Institut Villebon Georges Charpak - L2

Exercices supplémentaires - Énergie

Exercice 1: Questions de base

1. Donner la définition de l'énergie cinétique.
2. Donner la définition de l'énergie potentielle.
3. Ènoncer le théorème de l'énergie cinétique.
4. Ènoncer le théorème de l'énergie mécanique.
5. Donner la définition d'une force conservative.
6. Donner la définition du travail d'une force $\overrightarrow{F}$.

Réponse : Voir le cours.

Exercice 2: Satellite

1. Quelle est l'expression littérale de la force d'interaction gravitationnelle entre la Terre de masse M_T et le satellite ?
2. Quelle est l'expression littérale de l'énergie potentielle correspondante ?
3. Le satellite se trouvait sur une orbite circulaire de 270 km autour de la Terre, soit à une distance de $R = 6641$ km du centre de la Terre. Calculer la norme de la force gravitationnelle et l'énergie potentiel correspondantes. On donne les valeurs de la masse de la terre $M_T = 6 \times 10^{24}$ kg et de la constante gravitationnelle $G = 6,6 \times 10^{-11}\text{m}^3.\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$.

Réponse : 1. $\overrightarrow{F} = -\frac{MM_TG}{r^2}\overrightarrow{u_r}$ où $\overrightarrow{u_r}$ est le vecteur unitaire dirigé de la Terre vers le satellite. 2. $E_p = -\frac{MM_TG}{r}$. 3. $F = 7,6 \times 10^4\text{N}, E_p = 5,1 \times 10^{11}\text{J}$.

Exercice 3: Plongeon

Un plongeur s'élance d'un plongeoir situé à 25 m au-dessus du niveau de la mer sans vitesse initiale (figure 1).

Figure 1: Décomposition du mouvement d'un plongeur. *Photo : Clinton Blackburn.*

1. On néglige les frottements de l'air. Quelle sera la vitesse du plongeur au moment d'atteindre l'eau ? Vous la donnerez en m.s^{-1} puis en km.h^{-1}.

2. De combien de temps le plongeur bénéficie-t-il pour effectuer des pirouettes entre le moment où il saute et le moment où il touche l'eau ?

Réponse : 1. On a conservation de l'énergie mécanique. Au départ, l'énergie mécanique du plongeur est intégralement dans l'énergie potentielle : $E_m = E_p = mgh$. À l'arrivée, l'énergie mécanique du plongeur est intégralement dans l'énergie cinétique (origine de l'énergie potentielle au niveau de la mer) : $E_m = E_c = \frac{1}{2}mv^2$. D'où la vitesse $v = \sqrt{2gh} = 22$ m.s^{-1} = 79,7 km.h^{-1}. 2. En intégrant le PFD, on a la vitesse finale $v = g\Delta t$ où Δt est le temps entre le départ du plongeur et le moment où il touche l'eau. Ainsi $\Delta t = 2,24$ s.

Exercice 4: Bille qui roule

Une bille de masse $m = 0.50$ kg est lâchée sans vitesse initiale du haut d'un plan incliné faisant un angle $\alpha = 30°$ par rapport à l'horizontale. La longueur du plan est $L = 2.0$ m. Les frottements entre la bille et le plan sont modélisés par une force constante $f = 0.40$ N dirigée toujours contre le sens du mouvement. On prend $g = 9.81 \text{m.s}^{-2}$.

1. Calculer la variation d'énergie potentielle gravitationnelle de la bille lorsqu'elle descend du haut vers la base du plan.
2. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, déterminer la vitesse v_B de la bille à la base du plan.
3. Calculer numériquement v_B. Comparer avec la vitesse obtenue si le plan était sans frottement.
4. Calculer le travail de la force de frottement et montrer que la perte d'énergie mécanique est égale à ce travail.

Réponse : 1. $\Delta E_p = mg\Delta h = mgL\sin\alpha = 4.905$ J. 2. $\Delta E_c = W_{\text{tot}}$. Ici, il faut prendre en compte le poids, la réaction normale et les frottements. On a $W_P = mg(h_A - h_B) = \Delta E_p = 4.905$ J. La réaction normale du support a un travail nul puisque la force est tout le temps perpendiculaire au déplacement. Enfin, $W_f = -fL = -0.80$ J. En prenant en compte que la vitesse initiale est nulle, on a : $v_B = \sqrt{2(W_P + W_f)/m}$. 3. $v_B = 4.05 \text{ m.s}^{-1}$. Si on néglige les frottements ($f = 0$), tout l'abaissement de l'énergie potentielle se transforme en énergie cinétique : $v_{B,0} = 4.43 \text{ m.s}^{-1}$. 4. L'énergie mécanique $E_m = E_c + E_p$ a pour variation entre A et B : $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta U$. Mais nous avons $\Delta E_c = W_P + W_f$ et $\Delta U = -W_P$ (la variation d'énergie potentielle est l'opposé du travail du poids), donc $\Delta E_m = (W_P + W_f) + (-W_P) = W_f$. Ainsi la variation de l'énergie mécanique est exactement égale au travail de la force de frottement. Numériquement : $\Delta E_m = W_f = -0.80$ J, ce qui signifie que l'énergie mécanique a diminué du fait des frottements.

Exercice 5: Skater

Un skater de masse $m = 70$ kg arrive sur un quarter-pipe avec une vitesse initiale $v_0 = 8.0 \text{ m.s}^{-1}$ à hauteur $h_0 = 0.50$ m par rapport au sol. Sur la partie inférieure de la rampe il traverse une zone de sable de longueur $d = 3.0$ m qui exerce une force de frottement approximativement constante $f = 30$ N, toujours opposée au mouvement. On prend $g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$.

Déterminer la hauteur maximale h_{max} atteinte par le skater après avoir franchi la zone sablonneuse, en appliquant le théorème de l'énergie mécanique (on tiendra compte du travail non conservative du frottement).

Réponse : Initialement l'énergie mécanique vaut $E_{m,0} = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh_0$. Le travail de la force de frottement, sur la traversée de la longueur d, est $W_f = -f\,d$. Au sommet, la vitesse s'annule, donc l'énergie mécanique vaut $E_{m,\text{sommet}} = mgh_{\text{max}}$. D'où, via le théorème de l'énergie mécanique : $mgh_{\text{max}} = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh_0 + W_f$. D'où $h_{\text{max}} = h_0 + \frac{v_0^2}{2g} - \frac{fd}{mg} = 3.6$ m. **Remarque :** sans la zone sablonneuse ($f = 0$) la hauteur maximale serait $h_0 + v_0^2/(2g) = 3.76$ m. La zone de sable a donc ôté environ 0.13 m de hauteur au skater.

Exercice 6: Chute libre

Le 14 octobre 2012, Felix Baumgartner a battu le record de la chute libre la plus importante. Partant de 39 km d'altitude à un tempt $t = 0$, il a sauté en chute libre avant d'ouvrir son parachute et atterrir. C'est sa trajectoire que l'on va étudier ici. Pour cela, on va négliger la partie où il a son parachute et on va supposer qu'il est constamment en chute libre, sans frottement, et qu'il atteint la surface de la Terre à t_1. On prend l'origine de l'axe Oz là où Felix Baumgartner s'est élancé (voir figure).

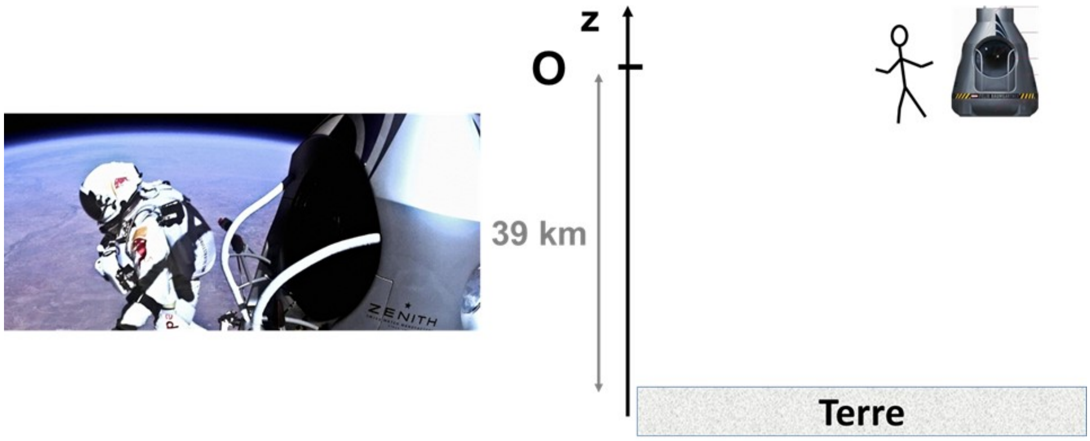

Figure 2: Felix Baumgartner dans l'espace. Crédit photo : RedBull.

1. Donner l'expression littérale de l'énergie mécanique du système à tout instant t.
2. Quelle est l'énergie mécanique de Felix Baumgartner à $t = 0$?
3. L'énergie mécanique a-t-elle été conservée au cours du temps (justifier) ?
4. Quelle est la valeur de l'énergie potentielle à la surface de la Terre ?
5. Quelle est la valeur de la vitesse de Felix Baumgartner à t_1 ?
6. Quelle est le travail effectué par la force de pesanteur entre $t = 0$ et t_1 ?
7. Vérifier que le théorème de l'énergie cinétique est bien vérifié ici.

Réponse : 1. $E_m = \frac{1}{2}mv^2 + mgz$. 2. $E_m(t = 0) = 0$ J. 3. Oui : on néglige les frottements et il n'y a donc que des forces conservatives. 4. $E_p = -19.5 \times 10^6$ J. 5. $v(t_1) = 883$ m.s^{-1}. 6. $W = mgh = 19.5$ MJ. 7. $E_c(t_1) - E_c(t_0) = W$. Le théorème est donc bien vérifié.