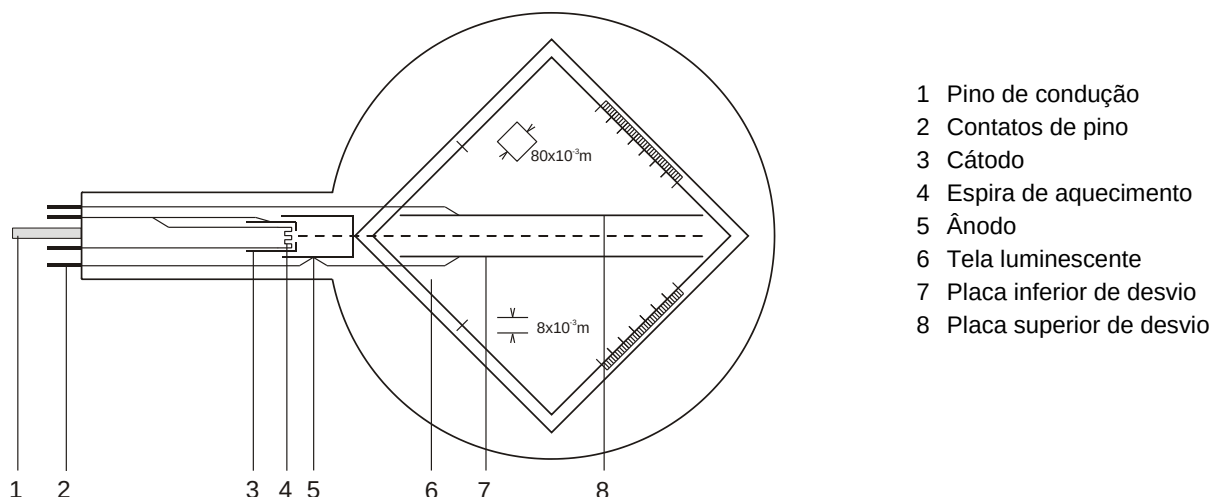


## Tubo de Thomson S 1000617

### Instruções de operação

09/22 HJB, DA



### 1. Indicações de segurança

Tubos catódicos incandescentes são ampolas de vidro evacuadas de paredes finas, manusear com cuidado: risco de implosão!

- Não sujeitar os tubos a qualquer tipo de esforço físico.
- Não sujeitar os cabos de conexão a esforço puxando-o.
- O tubo só pode ser instalado no suporte para tubo S (1014525).

Tensões excessivamente altas, correntes ou temperaturas de cátodo errôneas, podem levar à destruição dos tubos.

- Respeitar os parâmetros operacionais indicados.

Durante a operação dos tubos podem ocorrer tensões perigosas ao contato e altas tensões no campo da conexão.

- Só utilizar cabos para ensaios de segurança para as conexões.
- Somente efetuar conexões nos circuitos com os elementos de alimentação elétrica desconectados.
- Somente montar ou desmontar os tubos com os elementos de alimentação elétrica desligados.

Durante o funcionamento, o gargalo do tubo se aquece.

- Caso necessário, deixar esfriar os tubos antes de desmontá-los.

O cumprimento das diretivas EC para compatibilidade eletromagnética só está garantido com a utilização dos aparelhos de alimentação elétrica recomendados.

### 2. Descrição

O tubo de Thomson serve para a pesquisa de feixes de elétrons em campos elétricos e magnéticos. Ele permite tanto uma estimativa das cargas específicas  $e/m$  como também a determinação da velocidade dos elétrons  $v$ .

O tubo de Thomson possui um canhão de elétrons numa ampola de vidro evacuada com um sistema de eletrodos focalizador, esquentado diretamente por um cátodo incandescente Wolfram e um ânodo de forma cilíndrica. Por meio de um condensador de placa integrado, o feixe de elétrons pode ser desviado magneticamente utilizando de uma bobina de Hemholtz S (1000611). As placas de desvio suportam uma tela luminescente com grade centimétrica, girada em  $10^\circ$  graus em contra do eixo de feixe, sobre a qual fica visível o percurso dos elétrons.

### 3. Dados técnicos

|                                  |                      |
|----------------------------------|----------------------|
| Aquecedor:                       | $\leq 7,5$ V AC/DC   |
| Tensão anódica:                  | 2000 V – 5000 V DC   |
| Corrente anódica:                | aprox. 0,1 mA/4000 V |
| Tensão condensador:              | máx. 350 V           |
| Distância placas do condensador: | aprox. 8 mm          |
| Tela fluorescente:               | 80 mm x 80 mm        |
| Ampola de vidro:                 | aprox. 130 mm Ø      |
| Comprimento total:               | aprox. 260 mm        |

### 4. Utilização

Para a realização de experiências com o tubo de Thomson são necessários adicionalmente os seguintes aparelhos:

|                                                                                   |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1 Suporte dos tubos S                                                             | 1014525            |
| 1 Fonte de alimentação de alta tensão 5 kV (115 V, 50/60 Hz) ou (230 V, 50/60 Hz) | 1003309<br>1003310 |
| 1 Par de bobinas de Helmholtz S                                                   | 1000611            |
| 1 Fonte de alimentação 500 V (115 V, 50/60 Hz) ou (230 V, 50/60 Hz)               | 1003307<br>1003308 |

#### 4.1 Instalação do tubo de Thomson no suporte para tubos

- Montar e desmontar o tubo somente com os aparelhos de alimentação elétrica desligados.
- Inserir o tubo na tomada com leve pressão até que os pinos de contato estejam completamente dentro da tomada, ao fazê-lo, garantir uma posição claramente definida do pino de condução.

#### 4.2 Retirada do tubo de Thomson do suporte para tubos

- Para a retirada do tubo, pressionar com o dedo índice da mão direita por trás sobre o pino de condução até que os pinos de contato se soltem. Logo, retirar o tubo.

#### 4.3 Rotação do tubo de Thomson do suporte para tubos

- O tubo pode ser cuidadosamente rodado em torno do seu próprio eixo em aprox.  $\pm 4^\circ$  no suporte do tubo. Girando o tubo, a visibilidade do feixe de elétrons no ecrã

pode ser melhorada em função das configurações experimentais.

### 5. Exemplos de experiências

#### 5.1 Desvio magnético

- Efetuar a conexão dos tubos conforme a fig. 2.
- Colocar as bobinas nos orifícios correspondentes no suporte para tubos (geometria de Helmholtz).
- Ligar o aparelho de produção de alta tensão.
- Induzir tensão nas bobinas e observar o percurso dos feixes.

O percurso do feixe de elétrons é circular, o desvio ocorre a um nível perpendicularmente ao campo magnético.

Com tensão anódica constante, o rádio do desvio se reduz com o aumento da corrente das bobinas.

Com corrente de bobina constante, o rádio aumenta com o aumento da tensão anódica, o que implica uma velocidade mais alta.

Um elétron de massa  $m$  e carga  $e$ , que se move perpendicular a um campo magnético  $B$ , é forçado por uma força central  $B$  e  $v$  a assumir um percurso circular:

$$B \cdot e \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (1)$$

sendo  $v$  = velocidade do elétron e  $r$  = rádio da curvatura.

#### 5.2 Desvio elétrico

- Efetuar a conexão do tubo conforme a fig. 3.
- Ligar o aparelho de produção de alta tensão.
- Ligar a tensão do condensador e observar o percurso do feixe.

Um elétron, que atravessa o campo elétrico  $E$  de um condensador de placas com a tensão de condensador  $U_P$  com a velocidade  $v$ , é desviado para um percurso paralelo:

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{e}{m} \cdot \frac{E}{v^2} \cdot x^2 \quad (2)$$

sendo que  $y$  é o desvio linear na distância linear  $x$ .

### 5.3 Determinação de $e/m$ e $v$

#### 5.3.1 Por meio do desvio magnético

- Montagem da experiência conforme fig. 2.

Para a velocidade  $v$  do elétron dependente da tensão anódica  $U_A$ , é válido:

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_A} \quad (3)$$

Das equações 1 e 3 resulta para a carga específica  $e/m$ :

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_A}{(B \cdot r)^2} \quad (4)$$

$U_A$  pode ser lida imediatamente,  $B$  e  $r$  podem ser determinadas experimentalmente.

##### 5.3.1.1 Determinação de $r$

O rádio de curvatura  $r$  do feixe de elétrons desviado pode ser determinado pelo ponto de saída A (veja fig. 1).

Segundo Pitágoras é válido:

$$r^2 = c^2 + b^2 = c^2 + (r - a)^2 = c^2 + r^2 - 2ra + a^2$$

$$r = \frac{c^2 + a^2}{2a} \quad (5)$$

Para uma saída ao longo de  $k = k' = 80 \text{ mm}$  é válido:

$$c^2 + a^2 = d^2 = k^2 + e^2$$

$$a^2 = f^2 = \frac{1}{2}g^2 = \frac{1}{2}(k - e)^2$$

$$\Rightarrow r = \frac{(80^2 \text{ mm}^2 + e^2)}{\sqrt{2}(80 \text{ mm} - e)} \quad (6)$$

sendo que  $e$  pode ser lido diretamente na escala.

##### 5.3.1.2 Determinação de $B$

Para a densidade de fluxo magnético  $B$  do campo magnético na geometria de Helmholtz do par de bobinas e da corrente de bobina  $I$ , é válido:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\mu_0 \cdot n}{R} \cdot I = k \cdot I \quad (7)$$

sendo  $k =$  em boa aproximação  $4,2 \text{ mT/A}$   
com  $n = 320$  (espiras) e  $R = 68 \text{ mm}$  (rádio da bobina).

#### 5.3.2 Por meio de compensação de campo

- Montagem da experiência conforme fig. 4.
- Ligar o aparelho de alta tensão e desviar o feixe de elétrons de modo eletrostático.
- Ligar o aparelho de alimentação elétrica das bobinas e ajustar a tensão de modo que o campo magnético compense o campo elétrico e o feixe assim não seja mais desviado.

O campo magnético compensa o desvio do feixe de elétrons através do campo elétrico. É válido:

$$e \cdot E = e \cdot v \cdot B$$

Do que resulta para  $v$ :

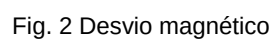
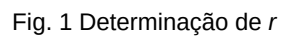
$$v = \frac{E}{B} \quad (8)$$

com  $E = \frac{U_P}{d}$ . Para a determinação de  $B$  veja o item 5.3.1.2.

Para  $e/m$  é válido:

$$\frac{e}{m} = \frac{1}{2 \cdot U_A} \cdot \left(\frac{E}{B}\right)^2 \quad (9)$$

**Nota:** O campo magnético gerado pelas bobinas de Helmholtz influencia a direcção de voo dos electrões antes de estes atingirem o campo eléctrico do condensador de placas. Portanto, mesmo para condições de compensação optimizadas, o feixe de electrões não pode voar exactamente ao longo da linha zero. Por conseguinte, são de esperar pequenos desvios em relação à linha zero.



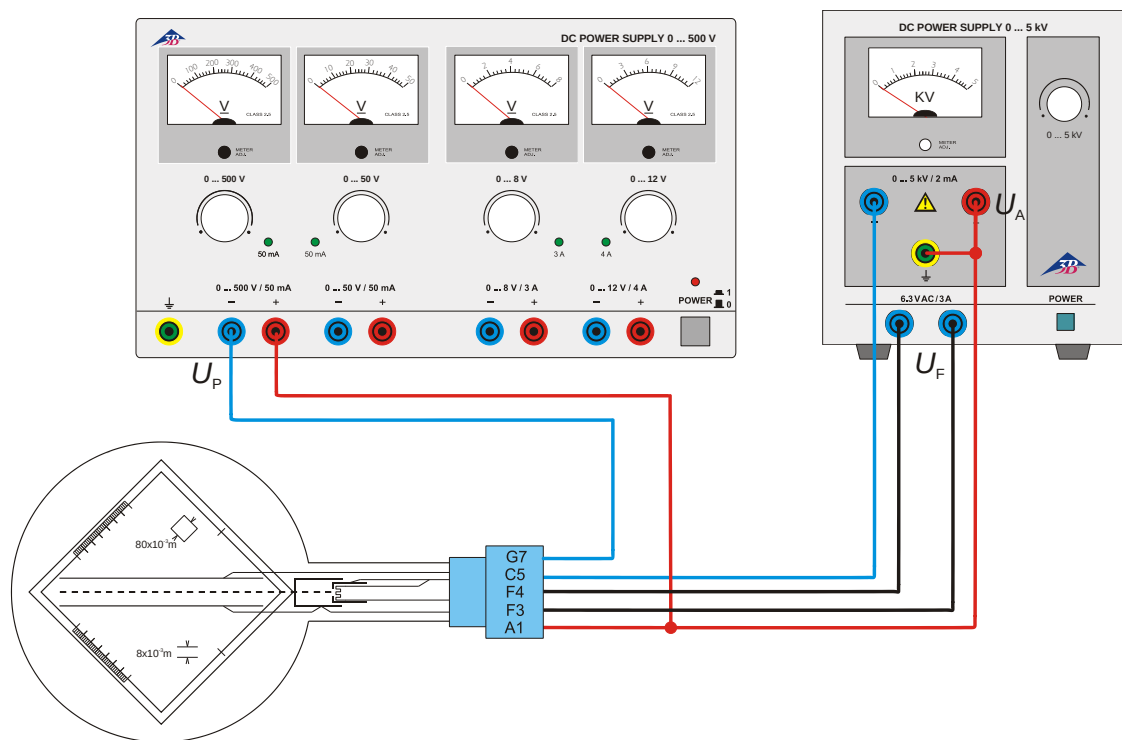


Fig.3 Desvio elétrico

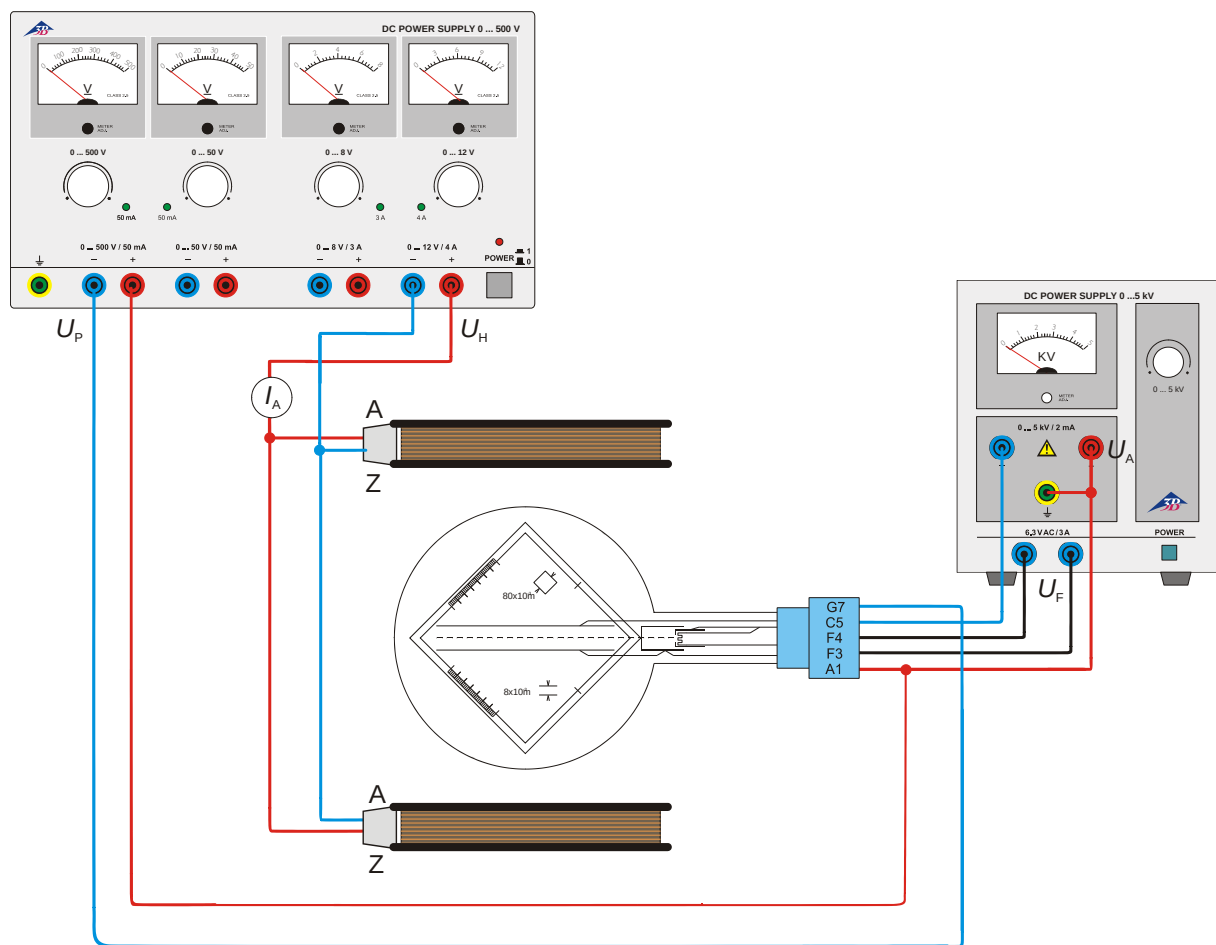


Fig. 4 Determinação de  $e/m$  por meio de compensação de campo