

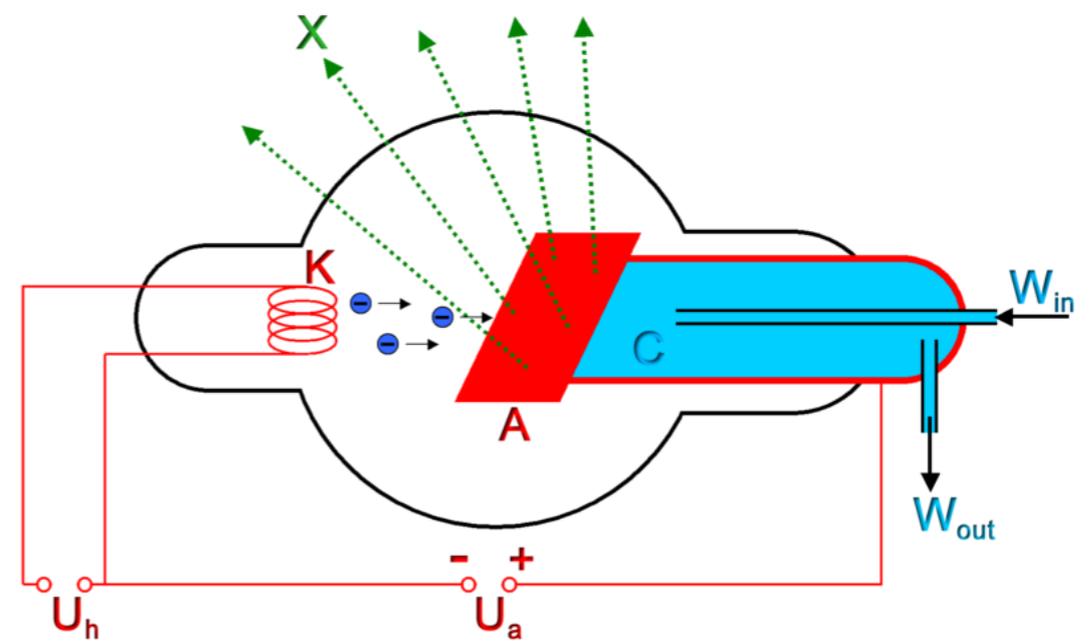
# Física Moderna I

## Aula 06

Marcelo G Munhoz  
Pelletron, sala 245, ramal 6940  
[munhoz@if.usp.br](mailto:munhoz@if.usp.br)

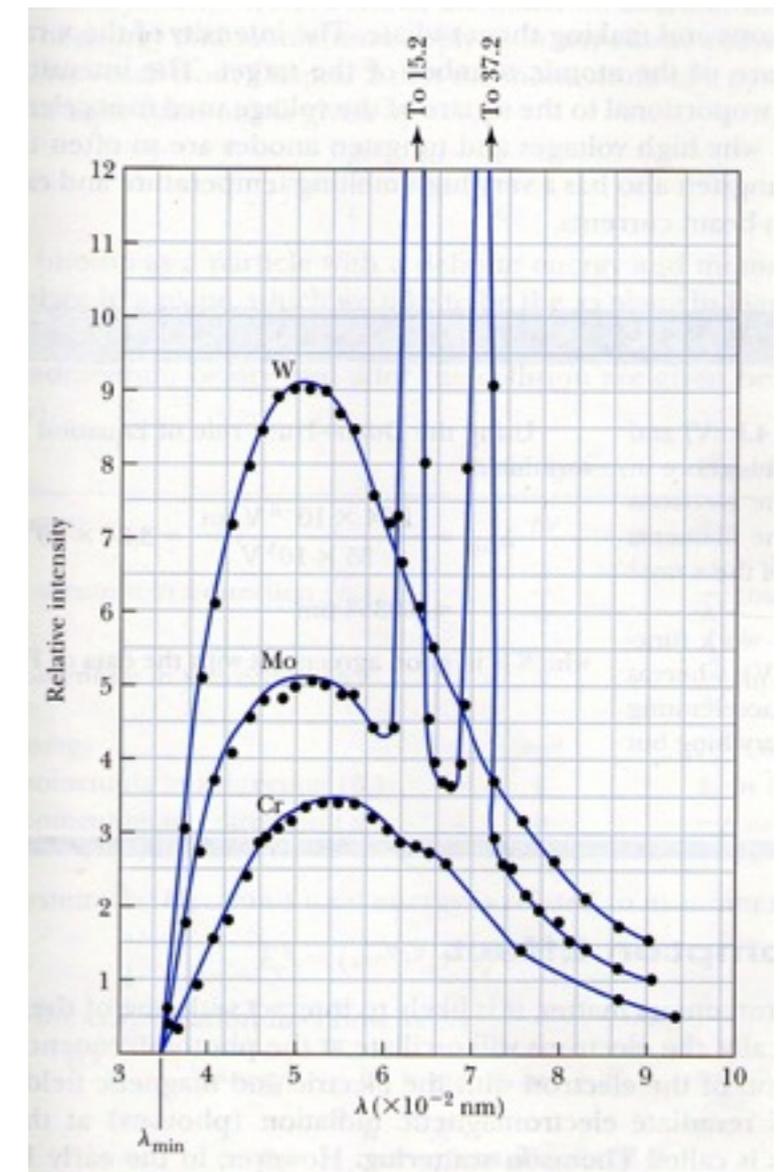
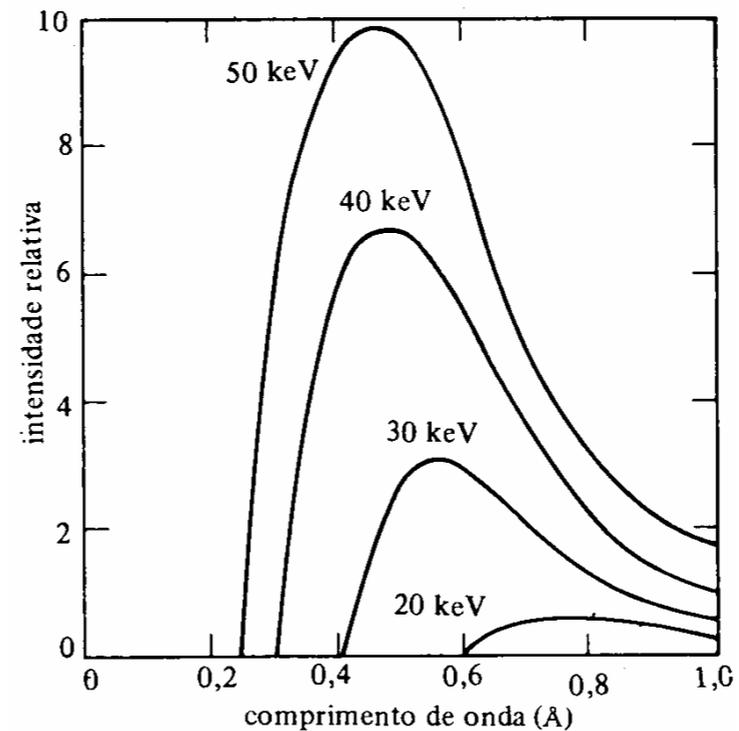
# Como são produzidos os raios-X?

- Como um feixe de elétrons incidindo em um material produz raios-X?



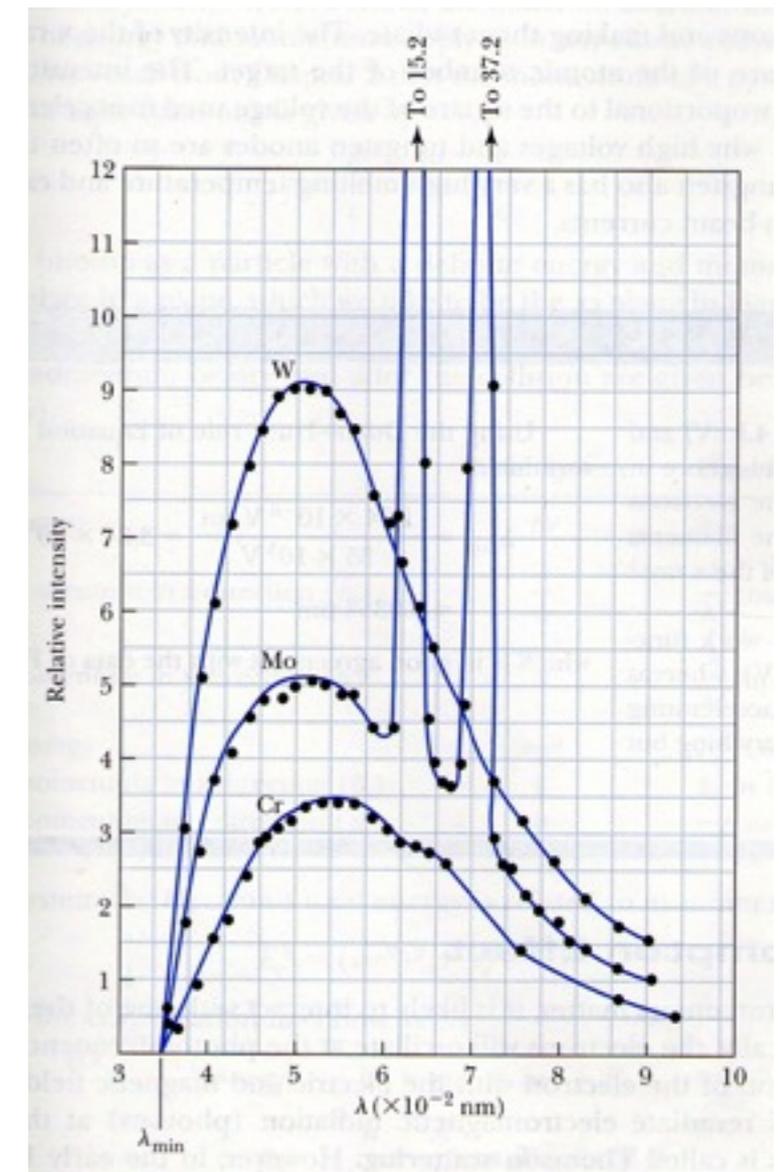
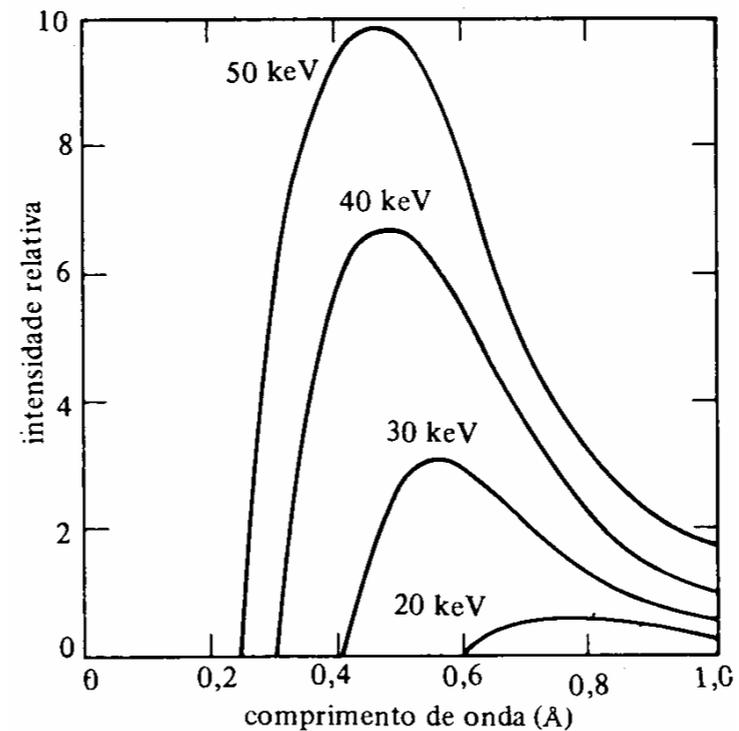
# Como são produzidos os raios-X?

- Como um feixe de elétrons incidindo em um material produz raios-X?
- Quais as características dos raios-X produzidos?



# Como são produzidos os raios-X?

- Segundo a física clássica uma carga em aceleração emite um espectro contínuo de radiação eletromagnética
- Porém, ela não pode explicar a razão de existir um valor mínimo de comprimento de onda nesse espectro



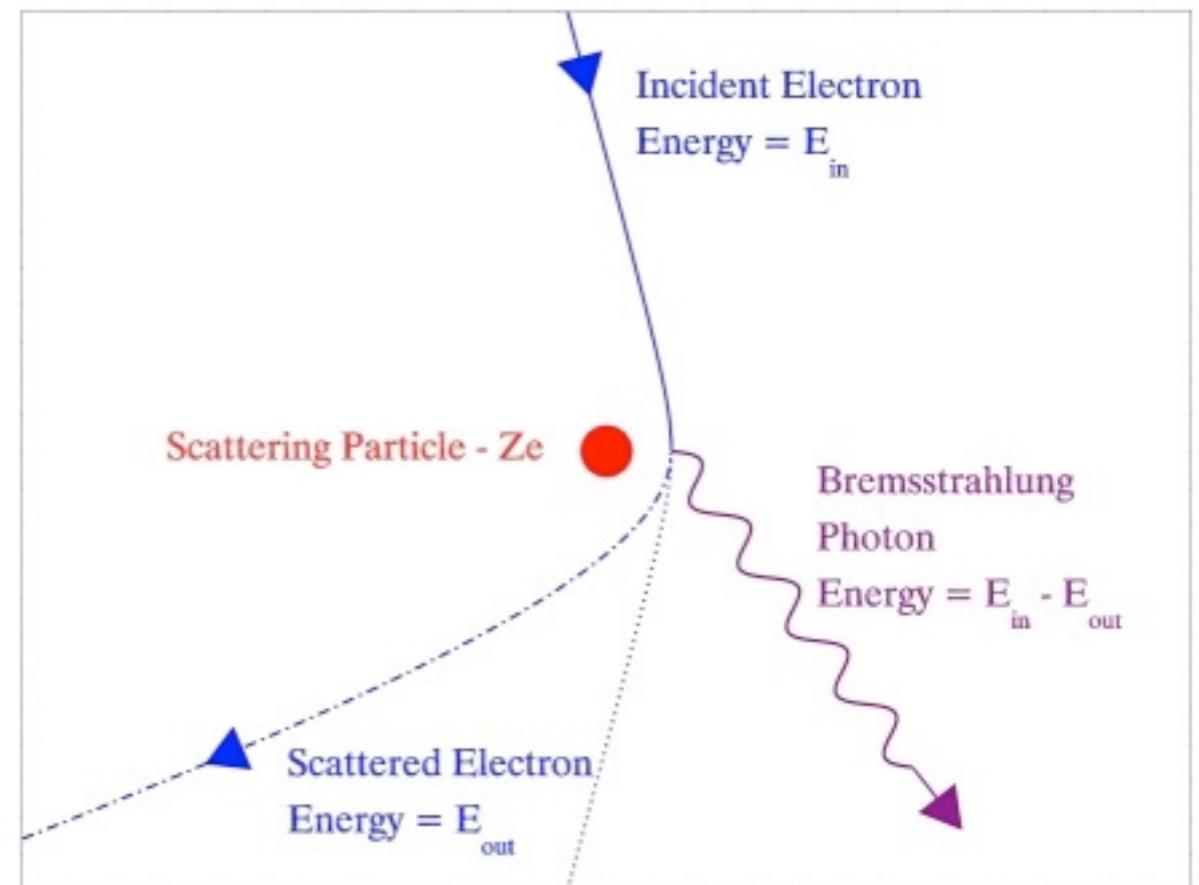
# Produção de raios-X

- Por outro lado, se tratarmos os raios-X como partículas, podemos explicar esse efeito
- Seja um elétron de energia cinética  $E_i$  incidindo sobre o átomo de um material
- O elétron interage com o núcleo do átomo e transfere parte de sua energia para ele, ficando com uma energia final  $E_f$
- Como o núcleo é muito pesado, podemos desprezar o recuo sofrido por ele

# Produção de raios-X

- Se postularmos que a diferença de energia do elétron é usada para criar um fóton de radiação, temos:

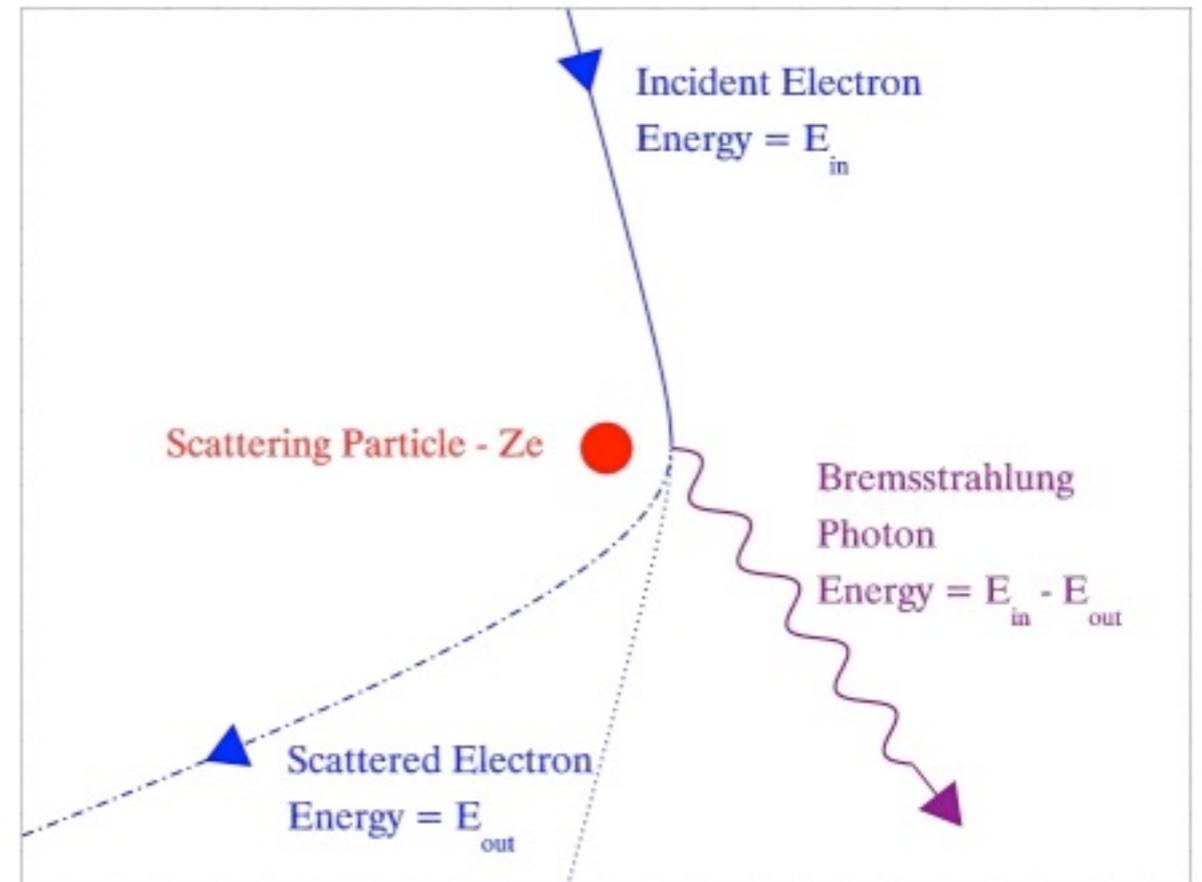
$$E_i - E_f = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$



# Produção de raios-X

- No caso do nosso aparato experimental:  $E_i = eV$
- Portanto, se o elétron perder toda sua energia, ou seja,  $E_f = 0$ , tem-se:

$$E_i - 0 = eV = \frac{hc}{\lambda_{min}} \Rightarrow \lambda_{min} = \frac{hc}{eV}$$

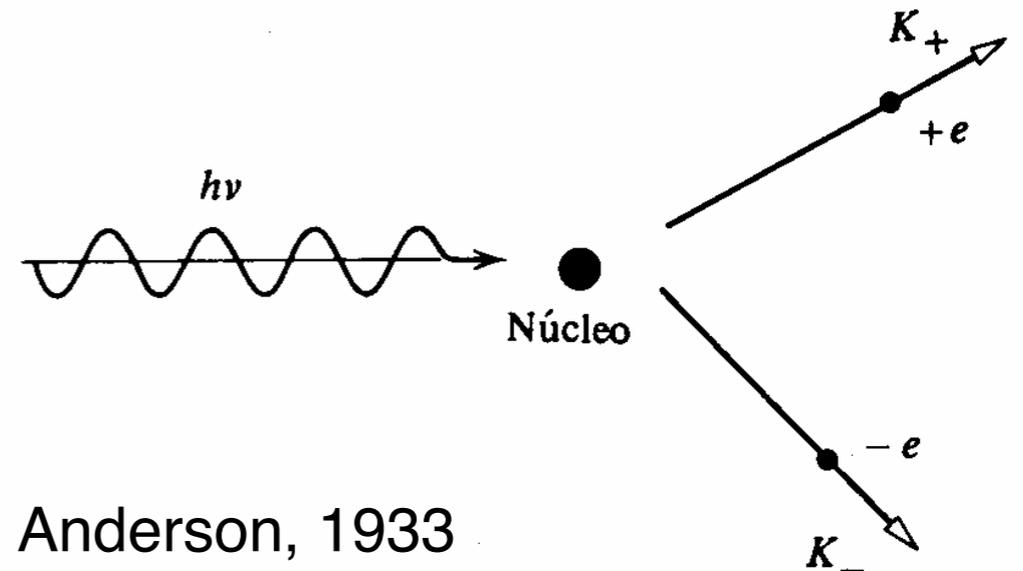


# *Bremsstrahlung* e o efeito fotoelétrico

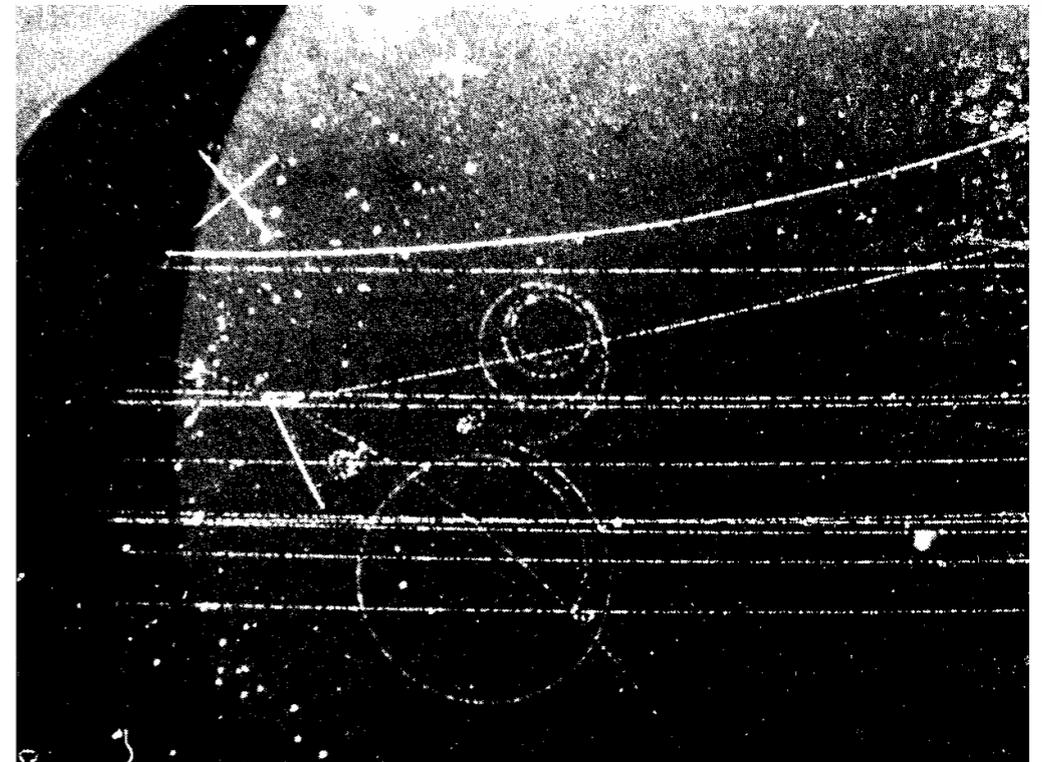
- Produção de raios-X: elétrons acelerados produzem fótons. Esse efeito é chamado de *Bremsstrahlung*
- Efeito Fotoelétrico: fótons “arrancam” elétrons do material
- Será que é possível fótons produzirem realmente elétrons, da mesma maneira que elétrons produzem fótons?

# Produção de pares

- Sim, de fato esse fenômeno é observado
- Porém, esse processo precisa respeitar as diversas leis de conservação da natureza
- Fótons produzem um par elétron-pósitron (conservação de carga) a partir da sua interação com o núcleo atômico (conservação de momento e energia)

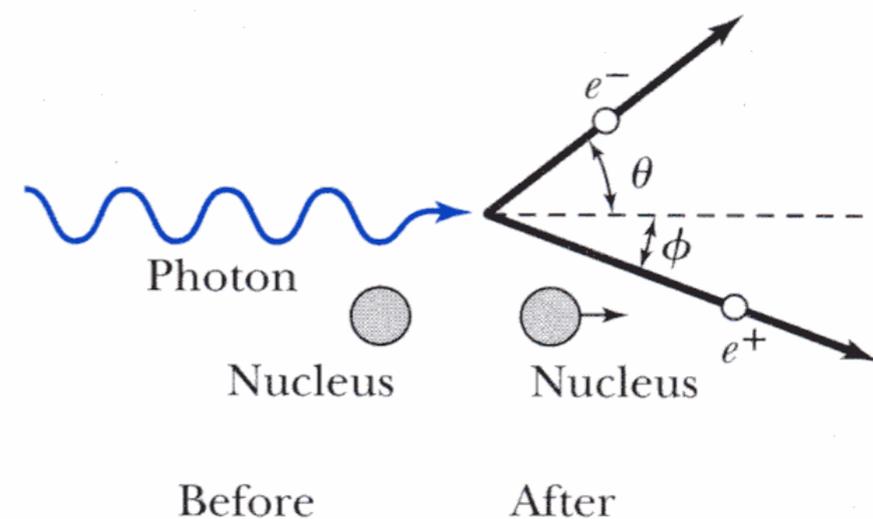
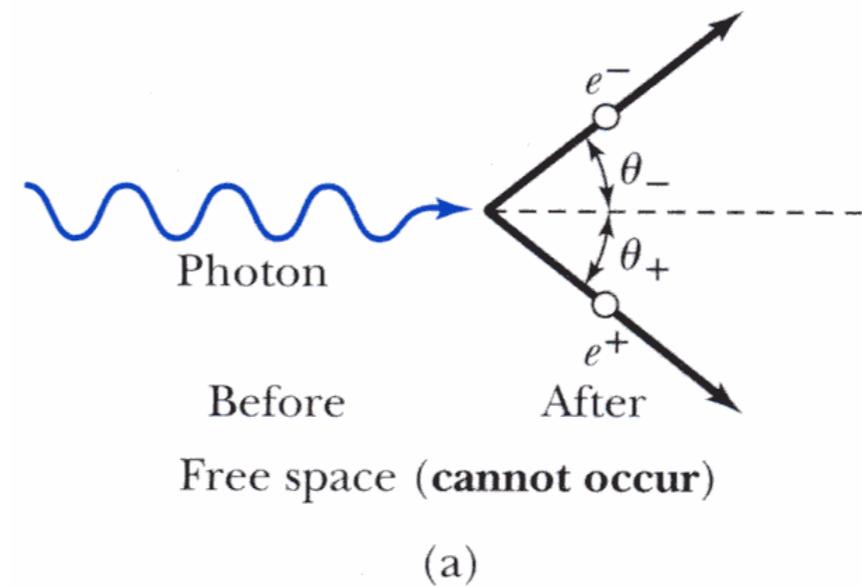


Anderson, 1933



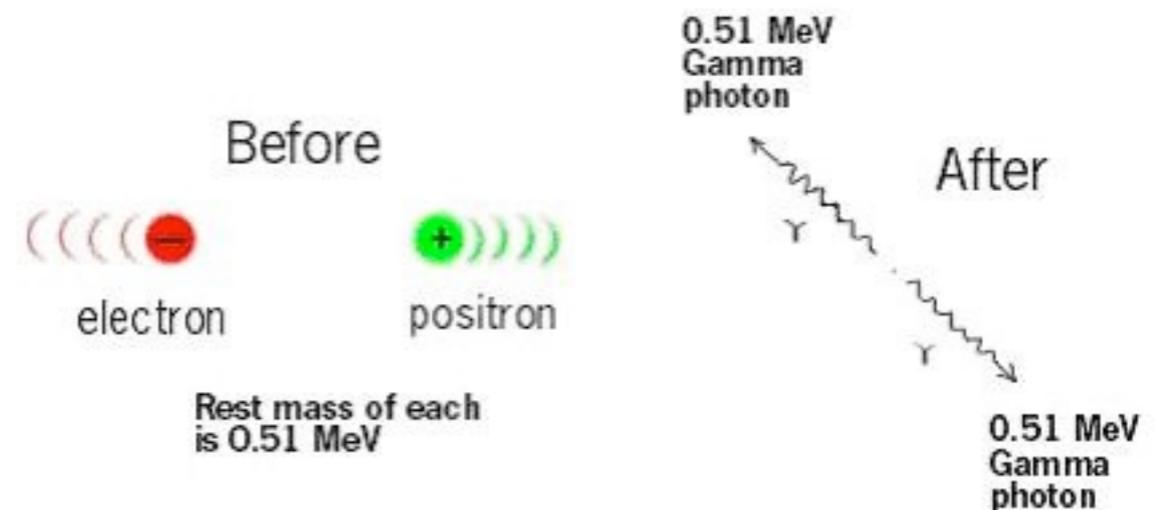
# Produção de pares

- A única maneira desse processo conservar momento e energia é se o núcleo atômico estiver presente e absorver parte da energia e momento do fóton



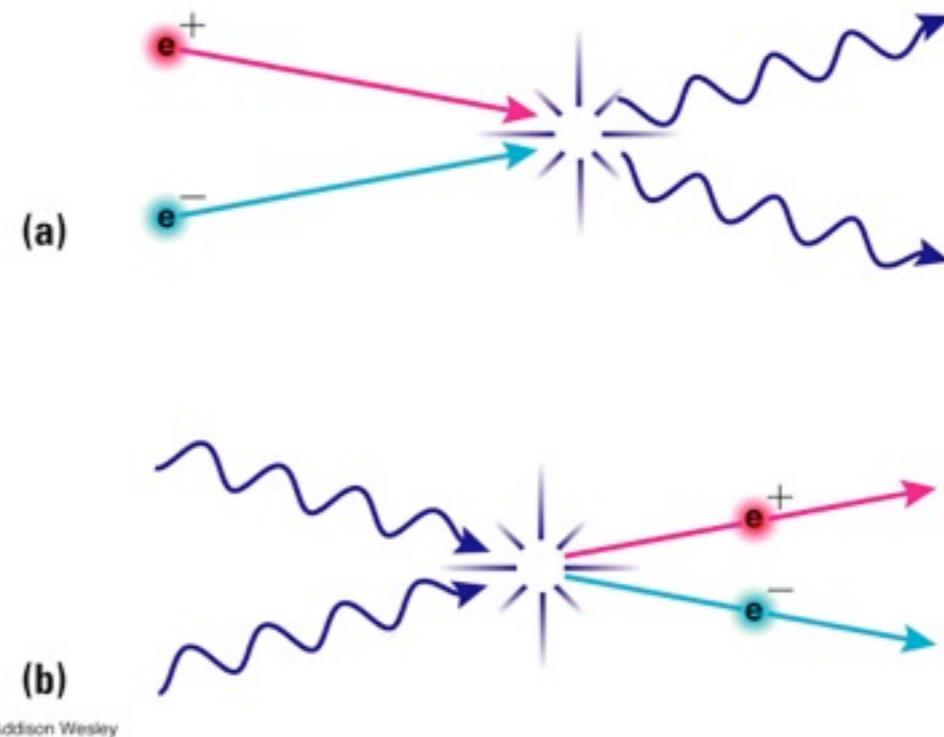
# Aniquilação de pares

- O processo inverso também pode ocorrer: um elétron e um pósitron podem se aniquilar produzindo fótons

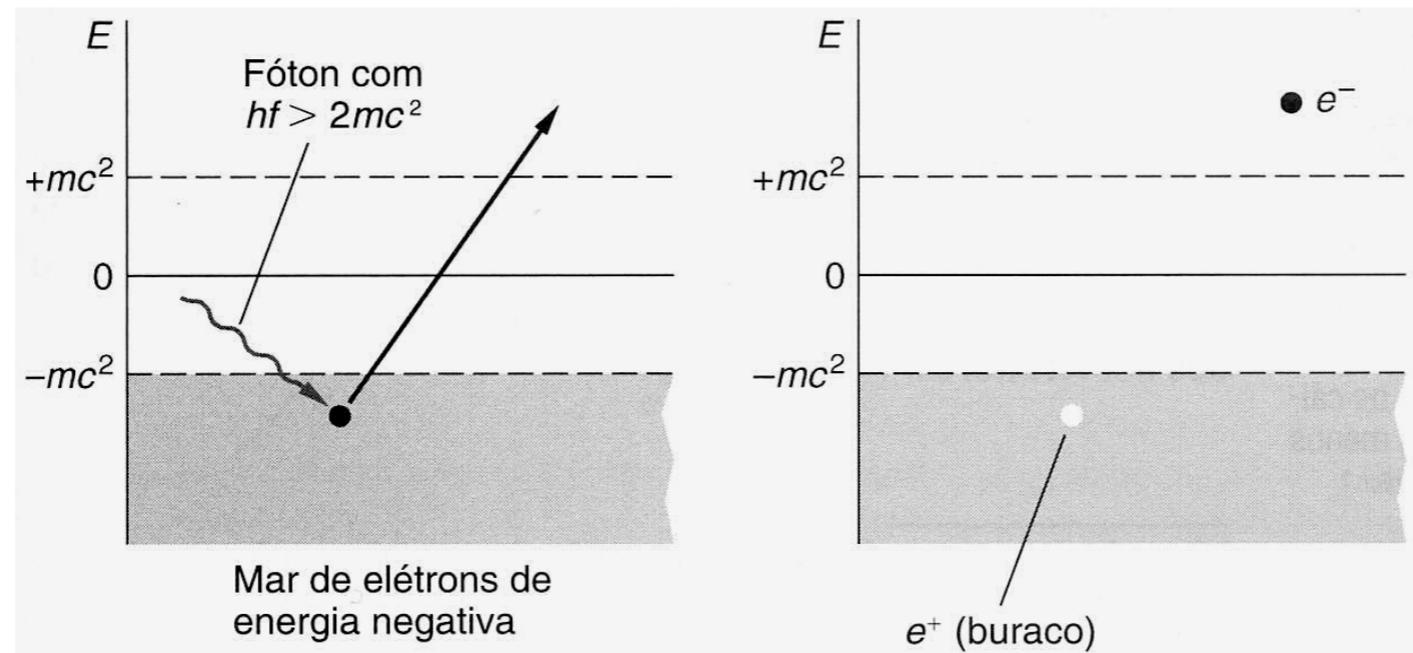


# Produção e aniquilação de pares

- Podemos enxergar a produção e aniquilação de pares como sendo as duas “faces” do mesmo processo



# Interpretação de Paul Dirac

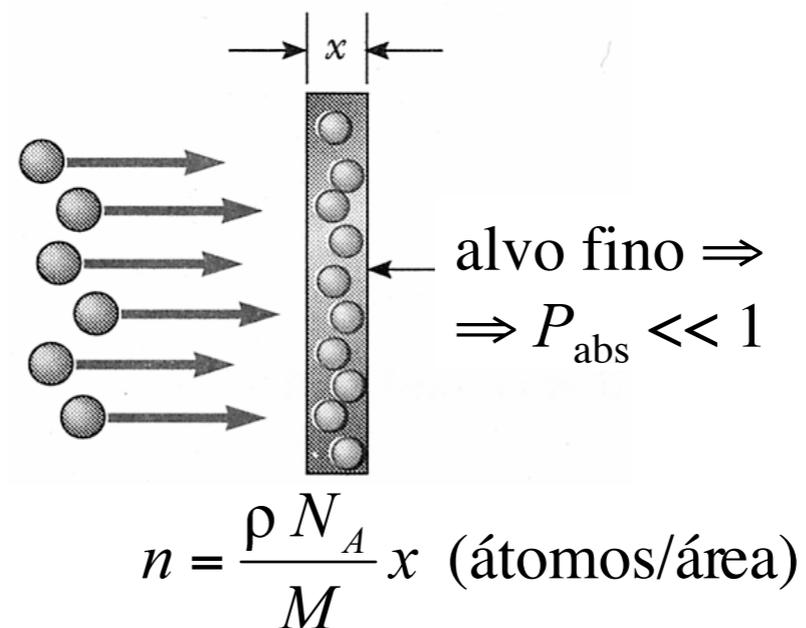
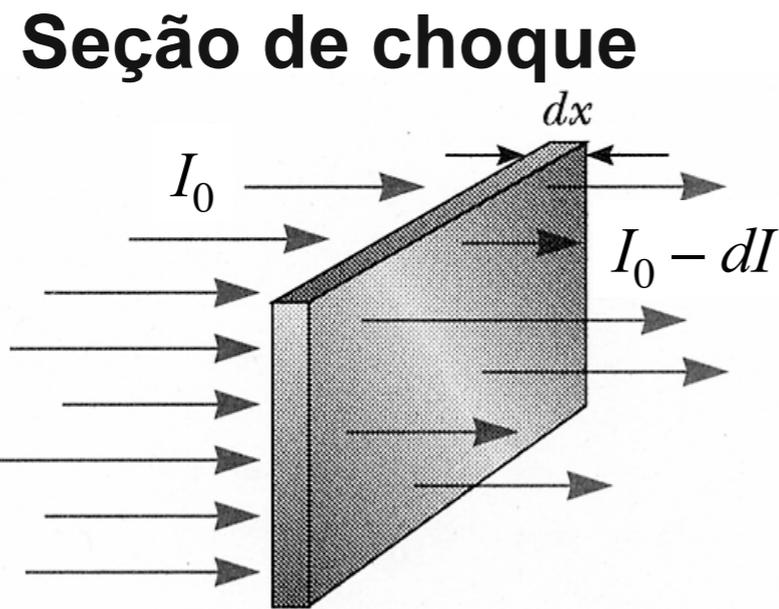


- Existe um “mar de elétrons” que pode ser “excitado” e criar um elétron deixando um “buraco” que é o pósitron

# Seção de choque de absorção de fótons na matéria

- Ao incidir um feixe de fótons sobre algum material, existe uma probabilidade que alguns fótons interajam com os átomos desse material
- A seção de choque define a probabilidade de um fóton interagir com o material através de algum processo (fotoelétrico, produção de pares, espalhamento Thomson ou espalhamento Compton)

# Seção de choque de absorção de fótons na matéria



$$dI \propto I_0 \cdot n \Rightarrow dI = \sigma \cdot I_0 \cdot n$$

- A seção de choque tem dimensão de área !

# Seção de choque de absorção de fótons na matéria

- Pode-se medir qual é a seção de choque em função da energia dos fótons para cada processo ocorrer

