

## 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 <sup>3</sup>
Peso incluso alimentatore a spina:	ca. 4,3 kg
Densità olio di Millikan:	877 kg m <sup>-3</sup> a 15 °C 871 kg m <sup>-3</sup> 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.

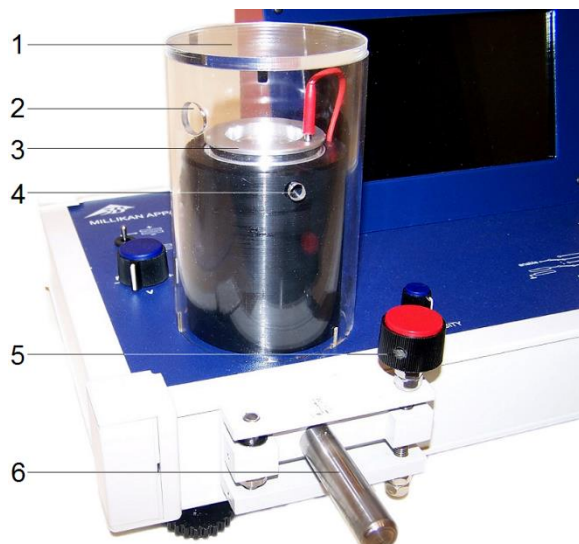


Fig. 2 Camera sperimentale:

- 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

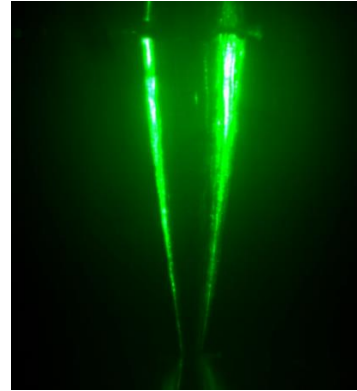


Fig. 3 Osservazione attraverso la testata del microscopio sull'ago di regolazione messo a fuoco.

## 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:

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

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

$\eta$ : viscosità dell'aria,  $\rho_2$ : densità dell'olio,  $\rho_1$ : 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:

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

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

$\eta$ : viscosità dell'aria,  $\rho_2$ : densità dell'olio,  $\rho_1$ : 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<sup>-3</sup> a 15 °C

871 kg m<sup>-3</sup> a 25 °C

Densità dell'aria:

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

### 8.5 Analisi

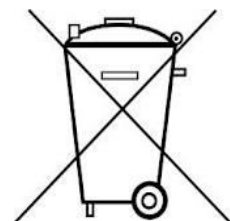
- Determinare dall'equazione (8) le cariche delle goccioline d'olio.

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.