Devoir Surveillé 5 – Physique-Chimie

D.Malka – MPSI 2016-2017 – Lycée Saint-Exupéry

14.01.2017

Durée de l'épreuve : 2h30

L'usage de la calculatrice est autorisé.

L'énoncé de ce devoir comporte 4 pages.

— *Si, au cours de l'épreuve, vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, signalez le sur votre copie et poursuivez votre composition en expliquant les raisons des initiatives que vous êtes amené à prendre.*
— *Il ne faudra pas hésiter à formuler des commentaires. Le barème tiendra compte de ces initiatives ainsi que des qualités de rédaction de la copie.*
— *La numérotation des exercices doit être respectée. Les résultats doivent être systématiquement encadrés.*
— *Les pages doivent être numérotées de la façon suivante : n°page courante/nombre total de pages.*

Problème 1 – Structures cristallographiques du fer et de l'acier

Données :
— Masse molaire du fer : $M_{Fe} = 55,8\,g.mol^{-1}$
— Masse molaire du carbone : $M_C = 12,0\,g.mol^{-1}$
— Nombre d'Avagadro : $\mathcal{N}_A = 6,02.10^{23}$

1. **Le fer γ.** A haute température le fer cristallise suivant le réseau cubique faces centrées (fer γ).

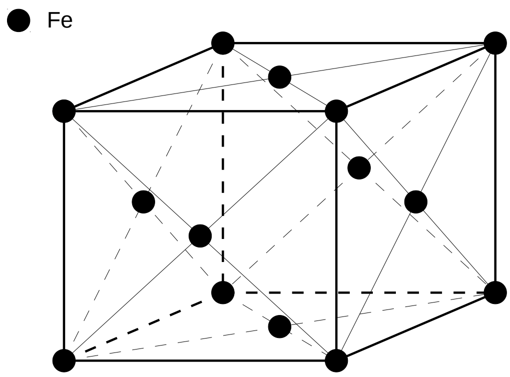

Figure 1 – Maille conventionnelle de fer γ

1.1 Combien y-a-t-il d'atomes de fer par maille ?

1.2 Dans le cadre du modèle des sphères dures, calculer la compacité de la structure.

1.3 Le rayon atomique du fer γ vaut $R_\gamma = 129\,pm$. Calculer le paramètre de maille a_γ.

1.4 Evaluer la masse volumique du fer γ.

2. **L'austénite**
L'austénite est un acier riche en carbone. Le carbone est soluble dans le fer en phase liquide mais beaucoup moins en phase solide. Les atomes de carbone doivent alors s'insérer dans les sites octaédriques du cristal de fer. La rayon atomique du carbone vaut $R_C = 77\,pm$.

2.1 Localiser et dénombrer les sites octaédriques dans la maille de fer γ.

2.2 Un atome de carbone peut-il se loger dans un site octaédrique sans expansion de la maille ?

2.3 Calculer le paramètre de maille a' de l'austénite.

2.4 Sachant qu'il y a $1,33\%$ de carbone en masse dans l'austénite, déterminer le nombre d'atomes de carbone en moyenne par maille.

2.5 Que vaut la masse volumique de l'acier ? Commenter

Problème 2 – Flash électronique d'un appareil photo

Le fonctionnement d'un flash électronique repose sur la génération d'un éclair dans un tube à décharge. Il s'agit d'un tube de quartz dans lequel on a placé un gaz raréfié, le xénon, entre deux électrodes E_1 et E_2 . Ces deux électrodes sont reliées à un condensateur de capacité C chargé sous quelques centaines de volts. Le gaz du tube à décharge n'est a priori pas conducteur. Cependant, lorsqu'une très haute tension est appliquée entre deux de ses électrodes, l'ionisation des atomes de xénon qui en résulte abaisse la résistance du tube qui devient alors équivalent à un conducteur de résistance R_T dans lequel le condensateur C peut se décharger.

1. Expliquer pourquoi l'ionisation des atomes de xénon abaisse la résistance du tube à décharge.

   On utilise le circuit équivalent de la figure 2 pour expliquer la formation d'un éclair dans le tube. On considère que la tension V_2 est une tension continue de $0,30\,kV$.

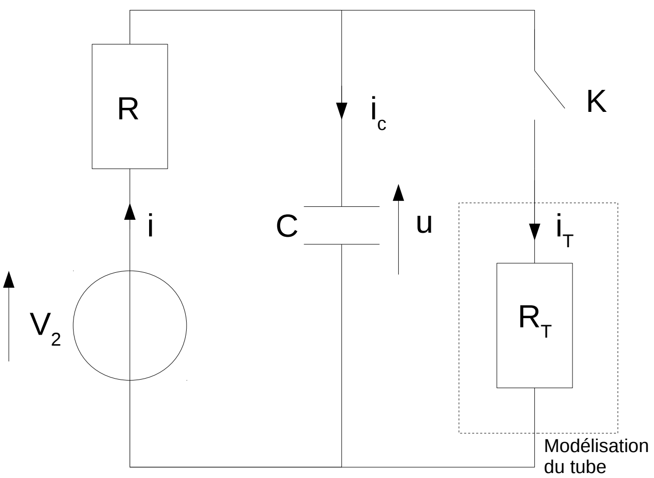

FIGURE 2 – Modélisation du flash électronique

2. Le régime permanent étant atteint pour $t < 0$, on ferme l'interrupteur K à l'instant $t = 0$. Déterminer les expressions de $i_T(0^+)$ juste après la fermeture de l'interrupteur et de $i_T(\infty)$ lorsque le régime permanent est atteint.
3. Montrer que l'équation différentielle vérifiée par $i_T(t)$ pour $t > 0$ s'écrit :

$$\frac{di_T}{dt} + \frac{i_T}{\tau} = \frac{i(\infty)}{\tau}$$

   où on exprimera τ en fonction des paramètres du circuit.
4. En déduire l'expression complète de $i_T(t)$ pour $t > 0$.
5. Tracer l'allure de $i_T(t)$ pour $t < 0$ et $t > 0$ et expliquer la génération d'un éclair lors de la fermeture de l'interrupteur K.
6. Donner l'expression de l'énergie accumulée par le condensateur avant la fermeture de l'interrupteur.
7. On souhaite générer un flash d'une puissance égale à $4,0\,W$ et d'une durée de $0,10\,s$. Déterminer un ordre de grandeur de la valeur de la capacité C nécessaire. Commenter ce résultat.

Problème 3 – Interprétation énergétique du facteur de qualité d'un oscillateur harmonique

On considère le circuit RLC série représenté fig. 3. On cherche à interpréter le facteur de qualité suivant la réponse indicielle du circuit.

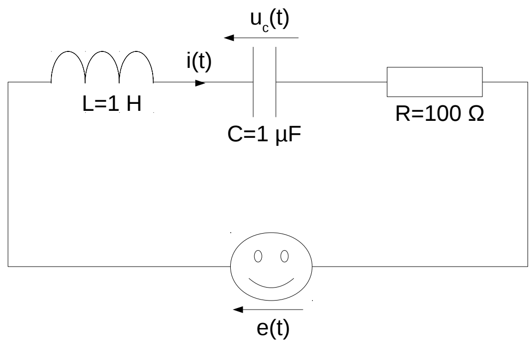

Figure 3 – Circuit RLC série

1. Ecrire l'équation différentielle vérifiée par $u_C(t)$. On posera $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ et $Q = \dfrac{L\omega_0}{R}$
   Réponse indicielle du circuit RLC.
   Dans toute la suite, on considère que le circuit est soumis à l'échelon de tension :
$$e(t) = \begin{cases} E & \text{si} \quad t < 0 \\ 0 & \text{si} \quad t \geq 0 \end{cases}$$
2. On suppose qu'à $t = 0^-$, le régime établi est atteint depuis longtemps. Déterminer la valeurs de u_C et de i à cette date.
3. Déterminer la valeur de u_C en régime établi (pour $t \to \infty$).
4. Déterminer l'expression de $u_C(t)$ pour $t > 0$. On posera $\tau = \dfrac{2Q}{\omega_0}$ et $\Omega = \omega_0\sqrt{1 - \dfrac{1}{4Q^2}}$
5. Représenter graphiquement l'allure de $u_C(t)$ pour tout t.
6. Quel est le sens physique de τ ? de Ω ? On pourra s'appuyer sur le graphe précédent.
7. Comparer ω_0 et Ω. Montrer alors qu'on observe environ Q pseudo-oscillations pendant le régime transitoire.
8. Montrer que, étant donnée la valeur de Q :
$$u_C(t) \approx Ee^{-\frac{t}{\tau}} \cos(\omega_0 t)$$
   C'est cette expression qu'on utilisera par la suite.
9. Donner l'expression de l'intensité $i(t)$ du courant dans le circuit. Comme pour $u_C(t)$, proposer une expression approchée dans la cas où $Q \gg 1$.
10. La figure 4, représente l'évolution de l'énergie électrique totale, de l'énergie électrique stockée dans le condensateur et de l'énergie électrique stockée dans la bobine. Commenter.
11. Toujours dans le cas $Q \gg 1$, exprimer l'énergie électrique $\mathcal{E}(t)$ de l'oscillateur à l'instant t.
12. Montrer que si $Q \gg 1$ alors $\forall t$, $\dfrac{\pi}{Q} = \dfrac{\Delta\mathcal{E}}{\mathcal{E}}$ où $\Delta\mathcal{E} = |E(t+T) - E(t)|$ avec T la pseudo-période du régime transitoire.
    On donne le développement limité : $e^x \approx 1 - x$ si $x \ll 1$.
13. Quelle est la signification énergétique du facteur de qualité de l'oscillateur ? Est-ce cohérent avec un oscillateur non amorti ?

★★★★★Fin de l'énoncé★★★★★

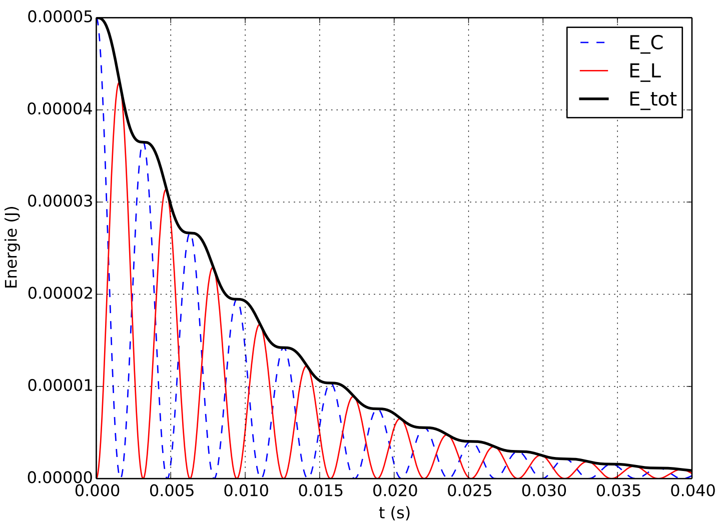

FIGURE 4 – Evolution de l'énergie du circuit RLC