UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
LABORATÓRIO DE FÍSICA MODERNA

Razão Carga Massa

Adão Murillo dos Santos	RA:100126
João Marcos Fávaro Lopes	RA:98327
Lucas Maquedano da Silva	RA:98901
Pedro Haerter Pinto	RA:100852
TURMA:32	Professor:Nelson Guilherme Castelli Astrath

Maringá,2018

Sumário

1 Desenvolvimento Teórico

1.1 Razão Carga Massa

A força magnética atuante em uma partícula eletricamente carregada de carga q num campo magnético B é dado pela equação

$$F_m = qv \times B \tag{1}$$

Onde v é a velocidade da partícula. Para o caso em que a velocidade é perpendicular à direção do campo, a equação pode ser simplificada para a forma escalar

$$F_m = evB \tag{2}$$

Em que e é a carga elementar do elétron. Como os elétrons do feixe realizarão um movimento circular dentro do bulbo de vidro, estes estarão sujeitos a uma força centrípeta de forma

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \tag{3}$$

Onde m é a massa do elétron,v sua velocidade e r o raio do movimento circular. Como a força centrípeta é a única força externa agindo sobre o elétron, é possível igualar as duas equações de modo que

$$F_m = F_c \tag{4}$$

$$evB = \frac{mv^2}{r} \tag{5}$$

Como o objetivo é determinar a relação carga/massa, deve-se isolar esse quociente de modo a se obter seu valor em função dos demais valores

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{rB} \tag{6}$$

A velocidade do elétron é determinada a partir da energia cinética dos elétrons sujeitos ao campo magnético, ou seja

$$eV = \frac{1}{2}mv^2 \tag{7}$$

$$v = \left(\frac{2ev}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{8}$$

O campo magnético produzido por um par de bobinas de Helmholtz é, nas proximidades do centro dado dado pela equação

$$B = \frac{[N\mu_0]I}{a\left(\frac{5}{4}\right)^{\frac{3}{2}}} \tag{9}$$

Substituindo 8 e 9 na equação 6,

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{rB} = \frac{2V\left(\frac{5}{4}\right)^3 a^2}{[N\mu_0 Ir]^2} \tag{10}$$

Onde V é a energia potencial dos elétrons, a o raio das bobinas de Helmholtz, N o número de espiras em cada bobina de Helmholtz, μ_0 a permeabilidade elétrica do meio, I a corrente elétrica gerada nas bobinas e r o raio de feixe de elétrons.

É possível determinar a relação carga/massa facilmente por este último resultado visto que é composto por constantes($N = 130$ e $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$) e valores que são ajustados nas fontes no decorrer do experimento.

1.2 Desvios

1.2.1 Desvio de Medidas Diretas

Para este experimento, tem-se como medidas diretas, o raio do feixe de elétrons formado dentro do tubo, sendo utilizada uma régua que a menor partição tem $1mm$ o erro associado é de $0,5mm$ ou $0,0005m$, e também a amperagem e voltagem utilizada nas bobinas de Helmholtz, sendo um multímetro digital, seu erro é ± 1 a menor unidade.

1.2.2 Desvio de Medidas Indiretas

Para o cálculo da razão carga massa é utilizada a equação 10, mas substituindo V e r^2 por λ se obtém a igualdade 18 e para o cálculo dos erros, é aplicado o logaritmo neperiano em ambos os lados da equação, tornando-se:

$$ln\left(\frac{e}{m}\right) = ln\left(\frac{2\lambda\left(\frac{5}{4}\right)^3 a^2}{[N\mu_0 I]^2}\right) \tag{11}$$

utilizando propriedades de logaritmos, é obtido

$$ln(e/m) = ln\left(2\lambda\left(\frac{5}{4}\right)^3 a^2\right) - ln\left([N\mu_0 I]^2\right) \tag{12}$$

$$ln(e/m) = ln(2\lambda) + 3ln(5/4) + 2ln(a) - 2(ln(N) + ln(\mu_0) + ln(I)) \tag{13}$$

diferenciando a equação e eliminando os termos constantes ou sem erro associado

$$\frac{de/m}{e/m} = \frac{d\lambda}{\lambda} + \frac{2dI}{I} \tag{14}$$

e fazendo $d \rightarrow \delta$ para poder ser aplicado os erros medidos experimentalmente. Onde δ representa o erro associado.

$$\frac{\delta e/m}{e/m} = \frac{\delta\lambda}{\lambda} + \frac{2\delta I}{I} \tag{15}$$

2 Desenvolvimento Experimental

2.1 Materiais e Métodos

oram utilizados para a realização do experimento:

- Mini-laser;
- Mesa de alinhamento;
- Uma lente de 48 mm;
- Uma lente de 252 mm;
- Um separador de feixes;
- Um espelho de alta rotação PASCO OS-9263B;
- Um espelho fixo esférico com raio de 13,5 m;

Sendo o experimento montado da seguinte forma:

Primeiro o laser e o espelho rotatório são alinhados sobre a mesa com o auxílio dos gabaritos, é posto então a primeira lente (48 mm), em seguida o separador de feixes e então a segunda lente (252 mm), é fundamental que ao colocar cada objeto óptico seja revisado seu alinhamento com o plano do laser. Utilizando regras trigonométricas, é posto então o espelho fixo esférico a cerca de 9 metros do espelho giratório, formando entre eles um ângulo de aproximadamente 12º e, em seguida, alinhado seus centros observando se o raio de luz está retornando ao separador de feixes. Nessa última etapa, é substituido a ocular do separador por um papel de pequena gramatura e, bloqueando o feixe de luz refletido pelo espelho rotatório, pode-se ver um ponto piscando no papel, o que significa que os espelhos estão alinhados. Por fim, é recolocado a ocular e alinhado o mostrador do micrômetro com o ponto de luz.

2.2 Dados Obtidos Experimentalmente

Após a realização do experimento duas vezes, foram obtidos os dados e utilizando os mesmos, foi gerado em programa o gráfico da Figura 1,contendo a diferença de potencial aplicada (DDP) com o respectivo raio do feixe de elétrons (r), e calculando o ajuste linear obteve-se a equação $V = 98079.57r^2$

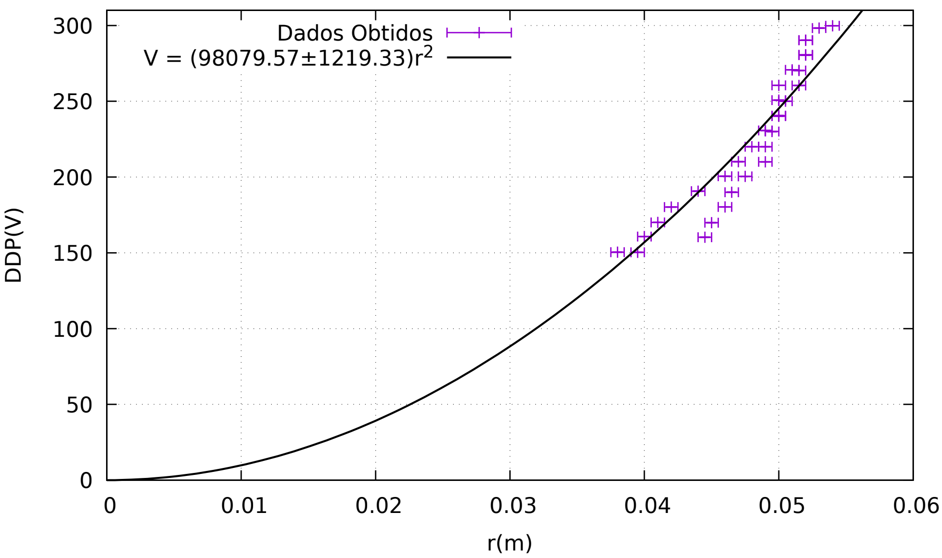

Figura 1: Relação entre a diferença de potencial(DDP) usado para acelerar os elétrons e o raio (r) formado pelos elétrons, com equação igual a $V = (98079.57 \pm 1219.33)r^2$

2.3 Interpretação dos Resultados

Sabendo-se que

$$\frac{e}{m} = \frac{2V\left(\frac{5}{4}\right)^3 a^2}{[N\mu_0 Ir]^2} \tag{16}$$

é possível fazer

$$V = \frac{[N\mu_0 I]^2\left(\frac{e}{m}\right)}{2(5/4)^3 a^2} r^2 \tag{17}$$

onde fazendo

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{[N\mu_0 I]^2\left(\frac{e}{m}\right)}{2(5/4)^3 a^2} \\ V &= \lambda r^2 \end{aligned} \tag{18}$$

sabendo que

$$V = 98079,57r^2 \tag{19}$$

igualando 18 e 19 é obtido

$$\lambda = 98079,57$$

e portanto

$$98079,57 = \frac{[N\mu_0 I]^2\left(\frac{e}{m}\right)}{2(5/4)^3 a^2} \tag{20}$$

onde N, μ_0, I e a são:

$$\begin{aligned} N &= 130 \\ \mu_0 &= 4\pi \times 10^{-7} \\ I &= (1,24 \pm 0,01)A \\ a &= 0,15cm \end{aligned}$$

substituindo os valores

$$98079,57 = \frac{[130 * 4\pi \times 10^{-7} * 1,24]^2\left(\frac{e}{m}\right)}{2(5/4)^3 0,15^2} \tag{21}$$

e portanto

$$\frac{e}{m} = \frac{98079,57 * 2 * (5/4)^3 * 0,15^2}{[130 * 4\pi \times 10^{-7} * 124]^2} \tag{22}$$

resolvendo

$$\frac{e}{m} = (2,10 \pm 0,08) \times 10^{11} Q/kg \tag{23}$$

Comparando com o valor de

$$c = 1,76 \times 10 Q/Kg \tag{24}$$

obtido na literatura [1], resulta em um erro relativo (Er) de:

$$Er = \left| \frac{1,76 \times 10^{11} - 2,10 \times 10^{11}}{1,76 \times 10^{11}} \right| * 100\% = 19,31\% \tag{25}$$

Estes erros estão associados a obtenção dos dados, sendo possível um erro de paralaxe durante a visualização dos dados na régua espelhada, o que acarreta uma variação do valor de c predito na literatura. Porém, mesmo com todos os fatores associados, o erro de 19,31% é aceitável dentro da precisão necessária para a realização do experimento.

Referências

[1] PASCO, *Electron Charge-to-Mass Ratio, Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO Scientific Model OS-9629.*