

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 Resumo	2
2 Introdução	2
3 Fundamentação Teórica	3
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

A experiência da gota de óleo foi um experimento conduzido pelo físico Robert Andrews Millikan com o intuito de medir a carga elétrica do elétron. A medição feita por Millikan, que foi reproduzida no experimento descrito nesse relatório, consistiu em balancear as forças elétrica e gravitacional em minúsculas gotas de óleo carregadas e suspensas entre duas placas metálicas eletrizadas. O valor da carga do elétron pode ser obtida ao se saber o valor do campo elétrico gerado entre as placas. O aparato utilizado consiste em duas placas metálicas eletrizadas onde as gotas carregadas ficam em suspensão, entrando em movimento mediante variação no campo elétrico. O movimento das gotas é visto através de um pequeno microscópio acoplado a um orifício no espaço em que as partículas se encontram.

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 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.

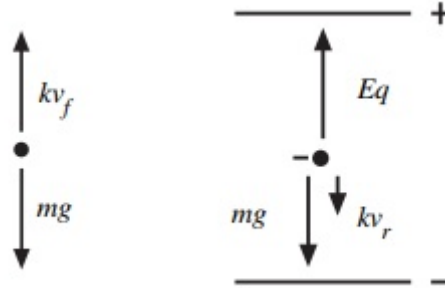


Figura 1: Forças presentes na gota descendo (direita) e subindo (esquerda)

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:

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

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

4 Desenvolvimento Experimental

4.1 Materiais e Métodos

Foi utilizado para o experimento o equipamento PASCO Modelo AP-8210 cosntituido por:

- Câmara para visualização das gotas graduada em 0,1mm e com placas metálicas em seus terminais;
- Anéis para regulagem do foco;
- Lâmpada de halogênio;
- Filamento de fibra óptica;
- Termístor;
- Interruptor para controlar o campo elétrico da câmara
- Óleo de densidade $886\text{kg}/\text{m}^3$.

A plataforma deve ser ligada à uma fonte de 500 V em corrente contínua, um multímetro aos terminais de seu termistor e a lâmpada a uma tensão de 12 V DC. Então, se desmonta a câmara para limpeza de sua base com um papel de pequena gramatura, remontando-a novamente. Insere-se a fibra óptica à câmara para regulagem do foco a partir dos anéis sobre a ocular. Por último, borrifa-se o óleo na câmara, fechando-a a partir de uma alavanca em sua lateral. Com o interruptor é possível ligar o campo entre as placas metálicas.

4.2 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	$Vel_f \times 10^{-5}(\text{m/s})$	ΔVel_f	$Vel_r \times 10^{-5}(\text{m/s})$	ΔVel_r	$a \times 10^{-7}(\text{m})$	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.

4.3 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 ultimo 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 $1,12 \times 10^{-19}\text{C}$, 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 $e = 1.6021765 \times 10^{-19}\text{C}$

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.

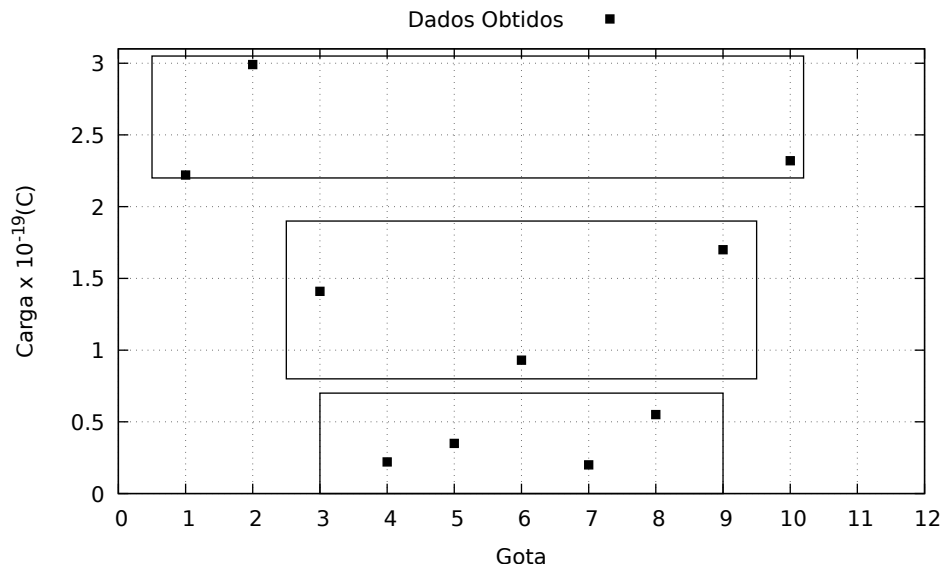


Figura 2: Distribuição de carga das gotas.

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.

5 Conclusão

À partir do experimento realizado foi possível medir a carga elétrica transportada pelas gotas em um campo elétrico conhecido. Analisando os valores obtidos foi possível verificar a quantização da carga com a obtenção do valor $e = 1.12 \times 10^{-19}C$ para a carga do eletrôn que é bastante próximo do valor real, $e = 1.6021765 \times 10^{-19}C$. Atribui-se o desvio percentual de 29.9% aos erros associados ao reflexo humano entre verificar uma ação ocorrendo e medir seu tempo. Além disso, há também os erros associados aos aparelhos de medida utilizados. Apesar de ser uma experimento relativamente fácil, este exige muita paciência e atenção devido ao tamanho microscópico das gotas e a dificuldade de acompanhar uma única gоста em meio a várias.

Referências

- [1] PASCO, *MILLIKAN OIL DROP APPARATUS, Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model AP-8210*.