

LP18 - Effet Doppler

Niveau: Licence 2 / BCPST 2

Prerequis

- * Ondes sonores
- * Ondes électromagnétiques
- * Fréquence, période, longueur d'onde
- * Passe bas
- * Analyse spectrale
- * Spectre des étoiles

Bibliographie

- * Fréchet (effet Doppler)
- * Mille et une questions 4 - PC - Goring
- * H Prepa ondes 2^e année.

Expérience: Retrouver la loi de l'effet Doppler

↳ Banc + multiplicateur + passe bas.

Mesure éloignement d'une étoile

Introduction Pédagogique

- * Cette leçon s'inscrit dans un cours sur les ondes en classe de BCPST sur les techniques d'imagerie médicale
- * Ce cours vient après un cours sur la manipulation des ondes avec les ondes stationnaires et les battements
- * Le but de ce cours est de savoir en effet que les élèves connaissent avec les ondes: l'effet Doppler, pour faire les démonstrations qu'ils n'ont pas fait auparavant, et voir ensuite des applications.
- * Comme on va manipuler les ondes dans ce cours, il faudra que les élèves soient au point avec la manipulation des fréquences et des vitesses
- * Le caractère ondulatoire ne doit normalement pas poser de problèmes aux élèves, l'effet Doppler avec les ondes électromagnétiques pourra être abordé, il faudra bien mentionner que l'on ne travaille pas avec des ondes sonores
- * On fait le choix de repartir du début et de refaire une mise en évidence expérimentale ainsi qu'une détermination de loi expérimentalement par que les élèves puissent appréhender au mieux le phénomène et être familiarisés avec une démarche expérimentale
- * Les difficultés peuvent se présenter dans la démonstration de la formule, on cherchera de le faire pas à pas par la rendre la plus claire possible.
- * Mais aussi dans l'effet Doppler double où l'émetteur et le récepteur sont le même objet
- * On s'appuiera sur des schémas et des exemples pour faciliter la compréhension de l'élève.
- * On pourra faire des TD sur la détermination de vitesse de voitures
- * TP sur la mesure d'une vitesse de rotation par effet Doppler
- * Etude de doc les problèmes rencontrés avec la mesure de vitesse des sons (vitesse du son, mur du son) ?

Introduction

* Aujourd'hui on va parler d'un effet que vous connaissez déjà et que vous expérimentez souvent

↳ l'effet Doppler (jae sen)

* C'est le fait d'avoir un changement de fréquence quand un récepteur est en mouvement par rapport à un émetteur

↳ effet Doppler - Fizeau du aux scientifiques qui l'ont découvert en 1842

↳ image

objectif Etre capable de démontrer l'expression du décalage Doppler et savoir l'appliquer pour mesurer une vitesse.

I. L'effet Doppler

A. Mise en évidence

* On a dit que lorsqu'un émetteur est en mouvement par rapport à un récepteur la fréquence reçue était différente de celle émise f_e .

* On va essayer de le mettre en évidence expérimentalement, et de trouver une loi qui donne le décalage.

* Présentation de l'exp @ attention: multiplicateur par avoir directement $\mathcal{H}$

↳ On voit qu'on a un décalage de fréquence $\Delta f =$ Hz ici

* Pour essayer de modéliser le phénomène il faut trouver les paramètres importants

- La fréquence de l'onde émise f_e
- La vitesse de l'émetteur v_e .

* On va faire la démarche exp suivante:

- Une série de mesures avec v_e fixe et f_e variable $\Rightarrow$ dépendance en f_e
- " " " f_e = v_e = $\Rightarrow$ = v_e

- * Faire un point par ce fixe et le variable

On émet à $f_e =$ Hz on reçoit un signal à $f_r =$ Hz

↳ On l'ajoute aux mesure en preparation $\Rightarrow$ on a une loi $\Delta f = A \cdot f_e$

↳ De même pour une variable on trouve $\Delta f = B \cdot ve.$

* On pourrait avoir une loi du type: $\Delta f = A' \cdot f_e \cdot v_e$ ou $\Delta f = \alpha f_e + \beta v_e$

Les mesures par $2f_0$, $2\nu_0$ et $3f_0:3\nu_0$ donne $\Delta f = 4\Delta f_0$ et $9\Delta f_0$

$$\Rightarrow \Delta f = A \cdot f_e \cdot v_e \quad m \cdot s^{-1}$$

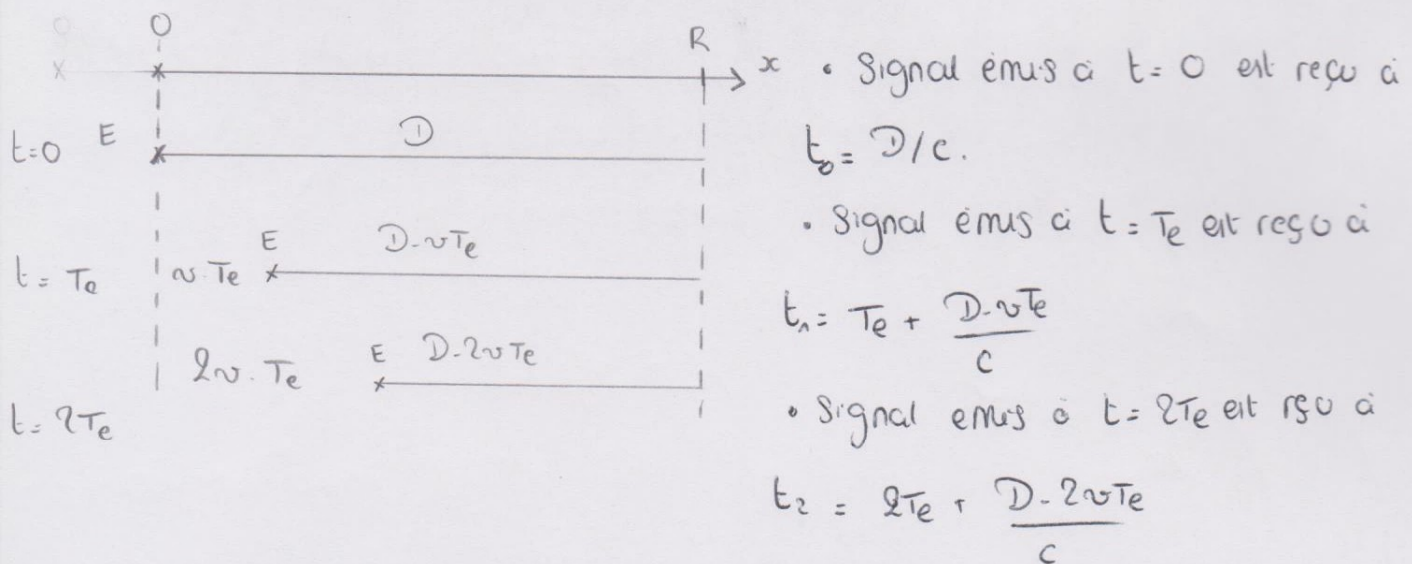
* Par analyse dimensionnelle A est l'inverse d'une vitesse

↳ il vaut ici $\ddot{A} = (\pm) g \cdot m^{-1}$

Transition: On a réussi à obtenir un modèle expérimentale, mais peut-on trouver un modèle théorique qui redonne la même formule ?

II - Un modèle théorique

- * Maintenant on va mettre à profit nos connaissances sur les ondes afin d'essayer de trouver cette loi
- * Déjà on va essayer de comprendre le phénomène simplement avant de faire un modèle
 - ↳ Quand l'émetteur bouge il émet un son à la même fréquence, mais à des endroits différents
 - ↳ animation $\Rightarrow$ on arrive à comprendre que la fréquence reçue soit différente.
- * On va décomposer ce qu'on voit sur l'animation
 - ↳ la source émet un son toutes les T_e secondes



Entre 2 signaux reçus il y a $T_R = t_1 - t_0 = T_e - \frac{v \cdot T_e}{c} = T_e \left(1 - \frac{v}{c}\right)$

on a donc $f_R = \frac{1}{T_R} = \frac{1}{T_e \left(1 - \frac{v}{c}\right)} = f_e \left(\frac{1}{1 - \frac{v}{c}}\right)$ $v \ll c$

Donc $\Delta f = f_R - f_e = f_e \left(\frac{1 - 1 - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}\right) = f_e \left(\frac{\frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}\right) \approx \boxed{f_e \cdot \frac{v}{c} = \Delta f}$

Transition : On retrouve bien la loi de la partie précédente avec la vitesse de son dans l'air $\Rightarrow$ mesure possible. Mais quels sont les autres applications ?

II. Applications

A. Mesure de la vitesse du sang

* Une des utilisations communes de l'effet Doppler c'est la mesure de la vitesse du sang dans le corps, ou la vitesse d'une voiture, nous verrons que c'est le même principe. (cf HPrepa p 120 ou 1001 Q4 p 127)

* Le système est le suivant (projo) on a une sonde qui émet une onde, cette onde est réfléchie sur les globules rouges et finalement reçue par la sonde.

* Cette fois le détecteur ne va pas droit sur la source, on a un angle α entre la vitesse $\vec{v}$ et l'onde émise.

↳ un calcul similaire à celui fait précédemment nous donne

- Signal émis à $t = 0$ est reçu à $t_0 = d/c$.
- Signal émis à $t = T_e$ est reçu à $t_1 = T_e + d'/c$

↳ or $d' = d - r$ avec $r = v_R T_e \cos \alpha$

$$\Rightarrow t_1 = T_e + \frac{d - v_R T_e \cos \alpha}{c}$$

$$\Rightarrow T_R = t_1 - t_0 = T_e \left(1 - \frac{v_R}{c} \cos(\alpha) \right)$$

* L'effet est maximal pour $\alpha = 0$ ou 180° , et nul pour $\alpha = \pi/2$.

* Puis l'onde est renvoyée par le globule rouge

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{le même calcul donne } T_R' &= \left(1 - \frac{v_R}{c} \cos(\alpha) \right) T_R = T_e \left(1 - \frac{v_R}{c} \cos(\alpha) \right)^2 \\ &\approx T_R \left(1 - 2 \frac{v_R}{c} \cos(\alpha) \right) \end{aligned}$$

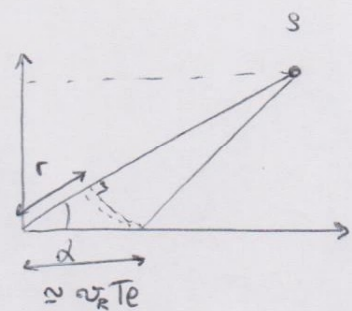
$\Rightarrow$ effet Doppler double: les effets s'additionnent

* Par un angle de 45° avec $\Delta f = -3.8 \text{ kHz}$ et $f_e = 4.0 \cdot 10^6 \text{ Hz}$

↳ on trouve $v_R = 1 \text{ m/s}$

* C'est le même effet pour les voitures (cf erreur en fonction angle) ($\triangle$ Onde électromag)

Transition: On a vu l'effet Doppler dans le cas des ondes sonores, mais c'est aussi en effet avec les ondes électromagnétiques.



B. Mesure de la vitesse d'une étoile

- * Sachez que les radars autoradars utilisent des ondes électromagnétiques et pas des ondes sonores
- * Mais on peut aussi mesurer la vitesse des étoiles.
- * Les étoiles sont en mouvement elles s'éloignent ou s'approchent de nous
- * Elles émettent de la lumière visible, avec des raies d'absorption dans leur spectre

$$\lambda = c/f$$

↳ proje

- * L'effet Doppler donne un décalage en fréquence et donc un décalage des raies
 - Si elle s'éloigne la longueur d'onde est plus grande $\Rightarrow$ "Red Shift"
 - " " s'approche " " petite $\Rightarrow$ "Blue shift"

↳ image

- * En plus de nous donner une vitesse de translation, en regardant les spectres sur les bords de l'étoile on peut avoir le sens de rotation et la vitesse de rotation.

↳ image

↳ On essaiera de modéliser ça en TP (Exp ?)

Conclusion : Quand un émetteur ... est mobile par rapport à un récepteur, la fréquence émise et reçue ne sont pas les mêmes.

↳ cela peut servir pour mesurer des vitesses (son, son, voiture, étoile)