

Avaliação de materiais atenuadores: modelo para a distribuição da radiação espalhada

Paulo R. Costa¹, Linda V. E. Caldas²

¹ Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP - IEE/USP

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - CEP 05508-900 - São Paulo - SP

http://www.iee.usp.br - Tel. (011) 818-4816 - Fax (011) 210-7750 - pcosta@iee.usp.br

² Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN

Travessa R, 400 - CEP 05508-900 - São Paulo - SP

Tel. (011) 816-9118 - Fax (011) 816-9117

Resumo - O presente trabalho introduz um modelo matemático para o comportamento da distribuição de fótons espalhados por meios atenuadores. Estes meios podem ser barreiras radioprotetoras ou materiais atenuadores utilizados em ensaios ou programas de controle de qualidade em radiologia. São apresentados resultados comparativos para Lucite.

Abstract - This work introduces a mathematical model for the behaviour of the distribution of photons scattered by attenuating media. These media can be shielding barriers or attenuating materials used in tests or quality control programs in radiology. Comparative results for Lucite are presented.

Introdução

Os materiais utilizados na composição de dispositivos para proteção radiológica devem ter propriedades de absorção e espalhamento que maximizem a absorção dos fótons que incidem sobre a superfície da barreira. Por outro lado, materiais utilizados como atenuadores em ensaios em laboratório ou programas de controle de qualidade devem possuir propriedades de espalhamento conhecidas, de modo a possibilitar a extração das informações necessárias a estas propostas.

O presente trabalho apresenta, inicialmente, um modelamento matemático que permite prever a distribuição dos fótons de radiação espalhada como função do ângulo de espalhamento, resultantes da interação de feixes tipicamente utilizados na área radiológica, com materiais de diferentes composição e números atômicos. Em seguida, resultados de simulações deste modelo são comparados a resultados experimentais.

Metodologia

O trabalho proposto introduz um modelo para a previsão da quantidade de radiação espalhada em diferentes ângulos resultantes da interação de um feixe estreito com um material atenuador. Tomando um elemento de volume Adz dentro de uma barreira espalhadora de espessura x e um detector de radiação de área dr^2 posicionado em um ângulo θ em relação à direção do feixe incidente (Figura 1), a quantidade de fótons espalhados que atingem o detector é dada por:

$$H(\theta) = \frac{r_0^2}{2} n_e A \int_0^{E_{\max}} \int_{-\infty}^x N(E) E e^{-\mu_{\text{tot}}(x-z)} e^{-\mu_{\text{tot}}z \sec \theta} \times (1 + \cos^2 \theta) F_{\text{KN}}(E, \theta) S(E, \theta, Z) dz dE \dots (\text{Eq. 1})$$

onde $N(E)$ é o número de fótons incidentes por unidade de energia (espectro), r_0 é o raio clássico do elétron, n_e é a densidade eletrônica do material, x é a espessura da amostra em questão, A é a área da seção transversal do feixe incidente, μ_{tot} é o coeficiente de atenuação linear total do material, F_{KN} é a equação de Klein-Nishina parametrizada de acordo com a geometria em questão e $S(E, \theta, Z)$ é a função de espalhamento incoerente, sendo Z o número atômico efetivo do material. Os parâmetros θ , z , s e r estão apresentados na Fig. 1 e são relacionados pela expressão $\theta = \text{tg}^{-1}[r/(z+s)]$.

Resultados Comparativos

Simulações: O modelo descrito na Eq. 1 foi simulado utilizando o programa Mathcad 5.0 (MathSoft Inc.). A distribuição espectral para diversas combinações de potencial aplicado e filtrações utilizadas em radiologia diagnóstica foram obtidas implementando-se o modelo semi-empírico de TBC¹. Este modelo permite o cálculo da distribuição espectral de fótons referentes ao *bremsstrahlung* e à radiação característica emitida por tubos de raios-X de uso em radiodiagnóstico. A qualidade deste modelo na representação do espectro utilizado na etapa experimental deste trabalho foi avaliada por Costa e col.².

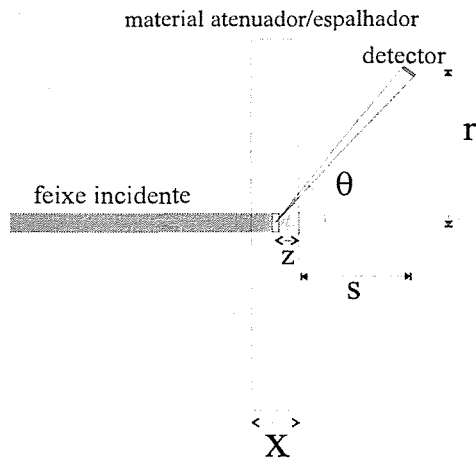


Figura 1 - Geometria utilizada para avaliação do modelo de espalhamento

Os coeficientes de atenuação total dos materiais utilizados nas simulações foram extraídos de Higgins e col.³ e de Jennings⁴. No caso de materiais compostos, os coeficientes foram obtidos a partir das composições elementares apresentadas na referência 3. Valores da função de espalhamento inelástico foram obtidos de Hubbel e col.⁵. As condições geométricas (parâmetros s , x e θ) foram escolhidas de acordo com as condições experimentais descritas a seguir.

Experimentos: As medições da fração de espalhamento foram obtidas para diferentes espectros (potencial aplicado vs filtração). As medições foram realizadas utilizando câmaras de ionização Radcal 10x5-6 e 10x5-1800 acopladas a monitores de radiação Radcal modelos 1515 e 9015 respectivamente. O feixe de radiação-X foi gerado através do equipamento emissor do Laboratório de Ensaios em Equipamentos Eletromédicos do IEE/USP, acionado sob condições semelhantes às estipuladas na implantação do modelo de TBC. A Fig. 2 apresenta resultados das simulações e do experimento utilizando Lucite ($C_5H_8O_2$) como meio espalhador. Este material foi escolhido segundo suas características de atenuação, bem como pelo conhecimento de sua composição química, esta última necessária para a geração de tabelas para os coeficientes de atenuação. Não foram utilizados materiais típicos de aplicações em radioproteção por estes não terem suas composições químicas conhecidas. Esta última limitação do modelo é tratada na referência 6.

Discussão

A comparação entre os resultados da fração de espalhamento obtidos teórica e experimentalmente mostraram boa concordância, conforme se pode notar pela Fig. 2. Esta concordância respalda a viabilidade de aplicação do modelo desenvolvido para a avaliação das

propriedades de espalhamento de materiais atenuadores. Com isto, pode-se chegar a configurações otimizadas de barreiras protetoras, reduzindo-se custos de instalação, ou ainda prever o comportamento da radiação espalhada por meios atenuadores necessários para a realização de testes de conformidade em equipamentos eletromédicos.

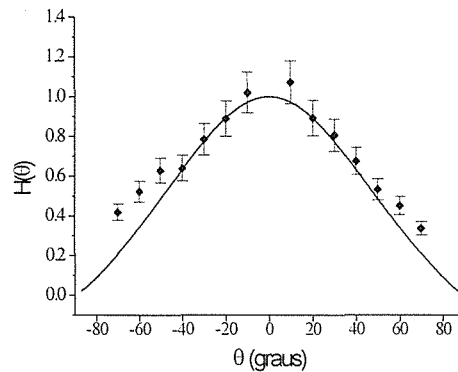


Figura 2 - Resultados comparativos entre o modelo teórico (curva contínua-normalizada) e os valores obtidos experimentalmente (pontos normalizados) - Material estudado: Lucite

Referências

- TUCKER, D.M.; BARNES, G.T.; CHAKRABORTY, D.P.- "Semiempirical Model for Generating Tungsten Target X-ray Spectra". *Medical Phys.*, **18**(2):211-218, 1991.
- COSTA, P.R.; TERINI, R.A.; FURQUIM, T.A.C.; HERDADE, S.B. - "Espectros de Raios-X Medidos com Fotodiodos PIN: Estudo Comparativo". Trabalho submetido ao III FNCTS, 1996.
- HIGGINS, P.D.; ATTIX, F.H.; HUBBEL, J.H.; SELTZER, S.M.; BERGER, M.J.; SIBATA, C.H. - "Mass Energy-transfer and Mass Energy-Absorption Coefficients, Including In-flight Positron Annihilation for Photon Energies 1 keV to 100 MeV. US Dep. of Commerce/NISP, Pub.4812, 1992.
- JENNINGS, R. - Programa para cálculo do coeficiente de atenuação de massa - CDRH/FDA-comunicação particular, 1991.
- HUBBEL, J.H.; VEIGELE, W.J.; BRIGGS, E.A.; BROWN, R.T.; CROMER, D.T.; HOWERTON, R.J. - "Atomic Form Factors, Incoherent Scattering Functions and Photon Scattering Cross Sections". *J.Phys.Chem.Ref.Data* **4**(3):471-494, 1975.
- COSTA, P. R.; CALDAS, L.V.E. - "Características de Espalhamento de Materiais Utilizados em Radioproteção". Trabalho submetido ao III FNCTS, 1996.