

# Física Experimental III

Primeiro semestre de 2020

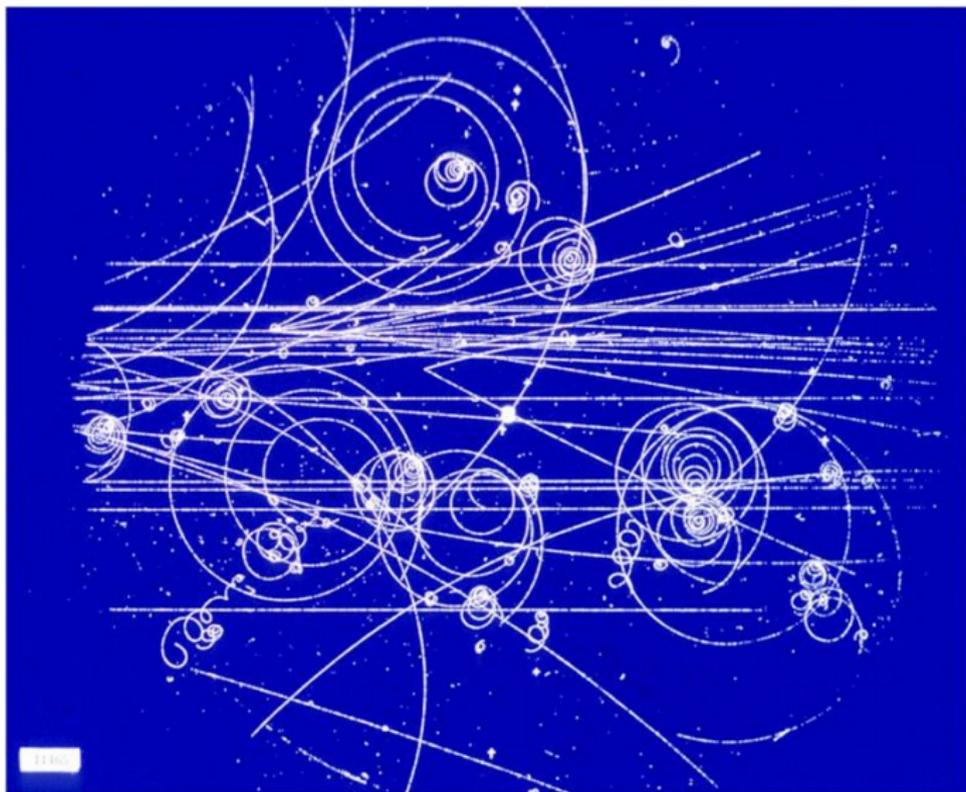
## Aula 4 - Experimento 3

Página da disciplina:

<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=73158>

Outubro de 2020

# Experimento 3 - Estudo do movimento de partículas em campos eletromagnéticos



- 1 Experimento
  - Experimento 3
  - Partículas em campos eletromagnéticos
  - Calibração

- 1 Experimento
  - Experimento 3
  - Partículas em campos eletromagnéticos
  - Calibração

- 1 Experimento
  - Experimento 3
    - Partículas em campos eletromagnéticos
    - Calibração

# Objetivos do experimento

- Estudar o movimento de uma partícula em um campo eletromagnético
- Caracterizar um seletor de velocidades do tipo filtro de Wien
  - ▶ Estudar uma configuração especial de campo EM
  - ▶ Estudar as propriedades e características deste filtro
  - ▶ Investigar as características experimentais que influenciam o funcionamento do filtro
  - ▶ Investigar as limitações experimentais e tratar um sistema não ideal do ponto de vista teórico

- 4 atividades

- ▶ Atividade 1

- ★ Estudo do movimento em um campo elétrico

- ▶ Atividade 2

- ★ Estudo do movimento em um campo magnético

- ▶ Atividade 3

- ★ Mapeamento dos campos elétrico e magnético e simulação do movimento das partículas

- ▶ **Atividade 4**

- ★ **Calibração do filtro de velocidades**

- 1 Experimento
  - Experimento 3
  - Partículas em campos eletromagnéticos
  - Calibração

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

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

- Se o campo elétrico e magnético são conhecidos

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

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

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

- No campo eletromagnético

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

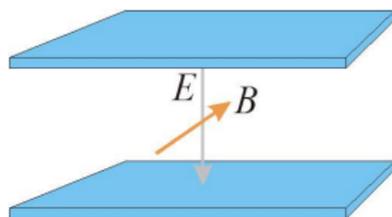
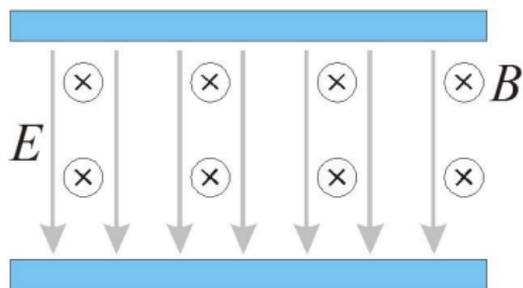
# O filtro de Wien

- O filtro de Wien consiste de uma configuração de campo elétrico e magnético cruzados (perpendiculares) e perpendiculares à velocidade inicial da partícula incidente

$$\vec{v}_0 = v_0 \hat{i}$$

$$\vec{B} = -B \hat{j}$$

$$\vec{E} = E \hat{k}$$



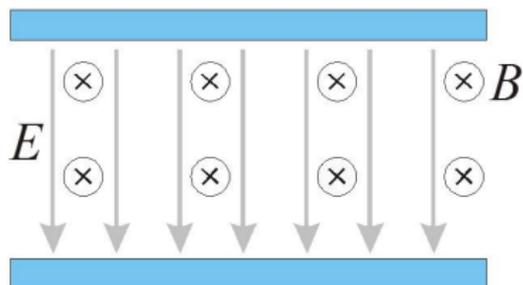
# O filtro de Wien

- O filtro de Wien consiste de uma configuração de campo elétrico e magnético cruzados (perpendiculares) e perpendiculares à velocidade inicial da partícula incidente

$$\vec{v}_0 = v_0 \hat{i}$$

$$\vec{B} = -B \hat{j}$$

$$\vec{E} = E \hat{k}$$



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

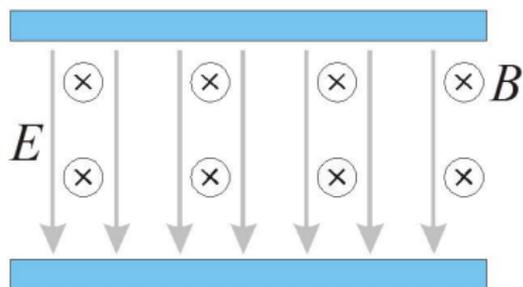
# O filtro de Wien

- O filtro de Wien consiste de uma configuração de campo elétrico e magnético cruzados (perpendiculares) e perpendiculares à velocidade inicial da partícula incidente

$$\vec{v}_0 = v_0 \hat{i}$$

$$\vec{B} = -B \hat{j}$$

$$\vec{E} = E \hat{k}$$



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

$$m \frac{d}{dt} \vec{v} = q (E - v_0 B) \hat{k}$$

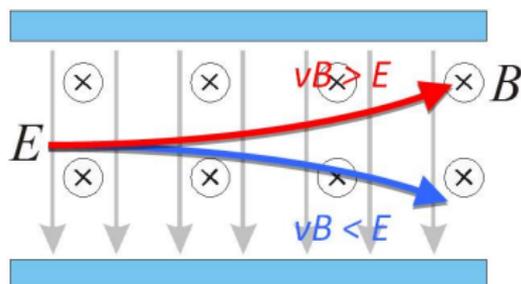
# O filtro de Wien

- O filtro de Wien consiste de uma configuração de campo elétrico e magnético cruzados (perpendiculares) e perpendiculares à velocidade inicial da partícula incidente

$$\vec{v}_0 = v_0 \hat{i}$$

$$\vec{B} = -B \hat{j}$$

$$\vec{E} = E \hat{k}$$



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

$$m \frac{d}{dt} \vec{v} = q (E - v_0 B) \hat{k}$$

- Aceleração inicial apenas na direção  $k$ . Sentido depende das intensidades de  $E$ ,  $v$  e  $B$

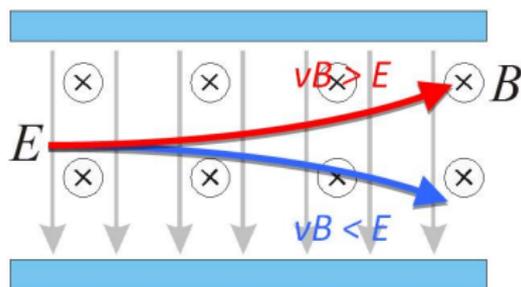
# O filtro de Wien

- O filtro de Wien consiste de uma configuração de campo elétrico e magnético cruzados (perpendiculares) e perpendiculares à velocidade inicial da partícula incidente

$$\vec{v}_0 = v_0 \hat{i}$$

$$\vec{B} = -B \hat{j}$$

$$\vec{E} = E \hat{k}$$



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

$$m \frac{d}{dt} \vec{v} = q (E - v_0 B) \hat{k}$$

- Se  $v_0 = \frac{E}{B}$  a partícula não sofre desvio

- Condições ideais

- ▶ Campos uniformes, sem efeitos de borda e na mesma região espacial

$$v_0 = \frac{E}{B}$$

- Condições reais

- ▶ Campos não uniformes, com efeitos de borda e não exatamente na mesma região espacial

$$E(x) = \alpha(x)V_P$$

$$B(x) = \beta(x)i$$

- 1 Experimento
  - Experimento 3
  - Partículas em campos eletromagnéticos
  - Calibração

- Descolamento devido ao campo elétrico

$$h_E = A \frac{V_P}{V_{AC}}$$

- Descolamento devido ao campo magnético

$$h_B = C \frac{i}{\sqrt{V_{AC}}}$$

- Partícula que não sofre desvio  $\Rightarrow$  deslocamentos compensados

$$A \frac{V_P}{V_{AC}} = C \frac{i}{\sqrt{V_{AC}}}$$

- Partícula que não sofre desvio  $\Rightarrow$  deslocamentos compensados

$$A \frac{V_P}{V_{AC}} = C \frac{i}{\sqrt{V_{AC}}}$$

$$\sqrt{V_{AC}} = \frac{A}{C} \frac{V_P}{i}$$

$$qV_{AC} = \frac{1}{2}mv_0^2 \quad \Rightarrow \quad \sqrt{V_{AC}} = \sqrt{\frac{m}{2q}}v_0$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2q}{m} \frac{A}{C} \frac{V_P}{i}}$$

- Partícula que não sofre desvio  $\Rightarrow$  deslocamentos compensados

$$v_0 = \sqrt{\frac{2q}{m} \frac{A}{C} \frac{V_P}{i}}$$

$$v_0 = \delta \frac{V_P}{i} \quad \text{com} \quad \delta = \sqrt{\frac{2q}{m} \frac{A}{C}}$$

- Calibrar o filtro  $\Rightarrow$  determinar  $\delta$

# Objetivo da atividade

- Calibrar o filtro de velocidades, obtendo  $\delta$  e comparar com o previsto a partir das constantes  $A$  e  $C$  obtidas nas atividades anteriores

- Monta-se o seletor de velocidades utilizando duas fontes de tensão DC, uma para as placas verticais e outra para as bobinas
  - ▶ O deslocamento do feixe produzido pelo campo elétrico deve se opor ao produzido pelo campo magnético
- Obter a razão  $V_P/i$ 
  - ▶ Seleciona-se uma tensão de aceleração ( $V_{AC}$ ) e dela obtém-se  $v_0$
  - ▶ Com  $V_P = 0$  ajusta-se a corrente  $i$  para que o deslocamento devido ao campo magnético seja de 1 cm. Mede-se  $i$
  - ▶ Ajusta-se  $V_P$  para compensar este deslocamento e voltar a partícula para a origem. Mede-se  $V_P$
  - ▶ Repete-se os passos anteriores para  $h = 1, 2, 3$  e 4 cm
  - ▶ Fazer o gráfico de  $V_P$  em função de  $i$  para estes dados. Ajustar uma reta e obter o valor do coeficiente angular  $\gamma = V_P/i$  para este valor de  $v_0$

- Obter a constante de calibração  $\delta$ 
  - ▶ Repete-se os passos anteriores para pelo menos 4 valores de  $V_{AC}$ . Com isso pode-se obter o gráfico de  $v_0$  em função de  $\gamma = V_P/i$ . Fazer o ajuste dessa curva e obter  $\delta$
- Comparar o valor obtido para  $\delta$  com o previsto a partir das constantes  $A$  e  $C$  obtidas nas atividades anteriores