

MillikanPASCO

UFSC - Departamento de Física

Laboratório de Física Moderna -FSC5151

EXPERIÊNCIA DE MILLIKAN

OBJETIVOS

- a) Obter evidências sobre a quantização da carga elétrica.
- b) Determinar experimentalmente o valor de um quantum de carga e .

FUNDAMENTOS DA TEORIA

Em 1910, R. A. Millikan desenvolveu o método da gota de óleo para determinar experimentalmente o valor da carga elétrica do elétron, demonstrando que a carga elétrica não era um fluido, mas era composta de elementos discretos, com uma unidade fundamental.

O equipamento básico consiste de uma câmara capacitiva de placas paralelas e horizontais, a qual é alimentada por uma tensão DC sob controle do experimentador. Em um dispositivo para ionização, sobre a câmara capacitiva, vaporizam-se gotas de óleo que, por ação da radiação e/ou atrito com as paredes, adquirem carga elétrica. Uma abertura permite que as gotas alcancem, por gravidade, o espaço entre as armaduras da câmara capacitiva. Nesta região, com auxílio de uma fonte luminosa externa e um microscópio com escala graduada, as gotas tornam-se visíveis. Medidas do tempo de movimento das gotas sobre a escala graduada permitem determinar a velocidade das gotas. A distância entre os extremos desta escala graduada mede $D = 8,0 \times 10^{-4}$ m.

Examine-se as condições gerais de movimento da gota no interior da câmara capacitiva. Uma gota de óleo neste ambiente está submetida à ação de três diferentes forças: uma de origem elétrica F_E devido à tensão aplicada nas armaduras da câmara capacitiva, outra de origem gravitacional F_g e, finalmente, uma de resistência ao movimento F_r , devido à viscosidade do ar. *(Uma quarta força, seria a força de empuxo sobre a gota, mas ela é muito pequena comparada com as demais e será negligenciada).*

A análise das forças em consideração, F_E , F_g e F_r , deve permitir que se estabeleça uma relação funcional entre a carga da gota e o parâmetro experimental medido (a velocidade da gota v). Admitindo forma esférica para as gotas, podemos utilizar a lei de Stokes que relaciona a força retardadora (F_r) oferecida por um fluido viscoso ao movimento de uma esfera nele mergulhada:

$$F_r = 6\pi R\eta v \quad (1)$$

onde: R = raio da esfera;

η = viscosidade do fluido;

v = velocidade constante da esfera.

A força gravitacional (F_g) sobre a gota é:

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

sendo ρ a massa específica do óleo.

Finalmente, a força elétrica (F_E) sobre a gota é:

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

sendo V a tensão aplicada à câmara capacitiva, d a distância entre suas armaduras e q a carga elétrica da gota.

Admitindo-se velocidade constante para a gota, subentende-se que sua velocidade limite é alcançada instantaneamente. O intervalo de tempo gasto pela gota antes de entrar em regime estacionário (velocidade constante) é desprezível frente aos intervalos de tempo gastos pela mesma para percorrer a escala graduada vertical. Mais adiante o assunto será retomado.

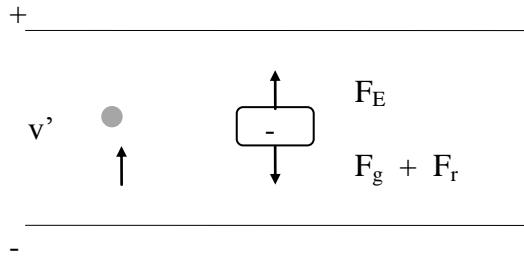
Considere-se dois casos distintos: uma gota com carga negativa e duas polaridades da câmara capacitiva. Nos esquemas abaixo admite-se que a força gravitacional tem o sentido “ para baixo “.

a) Velocidade ascendente (v')

equação de equilíbrio:

módulo das forças

$$F_E = F_g + F_r$$

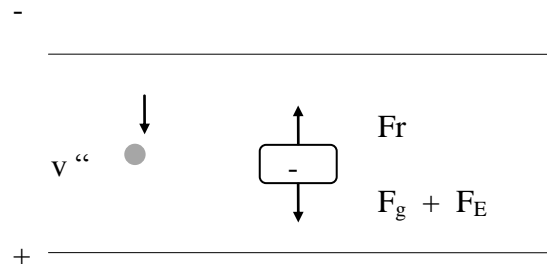


b) Velocidade descendente (v'')

equação de equilíbrio:

módulo das forças

$$F_r = F_g + F_E$$



Inicialmente arbitra-se o sentido de movimento da gota; o sentido do vetor F_r é oposto. O sentido do vetor F_E depende da polaridade da câmara capacitiva (e, é claro, do sinal da carga da gota).

De acordo com as equações de definição das forças acima, verifica-se a existência de uma incógnita, o raio R da gota, que pode ser expresso em função das velocidades limite v' e v'' :

$$R = \frac{3}{2} \left[\frac{(v''-v')\eta}{\rho g} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Assim se deduz pelas equações de equilíbrio que a carga da gota é dada por:

$$q = ne = \frac{9\pi d}{2V} \left[\frac{\eta^3(v''-v')}{\rho g} \right]^{\frac{1}{2}} (v'+v') \quad (5)$$

Na equação acima deve ser introduzido um fator de correção, uma vez que o raio das gotas ($R \cong 10^{-7}$ m) é da ordem de grandeza do livre caminho médio das moléculas do ar à pressão normal.

Esta correção, devida a Cunningham, é feita modificando a viscosidade do ar (η):

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

onde: η_c = viscosidade do ar corrigida

R = raio da gota de óleo

b = $8,22 \times 10^{-8}$ m (fator de correção de Cunningham)

A carga corrigida, q_c , obtida após substituição da eq. (6) na eq. (5), resulta:

$$q_c = \frac{9\pi d}{2V\sqrt{\rho g}} \left[\frac{\eta}{\left(1 + \frac{b}{R}\right)} \right]^{\frac{3}{2}} (v''-v')^{\frac{1}{2}}(v'+v') \quad (7)$$

$$\text{ou:} \quad q_c = q \left(1 + \frac{b}{R}\right)^{-\frac{3}{2}} \quad (8)$$

Considerando:

$d = 7,53 \times 10^{-3}$ m (distância entre as armaduras da câmara capacitiva utilizada na experiência);

$\eta = 18,32 \times 10^{-6}$ N s / m² (viscosidade do ar a 25 °C);

$\rho = 8,86 \times 10^2$ kg / m³ (massa específica do óleo);

$g = 9,81$ m / s² (aceleração da gravidade).

Utilizando as constantes numéricas fornecidas e as unidades do S.I., resulta:

$$R = 6,952 \times 10^{-5} (v'' - v')^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$q = 1,3186 \times 10^{-6} (R / V) (v'' + v') \quad (10)$$

$$q_c = q (1 + 8,22 \times 10^{-8} / R)^{-3/2} \quad (11)$$

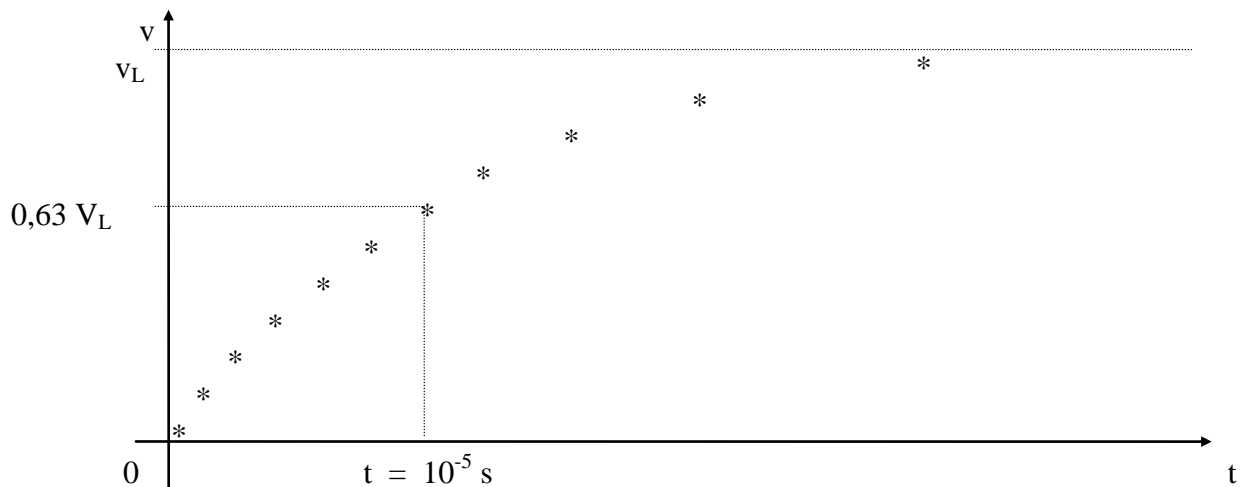
Retomando o problema da velocidade limite da gota, considere-se o caso de uma gota se movendo entre as placas do capacitor sem o campo elétrico aplicado (isto é, $V = 0$), a velocidade da gota em função do tempo é dada por:

$$v = \frac{mg}{6\pi R\eta} \left[1 - \exp\left(\frac{-6\pi R\eta t}{m}\right) \right] \quad (12)$$

onde: m = massa da gota; R = raio da gota; g = aceleração da gravidade e η = viscosidade do ar.

Na eq. (12), quando $t \rightarrow \infty, v \rightarrow \frac{mg}{6\pi R\eta} = v_{\text{limite}} = v_L$.

No gráfico abaixo tem-se a velocidade de uma gota em função do tempo. Para $t = 0$, a velocidade é zero, mas para t tendendo a infinito, ou tempos grandes, a velocidade se aproxima assintoticamente da velocidade limite V_L . O valor da constante $6\pi R\eta / m$ é da ordem de 10^5 , o que resulta na velocidade de 63% da velocidade limite para o tempo $t = 10^{-5}$ s. Verifica-se que “ tempos grandes “ são da ordem de frações de segundo. Para efeitos práticos, a gota atinge a velocidade limite instantaneamente.



Se houver um campo elétrico aplicado e a gota se mover no mesmo sentido do campo gravitacional, a sua velocidade em função do tempo será dada por:

$$v = \left[\frac{mg}{6\pi R\eta} + \frac{Vq}{6\pi R\eta d} \right] \left[1 - \exp\left(\frac{-6\pi R\eta t}{m}\right) \right] \quad (13)$$

Se $t \rightarrow \infty$, o primeiro termo entre parênteses representa a velocidade limite da gota. Para $V = 0$, resulta na situação descrita na eq. (12).

PRÉ - RELATÓRIO

1. Discuta os motivos pelos quais as armaduras da câmara capacitiva devem ser: a) paralelas; b) horizontais.
2. Utilizando as equações de definição de F_r , F_g , F_E e as condições de equilíbrio do caso ascendente e descendente, mostre como se obtém as equações (4) e (5).
3. Discuta o conceito de velocidade limite. Por que, para “efeitos práticos”, admite-se que ela é alcançada instantaneamente no presente caso?
4. Demonstre a eq. (12).
5. Se você puder aplicar um campo elétrico para baixo ou para cima e ainda desligá-lo, num capacitor de placas paralelas horizontais, explique como poderá saber: a) se uma gota está carregada ou não; b) o sinal da carga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. SHAMOS M.H. – Great Experiments in Physics; Dover 1.987.
2. Ver a página: www.pasco.com.

RELATÓRIO:

1. Preencha a Tabela I Faça um gráfico da carga em função do raio das gotas. Evidencie nele a quantização.
2. Selecione o valor de R em uma de suas medida para o cálculo das seguintes forças que agem sobre a gota: a)Força de Empuxo: F_e . b) Força Elétrica: F_E . c)Força Gravitacional: F_g .
3. Compare os valores de F_e , F_E e F_g e discuta a procedência de introduzir ou não a correção devida ao empuxo no presente caso.
4. O raio das gotas formadas é da ordem de 0,1 a 0,8 microns; o aumento do telescópio é de ~ 100 vezes, o olho humano não pode ver uma imagem de $100 \times 0,1 = 10$ microns; então qual o fenômeno que está ocorrendo na iluminação da gota? Por que esta iluminação deve ser lateral?
5. Por que, conceitual e operacionalmente, gotas com raios muito pequenos e muito grandes devem ser evitadas nas medidas?

