

# Técnicas de Detecção em Física Nuclear

Marcia Maria de Moura

Programa de Iniciação Científica em Física Nuclear, 17 de setembro de 2004

# Introdução

Experimentos em física nuclear são constituídos basicamente de algum tipo de detecção.

- 1896 – A. H. Becquerel – observação de chapas fotográficas seladas, veladas na presença de certos materiais (descoberta da radiatividade);
- 1898 – P. Curie e M. Curie – separação do elemento rádio
  - contribuição ao estudo da interação da radiação com a matéria;
- 1911 – E. Rutherford – bombardeamento de folhas de ouro com partículas  $\alpha$ 
  - Introdução do núcleo no modelo atômico;

# Evolução dos estudos em Física Nuclear

- Estudo sistemático da interação das diferentes radiações com a matéria -> desenvolvimento de detectores de radiação;
- desenvolvimento de técnicas de detecção – arranjos elaborados, compostos por um ou mais detectores, para a observação de diferentes aspectos;

# Esquema básico de detecção em Física Nuclear

- Conjunto de detectores
- Eletrônica modular
  - Coleta e tratamento dos sinais dos detectores
- Sistema de aquisição e armazenamento de dados
  - Hardware especializado compatível com a eletrônica modular
  - Software

# Considerações

Num experimento de física nuclear, procura-se:

- Número de eventos idênticos
- número de partículas emitidas
- tipo de partículas emitidas
- energia
- posição

Cada técnica tem suas limitações. É importante identificá-las e conhecê-las.

# Principais aspectos

- contagem de partículas emitidas num intervalo de tempo – contador Geiger;
- medida de energia – pulso produzido proporcional a energia da radiação incidente;
- instante de emissão da radiação – pulso rápido;
- identificação de partículas – pulso gerado depende da massa ou número atômico da partícula;
- medidas de spin (momento angular intrínseco) ou polarização – sistema capaz de medir a orientação das partículas;
- medidas com altas taxas de contagem – sistemas com rápida recuperação (baixo tempo morto);
- medidas com baixas taxas de contagem – sistema com alta eficiência e redução de radiação de fundo;
- reconstrução da trajetória da radiação – sistemas sensíveis à posição;

# Técnicas de detecção

- A. Medidas com contador Geiger
- B. Medida de energia
  - I. Detectores cintiladores
  - II. Detectores semicondutores
- C. Identificação de partículas
  - I. Técnica de tempo de voo (TDV)
  - II. Telescópios  $\Delta E-E$
- D. Medidas de posição
  - I. Position Sensitive Detector (PSD)
  - II. Detector Proporcional Multifilar Sensível a Posição (DPMSP)
- E. Medidas de coincidência

# A- Medidas com contador Geiger

- Detector a gás – pulso produzido por ionização
- A carga gerada pela radiação incidente é multiplicada
- Regime de operação é tal que os pulsos gerados são de mesma amplitude
- Funciona como um contador de emissões radiativas



# A- Medidas com contador Geiger - II

- Características

- Eficiência grande para partículas carregadas;
- Pouco usado na medida de nêutrons onde informações como energia também são procuradas;
- Raios  $\gamma$  – eficiência significativa somente para baixas energias nos casos de paredes com alto Z e gás com altos Z e pressão.

- Vantagens

- ┌ Alta amplitude de pulso – eletrônica simplificada (dispensa o uso de pré-amplificadores)
- ┌ Baixo custo de confecção

- Desvantagens

- ┌ Não fornece informação sobre a energia (não pode ser usado em medidas de espectroscopia)
- ┌ Grande tempo morto, maior que o da maioria dos detectores

# B- Medida de energia

## Absorção completa da partícula

- Partículas possuem diferentes poderes de penetração na matéria
- Soluções para radiação muito penetrante – materiais cintiladores, materiais semicondutores

1. Detectores cintiladores - Pulso de luz produzido é proporcional à energia da radiação incidente.

- i. inorgânicos
- ii. orgânicos

2. Detectores semicondutores – pulso produzido devido a criação de pares elétron-buraco

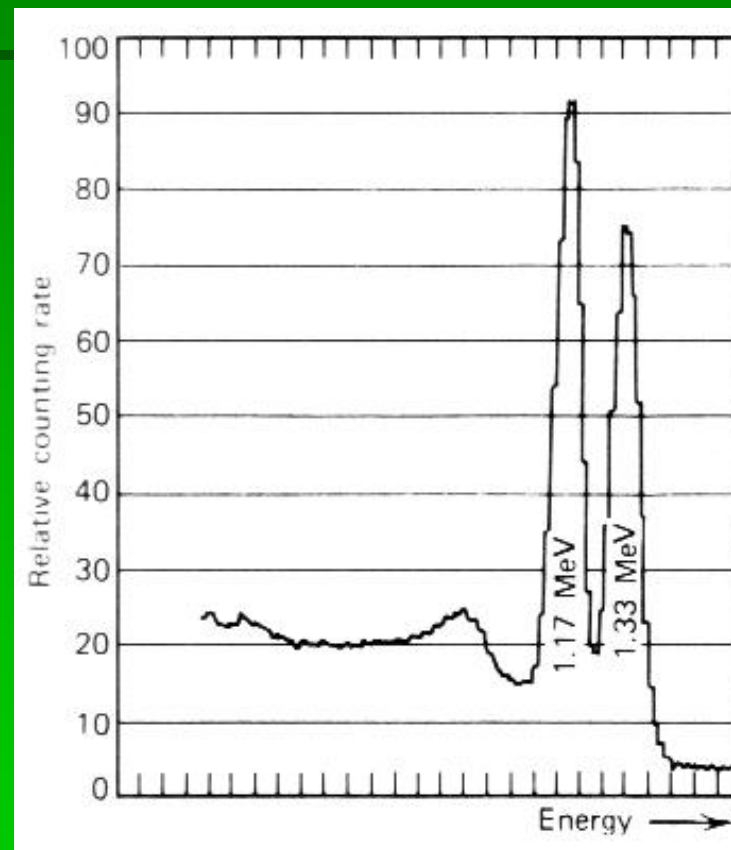
- i. Silício
- ii. Germânio

# B- Medida de energia :

## I.a- Detectores cintiladores inorgânicos

ex. NaI(Tl), CsI(Tl)

- melhor eficiência e linearidade do pulso de luz produzido;
- Indicados para espectroscopia de radiação  $\gamma$  por possuírem altos valores de  $Z$  e  $\rho$
- Tempo de decaimento lento - contra-indicado em medidas com altas taxas de contagem
- Por ser higroscópico, deve ser protegido do contato com qualquer umidade.

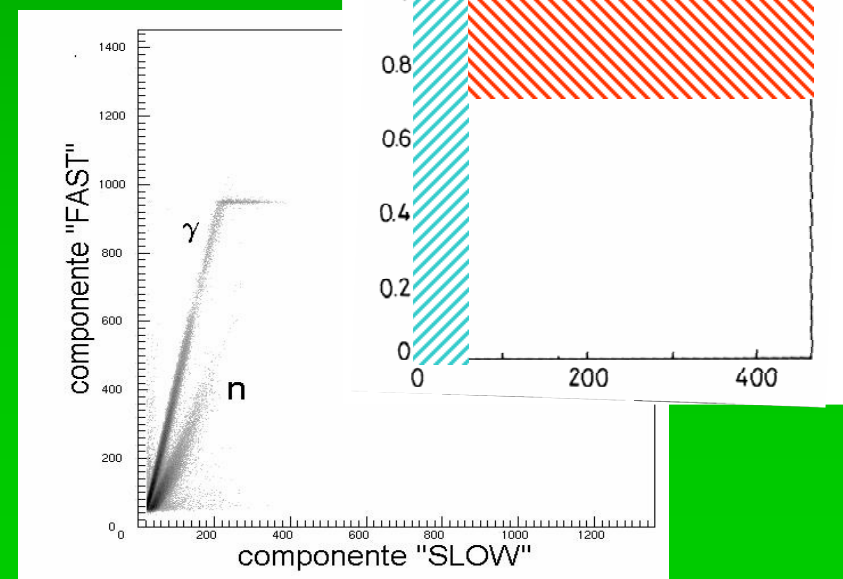
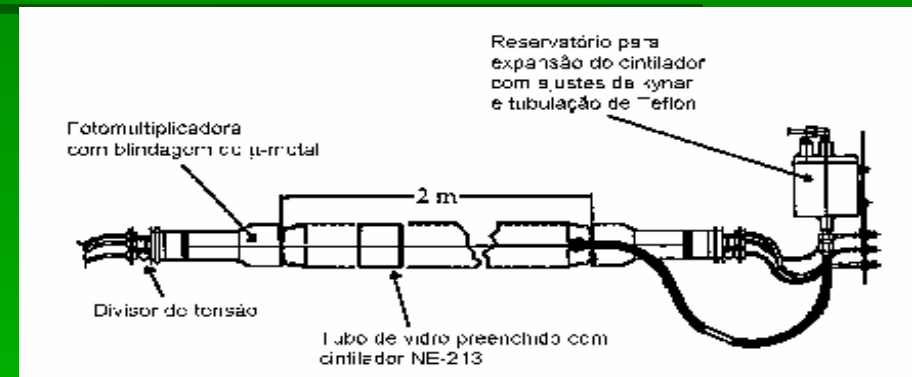


Espectro de decaimento  $\gamma$  do  $^{60}\text{Co}$

# B- Medida de energia :

## I.b- Detectores cintiladores orgânicos

- pulsos rápidos com menor eficiência de pulso de luz;
- indicados para espectroscopia da radiação  $\beta$  e detecção de nêutrons rápidos
- $L \propto E^{3/2}$  para energias abaixo de 5 MeV e aproximadamente linear para energias maiores;
- degradação após exposição prolongada a radiação ionizante
- Discriminação pela forma do pulso (Pulse Shape Discrimination) – pulso possui duas componentes uma rápida e outra lenta, a qual depende da radiação incidente. Usado para separar radiação  $\gamma$  de nêutrons (identificação)

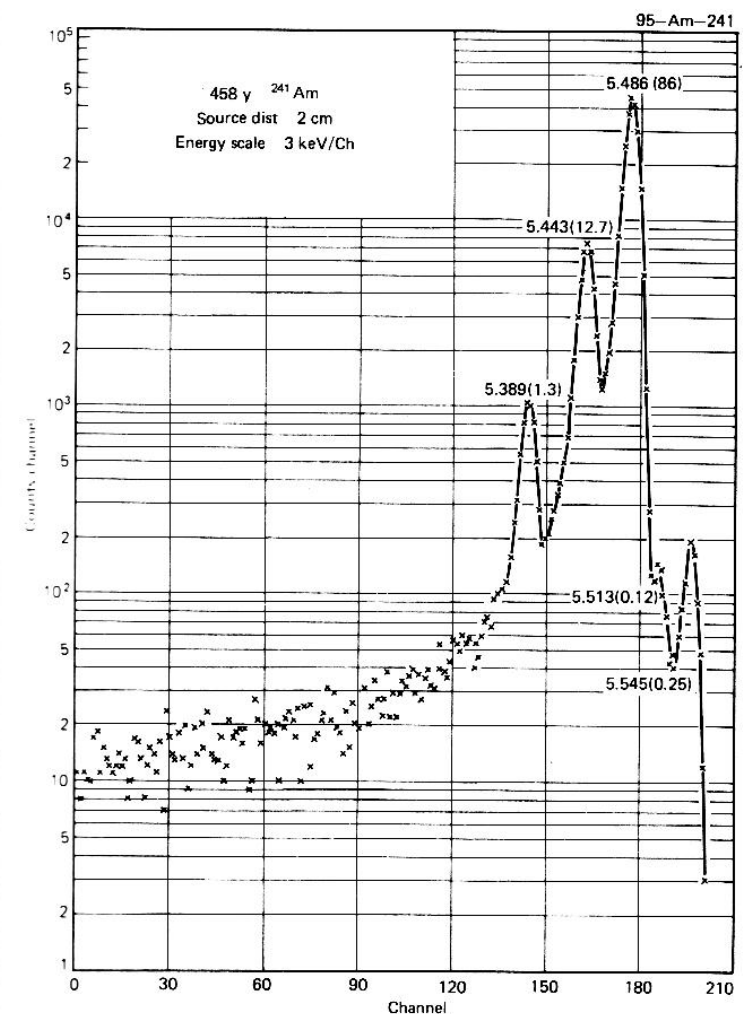


# B- Medida de energia:

## II- Detetores semicondutores

Ex.: Barreira de superfície (BS) de Silício

- Alta resolução em energia;
- Boa estabilidade;
- Excelentes características temporais (tempo de subida de pulso ~ 10 ns);
- Simplicidade de operação;
- Encontrado em vários tamanhos;
- Compromisso entre tamanho e demais propriedades;
- Mais susceptíveis à degradação pela ação da radiação incidente;

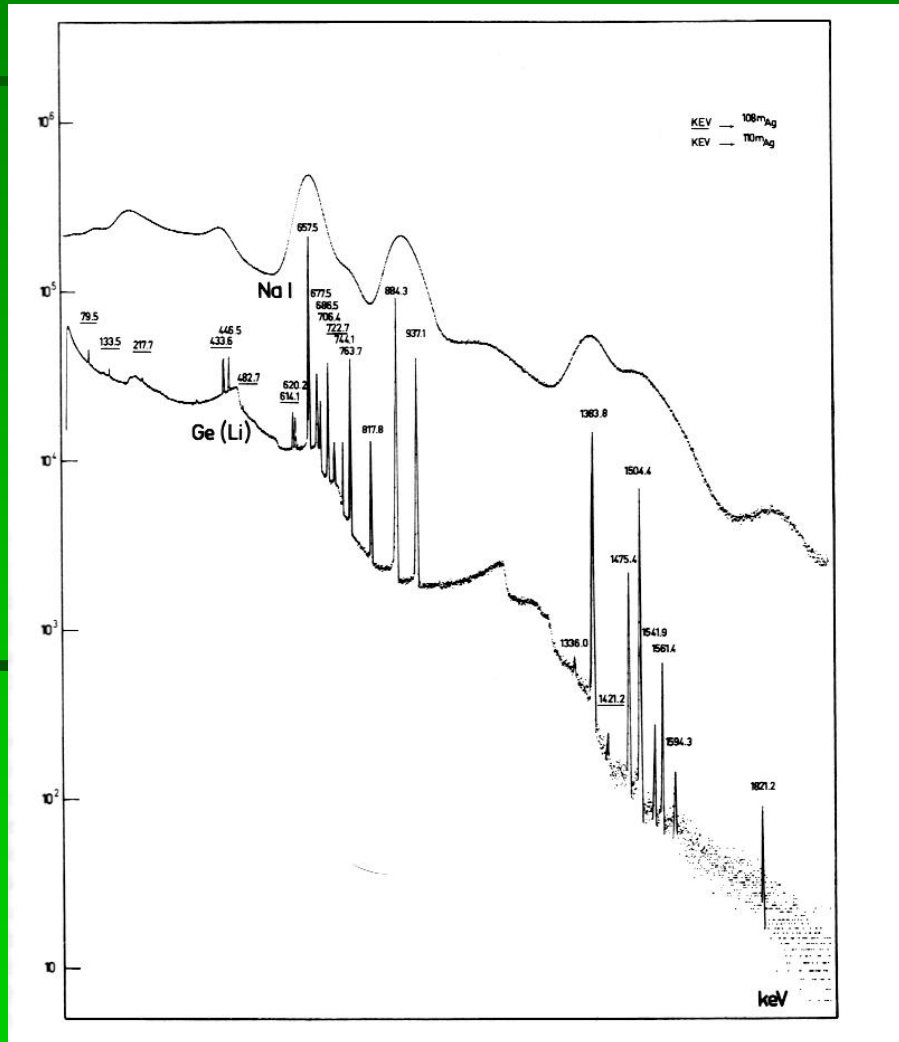


Espectro de decaimento  $\alpha$  do  $^{241}\text{Am}$

# B-Medida de energia: II-Detetores semicondutores

## Detetores de Germânio

- Alta resolução em energia;
- Indicados para espectroscopia de radiação  $\gamma$ .



Espectro de decaimento do <sup>108m</sup>Ag e <sup>110m</sup>Ag

# C- Identificação de partículas:

## I- Tempo de voo

$\Delta t$  (canais)

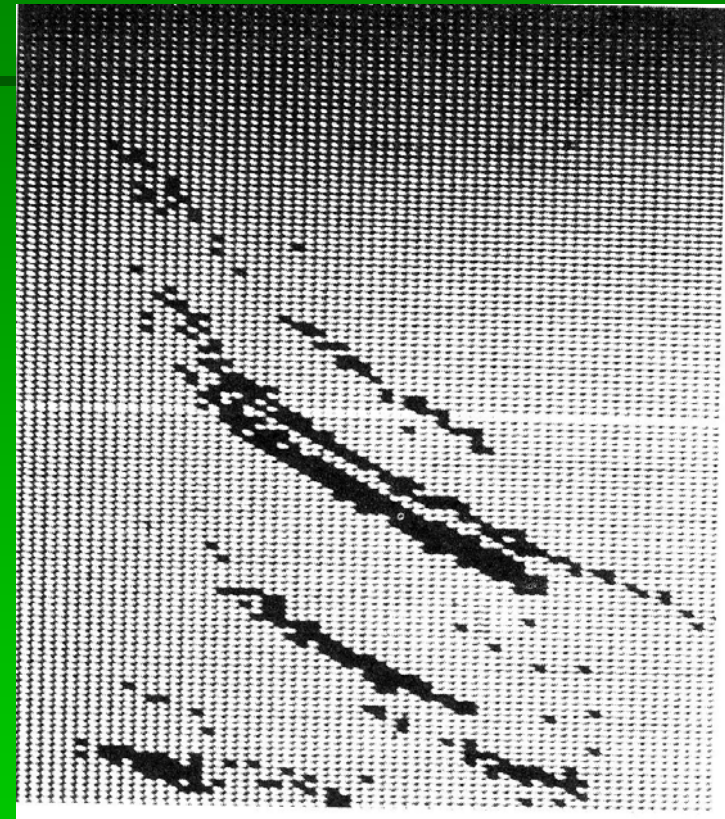
Tempo decorrido entre duas medidas como função da energia da partícula – amplitude depende da massa da partícula

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m \frac{d^2}{\Delta t^2}$$

$$\Delta t^2 = \frac{md^2}{2} \frac{1}{E_{kin}}$$

$$\Delta t = C \frac{1}{\sqrt{E_{kin}}}$$

$$C = d \sqrt{\frac{m}{2}}$$



$E$  (canais)

# C- Identificação de partículas

Poder de freio ou Perda de Energia Específica  
(Fórmula de Bethe)

$$-\frac{dE}{dx} = \left( \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \frac{4\pi z^2 N_0 Z \rho}{m_e c^2 \beta A} \left[ \ln \left( \frac{2m_e c^2 \beta^2}{I} \right) - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right]$$

$$\beta = \frac{v}{c}$$

$v$  – velocidade da partícula incidente

$z$  – número atômico da partícula incidente

$e$  – carga do elétron

$m_e$  – massa do elétron

$\epsilon_0$  – rigidez dielétrica

$N_0$  – Número de Avogadro

$Z$  – número atômico do material absorvedor

$A$  – massa atômica do material absorvedor

$\rho$  – densidade do material absorvedor

$I$  – potencial de ionização do absorvedor



# C- Identificação de partículas

## Poder de freio

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 z^2}{m_e} NB \frac{1}{v^2} = \frac{4\pi e^4 z^2}{m_e} NB \frac{m_p}{2E}$$

$$-\frac{dE}{dx} = C \frac{1}{E}$$

$$C = \frac{2\pi e^4}{m_e} NB \cdot m_p \cdot z^2$$

$$\beta = \frac{v}{c}$$

$$N = \frac{N_0 Z \rho}{A}$$

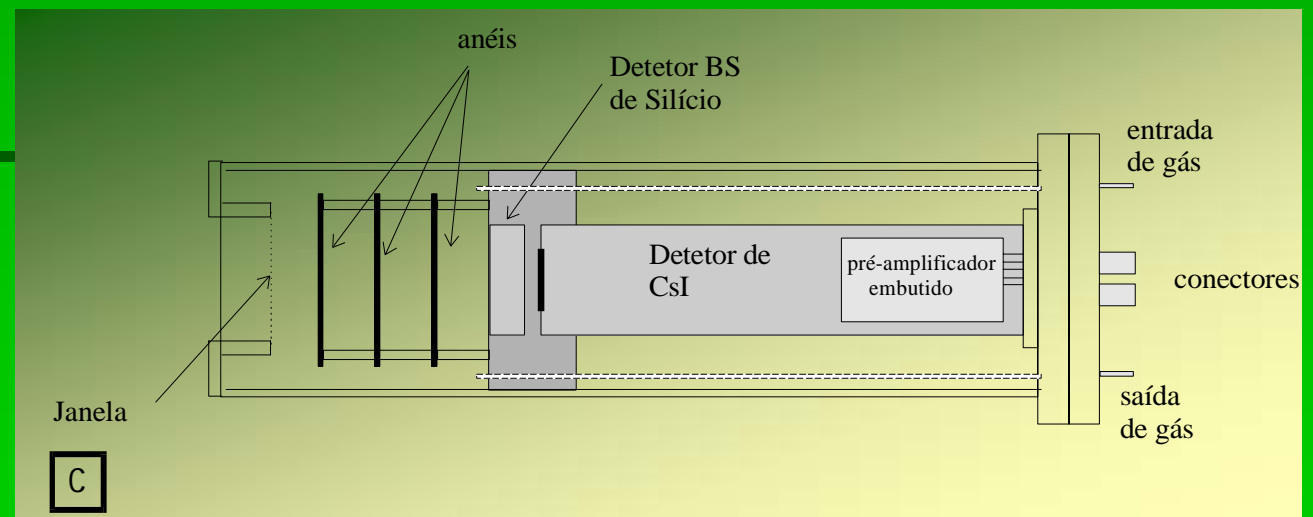
$$B = \left[ \ln \left( \frac{2m_e c^2 \beta}{I} \right) - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right]$$

- A perda de energia é proporcional ao inverso da energia da partícula incidente;
- A constante de proporcionalidade depende da massa e do número atômico da partícula incidente.

# C- identificação de partículas: II- Telescópio $\Delta E$ -E

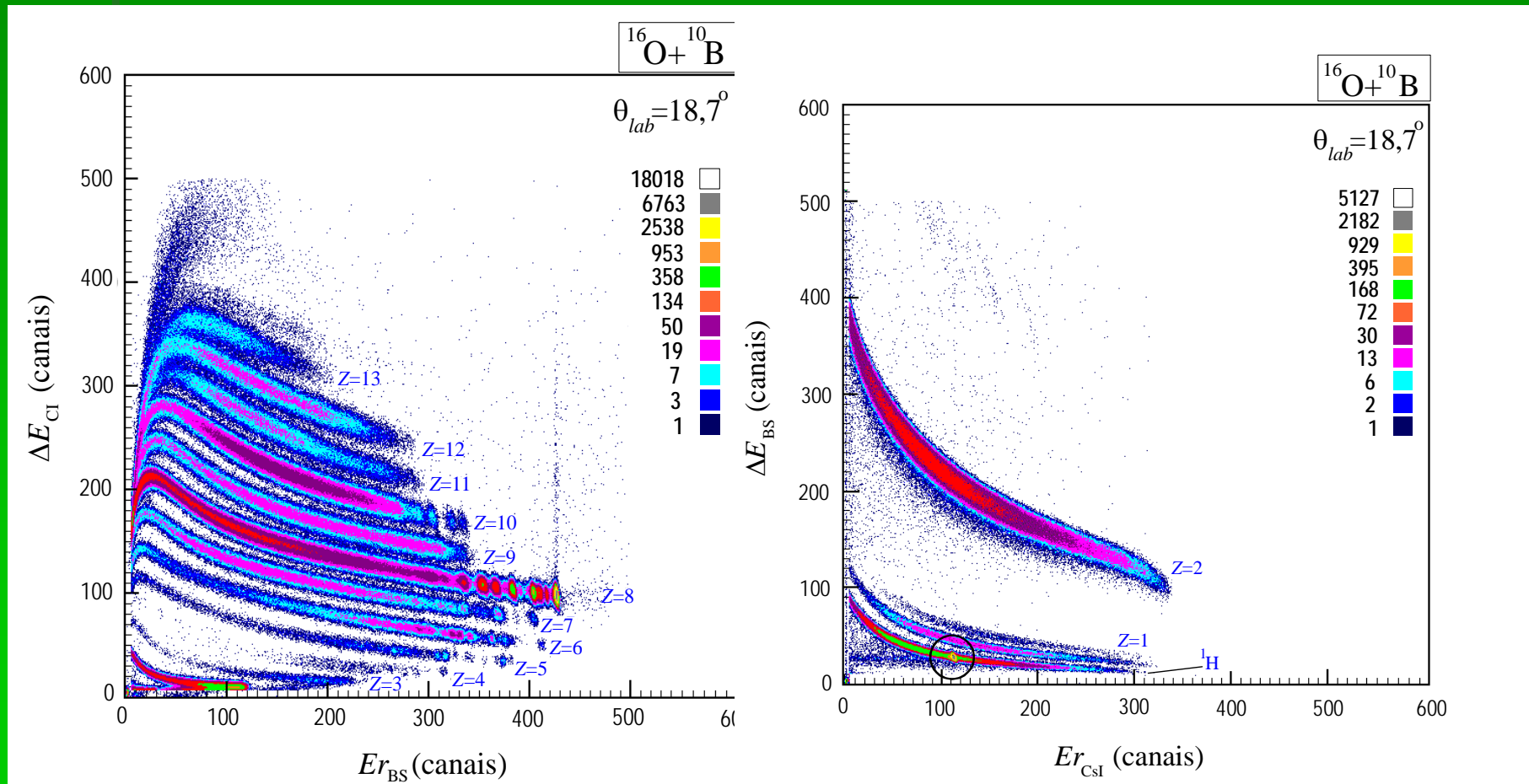
## ■ Características

- Composto de dois ou mais detectores que medem a energia da partícula
- Partícula perde parte da energia num primeiro detector ( $\Delta E$ ) e o resto no seguinte ( $E_{res}$ ).
- Ex.: Telescópio triplo – identificação de pequenos e grandes Z



# Telescópio triplo $\Delta E$ -E

## Espectros Bi-paramétricos



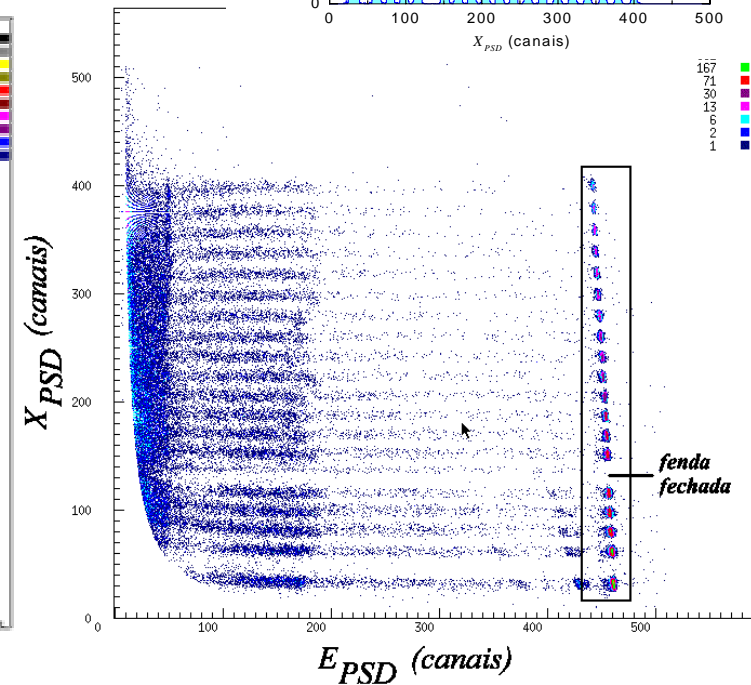
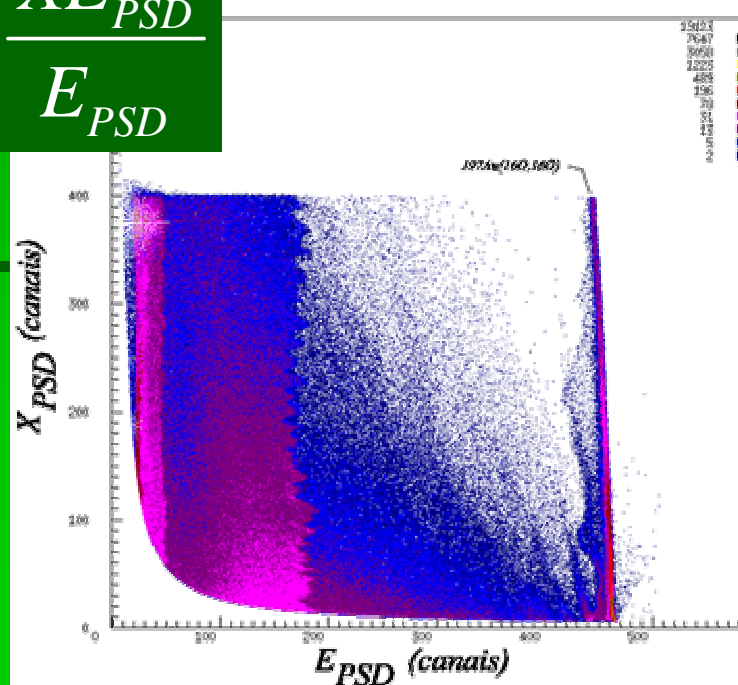
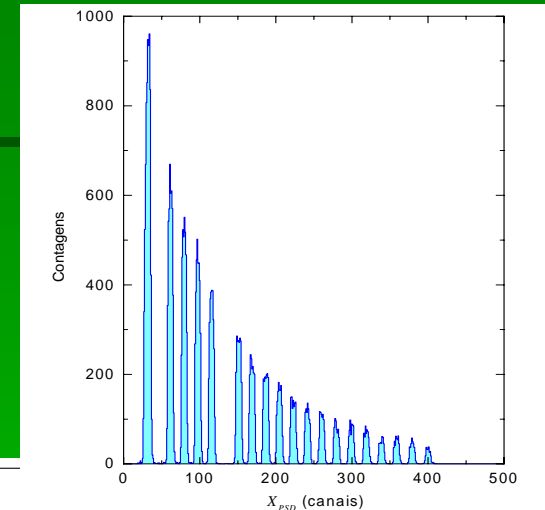
# D- Medida de posição: Position Sensitive Detector (PSD)

Detector composto de faixas (strips) de silício igualmente espaçadas entre si.

Medidas –  $X_{PSD}$ ,  $E_{PSD}$

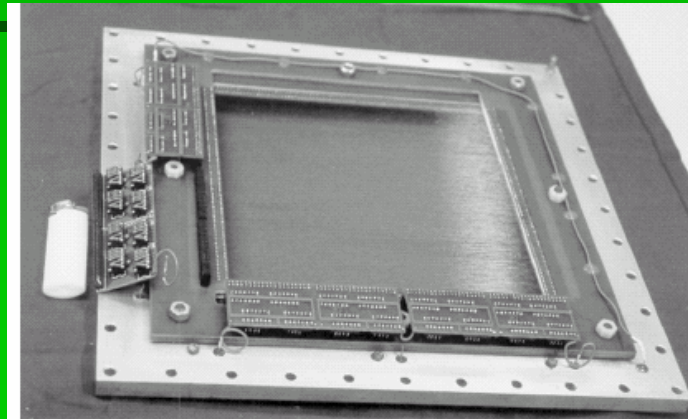
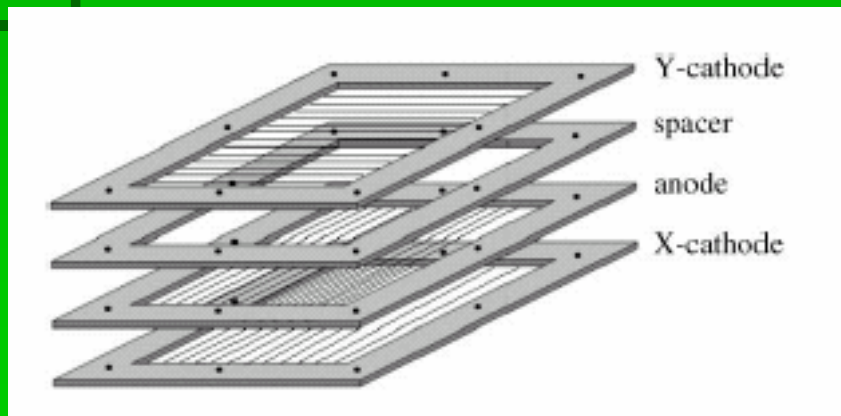
$X_{PSD}$  – amplitude final depende da posição devido a cadeia resistiva entre strips

$$X_{PSD} = \frac{XE_{PSD}}{E_{PSD}}$$



# D- Medida de posição: Detector Proporcional Multifilar Sensível à Posição (DPMSP)

- Câmara de ionização de grande área composta por três grades de fios
- Grades externas – acopladas de modo que os fios de uma sejam perpendiculares aos da outra.
- Grade intermediária – aplicação de tensão
- Eletrônica – cadeia resistiva entre os fios;
- Sinais medidos - Pulsos nas duas extremidades das cadeias de cada grade ( $X_1, X_2, Y_1, Y_2$ ) e  $\Delta E$  na grade central.

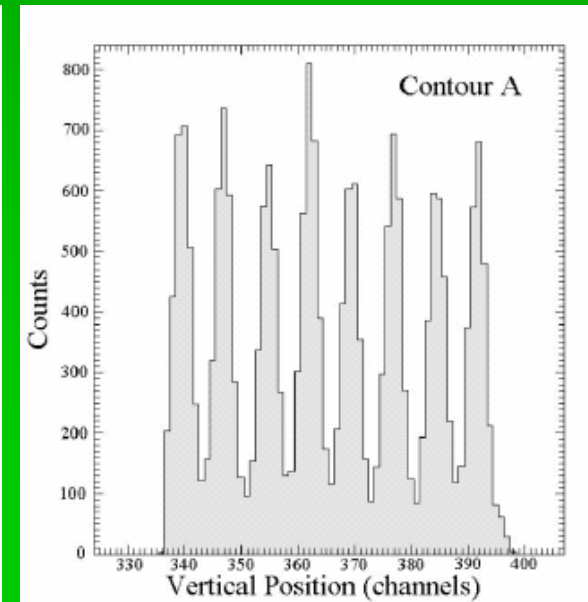
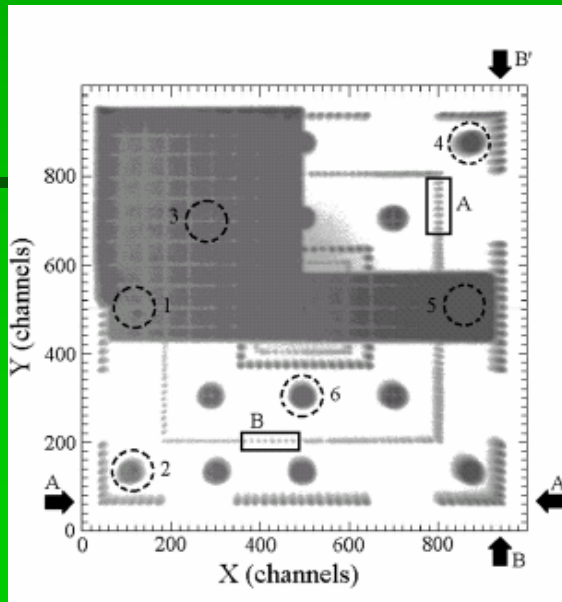
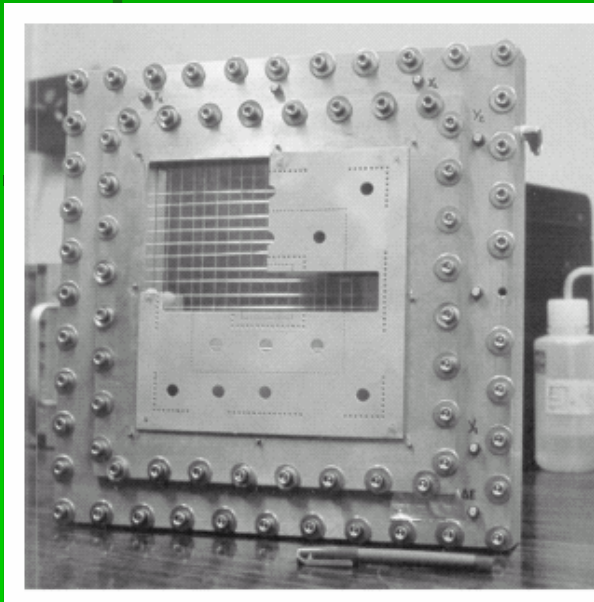


# D- Medida de posição: Detector Proporcional Multifilar Sensível á Posição (DPMSP)

Medidas finais X e Y

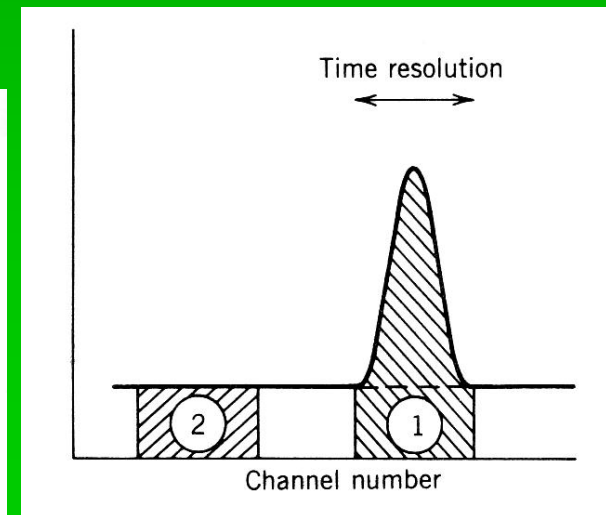
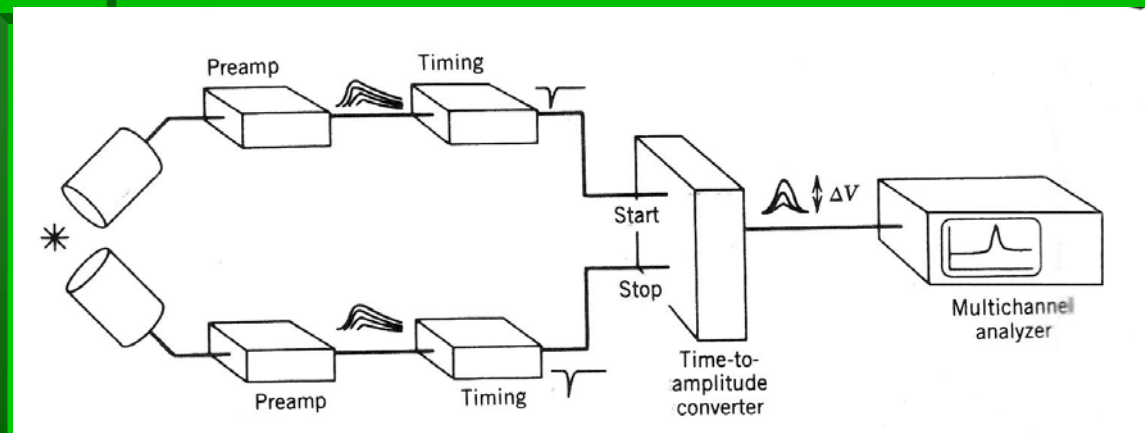
$$X = \frac{X_1 - X_2}{X_1 + X_2}$$

$$Y = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1 + Y_2}$$



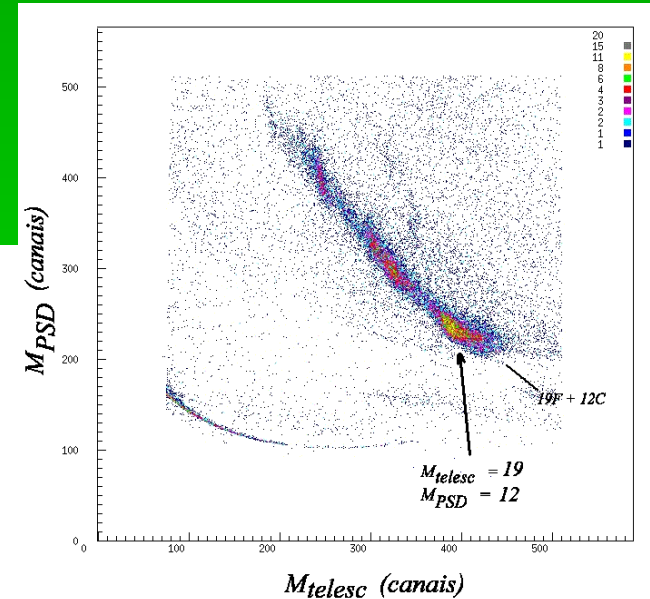
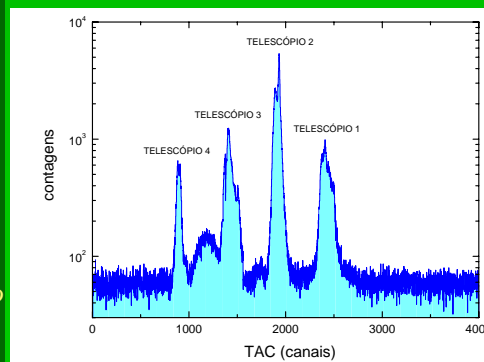
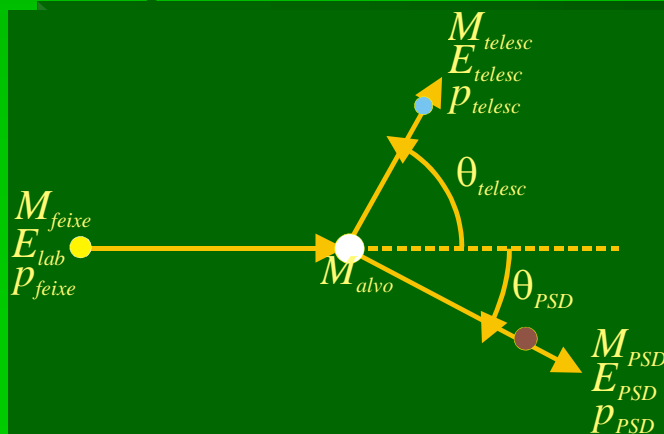
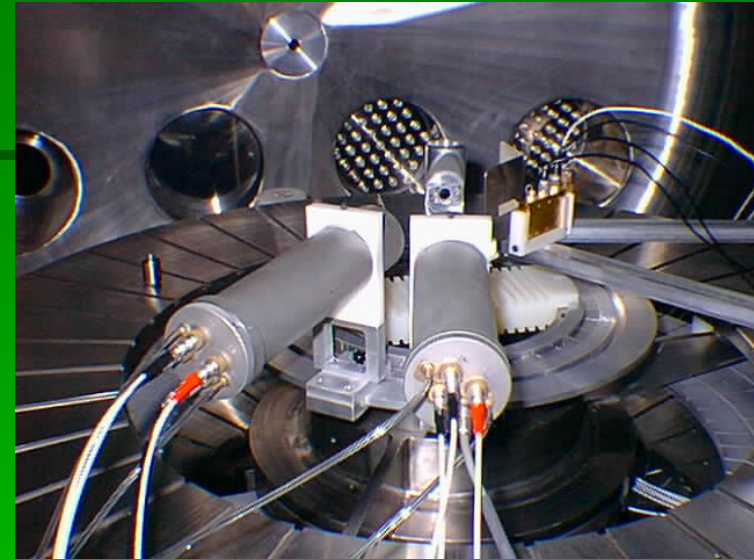
# E- Medidas de coincidência

- Objetivo - Garantir que as medidas registradas num evento pertençam de fato a esse evento (coincidência real) e excluir artifícios de eletrônica (coincidência casual ou acidental) devido a ruído.
- Medida básica – espectros de TAC (Time-to-Amplitude Converter) que fornecem a diferença em tempo de duas medidas
- Esquema da medida – sinal obtido da diferença de tempo entre sinal start e sinal stop;
- Características - diferença em tempo pequena e bem definida



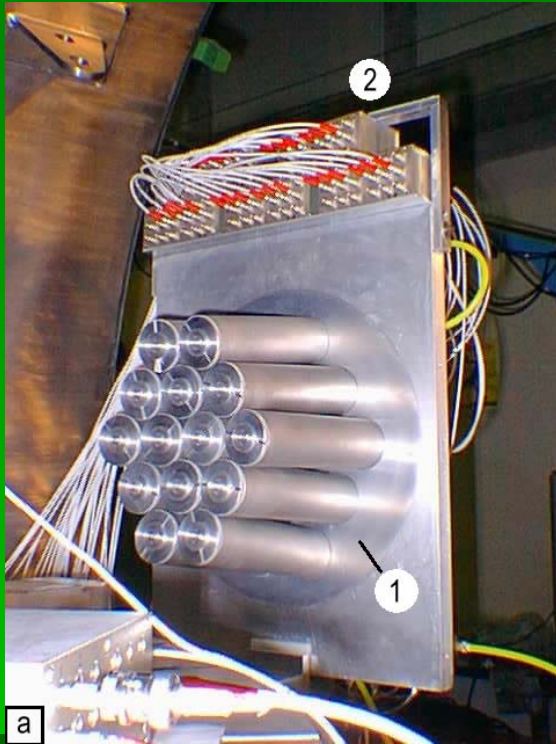
# E- Medidas de coincidência Telescópios e PSDs

- Medida de energia;
- Identificação de partículas;
- Medidas de posição;
- Medidas de coincidência;
- Massas obtidas a partir da conservação de energia e momento num evento binário

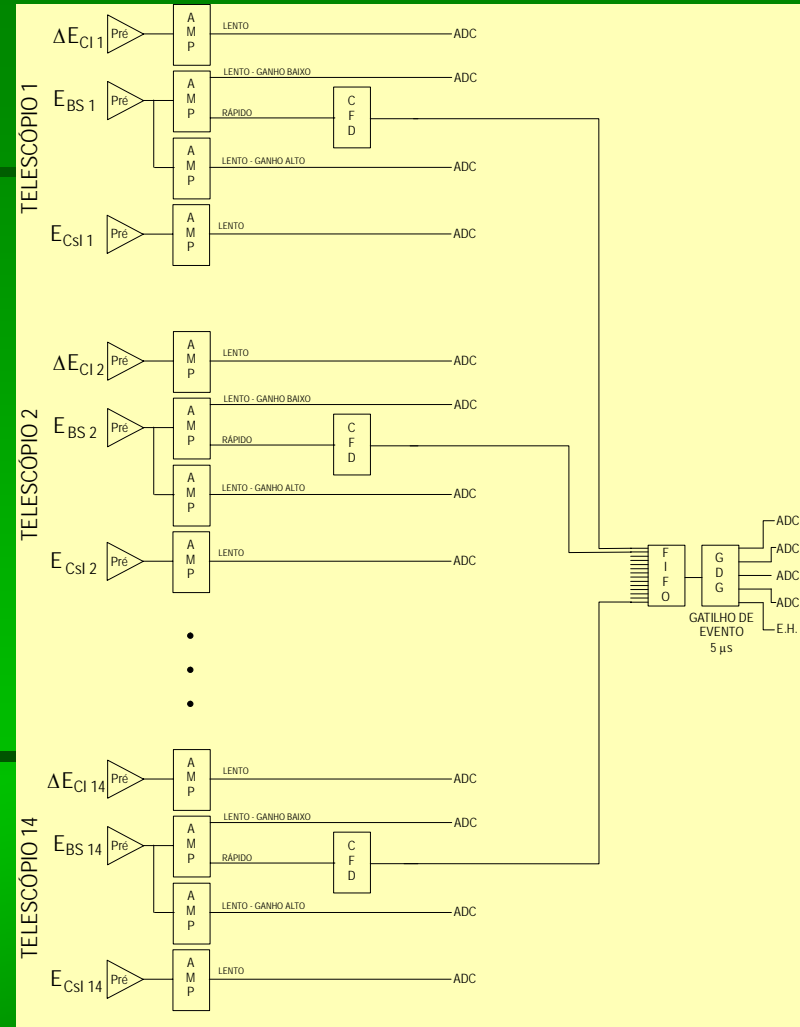




# E- Medidas de coincidência Hodoscópio



- Medida de energia
- Identificação de partículas
- Medidas de posição
- Medidas de coincidência
- Medidas de correlações a momentos relativos pequenos



# Resumo

- As técnicas de detecção apresentadas constituem técnicas fundamentais;
- São técnicas que constituem a base de técnicas mais elaboradas;
- Não há uma técnica que incorpore todas as medidas com a mesma precisão;
- Com criatividade é possível encontrar maneiras de se contornar as limitações encontradas em cada experimento.

## Referências:

“ *Radiation Detection and Measurement* ”, G. F. Knoll, Wiley & Sons, 2nd edition, 1989.

“ *Introductory Nuclear Physics* ”, K.S. Krane, Wiley & Sons, 1987.