



## SEL 705 - FUNDAMENTOS FÍSICOS DOS PROCESSOS DE FORMAÇÃO DE IMAGENS

### (2. RAIOS-X)

Prof. Homero Schiabel  
(Sub-área de Imagens Médicas)



## 3. Interação dos R-X com a matéria

### 3.1. Atenuação e Absorção

- **ATENUAÇÃO:**
  - quando a intensidade do feixe é reduzida como resultado de um processo de interação R-X – matéria
  
- **ABSORÇÃO:**
  - quando, numa interação, o fóton de raios-X transfere toda sua energia ao material (absorvedor), desaparecendo



- 4 possibilidades básicas:
  - fóton desviado de sua trajetória, sem perda de energia (espalhamento coerente ou elástico);
  - fóton desviado de sua trajetória com alguma perda de energia (espalhamento incoerente ou inelástico);
  - fóton transferindo toda sua energia ao átomo, e desaparecendo (absorção);
  - fóton prosseguindo normalmente em sua trajetória original

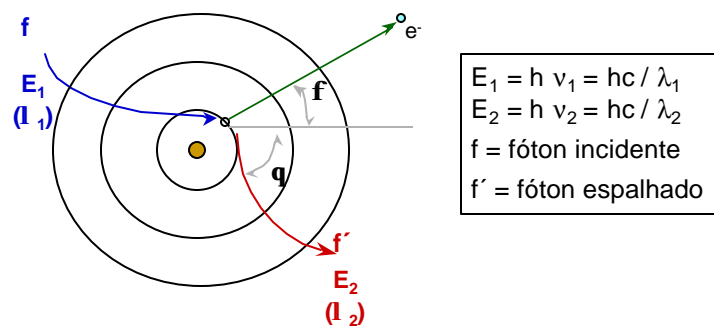


### 3.1.1. Espalhamento coerente

- fóton desviado de sua trajetória, sem perder energia
- radiação eletromagnética tem um campo elétrico que produz oscilação do elétron orbital do átomo na mesma frequência → elétron absorve e emite radiação na mesma frequência e em fase

### 3.1.2. Espalhamento (Efeito) Compton

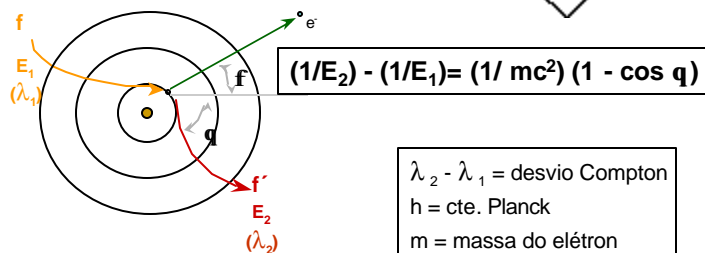
- parcial absorção de energia pela matéria
- número de elétrons por unidade de massa do absorvedor é importante para determinar a probabilidade do espalhamento Compton



### 3.1.2. Espalhamento (Efeito) Compton

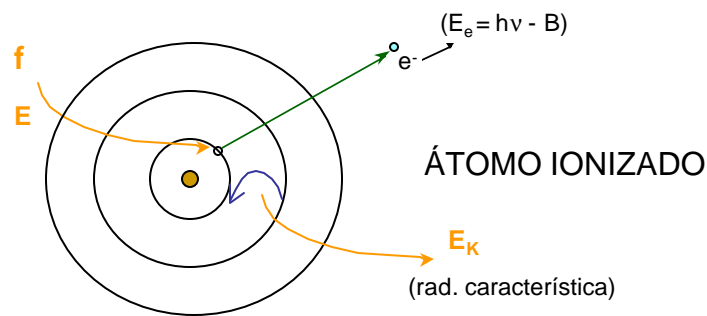
- $E_1 = E_2 + E$  → colisão inelástica
- Equação deduzida por Compton:

$$\lambda_2 - \lambda_1 = (h / mc) (1 - \cos q) \quad (4)$$



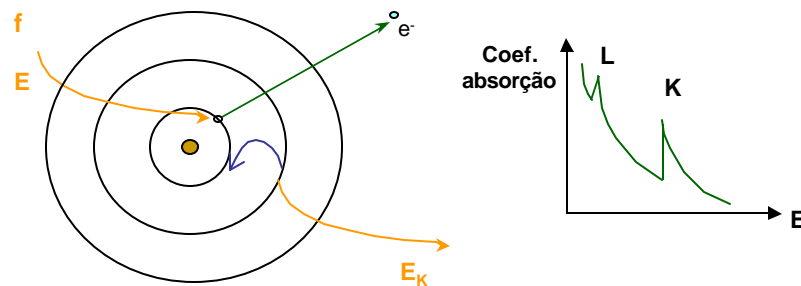
### 3.1.3. Efeito fotoelétrico

- Fóton interage com o átomo e desaparece → fornece a um e<sup>-</sup> orbital toda sua energia → expulsão do e<sup>-</sup> de sua órbita (geralmente da camada K)



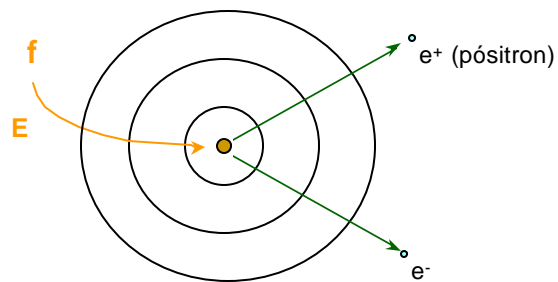
### 3.1.3. Efeito fotoelétrico

- (\*) Probabilidade de uma interação fotoelétrica ocorrer numa particular camada eletrônica é:
  - 0 se a  $E$  do fóton R-X é < que  $B$ ;
  - grande se a  $E$  do fóton R-X é = a  $B$ ;
  - pequena se a  $E$  do fóton R-X é > que  $B$ ;



### 3.1.4. Produção de Pares

- Fóton de  $E > 1,022 \text{ MeV}$  interage com o núcleo do átomo e desaparece  $\rightarrow$  surge um par de  $e^-$ , um negativo e outro positivo



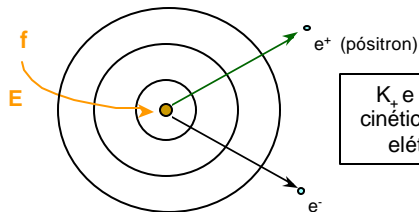
### 3.1.4. Produção de Pares

- Energia equivalente à massa do elétron em repouso =  $0,511 \text{ MeV}$   $\rightarrow$  para formar duas partículas:  $E_{\text{fóton}} \geq 1,022 \text{ MeV}$

$$E = (mc^2 + K_+) + (mc^2 + K_-) \quad (5)$$

E tot (pósitron)    E tot (elétron)

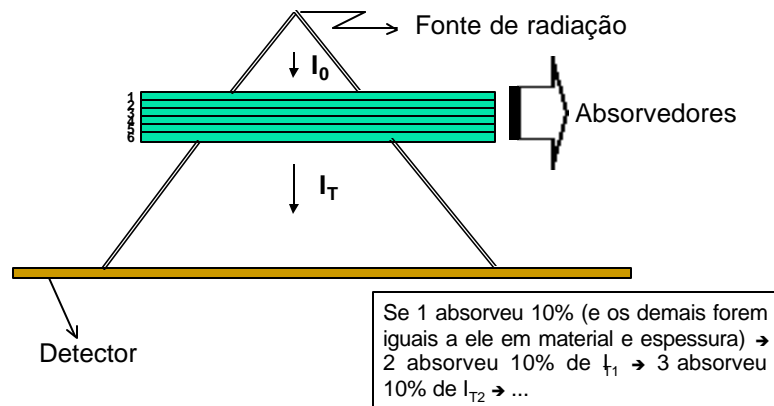
$$E = 2 mc^2 + (K_+ + K_-)$$



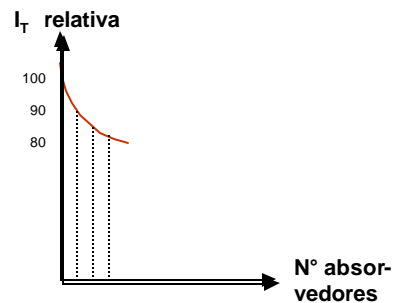
$K_+$  e  $K_- = E$   
cinética dos 2  
elétrons

### 3.2. Coeficiente de Atenuação Linear ( $\mu$ )

- Corresponde a uma redução fracional da intensidade do feixe por unidade de espessura de um absorvedor



### 3.2. Coeficiente de Atenuação Linear ( $\mu$ )



Então, se  $I_0 = 100\%$ :  
 $I_{T1} = 90\% \rightarrow I_{T2} = 81\%$   
 $\rightarrow I_{T3} = 72,9\% \dots$

- Sejam:  $dx$  = espessura do absorvedor;  
 $dl$  = quantidade de rad. atenuada

- $dl$  proporcional a:  
 $dx$  - E (feixe) - I  
Z (material)

$$dl = -I dx \mu(E, Z)$$



### 3.2. Coeficiente de Atenuação Linear ( $\mu$ )

- $\mu$  → probabilidade de um fóton ser removido do feixe; é função do tipo de material e da  $E$  do fóton

- $dI = -\mu I dx \rightarrow dI / dx = -\mu I \rightarrow$  integrando:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (6)$$

- Ex.: calcular a % de radiação transmitida através de um material de 8 cm de espessura cujo  $\mu = 0,31 \text{ cm}^{-1}$



### 3.2. Coeficiente de Atenuação Linear ( $\mu$ )

- CAMADA SEMI-REDUTORA (CSR):
  - Situação particular:  $I = I_0/2$  (red. de 50% de  $I$ ):

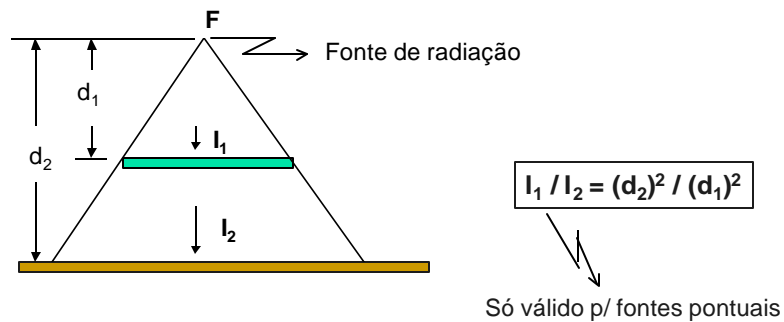
- $I_0/2 = I_0 e^{-\mu x} \rightarrow e^{-\mu x} = 1/2 \rightarrow \mu x = 0,693$

- Ex.: calcular a redução que sofrerá o feixe de R-X em 2 mm de Cu, sabendo-se que a CSR do Cu em 82 keV vale 1,0 mm

$$x = \text{CSR} = 0,693 / \mu \quad (7)$$

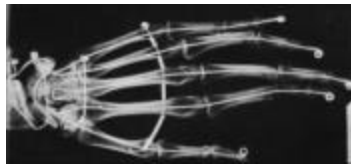
- (\*) Coeficiente de absorção de massa ( $\mu / \rho$ ):
- fração de R-X removida de um feixe de uma área de seção transversal unitária num meio de massa unitária.
- $\mu \rightarrow \text{m}^{-1}$  (ou  $\text{cm}^{-1}$  ou  $\text{mm}^{-1}$ )       $\mu/\rho \rightarrow \text{m}^2/\text{kg}$  (ou  $\text{cm}^2/\text{g}$ )

### 3.3. Lei do Inv. Quadrado da Distância



**Ex.:** se um feixe tem  $I_{\text{relat}} = 100$  a 10 cm da fonte de radiação (foco), qual a  $I_{\text{relat}}$  a 30 cm e a 60 cm?

### Ex. prático da Lei do Inverso do Quadrado da Distância



$d_{\text{FF}} = 50 \text{ cm} - 6 \text{ mAs}$



$d_{\text{FF}} = 100 \text{ cm} - 6 \text{ mAs}$



$d_{\text{FF}} = 100 \text{ cm} - 24 \text{ mAs}$