
ESPECTROMETRIA DE RAIOS X

1. Resumo

Neste trabalho pretende-se estudar o espectro de baixa energia essencialmente constituído por raios X de vários isótopos recorrendo a um detector para baixas energias ($E_{\gamma, X} < 100 \text{ keV}$).

2. Tópicos Teóricos

2.1 Interação dos raios X e γ de baixa energia ($E_{\gamma, X} < 100 \text{ keV}$) com a matéria

A interacção dos raios X e γ de baixa energia com a matéria, é quase sempre registada através de um do seguinte processo:

- Efeito Fotoeléctrico;
- Espalhamento de Compton;

Estas reacções explicam as duas principais características qualitativas dos raios X e γ , sendo elas:

- Estes raios são muito mais penetrantes na matéria do que as partículas carregadas;
- Um raio de fótons não é degradado em energia quando atravessa a matéria, é somente atenuado em intensidade.

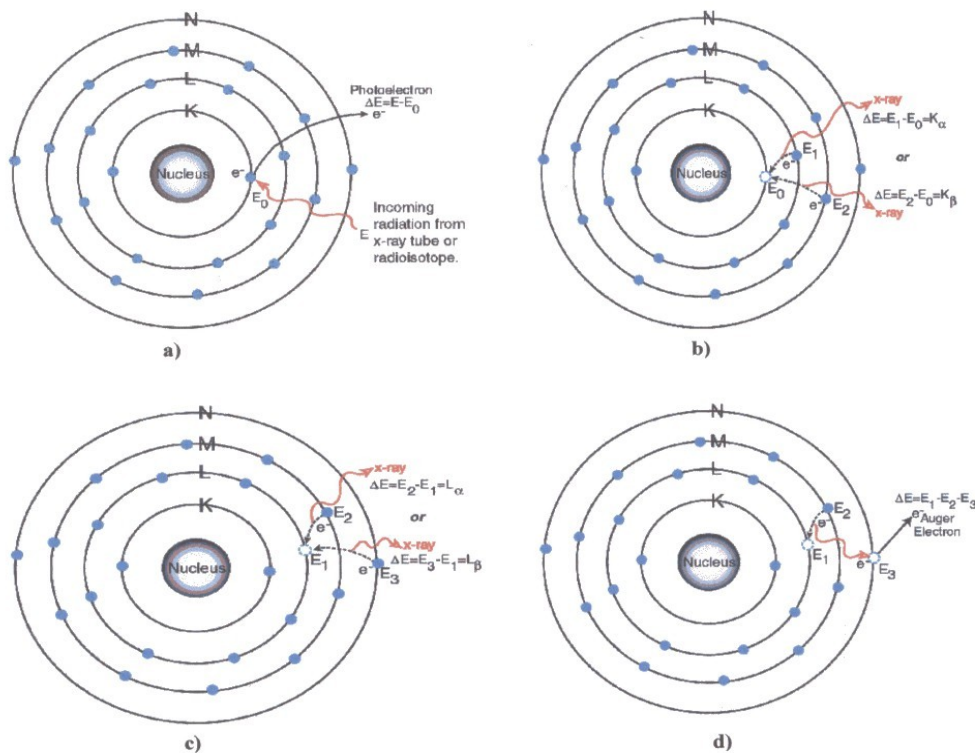
No que se refere ao efeito fotoeléctrico, este envolve a absorção de um fóton por um electrão atómico com a subsequente ejeção para fora do átomo deixando o átomo num estado excitado. A energia do electrão ejectado será:

$$E = h\nu - B.E.$$

onde **B.E.** (*binding energy*) é a energia de ligação do electrão.

Visto que um electrão livre não pode absorver um fóton (além de conservar o seu momento) o efeito fotoeléctrico ocorre sempre em electrões ligados, sendo o momento de recuo absorvido pelo núcleo.

Quando o átomo se desexcita, podemos observar fótons X correspondentes às transições electrónicas $L \rightarrow K$, $M \rightarrow K$, $M \rightarrow L$. Este espectro de energia correspondente a estas transições é único para cada tipo de elemento, permitindo fazer a sua identificação. Por este motivo, as emissões associadas a estas transições são chamadas de radiação característica.



Neste esquema semi-clássico do efeito fotoeléctrico pode-se observar que:

- um electrão da camada K e ejectado do átomo por um raio X exterior primário, criando uma lacuna nesta camada;
- Um electrão da camada L ou M “salta” para preencher esta lacuna. Neste processo, o electrão emite um raio X característico e único para este elemento, designado por K_α ou K_β , e em troca produz uma lacuna na camada L ou M ;
- Quando é criada uma lacuna na camada L quer seja por excitação primária de um raio X quer seja pelo processo anterior b), um electrão da camada M ou da N “salta” para ocupar

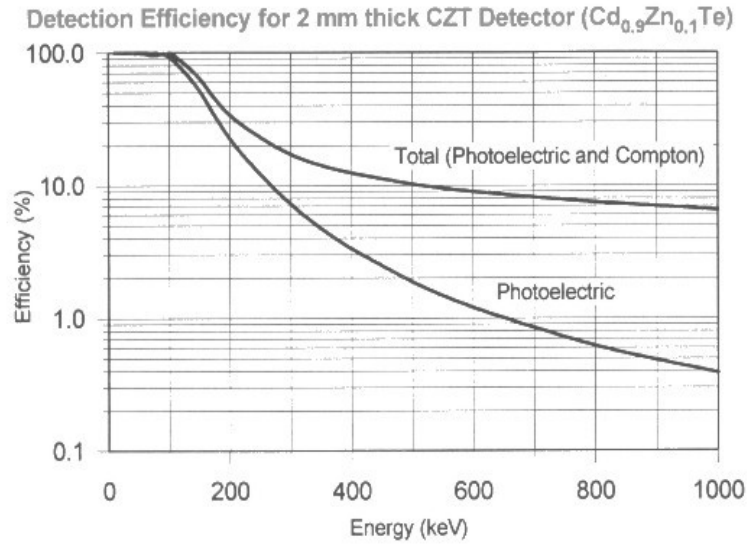
esta lacuna. Neste processo, o electrão emite um raio X característico e único para este elemento, designado por L_α , L_β ou L_γ , e em troca produz uma lacuna na camada M ou na N ;

- d) O *electrão de Auger*: a energia de excitação do interior do átomo é transferida para um dos electrões de fora provocando a sua ejeção do átomo.
- e) O *efeito Compton* é um processo de interacção que envolve um choque elástico entre um fóton e um electrão livre ou pouco ligado ao átomo (camadas exteriores). O fóton inicial dá origem a um novo fóton, de menor energia. A energia restante é transferida para o electrão Compton (ou de recuo) e muda de direcção de propagação.

2.2 Detectores Semicondutores

No que se refere ao detector, usado para a observação do espectro, é feito de material semiconductor. O CZT (Telureto de Cádmio e Zinco) é o semiconductor usado nesta experiência. Há outros materiais semicondutores, bastante utilizados na fabricação dos dispositivos de estado sólido, tais como o Silício, o Germânio, o Arseneto de Gálio, o Fosfeto de Gálio, Sulforeto de Cádmio, Carbeto de Silício, Sulfeto de Chumbo, etc. Estes tipos de detectores são caracterizados por terem uma estrutura electrónica em bandas: a banda de valência e a banda de condução separadas por uma zona proibida “*gap*” da ordem dos 3eV. Estes detectores apresentam uma das vantagens de se poderem fabricar só com dimensões muito pequenas mas gerarem uma grande quantidade de carga eléctrica por unidade de radiação absorvida, no entanto comportam uma grande desvantagem: as suas propriedades só servem para a detecção de radiação se este material for arrefecido a temperaturas muito baixas. Nesta experiência um conversor termoeléctrico interno chamado dispositivo Peltier é utilizado para baixar a temperatura do nosso detector até aos -23°C ou 250K.

No que se refere à eficiência do detector, pode-se consultar o gráfico seguinte:



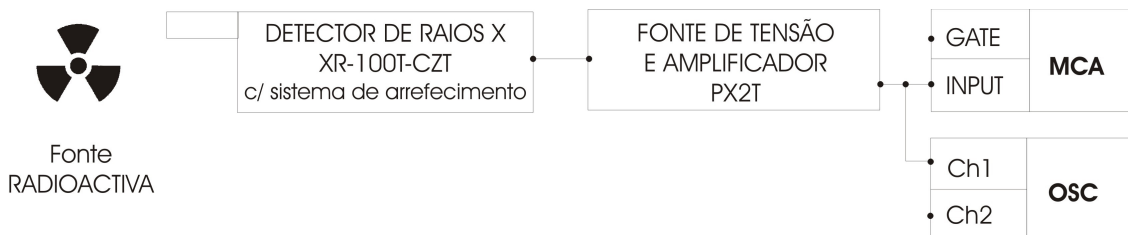
Observa-se então que para energias superiores a 100 keV, o detector de raios X deixa de ser 100% eficiente, decrescendo a sua eficiência fortemente com o aumento da energia.

3. Material

- Fontes radioactivas – ¹⁰⁹Cd, ¹³⁷Cs e fonte desconhecida
- Detector semiconductor CdZnTe (telureto de cádmio e zinco);
- Fonte de tensão e amplificador PX2T;
- Analizador multicanal (MCA);
- Osciloscópio (*opcional*);
- Cabos coaxiais;
- Sistema de refrigeração por efeito Peltier,

4. Procedimento experimental

Esquema de montagem:



4.1 Calibração do sistema

- 4.1.1** Com o detector CZT montado de acordo com o esquema, colocar em frente do detector uma fonte de ^{109}Cd . *Atenção! A janela de entrada do detector está, protegida por uma protecção de plástico vermelha. A área de detecção é de 5mm^2 , o que requer um preciso alinhamento entre este e a fonte.*
- 4.1.2** Ligar o módulo fonte de tensão-amplificador e aguardar 10 minutos até o dispositivo de arrefecimento Peltier estabilizar a temperatura do detector.
- 4.1.3** Fazer uma aquisição de dados no multicanal durante um curto intervalo de tempo de forma a identificar os picos de energia dos raios X e gama se este último se verificar. Ajustar o ganho do amplificador de forma a colocar o pico de máxima energia no canal 700 aproximadamente. *Atenção! Recordamos que a eficiência do detector CZT é de 100% até aos 100 keV (ver gráfico secção 2.2).*

4.2 Medições experimentais

- 4.2.1** Retirar a fonte e fazer uma aquisição de dados da radiação de fundo durante um intervalo de tempo de 10 minutos. Gravar o espectro com o nome de *fundo*. *Atenção! Durante a aquisição do espectro de fundo, não podem existir quaisquer fontes nas proximidades do detector CZT.*
- 4.2.2** Colocar novamente a fonte de ^{109}Cd e efectuar uma nova aquisição de dados durante um intervalo de tempo de 10 minutos. Subtrair o espectro de fundo¹ e registar os valores dos canais em que se encontram os máximos dos picos e as energias correspondentes (ver esquema em anexo). Gravar o espectro com o nome de *Cd109*.
- 4.2.3** Repetir o ponto anterior usando uma fonte radioactiva de ^{137}Cs . Gravar o espectro com o nome de *Cs137*.

4.3 Exercício

¹ Efectuar a subtracção do espectro de fundo apenas se o software que estiver a utilizar permitir esta operação.

- 4.3.1** Depois de ter recolhido os dados das duas fontes radioactivas traçar uma recta de calibração do seu sistema, colocando o número do canal no eixo XX e a energia (MeV) no eixo YY.
- 4.3.2** Colocar uma amostra desconhecida em frente da janela do detector. Recolher dados até obter um espectro em que consiga identificar os vários picos.
- 4.3.3** Com o auxílio da recta de calibração determinar a energia de cada um dos picos. Recorra a uma tabela de isótopos online (ver anexos) e tente identificar as substâncias que deram origem às transições radioactivas observadas.

5. Anexos

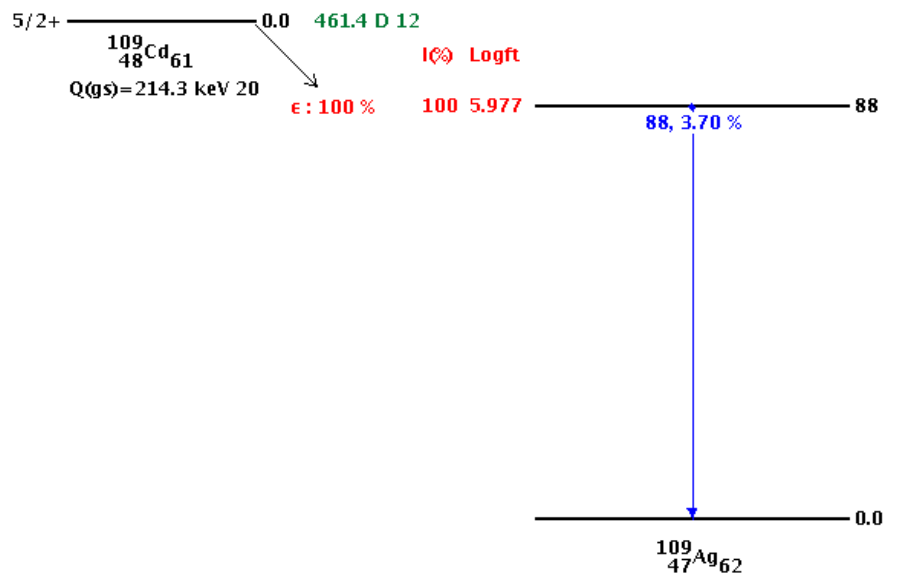
Tabela de isótopos:

<http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/nucSearch.asp>

http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/indx_dec.jsp

Declínio radioactivo do ¹⁰⁹Cd

| | Energia (keV) | Intensidade (%) |
|-----------------|---------------|-----------------|
| RX λ | 2.98 | 10.3 % 3 |
| RX k α 2 | 21.99 | 29.7 % 10 |
| RX k α 1 | 22.163 | 56.0 % 18 |
| RX k β 3 | 24.912 | 4.79 % 15 |
| RX k β 1 | 24.943 | 9.2 % 3 |
| RX k β 2 | 25.455 | 2.31 % 7 |
| γ | 88.0336 1 | 3.70 % 10 |



Declínio radioactivo do ¹³⁷Cs

| | Energia (keV) | Intensidade (%) |
|-----------------|---------------|-----------------|
| RX λ | 4.47 | 0.90 % 5 |
| RX k α 2 | 31.817 | 1.96 % 8 |
| RX k α 1 | 32.194 | 3.58 % 15 |
| RX k β 3 | 36.304 | 0.342 % 14 |
| RX k β 1 | 36.378 | 0.66 % 3 |
| RX k β 2 | 37.255 | 0.209 % 8 |
| γ | 283.5 1 | 5.8E-4 % 8 |
| γ | 661.657 3 | 85.10 % 20 |

