

Detectores de Partículas

*Thiago Tomei
IFT-UNESP
Março 2009*

Sumário

- ❑ *Modelo geral de um detector.*
- ❑ *Medidas destrutivas e não-destrutivas.*
- ❑ *Exemplos de detectores.*
 - *Tempo de vôo.*
 - *Detectores a gás.*
 - Câmara de ionização. Contador proporcional. Geiger-Muller.
 - Multiwire proportional chamber.
 - *Cintiladores.*
 - *Detectores de estado sólido.*
 - *Outros detectores.*

Modelo Geral de um Detector

- ❑ *Objetivo: interação da partícula com detector → sinal macroscópico.*
 - *Sinal elétrico.*
 - *Sinal luminoso → conversão para elétrico.*
- ❑ *Princípio: aparição de carga Q no volume sensível do detector.*
 - *Aplicação de campo \mathbf{E} → deslocamento da carga → corrente $i(t)$ → coleta da carga em tempo t_c .*

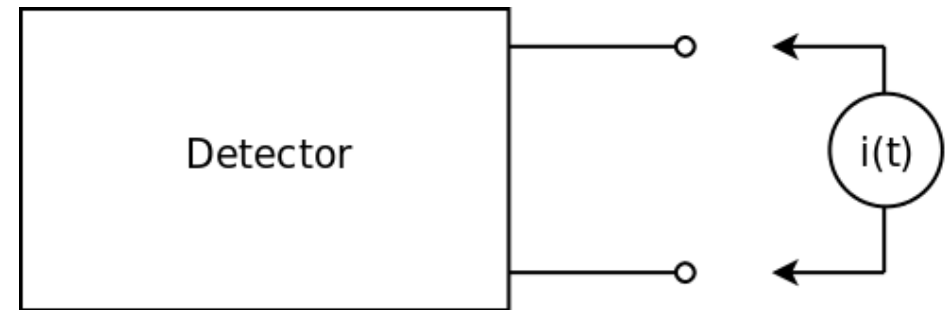
– *Formação de sinal $i(t)$.*
$$\int_0^{t_c} i(t) dt = Q$$

Modelo Geral de um Detector

□ Dois modos principais de operação.

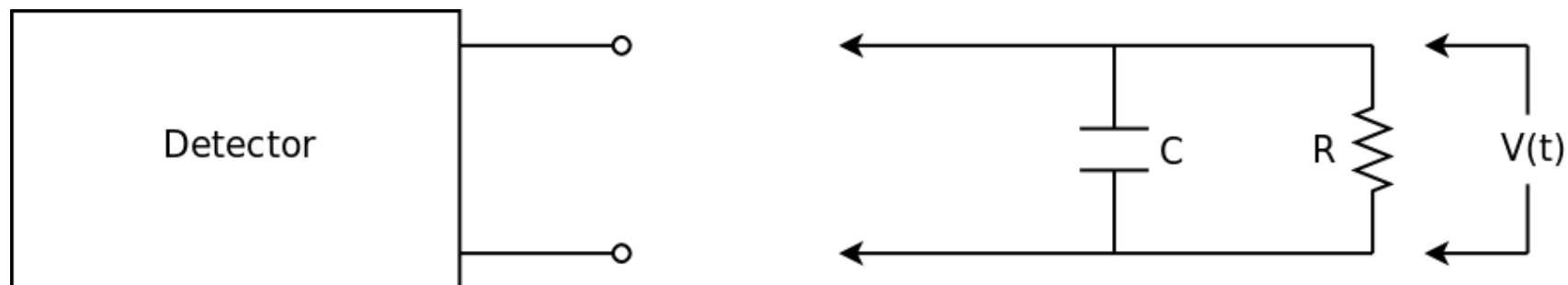
– Modo de corrente: medida direta do sinal $i(t)$.

- Usado principalmente quando se deseja detectar uma taxa média de ocorrência de eventos.



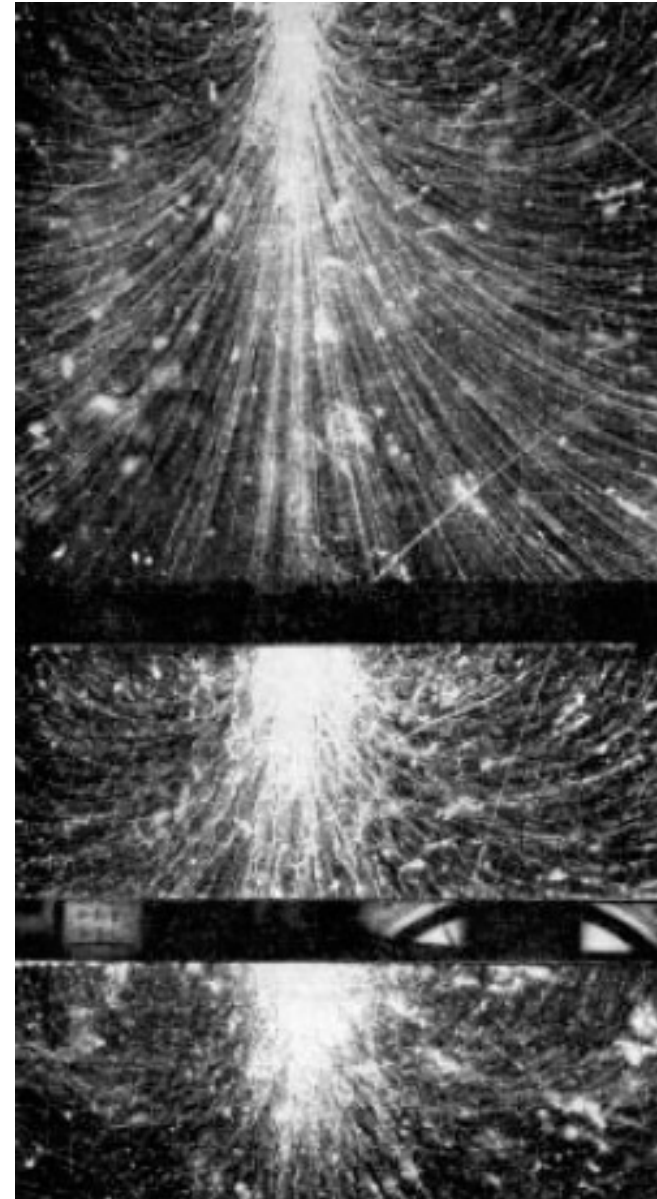
– Modo de pulso: medida de $V(t)$.

- Usado principalmente quando se deseja detectar evento por evento. Um evento \sim um pulso.

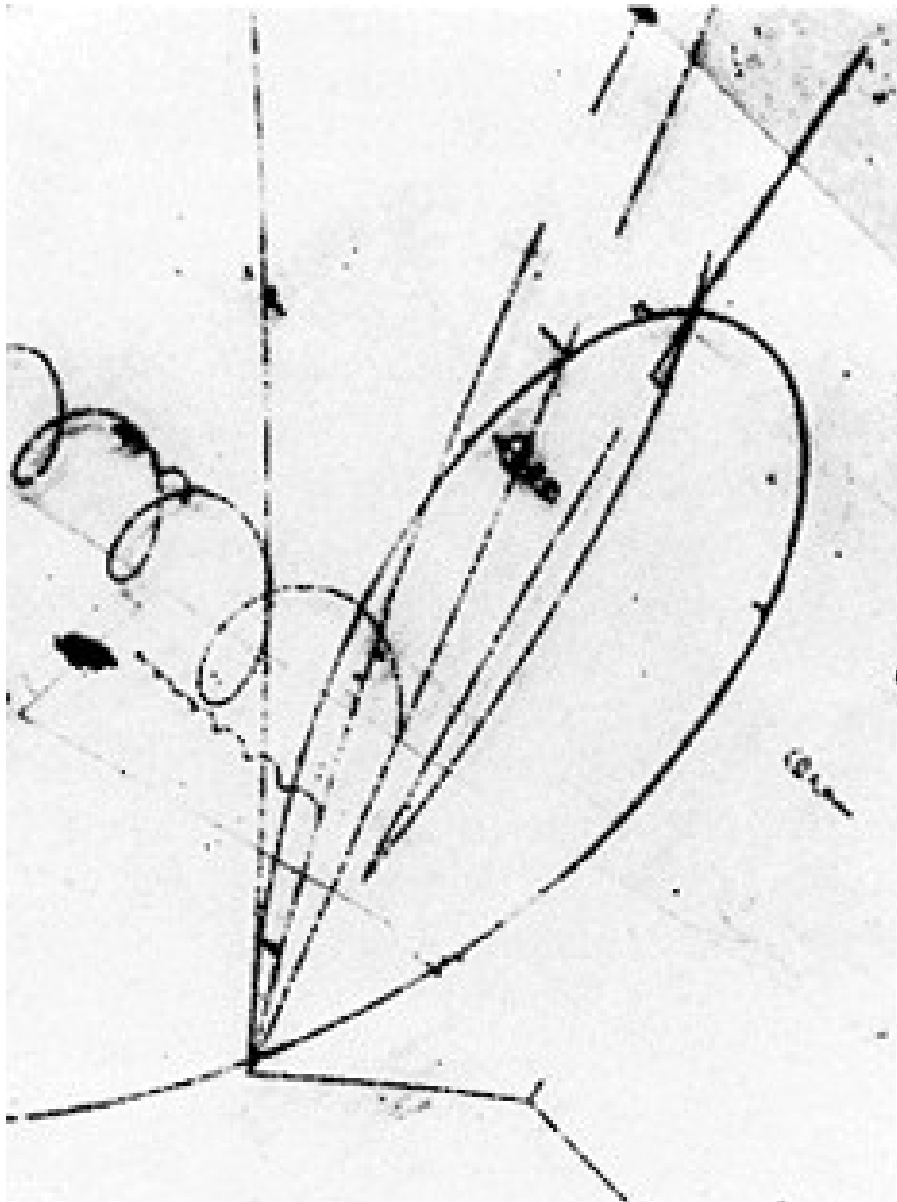


Medidas Destrutivas

- *Exemplo: medida direta da energia da partícula.*
 - *Partícula deposita toda a energia no material.*
 - Diferentes processos dependendo da energia.
 - *Todos os descendentes ou são absorvidos ou escapam.*
 - *Nenhuma partícula com a "identidade original".*
 - *Formação de chuveiros.*



Medidas Não-Destrutivas



□ *Exemplo: medida do momento através do raio de curvatura.*

– *Partícula ioniza o material em regiões localizadas do espaço.*

$$R = \frac{p_T}{qB}$$

– *Partícula mantém sua identidade quase intacta durante o processo.*

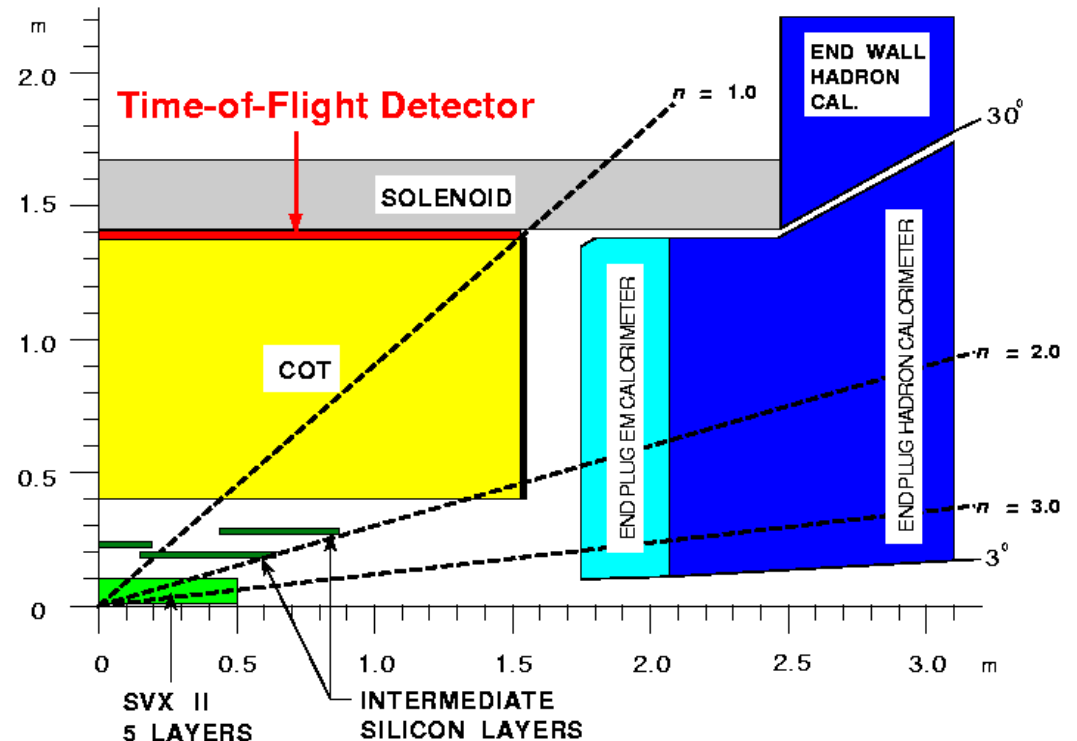
Exemplos de Detectores

Tempo de Vôo

- Medida de tempo de vôo da partícula através de distância conhecida.
- Pode ser convertida em medida de massa, com ajuda de dispositivo de traço:

$$m = \frac{p}{c} \cdot \sqrt{\frac{c^2 t^2}{L^2} - 1}$$

onde p e L são o momento e o comprimento de arco da trajetória medida.



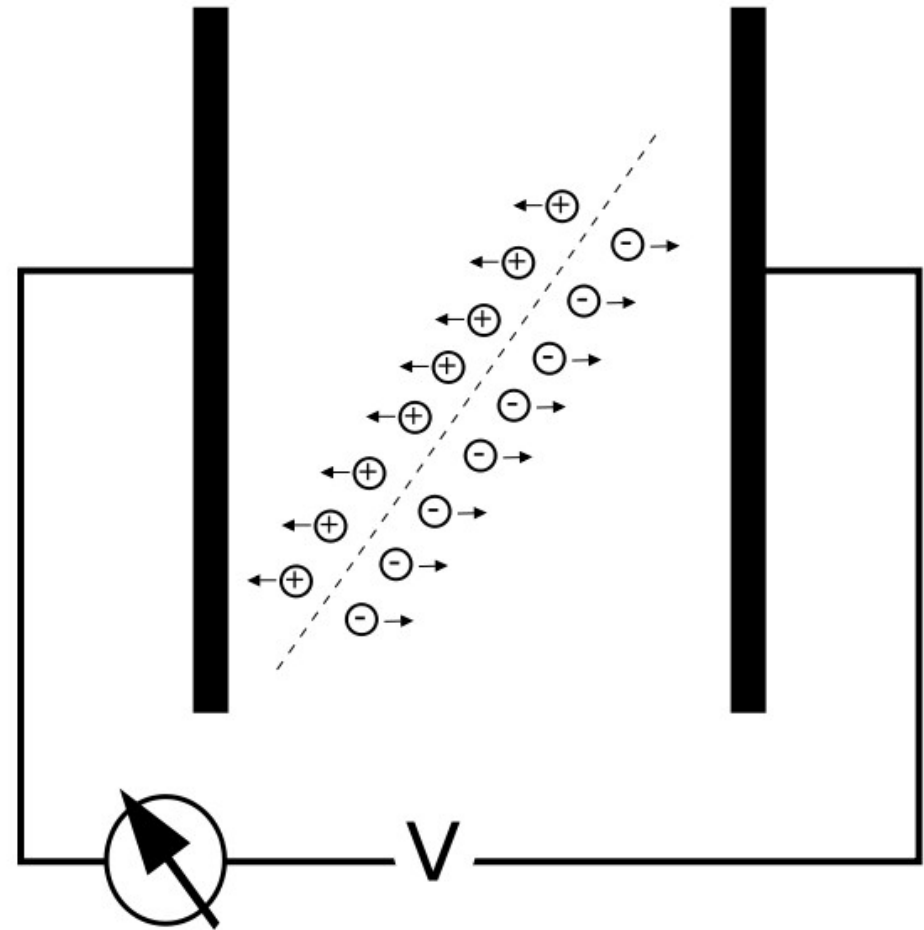
- Diagrama do detector de tempo de vôo do CDF-II, FNAL.

Detectores a Gás

- ❑ *Partícula carregada atravessando meio gasoso.*
- ❑ *Ionização do gás.*
 - *Ionizações primária e secundária.*
 - *Número de íons primários ~ energia da partícula.*
- ❑ *Elétrons coletados através de campo E aplicado.*
 - *Coleta incompleta: recombinação, captura de elétrons.*
- ❑ *Diferentes modalidades:*
 - *Câmara de ionização.*
 - *Detector proporcional.*
 - *Contador Geiger-Muller.*

Câmara de Ionização

- ❑ Usualmente operada em modo de corrente.
- ❑ Radiação estacionária R
 - Taxa de ionização $I = f(R)$.
- ❑ Recombinação / captura.
 - Coleta incompleta.
 - Aumento do campo $E \rightarrow$ aumento da coleta.
- ❑ Valor crítico de E .
 - Saturação iônica.
 - Corrente de ionização i é proporcional à taxa R .

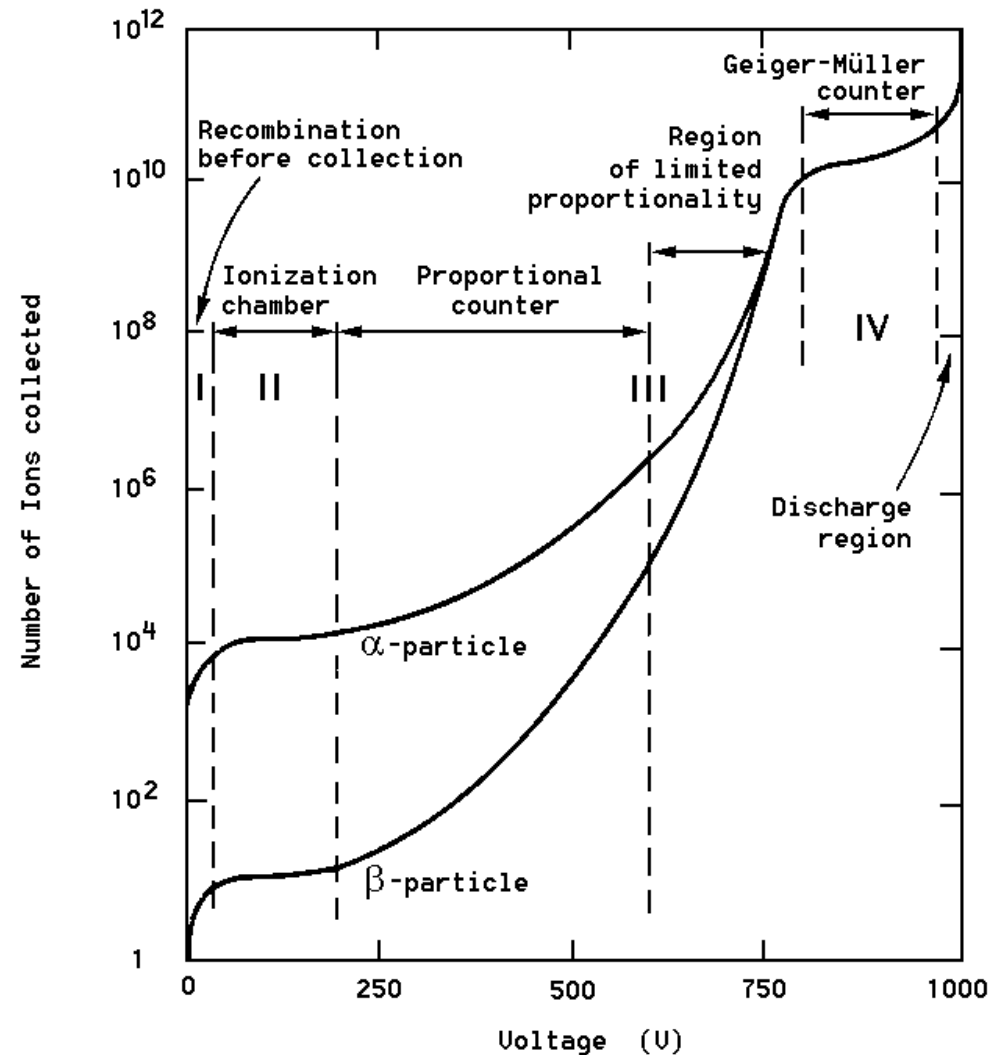


Contador Proporcional

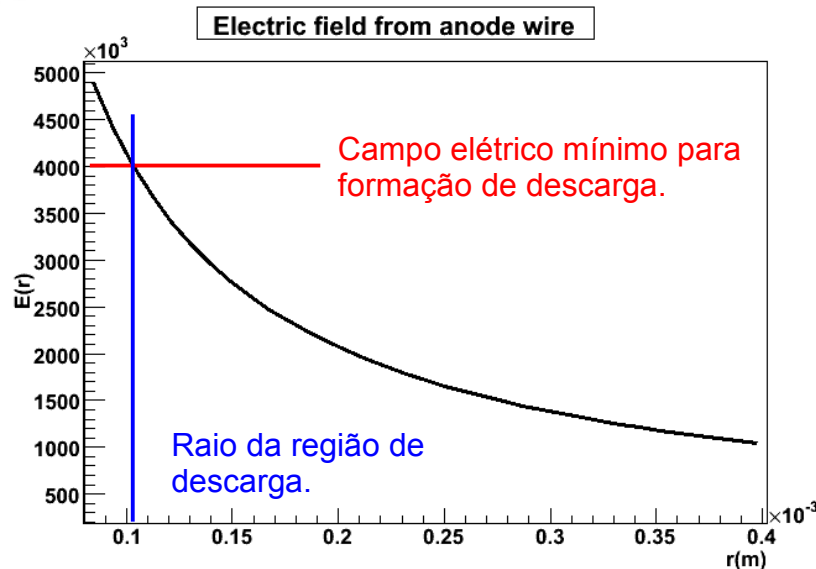
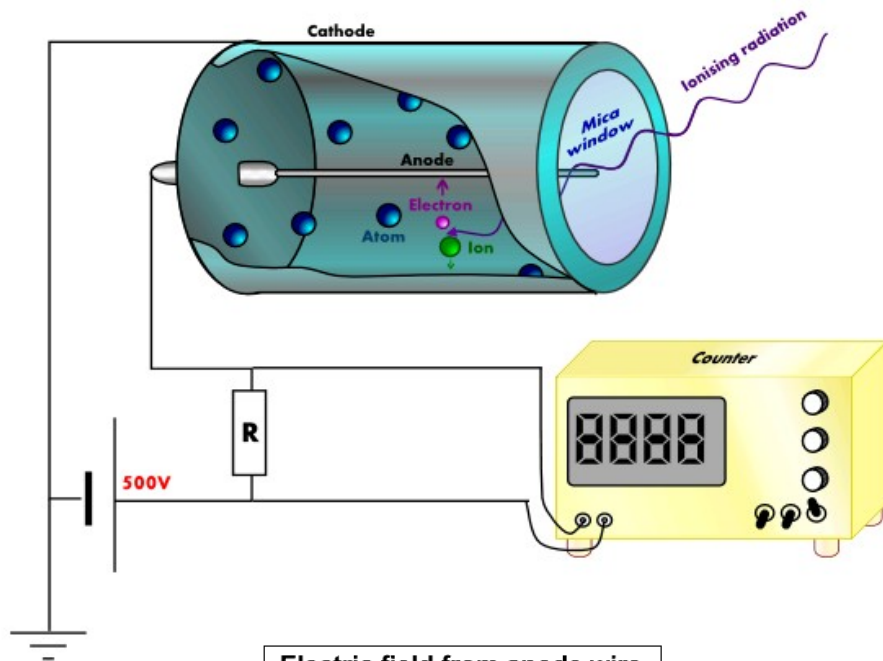
- Aumento do campo E .
- Ionização passa a gerar avalanches de elétrons.
 - Variação de número de elétrons / unid. comprimento:

$$\frac{dn}{n} = \alpha dx \rightarrow n(x) = n(0)e^{\alpha x}$$

- Geometria cilíndrica \rightarrow região de campo intenso muito pequena.
- Magnitude do pulso \sim número de íons primários.



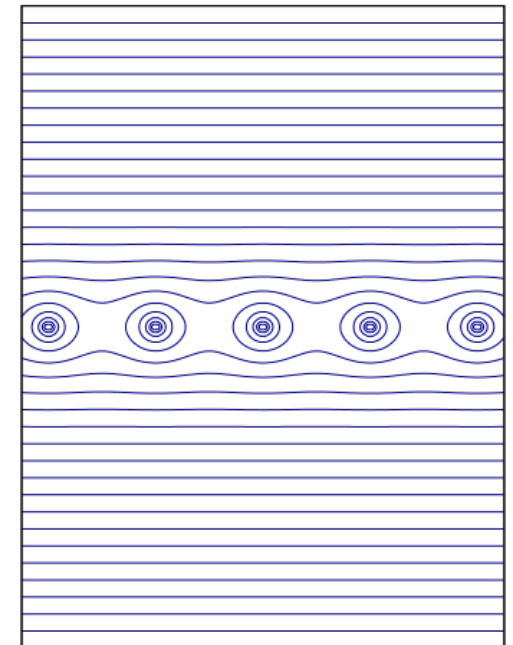
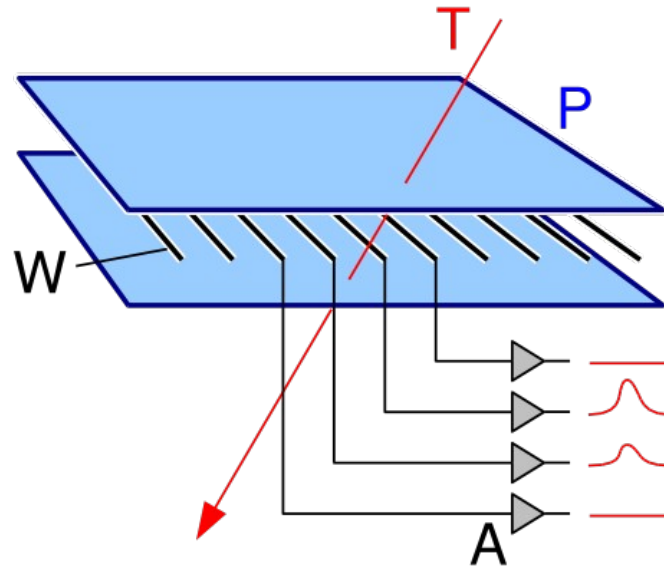
Contador Geiger-Muller



- ❑ Aumento do campo E .
- ❑ Avalanches passam a gerar outras avalanches.
- ❑ Reação em cadeia → descarga Geiger.
- ❑ Descarga termina devido a acúmulo de íons positivos no anodo.
- ❑ Altura do pulso depende apenas da tensão aplicada.
 - Proporcional à sobrevoltagem.

Multiwire Proportional Chamber

- ❑ *Aprimoramento do contador proporcional.*
- ❑ *Geometria:*
 - *Plano de fios (anodos) paralelos entre dois planos catodos.*
 - *Ionização → elétrons e íons vão em direções distintas.*
- ❑ *Cada fio age como um contador proporcional + sinal em um único fio.*
 - *Medida simultânea de energia e posição.*



Multiwire Proportional Chamber



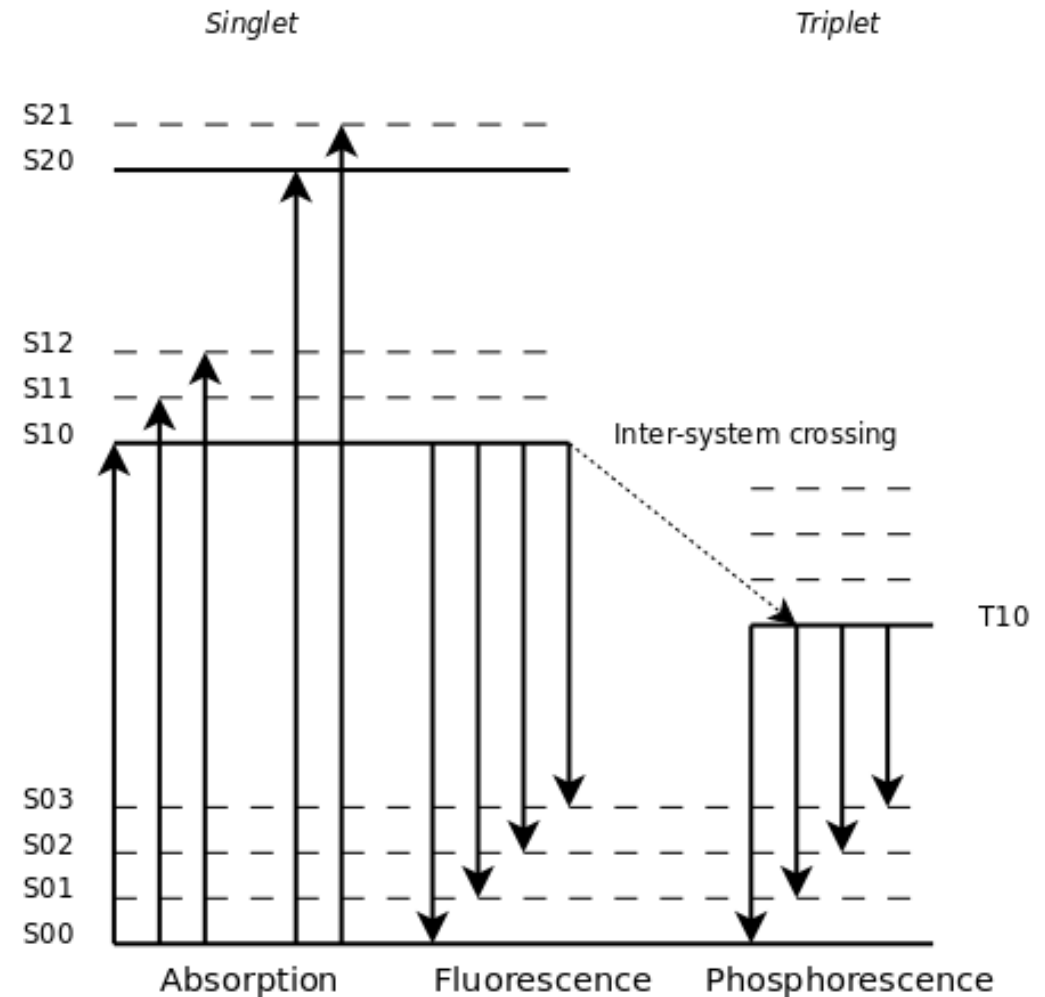
- ❑ *Exemplo de Multiwire Proportional Chamber.*

Materiais Cintiladores

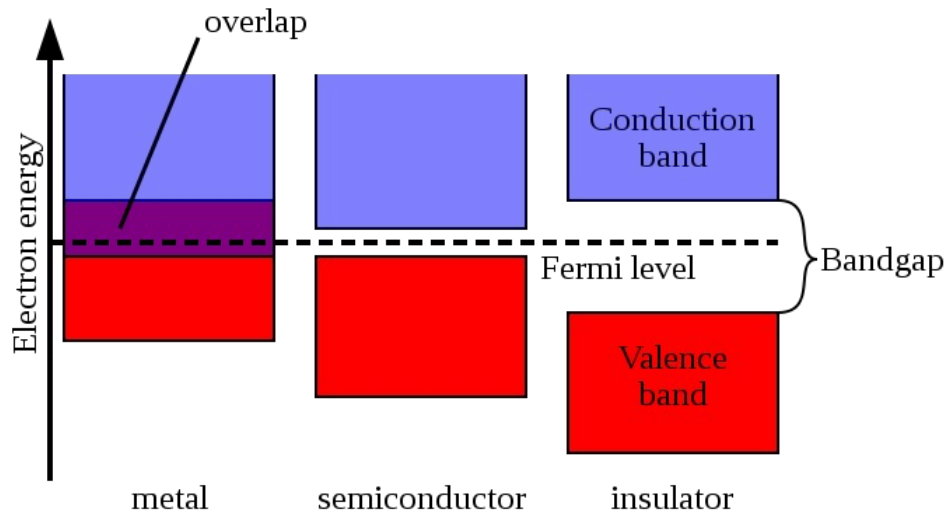
- ❑ *Material cintilador é aquele que emite luz quando da passagem de uma partícula.*
- ❑ *Características desejáveis:*
 - *Conversão da energia cinética da partícula em luz detectável de maneira eficiente.*
 - *Luminosidade proporcional à energia depositada.*
 - *Transparente à luz emitida por ele mesmo.*
 - *Tempo de emissão da luz deve ser curto.*
 - *Boa qualidade ótica e facilmente manufaturável.*
 - *Índice de refração próximo ao do vidro – para acoplar com um sensor de luz.*

Cintiladores Orgânicos

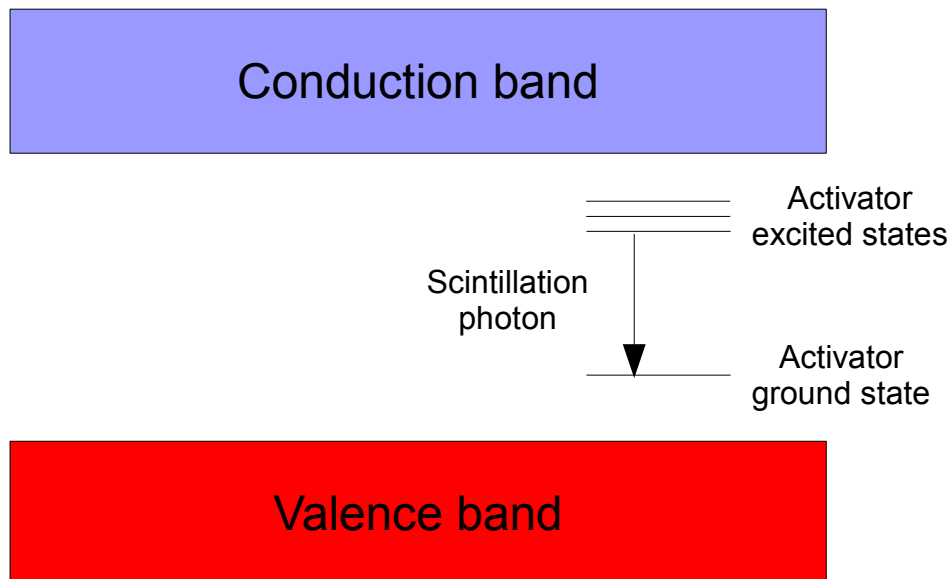
- ❑ *Materiais com estrutura molecular do tipo π -elétron – níveis de energia com estrutura fina.*
 - *Níveis $S(n,m)$ (singletos) e $T(n,m)$ (tripletos).*
- ❑ *Excitação: $S(0,0)$ para $S(1,m)$.*
- ❑ *De-excitação:*
 - *$S(1,m)$ para $S(1,0)$: degradação interna (\sim ps)*
 - *$S(1,0)$ para $S(0,m')$: fluorescência (\sim μ s)*
 - *Passagem por $T(1,0)$: fosforescência (\sim ms).*



Cintiladores Inorgânicos

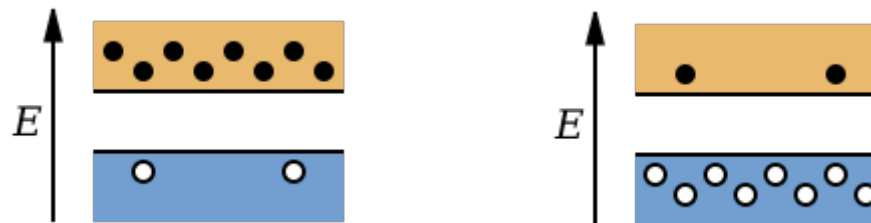


- ❑ *Materiais cristalinos com estrutura de bandas*
 - *Valência, condução e proibida.*
- ❑ *Dopagem → sítios ativadores.*
 - *Preenchimento parcial da banda proibida com níveis discretos.*
- ❑ *Fóton → par elétron-lacuna.*
 - *Lacuna migra para sítio ativador e o ioniza.*
 - *Elétron migra para sítio ionizado e o coloca em um estado excitado.*
 - *De-excitação → fluorescência.*



Detectores de Estado Sólido

- ❑ *Semicondutores apresentam estrutura de bandas com bandgap muito pequeno.*
- ❑ *É possível "dopar" o semicondutor para que ele se torne um condutor. Substituem-se átomos do cristal por átomos de outro material que seja:*
 - *"Doador" de elétrons (fósforo): semicondutor tipo N.*
 - *"Receptor" de elétrons (boro): semicondutor tipo P.*

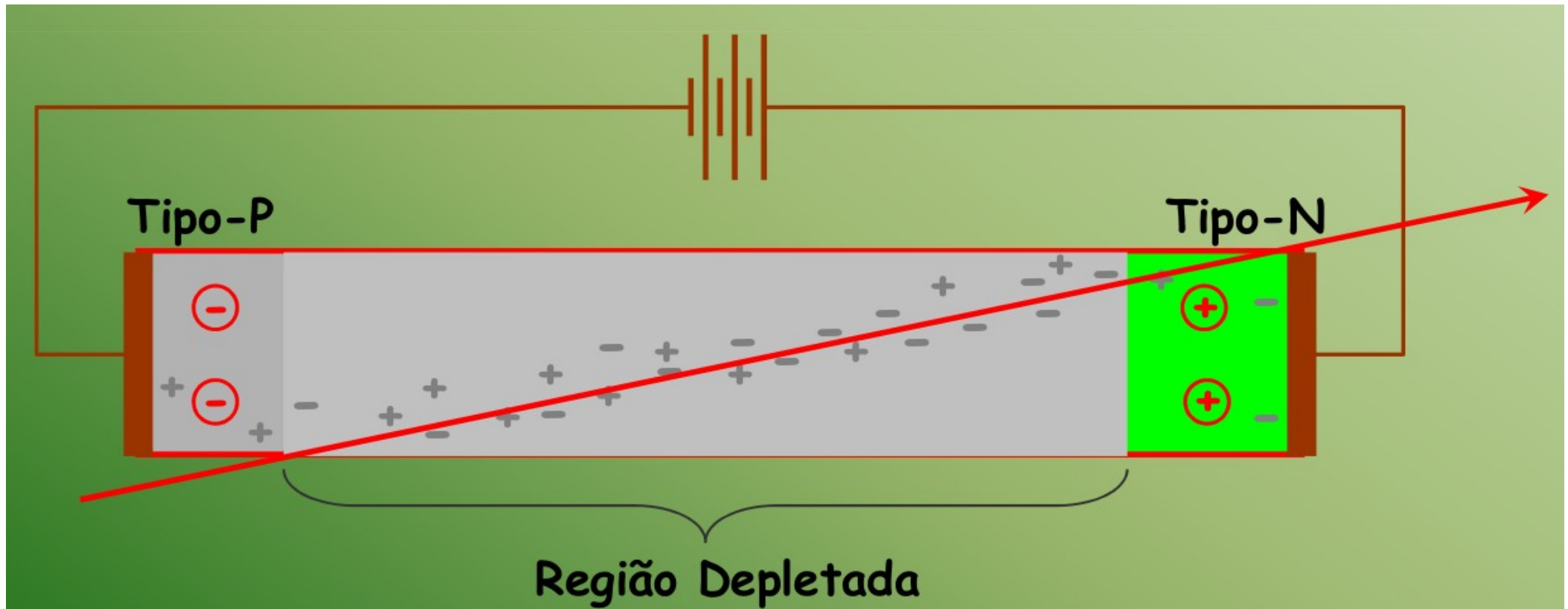


- O tipo do dopante determina se os principais portadores de carga serão elétrons (pretos) ou lacunas (brancos).

Detectores de Estado Sólido

- ❑ *Combinação de um semicondutor P com um N → junção PN – popularmente conhecida como diodo.*
- ❑ *Na junção elétrons (lacunas) migram para o lado P (N), deixando cargas imóveis atrás de si. O efeito final é a existência de carga negativa (positiva) do lado P (N).*
- ❑ *Criação de região depletada na junção, sujeita a um campo E e uma tensão ~ 0.6 V.*
- ❑ *Para uso como detector: aplicação de tensão reversa.*
 - *Aumento da região depletada → age como capacitor dependente da tensão aplicada.*
 - *Passagem de partícula carregada → criação de pares elétron / lacuna → corrente de ionização.*

Detectores de Estado Sólido



- ❑ *Detectores construídos a partir de grandes números de pequenas unidades (wafers) de junções PN.*
- ❑ *Um conjunto dessas unidades, cobrindo uma grande área, possibilita a medida da posição da partícula.*

Outros Detectores

□ Detectores baseados em radiação de transição e radiação Cherenkov.

- Radiação Cherenkov: velocidade da partícula > velocidade de fase da luz no meio.

$$\cos \theta_c = \frac{1}{\beta n}$$

- Radiação de transição: partícula passa por interface entre meios com diferentes índices de refração.

$$I = \frac{z^2 e^2 \gamma \omega_p}{r_c}$$

- Usados para medir velocidade das partículas.