

1318 – Raios-X / Espectro contínuo e característico Medida da razão h/e .



Roteiro elaborado com base na documentação que acompanha o conjunto por:
Máximo F. Silveira – Instituto de Física – UFRJ

Tópicos Relacionados

Raios-X, equação de Bragg, radiação contínua (bremstrahlung), radiação característica, plano cristalino, espaçamento de rede, comprimento de onda mínimo, frequência limite.

Princípios e objetivos

A intensidade de raios-X de diferentes comprimentos de onda é medida em função da voltagem do anodo. A partir da relação obtida entre a voltagem limite e a frequência, a constante de Planck é determinada

Equipamentos

Unidade de raios-X	09056.97	1
Tubo contador, tipo A, BNC	09025.11	1
Contador Geiger-Müller	13606.99	1
Cabo BNC blindado, 1 750 mm	07542.11	1

Problemas

1. Determinação das intensidades de radiação-X de diferentes comprimentos de onda como função da voltagem do anodo.
2. Determinação da voltagem limite como função da frequência.
3. Determinação da constante Planck h a partir do coeficiente angular da relação obtida em 2.

Montagem e procedimentos

A montagem experimental pode ser vista na Fig. 1. A voltagem do anodo é diretamente lida do mostrador. O colimador ($d = 2\text{mm}$) é posicionado na abertura de saída do raio-X. Antes de iniciar a tomada de dados deve-se ajustar (“zerar”) os dois indicadores angulares da câmara de raios-X. O cristal de LiF é montado paralelamente aos ponteiros de medidas angulares. O tubo contador é montado, o contador Geiger-Müller conectado, e a câmara de raios-X fechada (acionando a chave de segurança). A voltagem no anodo é ajustada para aproximadamente 20-22 KV. O cristal é posicionado a $22,5^\circ$ e o tubo contador posicionado, de modo a determinar as mais altas intensidades, de 40° a 50° . O máximo absoluto de intensidade (linha K_α , $\lambda = 154 \text{ pm}$ a $22,5^\circ$) é verificado

1318 – Raios-X / Espectro contínuo e característico Medida da razão h/e .

PHYWE

variando-se ligeiramente a posição do tubo contador. A indicação do ponto de máximo deve ser encontrada em $22,5^\circ$ e 45° respectivamente para o cristal e o tubo contador. A voltagem do anodo deve ser checada durante as medidas e reajustada quando necessário.

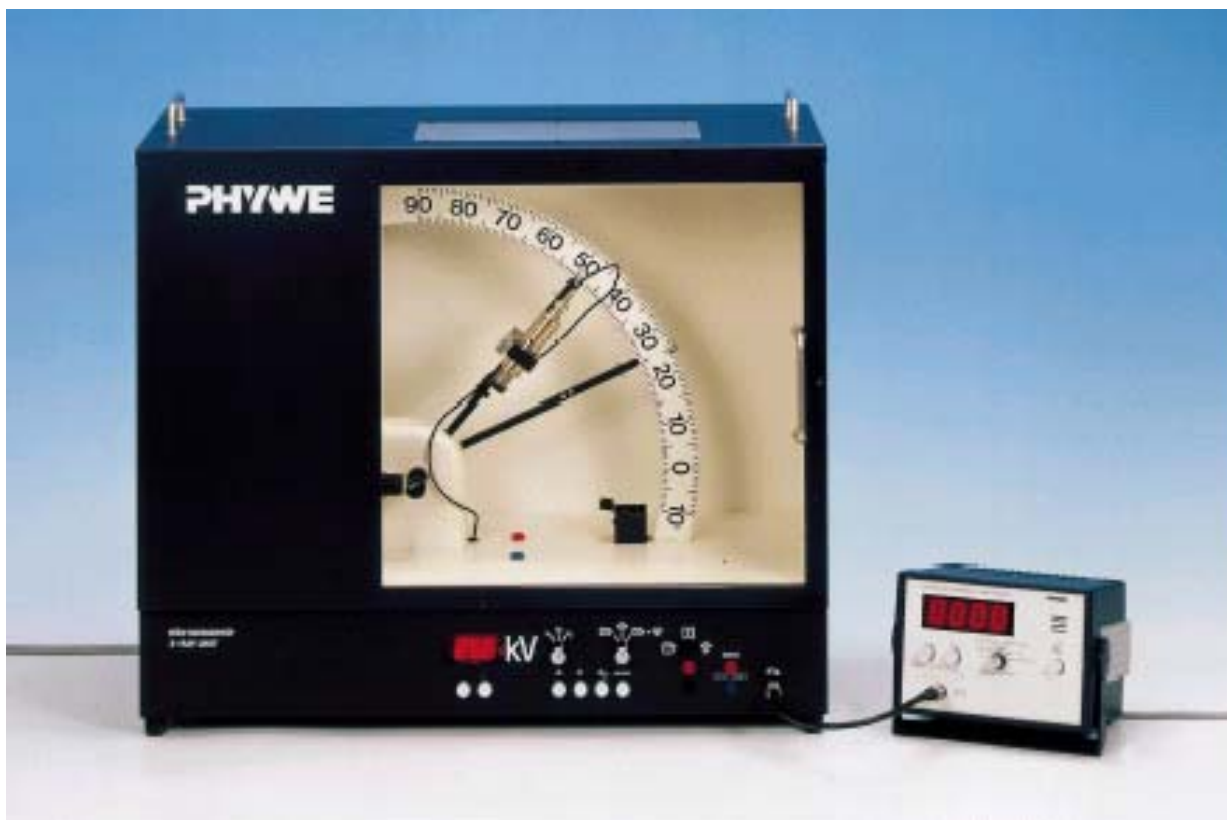


Fig. 1: Montagem experimental para determinação da intensidade de radiação-X como função da voltagem do anodo.

1318 – Raios-X / Espectro contínuo e característico Medida da razão h/e .

PHYWE

Teoria e Análise

Se um feixe de elétrons de energia E atinge um anodo de determinado material, os elétrons são desacelerados. Parte da energia cinética dos elétrons eV , é dissipada por radiação, onde V é a voltagem aplicada ao anodo. O espectro contínuo da radiação apresenta um limite mínimo para o comprimento de onda, correspondente à conversão integral da energia cinética eV , em um único processo, em radiação de frequência ν :

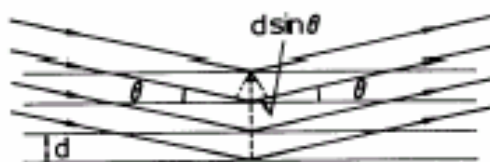
$$eV = h\nu = hc/\lambda$$

onde c é a velocidade da luz, λ o comprimento de onda, ν a frequência, h a constante de Planck e e a carga do elétron. Ao transferir sua energia cinética, os elétrons do feixe podem ionizar os átomos do alvo (anodo) removendo elétrons das camadas mais internas. O átomo excitado retorna ao estado fundamental pela transferência de um elétron da camada imediatamente mais próxima, ou segunda mais próxima, para a camada mais interna, emitindo conseqüentemente a diferença de energia como um fóton de raios-X. Se a camada para a qual o elétron (do átomo) é transferido for a camada K , surgem respectivamente as linhas K_α , K_β , etc.

Se uma onda de comprimento de onda λ incide em um ângulo θ num sistema de planos paralelos de uma rede cristalina, interferência construtiva das ondas ocorrerá quando a diferença de caminho entre feixes refletidos por planos adjacentes for um múltiplo inteiro do comprimento de onda. Ou seja, de acordo com a Fig. 2:

$$n\lambda = 2d\sin\theta ; n = 1, 2, 3 \dots \text{ (equação de Bragg)}$$

Fig. 2: Interferência de ondas refletidas por planos da rede cristalina.



onde d é a distância entre os planos adjacentes da rede cristalina. A cada posição (angular) do cristal espalhador um determinado comprimento de onda do espectro contínuo da radiação é selecionado de acordo com a equação de Bragg. O cristal usado é o LiF com um espaçamento de rede:

1318 – Raios-X / Espectro contínuo e característico Medida da razão h/e .

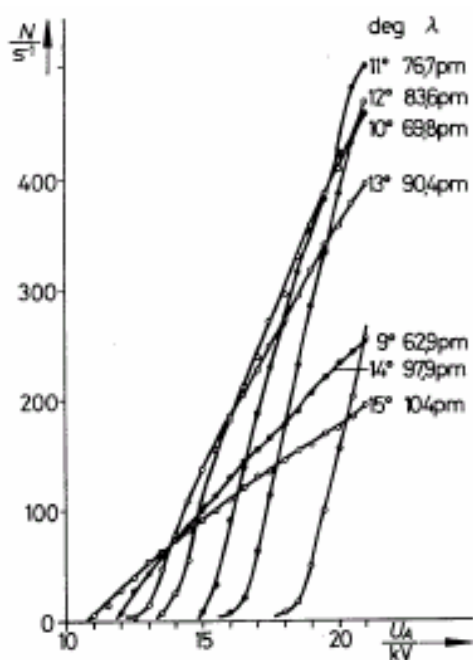
PHYWE

$$d = 2,01 \times 10^{-10} \text{ m}$$

Dessa forma, os comprimentos de onda e frequências correspondentes, podem ser obtidos pela posição (angular) do cristal.

A intensidade dos diferentes comprimentos de onda é medida em função da voltagem do anodo.

Fig. 3: Intensidade de raios-X para diferentes comprimentos de onda em função da voltagem do anodo.



Extrapolando as curvas da Fig. 3 a voltagem limite V_0 é determinada como função da frequência.

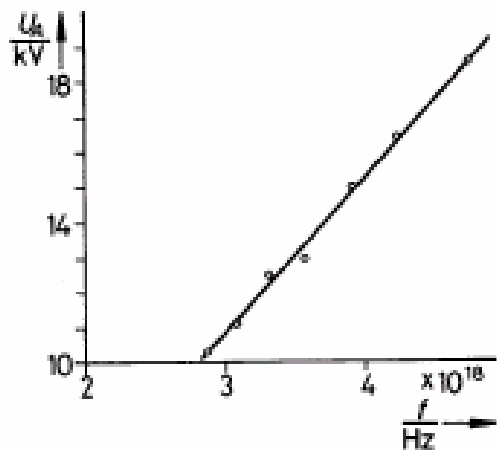
A partir da análise por regressão linear dos resultados apresentados no gráfico da Fig. 4 temos o valor do coeficiente angular:

$$b = (4,12 \pm 0,07) \times 10^{-15} \text{ J/A}$$

1318 – Raios-X / Espectro contínuo e característico
Medida da razão h/e .

PHYWE

Fig. 4: Voltagem limite V_0 em função da frequência.



A partir desse valor e com a carga do elétron

$$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ As}$$

Obtem-se finalmente a constante de Planck:

$$h = 6,61 \times 10^{-34} \text{ Js}$$