

Detectores a gás

Técnicas Experimentais em Física de
Partículas Elementares
2016



Objetivos do experimento

- Explorar aspectos diversos de detectores de partículas e radiação gasosos
- Detectores proporcionais
 - Medidas de energia de partículas
 - Medidas de posição de partículas
- Duas semanas
 - Semana 1 = Estudo de um detector proporcional simples
 - Semana 2 = Aplicação para um detector multifilar sensível à posição

Como detectamos partículas?

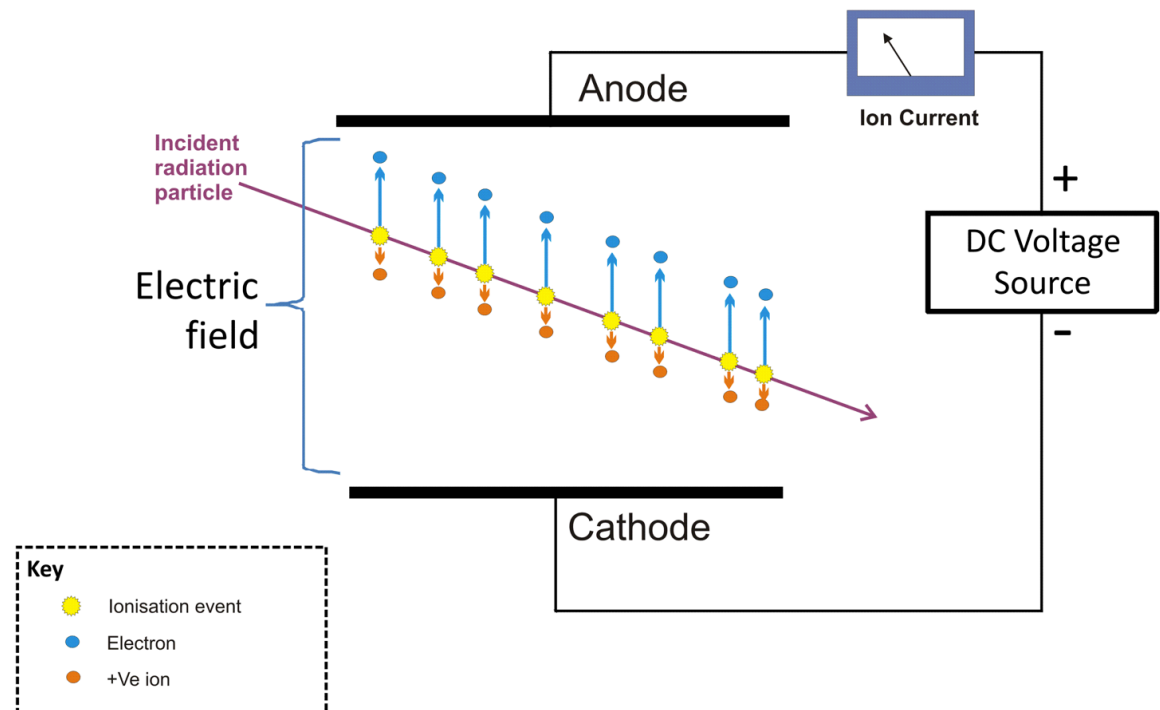
- Interação da partícula com o meio de detecção.
 - Parte da (ou toda) energia da partícula é depositada no meio
 - Depende do tipo de partícula
- Transformação desta energia em sinal elétrico
- Processamento desta informação

Interação de partículas com a matéria

Tipo de partícula	Processo de interação
Fótons	Efeito fotoelétrico, espalhamento Compton, produção de pares
Partículas carregadas elétrons, múons, próton, He, Li, etc.	Ionização do meio, Bremsstrahlung,...
Hádrons píons, káons, prótons, nêutrons, ...	Interações nucleares
neutrinos	Interações fracas

Princípio de funcionamento de detectores a gás

- Ionização do gás por conta da interação da radiação com a matéria
- Campo elétrico
 - Escoamento das cargas
 - Tempo de escoamento depende da carga e do campo elétrico
- Coleta das cargas elétricas em eletrodos

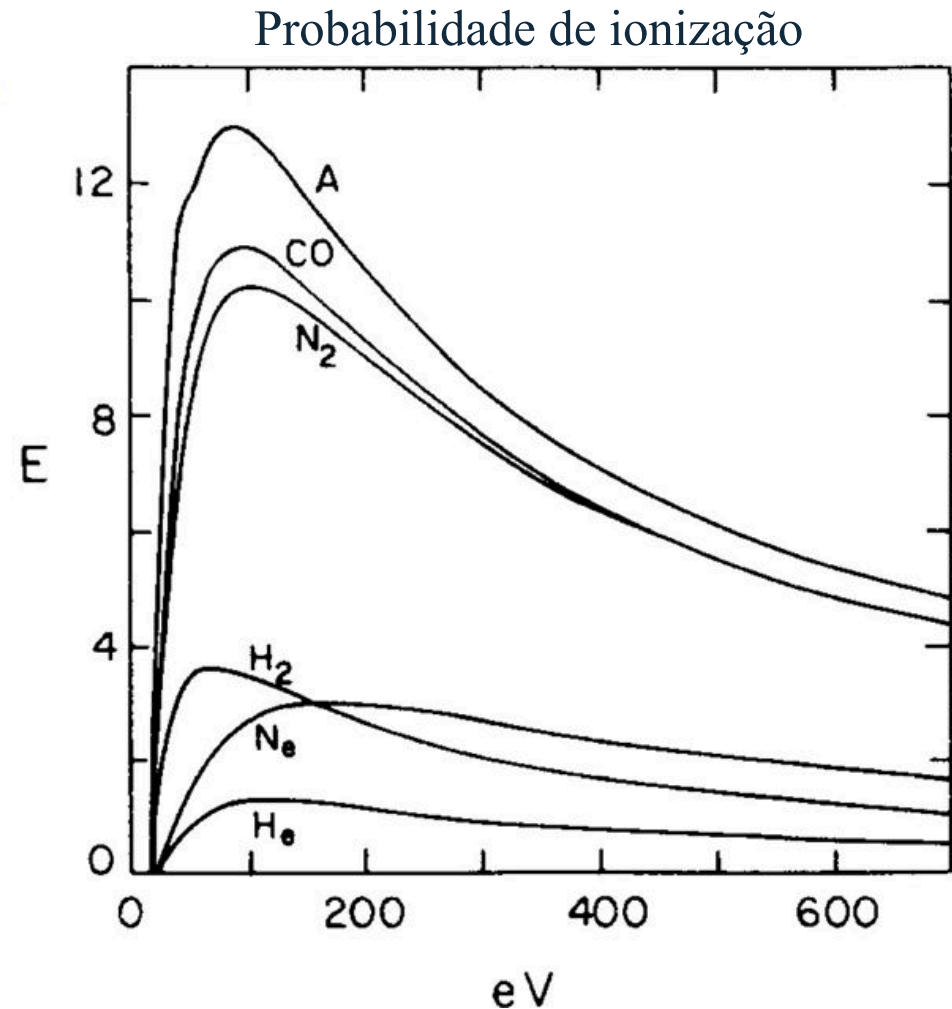


O processo de ionização

- Ionização primária

$$p + X \rightarrow p + X^+ + e$$
- Ionização secundária

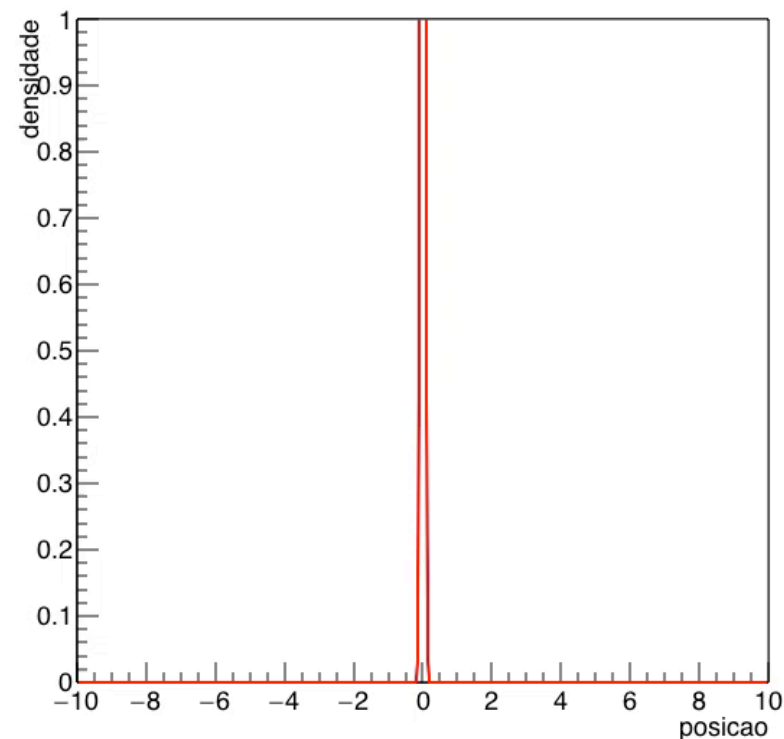
$$e + X \rightarrow X^+ + e + e$$
- Parâmetros relevantes
 - Energia de ionização
 - Threshold ~ 20 eV
 - Energia média por produção de pares iônicos
 - Número de pares iônicos/cm



Difusão de partículas em um gás

- Na ausência de campos elétrico e magnético
 - Teoria cinética dos gases
 - Coeficiente de difusividade D
 - Livre caminho médio
 - Velocidade média das partículas (distribuição de Maxwell)

$$\frac{dN}{dx} = \frac{N_0}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right)$$



Difusão de partículas em um gás

- Na ausência de campos elétrico e magnético
 - Teoria cinética dos gases
 - Coeficiente de difusividade D
 - Livre caminho médio
 - Velocidade média das partículas (distribuição de Maxwell)

$$\frac{dN}{dx} = \frac{N_0}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right)$$

$$D = \frac{1}{3}v\lambda$$

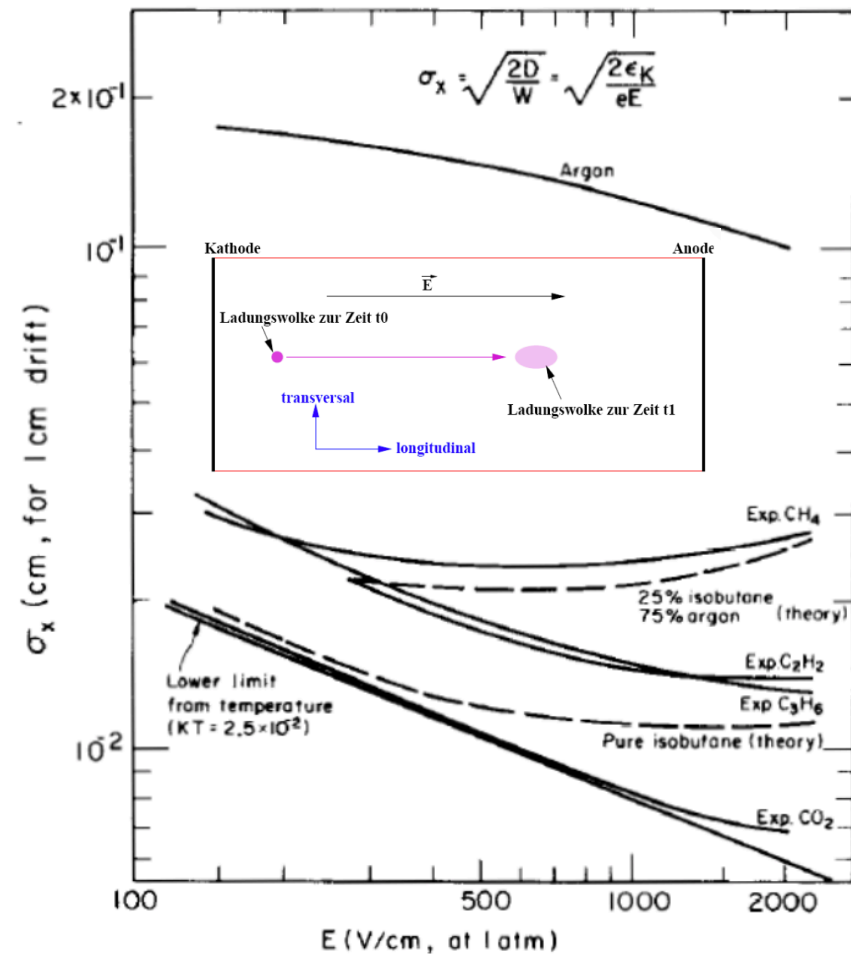
$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{kT}{\sigma_0 P}$$

$$v = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

Depende da
temperatura
e pressão

Difusão de partículas em um gás

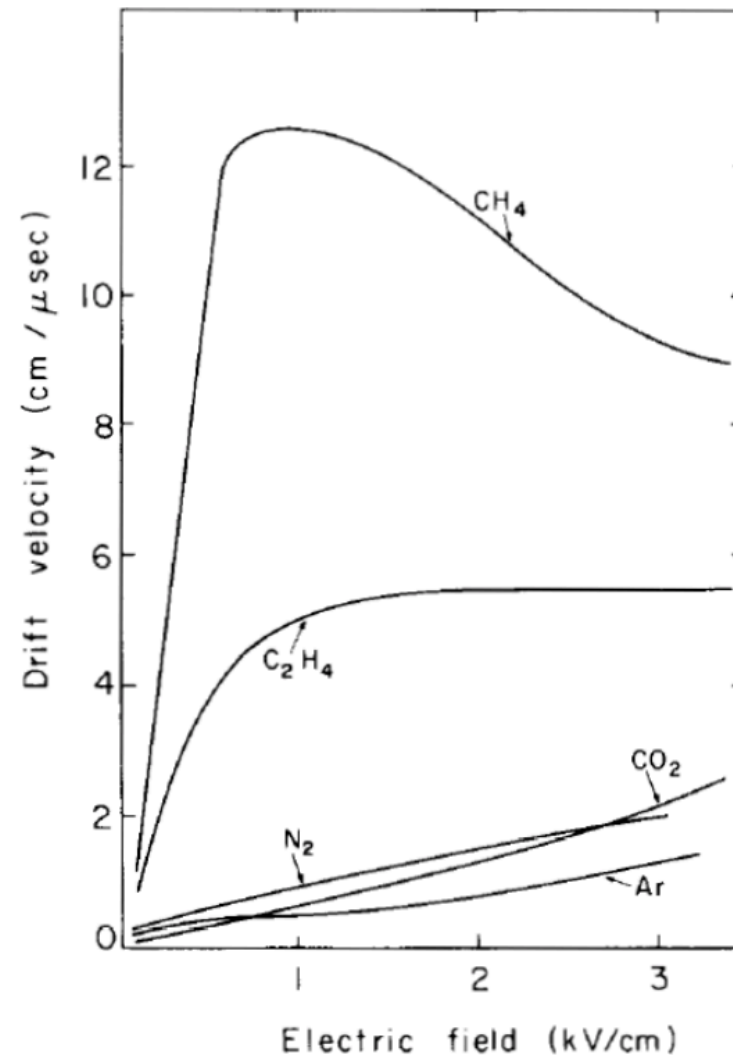
- Na presença de campos elétricos a difusão na direção do campo se superpõe à aceleração por conta deste campo
 - Afeta a direção longitudinal
 - Não afeta a direção transversal



Campo elétrico reduz difusão longitudinal

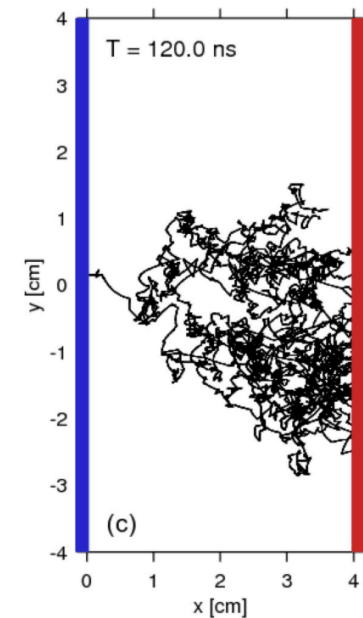
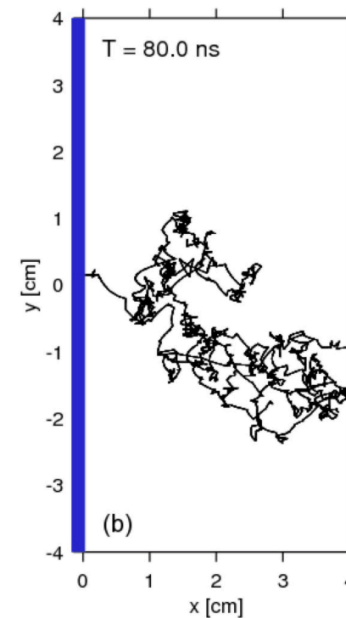
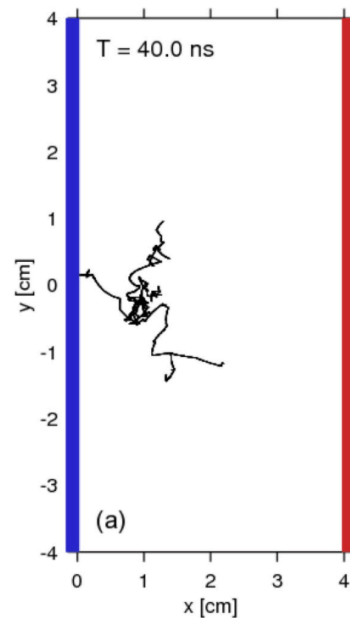
Transporte de elétrons em um gás

- Velocidade de escoamento
 - Depende de um parâmetro chamado mobilidade
 - Elétrons $\sim \text{cm}/\mu\text{s}$
 - Íons $\sim \text{cm}/\text{ms}$
 - fator 1000 mais lento
 - Depende do gás, pressão e temperatura
 - Velocidade terminal



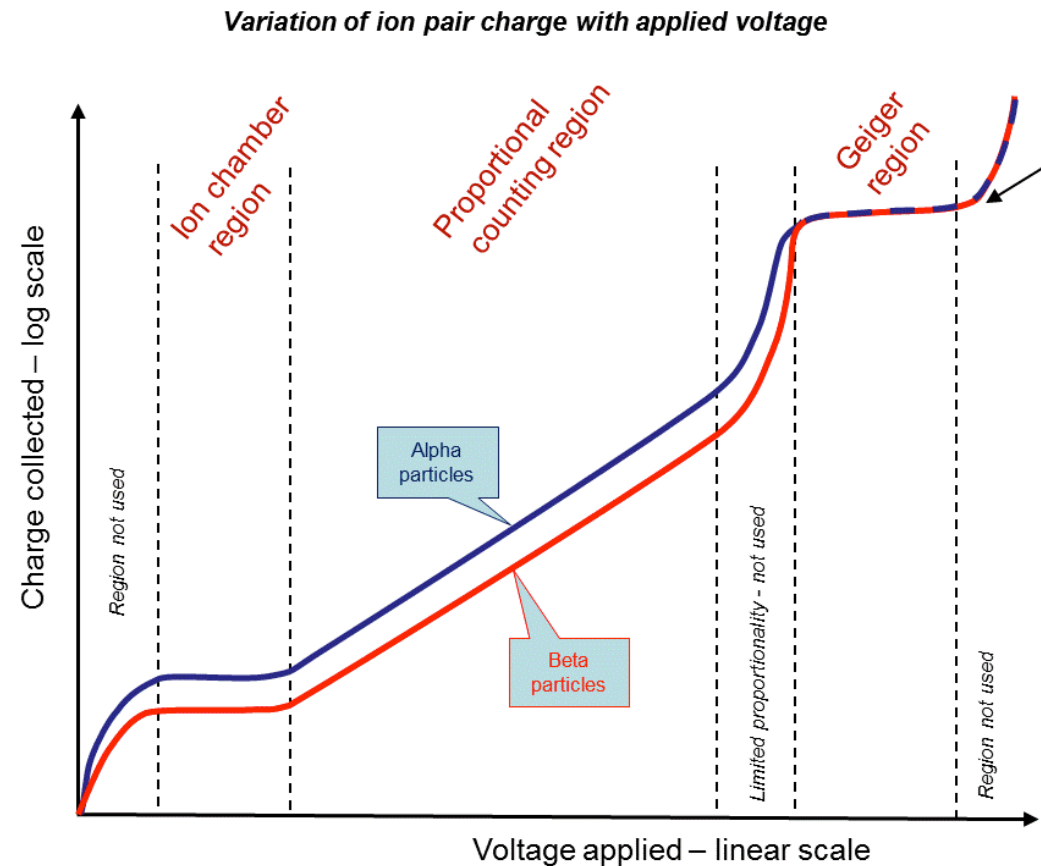
Avalanche e multiplicação de elétrons

- Campos elétricos intensos \rightarrow elevada energia cinética
 - Elétrons começam a ionizar o gás em um processo de avalanche, formando uma chuva de cargas
 - Amplificação do sinal



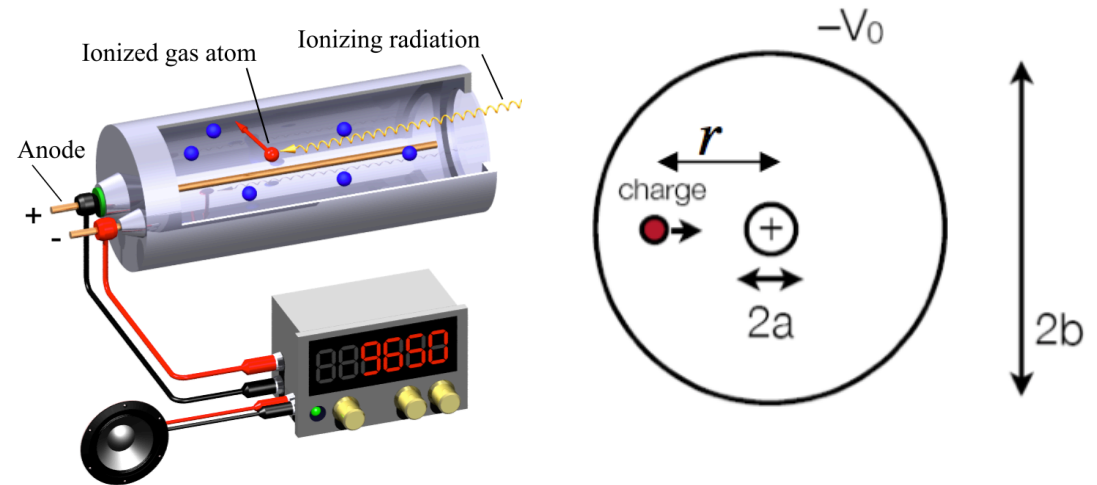
Avalanche e multiplicação de elétrons

- Regime de multiplicação
 - Intensidade do campo elétrico
 - Tipo de partícula primária
 - Propriedades do gás
- Detectores proporcionais
 - Quantidade de carga coletada é proporcional ao campo elétrico aplicado



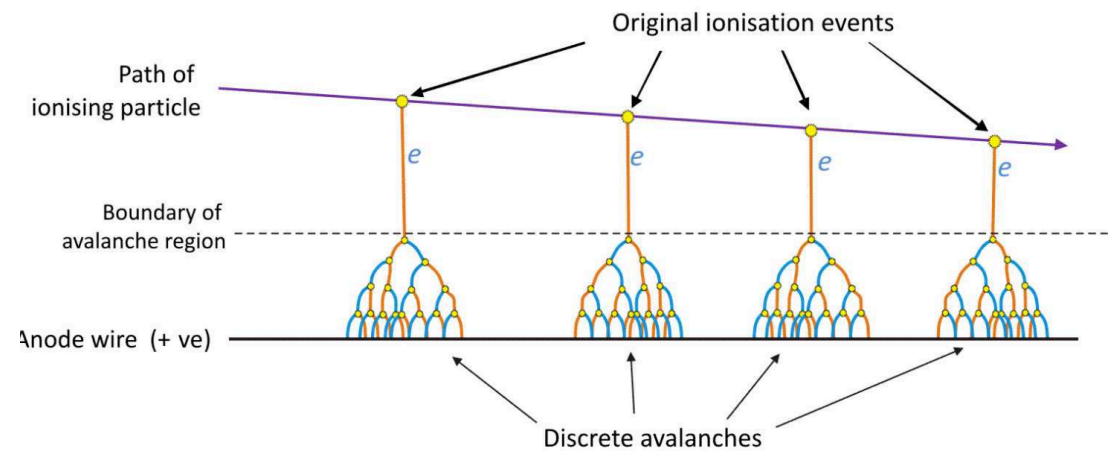
Detectores proporcionais

- O tipo mais comum é o cilindro com um fio
 - Campo elétrico fica mais intenso na medida em que a carga se aproxima do fio, gerando avalanche.



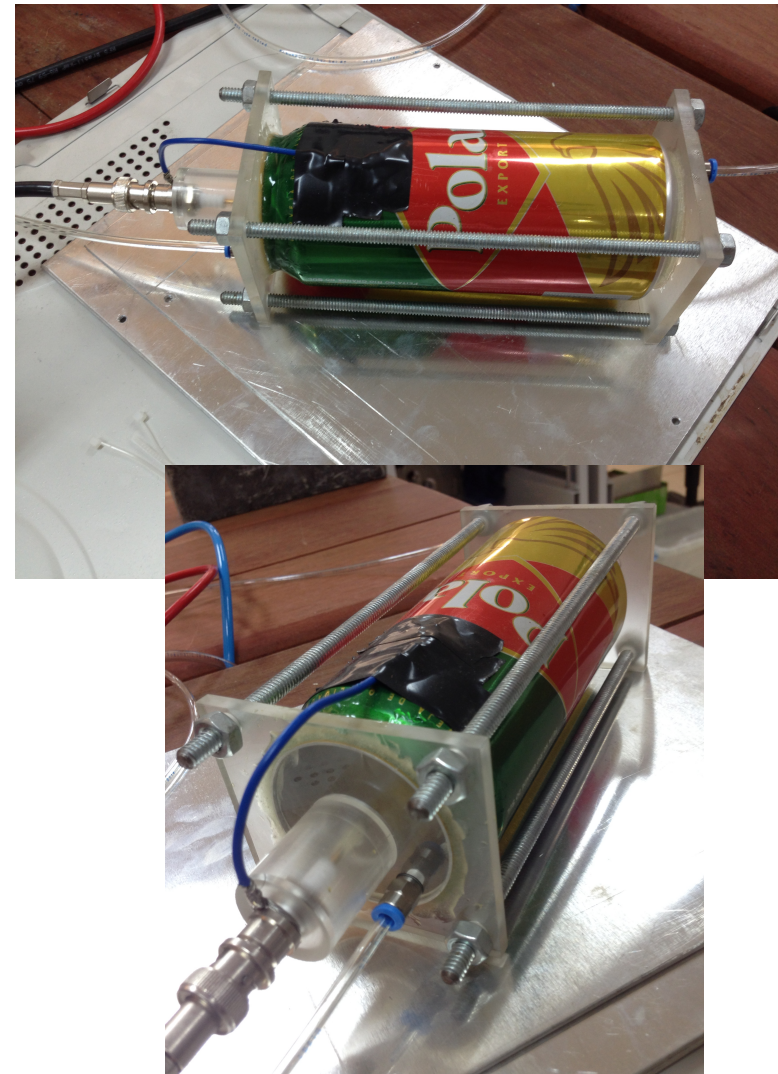
$$E(r) = \frac{CV_0}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{r}$$

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln b/a}$$

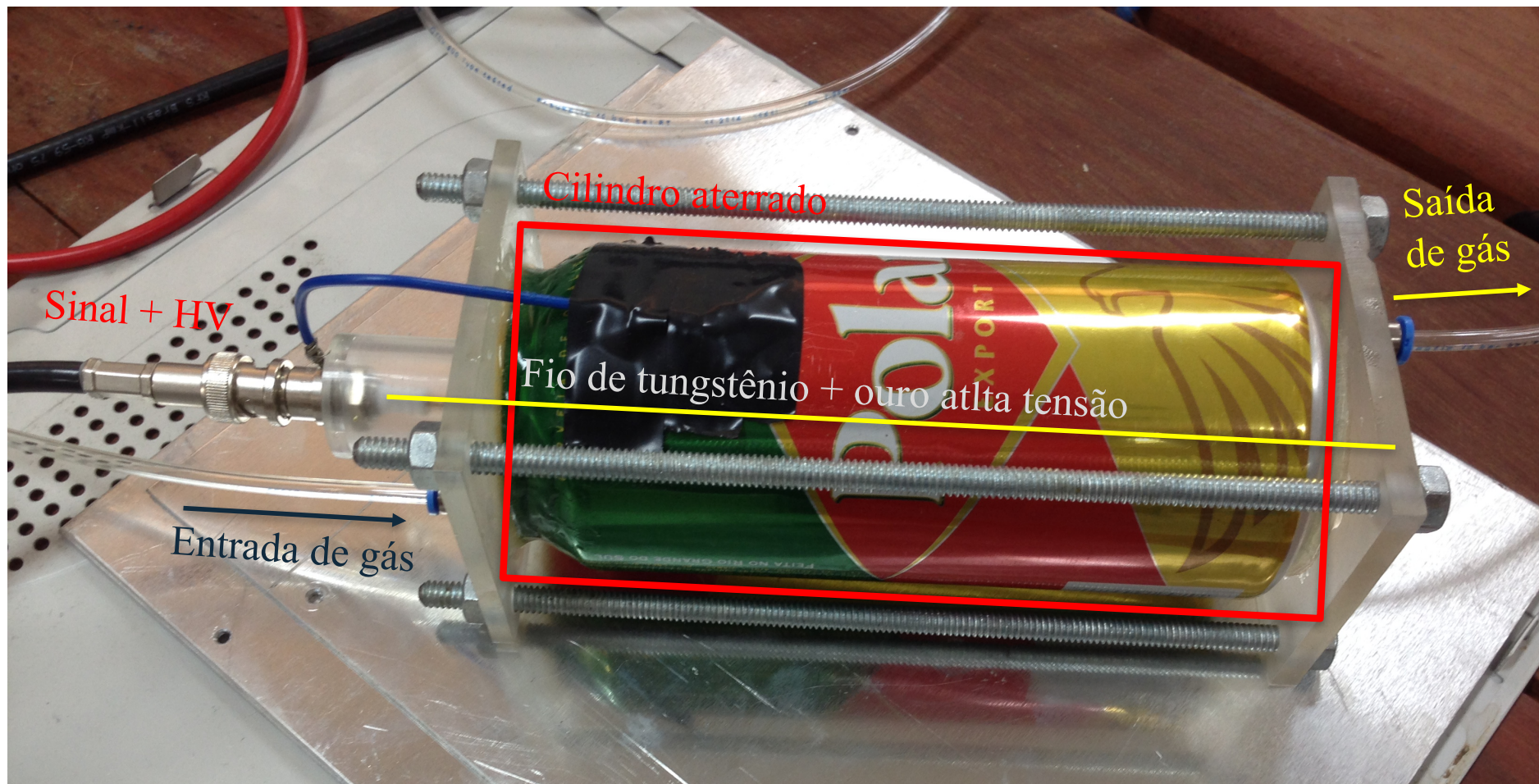


O experimento – parte 1

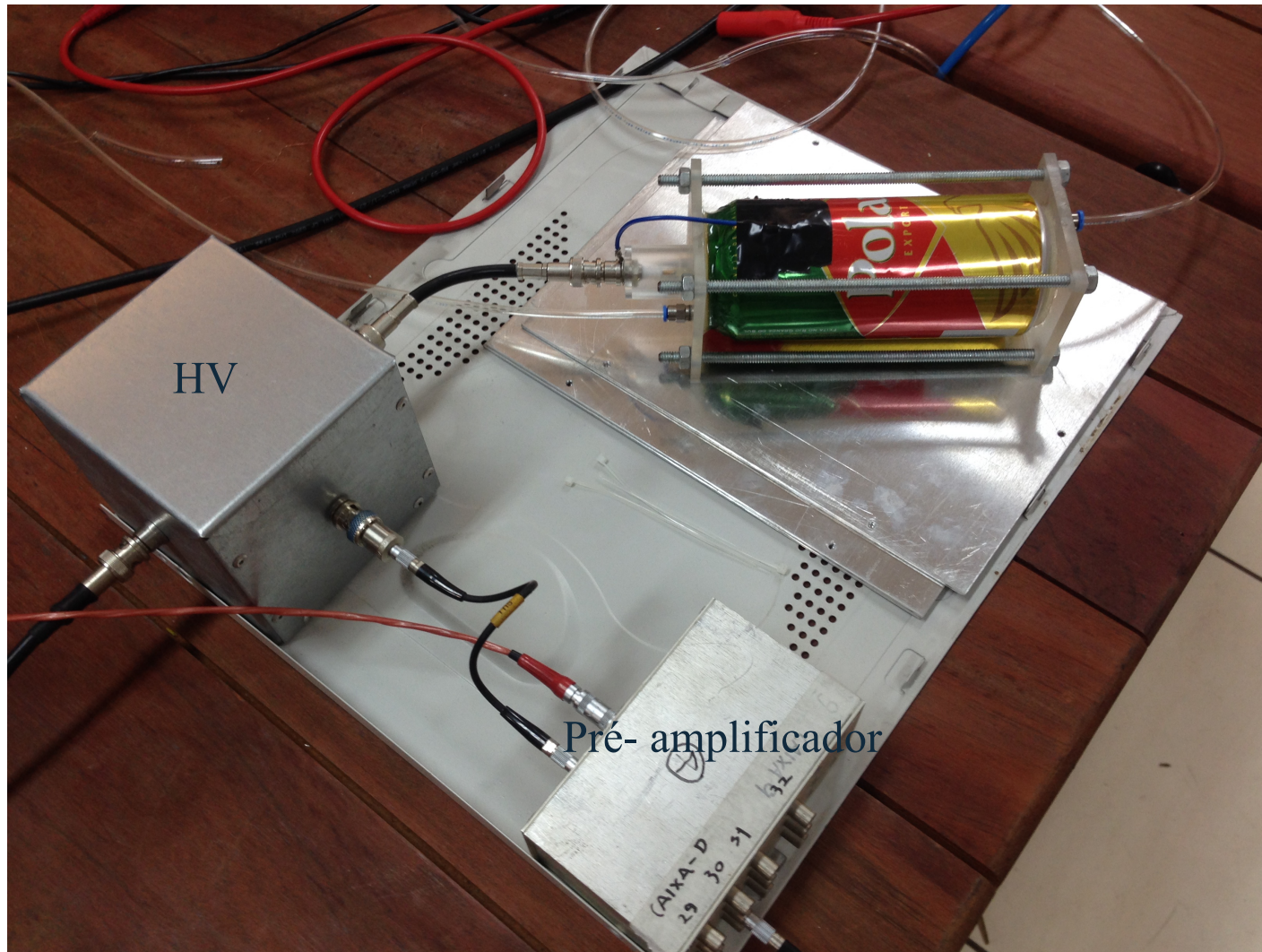
- Cilindro de alumínio feito a partir de uma lata de cerveja
- Fio de tungstênio + ouro no centro
- Gás: 90% Argônio + 10% CH₄
- Tensão de operação ~1600 V



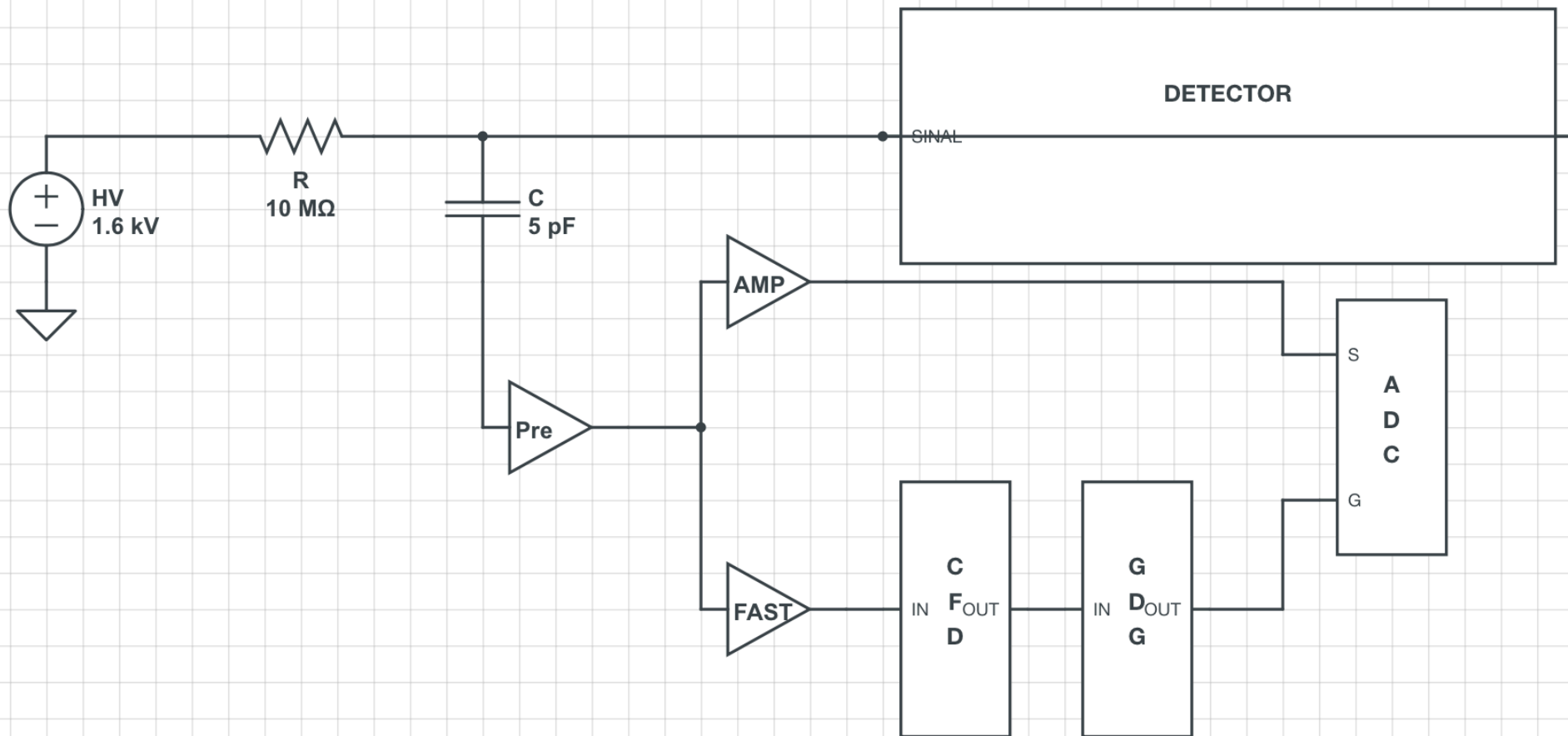
O experimento – parte 1



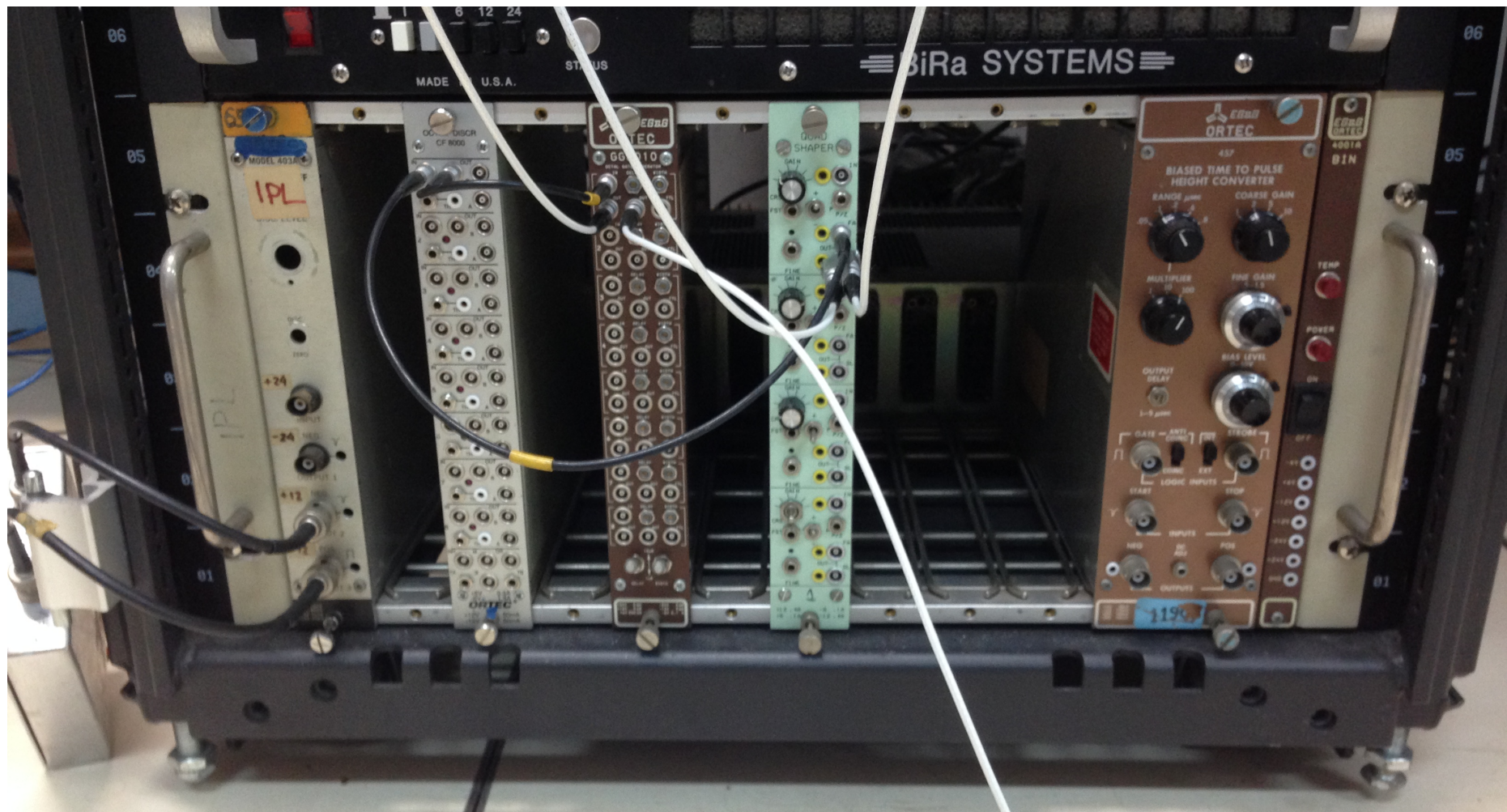
O experimento – parte 1



O experimento – parte 1



O experimento – parte 1



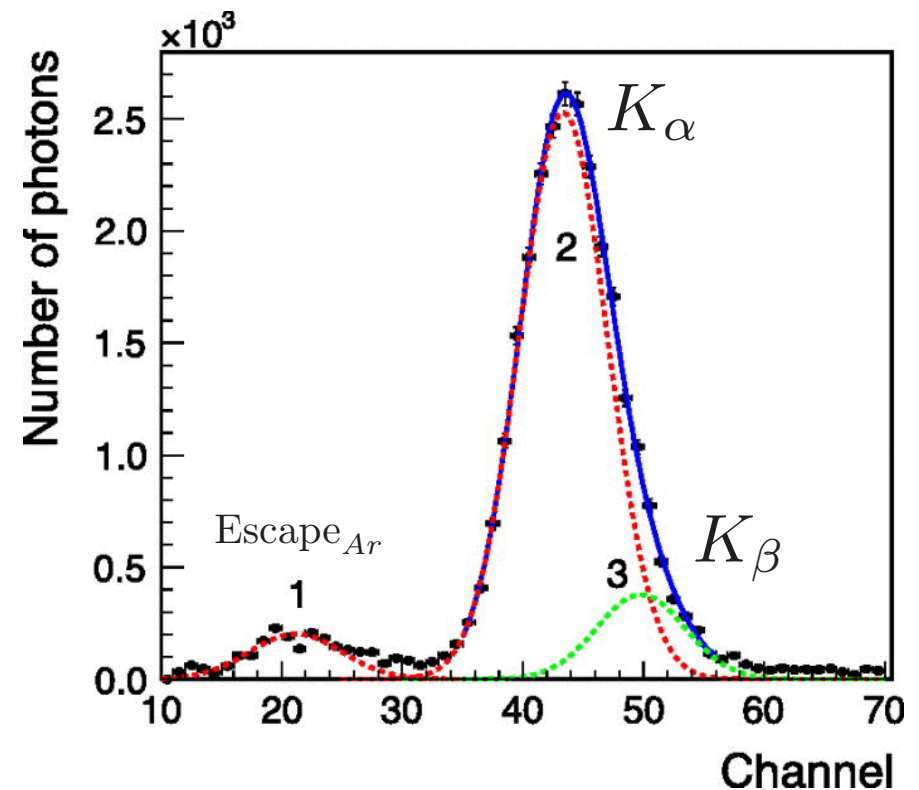
Objetivos

- Estudar o funcionamento do detector "latinha" em relação à tensão de operação com uma fonte radioativa de ^{55}Fe
- O ^{55}Fe decai em ^{55}Mn por captura eletrônica
 - Um elétron da camada 1S é capturado pelo núcleo, transformando um próton em um nêutron
 - Em seguida há um rearranjo eletrônico, fazendo elétrons de camadas superiores perderem energia por emissão de raios-X
- Há ainda a emissão de raio-X de escape do Argônio presente no gás do detector, com energia \sim metade da energia do raio-X da fonte

$$K_{\alpha} = 5.89 \text{ keV}$$

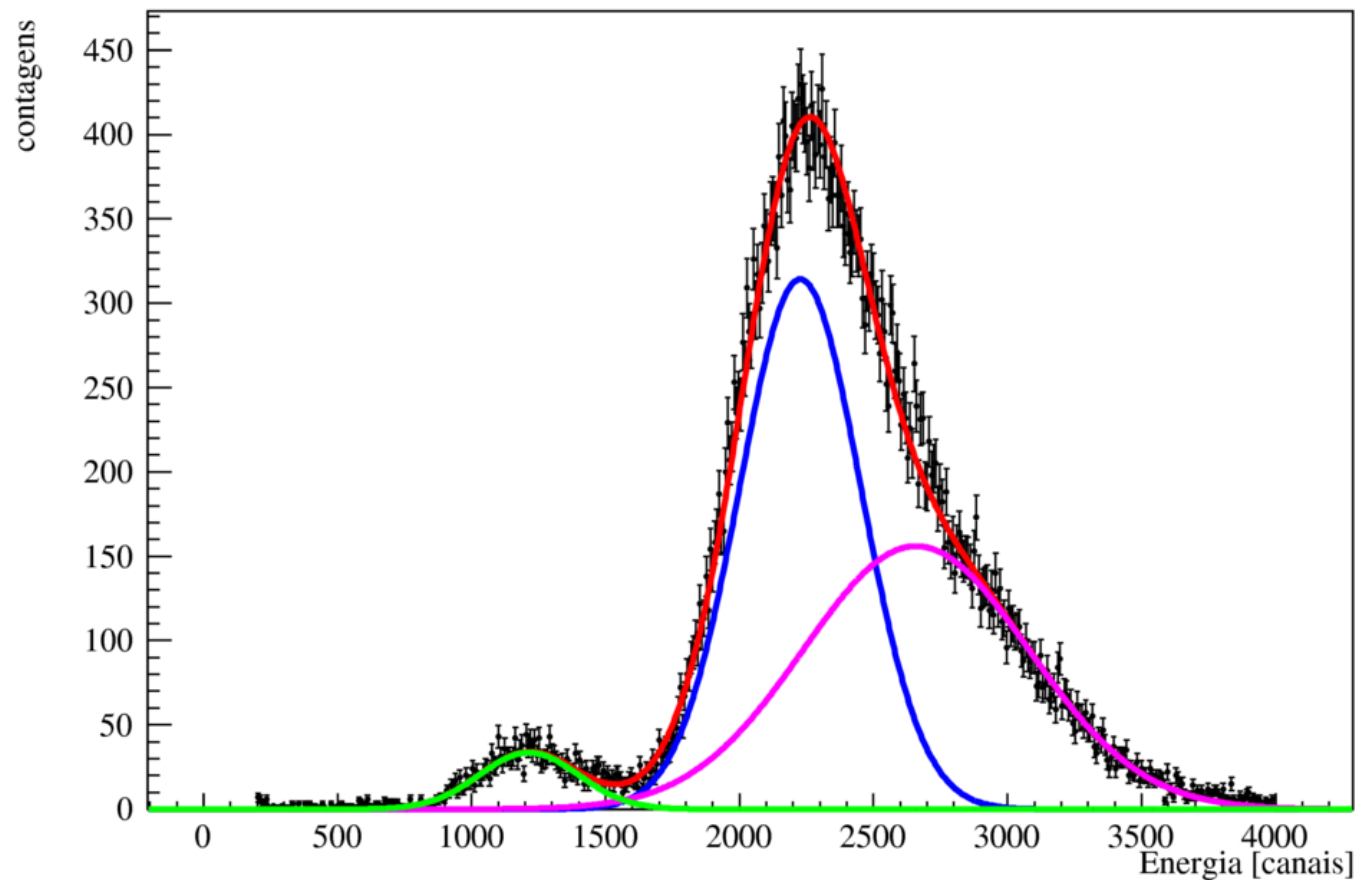
$$K_{\beta} = 6.49 \text{ keV}$$

$$\text{Escape}_{Ar} \sim 3 \text{ keV}$$



O que podemos obter com o nosso detector?

Espectro típico do detector latinha



Estudos

- Ver roteiro no site para mais detalhes
 - Analisar o ganho do detector em função da tensão
 - Posição do pico de K_{α}
 - Analisar a resolução do detector em função da tensão
 - Razão entre largura e posição do pico de K_{α}