

Physique atomique et nucléaire

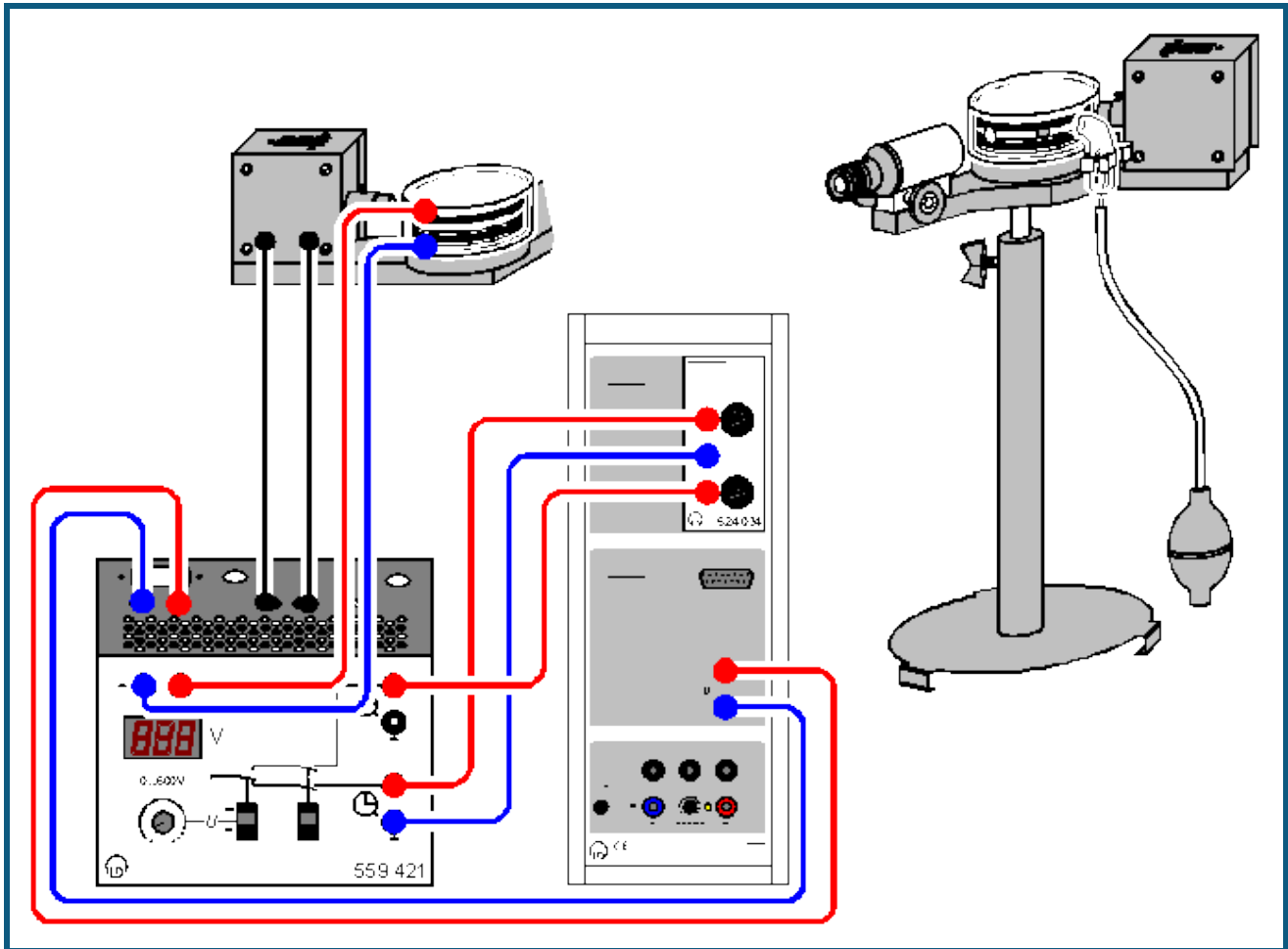
Expériences d'initiation
Expérience de Millikan


Détermination de la charge élémentaire électrique selon Millikan et mise en évidence de la quantification de la charge - Mesure de la tension flottante et de la vitesse de chute avec CASSY

Description tirée de CASSY Lab 2

Pour charger des exemples et des paramétrages, merci de bien vouloir utiliser l'aide de CASSY Lab 2.

Expérience de Millikan



 Convient aussi pour [Pocket-CASSY](#)

Description de l'expérience

En 1910, R.A. Millikan a réussi avec sa célèbre méthode de la gouttelette d'huile à imposer l'idée que tout corpuscule chargé porte un nombre entier de charges élémentaires. Il observa des gouttelettes d'huile chargées électriquement entre les deux armatures électrofilées, séparées d'une distance d d'un condensateur et détermina la charge q d'une gouttelette en suspension à partir de son rayon r et du champ électrique $E=U/d$. Ce faisant, il a constaté que q est toujours un multiple entier d'une charge élémentaire e et donc que $q = n \cdot e$.

Théorie

Lorsqu'une gouttelette d'huile sphérique de rayon r_0 chute (tombe) à la vitesse $-v_1$, la force de frottement opposée, donnée par la loi de Stokes $F_1 = 6\pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot v_1$ (η = coefficient de viscosité de l'air) agit alors sur cette gouttelette. Lorsque cette même gouttelette d'huile monte dans un champ électrique E à la vitesse v_2 , c'est alors la force de frottement opposée de Stokes qui intervient, soit $F_2 = -6\pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot v_2$. La différence entre ces deux forces correspond exactement à la force $q_0 \cdot E$ à travers le champ électrique E appliqué, soit

$$q_0 \cdot E = q_0 \cdot U/d = F_1 - F_2 = 6\pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot (v_1 + v_2) \quad \text{ou}$$

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

Pour déterminer la charge q_0 , il manque par conséquent seulement le rayon r_0 de la gouttelette d'huile observée qui s'obtient facilement d'après l'équilibre des forces de son poids résultant $F = -V \cdot \Delta\rho \cdot g$ et du frottement de Stokes F_1 dans le cas de la chute, $\Delta\rho$ étant la différence de densité entre l'huile et l'air.

On a donc :

$$0 = F + F_1 = -4/3 \pi \cdot r_0^3 \cdot \Delta\rho \cdot g + 6\pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot v_1 \text{ ou}$$

$$r_0 = \sqrt{(9\eta v_1 / 2\Delta\rho g)}.$$

Pour une détermination plus précise de la charge q , il convient de tenir compte du fait que le frottement de Stokes doit être corrigé pour des rayons r très petits parce que ceux-ci sont d'un ordre de grandeur correspondant au libre parcours moyen des molécules d'air. La formule corrigée dépendant de la pression atmosphérique p pour la force de frottement est exprimée comme suit :

$$F = 6\pi\eta r v / (1 + b/rp)$$

avec $b = 80 \mu\text{m} \cdot \text{hPa}$ (constant).

Avec l'abréviation $A = b/p$, le rayon r corrigé est donné par

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

et la charge q corrigée par

$$q = q_0 / (1 + A/r)^{1,5}.$$

Méthode « statique » de mesure de la charge de la goutte

Dans cette variante de l'expérience, la tension U appliquée au condensateur à plaques est ajustée de manière à ce qu'une gouttelette d'huile choisie soit arrêtée dans sa chute et immobilisée, donc que la vitesse d'ascension v_2 soit égale à 0. La vitesse de chute v_1 est mesurée après coupure de la tension du condensateur U . À cause de $v_2=0$, les formules précitées sont quelque peu simplifiées.

Par contre, il n'est jamais possible de régler très exactement $v_2=0$, raison pour laquelle la méthode « statique » donne lieu à de plus grandes erreurs de mesure et à des dispersions plus importantes dans la distribution des fréquences que ce qu'il en est avec la méthode suivante.

Méthode « dynamique » de mesure de la charge de la goutte

Dans la deuxième variante, on mesure les deux vitesses v_1 et v_2 ainsi que la tension U . Les valeurs mesurées obtenues avec cette méthode sont plus exactes que celles obtenues avec la méthode « statique » parce que la vitesse v_2 est réellement mesurée.

Matériel requis

1	Sensor-CASSY	524 010 ou 524 013
1	CASSY Lab 2	524 220
1	adaptateur timer	524 034
1	appareil de Millikan	559 411
1	alimentation pour appareil de Millikan	559 421
1	câble d'expérience, 50 cm, rouge	500 421
3	paires de câbles, 50 cm, rouges et bleus	501 45
1	paire de câbles, 50 cm, noir	501 451
1	PC avec Windows XP/Vista/7/8	

Montage expérimental (voir schéma)

Assembler l'appareil de Millikan en suivant les instructions du mode d'emploi, verser de l'huile et réaliser le montage conformément au schéma. Pour ce faire, relier la sortie chronomètre 1 à l'entrée E et la sortie chronomètre 2 à l'entrée F de l'adaptateur timer. Raccorder la sortie de tension de l'alimentation à l'entrée B du Sensor-CASSY.

Attention : le microscope produit une image inversée. Toutes les directions de déplacement restituées sont donc inversées, mais ci-après, le déplacement décrit est le déplacement réel.


Pour une meilleure présentation des gouttelettes d'huile, il est recommandé de saisir l'image du microscope avec une caméra vidéo (par ex. VideoFlex de ken-a-vision). Dans un tel cas, la caméra peut enregistrer « la tête à l'envers » si bien que la direction de déplacement visible correspond à nouveau à la direction de déplacement réel.

Procédure expérimentale

a) Méthode « statique »


■ Charger les paramètres

- Placer le micromètre oculaire à la verticale et ajuster la netteté en faisant tourner la bague noire de l'oculaire.
- D'abord positionner les interrupteurs U et t vers le bas.

- Enclencher la tension du condensateur avec l'interrupteur U puis la régler avec le potentiomètre tournant (400-600 V) de sorte qu'une gouttelette d'huile choisie monte à raison d'environ 1 à 2 divisions/seconde (elle descend donc dans l'oculaire). Ensuite, abaisser la tension jusqu'à ce que la gouttelette d'huile s'immobilise et reste en suspension.
- Couper la tension du condensateur avec l'interrupteur U.
- Dès que la gouttelette d'huile est située à côté d'une division choisie, lancer la mesure du temps avec l'interrupteur t.
- Dès que la gouttelette d'huile est descendue de 20 autres divisions (ce qui correspond à 1 mm) (donc qu'elle est montée dans l'oculaire), réinterrompre la mesure du temps avec l'interrupteur t et réenclencher la tension du condensateur avec l'interrupteur U.
- Relever dans le tableau les valeurs mesurées pour le temps de chute t_1 et la tension U avec . La charge q calculée apparaît automatiquement dans l'histogramme.
- Recommencer la mesure pour d'autres gouttelettes d'huile.

b) Méthode « dynamique »

Charger les paramétrages

- Placer le micromètre oculaire à la verticale et ajuster la netteté en faisant tourner la bague noire de l'oculaire.
- D'abord positionner les interrupteurs U et t vers le bas.
- Enclencher la tension du condensateur avec l'interrupteur U puis la régler avec le potentiomètre tournant (400-600 V) de sorte qu'une gouttelette d'huile choisie monte à raison d'environ 1 à 2 divisions/seconde (elle descend donc dans l'oculaire).
- Couper la tension du condensateur avec l'interrupteur U.
- Dès que la gouttelette d'huile est située à côté d'une division choisie, lancer la mesure du temps avec l'interrupteur t.
- Dès que la gouttelette d'huile est descendue de 20 autres divisions (ce qui correspond à 1 mm) (donc qu'elle est montée dans l'oculaire), réenclencher la tension du condensateur avec l'interrupteur U. Cela lance automatiquement la mesure du temps t_2 .
- Dès que la gouttelette d'huile est à nouveau à côté de la première division, arrêter la mesure du temps avec l'interrupteur t.
- Relever dans le tableau les valeurs mesurées pour le temps de chute t_1 , le temps de montée t_2 et la tension U avec . La charge q calculée apparaît automatiquement dans l'histogramme.
- Recommencer la mesure pour d'autres gouttelettes d'huile.

Exploitation

Pour l'exploitation, il est possible de tracer des [valeurs moyennes](#) dans la distribution de fréquences mesurée et de vérifier la relation $q = n \cdot e$ (où $e = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$).

Remarques

En choisissant des gouttelettes d'huile à faible charge, les statistiques seront plus vite probantes. On reconnaît les gouttelettes d'huile à faible charge par le fait qu'elles sont petites et qu'elles se déplacent assez lentement dans le champ électrique.

Si pendant le cours, le temps imparti ne suffit pas pour étudier environ 20 à 30 gouttelettes d'huile, alors il est possible, avant de procéder à la mesure, de charger l'exemple avec les valeurs mesurées exemplaires au lieu de recourir seulement aux paramétrages. Les valeurs qui viennent d'être mesurées sont ensuite restituées dans l'histogramme sous forme de colonnes rouges et vérifient ainsi l'exemple de mesure de couleur noire avec l'imprécision statistique standard.

Pour mesurer les charges q négatives, il convient de permuter les raccords sur le condensateur à plaques mais aussi ceux à l'entrée B du CASSY.

Si la pression atmosphérique locale diffère fortement de 1013 hPa, il faudra alors modifier en conséquence la pression atmosphérique donnée dans la formule pour le paramètre de correction A, auquel cas l'exactitude des exemples de valeurs éventuellement affichés sera bien sûr remise en question.