



TDS12 – OSCILLATEUR HARMONIQUE EN RÉGIME SINUSOÏDAL FORCÉ

D.Malka – MPSI 2015-2016 – Lycée Saint-Exupéry

S1 – Trajectoire de phase

On considère un oscillateur harmonique à l'équilibre à $t < 0$. A $t = 0$, on soumet cet oscillateur à une excitation harmonique $X_e(t) = X_0 \cos(\omega t + \varphi)$. On note $X(t)$ la réponse de l'oscillateur.

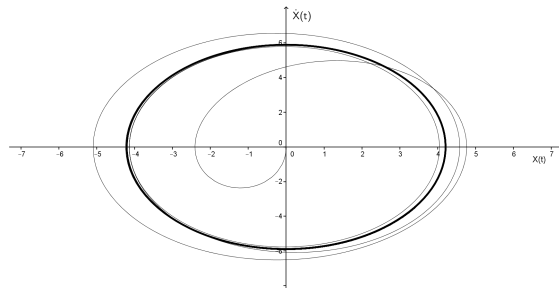


FIGURE 1 – Que nous dit ce portrait de phase ?

Interpréter la trajectoire de phase représentée fig.1.

S2 – Détermination de la fréquence de résonance par étude du déphasage

Un circuit RLC est soumis à une tension sinusoïdale $e(t) = e_0 \cos(2\pi ft + \varphi_0)$. On mesure le déphasage φ entre la tension $u_r(t)$ aux bornes de la résistance et $e(t)$ pour différentes fréquences d'excitation f . Les points expérimentaux sont représentés fig.2.

Les mesures sont disponibles dans le fichier `Etude_phase_RLC.rw3` à télécharger sur le site de la classe (chapitre S12). En exploitant les mesures, déterminer une valeur de la fréquence de résonance f_r du circuit. Le résultat de la mesure sera présentée sous la forme d'un intervalle de confiance à 95%.

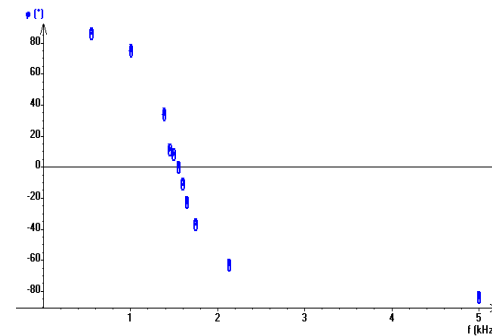


FIGURE 2 – Evolution du déphasage entre $e(t)$ et $u(t)$ en fonction de la fréquence d'excitation de l'oscillateur

S3 – Résonance en charge du circuit RLC-série

Soit un circuit RLC série soumis à une tension $e(t) = E \cos(\omega t)$. On note $q(t)$ la charge portée par une des armatures du condensateur. Les composants sont tels que $L = 100 \text{ mH}$, $C = 0,1 \mu\text{F}$ et R est une résistance variable.

- Déterminer l'équation différentielle vérifiée par $q(t)$. On posera $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ et $2\lambda = \frac{R}{L}$.
- En déduire l'amplitude q_m de la charge $q(t) = q_m \cos(\omega t + \varphi)$.
- Montrer que :
 - que l'existence d'une résonance dépend de λ ,
 - que la fréquence de résonance, lorsqu'elle existe, dépend de λ .

S4 – Pourquoi le ciel est-il bleu ?

La couleur bleue du ciel résulte de l'interaction des électrons des atomes et molécules atmosphériques avec la lumière émise par le Soleil.

On représente les atomes par le modèle proposé par Thomson au début du XX^{ème} siècle. Il consiste en l'association d'un noyau chargé positivement à l'intérieur duquel se déplace les électrons de charge $-e$ et de masse m (Fig.3). Le proton O exerce alors une force de rappel \vec{F} sur chaque l'électron M . Les pertes d'énergie de l'électron, par rayonnement, dues à son mouvement sont modélisées par une force de frottement fluide \vec{f} .

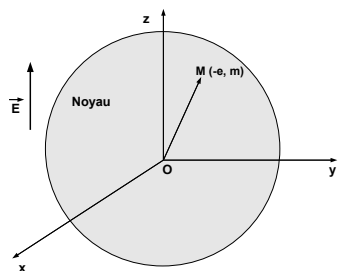


FIGURE 3 – Atome de Thomson

La lumière est, elle, une onde électromagnétique essentiellement caractérisée par un champ électrique oscillant qui s'écrit au niveau de l'atome $\vec{E} = E_0 \cos(\omega t) \vec{e}_z$.

On rappelle qu'une charge q plongée dans un champ électrique \vec{E} est soumise à une force $q\vec{E}$ et que l'interaction gravitationnelle est négligeable à l'échelle atomique.

Enfin, pour simplifier, on supposera le noyau atomique fixe dans le référentiel terrestre, lui même supposé galiléen.

Après un régime transitoire d'une courte durée, l'électron oscille suivant la direction du champ électrique de l'onde. La force de rappel s'écrit alors $\vec{F} = -kz\vec{e}_z$ et la force de frottement fluide s'écrit $\vec{f} = -h\dot{z}\vec{e}_z$

1. Ecrire l'équation du mouvement de l'électron. On posera $2\alpha = \frac{h}{m}$ et $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$.
2. Exprimer alors l'amplitude du mouvement de l'électron en fonction de ω en régime établi.

3. En déduire l'accélération $a(\omega)$ et la représenter en fonction de ω sachant que $\omega_0 \gg \alpha$.
4. La couleur du ciel! La lumière visible correspond au spectre $[\omega_1, \omega_2]$ avec ω_1 et $\omega_2 \ll \omega_0$. Une charge en accélération émet dans toute les directions un rayonnement électromagnétique de puissance $P(\omega) = \mu a^2(\omega)$.
 - 4.1 Déterminer l'expression de la puissance P rayonnée par l'électron.
 - 4.2 Donner une expression approchée de la puissance rayonnée par l'électron lorsqu'il est excité par de la lumière visible.
 - 4.3 Expliquer alors qualitativement la couleur du ciel en plein jour en considérant les molécules atmosphériques éclairées par la lumière du Soleil.

S5 – Ouverture : comment briser un verre avec un son ?

Regarder la vidéo fig.4 (disponible sur le compte Youtube de la classe) : <https://www.youtube.com/watch?v=JxoZ1C5ADAM> :

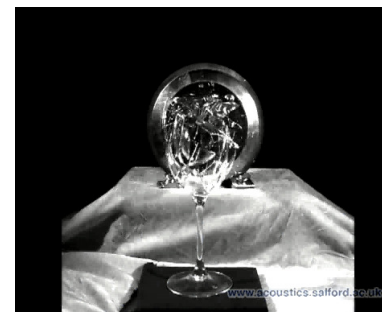


FIGURE 4 – Briser un verre avec un son

Interpréter le phénomène en terme de résonance. Quelle vaut la fréquence de l'onde sonore? Comment pourrait-on déterminer la fréquence de résonance du verre?