

## Aparelho de Millikan

230 V, 50/60 Hz: 1018884 / U207001-230

115 V, 50/60 Hz: 1018882 / U207001-115

### Instruções de uso

07/16 UD/ALF



#### 1. Instruções de segurança

O Aparelho de Millikan atende às normas de segurança para aparelhos elétricos de medição, comando, controle e laboratório conforme DIN EN 61010 parte 1. Ele foi projetado para a operação em ambientes secos adequados para aparelhos elétricos.

Para o uso conforme as determinações, a operação segura do aparelho é garantida. A segurança não é garantida, entretanto, se o aparelho for operado de forma indevida ou descuidada.

Quando houver a probabilidade de que o uso seguro não mais seja possível (por exemplo, em caso de danos visíveis), o aparelho deve ser posto fora de operação imediatamente.

- Utilizar o aparelho somente em ambientes secos.
- Somente operar com a fonte de alimentação fornecida.

#### 2. Descrição

O Aparelho de Millikan é um aparelho compacto baseado na montagem experimental de Millikan que não depende de fonte de radiação radioativa.

Ele é constituído de câmara de experiência

desmontável com capacitor de placas e atomizador de óleo anexado, dispositivo de iluminação com dois LEDs verdes, um microscópio de medição, um regulador de tensão e interruptor para a tensão do capacitor, interruptor para iniciar e parar as medições dos tempos de ascensão ou queda, bem como unidade de medição e indicação com tela sensível ao toque (touchscreen).

As gotículas de óleo carregadas são geradas com auxílio do atomizador de óleo e seu estado casual de carga não é mais influenciado externamente em seguida. As gotículas de óleo são inseridas na câmara de experiência por cima, como na montagem de Millikan. A seleção e a determinação da carga das gotículas de óleo apropriadas ocorre por meio da observação com o microscópio de medição. Nisto, o tempo de ascensão é medido para cada gotícula de óleo com campo elétrico aplicado e o tempo de queda é medido sem campo elétrico para um percurso entre duas marcações selecionadas na escala ocular. Como alternativa, as gotículas de óleo a serem medidas podem ser mantidas em suspensão no campo elétrico.

O tempo de ascensão e queda medido de um gotícula de óleo carregada, a tensão elétrica ajustada, bem como os parâmetros relevantes para a avaliação: temperatura, viscosidade e pressão são indicadas na tela touchscreen.

### 3. Elementos de operação



Fig. 1 Elementos de operação

- |   |                                   |    |   |
|---|-----------------------------------|----|---|
| 1 | Pés de apoio                      | 8  | Atomizador de óleo                          |
| 2 | Microscópio de medição em suporte | 9  | Conversor da polaridade capacitor de placas |
| 3 | Ajuste de intensidad de luz       | 10 | Conector para fonte de alimentação          |
| 4 | Chave U                           | 11 | Ajuste de tensão                            |
| 5 | Chave t                           | 12 | Bulbo de enchimento                         |
| 6 | Câmara de experiência             | 13 | Foco  |
| 7 | Unidade de indicação e operação   |    |   |

#### 4. Conteúdo do fornecimento

- 1 aparelho de base com câmara de experiência e unidade de indicação
- 1 microscópio de medição
- 1 ocular WF 15x com escala
- 1 atomizador de óleo
- 1 bulbo de enchimento com mangueira
- 1 nível de bolha de ar
- 1 agulha de ajuste
- 1 Fonte de alimentação 12 V AC, 2000 mA
- 1 óleo Millikan, 50 ml

O Aparelho de Millikan 1018884 vem com uma fonte de alimentação para tensão de rede de 230 V ( $\pm 10\%$ ), 1018882 para 115 V ( $\pm 10\%$ ).

#### 5. Dados técnicos

##### Capacitor de placas:

Tensão do capacitor:	0 - 600 V
Diâmetro das placas:	50 mm
Distância entre as placas:	3 mm

##### Microscópio de medição:

Ampliação ocular:	15x
Ampliação objetiva:	2x
Comprimento da escala:	10 mm
Divisão da escala:	0,1 mm

##### Dados gerais:

Alimentação de energia:	Fonte de alimentação 12 V AC, 2000 mA
Dimensões incl. microscópio de medição:	aprox. 37x43x23 cm <sup>3</sup>
Peso incl. fonte de alimentação:	aprox. 4,3 kg
Densidade óleo de Millikan:	877 kg m <sup>-3</sup> a 15 °C 871 kg m <sup>-3</sup> a 25 °C

## 6. Colocação em operação

- Montar o Aparelho de Millikan em local de experiência plano.
- Girar o ajuste vertical no sentido horário até o final (vide Fig. 2).
- Levar o microscópio de medição até o final sobre a haste do suporte do aparelho de base e fixar com o parafuso borboleta na parte inferior.
- Levar o microscópio de medição bem para a frente por meio dos ajustes de foco e, com auxílio do ajuste vertical, direcionar aproximadamente para a janela de observação na câmara de experiência.
- Abrir a tampa da câmara de experimentação, colocar o nível de bolha de ar na placa superior do capacitor de placas e ajustar a orientação horizontal com auxílio dos pés de apoio.
- Colocar a agulha de ajuste na placa superior do capacitor de placas e ajustar a nitidez do microscópio para a agulha (vide Fig. 3). Selecionar a intensidade de luz adequada para isto e ajustar a altura do microscópio de medição por meio do ajuste vertical.
- Remover a agulha de ajuste e fechar novamente a câmara de experiência.
- Encher o atomizador de óleo até cerca da metade com óleo de Millikan e colocar cuidadosamente no encaixe na câmara de experiência.
- Conectar o bulbo de enchimento com mangueira no atomizador de óleo.

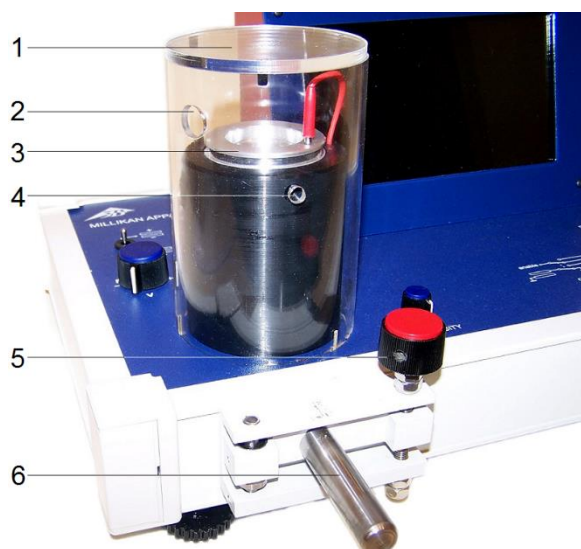


Fig. 2: Câmara de experiência: 1 Tampa, 2 Encaixe para atomizador de óleo, 3 Placa superior do capacitor, 4 Janela de observação, 5 Ajuste vertical para cabeça do microscópio, 6 Haste do suporte para microscópio de medição

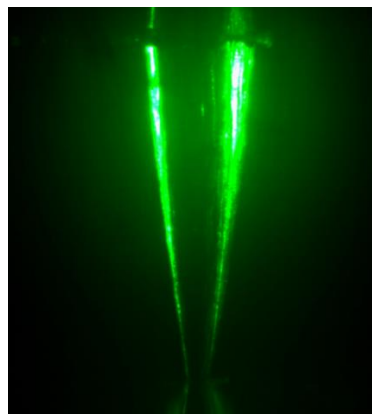


Fig. 3 Vista pelo microscópio de medição para a agulha de medição nítida.

## 7. Operação

### 7.1 Ligar unidade de indicação e operação

- Conectar o Aparelho de Millikan à rede por meio da fonte.

A unidade de indicação e operação estará pronta para operação imediatamente após a conexão do Aparelho de Millikan.

- Clicar no botão "selecionar" para chegar até o menu de seleção de idioma.
- Selecionar o idioma desejado clicando no botão correspondente e clicando no botão "inserir". O retorno para o menu principal é automático.
- No menu principal, clicar no botão "Continuar", para chegar ao menu de medição.

### 7.2 Otimização da intensidade da luz

- Olhar pelo microscópio de medição para dentro da célula de medição (o espaço entre as placas do capacitor) e ajustar uma intensidade de luz adequada. Se for o caso, ajustar a intensidade da luz durante a medição.

### 7.3 Geração, seleção e observação de gotículas carregadas

- Por meio de um aperto curto e forte do bulbo, gerar gotículas de óleo carregadas e borrifá-las para dentro da célula de medição.
- Esperar até que surjam gotículas de óleo apropriadas na célula de medição. Isto pode demorar alguns segundos.
- Das gotículas de óleo visíveis, selecionar uma que caia lentamente (cerca de 0,025 - 0,1 mm/s).
- Se for o caso, reajustar a nitidez do microscópio.

### Orientações:

O objetivo é gerar uma pequena quantidade de gotículas individuais, não uma nuvem grande e clara, a partir das quais uma gotícula de óleo é selecionada. Vários apertos do bulbo farão com que gotículas de óleo demais entrem na célula de medição, em especial na área diante do foco do microscópio de medição. Ali, elas prejudizam a observação das gotículas de óleo que estão no foco.

Uma gotícula adequada aparece como ponto com brilho forte no foco do microscópio de medição.

Se óleo demais tiver entrado na célula de medição, ela precisa ser limpa. Se, mesmo depois de diversos apertos do bulbo, não houver gotículas de óleo na célula de medição, pode ser que a abertura na placa superior do capacitor esteja entupida e precise ser limpa.

## 8. Experiência

### 8.1 Método de suspensão

A tensão de suspensão  $U$  é determinada e, após desligamento da tensão, é determinada a velocidade de queda  $v_2$ :

$$v_2 = \frac{x}{t_2} = \frac{S}{V \cdot t_2} \quad (1)$$

$t_2$ : tempo de queda,  $S$ : distância da escala,  $V$ : ampliação objetiva ( $2x$ )

A partir dos equilíbrios de força elétrica, empuxo no ar, atrito de Stokes no ar e força gravitacional, resulta, para o raio  $r_0$  e a carga  $q_0$  da gotícula de óleo:

$$r_0 = \sqrt{\frac{9}{2} \cdot \frac{\eta \cdot v_2}{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g}} \quad (2)$$

$$q_0 = 9 \cdot \pi \cdot \frac{d}{U} \sqrt{\frac{2 \cdot \eta^3 \cdot v_2^3}{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g}} \quad (3)$$

$\eta$ : Viscosidade do ar,  $\rho_2$ : Densidade do óleo,  $\rho_1$ : Densidade do ar,  $g$ : Aceleração da queda,  $d$ : distância das placas do capacitor (3 mm)

- Selecionar a polaridade da tensão  $U$ , p.ex., placa superior "+", placa inferior "-".
- Eventualmente zerar os tempos  $t_1$  e  $t_2$  armazenados com "Reset".
- Gerar, observar e selecionar gotícula de óleo adequada, conforme descrito em 7.3.
- Colocar a chave  $U$  e a chave  $t$  em ON e ignorar o tempo corrente  $t_1$ .
- Ajustar uma tensão que mantenha a gotícula de óleo selecionada em suspensão em posição desejada na escala.
- Ler na tela e anotar a tensão de suspensão  $U$ .
- Colocar a chave  $U$  em OFF, e, com isto, deixar cair a gotícula de óleo observada. A medição de tempo  $t_2$  se inicia automaticamente.
- Colocar a chave  $t$  em OFF, assim que a gotícula de óleo tenha atingido uma segunda posição selecionada na escala e, com isto,

parar a medição de tempo  $t_2$ .

- Ler na tela o tempo  $t_2$  e anotar junto com a distância entre as posições na escala.
- Repetir a medição com a maior frequência possível para diferentes gotículas de óleo, alterando também o sinal da tensão  $U$ .

### 8.2 Método de ascensão

Com tensão selecionada  $U$ , é medida a velocidade de ascensão  $v_1$  e, depois de desligar a tensão, a velocidade de queda  $v_2$ :

$$v_1 = \frac{x}{t_1} = \frac{S}{V \cdot t_1}, \quad v_2 = \frac{x}{t_2} = \frac{S}{V \cdot t_2} \quad (4)$$

$t_1$ : tempo de ascensão,  $t_2$ : tempo de queda,  $S$ : distância da escala,  $V$ : ampliação objetiva ( $2x$ )

A partir dos equilíbrios de força elétrica, empuxo no ar, atrito de Stokes no ar e força gravitacional, resulta, para o raio  $r_0$  e a carga  $q_0$  da gotícula de óleo:

$$r_0 = \sqrt{\frac{9}{2} \cdot \frac{\eta \cdot v_2}{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g}} \quad (5)$$

$$q_0 = 9 \cdot \pi \cdot \frac{d}{U} \cdot (v_1 + v_2) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \eta^3 \cdot v_2}{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g}} \quad (6)$$

$\eta$ : Viscosidade do ar,  $\rho_2$ : Densidade do óleo,  $\rho_1$ : Densidade do ar,  $g$ : aceleração da queda

- Selecionar a polaridade da tensão  $U$ , p.ex., placa superior "+", placa inferior "-".
- Eventualmente zerar os tempos  $t_1$  e  $t_2$  armazenados com "Reset".
- Gerar, observar e selecionar gotícula de óleo adequada, conforme descrito em 7.3.
- Colocar a chave  $U$  em ON. Ajustar uma tensão  $U$  de forma que a gotícula de óleo ascenda lentamente sobre uma primeira posição da escala pré-selecionada na parte superior da célula de medição.
- Colocar a chave  $U$  em OFF, e, com isto, deixar cair novamente a gotícula de óleo.
- Colocar a chave  $t$  em ON, assim que a

gotícula de óleo tenha atingido novamente a primeira posição na escala e, com isto, iniciar a medição de tempo  $t_2$ .

- Colocar a chave U em ON, assim que a gotícula de óleo tenha atingido uma segunda posição pré-selecionada na parte inferior da célula de medição e, com isto, deixar subir a gotícula de óleo. A medição de tempo  $t_2$  é parada e a medição de tempo  $t_1$  se inicia automaticamente.
- Colocar a chave t em OFF, assim que a gotícula de óleo tenha atingido novamente a primeira posição na escala e, com isto, parar a medição de tempo  $t_1$ .
- Colocar a chave U em OFF.
- Ler os tempos  $t_1$  e  $t_2$  e a tensão  $U$  ("previous voltage") na tela e anotar junto com a distância da posição na escala.
- Repetir a medição com a maior frequência possível para diferentes gotículas de óleo e diferentes tensões no capacitor. Nisto, também alterar o sinal da tensão  $U$ .

### 8.3 Correção da força de atrito de Stokes

Raios  $r_0$  muito pequenos estão na ordem de grandeza do comprimento médio do caminho livre das moléculas do ar, de forma que o atrito de Stokes precisa ser corrigido. Para o raio corrigido  $r$  e a carga corrigida  $q$ , resulta:

$$r = \sqrt{r_0^2 + \frac{A^2}{4}} - \frac{A}{2} \quad \text{com } A = \frac{b}{p} \quad (7)$$

$b = 82 \mu\text{m} \cdot \text{hPa} = \text{constante}$ ,  $p$ : pressão do ar

$$q = q_0 \cdot \left(1 + \frac{A}{r}\right)^{-1.5} \quad (8)$$

com  $r_0$  conforme equação (2) respectivamente (5) e  $q_0$  conforme equação (3) respectivamente (6).

### 8.4 Parâmetros relevantes para a avaliação

Temperatura, pressão e viscosidade do ar são medidos ou calculados por sensores integrados e mostrados na tela.

Densidade do óleo:

877 kg m<sup>-3</sup> a 15 °C

871 kg m<sup>-3</sup> a 25 °C

Densidade do ar:

1,293 g m<sup>-3</sup> a 0 °C e 1013,23 hPa

### 8.5 Avaliação

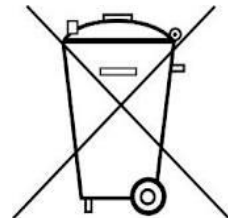
- Determinar as cargas das gotículas de óleo a partir da equação (8).

As cargas determinadas pela medição são divididas por um número inteiro  $n$  de forma que os valores resultantes apresentem a menor dispersão possível do valor médio que corresponde ao valor estimado para a carga elementar. Como medida para a dispersão, usa-se o desvio padrão. O resultado é mais expressivo com mais valores de medição, ou seja, quanto maior o escopo da amostra e quanto menor o número de cargas na gotícula de óleo (recomendação:  $n < 10$ ).

## 9. Armazenagem, limpeza, descarte

- Armazenar o aparelho em local limpo, seco e livre de poeira.
- Antes da limpeza, retirar o aparelho da alimentação de energia elétrica.
- Não utilizar produtos ou solventes agressivos para a limpeza.
- Utilizar um pano macio e úmido para a limpeza.
- A embalagem deve ser destacada na estação local de reciclagem.

Se o aparelho tiver que ser descartado pelo próprio proprietário/usuário, ele não pode ser descartado no lixo doméstico comum. Em caso de utilização em casas particulares, observar as normas vigentes locais de descarte.



- Cumprir as regulações locais vigentes para o descarte de lixo elétrico.

