Cette épreuve est formée de quatre exercices répartis sur douze pages.
L'usage d'une calculatrice non programmable est recommandé.

مسابقة في مادة الفيزياء

المدة: ثلاث ساعات

(باللغة الفرنسيّة)

الاسم:...................................

الرقم:...............................

Exercice 1 **(8 points)** **Oscillations mécaniques**

Le but de cet exercice est d'étudier les oscillations d'un pendule élastique horizontal.

Le pendule comporte :

- un solide **(S)** de masse m ;
- un ressort horizontal **(R)** de masse négligeable à spires non jointives et de constante de raideur **k = 160 N/m**.

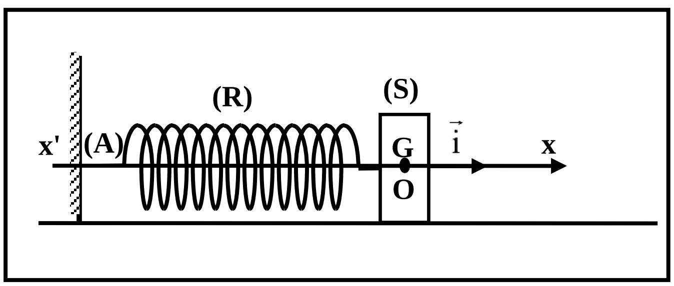
On fixe le ressort **(R)** par son extrémité **(A)** à un support et l'autre extrémité est reliée à **(S).**

(S) peut glisser sur un rail horizonal et son centre d'inertie **(G)** peut se déplacer sur un axe horizontal **x'x** de vecteur unitaire $\vec{i}$.

À l'équilibre, **(G)** coïncide avec l'origine **O** de l'axe **x'x** (Doc. 1).

Le plan horizontal contenant **(G)** est pris comme niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur.

Prendre: $\pi^2 = 10$.



Doc.1

1- Oscillations libres non amorties

À l'instant $t_0 = 0$, on écarte **(S)** vers la gauche d'un déplacement $x_0 = -2\sqrt{2}$ cm, puis on le lance avec une vitesse initiale $\overrightarrow{v_0} = v_0 \vec{i}$, avec $v_0 < 0$.

(S) oscille sans frottement avec une amplitude $X_m = 4$ cm et une période propre $T_0 = 0{,}35$ s.

À un instant **t**, l'abscisse de **(G)** est $x = \overline{OG}$ et la valeur algébrique de sa vitesse est $v = \dfrac{dx}{dt}$.

1-1) Calculer l'énergie mécanique du système **[(S), ressort, Terre].**

1-2) Établir l'équation différentielle du second ordre en **x** qui régit le mouvement de **(G).**

1-3) La solution de cette équation différentielle s'écrit sous la forme $x = X_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$,

où φ est une constante.

1-3-1) **Déterminer** l'expression de la période propre $\mathbf{T_0}$ en fonction de m et **k**.

1-3-2) **Déduire** la valeur de **m**.

1-3-3) **Déterminer** la valeur de φ.

1-4) En utilisant le principe de conservation de l'énergie mécanique, **montrer** que

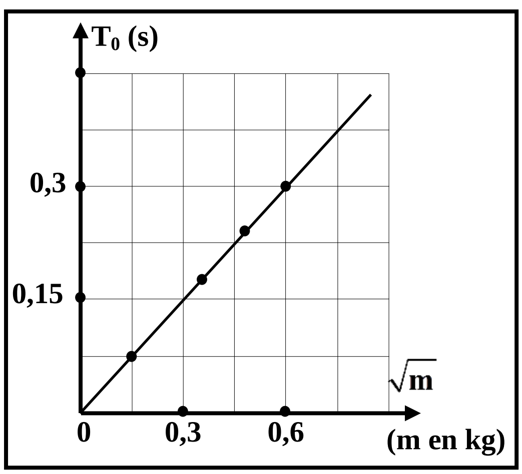
$\left(\frac{T_0}{2\pi}\right)^2 v_0^2 = X_m^2 - x_0^2$.

1-5) **Déduire** la valeur de $\mathbf{v_0}$.

1-6) Afin de vérifier la valeur de la constante de raideur **k**, on répète l'expérience précédente en accrochant, successivement, au ressort des solides de masses différentes.

On mesure, pour chaque masse, la valeur correspondante de la période propre.

Un système approprié permet de tracer la courbe de $\mathbf{T_0}$ en fonction de $\sqrt{m}$ <u>(Doc. 2).</u>



Doc. 2

1-6-1) **Déterminer**, en utilisant le <u>document 2,</u> l'expression de $\mathbf{T_0}$ en fonction de $\sqrt{m}$.

1-6-2) **Déduire** la valeur de **k**.

2- Oscillations forcées

Les forces de frottement ne sont plus négligeables.

L'extrémité **(A)** du ressort est reliée maintenant à un vibreur de fréquence réglable **« f »** vibrant dans la même direction du ressort.

On remarque que l'amplitude des oscillations de **(S)** varie avec **« f »;** l'amplitude atteint sa valeur maximale pour une fréquence $f_1 = 2{,}86$ **Hz**.

2-1) Nommer l'excitateur et le résonateur.

2-2) Nommer le phénomène physique qui a lieu pour $f = f_1$.

2-3) Déduire de nouveau la valeur de **k**.

<u>Exercice 2</u> (8 points) Détermination de la capacité d'un condensateur

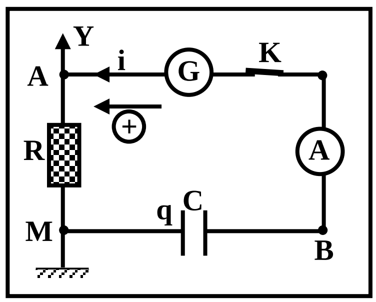
Le but de cet exercice est de déterminer, par deux méthodes différentes, la capacité **C** d'un condensateur.

Dans ce but on dispose : d'un condensateur de capacité **C** initialement non chargé, d'un conducteur ohmique de résistance **R**, d'un interrupteur **K**, d'un ampèremètre **(A)** de résistance négligeable et d'un générateur **(G).**

1- Première expérience

(G) délivre une tension constante $\mathbf{u_{AB} = E = 12\ V}$.

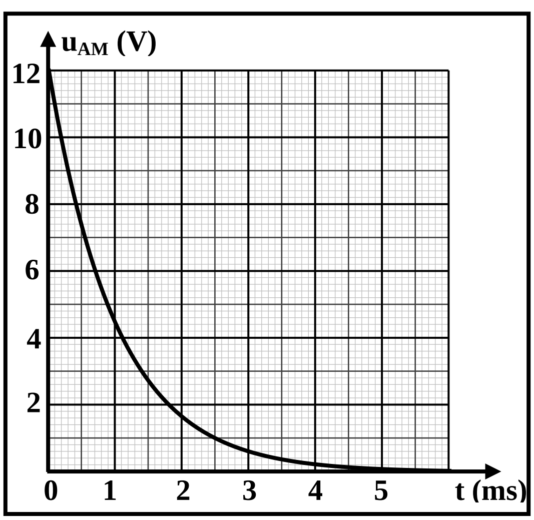
On branche en série le condensateur, le conducteur ohmique et l'ampèremètre **(A)** aux bornes de **(G)** <u>(Doc. 3).</u>



Doc. 3

À l'instant $\mathbf{t_0 = 0}$, on ferme **K**, le circuit est alors parcouru par un courant d'intensité **i** et l'ampèremètre indique une valeur $\mathbf{I_0 = 0{,}012\ A}$.

Un oscilloscope est utilisé pour visualiser l'évolution au cours du temps de la tension $\mathbf{u_{AM}}$ aux bornes du conducteur ohmique <u>(Doc. 4).</u>



Doc. 4

1-1) Établir l'équation différentielle qui régit les variations de la tension $\mathbf{u_c = u_{MB}}$.

1-2) Déduire que l'équation différentielle en i est : $\mathbf{i + RC\frac{di}{dt} = 0}$. (avec $\mathbf{i = c\frac{duc}{dt}}$**).**

1-3) La solution de cette équation différentielle est de la forme : $\mathbf{i = I_0}\, e^{-\frac{t}{\tau}}$, avec $\mathbf{I_0}$ et $\boldsymbol{\tau}$ sont des constantes.

Montrer que $\mathbf{I_0} = \frac{E}{R}$ et $\boldsymbol{\tau} = \mathbf{RC}$.

1-4) En utilisant le document 4 :

1-4-1) montrer que la valeur de **R** est **1 kΩ** ;

1-4-2) déterminer la valeur de $\boldsymbol{\tau}$;

1-4-3) déduire la valeur de **C**.

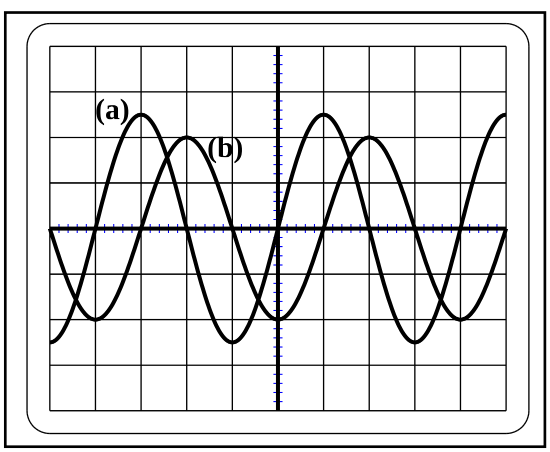
2- Deuxième expérience

(G) délivre entre ses bornes une tension alternative sinusoïdale.

Un oscilloscope branché dans le circuit permet de visualiser, sur la voie $\mathbf{(Y_1)}$ la tension $\mathbf{u_{AM}}$ et sur la voie $\mathbf{(Y_2)}$ la tension $\mathbf{u_{MB}}$, le bouton **« INV »** de la voie $\mathbf{(Y_2)}$ étant enfoncé.

Le document 5 montre les courbes des tensions $\mathbf{u_{AM}}$ et $\mathbf{u_{MB}}$.

On donne : $\boldsymbol{\pi} = \mathbf{3{,}125}$.



Doc. 5

Les réglages de l'oscilloscope sont :

- sensibilité horizontale : **2,5 ms/div** ;
- sensibilité verticale : **5 V/div** pour la voie **(Y_1)** ;

  10 V/div pour la voie **(Y_2)**.

2-1) L'oscillogramme **(b)** représente la tension $\mathbf{u_{MB}}$. Pourquoi ?

2-2) **Déterminer** la période de la tension délivrée par **(G).**

En déduire sa pulsation $\boldsymbol{\omega}$.

2-3) **Déterminer** les valeurs maximales des tensions $\mathbf{u_{AM}}$ et $\mathbf{u_{MB}}$.

2-4) **Calculer** le déphasage $\boldsymbol{\varphi}$ entre la tension $\mathbf{u_{MB}}$ et l'intensité du courant **i**.

2-5) Sachant que l'intensité **i** du courant a pour expression : $\mathbf{i = I_m \cos(\omega t)}$.

2-5-1) **Déterminer** les expressions de $\mathbf{u_{AM}}$ et $\mathbf{u_{MB}}$ en fonction du temps **t** ;

2-5-2) **Calculer** la valeur de $\mathbf{I_m}$.

2-6) **Déduire** la valeur de **C**.

Exercice 3 (7 points) **Détermination de l'âge d'un liquide**

Le tritium $^{3}_{1}\mathbf{H}$ est un isotope radioactif de l'hydrogène.

Le tritium est produit dans la haute atmosphère par les rayonnements cosmiques et amené sur Terre par la pluie.

Le tritium peut être utilisé pour déterminer l'âge des liquides contenant cet isotope d'hydrogène.

Dans cet exercice, on compte déterminer l'âge d'un liquide contenu dans une ancienne bouteille en utilisant l'activité du tritium.

1- Décroissance radioactive du tritium

Le tritium est un émetteur beta-moins **(β^-)**. Il se désintègre pour donner un des isotopes de l'hélium sans émission de rayonnement gamma.

1-1) **Compléter** l'équation de la décroissance du tritium.

$$^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow \, ^{A}_{Z}\mathrm{He} + \ldots$$

Déterminer A et **Z.**

1-2) Le noyau d'hélium est produit à l'état fondamental. Pourquoi ?

1-3) Une particule **X** accompagne la désintégration ci-dessus afin de satisfaire à une certaine loi.

Nommer cette particule.

Nommer la loi utilisée.

2- Détermination de la période radioactive du tritium

On considère un échantillon de l'isotope radioactif du tritium $^{3}_{1}\mathrm{H}$.

À un instant $\mathbf{t_0 = 0}$, le nombre des noyaux présents dans cet échantillon est $\mathbf{N_0}$.

L'activité A de l'échantillon radioactif représente le nombre de désintégrations par unité de temps.

L'activité à un instant t est donnée par l'expression suivante : $\mathbf{A = -\frac{dN}{dt}}$, où **N** est le nombre des noyaux restants (non désintégrés) à l'instant **t**.

2-1) Montrer que l'équation différentielle du premier ordre qui décrit les variations de **N** est :

$\frac{dN}{dt}$ + **λN = 0**, avec **λ** est la constante de décroissance radioactive de l'isotope radioactif.

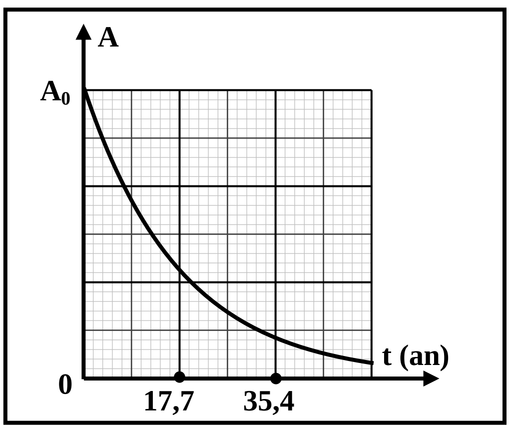
2-2) Vérifier que $\mathbf{N = N_0}\ e^{-\frac{t}{\tau}}$ est une solution de l'équation différentielle ci-dessus, où $\boldsymbol{\tau} = \frac{1}{\lambda}$.

2-3) Déduire que l'expression de l'activité est donnée par :

$\mathbf{A = A_0}\ e^{-\frac{t}{\tau}}$, où $\mathbf{A_0}$ est l'activité initiale de l'échantillon.

2-4) Calculer A en fonction de $\mathbf{A_0}$ lorsque **t = τ**.

2-5) Le document 6 représente l'activité d'un échantillon de tritium en fonction du temps.



Doc. 6

2-5-1) Montrer que **τ = 17,7** ans.

2-5-2) Déduire la période radioactive du tritium.

3- Détermination de l'âge d'un liquide

Une ancienne bouteille contient un certain liquide, elle est juste ouverte (**en 2018**). On a trouvé que l'activité du tritium dans ce liquide est **10,4 %** de l'activité initiale du même liquide fraîchement préparé.

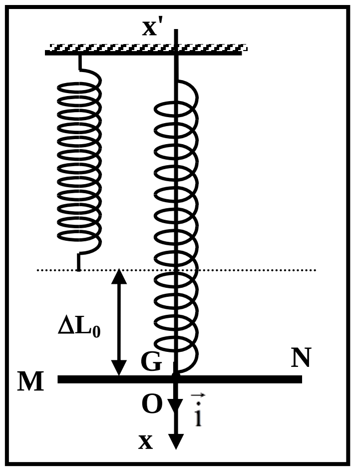
Déterminer l'année de production du liquide dans l'ancienne bouteille.

<u>Exercice 4</u> (7 points) **Induction électromagnétique**

Le but de cet exercice est de déterminer la valeur **B** d'un champ magnétique uniforme $\overrightarrow{B}$.

On considère un ressort de constante de raideur **k** et de masse négligeable, relié par son extrémité supérieure à un support fixe.

Son extrémité inférieure est reliée à une tige en cuivre **MN** de masse m et de longueur **ℓ**. À l'équilibre, l'allongement du ressort est ΔL_0 et le centre de masse **G** de la tige coïncide avec l'origine **O** d'un axe vertical descendant **x'Ox** de vecteur unitaire $\vec{i}$ <u>(Doc.7).</u>



Doc. 7

1- Tige en équilibre

1-1) Nommer les forces extérieures agissant sur la tige dans sa position d'équilibre.

1-2) Déterminer la relation entre **m, g**, **k** et ΔL_0.

2- Induction électromagnétique

La tige **MN** peut glisser sans frottement le long de deux rails métalliques verticaux **(PP')** et **(QQ')**.

Au cours de ce glissement, la tige reste perpendiculaire aux deux rails.

Ces deux rails sont séparés d'une distance **ℓ** ; un condensateur, initialement non chargé, de capacité **C** est relié entre **P** et **Q**.

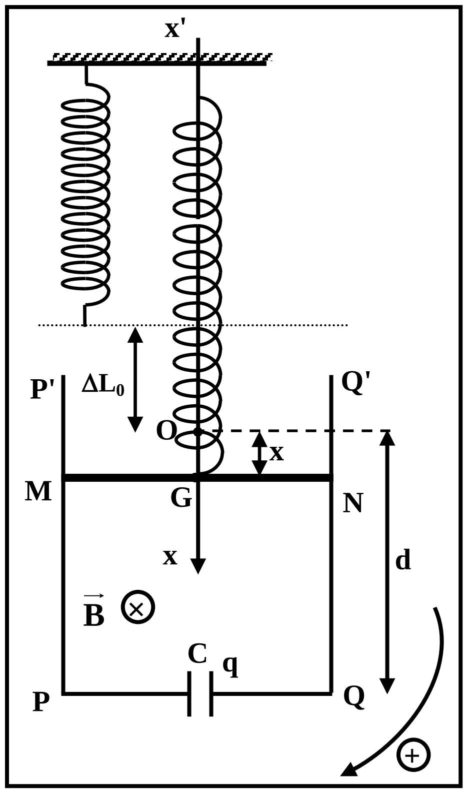
La tige et les deux rails sont supposés de résistance négligeable.

L'ensemble est placé dans un champ magnétique $\overrightarrow{B}$ uniforme, horizontal et perpendiculaire au plan des rails.

À la position d'équilibre **G** se trouve à une distance **d** de **(PQ)**.

On tire la tige, à partir de sa position d'équilibre, verticalement vers le bas d'une distance $\mathbf{X_m}$, puis on la lâche sans vitesse initiale, **G** oscille alors autour de sa position d'équilibre **O**.

À un instant **t**, **G** est défini par son abscisse $x = \overline{OG}$ et la valeur algébrique de sa vitesse est $v = \dfrac{dx}{dt}$ (Doc. 8).



Doc. 8

2-1) En respectant le sens positif indiqué sur le document 8, **montrer** que l'expression du flux magnétique à travers la surface **MNQP** est donnée par $\boldsymbol{\phi = B\ell d - B\ell x}$.

2-2) **Déduire** l'expression de la force électromotrice induite **« e »** dans **la tige** en fonction de **B**, **ℓ** et **v**.

2-3) Sachant que $\mathbf{u_{QP} = u_C = e}$, **montrer** que l'expression de l'intensité du courant électrique induit dans le circuit **MNQP** est : $i = C B \ell \dfrac{dv}{dt}$.

3- Oscillations libres

La tige est soumise à une force électromagnétique (force de Laplace) $\vec{F} = - B^2 \ell^2 C \frac{dv}{dt} \vec{i}$.

3-1) En appliquant la $2^{ème}$ loi de Newton $\sum \vec{F}_{ext} = m.x''\vec{i}$, **montrer** que l'équation différentielle du second ordre en **x** qui régit le mouvement de la tige est donnée par **:** $x'' + \frac{k}{m + B^2\ell^2C} x = 0$.

3-2) **Préciser** la nature du mouvement de la tige.

3-3) **Déduire** l'expression de la période propre $\mathbf{T_0}$ des oscillations de la tige.

3-4) La durée de **10** oscillations est $4{,}69 s$. **Déterminer** la valeur de **B**, sachant que **m = 10 g**, **ℓ = 10** cm, $C = 8 mF$ et $k = 1{,}8 N/m$.