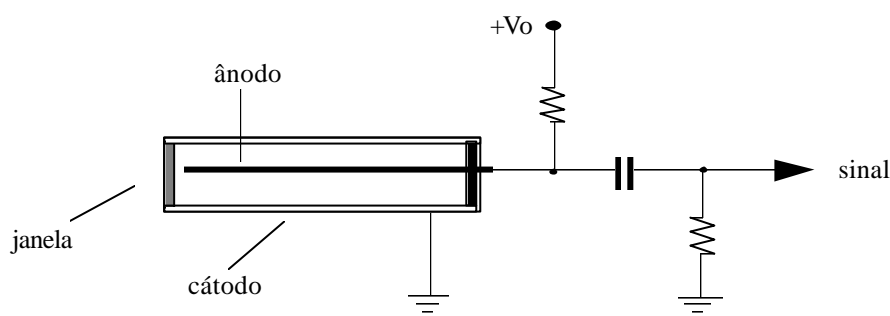


Trabalho prático: O contador de Geiger-Muller

Descrição geral

Um dos primeiros tipos de detector desenvolvidos foi o chamado contador (ou tubo) de Geiger-Muller. Este contador permite detectar a presença de radiações ionizantes (partículas com carga eléctrica e fotões α ou gama). No entanto o tubo de GM não permite medir a energia das partículas, apenas faz uma "contagem" do número das que, a ele chegam.

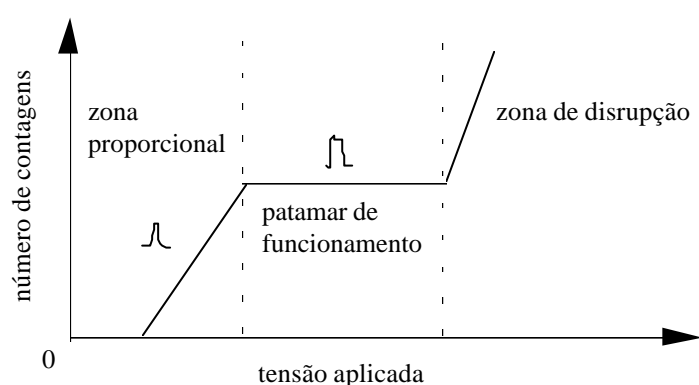


O corpo do contador Geiger-Muller é em geral constituído por um cilindro metálico fechado em ambas as extremidades. Uma das extremidades (faces) é fechada com uma película fina (de metal, vidro, etc.) e constitui a janela do detector, ou seja a zona por onde deverão entrar as partículas a detectar. No caso do detector se destinar a partículas carregadas (por exemplo electrões) é fundamental que a espessura da janela seja reduzida (da ordem de 10 a 100 microns, conforme o tipo de material usado). De outra forma as partículas podem perder toda a sua energia ao atravessar a janela, sendo aí absorvidas, não sendo portanto detectadas. Se pretendermos detectar apenas fotões, então a janela do tubo GM pode ser mais espessa, pois os raios-X e gama têm maior poder de penetração que as partículas carregadas. Uma janela mais espessa tem a vantagem de tornar o detector mais robusto. No eixo do cilindro é colocado um fio rígido, electricamente isolado do corpo do detector. O tubo de GM (ver figura) é cheio com uma mistura escolhida de gases. Entre o fio central (ânodo) e o corpo cilíndrico (cátodo) é aplicada uma diferença de potencial (da ordem das centenas de volt). Quando uma radiação entra no detector, o gás é ionizado sendo produzida uma avalanche, da qual resulta um sinal eléctrico.

Princípio de funcionamento

Quando uma partícula electricamente carregada ou um fotão entra no tubo GM pode ionizar as moléculas do gás, criando pares ião-electrão. O campo eléctrico aplicado faz a separação destes pares sendo os iões conduzidos para o cátodo e os electrões para o ânodo. Dado que os electrões possuem uma massa muito inferior à dos iões, a velocidade que podem atingir ao

serem acelerados pelo campo eléctrico é também maior, atingindo rapidamente o ânodo (os tempos típicos de colecção dos electrões são da ordem do microsegundo). Por seu lado os iões são muito mais lentos, sendo necessários tempos da ordem do milissegundo para serem colectados. Neste processo os electrões podem ganhar energia cinética suficiente para provocarem ionizações secundárias durante o seu trajecto até ao ânodo. Inicia-se assim um processo de multiplicação de cargas, sendo contudo o número final de cargas secundárias produzidas proporcional à energia da partícula incidente. A este processo chama-se "avalanche de Townsend" e podem ser atingidos factores de multiplicação da ordem de 10^6 partículas secundárias. A este regime de funcionamento chama-se região proporcional.



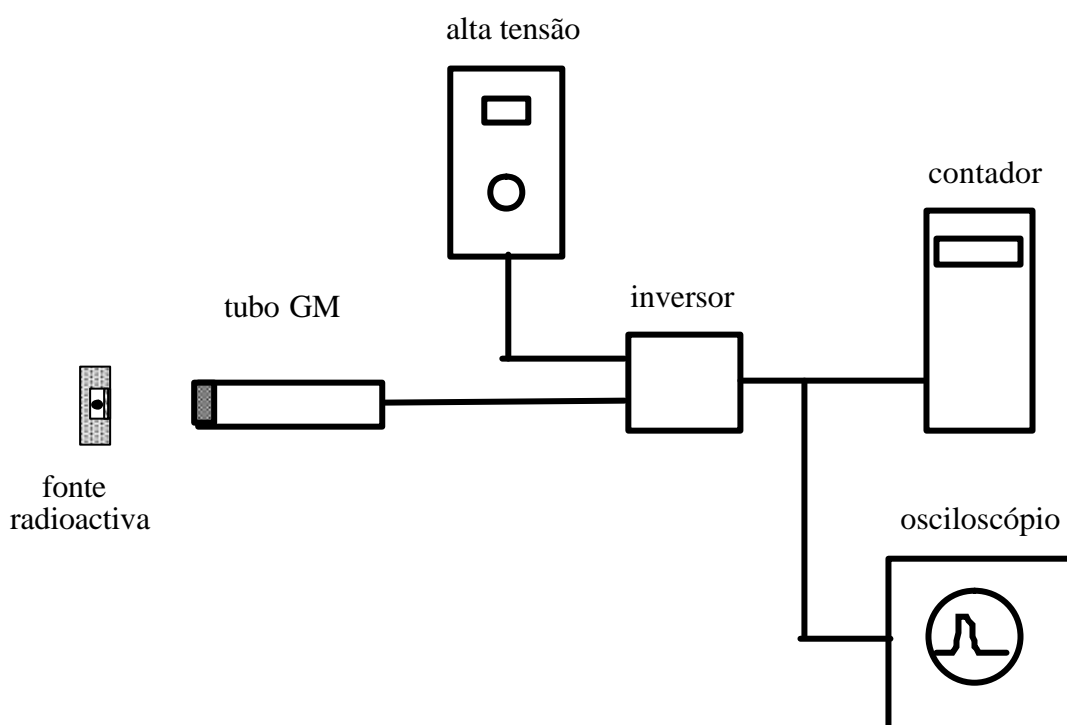
Curva de funcionamento do contador Geiger-Muller

Se a diferença de potencial aplicada ao tubo for suficientemente elevada então o aumento do número de cargas eléctricas leva a uma distorção do campo eléctrico no interior do tubo o que conduz à perda de proporcionalidade. Por outro lado o aumento do número de cargas livres aumenta também a probabilidade de ocorrerem recombinações entre os electrões e iões. Destas recombinações resulta a emissão de fotões x que podem percorrer grandes distâncias dentro do tubo até serem de novo absorvidos. No caso de serem absorvidos no tubo vão desencadear novas avalanches. Desta forma todo o tubo participa com várias avalanches, sendo completamente perdida a proporcionalidade entre a energia da partícula inicial e a amplitude do sinal de saída, que vem saturado. Esta é a região de Geiger-Muller. O processo de desenvolvimento das avalanches tende a parar quando a densidade de iões (que são mais lentos) é suficientemente elevada para blindar o campo eléctrico aplicado. Em princípio o processo terminaria aqui. No entanto existe uma certa probabilidade dos iões positivos ao migrarem para o cátodo ganharem energia cinética suficiente para ao chegarem a este arrancarem electrões, que por sua vez reiniciariam todo o processo. Para evitar que isto suceda, ao gás do tubo é adicionado uma pequena quantidade de um segundo gás, chamado "gás de quenching". A missão do "gás de quenching" é a de neutralizar os iões (do gás primário) no seu trajecto para o cátodo, bem como a de absorver de forma mais eficiente os

fotões x. Em geral como "gás de quenching" são usadas moléculas orgânicas complexas, como o etanol, enquanto no gás primário são usadas moléculas simples (por exemplo árgon).

Se a diferença de potencial aplicada for muito elevada pode entrar-se numa região de descarga continua, o que pode danificar de forma permanente o tubo.

Esquema de montagem do contador Geiger-Muller



1. Estudo do funcionamento do contador Geiger

Neste trabalho pretende-se fazer uma observação sumária de algumas das características do contador Geiger. Estudando o número de contagens obtidas com o contador Geiger em função da diferença de potencial (ddp) aplicada ao detector, verificamos que até um certo valor da ddp não existe resposta por parte do detector. A partir daí, a um aumento da ddp corresponde um aumento sensível do número de contagens obtido. Se observarmos os sinais dados pelo detector verificamos que a sua amplitude aumenta também com a tensão aplicada. Esta região é denominada por região proporcional. Acima de um certo valor da tensão aplicada já não existe aumento do número de contagens e a amplitude do sinal satura. Atinge-se então o patamar do contador Geiger (ver curva de funcionamento, na descrição do contador Geiger). A largura deste patamar depende do tubo Geiger em questão mas pode variar entre as dezenas a centenas de volt. Para ddp superiores às do patamar o número de contagens volta a crescer, entrando-se numa região de disrupção, podendo-se inclusive danificar o detector.

Para os contadores Geiger disponíveis no laboratório a alta tensão aplicada não deverá ultrapassar nunca os 1000 V.

1.1 Forma do sinal.

1. Monte o dispositivo experimental de acordo com o esquema fornecido.
2. Coloque uma fonte radioactiva de em frente à janela do detector. e aumente a alta tensão aplicada ao detector de forma gradual até obter sinal.
3. Observe e registe o sinal obtido ao osciloscópio. A forma do sinal depende do tipo de fonte ou energia da radiação?

1.2 Patamar de funcionamento do tubo Geiger

Objectivo: Estudar a variação da taxa de contagens com a tensão aplicada ao tubo GM

1. Partindo de uma tensão aplicada ao tubo GM em que não se observam contagens, aumente de forma gradual a tensão até ao ponto em passam a obter sinais.
2. Obtenha contagens num intervalo de tempo suficiente e registe o valor obtido.
3. Aumente a diferença de potencial aplicada pelo de menos 20 V, e repita o ponto anterior.

Questões

1. Faça o gráfico do número de contagens em função da ddp aplicada
2. Avalie a o desempenho do tubo Geiger que está a testar calculando o declive percentual m do patamar de funcionamento de acordo com a expressão

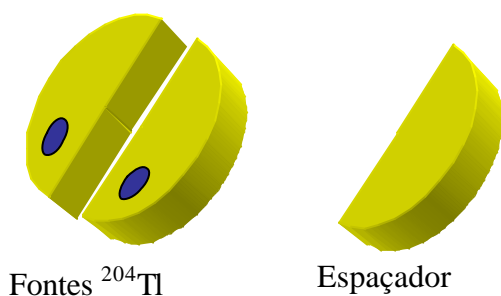
$$m = \frac{1}{R_1} \left(\frac{R_1 - R_2}{V_1 - V_2} \right) \times 100\%$$

em que R_1, R_2 são as taxas de contagens para duas tensões distintas V_1 e V_2 (de preferência em extremos opostos do patamar). Em condições normais de funcionamento m deve ser menor que 10%.

1.3 Determinação do tempo morto

Objectivo: Determinação do tempo do Geiger pelo método das duas fontes

Nesta experiência são-lhe fornecidas duas fontes radioactivas de ^{204}Tl e um "espaçador" em plástico.



1. Coloque uma das "meias" fontes e o espaçador de plástico debaixo do detector (de forma a que a distância entre a fonte e o detector seja pequena), e obtenha a taxa de contagens R_1 durante um intervalo de tempo T .
2. Substitua o espaçador pela outra fonte e faça uma aquisição durante o mesmo intervalo de tempo T com as duas fontes, obtendo uma taxa de contagens R_{12} (tenha cuidado para não alterar a posição relativa das fontes).
3. Retire a 1ª fonte e substitua-a por pelo espaçador. Obtenha nestas condições a taxa de contagens R_2 com a 2ª fonte no intervalo de tempo T .

Questões:

O tempo morto do Geiger pode ser estimado através de (G. Knoll 2000)

$$t = \frac{R_1 R_2 - \sqrt{R_1 R_2 (R_{12} - R_1)(R_{12} - R_2)}}{R_1 R_2 R_{12}}$$

Em cada caso a taxa de contagens verdadeira será dada por

$$R = \frac{R_i}{1 - R_i t}$$

1. Calcule o tempo morto do sistema
2. Compare o valor de $R_1 + R_2$ com R_{12}
3. Corrija cada uma das contagens obtendo as "contagens verdadeiras" para R_1^* , R_2^* e R_{12}^* .
4. Compare o valor de $R_1^* + R_2^*$ com R_{12}^*

2. Estatística de contagem

Se fizermos aquisições repetidas durante um mesmo intervalo de tempo com uma mesma fonte radioactiva (e sempre nas mesmas condições experimentais) o número de contagens que obteremos não será sempre o mesmo, mas apresentar-se-á distribuído em torno de um determinado valor médio μ . A distribuição de frequências obtida está de acordo com a distribuição de Poisson :

$$P(n) = \frac{\exp(-m) m^n}{n!}$$

A distribuição de Poisson adapta-se ao caso em que se realiza um número muito grande de experiências independentes com uma variável aleatória, e em que a probabilidade de sucesso em cada uma das experiências individuais é muito pequena. Este é o caso da desintegração das fontes radioactivas existentes no laboratório, em que a probabilidade de desintegração de cada um dos núcleos é muito pequena, mas o seu número é muito grande.

A distribuição de Poisson possui a propriedade do seu desvio padrão ser igual à raiz quadrada do valor médio $s = \sqrt{m}$. Esta propriedade permite-nos associar a cada a contagem um erro experimental (estatístico) que é igual à raiz quadrada do valor da contagem.

No caso do valor médio da distribuição de Poisson ser grande, esta pode ser aproximada por uma distribuição normal de desvio padrão igual à raiz quadrada da média.

$$P(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2s^2}\right)$$

Objectivo: Obtenção experimental da distribuição da taxa de contagens

1. Monte o circuito do contador Geiger (use de preferência o Geiger de aquisição por computador)
2. Coloque uma fonte radioactiva relativamente longe da janela do detector, de forma a obter uma pequena taxa de contagens em cada aquisição.
3. Obtenha nestas condições um conjunto elevado de aquisições (pelo menos 100).

4. Coloque agora uma fonte radioactiva relativamente perto da janela do detector, de forma a obter uma grande taxa de contagens em cada aquisição e repita para um número elevado.

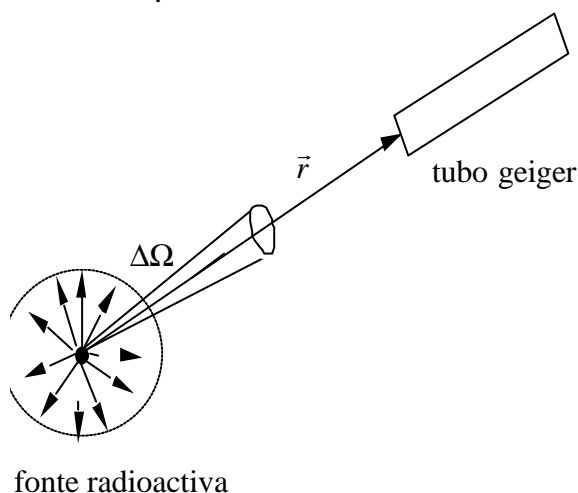
Questões:

Para cada uma das situações:

1. Calcule o valor médio da taxa de contagens e o desvio padrão da distribuição obtida
2. Agrupe as taxas de contagens obtendo o gráfico da distribuição de frequência.
3. Use um teste de χ^2 para verificar a hipótese da distribuição da taxa de contagens seguir uma distribuição de Poisson. No caso de um valor médio elevado essa distribuição poderá ser aproximada por uma distribuição de Normal em que o desvio padrão é igual ao valor médio.

3. Estudo da dependência da taxa de contagens com a distância (eficiência geométrica)

Uma propriedade das fontes pontuais e isotrópicas, é a de que a intensidade medida por um detector colocado a uma distância d varia com o inverso do quadrado dessa distância. É fácil mostrar que assim é: se a fonte é isotrópica então o número de partículas emitidas em qualquer direcção é sempre a mesma. Seja Δn o número de partículas emitidas no ângulo sólido $\Delta\Omega$ definido em torno de uma determinada direcção, então $\Delta n/\Delta\Omega = \text{cte}$



Sabendo que o ângulo sólido pode ser calculado de forma aproximada como a razão da área normal Δs (janela do detector) pelo quadrado da distância d (distância ao detector) medida na direcção dada, tem-se:

$$\Delta\Omega = \frac{\Delta s}{d^2} \quad \text{e} \quad \frac{\Delta n}{\Delta\Omega} = d^2 \frac{\Delta n}{\Delta s} = \text{cte} \quad \text{logo} \quad \Delta n = \text{cte} \frac{\Delta s}{d^2}$$

Uma vez que no decorrer da experiência Δs se vai manter constante (as dimensões do detector não mudam) o número de contagens obtidas é apenas função da distância d .

De uma forma mais geral o ângulo sólido subentendido pelo detector relativamente a uma fonte é dado por $\Delta\Omega = \int \frac{\cos \alpha \cdot dS}{d^2}$ em que α é o ângulo entre a normal à superfície do detector e o vector de posição \vec{r} . Para um detector de janela circular, plana e de raio a , obtêm-se para $\Delta\Omega$ (G. Knoll 2000)

$$\Delta\Omega = 2\pi \left(1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 + a^2}} \right) \text{ que se reduz a } \Delta\Omega = \frac{\pi a^2}{d^2} \text{ quando } d \gg a.$$

Objectivo: Medir a dependência da eficiência geométrica com a distância fonte-detector

1. Monte o dispositivo experimental (tubo GM, alta tensão, unidades de electrónica).
2. Comece por colocar a fonte radioactiva à maior distância possível do tubo GM.
3. Nessa posição proceda a uma aquisição durante um intervalo de tempo Δt (a escolher) de forma a obter no mínimo 100 contagens.
4. Faça aquisições durante o mesmo intervalo de tempo Δt colocando a fonte em posições sucessivamente mais próximas do tubo GM.
5. Meça a distância da fonte ao tubo GM em cada uma das posições.

Questões:

1. Faça um gráfico do número de contagens em função da distância d e em função de $1/d^2$. Que conclusões tira?
2. Para distâncias fonte-detector pequenas a lei em $1/d^2$ é seguida? Como pode explicar eventuais desvios?

Bibliografia

- Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments - W. Leo (1987)
- Radiation Detection and Measurement - G.F. Knoll (2000)
- Manual da ORTEC