

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

Sumário	1
1 Resumo	2
2 Introdução	2
3 Desenvolvimento Teórico	3
3.1 Razão Carga Massa	3
3.2 Desvios	3
3.2.1 Desvio de Medidas Diretas	3
3.2.2 Desvio de Medidas Indiretas	4
4 Desenvolvimento Experimental	5
4.1 Materiais e Métodos	5
4.2 Dados Obtidos Experimentalmente	5
4.3 Interpretação dos Resultados	5
5 Conclusão	7
Referências	8

1 Resumo

O presente trabalho tem como objetivo determinar a razão carga-massa do elétron por meio de um experimento feito com materiais da Pasco. O relatório aborda conceito histórico do experimento utilizado descrevendo os materiais, o método de montagem, execução do mesmo e dados obtidos, fundamentação teórica e dedução das equações utilizadas, análise dos dados e resultados obtidos, e conclusões.

2 Introdução

No fim do século XIX surgiram as primeiras estimativas da grandeza da razão e/m com o físico Pieter Zeeman, inspirado pelos trabalhos de Faraday o neerlandês obteve provas de partículas atômicas com relação definida entre carga e massa. Zeeman, por meio de uma análise espectral da luz emitida pelos átomos na presença de um campo magnético, concluiu que as partículas que emitiam luz nos átomos possuíam carga negativa, também encontrou um valor para e/m de $1,6 \times 10^{11} C/kg$, valor muito próximo ao das medições atuais ($1,7596 \times 10^{11} C/kg$).

Thomson, com um experimento muito parecido com o que foi reproduzido para este relatório, obteve por meio de medidas diretas valores para a razão carga-massa, utilizando um tubo de raios catódicos, uma voltagem específica, e um campo magnético perpendicular ao campo elétrico gerado pela tensão aplicada. Thomson mediu a deflexão que o campo magnético gerava, por meio deste método o cientista não obteve um valor muito satisfatório ($0,7 \times 10^{11} C/kg$) – apesar de já ter obtido valores mais próximos ao real em diferentes experimentos com a mesma finalidade - devido ao fato de não ter levado em consideração o campo magnético da terra que podia influenciar o raio magnético experimental após a interação com o campo criado por ele.

3 Desenvolvimento Teórico

3.1 Razão Carga Massa

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

$$F_m = qv \times B \quad (1)$$

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

$$F_m = evB \quad (2)$$

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

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad (3)$$

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

$$F_m = F_c \quad (4)$$

$$evB = \frac{mv^2}{r} \quad (5)$$

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

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{rB} \quad (6)$$

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

$$eV = \frac{1}{2}mv^2 \quad (7)$$

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

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

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

Substituindo 8 e 9 na equação 6,

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

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.

3.2 Desvios

3.2.1 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.

3.2.2 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:

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

utilizando propriedades de logaritmos, é obtido

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

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

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

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

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

$$\frac{\delta e/m}{e/m} = \frac{\delta\lambda}{\lambda} + \frac{2\delta I}{I} \quad (15)$$

4 Desenvolvimento Experimental

4.1 Materiais e Métodos

Foram utilizados para a realização do experimento:

- Tubo e/m;
- Duas bobinas de Helmholtz com 15 cm de raio;
- Régua espelhada;
- Duas fontes DC;
- Multímetros;
- Cabos de energia.

O experimento consiste em um tubo com gás rarefeito ao qual é acoplado um filamento de metal. Liga-se o filamento a uma fonte em uma tensão menor que 6,0 *volts*, então ao passar uma corrente pelo fio este emitirá elétrons os quais serão defletidos em forma de feixe, que ionizarão o gás formando um rastro de luz. Em seguida, deve-se regular o foco do feixe através do botão a frente do equipamento. É submetido o tubo a um campo magnético uniforme por meio de uma bobina cuja corrente e voltagem podem ser controladas pelo painel frontal. O campo defletirá o feixe de elétrons em um círculo que poderá ser medido por uma régua ao fundo do tubo. Para se calcular a razão carga-massa é preciso variar a voltagem da bobina e consequentemente o raio ao qual o feixe é defletido. A variação é dada entre 150 e 300 *volts* atingidas de 10 em 10 *volts*.

4.2 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 $V = 98079.57r^2$

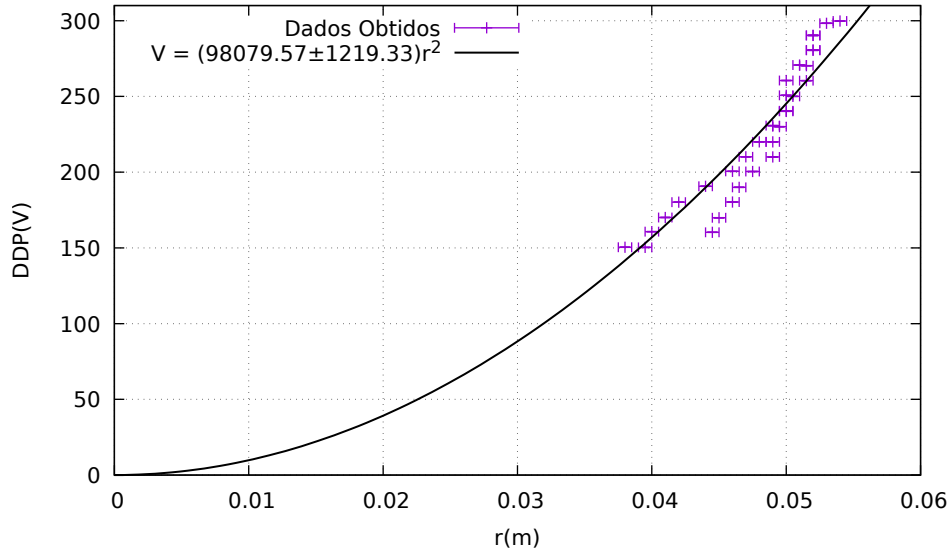


Figura 1: Relação entre a diferença de potencial(DDP) usado para acelerar os elétrons e o raio (r) formado pelos elétrons, com equação igual a $V = (98079.57 \pm 1219.33)r^2$

4.3 Interpretação dos Resultados

Sabendo-se que

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

é possível fazer

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

onde fazendo

$$\lambda = \frac{[N\mu_0 I]^2 \left(\frac{e}{m}\right)}{2(5/4)^3 a^2} \quad (18)$$

$$V = \lambda r^2$$

sabendo que

$$V = 98079,57 r^2 \quad (19)$$

igualando 18 e 19 é obtido

$$\lambda = 98079,57$$

e portanto

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

onde N, μ_0, I e a são:

$$N = 130$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

$$I = (1,24 \pm 0,01)A$$

$$a = 0,15cm$$

substituindo os valores

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

e portanto

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

resolvendo

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

Comparando com o valor de

$$c = 1,76 \times 10Q/Kg \quad (24)$$

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

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

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.

5 Conclusão

O experimento realizado permitiu definir a razão carga-massa com uma boa precisão comparada aos valores da literatura, mesmo com presentes erros de medição, tais como paralaxe e a nitidez do feixe de elétrons cujo raio a ser medido, os quais apresentavam pouca variação nas medidas iniciais. Através de futuros experimentos para se medir a carga do elétron será possível, por meio da relação apresentada neste trabalho, calcular sua massa.

Referências

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