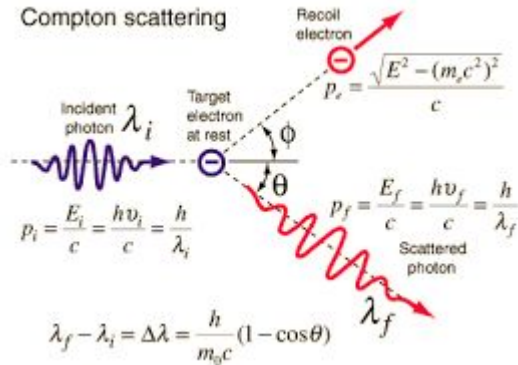


# Produção e aniquilação de pares

Manoel Resende

# Já vimos...

## Efeito Compton

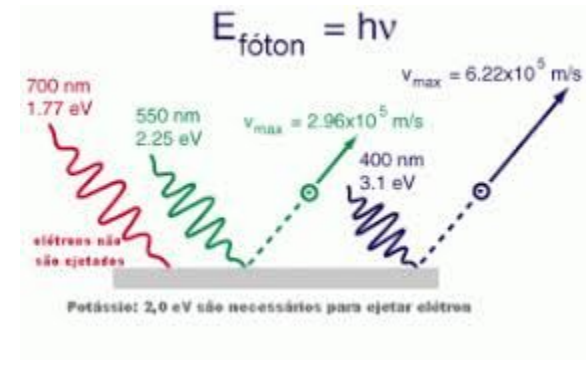


Disponível em:

<https://www.radiation-dosimetry.org/pt-br/qual-e-a-definicao-de-compton-scattering-definicao/>

**fótons perdem energia na interação com a matéria**

## Efeito fotoelétrico

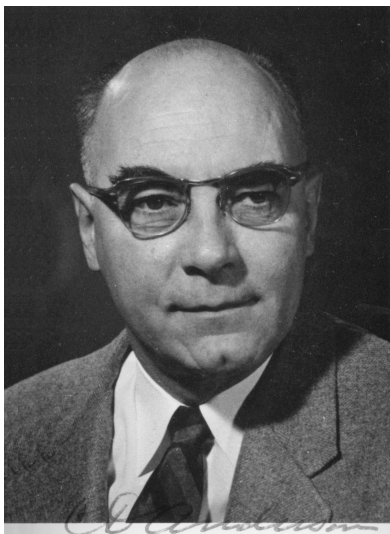


Disponível em:

<https://sites.ifi.unicamp.br/lfmoderna/conteudos/efeito-fotoeletrico/>

# Histórico:

1933 - primeira evidência de produção de pares, por Anderson, durante uma pesquisa sobre raios cósmicos.



Carl Anderson (1905-1991)

Tabela 1 - As 4 interpretações de Anderson sobre a natureza da partícula detectada na câmara de nuvem.

Traço na Câmara de Nuvem	O que é?	Qual a hipótese?
	Próton	<b>Hipótese:</b> a partícula possui carga positiva e se trata da movimentação de um próton vindo de baixo para cima. <b>Problemas:</b> Um próton com este raio de curvatura deveria ter baixa energia, de aproximadamente 300 keV, e não seria capaz de atravessar a camada de chumbo nem percorrer altas distâncias sem ser absorvido na câmara de nuvens.
	2 Elétrons negativos	<b>Hipótese:</b> A partícula possui carga negativa e retrata dois elétrons se movimentando de cima para baixo: um Elétron 1 é absorvido pela camada de chumbo; um Elétron 2 de alta energia é produzido a partir da interação de fótons com a camada de chumbo. <b>Problemas:</b> Ainda que seja um processo possível, é muito pouco provável que um elétron seja absorvido no mesmo local em que um segundo elétron é ejetado pela incidência de um fóton.
	Elétron negativo	<b>Hipótese:</b> A partícula possui carga negativa e retrata um elétron se movimentando de cima para baixo que é acelerado ao passar pela camada de chumbo por algum processo de interação ainda desconhecido. <b>Problemas:</b> Nenhum processo de interação com a matéria previa aceleração e ganho de energia ao invés de frenamento e perda de energia.
	Elétron positivo (Póstron)	<b>Hipótese:</b> A figura retrata um elétron positivo (póstron) se movimentando de baixo para cima após ser produzido pela passagem de um fóton de alta energia. <b>Problemas:</b> Dificuldade do contexto em aceitar a existência de uma nova partícula elementar que nunca havia sido observada anteriormente.

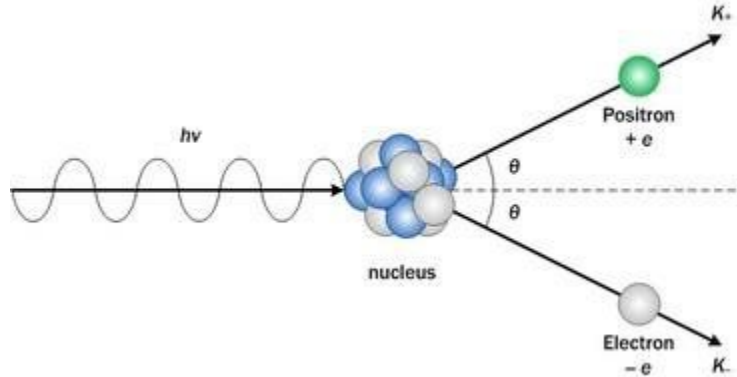
Disponível em:  
<[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7991461/mod\\_uresource/content/0/Notas](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7991461/mod_uresource/content/0/Notas)>

# Produção de Pares

Energia radiante



Massa de repouso e  $E_c$

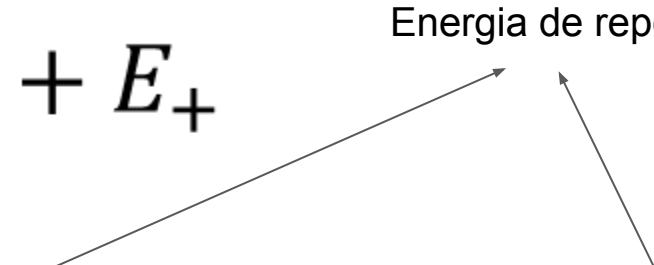


Pósitron: partícula com as mesmas propriedades do elétron, exceto o sinal de sua carga (e de seu momento magnético) que é oposto ao do elétron.

Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/figure/Figura-24-Producao-de-pares-Foton-interage-com-o-nucleo-atomico-gerando-um-par\\_fig3\\_284548136](https://www.researchgate.net/figure/Figura-24-Producao-de-pares-Foton-interage-com-o-nucleo-atomico-gerando-um-par_fig3_284548136)>

Na produção de pares, a conservação de energia:

$$h\nu = E_- + E_+$$
$$h\nu = (m_0c^2 + K_-) + (m_0c^2 + K_+)$$
$$h\nu = K_+ + K_- + 2m_0c^2$$


(1)

Energia de recuo do núcleo, após a interação, desprezível.

## Aspectos importantes:

$$K_+ > K_-$$



após a interação eletrostática com o núcleo, o pósitron sofre uma aceleração e o elétron uma desaceleração.

A PARTIR DAS LEIS DE CONSERVAÇÃO → fóton não pode desaparecer no espaço vazio, criando um par.

NÚCLEO PESADO → permite que a energia e momento linear sejam conservados.

FÓTON (carga nula) → conservação da carga elétrica (elétron e pósitron)

$$h \cdot \nu = K_+ + K_- + 2m_0c^2$$

energia mínima para o fóton “criar” o par

$$2m_{el\acute{e}tron}c^2 = 2 \cdot 9 \cdot 10^{-31}kg \cdot (3 \cdot 10^8m/s)^2 = 1,62 \cdot 10^{-13}J = 1,02 MeV$$

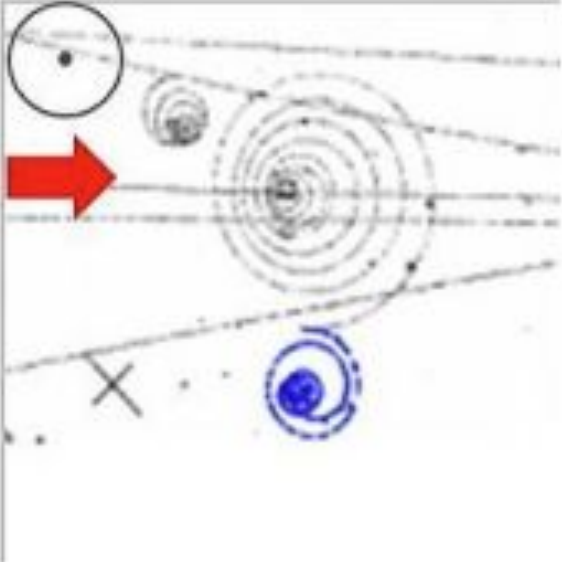
$$\text{Como, } E = h \cdot \nu \rightarrow E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{E} \rightarrow \lambda = 0,012\text{\AA}$$

**Caso o comprimento de onda seja menor que 0,012Å, ou seja, com energia maior que o valor limite (1,02 MeV), o fóton produz o par com certa energia cinética, além da energia de repouso.**

**OU SEJA, PARA QUE OCORRA O FENÔMENO DE PRODUÇÃO DE PARES, O FÓTON DEVE APRESENTAR ALTAS ENERGIAS, O QUE CORRESPONDE (DEVIDO À FAIXA DE COMPRIMENTO DE ONDA) À RADIAÇÃO NA FAIXA DE RAIOS X DE GRANDE ENERGIA OU RAIOS GAMA.**

Na Natureza, pares elétron-pósitron são produzidos por fótons de raios cósmicos e em laboratório por fótons de bremsstrahlung, obtidos com aceleradores de partículas.

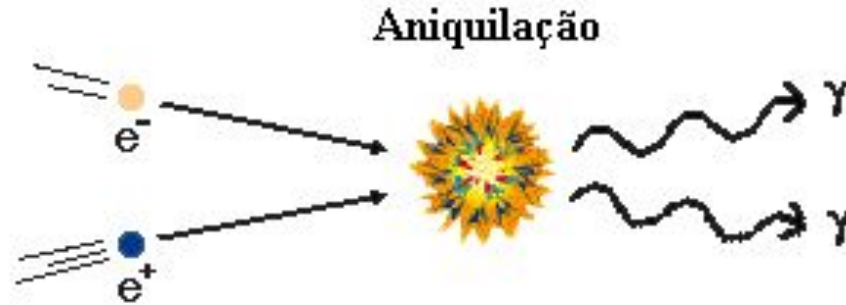
Pelo fato de elétron e pósitron terem a menor massa de repouso dentre as partículas conhecidas, sua energia de produção é a menor conhecida (fato confirmado pela teoria quântica e sequer mencionado pela teoria clássica).

	<b>Pósitrons (<math>e^+</math>)</b>	<p><b><u>Processo:</u> Produção de Pares</b></p> <p>Um fóton de alta energia interage com o núcleo atômico do gás que compõe a câmara de nuvem e produz um par elétron-pósitron.</p> <p><b><u>Traço característico:</u></b> trajetória destacada está curvada no sentido horário e com baixo raio de curvatura (+) vindo de nenhuma trajetória ionizada anteriormente (indicando a presença de partículas neutras, como é o caso do fóton.)</p>
--	-------------------------------------	---

# Consequências da descoberta

- Explicou a origem de uma discrepância entre a teoria da atenuação e os coeficientes de atenuação de vários materiais medidos para raios X de 2,6 MeV.
- Confirmação que foi dada à teoria quântica relativística do elétron, formulada por Dirac.

# Aniquilação de Pares



Disponível em:

<http://astro.if.ufrgs.br/evol/node42a.htm>

Conservação do momento linear:

$$0 = p_1 + p_2$$

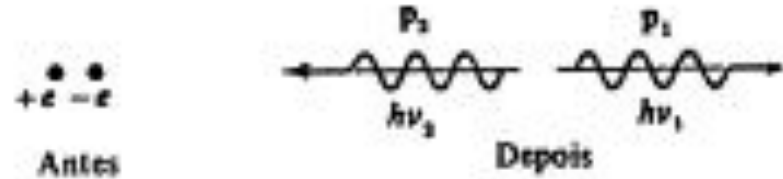
$$p_1 = -p_2$$

Em módulo:  $p_1 = p_2$

Ou, como  $p = \frac{h}{\lambda}$ :

$$\frac{h\nu_1}{c} = \frac{h\nu_2}{c}$$

$$\nu_1 = \nu_2 = \nu$$



Extraído de Física Quântica - Eisberg e Resnick (1979)

# Conservação da energia total relativística

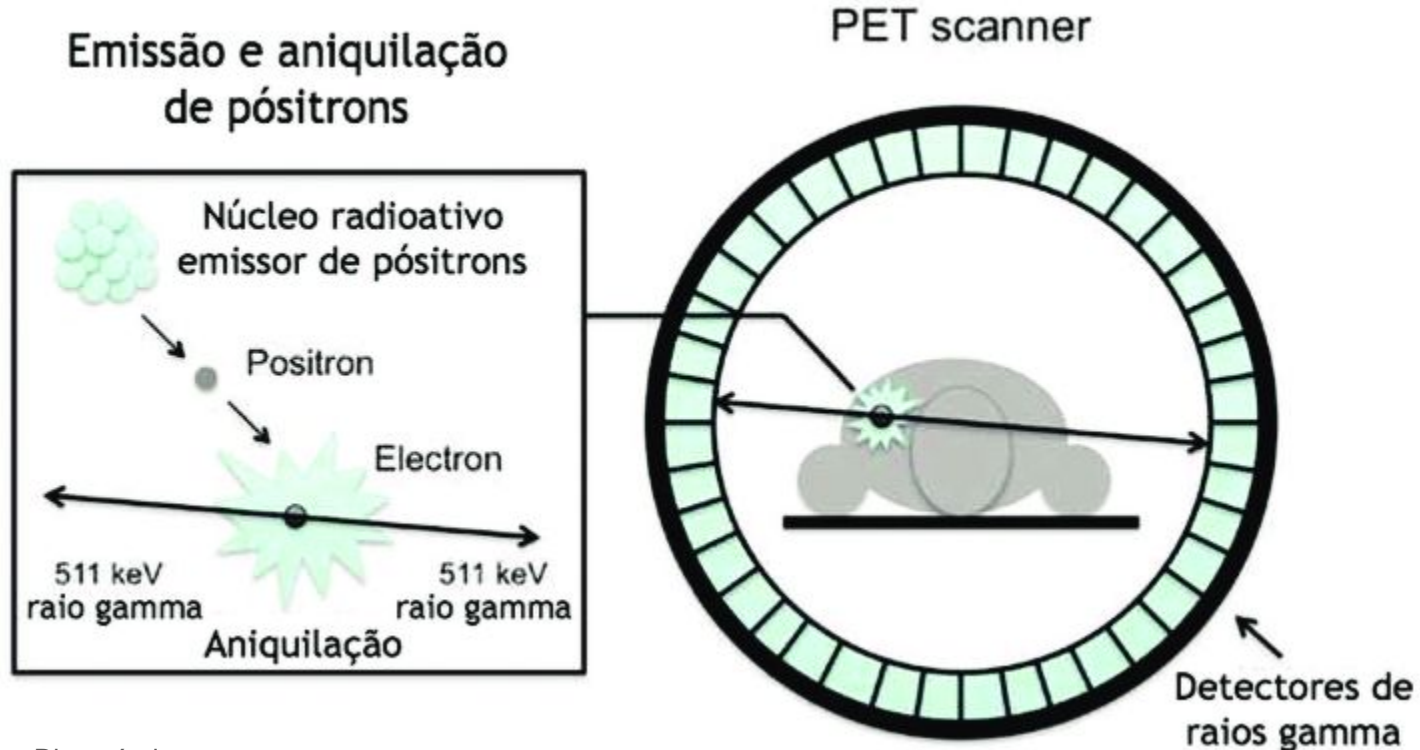
$$m_0c^2 + m_0c^2 = h.\nu + h.\nu$$

$$h.\nu = m_0c^2 = 0,51MeV \rightarrow \lambda = 0,024\text{\AA}$$

(no caso acima a energia cinética inicial é considerada nula ou desprezível)

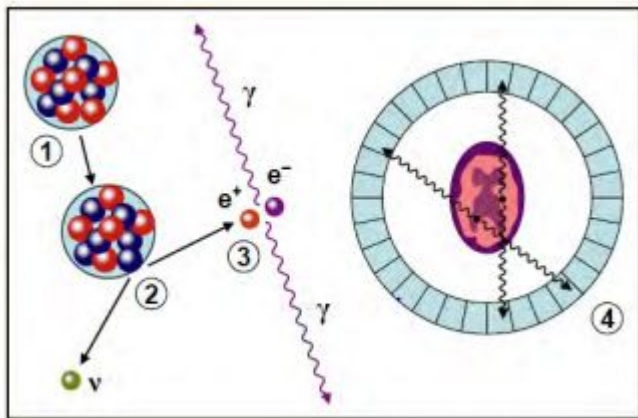
# Aplicação - PET Scan

*Positron Emission Tomography*



Disponível em:

[https://www.researchgate.net/figure/Figura-24-Esquema-de-funcionamento-de-um-aparelho-de-Tomografia-por-Emissao-de-Positrons\\_fig5\\_352824947](https://www.researchgate.net/figure/Figura-24-Esquema-de-funcionamento-de-um-aparelho-de-Tomografia-por-Emissao-de-Positrons_fig5_352824947)



Os núcleos radioativos como carbono-11 (ou fluor-18), decaem por emissão de neutrino e pósitrons, o qual aniquila com o elétron produzindo duas emissões de raios gama de 511 keV cada. Em um PET, o paciente é rodeado por um anel de detectores fixos, que detectam raios gama produzidos pela aniquilação do par elétron-pósitron e, assim, a imagem tridimensional dos processos funcionais no corpo pode ser construída.

Disponível em: <<http://ami.iop.org>>



Disponível em:  
<<https://draflaviasalame.com/exames/pet-ct-ou-pet-scan/>>

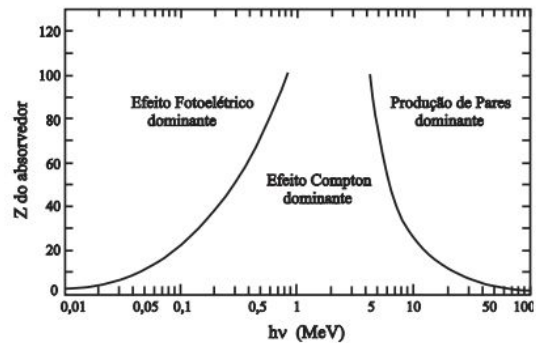


Figura 3.7 - Importância relativa dos diversos processos de interação dos fótons com a matéria em função da energia do fóton e do número atômico do material.

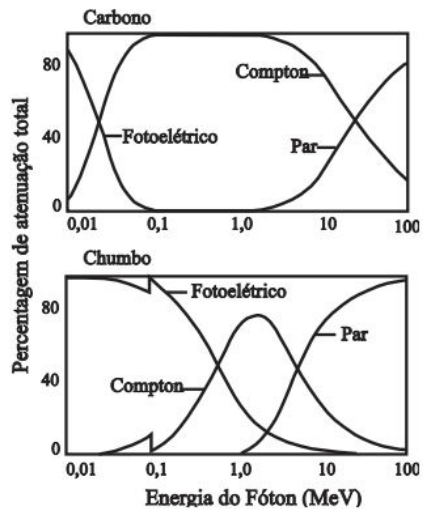


Figura 3.8 - Probabilidade relativa de diferentes efeitos para fótons de diferentes energias no carbono e no chumbo.

# Referências bibliográficas

EISBERG, R.; RESNICK, R. “**Física Quântica**”.

BECHARA, M. “Notas de aula” <[link de acesso](#)>

MUNHOZ, M. “Notas de aula” <[link de acesso](#)>