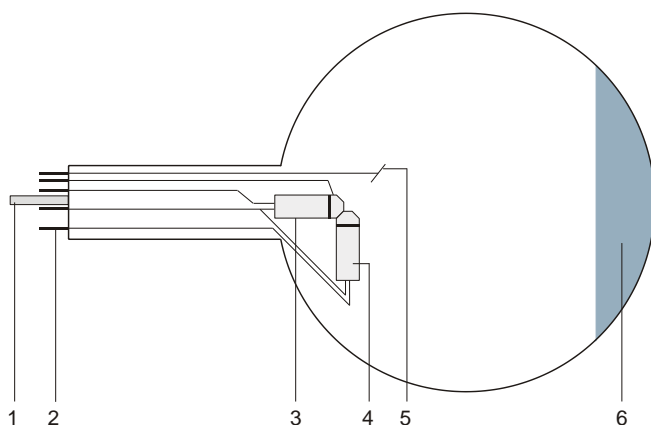


## Tubo de raio duplo S 1000622

### Instruções de operação

12/16 ALF



- 1 Pino de condução
- 2 Contatos de pino
- 3 Canhão de elétrons axial
- 4 Canhão de elétrons vertical
- 5 Placa de desvio
- 6 Tela fluorescente

### 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 feixe duplo serve para a determinação da carga específica  $e/m$  a partir do diâmetro do percurso do raio de elétrons num tiro tangencial e campo magnético na vertical, assim como para a observação dos percursos em espiral de elétrons num tiro axial e campo magnético coaxial.

O tubo de feixe duplo é um corpo de vidro parcialmente evacuado preenchido com néon com canhão de elétrons tangencial e axial tendo cada um deles um cátodo de óxido de aquecimento indireto. Os raios de elétrons estruturados de modo perpendicular uns aos outros permitem a utilização de uma mesma placa de desvio para os dois canhões de elétrons. Os percursos dos elétrons são visíveis como uma radiação luminosa leve, fina e laranja.

### 3. Dados técnicos

Tensão de aquecimento:	máx. 7,5 V AC/DC
Corrente anódica:	máx. 30 mA
Tensão anódica:	valor máximo de modo a que a corrente anódica $\leq 30$ mA (típica de 120-300 V DC)
Tensão de desvio:	máx. 50 V DC
Ampola de vidro:	aprox. 130 mm $\varnothing$
Comprimento total:	aprox. 260 mm
Preenchimento de gás:	néon

### 4. Utilização

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

1 Suporte dos tubos S	1014525
1 Fonte de alimentação 500 V DC (230 V, 50/60 Hz)	
	1003308
ou	
1 Fonte de alimentação 500 V DC (115 V, 50/60 Hz)	
	1003307
1 Par de bobinas de Helmholtz S	1000611
2 Multímetro analógico AM50	1003073

#### 4.1 Instalação do tubo 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 Desmontagem do tubo 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 Observações

1. Limitação da corrente anódica: para evitar um bombardeio muito forte de íons positivos sobre os produtos químicos emissores de elétrons do cátodo, sempre que possível a corrente anódica deve ser limitada a 30 mA. Correntes mais altas são toleráveis em curtos

espaços de tempo, porém, em períodos mais longos a vida útil dos tubos se reduz.

2. Estabilidade térmica do cátodo: pela mesma razão deve se evitar o bombardeio com um cátodo que ainda esteja se aquecendo.

3. Focalização do raio: por meio de pequenas tensões  $U_P$  na placa de desvio pode-se focalizar o raio. Tensões acima de 6 V levam a uma piora dos resultados.

### 5. Exemplos de experiências

#### 5.1 Estimação de $e/m$

Um elétron de massa  $m$  com carga  $e$ , que se desloca a uma velocidade  $v$  perpendicularmente a um campo magnético  $B$ , sofre a ação da força  $F$ , a qual age perpendicularmente tanto a  $B$  quanto a  $v$ :

$$F = evB$$

Ela força os elétrons num percurso circular com um raio de curvatura  $R$  num plano perpendicular a  $B$ . A força centrípeta é dada por

$$F = \frac{mv^2}{R} = evB.$$

Para a energia de um elétron no tubo de feixe duplo é válido:

$$eU_A = \frac{1}{2} mv^2$$

Pela solução por  $v$  e a inserção na equação resulta:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U_A}{B^2 R^2}$$

A expressão  $e/m$  é a carga específica de um elétron e tem a grandeza constante de  $(1,75888 \pm 0,0004) \times 10^{11}$  C/kg.

##### 5.1.1 Determinação de $B$

As bobinas têm um diâmetro de 138 mm e na configuração de Helmholtz uma densidade de fluxo  $B$  de

$$B = \mu_0 H = (4,17 \times 10^{-3}) I_H \text{ T/A}$$

- Efetuar as conexões conforme a fig. 3.
- Obscurecer a iluminação ambiente.
- Ajustar uma tensão de aquecimento  $U_F$  de 6,5 V e aguardar alguns minutos até que a temperatura do aquecedor tenha se estabilizado (veja observação no ponto 4.3).
- Ajustar uma tensão anódica  $U_A$  de 90 V e aguardar até que a corrente anódica se estabilizado (tensão da placa  $U_P = 0$  V).

- Ajustar a corrente  $I_H$  das bobinas de modo que o raio desviado passe pelo ponto A na beira da tela luminescente. Paralelamente, focalizar o raio por meio de uma tensão da placa  $U_P$  de no máximo 6 V.
- Aumentar  $U_A$  e ajustar  $I_H$  de modo que o raio desviado sempre passe pelo ponto A. Aumentar a tensão anódica apenas na medida em que a corrente anódica não exceda 30 mA.
- Inserir os valores numa tabela.

$U_A$ (Volt)	$I_H$ (Ampere)
90	
100	
110	
120	

### 5.1.2 Determinação de R

O raio de elétrons sai por C do canhão de elétrons no eixo longitudinal do tubo, o qual forma uma tangente com todo desvio circular do raio. O ponto central do percurso circular é o ponto B. Ele se encontra no plano DCD' aproximadamente a 2 mm de distância do plano EE' (veja fig. 1).

$$AB^2 = BC^2 + AC^2 - 2BC \cdot DC$$

$$R = BC = AB = \frac{AC^2}{2DC} = \frac{x^2 + y^2}{2y}$$

$$R^2 = \left[ \frac{x^2 + y^2}{2y} \right]^2$$

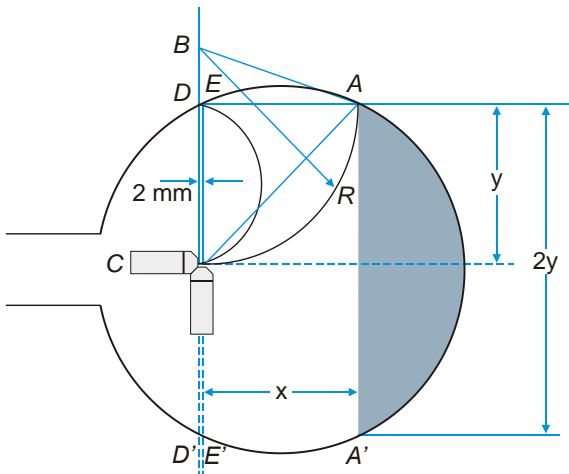


Fig. 1 Determinação de R

### 5.2 O desvio circular e a determinação de $e/m$

- Executar a conexão dos tubos conforme a fig. 4.

- Ajustar uma tensão anódica  $U_A$  de 100 V e aguardar até que a corrente anódica se estabilizado (tensão da placa  $U_P = 0$  V).
- Ligue a corrente nas bobinas  $I_H$  de modo que o raio desviado se desloque num percurso circular sendo o plano AA' tangencial a ele.

É prático observar o raio de cima, que então aparece como linha reta, e focalizar com uma tensão de no máximo 6 V.

Observação: a não linearidade axial do raio faz com ele seja deslocado fora do plano do canhão de elétrons. Para se obter resultados mais precisos o tubo deve ser girado no braço de suporte para que o círculo coincida com o plano do canhão de elétrons. Ao mesmo tempo,  $I_H$  deve ser adaptada de forma que o plano AA' forme uma boa tangente ao círculo. Um pequena alteração angular com relação ao eixo do tubo é tolerável. O raio forma também uma leve espiral em vez de seguir o percurso circular.

- Aumentar  $U_A$  e ajustar  $I_H$  de forma que o plano AA' sempre forme uma tangente ao raio desviado. Aumentar a tensão anódica apenas na medida em que a corrente anódica não exceda 30 mA. Inserir os valores numa tabela e representar graficamente.
- Determinar  $R = AE/2$  e  $R^2 = AE^2/4$  como na experiência 5.1.

Ao inserir os valores na equação

$$\frac{e}{m} = \frac{U_A}{I_H^2 R^2} \cdot 1,15 \cdot 10^5$$

pode-se calcular um valor aproximativo para  $e/m$ .

### 5.3 O efeito de um campo magnético axial

- Efetuar a conexão do tubo conforme a fig. 5.
- Colocar uma bobina na fenda do suporte para tubo de modo que a tela luminescente seja envolvida por ela.
- Ajustar a tensão anódica  $U_A$  em no máximo 60 V e aguardar até que a corrente anódica se estabilizado (tensão de placa  $U_P = 0$  V).
- Aumentar lentamente a corrente de bobina  $I_H$ .

A não linearidade axial do raio é corrigida com um só vetor axial da velocidade  $v_a$  e coincide com a do verdadeiro eixo do campo.

- Marcar a localização do raio com um feltro.
- Ajustar  $I_H$  em 1,5 A, aumentar lentamente  $U_P$ , de modo que um segundo vetor de velocidade  $v_p$  aja sobre o raio.

- Observar o raio de elétrons através da bobina.

O percurso do raio se transforma numa hélice. O raio não evita o eixo do campo, mas ele volta a cada volta de novo para lá.

- Observar o campo  $B$  através da inversão de pólos das bobinas de Helmholtz e observar o raio.
- Alterar a tensão anódica e observar o efeito sobre a hélice, retornar aos 60 V. Aumentar a tensão anódica apenas na medida em que a corrente anódica não exceda 30 mA.

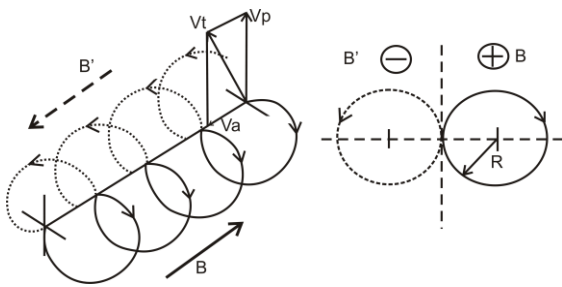


Fig. 2 Hélice do raio desviado

## 6. Observações

1. O raio circular na experiência 5.2 é visível por causa de emissões de fótons. Essa energia é perdida e não é substituída. Por essa razão o raio tende a um percurso de forma espiral em vez de seguir um percurso circular. Com um rádio constante  $R$  e um percurso circular real,  $U_A/I_H^2$  é maior de que a medição indica e por isso o erro na determinação de  $e/m$  sempre é do lado negativo. Mesmo assim, pode-se obter resultados com uma imprecisão abaixo de 20%.

2. Em experiências com raios desviados de percurso semicircular como na experiência 5.1 são obtidos valores maiores do que os encontrados na literatura. Os pontos A e E, para os quais o raio é desviado se encontram fora da região homogênea das bobinas de Helmholtz. Lá a densidade de fluxo diminui. Com um rádio  $R$  determinado e um campo homogêneo,  $U_A/I_H^2$  é menor do o indicado na medição e por isso o erro na determinação de  $e/m$  sempre é do lado positivo. Mesmo assim, pode-se obter resultados com uma imprecisão abaixo de 20%.

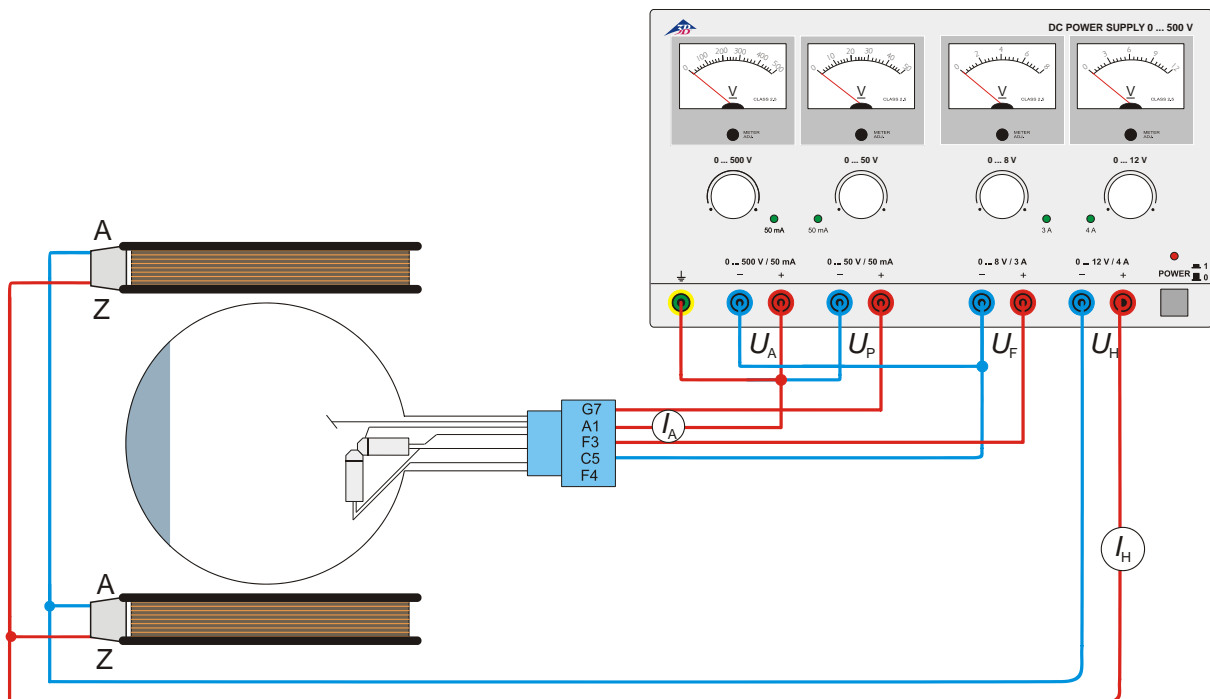


Fig. 3 Determinação de  $e/m$  por meio do canhão de elétrons axial

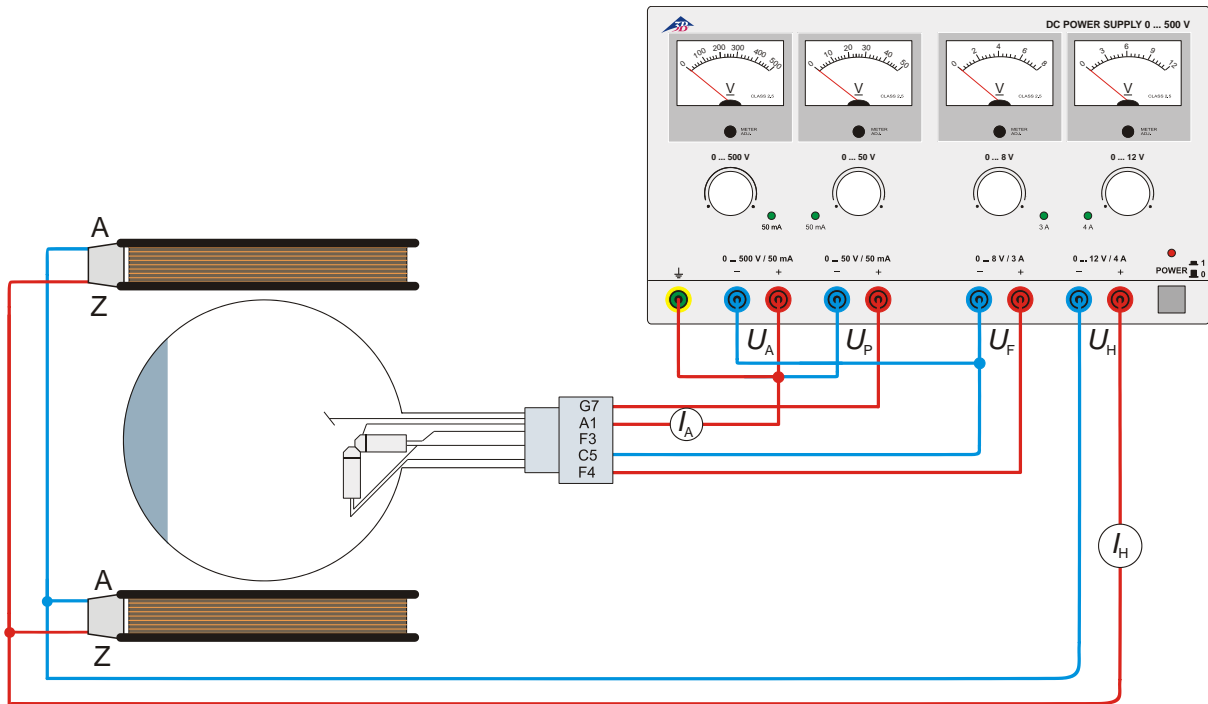


Fig. 4 Determinação de  $e/m$  por meio do canhão de elétrons perpendicular

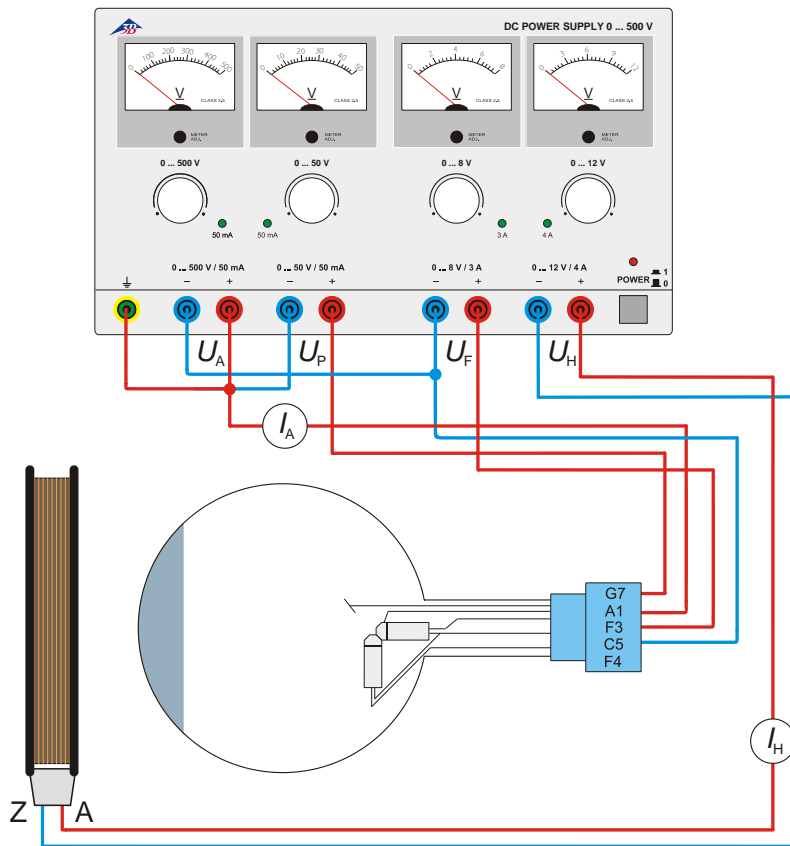


Fig. 5 O efeito de um campo magnético axial

