Nom, Prénom:..............................................................

Section:................................................

**Moteur en ‘ PhET ‘.**

**Comment transformer l’énergie en travail ?**

Les simulations utilisées sont disponibles sur le site : <http://phet.colorado.edu/>

**Introduction**

« L’homme a besoin de machines ; il lui faut pour cela savoir créer le mouvement, c’est-à-dire actionner des pistons, faire tourner des roues, entraîner les wagons d’un train. Le mouvement des machines demande du travail. Comment l’obtenir ? »

*L. Landau et A. Kitaïgorodski – La physique à la portée de tous – Editions MIR*

Durant des centaines d’années, la seule énergie utilisée était l’énergie musculaire (hommes, animaux). Les premières voiles, puis l’apparition des moulins à vent ou à eau ont permis de transformer l’énergie cinétique du vent ou l’énergie potentielle de gravité de l’eau en travail.

A la fin du 18ème siècle, la thermodynamique a permis de créer le mouvement à partir de chaleur *(gr. thermos : chaud, gr. dunamis : force)*

Le « moteur Feynman » illustre bien l’action que la chaleur peut provoquer sur certaines substances !

*Feynman/Leighton/Sands - Le cours de physique de Feynman - InterEditions*

Réchaud

gaz

Ruban de caoutchouc

Masselotte

Expérience n°1

On soumet le ruban de caoutchouc à une flamme. Que se passe-t-il ?

*…Le ruban se contracte brusquement et la masselotte oscille …*

**I Description du mouvement de la masselotte**

La masselotte oscille selon un mouvement périodique.

Son mouvement est identique à celui d’une masse accrochée à un ressort.

**PhET :** [**Masses & Springs**](http://phet.colorado.edu/en/simulation/mass-spring-lab)

1 Caractéristiques d’un ressort.

Un ressort vertical est soumis à la force de gravité (P) d’une masse (m).

Pour montrer l’universalité du phénomène, nous ferons l’expérience sur Jupiter, où la gravité est gJupiter = 24,8 N/kg.

* Accrocher 50 g au ressort 1
* Accrocher 100 g au ressort 2
* Accrocher 100 g au ressort 3
* Cliquer sur l’œillet « Jupiter ».

Mesurer l’allongement l des ressorts et compléter le tableau suivant :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Ressort 1 | Ressort 2 | Ressort 3 |
| l  (m) | *0.13* | *0.26* | *0.26* |
| m  (kg) | *0.05* | *0.10* | *0.10* |
| PJupiter = m.gJupiter  (N) | *1.24* | *2.48* | *2.48* |
| PJupiter/l  (N/m) | *9.54* | *9.54* | *9.54* |

Conclusion : que peut-on dire du rapport P/l pour chacun des ressorts ?

*…Le rapport P/l est identique*

Revenons sur Terre (où la gravité gTerre = 9,8 N/kg)

* Accrocher 250 g au ressort 1
* Accrocher 100 g au ressort 2
* Accrocher 50 g au ressort 3
* Cliquer sur l’œillet « Terre ».

Mesurer l’allongement l des ressorts et compléter le tableau suivant :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Ressort 1 | Ressort 2 | Ressort 3 |
| l  (m) | *0.24* | *0.10* | *0.05* |
| m  (kg) | *0.25* | *0.10* | *0.05* |
| PTerre = m.gTerre  (N) | *2.45* | *0.98* | *0.49* |
| PTerre /l  (N/m) | *10.2* | *9.8* | *9.8* |

Conclusion :

Que peut-on dire du rapport P/l pour chacun des ressorts ?

*…Il est pratiquement constant*

Obtient-on les mêmes résultats que sur Jupiter ?

*…Oui, à quelques pourcents près*

Si les résultats diffèrent, qu’est ce qui, à votre avis, peut être à l’origine de ces différences ?

*…Erreurs de mesure (imprécision de la règle…)*

Exercice 1 : Une erreur de pilotage nous a emmenés sur la planète X.

Déterminer la gravité de la planète X.

…*gX = 3.8*

Exercice 2 : De retour sur Terre, déterminer les masses des objets jaune, vert et rouge.

*…mV = 0.071 kg*

*…mJ = 0.163 kg*

*…mR = 0.316 kg*

Notre petite « Odyssée dans l’espace » (*Salut Hal !!!* ) nous a permis de vérifier que l’allongement (l (m)) d’un ressort est proportionnel à la force (F (N)) agissant sur le ressort.

*cf « Aide » puis « Pas d’aide »*

La constante de proportionnalité, notée généralement « k », s’appelle la rigidité du ressort. Son unité est le newton par mètre (N/m).

Mathématiquement on écrit :

F = k.l

*(Pour une force donnée, plus la rigidité est grande, plus l’allongement est petit.)*

La rigidité des ressorts 1 et 2 (arrondie à l’unité) est de 10 N/m.

Celle du ressort 3, pour une position médiane du curseur est aussi de 10 N/m.

On notera : k3M = 10 N/m.

Exercice 3 : Déterminer (arrondie à l’unité) la rigidité k3G du ressort 3 lorsque celle-ci est la plus faible possible (curseur en position gauche extrême).

*…k3G = 2 N/m*

Exercice 4 : Déterminer (arrondie à l’unité) la rigidité k3D du ressort 3 lorsque celle-ci est la plus forte possible (curseur en position droite extrême).

*…k3D = 52 N/m*

2 Caractéristiques des oscillations (libres) de la masselotte.

* Régler les frottements en position « Beaucoup ».
* La rigidité du ressort 3 est la plus faible possible (k3G).
* Accrocher la masse de 50 g.
* Se positionner sur une planète qui permet une mesure confortable de l’allongement du ressort.
* Attendre l’équilibre de la masselotte.
* Mettre la simulation en mode « pause ».
* Régler les frottements en position « Aucun ».
* Déplacer la masselotte de 10 cm.
* Afficher et démarrer le chronomètre.
* Démarrer la simulation (cocher l’œillet 1/16ème).
* Mesurer le temps T d’une période (temps pour que la masselotte retrouve son point de départ).

Compléter le tableau suivant en répétant et adaptant la procédure ci-dessus :

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | T  (s) | T²  (s²) | T²/m  (s²/kg) | Moyenne de  T²/m |
| Rigidité :  k3G = …… N/m | m = 0.05 kg | *1.04* | *1.08* | *21.63* | *21.5* |
| m = 0.10 kg | *1.46* | *2.13* | *21.32* |
| m = 0.25 kg | *2.32* | *5.38* | *21.53* |
| Rigidité :  k3M = …… N/m | m = 0.05 kg | *0.45* | *0.20* | *4.05* | *4.1* |
| m = 0.10 kg | *0.64* | *0.41* | *4.10* |
| m = 0.25 kg | *1.01* | *1.02* | *4.08* |
| Rigidité :  k3D = …… N/m | m = 0.05 kg | *0.18* | *0.03* | *0.65* | *2.1* |
| m = 0.10 kg | *0.27* | *0.07* | *0.73* |
| m = 0.25 kg | *0.42* | *0.17* | *0.71* |

Reporter dans le graphique ci-dessous les variations de T²/m en fonction de k :

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Quelle est la nature de la courbe obtenue ?  *…Hyperbolique* |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5  0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**PhET :** [**Curve Fitting**](http://phet.colorado.edu/en/simulation/curve-fitting)

En utilisant l’outil mathématique PhET « Curve Fitting » (ou un tableur) déterminer la relation qui relie **T²/m** et **1/k.**

Reportez ci-contre le résultat obtenu : *T²/m = 41.1/k*

Si vos mesures et vos calculs sont corrects, vous devez trouver quelque chose qui ressemble à : T²/m = 39,5/k.

Mise sous une autre forme, cette relation peut s’écrire T²/m = 4²/k,

ou encore :

T = 2. (m/k)

Cette quantité T s’appelle la **période propre** du système. Ce résultat est très important car il montre que tout système rigide, dans un domaine raisonnable d’élasticité, oscille selon une période bien déterminée.

La fréquence propre est donc f = 1/T.

Expérience n°2

Vous disposez

* d’un tube en verre (diamètre int. 10 mm, longueur 250 mm).
* d’un piston de masse m = 6 g (diamètre ext. 10 mm).
* d’un dynamomètre.

1 Placer le piston dans le cylindre. Si le tube est fermé à une extrémité et que le piston est écarté de sa position d’équilibre, que se passe-t-il ?

*…Le piston oscille autour de sa position d’équilibre*

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………

2 Pouvez-vous déterminer la rigidité de la colonne d’air ?

*…A l’aide du dynamomètre, on tire sur le piston. On mesure la force et le déplacement correspondant : l = 5 cm pour F = 0.5 N, donc k = 10 N/m*

3 Que vaut alors la période propre du piston ? sa fréquence propre ?

*…T = 0.15 s*

*…………………………………………………………………………………………………………………………………………………*

*…f = 6.5 Hz*

*…………………………………………………………………………………………………………………………………………………*

3 Comment entretenir les oscillations ?

Les résultats de l’expérience n°2 montrent qu’une colonne d’air se comporte comme un ressort ; le piston oscille mais s’arrête très (trop !) rapidement : le mouvement s’amortit. (Piètre moteur !!).

Il existe pourtant une méthode qui permet d’entretenir des oscillations. Quiconque a poussé une balançoire sait que la pousser légèrement « au bon moment » peut lui communiquer beaucoup d’élan c’est-à-dire entretenir ou amplifier les oscillations: c’est le phénomène de **résonance**.

**PhET :** [**Resonance**](http://phet.colorado.edu/en/simulation/resonance)

Au démarrage de la simulation, jouer quelques instants avec les réglages des différents paramètres, puis faire « R.A.Z. »

Effectuer les opérations suivantes :

* Régler la masse du résonateur 1 à 2,0 kg.
* Régler la rigidité (constante de raideur) à 400 N/m.
* Calculer la période propre T

*…T = 0.44 s…………*

* En déduire la fréquence propre f = 1/T

*…f = 2.25 Hz…………*

* Régler la constante d’amortissement à 3 N/(m/s).
* Régler la gravité sur « arrêt ».
* Afficher la règle.
* Déplacer la masselotte de 15 cm vers le haut
* Lâcher la masselotte et compter le nombre d’oscillation qu’elle effectue :

*…une quinzaine*

* Mettre le « pilote » en marche et faire varier progressivement la fréquence de 0.25 en 0.25 Hz.

Conclusion :

*…A partir de 2 Hz, l’amplitude des oscillations augmente notablement.*

*A 2.25 Hz elle est maximale, et au-delà, elle décroît.*

♎

**II Comment entretenir le mouvement du piston ?**

Pour entretenir le mouvement du piston dans le tube en verre, il faut agir au même rythme que la fréquence propre de la colonne d’air.

1 Propriétés des gaz

**PhET :** [**Gas Properties**](http://phet.colorado.edu/en/simulation/gas-properties)

Au démarrage de la simulation, jouer quelques instants avec les réglages des différents paramètres, puis cliquer sur « Réinitialiser » et vérifier que la « Gravité » est à 0.

1. Dans « Outils de mesure », activer « Règle » et désactiver les autres outils.
2. Dans « Options avancées », activer la case « Température des nouvelles particules (K) » et entrer la valeur 300.

Effectuer la procédure (P1) suivante :

* Dans le choix des paramètres constants, cliquer sur l’œillet « Aucun ».
* Injecter 200 particules lourdes dans l’enceinte et laisser le système se stabiliser.
* Dans le choix des paramètres constants, cliquer sur l’œillet « Température ».
* Amener la largeur du piston à 6 nm. Noter la valeur de la pression : *.1.15* atm.
* Amener la largeur du piston à 9 nm. Noter la valeur de la pression : *.0.75* atm.
* Amener la largeur du piston à 3 nm. Noter la valeur de la pression : *.2.15* atm.
* Cliquer sur « réinitialiser ».
* Compléter le tableau « tab. 1 » du bas de la page.

1. Dans « Options avancées », activer la case « Température des nouvelles particules (K) » et entrer la valeur 400.

* Réitérer la procédure (P1).

1. Dans « Options avancées », activer la case « Température des nouvelles particules (K) » et entrer la valeur 500.

* Réitérer la procédure (P1).

tab. 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Température | Largeur | Pression | Largeur | Pression | Largeur | Pression |
| 300 K | 3 nm | *2.15* | 6 nm | *1.15* | 9 nm | *0.75* |
| 400 K | 3 nm | *2.95* | 6 nm | *1.50* | 9 nm | *1.03* |
| 500 K | 3 nm | *3.70* | 6 nm | *1.90* | 9 nm | *1.29* |

2 Le diagramme PV (Pression-Volume)

Reporter dans le diagramme ci-dessous les valeurs du tableau tab. 1.

*(On assimilera la valeur du volume du piston à sa largeur).*

P

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

V

Tracer les « **isothermes** » (rejoindre les points de même température).

Justifier en utilisant la loi des gaz parfaits (P.V = n.R.T) l’allure de ces courbes.

*…A T constant, on a P.V = constant, donc P = f(V) est une hyperbole*

…………………………………………………………………………………………………………………………………

Vérifier que deux points quelconques de deux isothermes différentes satisfont l’équation P1.V1/T1 = P2.V2/T2

*…3.70 x 3/500 = 0.0222*

*…0.75 x 9/300 = 0.0225*

Expérience n°3

1 A l’aide du matériel mis à votre disposition, réaliser le montage suivant :

6 cm 6 cm

Raccord (tube en verre : 6 mm)

Tube pyrex Piston Tube en verre

(10 mm)

Laine de fer Bouchon

hermétique

Lampe à alcool

2 Après quelques instants de « préchauffage », exercer un déplacement rapide du piston (sens indifférent).

3 Qu’observe-t-on ? *…Le piston oscille mais ne s’arrête plus*

………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………

4 A l’aide du tachymètre optique, mesurer la fréquence d’oscillation du piston.

fP = *…800/120 = 6.66* Hz

Comparer ce résultat avec celui obtenu lors de l’expérience 2 (p. 6).

*…Il est pratiquement identique*

Conclusion :

*…Le piston oscille selon la fréquence de*

*résonance de la colonne d’air*

3 Interprétation (simpliste) des résultats

Dans le tube en pyrex, la laine de fer joue le rôle de « régénérateur ». C’est un échangeur de chaleur qu’on place entre la source chaude et la source froide.

*Pierre Gras – Le moteur Stirling et autres moteurs à air chaud*

A l’aplomb de la flamme, la température est élevée. Au fond du tube, la température est plus basse. Le mouvement du piston chasse la colonne d’air vers le fond du tube. Au passage, l’air se réchauffe et crée une surpression au fond du tube. Cette surpression provoque une augmentation de volume qui repousse la colonne d’air vers le piston.

T « basse » T « élevée » To

Si le temps de réchauffage de l’air, de la surpression et de l’augmentation de volume correspond à la période propre de la colonne d’air, il y apparition du phénomène de résonance.

Cycle thermodynamique du moteur PhET

T

h

V

Vmax

V0

Vmin

Pmin

P

P0

Pmax

E

P

Tmax

T0

Tmin

P Situation à la fin du préchauffage (P0, V0, T0).

On tire le piston : V augmente, P et T diminuent.

Le système évolue en « h ».

On lâche le piston.

h L’élasticité de la colonne d’air comprime le gaz. Le volume diminue jusqu’à Vmin, l’apport d’énergie thermique permettant au système de changer d’isotherme (Tmax).

Le système évolue en « E ».

E La surpression Pmax s’ajoute à l’élasticité de la colonne d’air pour renvoyer le piston. La dépression qui en résulte permet au système de changer d’isotherme (Tmin).

Le système évolue en « T ».

T Le système se retrouve dans les mêmes conditions qu’en « h ».

Exercice 5 : Le cycle ci-dessus décrit le comportement du système lorsque l’on tire le piston (vers la droite sur le schéma de la page 10).

Quel serait le cycle thermodynamique si l’on **poussait** le piston (vers la gauche sur le schéma de la page 10) ?

