ÉMERGIE MÉCANIQUE ET ÉNERGIE POTENTIELLE

Remarque : Dans cette série, il est possible de résoudre certains exercices avec le théorème de l'énergie cinétique, seulement il est clair que le but est de nous familiariser aux théorèmes relatifs à l'énergie mécanique.

<u>Exercice 1 :</u> Faire le point

Vrai ou faux

1. Dans un champ de pesanteur uniforme de vecteur $\vec{g}$ l'énergie potentielle de pesanteur ne dépend que de l'altitude z et de la norme $\|\vec{g}\|$.

2. La variation d'énergie cinétique d'un corps est toujours égale à opposé de la variation d'énergie potentielle de pesanteur.

3. L'énergie mécanique d'un corps qui n'est soumis qu'à des forces conservatives est constante.

4. L'énergie cinétique d'un corps ne varie que si son énergie potentielle varie.

5. Les forces de frottement sont des forces dont le travail ne dépend pas du chemin suivi aller de A en B.

6. Quelle est l'énergie potentielle de pesanteur d'un marteau-pilon de forge de masse m = 400 kg et pouvant tomber d'une hauteur de 0,6 m ?

7. En montant sur une échelle, une personne de 75 kg s'élève de 1,5 m au-dessus du plancher. Le plancher de la pièce est situé à 7,5 m au-dessus de la rue. Quelle est l'énergie potentielle de cette personne par rapport au plancher ? par rapport à la rue ?

8. Un rocher de masse m = 200 kg se détache d'une falaise. L'altitude initiale du rocher est H = 200 m par rapport au niveau de la mer.

a) Quelle est son énergie mécanique totale initiale ? On précisera le niveau de référence pour l'énergie potentielle.

b) En supposant que le rocher tombe en chute libre (résistance de l'air négligeable) ; calculer l'énergie cinétique et l'énergie potentielle du rocher à l'altitude $\mathbf{h} = \frac{\mathbf{H}}{\mathbf{2}}$.

9. Quelle est la variation d'énergie mécanique d'une charge de 260 kg soulevée à 2,5 m du sol par un haltérophile ? Calculer le travail des forces exercées par l'haltérophile sur la barre.

<u>Exercice 2 :</u> Énergie potentielle et état de référence

Un objet de masse m est initialement à l'altitude Z_0 repéré sur un axe vertical orienté vers le haut. On le fait passer successivement aux altitudes Z_1, Z_2, Z_3.

1. Calculer l'énergie potentielle du système terre-objet à ces différents états. L'état de référence étant successivement :

a) le plan d'altitude Z_0

b) le plan d'altitude Z_2

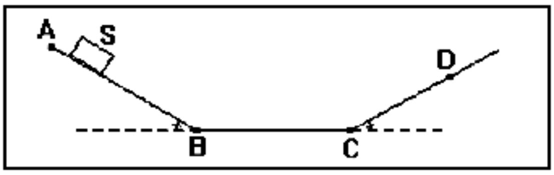
On donne m = 10 kg ; g = 9,8 N/kg ; $Z_0 = 0$; $Z_1 = 10$ m ; $Z_2 = -5$ m ; $Z_3 = 15$m.

2. Comparer les énergies potentielles de Z_1 et Z_2 pour les différentes références.

3. Comparer les variations d'énergie potentielle pour chaque état de référence et conclure.

<u>Exercice 3 :</u>

Un petit objet quasi ponctuel S, de masse m = 200 g est abandonné sans vitesse initiale à partir d'un point A d'une piste ayant la forme indiquée à la figure. Tout au long du mouvement, le mobile est soumis à une force de frottement d'intensité constante ƒ = 0,3 N et de direction toujours parallèle à la piste. On donne : AB = BC = 1,2 m ; α = 30° (les deux plans sont inclinés d'un même angle α)



1. Déterminer les intensités des vitesses acquises par le mobile lorsqu'il passe aux points B et C.

2. Déterminer la distance CD, D étant le point d'arrêt du mobile sur la piste avant son retour en sens inverse.

Le mobile finit par s'arrêter définitivement entre B et C en un point G. Déterminer la distance totale parcourue par le mobile depuis son point de départ A. En déduire la longueur CG et le sens du mouvement du mobile juste avant son arrê

<u>Exercice 4 :</u> Lancer vertical

Un enfant lance verticalement vers le haut une balle de masse m = 20 g a une hauteur de, 30 m au-dessus du sol, avec une vitesse de 4 m/s. On néglige la résistance de l'air.

1. Calculer l'énergie mécanique de la bille en précisant le niveau de référence pour l'énergie potentielle de pesanteur.

2. Jusqu' à quelle hauteur la bille va-t-elle monter ?

3. Avec quelle vitesse va-t-elle repasser par le point d'altitude 1,30m ?

4. Avec quelle vitesse va-t-elle atteindre le sol ?

<u>Exercice 5 :</u> Lancer vertical

On lance verticalement vers le haut, avec une vitesse $v_0 = 3 m.s^{-1}$, un solide quasi ponctuel, de masse m = 500 g, à partir d'un point de cote z = 1,8 m. La résistance de l'air est négligée. On admettra que l'énergie potentielle de pesanteur est nulle au point de cote z = 0.

1. Représenter graphiquement l'énergie potentielle de pesanteur $E_P(z)$ en fonction de l'altitude z.

2. Représenter sur le même graphe, $E_C(z)$ et Em(z) en fonction de la cote z.

3. Calculer la vitesse v du solide en fonction de la cote z.

<u>Exercice 6 :</u> Énergie, puissance et frottements

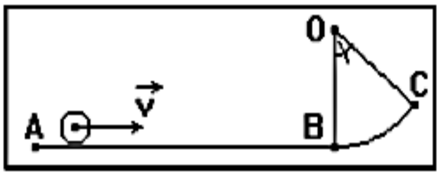
Pour faire rouler une voiture pendant une minute, à la vitesse constante 90 km/h, son moteur reçoit une énergie de 4,8 MJ qui provient de la combustion de l'essence. Le rendement du moteur est de 30%. La combustion d'un litre d'essence fournit 35 MJ. La route est horizontale.

1. Calculer l'énergie mécanique fournie par le moteur considéré pendant une minute. En déduire la puissance mécanique moyenne.

2. Calculer la valeur des forces de frottements supposées constantes.

3. Quelle sera la consommation pour parcourir 100 km à la vitesse indiquée en G.

<u>Exercice 7 :</u>



Une piste horizontale AB don la longueur est L = 1,5 m, se termine par une portion circulaire BC, de centre O, de rayon R = 2 m et d'angle au centre α = 50°. On lance un petit objet S, de masse m = 100 g ; sa vitesse, lorsqu'il passe au point A est $v_A = 5$ m/s.

1. Calculer la longueur totale de la piste (ABC).

2. Déterminer l'altitude du point C (on pose $z_A = 0$).

3. Déterminer les caractéristiques du vecteur-vitesse $\overrightarrow{v_C}$ de l'objet lorsqu'il arrive au point C dans l'hypothèse où l'on néglige tous les frottements.

4. En fait, on mesure la vitesse réelle $v_C = 8,2$ m/s. Monter qu'il existe des frottements et déterminer la quantité d'énergie mécanique dégradée par les frottements. Que devient cette énergie dégradée ?

<u>Exercice 8 :</u> Piste inclinée puis circulaire descendante

Un solide (S) de masse m = 250 g assimilable a un point matériel est lancé à partir d'un point B sur le plan incliné d'un angle α = 30° avec le plan horizontal avec une vitesse $v_B = 6,1$ m/s.

1. En supposant les frottements négligeables et le plan incliné suffisamment long, quelle longueur l devrait parcourir (S) sur le plan incliné avant que sa vitesse ne s'annule ?

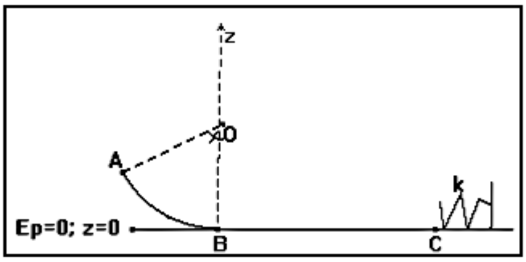
2. En réalité on constate que (S) parcourt une distance BC = l' = 3,2 m le long du plan incliné. Déterminer la variation de l'énergie mécanique de (S) entre B et C. En déduire l'intensité supposée constante de la force de frottement f.

3. A l'extrémité C du plan incliné BC, le mobile (S) aborde sans vitesse une piste circulaire CD descendante de centre B et de rayon BC = l' = 3,2 m. La position de (S) sur la piste circulaire est CD est repérée par l'angle β = (BD, BM). Les frottements sont négligés. Exprimer la vitesse de (S) au point M, en fonction de l',α, β et g. Calculer cette vitesse pour β = 20°.

<u>Exercice 9 :</u>

Une piste ABC est formée de deux tronçons :

- AB est un arc de cercle de rayon r = 15 m,
- BC est une partie rectiligne et horizontale de longueur l = 15 m.



Un cube de masse m = 1 kg, assimilable à un point matériel est lancé à partir du point A, vers le bas avec une vitesse initiale v_A = 6 m/s. Le point A est repéré par rapport à la verticale OB par l'angle α = 60°.

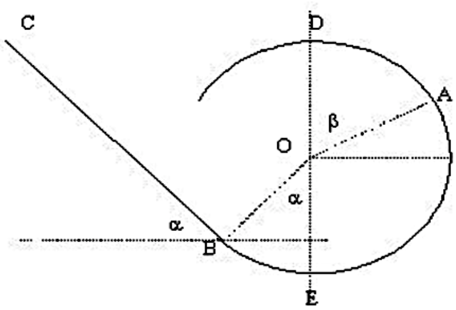
1. Sur la partie AB les frottements sont négligeables. Par l'application du théorème de l'énergie mécanique, déterminer la vitesse du cube lors de son passage au point B.

2. Arrivé en B le cube aborde la partie horizontale BC. Sur ce tronçon existent des forces de frottements d'intensité constante ƒ. Il arrive en C avec une vitesse v_C = 12,5 m/s. Calculer ƒ.

3. Arrivé en C le cube heurte l'extrémité d'un ressort de constante de raideur k = 500 N/m et le comprime. Calculer la compression maximale x_0 du ressort.

<u>Exercice 10 :</u> Looping

Un solide de masse m se déplace dans une glissière constituée d'une partie rectiligne BC suivie d'une partie circulaire de centre O et de rayon R. Les frottements sont négligés. g = 10 ms^{-2}. L'origine des altitudes est le point B. Le solide est lâché de C sans vitesse.



1. Représenter en B et en A les forces appliquées au solide et le vecteur-vitesse

2. Exprimer l'énergie mécanique en A et C, puis la vitesse en A en fonction des données

3. Calculer la vitesse en A si m = 100 g ; R = 0,5 m ; BC = 2 m ; β = 1,2 rad ; α = 1 rad

4. La vitesse minimale en D doit être supérieure à la racine carrée (10R) sinon le point D n'est pas atteint. Quelle doit être l'énergie minimale en C permettant d'atteindre D. En déduire l'altitude minimale de C permettant d'atteindre D.

5. Répondre par Vrai ou Faux . Justifier.

a) En E la somme des forces est nulle.

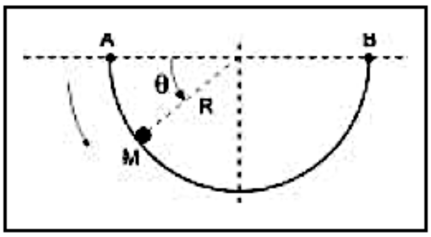
b) Si la masse quadruple, la vitesse en A double.

c) Si le rayon quadruple, la vitesse en A double.

d) Si la vitesse réelle en A est la moitié de celle calculée, alors 50% de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur lors des frottements.

<u>Exercice 11 :</u> Roulement d'une bille

Une bille de masse m roule sur une piste semi-circulaire de rayon R. On note A le point en haut à gauche de la piste et B le point en haut à droite de la piste. La bille est repérée par l'angle θ fait avec l'axe horizontal (voir Figure). On note g l'accélération de la pesanteur.



1. Dans cette première partie les frottements sont négligés. La bille est lâchée du point A sans vitesse initiale.

a) En utilisant un théorème de l'´énergie (cinétique ou mécanique), déterminer la vitesse de la bille en un point quelconque M en fonction de R, θ et g. En déduire le point ou la vitesse est maximale. Que vaut alors cette vitesse ?

   b) En utilisant la relation $\mathbf{R_N - mg\cos\theta = \frac{mv^2}{R}}$ (projection sur la normale du principe fondamental de la dynamique), calculer la force exercée par la piste sur la bille en fonction de m, θ et g. Où est-elle maximale ? Quelle est alors sa valeur ?

2. On suppose maintenant qu'il existe des frottements solides entre la piste et la bille. La bille part encore du point A sans vitesse initiale.

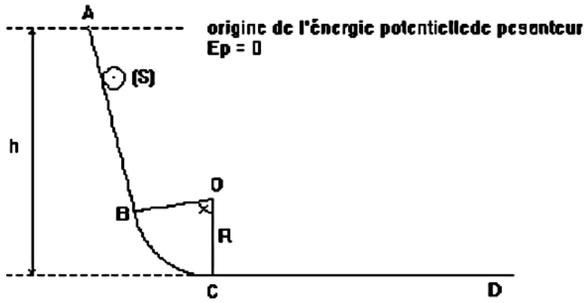
   a) Faire un schéma faisant apparaitre les forces s'appliquant sur la bille en M.

   b) Sans faire de calcul, dire si le travail de la force de frottement pour aller de A `a B est un travail moteur ou un travail résistant. Justifier votre réponse.

   c) En appliquant un théorème de l´´énergie et en utilisant le résultat de la question précédente, déduire qu'il est impossible que la bille atteigne le point B.

<u>Exercice 12 :</u> Roulement sans glissement

On considère le dispositif de la figure ci-contre. AB et CD sont des surfaces planes et BC un arc de cercle de rayon R. Le solide S est une bille homogène de rayon r, de masse m et de moment d'inertie J_Δ par rapport à un axe Δ passant par son centre d'inertie. A l'instant t = 0, on abandonne la bille S en A sans vitesse. Elle roule alors sans glisser le long du parcours ABCD dont le profil est donné sur la figure ci-contre.



Données : m = 882 g ; r = 3,0 cm ; α = 45°; R = 50 cm; h = 1,0 m ; g = 10 N/kg ; AB = d = 1,0 m.

1. On suppose que les frottements sur tout le parcours ABCD sont nuls. En appliquant le principe de la conservation de l'énergie mécanique totale entre les positions A et C, exprimer la vitesse v_C du centre d'inertie de la bille au point C en fonction de m, g, r, h et J_Δ. Calculer v_C.

2. En réalité, les frottements ne sont pas nuls. Ils sont équivalents à une force unique f de sens opposé à celui du vecteur vitesse du centre d'inertie de la bille et de valeur f supposée constante. A cause des frottements, la valeur de la vitesse au point C vaut ' v_C = 1,8 m/s. En appliquant le théorème de la variation de l'énergie mécanique totale entre les positions A et C, exprimer f en fonction de m, g, r, R, d, h, J_Δ, v_C. Calculer f.

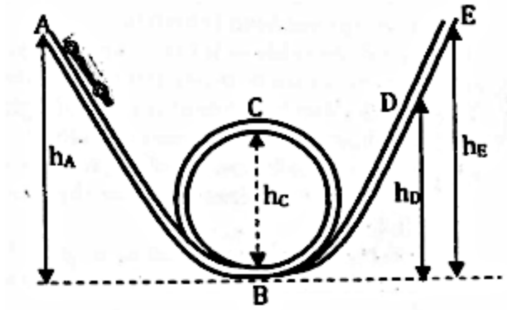
3. Avec la vitesse 'v_C, la bille quitte le point C et arrive en D où elle s'immobilise. Calculer la distance CD en appliquant :

   a) le théorème de l'énergie cinétique ;

   b) le théorème de la variation de l'énergie mécanique totale.

<u>Exercice 13 :</u>

Un jouet est constitué d'un petit véhicule assimilable à un point matériel de masse m = 200 g pouvant glisser sur un rail, dont le profil est représenté ci-contre. Les hauteurs au-dessus du sol sont: $h_A = h_E$ = 52 cm; h_C = 29 cm et h_D = 40 cm. Le véhicule est abandonné en A sans vitesse initiale.



1. Calculer l'énergie mécanique Em(A) du véhicule en A. On choisit le sol comme état de référence pour l'énergie potentielle de pesanteur.

2. En supposant les frottements négligeables, déterminer les valeurs des vitesses du véhicule en B, C et E.

3. En réalité des forces de frottement s'exercent sur le véhicule lorsqu'il se déplace dans la boucle (BCB) et on constate que le véhicule ne parvient qu'au point D du rail.

   a) Calculer la variation d'énergie mécanique ΔEm du véhicule entre A et D.

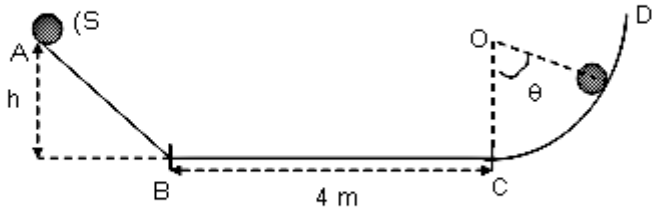
   b) À quoi correspond cette variation d'énergie mécanique ?

   c) En déduire l'intensité supposée constante de la force de frottement.

4. Quelle doit être alors la vitesse minimale V_A du véhicule en A pour qu'il puisse atteindre le point E?

Exercice 14 :

On prendra le plan BC comme état de référence (Epp(B) = Epp(C) = 0J). Un solide (S) de masse m = 2 kg et assimilable à un point matériel, descend sans frottements un plan incliné AB d'une hauteur h = 1 m en partant sans vitesse initiale. Arrivé au bas du plan incliné, il rencontre un plan horizontal BC long de 4 m où les forces de frottement sont équivalentes à une force unique $\vec{f}$ de même direction mais de sens opposé à la vitesse. En C, il monte sans frottement sur une surface courbe CD (voir figure).



On donne : g = 9,81 N/kg et OC = r = 1,5m

1. Déterminer :

a) L'énergie mécanique du solide au point A.

b) Quelle est la valeur de l'énergie mécanique au point B? En déduire sa vitesse au point B.

2. Le solide arrive en C avec une vitesse vc = 3,5 m.s^{-1}

a) Calculer l'énergie mécanique du solide au point C.

b) Déterminer le travail des forces non conservatives entre B et C.

c) En déduire l'intensité des forces de frottement $\vec{f}$.

3. À quel angle θ le solide remonte-t-il sur la surface CD ?

Exercice 15 : **Ressort**

Un solide de masse m = 300 g est suspendu à l'extrémité d'un ressort qui s'allonge de 8,6 cm lorsque l'ensemble est en équilibre.

1. Quel est le coefficient de raideur du ressort ?

Un opérateur soulève le solide de sorte que le ressort reprenne sa longueur à vide, et alors, il lâche le solide sans lui communiquer de vitesse.

2. Quel sera le mouvement ultérieur du solide s'il n'y a pas de frottement ?

3. Avec quelle vitesse le solide repasse-t-il par sa position d'équilibre ?

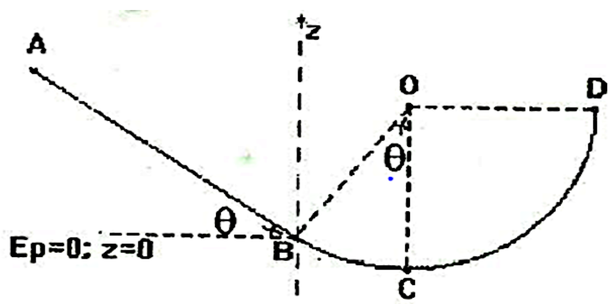
4. Quel sera l'allongement maximal du ressort ?

5. Quelle est la vitesse du solide lorsque l'allongement est 4 cm ?

On pourra prendre comme état de référence pour l'énergie potentielle dans le champ de pesanteur, l'état où le solide occupe sa position d'équilibre.

Exercice 16 :

Une piste verticale est formée d'une portion rectiligne AB = 1,2 m incliné d'un angle θ = 45° sur l'horizontale et d'une partie circulaire BCD raccordée en B à AB, de rayon r = 25 cm. Un chariot supposé ponctuel de masse m = 180 g est abandonné en A sans vitesse initiale. On choisit comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur le plan horizontal passant par B. L'origine des espaces est prise au point B (Z_B = 0).



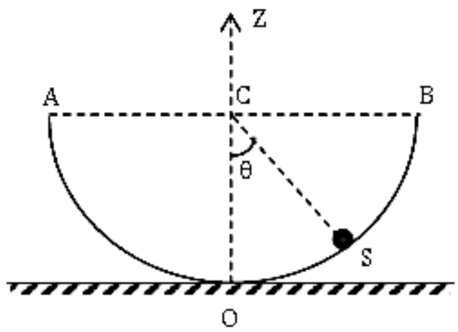
1. Enoncer le théorème de l'énergie mécanique.

2. Montrer que l'énergie mécanique au point A vaut $E_m(A)$ = 1,527 J.

3. En supposant les frottements négligeables, en déduire, par application du théorème de l'énergie mécanique la vitesse du chariot au point B, C et D.
4. En réalité, les frottements ne sont pas négligeables sur AB et la nouvelle vitesse en D n'est que la moitié de celle calculée à la question 3.
   a) Calculer la variation de l'énergie mécanique du chariot entre A et B. Quel est le signe de cette variation et pourquoi ?
   b) En déduire la valeur de la force de frottement qui s'exerce sur le chariot.

Exercice 17 :

Un solide S, de masse m = 10 g, peut glisser sur un rail qui a la forme d'un demi-cercle AOB de rayon r = 0,8 m. Son centre d'inertie est contenu dans le plan vertical. Les points A, C et B sont situé sur la même horizontale (voir figure); la position de S, au cours du mouvement, est repérée par l'angle θ. On prendra g = 10 N/kg.

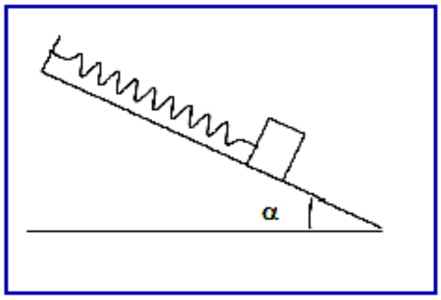


1. On prendra pour origine de l'énergie potentielle de pesanteur le plan horizontal passant par O et on désigne par z l'altitude de S par rapport à ce plan.
   a) Établir l'expression de z en fonction de r et θ. Puis celle de E_{pp}, énergie potentielle de pesanteur de S en fonction de m, g, r et θ.
   b) Calculer la valeur de E_{pp} pour θ = π/2 rad.
2. Le solide S étant au repos en O, on lui communique une énergie telle qu'en arrivant en B, elle possède une énergie mécanique E_m = 0,08 J.
   a) Avec quelle vitesse le solide arrive-t-il en B ?
   b) Exprimer l'énergie cinétique E_C du solide en fonction de E_m, m, g, r et θ.
   c) Compléter le tableau suivant :

θ (rad)	0	$\frac{\pi}{12}$	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$
E_c (10^{-2}J)						
E_{pp} (10^{-2}J)						

Exercice 18 : Ressort sur un plan incliné

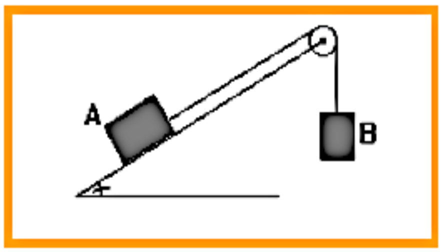
Un solide de masse m = 0,1kg est accroché à un ressort de raideur k=20N/m sur un plan incliné d'un angle α = 30° sur l'horizontale où il peut glisser sans frottement.



1. Déterminer l'allongement à l'équilibre.
2. Établir l'expression de l'énergie potentielle de l'ensemble, la référence étant le ressort non déformé.
3. A partir de cette position d'équilibre on tire le solide de 3 cm vers le bas puis on le lâche sans vitesse initiale. Déterminer sa vitesse quand il repasse par la position d'équilibre en utilisant la conservation de l'énergie mécanique.
4. Que devient cette vitesse s'il y'a en fait des frottements opposés au mouvement de valeur f = 0,25N.

Exercice 19 : Poulie à une gorge puis à deux gorges

On considère le dispositif ci-contre où la masse de la poulie et du fil sont négligeables. A glisse sans frottement sur le plan incliné.

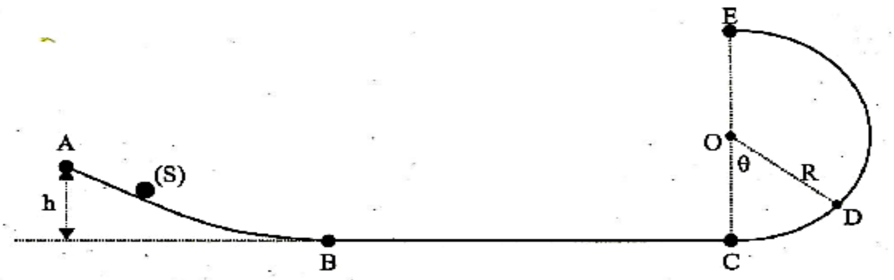


1. Calculer m_B pour que le système reste au repos. On donne m_A = 500g et g = 10 m/s².
2. Calculer la tension du fil.
3. Quelle est la vitesse de A lorsqu'il a parcouru une distance l le long du plan incliné, après que l'ensemble ait été libéré sans vitesse initiale. On donne : m_A = 800 g, m_B = 200 g, α = 45°, l = 40 cm et g = 10 m/s².

4. La poulie comprend maintenant deux gorges de rayons R_1 et $R_2 = 3/2\ R_1$. Le fil supportant A passe par le rayon R_2. Répondre aux mêmes questions posées en 1 et 2.

Exercice 20 :

Un solide (S), de masse m = 0,1 kg est lâché sans vitesse d'un point A d'une piste ABCDE situé dans un plan vertical comme l'indique la figure ci-dessous. Les frottements sont négligeables. Prendre $g = 10\ m/s^2$.



Le niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur est le plan horizontal passant par BC. Le point A se trouve sur une hauteur h = 1,8 m au-dessus de B.

1. Calculer l'énergie mécanique du solide (S) point A.

2. Calculer, en utilisant la conservation de l'énergie mécanique, la vitesse V_B de (S) quand il passe par le point B.

3. CDE est une partie demie circulaire de rayon R = OC = OD = 2 m.

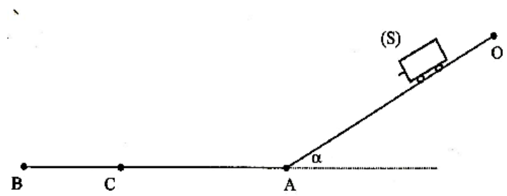
  a) En appliquant la conservation de l'énergie mécanique, vérifier que la vitesse de (S) quand il atteint un point D de la piste circulaire $(\overrightarrow{CO}, \overrightarrow{OD}) = \theta$ est donné par : $V_D = \sqrt{2g[h - R(1 - \cos\theta)]}$.

  b) Déduire la valeur θ_m correspondant à la plus haute position atteint par (S) sur la partie circulaire CDE.

Exercice 21 :

Un charriot (S), de faible dimension et de masse m = 300g, est lâché sans vitesse, du sommet O d'un plan incliné OA (OA = 40cm) formant avec l'horizontal un angle α = 30°.

On néglige les forces résistives au roulement du charriot lors de son déplacement de O vers A. Le niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur est le plan horizontal passant par A. Prendre $g = 10 m/s^2$.



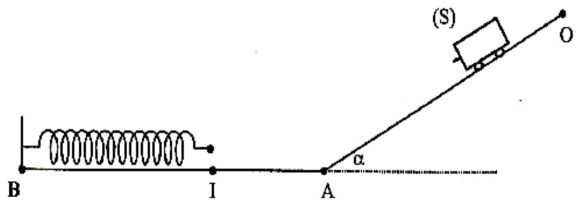
Le solide (S) dépasse le point A sur un support horizontal AB et s'arrête en un point C sous l'action d'une force résistive d'intensité f = 3 N.

1. Calculer l'énergie mécanique du chariotau O.

2. Déduire la vitesse de (S) au point A.

3. Calculer la variation de l'énergie mécanique du chariot (S) quand il se déplace de A à C. En déduire la distance AC.

4. On recommence l'expérience précédente, en lançant le charriot du point O sans vitesse, mais sur AB on place un ressort à spires non jointives BI (IA = 10 cm) de constante de raideur k = 20N/m comme le montre la figure ci-dessous. La force résistive à l'avancement de (S) n'est pas changée sur AB.

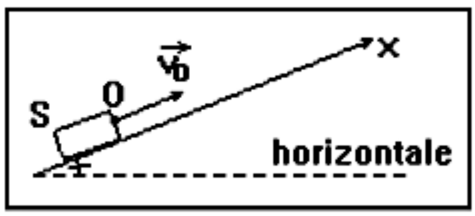


  a) Calculer la vitesse de (S) en I.

  b) Déduire la valeur de la compression maximale x_m du ressort (on devra établir une équation du second degré en x_m).

Exercice 22 :

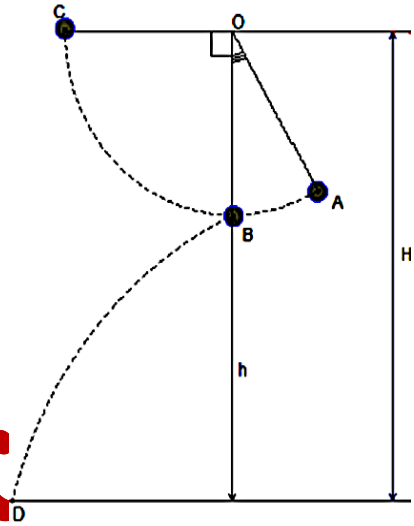
On lance un petit objet S de masse m = 2 kg sur une piste rectiligne incliné d'un angle α = 20° par rapport à l'horizontale. On lance l'objet d'un point O pris comme origine de l'axe Ox avec une vitesse initiale $\vec{v_0}$, parallèle à Ox et de valeur v0 = 10m/s. L'objet glisse le long de la piste ; le mouvement s'accompagne de frottement assimilable à une force constante $\vec{f}$, parallèle à Ox, d'intensité égale à 10% du poids de S et de sens opposé à la vitesse.



1. Déterminer la longueur maximale x_m dont monte l'objet le long de la piste.

2. Déterminer les caractéristiques du vecteur-vitesse $\overrightarrow{v_0'}$ de l'objet lors de son retour en O.

Exercice 23 :



Un pendule est constitué d'une bille supposée ponctuelle, de masse m = 100 g, suspendue à un fil de masse négligeable, de longueur l = 60 cm et dont l'autre extrémité est attachée en O, situé à 1,50 m au – dessus du sol.

Dans tout le problème on appliquera les théorèmes relatifs à l'énergie mécanique en choisissant comme origine des espaces le point B et comme origine des énergies potentielles de pesanteur le plan horizontal passant par B.

1. On écarte le pendule d'un angle θ = 30° par rapport à sa position d'équilibre et on l'abandonne depuis un point A sans vitesse.

a) Enoncer le théorème de l'énergie mécanique.

b) Appliquer ce théorème pour déterminer la vitesse $\overrightarrow{v_B}$ de la bille à l'instant où elle passe par sa position d'équilibre (position B).

2. La sphère est désormais lancée à la position (A) avec une vitesse $\overrightarrow{v_B}$. Quelle doit être la minimale de cette vitesse pour que le pendule atteindre la position horizontale (C) néglige l'action de l'air sur la bille.

3. En réalité, l'action de l'air n'est pas négligeable. On constante que la bille s'arrête en un point E situé entre B et C tel que $(\overrightarrow{CO}, \overrightarrow{OE})$ = α = 30°. On suppose qu'il existe une force de frottement d'intensité constante de même direction que la vitesse mais de sens contraire qui agit sur la bille. Calculer f.

4. A l' instant où la bille, lâchée en A sans vitesse, passe par sa position d'équilibre, le fil se détache et la bille poursuit son mouvement sur une trajectoire parabolique. Avec quelle vitesse $\overrightarrow{v_D}$ arrive – t – elle au sol. On néglige l'action de l'air dans cette question