


OBJECTIF

Confirmer la valeur de la charge élémentaire à l'aide de gouttelettes d'huile chargées d'après Millikan

RESUME

Dans les années 1910 à 1913, *Robert Andrews Millikan* réussit à déterminer la charge élémentaire avec une précision alors inégalée et ainsi à confirmer la quantification des charges. L'expérience qui porte son nom repose sur la mesure de la quantité de charges de gouttelettes d'huile chargées qui montent dans l'air dans le champ

électrique d'un condensateur à plaques et qui descendent sans champ électrique. Utilisé dans cette expérience, l'appareil de Millikan est un dispositif compact reposant sur le montage expérimental de Millikan, mais qui se passe de source de rayonnement radioactif.

DISPOSITIFS NECESSAIRES

| Nombre | Appareil | Référence |
|--------|--|------------|
| 1 | Appareil de Millikan (230 V, 50/60 Hz) | 1018884 ou |
| | Appareil de Millikan (115 V, 50/60 Hz) | 1018882 |

NOTIONS DE BASE GENERALES

Dans les années 1910 à 1913, *Robert Andrews Millikan* réussit à déterminer la charge élémentaire avec une précision alors inégalée et ainsi à confirmer la quantification des charges, ce qui lui valut d'obtenir le prix Nobel de physique. L'expérience qui porte son nom repose sur la mesure de la quantité de charges de gouttelettes d'huile chargées qui montent dans l'air dans le champ électrique d'un condensateur à plaques et qui descendent sans champ électrique. La valeur $e = (1,592 \pm 0,003) \cdot 10^{-19} \text{ C}$ qu'il a déterminée ne diverge que de 0,6 % de la valeur connue de nos jours.

Les forces qui agissent sur une gouttelette d'huile considérée sphérique et se trouvant dans l'air dans le champ électrique d'un condensateur à plaques sont : le poids

$$(1) \quad F_G = m_2 \cdot g = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_0^3 \cdot \rho_2 \cdot g,$$

m_2 : masse de la gouttelettes d'huile, r_0 : rayon de la gouttelettes d'huile,
 ρ_2 : densité d'huile, g : accélération de la pesanteur

la force ascensionnelle dans l'air,

$$(2) \quad F_A = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_0^3 \cdot \rho_1 \cdot g,$$

ρ_1 : densité de l'air

la force dans le champ électrique E ,

$$(3) \quad F_E = q_0 \cdot E = \frac{q_0 \cdot U}{d},$$

q_0 : charge de la gouttelette d'huile,

U : tension électrique appliquée entre les plaques de condensateur,

d : écart des plaques de condensateur

et la force de frottement de Stokes

$$(4) \quad F_{R1,2} = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot v_{1,2}.$$

η : viscosité de l'air, v_1 : vitesse de montée, v_2 : vitesse de descente

Lorsque la gouttelette d'huile monte dans le champ électrique, les forces s'équilibrent

$$(5) \quad F_G + F_{R1} = F_E + F_A$$

et en cas de descente sans champ électrique

$$(6) \quad F_G = F_{R2} + F_A.$$

Pour le rayon et la charge de la gouttelette d'huile, il en résulte :

$$(7) \quad r_0 = \sqrt{\frac{9}{2} \cdot \frac{\eta \cdot v_2}{(\rho_2 - \rho_1) \cdot g}}$$

et

$$(8) \quad q_0 = \frac{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \cdot (v_1 + v_2)}{U} \cdot r_0.$$

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 :

$$(9) \quad r = \sqrt{r_0^2 + \frac{A^2}{4}} - \frac{A}{2} \text{ avec } A = \frac{b}{p}$$

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

$$(10) \quad q = q_0 \cdot \left(1 + \frac{A}{r}\right)^{-1.5}.$$

Utilisé dans cette expérience, l'appareil de Millikan est un dispositif compact reposant sur le montage expérimental de Millikan, mais qui se passe de source de rayonnement radioactif. 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. Tout comme dans le montage de Millikan, les gouttelettes d'huile sont alimentées par le haut dans la chambre d'expérimentation. L'observation avec un 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 descente en l'absence d'un champ électrique pour un parcours entre deux repères choisis sur le réticule gradué. La polarité des plaques à condensateur est choisie en fonction du signe de la charge. Comme variante, on peut maintenir en suspension dans le champ électrique les gouttelettes d'huile à mesurer.

Le temps de montée et de descente 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.

EVALUATION

Les temps de montée et de descente mesurés t_1 et t_2 permettent de déterminer les vitesses de montée et de descente

$$v_{1,2} = \frac{s}{V \cdot t_{1,2}},$$

s : distance entre deux repères sélectionnés sur le réticule gradué,

$V = 2$: agrandissement d'objectif

et, selon l'équation (10), la charge q de la gouttelette d'huile.

Les charges q_i déterminées à partir des mesures (Tab. 1) sont divisées par un nombre entier n_i de sorte que les valeurs qui en résultent présentent la plus petite dispersion possible autour de la moyenne. L'écart standard sert de référence à la dispersion. On détermine la meilleure estimation e pour la charge élémentaire ainsi que l'erreur standard Δe à partir des valeurs e_i des différentes mesures et de leurs erreurs de mesure Δe_i (Tab. 1) en formant la moyenne pondérée de la manière suivante :

$$e \pm \Delta e = \frac{\sum w_i \cdot e_i}{\sum w_i} \pm \frac{1}{\sqrt{\sum w_i}} \text{ avec } w_i = \left(\frac{1}{\Delta e_i}\right)^2.$$

Avec les valeurs du Tab. 1, il en résulte :

$$e \pm \Delta e = \frac{1286}{799} \pm \frac{1}{28} = (1,61 \pm 0,04) \cdot 10^{-19} \text{ C}.$$

Plus on enregistre de valeurs de mesure, plus le résultat est pertinent. Autrement dit, plus l'échantillon est volumineux, plus le nombre n de charges sur les gouttelettes d'huile est petit. En raison des imprécisions, notamment de l'écart des plaques à condensateur et de la lecture sur la graduation du microscope, il est recommandé d'avoir $n \leq 7$.

Tab. 1 : Charges mesurées q_i de dix gouttelettes d'huile différentes et valeur e_i qui en résulte pour la charge élémentaire

| i | Polarité | q_i 10 ⁻¹⁹ C | Δq_i 10 ⁻¹⁹ C | n | e_i 10 ⁻¹⁹ C | Δe_i 10 ⁻¹⁹ C |
|-----|----------|------------------------------|-------------------------------------|-----|------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | + | -11,1 | 0,9 | -7 | 1,59 | 0,13 |
| 2 | + | -7,9 | 0,6 | -5 | 1,58 | 0,12 |
| 3 | + | -6,2 | 0,4 | -4 | 1,55 | 0,10 |
| 4 | - | 3,5 | 0,2 | 2 | 1,75 | 0,10 |
| 5 | - | 4,9 | 0,3 | 3 | 1,63 | 0,10 |
| 6 | - | 6,3 | 0,5 | 4 | 1,58 | 0,13 |
| 7 | - | 6,6 | 0,4 | 4 | 1,65 | 0,10 |
| 8 | - | 7,6 | 0,6 | 5 | 1,52 | 0,12 |
| 9 | - | 10,2 | 0,8 | 6 | 1,70 | 0,13 |
| 10 | - | 10,6 | 0,8 | 7 | 1,51 | 0,11 |

EXERCICES

• Générer et sélectionner des gouttelettes d'huile chargées appropriées et les observer dans le champ électrique

• Mesurer la vitesse de montée dans le champ électrique et la vitesse de descente sans champ électrique

• Confirmer la valeur de la charge élémentaire



Vous trouverez les informations techniques sur les appareils sur «3bscientific.com»

2