

ROTEIRO p SIMULAÇÃO: EXPERIÊNCIA DA GOTA DE ÓLEO DE MILLIKAN

Prof. Nildo Loiola Dias

1 OBJETIVOS

- Conhecer o experimento da gota de óleo de Millikan.
- Determinar “experimentalmente” a carga do elétron.

2 MATERIAL

- Filme explicativo do experimento de Millikan: https://www.youtube.com/watch?v=Fk_ZQQsAkSo
Neste filme a análise matemática para a determinação da carga do elétron difere do nosso experimento, pois no nosso experimento a gota se movimenta tanto na descida como na subida, na presença de um campo elétrico. Sugerimos a visualização dos minutos iniciais, não sendo necessário acompanhar a análise matemática.

- Filme mostrando o experimento real com equipamento similar ao existente no Laboratório de Física Moderna da UFC:

https://www.youtube.com/watch?v=Fk_ZQQsAkSo

- Link para a simulação:

www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/experimento-gota-oleo-millikan

3 FUNDAMENTOS

Esta prática simula a experiência feita por Robert Millikan, em 1909, que demonstrou a existência de um valor mínimo para a carga elétrica, a carga elementar. Essa carga é a carga do elétron.

Nesta experiência, gotas de óleo produzidas por um pulverizador, são lançadas em uma região onde existe um campo elétrico que é produzido aplicando-se uma diferença de potencial elétrico entre as placas paralelas de um capacitor. Devido ao atrito entre o óleo e as paredes do pulverizador, as gotas formadas ficam eletricamente carregadas, portanto, sujeitas à ação do campo elétrico. Na realidade, cada gota sofre a ação de quatro forças: a força peso (F_g), a força elétrica (F_E), a força de atrito viscoso com o ar (F_v), e a força do empuxo (como esta força é muito menor do que as demais, não será considerada em nossa análise). Quase imediatamente depois que a gota entra no capacitor, essas forças se equilibram e a gota passa a se mover com velocidade constante, a velocidade terminal.

Considerando-se as três forças principais referidas acima, temos:

- A força viscosa sobre uma esfera (a gota) de raio r e velocidade v em um fluido de viscosidade η é dada pela lei de Stokes:

$$F_v = 6\pi r \eta v \quad (1)$$

- O peso de uma esfera de massa m , volume V_0 e densidade ρ no campo gravitacional da Terra é dado por:

$$F_g = mg = \rho V_0 g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g \quad (2)$$

- A força elétrica é dada por:

$$F_E = qE = q \frac{V}{d} \quad (3)$$

onde V é a voltagem entre as placas do capacitor e d é a distância entre elas.

Quando a gota se desloca para baixo, temos:

F_V (para cima)

F_g (para baixo)

F_E (para baixo)

somando vetorialmente as três forças e igualando a zero (para o equilíbrio quando a gota atinge velocidade terminal), temos:

$$F_V - F_g - F_E = 0 \quad (4)$$

substituindo as expressões para as forças, vem:

$$6\pi r \eta v_1 - q \frac{V}{d} - \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g = 0 \quad (5)$$

onde v_1 é a velocidade terminal de descida da gota:

$$v_1 = \frac{1}{6\pi r \eta} \left(q \frac{V}{d} + \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g \right) \quad (6)$$

Quando a gota se desloca para cima, temos:

F_V (para baixo)

F_g (para baixo)

F_E (para cima)

somando vetorialmente as três forças e igualando a zero, temos:

$$F_E - F_g - F_V = 0 \quad (7)$$

substituindo as expressões para as forças, vem:

$$q \frac{V}{d} - \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g - 6\pi r \eta v_2 = 0 \quad (8)$$

onde v_2 é a velocidade terminal de subida da gota:

$$v_2 = \frac{1}{6\pi r \eta} \left(q \frac{V}{d} - \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g \right) \quad (9)$$

Somando-se e subtraindo-se as Equações 6 e 9 obteremos, respectivamente, uma expressão para o raio e outra para a carga da gota; são elas:

$$q = C_1 \frac{v_1 + v_2}{V} \sqrt{v_1 - v_2} \quad (10)$$

$$r = C_2 \sqrt{v_1 - v_2} \quad (11)$$

onde:

$$C_1 = \frac{9}{2} \pi d \sqrt{\frac{\eta^3}{g\rho}} \quad (12)$$

e

$$C_2 = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{\eta}{g\rho}} \quad (13)$$

Usando os valores das constantes abaixo:

Distância entre as placas do capacitor: $d = 2,5\text{mm}$.

Densidade do óleo de silicone $\rho = 1,03 \times 10^3 \text{kgm}^{-3}$.

Viscosidade do ar: $\eta = 1,82 \times 10^{-5} \text{kg(m.s)}^{-1}$.

Aceleração da gravidade $g = 9,81 \text{ms}^{-2}$.

Determinamos:

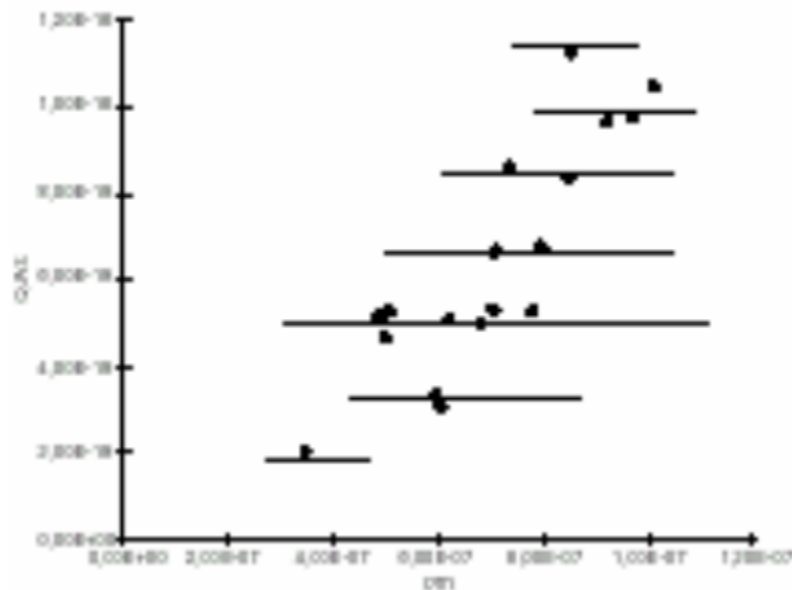
$$C_1 = 2,73 \times 10^{-11} \text{ kgm(m.s)}^{-12}$$

e

$$C_2 = 6,37 \times 10^{-5} \text{ (m.s)}^{12}.$$

Millikan, tendo medido a carga de diversas gotas, ao representar em um gráfico o valor da carga de cada gota em função do raio, obteve patamares em intervalos regulares como mostra a Figura 1. Concluiu então que a carga elementar é quantizada e que uma gota poderia conter uma, duas, três, etc, dessas cargas elementares. Assim foi possível determinar o valor da carga do elétron.

Figura 1. Representação típica do gráfico da carga de cada gota em função do raio.



OBS: O gráfico da Figura 1 é apenas um exemplo de como se apresentam os resultados do experimento da gota de óleo de Millikan. Este gráfico não é o gráfico original de Millikan.

4 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO REAL

Para que se tenha uma ideia do experimento real, a Figura 2 mostra os equipamentos fabricados pela empresa PHYWE.

Figura.2. Arranjo experimental de Millikan fornecido pelo fabricante do equipamento (PHYWE). À direita vemos uma fonte de tensão múltipla. Nessa fonte há uma saída de 6,3 Vac usada para alimentar uma lâmpada no aparelho de Millikan através dos cabos pretos. Na fonte múltipla há uma saída de 300 V fixa e uma regulável de 0 a 300 V. As duas fontes são ligadas em série de modo a poder fornecer uma tensão total que pode ser regulada no intervalo de 300 V a 500 V, como pede o experimento. A saída das duas fontes em série (Cabos vermelho e azul) estão ligados a uma chave comutadora (no centro). A saída da fonte também está ligada a um voltímetro para a verificação do valor da tensão. Do outro lado da chave comutadora saem dois cabos vermelhos para o aparelho de Millikan; esses cabos estão ligados ao capacitor de placas paralelas no aparelho de Millikan. Um cabo amarelo liga o aparelho de Millikan

ao terra da fonte (para evitar choque elétrico no usuário). Pode se ver também na figura: dois cronômetros analógicos, um nível circular, uma caixa com lâminas de vidro 18X18 mm e uma escala micrométrica. No aparelho de Millikan vemos uma pera do borrifador de gotas de óleo (em vermelho) e uma luneta para a visualização das minúsculas gotas.

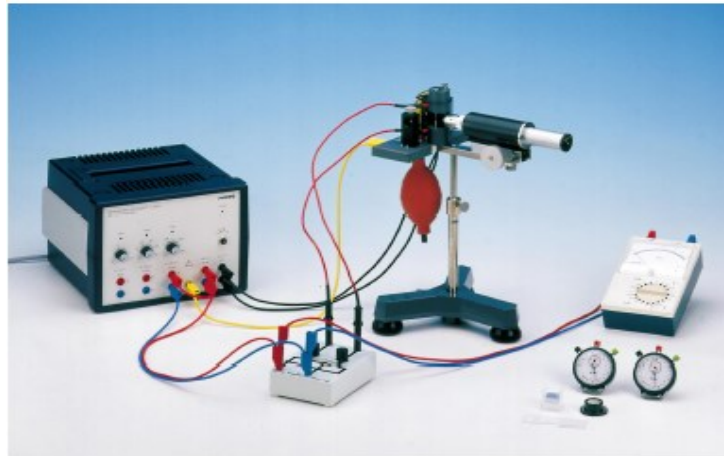
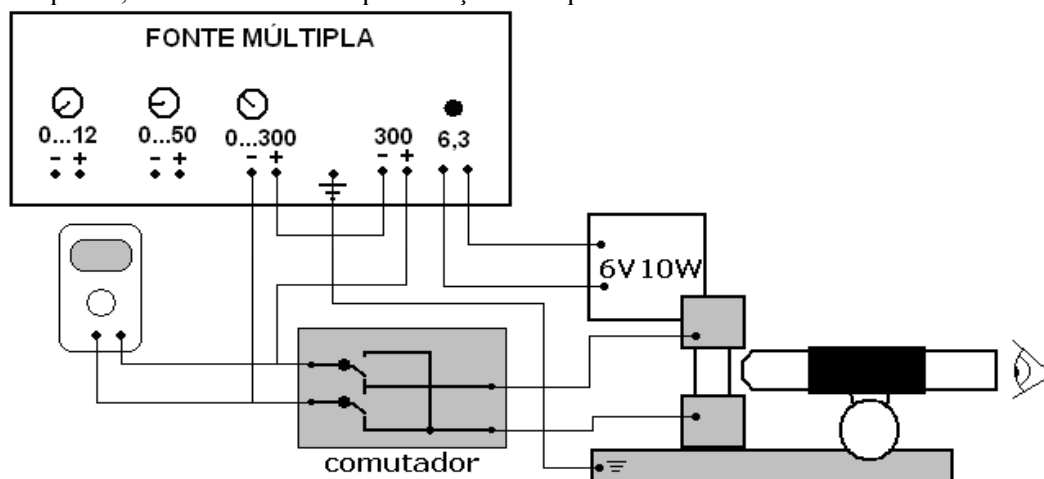


Figura 3. Representação das conexões dos equipamentos (Fonte múltipla, multímetro, chave comutadora e aparelho de Millikan) da Figura 2. Observe que na chave comutadora há duas chaves que são acionadas simultaneamente. Na posição mostrada o potencial positivo da fonte está aplicado à placa superior do capacitor e o negativo à inferior. Ao acionar a chave comutadora as duas chaves passam a fazer contato na parte superior, invertendo assim a polarização do capacitor.



DIFICULDADES COM O EXPERIMENTO REAL

O experimento da gota de óleo de Millikan é muito trabalhoso e normalmente não é inteiramente realizado em nossos laboratórios. A dificuldade começa em produzir uma gota de óleo que seja visualizada nitidamente com o uso da luneta de observação. Em geral é preciso borrifar diversas vezes até se conseguir uma gota que esteja bem focalizada. Uma vez conseguindo uma gota, a mesma se movimentará em frente a um fundo de referência. As medidas consistem em observar o deslocamento da gota em relação a esse fundo de referência e cronometrar com uma das mãos o tempo de subida, inverter a chave comutadora, simultaneamente parar o cronômetro e ao mesmo tempo ligar um segundo cronômetro na outra mão para medir o tempo de descida da gota. Uma mesma gota deve ser cronometrada durante várias subidas e várias descidas e os tempos de subida acumulados em um cronômetro e de descida em outro, não esquecendo de anotar também os deslocamentos totais de subida e descida respectivamente. Isso considerando que durante as medidas a gota permanecerá no campo de visão. Um conjunto razoável de dados leva horas. Na prática realizada em nosso laboratório, mostramos como funciona o aparelho de Millikan, calibramos o fundo de referência com uma escala micrométrica,

produzimos gotas que podem ser visualizadas, mas não medimos os tempos de subida e descida de uma mesma gota. Um conjunto de medidas para muitas gotas seria necessário. Uma tabela com os dados de um experimento real é fornecida para os alunos e com essa tabela o aluno poderá fazer a análise.

No filme indicado na lista de MATERIAL (https://www.youtube.com/watch?v=Fk_ZQQsAkSo), uma gota é observada apenas durante uma subida e uma descida. Veja que no filme, devido às dificuldades de determinar as velocidades cronometrando os tempos manualmente, as gotas são filmadas e depois o movimento é analisado a partir do filme para a determinação das velocidades da gota. Para um conjunto razoável de dados, muitas gotas precisam ser analisadas.

FACILIDADE COM O “EXPERIMENTO” VIRTUAL

- Não há dificuldade em produzir e visualizar uma gota.
- As gotas não saem do campo de visão. No máximo uma gota se perde ao tocar uma das placas do capacitor.
- Não é necessário medir o deslocamento de subida e de descida, nem cronometrar os tempos de subida e de descida para calcular as velocidades de uma mesma gota. A simulação já fornece os valores das velocidades de subida e de descida.

4 PROCEDIMENTOS

Nesta “prática” virtual consideraremos que está sendo usado óleo de silicone (Densidade do óleo de silicone $\rho = 1,03 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$) para a produção das gotas.

PROCEDIMENTO 1: Determinação do raio e da carga de cada gota.

1.1 Acesse à simulação pelo link:

www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/experimento-gota-oleo-millikan

1.2 Nesta simulação os valores da carga da gota e do raio da mesma são gerados aleatoriamente. Para isso clique em NOVA GOTA.

1.3 Regule o potencial do capacitor de acordo com os valores indicados na Tabela 3.1.

1.4 Clique em BORRIFAR. Com isso, a gota gerada entra no capacitor por um pequeno furo na placa superior do mesmo. Anote na Tabela 1 a velocidade v_1 (de descida da gota). Anote somente o módulo da velocidade.

1.5 Deslizando o COMUTADOR a polaridade do capacitor muda e com isso a velocidade da gota é revertida. Anote a velocidade v_2 (de subida da gota). Anote somente o módulo. A gota terá movimento para cima ou para baixo, dependendo da polaridade do capacitor.

OBS1: Se uma gota atingir a placa inferior do capacitor ou se voltar ao furo da placa superior, essa gota estará perdida. Uma nova gota terá que ser gerada.

OBS 2: As velocidades, v_1 (velocidade de descida) e v_2 (velocidade de subida) deverão ser anotadas sempre para uma mesma gota.

1.6 Repita os procedimentos anteriores para estudar uma nova gota.

Tabela 1. Resultados “experimentais”

Gota	Potencial (V)	V_1 (10^{-4} m/s)	V_2 (10^{-4} m/s)	Raio (10^{-7} m)	Carga da gota (10^{-19} C)
------	---------------	------------------------	------------------------	---------------------	-------------------------------

1	300				
2	300				
3	300				
4	300				
5	300				
6	300				
7	300				
8	300				
9	400				
10	400				
11	400				
12	400				
13	400				
14	400				
15	400				
16	400				
17	400				
18	400				
19	500				
20	500				
21	500				
22	500				
23	500				
24	500				
25	500				

1.7 Calcule o raio de cada gota e sua carga e anote na Tabela 1.

PROCEDIMENTO 2: Análise dos dados “experimentais” para determinação da carga elementar.

2.1 Faça o gráfico da carga da gota (eixo y) em função do raio (eixo x). A origem do eixo x não precisa estar no gráfico. Basta representar no eixo x o intervalo de valores dos raios.

2.2 Observe que o gráfico apresenta patamares separados por valores de carga na proporção de q, 2q, 3q, etc. Trace no gráfico linhas horizontais indicando os patamares correspondentes a q, 2q, 3q, etc.

3.6 QUESTIONÁRIO

1- Transcreva o valor da carga de cada gota da Tabela 1 para a tabela a seguir. Indique para cada gota o número inteiro de elétrons e calcule o valor da carga de um elétron.

Gota	Carga da gota (10^{-19} C)	N. de elétrons	Carga de um elétron (10^{-19} C)
1			

2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			

2- Qual o valor médio da carga do elétron obtido nesta prática? (para o cálculo da média divida o somatório dos valores das cargas de cada gota pelo somatório do número de elétrons)

3- Qual o erro percentual do valor obtido para a carga do elétron em relação ao valor da literatura? Comente.

4- Nos FUNDAMENTOS a força devida ao empuxo foi desprezada. Calcule a força devida ao empuxo que atua numa gota de óleo de silicone de raio $5,08 \times 10^{-7} \text{m}$.

5- Calcule a intensidade de cada uma das forças (peso, viscosa e elétrica) que atuam sobre a gota da questão anterior, supondo que a gota tem a carga de três elétrons e se move para baixo com velocidade terminal no interior de um capacitor sujeito a uma diferença de potencial de 400 V. Calcule também quantas vezes cada uma destas forças é maior do que o empuxo.

6- Usando-se uma fonte radioativa que acompanha o experimento real (Am-241; que emite partículas α), é possível alterar a carga das gotas. Se uma gota, inicialmente neutra, capturar uma partícula α , o que mudaria no experimento de Millikan?

