

## 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<sup>re</sup> 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 <sup>-3</sup> à 15 °C 871 kg m <sup>-3</sup> 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.

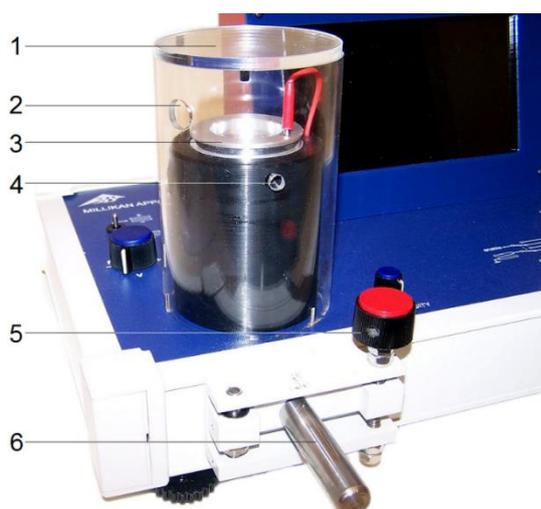


Fig. 2 Chambre d'expérimentation : 1 Capot de protection, 2 Logement pour pulvérisateur d'huile, 3 Plaque de condensateur, 4 Fenêtre d'observation, 5 Régulateur vertical pour tête de microscope, 6 Trépied pour microscope de mesure

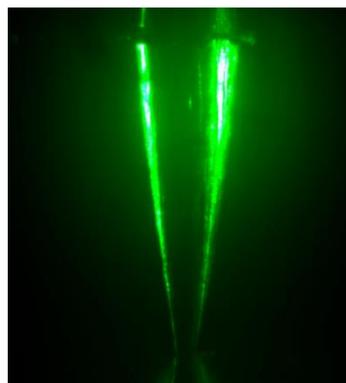


Fig. 3 Vue à travers le microscope de mesure sur l'aiguille d'ajustage nette.

## 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 :

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

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

$\eta$  : viscosité d'air,  $\rho_2$  : densité d'huile,  $\rho_1$  : 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 :

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

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

$\eta$  : viscosité d'air,  $\rho_2$  : densité d'huile,  $\rho_1$  : 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<sup>-3</sup> à 15 °C

871 kg m<sup>-3</sup> à 25 °C

Densité d'air :

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

### 8.5 Évaluation

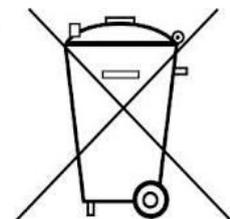
- Déterminer les charges des gouttelettes d'huile avec l'équation (8).

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.