Estudo da resolução de espectros alfa do ^{241}Am com uma câmara de ionização com diferentes tipos de grade

E. R. Vitale, R. N. dos Santos
Departamento de Física, PUC-SP, Rua Marquês de Paranaguá, 111
01303-050, São Paulo, SP, Brasil

Recebido em 5 de setembro, 1994

O presente trabalho refere-se às técnicas de projeto e construção de câmaras de ionização com grade de alta resolução destinadas a medidas absolutas de atividades de radionuclídeos. São apresentados os resultados detalhados da geometria e configuração dos eletrodos, em particular das grades, e os resultados experimentais obtidos utilizando-se uma fonte radioativa fina de ^{241}Am e uma mistura gasosa de 90% de argônio e 10% de metano, como gás de enchimento. Os valores obtidos para resolução, 39 keV, são concordantes com os dados mais precisos encontrados na literatura[12−16].

This paper describes some techniques used in the design of high resolution gridded ionization chambers for measurements of absolute activity of radionuclides. Details of the geometry of the system and its electrodes are presented; their shape and the spacing between the grid wire was studied. The experimental spectra obtained with an ^{241}Am source using 90% Ar and 10% CH_4 as a flow gas show a total resolution of 39 keV in very good agreement with best results available in the literature[12−16].

Introdução

O trabalho consiste no projeto e construção de câmaras de ionização, com grade de alto grau de resolução, para espectrometria alfa. A câmara de ionização com grade (C.I.G.) empregada consiste fundamentalmente de um tubo cilíndrico estanque em cujo interior estão dispostos, paralelamente, eletrodos que foram mantidos em potenciais crescentes com relação ao catodo onde foi fixada a fonte de ^{241}Am emissora alfa.

Para a construção da câmara utilizou-se um tubo de latão de 9,0 cm de diâmetro interno, 9,3 cm de diâmetro externo e 10,0 cm de altura que constitui o corpo da câmara propriamente dito. No seu interior foram dispostos os seguintes eletrodos:

- Catodo: cilindro complementar de 4,0 cm de diâmetro e 8,0 mm de altura, rosqueado na parte inferior da câmara para possibilitar a mudança da fonte radioativa.
- Anodo: disco de latão polido de 2,0 cm de diâmetro e 3,0 mm de espessura que foi acoplado à carcaça da câmara através de isolantes de teflon.
- Grade: no decorrer do trabalho várias grades com diferentes números de fios e formato foram construídas. Os detalhes serão fornecidos ao longo da descrição deste artigo.

A câmara, representada na Fig. 1, foi preenchida com uma mistura P10 de 90% de argônio e 10% de metano. Durante as medidas o processo empregado para a circulação do gás foi o de fluxo contínuo (flow), de forma a garantir que a pressão interna da câmara fosse sempre superior à pressão atmosférica evitando-se qualquer possível contaminação com o meio externo.

O equipamento eletrônico acoplado à câmara consistia de um pré-amplificador de ganho fixo (CA-3140) e de amplificador de ganho variável (LM-301) de forma a se obter uma amplificação variável de até 3000 na saída da câmara.

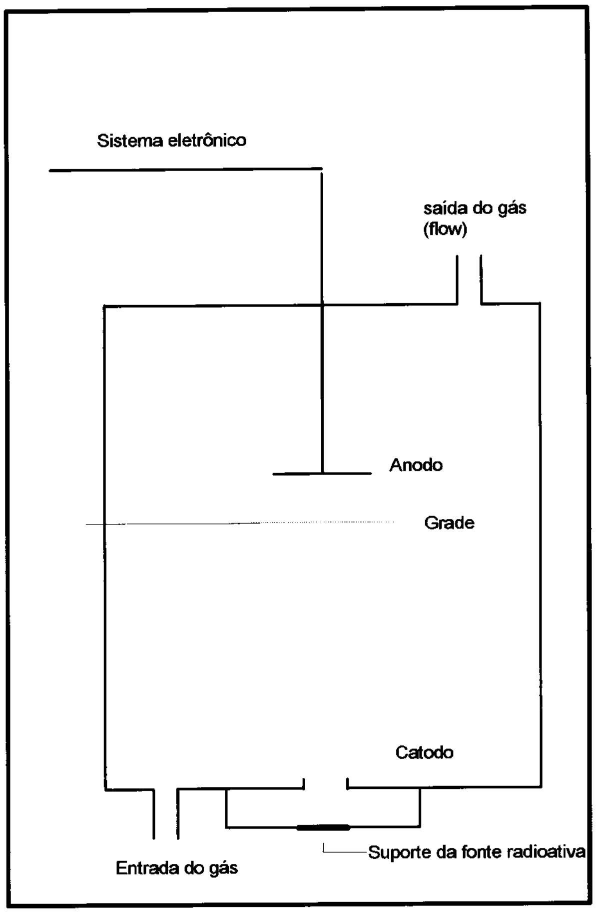

Figura 1: Esquema interno da câmara de Ionização com Grade.

A alta tensão aplicada aos eletrodos provinha de uma fonte da Ortec modêlo 456 que acoplada a um divisor de tensão, possibilitava uma grande variedade de combinações para as saídas de tensões que seriam aplicadas entre os eletrodos.

Estudo sobre a influência da grade em uma câmara de ionização

A grade tem como função básica isolar o eletrodo coletor (anodo) dos efeitos produzidos pelos íons positivos existentes no interior da câmara.

Sendo os íons positivos mais lentos e tendo portanto, uma velocidade de arrastamento pequena, as cargas induzidas por estes íons nos dois eletrodos são significativas se for considerado o tempo de coleta desses íons pela câmara. Assim sendo, a amplitude do impulso de saída na câmara fica dependente da posição em que a partícula foi formada[3−5].

A grade colocada como eletrodo auxiliar em potencial intermediário entre catodo e anodo tem efeito de blindagem impedindo que haja uma variação sensível do potencial do eletrodo coletor em função das cargas induzidas pelos íons positivos. Desta forma, o impulso de saída da câmara será devido apenas, à coleta dos eletrons[6,7].

Informações precisas sobre a grade podem ser obtidas a partir de dois parâmetros conhecidos como: ineficiência da grade (σ) e transparência da grade (ρ)[8]. A grandeza σ pode ser calculada em função de duas razões geométricas b/d e d/p, onde b é o diâmetro do fio que constitui a grade; d é a distância entre os fios e p é a distancia entre a grade e o eletrodo coletor.

A transparência da grade ρ é dada pela relação entre os campos elétricos E_p/E_q, onde E_p é o campo elétrico existente entre catodo e grade e E_q o campo elétrico entre grade e anodo.

Os valores adequados para "σ" estão no intervalo de 0,01 a 0,04 e para "ρ" de 1,5 a 3,0[8].

Na construção das grades utilizadas neste trabalho obteve-se "σ" variando 0,02 a 0,04 e "ρ" variando de 1,2 a 1,5, valores compatíveis com os apresentados na literatura[8].

Construção de diferentes grades

Durante a elaboração do trabalho foram projetadas e contruídas diferentes tipos de grades com o objetivo de obter os melhores valores possíveis de ineficiência e transparência da grade.

A primeira grade construída constava de uma tela de latão com fio de 0,04 cm de diâmetro colocada sob pressão entre dois anéis de lucite de diâmetro interno de 2,9 cm.

Nas demais grades foi utilizado fio de níquel-cromo (Ni-Cr) de 0,1 mm de diâmetro cuidadosamente examinado com um microscópio Zeiss de aumento 30 para detectar possíveis irregularidades na superfície.

As grades que utilizaram anéis de lucite como suporte foram todas feitas da mesma forma mudando somente o espaçamento entre os fios.

Na construção dessas grades foram feitos sulcos espaçados de 2,0 mm em um dos anéis de lucite em ambas as direções (horizontal e vertical). A malha da grade foi construída prendendo-se uma das extremidades do fio, com cola adequada, à peça de lucite. Este fio era então transpassado entre os sulcos existentes e saia por um orifício no anel de lucite tomado como base da montagem.

Foram construídas três grades com suporte de isolante: a primeira com 16 fios cruzados nas duas direções formando uma malha (16 × 16), as demais com o fio transpassado numa única direção constituindo grades de 16 e 8 fios paralelos com razão b/d igual a $5,0 \times 10^{-2}$ e $2,5 \times 10^{-2}$, respectivamente. Sendo "b" o diâmetro do fio de Ni-Cr utilizado em ambas as grades foi alterado "d" que é a distância entre os fios de 2,0 mm para 4,0 mm na elaboração das grades de 16 e 8 fios.

Para construir a última grade foi utilizado um suporte metálico em forma de anel de alumínio de 6,2 cm de diâmetro externo, 5,2 cm de diâmetro interno e 3,0 mm de espessura. Nesse anel foram feitos sulcos de 2,0 em 2,0 mm onde o fio de Ni-Cr foi transpassado para constituir uma grade de 16 fios paralelos com relação b/d igual a $5,0 \times 10^{-2}$.

O encaixe da grade metálica na câmara foi feito com o auxílio de um disco de lucite de 9,0 cm de diâmetro externo idêntico ao diâmetro interno da câmara.

A fim de obter um perfeito isolamento, em todas as montagens, o fio da grade passava por uma bucha de teflon que tinha contato com um conector para a saída do sinal da grade.

Resultados obtidos das curvas características e espectros alfa da CIG

Foram feitas medidas das curvas características da C.I.G. e da resolução de espectros alfa, para diferentes geometrias, com todas as grades construídas.

Inicialmente, para levantar as curvas características da câmara com diferentes tipos de grade, foi estipulada a distância de 1,1 cm entre a grade e o anodo e o ganho do sistema eletrônico igual a 2000. Utilizou-se como gás a mistura P10 (90% Ar e 10% CH4) e como fonte radioativa o ^{241}Am confeccionada no IPEN-CNEN/SP por eletrodeposição com atividade de 44,7 KBq.

Os resultados encontrados mostravam, como era esperado, que a extensão do patamar da C.I.G. com a tela de latão e a malha de 16 × 16 fios era bastante grande (1800 a 2000 V) devido à uniformidade do campo elétrico existente entre os eletrodos.

Entretanto, com as malhas não foram obtidos espectros bem definidos. As resoluções encontradas pioravam à medida que a tensão na grade aumentava mostrando que as partículas ionizantes permaneciam, em grande número, retidas nas malhas das grades. Os melhores espectros obtidos apresentavam resoluções correspondentes à largura total a meia altura (FWHM) de 22,9% para a tela de latão e 16,6% para a malha de 16 × 16 fios. Ambos foram obtidos com a mesma variação de tensão entre os eletrodos.

Os resultados encontrados para as grades de 16 e 8 fios paralelos estão resumidos na tabela 1. Todas as medidas foram efetuadas nas mesmas condicões de ganho, tensão catodo-anodo e gás. A fonte empregada foi de Am-241 com atividade de 44,7 KBq.

Tabela 1: Resultados comparativos obtidos com as grades de 16 e 8 fios paralelos. Observa-se que o patamar da grade de 16 fios é mais extenso, o que denota a maior uniformidade do campo existente entre os eletrodos. A resolução para as partículas alfa do ^{241}Am é semelhante para ambas.

	Grade de 16 fios	**Grade de 8 fios**
Extensão do patamar	1800 V	600 V
Resoluções (%)	11,0	----
na faixa de tensão	11,0	10,8
grade-anodo de	11,0	10,7
500 a 980 V	10,8	10,8
	10,6	10,9

A tabela mostra que tanto a grade de 16 fios paralelos como a de 8 fornecem as melhores resoluções de espectro alfa e as melhores transparências da grade.

A maior extensão de patamar obtida foi para a grade de 16 fios devido a uniformidade de campo elétrico existente[1].

A partir da análise desses resultados foi escolhida a grade de 16 fios paralelos para ser feito o estudo da resolução do espectro alfa com diferentes distâncias entre grade e anodo.

A tabela 2 apresenta os resultados finais com três distâncias entre grade e anodo ($d_{g,a}$). Todas as medidas efetuadas foram realizadas nas mesmas condições de ganho do sistema eletrônico (2000); gás (mistura P10); distância catodo-grade (6,2 cm); fonte de ^{241}Am (Atividade= 44,7kBq).

Tabela 2: Resoluções de espectros alfa (R_t) obtidos com diferentes distâncias entre grade e anodo ($d_{g,a}$) para as tensões de grade (V_g) e variação de tensão entre grade e anodo ($V_{g,a}$). As melhores resoluções foram encontradas para a distância de 3,4 mm para todos os valôres das tensões aplicadas

		$d_{g,a}$ = 11,0 mm	$d_{g,a}$ = 5,4 mm	$d_{g,a}$ = 3,4 mm
V_g (V)	$\Delta V_{g,a}$ (V)	R_t (%)	R_t (%)	R_t (%)
700 a 780	700	13,1	11,1	10,4
900 a 980	600	15,2	12,8	10,0
1200 a 1280	300	*	*	13,8

* fora da região de câmara

Os valores encontrados mostram que para distâncias menores entre grade e anodo são obtidas as melhores resoluções de espectro alfa.

Esses resultados podem ser justificados se for considerado que, para uma câmara de ionização de placas paralelas, a relação existente entre o campo elétrico aplicado nos eletrodos ($E = V/d$) e a pressão do gás utilizado deve estar entre 0,3 e 0,6 V cm^{-1}mmHg^{-1} [3,4].

Como a pressão utilizada na câmara foi a pressão ambiente o valor da relação E/p encontrado foi de 0,5 V.cm^{-1}.mmHg^{-1} para a distância de 3,4 mm entre grade e anodo, valor este que mais se aproxima da relação E/p desejada.

Após esse estudo concluíu-se que as melhores condições de operação da C.I.G. para espectrometria alfa estavam definidas: grade de 16 fios paralelos e distância entre grade e anodo de 3,4 mm.

Durante a obtenção de todas as medidas foi observado que a espessura da fonte de ^{241}Am utilizada contribuía com fator da ordem de 2 na largura total do espectro (auto absorção). Esse resultado foi obtido determinando-se a relação entre a meia-largura medida à esquerda do pico e a meia-largura medida à direita do pico. Observou-se ainda que essa relação se mantinha constante independendo da geometria das grades e da distância entre grade e anodo.

Para as medidas finais foi empregada uma fonte de ^{241}Am cedida pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPe) que apresentava menor fator de auto absorção, com limite de resolução de 1,2%, medido na própria UFPe, com detetores semi-condutores.

Os melhores resultados dos espectros levantados encontram-se na tabela 3. Na figura 2 está representado o espectro alfa do ^{241}Am de energia 5,49 MeV com a menor resolução obtida (4,2%).

Tabela 3: Resoluções de espectros alfa (R_t) obtidos para diferentes valores de tensões de grade (V_g) e variação de tensão entre grade e anodo ($\Delta V_{g,a}$) com a fonte de ^{241}Am da UFPe. A grade utilizada foi a de 16 fios paralelos com suporte metálico e a distancia entre grade e anodo de 3,4 mm.

V_g (V)	$\Delta V_{g,a}$ (V)	R_t (%)
720	900	5,4
900	600	4,3
1000	1000	4,2

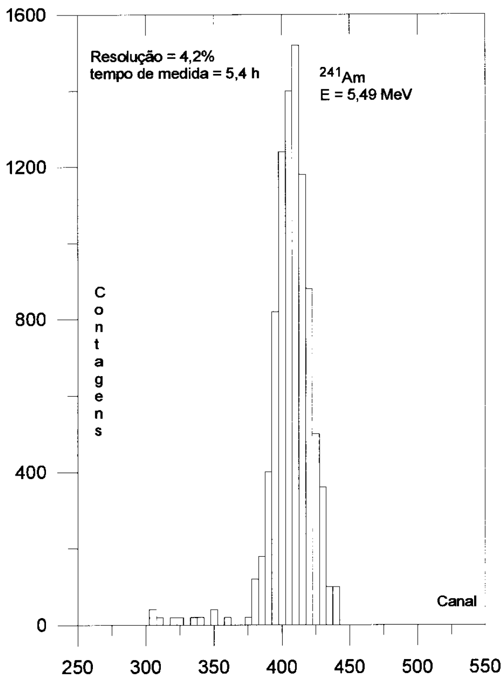

Figura 2: Espectro de energia alfa do ^{241}Am obtido com a fonte radioativa cedida pela UFPe, tendo como resolução 4,2%.

Convém ressaltar que na obtenção de tais resultados empregou-se a grade com suporte metálico para melhor definição do volume sensível da câmara, as demais condições foram mantidas constantes.

Análise de erros

No caso de um espectro de partículas alfa, obtido numa câmara de ionização com grade, são quatro os fatores que podem estar contribuindo para a dispersão dos dados obtidos. Esses fatores passam a ser calculados para a câmara de ionização com grade utilizada no nosso trabalho:

1) Dispersão introduzida pelo ruído do sistema de amplificação (σ_r).

Foi utilizado um gerador de impulsos da Ortec modêlo 419 para o levantamento do espectro do sinal do gerador. A largura encontrada correspondia a menos de um canal (0,1% de resolução).

Posteriormente, foi obtido o espectro com o mesmo sinal injetado no sistema de amplificação utilizado no levantamento do melhor espectro alfa. Nessa condição foi obtida uma resolução correspondente à largura total do espectro de 3,6%.

Com base nas medidas citadas pode-se admitir como erro máximo do gerador de impulso 0,1%.

Portanto, a dispersão introduzida pelo ruido do equipamento eletrônico empregado é 3,5% o que corresponde a 81 keV[11].

2) Dispersão introduzida pelo efeito de indução dos íons positivos no eletrodo coletor (σ_c).

Esse efeito depende da relação entre o alcance médio da partícula (R) do gás em estudo e a distância entre os eletrodos utitizados na construção da câmara[4].

No caso de partículas alfa e detetores de geometria 2π esta dispersão pode ser dada pela relação[3,4]

$$\sigma_c = \frac{3.R.E}{10.d} \tag{1}$$

onde E é a energia das partículas alfa.

Para uma câmara de ionização com grade, a ineficiência da grade σ deve ser considerada e a largura relativa da linha passa a ser expressa como[8]

$$\sigma_c = \frac{3.R.\sigma.E}{10.d} \tag{2}$$

Utilizou-se uma fonte de ^{241}Am cuja energia das partículas alfa é de 5,5 MeV e alcance médio no ar de 4,2 cm. Tomando por base o valor da ineficiência da grade calculado para a geometria que nos fornece a melhor resolução do espectro chegou-se a σ_c igual a 25 keV.

3) Dispersão intrínseca no número de pares de íons produzidos pelas partículas alfa (σ_s).

Para este cálculo utilizou-se a Teoria Estatística de Fano. Numa câmara de ionização o fator de Fano que projeta o pior resultado é da ordem de 0,2[10]. O valor de desvio padrão estimado pode ser obtido pela relação

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{F.W}{E}} \tag{3}$$

onde

E ... energia das partículas alfa de ^{241}Am;

W ... energia média para a formação de um par de íons;

F ... fator de Fano

O valor de σ_s encontrado foi de 6 keV.

4) Dispersão introduzida pela auto absorção das partículas alfa na fonte radioativa (σ_a).

Este fator pode ser determinado a partir do limite de resolução da fonte radioativa de ^{241}Am (energia de 5,5 MeV) fornecida pela UFPe.

Como já foi citado o valor limite de resolução determinado com detector semi-condutor foi de 1,2% que corresponde a 28 keV[11].

De posse dos valores σ_r, σ_c, σ_s, e σ_a, calculou-se o valor do desvio padrão total[8,17] a partir da relação

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_c^2 + \sigma_s^2 + \sigma_a^2} \tag{4}$$

O valor obtido para σ_t é igual a 90 keV.

Os demais fatôres que poderiam interferir na dispersão do espectro alfa podem ser minimizados em função:

a) da mistura de gás utilizada (argônio-metano): velocidade de arrastamento considerada elevada para a relação E/p utilizada (0,4 (volts/cm)(mm Hg)$^{-1}$)[3,4].

b) da utilização de gás nobre com coeficiente de aderência (h) menor que 10^{-6} e da adição de pequenas quantidades de moléculas poliatômicas[9].

c) do fator de recombinação volumétrica (a) para eletrons no argônio ser bastante baixo, da ordem de $2,0 \times 10^{-10}$ cm^3/s[9].

d) do emprego da grade que uniformiza o campo entre os eletrodos e prioriza o movimento dos eletrons numa direção paralela ao campo elétrico aplicado, eliminando os efeitos de difusão indesejáveis[5].

Conclusão

No presente trabalho apresentou-se a descrição dos estudos, projeto e os resultados obtidos com uma C.I.G. destinada a medidas precisas de espectrometria alfa.

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram obtidos alguns resultados de alto interesse para a construção destes detectores que serão sumariamente descritos a seguir:

1) a grade de 16 fios paralelos fornece os melhores espectros alfa, para diferentes distâncias entre grade e anodo, principalmente devido a uniformidade do campo elétrico existente entre os eletrodos.

2) a utilização do suporte metálico na confecção da grade permitiu uma melhor definição do volume sensível da câmara[1].

3) a distância de 3,4 mm entre grade e anodo (para a mesma diferença de potencial entre anodo e catodo) mostrou ser a mais adequada considerando que a C.I.G. opera em fluxo contínuo de gás e a relação E/p encontrada aproxima-se do valor teoricamente desejável[3].

4) o arranjo composto pela grade de 16 fios paralelos com suporte metálico e distância entre grade e anodo de 3,4 mm fornecem os melhores ajustes da ineficiência "σ" e da transparência "ρ" da grade[8].

5) a C.I.G., assim constituída, forneceu uma resolução do espectro alfa da ordem de 39 keV (0,7%) comparável aos dados mais precisos encontrados na literatura[12−16].

Esse valor pode ser obtido considerando-se que a menor resolução do espectro alfa encontrada foi de 4,2% que corresponde a 98 keV (figura 2).

Como o valor do desvio padrão total obtido foi de 90 keV, então a contribuição no alargamento do espectro alfa do ^{241}Am introduzido apenas pela C.I.G. é de 39 keV[8].

Referências

1. E. R. Vitale, 1988 - Uma câmara de ionização de alta precisão para espectrometria alfa. Tese de Doutoramento. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 68p.
2. E. R. Vitale e R. N. Santos, Anais da 44a SBPC, 619, 1992.
3. J. W. Price, *Nuclear Radiation*, (McGraw-Hill Company, New York, USA, 1958) p. 231.
4. D. H. Wilkinson,*Ionization Chambers and Counters*, (Cambridge University Press, London, England 1950) p.89.
5. B. B. Rossi, *Ionization Chambers and Countas*, (Cambridge University Press, London, England, 1949).
6. D. Fabris, F. Gramegna, G. Prete, Nuclear Instruments and Methods, **216**, 167 (1983).
7. A. Peisert, Nuclear Instruments and Methods, **217**, 229 (1983).
8. O. Bunemann, T. E. Cranshaw, J. A. Harvey, Canadian Journal of Research, **27**, 192 (1950).
9. J. J. Thomson, G. P. Thomson, *Conduction of Eletricity Through Gases*, vol. II, (Cambridge University Press, London, England, 1959).
10. M. Kase, J. Kikuchi, T. Doke, Nuclear Instruments and methods, **163**, 289 (1979).
11. G. F. Knoll, *Radiation Detection and Measurements*, (John Wiley & Sons, 2nd edition, 1989) p. 311.
12. H. W. Fulbright, Nuclear Instruments and Methods, **162**, 21 (1979).
13. G. Fortuna, G. Prete, W. Starzecki, Z. Stefanini, Nuclear Instruments and Methods, **196**, 219 (1982).
14. M. Hotzl, R. Winkler, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, **223**, 290 (1984).
15. J. Kikushi, T. Doke, Nuclear Instruments and Methods, **99**, 469 (1972).
16. L. Johansson, B. Roos, C. Samuelsson, Appl. Radiat. Isot., **43**, 119 (1992).
17. O. A. M. Helene, V. R. Vanin, *Tratamento Estatístico de Dados em Física Experimental*, (Edgard Blücher Ltda, 2nd edition, 1991), p.105.