Instituto de Física USP

Física V - Aula 12

Professora: Mazé Bechara

Aula 12 –Caráter dual da radiação eletromagnética – Aplicações. Raios-X: produção e características.

- **Aplicação 1:** Visão fotônica e visão humana *(uma variação da questão 22 do Guia ao tópico II)*.
- **Aplicação 2:** questão 28 do Guia ao tópico II .
- **Raios-X :** produção e principais características.
- **O equipamento que cria raios X por incidência de elétrons**, com energia cinética da ordem de KeV, sobre matéria pesada - características do espectro intensidade versus comprimento de onda ou frequência.

Visão fotônica e visão humana- Aplicação

O olho humano é sensível a um pulso de luz que contenha no mínimo da ordem de 100 fótons por segundo.

a) **Determine a potência de um pulso visível na luz amarela**. O pulso de luz azul tem potencia maior, menor ou igual? Justifique.

b) **Estime o mínimo da intensidade de pulso de luz que sensibiliza o olho humano**. A íris humana tem diâmetro da ordem de 5mm.

c) **Como você explica o fato de um ser humano não ser visto por outro com luz própria** (apesar de alguns serem brilhantes aos olhos de outros, de pontos de vista humanos).

Tubo de raios-X

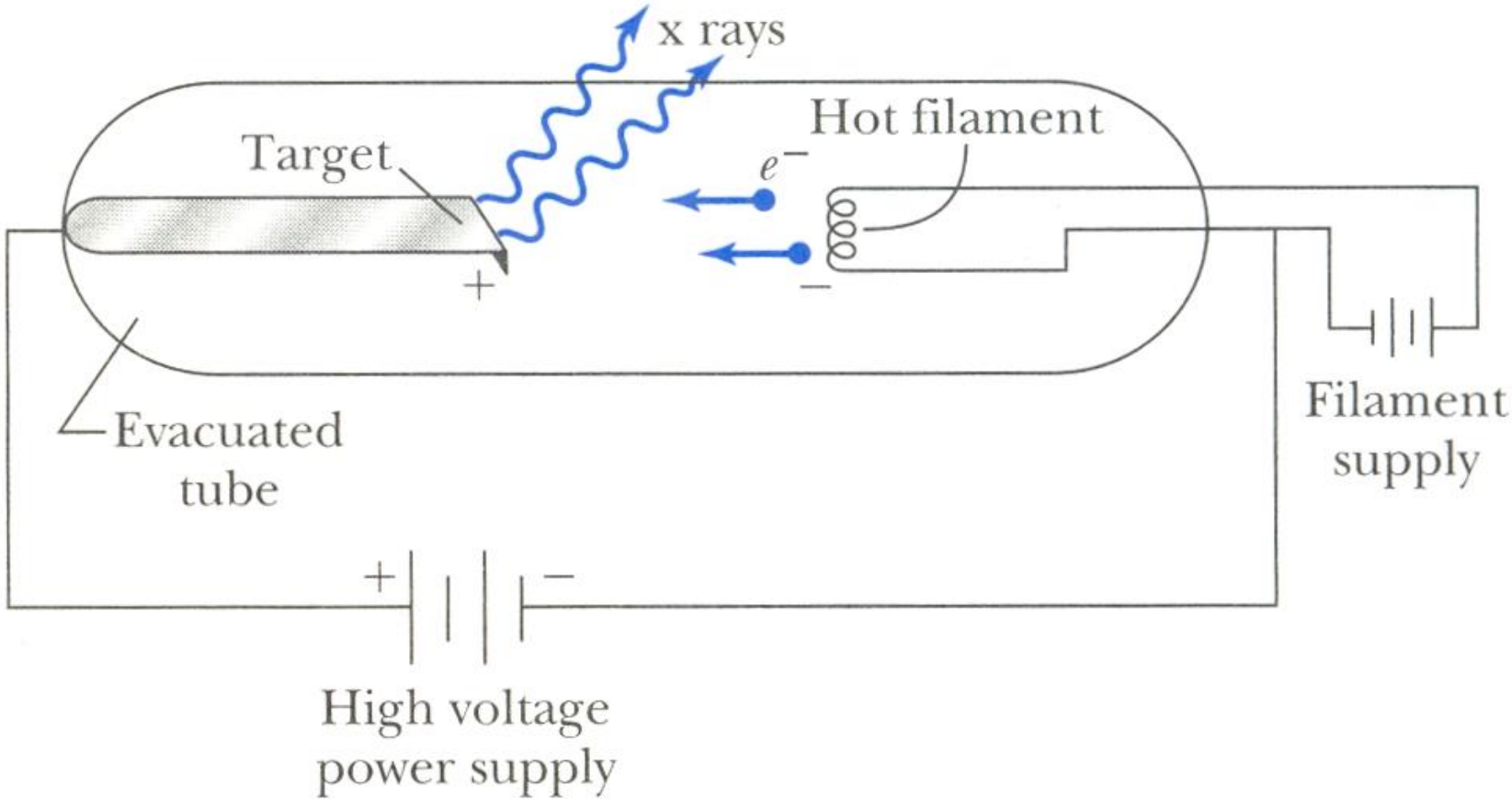
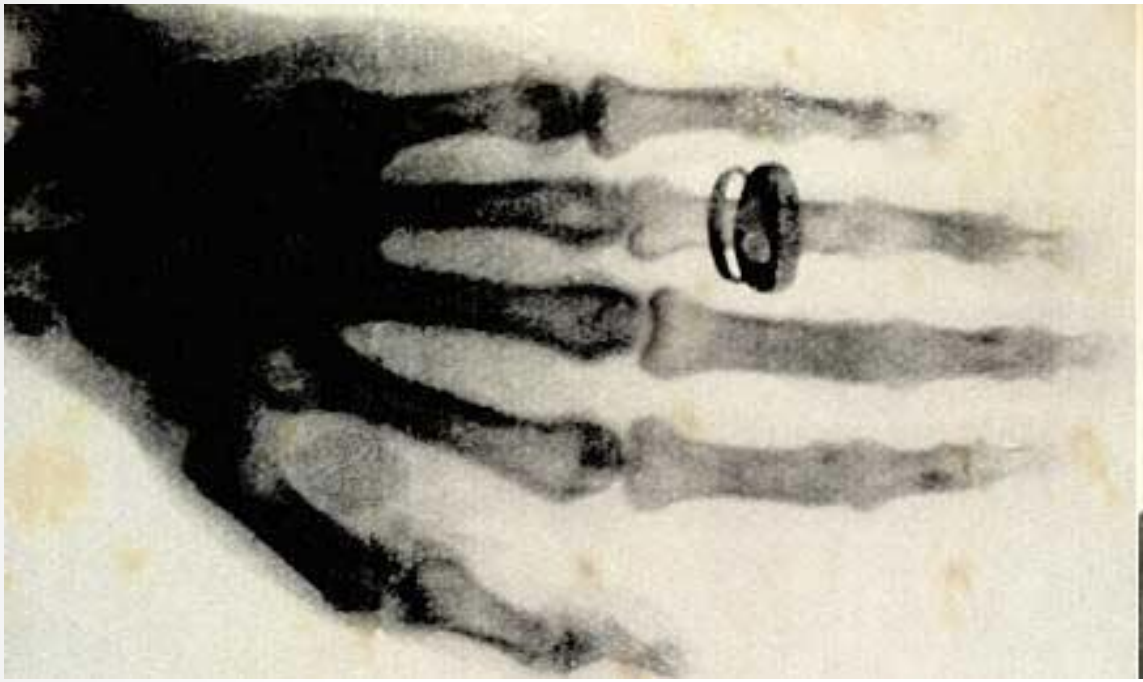


FIGURE 3.16 Schematic of x-ray tube where x rays are produced by the bremsstrahlung process of energetic electrons.

Wilhelm Conrad Röntgen (1845 —1923)

físico alemão - 1º Prêmio Nobel de Física (1901)



Estudava os efeitos dos raios catódicos (*) quando observeu que "outros raios" eram produzidos quando os raios catódicos batiam nos vidros do tubo. Chamou-os de Raios-X por não saber qual a sua natureza.

(*)Thomson mostrou em 1897 que os raios catódicos eram elétrons arrancados do metal por efeito termoiônico e ganhou o premio Nobel de Fisica em 1906.

A primeira radiografia de Wilhelm Röntgen referente a mão de sua esposa (?).

Há controvérsias: autores dizem que seria a mão de um biólogo colaborador.

Produção de Raios-X - *Informações Históricas*

1. Em **1895 Wilhelm C. Röntgen** estudava a fluorescência de certas substâncias com um **Tubo de Raios Catódicos**, quando observou **emissão de algo** que deu o nome de **Raios-X. Dois meses depois** de sua descoberta, o equipamento estava sendo usado na Medicina para se obter ***radiografia dos ossos.***

2. Só em **1913, *W. H. Bragg*** *(pai)* **e *W. L. Bragg*** *(filho)* mostram que os Raios-X sofrem difração por cristais – e a convicção de que se trata de radiação eletromagnética se estabelece, pelo caráter ondulatório dos Raios X **(difração de Bragg),** com comprimento de onda da ordem de Angstrons.

Condizente com a natureza ondulatória da luz – raios-X são ondas eletromagnéticas de frequencias muito maiores que a da luz!

http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphy/xraydiffraction/xraydiffraction_index.htm

Produção de Raios-X - *Informações Históricas*

3. **Em 1913-1914 Moseley** estudou o **espectros de linha (estrutura fina) emitidos por muitos elementos,** e a regra do comprimento de onda deles. *(Este assunto será tratado um pouco mais adiante depois de modelos atômicos).*

Moseley m*orreu aos 27 anos em 1917 na 1ª guerra mundial onde lutou como voluntário, mesmo desaconselhado por seus mestres universitários!*

84 Em 1923, Compton *(que esteve no Brasil em 1941)* mostra que raios-X têm também **caráter corpuscular** quando descreve o espalhamento **de Raios-X** pela matéria (**efeito Compton**). E ganha o prêmio Nobel de Física em 1927. **(Einstein ganhou o prêmio Nobel em 1921).**

O caráter corpuscular ,como proposto por Einstein, é necessário para descrever os dois fenômenos acima.

Produção de Raios-X

Os Raios-X podem ser produzidos pela incidência de elétrons com energia cinética da ordem de keV sobre diferentes materiais, principalmente os pesados (grandes massas atômicas).

Os tubos modernos, usados em aplicações atualmente, foram desenvolvidos pelo americano Willian David Coolidge: têm filamentos em geral de tungstênio, e o anodo (material de colisão) é muito comumente de cobre, molibdênio ou tungstênio.

Principais características dos Raios-X

1. **Não são desviados por fortes campos magnéticos**, fato que indicava serem radiação eletromagnética ao invés de matéria.

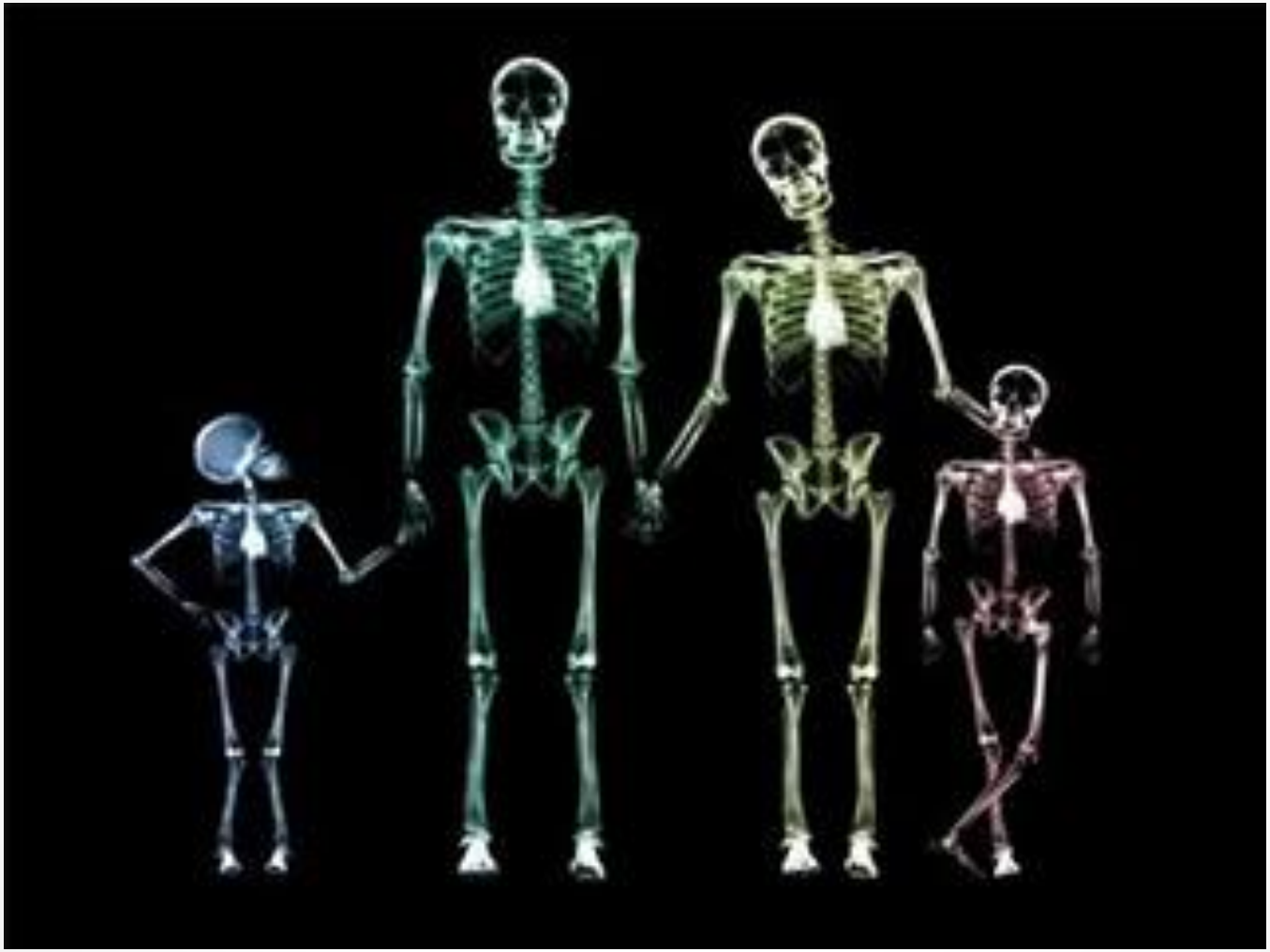
2. **Marcam, de forma fluorescente, alguns materiais.**

3. **Atravessam materiais opacos à luz, mas são bloqueados por relativamente finas espessuras de materiais metálicos**, especialmente o chumbo. (**Peça o aventalzinho de chumbo ao tirar radiografia no dentista , e proteja a sua glândula tiroide!** ***E quando tirar radiografia do tórax, proteja sua região genital.)***

4. **No corpo humano penetram facilmente pelo tecido e nervos, mas são opacos para os ossos.** São absorvidos pelo cálcio dos ossos. ***Os ossos absorvem os raios-X por efeito fotoelétrico !***

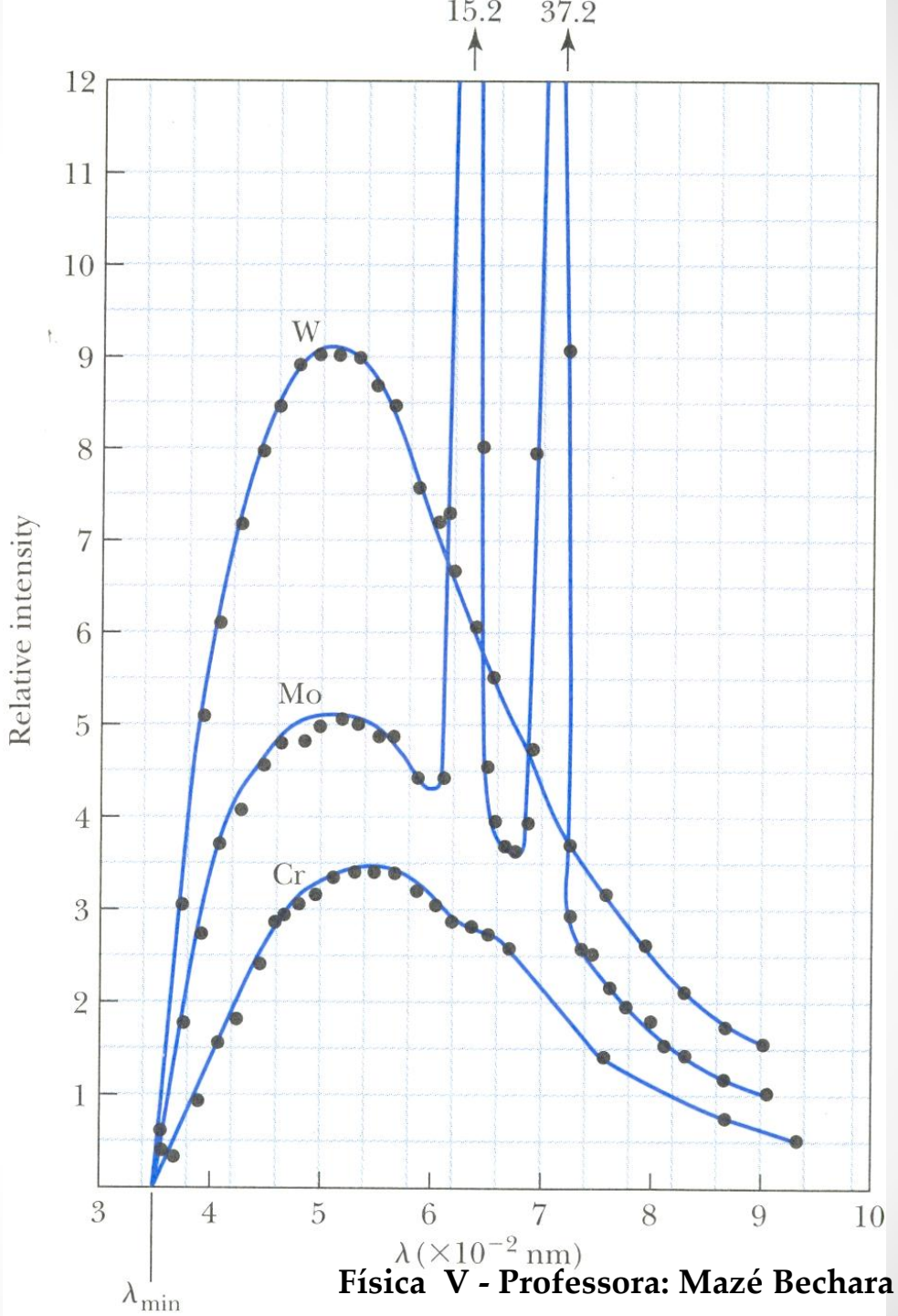
O que se observa nas chapas de raios X (radiografia) é a "sombra" dos ossos (cheios de cálcio).

A técnica de raio-X – um exemplo familiar



Intensidade relativa dos raios-X produzidos em um tubo com voltagem aceleradora de 35kV.

Note que o comprimento de onda mínimo é o mesmo para os três alvos. De C. T. Ulrey, Physical Review 11, 405(1918)



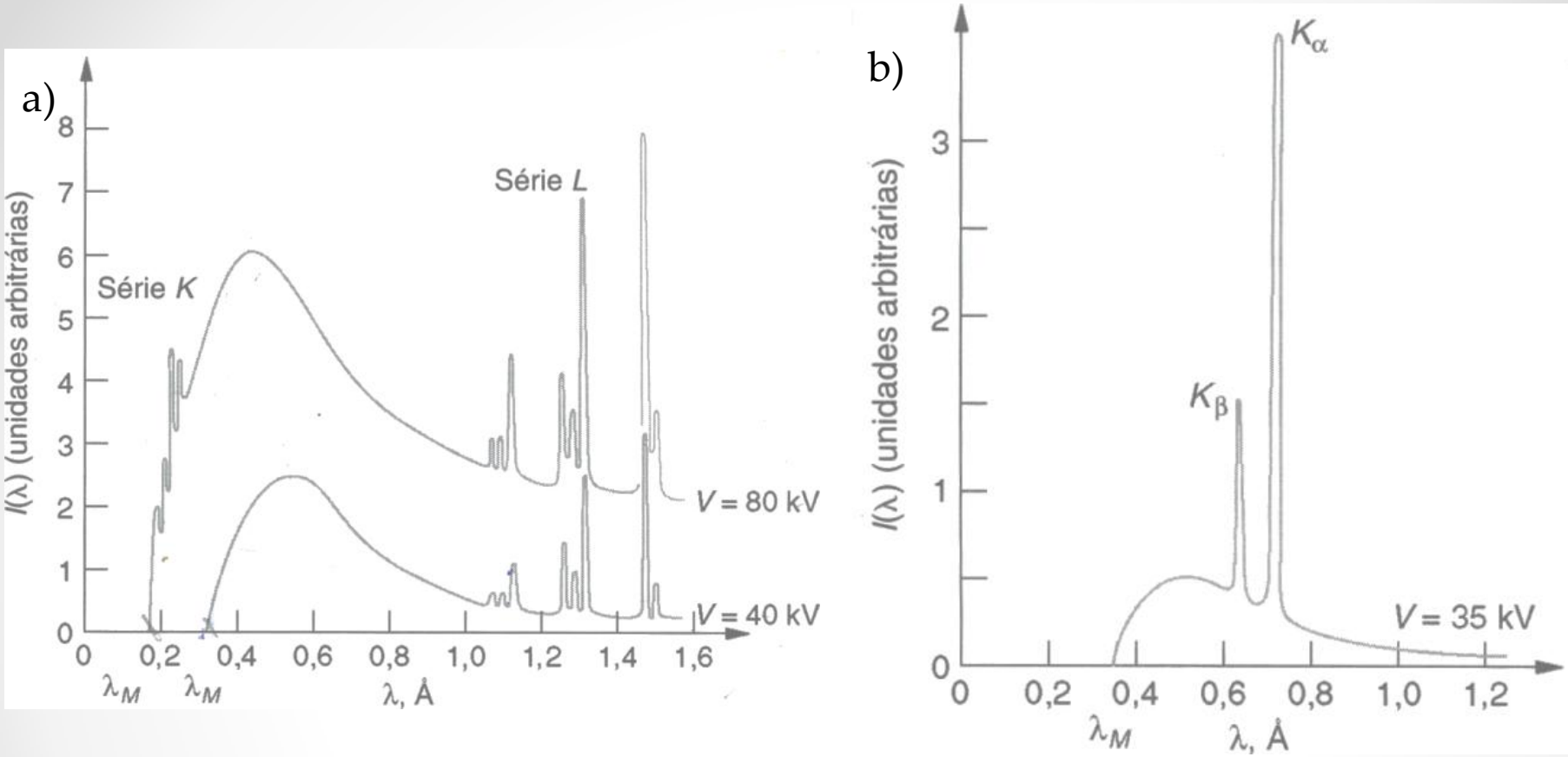


Fig. 3-18 Espectros de raios X do tungstênio (*a*) e do molibdênio (*b*). Os nomes das séries de linhas (*K* e *L*) são explicados no Cap. 4. As linhas da série *L* do Mo (que não aparecem na figura) ocorrem para $\lambda \approx 5$ Å. O comprimento de onda de corte λ_m não depende do material e é dado por $\lambda_m = hc/eV$, onde V é a tensão do tubo de raios X. Os comprimentos de onda das linhas de difração são característicos de cada material.

Figura do Tipler & Llewellyn

Principais características do espectro de Raios-X

1. Os espectros têm uma **parte contínua** (estrutura grossa com variação de intensidade lenta com o comprimento de onda) **cuja forma depende essencialmente do potencial acelerador dos elétrons,** e praticamente independe do material com o qual os elétrons colidem (do anodo).
   a) **Os espectros têm um comprimento de onda mínimo (uma frequência máxima) que depende apenas do potencial acelerador dos elétrons.**
   b) **A forma é a mesma para qualquer material com o qual os elétrons colidem, mas a intensidade depende do material.**

2. Há uma **estrutura fina,** ou seja, **alguns comprimentos de onda são emitidos com grande intensidade, se destacando sobre a estrutura grossa.** Tais comprimentos de onda, praticamente monocromáticos, **dependem do material, e independem do potencial acelerador** dos elétrons que colidem. ***São os chamados picos característicos (do material).***

Processo que gera Raios-X segundo o eletromagnetismo clássico

A eletrodinâmica clássica explica a estrutura grossa, mas não com a característica de corte na frequencia/comprimento de onda.

Na **interação Coulombiana** dos elétrons com os constituintes dos átomos, ao colidir com a matéria, **eles iriam perdendo a sua energia cinética, até atingir o repouso, emitindo um espectro contínuo, a estrutura grossa** do espectro de Raios-X. Porém, não haveria razão para haver um corte inferior no comprimento de onda e superior na frequencia.