

PHYSIQUE ATOMIQUE

Chapitre I

Structure atomique et niveaux d'énergie

Plan

- I. Introduction
- II. Généralités sur les raies spectrales
 - 1) Emission
 - 2) Absorption
- III. Structure atomique
 - 1) Atome
 - 2) Nucléons
 - 3) Quarks
 - 4) Noyau : expérience de Rutherford
- IV. Quantification de l'énergie
 - 1) Expérience de Franck et Hertz
 - 2) Niveaux d'énergie et leurs propriétés

I. Introduction

Le but de ce chapitre est d'interpréter la composition de la lumière émise par les atomes, à travers les raies spectrales, mesurées lors d'une émission ou d'une absorption.

Pour cela, on étudie la structure atomique qui met en évidence la discontinuité de la matière. Par ailleurs des expériences ont montré la quantification de l'énergie des atomes, validée par la théorie : modèle de Bohr, que l'on détaillera dans le second chapitre.

L'étude de la microphysique a permis aussi de mettre au point de nombreuses applications, telles que : les lasers, ainsi que la découverte de nouveaux éléments atomiques de plusieurs étoiles.....

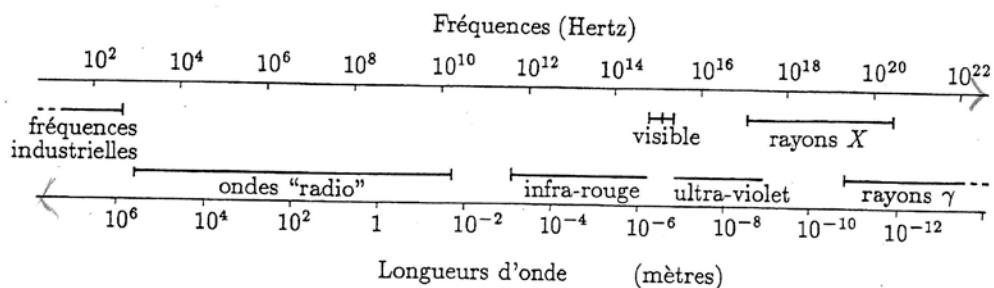
II. Généralités sur les raies spectrales

La lumière est composée de différentes longueurs d'onde λ et donc de différentes fréquences

Spectre :

La lumière est composée de différentes longueurs d'onde λ et donc de différentes fréquences

Spectre :



1. Emission

L'émission est un processus de désexcitation des atomes vers des niveaux d'énergie inférieurs en émettant de la lumière

Expérience : (fig.1).

La décharge électrique est obtenue en appliquant une différence de potentiel à une ampoule de gaz. Le gaz ionisé forme ainsi le plasma. Ce milieu contient des atomes excités, qui se dés excitent en émettant de la lumière. Cette lumière est analysée à l'aide d'un prisme qui sépare la lumière incidente en plusieurs raies spectrales, on observe des raies spectrales à différentes longueurs d'onde.

Structure Atomique

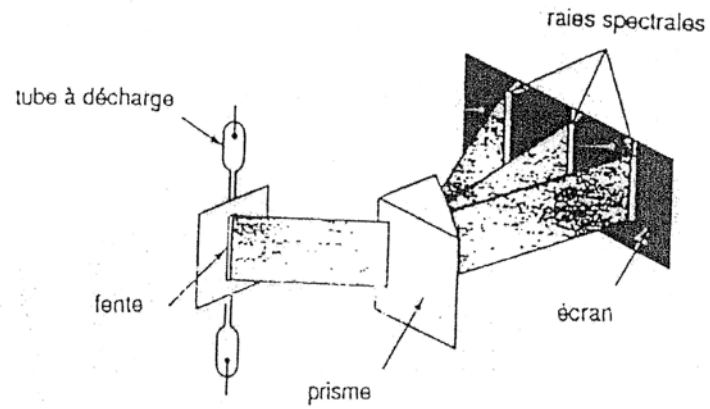


fig. 1 Analyse de la lumière à l'aide d'un prisme.

Structure Atomique

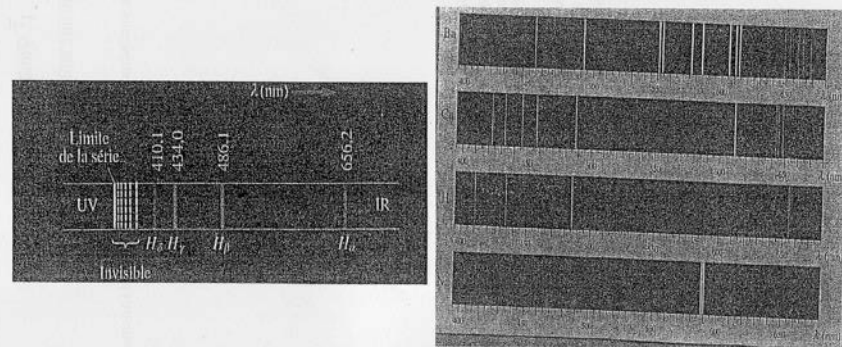


Fig. 2. Les spectres de raies d'émission de divers éléments.

2. Absorption

C'est un processus d'excitation des atomes vers des niveaux d'énergie supérieurs après absorption de lumière ou d'autres formes d'énergie extérieur.

Expérience : (fig.3)

Un échantillon de gaz de sodium : Na_2 est placé dans un faisceau de lumière blanche. Le gaz va absorber sélectivement certaines longueurs d'ondes. Les énergies absorbées coïncident sans doute aux écarts en énergie des niveaux du sodium.

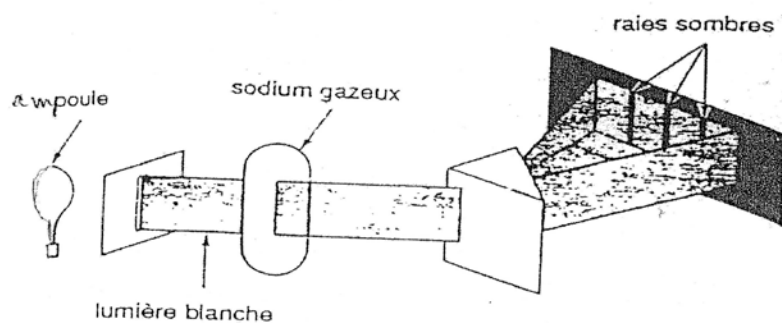


Fig. 3 Dispositif expérimental pour l'observation des raies d'absorption d'un gaz.

Pour bien interpréter ces raies spectrales, on étudie la structure atomique.

II. Structure atomique

1. Atome

C'est le plus petit élément de la matière qui conserve les mêmes propriétés que celle-ci. Il est constitué d'un noyau chargé positivement et d'un nuage d'électrons de charge négative. Le noyau est formé de protons de charge positive et de neutrons sans charge. (fig.5)

Rayon de l'atome : $R_a \approx 1 \text{ \AA} \text{ } (10^{-10} \text{ m})$

Rayon du noyau : $R_n \approx 1 \text{ Fermi } (10^{-15} \text{ m})$

Un élément atomique est représenté par : ${}^A_Z X$

Z : numéro atomique : (nombre d'électrons)

A : nombre de masse (nombre de protons + nombre de neutrons)

2. Nucléons

Ce sont les composés du noyau : protons et neutrons tel que pour un atome neutre, le nombre de protons est égal au nombre d'électrons: $n_{e^-} = n_p$.

Les masses respectives de ces nucléons sont: $m_p \approx 1.6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $m_n \approx 1.6750 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ qui sont très importantes par rapport à celle de l'électron qui vaut $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

3. Quarks

L'électron n'étant pas composé d'autres particules est considéré donc comme une particule élémentaire. Contrairement aux nucléons qui eux sont formés de quarks.

Dans les années 70 la théorie a prouvé l'existence des quarks. Nous savons maintenant qu'il ya six sortes. Il furent baptisés, par ordre de masses croissantes : up, down, strange, bottom et top (dernier quark découvert en 1995 par Gell Murray (prix Nobel 1999)). La théorie des quarks est confortée après plus de vingt ans de traque dans les grands accélérateurs de particules.

Les quarks ont des charges électriques fractionnelles de $(+2/3).e$ ou $(-1/3).e$, et à chaque quark correspond un antiquark de charge négative et de même masse. Ces grains vont par trois et forment ainsi les protons, les neutrons et autres....

En effet le proton est une combinaison de 3 quarks : up, up, down (uud), et le neutron (udd), ce qui fait une charge +e pour le proton et zéro pour le neutron.

Nom	Symbole	Charge	Masse
Up (haut)	u	$+\frac{2}{3}e$	360 MeV/c ²
Down (bas)	d	$-\frac{1}{3}e$	360 MeV/c ²
Strange	s	$-\frac{1}{3}e$	540 MeV/c ²
charm	c	$+\frac{2}{3}e$	1500 MeV/c ²
Bottom/beauty	b	$-\frac{1}{3}e$	5 GeV/c ²
top	t	$+\frac{2}{3}e$	171 GeV/c ²

Charge :

Proton

$$uud: \left(+\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} \right) = +e$$

Neutron

$$udd: \left(\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} \right) e = 0$$

A tout quark est associé un antiquark : particule de même masse et de charge opposée,
au quark u est associé un antiquark \bar{u}

Détection des quarks

- Les quarks ont été mis en évidence grâce à des grands accélérateurs très performants
- Les particules de très grande vitesse ($\cong c$), heurtent une cible de grande masse, le dégagement d'énergie se convertit en quarks.
- Pour le « top », il a été détecté en collisionnant 2 faisceaux de protons et d'anti-protons.

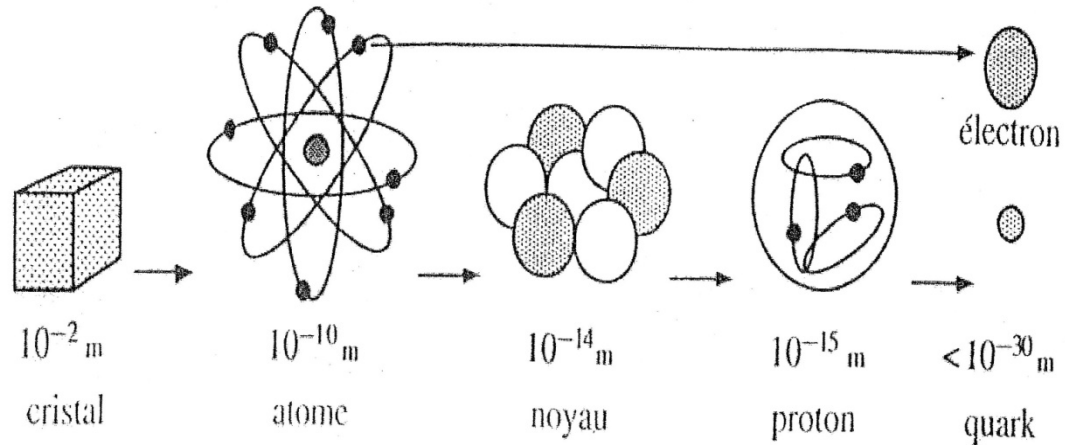


Fig. 5 Une descente dans l'infiniment petit (les quarks).

4. Noyau, expérience de Rutherford

a) Principe

Des particules α (noyaux d'Hélium He^{++}) de très grande énergie ($\approx 1\text{MeV}$), produites par radioactivité, traversent une feuille métallique très mince. Ces particules sont déviées, on mesure donc l'angle de déviation θ en fonction du paramètre d'impact b , qui représente la distance minimale entre la cible et le projectile.

L'impact des particules α sont repérés sur l'écran grâce au revêtement de sulfure de zinc. Cette substance scintille en contact des particules α . (fig.8)

b) Interprétation :

Sans la feuille métallique les particules α tapent au centre de l'écran, il n'y a donc pas de déviation

En présence de la feuille, les scintillements sur l'écran se répartissent sur toute la surface, il y a donc différentes déviations selon différents paramètres d'impact.

On interprète les éléments suivants :

- 1) Les α qui tapent au centre ce sont celles qui passent entre le noyau de l'atome cible et le nuage électronique.
- 2) Les α éjectés vers l'arrière sont sans doute celles qui sont très proches du noyau (répulsion), interaction qui se produit à cause du très faible paramètre d'impact.

On en conclue :

- noyau chargé > 0 . (car le noyau diffuse des particules > 0 : $\alpha = \text{He}^{2+}$)
- grand espace entre le noyau et le nuage d'e- (car les particules α arrivent à passer à travers la cible, et donc entre le noyau et le nuage d'électrons).
- grande masse pour le noyau, (particules très lourdes sont diffusées).
- $R_{\text{noyau}} \cong b_{\text{min}} = 10^{-15} \text{m}$ (b = paramètre d'impact : distance minimal entre le projectile et la cible).

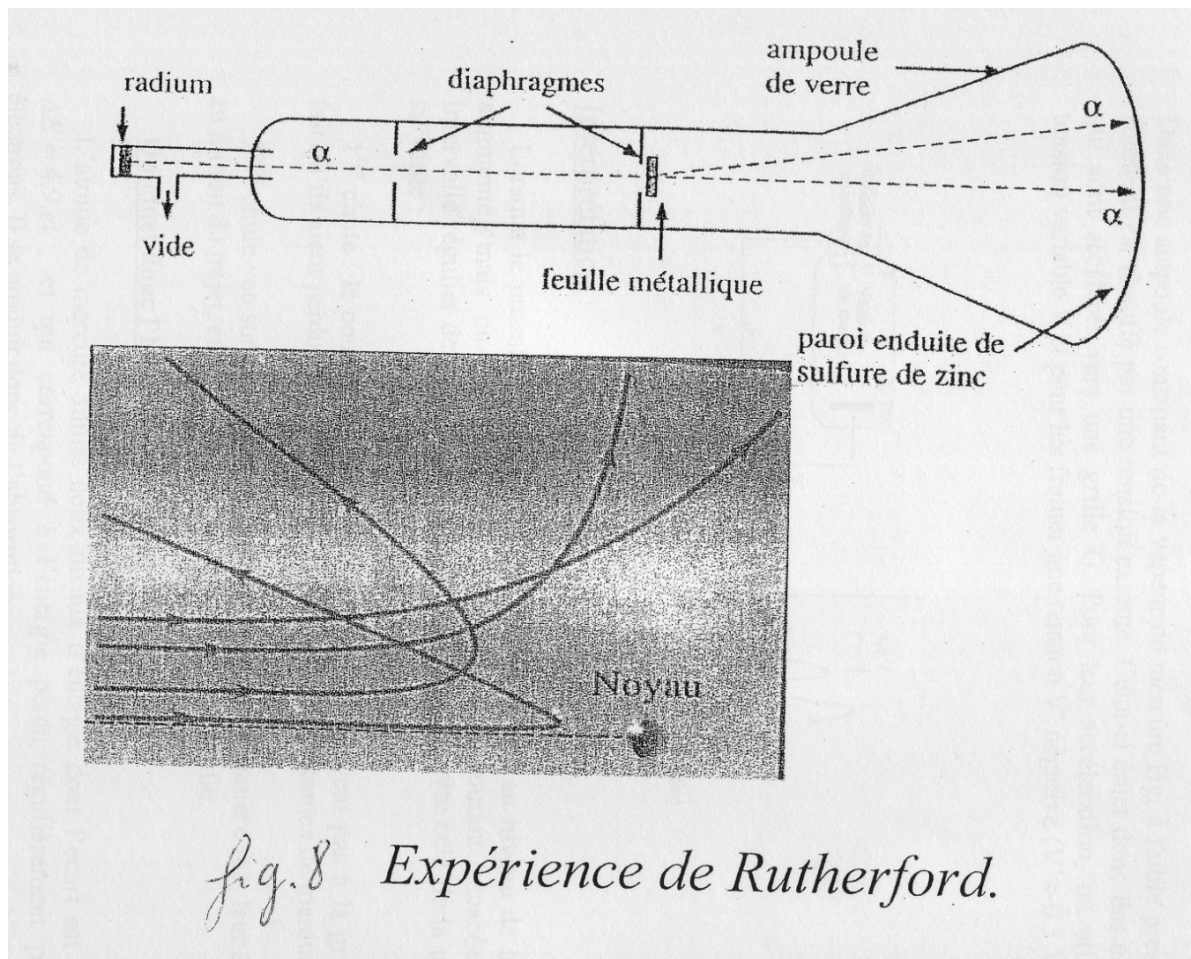


fig.8 Expérience de Rutherford.

c) Théorie :

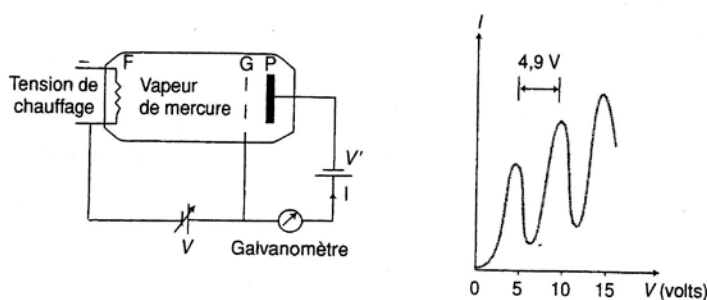
Rutherford a établi un modèle (voir T.D), où il considère l'interaction entre un noyau au repos (cible) et une particule α , arrivant avec une vitesse v_α (projectile). Dans ce modèle on exprime le paramètre d'impact b en fonction de l'angle de déviation θ par :

$$b = k \cdot \frac{q_\alpha \cdot Q}{m_\alpha \cdot V_\alpha^2} \cdot \text{ctg}(\theta/2)$$

III. Quantification de l'énergie des atomes,

1. Expérience de Franck et Hertz

Dans une ampoule contenant de la vapeur de mercure Hg, à faible pression, un filament est chauffé par une tension externe. Celui-ci émet donc des électrons, qui sont accélérés vers une grille G. Pour leur accélération, on utilise une tension variable V et pour les freiner une tension V' négative ($V' \approx -0.5$ V).



Interprétation :

Lorsque le potentiel augmente, le courant I mesuré au niveau de la grille augmente, mais on observe (fig.9) des chutes de courant espacées d'un intervalle régulier de tension $\Delta V = 4.9$ Volts. On interprète cela de la manière suivante :

1^{ère} chute : le courant baisse car les électrons n'arrivent pas à la grille, du fait qu'ils aient perdu de l'énergie par collision avec les atomes de mercure.

2^{ème} chute : ce sont les électrons qui ont perdu une première fois leur énergie au milieu du trajet, et une seconde fois au niveau de la grille.

On émet donc l'hypothèse suivante :

L'atome de mercure admet deux niveaux d'énergie dont l'écart est égal à $\Delta E = 4.9.eV$, et qui correspond à l'énergie perdue régulièrement par les électrons. Il se produit donc de l'absorption.

On valide cette hypothèse grâce à la spectroscopie d'émission. En effet, on a analysé la lumière émise par l'ampoule lors de cette expérience, et on a détecté une raie spectrale à $\lambda = 2536 \text{ \AA}$,

2. Propriétés des niveaux d'énergie

Niveau simple (niveau non dégénéré)

Niveau que l'on ne peut décomposer en plusieurs sous niveaux, à l'aide de perturbations extérieures : (avec champ électrique ou champ magnétique)

Niveau multiple (niveau dégénéré)

On peut le séparer en plusieurs sous niveaux grâce à une perturbation extérieur (exp : effet Zeeman)

Durée de vie : τ

La durée de vie d'un niveau excité est le temps au bout duquel 63% des atomes se trouvant dans ce niveau, se désexcitent vers un état d'énergie inférieure.

Cette durée de vie est exprimée par : $\tau = \frac{1}{\lambda}$ Où λ représente la probabilité de désexcitation par seconde.

Pour un niveau fondamental, la probabilité de désexcitation étant nulle (niveau très stable), on retrouve bien une durée de vie infini.