

LP 18: Effet Doppler:

(1)

Élément imposé: Détection de planètes extrasolaires

Introduction pédagogique:

- Niveau: ~~B-E-D-S-T~~ $\rightarrow$ PC-PC*
- Pré-requis:
 - Spectres d'émission d'une étoile: raies d'absorption et composition de l'atmosphère (Tale S)
 - Loi de composition des vitesses dans le cas de référentiels en translation rectiligne uniforme (PCSI)
 - Développements limités (PCSI)
 - Filtres passe-bas.
- Déjà vu: principe Doppler au Lycée.
 - Ici: définition plus rigoureuse (DL) de la formule associée.
 - On passera vite sur le principe.
 - On met en place une démarche expérimentale.
 - Difficulté dans la manière d'aborder le sujet:
expérience pour modèle math choisi $\Rightarrow$ se rattache à l'exp.

- Bibliographie:
- Micromega Tale S
 - Fruchart
 - geogebra
 - blog.peda.ac-bordeaux.fr
 - phychim.ac-versailles.fr

Introduction:

- Pourquoi les ambulanciers entendent-ils le même son alors que sur le bord de la route on entend autre chose? [video]
- Comment détecte-t-on une planète, qui n'émet pas de lumière, qui n'est pas dans le système solaire?

Effet Doppler: [phénomène selon lequel une onde acoustique émise à une fréquence f_e est reçue par un récepteur à une fréquence $f_r \neq f_e$.] → géométrie

I - Comprendre l'effet Doppler et les relations associées

a) Démarche expérimentale: $\Delta f = g(v_e; f_e)$ de ces "données" où l'émetteur se dirige vers le récepteur

• Montage: Fruchart p 543 → projeté.

Émetteur: piézoélectrique: $41,0 \pm 0,1 \text{ kHz}$

⇒ on n'aura pas un ordre de grandeur de Δf qui va être acceptable % incertitude.

On doit utiliser la détection synchrone

calculs au tableur

(3)

QdG: $f_n + f_e \approx 80 \text{ kHz}$

$\Delta f \approx 1 \text{ Hz}$

On choisit une fréquence de coupure de l'ordre de 100 Hz .

Résultats: Fréchet $\rightarrow$ projeté.

Dépendance linéaire

$$\Delta f = A \cdot v_e$$

• Autre expérience: on fait varier f_e , on mesure Δf $\rightarrow$ en chargeant le piezo

$$\Delta f = B f_e$$

Comme les 2 résultats obtenus sont linéaires (et par affines), on peut dire

$$\Delta f = D f_e v_e$$

Analyse dimensionnelle: $D = \frac{1}{c_{\text{son}}} \Rightarrow$

$$\Delta f = \frac{f_e v_e}{c_{\text{son}}}$$

On peut donc déduire par exemple de la première expérience que $A = \frac{f_e}{c_{\text{son}}}$ ce qui nous permet d'obtenir une valeur expérimentale pour c_{son} .

$$A = 116 \pm 3 \text{ m}^{-2}$$

$$f_e = 42,0 \pm 0,1 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

$$\Delta c_{\text{son}} = c_{\text{son}} \sqrt{\left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f_e}{f_e}\right)^2}$$

$$= 9 \text{ m/s}$$

$$c_{\text{son}} = 353 \pm 9 \text{ m/s}.$$

or: à 20°C: $c_{\text{son}} = 347,5 \text{ m/s}.$

10h

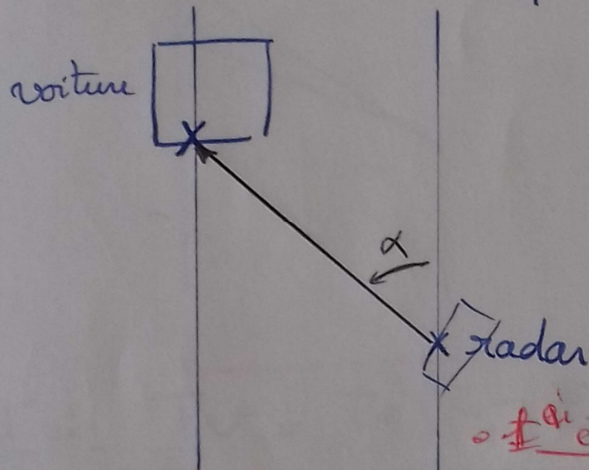
cl: On a donc réussi à redémontrer la relation associée à l'effet Doppler.

quelles sont les conséquences de cet effet sur le monde qui nous entoure?

II - Application de l'effet Doppler:

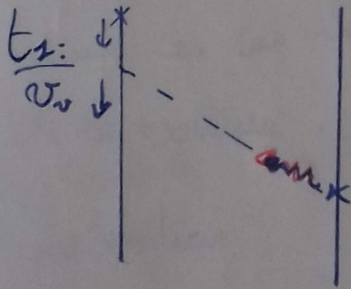
a) Principe d'un radar routier:

- On est dans un cas différent % précédemment:
l'onde se réfléchit sur l'objet en mouvement
pour revenir $\rightarrow$ équation différente % cas précédant

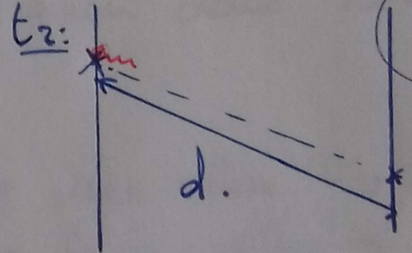


1^{re} étape l'onde reçue par la voiture

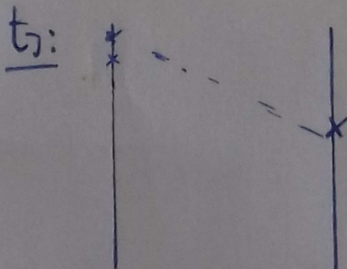
on peut effectuer un raisonnement simple.



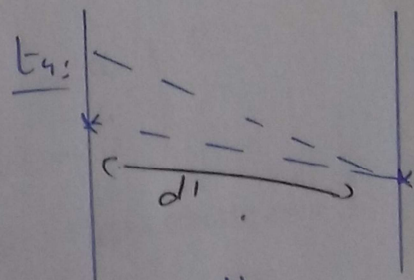
$$t_2 = 0$$



$$t_2 = \frac{d}{c}$$



$$t_3 = T_e$$

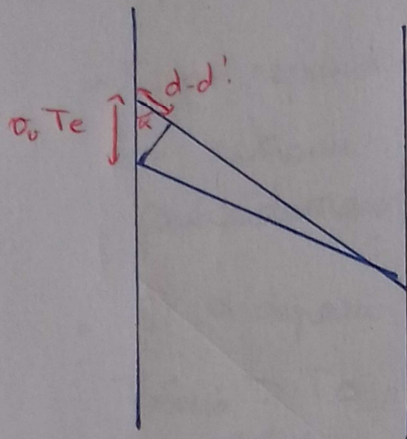


$$t_4 = T_e + \frac{d'}{c}$$

la fréquence perçue par la voiture est alors :

$$T_v = t_1 - t_2 = T_e + \frac{d' - d}{c_{\text{son}}}$$

on :



$$\cos \alpha = \frac{d - d'}{v_v T_e}$$

d'après :
$$T_v = T_e \left(1 - \frac{v_v \cos \alpha}{c_{\text{son}}} \right)$$

2^e étape la voiture renvoie l'onde reçue.

dans ces cas là, on peut se placer dans le ref de la voiture :

vitesse de la voiture est nulle

la voiture

le radar a une vitesse v_v ,
c'est exactement la même situation

$$T_{\text{reçue}} = T_e \left(1 + \frac{v_v \cos \alpha}{c_{\text{son}}} \right)^2$$

DL : $\frac{v_v \cos \alpha}{c_{\text{son}}} \ll 1$ (hyp. raisonnable).

$$\underline{T_{\text{reçu}} = T_e \left(1 - 2 \frac{\cos \alpha v_o}{c_{\text{son}}} \right)}$$

(7)

- Rmq: • d'p'dce en α : max pour $\cos \alpha = 0$ ou 180° .
- Si on reprend l'onde reçue par la voiture avec $\alpha = 0^\circ$ on retrouve l'équation qu'on a démontrée précédemment (à un DL près).
 - Si α dépasse 90° on passe de $T_{\text{reçu}} < T_e$ à $T_{\text{émis}} > T_e$.
- ~~Ex: Ambulance.~~

Mais l'effet Doppler n'a ~~pas~~ que des applications à notre échelle: il permet également d'observer ~~la~~ l'univers.

Effet Doppler - Fizeau: • vitesse d'une étoile (8)

Hyppolite Fizeau a observé un effet particulier,

Schema

- Spectre d'émission: raie d'absorption est tjrs à la même longueur d'onde car dépend de la composition de l'atm. de l'étoile.

On constate que ces raies peuvent être décalées.

- Décalage vers le rouge.
- ————— le bleu.

On peut utiliser cela pour mesurer la vitesse d'une étoile par rapport à la Terre:

$5890,4 \pm 0,4 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ (illustrat°).

raie sodium: 5889,9

Auteur donne $\lambda_n = 5890,411 \pm 0,002 \text{ \AA}$.
vs Sodium $\lambda_n = 5889,924 \text{ \AA}$.

On réinjecte dans l'équation obtenue en 1^{ère} partie: (9)

$$\bullet f_e = \frac{c}{\lambda_e} \quad \bullet f_n = \frac{c}{\lambda_n}$$

$$\Delta f = \frac{c}{\lambda_e} - \frac{c}{\lambda_n} = \frac{f_e v_e}{c}$$

$$\Rightarrow v_e = \frac{c^2 \left(\frac{1}{\lambda_e} - \frac{1}{\lambda_n} \right)}{\frac{\lambda_e}{\lambda_n}}$$
$$= \lambda_e c \left(\frac{1}{\lambda_e} - \frac{1}{\lambda_n} \right)$$

$$\underline{v_e = 248 \pm 0,1 \text{ km/s.}}$$

• Cependant, on observe ce genre de chose: animation
si le ac-badedux

À quoi cela peut -il être dû.

la vitesse varie périodiquement. Comme si l'étoile s'approchait puis s'éloignait de nous.

On peut le comprendre comme 1 problème à 2 corps. → Gif wikipedia

• C'est utile est très puissant! Il nous permet de prouver l'existence d'une deuxième corps qui n'émet pas de lumière.

On peut alors tracer l'évolution de la vitesse mesurée en fct du temps et remonter à la période de rotation :

Ici on a alors une ^{demi} période de rotation de 5,7 jours
 période de révolution : $\approx 10,4$ jours.
 vs photo 6436b

Ccl: L'effet Doppler nous permet d'obtenir des informations précieuses sur les systèmes qui nous entourent :

- vitesse radiales
- ———— étoiles
- présence d'exoplanètes.