Introduction à l'effet Doppler

Ph. Ribière
ribierep@orange.fr

Mars 2011

1 Eléments de correction des exercices non corrigés sur l'effet Doppler.

1.1 Boite de nuit.

Un haut-parleur distant de 10 m d'un mur émet un son de fréquence égale à f=300 Hz. La son émis est réfléchi par le mur. Une personne se déplace entre le haut-parleur et le mur à la vitesse de 3 m/s. Quelle est la fréquence des battements entendus ?

Imaginons que la personne se déplace vers le mur (ce qui ne change rien à la généralité de la résolution).
Il y a deux manière de résoudre l'exercice comme dans l'exercice coorigé intitulé *Deux interprétations de l'onde sonore dans le tuyau.*
Commençons par l'effet Doppler. La personne perçoit deux ondes : l'une qui lui vient directemenent du haut parleur $f_{R\ 1} = (1 - \frac{u}{c}).f$ soit l'autre qui vient après réflexion sur le mur $f_{R\ 2} = (1 + \frac{u}{c}).f$ d'où finalement $\Delta f_R = \frac{2u}{c}.f$ avec c=300m/s.
Avec la formule des battements : $a_0 \cos(\omega t) + a_0 \cos(\omega' t) = 2.a_0 \cos(\frac{\omega+\omega'}{2}.t) \cos(\frac{\omega-\omega'}{2}.t)$ le signal enveloppe varie donc à la pulsation $\frac{\omega-\omega'}{2}$ et donc $f_B = \frac{2u}{c}.f = 6Hz$
Le phénomène peut être vu comme une onde stationnaire dans laquelle se déplace le recepteur. Sachant que la distance entre deux minima est $\frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f}$, on en déduit le signal s'annule dès que $\frac{\lambda}{2} = u.T_B$ soit $f_B = \frac{1}{T_B} = \frac{2u}{c}.f$, même formule que précédemment.

1.2 Vélocimétrie Doppler.

On envoie des ultrasons de $f_0 = 5MHz$ sur des globules sanguins qui s'éloignent à la vitesse v d'un centimètre par seconde.
On suppose que la célérité de l'onde dans le corps est $c = 1500m.s^{-1}$

1. A quelle fréquence les globules sanguins les réémettent-ils ?
2. Quelle est la période du battement qui en résulte ?

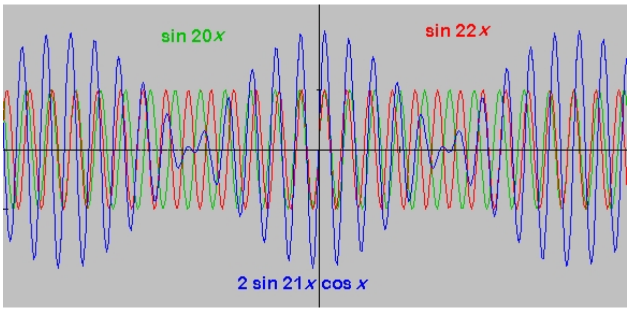

FIGURE 1 – Phénomène de battement

3. Reprendre le calcul en supposant que l'angle entre le faisceau sanguin et la sonde est de $\alpha = 30^{\circ}$

Cet exercice est analogue à celui du sous marin avec un effet Doppler lors d'un aller retour de l'onde.

1. $f_{Reemission} = (1 - \frac{u}{c}).f$
2. $f_{Recuperee} = \frac{1}{1+\frac{u}{c}}.f = \frac{1-\frac{u}{c}}{1+\frac{u}{c}}.f$ soit $Deltaf \simeq \frac{-2u}{c}.f$ et donc $T_B = -\frac{c}{2.u.f} = 0{,}015s$
3. Voici un exemple où il faut tenir compte de l'angle entre la vitesse et le vecteur unitaire $f_{Recuperee} = \frac{1-\frac{u}{c}\cos(\alpha)}{1+\frac{u}{c}\cos(\alpha)}.f$ et donc $T_B = -\frac{c}{2.u.f.\cos(\alpha)} = 0{,}017s$

1.3 Regard vers la Grande Ourse.

La Grande Ourse est la troisième plus grande constellation du ciel. Elle contient le « grand chariot » ou « grande casserole », l'un des astérismes les plus connus de l'hémisphère nord, avec ses sept plus brillantes étoiles.
Dubhe (β Ursae Majoris), la deuxième étoile de la constellation, distance de d=37,9 pc (parsec) de la terre, est une supergéante orange, environ 30 fois plus grande que le Soleil. C'est également une étoile double car elle possède un compagnon, moins massif, distant de R=23 ua, qui orbite autour d'elle en T=44 ans.
Chacune des étoiles du système double émet de la lumière dans l'orange $\lambda = 565,3nm$.
Quelles sont les fréquences de la lumière qu'elles nous envoient et que nous percevons depuis la terre ?
Rappel : la loi de Hubble affirme que pour une galaxie distante de d, la vitesse d'éloignement v est donnée par $v = H_0.d$ avec $H_0 = 72km.s^{-1}.Mpc^{-1}$ (72 kilomètres par seconde et par mégaparsec).

Il s'agit d'un problème à dex corps (programme 1ère année CPGE) où l'étude est simplifiée par le fait que l'étoile centrale est supposée massive.
On étudie donc d'abord l'étoile centrale. Sa vitesse d'éloignement est donnée par la loi de Hubble : $v = H_0.d = 2{,}73.10^{-3}km/s << c$ (les formules approchées sont donc suffisantes.) Donc $\Delta f = -\frac{v}{c} < 0$ décalage vers le rouge.
L'autre étoile tourne autour de l'étoile massive à une vitesse $v' = \frac{2.\pi R}{T}$ donc sa vitesse d'éloignement par rapport à la terre est $v \pm v'$ ce qui crée un $\Delta f = -\frac{v \pm v'}{c}$. La raie orange parait donc plus large.