

Física Experimental III

Primeiro semestre de 2018

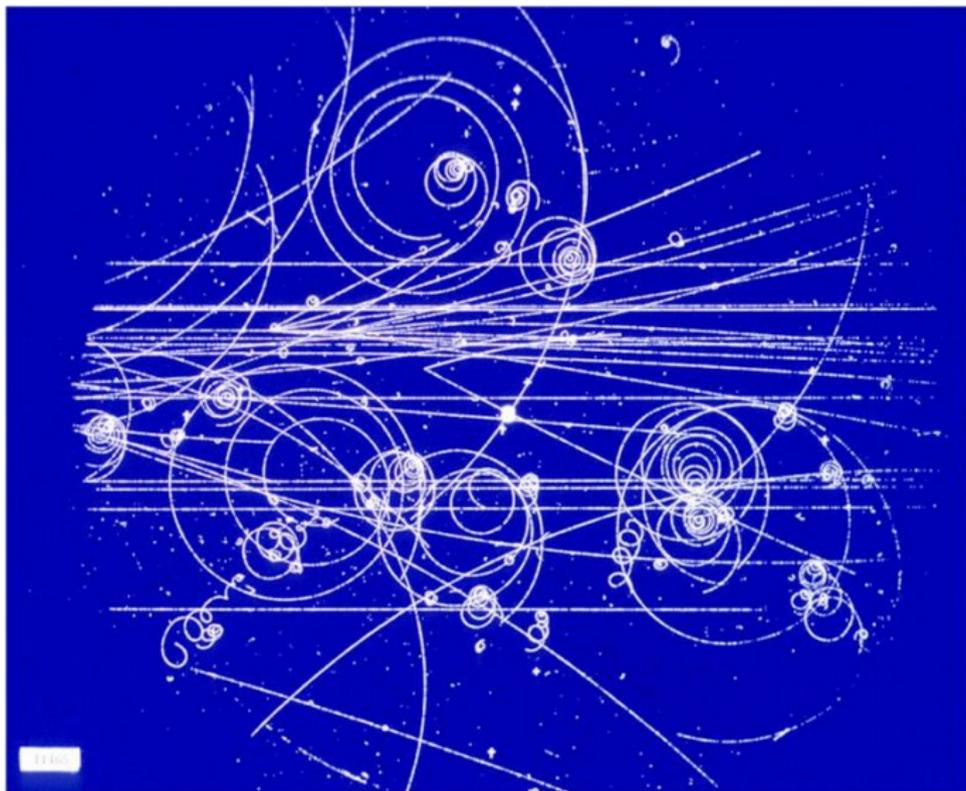
Aula 6 - Experimento 3

Página da disciplina:

<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=61486>

15 de maio de 2018

Experimento 3 - Estudo do movimento de partículas em campos eletromagnéticos



1 Experimento

- Experimento 3
- Partículas em campos eletromagnéticos
- O sistema que será estudado

1 Experimento

- Experimento 3
- Partículas em campos eletromagnéticos
- O sistema que será estudado

1 Experimento

- Experimento 3
- Partículas em campos eletromagnéticos
- O sistema que será estudado

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 campos eletromagnéticos
 - ▶ 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

- 6 semanas
- 4 Grupões
- Atividades (mínimas)
 - ▶ Estudar o movimento de partículas no campo elétrico. Criar um modelo para o movimento destas partículas e compará-lo aos dados experimentais.
 - ▶ Estudar o movimento de partículas em um campo magnético. Criar um modelo para este movimento e aplicá-lo aos dados experimentais.
 - ▶ Estudar detalhadamente a distribuição espacial dos campos elétrico e magnético utilizados nos itens anteriores, através de medidas experimentais, no caso do campo magnético, e simulações, para o campo elétrico.
 - ▶ Simular numericamente a trajetória das partículas nos campos elétrico e magnético reais. Comparar estes resultados com os dados obtidos experimentalmente.
 - ▶ Montar o filtro completo e estudar o movimento das partículas neste filtro. Determinar a constante de calibração do filtro, isto é, conhecendo-se os campos aplicados e essa constante, pode-se prever a velocidade de uma partícula dadas as massas, cargas, tensão entre as placas e corrente nas bobinas.
 - ▶ Estudar a resolução do filtro, isto é, sua capacidade de separar partículas com velocidades muito próximas. Esta resolução depende não apenas da geometria do filtro mas também das intensidades de campos aplicados.

- Síntese da semana (até 1 ponto), é uma apresentação
 - ▶ Apresentação nas aulas das terças-feiras (limite de 15 minutos)
 - ▶ Fazer o upload da apresentação, em pdf, até as 18h00 da segunda-feira
 - ▶ A apresentação deve estar no formato paisagem (4:3) e na primeira página deve conter o nome dos grupos e seus membros
 - ★ Upload no site de reservas como “síntese”
- Apresentação final do experimento dia 26/06 (até 6 pontos)
- Não tem relatório escrito, a atividade acaba com a apresentação final

1 Experimento

- Experimento 3
- Partículas em campos eletromagnéticos
- O sistema que será estudado

Qual a razão de estudar partículas em campos EM?

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

Qual a razão de estudar partículas em campos EM?

- Uma fração significativa do estudo de partículas subatômicas é feito através da análise das suas trajetórias em campos EM
 - ▶ Desde a descoberta do pósitron (primeiro anúncio: Science **76**, 238 (1932))

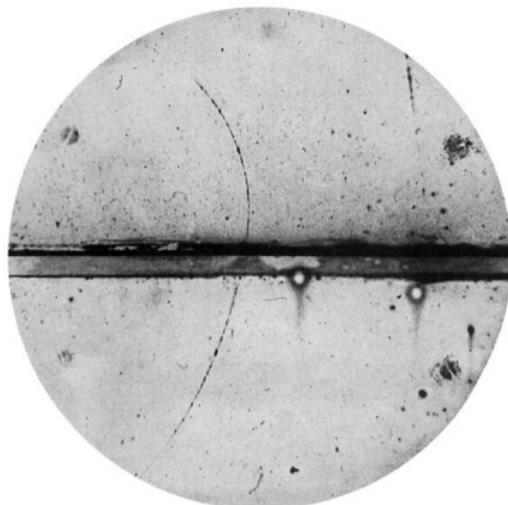
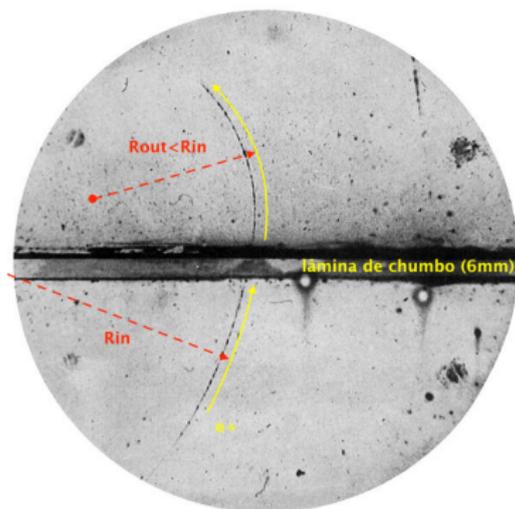


Foto do artigo : Phys. Rev. **43**, 491 (1933)

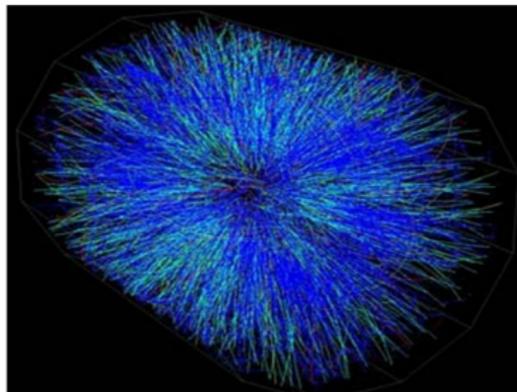
Qual a razão de estudar partículas em campos EM?

- Uma fração significativa do estudo de partículas subatômicas é feito através da análise das suas trajetórias em campos EM
 - ▶ Desde a descoberta do pósitron (primeiro anúncio: Science **76**, 238 (1932))



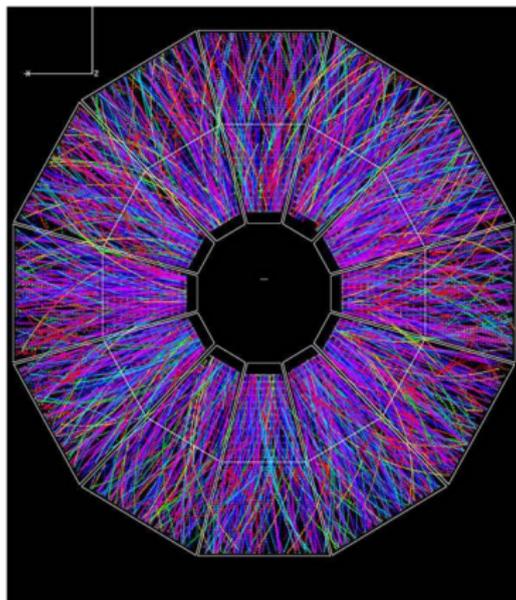
Qual a razão de estudar partículas em campos EM?

- Uma fração significativa do estudo de partículas subatômicas é feito através da análise das suas trajetórias em campos EM
 - ▶ Desde a descoberta do pósitron (primeiro anúncio: Science **76**, 238 (1932))
 - ▶ Até a descoberta de novos estados da matéria nuclear (2007)



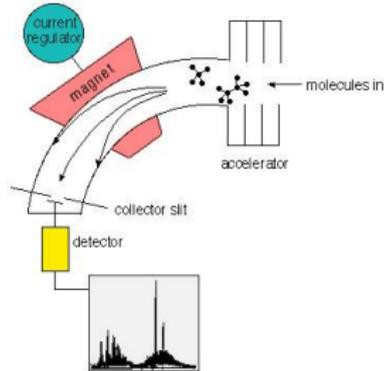
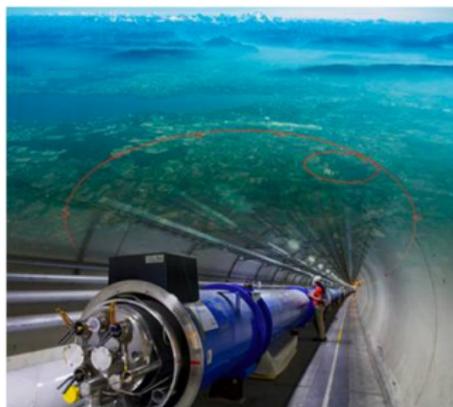
Qual a razão de estudar partículas em campos EM?

- Uma fração significativa do estudo de partículas subatômicas é feito através da análise das suas trajetórias em campos EM
 - ▶ Desde a descoberta do pósitron (primeiro anúncio: Science **76**, 238 (1932))
 - ▶ 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, Síncroton, LHC
 - ▶ Analisadores
 - ★ Espectrômetro de massa, etc



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

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

- Por simplicidade (façam as contas e verifiquem)

$$\vec{F}_{\text{outras}} \ll \vec{F}_{\text{Elétrica}} \text{ ou } \vec{F}_{\text{Magnética}}$$

- 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

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

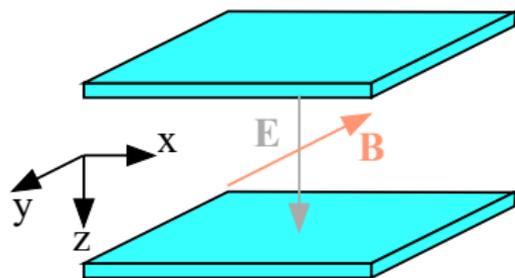
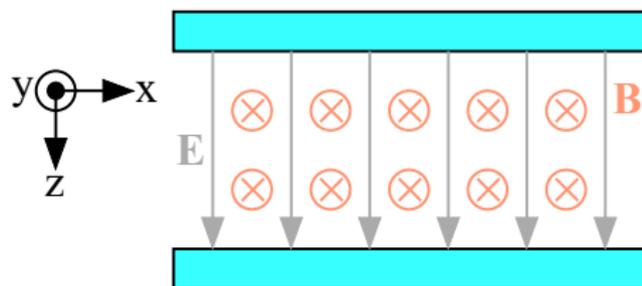
O filtro de Wien

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

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

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

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



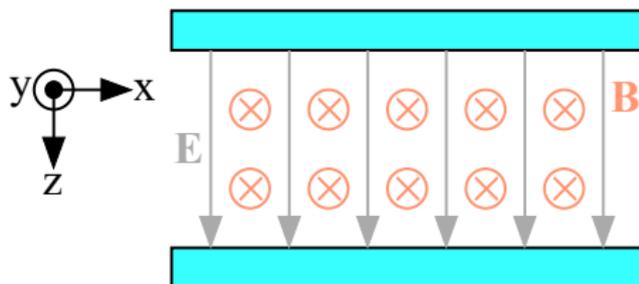
O filtro de Wien

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

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

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

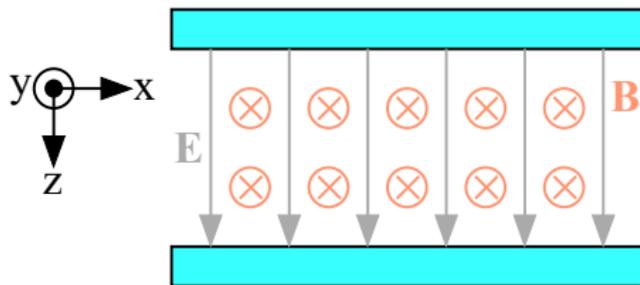
$$\vec{E} = E \hat{k}$$



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

O filtro de Wien

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



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

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

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

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

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

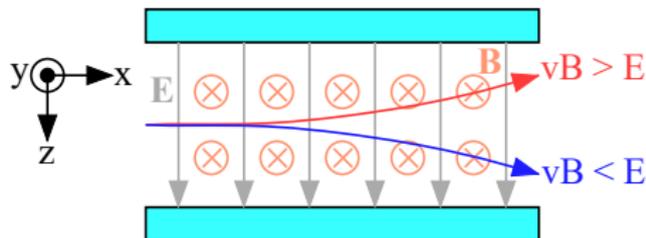
O filtro de Wien

- O filtro de Wien consiste de uma configuração de campos 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

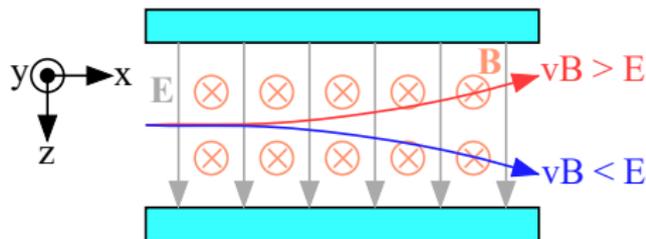
O filtro de Wien

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

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

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

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



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

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

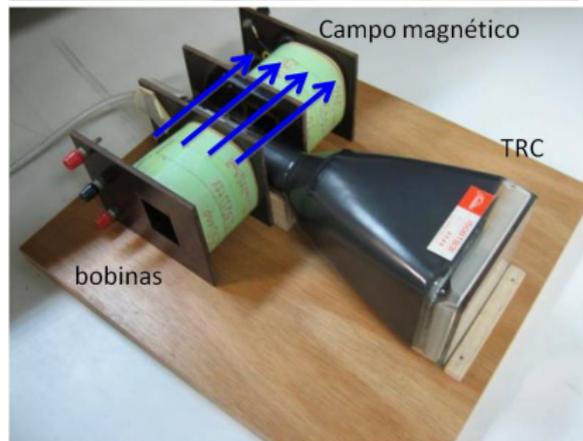
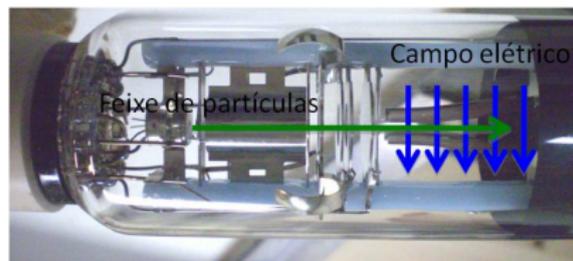
- Se $v_0 = \frac{E}{B}$ a partícula não sofre desvio

1 Experimento

- Experimento 3
- Partículas em campos eletromagnéticos
- O sistema que será estudado

Nosso acelerador de partículas

- Tubo de raios catódicos (TRC)
 - ▶ Produz um feixe de elétrons acelerados e propicia a aplicação do campo elétrico
 - ▶ A tela é o detector de partículas
- Bobinas
 - ▶ Aplicação do campo magnético



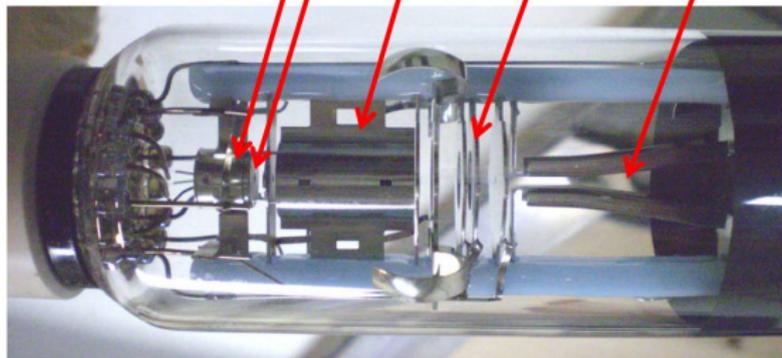
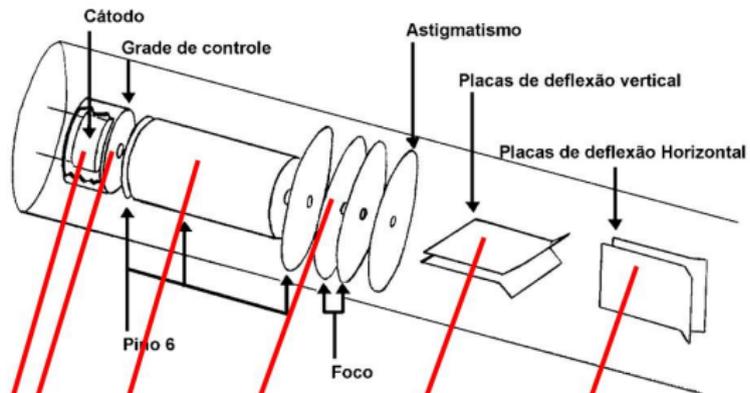
Como estudar um problema complexo?

- 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

Sugestão de metodologia

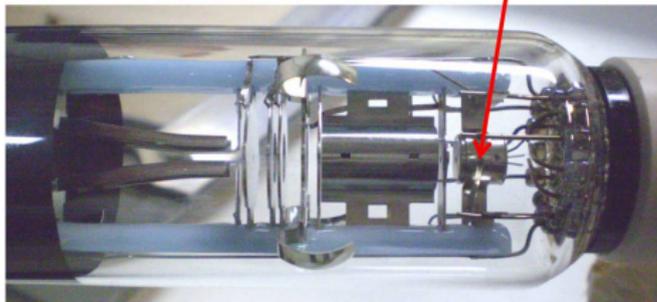
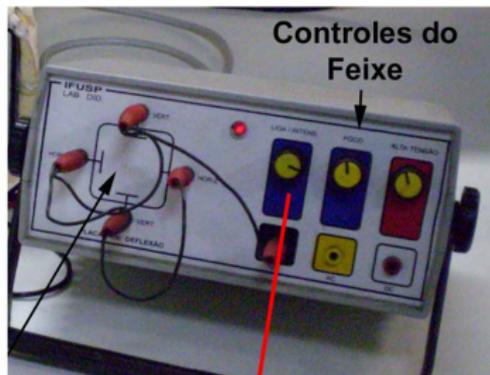
- Isolar o campo elétrico e entender como é o movimento de partículas dentro desse campo
 - ▶ Podemos descrever o movimento dessas partículas teoricamente? Quais os compromissos adotados e as limitações teóricas e experimentais?
- Isolar o campo magnético e estudar como é o movimento dessas partículas dentro desse campo
 - ▶ Podemos descrever esse movimento teoricamente?
- Após entender cada fenômeno separadamente fica mais fácil entender o problema completo
 - ▶ Ligar, simultaneamente, os campos elétrico e magnético
 - ▶ Quais as grandezas que devemos observar para comparar com previsões teóricas?
 - ▶ Quais as limitações teóricas e experimentais?

O TRC



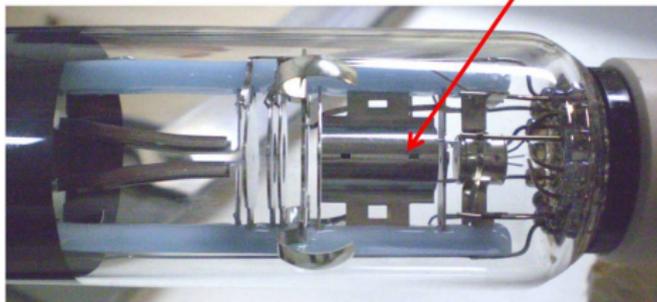
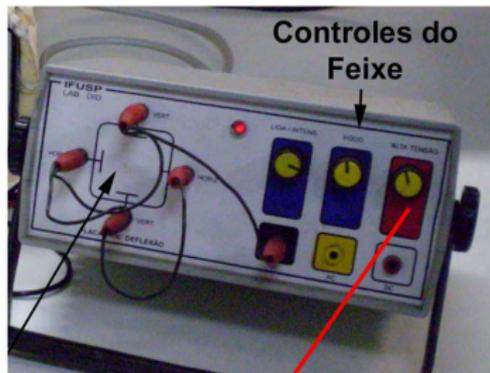
O TRC

- Liga o TRC
- Controla a intensidade do feixe



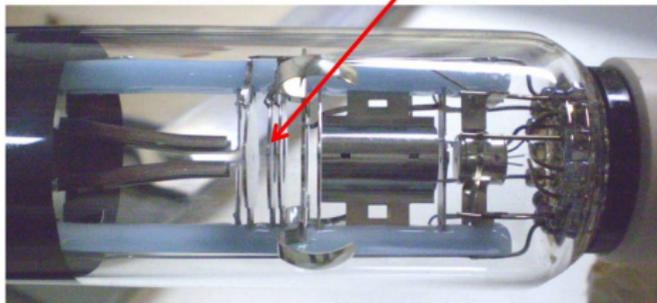
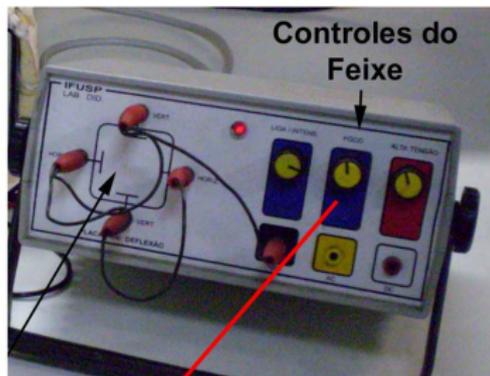
O TRC

- Alta tensão (até ~ 1200 V)
- Acelera o feixe: $E_{\text{cin}} = qV_{\text{AC}}$

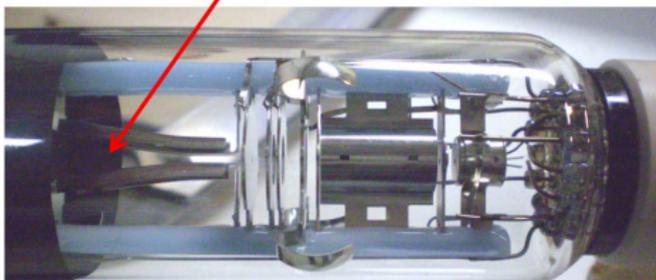
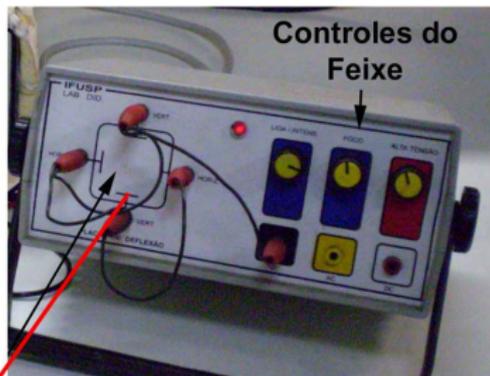


O TRC

- Sistema de focalização
 - ▶ Lentes eletrostáticas



- Controle das tensões nas placas
 - ▶ Horizontais e verticais
 - ▶ **Conectores de entrada para uma fonte externa**



- Estudar o movimento de partículas no campo elétrico. Criar um modelo para o movimento destas partículas e compará-lo aos dados experimentais.
- Estudar o movimento de partículas em um campo magnético. Criar um modelo para este movimento e aplicá-lo aos dados experimentais.
- Estudar detalhadamente a distribuição espacial dos campos elétrico e magnético utilizados nos itens anteriores, através de medidas experimentais, no caso do campo magnético, e simulações, para o campo elétrico.
- Simular numericamente a trajetória das partículas nos campos elétrico e magnético reais. Comparar estes resultados com os dados obtidos experimentalmente.
- Montar o filtro completo e estudar o movimento das partículas neste filtro. Determinar a constante de calibração do filtro. A partir dessa constante, da tensão entre as placas de deflexão e da corrente nas bobinas, pode-se determinar a velocidade das partículas que passam sem desvio.
- Estudar a resolução do filtro, isto é, sua capacidade de separar partículas com velocidades muito próximas. Esta resolução depende não apenas da geometria do filtro mas também das intensidades de campos aplicados.

O meta final, o desafio do mês

- As partículas carregadas em movimento interagem com os campos magnéticos.
- Nós estamos imersos no campo magnético terrestre (valores típicos de fração de gauss, dezenas de μT). O feixe de elétrons é obviamente afetado.
- A presença de estruturas metálicas (e de cabo elétricos) também contribuem para a intensidade e orientação do campo magnético local.
- É POSSIVEL USAR O SELETOR DE VELOCIDADE ESTUDADO E CALIBRADO PARA FAZER UM MAPA DO CAMPO MAGNÉTICO LOCAL NA BANCADA?
- FAÇAM UMA VARREDURA DO CAMPO MAGNÉTICO LOCAL NA BANCADA.
- ESTA MEDIDA É MAIS OU MENOS SENSÍVEL QUE UMA MEDIDA FEITA COM A SONDA HALL?