

# Notions de physique quantique



La mécanique classique et l'électromagnétisme permettent d'expliquer beaucoup de choses cependant certains phénomènes restent inexplicables à partir de ces théories, notamment :

- ✓ Le rayonnement du corps noir
- ✓ L'effet photoélectrique
- ✓ La stabilité des atomes et les spectres de raies (discontinus)

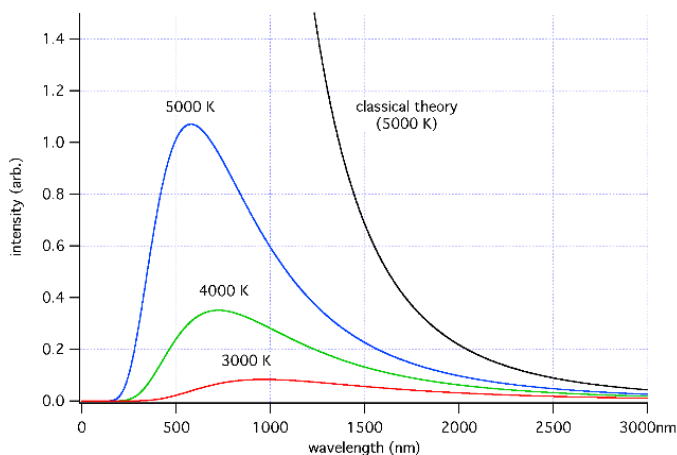
C'est pour donner une explication à ces phénomènes qu'est née la **physique quantique**.

## I. Le corps noir

Un **corps noir** est un système composé de plusieurs constituants élémentaires (= atomes et molécules) dont le **spectre électromagnétique** ne dépend que de sa **température**.

### Le rayonnement du corps noir :

Un corps chauffé à une température  $T$  émet un **spectre continu** de rayonnement électromagnétique. La puissance émise par unité de surface augmente rapidement avec  $T$ , impliquant des longueurs d'onde de plus en plus faibles.



### Loi de déplacement de Wien :

Pour les petites longueurs d'ondes, on a recours à la loi de déplacement de Wien, qui **prédit la longueur d'onde pour laquelle l'intensité sera maximale** en fonction de la **température** appliquée au système.

$$\lambda_{max} \times T \cong 0,29 \text{ cm. K}$$

$\lambda$  en cm et  $T$  en Kelvin

On remarque que  $\lambda_{max}$  **diminue si la température augmente !**

### Exemples :

Pour le soleil,  $T=6000\text{K}$  donc  $\lambda_{max} \cong 0,29/6000 = 480\text{nm}$

Pour le corps humain,  $T=37^\circ\text{C}$  donc  $T=300\text{K}$  environ  $\lambda_{max} \cong 0,29/300 = 10\mu\text{m}$  (infrarouge)

### Notion de quantum d'énergie :

#### La théorie de Planck implique que :

- La matière est constituée d'**oscillateurs** (phénomène ondulatoire) et émet et reçoit des ondes de fréquence  $\nu$ .
- L'énergie de ces ondes est **discrète** (non continue) et **quantifiée** par la **constante de Planck**  $h=6.62.10^{-34}\text{J.s}$  ou quantum d'action.
- La matière émet et reçoit en permanence de l'énergie  $E$ , multiple de  $h\nu$ ,  $E = n * h\nu$

#### Einstein précise la théorie de Planck :

- Tout rayonnement présente un **caractère quantique**
- Tout **corps qui émet ou reçoit un rayonnement** ne peut le faire que par **paquets d'énergie** ou **quantum de rayonnement**, appelés **photons**, particule qui pour une lumière de **fréquence**  $\nu$  ou de **pulsation**  $\omega$  a une énergie  **$E = h\nu$**  =  $\hbar\omega$  avec  $\hbar = h/2\pi$

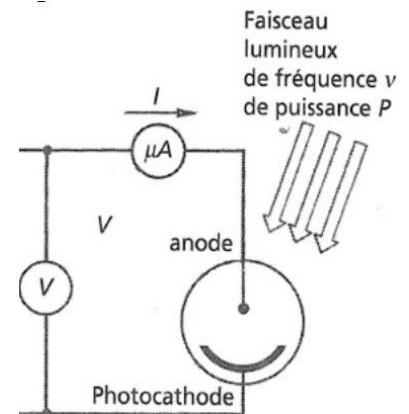
## II. L'effet photo-électrique

### Définition :

Certains **matériaux**, lorsqu'on les éclaire avec un certain **rayonnement** de **fréquence  $\nu$**  et de **puissance  $P$** , vont émettre des **électrons**. Ces matériaux sont appelés des **photocathodes**.

Dans le montage ci-contre, on introduit une **différence de potentiel  $V$**  entre l'anode (+) et la photocathode (-) placées dans un tube sous vide (cellule photoélectrique), cela définit le sens initial de l'intensité  $I$  du courant.

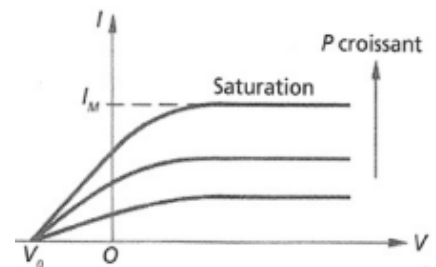
On envoie ensuite des **rayons UV** de **fréquence  $\nu$**  et de **puissance  $P$  fixe**, provoquant le mouvement des électrons de la photocathode vers l'anode dans le tube sous vide et donc la création d'un **courant d'intensité  $I$**  de sens opposé à celui des électrons.



### Variation de la tension $V$ :

La différence de potentiel ou **tension  $V$**  appliquée va soit **augmenter** soit **réduire le flux d'électron,  $I$**  va **dépendre** à la fois du **nombre d'électrons en mouvement** et de leur **énergie cinétique**.

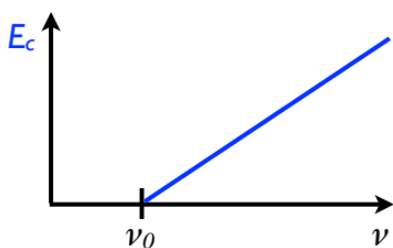
Tension  $V$  positive : **augmentation de  $I$**  plus on augmente  $V$  jusqu'à atteindre le courant de saturation  $I_M$ ,  $I_M$  **est défini par rapport à  $P$**  ainsi plus  $P$  est grand plus  $I_M$  est grand. Ce courant de saturation correspond à la **limite d'électron que l'on peut arracher** pour une puissance lumineuse donnée.



Tension  $V$  négative : **diminution de  $I$**  plus on diminue  $V$  jusqu'à atteindre  $I=0$ , cette tension négative est **opposée au mouvement des électrons** provoqué par le rayonnement ainsi la tension pour laquelle il n'y a plus de courant  $I$  et donc d'électrons en mouvements est appelée **tension d'arrêt** ou **contre-tension maximale  $V_0$** , sa norme  $|V_0|$  permet de mesurer l'énergie cinétique des électrons.

Ainsi  $E_c = -e * V_0 = -V_0$  et  $I_M$  est proportionnel à  $P$

### Variation de la fréquence du rayonnement $\nu$ :



L'**énergie cinétique** des électrons **ne dépend pas de l'intensité lumineuse** (elle augmente le nombre d'électrons pas leur énergie) mais de la **fréquence  $\nu$**  de la lumière. La relation est linéaire au-delà d'un **seuil  $\nu_0$  nécessaire pour arracher les électrons** et caractéristique du métal de la photocathode.

Le **travail d'extraction  $W = h\nu_0$**  est l'énergie nécessaire pour libérer l'électron, il correspond donc à son **énergie de liaison**, le reste de l'énergie  $h\nu$  est communiquée pour fournir une **énergie cinétique** à l'électron.

Ainsi  $E_c = h\nu - W = h\nu - h\nu_0 = h(\nu - \nu_0)$  avec  $W = h\nu_0$

### Variation de la puissance $P$ du rayonnement :

La puissance  $P$  du rayonnement s'exprime par  $P = n * E = n * h\nu = n * hc/\lambda$

Avec  $E$  l'énergie d'un photon en joule,  $P$  la puissance du rayonnement en watt et  $n$  le nombre de photons.

Pour une fréquence  $\nu$  **constante**, une **augmentation de  $P$**  (donc la seule augmentation de  $n$ , le nombre de photon émis) **augmente** uniquement le **courant de saturation  $I_M$**  mais n'augmente pas l'**énergie cinétique** des électrons (qui elle augmente avec la fréquence  $\nu$ ) car seul le nombre d'électrons émis va augmenter !

### III. Stabilité et spectre des atomes

#### Le modèle de Rutherford :

**Modèle planétaire** avec noyau au centre autour duquel des électrons gravitent, soumis aux forces coulombiennes.

Problème : une charge accélérée doit rayonner perdre de l'énergie, l'électron devrait dès lors s'effondrer sur le noyau et le rayonnement émis devrait être continu, or les **spectres atomiques sont discontinus (spectres de raies)**.

#### L'hypothèse de Bohr ou la Quantification du modèle classique :

- Seules certaines **orbites** sont **autorisées** pour les électrons

- Il y a **quantification des énergies** permises pour les **électrons** selon les orbites sur lesquels se trouvent les

électrons :  $E_n = -E_H = 1/n^2$  avec  $E_n$  l'énergie de l'électron sur l'orbite  $n$  et  $E_H=13.6\text{eV}$

- Lors du passage d'une orbite à l'autre, il y a **absorption ou émission d'un photon**, l'énergie des orbites étant quantifiée, **l'énergie du photon d'un rayonnement électromagnétique est aussi quantifiée**.

#### Dualité onde-particule de la matière :

De Broglie étend le concept de **dualité onde-particule du photon à toute particule de la matière**, il associe à

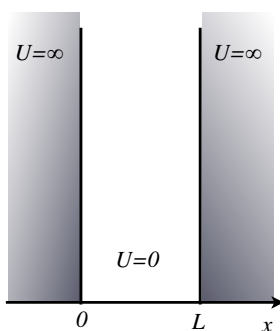
sa quantité de mouvement  $P = mv$  une onde de longueur  $\lambda$  tel que  $\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv}$

On observe ainsi des **phénomènes quantiques de diffraction et d'interférences** lors du passage d'un corps à travers une **ouverture de taille  $a$** , ils seront **dominant si  $\lambda \gtrsim a$**  ou si  **$p * a \lesssim h$  ( $= 6.62 * 10^{-34} \text{Js}$ )**  $p.a$  est l'action caractéristique.

### IV. L'équation de Schrödinger stationnaire à 1 dimension

Schrödinger va proposer une fonction d'onde pour caractériser l'onde associée à une particule.

#### Le puits plat infiniment profond :

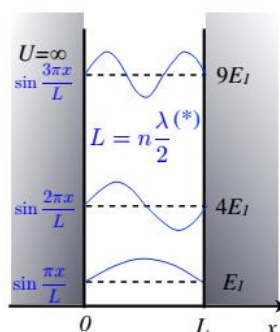


Le puits est caractérisé par une **zone de confinement d'énergie potentielle nulle** entourée de 2 **murs infranchissable d'énergie potentielle infinie**, on a donc 2 bornes pour  $x=0$  et  $x=L$ .

Une particule (donc caractérisée par une onde) placée dans le puits n'est soumise à aucune force entre les 2 bornes, en dehors des bornes la fonction d'onde est nulle

Du fait de son confinement, **l'énergie de la particule se trouve quantifiée** (avec  $n=1, 2, 3, \dots$  ;  $m$  la masse de la particule,  $L$  la longueur du puits et  $E_n$  les différents niveaux d'énergie de la particule)

$$E_n = n^2 \frac{h^2}{8mL^2} = n^2 * E_1$$



L'énergie est donc **inversement proportionnelle** à la **masse** du corps étudié ainsi qu'à la **longueur** du puits.

Plus l'objet est grand, plus le niveau fondamental  $E_1$  est faible.

Les **niveaux d'énergies** se resserrent (car  $E_1$  est plus petit) plus le système devient **macroscopique** au point qu'ils en deviennent **négligeables**.

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.

## Interprétation probabiliste de la mécanique quantique :

L'interprétation de la fonction d'onde de Schrödinger se fait de manière **probabiliste** et est **liée à la probabilité de présence de la particule** en un point dans un volume autour de ce point.

### V. La relation d'incertitude de Heisenberg

#### 1<sup>er</sup> principe d'incertitude entre position et quantité de mouvement :

$$\Delta x * \Delta P_x \geq \hbar/2$$

$\Delta x$  est l'incertitude sur la position  $x$  et  $\Delta P_x$  l'incertitude sur la quantité de mouvement  $P_x$ .

Si on essaie de **déterminer précisément la position  $x$**  de la particule alors  $\Delta x$  l'incertitude sur la position  $x$  devient très faible, dans ce cas-là  $\Delta P_x$  l'incertitude sur la quantité de mouvement devient très grande et il devient **impossible de déterminer précisément la vitesse de la particule**. De même si l'on veut **connaître précisément la vitesse de la particule** il devient impossible de **déterminer précisément sa position** d'après le principe d'incertitude.

#### 2<sup>ème</sup> principe d'incertitude temps-énergie :

$$\Delta E * \Delta t \geq \hbar/2$$

Relation entre le temps caractéristique d'évolution  $\Delta t$  et l'énergie  $E$  d'une particule libre.

### VI. Effet tunnel et microscopie

#### L'effet tunnel :

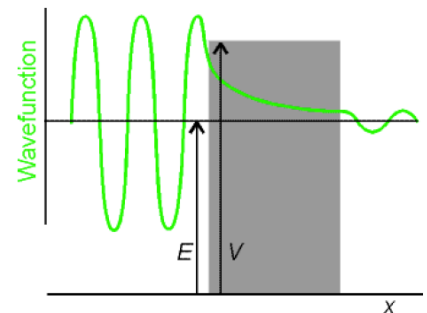
En **mécanique quantique**, lorsqu'une **particule rencontre une barrière de potentiel infinie** (un mur) il existe une **probabilité** pour qu'elle **traverse cette barrière** (alors qu'en mécanique classique on rebondit contre un mur).

La **probabilité  $P$**  qu'une particule **traverse une barrière d'énergie potentielle** dépend de la **largeur de la barrière**, mais dépend également de la **longueur d'onde** de la particule.

La particule va sacrifier une partie de l'amplitude de sa fonction d'onde pour traverser la barrière de potentiel infinie.

$$P \propto \exp(-2\delta/\lambda_0)$$

avec  $\delta$  : la largeur de la barrière et  $\lambda$  : la longueur d'onde



#### Le microscope à effet tunnel :

Il utilise cet effet purement quantique pour déterminer la morphologie d'une surface conductrice ou semi-conductrice. Sa résolution peut-être égale voir inférieure à la taille des atomes !

Voilà pour cette fiche sur la mécanique quantique ! J'espère qu'elle vous sera utile et qu'elle vous permettra de mieux saisir les points importants pour le concours et de ne pas vous perdre dans les détails trop compliqués de ce cours ^^

Bon courage à tous :D !

**ENORME** dédicace pour mon fillot Thomas je t'avais pas oublié ;)

Ainsi que pour les 2 nouveaux dans la famille John et Quentin !