

Características Gerais dos Detectores de Radiação

Princípio básico:

transferência da energia da radiação incidente para o material do detector

Transferência de energia:

excitação ou ionização dos átomos ou moléculas do detector

Conversão de energia:

Detectores gasosos (e.g. Geiger-Muller):

os electrões de ionização dão origem a um impulso eléctrico

Detectores de cintilação:

a excitação e a ionização induzem transições moleculares de que resulta emissão de luz

Sensibilidade dos Detectores

Capacidade de os detectores gerarem um sinal utilizável (para uma dada radiação e uma dada energia)

A sensibilidade depende de:

- secção eficaz para produção de ionização
- massa do detector
- ruído electrónico
- material de protecção do volume activo

Partículas neutras: a interacção produz partículas carregadas capazes de ionizar o meio

Resposta dos Detectores

Radiação incidente completamente absorvida no detector:

o sinal (carga total) é proporcional à energia da partícula incidente

Se a forma do impulso não depender da energia, a energia é proporcional à amplitude do impulso

Resposta do detector: relação amplitude vs energia

Detector linear: relação amplitude vs energia linear

Calibração: determinação da função de resposta do detector

Resolução em Energia

Mede a capacidade do detector em distinguir dois valores de energia próximos.

Grande número de excitações e ionizações \Rightarrow estatística de Gauss

Sendo E_0 a energia da partícula incidente, o detector mede uma energia E com uma probabilidade gaussiana:

$$p(E) = \frac{1}{\sqrt{2ps^2}} \exp\left[-\frac{(E - E_0)^2}{2s^2}\right]$$

Define-se resolução R em termos da largura a meia altura do pico de energia:

$$R = \frac{\Delta E}{E_0} = \frac{FWHM}{E_0} = \frac{2.35s}{E_0}$$

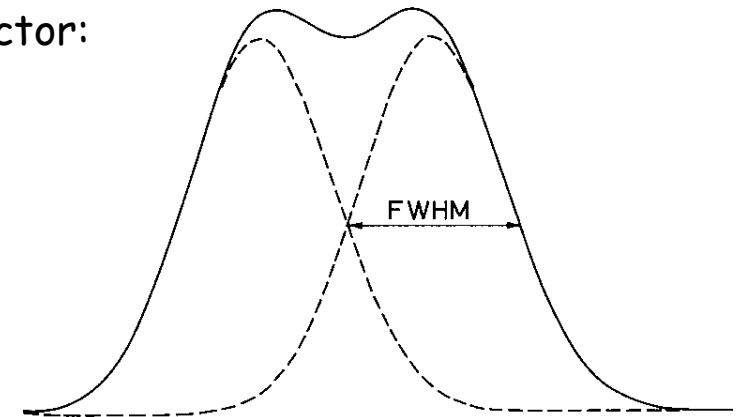
FWHM - Full Width Half Maximum

Outros factores que contribuem para a resolução do detector:

- flutuações na deriva dos electrões/iões para os eléctrodos
- flutuações na conversão de fotões em sinal eléctrico
- ruído electrónico

Contribuições independentes implica:

$$(\Delta E)^2 = (\Delta E)_{det ect}^2 + (\Delta E)_{elect}^2 + \dots$$



Eficiência do Detector

Eficiência total:

$$\mathbf{e}_{tot} = \frac{\text{Eventos detectados}}{\text{Eventos emitidos pela fonte}}$$

Eficiência intrínseca:

$$\mathbf{e}_{int} = \frac{\text{Eventos detectados}}{\text{Eventos incidentes no detector}}$$

Eficiência geométrica ou aceitância:

$$\mathbf{e}_{tot} = \frac{\text{Eventos incidentes no detector}}{\text{Eventos emitidos pela fonte}}$$

$$\mathbf{e}_{tot} = \mathbf{e}_{int} \times \mathbf{e}_{geom}$$

Tempo Morto do Detector

Tempo t necessário ao detector e electrónica associada para processar um evento.

Dois casos:

- 1- o detector permanece activo durante $\tau \Rightarrow$ empilhamento de eventos, distorção do sinal
- 2- o detector bloqueia-se durante $\tau \Rightarrow$ eventos perdidos

Caso 2: Cálculo da taxa de contagem real n_r a partir da taxa medida n_m

$$n_r = N_r / T \quad N_r - \text{número de contagens reais no intervalo de tempo } T$$

$$n_m = N_m / T \quad N_m - \text{número de contagens medidas no intervalo de tempo } T$$

Integral do tempo morto no intervalo T

Contagens perdidas durante o tempo morto

Contagens reais durante o tempo T

$$N_m \cdot \tau$$

$$n_r \cdot (N_m \cdot \tau)$$

$$n_r \cdot T = N_m + n_r \cdot N_m \cdot \tau$$

Donde:

$$n_r = \frac{n_m}{1 - n_m t}$$

Detectores de ionização (1)

Os detectores de ionização utilizam gases: a grande mobilidade de electrões e iões facilita a recolha das cargas resultantes da ionização

Tipos de detectores de ionização:

- câmara de ionização
- contador proporcional
- contador Geiger-Muller

Exploram regimes diferentes da tensão aplicada

Configuração de base:

- Cilindro de paredes condutoras (cátodo), cheio de um gás nobre (eg. argon)
- Fio condutor ao longo do eixo (ânodo)
- Tensão V_0 entre o fio e o cilindro (cilindro à massa)

Campo eléctrico radial:
$$E = \frac{1}{r} \frac{V_0}{\ln(r_{\text{exr}} / r_{\text{int}})}$$

Princípio de funcionamento:

Radiação incidente → Ionização do gás → Deriva das cargas para os eléctrodos devido ao campo eléctrico → Recolha de sinal eléctrico nos eléctrodos

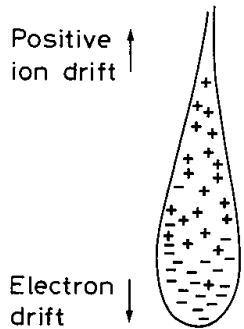
Detecutores de ionização (2)

Regiões de tensão aplicada entre o ânodo e o cátodo:

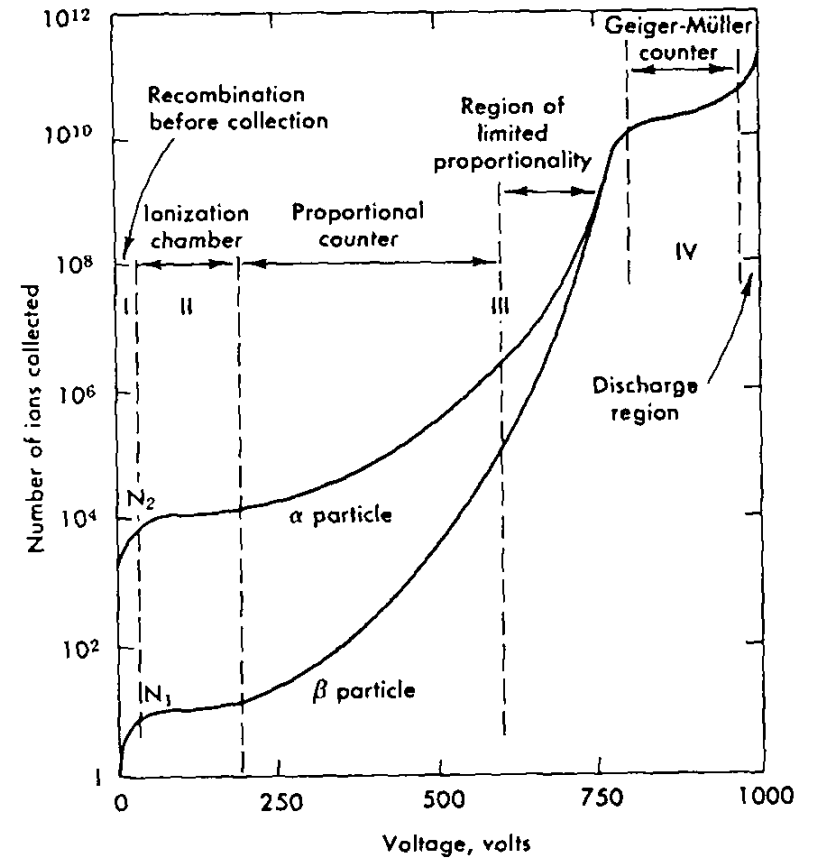
Região I: $(V_0 < 50 \text{ V})$ Recombinação, não há sinal nos eléctrodos

Região II: $50 < V_0 < 200 \text{ V}$ **Câmara de Ionização**
A carga de ionização é recolhida nos eléctrodos

Região III: $200 < V_0 < 800 \text{ V}$ **Contador Proporcional**
Os electrões acelerados no campo eléctrico produzem ionizações secundária
A ionização secundária dá-se junto ao fio ($E \sim 1/r$). Avalanche.
Sinal recolhido proporcional à ionização primária (amplificação entre 10^4 - 10^6 , função de V_0)



Anode Wire



Contador Geiger-Muller

Região IV: Geiger-Muller

$$800 < V_0 < 1000 \text{ V}$$

A partícula incidente no detector provoca uma descarga no gás.

Várias avalanches ao longo do fio, devido a fotões de desexcitação moleculares que ionizam o gás noutra local.

Saturação do sinal em corrente. A carga recolhida é controlada pela capacidade C do detector ($Q = C \cdot V_0$)

Região V:

$$V_0 > 1000 \text{ V}$$

Disrupção contínua com ou sem radiação incidente.

Detecutores de cintilação

Utilizam a propriedade de certos materiais emitirem luz quando atravessados por radiação:

radiação \Rightarrow excitação de níveis de energia \Rightarrow desexcitação \Rightarrow luz visível ou UV

Funcionam acoplados a um transdutor óptico-eléctrico (eg. fotomultiplicador)

Características principais:

- linearidade: resposta linear à energia incidente \Rightarrow bons para espectrómetros de energia
- resposta em tempo: detectores rápidos (5-50 ns, dependendo do tempo de vida dos estados excitados)
 - bons para altas taxas de contagem
 - bons para definição em tempo dos eventos

$$N = \frac{N_0}{t_d} \exp\left(-\frac{t}{t_d}\right)$$

Requisitos:

- transparência à luz produzida
- espectro de emissão adequado às características do foto-sensor

Cintiladores Plásticos

Cintiladores plásticos:

Soluções de cintiladores orgânicos num solvente sólido plástico

- plástico: poliviniltolueno, poliphenilbenzeno, polistireno
- cintilador orgânico: PDB ($C_{20}H_{14}N_2O$), p-Terphenil ($C_{18}H_{14}$), concentração 10g/l

Características principais:

- excitação de níveis moleculares
- pequeno Z
- índice de refração 1.58
- constante de tempo 2-4 ns
- comprimento onda (máxima emissão) 370-430 nm

Cristais Inorgânicos

Cristais inorgânicos:

Cristais dopados uma impureza activadora

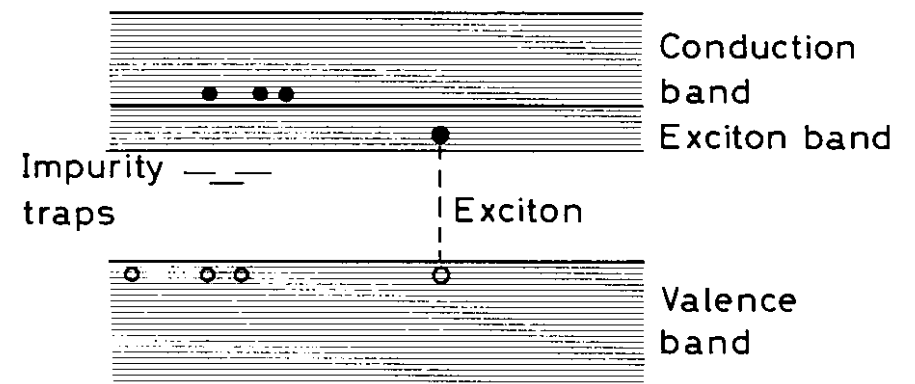
Estrutura de bandas electrónicas no cristal

A radiação provoca ionização do cristal (criação de pares electrão-buraco).

Transições entre as bandas de energia dão origem a fotões.

Exemplos: Iodeto de sódio NaI(Tl), Iodeto de cézio CsI(Tl), Germanato de Bismuto (BGO), Flureto de bário BaF₂, Tungstanato de chumbo PbWO₄

- grande Z (absorção da radiação em pequenos volumes)
- constante de tempo 30-1000 ns, dependendo do cristal



Fotomultiplicadores

Transdutor óptico-eléctrico:

Tubo de vidro sob vácuo, contendo:

- fotocátodo que recebe os fotões e emite electrões (efeito fotoeléctrico)
- sistema de multiplicação formado por 10-14 eléctrodos (dínodos), onde se aplica alta tensão
- ânodo onde se recolhe o sinal

Fotocátodo: liga semicondutora de metais alcalinos (Na, K, Cs) e materiais do grupo V (geralmente Sb)

Eficiência quântica: número de electrões libertados por fotão incidente 15-20% (depende do comprimento de onda)

Dínodos: metal revestido de material com alto coeficiente de emissão electrónica (Ag-Mg, Cu-Be, Sb-Cs)

Tensão entre os dínodos: 100-200 V

Um electrão de 100-200 eV arranca 3 a 5 electrões secundários

↳ ganho 10^6 - 10^8

Ruído: corrente negra devido a emissão termoiónica

$$I = AT^2 \exp(-e\phi/kT)$$

