ATIVIDADE 10- Difração de elétrons

- Demonstra que elétrons têm comportamento ondulatório

- Podemos calcular o comprimento de ondas dos elétrons a partir do seu momento linear

- Da teoria de **de Broglie**: "Se a luz tem comportamento de partícula, então as partículas devem ter comportamento de onda" $\lambda = h/p$

- Para um elétron submetido a uma diferenca de potencial **V** :

$E = eV = m_o v^2/2$ onde v é a velocidade $v = (2eV/m_o)^{1/2}$

onde m_o e a massa em repouso do elétron, valida para valores de $v \ll c$

$$\lambda = h/p = h/(m_o v) = h/(2m_o eV)^{1/2}$$

- Valores elevados de V aumentam a velocidade v do elétron e pode ficar próxima da velocidade da luz , $\lambda = h/(2meV)^{1/2}$, quando $v \to c$ $\Rightarrow$ $m = m_o/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$

$$\lambda = h/\{2m_o eV / [1 - v^2/c]\}^{1/2}$$

Valores de comprimento de onda considerando a eq. relativística
Em nossos experimentos usaremos valores de V de até 5 kV.

U / kV	Non rel. λ / pm	Rel. λ / pm	m / m_o	$v / 10^8$ m/s
100	3.86	3.70	1.20	1.64
200	2.73	2.51	1.39	2.09
300	2.23	1.97	1.59	2.33
400	1.93	1.64	1.78	2.48

O valor de λ do elétron é inversamente proporcional à tensão de aceleração.

m é a massa relativística e está associada à energia da partícula
pm = picômetro = 10^{-12} m
c = $3x10^8$ m/s

•Calcular a velocidade de um elétron acelerado por uma tensão de U_A = 2KV:

$$E_k = \frac{1}{2} m\upsilon^2 = \frac{p^2}{2m} = e \cdot U_A$$

$E_k = 2000 \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.2 \times 10^{-16}$ J

$\frac{1}{2} mv^2 = 3.2 \times 10^{-16}$

$v^2 = 2 \times 3.2 \times 10^{-16}/(9.1 \times 10^{-31}) = 7.0 \times 10^{14}$

$v = 2.7 \times 10^{7}$ m.s^{-1}

•Calcular comprimento de onda do elétron

$\lambda = h/mv = 6.63\times10^{-34} / (9.1 \times 10^{-31} \times 2.7 \times 10^{7}) = 2.75 \times 10^{-11}$ m (λ= 0,0275 nm)

•O valor de λ do elétron é inversamente proporcional à tensão de aceleração.

•Para demonstrar as propriedades ondulatórias desses elétrons precisamos de uma fenda de pelo menos **10^{-10} m = 1 Å = 0,1 nm**

•Materiais cristalinos tem parâmetros de rede (a) de: **0.1 nm** < a < **1 nm ,**

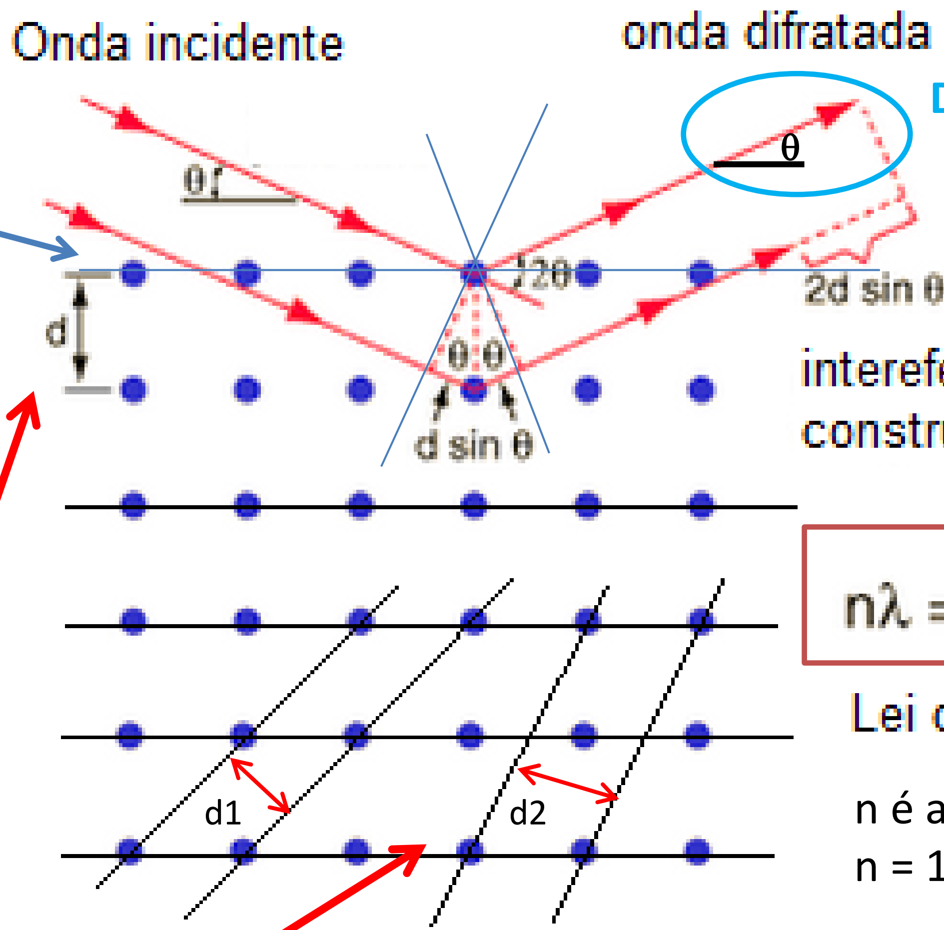
•Radiação de Cu (λ=0,154 nm) é usada em difração de raios x para estudar materiais cristalinos. Geralmente, os materiais estão na forma de policristais (conjunto de pequenos cristais orientados aleatoriamente)

Tela fluorescente

Lei de Bragg

Plano atômico

Devido à lei de Snell



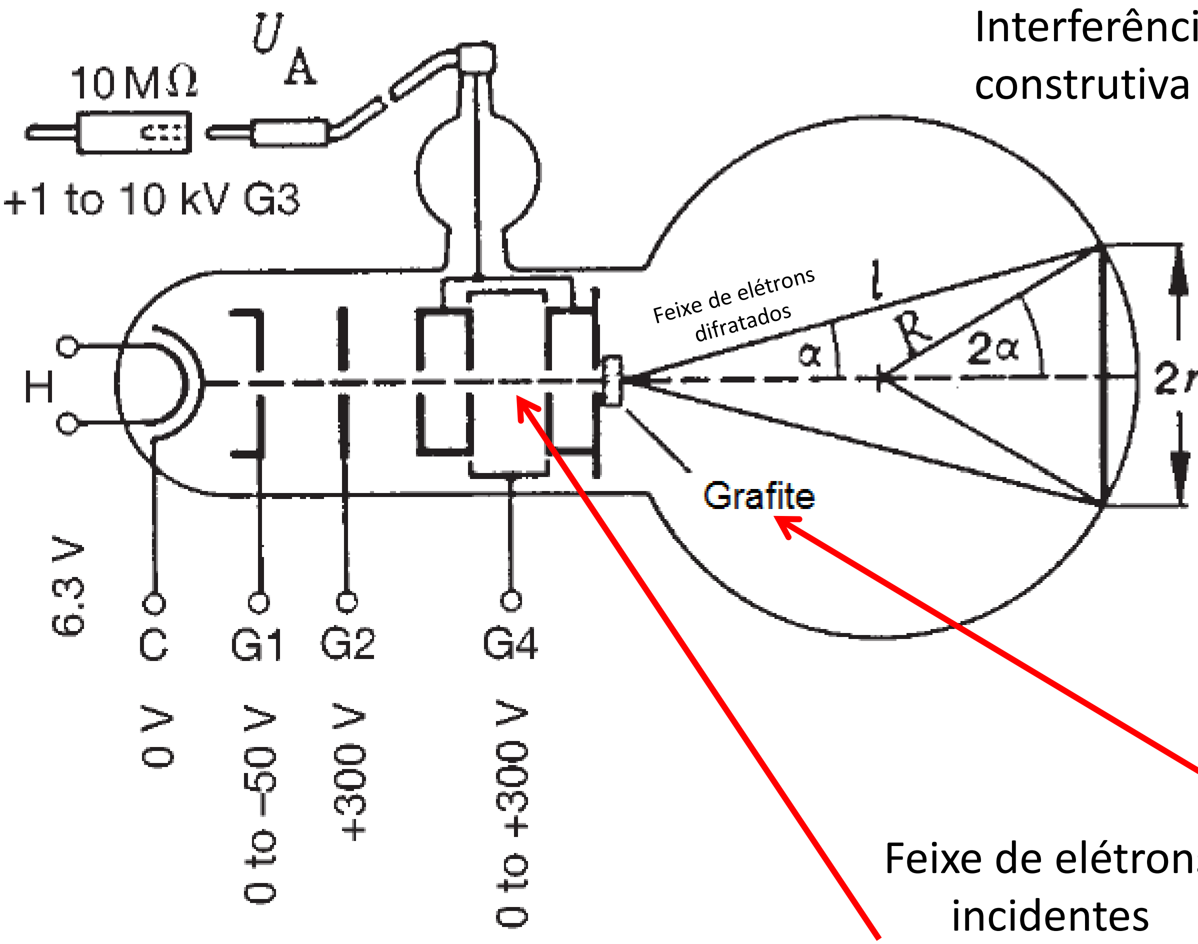
intereferência construtiva quando:

$$\boxed{n\lambda = 2d \sin \theta}$$

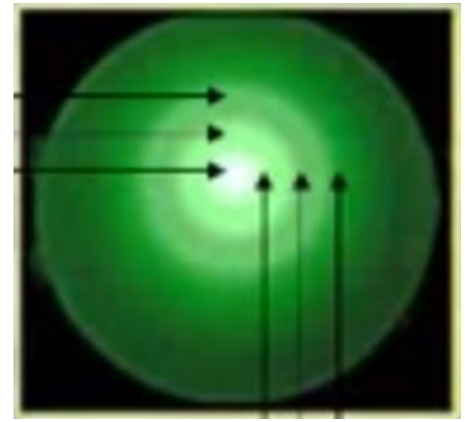
Lei de Bragg

n é a ordem da difração
n = 1, 2, 3, 4, ...

Rede cristalina com espaçamento interplanar d, d1, d2, etc

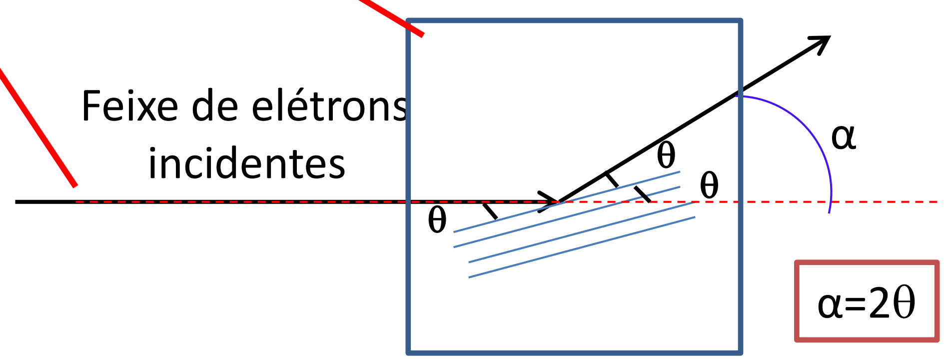


Interferência construtiva



Interferência Destrutiva (zona escura)

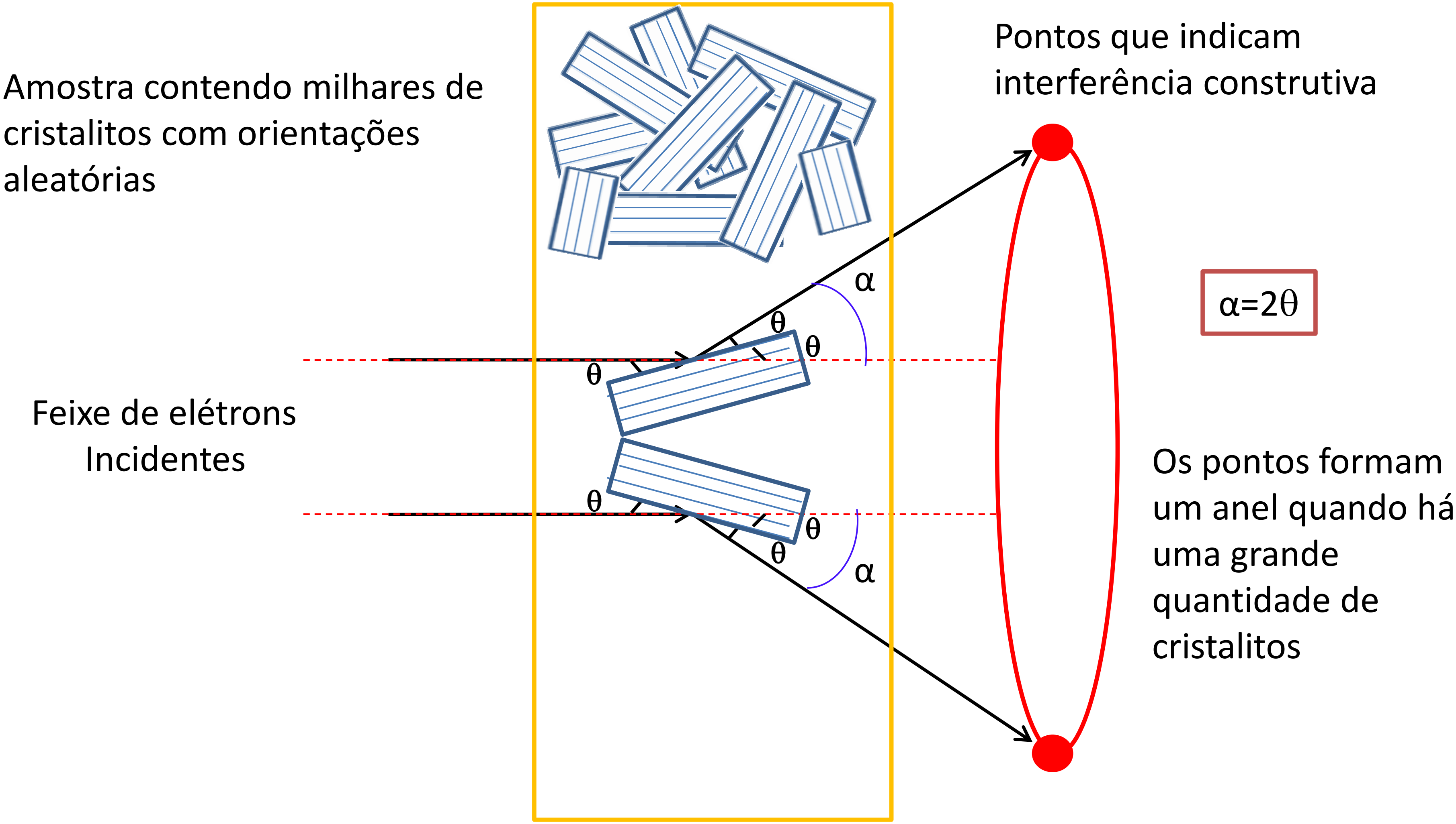
Feixe de elétrons difratados



$\boxed{\alpha=2\theta}$

Planos atômicos do grafite

G3 e G4 são grades eletrostáticas
G1 e G2 são fendas colimadoras
R = 65 mm



-Feixe de elétrons interagindo com dois cristalitos com planos atômicos com distância interplanar *"d1"*. Os cristalitos formam um ângulo θ com o feixe.

-As linhas finas representam os planos atômicos.

-Ocorre a formação de um ponto (interferência construtiva) quando : $\lambda = 2*d1*\text{sen}(\theta)$

Vamos determinar a relação de α e θ com os parâmetros experimentais

Da figura ao lado:

$$\operatorname{sen} 2\alpha = \frac{r}{R} \quad \text{..........} \ (1)$$

$$R = 65 \text{ mm}$$

$$\operatorname{sen} 2\alpha = 2 \operatorname{sen}\alpha \cos\alpha$$

para ângulo α pequeno $(\cos\alpha \simeq 1)$:

$$\operatorname{sen} 2\alpha \simeq 2 \operatorname{sen}\alpha \quad \text{.........} \ (2)$$

para ângulos θ pequeno $(\cos\theta \simeq 1)$:

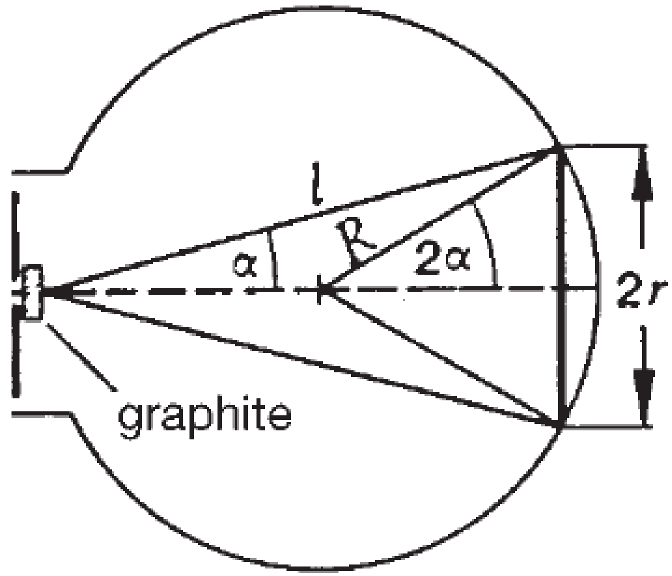
$$\alpha = 2\theta \ ; \quad \operatorname{sen}\alpha = \operatorname{sen}2\theta \simeq 2\operatorname{sen}\theta \quad \text{.......} \ (3)$$

(3) em (2) $\boxed{\operatorname{sen} 2\alpha = 4 \operatorname{sen}\theta}$

da equação de Bragg: $\operatorname{sen} 2\alpha = 4 \dfrac{n\lambda}{2d}$ .... (4)

(4) em (1) $\dfrac{2n\lambda}{d} = \dfrac{r}{R}$

$r = (2n\lambda R)\dfrac{1}{d}$ para n=1 : $\boxed{2\lambda R = d * r}$ ...(5)



Lei de Bragg
$n\lambda = 2d \sin\theta$

<u>OBS</u>:
- r e λ são proporcionais e dependem da tensão aplicada
- d é a distância interplanar atômica e depende apenas do grafite

V(kV)	λ	r_1	r_2	$2\lambda R$
3,0				
3,5				
4,0				
4,5				
5,0				
5,5				
6,0				

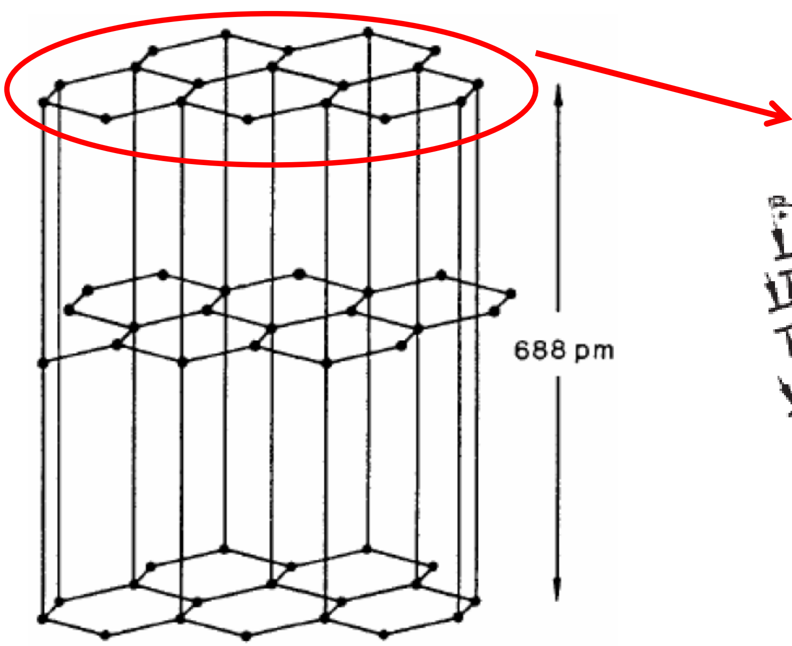
Usar a equação (5) e determinar a distância interplanar "*d*" do grafite da seguinte maneira:

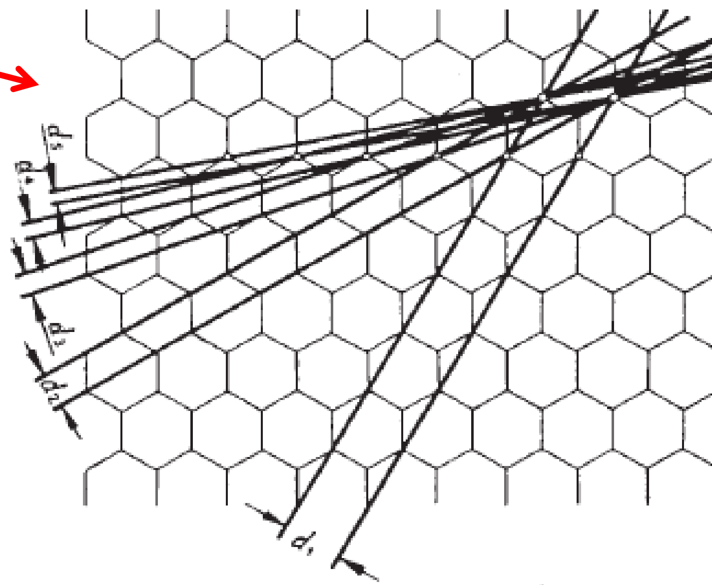
Na planilha , gráficar $(2\lambda R)$ versus r_1 e r_2 , usar uma curva de tendência linear

$$Y=A*X$$

Onde: Y= $(2\lambda R)$, X= r_1 ou r_2 e determinar o coeficiente angular: A =*d*, onde *d* é a distância interplanar atômica .

OBS**: Com este estudo serão obtidos apenas dois valores de **d





distância interplanar do grafite

d_1 = 213 pm d_2 = 123 pm d_3 = 80.5 pm
d_4 = 59.1 pm d_5 = 46.5 pm.

Parte experimental

- Ajuste as tensões de G1 e G4 e a alta tensão G3 para obter anéis de difração estreitos e bem definidos.
- Registre a tensão do anodo no mostrador da fonte de alta tensão
- No grafite policristalino a ligação entre as camadas individuais são rompidas de forma que sua orientação é aleatória. O feixe de elétrons é portanto espalhado na forma de um cone. Produzindo anéis de interferência na tela fluorescente
- Para determinar os diâmetros dos anéis de difração, meça os limites internos e externos dos anéis e calcule o valor médio.
- O ângulo de Bragg θ pode ser calculado a partir do anel de interferência, más deve-se perceber que o ângulo de desvio α é o dobro, $\alpha = 2*\theta$

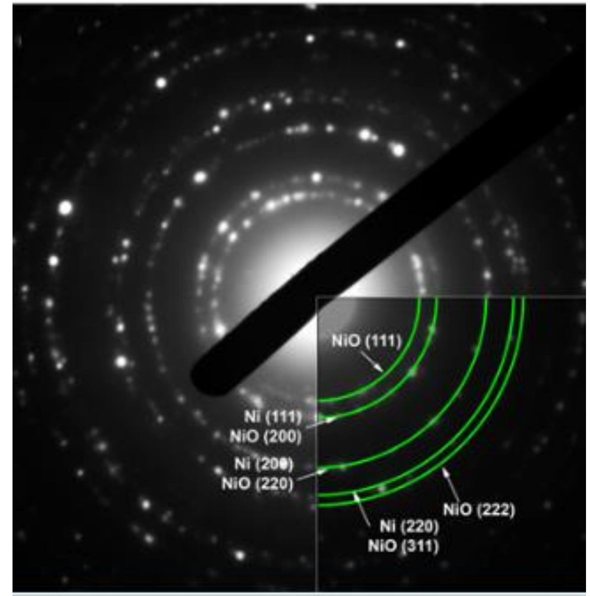
Aplicação da difração de elétrons

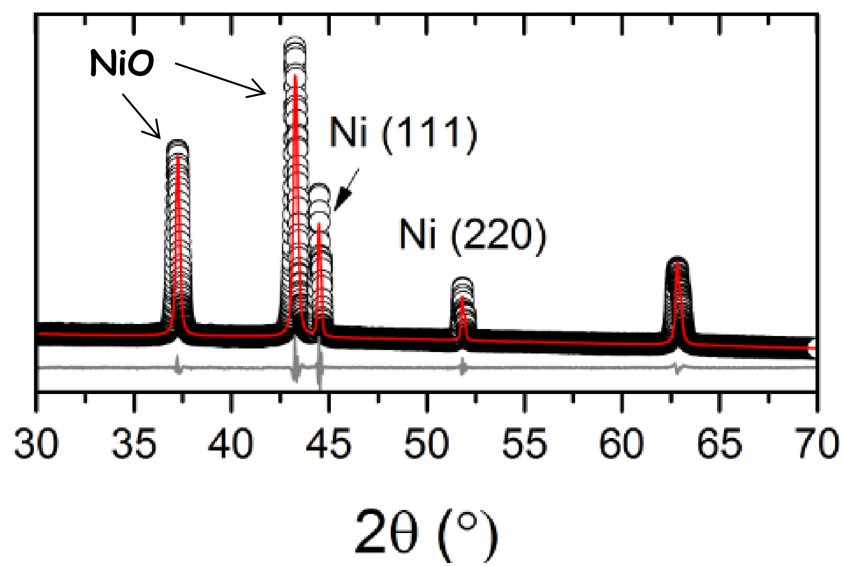
Morales e colaboradores, Proteic sol-gel synthesis, structure and magnetic properties of Ni/NiO coreshell powders, Ceramics International 44 (2018) 6152–6156

Microscópio eletrônico
Tensão de aceleração 200 kV

http://www.jeolusa.com/PRODUCTS/Transmission-Electron-Microscopes-TEM/200-kV/JEM-2100Plus

Difração de elétrons de nanoparticulas de Ni e NiO

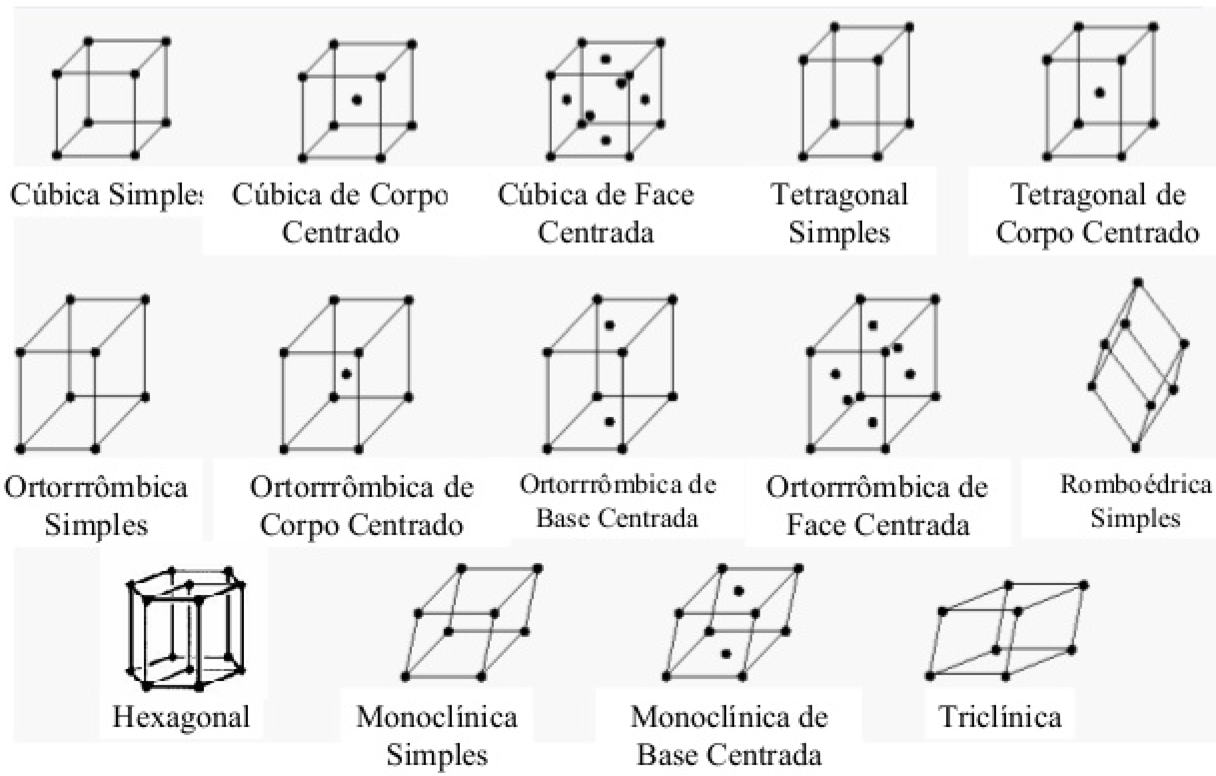




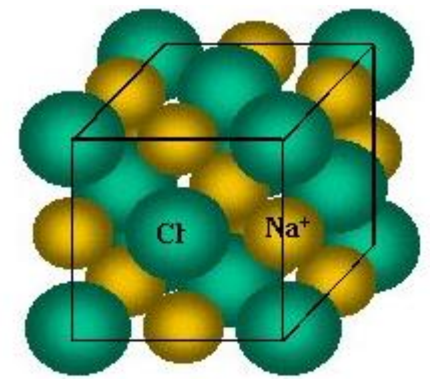
Difração de raios-x de nanoparticulas de Ni e NiO

Estruturas Cristalinas dos Materiais

As 14 Redes de Bravais



Célula Unitária
0,564 nm



Cúbica de face centrada
Parâmetro de rede = 0,564 nm

Densidade = 2,164 g/cm^3

Obs: 1 cm^3 tem 5,6 x10^{21} células unitárias

Questões

1- Anotar na tabela os parâmetros indicados. Diâmetros (D1 e D2), raios dos anéis, etc.

V(kV)	λ(x10^{-9}m)	D1(m)	r_1(m)	D2(m)	r_2(m)	$2\lambda R$ (m^2)

2- Mostrar o gráfico de ($2\lambda R$) versus r_1 e r_2. Usar uma curva de tendência linear e calcular as distâncias interplanares atômicas d_1 e d_2

3- Para a distância interplanar atômica do grafite d_1=213 pm, qual deveria ser o valor da tensão V para que o anel de difração tenha um raio máximo.

4- Para a distância interplanar atômica do grafite d_3= 80,5 pm, qual deveria ser o valor da tensão V para que o anel de difração tenha um raio de r_3 = 25 mm

5- Considere o nosso setup experimental e demonstrar a equação : $\boldsymbol{2\lambda R = d * r}$

6- Na esfera do equipamento de difração de elétrons, a tela fluorescente tem diâmetro de 95 mm. Quanto deve ser a tensão para energizar os elétrons para obter um anel de difração com raio de 45 mm e relacionado à distância interplanar atômica do grafite d_5=46,5 pm.
Isto explica por que não observamos os anéis de difração das distâncias d_3, d_4 e d_5 ?