Programme de colles Physique PC* - Semaine 4

Une colle comportera :
- une question de cours à traiter en moins de 15 minutes,
- un exercice.

Une question de cours non sue entrainera une note inférieure à la moyenne.

Les démonstrations à savoir (questions de cours - non exhaustives - typiques pouvant être posées par l'examinateur) sont marquées en rouge et introduites par le symbole ☞.

Capacités numériques 1 et 2

Traitement des incertitudes

Toutes les capacités numériques sur les incertitudes ont été vues (évaluations de type A et B, calculs des reports d'incertitudes par les formules et par simulation de Monte-Carlo, régression linéaire avec simulation Monte-Carlo).

Thermodynamique 4

Diffusion thermique

1 Puissance thermique traversant une surface

1.1 Puissance thermique

1.2 Vecteur densité de flux thermique

1.3 Loi de Fourier

2 Bilan d'énergie interne

2.1 Équation locale de conservation de l'énergie interne à 1D

☞ À savoir démontrer et connaître la relation.

2.2 Équation locale de conservation de l'énergie interne pour une diffusion radiale en géométrie cylindrique

☞ À savoir démontrer.

2.3 Équation locale de conservation de l'énergie interne pour une diffusion radiale en géométrie sphérique

☞ À savoir démontrer.

2.4 Équation locale de conservation de l'énergie interne dans le cas général

☞ Expression à connaître. La démonstration a été vue, son apprentissage est vivement recommandé mais non exigible.

2.5 Cas du régime stationnaire en l'absence de sources internes

☞ Notion de résistance thermique en géom 1D, cylindrique et sphérique. Expressions à savoir retrouver par les deux méthodes (connaissance préalable de T(r) ou conservation du flux).
Association de résistances.

3 Équation locale de diffusion

3.1 Cas unidimensionnel

☞ Connaître l'expression de l'équation de diffusion, sa démonstration en 1D et la généralisation de l'équation à 3D

3.2 Cas d'une diffusion radiale en géométrie cylindrique

☞ Démonstration à connaître

3.3 Cas d'une diffusion radiale en géométrie sphérique

☞ Démonstration à connaître

3.4 Conditions aux limites

3.5 Exemples de résolution en régime stationnaire

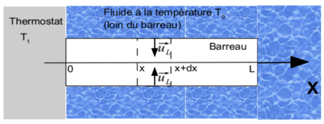
☞ Cas 1D, géométrie cylindrique, géométrie sphérique

3.6 Cas d'un échange thermique à travers les parois latérales

Exercice :

On considère un barreau cylindrique de rayon r de conductivité thermique λ, de masse volumique μ et de capacité thermique c constantes et uniformes. On suppose le barreau L très long. On place le barreau en contact thermique avec un thermostat T_1 en $x = 0$. Le reste du barreau est plongé dans un fluide dont la température est T_0 loin du barreau. Le fluide est le siège d'une convection thermique engendrant un transfert thermique latéral caractérisé par une puissance par unité de surface $dP_{th,L}$.
On admettra que cette puissance est donnée par la loi de Newton : $dP_{th,L} = h(T(x,t) - T_0)dS$ où h est une constante appelée coefficient de transfert thermique et dS l'élément de surface latérale que la puissance traverse.

Remarque : la loi de Newton n'est pas à savoir mais de nombreux énoncés de concours l'utilisent (après avoir donné son expression). Aussi est-il nécessaire de s'être habitué à la manipuler.



1. En effectuant un bilan énergétique entre t et $t+dt$ pour le volume de barreau compris entre x et $x+dx$, déterminer l'équation différentielle vérifiée par $T(x,t)$.
2. En régime stationnaire, déterminer $T(x)$. Peut-on définir une résistance thermique pour le barreau ?
3. Déterminer la puissance totale évacuée latéralement par le barreau.

3.7 Cas de sources internes

Exercice :

Préliminaire :
On considère un barreau de section S et d'axe de révolution Ox. Le barreau est le siège d'une réaction (chimique ou nucléaire) produisant une puissance thermique de densité volumique notée $\sigma(M,t)$.
En effectuant un bilan énergétique entre t et $t+dt$ pour le volume de barreau compris entre x et $x+dx$, déterminer l'équation différentielle vérifiée par $T(x,t)$. Montrer que celle-ci peut se mettre sous la forme : $-\lambda\Delta T + \mu c\frac{\partial T}{\partial t} = \sigma$. On admettra la généralisation de cette forme à toute géométrie.

Un fil électrique d'axe z, de longueur L et de rayon $a \ll L$, de résistance électrique R, est parcouru par un courant électrique uniforme d'intensité I. Le régime est stationnaire. On peut considérer que la température ne dépend que de r. La conductivité thermique du fil est notée λ.

1. Déterminer la puissance thermique σ appor-

tée par unité de volume par effet Joule.

2. Déduire de l'équation de diffusion que :

$$T(r) = \frac{-RI^2}{4\lambda\pi a^2 L} r^2 + \alpha \ln(r) + \beta$$

Quelle est la valeur de α ? Quel est le point de température la plus élevée ?

3. La température de l'atmosphère est T_0. La température de fusion du métal constituant le fusible est notée T_F. Le fusible doit fondre pour un courant d'intensité I_M. Déterminer la valeur de la résistance minimale R_m qui permet cela.
4. Application numérique : pour l'alliage à base d'étain et de plomb constituant le fusible, $L = 1\,\mathrm{cm}, \lambda = 67\,\mathrm{W/m/K}, T_0 = 20\,°\mathrm{C}$ et $T_F = 200\,°\mathrm{C}$. Déterminer R_m pour un fusible fondant au-delà de 5,0 A.
5. Comment raffiner ce modèle ?

3.8 Approximation des Régimes Quasi-Stationnaires

Exercice

Un biberon en verre rempli de lait a une paroi délimitée par deux cylindres coaxiaux de rayons respectifs $R_1 < R_2$ et de hauteur L. On note λ_V la conductivité thermique du verre et C la capacité thermique du volume de lait dans le biberon. La température de l'air autour du biberon est notée T_e. On la supposera constante dans tout l'exercice. Les échanges thermiques avec l'air au niveau de la surface du verre suivent la loi de Newton : la puissance thermique échangée en surface du biberon par unité de surface est $P_{th} = h(T(R_2,t) - T_e)$ où h est le coefficient de transfert thermique. On néglige les échanges thermiques sur les faces supérieure et inférieure du biberon.

1. On se place dans le cas où la température du lait est constante égale à $T_1 (T_1 > T_e)$. Déterminer $T(r)$ la température du verre pour ce régime stationnaire.
2. Le biberon est maintenant placé dans un micro-onde qui apporte au volume de lait une puissance totale P (le micro-onde ne chauffe que le lait, la paroi en verre n'est pas affectée par P). La température $T_1(t)$ du lait varie donc en fonction du temps mais suffisamment lentement pour que les résultats de la question précédente soient toujours valables en remplaçant T_1 par $T_1(t)$ (régime quasi-stationnaire). Déterminer l'équation différentielle vérifiée par $T_1(t)$ et la résoudre sachant qu'initialement $T_1(0) = T_e$.
3. Quelle est la durée caractéristique du chauffage ? Quelle est la température finale ?

Thermodynamique 5

Rayonnement thermique

Corps noir, loi de déplacement de Wien, loi de Stefan-Boltzmann, utilisation des lois précédentes pour étudier l'importance de l'effet de serre sur la température de la Terre. Cette partie ne peut pas faire l'objet de questions de cours et toutes les lois doivent être redonnées si elles sont utilisées. Un exercice sur l'effet de serre utilisant les bilans radiatifs est au programme.

Ondes 1

Ondes dans des milieux non dispersifs

1 Oscillateurs

Ce paragraphe a été traité dans le cadre de deux masses reliées chacune à un bâti par un ressort et couplées entre elles par un 3e ressort.

1.1 Rappels

1.2 Oscillateurs couplés

Modes propres d'oscillateurs couplés, propriétés des modes (modes symétrique et antisymétrique), cas particulier des oscillateurs identiques (le couplage écarte les pulsations propres), généralisation qualitative à N oscillateurs couplés, oscillateurs identiques et couplage faible (phénomène de battements), résonances d'un système de deux oscillateurs couplés

2 Onde longitudinale dans un solide élastique

☞ Loi de Hooke - Module d'Young

☞ Modèle microscopique de solide élastique unidimensionnel à l'aide de la chaîne d'atomes élastiquement liés à guider : force subie par un atome, passage à la limite continue, allongement relatif d'une chaîne d'atomes, interprétation microscopique de la loi de Hooke.

☞ Établissement de l'équation d'onde : celle-ci se fait à la limite continue à l'aide de la loi de Hooke.

3 Ondes transversales sur une corde vibrante infiniment souple

☞ Connaître les 5 hypothèses du modèle : corde sans raideur, élasticité négligée, corde homogène, poids négligé, mouvements infiniment petits

☞ Savoir démontrer l'équation de propagation pour une onde transversale sur une corde vibrante infiniment souple. Connaître par cœur l'équation de d'Alembert.

4 Câble coaxial

☞ Une fois la modélisation du câble coaxial redonnée par le colleur, savoir redémontrer l'équation de propagation

5 Équation de d'Alembert

Forme à connaître par cœur, aucune erreur ne sera tolérée.

6 Solution de l'équation de d'Alembert sous forme d'onde plane progressive

6.1 Interprétation physique de l'OPP

6.2 Retour sur la célérité des ondes

6.3 Onde plane progressive monochromatique (OPPM)

Rappels de première année, notation complexe, relation de dispersion

6.4 Problèmes énergétiques - Notion d'impédance

Partie traitée dans le cadre du câble coaxial.

7 Réflexion et transmission

Partie traitée dans le cadre du câble coaxial.

☞ Déterminer les coefficients de réflexion et de transmission en amplitude pour la tension et l'intensité, ainsi que les coefficients de réflexion et de transmission en puissance.

8 Solution de l'équation de d'Alembert sous forme d'onde stationnaire

8.1 Onde stationnaire solution de l'équation

☞ Forme d'une onde stationnaire. Injection d'une OS dans l'équation de d'Alembert et obtention de la forme sinusoïdale solution de l'équation.
☞ Position des ventres et des nœuds.

8.2 Équivalence entre OS et somme d'OPP

8.3 Corde fixée à ses deux extrémités

☞ Savoir retrouver les expressions des modes et des fréquences propres.
Notion de mode, fondamental et harmoniques. Applications aux instruments de musique à corde.

8.4 Expérience de Melde

☞ Savoir retrouver l'expression de la forme de l'onde quand elle est excitée sinusoïdalement à l'une de ses extrémités.

Pas de milieux dispersifs ou absorbants cette semaine.
Nous avons traité l'exercice de la chainette et étudié l'impédance d'une corde souple ainsi que les coefficients de réflexion et de transmission lors d'un raccord entre deux cordes différentes.