

CHAP 10-EXOS Propriétés électriques des matériaux

Exercices p 147 à 152 N° 1 (exo résolu)-8-10-11

8 Ordres de grandeur

Élément	Résistivité ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)		
	À 77 K	À 273 K	À 373 K
Li	1,04	8,55	12,4
Cu	0,2	1,56	2,24
Zn	1,1	5,5	14,7
Pb	4,7	19,0	27,0

1. Parmi les métaux ci-dessus, quel est le meilleur conducteur ?
2. Pourquoi afficher des résistivités et non des résistances ?
3. Comment varie la résistivité d'un métal en fonction de la température ?
4. Qu'est-ce qui explique, à l'échelle microscopique, l'évolution de la résistivité d'un métal avec la température ?
5. À 300 K, dans le cuivre, la densité d'électrons de conduction est $n = 8,47 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$. Calculer le nombre d'électrons libres N dans un fil de longueur 10 m et de diamètre 1 mm.
6. Le rayon d'un atome de cuivre est de 135 pm. Dans le fil, comparer le nombre d'électrons libres au nombre d'atomes de cuivre. Conclure.

1. Le meilleur conducteur est le cuivre, car il a la plus faible résistivité pour une température donnée.

2. La résistance dépend de la forme du métal, contrairement à la résistivité qui ne dépend que de la nature du métal.

3. La résistivité d'un métal diminue en fonction de la température.

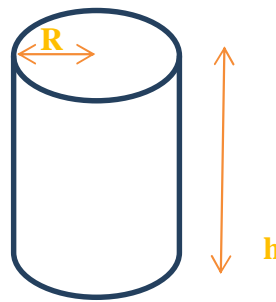
4. Quand la température baisse, les vibrations thermiques des cations du réseau métallique diminuent, les électrons de conduction sont moins fréquemment diffusés et la résistivité diminue.

5. Calcul du volume du fil (cylindre) :

$$R = 1 \text{ mm} = 0,1 \text{ cm}$$

$$h = 10 \text{ m} = 1000 \text{ cm}$$

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{0,1}{2}\right)^2 \cdot 1000 = 7,85 \text{ cm}^3 = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

**Calcul du nombre d'électrons**

On en a $8,47 \cdot 10^{22}$ pour 1 cm^3

On en a N pour $7,85 \text{ cm}^3$

$$N = 8,47 \cdot 10^{22} \cdot 7,85 = 6,7 \cdot 10^{23} \text{ électrons}$$

6. Calcul du volume d'un atome :

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (135 \cdot 10^{-12})^3 = 1,03 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$$

Calcul du nombre d'atomes dans le cylindre (fil)

1 atome occupe un volume de $1,03 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$

x atome occupe un volume de $7,85 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

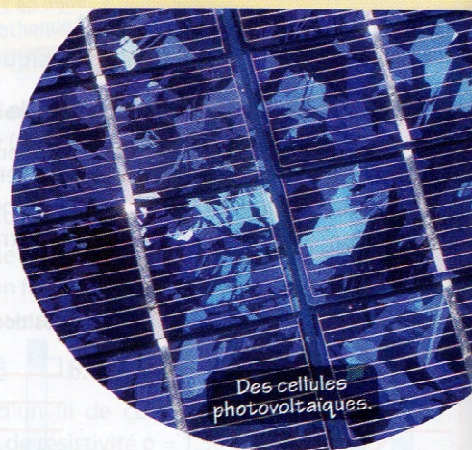
$$x = \frac{7,85 \cdot 10^{-6}}{1,03 \cdot 10^{-29}} = 7,62 \cdot 10^{23} \text{ atomes}$$

Soit environ 1 électron libre par atome de cuivre : lors de la formation du solide métallique, chaque atome de cuivre est en moyenne devenu un ion Cu^+ en libérant un électron de conduction.

10 Rendement d'une cellule photovoltaïque (4 points)

Problématique

Une cellule photovoltaïque ne convertit en puissance électrique qu'entre 10 et 20 % de la puissance lumineuse qu'elle reçoit. Comment augmenter ce rendement ?



Document 1 La théorie des bandes.

L'énergie des électrons d'un solide ne peut pas prendre n'importe quelle valeur. Elle est limitée à des intervalles bien définis appelés bandes d'énergie. Lorsqu'un électron possède une énergie située dans une bande d'énergie, on dit qu'il appartient à cette bande. On distingue les électrons de la « bande de conduction », qui contribuent au courant électrique, des électrons de la « bande de valence », qui n'y contribuent pas.

Données

- Masse de l'électron : $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
- Constante de Planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Document 2 L'effet photovoltaïque.

Les matériaux semi-conducteurs sont des isolants à 0 K : ils ne possèdent pas d'électrons de conduction à cette température. En revanche, à température ambiante (300 K), ils deviennent conducteurs. L'écart d'énergie entre la bande de valence et la bande de conduction s'appelle le « gap ». Pour le silicium, à 300 K, le gap est de 1,1 eV. Un photon de la lumière solaire peut apporter une énergie égale ou supérieure à celle du gap et être absorbé par le silicium. Il se forme alors une paire électron-trou : un électron quitte la bande de valence pour rejoindre la bande de conduction laissant un trou de charge positive dans la bande de valence. Ce phénomène est l'effet photovoltaïque. L'énergie qui peut être récupérée par photon absorbé est au mieux égale à celle du gap.

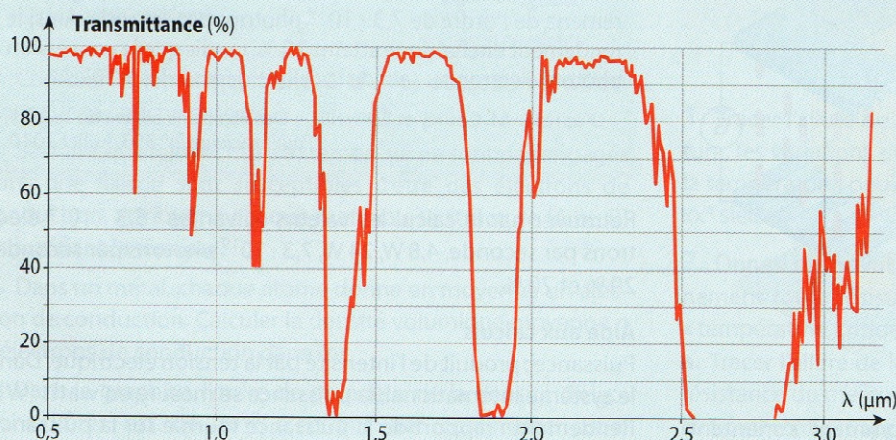
Document 3 Spectre du soleil.

Domaine	Longueur d'onde (μm)	Fraction de l'énergie totale rayonnée
Ultraviolet	Inférieure à 0,4	12 %
Visible	0,4 à 0,7	37 %
Infrarouge proche	0,7 à 1,1	28 %
Infrarouge	1,1 à 3	21 %
Infrarouge moyen et lointain, radio	3 à 1 000	2 %

Calculs faits pour un corps noir à 5 770 K.

Document 4 Transmittance atmosphérique.

Le schéma ci-dessous représente le rapport de la puissance lumineuse reçue au niveau du sol sur la puissance lumineuse à l'entrée de l'atmosphère, en fonction de la longueur d'onde.



Questions

1. Calculer la longueur d'onde maximale des photons susceptibles d'être absorbés par le silicium.
2. Expliquer la couleur noire des cellules photovoltaïques, constituées de silicium, intégrées aux panneaux solaires.
3. Proposer une cause du rendement limité des cellules photovoltaïques.
4. Quelle solution proposer pour augmenter le rendement photovoltaïque d'une cellule ?

1. Calcul de la longueur d'onde :

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

$$\lambda = h \cdot \frac{c}{E} = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{1,116 \cdot 10^{-19}} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,1 \text{ } \mu\text{m} = 1100 \text{ nm}$$

2. Le domaine de la lumière visible est compris entre 400 et 800 nm. Ces longueurs d'onde sont inférieures à 1100 nm. Toute la lumière visible est donc absorbée par la cellule photovoltaïque constituée de silicium. Cette dernière apparaît donc noire.

3. Les photons d'énergie inférieure à 1,1 eV (de longueur d'onde supérieure à 1,1 μm) ne sont pas absorbés, bien qu'arrivant sur la cellule.

4. On pourrait augmenter le gap pour récupérer plus d'énergie par photon.

Rem :

Mais alors le nombre de photons captés serait diminué. En fait, l'empilement de couches successives de matériaux à gaps différents et décroissants depuis la surface éclairée est une solution intéressante. Chaque couche récupère plus d'énergie par photon qu'une couche avec un gap plus bas. La lumière qui n'a pas été absorbée par la couche du dessus le sera en partie par la couche du dessous.

11 Les thermomètres frontaux à cristaux liquides (4 points)

Problématique

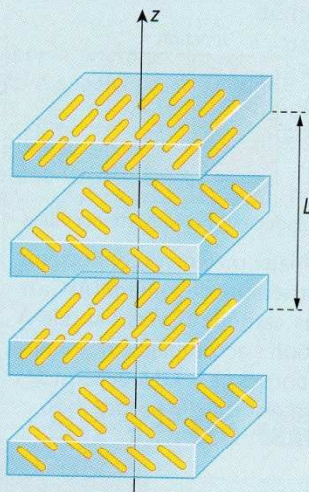
Comment fonctionnent les thermomètres frontaux ?

Document 1 Composition de la bande sensible du thermomètre frontal.

La bande d'un thermomètre frontal est constituée de cellules contenant des cristaux liquides dont la composition varie. Chaque cellule porte un chiffre « 36 », « 37 », etc. Lorsque le corps avec lequel est en contact le thermomètre est à 38 °C, la cellule « 38 » devient colorée, les autres restant noires.

La bande sensible du thermomètre est composée de cristaux liquides « cholestériques » : ce sont des molécules allongées (représentées par des bâtons sur la figure ci-contre), disposées parallèlement les unes aux autres dans des plans perpendiculaires à un axe Oz. D'un plan à l'autre, la direction des molécules varie d'un angle fixe. Le « pas » désigne la distance L entre les plans les plus proches où les molécules pointent dans une direction commune.

Lorsqu'une onde lumineuse monochromatique de longueur d'onde λ se dirige selon l'axe Oz vers les cristaux liquides, la lumière est réfléchiée par les différents plans, mais les interférences ne sont constructives que s'il existe un entier q tel que $2nL = q\lambda$, où $n = 1,50$ désigne l'indice de réfraction moyen du milieu. L'intensité lumineuse réfléchiée est nulle sinon.



Utilisation d'un thermomètre frontal.

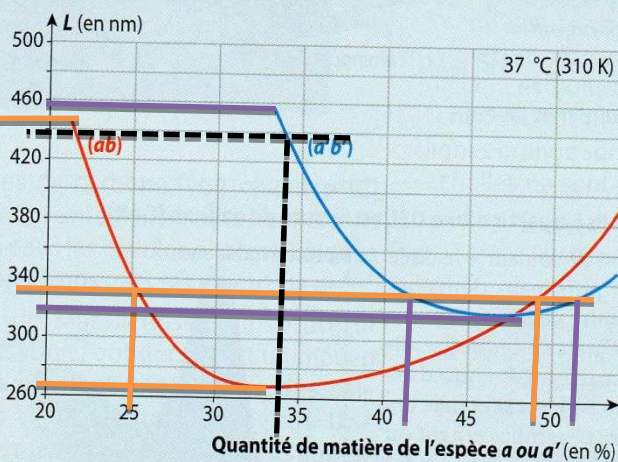
Questions

- On modélise ici la lumière qui parvient sur le thermomètre comme une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 500$ nm. Justifier et retrouver cette valeur à partir des documents.
- À 37 °C, dans le cas du mélange (ab), montrer qu'une lumière réfléchiée est observée pour une seule valeur du pas L et deux compositions du mélange à déterminer.
 - Même question dans le cas du mélange (a'b').
- Le bon fonctionnement du thermomètre suppose que l'indication « 40 » apparaisse à 40 °C sans que l'indication « 37 » ne soit visible. Quel mélange utiliser dans la cellule « 40 » et en quelle proportion ?
- Proposer une synthèse sur le fonctionnement d'un tel thermomètre.

Document 2 Dépendance du pas avec la composition et la température du cristal liquide.

Si la bande sensible du thermomètre frontal est un mélange de deux cristaux liquides, le pas L dépend de la composition du mélange. Sur le graphique ci-contre, le mélange (ab) est composé des molécules a et b et le mélange (a'b') est composé des molécules a' et b' . Le pas L dépend aussi de la température T . Par exemple :

- quelle que soit la composition du mélange (ab), $L(40\text{ °C}) = 0,68 L(37\text{ °C})$;
- quelle que soit la composition du mélange (a'b'), $L(40\text{ °C}) = 0,74 L(37\text{ °C})$.



Document 3 Loi de Wien.

Le spectre de la lumière qui nous parvient du Soleil est continu, mais présente un maximum d'émission pour une longueur d'onde dans le vide λ_{max} telle que $\lambda_{\text{max}} T = 2\,898\ \mu\text{m} \cdot \text{K}$ où T désigne la température de surface du corps émetteur. La température de surface du Soleil est $5,80 \cdot 10^3$ K.

1. Calcul de λ :

On utilise la loi de Wien

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

$$\lambda_{\max} \cdot 5880 = 2898$$

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{5880} = 0,492 \mu\text{m} = 492 \text{ nm} \approx 500 \text{ nm}$$

2. a. L'espèce ab peut varier de 320 nm à environ 460 nm (doc 2)

Calcul de q :

On a

$$2 \cdot n \cdot L = q \cdot \lambda$$

$$2 \cdot 1,5 \cdot L = q \cdot 500$$

$$\frac{3}{500} \cdot L = q$$

Pour L = 320 nm

$$q = \frac{3}{500} \cdot 320 = 1,92$$

Pour L = 460 nm

$$q = \frac{3}{500} \cdot 460 = 2,76$$

On prend $q = 2$

Calcul de la valeur de L à garder :

On a

$$2 \cdot n \cdot L = q \cdot \lambda$$

$$L = \frac{q \cdot \lambda}{2 \cdot n} = \frac{2 \cdot 500}{2 \cdot 1,5} = 333 \text{ nm}$$

Composition de a:

a = 25 % ou 48 %
(cf doc 2)

b. L'espèce a'b' peut varier de 270 nm à environ 440 nm (doc 2)

Calcul de q :

On a

$$2 \cdot n \cdot L = q \cdot \lambda$$

$$2 \cdot 1,5 \cdot L = q \cdot 500$$

$$\frac{3}{500} \cdot L = q$$

Pour L = 270 nm

$$q = \frac{3}{500} \cdot 270 = 1,62$$

Pour L = 440 nm

$$q = \frac{3}{500} \cdot 440 = 2,64$$

On prend $q = 2$

Calcul de la valeur de L à garder :

On a

$$2 \cdot n \cdot L = q \cdot \lambda$$

$$L = \frac{q \cdot \lambda}{2 \cdot n} = \frac{2 \cdot 500}{2 \cdot 1.5} = 333 \text{ nm}$$

Composition de a' :

$a = 42 \% \text{ ou } 52 \%$

(cf doc 2)

3. Pour 40°C calcul de L pour le mélange ab

On suppose que L garde la même valeur que précédemment ($L = 333 \text{ nm}$) pour 40 °
on recalcule L pour 37 °C

$$L(40^\circ\text{C}) = 0,68 \cdot L(37^\circ\text{C})$$

$$L(37^\circ\text{C}) = \frac{L(40^\circ\text{C})}{0,68} = \frac{333}{0,68} = 490 \text{ nm}$$

Impossible d'après le doc 2

Pour 40°C calcul de L pour le mélange a'b'

On suppose que L garde la même valeur que précédemment ($L = 333 \text{ nm}$) pour 40 °
on recalcule L pour 37 °C

$$L(40^\circ\text{C}) = 0,74 \cdot L(37^\circ\text{C})$$

$$L(37^\circ\text{C}) = \frac{L(40^\circ\text{C})}{0,74} = \frac{333}{0,68} = 450 \text{ nm}$$

Ce qui correspond à 33 % de l'espèce a'

4. Chaque cellule du thermomètre est constituée d'un mélange binaire de cristaux liquides cholestériques, à la composition chimique bien définie. Une cellule ne s'allume que pour une seule température, qui n'est jamais celle d'une autre cellule. Ce fonctionnement est possible parce que le pas du réseau, qui est la distance entre deux plans consécutifs de molécules cholestériques orientées dans la même direction, est fonction de la température et de la composition chimique de la cellule.