

Université Mohammed Seddik Benyahia – Jijel

Faculté des Sciences Exactes et Informatique

Département de physique



Cour de :

PHYSIQUE ATOMIQUE

L3 physique de rayonnement

Année universitaire: 2020/2021

Tables de matière

Chapitre 1: Atomistique: Historique et concepts fondamentales

Chapitre 2: Théorie de Bohr pour l'atome

Chapitre 3: Les moments atomiques

Chapitre 4: Théorie quantique de l'atome

Chapitre 5: Atomes polyélectroniques

Chapitre 1:

Atomistique: Historique et concepts fondamentales

1-1- Historique:

Une grande partie de la matière est de nature inconnue (matière noire) mais la matière connue est constitué des atomes, le concept d'atome a évolué avec le temps:

- Dès l'antiquité, les premiers scientifiques grecs se sont interrogés sur les constituants de la matière, Thales de Milet et autre énonçant la théorie du «quatre éléments» ou tous les corps sont formés de 4 éléments: eau, terre, feu et air
- Au 4^{ème} siècle avant le JC, Démocrite émet l'idée que la matière était constituée de petites particules indivisibles appelés 'atomes', cette faible notoriété de Démocrite comparée avec celle d'Aristote partisan de la théorie de 4 éléments, mit à mal la théorie de Démocrite,
- Au 19^{ème} siècle, les travaux expérimentaux de Dalton père de la théorie atomistique trouvent que la théorie de 4 éléments est fautive et que la matière est constituée des atomes,
- Au cours du 20^{ème} siècle, plusieurs scientifiques ont proposés leurs modèles de l'atome, en 1904, Thomson découvre l'électron et prend pour modèle de l'atome celui d'un pudding chargé positivement fourré d'électron chargé négativement, en 1905, Rutherford découvre son modèle atomique qui indique que l'atome se compose d'un élément central 'le noyau' qui est 100000 fois plus petit que l'atome, dans ce modèle les électrons tournent autour du noyau comme les planètes autour du soleil, la théorie de Rutherford est correcte mais perfectible d'après Bohr en 1913, qui propose son modèle atomique où les électrons déplacent autour du noyau sur des orbites bien définies, on peut avoir plusieurs électrons sur une même couche.

1-2- L'ATOME:

A- Définition de base et ordres de grandeurs:

La matière est composée de grains élémentaires appelée les atomes, il existe 112 atomes ou éléments qui ont été découverts et chacun d'eux est désigné par son nom et son symbole.

L'élément est représenté par : ${}_Z^AX$

- **Z** protons de charge +e et de masse $m_p = 1,6726.10^{-27} \text{ kg}$
- **n = (A-Z)** neutrons neutres de masse $m_n = 1,6749.10^{-27} \text{ kg}$
- **Z** électrons de charge -e et de masse $m_e = 9,1095.10^{-31} \text{ kg}$

Ou: **Z** est le nombre de charge, **A** est le nombre de masse et **e** est la charge élémentaire valant $1,6.10^{-19} \text{ C}$,

L'unité de masse atomique (u) est la fraction 1/12 de la masse d'un atome de carbone 12 :

$$1 \text{ u} = 12/(12.N_A) = 1,6606.10^{-27} \text{ kg}$$

Ou N_A correspond au nombre d'Avogadro : $N_A = 6,023.10^{23}$

- Les atomes diffèrent par leurs structures et leurs masses, et sont eux même fragmentés en petites particules : les électrons, les protons et les neutrons. En fait, l'atome n'existe pas souvent à l'état libre, il s'associe avec d'autres pour former des molécules: Monoatomiques (gaz rares) comme: He, Ne, Ar, diatomiques comme: H_2 , O_2 , NaCl et polyatomiques comme: H_2O , H_2SO_4
- Les électrons mouvent autour du noyau , l'énergie de liaison de ces électrons varié avec la distance du noyau, l'énergie est exprimée en eV, KeV , MeV ou: $1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

B- Les éléments chimiques et isotopes:

Les propriétés chimiques et physiques des atomes dépendent de leur configuration électronique et, par conséquent, du nombre de protons qu'ils contiennent. Les atomes sont classés en fonction de leur masse A et leurs propriétés chimiques dans un tableau nommé 'tableau périodique'

Deux atomes peuvent présenter le même nombre de protons, mais un nombre de neutrons différents. Ils sont alors dits « **isotopes** », par exemple: l'Hydrogène a trois isotopes: **Hydrogène simple** (1proton+ 0 Neutron), **Deutérium** (1proton +1Neutron) et **Tritium** (1 proton + 2 Neutrons), ou on trouve l'Uranium a 17 isotopes, il possède tous 92 protons mais ils ont entre 125 et 150 neutrons ,

1-3- LE PHOTON:

A- Généralité:

L'hypothèse de Planck en 1900 indique que émet ou absorbe l'énergie de façon discrète par des quanta d'énergie $h\nu$ ou h est la constante de Planck $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ et ν est la fréquence de l'onde électromagnétique, le photon est une particule de masse nulle, la théorie de la relativité restreinte annoncée la même année par Einstein permet d'exprimer sa quantité de mouvement, la relation de l'énergie d'une particule relativiste est donnée par:

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$$

Tandis que la masse de photon est nulle ($m=0$) la quantité de mouvement du photon s'exprime sous forme:

$$E^2 = p^2 c^2 \Rightarrow p^2 = E^2 / c^2 = (h\nu)^2 / c^2$$

Donc:

$$p = h\nu / c = \hbar / \lambda$$

B- EFFET PHOTOÉLECTRIQUE:

L'effet photoélectrique a été observé au premier temps par Hertz , c'est l'émission des électrons d'un métal soumis à l'irradiation de la lumière, la figure suivante montre cette expérience.

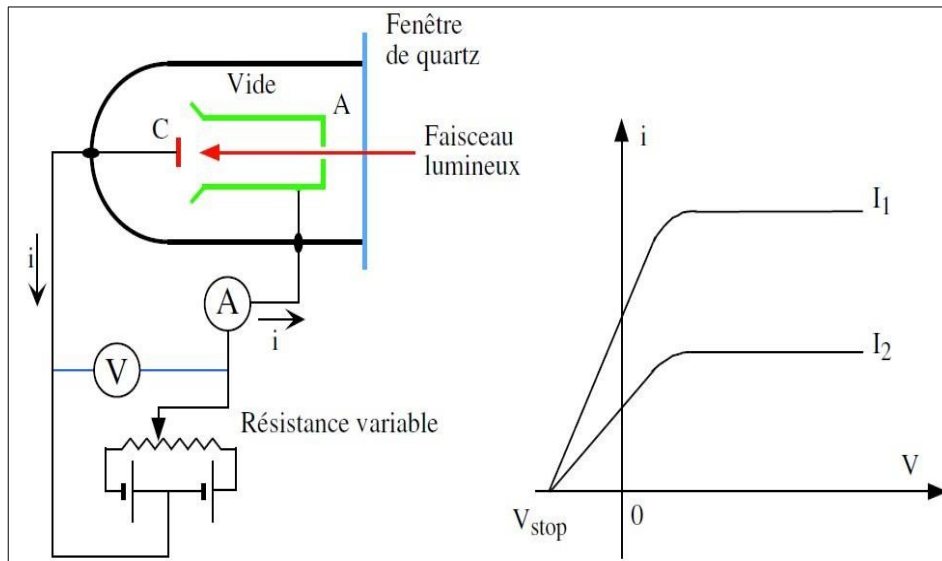


Figure 1.1: Mis en évidence expérimental de l'effet photoélectrique.

La lumière due à la fenêtre de Quartz incident sur la cathode et libérée des électrons qui mouvent vers l'anode à l'aide de la différence de potentiel V entre les deux, les électrons éjectés collectent sur l'anode ce qui donne lieu à un courant détectable pour des intensités lumineuses différents ($I_1=2I_2$), les résultats obtenus montrent que:

1. Les valeurs de saturation du courant i sont proportionnelles au intensités lumineuses I_1 et I_2 (tous les électrons arrachés à la cathode sont collectés à l'anode).
2. On observe un courant à des différences de potentiels même négatifs pour certains électrons qui ont assez d'énergie cinétique pour vaincre le champ électrique et arriver à l'anode.
3. Pour toutes les valeurs de la différence de potentiel $V < V_{\text{stop}}$, aucun courant n'est recueilli. V_{stop} ne dépend pas de l'intensité lumineuse.

- **Interprétation de l'effet photoélectrique:**

- **Hypothèse d'Einstein:**

Pour arracher un électron dans un métal il faut fournir de l'énergie appelée énergie d'extraction.

Einstein interprète l'effet photoélectrique en formulant les hypothèses (ou postulats) suivantes:

- La lumière est constituée par un ensemble de corpuscules, appelés photons, transportant chacun un quantum (des quanta) d'énergie.
- Un photon a une charge nulle et une masse nulle; il se déplace à la vitesse de la lumière, soit $C = 3.10^8 \text{ m/s}$ dans le vide.
- Chaque photon d'un rayonnement monochromatique de fréquence ν transporte un quantum d'énergie: $E = h\nu = hc/\lambda$ avec h la constante de Planck ($h = 6,623.10^{-34} \text{ Js}$), C la vitesse de lumière dans le vide (en m/s) et λ la longueur d'onde dans le vide (en m). E s'exprime en joule (J).
- L'effet photoélectrique correspond à l'interaction (choc) entre un photon incident et un électron du métal avec transfert de l'énergie du photon à l'électron extrait.

- Seuil photoélectrique:

L'effet photoélectrique ne se produit que si l'énergie du photon incident $E = h\nu$ est supérieure au travail d'extraction W_0 d'un électron du métal. ($W_0 = h\nu_0$ énergie d'extraction qui ne dépend que de la nature du métal).

ν_0 est la fréquence seuil ($\nu_0 = c/\lambda_0$, λ_0 la longueur d'onde seuil)

- Si l'énergie du photon n'est pas suffisante ($\nu < \nu_0$ ou $\lambda > \lambda_0$), le photon est réfléchi et l'électron n'est pas éjecté du métal.
- Toute l'énergie du photon incident est cédée à l'électron d'atome qui sort du métal avec une vitesse d'éjection souvent non nulle si l'énergie du photon est suffisante ($\nu > \nu_0$ ou $\lambda < \lambda_0$).
- L'énergie cinétique des électrons éjectés de l'atome est donnée par :

$$E_C = E - W_0 = h(\nu - \nu_0) = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)$$

$$\frac{1}{2} m (v_{max})^2 = h(\nu - \nu_0) = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)$$

C- L'effet Compton:

Si on envoie un faisceau de photon d'une fréquence ν et d'une longueur d'onde λ_0 ($\lambda_0 = c/\nu$) sur une cible mince, on remarque une diffusion des photons dans une direction faisant

une angle θ par-rapport à la direction incidente, on constate que la longueur d'onde λ_1 des photons diffusés ou $\lambda_1 > \lambda_0$, Donc l'effet Compton résulte l'interaction entre un photon incident avec l'électron, ou le photon cède une partie de son énergie à l'électron et diffuse avec une longueur d'onde plus grande.

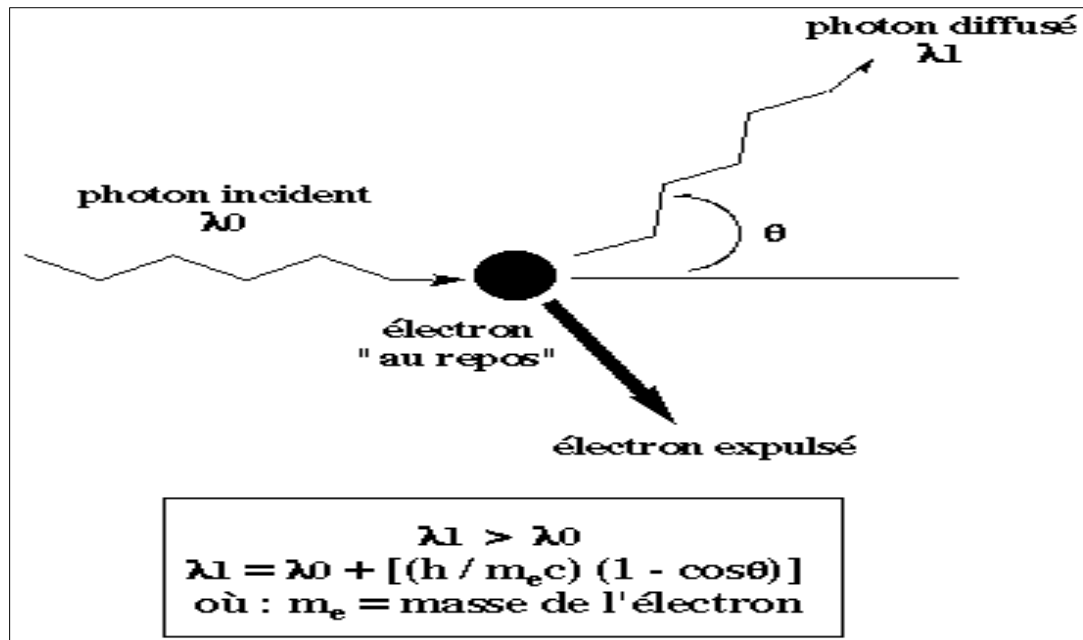


Figure 1.2: L'effet Compton.

- À l'aide des lois de conservation d'énergie et de quantité de mouvement on obtient la longueur d'onde:

$$\lambda_1 - \lambda_0 = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta) = \lambda_c (1 - \cos \theta)$$

Ou: λ_c est la longueur d'onde Compton tell que:

$$\lambda_c = \frac{h}{m_e c} = 2,43 \times 10^{-12} \text{ m}$$

1-4. Spectres d'absorption et d'émission:

1-4-1. Absorption atomique:

L'absorption atomique est un phénomène observé lorsque un atome à l'état fondamental absorbe un rayonnement électromagnétique à une longueur d'onde spécifique et passe à un état excité, il donne un spectre de raies noires sur un fond clair comme le montre la figure suivante:

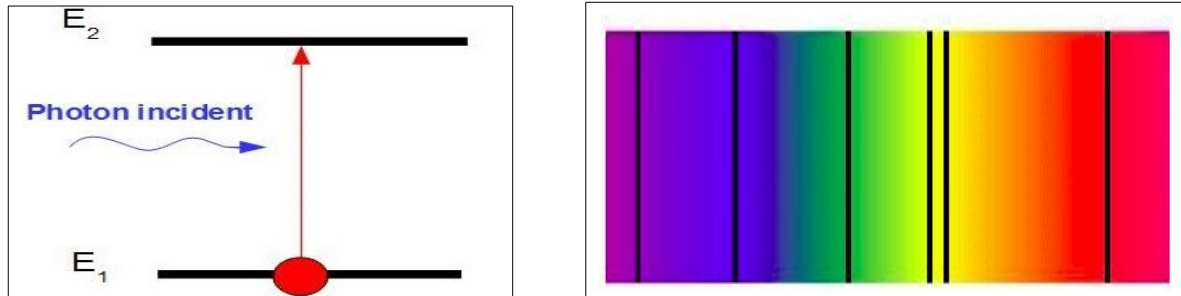


Figure 1.3: spectre d'absorption atomique

1-4-2. Émission atomique:

Lorsque les atomes ou les ions excités tournent à son état fondamental c-a-d l'état stable ils ont émis un rayonnement électromagnétique donc ils résultent un spectre de raies claire sur un fond noir comme le montre la figure suivante.

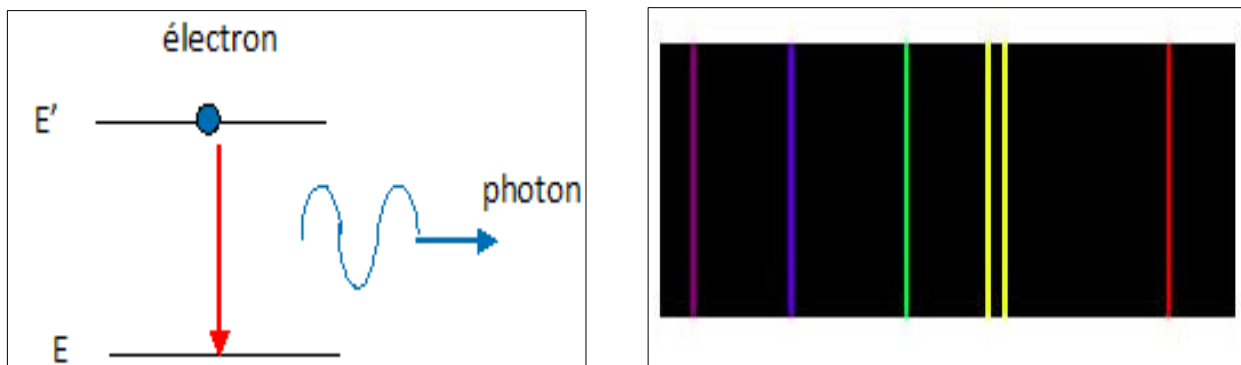


Figure 1.4: Spectre d'émission atomique.