

Travaux Dirigés d'optique géométrique Module Physique II S.M.I.A.

Série 1 : Bases de l'optique géométrique. Système optique à surface plane

Chapitre 1

Exercice 0 : Indice de réfraction d'un milieu homogène.

On considère que la célérité c de la lumière dans le vide est $c = 3,000 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

- 1) Calculer la vitesse v de propagation de la lumière dans un milieu liquide (du toluène) d'indice de réfraction $n = 1,497$. Réponse en m/s avec trois chiffres après la virgule
- 2) La célérité de la lumière dans un verre est égale à $1,875 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Quel est l'indice de réfraction de ce verre ?
- 3) La raie la plus intense d'émission d'une lampe à vapeur de mercure se propage dans l'eau d'indice $n_{\text{eau}} = 1,33$, sa longueur d'onde dans l'eau vaut $\lambda_{\text{eau}} = 327,2 \text{ nm}$.

Que devient cette longueur d'onde dans un verre d'indice de réfraction $n_{\text{verre}} = 1,5$?

Quelle est sa longueur d'onde dans le vide. Quelle est sa fréquence ? Est-elle visible dans l'eau ?

Corrigé :

1- La célérité v de la lumière dans un milieu homogène liquide, du toluène, d'indice de réfraction $n = 1,497$ est $v = c/n = 200400801.6 \text{ m/s} = 2,00400801 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 2,004 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

2- L'indice de réfraction n est $n=c/v$, avec c la célérité de la lumière dans le vide et v la célérité de la lumière dans le milieu matériel d'indice n recherché.

$$n=c/v=3.10^8 / 1,875.10^8=1,600$$

3- Soit λ_0 la longueur d'onde de la raie de sodium dans le vide ; soit λ_{eau} est la longueur d'onde de cette raie dans l'eau : $\lambda_{\text{eau}} = \lambda_0/n_{\text{eau}}$ ce qui implique que :

$$\lambda_0 = \lambda_{\text{eau}} \cdot n_{\text{eau}} = 327,2 \times 1,33 = 435,2 \text{ nm. Il s'agit de la lumière bleue.}$$

4- La longueur d'onde de cette raie dans le milieu homogène verre d'indice de réfraction $n_{\text{verre}}=1,5$ est $\lambda_{\text{verre}} = \lambda_0/n_{\text{verre}}$ avec $\lambda_0 = \lambda_{\text{eau}} \cdot n_{\text{eau}}$ ce qui implique que :

$$\lambda_{\text{verre}} = \lambda_{\text{eau}} \cdot n_{\text{eau}} / n_{\text{verre}} = 327,2 \times 1,33 / 1,5 = 290,1 \text{ nm}$$

Oui, cette lumière est visible à l'œil nu elle est de couleur bleue. La couleur ne change pas avec le milieu homogène d'indice de réfraction n , ce qui change en revanche c'est la célérité v de la lumière ainsi que sa longueur d'onde λ .

Exercice 1 : Aspect ondulatoire de la lumière

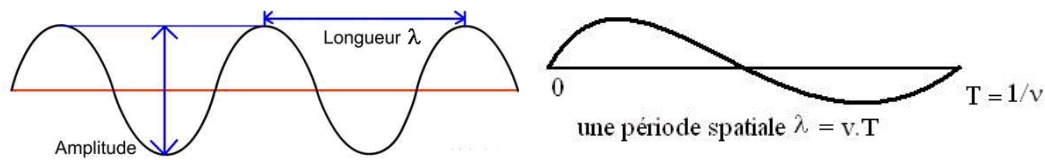
Une radiation émise par une lampe à vapeur de lithium a une période de $1,533 \cdot 10^{-15} \text{ s}$.

1. Quelle est la fréquence ν d'une telle radiation ?
2. Quelle est sa longueur d'onde λ_0 dans le vide ? On donne $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m. s}^{-1}$
3. Cette radiation est-elle visible à l'œil nu ? Si oui, indiquer sa couleur.
4. Cette radiation se propage dans du verre crown BK7 d'indice $n = 1.5524$.
 - a- déterminer la longueur d'onde λ de cette radiation relative à ce verre crown BK7
 - b- la fréquence ν de cette radiation change-t-elle ? Sa couleur change-t-elle ?

Corrigé :

1. Il est à rappeler que la période temporelle T et la fréquence ν , notée parfois par la lettre f , d'une radiation lumineuse sont liées par l'équation suivante : $T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{f}$; Donc, pour une période temporelle $T = 1,533 \cdot 10^{-15} \text{ s}$, nous aurons une fréquence ν exprimée en hertz comme suit :

$$f = \nu = \frac{1}{T} \text{ Application numérique } \boxed{\nu = 6,523 \cdot 10^{14} \text{ Hz}}$$



2. Nous savons aussi que la période spatiale λ est liée à la période temporelle par l'expression suivante : $\lambda = v.T$, avec v est la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu matériel considéré. Il est à noter que la lumière se propage dans le vide à la vitesse $c = 2.998.10^8 \text{ m.s}^{-1} \approx 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Par suite la période spatiale, ou longueur d'onde λ_0 dans le vide de la lumière considérée est comme suit : $\lambda_0 = c.T = \frac{c}{f} = \frac{c}{\nu}$. Application numérique $\lambda_0 = 459,6 \text{ nm} = 0,4596 \mu\text{m}$.

3. Oui, cette radiation est visible à l'œil nu car sa longueur d'onde, ou période spatiale est bien comprise dans l'intervalle des longueurs d'ondes $[0,4 \mu\text{m}, 0,8 \mu\text{m}]$ du spectre électromagnétique. Cet intervalle de fréquences correspond bien à la partie visible à l'œil humain de l'ensemble de ce spectre électromagnétique (voir le schéma ci-dessous).

La couleur de cette radiation déterminée dans la question n°2 **est bleue**.

4-a- Cette radiation se propage maintenant dans un milieu matériel composé du verre crown BK7 d'indice $n = 1.5524$, alors sa période spatiale λ aura la nouvelle valeur:

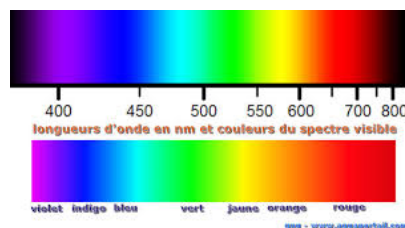
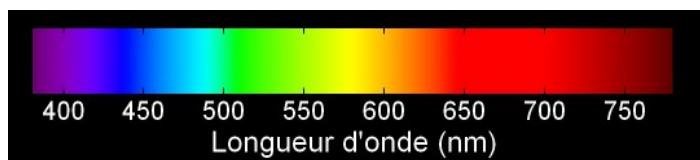
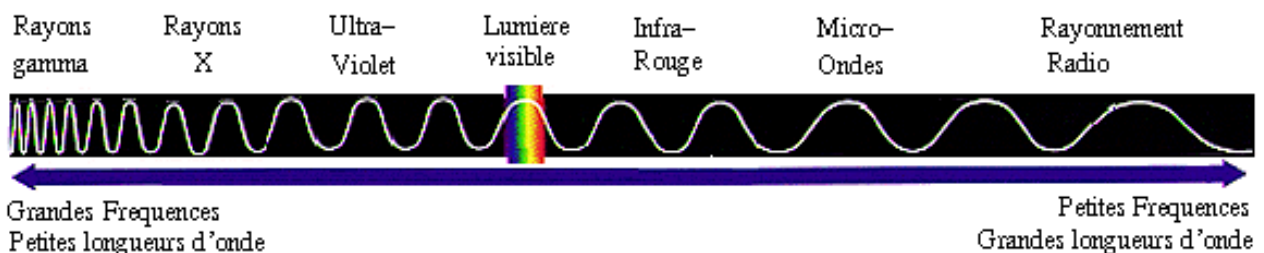
$$\lambda = v.T = \frac{v}{f} = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{n.f} = \frac{c}{n.\nu} = \frac{\lambda_0}{n}. \text{ Application numérique } \lambda = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{459,6 \text{ nm}}{1,5524} = 296,1 \text{ nm}.$$

C'est la longueur d'onde λ de la radiation de teinte bleu dans le milieu matériel (verre crown BK7) d'indice de réfraction $n = 1,5524$.

b- Non la fréquence **ν est une caractéristique de la radiation**, elle est **indépendante du milieu matériel dans lequel se propage cette radiation**. Sa couleur ne change donc pas parce que sa fréquence ν ne change pas. C'est la période spatiale, la longueur d'onde λ , qui change, en se propageant dans un autre milieu matériel d'indice $n > 1$.

A titre de rappel les longueurs d'ondes que les ouvrages publient dans les tableaux sont des valeurs déterminées pour une propagation de la lumière soit dans l'air ou dans le vide, d'indice de réfraction $n = 1$ et où la vitesse de propagation de la lumière est $c = 2.998.10^8 \text{ m.s}^{-1} \approx 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

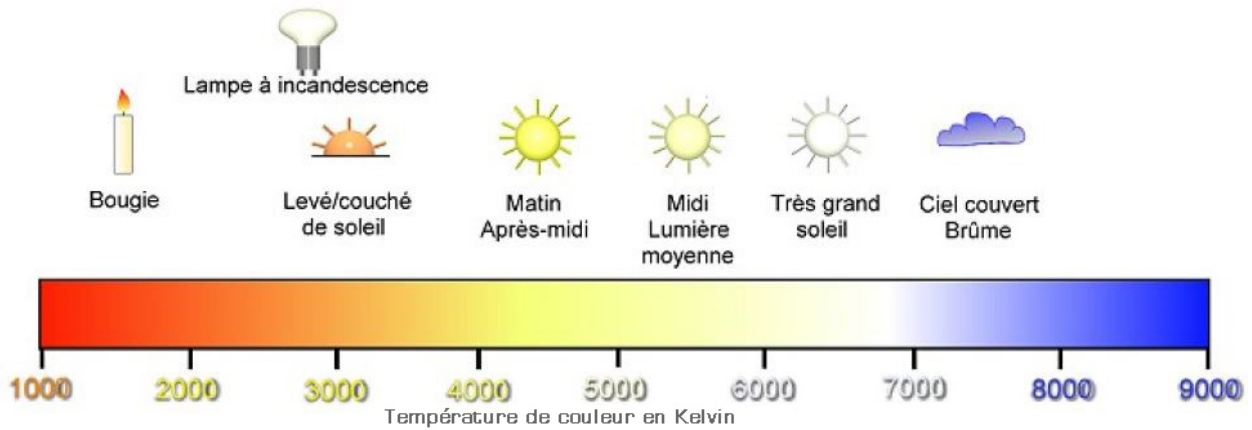
Le spectre électromagnétique



Exercice 2 : Le profil spectral et la température d'un corps.

Plus le corps est chaud, plus son profil spectral d'émission est décalé vers les radiations ultraviolettes. Tous les corps émettent un rayonnement électromagnétique qui dépend de leur température : leur spectre est continu. Déterminer la longueur d'onde maximale du profil spectral ainsi que la couleur d'émission des corps suivants :

- a) Une bougie à une température de 1500K ;
- b) Le Soleil au levé et au couché de température de 3400K
- c) Le Soleil matin et après midi de température de 4500K
- d) Le ciel couvert Brumé de température 7200K



Corrigé :

Il est à rappeler que tout corps émet un rayonnement électromagnétique qui dépend de sa température : son spectre est continu. La longueur d'onde maximale $\lambda_{\max}$ de son profil spectral ainsi que sa couleur d'émission s'exprime selon la loi de Wien :

$$\lambda_{\max} \text{ (m)}. T \text{ (K)} = 2,898.10^{-3} \text{ (m.K)}$$

D'où la longueur d'onde maximale $\lambda_{\max}$ de son profil spectral s'exprime comme suit :

$$\lambda_{\max} \text{ (m)} = 2,898.10^{-3} \text{ (m.K)} / T \text{ (K)}$$

Corps\	Température T(K)	Longueur d'onde max (m)	Couleur d'émission
Bougie	1500	$1932.10^{-9}=1932\text{nm}$	Infrarouge (chaleur)
Soleil (levé couché)	3400	$852,4.10^{-9}=852,4 \text{ nm}$	Rouge
Soleil (après-midi)	4500	$644.10^{-9}=644\text{nm}$	Orange/Jaune
Nuages	7200	$402,5.10^{-9}=402,5\text{nm}$	Bleu