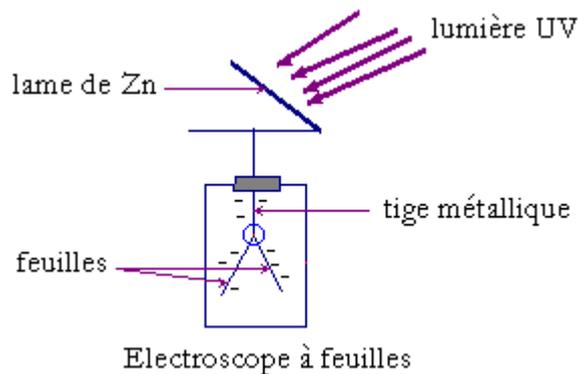


Effet photoélectrique

I. Mise en évidence de l'effet électrique

1. EXPÉRIENCE DE HERTZ (1887)



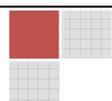
On envoie un faisceau de lumière riche en rayons ultraviolet sur une lame de zinc reliée à un électroscope initialement chargé, on constate que:

- 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): l'électroscope se décharge.
- Si on interpose sur le trajet de la lumière une lame de verre le phénomène ne se produit plus.

2. ANALYSE 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 \oplus 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 \oplus . 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: l'électroscope ne se décharge plus même après une illumination prolongée. Seules certaines radiations sont capables de provoquer dans le cas du zinc l'émission d'électrons.

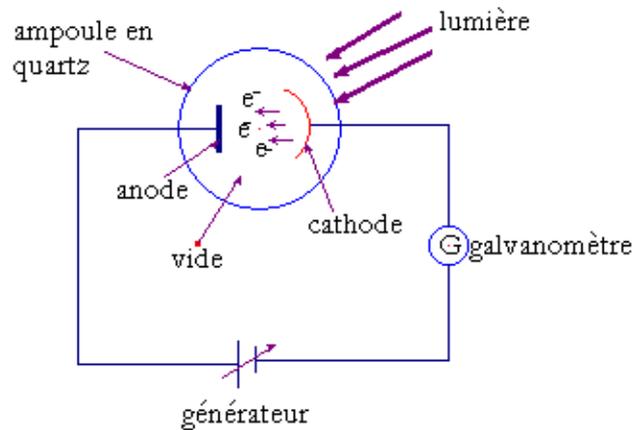


3. CONCLUSION

L'effet photoélectrique est l'émission d'électrons par un métal lorsqu'il est éclairé par une lumière convenable.

4. CAS DE LA CELLULE PHOTOÉLECTRIQUE

Lorsqu'elle est éclairée par une lumière convenable la cathode C émet des électrons. Ces électrons sont captés par l'anode A qui est portée à un potentiel positif. Il en résulte dans le circuit extérieur un courant de faible intensité décelé par le galvanomètre G.



II. Interprétation de l'effet photoélectrique

1. HYPOTHÈSE D'EINSTEIN

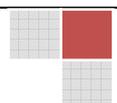
Pour extraire un électron dans un métal il faut fournir de l'énergie appelée énergie d'extraction. Einstein interprète l'effet photoélectrique en formulant les hypothèses (ou postulats) suivantes.

- 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 $C \approx 3.10^8 \text{ m/s}$ dans le vide.
- Chaque photon d'un rayonnement monochromatique de fréquence ν transporte un quantum d'énergie: $E = h \cdot \nu = \frac{hC}{\lambda}$ 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.

2. 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 ($\nu_0 = \frac{C}{\lambda_0}$, 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.
- si l'énergie du photon est suffisante ($\nu > \nu_0$ ou $\lambda < \lambda_0$), toute l'énergie du photon est cédée à l'électron qui sort du métal avec une vitesse d'éjection souvent non nulle.

Évaluons la vitesse d'éjection des électrons de l'atome. Soit E_c l'énergie cinétique des électrons.

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

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

m est la masse d'un électron: $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.

3. PUISSANCE D'UN FAISCEAU MONOCHROMATIQUE

Le nombre N de photons transportés par un seconde par un rayonnement monochromatique de fréquence ν est lié à la puissance \mathcal{P} du faisceau par: $\mathcal{P} = N \cdot h \cdot \nu$

III. Dualité onde corpuscule

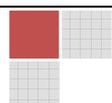
- certains phénomènes (interférence, diffraction) s'expliquent en considérant que la lumière se comporte comme une onde électromagnétique: c'est la théorie ondulatoire développée par Maxwell et Fresnel au 19^e siècle.
- d'autres phénomènes par contre (effet photoélectrique, les réactions photochimiques) s'expliquent par la théorie corpusculaire: la lumière a une structure discontinue. Constituée de grains de photons.
- ces deux théories (corpusculaire et ondulatoire) en apparence antagonistes sont incomplètes mais complémentaires. Louis de Broglie en 1923 a eu l'idée d'associer ces deux théories: c'est la théorie de la mécanique quantique. Dans cette théorie la lumière se comporte à la fois comme un flux de particules et comme une onde. A toute onde électromagnétique de fréquence ν on associe des photons d'énergie $E = h\nu$. Suivant le phénomène physique l'un des aspects de la lumière s'estompe tandis que l'autre s'affirme. Si ν est élevée (λ faible) l'aspect corpusculaire l'emporte et si ν est faible (λ élevé) l'aspect ondulatoire l'emporte.

Exercice d'application

Une lumière poly chromatique comprenant 3 radiations ($\lambda_1 = 450$ nm ; $\lambda_2 = 610$ nm ; $\lambda_3 = 750$ nm) irradie un échantillon de potassium, contenu dans une ampoule. L'énergie d'ionisation vaut 2,14 eV (énergie nécessaire à arracher un électron de l'atome de potassium).

1. Etablir la relation $E(\text{eV}) = 1241 / \lambda(\text{nm})$
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 $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.



Corrigé

$$\text{Énergie du photon } E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$E \text{ (joule)} = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / \lambda \quad (1)$$

$$1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J et } 1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ nm}$$

diviser l'expression (1) par $1,6 \cdot 10^{-19}$ et multiplier par 10^9 .

$$E \text{ (eV)} = 1241 / \lambda \text{ (nm)}$$

Utiliser la relation précédente pour calculer l'énergie associée à chaque photon

$$E_1 = 1241/450 = 2,76 \text{ eV} ; E_2 = 2,03 \text{ eV} ; E_3 = 1,65 \text{ eV}$$

Seule la radiation λ_1 est suffisamment énergétique.

L'électron arraché de l'atome emporte :

$$2,76 - 2,14 = 0,62 \text{ eV sous forme d'énergie cinétique}$$

$$0,5 \text{ mV}^2 = 0,62 * 1,6 \cdot 10^{-19} = 10^{-19} \text{ J}$$

$$v^2 = 10^{-19} / (0,5 * 9,31 \cdot 10^{-31}) = 2,2 \cdot 10^{11}$$

$$\text{vitesse} = 4,7 \cdot 10^5 \text{ ms}^{-1}.$$

