

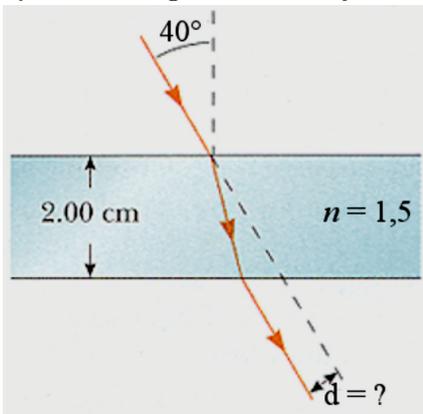
FIG. 70 :

De la lumière blanche se propageant dans l'air arrive avec un angle d'incidence de 80° sur la surface d'un morceau de verre.

En se réfractant dans le verre, les couleurs se séparent puisque l'indice de réfraction n'est pas le même selon les couleurs.

L'indice passe de 1,66 pour le mauve à 1,62 pour le rouge.

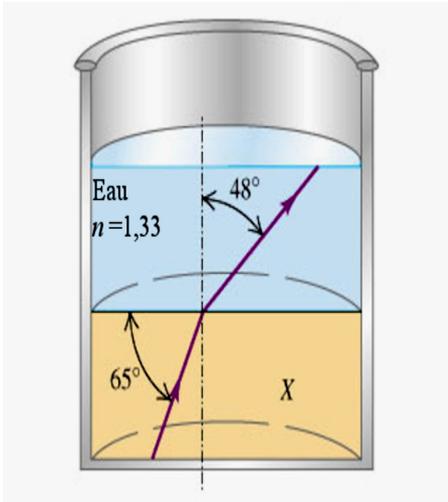
Quel est l'angle entre le rayon mauve et le rayon rouge dans le verre? (Rép : $1,04^\circ$)

**EXERCICE 5**

Un rayon lumineux traverse une plaque de verre telle qu'illustrée sur la figure.

Après avoir traversé le verre, le faisceau est décalé d'une distance d par rapport à sa trajectoire initiale.

Quelle est la valeur de d ? (Rép : $5,6\text{ mm}$)

**EXERCICE 1**

Un rayon lumineux passe d'une substance transparente X à l'eau telle qu'illustrée sur la figure.

- Quel est l'indice de réfraction de la substance X?
- Quelle est la vitesse de la lumière dans la substance X?
- Quel sera l'angle limite de réflexion totale?

EXERCICE 2

De la lumière arrive à une interface entre le verre et l'air tel qu'illustré sur la figure.

La lumière fera-t-elle une réflexion totale ou non?

EXERCICE 3

De la lumière arrive à une interface entre le verre et l'air tel qu'illustré sur la figure.

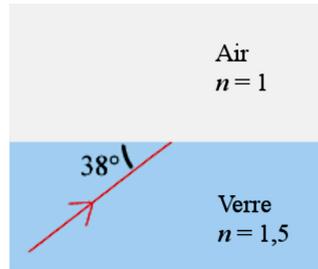


FIG. 71 :

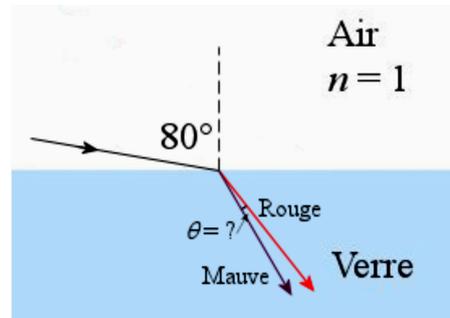


FIG. 72 :

La lumière fera-t-elle une réflexion totale ou non ?

EXERCICE 4

De la lumière blanche se propageant dans l'air arrive avec un angle d'incidence de 80° sur la surface d'un morceau de verre.

En se réfractant dans le verre, les couleurs se séparent puisque l'indice de réfraction n'est pas le même selon les couleurs.

L'indice passe de 1,66 pour le mauve à 1,62 pour le rouge.

Quel est l'angle entre le rayon mauve et le rayon rouge dans le verre ?

EXERCICE 5

Un rayon lumineux traverse une plaque de verre telle qu'illustrée sur la figure.

Après avoir traversé le verre, le faisceau est décalé d'une distance d par rapport à sa trajectoire initiale.

Quelle est la valeur de d ?

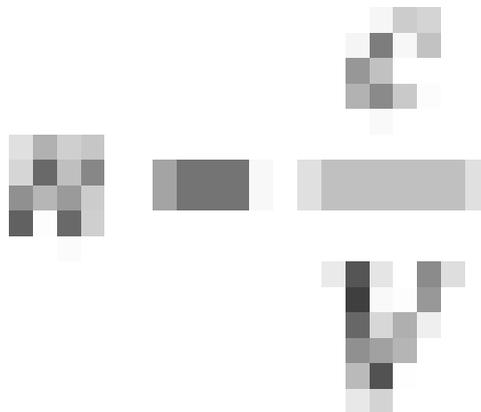


FIG. 73 :

EXERCICE 1

Un rayon lumineux passe d'une substance transparente X à l'eau telle qu'illustrée sur la figure.

a) Quel est l'indice de réfraction de la substance X?

$$i = 90^\circ - 65^\circ = 25^\circ$$

$$r = 48^\circ$$

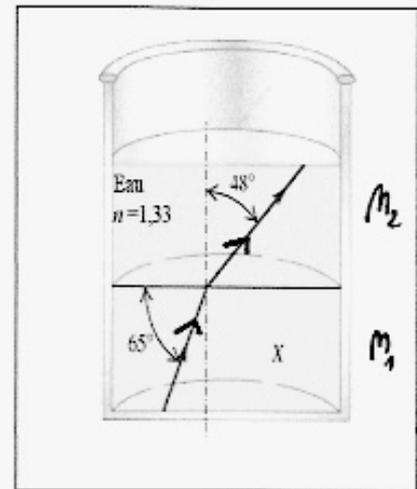
$$n_2 = 1,33$$

$$n_1 = ?$$

$$\left. \begin{array}{l} i = 25^\circ \\ r = 48^\circ \\ n_2 = 1,33 \end{array} \right\}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow n_1 = n_2 \frac{\sin r}{\sin i}$$

$$\Rightarrow n_1 = 1,33 \cdot \frac{\sin 48^\circ}{\sin 25^\circ} = \boxed{2,34 = n_1}$$



b) Quelle est la vitesse de la lumière dans la substance X ?

la vitesse dans la substance X $\Rightarrow v_1$?

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \Rightarrow v_1 = \frac{c}{n_1} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,34} = \boxed{1,28 \cdot 10^8 \text{ m/s} = v_1}$$

et si on veut la vitesse v_2 ?

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow v_2 = \frac{n_1 v_1}{n_2} = \frac{2,34 \cdot 1,28 \cdot 10^8}{1,33}$$

$$\Rightarrow v_2 = 2,25 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

c) Quel sera l'angle limite de réflexion totale ?

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \text{si } r = 90^\circ \Rightarrow \sin i_{\text{lim}} = \frac{v_1}{v_2}$$

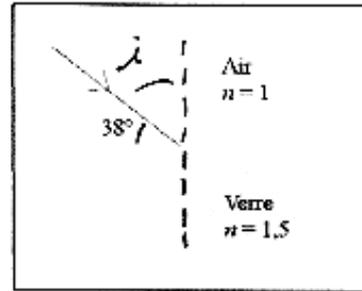
$$\Rightarrow i_{\text{limite}} = \text{Archim} \left(\frac{v_1}{v_2} \right) = \text{Archim} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) = \text{Archim} \left(\frac{1,33}{2,34} \right)$$

$$\Rightarrow i_{\text{limite}} = 34,6^\circ$$

5

EXERCICE 2

De la lumière arrive à une interface entre le verre et l'air tel qu'illustré sur la figure.
La lumière fera-t-elle une réflexion totale ou non ?



Réflexion totale

$$\Rightarrow i_{\text{limite}} = \text{Arctan} \left(\frac{n_{\text{verre}}}{n_{\text{air}}} \right)$$

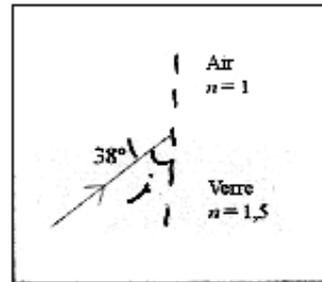
$$\left(\text{car } \frac{\sin i}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow i = \text{Arctan} \frac{n_2}{n_1} \right)$$

$$i_{\text{limite}} = \text{Arctan} \left(\frac{1,5}{1} \right) \Rightarrow i' \neq$$

Dans ce cas, il n'y a jamais de réflexion totale car $n_1 < n_2 \Rightarrow v_1 > v_2 \Rightarrow i > \pi$
 \Rightarrow l'onde se rapproche de la normale.

EXERCICE 3

De la lumière arrive à une interface entre le verre et l'air tel qu'illustré sur la figure.
La lumière fera-t-elle une réflexion totale ou non ?



Réflexion totale ?

$$i_{\text{limite}} = \text{Arcsin} \frac{n_2}{n_1} = \text{Arcsin} \frac{n_{\text{air}}}{n_{\text{verre}}}$$

$$i = 90 - 38 = 52^\circ$$

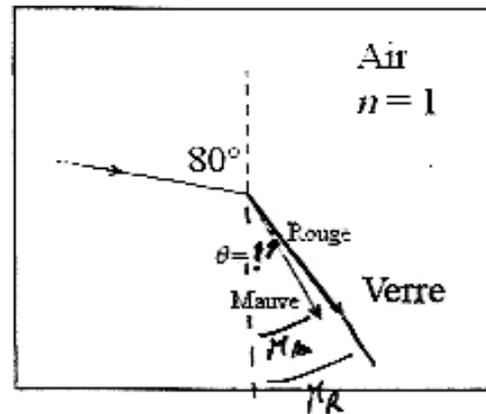
$$i_{\text{limite}} = \text{Arcsin} \frac{1}{1,5} = 41,81^\circ$$

$$\left(\text{car } \frac{\sin i}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow i_{\text{limite}} = \text{Arcsin} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \right)$$

OR $i = 52^\circ \Rightarrow \text{car } 52^\circ > i_{\text{limite}} \Rightarrow$ il y a réflexion totale.

EXERCICE 4

De la lumière blanche se propageant dans l'air arrive avec un angle d'incidence de 80° sur la surface d'un morceau de verre. En se réfractant dans le verre, les couleurs se séparent puisque l'indice de réfraction n'est pas le même selon les couleurs. L'indice passe de 1,66 pour le mauve à 1,62 pour le rouge. Quel est l'angle entre le rayon mauve et le rayon rouge dans le verre?



$$n_R = 1,62$$

$$n_M = 1,66$$

$$\theta ?$$

$$\theta = \alpha_R - \alpha_M$$

$$1) \alpha_R ? \quad \frac{\sin \alpha_i}{\sin \alpha_R} = \frac{n_R}{n_{\text{air}}} \Rightarrow \sin \alpha_R = \frac{n_{\text{air}}}{n_R} \cdot \sin \alpha_i$$

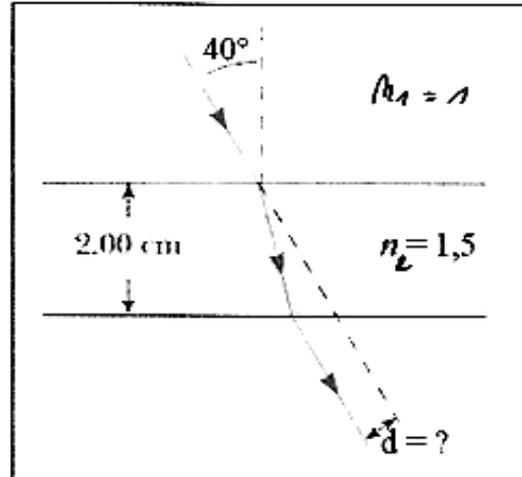
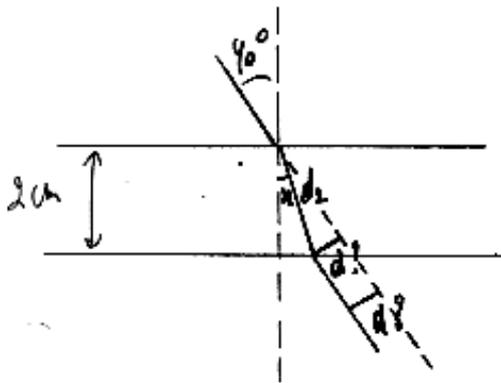
$$\Rightarrow \alpha_R = \arcsin \left(\frac{n_{\text{air}}}{n_R} \cdot \sin \alpha_i \right) = \arcsin \left(\frac{1}{1,62} \cdot \sin 80^\circ \right) = 37,43^\circ$$

$$\alpha_M = \arcsin \left(\frac{n_{\text{air}}}{n_M} \cdot \sin \alpha_i \right) = \arcsin \left(\frac{1}{1,66} \cdot \sin 80^\circ \right) = 36,39^\circ$$

$$\theta = \alpha_R - \alpha_M = 37,43^\circ - 36,39^\circ = \underline{1,04^\circ = \theta}$$

EXERCICE 5

Un rayon lumineux traverse une plaque de verre telle qu'illustrée sur la figure. Après avoir traversé le verre, le faisceau est décalé d'une distance d par rapport à sa trajectoire initiale. Quelle est la valeur de d ?



$$1) \hat{n} ?$$

$$n_1 = 1$$

$$n_2 = 1,5$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin r = \frac{n_1}{n_2} \sin i \Rightarrow r = \text{Arctan} \left(\frac{n_1}{n_2} \sin i \right)$$

$$\Rightarrow r = \text{Arctan} \left(\frac{1}{1,5} \sin 40^\circ \right) \Rightarrow \boxed{r = 25,4^\circ}$$

$$2) \begin{array}{c} \nearrow 40^\circ - \hat{n} \\ d_2 \\ \searrow d \end{array} \Rightarrow \sin(40^\circ - r) = \frac{d}{d_2} \Rightarrow d_2 ?$$

$$2 \text{ cm} \begin{array}{c} \nearrow r \\ d_2 \\ \searrow \end{array} \cos r = \frac{2}{d_2} \Rightarrow d_2 = \frac{2}{\cos r}$$

$$\Rightarrow \sin(40^\circ - r) = \frac{d}{d_2} \Rightarrow d = d_2 \sin(40^\circ - r)$$

$$\Rightarrow d = \frac{2}{\cos r} \sin(40^\circ - r)$$

$$\Rightarrow d = \frac{2}{\cos 25,4} \cdot \sin(40^\circ - 25,4^\circ) = 0,56 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \boxed{d = 5,6 \text{ mm}}$$

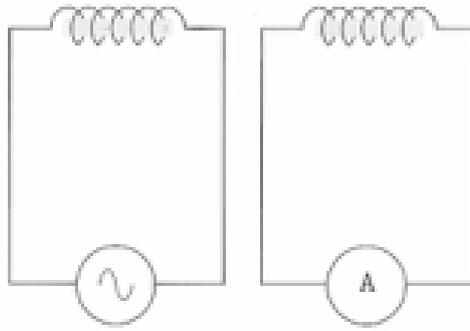


FIG. 74 :

LES ONDES ELECTROMAGNETIQUES

REFERENCE : LIVRE PAGES 141 à 156

1 - MISE EN SITUATION

Soit un premier circuit constitué d'une bobine soumise à une différence de potentiel variable (courant alternatif).

Une seconde bobine, placée à quelques centimètres de la première n'est pas raccordée à une source de courant mais est raccordée à un ampèremètre (appareil qui mesure l'intensité du courant qui traverse le circuit).

Nous observons que l'ampèremètre mesure un courant alternatif de même fréquence que la fréquence du courant alternatif du premier circuit.

INTERPRETATION

Une énergie s'est donc propagée, à travers l'air, du premier circuit vers le deuxième. Cette énergie a permis aux électrons libres du second circuit de se déplacer et donc de créer un courant, alternatif lui aussi.

(Soit dit en passant, c'est ainsi que fonctionnent les ondes radio, Gsm, Nous les appellerons les ondes électromagnétiques).

MAIS QUELLE EST DONC CETTE FORME D'ENERGIE ?

Rappel :

Une charge électrique produit dans son environnement un champ électrique.

Un champ électrique est une région de l'espace au sein de laquelle une charge témoin subit une force.

Les électrons libres du premier circuit oscillent (il s'agit d'un courant alternatif) et donc ils produisent un champ électrique variable dans l'espace. Les électrons libres du second circuit sont donc soumis à cette variation de champ électrique, ils subissent la force électrique variable et entrent en oscillation.

Rappel :

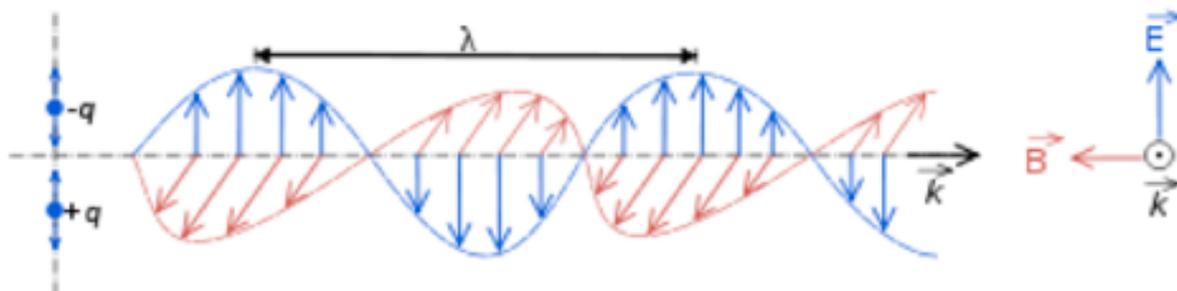
Un courant électrique produit dans son environnement un champ magnétique.

Une variation de champ magnétique à l'intérieur d'une bobine induit un courant électrique variable.

Les électrons libres du premier circuit oscillent (il s'agit d'un courant alternatif) et donc ils produisent un champ magnétique variable dans l'espace. La seconde bobine est donc le siège d'un courant induit variable.

2- SPECULATIONS DE MAXWELL

Lorsque des charges en mouvement oscillent, elles produisent donc à la fois un champ électrique et un champ magnétique variables dans le temps. Maxwell a appelé *ONDE ELECTROMAGNETIQUE* cette propagation d'une énergie stockée sous forme électrique et magnétique et produite par des charges électriques oscillantes.



Les équations écrites par Maxwell (1865) montrent que le champ électrique

$$\vec{E}$$

et le champ magnétique

$$\vec{B}$$

, engendrés par des charges oscillantes (ici, un courant alternatif) ont les propriétés suivantes :

- Ils oscillent sinusoïdalement à la fréquence du courant.
- Ils transportent de l'énergie sous forme électrique et magnétique (électromagnétique donc).
- Ils sont perpendiculaires entre eux.

Une onde électromagnétique est donc une forme d'énergie qui se propage sous forme de « paquet d'énergie électromagnétique », produite par des charges oscillant à une certaine fréquence. Ce « paquet d'énergie » est appelé un photon.

3. CONFIRMATION EXPERIMENTALE

En 1887, Hertz confirme expérimentalement les spéculations de Maxwell. Utilisant des courants alternatifs de haute fréquence, il crée des ondes électromagnétiques de longueur d'onde de l'ordre du mètre : ce sont les premières ondes hertziennes.

Poursuivant l'œuvre de Hertz, des physiciens (Marconi, Popov, Branly, ...) contribuèrent à la mise au point d'un télégraphe sans fil. Cette technique deviendra la base de la radiodiffusion et de ses prolongements célèbres que sont la télévision et la mobilophonie.

Par la suite, on a montré que ces ondes peuvent être réfléchies, réfractées, diffractées et qu'elles donnent lieu à des phénomènes d'interférences. Elles ont un comportement ondulatoire, d'où leur nom d'ondes électromagnétiques.

De plus, elles se déplacent toutes à la vitesse de la lumière.

4. GAMME DES ONDES ELECTROMAGNETIQUES

La famille des ondes électromagnétiques peut être divisée en différentes catégories : chaque catégorie ayant son mode de production, de détection et son domaine d'applications.

Chacune de ces catégories est caractérisée par une gamme de fréquence f (et donc de longueur d'onde). Au plus la fréquence est grande, au plus l'énergie de l'onde électromagnétique est grande.

Toutes les ondes électromagnétiques se déplacent à la vitesse de la lumière au sein d'un milieu ou dans le vide.

En partant des ondes les plus énergétiques (de plus grande fréquence), on distingue successivement :

- **Les rayons gamma (γ) :** ils sont dus aux radiations émises par les éléments radioactifs. Très énergétiques, ils traversent facilement la matière et sont très dangereux pour les cellules vivantes en cas d'excès.
- **Les rayons X :** rayonnements très énergétiques traversant plus ou moins facilement les corps matériels et un peu moins nocifs que les rayons gamma. Ils sont utilisés notamment en médecine pour les radiographies, dans l'industrie (contrôle des bagages dans le transport aérien) et dans la recherche pour l'étude de la matière (rayonnement synchrotron).
- **Les ultraviolets :** rayonnements qui restent assez énergétiques. Heureusement pour nous, une grande part des ultraviolets émis par le soleil est stoppée par l'ozone atmosphérique qui sert de bouclier protecteur.
- **Le domaine visible :** correspond à la partie très étroite du spectre électromagnétique perceptible par notre œil. Il s'agit de la lumière visible.
Il s'étend de 400 nm (lumière bleue) à 800 nm (lumière rouge).

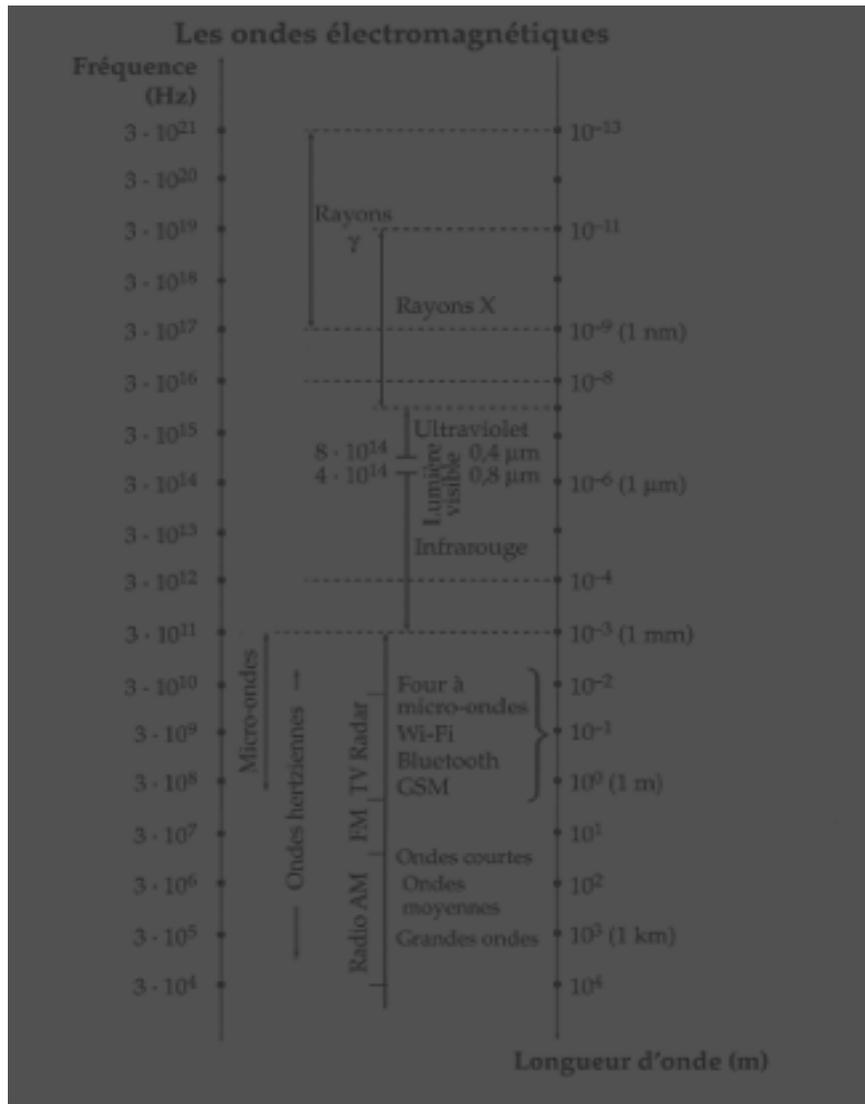


FIG. 75 :

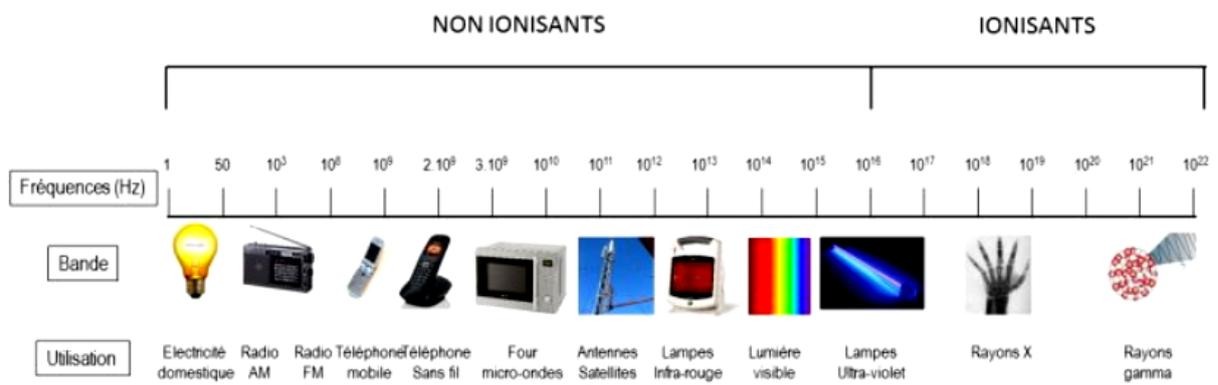


FIG. 76 :

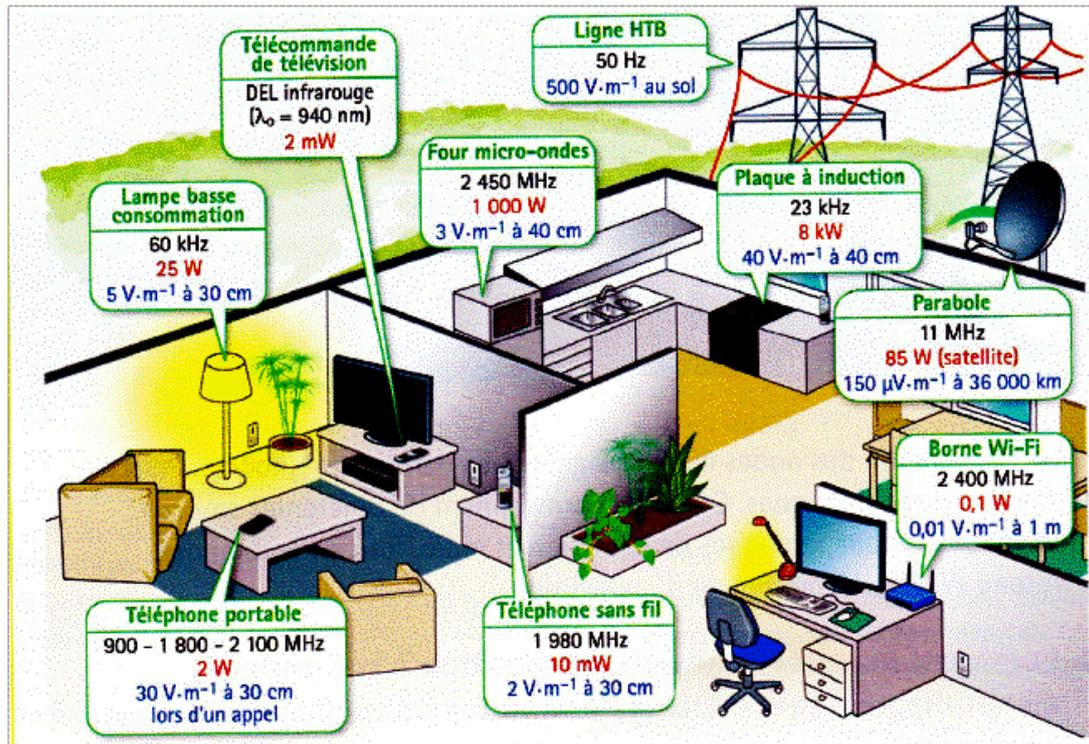


FIG. 77 :

- **L'infrarouge** : rayonnement émis par tous les corps dont la température est supérieure au zéro absolu (-273°C).
En télédétection, on utilise certaines bandes spectrales de l'infrarouge pour mesurer la température des surfaces terrestres et océaniques, ainsi que celle des nuages.
- **Les micro-ondes** :
 - La télécommunication par satellite.
 - Les ondes radar : notamment utilisées en navigation maritime et aérienne. Dans la même gamme de fréquence, on trouve les ondes émises par les clés de verrouillage/déverrouillage automatique des portes de voiture.
 - Dans les fours à micro-ondes de cuisine, les molécules d'eau entrent en résonance et oscillent avec une grande amplitude. Cette énergie d'oscillation est rapidement transformée en énergie thermique par collisions avec les autres molécules.
 - Wi-Fi (Wireless Fidelity).
 - Bluetooth.
 - La téléphonie mobile : ondes GSM (Global System Mobile).
- **Les ondes hertziennes** : Ce domaine de longueurs d'onde concerne les ondes qui ont les plus basses fréquences. Il s'étend des longueurs d'onde de quelques cm à plusieurs km.
 - Les ondes en télévision : transmission des images en télévision.
 - Les ondes radio : relativement faciles à émettre et à recevoir, les ondes radio sont utilisées pour la transmission de l'information (radio).

Nous sommes entourés d'ondes électromagnétiques au niveau domestique : une petite illustration.

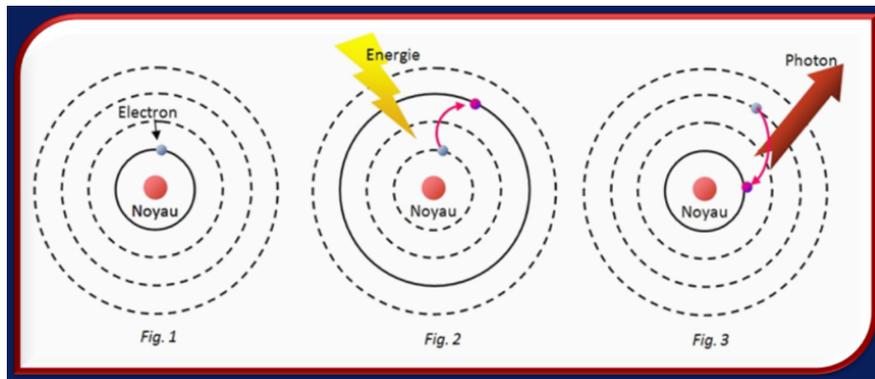


FIG. 78 :



FIG. 79 :

L'EFFET PHOTOELECTRIQUE ET LA LUMIERE

Théorie quantique

Pages 222 à 236 du livre

Nous savons à présent que la lumière visible est une onde électromagnétique, due à des oscillations de charges électriques à des fréquences comprises entre $4 \cdot 10^{14}$ Hz et $8 \cdot 10^{14}$ Hz (voir spectre électromagnétique).

1. PRODUCTION DE LUMIERE.

Quelles sont ces charges oscillantes responsables de l'émission de lumière ?

L'émission de lumière par un atome ou une molécule est un **phénomène électronique, provoqué par l'oscillation des électrons atomiques.**

Dans un atome chaque électron se trouve sur une orbitale et donc possède des niveaux d'énergie quantifiés (les niveaux d'énergie ont des valeurs précises). C'est le modèle de Bohr (fig. 1).

De l'énergie incidente sur la surface d'un objet excite certains électrons des atomes. L'électron peut passer d'un niveau inférieur vers un niveau d'énergie plus élevée en absorbant cette énergie (fig. 2). On parlera d'absorption.

Ces électrons excités retournent très rapidement à un état stable en perdant l'énergie accumulée sous forme de rayonnement qui est une onde électromagnétique à savoir un « paquet d'énergie électromagnétique » ou photon (fig. 3). On parlera d'émission.

Le rayonnement émis peut-être situé dans le visible, mais aussi dans l'**infrarouge** ou l'**ultraviolet**, tout dépend de la différence d'énergie entre les deux niveaux lors de la transition électronique.

L'énergie incidente peut provenir :

- de matériaux chauffés.
- d'un courant électrique appliqué entre des électrodes placées à chaque extrémité d'un tube (tube néon).

Chaque atome émet une couleur qui lui est propre car la répartition électronique en couches (modèle de Bohr) est caractéristique de chaque élément du tableau périodique.

2- INTERACTION LUMIERE-MATIERE - L'EFFET PHOTOELECTRIQUE

C'est 1887, à l'occasion de ses recherches pour prouver l'existence des ondes électromagnétiques, que le physicien allemand Hertz mis en évidence l'effet photoélectrique.

Dans cet effet, **de la lumière qui arrive sur un métal provoque l'éjection d'électrons présents dans le métal : il s'agit de l'effet photoélectrique.**

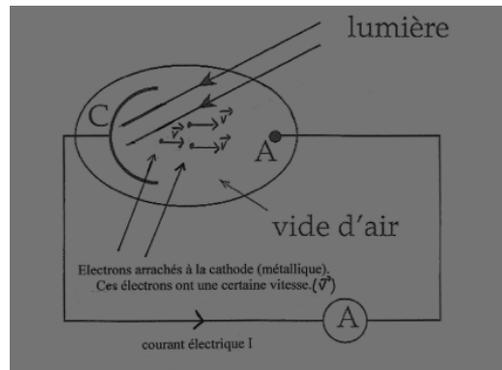


FIG. 80 :

C'est le principe de fonctionnement des cellules photoélectriques.

A- La cellule photoélectrique

De la lumière (de fréquence f) arrive sur un métal (la cathode C) et provoque l'éjection d'électrons présents dans le métal. Ces électrons animés d'une vitesse \vec{v} vont produire un courant électrique dans le circuit.

(Rappel : le sens conventionnel du courant est de sens opposé au sens de déplacement des électrons).

B - Propriétés de l'effet photoélectrique.

On conçoit bien que la lumière, onde électromagnétique, puisse interagir avec la surface du métal en y faisant vibrer les électrons peu liés pour finalement en arracher.

a) Influence de l'intensité de la lumière :

L'intensité du courant électrique mesuré (et donc l'effet photoélectrique) est d'autant plus grand que l'intensité de la lumière incidente est grande. (L'intensité lumineuse est l'énergie reçue par unité de surface et par unité de temps. Elle se mesure en W/m^2 .)

Eclairer plus intensément correspond à envoyer davantage d'énergie vers la surface du métal et permet logiquement d'augmenter l'intensité du courant électrique.

b) Influence de la nature du métal :

Chaque métal présente une force de cohésion caractéristique du métal et l'énergie nécessaire pour arracher un électron dépend logiquement du métal en présence.

c) Influence de la fréquence de la lumière :

Pour chaque métal éclairé, il existe une fréquence de seuil (f_0) en dessous de laquelle l'effet photoélectrique ne se produit pas, **quelle que soit l'intensité lumineuse, même très intense.**

Le modèle ondulatoire de la lumière ne permet pas d'expliquer cela.

C - Hypothèse du photon d'Einstein.

Albert Einstein proposa en 1905 une hypothèse révolutionnaire pour expliquer l'effet photoélectrique.

Selon Einstein, l'énergie lumineuse n'atteint pas une surface de manière continue, c'est-à-dire à tout moment et partout sur la surface (comme le prévoit le modèle ondulatoire) mais est cédée à la surface de manière discontinue, tant du point de vue spatial (au même instant, l'énergie n'arrive pas partout) que du point de vue temporel (en un point donné, l'énergie n'arrive qu'à certains instants).

L'absorption de l'énergie lumineuse par une surface peut être comparée à l'arrivée de projectiles. Elle ne peut se faire que par quantités indivisibles, appelées quanta ou encore photons.

L'énergie lumineuse transférée à la matière est toujours celle d'un nombre entier de photon. On dit que cette énergie est quantifiée (on parlera de la théorie quantique).

Cette énergie dépend de la fréquence comme le montre l'effet photoélectrique.

Explication de l'effet photoélectrique : lors de l'interaction lumière-matière, lorsque la lumière atteint la plaque métallique :

- un **photon** cède toute son énergie à un **électron**. Le photon, quanta d'énergie (« paquet d'énergie »), est complètement absorbé et disparaît.
- Un électron ne peut pas accumuler l'énergie de plusieurs photons.
- Pour arracher un électron de la plaque métallique, il faut lui communiquer au minimum une énergie W appelée travail d'extraction (énergie nécessaire pour rompre la liaison).

Conclusion :

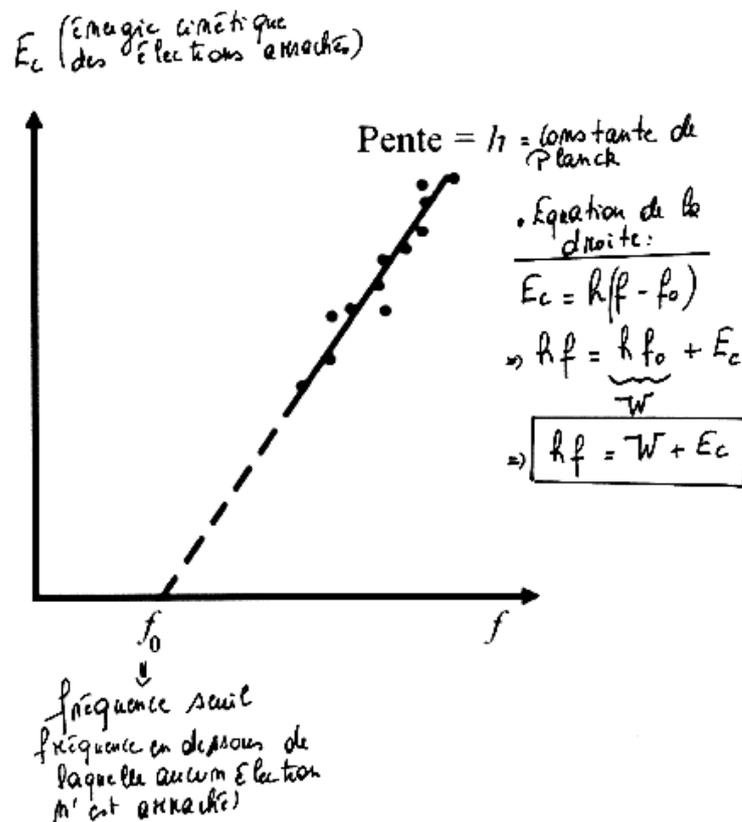


FIG. 81 :

- si $hf < W$ (si l'énergie d'un photon est inférieure au travail d'extraction), l'énergie communiquée à l'électron est insuffisante, même si beaucoup de photons arrivent et aucun électron ne sera arraché. Ceci explique l'existence de la fréquence seuil.
- Si $hf > W$, des électrons sont éjectés de la surface métallique. Une partie de l'énergie hf est utilisée pour arracher l'électron hors du métal ; l'excédent d'énergie est emporté par l'électron sous forme d'énergie cinétique (E_c).
- Le principe de conservation d'énergie nous permet d'écrire :

L'énergie incidente d'un photon se transforme en énergie d'extraction de l'électron plus l'énergie cinétique qu'aura l'électron.

$$hf = W + E_c$$

D - CONFIRMATION EXPERIMENTALE

MESURE EXPERIMENTALE DE LA CONSTANTE DE PLANCK

(ET DEUX PRIX NOBEL : EINSTEIN EN 1921 ET PLANCK EN 1923)

Le physicien américain Millikan apporta la confirmation expérimentale de l'hypothèse d'Einstein en déterminant pour un même métal, la variation de l'énergie cinétique des électrons arrachés en fonction de la fréquence de la lumière monochromatique incidente.

- L'équation de cette droite est bien :

$$E_c = h(f - f_0) \quad hf = W + E_c$$

où h est la pente et a été mesurée expérimentalement (constante de Planck) h :

- Chaque métal a une fréquence seuil qui lui est propre.

Nous pouvons remarquer sur le graphique que si $f = f_0$, alors $E_c = 0$.

L'énergie du photon incident sera juste suffisante pour arracher l'électron et ne sera pas suffisante pour encore lui communiquer une énergie cinétique.

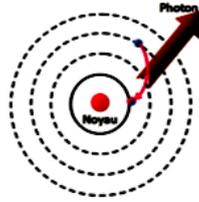


FIG. 82 :

E - COMPORTEMENT QUANTIQUE DE LA LUMIERE

Certains phénomènes (réfraction, diffraction, interférences) ne sont explicables que par le modèle ondulatoire, d'autres que par le modèle du photon qui a un comportement corpusculaire.

La lumière se comporte tantôt comme une onde, tantôt comme des particules.

Finalement, quel est le bon modèle ?

Il est incorrect de dire « la lumière est une onde » ou « la lumière est une particule ».

En réalité, il n'y a pas de modèle unique pour la lumière.

L'ensemble des comportements de la lumière ne peut s'expliquer ni par l'un, ni par l'autre des deux modèles. Les deux sont nécessaires, tantôt c'est l'un qui est efficace, tantôt, c'est l'autre.

F - ENERGIE LUMINEUSE

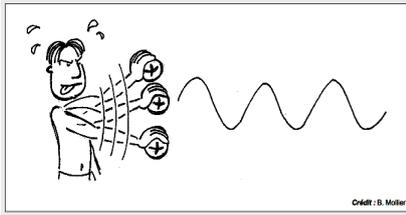
Les ondes électromagnétiques transportent de l'énergie, elles sont dites « rayonnantes ». C'est la seule forme d'énergie qui peut se propager dans le vide, en l'absence de matière.

L'énergie lumineuse fait partie des énergies dites « rayonnantes ».

L'énergie lumineuse est proportionnelle au nombre de photons émis (N).

Or chaque photon transporte une énergie qui est proportionnelle à sa fréquence ($E=hf$)

Donc, l'énergie lumineuse transportée sera :

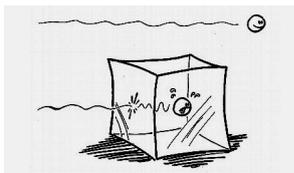


3 - QU'EST CE QUE LA LUMIERE ?

- La lumière est une onde électromagnétique, dont la longueur d'onde, comprise entre 400 et 800 nm, correspond à la zone de sensibilité de l'œil humain, entre l'ultraviolet et l'infrarouge.
- Elle est produite par l'oscillation des électrons atomiques.
- Elle constituée d'un ensemble de photons qui sont des quanta d'énergie électromagnétique.

L'énergie d'un photon dépend de la fréquence.

- L'énergie radiative de la lumière est :



- À l'inverse des ondes mécaniques (son, vagues,...), la lumière, comme toutes les ondes électromagnétiques, n'a pas besoin de support pour se propager. Elle peut se déplacer dans le vide et dans un milieu transparent (eau, verre, ...).

Dans un milieu transparent donc hors du vide, elle se propage moins vite (cfr. expérience de Young).

On définit l'indice de réfraction du milieu comme étant le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide sur sa vitesse dans le milieu. ($n=c/v$)

- La **lumière est composée** de photons (particules), mais elle possède les propriétés d'une onde. Elle a un comportement quantique, c'est-à-dire :

- La lumière **se propage comme une onde** : elle distribue son énergie dans l'espace de manière continue, comme une onde. Elle est soumise aux lois de la réflexion, réfraction, diffraction et interférences.

- La lumière **interagit avec la matière de façon discrète** : elle échange de l'énergie avec la matière de façon **discontinue**, un photon à la fois. L'énergie d'un photon est proportionnelle à la fréquence.

4 – PHOTONS ET APPLICATIONS. (Lire p 230 à 236)

- Cellule photoélectrique
- Panneaux photovoltaïques
- La diode LED

28 EXERCICES

29 Exercice 1

Une station de radio a une puissance émettrice de 400 kW à 100 MHz. Combien de photons par seconde sont émis ? (Rép : 6.10^{30} photons/s)

Exercice 2

Le travail d'extraction d'un électron est de $3,6.10^{-19}$ J pour le potassium. Soit un faisceau de longueur d'onde égale à 400 nm qui a une puissance de 10^{-9} W. Calcule :

- L'énergie cinétique des électrons émis. (Rép : $1,37.10^{-19}$ J)
- Le nombre d'électrons émis par mètre carré et par seconde à partir de la surface où se produit l'effet photoélectrique, en supposant que 3% des photons incidents parvient à éjecter des électrons. (Rép : 6.10^7 électrons/s)

Exercice 3

Le seuil photoélectrique de longueur d'onde pour le césium est de 686 nm. Si de la lumière de longueur d'onde égale à 470 nm éclaire la surface, quelle est la vitesse maximale des électrons émis ? (Rép : $5,4.10^5$ m/s)

Exercice 4

Soit un rayonnement de longueur d'onde de 200 nm tombant sur du mercure pour lequel le travail d'extraction est de $7,2.10^{-19}$ J. Quelle est l'énergie cinétique des électrons éjectés ? (Rép : $2,74.10^{-19}$ J)

Exercice 5

Lorsqu'un métal est éclairé par de la lumière de fréquence f , l'énergie cinétique maximale des électrons est de $2,08.10^{-19}$ J. Lorsqu'on augmente la fréquence de 50%, l'énergie cinétique maximale augmente jusqu'à $5,77.10^{-19}$ J.

Quelle est la fréquence seuil de ce métal ? (Rép : $7,9.10^{14}$ Hz)

Exercice 6

De la lumière bleue ($\lambda = 470$ nm) ayant une intensité de 200 W/m² pénètre dans un œil. Combien de photons entrent dans l'œil par seconde si la pupille a un diamètre de 5 mm ? (Rép : $9,3.10^{15}$ photons/s)

30

31 Exercice 7

Lors d'une expérience sur l'effet photoélectrique, on a recueilli les valeurs suivantes pour la longueur d'onde de la lumière incidente et l'énergie cinétique des électrons émis

(nm)	500	450	400	350	300
E_c (10^{-19} J)	0,59	1,04	1,60	2,19	3,20

Utilise ces données pour calculer **graphiquement** la valeur de la constante de Planck.

Exercice 8

La longueur d'onde du seuil photoélectrique d'un matériau métallique est de 360 nm. Quelle est la vitesse maximale des électrons émis si on utilise des photons de 280 nm de longueur d'onde ? (Rép : 6.10^5 m/s)

Exercice 9

De la lumière ayant une longueur d'onde de 450 nm et une intensité de 40 W/m^2 arrive sur un métal. Combien d'électrons sont éjectés par seconde et par centimètre carré de surface si seulement 3 % des photons qui arrivent sur le métal éjecte un électron ?

(Rép : $2,7.10^{14}$ électrons/s)

Exercice 10

Lorsqu'un métal est éclairé par de la lumière de fréquence f , l'énergie cinétique maximale des électrons est de $2,08.10^{-19}$ J. Lorsqu'on augmente la fréquence de 50%, l'énergie cinétique maximale augmente jusqu'à $5,77.10^{-19}$ J.

a) Quelle est la fréquence de la source ? (Rép : $1,1.10^{15}$ Hz)

b) Sachant que le spectre visible est situé entre 400 nm et 800 nm, la lumière utilisée est-elle dans le spectre visible, dans la gamme des ultraviolets ou dans la gamme des infrarouges ? (Rép : UV)

Exercice 11

Lorsqu'on éclaire une surface avec de la lumière d'une fréquence égale à 7.10^{14} Hz, les électrons émis ont une vitesse de $5,2.10^5$ m/s. Quelle est la fréquence seuil du métal ?

(Rép : $5,14.10^{14}$ Hz)

Exercice 12

De la lumière jaune ($\lambda = 585$ nm) ayant une intensité de 50 W/m^2 arrive sur un mur ayant une surface de 3 m^2 . Combien de photons arrivent sur le mur en 20 secondes ?

(Rép : $8,8.10^{21}$ photons/s)

Exercice 13

Les affirmations suivantes sont-elles vraies ou fausses ? Répondre à la question en indiquant V ou F .

A) Lorsqu'on augmente la puissance d'un faisceau laser sans modifier sa fréquence, l'effet photoélectrique qu'il produit sur une même surface métallique est tel que :

a) le nombre de photons émis par seconde augmente

a) l'énergie des photons émis augmente

a) le nombre d'électrons émis par seconde augmente

a) l'intensité du courant électrique détecté augmente

a) l'énergie cinétique des électrons augmente

A) Lorsqu'on augmente la fréquence d'un faisceau laser, l'effet photoélectrique qu'il produit sur une même surface métallique est tel que :

A) a) le nombre de photons émis par seconde augmente

A) a) l'énergie des photons émis augmente

c) le nombre d'électrons émis par seconde augmente

a) d) l'intensité du courant électrique détecté augmente

a) d) l'énergie cinétique des électrons augmente

(Rép : A) VFVVF, B) FVFFV)

Exercice 14

a) Quel est le seuil de longueur d'onde qui permet la photoémission du zinc ? Le travail d'extraction du zinc est de $6,99.10^{-19}$ J. (Rép : 284 nm)

a) Cette radiation fait-elle partie du spectre visible de la lumière, Justifie. (Rép : Non)

a) Quelle sera alors l'énergie cinétique des électrons émis ? Justifie (Rép : $1,35 \cdot 10^{-21}$ J)

Exercice 15

Un bon niveau d'éclairage pour la lecture correspond à environ $2 \cdot 10^{13}$ photons par seconde par centimètre carré. Si ces photons ont une longueur d'onde moyenne de 500 nm, quelle est l'intensité lumineuse correspondante sachant que l'intensité lumineuse est la puissance reçue par unité de surface. (Rép : $7,96 \cdot 10^{-2}$ W/m²)

Exercice 16

Quelle sera la vitesse des électrons émis par du mercure lorsqu'il est soumis à un rayonnement de longueur d'onde de 200 nm ? Le travail d'extraction du mercure est de $7,2 \cdot 10^{-19}$ J.

(Rép : $7,8 \cdot 10^5$ m/s)

32

33 QUESTION 1

Une station de radio a une puissance émettrice de 400 kW à 100 MHz. Combien de photons par seconde sont émis ?

QUESTION 2

Le travail d'extraction d'un électron est de $3,6 \cdot 10^{-19}$ J pour le potassium. Soit un faisceau de longueur d'onde égale à 400 nm qui a une puissance de 10^{-9} W. Calcule :

a) L'énergie cinétique des électrons émis.

b) Le nombre d'électrons émis par mètre carré et par seconde à partir de la surface où se produit l'effet photoélectrique, en supposant que 3% des photons incidents parvient à éjecter des électrons.

QUESTION 3

Le seuil photoélectrique de longueur d'onde pour le césium est de 686 nm. Si de la lumière de longueur d'onde égale à 470 nm éclaire la surface, quelle est la vitesse maximale des électrons émis ?

QUESTION 4

Soit un rayonnement de longueur d'onde de 200 nm tombant sur du mercure pour lequel le travail d'extraction est de $7,2 \cdot 10^{-19}$ J. Quelle est l'énergie cinétique des électrons éjectés ?

QUESTION 5

Lorsqu'un métal est éclairé par de la lumière de fréquence f , l'énergie cinétique maximale des électrons est de $2,08 \cdot 10^{-19}$ J. Lorsqu'on augmente la fréquence de 50%, l'énergie cinétique maximale augmente jusqu'à $5,77 \cdot 10^{-19}$ J.

Quelle est la fréquence seuil de ce métal ?

QUESTION 6

De la lumière bleue ($\lambda = 470$ nm) ayant une intensité de 200 W/m² pénètre dans un œil. Combien de photons entrent dans l'œil par seconde si la pupille a un diamètre de 5 mm ?

34

35 QUESTION 7

1) Lors d'une expérience sur l'effet photoélectrique, on a recueilli les valeurs suivantes pour la longueur d'onde de la lumière incidente et l'énergie cinétique des électrons émis

(nm)	500	450	400	350	300
E_c (10^{-19} J)	0,59	1,04	1,60	2,19	3,20

Utilise ces données pour calculer *graphiquement* la valeur de la constante de Planck.

QUESTION 8

La longueur d'onde du seuil photoélectrique d'un matériau métallique est de 360 nm. Quelle est la vitesse

maximale des électrons émis si on utilise des photons de 280 nm de longueur d'onde ?

QUESTION 9

De la lumière ayant une longueur d'onde de 450 nm et une intensité de 40 W/m² arrive sur un métal. Combien d'électrons sont éjectés par seconde et par centimètre carré de surface si seulement 3 % des photons qui arrivent sur le métal éjecte un électron ?

QUESTION 10

Lorsqu'un métal est éclairé par de la lumière de fréquence f , l'énergie cinétique maximale des électrons est de $2,08 \cdot 10^{-19}$ J. Lorsqu'on augmente la fréquence de 50%, l'énergie cinétique maximale augmente jusqu'à $5,77 \cdot 10^{-19}$ J.

a) Quelle est la fréquence de la source ?

b) Sachant que le spectre visible est situé entre 400 nm et 800 nm, la lumière utilisée est-elle dans le spectre visible, dans la gamme des ultraviolets ou dans la gamme des infrarouges ?

QUESTION 11

Lorsqu'on éclaire une surface avec de la lumière d'une fréquence égale à $7 \cdot 10^{14}$ Hz, les électrons émis ont une vitesse de $5,2 \cdot 10^5$ m/s. Quelle est la fréquence seuil du métal ?

QUESTION 12

De la lumière jaune ($\lambda = 585$ nm) ayant une intensité de 50 W/m² arrive sur un mur ayant une surface de 3 m². Combien de photons arrivent sur le mur en 20 secondes ?

QUESTION 13

Les affirmations suivantes sont-elles vraies ou fausses ? Répondre à la question en indiquant V ou F .

A) Lorsqu'on augmente la puissance d'un faisceau laser sans modifier sa fréquence, l'effet photoélectrique qu'il produit sur une même surface métallique est tel que :

a) le nombre de photons émis par seconde augmente

a) l'énergie des photons émis augmente

a) le nombre d'électrons émis par seconde augmente

a) l'intensité du courant électrique détecté augmente

a) l'énergie cinétique des électrons augmente

B) Lorsqu'on augmente la fréquence d'un faisceau laser, l'effet photoélectrique qu'il produit sur une même surface métallique est tel que :

A) a) le nombre de photons émis par seconde augmente

A) a) l'énergie des photons émis augmente

c) le nombre d'électrons émis par seconde augmente

a) d) l'intensité du courant électrique détecté augmente

a) d) l'énergie cinétique des électrons augmente

QUESTION 14

a) Quel est le seuil de longueur d'onde qui permet la photoémission du zinc ? Le travail d'extraction du zinc est de $6,99 \cdot 10^{-19}$ J.

a) Cette radiation fait-elle partie du spectre visible de la lumière, Justifie.

a) Quelle sera alors l'énergie cinétique des électrons émis ? Justifie

QUESTION 15

Un bon niveau d'éclairage pour la lecture correspond à environ $2 \cdot 10^{13}$ photons par seconde par centimètre carré. Si ces photons ont une longueur d'onde moyenne de 500 nm, quelle est l'intensité lumineuse correspondante sachant que l'intensité lumineuse est la puissance reçue par unité de surface.

QUESTION 16

Quelle sera la vitesse des électrons émis par du mercure lorsqu'il est soumis à un rayonnement de longueur d'onde de 200 nm ? Le travail d'extraction du mercure est de $7,2 \cdot 10^{-19}$ J.

QUESTION

Une station de radio a une puissance émettrice de 400 kW à 100 MHz. Combien de photons par seconde sont émis ?

$$P = 400 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$f = 100 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 10^8 \text{ Hz}$$

$$\frac{N}{t} ?$$

$$P = \frac{N h f}{t} \Rightarrow \frac{N}{t} = \frac{P}{h f} = \frac{400 \cdot 10^3}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 10^8}$$

$$\Rightarrow \frac{N}{t} = 60 \cdot 10^{29} \frac{\text{photons}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow \frac{N}{t} = 6 \cdot 10^{30} \frac{\text{photons}}{\text{s}}$$

$$\frac{N}{t} = 6 \cdot 10 \frac{\text{photons}}{\text{s}}$$

QUESTION

Le travail d'extraction d'un électron est de $3,6 \cdot 10^{-19}$ J pour le potassium. Soit un faisceau de longueur d'onde égale à 400 nm qui a une puissance de 10^{-9} W.

Calcule :

a) L'énergie cinétique des électrons émis.

$$W_0 = 3,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda = 400 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$P = 10^{-9} \text{ W}$$

E_c !

$$hf = E_c + W_0 \Rightarrow E_c = hf - W_0$$

$$\text{or } c = \lambda f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$$

$$\Rightarrow E_c = \frac{hc}{\lambda} - W_0 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{400 \cdot 10^{-9}} - 3,6 \cdot 10^{-19}$$

$$E_c = 1,37 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Rightarrow E_c = 1,37 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

b) Le nombre d'électrons émis par mètre carré et par seconde à partir de la surface où se produit l'effet photoélectrique, en supposant que 3% des photons incidents parvient à éjecter des électrons.

$$A = 1 \text{ m}^2$$

$$t = 1 \text{ s}$$

$$\frac{N}{A} \Rightarrow N ?$$

$$P = 10^{-9} \text{ W} \text{ or } P_{\text{effic}} = 3 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-9} \text{ W}$$

$$P = \frac{Nhf}{t} \Rightarrow \frac{N}{t} = \frac{P}{hf} = \frac{3 \cdot 10^{-11}}{6,63 \cdot 10^{-34}} \cdot \frac{400 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 10^8}$$

$$N = 6 \cdot 10^7 \frac{\text{electron}}{\text{s}}$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{400 \cdot 10^{-9}} \quad \left| \text{Pour } 1 \text{ s } \right. \quad N = 6 \cdot 10^7 \frac{\text{electron}}{\text{s}}$$

QUESTION

Le seuil photoélectrique de longueur d'onde pour le césium est de 686 nm. Si de la lumière de longueur d'onde égale à 470 nm éclaire la surface, quelle est la vitesse maximale des électrons émis ?

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= 686 \cdot 10^{-9} \text{ m} \\ \lambda &= 470 \cdot 10^{-9} \text{ m} \\ v_{e^-} ? \\ E_{ce^-} &= \frac{m_e v_{e^-}^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_0} = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right) \\ v_{e^-} &= \sqrt{\frac{2hc}{m_e} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{9,1 \cdot 10^{-31}} \left(\frac{1}{470 \cdot 10^{-9}} - \frac{1}{686 \cdot 10^{-9}} \right)} \\ &= 5,4 \cdot 10^5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$v_{e^-} = 5,4 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

QUESTION

Soit un rayonnement de longueur d'onde de 200 nm tombant sur du mercure pour lequel le travail d'extraction est de $7,2 \cdot 10^{-19}$ J. Quelle est l'énergie cinétique des électrons éjectés ?

$$\begin{aligned}\lambda &= 200 \cdot 10^{-9} \text{ m} \\ W_0 &= 7,2 \cdot 10^{-19} \text{ J} \\ E_{\text{cor}} &= hf - W_0 = \frac{hc}{\lambda} - W_0 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{200 \cdot 10^{-9}} - 7,2 \cdot 10^{-19} \\ &= E_{\text{cor}} = 2,71 \cdot 10^{-19} \text{ J}\end{aligned}$$

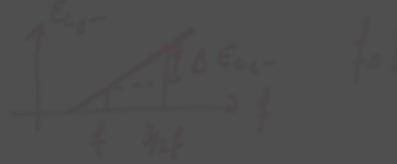
$$E_{\text{cor}} = 2,71 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

QUESTION

Lorsqu'un métal est éclairé par de la lumière de fréquence f , l'énergie cinétique maximale des électrons est de $2,08 \cdot 10^{-19}$ J. Lorsqu'on augmente la fréquence de 50%, l'énergie cinétique maximale augmente jusqu'à $5,77 \cdot 10^{-19}$ J. Quelle est la fréquence seuil de ce métal ?

$$f \rightarrow E_{\text{cin}} = 2,08 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$1,5f \rightarrow E_{\text{cin}} = 5,77 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$



$$h = \frac{\Delta E_{\text{cin}}}{\Delta f} = \frac{\Delta E_{\text{cin}}}{\frac{1}{2}f} \Rightarrow f = \frac{2\Delta E_{\text{cin}}}{h}$$

$$f = \frac{2(5,77 \cdot 10^{-19} - 2,08 \cdot 10^{-19})}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 1,1 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow \text{à cette } f, E_{\text{cin}} = 2,08 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{OR } E_{\text{cin}} = hf - hf_0 \Rightarrow f_0 = \frac{hf - E_{\text{cin}}}{h} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 1,1 \cdot 10^{15} - 2,08 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}}$$

$$\Rightarrow f_0 = 7,9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$f_0 = 7,9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

QUESTION

De la lumière bleue ($\lambda = 470 \text{ nm}$) ayant une intensité de 200 W/m^2 pénètre dans un œil. Combien de photons entrent dans l'œil par seconde si la pupille a un diamètre de 5 mm ?

$$\lambda = 470 \cdot 10^{-9} \text{ m} \quad \Rightarrow \quad f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{470 \cdot 10^{-9}} = 6,4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$I = \frac{P}{A} = 200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\phi = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Rightarrow A = \pi R^2 \quad \text{où } R = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

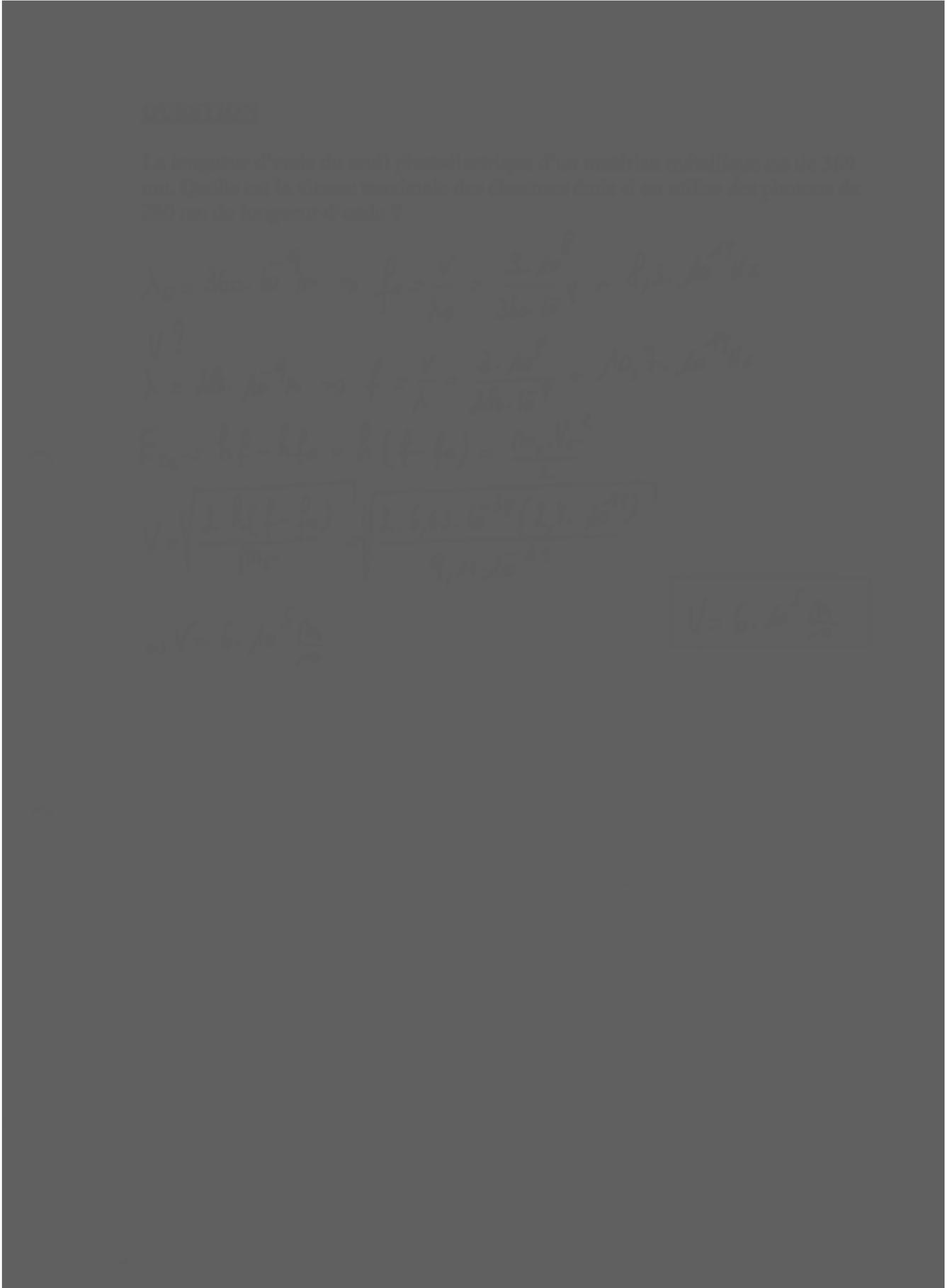
$$P = \frac{N h f}{t} = I \cdot A$$

$$\Rightarrow \frac{N}{t} = \frac{I \cdot A}{h f} = \frac{200 \cdot \pi \cdot 2,5^2 \cdot 10^{-6} \cdot 470 \cdot 10^{-9}}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}$$

$$\frac{N}{t} = 9,3 \cdot 10^{15} \frac{\text{photons}}{\text{s}}$$

$$N = 9,3 \cdot 10^{15} \frac{\text{photons}}{\text{s}}$$







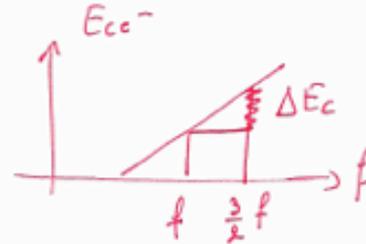
QUESTION

Lorsqu'un métal est éclairé par de la lumière de fréquence f , l'énergie cinétique maximale des électrons est de $2,08 \cdot 10^{-19}$ J. Lorsqu'on augmente la fréquence de 50%, l'énergie cinétique maximale augmente jusqu'à $5,77 \cdot 10^{-19}$ J.

a) Quelle est la fréquence de la source ?

$$E_{ce^-} = 2,08 \cdot 10^{-19} \text{ J} \rightarrow f$$

$$E_{ce^-} = 5,77 \cdot 10^{-19} \text{ J} \rightarrow \frac{3}{2} f$$



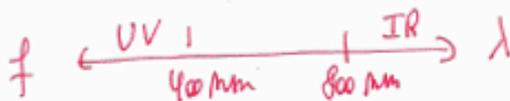
$$h = \frac{\Delta E}{\Delta f} = \frac{\Delta E}{\frac{1}{2} f} \Rightarrow f = \frac{2 \Delta E_c}{h}$$

$$\Rightarrow f = \frac{2(5,77 - 2,08) \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}}$$

$$\Rightarrow f = 1,1 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

$$f = 1,1 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

b) Sachant que le spectre visible est situé entre 400 nm et 800 nm, la lumière utilisée est-elle dans le spectre visible, dans la gamme des ultraviolets ou dans la gamme des infrarouges ?



$$f = 1,1 \cdot 10^{15} \text{ Hz} \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,1 \cdot 10^{15}}$$

$$\lambda = 0,273 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\Rightarrow \lambda = 273 \text{ nm}$$

↳ gamme des UV

UV