Física da Radiologia-F852. Aulas 1-2

Mário Antônio Bernal Rodríguez [1]

[1] Departamento de Física Aplicada-DFA
Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP Local-DFA 68
email: mabernal@ifi.unicamp.br
url pessoal: www.ifi.unicamp.br\ ∼mabernal

Resumo

1. Introdução às imagens médicas
   - Radiologia
   - Modalidades de imagens
   - Propriedades da imagem
2. O átomo e as radiações
   - Radiação
3. Interação da Radiação com a matéria
   - Interações de partículas carregadas
   - Interações de fótons.

Resumo

1. Introdução às imagens médicas
   - Radiologia
   - Modalidades de imagens
   - Propriedades da imagem
2. O átomo e as radiações
   - Radiação
3. Interação da Radiação com a matéria
   - Interações de partículas carregadas
   - Interações de fótons.

Resumo

1. Introdução às imagens médicas
   - Radiologia
   - Modalidades de imagens
   - Propriedades da imagem
2. O átomo e as radiações
   - Radiação
3. Interação da Radiação com a matéria
   - Interações de partículas carregadas
   - Interações de fótons.

Resumo

1 Introdução às imagens médicas
- Radiologia
- Modalidades de imagens
- Propriedades da imagem

2 O átomo e as radiações
- Radiação

3 Interação da Radiação com a matéria
- Interações de partículas carregadas
- Interações de fótons.

Capítulo 1
Radiologia
Modalidades de imagens
Propriedades da imagem
Capítulo 2
Radiação
Capítulo 3
Interações de partículas
Interações de fótons.

Radiologia

O que é a Radiologia?

Ramo da Medicina que usa radiações para diagnosticar ou tratar doenças no ser humano.
Este curso está focado na Radiologia Diagnóstica. Este baseia-se no uso de radiações para obter informação do interior do corpo humano:

- Raios-X: Radiografia convencional, Mamografia, Fluoroscopia, Tomografia axial computarizada (TAC)
- Radiofreqüência:Tomografia por Ressonância Magnética Nuclear (RMN)
- Raios-gamma: Gammagrafia, PET
- Ultrassom

Presente curso: só estudaremos as modalidades que usam raios-X e ultrassom.

Resumo

1 Introdução às imagens médicas
- Radiologia
- Modalidades de imagens
- Propriedades da imagem

2 O átomo e as radiações
- Radiação

3 Interação da Radiação com a matéria
- Interações de partículas carregadas
- Interações de fótons.

Radiografia convencional

Primeira imagem

Descobrimento

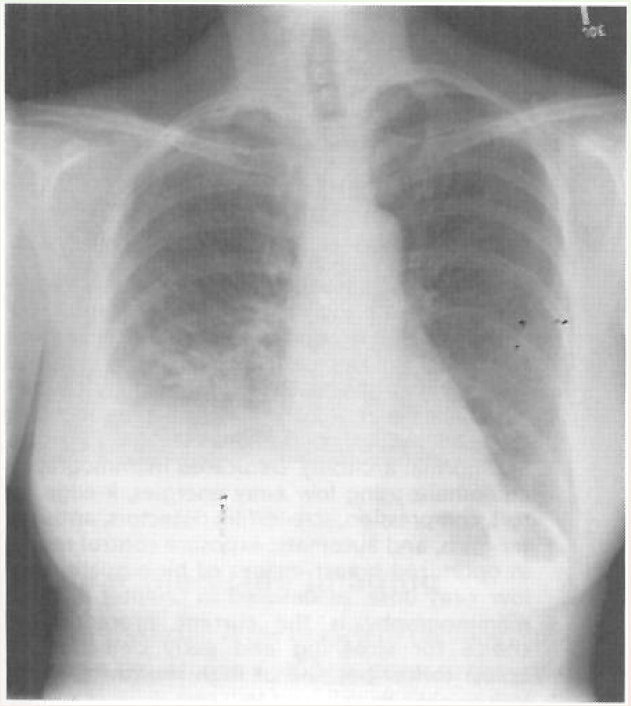
Wilhem Roentgen descobriu os raios-X no 1895. O 22 de Dezembro de este ano fez a primeira radiografía, da mão da sua esposa.

Radiografia convencional

Fundamentos

- Está baseada na atenuação diferencial que sofrem os raios-X atravessando os diferentes tecidos do corpo humano.
- Produz imagens por transmissão
- Representa aproximadamente 60-70% dos estudos por imagem.

Radiografia de tórax

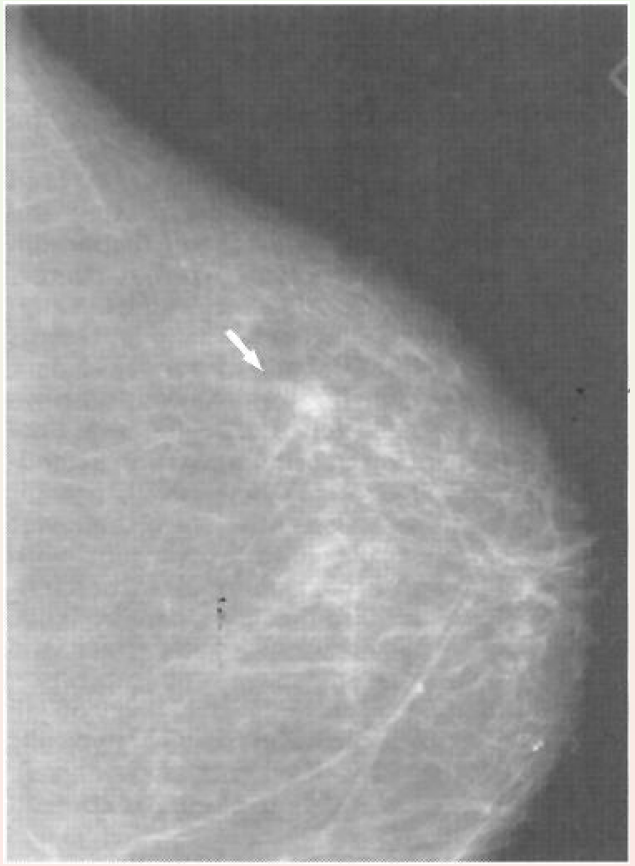


Mamografia

Mamografia

Fundamentos

- Está baseada no mesmo princípio do que a radiografia convencional mas usa raios-X com energia menor
- Possui grandes resoluções espaciais e por contraste
- É só usada para imagens de seios

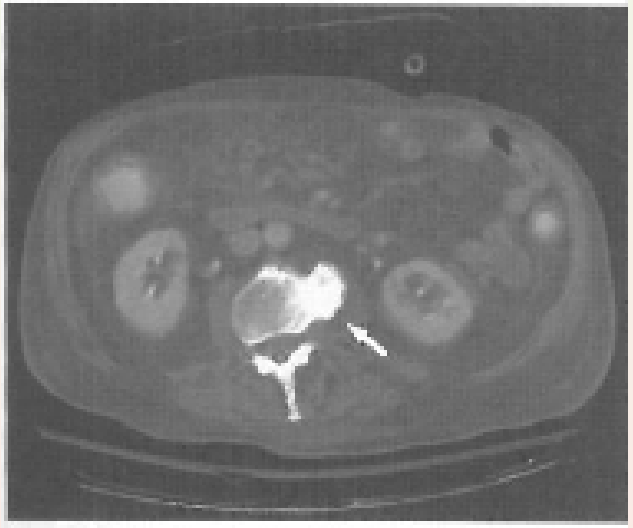


Tomografia axial computarizada (TAC)

Fundamentos

- Está baseada no mesmo princípio do que a radiografia convencional mas usa técnicas sofisticadas de reconstrução de imagens
- Permite obter cortes do paciente como mapas de densidades dos tecidos.
- Muito útil para a radioterapia

TAC

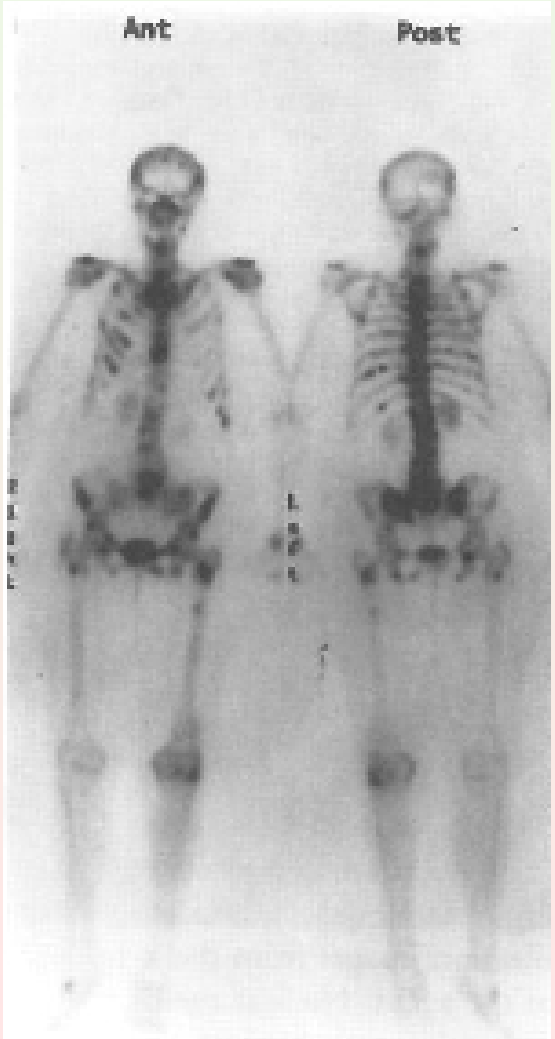


Medicina nuclear. Gammagrafia. Imagem plana.

Scanning plano de corpo inteiro

Fundamentos

- Baseia-se na absorção diferencial de radio-fármacos nos tecidos
- Produz imagens por emissão
- Permite fazer estudos funcionais

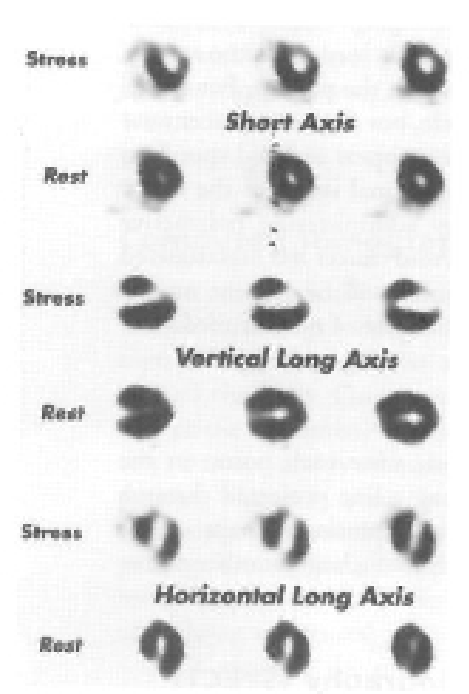


Medicina nuclear. Gammagrafia. Imagem tomográfica (SPECT).

Fundamentos

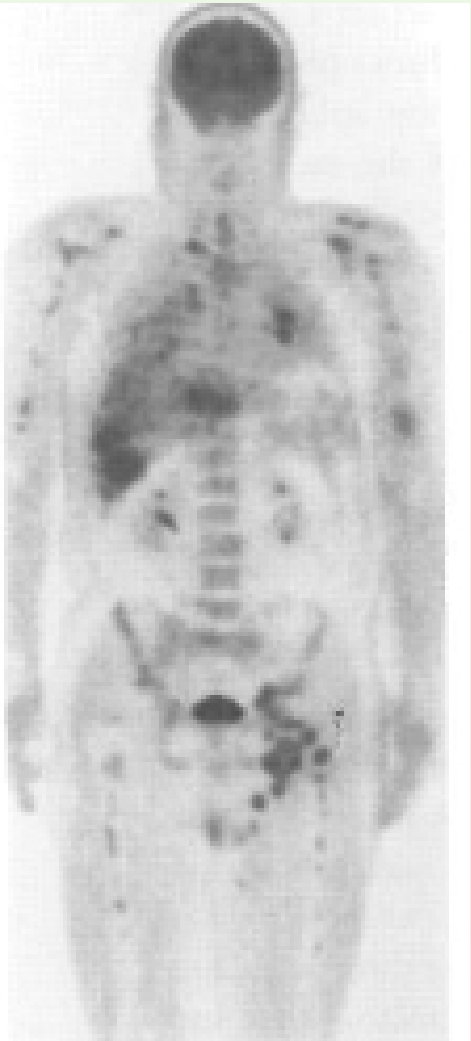
- Single-photon emission tomography (SPECT)
- Basa-se no mesmo princípio do que a imagem plana mas faz reconstrução tomográfica

SPECT de coração



Medicina nuclear. Imagem tomográfica (PET).

PET de corpo inteiro



Fundamentos

- Positron emission tomography (PET).
- Baseia-se no mesmo princípio do que a gammagrafia mas usa fótons gerados pela aniquilação de pósitrons emitidos pelo radio-fármaco (fármaco marcado con isótopo radiativo)

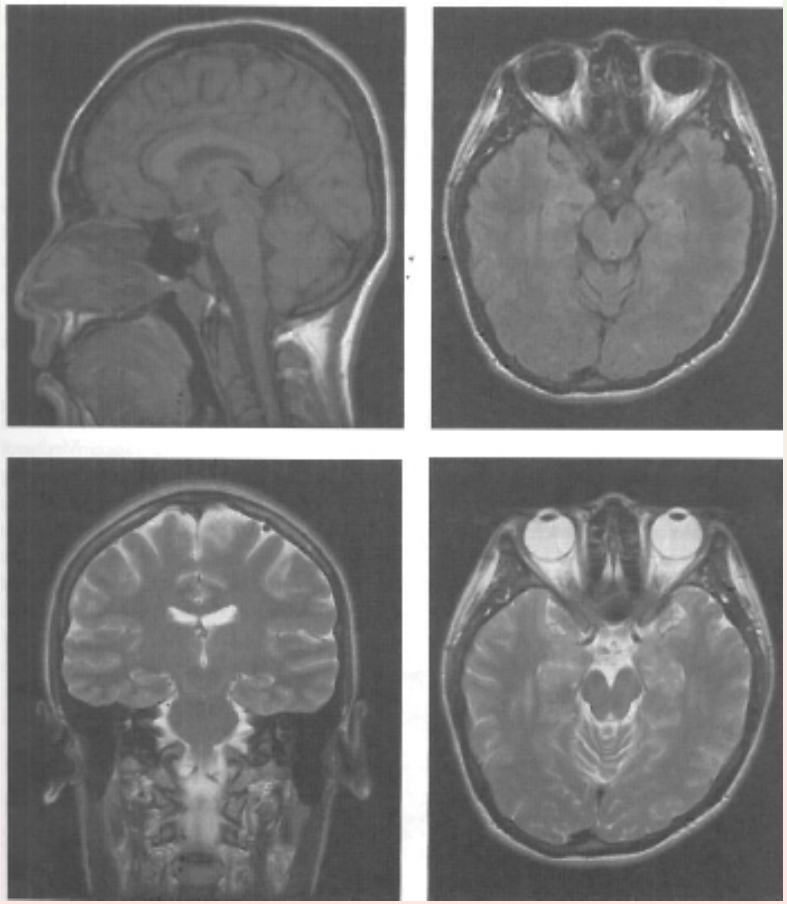
Ressonância Magnética Nuclear (RMN)

Fundamentos

- Baseia-se nas freqüências de ressonância diferentes que tem o spin do núcleo do hidrogênio (H^+) de acordo ao ambiente químico no qual se encontra.
- Técnica muito boa para diferenciar tecido mole.

Ressonância Magnética Nuclear (RMN)

RMN do SNC



Resumo

1 Introdução às imagens médicas
- Radiologia
- Modalidades de imagens
- Propriedades da imagem

2 O átomo e as radiações
- Radiação

3 Interação da Radiação com a matéria
- Interações de partículas carregadas
- Interações de fótons.

Alguns parâmetros de qualidade da imagem

- Resolução espacial
- Resolução por contraste
- Homogeneidade
- Presença de artefatos

Resumo

1 Introdução às imagens médicas
- Radiologia
- Modalidades de imagens
- Propriedades da imagem

2 O átomo e as radiações
- Radiação

3 Interação da Radiação com a matéria
- Interações de partículas carregadas
- Interações de fótons.

Radiações. Classificação.

De acordo à natureza

- Eletromagnética: ondas eletromagnéticas com um amplo espectro (radio, infra-vermelho, visível, raios-X, raios-γ)
- De partículas: feixes de partículas carregadas (elétrons, β^-, β^+,prótons, α, etc.) ou não (neutrons)

De acordo ao poder ionizante

- Não ionizantes (radio, visível, infra-vermelho)
- Ionizantes (raios-X, raios-γ, elétrons, prótons..)

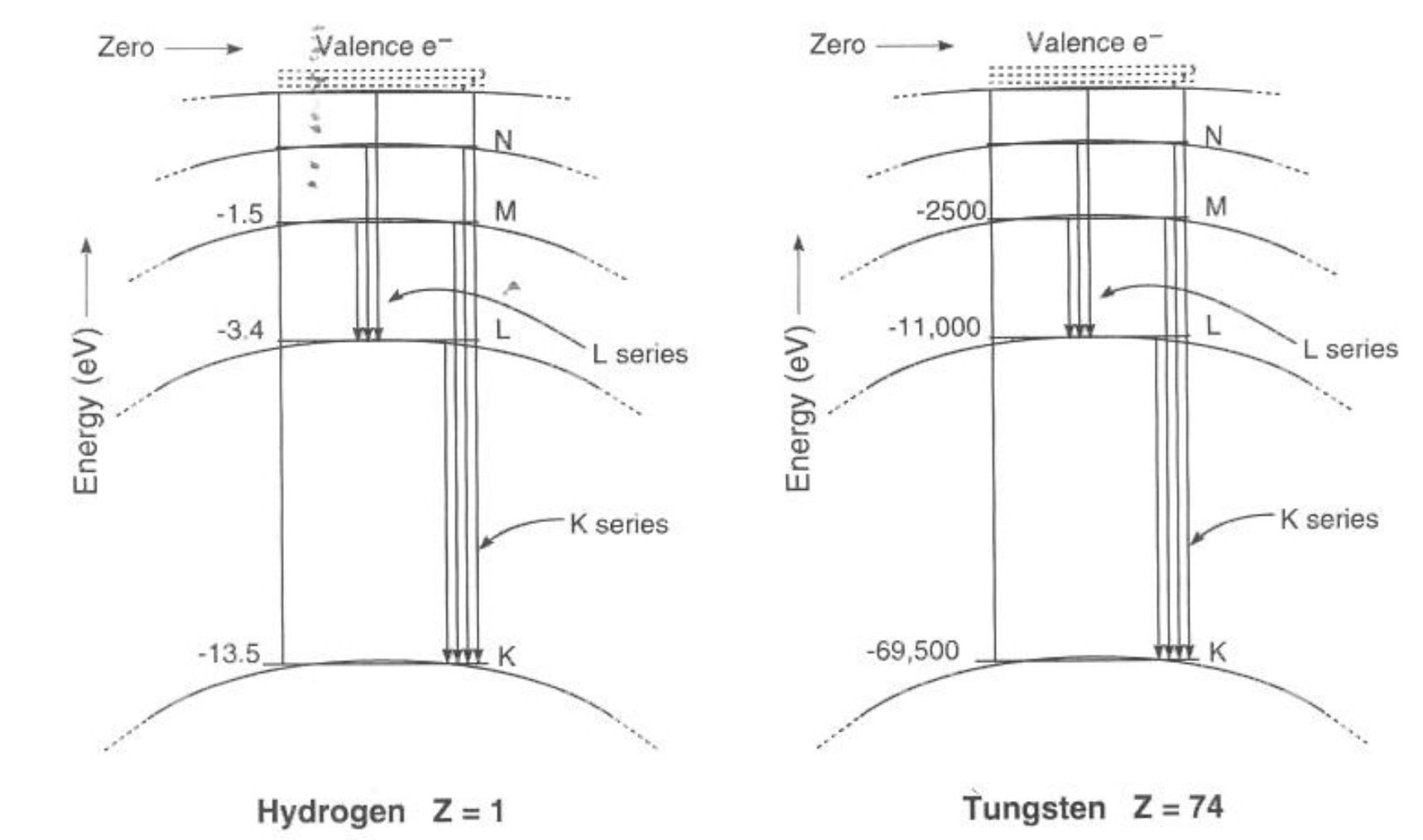
Radiações. Classificação.

De acordo à origem

- Raios-γ: são originados pela desexcitação do núcleo atômico
- Raios-X: são originados por radiação de frenado (Bremsstrahlung) ou por desexcitação eletrônica do átomo (raios-X característicos)

Desexcitações atômicas

Hidrogênio e tungstênio



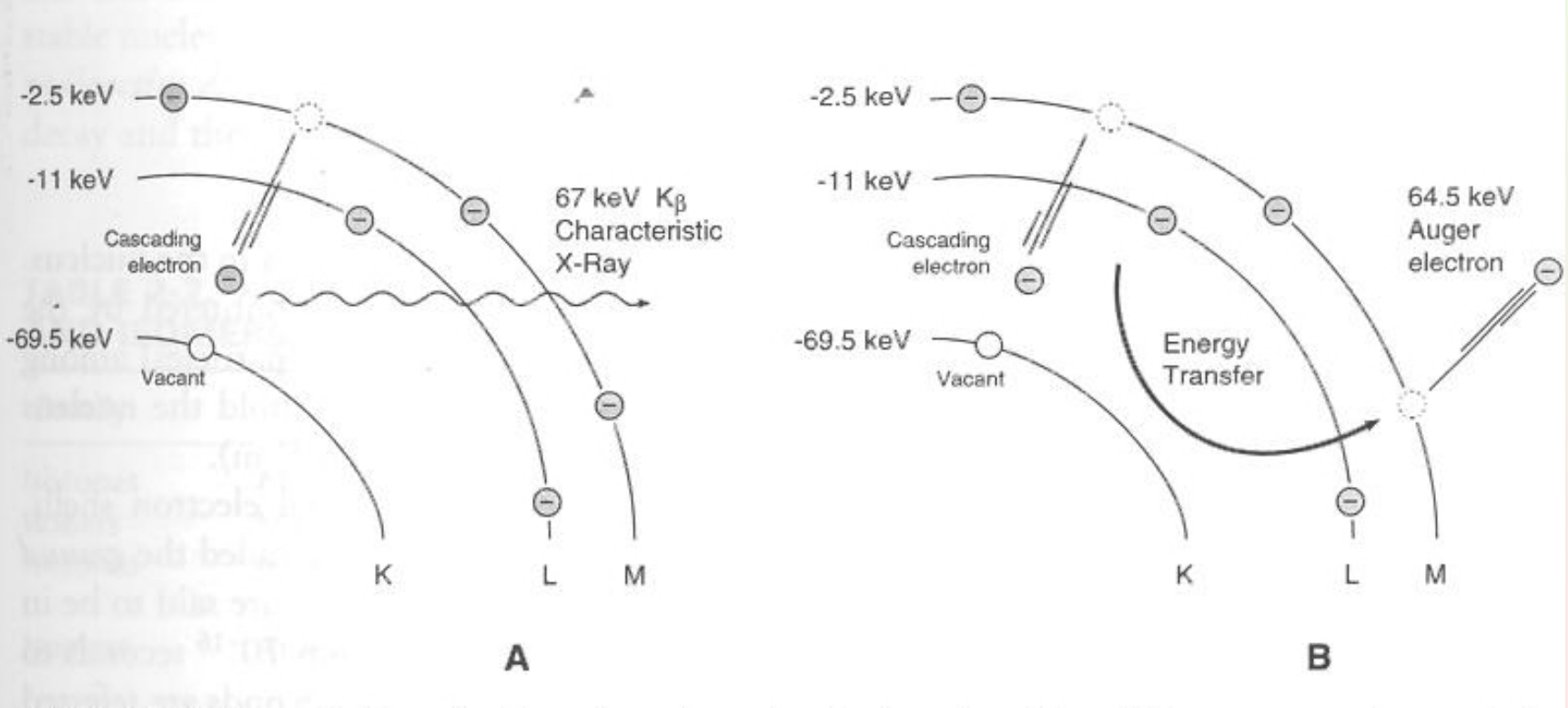
Desexcitações atômicas

Propriedades

- Quanto maior é o Z do material, maior é a energia das desexcitações.
- poucos eV < Δ E < dezenas keV
- Camada K -> $1s^2$ (l=0, 2 e^-), camada L, $2s^2$ $2p^6$ (l=0, l=1, 8 e^-)....

Desexcitações atómicas

Raios-X característicos e elétrons Auger (processos competitivos)



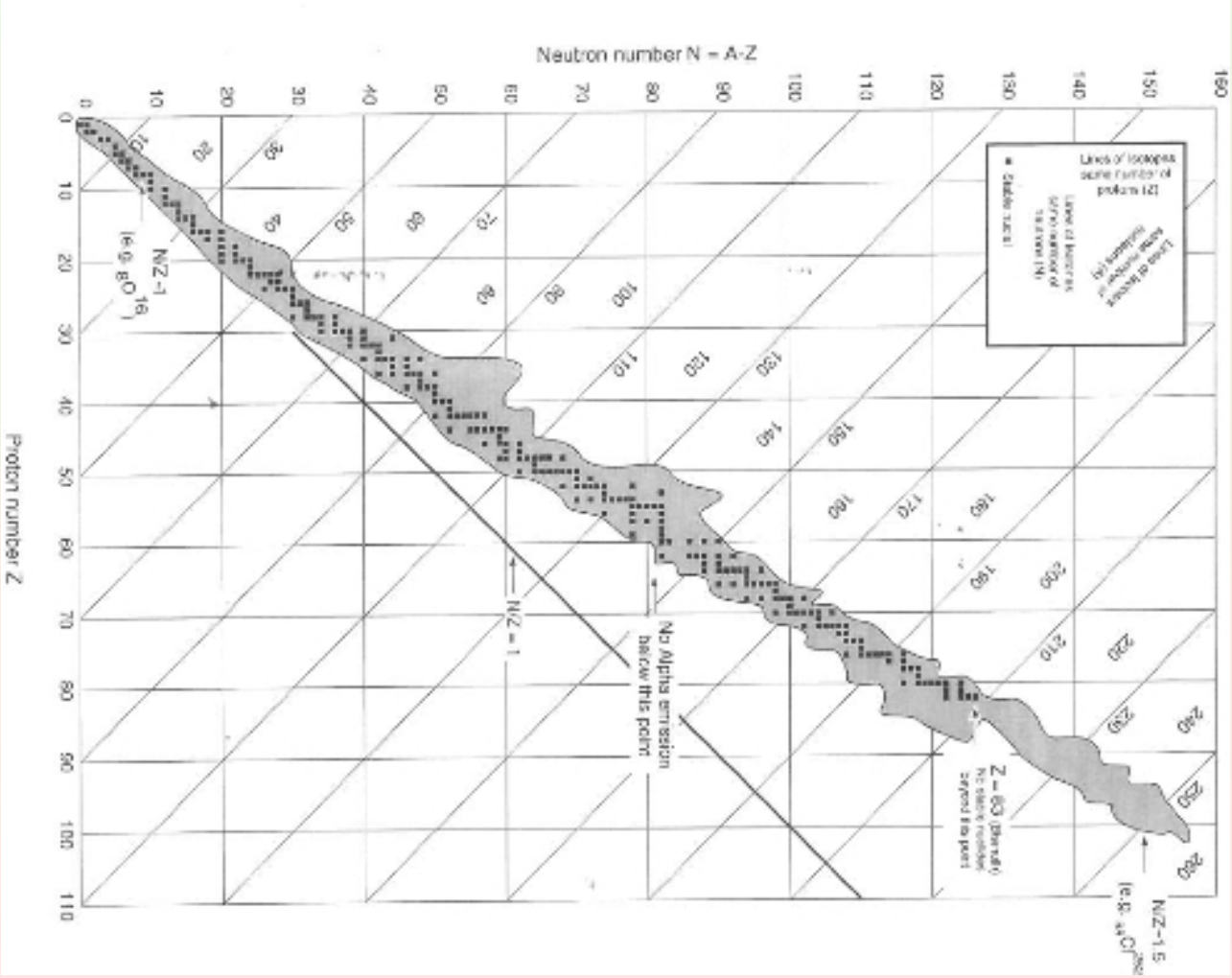
Processos nucleares

Processos mais importantes

- Desintegração β^-, β^+ e α
- Elétrons de conversão interna
- Captura eletrônica
- Fissão e fusão nucleares

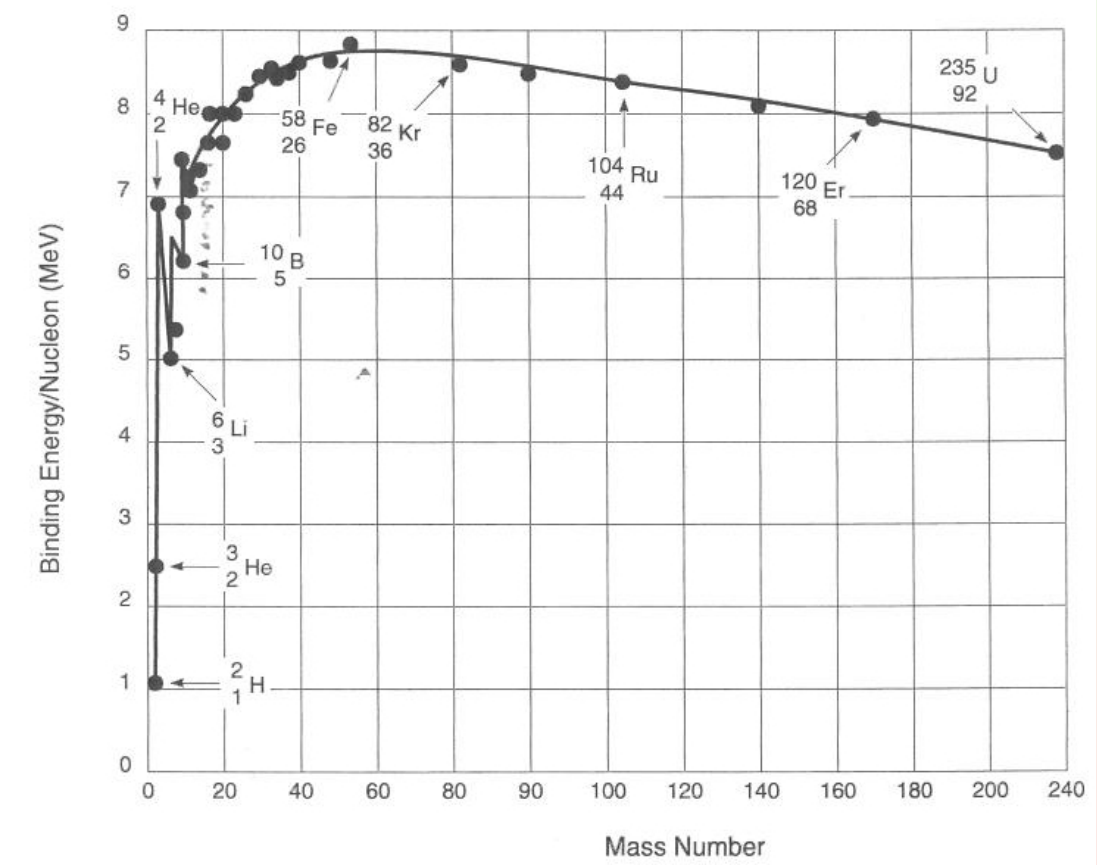
Processos nucleares

Estabilidade nuclear



Processos nucleares

Energia de ligação por núcleon



Resumo

1 Introdução às imagens médicas
- Radiologia
- Modalidades de imagens
- Propriedades da imagem

2 O átomo e as radiações
- Radiação

3 Interação da Radiação com a matéria
- Interações de partículas carregadas
- Interações de fótons.

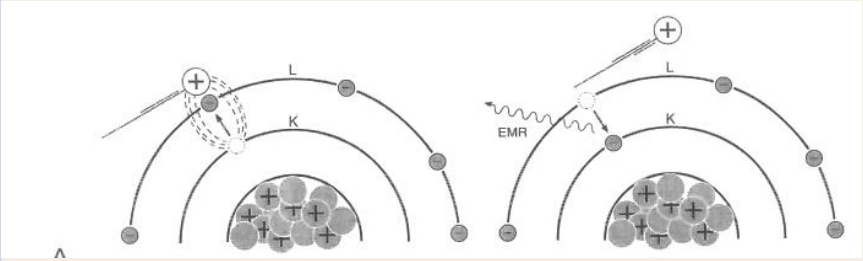
Interações inelásticas

Classificação

- Excitações
- Ionizações
- Perdas radiativas (Bremsstrahlung)
- Aniquilação (pósitrons)

Excitação

Diagrama

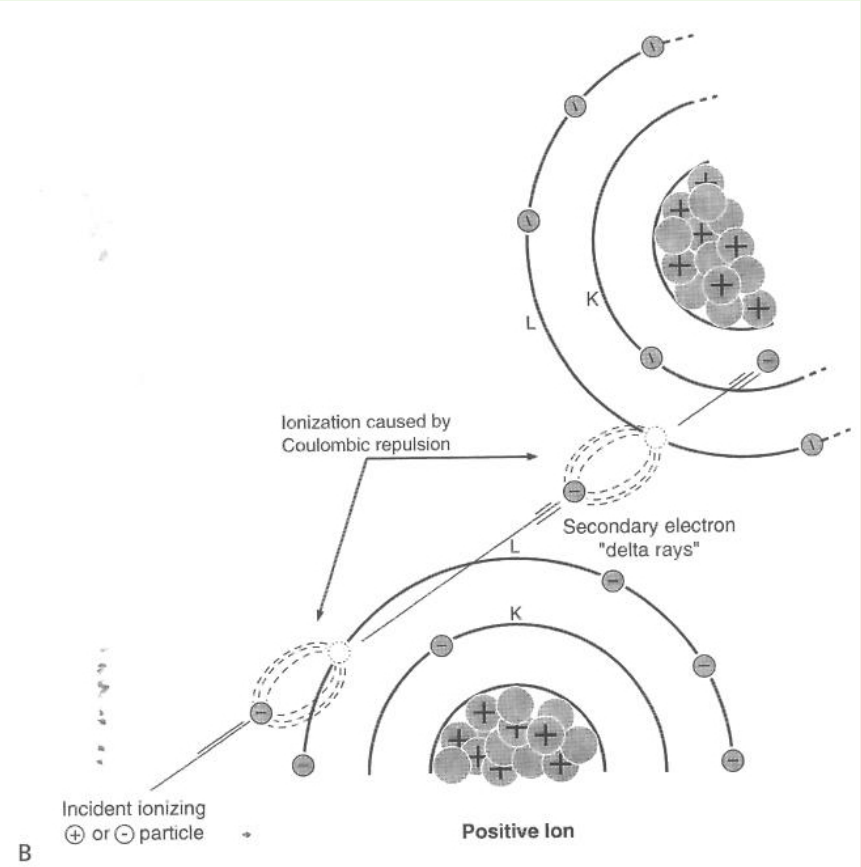


Características

- O elétron atômico aumenta sua energia mas continua ligado
- Perda de energia discreta
- O átomo fica excitado e emite um fóton característico (fluorescência)
- Mais provável a baixa energia

Ionização

Diagrama

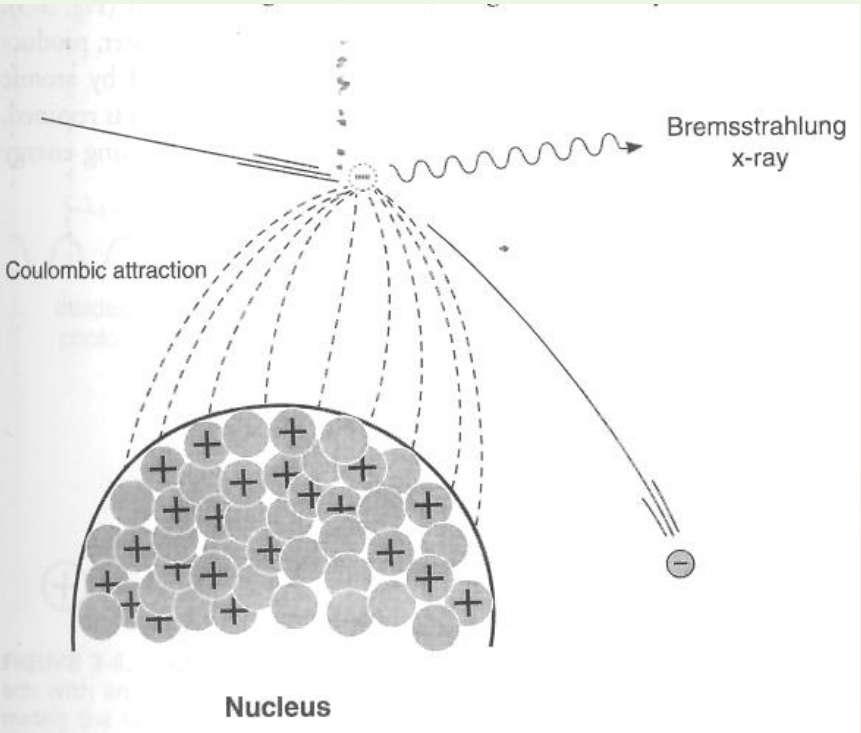


Características

- O elétron atômico passa a un estado livre (raio-δ)
- Perda de energia contínua
- O átomo pode ficar excitado e emitir um fóton característico (fluorescência)
- Tem um limiar de energia: a energia de ligação do elétron
- O átomo fica ionizado positivamente

Bremsstrahlung

Diagrama

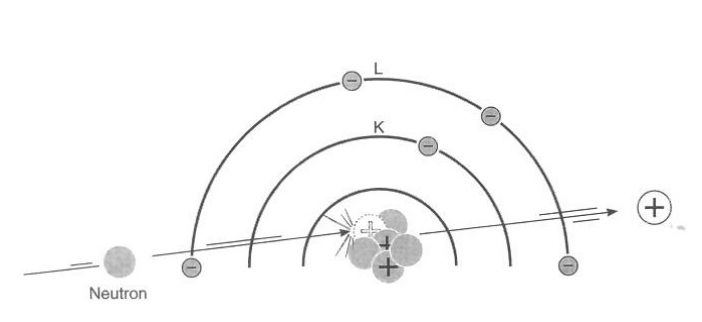


Características

- A partícula carregada perde energia continuamente
- Pode perder toda sua energia em um só evento
- A interação é com o núcleo atômico
- É mais provável a altas energias e massas pequenas
- $(\frac{d\sigma}{dW})_{Brem}/(\frac{d\sigma}{dW})_{Exc,Ion} = \frac{E_k Z}{820}$, E_k en MeV

Interações de nêutrons

Diagrama

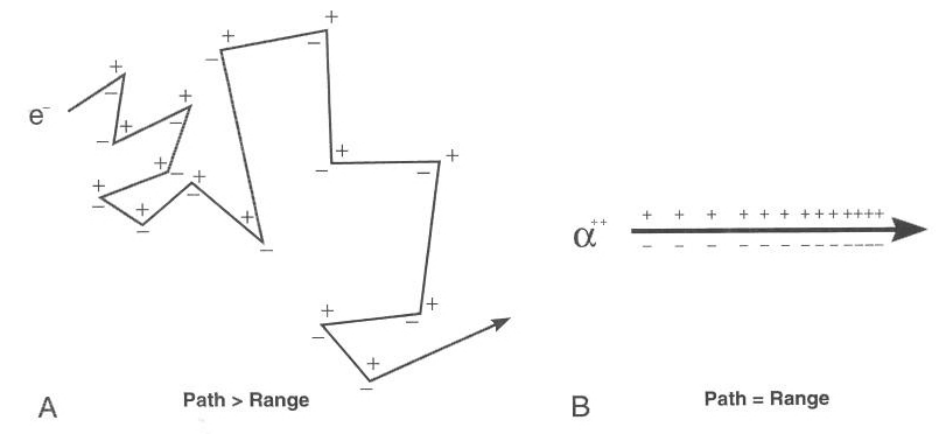


Características

- Interagem mediante a interação forte
- É uma partícula indiretamente ionizante
- Transferem energia a átomos mediante espalhamento elástico.
- Podem causar fragmentação de núcleo alvo, gerando fragmentos ionizados, prótons, etc.
- Estes átomos ou fragmentos poder excitar ou ionizar o meio.

Camino de partículas carregadas

Diagrama



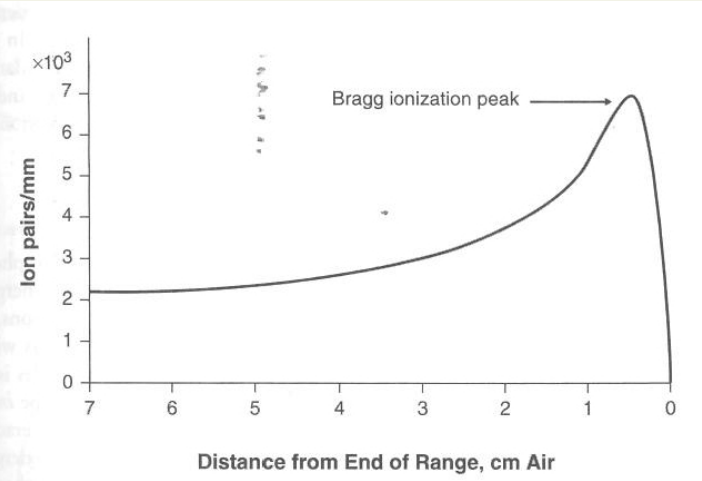
Características

- Perdem energia continuamente
- Partículas leves (e^-): deflexões angulares bruscas, perdem muita energia/colisão, caminho>alcance
- Partículas pesadas (íons): trajetória quase reta,. perdem pouca energia/colisão, caminho≈alcance

Transferência de energia

Algumas definições

Ionização específica. Partículas α de 7.69 MeV no ar.



- LET: *Linear Energy Transfer*. Valor esperado da energia transferida pelas partículas carregadas por unidade de distância percorrida ($\sim$ poder de frenado). É maior quanto maior é a carga da partícula.
- Alcance: Valor esperado da profundidade máxima que alcança uma partícula carregada em um meio material
- Partículas pesadas (íons): trajetória quase reta, perdem pouca energia/colisão, caminho$\approx$alcance
- Importante a baixas energias $\sim$ poucas dezenas de keV

Resumo

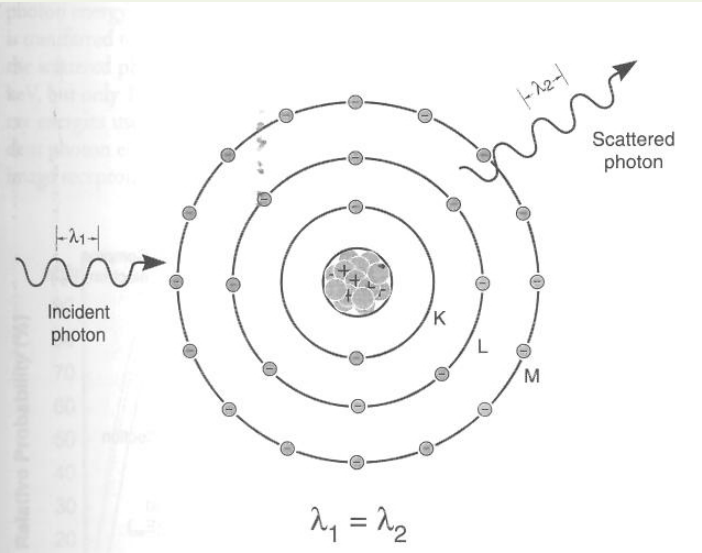
1 Introdução às imagens médicas
- Radiologia
- Modalidades de imagens
- Propriedades da imagem

2 O átomo e as radiações
- Radiação

3 Interação da Radiação com a matéria
- Interações de partículas carregadas
- Interações de fótons.

Espalhamento Rayleigh. Coerente.

Diagrama

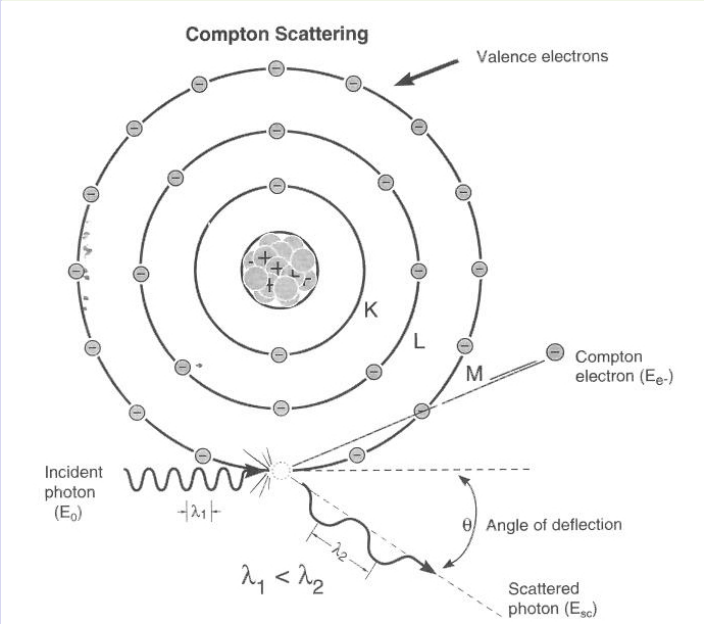


Características

- O fóton interage com o átomo como um todo.
- A energia cinética do sistema se conserva e, devido a grande massa do alvo, $\lambda_1 \approx \lambda_2$: espalhamento coerente
- Produz pequenas deflexões angulares do fóton

Espalhamento Compton. Incoerente.

Diagrama

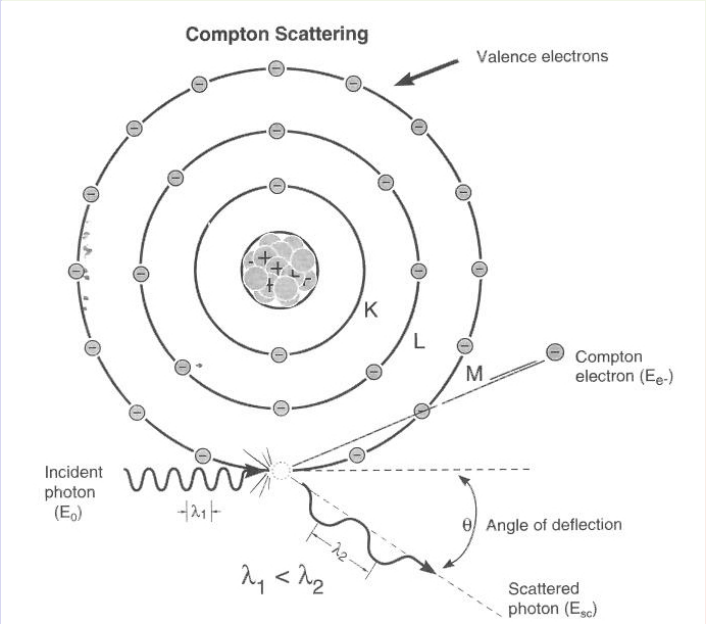


Características

- O fóton interage com um e^- atômico.
- A energia cinética do sistema não se conserva. Choque inelástico, $\lambda_1 \neq \lambda_2$: espalhamento incoerente
- Pode produzir grandes deflexões angulares do fóton
- Produz-se um e^- Compton, o átom fica ionizado.

Espalhamento Compton. Incoerente.

Diagrama

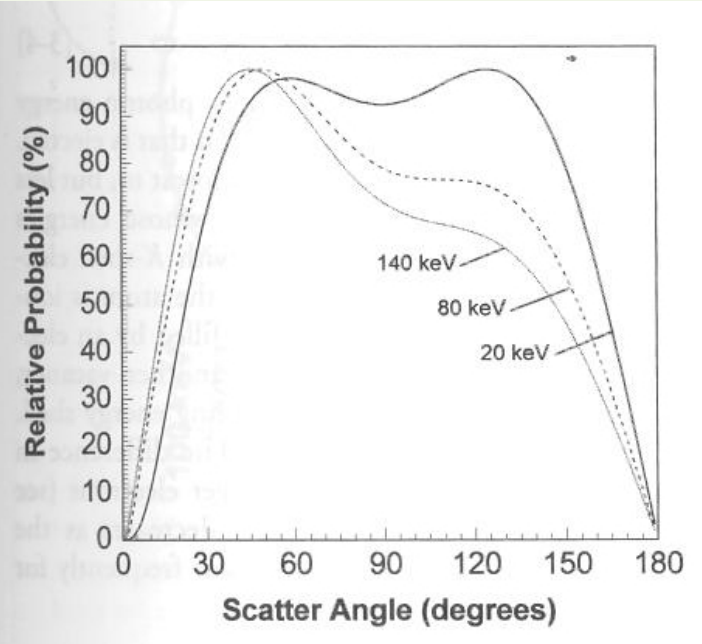


Características

- Mais provável em camadas externas (valencia)
- Predomina para 25 keV< E_γ<1 MeV em meios orgânicos
- $E_0 = E_{sc} + E_{e^-} + B$
- $E_{sc} = \frac{E_0}{1+\frac{E_0}{511keV}(1-cos\theta)}$, energias em KeV
- $E_{sc}^{min} = \frac{E_0}{1+\frac{2E_0}{511keV}}$

Espalhamento Compton. Incoerente.

Distribuição angular

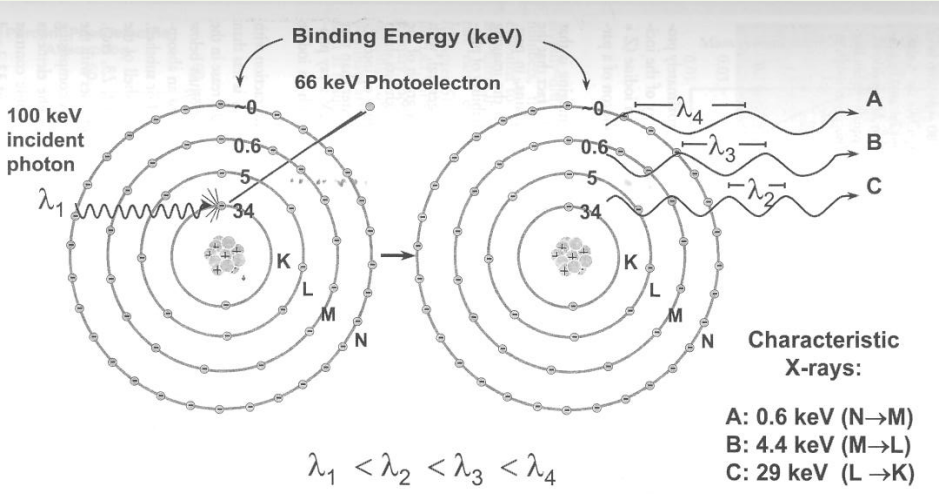


Características

- A baixas energias: quase simétrica
- A altas energias: a emissão é mais provável pra frente.

Efeito fotoelétrico

Diagrama

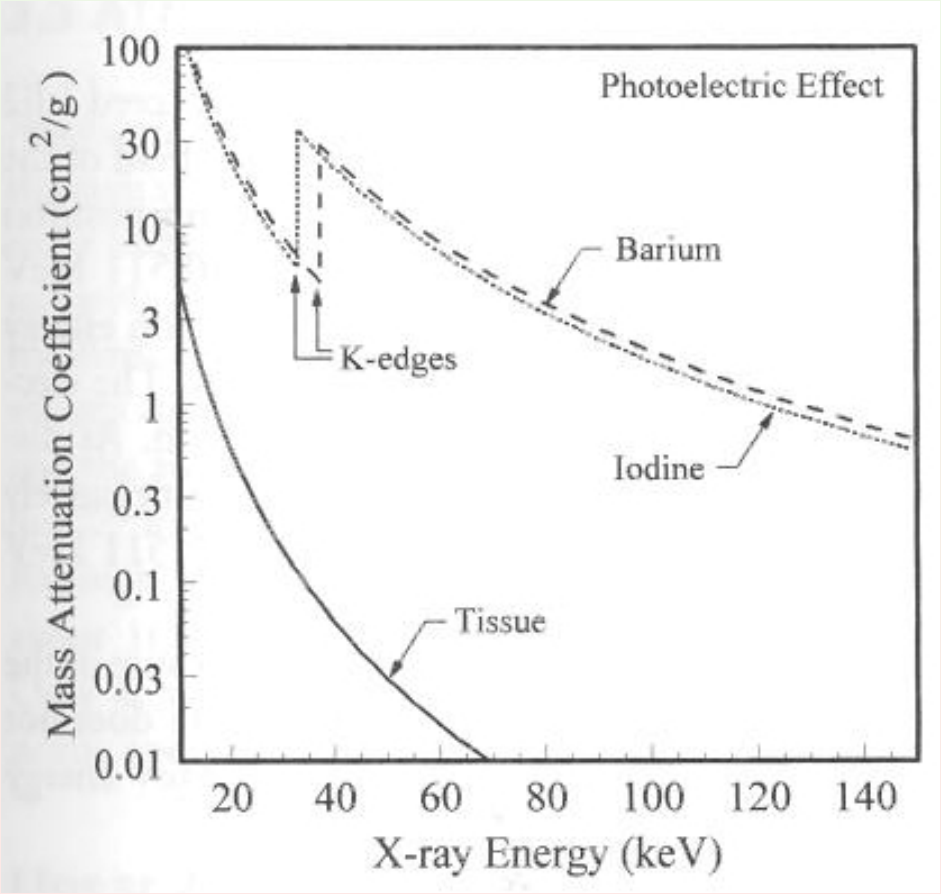


Características

- Mais provável a baixas energias (poucos keV)
- O fóton não sobrevive ao evento
- Mais provável em camadas internas (K, L)
- $E_0 = E_{e^-} + B$
- $\frac{\mu}{\rho} \propto \frac{Z^3}{E^3}$

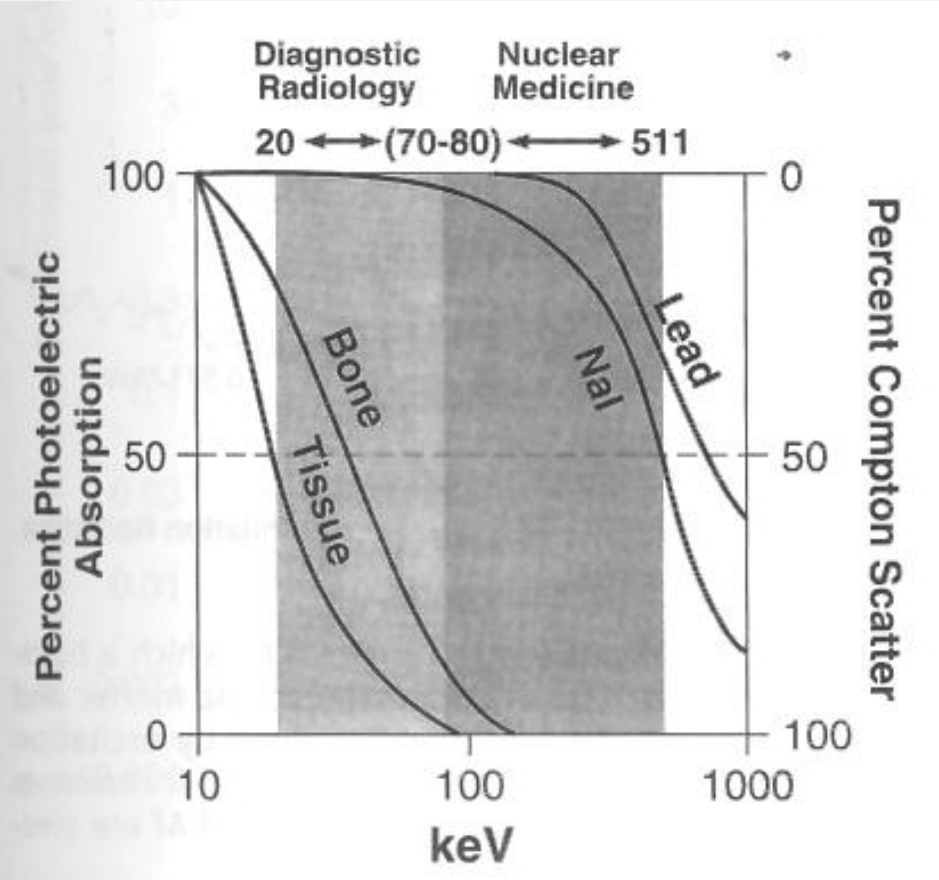
Efeito fotoelétrico

Coeficiente de atenuação linear por fotoefeito



Efeito fotoelétrico e espalhamento Compton

Contribuição

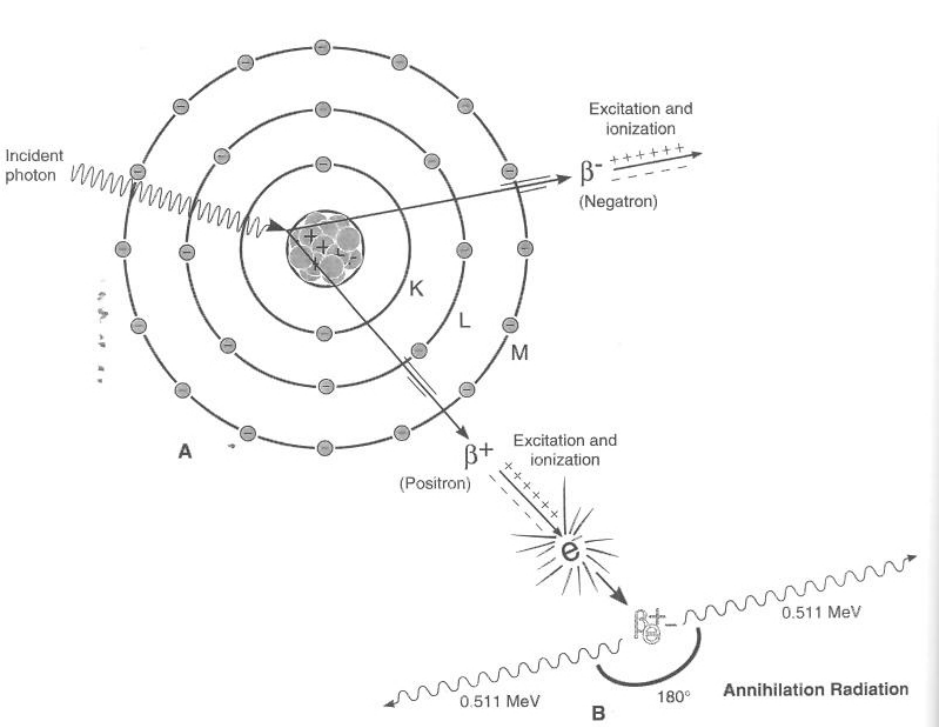


Características

- Para uma energia fixa, o aporte do fotoefeito é maior quanto maior é o Z do material.
- A Medicina Nuclear usa maiores energias que o Radiodiagnóstico.

Produção de pares

Diagrama

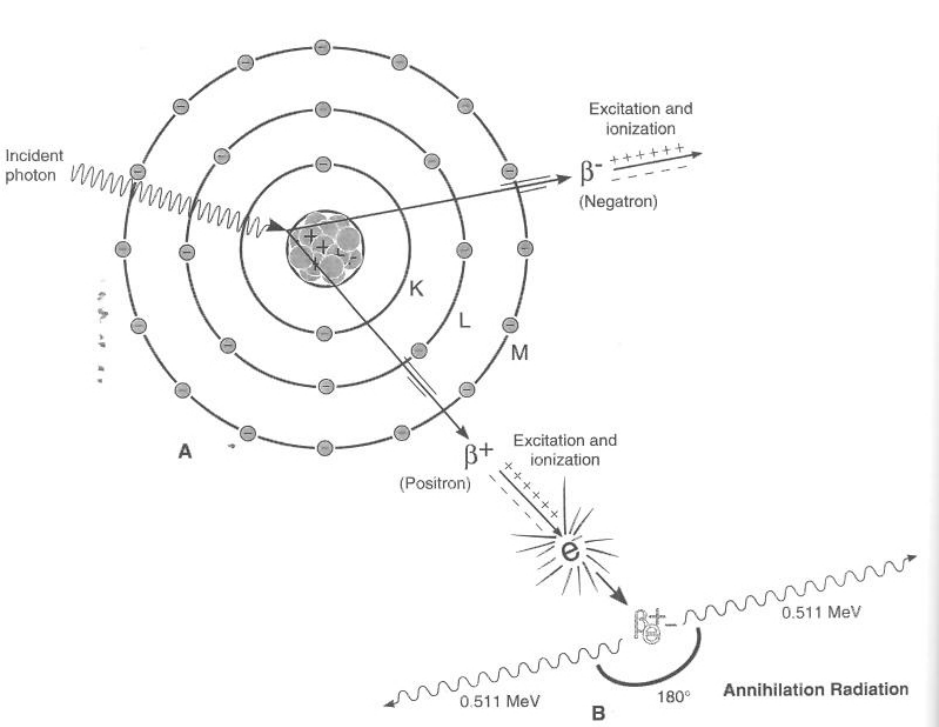


Características

- O fóton interage com o campo coulombiano do núcleo alvo
- Limiar de energia de $2m_0c^2$=1.022 MeV
- O fóton não sobrevive ao evento
- É gerado um par e^-,e^+

Aniquilação de pares

Diagrama



Características

- O pósitron se aniquila com um elétron atómico
- É gerado um par de fótons com 511 keV cada um (aniquilação em repouso)