

Effet photoélectrique

1) Description

Un électroscope est un appareil constitué essentiellement de deux tiges métalliques en zinc. Une des deux lames est fixe et soudée à une plaque de zinc située à l'extérieur de l'appareil. L'autre lame est mobile autour d'un axe horizontal et elle est en contact électrique avec la première lame : les e^- de conduction peuvent donc passer d'une lame à l'autre.

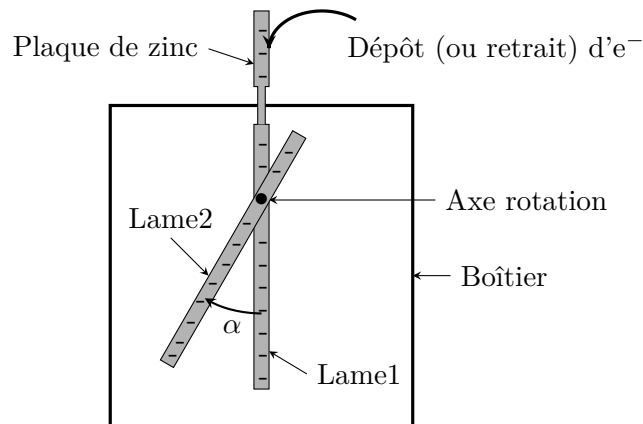


FIGURE 1 – Schéma de principe de l'électroscope. On le représente dans le cas où il est chargé négativement par dépôt d'électrons sur la plaque de Zinc située à l'extérieur du boîtier.

On peut charger l'électroscope :

- soit **négativement** : on dépose des électrons sur la plaque de zinc externe au boîtier et ceux-ci se répartissent sur les deux

lames qui s'écartent d'un angle α par répulsion électrostatique (cela correspond au schéma de la figure 1) ;

- soit **positivement** : on arrache des électrons de conduction de la plaque de zinc externe. Il y a donc un défaut de charges négatives sur le métal. Les électrons de conduction qui restent se répartissent sur les deux lames et cela a pour effet de créer des charges positives (en fait des défauts de charges négatives) sur les deux lames. À nouveau, celles-ci s'écartent par répulsion électrostatique.

2) Expérience

1. Initialement, on charge un électroscope positivement (+) ou négativement (-).
2. On éclaire ensuite l'électroscope par diverses lampes, émettant des lumières de fréquences différentes comme indiqué sur la figure 2.

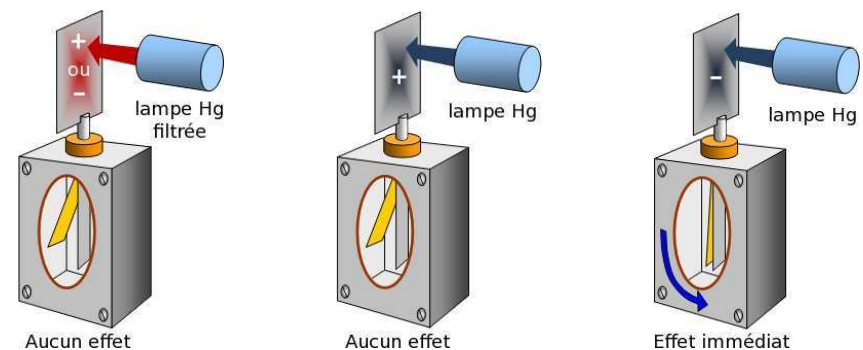


FIGURE 2 – Effet photoélectrique

Constatations expérimentales :

- Si l'électroscope est chargé +, il ne se passe rien, quelle que soit la puissance de la lampe et quelle que soit la fréquence de la lumière utilisée.
- Si l'électroscope est chargé – il ne se passe rien tant que la fréquence reste inférieure à une fréquence seuil ν_s , quelle que soit la puissance de la lumière utilisée.

En revanche, si $\nu > \nu_s$ l'électroscope se décharge (c'est à dire que les électrons quittent la plaque de zinc).

La fréquence seuil dépend du métal utilisé. Dans le cas du zinc, ν_s est située dans l'U.V.

Des mesures plus précises montrent que l'énergie cinétique¹ des électrons qui quittent la plaque de zinc est proportionnelle à l'écart de fréquence $\nu - \nu_s$:

$$\frac{1}{2}mv^2 = h(\nu - \nu_s)$$

où h est la constante de Planck. La relation précédente permet justement de mesurer h et on trouve :

$$h \approx 6,63.10^{-34} \text{ J.s}$$

3) L'explication d'Einstein

La physique classique qui voit la lumière comme une onde électromagnétique est totalement incapable d'expliquer ces résultats expérimentaux (on ne voit pas en quoi la fréquence interviendrait dans ce phénomène et pourquoi il y a une fréquence seuil. On ne comprend

1. Les électrons éjectés ne sont pas relativistes et l'expression de leur énergie cinétique est donnée par la loi de la mécanique newtonnienne $E_c = \frac{1}{2}mv^2$.

pas non plus pourquoi la puissance de l'onde n'a aucune influence lorsque $\nu < \nu_s$: au contraire, on pourrait se dire que plus la puissance de l'onde est élevée, plus les e^- peuvent capter de l'énergie et donc quitter facilement la plaque de zinc).

Einstein proposa l'interprétation de l'effet photoélectrique en 1905 (ce pourquoi il reçut le prix Nobel de physique en 1921).

1. Un faisceau de lumière monochromatique de fréquence ν est constitué d'un ensemble de particules élémentaires appelées *photons* (étymologiquement : "grains de lumière"). Chaque photon possède une énergie bien déterminée $E = h\nu$ où h est la constante de Planck
2. Chaque électron du métal ne peut interagir qu'avec **un seul photon**. Durant l'interaction, le photon est totalement absorbé et il cède intégralement son énergie à l'électron.
3. Un électron ne peut sortir du métal que si l'énergie qu'il a acquise en absorbant un photon est supérieure à une énergie seuil W_s qui représente l'énergie d'extraction de l'électron du métal. On doit donc avoir :

$$h\nu > W_s \implies \nu > \frac{W_s}{h} = \nu_s$$

Ainsi, la fréquence seuil dépend du métal puisque W_s varie selon la nature du métal utilisé.

4. Lorsque $\nu > \nu_s$, l'énergie supplémentaire disponible ($h\nu - W_s$) est communiquée à l'électron sous forme d'énergie cinétique :

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - W_s = h(\nu - \nu_s)$$

d'où le résultat expérimental.