

DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO e/m DO ELÉTRON COM BOBINAS DE HELMHOLTZ

I- Introdução

Consideremos o movimento de uma partícula carregada q_0 em um campo magnético uniforme B . Suponha-se que a mesma se mova seguindo uma direção perpendicular ao campo. A força F que atua sobre ela (Força de Lorentz) eq. (1), é perpendicular à sua velocidade v , sendo o movimento resultante circularmente uniforme (fig. 1).

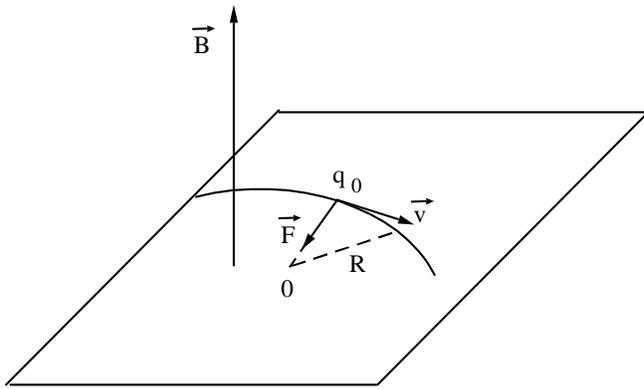


Figura 1: uma carga que se move perpendicularmente a um campo magnético uniforme segue uma trajetória circular.

Assim, ao penetrar no campo magnético gerado pelas bobinas, cada elétron do feixe sofre uma força perpendicular à sua velocidade e ao campo, e cuja intensidade é:

$$F = q_0 v B \quad (1)$$

Desde que a força é centrípeta e considerando a carga q_0 como carga eletrônica e podemos escrever (notar que estamos considerando $e = -1,6 \times 10^{-19} \text{C}$)

$$e v B = m \frac{v^2}{R} \quad (2)$$

Onde R é o raio da trajetória circular, m a massa do elétron. Se V for a diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo utilizada para acelerar os elétrons, temos pela conservação de energia

$$eV = \frac{1}{2} m v^2 \quad (3)$$

Das expressões (2) e (3) obtemos finalmente a relação e/m :

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{B^2 R^2} \quad (4)$$

Na relação anterior, V e R são medidas diretamente, e B pode ser calculado sabendo-se a corrente I que passa pelas bobinas de Helmholtz. Para uma espira de raio r , o campo magnético ao longo do eixo a uma distância x do plano da espira é dado por:

$$B_1 = \mu_0 I \frac{r^2}{2(r^2 + x^2)^{3/2}}$$

Onde μ_0 é a permeabilidade do vácuo. Portanto, para duas bobinas coaxiais e com N espiras cada, separadas por uma distância igual ao seu raio (o que define as bobinas de Helmholtz), o campo no ponto médio sobre o eixo das mesmas é: para $x = \frac{r}{2}$; $B = 2NB_1$

$$B = 0,716 \frac{\mu_0 NI}{r} \quad (5)$$

No sistema internacional MKS. Verifique! (veja a ref. 1). O valor de N deve ser determinado pelas dimensões físicas das bobinas e/ou consultar manual do fabricante (identifique antes o fabricante do equipamento Phywe ou Leybold).

Substituindo-se a expressão (5) na equação (4) teremos a expressão para e/m em função de todas as variáveis experimentais.

$$\frac{e}{m} = \frac{2Vr^2}{(0,716)^2 \mu_0^2 N^2 I^2 R^2} \quad (6)$$

II- Aparelhagem

- 1 tubo de raios catódicos
- 1 par de bobinas de Helmholtz
- 1 fonte de tensão contínua para acelerar os elétrons
- 1 fonte de 15V – 2A para alimentar as bobinas de Helmholtz
- 1 bússola
- 1 multímetro
- 1 régua
- fios

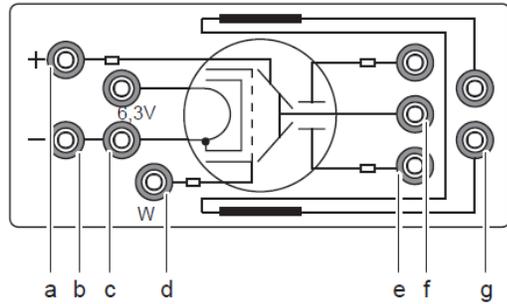
Descrição do sistema

Os elétrons são produzidos por um filamento aquecido e ao serem acelerados (por uma diferença de potencial entre cátodo e ânodo) e colimados no tubo de raios catódicos, formam um feixe (filiforme) estreito, saindo de um furo circular no centro do ânodo (cilíndrico-cônico). Os elétrons que saem do ânodo com energia cinética suficientemente alta colidem com os átomos de hidrogênio presentes no tubo (em baixa pressão), e uma fração desses átomos será ionizada ficando sua trajetória visível devido à recombinação fluorescente desse gás. Podemos então visualizar a trajetória do feixe, que será circular ou helicoidal, dependendo da orientação do tubo com relação ao campo magnético produzido pelas bobinas de Helmholtz.

III- Procedimento

Inicialmente é recomendável orientar o tubo de modo a minimizar o efeito do campo magnético terrestre. Desde que o feixe de elétrons sai em direção perpendicular ao campo magnético das bobinas, com auxílio de uma bússola procure orientar as bobinas de modo que seu campo fique perpendicular ao campo terrestre. Tome cuidado com a leitura da bússola, se for na mesa ou acima da mesa na altura do eixo das bobinas de Helmholtz.

Faça as conexões elétricas do equipamento, segundo o esquema da fig. 2.



- a Anode
- b Cathode
- c Cathode heating
- d Wehnelt cylinder
- e Deflection plates
- f Anode, for symmetrical adjustment of the deflection voltage
- g Helmholtz coils

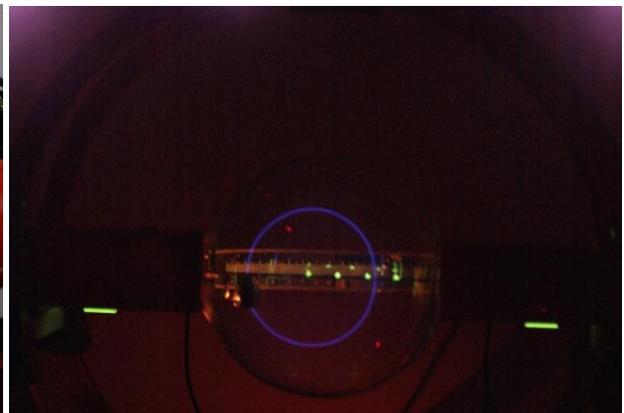
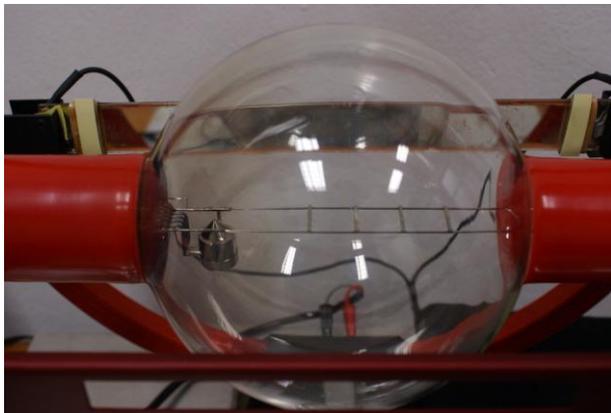
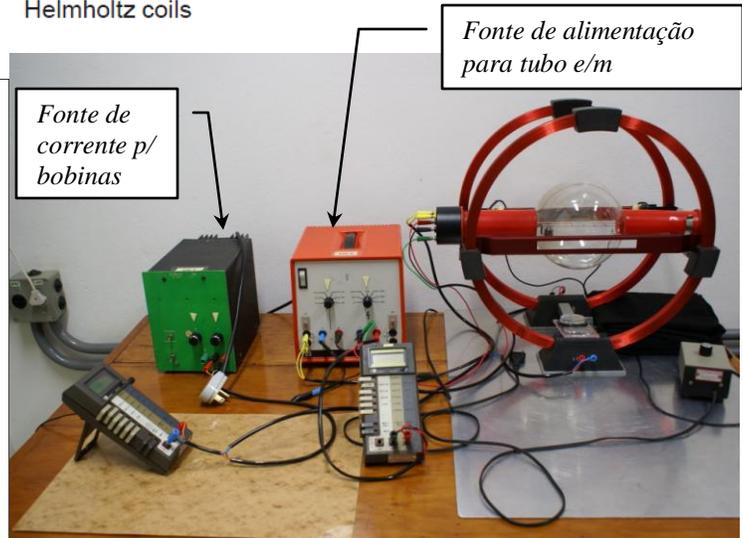
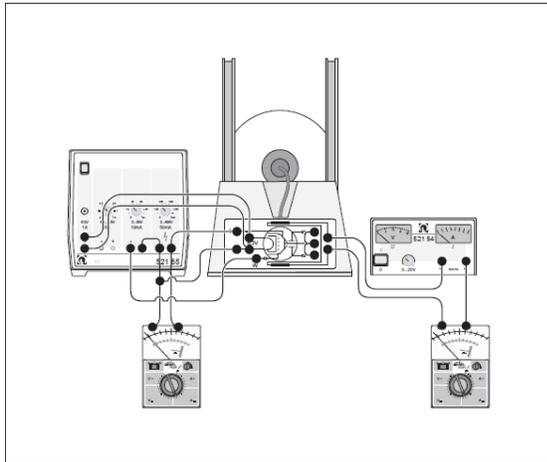


Figura 2: Esquema de montagem experimental. Fonte de alimentação para tubo e/m . Fonte de corrente para bobinas de Helmholtz. Vista do tubo e/m com a régua.

Ligue a fonte de alimentação ao tubo de e/m , conectando os terminais para a voltagem de aceleração de 200 a 300V, para a focalização e para a alimentação do filamento no ânodo, de 6,3 V (1A). Seja cuidadoso na observação das polaridades estabelecidas no painel na frente do aparelho. As bobinas de Helmholtz devem ser conectadas à fonte de corrente, com o amperímetro ligado em série. Dependendo do fabricante do tubo existem pequenas variações entre um e outro, veja como seria no outro caso na figura abaixo.

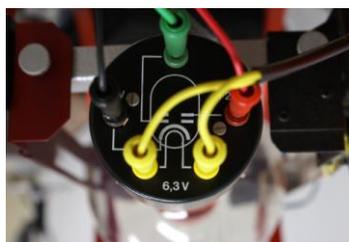


Figura 3: Outro soquete do tubo de e/m .

Atenção: antes de fazer funcionar o tubo de raios catódicos, verifique se as fontes de tensão estejam a 0V; de modo a evitar o desgaste da emulsão catódica durante o aquecimento do filamento.

Depois de um tempo de aquecimento de aproximadamente 1 minuto, acionam-se as fontes de tensão. Escurecendo-se então o ambiente observar-se-á o feixe eletrônico, que é defletido a medida que se aumenta a corrente que percorre as bobinas de Helmholtz. Controle a **focalização do feixe eletrônico** por meio da voltagem do cilindro de Wehnelt até conseguir um feixe bem definido.

Gire a ampola e observe a trajetória espiral do feixe de elétrons. Para determinar-se a relação e/m , o plano da trajetória do feixe de elétrons tem que estar exatamente paralelo ao plano das bobinas, observando-se a trajetória circular.

Note que o raio R pode ser medido utilizando-se a própria escala do aparelho, de forma que os marcadores fiquem alinhados com a órbita eletrônica e a imagem deles no espelho posterior, faça a leitura evitando erro de paralelismo. A distância entre os marcadores dará, então, o diâmetro da órbita eletrônica.

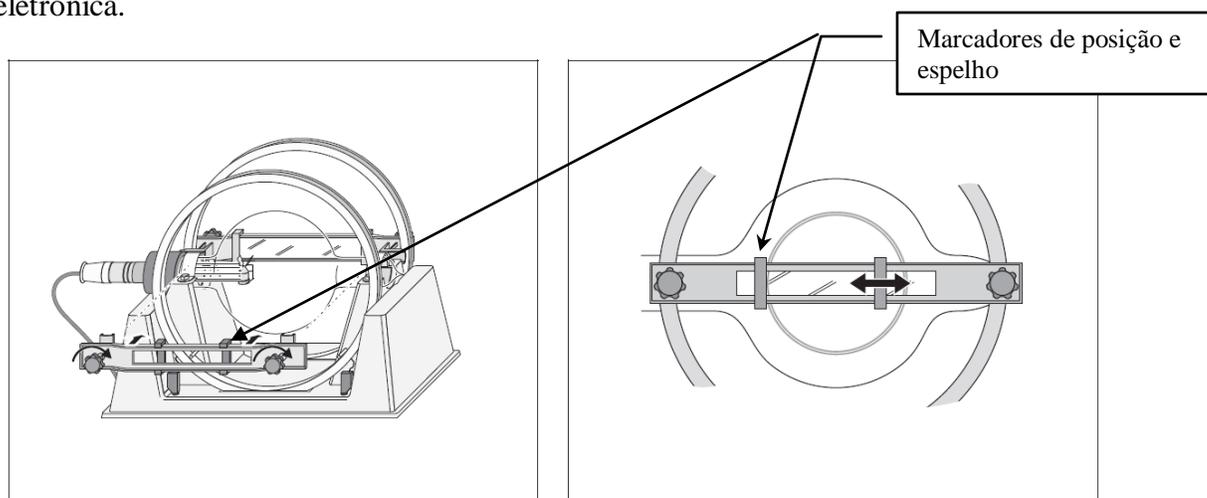


Figura 4. Tubo de e/m com o espelho e marcadores.

i- Determinação de e/m

Tendo em vista a equação (6) e os diversos parâmetros que podem ser medidos, podemos observar as dependências destes para determinar o valor de e/m .

Fixando-se um determinado valor para a corrente, I , (por ex. 1,5A) varie a voltagem anódica até 300V e meça os diferentes diâmetros das trajetórias. Grafique V contra R^2 e use o coeficiente angular do gráfico para determinar e/m .

Fixe depois um determinado valor da voltagem V (por ex. 150V entre cátodo e ânodo) e meça novamente os diâmetros para diversos valores de corrente. Grafique I contra R^{-1} e determine novamente o valor de e/m a partir do coef. angular da reta.

Compare os resultados obtidos, calculando o erro experimental em cada caso. Qual a maior fonte de erro? Lembre-se, são três as quantidades que requeremos para calcular e/m : V , R e B (ou I). Discutam os possíveis erros sistemáticos.

ii- Determinação do campo magnético terrestre

O efeito do campo magnético terrestre é máximo se alinharmos as bobinas de maneira que seu campo seja somado (ou subtraído) ao campo terrestre. Assim, é possível determinar-se aproximadamente o campo magnético terrestre, utilizando o equipamento de e/m e considerando-se conhecido o valor dessa razão, encontrando o campo resultante para as duas posições em que o campo terrestre é paralelo e antiparalelo ao campo das bobinas. Subtraindo-se um resultado do outro, e dividindo-se por dois, encontra-se o valor do campo terrestre. Discuta o resultado obtido. Compare com valores médios no Brasil.

$$B_{hor} = 0,253G \quad e \quad B_{ver} = 0,122G$$

IV- Dados Experimentais

Bobinas de Helmholtz:

Número de espiras: N espiras/bobina (verificar com manual do fabricante ou medir, Leybold ou Phywe);

Corrente máxima por bobina: 2A;

Raio das bobinas: r mm (verificar com manual do fabricante ou medir).

V- Questionário

1. Por que os elétrons são emitidos do cátodo? Por que você pode visualizar o feixe eletrônico?
2. Por que deve-se alinhar o campo magnético das bobinas perpendicularmente ao terrestre na determinação de e/m ? E por que ao determinar o campo terrestre os campos devem ser paralelos?
3. Por que você obtém uma trajetória espiral quando gira ligeiramente a ampola de vidro?

VI- Bibliografia

1. J. R. Reitz, F. J. Milford, R. W. Christy, *Foundations of Electromagnetic Theory*, Addison-Wesley, New York 3th ed. 1980 (Biblioteca IFSC 530.141 R 379F3).
2. T. B. Brown, *The Lloyd William Taylor Manual of Advanced Undergraduate Experiments in Physics*, Addison-Wesley, New York 1959.
3. M. R. Wehr & J. A. Richards, Jr. *Physics of the Atom*, Addison-Wesley, New York, 1960.

Versão atualizada de outras apostilas: M. A. Aegerter, M. Siu Li, C. E. Munte, R. A. Carvalho.

Versão: 02/2012