

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

Gotas de Millikan

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 Fundamentação Teórica	2
2 Desenvolvimento Experimental	4
2.1 Materiais e Métodos	4
2.2 Dados Obtidos Experimentalmente	4
2.3 Interpretação dos Resultados	4
Referências	6

1 Fundamentação Teórica

Analisando as forças existentes na gota durante sua subida e sua descida é possível obter a equação para determinação da carga do elétron contido dentro das gotas.

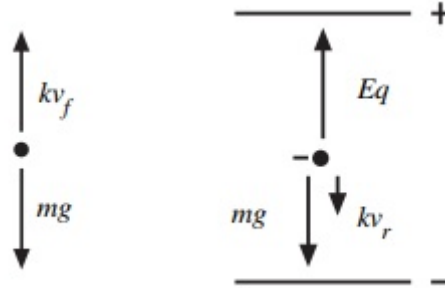


Figura 1: Forças presentes na gota descendo (direita) e subindo (esquerda)

Na subida temos os seguintes termos:

- k : constante de atrito com o meio;
- v_f : velocidade terminal da gota;
- m : massa da gota;
- g : gravidade no local;

E na descida:

- E : intensidade do campo elétrico;
- q : carga do elétron contido na gota;
- m : massa da gota;
- g : gravidade no local;
- k : constante de atrito com o meio;
- v_r : velocidade e subida da gota;

De acordo com os esquemas presentes na 1, temos as seguintes equações:

$$mg = kv_f \quad (1)$$

$$Eq = mg + kv_r \quad (2)$$

Eliminando k das duas equações e aplicando a solução para q , é possível reduzir as equações para:

$$q = \frac{mg(v_f + v_r)}{Ev_f} \quad (3)$$

Ao aproximar a gota para um formato esférico, é possível escrever a massa como:

$$m = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho \quad (4)$$

Onde a é o raio da gota e ρ a densidade do óleo. Pela Lei de Stokes, é possível relacionar o raio de um corpo esférico com sua velocidade de queda num meio viscoso (sendo η a constante de viscosidade) pela relação:

$$a = \sqrt{\frac{9\eta v_f}{2g\rho}} \quad (5)$$

Como a velocidade de queda da gota é algo entre 0.01 e 0.001 cm/s, a viscosidade deve ser multiplicada por um fator de correção pois a Lei de Stokes funciona para velocidades maiores do que 0.1 cm/s tal que:

$$\eta_f = \eta \left(\frac{1}{1 + \frac{b}{pa}} \right) \quad (6)$$

Onde b é uma constante, p é a pressão atmosférica e a o raio da esfera calculado em 5. Substituindo o η_f da equação 6 na equação 5,

$$a = \sqrt{\eta \frac{9v_f}{2gp} \left(\frac{1}{1 + \frac{b}{pa}} \right)} \quad (7)$$

$$a = \sqrt{\eta \frac{9v_f}{2gp} \left(\frac{b}{pa + b} \right)} \quad (8)$$

$$a = \sqrt{\left(\frac{b}{2p} \right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2gp}} \quad (9)$$

Como o segundo termo da raiz é muito pequeno e comparação às dimensões da gota, o valor do raio da esfera pode ser aproximado para:

$$a = \frac{b}{2p} \quad (10)$$

Substituindo as equações 4, 5 e 6 na equação 3:

$$q = 6\pi \sqrt{\frac{9\eta^3}{2gp \left(1 + \frac{b}{pa} \right)^3} (v_f + v_r) \sqrt{v_f}} \quad (11)$$

Substituindo as equações 10 e 6 na equação 11, tem-se a equação geral para determinação da carga do elétron que é

$$q = \left[400\pi d \left(\frac{1}{gp} \left[\frac{9\eta}{2} \right]^3 \right)^{\frac{1}{2}} \right] \times \left[\left(\frac{1}{1 + \frac{b}{pa}} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \times \left[\frac{v_f + v_r \sqrt{v_f}}{V} \right] \quad (12)$$

Da equação acima, os termos do primeiro membro são definidos para cada conjunto experimental, do segundo membro para cada gota e do terceiro membro para cada mudança na carga das gotas. Adequando a equação para a montagem experimental utilizada, a expressão é reduzida para:

$$q = \frac{mg(v_f + v_r)}{Ev_f} \quad (13)$$

$$q = \frac{4}{3}\pi\rho g \left[\sqrt{\left(\frac{b}{2p} \right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2g\rho}} - \frac{b}{2p} \right]^3 \times \frac{v_f + v_r}{Ev_f} \quad (14)$$

2 Desenvolvimento Experimental

2.1 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*.

2.2 Dados Obtidos Experimentalmente

Após a realização do experimento duas vezes, foram obtidos diversos tempos de subida e descida, utilizando os mesmos, foram calculadas as velocidades de subida e descida e também o raio de cada gota, como é possível ver na tabela 1

Gota	$Vel_f \times 10^{-5}(m/s)$	ΔVel_f	$Vel_r \times 10^{-5}(m/s)$	ΔVel_r	$a \times 10^{-7}(m)$	Δa
1	4,31	0,3	2,03	0,05	4,69	0,03
2	5,58	0,64	1,9	0,01	5,21	0,16
3	3,11	0,02	1,64	0,06	4,46	0,04
4	0,85	0,63	0,6	0,33	3,68	0,24
5	1,11	0,56	0,91	0,25	3,09	0,4
6	2,22	0,26	1,5	0,09	3,82	0,21
7	0,83	0,63	0,53	0,35	3,98	0,17
8	1,68	0,4	0,87	0,26	4,5	0,03
9	3,5	0,08	1,89	0,01	4,41	0,05
10	4,53	0,36	1,93	0,02	4,87	0,07

Tabela 1: Valores calculados para as velocidades de descida(V_f), velocidade de subida(V_r) e o raio de cada gota(a), assim como o desvio padrão associado a cada medida.

Com os valores obtidos e utilizando a equação 14 é possível encontrar o valor de carga que cada gota possui, explicito na tabela 2.

2.3 Interpretação dos Resultados

Utilizando os dados contidos na tabela 2 é possível produzir o gráfico 2 que contém a carga pelo número da gota, e assim analisar de forma adequada os dados obtidos.

Analisando o gráfico 2 juntamente com os valores obtidos, temos que as gotas estão separadas em três grupos com um espaçamento regular, um primeiro com as gotas 1,2,10, o segundo grupo com as gotas 3,6,9 e o último grupo com 4,5,7,8. Com isto somos levados a crer que o incremento de carga não é contínuo e sim discreto ou quantizado, e este valor pode ser aferido realizando a diferença entre as médias de carga de cada grupo.

Fazendo a diferença entre os grupos é obtido o salto médio de $1,12 \times 10^{-19}C$, sendo este o valor de carga de cada elétron obtido pelo experimento. Comparando o valor experimental é obtido 29,90% de erro em relação ao valor de $e = 1.6021765 \times 10^{-19}C$

Gota	$Carga \times 10^{-19}(C)$	$\Delta Carga$
1	2,22	0,17
2	2,99	0,38
3	1,41	0,05
4	0,22	0,37
5	0,35	0,33
6	0,93	0,18
7	0,2	0,37
8	0,55	0,28
9	1,7	0,03
10	2,32	0,2

Tabela 2: Valores da carga associada a cada gota, assim como o seu respectivo desvio padrão.

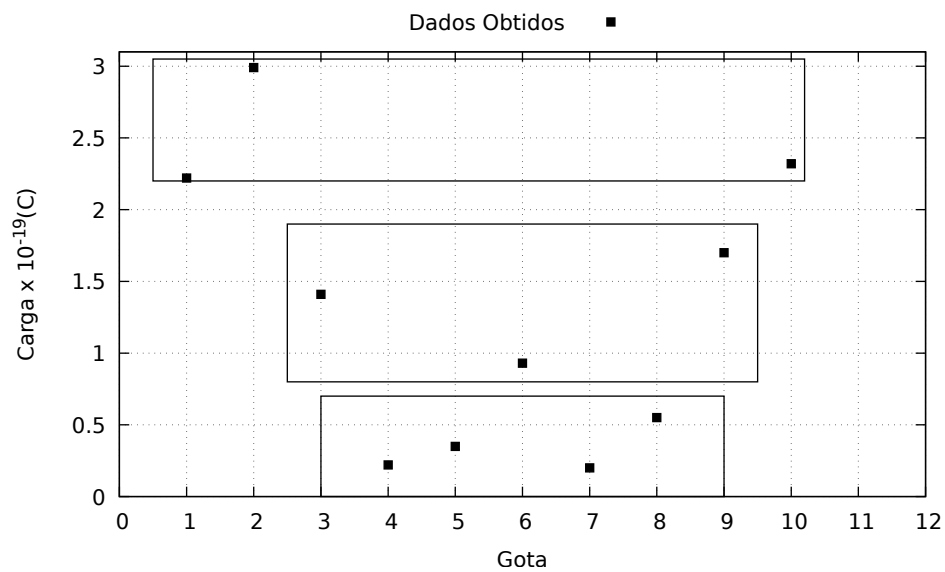


Figura 2: Distribuição de carga das gotas.

Grupo 1 (C)	Grupo 2 (C)	Grupo 3 (C)
$2,51 \times 10^{-19}$	$1,35 \times 10^{-19}$	$0,26 \times 10^{-19}$

Tabela 3: Média dos grupos de gotas.

Referências

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