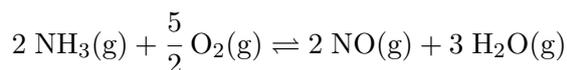


## DM n°10 : Électromagnétisme et chimie

À rendre pour le jeudi 7 décembre

### 1 Température de flamme

On considère la réaction d'oxydation, en phase gazeuse, de l'ammoniac en monoxyde d'azote



Les capacités calorifiques molaires standard sont prises égales à :

- ★  $C_{p,m}^0 = 28,4 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  pour les gaz parfaits diatomiques ;
- ★  $C_{p,m}^0 = 36,7 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  pour  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ .

On donne de plus :  $\Delta_r H^0 (298 \text{ K}) = -452,19 \text{ kJ.mol}^{-1}$



1. Commenter le signe de l'enthalpie standard de cette réaction à 298 K.
2. Cette réaction se déroule dans une enceinte adiabatique, sous une pression constante de 5 bar. Le mélange initial stœchiométrique est introduit à 298 K. Calculer la température atteinte en fin de réaction :
  - (a) en supposant la réaction comme totale.
  - (b) en supposant que le taux d'avancement final de la réaction n'est que de 90%.
3. Peut-on en déduire la couleur de la flamme ?

### 2 Résolution numérique de l'équation de Poisson

On se propose ici de résoudre l'équation de Poisson de manière similaire à l'équation de Laplace, c'est à dire numériquement, par itération. On se reportera au Jupyter Notebook dont la référence est **9549-1062233** dans Capytale.

### 3 Lévitiation d'un aimant au dessus d'un supraconducteur (facultatif)

#### I - Champ magnétique dans un supraconducteur

Certains métaux ou alliages, à température suffisamment basse, deviennent supraconducteurs. C'est le cas par exemple du plomb. Nous admettrons qu'un tel corps est un conducteur parfait (sa résistivité est nulle donc,  $\vec{E}_{int} = \vec{0}$ , d'où  $\rho = 0$ ).

1. Calculer, dans le cas du plomb, la quantité  $\delta = \left( \frac{m}{2nq^2\mu_0} \right)^{1/2}$ .

Ici  $q$  et  $m$  sont respectivement la charge et la masse de l'électron ( $q = 1,6 \times 10^{-19} C$ ,  $m = 9.11 \times 10^{-31} kg$ ),  $n$  est le nombre d'électrons par unité de volume ( $n = 3 \times 10^{28} m^{-3}$  pour le plomb). On rappelle de plus que  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} S.I.$ .

Quelle est la dimension de  $\delta$  en fonction des unités fondamentales de longueur, temps et masse? Dans une expérience de laboratoire, peut-elle être considérée comme très petite ou très grande?

2. On s'intéresse aux phénomènes stationnaires dans un supraconducteur pour lesquels on admettra que le champ magnétique  $\vec{B}$  vérifie l'équation suivante :

$$\vec{\Delta} \vec{B} - \frac{\vec{B}}{\delta^2} = \vec{0}$$

L'espace étant rapporté à un repère orthonormé direct  $Oxyz$ , on suppose qu'un supraconducteur occupe la région  $x > 0$ . On suppose de plus que  $\vec{B}_{ext}(x = 0^-) = B_0 \vec{e}_z$ . La question étant traitée à l'échelle *microscopique*, on suppose que le champ est continu à la frontière.

Établir l'expression de  $\vec{B}(M)$  en tout point  $M$  du supraconducteur, puis tracer la courbe correspondante.

3. En déduire la densité de courant à l'intérieur du supraconducteur en régime stationnaire. Tracer  $B(x)$ .
4. En déduire que le champ magnétique est quasiment nul dans tout l'intérieur du supraconducteur. Cette propriété est appelée "effet Meissner".
5. Calculer la force magnétique élémentaire<sup>1</sup>  $d\vec{F}$  qu'exerce le champ magnétique sur le supraconducteur. En déduire la force qui s'exerce par unité de surface de l'ensemble du supraconducteur. Quelle est sa direction? Quelle est la pression équivalente? Pourquoi peut-on alors faire léviter un supraconducteur au-dessus d'un aimant?

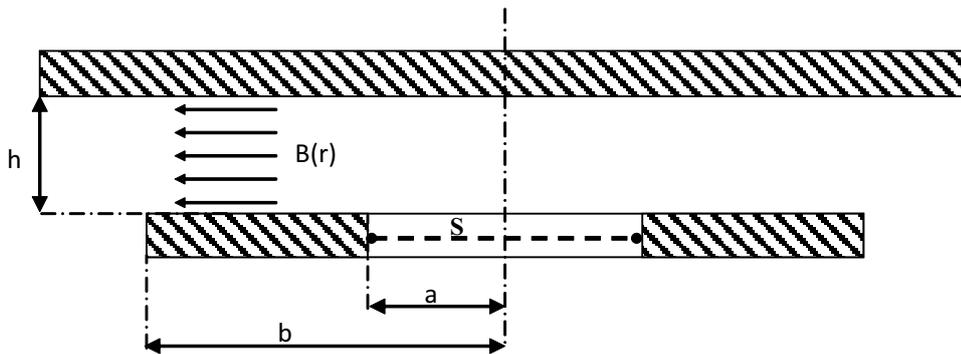
---

1. On pensera à utiliser la force de Laplace élémentaire s'exerçant sur un élément de courant volumique.

## II - Lévitacion

1. On considère un supraconducteur parcouru par un courant, en forme d'anneau plat (vu en coupe dans la partie basse de la figure ci-dessous) et on appelle  $S = \pi a^2$  le disque médian s'appuyant sur le bord interne de l'anneau.

Montrer que le flux de  $\vec{B}$  généré par le supraconducteur à travers la surface  $S$  est une constante indépendante du temps et donc du mouvement des dispositifs physiques extérieurs à l'anneau, quels qu'ils soient. On appellera  $\Phi$  cette constante sans chercher à la calculer explicitement.



 Matériau supraconducteur

2. Au-dessus de l'anneau supposé horizontal est placé un autre supraconducteur dont la surface plane et horizontale est située à la distance  $h$  de l'anneau. On fait l'hypothèse simplificatrice suivante : dans la zone située entre les deux supraconducteurs, à une distance  $r$  de l'axe de l'anneau comprise entre le rayon interne  $a$  et le rayon externe  $b$ , le champ  $\vec{B}$  est radial et son intensité ne dépend que de  $r$ .

(a) Calculer  $B(r)$  en fonction de  $\Phi$ ,  $h$  et  $r$ .

(b) Calculer la force magnétique exercée sur le supraconducteur qui surplombe l'anneau (on ne tiendra compte que de la force exercée à l'aplomb de l'anneau, c'est à dire dans la zone située à une distance de l'axe comprise entre  $a$  et  $b$ ).

On s'aidera d'un schéma des lignes de champ magnétique pour justifier la validité de l'approximation faite ici.

3. On prend  $\Phi = 2,8 \times 10^{-5} \text{ Weber}$ ,  $\frac{b}{a} = e^2$  ( $e$  étant la base des logarithmes népériens) et une masse de supraconducteur  $m = 0,1 \text{ kg}$ . Calculer la valeur d'équilibre  $h_0$  de  $h$ , en supposant le supraconducteur supérieur en lévitation (c'est à dire qu'aucune autre force que la pesanteur et la pression du champ ne s'exerce sur lui).
4. Si l'on perturbe faiblement cet équilibre, on observe que la distance  $h$  varie périodiquement dans le temps. Expliquer cet effet. Calculer la fréquence des oscillations.
5. L'expérience dont la photo est présentée ci-dessus correspond-elle aux calculs effectués ici ? On expliquera en particulier à quel type de matériau correspond chaque pastille circulaire et on précisera la nature du liquide en ébullition sous la pastille inférieure.