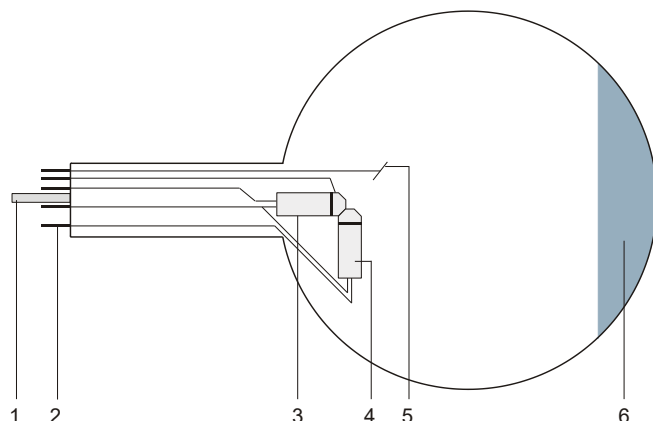


Tubo de raio duplo S 1000622

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 ≤ 30 mA (típica de 120-300 V DC)
Tensão de desvio:	máx. 50 V DC
Bulbo de vidro:	aprox. 130 mm $\varnothing$
Comprimento total:	aprox. 260 mm
Enchimento de gás:	néon

4. Utilização

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

1	Suporte para tubo S	1014525
1	Fonte de alimentação CC, 0–500 V (230 V, 50/60 Hz)	1003308
ou		
1	Fonte de alimentação CC, 0–500 V (115 V, 50/60 Hz)	1003307
1	Par de bobinas de Helmholtz S	1000611
2	Multímetro digital P1035	1002781

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 :

$$F = e \cdot v \cdot B$$

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

$$F = \frac{mv^2}{R} = e \cdot v \cdot B.$$

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 $(1,75888 \pm 0,0004) \times 10^{11} \text{ C/kg}$.

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 $U_P = 0 \text{ V}$).
- 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 feixe de elétrons (feixe 1) emerge do canhão de elétrons em C ao longo do eixo longitudinal do tubo. Esse eixo forma uma tangente a cada trajetória circular resultante da deflexão do feixe. O centro dessa trajetória circular é o ponto B . Ele está localizado no plano DCD' , a aprox. 2 mm do plano EE' , no qual se encontra o segundo feixe de elétrons (feixe 2) (ver fig. 1).

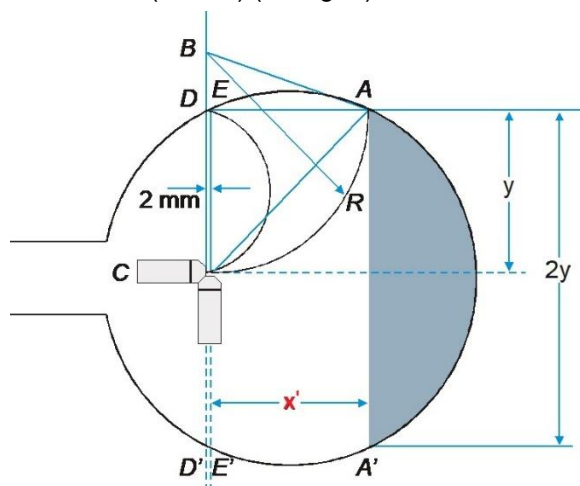


Fig. 1 Determinação de R

Com:

$$EA = x'; \quad x = x' + 2 \text{ mm}$$

obtém-se:

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

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

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

Determinação de y :

O diâmetro da tela fluorescente deve ser determinado manualmente $\Rightarrow 2\gamma$

Determinação de x :

Sem campo magnético ($B = 0$), o feixe 2 atinge o bulbo de vidro no ponto E . A distância entre E e a tela fluorescente no ponto A , ou seja, $EA = x'$, deve ser determinada. Como o feixe 1 sai do canhão de elétrons aprox. 2 mm atrás do feixe 2, aplica-se a seguinte relação:

$$x = x' + 2 \text{ mm}$$

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, h deve ser adaptada de forma que o plano AA' forme uma boa tangente ao círculo. Uma 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

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

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.

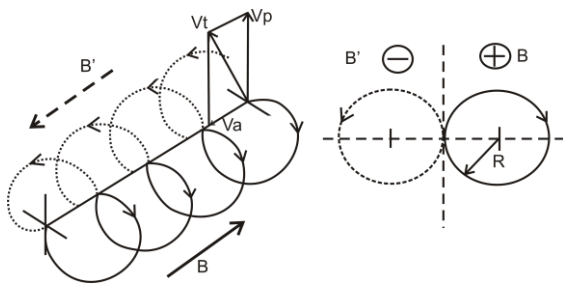


Fig. 2 Hélice do raio desviado

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%.

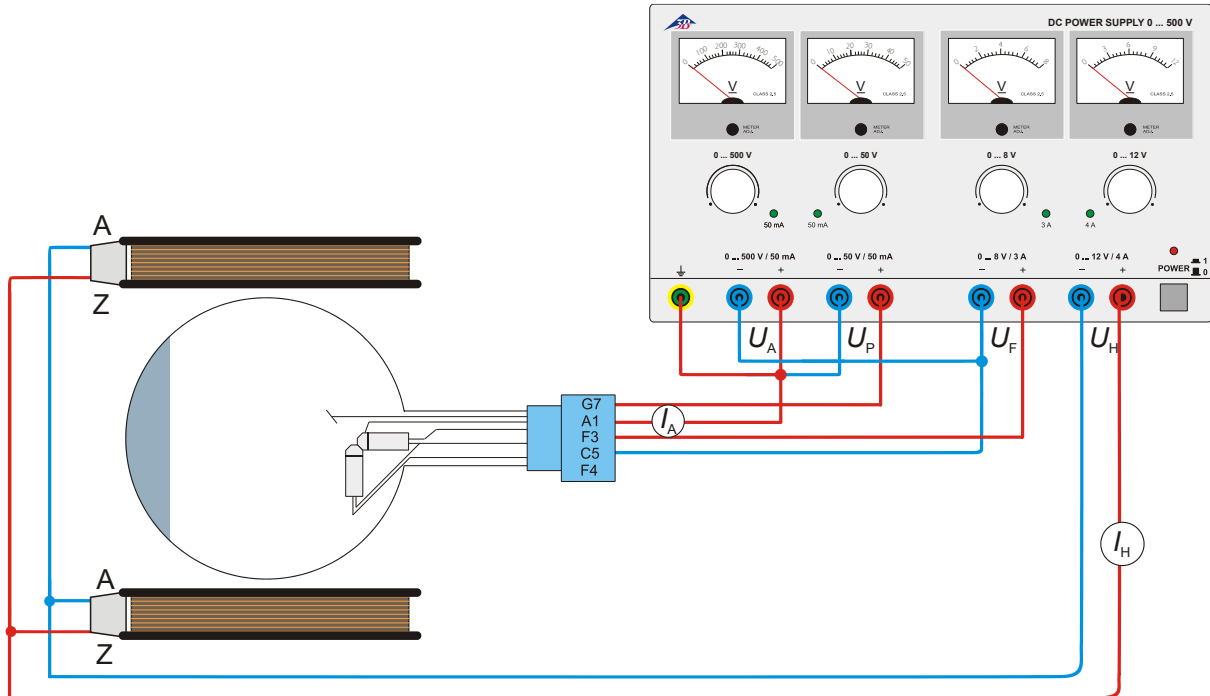


Fig. 3 Determinação de e/m por meio do canhão de elétrons axial

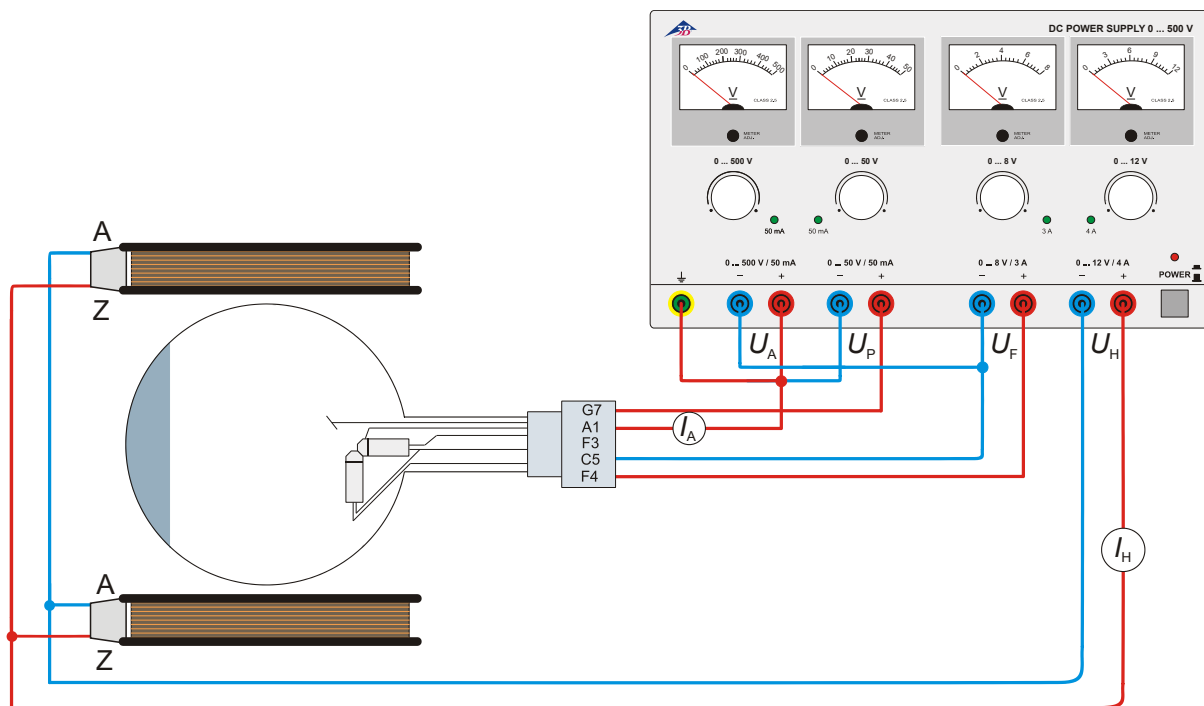


Fig. 4 Determinação de e/m por meio do canhão de elétrons perpendicular

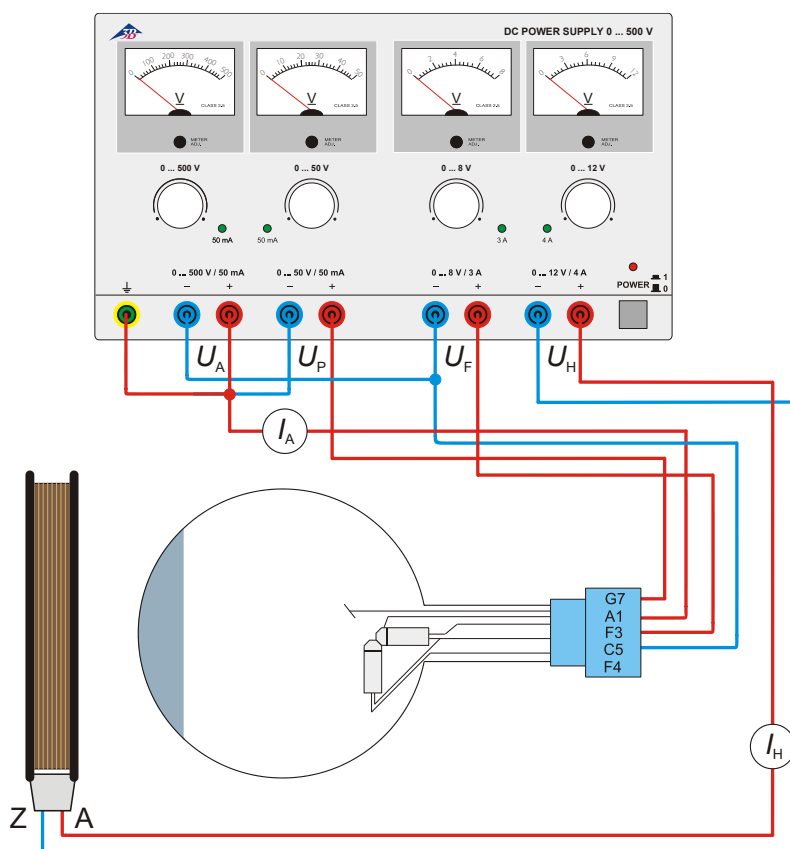


Fig. 5 O efeito de um campo magnético axial