

DETECTORES

Características Gerais

O princípio básico dos detectores é a transferência de parte ou de toda a energia da radiação incidente para o material do detector, onde é convertida noutra forma, mais acessível à percepção humana.

A transferência da energia incidente faz-se por excitação e ionização dos átomos e/ou moléculas do material do detector.

A sua conversão depende de cada tipo de detector.

► Nos detectores gasosos (Ex.: Geiger-Müller) os electrões de ionização formam directamente o impulso eléctrico que será tratado pela electrónica associada.

► Nos detectores de cintilação (Ex.: plásticos) tanto a excitação como a ionização contribuem para induzir transições moleculares de que resulta emissão de luz.

► Em emulsões fotográficas a ionização induz reacções químicas que permitem visualizar a trajectória da partícula.

Sensibilidade

É a capacidade de os detectores gerarem um sinal utilizável para um dado tipo de radiação

e uma dada energia. Nenhum detector é sensível a todos os tipos de radiação e a todas as energias incidentes.

A sensibilidade dum detector depende de:

- secção eficaz para produção de ionizações.
- massa
- ruído electrónico
- material de protecção do seu volume activo.

▶ As partículas carregadas sendo altamente ionizantes, baixa densidade e pequeno volume podem bastar para um detector (Ex.: detectores de α e β — 1 cm^2 de área transversa e profundidade entre μm e mm)

As partículas neutras devem primeiro interagir no material para produzir partículas carregadas capazes de ionizar o meio. Como essas secções eficazes são mais baixas, os detectores devem ter maiores volumes (Ex.: detectores de γ — diâmetro e profundidade de alguns cm).

▶ A ionização produzida deve induzir um sinal maior que o do ruído electrónico do detector e cadeia de amplificação.

▶ A janela de entrada do detector causa absorção da radiação \Rightarrow só energias suficientes podem penetrar e ser detectadas.

Resposta

Se o detector for suficientemente grande a radiação incidente é completamente absorvida. A ionização produzida, convertida em impulso eléctrico, é integrada no tempo. Esta carga eléctrica é proporcional à energia incidente.

Se a forma dos sinais não variar de evento para evento, a carga colectada é também proporcional à amplitude de cada impulso.

Esta relação amplitude $\langle \rangle$ energia é a resposta do detector.

Em muitos casos a resposta do detector é linear, ou seja, a relação entre a quantidade medida \bar{z} e a quantidade inicial Z é do tipo $\bar{z} = kZ$, em que k é uma constante de calibração. Se k varia com Z , chama-se não-linearidade à sua variação relativa: $\frac{dk}{dZ} / \frac{k}{Z}$.

Resolução em energia

É uma medida da capacidade do detector em distinguir dois valores de energia próximos.

Como as excitações e ionizações produzidas são fenómenos estatísticos, flutuam

em torno de valores médios, geralmente de forma gausseana.

Assim, define-se resolução em energia R (de forma relativa) em termos da largura a meia altura (FWHM) do pico de energia E .

$$R \cong \frac{\Delta E}{E} \cong \frac{\text{FWHM}}{E}$$

Ex.: Detector de NaI, para raios γ de $\sim 1 \text{ MeV}$

$$R = 8-9\%$$

→ ver fig.

Variação da resolução com a energia:

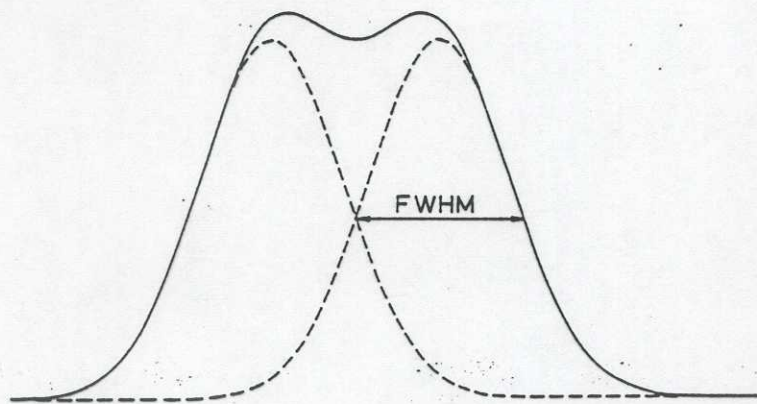
Como o processo de ionização segue a estatística de Poisson, existe uma energia média w para que seja produzida. Então, uma radiação de energia E produz, em média, $J = E/w$ ionizações. Quando E aumenta, o nº médio de ionizações também aumenta \Rightarrow flutuações relativas diminuem:

► No caso mais simples, em que E não é totalmente absorvida, a estatística é verdadeiramente de Poisson (eventos independentes, não há relação de restrição) e tem-se:

$$\sigma^2 = J \Rightarrow R \cong \frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta J}{J} = \frac{2.35 \sigma}{J} = \frac{2.35}{\sqrt{J}} = 2.35 \sqrt{\frac{w}{E}}$$

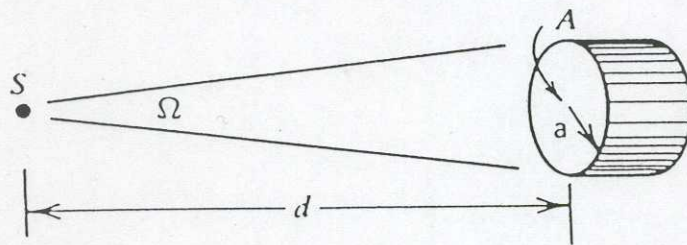
$$\Rightarrow R \text{ varia com } 1/\sqrt{E}$$

Resolução de 2 picos em energia:



FWHM dos 2 picos "tocam-se".

Eficiência geométrica ou aceitância de um detector:



- Outros factores contribuem para a resolução global do detector: as flutuações na deriva dos electrões/iões para os eléctrodos, o ruído electrónico, etc.. São geralmente independentes e de distrib. **gaussiana**, donde:

$$(\Delta E)^2 = (\Delta E)_{\text{detector}}^2 + (\Delta E)_{\text{electr.}}^2 + \dots$$

Eficiência

A eficiência total é dada por:

$$\epsilon_{\text{tot}} = \frac{\text{eventos detectados}}{\text{eventos emitidos p/ fonte}}$$

Pode ser factorizada em 2 componentes

$$\epsilon_{\text{tot}} = \epsilon_{\text{int}} \cdot \epsilon_{\text{geom}}, \text{ tais que:}$$

- **Eficiência intrínseca:**

$$\epsilon_{\text{int}} = \frac{\text{eventos detectados}}{\text{eventos incidindo no detector}}$$

- **Eficiência geométrica ou aceitação:**

$$\epsilon_{\text{geom}} = \frac{\text{eventos incidindo no detector}}{\text{eventos emitidos p/ fonte}}$$

→ ver fig.

A **eficiência intrínseca** depende das secções eficazes de interacção. Logo, depende do tipo de radiação incidente e da sua **energia**, bem como do **material** do detector e seu **volume** (especialmente para incidentes neutros).

A **aceitação** depende da configuração geométrica do detector (fração do **ângulo sólido** total que o detector define, visto da fonte), bem como da **distribuição angular** da radiação emitida. Em casos complexos, técnicas de **simulação Monte-Carlo** são usadas.

• Tempo morto

É o tempo τ necessário ao detector (e electrónica associada) para processar um evento. O detector pode, ou não, manter-se **activo** durante o período τ :

- Se se mantém activo, um 2º evento que apareça em τ virá "**empilhar-se**" com o 1º, distorcendo a forma do sinal e levando à perda de informação relativa aos dois.

- Se o detector se bloqueia, quaisquer outros eventos que surjam na janela τ perdem-se.

- Determinemos, neste 2º caso, mais simples e usual, a **verdadeira taxa de contagem** m , quando o detector regista K **contagens** num tempo T , i.e., quando a **taxa medida** é K/T .

Cada contagem gera um tempo morto τ . Logo, as K contagens geram um tempo morto total $K\tau$ no intervalo T . Portanto, em T perdem-se $m(K\tau)$ contagens.

O número de contagens em T é então na realidade:

$$mT = K + mK\tau$$

ou:

$$m = \frac{K}{T - K\tau} = \frac{K/T}{1 - K/T \cdot \tau}$$

Se não houver tempo morto:

$$\tau = 0 \Rightarrow m = K/T$$

Tipos de detectores

• Detectores de ionização

Devido à grande mobilidade de electrões e iões, os gases são o meio mais simples para a recolha da ionização proveniente da radiação incidente.

Os diferentes detectores de ionização, câmara de ionização, contador proporcional, contador Geiger-Müller, são basicamente um só dispositivo que pode trabalhar em diversos regimes de tensão aplicada aos seus terminais, explorando diferentes fenómenos.

Esse dispositivo consiste num cilindro de paredes condutoras (cátodo), cheio de um gás nobre (Ex.: argon), tendo ao longo do eixo um fio condutor (ânodo) de tensão $+V_0$ em relação às paredes, que estão ao potencial nulo.

O campo eléctrico é radial: → ver fig.

$$E = \frac{1}{r} \frac{V_0}{\ln r_{\text{ext}}/r_{\text{int}}}$$

Quando uma radiação atravessa o cilindro, um certo número de pares electrão-ião (em média $1/30 \text{ eV}$) proporcional à energia depositada é criado. Devido ao campo eléctrico, os iões

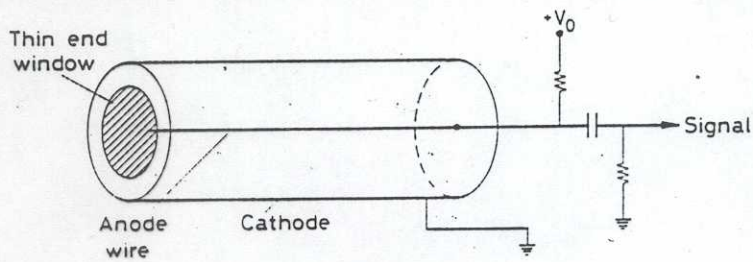
são acelerados para o cátodo e os electrões para o ânodo, onde se convertem num impulso de corrente que, por integração, dá a carga recolhida. Esta depende, pois, de V_0 : → ver fig.

► **Região I**: Se $V_0 \sim 0$, os pares e- ião recombina-se devido à sua própria atracção eléctrica \Rightarrow não há carga recolhida.

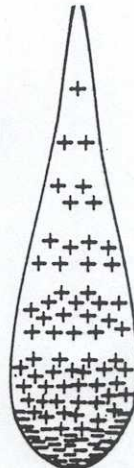
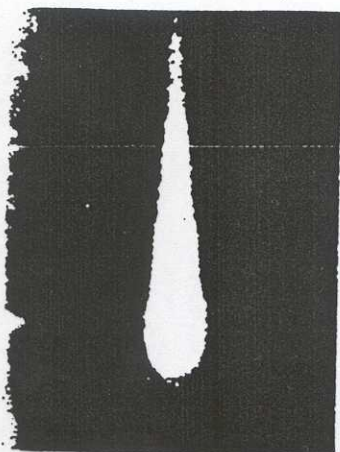
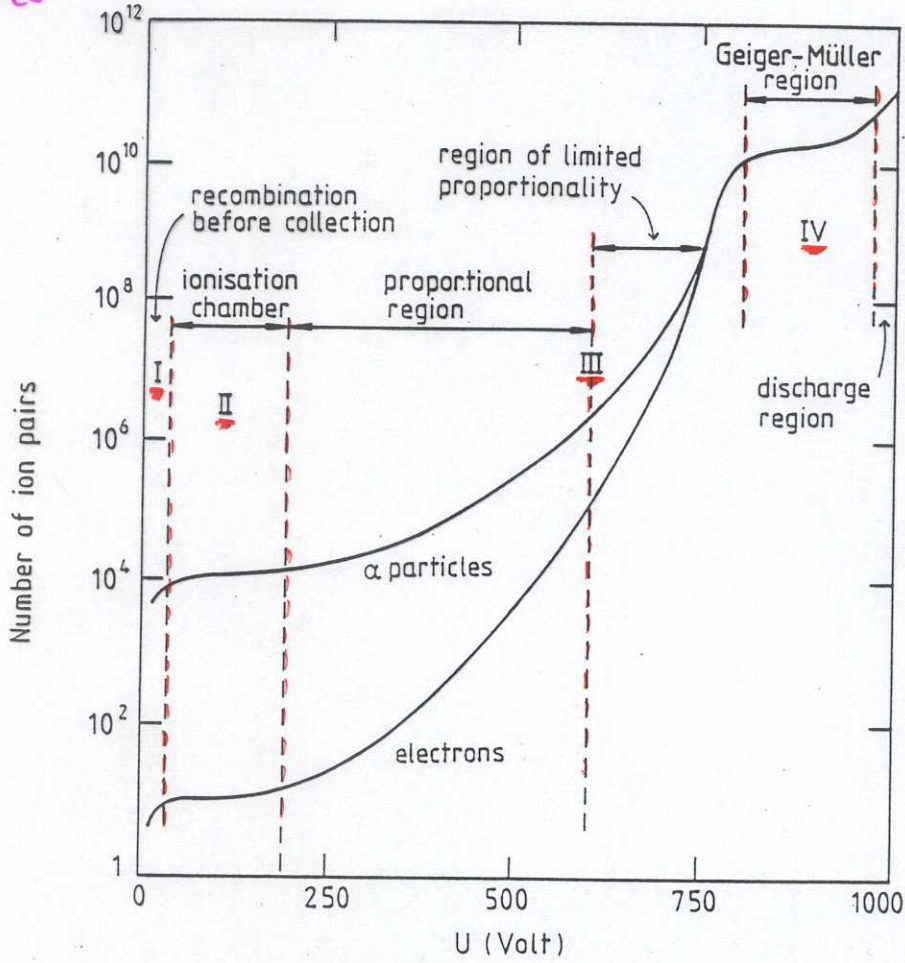
► **Região II**: À medida que V_0 aumenta, cada vez mais pares são recolhidos antes que se possam recombinar. A partir de certo valor, todos os pares formados são recolhidos e um novo aumento de V_0 não produz efeito: estamos no 1.º patamar — região de trabalho da câmara de ionização.

► **Região III**: Continuando a aumentar V_0 , o campo eléctrico torna-se suficientemente forte para acelerar os electrões libertados a energias capazes de produzir ionizações secundárias. Os electrões libertados nestas poderão produzir novas ionizações \Rightarrow dá-se a ionização em avalanche.

O campo eléctrico só é muito forte junto ao ânodo, pelo que a avalanche se produz aí, sob a forma de uma gota de cargas positivas e negativas migrando a velocidades diferentes ($v_e \sim 10^3 v_{i\text{ão}}$) e em sentidos opostos. → ver fig.



↑
pares de ions



O sinal de corrente produzido é proporcional à ionização primária, com uma amplificação da ordem de $10^4 - 10^6$ — é a região de trabalho do contador proporcional.

Na parte final de III a proporcionalidade começa a perder-se devido ao aumento excessivo de carga espacial, o que distorce o campo eléctrico em redor do ânodo: é a sub-região de proporcionalidade limitada.

► Região IV: Tornando a subir V_0 ocorre uma descarga no gás: em vez de uma só avalanche localizada dão-se muitas avalanches ao longo do fio, devido a fotões de desexcitação moleculares que vão iniciar o processo de ionização com multiplicação noutro local. O sinal em corrente satura, sendo apenas controlado pela capacidade C do contador ($Q = CV_0$) — é a região de ruptura ou de Geiger-Müller.

► Região V: não se trata de uma região de trabalho dado haver ruptura contínua com ou sem radiação incidente.