

H3. Expérience de Millikan

I. BUT DE LA MANIPULATION

La charge électrique apparaît-elle en quantité quelconque ou comme un multiple entier d'une unité fondamentale, ie, quantum ?

De nombreuses expériences ont été imaginées pour répondre à cette question. La plus classique est celle du physicien américain Robert A. Millikan (1869-1953), **l'expérience de la goutte d'huile**.

En observant dans un champ électrique vertical le mouvement de gouttelettes d'huile chargées, il a réussi à mettre en évidence la valeur de la charge fondamentale dont toutes les charges observées dans la nature en sont un multiples. La réussite de cette expérience lui a valu le prix Nobel en 1923.

Le but de cette manipulation est de refaire l'expérience de Millikan pour mettre en évidence la quantification des charges électriques.

II. PRINCIPES

1910, RA Millikan a prouvé avec succès l'occurrence quantique de petites quantités d'électricité avec sa célèbre méthode des gouttelettes d'huile. Il a observé des gouttelettes d'huile chargées dans le champ électrique vertical d'un condensateur à plaques avec un espace de plaques d . A partir de leur rayon r et du champ électrique $E = U/d$ (où U est la tension appliquée aux plaques), il détermine la charge q d'une goutte en suspension. Il trouva que q était toujours un multiple entier d'une charge élémentaire e , c'est-à-dire $q = n \cdot e$.

Si une gouttelette d'huile de rayon r_0 descend (tombe) avec une vitesse $-v_1$ sans champ électrique E appliqué, alors la force gravitationnelle terrestre F_g agissant sur cette gouttelette d'huile est contrée par le frottement de Stokes $F_1 = 6\pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot v_1$ (où η est la viscosité de l'air). La vitesse v_1 étant constante (accélération $a = 0$), l'équilibre des forces s'applique :

$$0 = F_g + F_1 \quad (1)$$

Si la même gouttelette d'huile monte à la vitesse v_2 dans un champ électrique appliqué E , alors la force de friction opposée de Stokes est $F_2 = -6\pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot v_2$. L'équilibre de force s'applique toujours, mais uniquement en tenant compte de la force électrique $F_E = q_0 \cdot E = q_0 \cdot U/d$ (où q_0 est la charge de la gouttelette d'huile). On obtient :

$$0 = q_0 \cdot U/d + F_g + F_2 \quad (2)$$

Si on soustrait les deux équations l'une de l'autre, la force de gravitation F_g est éliminée et on obtient :

$$0 = F_E - F_1 + F_2 = q_0 \cdot U/d - 6\pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot (v_1 + v_2) \quad (3)$$

De cela:

$$q_0 = 6\pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot (v_1 + v_2) \cdot d / U \quad (4)$$

Pour déterminer la charge q_0 , seul le rayon r_0 de la goutte d'huile observée manque. Cependant, il peut être facilement déduit de l'équilibre de la force gravitationnelle $F_g = V \cdot \Delta\rho \cdot g$ et du frottement de Stokes F_1 lorsque la gouttelette descend sans le champ électrique, où $\Delta\rho$ est la différence de densité entre l'huile et l'air:

$$0 = F_g + F_1 = (4/3 \cdot \pi \cdot r_0^3) \cdot \Delta\rho \cdot g - 6\pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot v_1 \quad (5)$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot v_1}{2 \cdot \Delta\rho \cdot g}} \quad (6)$$

Pour une détermination plus précise de la charge q (la charge réelle de la goutte), il faut tenir compte du fait que le frottement de Stokes doit être corrigé pour de très petits rayons r puisqu'ils sont alors de l'ordre de grandeur du libre parcours moyen des molécules d'air et l'air ne peut donc plus être considéré comme un milieu homogène. La formule corrigée de la force de frottement en fonction de la pression d'air p est :

$$F = \frac{6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v_1}{\left(1 + \frac{b}{r \cdot p}\right)} \quad (7)$$

où $b = 80 \text{ } \mu\text{m} \cdot \text{hPa}$ (constante). En utilisant la forme courte, $A = b/p$, le rayon corrigé r est obtenu comme :

$$r = \sqrt{r_0^2 + \frac{A^2}{4}} - \frac{A}{2} \quad (8)$$

et la charge corrigée q est obtenue comme :

$$q = \frac{q_0}{\left(1 + \frac{A}{r}\right)^{1.5}} \quad (9)$$

III. DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE

L'appareillage de l'expérience est illustré à la Fig. 1.

- Pour régler le microscope, retirez le condensateur avec le couvercle. Touchez ensuite le point de fixation avec votre doigt au centre de l'ensemble verticalement par le haut (ou mieux utilisez un papier avec du texte) et utilisez les grandes roues noires au bas du microscope pour régler la mise au point. Voir également la figure 2.
- Tournez l'oculaire pour aligner l'échelle de l'oculaire verticalement.
- Rebranchez le condensateur.
- Tournez le régulateur de tension sur le côté gauche de l'unité d'alimentation Millikan vers la gauche afin qu'aucune tension ne soit appliquée.
- Connectez la sortie de tension de l'unité d'alimentation Millikan (en haut à gauche) aux plaques du condensateur, en reliant la plaque supérieure au contact "+". Utilisez les fiches dorées pour le condensateur uniquement si vous utilisez des contacts de mise à la terre de protection.
- Attention : des tensions jusqu'à 600 V peuvent être présentes sur les contacts des condensateurs. Dans ce montage, la tension n'est pas dangereuse en cas de contact, mais peut néanmoins être désagréable en cas de court-circuit dû au contact.
- Relier chacune des entrées "START/STOP" du chronomètre à la sortie 1/2 du bloc d'alimentation Millikan. Assurez-vous que les deux conducteurs de terre sont connectés l'un à l'autre.
- Fournir une tension au dispositif d'éclairage de l'appareil Millikan.
- Enfin, alimentez les chronomètres et l'unité d'alimentation Millikan à l'aide des adaptateurs secteur fournis.

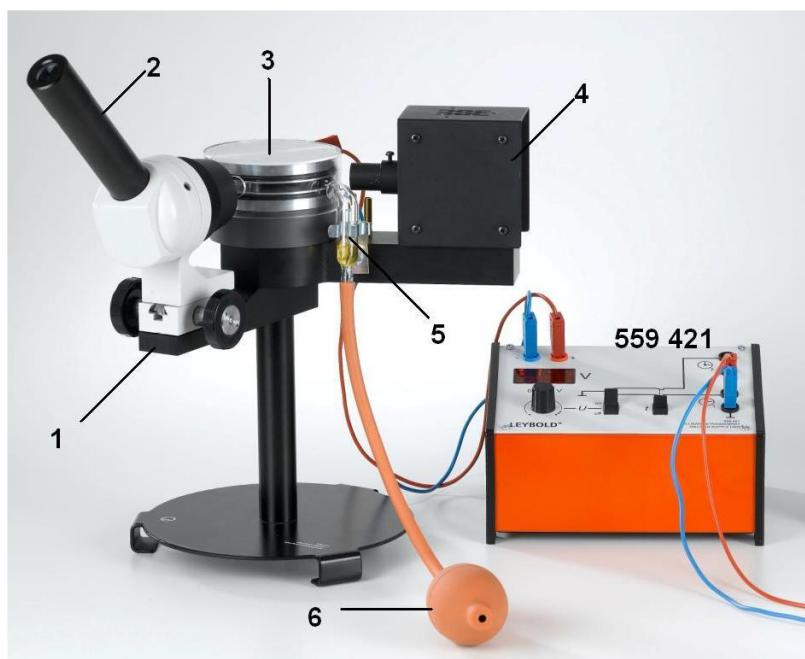
Paramètres indispensables aux calculs

Distance entre les armatures du condensateur : $d = (6.00 \pm 0.05) \cdot 10^{-3}$ m.

Densité de l'huile : $\rho = (877 \pm 1)$ kg/m³

Viscosité de l'air : à 0° : $\eta_0 = (1.708 \pm 0.001) \cdot 10^{-5}$ Ns/m²
 à 18° : $\eta_{18} = (1.837 \pm 0.001) \cdot 10^{-5}$ Ns/m²
 à 20° : $\eta_{20} = (1.855 \pm 0.001) \cdot 10^{-5}$ Ns/m²
 à 40° : $\eta_{40} = (1.904 \pm 0.001) \cdot 10^{-5}$ Ns/m²

Accélération de la pesanteur : $g = (9.81 \pm 0.01)$ m/s²



- 1 Plaque de base
- 2 Microscope de mesure
- 3 Condensateur à plaques
- 4 Dispositif d'éclairage
- 5 Atomiseur d'huile
- 6 Pompe à main

Fig. 1 : Image du montage de l'expérience de Millikan.



Fig. 2 : Réglage de la mise au point avec le doigt

IV PROCEDURE EXPERIMENTALE

Cette expérience nécessite une concentration intense. La prudence est également requise lors de l'expérience. Ne pas renverser, inhaler ou boire l'huile. Utilisez uniquement l'huile fournie.

- Basculez d'abord tous les interrupteurs de l'unité d'alimentation Millikan vers le bas.
- Dispersez l'huile en pressant avec force la pompe à main dans le condensateur. S'il n'y a pas suffisamment d'huile entre les plaques du condensateur pendant l'expérience, de l'huile supplémentaire peut être injectée à tout moment.
- Connectez l'entrée, E, du dispositif de comptage, P, à la sortie 1 de l'unité d'alimentation Millikan. Connectez l'entrée, F, du dispositif de comptage, P, à la sortie 2 de l'unité d'alimentation Millikan. Assurez-vous que les deux conducteurs de terre sont connectés l'un à l'autre.
- Appuyez deux fois sur "MODE" (champ en haut à gauche) pour régler la mesure sur " $t_{E,F}$ ".
- Activer la tension dans l'unité d'alimentation Millikan (commutateur "U") et sélectionner grossièrement une tension souhaitée à laquelle les gouttelettes d'huile montantes sont visibles. L'écran affiche maintenant la tension appliquée.
- Enregistrer la tension appliquée dans un tableau.
- Sur le compteur, appuyez sur les boutons "STOP", " $\rightarrow 0 \leftarrow$ ", puis sur les boutons "START" (tous dans le champ en haut à droite) pour mettre en pause les mesures en cours, vider la mémoire et préparer une nouvelle mesure.
- Lorsque la goutte d'huile franchit un grand trait de graduation, tournez le commutateur "t" de l'unité d'alimentation Millikan vers le haut pour démarrer la mesure.
- Dès que la goutte d'huile a franchi 20 graduations, soit 2 graduations plus grandes (correspondant à 1 mm), basculer le commutateur de tension pour mesurer le temps de descente sur la seconde voie.
- Répétez l'étape précédente 3 fois de plus.
- Pour terminer la mesure, basculez le commutateur « t » au lieu du commutateur « U » au niveau de la graduation inférieure.
- Alternativement, au lieu de commuter directement la tension au niveau de la graduation supérieure ou inférieure, le commutateur "t" peut d'abord être abaissé, puis la tension peut être commutée. La mesure du temps peut alors être réactivée au nouveau franchissement de la graduation. Cela évite les erreurs dues aux retards dans le moment de commutation de la tension.
- Répéter la mesure ci-dessus pour d'autres gouttes d'huile. Au début de chaque mesure, assurez-vous que les deux interrupteurs de l'unité d'alimentation Millikan sont en bas.
- Après la première moitié des mesures, coupez la tension et intervertissez les contacts sur le condensateur ; puis remettez la tension. Observez maintenant les gouttelettes d'huile de charge opposée. L'objectif est d'avoir environ 30 à 50 gouttelettes mesurées pour la tension.
- Sélectionnez une nouvelle goutte et faites 3 mesures pour une tension différente. Faites varier la tension et répétez la mesure sur la même goutte. La charge des gouttelettes devrait-elle dépendre de la tension entre les plaques du condenseur ?

Points à discuter (non exhaustif) :

- Comparer toutes les valeurs de q_i déterminées, puis essayer de mettre en évidence des multiples n_i de la charge électrique élémentaire ($e = 1.60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$). Idée : Représentez les différents q_i obtenus sur un histogramme (discuter le choix de la largeur d'une classe).
- Déterminer la valeur de la charge élémentaire de votre expérience.
- Discuter la précision des n_i .
- Existe-t-il des valeurs de n_i pour lesquelles il n'est plus possible de conclure à la quantification des charges q_i ?

Expérience facultative :

- Estimer visuellement le diamètre d'une gouttelette et comparer celui-ci avec sa valeur tirée de l'équation (8). Qu'en pensez-vous ?

Remarques :

- Il peut arriver que la gouttelette sorte du plan vertical où elle est censée monter et descendre. Sa netteté diminue alors. En pareil cas, il faut rétablir cette dernière en agissant sur le réglage horizontal du microscope.
- L'agitation thermique des molécules de l'air contenu dans le condensateur perturbe légèrement le mouvement des gouttelettes, mais cela n'entache pas les résultats numériques que l'on peut obtenir.

V. BIBLIOGRAPHIE

- 1) Resnick - Halliday : "Electricité et Magnétisme" Edition du Renouveau Pédagogique (chap. 2 ; ex. 39 p. 35)
- 2) Alonso - Finn : "Physique Générale 2 : Champs et Ondes" InterEdition (p. 18)
- 3) G. Bruhat : "Cours de Physique Générale : Electricité" Masson & Cie (p. 737 et suivantes)
- 4) Annequin et Bartigny : "Cours de Physique : Electricité 1" Librairie Vuibert (p. 104 et suivantes)