

CHAPITRE II

PRINCIPAUX CONSTITUANTS DE LA MATIÈRE

I. INTRODUCTION : Expérience de FARADAY

Vers 10^{ème} siècle FRANKLIN, en frottant avec un chiffon de soie des barreaux de verres ou de cires avait observés des phénomènes d'attraction et de répulsion entre les barreaux ; ce qui implique l'existence d'un fluide électrique. Après cette expérience, FARADAY, en faisant l'électrolyse de l'eau, a pu établir une relation entre la quantité de matière et la quantité d'électricité.

$N * e^- = 1 \text{ Faraday} = 96500 \text{ colomb.}$

$$m = \frac{A * I * t}{n * F} ; \text{ avec } Q = I * t \text{ on a : } m = \frac{A * Q}{n * F}$$

Q : = I*t : Quantité d'électricité ;

A : Masse atomique de l'élément ;

n : Nombre d'électrons échangés lors de la réaction considérée ;

F : Nombre de Faraday ;

t : Temps.

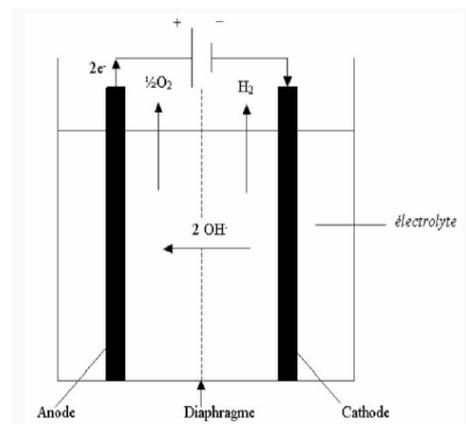


Figure II.1 : Principe de l'électrolyse de l'eau

Pour mettre en évidence les différentes particules élémentaires de la matière, plusieurs expériences ont été menées. Ces particules ont été découvertes entre 1875 et 1910 : il s'agit : de proton, de neutron et de l'électron.

- CROOKES : Découverte de l'électron
- GOLDSTEIN : Découverte du proton
- CHADWIK : Découverte du neutron.

II- Mise en évidence des constituants de la matière :

II-1. L'électron :

Les caractéristiques de l'électron ont été obtenues à partir des travaux de CROOKES, J. PERRIN, MILLIKAN et J.J. THOMSON.

a- Expérience de CROOKES et caractéristiques des rayonnements cathodiques :

L'expérience de CROOKES consiste à appliquer une ddp de 50 KV à un gaz dans un tube en verre entre deux électrodes. On observe divers phénomènes :

- A pression atmosphérique, le courant ne passe pas. Donc le gaz n'est pas conducteur d'électricité
- Pour une pression comprise entre 0,01 et 0,1 atmosphère, le gaz devient luminescent.

Ce rayonnement issu de la cathode responsable d'une faible lueur verdâtre est appelé le **rayon cathodique** ;

Pour CROOKES, le rayonnement est constitué de particules négatives en mouvement. Une première hypothèse fait appel à des anions résultants du choc des molécules sur la cathode.

Puis SCHUSTER émet l'hypothèse d'une particule négative provenant de l'ionisation du gaz et commune à tous les corps (1^{ère} approche de l'électron).

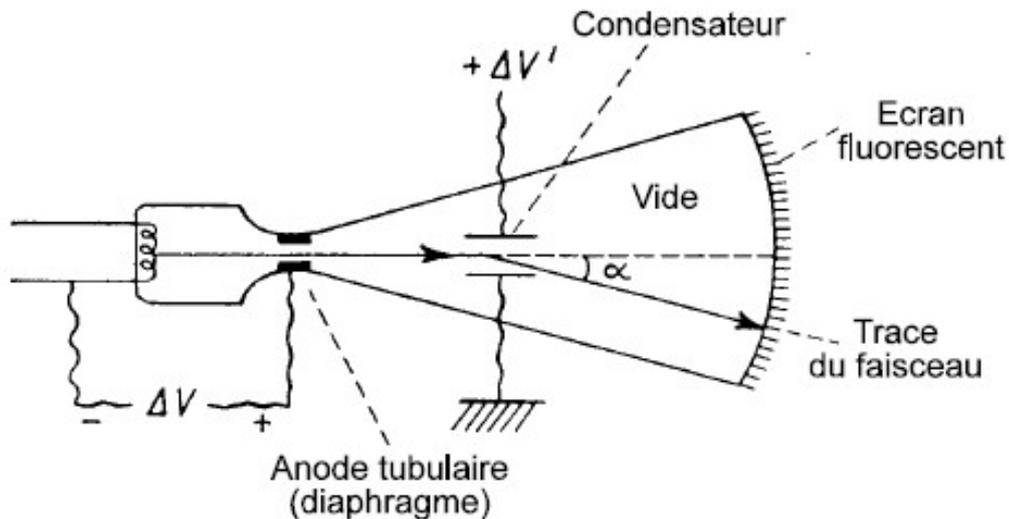


Figure II.2. Tube de CROOKES pour l'étude des rayons cathodiques.

Concept de l'électricité négative :

Il est dû à JEAN PERRIN qui a recueilli le rayonnement cathodique dans un cylindre de Faraday relié à un électroscope : il remarque que les feuilles divergentes suite à l'apparition d'une charge négative. Soumis à un champ électrique ou magnétique, le rayonnement cathodique subit une déviation qui l'empêche de charger l'électroscope.

Comme toutes ces expériences sont indépendantes de la nature des électrodes et du gaz contenu dans le tube, les particules constituant les rayons cathodiques doivent être présentes dans tous les corps : c'est le **concept de l'électron**.

b- Expérience de J.J.Thomson (1912) : Détermination du rapport e/m

Grâce aux lois de l'électromagnétisme, J.J. Thomson a pu déterminer le rapport entre la charge et la masse de l'électron. La mesure du rapport e/m est basée sur la déviation d'une particule électrisée par un champ électrique et magnétique.

b.1. Description de l'appareil :

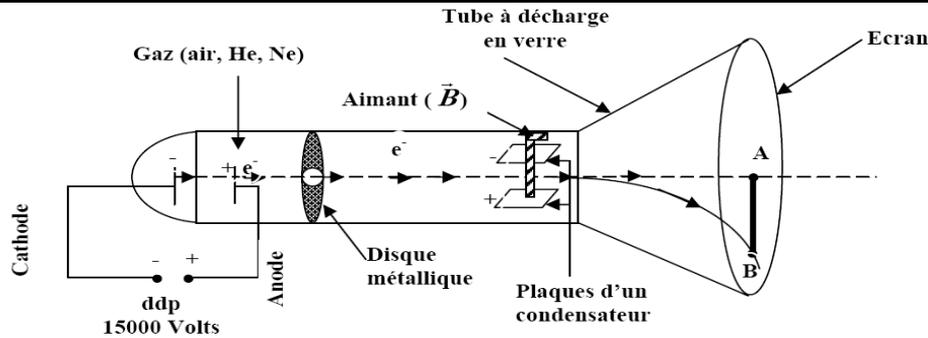


Figure II.3 : Appareil de mesure du rapport e/m

- Partie gauche :** Lieu d'introduction du gaz sous très haute pression. Les ions formés sont accélérés par une ddp et traversent la cathode creuse C. Dès l'instant l'arrivée des ions à la cathode creuse, ils ne sont plus soumis à aucune force, et la vitesse acquise dans le champ électrique reste constante.
- Ampoule :** Les particules chargées, accélérées traversent une ampoule sous vide pour éviter tout obstacle à la propagation de ces particules. Les particules accélérées traversent une ampoule sous vide qui s'évase (s'élargie) vers le récepteur afin de ne pas perturber les trajectoires des particules. Le fond de l'ampoule présente une grande surface. Il est recouvert d'une couche mince d'un produit solide luminescent (platinocyanure de barium ; sulfure de zinc ; ...), qui présente la propriété d'émettre un rayonnement lumineux visible en chaque point où un ion vient le frapper.
- L'analyseur électromagnétique :** il est placé à l'extérieur de l'ampoule et à proximité de la cathode. Il est composé d'un électroaimant et d'un condensateur dont les armatures ont exactement la même forme de telle sorte que les champs électrique et magnétique soient rigoureusement superposés.

Cette opération permet d'avoir des trajectoires linéaires des ions.

b.2. Etude des déviations des rayons canaux :

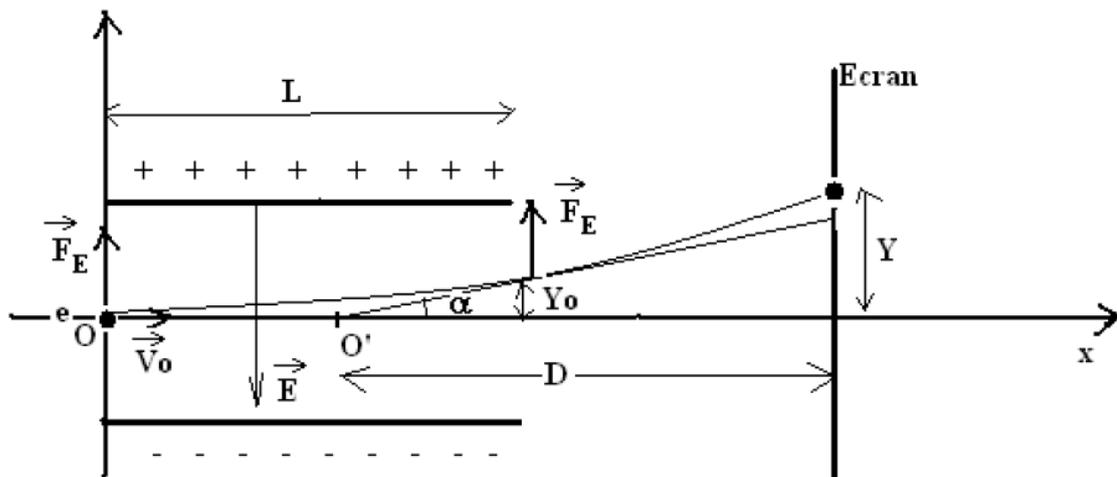


Figure II.4. : Déviation des rayons cathodiques

Action d'un champ électrique :

Considérons une particule m de charge q = -e, animée d'une vitesse V_0 .

- Si le condensateur n'est pas chargé, la particule se déplace suivant OX.
- si le condensateur est chargé, l'électron est soumis à une force vers la plaque positive suivant OY d'intensité :

$$F_e = e \cdot E = m_e \cdot \gamma \quad (1)$$

Suivant OX: mouvement uniforme rectiligne $\gamma_n = 0$

$$x = V_0 \cdot t \quad (2)$$

Suivant OY : mouvement uniformément accéléré :

$$\gamma = \frac{e \cdot E}{m} \quad (3)$$

Suivant OY, le mouvement est uniformément accéléré, donc on peut écrire :

$$m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} = e \cdot E \quad (4)$$

Par intégration de cette équation en supposant : à t = 0, y=0 on trouve :

$$y_0 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{e}{m} \cdot E \cdot t^2 \quad (5)$$

Suivant OX : $x = V_0 \cdot t \Rightarrow t = \frac{x}{V_0}$.

$$(5) \Leftrightarrow y_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{e}{m} \cdot \frac{x^2}{V_0^2} \quad (5)$$

A la sortie de condensateur : x = L

$$y_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{e}{m} \cdot \frac{E \cdot L^2}{V_0^2} \quad (6)$$

Déviation de l'électron dans un champ magnétique uniforme:

L'électron animé d'une vitesse \vec{V}_0 perpendiculaire au champ magnétique \vec{B} , est soumis à une force magnétique \vec{F}_m opposée à la force électrique \vec{F}_e d'intensité :

$$F_m = e \cdot V_0 \cdot B \sin \alpha = e \cdot V_0 \cdot B \quad (7)$$

\vec{V}_0 est perpendiculaire à \vec{B} : $\sin \alpha = 1$.

La direction de cette force est donnée par la règle des trois doigts de main droite : le pouce, l'index et le majeur indiquant respectivement les directions du champ magnétique, la vitesse et la force magnétique.

La trajectoire de l'électron à l'intérieur du champ magnétique est circulaire dont le rayon (r) est égal :

$$r = \frac{m_e \cdot V_0}{e \cdot B} \quad (8)$$

déduit de : la force magnétique est égale à la force centrifuge d'où :

$$|\vec{F}_c| = m_e \cdot \frac{V_0^2}{r} = e \cdot V_0 \cdot B \Rightarrow r = \frac{m_e \cdot V_0}{e \cdot B}$$

Action simultanée des deux champs :

En appliquant simultanément et agissant convenablement sur les intensités de E et B, on peut éviter la déviation de l'électron ; ce qui signifie :

$$|\vec{F}_e| = |\vec{F}_m| \Rightarrow e \cdot E = e \cdot V_0 \cdot B$$

$$V_0 = \frac{E}{B} \tag{10}$$

En remplaçant l'expression de V_0 dans l'expression de y_0 :

$$y_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{e}{m_e} \cdot \frac{E \cdot L^2}{E^2} \cdot B^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{e}{m_e} \cdot \frac{B^2 L^2}{E}$$

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2 \cdot E \cdot y_s}{B^2 \cdot L^2} \tag{11}$$

A partir de la mesure de y_0 , des paramètres expérimentaux E et B et connaissant L, il est possible de calculer $\frac{e}{m_e}$:

$$\frac{e}{m_e} = 1,759 \cdot 10^{11} C/Kg$$

C. Expérience de MILLIKAN : Détermination de la charge |e| et déduction de sa masse

C.1. Description de l'appareil

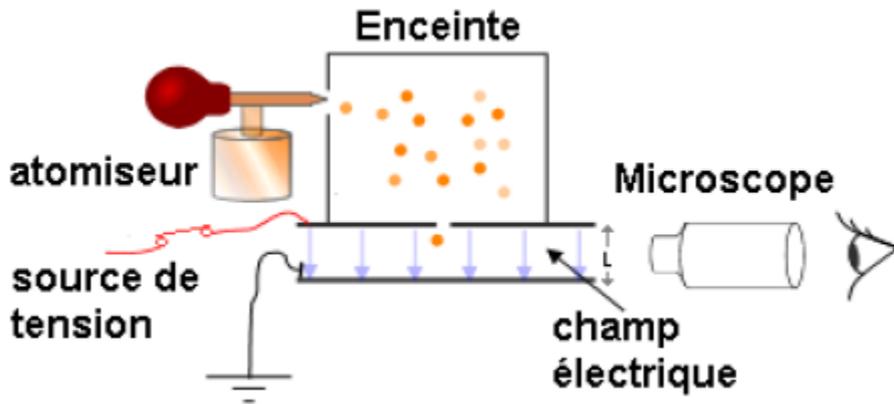
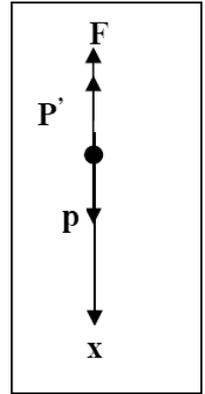


Figure II. 5 : L'expérience avec les gouttelettes d'huile

L'expérience consiste à vaporiser des gouttelettes d'huiles dans l'air entre les plateaux d'un condensateur. Sous l'effet des rayons γ (R-X), le gaz s'ionise et les gouttelettes d'huiles se chargent alors en électricité. Le mouvement de ces gouttelettes, entre les plaques du condensateur est suivi à l'aide d'un microscope (figure II.4). Le rayon des gouttelettes est supposé constant.



En l'absence du champ électrique : on observe une chute libre de la gouttelette soumise aux trois forces :

- Pesanteur :

$$P = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g \quad (12)$$

où : ρ : la masse volumique de l'huile.

- Poussée d'Archimède due à l'air de masse volumique ρ_a :

$$P' = \pi_A = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_a \cdot g \quad (13)$$

- Force de frottements visqueux donnée par la loi de Stokes :

$$F = +6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot V_0 \quad (14)$$

Où : V_0 : Vitesse de la gouttelette ; r : Rayon de la gouttelette

On remarque que les gouttelettes atteignent rapidement une vitesse limite, l'accélération est alors nulle :

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{m} \cdot \vec{\gamma} = 0 \Rightarrow P - P' - F = 0$$

$$\text{Soit : } \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g - \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_a \cdot g - 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot V_0 = 0$$

$$\frac{4}{3} \cdot r^2 \cdot (\rho - \rho_a) \cdot g - 6 \cdot \eta \cdot V_0 = 0 \Rightarrow r^2 = \frac{9}{2} \cdot \frac{\eta \cdot V_0}{(\rho - \rho_a) \cdot g} \quad (15)$$

En mesurant la vitesse V_0 de chute libre des gouttelettes, on détermine le rayon moyen des gouttelettes (La vitesse est calculée en mesurant le temps (t) mis par une gouttelette pour parcourir une distance d repérée par le microscope ($V_0 = d/t$)).

En présence du champ électrique

En actionnant le champ électrique, on peut observer des mouvements descendants et ou ascendant des gouttelettes.

Prenons une gouttelette chargée positivement ($q > 0$). Les gouttelettes chargées sont soumises, dans le champ E , à une force électrique (F_e) :

$$F_e = q \cdot E \quad (16)$$

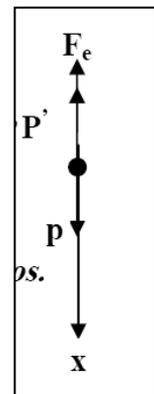
On peut appliquer un champ électrique E de manière à ce qu'une gouttelette soit immobile (force de frottements sont nulles) alors $F = 0$

$$\sum F_{ext} = 0 \Rightarrow P - P' - F_e = 0$$

$$P - q \cdot E - P' = 0$$

$$q \cdot E = P - P' = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot (\rho - \rho_a) \cdot g \quad (16)$$

La charge q peut alors être déterminée.



MILLIKAN a montré que les charges captées par les gouttelettes étaient toutes des multiples de la charge élémentaire (e) :

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ coulomb.}$$

Connaissant le rapport e/m , on déduit la masse de l'électron au repos :

$$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$$

• Gouttelette en mouvement :

Supposons une charge positive ($q > 0$) et que la gouttelette remonte de bas en haut. Pour que la gouttelette remonte, il faut :

$$q \cdot E \geq \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 (\rho - \rho_a) \cdot g \quad \Rightarrow \quad E_0 = \frac{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot (\rho - \rho_a) \cdot g}{q}$$

Supposons que $E > E_0$, le mouvement est ascendant et la force de Stokes F opposée à la vitesse est dirigée vers le bas :

$$m \cdot \gamma = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot (\rho - \rho_a) \cdot g + qE - 6 \cdot \eta \cdot \pi \cdot r \cdot V_0$$

On atteint rapidement une vitesse limite : $\gamma = 0$

$$-\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot (\rho - \rho_a) \cdot g + q \cdot E - 6 \cdot \eta \cdot \pi \cdot r \cdot V_0 = 0$$

Si sa vitesse devient non négligeable devant celle de la lumière ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$), on considère la masse relative :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad \text{avec } m_0: \text{masse au repos}$$

Exemple: Si $V = 200\,000 \frac{\text{Km}}{\text{s}}$; $\frac{m}{m_0} = 1,34$; $m = 12,2 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$.

II.2. Le proton : expérience de GOLDSTEIN (Mise en évidence de la charge positive u noyau)

Il a été découvert par GOLDSTEIN dans les rayons canaux. GOLDSTEIN a repris l'expérience de CROOKES en provoquant une décharge électrique dans un gaz qui est l'hydrogène. Celui-ci est décomposé en H^+ par les rayons cathodiques (*la ddp ionise les molécules de H_2 en formant H^+*). Le faisceau de protons est observé à l'arrière de la cathode.

L'analyse (mesure q/m) de ces protons a permis de dégager les caractéristiques suivantes :

$$q = +e = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

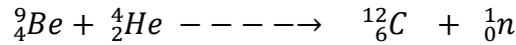
$$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ Kg} = 1836 \cdot m_e$$

II.3. Le neutron : Expérience de CHADWICK (mise en évidence du neutron)

Le bombardement d'une cible de béryllium par des particules α émet un rayonnement qui par action sur une paraffine provoque une expulsion de protons. Le rayonnement issu de

béryllium n'est pas dévié par un champ électrique ou un champ magnétique. Il ne peut s'agir que d'un rayonnement électromagnétique ou d'un faisceau de *particules neutres*.

CHADWICK démontre qu'il s'agissait d'un faisceau de neutrons formés au cours de la collision suivant la réaction ci-dessous :



Dont les caractéristiques sont comme suit :

$$q = 0 \text{ Coulomb}$$

$$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ Kg} ; m_n \approx m_p$$

III. Modèle de RUTHERFORD

L'expérience de RUTHERFORD consiste à bombarder une feuille d'or très mince par des noyaux d'hélium (He^{2+}). En étudiant les trajectoires des particules, il constata que la plus part des particules traversaient la feuille d'or sans être déviées, et qu'un petit nombre d'entre elles étaient soit fortement déviées en la traversant, soit renvoyées en arrière : Il s'agit de celles qui sont passées à proximité des charges positives. Ceci montre que la matière de la feuille d'or est concentrée dans des particules (volume très petit) très éloignées les unes des autres par rapport à leurs dimensions et chargées positivement qui furent appelés les *noyaux de l'atome*.

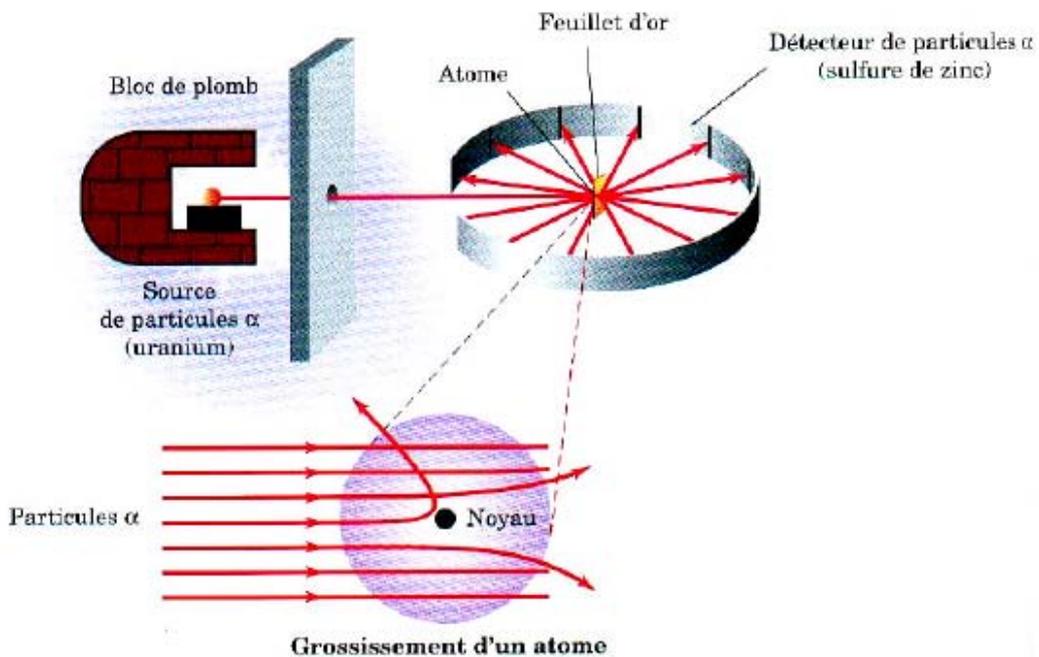


Figure II.6. L'expérience de RUTHERFORD

Rutherford déduit que la charge positive de chaque atome se trouve rassemblée dans un volume très petit par rapport à celui de l'atome

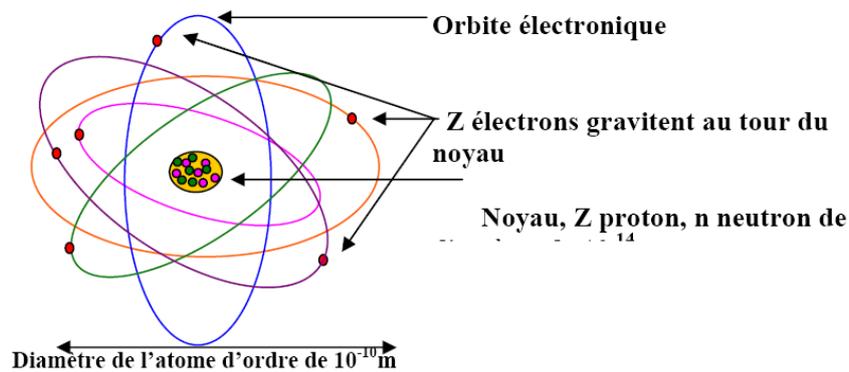


Figure II.7 : Modèle de RUTHERFORD

Modèle :

Un atome peut être modélisé par une structure présentant un corps compact central appelé noyau de l'atome et chargé positivement.

L'atome est électriquement neutre, est décrit tel un noyau dense et chargé positivement autour duquel gravitent des électrons comme les planètes autour du soleil.

Le noyau est constitué de nucléons : Protons et neutrons.

$$\text{Proton : } m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ Kg} \quad ; \quad \text{charge : } q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{Neutron : } m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ Kg} \quad ; \quad \text{charge : } q = 0 \text{ C}$$

$$\text{Pelectron : } m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ Kg} \quad ; \quad \text{charge : } q = - 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{Rayon du noyau } \approx 10^{-14} \text{ m}$$

$$\text{Rayon de l'atome } \approx 10^{-10} \text{ m}$$

IV. Présentation et caractéristiques de l'atome :

L'atome est caractérisé par les valeurs : **Z**: Nombre de protons ou d'électrons, **N**: Nombre de neutrons. Par convention, on représente un élément par le symbole : $\frac{A}{Z}X$ où

Z: est appelé numéro atomique ou nombre de charge

A: est appelé nombre ou numéro de masse représente le nombre de nucléons:

$$A = Z + N$$

Pour un élément quelconque, le nombre de protons est fixe, mais le nombre de neutrons peut varier.

Unité de masse atomique (uma)

Dans le système international, l'unité de la masse est le Kg. Elle est totalement inadaptée à l'échelle élémentaire pour l'atome. D'où la nécessité d'une autre unité et qui est l'unité de masse atomique (u.m.a) avec :

$$1 \text{ uma} = 1,6606 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$1 \text{ uma} = \frac{1}{12} \cdot \frac{12}{N_A} = \frac{10^{-3}}{6,023 \cdot 10^{23}} \text{ Kg}$$

$$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = \frac{9,109 \cdot 10^{-31}}{1,6606 \cdot 10^{-27}} = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ uma}$$

$$m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = \frac{1,673 \cdot 10^{-27}}{1,6606 \cdot 10^{-27}} = 1,0074 \text{ uma}$$

$$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = \frac{1,675 \cdot 10^{-27}}{1,6606 \cdot 10^{-27}} = 1,0087 \text{ uma}$$

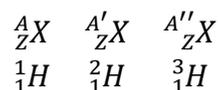
$$m_p \approx m_n \approx 1 \text{ uma}$$

Remarque :

- La masse moyenne d'un atome en (uma) et la masse d'une mole d'atome en gramme (g) sont numériquement égales.
- Comme chaque nucléon a une masse proche de l'unité de masse atomique (1uma), la masse du noyau est sensiblement égale à : $A = Z + N$
- La masse des électrons restant négligeables, A est aussi sensiblement la masse de l'atome en unité de masse atomique.

V. Isotopes et abondance relative des différents isotopes :

Les isotopes sont des atomes ou nucléides d'un même élément chimique (ils ont le même nombre de protons) *mais* un nombre de neutrons différents (donc des nombres de masse et masse atomique différents).



Remarque :

- Les propriétés chimiques de deux isotopes d'un même élément sont strictement les mêmes car elles sont déterminées par le cortège électronique qui est le même pour les deux isotopes.

Exemple : le magnésium naturel comprend 03 isotopes : ${}^{24}_{12}Mg$; ${}^{25}_{12}Mg$; ${}^{26}_{12}Mg$. Z = 12 mais A est différent.

Dans la nature, tous les éléments sont des mélanges d'isotopes. Donc le calcul de la masse atomique d'un élément chimique dépend de l'abondance de chacun des isotopes.

L'abondance est le pourcentage de présence de l'isotope dans l'élément chimique. La masse molaire moyenne est calculée par la relation suivante :

$$M = \frac{\sum M_i \cdot x_i}{100}$$

Exemple :

Le carbone est un mélange de : ${}^{12}_6C$ (98,9%) et de ${}^{13}_6C$ (1,1%)

$$\text{Masse atomique moyenne : } M = \frac{98,9 \cdot 12 + 13 \cdot 1,1}{100} = 12,01 \text{ g/mol}$$

VI. SEPARATION DES ISOTOPES ET DETERMINATION DE LA MASSE ATOMIQUE.

Spectromètre de masse : Spectrographe de BAINBRIDGE.

Le spectromètre de masse de BAINBRIDGE comprend quatre parties :

Montage qui précède la fente F₃ : permet de sélectionner les ions animés d'une même vitesse donnée (V₀) : C'est le filtre de vitesse.

Montage situé après la fente F₃ : c'est l'analyseur : il permet de séparer les particules animés d'une même vitesse, mais caractérisées par des rapports $\frac{q}{m}$ différents.

1. **La source d'ions** : Les ions sont issus d'un gaz bombardé par un jet d'électrons où les particules sont animées de vitesses différentes.
2. **Le filtre de vitesse** : le filtre reçoit des ions animés de vitesses différentes caractérisés par des rapports $\frac{q}{m}$. Le faisceau étroit défini par les fentes f₁ et f₂ traverse un espace où il est soumis à l'action simultanée d'un champ électrique et d'un champ magnétique perpendiculaire entre eux. (orthogonaux) et orientés de telle façon qu'ils produisent des déviations en sens opposés.

Si V est la vitesse d'un ion et q sa charge ; les forces appliquées sont :

Force électrique : $F_1 = q \cdot E$

Force magnétique : $F_2 = q \cdot V \cdot B$

L'ion franchira la fente f₃ si : $F_1 = F_2$ soit :

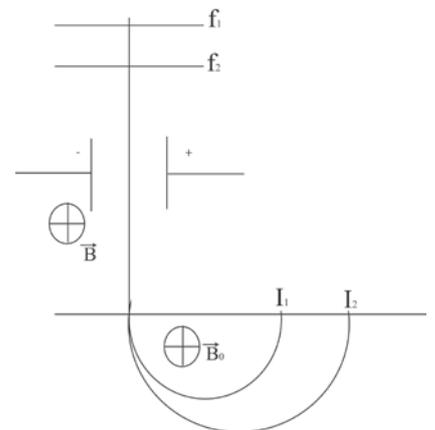
$$q \cdot E = q \cdot V \cdot B \Rightarrow V = \frac{E}{B}$$

Les ions qui sortent du filtre ont les mêmes vitesses.

3. **L'analyseur** : dans l'analyseur, l'ion est soumis à un champ magnétique perpendiculaire à sa direction ; l'ion est dévié suivant un cercle de rayon R :

$$q \cdot V \cdot B_0 = M \cdot \frac{V^2}{R} \Rightarrow \frac{q}{M} = \frac{V}{B_0 \cdot R}$$

Sachant que B₀ et V sont connus, le rayon (R) du cercle ne dépend que du rapport $\frac{q}{m}$. Les ions caractérisés par des rapports $\frac{q}{m}$ différents se répartissent ainsi sur des trajectoires circulaires différentes (voir figure ci-dessous).



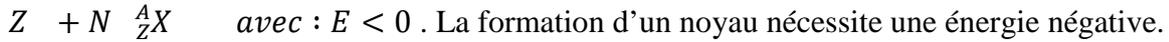
4. **Détecteur d'ions** : c'est une plaque photographique ou autre

Figure II-8: Spectrographe de BAINBRIDGE

VII. ENERGIE DE LIAISON ET DE COHESION DES NOYAUX

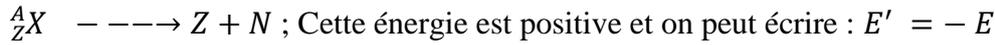
VII.1. Energie de liaison (E):

C'est l'énergie nécessaire à la formation d'un noyau quelconque à partir de ses nucléons (P + N) suivant la réaction ci-dessous :



VII.2. Energie de cohésion (E'):

C'est l'énergie nécessaire à la destruction d'un noyau en ses constituants (N + P) selon la réaction :



VII.2.1. Energie de cohésion par nucléon : c'est le rapport de l'énergie de cohésion d'un noyau sur le nombre de nucléon (A = Z + N) . Elle est, en général, inférieure à 8,9 MeV quelque soit l'élément considéré. La courbe d'ASTON représente cette énergie moyenne en fonction de A.

Cette énergie de cohésion est de l'ordre de /nucléon . (1MeV = 10⁶eV = 1,6. 10⁻¹³J).

La courbe représente un minimum (maximum en valeur absolue) à A = 60 ; les atomes correspondants étant les atomes les plus stables. Par conséquent, tous les éléments vont chercher à se stabiliser et à se rapprocher de la zone de stabilité maximale vers A = 60.

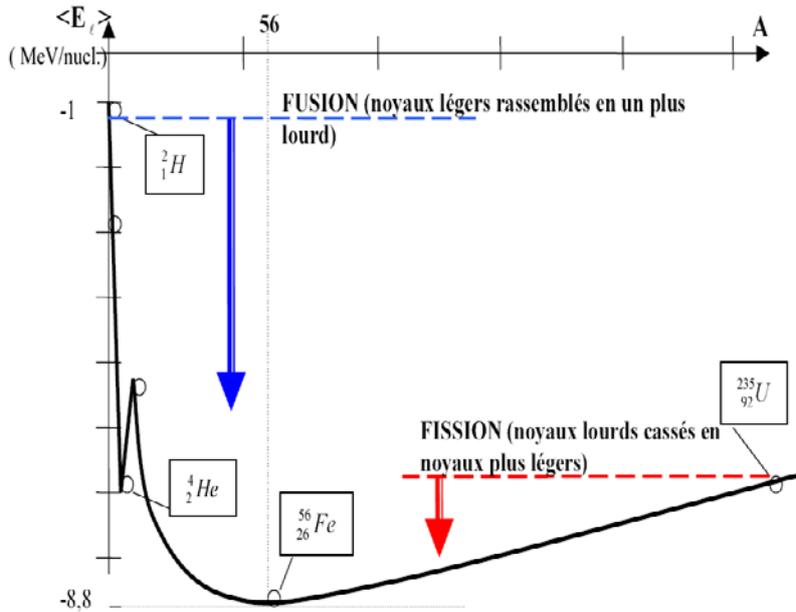


Figure II-9 : Courbe d'ASTON

A < 15 : Les atomes légers vont s'associer pour donner un atome lourd c'est la **fusion**.

A > 200 : Les atomes lourds vont se diviser pour donner des atomes légers : c'est la **fission**.

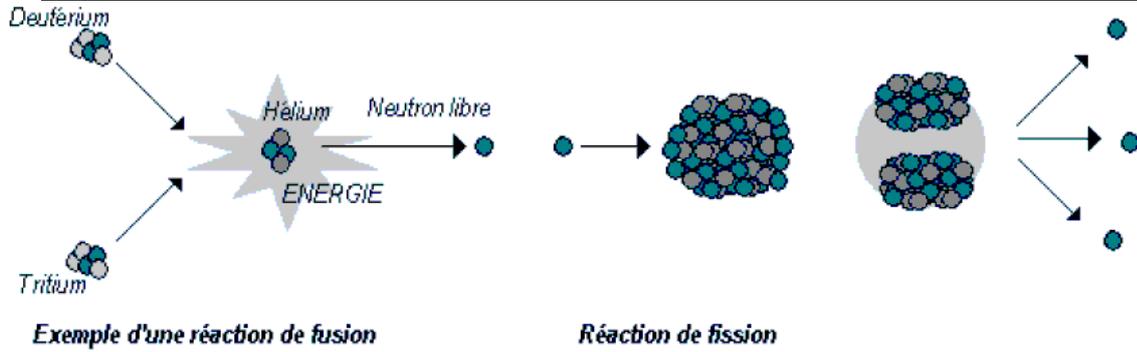


Figure II-10 : Réaction de fusion et de fission

VII.2.2. Equation d'EINSTEIN

Selon la relation de la relativité, la matière et l'énergie sont inter-convertibles ; ce qui signifie que la masse peut être transformé en énergie et réciproquement, l'énergie peut donner la masse.

La relation entre l'énergie et la masse est donnée par la relation d'ENSTEIN (1905) :

$$E = m \cdot C^2$$

Avec C : célérité de la lumière ($3 \cdot 10^8 m/s$)

Remarque :

La masse de noyau est toujours inférieure à la somme des masses de ses constituants ; il y a une perte de masse Δm qui se transforme en énergie avec :

$$Energie\ de\ cohésion \rightarrow \Delta E = \Delta m \cdot c^2 \leftarrow \begin{matrix} \text{Vitesse de la lumière} \\ \text{dans le vide :} \\ c = 2,99792458 \cdot 10^8\ m/s \end{matrix}$$

\uparrow
Défaut de masse

- Lors de la création d'un noyau : $\Delta m < 0$
 $\Delta m = m_{noyau} - (Z \cdot m_{proton} + N \cdot m_{neutron})$. On parle de **l'énergie de liaison**.
- Lors de la décomposition du noyau en nucléons $\Delta m > 0$
 $\Delta m = (Z \cdot m_{proton} + N \cdot m_{neutron}) - m_{noyau}$. On parle de **l'énergie de cohésion**.

VII.3. Définition de l'électro-volt (eV) :

L'électron-Volt (eV) est l'énergie acquise par un électron accéléré par une ddp de 1 volt. D'où :

$$1eV = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{joule (J)}$$

VII.4. Energie d'un u.m.a (1 uma)

$$E = \Delta m \cdot C^2 \text{ avec } \Delta m = 1\ uma = 1,66 \cdot 10^{-27} Kg$$

$$E = 1,66 \cdot 10^{-26} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 14,94 \cdot 10^{-11} J$$

$$1\text{eV} = 1,66 \cdot 10^{-19}\text{J} \Rightarrow E = \frac{14,94 \cdot 10^{-11}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 933 \cdot 10^6 \text{ eV} = 933 \text{ MeV}$$

D'où

$$1 \text{ uma} = 933 \text{ MeV}$$

Exemple :

- Déterminer le nombre de protons, neutrons et d'électrons de deutérium
- Déterminer l'énergie de cohésion du noyau de deutérium par MeV/noyau et par MeV/nucléon

Solution :

- Pour un élément A_ZX on a : $A = Z + N \Rightarrow N = A - Z$

	A	Z	N	e
Deutérium ${}^2_1\text{H}$	2	2	2	2

- Energie de cohésion :

$$E = \Delta m \cdot C^2 \text{ avec : } \Delta m = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - m_{\text{noyau}}$$

$$E = [(Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - m_{\text{noyau}}] \cdot C^2$$

$$E = [(1,007277 + 1,008665) - 2,014102] \cdot 9 \cdot 10^{16} (\text{uma} \cdot \text{m}^2/\text{S}^2)$$

$$E = 0,00184 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} (\text{Kg}) \cdot 9 \cdot 10^{16} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\right) = 2,75 \cdot 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{noyau}}$$

$$E = \frac{2,75 \cdot 10^{-13}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 1,79 \cdot 10^6 \text{ eV} = 1,72 \frac{\text{MeV}}{\text{noyau}}$$

- $E \left(\frac{\text{Mev}}{\text{nucleon}}\right)$

$$E_{\text{nucleon}} = \frac{E_{\text{noyau}}}{A} = \frac{1,72}{2} = 0,86 \text{ MeV/nucleon}$$

- $E \left(\frac{\text{MeV}}{\text{mole d'atomes}}\right)$

$$1,72 \text{ MeV} \quad \text{---} \rightarrow \quad 1 \text{ atome}$$

$$E \quad \text{---} \rightarrow \quad 6,023 \cdot 10^{23} \text{ atomes}$$

$$E = 6,023 \cdot 10^{23} \cdot 1,72 = 10,35 \cdot \frac{10^{23} \text{ MeV}}{\text{mol}}$$

VII.5. STABILITE DU NOYAU

Parmi les 331 nucléides naturels, 284 sont stables ; les autres se décomposent spontanément. On dit qu'ils sont radioactifs.

La stabilité d'un élément quelconque est d'autant plus grande que l'énergie de liaison par nucléon est plus élevée.

À partir de A = 210 (Polonium), tous les nucléides sont radioactifs. La stabilité dépend aussi du nombre de Z : $N = A - Z$. En effet, l'ajout de neutrons stabilise les nucléides par effet de dilution des charges positives des protons qui en étant plus éloignées les unes des autres auront tendance à moins se repousser. A cet effet, le rapport entre le

nombre de proton et le nombre de neutrons est le facteur principal qui va fixer la stabilité d'un nucléide donné.

Si $1 \leq Z \leq 20$: le nombre de protons et de neutrons est égal ou très proche.

Si $20 \leq Z \leq 84$: le nombre de neutrons est supérieur au nombre de protons. Il faut davantage de neutrons pour compenser la répulsion électrostatique de protons.

Si $Z \geq 84$: les nucléides sont radioactifs. Le nombre de neutrons devient insuffisant. Les neutrons supplémentaires nécessaires à la stabilité ne trouvent plus de place pour se loger dans le noyau.

EXERCICES

Exercice 1

Quels sont respectivement le nombre de protons, de neutrons et d'électrons entrant dans la structure du $^{12}_6\text{C}$, $^{14}_6\text{C}$, $^{16}_8\text{O}$, $^{16}_8\text{O}^{2-}$, $^{55}_{25}\text{Mn}$, $^{55}_{25}\text{Mn}^{2+}$

Exercice 2

Le bombardement d'un noyau de $^{235}_{92}\text{U}$ par un neutron libre trois neutrons, un noyau de lanthane $^{146}_{57}\text{La}$ et un noyau X. Trouver le numéro atomique et le nombre de masse X.

Exercice 3

Le nombre d'isotope ^M_ZX pour 100 atomes constituant un élément naturel est appelé abondance isotopique.

1. Le brome naturel a pour masse atomique 79,909 ; il contient exclusivement les isotopes $^{79}_{35}\text{Br}$, $^{81}_{35}\text{Br}$. Calculer l'abondance isotopique en $^{79}_{35}\text{Br}$ et $^{81}_{35}\text{Br}$.
2. Calculer le pourcentage en masse de chacun de ces isotopes dans le brome naturel.

Exercice 4

L'expérience de la goutte d'huile, réalisée par Millikan (université de Chicago) au début du XX^{ème} siècle, a permis de déterminer la valeur de la charge élémentaire $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C. On cherche dans l'étude qui suit à retrouver ce résultat.

L'expérience consiste à pulvériser de minuscules gouttes d'huiles électrisées positivement entre les deux électrodes horizontales d'un condensateur plan chargé. Chaque goutte subit plusieurs forces :

- son poids, orienté vers le bas
- la force électrostatique subit par la goutte chargée

L'idée est d'ajuster la force électrostatique afin que la goutte soit en équilibre entre les plaques du condensateur. L'équilibre est observé avec une lunette de visée.

Le dispositif est le suivant :

Pour ajuster la force électrique qui s'exerce sur la goutte, on ajuste la tension $U = V_A - V_B$ entre les plaques A et B du condensateur.

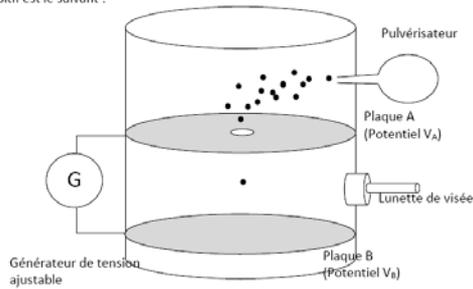
La distance entre les plaques du condensateur est $d = 5,00$ cm.

Les gouttes pour lesquels on obtient l'équilibre ont toute la même taille ; elles sont assimilables à des sphères de rayon $r = 1,80$ μm .

Résultats :

On observe l'équilibre de différentes gouttes pour les valeurs suivantes de la tension :
 $3,17 \times 10^4 \text{V}$; $2,11 \times 10^4 \text{V}$; $1,59 \times 10^4 \text{V}$; $1,27 \times 10^4 \text{V}$; $1,06 \times 10^4 \text{V}$

Le dispositif est le suivant :



Données :

Masse volumique de l'huile : $\rho_h = 8,5 \cdot 10^2 \text{ kg/m}^3$

Volume d'une sphère de rayon r : $V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$

1. Représenter le vecteurs-force correspondant au poids de la goutte.
2. Ajouter dans le bon sens, la force électrostatique subit par la goutte pour qu'elle soit en équilibre.
3. Après avoir rappeler la relation vectorielle entre la force électrostatique et le champ électrostatique, représenter le vecteur champ-électrostatique entre les deux plaques.
4. Déduire de la question précédente si $V_A > V_B$ ou $V_B > V_A$. Justifier. En déduire quel est le pôle + du générateur et quel est le pôle - .
5. Calculer l'intensité du poids P de chaque goutte.
6. En déduire l'intensité de la force électrostatique F_e pour qu'il y ait équilibre de la goutte.
7. Etablir l'expression de F_e en fonction de U la tension entre les deux plaques, d la distance entre les plaques et $|q|$ la charge portée par la goutte. En déduire l'expression de $|q|$ en fonction de F_e , U et d .
8. Calculer les valeurs de $|q|$ pour les différentes tensions mesurées. Expliquer à partir de ces valeurs Millikan a déduit la charge élémentaire. En déduire la charge de chacune des gouttes étudiées.

Exercice 5

Entre deux plaques métalliques horizontales distantes de $l = 1,5 \text{ cm}$, on applique une différence de potentiel U de 3 kV .

On constate alors que de petites gouttes d'huile chargées négativement sont en équilibres entre les deux plaques.

- a) Quelles sont les polarités des plaques ?
- b) Quelle est la charge d'une goutte d'huile ? Comparer à la charge d'un électron.

On donne :

Masse volumique de l'huile : $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$

Diamètre d'une goutte : $D = 4,1 \text{ }\mu\text{m}$

Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Exercice 6

I. Entre les armatures d'un condensateur plan à air il existe une différence de potentielle V_1 . Ces armatures sont séparées d'une distance (l) et ont la forme de carrée (L étant le côté). Un électron entre avec une vitesse initiale (v) dans le plan médian du condensateur.

1. Calculer la force exercée sur l'électron ainsi que l'accélération à laquelle il est soumis.
2. Chercher le point d'impact de cet électron sur un écran situé à une distance D du centre du condensateur ($D \gg L$).

Données: $V_1 = 50 \text{ volts}$; $v = 2 \cdot 10^4 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, $l = 10 \text{ cm}$; $L = 12 \text{ cm}$, $D = 1,5 \text{ m}$.

II. Une particule chargée de masse (m) est accélérée sous une différence de potentielle V_2 . Elle pénètre dans un champ d'induction magnétique B uniforme et perpendiculaire à la trajectoire de la particule. Cette induction s'exerce dans un cercle de rayon (r).

1. Calculer le rayon de la courbure de la trajectoire (r)
2. Chercher le point d'impact de la particule sur un écran situé à une distance D du centre du champ magnétique.
3. Une seconde particule de même charge, de masse (m') inférieure à (m) subit la même accélération et son point d'impact est séparé de (x) par rapport au point d'impact de la première particule. Quelle est la masse (m').

données: $V_2 = 5 \cdot 10^5 \text{ volts}$; $B = 0,1 \text{ T}$; $r = 6 \text{ cm}$; $x = 1 \text{ cm}$; $m = \frac{1}{6} \cdot 10^{-26} \text{ Kg}$;
 $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $D = 1,5 \text{ m}$.