

LUMIERE:UN FLUX DE PHOTONS

1. EFFET PHOTOELECTRIQUE/ UNE OBSERVATION MODIFIE LA PERCEPTION DE LA LUMIERE.

En 1887, Heinrich Hertz réalise des expériences sur les ondes électromagnétiques de grande longueur d'onde, appelées depuis ondes hertziennes. Le modèle ondulatoire de la lumière, est le modèle admis à l'époque.

Il remarque qu'un rayonnement ultraviolet favorise des décharges électriques, sous forme d'étincelles, au niveau des électrodes métalliques de son détecteur d'ondes hertziennes. S'il identifie la cause du phénomène observé, il n'arrive pas à l'interpréter.

Par la suite d'autres scientifiques étudient ces phénomènes, mais sans donner de réelles explications. Le modèle ondulatoire de la lumière ne permet pas d'expliquer ce phénomène.

En 1905, Albert Einstein explique ce phénomène dit effet photoélectrique, en postulant que la lumière est constituée de quanta d'énergie.

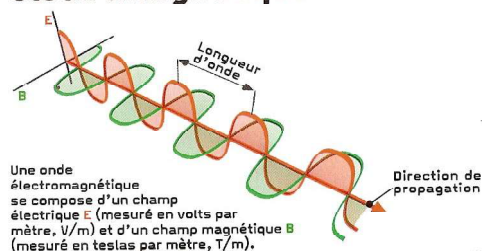
Ainsi l'effet photoélectrique qui est le phénomène d'éjection d'électrons d'un métal sous l'effet de radiations lumineuses, ne se manifeste que pour des photons d'énergie suffisamment grande.

UNE BREVE HISTOIRE DE L
EFFET PHOTOELECTRIQUE P 407
HACHETTE EDUCATION

2. LA LUMIERE: A LA FOIS ONDE ET PARTICULE.

Vous allumez la lampe de la cuisine ? Les ondes électromagnétiques déferlent. Vous faites chauffer la plaque électrique ? Elles se répandent à foison. Nous vivons en permanence dans un bain d'ondes, sans même nous en apercevoir. Et, dans ce grand bain, les ondes émises par votre four à micro ondes, vos appareils wifi ou votre téléphone portable ne sont qu'une petite goutte.

L'onde électromagnétique

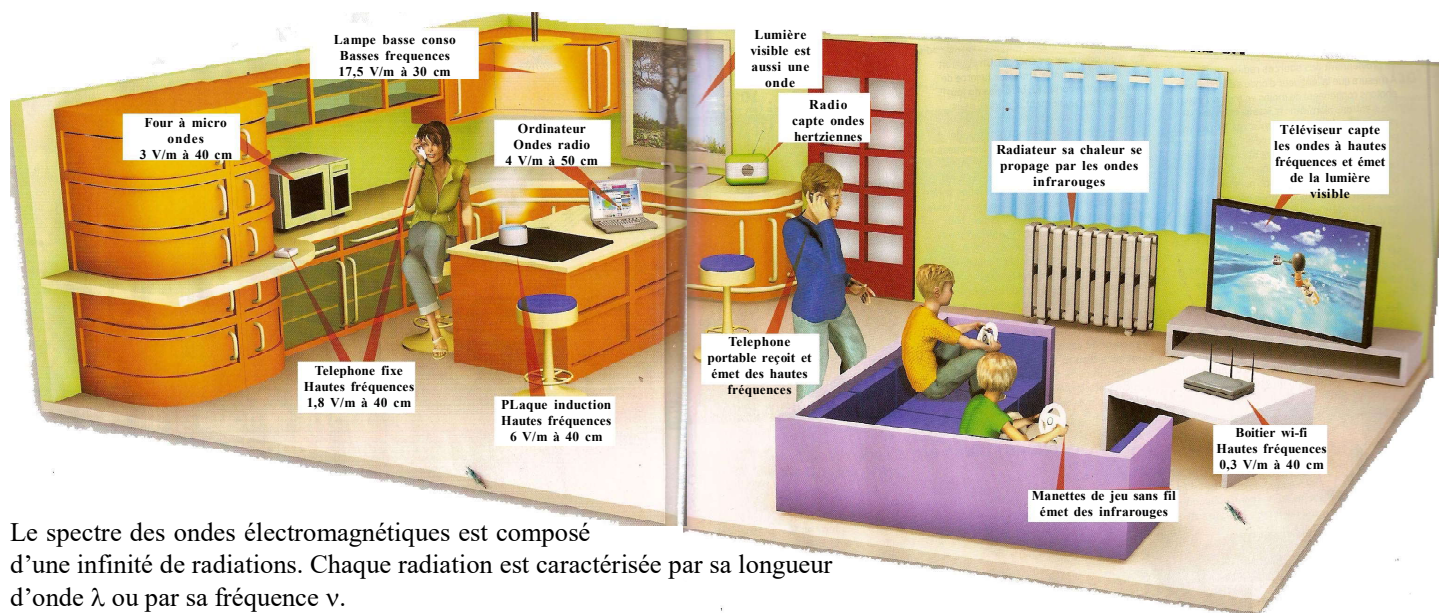


Car une onde électromagnétique, c'est l'autre versant d'une des plus fascinantes particules de la physique: le photon. Une particule hyperspécialisée, une petite boule d'énergie pure, sans masse, qui ne sait faire qu'une chose: filer en ligne droite à 300 000 km/s, son paquetage d'énergie sur le dos. Lorsqu'on allume une simple lampe torche, cent millions de milliards de photons jaillissent de l'ampoule chaque seconde.

Onde, particule double face du photon. Selon la façon dont on le regarde, le photon se comporte soit comme une bille, soit comme une onde (comme un tuyau: vu de face il semble rond, et rectangulaire lorsqu'il est vu de profil).

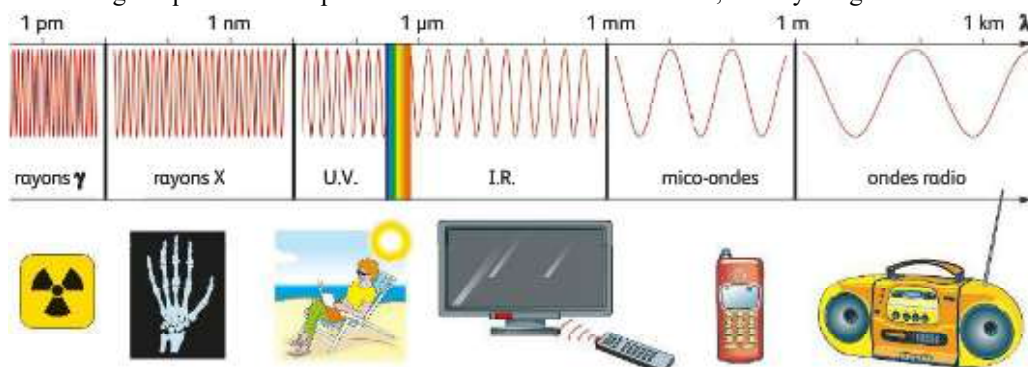
En fonction de la quantité d'énergie qu'ils embarquent, les photons changent de nom pour constituer, tous ensemble, le spectre électromagnétique. Les plus chargés sont les «gamma» et les «X». Ils possèdent une très courte longueur d'onde (plus petite qu'un atome), et les physiciens, lorsqu'ils les étudient, préfèrent les considérer plutôt comme des particules. Quant aux photons plus faibles en énergie, ils correspondent aux «radio». Dans leur cas, la longueur d'onde peut parfois atteindre plusieurs kilomètres. Les physiciens les voient alors davantage comme des ondes.

Qu'entendons-nous par onde ? C'est une vibration dans l'espace, comme une vague sur la mer. Mais qu'est-ce qui vibre ? Et bien, un champ magnétique et un champ électrique perpendiculaires l'une à l'autre. C'est par l'intermédiaire du champs électrique que les ondes interagissent avec la matière. C'est lui qui génère le courant électrique dans l'antenne d'une radio, ou qui excite les cellules de la vision de l'oeil, etc ... Voilà pourquoi, lorsqu'on parle des ondes, on considère essentiellement le champ électrique.



Le spectre des ondes électromagnétiques est composé d'une infinité de radiations. Chaque radiation est caractérisée par sa longueur d'onde λ ou par sa fréquence ν .

Le spectre des ondes électromagnétiques est découpé arbitrairement en divers domaines, des rayons gamma aux ondes radio.



Parmi toutes ces ondes on distingue les radiations visibles qui ont des longueurs d'onde comprises entre 400 nm et 800 nm environ. Elles sont limitées par les UV et par les IR. Le rayonnement visible n'est donc qu'un rayonnement parmi d'autres.

3. ENERGIE DU PHOTONS

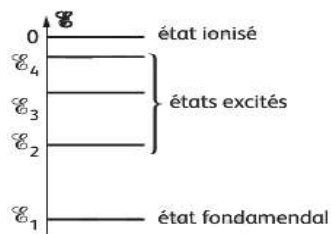
La lumière est donc un phénomène physique qui peut être décrit:

- ☐ de manière **particulaire** par la propagation de photons.
- ☐ OU de manière **ondulatoire** par la propagation d'une onde électromagnétique.

L'énergie d'un photon vérifie la relation: $E = h \times \nu = h \times \frac{c}{\lambda}$

4. INTERACTIONS LUMIERE-MATIERE

4.1. QUANTIFICATION DES NIVEAUX D'ENERGIE

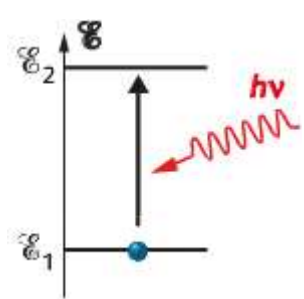


Les niveaux d'énergie d'un atome sont quantifiés. Ils ne peuvent prendre que des valeurs bien déterminées, caractéristiques de l'atome:

- ♦ Lorsqu'un atome est à son niveau d'énergie le plus bas, il est dans son état fondamental. C'est l'état stable de l'atome.
- ♦ Lorsqu'un atome est à son niveau d'énergie plus élevée, il est alors dans son état excité.

On appelle transition quantique le passage de l'atome d'un état à un autre.

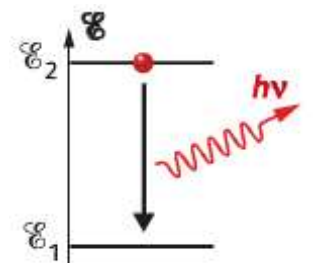
4.2. ABSORPTION ET EMISSION SPONTANEE



Les échanges d'énergie entre les atomes et la lumière sont quantifiés: ils se font par paquets d'énergie appelés photons.

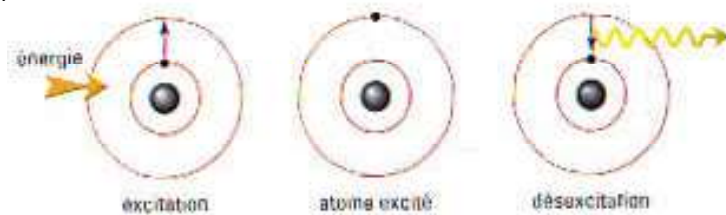
L'énergie E d'un photon a pour expression $E = h \cdot \nu$ avec h la constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s et ν la fréquence en Hz.:

- ♦ Un atome initialement au repos au niveau fondamental d'énergie E_1 peut passer au niveau excité supérieur d'énergie E_2 , en absorbant un et un seul photon d'énergie $\Delta E = h \cdot \nu = E_2 - E_1$
- ♦ Réciproquement, l'atome au niveau excité supérieur d'énergie E_2 , peut revenir au niveau inférieur d'énergie E_1 en émettant un et un seul photon d'énergie $\Delta E = h \cdot \nu = E_2 - E_1$



Puisque les niveaux d'énergie de l'atome sont quantifiés, les quanta d'énergie lumineuses susceptibles d'être émis ou absorbés ne peuvent prendre que certaines valeurs discrètes. Il en est de même pour les fréquences (ou pour les longueurs d'onde) des radiations monochromatiques associées.

L'atome ne peut absorber au cours d'un choc que l'énergie qui lui permet de passer d'un état d'énergie accessible à un autre:



L'atome se désexcite: l'électron revient sur sa couche initiale... et l'atome réémet, sous forme de lumière, l'énergie qu'il avait emmagasinée.

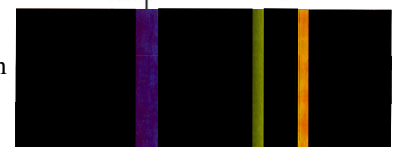
Admirable petit mécanisme, capable de transformer un simple choc en lumière !!! Il est à l'oeuvre dans nos lampes (où des électrons heurtent les atomes du filament), dans toutes les étoiles...

La couleur de la lumière obtenue dépend très précisément de l'écart entre les deux couches de l'atome visitées par l'électron. Plus cet écart est grand et plus la longueur d'onde produite est courte.

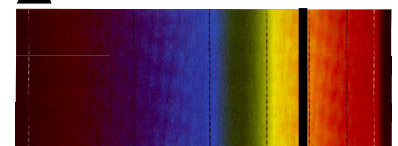
- La radiation associée au quantum d'énergie émis correspond à une raie du spectre d'émission
- La radiation associée au quantum d'énergie absorbé correspond à une raie du spectre d'absorption

Les variations d'énergie possibles sont les mêmes qu'il y ait émission ou absorption: par suite, les radiations qui peuvent être absorbées sont celles qui peuvent être émises, ce qui explique l'identité des raies de spectres d'émission et d'absorption d'un même élément.

Les énergies que peut échanger un atome forment donc une suite discontinue, l'atome ayant une énergie qui ne peut varier que par sauts.



▲ Spectre d'émission de raies



▲ Spectre d'absorption de raies. Les raies du spectre d'absorption ont les mêmes longueurs d'ondes que les raies du spectre d'émission.

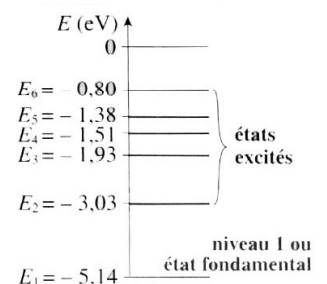
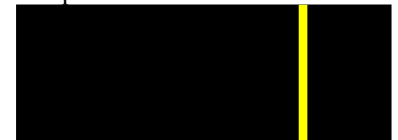


Diagramme simplifié des états d'énergie de l'atome de sodium.

5. INTERPRETATION EFFET PHOTOELECTRIQUE A L'AIDE DU MODELE PARTICULAIRE.

Un métal solide est un édifice cristallin. Les atomes qui le constituent sont proches les uns des autres. Leurs électrons, en particulier les électrons périphériques, sont soumis à des interactions de la part de tous les noyaux environnants. Pour certains de ces électrons, les interactions avec les autres noyaux sont si fortes qu'ils sont libérés de leur atome initial: ce sont des électrons libres ou électrons de conduction.

L'énergie minimale permettant d'arracher un électron d'un métal est égale au travail à fournir pour extraire un électron libre proche de la surface du métal. Elle est appelée travail d'extraction $W_{\text{extraction}}$. Elle diffère d'un métal à un autre. Si l'énergie du photon est supérieure au travail d'extraction, l'excédent d'énergie est emporté par cet électron sous forme d'énergie cinétique.

L'arrachage d'autres électrons nécessite une plus grande énergie. Pour une même radiation lumineuse, l'énergie cinétique de l'électron arraché est alors plus faible. L'énergie cinétique d'un électron arraché est donc maximale pour un électron libre de la surface du métal.

p410 Hachette education l'encadre jaune.

Cette équation de conservation de l'énergie lors de l'effet photoélectrique est connue sous le nom "d'équation d'Einstein de l'effet photoélectrique". Elle explique chaque aspect de l'effet photoélectrique, notamment l'augmentation de l'énergie cinétique maximale des électrons arrachés en fonction de la fréquence du photon incident.

Si la lumière apportait progressivement l'énergie nécessaire pour arracher les électrons du métal comme le prévoit la théorie ondulatoire de la lumière, il suffirait d'éclairer le métal pendant une durée nécessaire pour y parvenir. Or il n'en est rien: soit le phénomène a lieu quasi instantanément, soit il n'a pas lieu, car l'énergie apportée par le photon est insuffisante.

Le modèle particulaire de la lumière la décrit comme un flux de photons. Il permet d'expliquer l'effet photoélectrique, contrairement au modèle ondulatoire.

6. APPLICATIONS.

Une cellule photoélectrique désigne tout dispositif dont une des propriétés électriques est modifiée lors de l'absorption de photons.

Par mi les cellules photoélectriques, on peut citer les cellules photovoltaïques. Sous l'effet de la lumière, une tension électrique apparaît entre leurs faces: ce sont des générateurs. Elles convertissent l'énergie lumineuse en énergie électrique.

A l'inverse, une diode électroluminescente est un dipôle dans lequel s'opère une conversion inverse. Le passage d'un courant électrique dans la structure semi-conductrice d'une DEL entraîne l'émission de photons. La fréquence de la lumière émise, et de ce fait la couleur de cette lumière, dépend de la nature du semi-conducteur.

Une diode laser a la particularité d'émettre une radiation que l'on peut rendre plus directive que celle d'une DEL: l'énergie est alors concentrée dans une direction.