

---

## BASES EXPERIMENTAIS DA MECÂNICA QUÂNTICA

---

### DETERMINAÇÃO DE E/M PELO MÉTODO DE MILLIKAN

---

---

#### OBJETIVOS

---

Esta experiência tem por objetivo a verificação do caráter discreto da carga elétrica. Ele baseia-se na ação de um campo elétrico uniforme sobre gotículas de óleo eletrizadas, de modo a alterar as velocidades de queda e subida. Esse método foi proposto e conduzido por Robert A. Millikan em 1909, demonstrando que a carga elétrica é sempre um múltiplo inteiro de uma carga elementar: a carga do elétron. Pretende-se, pois, com esta experiência determinar a relação carga massa do elétron.

---

#### FUNDAMENTOS TEÓRICOS

---

A primeira tentativa de se determinar a carga do elétron deve-se a Townsend (1897), um estudante de J. J. Thomson, que utilizou gotas d'água ionizadas. Este método baseia-se na lei de Stokes. O problema deste método é a baixa acurácia (Por quê?).

O método utilizado por Robert Millikan permite a determinação da carga do elétron de modo bastante preciso. Ao invés de utilizar vapor d'água, Millikan empregou gotas de óleo ionizadas que podiam ser confinadas entre as placas de um capacitor carregado, cujo campo elétrico uniforme, vertical, podia ter o sentido alterado. Medindo-se os tempos de subida e descida, Millikan calculou as respectivas velocidades de subida e de descida, que tem uma relação direta com a relação e/m.

Em geral cada gota é submetida às seguintes forças:

1. Força elétrica:  $\vec{F}_e = q\vec{E}$ , sendo  $q = n^*e$ ,  $e$  a carga do elétron ( $1,6 \times 10^{-19}$  C).  $E = \frac{V_p}{d}$ ,

onde  $V_p$  é a diferença de potencial entre as placas e  $d$  a distância entre elas. Portanto:

$$\vec{F}_e = q \frac{V_p}{d}.$$

2. Força gravitacional:  $\vec{F}_g = m\vec{g}$ , sendo  $m = V \rho$ , onde  $\rho$  é a densidade do óleo e  $V$  é o volume da gotícula.

Para este experimento vamos considerar que as gotículas são esferas perfeitas, portanto

$$V = \frac{4}{3}\pi a^3, \text{ sendo } a \text{ o raio de cada gotícula. Portanto } \vec{F}_g = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho \vec{g}$$

3. Força viscosa ou de Stokes:  $\vec{F}_s = -6\pi a \eta \vec{v}$ , em que  $\vec{v}$  é a velocidade da gotícula e  $\eta$  é a constante de viscosidade do ar.

4. Empuxo hidrostático pelo fato da gota estar imersa no ar:  $E = -\frac{4}{3}\pi a^3 \sigma \vec{g}$ , em que  $\sigma$  é a densidade do ar. Esta, em geral, é desprezível.

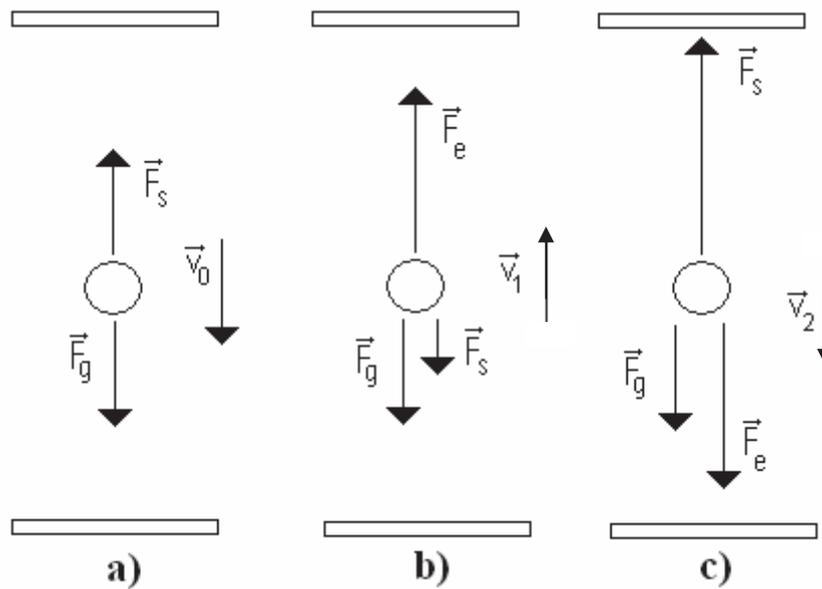


Figura 1 – Esquema das forças atuantes na gotícula de óleo, carregada positivamente: a) sem campo elétrico, b) com campo elétrico no sentido oposto à força gravitacional, c) com campo elétrico no sentido da força gravitacional.

Destes esquemas podemos tirar três equações:

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho g = 6 \pi a \eta v_0 \quad (1)$$

$$qE - \frac{4}{3}\pi a^3 \rho g = 6 \pi a \eta v_1 \quad (2)$$

$$qE + \frac{4}{3}\pi a^3 \rho g = 6 \pi a \eta v_2 \quad (3)$$

Fazendo algumas manipulações algébricas obtemos as seguintes equações:

$$q = 6\pi \frac{d}{V} (v_1 + v_0) \sqrt{\frac{9 \eta^3 v_0}{2 \rho g}} \quad (4)$$

$$q = 6\pi \frac{d}{V} (v_2 - v_0) \sqrt{\frac{9 \eta^3 v_0}{2 \rho g}} \quad (5)$$

Durante as experiências, Millikan observou que o valor da carga parecia depender do tamanho da gotícula e da pressão do ar. Suspeitou, assim, que a dificuldade estava relacionada à validade da lei de Stokes, a qual não se verificava para gotas muito pequenas.

Na verdade quando o diâmetro da gota é comparável ao livre caminho médio no ar, a viscosidade (na lei de Stokes) deve ser substituída pela expressão:

$$\eta(T) = \eta_0(T) \left[ 1 + \frac{b}{aP} \right]^{-1} \quad (6)$$

em que  $\eta_0(T)$  é a viscosidade do ar seco em função da temperatura (veja Fig. 2),  $P$  é a pressão atmosférica em cm de Hg e  $b$  é uma constante com valor de  $6,17 \times 10^{-4}$ .

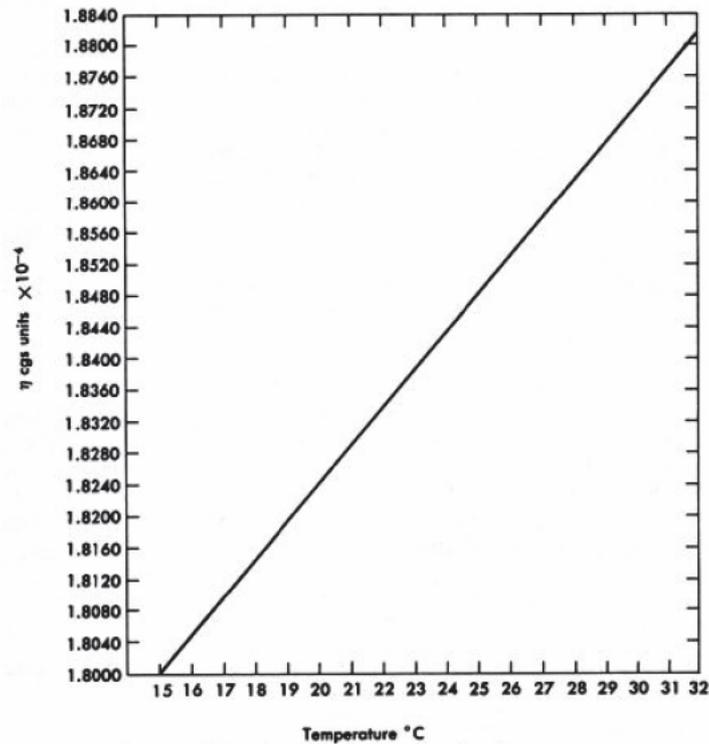


Figura 2 – Viscosidade do ar seco em função da temperatura.

Substituindo a equação (6) em (4) e (5) obtemos as seguintes expressões para as gotículas:

$$q = 6\pi \frac{d}{V} (v_1 + v_0) \left(1 + \frac{b}{aP}\right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{9 \eta_0^3 v_0}{2 \rho g}}$$

$$q = 6\pi \frac{d}{V} (v_2 - v_0) \left(1 + \frac{b}{aP}\right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{9 \eta_0^3 v_0}{2 \rho g}}$$

---

#### APARELHAGEM UTILIZADA

---

1. Capacitor de placas paralelas, com distância conhecida, e fechado lateralmente por lâminas de vidro.
2. Óleo.
3. Borrifador comum.
4. Sistema de iluminação.
5. Microscópio posicionado na horizontal para visualização das gotas.
6. Fonte de tensão para o capacitor.
7. Cronômetro
8. Multímetro de escala adequada.
9. Régua e paquímetro.

---

#### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

---

Observe as marcas na objetiva do microscópio. Estas marcas irão auxiliar para a obtenção das velocidades.

Com o capacitor descarregado, borrife o óleo sobre o orifício entre as placas e observe o movimento das gotículas através do microscópio. Evite a borrifar muito para que não ocorra a nebulização, e dificulte a visão das gotas, e que também acabe obstruindo o furo sobre os capacitores.

Após isso focalize a luz lateral de forma que possamos visualizar as gotas de óleo e ajuste o foco da objetiva. Para ajustar o foco da objetiva, introduza um “fio de cobre ou fio de cabelo” (**COM O CAPACITOR DESCARREGADO!**) no orifício do capacitor e ajuste de forma que o veja bem. Lembre-se a imagem que veremos será invertida.

Escolha uma gota e marque o tempo quanto tempo esta leva para atravessar as marcas na objetiva.