

Millikan-Apparat

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

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

Bedienungsanleitung

07/16 UD/ALF



1. Sicherheitshinweise

Der Millikan-Apparat entspricht den Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte nach DIN EN 61010 Teil 1. Er ist für den Betrieb in trockenen Räumen vorgesehen, die für elektrische Betriebsmittel geeignet sind.

Bei bestimmungsgemäßem Gebrauch ist der sichere Betrieb des Gerätes gewährleistet. Die Sicherheit ist jedoch nicht garantiert, wenn das Gerät unsachgemäß bedient oder unachtsam behandelt wird.

Wenn anzunehmen ist, dass ein gefahrloser Betrieb nicht mehr möglich ist (z.B. bei sichtbaren Schäden), ist das Gerät unverzüglich außer Betrieb zu setzen.

- Gerät nur in trockenen Räumen benutzen.
- Nur mit dem mitgelieferten Steckernetzgerät in Betrieb nehmen.

2. Beschreibung

Der Millikan-Apparat ist ein auf dem experimentellen Aufbau von Millikan basierendes Kompaktgerät, das ohne radioaktive Strahlungsquelle auskommt.

Er besteht aus einer zerlegbaren Experimentierkammer mit Plattenkondensator und angeschlos-

senem Ölzerstäuber, einer Beleuchtungseinrichtung mit zwei grünen LEDs, einem Messmikroskop, einem Spannungssteller und einem Schalter für die Kondensatorspannung, einem Schalter zum Starten und Stoppen der Steig- bzw. Sinkzeitmessungen sowie einer Mess- und Anzeigeeinheit mit berührungsempfindlichem Bildschirm (Touchscreen).

Die geladenen Öltröpfchen werden mit Hilfe des Ölzerstäubers erzeugt und ihr zufälliger Ladungszustand anschließend nicht mehr von außen beeinflusst. Die Öltröpfchen werden wie im Millikan'schen Aufbau von oben in die Experimentierkammer eingebracht. Die Auswahl und die Bestimmung der Ladung geeigneter Öltröpfchen erfolgt durch die Beobachtung mit dem Messmikroskop. Dabei wird für jedes Öltröpfchen die Steigzeit bei angelegtem elektrischem Feld und die Sinkzeit ohne elektrisches Feld für eine Wegstrecke zwischen zwei ausgewählten Markierungen auf der Okularskala gemessen. Alternativ können die zu messenden Öltröpfchen im elektrischen Feld in der Schwebe gehalten werden.

Die gemessene Steig- und Sinkzeit eines geladenen Öltröpfchens, die eingestellte elektrische Spannung sowie die für die Auswertung relevanten Parameter Temperatur, Viskosität und Druck werden auf dem berührungsempfindlichen Bildschirm angezeigt.

3. Bedienelemente



Fig. 1 Bedienelemente

- | | | | |
|---|-----------------------------|----|---|
| 1 | Stellfüße | 8 | Ölzerstäuber |
| 2 | Messmikroskop an Stativ | 9 | Umschalter Polarität Plattenkondensator |
| 3 | Steller für Lichtintensität | 10 | Hohlbuchse für Steckernetzgerät |
| 4 | Schalter U | 11 | Spannungssteller |
| 5 | Schalter t | 12 | Gebälseball |
| 6 | Experimentierkammer | 13 | Fokussiertrieb |
| 7 | Anzeige- und Bedieneinheit | | |

4. Lieferumfang

- 1 Basisgerät mit Experimentierkammer und Anzeigeeinheit
- 1 Messmikroskop
- 1 Okular WF15x mit Skala
- 1 Ölzerstäuber
- 1 Gebläseball mit Schlauch
- 1 Libelle
- 1 Justiernadel
- 1 Steckernetzgerät, 12 V AC, 2000 mA
- 1 Millikan-Öl, 50 ml

Dem Millikan-Apparat 1018884 liegt ein Steckernetzgerät für eine Netzspannung von 230 V ($\pm 10\%$) bei, 1018882 für 115 V ($\pm 10\%$).

5. Technische Daten

Plattenkondensator:

Kondensatorspannung: 0 – 600 V
 Plattendurchmesser: 50 mm
 Plattenabstand: 3 mm

Messmikroskop:

Okularvergrößerung: 15x
 Objektivvergrößerung: 2x
 Länge der Skala: 10 mm
 Skalenteilung: 0,1 mm

Allgemeine Daten:

Stromversorgung: über Steckernetzgerät
 12 V AC, 2000 mA

Abmessungen
 inkl. Messmikroskop: ca. 370x430x235 mm³
 Masse

inkl. Steckernetzgerät: ca. 4,3 kg

Dichte Millikan-Öl: 877 kg m⁻³ bei 15 °C
 871 kg m⁻³ bei 25 °C

6. Inbetriebnahme

- Millikan-Apparat an einem ebenen Experimentierplatz aufstellen.
- Vertikalsteller im Uhrzeigersinn bis zum Anschlag drehen (siehe Fig. 2).
- Messmikroskop bis zum Anschlag auf den Stativstab des Basisgerätes schieben, und mit der Rändelschraube an der Unterseite fixieren.
- Messmikroskop mittels der Fokussiertrieb ganz nach vorne fahren und mit Hilfe des Vertikalstellers grob auf das Beobachtungsfenster in der Experimentierkammer ausrichten.
- Abdeckhaube der Experimentierkammer öffnen, Libelle auf die obere Platte des Plattenkondensators setzen und horizontale Ausrichtung mit Hilfe der Stellfüße optimieren.
- Justiernadel in die obere Platte des Plattenkondensators stecken und das Mikroskop auf die Nadel scharf stellen (siehe Fig. 3). Dazu geeignete Lichtintensität wählen und die Höhe des Messmikroskops mittels des Vertikalstellers nachjustieren.
- Justiernadel entfernen und Experimentierkammer wieder verschließen.
- Ölzerstäuber etwa zur Hälfte mit Millikan-Öl befüllen und vorsichtig in die Aufnahme an der Experimentierkammer einsetzen.
- Gebläseball mit Schlauch an den Ölzerstäuber anschließen.

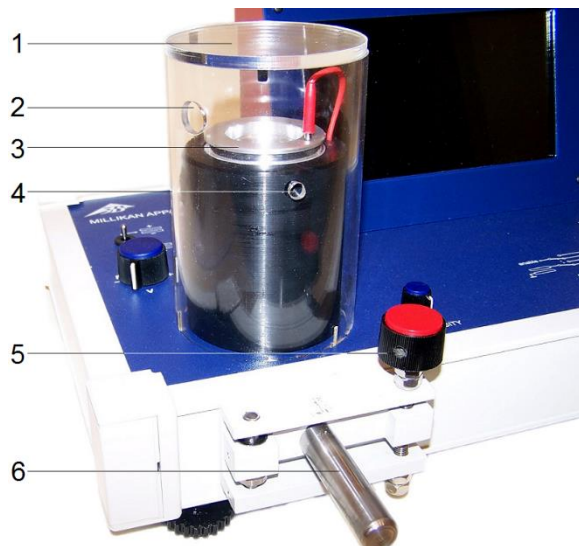


Fig. 2 Experimentierkammer:

- 1 Abdeckhaube,
- 2 Aufnahme für Ölzerstäuber,
- 3 obere Kondensatorplatte,
- 4 Beobachtungsfenster,
- 5 Vertikalsteller für Mikroskopkopf,
- 6 Stativstab für Messmikroskop

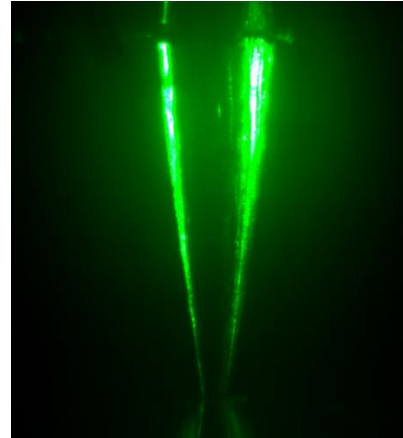


Fig. 3 Blick durch das Messmikroskop auf die scharf gestellte Justiernadel.

7. Bedienung

7.1 Start der Anzeige- und Bedieneinheit

- Millikan-Apparat über das Steckernetzgerät ans Netz anschließen.

Die Anzeige- und Bedieneinheit ist nach Anschluss des Millikan-Apparates sofort betriebsbereit.

- Auf die Schaltfläche „Wählen“ klicken, um in das Sprachauswahlmenü zu gelangen.
- Die gewünschte Sprache durch Anklicken der entsprechenden Schaltfläche auswählen und durch Anklicken der Schaltfläche „Eingeben“ bestätigen. Man gelangt automatisch zurück in das Hauptmenü.
- Im Hauptmenü die Schaltfläche „Weiter“ anklicken, um ins Messmenü zu gelangen.

7.2 Optimierung der Lichtintensität

- Durch das Messmikroskop in die Messzelle (den Raum zwischen den Kondensatorplatten) schauen und eine geeignete Lichtintensität einstellen. Ggf. die Lichtintensität während der Messung anpassen.

7.3 Erzeugung, Auswahl und Beobachtung geladener Öltröpfchen

- Durch einmaliges kurzes, kräftiges Zusammendrücken des Gebläseballs geladene Öltröpfchen erzeugen und in die Messzelle sprühen.
- Warten bis geeignete Öltröpfchen in der Messzelle erscheinen. Dies kann einige Sekunden dauern.
- Aus den sichtbaren Öltröpfchen eines auswählen, das langsam sinkt (ungefähr $0,025 - 0,1 \text{ mm/s}$).
- Ggf. Scharfstellung des Mikroskops nachregeln.

Hinweise:

Ziel ist es, eine kleine Anzahl einzelner Öltröpfchen zu erzeugen, keine große, helle Wolke, aus der ein Öltröpfchen ausgewählt wird. Mehrmaliges Zusammendrücken des Gebläseballs führt dazu, dass zu viele Öltröpfchen in die Messzelle gelangen, insbesondere in den Bereich vor dem Fokus des Messmikroskops. Dort beeinträchtigen sie die Beobachtung von Öltröpfchen, die sich im Fokus befinden.

Ein geeignetes Öltröpfchen, erscheint als hell leuchtender Punkt im Fokus des Messmikroskops.

Wenn zu viel Öl in die Messzelle gelangt ist, muss sie gereinigt werden. Befinden sich auch nach wiederholtem Zusammendrücken des Gebläseballs keine Öltröpfchen in der Messzelle, kann die Öffnung in der oberen Kondensatorplatte verstopft sein und muss gereinigt werden.

8. Experiment

8.1 Schwebemethode

Es wird die Schwebespannung U und nach Abschalten der Spannung die Sinkgeschwindigkeit v_2 bestimmt:

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

t_2 : Sinkzeit, S : Skalenabstand, V : Objektivvergrößerung (2x)

Aus den Gleichgewichten von elektrischer Kraft, Auftrieb in Luft, Stokes'scher Reibung in Luft und Gravitationskraft ergibt sich für den Radius r_0 und die Ladung q_0 des Öltröpfchens:

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

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

η : Viskosität der Luft, ρ_2 : Dichte des Öls, ρ_1 : Dichte der Luft, g : Fallbeschleunigung, d : Abstand der Kondensatorplatten (3 mm)

- Polarität der Spannung U wählen, z.B. obere Platte „+“, untere Platte „-“.
- Eventuell gespeicherte Zeiten t_1 und t_2 durch „Reset“ auf Null setzen.
- Geeignetes Öltröpfchen, wie in 7.3 beschrieben, erzeugen, beobachten und auswählen.
- Schalter U und Schalter t auf ON stellen und laufende Zeit t_1 ignorieren.
- Eine Spannung einstellen, die das ausgewählte Öltröpfchen an einer gewünschten Skalenposition in der Schwebelage hält.
- Schwebespannung U im Display ablesen und notieren.

- Schalter U auf OFF stellen, dadurch das beobachtete Öltröpfchen sinken lassen. Die Zeitmessung t_2 startet automatisch.
- Schalter t auf OFF stellen, sobald das Öltröpfchen eine vorgewählte zweite Skalenposition erreicht hat, und dadurch Zeitmessung t_2 stoppen.
- Zeit t_2 im Display ablesen und zusammen mit dem Abstand der Skalenpositionen notieren.
- Messung möglichst oft für verschiedene Öltröpfchen wiederholen, dabei auch das Vorzeichen der Spannung U ändern.

8.2 Steigmethode

Es wird bei gewählter Spannung U die Steiggeschwindigkeit v_1 und nach Abschalten der Spannung die Sinkgeschwindigkeit v_2 bestimmt:

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

t_1 : Steigzeit, t_2 : Sinkzeit, S : Skalenabstand, V : Objektivvergrößerung (2x)

Aus den Gleichgewichten von elektrischer Kraft, Auftrieb in Luft, Stokes'scher Reibung in Luft und Gravitationskraft ergibt sich für den Radius r_0 und die Ladung q_0 des Öltröpfchens:

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

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

η : Viskosität der Luft, ρ_2 : Dichte des Öls, ρ_1 : Dichte der Luft, g : Fallbeschleunigung

- Polarität der Spannung U wählen, z.B. obere Platte „+“, untere Platte „-“.
- Eventuell gespeicherte Zeiten t_1 und t_2 durch „Reset“ auf Null setzen.
- Geeignetes Öltröpfchen, wie in 7.3 beschrieben, erzeugen, beobachten und auswählen.

- Schalter U auf ON stellen. Eine Spannung U einstellen, so dass das Öltröpfchen langsam über eine vorgewählte erste Skalenposition im oberen Bereich der Messzelle hinaus steigt.
- Wenn das Öltröpfchen für die vorgewählte Polarität sinkt, die umgekehrte Polarität wählen.
- Schalter U auf OFF stellen, dadurch das Öltröpfchen wieder sinken lassen.
- Schalter t auf ON stellen, sobald das Öltröpfchen wieder die erste Position erreicht hat, und dadurch Zeitmessung t_2 starten.
- Schalter U auf ON stellen, sobald das Öltröpfchen eine vorgewählte zweite Skalenposition im unteren Bereich der Messzelle erreicht hat, dadurch das Öltröpfchen steigen lassen. Die Zeitmessung t_2 stoppt und die Zeitmessung t_1 startet automatisch.
- Schalter t auf OFF stellen, sobald das Öltröpfchen wieder die erste Position erreicht hat, und dadurch Zeitmessung t_1 stoppen.
- Schalter U auf OFF stellen.
- Zeiten t_1 und t_2 und Spannung U („previous voltage“) im Display ablesen und zusammen mit der Polarität und dem Abstand der Skalenposition notieren.
- Messung möglichst oft für verschiedene Öltröpfchen wiederholen.

8.3 Korrektur der Stokesschen Reibungskraft

Sehr kleine Radien r_0 liegen in der Größenordnung der mittleren freien Weglänge der Luftmoleküle, so dass die Stokessche Reibungskraft korrigiert werden muss. Für den korrigierten Radius r und die korrigierte Ladung q ergibt sich dann:

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

$$b = 82 \mu\text{m} \cdot \text{hPa} = \text{konstant}, p: \text{Luftdruck}$$

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

mit r_0 gemäß Gleichung (2) bzw. (5) und q_0 gemäß Gleichung (3) bzw. (6).

8.4 Für die Auswertung relevante Parameter

Temperatur, Luftdruck und Viskosität der Luft werden von integrierten Sensoren gemessen bzw. berechnet und auf dem Bildschirm angezeigt.

Dichte des Öls:

877 kg m⁻³ bei 15 °C

871 kg m⁻³ bei 25 °C

Dichte der Luft:

1,293 g m⁻³ bei 0 °C und 1013,23 hPa

8.5 Auswertung

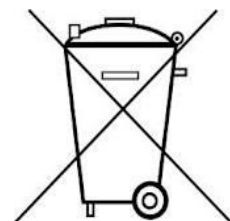
- Aus Gleichung (8) die Ladungen der Öltröpfchen bestimmen.

Die aus der Messung bestimmten Ladungen werden durch eine ganze Zahl n so dividiert, dass die resultierenden Werte eine möglichst kleine Streuung um den Mittelwert aufweisen, der dem Schätzwert für die Elementarladung entspricht. Als Maß für die Streuung dient die Standardabweichung. Das Ergebnis ist umso aussagekräftiger, je mehr Messwerte aufgenommen werden, d.h. je größer der Umfang der Stichprobe ist, und je kleiner die Zahl der Ladungen auf den Öltröpfchen ist (Empfehlung: $n < 7$).

9. Aufbewahrung, Reinigung, Entsorgung

- Gerät an einem sauberen, trockenen und staubfreien Platz aufbewahren.
- Vor der Reinigung Gerät von der Stromversorgung trennen.
- Zur Reinigung keine aggressiven Reiniger oder Lösungsmittel verwenden.
- Zum Reinigen ein weiches, feuchtes Tuch benutzen.
- Die Verpackung ist bei den örtlichen Recyclingstellen zu entsorgen.

Sofern das Gerät selbst verschrottet werden soll, so gehört dieses nicht in den normalen Hausmüll. Bei Nutzung in Privathaushalten kann es bei den örtlichen öffentlichen Entsorgungsträgern entsorgt werden.



- Geltende Vorschriften zur Entsorgung von Elektroschrott einhalten.

Millikan's Apparatus

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

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

Instruction sheet

07/16 UD/ALF



1. Safety instructions

Millikan's apparatus conforms to the safety stipulations for electrical measuring, control and laboratory instruments as specified in DIN EN 61010 part 1. It is intended for use in dry rooms suitable for the operation of electrical equipment.

Safe operation of the equipment can be assured as long as it is used as stipulated. However, safety cannot be guaranteed if the equipment is used incorrectly or handled without due care and attention.

If it may be assumed that the equipment may no longer be operated safely (e.g. in the event of visible damage), it must be taken out of use immediately.

- Only use the equipment in dry rooms.
- Only use with the plug-in power supply provided.

2. Description

This version of Millikan's apparatus is a compact equipment set based on an experiment set-up devised by Millikan which does not require any radioactive source.

Comprising an experiment chamber kit for assembly with plate capacitor and connected oil

atomiser, lighting unit with two green LEDs, measuring microscope, voltage adjustment knob and switch to set the capacitor voltage, switch for starting and stopping rise and fall time measurements and a display unit with touch screen.

Charged droplets of oil are created with the help of an oil atomiser. They will have random charge which then remains unaffected by external influences. The oil droplets are introduced into the experiment chamber from above, just as in Millikan's original set-up. Suitable oil drops are selected and their charge measured by observing them through a measuring microscope. For each of the droplets, the time it takes to rise between two chosen marks on the ocular's scale when an electric field is applied is measured, as is the time it takes to descend between the marks when the field is switched off. Alternatively the oil drops can be held stationary by an electric field of suitable strength.

The rise and descent times measured for a charged droplet, the electric field voltage setting and readings for various relevant parameters, temperature, viscosity and pressure, are displayed on the touch-sensitive screen.

3. Controls



Fig. 1 Controls

- | | | | |
|---|-------------------------------|----|--|
| 1 | Adjustable feet | 8 | Oil atomiser |
| 2 | Measuring microscope on stand | 9 | Switch for changing plate capacitor sign |
| 3 | Light intensity adjustment | 10 | Co-axial power socket for plug-in power supply |
| 4 | Voltage switch U | 11 | Voltage adjustment |
| 5 | Timer switch t | 12 | Rubber bulb |
| 6 | Experiment chamber | 13 | Focussing knobs |
| 7 | Display and control unit | | |

4. Contents

- 1 Basic apparatus with experiment chamber and display unit
- 1 Measuring microscope
- 1 Eye piece WF15x with scale
- 1 Oil atomiser
- 1 Rubber bulb with hose
- 1 Spirit level
- 1 Adjustment needle
- 1 Plug-in power supply, 12 V AC, 2000 mA
- 1 Oil for Millikan's apparatus, 50 ml

Millikan's apparatus 1018884 includes a plug-in power supply for 230 V ($\pm 10\%$), 1018882 includes one for 115 V ($\pm 10\%$).

5. Technical data

Plate capacitor:

Capacitor voltage:	0 – 600 V
Plate diameter:	50 mm
Plate separation:	3 mm

Measuring microscope:

Magnification of ocular:	15x
Magnification of objective:	2x
Length of scale:	10 mm
Scale divisions:	0.1 mm

General data:

Power supply:	12 V AC, 2000 mA (via plug-in supply)
Dimensions including microscope:	370x430x235 mm approx.
Weight incl. power supply:	4.3 kg approx.
Density of oil:	877 kg m ⁻³ at 15°C 871 kg m ⁻³ at 25°C

6. Set-up

- Set up Millikan's oil drop apparatus on a level surface.
- Turn the vertical adjustment knob clockwise as far as it will go (see Fig. 2).
- Move the measuring microscope to the end of the stand rod on the base unit and secure it in place by means of the knurled screw at the bottom.
- Use the focussing equipment to move the measuring microscope forward as far as it will go and roughly align it in the observation window in the experiment chamber with the help of the vertical adjustment knob.
- Open the cover of the experiment chamber, place the spirit level on the uppermost plate of the plate capacitor and adjust the apparatus to its optimum horizontal alignment with the help of the adjustable feet.
- Insert the adjustment in the top plate of the plate capacitor and focus the microscope on the needle (see Fig. 3). Select a suitable light intensity and re-adjust the height of the measuring microscope by means of the vertical adjustment knob.
- Remove the needle and close the experiment chamber.
- Fill the oil atomiser to about halfway with the oil for Millikan's apparatus and carefully slot it into the hole in the experiment chamber.
- Connect the rubber bulb to the oil atomiser by means of hose.

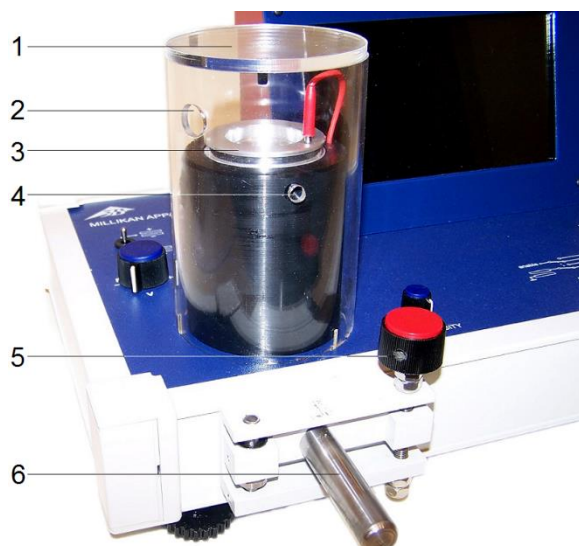


Fig. 2 Experiment chamber:

- 1 Cover,
- 2 Hole for oil atomiser,
- 3 Top capacitor plate,
- 4 Observation window,
- 5 Vertical adjustment knob for head of microscope,
- 6 Stand rod for measuring microscope

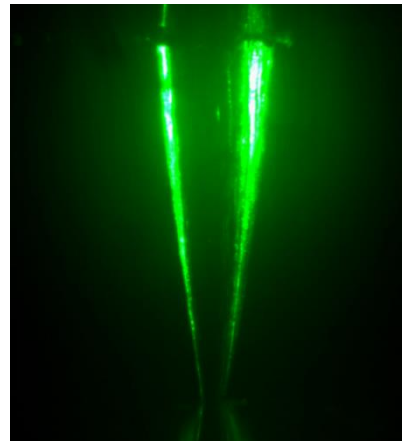


Fig. 3 View through the measuring microscope with the adjustment needle in focus

7. Operation

7.1 Starting the display and control unit

- Connect Millikan's apparatus to the mains via its plug-in power supply.

The display and control unit will be ready to use as soon as Millikan's apparatus has been connected up via the plug-in supply.

- Click the "Select" button ("Wählen") to access the language menu.
- Select the required language by pressing the corresponding button and then click "Enter" to confirm. This automatically returns you to the main menu.
- Click the "Next" button in the main menu to access the measurement menu.

7.2 Optimisation of light intensity

- Look through the microscope at the measurement cell (the space between the capacitor plates) and set up a suitable light intensity. Adjust the light intensity during the measurement as needed.

7.3 Production, selection and observation of charged oil droplets

- Give a single hard squeeze on the rubber bulb to produce some oil drops and spray them into the measurement cell.
- Wait till suitable oil droplets appear in the cell. This may take a few seconds.
- Select one of the oil droplets you can see descending slowly (about 0.025 – 0.1 mm/s).
- Adjust the focus of the microscope if necessary.

Note:

The object is to produce a small number of individual oil droplets, not a large bright cloud of them since you only need to select one droplet. Squeezing the bulb more than once will mean that there are too many droplets in the measurement cell, particularly in the area between the microscope and where it is focussed. Drops there obstruct observation of droplets which are in focus. A suitable droplet will appear as a brightly lit point in the focus of the measuring microscope.

If too much oil has entered the measurement cell, it will need to be cleaned. If no droplets appear in the measurement cell, even after the bulb has been squeezed multiple times, it may be that the opening in the top capacitor plate has blocked up. Then it would need to be cleaned too.

8. Experiments

8.1 Floating method

The voltage U which keeps the drop floating still is determined along with the velocity v_2 at which the drop descends after the voltage is turned off

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

t_2 : Time to descend, S : Separation of scale positions, V : Objective magnification (2x)

The radius r_0 and charge q_0 of the oil drop are determined from the equilibrium level of electrical force, buoyancy in air, Stokes' friction in air and the force of gravity:

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

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

η : Viscosity of air, ρ_2 : Density of oil, ρ_1 : Density of air, g : Acceleration due to gravity, d : Separation of capacitor plates (3 mm)

- Select the polarity of the voltage U , e.g. top plate "+", bottom plate "-".
- If times t_1 and t_2 have been saved from previously, they can be reset to zero by pressing "Reset".
- Describe, make, observe and select a suitable droplet as described in section 7.3.
- Set the voltage and timer switches U and t to ON and ignore the running time t_1 .
- Set up a voltage which causes the selected oil drop to "float" still at a given scale marking.
- Read off the voltage U from the display and make a note of it.
- Set voltage switch U to OFF. This allows the observed drop to descend. Measurement of time t_2 starts automatically.

- Set timer switch t to OFF as soon as the drop has reached a scale position decided in advance. This stops the measurement of t_2 .
- Read off the time t_2 from the display and make a note of it along with the separation of the two scale positions.
- Repeat the measurement as often as possible for different oil drops, changing the sign of the voltage U as you do so.

8.2 Rising/falling method

For a selected value of voltage U , the velocity with which a drop rises v_1 and the velocity with which it descends v_2 are both determined

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

t_1 : Rise time, t_2 : Fall time, S : Separation of scale position, V : Objective magnification (2x)

The radius r_0 and charge q_0 of the oil drop are determined from the equilibrium level of electrical force, buoyancy in air, Stokes' friction in air and the force of gravity:

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

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

η : Viscosity of air, ρ_2 : Density of oil, ρ_1 : Density of air, g : Acceleration due to gravity

- Select the polarity of the voltage U , e.g. top plate "+", bottom plate "-".
- If times t_1 and t_2 have been saved from previously, they can be reset to zero by pressing "Reset".
- Describe, make, observe and select a suitable droplet as described in section 7.3.

- Set voltage switch U to ON. Set up a voltage U at which the oil drop slowly rises past a selected initial scale marking in the top part of the measurement cell.
- Move switch U to OFF so that the oil drop starts to descend again.
- Set switch t to ON as soon as the oil drop has returned to the first position you chose. This starts the measurement of time t_2 .
- Set switch U to ON as soon as the drop passes a selected scale marking in the lower part of the measurement cell, thus causing the drop to start rising again. Measurement of time t_2 stops and measurement of time t_1 starts automatically.
- Set switch t to OFF as soon as the oil drop has returned to the first position you chose. This causes the measurement of time t_1 to stop.
- Set switch U back to OFF.
- Read off the times t_1 and t_2 as well as the voltage U ("Previous Voltage") from the display and make a note of them along with the separation of the scale markings.
- Repeat the measurement for as many different oil drops as possible and using a variety of capacitor voltages. Change the sign of the voltage U as you do so.

8.3 Correction for Stokes friction

Very small radii r_0 are of the same order of magnitude as the mean free path of air molecules. This requires a correction for the Stokes force of friction. The corrected radius r and charge q are then given by:

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

$b = 82 \mu\text{m}\cdot\text{hPa} = \text{constant}$, p : air pressure

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

r_0 is given by equations (2) or (5) and q_0 by equations (3) or (6).

8.4 Parameters relevant to the results

Temperature, air pressure and viscosity of air are measured or calculated with the help of built-in sensors and are displayed on the screen.

Density of oil:

877 kg m⁻³ at 15°C

871 kg m⁻³ at 25°C

Density of air:

1.293 g m⁻³ at 0°C and 1013.23 hPa

8.5 Evaluation

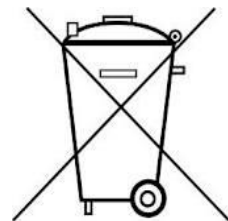
- The charges of the oil drops can be determined using equation (8).

The charges derived from measurement are divided by a whole number n such that the resulting values have the least possible spread around their average, which represents an estimate of the elementary charge of electrons or protons. Standard deviation provides a measure of the spread. The result is more meaningful the more measurements are recorded, i.e. the greater the size of the sample and the fewer the number of values of charge on the oil drops (recommendation: $n < 10$).

9. Storage, cleaning and disposal

- Keep the equipment in a clean, dry and dust-free place.
- Before cleaning the equipment, disconnect it from its power supply.
- Do not clean the unit with volatile solvents or abrasive cleaners.
- Use a soft, damp cloth to clean it.
- The packaging should be disposed of at local recycling points.

Should you need to dispose of the equipment itself, never throw it away in normal domestic waste. If being used in private households it can be disposed of at the local public waste disposal authority.



- Comply with the applicable regulations for the disposal of electrical equipment.

Aparato de Millikan

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

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

Instrucciones de uso

07/16 UD/ALF



1. Advertencias de seguridad

El aparato de Millikan cumple las prescripciones de seguridad para aparatos de laboratorio de medición, control y regulación según la normativa DIN EN 61060 Parte 1. Éste está previsto para el trabajo en recintos secos apropiados para medios de trabajo eléctricos.

En su uso correcto, de acuerdo con las prescripciones, se garantiza el funcionamiento seguro del aparato. Sin embargo, la seguridad no se garantiza si el aparato se usa incorrectamente o se manipula sin el cuidado necesario.

Cuando es de considerar que el funcionamiento seguro no es posible (p.ej. con daños visibles) se debe poner el aparato inmediatamente fuera de servicio.

- El aparato se utiliza sólo en recintos secos.
- Se pone en funcionamiento solamente con la fuente de alimentación enchufable que se entrega con él.

2. Descripción

El aparato de Millikan es una unidad compacta basada en el montaje experimental de Millikan, que funciona sin el uso de una fuente de radiación radioactiva.

Se compone de una cámara de experimentación

desarmable con un condensador de placas y un pulverizador de aceite conectado, una instalación de iluminación, con dos LEDs verdes, un microscopio de medición, un generador de tensión, un interruptor para la tensión del condensador y un interruptor para iniciar y parar las mediciones de los tiempos de ascenso y descenso así como un unidad de medición e indicación con pantalla sensible al contacto (Touchscreen).

Las gotitas de aceite cargadas electricamente se generan por medio del pulverizador de aceite y su estado de carga aleatorio no se puede influir desde afuera. Las gotitas de aceite se introducen en la cámara de experimentación por la parte de arriba, como en el montaje de Millikan. La selección y la determinación de la carga de las gotitas de aceite adecuadas se realiza por medio de la observación con el microscopio de medición. Junto a esto se mide para cada gotita de aceite el tiempo de subida con el campo eléctrico conectado y el tiempo de bajada sin campo eléctrico en un tramo de camino entre dos marcas seleccionadas en la escala del ocular. Alternativamente, las gotitas de aceite a medir se pueden mantener en suspensión en el campo eléctrico.

Los tiempo de subida y baja medidos para una gotita de aceite cargada, así como los valores de los parametros relevantes, de tensión eléctrica ajustada, de la temperatura, la viscosidad y la presión se indican en la pantalla sensible al tacto.

3. Elementos de mando y control



Fig. 1 Elementos de mando y control

- | | | | |
|---|------------------------------------|----|---|
| 1 | Pies de ajuste | 8 | Pulverizador de aceite |
| 2 | Microscopio de medición en soporte | 9 | Conmutador de la polaridad del condensador de placas |
| 3 | Ajuste de la intensidad de la luz | 10 | Casquillo hueco para la fuente de alimentación enchufable |
| 4 | Interruptor U | 11 | Ajustador de la tensión |
| 5 | Interruptor t | 12 | Bola de soplador |
| 6 | Cámara de experimentación | 13 | Piñón de focalización |
| 7 | Unidad de indicación y mando | | |

4. Volumen de suministro

- 1 Aparato básico con cámara de experimentación y unidad de indicación
- 1 Microscopio de medición
- 1 Ocular WF15x con escala
- 1 Pulverizador de aceite
- 1 Balón de soplador con manguera
- 1 Nivel de burbuja
- 1 Aguja de ajuste
- 1 Fuente de alimentación enchufable 12 V AC, 2000 mA
- 1 Aceite de Millikan, 50 ml

El aparato de Millikan 1018884 está acompañado de una fuente de alimentación enchufable para una tensión de red 230 V ($\pm 10\%$), 1018882 para 115 V ($\pm 10\%$).

5. Datos técnicos

Condensador de placas:

Tensión de condensador : 0 – 600 V
 Diámetro de las placas: 50 mm
 Distancia entre las placas: 3 mm

Microscopio de medición:

Aumento del ocular: 15x
 Aumento del objetivo: 2x
 Longitud de la escala: 10 mm
 Divisiones de la escala: 0,1 mm

Datos generales:

Suministro de corriente: por fuente de alimentación enchuf. 12 V AC, 2000 mA

Dimensiones incl. microscopio de medición: aprox. 37x43x23 cm³

Masa incl. fuente de alimentación enchufable: aprox. 4,3 kg

Densidad aceite de Millikan: 877 kg m⁻³ con 15°C
 871 kg m⁻³ con 25°C

6. Puesta en funcionamiento

- El aparato de Millikan se instala en un puesto de experimentación plano.
- El ajuste vertical se gira hasta el tope en sentido de la manecillas del reloj (ver Fig. 2).
- El microscopio de medición se desplaza hasta el tope en la barra soporte del aparato básico y se fija en el lado inferior utilizando el tornillo moleteado.
- El microscopio de medición se desplaza totalmente hacia adelante utilizando el engranaje de focalización y por medio del ajuste vertical se orienta aproximadamente hacia la ventana de observación en la cámara de experimentación.
- Se abre la caperuza de recubrimiento de la cámara de experimentación, el nivel de burbuja se coloca sobre la placa superior del condensador de placas y se orienta horizontalmente y por medio de los pies de ajuste se optimiza la orientación.
- La aguja de ajuste se inserta en la placa superior del condensador de placas y el microscopio se enfoca en la aguja (ver Fig. 3). Para ello se elige la intensidad de luz apropiada y se reajusta la altura del microscopio de medición por medio del ajuste vertical.
- Se retira la aguja de ajuste y se vuelve a cerrar la cámara de experimentación.
- El pulverizador de aceite se llena hasta la mitad de aceite de Millikan y se coloca con cuidado en su punto de alojamiento en la cámara de experimentación.
- La bola de soplador con manguera se conecta al pulverizador de aceite.

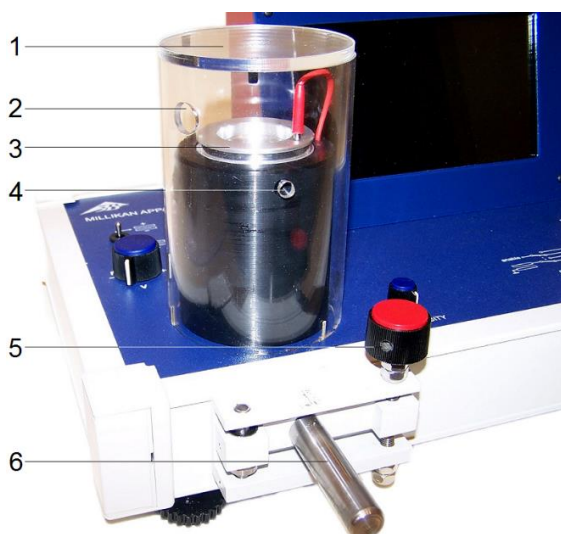


Fig. 2 Cámara de experimentación: 1 Caperuza de recubrimiento, 2 Alojamiento para pulverizador de aceite, 3 Placa superior del condensador, 4 Ventana de observación, 5 Ajuste vertical del microscopio, 6 Barra soporte para el microscopio de medición

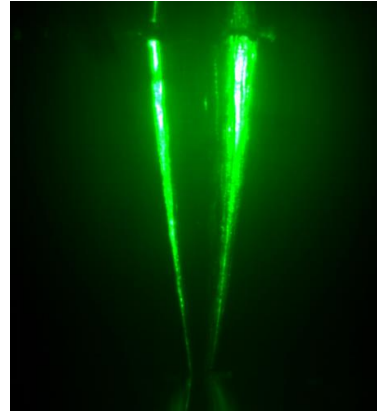


Fig. 3 Vista de la aguja de ajuste focalizada, a través del microscopio de medición.

7. Manejo

7.1 Inicio de la unidad de indicación y manejo

- El aparato de Millikan se conecta a la red por medio de la fuente de alimentación enchufable.

La unidad de indicación y manejo está lista a funcionar inmediatamente después de la conexión del aparato de Millikan.

- Con un clic en el botón "Selección", se llega al menú de selección de lenguaje.
- Se selecciona el lenguaje deseado haciendo un clic en el botón correspondiente y se confirma haciendo un clic en "Entrar". Se retorna automáticamente al menú principal..
- En el menú principal se hace un clic en "Seguir" para llegar al menú de medición.

7.2 Optimación de la intensidad de la luz

- Se mira en la celda de medición (espacio entre las placas del condensador) por medio del microscopio y se ajusta la intensidad de luz apropiada. Si es necesario se adapta la intensidad de la luz durante la medición.

7.3 Producción, selección y observación de las gotitas de aceite cargadas

- Por medio de una corta y fuerte compresión de la bola de soplador se producen y se pulverizan gotitas de aceite en la celda de medición.
- Se espera hasta que aparezcan en la celda de medición gotitas de aceite apropiadas. Esto puede demorar unos segundos.
- De las gotitas de aceite visibles se escoge una que descienda lentamente (alrededor de 0,025 – 0,1 mm/s).
- En caso necesario se reajusta el enfoque del microscopio.

Observaciones:

La meta es, producir un pequeño número de gotitas de aceite aisladas, no una nube grande y clara de la cual una gotita de aceite se seleccione. Una compresión repetida de la bola de soplador conduce a que lleguen muchas gotitas de aceite a la celda de medición, especialmente por delante del foco del microscopio de medición. Allí afectan la observación de gotitas de aceite que se encuentren en el foco.

Una gotita de aceite apropiada aparece como un punto claro resplandeciente en el foco del microscopio de medición.

Cuando llega mucho aceite a la celda de medición, ésta tiene que ser limpiada. Si después de repetidas compresiones de la bola de soplador no se encuentra ninguna gotita de aceite en la celda de medición, puede que la apertura en la placa superior del condensador esté obstruida y debe ser limpiada.

8. Experimento

8.1 Metodo de la suspensión

Se determina la tensión de suspenso U y luego de desconectar la tensión la velocidad de descenso v_2 :

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

t_2 : Tiempo de descenso, S : Distancia de escala, V : Aumento de objetivo ($2x$)

De los equilibrios de, la fuerza eléctrica, el empuje ascensional en el aire, la fricción de Stokes en el aire y la fuerza de gravitación se obtiene para el radio r_0 y la carga q_0 de la gotita de aceite:

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

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

η : Viscosidad del aire, ρ_2 : Densidad del aceite, ρ_1 : Densidad del aire, g : Aceleración de caída libre, d : Distancia entre las placas del condensador (3 mm)

- Se selecciona la polaridad de la tensión U , p.ej. Placa superior "+", de la inferior "-".
- Tiempos t_1 y t_2 eventualmente guardados se ponen en cero pulsando "Reset".
- Se produce, se observa y se selecciona una gotita de aceite apropiada, como se describe en 7.3.
- El interruptor U y el interruptor t se ajustan en ON, y el tiempo t_1 que corre se ignora.
- Se ajusta una tensión, que lleve la gotita seleccionada a una posición deseada y la mantenga en suspensión.
- La tensión de suspensión U indicada en el display se lee y se anota.
- El interruptor U se ajusta en OFF, así se deja descender la gotita observada. La medición del tiempo t_2 se inicia automáticamente.

- Se fija el interruptor t en OFF, en el momento en que la gotita de aceite ha llegado a una segunda posición de la escala y así se detiene la medición del tiempo t_2 .
- Se lee el t_2 indicado en el diapla y se anota junto con la distancia de las posiciones de la escala.
- En lo posible se repite muchas veces la medición para diferentes gotitas de aceite y además se invierte el signo de la tensión U .

8.2 Método de la ascención

Para una tensión U seccionada se mide la velocidad de ascenso v_1 y luego de desconectar la tensión U la velocidad de descenso 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 : Tiempo de ascenso, t_2 : Tiempo de descenso, S : Distancia de escala V : Aumento del objetivo ($2x$)

De los equilibrios de, la fuerza eléctrica, el empuje ascensional en el aire, la fricción de Stokes en el aire y la fuerza de gravitación se obtiene para el radio r_0 y la carga q_0 de la gotita de aceite:

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

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

η : Viscosidad del aire, ρ_2 : Densidad del aceite, ρ_1 : Densidad del aire, g : Aceleración de caída libre

- Se selecciona la polaridad de la tensión U , p.ej. Placa superior "+", de la inferior "-".
- Tiempos t_1 y t_2 eventualmente guardados se ponen en cero pulsando "Reset".

- Se produce, se observa y se selecciona una gotita de aceite apropiada, como se describe en 7.3.
- El interruptor U se pone en ON. Se ajusta la tensión U de tal forma que la gotita de aceite pase lentamente hacia arriba por encima de la primera posición de escala previamente seleccionada, en la parte superior de la celda de medición.
- El interruptor U se pone en OFF, así se deja que la gotita de aceite vuelva a descender.
- El interruptor t se pone en ON, en el momento en que la gotita de aceite ha vuelto a llegar a la primera posición y así se inicia la medición del tiempo t_2 .
- El interruptor U se pone en ON en el momento en que la gotita de aceite a llegado a una segunda posición de escala prevista, en la región inferior de la celda de medición, en esta forma se deja que la gotita de aceite suba. La medición del tiempo t_2 se detiene la medición del tiempo t_1 se inicia automáticamente.
- El interruptor t se pone en OFF, en el momento en que la gotita de aceite ha llegado nuevamente a la primera posición y así se detiene la medición del tiempo t_1 .
- El interruptor U se pone en OFF.
- Los tiempos t_1 y t_2 además la tensión U ("Previous Voltaje") se leen en el display y se anotan junto con la distancia de la posición de escala.
- Se repite muchas veces la medición para diferentes gotitas de aceite y diferentes y tensiones del condensador invirtiendo también el signo de la tensión U .

8.3 Corrección de la fuerza de fricción de Stokes

Radios muy pequeños se encuentran en el orden de magnitud del camino libre medio de las moléculas del aire, así que la fricción de Stokes debe ser corregida. Para el el radio r corregido y la carga q corregida se obtiene entonces:

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

$b = 82 \mu\text{m}\cdot\text{hPa} = \text{constante}$, ρ : Presión atmosférica

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

con r_0 de acuerdo a la ecuación (2) resp. (5) y q_0 de acuerdo con la ecuación (3) resp. (6).

8.4 Parámetros relevantes para la evaluación

La temperatura, la presión atmosférica y la viscosidad del aire se miden con sensores integrados resp. calculados y se indican en la pantalla.

Densidad del aceite:

877 kg m⁻³ con 15°C

871 kg m⁻³ con 25°C

Densidad del aire:

1,293 g m⁻³ con 0°C y 1013,23 hPa

8.5 Evaluación

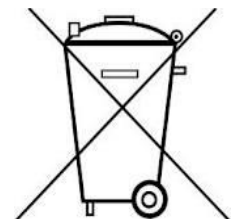
- De la ecuación (8) se determinan las cargas de las gotitas de aceite.

Las cargas determinadas a partir de la medición se dividen por un número entero n de tal forma que los valores resultantes muestren una pequeña dispersión alrededor del valor medio que corresponde al valor estimado de la carga elemental. Como medida para la dispersión sirve la desviación estándar. El resultado es más significativo mientras más valores de medida se tomen, es decir que mientras mayor es el conjunto de muestras y menor es el número de cargas en las gotitas de aceite. (Recomendación: $n < 10$).

9. Almacenamiento, Limpieza, Desecho

- El aparato se almacena en un lugar limpio y seco, libre de polvo.
- Antes de limpiar el aparato se separa del suministro de corriente.
- Al limpiarlo no se use ningún detergente agresivo o disolvente.
- Para limpiarlo se usa un trapo suave húmedo.
- El embalaje se desecha en los puestos de reciclaje locales.

En caso de que el aparato mismo deba ser chatarrizado, éste no forma parte de la basura doméstica normal. Al ser usado en hogares privados, puede ser desechado por las empresas locales públicas encargadas de desechos.



- Se deben cumplir las prescripciones vigentes sobre el desecho de chatarra eléctrica.

Appareil de Millikan

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

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

Instructions d'utilisation

07/16 UD/ALF



1. Consignes de sécurité

L'appareil de Millikan satisfait aux dispositions de sécurité pour appareils électriques de mesure, de commande, de réglage et de laboratoire selon DIN EN 61010, 1^{re} partie. Il est prévu pour être utilisé dans des locaux secs convenant aux équipements électriques.

En cas d'utilisation conforme, l'exploitation sûre de l'appareil est garantie. La sécurité n'est toutefois pas garantie lorsque l'appareil est manipulé incorrectement ou de manière négligente.

Si une exploitation sans danger risque d'être impossible (par ex. en cas d'endommagements apparents), mettre immédiatement l'appareil hors service.

- N'utiliser l'appareil que dans des locaux secs.
- Ne mettre en service qu'avec le bloc d'alimentation enfichable fourni.

2. Description

L'appareil de Millikan est un dispositif compact reposant sur le montage expérimental de Millikan, mais qui se passe de source de rayonnement radioactif.

Il est constitué d'une chambre d'expérimentation démontable avec condensateur à

plaques et pulvérisateur d'huile connecté, dispositif d'éclairage avec deux LED vertes, microscope de mesure, régulateur de tension et commutateur pour la tension de condensateur, commutateur pour démarrer et arrêter la mesure des temps de montée et de chute ainsi qu'unité de mesure et d'affichage à écran tactile.

Les gouttelettes d'huile chargées sont générées par un pulvérisateur d'huile et, par la suite, leur état de charge aléatoire n'est plus influencé de l'extérieur. Comme dans le montage de Millikan, les gouttelettes d'huile sont alimentées par le haut dans la chambre d'expérimentation. L'observation avec le microscope de mesure permet de sélectionner et de déterminer la charge de gouttelettes d'huile appropriées. Pour chaque gouttelette d'huile, on détermine le temps de montée en présence d'un champ électrique et le temps de chute en l'absence d'un champ électrique pour un parcours entre deux repères choisis sur la graduation de l'oculaire. Comme variante, on peut maintenir les gouttelettes d'huile à mesure en suspension dans le champ électrique.

Le temps de montée et de chute mesuré d'une gouttelette d'huile chargée, la tension électrique réglée ainsi que des paramètres significatifs pour l'évaluation (température, viscosité et pression) s'affichent à l'écran tactile.

3. Éléments de commande



Fig. 1 Éléments de commande

- | | | | |
|---|-------------------------------------|----|--|
| 1 | Pieds | 8 | Pulvérisateur d'huile |
| 2 | Microscope de mesure sur pied | 9 | Inverseur de polarité condensateur à plaques |
| 3 | Régulateur d'intensité lumineuse | 10 | Douille creuse pour alimentation enfichable |
| 4 | Commutateur U | 11 | Régulateur de tension |
| 5 | Commutateur t | 12 | Poire |
| 6 | Chambre d'expérimentation | 13 | Commande de mise au point |
| 7 | Éléments d'affichage et de commande | | |

4. Fournitures

- 1 appareil de base avec chambre d'expérimentation et unité d'affichage
- 1 microscope de mesure
- 1 oculaire WF15x avec graduation
- 1 pulvérisateur d'huile
- 1 poire avec flexible
- 1 niveau à bulle
- 1 aiguille d'ajustage
- 1 alimentation enfichable, 12 V CA, 2000 mA
- 1 huile Millikan, 50 ml

L'appareil de Millikan 1018884 est livré avec une alimentation enfichable pour une tension secteur de 230 V ($\pm 10\%$), 1018882 pour 115 V ($\pm 10\%$).

5. Caractéristiques techniques

Condensateur à plaques

Tension de condensateur :	0 – 600 V
Diamètre de plaque :	50 mm
Écart des plaques	3 mm

Microscope de mesure :

Agrandissement de l'oculaire :	15x
Agrandissement d'objectif :	2x
Longueur de graduation :	10 mm
Pas de la graduation :	0,1 mm

Données générales :

Alimentation :	alim. enfichable, 12 V CA, 2 A
----------------	--------------------------------

Dimensions microscope compris :	env. 370x430x235 mm
Masse alimentation enfichable comprise :	env. 4,3 kg
Densité huile de Millikan :	877 kg m ⁻³ à 15 °C 871 kg m ⁻³ à 25 °C

6. Mise en service

- Placer l'appareil de Millikan sur une surface plane.
- Tourner le régulateur vertical jusqu'en butée dans le sens des aiguilles d'une montre (cf. Fig. 2).
- Glisser le microscope de mesure jusqu'en butée sur le pied de l'appareil de base et le fixer à la partie inférieure avec la vis moletée.
- À l'aide des commandes de mise au point, avancer le microscope de mesure tout à fait en avant et, avec le régulateur vertical, l'orienter grossièrement à la fenêtre d'observation dans la chambre d'expérimentation.
- Ouvrir le capot de protection de la chambre d'expérimentation, placer le niveau à bulle sur la plaque supérieure du condensateur à plaques et optimiser l'orientation horizontale à l'aide des pieds.
- Enficher l'aiguille d'ajustage dans la plaque supérieure du condensateur à plaques et effectuer une mise au point du microscope par rapport à l'aiguille (cf. Fig. 3). Pour cela, choisir une intensité lumineuse appropriée et rajuster la hauteur du microscope de mesure au moyen du régulateur vertical.
- Retirer l'aiguille d'ajustage et refermer la chambre d'expérimentation.
- Remplir le pulvérisateur d'huile environ de moitié avec de l'huile Millikan et le placer avec précaution dans le logement de la chambre d'expérimentation.
- Brancher la poire avec le flexible au pulvérisateur d'huile.

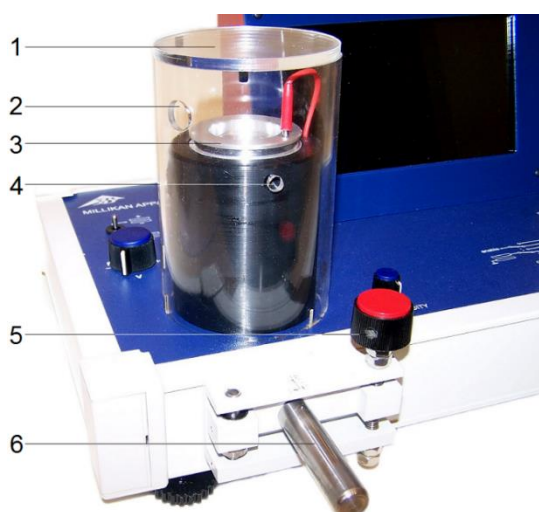


Fig. 2 Chambre d'expérimentation : 1 Capot de protection, 2 Logement pour pulvérisateur d'huile, 3 Plaque de condensateur, 4 Fenêtre d'observation, 5 Régulateur vertical pour tête de microscope, 6 Trépied pour microscope de mesure

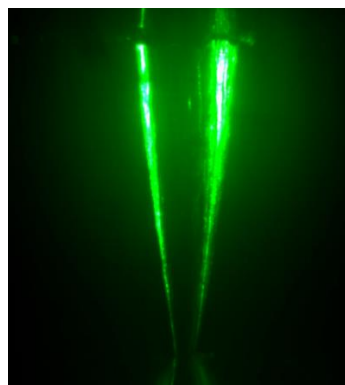


Fig. 3 Vue à travers le microscope de mesure sur l'aiguille d'ajustage nette.

7. Manipulation

7.1 Démarrage de l'unité d'affichage et de commande

- Brancher l'appareil de Millikan au secteur via l'alimentation enfichable.

Dès que l'appareil de Millikan est branché, l'unité d'affichage et de commande est prête au service.

- Cliquer sur le bouton « Wählen » (« Sélectionner ») pour accéder au menu de langue.
- Choisir la langue désirée en cliquant sur le bouton correspondant, puis confirmer le choix en cliquant sur le bouton « Eingeben » (« Entrer »). On retourne automatiquement au menu principal
- Dans le menu principal, cliquer sur le bouton « Weiter » (« Continuer ») pour accéder au menu de mesure.

7.2 Optimisation de l'intensité lumineuse

- Regarder à travers le microscope de mesure dans la cellule de mesure (l'espace entre les plaques du condensateur) et régler une intensité lumineuse appropriée. Le cas échéant, adapter l'intensité lumineuse pendant la mesure.

7.3 Génération, sélection et observation de gouttelettes d'huile chargées

- Comprimer brièvement, mais puissamment la poire pour générer des gouttelettes d'huile chargées et les pulvériser dans la cellule de mesure.
- Attendre que des gouttelettes d'huile appropriées apparaissent dans la cellule de mesure. Cela peut durer quelques secondes.
- Parmi les gouttelettes d'huile visibles, en choisir une qui descend lentement ($\approx 0,025 - 0,1$ mm/s).
- Le cas échéant, corriger la mise au point du microscope.

Notes :

L'objectif est de générer un petit nombre de gouttelettes d'huile, pas de grand nuage clair, pour en choisir une parmi elles. Si l'on appuie plusieurs fois sur la poire, un trop grand nombre de gouttelettes d'huile accèdent dans la cellule de mesure, notamment devant le foyer du microscope de mesure. Là, elles perturbent l'observation des gouttelettes d'huile qui se trouvent dans le foyer.

Une gouttelette d'huile appropriée se présente sous la forme d'un point lumineux dans le foyer du microscope de mesure.

Si la cellule de mesure reçoit trop d'huile, il faut la nettoyer. Si aucune gouttelette d'huile ne se trouve dans la cellule de mesure, même après plusieurs pressions de poire, il se peut que l'orifice dans la plaque supérieure du condensateur soit bouché. Il faut alors le nettoyer.

8. Expérience

8.1 Méthode par flottement

On détermine la tension flottante U et, après la désactivation de la tension, la vitesse de chute v_2 :

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

t_2 : temps de chute, S : écart de graduation, V : agrandissement de l'objectif (2x)

À partir des équilibres de force électrique, de portance dans l'air, de frottement de Stokes et de force gravitationnelle, on obtient pour le rayon r_0 et la charge q_0 de la gouttelette d'huile :

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

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

η : viscosité d'air, ρ_2 : densité d'huile, ρ_1 : densité d'air, g : accélération de la pesanteur, d : écart des plaques de condensateur (3 mm)

- Sélectionner la polarité de la tension U , par ex. plaque supérieure « + », plaque inférieure « - ».
- Remettre éventuellement les durées enregistrées t_1 et t_2 à zéro avec « Reset ».
- Générer, observer et choisir une gouttelette d'huile appropriée comme décrit sous 7.3.
- Régler les commutateurs U et t sur ON et ignorer le temps en cours t_1 .
- Régler une tension qui maintient la gouttelette d'huile choisie en suspension dans la position de graduation souhaitée.
- Lire la tension flottante U à l'écran et noter la valeur.
- Régler le commutateur U sur OFF, pour laisser descendre la gouttelette d'huile observer. La mesure de temps t_2 démarre automatiquement.

- Régler le commutateur t sur OFF dès que la gouttelette d'huile a atteint la deuxième position de graduation présélectionnée, et arrêter ainsi la mesure du temps t_2 .
- Lire le temps t_2 à l'écran et noter la valeur avec l'écart des positions de graduation.
- Dans la mesure du possible, répéter la mesure pour différentes gouttelettes d'huile en modifiant également le signe de la tension U .

8.2 Méthode par montée

À tension U choisie, déterminer la vitesse de montée v_1 et, après désactivation de la tension, déterminer la vitesse de chute 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 : temps de montée, t_2 : temps de chute, S : écart de graduation, V : agrandissement d'objectif (2x)

À partir des équilibres de force électrique, de portance dans l'air, de frottement de Stokes et de force gravitationnelle, on obtient pour le rayon r_0 et la charge q_0 de la gouttelette d'huile :

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

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

η : viscosité d'air, ρ_2 : densité d'huile, ρ_1 : densité d'air, g : accélération de la pesanteur

- Sélectionner la polarité de la tension U , par ex. plaque supérieure « + », plaque inférieure « - ».
- Remettre éventuellement les durées enregistrées t_1 et t_2 à zéro avec « Reset ».
- Générer, observer et choisir une gouttelette d'huile appropriée comme décrit sous 7.3.

- Régler le commutateur U sur ON. Régler une tension U de sorte que la gouttelette d'huile remonte lentement au-delà de la première position de graduation présélectionnée dans l'étendue supérieure de la cellule de mesure.
- Régler le commutateur U sur OFF, pour laisser descendre à nouveau la gouttelette d'huile.
- Régler le commutateur t sur ON dès que la gouttelette d'huile a atteint de nouveau la première position et démarrer ainsi la mesure du temps t_2 .
- Régler le commutateur U sur ON dès que la gouttelette d'huile a atteint une deuxième position de graduation présélectionnée dans l'étendue supérieure et faire monter ainsi la gouttelette d'huile. La mesure de temps t_2 s'arrête et la mesure de temps t_1 démarre automatiquement.
- Régler le commutateur t sur OFF dès que la gouttelette d'huile a atteint de nouveau la première position présélectionnée, et arrêter ainsi la mesure du temps t_1 .
- Régler le commutateur U sur OFF.
- Lire les temps t_1 et t_2 et la tension U (« previous voltage ») à l'écran et noter les valeurs avec l'écart de la position de graduation.
- Dans la mesure du possible, répéter la mesure pour différentes gouttelettes d'huile et tensions de condensateur, en modifiant également le signe de la tension U .

8.3 Correction de la force de frottement de Stokes

Les très petits rayons r_0 se situent dans l'ordre de grandeur de la longueur de parcours libre moyenne de la molécule d'air, de sorte qu'il faut corriger la force de frottement de Stokes. Pour le rayon corrigé r et la charge corrigée q , il en résulte :

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

$b = 82 \mu\text{m} \cdot \text{hPa} = \text{constant}$, p : pression d'air

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

avec r_0 selon l'équation (2) ou (5) et q_0 selon l'équation (3) ou (6).

8.4 Paramètres significatifs pour l'évaluation

La température, la pression d'air et la viscosité de l'air sont mesurées / calculées par des capteurs intégrés et affichées à l'écran.

Densité d'huile :

877 kg m⁻³ à 15 °C

871 kg m⁻³ à 25 °C

Densité d'air :

1,293 g m⁻³ à 0 °C et 1013,23 hPa

8.5 Évaluation

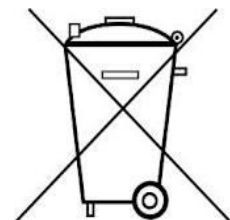
- Déterminer les charges des gouttelettes d'huile avec l'équation (8).

Les charges déterminées par la mesure sont divisées par un nombre entier n de sorte que les valeurs qui en résultent présentent une dispersion si possible faible autour de la moyenne, qui correspond à la valeur évaluée pour la charge élémentaire. L'écart standard sert de référence à la dispersion. Plus on enregistre de valeurs de mesure, plus le résultat est pertinent. Autrement dit, plus l'échantillon est volumineux, plus le nombre de charges sur les gouttelettes d'huile est petit (recommandation : $n < 10$).

9. Rangement, nettoyage, élimination

- Ranger l'appareil à un endroit propre, sec et exempt de poussière.
- Avant de nettoyer l'appareil, le couper de l'alimentation électrique.
- Pour le nettoyage, ne pas utiliser de nettoyeurs ni de solvants agressifs.
- Pour le nettoyage, utiliser un chiffon doux et humide.
- L'emballage doit être déposé aux centres de recyclage locaux.

Si l'appareil doit être éliminé, ne pas le jeter avec les ordures ménagères. S'il est utilisé en privé à la maison, il peut être éliminé auprès d'un service public de collecte compétent.



- Respecter les prescriptions en vigueur pour la mise au rebut de déchets électriques.

Apparecchio di Millikan

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

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

Istruzioni per l'uso

07/16 UD/ALF



1. Norme di sicurezza

L'apparecchio di Millikan risponde alle disposizioni di sicurezza per apparecchi elettrici di misura, di comando, di regolazione e da laboratorio della norma DIN EN 61010 Parte 1 ed è pensato per l'utilizzo in ambienti asciutti, adatti per strumenti elettrici.

Un utilizzo conforme garantisce il funzionamento sicuro dell'apparecchio. La sicurezza non è tuttavia garantita se l'apparecchio non viene utilizzato in modo appropriato o non viene trattato con cura.

Se si ritiene che non sia più possibile un funzionamento privo di pericoli (ad es. in caso di danni visibili), l'apparecchio deve essere messo immediatamente fuori servizio.

- Utilizzare l'apparecchio solo in ambienti asciutti.
- Utilizzare unicamente con l'alimentatore a spina fornito in dotazione.

2. Descrizione

L'apparecchio di Millikan è un apparato compatto basato sull'esperienza di Millikan, senza sorgente radioattiva.

Esso è composto da una camera sperimentale smontabile con condensatore a piastre e polverizzatore d'olio incorporato, un dispositivo di illuminazione dotato di due LED verdi, un

microscopio di misura, un regolatore di tensione e un interruttore per la tensione del condensatore, un interruttore di avvio/arresto delle misurazioni del tempo di risalita e caduta e da un'unità di misurazione e visualizzazione con display touchscreen.

Le goccioline d'olio elettricamente cariche vengono generate per mezzo del polverizzatore d'olio. Successivamente, lo stato di carica non viene più influenzato dall'esterno. Come nell'apparato sperimentale dell'esperienza di Millikan, tali goccioline vengono spruzzate dall'alto nella suddetta camera. La scelta e la determinazione della carica di goccioline adatte avviene tramite l'osservazione al microscopio. Per ogni gocciolina d'olio si misura il tempo di risalita in presenza di un campo elettrico e il tempo di caduta in assenza di un campo elettrico per un percorso tra due tacche individuate sulla scala dell'oculare. In alternativa, le goccioline d'olio all'interno del campo elettrico da misurare possono essere tenute sospese in equilibrio.

Il display touchscreen mostra il tempo di risalita e caduta misurato per una gocciolina d'olio carica, la tensione elettrica impostata così come i parametri temperatura, viscosità e pressione rilevanti ai fini dell'analisi.

3. Elementi di comando



Fig. 1 Elementi di comando

- | | | | |
|---|------------------------------------|----|--|
| 1 | Piedi regolabili | 8 | Polverizzatore d'olio |
| 2 | Microscopio di misura su supporto | 9 | Commutatore di polarità condensatore a piastre |
| 3 | Regolatore di intensità luminosa | 10 | Presa per alimentatore a spina |
| 4 | Interruttore U | 11 | Regolatore di tensione |
| 5 | Interruttore t | 12 | Pompetta di gomma |
| 6 | Camera sperimentale | 13 | Ghiera di messa a fuoco |
| 7 | Unità di visualizzazione e comando | | |

4. Fornitura

- 1 apparecchio di base con camera sperimentale e unità di visualizzazione
- 1 microscopio di misura
- 1 oculare WF15x con scala
- 1 polverizzatore d'olio
- 1 pompetta di gomma con tubo
- 1 livella
- 1 ago di regolazione
- 1 alimentatore a spina, 12 V AC, 2000 mA
- 50 ml di olio di Millikan

L'apparecchio di Millikan 1018884 è fornito con un alimentatore a spina per una tensione di rete di 230 V ($\pm 10\%$), il 1018882 per 115 V ($\pm 10\%$).

5. Dati tecnici

Condensatore a piastre:

Tensione del condensatore:	0 – 600 V
Diametro piastra:	50 mm
Distanza piastre:	3 mm

Microscopio di misura:

Ingrandimento oculare:	15x
Ingrandimento obiettivo:	2x
Lunghezza scala:	10 mm
Divisione scala:	0,1 mm

Dati generali:

Alimentazione elettrica:	mediante alimentatore a spina 12 V CA, 2 A
Dimensioni incluso microscopio di misura:	ca. 370x430x235 mm ³
Peso incluso alimentatore a spina:	ca. 4,3 kg
Densità olio di Millikan:	877 kg m ⁻³ a 15 °C 871 kg m ⁻³ a 25 °C

6. Messa in funzione

- Collocare l'apparecchio di Millikan su una postazione per esperimenti.
- Ruotare il regolatore verticale in senso orario fino alla battuta (v. Fig. 2).
- Portare il microscopio di misura fino alla battuta sull'asta di supporto dell'apparecchio base e fissarlo sul lato inferiore con una vite a testa zigrinata.
- Portare il microscopio di misura tutto in avanti utilizzando la ghiera di messa a fuoco e, con l'ausilio del regolatore verticale, allinearli in modo approssimativo con la finestra di osservazione della camera sperimentale.
- Aprire il coperchio della camera, appoggiare la livella sulla piastra superiore del condensatore e perfezionare l'allineamento orizzontale agendo sui piedi regolabili.
- Inserire l'ago di regolazione nella piastra superiore del condensatore e mettere a fuoco il microscopio sull'ago (v. Fig. 3). Selezionare l'intensità luminosa adeguata e impostare l'altezza del microscopio di misura mediante il regolatore verticale.
- Rimuovere l'ago di regolazione e richiudere la camera sperimentale.
- Riempire circa per metà il polverizzatore con olio di Millikan e inserire con cautela nell'apposito alloggiamento previsto nella camera sperimentale.
- Collegare la pompetta di gomma al polverizzatore d'olio tramite il tubo flessibile.

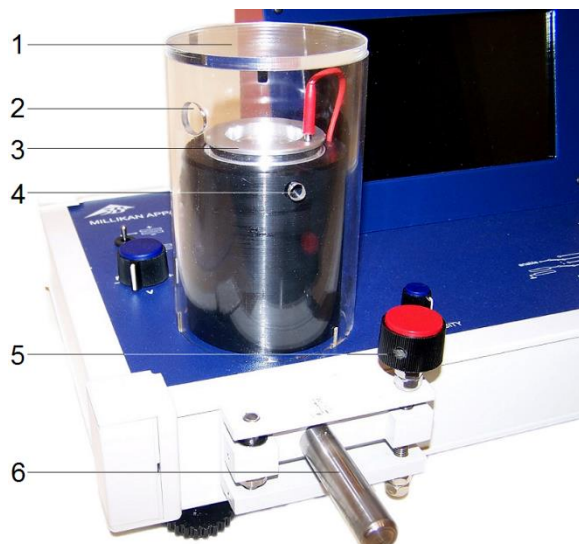


Fig. 2 Camera sperimentale:

- 1 Coperchio,
- 2 Alloggiamento per polverizzatore d'olio,
- 3 Piastra superiore del condensatore,
- 4 Finestra di osservazione,
- 5 Regolatore verticale per testata microscopio,
- 6 Asta di supporto per testata microscopio

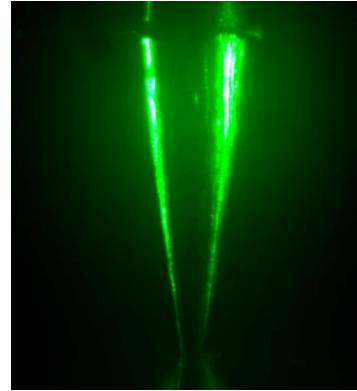


Fig. 3 Osservazione attraverso la testata del microscopio sull'ago di regolazione messo a fuoco.

7. Utilizzo

7.1 Avvio dell'unità di visualizzazione e comando

- Collegare l'apparecchio di Millikan alla rete per mezzo dell'alimentatore a spina.

Una volta effettuato il collegamento alla rete, l'unità di visualizzazione e comando è subito pronta all'uso.

- Fare clic sul pulsante "Seleziona" per accedere al menu di selezione della lingua.
- Selezionare la lingua desiderata e confermare con il pulsante "Invio". Il sistema ritorna automaticamente al menu principale.
- Nel menu principale fare clic sul pulsante "Avanti" per entrare nel menu di misurazione.

7.2 Ottimizzazione dell'intensità luminosa

- Guardare nella cella di misura (lo spazio compreso tra le piastre del condensatore) attraverso il microscopio e impostare un'adeguata intensità luminosa. Se necessario, aggiustare l'intensità luminosa durante la misurazione.

7.3 Generazione, selezione e osservazione di goccioline d'olio elettricamente cariche

- Premendo una volta, rapidamente e con forza, la pompetta di gomma si generano goccioline d'olio elettricamente cariche. Spruzzarle nella cella di misura.
- Attendere fino a quando, all'interno della cella di misura, non compaiono goccioline d'olio adatte. L'attesa può durare alcuni secondi.
- Tra le goccioline d'olio visibili, sceglierne una che cada lentamente (all'incirca 0,025 – 0,1 mm/s).
- Aggiustare all'occorrenza la messa a fuoco del microscopio.

Note:

Lo scopo consiste nel generare un piccolo numero di goccioline singole e non una nuvola grande e chiara dove selezionarne una. Se la pompetta in gomma viene premuta più volte, arrivano troppe goccioline nella cella di misura, in particolare nella zona davanti al fuoco del microscopio, impedendo l'osservazione delle goccioline d'olio che vi si trovano.

Una gocciolina d'olio adatta appare come punto luminoso chiaro nel fuoco del microscopio di misura.

Se nella cella di misura viene ad accumularsi troppo olio, occorre pulirla. Se, anche dopo aver ripetutamente premuto la pompetta di gomma, non vi sono goccioline d'olio nella cella di misura, l'apertura nella piastra superiore del condensatore potrebbe essere occlusa e necessitare pertanto una pulizia.

8. Esperimento

8.1 Metodo flottante

Si determina la tensione flottante U e, dopo aver tolto la tensione, la velocità di caduta v_2 :

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

t_2 : tempo di caduta, S : distanza di scala, V : ingrandimento obiettivo ($2x$)

Dagli equilibri di forza elettrica, spinta statica nell'aria, attrito di Stokes nell'aria e forza gravitazionale risulta per il raggio r_0 e la carica q_0 della gocciolina d'olio:

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

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

η : viscosità dell'aria, ρ_2 : densità dell'olio, ρ_1 : densità dell'aria, g : accelerazione di gravità, d : distanza tra le piastre del condensatore (3 mm)

- Selezionare la polarità della tensione U , ad es. piastra superiore "+", piastra inferiore "-".
- Azzerare i tempi t_1 e t_2 eventualmente memorizzati premendo "Reset".
- Generare, osservare e selezionare una gocciolina d'olio idonea, come descritto al Punto 7.3.
- Portare l'interruttore U e l'interruttore t su ON e ignorare il tempo t_1 .
- Impostare una tensione che tenga la gocciolina d'olio individuata sospesa in equilibrio sulla posizione della scala desiderata.
- Leggere sul display e annotare la tensione flottante U .
- Portare l'interruttore U su OFF facendo così cadere la gocciolina osservata. La misurazione del tempo t_2 parte automaticamente.

- Non appena la gocciolina d'olio raggiunge una seconda posizione individuata sulla scala, portare l'interruttore t su OFF per fermare la misurazione del tempo t_2 .
- Leggere sul display il tempo t_2 e annotarlo insieme alla distanza tra le due posizioni individuate sulla scala.
- Ripetere con la maggior frequenza possibile la misurazione per diverse goccioline, cambiando anche il segno della tensione U .

8.2 Metodo di risalita

Dopo aver selezionato la tensione U si determina la velocità di risalita v_1 e, una volta tolta la tensione, quella di caduta 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 di risalita, t_2 : tempo di caduta, S : distanza di scala, V : ingrandimento obiettivo ($2x$)

Dagli equilibri di forza elettrica, spinta statica nell'aria, attrito di Stokes nell'aria e forza gravitazionale risulta per il raggio r_0 e la carica q_0 della gocciolina d'olio:

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

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

η : viscosità dell'aria, ρ_2 : densità dell'olio, ρ_1 : densità dell'aria, g : accelerazione di caduta

- Selezionare la polarità della tensione U , ad es. piastra superiore "+", piastra inferiore "-".
- Azzerare i tempi t_1 e t_2 eventualmente memorizzati premendo "Reset".
- Generare, osservare e selezionare una gocciolina d'olio idonea, come descritto al Punto 7.3.

- Portare l'interruttore U su ON. Impostare una tensione U , in modo tale che la gocciolina d'olio fuoriesca lentamente verso l'alto, superando una prima posizione preselezionata sulla scala nella parte superiore della cella di misura.
- Posizionare l'interruttore U su OFF, per far riscendere la gocciolina d'olio.
- Posizionare l'interruttore t su ON, non appena la gocciolina d'olio ha raggiunto di nuovo la prima posizione. In questo modo si avvia la misurazione del tempo t_2 .
- Posizionare l'interruttore U su ON, non appena la gocciolina d'olio ha raggiunto una seconda posizione preselezionata sulla scala nella parte inferiore della cella di misura. In questo modo si fa risalire la gocciolina d'olio. La misurazione del tempo t_2 si arresta e parte automaticamente la misurazione del tempo t_1 .
- Posizionare l'interruttore t su OFF, non appena la gocciolina d'olio ha raggiunto di nuovo la prima posizione. In questo modo si arresta la misurazione del tempo t_1 .
- Posizionare l'interruttore U su OFF.
- Leggere sul display i tempi t_1 e t_2 e la tensione U ("Previous Voltage") e annotare i valori rilevati insieme alla distanza della posizione della scala.
- Ripetere con la maggior frequenza possibile la misurazione per diverse goccioline e diverse tensioni del condensatore. Cambiare anche il segno della tensione U .

8.3 Correzione dell'attrito di Stokes

Raggi di entità assai ridotta r_0 si trovano nell'ordine di grandezza della lunghezza del percorso libero medio delle molecole nell'aria e pertanto occorre correggere l'attrito di Stokes. Per il raggio corretto r e la carica corretta q risulta quindi:

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

$b = 82 \mu\text{m}\cdot\text{hPa} = \text{costante}$, p : pressione atmosferica

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

con r_0 come da equazione (2) e (5) e q_0 come da equazione (3) e (6).

8.4 Parametri rilevanti ai fini dell'analisi

La temperatura, la pressione atmosferica e la viscosità dell'aria sono misurate e calcolate per mezzo di sensori integrati e quindi visualizzati sullo schermo.

Densità dell'olio:

877 kg m⁻³ a 15 °C

871 kg m⁻³ a 25 °C

Densità dell'aria:

1,293 g m⁻³ a 0 °C e 1013,23 hPa

8.5 Analisi

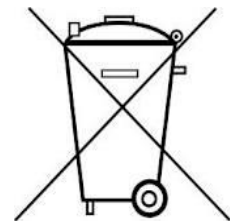
- Determinare dall'equazione (8) le cariche delle goccioline d'olio.

Le cariche determinate con la misurazione vengono divise per un numero intero n di modo che i valori risultanti presentino una distribuzione il più possibile bassa intorno al valore medio, che coincide con quello stimato per la carica elementare. Come misura per tale distribuzione si utilizza lo scostamento standard. Il risultato diventa ancor più significativo registrando un numero maggiore di valori di misurazione, ovvero più ampio è l'ambito di campionamento e più basso è il numero delle cariche sulle goccioline d'olio (si suggerisce: $n < 10$).

9. Conservazione, pulizia, smaltimento

- Conservare l'apparecchio in un luogo pulito, asciutto e privo di polvere.
- Prima della pulizia, scollegare l'apparecchio dall'alimentazione elettrica.
- Non pulire con detergenti o soluzioni aggressive.
- Per la pulizia utilizzare un panno morbido e umido.
- Smaltire l'imballo presso i centri di raccolta e riciclaggio locali.

Non gettare l'apparecchio nei rifiuti domestici. Nel caso di utilizzo in ambiente domestico, conferire presso gli enti pubblici locali autorizzati alle attività di recupero o smaltimento.



- Rispettare le disposizioni vigenti per lo smaltimento delle apparecchiature elettriche.

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 ³
Peso incl. fonte de alimentação:	aprox. 4,3 kg
Densidade óleo de Millikan:	877 kg m ⁻³ a 15 °C 871 kg m ⁻³ 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.

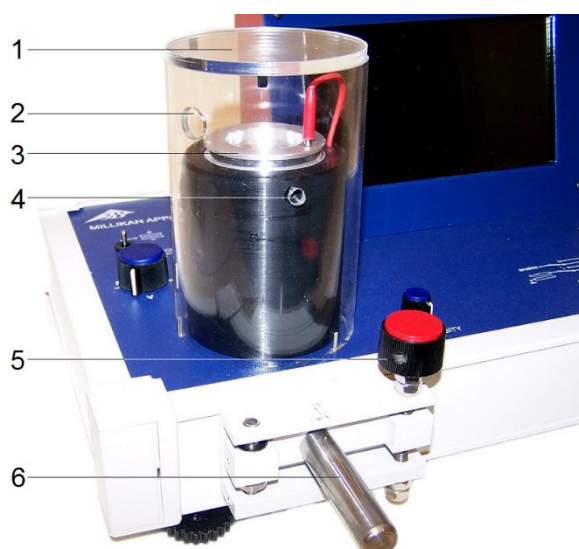


Fig. 2: Câmara de experiência: 1 Tampa, 2 Encaixe para atomizador de óleo, 3 Placa superior do capacitor, 4 Janela de observação, 5 Ajuste vertical para cabeça do microscópio, 6 Haste do suporte para microscópio de medição

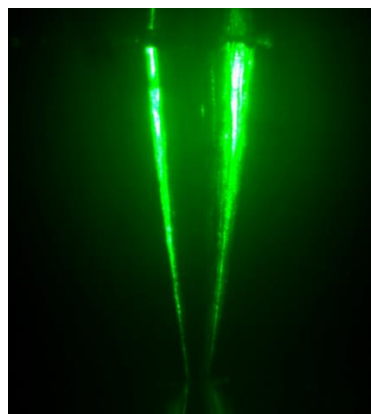


Fig. 3 Vista pelo microscópio de medição para a agulha de medição nítida.

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 apertado 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 o 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:

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

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

η : Viscosidade do ar, ρ_2 : Densidade do óleo, ρ_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:

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

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

η : Viscosidade do ar, ρ_2 : Densidade do óleo, ρ_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:

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

$b = 82 \mu\text{m}\cdot\text{hPa} = \text{constante}$, 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⁻³ a 15 °C

871 kg m⁻³ a 25 °C

Densidade do ar:

1,293 g m⁻³ 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.