

## • Detectores de cintilação

Certos materiais, quando bombardeados com partículas carregadas ou radiações, emitem pequenos flashes de luz, isto é, cintilam.

Acoplados a um dispositivo de amplificação (como o fotomultiplicador - PM) as cintilações são convertidas em impulsos eléctricos que são tratados pela cadeia electrónica associada.

As suas mais importantes características gerais são:

- **Sensibilidade**: acima de um limiar em energia, muitos cintiladores exibem uma resposta quase linear à energia incidente  
⇒ bons como espectrómetros de energia.
- **Resposta em tempo**: são rápidos, pois têm tempos de resposta e de recuperação muito pequenos (comparados com outros tipos de detectores)  
⇒ bons para altas taxas de contagem, mantendo um tempo morto reduzido.  
⇒ bons para definição em tempo dos eventos.

Os materiais cintiladores são luminescentes, isto é, quando sujeitos à luz, calor, radiação, etc, absorvem a energia e reemitem-na sob a forma de luz visível.

- Se a reemissão ocorre imediatamente ( $\sim 10\text{ ns}$ ), tempo típico das transições atômicas, dá-se a **fluorescência**

- Se a reemissão for atrasada (alguns  $\mu\text{s}$  a horas) por criação de estados excitados **metastáveis**, dá-se a **fosforescência**.

Em muitos cintiladores há 2 componentes de reemissão, a **rápida** e a **lenta**, sendo a 1ª geralmente dominante.

Nem todos os materiais cintiladores servem para detectores. Os requisitos são:

- **grande eficiência** na conversão da energia em radiação **fluorescente**.
- **transparência** à radiação fluorescente para boa transmissão da luz ao fotocátodo do PM.
- **emissão numa região espectral** adequada à do material do fotocátodo do PM.
- **uma componente rápida** de reemissão de **pequena constante de decaimento**.

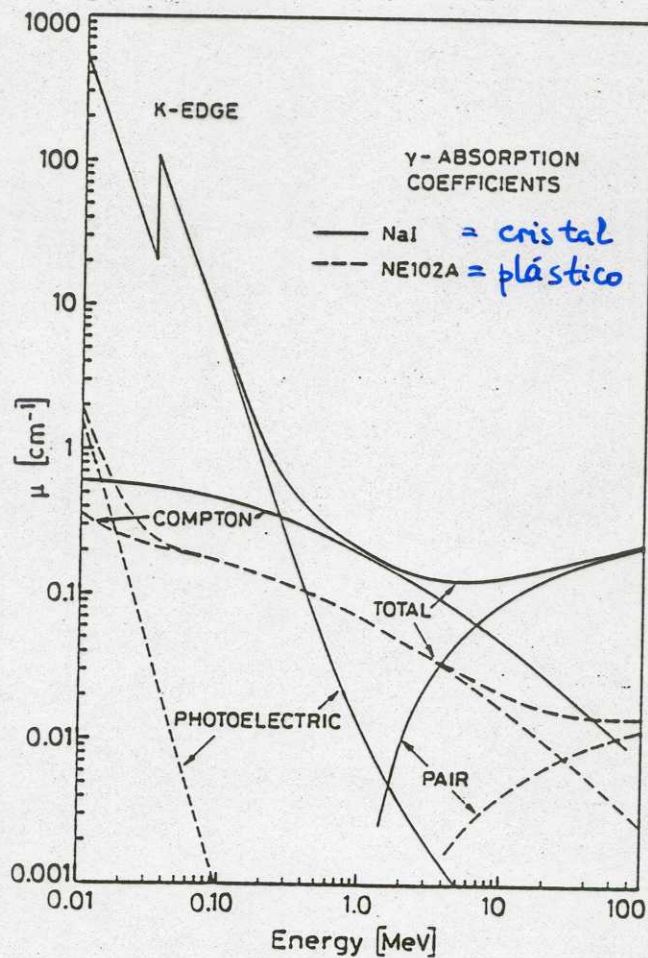
Os tipos de cintiladores usados são: **cristais e líquidos orgânicos, plásticos, cristais inorgânicos, gases e vidros**.

A título de exemplo, tabelam-se as diferenças entre plásticos e cristais inorgânicos.

→ ver figs.

# Deteccção de $\gamma$ :

Comparação dos coeficientes de absorção linear entre um plástico (NE102A) e um cristal inorgânico (NaI)



Comportamento típico das secções eficazes:

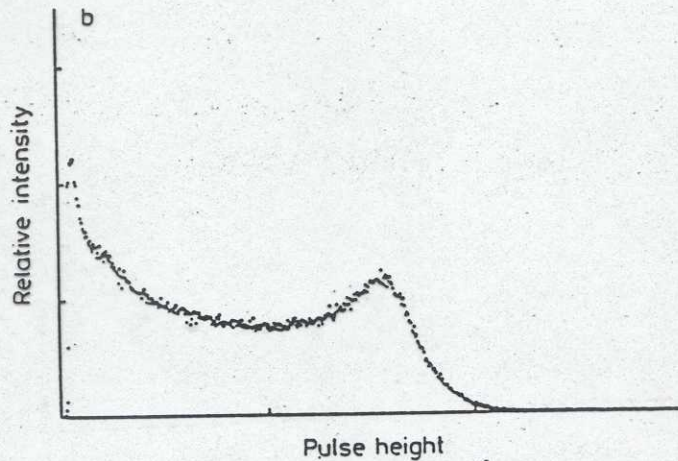
$$\sigma_{\text{fotoeléctrico}} \propto Z^5$$

$$\sigma_{\text{Compton}} \propto Z$$

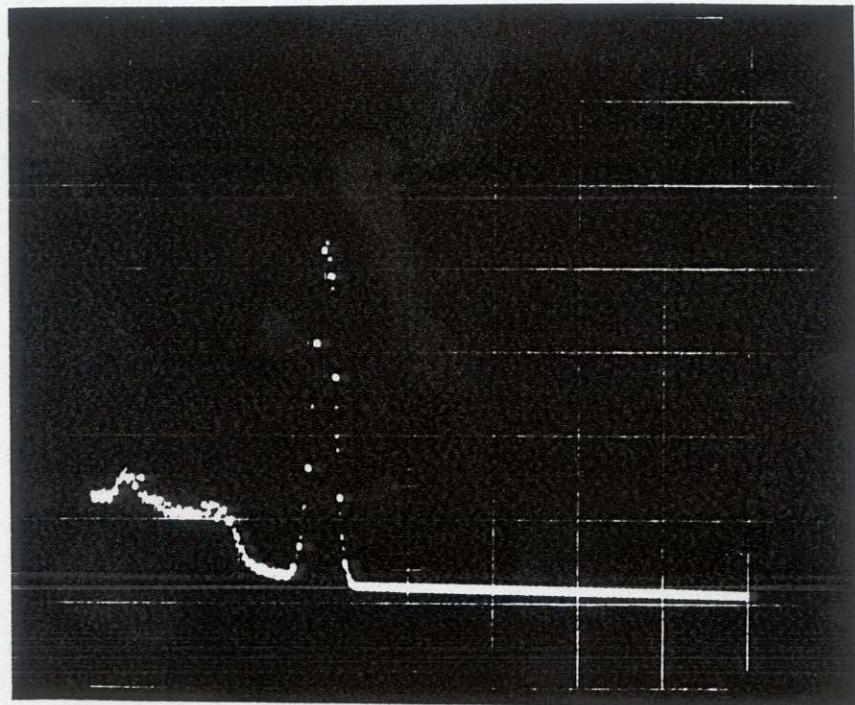
$$\sigma_{\text{prod. pares}} \propto Z^2$$

# Deteccção de $\gamma$ :

Plásticos:



Baixo  $\bar{z}$   $\Rightarrow$  Má eficiência de recolha do sinal  
Pouca cintilação  $\Rightarrow$  Má resolução dos picos e distribuições



Cristais:

Alto  $\bar{z}$   $\Rightarrow$  Boa eficiência na recolha da energia do  $\gamma$   
Muita cintilação  $\Rightarrow$  Boa resolução

	plásticos	cristais inorg:	Consequências
Z	baixo	alto	plásticos bons para $e^-$ cristais bons para $\gamma$
Índice de refração	$\sim 1.58$	$\sim 1.78$	boas transparências
luz reemitida	1	1-10	cristais: boa resolução em energia NaI(Tl) = 2.3
comp. rápida (const. decaim.)	2-4 ms	60-1000 ms	NaI(Tl) = 230 ns
compr. onda (máxima emissão)	370-430 nm	300-450 nm	NaI(Tl) = 413 nm
material higroscópico	não	sim (em geral)	NaI(Tl) sim BGO não

### • Cristais inorgânicos :

Os cintiladores inorgânicos são frequentemente cristais dopados com uma pequena quantidade de impurezas activadoras. O mais usado é o NaI(Tl).

Enquanto a cintilação dos materiais orgânicos é de origem molecular, nos cintiladores inorgânicos é devida à estrutura de bandas

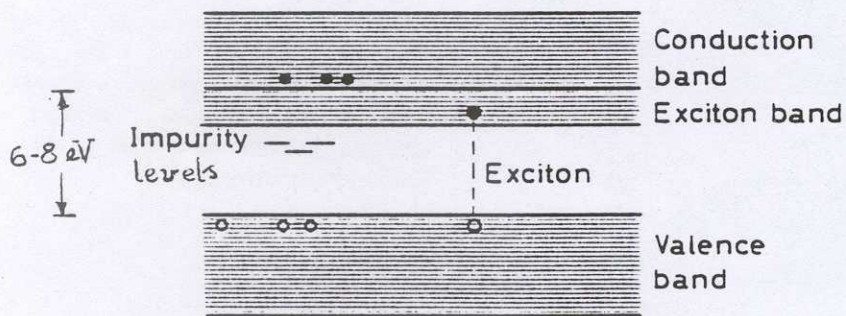


Fig. 7.7. Electronic band structure of inorganic crystals. Besides the formation of free electrons and holes, loosely coupled electron-hole pairs known as excitons are formed. Excitons can migrate through the crystal and be captured by impurity centers

electrónicas dos cristais.

Dois processos podem ocorrer quando um cristal é bombardeado por radiação:

→ ver fig.

- Ou ioniza o cristal removendo um electrão da banda de valência para a de condução, criando um electrão livre e um buraco livre.

- Ou cria um par electrão-buraco ligado (excitação) que pode mover-se livremente no cristal, mas como um todo.

Estes pares, ao encontrarem um átomo da substância activadora, excitam-no. É da sua desexcitação que resulta a emissão de luz na banda necessária à excitação do fotocátodo dos PMs.

### Fotomultiplicador (PM)

→ ver fig.

É um tubo de vidro, sob vácuo, constituído por um fotocátodo que recebe os impulsos luminosos do cintilador e liberta electrões por efeito fotoeléctrico, e por um sistema de multiplicação formado por um conjunto de eléctrodos (10 a 14), os díodos, que termina num ânodo, onde se recolhe o sinal.

- ▶ O fotocátodo é uma liga semicondutora formada por um ou mais metais alcalinos

(Na, K, Cs) e materiais do grupo V (geralmente Sb).

A propriedade básica dum fotocátodo é a sua **eficiência quântica**: número de electrões libertados por fóton incidente. Os fotocátodos **bi alcalinos** atingem máximos de  $\eta = 27\%$  para comprimentos de onda  $\lambda = 380 \text{ nm}$ . → ver fig.

► Diferentes configurações geométricas podem ser usadas para **colectar, focar e acelerar** os electrões para o 1º dínodo.

Os dínodos são eléctrodos feitos de metal revestido por um material com **alto coeficiente de emissão electrónica secundária** (Ex<sup>os</sup>: Ag-Mg, Cu-Be, Sb-Cs). Um electrão de **100-200 eV** arranca **3 a 5** electrões secundários. Com **14** dínodos e **diferenças de potencial entre andares de 100-150 V**, obtém-se um **ganho de  $10^8$** . → ver fig.

► O ruído dum PM tem **2** componentes:

- **Corrente negra**, presente mesmo quando o PM não é iluminado, devida essencialmente à **emissão termiônica** do cátodo e dínodos

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

- **ruído estatístico**, devido às flutuações em torno do valor médio da **emissão fotoelétrica** do cátodo e das **emissões secundárias** de cada dínodo.



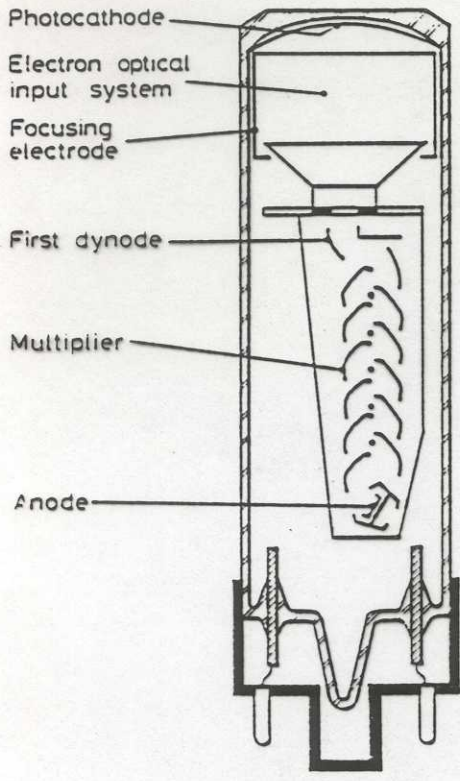


Fig. 8.1. Schematic diagram of a photomultiplier tube (from Schonkeren [9.1])

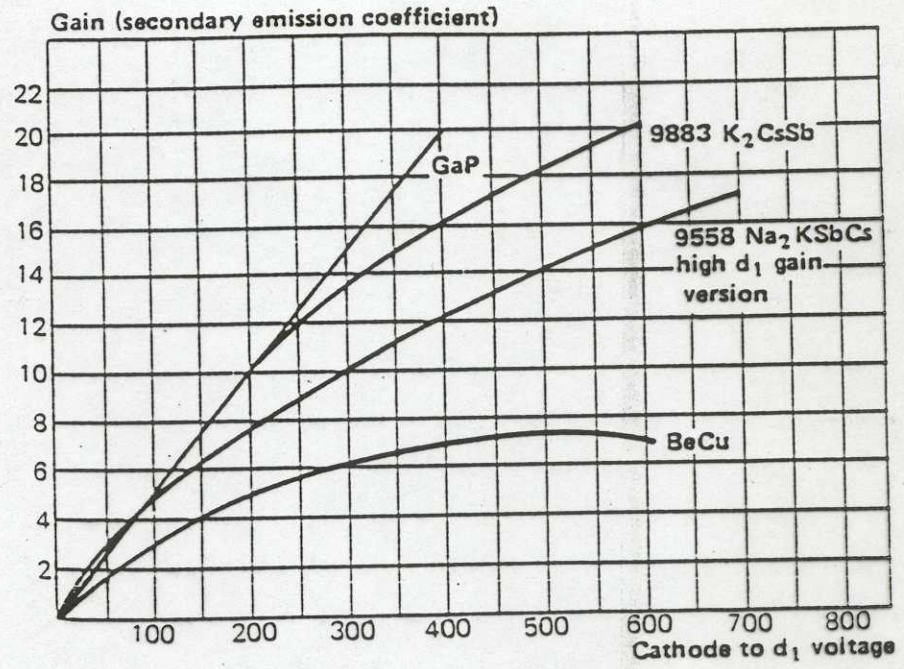


Fig. 8.9. Secondary emission factor for several dynode materials (from EMI Catalog [8.2])

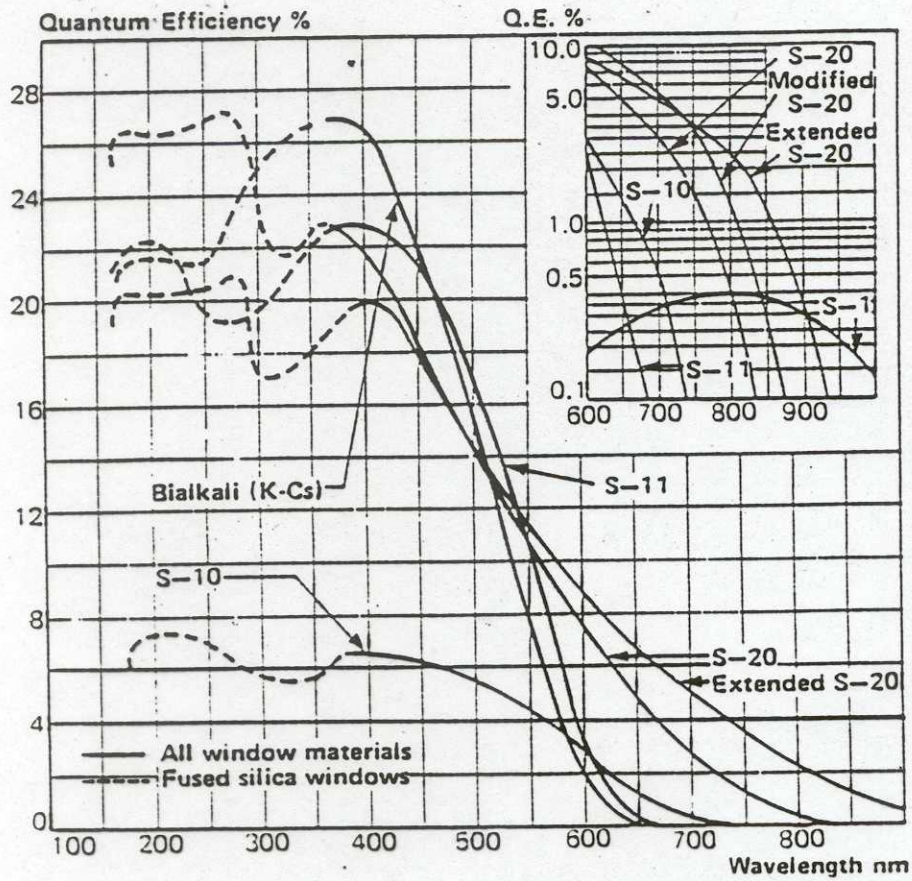


Fig. 8.2. Quantum efficiency of various photocathode materials (from EMI Catalog [8.2])