

Ondes

Extraits du « syllabus » de la préparation aux IPhO 2022 et 2023 (qui devrait sur ces points être reconduit à l'identique ou presque pour les IPhO 2024) :

4.2 Ondes

Propagation d'ondes harmoniques : expression de la phase comme une fonction linéaire de la position et du temps ; **longueur d'onde, vitesse de phase** (vecteur d'onde, vitesse de groupe ; décroissance exponentielle pour des ondes se propageant dans un milieu dissipatif) ; **ondes transverses et longitudinales** ; **effet Doppler classique**. (Ondes dans un milieu non-homogène : principe de Fermat), **lois de Snell-Descartes**.

Onde sonore : **vitesse en fonction de la pression (module d'Young) et de la densité volumique, cône de Mach**. (Énergie portée par les ondes : proportionnalité avec le carré de l'amplitude, continuité du flux d'énergie).

4.3 Interférences et diffraction

Superposition des ondes : **cohérence, battements, ondes stationnaires**. + plein d'autres choses portant spécifiquement sur les interférences, qui seront vues avec M. Mathevet.

(Seuls les items en gras sont au programme du test de sélection de fin mars ; les items en italique entre parenthèses ne sont pas au programme du test de fin mars ; les lois de Snell-Descartes ne seront pas abordées aujourd'hui)

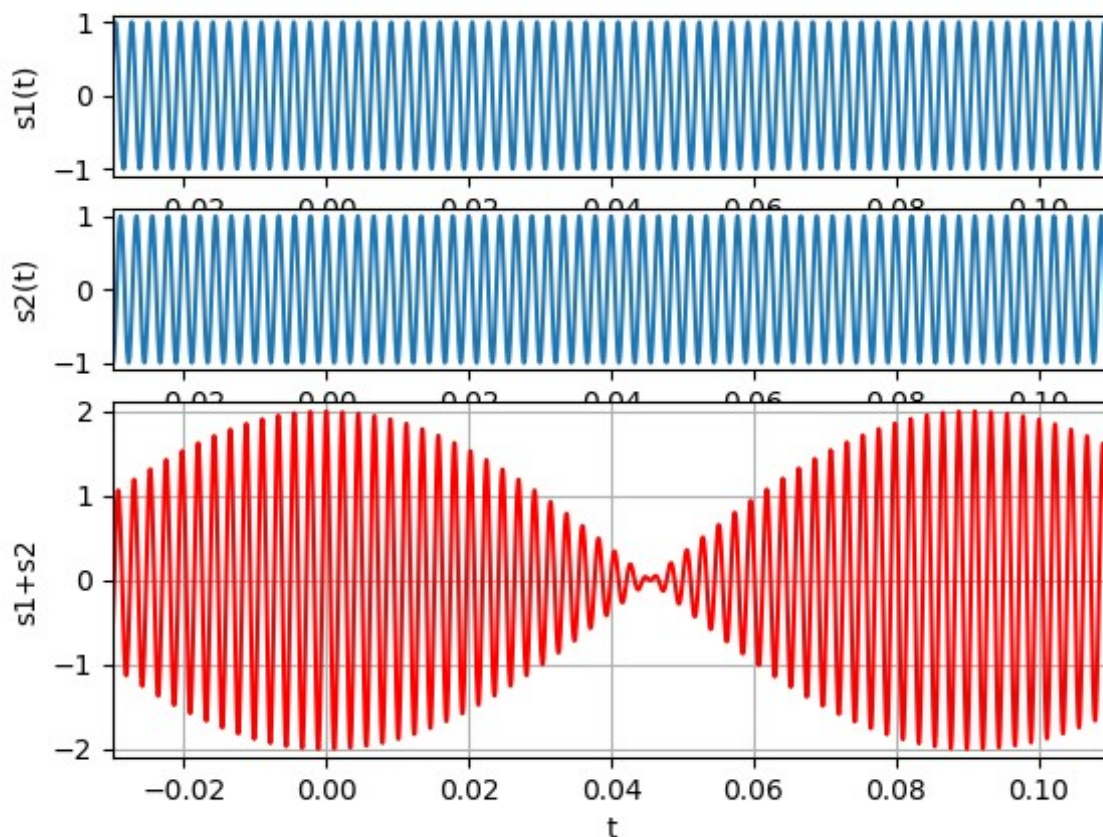
Extraits des précédents tests de sélection.

BATTEMENTS

Superposition de deux signaux **sinusoïdaux** de fréquences **PROCHES**

Formule trigo

$$\cos p + \cos q = 2 \cos \frac{p+q}{2} \cos \frac{p-q}{2}$$



Addition de deux signaux sinusoïdaux de fréquences proches (les valeurs ne correspondent pas tout à fait à l'exercice ci-dessous) ; on voit clairement apparaître les battements, et le facteur 2 de la formule trigonométrique (amplitude de la somme).

Exercice 1 (test 2015) :

Un chef d'orchestre est situé entre deux instruments qui doivent produire un La 3 ($f = 440$ Hz). Le premier musicien joue un la de fréquence $f_1 = 439$ Hz et le deuxième $f_2 = 443$ Hz.

Quelle est la fréquence des battements que le chef d'orchestre entend ?

- (a) 441 Hz (b) 2 Hz (c) 1,5 Hz (d) 4 Hz

Exercice 2 (test 2019) :

Un accordeur de piano souhaite régler la corde du Ré₂ à 73,416 Hz en utilisant un diapason réglé à la fréquence 440,000 Hz. On s'intéresse à l'harmonique du Ré₂ qui donnera le moins de battements par seconde.

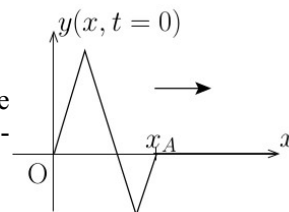
Quand la corde du Ré₂ sera réglée correctement, combien de battements entendra-t-on par seconde ?

- (a) 5 par s (b) 0,5 par s (c) 0,1 par s (d) 0,371 par s

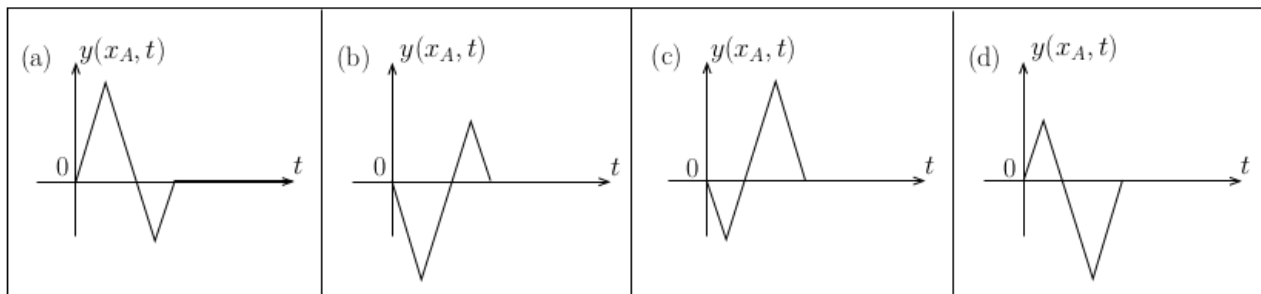
PROPAGATION

Exercice 3 (test 2014) :

On crée sur une corde horizontale (Ox) une onde progressive associée à une perturbation $y(x, t)$, en déplaçant l'extrémité O avant la date $t = 0$. On représente ci-contre l'image de la corde à $t = 0$.

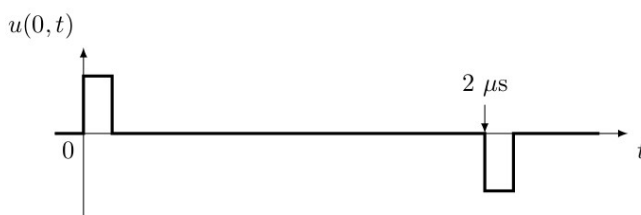


Parmi les graphes ci-dessous, quel est celui qui représente l'évolution temporelle de la perturbation que subit le point A , d'abscisse x_A ?

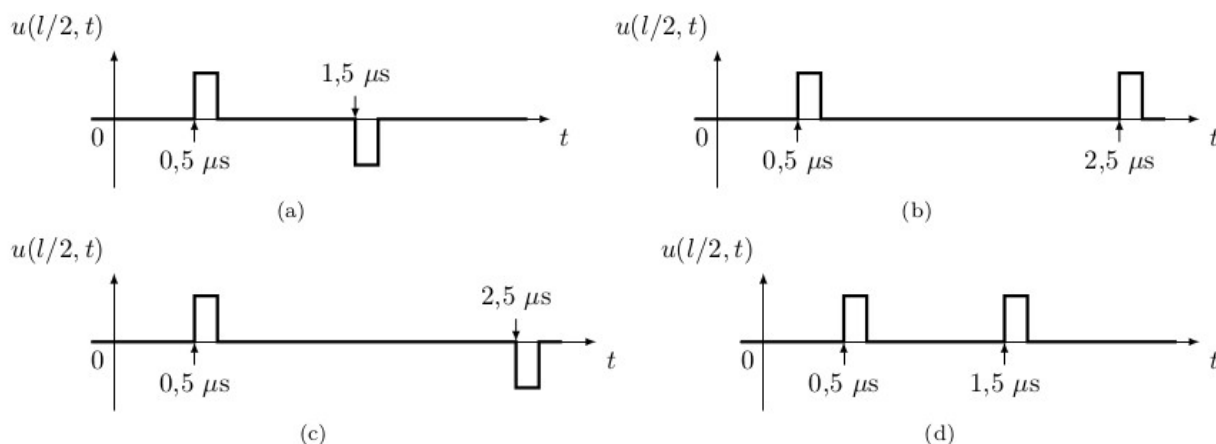


Exercice 4 (test 2016) :

Un câble coaxial peut être le siège de la propagation d'un signal de tension électrique. On envoie une impulsion unique de tension très courte dans un câble de longueur l . Un oscilloscope placé immédiatement en entrée du câble affiche le signal de tension $u(0, t)$ de la figure ci-dessous.



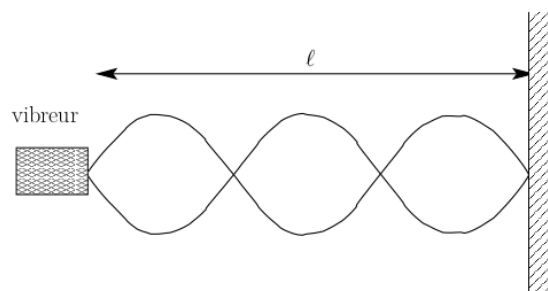
Quel signal $u(l/2, t)$ aurait-il affiché s'il avait été placé au milieu du câble ?



ONDES STATIONNAIRES, MODES PROPRES

Exercice 5 (test 2014) :

On réalise l'expérience de Melde avec une corde de longueur $l = 1,0$ m, de masse $m = 5,0$ g et un vibreur de fréquence f .



Si on observe un phénomène de résonance avec 3 fuseaux pour la fréquence $f = 30$ Hz, quelle est la tension de la corde ?

- (a) 0,50 N (b) 1,0 N (c) 2,0 N (d) 4,0 N

Exercice 6 (test 2016) :

On considère un tuyau sonore, constitué par un cylindre homogène, ouvert à ses deux extrémités. La fréquence du son que le tuyau peut émettre dans l'air diminue si :

- (a) on remplace l'air par de l'hélium ;
(b) on augmente la température de la pièce ;
(c) on bouche l'une des extrémités du tuyau ;
(d) on perce le tuyau à sa moitié.

Exercice 7 (test 2016) :

Mise en évidence en 1880 par les frères Pierre et Jacques Curie, la piézo-électricité est depuis utilisée couramment dans la vie quotidienne. Ce phénomène est propre à certains cristaux comme le quartz : lorsqu'ils sont soumis à des contraintes mécaniques (par exemple lorsqu'on les comprime), une tension électrique apparaît aux bornes du cristal. Inversement, lorsqu'on applique une tension électrique aux bornes du cristal, celui-ci se déforme proportionnellement à la tension électrique appliquée.

On peut ainsi transformer des résonateurs mécaniques en résonateurs électriques et réaliser des horloges.

On modélise le résonateur à quartz par une lame de longueur l , d'épaisseur e et de hauteur h .

La hauteur et l'épaisseur de la plaque sont très petites devant sa longueur. Le module d'Young du quartz vaut $E = 7,87 \cdot 10^{10}$ N.m⁻² et sa masse volumique est $\rho = 2,65 \cdot 10^3$ kg.m⁻³.

La fréquence propre des quartz utilisés couramment en horlogerie est de l'ordre de $f = 32$ kHz.

En explicitant la modélisation réalisée, proposer un ordre de grandeur de la longueur de la lame de quartz utilisée dans les montres.

Commenter ce résultat.

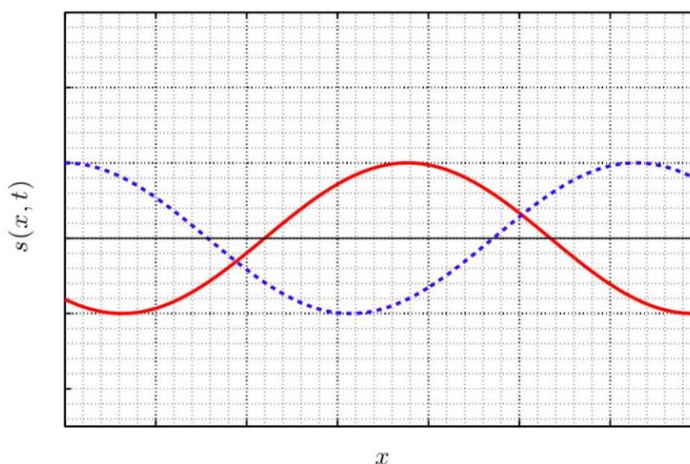
IDENTIFICATION D'UNE ONDE.

Exercice 8 (test 2022) :

On donne la représentation graphique d'une onde sinusoïdale $s(x, t)$ en fonction de l'espace x à l'instant t_1 (en trait continu) et à un instant ultérieur $t_2 > t_1$ (en pointillés).

Quelle est l'unique proposition correcte ?

- (a) L'onde est progressive vers les x croissants
(b) L'onde est progressive vers les x décroissants
(c) L'onde est stationnaire
(d) On ne peut pas conclure



EFFET DOPPLER

Exercice 9 (test 2016) :

Un petit train électrique se dirige en ligne droite à vitesse constante v vers un émetteur/récepteur d'ultrasons, de fréquence f et de célérité c . Que peut-on dire des battements obtenus par superposition du signal émis et du signal reçu après réflexion sur le train ?

- (a) La fréquence des battements est $2fv/c$ et la fréquence de la porteuse est légèrement supérieure à f .
- (b) La fréquence des battements est fv/c et la fréquence de la porteuse est légèrement supérieure à f .
- (c) La fréquence des battements est $2fv/c$ et la fréquence de la porteuse est légèrement inférieure à f .
- (d) La fréquence des battements est fv/c et la fréquence de la porteuse est légèrement inférieure à f .

Exercice 10 (test 2013) :

Un automobiliste grille un feu rouge. S'il explique au policier qui l'arrête que, l'effet Doppler aidant, il voyait le feu vert, à quelle vitesse prétendait-il rouler ?

- a) $3.10^{10} \text{ km.h}^{-1}$ b) 3.10^8 km.h^{-1} c) 3.10^6 km.h^{-1} d) 3.10^4 km.h^{-1}

Exercice 11 (test 2015) :

La détection de planètes gravitant autour d'autres étoiles que le Soleil, ou exoplanètes, est aujourd'hui routinière : on en découvre actuellement près d'une dizaine chaque mois. L'observation directe d'une exoplanète est généralement impossible du fait de sa très faible luminosité. On détecte donc généralement une exoplanète de façon indirecte. Une des principales méthodes de détection indirecte est la méthode dite des vitesses radiales.

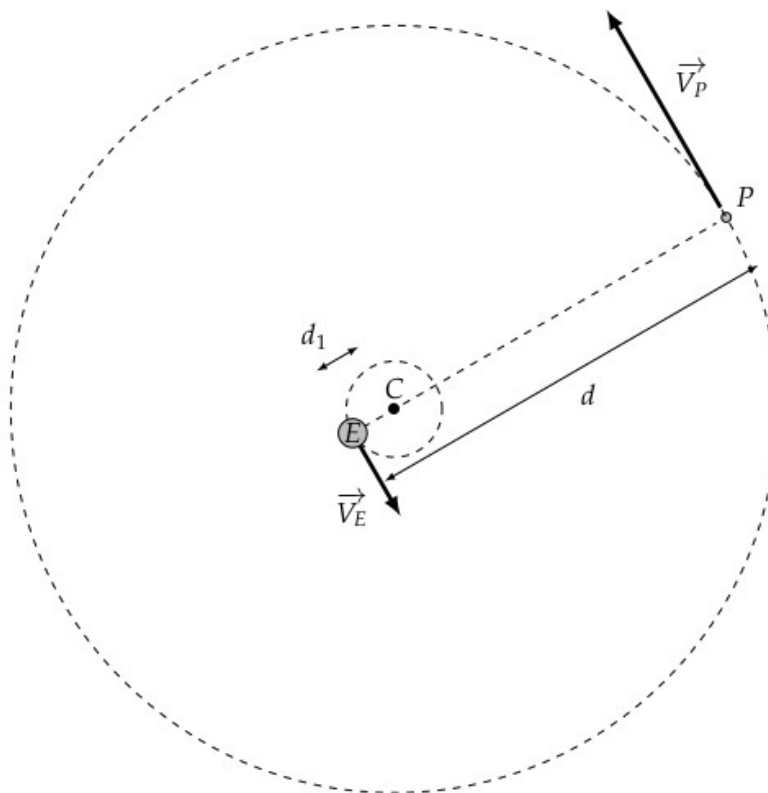


FIGURE 1 – Système planétaire vu depuis la normale en C au plan orbital.

On considère un système planétaire distant constitué d'une étoile E de masse M et d'une planète P de masse $m \ll M$ gravitant autour de E à une distance d . On note C le centre de masse du système, autour duquel E et P ont des trajectoires circulaires (voir figures 1 et 2) aux vitesses respectives $\vec{V}_E$ et $\vec{V}_P$ de normes V_E et V_P .



FIGURE 2 – Système planétaire vu par la tranche, quasiment dans le plan orbital.

Du point de vue d'un observateur terrestre O qui serait situé dans le plan orbital, l'étoile E est donc animée d'un double mouvement oscillant autour de C :

- un mouvement transverse ;
- un mouvement radial selon l'axe observateur-étoile, avec une vitesse radiale $RV(t)$ comptée positivement de O vers E .

Le spectre de l'atome d'hydrogène au repos comporte une raie caractéristique à la longueur d'onde $\lambda_0 = 656,3 \text{ nm}$ (raie « H α »). Des mesures fines de spectroscopie réalisées sur une étoile lointaine montrent que celle-ci présente, à un instant donné, une raie d'absorption à la longueur d'onde $\lambda_0 + \Delta\lambda$, où $\Delta\lambda = 0,1 \text{ pm}$ ($1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$).

Donner, en le justifiant, le signe de la vitesse radiale de l'étoile à l'instant où est réalisée la mesure, ainsi qu'une valeur numérique de sa norme.

(beaucoup d'autres questions suivaient)

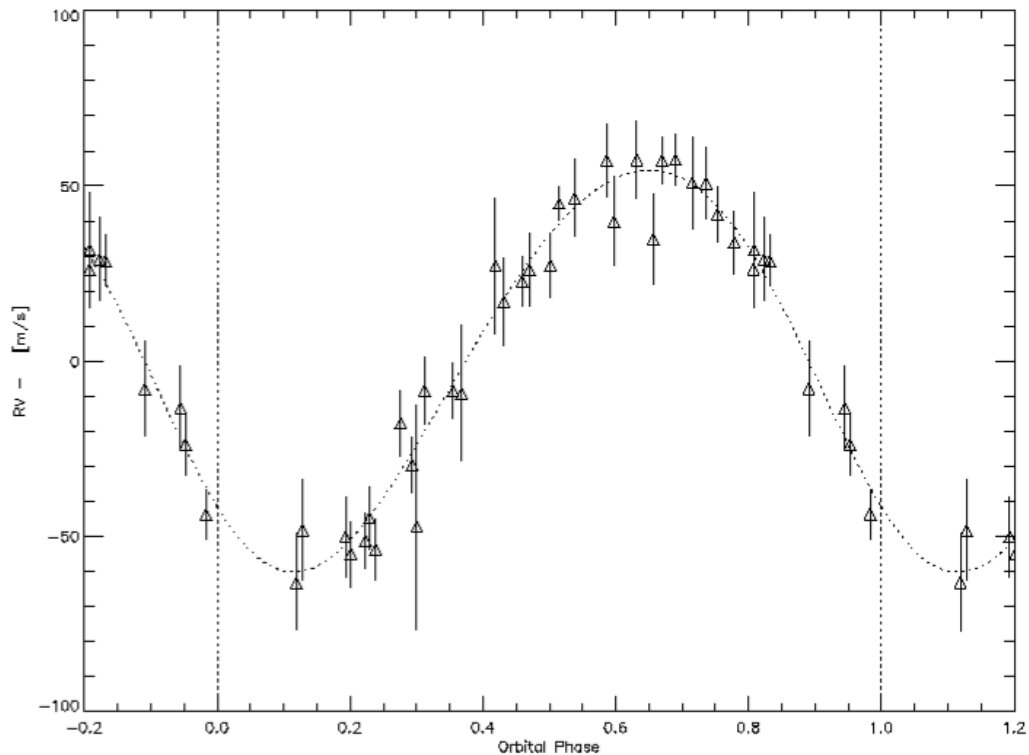
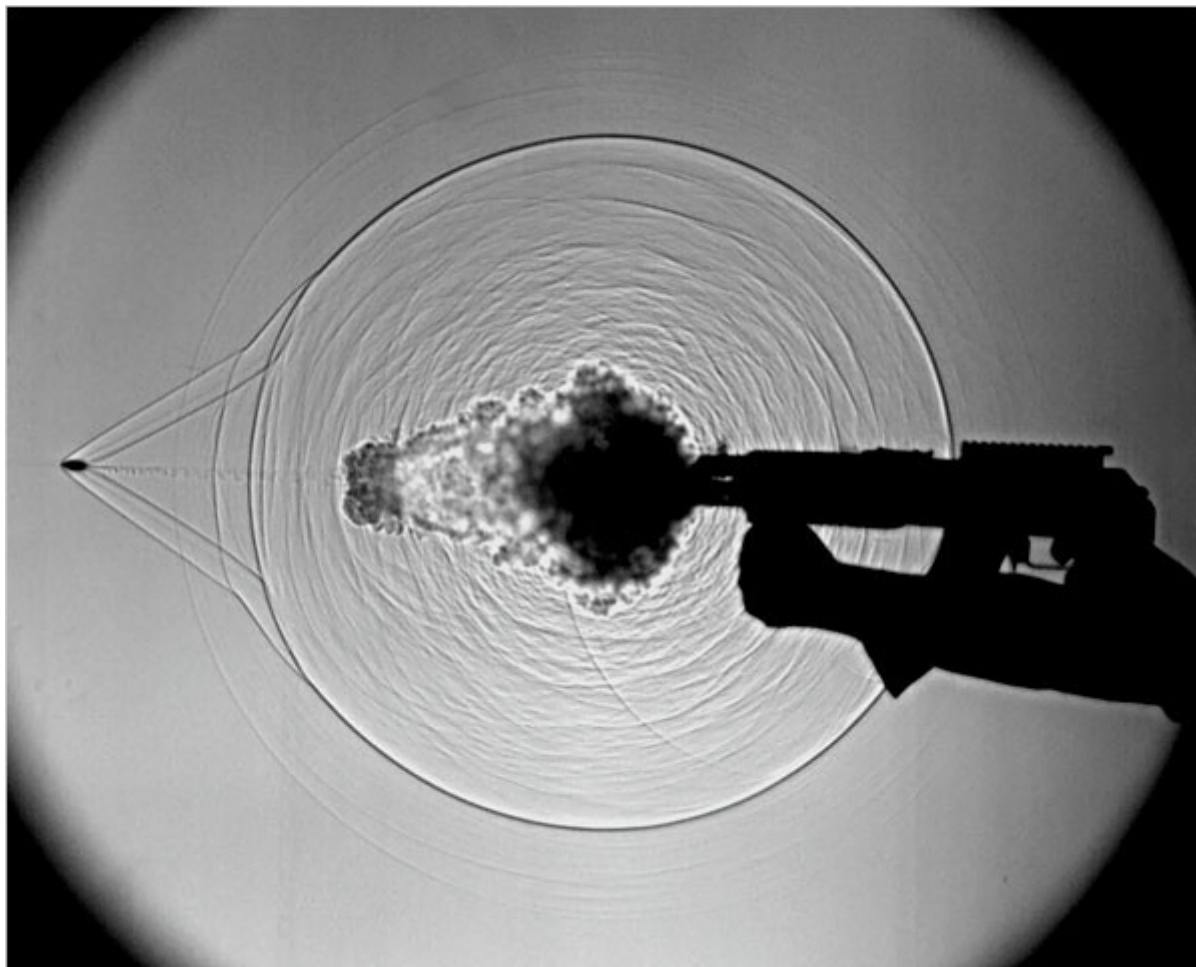


FIGURE 3 – Vitesse radiale $RV(t)$ de l'étoile 51 Pegasi en fonction de la « phase orbitale » (temps normalisé par la période, soit une unité $\leftrightarrow$ 4,23 jours terrestres).

ONDES ACOUSTIQUES – CÔNE DE MACH



Exercice 12 (test 2016) :

Un avion de chasse vole horizontalement à la vitesse de Mach 1,5 (510 m.s^{-1}), à une altitude de 1 000 m. À l'instant $t = 0$, il passe à la verticale d'un observateur. À quel instant l'observateur entend-il le bang sonique ?

- (a) $t = 2,2 \text{ s}$ (b) $t = 2,9 \text{ s}$ (c) $t = 3,1 \text{ s}$ (d) $t = 3,8 \text{ s}$

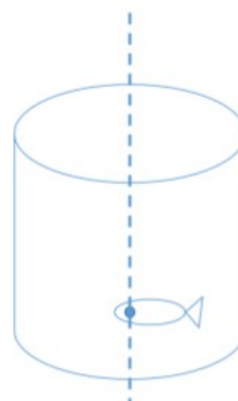
LOIS DE SNELL – DESCARTES

Exercice 13 (test 2017) :

Un poisson nage dans un récipient cylindrique de diamètre $D = 20,0 \text{ cm}$, rempli à ras bord. Le poisson se situe à une position très particulière : son œil se situe précisément sur l'axe de symétrie du cylindre.

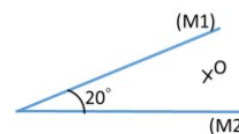
Dans cette position, il peut voir tout ce qui entoure le récipient, sur l'entière surface de l'eau. À quelle distance le poisson se trouve-t-il alors de la surface de l'eau ? On rappelle que l'indice de l'eau est 1,33.

- (a) 22,2 cm (b) 18,0 cm (c) 11,4 cm (d) 8,77 cm



Exercice 14 (test 2017) :

Deux miroirs (M1) et (M2) forment entre eux un angle de 20 degrés. Un objet est placé en O , sur la bissectrice formée par l'angle entre les deux miroirs. Combien d'images de O peuvent-elles être vues en tout (incluant le point O lui-même) ? On fait l'hypothèse que l'œil puisse être placé entre les miroirs et puisse observer les réflexions.



(a) 36 (b) 18 (c) 1 (d) 9

Exercice 15 (test 2017) :

Voir TOUT l'« Exercice 1 » du test de sélection 2017, qui porte (principalement) sur les fibres optiques à saut d'indice.

Quelques ressources sur Internet :

*) le site de la préparation toulousaine aux IphO : <https://fermat.mon-ent-occitanie.fr/projets-pedagogiques/olympiades-internationales-de-physique/> (vous y trouverez ce document, ainsi que ceux que mes collègues déposeront séance après séance cette année)

*) le site officiel de la préparation française aux IPhO : <https://www.sciencesalecole.org/ipho-presentation/> (vous y trouverez le syllabus = programme, les dates importantes de l'année, les annales des tests de présélection avec leurs **corrigés** pour les années les plus récentes, etc...)

*) <https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Ondes/son/doppler.php> (effet Doppler) (et d'autres animations fort bien faites)

*) mon site : <http://physique.colin-andre.fr/ondes.html> où vous pourrez retrouver certaines des animations montrées aujourd'hui (et en particulier : tuyaux sonores)