Titre : Phénomènes de résonance dans différents domaines de la physique

Présentée par : Théo Le Bret

Rapport écrit par : Tim Poulain

Correcteur : S. Fauve

Date : 15/02/2020

Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Éditeur	Année
Tout-en-un PCSI		Dunod	
Dynamique Galactique	Binney & Tremaine	Princeton University Press	2008

Plan détaillé

Niveau : L3
Prérequis : Mécanique lagrangienne, circuit RLC oscillant libre

Intro : Les phénomènes de résonance apparaissent dans de nombreux domaines de la vie quotidienne (balançoire, instruments de musique)

Définition : Dans un système physique soumis a une excitation periodique, on a résonance lorsque la réponse en amplitude du système est maximale. La présence de résonance met en évidence l'existence d'un mode propre d'oscillation dans le système étudié (ex balançoire poussée a sa fréquence d'oscillation propre, colonne d'air vibrant dans un instrument a vent)

1) Résonance dans un système électronique a un degré de liberté : le RLC
a) Résonance en tension
b) Résonance en intensité
c) Aspect énergétique

Transition : on a étudié un système 1d et amorti, on passe maintenant a un exemple issu de l'astronomie, pour un système 2d, non-amorti, excité par la présence d'une perturbation non pas temporelle mais spatiale.

2) Resonance de Lindblad dans une « galaxie barrée »
a) Position du problème
On étudie l'orbite d'une étoile dans une galaxie « barrée » (c'est-a-dire possédant une surdensité d'étoiles formant une barre a travers son centre). Par hypothèse, la barre est de masse faible et en rotation a une fréquence angulaire fixe. On pose également qu'en l'absence de la barre, le potentiel gravitationnel de la galaxie serait a symétrie cylindrique, et comme on se limite a l'étude d'un plan d 'orbite, le cas sans barre revient en fait au problème a force centrale. Ainsi, on pose les bases d'un développement perturbatif.

b) Modes propres du système : fréquences d'épicycle
Dans le problème a force centrale, une orbite possède une fréquence d'oscillation radiale, et une angulaire (égales dans le cas d'un potentiel harmonique). En prenant l'orbite quasi-circulaire, on peut effectuer un développement limite du potentiel et approximer l'orbite comme une oscillation autour de l'orbite circulaire, avec deux fréquences d'épicycle décrivant les excursions radiales et angulaires par rapport a l'orbite circulaire.

c) Réponse en amplitude d'une orbite en présence d'une « barre »
Calcul perturbatif de la réponse en amplitude d'oscillations angulaires et radiales (Attention, calcul long et pénible ! cf Binney et Tremaine) Comme on pouvait s'y attendre, la réponse est maximale lorsque le forçage se fait aux fréquences d'épicycle → Résonance de Lindblad

Conclusion : Les résonances sont dues a l'existence de modes propres d'oscillation, spatiale ou temporelle, et marquent la sortie du régime linéaire de la perturbation, d'où la possibilité d'observer des réponses fortes a des excitations faibles. Ces phénomènes sont très généraux, et se manifestent de l'astronomie a l'électronique.

Questions posées par l'enseignant

Dans le cas du RLC, qu'est-ce que l'absence de résistance change au phénomène de résonance ?
→ On a un « facteur de qualité infini », et l'amplitude des oscillations forcées a la fréquence de résonance croit alors linéairement avec le temps, sans limite. (En réalité on est évidemment toujours limité par la présence de dissipation, même faible)

Pourquoi alors ne pas avoir introduit le circuit LC au début ?
→ Manque de temps, et la notion de facteur de qualité fait partie des notions importantes, donc on ne peut pas sacrifier la partie RLC entièrement (même si on aurait pu introduire cette notion autrement, par ex en parlant du Fabry-Perot, pas abordé dans cette leçon)

Que se passe-t-il lorsqu'on a plusieurs degrés de liberté/plusieurs fréquences de résonance ?
→ on peut avoir une transition vers le « chaos » (c'est a dire dépendance sensible aux conditions initiales) lorsque plusieurs résonances sont excitées simultanément (exemple du double pendule)

On s'intéresse ici a un forçage harmonique (tension du GBF sinusoidale dans le cas du RLC), est-ce le cas général ?
→ En fait oui, tout forçage periodique peut être décomposé en sa série de Fourier (somme de signaux harmoniques)

Commentaires donnés par l'enseignant

Deuxième partie trop longue, il faudrait abréger la partie calculatoire et en extraire la physique.

On pourrait introduire les résonances avec un exemple d'oscillateur non-amorti (circuit LC au lieu de RLC), car la présence de phénomènes dissipatifs masque la résonance.

On pourrait également évoquer les résonances dans les cavités Fabry-Perot (et application au LASER), parler de résonances paramétriques (ex de la balançoire), etc. Bien sur il faut choisir, on ne peut pas tout faire.

Partie réservée au correcteur

Avis général sur la leçon (plan, contenu, etc.)

Choix de plan risqué. Après une discussion de la résonance d'un circuit RLC, le reste du temps a été passé à discuter une résonance en astrophysique. Du coup, plusieurs notions importantes n'ont pas pu être présentées.

Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates

Pour pouvoir transférer efficacement de l'énergie ou de la quantité de mouvement en forçant un système, il faut que le forçage satisfasse une condition de résonance qui peut être une relation entre deux fréquences ou une relation entre deux longueurs.
Dans le cas temporel, la condition entre les deux fréquences dépend du type de forçage, additif ou paramétrique.
La dissipation masque le phénomène de résonance. Sans dissipation, la réponse du système forcé est qualitativement différente à résonance (transfert moyen d'énergie non nul) ou hors résonance (pas de transfert moyen d'énergie quel que soit l'intensité du forçage).
Il ne faut pas se limiter au circuit RLC ou à son équivalent mécanique. La formule de Bragg se montre en 2 lignes de calcul et permet de discuter de nombreux exemples de résonance. En incidence normale, elle permet de discuter l'effet d'un forçage spatial d'une onde par le potentiel cristallin et d'expliquer l'existence de bandes de conduction. Elle est analogue à la condition de résonance paramétrique dans le cas temporel. On peut aussi discuter le Fabry-Pérot (plus long).

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur)

Circuit RLC ou son équivalent mécanique.
Oscillateur paramétrique avec un pendule de longueur adaptée suspendu à un ressort.
Résonances acoustiques dans un tuyau, résonances dans un long cable coaxial, dans un Fabry-Pérot, etc

Bibliographie conseillée

Landau-Lifchitz, Mécanique : discussion de la résonance de l'oscillateur harmonique sans dissipation.
Soutif, Vibration, propagation, diffusion : oscillateur paramétrique, divers exemples de résonance.
Rocard, Dynamique générale des vibrations : résonance par confusion de fréquences.