Université Mustapha Stambouli-Mascara-
Faculté des sciences exactes
Département de Physique
Année universitaire : 2018-2019
Date : 22-01-2019
Durée : 1h45 min

1ere Année Master Physique énergétique et énergies renouvelables

Epreuve de l'unité : Transfert radiatif

Questions de cours (3pts) :

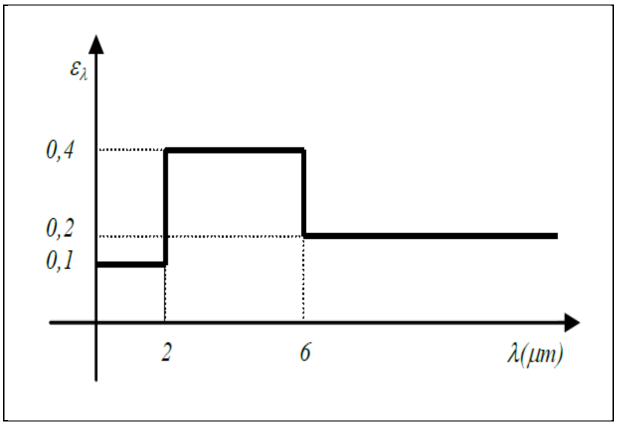
1-Rappeler les lois de rayonnement du corps noir.
2-Définir le facteur de forme géométrique entre deux surfaces.
3- Exprimer la relation du flux radiatif net échangé entre deux corps noirs.

Exercice 1 (3pts):

Une surface de **2 cm^2** rayonne comme un corps noir à la température de **1500°C.**
Calculer :
1- La puissance totale rayonnée dans l'espace.
2- Sa luminance énergétique.
3- La longueur d'onde pour laquelle le rayonnement est maximal.

Exercice 2 (7pts) :

On donne la courbe de variation de l'émissivité monochromatique **ε_λ (λ,T*)*** en fonction de la longueur d'onde **λ**. Calculer l'émissivité totale **ε(T)** *à* **T=2000°K**.



Exercice 3 (7pts) :

Une sphère de diamètre **d=10 cm** a une distribution de température uniforme **T_s=1000°C ,** et est plongée dans l'air ambiant à la température **T_a=20°C**. La sphère et l'air sont considérés comme des corps noirs.
1- Calculer le flux net échangé par la sphère.
2-Calculer la longueur d'onde et l'émittance qui correspondent à l'émission maximale.
3- Calculer la fraction d'émittance contenue dans le visible. Est ce que le rayonnement de la sphère sera perceptible à l'œil?

La constante de ***Stefan-Boltzmann*** est : **σ=5,67 x10^{-8} W/m^2.K^4**

B = 1,287.10^{-11} W/(m^2. µm.K^5)

Bon courage

Responsable du module
N.BERRAHOU

Université Mustapha Stambouli-Mascara-
Faculté des sciences exactes
Département de Physique
Année universitaire : 2018-2019

1ere Année Master : Physique énergétique et énergies renouvelables

Corrigé de l'examen : Transfert radiatif

Questions de cours (3pts) :

1- Les lois de rayonnement du corps noir

Loi de Planck : L'emittance monochromatique du corps noir dépend seulement de la longueur d'onde (λ) et de la température (T)

$$M_\lambda^0 = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{exp\left(\frac{C_2}{\lambda . T}\right) - 1} \qquad \textbf{(0.25)}$$

$C_1 = 2 \pi h C_o^2$ et **$C_2 = hC_o/k$** avec **C_o** : vitesse de propagation de la lumière dans le vide.
h : la constante de PLANCK. **K** : la constante de BOLTZMANN.

Loi de Wien

1ere loi de Wien : permet d'exprimer ou d'évaluer les longueurs d'ondes correspondantes à l'émittance monochromatique maximale en fonction de la température

$$\lambda_{max} = \frac{2898}{T} \qquad \textbf{(0.25)}$$

2eme loi de Wien : Cette loi exprime la valeur de l'émittance monochromatique maximale

$$M_{\lambda,max}^0 = B.T^5 \qquad \textbf{(0.25)}$$

Avec **$B = 1{,}287 \times 10^{-11}$ W/ (m^2. µm.K^5)**

Loi de Lambert : l'émittance est proportionnelle à la luminance

$$M^0 = \pi L^0 \qquad \textbf{(0.25)}$$

Loi de Stefan-Boltzmann : Elle donne l'émittance totale du corps noir, avec la sommation de toutes les émittances monochromatiques pour toutes les longueurs d'ondes

$$M^0 = \int_0^\infty M_{\lambda,}^0 \, d\lambda = \sigma . T^4 \qquad \textbf{(0.25)}$$

Loi de Kirchhoff : L'émittance monochromatique de tout corps est égale au produit de son pouvoir absorbant monochromatique ($\alpha_{\lambda T}$) par l'émittance monochromatique du corps noir à la même température

$$M_\lambda = \alpha_{\lambda T} . M_{\lambda T}^0 \qquad \textbf{(0.25)}$$

2- Le facteur de forme géométrique entre deux surfaces

Le facteur de forme F_{ij} de S_i vers S_j est un nombre sans dimension représentant la fraction du rayonnement émis par la surface dans toutes les directions interceptées par la surface.

$$F_{ij} = \frac{\Phi_{ij}}{\Phi_i} \qquad \textbf{(01)}$$

3- Le flux net échangé entre deux corps noirs

Le flux net échangé entre deux corps 1 et 2 de surface respective S_1 et S_2 et de température respective T_1 et T_2 est : $\Phi_{12} = S_1\ F_{12}\ \sigma_s\left(T_1^4 - T_2^4\right)$ **(0.5)**

F_{12} représente le facteur de forme (F_{12}=1 dans le cas de deux corps noirs)

Exercice1 (3pts) :

1- La puissance totale rayonnée dans l'espace :

$\mathrm{P} = \phi = \mathrm{M}^0.\mathrm{S} = \sigma.\mathrm{T}^4.\mathrm{S}$ **AN:** $\mathrm{P} = 5.67 \times 10^{-8} \times (1773)^4 \times 2.10^{-4} = \mathbf{112.06\ (W)}$ **(01)**

2- La luminance :

$\mathrm{M}^0 = \pi.\mathrm{L}^0 \Longrightarrow \mathrm{L}^0 = \frac{\sigma.\mathrm{T}^4}{\pi}$ **AN:** $\mathrm{L}^0 = \frac{5.67\times10^{-8}\times(1773)^4}{3.14} = \mathbf{1.78\,.10^5\ (W.m^{-2}sr^{-1})}$ **(01)**

3- La longueur d'onde (λ_{max}) :

$\lambda_{max} = \frac{2898}{\mathrm{T}}$ **AN:** $\lambda_{max} = \frac{2898}{1773} = \mathbf{1.634\ (\mu m)}$ **(01)**

Exercice 2 (7pts) :

1-L' émittance totale rayonnée par un corps réel de température T et d'émissivité $\varepsilon(\mathrm{T})$:

$\mathbf{M(T) = \varepsilon(T).M^0(T) = \varepsilon(T).\sigma.T^4}$ **D'où :** $\varepsilon(\mathrm{T}) = \frac{\mathbf{M(T)}}{\mathbf{M^0(T)}} = \frac{\mathbf{1}}{\sigma.\mathbf{T}^4}\int_0^\infty \mathbf{M}_\lambda^0\,.\,\varepsilon_\lambda\,.\mathbf{d}\lambda$ **(01)**

Avec :

$\lambda_1 = 2(\mu m)$ et $\lambda_2 = 6(\mu m)$; **T=2000K**

$$\varepsilon_\lambda = \begin{cases} \varepsilon_1 = 0.1 & \text{pour} \quad 0 \leq \lambda < \lambda_1 \\ \varepsilon_2 = 0.4 & \text{pour} \quad \lambda_1 < \lambda < \lambda_2 \\ \varepsilon_3 = 0.2 & \text{pour} \quad \lambda > \lambda_2 \end{cases} \qquad \textbf{(1.5)}$$

D'où :

$$\varepsilon(\mathrm{T}) = \varepsilon_1\left[\frac{1}{\sigma.\mathrm{T}^4}\int_0^{\lambda_1}\mathrm{M}_\lambda^0.\mathrm{d}\,\lambda\right] + \varepsilon_2\left[\frac{1}{\sigma.\mathrm{T}^4}\int_{\lambda_1}^{\lambda_2}\mathrm{M}_\lambda^0.\mathrm{d}\,\lambda\right] + \varepsilon_3\left[\frac{1}{\sigma.\mathrm{T}^4}\int_{\lambda_2}^{\infty}\mathrm{M}_\lambda^0.\mathrm{d}\,\lambda\right]$$

$$\varepsilon(\mathrm{T}) = \varepsilon_1\,\mathrm{F}_{0\to\lambda_1\mathrm{T}} + \varepsilon_2\,\mathrm{F}_{\lambda_1\mathrm{T}\to\lambda_2\mathrm{T}} + \varepsilon_3\left[\mathrm{F}_{0\to\infty} - \mathrm{F}_{0\to\lambda_2\mathrm{T}}\right] \qquad \textbf{(1.5)}$$

$$\varepsilon(\mathrm{T}) = \varepsilon_1\,\mathrm{F}_{0\to\lambda_1\mathrm{T}} + \varepsilon_2\left[\mathrm{F}_{0\to\lambda_2\mathrm{T}} - \mathrm{F}_{0\to\lambda_1\mathrm{T}}\right] + \varepsilon_3\left[\mathrm{F}_{0\to\infty} - \mathrm{F}_{0\to\lambda_2\mathrm{T}}\right]$$

$\lambda_1\mathrm{T} = 2\times2000 = 4000(\mu m.K)$ et $\lambda_2\mathrm{T} = 6\times2000 = 12000(\mu m.K)$ **(01)**

Alors les paramètres d'entrée de la table donnant $\mathrm{F}_{0\to\lambda\mathrm{T}}$:

$\mathrm{F}_{0\to\lambda_1\mathrm{T}} = 0.4809$; $\mathrm{F}_{0\to\lambda_2\mathrm{T}} = 0.9450$; $\mathrm{F}_{0\to\infty} = 1$ **(01)**

Donc : $\varepsilon(\mathrm{T}) = \mathbf{0.245}$ **(01)**

<u>Exercice 3 (7pts) :</u>

1-Le flux radiatif net échangé entre la sphère et l'air :

$$\Phi_{net,s\to a} = S_s . F_{sa}\, \sigma . (T_s^4 - T_a^4) \qquad \textbf{(01)}$$

<u>La sphère et l'air sont considérés comme des surfaces noires donc :</u> $\varepsilon_s = \varepsilon_a = 1$ et $F_{sa} = 1$ **(0.5)**

D'où : $\Phi_{net,s\to a} = \pi d^2\, \sigma . (T_s^4 - T_a^4)$ **AN :** $\Phi_{net,s\to a} = 4662.36\ (W)$ **(0.5)**

2- λ_{max} et $M^0{}_{max}$ sont données par les deux lois de Wien :

$\{\lambda_{max} = \frac{2898}{T_s} =$ **2.276**(μm) **(0.5)**

$\{M^0{}_{max} = B.T_s{}^5 = 1{,}287 \times 10^{-11} \times (1273)^5 = \mathbf{43025}(W/\mu m.m^2)$ **(0.5)**

3- Fraction de l'émittance contenue dans le visible

$[0.4,\ 0.8]\mu m$ **(0.5)**

$$\begin{cases} \lambda_1 T_s = 0.4 \times 1273 = 509.2\ (\mu m . K) & \Rightarrow F_{0\to\lambda_1 T_s} = 0.000 \\ \lambda_2\, T_s = 0.8 \times 1273 = 1018\ (\mu m . K) & \Rightarrow F_{0\to\lambda_2 T_s} = 0.0004 \end{cases} \qquad \textbf{(02)}$$

Donc :

$$F_{\lambda_1 T_s \to \lambda_2 T_s} = F_{0\to\lambda_2 T_s} - F_{0\to\lambda_1 T_s} = 0.0004 \qquad \textbf{(01)}$$

-Environ 0.04% de l'énergie émise par la sphère est rayonnée dans le domaine visible. Ce rayonnement est donc faiblement perceptible à l' œil **(0.5)**