

Aula 7 - (Exp 2.3) - Filtro de Wien

Medindo o campo magnético entre 2 bobinas coaxiais

Manfredo H. Tabacniks
Alexandre Suaide
setembro 2007

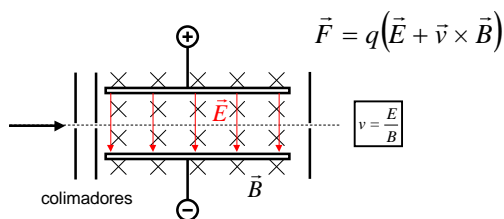
Filtro de Wien: Metodologia proposta

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 - Campo magnético entre duas bobinas coaxiais.
- 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.

OBJETIVOS

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



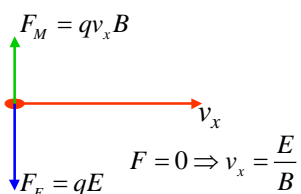
- Modelar o campo elétrico entre 2 placas de um osciloscópio
- Modelar o campo magnético gerado por duas bobinas externas
- Construir e calibrar um seletor de velocidades

Movimento de uma partícula em um seletor de velocidades

? Força resultante

$$F = q(E - v_x B)$$

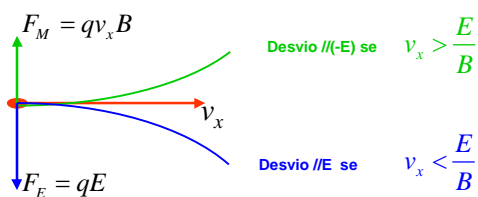
? Partícula não sofre desvio se



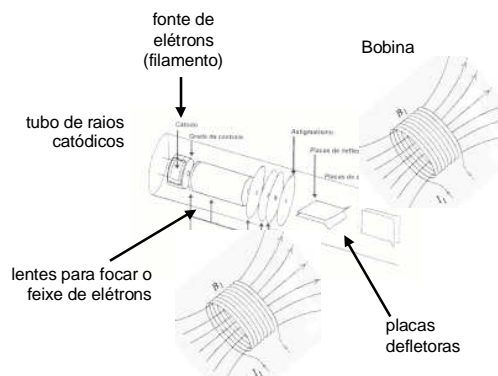
Movimento de uma partícula em um seletor de velocidades

? Condição para não desviar

$$F = 0 \Rightarrow v_x = \frac{E}{B}$$



Na prática...



O sensor por efeito Hall

A diferença de potencial é proporcional ao fluxo do campo magnético

Note: The Hall Effect sensing elements used in the CI-8520A are temperature compensated. However when measuring very low magnetic field levels (± 10 gauss scale) some temperature dependent variation may be observed in the output. It is on the order of a few gauss. For the best results when using the 100X (± 10 gauss) scale the sensor should be connected to the interface for 5 to 15 minutes before data is collected. This will allow the sensing element to come to thermal equilibrium and will yield more stable results.

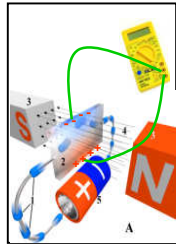
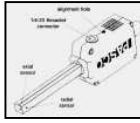


Table 1
Magnetic Sensor Specification Chart

| Range | Gain | Resolution | Accuracy | Calibration Factor |
|------------------|------|-------------|-----------|--------------------|
| ± 1000 gauss | 1X | 0.5 gauss | 100 gauss | 100 gauss/volt |
| ± 100 gauss | 10X | 0.05 gauss | 10 gauss | 10 gauss/volt |
| ± 10 gauss | 100X | 0.050 gauss | 1 gauss | 1 gauss/volt |

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

Acurácia e precisão



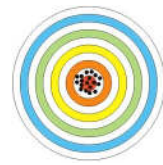
Baixa precisão
Baixa acurácia



Alta precisão
Baixa acurácia



Baixa precisão
Alta acurácia



Alta precisão
Alta acurácia

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

Como minimizar problemas de acurácia

- ? Eu não sei onde está o zero. O que fazer?
 - Calibrar o sensor (câmara de zero gauss)
 - Fazer medidas invertidas
- ? Mesmo assim a estabilidade é um problema sério do sensor Hall nestas escalas

$$M_1 = B_x + A \quad \xrightarrow{B_x} \quad M_2 = -B_x + A$$

$$B_x = \frac{M_1 - M_2}{2}$$

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

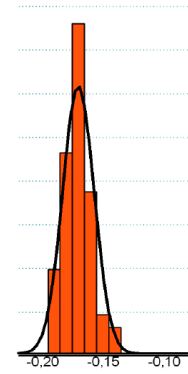
E a precisão? Como contornar

Uma forma é fazendo medidas estatísticas

- ? Se a incerteza de uma medida é
 - $\sigma = 0,050$ G
- ? Se eu fizer N medidas eu tenho que a incerteza da média vale

$$\sigma_{\text{média}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

Usar outro aparelho



lex - IFUSP (2007)

Mas é muito no limite.

Somente alguns grupos conseguiram fazer este levantamento

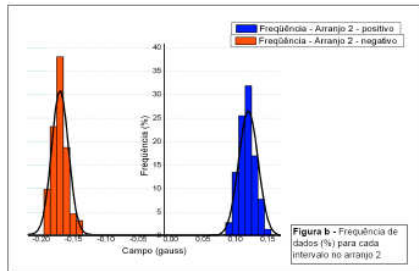


Figura b - Frequência de dados (%) para cada intervalo no arranjo 2.

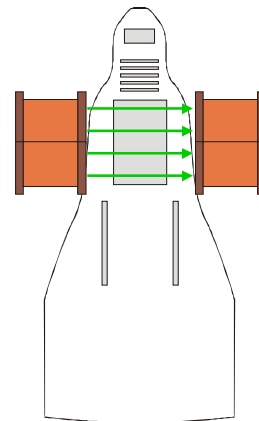
| | Leitura Positiva | Leitura Negativa | Campo (gauss) |
|---------------|------------------|------------------|-----------------|
| Média (gauss) | 0,125 | -0,168 | 0,147 |
| Desvio Padrão | 0,015 | 0,013 | $\approx 0,010$ |

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

O nosso seletor de velocidades

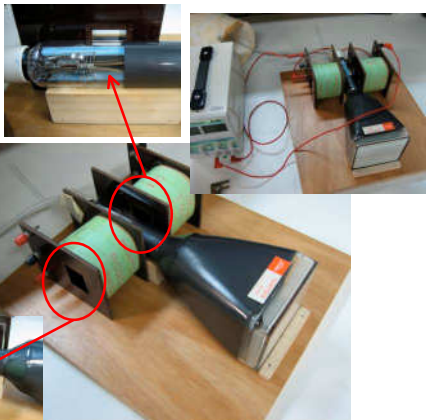
- ? Tubo de raios catódicos para a parte de campo elétrico

- ? E o campo magnético?
 - Duas bobinas ligadas em série



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

Na prática...



Bobinas em série

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

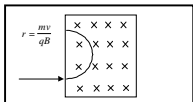
Objetivos 2.4.

- ? Montar as bobinas que serão utilizadas para o mapeamento do campo magnético (parear 1000 ou 500 ou 250 espiras)
- ? Mapear o campo magnético nas direções:
 - o Longitudinal (axial)
 - o Transversal (horizontal)
 - o Transversal (vertical)
- ? Analisar os dados e verificar se o campo pode ser considerado constante e uniforme entre as bobinas.

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

Campo Magnético: Força de Lorentz

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



Escrevendo a força num "elemento de corrente"

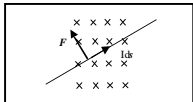
$$d\vec{F} = dq \vec{v} \times \vec{B}$$

e reordenando a ordem de derivação

$$dq \vec{v} = dq \frac{d\vec{s}}{dt} = \frac{dq}{dt} d\vec{s} = I d\vec{s}$$

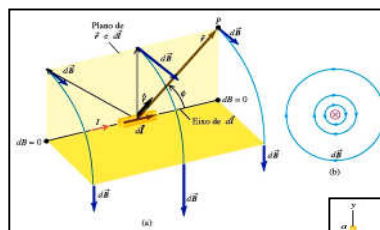
$$dq \vec{v} = I d\vec{s}$$

$$d\vec{F} = I d\vec{s} \times \vec{B}$$



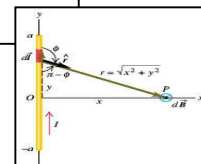
M.H. Tabacniks & A. Sualde - LabFlex - IFUSP (2007)

Fontes do campo magnético (elemento de corrente)



r é um vetor que liga dl ao ponto P.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2}$$



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

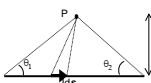
Fontes do campo magnético

Lei de Biot-Savart

$$d\vec{B} = k_m \frac{I d\vec{s}}{r^2} \times \hat{r}$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{s}}{r^2} \times \hat{r}$$

Campo de um segmento de corrente



$$B = \frac{\mu_0}{4\pi a} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

fio infinito

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

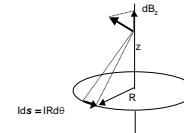
Fontes do campo magnético

Lei de Biot-Savart

$$d\vec{B} = k_m \frac{I d\vec{s}}{r^2} \times \hat{r}$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{s}}{r^2} \times \hat{r}$$

Campo de uma espira



$$B_z = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

ao longo do eixo

$$B_z = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

na origem

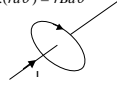
M.H. Tabacniks & A. Sualde - LabFlex - IFUSP (2007)

Fontes do campo magnético: Lei de ampère para campos estacionários

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_c$$

Campo de um fio infinito

$$\vec{B} \cdot d\vec{s} = \vec{B} \cdot (r d\vec{\theta}) = r B d\theta$$



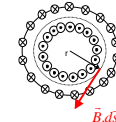
$$B 2\pi r = \mu_0 I$$

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

Fontes do campo magnético: Lei de ampère para campos estacionários

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_c$$

Campo num toróide



$$\vec{B} \cdot d\vec{s} = \vec{B} \cdot (r d\vec{\theta}) = r B d\theta$$

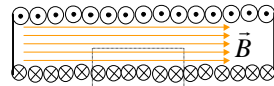
$$B 2\pi r = \mu_0 NI$$

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

Fontes do campo magnético: Lei de ampère para campos estacionários

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_c$$

Campo num solenóide infinito



$$\int \vec{B} \cdot d\vec{s} = \vec{B} \cdot \vec{l} = B l$$

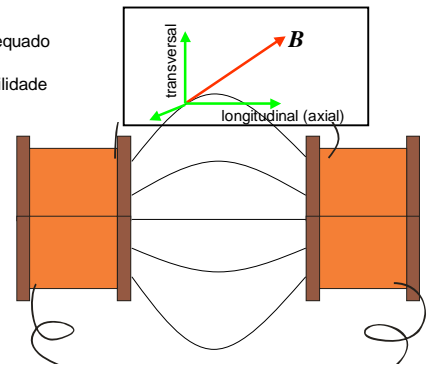
$$\vec{B}_{ext} = 0$$

$$B l = \mu_0 n I \quad B = \frac{n}{\ell} \mu_0 I$$

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

Campo longitudinal e transversal

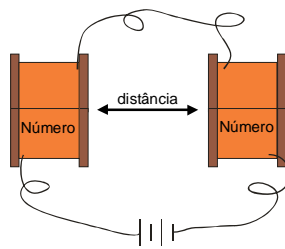
- ? Usar o sensor adequado (chave)
- ? Escolher a sensibilidade



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

Arranjo experimental

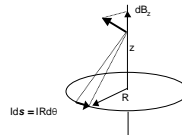
- ? Montar as bobinas conforme mostra a figura abaixo
- ? Anotar número das bobinas e distância entre elas
 - Utilizar o suporte do TRC como referência
- ? Fique atentos com as ligações. Queremos que os campos se somem coerentemente
- ? Procedimento
 - Com as bobinas desligadas.
 - ? Zerar (tara) o medidor Hall
 - Aplicar corrente à bobina
 - ? Não exceder 200 mA



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

Fontes do campo magnético (teoria)

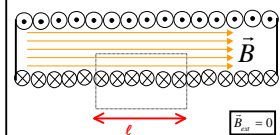
Campo de uma espira



$$B_z = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \quad B_z = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

ao longo do eixo na origem

Campo num solenóide infinito

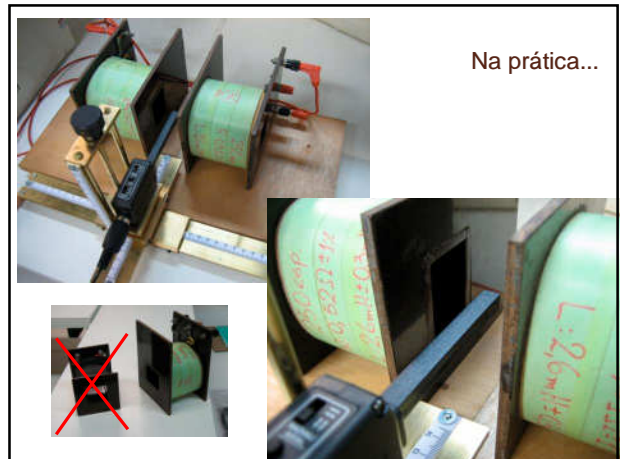
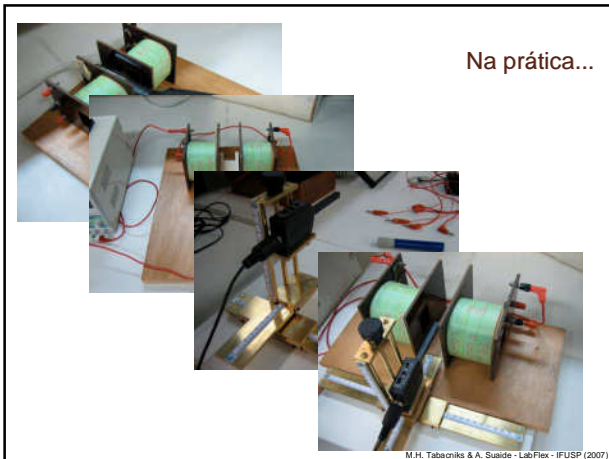


$$\int \vec{B} \cdot d\vec{s} = \vec{B} \cdot \vec{l} = B l$$

$$\vec{B}_{ext} = 0$$

$$B l = \mu_0 n I \quad B = \frac{n}{\ell} \mu_0 I$$

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



Atividades da semana (2.4)

- 7 Gráfico de B_x e B_z , ao longo do eixo x .
 - Fixar a origem no centro, entre as bobinas
- 7 Gráfico de B_x e B_z , ao longo do eixo y .
 - Fixar a origem no centro, entre as bobinas
- 7 Gráfico de B_x e B_z , ao longo do eixo z .
 - Fixar x no centro entre as bobinas

- 7 Gráfico $|B|$ em função da corrente elétrica i nas bobinas, medido no centro entre as bobinas (origem) e estudar sua dependência com a corrente
 - A dependência de $|B|$ com i na origem, pode ser usada em todos os pontos? Porque?

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