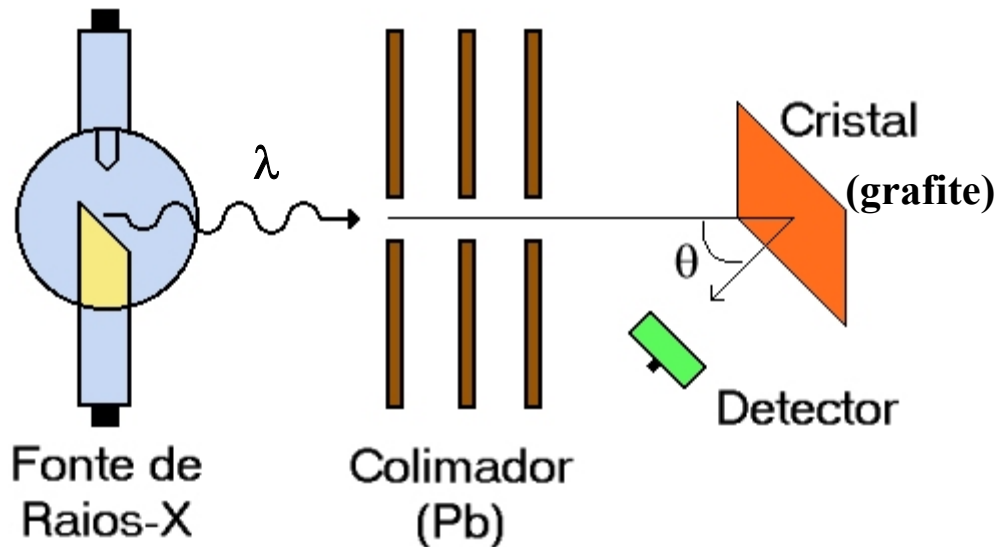


EFEITO COMPTON

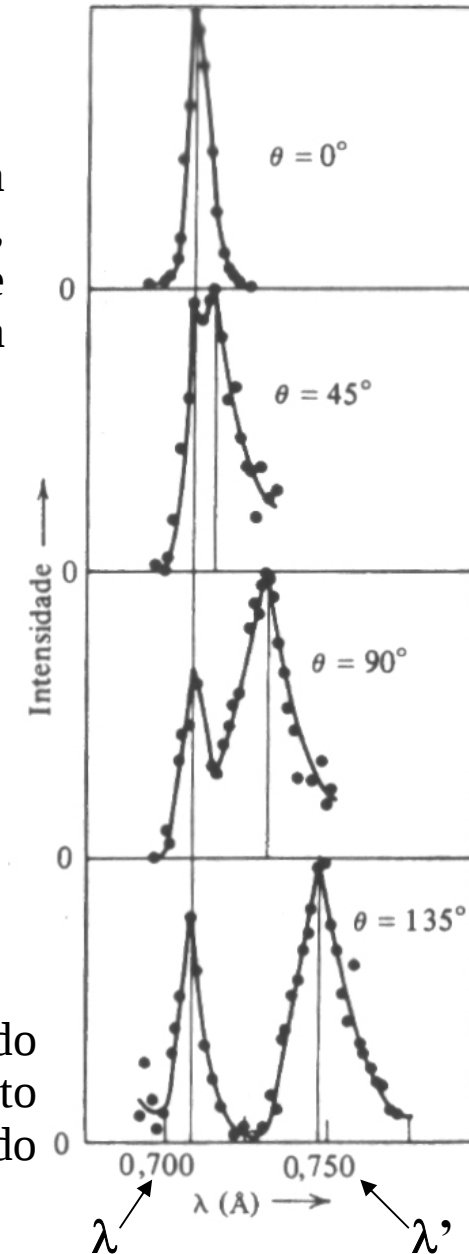
J.R. Kaschny

Os Experimentos de Compton

Das diversas interações da radiação com a matéria, um destaque especial é dado ao efeito, ou espalhamento, Compton - Arthur Holly Compton (1923, Nobel 1927), que confirma dramaticamente a natureza corpuscular da radiação eletromagnética (fóton).



O efeito Compton consiste no surgimento de um segundo pico (raios X espalhados) devido a raios X com comprimento de onda $\lambda' \neq \lambda$, ($\lambda' > \lambda$) onde $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ é chamado deslocamento Compton.



Interpretação dos Resultados

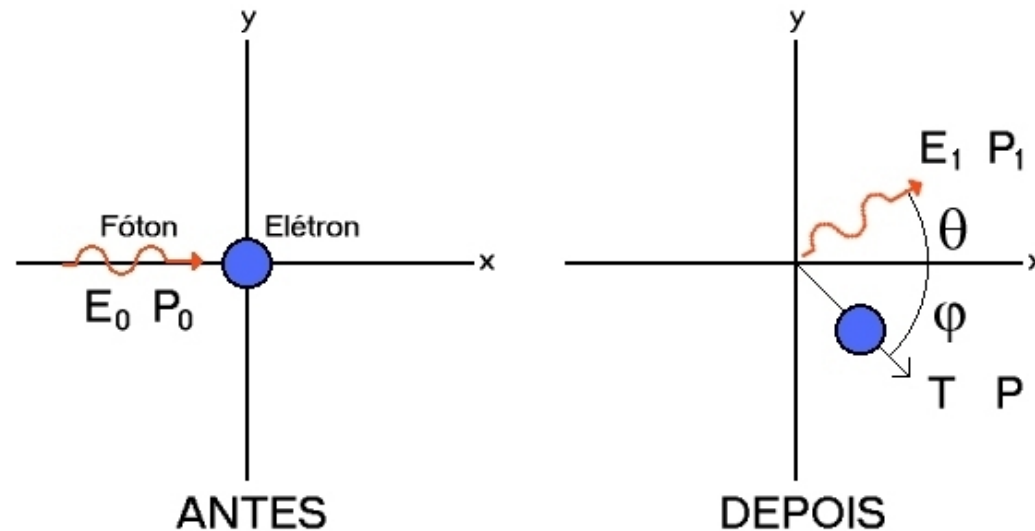
A presença de um segundo comprimento de onda no feixe espalhado não pode ser compreendidas se os raios X forem encarados como ondas eletromagnéticas (clássica). Neste caso o campo elétrico da onda incidente, de frequência $\nu = c/\lambda$, faria com que os elétrons do material oscilassem nesta mesma frequência e, portanto, a onda espalhada deveria ter o mesmo comprimento de onda.

Compton e independentemente Debye, interpretaram os resultado experimentais postulando que o feixe de raios X incidente não era uma onda de frequência ν , mas um conjunto de fótons, cada um com energia

$$E = h\nu,$$

e que esses fótons colidiam com os elétrons livres do material da mesma forma que bolas de bilhar.

Tal situação é completamente distinta da que ocorre com o chamado espalhamento **Thomson**, que de fato compete com o espalhamento **Compton**, onde a radiação espalhada possui a mesma frequência que a radiação incidente. O espalhamento Thomson pode ser explicado detalhadamente via a teoria eletromagnética (clássica).



A conservação de momento exige que:

$$\begin{array}{cc} \text{[direção x]} & \text{[direção y]} \\ \mathbf{P_0} = \mathbf{P_1} \mathbf{Cos\theta} + \mathbf{P} \mathbf{Cos\varphi} & \text{e} \quad \mathbf{P_1} \mathbf{Sen\theta} = \mathbf{P} \mathbf{Sen\varphi} \end{array}$$

Manipulando estas expressões, obtemos:

$$(\mathbf{P_0} - \mathbf{P_1} \mathbf{Cos\theta})^2 = \mathbf{P}^2 \mathbf{Cos}^2 \varphi \quad \text{e} \quad \mathbf{P_1}^2 \mathbf{Sen}^2 \theta = \mathbf{P}^2 \mathbf{Sen}^2 \varphi$$

Somando ambas as expressões, temos:

$$\mathbf{P}^2 = \mathbf{P_0}^2 + \mathbf{P_1}^2 - 2\mathbf{P_0} \mathbf{P_1} \mathbf{Cos\theta}$$

A conservação de energia exige que:

$$\mathbf{E}_0 + \mathbf{m}_0 \mathbf{c}^2 = \mathbf{E}_1 + \mathbf{T} + \mathbf{m}_0 \mathbf{c}^2 \quad \Rightarrow \quad \mathbf{E}_0 - \mathbf{E}_1 = \mathbf{T}$$

onde m_0 é a massa de repouso do elétron.

Da relação relativística entre energia ε e o momento p :

$$\varepsilon^2 = c^2 p^2 + (m_f c^2)^2$$

obtemos para um fóton (massa de repouso $m_f = 0$) as relações:

$$\varepsilon = pc \qquad p = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

assim temos:

$$c(P_0 - P_1) = T$$

Das expressões relativísticas para um elétron de momento P e energia E :

$$\mathbf{mc}^2 = T + \mathbf{m}_0\mathbf{c}^2 \quad \text{e} \quad E^2 = (\mathbf{mc}^2)^2 = \mathbf{c}^2\mathbf{P}^2 + (\mathbf{m}_0\mathbf{c}^2)^2$$

temos:

$$(\mathbf{T} + \mathbf{m}_0\mathbf{c}^2)^2 = \mathbf{c}^2\mathbf{P}^2 + (\mathbf{m}_0\mathbf{c}^2)^2 \quad \text{ou} \quad \frac{\mathbf{T}^2}{\mathbf{c}^2} + 2\mathbf{Tm}_0 = \mathbf{P}^2$$

Aplicando este resultado na equação $\mathbf{P}^2 = \mathbf{P}_0^2 + \mathbf{P}_1^2 - 2\mathbf{P}_0\mathbf{P}_1\text{Cos}\theta$, que foi previamente obtida, e usando $\mathbf{c}(\mathbf{P}_0 - \mathbf{P}_1) = \mathbf{T}$, temos:

$$(\mathbf{P}_0 - \mathbf{P}_1)^2 + 2\mathbf{m}_0(\mathbf{P}_0 - \mathbf{P}_1) = \mathbf{P}_0^2 + \mathbf{P}_1^2 - 2\mathbf{P}_0\mathbf{P}_1\text{Cos}\theta$$

$$\Rightarrow \quad \mathbf{m}_0\mathbf{c}(\mathbf{P}_0 - \mathbf{P}_1) = \mathbf{P}_0\mathbf{P}_1(1 - \text{Cos}\theta)$$

portanto:

$$\left(\frac{1}{\mathbf{P}_1} - \frac{1}{\mathbf{P}_0} \right) = \frac{1}{\mathbf{m}_0\mathbf{c}}(1 - \text{Cos}\theta)$$

$$\left(\frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_0} \right) = \frac{1}{m_0 c} (1 - \cos \theta)$$

Multiplicando ambos os termos da expressão anterior por h e lembrando da relação entre momento e comprimento de onda do fóton, $p = h / \lambda$, obtemos finalmente a relação:

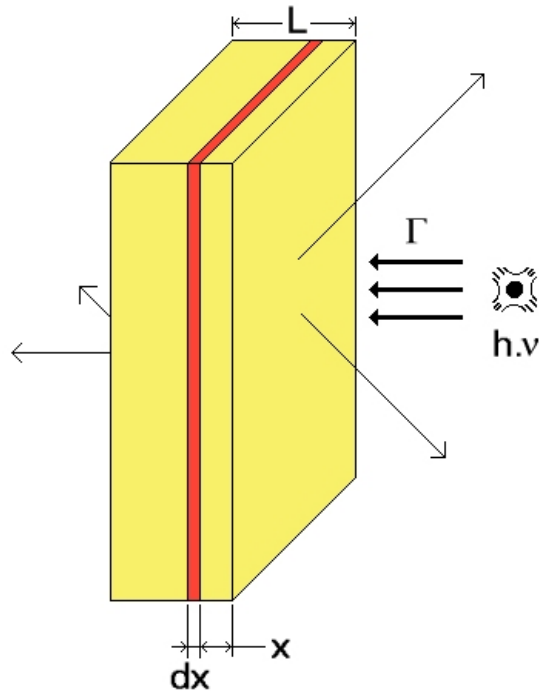
$$\Delta \lambda = \lambda_1 - \lambda_0 = \lambda_C (1 - \cos \theta)$$

onde:

$$\lambda_C = \frac{h}{m_0 c} = 0.02426 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

é o chamado comprimento de onda Compton do elétron.

Probabilidade de Ocorrência



Quando incidimos luz (radiação eletromagnética / fótons) sobre um material, um grande numero de fenômenos podem ocorrer simultaneamente. Os fótons podem ser espalhados, transmitidos ou absorvidos, provocando por exemplo efeito fotoelétrico, efeito Compton, etc

No caso específico do efeito Compton, o numero de fótons, N , espalhados com comprimento de onda $\lambda + \Delta\lambda$ será proporcional a intensidade do feixe incidente, Γ , e ao numero de átomos por unidade de volume, ρ (densidade do material), ou seja, $N = \sigma \cdot \Gamma \cdot \rho$. Sendo Ω o angulo solido de detecção, com a respectiva seção de choque, σ , dada por:

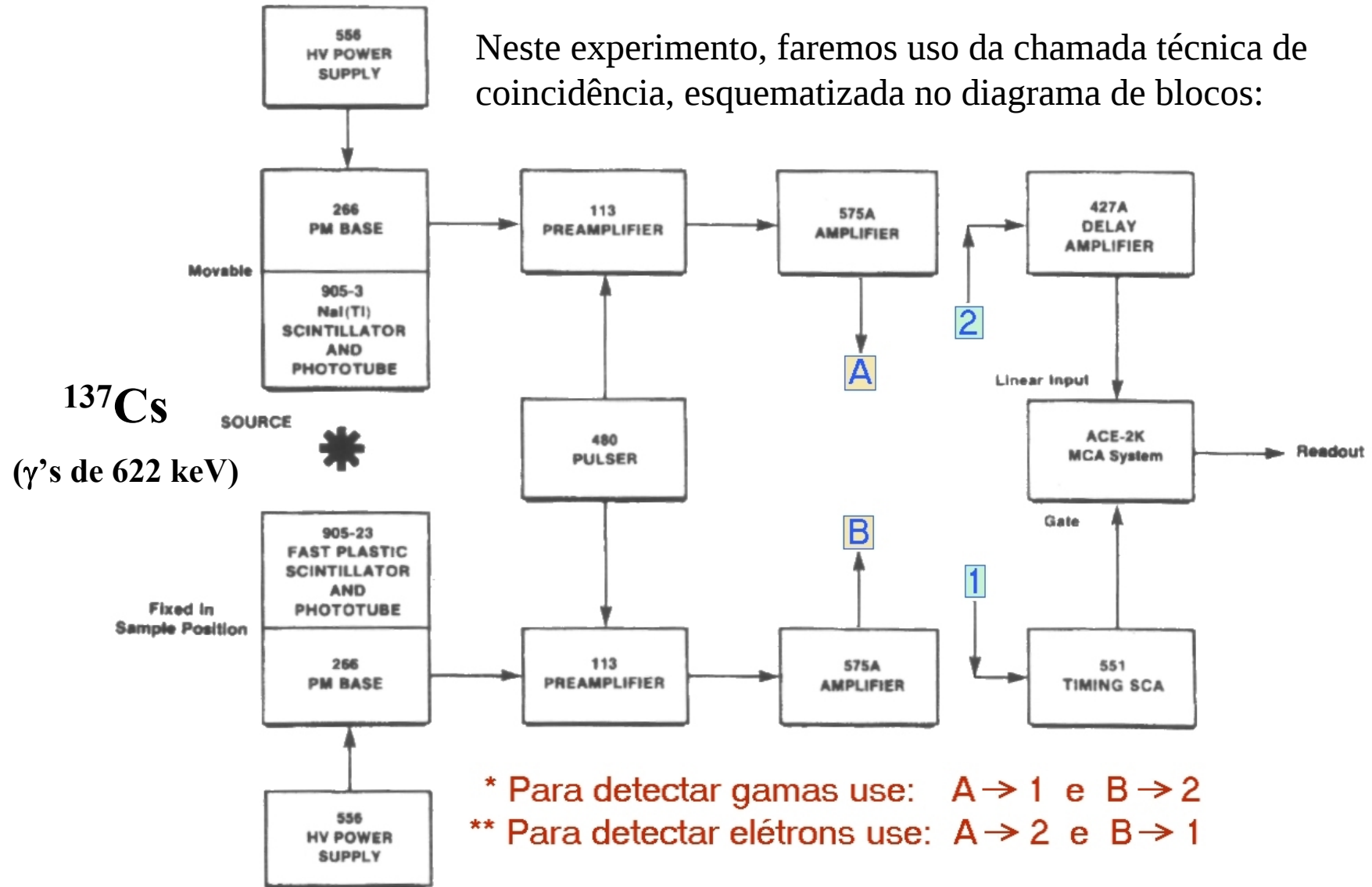
$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right) = \frac{r_0^2}{2} \left\{ \frac{1 + \cos^2\theta}{[1 + \alpha(1 - \cos\theta)]^2} \right\} \times \left\{ 1 + \frac{\alpha^2(1 - \cos\theta)^2}{[1 + \cos^2\theta][1 + \alpha(1 - \cos\theta)]} \right\}$$

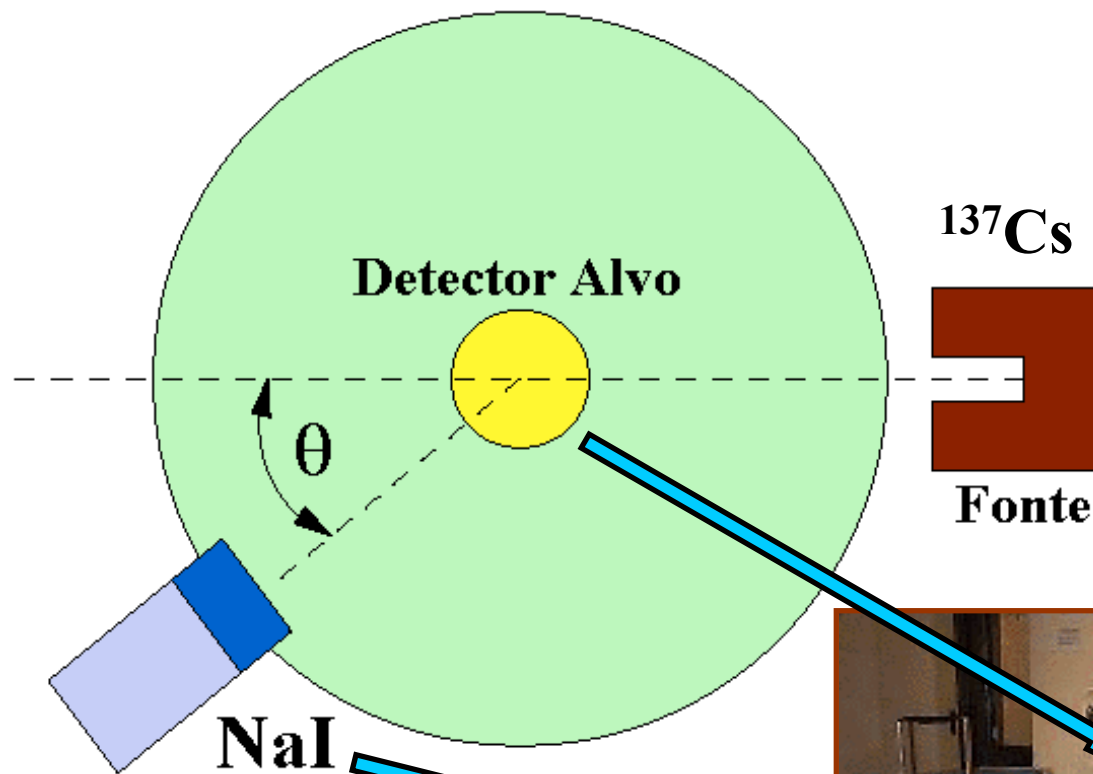
onde:

$$r_0 = 2.82 \times 10^{-13} \text{ cm} \quad \text{raio clássico do elétron}$$

$$\alpha = h.v/m_0.c^2 \quad (v = c/\lambda)$$

Atividade Experimental



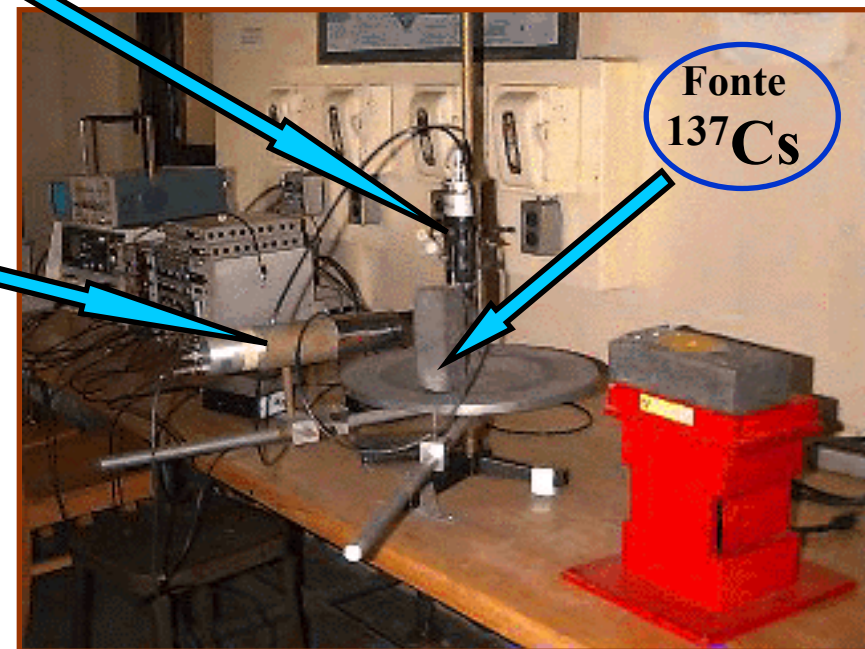


Cintilador Plástico: Adequado para detectar os elétrons, ou seja, determinar as respectivas energias de recuo.

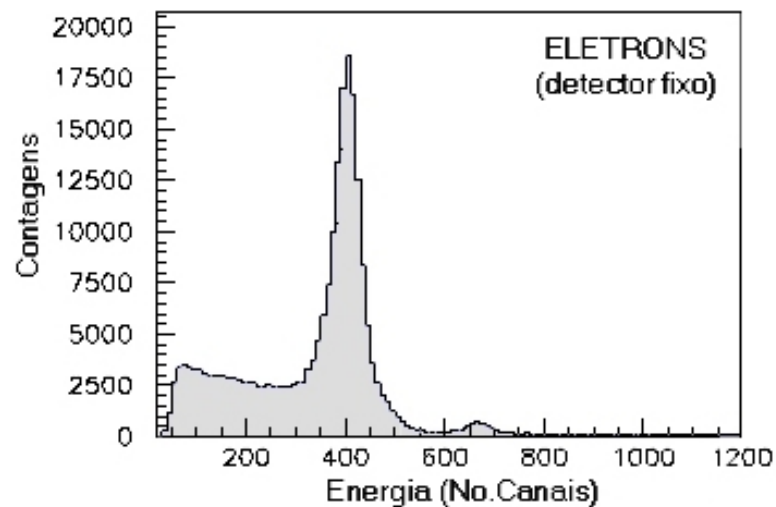
Cintilador de NaI: Adequado para detectar as radiações γ 's, determinando suas energias.

→ A fotomultiplicadora com cintilador plástico, serve tanto para detectar os elétrons quanto como alvo espalhador.

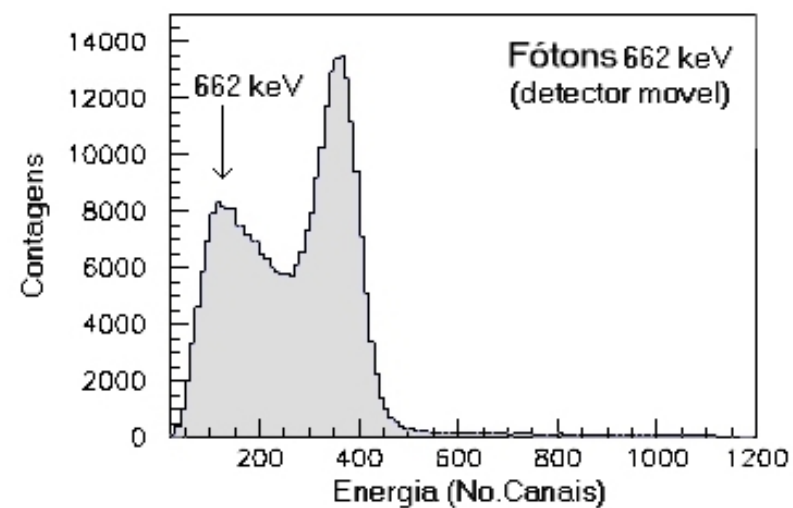
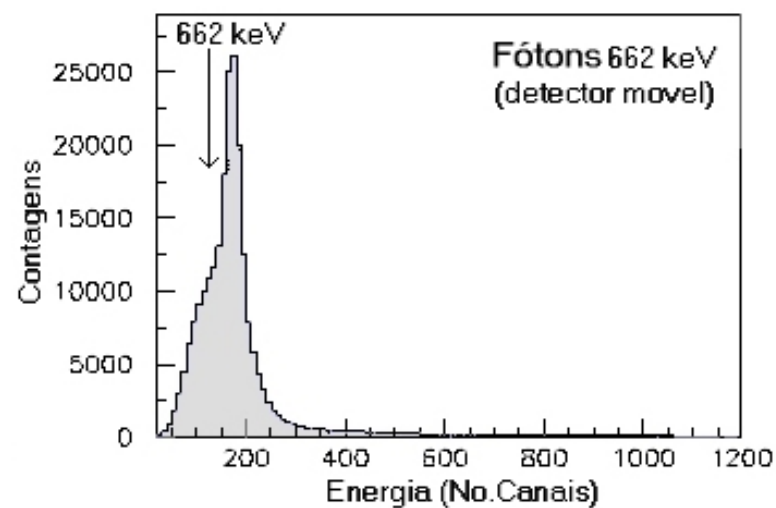
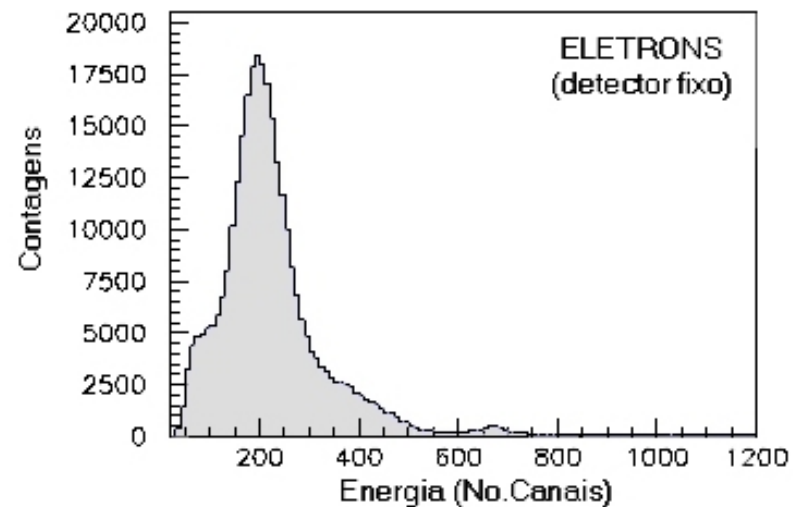
→ A fotomultiplicadora com cintilador de NaI é movel, formando um ângulo θ com o feixe incidente.



$\theta = 60^\circ$



$\theta = 120^\circ$



Referencias Bibliográficas

- Física Quântica, R. Eisberg e R. Resnick.
- Fundamentos da Física Moderna, R. Eisberg.
- Experiments in Nuclear Physics, manual de laboratório da EG&G/ORTEC (AN34), disponível para download em www.ortec-online.com