



DS 2 | Optique - Électrocinétique - Chimie

Physique-Chimie



Consignes

Rédiger sur copie, encadrer les résultats, faire figurer les unités à chaque étape. Toute réponse non justifiée est considérée comme nulle. Les annexes sont à rendre avec la copie.

Durée

4 h 00

Calculatrice autorisée

Non

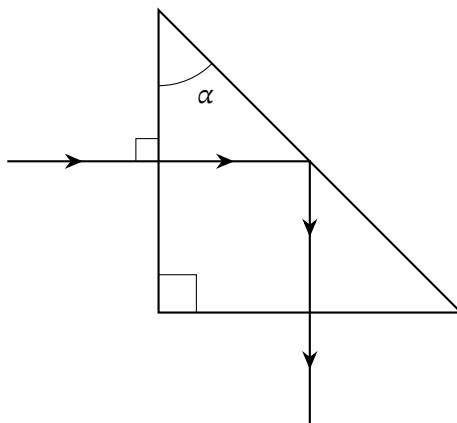


Exercice 1 : Prisme à réflexion

1.1 Condition de réflexion totale

On souhaite que le trajet des rayons lumineux dans un prisme, d'angle au sommet α , soit celui reproduit sur la figure ci-dessous. Le prisme, d'indice n , est placé dans l'air d'indice $n_a < n$.

Pour les calculs, nous prendrons $n_a = 1$.



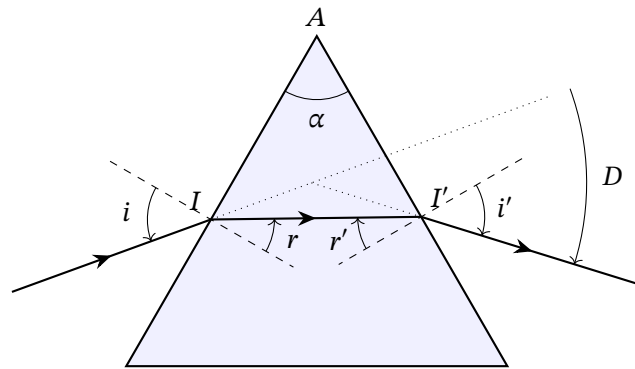
- 1 Expliquer pourquoi le rayon n'est pas dévié à l'entrée du prisme.
- 2 Montrer que l'angle d'incidence que fait le rayon sur l'hypoténuse vaut α .
- 3 Justifier qu'une réflexion totale est possible. En déduire l'angle limite d'incidence.
- 4 Déduire de la question précédente l'indice optique minimal du prisme $n_{\min}$ en fonction de α pour qu'il y ait réflexion totale.
- 5 Calculer $n_{\min}$ pour $\alpha = \pi/4$.
- 6 Un verre typique a un indice optique autour de $n_v = 1,5$. Commenter votre résultat.

1.2 Déviation et mesure de l'indice optique

Dans cette partie, nous avons de nouveau un angle au sommet $\alpha > 0$. Le rayon n'entre plus sous incidence normale. L'angle d'incidence est i . Le prisme est placé sur un plateau tournant qui nous permet de faire varier i dans l'intervalle $[0; \pi/2[$.

On note I le point d'incidence sur la face d'entrée et I' le point d'émergence sur la face de sortie, r et r' les angles que fait le rayon dans le prisme avec les normales en I et I' , et i' l'angle d'émergence. La déviation D est l'angle entre la direction du rayon incident et celle du rayon émergent.

Les angles sont pris positifs dans le sens trigonométrique. Ainsi $i > 0$, mais $D < 0$.



1.2.1 Formules du prisme

- 7 Écrire les lois de Snell-Descartes pour la réfraction en I et en I' .
- 8 En considérant le triangle $AI I'$, montrer que $r - r' = \alpha$.
- 9 Exprimer l'angle dont le rayon est dévié lors de la traversée de chacun des deux dioptries. En déduire que la déviation totale vaut $D = i' - i + \alpha$.

1.2.2 Condition d'émergence

- 10 À quelle condition sur r' le rayon ressort-il par la face de sortie? (Attention au signe de r'). En déduire qu'il faut $i \geq i_0$ avec $\sin i_0 = n \sin(\alpha - i_{\text{lim}})$, où $i_{\text{lim}} = \arcsin\left(\frac{1}{n}\right)$ est l'angle limite défini dans la partie précédente.
- 11 Faire l'application numérique pour $n = 1,50$ et $\alpha = 60^\circ$.

1.2.3 Minimum de déviation

En faisant tourner le plateau, on observe que la valeur absolue $|D|$ de la déviation passe par un minimum, obtenu pour une incidence i_m . On note $D_m < 0$ la déviation correspondante (minimum de déviation) et on admet que ce minimum est unique.

- 12 En utilisant le principe du retour inverse de la lumière, justifier qu'au minimum de déviation $i' = -i$.
- 13 En déduire les valeurs de r et r' au minimum de déviation, puis montrer que :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha - D_m}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

- 14 Pour un prisme d'angle $\alpha = 60^\circ$, on mesure $D_m = -37,2^\circ$. Calculer l'indice n du prisme. Commenter.
- 15 Le verre est un milieu dispersif : son indice dépend de la longueur d'onde selon la loi de Cauchy $n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$, avec A et B des constantes positives. Qu'observe-t-on si l'on éclaire le prisme en lumière blanche? Quelle radiation est la plus déviée?





Exercice 2 : Effet de serre

Les gaz principalement responsables de l'effet de serre sont la vapeur d'eau H_2O , le dioxyde de carbone CO_2 , le méthane CH_4 et le protoxyde d'azote N_2O . On s'intéresse aux atomes qui les composent, puis aux molécules elles-mêmes.

2.1 Représentation des atomes

Le carbone naturel est constitué principalement de deux isotopes, le carbone 12 et le carbone 13.

- 16 Donner la représentation symbolique ${}_Z^AX$ de ces deux isotopes, ainsi que celles de l'azote 14 et de l'oxygène 16.
- 17 Donner la composition du noyau de chacun de ces atomes. Qu'est-ce qui distingue deux isotopes ?

2.2 Structure électronique

- 18 Établir la configuration électronique dans l'état fondamental des atomes H, C, N et O.
- 19 En déduire, pour chacun, le nombre d'électrons de valence ainsi que sa position (ligne, colonne) dans la classification périodique.
- 20 Donner les schémas de Lewis du dioxyde de carbone CO_2 et du méthane CH_4 .
- 21 En proposer un pour le protoxyde d'azote N_2O où l'atome central est un atome d'azote. Faire apparaître les éventuelles charges formelles.

2.3 Interaction avec le rayonnement

- 22 Représenter sur un diagramme les quatre premiers niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène.
- 23 Calculer la longueur d'onde du photon absorbé lors de la transition $n = 1 \rightarrow n = 2$. À quel domaine du spectre électromagnétique appartient-elle ?

La Terre, de température moyenne de surface $T_T \simeq 290 \text{ K}$, émet un rayonnement thermique principalement autour de la longueur d'onde λ_{max} donnée par la loi de Wien :

$$\lambda_{\text{max}} T_T = 2,90 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

C'est une partie de ce rayonnement qui est absorbée par les gaz à effet de serre.

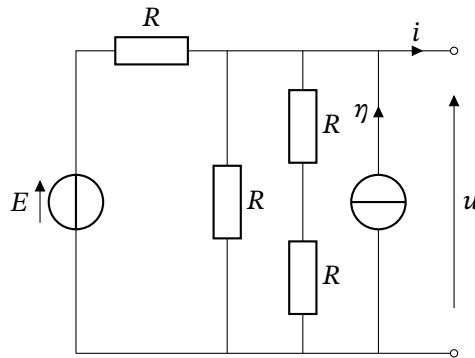
- 24 Calculer λ_{max} et l'énergie (en eV) d'un photon de cette longueur d'onde.
- 25 Comparer cette énergie à celle trouvée en Q23. L'absorption du rayonnement terrestre par les gaz à effet de serre peut-elle s'expliquer par des transitions électroniques ?



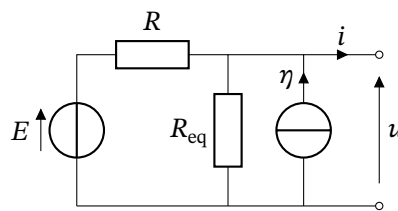


Exercice 3 : Caractéristique d'un circuits

Nous étudions le circuit ci-dessous, alimenté par une source idéale de tension E et une source idéale de courant η . On note u la tension entre les bornes de sortie et i le courant débité.



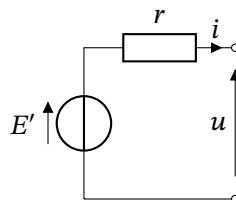
- 26 Montrer que le schéma ci-dessus est équivalent au schéma ci-dessous. Exprimer R_{eq} en fonction de R .



- 27 Montrer, en appliquant la loi des nœuds au nœud supérieur, que la relation entre i et u peut s'écrire :

$$E + \eta R = \frac{5}{2}u + Ri$$

- 28 Tracer la caractéristique $i = f(u)$. Préciser les points de fonctionnement à courant nul et tension nulle ainsi que la pente.
- 29 Le circuit est alors équivalent à un générateur de Thévenin de tension E' et résistance interne r :



Déterminer E' et r pour que les deux montages soient équivalents.

Exercice 4 : Chauffage d'une pièce

Nous cherchons à déterminer l'effet de l'allumage et de l'extinction d'un radiateur sur la température d'une pièce.



Nous notons $T(t)$ la température de la pièce, qui dépend du temps, et T_{ext} la température extérieure, qui sera supposée constante.

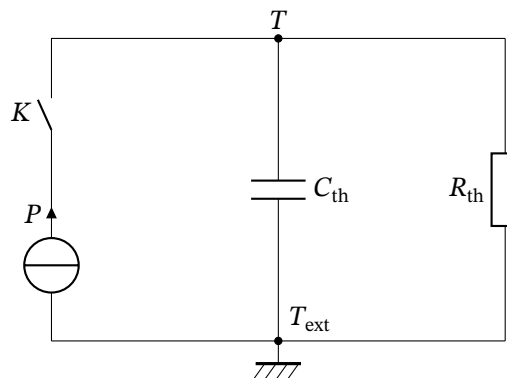
Les échanges thermiques entre l'intérieur de la pièce et l'extérieur peuvent se modéliser par une analogie électrique¹ :

- une résistance thermique R_{th} , qui modélise la résistance des murs à la conduction de la chaleur ;
- une capacité thermique C_{th} , qui modélise l'énergie qu'il faut fournir à la pièce pour élever sa température.

Dans cette analogie, les grandeurs thermiques et électriques se correspondent de la façon suivante :

Électrocinétique	Thermique
Potentiel V (V)	Température T (K)
Intensité i (A)	Puissance thermique P (W)
Résistance R (Ω)	Résistance thermique R_{th} ($\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)
Capacité C (F)	Capacité thermique C_{th} ($\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$)

Le radiateur, qui fournit une puissance P constante lorsqu'il est allumé, est modélisé par une source idéale de courant. Le chauffage peut ainsi se modéliser par le schéma électrique équivalent suivant, où la température T de la pièce est le potentiel du nœud repéré, la masse servant de référence est la température extérieure :



Données : $R_{\text{th}} = 1,0 \times 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$, $C_{\text{th}} = 3,6 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$, $P = 2,0 \text{ kW}$, $T_{\text{ext}} = 5^\circ\text{C}$.

Les lois de l'électrocinétique restent alors valables en adaptant les notations.

- 30 Donner les lois de comportement de l'électrocinétique avec les notations de la thermique pour une résistance et un condensateur.

Pour la suite, pour le condensateur, comme la température extérieure est constante, nous pourrions utiliser :

$$P = C_{\text{th}} \frac{dT}{dt}$$

4.1 Retour à l'équilibre

Dans une première partie, nous étudions le cas où le radiateur est éteint (K est ouvert). La température initiale de la pièce est $T_{\text{ini}} > T_{\text{ext}}$.

1. Nous établirons cette analogie dans un prochain cours de thermodynamique.



- 31 Représenter le circuit équivalent.
- 32 En déduire l'équation différentielle sur la température :

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T}{R_{th}C_{th}} = \frac{T_{ext}}{R_{th}C_{th}}$$

- 33 Sans calcul, donner la température finale dans la pièce et le temps qu'il faudra pour l'atteindre. Faire l'application numérique.
- 34 Esquisser le graphe de la température en fonction du temps. Vous ferez apparaître les caractéristiques remarquables de la courbe.

4.2 Chauffage

Nous étudions maintenant le cas où le chauffage est allumé (K est fermé). La température initiale de la pièce est toujours prise égale à T_{ini} .

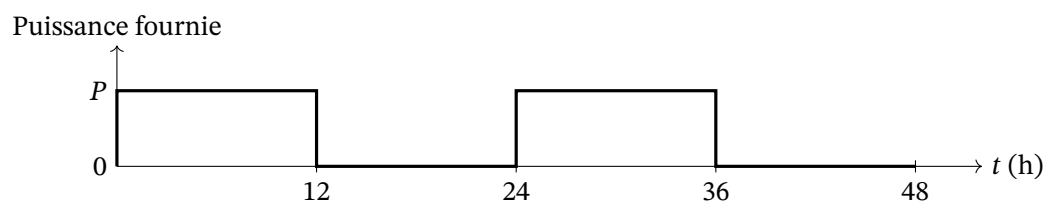
- 35 Représenter le schéma équivalent en régime permanent. En déduire la température finale maximale T_{max} atteinte en fonction de P , T_{ext} et R_{th} . Faire l'application numérique.
- 36 Sur quels paramètres peut-on jouer pour avoir une température plus élevée dans la pièce. Justifier que l'ordre de grandeur des radiateurs soit de 2 kW.
- 37 Déterminer l'équation différentielle sur la température T :

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T}{R_{th}C_{th}} = \frac{T_{ext}}{R_{th}C_{th}} + \frac{P}{C_{th}}$$

- 38 Résoudre cette équation différentielle et donner l'expression de $T(t)$.

4.3 Cycle de chauffage

Nous partons d'une situation où la température initiale est égale à la température extérieure. À l'instant initial, nous allumons le chauffage (K se ferme à $t = 0$). Puis, nous l'éteignons pour la nuit suivante. Le chauffage suit donc le cycle d'allumage et d'extinction suivant, de période 24 h :



- 39 Donner l'expression de $T(t)$ pour $0 \leq t \leq 12$ h.
- 40 Justifier que le régime permanent est atteint lorsque l'on éteint le chauffage. Quelle est alors la température de la pièce ?
- 41 Donner l'expression de $T(t)$ pour $12 \text{ h} \leq t \leq 24$ h. Quelle est la température de la pièce à $t = 24$ h ?



- 42 Tracer l'allure de $T(t)$ sur 48 h.
- 43 Calculer l'énergie électrique consommée par le radiateur en une journée (en kWh). Ce mode de chauffage vous semble-t-il satisfaisant ?
- 44 Je quitte mon domicile à 8 h en éteignant le chauffage ; la pièce est alors à 25°C . Si je rentre chez moi à 18 h, à quelle heure doit se déclencher le chauffage pour qu'il fasse 19°C quand je rentre ?

4.4 Thermostat

Pour ne plus avoir à allumer et éteindre le radiateur à la main, nous branchons dessus un thermostat.

Quand la température atteint $T_{\text{cons}} = 19^\circ\text{C}$, le chauffage s'arrête, et dès qu'elle passe en dessous d'une température $T_a = 18^\circ\text{C}$, il se rallume. Le régime de fonctionnement du thermostat est supposé établi : la température oscille entre T_a et T_{cons} .

- 45 À quelle condition sur T_{cons} ce thermostat peut-il fonctionner ? Est-elle vérifiée ?
- 46 Le radiateur s'éteint lorsque $T = T_{\text{cons}}$. Exprimer la durée t_{off} pendant laquelle il reste éteint, puis faire l'application numérique.
- 47 Exprimer de même la durée t_{on} pendant laquelle le radiateur reste allumé, puis faire l'application numérique.
- 48 Esquisser l'allure de $T(t)$ en régime établi sur quelques cycles.



Formulaire

Données numériques

- $\arcsin\left(\frac{1}{1,50}\right) \simeq 41,8^\circ$; $\sin(18,2^\circ) \simeq 0,312$; $\arcsin(0,468) \simeq 27,9^\circ$; $\sin(48,6^\circ) \simeq 0,750$
- $\sqrt{2} \simeq 1,414$; $\frac{6,63 \times 3,00}{10,2 \times 1,602} \simeq 1,22$; $\frac{1,99}{1,602} \simeq 1,24$
- $\ln\left(\frac{10}{3}\right) \simeq 1,20$; $\ln\left(\frac{7}{6}\right) \simeq 0,154$; $\ln\left(\frac{14}{13}\right) \simeq 0,074$; $e^{-5} \simeq 6,7 \times 10^{-3}$

Données physico-chimiques

- Numéros atomiques : H ($Z = 1$), C ($Z = 6$), N ($Z = 7$), O ($Z = 8$)
- Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Produit $hc \simeq 1,99 \times 10^{-25} \text{ J} \cdot \text{m}$
- Charge électrique élémentaire : $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène : $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$ (en eV)