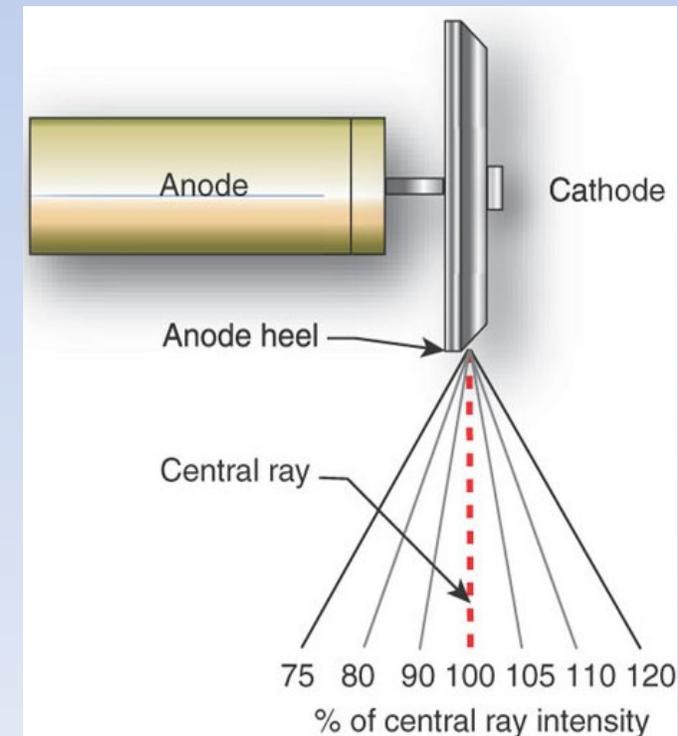


Produção e Emissão de Raios-X

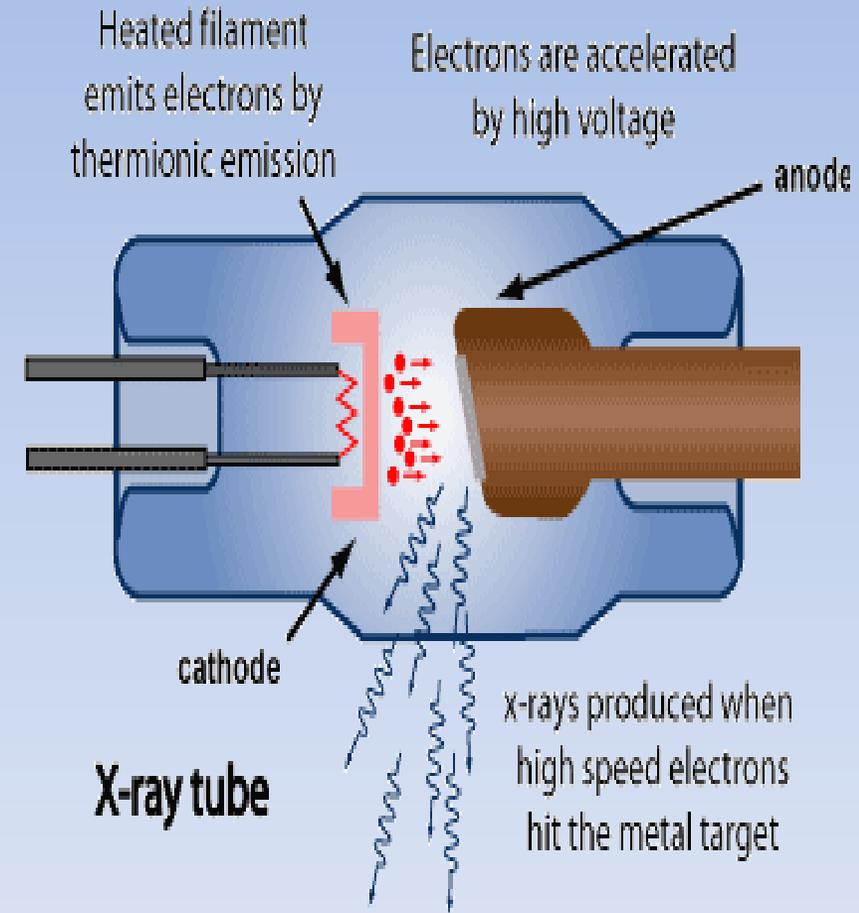


Prof. Sanjay Arya



Processo de Produção de Raios-X Característicos

- Os raios-X são produzidos convertendo energia cinética em energia eletromagnética.
- Requisitos para a Produção de Raios-X:
- Fonte de Elétrons: Os elétrons são gerados no cátodo aquecendo o filamento através da "emissão termiônica."
- Aceleração de Elétrons: A alta voltagem acelera os elétrons do cátodo para o ânodo. Por exemplo, a 100 kVp, os elétrons ganham até 100 keV de energia.
- Material Alvo: Os elétrons colidem com um alvo de tungstênio no ânodo, onde as interações os desaceleram.
- Conversão de Energia:
 - 99% da energia cinética é convertida em calor.
 - 1% transforma-se em raios-X, tornando o processo majoritariamente ineficiente.
 - O calor resulta da excitação dos elétrons, não da ionização, liberando radiação infravermelha à medida que os elétrons retornam aos níveis de energia normais.

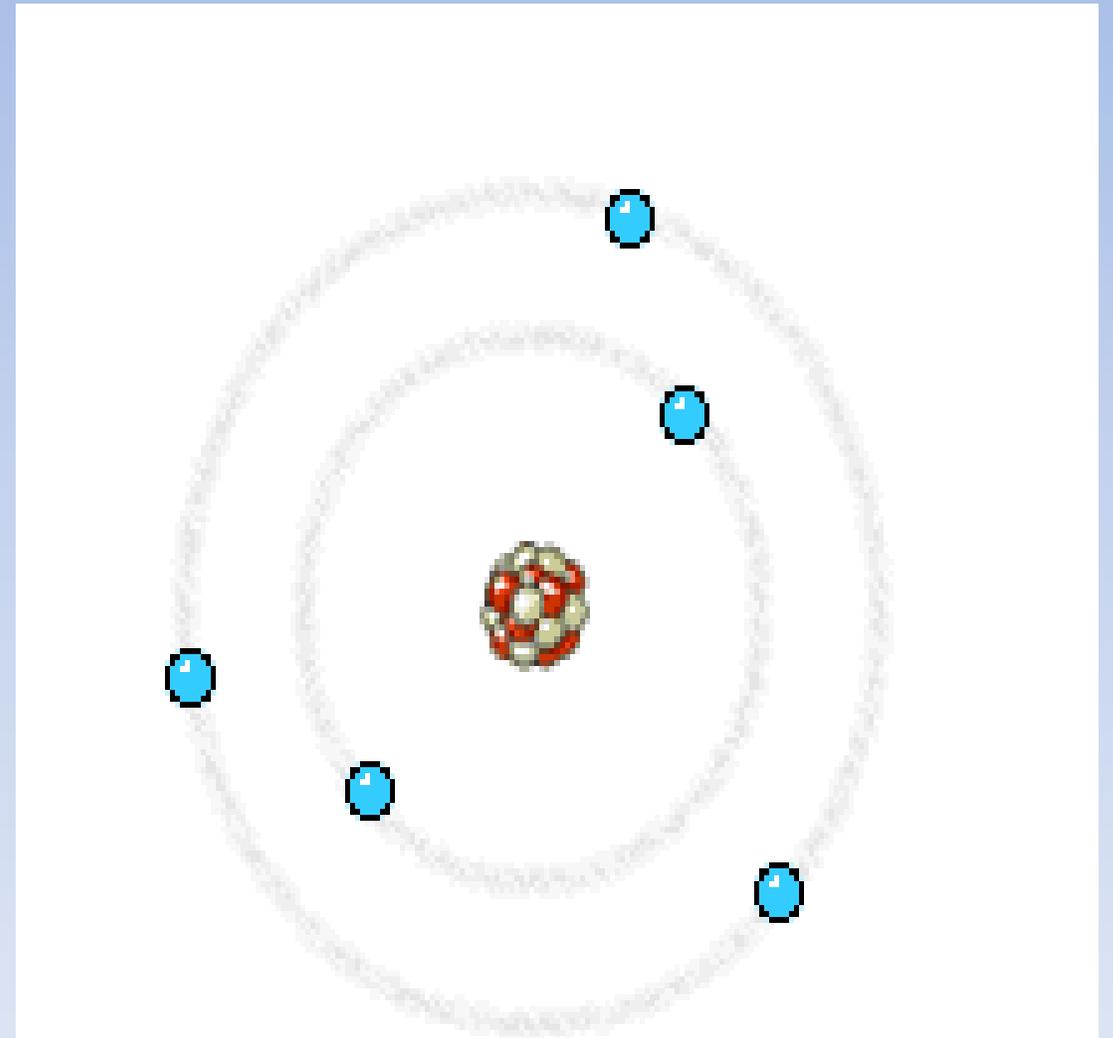
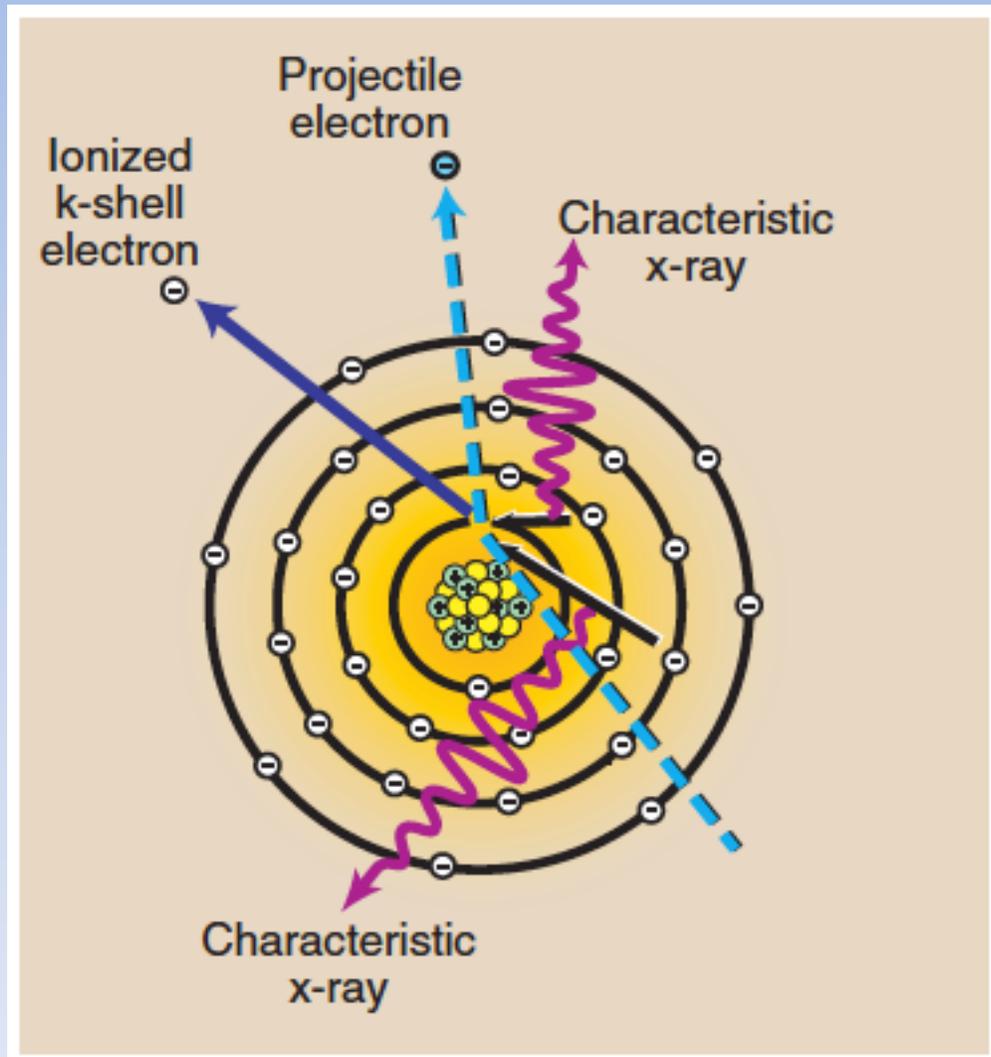


Processo de Produção de Raios X

2 Processos

- Radiação Característica: (Espectro de Emissão Discreta)
 - Interação entre os elétrons orbitais do alvo e o elétron incidente.
- Bremsstrahlung: (Espectro de Emissão Contínua)
 - Influência do núcleo no elétron incidente.

Processo de Produção de Raios-X Característicos



Processo de Produção de Raios-X Característicos

- **Energia de Ligação dos Elétrons:**

- A camada mais interna (camada K) tem a maior energia de ligação.
- Elétrons do cátodo podem ionizar o átomo alvo (ex.: tungstênio) removendo um elétron da camada K.

- **Ionização e Instabilidade:**

- A ionização ocorre quando um elétron da camada K é removido, tornando o átomo de tungstênio instável.
- Para o tungstênio, são necessários pelo menos 69,53 keV para remover um elétron da camada K.

- **Transição de Elétrons:**

- A instabilidade é resolvida quando um elétron de uma camada externa (ex.: camada L) preenche a lacuna da camada K.
- Esta transição libera um fóton de raio-X com energia igual à diferença entre as energias de ligação das camadas.

Processo de Produção de Raios-X Característicos

- **Efeito Cascata:**

- Quando a lacuna da camada K é preenchida, é criada uma lacuna na camada externa (ex.: camada L), preenchida por outro elétron de uma camada ainda mais externa (ex.: camada M).
- Cada transição emite um fóton de raio-X, criando uma série de fótons com energias variadas.

- **Feixe de Raios-X Polienergético:**

- Emissões múltiplas de fótons resultantes de transições em cascata produzem um feixe de raios-X polienergético, essencial para a imagem diagnóstica.

- **Nomeação dos Fótons de Raios-X:** Os fótons são nomeados com base na lacuna da camada que preenchem:

- Camada K: Fóton de raio-X "K"
- Camada L: Fóton de raio-X "L"
- E assim por diante.

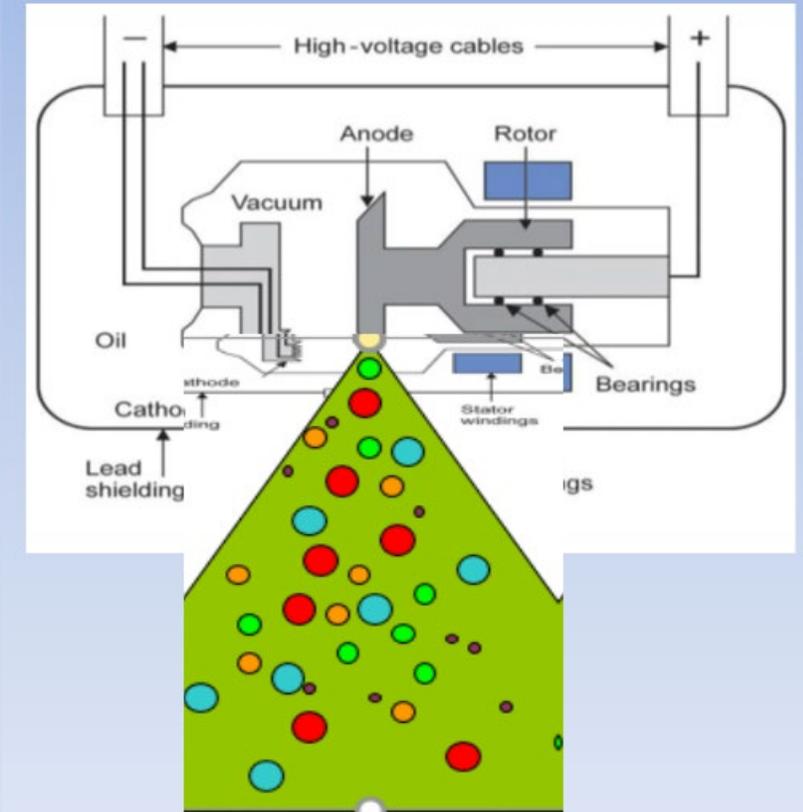
Radiação de Bremsstrahlung

- Interação com o Núcleo:

- Quando um elétron de alta velocidade do cátodo se aproxima do átomo-alvo, ele chega perto do núcleo sem colidir com os elétrons orbitais.
- A carga positiva do núcleo atrai o elétron com carga negativa.

- Efeito de Travagem:

- À medida que o elétron se aproxima do núcleo, essa atração abrandando-o e muda a sua direção, reduzindo a sua energia cinética.
- Esta perda de energia resulta na emissão de "radiação de travagem", ou radiação de Bremsstrahlung.



Radical de Bremsstrahlung

- **Fatores que Afetam a Travagem:**
 - **Velocidade Inicial dos Elétrons:** Velocidades mais altas criam radiação de travagem mais forte.
 - **Proximidade ao Núcleo:** Quanto mais próximo o elétron está do núcleo, mais forte é o efeito de travagem.
 - **Número Atômico do Material Alvo:** Números atômicos mais altos resultam em maior travagem.
- **Energia do Fotão de Bremsstrahlung:**
 - A energia do fotão de Bremsstrahlung emitido é a diferença entre a energia inicial e final do elétron.
 - **Exemplo:** Se um elétron começa com 100 keV e termina com 30 keV, a energia do fotão é de 70 keV.

Propriedades dos Raios-X

- **Natureza e Velocidade:**
 - Os raios-X são uma forma de radiação eletromagnética com alta energia.
 - Viajam em linha reta a uma velocidade de aproximadamente 300.000 quilômetros por segundo (ou 3×10^8 m/s), similar à velocidade da luz.
- **Percepção Sensorial:**
 - Os raios-X são invisíveis ao olho humano.
 - Não podem ser ouvidos ou cheirados.
- **Propriedades Elétricas:**
 - Os raios-X são eletricamente neutros e não são desviados por campos elétricos ou magnéticos.
- **Interação com Materiais:**
 - Os raios-X não podem ser refletidos, refratados ou focados por lentes.
 - Podem penetrar em líquidos, sólidos e gases; a penetração depende da qualidade e intensidade dos raios-X.
 - Os raios-X podem ser absorvidos pela matéria e têm a capacidade de ionizá-la, o que pode causar danos biológicos.
- **Fluorescência:**
 - Os raios-X podem produzir luz visível ao interagir com certos materiais, uma propriedade utilizada em filmes radiográficos, telas intensificadoras e fluoroscopia, conhecida como "fluorescência".

Quantidade de Radiação

- **Quantidade de Radiação (Intensidade)**
- **Definição:**
 - O número de raios-X produzidos, também chamado de "intensidade" ou "exposição à radiação."
 - Controla a densidade em uma radiografia.
 - Mensurado em Roentgens (R) ou milirroentgens (mR).
- **Fatores que Afetam a Quantidade de Radiação:**
 - Miliamperagem-segundos (mAs): Diretamente proporcional à intensidade.
 - Kilovoltagem (kVp): A intensidade é proporcional ao quadrado da alteração de kVp. Dobrar o kVp aumenta a intensidade por um fator de quatro.
 - Filtração Adicional: Reduz a contagem de fótons e diminui a dose no paciente.
 - Distância ao Alvo: A intensidade varia inversamente com o quadrado da distância, de acordo com a lei do inverso do quadrado.
 - Número Atômico do Alvo: Maior número atômico aumenta a intensidade.
 - Tipo de Onda (monofásico, trifásico, alta frequência): A intensidade aumenta com tipos de onda mais eficientes.

Qualidade da Radiação

- **Qualidade da Radiação (Penetrabilidade)**
- **Definição:**
 - A capacidade dos raios X de penetrar tecidos.
 - Raios X de alta qualidade têm alta penetrabilidade, enquanto raios X de baixa qualidade têm baixa penetrabilidade.
 - Controla o contraste em radiografias.
- **Fatores que Afetam a Qualidade da Radiação:**
 - Miliampereagem-segundos (mAs): Não afeta a qualidade.
 - Kilovoltagem (kVp): Proporcional diretamente à qualidade.
 - O aumento do kVp aumenta a qualidade e a camada semi-redutora (HVL).
 - Filtração Adicional: Aumenta a qualidade ao filtrar fótons de menor energia.
 - Distância: Não afeta a qualidade.
 - Número Atômico do Material do Alvo: Maior número atômico aumenta a qualidade.
 - Tipo de Onda (monofásico, trifásico, alta frequência): Ondas mais eficientes aumentam a qualidade.

Camada de Meia Espessura (HVL)

- **A camada semi-redutora (HVL) explicada na imagem refere-se à qualidade dos raios-X:**
 - A HVL é uma medida da qualidade dos raios-X.
 - É definida como a espessura do material absorvente necessária para reduzir a intensidade do raio-X para metade do seu valor original.
 - É medida em milímetros equivalentes de Alumínio (mm/Al).
- **Para um feixe de raio-X diagnóstico:**
 - A HVL normalmente varia entre 3-5 mm de Alumínio, o que é equivalente a 3-6 cm de tecido mole.
- **A relação entre kVp e HVL:**
 - 50 kVp: 1.9 mm/Al
 - 75 kVp: 2.8 mm/Al
 - 100 kVp: 3.7 mm/Al
 - 125 kVp: 4.6 mm/Al

Espectro de Emissão de Raios-X

1. Raios-X Característicos

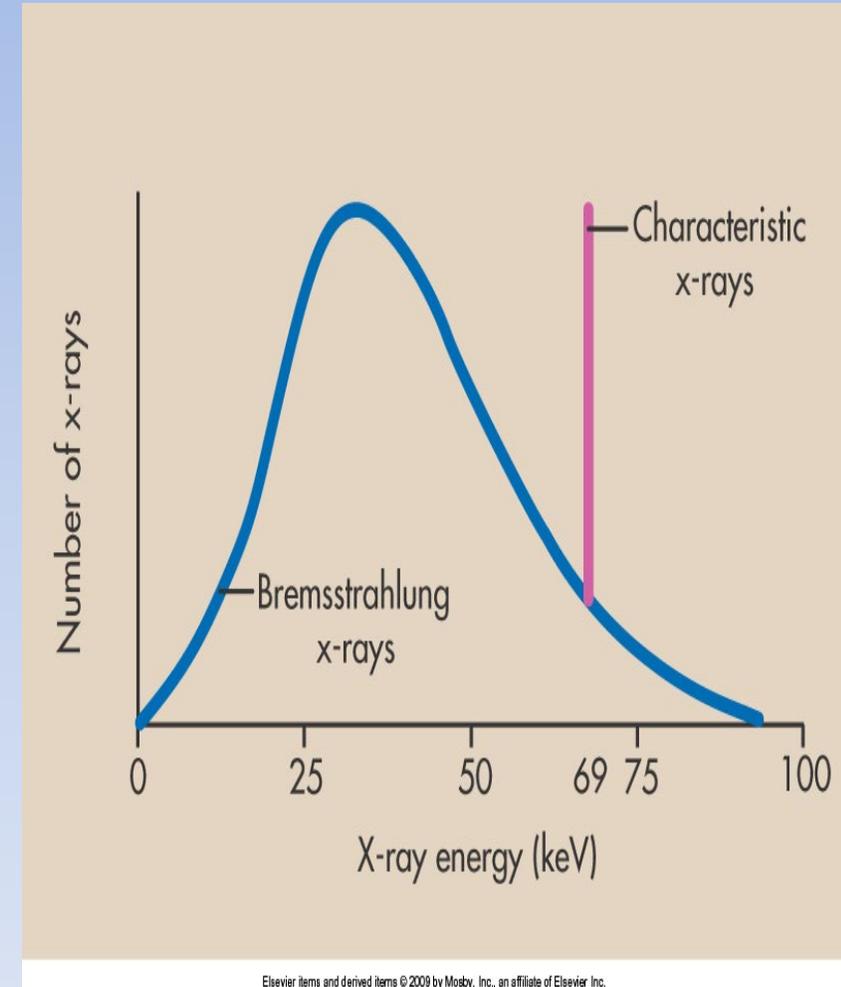
1. Também conhecidos como "raios-X discretos."
2. Representam cerca de 15% do total de produção de raios-X.
3. Têm energias específicas baseadas nas transições eletrônicas dentro do material-alvo.
4. Os níveis de energia dependem do tipo de material-alvo usado no tubo de raios-X.

2. Raios-X de Bremsstrahlung

1. Também conhecidos como "raios-X contínuos."
2. Compõem cerca de 85% do total de produção de raios-X.
3. Possuem uma ampla gama de energias, formando um espectro contínuo.
4. A energia máxima é determinada pelo kilovolt pico (kVp) utilizado (ex.: 100 kVp produz até 100 keV de fótons).

Espectro de Emissão de Raios-X

- **Definição:** Representa vários níveis de energia dos raios-X produzidos, exibindo um espectro polienergético.
- **Curva do Espectro de Energia:**
 - Eixo X: Mostra a energia dos raios-X.
 - Eixo Y: Indica o número de fótons de raios-X
- **Contagem Total de Fótons de Raios-X:** Corresponde à área sob a curva, com uma área maior indicando maior intensidade ou quantidade.
- **Fatores que Afetam a Forma do Espectro:**
 - Corrente do tubo (mA).
 - Tensão do tubo (kVp).
 - Filtração adicional.
 - Forma de onda da tensão.
 - Material alvo.



Efeito da alteração de mA na produção de raios-X

- **Proporção Direta:**

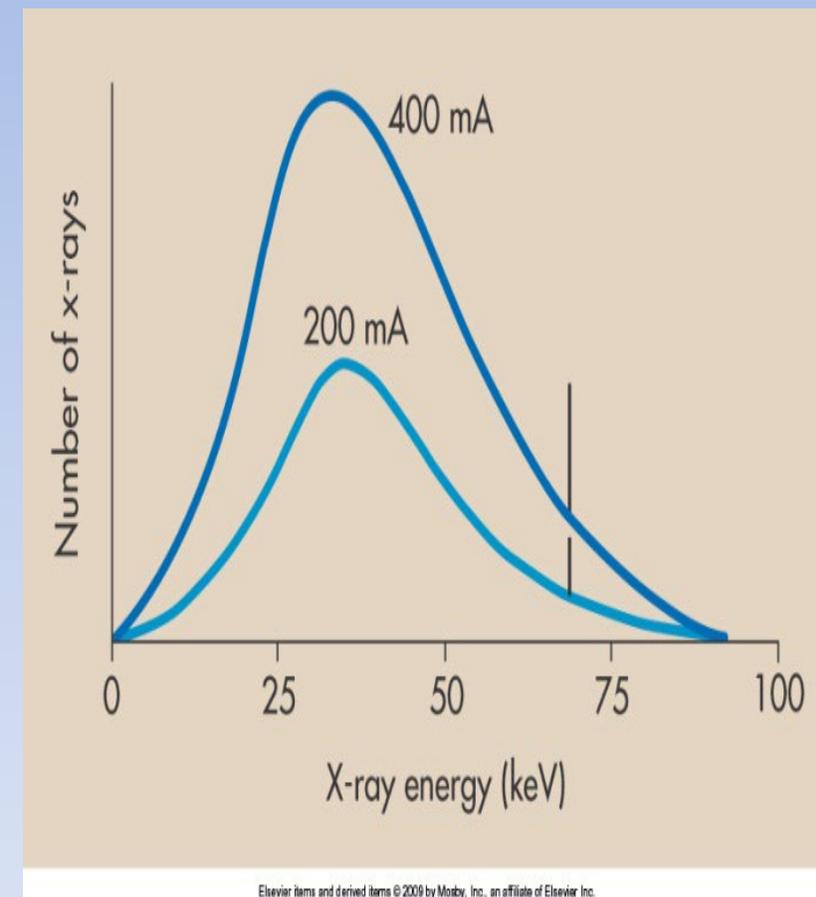
- As alterações no mA afetam diretamente o número de fótons de raios-X em todos os níveis de energia.
- Reduzir o mA: Reduzir pela metade o mA diminui a emissão termiônica, reduzindo o número de elétrons e, conseqüentemente, reduzindo para metade a produção de raios-X.
- Aumentar o mA: Dobrar o mA aumenta a emissão termiônica, duplicando o número de elétrons e a produção de raios-X.

- **Impacto no Espectro:**

- O pico (altura) do espectro de energia permanece o mesmo.
- A área sob a curva muda, indicando a quantidade de raios-X.
- Alterações no mA afetam a quantidade, não a qualidade, portanto, não há deslocamento ao longo do eixo X.

- **Linha Característica:**

- A linha característica (pico discreto) do espectro permanece inalterada com ajustes no mA.



Elsevier items and derived items © 2009 by Mosby, Inc., an affiliate of Elsevier Inc.

Efeito da alteração do kVp na produção de raios-X

- **Proporção Direta:**

- Aumentar o kVp eleva diretamente a amplitude do espectro de energia, especialmente nos níveis de energia mais altos.

- **Deslocamento do Espectro:**

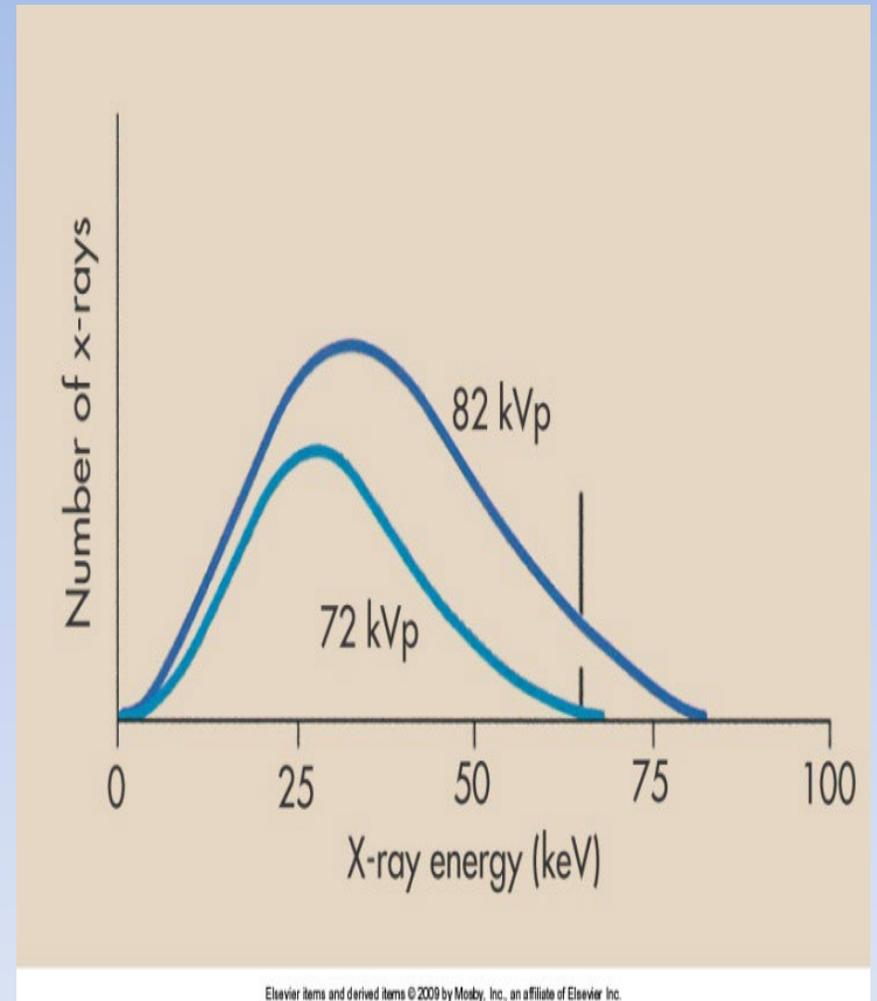
- Um kVp mais alto desloca o espectro para a direita no eixo X, indicando um aumento tanto na qualidade (penetrabilidade) quanto na quantidade de fótons de raios-X.

- **Aumento da Amplitude:**

- A amplitude do eixo Y aumenta com kVp mais alto, mostrando uma produção de raios-X mais intensa.

- **Linha Característica:**

- A linha característica discreta no espectro permanece inalterada com os ajustes no kVp.



Efeito da filtração adicional na produção de raios-X

- **Propósito:**
 - Aumenta a qualidade do feixe de raios-X para um melhor contraste de imagem.
 - Reduz a dose ao paciente removendo raios-X de baixa energia, criando um feixe mais uniforme (monoenergético).
- **Processo (Endurecimento do Feixe):**
 - A filtração remove os fótons de baixa energia, aumentando a energia média do feixe, tornando-o mais consistente.
- **Impacto no Feixe:**
 - **Qualidade:** Aumenta à medida que a energia média dos fótons aumenta.
 - **Quantidade:** Diminui à medida que os fótons de baixa energia são removidos.
 - **Energia Máxima:** Permanece inalterada pela filtração.

Efeito da filtração adicional na produção de raios-X

- **Tipos de Filtração:**

1. **Filtração Inerente:**

1. Origina-se de componentes como a ampola de vidro ou metal, óleo e invólucro.
2. Tipicamente adiciona cerca de 0,5 mm de equivalente de alumínio e pode aumentar com o tempo devido a depósitos de tungstênio.

2. **Filtração Adicional:**

1. Uma placa de metal, geralmente de alumínio, colocada entre o tubo de raios-X e o espelho do colimador.
2. Normalmente adiciona 1-2 mm de equivalente de alumínio.

3. **Filtração Compensatória:**

1. Filtração adicional usada pelo operador para equilibrar as diferenças de densidade dos tecidos no paciente, melhorando a qualidade da imagem.

- **Filtração Total:**

- A filtração inerente e adicional combinadas devem ser equivalentes a pelo menos 2,5 mm de alumínio para tubos operando acima de 70 kVp.

Efeito da filtração adicional na produção de raios-X

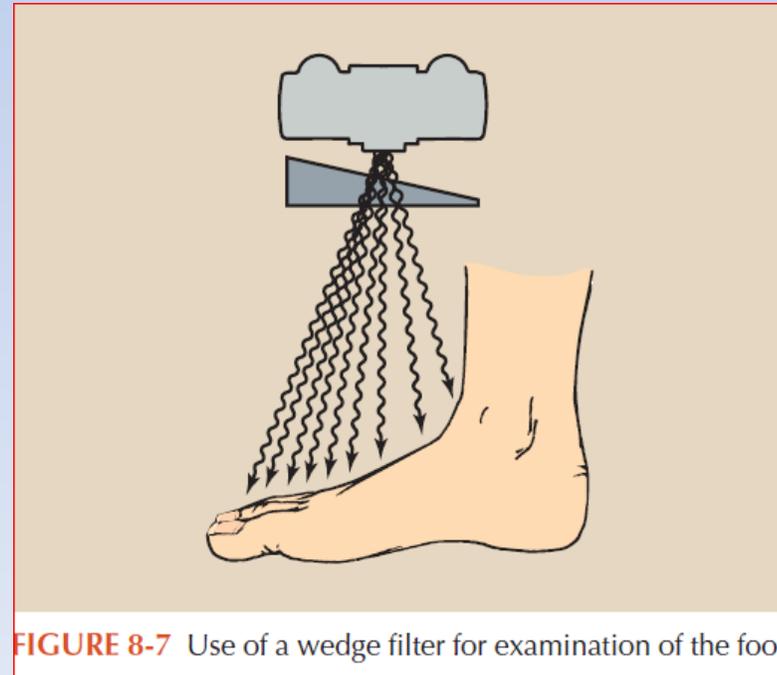
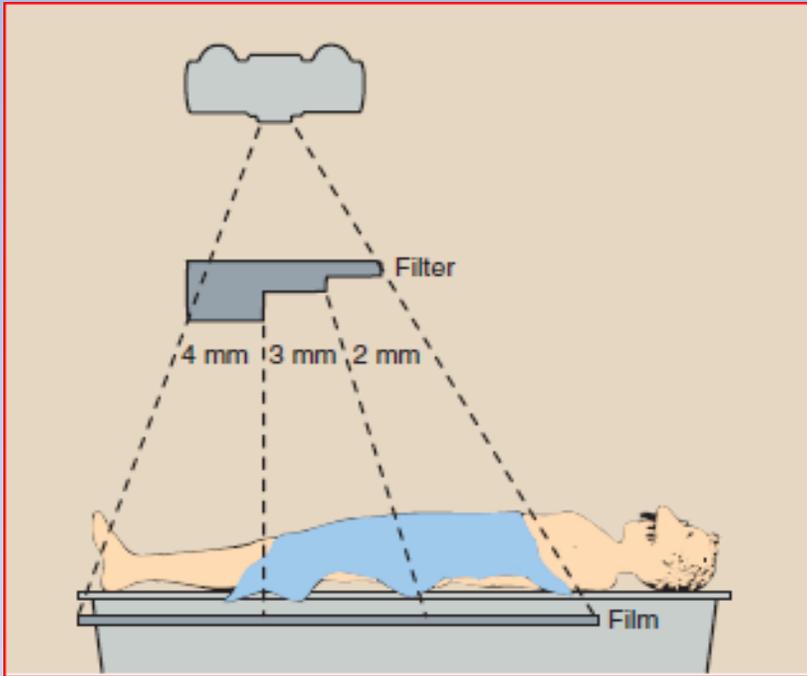


FIGURE 8-7 Use of a wedge filter for examination of the foot.

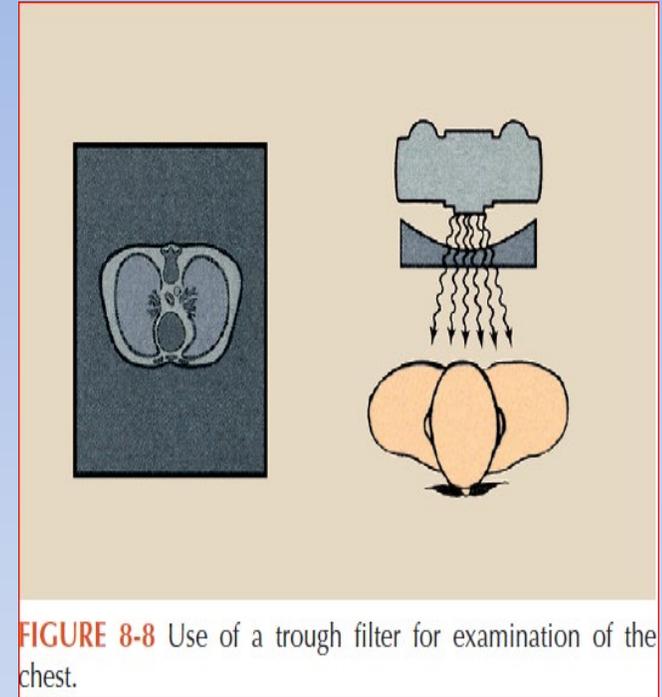


FIGURE 8-8 Use of a trough filter for examination of the chest.

Efeito da filtração adicional na produção de raios-X

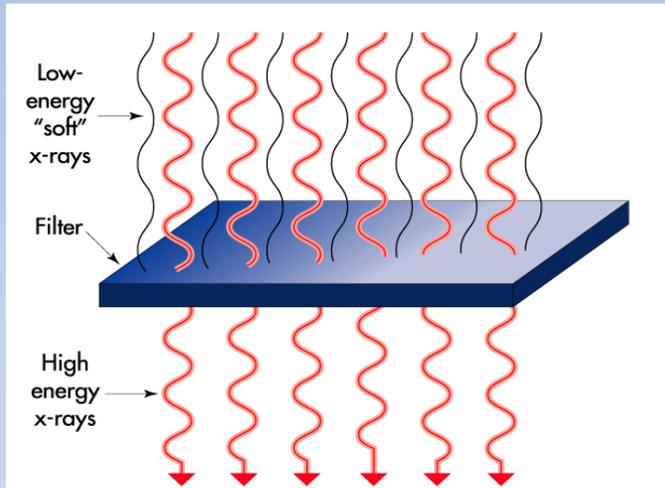


FIG. 7-11. Filtration removes low-energy photons (long-wavelength or "soft" x-rays) from the beam by absorbing them and permits higher energy photons to pass through. This reduces the amount of radiation received by a patient.

Mosby, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Mosby, Inc.

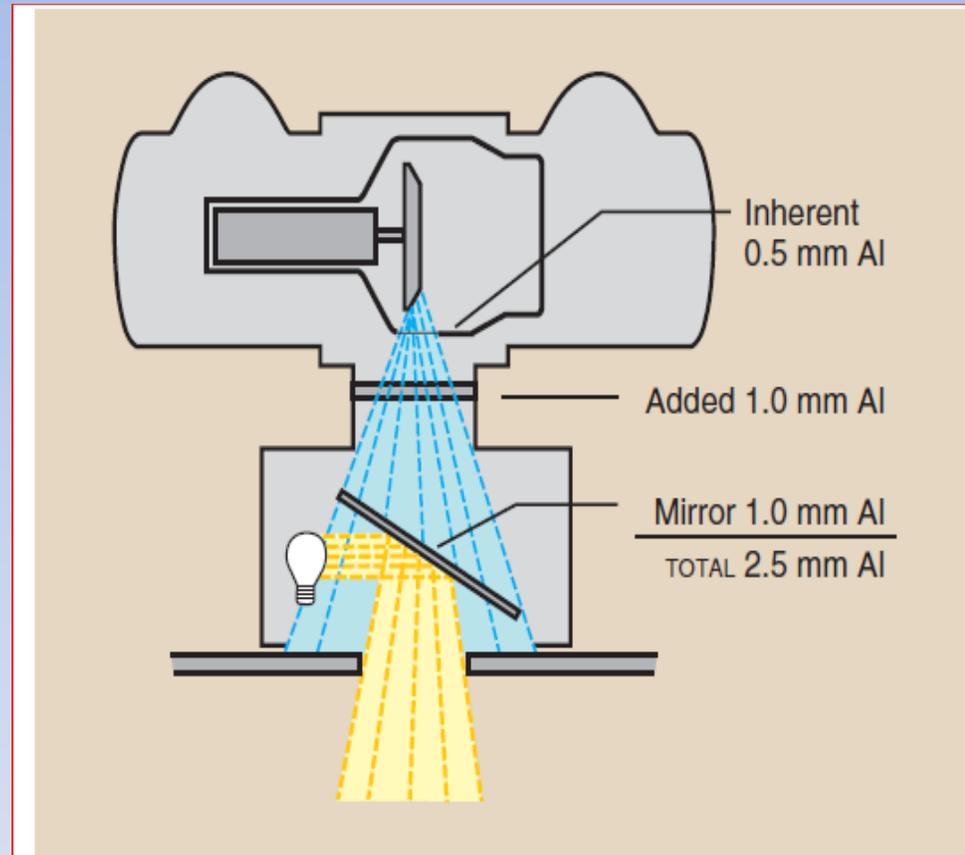


FIGURE 8-5 Total filtration consists of the inherent filtration of the x-ray tube, an added filter, and filtration achieved by the mirror of the light-localizing collimator.

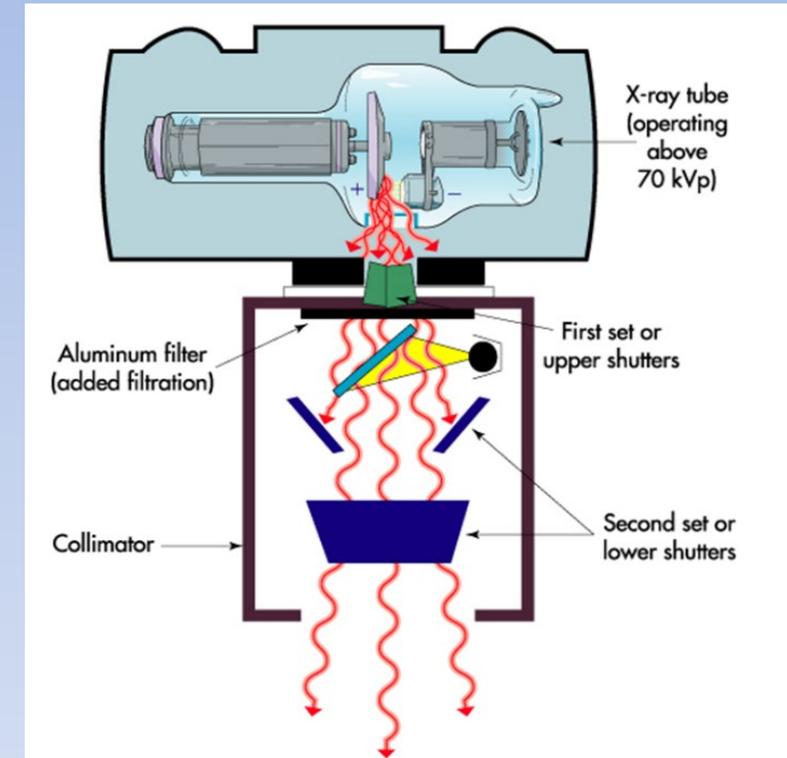
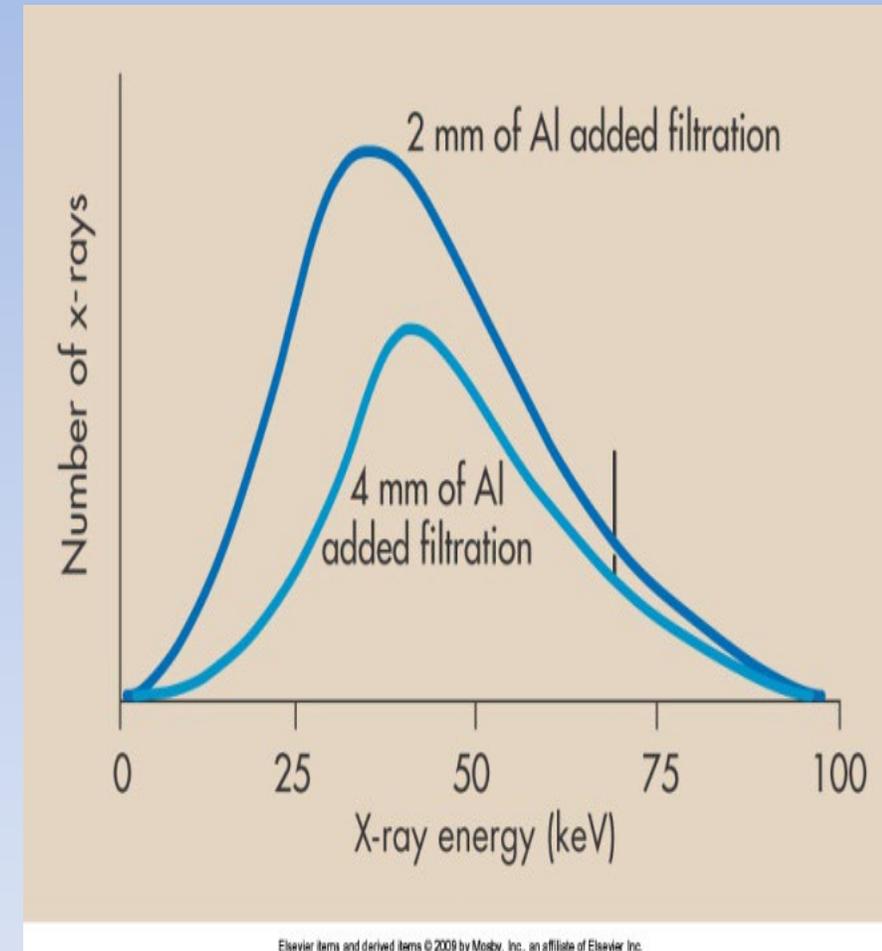


FIG. 7-12. A minimum of 2.5-mm aluminum equivalent total filtration is required for fixed radiographic units operating above 70 kVp.

Mosby, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Mosby, Inc.

Efeito da filtração adicional na produção de raios-X

- **Quantidade:** A produção total de raios-X diminui, mostrada por uma amplitude reduzida no espectro de energia.
- **Qualidade:** A energia média dos raios-X aumenta, deslocando o espectro para a direita, indicando maior poder de penetração.
- **Linha Característica:** A linha que representa os raios-X característicos permanece inalterada.



Efeito da forma de onda de tensão na produção de raios-X

- **Impacto na Quantidade de Raios-X:**

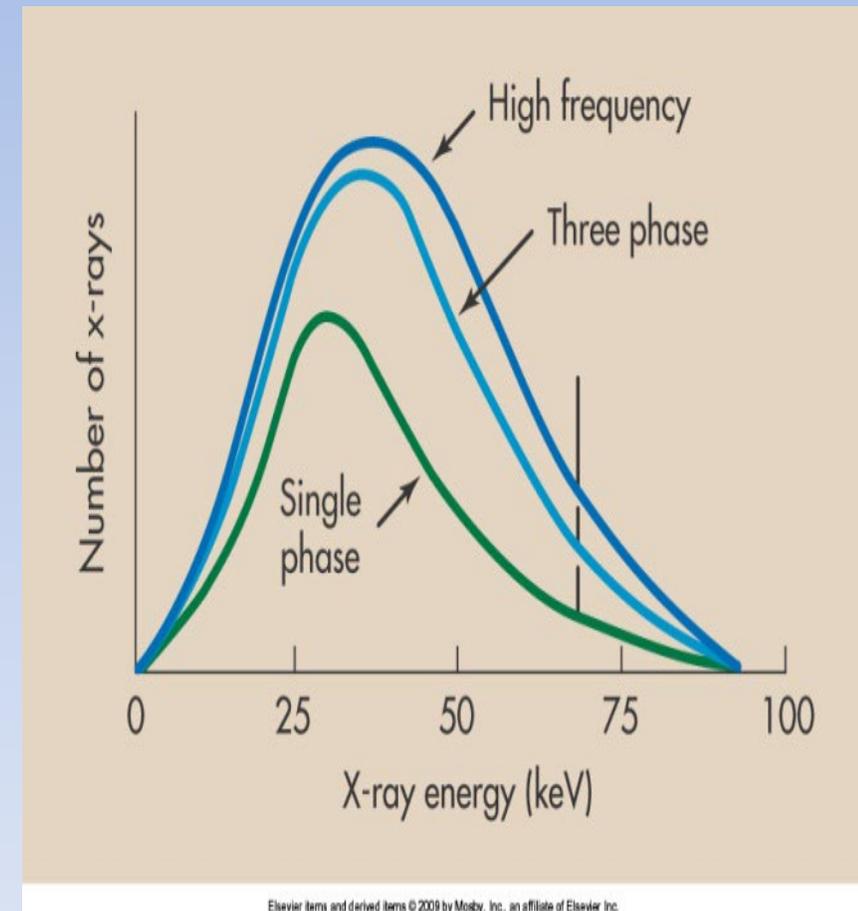
- Formas de onda de gerador aprimoradas (por exemplo, de monofásico para alta frequência) aumentam a eficiência, resultando em mais raios-X. Isso é mostrado por uma amplitude maior no eixo Y do espectro de energia.

- **Impacto na Qualidade dos Raios-X:**

- Formas de onda aprimoradas também aumentam a qualidade (poder de penetração) dos raios-X, deslocando o espectro para a direita no eixo X, indicando raios-X de energia mais alta.

- **Linha Característica:**

- A linha característica (discreta) no espectro permanece inalterada com diferentes tipos de geradores.



Efeito do Material-Alvo na Produção de Raios-X

- **Radiação Característica:**

- Um número atômico mais alto aumenta tanto a quantidade quanto a energia dos raios-X característicos devido a mais interações. Isso desloca o espectro significativamente para a direita, mostrando raios-X de maior energia no espectro característico.

- **Radiação Bremsstrahlung:**

- Números atômicos mais altos melhoram a eficiência da produção de raios-X, resultando em mais raios-X e energia média mais alta. A curva do espectro se desloca para a direita e aumenta em altura (amplitude).

- **Fator Principal:**

- O número atômico é o fator mais significativo que influencia o espectro característico dos raios-X.

