

**INSTITUT DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES ET BIOLOGIQUES**

**LYON**

**ENSEIGNEMENTS DIRIGES**

**DE**

**CHIMIE PHYSIQUE**

**ANNEE 1991-92**

**CHAPITRE 2**

**STRUCTURE DE LA MATIERE**

## **STRUCTURE DE LA MATIERE**

### **OBJECTIFS**

#### **DEVENIR CAPABLE DE:**

- Citer les expériences montrant l'existence des différents constituants de l'atome et leurs caractéristiques.
- Définir les termes nucléides, éléments, isotopes.
- Calculer l'un des trois nombres A, Z, N connaissant les deux autres.
- Etablir le nombre de protons, de neutrons et d'électrons d'un atome ou d'un ion à partir du symbolisme A, Z, X.
- Donner la définition de la mole.
- Donner la définition de la masse molaire, atomique ou moléculaire.
- Calculer la composition isotopiques d'un élément naturel connaissant sa masse atomique apparente et les masses atomiques des isotopes présents.

---

## STRUCTURE DE LA MATIERE

---

### I - LA MOLECULE - L'ATOME

Savoir définir les termes suivants :

- molécule - atome

Savoir distinguer :

- corps simple - corps composé

- corps simple - élément.

### II - LES PARTICULES CONSTITUTIVES DE L'ATOME

#### 1°) L'électron :

( C'est à l'étude détaillée, à la fin du 19ème siècle, de la  
( décharge électrique dans les gaz raréfiés que l'on doit la  
( découverte de l'un des principaux constituants de la matière :  
( l'électron.

( Retenons quelques expériences importantes dans l'étude de  
( cette particule :

( - 1850 Mise en évidence des électrons dans le "tube de Croo-  
( kes" : les rayons cathodiques. L'expérience met en évidence le  
( caractère corpusculaire de ces rayons.

( - 1895 J. Perrin, physicien français, montre que ces particu-  
( les matérielles constituant les rayons cathodiques sont des  
( particules chargées négativement en étudiant la trajectoire  
( des e<sup>-</sup> dans un champ électrique.

( - 1897 J.J. Thomson, physicien anglais, détermine le rapport  
( e/m (charge/masse), de l'électron, en étudiant l'action d'un  
( champ électrique puis d'un champ magnétique sur la trajectoire  
( d'un électron.

(  
(  
(  $e/m = - 1,759 \times 10^{11} \text{C.kg}^{-1}$  (valeur actuelle)

( - 1909 l'expérience de Millikan permet la mesure de la charge  
( e de l'électron et donc le calcul de sa masse m

(  
(  
(  $e = - 1,602 \times 10^{-19} \text{C}$  ;  $m = 0,9109 \times 10^{-30} \text{ kg}$ .

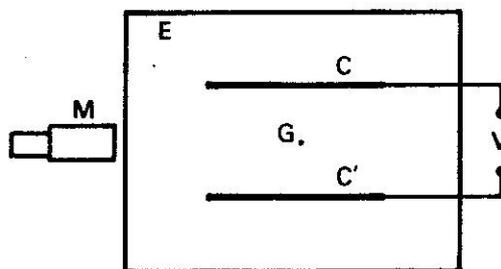
## QUESTIONS :

- 1°) Rappeler succinctement l'effet d'un champ électrique, d'un champ magnétique sur la trajectoire d'un électron ayant une vitesse initiale  $\vec{v}_0$  perpendiculaire au champ.

## EXERCICES :

\*

- 2°) Le principe simplifié de l'expérience de Millikan est le suivant : on pulvérise de l'huile entre les armatures parallèles et horizontales d'un condensateur plan chargé sous une tension  $U$  ajustable. Les gouttelettes sont plus ou moins électrisées sous l'effet des frottements. Leur mouvement est observé au microscope.
- a) On observe que certaines gouttelettes tombent lentement, d'autres plus rapidement, certaines ont un mouvement ascendant vertical. Expliquer.
- b) Si l'on ajuste la tension appliquée à  $U = 245 \text{ V}$  (l'armature supérieure étant chargée positivement) une des gouttes de rayon  $0,88 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  reste immobile. La distance des armatures est de  $7 \text{ mm}$ .
- Calculer la charge portée par cette gouttelette d'huile.
  - La comparer avec la valeur actuellement connue de la charge de l'électron.
  - Expliquer comment cette expérience peut conduire à une détermination de la charge de l'électron.
- Données : masse volumique de l'huile  $800 \text{ kg.m}^{-3}$   
intensité du champ de pesanteur  $g = 9,8 \text{ ms}^{-2}$ .
- On supposera les gouttelettes parfaitement sphériques.



— L'expérience de Millikan  
(1908)

C, C' : plaques métalliques entre lesquelles existe un champ électrique variable.  
G : gouttelette d'huile électrisée.  
E : enceinte vide d'air (pour éviter les perturbations par les chocs des molécules de l'air sur la gouttelette d'huile).  
M : microscope d'observation.

\* 2°) Le noyau : 1911 Expérience de Rutherford

( C'est en étudiant la diffusion "des rayons X" à la traversée d'une  
( très mince feuille d'or placée dans le vide que le physicien  
( anglais Rutherford mit le premier en évidence la structure lacu-  
( naire des atomes et l'existence d'un noyau chargé positivement.  
(

( L'expérience simplifiée est la suivante : un pinceau étroit de  
( particules  $\alpha$  est envoyé sur une cible constituée par une feuille  
( d'or très mince (0,6 u) et ceci dans une enceinte où règne un vide  
( poussé. Derrière la feuille d'or se trouve un écran fluorescent  
( sous l'impact des particules  $\alpha$ . En absence de feuille d'or, l'im-  
( pact des particules  $\alpha$  sur l'écran est en O (voir schéma). En pré-  
( sence de feuilles d'or, des impacts de particules  $\alpha$  se distribuent  
( sur toute la surface de l'écran mais on observe cependant :

( 1) un grand nombre de particules  $\alpha$  ne sont pas déviées et arrivent  
( en O après avoir traversé la feuille d'or sans dommage pour  
( celle-ci.

( 2) 1 particule sur 1000 000 environ est déviée

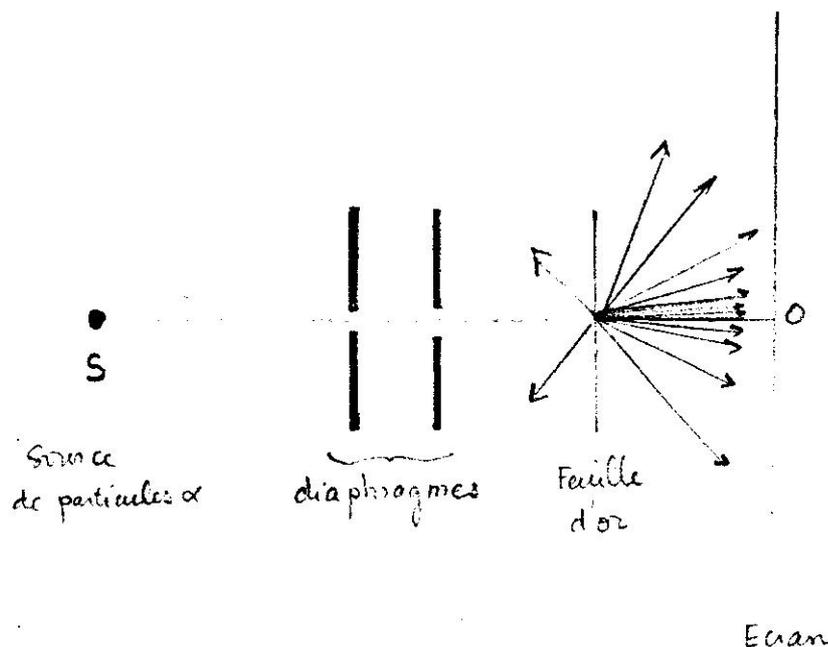
( 3) Quelques particules sont très fortement déviées et même sont  
( déviées en amont de la feuille d'or.

( Une analyse plus précise de cette expérience et en particulier des  
( trajectoires des particules  $\alpha$  déviées est en faveur de l'interpré-  
( tation suivante :

( a) il existe dans les feuilles d'or des centres diffractants char-  
( gés positivement

( b) ces centres diffractants sont très espacés (1 Å) et leur diamè-  
( tre est très faible ( environ  $10^{-4}$  Å)

( c) la charge électrique portée par ces centres diffractants ou  
( "noyaux" est précisément le numéro atomique de l'élément constitu-  
( tif de la feuille d'or (ici l'or) dans la classification périodique.  
( (l'idée de la classification périodique date de 1869 avec  
( Mendéléev)



### QUESTIONS :

3°) Qu'est ce que les rayons  $\alpha$

\* 4°) Préciser, à partir des faits expérimentaux le raisonnement permettant de formuler le modèle de l'atome proposé par Rutherford.

5°) D'après cette expérience, l'atome d'un élément de .....  
Z est constitué par un noyau chargé ..... de la  
quantité d'électricité = .....  
Ce noyau est entouré de ..... électrons dont la masse  
totale est ..... et qui assurent la .....  
électrique de l'atome.

Les atomes sont assimilés à des sphères ; leur diamètre est de  
l'ordre de ..... Å. Les noyaux supposés sphériques ont  
un diamètre de l'ordre de ..... Å. La structure de  
l'atome est donc .....

\* 6°) Que peut-on dire de la masse volumique des noyaux atomiques (ordre  
de grandeur) ? La comparer à l'ordre de grandeur de la masse  
volumique des atomes.

### III - LES CONSTITUANTS DU NOYAU :

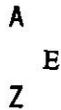
( La découverte de la radioactivité (Becquerel 1896) et les  
( expériences qui découlèrent, la découverte de l'électron à cette  
( même période ont permis d'apporter des éclaircissements sur la  
( structure du noyau.

(  
( 1910 : le proton (Rutherford)  
(  $m_p = 1,6736 \times 10^{-27}$  kg  
(  $q = 1,602 \times 10^{-19}$  C  
( 1930 : le neutron (Bothe et Becquerel)  
(  $m_n = 1,6755 \times 10^{-27}$  kg  
( particule neutre  
(

( La masse du neutron a été déterminée par Chadwick en 1932 en  
( étudiant le choc élastique entre un neutron et un atome d'azote  
( ionisé dans une chambre de Wilson (dispositif permettant de  
( visualiser les trajectoires des particules ionisées)

### QUESTIONS :

7°) Le symbole d'un élément E est donc



donner la signification de Z et A.

### EXERCICES :

8°) On a pu établir la relation suivante entre le rayon du noyau supposé sphérique et le nombre de nucléons.

$$R_N = 1.141 \cdot 10^{-15} A^{(1/3)} \text{ en nm.}$$

Calculer le rayon du noyau de l'or  $Z_{Au} = 79$

### IV - LES ISOTOPES :

Savoir définir

- nucléide - isotope - isotone - isobare

- citer des exemples d'isotopes, d'isotones, d'isobares.

( Le spectromètre d'Aston :

(

( Le dispositif simplifié est le suivant :

(

( On produit des particules positives des atomes d'une substance à  
( étudier dans un tube à décharge S, d'où elles sortent par deux  
( fentes parallèles étroites  $F_1$ ,  $F_2$ , matérialisant ainsi un  
( mince ruban de rayons de direction définie avec précision.

(

( Les vitesses des ions varient dans de larges limites puisqu'ils  
( ont été accélérés par des potentiels divers dans le tube à  
( décharge.

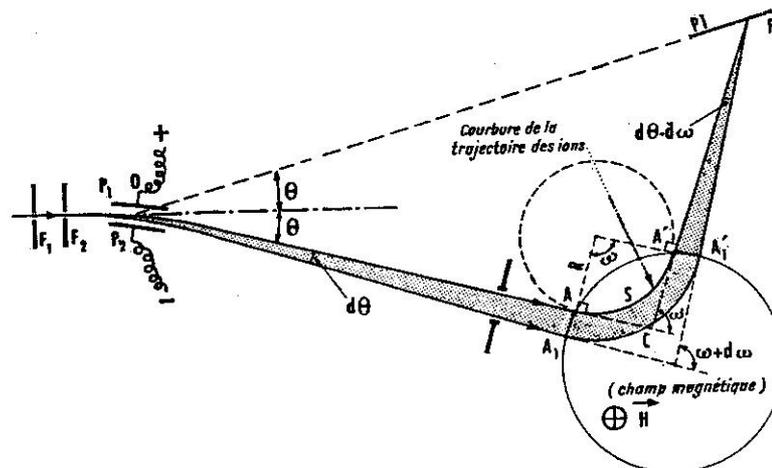
(

( Les particules du faisceau subissent d'abord un déplacement  
( transversal dans le plan de la figure en passant dans le champ  
( électrique E produit par le condensateur plan P. On démontre que  
( la déviation  $\theta$  du faisceau est donnée par :

(

(  $\theta v^2 = K e' / m'.$

( pour un ion positif de charge  $e'$ , de masse  $m'$ , de vitesse  $V$ .  
 (  $K$  est une constante d'appareil.  
 ( En  $AA'$ , le faisceau est ensuite soumis à une induction magnétique  
 (  $B$  uniforme perpendiculaire au plan de la figure et dirigé d'avant  
 ( en arrière. Sous l'action d'une telle induction les ions décrivent  
 ( un arc de cercle d'angle au centre  $\omega$  tel que :  
 (  $\omega v = K' e'/m'$   
 ( On peut démontrer que quelles que soient les vitesses des ions de  
 ( rapport  $e'/m'$ , ceux-ci convergent en  $F$  tels que  $\widehat{FOC} = 2\theta$ .  
 ( Il suffit donc de placer une plaque le long de la direction  $OF$   
 ( pour obtenir les images de la fente  $F_2$  correspondant chacune aux  
 ( ions qui ont la même valeur de  $e'/m'$ . On obtient ainsi un spectre  
 ( de masse.



( Ce dispositif a révélé que presque tous les éléments naturels sont  
 ( des mélanges en proportions constantes de deux ou plusieurs  
 ( isotopes.

V - MASSE ATOMIQUE - MASSE MOLLAIRE - NOMBRE D'AVOGADRO :

QUESTIONS :

- 9°) Donner l'ordre de grandeur de la masse d'un atome.
- 10°) Qu'appelle-t-on masse molaire atomique.  
Préciser quel est l'élément pris comme référence pour constituer l'échelle actuelle des masses molaires atomiques.
- 11°) Qu'appelle-t-on unité de masse atomique u.m.a.

EXERCICES :

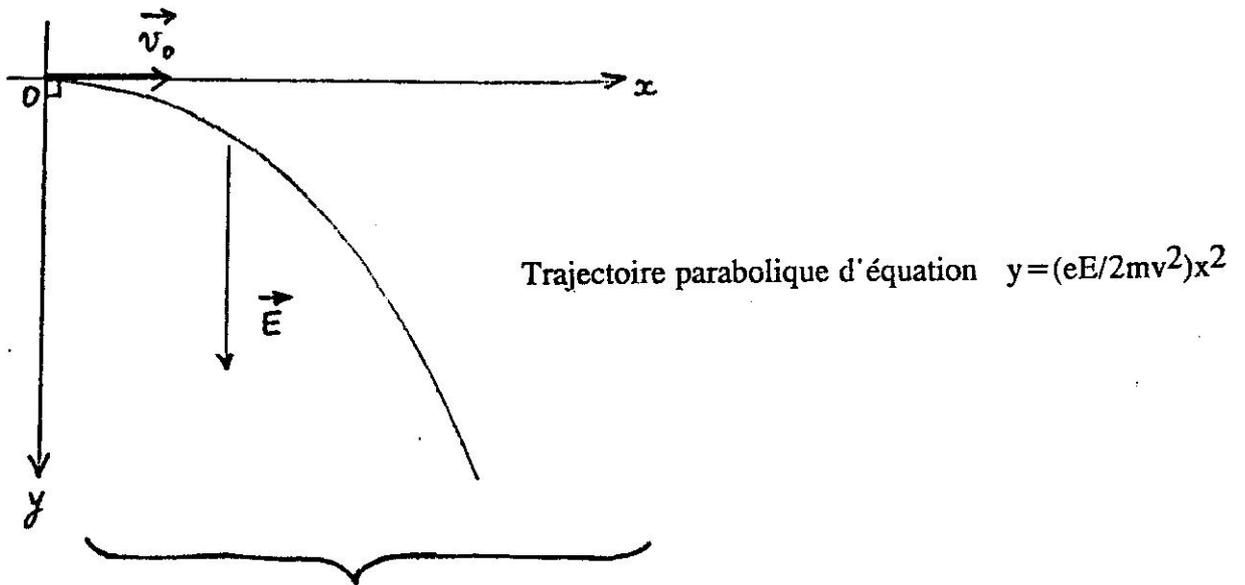
- \* 12°) La masse atomique du chlore est  $35,453 \text{ g.mol}^{-1}$ .  
Sachant que le chlore naturel est formé de deux isotopes : les nucléides  $^{35}_{17}\text{Cl}$  et  $^{37}_{17}\text{Cl}$  de masses atomiques respectives  $34,969 \text{ g.mol}^{-1}$  et  $36,947 \text{ g.mol}^{-1}$ ,
- a) Calculer les fractions molaires des 2 isotopes présents dans l'élément naturel chlore.
- b) On s'intéresse aux molécules de dichlore  $\text{Cl}_2$ . On considère que les atomes  $^{35}\text{Cl}$  et  $^{37}\text{Cl}$  tous liés (en molécules diatomiques) le sont indistinctement.
- b1) Exprimer  $X(^{35}\text{Cl}_2)$ ,  $X(^{37}\text{Cl}_2)$ ,  $X(^{35}\text{Cl}^{37}\text{Cl})$  en fonction de  $X(^{35}\text{Cl})$  et  $X(^{37}\text{Cl})$   
 $X(A)$  étant la fraction molaire de l'entité A dans un mélange avec  $A = ^{35}\text{Cl}$  ou  $A = ^{37}\text{Cl}$ , ou  $A = ^{37}\text{Cl}_2$  etc...
- b2) Calculer ces différentes fractions molaires.
- c) Représenter de façon approchée l'allure d'un spectre de masse (abondance des particules en fonction de leur masse) du chlore atomique et du dichlore moléculaire.
- \* 13°) Le carbone naturel a une masse atomique molaire de  $C = 12,01115 \text{ g.mol}^{-1}$ . Que vous suggère cette donnée ?

- \* 14°) Les échelles des masses atomiques sont établies par rapport à une masse de référence.  
Autrefois on avait choisi  $^{16}\text{O} = 16,000 \text{ g.mol}^{-1}$  (système I)  
Actuellement la référence est  $^{12}\text{C} = 12,000 \text{ g.mol}^{-1}$  (système II).  
Dans l'échelle (II) le fluor a pour masse atomique  $^{19}\text{F} = 18,988 \text{ g.mol}^{-1}$ . Quelle était la masse atomique du fluor  $^{19}\text{F}$  dans l'échelle I sachant que le carbone avait dans cette échelle la masse atomique  $12,00398 \text{ g.mol}^{-1}$  ?
- \* 15°) Le nombre d'Avogadro dépend-il du choix de l'élément de référence pour l'échelle des masses atomiques ?

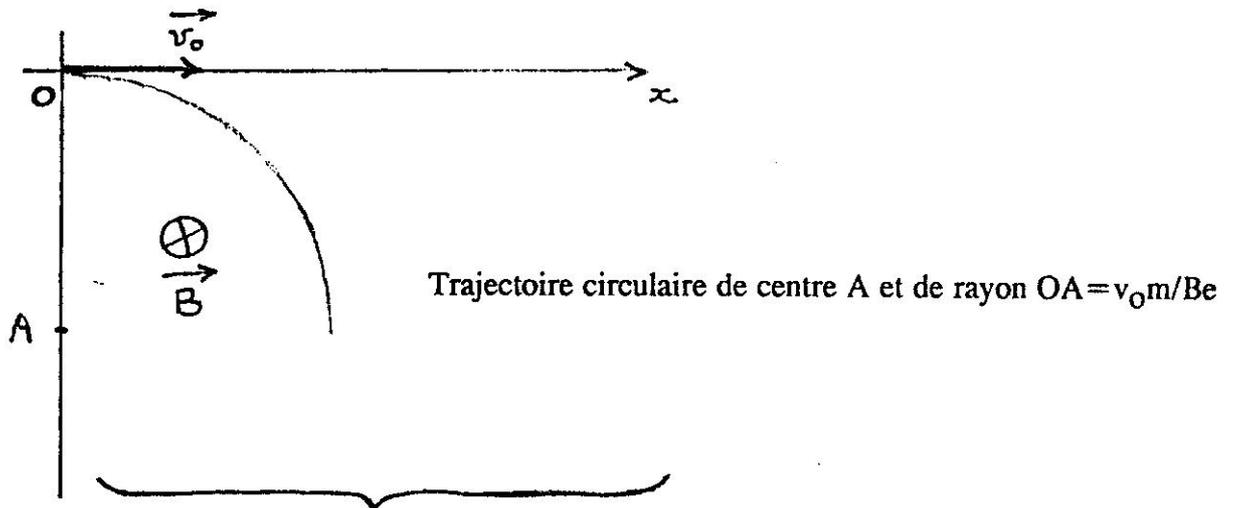
CORRIGE DES QUESTIONS ET EXERCICES

(Les exercices précédés d'une étoile \* sont corrigés en E.D.).

1)



Région où règne un champ électrique uniforme  $\vec{E} \perp \vec{v}_0$



Région où règne un champ magnétique uniforme  $\vec{B} \perp \vec{v}_0$

2)  $q = - 6.4 \cdot 10^{-19} \text{C}$ . (cf. ED)

3) Rayonnement  $\alpha$  = rayonnement de particules constituées par des noyaux d'hélium  $\Rightarrow {}^4_2\text{He}^{2+}$  (2 protons) encore appelés hélions (A l'époque de l'expérience de Rutherford, on avait quelques notions de radioactivité ; certaines substances dites radioactives émettaient un rayonnement inconnu les "rayons  $\alpha$ " de nature corpusculaire, chargés positivement  $| 2e |$  et de masse  $\approx$  double de l'hydrogène. Ces notions étaient suffisantes pour interpréter l'expérience de Rutherford).

\* 4) Cf E.D.

5) Numéro atomique ; positivement ;  $Z_e$  ;  $Z$  ; négligeable ; neutralité.

$1 \text{ \AA} ; 10^{-4} \text{ \AA} ;$  lacunaire.

\* 6) Masse volumique des noyaux environ  $10^{15} \text{ kg/m}^3$   
Masse volumique de l'atome environ  $10^3 \text{ kg/m}^3$   
(Cf ED)

7)  $\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} \text{ E} : \begin{matrix} Z = \text{numéro atomique} \\ A = \text{nombre de masse.} \end{matrix}$

8)  $Z = 79 \quad A = 79$  nucléons  
 $R_N$  environ  $4.9 \cdot 10^{-15} \text{ m}$

9) Environ  $10^{-26} \text{ kg}$

10) Masse d'une mole d'atome (N atomes)  
 $N = 6,02210^{23}$  = nombre d'Avogadro  
Référence  ${}^{12}_6\text{C}$  (dans 12 g de  ${}^{12}_6\text{C}$  il y a N atomes réels)

11)  $1 \text{ u.m.a} = 1,66056 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 10^{-3}/A \text{ kg}$ .

1 mole d'atomes de  ${}^{12}_6\text{C}$  une masse de 12 g  
1 atome réel de  ${}^{12}_6\text{C}$  a une masse de 12 u.m.a.  
donc  $1 \text{ u.m.a} = 10^{-3}/A = 1/12$  masse de l'atome réel de  ${}^{12}_6\text{C}$

\* 12) Cf E.D.

\* 13) Cf E.D.

\* 14) dans l'écaille  $\Gamma_{15} = 10,568 \text{ g.mol}^{-1}$

\* 15) out Cf. E.D.