

238 – Experimento de Millikan Determinação da Carga do Elétron



Roteiro elaborado com base na documentação que acompanha o conjunto por:

Maximo F. da Silveira - UFRJ

Tópicos relacionados

Campo elétrico, viscosidade, lei de Stoke, método goticular, carga do elétron.

Princípio

Gotículas de óleo carregadas, submetidas à ação da gravidade e de um campo elétrico entre as placas de um capacitor, são aceleradas pela aplicação de uma tensão. A carga elementar é determinada a partir das medidas de velocidades de descida e subida das gotículas.

Equipamento

Base tripé -PASS-	02002.55	1
Tubo	02060.00	1
Nível circular	02122.00	1
Cronômetro, digital, 1/100s	03071.01	1
Chave comutadora	06034.03	1
Cabo de conexão, 32A, 25 cm, vermelho.	07360.01	1
Cabo de conexão, 32A, 75 cm, vermelho.	07362.01	1
Cabo de conexão, 32A, 75 cm, amarelo.	07362.02	1
Cabo de conexão, 32A, 75 cm, azul	07362.04	1

Cabo de conexão, 32A, 75 cm, preto	07362.05	2
(Fonte radioativa, Am-241, 74kBq)	09047.51	1)
Aparatos de Millikan	09070.00	1
Fonte de alimentação, 0...600 VDC e	13672.98	1
FlexCam básica	42446.2C	1
Micrometro de estágios, 1 mm - 100 div.	62046.00	1
Lâminas de vidro p/ proteção - 18x18 mm, 50 pcs.	64685.00	1

Problemas

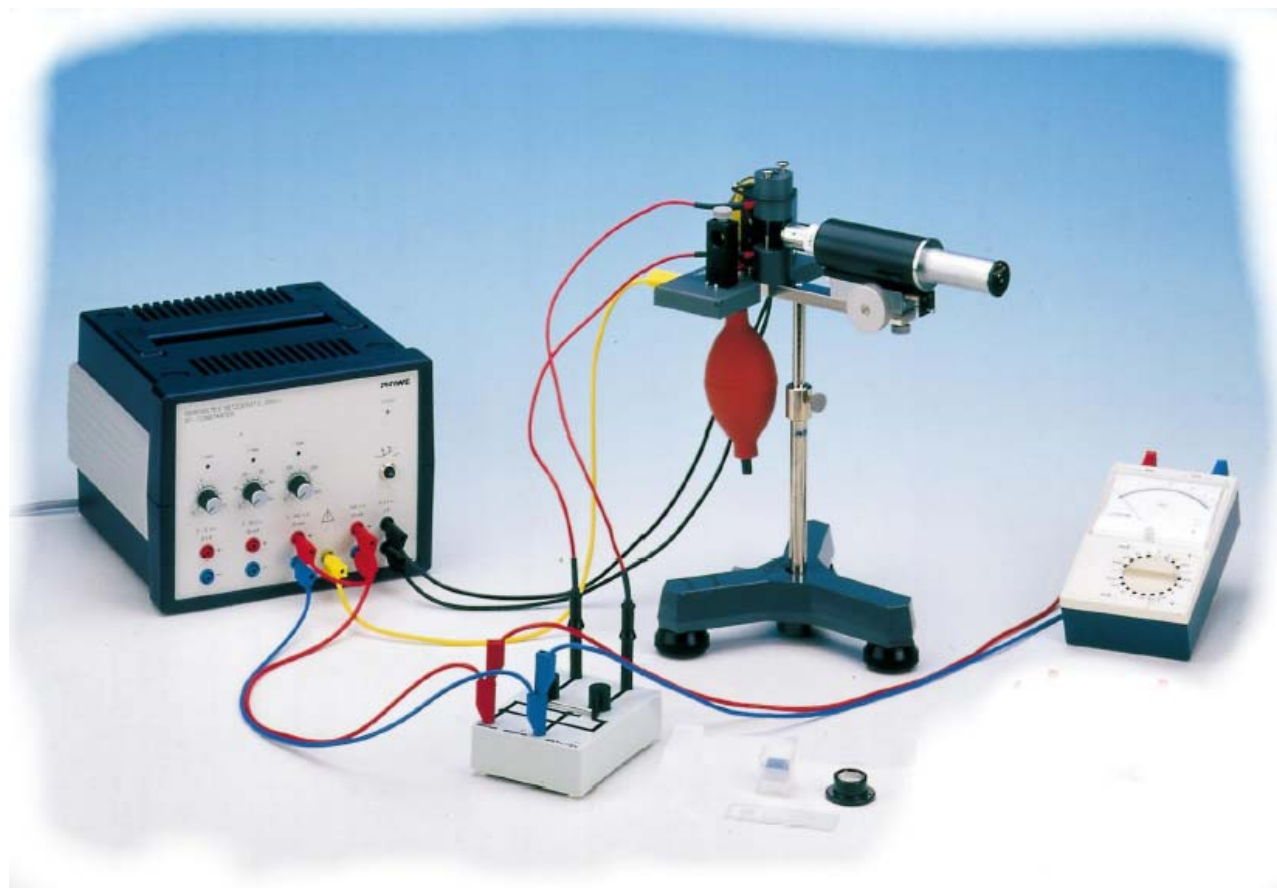
1. Medição dos tempos de subida e descida das gotículas de óleo, com diferentes cargas e em diferentes tensões.
2. Determinação dos raios e da carga das gotículas.

Montagem e procedimentos

A montagem experimental pode ser vista na Fig. 1. A fonte de alimentação fornece as tensões necessárias para o aparato Millikan. O sistema de iluminação é ligado às saídas de 6,3 V - AC.

Calibra-se inicialmente o micrômetro da ocular. Liga-se a saída de tensão fixa (300 Vdc) em série com a de tensão variável (0...300 V-DC) de modo a se obter tensões superiores a 300 V-DC. A chave comutadora é usada para inverter as polaridades do capacitor.

Fig. 1: Montagem experimental para determinação da carga elementar com o aparato de Millikan.



238 – Experimento de Millikan Determinação da Carga do Elétron



- Ajuste a tensão do capacitor para um valor entre 300 e 500 V.
- Borrife gotículas de óleo entre as placas do capacitor com o soprador manual do aparato.
- Observando pela luneta selecione uma gotícula em particular e, atuando com a chave comutadora, faça a gotícula se mover entre as graduações mais alta e mais baixa do micrômetro ocular. Corrija o foco do microscópio se necessário.

Observe os seguintes critérios ao selecionar uma gotícula:

- A gotícula não deve se mover muito rapidamente (deve se deslocar 30 div. em 1 ou 3 s), ou seja, deve possuir uma pequena carga.
- A gotícula não deve ser mover muito lentamente e não exibir movimentos enviesados. Aumente a tensão do capacitor nessas situações.
- Some os tempos de algumas subidas com o primeiro cronômetro.
- Some os tempos de algumas descidas com o segundo cronômetro.
- Os tempos somados devem ser superiores a 5 s em ambos os casos.

Teoria e desenvolvimento

São observados os movimentos de subida e descida de uma gotícula de óleo carregada no campo elétrico de um capacitor e as respectivas velocidades determinadas.

Velocidade de descida	v_1
Velocidade de subida	v_2
Tensão do capacitor	U
Carga na gotícula	$Q = n \cdot e$
Raio da gotícula	r
Separação das placas do capacitor	$d = 2,50 \pm 0,01 \text{ mm}$
Densidade do óleo de silicone	$\rho_1 = 1,03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Viscosidade do ar	$\eta = 1,82 \times 10^{-5} \text{ kg(m.s)}^{-1}$
Aceleração da gravidade	$g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$
Densidade do ar	$\rho_2 = 1,293 \text{ kg/m}^3$

A força F , experimentada por uma esfera de raio r e velocidade v , em um meio fluido de viscosidade η , é dada por:

$$F_S = 6\pi r \cdot \eta \cdot v \quad (\text{Lei de Stoke}) \quad (1)$$

A gota esférica de massa m , volume V e densidade ρ_1 está também submetida ao campo gravitacional terrestre,

$$F_G = m \cdot g = \rho_1 V \cdot g \quad (2)$$

A força de empuxo é dada por:

$$F_E = \rho_2 V \cdot g \quad (3)$$

E a força devida ao campo elétrico do capacitor

$$F_Q = Q \cdot E = Q \cdot U/d \quad (4)$$

As velocidades de descida e subida são obtidas em regime de equilíbrio, ou seja, quando a resultante das forças que atuam sobre a partícula carregada for nula.

$$v_1 = \frac{1}{6\pi\eta} \left[Q \cdot E + \frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho_1 - \rho_2) \right] \quad (5)$$

$$v_2 = \frac{1}{6\pi\eta} \left[Q \cdot E - \frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho_1 - \rho_2) \right] \quad (6)$$

Subtraindo e somando as eqs. (5) e (6) obtemos a carga Q e o raio r das gotículas:

$$Q = C_1 \cdot \frac{v_1 + v_2}{U} \sqrt{v_1 - v_2} \quad (7)$$

onde: $C_1 = \frac{9}{2} \pi d \cdot \sqrt{\frac{\eta^3}{g(\rho_1 - \rho_2)}}$

$$C_1 = 2,73 \times 10^{-11} \text{ kg.m (m.s)}^{-1/2}$$

$$r = C_2 \cdot \sqrt{v_1 - v_2} \quad (8)$$

onde: $C_2 = \frac{3}{2} \cdot \sqrt{\frac{\eta}{g(\rho_1 - \rho_2)}}$

$$C_2 = 6,37 \times 10^{-5} \text{ (m.s)}^{1/2}$$

Calibração do micrômetro ocular:

Escala com 30 div. = 0,89 mm

As medidas dos tempos de descida e subida para 20 gotículas diferentes estão organizados na Tabela 1.

O gráfico da Fig. 2 demonstra que as gotículas possuem carga Q cujos valores são múltiplos da carga elementar e

$$Q = n \cdot e$$

Tomando a média, como valor mais provável para a carga elementar, obtemos

$$e = 1,68 \times 10^{-19} \text{ A.s}$$

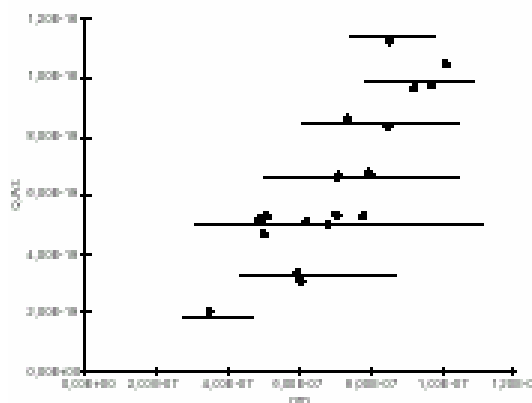


Fig. 2: Medidas de várias gotículas para determinação da carga elementar pelo método de Millikan.

238 – Experimento de Millikan Determinação da Carga do Elétron



U (V)	t_1 (s)	s_1 div.	t_2 (s)	s_2 div.	s_1 (mm)	s_2 (mm)	$10^4 \cdot v_1$ (m/s)	$10^4 \cdot v_2$ (m/s)	$10^4 (v_1 - v_2)$ (m/s)	$10^7 \cdot r$ (m)	$10^{19} \cdot Q$ (As)	n	$10^{19} \cdot e$ (As)
300	9,6	150	13,5	150	4,45	4,45	4,64	3,30	1,34	7,37	8,54	5	1,71
300	7,0	90	11,2	120	2,67	3,56	3,81	3,18	0,636	5,08	5,19	3	1,73
300	5,8	90	7,1	60	2,67	1,78	4,60	2,51	2,10	9,22	9,57	6	1,60
300	7,4	90	8,8	60	2,67	1,78	3,61	2,02	1,59	8,02	6,59	4	1,65
300	6,9	90	8,2	90	2,67	2,67	3,87	3,26	0,613	4,99	5,19	3	1,73
300	5,6	90	8,0	60	2,67	1,78	4,77	2,23	2,54	10,2	10,4	6	1,73
400	6,9	90	9,8	90	2,67	2,67	3,87	2,72	1,15	6,82	4,92	3	1,64
400	6,4	90	8,3	90	2,67	2,67	4,17	3,22	0,955	6,23	5,04	3	1,68
400	5,0	90	5,0	60	2,67	1,78	5,34	3,56	1,78	8,50	8,28	5	1,66
400	7,0	120	7,9	120	3,56	3,56	5,09	4,51	0,579	4,85	5,09	3	1,70
400	6,0	60	8,5	60	1,78	1,78	2,97	2,09	0,873	5,95	3,30	2	1,65
400	5,5	90	7,4	90	2,67	2,67	4,85	3,61	1,25	7,11	6,59	4	1,65
400	4,7	60	7,8	60	1,78	1,78	3,79	2,28	1,51	7,82	5,19	3	1,73
400	5,2	120	10,6	180	3,56	5,34	6,85	5,04	1,81	8,57	11,1	7	1,59
400	6,5	60	9,7	60	1,78	1,78	2,74	1,84	0,903	6,05	3,03	2	1,52
500	6,4	120	7,2	120	3,56	3,56	5,56	4,94	0,618	5,01	4,61	3	1,54
500	5,5	90	9,8	120	2,67	3,56	4,85	3,63	1,22	7,04	5,23	3	1,74
500	5,2	60	5,7	60	1,78	1,78	3,42	3,12	0,300	3,49	2,00	1	2,00
500	6,4	120	8,9	120	3,56	3,56	5,56	4,00	1,56	7,96	6,67	4	1,67
500	5,2	120	5,9	90	3,56	2,67	6,85	4,53	2,32	9,70	9,67	6	1,61

Tabela 1: Medições de várias gotículas para determinação da carga elementar pelo método de Millikan: t_1 e t_2 são os tempos de descida e subida das gotículas.

Alteração da carga

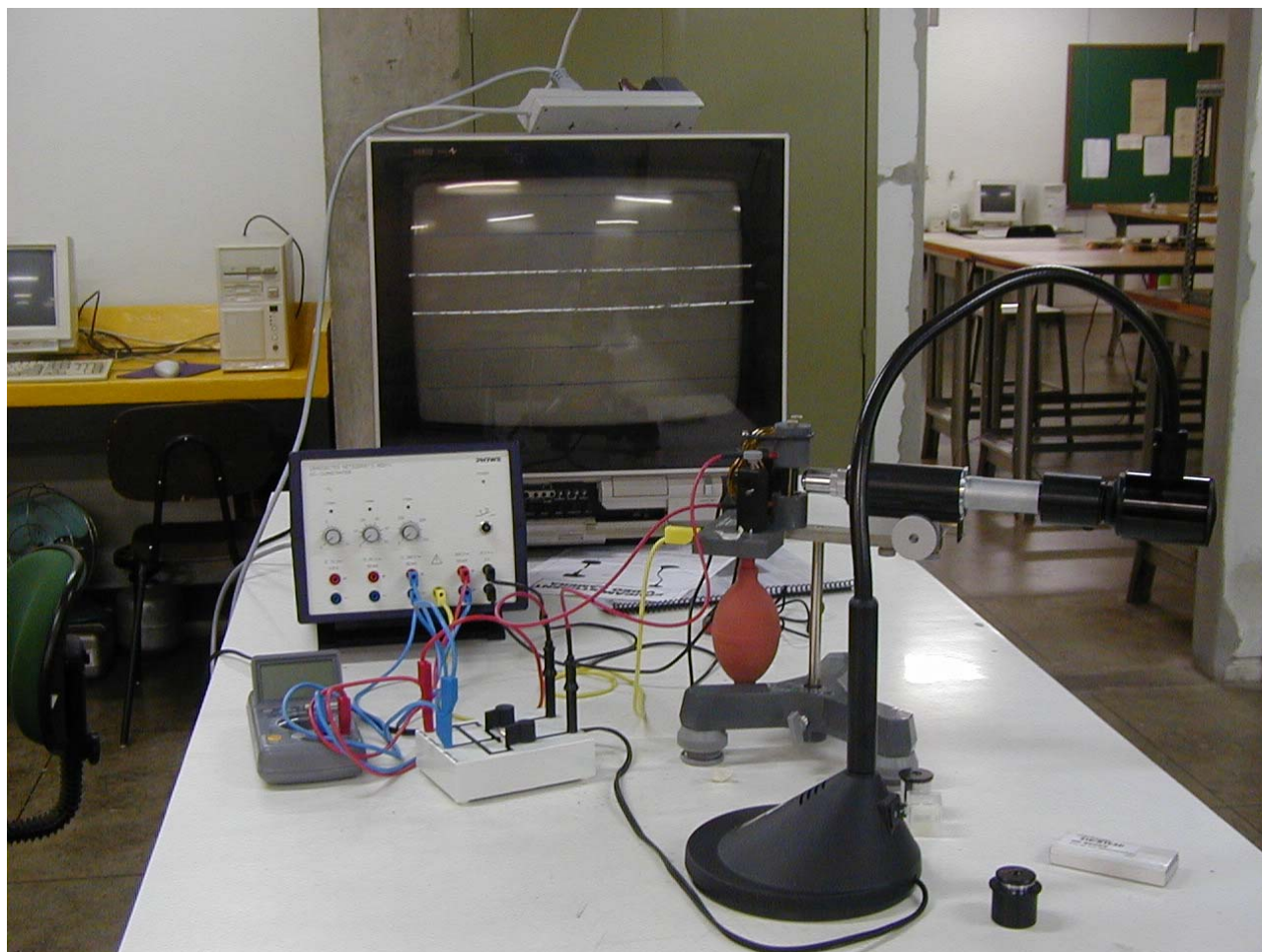
Com uma fonte radioativa (p.e. Am 241, 74 kBq) a carga das gotículas de óleo na câmara do capacitor pode ser alterada. A fonte radioativa deve ser posicionada em frente a janela de mica da unidade Millikan que é transparente às partículas α .

Observação com câmera de vídeo

Pode-se usar uma câmera de vídeo, no lugar do olho humano, para demonstração e observação do movimento das gotículas. As medidas de tempo do movimento tornam-se mais fáceis, e em geral mais acuradas, devido à melhor visibilidade. A intensidade de luz do dispositivo de iluminação do próprio aparato é suficiente para a observação com a câmera de vídeo.



Figura. Começo do ajuste p/ observação das gotas pela câmera de vídeo. UFES – Vitória.



Montagem do experimento de Millikan utilizando a Flex-cam para observação das gotas. (UFMG-Belo Horizonte)
Observação: os multímetros não estão inclusos no conjunto fornecido.