

DS de physique n° 4

Durée : 3h

L'usage de la calculatrice est autorisé. La copie doit être propre, lisible, sans faute d'orthographe. Les pages doivent être numérotées et **les résultats soulignés ou encadrés**. Un résultat donné sans justification, à moins que l'énoncé le précise, est considéré comme faux. Les valeurs numériques doivent être accompagnées de leur unité. Le devoir comporte 3 exercices indépendants.

Exercice 1 : QCM Ondes

L'exercice est posé sous la forme d'un QCM. À chaque question, une seule réponse est valable. Il est demandé de justifier vos choix à l'aide d'arguments pertinents et/ou de calculs. La notation tiendra principalement compte de la pertinence de la démonstration. Toute mauvaise réponse (argumentée ou non) sera pénalisée.

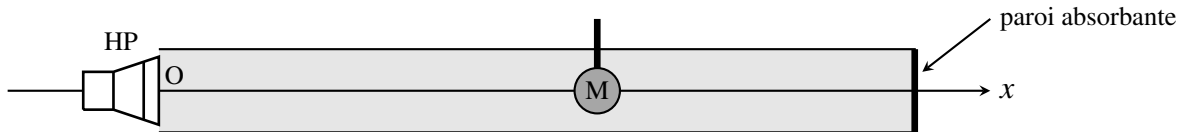
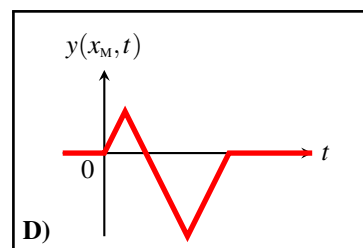
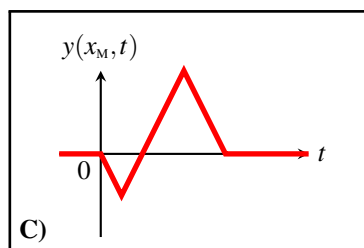
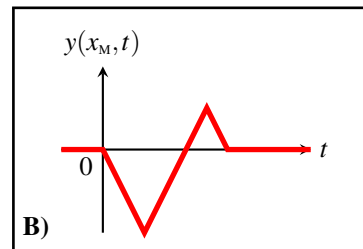
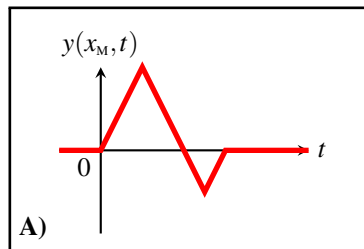
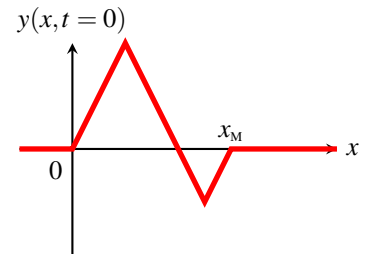


Figure 1 : Propagation d'une onde dans un tube acoustique

1. Un haut-parleur situé en $x = 0$, produit une onde acoustique à l'intérieur d'un tube (voir **figure 1**). Une paroi absorbante située à l'extrémité du tube empêche toute réflexion si bien que la seule vibration observée est une onde se propageant sans dispersion ni atténuation vers les x croissants avec une célérité c . Un microphone situé à l'abscisse x_M enregistre la vibration acoustique. On représente sur la figure ci-contre l'allure de l'onde à l'instant $t = 0$. Parmi les graphes ci-dessous, quel est celui qui représente le signal enregistré par le microphone ? (**pas de démo exigée pour cette question**)



2. On suppose dans les questions 2 à 4 que le haut-parleur produit une vibration acoustique sinusoïdale de fréquence $f = 1,20\text{kHz}$, décrite par la surpression acoustique $p_1(0,t) = p_m \cos(\omega t)$. On note k le vecteur d'onde et λ la longueur d'onde. La surpression acoustique au niveau du microphone s'écrit sous la forme :

A) $p_1(x_M, t) = p_m \cos(\omega t + kx_M)$

B) $p_1(x_M, t) = p_m \cos(\omega t - kx_M)$

C) $p_1(x_M, t) = p_m \cos(\omega t) \cos(kx_M)$

D) $p_1(x_M, t) = p_m \cos(\omega t) \sin(kx_M)$

3. On constate que les vibrations au niveau du haut-parleur et du microphone sont en phase. Si n est un entier naturel non nul, on peut dire que x_M vérifie :

A) $x_M = \left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda$

B) $x_M = \frac{\lambda}{n}$

C) $x_M = \frac{\lambda}{n + \frac{1}{2}}$

D) $x_M = n\lambda$

4. On translate le microphone jusqu'à ce que les deux signaux reviennent quatre fois successivement en phase. On mesure un déplacement $D = 1,14\text{m}$ du microphone. La célérité c vaut :

A) $338\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

B) $340\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

C) $342\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

D) $344\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

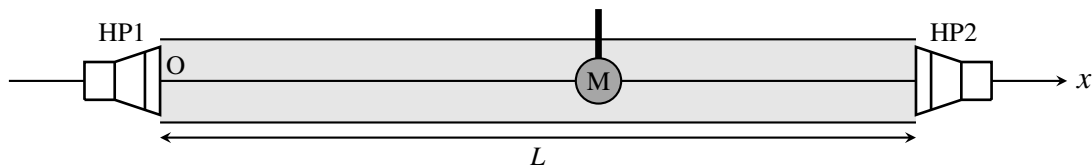


Figure 2 : Montage à deux haut-parleurs

5. On remplace la paroi absorbante par un deuxième haut-parleur qui émet une onde acoustique de même amplitude et même fréquence que le premier (voir **figure 2**). La surpression acoustique résultante qui apparaît dans le tube a comme expression générale (**pas de démo exigée pour cette question**) :

A) $p(x, t) = p_0 \cos(\omega t + kx + \varphi)$

B) $p(x, t) = p_0 \cos(\omega t - kx + \varphi)$

C) $p(x, t) = p_0 \sin(\omega t + \varphi) \sin(kx + \psi)$

D) $p(x, t) = p_0 [\sin(\omega t + \varphi) + \sin(kx + \psi)]$

6. Il y a un ventre de surpression au niveau de chaque haut-parleur. Les valeurs possibles pour la phase à l'origine ψ sont :

A) 0 $[2\pi]$

B) $\frac{\pi}{2}$ $[2\pi]$

C) 0 $[\pi]$

D) $\frac{\pi}{2}$ $[\pi]$

7. Les fréquences propres s'expriment en fonction d'un entier naturel non nul n de la manière suivante :

A) $f_n = n \frac{c}{2L}$

B) $f_n = n \frac{c}{4L}$

C) $f_n = (2n - 1) \frac{c}{2L}$

D) $f_n = (2n - 1) \frac{c}{4L}$

8. Imaginons qu'il y a également un ventre de surpression en $x_M = \frac{L}{2}$. Quelle affirmation est correcte ?

A) Il s'agit du mode fondamental.

B) Il s'agit d'un harmonique de rang pair.

C) Il s'agit d'un harmonique de rang impair.

D) Une telle situation est impossible.

9. En déplaçant le microphone on observe dix-sept ventres de surpression dans le tube (en comptant ceux aux niveau des haut-parleurs). On peut affirmer que :

A) $L = 1,35$ m

B) $L = 2,28$ m

C) $L = 3,56$ m

D) $L = 4,85$ m

10. Dans les questions qui suivent on suppose que les deux haut-parleurs sont alimentés par le même générateur basse fréquence et produisent donc des ondes acoustiques en phase. On place le microphone en $x_M = \frac{L}{2}$. Quelle affirmation concernant les interférences au niveau du microphone est correcte ?

A) Elles sont constructives.

B) Elles sont destructives.

C) Il n'y a pas d'interférences.

D) Elles ne sont ni constructives ni destructives.

11. Une soufflerie permet de mettre en mouvement l'air à l'intérieur du tube, à la vitesse $\vec{v} = v\vec{u}_x$ telle que $0 < v \ll c$. On admet que la célérité des ondes acoustiques qui se propagent vers les x croissants vaut désormais $c + v$ tandis que celles qui se propagent vers les x décroissants vaut $c - v$. Les haut-parleurs vibrent toujours en phase à la même fréquence f . Le signal enregistré par le microphone :

A) possède deux fréquences distinctes.

B) est sinusoïdal de fréquence inférieure à f .

C) est sinusoïdal de fréquence supérieure à f .

D) est sinusoïdal de fréquence f .

12. La plus petite vitesse d'écoulement d'air v qui permet d'avoir une amplitude de surpression nulle en $x_M = \frac{L}{2}$ vaut :

A) $v = 3,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

B) $v = 7,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

C) $v = 13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

D) $v = 21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Exercice 2 : Fonctionnement d'un cyclotron

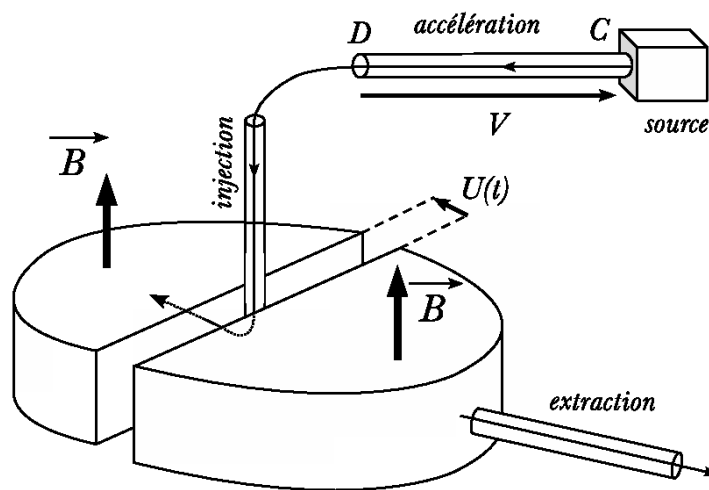


Figure 3 : Principaux éléments du cyclotron

Un cyclotron est un accélérateur de particule qui permet de porter des faisceaux de protons ou d'ions légers à des énergies de plusieurs dizaines de MeV. On décrit les principaux éléments de l'accélérateur :

- Une source produit les protons,
- ceux-ci sont accélérés sous une tension V jusqu'à une énergie cinétique de 40 keV et sont injectés au centre du cyclotron,
- le cyclotron, dont le diamètre est de 4 m, est constitué de deux dees dans lesquels règne un champ magnétique stationnaire et uniforme vertical $B = 1,7 \text{ T}$ et entre lesquels on impose une tension alternative $U(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ d'amplitude $U_m = 65 \text{ kV}$,
- différents déflecteurs permettent de guider le faisceau de protons vers la zone d'extraction lorsque ces derniers ont atteint une énergie cinétique maximale de 70 MeV.

Dans tout le problème on fait l'approximation que l'on peut traiter les protons de manière classique, c'est-à-dire qu'on néglige tout effet relativiste.

Données :

masse du proton : $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

charge élémentaire : $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

électron-volt : $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Première partie : l'accélération

1. Quel doit être le signe de V pour que les protons soient accélérés vers le cyclotron ? Justifier
2. Calculer V (on néglige la vitesse des protons qui entrent au point C dans la zone d'accélération).

Deuxième partie : mouvement dans le cyclotron

3. Rappeler l'ordre de grandeur de l'intensité du champ magnétique terrestre (à la surface). Comparer à celui produit dans le cyclotron. Conclure.
4. Quelle est la vitesse v_0 des protons lorsqu'ils entrent dans le cyclotron ? En déduire la force magnétique (en norme) qui s'exerce sur eux. Comparer à leur poids. Conclure.
5. La **figure 4** représente une vue en coupe du cyclotron. Reproduire cette figure sur votre copie puis tracer qualitativement l'allure de la trajectoire des protons (sur quelques tours, sans respecter les échelles) en justifiant le sens de rotation. Pourquoi la tension U ne doit surtout pas être continue ? Déterminer littéralement et numériquement sa fréquence.
6. Déterminer littéralement et numériquement l'énergie cinétique gagnée par un proton à chaque révolution. En déduire le nombre de tours effectués avant d'atteindre l'énergie cinétique maximale, puis la durée du mouvement dans le cyclotron (on néglige le temps de passage entre les dees). On supposera dans cette question que la tension accélératrice est toujours extrême lorsque les protons circulent entre les dees ($U = \pm U_m$).
7. Calculer le diamètre de leur trajectoire lorsqu'ils ont atteint leur énergie maximale.
8. En réalité, la tension accélératrice n'est pas extrême lorsque les protons circulent entre les dees. On fixe $\varphi = \frac{\pi}{4}$ et on s'arrange pour que les protons passent entre les dees à des dates t_c telles que $\omega t_c = 0 [\pi]$. Calculer à nouveau la durée du mouvement dans le cyclotron et expliquer pourquoi les protons se regroupent par paquets.

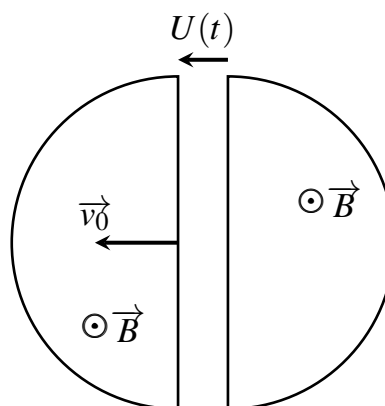


Figure 4 : Cyclotron vu en coupe

Exercice 3 : Anneau lancé sur un rail

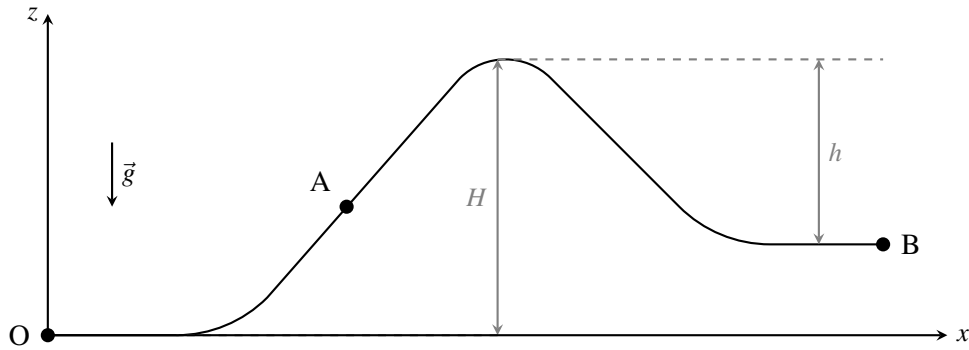


Figure 5 : Schéma du dispositif

Un anneau A de masse m est enfilé sur un rail sur lequel il glisse sans frottement. Il est lancé depuis le point O avec une vitesse v_0 , en direction de B. Son altitude est repérée par la coordonnée z , sa position horizontale par la coordonnée x (voir **figure 5**).

1. Justifier (rigoureusement) que l'énergie mécanique de l'anneau se conserve au cours du mouvement.
2. Exprimer l'énergie potentielle $E_p(z)$ de l'anneau (on prendra $E_p(0) = 0$).
3. En vous appuyant sur le résultat de la question 1, exprimer la vitesse $v(z)$ de l'anneau à une altitude z quelconque.
4. Exprimer alors $v(H)$ et montrer que l'anneau ne franchit la bosse de hauteur H que si $v_0 > v_{\min}$ où $v_{\min}$ est à exprimer en fonction de g et H .
5. Dans le cas où l'anneau arrive en B, exprimer sa vitesse v_B en fonction de v_0 , g , H et h .

AN : $v_0 = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $H = 80 \text{ cm}$, $h = 40 \text{ cm}$. Calculer $v_{\min}$ et v_B .

Dans les questions qui suivent, on tient compte des frottements qui s'exercent sur l'anneau et on suppose que leur puissance $\mathcal{P}_f$ est constante.

6. Parmi les graphes de la **figure 6**, lequel est susceptible de représenter les variations temporelles de l'énergie mécanique ? Justifier.

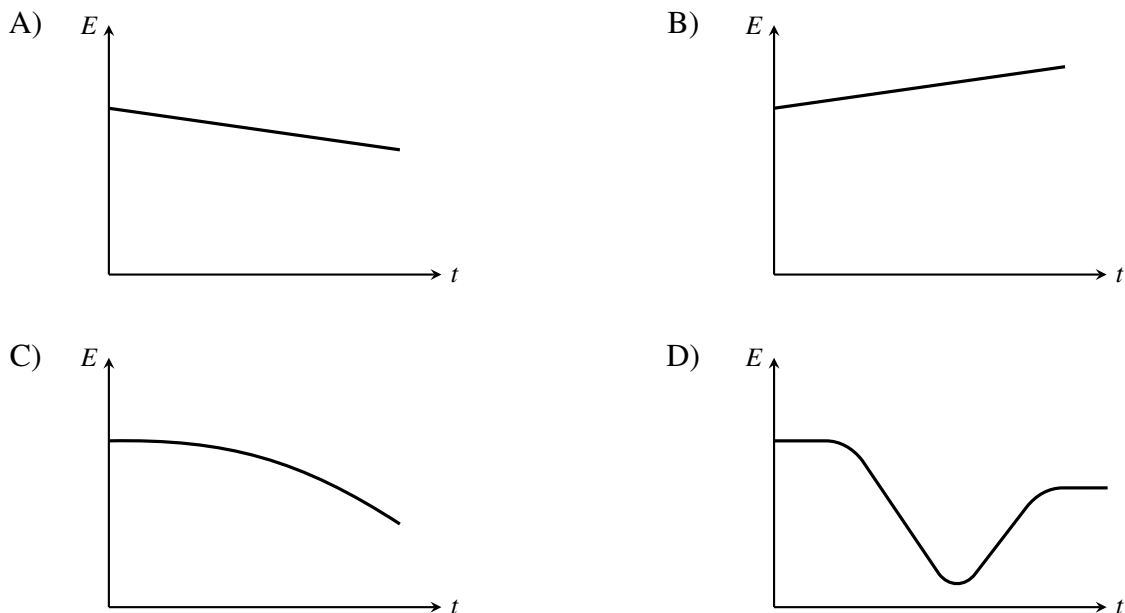


Figure 6 : Évolutions possibles de l'énergie au cours du temps

Les graphes de la **figure 7** ont été obtenus numériquement à l'aide de PYTHON. Ils représentent les variations de la vitesse v de l'anneau en fonction de la coordonnée x , pour différentes valeurs de la vitesse initiale v_0 . La puissance $\mathcal{P}_f$ est la même pour chaque graphe. L'abscisse du point B vaut $x_B = 2,0\text{ m}$ et la masse de l'anneau $m = 100\text{ g}$. On rappelle que $H = 80\text{ cm}$ et $h = 40\text{ cm}$.

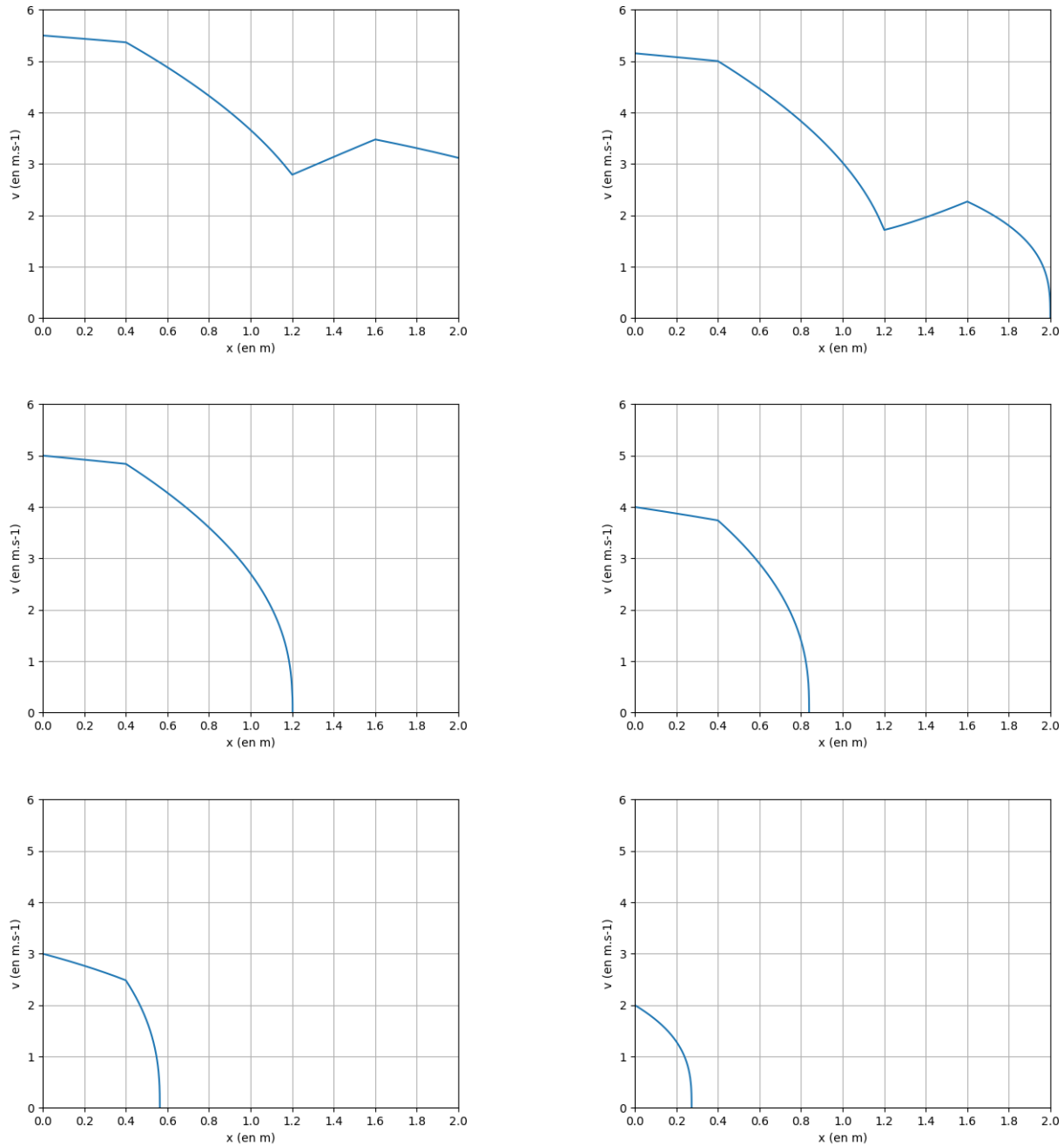


Figure 7 : Simulations de l'évolution de la vitesse de l'anneau pour différentes conditions initiales

7. a) Quelles sont les abscisses x_g , x_s et x_d de l'extrémité gauche, du sommet et de l'extrémité droite de la bosse ?
7. b) Avec quelle vitesse minimale v_1 faut-il lancer l'anneau pour qu'il atteigne le point B ?
7. c) Avec quelle vitesse minimale v_2 faut-il lancer l'anneau pour qu'il franchisse la bosse ?
7. d) Avec quelle vitesse minimale v_3 faut-il lancer l'anneau pour qu'il atteigne la bosse ? (proposer une valeur approchée).
7. e) Dans le cas où $v_0 = 5\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, déterminer numériquement le travail de la force de frottement entre le lancer et l'arrêt de l'anneau. Sachant que $\mathcal{P}_f = -0,98\text{ W}$, en déduire une estimation de la durée du mouvement.