

## 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 mm<sup>3</sup>
  - Masse inkl. Steckernetzgerät: ca. 4,3 kg
  - Dichte Millikan-Öl: 877 kg m<sup>-3</sup> bei 15 °C  
871 kg m<sup>-3</sup> 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 Fokussiertriebhe 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.

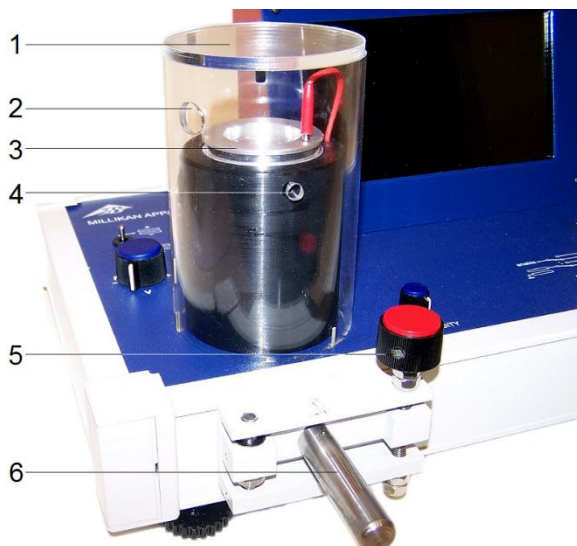


Fig. 2 Experimentierkammer: 1 Abdeckhaube, 2 Aufnahme für Ölzerstäuber, 3 obere Kondensatorplatte, 4 Beobachtungsfenster, 5 Vertikalsteller für Mikroskopkopf, 6 Stativstab für Messmikroskop

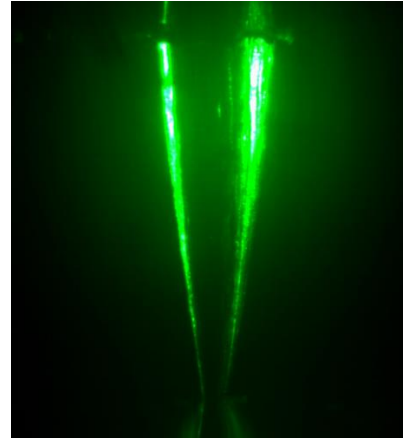


Fig. 3 Blick durch das Messmikroskop auf die scharf gestellte Justiernadel.

## 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:

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

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

$\eta$ : Viskosität der Luft,  $\rho_2$ : Dichte des Öls,  $\rho_1$ : 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:

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

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

$\eta$ : Viskosität der Luft,  $\rho_2$ : Dichte des Öls,  $\rho_1$ : 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.

- 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 dem Abstand der Skalenposition notieren.
- Messung möglichst oft für verschiedene Öltröpfchen und verschiedene Kondensatorspannungen wiederholen. Dabei auch das Vorzeichen der Spannung  $U$  ändern.

### 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:

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

$b = 82 \mu\text{m} \cdot \text{hPa} = \text{konstant}$ ,  $p$ : 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<sup>-3</sup> bei 15 °C

871 kg m<sup>-3</sup> bei 25 °C

Dichte der Luft:

1,293 g m<sup>-3</sup> 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:  $n < 10$ ).

## 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.

