

Préparation au cours sur l'aspect corpusculaire de la lumière : l'effet photoélectrique

En 1839, Antoine Becquerel et son fils Alexandre Edmond présentent pour la première fois un effet photoélectrique. Leur expérience permet d'observer le comportement électrique d'électrodes immergées dans un liquide, modifié par un éclairage. Il a été compris et présenté en 1887 par Heinrich Rudolf Hertz qui en publia les résultats dans la revue scientifique *Annalen der Physik*¹. Albert Einstein fut le premier, en 1905, à en proposer une explication.

L'effet photoélectrique est l'émission d'électrons par un matériau, généralement métallique lorsque celui-ci est exposé à la lumière ou un rayonnement électromagnétique monochromatique sous certaines conditions. Dans l'effet photoélectrique, on éclaire une plaque de métal et celle-ci émet des électrons qui ont été arrachés aux atomes métalliques.

Pour simplifier considérons que, pour être arrachés du métal, chaque électron a besoin d'une énergie de 3 Joules (3 J) qui est une valeur constante. Si de la lumière *monochromatique* arrive avec une valeur de 5J, elle interagit avec les électrons qui dépendent 3 J pour être arrachés du métal et il leur reste donc 2J qui leur servent à avoir une certaine vitesse (l'énergie cinétique des électrons est de 2J). On peut résumer cela sous la forme :

lumière (5J) rencontre métal → arrachement électron (3J) + énergie cinétique des électrons (2J) qui s'en vont

a) 1^{ère} constatation

On augmente l'intensité de la radiation lumineuse afin d'obtenir une énergie de 10J au départ pour la lumière (on augmente les valeurs des champs électrique et magnétique de la lumière, la lumière devient plus intense). On constate que les électrons alors arrachés ont toujours même énergie cinétique.

- i) A quelle valeur d'énergie cinétique pour chaque électron pourrait-on s'attendre ?
- ii) Quel résultat est en fait obtenu ?

b) 2^{ème} constatation

Si on prend une lumière monochromatique avec une longueur d'onde plus élevée, on se rend compte qu'à partir d'une certaine valeur, plus aucun électron n'est arraché.

- i) Quel est le second paramètre que l'on fait varier ici ? (quel était le premier paramètre ?)
- ii) Quelle conclusion peut-on donner à partir de cette deuxième constatation ?
- iii) Quelle idée pourrait-on avoir, en gardant la nouvelle longueur d'onde, afin de réobtenir l'arrachement des électrons ?
- iv) La deuxième constatation est cependant la suivante, dans son caractère entier : « Si on prend une lumière monochromatique avec une longueur d'onde plus élevée, on se rend compte qu'à partir d'une certaine valeur, plus aucun électron n'est arraché, même si on augmente terriblement l'intensité de cette lumière. »
Pourquoi cela pose-t-il alors un problème ?

c) L'explication d'Einstein (à partir de 1905)

Albert Einstein fut le premier, en 1905, à en proposer une explication. Il donne à la lumière un caractère « corpusculaire » en plus de son caractère ondulatoire :

- Pour une lumière monochromatique, la lumière est véhiculée par des « grains de lumière », particules appelés photons, et qui ont tous la même énergie notée E_{photon} . L'énergie d'une lumière monochromatique est donc quantifiée.
- Lorsqu'on change de lumière monochromatique, l'énergie est toujours quantifiée mais la quantification prend des valeurs différentes car chaque photon émis, tous identiques entre eux pour cette seconde lumière monochromatique, sont différents de ceux tous identiques de la première lumière monochromatique : l'énergie transportée par ces nouveaux photons vaut E'_{photon} valeur différente de E_{photon} si les deux lumières monochromatiques sont différentes.
- L'énergie d'un photon de la théorie corpusculaire de la lumière, associé à une lumière monochromatique de fréquence f (ou ν) de la théorie ondulatoire, est directement proportionnelle à cette fréquence, le coefficient de proportionnalité s'appelant la constante de Planck-Einstein et noté h .

- i) Qu'introduit Einstein comme nouvelles idées pour expliquer ces deux constatations ?
- ii) Ecrire mathématiquement le troisième tiret ci-dessus. En déduire le lien entre énergie du photon

ii) Reprendre en détail chacune des deux constatations et l'expliquer avec la nouvelle théorie adoptée à l'aide de schémas comme celui-ci-contre mais plus détaillé afin d'avoir une image complète et sans ambiguïté des phénomènes.

