

# Experimento: A Relação de Duane–Hunt e a Constante de Planck

## **Material Utilizado:**

- 1 unidade de raios–X (LEYBOLD 554800)
- 1 tubo de raios–X de molibdênio (LEYBOLD 554861)
- 1 goniômetro (LEYBOLD 554831)
- 1 colimador
- 1 monocristal de NaCl (LEYBOLD 55478)
- 1 tubo de Geiger–Müller (LEYBOLD 55901)

**Objetivo do Experimento:** Determinar experimentalmente a dependência, com a alta tensão  $U$  do anodo, do limite inferior  $\lambda_{\min}$  do comprimento de onda do espectro contínuo de emissão de raios–X do molibdênio. Determinar a constante de Planck a partir da relação de Duane–Hunt.

## ***Definições e Referências***

Artigo histórico:

Duane William & Hunt Franklin 1915, *On X-Rays Wave-lengths*, Proceedings of the American Physical Society.

Roteiro do fabricante:

*LEYBOLD Physics Leaflets P6.3.3.3 Duane–Hunt relation and determination of Planck's constant.*

Manuais de instrução:

*LEYBOLD 554800 and 554801 x-ray apparatus and x-ray apparatus Mo, complete.*

*LEYBOLD 554831 goniometer.*

*LEYBOLD 554861 x-ray tube Mo.*

*LEYBOLD 55901 end-window counter for alfa, beta, gamma radiation and x-rays.*

*LEYBOLD 55477–55478 LiF and NaCl crystals for Bragg reflection.*

Energia máxima  $E_{\max}$ , e comprimento de onda mínimo  $\lambda_{\min}$ , de um fóton, emitido em decorrência da desaceleração de um elétron por um anodo submetido a uma alta tensão  $U$ .

$$eU = E_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}},$$

onde  $h$  é a constante de Planck,  $e$  a carga elementar e  $c$  a velocidade da luz.

Dependência do comprimento de onda mínimo  $\lambda_{\min}$  com a alta tensão  $U$ .

$$\lambda_{\min} = \left(\frac{hc}{e}\right) \frac{1}{U}.$$

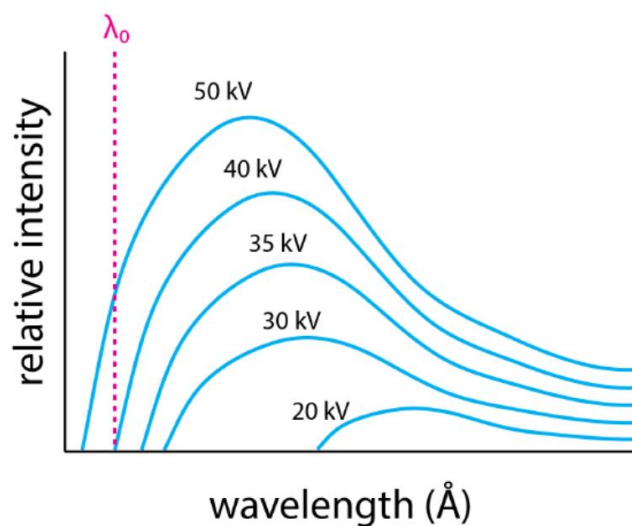
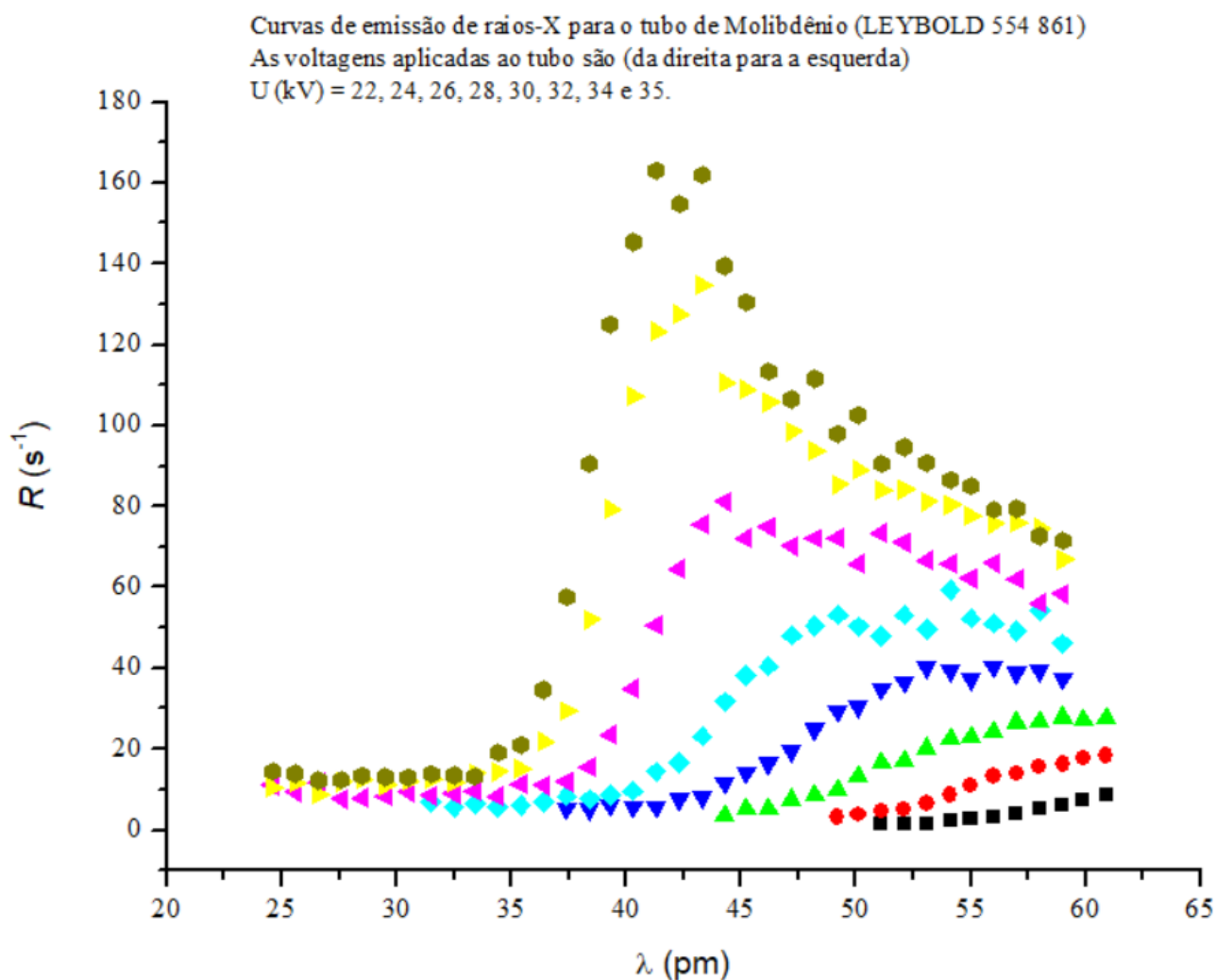


Figure 12.1.1: X-ray emission from a metal target using an electron beam. The voltage listed above each curve is the accelerating voltage used to create the electron beam. Each accelerating voltage has a minimum wavelength,  $\lambda_0$ , below which emission does not occur. The dashed line shows  $\lambda_0$  for an accelerating voltage of 40 kV.

(David Harvey, LibreTextsCHEMISTRY) (chem.libretexts.org)



(Prof. Djalma Nardy Domingues, Abril de 2014)

## PROCEDIMENTO

1. Neste experimento, em conexão com a unidade de raios-X, você fará uso do software *LEYBOLD Rontgengerat X-ray 554 801 & 554 811–Version 1.25*, de um colimador e um monocristal de NaCl. Insira o colimador e o monocristal na unidade de raios-X. Siga as instruções específicas contidas no roteiro original *LEYBOLD Physics Leaflets P6.3.3.3 Duane–Hunt relation and determination of Planck`s constant*.

Nas ações seguintes, o arranjo experimental terá as seguintes definições:

- o PC será conectado à unidade de raios-X mediante um cabo apropriado (cabo com conectores USB–A macho / USB–B macho);
- modo de operação “COUPLED” para a o goniômetro e tubo contador;
- corrente de emissão  $I = 1,00 \text{ mA}$ ;
- incremento de passo angular  $\Delta\beta = 0,1^\circ$ ;
- tempo de medição  $\Delta t$  por passo angular e limites para o ângulo de alvo, inferior  $\beta_{\min}$  e superior  $\beta_{\max}$ , conforme tabela abaixo.

$U \text{ (kV)}$	$\Delta t \text{ (s)}$	$\beta_{\min} (^\circ)$	$\beta_{\max} (^\circ)$
22,0	30	5,2	6,2
24,0	30	5,0	6,2
26,0	20	4,5	6,2
28,0	20	3,8	6,0
30,0	10	3,2	6,0
32,0	10	2,5	6,0
34,0	10	2,5	6,0
35,0	10	2,5	6,0

Leia no referido roteiro original as instruções sobre o procedimento de como obter (mediante o uso de teclas e chaves) os ajustes acima explicitados.

2. Registro do espectro de emissão do molibdênio para diferentes valores de alta tensão do tubo.
- 2a. Inicie o software e **apague** todos **os dados preexistentes** (veja roteiro do fabricante). Estabeleça as definições de parâmetros acima descritas, e  $U = 22,0$  kV para a alta tensão do tubo. Inicie o experimento pressionando a tecla SCAN.
- 2b. Faça o registro do espectro também para os demais valores de alta tensão do tubo, conforme explicitado na tabela acima, e fazendo os ajustes necessários nos parâmetros pertinentes.
3. Registro das curvas taxa de contagem  $R(s^{-1})$  versus comprimento de onda  $\lambda$ .
- 3a. No software, abra a caixa de diálogo “**Settings**” e **informe a distância interplanar** para o monocristal utilizado, NaCl.
- 3b. Salve a série de medições sob um nome específico.
- 3c. Produza uma **tabela** para todos os espectros registrados como a mostrada na folha de dados e resultados. Note que a forma adotada é taxa de contagem  **$R$  versus** comprimento de onda  **$\lambda$** . Você pode aproveitar a própria tabela gerada pelo software (da LEYBOLD) e copiar eletronicamente os dados pertinentes.
- 3d. Produza uma **figura** (cópia do diagrama do software) mostrando **todas as curvas de emissão** registradas.
4. Determinação da dependência do limite inferior  $\lambda_{\min}$  do comprimento de onda, para emissão, com a alta tensão  $U$  do tubo.
- 4a. Para cada curva de emissão, no diagrama (veja Figura 4 do roteiro do fabricante) **clique com o lado direito do mouse na curva** selecionada e acesse no software a **opção “Best-fit Straight Line”**. Fazendo uso do **lado esquerdo do mouse**, **marque** na curva o **intervalo** de pontos **para** o qual você deseja realizar o **ajuste linear**.
- 4b. Produza uma **figura** (cópia do diagrama do software) mostrando o **ajuste linear** obtido **para todas as curvas de emissão** registradas.

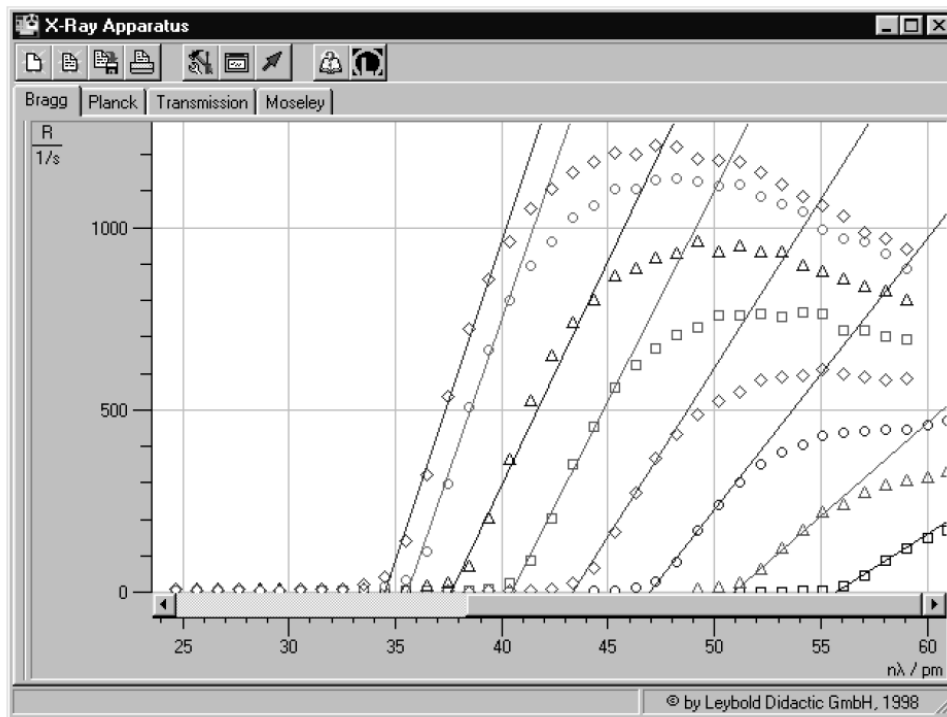


Fig. 4 Sections from the diffraction spectra of x-radiation for the tube high voltages  $U = 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34$  and  $35$  kV (from right to left) with best-fit straight line for determining the limit

4c. **Salve o arquivo** do software com um nome adequado.

5. Determinação da constante e Planck a partir da relação de Duane–Hunt.

4a. Clique na aba “**Planck**”. Copie a tabela “ $\lambda_{\min}$  versus  $U$ ” do lado esquerdo da tela. Fazendo uso de um **software independente** construa um gráfico  $\lambda_{\min}$  versus  $1/U$  e um correspondente **ajuste linear** para tal dependência.

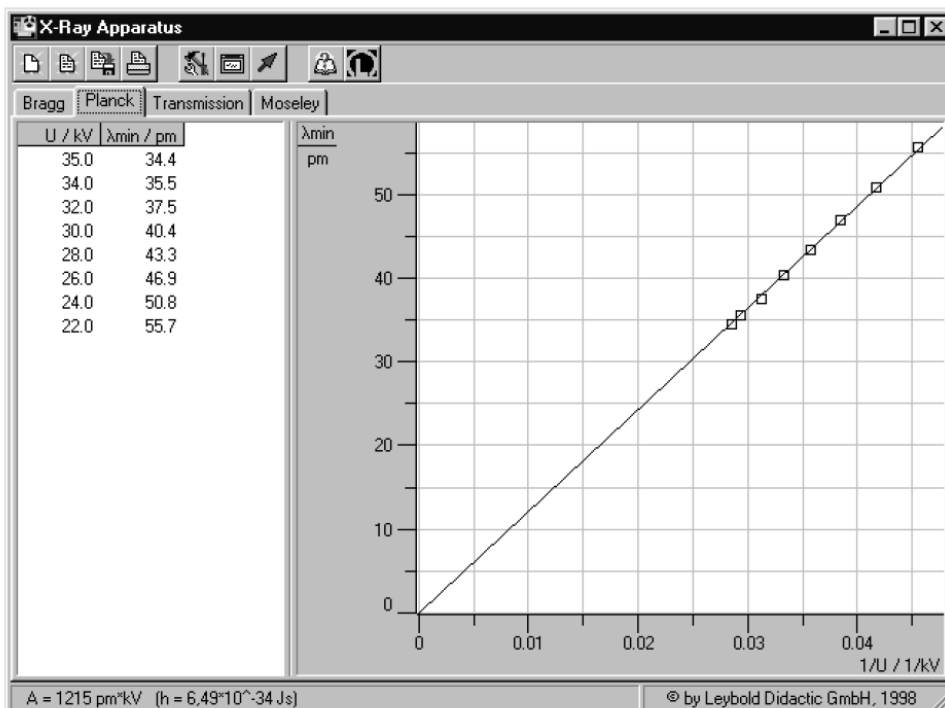


Fig. 5 Evaluation of the data  $\lambda_{\min} = f(1/U)$  for confirming the Duane-Hunt relation and determining Planck's constant

4b. **Calcule** a constante de Planck  **$h$**  a partir da relação  $h = \frac{eA}{c}$ , com a devida propagação de erros.

## FOLHA DE DADOS E RESULTADOS

## Experimento: A Relação de Duane–Hunt e a Constante de Planck

## DEPENDÊNCIA DA CURVA DE EMISSÃO DE RAIOS-X COM O COMPRIMENTO DE ONDA PARA O TUBO DE MOLIBDÊNIO (LEYBOLD 554 861)

[illegible]

# CURVAS DE EMISSÃO DE RAIOS-X PELO TUBO DE MOLIBDÊNIO (software LEYBOLD)



AVALAÇÃO DOS LIMITES DE EMISSÃO DE RAIOS-X PELO TUBO DE MOLIBDÊNIO  
(software LEYBOLD)

DEPENDÊNCIA DO COMPRIMENTO DE ONDA DE CORTE  $\lambda_{\min}$  COM A ALTA TENSÃO  $U$

$U$ (kV)	$\lambda_{\min}$ (pm)

## GRÁFICO $\lambda_{\min}$ VERSUS $1/U$ e AJUSTE LINEAR

$$[\lambda_{\min} = A \left( \frac{1}{U} \right) + B]$$

$$A = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ pm kV}$$

$$B = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ pm}$$

## CÁLCULO DA CONSTANTE DE PLANCK

$$h = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ Js}$$