

Aula 5 - (Exp 2.1)
 Filtro de Wien
 Mapeamento de Campo Elétrico

Manfredo H. Tabacniks
 Alexandre Suaide
 setembro 2007

Estudo de uma partícula em um campo eletromagnético



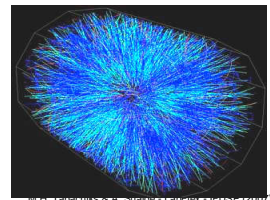
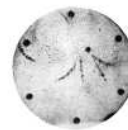
Experiência 2 - Filtro de Wien - 7 aulas

- Estudar o movimento de uma partícula em um campo eletromagnético
- O Seletor de velocidades do tipo filtro de Wien
 - ? Configuração especial de campo EM
 - ? Estudo das propriedades e características deste filtro
 - ? Como as características experimentais influenciam o funcionamento do filtro?
 - ? Como contornar as limitações experimentais e como tratar um sistema não ideal do ponto de vista teórico?

Qual a razão de estudar movimento de partículas em campos EM?

- λ Uma fração significativa do estudo das partículas subatômicas é feito através da análise das suas trajetórias em campos EM.

- Desde a descoberta do pósitron

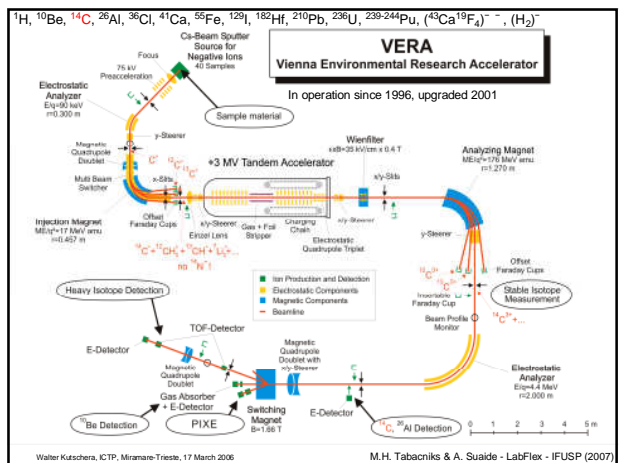
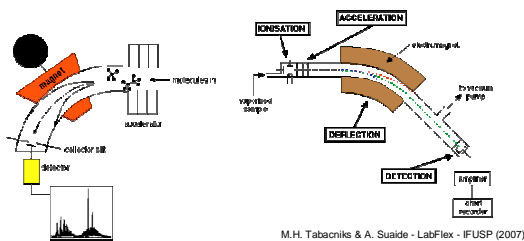
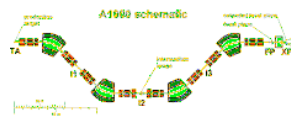


- Até a descoberta de novos estados da matéria nuclear (2007)

Qual a razão de estudar partículas em campos EM?

- ? Várias aplicações científicas e práticas

- Aceleradores
 - ? Pelletron, LAMFI
- Analisadores
 - ? Espectrometro de massa, etc



O Princípio básico é conhecer a interação eletromagnética

- ? Qual é a força que atua em uma partícula que está imersa em um campo eletromagnético?

$$\vec{F} = \vec{F}_{Elétrica} + \vec{F}_{Magnética} + \vec{F}_{outras}$$

- ? Por simplicidade (faça as contas e verifique)

$$\vec{F}_{outras} \sim 0$$

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

O Princípio básico é conhecer a interação eletromagnética

- ? Qual é a força que atua em uma partícula que está imersa em um campo eletromagnético?

$$\vec{F} = \vec{F}_{Elétrica} + \vec{F}_{Magnética}$$

- ? Se o campo elétrico e magnético são conhecidos

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

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

... e resolver as equações de movimento

- ? A trajetória de uma partícula qualquer pode ser descrita resolvendo-se as equações de movimento

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

- ? Ou seja, no campo EM:

$$m \frac{d}{dt} \vec{v} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

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

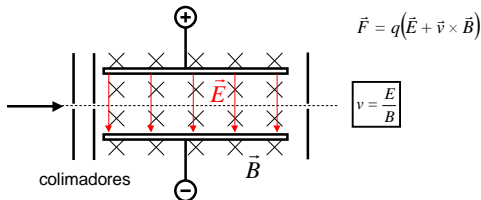
Como estudar um problema complexo?

- ? O movimento de uma partícula no campo do filtro de Wien pode ser bastante complexo
 - Muitas forças envolvidas.
 - Movimento não é unidimensional
- ? Como tornar o problema mais simples?
 - Isolar contribuições dos diferentes fenômenos. A compreensão individual de cada um dos fenômenos torna o entendimento do todo mais fácil.

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

OBJETIVOS

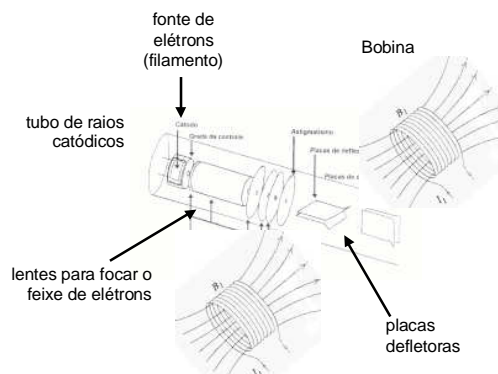
Estudar e modelar um filtro de velocidades $E \times B$ (Filtro de Wien)



- Mapear o campo elétrico entre 2 placas de um osciloscópio
- Mapear o campo magnético gerado por um solenóide
- Construir e calibrar um seletor de velocidades

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

Na prática...



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

Como estudar um problema complexo?

- ? **O movimento de uma partícula no campo do filtro de Wien pode ser bastante complexo**
 - Muitas forças envolvidas.
 - Movimento não é unidimensional
- ? **Como tornar o problema mais simples?**
 - Tentar isolar contribuições dos diferentes fenômenos. A compreensão individual de cada um dos fenômenos torna o entendimento do todo mais fácil.

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

Metodologia a ser adotada

- ? **Isolar o campo elétrico**
 - Como gerar o campo elétrico
 - Estudar o campo elétrico gerado
 - Do que depende o campo? Qual a intensidade em cada ponto do espaço e como a geometria do problema altera este campo?
- ? Entender como é o movimento de partículas dentro deste campo elétrico?
 - Como gerar estas partículas?
 - Podemos descrever o movimento destas partículas teoricamente? Quais os compromissos adotados e as limitações teóricas e experimentais?

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

Metodologia a ser adotada

- ? **Isolar o campo magnético**
 - Como gerar o campo magnético?
 - Como estudar este campo? Como medi-lo?
 - Do que depende este campo? Podemos entendê-lo teoricamente?
- ? Como é o movimento destas partículas dentro deste campo magnético?
 - Podemos descrever este movimento teoricamente? Como fazer um experimento para testar as hipóteses teóricas?
 - Quais as limitações e aproximações adotadas

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

Metodologia a ser adotada

- ? **Juntar e sobrepor os campos elétrico e magnético**
 - Ligar, simultaneamente, os campos elétrico e magnético
 - Como se dá o movimento das partículas neste campo?
 - Quais as grandezas que devemos observar para comparar com previsões teóricas
 - ? Do que dependem as trajetórias envolvidas? Geometria? Intensidade dos campos? Energia da partícula incidente?
 - Quais as limitações teóricas e experimentais?
 - Após entender o filtro de Wien, como utilizá-lo em aplicações práticas?

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

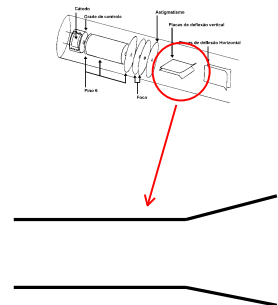
Metodologia a ser adotada

- ? **Resumo do experimento**
 - **Aula 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** - Entender a geração das partículas (elétrons) e como elas se movimentam no campo elétrico estudado na aula anterior?
 - **Aula 3** - Entender a geração do campo magnético. Como medi-lo e como compará-lo com previsões teóricas?
 - **Aula 4** - Movimento dos elétrons no campo magnético gerado
 - **Aula 5** - Ligando o campo elétrico e magnético. Estudar o movimento das partículas no campo EM. Determinar comportamentos gerais do filtro de Wien
 - **Aulas 6 e 7** - Estudar em detalhes vários aspectos e aplicações do filtro de Wien. Comparar com simulações e identificar limitações.

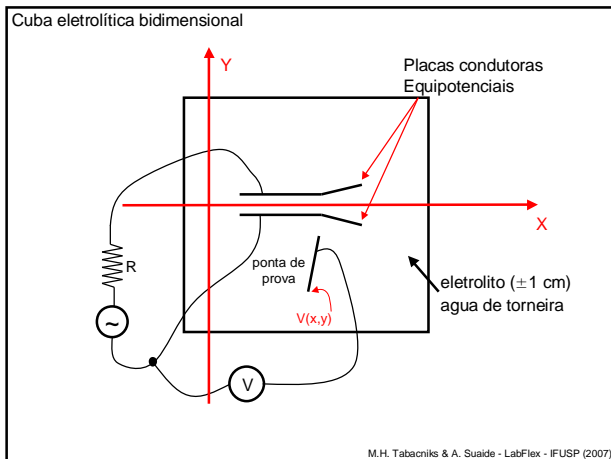
M.H. Tabacniks & A. Suaide - LabFlex - IFUSP (2007)

Precisamos conhecer o campo entre as placas

- ? Como é o campo?
- ? É uniforme?
- ? Efeitos de borda?
- ? Superfícies equipotenciais



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



A cuba eletrolítica bidimensional

Linhas de campo \perp linhas de potencial

$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{r} = -E dr \cos \theta$$

$$dV = -E ds \quad \vec{s} = s\vec{u}$$

$$E = -\left(\frac{dV}{ds}\right)\vec{u}$$

$$E \cong -\frac{\Delta V}{\Delta s}$$

$$E_y = -\frac{\Delta V_y}{\Delta y}$$

$$E_x = -\frac{\Delta V_x}{\Delta x}$$

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

Método experimental

- ? Cuba eletrolítica
 - Solução aquosa
 - Colocam-se os eletrodos para simular a configuração de campos a ser mapeada
 - Estabelecer um ponto de referência, $V = 0$
 - Em geral utiliza-se um dos condutores
 - Mede-se o potencial em vários pontos.
 - Calcula-se o campo elétrico a partir do cálculo do gradiente do potencial

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

Garantindo as condições experimentais

- ? Polarização da água
 - Acumulo de ions \rightarrow utilizar tensões alternadas
- ? A cuba é ôhmica?
 - Em AC, a água é razoavelmente ôhmica
- ? A resistência da cuba com solução aquosa é muito menor que a do voltímetro?
 - E é muito maior que a dos condutores?

Resistência em função do tempo para $L = 5,1$ cm e $V = 5$ Volts

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

Medidas experimentais: Montagem

- ? Montar o circuito abaixo
 - Lembrar de fazer em escala em relação ao TRC.

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

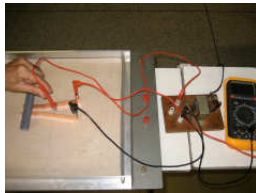
Medidas experimentais: Montagem

- ? Cuidados
 - No máximo 1 cm de água
 - Nivelar a cuba

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

Medidas experimentais: fazendo medidas

- Utilizar o voltímetro
 - Perpendicular à cuba
 - Incerteza em posição
 - Espessura da ponta de prova
- Explorar a simetria



Há dois métodos de trabalho:

- Dada a posição, mede-se $V(x,y)$
- Busca-se (x,y) tal que $V(x,y) = V_{\text{dado}}$

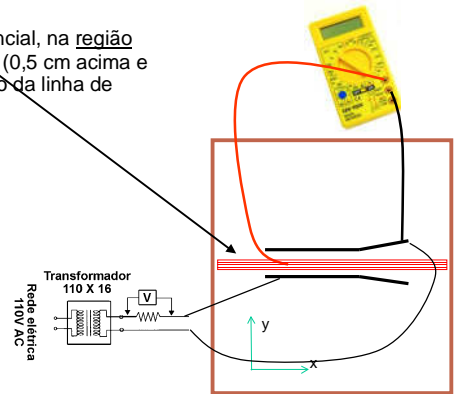
$$E_x = \frac{\Delta V_x}{\Delta x} \quad E_y = \frac{\Delta V_y}{\Delta y}$$



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

Medidas experimentais: Mapeamento do campo

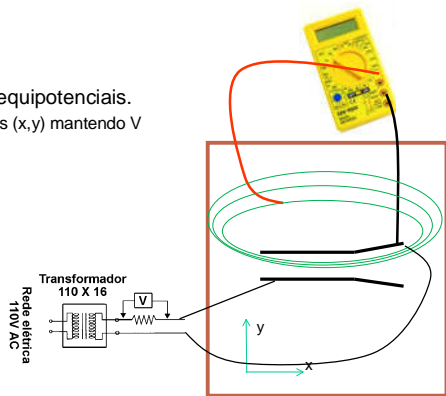
Medir o potencial, na região de interesse: (0,5 cm acima e 0,5 cm abaixo da linha de simetria)



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

Medidas experimentais: Equipotenciais

- ? Medir três equipotenciais.
 - Medir pares (x,y) mantendo V constante



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

Para entregar (17/9)

- ? Gráfico de campo em função da posição x decomposto em E_x e E_y .
 - Indicar no gráfico onde começam e terminam os eletrodos.
 - Gráfico de E_x em função de x ao longo do centro entre as duas placas
 - Gráfico de E_y em função de x ao longo do centro entre as duas placas
- ? Gráfico bi-dimensional das equipotenciais
 - Lembrar de desenhar os eletrodos
 - Desenhar também as linhas de campo

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