

# EXPERIMENTO DE MILLIKAN

Nilberto H. Medina

IFUSP 2011

[medina@if.usp.br](mailto:medina@if.usp.br)

Philippe Gouffon

IFUSP 2013

[pgouffon@if.usp.br](mailto:pgouffon@if.usp.br)

# ROBERT A. MILLIKAN

---



22/03/1868 Morrison, Illinois (USA)

19/12/1953 Pasadena , California

Columbia University: PHD em 1895

University of Chicago, 1896 a 1921

Caltech, 1921 a 1945

## Físico experimental habilidoso:

- Carga do elétron: Physical Review 2(1913)109
- Efeito fotoelétrico: Phys. Rev. 7 (1916) 355
- Cunhou o termo Raios Cósmicos

## Prêmio Nobel 1923

*"for his work on the elementary charge of electricity and on the photoelectric effect".*



# HISTÓRICO

Joseph .J. Thomsom descobre a existência do elétron (1897) ( *tubo de raios catódicos*, mede  $e/m$ )  
Laboratório Cavendish, Universidade de Cambridge, Inglaterra. (Prêmio Nobel em 1906)

J.J. Thomsom e H.A. Wilson (1903) (*câmara com vapor saturado*)  
medida da carga elétrica  $q = 1,04 \times 10^{-19} \text{ C}$

R.A. Millikan (1908)

$q = 1,3 \times 10^{-19} \text{ C}$  (Método I – *câmara de neblina*) Phys.Mag. XIX (1910) 209

A new modification of the cloud method of determining the elementary electrical charge and the most probable value of that charge

$q = 1,56 \times 10^{-19} \text{ C}$  (Método II – *gota d'água isolada*) Science 32 (1910) 436

The isolation of an ion, a precision measurement of its charge, and the correction of Stoke's law

**Conclusão: Os valores das cargas eram múltiplos exatos da menor carga**

$q = 1.592 \times 10^{-19} \text{ C}$  (Método III - *gota de óleo*, com Harvey Fletcher)

Physical Review 2(1913)109 On the Elementary Electric charge and the Avogadro Constant

- valor atual (PDG – 2013)  $e = 1.602\ 176\ 565(35) \times 10^{-19} \text{ C}$

# OBJETIVOS

Verificar a natureza quântica da carga elétrica

Determinar a carga do elétron

Analisar o método de medida

Identificar os fatores experimentais que interferem na experiência

Aula 1 — Procedimento experimental

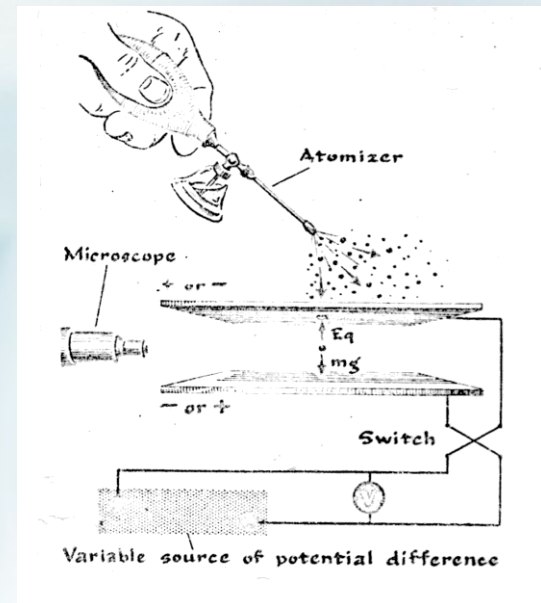
Tomada de dados

Aula 2 — Análise de dados (incertezas)

Tomada de dados

Aula 3 — Artigo científico (relatório)

Tomada de dados



# O EXPERIMENTO

---

Observação do movimento de gotas de óleo sob a influência de um campo elétrico



[Ver fotos](#)

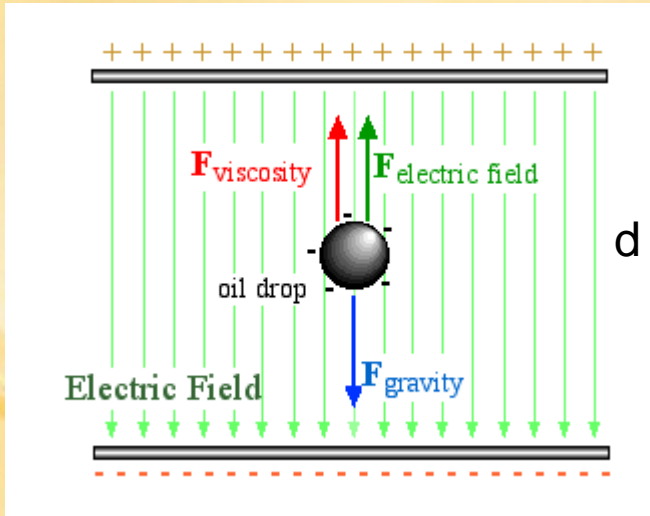


# VIDEO (WEBCAM CONTROL)

---



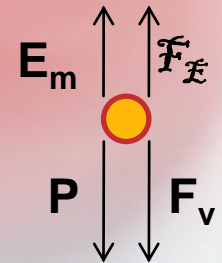
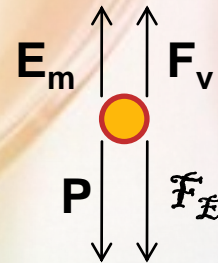
# ANÁLISE DO MOVIMENTO DAS GOTAS DE ÓLEO



descida

$$F_v = -6\pi\eta av$$

subida



$$m_{gota}g - m_{ar}g - 6\pi\eta av_d + qE = 0$$

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho_o g - \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_{ar} g - 6\pi\eta av_d + qE = 0$$

$$a^2 = \frac{9}{4}\eta \frac{(v_d - v_s)}{g(\rho_o - \rho_{ar})}$$

$$q = \frac{3\pi\eta a(v_s + v_d)}{E} \quad E = \frac{V}{d}$$

$$\frac{4}{3}\pi a^3 (\rho_o - \rho_{ar})g - 6\pi\eta av_d + qE = 0$$

$$\frac{4}{3}\pi a^3 (\rho_o - \rho_{ar})g + 6\pi\eta av_s - qE = 0$$

$$q = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$q = 4,803 \times 10^{-10} \text{ statC}$$

$$1V = 1/300 \text{ statV (CGS)}$$



# CUIDADOS EXPERIMENTAIS

$$\rho_{\text{oleo}} = 0,848(3) \text{ g/cm}^3$$

Desmontar o capacitor e fazer uma limpeza com álcool isopropílico

Montar o capacitor. Verificar alinhamento e nivelamento das placas. Medir a distância  $d$ .

Verificar a altura da câmara. Fazer as ligações elétricas apropriadas.

**Usar o fio de cobre para focalizar e ajustar o contraste do video.**

**A iluminação é muito importante ! Fio deve estar bem brilhante.**

Usar programa *webcam control* para as filmagens (30 quadros/s inicialmente e 4 q/s para aquisição)

Aplicar o campo em uma direção e em outra direção para selecionar as gotas de interesse.

Estimar o tamanho das gotas (gotas da ordem de  $5 \times 10^{-5}$  cm).

As gotas de interesse devem ser as que têm menores cargas e menores raios.

Com  $V=0V$  as gotas mais leves (**menores**) caem mais devagar. (Lembrem-se do experimento de Física Experimental II)

Tomar cuidado com gotas muito pequenas devido ao Efeito Browniano.

Aplicar campos elétricos mais intensos. Não borrifar muito óleo.

Fazer uma foto, com a mesma focalização do **PADRÃO** . Usar papel branco na parte traseira.

Durante as medidas tampar os 3 furos do capacitor e possíveis aberturas. **Deslizar a moeda.**

**Evitar falar próximo ao equipamento, não se movimentar muito na sala, cuidado ao abrir e fechar a porta, etc.**

Cada grupo deve fazer o estudo de no mínimo 30 gotas durante as três aulas.

Aula 1: Aprender a medir corretamente o movimento das gotas de óleo.

Minimizar as incertezas experimentais.

**INFORMAÇÕES IMPORTANTÍSSIMAS:**

**CALIBRAÇÃO COM O PADRÃO, TENSÃO APLICADA, DISTÂNCIA ENTRE AS PLACAS, TEMPERATURA E PRESSÃO.**



# ANÁLISE DAS TRAJETÓRIAS



## Programa VideoPoint 2.5

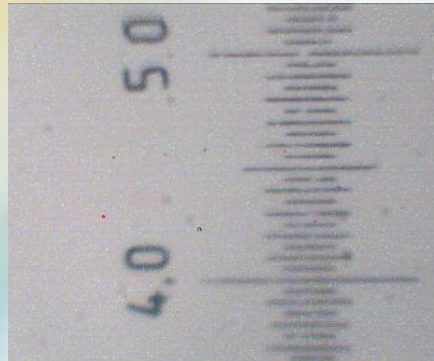
Abrir o arquivo de video (webcam control) e marcar as trajetórias.

Os pontos em pixels podem ser salvos para serem analisados por outros programas ou então pode ser feito um ajuste de retas para determinar a velocidade em pixels/s.

Opção: View => *New graph*

Graph Edit/fit => velocidade em pixels/seg.

Usar a imagem do padrão feita com o programa webcam control para transformar a velocidade em mm/s



• **Fazer o cálculo de pelo menos uma gota (carga e raio) para a próxima aula**

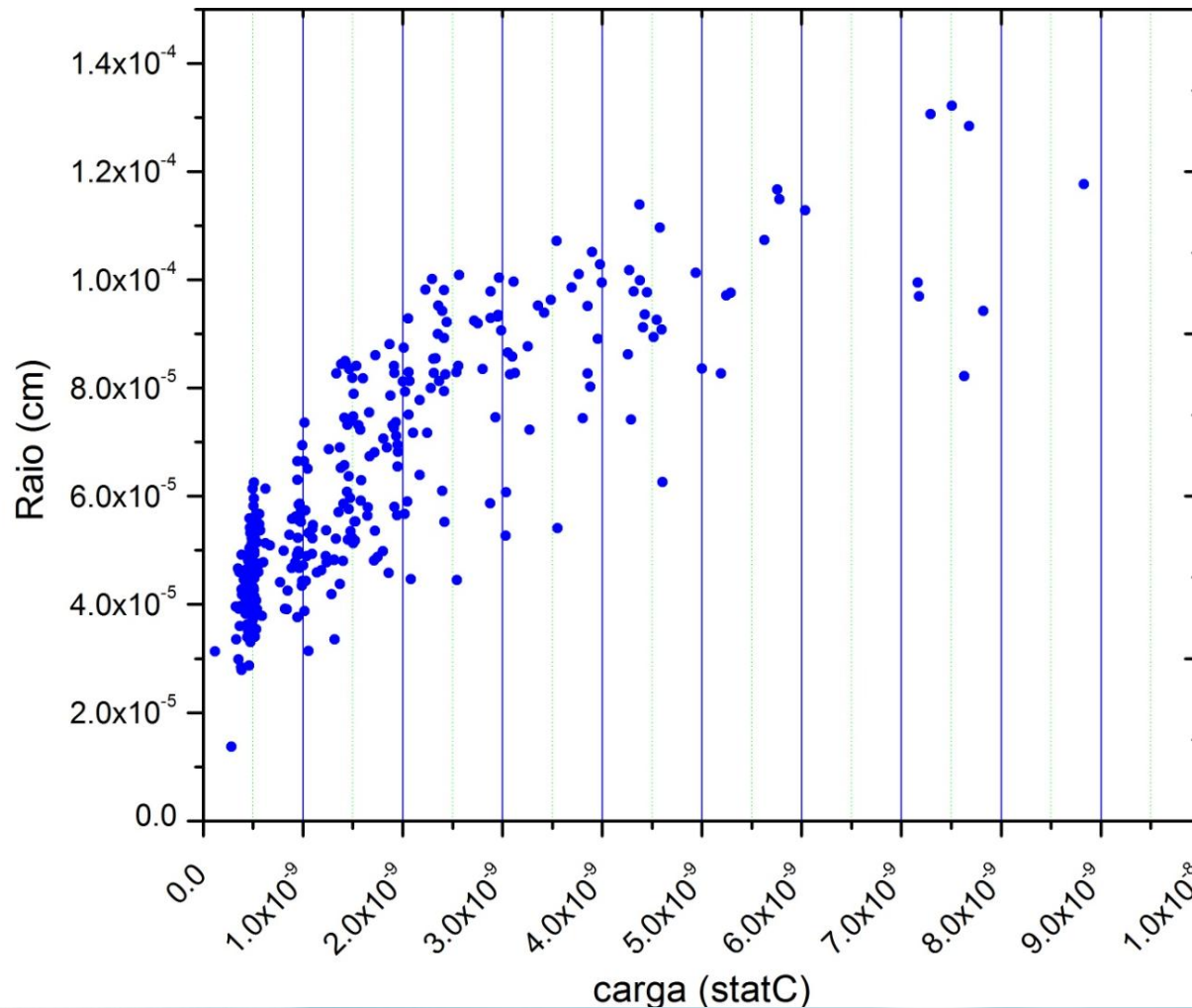
• Enviar ao professor um arquivo Excel com as seguintes informações, em colunas diferentes:

tensão aplicada, L(cm), L(pix),  $V_s$  e  $V_d$  em pixels/seg

• Breve discussão sobre a incerteza na carga

• Análise dos dados do grupo e também dos resultados de todos os grupos da sala.

# CORRELAÇÃO DA CARGA E O RAIO DA GOTA



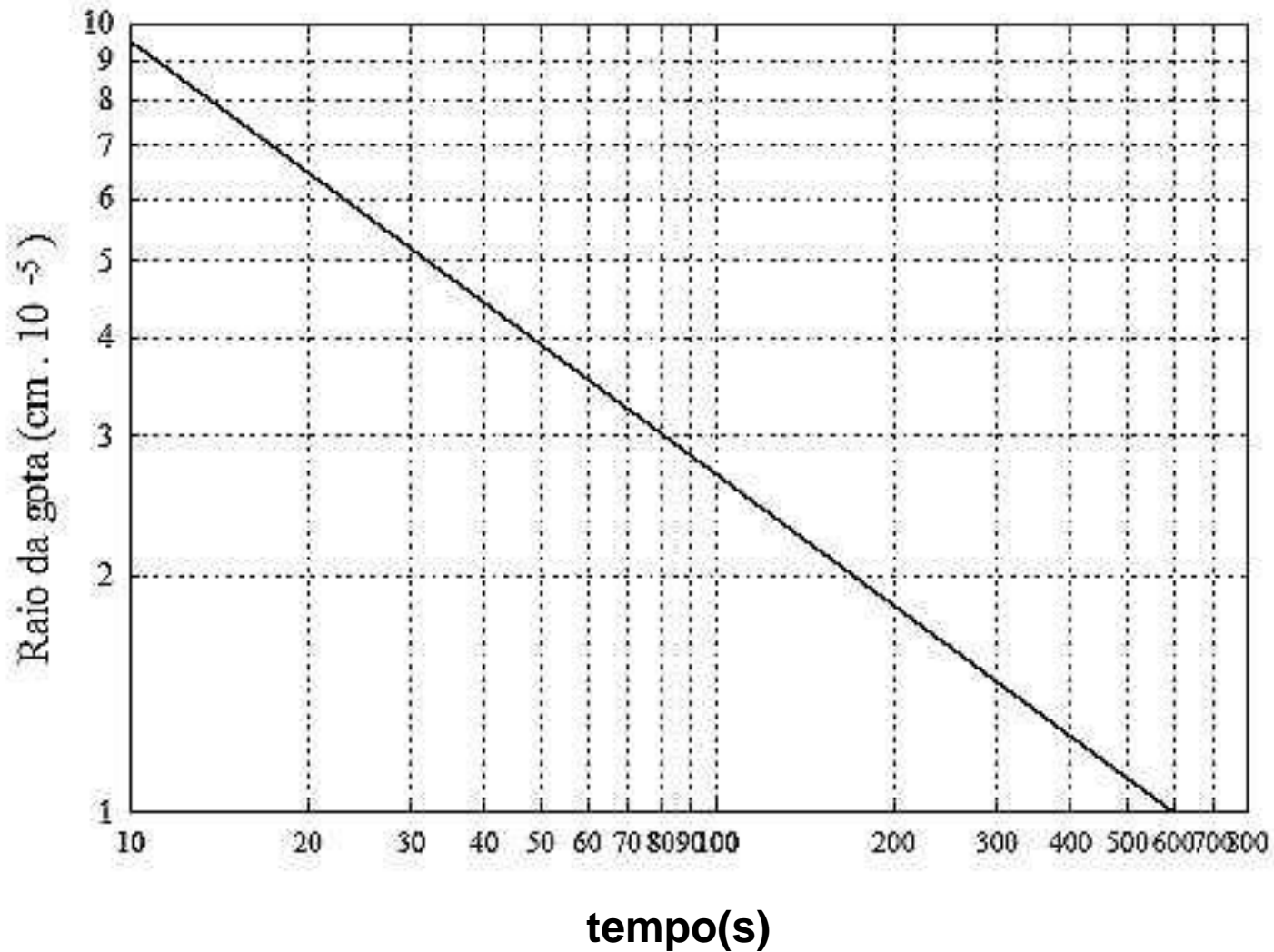
$$q = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$q = 4,803 \times 10^{-10} \text{ statC}$$

$$IV = 1/300 \text{ statV (CGS)}$$



# RAIO DA GOTA E O TEMPO DE QUEDA



# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. H. Fletcher - "My work with Millikan on the oil-drop experiment". Physics Today, June 1982, p. 43 (publicação póstuma).
2. R. A. Millikan - "The isolation of an ion, a precision measurement of its charge, and the correction of Stoke's Law". Science, 30 september 1910.
3. R. A. Millikan & H. Fletcher - "Causes ar apparent discrepancies and recent work on the elementary electrical charge". Phys. Z., January 1911.
4. H. Fletcher - "Some contributions to the theory of Brownian movements, with experimental applications". Phys. Z., January 1911.
5. R. A. Millikan & H. Fletcher - "The question of valence in gaseous ionization". Phil. Mag., June 1911.
6. H. Fletcher - "A verification of the theory of Brownian movements and a direct determination of the value for Ne gaseous ionization". Phys. Rev., August 1911, and Le radium, 1 July 1911.
7. Melissinos - "Experiments in Modern Physics".
8. Harnwell & Livingood - "Experimental Atomic Physics".
9. R. A. Millikan - "Electrons ( positive and negative)".
10. Enge, Vehr & Richards - "Introduction to Atomic Physics".
11. Kapusta - "Best measuring time for a Millikan oil drop experiment". American Journal of Physics 43 [91, 799 (1975)
12. C. N. Wall & F. E. Christensen - "Dual-purpose Millikan experiment with polystyrene spheres". American Journal of Physics 43 [5], 408 (1975).
13. S. La Rue, J. D. Phillips & W. H. Fairbank - "Observation of fractional charge of  $(1/3)e$  on matter". Phys. Rev. Letters 46 [15], 967 (1981).
14. W. H. Fairbank, Jr. & S. Franklin - "Did Millikan observe fractional charges on oil drops?". American Journal of Physics, 50 [51, 394 [1982).
15. Y. W. Kim & P. D. Fedele - "Evidence for failure of Millikan's law of particle fall in gases". Phys. Rev. Letters, 48 [61], 403 (1982).
16. Apostila do Laboratório de Estrutura da Matéria e Física Moderna (2º semestre de 1986) – "O Movimento Browniano". p. 35 e referências.
17. O.A.M. Helene & V. R. Vanin - "Tratamento estatístico de dados em Física Experimental".
18. **N. M. Mar et al., "Improved search for elementary particles with fractional electric charge" Phys. Rev. D 53 (1996) 6017**
19. **V. Halyo et al., "Search for Free Fractional Electric Charge Elementary Particles Using an Automated Millikan Oil Drop Technique", Phys.Rev. Lett. 84 (2000) 2576.**



# PHYSICAL REVIEW D 53 (1996) 6017

PHYSICAL REVIEW D

VOLUME 53, NUMBER 11

1 JUNE 1996

## Improved search for elementary particles with fractional electric charge

Nancy M. Mar, Eric R. Lee, George R. Fleming,\* Brendan C. K. Casey,<sup>†</sup> Martin L. Perl, and Edward L. Garwin  
*Stanford Linear Accelerator Center, Stanford, California 94309*

Charles D. Hendricks  
*W. J. Schafer Associates, Livermore, California 94550*

Klaus S. Lackner  
*Theoretical Division, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico 87545*

Gordon L. Shaw  
*Department of Physics, University of California, Irvine, California 92717*  
(Received 27 December 1995)

We have devised and demonstrated the successful operation of a low-cost, high-mass throughput technique capable of performing bulk matter searches for fractionally charged particles based on an improved Millikan liquid drop method. The method uses a stroboscopic lamp and a charge coupled device video camera to image the trajectories of silicone oil drops falling through air in the presence of a vertical, alternating electric field. The images of the trajectories are computer processed in real time, the electric charge on a drop being measured with an rms error of 0.025 of an electron charge. This error is dominated by Brownian motion. In the first use of this method, we have looked at 5 974 941 drops and found no evidence for fractional charges in 1.07 mg of oil. With 95% confidence, the concentration of isolated quarks with  $\pm 1/3e$  or  $\pm 2/3e$  in silicone oil is less than one per  $2.14 \times 10^{20}$  nucleons. [S0556-2821(96)00411-0]

## **Search for Free Fractional Electric Charge Elementary Particles Using an Automated Millikan Oil Drop Technique**

V. Halyo, P. Kim, E. R. Lee, I. T. Lee, D. Loomba, and M. L. Perl

*Stanford Linear Accelerator Center, Stanford, California 94309*

(Received 27 October 1999)

We have carried out a direct search in bulk matter for free fractional electric charge elementary particles using the largest mass single sample ever studied—about 17.4 mg of silicone oil. The search used an improved and highly automated Millikan oil drop technique. No evidence for fractional charge particles was found. The concentration of particles with fractional charge more than  $0.16e$  ( $e$  being the magnitude of the electron charge) from the nearest integer charge is less than  $4.71 \times 10^{-22}$  particles per nucleon with 95% confidence.