

**Activité 4 : l'expérience de Millikan : étude théorique et simulation**

Robert Andrews Millikan a reçu en 1923 le prix Nobel de Physique pour avoir mis en évidence et mesuré la charge électrique élémentaire : il a en effet prouvé que des gouttes d'huile électrisées portaient une charge dont la valeur était toujours un multiple entier d'une même valeur : la charge élémentaire. L'expérience qui l'a conduit à ce résultat est restée célèbre sous le nom « d'expérience de Millikan ». Il a pulvérisé des gouttes d'huile, les a électrisées avant de les introduire dans un condensateur plan où régnait un champ électrostatique uniforme. C'est l'étude de leur mouvement de chute dans ce condensateur qui lui a permis de déterminer leur charge électrique.

Le but de cette activité est d'étudier théoriquement le mouvement d'une goutte d'huile dans le condensateur de Millikan, puis de programmer en langage Python un simulateur illustrant son expérience.

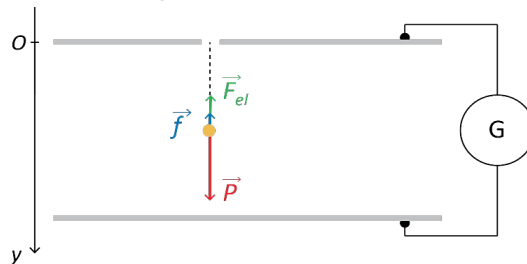
Données utiles :

- masse volumique de l'huile :  $\rho = 850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- viscosité de l'air :  $\eta = 1,81 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
- champ de pesanteur terrestre :  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

1ère partie : étude théorique de l'expérience de Millikan

On modélise ainsi le mouvement d'une goutte d'huile dans le condensateur de Millikan :

- Le référentiel d'étude est le référentiel terrestre, supposé galiléen.
- Le système étudié est la goutte d'huile, portant une charge électrique négative notée  $q$  et supposée avoir une forme sphérique de rayon  $r$ .
- À la date  $t=0$ , elle pénètre dans le condensateur sans vitesse initiale.
- On néglige la poussée d'Archimède exercée par l'air sur la bille. Celle-ci est donc soumise à trois forces : son poids, la force électrostatique et la force de frottement visqueux exercée par l'air d'expression :  $\vec{f} = -6 \pi \cdot \eta \cdot r \cdot \vec{v}$   $\eta$  étant la viscosité de l'air.



1. La figure ci-dessus illustre une situation dans laquelle la force électrostatique exercée sur la goutte est vers le haut. Compléter cette figure en représentant le vecteur champ électrostatique  $\vec{E}$  et la polarité du générateur. On rappelle que la goutte d'huile est chargée négativement.

2. À l'aide de la 2ème loi de Newton, établir l'équation différentielle satisfaite par la coordonnée verticale du vecteur-vitesse : 
$$\frac{dV_y}{dt} + \frac{6 \pi \eta r}{m} \cdot V_y = g + \frac{q \cdot E}{m}$$

3. L'équation différentielle précédente est de la forme : 
$$\frac{dV_y}{dt} + \frac{V_y}{\tau} = \frac{V_{\text{lim}1}}{\tau}$$

Exprimer le temps caractéristique  $\tau$  en fonction des données.

4. On note  $V_{\text{lim}1}$  la vitesse limite atteinte par la goutte d'huile. Exploiter l'équation différentielle de la question 2 pour exprimer  $V_{\text{lim}1}$  en fonction des données.

5. Millikan a procédé à l'inversion du sens du champ électrostatique : comment s'exprime  $V_{\text{lim}2}$ , vitesse limite atteinte par la même goutte, sous un champ électrostatique de même valeur mais dans le sens opposé au précédent ?

6. Combiner les expressions des questions 3 et 4 pour établir les deux relations :

$$v_{\text{lim}1} + v_{\text{lim}2} = \frac{4}{9} \cdot \frac{\rho g r^2}{\eta} \quad (\text{relation 1})$$

$$v_{\text{lim}1} - v_{\text{lim}2} = \frac{qE}{3\pi\eta r} \quad (\text{relation 2})$$

Rappels :

- la masse de la goutte d'huile vaut :  $m = \rho V$  ( $\rho$  étant sa masse volumique et  $V$  son volume) ;
- le volume d'une sphère de rayon  $r$  vaut :  $V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$

7. Millikan a utilisé les mesures des deux vitesses limites  $V_{\text{lim}1}$  et  $V_{\text{lim}2}$  pour calculer la charge électrique des gouttes d'huile, ce qui nécessitait d'avoir au préalable calculé leur rayon. Laquelle de ces deux relations lui a donné accès à la valeur du rayon de chaque goutte ? à la valeur de sa charge électrique ?

2ème partie : réalisation d'un simulateur

Ouvrir le programme « Act5\_Millikan\_ELEVE.py » : c'est un programme inachevé censé choisir au hasard les valeurs de la charge d'une goutte d'huile et de son rayon, puis afficher l'évolution temporelle de sa vitesse dans deux cas : avec un champ électrostatique orienté vers le bas, puis avec un champ électrique de même valeur mais orienté vers le haut. Un bouton cliquable permet enfin de connaître les valeurs de et tirées au sort.

*Compréhension du programme*

8. La valeur de la charge électrique de la goutte d'huile simulée est choisie aléatoirement par le code des lignes 11, 12 et 13. Quelles sont les valeurs minimale et maximale de ?

9. Pourquoi ne pas avoir simplement programmé un tirage aléatoire d'un nombre réel entre ces deux valeurs ?

10. Que vaut le champ électrostatique simulé ? Justifier en citant la ligne de code utile.

11. Quelle est l'expression littérale, en fonction du temps, de la vitesse de la goutte d'huile ? On pourra utiliser le code des lignes 40 et 41 pour répondre, puis vérifier que cela correspond bien à l'expression donnée dans la fiche de synthèse.

*Programmation :*

- Ligne 27 : saisir le code permettant de calculer le temps caractéristique en tenant compte de la réponse 3 (la variable correspondante sera « tau » dans le code Python).

- Lignes 28 et 29 : saisir le code permettant de calculer  $V_{\text{lim}1}$  et  $V_{\text{lim}2}$  en tenant compte des réponses 4 et 5 (variables « vlim1 » et « vlim2 »).

- Exécuter le code plusieurs fois pour vérifier qu'il fonctionne.

*Simulation de l'expérience de Millikan*

12. Millikan ne savait pas à l'avance ce que valait la charge électrique de ses gouttes d'huile, nous allons donc utiliser notre programme pour simuler son expérience pour trois chutes de goutte d'huile. Pour chacune d'elle :

- Exécuter le programme (et ne pas cliquer sur le bouton bleu sous les graphiques !).
- Mesurer les deux vitesses limites  $V_{\text{lim}1}$  (champ  $\vec{E}$  vers le bas) et  $V_{\text{lim}2}$  (champ  $\vec{E}$  vers le haut) avec le curseur de la souris.
- Calculer numériquement le rayon de la goutte d'huile en exploitant la relation 1 de la q? 6.
- Calculer numériquement la charge électrique de la goutte d'huile en exploitant la relation 2 de la q? 6.
- Noter le résultat dans le tableau ci-dessous.

| Simulation n°            | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------|---|---|---|
| Rayon de la goutte (m)   |   |   |   |
| Charge électrique (en C) |   |   |   |
| q/e                      |   |   |   |