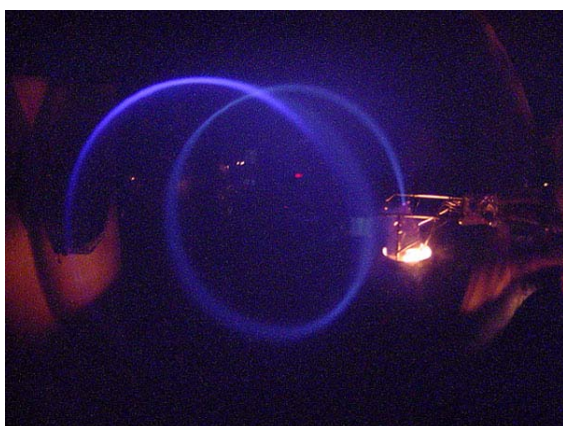




3

Electrões às voltas — Determinação da razão e/m do electrão

- *Observar a acção de um campo magnético sobre um feixe de electrões.*
- *Descrever a deflexão de electrões numa órbita circular produzida por um campo magnético.*
- *Determinar a razão carga sobre massa— e/m , do electrão.*
- *Ilustrar o efeito de escudo magnético*



Introdução

A massa m_e do electrão é difícil de obter experimentalmente. É mais fácil determinar a razão da sua carga pela sua massa ou e/m_e a partir da qual a massa m_e pode ser calculada se a carga elementar e for conhecida (existem experiências que permitem calcular directamente e).

Um electrão que se move com uma velocidade \vec{v} perpendicular a um campo magnético homogéneo \vec{B} , está sujeito a uma força, que é dada por:

$$\vec{F} = e \vec{v} \times \vec{B} \quad (\text{Eq. 1})$$

Esta força sendo obtida por um produto externo, é perpendicular à velocidade e ao campo magnético. Por outro lado, sendo uma força contrapeso, também verifica a seguinte relação:

$$F = m_e \frac{v^2}{r} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que r é o raio da órbita percorrida pelos electrões em resultado da natureza desta força (vide

Fig.1). Das equações 1 e 2 obtemos que:

$$\frac{e}{m_e} = \frac{v}{rB} \quad (\text{Eq. 3})$$

Nesta experiência, os electrões são acelerados numa ampola por uma diferença de potencial V_{ac} adquirindo uma energia cinética dada por:

$$eV_{ac} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (\text{Eq. 4})$$

Conhecendo V_{ac} e B , a medição do raio da trajectória do feixe de electrões permite calcular a razão e/m_e através da expressão:

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2V_{ac}}{(rB)^2} \quad (\text{Eq. 5})$$

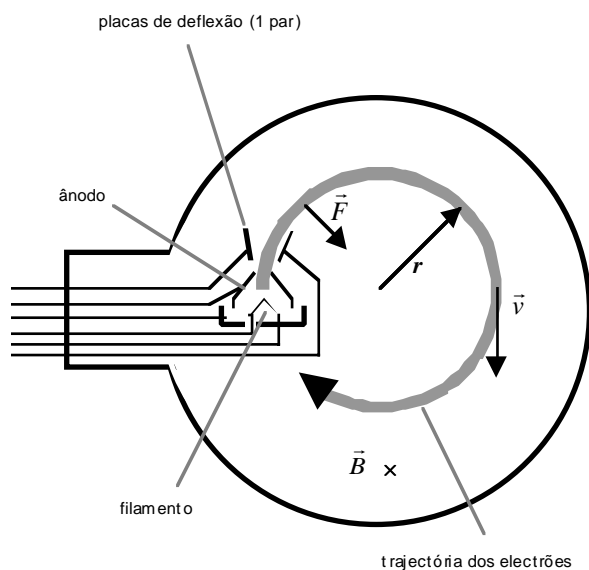


Figura 1. Os electrões que são emitidos do filamento aquecido, são atraídos para o ânodo e projectados dentro da ampola numa zona em que o campo magnético é perpendicular e uniforme. Em resultado, electrões são deflectidos numa trajectória circular.

O tubo onde o feixe de electrões é projectado contém hidrogénio com uma pressão baixa. Os electrões ao colidirem com as moléculas de hidrogénio produzem a emissão de luz. Este fenómeno torna a órbita dos electrões visível permitindo a medição directa com uma régua do raio da órbita.

O campo magnético B é gerado por um par de bobinas de *Helmholtz* e é directamente proporcional à corrente I , que as percorre. Estas bobinas têm a propriedade de produzirem um campo magnético razoavelmente uniforme no seu plano central.

Tabela 1. Grandezas e unidades

Grandeza	Unidades (SI, outras)
Campo magnético, \vec{B}	tesla (T), gauss (1Gs=10 ⁻⁴ T)
Diferença de potencial ou tensão eléctrica, V	volt (V)
Corrente eléctrica, I	ampere (A)

O campo \vec{B} produzido pelas bobinas pode ser descrito pela relação

$$B = kI \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que k é um factor de proporcionalidade que pode ser obtido por calibração. Desta forma, a Eq. 5 pode ser expressa em função de grandezas medidas directamente.

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2V_{ac}}{r^2 k^2 I^2} \quad (\text{Eq. 7})$$

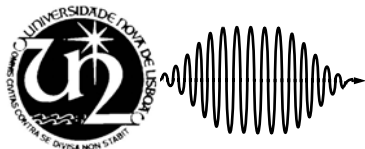
A variação da tensão de aceleração V_{ac} pode ser compensada pelo ajuste da corrente I de modo a que o raio da órbita dos electrões se mantenha constante. Neste caso, V_{ac} e I têm de obedecer à relação

$$V_{ac} = \frac{e}{m} \frac{1}{2} r^2 k^2 I^2 \quad (\text{Eq. 8})$$

A medição de vários valores de V_{ac} e de I nestas condições de $r=constante$, permite traçar uma recta num gráfico de V_{ac} em função de I^2 cujo declive d pode ser determinado graficamente. O valor e/m_e pode então ser obtido pela relação

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2}{r^2 k^2} d \quad (\text{Eq. 9})$$

Uma experiência adicional que pode ser realizada consiste na rotação da ampola de forma a que o feixe de electrões seja projectado paralelamente ao campo magnético. Nesta situação pode-se confirmar que, o feixe não é deflectido porque a sua velocidade é paralela ao campo magnético (o pro-



duto externo entre \vec{B} e \vec{v} é nulo).

O efeito de escudo magnético pode então ser demonstrado por se aproximar um magneto permanente do ponto onde o feixe colide. O feixe de electrões será então ‘enrolado’ e deflectido para trás. Esta deflexão não acontece quando se alinham os pólos do magneto com a trajectória do feixe. É este o motivo de nos pólos magnéticos da terra, a radiação cósmica ser mais intensa.

Tabela 2. Algumas relações e constantes importantes

Força magnética	$\vec{F} = e \vec{v} \times \vec{B}$
Relação entre energia cinética e energia potencial eléctrica numa fonte de electrões	$eV_{ac} = \frac{1}{2} mv^2$
Cálculo de e/m_e a partir dos parâmetros do tubo de feixe fino	$\frac{e}{m_e} = \frac{2V_{ac}}{r^2 k^2 I^2}$
Massa do electrão	$m_e = 9,1091 \times 10^{-31}$ kg
Carga do electrão	$e = 1,6021 \times 10^{-19}$ C
Razão e/m_e	$e/m_e = 1,76 \times 10^{11}$ A.s.kg ⁻¹

Equipamento

É necessário o seguinte equipamento para a realização da montagem experimental:

- 1 caixa escura com cortina
- 1 tubo de feixe fino com suporte e bobines de *Helmholtz* (1 par)
- 1 fonte de tensão DC com múltiplas saídas (saída 1 de 0 a 500 V ou de 0 a 300 V, saída 2 de 0 a 20 V e saída 3 com 6,3V/1,5A)
- 1 fonte de corrente DC variável de 0 a 2A (5V).
- 1 voltímetro com leitura até 500 V (ou um multímetro)
- 1 par de folhas de cartolina com aberturas em de 8 cm
- 9 cabos banana/banana

Montagem experimental

1. Identifique as unidades necessárias e os pontos de ligação dos cabos.
2. Estabeleça as ligações conforme indicadas na Fig. 2.
3. Ligue a fonte de tensão com bobines múltiplas saídas e estabeleça uma diferença de potencial de ≈ 300 V. Aguarde cerca de 5 minutos para que o filamento aqueça.
4. Tente otimizar a espessura visível do feixe de electrões com a tensão de 0 a 20V.
5. Ligue a fonte de corrente que alimenta as bobines de *Helmholtz* e verifique a deflexão do feixe de electrões. Pode acontecer que o feixe seja deflectido no sentido oposto ao desejado. Nesse caso desligue a fonte de corrente, troque as ligações e volte a ligar a fonte. Desta forma o sentido do campo magnético foi invertido.

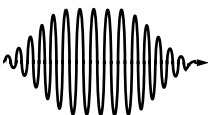
Medidas de segurança:

Esta experiência necessita de tensões eléctricas de 300 V que podem ser perigosas.

Fios condutores que entrem indevidamente em contacto com esta tensão, poderá provocar avarias em equipamento. Por este motivo, assegure-se que:

- *As ligações eléctricas devem ser feitas com condutores e fichas devidamente isoladas.*
- *As unidades eléctricas devem estar desligadas durante a execução das ligações.*
- *A ampola está em vácuo e pode implodir se for quebrada!*
- *Não sujeite o tubo a esforços mecânicos.*
- *Ao aproximar magnetes, faça-o com muito cuidado.*

6. Se os electrões descreverem uma hélice em vez de uma órbita fechada, rode ligeiramente



o tubo para alinhar o feixe no plano central do tubo.

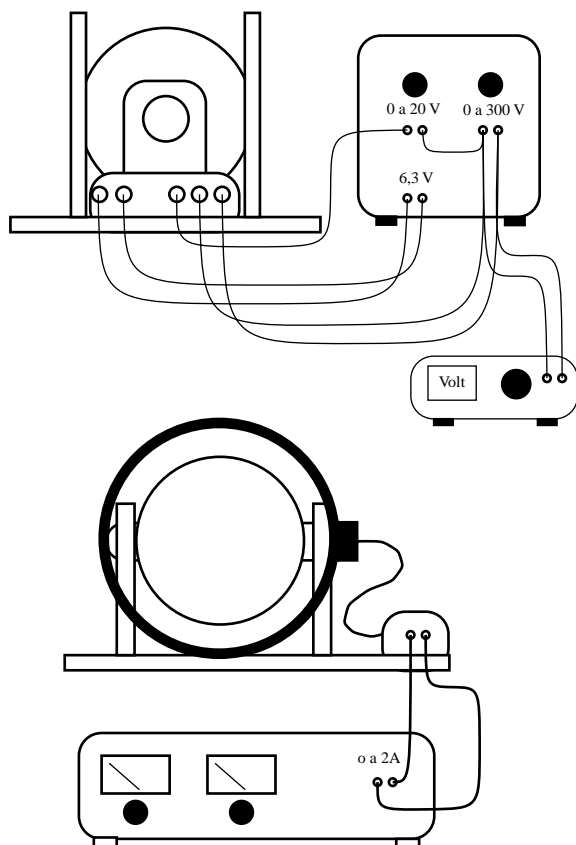


Figura 2. Montagem experimental. Deve-se ter em atenção as medidas de segurança indicadas.

Medidas a obter

1. Monte uma cartolina por detrás do tubo e a outra na frente, de modo a ter os flancos do lado direito alinhados com a saída do feixe do ânodo.
2. Comece as medidas com um tensão de aceleração V_{ac} de 300V (ou o mais próximo possível). Ajuste a corrente (das bobines de *Helmholtz*) de modo a obter um feixe com um diâmetro de 8 cm. Use os flancos esquerdos da cartolina para minimizar os erros de paralaxe. Alinhe a sua vista com os flancos e ajuste a corrente até que o feixe passe sobre essa linha de observação.

3. Repita o mesmo procedimento para tensões de aceleração de 280, 260, 240, 220, 200, 160, 120 e 80V. Para cada valor registre o valor da corrente que melhor ajusta o feixe a um diâmetro de 8 cm.

4. Espelho magnético:

Rode 90° o tubo com cuidado de modo a que o feixe se dirija para si. Verifique o feixe não é deflectido, não importa a corrente que percorrem as bobines.

Aproxime com cuidado um magneto do ponto onde o feixe incide no tubo. Verifique a importância da orientação do magneto sobre a trajectória do feixe.

Calibração das bobines de *Helmholtz*

O campo magnético produzido pelas bobines de *Helmholtz* foi medido com a ajuda de um magnetómetro (*Teslameter* ou gaussímetro). O resultado está representado no gráfico da Fig. 3. Com base neste gráfico, é fácil obter o facto k da Eq. 6.

Exemplo de medida

No gráfico da Fig. 4 estão representados um conjunto de medias típicas obtidas. Para obter experimentalmente o valor de e/m basta calcular geometricamente o declive da melhor recta que passa pela origem e usar a Eq. 9.

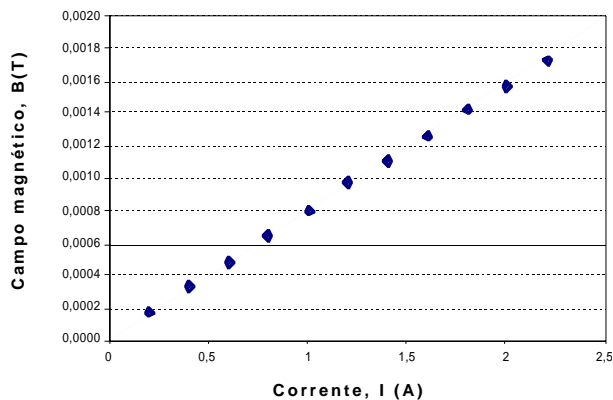


Figura 3. Relação entre o campo magnético axial e a corrente I que percorre as bobines.

O ajuste da recta que está representada na Fig. 4 foi realizado com base na Eq. 8 usando o valor da literatura para e/m .

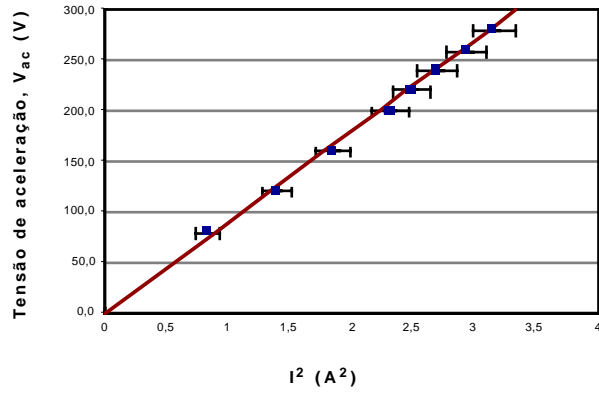


Figura 4. Exemplo de resultados obtidos. A linha traçada corresponde a um declive obtido com o valor e/m obtido na literatura ($1,76 \times 10^{11} \text{ A.s.kg}^{-1}$)



3

Determinação da razão e/m do electrão— Relatório

Nomes:

1-

2-

3-

Data

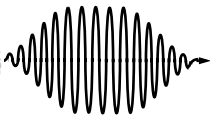
Licenciatura Grupo

(Não use este relatório como rascunho)

Registo de dados

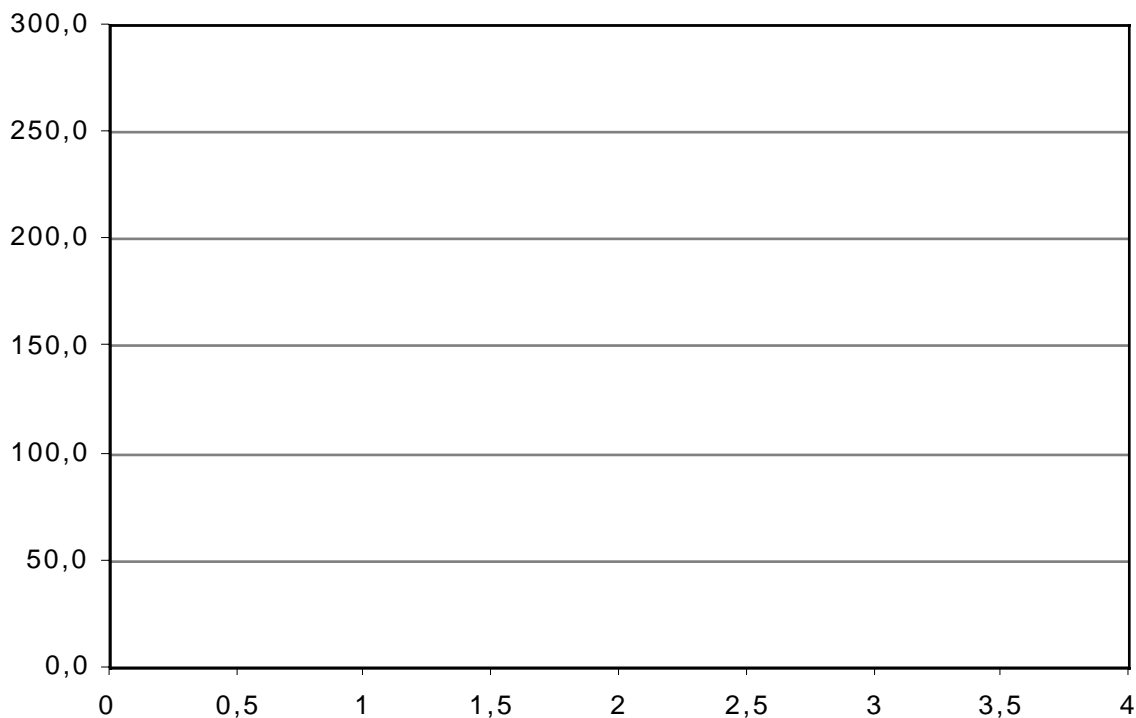
Tabela 1.

Tensão de aceleração V_{ac} (V)	Corrente, I (A)	I^2 (A ²)



Representação gráfica

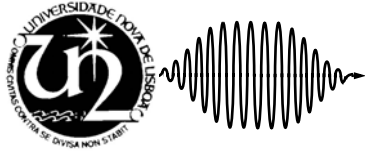
Faça o gráfico de acordo com a Eq. 8. Identifique correctamente os eixos.



Cálculo da razão carga/massa

Determine geometricamente o declive da melhor recta que passa pela origem.

Calcule o valor de e/m_e



Discussão

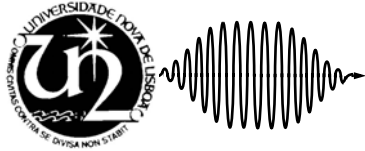
Comente o resultado que obteve. Está próximo do valor conhecido? Quanto?

Discuta a incerteza deste método e as eventuais diferenças com o valor esperado.

Comente os aspectos não quantitativos do trabalho.

Conclusão

Faça uma avaliação objectiva do método. Refira quais dos objectivos propostos foram alcançados. Proponha eventuais alterações.



(Use se necessário apenas para relatório)