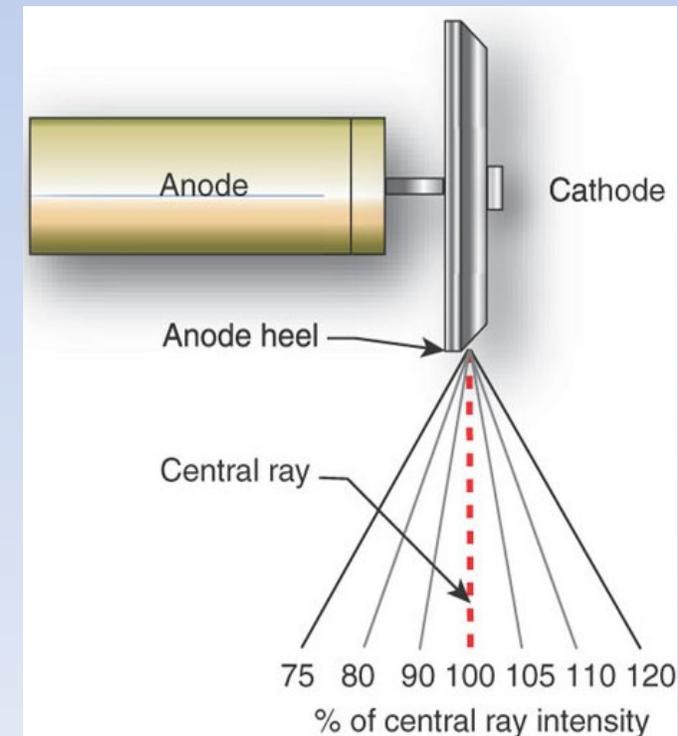


Interação dos Raios-X com a Matéria



Prof. Sanjay Arya



Definições

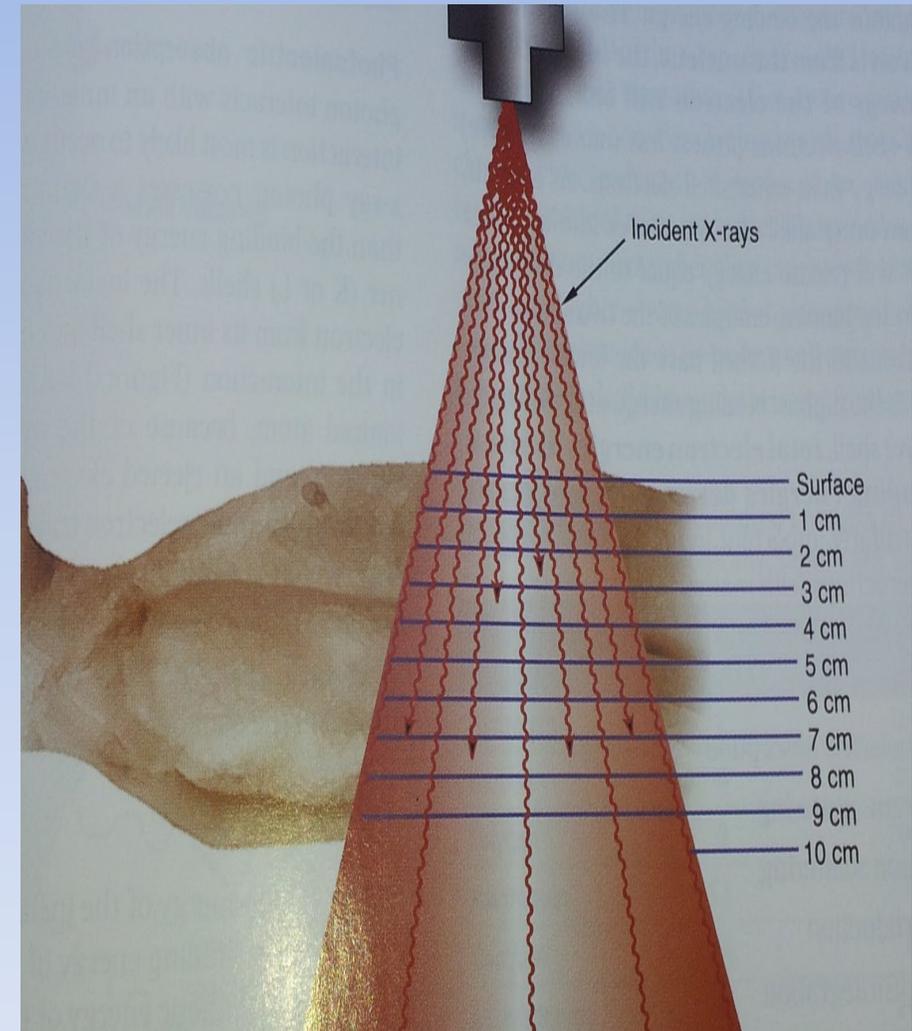
- Radiação Primária: a radiação que emerge do tubo de raios X antes de atingir qualquer objeto
- Radiação de Saída (remanescente): a radiação que sai do objeto e se move em direção ao receptor de imagem

Definições

- **Processo de Transmissão de Raios X**
- **Transmissão:** Processo pelo qual os fótons primários de raios X atingem o receptor de imagem.
- **Transmissão Direta:**
 - Os fótons primários de raios X passam pelo objeto sem interagir.
 - Esses fótons atingem o receptor de imagem diretamente, contribuindo para a formação da imagem.
- **Transmissão Indireta:**
 - Os fótons primários de raios X interagem com o objeto, causando dispersão.
 - Fótons dispersos atingem o receptor de imagem, mas degradam a qualidade da imagem, criando "nevoeiro radiográfico" ou densidade indesejada.
 - A dispersão aumenta a dose ao paciente e pode levar a efeitos biológicos nos tecidos.

Atenuação

- **Definição:** Redução no número de fótons de raios X primários à medida que passam por um objeto.
- **Processos:**
 - **Absorção:** Perda completa da energia do fóton absorvida pelo objeto.
 - **Dispersão:** Perda parcial de energia, alterando a direção do fóton.



Fatores que Influenciam a Atenuação

- **Fatores que Influenciam a Atenuação**

1. **Energia do Fóton de Raios-X:**

1. Energia mais alta = Menor atenuação.
2. Energia mais baixa = Maior atenuação.

2. **Características dos Tecidos:**

1. **Espessura:** Tecidos mais espessos aumentam a atenuação e absorção (ex.: ossos, órgãos).

2. **Número Atômico:**

1. **Radiopaco:** Alta atenuação (ex.: osso, aparece branco na radiografia).
2. **Radiolúcido:** Baixa atenuação (ex.: ar, aparece escuro).

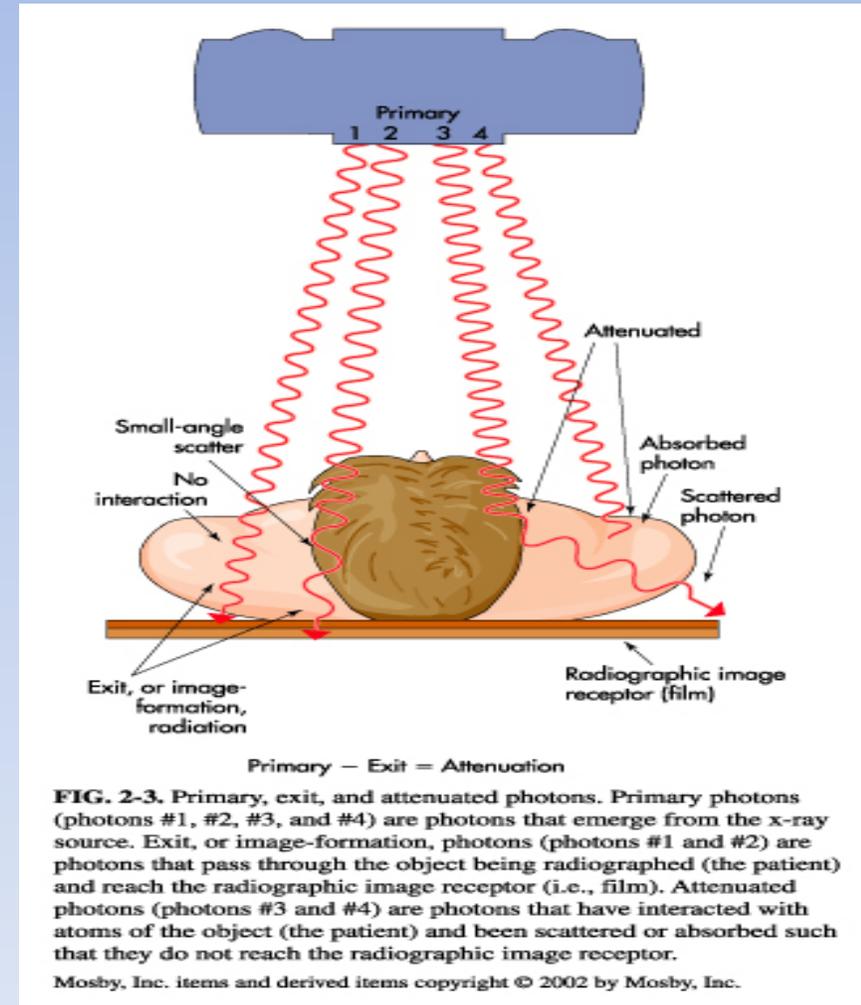
3. **Densidade:**

1. Densidade mais alta = Maior atenuação (ex.: músculo, osso, branco na radiografia).
2. Densidade mais baixa = Menor atenuação (ex.: ar, preto na radiografia).

Fatores que Influenciam a Atenuação



Esta imagem mostra o que acontece com os raios X ao atravessarem o corpo durante um exame. Alguns raios X passam diretamente e formam a imagem, outros são absorvidos pelos tecidos, criando contraste, e alguns são dispersos, o que pode adicionar ruído à imagem. Esses diferentes comportamentos ajudam a criar detalhes na radiografia para análise médica.

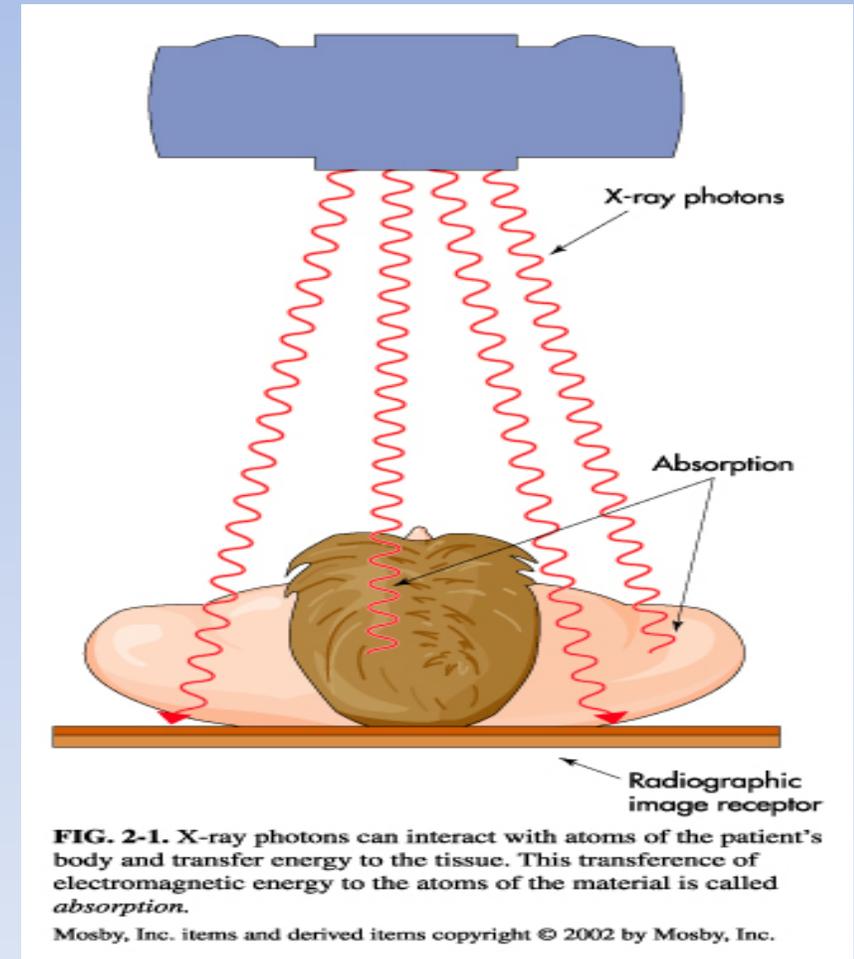


Importância da Interação de Raios-X com a Matéria

- **Informações Adicionais sobre Absorção em Imagiologia por Raios X**
- **Absorção nos Tecidos Biológicos:**
 - Quando os fótons de raios X passam pela matéria, como tecido vivo, a sua energia eletromagnética pode ser transferida para os átomos dentro do tecido.
 - Este processo de transferência de energia é chamado de absorção.
- **Dose de Absorção:**
 - A quantidade de energia absorvida por unidade de massa de tecido é denominada dose de absorção.
- **Implicações da Maior Absorção:**
 - Aumento da Absorção = Maior dose para o paciente = Maior potencial de dano biológico.
- **Nota: Gerir o equilíbrio da dose de raios X é crucial para minimizar a exposição do paciente enquanto se obtém uma imagem de qualidade.**

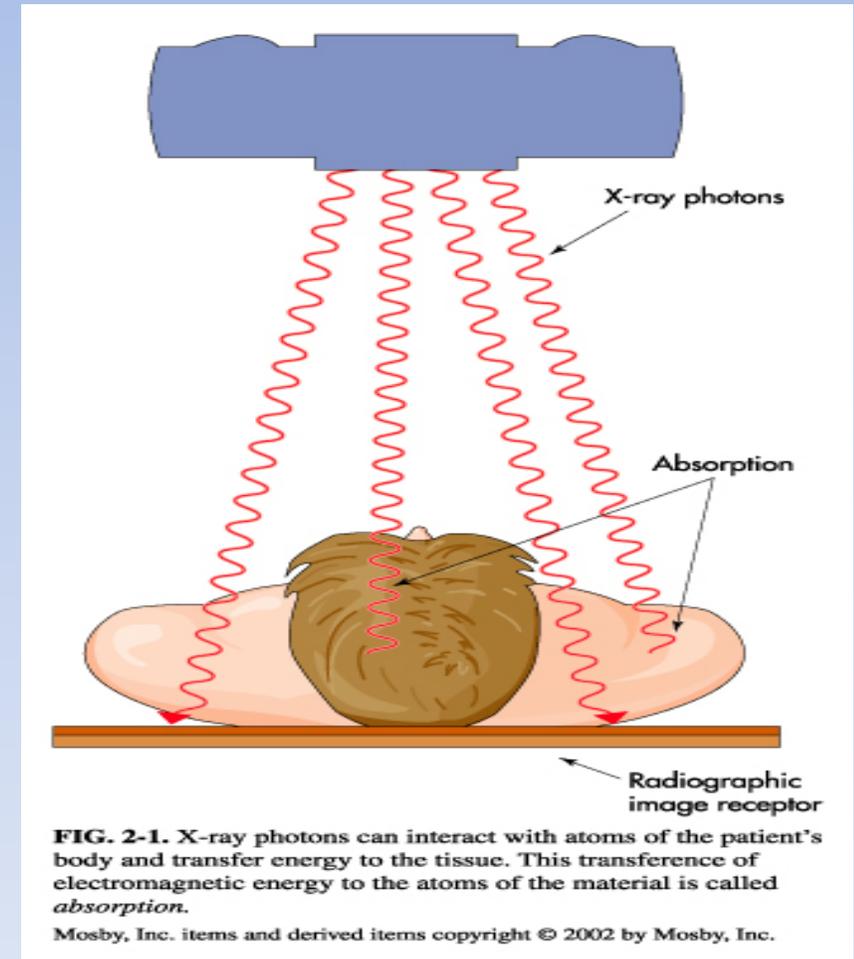
Análise da imagem

- A imagem ilustra o processo de interação dos raios X com o corpo de um paciente e o conceito de absorção. Aqui está uma análise da imagem:
1. **Fonte de Raios X:** No topo da imagem está um tubo de raios X (representado em azul), que emite fótons de raios X (ilustrados como linhas vermelhas onduladas que se movem para baixo).
 2. **Caminho dos Fótons de Raios X:** À medida que os fótons de raios X viajam do tubo de raios X em direção ao paciente, eles passam pelo corpo do paciente, onde podem ser absorvidos ou continuar em direção ao recetor de imagem radiográfica.
 3. **Absorção:** Alguns dos fótons de raios X são absorvidos pelos tecidos do paciente, conforme indicado pela seta "Absorção" que aponta para uma região dentro do corpo do paciente. É aqui que os raios X transferem sua energia para os átomos no corpo, perdendo sua energia e, portanto, não atingindo o recetor de imagem. A absorção é um fator crítico na formação de imagens radiográficas, pois áreas de alta absorção aparecerão mais claras na radiografia.



Análise da imagem

1. **Recetor de Imagem Radiográfica:** Na parte inferior da imagem está o recetor de imagem, que capta os fótons de raios X que passam pelo corpo sem serem absorvidos. Esses raios X transmitidos contribuem para a formação da imagem, com áreas de baixa absorção aparecendo mais escuras.
 2. **Legenda:** A legenda explica que os fótons de raios X interagem com os átomos do corpo, transferindo energia através da absorção. Esta transferência de energia eletromagnética é chamada "absorção", essencial para diferenciar os tecidos na imagem de raios X.
- Em resumo, esta imagem demonstra o papel da absorção na imagiologia por raios X, mostrando como diferentes tecidos absorvem os raios X em diferentes graus, o que cria contraste na imagem resultante.

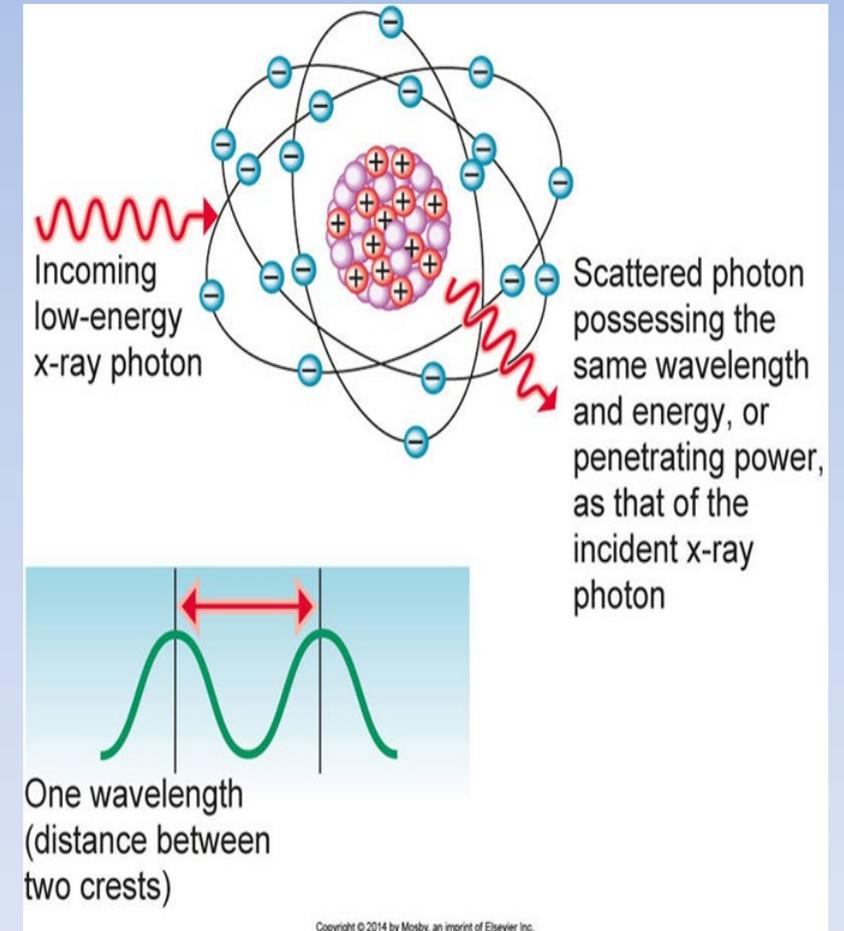


Probabilidade de interação do fóton de raios-X com a matéria

- Uma interação de um único fóton de raios-X com a matéria é aleatória, ou seja, impossível prever se interagirá com a matéria ou se atingirá o recetor de imagem.
- Como estamos lidando com um grande número de fótons de raios-X, podemos prever o que possivelmente pode acontecer.
 - Fótons de baixa energia: interagem com o átomo inteiro
 - Fótons de energia moderada: interagem com os eletrões
 - Fótons de alta energia: interagem com o núcleo

Espalhamento Coerente

- Espalhamento Coerente na Imagem de Raios-X
- Características do Fotão Incidente:
 - Envolve um fotão incidente de baixa energia (abaixo de 10 keV).
 - O fotão interage com um átomo, fazendo-o vibrar.
- Resultado da Interação:
 - Não ocorre ionização, logo, não há danos biológicos.
 - O fotão é espalhado com um ângulo pequeno (tipicamente inferior a 20 graus).
- Propriedades do Fotão Espalhado:
 - Mantém a mesma energia, comprimento de onda e frequência que o fotão incidente.
- Exemplo:
 - A 70 kVp, cerca de 5% dos raios-X sofrem espalhamento coerente.
- **Nota:** O espalhamento coerente tem impacto mínimo na qualidade da imagem e na segurança do paciente devido à baixa energia e ao pequeno ângulo de espalhamento.



Espalhamento Compton

- **Dispersão Compton na Imagem de Raios X**
- **Interação do Fóton:**
 - Ocorre com um fóton de raios X de energia moderada (20-40 keV) interagindo com um elétron da camada externa.
 - O fóton ioniza o átomo, deslocando um elétron se sua energia for superior à energia de ligação.
- **Processo:**
 - O elétron ejetado, denominado Elétron Disperso de Compton, ganha energia cinética e pode ionizar outros átomos.
 - O fóton original perde energia e é disperso, sendo agora chamado Fóton Disperso de Compton.
- **Pontos-Chave:**
 - Comum em tecidos moles, mas também ocorre em ossos.
 - Maior energia do fóton diminui a probabilidade de dispersão Compton, pois o efeito fotoelétrico se torna mais provável.
 - O número atômico do tecido não afeta a dispersão Compton, mas a densidade e massa do tecido aumentam a dispersão proporcionalmente.

Espalhamento Compton

- Efeitos e Implicações da Dispersão Compton
- Impacto na Imagem:
 - Névoa Radiográfica: Densidade indesejada que reduz o contraste e a qualidade da imagem.
 - Principal fonte de exposição ocupacional para os radiologistas.
- Propriedades do Fóton Disperso:
 - Energia do fóton disperso = energia incidente - energia do elétron ejetado.
- Desvio e Direção:
 - Os fótons dispersos podem desviar em qualquer direção, de 0 a 180 graus.
 - Maior desvio significa maior transferência de energia, acrescentando à névoa radiográfica.
- Efeito Cascata:
 - A ejeção de um elétron de camada média pode emitir um fóton característico de baixa energia, aumentando a dose ao paciente.

Espalhamento Compton

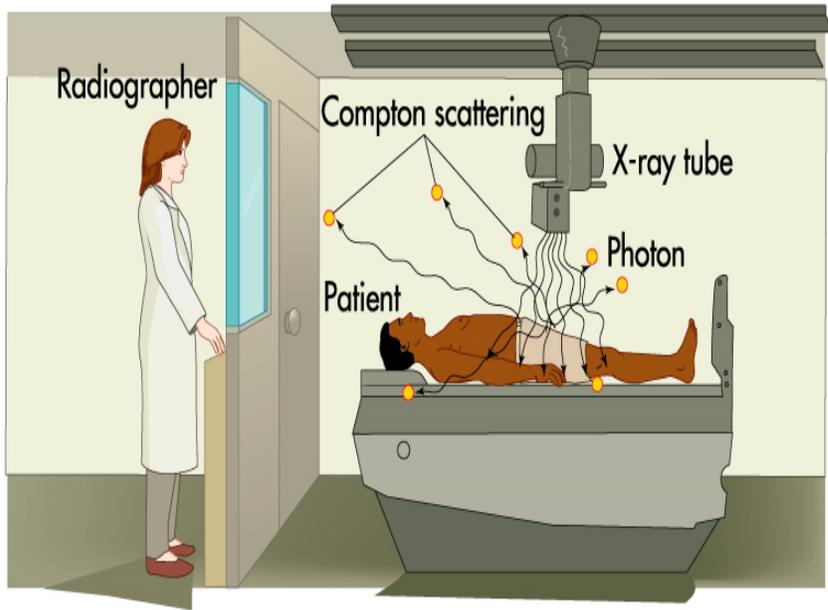
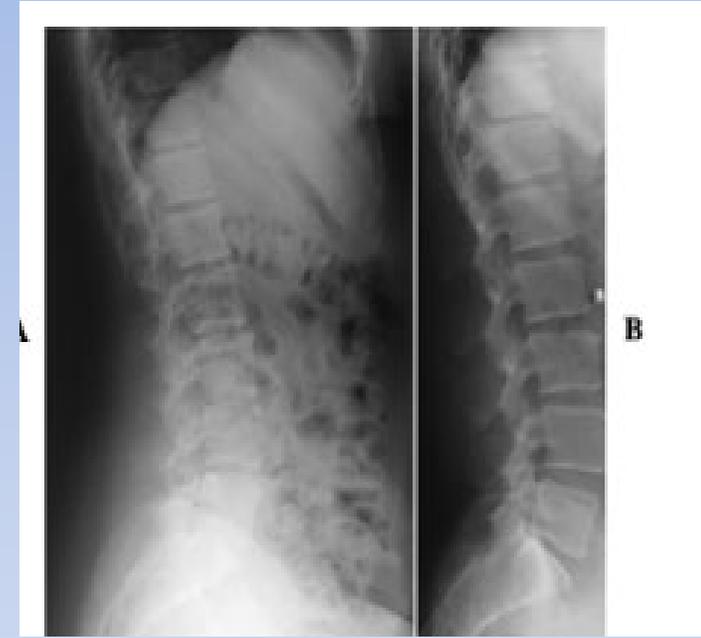


FIG. 2-6. Compton scattering is responsible for most of the scattered radiation produced during a radiologic procedure. (From *Mosby's radiographic instructional series*, St Louis, 1999, Mosby.)

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



Esta imagem mostra um procedimento radiográfico onde um paciente está posicionado sob uma máquina de raios X. Durante o processo, os fótons de raios X passam pelo paciente, e alguns desses fótons interagem com os átomos do corpo, causando um fenômeno chamado "dispersão de Compton". Essa dispersão faz com que os fótons de raios X mudem de direção, produzindo radiação dispersa que se espalha pela sala. O radiologista, que opera o equipamento, geralmente fica atrás de uma barreira protetora para minimizar a exposição a essa radiação dispersa. Esta radiação dispersa é uma consideração importante na radiologia, pois pode afetar tanto a qualidade da imagem quanto a segurança.

Absorção Fotoelétrica

- **Absorção Fotoelétrica na Imagem de Raios X**
- **Interação do Fotão:**
 - Envolve um fotão de raios X (20-120 keV) interagindo com um elétron de camada interna de um átomo.
 - A energia do fotão deve ser maior do que a energia de ligação do elétron de camada interna, que é alta devido à sua proximidade com o núcleo.
- **Processo:**
 - O elétron da camada interna é ejetado, ionizando o átomo e resultando na absorção completa da energia do fotão.
 - O elétron ejetado, chamado Fotoeletrão, tem energia cinética igual à energia do fotão incidente menos a energia de ligação do elétron.
 - O Fotoeletrão pode ionizar átomos próximos até que a sua energia esteja totalmente esgotada e seja absorvido pelo corpo.

Absorção Fotoelétrica

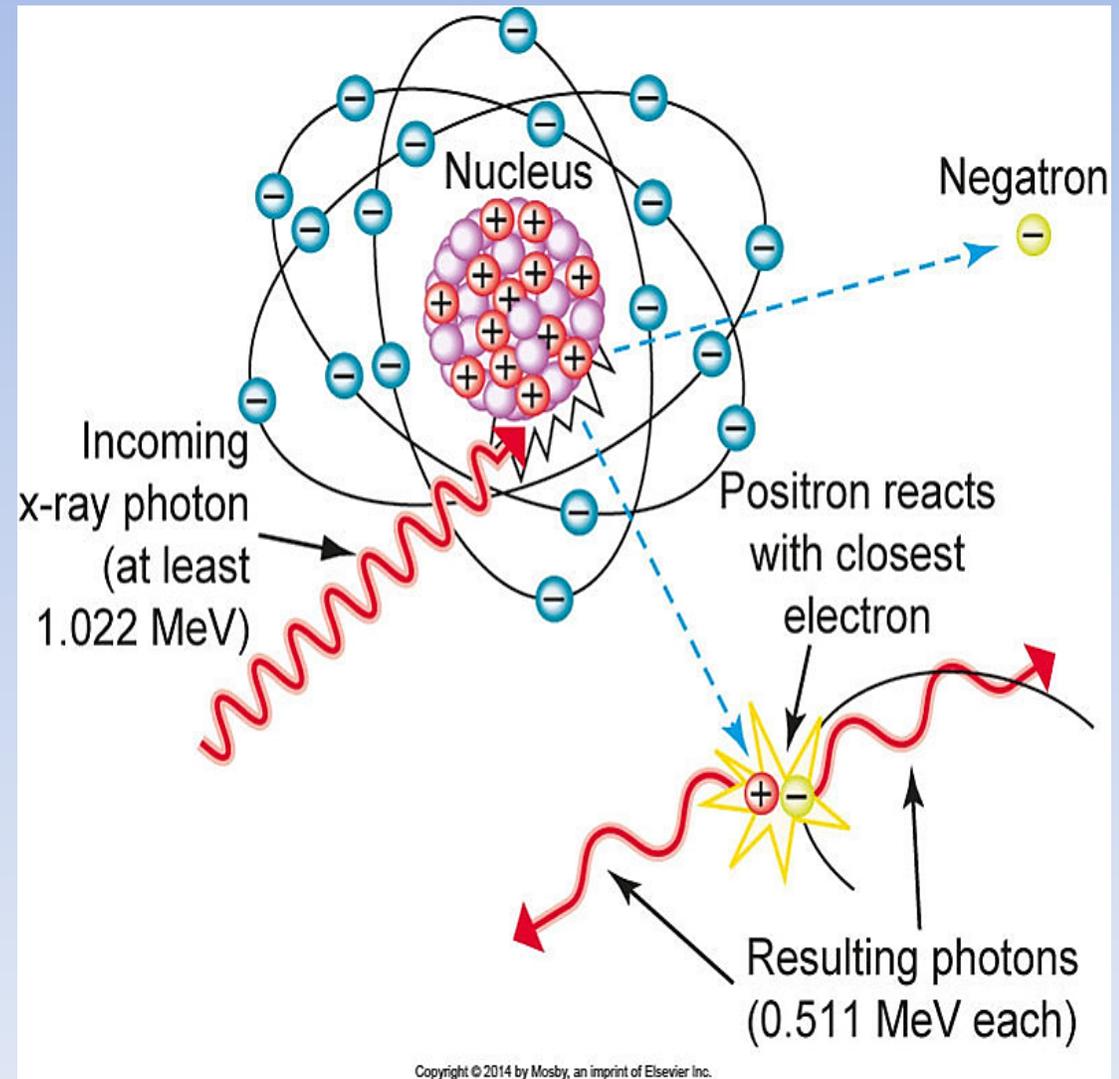
- Efeitos e Fatores de Probabilidade na Absorção Fotoelétrica
- Estabilização do Átomo:
 - O átomo torna-se instável, levando um elétron da camada externa a preencher o vazio da camada interna.
 - A diferença de energia entre os níveis de camada é liberada como um Fóton Característico.
 - Ocorre um Efeito Cascata à medida que elétrons das camadas externas sucessivamente preenchem as vagas nas camadas internas.
- Probabilidade de Absorção Fotoelétrica:
 - Aumenta com:
 - Diminuição da energia do fóton (inversamente proporcional).
 - Aumento do número atômico (Z) do material (diretamente proporcional).
 - Aumento da densidade de massa do material (diretamente proporcional).
 - Aumento da espessura do material (diretamente proporcional).

Produção de Pares

- Produção de Pares na Interação de Raios-X
- Requisito de Energia:
 - Requer um fóton incidente com energia de pelo menos 1,02 MeV (normalmente fora do alcance da radiologia diagnóstica).
- Processo de Interação:
 - Um fóton de alta energia interage com o núcleo e desaparece.
 - A energia transforma-se em duas partículas:
 - Negatrão (elétron comum): absorvido por um átomo próximo.
 - Posítron (elétron com carga positiva, ou antimatéria).
- Evento de Aniquilação:
 - O positrão interage com um elétron, levando à destruição de ambas as partículas em um Evento de Aniquilação.
 - A matéria é convertida em energia, produzindo dois fótons (cada um com 0,511 MeV) movendo-se em direções opostas.
- Aplicações:
 - Utilizado na Tomografia por Emissão de Positrões (PET) com núcleos instáveis como Flúor-18, Carbono-11 e Nitrogênio-13.

Produção de Pares

Esta imagem ilustra um processo chamado "produção de pares." Quando um fóton de raio-X de energia muito alta (pelo menos 1,022 MeV) interage com o núcleo de um átomo, ele pode desaparecer e criar duas partículas: um "negatrão" (elétrão com carga negativa) e um "positrão" (elétrão com carga positiva, ou antimatéria). O positrão rapidamente encontra um elétron próximo, e eles se aniquilam mutuamente, produzindo dois novos fótons, cada um com 0,511 MeV de energia. Este processo é mais relevante em técnicas avançadas de imagem, como a tomografia por emissão de positrões (PET), do que em imagens de raio-X convencionais.



Fotodesintegração

- **Fotodesintegração na Interação com Raios-X**
- **Nível de Energia:**
 - Ocorre em níveis de energia acima de 10 MeV (não é comum em imagens de diagnóstico, mas relevante em contextos terapêuticos).
- **Processo de Interação:**
 - Um fóton de raio-X de alta energia colide com o núcleo atômico.
 - O núcleo absorve a energia do fóton, tornando-se instável.
- **Emissão de Conteúdos Nucleares:**
 - A energia excessiva faz com que o núcleo libere partículas, tornando-o radioativo.
 - As partículas emitidas podem incluir:
 - Partículas alfa
 - Prótons
 - Neutrons
 - Deutérios (uma combinação de próton e nêutron).
- **Aplicação:**
 - Usado na Radioterapia para tratamento de câncer, devido à sua capacidade de alterar núcleos atômicos e depositar alta energia nos tecidos.

