



P

ROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÕES
NA COMUNIDADE DOS PAÍSES
DE LÍNGUA PORTUGUESA

Luis Neves (coord.)

IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
2018

**CONSTRUÇÃO E ESTUDO DE UM DETETOR DE
CINTILAÇÃO PARA MEDIDAS DE ATIVIDADE DE FONTES
NATURAIS EXTENSAS**

**CONSTRUCTION AND STUDY OF A SCINTILLATION
DETECTOR FOR ACTIVITY MEASUREMENT OF EXTENDED
NATURAL SOURCES**

P. BRASIL – brasilpedro1980@live.com.pt (Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Física)

L. PERALTA – luis@lip.pt (Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Física e Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas)

PALAVRAS-CHAVE: Detetor de cintilação, Radioatividade natural, Fontes radioativas extensas.

RESUMO: Neste estudo foi realizada a construção de um detetor de cintilação, com um cristal de NaI:Tl lido por um fotomultiplicador. Para o estudo e determinação da atividade de uma fonte extensa recorreu-se à utilização de cloreto de potássio. Nesta experiência, uma massa de 7,50 kg de cloreto de potássio foi misturada com areia do rio (numa proporção de 1:5). A eficiência de deteção da radiação gama do nuclideio ^{40}K foi obtida por simulação Monte Carlo, permitindo obter um valor de actividade medida. Este estudo visa estabelecer alguns procedimentos experimentais e computacionais que permitam a determinação da atividade por

unidade de massa de fontes radioativas extensas de grandes dimensões.

KEYWORDS: Scintillation detector, Natural radioactivity, Large radioactive sources.

ABSTRACT: In this study a scintillation detector was constructed using a NaI:Tl crystal read by a photomultiplier. For the study and determination of the activity of an extended source potassium chloride was used. In this experiment, a mass of 7.50 kg of potassium chloride was mixed with river sand (in a 1:5 ratio). The radiation detection efficiency for ^{40}K gamma-rays was obtained by Monte Carlo simulation, allowing the determination of the source activity value. This study aims to establish some experimental and computational procedures to determine the activity per unit mass of (large) extended radioactive sources.

1. INTRODUÇÃO

São inúmeras as situações em que somos confrontados com fontes radioativas naturais extensas, quer sejam depósitos de urânio ou tório existentes no solo ou em minas quer seja a radioatividade no ar devida ao radão e seus descendentes. A determinação ou estimativa da atividade destas fontes não é trivial afigurando-se geralmente uma tarefa complicada, quer do ponto de vista físico quer instrumental. Devido a estas questões alguns autores apresentam os seus resultados em valores de contagem por unidade de tempo e não em termos de atividade. Isto leva a que apenas seja possível a intercomparação entre estudos em que sejam utilizados os mesmos equipamentos e, por vezes, em que subsistam as mesmas condições, o que constitui uma evidente limitação.

No caso geral a determinação da atividade de uma fonte extensa vai depender de múltiplos factores como sejam a geometria da fonte, posição relativa detetor-fonte, absorção da radiação no material entre a fonte e o detetor, geometria do detetor, materiais usados no detetor, etc.

2. MÉTODOS

Neste estudo procedeu-se à construção de um detetor de cintilação, constituído por um cristal cilíndrico de NaI:Tl de $7,6 \times 7,6$ cm² lido por um fotomultiplicador R1307 da Hamamatsu. O conjunto foi colocado numa caixa de PVC construída de forma a ser estanque à humidade. A saída do fotomultiplicador foi ligada a um amplificador NIM (Ortec 575A), sendo a aquisição de dados efetuada por um multicanal MC8000A da Amptek.

Utilizou-se o programa de Monte Carlo Penelope (Sempau et al. 1997) para simular a deteção da radiação gama pelo detetor de cintilação. Para a realização da simulação procurou-se fazer uma representação tão realista quanto possível do detetor e fontes utilizadas, quer quanto à descrição geométrica quer no que diz respeito aos materiais que os constituem. Relativamente ao detetor foram utilizados os materiais NaI e PVC pré-existentes na base de dados de materiais do Penelope. Já para as fontes radioativas extensas foram criados materiais específicos utilizando a ferramenta disponibilizada no programa Penelope para esse efeito.

Para o estudo e determinação da atividade de fontes extensas criaram-se duas situações distintas, em que se utiliza cloreto de potássio (KCl) como fonte radioativa. O potássio natural contém o isótopo radioactivo ⁴⁰K numa abundância de 0,0117%, cujo tempo de meia-vida é de $1,277 \times 10^9$ ano e apresenta um fotão de 1460 keV em 11% dos decaimentos (Chu e tal. 1999). Para um primei-

ro cenário, construiu-se uma fonte homogênea constituída por $2,600 \pm 0,005$ kg de cloreto de potássio colocados num contentor cilíndrico com $24,0 \pm 0,2$ cm de diâmetro. O detetor foi inserido num orifício aberto no centro da massa de KCl ficando a região onde se encontra o cristal cintilador completamente coberta pela fonte radioativa.



Figura 1. Fotografia do contentor com uma mistura de areia do rio e cloreto de potássio, onde foi colocado o detetor de NaI:TI.

Uma segunda fonte radioativa extensa foi construída a partir de uma mistura homogeneizada de $(37,24 \pm 0,01)$ kg de areia de rio com $(7,45 \pm 0,01)$ kg de cloreto de potássio. A mistura foi colocada num contentor de forma aproximadamente cilíndrica sendo o detetor colocado num orifício circular aberto no centro da massa da mistura. O contentor apresenta um diâmetro médio de $(40,5 \pm 0,5)$ cm tendo o detetor sido colocado a uma profundidade de $(22,7 \pm 0,5)$ cm da superfície da mistura. Na simulação Monte Carlo para a areia usou-se a seguinte composição química aproximada: SiO₂ 94% e CaO 6%. As densidades dos vários materiais foram medidas no nosso laboratório tendo-se obtido os seguintes valores médios: areia $(1,56 \pm 0,01)$ g/cm³, mistura de areia e cloreto de potássio $(1,25 \pm 0,01)$ g/cm³, cloreto de potássio $(0,93 \pm 0,01)$ g/cm³.

Das simulações Monte Carlo de cada um dos cenários é possível extrair a eficiência de detecção, que permite obter em conjunto com os dados experimentais as atividades presentes em cada uma das situações. A eficiência de detecção é definida como a razão entre o número de eventos aceitos no fotopico de 1460 keV pelo número total de eventos simulados. Para a determinação do número de eventos no fotopico estabeleceu-se uma região de interesse (ROI) de quatro desvios padrão à esquerda e à direita do centroide do pico.

De forma a compreender o comportamento do valor medido da atividade por unidade de massa (atividade específica) realizou-se um estudo por simulação Monte Carlo de uma fonte extensa quando o seu volume tende para infinito.

3. RESULTADOS

No caso da fonte cilíndrica contendo apenas KCl calculou-se por simulação Monte Carlo que a eficiência de detecção para a situação experimental seria de $(0,152 \pm 0,003)\%$ estando neste valor incluído o efeito da auto-absorção da radiação na massa de KCl. O valor da atividade A devido ao decaimento do ^{40}K da massa m_{KCl} de cloreto de potássio utilizado pode ser calculado a partir de (Turner 2007)

$$A = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \cdot \frac{m_{\text{KCl}} \cdot B}{A_{\text{KCl}}} N_A \quad (1)$$

onde $T_{1/2}$ é o tempo de meia-vida do ^{40}K , A_{KCl} a massa molar do cloreto de potássio, B a abundância do isótopo ^{40}K e N_A a constante de Avogadro. Por outro lado a atividade da fonte pode ser obtida a partir do valor do número de contagens medido por unidade de tempo n na região do fotopico a partir da expressão (Duggan 1987)

$$A = \frac{n}{\varepsilon} \quad (2)$$

em que ε é a eficiência global de detecção, estando neste valor incluídos todos os fatores físicos envolvidos na detecção da radiação gama de 1460 keV por este detetor. A atividade calculada a partir da equação (1) para os 2,600 kg de KCl foi de 42,2 kBq. O valor medido da atividade obtido com base na equação (2) foi de $(41,3 \pm 0,5)$ kBq, apresentado assim apenas um desvio de 2% relativamente ao valor calculado com base na massa de KCl.

No caso do contentor com a mistura de areia com KCl usou-se igualmente a equação (1) para se calcular a atividade presente devido ao isótopo ^{40}K tendo-se obtido o valor de 121 kBq. Para este caso a eficiência global de detecção calculada por simulação foi de $(0,0354 \pm 0,002)\%$ tendo-se obtido um valor de (117 ± 5) kBq para o valor medido da atividade, portanto apresentando um desvio de 3% para o valor calculado.

Analisando a equação (2) verificou-se que no caso de uma fonte extensa homogénea de densidade ρ e volume V pode-se rescreve-la como

$$\frac{A}{V\rho} = \frac{n}{\varepsilon V\rho} \quad (3)$$

onde o termo do lado esquerdo da equação representa a atividade específica.

Foram então realizadas várias simulações Monte Carlo de uma fonte de areia misturada com KCl na proporção de 5:1 em que o volume da fonte foi aumentado sucessivamente. O resultado obtido do produto εV em função do volume da fonte é apresentado na Figura 2, onde se pode inferir que para fontes de dimensões apreciavelmente grandes o valor εV tende para uma constante. Nesta situação (fonte extensa homogénea de volume a tender para

Referências

- J. Sempau, E. Acosta, J. Baro, J.M. Fernandez-Varea and F. Salvat (1997), An algorithm for Monte Carlo simulation of the coupled electron-photon transport, Nuclear Instruments and Methods B 132 pp. 377-390
- S.Y.F. Chu, L.P. Ekström and R.B. Firestone (1999), The Lund/LBNL Nuclear Data Search, <http://nucldata.nuclear.lu.se/toi/> (acedido em abril 2016)
- <http://www.google.com/patents/WO2013112847A1?cl=en> (acedido em abril 2016)
- J. Turner (2007), Atoms, Radiation, and Radiation Protection, 3rd edition, Wiley
- J.L. Duggan (1987), Experiments in Nuclear Science, AN34 Laboratory Manual Third Edition, Revised,
- <http://web.mit.edu/22.09/ClassHandouts/Ortec%20AN34/an34-front.htm> (acedido em abril 2016)