Autour du papillon
(Bac S – Antilles-Guyane - juin 2018)

Corrigé réalisé par B. Louchart, professeur de Physique-Chimie

<u>1. Étude du sonar de la chauve-souris</u>

<u>1.1. Onde émise par la chauve-souris</u>

1.1.1. $f_e > 20$ kHz, donc l'onde émise par la chauve-souris appartient aux ultrasons.

1.1.2. Les ultrasons ont besoin d'un milieu matériel pour se propager : ce sont des ondes mécaniques.

1.1.3. L'onde est longitudinale car le déplacement des points du milieu de propagation a lieu parallèlement à la direction de propagation de l'onde.

<u>1.2. Vitesse de la chauve-souris</u>

1.2.1. $f_r = f_e \times \dfrac{v_{onde}}{v_{onde} - v_{CS}} \Rightarrow v_{onde} - v_{CS} = \dfrac{f_e \times v_{onde}}{f_r}$

$$\Rightarrow v_{CS} = v_{onde} - \frac{f_e \times v_{onde}}{f_r}$$

$$\Rightarrow v_{CS} = v_{onde} \times \left(1 - \frac{f_e}{f_r}\right) = 340 \times \left(1 - \frac{50{,}0}{50{,}8}\right) = 5{,}4 \text{ m.s}^{-1} = 19{,}3 \text{ km.h}^{-1}$$

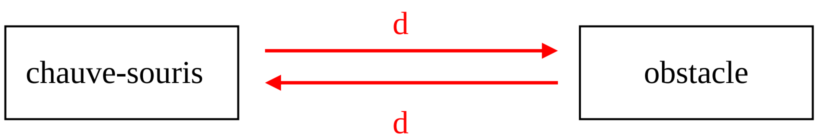
On vérifie que la valeur de la vitesse de la chauve-souris est proche de 19 km.h^{-1}

1.2.2. $\dfrac{v_{onde}}{v_{CS}} = \dfrac{340}{5{,}4} = 63$, donc $v_{onde} = 63 \times v_{CS}$

La vitesse de l'onde est beaucoup plus grande que celle de la chauve-souris.
La chauve-souris recevra donc l'onde (après un aller-retour jusqu'à l'obstacle) bien avant que l'animal atteigne cet obstacle, ce qui lui laissera le temps de s'adapter (pour l'éviter si elle est en simple déplacement, ou au contraire pour foncer sur sa proie si elle chasse).

<u>1.3. Écholocation</u>

1. Notons d la distance qui sépare la chauve-souris du papillon.



Si on néglige pour ce calcul le déplacement relatif de la chauve-souris entre l'émission et la réception de l'onde ultrasonore, la distance parcourue par l'onde pendant la durée τ est 2d.

$$v_{onde} = \frac{2d}{\tau} \quad , \text{ donc } \quad d = \frac{v_{onde}\tau}{2} = \frac{340 \times 16,7 \times 10^{-3}}{2} = 2,8 \text{ m}$$

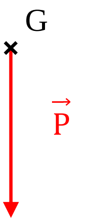
Du fait de l'approximation faite, on doit se limiter à un résultat à 0,1 m près.

2. La tactique défensive du papillon

2.1.1.

- système : {papillon}
  référentiel : terrestre, considéré galiléen

- bilan des forces extérieures appliquées au système :
  $\vec{P}$ son poids
  On néglige les frottements de l'air sur le papillon
  ainsi que la poussée d'Archimède dans l'air.



- D'après la 2ème loi de Newton, dans un référentiel galiléen, $\Sigma\ \vec{F}_{ext} = \frac{d\vec{p}}{dt}$

  Or : $\Sigma\ \vec{F}_{ext} = \vec{P}$

  et : $\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\,\vec{v}_G)}{dt} = m\ \frac{d\vec{v}_G}{dt} = m\ \vec{a}_G$

  car m ne dépend pas de t

  $\Rightarrow \quad \vec{P} = m\vec{a}_G$

  $\Rightarrow \quad m\vec{g} = m\vec{a}_G$

  $\Rightarrow \quad \vec{a}_G = \vec{g}$

2.1.2.

- En projetant cette relation sur l'axe (Oz), on obtient : $a_z = -\,g$

- $a_z = \frac{dv_z}{dt}$, donc $v_z = -\,gt + C_1$
  Or $v_z\ (t = 0\text{ s}) = C_1$ (d'après la relation précédente) et $v_z\ (t = 0\text{ s}) = 0\text{ m.s}^{-1}$ (d'après les conditions initiales indiquées dans l'énoncé).
  Donc $C_1 = 0$.
  Ainsi, on obtient : $v_z\ (t) = -\,gt$

- $v_z = \frac{dz}{dt}$, donc $z = -\,\frac{1}{2}\,gt^2 + C_2$

Or $z\,(t = 0\text{ s}) = C_2$ (d'après la relation précédente) et $z\,(t = 0\text{ s}) = h$ (d'après les conditions initiales indiquées dans l'énoncé).
Donc $C_2 = h$

Finalement, $z\,(t) = -\dfrac{1}{2}gt^2 + h$

2.1.3. Déterminons l'instant t_1 où le papillon arrive au niveau du sol.

$z\,(t_1) = 0 \;\Rightarrow\; -\dfrac{1}{2}g\,t_1^2 + h = 0$

$\Rightarrow\; t_1^2 = \dfrac{2h}{g}$

$\Rightarrow\; t_1 = \sqrt{\dfrac{2h}{g}}$

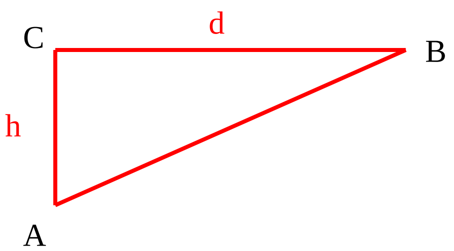
La durée de la chute est donc $\Delta t_{chute} = t_1 - t_0 = \sqrt{\dfrac{2h}{g}}$

2.1.4. $\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$ s'exprime en $\left(\dfrac{m}{m.s^{-2}}\right)^{1/2} = s$

$\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$ est donc bien homogène à un temps.

2.1.5. $\Delta t_{chute} = \sqrt{\dfrac{2h}{g}} = \sqrt{\dfrac{2\times 1{,}2}{9{,}8}} = 0{,}49\text{ s}$

2.2. Calculons la durée $\Delta t'$ nécessaire à la chauve-souris pour atteindre le point A.



D'après le théorème de Pythagore, $AB^2 = d^2 + h^2$

$\Rightarrow\; AB = \sqrt{d^2 + h^2} = \sqrt{2{,}8^2 + 1{,}2^2} = 3{,}0\text{ m}$

En considérant la vitesse de la chauve-souris constante et égale à v_{CS}, on obtient :

$\Delta t' = \dfrac{AB}{v_{CS}} = \dfrac{3{,}0}{5{,}4} = 0{,}57\text{ s}$

$\Delta t' > \Delta t_{chute}$, donc le papillon de nuit touchera le sol avant que la chauve-souris n'arrive.
La tactique du papillon pour se protéger est donc efficace.

3. Le camouflage optique du papillon

3.1. Si, au point étudié, la 2$^{\text{ème}}$ onde arrive avec un retard qui est un multiple de T avec la 1$^{\text{ère}}$ onde, alors les 2 ondes sont en phase.
L'amplitude de l'onde résultante est donc maximale : il y a interférences constructives.

Si le retard est de la forme $\left(k+\frac{1}{2}\right)\times T$, alors les 2 ondes sont en opposition de phase, et l'amplitude de l'onde résultante est au contraire minimale : il y a interférences destructives.

3.2.1. Il y a interférences constructives s'il existe un entier naturel non nul k tel que $\tau = kT$.
(remarque : ici, k est un entier naturel non nul et non un entier relatif car dans cet exercice, $\tau > 0$)

Or $\tau = \dfrac{2ne}{c} + \dfrac{T}{2}$

Il y a donc interférences constructives si $\dfrac{2ne}{c} + \dfrac{T}{2} = kT$

$$\Rightarrow \text{ si } \left(k-\frac{1}{2}\right) T = \frac{2ne}{c}$$

$$\Rightarrow \text{ si } T = \frac{2ne}{c\left(k-\frac{1}{2}\right)}$$

$$\Rightarrow \text{ si } \frac{\lambda}{c} = \frac{2ne}{c\left(k-\frac{1}{2}\right)}$$, où λ est la longueur d'onde dans le vide

$$\Rightarrow \text{ si } \lambda = \frac{2ne}{k-\frac{1}{2}}$$

Les ondes monochromatiques pouvant conduire à des interférences constructives sont celles donc la longueur d'onde dans le vide est $\lambda_k = \dfrac{2ne}{k-\frac{1}{2}}$, où k est un entier naturel non nul.

3.2.2. $\lambda_1 = \dfrac{2ne}{1-\frac{1}{2}} = \dfrac{2ne}{\frac{1}{2}} = 4\,ne = 4\times1{,}5\times100 = 600 \text{ nm}$ (domaine visible)

$\lambda_2 = \dfrac{2ne}{2-\frac{1}{2}} = \dfrac{2ne}{\frac{3}{2}} = \dfrac{4ne}{3} = \dfrac{4\times1{,}5\times100}{3} = 200 \text{ nm}$ (ultraviolet)

Quand k augmente, la valeur de λ diminue.
Donc pour $k \geqslant 2$, les radiations n'appartiennent plus au domaine visible.

La seule radiation du domaine visible pour laquelle il y a interférences constructives est donc celle de longueur d'onde dans le vide $\lambda_1 = 600$ nm (couleur orange).

Remarque : si on procède de même pour rechercher les radiations pour lesquelles il y a des interférences destructives, on trouve que ce sont celles qui ont des longueurs d'onde dans le vide $\lambda'_k = \dfrac{2ne}{k}$ *, où k est un entier naturel non nul.*

Aucune d'entre elles n'appartient au domaine visible : $\lambda'_1 = 2ne = 2\times1{,}5\times100 = 300$ *nm, et les autres ont des longueurs d'onde dans le vide inférieures.*

3.3. Si la lumière blanche n'arrive pas perpendiculairement à la surface de l'aile, $\tau = \dfrac{2ne\cos\theta}{c} + \dfrac{T}{2}$

En opérant comme à la question précédente, on trouve que les radiations pour lesquelles il y a interférences constructives sont celles dont la longueur d'onde dans le vide est :

$\lambda_k = \dfrac{2ne\cos\theta}{k-\frac{1}{2}}$, où k est un entier naturel non nul.

Or d'après le schéma, on remarque que l'angle sous lequel est vu le rayon issu du point considéré de l'aile du papillon dépend de θ.

Donc s'il la regarde sous un autre angle, les longueurs d'onde dans le vide des radiations pour lesquelles il y a interférences constructives ne seront plus les mêmes.

Ainsi, la couleur de l'aile perçue par l'observateur sera différente.

Remarque :

Par analogie avec la question 3.2., les radiations pour lesquelles il y a des interférences destructives sont celles qui ont des longueurs d'onde dans le vide $\lambda'_k = \dfrac{2ne\cos\theta}{k}$ *, où k est un entier naturel non nul.*

Comme $\cos\theta < 1$*, quelque soit l'angle* θ*, aucune d'entre elles n'appartient au domaine visible : elles auront toutes une longueur d'onde dans le vide inférieure à 300 nm.*