

## Experimento de Millikan

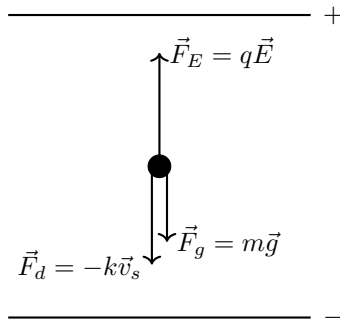
### INTRODUÇÃO

O experimento da gota de óleo de Millikan, realizado por Robert Millikan em 1909, foi fundamental para a determinação da carga elétrica elementar, ou seja, a carga do elétron. No experimento, pequenas gotas de óleo foram pulverizadas em uma câmara e observadas enquanto se deslocavam sob a influência da gravidade e de um campo elétrico controlado. A partir da análise das forças envolvidas, ele calculou a carga elétrica presente em cada gota, descobrindo que todas eram múltiplos de um valor fundamental, confirmando assim a quantização da carga elétrica. Esse experimento foi um marco na física moderna e contribuiu significativamente para o desenvolvimento da teoria eletrônica.

Uma análise das forças que atuam sobre uma gota de óleo permite obter a equação para a determinação da carga elétrica transportada pela gota. Quando a gota está caindo sem ação de um campo elétrico, as forças de arrasto e gravitacional se equilibram (a força resultante é nula) levando a uma velocidade terminal  $v_d$ , velocidade de descida. Dessa forma:

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

sendo  $k$  o coeficiente de arrasto entre o ar e a gota,  $m$  a massa da gota, e  $g$  a aceleração da gravidade.



Agora considere a gota entre duas placas paralelas carregadas como no diagrama acima. O diagrama representa as forças que atuam sobre a gota quando ela está subindo sob a influência de um campo elétrico  $\vec{E}$ . Somando as forças vetorialmente, sendo a força resultante nula, obtemos:

$$qE = mg + kv_s \quad (2)$$

sendo  $q$  é a carga transportada pela gota e  $v_s$  a velocidade de subida. Em ambos os casos, há também uma pequena força de empuxo exercida pelo ar sobre a gota. No entanto, como a densidade do ar é aproximadamente mil vezes menor que a do óleo, essa força pode ser desprezada.

Eliminando  $k$  das equações (1) e (2) e resolvendo para  $q$ , obtemos:

$$q = \frac{mgd(v_d + v_s)}{Vv_d} \quad (3)$$

usando que, para placas paralelas,  $E = V/d$ , sendo  $V$  a diferença de potencial entre as placas e  $d$  a distância de separação. A massa  $m$  da gota pode ser determinada utilizando-se a expressão para o volume de uma esfera e a densidade do

óleo:

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

sendo  $\rho = 886 \text{ kg/m}^3$  a densidade do óleo. Para efetivamente determinar a massa é necessário conhecer o raio  $r$  da gota. O raio é determinado usando a lei de Stokes levando em consideração um fator de correção para a viscosidade devido à baixa velocidade da gota neste sistema. Assim,

$$r = \sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_d}{2\rho g}} - \frac{b}{2p} \quad (5)$$

sendo  $b = 8,2 \times 10^{-3} \text{ Pa.m}$ ,  $p$  a pressão barométrica em Pa e  $\eta$  a viscosidade do ar em Pa.s.

### PRÉ-LAB

1. Todos os corpos carregados na natureza possuem uma carga que é sempre um múltiplo inteiro da carga do elétron. Há outras quantidades físicas que apresentam o mesmo comportamento?
2. A conservação da carga elétrica é um princípio fundamental da física, indicando que a carga total de um sistema isolado não pode ser criada nem destruída, apenas redistribuída. Por que essa lei não é violada nos processos de aniquilação e a criação de pares partícula-antipartícula? A aniquilação ou a criação de pares partícula-antipartícula envolvem três partes (partículas/campos). Quais devem ser as cargas das três partes envolvidas nestes processos?

### PROCEDIMENTOS

1. Ajuste a altura da plataforma e nivele o aparato usando os parafusos de nivelamento e um nível de bolha.
2. Desmonte a câmara de visualização removendo a tampa, o invólucro da câmara, a placa superior do capacitor e a placa separadora. Use um micrômetro para medir a espessura da placa separadora. Registre a medida.
3. Remonte a placa separadora e a placa superior do capacitor. Recoloque também a câmara de visualização e use o pino de alinhamento para alinhar os orifícios nas placas do capacitor.
4. Ligue a fonte de luz e visualize o pino de alinhamento através da ocular (telescópio) garantindo que o foco esteja sobre o pino. Após o alinhamento, remova o pino e recoloca a tampa da câmara.
5. Ajuste a tensão da fonte para 500 V. Use um multímetro digital para medir a tensão fornecida aos conectores das placas do capacitor.
6. Conecte o multímetro aos conectores do termistor na plataforma para medir a resistência do termistor embutido na placa inferior do capacitor e consulte a tabela de resistência do termistor localizada na plataforma para encontrar a respectiva temperatura. Ao longo do experimento, registre a temperatura da câmara periodicamente, a cada 15 min, por exemplo.

7. Mova a alavanca da fonte de ionização para *SPRAY DROPLET POSITION* e borrife o óleo na câmara observando o surgimento no interior das gotículas através da ocular. Após conseguir visualizar as gotículas, mova a alavanca da fonte de ionização para *OFF*.
8. Observando as gotas através da ocular, selecione uma gota que caia lentamente (cerca de 0,02 a 0,05 mm/s) quando o interruptor de carregamento da placa estiver na posição *Plates Grounded*, e que também pode ser deslocada para cima ou para baixo girando o interruptor de carregamento da placa *TOP PLATE -* ou *TOP PLATE +*. O ideal é que a gota demore menos de 15 s para se deslocar entre as linhas do quadriculado (0,5 mm). Se necessário ajuste a intensidade do brilho da fonte de luz e o foco para otimizar a visualização da gota selecionada.
9. Meça a velocidade de subida (quando as placas estão carregadas) e a velocidade de descida (quando as placas não estão carregadas) cerca de 20 a 40 vezes. Desloque a gota para cima e para baixo, conforme necessário, usando o interruptor de carregamento da placa. Use as linhas do quadriculado como referência, sendo a distância entre linhas igual a 0,5 mm.

## PÓS-LAB

1. Determine o raio  $r$  de cada gota a partir da Eq. (5). A viscosidade do ar deve ser determinada a partir da temperatura pela relação empírica:

$$\eta = 1.73 \times 10^{-5} \left( \frac{T_c + 273.15}{273.15} \right)^{0.75} \text{ Pa} \cdot \text{s} \quad (6)$$

sendo  $T_c$  a temperatura em graus Celsius. Já a pressão barométrica  $p$  deve ser consultada no site *Tábua de Mares* considerando o horário de realização do experimento. Lembre-se de converter a pressão para Pa.

2. A partir do valor de  $r$  calculado no item anterior, calcule a massa  $m$  de cada gota de óleo usando a Eq. (4).
3. A partir do valor de  $m$  calculado no item anterior, calcule a carga  $q$  em cada gota usando a Eq. (3).
4. Calcule a razão entre a carga  $q$  de cada gota e carga elementar  $e$ , sendo  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , ou seja, calcule  $q/e$ . Por fim, faça um gráfico histograma da distribuição de  $q/e$ . O histograma mostra a quantização da carga?