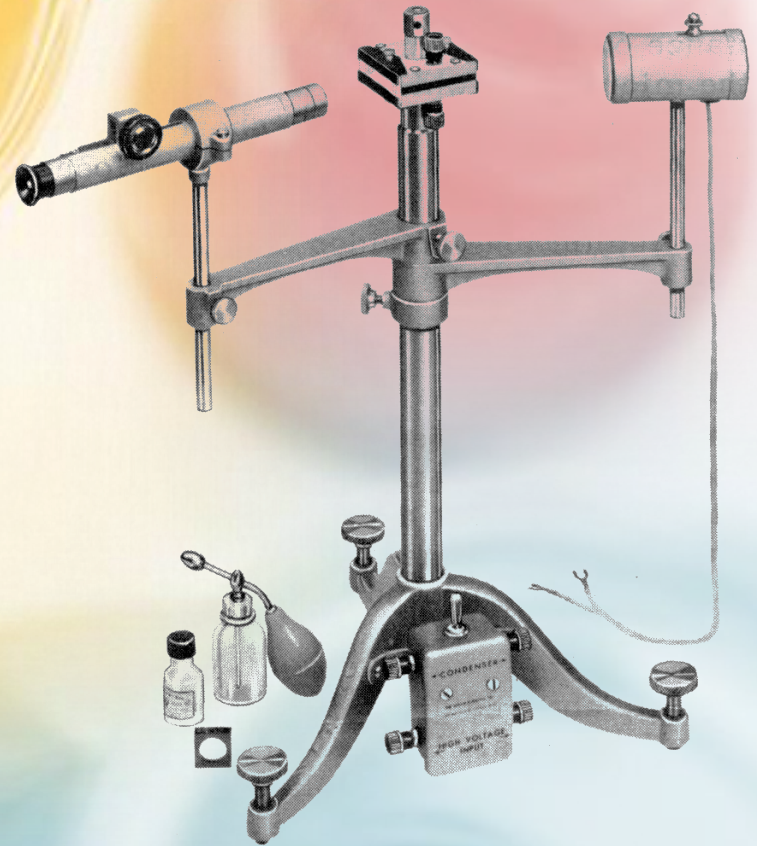


# AULA 3

Nilberto H. Medina

IFUSP 2011

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



Philippe Gouffon

IFUSP 2014

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

# 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 — MILLIKAN - Procedimento experimental (2h)

Tomada de dados - LABFLEX

Aula 2 — MILLIKAN - Análise de dados (1h?)

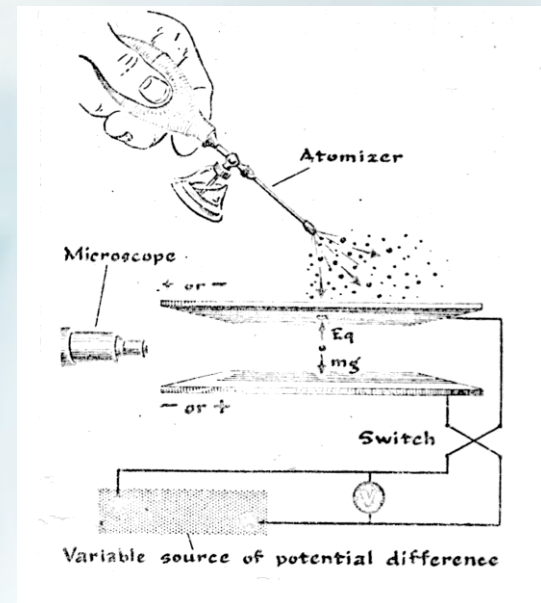
Tomadas de dados — LABFLEX

PELO MENOS 30 GOTAS!!!

**Aula 3 — MOV. BROWNIANO — Procedimento experimental**

**— Artigo científico (relatório)**

**Tomada de dados - LABFLEX**



# MOVIMENTO BROWNIANO

---

- **Objetivo**
  - Observar o movimento browniano
  - A partir da medida do deslocamento das gotas, determinar o número de Avogadro.
  - Avaliar as fontes de erro na medida e análise

# A FÍSICA DO MOVIMENTO BROWNIANO

---

- Descoberto pelo botânico escossês Robert Brown em 1827 (pólen em água).
- Inicialmente ele suspeitou que o movimento era devido ao pólen pois eram grãos “vivos”. Depois ele observou o mesmo movimento em partículas inorgânicas, logo a origem deveria ser física e não biológica.
- Observações posteriores:
  - Quanto menor a partícula, mais se movimenta.
  - Quanto mais quente o meio, mais se mexe.
  - Quanto menos viscoso o meio maior o movimento.

# A FÍSICA DO MOVIMENTO BROWNIANO

- Fim do século XIX: duas teorias se enfrentam para explicar a física. A existência de átomos (e moléculas) é disputada.
- A segunda lei da termodinâmica parece excluir a teoria cinética (choques são reversíveis mas o calor flui somente do mais quente para o mais frio)
- Em 1905, Einstein publica um artigo sobre a possibilidade de se observar movimentos microscópicos de partículas em fluido, causado por osmose (causada por moléculas) e relaciona o desvio quadrático médio com o número de Avogadro
- Em 1908 Jean Perrin verifica a previsão. Paul Langevin chega à mesma expressão a partir da segunda lei de Newton e equações do movimento.

# APARATO

---

- Basicamente o do experimento de Millikan
- Diferença: deve-se equilibrar uma gota no campo elétrico de forma que ela não suba ou desça sob efeito do peso e do campo elétrico
- Filmar o movimento. Na realidade, fotografar a posição a cada intervalo  $\delta t$ .
- Utilizar o VideoPoint ou o Tracker para digitalizar a posição.

# PROCEDIMENTO

---

- (Limpar) e nivelar o capacitor
- Programar a webcam para 20fps ou mais
- Colocar o fio de cobre, focalizar e acertar a iluminação
- Retirar o fio e vaporizar óleo
- Colocar tensão ( $\sim 100V$ ) entre as placas e limpar a tela, preservando uma gota em particular no centro.
- Alterar a tensão para equilibrar a gota verticalmente. Registrar a tensão de equilíbrio

# PROCEDIMENTO

---

- Programar a webcam para 1 fps (com compressão adequada, Cinepack Codec?)
- Filmar a gota. No mesmo filme, registrar
  - Queda livre (campo zero) 2 a 3 vezes
  - Equilibrado: cerca de 20 a 30 minutos
- Repetir para outras 2 gotas
- No fim, calibrar a câmera com o padrão (escala)
- Anotar a temperatura, pressão atmosférica e umidade

# PRÉ-TRATAMENTO DOS DADOS

---

- Utilizando o VideoPoint ou o Tracker, digitalizar a posição da gota.
- Com estes programas ou uma planilha, ajustar retas nas quedas livres para obter a velocidade de queda livre. Com isto determine o raio da gota, considerando a correção de viscosidade.

# EQUAÇÕES RELEVANTES

Número de Avogadro:

$$N_A = \frac{RT\delta t}{3\pi\eta a \langle x^2 \rangle}$$

- **Precisamos conhecer:**

- $\eta$ : calculado por vocês
- $R = 8,37 \cdot 10^7$  erg/mol K
- $T$ : medido por vocês (?)
- $a$ : raio, calculado por vocês
- $\delta t$ : intervalo de tempo escolhido na filmagem
- $\langle x^2 \rangle$ : Deslocamento quadrático médio, a ser calculado por vocês

$$\eta = \frac{\eta_0}{\left(1 + \frac{b}{Pa}\right)}$$

$$a = \frac{-b}{2P} + \sqrt{\left(\frac{b}{2P}\right)^2 + \frac{9\eta_0 v}{2(\rho_0 - \rho)g}}$$

# ANALISE: VELOCIDADE DE QUEDA LIVRE

- Diversos métodos. Sugestão:
  - Ajustar a reta da posição em função do tempo (quadro). O coeficiente angular será a velocidade.
  - Incerteza: achar o desvio padrão da posição tal que o  $\chi^2$  do ajuste seja igual a  $N-2$ (graus de liberdade)

$$\chi^2 = \sum \frac{(y_i - y(t_i))^2}{\sigma^2} = N - 2$$

- Calcular a incerteza da velocidade com este desvio padrão.

# ANÁLISE: DESVIO QUADRÁTICO MÉDIO

---

- $\langle x^2 \rangle$  ou  $\sigma^2$ ?
- Efeito de uma velocidade horizontal ou vertical não nula
- $\chi$  ou  $\delta x = x_k - x_i$ ? Como melhor usar os dados
- Ajustar uma gaussiana a um histograma
- Incertezas

# SUGESTÕES

---

- Se a incerteza da posição provém essencialmente da flutuação do movimento browniano e da digitalização da posição, pode-se estimar esta última componente...
- Estudo do processo de ionização da gota de óleo

Processo de superfície ou de volume ?

Papel di-log,  $q \times a$

Não é necessário considerar gotas com  $n \geq 6$

# FORMATO DE ARTIGO CIENTÍFICO

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,\* Brandon C. K. Casey,† Martin L. Perl, and Edward L. Gerwin  
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]

PACS number(s): 14.65.-q, 06.20.Jr, 07.50.Yd

### 1. INTRODUCTION

We have conducted a search for elementary particles with fractional electric charge in silicone oil using an improved Millikan liquid drop method in which we automatically measure the charge on individual drops of about  $7 \mu\text{m}$  in diameter. We have searched through 1.07 mg of oil and found no drops that contained a fractionally charged particle with  $\pm \frac{1}{3}$  or  $\pm \frac{2}{3}$  of an electron charge. Therefore, with 95% confidence the concentration of isolated quarks with these charges in silicone oil is less than one per  $2.14 \times 10^{20}$  nucleons.

There has been much speculation but no confirmed evidence for the existence of isolated elementary particles with fractional electric charge. The most commonly proposed candidate for such a particle is an isolated quark that would have charge  $\pm \frac{1}{3}e$  or  $\pm \frac{2}{3}e$ , where  $e$  is the magnitude of the electric charge of the electron. In this experiment, drops are produced with a nominal charge of  $0e$ ,  $\pm 1e$ ,  $\pm 2e$ , ... In the early part of the experiment, drops were produced with charges as large as  $\pm 10e$ , but in the remainder of the experiment, the drops were generally either neutral or had charges of  $\pm 1e$ ,  $\pm 2e$ , or  $\pm 3e$ . The sensitivity of the experiment for an anomalous charge decreases when  $Q$ , the net electric charge on the drop, is close to  $Ne$ ,  $N$  being an integer. Therefore, our conclusions are limited to the charge regions

$$\begin{aligned} &0.2e \text{ to } 0.8e, 1.2e \text{ to } 1.8e, 2.2e \text{ to } 2.8e, \dots \\ &-0.2e \text{ to } -0.8e, -1.2e \text{ to } -1.8e, \\ &-2.2e \text{ to } -2.8e, \dots \end{aligned} \quad (1)$$

Our method is built upon the technique developed in fractional charge searches at San Francisco State University [1-4] and goes back to the original work of Millikan [5-7]. As shown schematically in Fig. 1, the mechanical part of the apparatus consists of two flat, circular, stainless-steel plates separated by a distance small compared with the plate diameter, the ratio being on the order of 1:16. A device called a dropper produces on demand a spherical drop of silicone oil whose diameter is between 7 and  $8 \mu\text{m}$ . Early in the experiment, we produced drops that were  $7.6 \mu\text{m}$  in diameter. But 94% of the drops studied had a diameter of  $7.1 \mu\text{m}$ . The data presented in the paper is for both sizes, but for simplicity, the remainder of the discussion refers to the  $7.1 \mu\text{m}$  drops.

The drops fall vertically through a small hole in the upper plate, through the space between the plates, and then leave

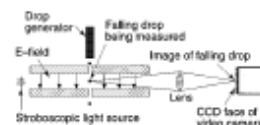


FIG. 1. Schematic of the fractional charge search apparatus. Drawing is not to scale.

\*Present address: Department of Physics, Columbia University, New York, NY 10027.

†Present address: W. J. Schafer Associates, Livermore, CA 94550.

Máximo de 7 páginas

Apresentação dos resultados com  
algarismos significativos corretos.

$$\bar{q} = 4,93(12) \times 10^{-10} \text{ statC}$$

# ARTIGO CIENTÍFICO (RELATÓRIO)

- **Título** (criativo).

O experimento não deve ser encarado como uma repetição do experimento de Millikan, mas como um trabalho inédito.  
(Carga elementar)

- Nome dos autores e afiliação/Instituição

- **Resumo** (itálico)

O que foi feito? Como foi feito? Principais resultados e conclusão.

- Duas colunas

- **Introdução** e Teoria: Aspectos gerais, histórico, situar o problema, apresentar as fórmulas a serem utilizadas, **objetivos**.

- Parte Experimental (**Materiais e Métodos**)

Descrever o experimento, os equipamentos, os cuidados tomados durante a aquisição de dados. Escolha das gotas, etc.

- **Análise de dados e Resultados**

Gráfico  $V_{\text{subida}} \times V_{\text{descida}}$ . Histograma das cargas. Verificação da quantização. Correções.

Gráfico  $\langle q \rangle$  em função do número de cargas  $\rightarrow$  Determinação da carga elementar.

Discutir sobre “todas” as incertezas. Apresentar os critérios para o ajuste das gaussianas e as regiões de cada ajuste.

Estudo da ionização da carga (gráfico da carga em função do raio da gota).

- **Discussão**.

Discutir o procedimento experimental, a análise de dados, os critérios utilizados e os **valores obtidos pelo seu grupo** e também pela análise dos dados da classe.

- **Conclusão**. Repetitivo, similar ao resumo. Devem ser enfatizados os pontos mais importantes do artigo.

- **Referências Bibliográficas** (utilizadas no texto).