

LP 47 : phénomènes de résonance dans différents domaines de la physique

Prérequis :

fin de L2

- Dynamique du point, oscillateur harmonique
- Notation complexe
- Ondes acoustiques
- Lois de l'électrocinétique
- Optique ondulatoire

Quand on a vu l'oscillateur harmonique on a fait apparaître une pulsation caractéristique.

Manip système masse ressort dans de l'eau (demander la manip faite pour ça) : monter de façon graduelle la fréquence et voir qu'il y a une résonance, passer la résonance et montrer que le phénomène s'atténue après.

I] Modélisation du phénomène de résonance (un livre de prépa, le Perez)

1) Equation du mouvement

Faire un schéma du système ressort + frottement + masse

Bilan des forces projetées : Poids, force de rappel : bien insister sur le fait qu'une extrémité du ressort bouge de façon sinusoïdale qui est connue car attachée au fil, lui même relié au moteur. Pour la force de frottement insister sur le fait qu'elle est opposée à la vitesse.

On écrit le PFD, poser le changement de variable : $X=x-l-mg/k$ puis écrire l'équation différentielle d'un oscillateur harmonique amorti avec définition de ω_0 et le temps de relaxation du système. Insister sur le fait que si "alpha"=0 alors on retrouve l'oscillateur harmonique sans frottement déjà connu.

2) Résolution

On va utiliser la notation complexe : $\underline{x}=\underline{x}_0 * e^{j\omega t}$

Réinjecter dans l'ED et obtenir la relation entre l'élongation et l'excitation complexe.

Prendre la valeur absolue ainsi que l'argument pour obtenir la phase et la norme de l'élongation. Montrer qu'en l'absence de frottement cette élongation tend vers l'infini à résonance, expliquer qu'on atteint alors les limites de notre modèle. Expliquer aussi la signification des phases, étudier les cas limites.

3) Facteur de qualité

On le définit tout de suite : $Q=\tau * \omega$

On le réinjecte dans la formule et on dérive pour obtenir l'expression de la vitesse.

Transparent agreg ou on peut discuter de la tête de la résonance en fonction de la valeur du facteur de qualité

Simplement évoquer le fait que si $Q>\sqrt{2}$ alors x_m atteint un maximum en ω_0 , dire qu'il suffirait de dériver par rapport à ω mais ne pas le faire.

Donner une explication au nom facteur de qualité en écrivant que $Q=\omega_0/dW$. Donner quelques OdG des facteur de qualité.

La résonance c'est une sélection en fréquence de la réponse de notre système.

II] Présence dans de nombreux domaines de la physique.

Souffler dans une bouteille de coca et dire qu'on a soufflé n'importe comment mais un son à une certaine fréquence sort. On va tenter de le modéliser

1) Résonateur de Helmholtz (**garing ondes**)

Schéma. Expliquer avec les mains ce qu'il va se passer, on souffle, la pression augmente donc le gaz repousse et on va avoir des oscillations.

Hypothèses : les gaz subissent des transformations adiabatiques réversibles.

On écrit la loi de Laplace, $PV^\gamma = \text{cste}$, on dérive de façon log. $dP/P + \gamma dV/V = 0$.

On écrit le PFD à la colonne d'air, dire qu'on peut négliger la gravité et qu'on va simplement s'intéresser à la force de pression.

Finir par une analyse dimensionnelle, pour montrer qu'on s'est par gouré + un ODG. On trouve pour la bouteille de coca $f = 180$ Hz, c'est une valeur satisfaisante puisque dans l'audible mais plus grave qu'un diapason.

La longueur d'onde acoustique est de l'ordre de 2m, donc on peut supposer que tout bouge en bloc.

2) Circuit RLC (**un livre d'élec de PSI**)

Schéma, donner simplement l'équation de la charge du condensateur. C'est exactement l'équation de l'OH amorti.

Donner l'analogie mécanique \leftrightarrow électrique

III] La cavité Fabry Perot (**Tailler d'optique physique**)

1) Principe

Simplement dire qu'on a un terme de phase dû à la propagation dans la cavité et des réflexions/transmissions, puis donner l'expression de l'amplitude sortante en fonction de la différence de marche.

Le calcul de la série et l'expression de l'intensité est fait sur transparent.

2) Etude de l'intensité sortante

Sur transparent on trace la fonction d'Airy et on donne toutes les infos nécessaires : largeur des pics, courbe de type Lorentzienne... Cette partie peut être étendue ou raccourcie en fonction du temps restant.

On ne s'intéresse pas au facteur de qualité mais à la finesse étant donné qu'on a plein de fréquences de résonances séparées périodiquement (et donc quelle valeur prendre pour le facteur de qualité).

Conclure par quelques OdG : finesse, R, T....

Cette cavité est utile en optique, c'est un pas vers le Laser.

Conclure sur l'exemple du pont de Tacoma aux USA, il est important de maîtriser la résonance. On le retrouve à plusieurs échelles.

Questions :

-C'est quoi le modèle de l'électron élastiquement lié ? On suppose que l'électron est lié au noyau avec une force de rappel. Il peut servir pour expliquer la diffusion Rayleigh.

- Comment expliques tu cette force de rappel ? On peut prendre une sphère uniformément chargée positivement, ou simplement faire un DL de l'énergie potentielle dans un potentiel de Lennard-Jones.
- Comment définirais-tu la résonance ? C'est une grandeur qui croît grandement lorsque le système est excité à une certaine pulsation.
- Pour le Fabry-Perot ou est la résonance ? On la voit moins car ça ne vient pas d'une ED, mais il y a une sélection en fréquence qui est elle aussi caractéristique de la résonance.
- Qu'est ce qu'un miroir semi réfléchissant ? Je voulais dire lame semi réfléchissante
- quelle serait la différence de marche si on avait pas une incidence nulle pour le Fabry Perot.
- Tu as pris une force en $-\alpha \cdot v$, comment justifies-tu ça ? Avec le nombre de Re, en fait ça chie un peu dans la colle. On a plutôt $Re=10$ donc bon c'est un peu limite.
- à quoi correspond le temps de relaxation que tu as défini ? c'est le temps mis pour atteindre le régime sinusoïdal forcé, le temps au bout duquel le ressort s'arrêtera complètement.
- Comment fais tu pour résoudre une ED du second ordre ? On somme solution homogène + solution particulière ?
- Intérêt de la notation complexe ? Simplicité du calcul, ici ça marche car on a des ED linéaires.
- Tu as dit on montre que $Q = \omega_0 / \Delta\omega$, peux tu me montrer pourquoi on prend $\Delta\omega$ tel qu'on ait $x_{\max} / \sqrt{2}$? Il suffit de résoudre l'équation sur une Lorentzienne...
- Comment appelles tu ce $\Delta\omega$? Bande passante
- Tu as dit qu'on avait résonance à ω_0 ? NON, elle dépend de Q.
- dans le résonateur de Helmholtz d'où vient la résonance ? Elle vient du fait que notre colonne oscille, et elle oscille mieux à une certaine fréquence. Il y a sélection en fréquence.
- pour le circuit RLC tu avais un terme sinusoïdal à droite d'où vient-il ? caractéristique du notre générateur.
- peux tu citer d'autres phénomènes de résonance ? corde de melde.
- En optique tu peux pas mettre en évidence d'autres phénomènes ?
- Qu'est ce qu'une corde sympathique ? c'est deux cordes doublées, en fait on frappe une unique corde et l'autre entre en résonance. Un peu comme des diapasons. C'est pour faire un son en guitare.

Commentaires :

- Il faut clairement définir la résonance : sous un excitateur sinusoïdal, l'amplitude de la réponse devient maximale
- Au niveau du I], nom pas top car on ne modélise pas la "résonance". On modélise un système qui résonne.
- pas forcément utile d'introduire le temps de réponse du système.
- au niveau de la notation complexe, on trouve juste une solution particulière.
- ATTENTION fréquence résonance \neq fréquence propre
- pas obligé de faire le RLC si jamais on fait celle avec le ressort.
- Helmholtz compliqué, le Jury veut une résonance microscopique (RMN)