

**EPREUVE DE PHYSIQUES 2008**

[www.touslesconcours.info](http://www.touslesconcours.info)

## Première partie : Exercices et problèmes

Pour chaque question, une démonstration rigoureuse est attendue.

**Exercice n°1 : Ondes ultrasonores**

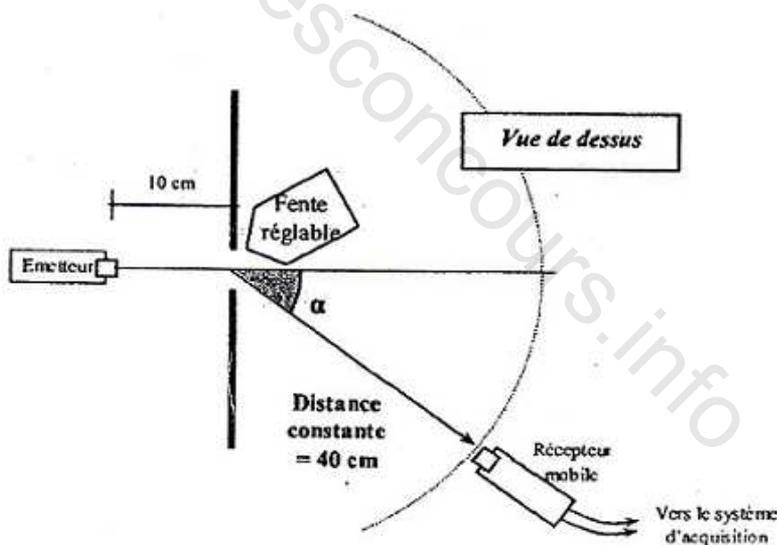
On étudie dans cet exercice différents phénomènes liés à la propagation des ultrasons. Dans la première partie, les expériences sont réalisées dans l'air. Dans la seconde partie, on s'intéresse au principe du sonar, le milieu de propagation étant l'eau. On peut décrire sommairement le principe de fonctionnement de l'ensemble émetteur - récepteur d'ultrasons de la manière suivante : l'émetteur contient une plaquette de céramique qui est mise en vibration par application d'une tension électrique sinusoïdale. Les vibrations de la plaquette sont communiquées au fluide (air ou eau) qui l'entoure et engendrent une onde ultrasonore sinusoïdale de fréquence identique à celle de la tension imposée à l'émetteur. Le récepteur est constitué, comme l'émetteur, d'une plaquette de céramique réceptrice qui détecte l'onde ultrasonore venant de l'émetteur. La tension électrique qui apparaît aux bornes du récepteur est de même fréquence que l'onde détectée. Cette tension est proportionnelle à la pression exercée par le fluide sur la plaquette réceptrice.

**A. Ultrasons dans l'air**

Données numériques : Valeur de la célérité des ultrasons dans l'air à 25°C :  $v_{\text{air}} = 340 \text{ m.s}^{-1}$ .

La fréquence  $f$  de l'émetteur est réglée à la valeur 40 kHz, on utilise cette source dans l'air à 25°C.

- Donner la définition d'une onde mécanique.
- Déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  de l'onde ultrasonore générée.
- La source est disposée à une distance  $d$  du récepteur lui faisant face. Déterminer le retard avec lequel les vibrations de la source sont transmises au récepteur. Calculer ce retard pour une distance  $d = 50 \text{ cm}$ .
- Avec quel instrument de mesure ce retard peut-il être correctement évalué ? Justifier la réponse.
- Face à la source ultrasonore, réglée comme précédemment, on place à 10 cm une plaque de métal percée d'une fente rectangulaire verticale de largeur réglable, disposée selon le schéma ci-contre. On déplace le récepteur en le maintenant à une distance constante de 40 cm de la fente.



Un système d'acquisition permet de mesurer la tension aux bornes du récepteur. On repère la valeur de l'angle  $\alpha$  correspondant aux maxima et aux minima d'amplitude successifs de la tension sinusoïdale mesurée.

Les résultats obtenus pour une largeur de fente égale à 40 mm sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Angle $\alpha$ en degrés	0	12	18	25
Amplitude de la tension sinusoïdale mesurée	Maxi	min	Maxi	min

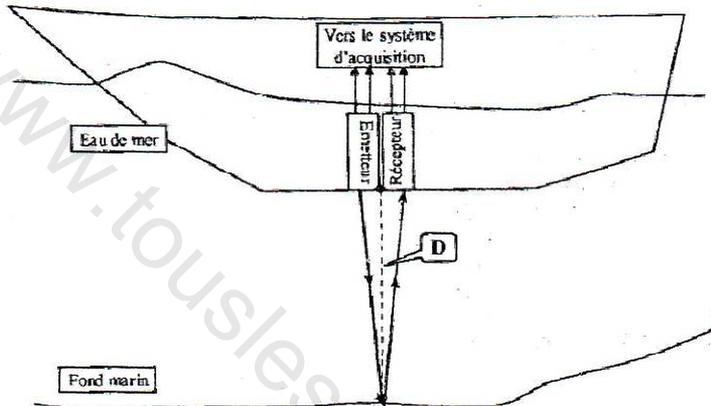
- Quel phénomène physique est mis en évidence par cette expérience ? La largeur de la fente a-t-elle une influence sur ce phénomène ?
- Tous les autres paramètres de l'expérience restant inchangés, la largeur de la fente est réduite à 20 mm. Dans quel sens varie la valeur de l'angle d'observation du premier minimum ?

## B. Principe du sonar

Le sonar est un dispositif émetteur-récepteur d'ondes ultrasonores qui, remorqué par un navire, permet d'obtenir des enregistrements donnant une image à deux dimensions des fonds marins. Les dispositions de l'émetteur et du récepteur sont représentées schématiquement ci-contre :

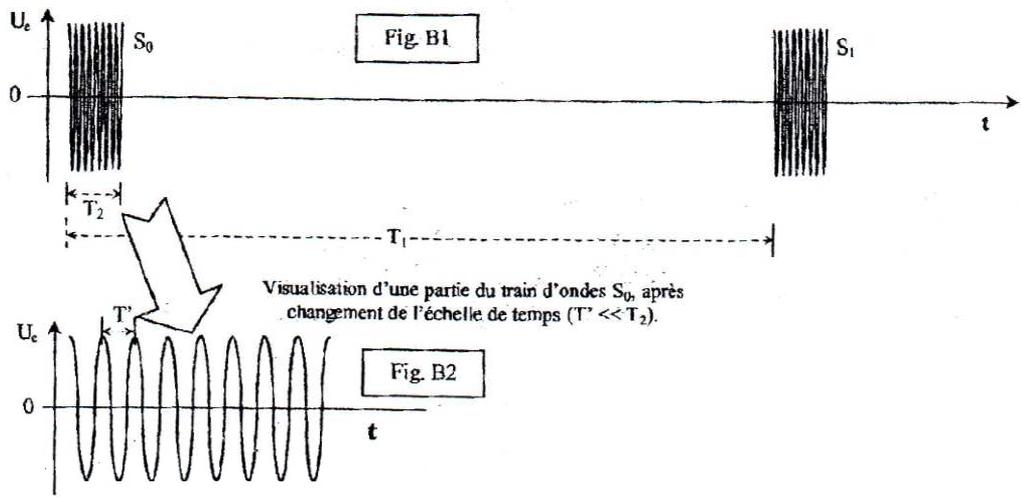
Les "rayons ultrasonores" qui matérialisent la direction et le sens de propagation de l'onde ultrasonore sont très peu inclinés par rapport à la verticale. On considérera donc que le trajet accompli par l'onde (de l'émetteur vers le fond marin puis, après réflexion, du fond marin vers le récepteur) se fait quasiment selon la verticale.

On utilise ici une tension sinusoïdale de fréquence  $f = 20 \text{ kHz}$  pour alimenter l'émetteur, la longueur d'onde dans le milieu marin étant alors  $\lambda' = 7,5 \text{ cm}$ .



- Calculer la célérité  $v_{\text{eau}}$  des ondes émises.
- L'onde n'est pas générée par l'émetteur en continu mais par trains d'ondes d'une durée de 0,010 s émis toutes les secondes. Un système d'acquisition permet de visualiser la tension  $U_e$  aux bornes de l'émetteur en fonction du temps. On obtient la représentation suivante montrant deux trains d'ondes successifs  $S_0$  et  $S_1$  (fig. B1). Une visualisation de  $S_0$  est également proposée avec une échelle de temps plus petite afin de voir les détails du signal (fig. B2). Utiliser les données du texte précédent pour déterminer les durées  $T'$ ,  $T_1$  et  $T_2$  indiquées sur les schémas. Justifier, le cas échéant, par des calculs.

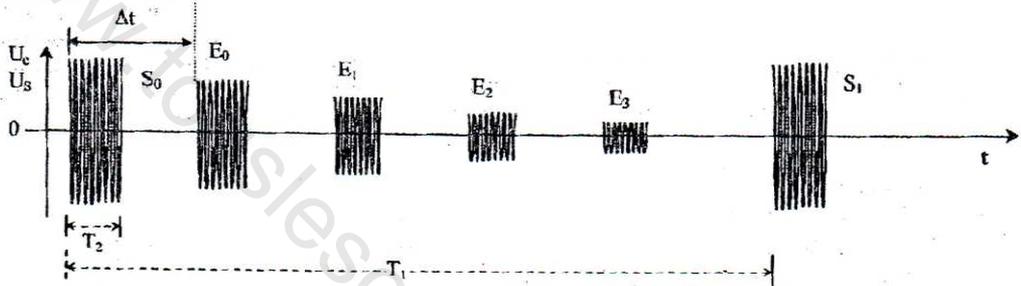




3. On visualise maintenant une acquisition qui superpose la tension  $U_c$  aux bornes de l'émetteur (signaux  $S_0, S_1, \dots$ ) et la tension  $U_s$  aux bornes du récepteur (signaux  $E_0, E_1, \dots$ ). Les traces  $E_0, E_1, E_2, E_3$  matérialisent les différents échos détectés par le récepteur.

a. On appelle  $\Delta t$  le décalage de temps du premier écho  $E_0$  avec le déclenchement du premier signal électrique à  $t = 0$  s. La valeur de  $\Delta t$  est suffisamment faible pour que l'on considère l'ensemble émetteur récepteur comme fixe par rapport au fond pendant cette durée. Calculer la profondeur  $D$  du fond marin en un lieu où  $\Delta t = 0,10$  s.

b. Proposer une explication pour l'existence d'échos multiples à intervalles de temps réguliers. Pourquoi leur amplitude décroît-elle ?



### Exercice n°2 : Pendule élastique amorti

Un ressort de raideur  $K$  est horizontal, une de ses extrémités est fixe. On accroche à son autre extrémité un solide de masse  $m$ . Ce solide peut se déplacer le long d'un axe horizontal  $Ox$ . Soit  $O$  la position du centre d'inertie du corps à l'équilibre.

Il existe des frottements. On admettra qu'ils se réduisent à une force  $\vec{f} = -h \vec{v}$  où  $\vec{v}$  désigne la vitesse instantanée du solide. Le coefficient  $h$  est positif.

1. Après avoir fait un schéma comportant les notations choisies ainsi que les forces s'exerçant sur le solide, établir l'équation différentielle caractéristique du mouvement du solide.

2. Quelle est la nature de ce mouvement ? Donner l'allure de  $x(t)$  selon la valeur du coefficient d'amortissement  $A = h/m$ .

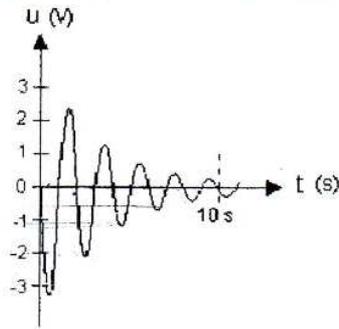
3. Energie de l'oscillateur.

a. Donner l'expression de l'énergie mécanique du système solide-ressort.

b. En utilisant l'expression précédente, établir la relation entre la dérivée de l'énergie mécanique par rapport au temps et la puissance de la force de frottement.

c. Commenter cette relation en termes de transferts d'énergie.

4. A l'aide d'une interface reliée à un ordinateur, on a relevé une tension  $u$  proportionnelle à  $x(t)$ .



L'ordinateur est programmé de telle sorte qu'à 1 volt corresponde 1 cm.

A partir du graphique ci-dessus :

- Déterminer les conditions initiales imposées à cet oscillateur.
- Calculer la pseudo-période.
- Déterminer l'énergie mécanique  $E_m$  de l'oscillateur à chaque passage par un extremum négatif de  $x$  (se limiter aux quatre premiers).

Que peut-on dire du rapport  $(E_m)_i / (E_m)_{i+1}$  ?

Donnée :  $k = 10 \text{ N/m}$ .

- Déterminer le travail de la force de frottement  $\vec{f}$  entre les passages par le 1<sup>o</sup> puis le 4<sup>o</sup> extremum négatif.

### Exercice n°3 Mécanisme de fusion de l'hydrogène dans une étoile.

On se propose de commenter un extrait d'article du dossier hors série de la revue « Pour la science » de janvier 2001.

« ...La phase de **fusion** (ou combustion) de l'hydrogène est la plus longue de la vie des étoiles. Si la masse stellaire est comparable ou inférieure à celle du Soleil, la température centrale est inférieure à une **vingtaine de millions de degrés**. Dans ces conditions, la fusion de **deux noyaux d'hydrogène** (ou protons) produit un **noyau de Deutérium** qui capture un autre proton et forme un **noyau d'Hélium 3** ... Finalement, **deux noyaux d'Hélium 3** fusionnent en un **noyau d'Hélium 4** ... L'ensemble de ces réactions constitue la première des chaînes proton - proton ou chaîne p-p, la plus importante dans le cas du Soleil ... ».

#### A QUELQUES CONSIDERATIONS DE VOCABULAIRE

- Donner une définition rapide des mots « fusion nucléaire » et « fission nucléaire ».
- En considérant les charges des noyaux en cause dans le mécanisme de fusion, expliquer pourquoi ces réactions ne peuvent se produire qu'à très haute température ( $2,1 \cdot 10^7 \text{ }^\circ\text{C}$ ). On parle alors de fusion thermonucléaire...

#### B - ETUDE DE LA CHAÎNE DE REACTIONS

Notations utilisées pour les noyaux concernés :

Hydrogène (ou proton) :  ${}^1_1\text{H}$  (ou  ${}^1_1\text{p}$ )    Deutérium :  ${}^2_1\text{H}$     Hélium 3 :  ${}^3_2\text{He}$     Hélium 4 :  ${}^4_2\text{He}$

- Écrire les trois réactions de fusion citées dans l'article en nommant les particules formées ?
- Écrire la réaction bilan des trois réactions de fusion précédentes, qui, à partir de noyaux d'hydrogène, permet d'obtenir un noyau d'hélium 4.

#### C - CONSIDERATIONS ENERGETIQUES. LE SOLEIL "MAIGRIT-IL" ?

On considère désormais la réaction suivante de la question B.2

On donne les masses des noyaux, en unité de masse atomique :

${}^1_1\text{H}$  : 1,0073 u     ${}^4_2\text{He}$  : 4,0026 u     ${}^0_1\text{e}$  : 0,0006 u

1 u correspond à une énergie de 935 MeV ( $\approx 1000 \text{ MeV}$ )

- Calculer la perte de masse correspondant à cette fusion.

2. En déduire une estimation, en MeV, de la valeur de l'énergie libérée par nucléon lors de cette fusion.
3. Le soleil transforme, chaque seconde, 720 millions de tonnes d'hydrogène en hélium 4.  
Estimer la perte de masse subie, chaque seconde, par le soleil.  
**NB : On pourra remarquer que le rapport 0,0254/4,0292 est très peu différent de 1/160.**
4. La masse du terre est d'environ  $6 \cdot 10^{24}$  kg, en arrondissant une année à 3 millions de seconde, combien faudrait il de temps pour que l'équivalent de la masse de la terre disparaisse.

Deuxième partie : QCM

À chaque affirmation, vous répondez donc par **VRAI** ou **FAUX** sur la « feuille de réponse » fournie en page 8 à rendre avec la copie..

**Exercice n°4**

Un champ électrique est créé au point B par une charge ponctuelle q située en un point A, avec :

$\vec{i}$  = vecteur unitaire de la droite AB dirigé de A vers B  
r = distance AB

Données :

- $k = 9 \times 10^9$  S.I. ;
- $r = 10$  cm ;
- $q = + 10 \times 10^{-9}$  C .

- Q1 Le champ électrique créé par la charge q st donné par :  $\vec{E} = k \cdot \frac{q}{r} \vec{i}$ .
- Q2 Le champ électrique, créé en B par la charge q, est dirigé de A vers B car  $q > 0$ .
- Q3 La valeur du champ électrique en B est égale à  $9 \cdot 10^9$  V . m<sup>-1</sup>.
- Q4 Une autre charge électrique q, placée en B, subit une force attractive de valeur  $F = 9 \cdot 10^9$  N.

**Exercice n°5**

Dans un référentiel géocentrique, un satellite de la Terre (masse  $M_T$ , rayon  $R_T$ ) possède un mouvement circulaire uniforme à l'altitude  $h = 620$  km. A cette altitude, le champ de pesanteur vaut  $g_h = 8$  m.s<sup>-2</sup>.

Données :

- $R_T = 6380$  km ;
- $\sqrt{56} = 7,48$       $\frac{1}{\sqrt{56}} = 0,13$       $\frac{1}{56} = 0,018$  .

- Q5 Le vecteur vitesse du satellite est constant.
- Q6 Le vecteur accélération du satellite est tangent à la trajectoire.
- Q7 La valeur de l'accélération du satellite a pour expression :  $a = G \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$
- Q8 La valeur de la vitesse du satellite est environ égale à  $v = 7,5$  km.s<sup>-1</sup>.

**Exercice n°6**

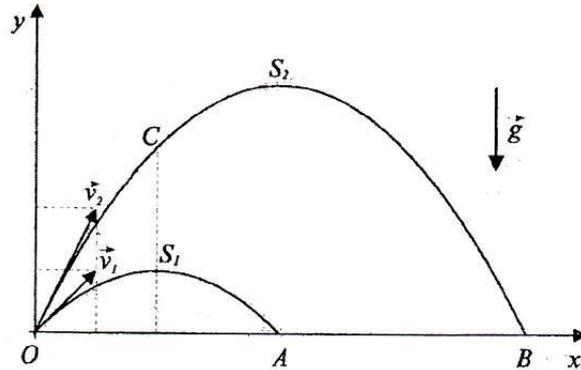
Dans le champ de pesanteur terrestre, deux projectiles P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> sont lancés au même instant  $t = 0$  d'un point origine O avec des vitesses initiales situées dans un même plan vertical. On néglige les frottements.

La figure schématise l'orientation des vitesses initiales et les trajectoires des projectiles.



Données :

- $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$
- $\vec{v}_1 \begin{cases} v_{1x} = 2 \text{ m.s}^{-1} \\ v_{1y} = 2 \text{ m.s}^{-1} \end{cases}$
- $\vec{v}_2 \begin{cases} v_{2x} = 2 \text{ m.s}^{-1} \\ v_{2y} = 4 \text{ m.s}^{-1} \end{cases}$



Q9 Les projectiles arrivent en A et B en même temps.

Q10 A l'instant où le projectile P<sub>1</sub> passe au sommet S<sub>1</sub>, le projectile P<sub>2</sub> passe en C.

Q11 Aux deux sommets S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> des trajectoires, les vitesses des projectiles sont égales.

Q12 La trajectoire du projectile P<sub>1</sub> est une portion de parabole d'équation  $y = -5x^2 + x$

### Exercice n°7

Une aiguille aimantée mobile autour d'un pivot vertical est placée au centre d'un solénoïde « infini».

L'axe A de cette bobine est perpendiculaire au plan du méridien magnétique terrestre du lieu (schéma 1).

Lorsqu'un courant électrique d'intensité 8 mA circule dans le solénoïde, l'angle  $\alpha$  entre l'aiguille et l'axe A est de 45°.

Données:

- composante horizontale du vecteur champ magnétique terrestre :  $B_h = 2.10^{-5} \text{ T}$ ;
- perméabilité magnétique du vide :  $\mu_0 = 4\pi.10^{-7} \text{ S.I.}$

Q13 L'aiguille pivote de 45° vers l'est, lorsque l'intensité a le sens indiqué sur le schéma 2.

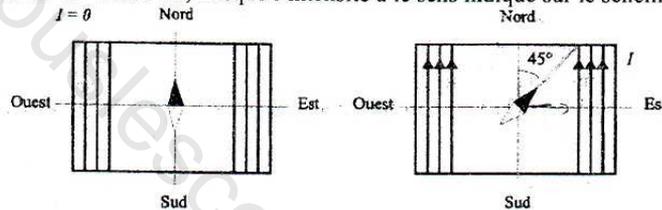


Schéma 1

Schéma 2

Q14 Le champ magnétique  $\vec{B}$  créé par le courant électrique à l'intérieur du solénoïde et la composante horizontale  $\vec{B}_h$  du champ magnétique terrestre ont la même valeur.

Q15 Le nombre de spires par unité de longueur du solénoïde est d'environ 1000. Q16 Si l'intensité du courant augmente, l'angle  $\alpha$  diminue.

### Exercice n°8

On réalise la charge et la décharge d'un condensateur de capacité  $C = 0,1 \mu\text{F}$  à travers un conducteur ohmique de résistance  $R = 10 \text{ k}\Omega$  à l'aide d'un générateur basse fréquence GBF délivrant une tension en carré de fréquence  $f$  et de valeurs toujours positives.

On utilise un oscilloscope bicourbe pour visualiser les tensions indiquées sur le schéma ci-contre. L'écran de l'oscilloscope comporte 10 divisions sur chaque axe.

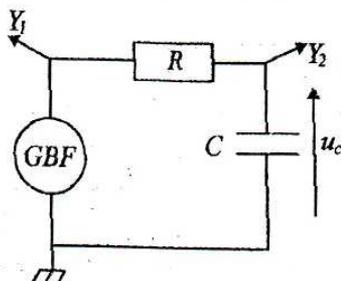
Q17 La voie Y<sub>1</sub> de l'oscilloscope permet de visualiser l'allure de l'intensité du courant de charge ou de décharge du condensateur et la voie Y<sub>2</sub> la tension aux bornes du condensateur.



Q18 La constante de temps du dipôle est 5 ms.

Q19 On peut considérer que la charge du condensateur est achevée en 1 ms.

Q20 Pour avoir à l'oscilloscope un cycle quasi-complet charge-décharge, il faut régler la fréquence du générateur basse fréquence sur 100 Hz et le balayage de l'oscilloscope sur 1 ms/DIV.



### Exercice n°9

Le Césium 137 est un élément radioactif, émetteur  $\beta^-$ . La demi-vie  $t_{1/2}$  du Césium 137 est 30 ans.

On donne :  ${}_{52}\text{Te}$  ;  ${}_{53}\text{I}$  ;  ${}_{54}\text{Xe}$  ;  ${}_{55}\text{Cs}$  ;  ${}_{56}\text{Ba}$

On prendra :  $\ln 2 = 0,7$  et  $\ln 10^{-2} = -4,6$ .

Q21 L'équation de désintégration du noyau de Césium 137 s'écrit :  ${}^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow {}^{137}_{54}\text{Xe} + {}^0_{-1}e$

Q22 Le noyau fils peut se mettre dans un état excité et émettre un rayonnement  $\gamma$ .

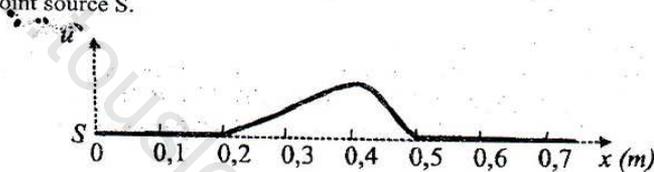
Q23 La constante radioactive  $\lambda$  vaut environ  $2,3 \cdot 10^{-2} \text{ an}^{-1}$ .

Q24 La durée calculée nécessaire à la disparition de 99 % de Césium 137 est  $t = 200$  ans.

### Exercice n°10

Le graphique suivant modélise l'aspect d'une corde soumise à une perturbation à la date  $t_1$ .

On note  $u$  le déplacement latéral de la corde. L'origine des dates correspond avec le départ de la perturbation du point source S.



Etat de la corde à l'instant  $t_1$

Le début du signal, se propageant le long de la corde, arrive en un point M d'abscisse  $x_M = 1,2 \text{ m}$  à la date  $t_2 = t_1 + \tau$  avec  $\tau = 70 \text{ ms}$ .

Q25 Cette onde est une onde mécanique longitudinale.

Q26 La célérité  $v$  de la perturbation est  $v = 1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Q27 La date  $t_1$  a pour valeur 0,5 s.

Q28 La durée  $\theta$  de la perturbation, durée pendant laquelle un point de la corde est en mouvement, est  $\theta = 0,03 \text{ s}$ .

### Exercice n°11

Une radiation  $a$ , dans le vide, une longueur d'onde égale à  $600 \text{ nm}$  et, dans un milieu transparent, une longueur d'onde égale à  $400 \text{ nm}$ .

La célérité de la lumière dans le vide est  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Q29 Dans le vide, la fréquence de cette radiation  $a$  pour valeur  $5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ .

Q30 Dans le milieu transparent la fréquence de cette radiation est supérieure à  $5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ .

Q31 L'indice du milieu est de 1,5.

Q32 Dans le milieu transparent la longueur d'onde est voisine de l'infrarouge.



### Exercice n°12

**Donnée:** Accélération de la pesanteur :  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ .

Des expériences sont réalisées afin de déterminer l'influence de la masse d'un pendule simple sur son mouvement non amorti.

Le pendule simple étudié est constitué d'un fil de longueur  $l = 90 \text{ cm}$ , de masse négligeable auquel on accroche successivement des petits solides sphériques de masse  $m_1 = 100 \text{ g}$ ,  $m_2 = 2 m_1$  puis  $m_3 = 4 m_1$ . À chaque essai, le pendule est écarté de sa position d'équilibre verticale d'un angle  $\theta_0 = 10,0^\circ$  puis lâché à  $t = 0$ .

Q33 La mesure des trois périodes conduit aux résultats suivants :  $T_3 = 2 T_2 = 4 T_1$ .

Q34 Le calcul des trois vitesses maximales  $V_m$ , au passage par la position d'équilibre, donne:

$$V_{m1} = 4 V_{m2} = 16 V_{m3}.$$

À chaque essai, à la date  $t=0$ , à partir de sa position verticale, le pendule est maintenant propulsé, avec une vitesse  $\vec{V}_0$  de valeur  $V_0 = 0,30 \text{ m.s}^{-1}$ .

Q35 Les amplitudes maximales  $\theta_m$  obtenues sont égales et telles que  $\cos \theta_m = 1 + \frac{V_0^2}{2gl}$

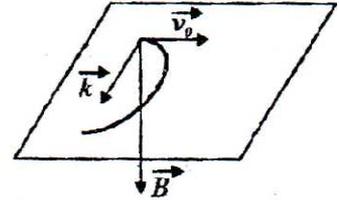
Q36 Au passage par la position d'équilibre, le pendule a une vitesse angulaire environ égale à  $0,33 \text{ rad.s}^{-1}$ .

### Exercice n°13

Une particule portant une charge  $q$  pénètre dans une zone où règne un champ magnétique uniforme  $B$ , avec une vitesse initiale  $v_0$  orthogonale à  $B$ . La trajectoire de la particule est circulaire, de rayon  $R$  (voir figure ci-contre).

**Données:**

- $R = 25 \text{ cm}$
- $v = 1,2 \cdot 10^4 \text{ km.s}^{-1}$
- $B = 1 \text{ T}$
- 



Q37 La particule est chargée positivement.

Q38 Le mouvement de la particule est uniformément varié puisque son accélération est non nulle.

Q39 La valeur absolue du rapport  $q/m$  de cette particule est égale à  $48 \cdot 10^6 \text{ C.kg}^{-1}$ .

Q40 Quelle que soit la position de la particule sur sa trajectoire, le vecteur accélération conserve toujours

pour expression  $\vec{a} = \frac{qv_0 B}{m} \vec{k}$

Question	Réponse	Question	Réponse	Question	Réponse	Question	Réponse
Q1		Q11		Q21		Q31	
Q2		Q12		Q22		Q32	
Q3		Q13		Q23		Q33	
Q4		Q14		Q24		Q34	
Q5		Q15		Q25		Q35	
Q6		Q16		Q26		Q36	
Q7		Q17		Q27		Q37	
Q8		Q18		Q28		Q38	
Q9		Q19		Q29		Q39	
Q10		Q20		Q30		Q40	