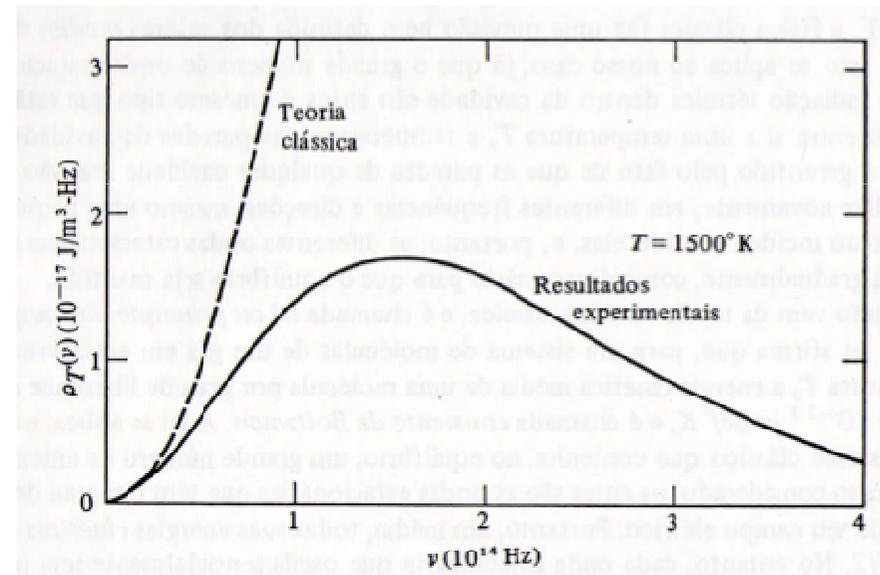
Radiação de Corpo Negro

- Motivação:
 - Objetos cuja superfície absorve toda a radiação incidente
 - **Importância:** Todos os objetos que se comportam como um corpo negro emitem a mesma radiância espectral (universalidade)



Radiação de Corpo Negro

- Motivação:
 - Através da física clássica não é possível descrever esses espectros !



Radiação de Corpo Negro

- Procedimento:

- Lei de Stefan (1879)

$$R_T = \sigma \cdot T^4$$

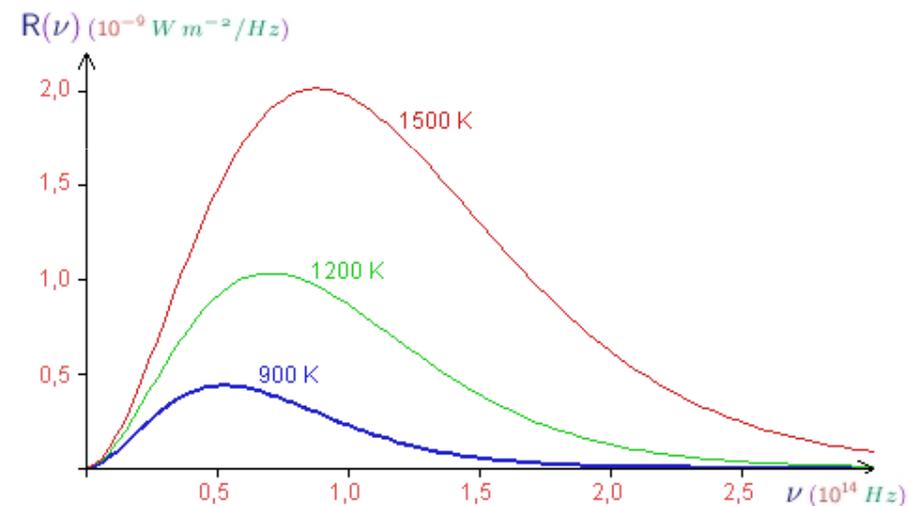
onde:

$$R_T = \int_0^{\infty} R_T(\nu) d\nu$$

- Lei do deslocamento de Wien

$$\nu_{max} \propto T$$

$$\lambda_{max} \cdot T = 2,898 \times 10^{-3} m \cdot K$$

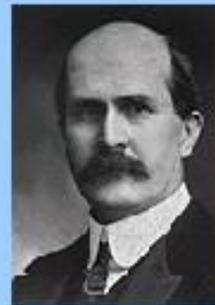


Difração de raios X por cristais



Max von Laue
1879 - 1960

Prêmio Nobel de Física de 1914
“pela descoberta da difração de raios X por cristais”

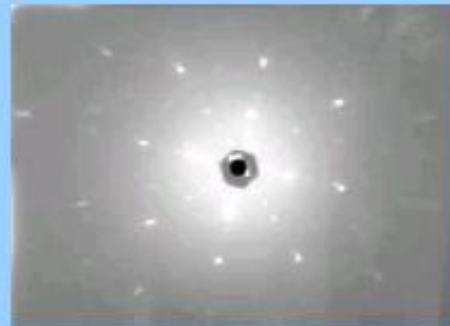


Sir William Henry Bragg
1862- 1942



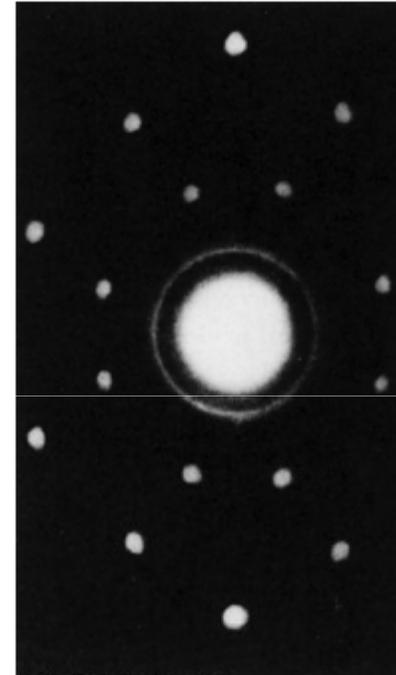
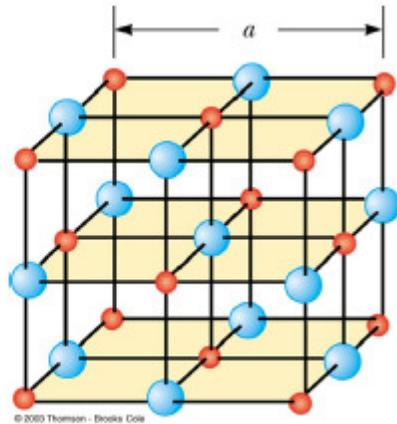
William Lawrence Bragg
1890- 1971

Prêmio Nobel de Física de 1915
“por seus serviços na análise da estrutura de cristais por meio de raios X”



Padrão de difração de Laue

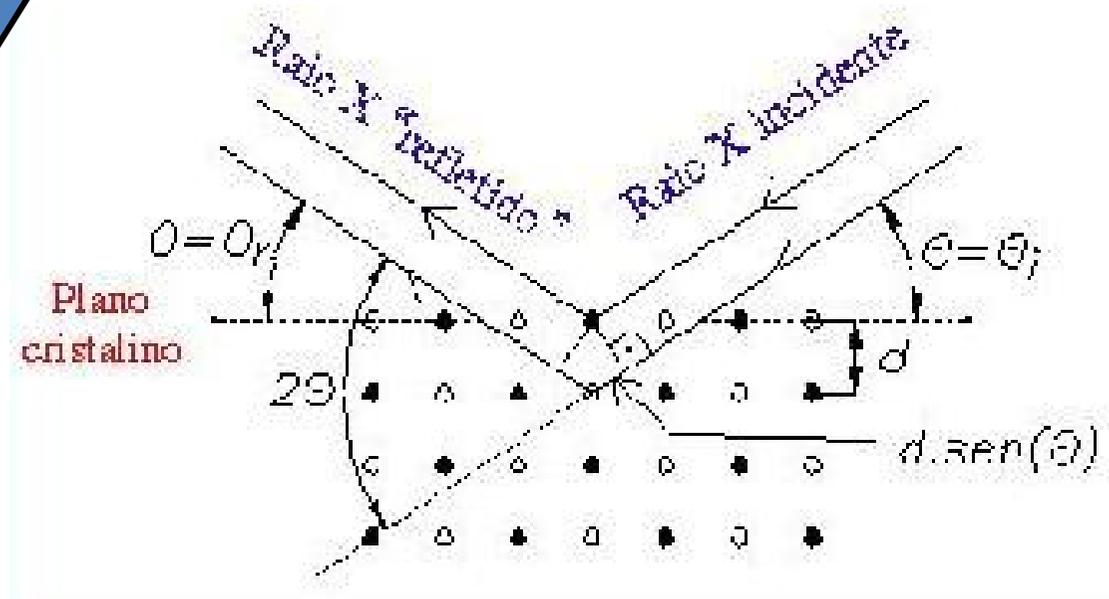
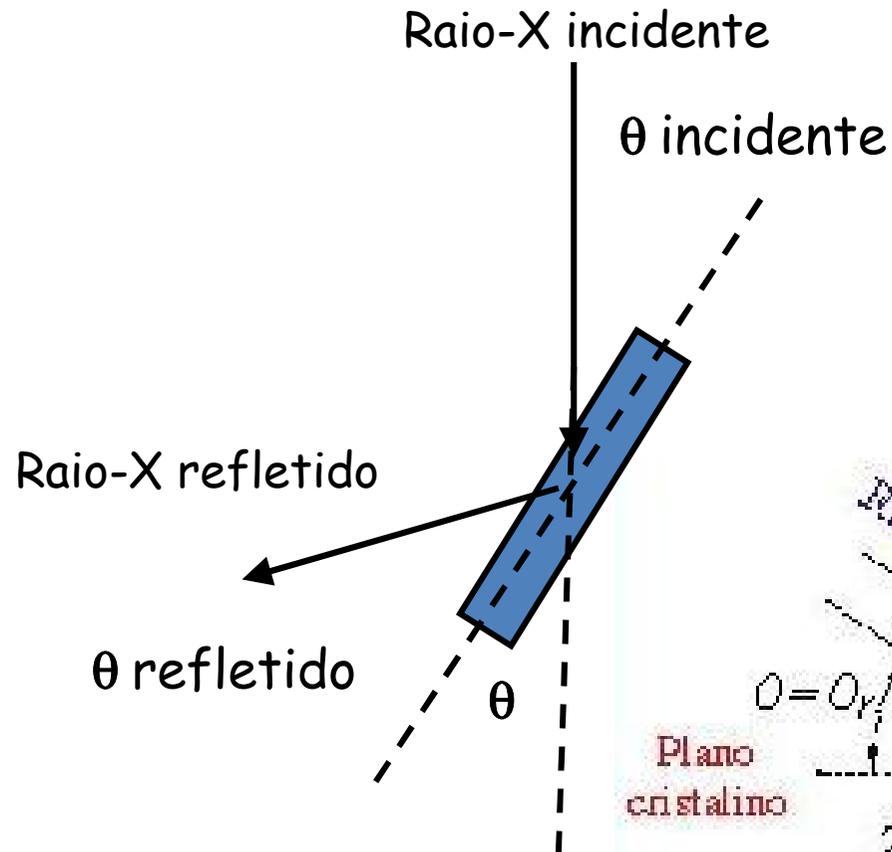
- A estrutura cristalina é determinada pela análise da posição e intensidade dos pontos.



Determinar d do cristal KBr

Lei de Bragg

$$n\lambda = 2d \operatorname{sen}(\theta)$$



Lei de Bragg
 θ incidente = θ refletido

Difração de elétrons



Prince Louis- Victor Pierre
Raymond de Broglie
1892 - 1987

Prêmio Nobel de 1929
“pela descoberta da natureza
ondulatória dos elétrons”



Clinton Joseph
Davisson
1881 - 1958

Prêmio Nobel de 1937
“por sua descoberta da difração de
elétrons por cristais”



George Paget
Thomson
1892 - 1975

A relação entre o momento linear e o comprimento de onda de uma partícula

Energia relativística:

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$$

Fóton ($m_0=0$):

$$E = pc = h\nu$$

$$p = h \frac{\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Compton

Elétron (de Broglie)

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Comprimento de onda de elétron não relativístico:

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

$$p = m v = \sqrt{2 m E}$$

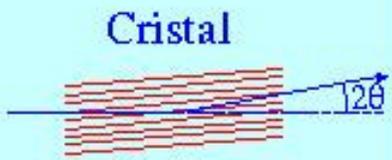
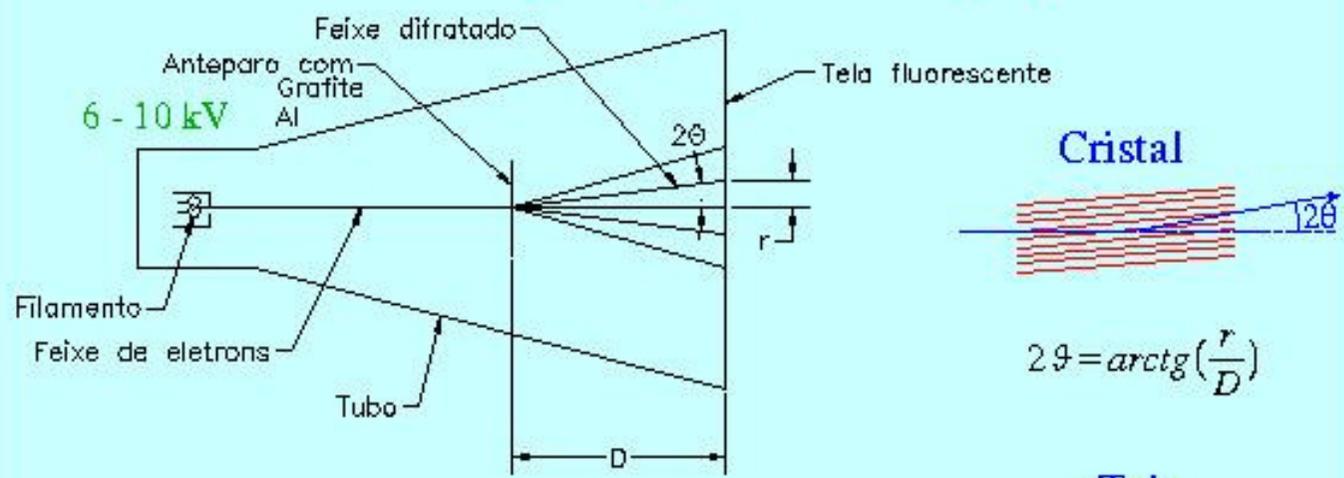
$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2 m E}}$$

$\lambda(\text{\AA}); E(\text{eV})$

$$\lambda = \sqrt{\frac{150}{E}}$$

Ex: $E = 15 \text{ keV}; \lambda = 0.1 \text{ \AA}$

Tubo de raios catódicos para experiência de Difração de Elétrons



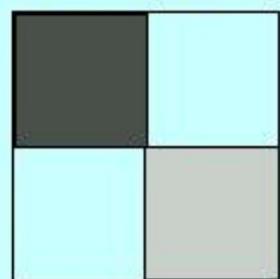
$$2\theta = \arctg\left(\frac{r}{D}\right)$$

Lei de Bragg

$$\theta_i = \theta_r = \theta$$

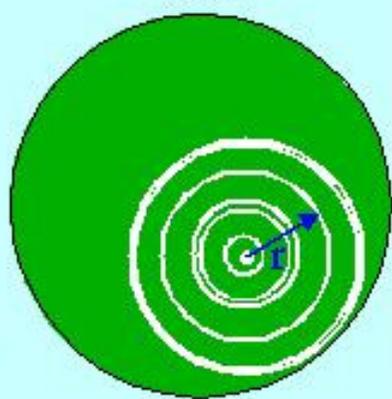
$$2d \sin(\theta) = n \lambda$$

Grafite

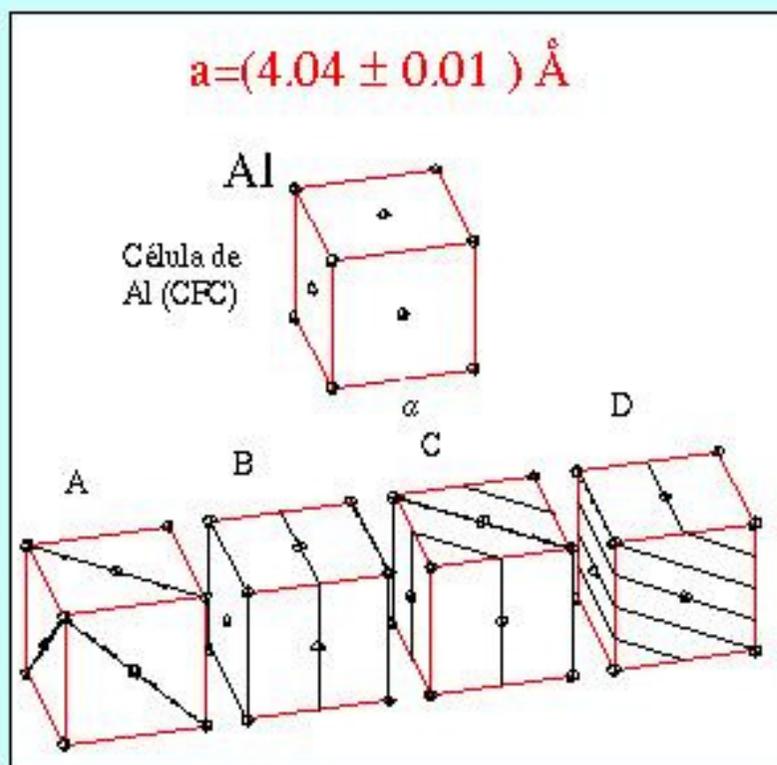


Al

Tela



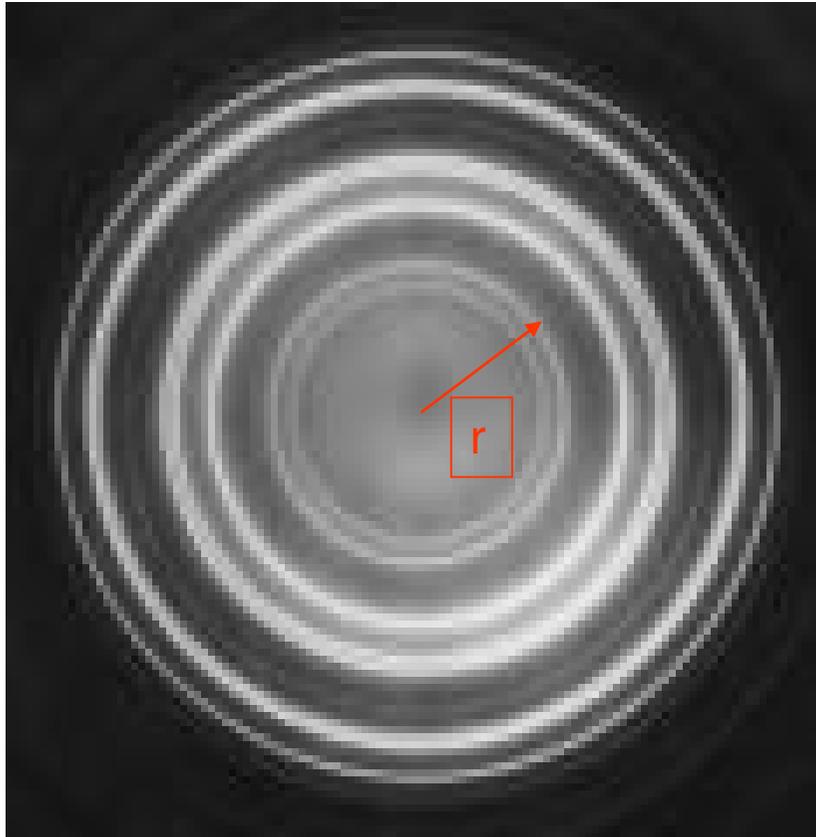
Estrutura do policristal de Alumínio



Menores ângulos de difração

| Família | d | n | $2d/n$ | Ângulo |
|---------|------------------------|-----|------------------------|------------|
| A | $\frac{1}{\sqrt{3}}a$ | 1 | $\frac{2}{\sqrt{3}}a$ | θ_1 |
| B | $\frac{1}{2}a$ | 1 | a | θ_2 |
| C | $\frac{1}{2\sqrt{2}}a$ | 1 | $\frac{1}{\sqrt{2}}a$ | θ_3 |
| D | $\frac{1}{\sqrt{11}}a$ | 1 | $\frac{2}{\sqrt{11}}a$ | θ_4 |
| A | $\frac{1}{\sqrt{3}}a$ | 2 | $\frac{1}{\sqrt{3}}a$ | θ_5 |
| B | $\frac{1}{2}a$ | 2 | $\frac{1}{2}a$ | θ_6 |

Difração de elétrons no alumínio



- Medir a distância dos pontos em relação ao ponto central e determinar os 5 menores ângulos de difração, $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$

$$2\theta = \arctg(r/D)$$

- Determinar o comprimento de onda do feixe de elétron para cada ângulo e obter o valor médio.

$$\lambda = 2d \sin(\theta_n) / n$$

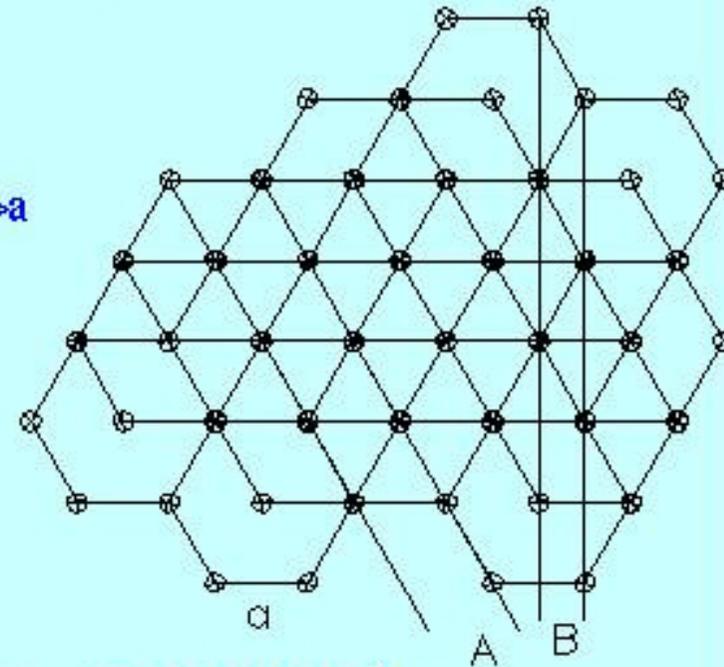
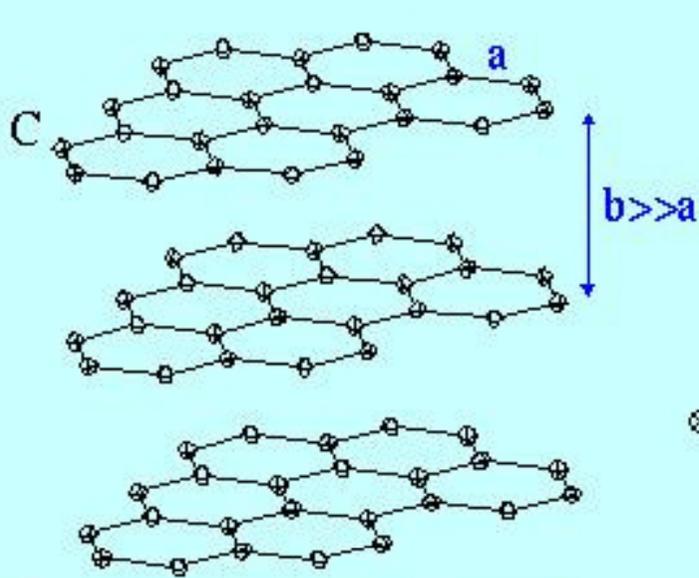
- Comparar com o valor obtido pela relação de de Broglie

$$\lambda = \sqrt{150/E}$$

- Repetir para $V = 10, 9, 8, 7, 6$ kV

- Fazer um gráfico de $\log \lambda$ versus $\log V$. Fazer um ajuste de uma reta e determinar a inclinação da reta.

Estrutura do monocristal de grafite



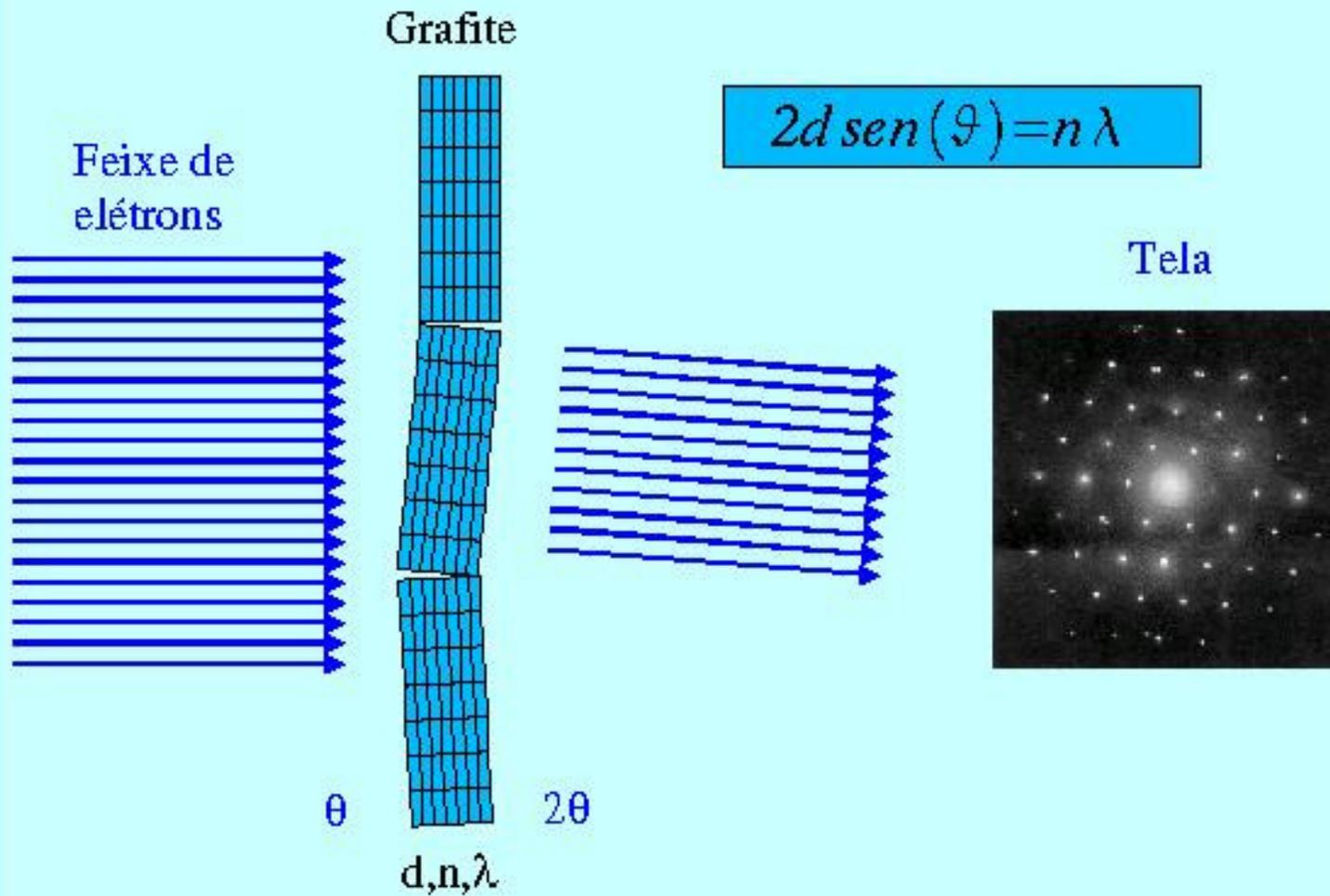
$$a = (2.46 \pm 0.01) \text{ \AA}$$

Menores ângulos de difração

| Família | d | n | $2d/n$ | Ângulo |
|---------|-----------------------|-----|-----------------------|------------|
| A | $\frac{\sqrt{3}}{2}a$ | 1 | $\sqrt{3}a$ | θ_1 |
| B | $\frac{1}{2}a$ | 1 | a | θ_2 |
| A | $\frac{\sqrt{3}}{2}a$ | 2 | $\frac{\sqrt{3}}{2}a$ | θ_3 |

$$\frac{\lambda}{2d/n} = \text{sen}(\theta)$$

Difração em folha fina de grafite



Lei Moseley

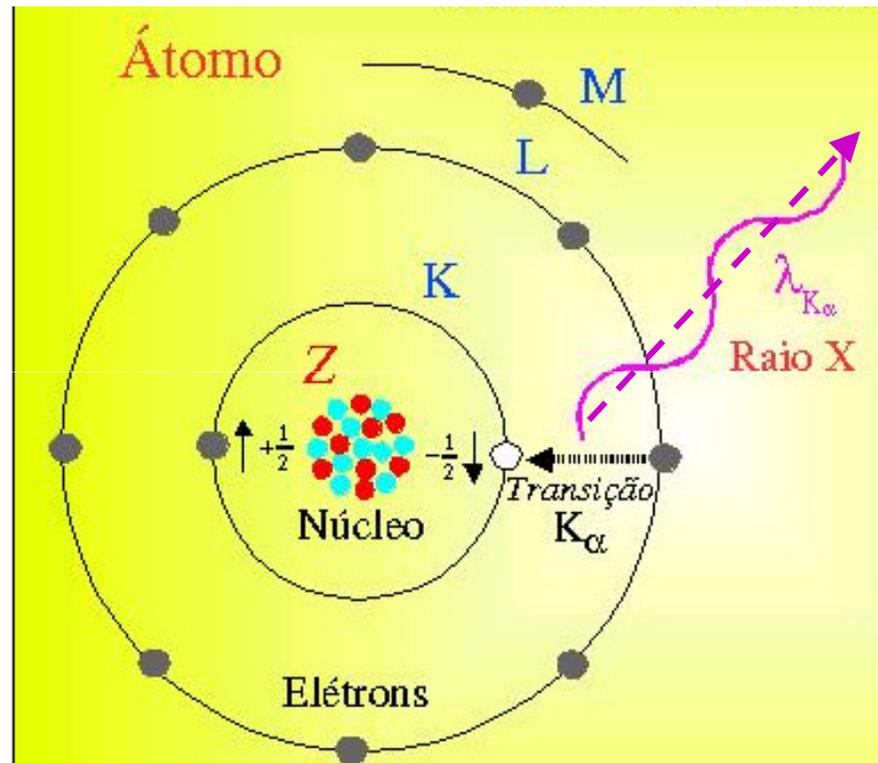
$$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} = A(Z - s)$$

$$A \approx \sqrt{\frac{3R}{4}}$$

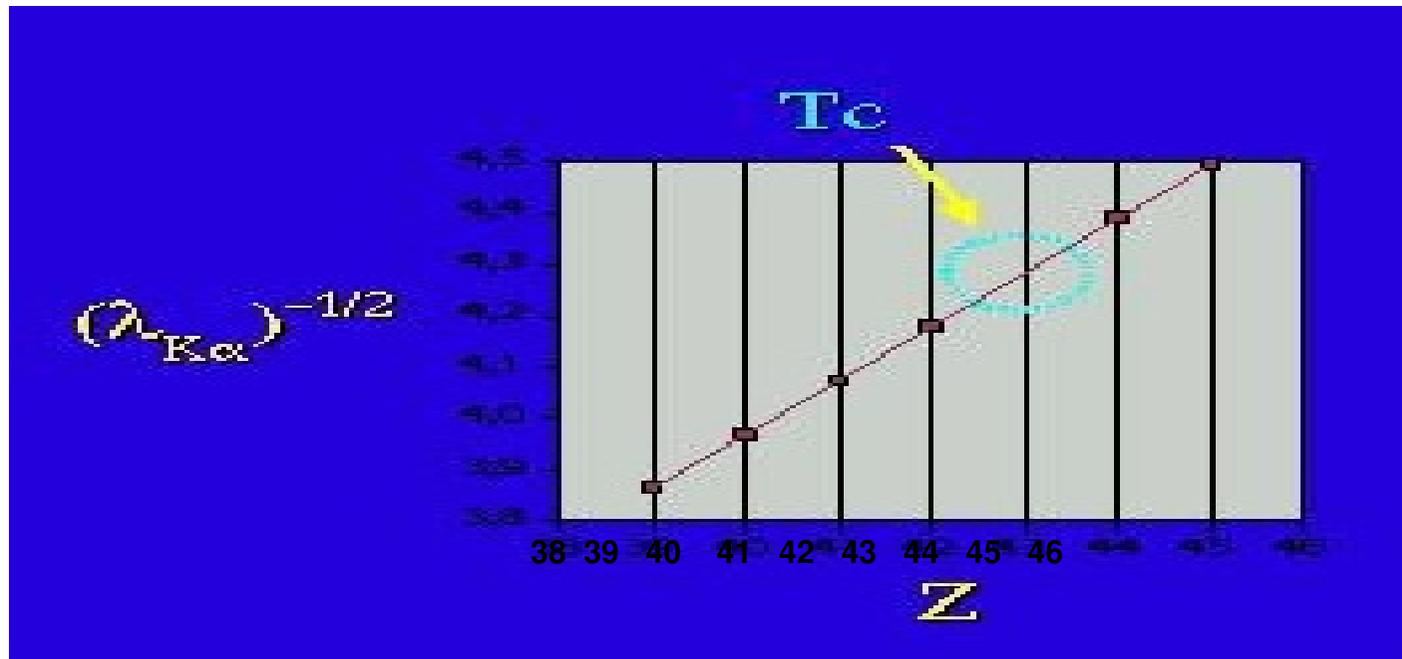
- λ comprimento de onda do raio-X da transição K_{α}
- Z número atômico do elemento
- s constante correspondente a blindagem da carga nuclear devida ao elétron e outros (deve ser da ordem de 1).
- A fator de escala. Sendo R a constante de Rydberg

A e s podem ser ajustadas aos dados experimentais de λ para maior precisão.

- mais importante: Z é um número inteiro:
- número atômico do elemento!



Usado para prever existência de novos elementos



Para variar a energia dos raios-X

- Usaremos o fenômeno da absorção e emissão (fluorescência)
- Carrossel com elementos diferentes:
 - Vanádio
 - Cromo
 - Manganês
 - Ferro
 - Cobalto etc. (veja tabela 1 da apostila)
- Materiais diferentes absorvem o raio-X do cobre e re-emitem com seus raios-X característicos

