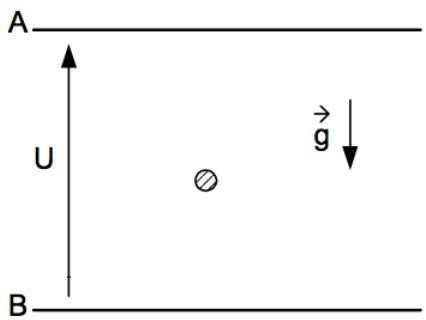
Quatrième partie
Mesure de la charge élémentaire e ; expérience de Millikan (1868 – 1953)

On considère deux plaques métalliques A et B horizontales, parallèles, distantes de d=2,0 cm entre lesquelles on peut appliquer une différence de potentiel $U = V_A - V_B > 0$. Dans l'espace limité par ces plaques règne une atmosphère gazeuse de masse volumique $\rho_0 = 1{,}3\ kg.m^{-3}$. On y pulvérise de la glycérine sous forme de gouttelettes sphériques de rayon r et de masse volumique $\rho = 1{,}25.10^3\ kg.m^{-3}$. La force de frottement visqueux qui s'exerce sur une gouttelette de glycérine M est donnée par $\vec{F_f} = -6\pi\mu r\vec{v}$,
où $\mu = 1{,}8.10^{-5}$ USI est le coefficient de viscosité de l'air et $\vec{v}$ le vecteur vitesse de M.

Figure 6



On prendra $g = 9{,}81\ m.s^{-2}$ pour l'accélération de la pesanteur.
Un faisceau de rayons X ionise l'atmosphère ce qui provoque des transferts de charges sur les gouttelettes de glycérine. Le mouvement de celles-ci est observé avec un microscope muni d'un micromètre.

4.1. Etablir le bilan des forces appliquées à une gouttelette de glycérine.

4.2. La tension U est tout d'abord nulle. Montrer que la vitesse des gouttelettes de glycérine tend vers une vitesse limite verticale v_0 que l'on exprimera en fonction de ρ, ρ_0, r, g et μ.

4.3. On applique à présent une tension U_1 telle qu'un certain nombre de gouttelettes sont alors immobiles. En déduire la charge q_0 portée par celles-ci en fonction de μ, v_0, U_1, d, ρ, ρ_0 et g.

4.4. Une observation prolongée montre qu'une proportion non négligeable des gouttelettes a un mouvement vertical ascendant uniforme de vitesse v_1. Interpréter et calculer la charge q_1 de chacune de ces gouttelettes en fonction de μ, v_0, v_1, U_1, d, ρ, ρ_0 et g.

4.5. On mesure $v_0 = 4{,}91.10^{-4}\ m.s^{-1}$ et $v_1 = 4{,}90.10^{-4}\ m.s^{-1}$. Calculer numériquement q_0 et q_1 sachant que $U_1 = 37\ 440$ V.
Millikan a pu calculer d'autres valeurs de la charge q des gouttelettes de glycérine par cette expérience. Quelle conclusion a-t-il pu tirer de ces mesures ?

Complément : Le cyclotron

$*$ *Le cyclotron*

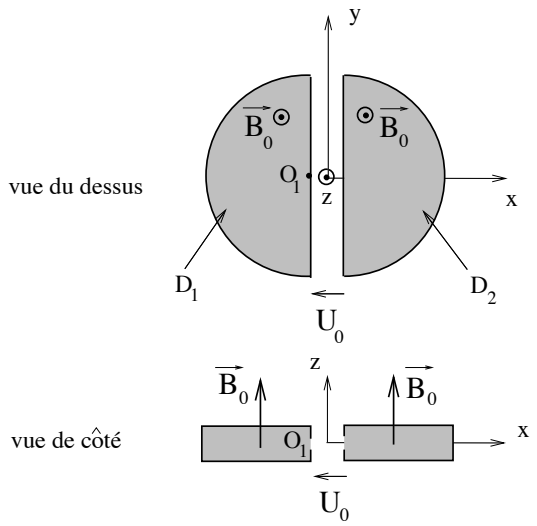
Un cyclotron est un accélérateur de particules formé de deux boîtes métalliques creuses et semi-cylindriques D_1 et D_2, appelées *dees* (D en anglais, en raison de leur forme ...), d'axe parallèle à Oz et dont les faces planes sont parallèles. Entre ces plaques, une tension U_0 crée un champ électrique parallèle à Ox. A l'intérieur des *dees*, un champ magnétique constant et uniforme, $\vec{B}_0$ est appliqué selon $+z$. Le champ électrique est nul à l'intérieur des *dees* car ils forment des cavités conductrices. Le vide est fait dans l'ensemble du cyclotron et un petit espace permet aux particules de traverser les plaques.

Des protons sont injectés à vitesse nulle au point O_1, centre de la plaque 1. On supposera les protons non relativistes.

Le cyclotron fut inventé par l'américain E. Lawrence en 1930. Les cyclotrons sont utilisés en physique des particules et en médecine (en protonthérapie, pour détruire des cellules cancéreuses en les bombardant de protons rapides, ou pour

produire des noyaux radioactifs utilisés en imagerie médicale, comme par exemple pour la tomographie par émission de positons).

On donne la masse du proton : $m = 1,67 \times 10^{-27}$ kg.



a) Quelle est la vitesse v_1 des protons lorsqu'ils arrivent pour la première fois sur la plaque 2 ?

b) Les protons sont ensuite déviés dans D_2. A quelle distance de leur point d'entrée ressortent-ils de D_2 ? Combien de temps mettent-ils ? Cette durée dépend-elle de leur vitesse à l'entrée du *dee* ?

c) La tension entre les plaques est en réalité sinusoïdale, $U(t) = U_0 \cos(2\pi f t)$, de période telle que les protons soient toujours accélérés entre les plaques. Quelle doit être la fréquence f de cette tension ? Le temps de passage des protons entre les plaques étant négligeable, on peut considérer que la tension reste constante lors du passage des protons entre les plaques.

d) Tracer qualitativement la trajectoire des protons dans le cyclotron. Justifier.

e) Le rayon des *dees* vaut $R = 30$ cm et le champ magnétique $B_0 = 1$ T.

Quelle est la vitesse maximale à laquelle on peut accélérer les protons ? A.N. A-t-on eu raison de supposer les protons non relativistes ? Calculer l'énergie maximale communiquée aux protons en MeV.

f) Si la tension maximale vaut $U_0 = 20\ 000$ V, quel est le nombre maximal de tours effectués par les protons ? Quelle est la durée maximale du parcours des protons dans le cyclotron ? A.N.

g) Quelle serait la tension continue U_0' qu'il faudrait appliquer aux protons pour leur fournir la même accélération que dans ce cyclotron ? A.N. Conclure.