

LP 5 - Effet Doppler

Niveau : Terminal S

Prerequis:

- * Ondes sonores (propagation, fréquence, célérité, longueur d'onde, retard)
- * Ondes électromagnétiques
- * Spectre d'absorption et d'émission des étoiles
- * Notion d'astrophysique
- * Hauteur d'un son

Bibliographie

- * Physique Chimie Terminal S - Dulaurans
- * = - " - Micromega

Expérience: Retrouver la loi de l'effet Doppler

↳ mesurer une vitesse.

Introduction pédagogique

- * Ce cours se place au niveau de terminal S
- * Il vient à la fin de la partie "observer" du programme
- * Il suit un cours sur les ondes acoustiques, de plus les ondes lumineuses ont déjà été faites, ainsi que les spectres d'émission des étoiles
- * Les élèves sont familiers avec la propagation des ondes et ils maîtrisent les notions de fréquence, longueur d'onde, période et célérité.
- * Les élèves sont familiers avec la notion de hauteur et savent qu'en son plus aigu c'est une fréquence plus grande.
- * Dans ce cours on va réinvestir les connaissances des élèves afin d'étudier un phénomène qu'ils connaissent tous mais qu'ils n'ont jamais étudié.
- * La difficulté principale sera d'appréhender le phénomène d'un point de vue physique et de réussir à le modéliser avec les outils de la physique
- * Les calculs ainsi que la manipulation des longueurs d'onde pourront poser problème.
- * Le but sera de faire comprendre à l'élève un phénomène nouveau avec les outils de la physique
- * On essaiera de prendre un maximum d'exemples concrets pour faciliter la compréhension de l'élève
- * des TD sur le découpage en fréquence sera fait et sur l'effet doppler avec un angle entre l'émetteur et le récepteur
- * des TP sur la mesure de la vitesse du son pourront être fait
- * des Etude de Doc sur le sens de rotation du soleil

Introduction

- * Dans le cours précédent nous avons parlé d'ondes sonores, on a pu les étudier grâce à leurs longueurs d'onde et fréquence
- * Mais il y a un phénomène bien connu de tous que l'on a pas encore expliqué :

↳ L'effet Doppler

- * Qu'est ce que c'est ? C'est quand une voiture passe à côté de nous et que le bruit qu'on entend change

↳ jouer en son avec le klaxon

- * C'est Doppler et Fizeau en 1842 (image) qui ont découvert cet effet

↳ Quand un émetteur est en mouvement par rapport à un récepteur, la fréquence émise et celle reçue sont différentes

Objectif : Comprendre l'origine de l'effet Doppler et savoir l'exploiter par faire des mesures.

I. Mise en évidence et modélisation

* On a dit que lorsqu'on avait un émetteur en mouvement par rapport au récepteur la fréquence reçue f_r était différente de celle émise f_e 

* Experimentalement on va essayer de le mettre en évidence et de trouver une loi par ce décalage en fréquence.

* Les paramètres importants peuvent être:

- la fréquence de l'émetteur
- la vitesse du récepteur par rapport à l'émetteur.

* On va faire 2 séries d'expériences

- Une à v fixe et f_e qui change
- Une à f_e fixe et v qui change

* Faire un point pour v connu fixe et f_e mobile

↳ On voit bien que la fréquence change, on émet à f_e Hz et on reçoit f_r Hz.

↳ En préparation on a trouvé une loi $\Delta f = f_r - f_e = A \cdot f_e$

↳ De même avec v mobile $\Delta f = B \times v$ 

* On pourrait avoir $\Delta f = A'' f_e + B'' v$ ou $\Delta f = A' f_e \cdot v$

↳ on fait des mesures à $2f_e$ et $2v$; $3f_e$ et $3v$

↳ on a obtenu une multiplication de Δf par 4 et 9

$$\Rightarrow \boxed{\Delta f = A' f_e v}$$

s^{-1} $s \cdot m^{-1}$ s^{-1} $m \cdot s^{-1}$

Par analyse dimensionnelle A' doit être l'inverse d'une vitesse (en $s \cdot m^{-1}$)

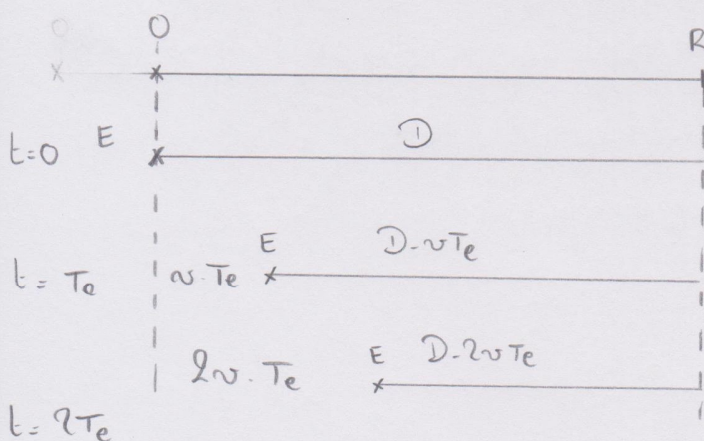
↳ on obtient avec une régression linéaire $\frac{1}{A'} =$ $m \cdot s^{-1}$

Transition Cette valeur semble être celle de la vitesse des sons dans l'air.

Est-ce qu'on peut faire un modèle théorique pour retrouver cette loi ?

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



• Signal émis à $t=0$ est reçu à

$$t_0 = D/c.$$

• Signal émis à $t=T_e$ est reçu à

$$t_1 = T_e + \frac{D - v.T_e}{c}$$

• Signal émis à $t=2T_e$ est reçu à

$$t_2 = 2T_e + \frac{D - 2v.T_e}{c}$$

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

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

$$v \ll c$$

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

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 ?

III - Applications

A. Le radar automobile

* Dans les radars l'effet Doppler ne sert pas à mesurer la vitesse du son dans l'air, mais la connaissant et connaissant la fréquence d'émission, en mesurant la fréquence de réception, on peut remonter à la vitesse.

* Comme $f_R = f_e \left(\frac{1}{1 - \frac{v}{c}} \right)$

$$\text{on a } 1 - \frac{v}{c} = \frac{f_e}{f_R} \Rightarrow v = c \left(1 - \frac{f_e}{f_R} \right) = c \cdot \frac{f_R - f_e}{f_R} = v$$

* Mais attention ici ce n'est que pour un émetteur mobile et un récepteur fixe.

↳ Pour une voiture il y a un double effet car l'onde va jusqu'à la voiture, le récepteur est aussi l'émetteur.

• On prend la voiture fixe et le radar qui bouge, la voiture reçoit un signal f_{R1} tel que $\Delta f_1 = \frac{v}{c} \cdot f_e = f_{R1} - f_e \Rightarrow f_{R1} = f \left(1 + \frac{v}{c} \right)$

• La voiture mobile émet un signal de fréquence f_{R1} , le radar reçoit donc un signal f_{R2} tq $f_{R2} - f_{R1} = \frac{v}{c} f_{R1}$

$$\Rightarrow f_{R2} = f_{R1} \left(1 + \frac{v}{c} \right) = f_e \left(1 + \frac{v}{c} \right)^2 = f_{R2}$$

$$\text{↳ } v = \left(\frac{f_{R2}^2}{f_e^2} - 1 \right) c$$

pour 100 km/h : avec $f_e = 15 \text{ GHz}$

$$\Delta f = 36 \text{ Hz}$$

Dans la réalité le radar n'est pas face à la voiture, il y a un angle, (photo)

↳ Un calcul plus poussé montre que si on a un angle de 30° et qu'on peut avoir une différence de $5^\circ \Rightarrow 4,5\%$ d'erreur : ils sont donc avec une marge d'erreur : on peut lire 107 km/h ramenés 102 km/h

B. Effet Doppler - Fizeau en astronomie

* On sait que dans l'espace la terre tourne autour du soleil, mais il faut aussi savoir que les étoiles et les galaxies aussi sont en mouvement.
↳ elles émettent de la lumière, on l'a vu avec les spectres des étoiles, en fait les ondes électromagnétiques aussi subissent l'effet Doppler.

* On observe donc un décalage de fréquence (donc de longueur d'onde) par la lumière

↳ Comme on a des bandes d'absorption dans le spectre, on peut mesurer leur décalage et trouver la vitesse de la lumière

↳ Comme pour voiture

- Si elle s'approche la longueur d'onde est plus petite $\Rightarrow$ "blue shift"
- Si elle s'éloigne la " " " grande $\Rightarrow$ "red shift"

↳ image x2

↳ Voir prochain chapitre d'obs.

* On le verra en étude de document mais cet effet permet de trouver le sens de rotation du soleil

↳ image

↳ un bord s'éloigne "red shift"

↳ un bord se rapproche "blue shift"

} étude de chaque bord du soleil

Conclusion: lorsqu'un observateur a une vitesse non nulle par rapport à un émetteur la fréquence émise est différente de celle reçue. De multiples applications existent

↳ mesure de la vitesse du son

↳ mesure de la vitesse d'une voiture ou d'une étoile