

Aula 7 - (Exp 2.3) - Filtro de Wien

Modelando o TRC  
Medindo o campo magnético local

Manfredo H. Tabacniks  
Alexandre Suaide  
setembro 2007

M.H. Tabacniks & A. Suaide - LabFlex - IFUSP (2007)

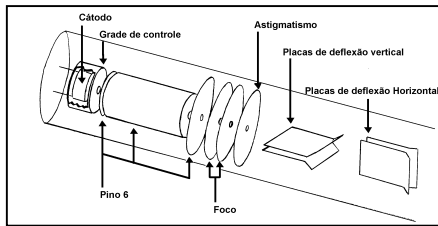
Filtro de Wien: Metodologia proposta

Resumo do experimento

- Aula 2.1 - Entender o campo elétrico. Medir o campo elétrico gerado e comparar com previsões teóricas. Quão próximo está o experimento de uma situação de campo ideal (uniforme)
- Aula 2.2 - Entender a geração das partículas (elétrons) e como elas se movimentam no campo elétrico estudado na aula anterior.
- Aula 2.3 - Modelo do tubo de raios Catódicos. Medida do campo magnético local
- Aula 2.4 - Movimento dos elétrons no campo magnético gerado.
- Aula 2.5 - Ligando o campo elétrico e magnético. Estudar o movimento das partículas no campo EM. Determinar comportamentos gerais do filtro de Wien
- Aulas 2.6 e 2.7 - Estudar em detalhes vários aspectos e aplicações do filtro de Wien. Comparar com simulações e identificar limitações.

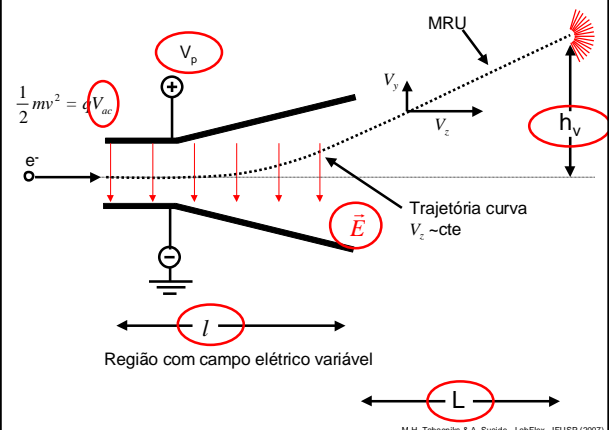
M.H. Tabacniks & A. Suaide - LabFlex - IFUSP (2007)

O tubo de raios Catódicos.



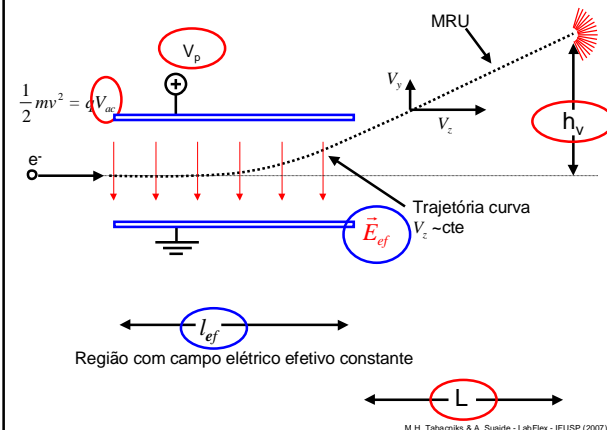
M.H. Tabacniks & A. Suaide - LabFlex - IFUSP (2007)

Movimento num TRC



M.H. Tabacniks & A. Suaide - LabFlex - IFUSP (2007)

Movimento num TRC



M.H. Tabacniks & A. Suaide - LabFlex - IFUSP (2007)

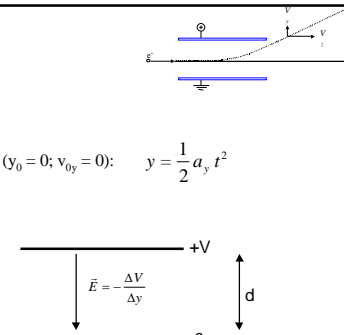
Modelo do TRC

MU em z:  $t = \frac{\Delta z}{v_z}$

Entre as placas, MUV(?) em y ( $y_0 = 0; v_{0y} = 0$ ):  $y = \frac{1}{2} a_y t^2$

$a_y = \frac{F_y}{m}$

$F_y = qE = q \cdot \frac{V_p}{d}$



M.H. Tabacniks & A. Suaide - LabFlex - IFUSP (2007)

$t = \frac{\Delta z}{v_z}$        $y = \frac{1}{2} a_y t^2$        $F_y = qE = q \frac{V_p}{d}$

$$v_{y1} = a t = \frac{q V_p}{m d} \frac{l}{v_z}$$

$$y_1 = \frac{1}{2} \frac{q V_p}{m d} \left( \frac{l}{v_z} \right)^2$$

M.H. Tabacniks & A. Sualde - LabFlex - IFUSP (2007)

$y_1 = \frac{1}{2} \frac{q V_p}{m d} \left( \frac{l}{v_z} \right)^2$        $v_{y1} = a t = \frac{q V_p}{m d} \frac{l}{v_z}$

**Calculando  $v_z$**

O elétron (-) é acelerado por uma diferença de potencial  $V_{ac}$

Conservação de energia:  $E_p + E_c = \text{cte}$

Introduzindo  $q = e$

$E_c = 0$   
 $E_p = 0$

$+V_{ac}$   
 $E_p = (-)e V_{ac}$   
 $E_c = \frac{1}{2} m v^2$

$v_z = \sqrt{\frac{2eV_{ac}}{m}}$

$$y_1 = \frac{1}{2} \frac{e V_p}{m d} \frac{m l^2}{2e V_{ac}}$$

$$v_{y1} = a t = \frac{e V_p}{m d} l \sqrt{\frac{m}{2e V_{ac}}}$$

M.H. Tabacniks & A. Sualde - LabFlex - IFUSP (2007)

**Movimento num TRC**

$\frac{1}{2} m v^2 = e V_{ac}$

$$y_1 = \frac{1}{2} \frac{e V_p}{m d} \frac{m l^2}{2e V_{ac}}$$

$$v_{y1} = a t = \frac{e V_p}{m d} l \sqrt{\frac{m}{2e V_{ac}}}$$

Região com campo elétrico efetivo constante

$L$

M.H. Tabacniks & A. Sualde - LabFlex - IFUSP (2007)

**Da placa à tela temos movimento uniforme**

$$h_v = y_2 = y_1 + v_{y1} t_{1,2}$$

$$t_{1,2} = \frac{L}{v_z} = L \sqrt{\frac{m}{2e V_{ac}}}$$

$$h_v = \frac{1}{2} \frac{e V_p}{m d} \frac{m l^2}{2e V_{ac}} + \frac{e V_p}{m d} l \sqrt{\frac{m}{2e V_{ac}}} L \sqrt{\frac{m}{2e V_{ac}}}$$

$$h_v = \frac{l}{2d} \frac{V_p}{V_{ac}} \left( \frac{l}{2} + L \right)$$

*Função de  $l$  e  $d$*

M.H. Tabacniks & A. Sualde - LabFlex - IFUSP (2007)

**Movimento num TRC**

$\frac{1}{2} m v^2 = e V_{ac}$

$$h_v = \frac{l}{2d} \frac{V_p}{V_{ac}} \left( \frac{l}{2} + L \right)$$

Região com campo elétrico efetivo constante

$L$

M.H. Tabacniks & A. Sualde - LabFlex - IFUSP (2007)

**Impulso**

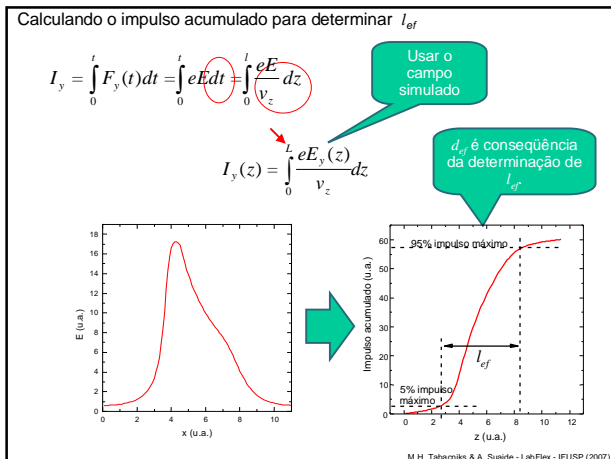
$$\vec{I} = \int \vec{F}(t) dt = \Delta \vec{P}$$

$$\Delta P_y = m v_y \propto \frac{V_p}{\sqrt{V_{ac}}}$$

$$\Delta P_z = m v_z \propto \sqrt{V_{ac}}$$

$$\frac{\Delta P_y}{\Delta P_z} = \frac{\Delta P}{P} \propto \frac{V_p}{V_{ac}}$$

M.H. Tabacniks & A. Sualde - LabFlex - IFUSP (2007)



- ### Atividades teóricas
- Fazer os ajustes necessários para os gráficos de  $h$  vs  $V_p$  e  $h$  vs  $V_{AC}$ .
    - Verificar compatibilidade entre as constantes ajustadas
  - Da simulação do campo, fazer o gráfico de impulso acumulado em função do comprimento  $z$ .
    - Determinar o comprimento efetivo das placas ( $l_{ef}$ )
      - Dica: use o Excel e faça a integral como a soma de pequenos retângulos
  - Determinar a distância efetiva ( $d_{ef}$ ) entre as placas a partir dos resultados acima.
  - Comparar o comprimento e distância com os valores geométricos do TRC
- M.H. Tabacniks & A. Suidde - LabFlex - IFUSP (2007)



### O que é campo local?

- O campo magnético local depende de muitos fatores
  - Cosmológicos
  - Geológicos
  - Locais
    - Canos, fontes de corrente, metais, etc., etc., etc.

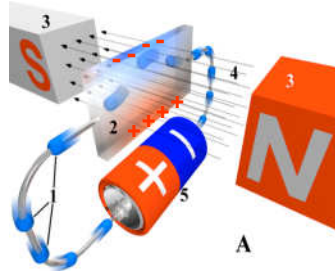
M.H. Tabacniks & A. Suidde - LabFlex - IFUSP (2007)

- ### Como medir campos magnéticos?
- Muitas técnicas
    - Bússola
      - somente direção do campo
    - Bobinas sondas
      - Campos com fluxo variável
    - Medidor por efeito Hall
      - campos estáticos diversos
    - TRC
      - Movimento de elétrons no campo
- M.H. Tabacniks & A. Suidde - LabFlex - IFUSP (2007)



## O efeito Hall

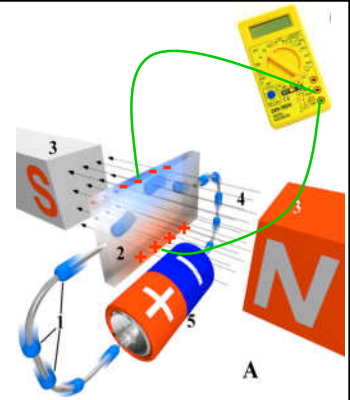
Esta mudança de distribuição de cargas no condutor cria uma diferença de potencial entre as superfícies do mesmo



M.H. Tabacniks & A. Suidde - LabFlex - IFUSP (2007)

## O efeito Hall

A medida desta diferença de potencial é proporcional ao campo magnético



M.H. Tabacniks & A. Suidde - LabFlex - IFUSP (2007)

## O Sensor Hall do laboratório Didático

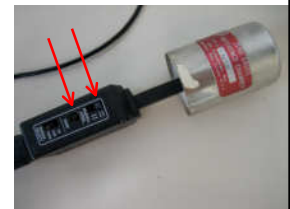
- DataStudio
- Ponta de prova
  - Dois sensores perpendiculares
    - Selecionados por chave
    - Note que o sensor mede a componente transversal do campo magnético.
    - Escolha o sensor de acordo com a medida que se quer efetuar
  - Possibilidade de selecionar sensibilidade
    - Similar a escala do voltímetro
  - Botão de calibração (Tare)



M.H. Tabacniks & A. Suidde - LabFlex - IFUSP (2007)

## O Sensor Hall do laboratório Didático

- Selecione o sensor a ser utilizado
- Calibre o sensor
  - Ambiente com campo = 0
  - Como?
    - Câmara de referência
- Posicione o sensor na região a ser medida e use o DataStudio



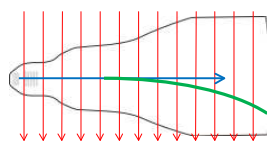
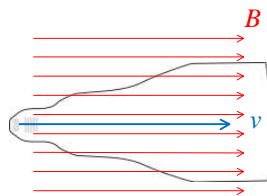
M.H. Tabacniks & A. Suidde - LabFlex - IFUSP (2007)

## Usando um TRC para medir o campo local:

### ? Força magnética

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

- Se  $v$  e  $B$  forem paralelos, a força é nula e o feixe não sofre desvio
- Se forem perpendiculares, o desvio é máximo



M.H. Tabacniks & A. Suidde - LabFlex - IFUSP (2007)

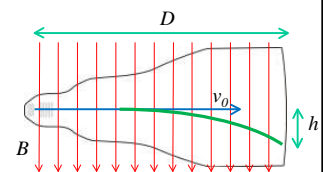
## Usando um TRC para medir o campo local:

### • Força magnética

- Magnitude do campo em função de  $h$  e  $D$ .
- Fácil de obter
  - Movimento uniforme na direção de  $v_0$  e
  - Movimento uniformemente variado na direção de  $B$ .

Valores baixos de  $v_z$  geram  $h$  maior.

$$B = \frac{2mv_z}{q} \frac{h}{D^2}$$



M.H. Tabacniks & A. Suidde - LabFlex - IFUSP (2007)

### Usando um TRC para medir o campo local:

- Mas o campo magnético é um vetor no espaço
- Precisamos medir as três componentes
- Como?
  - Sistema de referência
    - Laboratório
  - Componentes do campo em cada direção
    - Problema geométrico



M.H. Tabacniks & A. Suiside - LabFlex - IFUSP (2007)

### Atividades experimentais

- Obter o VETOR campo magnético local para a sua bancada no sistema de coordenadas definido na sala (Usando um TRC e Sensor Hall)
  - Vetor significa  $B_x$ ,  $B_y$ , e  $B_z$ .
  - Anotar o número da bancada no PDF
  - Descrever em um parágrafo o procedimento adotado.
  - Comparar os valores medidos e o valor de referência do campo magnético local.
- Algumas coisas para pensar...
  - Como medir as coordenadas (direção de B)?
  - Como relacionar o sistema de coordenadas locais (por exemplo, posição na bancada) com o global da sala
    - Alinhamentos, etc.
  - Incertezas das medidas efetuadas.
    - Pense em como medir para reduzir a incerteza.

M.H. Tabacniks & A. Suiside - LabFlex - IFUSP (2007)