

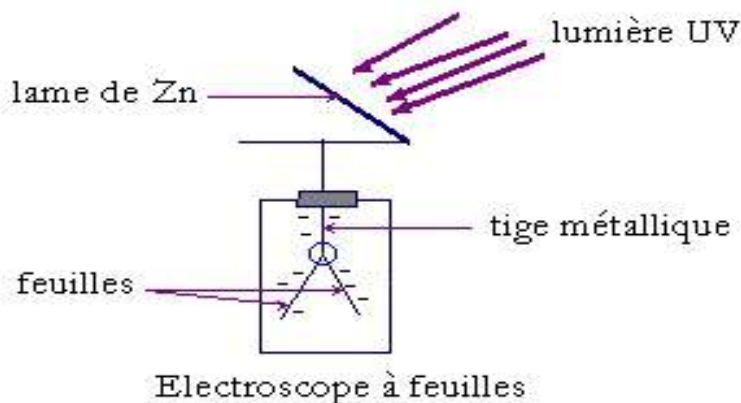
ASPECT CORPUSCULAIRE DE LA LUMIERE : DUALITE-ONDE CORPUSCULAIRE

I) ASPECT CORPUSCULAIRE DE LA LUMIERE

I.1) EFFET PHOTOELECTRIQUE

I.1.1) Mise en évidence expérimentale : Expérience de Hertz (1887)

➤ Schéma de dispositif expérimental :



I.1.2) Observation :

En envoyant un faisceau de lumière riche en rayons ultraviolet sur une lame de zinc reliée à un électroscope initialement chargé, on constate que:

- Si l'électroscope est chargé positivement: il ne se passe rien (les feuilles restent écartées)
- Si l'électroscope est chargé négativement il se décharge (les feuilles retombent)
- Si on interpose sur le trajet de la lumière une lame de verre le phénomène ne se produit pas.

I.1.3) Interprétation de l'expérience :

Lorsque la lame de zinc et le plateau de l'électroscope sont chargés négativement, ils portent un excédent d'électrons. Quand la lame est exposée à la lumière, des électrons sont arrachés du métal: c'est l'effet photoélectrique.

- si l'électroscope est chargé, on peut considérer que les électrons extraits sont réattirés par la lame.
- Si l'électroscope est chargé négativement, les électrons extraits sont repoussés par la lame qui se charge. Les charges négatives portées par l'électroscope viennent neutraliser les charges positives de la lame donc l'électroscope se décharge et les feuilles tombent.
- L'électroscope est chargé négativement, si on intercale une lame de verre sur le trajet de la lumière, celui-ci ne se décharge pas car le verre absorbe le rayonnement ultraviolet.

Seules certaines radiations sont capables de provoquer dans le cas du zinc l'émission d'électrons.

I.1.4) Conclusion :

L'effet photoélectrique est l'émission d'électrons par des surfaces métalliques lorsque celles-ci sont convenablement éclairées.

II) Interprétation de l'effet photoélectrique: Théorie d'Einstein

Si une lumière est capable d'extraire des électrons d'un métal, c'est qu'elle est constituée de corpuscules qui sont les constituants de base de la lumière. Ces corpuscules sont d'après la théorie des quanta de Max PLANCK appelées photons : particules indivisibles probabilistes de masse nulle. Chaque photon transporte une énergie appelée quantum d'énergie d'expression : $E = h\nu$.

- h est appelée la constante de Planck ;
- ν est la fréquence du rayonnement tombant sur le métal.

Ainsi 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.

III) 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). W_0 représente l'énergie de liaison de l'électron au réseau métallique. Lorsqu'un électron absorbe un photon, trois cas sont envisageables :

- L'énergie du photon est égale au travail d'extraction de l'électron $h\nu=W_0$ L'énergie du photon suffit tout juste à expulser l'électron hors du métal.

La fréquence correspond alors la fréquence seuil du métal : $\nu = \frac{W_0}{h}$

N.B : Il n'y a émission photoélectrique que si la fréquence ν du rayonnement tombant sur le métal est supérieure ou égale à une valeur limite ν_0 caractéristique du métal appelée fréquence seuil : $\nu \geq \nu_0$ ou bien

$\lambda \leq \lambda_0$. Avec $\nu = \frac{c}{\lambda}$; c est la vitesse de la lumière soit $3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ et λ la longueur d'onde.

IV) DUALITE ONDE – CORPUSCULE

La lumière comme toute radiation s'interprète de deux manières :

- soit comme une onde de longueur d'onde λ et de fréquence ν (aspect ondulatoire) ;
- soit comme un flux de photons (jet de particules) d'énergie $E = h\nu$ (aspect corpusculaire)

Ces deux aspects sont complémentaires et non contradictoires car d'après Louis De Broglie (en 1924), toute matière (et pas seulement la lumière) a une nature ondulatoire. Il associa la quantité de mouvement p d'une

particule à une longueur d'onde λ , appelée longueur d'onde de De Broglie : $\lambda = \frac{h}{p}$. C'est une généralisation

de la relation de Planck – Einstein : $E = h\nu$, car la quantité de mouvement d'un photon est donnée par :

$p = \frac{E}{c}$. La lumière comporte alors ce double caractère ondulatoire et corpusculaire comme l'ont prouvé les

différentes expériences réalisées par Davisson et Germer (en 1927) puis par Estermann et Otto Stern (en 1929) et enfin en 1999 par des Chercheurs de l'Université de Vienne qui ont fait diffracter du fullerène (molécule en C_{60}).

Evaluation :

Exercice d'application n°1

Une lumière polychromatique comprenant trois radiations ($\lambda_1=450 \text{ nm}$; $\lambda_2= 610 \text{ nm}$; $\lambda_3=750 \text{ nm}$) irradie un échantillon de potassium, contenu dans une ampoule. L'énergie d'ionisation vaut $2,14 \text{ eV}$ (énergie nécessaire à arracher un électron de l'atome de potassium).

1. Calculer la longueur d'onde λ_0 seuil du sodium.
2. Quelle(s) radiation(s) donne(nt) lieu à l'effet photoélectrique ?
3. Quelle est la vitesse des électrons expulsés du métal ?

Masse de l'électron $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

Corrigé :

1) la longueur d'onde seuil du sodium

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda = \frac{hc}{E}$$

$$\text{AN : } \lambda = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{2,14 \times 1,6 \times 10^{-19}} = 580 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 580 \text{ nm}$$

2) la radiation qui donne lieu à l'effet photoélectrique

Seul $\lambda_1 < \lambda_0 \Rightarrow \lambda_1$ est la seule radiation qui donne lieu à l'effet photoélectrique.

3) La vitesse des électrons

$$\frac{1}{2} mv^2 = E_{c_{\max}} \text{ avec } E_{c_{\max}} = E_i - E_0$$

$$E_0 = \frac{hc}{\lambda_1} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{450 \cdot 10^{-9} \times 1,6 \cdot 10^{-19}} = 2,76 \text{ eV}$$

$$E_{c_{\max}} = 2,76 - 2,14 = 0,62 \text{ eV}$$

$$V = \sqrt{2E_{c_{\max}}/m} \quad V = 4,71 \cdot 10^5 \text{ m.s}^{-1}$$

Exercice d'application N° 2

On considère un métal pour lequel le travail d'extraction d'un électron est $W_0 = 1,9 \text{ eV}$.

- 1- Quelle est la longueur d'onde λ_0 du seuil photoélectrique ?
- 2- Quelles sont les longueurs d'onde des radiations susceptibles de donner l'effet photoélectrique ?
- 3- Une radiation de longueur d'onde $\lambda = 0,40 \mu\text{m}$ permet-elle l'effet photoélectrique ? Justifier.

On donne : constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J s}^{-1}$;

Célérité de la lumière dans le vide : $C = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$;

Masse de l'électron : $m_e = 9,10 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Corrigé :

1. La longueur d'onde λ_0 seuil photoélectrique

$$\lambda_0 = \frac{hc}{W_0} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{1,9 \times 1,6 \times 10^{-19}} = 653 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 653 \text{ nm}$$

2. Les longueurs d'onde des radiations susceptibles de donner l'effet photoélectrique sont toutes les longueurs d'onde $\lambda < \lambda_0$

4- La longueur d'onde $\lambda = 0,40 \mu\text{m} = 400 \text{ nm} < \lambda_0$,
 $\lambda = 0,40 \mu\text{m}$ permet- l'effet photoélectrique.